トンネルと地下　平成19年5月1日発行第38巻第5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

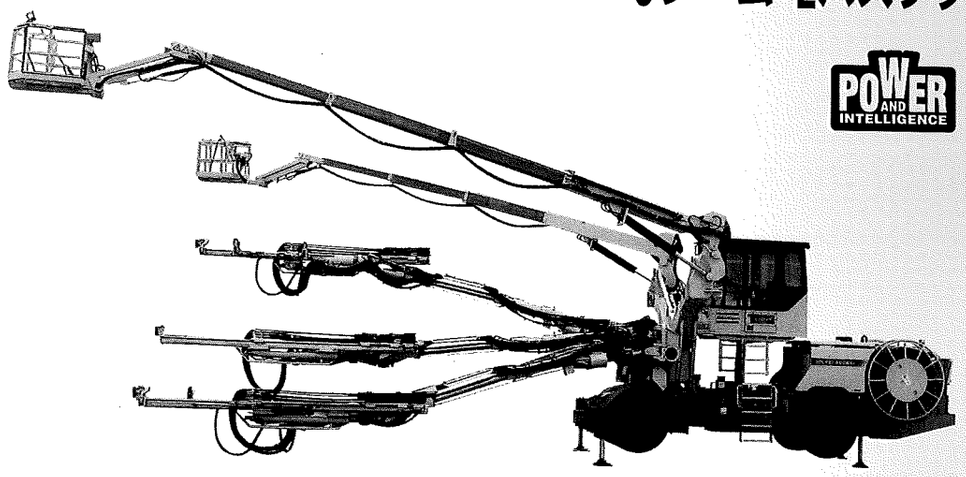
アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

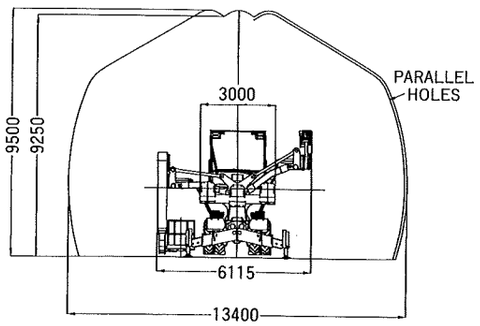
The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B

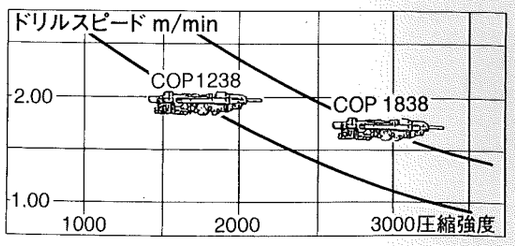
COP1838油圧ドリフター搭載

3ブーム・2バスケット

POWER AND INTELLIGENCE







DRILL
ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO.,LTD.

本　　社　〒116-0014　東京都荒川区東日暮里6-16-8桂ビル5階
TEL(03)3806-3377番　FAX(03)3806-8461番
関西支店　〒657-0864　兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4
TEL(078)802-5551番　FAX(078)802-5528番
九州支店　〒839-0841　福岡県久留米市御井旗崎1-6-14
TEL(0942)43-5315番　FAX(0942)43-5832番
焼津営業所　〒425-0072　静岡県焼津市大住638-1
TEL(054)620-7301番　FAX(054)620-7303番
兵庫工場　〒679-1332　兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端454-3
TEL(0795)36-0461番　FAX(0795)36-0467番

定価1,575円　雑誌06619-5
本体価格1,500円
4910066190576
01500

昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成19年5月1日発行(毎月1回1日発行)　第38巻第5号　通巻441号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 5

vol. 38
no. 5
2007

線路下の玉石層に機械掘削でJES函体を構築
未固結地山における超近接双設トンネルの施工
軟質砂岩層中に潜在する柱状低固結堆積物を探りつつ突破
地下40mの単線シールド間に曲線パイプルーフでポンプ室を構築
鉄道トンネルの維持管理の考え方

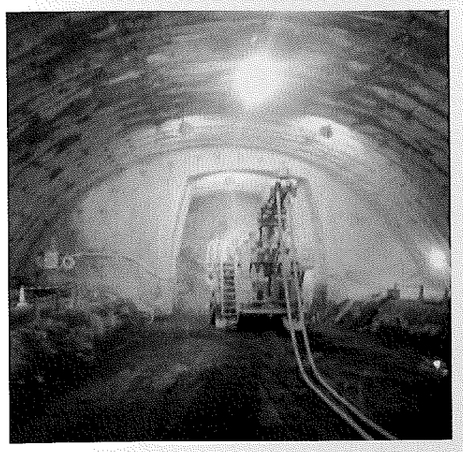
日本トンネル技術協会誌



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

FURUKAWA ROCK DRILL FRD FURUKAWA

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

ホイール式ドリルジャンボ

JTH2200R/3200R

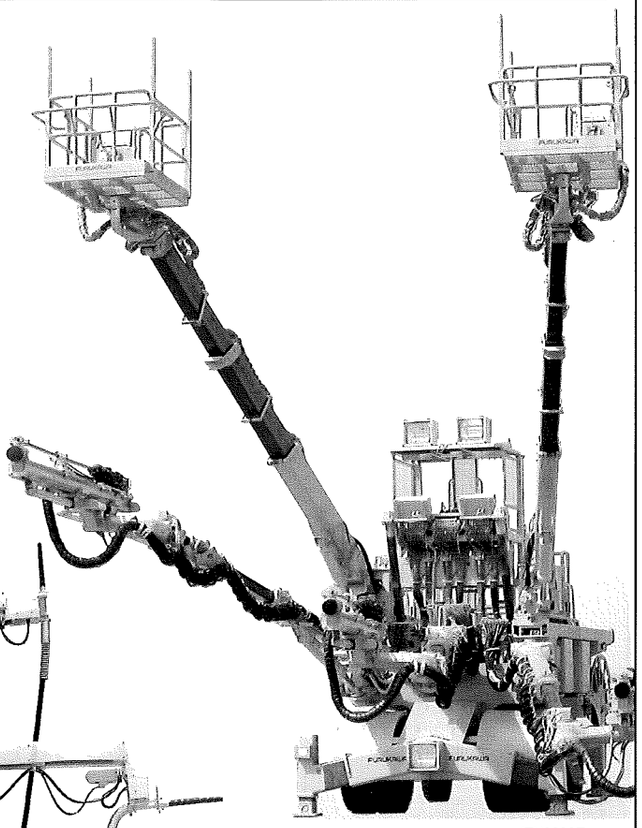
新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。

新世代型油圧ドリフタHD210搭載。



◆主な仕様

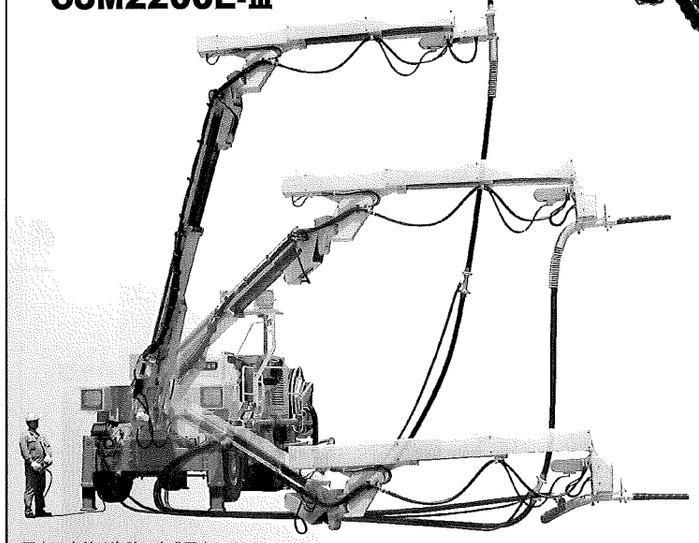
	JTH2200R 2ブーム、2ケージ	JTH3200R 3ブーム、2ケージ
質量	35.5トン	43トン
全長	14,270mm	14,760mm
全幅	2,690mm	3,140mm
全高	5,940mm	6,010mm
水平さく孔範囲		
幅	12.77m	13.22m
高さ	8.49m	8.84m



JTH3200R

コンクリート吹付け機(コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-Ⅲ



写真は吹付け姿勢の合成写真です。

◆CJM2200E−Ⅲ 主な仕様

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

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

古河機械金属グループ

FRD FURUKAWA **古河ロックドリル株式会社** http://rvs.furukawakk.co.jp/ms/

本社 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町二丁目3番14号 古河ビル8F 特機部 電話:(03) 3231-6966

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

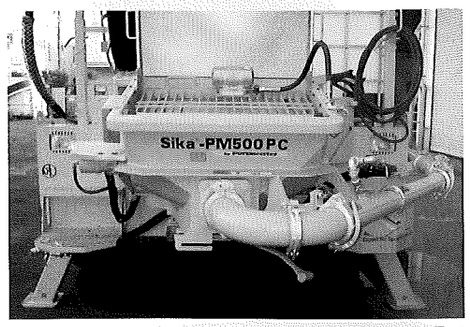
関西支店 06-6475-8221 広島営業所 082-832-3542 四国営業所 087-815-1708 九州支店 092-948-2010

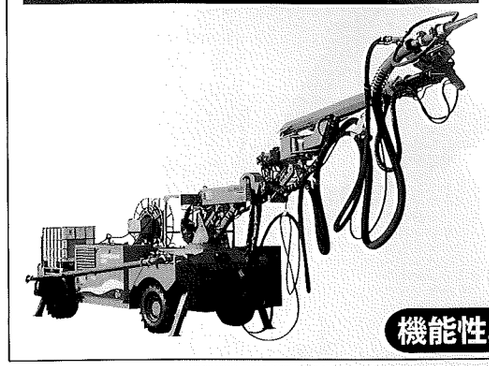
吹付けコンクリートシステム

Sika® PM putzmeister
Experts on Sprayed Concrete

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

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





特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです.

プツマイスター圧送ポンプの特長

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

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

コンパクトで群を抜く使いやすさ！

機能性，機動性の基に理想的な機械化を実現！

総販売元　東友エンジニアリング㈱　製造輸入元　プツマイスタージャパン㈱

トンネル関連製品

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

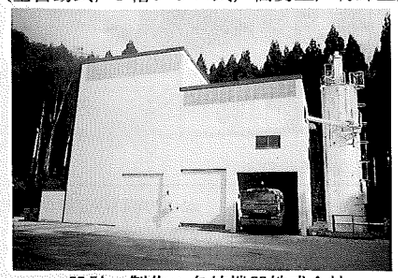
VOLVOダンプトラック
(A25C–TS，A25C–TR，A20/30C–T)



Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他，トンネル施工機械全般

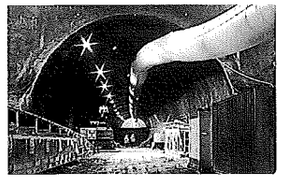
バッチャプラント
(全自動式，3槽クラム式，簡易型，特殊型)



設計・製作：名岐機器株式会社

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

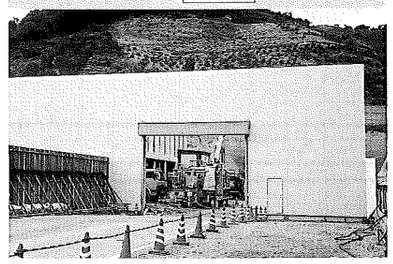
騒音防止システム

エコフラット −35db Cタイプ



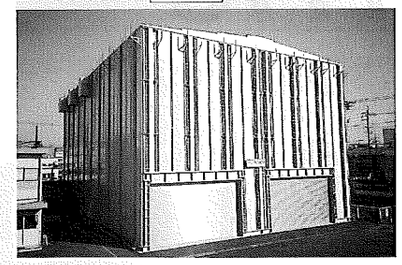
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 −15db Aタイプ



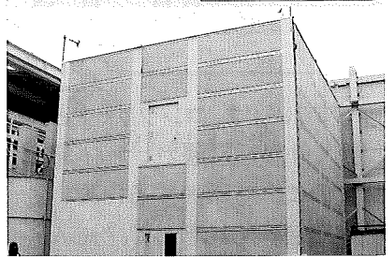
適応性の優れた防音パネル

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

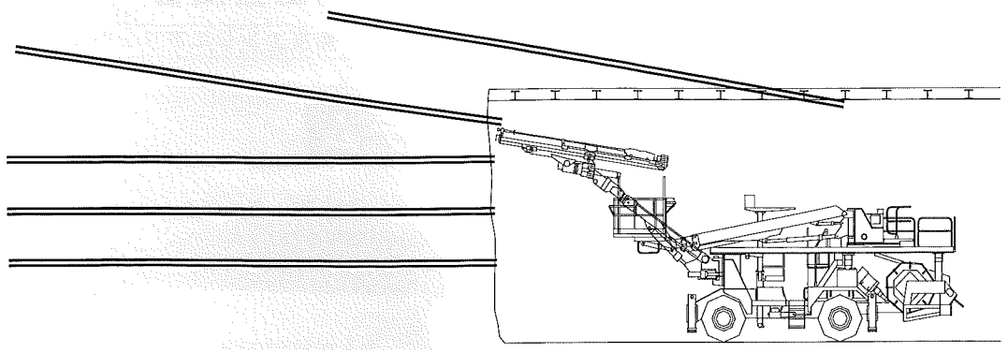
〒102–0073　東京都千代田区九段北 3–2–5　TEL：03–3234–8901　FAX：03–3234–8900
株式会社トーユーエコサポート　TEL：03–5226–5971　FAX：03–5226–5974
トーユーサービス株式会社石岡工場　TEL：0299–27–6211　FAX：0299–27–6233

KATECS

全方位切羽補強工法

パノラマ工法

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



アルカリフリー型液体急結剤

AFK－777J

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

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



「ヨロケ」とは昔 鉱山で呼ばれたじん肺のことです

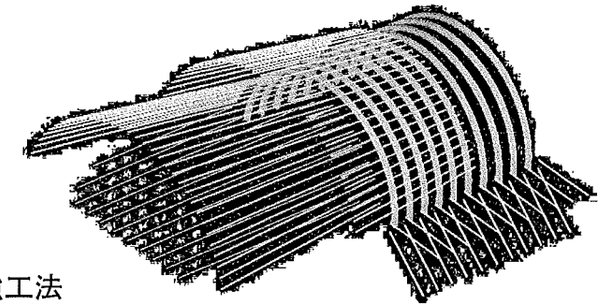
KATECS

トンネルの補助工法

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

小口径長尺先受工法
- SMALL-P工法
- FBE工法

全方位マルチパターン地山補強工法
- パノラマ工法



発泡型シリカレジン
- スーパーSRF

無機系注入材
- シリカセーフ

KATECS

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

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

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

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

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

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

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

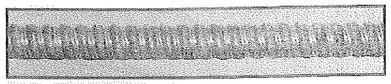
— NATMを支える —

技術と信頼！

ケー·エフ·シーの ロックボルト

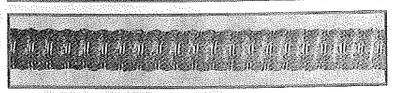
全ネジFRP ロックボルト

CG22S

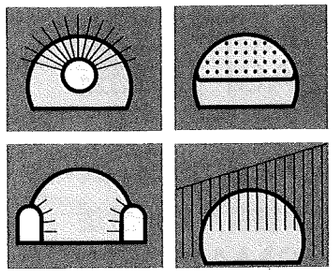


（中実タイプ）

CGR32

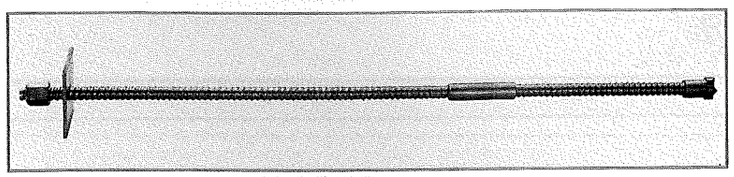


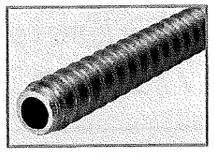
（中空タイプ）

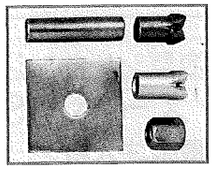


FRPボルトに全ネジ加工することによって、ナット取付け、カプラー接続が簡単にできます。

自穿孔 IBO アンカー





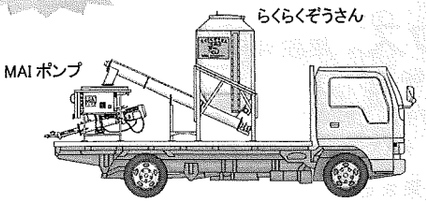


現場での取扱いが非常にし易い R32 ネジを全長にわたって転造した中空ロックボルトです。

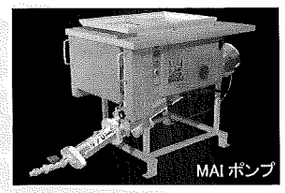
MAI ポンプ&らくらくぞうさん（モルタル投入システム）

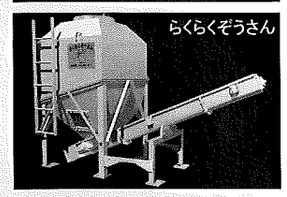
特許第 3256532 号（らくらくぞうさん）

ECO システム!



現場ゼロエミッションに貢献します。







環境にやさしいパッケージ
「ふたたびくん」

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/

1本1本が大切！ だから

次世代 防食 ロックボルト

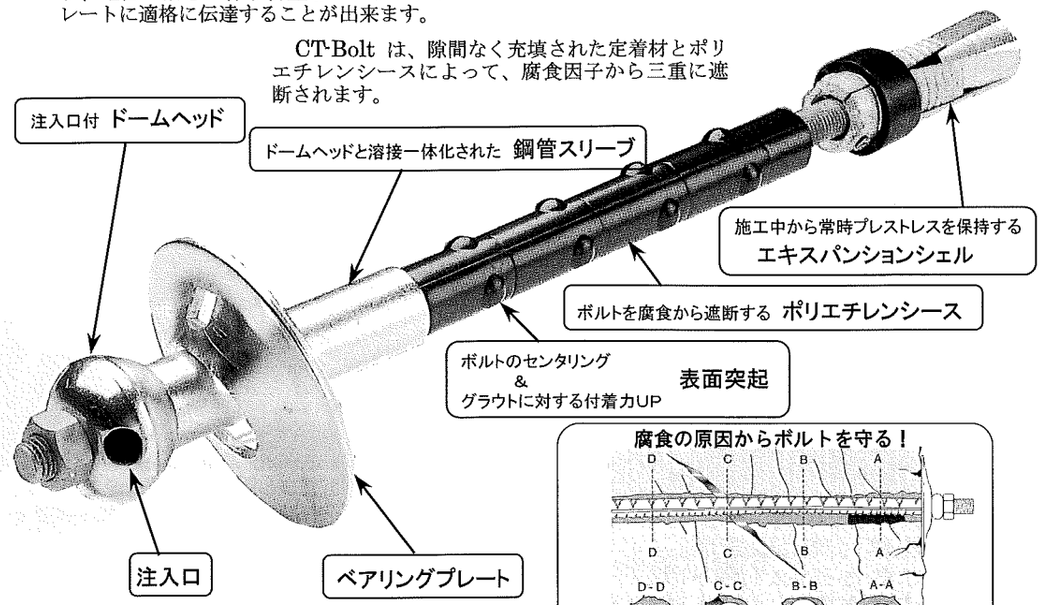
CT-Bolt

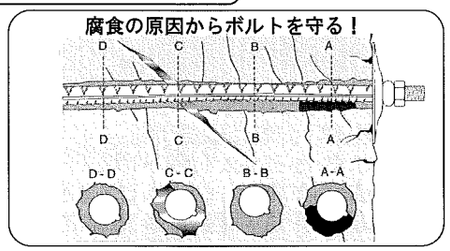
Ørsta Stål

通常施工により超長期支保

CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適格に伝達することが出来ます。

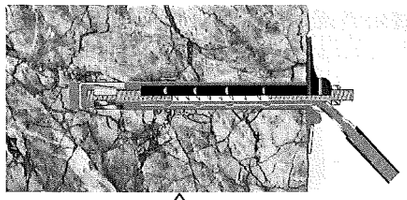
CT-Bolt は、隙間なく充填された定着材とポリエチレンシースによって、腐食因子から三重に遮断されます。





CT-Bolt の定着は・・

即時に支保効果をもたらす先端定着と、時期を選んで行える全面定着グラウト充填のコンビネーションです。施工直後から施工後長期にわたって、ボルト支保効果を最大限に活用することが可能です。ポリエチレンスリーブがボルトを覆う構造により、仮に空洞や偏芯、或いは湧水によって部分的にグラウトが逸失している場合にも、腐食促進成分がボルトと接触しません。



用途：
- 山岳トンネル・海底トンネルに
- 立坑・地下空洞支保に
- 石油備蓄基地等地下施設建設に
- 斜面安定・補強土工に
- その他 腐食対策の必要な地盤に

完全充填

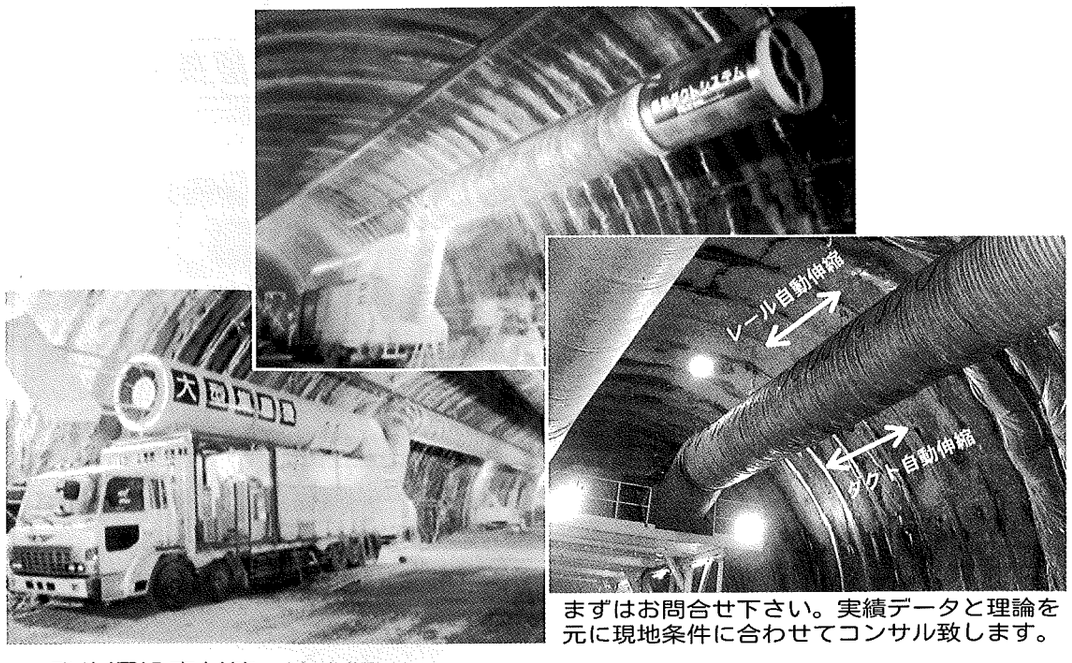
CT-Bolt は、広い範囲の粘度のグラウト注入が可能です。グラウトはポリエチレンスリーブ内に充填された後、先端部から孔壁とスリーブの間を充填して戻り、リターンによって全面定着が確認出来ます。

総発売元 Your Fastening Partner
KFC 株式会社 ケー·エフ·シー
〒105-0014 東京都港区芝 2-5-10
お問い合わせ先 TEL:03-3798-8517
技術部 FAX:03-3798-8850

〔特許第3883483号〕

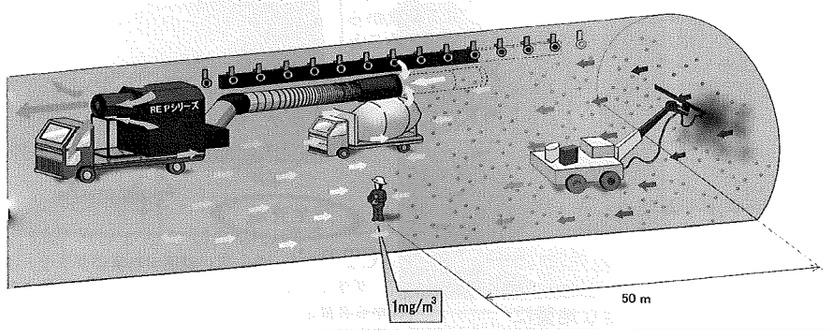
吸引ダクトシステム

ガイドラインをクリア　0.5mg/m³達成!!



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

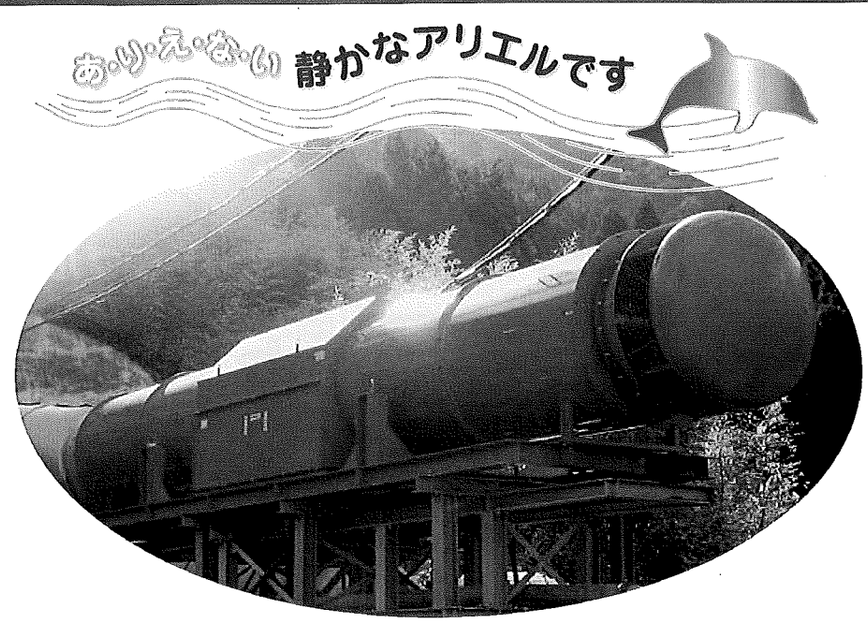
- 発生源粉塵対策の決定版。
- ダクトはもちろん、吊下げレールも無線リモコンで楽々前進。
- 掘削工法や作業サイクルに適応。操作にお手間をとらせません。
- 最低限の切羽送気量と後方の高い清浄空間の確保で換気コストとランニングコストの大幅なコストダウンに。
- 適応外径はΦ600～Φ1800、負圧－2kpa、収縮率1/5、100m以上もレンタルで対応可。



宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

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

超低騒音・二軸反転ファン エアロ★MAX アリエル



今時、静かなのは当たり前!!

ファンの性能を保持したまま、より低騒音に、よりスタイリッシュに。

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

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

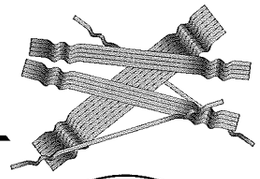
宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

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

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



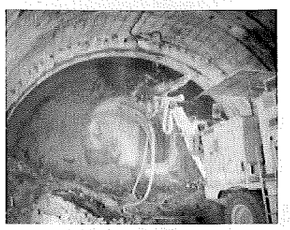
技術提案 ← 地山不良 → トラブル対応

断層破砕帯
膨張性地山
変形増大

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

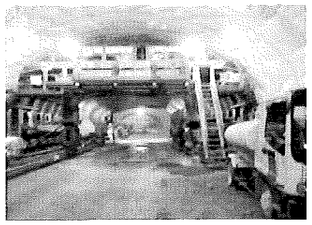
一次吹付

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



二次覆工

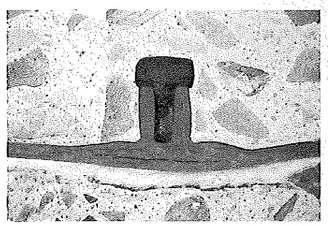
- 内空変位増大対策
- 無筋化
- 剥離・剥落防止



防水への信頼性・施行性の向上へ

ナトミックシート トンネル用防水シート

■ 高い防水性



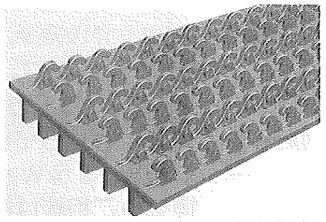
ウォーターバリア

■ 豊富な品揃え



吊鉄筋金具

■ 容易な施工性

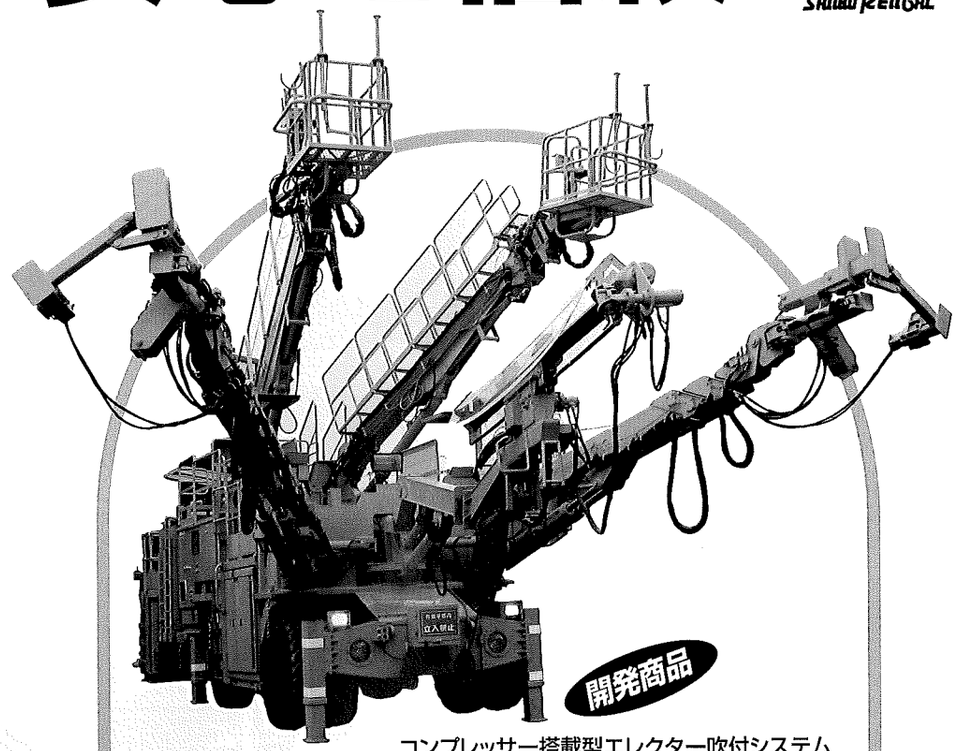


クイックバー

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

安心と信頼

SANKO RENTAL



開発商品

コンプレッサー搭載型エレクター吹付システム
（ホイール式）

〈1台2役のスグレモノです!〉

■1台にて1次吹付、支保工建て込み、2次吹付可能です。
■2バスケットによる効率UPが可能です。
■最大荷重1200kgの支保工を運搬・建て込み可能です。
■コンプレッサー　90kw・37kwを搭載しています。

トンネル機械の総合レンタル

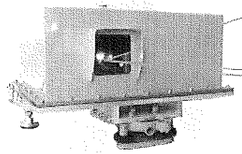
三興レンタル株式会社

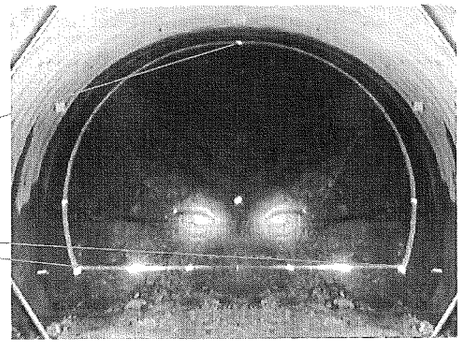
高槻事務所／〒569-0836 高槻市唐崎西2-26-1
TEL072-677-2101(代)　FAX072-677-2109

レーザーマーキングシステム

国内、海外特許取得済み

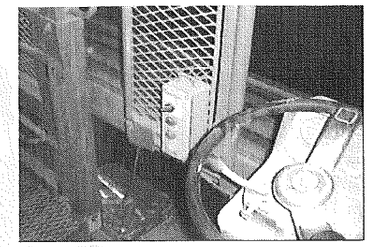
残像効果を使ったペイント不用
の連続高速照射を実現





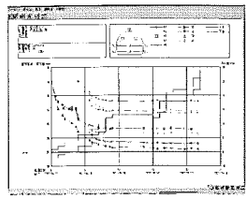
現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー



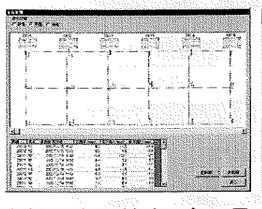


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

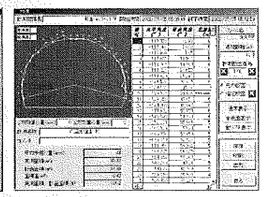
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



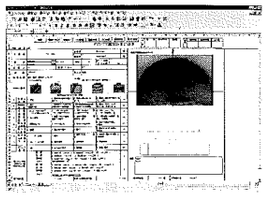
A計測データ処理



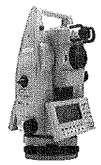
支保工立込精度、変形量



内空、巻厚検査



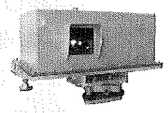
切羽観察、etc













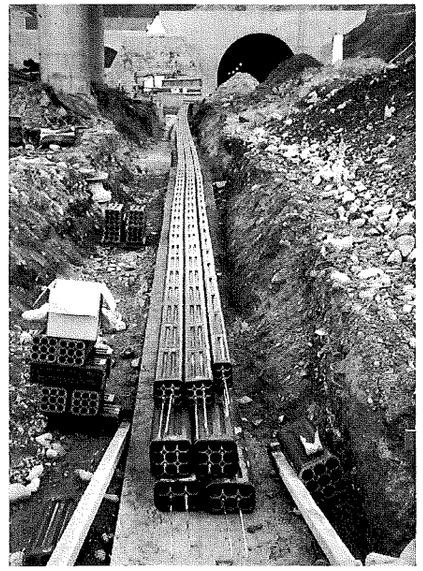


豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

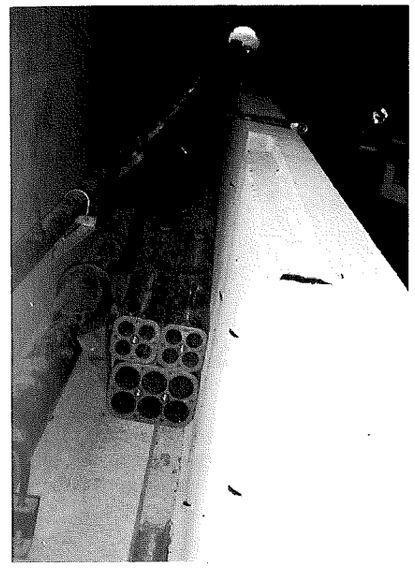
MAC マック株式会社
〒272-0832 千葉県市川市曽谷8−16−3
TEL (047) 371-3191 FAX (047) 371-3190

〔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

永久施設に永久管路



▲ 宇治トンネル 〔日本道路公団〕



▲ 関南トンネル 〔日本道路公団〕

地下ケーブルの保護に
杉江の多孔陶管

セラダクト

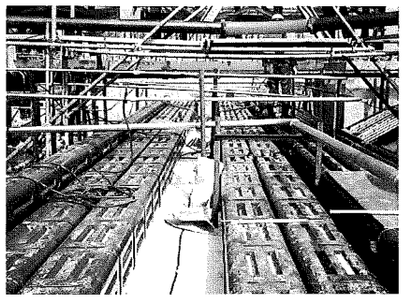
燃えない　錆びない　壊れない

地中配線管路材 (JIS C 3653)

**トンネル内の狭い空間の
多条数のケーブル布設に
最適な管路です**



▲川越火力発電所〔中部電力㈱〕



▲ 広野火力発電所〔東京電力㈱〕

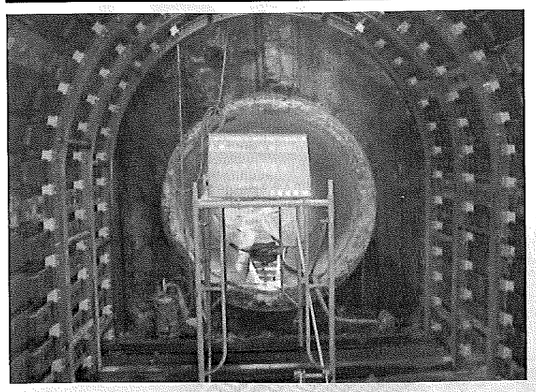
狭い空間(トンネルetc)での制約された条件下でも施工が簡単、迅速に行える、杉江の"多孔陶管"は多条数ケーブル布設に最適です。予備孔も安価に設けられる等、管路省力化工事に是非お役立て下さい。

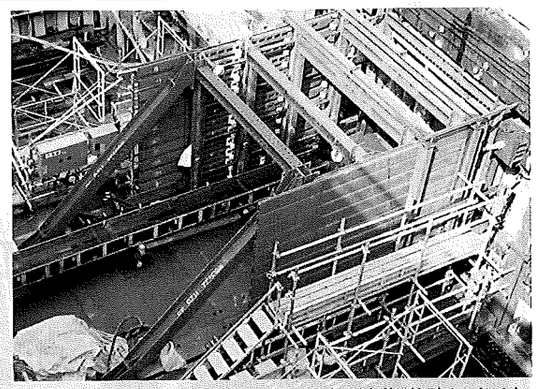
sugie 杉江製陶株式会社

本社・工場	愛知県知多郡武豊町字上山1−76	〒470-2387	☎(0569) 35-2360(代)	FAX (0569) 35-4087
東京支店	東京都渋谷区恵比寿1−21−8	〒150-0013	☎(03) 3442-6181(代)	FAX (03) 3442-1691
大阪支店	大阪市都島区御幸町1−3−1	〒534-0012	☎(06) 6922-6991(代)	FAX (06) 6922-2498
札幌連絡所	札幌市北区新川2条10丁目575-28	〒001-0922	☎(011) 763-8907(代)	FAX (011) 763-8790

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)

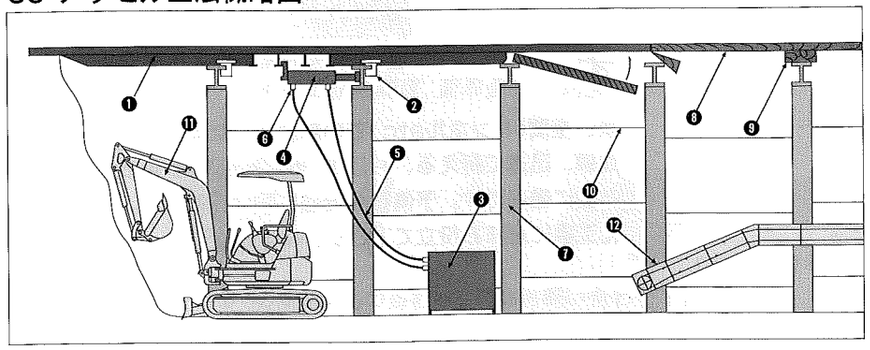
特徴

- 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

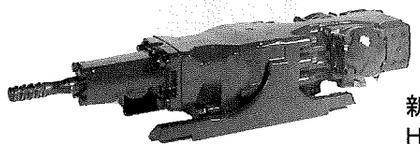


❶SS-メッセルプレート
❷スタビライザ
❸油圧ユニット
❹油圧ジャッキ
❺油圧ホース
❻油圧手許切換装置
❼支保工
❽木矢板
❾木製キャンバー
❿径間パイプ、タイロットボルト
⓫バックホウ
⓬ベルトコンベア

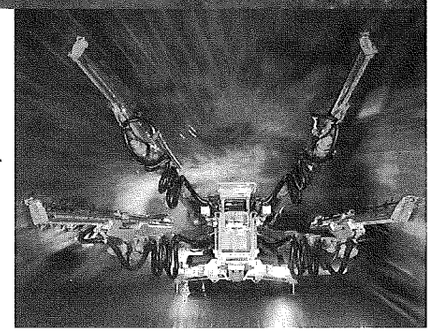
SIETECH 株式会社シーテック
URL http://www16.ocn.ne.jp/~sietech/

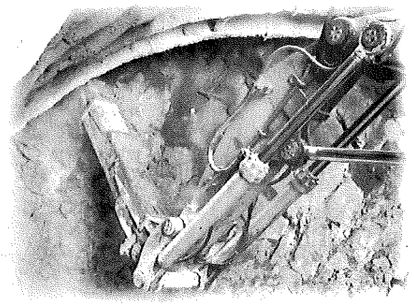
〒102-0074 東京都千代田区九段南3丁目8番10号 TEL.(03)3263-7457(代) FAX.(03)3262-0915





新型高性能ドリフター
HLX5



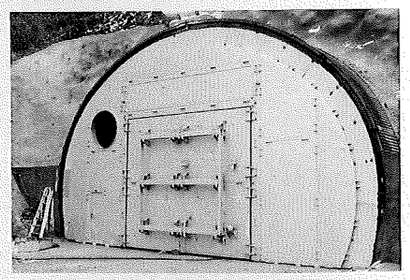


TOYO EJC Rammer
TAMROCK TORO

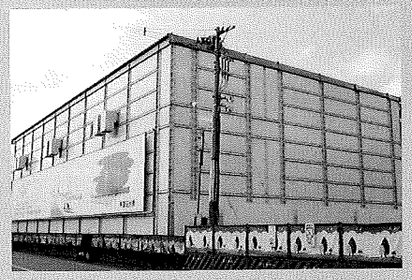
サンドビックトーヨー 株式会社
〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-15-12
共立新横浜ビル6F

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

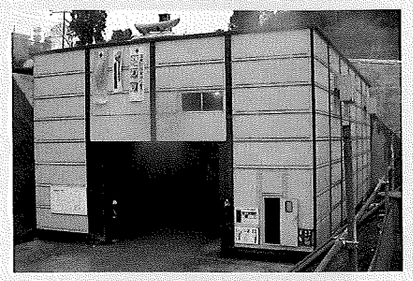
快適な作業環境を約束する騒音対策システム



●防音扉-HFS型 マークⅡ
パネル厚さ＝150㎜
●防音扉-HFS型 新・マークⅡc
（コンクリート充填タイプ）
パネル厚さ＝150㎜＋コンクリート＝100㎜



●防音ハウス－Hタイプ
（ハイデラックスタイプ）
HFD-125パネル使用　パネル厚さ＝125㎜



●防音シェルター－Dタイプ
（デラックスタイプ）
HFD-100パネル使用　パネル厚さ＝100㎜



●防音壁－Sタイプ
（スタンダードタイプ）
HFS-100パネル使用　パネル厚さ＝100㎜

【建設騒音対策協会】（旧 騒音対策研究会）

株式会社牛尾商店	〒810-0801	福岡県福岡市博多区中洲5-4-19	TEL.092-281-2131
株式会社カテックス	〒460-8331	愛知県名古屋市中区上前津1-3-3	TEL.052-331-8821
株式会社ティーエムシー	〒116-0013	東京都荒川区西日暮里5-23-3	TEL.03-3891-8211
日豊株式会社	〒150-0002	東京都渋谷区渋谷2-12-12	TEL.03-3409-8041
株式会社野佐和商会	〒550-0013	大阪府大阪市西区新町2-10-3	TEL.06-6532-5451
株式会社ビーエスアイ	〒060-0031	北海道札幌市中央区北一条東13-1-1	TEL.011-241-6500
古河ロックドリル株式会社	〒101-0047	東京都千代田区内神田2-15-9	TEL.03-3252-6551
松茂工販株式会社	〒135-0061	東京都江東区豊洲4-1-23	TEL.03-3536-5531
幹事　ヒューズ工業株式会社	〒132-0035	東京都江戸川区平井6-35-5	TEL.03-3617-8111

E-mail　souon@fuse-ind.co.jp

ISO9001取得～防音設備の設計、製造、施工、リース
◆計量証明事業登録 騒音レベル第913号 ◆建設業登録 とび・土工工事業(般-17 第75054号)

ヒューズ工業株式会社
FUSE INDUSTRIES CO.,LTD.

本　　社　〒132-0035　東京都江戸川区平井6-35-5　TEL.03-3617-8111　FAX.03-3617-7565
大阪営業所　〒531-0072　大阪府大阪市北区豊崎3-15-19 東洋東ビル　TEL.06-6359-2611　FAX.06-6359-2288
E-mail　info@fuse-ind.co.jp　URL　http://www.fuse-ind.co.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。



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。

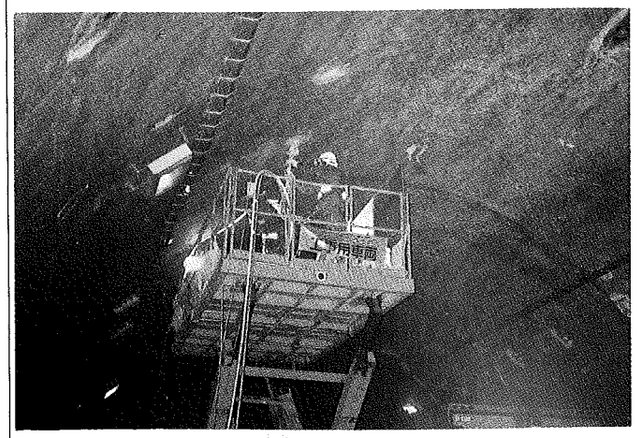
オリカジャパン株式会社
〒105-0001
東京都港区虎ノ門3丁目7-11
虎ノ門三須ビル7階
Tel: 03 5777 4681　Fax: 03 5777 4682

ORICA MINING SERVICES

硬質発泡ウレタン

セットフォーム工法

急結性・高性能空隙充填材

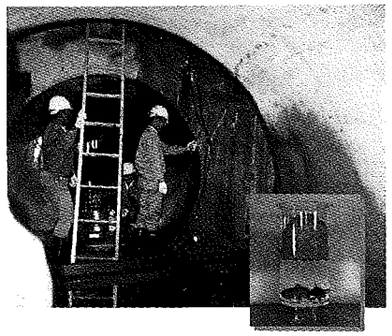


- シールドにおける滞水層，軟弱地盤の全面裏込め注入
- シールド急曲線部の裏込め注入（即時地盤反力の効果）
- トンネル構造物などの背面空洞充填
- 深基礎工法の裏込め（止水,裏込め後の即時掘削可能）

漏水を瞬時にストップ!

SF-A工法

長期耐久性に優れた
無溶剤タイプの
ウレタン系止水材



- 山岳トンネル，下水道，共同溝，地下鉄，地下室，その他地下構造物の漏水補修
- 地下構造物の背面空洞の充填
- 地盤や岩盤の止水，および固結安定

ケミカルフォーム協会会員

アルス株式会社	〒950-0944 新潟県新潟市愛宕 1-4-25	TEL 025-280-0337
株式会社内田工業	〒332-0032 埼玉県川口市中青木 2-12-2	TEL 048-257-0848
エコシビックエンジ株式会社	〒135-0047 東京都江東区富岡 1-12-4 み満きビル	TEL 03-3643-7241
MC山三ポリマーズ株式会社	〒103-0023 東京都中央区日本橋本町3-6-2小津本館ビル	TEL 03-3662-0253
株式会社共ショウ	〒103-0014 東京都中央区日本橋蛎殻町 1-12-6	TEL 03-3668-8416
株式会社共和	〒462-0832 名古屋市北区生駒町 7-148-1	TEL 052-911-3984
寿建設株式会社	〒960-0231 福島市飯坂町平野字東地蔵田 8-1	TEL 024-543-0511
四国リニューアル株式会社	〒780-0804 高知市日の出町 2-12	TEL 088-878-0050
ショーレジン株式会社	〒104-0032 東京都中央区八丁堀 3-14-4 直平ビル	TEL 03-3551-8391
成和リニューアルワークス株式会社	〒163-0610 東京都新宿区西新宿 1-25-1	TEL 03-5326-0720
株式会社西日本ザイペックス	〒755-0032 山口県宇部市寿町 3-5-23	TEL 0836-21-2666
日本綜合防水株式会社	〒171-0022 東京都豊島区南池袋3-11-10 ペリエ池袋	TEL 03-5950-8211
林建設工業株式会社	〒998-0023 山形県酒田市幸町 1-6-6	TEL 0234-23-3322
フジモリ産業株式会社	〒141-0022 東京都品川区東五反田2-17-1オーバルコート大崎マークウエスト	TEL 03-5789-2206
株式会社マシノ	〒733-0822 広島市西区庚午中 1-19-23	TEL 082-507-2737
株式会社松井商店	〒007-0870 札幌市東区伏古 10 条 2 丁目 11-8	TEL 011-782-4441
株式会社マノール	〒142-0043 東京都品川区二葉 1-18-8	TEL 03-3787-1131
株式会社三原工業	〒531-0073 大阪市北区本庄西 3-7-5	TEL 06-6371-9947

協会事務局

〒101-0032 東京都千代田区岩本町1-12-4 大洋ビル
日清紡ポスタルケミカル㈱ TEL 03-5833-5161

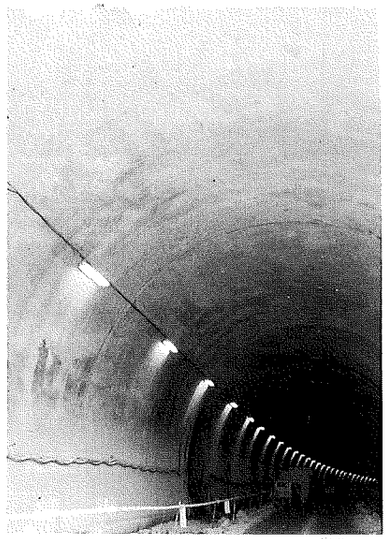
製造元 **日清紡** 化学品事業本部

〒103-8650 東京都中央区日本橋人形町2-31-11 TEL 03-5695-8939

コンクリートの劣化，欠陥箇所の改修，補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



〈工期短縮，即日仕上り〉

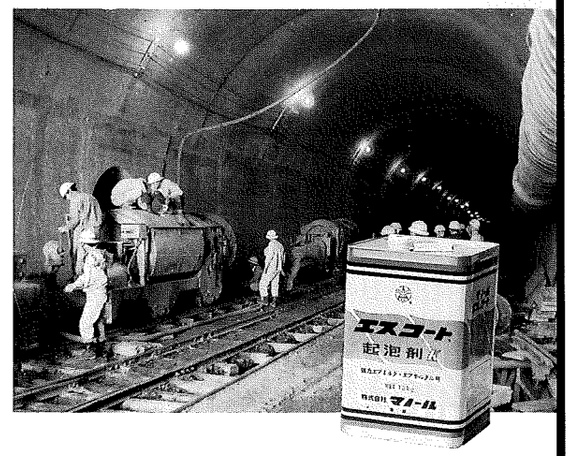
プレミックス急硬モルタルと
特殊ラテックスの
複合材で
短時間で実用強度が得られる
即日補修工法です。

- ■ 短時間で高強度，即日仕上り
- ■ 強力な接着力と収縮，ヒビ割れ防止
- ■ 防水性，防錆力に優れ，中性化防止
- ■ 既調合品で現場管理が簡単

エアモルタル裏込め注入……

エスコート

L&K 起泡剤



- ■強力な分散性と安定した流動性
- ■ノーブリージング
- ■任意の強度の選定
- ■セメント，骨材の種類が任意

◆土木資材の綜合プランナー◆

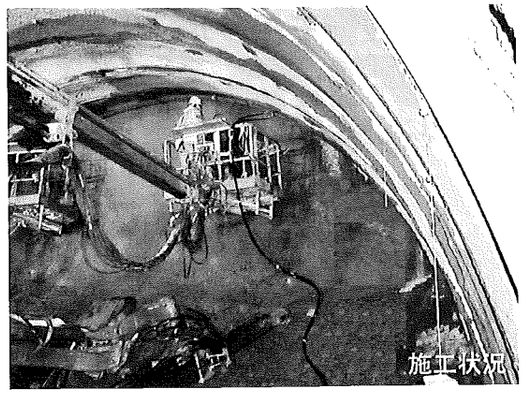
株式会社 マノール

〒142-0043 東京都品川区二葉1丁目18番8号
TEL 03(3787)1131(代)

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。



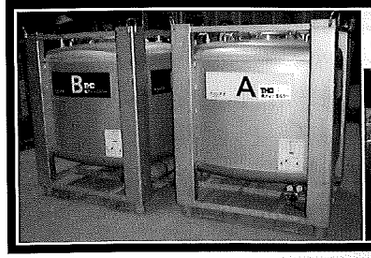
■各種注入材

NEW－TSRF
（シリカレジン）
NEW－TBU
（ウレタン）

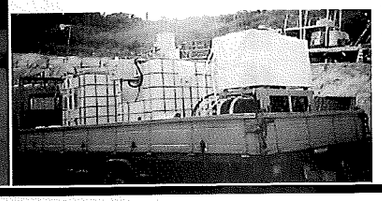


※その他各種工法、セメント系注入材など、詳しくは当社ホームページをご覧下さい。

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

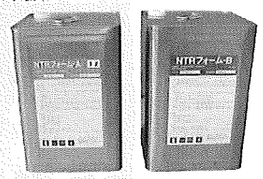


当社のリサイクルコンテナシステムなら、一斗缶の産業廃棄物処理がなくなるため、工事もスムーズに進みます。現場にも環境にもやさしいシステムです。

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

3社が強固に一体化。

これからの建設化学はBASFポゾリスです。

2007年4月1日、㈱エヌエムビーと㈱ポゾリス物産およびBASF コンストラクションシステムズ㈱の3社は合併により経営統合し、BASF ポゾリス株式会社となりました。

3社が強固に一体化した新生BASF ポゾリス㈱は、混和剤システム事業の分野では引き続きトップサプライヤーで在り続けるとともに、建材システムの分野においては事業規模を拡大し多様化する市場ニーズに幅広くお応えして参ります。

世界の化学業界のリーディングカンパニーであるBASFグループの一員となり、お客様の信頼できる強力なパートナーとして ― BASFポゾリス㈱は、高度なソリューションと高品質な製品によってお客様のさらなる成功をサポートして参ります。これからの私たちにご期待ください。

営業品目

●コンクリート用化学混和剤 ●モルタル・グラウト用混和剤 ●コンクリート製品用混和剤
●吹付けコンクリート用混和剤 ●特殊用途混和剤 ●高性能無収縮材 ●コンクリート用補修材
●コンクリート用保護材 ●防水材 ●コンクリート用高性能床材
詳しくは http://www.pozzolith.basf.co.jpへ。

BASFポゾリス株式会社

●本社／東京都港区六本木3-16-26
混和剤営業部: TEL03-3582-8811（直） FAX.03-3583-3800
建材営業部: TEL03-3582-8815（直） FAX.03-3582-5718
●支店／仙台、東京、名古屋、大阪、福岡
●営業所／札幌、宇都宮、千葉、横浜、上越（松本・金沢）、静岡、広島、高松、鹿児島
URL http://www.pozzolith.basf.co.jp

●BASFポゾリス㈱は開発センターと茅ヶ崎工場において、ISO9001およびISO14001の審査登録をしています。

BASF The Chemical Company

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充填式シールド急曲線工法，⑦地下茎シールド工法，⑧T-BOSS工法，⑨球体シールド工法，⑩上向きシールド工法，⑪MMST工法，⑫拡大シールド工法，⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法，⑭ワギング・カッタ・シールド工法，⑮自由断面シールド工法，⑯OHM工法，⑰H&Vシールド工法，⑱単円～三連型駅シールド工法，⑲MFシールド工法，⑳DOT工法，㉑MSD工法，㉒親子シールド工法，㉓拡径シールド工法，㉔DSR工法，㉕泥土加圧シールド工法，㉖ケミカル・プラグ・シールド工法，㉗気泡シールド工法，㉘コンパクトシールド工法，㉙既設シールド撤去工法

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

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

【好評発売中】

セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B5版　132頁　本体価格 2,000円　送料 290円

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

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

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

このため「トンネルと地下」の編集委員会では過去10年間に開発され，実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し，また，土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し，「セグメントの新技術」の連載講座を設けてこれらのセグメントを順次紹介した．セグメントの名称，特徴，開発目的，適用範囲などは同じフォーマットで掲載され，また，最終回では，そこで紹介されたセグメントを整理分類し，新しいセグメントの開発の動向や今後の展望を総括した．

本書はこの連載講座をもとに新たに「セグメントの新技術」編纂委員会を作り，個々のセグメントに加筆，修正を加え，より充実した内容にまとめたものである．

〈セグメントの新技術〉

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

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

き---り---と---り---線

《ご　注　文　票》

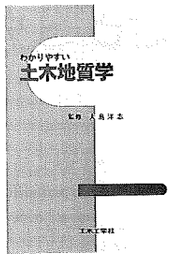
セグメントの新技術 _____ 冊　申込みます．

所 在 地　〒(　　)
事業所名　　☎
部 課 名　　申込者名　　㊞

土木工学社の地質学書

〔好評発売中〕

わかりやすい土木地質学



大島洋志 監修

Ｂ５判　209頁　税込2,625円　〒340円

主要目次

序　編　トンネルと地質の関わり

1．地質学とは，応用地質学とは　2．トンネルと地質

第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第Ⅱ編　トンネル工事と地質条件

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

第Ⅲ編　地質調査法

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

第Ⅳ編　工事を対象とした地質調査の進め方

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

〔その他の既刊図書〕

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

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

地下水の科学　P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ　共著　大西有三　監訳

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

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

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

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

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

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

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

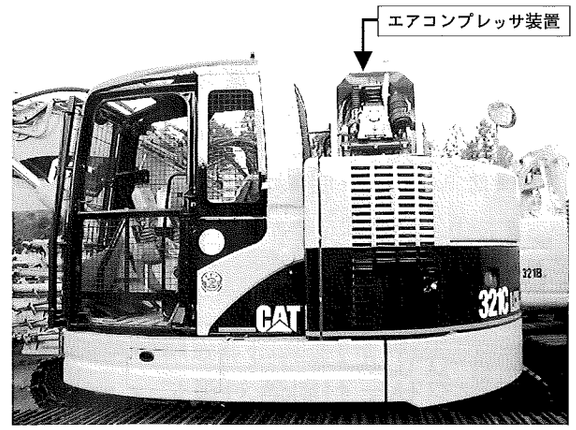
お申し込みは，当社へFAXまたはお近くの書店にてお申し込みください．FAX(03-3267-2807)にて
お申し込みの方は，書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記のうえ，お申し込みください．

株式会社 土木工学社

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

ブレーカ用エアコンプレッサ装置

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



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

klea

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

URL　http://www.klea-cat.com

トンネル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）

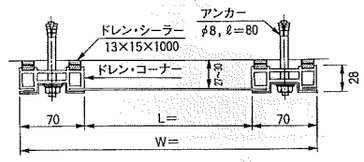
中濃産業株式会社
代表取締役　土田義弐

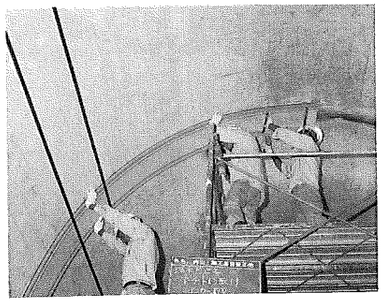
本　社　〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241㈹　FAX(0581)38-3383
営業所　〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990㈹

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

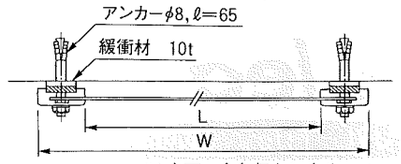
■特　徴
・漏水幅に応導水幅の選択が可能
・導水プレートはアクリル変性P.V.C強化樹脂で驚異的な耐衝撃性有り
・寒冷地型、Box カルバート用勾配型、etc 有。





コンクリート剥落対策に

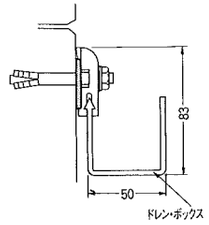
アーチ・パネル



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



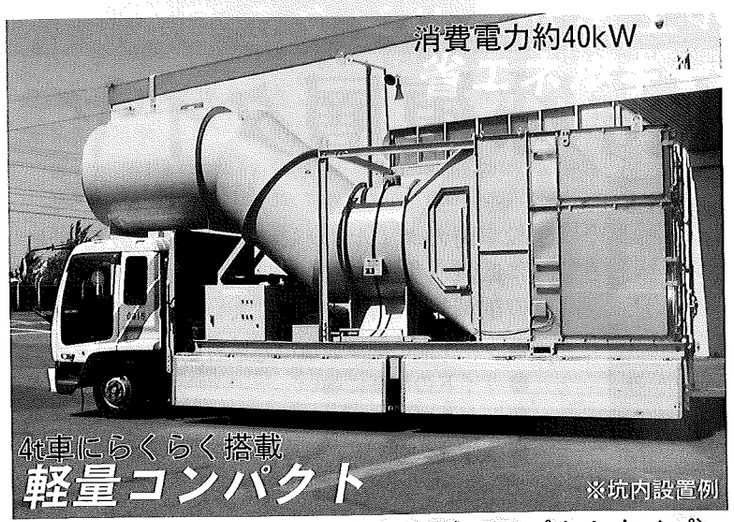
道路，トンネル設計（本体工，換気，防災，照明，施工管理他）
トンネル現場診断

（社）建設コンサルタンツ協会会員　ISO9001取得

株式会社 ロード・エンジニアリング

会　　長　田島利男　　代表取締役社長　清水　洋（技術士）
（技術士・土木学会フェロー会員）本誌編集顧問
取締役副社長　山田憲夫　　常務取締役　堀内浩三郎（工学博士）
大阪支店長　亀甲谷義高（技術士）　　福岡支店長　朽網新

本　　社：〒116-0013　東京都荒川区西日暮里５丁目24番７号　電話(03)3891-0711
大阪支店：〒569-1133　大阪府高槻市川西町２丁目21番38号　電話(072)691-0711
福岡支店：〒812-0016　福岡県博多区博多駅南１丁目15番22号　電話(092)436-1588
沖縄営業所：〒901-2122　沖縄県浦添市勢理客４丁目16番９号　電話(098)870-6411



National電気集塵機クリンジェット(2,000m³/minタイプ)

RENT

取扱レンタル商品

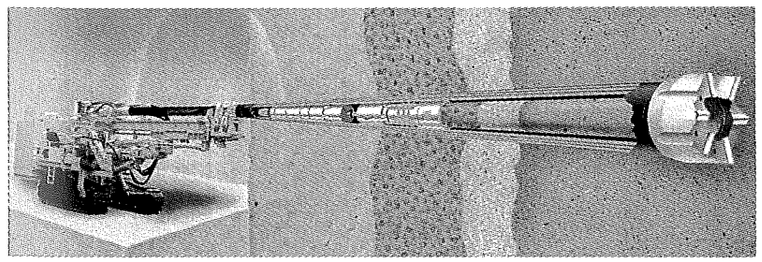
- ●フリッカー対策器
- ●MACレーザーシステム
- ●オアシス(坑内休憩室)
- ●発電機エコ装置
  (従来より小容量の発電機で施工できる為、省エネ効果)

株式会社 レ ン ト　　特機営業課　担当者　工藤・近江

〒134-0093 東京都江戸川区二之江町1409-1　TEL：03-5659-7502　FAX：03-5676-0167
URL：http://www.rent.co.jp　E-mail：kudo.yuji@rent.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。

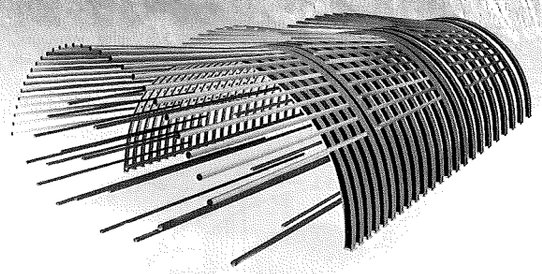
KOKEN 鉱研工業株式会社

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

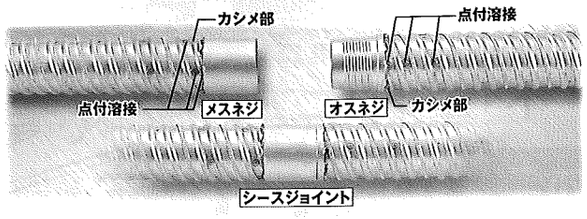
お問い合わせ先 ： 工事営業本部
TEL. (03)6907-7512　FAX. (03)6907-7522
http://www.koken-boring.co.jp

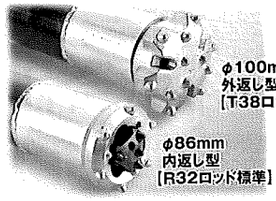
ユニークな発想と高品質・自信の価格

FIXチューブ工法



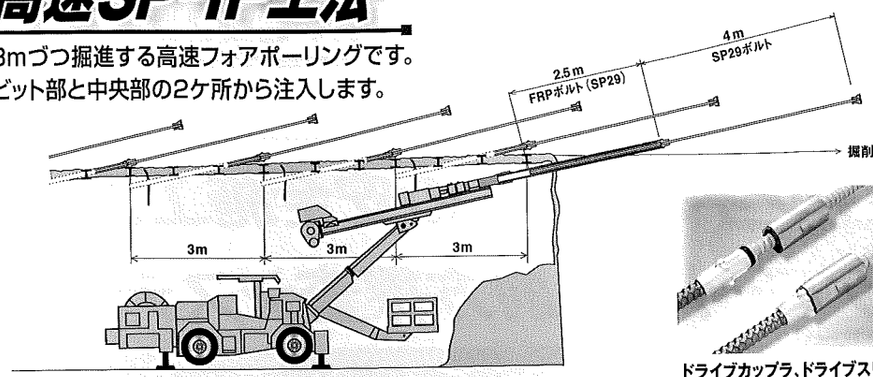
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと“**FIX**”します。

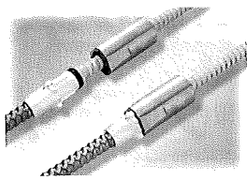




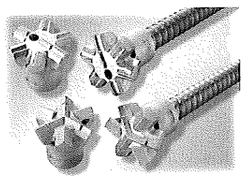
高速SP-IF工法

※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。



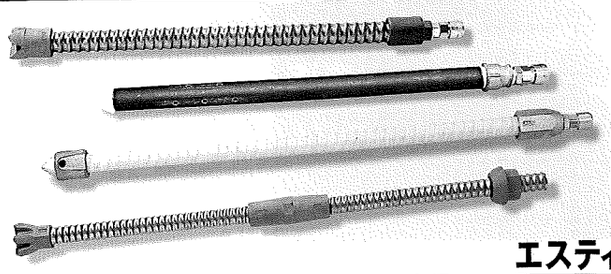


ドライブカップラ、ドライブスリーブ



φ65mm ロストビット(SP29)

自穿孔ボルト&注入管

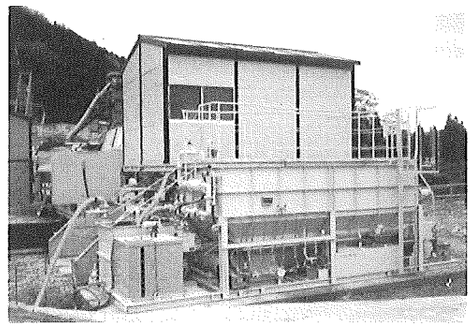


※他にも脚部や坑口周りに利用できる各種の補強土工法、マイクロパイル工法を準備しております。

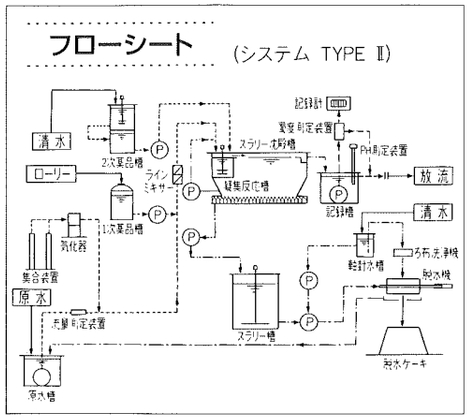
STE
エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251
http://www.st-eng.co.jp

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



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。

Waste Water Treatment System

詳細資料請求、お問い合わせは

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

トンネルと地下　5月号目次　Vol.38, No.5, 2007 May

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

トンネル・地下構造物と品質管理
林　康雄……5

■研　究

鉄道トンネルの維持管理の考え方
小島　芳之・新井　泰・岡野　法之……45

■施　工

線路下の玉石層に機械掘削でJES函体を構築
—東海道線　関ケ原・柏原間アンダーパス—
松野　尊司・酒井　克衛……7

未固結地山における超近接双設トンネルの施工
—国道455号　北山トンネル—
佐藤　守・高瀬　文明・小松　敏彦・櫻井　孝臣……13

軟質砂岩層中に潜在する柱状低固結堆積物を探りつつ突破
—氷見高岡道路　氷見第１トンネル—
宮下　孝・宮川　実・後藤　靖彦・蛭子　清二……27



CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

地下40mの単線シールド間に曲線パイプルーフでポンプ室を構築
—東京メトロ副都心線　高田A線工区—
辻　雅行・村松　泰・梶山　雅生・岩崎　肇……35

■連載講座

発破技術の現状（７）
—発破と環境問題（１）—
「発破技術の現状」連載講座小委員会……55

■現場だより

「必勝祈願と温泉の里」球磨村一勝地より
田中　義晴……26

「鳥海山のふもと」由利本庄より
黒川　進……44

■資　料

トンネル千夜一夜(29)
小野田　滋……24
土木情報
編　集　部……63
トンネルジャーナル
編　集　部……64
文献紹介
編　集　部……65
工法・技術・製品ニュース
編　集　部……66
トンネルワールドニュース
JTA国際委員会……68

■会　報

会　報
日本トンネル技術協会……70

【表紙説明】　未固結地山における超近接双設トンネルの施工
—国道455号　北山トンネル—



北山トンネルは，盛岡市北山２丁目の国道４号交差点から三ツ割地区の現道に至る国道455号線のバイパスのうちの約１kmの双設トンネル（上下線）である．

当トンネルの到達側約100mは両トンネル間の離隔が３～１mとなる超近接区間である．当初，当区間は３本導坑方式めがねトンネルとして計画されていたが，これまでの施工実績を踏まえ，十分な事前検討を実施することで，超近接トンネルへ変更した．

写真は両トンネル掘削完了状況である．　〔**写真提供**：岩手県〕(本文13頁参照)

Kanaflex の電力・通信ケーブル保護管

都市部での電線集中化工事を省力化・効率化

電力・通信ケーブル用多条保護管　特許出願中

カナレックスML

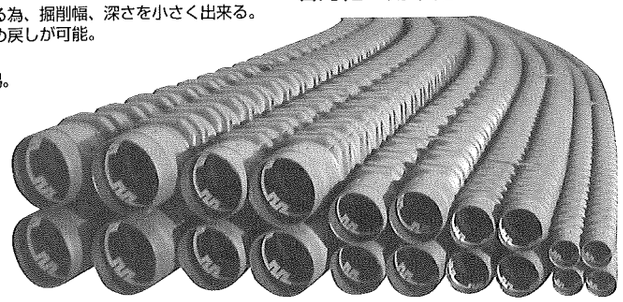
電線共同溝をはじめとする
電力・通信ケーブルの埋設管工事
情報化時代に伴う
光ファイバーの多条敷設
都市部での電線地中化工事を
省力化・効率化

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

2.可とう性に優れる
・上下左右に曲がり、既設物や障害物の回避が容易。

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

4.摩擦係数が低く整直性が良い為通線がスムーズ



ハンドホール工事の工期短縮・工費削減に現場の加工作業を大幅に軽減できる

ワンタッチ継手付ハンドホール



※特許・
意匠出願中



管路に継手差口をねじこみ　継手受口に差しこむだけ　これで接続完了。

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

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

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

カナフレックス コーポレーション株式会社　ISO 9001認証取得
株式会社 インテック

東京本社　〒106-6117　東京都港区六本木6-10-1（六本木ヒルズ森タワー17F）
TEL(03)5770-5111　FAX(03)5770-5130
大阪本社　〒530-6017　大阪市北区天満橋1-8-30（OAPタワー17F）
TEL(06)6881-0767　FAX(06)6881-0769
営業所　札幌・仙台・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・福岡・鹿児島
直営工場　北海道・仙台・栃木・千葉・滋賀・愛東・広島・四国・九州

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
株式会社竹中土木常務取締役技術・生産本部長

端　　則　夫
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

濱　　建　介
株式会社アオバ取締役会長

松　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
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長役

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

トレンチャー

硬質地盤の溝堀はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路
掘削状況



施工例



トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D7	40/30	60/35
メーカー名	テスメック	テスメック	マステンブルグ	マステンブルグ
掘削幅(最小)cm	45	75	70	70
掘削幅(最大)cm	60	100	110	110
掘削岩の硬さ(最大)	500kg/cm²	700kg/cm²	700kg/cm²	1000kg/cm²
重量 t	36	53	50	59
長さ m	13.0	10.8	14.0	15.4
幅 m	2.5	3.2	2.95	2.98
高さ m	3.30	2.86	3.00	3.20
エンジンの出力 PS	300	402	450	600

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

ワールド開発工業株式会社

●本社/営業部　〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484
☎(026) 282-3671㈹　FAX(026) 282-5803
http://www.wkk.co.jp/

編集委員会の構成（五十音順・敬称略）

〔編集委員長〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

今田　徹
東京都立大学名誉教授

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

高橋良文
東京都下水道サービス株式会社技術部長

橋本定雄
中黒建設株式会社顧問

濱　建介
株式会社アオバ取締役会長

〔委員〕

城戸　務
東京都水道局建設部工務課長

木谷日出男
財団法人鉄道総合技術研究所
防災技術研究部部長

坂根良平
東京都下水道局建設部設計調整課長

佐藤　亘
東京電力株式会社電力流通本部・工務部
設備渉外・調整グループ課長

清水　満
東日本旅客鉄道株式会社建設工事部
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
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長役

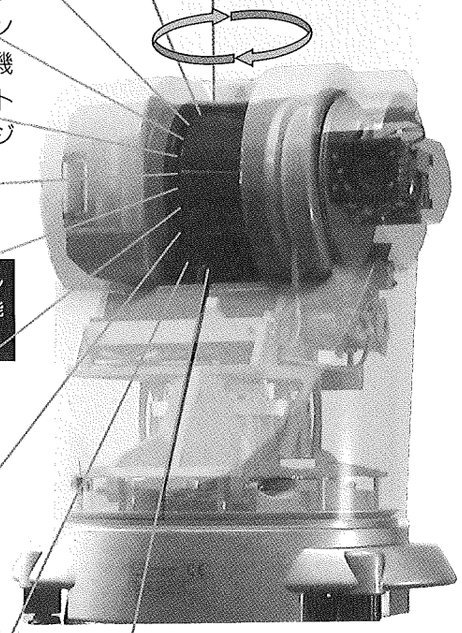
Callidus™ レーザースキャナー

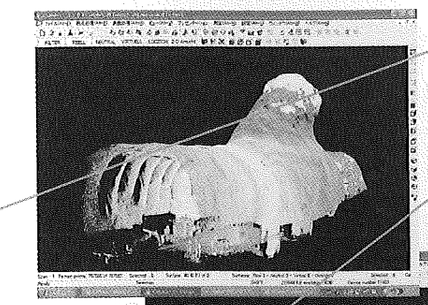
3次元トンネル断面計測機

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

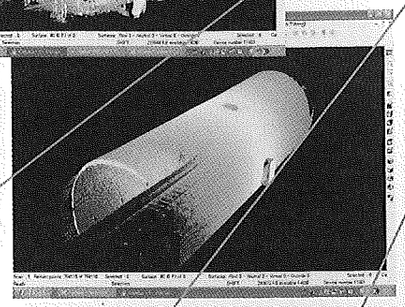
(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン





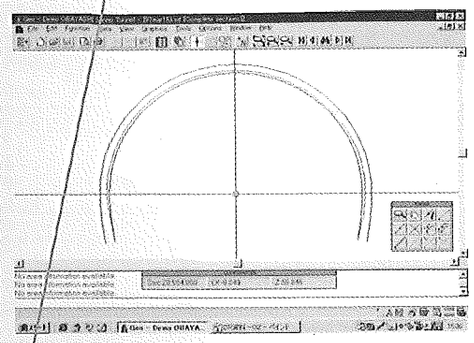
特殊なトンネル形状も対応可能です。



単独スキャンを合成し、トンネル全体を簡単に3次元表示できます。

データ解析および製図「GEOWIN」

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



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

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

トンネルと地下 VOL. 38 No. 5 掲載概要

掲載頁 7

線路下の玉石層に機械掘削でJES函体を構築
—東海道線 関ケ原・柏原間アンダーパス—

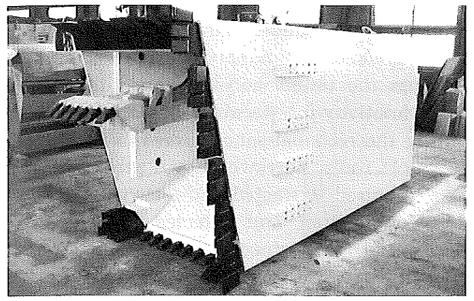
ジェイアール東海建設(株) 松野 尊司

鉄道を横断する単独立体交差では，線路の上空とする場合の跨線橋(Bo)と下側とする場合の架道橋(Bv)があるが，Bvとする場合には線路内での作業時間の制約などから非開削で施工することが多く，各種の施工法が実施されている．

それらの工法の一つである「HEP＆JES工法」は，エレメントの掘削をオーガによる場合や人力による場合が一般的であり，対象地山が玉石層などの場合，機械施工が不可能であった．本稿では，適用地山の拡大や工期および工事費の削減のために，新たに機械掘削機を開発し実用化を図ったので，その概要について報告する．

Construction of a JES Box by Mechanical Excavation on Cobbled Ground under the Railway—The Underpass between Sekigahara and Kashiwabara on Tokaido line

By Takashi Matsuno, JR Tokai Construction Co., Ltd.



写真はバケット式掘削機

There are two types to cross the railway line; a bridge that goes above the railway line (Bo), and a tunnel that goes under the railway tracks (Bv). In case of Bv, because of constraints in the work time and other factors, they are commonly coustructed without cut and cover method.

In the "HEP & JES method", elements are normally excavated using augers or hand, and if the target ground contains cobbled ground, then mechanical excavation was not possible. This article reports how new machinery for mechanical excavation was developed and implemented in order to expand the applicable ground and reduce construction cost and period.

掲載頁 13

未固結地山における超近接双設トンネルの施工
—国道455号 北山トンネル—

岩手県 佐藤 守

北山トンネルは，盛岡市北山２丁目の国道４号交差点から三ツ割地区の現道に至る国道455号のバイパスのうちの約１kmの双設トンネル(上下線)である．

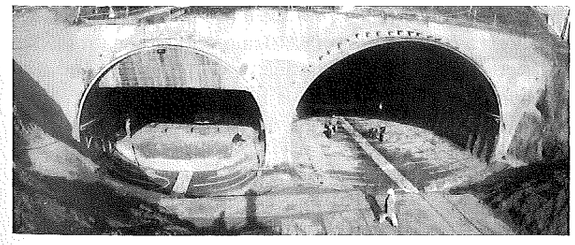
当トンネルの到達側約100mは両トンネル間の離隔が３～１mとなる超近接区間である．当初，当区間は３本導坑方式めがねトンネルとして計画されていたが，これまでの施工実績を踏まえ，十分な事前検討を実施することで，超近接トンネルへ変更した．

本稿は，これまでにない未固結地山における超近接トンネルの設計・施工および施工時の周辺地山や支保工の挙動について報告するものである．

Construction of Very Close Twin Tunnels in Unconsolidated Ground—National Highway No.455, Kitayama Tunnel—

By Mamoru Sato, Iwate Prefectural Goverment

Kitayama tunnel is a twin tunnel (an up and a down line) of approximately one km in the bypass of national highway No.455 from Kitayama Nichome intersection in Morioka city to the current road in Mitsuwari.



写真は両トンネル掘削完了状況

The distance between the tunnels in the last approximately 100 m becomes less at 3–1 m. It was initially planned that by three drifts, but considering previous constructions and by undertaking sufficient prior research; it was changed to very close twin tunnels.

This article reports the design and construction of very close twin tunnels and the peripheral ground and support behavior when constructing that tunnel.

掲載頁 27

軟質砂岩層中に潜在する柱状低固結堆積物を探りつつ突破
—氷見高岡道路　氷見第１トンネル—

国土交通省　宮下　　孝

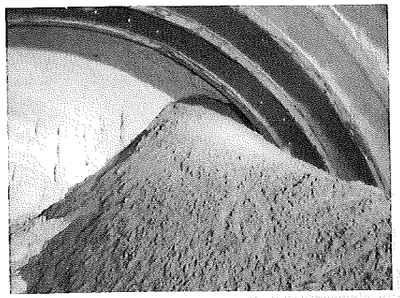
氷見第１トンネル周辺の砂質地山には一定の固結度を期待でき，切羽は自立すると予想されていた．しかし，トンネルルート上に柱状の低固結部が潜在していたため，前兆現象なしにトンネル内への土砂流出と地表までの崩落・陥没が生じた．

そのため，概査で削岩機を用いた全線の削孔検層を行い，精査が必要な区間を絞り込んで無水パーカッションコアボーリングを行って地山試料の採取と試験を行い，柱状低固結部の検出とその３次元的な構造を把握した．しかし，これらの調査を行うには，切羽作業を長時間停止しなければならなった．そこで，調査時間を掘削の作業サイクルに組み込むことによって調査精度が向上し，その結果，切羽前方の柱状低固結部の検出と合理的な事前対策を講じることが可能となった．

Penetration through Soft Sandstone Ground with Investigating Columnar unconsolidated Sediment—Himi Takaoka Expressway, Himi No.1 Tunnel—

By Takashi Miyashita, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

A constant solidity was expected around the sandy ground near Himi No. 1 tunnel, and that the cutting face will be stable. However, since an columnar unconsolidated portion was mixed in the tunnel route, problems such as outflux of sand within the tunnel and collapses to the land surface used to occur without any forewarning.



写真は変状直後の切羽

For this reason, during the reconnaissance survey, we executed the drill logging the whole route, narrowed down areas where a detailed examination is required, extracted and tested the ground sample by dry percussion drilling, and detected the columnar unconsolidated portion and understood its three-dimensional structure. However, for this survey, it was necessary to stop the face work for a long time. By incorporating the investigation time in work cycle of the excavation, the precision of the investigation increased, and as a result, it was possible to detect the columnar unconsolidated portion and take reasonable countermeasures in advance.

掲載頁 35

地下40mの単線シールド間に曲線パイプルーフでポンプ室を構築
—東京メトロ副都心線　高田A線工区—

東京地下鉄(株)　辻　　雅行

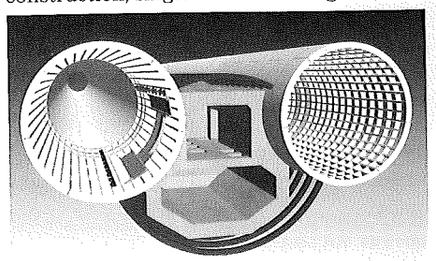
現在建設中の副都心線池袋～渋谷間8.9kmのうち，雑司が谷駅と西早稲田駅間を結ぶ駅間トンネルは，延長1,245m，セグメント外径6,600㎜の単線用シールドトンネルを並列に施工する．トンネル縦断線形はV字型となり，トンネルは中間地点付近が最深部となることから，ポンプ室を設置する必要があった．

中間ポンプ室工事は，交通量の多い都道交差点直下を大型埋設物が輻輳する深度約40mに設置するため，地表からの開削工事ができない．そのため，都市部において例をみないシールドトンネル内より曲がり鋼管先行支保工(PSS-Arch工法)による非開削工法でポンプ室を構築した．

Construction of a Pump Room by the Curved Pipe Roofing Method between single shields at 40 m underground—Tokyo Metro Fukutoshin Line, Takada A Line Section—

By Masayuki Tsuji, Tokyo Metro Co.,Ltd

In the distance of 8.9 km between Ikebukuro and Shibuya on the Fukutoshin line currently under construction, single tunnels of length 1,245 m and segment external diameter of 6,600 mm will be constructed in parallel between Zoshigaya station with Nishi-Waseda. The vertical alignment of the tunnel is like the letter V, and since the midpoint of the tunnel is the deepest, it was necessary to install a pump room.



図は副都心線中間ポンプ室PSS-Arch工法概念図

Since the pump room will be constructed at the depth of approximately 40 m, which is directly under an intersection of heavy traffic where there is congestion of underground installations, excavation was not possible from the surface of the ground. For this reason, the pump room was constructed in an unprecedented method, PSS-Arch method, from inside the tunnel.

掲載頁 45

鉄道トンネルの維持管理の考え方

(財)鉄道総合技術研究所　小島　芳之

鉄道総合技術研究所では，鉄道トンネルの維持管理に関する国の基準として，平成19年１月に「鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)」を策定した．この標準は，次の特徴を持つものである．すなわち，①トンネルのみならず高架橋や橋梁，土構造といった鉄道土木構造物全体に共通する維持管理の体系化を図った，②維持管理に性能規定の概念を取り入れた，③山岳・都市トンネル両方で使えるものとした，④大手～中小のさまざまな鉄道事業者が適用できるようにした．

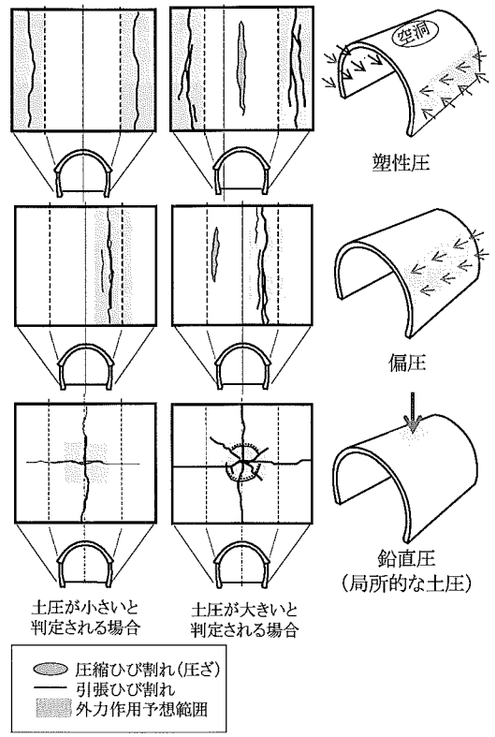
本稿では，この標準の全体概要を示したうえで，トンネルに関する内容について具体的に紹介する．

Concepts for Maintenance of Railway Tunnel

By Yoshiyuki Kojima, Railway Technical Research Institute

The Railway Technical Research Institute has established “Standards of maintenance of railway structures (structures)” on January 01, 2007 as standards in Japan regarding maintenance of railway tunnels. These standards have the following characteristics: ① It has systematized maintenance of not only tunnels but all railway structures such as viaducts and bridges and earth structures, ② Introduced the concept of performance regulations in the maintenance, ③ It can be used for mountain tunnels as well as urban tunnels, ④ It can be applied to any railway companies.

This article first gives and overview of the standards and then gives detailed explanation of the contents regarding tunnels.

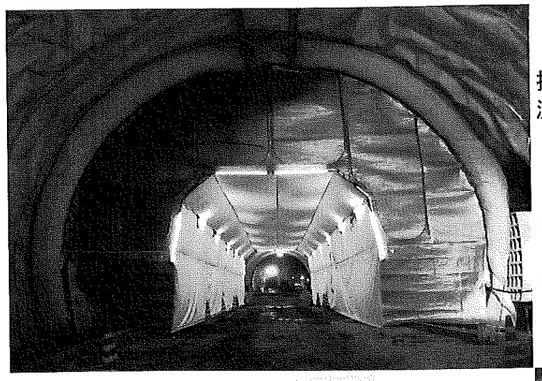


図はひび割れ分布による変状原因の推定例

トンネルバルーン覆工コンクリート
トータル養生工法

長期耐久性に優れた高品質な覆工コンクリート施工を実現します！

NETIS登録
(No.HR－040005)



セントル温度養生バルーン

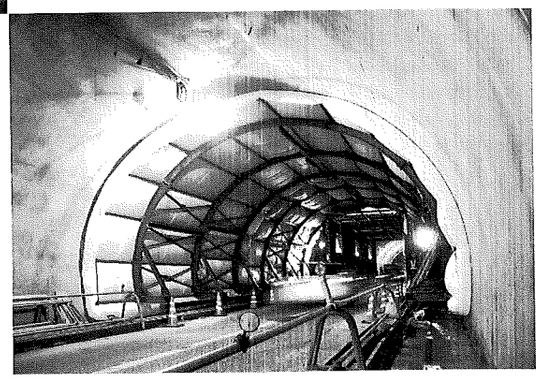
打設後から脱型までセントルをバルーンで覆い温度養生をします。

【特徴】
1．若材齢時に温度管理をすることで初期強度が向上します。
2．高品質コンクリートの確保が可能です。
（脱型時コンクリートの付着が減少します）
3．サイクルタイムの短縮が可能です。
4．洗い水が車両通行部に落ちません。

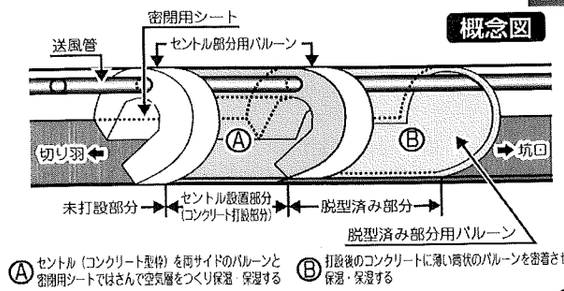
覆工養生バルーン

脱型後の覆工コンクリートを覆います。

【特徴】
1．長期材齢の強度アップ
2．覆工コンクリートの表面を湿潤状態に保ちます。
（乾燥収縮クラックの低減に貢献します）
3．断熱効果が期待できます。
（内部と表面の温度差が少ない⇒温度応力の低減）



概念図



Ⓐ セントル（コンクリート型枠）を両サイドのバルーンと密閉用シートではさんで空気層をつくり保温・保湿する
Ⓑ 打設後のコンクリートに薄い膜状のバルーンを密着させ保温・保湿する

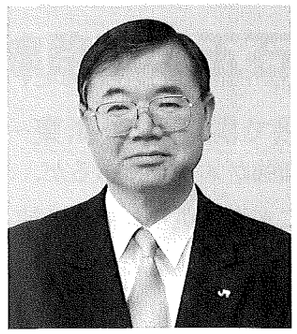
実　績	セントル温度養生	覆工養生バルーン
新幹線	５現場	２現場
高速道路	２現場	２現場
国土交通省	３現場	８現場
地方自治体	７現場	５現場
ＪＲ東日本	２現場	１現場
合　計	19現場	18現場

２００５年『日経ＢＰ技術賞　建設部門』受賞

岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO., LTD.
本社・工場　岐阜県本巣市十四条１４４番地
TEL 058(323)2000(代)　Fax 058(323)1176
東京支店　TEL 03(3262)1285(代)　Fax 03(3262)6093
仙台営業所　TEL 022(259)2239　Fax 022(259)3664
九州営業所　TEL 092(713)5265　Fax 092(714)3028
URL http://www.gifukogyo.co.jp/

TOUKOU 株式會社 東宏
本　社　北海道札幌市東区北２０条東５丁目１番７号
TEL 011(742)3331　Fax 011(742)3333
関東支店　TEL 027(352)2061　Fax 027(352)6065
道東営業所　TEL 0155(34)6311　Fax 0155(34)8494
URL http://www.k-toukou.jp/

巻頭言
（題字　小森　博会長）



トンネル・地下構造物と品質管理

東日本旅客鉄道(株)建設工事部長(本協会理事)
林 康雄

JR東日本の保有する鉄道トンネルは延長約890kmであり，そのトンネル種別は山岳トンネル，シールドトンネル，開削トンネル，沈埋トンネル，地下駅と多岐にわたる．また，当社は発電所を保有していることから鉄道トンネルのほかに水路トンネルも保有しており，これらも含めると1,000km近いトンネルを保有していることになる．これら当社保有トンネルの特徴は，トンネル種別では山岳トンネルが圧倒的に多く，その山岳トンネルも1950(昭和25)年以前に建設された経年50年を超えるものがトンネル全体の25%近くも占めており，トンネルの維持管理に適切に対処することが必要となっている．このような膨大なトンネルのメンテナンスを効率的に行うためには，最新の診断技術を駆使した検査方法が必要となる．当社ではトンネルの新しい検査方法として，覆工展開写真を定期的に撮影し変状の進行程度を把握できるシステムや，マルチパスレーダーにより非破壊で覆工内部の検査を実施できるシステムを開発し，これまで経験によるところの大きかったトンネル検査を定量的かつ効率的に実施している．

鉄道構造物における補修・補強工事は列車の運行を確保しながら行う必要があるため，一般の工事と異なり作業可能な時間帯は終電から初電までのわずかな時間に限られる．さらにこれがトンネルや地下構造物になると，資材の搬入・運搬箇所が限られるために多くの時間と労力を要することから施工がきわめて困難となり，補修・補強工事に要する期間や費用は新設時の数倍から十数倍を要することになる．また，補修・補強に限らず鉄道事業者が行う工事は，軌道をはじめとする鉄道構造物に近接した狭隘な箇所での施工となるため，施工においては列車走行の安全性確保のために高い精度が要求される．このような条件下で所定の性能を有する構造物を構築または補修するためには，悪条件下においても一定の品質が確保できる工法が必要である．当社における技術開発もこのような観点から進めており，信頼性が高く小型機器で施工可能なトンネルの補修・補強

工法，軌道に悪影響を与えず高い品質が確保できる線路下横断工法や地盤改良工法など，施工管理が容易な工法の技術開発やその実用化に努めてきている．

また，一般的に構造物の維持管理は老朽化に対応する補修・補強がメインであるが，設計時に設定した設計条件が変化すると，新しい構造物においても大掛かりな補修・補強を余儀なくされることもある．例えば，当社の総武線東京地下駅や東北新幹線上野地下駅においては，数回にわたる地下水位上昇対策を実施している．これは東京地区における地盤沈下対策のための地下水汲み上げ規制の強化により，被圧地下水位が上昇し，地下駅設計時と供用開始後の環境条件が大きく変化してしまったものである．地下水位の上昇は一見，自然環境条件の変化のようにも見えるが，東京地区における被圧地下水の上昇は法規制の強化により生じたものであり，設計時にもこのような社会的な環境変化を予測する必要もあると感じている．また，新幹線の山岳トンネルにおいては供用開始後，数年から10年程度で覆工や路盤に変状が生じ，大規模な補修・補強を要する事例が増えてきている．これは主に設計・施工時の地山評価ミスが原因であり，地山性状と支保・覆工構造が対応していない場合に生じている．また，新しいトンネルにおいても覆工コンクリートのはく離・はく落が生じているケースもあり，覆工コンクリート打設に対する施工上の配慮が欠けていたことが原因と考えている．

このように，トンネルや地下構造物の建設においては，供用開始後のメンテナンスの困難さを考慮し，設計・施工の各段階において細心の注意を払い厳格な品質管理を行い，より良い構造物を造ることがとくに重要であると考えている．

ところで，首都圏における鉄道ネットワークについてはほぼ成熟した状況にあるが，更なる利便性の向上等を考えた場合，運輸政策審議会第18号答申でも議論されたように，地下ルートとしての中央線三鷹・立川間の複々線化や中央開発線の整備について，今後議論がなされるものと考えている．このような都心部における新たな鉄道整備は大深度とならざるを得ず，このことは鉄道のみならず，東京外かく環状道路をはじめとした道路建設においても同様と考えられる．今後，都心における社会基盤整備において地下空間の活用がきわめて重要なテーマとなってくる状況を踏まえ，大深度における防災設備を含めた具体的な検討に入る必要があり，産学官一体となった取り組みが大いに望まれるところである．

施工

線路下の玉石層に機械掘削でJES函体を構築

—東海道線　関ケ原・柏原間アンダーパス—

ジェイアール東海建設(株)静岡支店土木部次長　松　野　尊　司
東海旅客鉄道(株)建設工事部担当部長　酒　井　克　衡

1　はじめに

わが国では，近年の自動車の発達と増加に伴い踏切での交通渋滞や事故の発生などに加え，軌道施設そのものが地域ネットワークを阻害するなど，拡大する都市機能に支障をきたすようになってきている．

そこで，市民生活の利便性を図るため，単独立体交差事業が各所で進められている．例えば，鉄道横断の場合には，線路の上空とする場合の跨線橋(Bo)と下側とする場合の架道橋(Bv)があるが，Bvとする場合には線路内での作業時間の制約などから非開削で施工することが多く，各種の施工法が実施されている．

それらの工法の一つである「HEP&JES工法」は，エレメントの掘削をオーガによる場合や人力による場合が一般であり，対象地山が玉石層などの場合，機械施工が不可能であった．そこで適用地山の拡大や工期および工事費の削減のために，新たに機械掘削機を開発し実用化を図ったので工事の概要について，以下に報告する．

2　工事概要

本工事は，岐阜県が不破郡関ケ原町藤下に計画する西南濃第二期広域営農団地農道新設に伴い，JR東海道本線の関ケ原・柏原間で交差部にボックスカルバートを新設するものである．ボックスの形状は1層1径間で延長はL=14.0m(内空＝15.37m×5.93m)であり，HEP&JES工法により施工した．

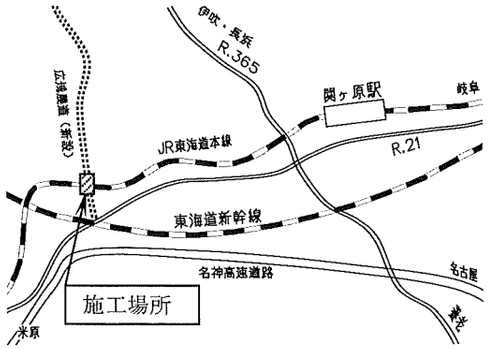


図-1　施工位置

図-1に施工位置を示す．

本工法は，鋼製エレメントを線路下にけん引し貫入させ，エレメント相互をJES継ぎ手で一体化して本体利用する工法である．一般的な鋼製エレメントの標準寸法は850㎜×1,035㎜であるが，本工事では1,400㎜×1,140㎜の形状となっている．図-2に函体断面図と地質柱状図を，図-3に函体側面図を示す．

当該工事区間における1日あたりの通過列車本数は昼88本，夜54本で，軌道はバラスト複線構造であり，施工位置の線路線形は半径400mの曲線区間であった．土かぶりは，FLから約1.8mである．

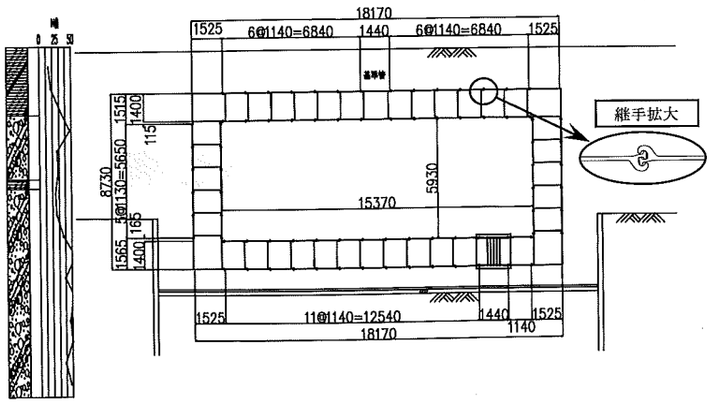


図-2　函体断面図・地質柱状図

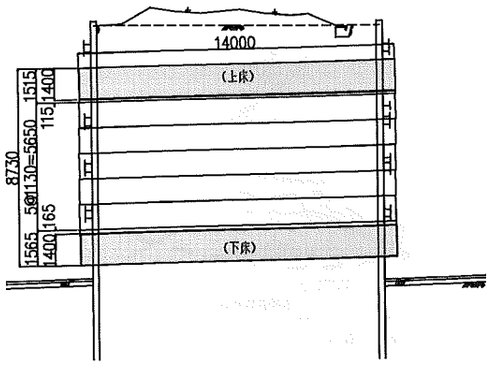


図-3　函体側面図

3　地　質　概　要

対象土質は，地表部に一部盛土があるが，その下には大径玉石を含む洪積世の礫混じり砂質シルトおよび古生代の強風化砂岩と固結シルトの互層からなる軟岩層が分布している．なお，付近の切り取り部から想定すると，一部固結度の高い軟岩が含まれる．

4　バケット式掘削機械の開発

4-1　開発のコンセプト

一般的には線路下にエレメントを挿入する場合，軌道変状を極力なくすために掘削面の開放を少なくし切羽の崩壊を防止することが重要であり，これまでのHEPの掘進はオーガの回転により掘削し，リボンスクリューで排土を行っていた．そして，これによらない場合は人力施工であった．

本現場は躯体まで1.8mの土かぶりがあり比較的軌道面から深いこと，その位置から下部については自然地山であり，なおかつ軟岩層が分布しており切羽の自立性が確保できること，またエレメントが標準寸法よりも大きく掘削機械の収納スペースが確保できることから，油圧ハンマで固結部を破砕しバケットで土砂を掻き込むという，今までとは全く発想の異なるマシンの実用化に取り組み，完成させた．

この機構を完成させたことにより従来最大φ200㎜程度の礫しか取り込めなかったオーガ式に比べ大径礫の機械掘削を可能とし，また人力に頼っていた玉石層や硬質地盤に対しても機械掘削が可能となり工期の短縮や工事費の低減を可能とした．

4-2　掘削機械

バケット式掘削機は油圧ハンマを刃口の外周部に10個配置し，エレメントが通過する部分の地山を粉砕し掘進ができる構造としている．**写真-1**にバケット式掘削機を示す．

また，エレメントには構造上継ぎ手部が付いており，従来は土砂に貫入させていたが，当地山では貫入不可能と判断し「存置板」を用いることによりエレメント継ぎ手部を含む全断面で掘削する方法とし，貫入に伴う抵抗を最小限に抑える掘進方法とした．**図-4**に存置板の図面を示す．

切羽前面の土砂および切り崩した土砂はバケット(516㎜×258㎜)により掻き込み，後方のユニット式連続ベルコンにより排土する構造とした．

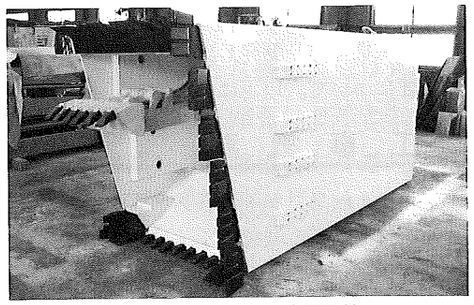


写真-1　バケット式掘削機

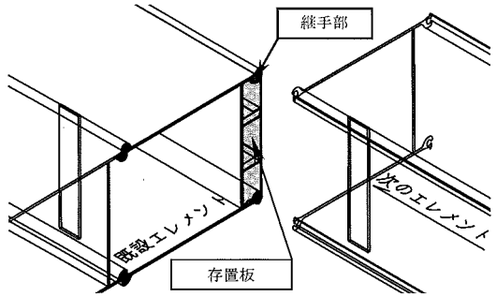


図-4　存置板

表-1　掘削機の仕様

機　　体	全長 重量	3,050㎜ 4.0t
油圧ハンマ	装備数 打撃力	10基 100N-m
掘削バケット	伸縮力 最大掻き込み量	20.0kN 5.4m³/hr
排土(ユニット式連続ベルコン)	幅 速度 搬送量	450㎜ 44m/min 10m³/hr
方向修正ジャッキ	装備数 油圧	1基 14MPa

4-3　バケット式掘削機の仕様

本工事に使用した掘削機の仕様は，**表-1**のとおりである．

バケットは掘削断面のすべてに届き，掻き落とせるように，前後左右上下に稼働する構造とした．

図-5にバケット式掘削機の図面を示す．

5　エレメントの施工

5-1　掘削施工

エレメントは本体構造となるため高い施工精度(=L/500)が要求されることから，中央の基準エレメントは人力施工とし，その他については機械掘削とした．機械掘削は，先端に取り付けたCCDカメラで切羽の画像を見ながら操作する中央管理室での遠隔操作方式とした．これは油圧ハンマやバケット操作を行いながらけん引力や掘進精度を確認し，方向制御も可能な一元管理システムである．この結果，エレメント内に立ち入ることが少なく，安全に作業できた．また，従来のオーガ式掘削機では刃口外周部に出現する礫や玉石で施工

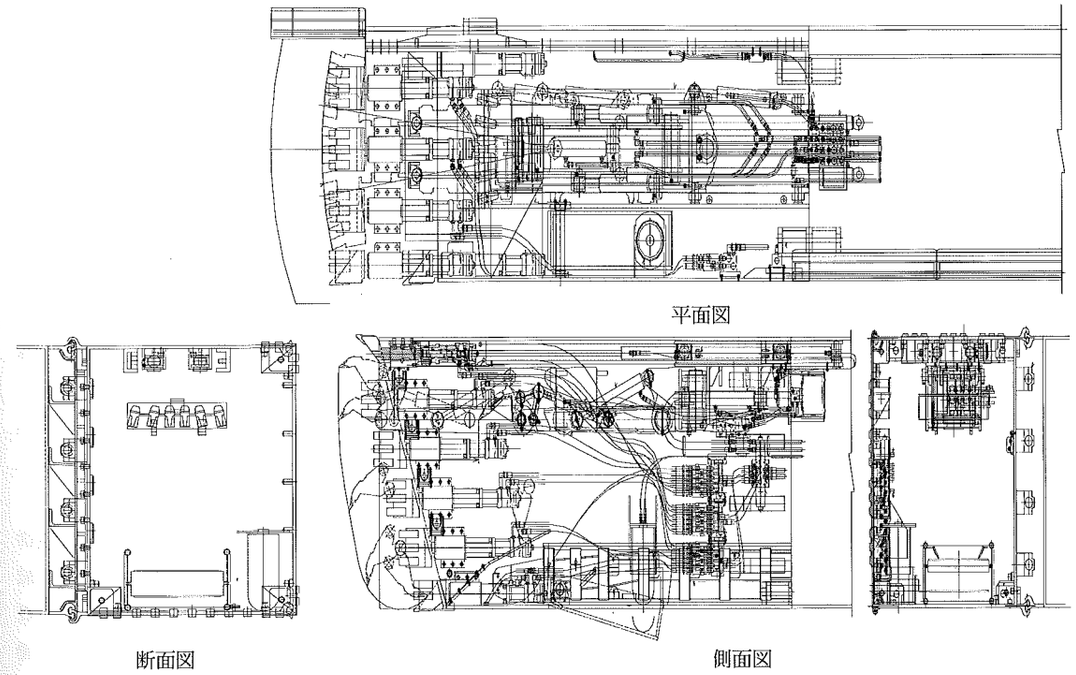


図-5　バケット式掘削機

精度が狂うこともあったが，本機械では油圧ハンマの打撃力で破砕，あるいは掛かりの浅いものについては押しのけるか取り込むことで，刃口を貫入させ直進性を確保できたため，施工精度は管理値内に収めることができた．

なお，施工能力においては，基準エレメントで人力掘削を行った場合には1.5m/方の進捗であったが，機械掘削での最大掘進量は上床部一般管で6.2m/方，下床部一般管で7.4m/方の実績となり，機械の能力が十分発揮できた(※方：1回の実作業時間)．

5-2　切羽防護

従来の掘削機では，オーガにより混練された土砂が常時抵抗土圧となり切羽の崩壊を防止している．しかし，本掘削機はバケットを内蔵した開放型の掘削装置であり，作業終了時や中断時などに切羽を長時間放置する場合の列車振動などの要因を考慮すれば，切羽の崩壊を防止するために土留めが必要となる．そこで，できるだけ簡易に設置撤去ができる簡便なものが望まれることから，切羽とバケットの間にエアジャッキ(**写真-2**)をかませる方法をとった．これは設置撤去時にはエアバック部分をたたんで持ち運びできるため，エレメント内の狭隘な作業空間であっても極めて効率的に作業ができ，有効な手段であった．

5-3　けん引掘削上の問題点と対応

5-3-1　玉石について

事前の実験結果から，掘削土砂の礫率が高い場合や礫径が大きい場合は，一般に貫入抵抗が増大することがわかっている．貫入抵抗の低減のためには掘削機周囲の礫を確実に破砕または取り込むことが必要である．そこでフリクションカット効果を考慮して，ハンマビットをエレメント外周面より外側(15㎜)に配置することとした．その結果，マシン外面に取り付けられているけん引ワイヤ固定治具や継ぎ手部などの突起部分もスムーズに貫入させることができた．

写真-3は掘削中に撤去した玉石であり最大60cm程度であったが，油圧ハンマによる破砕または人力により撤去した．この実績から通常の玉石



写真-2　エアジャッキ

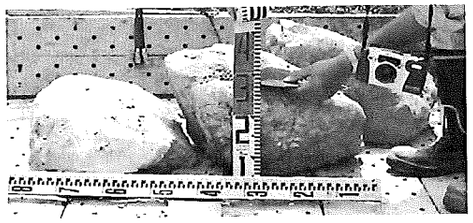


写真-3　掘削玉石

などの支障物については現打撃力の能力で十分破砕できることを確認した．

5-3-2　方向制御について

本工法の特徴としてエレメントの先端に重量の大きい機械を装着していることから，自重による先端部の沈下が懸念された．このため，方向修正ジャッキを装備しソリでマシン下面を持ち上げる構造として，マシンの沈下防止対策とした．その結果，本工事では沈下や持ち上がり，あるいはローリングなどの精度に影響するような変位はなかった．

5-3-3　環境対策について

従来の施工法に比べ，本工法は振動や騒音が大きくなることが懸念された．結果は，油圧ハンマによる振動については地表部において特定建設作業に伴う振動の規制基準(75db)以下を満足しており，とくにマシンが地山に貫入した後は隣接する国道でも直上の線路盤でもとくに問題となることはなかった．

一方，騒音に関しては特定建設作業に伴う騒音の規制基準(85db)以下であり，かつ，直近の民家境界での測定値は隣接する国道21号を通行するトラックの走行音よりも小さかった．しかし，普段の生活騒音に対して異質なものであることから，

設備を防音シートで覆うほか，深夜時間帯を避けた変則2交代制としたり，騒音源となる油圧ユニットなどの設備をすべて到達側へ移設するなどの措置をとり，対応した．

6　施工の管理

6-1　軌道監視

上床版の施工は列車への安全確保の目的で50km/hの徐行により施工し，軌道監視の目的で，リンク式軌道測定器を上下線ともL＝50m間に取り付け，5ｍごとの軌道狂いを測定し監視した．これは，通常の軌道計測は10m弦で中間部の相対値を測定管理するものを自動により行うもので，24時間自動監視を行うことができ，夜間においても異常時には通報できるシステムである．その結果，緊急に軌道整備が必要となるような変状はなく，無事工事を完了させることができた．**写真-4**にリンク式軌道測定器の配置を示す．なお写真中の数字は，上段が高低を，中段が通りを，下段が温度を表しているが，工事期間中は静的規準値の70％で管理をしていた．

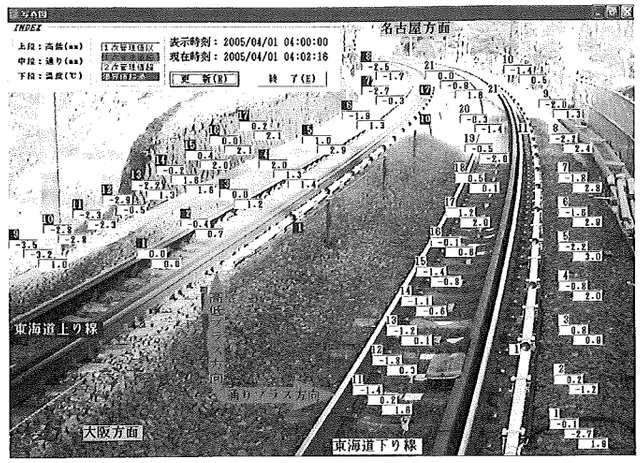


写真-4　リンク式軌道測定器

6-2　沈下板配置計画と測定

各測点の絶対沈下量および沈下傾向を把握する目的で，別途沈下板を設置して地盤変位測定を行った．沈下板はφ100㎜の鉄板をエレメント上端部から0.5mの位置に，線路直角方向に3か所，線路並行方向に5列の計15か所に配置した．

測定範囲は上床部を掘進中のエレメント直上部の測点とその影響範囲内の測点であり，測定間隔は掘進距離1ｍごとに行った．**図-6**に沈下板の配置図を示す．

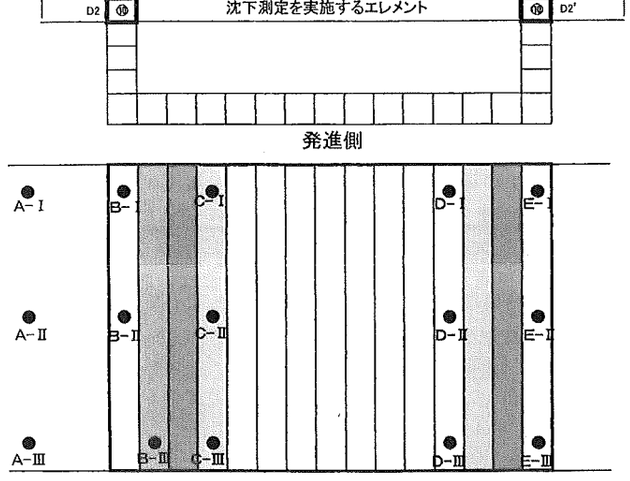


図-6　沈下板配置図

6-3　地盤への影響

上床部施工期間中掘進に伴う大きな沈下は発生せず，日々の軌道整備程度で終えることができた．また，その影響範囲はエレメント上側より45°の範囲内におさまっていた．沈下の発生原因としては油圧ハンマ先端がフリクションカット確保のためにエレメント外周より15㎜多く掘削する構造に起因していること，および掘削による切羽の応力開放に伴う地山のゆるみが考えられる．

これらのことから，今後の課題はフリクションカットの構造検討や裏込め材を早期に注入するなど，費用対効果を考慮しながらマシンの設計や施工手順について検討し，より良い工法の確立に取り組まなければならないと考えている．

7 おわりに

以上のように今回の工事で，油圧ハンマを装備したバケット式掘削装置を用いて施工した結果，玉石層や硬質地盤の地質に対しても機械により施工を行うことができた．また，施工実績から工程の短縮とコスト面でも有効に機能することが実証できたと考えている．

しかし，上部の軌道への影響を少なくするためのフリクションカットの改良や騒音問題など，いくつかの課題も明らかになった．今後さらに，各種寸法のエレメントへの適用など，機械設備に改良改善を加えながらより完成度の高い掘削機械に仕上げて，効率性，経済性の高い工法の確立に取り組む所存である．

わかりやすい **トンネルの力学**

B5判　286頁　本体価格 5,825円　〒340円

福島啓一 著

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

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

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

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

施工

未固結地山における超近接双設トンネルの施工

— 国道455号　北山トンネル—

岩手県盛岡地方振興局土木部道路整備課長　佐藤　守
岩手県盛岡地方振興局土木部主任　高瀬文明
前田・ハザマ・梨子特定建設共同企業体盛岡北山トンネル作業所所長　小松敏彦
前田建設工業(株)土木本部土木技術部副部長　櫻井孝臣

1 はじめに

北山トンネルは，盛岡市北山2丁目の国道4号交差点から三ツ割地区の現道に至る国道455号のバイパスのうち，約1kmの双設トンネル(上下線)である(**図-1**)．

本トンネルの到達側約100mは両トンネル間の離隔が3～1mとなる超近接区間である．本区間は3本導坑方式めがねトンネルとして計画されていたが，これまでの施工実績を踏まえ，十分な事前検討を実施することで，超近接トンネルへの変更を計画し，実施に結びつけた(**写真-1**)．

本稿は，これまでにない未固結地山における超近接トンネルの設計・施工および施工時の周辺地山や支保工の挙動について報告するものである．

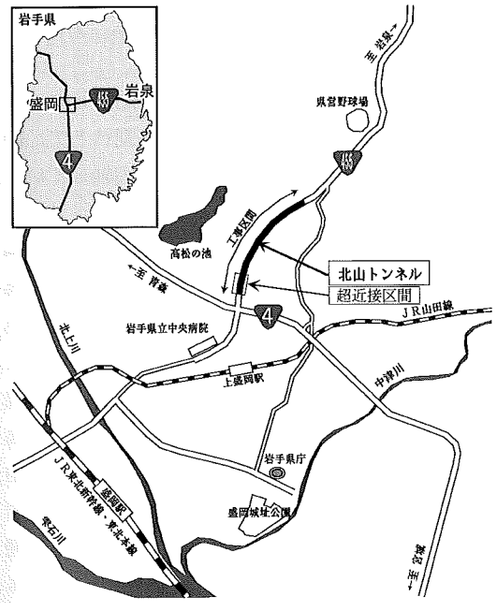


図-1　北山トンネル位置図

2 工事概要

トンネルの工事概要と標準断面図を**表-1**，**図-2**に示す．トンネルルート沿いの地表利用形態は，一部に家屋が近接する箇所や市道横断箇所があるものの，おおむね畑地および雑木林となっている．超近接区間である北山側坑口部も全体が雑木林である．本トンネルでは，全線にわたって土かぶりが小さく，丘陵頂部でも最大20m，谷部では2～5mとなっており，土かぶり1.5D(D：トンネル掘

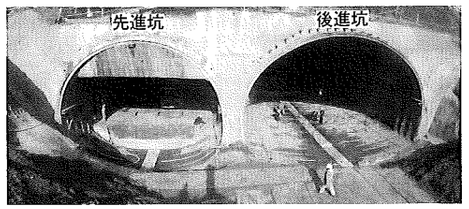


写真-1　両トンネル掘削完了(到達側)

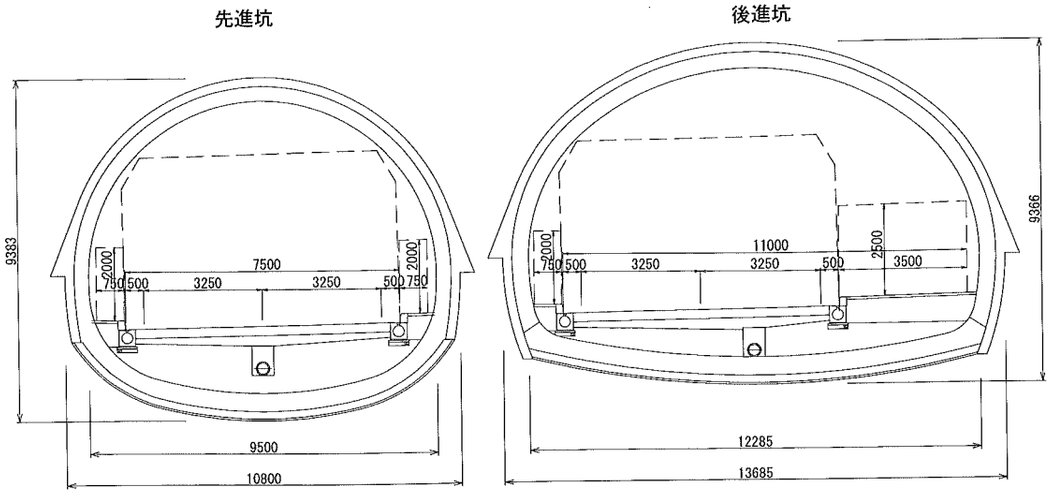


図-2　標準断面図

表-1　工事概要

工事名	一般国道455号北山トンネル築造工事
工事場所	岩手県盛岡市北山～三ツ割
工　期	平成16年3月8日～ 平成19年7月12日
発注者	岩手県盛岡地方振興局
施工者	前田・ハザマ・梨子特定共同企業体
掘削工法 掘削方式	補助ベンチ付き全断面 機械
ずり出し方法	タイヤ
トンネル延長	L=923.5m(上り線) L=950.5m(下り線)
道路規格	第4種第1級
特　徴	小土かぶり，低強度， 双設トンネル

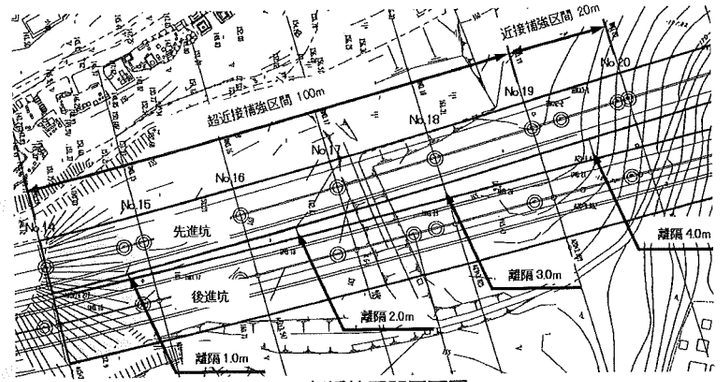


図-3　超近接区間平面図

削幅)以下が8割を占めており，本区間では15m以下である．なお，トンネル掘削幅は先進坑で10.8m，後進坑で13.7mである．

トンネルの到達側である北山側坑口(以下，到達側坑口と称す)正面の切土や切土部側方の擁壁の構築はおおむね終了しており，トンネル到達前に，明かり部から切土のり面補強と，トンネル未掘削部の補強を実施しておくこととした．超近接区間の平面図を図-3に示す．北山側坑口から100m区間(離隔1～3m)を超近接区間，これに隣接する20m区間(離隔3～4.6m)を近接区間としている．近接区間では中間地山の荷重支持を期待して，中間地山の注入式ボルトによる補強を実施している．

3　地形・地質概要

超近接区間は起点側から到達側坑口に向けて馬の背状の地形を呈している．本区間の地質は緑色岩メランジュを主としているが，一部坑口付近に砂状～粘土状マサが認められる．メランジュ(混在岩)とは，付加体のなかでもっとも破砕度の高いものをいい，緑色岩メランジュとは玄武岩に由来する緑色岩が主となって構成されている混在岩である[1]．全体に分離しやすいせん断面が密に発達していることに加えて，地山は地表からトンネル計画深度付近まで風化が著しく進行し，土砂状

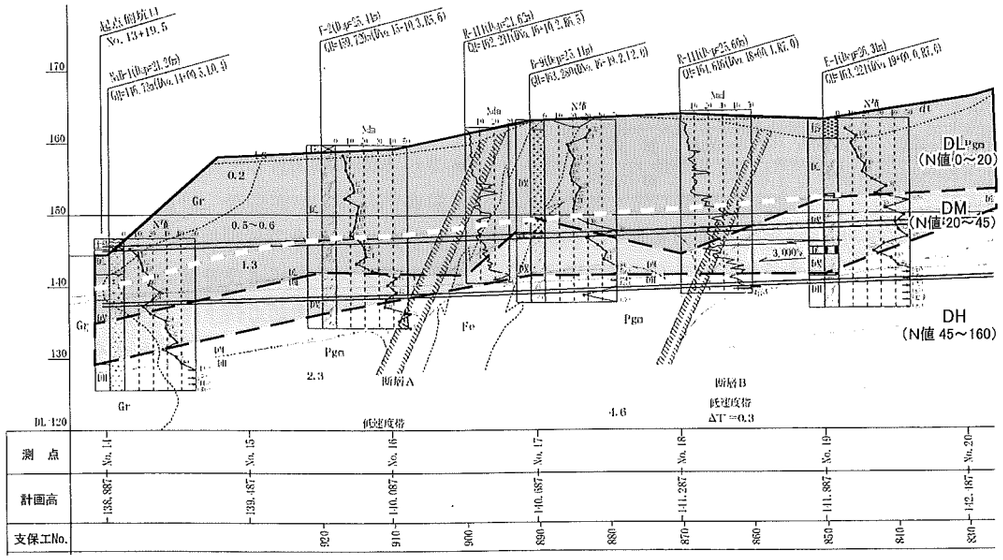


図-4　超近接区間縦断図(調査時)

表-2　北山トンネル岩級区分表

岩級区分	コアの状態	通称	コア状況		N値	変形係数(MN/m²)	内部摩擦角(度)
D_L	粘土状～砂状コア． 岩組織はほとんど識別できない． 割れ目は識別できない． 岩塊の中心部まで完全に風化し，赤褐色に変色する． 指圧で容易に変形，崩壊する． ナイフが容易にささる．	極風化	泥質メランジュ		10	10	20
			緑色岩メランジュ		20	30	25
D_M	棒状コアであるが，持ち上げると撓み崩れる． 岩組織は何とか識別できる． 割れ目の痕跡は認められるが剝離できない． 岩塊の中心部まで完全に風化し，黄褐色に変色する． 片手で容易に崩せる． ナイフで軽くこすると塊状に削れる．	強風化	泥質メランジュ		30	30	25
			緑色岩メランジュ		45	70	30
D_H	棒状コアであり持ち上げることができる． 岩組織は明瞭に識別できる． 割れ目は識別でき，剝離できる． 岩塊の中心部まで完全に風化し，淡褐色に変色する． 手で容易に折れる． ナイフで軽くこすると粉末状に削れる．	中風化	泥質メランジュ		50	70	30
			緑色岩メランジュ		160	150	35
C_L	礫状，岩片状，短柱状コア．コア肌は粗い． 岩組織，変形構造が明瞭に識別できる． 割れ目は開口して黄褐色化し，粘土を挟在する． 岩塊の中心部は新鮮な場合もあるが，おおむね褐色化している． ハンマーの軽打で濁音を発し，容易に割れる．	弱風化	泥質メランジュ		200	500	35
			緑色岩メランジュ		350	600	40
C_M	柱状(10～30cm)コア．コア肌はなめらかである． 岩組織，変形構造が明瞭に識別できる． 割れ目は5～20cm間隔で開口するものが多い． 岩塊中心部まで新鮮であるが，割れ目沿いは褐色化する． ハンマーでたたくと金属音～濁音を発する．	新鮮岩	泥質メランジュ		–	2,000	40
			緑色岩メランジュ		–	3,000	45

※変形係数，内部摩擦角は孔内載荷試験結果の平均値にもとづく．

表-3　物性値(緑色岩メランジュ)

岩級区分	γ (kN/m³)	E (MN/m²)	C (MN/m²)	ϕ (°)	N値
D_L	19.0	2～15	0.02～0.09	20	0～20
D_M	19.0	15～35	0.10～0.14	25	20～45
D_H	19.0	35～	0.16～	30	45～

(N値はおおむね30以下)を呈しているため，時間とともに細片化が進行する性質があり，ゆるみやすい[2]．コアの弾性波速度は地山弾性波速度の1/3～1/4である．地質縦断図と岩級区分および物性値を図-4，表-2, 3に示す．なお，岩級区分は当該地質が特殊であるため，本トンネル用に作成したものである．

4　超近接トンネルの設計

4-1　設計方針

双設トンネルでは，トンネル相互の影響を避けるため，両トンネルの離隔を通常2D程度確保しており，補強を実施しても最小で0.5D以上を確保するのが一般的である．しかし，都市部では用地上の制約や経済性確保のため，トンネル同士をより接近させ，めがねトンネルとして計画される例が多い．めがねトンネルは中央壁を構築するための導坑が必要になるが，近年，このめがねトンネルの導坑を設置せず，超近接トンネル(無導坑方式)として施工する事例が下到津トンネル[3]以降増えてきている[4](図-5)．しかし，本トンネルのように未固結地山において中間地山を残して構築された例はない．

めがねトンネルでは導坑掘削と中央壁の構築が必要であり，これによりさまざまな問題が生じるが，無導坑方式の超近接トンネルとすることでこれらの問題が解消される(表-4)．とくに品質の向上および工期，工費の縮減が可能であり，導坑方式と比較して優位性がある．これまでのめがねトンネル，超近接トンネルの設計・施工実績から，めがねトンネルや超近接トンネルに作用する荷重，支保工や周辺地山の挙動が明らかになりつつあり，これらを踏まえ検討を実施した．

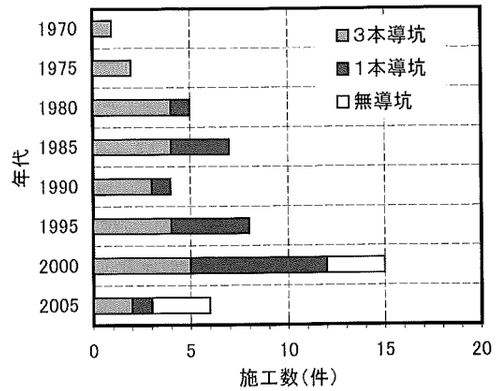
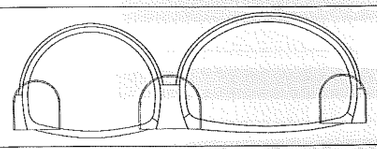
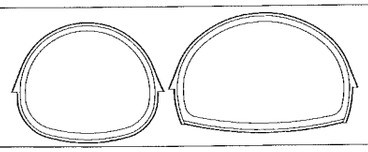


図-5　超近接トンネルの施工事例

表-4　掘削工法比較表

項目	3本導坑方式めがねトンネル		超近接トンネル	
概要図				
品質	導坑掘削があり，応力再配分のくり返しが多く地山を傷める．中央壁に荷重が集中するため，沈下増大が懸念される．	△	導坑掘削がなく，応力再配分のくり返しによる地山の損傷が少ない．	○
工期	超近接トンネルと比較して，工期が長くなる．	△	導坑掘削と導坑コンクリート構築がなく，工期は比較的短い．	○
工費	導坑掘削，導坑コンクリート構築があり，比較的工費がかかる．	△	先進坑の補強が必要になるが，導坑方式と比較して，低コストである．	○
安全性	導坑内の狭隘な条件での掘削作業やコンクリート構築作業がある．	△	狭隘な条件での導坑掘削作業や導坑コンクリート構築作業がない．	○
環境負荷	起点側にもトンネル掘削のための仮設備が必要となる．導坑支保工は撤去され，産業廃棄物となる．	△	環境への影響も比較的少ない．	○
総合評価	品質，工期．工費，安全性，環境負荷いずれも不利である	△	導坑方式より有利である．	◎

本トンネルの地質は，低強度できわめてゆるみやすい性質を有しているため，切羽が不安定化しやすく，中間地山の荷重負担がほとんど期待できない．また，後進坑掘削時に中間地山の崩落などを許せば，トンネル全体の安定確保が困難となることも考えられる．

めがねトンネルは中間地山に作用する荷重をセンターピラーで直接受ける構造になっているため，センターピラーの安定が重要となる．地山強度が小さく，十分な地耐力が確保できない場合にはセンターピラーの沈下が大きくなり，周辺地山のゆるみの拡大や支保工，ピラーの変状をまねくことになる．本トンネルでは施工性も考慮したうえで，先進坑をできるだけ円形に近づくように形状変更するとともに後進坑施工前にチューブ状に閉合することで，後進坑掘削時にトンネル間に集中する荷重を先進坑全体で支持することを期待した．これまでの実績より，トンネル間には両トンネルセンター間の全土かぶり荷重が作用すると想定され，本トンネルでこれを算定すると，トンネル奥行きmあたりおよそ5,000kNになる．この荷重が先進坑と後進坑にどう配分されるかによって，トンネルの安定性も異なってくるものと考えられるが，地山がゆるみやすいため，既往の事例からは予測が困難かつ不確定であることを考慮し，後述する支保パターンを設定した．

4-2　支保パターン

超近接トンネルの周辺地山および支保工の挙動を確認し，対策工および支保工の妥当性を評価するためにFEM弾塑性解析を実施した．代表的な解析モデルと解析ステップを表-5，図-6に示す．

解析結果より，「支保工の基本」として先進坑の隅角部を軸力卓越に対応できる形状(R=2,500㎜)に変更し，先進坑，後進坑の鋼製支保工に高規格支保工を採用することとした．

また，解析に加えて以下の検討も実施した．前述したように中間地山と隣接する支保工には約5,000kN/mが作用すると想定される．施工後も残存する中間地山は後進坑閉合前に不安定になりやすく，隣接する先進坑支保工に全荷重が集中して作用する可能性もある．よって支保工の選定に際しては，後進坑閉合前に，一時的に先進坑の後

表-5　解析ステップ

	内　　容	応力解放率
step 1	自重解析	——
step 2	下り線　上半掘削＋先受け	40%
step 3	下り線　上半支保工設置	60%
step 4	下り線　下半・インバート掘削	40%
step 5	下り線　下半・インバート支保工設置	60%
step 6	上り線　上半掘削＋先受け	40%
step 7	上り線　上半支保工設置	60%
step 8	上り線　下半・インバート掘削	40%
step 9	上り線　下半・インバート支保工設置	60%

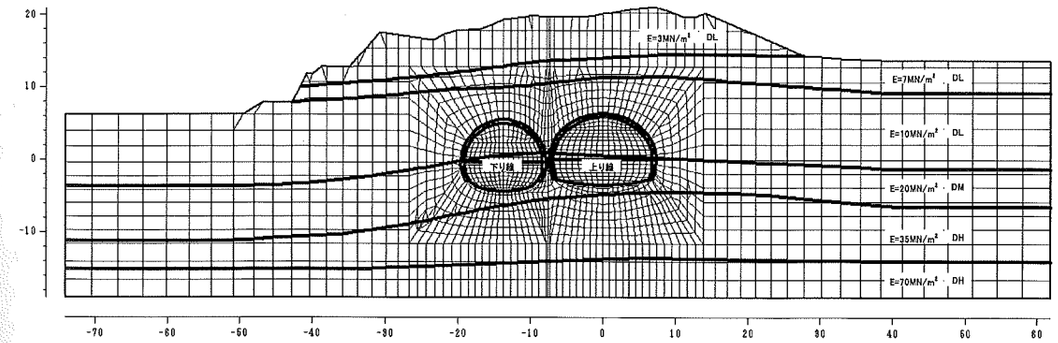


図-6　解析モデル

表-6　超近接区間の支保工

先　進　坑	後　進　坑
インバートストラット 形状変更	――
高規格支保工 HH-200@1.0m	高規格支保工 HH-200@1.0m
高規格インバートストラット HH-200@1.0m	高規格インバートストラット HH-200@1.0m
高強度鋼繊維吹付けコンクリート t=25cm	吹付けコンクリート t=25cm

進坑側支保工に上記の荷重に相当する軸力が作用しても破壊しない構造とし，高規格支保工と高強度吹付けコンクリートを採用することとした．なお，FEM解析では先進坑に局所的ではあるが大きな曲げが発生する結果が得られており，そのような場合，吹付けコンクリートにクラックが生じ変形が増大する可能性もある．このような変状を抑制し，支保工の安定と施工上の安全性を確保する目的から，先進坑の吹付けコンクリートは鋼繊維で補強することとした．以上のようにトンネル掘削時の支保工そのものを補強することにより，後方で改めて補強コンクリートなどを施工することなく超近接トンネルの安定を確保することとした．以上により，決定した支保工を表-6に示す．補強後の先進坑の軸耐力は，従来の超近接トンネルの先進坑の補強部も含めた支保工の軸耐力と比較して半分程度となっている．

4-3　施工方法

4-3-1　掘削方法

まず，地山の性質を考慮し，両トンネルとも早期閉合と切羽の安定確保により，できるだけ地山を傷めない，ゆるめない方法により掘削を実施した．本区間では地山が不良な既掘削区間と同様に補助ベンチ付き全断面工法を採用している．上半，下半，インバートのベンチ長はそれぞれ3～6mとし，切羽から約10mで支保工(吹付けコンクリートと鋼製支保工)によるリング状の閉合を完成させることとした．切羽安定対策については4-4で詳述する．

4-3-2　先進坑の拡幅

これまでの比較的地山の悪い場合において，超近接トンネルの施工方法としては，まず先進坑側を拡幅し，中間地山を本設の覆工や仮設の補強コンクリート，吹付けコンクリートで置き換えて補強する方法が採用されている．しかし，掘削量や置き換え量が増えることから，よりコストダウンを図るためには中間地山を残したまま施工することが望ましいといえる．したがって，主として中間地山を残す方法について検討することとした．

4-3-3　覆　工

後進坑掘削時に先進坑の覆工が完了していれば先進坑の剛性も高くなり，より安定性は高まるが，覆工が後進坑掘削の影響を直接受けてしまうため，ひび割れなどの変状発生も懸念された．したがって，覆工は両トンネルの掘削が終了してから施工することとした．

4-4　補助工法

山岳工法トンネルでは，解放される切羽の安定を確保することが重要となるが，とくに超近接トンネルの場合には，小さな崩壊が両トンネルの全体的な崩壊につながる可能性も考えられ，切羽の安定確保はきわめて重要であるといえる．

前述のように，超近接部の地質はN値がおおむね30以下の土砂状に風化した緑色岩メランジュであり，母材自体が固結していない状態であることに加えて，全体にせん断面が密に発達しており，容易に細片化し，ゆるみやすい．したがって，切羽安定対策が不可欠であり，基本的には，超近接部に達するまでに同様な地山不良部で既に使用していた対策工を実施した．ただし，長尺鏡ボルト(F-Sボルト)に使用する注入材は既施工区間でゆるみ防止効果が確認されたウレタン系注入材(シリカレジン)を使用した．

脚部補強対策としては，上半支保工の脚部を事前に改良でき，下半側壁の安定も期待できる長尺

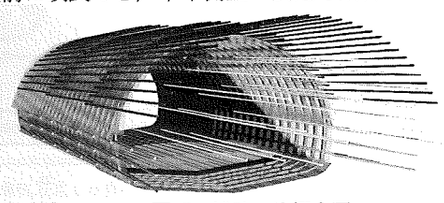


図-7　補助工法概念図

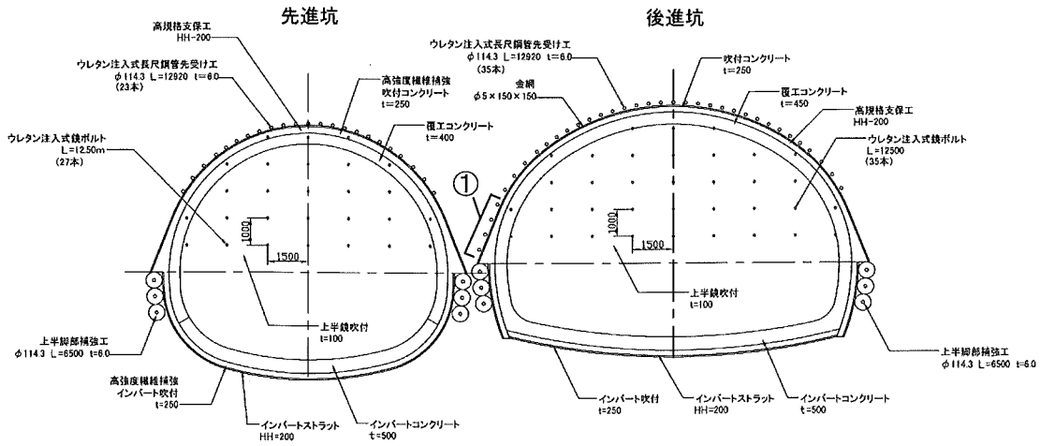


図-8　補助工法断面図

鋼管脚部補強工(脚部AGF-S)を採用した．これは図-7のように，上半ベンチ長3mのときに，下半切羽から未掘削部の上半支保工脚部に向けて6mの鋼管を打設し，注入を行うものである．

採用した補助工法断面図を図-8に示す．これらの補助工法で使用している鋼管はスリット入りであり，トンネル掘削時の切断，除去が可能なものである．これにより安価な鋼管を使用して，先受け工や脚部補強工の無拡幅化や鏡対策の実施が可能となっている．

また，出口側坑口から50m区間では，事前に坑口側より超長尺の先受けと脚部補強を実施し，鏡対策についても1シフト分(L=12.5m)は出口側からの施工を実施した．これにより，近接度のもっとも高い出口側でのトンネル掘削時間の短縮を図ることで，より早期にトンネルを閉合することができる．

地山の強度が小さいため，両トンネル掘削時の中間地山の塑性化が著しく，ボルトや注入材により直接改良しても，荷重の支持が期待できるほどの地山の改善は困難であると判断された．したがって，掘削面を壁状に補強することで，中間地山の一体化を確保し，連続体として挙動させることを基本にして，長尺先受け工を後進坑の中間地山側にも範囲を拡げて打設した(図-8①)．これにより，中間地山部の崩落を防止するとともに，ゆるみを抑制して中間地山が支保工の反力体として機能することを重視した．

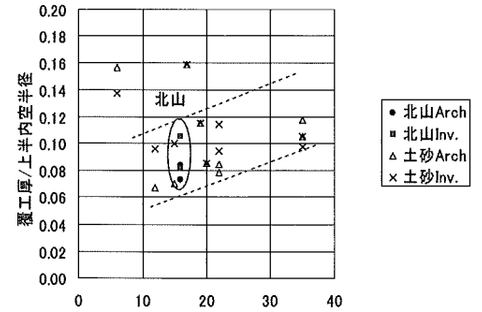


図-9　覆工厚実績

4-5　覆　工

超近接区間において地表部は都市計画で定められた風致地区の雑木林であることから，将来の地表改変の可能性は非常に小さいとされており，増加荷重を考慮する必要がないものとした．これを踏まえ，覆工設計を実施するうえでの基本方針を下記のようにした．

- トンネルの安定は支保工で確保する．
- 支保工の劣化や強度低下に対しては覆工が補うものとして位置づける．
- 覆工巻き厚は，土砂地山におけるめがねトンネルの施工実績を参考にして設定する．
- この区間は坑口部であり，近傍に斜面およびその斜面下に民家が存在すること，さらに近接トンネルであることなどを考慮し，長期にわたる十分な安定の確保が必要であり，その

ための補強が必要となる．

これまでの土砂地山におけるめがねトンネルの覆工厚の実績を図-9に示す．覆工厚は地山条件，上載荷重の影響，トンネル内空寸法などに関連しているものと考えられるが，図には，トンネル内空寸法の影響を考慮して，覆工厚を上半内空寸法で無次元化した値と土かぶりの関係を示した．これより北山トンネルの覆工厚は既往の事例から見てもほぼ妥当な範囲にあるといえる．

また，トンネルの安定は支保工で確保することとし，さらに将来の地表改変がないことを前提に超近接トンネルという特殊性，および坑口周辺で土かぶりが小さいという条件を踏まえ，単鉄筋配置の覆工構造を採用した．ただし，支保工応力が本設の許容値(仮設割り増しはしない)以内に収まることが前提であり，これを超える場合には，さらに覆工の補強を検討することとした．

5　超近接トンネルの挙動

5-1　管理方法

本区間はこれまでに例のない未固結地山での超近接トンネルとなるため，施工状況によっては想定以上の荷重の作用や変状発生も懸念された．したがって，支保工に本設の許容値以上の応力が発生することも考えられたが，経済性の確保も考慮し，計測結果に応じて覆工の構造変更も視野に入れた管理目標値を設定するとともに，想定されるトラブルに対応した計測管理フローに従い施工を進めた(表-7，図-10)．

5-2　掘削状況と計測結果

まず，先進坑掘削時について述べる．超近接部の地山は土砂状を呈するとともに，せん断面とみられる容易に分離する不連続面が随所に認められきわめて不安定であったが，鋼管を使用した鏡対策の効果やウレタン系(シリカレジン)注入材の亀裂への浸透効果がみられ，切羽全体の安定を確保しながら掘削を進めることができた．ただし，上半全面を一度に掘削すると鏡部の小崩落が頻発するため，状況に応じて上半を2～3分割し，掘削と吹付け(一次吹付けと鏡吹付け)をくり返し実施することで切羽の崩落を極力生じないように慎重に掘削作業を進めた．

後進坑掘削時，先進坑は剛な支保工によりチューブ状に閉合されてはいるが，土砂状の中間地山を残したまま後進坑の掘削を行うため，トンネル間に荷重が集中し，先進坑や後進坑の中間地山側の支保工および後進坑の切羽が不安定化することが懸念された．

先進坑と後進坑が接近しているため，後進坑の切羽状況は先進坑とおおむね類似しており，したがって先進坑と同様に上半の分割施工を実施せざるを得なかった．当初，後進坑掘削時にはとくに中間地山側の切羽や支保工の不安定化に注意を払っていたが，そのような兆候もなく，順調に掘削が進められていた．ところが，区間中央付近で中核を含む鏡全面がすべるように崩落する現象が発生した(写真-2)．超近接による影響以外に，地山が局所的に不安定な状態にあったことや，次シフトの鏡補強の手前の切羽であり，既施工の鏡ボルトの残尺が短かったこと，出口側からの超長尺先受け工の先端部付近であり，削孔などの影響もあることなどが原因として考えられた．ここでは上半の分割施工をそれまで以上にくり返し実施することで突破し，その後掘削完了まで同様の崩落が生じることはなかった．

表-7　管理目標値

(1)　A計測

	項　目	管理レベル(mm)		
		I	II	III
先進坑	天端沈下量	20 (20)	30 (30)	40 (40)
	内空変位量	40 (40)	60 (60)	80 (80)
後進坑	天端沈下量	20	30	40
	内空変位量	40	60	80

閉合前の変位量，(　)内は後進坑掘削時増分

(2)　支保工

支保工	管理レベル			許容応力 (N/mm²)	強　度 (N/mm²)	備　考
	I	II	III			
HH-200	150	220	290	$\sigma_{sy}/1.5=293$	$\sigma_{sy}=440$	本　設 (短期)
高強度吹付けコンクリート	6.0 (9.0)	9.0 (13.5)	12.0 (18.0)	$\sigma_{ck}/3=12.0$	$\sigma_{ck}=36.0$	
吹付けコンクリート	3.0 (4.5)	4.5 (6.75)	6.0 (9.0)	$\sigma_{ck}/3=6.0$	$\sigma_{ck}=18.0$	

トンネルは超近接部に至るまで離隔が徐々に小さくなり，超近接部で3m以下となる．超近接部手前の離隔3m以上の区間では，後進坑掘削時に

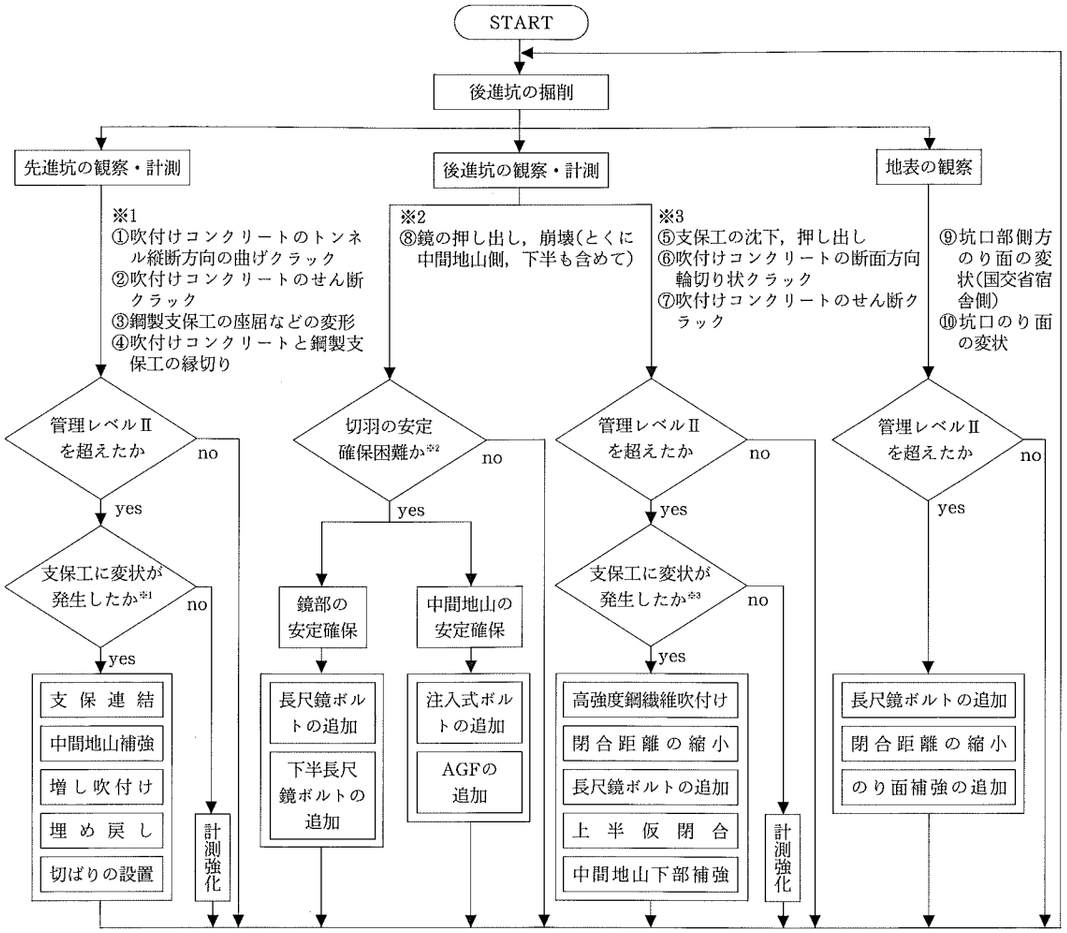


図-10　後進坑掘削時管理フロー図



写真-2　後進坑鏡部崩落状況

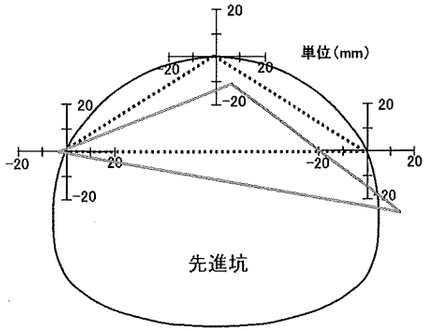


図-11　トンネル変位増分(後進坑掘削時　先進坑No.16+10)

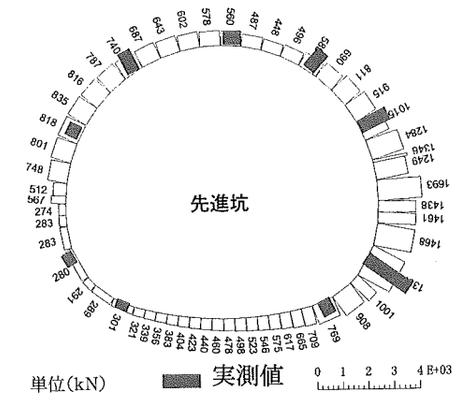


図-12 吹付けコンクリート軸力(先進坑 No.16＋10)

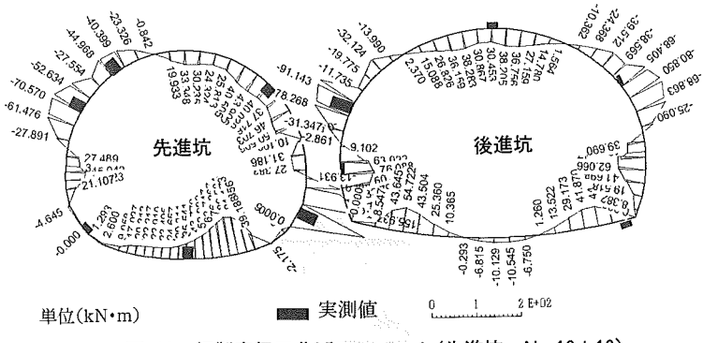


図-13 鋼製支保工曲げモーメント(先進坑 No.16＋10)

められた程度であり，とくに問題となるような変状は確認されなかった．

後進坑掘削時に，先進坑の吹付けコンクリートには軸力の増加が認められた(図-12)．とくに後進坑切羽通過前後の中間地山側の軸力増加が顕著であり，FEM解析結果に近似した軸力分布が得られた．鋼製支保工の曲げモーメントはFEM解析で大きく出ていたことから増大が懸念されたが，実際にはそれほど大きくならず，したがって支保工の発生応力は想定よりも小さくなった(図-13)．

6 おわりに

北山トンネルでは，N値30以下の未固結地山で超近接トンネルの施工を無事完了することができた．これは，先進坑の適切な形状選定と剛な支保工による早期閉合，後進坑の早期閉合，切羽安定と中間地山の安定確保(一体化の確保)などにより実現できたものと考える．このような地山では，導坑コンクリートで集中して荷重を支持する導坑方式では施工が成立しない可能性もある．これまで，超近接トンネルでは，比較的良質な地山でも先進坑の支保工を切羽後方で十分補強したうえで，施工が行われてきたが，本トンネルでは前述した不良地山で，中間地山を残し先進坑掘削時に使用する支保工そのものを補強するため，施工がシンプルである．これにより先進坑と後進坑の切羽の離れも小さくすることができ，さらなる工期の短縮も可能となる．今後，用地上の制約などから都市部を中心にめがねトンネルが増加すると考えられるが，未固結地山でこのようなスタイルで超近接トンネルの施工が可能となることにより，コスト・工期・品質面での有利性が期待できる．本事例が今後類似するトンネルの計画の参考になれば幸いである．

最後に，本トンネルの計画・設計・施工にあたり，技術検討委員会の今田徹委員長をはじめ西村和夫委員，真下英人委員，越谷信委員には貴重なご意見などを賜りました．誌面を借りて心から厚くお礼申し上げます．

先進坑の後進坑側支保工が20㎜程度沈下する傾向が見られた．超近接トンネル区間においても後進坑掘削時には，先進坑の後進坑側支保工が20～30㎜程度沈下したが，クラックや剝落などの変状は認められなかった(図-11)．

後進坑では，中間地山の塑性化により中間地山側の沈下が増大することを予想していたが，とくにそのような傾向はなく，むしろ外側の脚部沈下が大きくなる傾向がみられた．これはメランジュ地山がきわめて不均質であり，地質やその硬軟がめまぐるしく変化することも一因として考えられるが，中間地山側の離隔が小さくなることで，補助工法である鋼管や注入量の密度が高まったことなども考えられる．また内空変位も小さく，中間地山側がとくに大きくなることもなかった．後進坑を閉合するまでの開放部での支保工の変状が懸念されたが，一部後方の閉合された箇所で中間地山側の吹付けコンクリートに微小なクラックが認

参考文献

1) ジェオフロンテ研究会：付加体地質とトンネル施工，ジェオフロンテ研究会，236p.，2005.11.
2) 櫻井孝臣・福島和彦・對馬博・阿部求：プレッシャーメーター試験による弾性係数のひずみ依存性とせん断定数の評価，日本応用地質学会，平成18年度研究発表会講演論文集，pp.237-240，2006.11.
3) 石川靖治・上村正人・米田裕樹・中川浩二：斬新な設計・施工のめがねトンネルで市街地に挑む，北九州市 下到津ランプ連絡道路トンネル，トンネルと地下，Vol.34，No.5，pp.35-44，2003.5
4) 例えば，高橋明生・木村文憲・本藤敦・櫻井孝臣：導坑も先進坑覆工もなしでめがねトンネルを施工，主要地方道茨木亀岡線 大門寺トンネル，トンネルと地下，Vol.36，No.2，pp.17-26，2005.2

P.A.ドミニコ，F.W.シュワルツ著

地下水の科学 各B5判 全3巻

地下水の科学研究会 大西 有三 監訳

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

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

＜第Ⅰ巻 主要目次＞

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

＜第Ⅱ巻 主要目次＞

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

＜第Ⅲ巻 主要目次＞

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

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



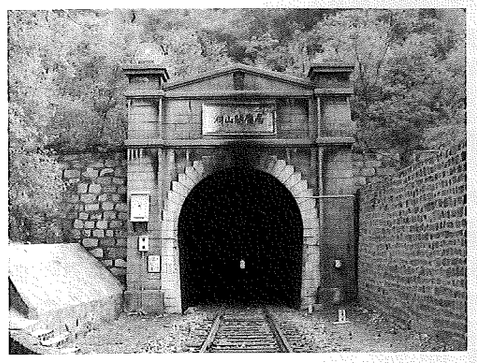
■トンネルの特徴

京張鉄路に建設された4か所のトンネルはすべて現存しているが，このうち五桂頭トンネルと石佛寺トンネルは，水害による路線変更などで1939年に廃線となった．

トンネルの坑門は同じデザインで統一されており，**写真-1**に示すように壁柱と迫石を備え，パラペットにギリシャ神殿を思わせる破風を載せた独特のもので，中央にトンネル名を示す「○○山洞」の扁額が掲げられている．同様の意匠は，日本の鉄道トンネルでもごく一部に見られるが，それほど一般的ではなく，どのような経緯でこのようなデザインが採用されたのかは興味深い点である．これは全くの想像であるが，詹天佑が学んだアメリカのどこかのトンネルにお手本があったのかもしれない．

トンネルの断面は，標準軌の鉄道だけあって当時の日本のトンネルに比べてひとまわり大きく，**図-1**に示すようにレール面から天端までの高さが18フィート(5,486㎜)，スプリングラインの幅が17フィート(5,182㎜)の単線断面であった．また，側壁は，わずかに「転び」があるものの，ほぼ垂直に仕上げられているのが特徴である．

トンネルの構造のうち側壁は，厚手の目地を用いた石積みによるもので，日本ではあまり見かけない乱積みを用いているのが特徴である(中国の石積み構造物には同様の手法がしばしば用いられる)．注目すべきは，アーチに煉瓦ではなく，コンクリートブロックまたは場所打ちコンクリートを使用した点で，1908年竣工という建設年を考慮すると，かなり早い時期にコンクリート材料を適用した構造物と言える．京張鉄路ではトンネルのみならずアーチ橋や橋梁下部構造などにもコンクリート材料が採用されたので，アメリカの土木技術に精通していた詹天佑が，この新材料の導入に積極的に取り組んだものと思われる．


写真-1 現在も使用されている居庸関トンネル

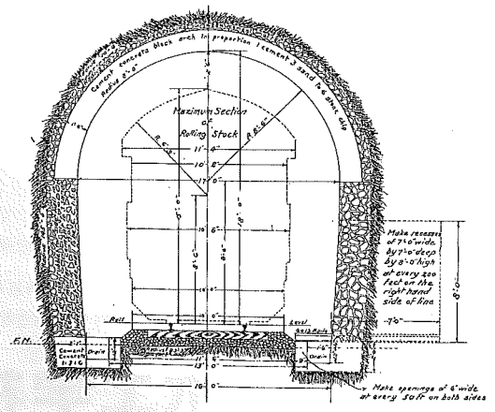


図-1 京張鉄路のトンネル断面

ちなみに，日本の鉄道構造物でコンクリート材料が全面的に採用されたのは山陰本線・島田川暗渠で，京張鉄路の建設とほぼ同じ1907年に完成しているが，径間わずか1.83mの小規模なカルバートに過ぎず，トンネルのアーチ部分にコンクリートを用いるのは1910年代になってからであった．

■日華事変の勃発と八達嶺トンネル

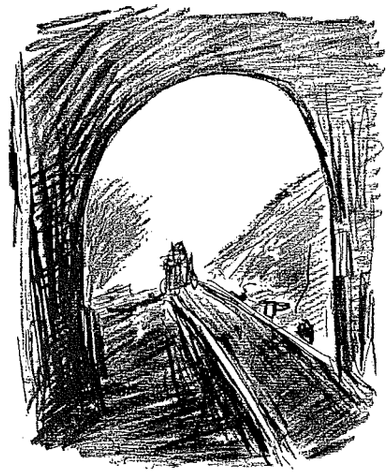
1937年7月7日の深夜，北京郊外の蘆溝橋で響いた銃声をきっかけとして日華事変が勃発し，戦火はたちまち中国全土に飛び火した．

同年8月12日に南口駅を占領した日本軍は，さらに北上し，8月22日から24日にかけて万里の長城を境とする長城線をめぐって日中両軍の間で攻防がくり返された．日本軍は，居庸関を占領してさらに八達嶺の最高点(標高1,390m)を奪取し，長城線を越えて8月24日には懐来平野へと侵攻した．そして張家口，沙城を制圧し，京張鉄路の沿線一帯は8月29日までに日本軍の支配下となった．

敗走する中国軍は，空爆を避けるために八達嶺トンネルの中に司令部を設けて抗戦したが，退却する際に日本軍の進撃を阻むため，トンネル内で大型蒸気機関車を正面衝突させ，進路を塞いだ．八達嶺トンネルの復旧は，鉄道第三大隊と南満洲鉄道から派遣された乗務員により行われ，1937年9月11日にようやく機関車の除去作業が完了した．

■尾崎士郎とトンネル

『人生劇場』などで知られる作家・尾崎士郎(1898～1964)は，日華事変の勃発とともに中央公論社の従軍作家として大陸に渡り，戦火の続く京張鉄路の様子を『八達嶺』『北支小感』『長城の半夜』『戦塵日記』などの作品に描いた．


図-2 尾崎士郎が描いた青竜橋のトンネル

1937年8月31日，徳田秋声，坪田穣治らの見送りを受けて東京駅を出発した尾崎は，下関から船で大連へと渡り，さらに天津を経由して北京に到着した．西直門駅(現・北京北駅)で軍用列車に乗りこんだ尾崎は，9月10～11日に八達嶺を訪れ，トンネルを塞いだ機関車などを取材した．

『長城の半夜』では，「私たちは水野隊長と吉田隊長の案内でトンネルの中へ入っていった．トンネルの入口に不発の手榴弾が山のようにつみかさねてある．(中略)トンネルの内部は百米ごとに線路が外づしてあり，その上を二両ずつの機関車を両方から急速力で運転させ，上へ持ちあげるように衝突させる．山洞の内壁が壊れているのもそのためである」と，当時の様子を生々しく記した．なお，戦場での写真撮影は禁止されていたため，尾崎士郎は青竜橋のトンネルなどを自らスケッチし(**図-2**)，のちに従軍記録を集成した『悲風千里』(中央公論社・1937)の扉絵に用いた．

尾崎の筆は，緒戦の勝利よりも，戦いで疲弊した兵士や，戦地に赴いた孫を案じる中国人老婆の表情などを淡々と描写しており，泥沼へと踏みこんだ日中戦争の末路を暗示するかのような内容となっている．今や観光名所として訪れる日本人も多い八達嶺であるが，この地をめぐって，かつて激戦が行われたことを忘れてはならない．

現場だより
平成19(2007)年

「必勝祈願と温泉の里」球磨村一勝地より

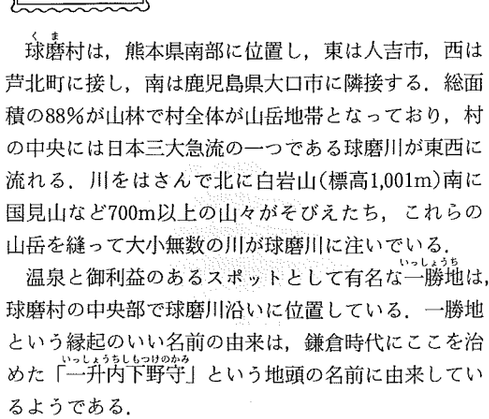
田　中　義　晴

球磨村は，熊本県南部に位置し，東は人吉市，西は芦北町に接し，南は鹿児島県大口市に隣接する．総面積の88%が山林で村全体が山岳地帯となっており，村の中央には日本三大急流の一つである球磨川が東西に流れる．川をはさんで北に白岩山(標高1,001m)南に国見山など700m以上の山々がそびえたち，これらの山岳を縫って大小無数の川が球磨川に注いでいる．

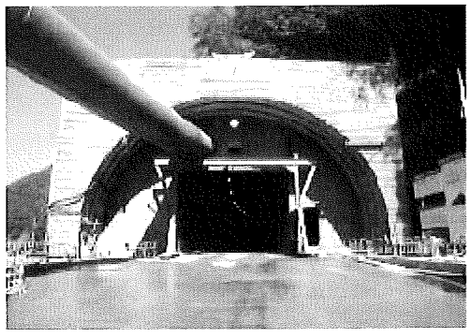
温泉と御利益のあるスポットとして有名な一勝地は，球磨村の中央部で球磨川沿いに位置している．一勝地という縁起のいい名前の由来は，鎌倉時代にここを治めた「一升内下野守」という地頭の名前に由来しているようである．

熊本の八代から人吉を通り鹿児島に至るJR肥薩線の沿線にある一勝地駅には，『足を地につけまず一勝』ということで受験やスポーツにも御利益があると評判のお守り型の入場券が発売されている．温泉は湯量豊富なアルカリ性天然温泉で，夏はアユ，冬はヤマメの塩焼きなど球磨川で捕れた天然の川魚料理を食べにくる観光客で賑わっている．

また，大瀬地区(トンネル貫通点)には，全延長約4,800mと日本でも有数な規模を誇る九州最大の鍾乳洞(球泉洞)がある．昭和48年に発見された球泉洞は，およそ３億年前，海中にあった石灰岩層が隆起してできたと推定されている．迷路のような洞内には，上へ下へ，右へ左へと歩道橋が走り，スリリングな洞窟探検が楽しめる．



位　置　図


トンネル坑口(球磨村産材のスギを使用)

さて，球泉洞トンネルは，球磨川沿いをはしる国道219号のバイパス工事の一部であり，熊本，宮崎，鹿児島を結ぶ幹線産業道路である．しかしながら，道路沿いの地形が急峻で，落石や土砂崩れなどの道路災害が数多く発生し，度重なる災害復旧工事や防災工事が行われてきたが，これらの問題を解決し，安心と安全を確保するため，本区間にトンネルを建設することとなった．

当トンネルは，延長L＝1,190mであり，地質は，砂岩と粘板岩の互層区間が570mと石灰岩区間が620mである．平成18年１月より着工開始し平成18年12月現在で約500mの掘削を完了した．想定外の破砕帯や多量湧水に悩まされたが，水抜きボーリングや，ジャンボを使用した削孔検層(DRISS)を導入し，切羽前方予測を行いながら安全に施工を進めている．

当現場では快適職場の取り組みにも力を入れており，快適職場推進大会会長賞を受賞した．物音による安眠障害防止対策として作業員寄宿舎における風呂，食堂，洗濯場の別棟化や，岩風呂の大浴場を設置した．文字通り『裸のつきあい』ができ，元請け・下請けの域を超えたコミュニケーションを図っている．

今後は，平成19年１月より覆工コンクリートも打設開始を行い，最盛期を迎える．発注者・関係各位の御指導のもと職員一丸となり，まずは無事貫通を目指して鋭意努力をしている．

(西松・味岡・舛本・佐藤建設工事共同企業体副所長)

施工

軟質砂岩層中に潜在する柱状低固結堆積物を探りつつ突破

—氷見高岡道路　氷見第１トンネル—

国土交通省北陸地方整備局富山河川国道事務所工務第二課長　宮　下　　孝
国土交通省北陸地方整備局富山河川国道事務所建設監督官　宮　川　　実
(株)奥村組東京支社土木部工事課長　後　藤　靖　彦
(株)奥村組技術研究所地盤グループグループ長　蛭　子　清　二

１　はじめに

能越自動車道は，石川県輪島市を起点として，富山県の七尾市，氷見市，高岡市，小矢部市を経由し砺波市に至る延長約100kmの自動車専用高規格幹線道路である．小矢部JCTで北陸自動車道，東海北陸自動車道に接続しており，本自動車道の整備によって，富山県北西部，能登地域と大都市圏との交流が深まり，富山，石川両県の発展に寄与することが期待されている．

氷見第１トンネルは，高岡北ICから氷見IC(仮称)の区間(氷見高岡道路)に位置する(図-1参照)．トンネルの最大土かぶりは78m，地質は新第三紀更新世～鮮新世の氷見累層頭川砂岩層である．この地層にはホタテの貝殻が多く含まれており，それらから溶出した炭酸塩鉱物が砂粒子同士を膠着して固結度を高め，切羽が自立すると予想されていた．

工事着手後，坑口の一部に補助工法を追加したものの，それ以降の区間では切羽が自立し当初の標準支保パターンで掘削は順調に進んだ．しかし，TD113m位置の上半切羽掘削時に前兆なしに右肩部から土砂が流出し，その上方の土かぶり約30mの地表が直径約10mにわたって陥没した．このため，その後の未掘削区間における低固結部を正確に予測し適切な対策を施すことがきわめて重要になった．

本稿では，削孔検層を中心に据えた詳細な切羽前方調査を掘削作業のサイクルに組み込み，柱状

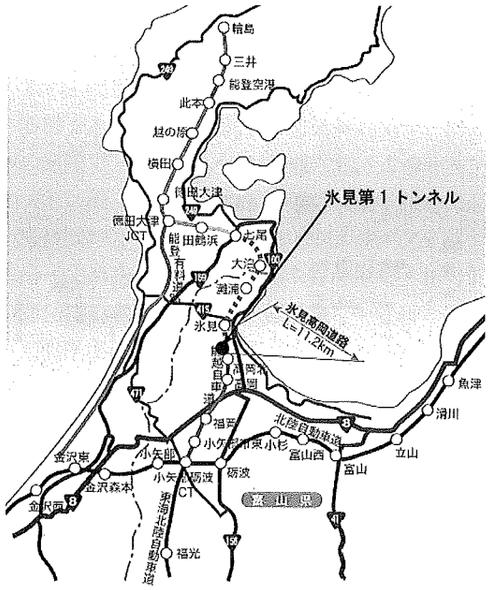


図-1　氷見第１トンネルの位置

低固結部が潜在する特殊地質条件下のトンネルを掘進した結果について報告する．

2　工事概要

2-1　工事概要

工事概要を以下に列挙する．

工事名称：氷見第１トンネル工事
発注者：国土交通省北陸地方整備局富山河川国道事務所
工事場所：富山県高岡市五十里地先内
工　　期：平成17年３月17日～平成18年12月20日
施工者：(株)奥村組
工事内容：トンネル延長　750m
掘削工法　山岳トンネル工法，上半先進ショートベンチカット
掘削方式　機械掘削
掘削断面積　90～94m²

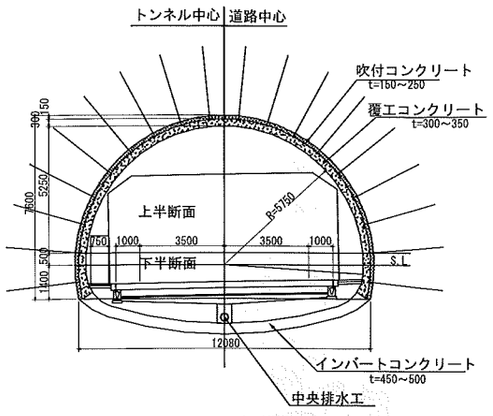


図-2　標準断面

トンネルの標準断面を図-2に示す．当初の支保設計は全線がDパターンであり，土かぶりの小さな入口側坑口部に補強盛土と長尺鋼管フォアパイリング，出口側坑口部にフォアポーリングが補助工法として計画されていた．

2-2　地形・地質概要

トンネルのルートは北西～南東方向に伸びる尾根に斜交しており，平面線形は全線が半径1,000mの曲線，縦断線形は入口側坑口から出口側坑口に向かって上り３％の勾配である．

トンネルの周辺には新生代新第三紀鮮新世～第四紀更新世の氷見累層頭川砂岩層が分布する．地層は比較的一定した方向性(走向：南北～北北西，傾斜：10°程度の東～東北東傾斜)を示しており，ほぼ均一な単斜構造が推察された．砂岩層は主に細砂から形成されており，一部に円形や角形状の細礫も混じる．この地層には二枚貝(ホタテ貝)などの生物遺骸が豊富にあり，それから供給された炭酸塩が砂粒子間を充填・膠着して固結度が高められている点が大きな特徴である．

ボーリング調査結果などから，図-3に示すように，砂岩層はその層相によってHs1～Hs6の６層に区分される．それらのうち，トンネル切羽に出現するのはHs2，Hs3，Hs4の３層である．その中でもHs2層は，炭酸塩が溶脱して固結度が低下していること，また，トンネル中央～終点側に至る長区間にわたって切羽天端位置に出現すると予

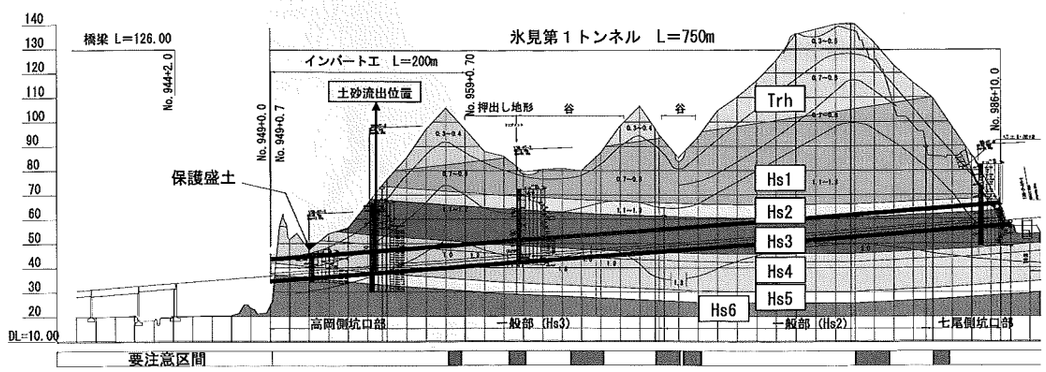


図-3　地質縦断図

想され，もっとも危険視されていた．一方，地下水位はトンネル計画底面以深にあるので，地下水に伴われる切羽の流動化の心配はないと判断されていた．

3　土砂流出の経緯

3-1　前　日

TD112m地点の掘削が完了し，写真-1に示すように切羽は安定していた．近くのA計測結果によると，内空変位，天端沈下ともに５㎜程度と小さく，変状の前兆現象は見られていない．ただし，TD111m位置までの切羽面は全面が灰白色であるのに対し，TD112m位置の切羽右上部にはそれまで見られなかった黒色部分が現れていた．

3-2　当　日

TD113mの切羽掘削時に上半右肩部より土砂が坑内に流出した．土砂の流出速度は緩慢であり，

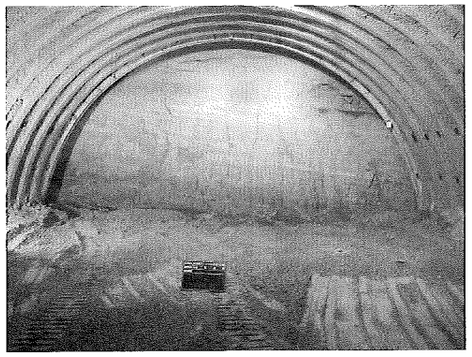


写真-1　変状直前の切羽

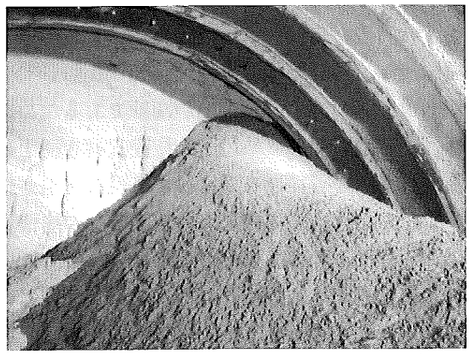


写真-2　変状直後の切羽

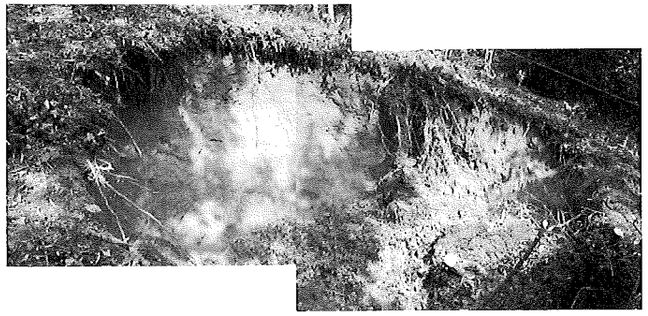


写真-3　地表の陥没

写真-2に示すように，流出土砂は一定の安息角で堆積した．同時に，写真-3に示すように，土かぶり約30mの地表において，直径約10mの円形の陥没が生じた．

4　土砂流出の原因の推定

4-1　背景となる地質状況

トンネル周辺地域の砂岩層には，地層中に貝殻などの生物遺骸が多く含まれている．一般に，貝殻片などの化石は方解石やアラレ石などの炭酸塩鉱物から形成されていることが多い．この地域では，貝殻片から溶出した炭酸塩が続成作用の過程で再結晶して方解石となり，土粒子間を充填・膠結するセメント物質の役割を果たし，固結度の高い地山が形成されていたと考えられる．

4-2　柱状低固結部の形成過程

断層である可能性が高いと考えられるが，何らかの原因でリニアメントが形成され，このリニアメントに沿って地表水や地下水の流動が生じた．一様に固結していた地層であるが，リニアメントに沿って溶出しやすい部分(均質な中でも相対的に固結度の低いところ)から貝殻片や膠着物質である炭酸塩鉱物が溶出する．土粒子間の空隙の増加とその膠着力の低下が生じ，空隙を含む低固結砂地山の形成，さらには小規模な空洞が形成される．この過程を図-4,5(1)に示す．

次に，空洞に連絡する水みちに沿った地下水の流動が加速され，炭酸塩鉱物の溶出速度が増し，空洞上部地山の不安定化・崩落が生じ，空洞が上方に向かって拡大する(図-5(2)参照)．

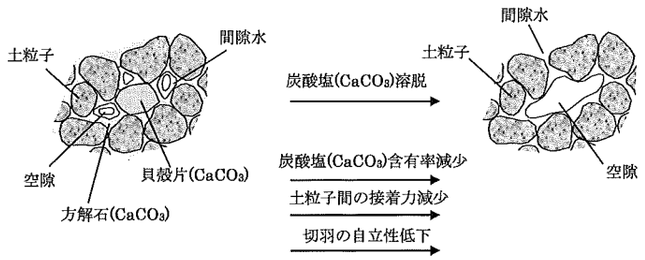


図-4　炭酸塩溶脱による地山の劣化モデル

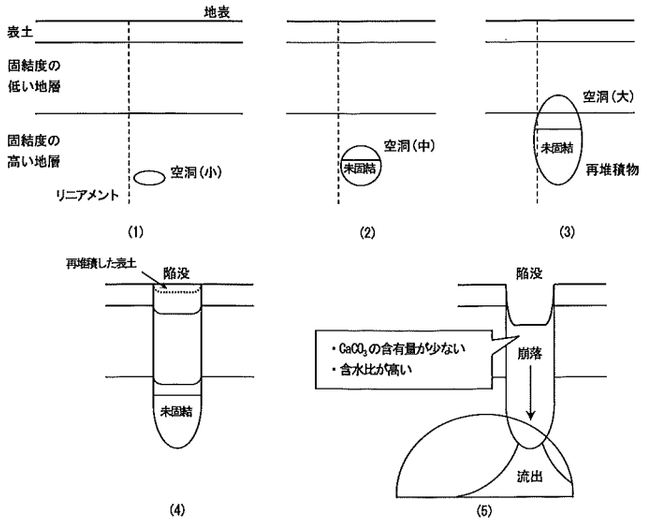


図-5　崩落メカニズムの推定

上部の比較的固結度の低い地層にまで崩落が進展し，空洞がさらに上方へと拡大する．空洞の底部には上方の地山から崩落した固結度の低い土砂がルーズな状態で再堆積している(図-5(3)参照)．

空洞が地表近くまで拡大し，表土が空洞内に落ち込み，地表には小規模な陥没が形成される．その後，陥没跡に新たな表土がかぶさり，現状の地形が形成されたと考えられる(図-5(4)参照)．

4-3　土砂流出・陥没に至るメカニズム

リニアメントに沿って柱状の空洞が形成され，その中には上方から崩落した土砂が自立できない固結度の低い状態で再堆積していたと考えられる．トンネル掘削によってこの空洞の底部に穴が開き，低固結土砂がトンネル内に流出した．柱状の空洞内を流下する土砂重量とトンネル内に堆積した流出土砂の押さえ盛土としての抵抗力がバランスするまで，土砂流出と地表の陥没が続いた(図-5(5)

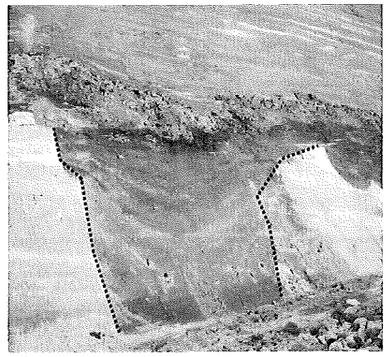


写真-4　出口側坑口付近切土斜面に認められた柱状低固結部

参照)．

土砂流出が生じたときの切羽位置は，地表の沢地形を通るリニアメントとトンネルルートの交点に一致しており，事前弾性波探査の低速度帯が検出されていた位置に近い．また，トンネルルート周辺の切土斜面においても，写真-4に示す柱状低固結部が現れている．このような情報をもとにして，上述した柱状低固結部の形成過程を推定してみた．

5　対　策　工

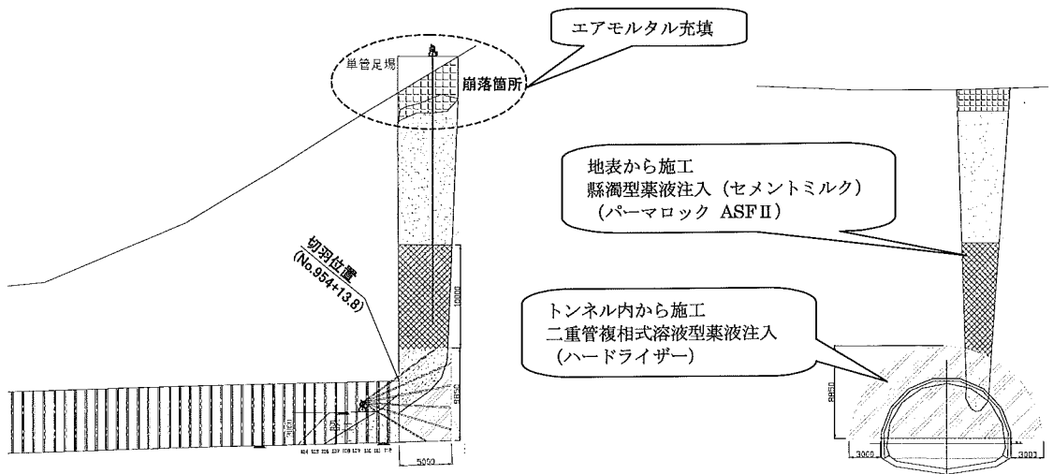
トンネル内に堆積した土砂は，柱状空洞内の崩落の進行を押さえる盛土相当分を残して撤去した．その後，以下に示す坑内外からの対策工を順に行った．

5-1　地山改良

切羽の周辺と空洞内には図-6に示す薬液注入工法を適用し，地山の強度の向上を図った．

切羽周辺への注入は，地山が細砂であるため，浸透性を重視して無機系の溶液型注入材を使用し，さらに，注入の確実性を期待して二重管複相方式を採用した．次に，その上方の空洞内部の崩積土砂に対しては，耐久性を重視してセメントミルクを地表から注入した．注入の範囲は，切羽周辺溶液型注入の上方10mである．

地表面の陥没部分には，雨水の流入およびそれ



(1)　縦断図　　(2)　横断図

図-6　地山改良工の概要

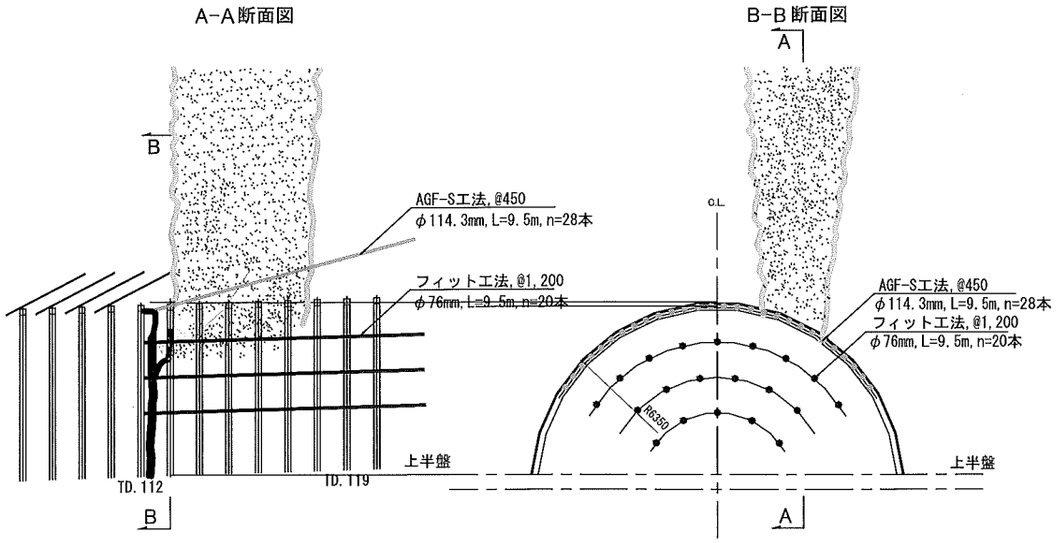


図-7　切羽安定化対策工の概要

に伴う地山の風化防止と地形を原形に復旧するために，エアモルタルを充填した．

5-2　切羽安定化対策

土砂流出から掘削再開までに約1か月が経過しており，トンネルおよび空洞周辺の地山に緩みが進展している恐れがあった．また，薬液注入工により切羽周辺地山の改良を図ったが，例えば，一体化された柱状低固結部と周囲地山の縁が切れてトンネルに大きな鉛直荷重が作用する危険性も無視できないと考えた．

このため，再掘削に際しては，切羽の安定化を目的に，長尺鋼管フォアパイリング工法を適用するとともに長尺鏡ボルトも併用した．それらの概要を図-7に示す．

6　切羽前方の低固結部の予測と対策

切羽が進行し対策を行わずに低固結部に遭遇す

ると前兆なしに土砂流出が生じること，また，写真-4に示したように，出口側坑口にまで柱状低固結部の出現が示唆されたことから，未掘削区間全線にわたる切羽前方調査を行うことにした．

6-1　地山試料試験

流出土砂の地山試料試験を行い，切羽前方調査から見つけなければならない低固結部の地山物性を把握した．自立土の結果と対比して試験結果を表-1に示す．この表から，低固結部の地山は，周囲の固結土と比較して，次のような点において明白な違いが認められた．

- 自然含水比が大きい
- 礫分含有率と均等係数が小さい
- 酸化カルシウム含有量が小さい
- pHが小さい
- 土の色が茶褐色である

これらの相違点は，前述した炭酸塩鉱物の溶出による固結度の低下や空洞内における上部地山の崩積と再堆積のメカニズムに整合するものである．

一方，比抵抗や弾性波速度に関しては，流出土と自立土に明白な違いが認められなかった．このことは，広域の弾性波探査や電気探査を行っても柱状低固結部の検出が難しいことを示しており，

コアボーリングや地山試料試験レベルの精査が必要であると考えた．そこで，以下に述べる調査を順次に行い低固結部の予想精度を高める方針とした．

表-1　流出土の地山試料試験結果

項　目	TD113		測定方法など
	自立土	流出土	
土粒子密度(g/cm³)	2.667	2.666	JIS A 1202
自然含水比(%)	10.6 8.4	35.8 34.0	上段：JIS A 1203 下段：JGS 0122-2000
礫分含有率(%) (2～75㎜)	31.8	1.4	JIS A 1204
砂分含有率(%) (75μm～2㎜)	60.7	89.4	
細粒分含有率(%) (75μm未満)	7.5	9.2	
均等係数	9.25	2.95	
湿潤密度(g/cm³)	1.71	1.79	
乾燥密度(g/cm³)	1.577	1.333	含水比と湿潤密度から算出
最大乾燥密度(g/cm³)	1.420	1.271	JIS A 1224
最小乾燥密度(g/cm³)	1.120	0.977	
相対密度(g/cm³)	1.371	1.154	
酸化カルシウム含有量(%)	15	0.39	酸分解後原子吸光法
粘着力(kN/m²)	－	1.12	JGS 0521(UU)
内部摩擦角(°)	－	1.9	
比抵抗(Ωm)	63	67	
弾性波伝播速度(m/s) [密度(g/cm³)]	213～687*1 [1.440～1.842]	248*2 [1.696]	＊1：ボーリングコア ＊2：試験体作成
pH	11.15	7.22	試料に精製水を加えた懸濁液
土の色	白色	茶褐色	

6-2　要注意区間の設定

地形図，航空写真を再解析し，リニアメントの可能性のあるものをすべて抽出した．それらの中から，トンネルルート上の沢地形に位置するものを選び，「要注意区間」を設定した．要注意区間を図-3に併記して示す．これらの区間ではより詳細な切羽前方調査を行った．

6-3　削孔検層，オーガドリルによる無水削孔

土砂流出が生じたTD113m以降の全線にわたって，切羽から削岩機を用いて削孔検層を行った．

調査本数は1切羽あたり最大6本(要注意区間)，削孔長さは24m(5mラップ)である．また，検層の精度を上げるため，削孔は削岩機の打撃を止めて回転圧を一定に保った状態で行った．削孔検層から，クリ粉の色の観察と削孔速度を測定し，低固結

表-2　削孔速度による管理基準の設定

管理レベル	削孔速度 V_d(㎜/s)	対　応
Ⅰ	$V_d<35$	通常施工
Ⅱ	$35\leqq V_d<50$	観測体制を強化して施工
Ⅲ	$50\leqq V_d<100$	切羽停止，詳細調査実施，対策工検討・実施
Ⅳ	$100<V_d$	切羽緊急停止，対策工検討・実施

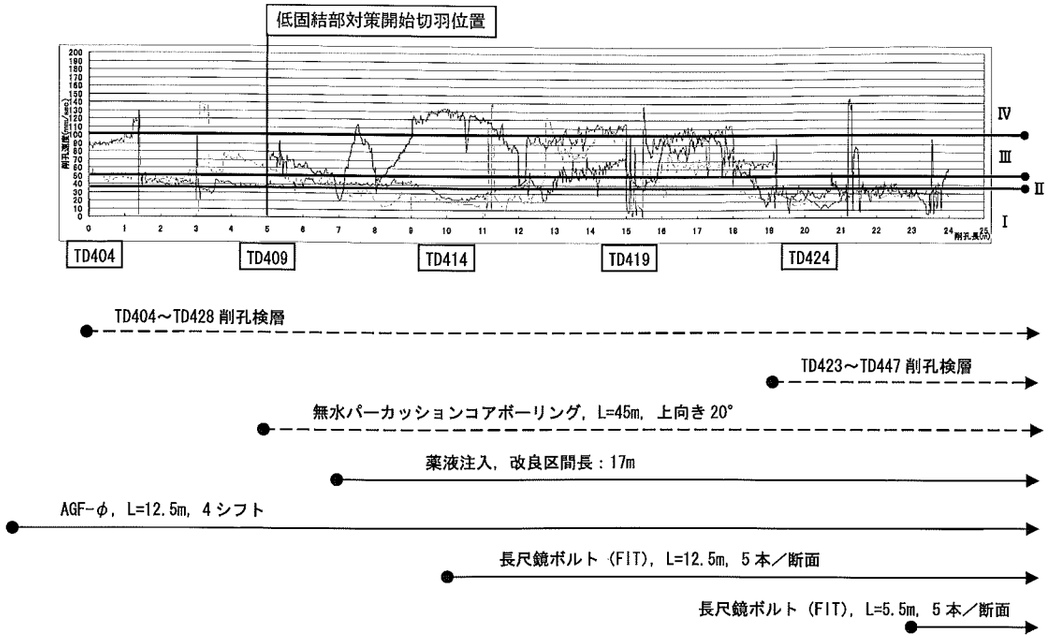


図-8　削孔検層による低固結部の検出と対策

部出現の可能性を判定した．削孔速度から設定した管理基準を表-2に示す．

掘削断面内に行う削孔検層だけでは，トンネルのすぐ近くに隠れている低固結部を見逃す可能性がある．そこで，切羽外周から斜め前方45°方向にオーガドリルによる無水削孔を行い，掘削断面近くの地山試料を採取した．削孔長は4m，1切羽あたり3本で2切羽ごとに行い，切羽外周から約2.8m範囲までを調査した．採取した地山試料の色の観察，含水比とpHの測定を行い，切羽近くに潜在する低固結部の有無を判断した．

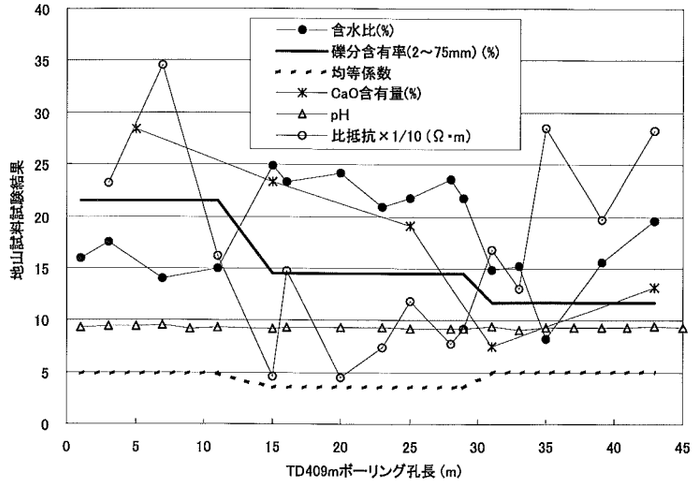


図-9　TD409ボーリングの地山試料試験結果

6-4　無水パーカッションコアボーリング

削孔検層によって切羽前方の柱状低固結部が予想される場合には，これを貫通するように，切羽から無水パーカッションコアボーリングを行った．ボーリングマシンを切羽に設置し，ダブルコアチューブ方式でケーシングを打撃のみによって加圧挿入し，乱さない地山試料を採取する．内側のコアチューブは耐熱性のある透明ポリカーボネイトパイプ(外径：66㎜，肉厚：8㎜)である．

地山試料試験の結果から，低固結部であることの確認と範囲の特定を行い，対策工の仕様と開始位置を決めた．

6-5 柱状低固結部の検出と対策

TD404mから行った削孔検層の記録を図-8に示す．TD411m以降に管理レベルⅣの削孔速度を上回る区間が一定長さ現れた．そこで，前述の管理手順に従いTD409mで切羽を停止し，切羽から無水パーカッションコアボーリング(上向き20°，延長45m)を行い地山試料を採取した．ボーリング孔に沿った地山試料試験結果の変化を図-9に示す．ボーリングの中央部に含水比上昇区間，均等係数低下区間が現れ，また，礫分含有率や酸化カルシウム含有率はボーリング孔奥に向かって低下している．これらの情報を表-1に示した流出土の地山試料試験結果と照らし合わせ，TD415～TD428mの区間にTD113mの場合と類似した柱状低固結部が潜在すると判定した．

対策工の開始位置と範囲を図-8に併記した．TD409m切羽から薬液注入を行い，柱状低固結部の地山を改良した．その後，長尺鋼管フォアパイリングと長尺鏡ボルトを併用して切羽の安定化を図り，この区間を無事に通過することができた．

7 おわりに

事前の地質調査資料や近隣トンネルの施工記録によると，氷見第1トンネル周辺の砂質地山には一定の固結度を期待でき，切羽は自立すると予想されていた．しかし，砂粒子同士を膠着していた炭酸塩鉱物の溶出などを主な原因として，柱状の低固結部がトンネルルート上に潜在していた．この位置に切羽が到達したとき，前兆現象なしにトンネル内への土砂流出と地表までの崩落・陥没が生じた．

流出土砂の調査結果から，切羽前方に潜在する低固結部を検出するためには，地山試料試験レベルの高い調査精度が必要になった．そのため，まず概査の位置づけで削岩機を用いた全線の削孔検層を行い，精査が必要な区間を絞り込んだ．精査区間では，無水パーカッションコアボーリングを行い，地山試料の採取と試験を行い，低固結部の検出とその3次元的な構造を把握することにした．このような概査，精査を行うためには，切羽作業を停止しなければならない長時間の調査が必要になる．しかし，それらの調査時間を掘削の作業サイクルに組み込むことによって，調査精度の向上が実現した．その結果，切羽前方の柱状低固結部の検出と合理的な事前対策を講じることができた．

一方，当初から相対的に固結度が低くてトンネル天端位置に長区間出現すると予想されていたHs2層については，炭酸塩鉱物の溶出が柱状低固結部ほどには顕著ではないため，周囲の地層との性状の差異が明白ではなかった．そこで，調査は柱状低固結部と同じ考え方で行い，判定指標をより細かく設定して対処することにした．さらに，判定指標の中でも，削孔速度，含水比，地山の色の重みを大きくした．このような対応から，TD567m以降に固結の程度が低いHs2層を検出することができ，柱状低固結部の場合よりも軽い対策工で切り抜けることができた．

氷見第1トンネルは平成18年6月20日に無事上半の貫通を迎えた．今回遭遇した砂質地山内の柱状低固結部に対する調査と対策の経験が，類似条件下のトンネル工事の参考になれば幸いである．

きみも金鉱を発見できる
金鉱の有望地域と探し方
理学博士 石井康夫著 新書判202頁 本体定価980円（〒210円）
株式会社 土木工学社 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888（代） 振替 00110-8-190072

施工

地下40mの単線シールド間に曲線パイプルーフでポンプ室を構築

—東京メトロ副都心線 高田A線工区—

東京地下鉄(株)建設部早稲田工事事務所所長 辻 雅行
東京地下鉄(株)建設部早稲田工事事務所技術課長 村松 泰
(株)熊谷組首都圏支店13号線西早稲田作業所長 梶山雅生
(株)熊谷組首都圏支店13号線西早稲田作業所副所長 岩崎 肇

1 はじめに

東京メトロでは，地下鉄13号線池袋～渋谷間8.9kmの路線名を副都心線と決定し，現在建設中である．このうち，雑司が谷駅と西早稲田駅を結ぶ駅間トンネルは，単線用シールドトンネルを並列に施工する．

当該区間は，都道明治通り下に位置しており，道路下にある，東電洞導，NTTとう道など，大型埋設物を避けるためトンネルの土かぶりは大きく，また，中間地点で河川(神田川)を横断する．このため，トンネルは中間地点付近が最深部となることから，トンネル排水設備としてのポンプ室を設置する必要がある．

中間ポンプ室設置の工法選定にあたっては，計画箇所が交通量の激しい都道部交差点直下であること，地下部に大型埋設物が輻輳すること，床付け深度が約40mと大深度であること，かつ，地下水圧が高いことなどを勘案し，地表からの開削工事を避け，シールドトンネル内からの曲がり鋼管先行支保工(PSS-Arch工法)による非開削工法を採用することとした．同工法は山岳トンネル工事での実績があり，その技術的優位性が証明されているが，都市地盤を対象とする地下鉄建設現場での適用は今回が初めてとなる．

このため，都市地盤への適用性を確認するため計測管理を実施し，設計の妥当性と本工法の安全性について検証した．

本稿は，ポンプ室工事の概要を述べ，工事に伴うシールドトンネルへの影響を把握し，工事の安全性が確認できたことにより，PSS-Arch工法による非開削工法の妥当性を報告するものである．

2 工事概要

2-1 現場位置

副都心線は東京メトロ有楽町線新線池袋駅を起点とし，区道グリーン大通りに入り，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-1参照)．そのうち，高田A線工区(図-1矢印線)は，雑司が谷駅と西早稲田駅間に位置している．この区間のトンネルは，延長1,245m，セグメント外径6,600㎜の単線シールドを並列で施工する．また，道路下にある，東電洞導，NTTとう道など，大型埋設物を避けるため(図-2)，トンネル縦断線形はV字型となり，

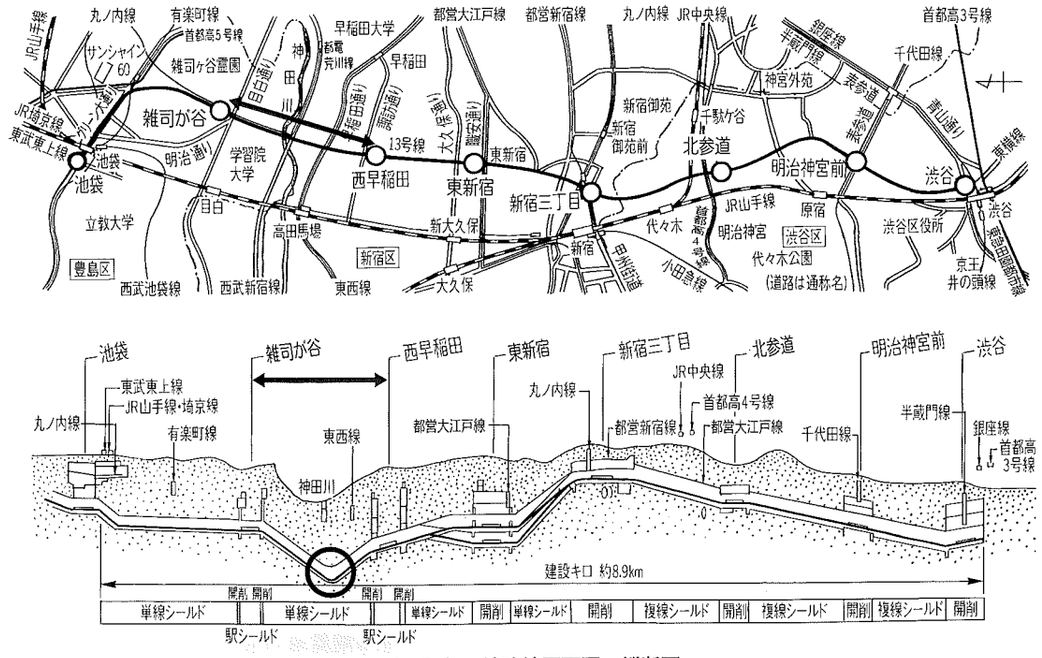


図-1　副都心線路線平面図・縦断図

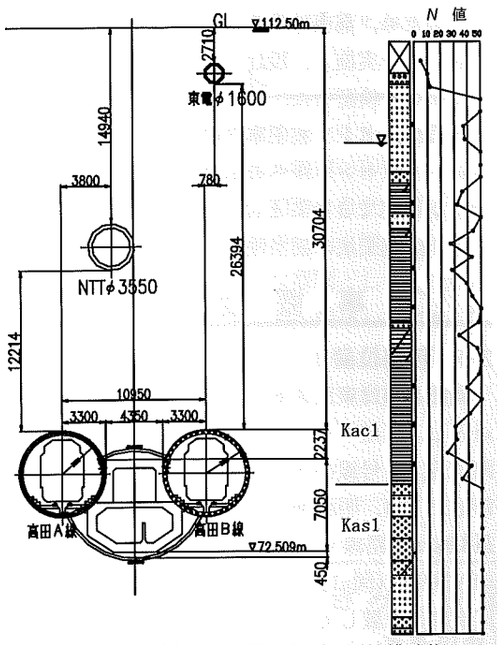


図-2　ポンプ室周辺土質ならびに近接構造物

区間中間部付近がトンネル最深部(図-1丸印)となっている.

ポンプ室が設置される箇所は，都道明治通りの地下約33mの土かぶりがあり，非常に交通量の多い交差点付近に位置している．また，地中では，上部にNTTとう道や東電シールドが線路方向に併走していることから，地表からの開削工事は回避して非開削工法によるポンプ室築造となった.

表-1　地質物性値

項　目	単　位	上総層粘性土(Kacl)	上総層砂質土(Kasl)
N　値	—	30～50	50以上
単位体積重量	kN/m³	17	18
粘　着　力	kN/m²	260	0
内部摩擦角	度	0	42
変形係数	kN/m²	54,400	75,300
透水係数	cm/sec	—	1×10^{-3}

2-2　地質概要

中間ポンプ室施工箇所の地質は，上部に上総層粘性土(Kac1)の非常に硬い粘土地盤があり，下部は上総層砂質土(Kas1)でN値50以上の均一な砂地盤となっており，非常に豊富な地下水は掘削底版で約0.32MPaと高被圧された状況が確認されている(図-2参照)．各地層の物性値を表-1に示す.

3　中間ポンプ室の施工方法

3-1　施工法の選定

中間ポンプ室施工に先立ち当該工区地質条件・施工条件などを整理したところ，以下の課題が抽出された.

① 高被圧水下にあるため，底盤部の盤膨れ，噴砂などの発生が危惧される.

② 掘削坑内は狭小状態のため，施工性低下に伴う工程遅延を避け，短期間での施工が可能であること.

③ ポンプ室周辺は重要インフラ施設が近接しているため，高い安全性を確保すること.

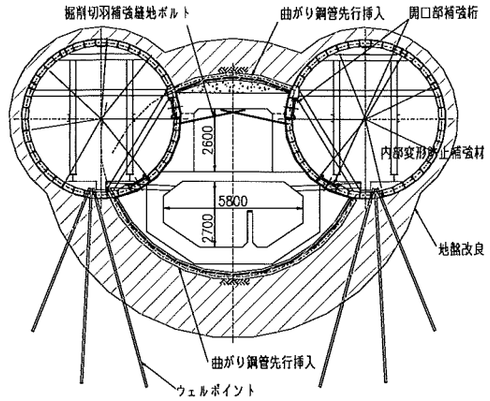


図-3　中間ポンプ室構造断面図

これらの課題に対する解決策は，以下のとおりであった.

3-2　課題に対する解決策

① 高被圧地下水対策として，セグメント背面全周にわたる地盤改良を行うとともに，シールドトンネル内にはウエルポイントによる地下水位低下工法を施工する.

② ポンプ室上部ならびに下部の土留め支保工は，曲がり鋼管先行支保工を採用することにより，掘削坑内の支保工受け材が省略され，飛躍的な施工性の向上が図れる.

③ 中間ポンプ室縦断方向の棲部は，複数の縫い地ボルトで地盤を補強することにより，地盤変状の安定を図る.

④ シールドトンネル内は，鉛直・水平方向の補強材による変形防止を施し，施工時の安全性を向上させる.

以上の検討結果を反映させて中間ポンプ室の構造断面を図-3に示すとおりとし，また，施工方法は図-4に示す手順とした.

4　曲がり鋼管の施工方法

4-1　曲がり鋼管(PSS-Arch工法)の採用[2)]

本工事に採用する曲がり鋼管は金沢外環状道路の涌波トンネルで実績のあるPSS-Arch工法を基

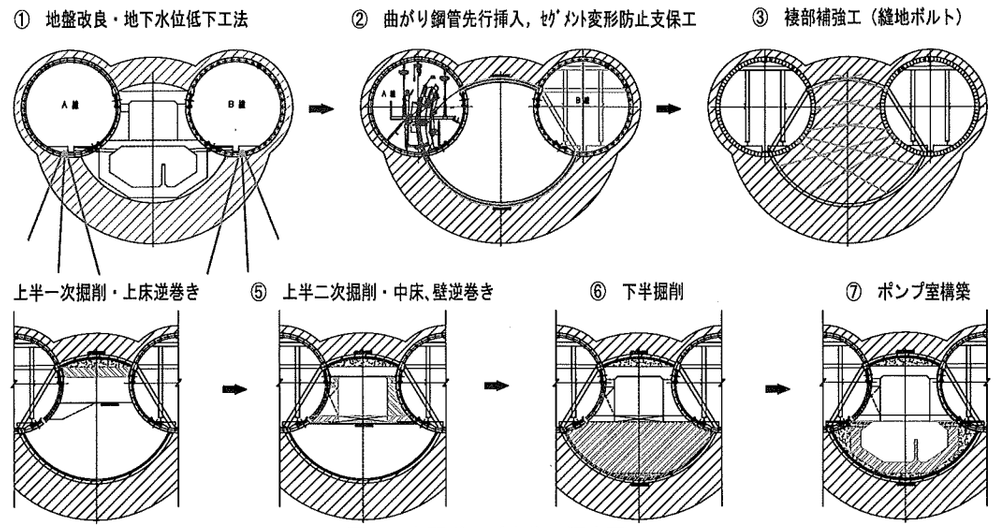


図-4　中間ポンプ室施工順序図

本とした．PSS-Arch工法は，曲線ボーリングを用いて曲がり鋼管を地山に挿入設置していく工法で，先行施工した単線シールドトンネル内から事前にトンネル支保工を設置することができる．また，鋼管を用いて薬液注入を行うことにより，注入式長尺先受け工と同程度以上の地盤改良が可能である．さらに，鋼管内をモルタル充填することにより，剛性の非常に高いトンネル支保工を掘削作業前のはるか先方に連続して設置することができる．本工法の特徴は，あらかじめ設置された曲がり鋼管の支保工内を掘削するので，地山の先行変位の抑制効果が大きく，周辺地山への影響を減少させることができる．また，切羽崩落を防止するため支保工の剛性を確保することにより高い安全性が確保できる．

涌波トンネルの工法概念図を**図-5**に，PSS-Arch工法を採用した場合の中間ポンプ室の概念図を**図-6**に示す．

4-2　施工手順

単線シールドトンネル内からのPSS-Arch工法の施工手順を**図-7**に示す．

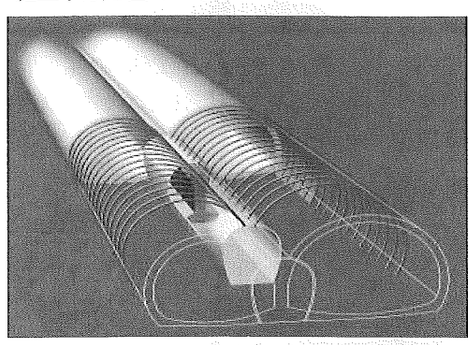


図-5　涌波トンネルPSS-Arch工法概念図

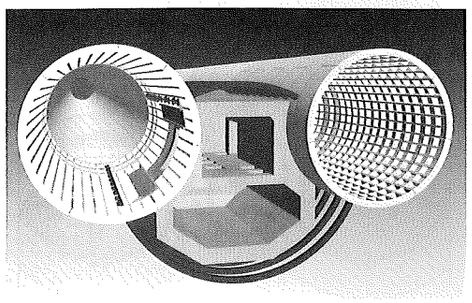


図-6　副都心線中間ポンプ室PSS-Arch工法概念図

①　推進機を所定の位置に据え付け，先頭管（角型鋼管（□-250×250×9））をセットする．

②　円弧状のガイドレール（曲線半径5,500㎜）に沿って推進させ，所定の長さまで挿入する．

③　２本目の曲がり鋼管（l=1,900㎜）をセットし，先頭管の端部と溶接接合で一体化し，②と同様に推進を行う（３本目以降，相手方のトンネルに到達するまで同作業のくり返し）．

4-3　試験施工の実施

涌波トンネルに採用された，曲線鋼管（円形）の掘削機構は，「先端に取り付けた刃口とウォータージェット（以下，WJ）および圧縮空気の併用で，刃口を圧入させながら掘削を行う非回転式方法」であり，泥水の排出は中央の排泥管（内管）からバキュームポンプにより吸引するものであった（**写真-1**）．

しかし，粘性土への適用を考えるうえで，WJの圧力，ノズル形状を変化させた試験を行い掘削状況を比較した結果，**写真-2**に示す装置を製作した．本装置はノズルを一列に配置したバーをスイングさせることで角型断面が均一に切削可能となる．

この装置を用いて下向きの推進試験を実施した．平均掘進速度は2.5cm/分を要し，推進力は最大

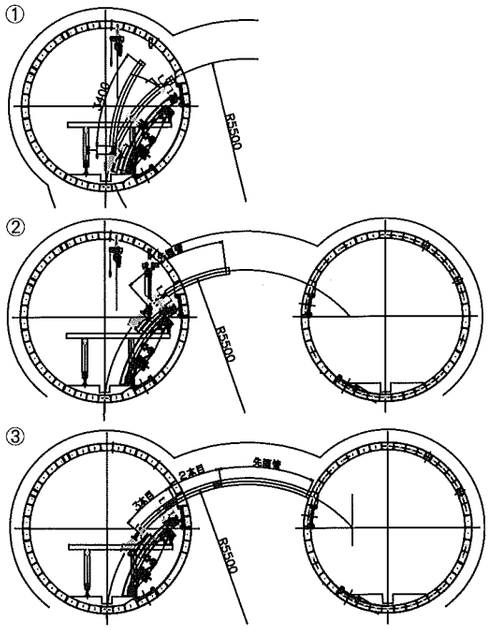


図-7　曲がり鋼管設置概念図

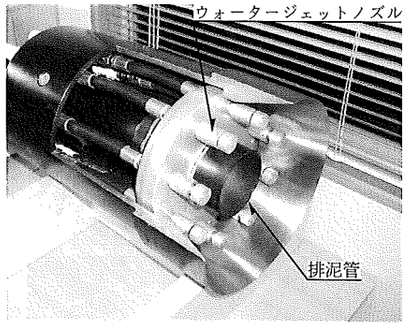
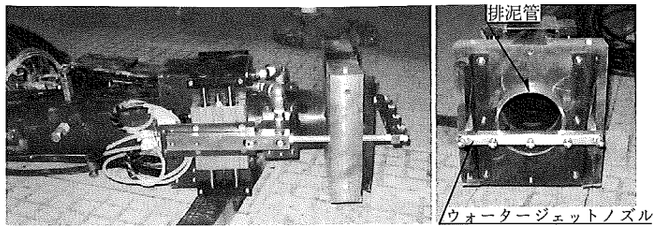


写真-1　掘削機構



（側面）　（正面）

写真-2　スイング式ノズル装置

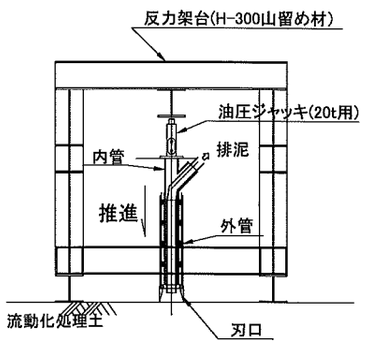


図-8　推進試験装置

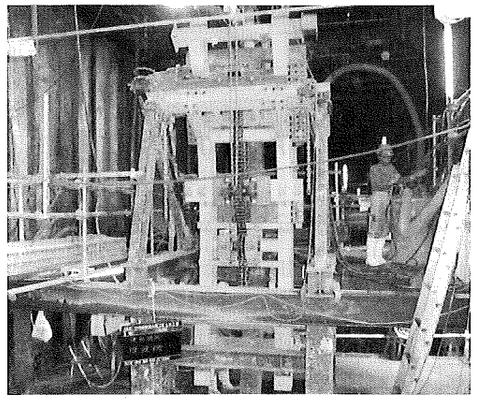


写真-3　試験状況

で約2.4kNであった．試験概要図および試験状況を**図-8**，**写真-3**に示す．

また，本施工に先立ち曲がり鋼管を用いて下向きの推進試験を実施した．曲がり鋼管の全長は12.84mであり，L=2.0mのピース部材，計７本を接合して推進を行った．平均掘進速度は1.4cm/分となり，前述の試験結果に比べて約６割程度となった．とくに掘進の向きが上向きとなったときに掘進速度の低下が顕著であった（**図-9**）．

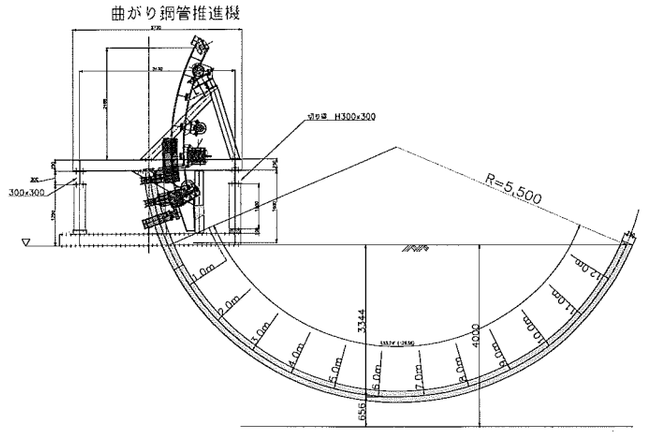


図-9　曲がり鋼管推進試験概要図

到達地点での施工精度としては，全掘進長に対して延長方向に約 1/60，左方向に約 1/35程度生じた．延長方向にズレが生じた原因としては，推進力のベクトルと曲線形に沿って随時変化する先端部のベクトルに差異が常に生じているものと考えられた．また，左右方向は，推進機に曲がり鋼管をセットする際の精度に大きく起因しており，鋼管とのズレを抑制することにより施工精度の向上が図れるものと判断した．

5　曲がり鋼管の本工事への適用

5-1　推進機の概要

推進機の主な仕様は下記のとおりである．

推進管サイズ：□-250×250×9
推進曲管半径：5.50m
推　進　力：80kN（Max）
駆　動　源：油圧モーター　最高使用圧力28MPa

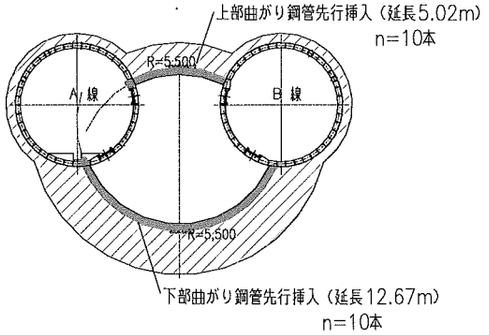


図-10　鋼管支保工配置図

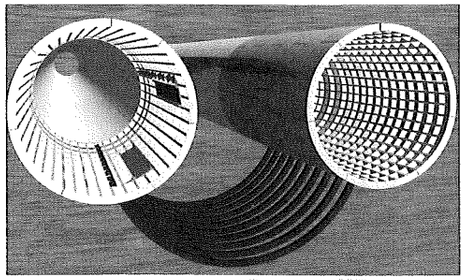


図-11　曲がり鋼管支保工設置イメージ

スイング式ノズル：噴射角65°のWJノズル6個配置，噴射圧力は25～30MPa

バキューム：吸引能力20m³/分(200V，45kW)，ホース口径は4″

5-2　曲がり鋼管支保工の配置

標準断面図を図-10に示す．曲がり鋼管支保は上部(L=5.02m)，下部(L=12.67m)各10本が1.20mピッチで配置され，施工はすべてA線側から行う．施工結果概念図を図-11に示す．

5-3　施工結果

5-3-1　上部の施工

上部の地質は粘性土のため，WJによる掘削によって土粒子が溶け出してくるイメージを持って臨んだが，実際には最大10cm程度の塊状で剝離してきた．そのため，その塊がバキューム吸引口(内管の先端部)に詰まってしまい，排泥不能という事態が頻繁に起こった．上部施工の平均掘進速度としては1.1cm/分(Max2.0cm/分)という結果であった．

5-3-2　下部の施工(写真-4)

下部の地質はN値50以上の良く締まった砂層で

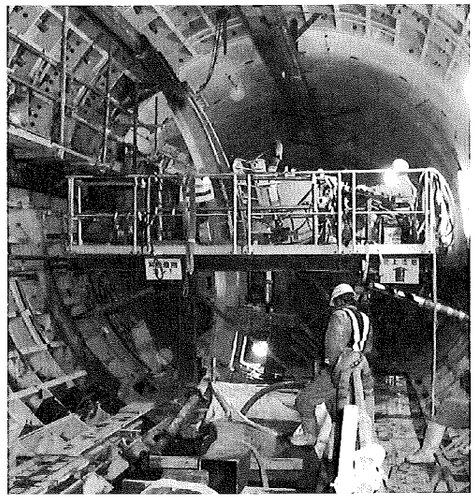


写真-4　下部施工状況写真

表-2　曲がり鋼管上部施工結果(到達位置精度)

番号	長さ(mm)	左右方向のずれ(mm)	精　度	上下方向のずれ(mm)	精　度
U-1	5,020			15	1/335
U-2	5,020	3	1/1,673	20	1/251
U-3	5,020	47	1/107	5	1/1,004
U-4	5,020	3	1/1,673	25	1/201
U-5	5,020	47	1/107	−30	−1/167
U-6	5,020	53	1/95	−15	−1/335
U-7	5,020	3	1/1,673	5	1/1,004
U-8	5,020	3	1/1,673	−35	−1/143
U-9	5,020	3	1/1,673	60	1/84
U-10	5,020			−20	−1/251

ある．しかし掘進区間のなかでも堅さにばらつきがあり，場所によっては圧力30MPaのWJによっても，崩すことが困難な状況となった．とくに堅固な砂層はスイング式ノズルから刃先付きの先端装置(固定ノズル12個)に交換して掘進を行った．下部施工の平均掘進速度は1.6cm/分であった．

5-3-3　施工精度

施工精度の計測は下部の曲がり鋼管のうち1本について行った．本施工では曲がり鋼管の先端が相手方トンネルのセグメントに到達した時点で完了となる．したがって，施工中に先端装置に傾斜計を取り付けて，曲線状の掘進軌跡を1.0mごとに計測することにした．その結果，到達部での掘

進方向の誤差は全掘進長に対して約1/250であり，左右方向については，掘削時に検証した結果，3本は1/100程度の精度であったが，そのほかは非常に高い精度の施工となり，試験施工時に比べると表-2に示すとおり精度は大幅に向上した．

また，曲がり鋼管支保の設置後，鋼管と地山との間にCB注入を実施し，鋼管内部にはモルタルを充填して支保工の剛性を高めた．

6　情報化施工

6-1　計測概要

掘削時の安全性を確認するために，

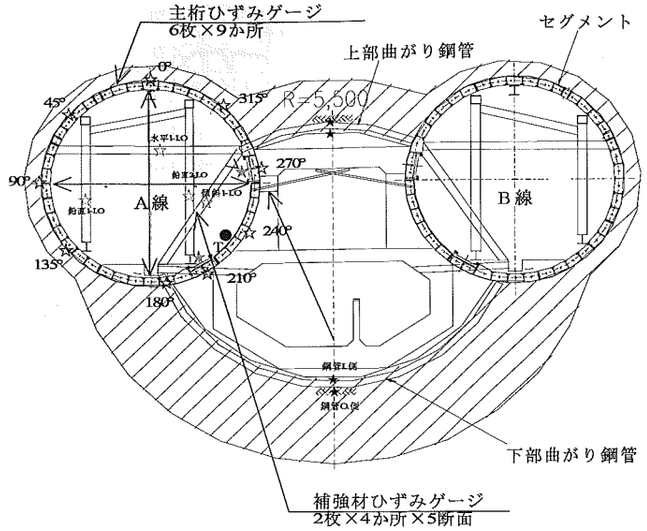


図-12　計測器配置図

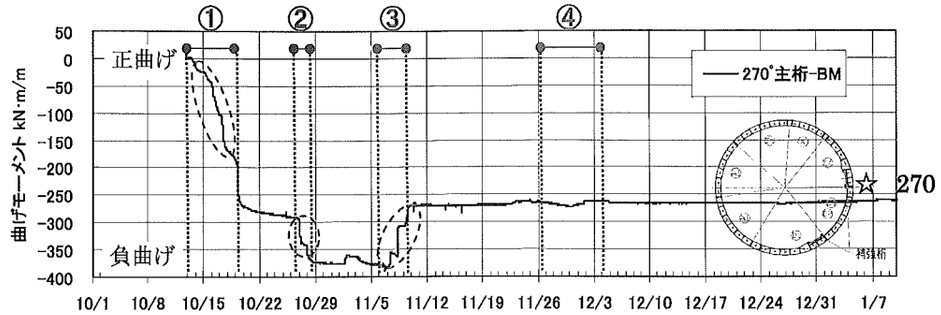


図-13　モーメント経時変化図

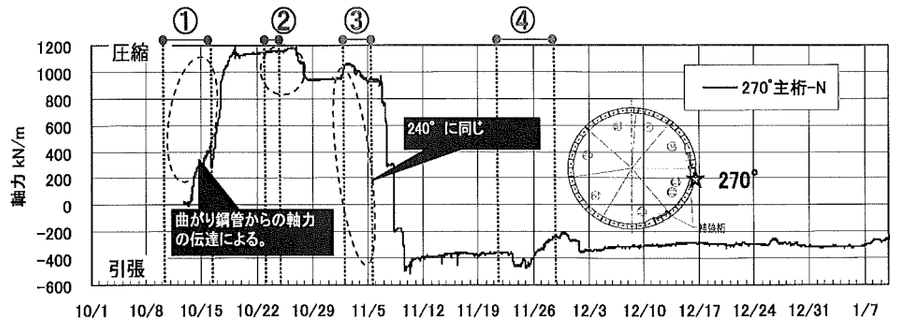


図-15　軸力経時変化図

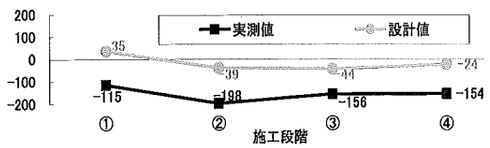


図-14　モーメント実測値と設計値の比較図

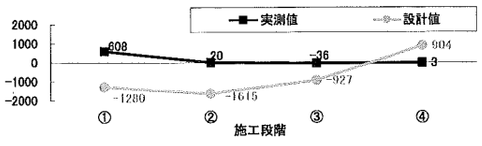
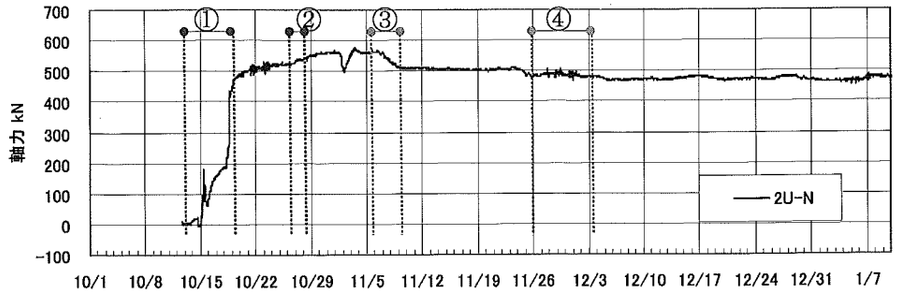
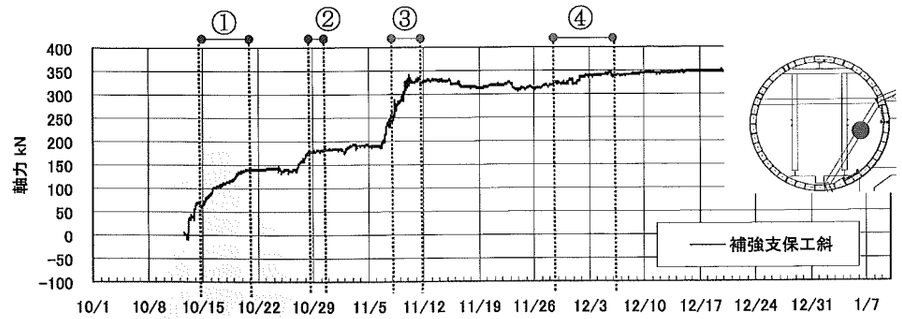


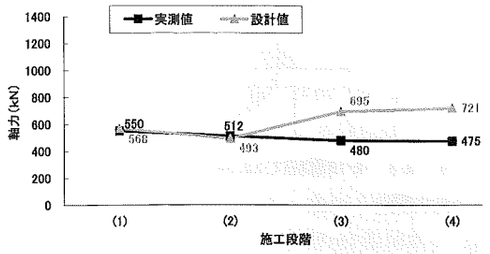
図-16　軸力実測値と設計値の比較図



図−17　曲がり鋼管軸力経時変化図



図−19　変形防止材軸力経時変化図



図−18　曲がり鋼管軸力実測値と設計値の比較図

シールド本体に取り付けた計測機器ならびに掘削時の土留め支保工材に作用する外荷重(土水圧)，また，曲がり鋼管を介してセグメント本体ならびにシールドトンネル変形防止鋼材への応力伝達を把握することによって，施工の安全性とPSS-Arch工法の都市地盤に対応する確実性を実証する目的として，計測管理による情報化施工を行った．図−12に計測器配置を示す．

6−2　計測結果

6−2−1　セグメントの挙動

セグメント計測は，掘削の影響をもっとも受けやすいセグメント270°の位置に着目して，断面力の変化について追跡した．その結果，曲げモーメントは，設計値を上回った実測値となっているが，設計値と実測値はモード的に近似した状況であった．図−13にセグメント270°の位置で発生したモーメント経時変化図を，図−14にモーメントの実測値と設計値の比較図を示す．

また，セグメントに発生した軸力は，設計値と比較して小さな値となった．このことは，掘削による影響が局所的であったものと考えられる．図−15にセグメント270°の位置で発生した軸力経時変化図を，図−16に軸力の実測値と設計値の比較図を示す．

6−2−2　曲がり鋼管の挙動

掘削初期段階の上半掘削において，軸圧縮力が増加した．上床逆巻きスラブを施工するまでは軸力が緩やかに上昇していく状況が計測された(図−17)．また，実測値と設計値は図−18に示すとおりおおむね近似していることから．本設計で採用したFEM解析手法の妥当性が確認できた．

6−2−3　変形防止材(内部支保工)の挙動

曲がり鋼管に作用する軸力は，変形防止材である内部支保工の斜材に伝達されていく状況が図−19に示すとおり計測された．この発生応力は本設計で算定された解析値におおむね近似していることから，本設計で採用したFEM解析手法の妥当性が確認できた．

7　おわりに

副都心線内で唯一の中間ポンプ室を非開削工法で施工するにあたり，今回初めてPSS-Arch工法を都市部の地下鉄工事に採用し，試験施工を踏まえた本施工によって，これまでの施工実績になかったPSS-Arch工法の「粘性土への適用」，「角型断面への適用」，「下向き施工への適用」を実証することができた．

また，情報化施工により，掘削施工中の挙動として，曲がり鋼管からセグメントおよび内部支保工への力の伝達と，逆巻き工法によるセグメントの変形抑止効果が確認され，本仮設構造および構築手順は妥当であったと判断された．さらに，設計値と実測値を比較することにより，仮設材の掘削初期段階の断面力の変化傾向はおおむね再現できていることで，設計で採用した逐次掘削解析の妥当性がある程度認められる結果となった．

同工法は，非開削工法を安全で効率的に施工するためのものであり，ほかへの応用が非常に期待される工法であると考えている．

最後に，本施工結果をもとに更なる検証を行い，解析の精度を高めることによって，より合理的な設計が可能となり，都市部において地下空間開発技術の向上に貢献できるものと考える．

参考文献

1) 岡田龍二・小山浩史：総重量5,000tfの地下鉄丸の内線を受ける，地下鉄13号線　新宿三丁目駅，トンネルと地下，Vol.36，No.9，pp.67−75，2005.9.
2) 高橋裕之・宮田正弘・原守哉・稲田正毅・松本壮太郎：曲線鋼管を用いた先行アーチ支保工によるめがねトンネルの施工，土木学会トンネル工学研究論文・報告集，Vol.13，pp.231−236，2003.

【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

A 5判　上製本　475頁　価格 6,300円　〒340円

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

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

現場だより

平成19(2007)年

「鳥海山のふもと」由利本庄より

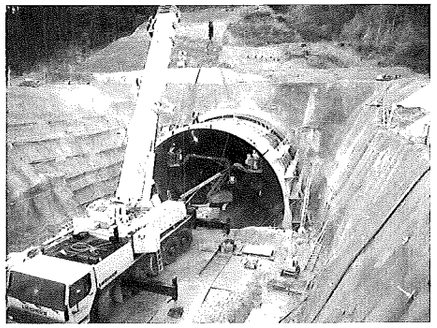
黒川　進

孔雀館(くじゃくだて)トンネルのある由利本荘市は，平成17(2005)年３月に，本荘市，大内町，東由利町，鳥海町，由利町，岩城町，矢島町と合併した．本市は南に標高2,236mの秀峰鳥海山，東に出羽丘陵，中央を１級河川子吉川が日本海にそそぎ，鳥海山と出羽丘陵に接する山間地帯，子吉川流域地帯，日本海に面した海岸平野地帯からなる自然豊かな地域である．

南にある象潟は，奥の細道にあるように元禄２(1689)年６月16日に芭蕉が訪ねている景勝の地である．また，元禄時代は松島のような島が点在する湾であり九十九島と呼ばれていたようで，文化元年(1804)の鳥海山麓を震源地とする象潟地震により約1.8～2.7mも隆起し，海は田畑と化してしまった．この象潟は鳥海山の岩屑なだれにより形成されたもので，流れ山だけが海面から顔を出したため象潟の多島海的風景ができたようで，鳥海山によって造変させられた地域のようである．

本トンネルは，由利本庄市のなかでも旧西目町の潟保(かたは)に位置し，潟保の館，通称「孔雀館」と称された城跡公園となっている下をほぼ北東から南西に貫いている．この孔雀館については公園の看板には「館跡は，周囲およそ20町余りあり．山河の剣に守られ本丸，二の丸，出丸あり，本丸を頭とし二つの丸を嘴とし，南北の山は左右の両翼となり，西由利原の山脈をその尾となりて，その形状孔雀の如し，故に名付くと言う」と，その優美な地形に由来することが記されている．

海岸線は現場から西へ2.5km程度と近く，沖で取れる鰰(はたはた)を塩魚汁鍋にしてよく食べる．焼いても淡白な味が大変美味しい魚である．その生態は不明な点が多く，漁獲量の激減から漁獲制限が行われたが近年回復傾向にあり，現在美味しい鰰が食べられることに感謝である．また，近くには「かしわ温泉」もあり地元の方々の憩いの場所となっている．



トンネル坑口状況

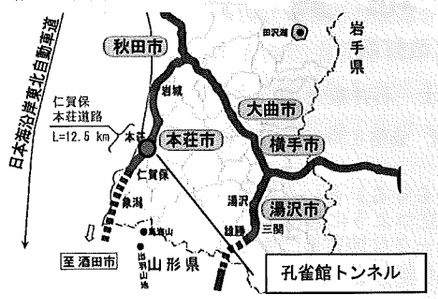
また，秋田は美酒大国であり，「由利正宗」をはじめ酒蔵が多く，食べてよし飲んでよしの地域である．

これら水質良い場所に囲まれ，本現場の付近を流れる西目川には，ヤマメに始まり上流にはイワナやカジカが棲息し，中下流にはハヤ，コイ，フナ，水路にはゲンジボタルや環境省の絶滅危惧IB類・秋田県の絶滅危惧IA類のホトケドジョウが棲息している．このような恵み豊かな河川環境を守るために，工事に伴う環境への影響にはとくに注意した濁水処理を行っている．

本トンネルは，日本海沿岸東北自動車道の一部として，国道７号の交通混雑緩和，災害時の代替路確保としての機能とともに，高速ネットワークとして地域の活性化や交流・連携に寄与する自動車専用道路として整備する延長12.5kmの仁賀保本荘道に建設される出戸・西目・孔雀館トンネルのトンネル群の一つである．

地質は，第四期更新世西目層の細粒～中粒砂岩が主体で全体的に弱固結・低強度の地山であるため，鏡補強工など補助工法を適用しながら無事貫通した．現在は覆工作業中である．今後も，発注者，関係機関のご指導と地元関係者のご理解を賜りながら，竣工に向けて鋭意奮闘する所存である．

(東急建設(株)孔雀館トンネル作業所長)



位置図

研究

鉄道トンネルの維持管理の考え方

(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部トンネル研究室室長　小島芳之
(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員　新井泰
(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員　岡野法之

1 はじめに

鉄道の安全・安定輸送にとって，トンネルをはじめとした土木構造物を供用期間中にわたっていかにして健全な状態に維持管理するかは，非常に重要な課題である．

この課題に古くから直面してきた旧国鉄では，昭和49年に「土木建造物の取替標準(土木建造物取替の考え方)」[1]を策定し，その考え方にもとづいて維持管理の体制を整えてきた．昭和62年の国鉄民営分割化後も，JR各社などではこの考え方に沿って維持管理がなされてきた．

平成11年に生じた鉄道トンネルの覆工コンクリート片はく落事故[2]を契機として，鉄道トンネルのみならずあらゆる土木構造物の維持管理のあり方が広く議論され，さまざまな技術開発や方策が具体化されつつある．鉄道トンネルでは，はく落事故の教訓を踏まえて「トンネル保守管理マニュアル」[3]が平成12年２月に旧運輸省により作成され鉄道事業者に通達された．その概要については，本誌でも紹介[4]したとおりである．

一方，平成11年12月，運輸技術審議会鉄道部会の「技術基準検討会中間とりまとめ」において，鉄道施設の安全性，安定性を確保するため，技術基準には定期的な機能確認のための規定を置く必要があることが指摘された．また，平成13年12月には，「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」が制定され，鉄道の技術基準を性能規定化することが示された．

このような背景から，鉄道総合技術研究所は国土交通省鉄道局から鉄道施設の維持管理のあり方をとりまとめた解釈基準(「鉄道構造物等維持管理標準」(以下，「維持管理標準」という))の原案作成を委託された．そこで，「鉄道土木構造物の維持管理に関する研究委員会」(委員長：岡田勝也・国士舘大学教授，トンネル分科会主査：朝倉俊弘・京都大学教授)を設置し，この委員会のもとで平成12年度から延べ６年間にわたる調査研究を行い，維持管理標準の原案をとりまとめた．これを受けて国土交通省は，平成19年１月に維持管理標準を鉄道事業者に通達した．同時に，維持管理標準に解説を加えて「鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)」をコンクリート構造，鋼・合成構造，基礎・抗土圧構造，土構造，トンネルの各構造物ごとに発刊した[5]．

本稿では，維持管理標準の概要を示したうえで，「鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)トンネル」[6](以下「維持管理標準トンネル編」という)の内容について紹介する．

2 維持管理標準の概要

2-1 作成方針

維持管理標準の作成にあたり，次のような基本方針を設けた．すなわち，1)列車運行と旅客公衆の安全性を確保するための性能照査型の体系を構築する，2)幅広い技術レベルからなるすべての鉄道事業者に適用できる体系とする，3)すべての構造物に共通する体系とする，4)これまで実施され

てきた維持管理体系を大きくは変更しない．

この方針のもとで，①検査区分，②検査周期，③検査員，④調査項目と方法，⑤健全度判定，⑥措置，⑦記録，の考え方と方法を整理した．

トンネルについては，上記の基本方針のもとで，「トンネル保守管理マニュアル」の考え方を基本に置きつつより現実的な体系とすること，山岳トンネル，都市トンネルを問わずすべての鉄道トンネルで適用できる内容とすることに配慮した．

2-2　全体構成

維持管理標準の目次構成を**図-1**に示す．1章と2章で，標準の適用範囲，用語の定義と維持管理の原則，維持管理計画，構造物の要求性能，検査の区分と時期，検査員，調査，変状原因の推定および変状の予測，性能の確認および健全度の判定，措置，記録の各々に対する基本的な考え方が示されている．3章以降では，その考え方にもとづいた各検査，措置，記録の具体的なあり方が示されている．

1章	総　　則	適用範囲，用語の定義
2章	維持管理の基本	維持管理の原則，維持管理計画，構造物の要求性能，検査の区分と時期，検査員，調査，変状原因の推定および変状の予測，性能の確認および健全度の判定，措置，記録
3章	初回検査	調査，健全度の判定
4章	全般検査	全般検査の区分，通常全般検査，特別全般検査
5章	個別検査	調査，変状原因の推定，変状の予測，性能項目の照査，健全度の判定
6章	随時検査	調査，健全度の判定
7章	措　　置	監視，補修・補強，使用制限，改築・取替，措置後の取扱
8章	記　　録	記録の項目，記録の保存

図-1　維持管理標準の目次構成

3　維持管理標準トンネル編の概要

3-1　適用範囲

維持管理標準トンネル編は，鉄道トンネルについて，維持管理標準に解説を加えて実務者向けに出版したものである．

維持管理標準トンネル編の適用範囲は，鉄道トンネル(構築した空間を列車が通過するトンネル)の覆工(く体(インバートも含む))のすべてとなっている．したがって，山岳，シールド，開削の各工法の石・れんが・コンクリートブロック積み，無筋・鉄筋コンクリート，セグメントと多岐にわたる材料・構造からなる覆工(く体)を対象としている．

なお，覆い工(緩衝工，落石覆いなど)についても，はく落に関する安全性の項目はトンネル編を準用することができ，また，鉄道を横断するトンネルでも検査や措置など参考にできる部分はトンネル編を参考にすることができる．

3-2　既往の指針類との関係

ここでは，鉄道トンネルの維持管理に関する指針類の変遷を簡単に示し，維持管理標準トンネル編とこれらの指針類との関係を整理する．

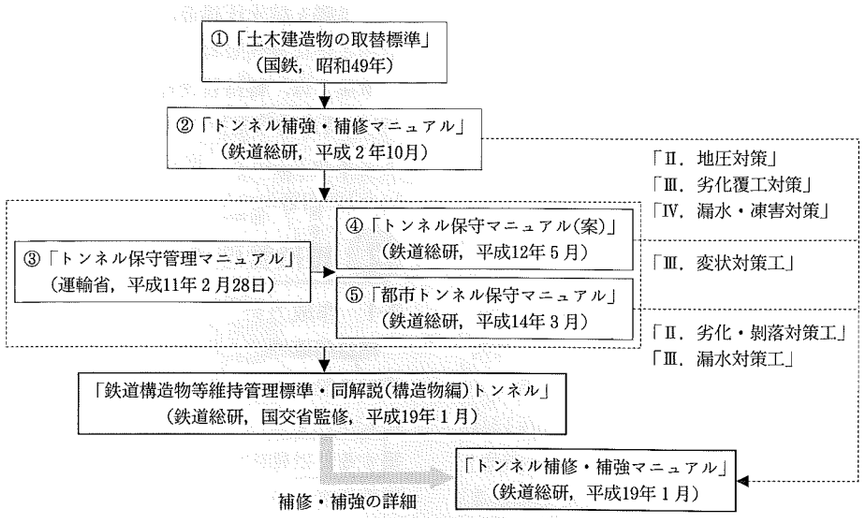


図-2　鉄道トンネルの維持管理に関する指針類の変遷

図-2に指針類の変遷を示す．前述のように，国鉄では，昭和49年に，①「土木建造物の取替標準(土木建造物取替の考え方)」[1]を制定し，わが国で初めて土木構造物の保守体系が確立された．国鉄では①が長く適用されてきた．民営化後，鉄道総研がJR各社の要請により取替標準を補完するものとして，②「トンネル補強・補修マニュアル」[7](平成2年10月)を作成し，各社の実務に供した．その後，平成11年のはく落事故を受けて旧運輸省により，③「トンネル保守管理マニュアル」[2](平成11年2月28日)がすべての鉄道事業者に通達された．これを受けて鉄道総研では，④「トンネル保守マニュアル(案)」[8](平成12年5月，③の内容を補足)，さらに，地下鉄事業者などの要請により⑤「都市トンネル保守マニュアル」[9](平成14年3月)を相次いで作成し，実務に供した．

維持管理標準トンネル編は，これらの指針類①～⑤の内容を踏まえて作成したものであり，いわばこれらの改訂版と位置づけられるものである．以下，内容について具体的に説明する．

4　維持管理の基本

4-1　維持管理の体系

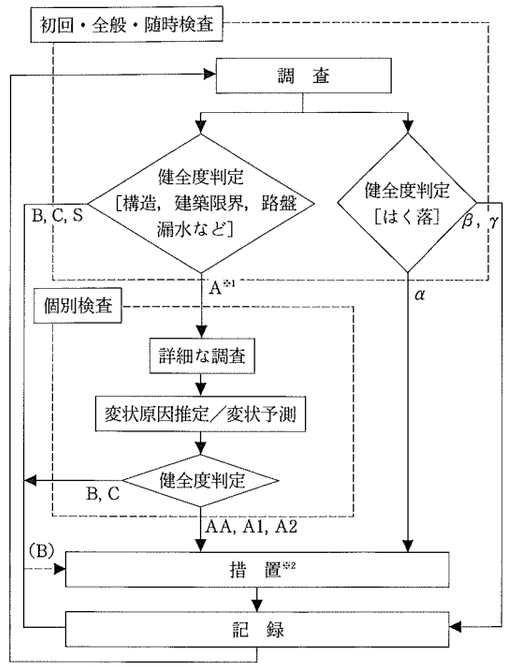
図-3に，トンネルにおける維持管理の全体の流れを示す．

基本的には「トンネル保守管理マニュアル」と同様であり，左側の流れは構造物共通のもの，右側の流れはトンネル特有のものである．

4-2　維持管理の性能規定化

維持管理標準では，構造物に要求される性能を定め，検査対象となる構造物が所要の性能を有するか否かを確認することを基本としている．この基本的な考え方は，**図-4**に示すとおりである．すなわち，調査によって得られた情報をもとに，各性能項目の照査(目視や打音調査による定性的な評価も照査と見なしている)を行い，各照査結果を総合してその構造物の性能を確認することで健全度を判定する，というものである．この方法は，今まで行ってきた健全度判定の流れと同様である．

維持管理標準では，構造物の要求性能を，安全性(構造物が使用者や周辺の人の生命を脅かさないための性能)，使用性(構造物の使用者や周辺の人に不快感を与えないための性能および構造物に



※1 AAの場合は緊急に措置を講じたうえで個別検査を行う
※2 αの場合は劣化・はく落対策工などの補修・補強が必要

図-3　トンネルにおける維持管理の手順

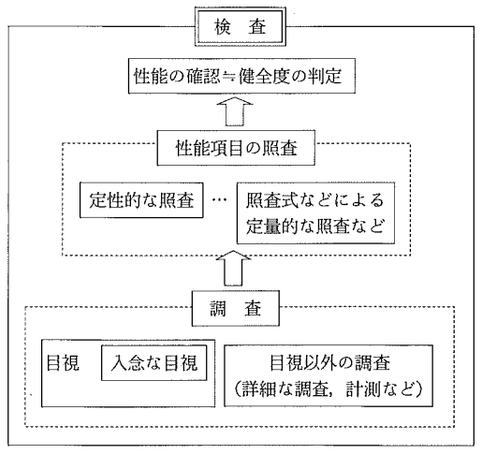


図-4　検査における性能の確認の位置づけ

表-1　トンネルにおける要求性能項目

要求性能	性能項目	具体的な内容
安全性	①トンネル構造の安定性	トンネルが崩壊しないこと
	②建築限界と覆工との離隔	建築限界を支障しないこと
	③路盤部の安定性	列車の安全な運行に支障するような路盤の隆起・沈下・移動が生じないこと
	④はく落に対する安全性	列車の安全な運行に支障するようなコンクリート片，補修材などのはく落が生じないこと
	⑤漏水・凍結に対する安全性	列車の安全な運行に支障するような漏水，凍結が生じないこと
使用性	⑥漏水・凍結に対する使用性	漏水・凍結が坑内設備の機能に影響を及ぼさないこと
	⑦表面の汚れ	検査に著しく支障するような汚れがないこと
	⑧周辺環境に与える影響	周辺環境に有害な影響を与えないこと
復旧性	⑨災害時などの復旧性	復旧対策が必要となるような災害時の作用を受けた場合でもトンネルが崩壊せず性能回復が容易なこと

要求される諸機能に対する性能)，復旧性(構造物の機能を使用可能な状態に保つあるいは短期間で回復可能な状態に留めるための性能)に分類した．そして，構造物の要求性能として，安全性を設定し，使用性と復旧性については必要に応じて適宜設定することとしている．トンネルにおける要求性能と性能項目は，**表-1** に示すとおりであり，この中で安全性に関する①～⑤の性能項目に対する考え方について整理した．

5 検　　査

5-1　検査の種類と特徴

検査の種類は，**図-5** に示すように初回検査，全般検査，個別検査，随時検査に区分され，全般検査はさらに通常全般検査と特別全般検査に区分されている．

トンネルの全般検査の検査周期については，従来どおり，通常全般検査が2年，特別全般検査が新幹線トンネルで10年，新幹線以外のトンネルで20年である(**図-6**)．

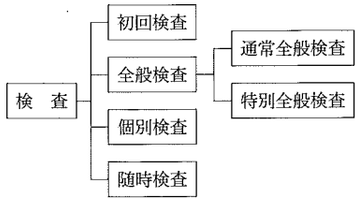


図-5　検査の区分

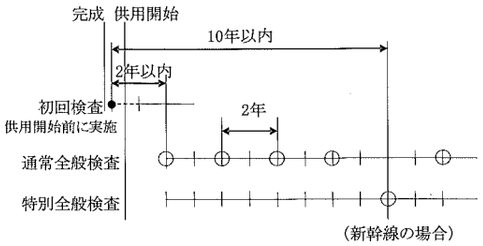


図-6　検査周期の例

トンネル以外のコンクリート構造物，基礎構造物および鋼・合成構造物では，特別全般検査を行ったうえで構造物が良好な状況にあることを確認し，ある一定の条件を満たせば通常全般検査の周期を延伸することができるが，トンネルの場合は覆工(く体)の一部がはく落した場合，運転保安に直接影響を及ぼすことから，検査周期の延伸はできない．

5-2　初回検査

(1)　目　的

初回検査は，新設トンネルおよび大規模な補修・補強を行った箇所の初期状態を把握するために，供用開始前に実施する検査である．トンネル完成時に初回検査相当の検査(しゅん功検査)が実施される場合は，この検査結果を利用してよい．

初回検査では，①工事完了から時間が経過してしまうと初期欠陥かその他の要因による変状かの特定が困難となる場合や，②完成から供用開始までの間が長期にわたる場合がある．このため，トンネル完成時の検査のデータなど，初期状態をあらかじめ把握しておくうえで必要なデータを収集しておく．

(2)　調査項目と方法

初回検査の調査項目は，基本的には全般検査と同様である．供用開始後の検査で進行性のある変状と区別できるように，場所打ちコンクリートのコールドジョイントやジャンカ，シールドトンネルの施工時荷重によるひび割れなどの初期欠陥も把握できるように調査項目を設定し，これらが生じやすい箇所などについて重点的に調査する．

検査方法は，特別全般検査と同様である．

(3)　健全度判定

全般検査と同様である．

5-3　全般検査

5-3-1　通常全般検査

(1)　目　的

通常全般検査は，変状の有無とその進行性，変状発生箇所の状況を把握することを目的として，トンネルの全般にわたって定期的に実施する検査である．

トンネルの場合は，覆工(く体)の一部や添架物などのはく落が列車の安全運行に直接影響を及ぼすので，はく落に対する安全性に関する健全度判定(α～γ)も行うことが特徴である．

(2)　調査項目と方法

トンネルの安全性に直接影響を及ぼす変状は，変形，ひび割れ，漏水などであり，これらに関する項目を調査する．調査項目の例を**表-2** に示す．

表-2 以外の項目については，路盤部の変状の有無も重要な調査項目であり，さらに，変状の発生・進行に結びつくような周辺環境の変化についても把握しておく必要がある．

調査方法は，徒歩などによる覆工(く体)の目視と必要により行う打音調査が基本である．通常全般検査実施上の留意点は，次のとおりである．

① 変状の発生，進行性の有無の把握が必要なので，前回の検査結果と常に比較しながら行う．

② 覆工片などのはく落が，列車の安全な運行に直接影響を及ぼす箇所については，はく落に対する安全性についても着目して行う．

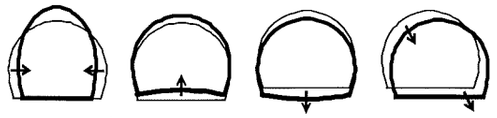
③ 検査時期は，変状を捉えるのに適した季節に実施する．また，季節によって変状の発生状況が変化することがあるので，毎回の実施時期が揃うように計画する．

上記②の覆工片などのはく落に対しては，目視によりはく落が生じ得る変状を抽出したうえで打音調査を行うことを重視しており，維持管理標準では，はく落が生じる可能性のある変状が具体的に示されている．

表-2　初回検査，全般検査における調査項目の例
(部位がアーチ，壁，上・中床版，柱の場合)

分類		調査項目
変形※1		・位置(範囲) ・断面形状
覆工(く体)の変状など	ひび割れなど※2	・位置(範囲)，パターン，長さ，幅，段差(ずれ) ・はく離(浮き)の有無
	ジャンカ	・位置(範囲) ・はく離(浮き)の有無
	材料の劣化に関するもの	・位置(範囲) ・劣化の程度 ・種類 －土砂化，変色，鉄筋の露出，錆汁の有無など －鋼材※3の腐食，セグメント継ぎ手ボルトの緩みなど＜セグメント覆工のみ＞ －母材，目地の不良など＜ブロック積み覆工のみ＞ ・はく離(浮き)の有無
	凹凸部	・位置(範囲)，長さ，幅
添架物，補修材の変状など		・位置(範囲) ・劣化の程度，ボルト類※4の緩み ・はく離(浮き)の有無
漏水		・位置(範囲) ・濁り，漏水量 ・凍結の有無(程度) ・漏水の跡(エフロレッセンス，遊離石灰)の有無
表面の汚れ		・位置(範囲) ・種類(バクテリア，煤煙，錆など)，色
つらら・側氷・氷盤		・位置(範囲)，大きさ

※1「変形」「隆起」「沈下」「移動」：概念図を以下に示す．



※2「ひび割れ等」：ひび割れ，打ち継ぎ目，コールドジョイント，目地切れおよび目地やせをいう．
※3「鋼材」：鉄筋，鋼製セグメント，継ぎ手金物などをいう．
※4「ボルト類」：補修材や添架物を覆工(く体)で支持するために設置されたアンカー，ボルトなどをいう．

（3）　健全度判定

1）　はく落以外の性能項目に対する判定

全般検査(通常，特別とも)では，①トンネル構造の安全性，②建築限界と覆工(く体)との離隔，③路盤部の安定性，④漏水・凍結に対する安全性に対しては，変状の種類，程度および進行性などに関する調査の結果にもとづき，適切な区間ごとに健全度A，B，CまたはSと判定する(**表-3(1)**)．

健全度Aのうち，安全を脅かす変状などがある場合は健全度AAと判定し，緊急に使用制限や補修・補強などの措置を行う．また，健全度Aと判定された場合は，個別検査を実施し詳細な健全度判定を行う．健全度Aの具体例の一部を以下に示す．

- 覆工に圧ざ，せん断ひび割れ，放射状ひび割れ，顕著な開口ひび割れが発生している．
- 覆工(く体)に前回検査時にみられなかったひび割れが多く発生している．
- 目視により確認できる程度の覆工(く体)の変形・沈下・移動が発生している．
- 広い範囲で覆工(く体)が劣化し，強度の低下が生じていると考えられる．

2）　はく落に対する判定

はく落に対する健全度は，判定が必要な箇所ごとに，目視，打音調査の結果を総合的に判断し，健全度α，βまたはγと判定する(表-3(2))．健全度αと判定された箇所については，はく落に対する措置(劣化・はく落対策工など)が必要である．

表-3　健全度の判定区分

(1)　はく落以外の変状に対する判定

健全度		構造物の状態
A		運転保安，旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす，またはそのおそれのある変状などがあるもの
	AA	運転保安，旅客および公衆などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす変状などがあり，緊急に措置を必要とするもの
	A1	進行している変状などがあり，構造物の性能が低下しつつあるもの，または，大雨，出水，地震などにより，構造物の性能を失うおそれのあるもの
	A2	変状などがあり，将来それが構造物の性能を低下させるおそれのあるもの
B		将来，健全度Aになるおそれのある変状などがあるもの
C		軽微な変状などがあるもの
S		健全なもの

注1：健全度A1，A2，および，健全度B，C，Sについては，各鉄道事業者の検査の実状を勘案して区分を定めても良い．

(2)　はく落に対する判定

健全度	変状の状態
α	近い将来，安全を脅かすはく落が生じるおそれがあるもの
β	当面，安全を脅かすはく落が生じるおそれはないが，将来，健全度αになるおそれがあるもの
γ	安全を脅かすはく落が生じるおそれがないもの

5-3-2　特別全般検査

（1）　目　的

トンネルにおいては，健全度の判定の精度を高めることを目的として，目視の精度を上げ，定期的に特別全般検査を必ず実施する必要がある．なお，通常全般検査に代えて実施することができる．

特別全般検査の周期は，原則として新幹線で10年，新幹線以外で20年である．

（2）　調査項目と方法

特別全般検査における調査項目は，基本的に通常全般検査における調査項目に準ずればよい．

調査方法は，高所作業車などを用いて覆工(く体)に接近し，十分な照明のもとで目視(入念な目視)を行う必要がある．入念な目視により必要と判断された場合には打音調査を実施する．

（3）　健全度判定

通常全般検査と同様である．

5-4　個別検査

（1）　概　要

個別検査は，全般検査や随時検査で健全度Aと判定されたトンネルに対して精度の高い健全度(健全度A1，A2など)の判定を行うことを目的とした検査である．

なお，健全度A以外のものに対しても，予防保全的な観点に立った維持管理を行う場合には必要に応じて個別検査を実施する．

（2）　調査項目と方法

1）　調査項目

個別検査では変状原因の推定および変状の予測

が必要となる．このため，構造物の特性，変状の種類，周辺の状況に応じて，内空変位，コンクリート強度，中性化深さなど目視や打音調査ではわからない項目に関する調査も行う．

2）　調査方法

個別検査における調査は次のように分類される．

①　資料調査：既存の文献や記録から，対象となるトンネルの諸元などを調べる調査

②　坑内調査：トンネル坑内において，覆工(く体)や背面地山の状況を調べる調査

③　環境調査：トンネルの周囲環境の状況を調べる調査

これらのうち②が基本であるが，総合的な見地から①や③も重要である．これらの調査方法にはさまざまな方法があるが，変状状態に応じて調査項目に対応した方法の選択が必要である．

（3）　変状原因の推定および変状の予測

個別検査では，健全度判定と措置の策定のため，坑内調査で得られた変状に関する情報と資料調査や環境調査の情報を総合的に整理，活用し，変状原因の推定や変状の予測を行う必要がある．

1）　変状原因の推定

トンネルの変状原因としては，変状を生じさせる直接の原因である「外因」と，外因による変状を促進させる「内因」の二つに区分できる．これらの原因は**図-7**のように細分される．

なお，トンネルは地山に囲まれた地中構造物であり，同じような変状を生じさせる複数の原因がある．このため，変状とその原因との因果関係を変状別に十分把握しておき，さまざまな角度から調査・検討を行ったうえで，もっとも可能性の高い変状原因を推定することが必要である．例として，**図-8**にひび割れ分布による変状原因の推定例を示す．

2）　変状の予測

個別検査では，トンネルの性能を確保すべき期間を設定し，変状がどのように進行するかを予測することが求められる．トンネルの変状は長期にわたって緩やかに進行することが多いが，地山や地下水などの周辺の環境に依存するため，精度の

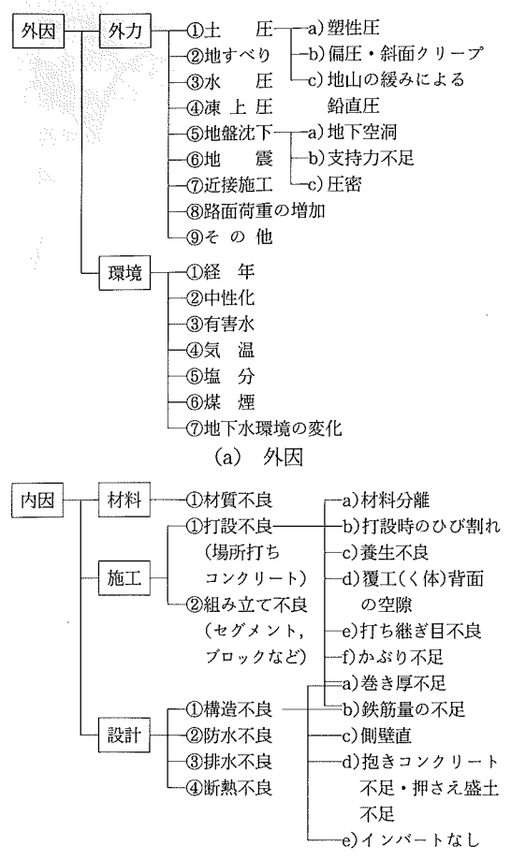


図-7　トンネルの変状原因(外因・内因)の分類

高い予測は難しい場合が多い．しかし，丹念な調査を行って変状の状況，原因，進行性を把握し，既往の事例なども考慮することにより，変状の予測は可能となる．

鉄筋コンクリート材料の中性化や塩害などによる変状に対しては，提案されている各種の予測式を適用し，土圧による変状に対しては，FEMなどの数値解析的な方法も併用して検討することが有効であると考えられる．

（4）　性能項目の照査および健全度判定

1）　性能項目の照査

性能項目の照査は，現時点またはトンネルの性能を確保すべき期間を通じて，各性能項目が満たされるかどうかを判定することにより行う．

トンネルの個別検査における性能項目の照査方

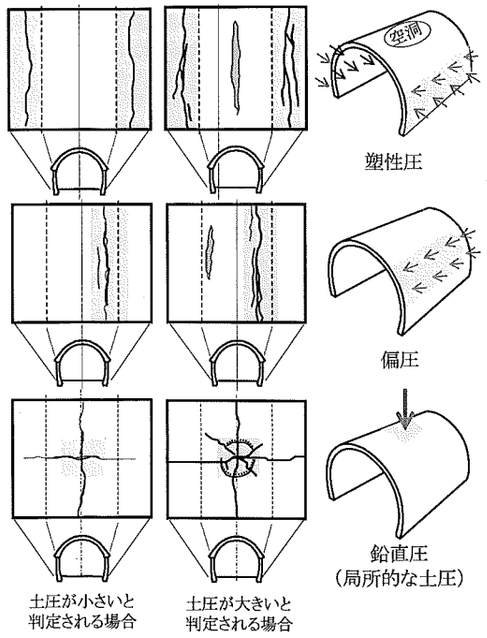


図-8　ひび割れ分布による変状原因の推定例

表-4　性能項目と照査指標の例

性能項目	照査指標の例
トンネル構造の安定性	ひび割れ，はく離，変形量，およびそれらの進行性，覆工(く体)の応力，断面力，周辺環境
建築限界と覆工との離隔	建築限界と覆工との離隔
路盤部の安定性	隆起，沈下，移動量，およびそれらの進行性，軌道変位
漏水・凍結に対する安全性	発生部位，範囲，量，およびそれらの進行性，建築限界とつららなどとの離隔

法としては，以下の２とおりの方法がある．

① 定性的に照査する方法：類似の変状事例，過去の経緯などを参考とし，定性的に性能項目の照査を行う方法．

② 定量的に照査する方法：覆工(く体)の応力や断面力，トンネルの変形量，鋼材の腐食量などの数値から照査式を用いて照査する方法．

表-4 に，性能項目と照査指標の例を示す．また，個別検査における性能項目の照査例を**図-9**

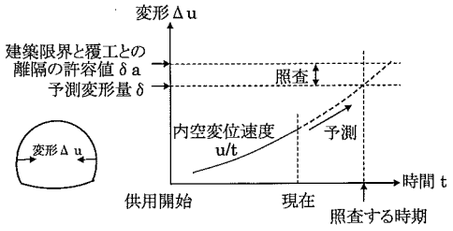


図-9　内空変位速度を用いて建築限界と覆工と離隔を照査する方法(土圧による変状)

表-5　個別検査における性能項目の照査の例(「トンネル構造の安定性」の場合)

変状の程度	進行性	変状の予測と性能項目の照査の結果	健全度
とくに大きなひび割れがある，あるいはせん断ひび割れ，大きな圧ざが生じている	あり	現時点でトンネル構造の安定性に問題が生じている	AA
	なし	次回検査までトンネル構造の安定性を確保できない	A1
大きなひび割れがある，あるいは圧ざが生じている	大～なし		
中程度のひび割れ	なし	次回検査までにトンネル構造の安定性が低下する可能性が高い	A2

(定量的)および**表-5**(定性的)に示す．

2)　健全度判定

個別検査では，上記の結果から健全度をA1またはA2に判定する．場合により，AA，B，Cに再判定されることもある．

5-5　随時検査

随時検査は，地震，大雨，火災，近接施工などによって，変状の発生または進行のおそれがある場合など，何らかの偶発的な作用を受け，全般検査，個別検査以外に必要と判断された場合に行う不定期な検査である．あるトンネルではく落などの変状が発見された場合に，ほかのトンネルを対象にして緊急に行う検査も随時検査に相当する．

6　措　　置

6-1　措置の目的と種類

措置の目的は，構造物の性能低下に起因する事故や災害を未然に防ぐことである．措置の種類に

は以下のものがあるが，監視，補修・補強が一般的な方法である．

① 監視：目視などにより変状の状況や進行性を確認する措置

② 補修・補強：変状が生じた構造物の性能を回復させる，または性能の低下を遅らせるための措置，および構造物の力学的な性能を初期の状態より高いものに向上させるための措置

③ 使用制限：列車の運転停止，入線停止，荷重制限，徐行などにより使用を制限する措置

④ 改築・取り替え：構造形式を部分的あるいは全体的に変更する措置，あるいは構造物の一部を取り壊して作り替える措置

措置は通常，健全度Aと判定された構造物や健全度αと判定された箇所に対して実施する．なお，AAの場合は緊急に，A1の場合は早急に，A2の場合は必要な時期に措置を講じる必要がある．

トンネルでは，はく落に対する健全度αと判定された箇所では速やかに劣化・はく落対策工などの措置が必要である．

以下，補修・補強について示す．

6-2　補修・補強

トンネル編では，補修・補強方法を以下の三つに区分(**表-6**)し，各々の特徴を概説している．

① 劣化・はく落対策工

② 漏水・凍結対策工(さらに，漏水対策，凍結対策，路盤沈下対策に区分)

③ 外力対策工

各対策工と性能項目の関係を**表-7** に示す．

図-10にトンネルにおける劣化・はく落対策工

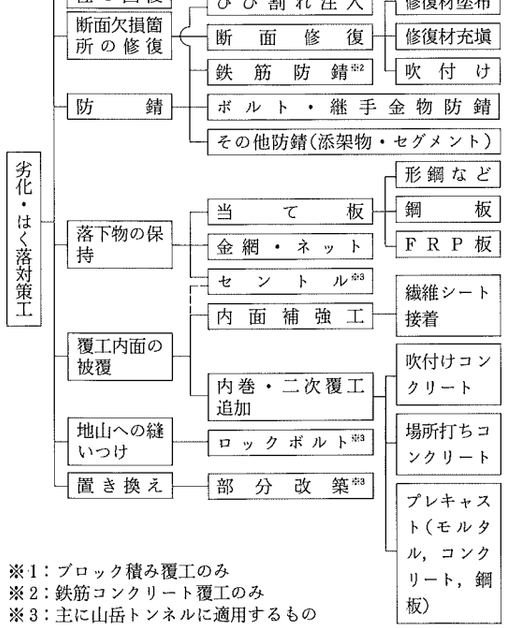
表-6　補修・補強の分類

分類		概要
劣化・はく落対策工		覆工(く体)の材料劣化やはく落を防止するために行う対策工
漏水・凍結対策工	漏水対策工	漏水によりトンネルがその機能を十分に発揮できない場合，これを改善することを目的に行う対策工
	凍結対策工	寒冷地において漏水の凍結あるいは凍結融解によりトンネルがその機能を十分に発揮できない場合，これを改善することを目的に行う対策工
	路盤沈下対策工	噴泥などにより路盤の沈下を生じ，トンネルがその機能を十分に発揮できない場合，これを改善することを目的に行う対策工
外力対策工		塑性圧，偏圧・斜面クリープ，地山の緩みによる鉛直圧などの外力に起因する変状に対して行う対策工

表-7　性能項目と補修・補強との関係

性能項目	劣化・はく落対策工	漏水・凍結対策工	外力対策工
①トンネル構造の安定性	○(覆工(く体)の耐力低下)	○(土砂流入，凍上)	◎
②建築限界と覆工との離隔		○(つらら・側氷)	◎
③路盤部の安定性		○(噴泥，路盤沈下)	◎
④はく落に対する安全性	◎	○(つらら)	○(圧ざ)
⑤漏水・凍結に対する安全性		◎	

◎：性能項目に関連性が高い対策　　(　)内は関連する現象
○：性能項目に関連性がある対策



※1：ブロック積み覆工のみ
※2：鉄筋コンクリート覆工のみ
※3：主に山岳トンネルに適用するもの

図-10　劣化・はく落対策工の分類

の分類を示す．図のように，補修・補強の工法には多くの種類があり，また，例えば劣化・はく落対策工と外力対策工の両方を兼ねるなど，複数の効果が期待できる工法も多い．ただし，トンネルは閉鎖空間であるため，対策工施工位置や作業時間，施工スペースなどを十分に考慮する必要がある．

なお，維持管理標準トンネル編では，ボリュームの関係から補修・補強方法の詳細を具体的に示していない．今までのマニュアル類に示されてきた補修・補強の実例なども含めた具体的な事柄は，「トンネル補修・補強マニュアル」[10]（鉄道総研，平成19年１月）としてとりまとめたので，あわせて参照していただきたい．

7 記　　録

構造物の維持管理を効率的かつ合理的に行うためには，必要な情報を記録し保存することが極めて重要である．維持管理標準トンネル編では，トンネル諸元と変状履歴，検査履歴の記録のための標準フォーマットを示している．また，トンネルでは，検査と措置について記録するだけでなく，工事誌や建設時の地質図，今までの変状履歴が，維持管理に役に立つことから，これらについても保管しておき，必要なときに参照できるようにしておくことが望ましい．

8 おわりに

維持管理標準は，トンネルのみならず高架橋や橋梁，土構造といった鉄道土木構造物全体に対する共通の物差しによって維持管理の体系化を図り，また性能規定になじみのないトンネルの分野にあってもその概念を新たに取り入れたものである．

一方，補修・補強マニュアルは山岳トンネル，都市トンネル両方について使えるものとすることに配慮し，また大手～中小のさまざまな鉄道事業者が適用できるように，できるだけ具体例を示すとともに，わかりやすい参考資料を多数とりまとめた．したがって，ほかの用途のトンネルを維持管理している方々も含めて実務の参考になるものと考えている．

近年，維持管理に関する学協会レベルでの調査研究が盛んであるが，維持管理標準の作成にあたっては，これらの成果（例えば，文献11）～13））も参考にさせていただいた．

本標準をとりまとめるにあたり，国土交通省鉄道局や委員会委員の方々，鉄道事業者の方々から，多くのご助言・ご意見や貴重なデータを賜った．未筆ながら深く感謝の意を表する．

参　考　文　献

1) 日本国有鉄道：土木建造物の取替標準，日本鉄道施設協会，1979.
2) 小島芳之・野城一栄・朝倉俊弘・小山幸則：鉄道トンネルの覆工剝落事故と原因推定，トンネルと地下，Vol.31，No.9，2000.9.
3) 運輸省：トンネル保守管理マニュアル，2000.2.
4) 小島芳之・野城一栄・朝倉俊弘・小山幸則：鉄道トンネルの新しい保守管理，トンネルと地下，Vol.31，No.10，2000.10.
5) 市川篤司：鉄道構造物の維持管理標準(1)—全体概要—，日本鉄道施設協会誌，Vol.44，No.3，2006.3.
6) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)トンネル，2007.1.
7) 鉄道総合技術研究所：トンネル補強・補修マニュアル，1990.10.
8) 鉄道総合技術研究所：トンネル保守マニュアル(案)，2000.5.
9) 鉄道総合技術研究所鉄道技術推進センター：都市トンネル保守マニュアル，2002.3.
10) 鉄道総合技術研究所：トンネル補修・補強マニュアル，2007.1.
11) 土木学会岩盤力学委員会：トンネルの変状メカニズム，2003.9.
12) 土木学会トンネル工学委員会：山岳トンネル覆工の現状と対策，トンネル・ライブラリー，Vol.12，2002.9.
13) 土木学会トンネル工学委員会：トンネルの維持管理，トンネル・ライブラリー，Vol.14，2005.7.

連載講座

発破技術の現状（７）

—発破と環境問題（１）—

「発破技術の現状」連載講座小委員会

① はじめに

近年，住民の環境問題に対する意識が高まっており，建設工事と環境問題は切り離すことができない状況にある．トンネル工事も例外ではなく，掘削方式によっては騒音・振動などの環境問題を引き起こす可能性がある．とりわけ発破による掘削は，機械掘削に比べて破壊効率がきわめて優れている反面，発破に伴い，振動・発破音・低周波音・飛石などの周辺環境に好ましくない現象が生じる可能性がある．

とくに近年，施工技術の向上や地下空間の有効利用という観点から，住宅区域や既設構造物近傍において発破を実施する機会が多くなっている．そのため，発破計画に際しては，飛石はもちろんのこと，発破振動，発破騒音・低周波音など地域住民・家屋に対して十分な配慮を行う必要がある．発破実施に際しては，発破計画に関する情報を事前に開示し，地域住民の理解を得た後に実施することが重要であり，発破に伴う環境問題発生が懸念される場合には，目的に応じた管理・計測を実施する必要がある．

発破を行ううえで環境対策は避けては通れない現状の中，技術者として問題となり得る内容を知っておくことは必要不可欠である．また，温室効果ガス排出量低減による地球温暖化対策が重要視されている中，掘削方式を選定するうえで，環境に及ぼす影響を十分配慮する必要がある．

そこで，本章においては，発破に伴う振動・騒音・低周波音の概念，予測手法，低減対策ならびに規制値に関することを述べ，さらに，トンネル工事における二酸化炭素排出量と排出量削減方策についても説明する．

② 発破振動

2-1 発破振動の基礎知識

一般的に発破振動の継続時間は数十ms～数秒である．微小振動も含めると数十秒～数分続くこともある自然の地震動と比較すると，非常に短い継続時間である．また，発破振動は，その周波数が高いことが特徴であり，一般的に地震の場合の卓越周波数は１～10Hzであるが，発破振動の場合は50～100Hzである．このため，発破振動と地震では構造物や人体への影響が異なる．

例えば70gal（震度４）の変位加速度を示す地震と同じ発破振動が生じた場合で比較してみると，地震の周波数を５Hz，発破振動の周波数を100Hzとした場合，**表-1** のような変位速度や変位になる．

表-1　発破振動と地震の比較結果

項　目	発破振動	地　震
変位加速度	70gal	70gal（震度４）
周波数	100Hz	5 Hz
変　位	0.000177cm	0.071cm
変位速度	0.111cm/s	2.23cm/s
人間の感じ方	一般に多くの人々が振動を感じる．	かなりの恐怖感があり一部の人は身の安全を図ろうとする．

震度4では，地震の場合，構造物に対し何らかの影響が考えられるが，発破振動の場合には同じ70galの変位加速度を示しても，変位速度は低いため，**表-2**より構造物への影響は生じないことがわかる．これは，一般的に周波数が低いほど振動の持つエネルギーが強いことによるものである．

2-2　振動による影響と規制値

発破振動による影響を考える場合には，家屋やコンクリートなどの構造物に与える物理的要素と人体が感じる感覚的要素の2種類を考慮する必要がある．構造物に対する影響を見る場合には，物理的な要素を表す変位速度(単位は㎜/sec，cm/sec＝kine(カイン))で評価する場合が多い．人体への影響を見る場合には変位速度で見ることもあるが，感覚的要素を考慮した振動レベル(単位はdB)で評価することが多い．

2-2-1　構造物への影響について

構造物への影響を評価する物理量としては，変位速度が適しており，種々の研究成果が報告されている．多くの研究者より報告された一般家屋および建物への影響調査結果をまとめたものを表-2に示す．

表-2によると，欧米の研究者は変位速度が5 cm/sec以上，日本の研究者は1 cm/sec以上になると被害が発生する可能性があると異なる見解を示している．これは，岩盤(地盤)条件や家屋の構造様式などの違いによると思われる．

2-2-2　人体への影響について

発破振動の人体への影響を考慮するには，前述のとおり振動レベルが適している．

振動による人体への影響としては，イライラ，不安感，驚き，睡眠影響などが考えられるが，個人差も大きく，一概にある値での影響の有無を判断することは困難であるが，現在までに研究された一例として，**表-3**にその例を示す．

2-2-3　発破振動の規制値について

現在，発破に関する行政の規制値はない．建設工事に関する振動の規制としては，昭和51年に制定された振動規制法に，衝撃的な振動について杭打ちなどを対象として，「敷地の境界線で昼間において75dBを超えない値」が示されており，発破は規制対象外であるが，発破にも準用されてき

表-2　振動速度と構造物への影響[1]

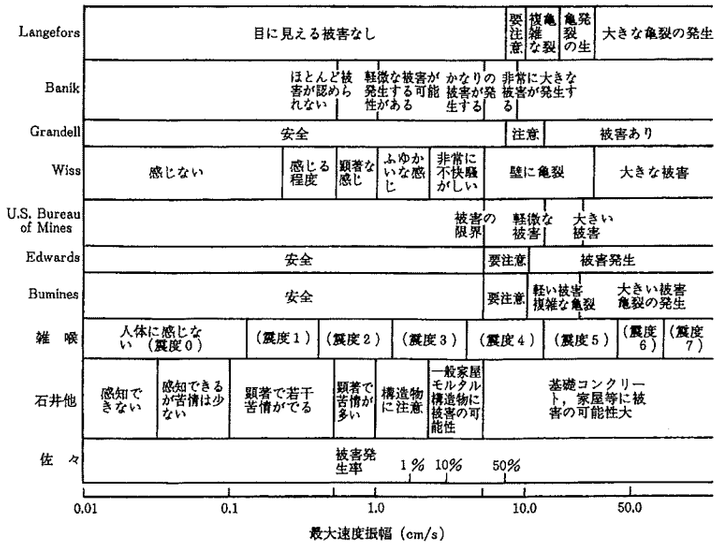
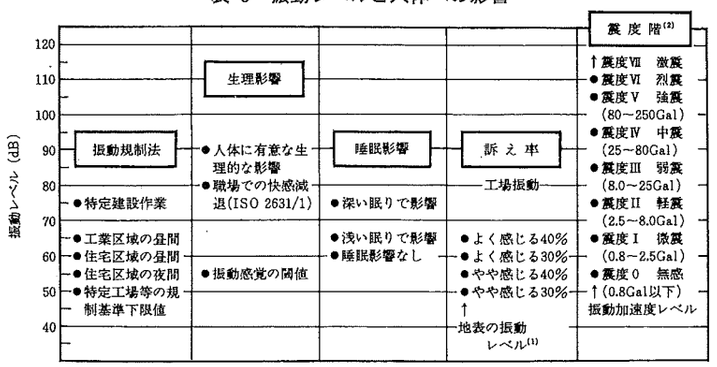


表-3　振動レベルと人体への影響[1]



ているのが実態である．また，県や市の条例で振動について規制が設けられているところもあり，その際にはその値が規制値となる．

(1)　人体を対象とした場合

上述のとおり，発破振動に関して行政の特定の規制値はないが，火薬学会より発破振動に関する規制値が**表-4**のように提言されている．

表-3によると，昼間の提言値79dBについては，「よく感じる」人が40%以上であり，夜間の提言値64dBについては，「睡眠影響なし～浅い眠りで影響する」の範囲である．

そのため，いずれの提言値も状況によっては注意が必要であるが，表-3が継続振動に対する影響であり，発破は日にせいぜい数回しか行われず，また継続時間も短いため妥当な数値と考えられる[2]．

表-4　発破振動の人を対象とした提言値[2]

対象	発破振動規制提言値(dB)
昼間	79あるいは「暗振動＋30」のいずれか小さいほう
夜間	64あるいは「暗振動＋20」のいずれか小さいほう

表-5　発破振動の構造物を対象とした提言値[2]

対象 ＼ 項目		振動(周波数)		
		10Hz未満	10～50Hz	50Hz以上
構造物	強度の明確な構造物	1.25(cm/s)	2.5(cm/s)	5.0(cm/s)
	一般構造物(民家)	0.50	1.0	2.0
	重要な構造物	0.25	0.5	1.0

1)　それぞれの提言値は，管理対象の保安物件での値とする．
2)　発破振動では得られた振動波形を上記の周波数提言値で区切り，それぞれの値になっている部分の周波数を計算し，周波数別提言値と比較する．
3)　発破振動において，周波数分析のできない場合は10Hz未満の提言値を適用する．

表-6　コンクリート構造物の管理値実績[2]

工事名称	規制対象物	管理値(cm/s)
新深沢第二トンネル(中央本線)	既設鉄道トンネル	3.0
本川発電所(四国電力)	既設構造物	2.0
都夫良野トンネル(東名高速)	既設鉄道トンネル	5.0
駒返トンネル(国道8号)	既設鉄道トンネル	3.0

表-7　岩盤斜面に対する変位速度の影響[2]

変位速度(in./s,【 】内はcm÷s換算)	岩盤斜面に対する影響
2～4【5.08～10.16】	斜面上の浮石が落下
5～15【12.70～38.10】	ゆるんだ岩石の崩落
25以上【63.50以上】	弱い斜面に損傷が起こる

(2)　構造物を対象とした場合

構造物についても人体と同様に行政の規制値はないが，これも火薬学会が構造物に対する提言値を**表-5**のように示している．ただし，構造物の規制値は一概に決めるべきものではなく，強度・重要度などを論理的に考察して決定することが好ましい．

また，参考までに**表-6**にコンクリート構造物に対する管理値の実績を示す．

(3)　岩盤斜面への影響

近年では，発破振動による斜面の岩塊崩落が懸念される場面に遭遇することも多くなってきた．岩塊の状態や地盤の風雨によるゆるみにより異なるため，一概には言えないが，岩盤斜面に対する変位速度の影響について**表-7**に示す．

2-3　発破振動の推定方法

2-3-1　振動速度(＝変位速度)推定式

発破振動が構造物に与える影響について多くの研究結果が報告されている．その研究報告によれば，変位速度と構造物への影響被害の関係については，高い相関関係が見られ，変位速度の推定式として一般的に下式が提案されている．

$$V = K \cdot W^{m} \cdot D^{-n} \qquad (1)$$

V：変位速度(cm/sec，kine)
K：発破条件や岩盤特性によって変化する係数
W：一段あたりの装薬量(kg)
D：発破位置からの距離(m)
m，n：指数

Wには一段あたりの装薬量を用いる．トンネル発破では，一般的にDS電気雷管を用いた段発発破が行われており，その段ごとの起爆秒時差は約250msである．

トンネル発破の振動波形の継続時間は，距離にもよるが100ms以内に収まっていることが多く，十分に段ごとの振動が分離するため，Wには1段あたりの装薬量を用いている．

また，ある報告[3]では，30ms間隔以上の秒時間隔があればトンネル発破の振動のピークをほぼ分離することができるとの報告もあり，DS電気雷

表-8　m，nの値とK値(火薬メーカー提案値)

メーカー	m，n 値	区　分	K　　値
日本化薬	$m=3/4$ $n=2.0$	心抜き	450～900
		払　い	200～500
		踏まえ	300～700
旭 化 成	$m=2/3$ $n=2.0$	心抜き	500～1,000
		払　い	200～500
日本油脂	$m=3/4$ $n=1.5$	$K=80\pm40$（ダイナマイト） $K=60\pm20$（制御発破用爆薬） $K=20\pm10$（コンクリート破砕器）	

管よりも短い秒時間隔の雷管を使用した場合にも上記の推定式が適用可能であることを示している．

Kやm，nの数値は各火薬メーカーや提唱者によって異なる．参考までに，火薬メーカーから提案されているm，nの数値とK値を**表-8** に示す．

実際に予測する際には，岩盤条件や振動伝播経路，受振点の硬軟も考慮し，Kやその他の各係数を決定するのが理想であるが，事前に不明なことが多いため，予測の段階では蓄積された過去のデータなどがある場合にはその数値を採用し，それがない場合には，上記K値の平均値や，より安全側で考慮する場合には最大値を用いて発破振動の予測を行っているのが実状である．

また，現場において継続して振動を予測・管理する場合には，実際の試験発破測定後に逆算してK値を算出してから，そのK値を用いて以降の発破振動管理を行うことが好ましい．

2-3-2　振動レベル推定式

振動レベルの推定は，式(1)で変位速度を推定した後に行う．変位速度(V)を振動レベル(L_V)に変換する際の理論式として式(2)がある．

$$L_V=20\cdot \mathrm{Log}V+91 \qquad (2)$$

式(2)は連続した正弦振動の場合であり，発破振動のような継続時間が短く，周波数の高い衝撃的な振動には無条件で適合するとは言いがたく過大評価することとなる．その理由は，振動の継続時間が短くなるにつれて振動レベルは低下するためであり，その点を考慮して補正を行った式が式(3)である．爆源に近いところでは$\alpha=10\sim15$，比較的離れた地点ではよりゆるやかな比較的長い継続時間の振動になるため$\alpha=5$であった例も報

表-9　発破振動低減方法

火薬量での対策	①多段発化による斉発薬量の低減 ・MS電気雷管，IC雷管，導火管付き雷管 ②発破規模の縮小 ・進行長低減，分割発破
K値での対策	①薬種の変更 ・制御発破用爆薬など ②心抜き方法の変更 ・ダブルVカット，平行心抜き ③機械工法の併用 ・TBM，ブレーカーによる心抜き形成 ・スロット溝の併用
その他	・発破時間制限など （とくに夜間の発破中止が多い）

告されている[4]．

$$L_V=20\cdot \mathrm{Log}V+91-\alpha \qquad (3)$$

この補正項は，K値同様に岩盤条件や発破方法，受振点の硬軟の影響を受けるため現場ごとに異なる値を持つといえる．したがって，例えば，発破現場において振動レベルによって構造物への影響を評価する場合には，できるだけ変位速度と振動レベルを同時に測定し，式(3)により受振点ごとに補正項を算出しておくことが好ましい．

2-4　発破振動低減対策

式(1)に示したように，発破振動の大きさは，基本的に火薬量と距離，定数Kで決まる．距離についてはほとんどの場合変更することは困難なため，いかに火薬量を低減するかが対策上もっとも重要である．また，同一の火薬量であっても，発破パターンの変更や機械掘削との併用により，定数Kを減少させることができれば，さらに発破振動の軽減が期待できる．

表-9 に両者の発破振動の対策についてまとめたものを示し，その詳細について以下で述べる．

2-4-1　火薬量での対策

(1)　多段発化による斉発薬量の低減

1回の発破に多くの段数の雷管を用いて多段発化し，1段あたりの装薬量を低減させる方法である．通常の発破と比較しても，雷管の段数が増加するだけで，雷管の総数自体はほぼ同等であり，また，1発破の進行やサイクルもほとんど変わらないため，発破振動を低減する際にもっとも一般的に採用されている方法である．

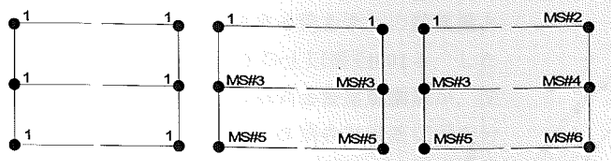


図-1　瞬発，MS雷管による心抜き例

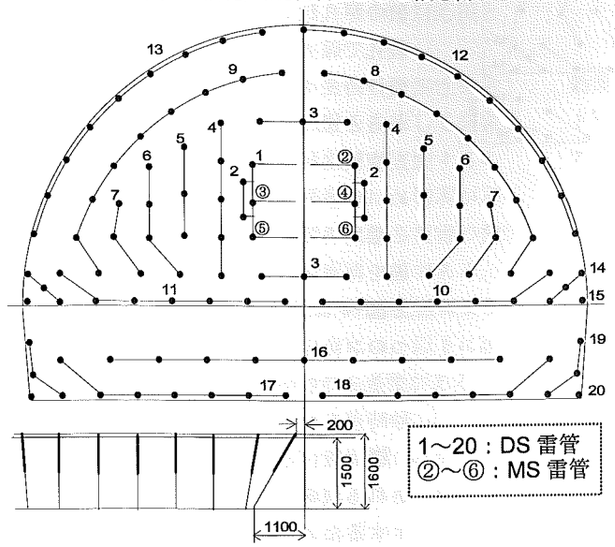


図-2　MS・DS電気雷管併用の制御発破例

多段発化する方法には，用いる雷管の種類によって，一般的に以下の3種類が挙げられる．

①　MSとDS電気雷管の併用による多段発化
②　IC雷管(電子雷管)による多段発化
③　導火管付き雷管による多段発化

次に，それぞれの方法について，考え方や設計方法について簡単に述べる．

1)　MSとDS電気雷管の併用による多段発化

MS雷管とDS雷管を組み合わせて多段発化する方法である．心抜き部には，MS雷管を用い，払い部にはDS雷管をできるだけ多くの段数用いるのが一般的である．MS雷管とDS雷管を組み合わせることにより，最高27段まで使用することが可能である．

通常，トンネル発破でもっとも大事な心抜きは，十分に起砕するために瞬発電気雷管を用いて同時に起爆するが，ある程度短い秒時間隔の段発であれば，心抜きの起砕効果を損なわず心抜き発破を行うことができることが，最近の制御発破で実証されてきた(ただし，瞬発の方がもっとも起砕効果が良いことには変わりがない)．

以下，**図-1** に心抜き発破にMS雷管を用いた例を，**図-2** に心抜きにMS雷管を用いた制御発破パターンの例を示す．

2)　IC雷管(電子雷管)による多段発化

従来の段発電気雷管(DS・MS電気雷管)は，延時薬によって遅延秒時を制御しているため，起爆秒時にバラツキが生じる．これに対してIC雷管は，ICタイマーにより起爆秒時を制御するため，従来の電気雷管では達成することができない0.2ms以内の高い起爆秒時精度を有する．また，1ms間隔での起爆秒時設定が可能であるため，最大200段発の多段発化が可能である．

IC雷管を心抜き発破に適用し，振動を軽減する方法の基本的な考え方は，MS雷管を用いる方法と同じである．トンネル発破振動軽減用のIC雷管の起爆秒時間隔は，現場実験結果[3]より，各装薬孔から発生する振動波のピークが重なり合わないよう，かつ起砕効果を損なわないように30msに設定されている．

上述のとおり，IC雷管は，最大200段までの多段発発破が可能であり，心抜きも払いもすべての発破孔を1本ずつ起爆することが可能である．そのため，段あたり装薬量Wは1孔の装薬量となる．

IC雷管を用いるには，専用の発破器が必要であるが，装薬方法や結線方法は従来の電気雷管とほとんど同様である．

コスト面では，通常の電気雷管と比較してIC雷管は高価である．しかし，振動規制値をクリアするために，MS・DS雷管の組み合わせでは段数が足りずに，さらに1発破進行長を低減するか，もしくは分割発破をすることを余儀なくされるような場合には，トータルコストが削減される場合もある．このため，近年とくに振動規制条件の厳しい現場において採用されている．

IC雷管による制御発破の発破パターン例を**図-**

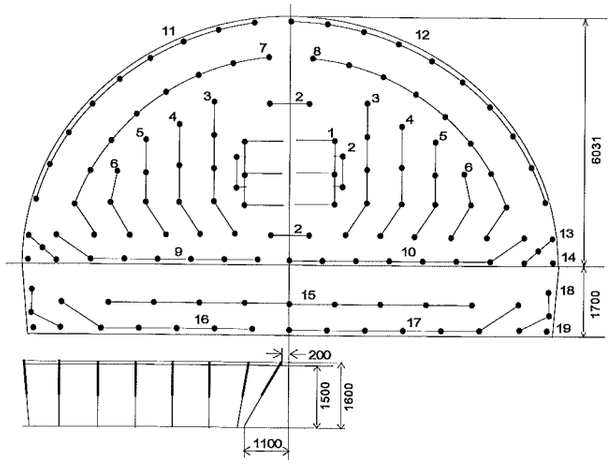


図-3　IC雷管の制御発破パターン例

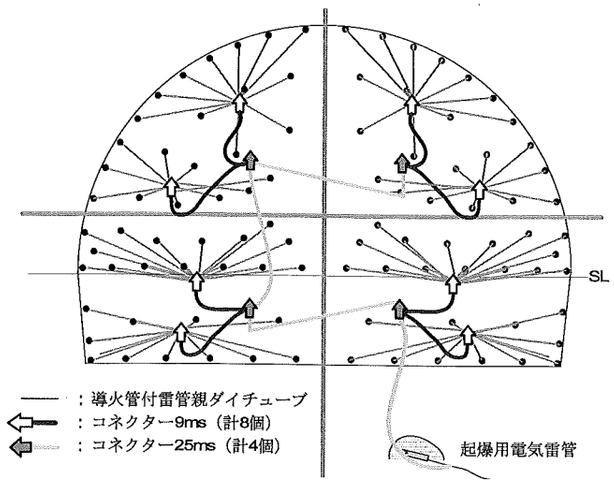


図-4　導火管付き雷管の制御発破結束図例

3 に示す．IC雷管は 2-1，3-10のように主段-副段に分かれており，各主段ごとに10本の副段(心抜きのみ 6 本)がある．それぞれ起爆秒時が異なるが，図中には主段の段数のみを記載している．

3)　導火管付き雷管による多段発化

親ダイに用いる雷管の段数は，各メーカーにより若干異なるが，25段前後である．

MS，DS雷管を組み合わせた場合(27段発)よりも段数が少ないが，導火管付き雷管の場合，チューブの結束に用いられるコネクターと呼ばれるものでも秒時差を付けることが可能であるため，25段発以上の段発発破が可能となる．

コネクターを組み合わせることにより，100段発以上の多段発も可能であるが，電気雷管と同様に遅延秒時の設定は延時薬方式のため，起爆時間にいくらかのバラツキは生じる．そのため，とくに 1 発破の穿孔数が多い場合には，すべての発破孔で確実に振動のピークが分離する起爆秒時差を設定することは事実上困難であると思われる．また，多段発化するほど複雑な装薬，結線作業が要求されるため，作業員の熟練が必要である．

参考までに，導火管付き雷管で制御発破を行う場合の発破パターン例(結束図)を図-4 に示す．この例では，切羽を四つのブロックに分け，各ブロックをコネクターで秒時差を付けることにより起爆秒時差を付けている．

導火管付き雷管による多段発化が適用される現場としては，振動規制値をクリアするために，MS・DS電気雷管では段数が不足するが，IC雷管を使用するほどではない現場や，1 発破の穿孔数がそれほど多くなく，結線が複雑にならない場合などが適していると考えられる．

(2)　発破規模の縮小

1)　進行長を低減する方法

この方法は，通常の進行長の発破では，多段発化の対策を講じても，振動値を許容値以下に制御できない場合に適用される．進行長を減らすことで 1 孔あたりの装薬量を低減するとともに，多段発発破を組み合わせて，段あたりの装薬量をより小さくすることができる．

しかし，進行長をあまりにも短くすると，十分な込め物長が確保できず，起砕効果が著しく低下するため，進行長を極端に短くすることはできない．爆薬の種類，岩質，発破技術にもよるが，経験上 1 発破あたりの最低進行長は50cm程度が限界と考えられる．

2)　切羽を分割して発破する方法

発破振動を制御する場合，1 発破に使用できる

爆薬量は，許容値を満足する段あたりの装薬量と使用できる雷管の段数によって決定される．したがって，設定進行長の発破で必要な爆薬量が，使用できる許容爆薬量を上回る場合には，切羽を分割して発破せざるを得ない．一般には，前述の 1 発破進行長の削減が限界になった場合の対応策として採用される．

分割の方法は，2 回目以降の発破の作業性を考慮して，心抜きおよび踏まえ部分を先行して発破し，ずりを取らずに続いて払い発破を実施するのが一般的である．ただ，この場合には，切羽が不安定であるので，装薬作業の際に肌落ち災害の発生も懸念されることを十分に理解すべきである．

これらの多段発化や進行長低減・分割発破によっても規制値をクリアできない場合には，以下に説明するK値での対策などを検討する必要がある．

2-4-2　K値での対策

式(1)において，装薬量(W)，距離(D)が一定の場合，さらに振動を軽減するためには，発破係数K値を減らすことを検討する必要がある．K値については，それを構成する要素は，式(4)のように考えられている．

$$K=K1\cdot K2\cdot K3\cdot K4\cdot K5 \qquad (4)$$

$K1$：各発破種別に応じた基本的なもの
$K2$：発破効果
$K3$：受振地の地盤状況
$K4$：使用爆薬の種類
$K5$：発破域に対する受振地の方向性

ここで，$K3$，$K5$ は固有の要因であり，K値を低減させるためには$K1$，$K2$ および$K4$ の要素の改善を図る必要がある．

(1)　薬種の変更

$K4$ は，使用する爆薬の種類によって決定される．一般に，短時間に急激な圧力上昇を示す爆薬ほど発生する振動が大きくなると言える．

火薬類の種類としては，主にダイナマイト，含水爆薬，制御発破用爆薬，コンクリート破砕器などがあり，この順に爆速(燃速)が遅くなっている．

表-10に各爆薬の爆速(燃速)を示す．

爆速(燃速)の遅いものを用いた際のK値の低減効果としては，制御発破用爆薬では，ダイナマイトやアンホの約60%に軽減された効果が報告されている[5]．また，コンクリート破砕器では，10～20%まで軽減できるという報告がある[6]．

表-10　各爆薬の爆速(燃速)

種　　別	爆速(燃速)(m/sec)
2 号榎ダイナマイト	6,300
含水爆薬	4,500～6,000
ANFO	約3,000
制御発破用爆薬	1,500～2,000
コンクリート破砕器	40～60

ただし，制御発破用爆薬やコンクリート破砕器を用いる場合には，起砕効果が低いため，穿孔間隔を狭くする必要があり，穿孔数が増加する．そのため，実施されるケースは少ないのが実状である．

(2)　心抜き方法の変更

$K1$，$K2$ の要素については，発破方法によりK値が決定されることを表している．トンネル発破において，発破振動がもっとも大きいのは心抜き発破のため，心抜きの発破パターンを変更して 1 段あたりの装薬量を低減しK値を低減させる方法である．以下にその方法について述べる．

1)　ダブルVカット

岩盤条件や進行長によって決定された心抜き発破(本心抜き)の間に，穿孔長の短い補助的な心抜き発破を本心抜きに先駆けて実施する．これにより新たな自由面を形成して，2 自由面状態で本心抜きを行うことで，心抜き発破全体の振動を軽減しようとする工法である．

これまでの実績によれば，補助心抜きを設けた場合にはK値が30%減少し，さらにMS雷管による心抜き発破を併用した場合には50%減少するという報告がある[7]．

2)　平行心抜き発破(バーンカットほか)

長孔発破への適用と発破効果の向上を目的とした心抜き発破として，平行心抜き発破がある．この方式は，中心に孔径の大きい空孔を設けるもので，空孔が自由面となり，かつ自由面(空孔)までの距離が短い(最小抵抗線が短い)ので，起砕効果

表-11　心抜き発破パターンによるK値の変化[7]

Vカット	ダブルVカット	φ100㎜ バーンカット
K値＝913	K値＝495	K値＝551
瞬発　4孔	瞬　発　2孔 MS 2段　4孔	瞬　発　2孔 MS 2段　2孔

※本K値の算出については，瞬発とMS 2段の総装薬量を段あたり薬量として用いている．

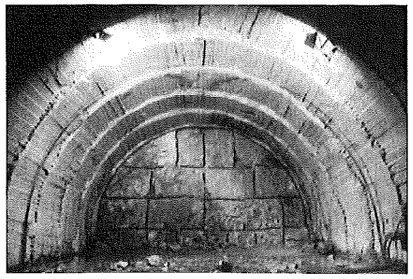


写真-1　溝を穿孔した切羽面と掘削面[8]

が向上し，また，振動軽減上も有効な方法である．K値を40～50%低減できたという実績が報告されている[7]．表-11に心抜き発破パターンを変化させたときのK値算出結果事例を示す．

2-4-3　機械工法の併用

経済性，効率性の面からは発破掘削が有利な場合でも，発破振動・騒音の制約条件が厳しく，前述したような方法の制御発破を適用しても，発破振動・発破騒音を規制値以下に制御できないことも少なくない．このような場合に，全面的に機械掘削を行うよりも経済的，効率的な方法として，機械掘削と発破掘削との併用工法が適用される．

具体的には，あらかじめTBMなどの機械または割岩工法により心抜き部に自由面を形成し，順次外周方向に掘削する方法や，スロット穿孔機により，掘削周辺部に溝(スロット)を形成し，この面を自由面として順次発破する方法がある．

一例として，スロット穿孔機により外周部のみに溝を形成し，内部をIC雷管で掘削する技術を紹介する．

振動規制がきわめて厳しい条件下では，写真-1

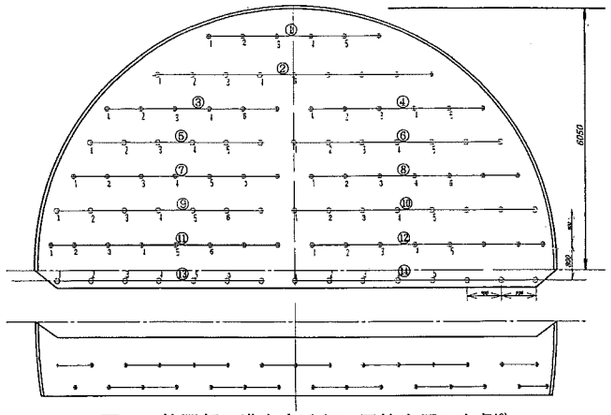


図-5　外周部に溝を穿孔しIC雷管を用いた例[8]

のように切羽に多数の溝を形成する必要があり，その穿孔に長時間を費やすため施工能率の向上とコストダウンが課題となっていた．

この課題を解決する方法として，1990年代後半に，図-5のように最外周のみ溝を穿孔し，その溝を自由面としてトンネル内部をIC雷管で発破する工法が開発された．本工法は溝を穿孔することにより，すべてが払い発破となり，かつ1段1孔の発破が可能となるため，大きな振動低減効果が期待できる．

参　考　文　献

1) (社)日本騒音制御工学会技術部会・低周波音分科会編：発破による音と振動，山海堂，p.116，118，1996.
2) (社)火薬学会・発破専門部会：現場技術者のための発破工学ハンドブック，共立出版，pp.449-452，2001.
3) 織田・富山：振動制御のための秒時間隔研究
4) 石井・西田・中野・坂野：最新発破技術，森北出版，1984.
5) 前掲2)，p.453.
6) 全国火薬類保安協会編：コンクリート破砕器作業の安全，p.19，1991.
7) 三谷建：発破騒音，振動を軽減するトンネル掘削の研究(2)，建設の機械化，1998.5.
8) ジェオフロンテ研究会IT掘削分科会・割岩工法WG：割岩工法便覧，割岩工法に関する技術資料(総集編)，2006.12.

土木情報 No.407 今月の主な入札結果

（3月10日～4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	H18名護東道路２号T	ハザマ・鴻池組JV	1,875
水資源機構	豊川用水二期東部幹線併設水路嵩山長彦工区	株木建設	449
東海農政局	新矢作用水地区北野・本郷幹線水路西本郷工区	西松建設	800
中国四国農政局	吉野川下流域農地防災事業第十幹線水路(２工区その５)	飛島建設	705
鉄道・運輸機構	北海道新幹線新茂辺地T(東)1	熊谷・東急・札建JV	3,108
〃	〃　館沢T外１ヵ所他	西松・佐伯・鹿内JV	2,229.18
〃	仙台東西線青葉山駅他	錢高・ピーエス三菱・熱海JV	910
〃	〃　青葉山T他	鉄建・みらい・佐藤JV	1,925
〃	成田高速線松崎T	ハザマ・西武JV	1,042.1
北海道開発局	国道336号えりも町第２宇遠別T	大林組・地崎工業・伊藤組土建JV	3,690
東北地整	東北中央自動車道中野T	アイサワ工業	1,019
〃	東北横断自動車道遊井名田T	青木あすなろ建設	909.8
〃	〃　向落合T	ハザマ	1,400.6
〃	〃　道樽T	竹中土木	2,587
〃	日本海沿岸東北自動車道大茂内第二T	大成建設	2,684.9
中部地整	紀勢線高丸山T	飛島建設	3,260
〃	三遠南信名号T	飛島建設	1,590
〃	302号鳴海Ⅲ共同溝鳥澄立坑	熊谷組	730
近畿地整	第二阪和国道阪南岬T	大豊建設	1,704
〃	2号尼崎杭瀬北新町共同溝	前田道路	260
〃	大阪北共同溝寝屋川門真地区立坑	戸田建設	905
〃	十津川道路今戸T	飛島建設	2,628
中国地整	鳥取自動車道長尾T	新井組	449
〃	広島南共同溝出島地区	梅林建設	395
〃	尾道・松江自動車道吉田T	大林組	2,101
〃	〃　上熊谷T	熊谷組	1,325.3
〃	〃　三良坂T	熊谷組	875.2
〃	岡山西２工区共同溝第６	アイサワ工業	956
〃	浜田・三隅道路中内田T	ハザマ	1,000
四国地整	H18-20城山T	ハザマ	884
西日本高速道路	東九州自動車道日向第１T	奥村組土木興業	1,199.73
都・下水道局	江東区北砂五丁目付近再構築	成和・日正建設JV	319
〃	世田谷区松原五，六丁目付近枝線その４	三井住友・森本JV	441
〃	品川区上大崎一丁目付近管渠整備	佐伯建設工業	140.4
〃	北区滝野川一丁目，西ヶ原四丁目付近再構築	アース・グリーン	186
〃	豊島区巣鴨五丁目，北区西ヶ原四丁目付近再構築	機動建設工業	109.35
〃	港区西新橋三丁目付近再構築	大明建設・ロード建設JV	269.15
大阪府	送水管布設替φ1,200(４拡南部幹線・寝屋川市)	東海工業	359.4
〃	配水管布設φ1,350(バイパス・堺市)２工区	戸田・白石・久本JV	1,940
〃	〃　〃　１工区その２	淺沼組・大鉄工業JV	1,439
名古屋市	津賀田雨水幹線下水道築造	佐藤・若築・りんかい日産JV	766
福山市	福山駅前広場整備(地下送迎場)	奥村組・佐々木建設JV	1,069
京都市	山ノ内系葛野連絡幹線配水管布設(その5-2)	大成建設・金下建設JV	478
大阪市	佃～大和田幹線下水管渠築造(その１)	ピーエス三菱・みらい・東海工業JV	1,909
神戸市	高津橋雨水幹線他築造(その１)	ダイニチ・コンストラクション	278
高松市	一宮１号汚水幹線(１工区)	森組	282
福岡市	鳥飼２号幹線(２)築造	淺沼・不動テトラ・大島JV	850
〃	比恵９号幹線築造	錢高・福田・株木・志多・三軌JV	2,099
■調査・設計等			
鉄道・運輸機構	山梨リニア実験線 0k0・2k４間地質調査	日本工営	11.97
〃	〃　2k4・7k８間地質調査	基礎地盤コンサルタンツ	9.98
〃	仙台東西線，水文調査２	明治コンサルタント	3.5
首都高速道路	横浜環状北線用地測量調査(馬場地区)その３	高千穂技研	5.4
〃	〃　景観検討	オリエンタルコンサルタンツ	14
〃	〃　シールドトンネル他工事資料作成その他	首都高速道路技術センター	63
〃	YK24工区東京急行東横線横断部影響検討	東急設計コンサルタント	7
〃	(関)環状第６号構造物	構造技研	16
都・下水道局	墨田区押上一丁目，横川一丁目付近再構築実施	日建技術コンサルタント	24
明石市	下水道管渠基本調査	大洋エンジニアリング	4.76

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL

東京駅丸の内に官民協働による地下歩行者用道路が完成

東京都と三菱地所が協働で整備を進めている「千代田歩行者専用道第5号線」が完成した．

この道路は，延長240m，幅員14～27mの地下歩道．現在，東京駅丸の内地区で進行中の「行幸通り・駅前広場の景観整備」「丸の内駅舎の保存復原」などの再構築事業の一環として整備され，完成により，乗り換え利便性の向上が期待され，回遊性の高い地下歩行者ネットワークが実現する．この事業は，「大手町・丸の内・有楽町地区まちづくりガイドライン」に定める「公共と民間の協力・協調の精神」にもとづき，東京都と周辺街区開発者である三菱地所との協働による都市計画事業として実施された．

旭川文別自動車道 白滝丸瀬布道路が開通

北海道開発局が事業を行う，旭川紋別自動車道のうち白滝丸瀬布道路が開通した．

今回開通区間は，白滝丸瀬布道路16.5km(白滝IC～丸瀬布IC)のうち，旧白滝～丸瀬布IC区間の10.4km．暫定2車線での供用となる．開通により旭川～遠軽町の所要時間が2時間を切ることになる．

同区間には，平成16年6月に掘削を終えた下白滝トンネル(1,298.5m)がある．

足羽川ダムが環境影響評価の手続きに着手

国土交通省近畿地方整備局は，足羽川ダム建設事業について，環境影響評価の手続きに着手した．

足羽川ダムは福井県池田町の九頭竜川水系足羽川の支流の部子川に計画されているダム．総貯水用量2,870万m^3で，足羽川とほか3支流からもφ5～13mのトンネルにより導水する．先行して，ダム本体と水海川分水施設までの導水路トンネル(φ10m，L=4.5km)を整備する計画．

足羽川ダムは，当初，足羽川に計画されていたが，影響世帯が多かったことから，1997年に一時凍結され，その後の検討により，2002年に「部子川ダム＋4導水(水海川，足羽川本川，割谷川，赤谷川)」案が，最終案として計画されていた．

仙台空港鉄道が開業

JR仙台駅と仙台空港を結ぶ「仙台空港線」が開業した．仙台空港鉄道の工事区間は，JR名取駅と仙台空港を結ぶ7.2kmで，間に，杜(もり)せきのした駅，美田園駅が設置されている．構造物は開削トンネル0.6kmのほか，高架橋と橋梁があわせて5.8km，残りは土工区間．

開削トンネル工事では，地下水位が高く揚水量が非常に多いこと，滑走路に近接し地盤沈下の影響が懸念されること，地下水が溶解性鉄分を多く含み排出基準に満たないことなどの課題を，スーパーウエルポント工法および揚水した地下水を復水する真空プレス型リチャージウエル工法を適用することで解決し，完成させた．

開業により，仙台駅～空港間が最速で約17分で結ばれ，自動車利用の場合の約40分に比べ大幅な時間短縮になる．

地下貯留管のシールド発進

さいたま市は，「南部第10処理分区南浦和2号幹線築造工事(南建-17-1)」のシールド発進式を行った．

同工事は，平成17年度から同市が南区内で進めている雨水対策事業．泥土式シールドにより，仕上がり内径φ4,750㎜，同区白幡一丁目から文蔵二丁目間の延長2.26km，貯留量4万m^3の地下貯留管を築造する．

同市では，平成17年9月の集中豪雨により床上・床下計190件の浸水被害を受け，さらに，平成18年5月の集中豪雨においては，床上・床下計27件や道路冠水の発生など浸水被害が頻発していることから，市民から浸水対策の要望が高まっていた．

シールド発進でジャズライブ

千葉市は，「中央雨水1号貯留幹線2工区」のシールド発進会を行った．

市では，事業に対する市民の理解を深めてもらうため，発進式とあわせて「山田貴子トリオ」によるジャズ演奏会を，市民約150人を招いて開催した．

佐目バイパスのトンネルを整備

滋賀県は，整備を進めている国道421号補助道路改築事業(佐目バイパス(延長5.6km))について，昨年度開通した「相谷第一トンネル」につづく区間を今年度も継続して事業を行う．同区間の延長は1.6kmで，(仮称)第1トンネル(466m)のほか，現道拡幅(1.2km)による計画がされている．

現道は，狭小かつ道路線形が悪く，大型車や冬季の交通に障害が多いことから，幅員が4.5～6.5mである現況を，整備により12.0m(2車線＋自転車歩行者道)に拡幅する計画．関連事業である石榑峠道路，石榑南拡幅の整備が平成22年度供用目標であることから，連係して整備を行い，東近江地域と三重県北勢地域間の連携強化よる地域の活性化が期待されている．

文献紹介

調査・計画

神崎正：社会基盤整備における建設用ロボットの役割と展望，土木学会論文集F，Vol.62，No.4，2006.11.

織山純・中村百合子：わが国の石油地下備蓄基地計画，整備状況と今後の展開，基礎工，Vol.35，No.1，2007.1.

設計・理論

楠見晴重・高橋康隆・中村真：比抵抗・弾性波速度の変換解析によるトンネル建設時の岩盤評価法，土木学会論文集F，Vol.62，No.4，2006.10.

重田佳幸・飛田敏行・亀村勝美・進士正人・吉武勇・中川浩二：ひび割れ方向性を考慮した覆工コンクリートの健全度評価法，土木学会論文集F，Vol.62，No.4，2006.10.

京谷孝史・平出壮司：均質化理論に基づくロックボルト打設パターンの最適化，土木学会論文集C，Vol.62，No.4，2006.11.

大谷順・永谷英基・高野大樹：X線CTを用いたトンネル切羽崩壊機構の評価，土木学会論文集C，2006.12.

田嶋仁志・岸田政彦・神田亨：火災高温時におけるRCセグメントの変形挙動に関する部分模型実験，土木学会論文集E，Vol.62，No.4，2006.12.

櫻井春輔・清水則一・芥川真一・吉田秀典・佐藤稔紀・山地宏志：国内超大深度立坑工事の地山崩壊形態から見た崩壊発生機構に関する考察，土木学会論文集F，Vol.62，No.4，2006.12.

佐々木君章：曲線施工における掘削機位置検知，方位計測による地中位置検知システム「Sジャイロ」，建設機械，Vol.42，No.12，2006.12.

川村淳一：モジュラーチ工法，2ヒンジ式プレキャスト・アーチ・カルバート，建設機械，Vol.43，No.1，2007.1.

施工

辻井孝・亀井達司・上田昭郎：日本最長の泥土圧シールドの施工実績，建設の施工企画，No.681，2006.11.

鳥畑幸夫・寺島聖二・日吉洋一郎・浦部克人：直下地下切替工法(STRUM)による線路切換，東急目黒線(目黒～洗足間)立体交差事業，土木技術，Vol.61，No.11，2006.11.

佐藤元樹・中村幸一：鬼怒川上流ダム群連携事業，土木技術，Vol.61，No.12，2006.12.

大久保英也・足立英明・小柳善郎・門脇直樹：東京六本木の地下連絡通路，大断面分割シールド工法(ハーモニカ工法)の矩形函体で曲線施工，建設機械，Vol.42，No.12，2006.12.

森戸義貴・古川慎治・葩島洋伸：首都圏中央連絡自動車道(八王子JCT～あきる野IC)事業の概要，土木技術，Vol.62，No.1，2007.1.

田中健一・上塘祥二朗：初期高強度吹付コンクリートを用いたNATMの急速施工,北陸新幹線峰山トンネル西工区，土木技術，Vol.62，No.1，2007.1.

鬼頭誠・小島芳之：中国ではじめての海底トンネルが着工，廈門東通道(翔安隧道)，土木施工，Vol.48，No.1，2007.1.

石岡英敏・井浦智実・磯谷篤実・千代啓三：シールドを用いた場所打ち支保システムの開発と適用，建設機械，Vol.43，No.1，2007.1.

羽馬徹・松島太司・井本厚：次世代防食ロックボルト，永久構造対応型ロックボルト，建設機械，Vol.43，No.1，2007.1.

前田泰郎・平山博靖：未固結地山におけるトンネル切羽補強工，注入式長尺鋼管鏡ボルト「F－Sボルト」の施工実績，建設機械，Vol.43，No.1，2007.1.

宮坂公勇：騒音防止システム，土木工事における仮設防音設備，建設機械，Vol.43，No.1，2007.1.

土橋浩：道路シールドトンネル分合流部の設計施工，首都高速中央環状新宿線，基礎工，Vol.35，No.1，2007.1.

三浦隆・藤木仁成：首都高速中央環状品川線の概要と進捗状況，基礎工，Vol.35，No.1，2007.1.

野焼計史・永田憲二：東京地下鉄13号線(池袋・渋谷間)建設工事の概要，基礎工，Vol.35，No.1，2007.1.

維持・管理

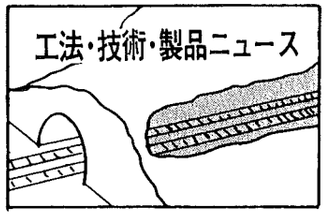
時枝寛之：キャビテーション噴流技術を用いたトンネル照明灯具の高速清掃装置の開発，建設の施工企画，No.681，2006.11.

山谷哲美：通信基盤の災害対策，NTT東日本の取組みと首都直下地震への備え，土木施工，Vol.48，No.1，2007.1.

大岡正憲：函渠，側溝等における清掃機械の開発，建設機械，Vol.43，No.1，2007.1.

松岡彰博・西場猛：超高強度繊維補強コンクリートパネルによる水路トンネル補修，農業土木学会誌，Vol.75，No.1，2007.1.

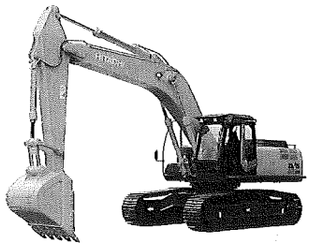
田中一能・田近真悟：リフレッシュ上野町地下道，土木技術，Vol.62，No.1，2007.1.



重掘削・砕石専用油圧ショベル

日立建機は，油圧ショベルの重掘削・砕石仕様機ZX400LCH-3，および石灰石・砕石専用強化仕様機ZX400R-3の発売を開始した．

両機は，日米欧の第三次基準値をクリアするエンジンを搭載，国交省低騒音型建設機械指定機となっている．機体各部材を強化し耐久性を向上させるとともに，新型エンジン，新油圧システムを採用することで，低燃費と大作業量を実現した．また，キャブ部には高強度材を導入するなど，過酷な作業環境を想定し安全性を向上させている．



乾式吹付けコンクリートの課題を低減

飛島建設と矢島哲司・芝浦工業大学教授は共同で，「ドライミストコンクリート含水量測定システム」を開発し，実施工で有用性を確認した．

同システムは，乾式吹付けコンクリートに用いるドライミストコンクリート中の含水量を，供給するベルトコンベヤ上で計測し，含水量と添加すべき水量をモニタ表示する．数値にもとづいた水量の調節を可能にすることで，乾式吹付けコンクリート品質の変動が低減される．今後は，測定データから添加水量を自動制御するなどの高度化をすすめる．

実工事へ適用は，飛騨トンネル避難坑で行われた．同トンネルは輸送距離が長く，湿式吹付けではフレッシュコンクリートの品質低下，吹付けシステムの洗浄，残コン処理などの問題があることから，乾式吹付けを採用．同システムを適用した．

測定システムの精度については，輝度計による測定値と実測値がほぼ一致した結果が得られ，乾式の課題である粉じん，はね返りについては，同社が保有している「スラリーショットシステム」により解決を図った．

常時遠隔監視システムを実用化

飛島建設は，同社の写真測量技術「TPhotoS」に開発を加え，遠隔でリアルタイムに構造物などの変状を監視する「リアルタイム３次元画像測量システム」を実用化した．

同システムは，複数台のデジタルカメラで取得した画像データをパソコンに送信し，その画像を解析することにより計測点の３次元座標を解析．基準座標との差を計算し変位として算出する．今回，この一連の作業を自動化することでリアルタイム計測が実現され，河川整備工事で，親杭などの打設による既設護岸の変状把握に用い実用性を確認した．今後は，光ファイバー計測システムなど，ほかの計測システムと連携を図りながら，防災監視や安全監視に適用する．

オフロード法に対応したホイールローダ

川崎重工は，オフロード法排出ガス基準値に適合した新型ホイールローダを発売した．発売する４機種は，AUTHENT 70ZV-2，80ZV-2，85ZV-2，90ZV-2．

同機は，高出力・高トルクを実現しつつ，排出ガス中のNOxや粒子状物質を大幅に削減したエンジンを搭載し，オフロード法に適合する．また，除雪仕様や産廃仕様など，さまざまな用途や作業環境に幅広く対応できるよう，各種バケットやオプション・アタッチメントを拡充している．



土木積算基準をXML化

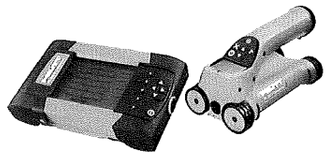
日本建設情報総合センターは「積算基準データ」の形式を他システムに流用しやすく，今後主流となるWeb型システムに親和性の高い形式であるXML 形式で提供する．

XML形式を導入することで，積算関連業務でのデータの共有が可能となることから，積算業務の効率化を実現できるとしている．同データの使用解説書は，同センターのホームページからダウンロードできる．

鉄筋探査機のアップグレード

日本ヒルティは，電磁誘導方式を用いた鉄筋探査システム，PS200フェロスキャンをアップグレードし，発売した．

PS200では，鉄筋探査でのコンクリートのかぶり厚さ，鉄筋径の特定に高精度の探査を実現する電磁誘導方式を旧製品から採用しており，新製品ではこれに加え，スキャナ内蔵の解析アルゴリズム，データベースを更新し，より高精度の探査結果を実現する．スキャナをコードレス式，インタフェイスに漢字表示を採用するなど，作業性の向上も図った．

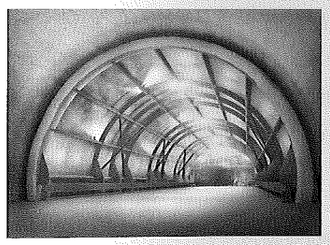


高品質，高耐久性を確保する覆工コンクリートの新養生技術

鴻池組は，コンクリートの養生方法として「温度制御噴霧式覆工コンクリート湿潤養生工法(K-tics)」を開発した．新設トンネル建設時の覆工コンクリートを一定期間，湿潤養生し，その強度増進を図ることにより品質，耐久性の向上が得られるとしている．

同工法は，型枠脱枠後，移動式の養生台車を据え付けることにより，コンクリートを一定期間，湿潤状態で養生する．養生台車には遮水シートおよび端部締め切り用の空気充填膜が取り付けてあり，コンクリートとの間に30～60cm程度の密閉された養生空間を確保する．養生空間に微粒の霧を発生させることにより湿潤状態を確保する．この際，温度感知センサーにより養生温度を計測し，事前の温度応力解析による最適な養生温度制御曲線の設定とあわせて温度制御を行うことで，最適な養生状態を保持する．

同社では，同工法の普及と受注に向けて，全国的に営業展開を進めていく予定．



換気ダクトの漏風率を1/100に

鹿島建設と大成建設は共同で，小口径・長距離のトンネル換気を確実に行う「NLF(Non-Leak-Fastener)ダクト」を開発した．

同製品は，換気用のビニール風管で，小口径・長距離トンネル工事で中継ファンの設置が困難な場合に有効．従来のビニール管は，通常10mの長さの管をファスナーでつなぎ，管の内部にスカート(筒状の布)を取り付け風が流れることで，スカートが接続部に密着し風漏れを抑える仕組みであったが，曲線部で風が一定でない，長年の使用で劣化し風漏れが増えるなど難点があった．同製品では，ビニール管の接続部にウエットスーツで使用する「防水ファスナー」を用いて，管を接続することで従来よりファスナーからの漏気をなくし，さらにファスナーの始端～終端部の隙間にドーナツ状のパッキンを挟み込むことで，ビニール管の接続部の気密性を飛躍的に高めた．

漏風性能試験では，漏風率が従来より1/100程度に低減され，スカートをなくしたことでビニール管の風抵抗を低減できるとしている．

超大型ダンプトラックのフルモデルチェンジ

新キャタピラー三菱は，重土木や砕石・鉱山現場で活躍する超大型ダンプトラック２機種をモデルチェンジし，発売した．

新発売の２機種は，CAT®773F，CAT®775F．排出ガスに含まれる有害物質を大幅に低減させた新型エンジンを搭載することで，オフロード法と国交省の第三次基準値排出ガス規制(775Fは出力範囲が対象外)に対応した．



超大型ダンプトラックのラインアップを拡充

新キャタピラー三菱は，重土木や鉱山現場で活躍する超大型ダンプトラックをモデルチェンジし，新発売した．

発売するのは，最大積載重量95.1トンのCAT®777F．前掲の773F，775Fの上位機種となる．

排出ガスに含まれる有害物質を大幅に低減した新世代環境対応型エンジンACERT(アサート)を搭載し環境性を向上させた．また，大容量の新型キャブを採用し，オペレータの作業環境を大幅に向上させた．さらに，従来機より変速が滑らかな電子制御式クラッチ圧コントロールを新たに採用するなど，駆動系装置の電子制御化を大きく進化させている．



３次元レーザースキャナでトンネル覆工巻き厚を管理

三井住友建設は，「トンネル覆工巻き厚管理システム」を開発した．

同システムは，レーザースキャナを用いて，覆工前のトンネル形状を３次元連続形状計測によりデータ化(図化)し，設計図と重ね合わせることにより，巻き厚を判定する．また，解析システムで処理することで，任意位置での巻き厚断面図や平面展開コンター図を作成することができ，巻き厚不足などの異状箇所を，覆工施工前に迅速かつ視覚的に把握することが可能．

同システムでは，各帳票の作成のほか，定期的な３次元レーザー計測の実施により，トンネル変位の経時変化を把握することもできる．また，変形発生箇所について解析・検討の必要が生じた場合には，３次元計測データをそのまま解析モデルとして使用することもできる．

トンネルワールドニュース

（社）日本トンネル技術協会
国際委員会

Gautrain高速鉄道新線の設計がAtkins社に

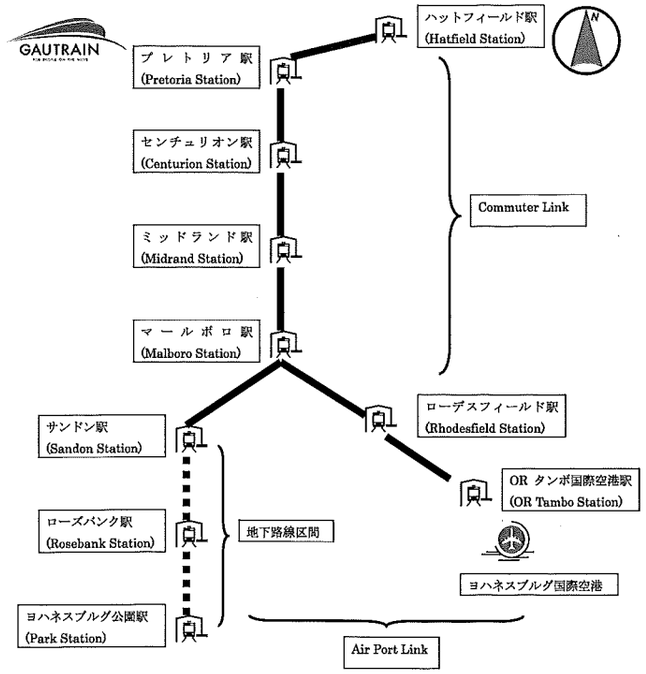
ヨハネスブルグ市(南アフリカ共和国)の延長80kmに及ぶ新線：Gautrain高速鉄道網の3件の詳細設計契約がAtkins社に指名された．この高速鉄道はヨハネスブルグ公園駅～プレトリア駅間のCommuter Linkと，さらにヨハネスブルグ駅～サンドン駅を通りORタンボ国際空港駅(ヨハネスブルグ国際空港)と結ぶAirport Linkの新線である．

この詳細設計を落札したBombela Civils JV (BCJV)の構成はAtkins社ほか2社で，詳細設計の内容は以下の3件である．

- 15kmの新設トンネル(ヨハネスブルグ公園駅からマールボロ駅間)
- 新設の3地下駅(ヨハネスブルグ公園駅，ローズバンク駅，サンドン駅)
- マールボロ駅進入坑口(地上線の地下への引き込み口)

ヨハネスブルグ市内と近郊を高速で結ぶ新線ルートの市内部分のほとんどが地下路線式で，ヨハネスブルグ公園駅からパークタウンにあるヨハネスブルグ病院の下を抜けてローズバンクに向かい，リボニアロード沿いをサンドン駅に至る地下路線である．

Gautrainの建設工事はプロジェクトの南部から開始される．それはヨハネスブルグ公園駅→ローズバンク駅→サンドン駅→マールボロ駅→ミッドランド駅の順に施工され，またORタンボ国際空港駅(ヨハネスブルグ国際空港)→ローデスフィールド駅→ミッドランド駅の南部へと進められる．さらに，サンドン駅には地下鉄トンネル用の発進立坑工事がマッシュルームファーム公園に近接して駅側から施工される．



この建設工事の完工とGautrainシステムの完成にはさまざまなステージがある．サンドン駅～ORタンボ国際空港駅間とサンドン駅～ミッドランド駅間は2010年のサッカーワールドカップ開催に合わせて建設工事の完工と試験走行まで45か月で終える計画だ．残るサンドン駅～ヨハネスブルグ公園駅間とミッドランド駅～ハットフィールド駅間ほかの5駅は2011年の3月1日までの54か月間で建設工事の完工と試験走行を終える予定である．

Atkins社は建築，土木，構造，地質，ビル管理サービス，さらにはトンネル換気の詳細設計など80人にも及ぶ設計チームをサンドンにある新しいAtkins社プロジェクトオフィスから送り込んだ．そのチームはGautrain高速鉄道工事関係会社をリードする特別チームとして発足した．

Atkins社は2006年の初めには既にGautrain高速鉄道工事関係会社に概略設計を提示済みである．ヨハネスブルグ市とプレトリア市を結ぶM1高速道路はSouthern Hemisphereの繁華街へ平日に約30万人の人々を運んでいる．しかし，この220億ランド(1ランド≒16円)に及ぶGautrain高速鉄道プロジェクトは今後ヨハネスブルグ市とプレトリア市の2大都市を移動する通勤者と旅行者の利便性に大きく貢献するだろう．

(T&TC　'06.11　担当：篠原慶二・前田建設工業(株))

『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)

社団法人 日本トンネル技術協会

会　報

1. 会員の現状

	3月25日現在
正　会　員	2,235名
団体会員	425名
個人会員	1,810名
名誉会員	1名
計	2,236名

2. 委員会の開催状況（3月1日～31日）

①調査研究関係委員会

◎技術委員会

共通技術小委員会：3/15(豊島英明委員長ほか14名) 課題を検討

ずり出し調査WG：3/13(小暮誠主査ほか8名)解析方法を検討

山岳トンネル小委員会支保WG：3/5(服部修一主査ほか20名)変状事例を検討

都市トンネル小委員会Q&A施工WG：3/27(中島泰彦幹事長ほか13名)原稿を検討

筑紫トンネル他特別委員会：3/2(樗木武委員長ほか35名)現場視察ほか

新埋め戻し材特別委員会：3/20(赤木寛一委員長ほか20名)試験結果報告ほか

東北新幹線トンネル施工技術委員会：3/28(足立紀尚委員長ほか49名)

同　機械化WG：3/22(田村武幹事長ほか19名)施工結果を検討

北海道新幹線トンネル(本州方)施工技術委員会：3/29，30(足立紀尚委員長ほか33名)現地視察ほか

計　9回開催　　220名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会

会誌WG：3/7(大島洋志主査ほか13名)4月号の会誌と3か月計画を検討

ホームページWG：3/27(伊藤文雄主査ほか6名)再構築案を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会

ニュースWG：3/20(平澤泰作主査ほか9名)海外ニュースを翻訳

ITA統括WG：3/22(福本勝司主査ほか9名)今後の活動方針を検討

◎事業委員会：3/26(桑原彌介委員長ほか13名)催物事業計画を検討

同　打合せ会：3/1(中島誠三委員ほか6名)発表会課題を検討

同　同：3/2(秋本幸久委員ほか4名)発表会課題を検討

第10回モグラ研究会：3/16(木戸義和委員ほか11名)技術の伝承を検討

計　8回開催　　79名出席

合計　17回開催　　299名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第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

第60回(山岳)，第61回(都市)施工体験発表会発表者募集のご案内

このたび恒例のトンネル工事に携わっている現場技術者による施工体験の発表希望者を，下記のとおり募集いたします．また，今回から発表者の意欲向上と発表会のレベルアップを図るため，優秀発表者を表彰することとしております．わが国のトンネル施工技術発展のために奮ってご応募くださるようご案内申しあげます．

―記―

課　　題：

①第60回(山岳)「厳しい条件を克服した山岳トンネル工事」

(都市NATM，周辺環境，大土かぶり・高水圧，小断面・長距離施工，海外工事等)

②第61回(都市)

A：「地下重要埋設物をはじめとする各種制約下での都市トンネル工事」

(開削式，非開削式(シールド含む)を対象として，重要地下構造物との交差・近接，軟弱地盤，長距離施工工事等)

B：「若手に伝えたい都市トンネル施工技術」

(現在携わっている工事現場のほか，以前に手がけた現場において経験した継承すべき貴重な施工体験工事)

※A，Bのうち1テーマを選んで下さい．

開催時期：第60回：平成19年9月26日(水)
第61回：平成19年9月27日(木)

開催場所：両回とも東京にて開催

発表時間：1題20分程度(発表件数により増減)

発表方法：発表テキスト原稿と液晶プロジェクター(パワーポイント)

応募方法：概要を1,200字程度に取りまとめ(様式自由)，題名，所属・役職，氏名，連絡先，電話番号，メールアドレスを記載のうえ，5月25日(金)までに下記事務局宛て提出してください．
FAX，メールでも結構です．

〒104-0041　東京都中央区新富2-14-7　新光第一ビル　担当：山之内
社団法人日本トンネル技術協会
TEL：03-3553-6174　　FAX：03-3553-6145　　E-mail：gori@sepia.ocn.ne.jp

発表者通知：発表者には選考のうえ，6月下旬に本人宛てご連絡いたします．発表者は8月下旬までにテキストの原稿(約10,000字)を提出していただきます．
その際には，原稿作成要領等改めてご連絡します．

そ　の　他：発表会後に優秀発表者の審査を行い，表彰者には後日あらためてご案内いたします．

6月号予告[6月1日発売予定]

●北陸新幹線　高丘トンネル南工区
●東海道線新橋・浜松町間環状2号線交差部工事
●新宇治川放水路トンネル
●ベトナム　ダイニン水力発電所
【連載講座】
●発破技術の現状(最終回)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆「トンネルと地下」に掲載された報文は創刊から本号までで2,550論文となりました．内訳は「施工」が1,687件，「研究」が307件，「報告」が218件，「解説」が250件，「計画」が88件となっております．執筆いただいた方の所属ですが，発注者側では東京都(各局総数)とNEXCO(旧日本道路公団含む)が同数の312件，続いてJR(旧日本国有鉄道含む)の306件，以下，鉄道・運輸機構(旧日本鉄道建設公団含む)の278件，国土交通省(旧建設省含む)の156件，東京地下鉄(旧帝都高速度交通営団含む)の134件，東京電力の100件と続いております．施工会社(共同企業体のサブは除く)をみますと，大成建設が132件で一番多く，続いて，鹿島建設の94件，以下は熊谷組92件，清水建設82件，大林組79件，西松建設69件，前田建設工業63件，佐藤工業58件，飛島建設54件，奥村組49件となっております．

◆これまでに多数の報文を当誌にご投稿いただき編集部を代表いたしましてお礼申し上げます．「トンネルと地下」では皆様方からのご投稿を随時受け付けております．投稿規定は当社ホームページ(http://www.tunnel.ne.jp)にて閲覧可能でございます．新年度を迎え，皆様方よりの更なる投稿をお待ちするとともに，現場の苦労や新しい試みなど幅広く発表の場として当誌を利用いただければ幸甚です．

(I.Y)

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

トンネルと地下
第38巻 第5号〔通巻441号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成19年4月20日　印刷
平成19年5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．

吹付けコンクリート用急結剤
「太平洋ショットマスター」



1 急結性に優れています
セメント鉱物系ならではの
シャープな急結性が得られます
そのため 吹付けコンクリートを急速に硬化させ
岩盤への優れた付着性
跳ね返りの低減が実現できます

2 短時間強度長期耐久性が良好です
吹付け後 短時間で高い強度が得られ
以後の強度発現性も優れています
また セメント鉱物系ですので
長期耐久性も良好です

3 塩化物を含んでいません
塩化物を含んでいませんので
ロックボルト・鋼製支保工等の鋼材を腐食させません

優れた付着性!!
「太平洋ショットマスター」は、太平洋セメント株式会社が特殊セメントやセメント用各種混和剤の開発技術をもとに、鋭意研究開発したセメント鉱物系を主成分とした吹付けコンクリート用急結剤です。セメント鉱物ならではの急結性を有し、吹付けコンクリートの岩盤への優れた付着性・跳ね返りの低減が実現できます。

太平洋マテリアル株式会社

●営業本部高機能建材営業部 〒103-0023 東京都中央区日本橋本町4-8-15 ネオカワイビル8F　TEL.03-3278-5319
○北海道支店／TEL.011-221-5855　○東北支店／TEL.022-221-4511　○東京支店／TEL.03-3278-5331
○北 陸 支 店／TEL.076-234-1670　○中部支店／TEL.052-452-7141　○関西支店／TEL.06-6228-6660
○中 国 支 店／TEL.082-261-7191　○四国支店／TEL.087-833-5758　○九州支店／TEL.092-781-5331