

トンネルと地下 8

vol. 36
no. 8
2005

『Tunnel and Underground』

道路トンネル直下を計測管理により掘削
大規模断層破碎帯に双設大断面トンネルを貫く
地下水位の上昇から地下駅を守る
既設導水路の近接施工における振動低減対策
小口径バーンカットの破碎機構に関する実験的検討

日本トンネル技術協会誌



三菱重工

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

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

1993
〈世界最大級の泥水式シールド〉
東京湾横断道路工事で活躍

1989
英仏海峡トンネルT-5工区貫通式
完成にわく関係者たち

1995
〈9心円泥水式駅シールド〉
地下鉄12号線環状部飯田橋駅
工区建設工事で活躍

1939
〈日本最初の本格的シールド〉
関門トンネル工事で活躍

トンネル開発技術に 60余年のヒストリー。

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



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

定価 1,575円 雑誌06619-8
本体価格1,500円



4910066190859
01500

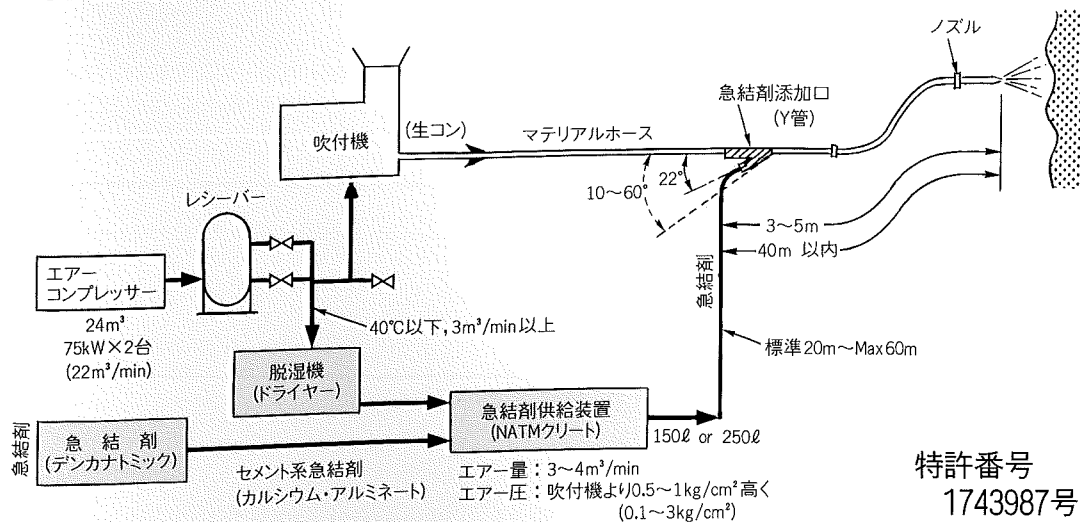
世界に誇る日本のNATMトンネル

安全性・経済性・高品質

技術者が選ぶ **デンカナトミック**

吹付けコンクリート用急結剤

NATMトンネル吹付けシステム (デンカナトミック使用時)



特許番号
1743987号
2060759号
2118718号

湧水、剥落をシャットアウトする

急結力

- 湧水に強い
- 急結性が優れている
- 付着性が大きく、はね返り損失が少ない
- 短時間強度・長期強度とも優れている

《デンカナトミック》 種類 * : TYPE-Lは、液状急結剤です。

| TYPE | かさ比重(標準) 有振動 | かさ比重(標準) 無振動 | 真比重(標準) | 標準使用量 (×C%) | 主成分 | 性能および主な用途 |
|------|-----------------|-----------------|---------|----------------|----------------|---|
| 3 | 1.03 | 0.73 | 2.48 | 3~6 (標準5) | 無機塩 | 一般吹付け工事、用排水路・法面吹付け工事、他。 |
| 5 | 1.22 | 0.78 | 2.68 | 5~10 (標準7) | 急結性 セメント鉱物 | 高急結性一般吹付け工事、湧水部の吹付け工事、 ナトムトンネル用万能タイプ |
| 10 | 1.18 | 0.70 | 2.86 | 10~25 | 超急硬性 セメント鉱物 | 高強度用 緊急・補修吹付け工事、ぼうあつトン ネル工事、膨張性地山工事、地下貯蔵用タンク |
| L* | — | — | 1.47 | 4~8 | 無機塩 | 一般吹付け工事 トンネル・用排水路・法面吹付け工事 |

■ トンネル関連製品

- デンカ Σ-ショット...高強度吹付けコンクリート用混和材
- デンカ FITN...吹付けコンクリート用高機能混和剤
- デンカ サブショット...小断面トンネル (TBM) 用吹付けモルタル
- デンカ Pロック...長尺ボルト・ケーブルボルト用混和材
- デンカ ウレタン/MIF...地盤注入およびフォアボーリング定着材
- デンカ AGF...AGF工法用セメント系定着材
- デンカ ES...無公害な土質安定用急硬材
- デンカ OSA 100R...トンネル二次巻きのひびわれ抑制に (水和抑制型膨張材)
- デンカ GK-10...セメント系裏込注入材

チャレンジする化学

デンカ

電気化学工業株式会社

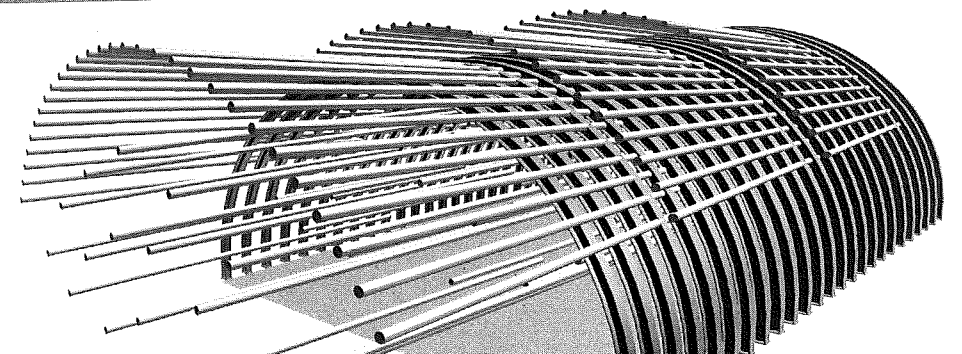
本社 ● 特殊混和材事業部
東京都千代田区有楽町1-4-1 〒100-0006
電話 03-3507-5358

全方位 GFRP 管長尺補強システム

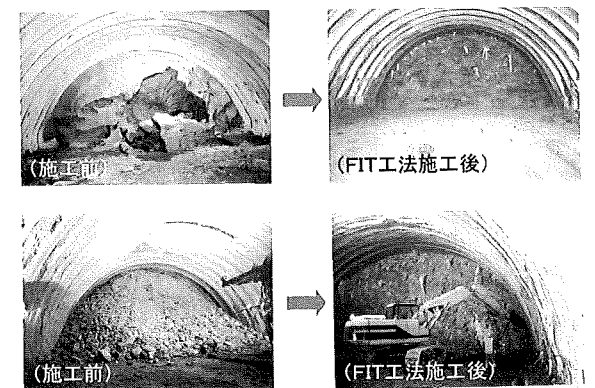
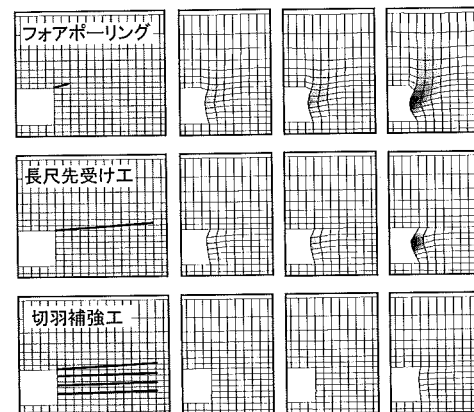
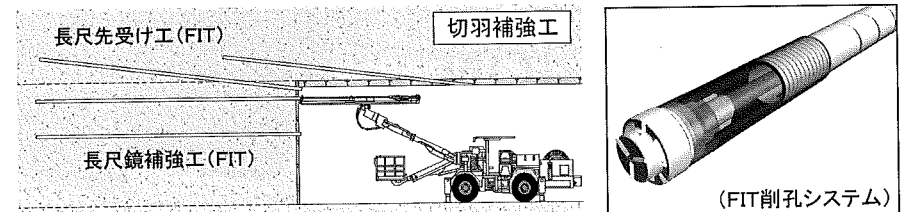
NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150 件以上

FIT 工法

FRP INJECTION TUBE



最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」



(数値解析による切羽補強効果の検証例)

KPC 株式会社 ケー・エフ・シー

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

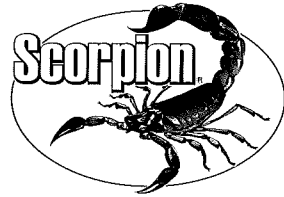
ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

Tonneru no Rental

安全と効率を追求

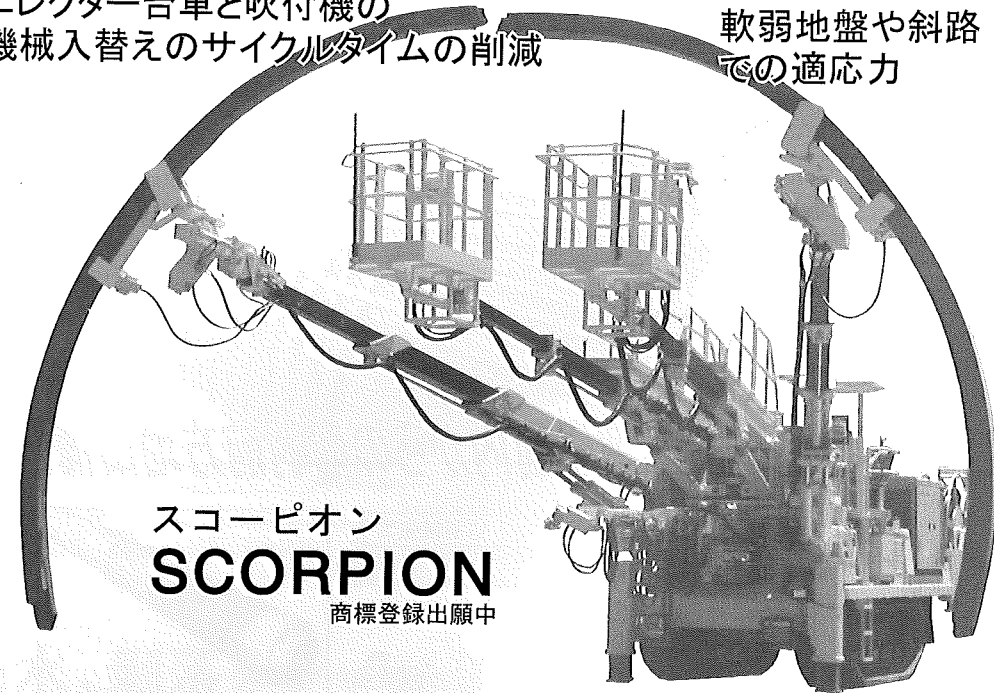
特許出願済

ゴムクローラ式エレクター



エレクター台車と吹付機の
機械入替えのサイクルタイムの削減

軟弱地盤や斜路
での適応力



スコープオン
SCORPION

商標登録出願中

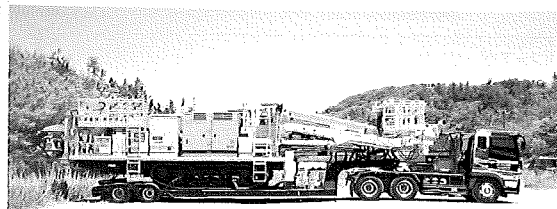
■仕様

新型吹付機 AL-286

新型吹付ロボット

コンプレッサー 2台

急結剤補給装置



●現場への輸送に解体・分離不要

小断面用、中断面用各吹付機のオリジナル・ラインナップ所有

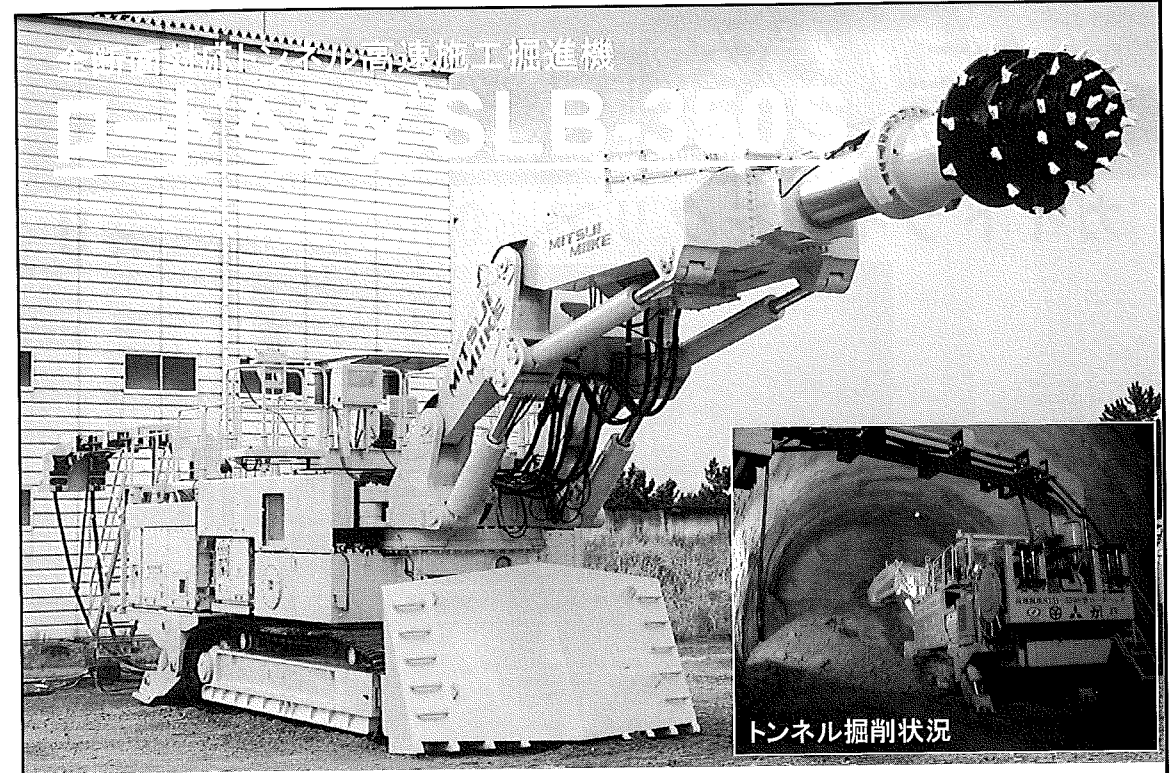
株式会社 トンネルのレンタル

〒389-0514 長野県東御市加沢字大谷地 2 8 6 - 1

TEL 0268(62)1426 FAX 0268(62)1999

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

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



全断面掘削機/中断面掘削機/小断面掘削機

SLB-350S

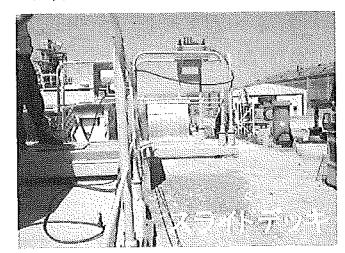


トンネル掘削状況

大断面トンネルの高速施工を目指して

特 徴

- 国内最大の 350kW-4/6P 定出力型 2速切換式電動機を搭載しており、軟岩トンネルはもとより、中硬岩トンネルにおいても十分な掘削能力を発揮します。
- 切削部には中折れブームを採用しており、ベンチ長は最大5mまで確保できます。又、中折れブームを取り外しての全断面掘削、及び上半掘削も可能です。
- 中折れブームの取り外し、及び低速掘削を行うことにより、機体安定性と掘削トルクが増加し、中硬岩トンネル掘削時において高い効果を発揮します。(硬岩用ドラム使用)
- 油圧式のスライドデッキを機体両サイドに装備しており、機体幅より各々1mの張り出しが可能であるため、下部掘削時等におけるオペレータの視界が大幅に改善されます。※1,2
- ディーゼルエンジンの搭載により、ロードヘッダ単独での走行が可能です。よって、機体移動に際し配線替えや別途発電機の準備が不要となり、作業時間が短縮されます。



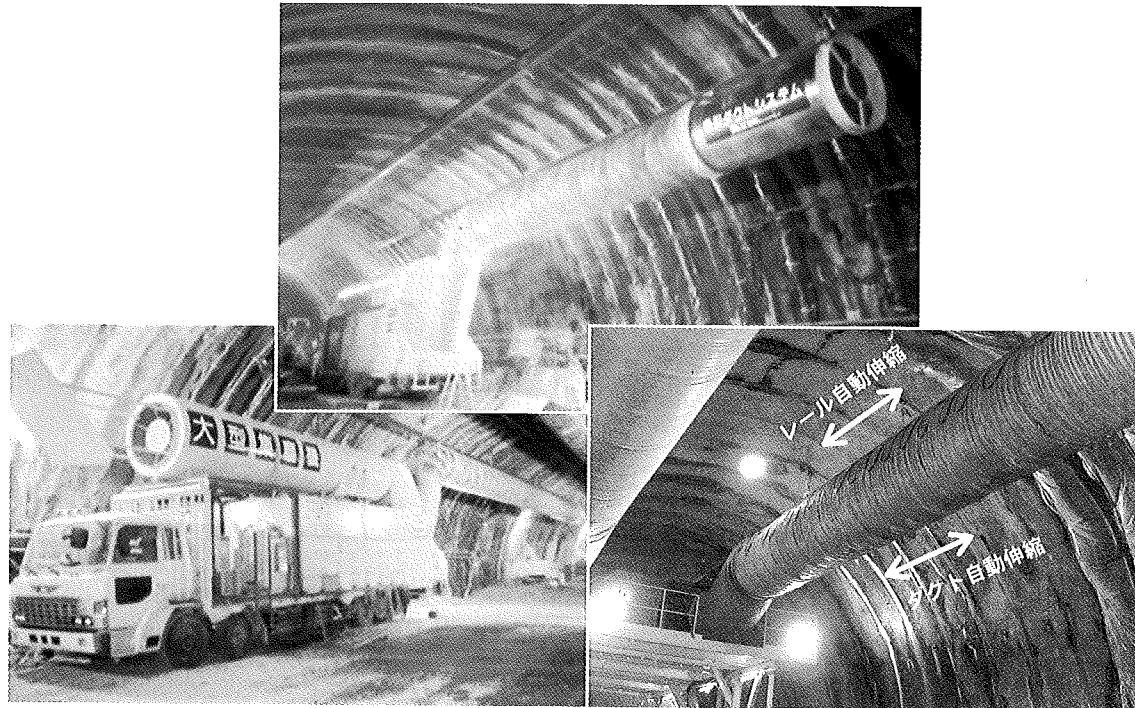
※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。
※2 揺寄・コンベヤ仕様の場合、ディーゼルエンジンは搭載されません。

製造元 **株式会社 三井三池製作所** 本店 / 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
 販売元 **株式会社 三井三池製作所** 産業機械部 TEL. 03-3270-2006 FAX. 03-3245-0203
 札幌支店 TEL. 011-251-5211 FAX. 011-221-3704 / 大阪支店 TEL. 06-6448-6851 FAX. 06-6441-6537
 福岡支店 TEL. 092-271-8871 FAX. 092-271-0653
<http://www.mitsumiike.co.jp> E-mail koken@mail.mitsumiike.co.jp

メンテナ **ミイケ機材株式会社** 本社 / 〒103-0021 東京都江戸川区中央1丁目13番19号
 ナンス TEL. 03-3241-4711 FAX. 03-5678-4105

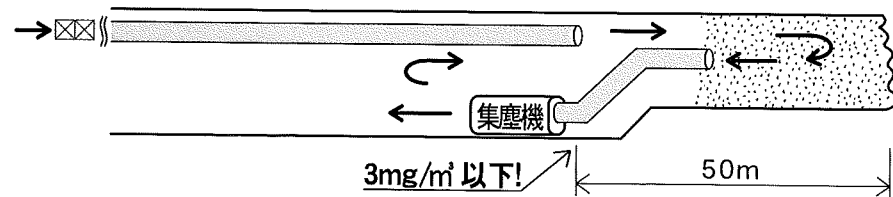
吸引ダクトシステム

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

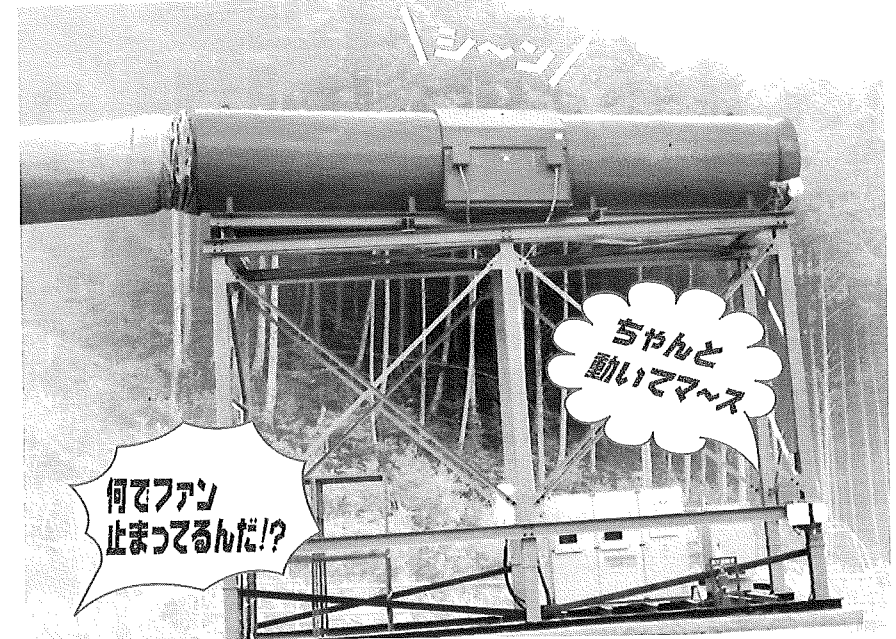
株式会社流機エンジニアリング

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

URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: eigyobu@ryuki.com

超低騒音・二軸反転ファン エアロ★MAX

耳をすまして下さい! ●●♯♯〜これ、ファンの音なんです。



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: 標準78dB(A)、オプションサイレンサーで60dB(A) 以下も可能。
- 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。
- コンサルティング: 長年にわたってつちかって参りました弊社の換気のノウハウを生かし、換気計画後、5.5kW×2~200kW×2の幅広い揃えで対応致します。
換気のご相談はお気軽に本社・営業部までどうぞ。

宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

株式会社流機エンジニアリング

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

URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: eigyobu@ryuki.com

今時、静かなのは当たり前!!

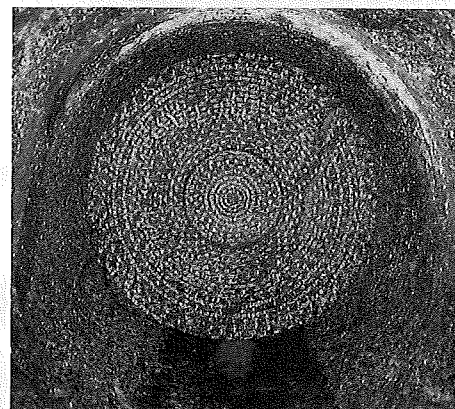
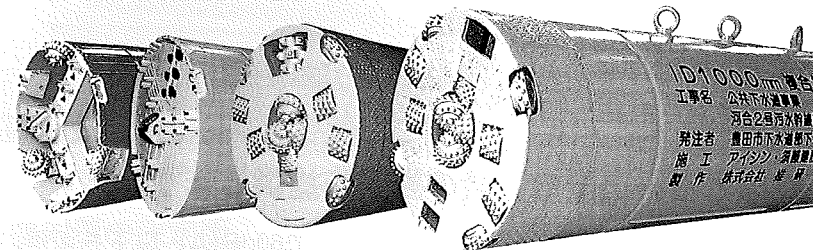
岩盤推進を創めて20年

軟弱土から硬岩まで!!

複合推進工法 (C.M.T工法)

- 800mm~3000mmまで対応
- 機内よりビット交換が可能です。
- 岩盤と普通土との互層土質も施工可能です。
- 長距離曲線推進も可能です。

■ CMT工法で使用される様々なカッターヘッドの一例



C.M.T工法協会
株式会社 **推研**

本社 〒547-0002 大阪市平野区加美東4-3-48
TEL 06-4303-6026
FAX 06-4303-6029

研究所 〒569-1044 大阪府高槻市上土室3-29-7
TEL 0726-94-6164
FAX 0726-92-0186

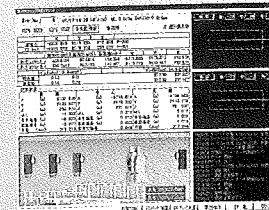
ROBOTEC SURVEY SYSTEM

シールド工事向け自動測量システム

実績 日本国内・アジア No.1

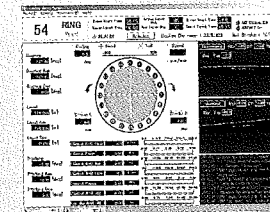
シールド工事における自動測量システムの納入実績は、国内はもとよりアジア地区でNo1となりました。数々の高速・高精度施工の新記録を打ち立て、現在も世界各国の現場で稼働しております。

自動測量システム

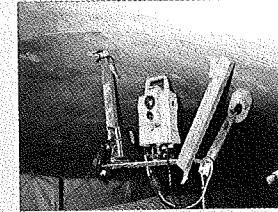


坑内は勿論離れた事務所からの遠隔測量も実現します

ガイダンスシステム



掘削オペレーターには解かり易いガイダンス画面を提供します



トータルステーションは施工工種や施工条件により弊社エンジニアが最適なスペックの機材を提案致します

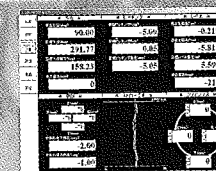
ARIGATAYA V3.0

シールド工事向け掘進管理システム

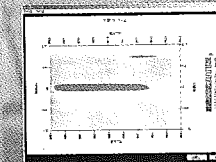
各々の現場における要望等を最大公約数で取り入れ、システムアップし、常に進化しております。弊社は強力なコンサルタント部門による提案型スタイルで、お客様にご満足頂いております。

- システムタイプ
- 泥土圧 泥水 TBM
 - 上下水道 共同溝 地下鉄 道路 etc. (各々専用のソフトをご用意しております)
- オプション
- Shielded Broad Band (ブロードバンドシステム)
 - FOG (光ジャイロシステム)
 - 3D土量計測システム
 - シールド測量バック
 - セグメント内空・変位計測
 - CG・VR・ホームページ作成

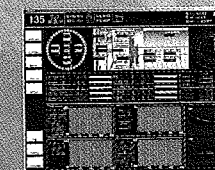
GEOMETRY GYRO



セグメント内空計測



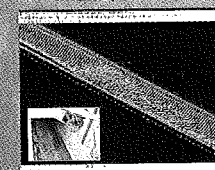
掘進管理



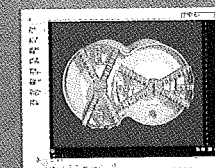
Shielded Broad Band



3D土量計測システム



CG・VR作成



enzan

enzan

Visit Our Web Site : www.enzan-k.com

株式会社 演算工房

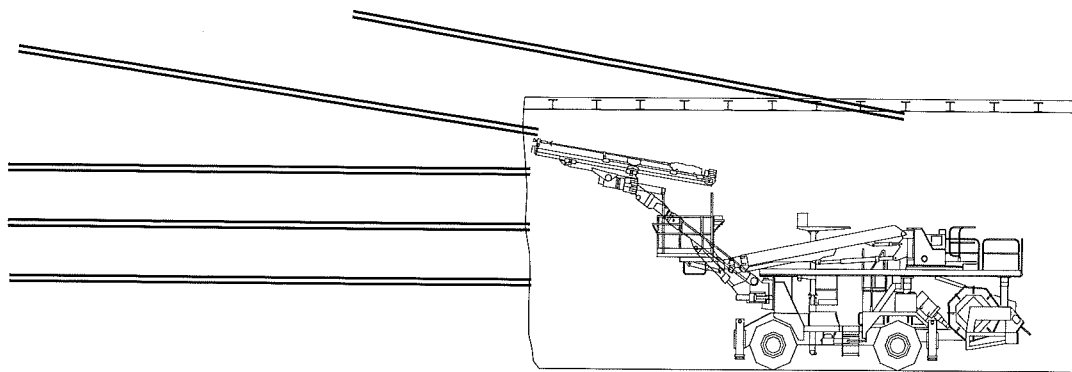
本社 office: 京都市中京区烏丸通押小路上る秋野々町536番地 日土地ビル4F TEL: 075-213-7200 FAX: 075-213-7201
東京 office: 東京都千代田区神田錦町3-15-5 川崎パークビル17F TEL: 03-3518-2588 FAX: 03-3518-2589

Cyber WORKS

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。



対策!

「ヨロケ」とは昔 鉱山で呼ばれたじん肺のことです

発泡型シリカレジン

SR-L

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

注入式長尺先受工法

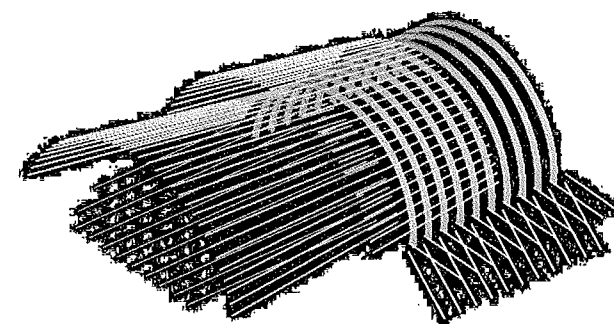
AGF工法

AGF-P工法

AGF-S工法

小口径長尺先受工法

Small-P工法



鋼管膨張型ロックボルト

タイムリーアンカー

無機系注入材

シリカセーフ

株式会社 カテックス 建設資材事業部

<http://www.katecs.co.jp/>

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

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

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

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

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

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

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

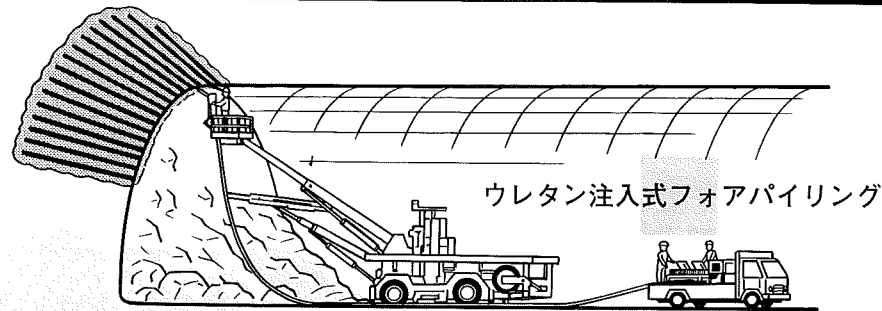
BRIDGESTONE

厳しい条件下の施工に
迅速な対応・信頼の
ブランド

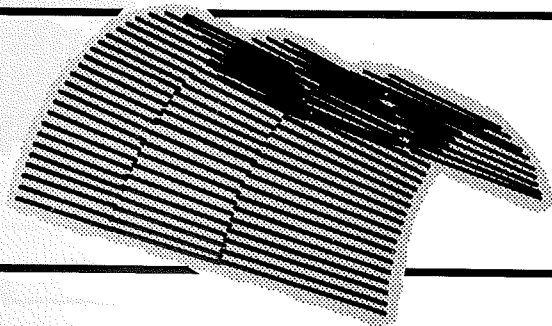
ブリヂストンのトンネル資材

切羽の安定化対策用補助工法

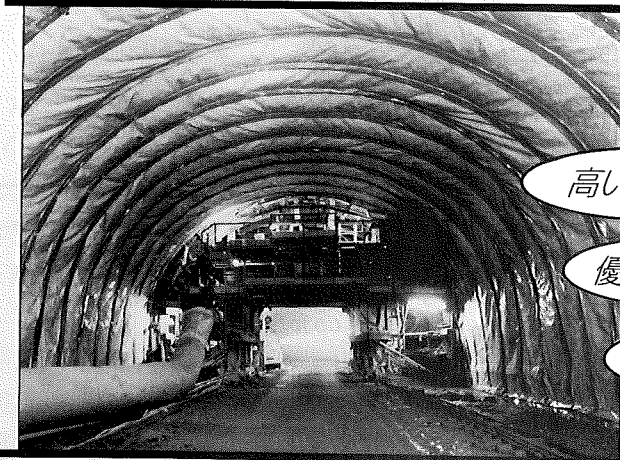
エバーライトGK工法 ウレタン注入式岩盤固結工法



注入式長尺先受工法
(AGF工法)



ナトミックシート トンネル用防水シート



高い防水性

優れた耐久性

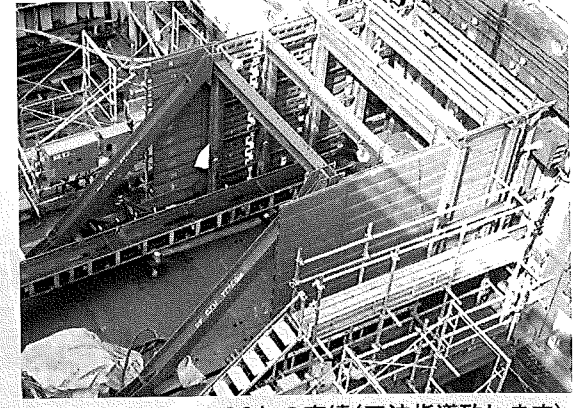
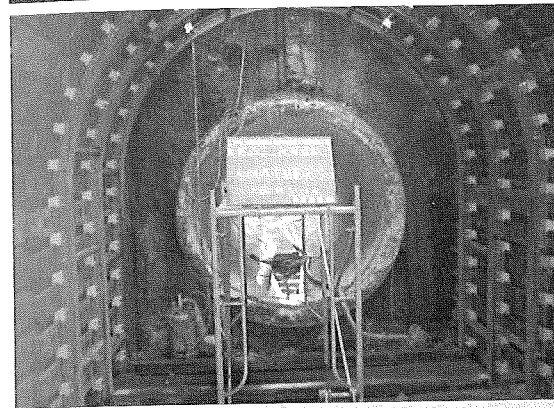
容易な施工性

株式会社ブリヂストン

土木・海洋商品販売部
東京都中央区八重洲1丁目6番6号 〒103-0028
電話 東京(03)5202-6870

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)

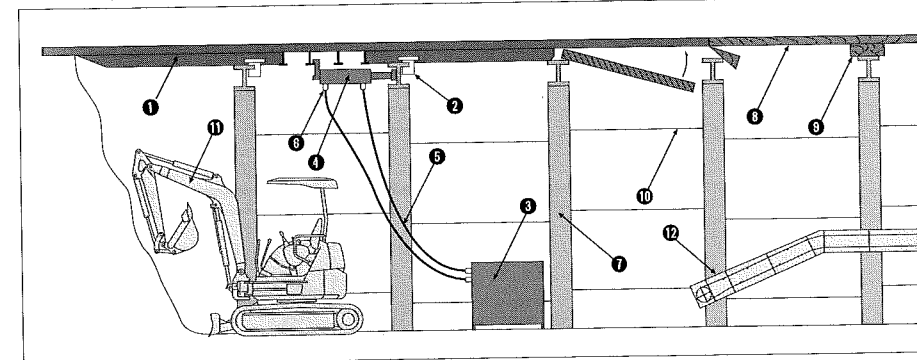
特徴

- 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・曲線掘進に適用します。
- 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



- ①SS-メッセルプレート
- ②スタビライザ
- ③油圧ユニット
- ④油圧ジャッキ
- ⑤油圧ホース
- ⑥油圧手許切換装置
- ⑦支保工
- ⑧木矢板
- ⑨木製キャンパー
- ⑩径間パイプ、
タイロットボルト
- ⑪バックホウ
- ⑫ベルトコンベア



株式会社シーテック

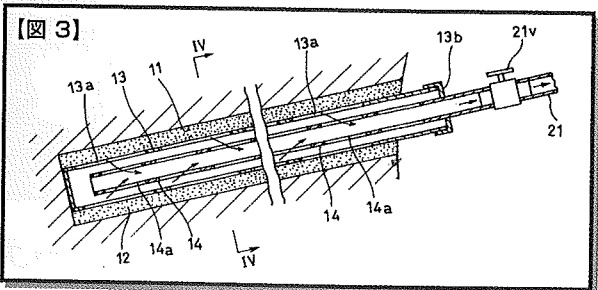
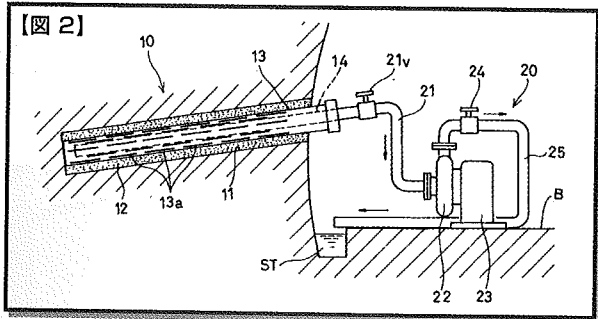
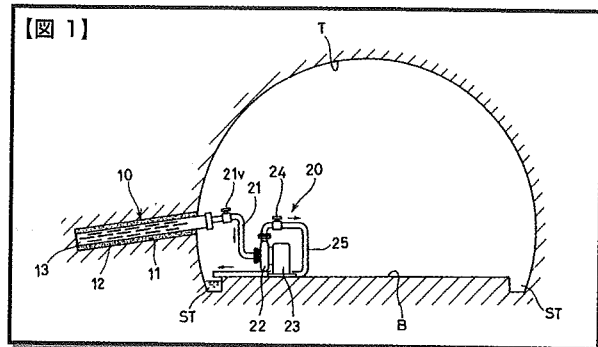
URL <http://www16.ocn.ne.jp/~sietech/>

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋4丁目4番5号 TEL.(03)3263-7457(代) FAX.(03)3262-0915

トンネル坑内 湧水濾過処理工法

特許 第3497116号

トンネル坑内で掘削時に発生する湧水を濾過処理する湧水濾過処理方法において、掘削されたトンネル内に生じた湧水点又はその付近に削孔を掘削し、周囲の土に影響を及ぼさない濾過材でストレーナ管の外周を囲んだ濾過手段を上記削孔に装着し、この濾過手段で湧水を濾過して清水とし、その清水を所定の吸引圧で吸引して側溝へ排出するようにしたことを特徴とする湧水濾過処理方法。

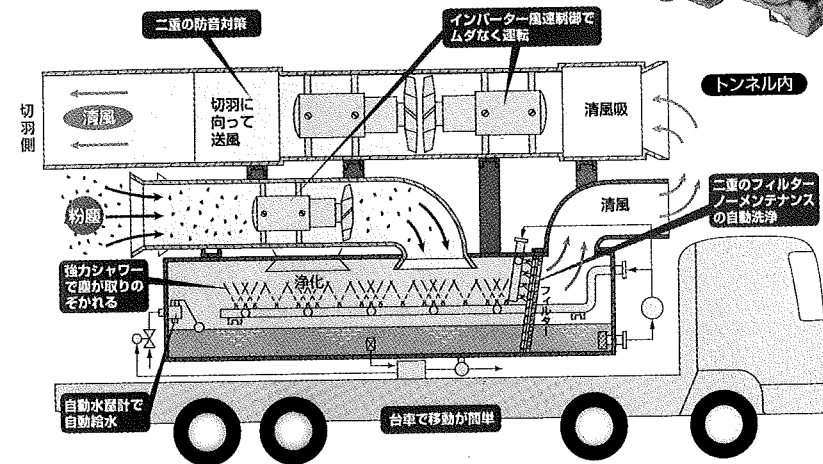
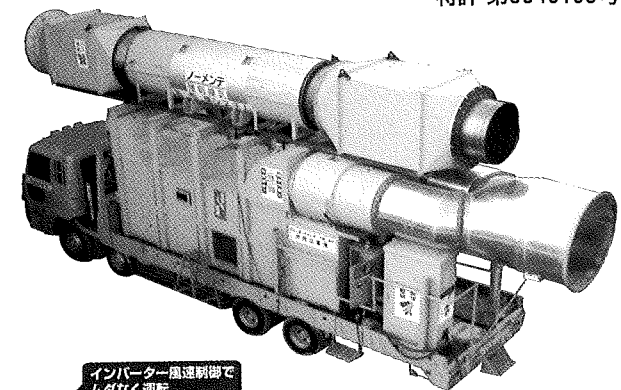


ノーメンテナンス“集塵機”強制換気システム

特許 第3546199号

集塵機の目的

- 人体に有害な粉塵の除去
- 作業員の視野の確保
- 周辺の環境の粉塵公害対策



仕様表

| | | 集塵機強制換気ファン | | |
|--------|------|--|--|--|
| | | S-C-900 | SW37 | SW55 |
| 吸込ファン | 型式 | MFA90Pz 37kw | SW37kw 2連並列 | SW55kw 2連並列 |
| | 口径 | φ900 | φ1,000 | φ1,100 |
| | 風量 | 700m³ | 1,100m³×2 2,200m³ | 1,200m³×2 2,400m³ |
| | 全圧 | 全圧180mmA×9.8=1,764pa | 1台当り全圧180mmA×9.8=1,764pa×2台 | 1台当り全圧240mmA×9.8=2,352pa×2台 |
| 送気ファン | 型式 | — | SW55kw 2連並列 | SW60kw 2連並列 |
| | 口径 | — | φ1,200 | φ1,300 |
| | 風量 | — | 1,300m³×1 1,300m³ | 1,500m³×1 1,500m³ |
| | 全圧 | — | 全圧500mmA×9.8=4,900pa | 全圧500mmA×9.8=4,900pa |
| 散水圧カポン | 型式 | — | — | — |
| | 吐出量 | 1,000l/min | 1,000l/min | 1,000l/min |
| | 出力 | 7.5kW | 11kW | 11kW |
| | 回転数 | 1,500rpm~1,800rpm | 1,500rpm~1,800rpm | 1,500rpm~1,800rpm |
| その他 | 装置寸法 | L4,500 H2,800 W1,800 | 寸法は現場のニーズによる | 寸法は現場のニーズによる |
| | 能力 | セメント粉塵 60% 岩切粉塵 40% 1カマウント = 1m³空気中に0.01mmgの粉塵量 | セメント粉塵 60% 岩切粉塵 40% = 1m³空気中に0.01mmgの粉塵量 | セメント粉塵 60% 岩切粉塵 40% = 1m³空気中に0.01mmgの粉塵量 |

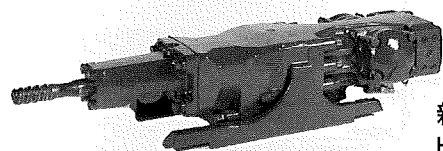
S 株式会社 阪本商会 本社: 大阪市浪速区稲荷1丁目10番4号
TEL. (06) 6562-7657 FAX. (06) 6562-7650
西営業所: 兵庫県小野市大開町字南谷415-30
関東営業所: 静岡県田方郡天城湯ヶ島町佐野字奥野869-619
<http://www.sakamoto-shokai.co.jp>

TOYO

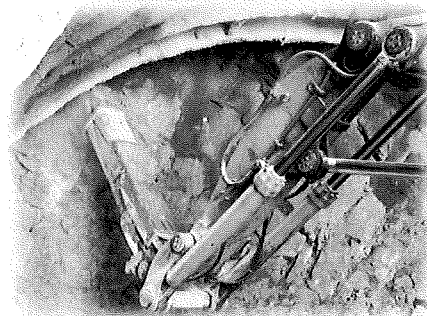
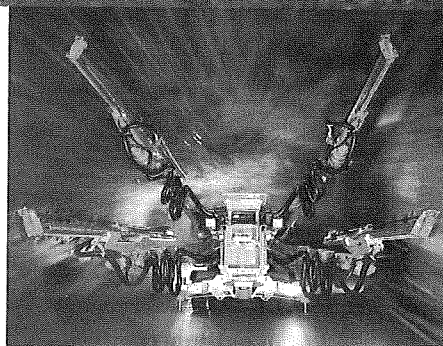
SANDVIK



サンドビクトーヨーは、高速さく孔と作業環境改善の実現をお約束します



新型高性能ドリフター HLX5



サンドビクトーヨー 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

TOYO EJE Rammer

TAMROCK TORO

Tel: 045-478-0660 Fax: 045-478-0661

URL: <http://www.SMC.sandvik.com>

電力・通信ケーブル用多条保護管

Kanaflex

ISO9001

認証取得

カナパイプPV型

トンネル内埋設工事を
省力化・効率化

用途

- トンネル・道路・橋梁
- レジャー施設
- 電線共同溝 (C.C.BOX)
- 大規模プラント

難燃ポリエチレン製の多条ユニット(定尺5m)
ワンタッチで管路接続、作業性抜群です。
配管間隔が狭い省スペース施工に威力を
発揮します。

カナフレックスコーポレーション 株式会社

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)6881-0776 FAX(06)6881-0760
 札幌営業所 TEL(011)271-8770 仙台営業所 TEL(022)792-3055 横浜営業所 TEL(045)241-7511 新潟営業所 TEL(025)226-5111
 静岡営業所 TEL(054)275-2258 金沢営業所 TEL(076)234-5660 名古屋営業所 TEL(052)955-1511 神戸営業所 TEL(078)360-6173
 広島営業所 TEL(082)240-0609 高松営業所 TEL(087)861-4600 北四国営業所 TEL(0875)57-6120 福岡営業所 TEL(092)474-2630
 鹿児島営業所 TEL(099)224-8404
 直営工場 北海道工場 仙台工場 栃木工場 千葉工場 滋賀工場 愛東工場 広島工場 四国工場 九州工場
 URL <http://www.kanaflex.co.jp>



トンネル

C.C.BOX



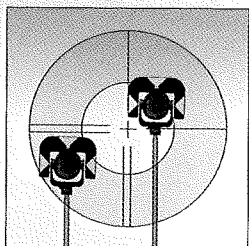
トンネル測量システム

トンネル計測者の声を聞き、さらに進化。
ライカTPS1200シリーズついに登場。

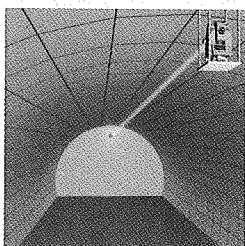
TCRA1200



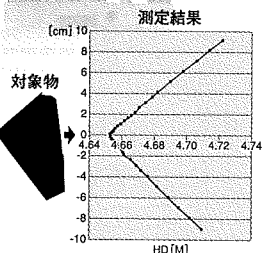
精度が向上した自動視準
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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



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



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

ライカ ジオシステムズ株式会社

<http://www.leica-geosystems.co.jp>

本社 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコート
 テクニカルセンター 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコートB1F
 大阪支店 〒540-6131 大阪市中央区城見2-1-61 Twin21 MID タワー31F
 福岡営業所 〒812-0016 福岡市博多区博多駅南1-3-6 第三博多階成ビル6F
 札幌出張所 〒063-0829 札幌市西区発寒9条13丁目1-10 プレサント発寒ステーション3F

Tel.03-5940-3020 Fax.03-5940-3056
 Tel.03-5940-3035 Fax.03-5940-3059
 Tel.06-6910-3871 Fax.06-6910-5733
 Tel.092-432-8201 Fax.092-432-8221
 Tel.011-669-1101 Fax.011-669-1102

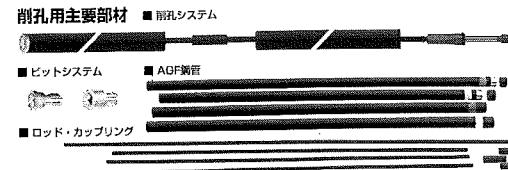
Leica
Geosystems

TFTのトンネル資材

▼ AGF工法

トンネル工事において軟弱地山の先行ゆるみ抑制のためAGF鋼管を打設し、その後注入をおこなうことにより地山を安定させ掘削を可能にする工法で、「AGF-φ工法」等があります。

当社はこれらの「ビットシステム」「AGF鋼管」「ロッド・カップリング」等をご提供します。



フレキシブルで使いやすい引込方式

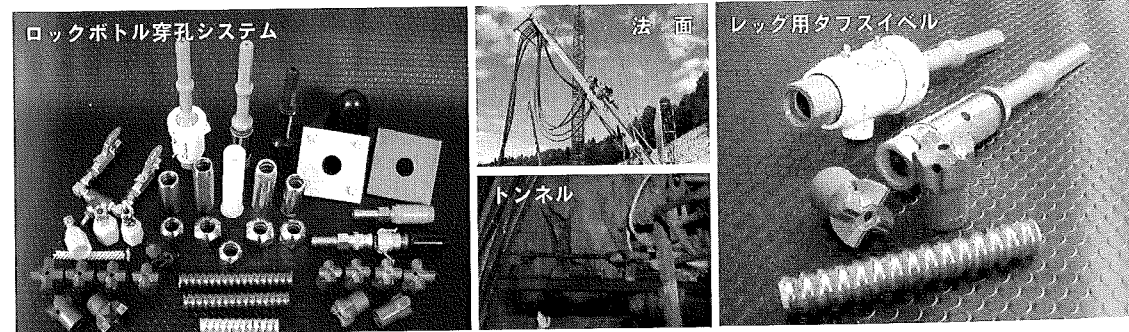


▼ タフボルト (自穿孔ロックボルト)

トンネルのフォアパイリング用ボルトから法面用ロックボルトまで幅広く使用されています。どんな削孔機でも施工でき、しかも小型削岩機も使用可能であり足場費の低減が図られます。

また削孔ビットもφ45~φ65mmと広く準備されています。

| 品名 | 外径mm | 断面積mm ² | 引張荷重 | 降伏荷重 | せん断荷重 |
|------|------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| TF22 | 31.5 | 375 | 235kN (24Tf) | 196kN (20Tf) | 125kN (12.7Tf) |
| TF26 | 31.5 | 420 | 274kN (28Tf) | 215kN (22Tf) | 176kN (18.0Tf) |
| TF32 | 34.0 | 500 | 353kN (36Tf) | 274kN (28Tf) | 216kN (22.0Tf) |



TFT 株式会社 ティーエフティー

Tube Forming & Technological

〒220-0051 神奈川県横浜市西区中央1丁目29番16-201号

Tel 045-320-1701 Fax 045-320-1702

大丸の防音システム



サイレントハウス(Bタイプ)

- 工期の早い標準型
- 音源対策から大型プラントまで

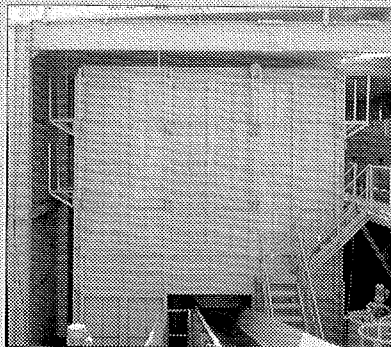
コスモス (Cタイプ)

- 防音効果が最大
- 環境問題の解決に



VLFシステム

- 超低周波音対策に
- 16Hzで-26dB (実績)



DMR
Daimaru

大丸防音株式会社

設計・施工 東京都知事許可(般-13)第76001号 鋼構造物工事業
建設コンサルタント登録 建13第5745号

http://www.daimaru-bouon.co.jp

本社 〒104-0043 東京都中央区湊2-4-1 TOMACビル2F
TEL.03-3537-6700 (代表) FAX.03-3537-6701
営業所 〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3-28-16 オーベクスビル
TEL.06-6821-6151 FAX.06-6821-6477

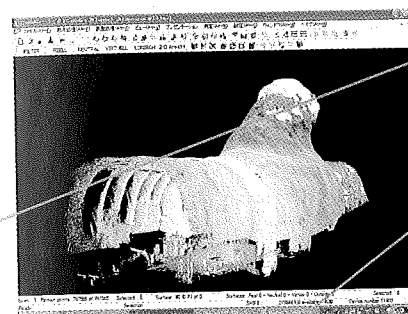
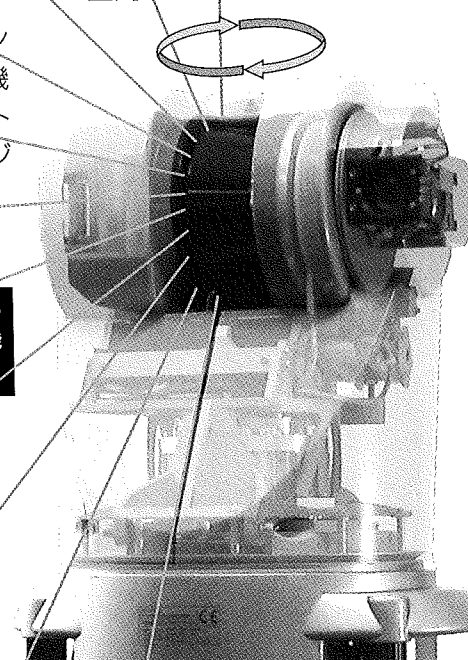
Callidus™ レーザースキャナー

3次元トンネル断面計測機

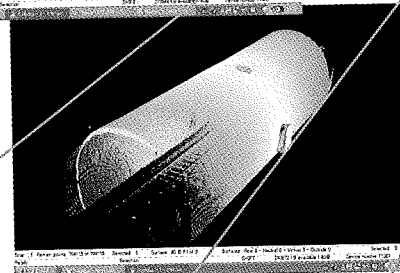
測距精度±5mmで、1秒に1000点以上計測する3次元トンネル断面計測機。1つの機械点からトンネルの約20m⁽¹⁾の範囲を10分で計測できます(機械点前後)。測定データの3次元展開図は、まさにトンネルを絵画のように詳細表示します。又、内蔵デジタルカメラで測定範囲を写真として記録可能です。

(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン



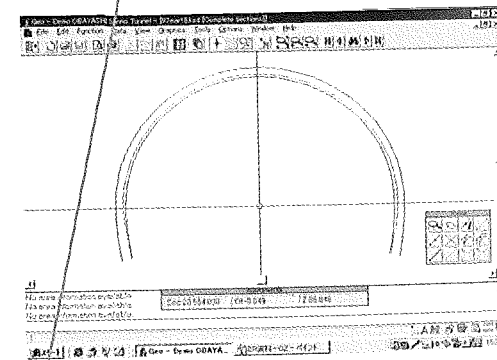
特殊なトンネル形状も対応可能です。



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

MITSUBISHI DIABIT

地山の維持・補修用工具システム

☆玉石・軽石混じり砂礫層掘削に威力を発揮!! ☆掘削しながら同時にケーシングが挿入できる!!

ウルトラメックスビット

工具システム(アウタービットロストタイプ)
※特許申請中

(パイロットビット)

(ロストビット)

スーパーメックスビット

工具システム(ビット回収タイプ)
特許No.2730253 他

超硬工具協会賞受賞

主な用途

- トンネル...鋼管先受け工
水抜きボアリング
- 法面...アンカー
水抜きボアリング
鉄ボルト
鉄補強
- 基礎...地盤改良
- 調査...ボアリング

(シャンクデバイズ)

スモールPビット

工具システム(ロストビットタイプ)
※特許申請中

(ロストビット)

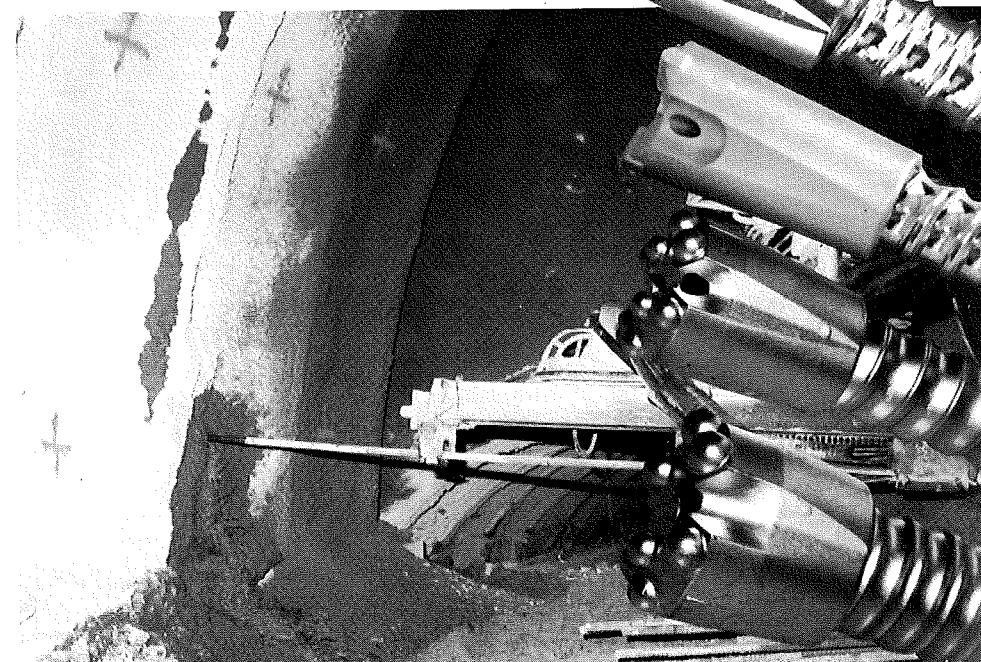
三菱マテリアル

東京支店 ☎03-5819-5263 岐阜駐在 ☎0584-27-5082
大阪支社 ☎06-6355-1053 海外グループ ☎0584-27-5011
九州営業所 ☎092-573-7372

自削孔 NTロックボルト PAT.P

特徴

- 自削孔：削孔時には、ビットとロッドの役割をなし、削孔後には、中空ロッド内からグラウト材を充填し、完了するもので、中空ロッド自体がロックボルトの役割をなす。
- 施工性：スィベルスリーブを使用し、グラウト材をフラッシングとして、削孔すれば、削孔完了が注入完了となり、施工性が大幅に上昇する。
- 左ネジ：削孔時のズリ排出が容易。
グラウト材との付着が良く引抜き抵抗が高い。
全長左ネジで、カップリングで接続でき、長尺ボルトの打設が可能。
- 多様化：適応地山、使用目的に適応した4種類のロックボルトと各種ビットがある。



NTロックボルト本体仕様

| 種類 | RB-30 | RR-32 | RA-40 | FP-73 |
|--------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 材質及び形状 | 特殊鋼、台形ネジ | 特殊鋼、ローブネジ | 特殊鋼、台形ネジ | 特殊鋼、台形ネジ |
| 寸法 | 28.5D*11d(P13.0) | 31.0D*16d(P12.7) | 39.6D*18d(P13.0) | 72.0D*54d(P8.0) |
| 重量 | 3.5kg | 3.5kg | 6.6kg | 12.5kg |
| 耐力 | ≥19tf | ≥19tf | ≥35tf | ≥60tf |
| 破断荷重 | ≥25tf | ≥25tf | ≥50tf | ≥80tf |

製造元



日東鐵工株式会社

本社 〒142-0043 東京都品川区二葉4-1-20 MC中延ビル
TEL 03-5702-0161(代表)
FAX 03-5702-0165

中国営業所 〒700-0824 岡山県岡山市内山下1-5-11 YAF内山下ビル
TEL 086-234-4800
FAX 086-234-4400

相模原工場 〒229-1112 神奈川県相模原市宮下1-1-38
TEL 042-773-4111(代表)
FAX 042-774-0939

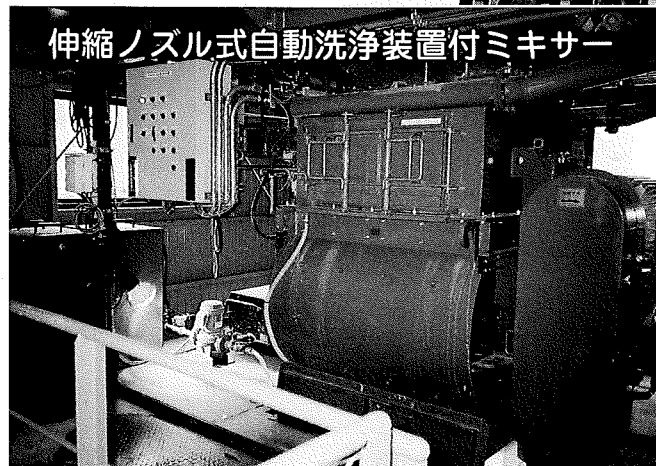
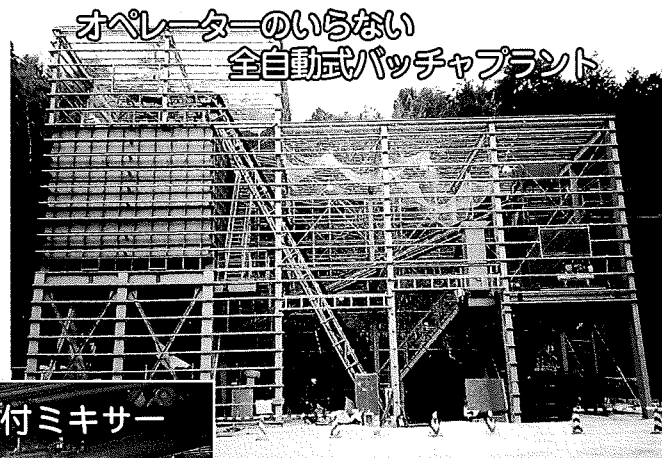
高品質・SEC・高強度対応型 吹付プラント

全自動式 バッチャプラント

吹付コンクリート用

自動スランプ調整装置

バッチャプラントの水分補正は
名岐の自動スランプに
おまかせ下さい。



■ MKS-500KBE-TME型

生コン洗浄水処理装置

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

MK 名岐機器株式会社

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

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

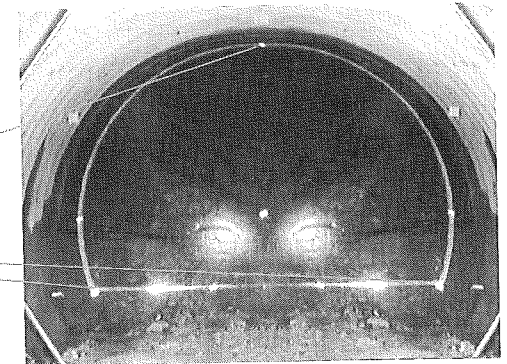
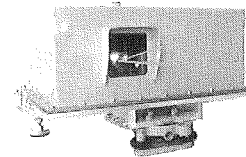
長工期
トンネルに適し
人件費の
大幅削減!

ミキサー洗浄水
トラミキ洗浄水
リサイクル

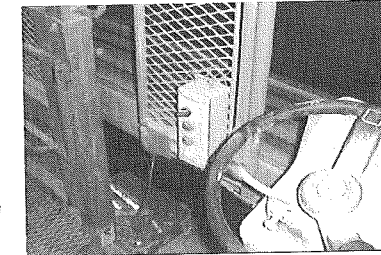
レーザーマーキングシステム

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

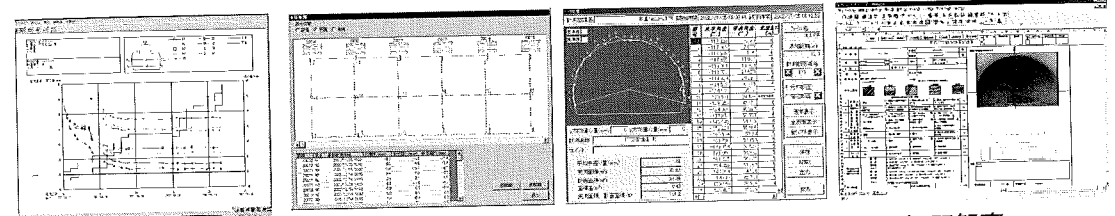


現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー

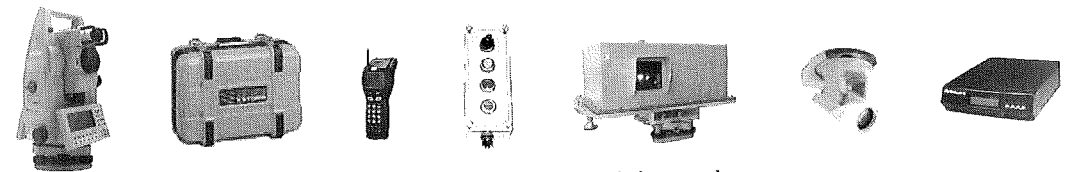


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

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 千葉県市川市曾谷8-16-3
TEL (047) 371-3191 FAX (047) 371-3190

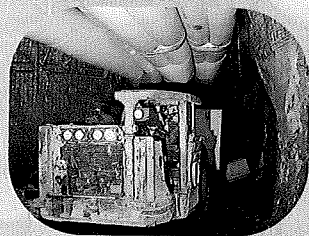
〔販売元〕

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

ABC

VENTILATION SYSTEMS

- ファスナー式風管
- ツイングダクト風管
- スパイラル風管
- 帯電防止型風管



親愛なる日本の皆様

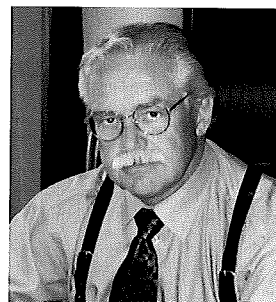
ABCカナダは、1968年の設立以来、トンネル掘削・鉱山用高品質換気システム開発に常に斬新な改革を続けてまいり、現在ではそれらの多くの現場において世界で最も優れた風管メーカーとしての地位を得ております。

ABCカナダの最も重要な使命は、風管メーカーとして如何にお客様の要望に応え、如何にお客様に満足を与えることが出来るか常に努力を続けることであり、それがお客様の幸せに貢献できるものと信じております。そのためにABCカナダはいち早くISO9001をクリアし、品質管理面においても常にお客様の満足度を満たすために努力をしております。

37年間の悲願としてこのたび日本のマーケットに参入できることはABCカナダにとり大きな喜びであり、日本国内総代理店である東友エンジニアリングと共に日本のお客様に十分満足していただける商品とサービスをお届けしていきたい所存です。

D. Yausie

Darryl C. Yausie
President
ABC Ventilation Systems



総代理店 **東友エンジニアリング株式会社** 代表取締役社長 泉 俊憲

〒102-0073 東京都千代田区九段北3丁目2番地5号 東伸24九段ビル8階

TEL 03-3234-8901 FAX 03-3234-8900

TOYU GROUP 株式会社トーユーエコサポート TEL 03-5226-5971 FAX 03-5226-5974
(取り扱い商品：防音システム)

トーユーサービス株式会社石岡工場 TEL 0299-27-6211 FAX 0299-27-6233

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)



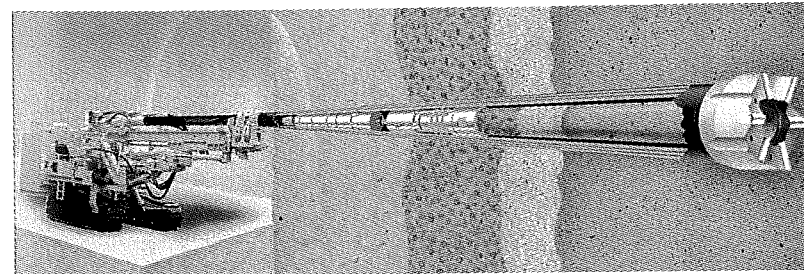
中濃産業株式会社

代表取締役 土田 義 式

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

トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■ 特長

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

②2重管ワイヤーライン サンプリングシステムにより、地質条件にかかわらず、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。

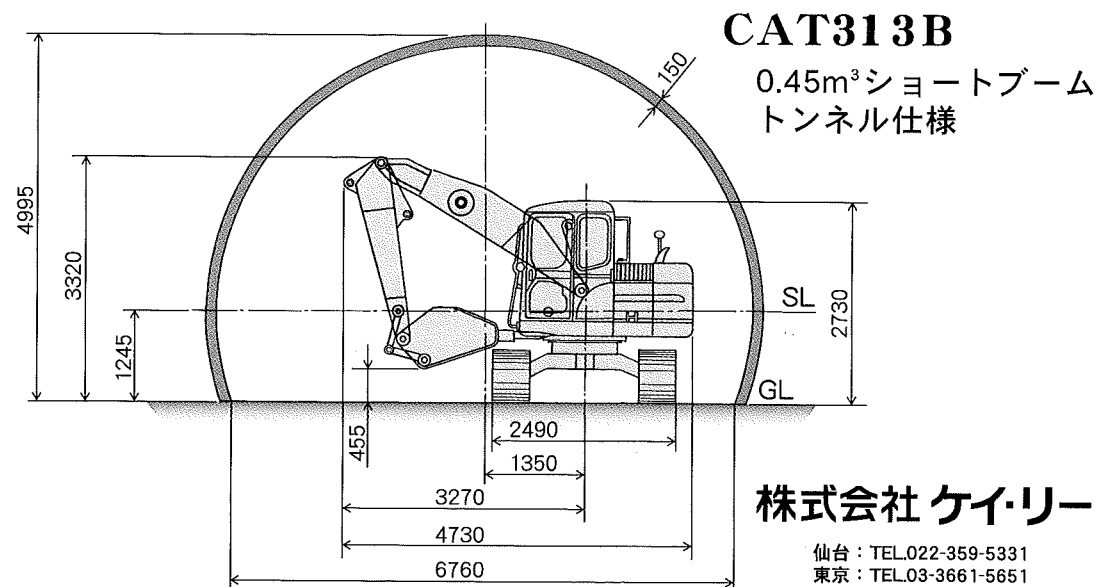


KOKEN 鉦研工業株式会社

本社 〒164-8650 東京都中野区中央1-29-15
TEL (03)3366-3111(大代表) FAX (03)3366-3341

お問い合わせ先：エンジニアリンググループ
TEL. (03)3366-3123 FAX. (03)3366-3365
<http://www.koken-boring.co.jp/>

小断面にも入ります？

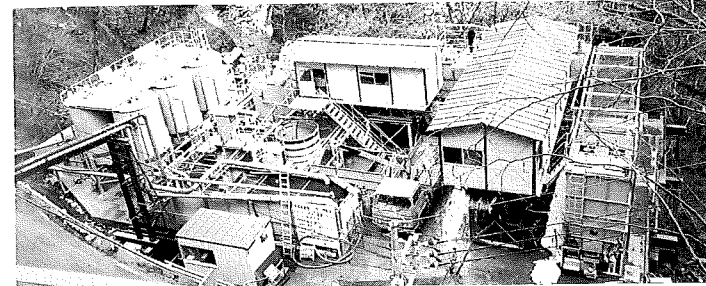


株式会社 ケイリー

仙台: TEL.022-359-5331
 東京: TEL.03-3661-5651
 大阪: TEL.06-6838-1372

CATERPILLAR (キャタピラー) 及びCATはCaterpillar Inc.の登録商標です。

数々の技術・豊富な実績が 明日を築く東急の濁水処理設備



北陸新幹線碓氷峠トンネル(東)濁水処理設備

◆営業品目◆

トンネル工事濁水処理設備
 都市土木工事
 P. Hコントロール設備
 炭酸ガス中和設備
 水処理各種計器器材
 上記 設計、施工、管理

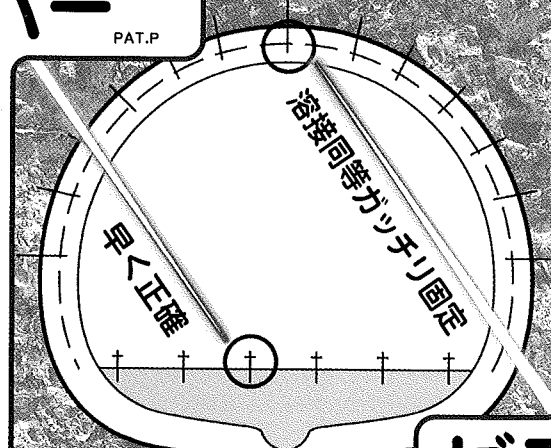
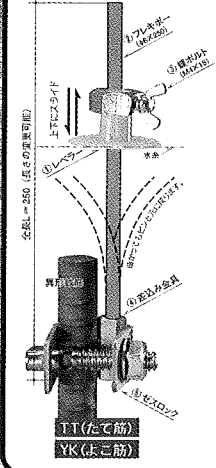


東建産業株式会社
 (旧 東急設備㈱)

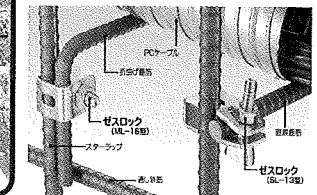
本社 東京都渋谷区渋谷1-16-14
 〒150-0002 TEL 03(5466)9511
 関西事務所 大阪市北区豊崎3-19-3
 〒531-0072 TEL 06(6371)6447

安全・作業効率・経済性を追求した“トンネル副資材”!!

コンクリート床版の天端出し表示具
テンバー[®]
 PAT.P



鉄筋組立クロス部‘結束金具’



ゼスロック[®]
 PAT.P

建設の安全と省力化にアタック
ゼン技研株式会社

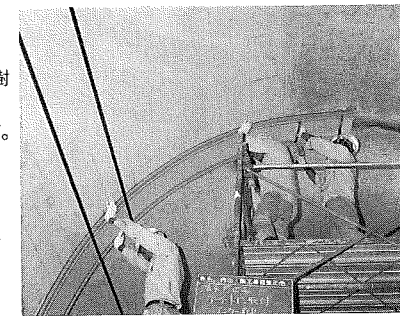
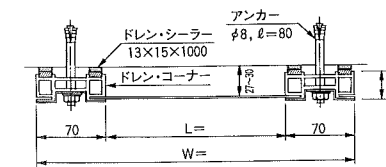
〒818-0105 太宰府市都府楼南5-16-13
 TEL (092) 925-8161 FAX (092) 925-3449
 URL <http://www.zen-g.co.jp/>

トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

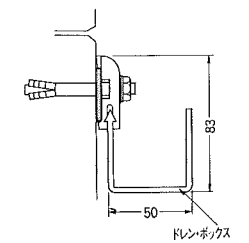
アーチ・ドレン導水樋

■特徴

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



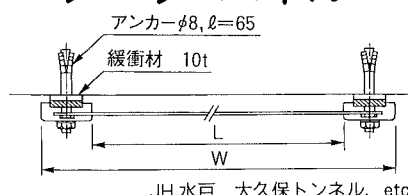
水平導水樋に サイド・ドレン



■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

コンクリート剥落対策に アーチ・パネル



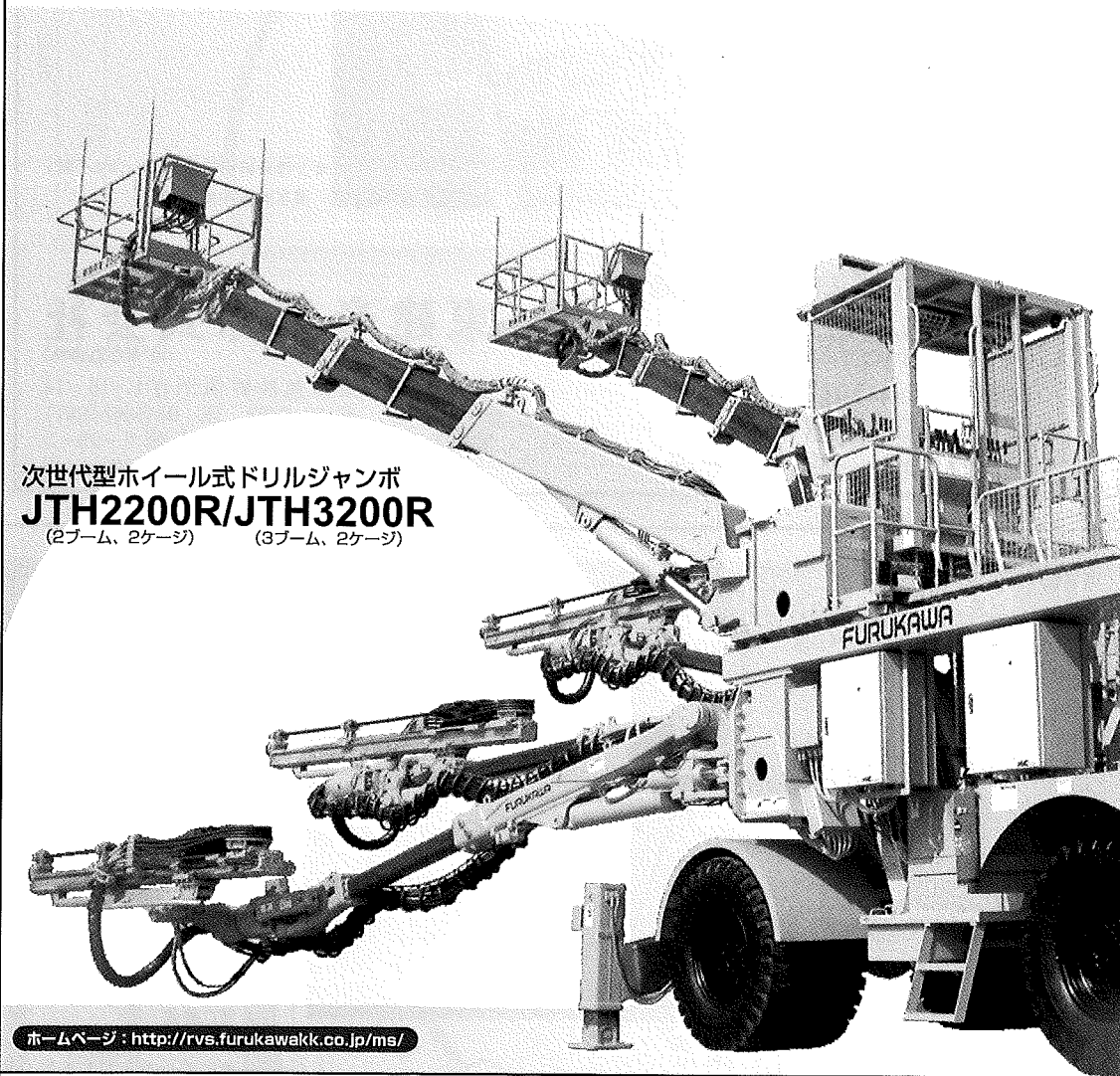
JH 水戸 大久保トンネル、etc。

ニホン・ドレン工業株式会社

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



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



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

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



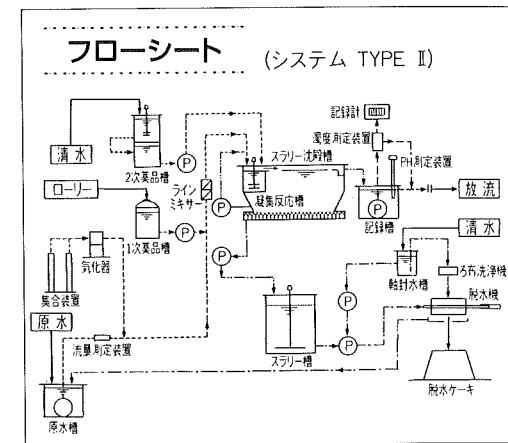
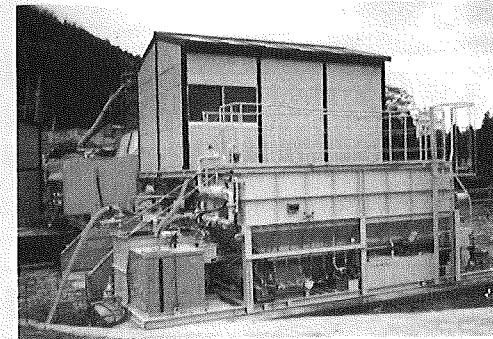
△ 古河機械金属グループ
古河ロックドリル株式会社
(旧社名: 古河機械販売株式会社)

本社 〒101-0047 東京都千代田区内神田2丁目15番9号 古河千代田ビル 特機営業部 TEL: 03-3252-2544

札幌 ☎011-861-3261 東北 ☎022-356-5771 関東 ☎027-322-5953 名古屋 ☎0568-77-7700 静岡 ☎054-620-1641
関西 ☎06-6475-8221 広島 ☎082-231-5621 四国 ☎087-833-4833 九州 ☎092-948-2010
整備工場 関東工場 ☎027-460-7011 名古屋工場 ☎0568-77-6363 大阪工場 ☎06-6475-8461 九州工場 ☎092-948-2010

TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら 大きな処理能力



特長

1. 基礎、土木工事の期間が短く安価である。設置面積が小さくフラット基礎で設置可能である。
2. 運転経費が少ない。ラインミキサー及び余剰ガス循環システムの組み合わ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。複式汙板型の脱水機を採用していることから汙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常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。処理水の水质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 (異常警報装置と連動)
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
自動汙布洗浄装置

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

詳細資料請求、お問い合わせは

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

Waste Water Treatment System

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻頭言

環境保全の今昔

中嶋 浩昭 5

■研究

小口径バーンカットの破碎機構に関する実験的検討

河野 興・吉永正雄・小松正三・中川浩二 51

■施工

道路トンネル直下を計測管理により掘削

—北陸新幹線 高丘トンネル北工区—

依田淳一・浅利浩二・古川深夫・日野泰宏 7

大規模断層破碎帯に双設大断面トンネルを貫く

—第二東名高速道路 富士川トンネル(下り線)—

大西昌彦・川俣和久・楠本 太 19

地下水位の上昇から地下駅を守る

—東北新幹線 上野地下駅—

久須美賢一・小池健司・保野聡裕 33

既設導水路の近接施工における振動低減対策

—北海道 新桂沢ダム取水導水路トンネル—

石井三郎・井上孝俊 41

■連載講座

山岳トンネルにおける工事用機械の選定(22)

仮設備(1)—坑内設備(換気設備)—

「山岳トンネルにおける工事用機械の選定」連載講座小委員会 61

■現場だより

「甲子街道をゆく」会津下郷町より

佐藤 周治 32

■資料

トンネル千夜一夜(8)

小野田 滋 30

土木情報

編集部 50

トンネルジャーナル

編集部 60

工法・技術・製品ニュース

編集部 69

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会国内広報ワーキング 70

海外文献速報

JTA研究開発委員会 72

■会報

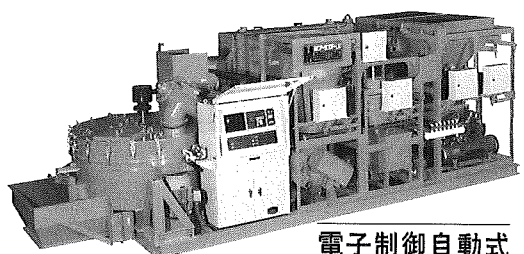
会報

日本トンネル技術協会 74

コンパクトで計量精度は抜群...

丸友の 移動式 コンクリートプラント

製造・販売・リース
生産量 10~90m³/H



電子制御自動式
(印字自動記録装置付)

丸友機械株式会社

本社 名古屋市中区東一丁目19番12号
〒461-0001 電話 (052) (951) 5 3 8 1 代

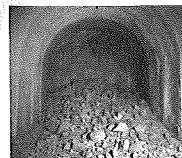
東京営業所 東京都千代田区神田和泉町1の5
〒101-0024 ミツバビル 電話 (03) (3861) 9461 代

恵那工場 岐阜県恵那市武並町藤戸2284番地
〒509-7121 電話 (0573) (28) 2 0 8 0 代

【表紙説明】

既設導水路の近接施工における振動低減対策

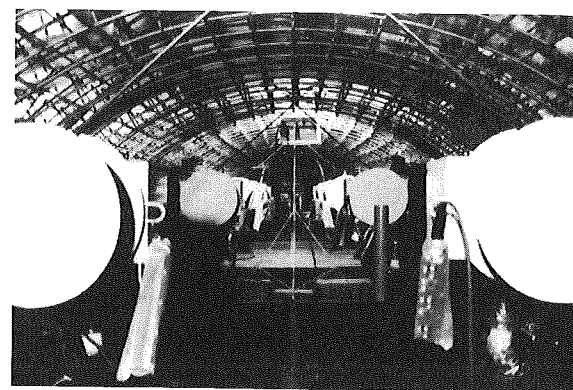
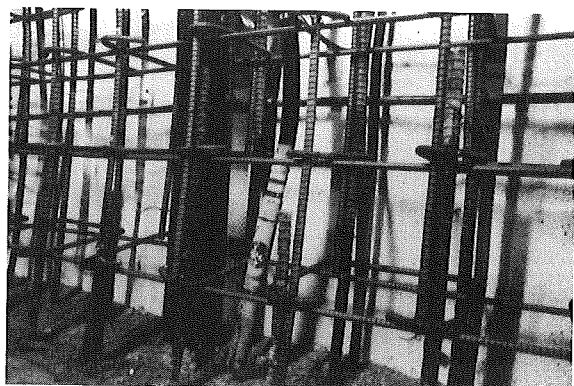
—北海道 新桂沢ダム取水導水路トンネル—



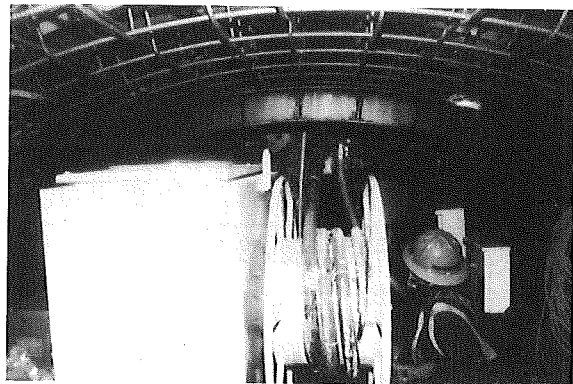
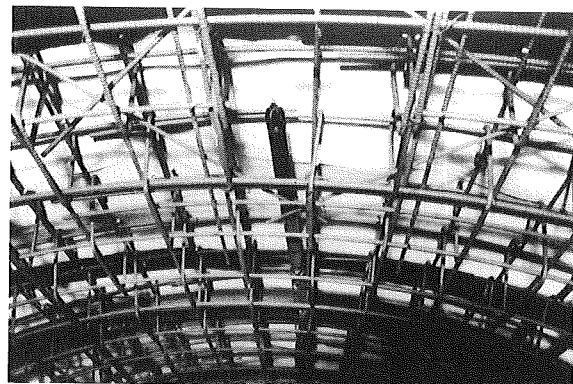
幾春別川総合開発事業では、石狩川水系の幾春別川に昭和32年に建設された桂沢ダムを嵩上げて「新桂沢ダム」を建設する再開事業と幾春別川の支流の奔別川に「三笠ぼんべつダム」を新設する事業を行っている。本工事は、このうち「新桂沢ダム」の嵩上げに先駆けて実施した導水路の付け替え工事である。既設導水路トンネルと近接する区間で発破掘削方式を基本として各種の振動低減対策を実施した。写真は、電子雷管による発破状況である。

[写真提供：北海道開発局](本文41頁参照)

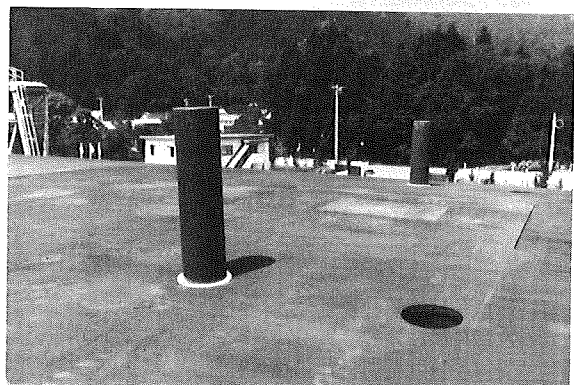
コンクリート打設の新技术



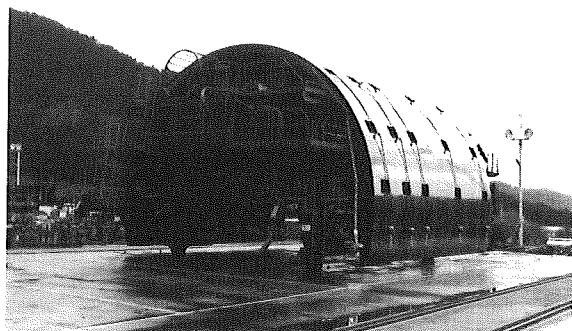
コンクリート感知センサー内蔵型自動バイブレーションシステム
(バイブレーションに内蔵されたセンサーがコンクリートを感知し自動的に巻き取る)



トンネル天場部の引抜き式バイブレーションシステム
(トンネルの天場縦断を締める)



伸縮式バイブレーションシステム



浮きバイブレーションシステム

会誌委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔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

〔委員〕

- | | |
|--|---|
| 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 | 濱 建介 株式会社アオバ取締役会長 |
| 久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木営業本部技術部長 | 松尾 勝弥 飛鳥建設株式会社土木本部トンネル統括部長 |
| 千葉 隆 清水建設株式会社土木技術本部 技術第二部長 | 三浦 正彦 株式会社大林組土木技術本部技術部長 |
| 永島 茂 東京地下鉄株式会社鉄道本部工務部次長 | 宮林 秀次 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 |
| 長島 芳雄 株式会社竹中土木取締役技術本部長 | 山田 邦博 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官 |
| 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 | 山田 隆昭 日本道路公団試験研究所調査役 |

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 | 松本 崇義 (元)東京都理事 |
| 島田 隆夫 鉄建建設株式会社社友 | 丸安 隆和 東京理科大学教授 |
| 高橋 彦治 伸光エンジニアリング株式会社技師長 | 吉川 新吉 東京発電株式会社常任監査役 |
| 田島 利男 株式会社ロードエンジニアリング代表取締役 | 吉村 恒 吉村とんねる・らぼ |
| 西松 裕一 東京大学名誉教授 | 渡邊 和夫 株式会社熊谷組執行役員副社長 |
| 林 博 西松建設株式会社専務取締役 | |

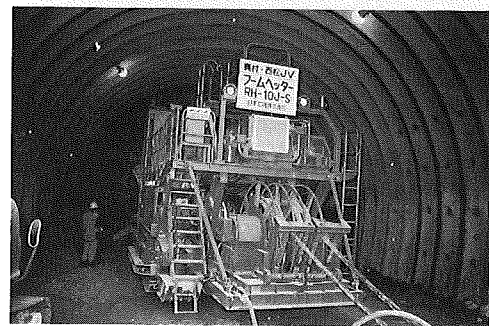
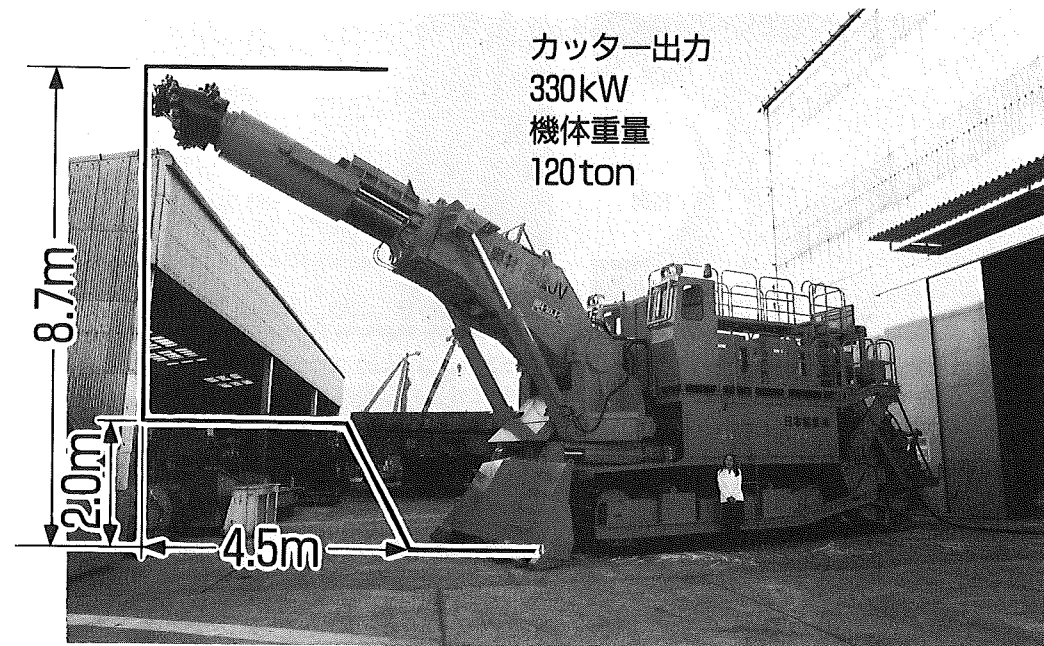
岐阜工業株式会社
GIFUKOGYO CO.,LTD

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

東京支店 (03) 3262-1285(代)
仙台営業所 (022) 259-2239
九州営業所 (092) 713-5265

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

RH-10J-S ミニベンチ機械掘削工法 ブームヘッダー



RH-10J-S型は

- ①積込機、NATM関連機器等、従来機との組合せでミニベンチ工法が出来ます。
- ②トップデッキを外すことにより、ショートベンチ工法の上半にも使えます。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社 建設機械部

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6階 TEL 03-5733-9441

中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町6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6番地2 TEL 059-234-4111

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

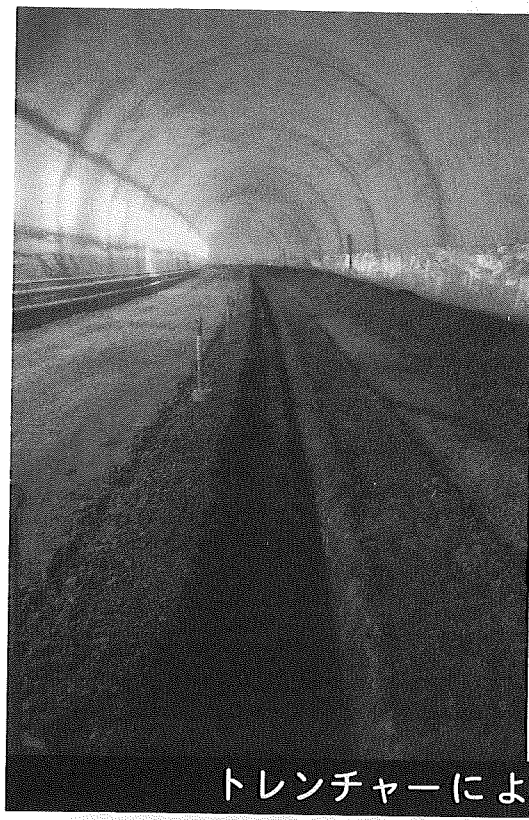
〔編集参与〕

| | | | |
|-------|-----------------|-------|-----------------------|
| 今田 徹 | 東京都立大学名誉教授 | 橋本 定雄 | 不動建設株式会社特別顧問 |
| 定塚 正行 | 株式会社コンテク代表取締役社長 | 濱 建介 | 株式会社アオバ取締役会長 |
| 鈴木 章 | 月島機械株式会社顧問 | 水谷 敏則 | (財)先端建設技術センター 専務理事 |

〔委員〕

| | | | |
|--------|-------------------------------------|-------|---|
| 木谷 日出男 | 財団法人鉄道総合技術研究所 防災技術研究部主任研究員 | 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 |
| 佐藤 亘 | 東京電力株式会社工務部送変電建設センター 首都圏調査グループ課長 | 西村 聡 | 東京地下鉄株式会社建設部 新宿工事事務所所長 |
| 佐野 正生 | 東京都交通局建設工務部計画改良課長 | 原 蘭一矢 | 東京都水道局建設部工務課長 |
| 清水 満 | 東日本旅客鉄道株式会社建設工務部 構造技術センター課長 | 真下 英人 | 独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ 上席研究員(トンネル担当) |
| 高橋 良文 | 東京都下水道局計画調整部事業調整課長 | 山田 隆昭 | 日本道路公団試験研究所調査役 |

岩盤切削機 トレンチャー TRENCOR INC.

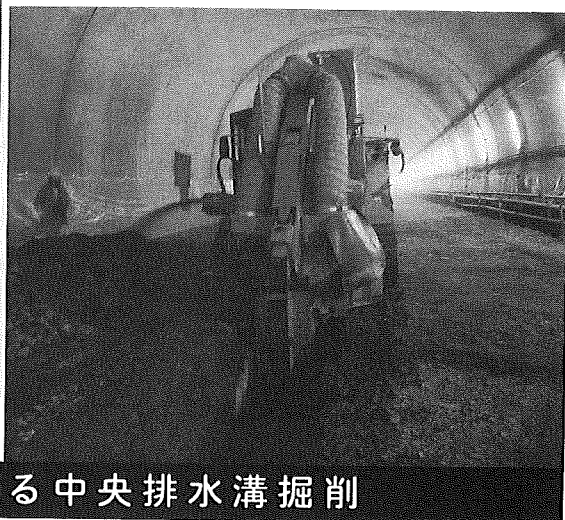


トレンチャーによる中央排水溝掘削

トレンチャーによる 工期短縮とコスト合理化の実現

トンネル中央排水溝掘削例

| トンネル | 排水溝寸法(矩形) | | 進行と掘削時間 | |
|------|-----------|------|---------|-----|
| | 巾(m) | 深(m) | m/時 | 時/日 |
| 新幹線 | 0.8 | 1.8 | 10~25 | 2~4 |
| 高速道路 | 0.6 | 0.9 | 20~50 | 4~5 |



| | 切削巾 | 切削深 | 用途 |
|---------|----------|-----------|---------------------------|
| トレンチャー | 0.3~2.4m | 0.5~10.0m | 深溝掘削 ⇒ トンネル中央排水溝、道路、造成地内溝 |
| ロードマイナー | 3.0~4.8m | 0.9~1.9m | 広幅掘削 ⇒ トンネル下半、道路盤、造成工事 |
| ロックソー | 0.1~0.3m | 0.9~1.4m | 狭溝掘削 ⇒ 光ケーブル、電力線、その他 |

どちらの工法を選びますか？



ブレイカー工法(掘削巾2m×深1.8m)



トレンチャー工法(掘削巾0.8m×深1.8m)

TRENCOR INC.
TEXAS, U.S.A
www.trencor.com

総代理店 **オオヤマ & Co.** (Ohyama & Co.)
〒121-0813 東京都足立区竹の塚 1-27-9
TEL.03-3885-0864 FAX.03-3885-0864
mail: ohyama@mui.biglobe.ne.jp

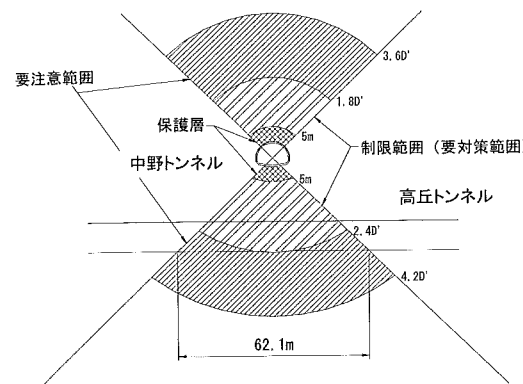
掲載頁
7

道路トンネル直下を計測管理により掘削 —北陸新幹線 高丘トンネル北工区—

鉄道・運輸機構 依田 淳一

北陸新幹線高丘トンネル北工区は、志賀高原へのアクセス道路である志賀中野有料道路の中野トンネル直下で交差する。この道路トンネルは高丘トンネルが施工される前の平成10年長野オリンピック開催に向けて施工され、供用が開始された。両トンネルの施工が開始される前に道路管理者と事前協議を行い、道路管理者は対策工として、中野トンネル施工時に覆工を鉄筋コンクリート構造とし、高丘トンネルの掘削に備えた。高丘トンネル掘削時は、事前解析により掘削の対策工を選定のうえ、掘削計画を策定し、更に中野トンネル坑内に各種計測器を設置し、計測管理のもと掘削を行った。本稿では供用中の道路トンネルに対する高丘トンネル掘削時の一連の対策工、計測工などの近接施工の状況について報告する。

Excavation of Takaoka Tunnel of Hokuriku Shinkansen under Road Tunnel using Measurement System By Junichi Yorita, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency



図は高丘トンネル掘削影響範囲

The north section of Takaoka Tunnel of Hokuriku Shinkansen (Superexpress Railway) passes under Nakano Tunnel crosswise, which is a tunnel of Shiga-Nakano Expressway leading to Shiga Highlands. Nakano Tunnel was complete in 1998 before Nagao Winter Olympic Games and is now under operation. Before the construction of Nakano Tunnel, we discussed the measures to protect this road tunnel against the impact of excavation of Takaoka Tunnel with the owner of Nakano Tunnel. According to the decision of this meeting, the structure of secondary lining of Nakano Tunnel in the crossing area is the RC one. And, during the excavation of Takaoka Tunnel, several kinds of measurement were done in Nakano Tunnel. This paper reports the measures to protect Nakano Tunnel and the measurement system adopted in this project.

掲載頁
19

大規模断層破碎帯に双設大断面トンネルを貫く —第二東名高速道路 富士川トンネル(下り線)—

日本道路公団 大西 昌彦

第二東名高速道路富士川トンネルは、延長約4,500mの長大トンネルであるので、TBM導坑先進掘削工法を採用した。トンネルの中央付近には、地山強度比が0.3~0.7の押し出し性を示す入山断層破碎帯が延長約100mにわたって分布する。このような地質での双設大断面トンネルの掘削は、これまでに経験はなく、押し出し性地圧によるトンネル支保構造系の破壊や先行トンネルへの悪影響が危惧されたが、縫い返し工なしに無事に上り線、下り線の施工を終えることができた。ここでの双設トンネルの設計の考え方、掘削方法、動態計測方法などの有効性が実証されたのと、双設大断面トンネルの挙動特性が明らかになったので報告する。

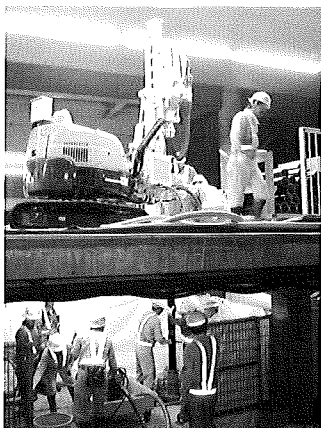
Breakthrough of Twin Tunnel with Large Section in Fractured Zone, project of Fuji-River Tunnel of Tomei Expressway No.2

By Masahiko Ohnishi, Japan Highway Public Corporation



写真は上半と下半・インバート切羽

Fuji-River Tunnel of Tomei Expressway No.2 is a twin tunnel having the length of 4,500 m. The middle of this tunnel that is located in the squeezing ground having fractured zone with faults. The competence factor of ground in this section is 0.3 to 0.7. We were concerned about the damage of lining by the pressure of squeezing ground and negative impact to the preceding tunnel by the excavation of following tunnel because the construction of twin tunnel having a large section in this kind of ground condition was unprecedented. Due to the above-mentioned reasons, the TBM pilot and enlargement excavation method was adopted in this project. The construction of this tunnel was successful without the replacing of timbering. This paper introduces the concept of design, the excavation method and the field observation adopted in this project.



写真は新幹線ホーム上の削孔機よりホーム下に設置した止水装置にケーシングを連結しての削孔状況

昭和60年3月に東北新幹線の駅として開業した上野地下駅は、地下30mまで掘削して構築された4層6径間・ボックスラーメン構造のトンネルである。近年の地下水位の上昇に伴う揚圧力の増加により、下床版の変形およびトンネル躯体の浮き上がりといった変状が想定されるため、平成7～9年にかけて施工した鉄塊載荷による一次対策に引き続き、永久グラウンドアンカー工による二次対策を施工することとした。

本稿では、営業線近接、高被圧水下における永久グラウンドアンカーの施工例について紹介するものである。

Protection of Underground Station against Rising of Ground Water Table

By Kenichi Kusumi, East Japan Railway Company, LTD.

Ueno Underground Station of Tohoku Shinkansen(Superepress Railway), which was complete in 1985, has the depth of 30m and the box frame substructure of 4 stories and 6 spans. The deformation of the lowest slab and the uplifting of this station were expected due to the rising of water table. The counterweight method using ingots of steel and the permanent ground anchor method were adopted to prevent the uplift of station. These works were done close to railway lines under operation. This paper presents these measures.

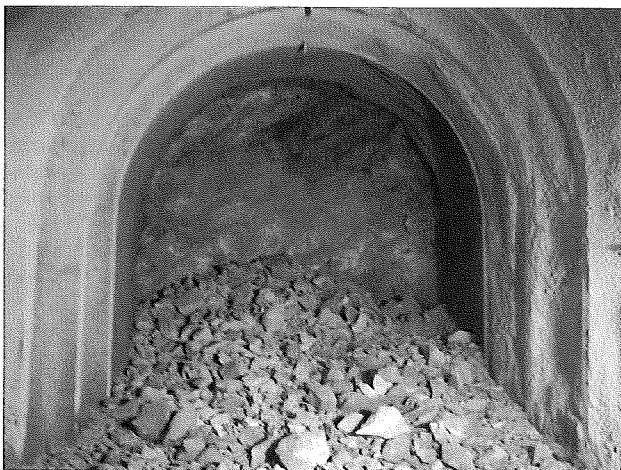
新桂沢ダムの高上げに先駆けて実施した導水路の工事で、既設トンネルに接近する区間で各種の振動低減対策を実施した。この施工により得られた知見をまとめると以下のようなになる。

- (1)電子雷管を使用した発破では、芯抜きや払いの別なくさまざまな段数で最大振動速度が発生し、このK値は通常発破の芯抜きのK値にほぼ等しいものである。
- (2)振動予測式において、距離が約15mを下回る範囲では実測値と乖離が顕著に生じるが、「振動速度とK値の線形関係」つまり「振動速度が大きいほど、K値が大きくなる」傾向がこの原因であると考えられた。
- (3)この「振動速度とK値の線形関係」には、振動の伝播方向の異方向性が認められ、側壁方向のK値は掘進方向のそれより小さくなった。
- (4)既設トンネルに約10mより接近する範囲では発破掘削は困難となり割岩掘削を実施した。

Construction of New Intake Water Tunnel close to Existing Water Tunnel

By Saburo Ishii, Shimizu Corporation

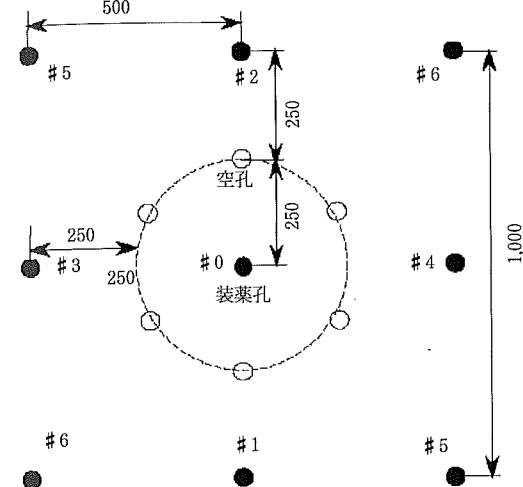
Before the raising works of Shin-Katsurazawa Dam, the new intake water tunnel was constructed close to the existing water tunnel. In this project, some measures to mitigate the vibration were adopted. We recognized the following results through the construction of this tunnel



写真は電子雷管による発破状況

- 1)Regardless of performance of center-cut or side holes, the blasting by electronic detonators made the maximum vibration velocity in different stages. The K-value by this system is approximately equal to the one of center-first cut blasting using usual detonators.
- 2)If the distance is less than 15 m, the measured value of vibration velocity and the expected value of it by the formula is largely different. This phenomenon would be caused by the linear relation between the vibration velocity and the K-value(the more the vibration velocity, the more the K-value).
- 3)The K-value is anisotropic due to the direction of transmission of vibration. This value in transverse direction is smaller than the one in longitudinal direction.
- 4)If the distance between the existing tunnel and the tunnel to be excavated is less than 10 m, the mechanical excavation was adopted because the drill and blast method was inappropriate.

長孔発破の最重要部位である心抜きに着目し、バーンカットに属する装薬孔と同口径の空孔を4～6孔持つ小口径バーンカットの破砕機構を検証した。



図は実験の装薬孔配置・起爆パターン

二段階に分けた起爆実験から、本心抜きの破砕機構は中央装薬孔の起爆により装薬孔近傍およびその空孔間の領域が破碎・変形され、その微小な破碎・変形あるいは亀裂が発達した範囲が後段の連続的起爆により次第に損傷と空洞が側方への拡がると同時に孔奥方向へと大きくなり、心抜きが完成することが観察された。また、本心抜きを用いた坑道掘進の実績から進行率は空孔の数による差異はあるものの、心抜きとしての効果と有用性が確認された。

Experimental Study on Burn-Cut Method using Small Holes

By Ko Kawano, Dyno Nobel Japan, Co., LTD.

This paper discusses the study on the burn-cut method for the center-cut using shot holes and relief holes. The diameter of relief hole is same as the one of shot hole and one shot has 4 to 6 relief holes. We studied the mechanism of fracture of face by observing development of cracks. It is clarified that, due to the proper selection of ratio of numbers between shot holes and relief holes, the cracks are developed both in longitudinal direction and in transverse one to make center-cut.

環境保全の今昔



三井住友建設(株)専務執行役員(本協会理事)

中島 浩昭

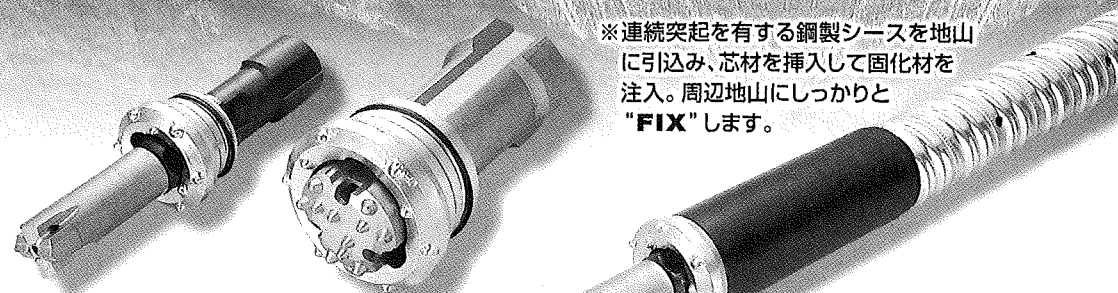
今年の8月で(社)日本トンネル技術協会が設立30周年を迎えられましたことに、心からお喜びを申し上げます。

さて、21世紀は環境の世紀と言われております。そして、環境保全に対する関心は今やグローバル的に浸透し、環境保全の観点なくしては、企業活動も技術開発の方向性も構築できない状況になりました。そこで、協会設立30周年にあたり、建設業における環境保全への取り組みについて、過去30年間の変遷を顧みたいと思います。

その端緒は、1972年にローマクラブが衝撃的な報告書「成長の限界」の中で、人口の増加や環境悪化、資源の消費等がこのまま続けば100年以内に地球は破局を迎えるであろうと警鐘を鳴らし、その破局を避けるためには、経済活動の基軸を「成長から均衡」にシフトすることの必要性を訴えたことによります。しかし、その後の地球環境の推移と、その顕在化した現象である地球の温暖化、オゾン層の破壊、熱帯雨林の減少、砂漠化の進展等を見ますと、地球環境保全に対する取り組みや、その結果が十分とは言い難い状況にあると感じております。

われわれ建設業は、住宅、事務所、道路、橋、トンネル等の社会基盤の整備を通して、生活空間の構築や国土整備の役割を担うことが使命ですが、その一方で、この建設事業を通じて、コンクリートや鉄材、木材、石油などの資源を大量に消費します。さらに、建設物のライフサイクルを通して多くのエネルギーが消費されています。また、建設時や解体時に全産業廃棄物の約20%を占める建設廃棄物を排出するとともに、工事周辺地域の生活環境に大きな影響を与える公害問題が常につきまとう環境負荷の大きい産業でもあります。このように建設業は、公害防止から省エネ、資源循環、地球環境に至るまで、幅広い範囲で環境問題に関与しています。この意味で社会的責任が重大であると認識するとともに、環境保全への取り組みは企業活動の必須要件ともなっておりま

ユニークな発想と高品質・自信の価格



※連続突起を有する鋼製シースを地山に引込み、芯材を挿入して固化材を注入。周辺地山にしっかりと"FIX"します。

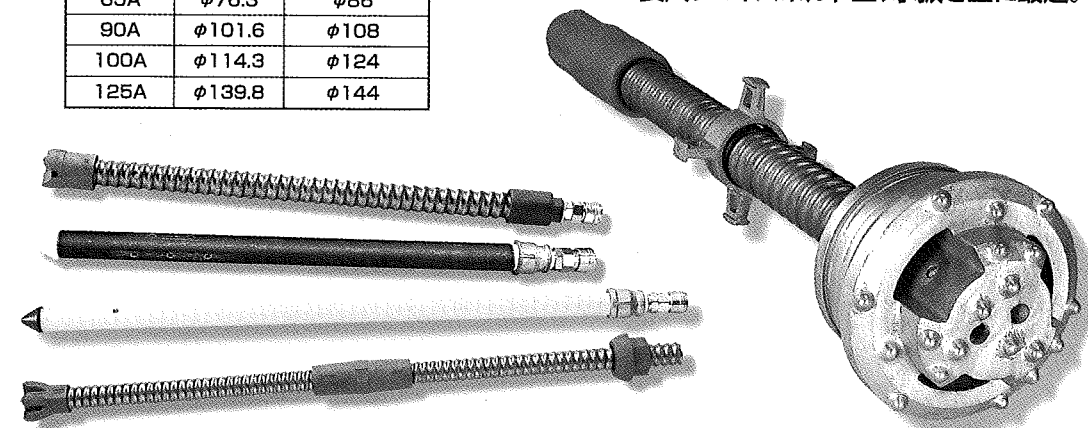
STD BITS

(ロストリング方式)

| 呼称 | 鋼管径 | リングビット径 |
|------|--------|---------|
| 65A | φ76.3 | φ86 |
| 90A | φ101.6 | φ108 |
| 100A | φ114.3 | φ124 |
| 125A | φ139.8 | φ144 |

FIX TUBE 工法

長尺フェイスボルト工、水抜き工に最適。



自穿孔ボルト&注入管

AGF-SP 工法

R38自穿孔ボルトで二重管打設してロッドを回収しない、高速・高剛性長尺先受け工法です。坑口などでのミニパイプルーフとして最適。

| 名称 | 形状 | | 降伏荷重 (kN) | 破断荷重 (kN) | |
|---------|------|-------|-----------|-----------|------|
| | 外形形状 | 内径 | | | |
| SPアンカー | R29 | φ13 | 204 | >255 | |
| | R32 | φ17 | 204 | >255 | |
| | R38 | φ16 | 400 | >500 | |
| SPミニパイル | R51 | φ29 | 600 | >750 | |
| | R73 | φ50 | 960 | >1200 | |
| 注入管 | 鋼管 | φ27.3 | φ15 | 155 | >215 |
| | GFRP | φ28 | φ17 | - | >180 |

※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

エステーエンジニアリング株式会社

ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0869 大阪府八尾市桜ヶ丘3丁目101番地

TEL:0729-90-0250 FAX:0729-90-0251

E-mail: steng@kawachi.zaq.ne.jp

ところで、発注者、請負業者を含め、過去、この建設事業を担った人達は環境問題にどのような認識で対応をしていたのでしょうか。手元に32年前の1973年に開催された「環境問題を考える」と題した地下鉄工事関係者のパネルディスカッションの資料があります。資料によると、冒頭、テーマ名を選択した経緯の紹介があります。それによると、当初は「建設に伴う問題は公害でなく、工事に伴う障害であるから障害問題にしよう」という提案があったようです。しかし、「障害問題を考える」ではインパクトに欠けるので「環境問題を考える」にしたとの記述があります。現在の見方からすれば随分乱暴で、日本の高度成長を支えてきた背景を垣間見る思いが致します。そして、環境問題に対する認識の相違に驚きます。

また、31年前の1974年、トンネルと地下誌(第5巻2号)の随想「環境対策いまむかし」では、地域住民の工事に対する反応を年代別に感想を交えて述べています。それによると、昭和20年代後半から地下鉄の大規模工事が着工されるようになりますが、苦情は全然なかったそうです。当時は地下鉄建設を国土再建の先駆者に見立て、騒音・振動に起因する感覚的・心理的被害は受容されていたように思えます。その後、昭和30年代半ば辺りから、騒音・振動に関する苦情が顕在化してきたようですが、「しばらくご辛抱を」とお願いして工事を進めることが可能だったようです。このように環境問題の変遷を見てくると、少なくとも1970年代前半までは環境問題とは「建設工事」対「地域住民」という狭い構図のみで展開されていたといえるでしょう。

過去はどうあれ、後世に美しい地球と日本を残すために、21世紀を環境の世紀と位置づけ、われわれが本質的に抱える建設作業に伴う騒音・振動の問題、建設機械類からの排ガス、すなわち、地球温暖化の問題、工事自体に伴う廃棄物の排出とリサイクルの問題、生態系の破壊や省エネ・省資源等の問題について積極的、かつ抜本的に取り組まなければなりません。

そして、建設業に要求される今後の主要な技術力の一つとして、環境問題の本質を理解し、地球規模で「もの」を考え、「環境の保全と修復」に努めることが大切なのではないかと考えます。さらに、建設業として、こうした感性をどう磨き上げて継承していくかが課題でもあります。地球環境問題に真摯に取り組んで行く中で、建設業は新たな光明を見出すことができると考えますがいかがでしょうか。

施工

道路トンネル直下を計測管理により掘削

—北陸新幹線 高丘トンネル北工区—

鉄道・運輸機構飯山鉄道建設所所長 依田 淳 一
 鉄道・運輸機構飯山鉄道建設所副所長 浅利 浩 二
 前田・北野・五洋・中野 高丘トンネル北工区JV所長 古川 深 夫
 前田・北野・五洋・中野 高丘トンネル北工区JV監理技術者 日野 泰 宏

1 はじめに

北陸新幹線は、東京都を起点として、長野市、富山市、小浜市付近を経由し、大阪市に至る延長約600kmの路線である。このうち、平成9年10月に整備新幹線第1号として高崎・長野間(建設延長126km)が開業している。現在、長野・上越間は平成10年3月、上越・富山間は平成13年4月に着工しており、また、富山・金沢間および福井駅部は平成17年4月に着工した(図-1)。

高丘トンネルは、北陸新幹線高崎起点131km 552m~138km500mの長野盆地北縁部の丘陵に位置する延長6,948mの山岳NATMトンネルである。北工区(延長3,990m)と南工区(延長2,948m)の2

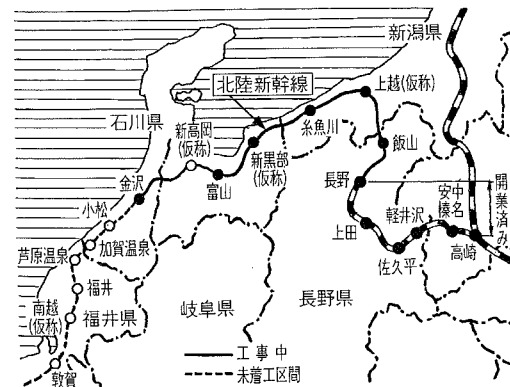


図-1 北陸新幹線(着工区間)ルート概要図

工区に分割施工しており、北工区と南工区の工区を境に北部の長丘丘陵と南部の高丘丘陵を縦断し、東側は河東山地から流下した夜間瀬川扇状地と接し、西側は千曲川と接している(図-2)。高丘トンネル北工区が位置する長丘丘陵はほとんどが第四紀更新世下部から第三紀鮮新世上部の猿丸層である。この猿丸層は淘汰のよい大円礫よりなる礫岩

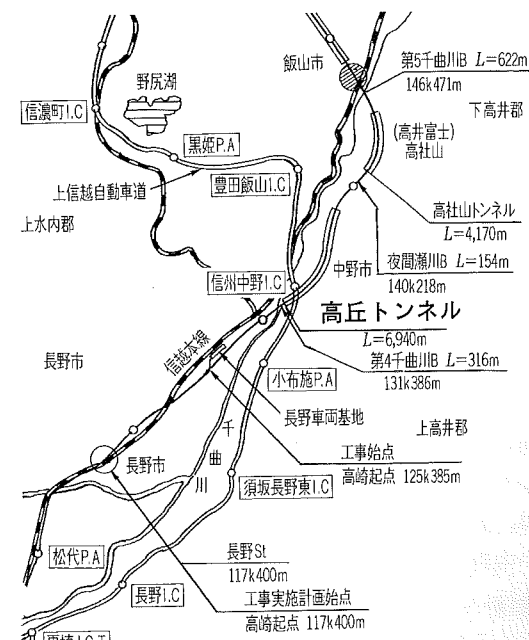


図-2 高丘トンネルルート概要図

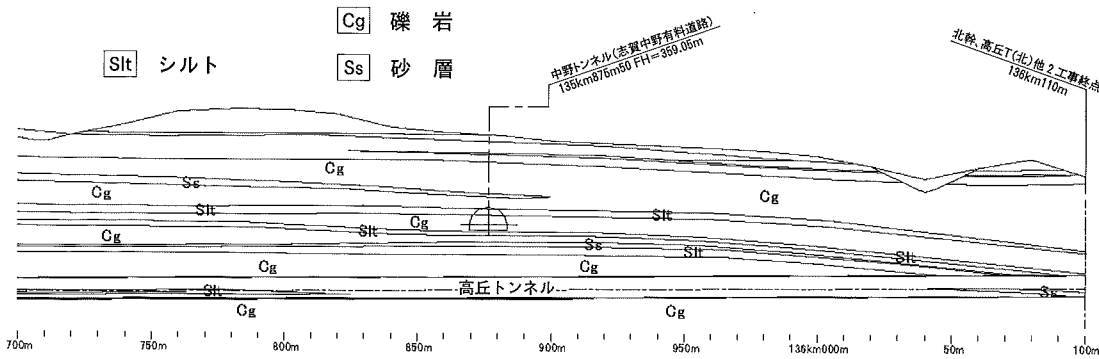


図-3 地質縦断面図

を主体とし、砂、シルト、凝灰角礫岩を挟む。固結度は小さく、とくに細粒分に乏しい砂は未固結である(図-3)。

北工区は、志賀高原へのアクセス道路である志賀中野有料道路の一部区間にある道路トンネル(中野トンネル)と2D以下の離れで交差する。本稿ではその道路トンネルとの交差にかかる対策工、計測管理の状況などについて報告する。

2 工事概要

北陸新幹線高丘トンネル北工区は、供用中の道路トンネル(志賀中野有料道路の一部区間にある中野トンネル)と2D以下の離れで交差する。中野トンネルは高丘トンネルより先行施工され、平成10年長野オリンピック開催に向けて供用が開始された。

まず、両トンネルの施工が開始される前に道路管理者である長野県道路公社と鉄道・運輸機構(当時、日本鉄道建設公団)は事前協議を行い、検討の結果、中野トンネルに事前対策を行うこととした。高丘トンネル掘削開始直前(近接施工前)には、FEM解析を用いて、高丘トンネル掘削に伴い中野トンネルに発生する応力について断面照査を行い、中野トンネル沈下量の許容管理値を設定し、これを満たす高丘トンネル掘削の対策工の検討を行った。高丘トンネル掘削時には志賀中野ト

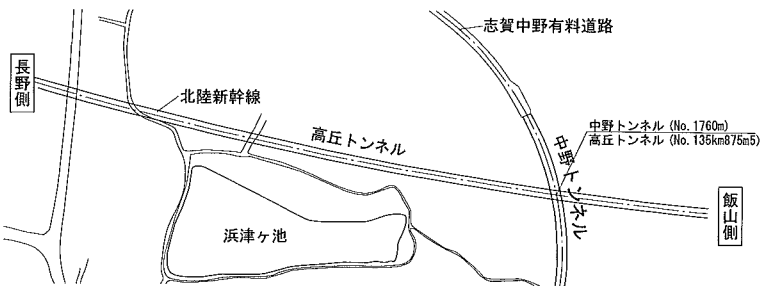


図-4 高丘トンネルと志賀中野有料道路交差状況

ンネル坑内に計測機器を設置し、計測管理を行った(図-4)。

3 道路管理者との協議

3-1 北陸新幹線のルート公表

北陸新幹線のルートに関する経緯を以下に示す(表-1)。北陸新幹線(高崎・小松間)のルート概要は昭和57年に公表されていた。後に計画された志賀中野有料道路の道路管理者と平成元年に計画調整として協議が行われた。

3-2 道路管理者との協議

志賀中野有料道路の管理者である長野県道路公社と鉄道・運輸機構(当時、日本鉄道建設公団高崎建設局北陸新幹線長野着工準備事務所)との間で、「北陸新幹線と志賀中野有料道路との交差に係わる計画調整について」(平成元年11月10日付)の協議が行われ、その結果、中野トンネルについて、この協議時点で交差中心から35m区間の覆工を覆工鉄筋コンクリート構造とし、高丘トンネルの掘削による影響に対処することとなった。この時点では高丘トンネルが位置する北陸新幹線長野・

表-1 北陸新幹線の経緯(概要)

| 年 | 内 容 |
|--------|-----------------------|
| S57.3 | 高崎・小松間ルート概要公表 |
| S57.12 | 環境影響評価報告書案を公表(高崎・小松間) |
| S60.12 | 工事実施認可申請(高崎・小松間) |
| H元.6 | 工事実施計画認可(高崎・軽井沢間) |
| H元.11 | 工事着手(高崎・軽井沢間) |
| H3.8 | 工事実施計画認可(軽井沢・長野間) |
| | 工事着手(軽井沢・長野間) |
| H9.10 | 北陸新幹線(高崎・長野間)竣功・開業 |
| H10.3 | 工事実施計画認可(長野・上越間) |
| | 工事着手(長野・上越間) |
| H13.4 | 工事実施計画変更の認可(上越・富山間) |
| | 工事着手(上越・富山間) |
| H17.4 | 工事実施計画変更の認可(富山・金沢間) |
| H17 | 工事着手(富山・金沢間)(予定) |

上越間の工事実施認可がなされておらず、詳細な設計協議は工事実施認可後に行われることとなった。

4 対策工

平成元年の計画調整の協議後、平成10年3月に長野・上越間の工事実施計画の認可を受け、詳細設計後、平成12年3月に高丘トンネル北工区として工事着手した。平成元年の協議にもとづき、道路管理者が行った覆工鉄筋コンクリート(図-5)による事前対策を考慮し、高丘トンネルの対策工の検討を行った。なお、高丘トンネルは平成元年の計画調整後、縦断線形、平面線形が変更され、中野トンネルの覆工コンクリート鉄筋区間は両トンネルの交差中心からずれてしまった。このため、高丘トンネルの掘削の対策工、中野トンネル計測管理の精査は重要な課題となった。

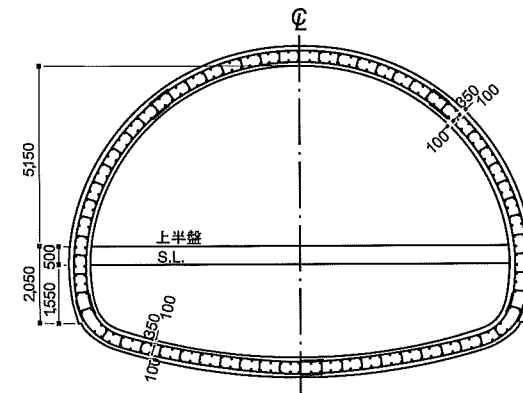


図-5 中野トンネル覆工鉄筋コンクリート配筋図

4-1 高丘トンネル掘削による掘削影響範囲の設定

高丘トンネルは中野トンネルの直下を離隔約18.5m、交差角約70度で交差する(図-4, 6)。

既設トンネル近接施工対策マニュアル(鉄道総合研究所編;平成8年9月)にもとづき、既設トンネルである中野トンネルに対する高丘トンネルの掘削による掘削影響範囲を精査すると図-7に示す範囲となり、制限範囲(要対策範囲)に約35m、要注意範囲に約62m、高丘トンネルの掘削範囲が入る。そのため特別な対策が必要と考えられ、中野トンネルの覆工鉄筋コンクリートを考慮した影響解析を実施し、高丘トンネル掘削時の対策工の精査を行った。なお、掘削影響範囲について、掘削範囲1Dを約11mとし、洪積砂層・粘性土層などの土砂地山として割増率20%を乗じた範囲で設定した。

4-2 高丘トンネル対策工の検討

高丘トンネルの掘削による影響は大きく2つに分類することができる。ひとつは中野トンネル縦断方向の不等沈下による影響である(検討①:中野トンネル縦断方向の影響)。もうひとつは高丘トンネルの掘削進行による横断方向の引き込み沈下である(検討②:中野トンネル横断方向引き込みの影響)。

4-2-1 検討①(中野トンネル縦断方向の影響)

中野トンネルは高丘トンネルと約70度で交差するため、掘削による影響は縦断方向に均一とならず、不等沈下する可能性がある。しかし、以下の理由により、高丘トンネル掘削時に中野トンネルについて、覆工コンクリートの打ち継目、クラック調査を計測することにより対処することとした。(1) 1ブロック(スパン10m)の覆工コンクリートがほぼ剛体として挙動し、変位は主に覆工間の目違いに発生し、応力は目違いに吸収される。(2) 縦断方向の不等沈下による中野トンネルの変位は、横断方向に断面形状は保持されたまま、輪切状態で発生すると考えられ、トンネルの構造上の安定問題に大きな影響はない。

しかし、中野トンネルの縦断方向の不等沈下は

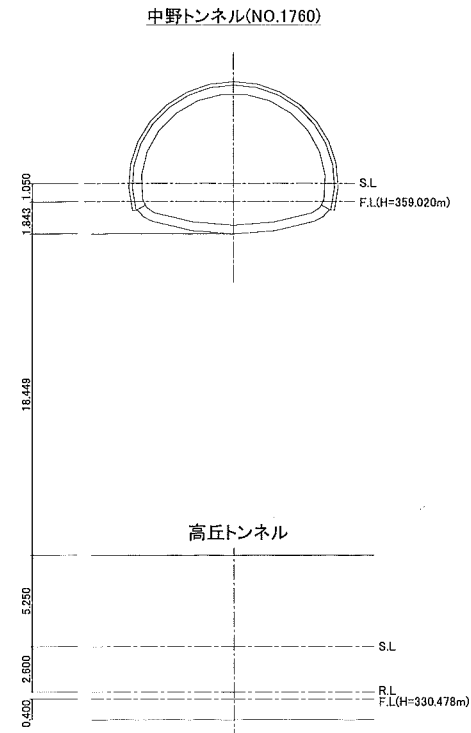


図-6 交差状況縦断面図

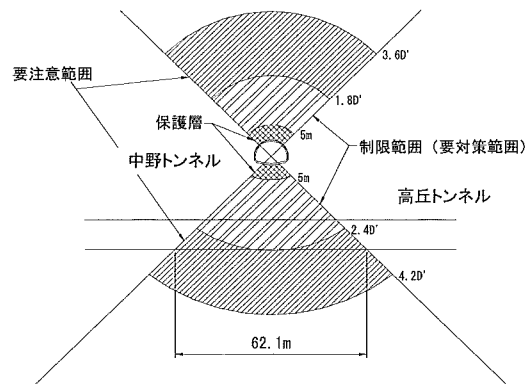


図-7 高丘トンネル掘削影響範囲

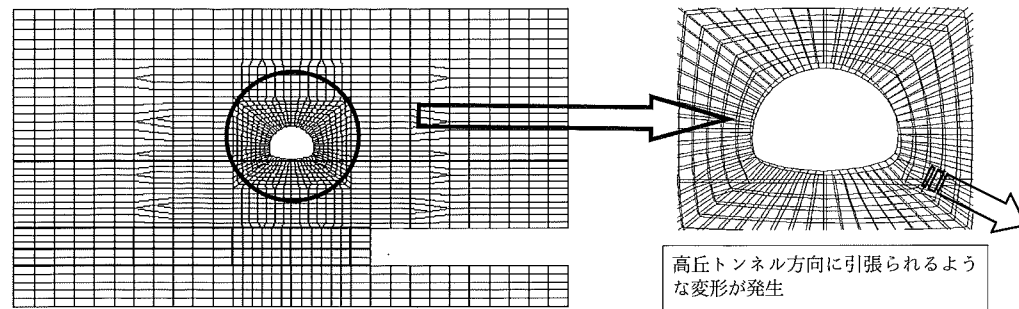


図-8 中野トンネル横断方向引き込み概念図

交通障害を引き起こす可能性が懸念されるため、トンネルの内空変位、とくに覆工コンクリートのブロック間に発生する目違いに関する沈下計測に重点を置き対処することとした。

4-2-2 検討②(中野トンネル横断方向引き込みの影響)

高丘トンネルの切羽の進行に伴い、既設の中野トンネルは高丘トンネルの切羽方向へ引き込まれるような挙動(図-8)をすると考えられる。これにより中野トンネルは横断方向に不均一な変形が発生し、横断方向の変形はトンネルとしての健全性を保持できなくなる可能性がある。

この挙動に着目し、2次元FEM解析により中野トンネルが健全な構造体として維持できるための掘削時における対策工を選定した。検討のフローを以下に示す(図-9)。

(1) 検討ステップ1

高丘トンネルの掘削に伴って、地山の応力が開放されたときの中野トンネルの沈下量と覆工コンクリートにかかる応力をシミュレーションし、その結果をもとに中野トンネル覆工コンクリートの断面照査をした(図-10)。このシミュレーションにより、覆工コンクリートの許容応力度に対する許容沈下量を求めた。

なお、中野トンネルの覆工コンクリートは鉄筋区間(代表点を「点A」とする)と無筋区間(代表点を「点B」とする)があり、この両区間について許容沈下量を算出する。解析モデルのステップとして交差中心より80m区間より外側は30mを一括掘削で計算し、中間部(80m間)は5mおきの掘削とした。

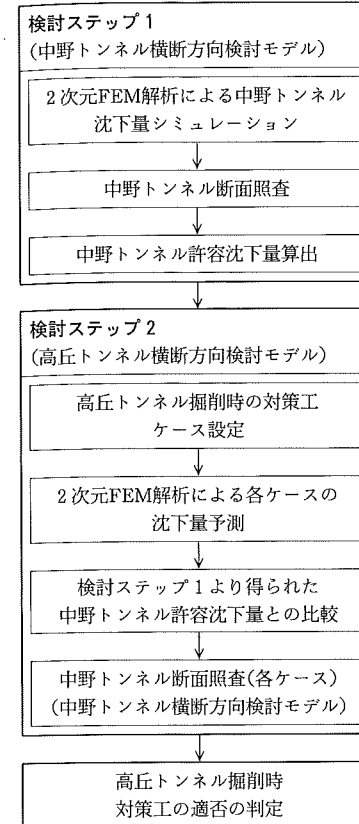


図-9 検討フロー

(2) 検討ステップ2

検討ステップ2では、高丘トンネル横断方向のモデルにおいて(図-11)、高丘トンネル掘削時の対策工の検討ケースを設定し、各対策工について2次元FEM解析を行い、中野トンネルの沈下量を求めた。次にこの各ケースの沈下量を用いて、中野トンネル横断方向検討モデルにより中野トンネルの断面照査し、対策工の適否を判定した。

4-2-3 解析結果

(1) 中野トンネル許容沈下量(検討ステップ1の結果)

検討ステップ1の解析の結果、発生断面力が許容値以内となる中野トンネル沈下量(許容沈下量)は表-2に示す値となった。

(2) 高丘トンネル対策工解析結果(検討ステップ2の結果)

1) 検討ケース
高丘トンネル横断方向検討モデルにおいて、高

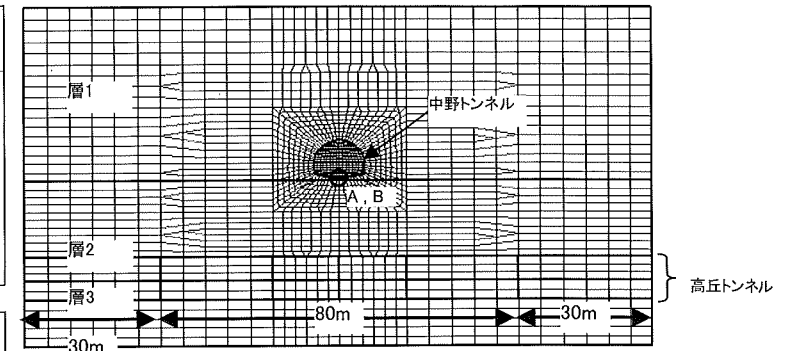


図-10 中野トンネル横断方向検討モデル

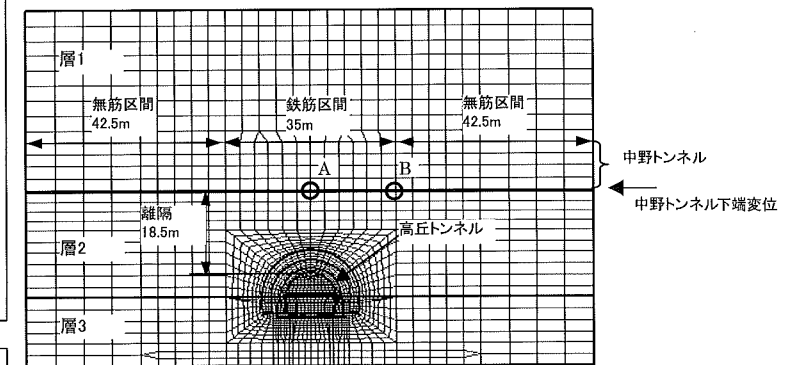


図-11 高丘トンネル横断方向検討モデル

表-2 中野トンネル許容沈下量

| 区 間 | 許容沈下量(mm) |
|----------|-----------|
| 鉄筋区間(点A) | 23.9 |
| 無筋区間(点B) | 21.8 |

丘トンネル掘削の際に可能である対策工を設定し、FEM解析により中野トンネル変位量、応力増分を算定し、断面照査を行った。先受け工として、パイプルー工法、AGF工法、トンネル周辺地山や鏡面脚部の補強として注入工法などを設定しFEM解析を行った(図-12)。

2) 解析結果(沈下量)

点A(中野トンネル鉄筋区間)、点B(中野トンネル無筋区間)、点C(高丘トンネル天端)の沈下量を表-3に示す。

3) 断面照査

表-3の沈下量が表-2の許容沈下量を満たす工法は、検討ケース2, 3, 4, 5, 6, 7B, 8A, 8B, 9A, 9Bとなった。

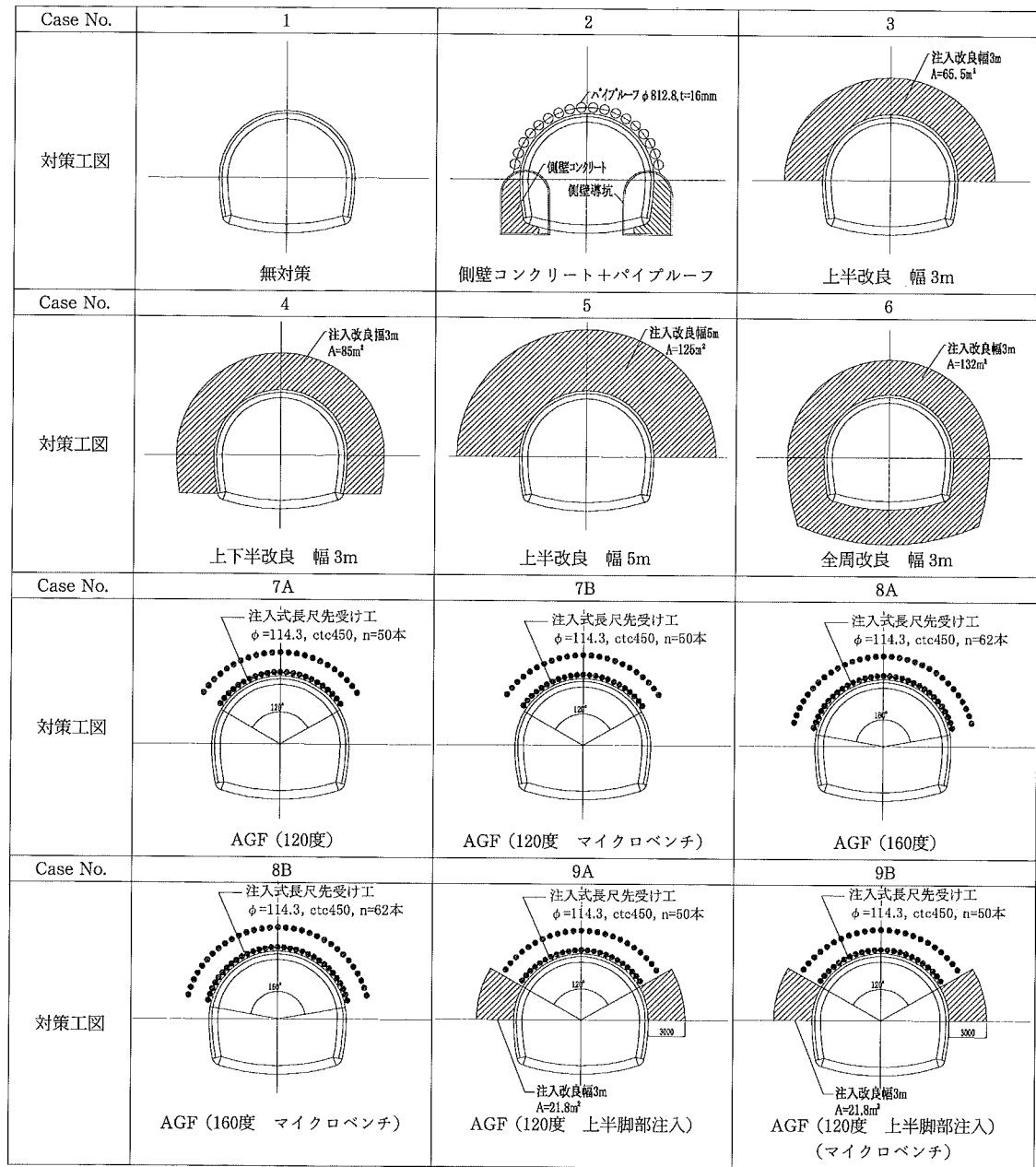


図-12 検討ケース

表-3 解析結果(沈下量)

| 検討ケース | 点A(mm) | 点B(mm) | 点C(mm) | 検討ケース | 点A(mm) | 点B(mm) | 点C(mm) |
|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| 1 | -25.3 | -17.7 | -66.4 | 7A | -24.0 | -16.2 | -51.3 |
| 2 | -14.2 | -10.8 | -24.4 | 7B | -19.0 | -13.3 | -40.8 |
| 3 | -22.6 | -15.9 | -51.9 | 8A | -21.0 | -14.6 | -42.4 |
| 4 | -20.6 | -14.2 | -47.8 | 8B | -16.5 | -12.0 | -33.6 |
| 5 | -22.0 | -15.6 | -48.9 | 9A | -21.1 | -14.6 | -43.8 |
| 6 | -19.1 | -13.2 | -47.3 | 9B | -16.9 | -12.2 | -35.2 |

表-4 中野トンネル覆工断面照査結果(最大応力発生時)

| ケース No. | ア - ーチ | | 発生応力 (N/mm ²) | 許容応力 (N/mm ²) | 判定 | 備考 | インバート | M (kN・m) | N (kN) | M _u (kN・m) | M _c (kN・m) | 判定* | 備考 |
|------------------------------|--------|------------|---------------------------|---------------------------|------|------|-------|----------|--------|-----------------------|-----------------------|-----|-----|
| | 鉄筋区間 | 圧縮側 引張側 | | | | | | | | | | | |
| ケース-1 (無対策) | 鉄筋区間 | 圧縮側 | 4.5 | 7.0 | ○ | -10m | 圧縮側 | -91.0 | 103.8 | -133.7 | 81.6 | ○ | -5m |
| | | 引張側 | 209 | 180 | × | -10m | 引張側 | 85.6 | -125.6 | 82.4 | 62.5 | × | +5m |
| | 無筋区間 | 圧縮側 | 0.86 | 5.0 | ○ | -10m | 圧縮側 | -40.8 | 66.3 | - | 71.3 | ○ | ±0m |
| | | 引張側 | 0.88 | 1.0 | ○ | +5m | 引張側 | 40.2 | -107.9 | - | 56.8 | ○ | -5m |
| | 鉄筋区間 | 圧縮側 | 2.7 | 7.0 | ○ | -15m | 圧縮側 | -53.6 | 55.3 | -123.1 | 77.6 | ○ | -5m |
| | | 引張側 | 127 | 180 | ○ | -10m | 引張側 | 55.1 | -88.6 | 90.9 | 65.6 | ○ | ±0m |
| ケース-2 (パイプルーフ) | 鉄筋区間 | 圧縮側 | 0.61 | 1.0 | ○ | +5m | 圧縮側 | -26.1 | 38.7 | - | 69.0 | ○ | ±0m |
| | | 引張側 | 0.61 | 1.0 | ○ | +5m | 引張側 | 33.6 | -81.0 | - | 59.1 | ○ | -5m |
| | 鉄筋区間 | 圧縮側 | 4.2 | 7.0 | ○ | -10m | 圧縮側 | -86.1 | 97.4 | -132.3 | 81.1 | ○ | -5m |
| | | 引張側 | 198 | 180 | × | -10m | 引張側 | 84.8 | -119.9 | 83.7 | 63.0 | × | +5m |
| | 無筋区間 | 圧縮側 | 0.79 | 5.0 | ○ | -10m | 圧縮側 | -37.6 | 60.1 | - | 70.8 | ○ | ±0m |
| | | 引張側 | 0.82 | 1.0 | ○ | +5m | 引張側 | 44.7 | -102.2 | - | 57.3 | ○ | -5m |
| ケース-7A (AGF120°) | 鉄筋区間 | 圧縮側 | 3.4 | 7.0 | ○ | -10m | 圧縮側 | -69.2 | 75.4 | -127.5 | 72.1 | ○ | -5m |
| | | 引張側 | 163 | 180 | ○ | -10m | 引張側 | 69.1 | -100.5 | 88.1 | 57.4 | ○ | +5m |
| | 無筋区間 | 圧縮側 | 0.65 | 5.0 | ○ | -10m | 圧縮側 | -31.1 | 47.9 | - | 69.8 | ○ | ±0m |
| | | 引張側 | 0.70 | 1.0 | ○ | +5m | 引張側 | 38.4 | -90.3 | - | 58.3 | ○ | -5m |
| | 鉄筋区間 | 圧縮側 | 3.7 | 7.0 | ○ | -10m | 圧縮側 | -75.7 | 83.9 | -129.4 | 72.8 | ○ | -5m |
| | | 引張側 | 177 | 180 | ○ | -10m | 引張側 | 75.2 | -108.1 | 86.4 | 56.8 | ○ | +5m |
| ケース-8A (AGF160°) | 鉄筋区間 | 圧縮側 | 0.72 | 5.0 | ○ | -10m | 圧縮側 | -34.1 | 41.3 | - | 69.3 | ○ | ±0m |
| | | 引張側 | 0.76 | 1.0 | ○ | +5m | 引張側 | 53.4 | -95.8 | - | 57.8 | ○ | -5m |
| | 鉄筋区間 | 圧縮側 | 3.0 | 7.0 | ○ | -10m | 圧縮側 | -61.1 | 64.9 | -125.2 | 71.2 | ○ | -5m |
| | | 引張側 | 145 | 180 | ○ | -10m | 引張側 | 61.6 | -97.3 | 88.9 | 57.7 | ○ | +5m |
| | 無筋区間 | 圧縮側 | 0.59 | 5.0 | ○ | -10m | 圧縮側 | -28.5 | 35.8 | - | 68.8 | ○ | ±0m |
| | | 引張側 | 0.65 | 1.0 | ○ | +5m | 引張側 | 42.9 | -85.4 | - | 58.7 | ○ | -5m |
| ケース-8B (AGF160°, マイクロベンチ) | 鉄筋区間 | 圧縮側 | 3.8 | 7.0 | ○ | -10m | 圧縮側 | -76.5 | 84.2 | -129.4 | 72.8 | ○ | -5m |
| | | 引張側 | 177 | 180 | ○ | -10m | 引張側 | 75.5 | -108.4 | 86.3 | 56.8 | ○ | +5m |
| | 無筋区間 | 圧縮側 | 0.72 | 5.0 | ○ | -10m | 圧縮側 | -34.1 | 41.3 | - | 69.3 | ○ | ±0m |
| | | 引張側 | 0.76 | 1.0 | ○ | +5m | 引張側 | 53.4 | -95.8 | - | 57.8 | ○ | -5m |
| | 鉄筋区間 | 圧縮側 | 3.1 | 7.0 | ○ | -10m | 圧縮側 | -62.4 | 66.6 | -125.6 | 71.4 | ○ | -5m |
| | | 引張側 | 148 | 180 | ○ | -10m | 引張側 | 62.8 | -98.9 | 88.5 | 57.6 | ○ | +5m |
| 無筋区間 | 圧縮側 | 0.60 | 5.0 | ○ | -10m | 圧縮側 | -28.9 | 36.3 | - | 68.8 | ○ | ±0m | |
| | 引張側 | 0.66 | 1.0 | ○ | +5m | 引張側 | 43.8 | -86.2 | - | 58.6 | ○ | -5m | |

備考欄：最大応力が発生するときの中野トンネル中心から高丘トンネル切羽の距離を示す(マイナス記号は通過前を表す)。

次に中野トンネル横断方向検討モデル上において、中野トンネルの断面照査を行った。

掘削中の最大発生応力時における断面照査結果を表-4に示す。アーチ部は許容応力度法により評価する。

〔鉄筋区間〕

- ・コンクリート $\sigma_c = 7.0\text{N/mm}^2$
- ・鉄筋 $\sigma_s = 180\text{N/mm}^2$

〔無筋区間〕

- ・コンクリート圧縮側 $\sigma_c = 5.0\text{N/mm}^2$
- ・コンクリート引張側 $\sigma'_c = 1.0\text{N/mm}^2$

インバートコンクリートは、道路橋示方書・同解説(日本道路協会；平成14年3月)を参考として、終局曲げモーメント M_u とひび割れ曲げモーメント M_c を許容値として作用曲げモーメントにより評価する。

〔鉄筋区間〕

- ・ $M_u > M$

〔無筋区間〕

- ・ $M_c > M$

4-3 対策工検討結果

中野トンネル横断方向検討モデル(検討ステップ1)および高丘トンネル横断方向検討モデル(検討ステップ2)の検討結果と経済性を考慮し、ケース7B、つまりAGF工をダブル施工し、掘削時はベンチ長をマイクロベンチとする対策工が適しているという結果となった。

5 施工計画

「4. 対策工」のFEM解析などの結果と現地での施工性を考慮し、長尺先受け工(AGF工ダブル)とインバートコンクリート早期打設(早期閉合)、通常の掘削区間と同様のショートベンチ工法により掘削することとし、計測状況により、マイクロベンチ工法などへの切り替えを検討することとした。マイクロベンチ工法を採用した場合は、切羽の安定のために長尺鏡止めを採用する。

- ① 長尺先受け工(AGF工ダブル)(図-13, 14)
- ② インバートコンクリート早期打設(早期閉合)

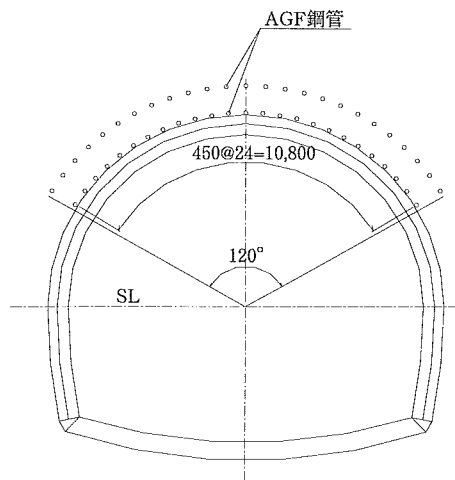


図-13 長尺先受け工標準断面図

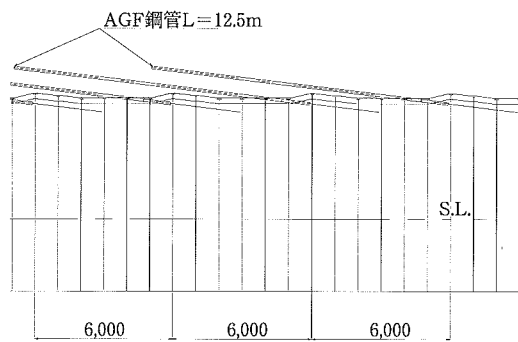


図-14 長尺先受け工標準縦断面図

③ 掘削工法：マイクロベンチ工法(計測状況により採用)

④ 長尺鏡止ボルト(計測状況により採用)

図-7に示した高丘トンネル掘削影響範囲に上記①, ②を実際に割付したものを図-15に示す。先受け工であるAGF工ダブルは、要対策範囲をカバーするために12.5mのAGF鋼管を6シフト(約40m間)施工する。また、早期閉合のためのインバートコンクリートは要注意区間である36m区間において掘削時にできるかぎり早期に施工することとした。

6 中野トンネル計測計画

中野トンネルの計測範囲は交差部中心とした要注意範囲である約62mの範囲に自動計測機器を設置し、計測管理を行った。

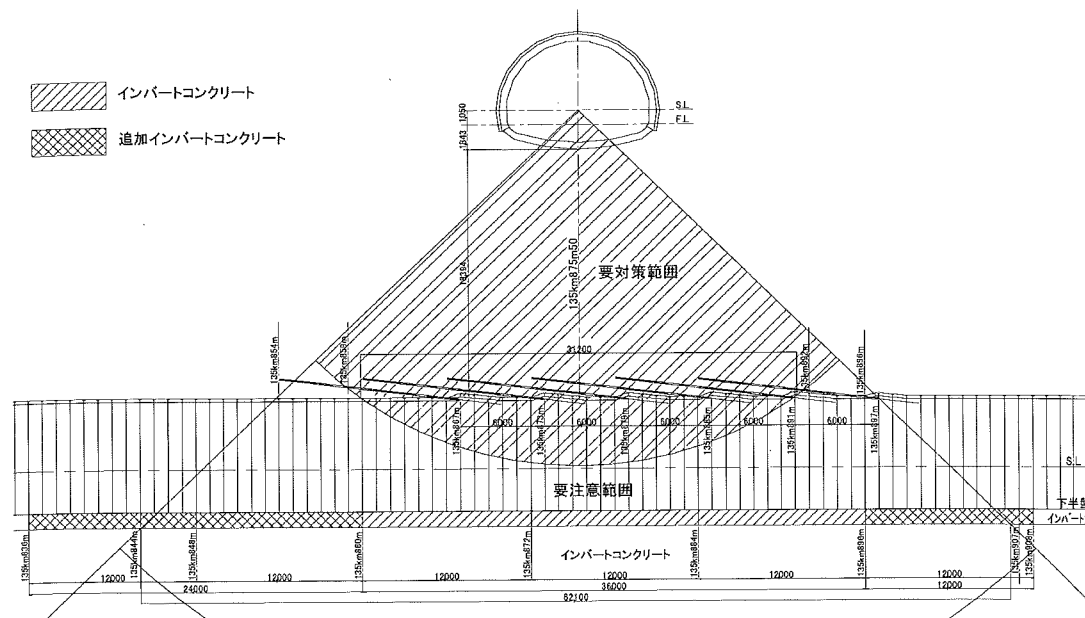


図-15 対策工割付け図

6-1 計測項目

供用中の既設道路トンネルの影響について、覆工コンクリートの変状に着目すると、①覆工コンクリートの変位による内空変位、②覆工コンクリートの目地部での変状、③覆工コンクリートに発生する増加応力が考えられる。これらの変化を迅速に把握し、道路交通へ安全を確保しなければならない。このことを考慮して計測項目を設定した(表-5)。

6-2 計測機器の設置

計測機器の配置を図-16に示す(図-16：計測機器配置図)。覆工コンクリートひずみ測定は(1断面あたり5測点)を2断面(断面①, 断面②)で行う。掘削影響範囲以内の覆工コンクリート目地部においては、沈下による影響が顕著に現れる可能性を有しているため、内空変位(沈下変位)を全部で5断面(A~E断面)測定する。

また、クラック調査の結果、顕著なクラックは鉄筋区間と無筋区間の境界部(1断面)に横断方向で発生していたため、このクラックの進行状況を確認するために、この断面のみを自動計測することとした。ほかは目視により、クラックの発生状況を確認する。

表-5 計測項目

| 項目 | 概要 | 計測方法 |
|---------------|--|------|
| 調査・観察 | 影響前の覆工コンクリートの状態を把握し、覆工コンクリートの健全性を評価する。また、変状の進行、新しい変状などを常に観測する。 | 目視 |
| 内空変位測定 | 自動追尾(トータルステーション)を設置し、計測ポイント間の間隔(内空変位)を常時計測し、監視する。 | 自動計測 |
| クラック測定 | 影響前に既に発生している覆工コンクリートのクラックに対して、外荷重の増分によるクラックの進行を監視し、健全性を監視する。 | 自動計測 |
| 覆工コンクリートひずみ測定 | 表面ひずみ計を用いて、ひずみの発生状況を把握する。 | 自動計測 |
| 坑内温度測定 | 坑内温度を測定し、温度変化による測定データへの影響を把握する。 | 自動計測 |

6-3 計測期間

掘削影響範囲に入る前の1か月程度を事前計測期間とし、道路交通の振動などの影響や温度による影響を把握する。

掘削影響範囲内を高丘トンネルが掘削している期間は、設定した管理値を超える事態が生じた場

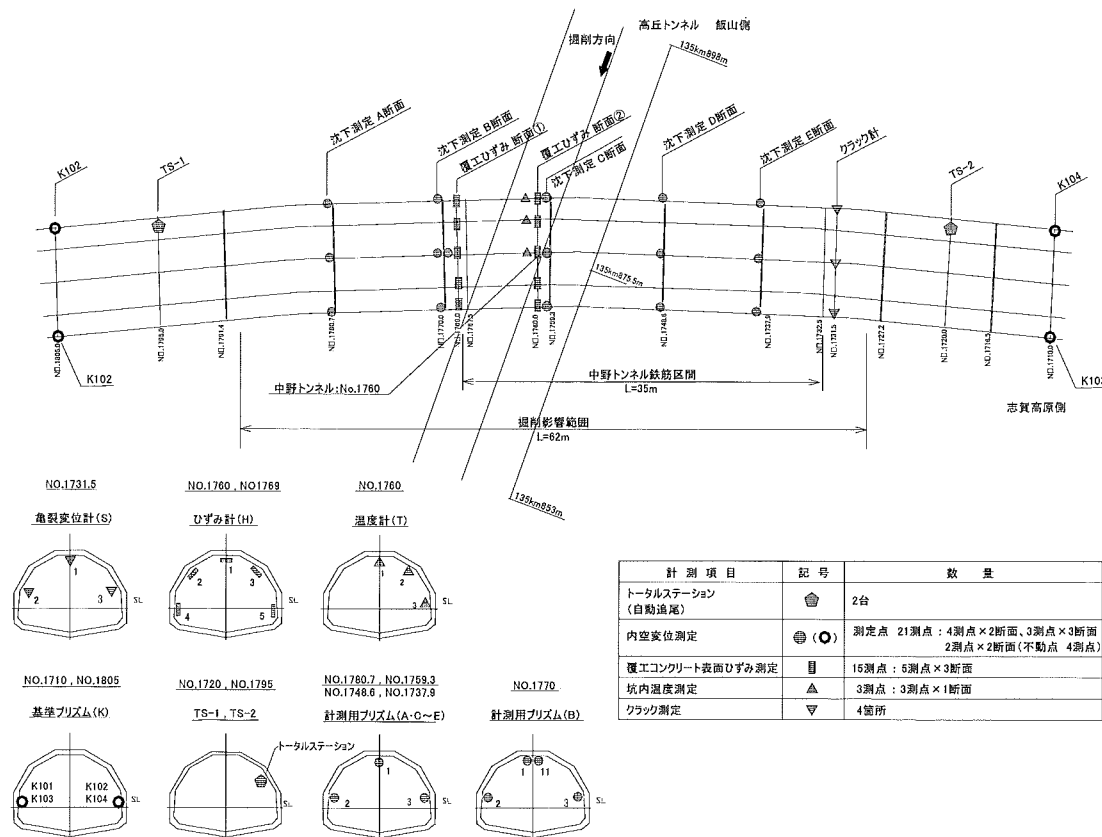


図-16 計測機器配置図

合、速やかに対処するために警報システムを設置し常時監視をする。また、収束確認ができるまで、基本的にこの体制を継続する。

6-4 計測管理

6-4-1 計測管理レベル

計測管理レベルは、鉄道構造物等設計標準・同解説「都市部山岳工法トンネル」(国土交通省鉄道局監修、鉄道総合技術研究所編; 2002年5月)を参考にレベルを4つに分けて対策した(表-6)。

6-4-2 計測管理値

計測項目は表-5に示した項目を行うが、情報が多いため、管理値を設定するものと急激な変化を監視するものに分けて計測管理することとした。

(1) 内空変位(沈下量)の管理

中野トンネルに発生する変位は沈下に起因するものが主であると考えられるため、沈下量の計測はとくに重要である。そこで内空変位(沈下量)について管理値を設定し、計測管理を行うこととし

表-6 管理レベル

| 管理レベル | 計測管理体制 | 施工体制・処置 |
|----------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 管理レベルI (安定) | ・通常どおり ・管理基準の見直し | ・支保の低減あるいは軽減の検討 |
| 管理レベルII (注意) | ・計測頻度の増加 ・要因の把握 | ・対策工の準備/検討 |
| 管理レベルIII (要対策) | ・計測頻度の増加 ・測点の追加 ・要因の把握 | ・対策工の実施 ・支保の見直し |
| 管理レベルIV (厳戒) | ・連続計測 ・測点の追加 ・計測項目の追加 ・要因の追求 | ・掘削の一時的な停止 ・対策工の実施 ・支保の見直し |

た。表-2に示した許容沈下量を基準に管理値を設定した。管理レベルIは許容沈下量の50%以内、管理レベルIIは許容沈下量の80%以内、管理レベルIIIは許容管理値と設定する(表-7)。ただし、通常の掘削をした場合でも、解析上は鉄筋区間で約19mm、無筋区間で約13mm沈下すると予測されており(表-3のケース7B参照)、許容管理値を基準に

管理値を設定してしまうということは管理値を超える可能性が大きくなると考えられる。しかし、2次元FEM解析の限界であるが、3次元で考えたとき高丘トンネル、中野トンネルはそれぞれ縦断方向に梁構造として挙動するため実際の沈下量は解析結果より少ないと考えられる。このため、許容管理値を管理レベルIIIとして設定した。

(2) 目違いの管理

覆工コンクリート間の目地違いは、道路交通に支障をきたすため、目地違いの測定も重要である。そこで目地違いについても管理値を設定し、計測管理を行うこととした。目違いの管理値には変状

表-7 内空変位(沈下量)管理値

| 管理レベル | 鉄筋区間 (mm) | 無筋区間 (mm) |
|----------|-----------|-----------|
| 管理レベルI | 12.0 | 10.9 |
| 管理レベルII | 19.1 | 17.4 |
| 管理レベルIII | 23.9 | 21.8 |
| 管理レベルIV | | |

表-8 目地違いの管理値

| 管理レベル | 鉄筋区間 (mm) |
|----------|-----------|
| 管理レベルI | 2.5 |
| 管理レベルII | 4.0 |
| 管理レベルIII | 5.0 |
| 管理レベルIV | |

トンネル対策工設計マニュアル(平成10年2月)を参考に5mm以上が崩落や剥落が予想されると考えられるため、これを管理レベルIIIの許容値として設定することとした。内空変位(沈下量)管理値と同様に目地違いの管理値と管理レベルを設定した(表-8)。

(3) その他の管理

クラック測定は既に発生している変状の変化を観測することが目的であるため、中野トンネルに新たに荷重が作用した場合、最初に変動が起きる可能性が高い。急激な変化の発生を監視することとし、管理値はとくに設定しない。覆工コンクリートひずみ測定は切羽の進行とともに発生する経時的な変化を監視し、偏荷重の発生状況を監視することとし、これについてもとくに管理値を設定しないこととする。

7 計測結果

7-1 内空変位(沈下量)計測結果

内空変位(沈下量)が一番大きい箇所である

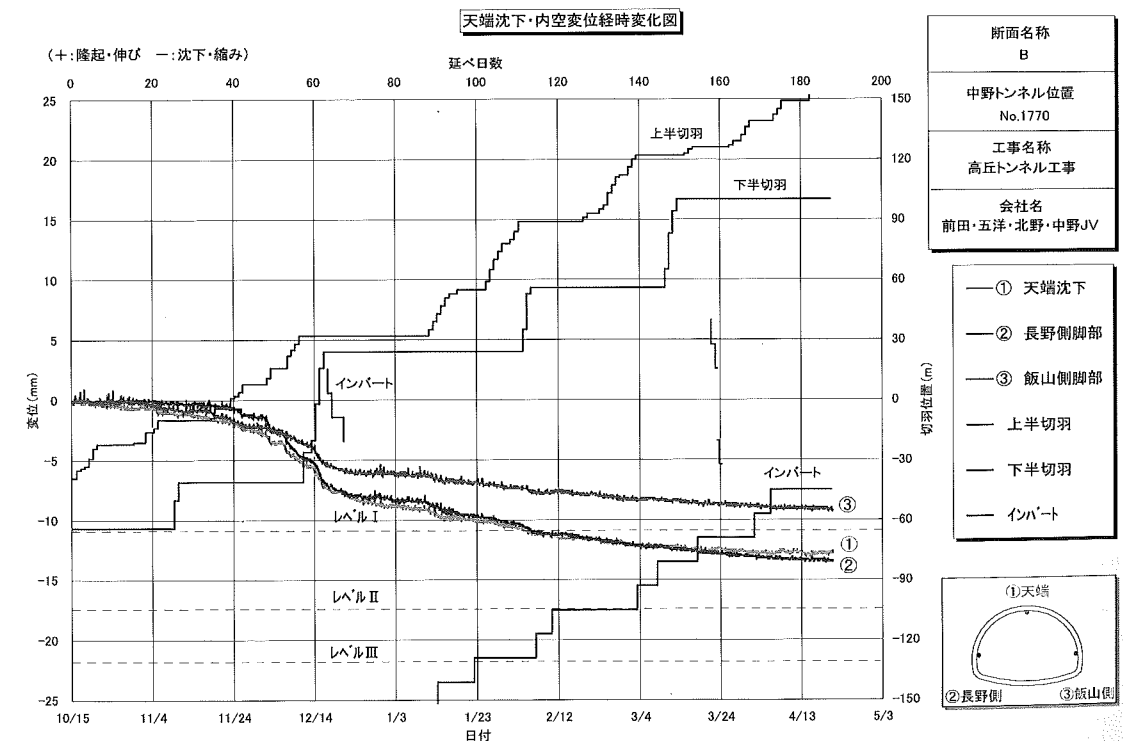


図-17 中野トンネルB断面(鉄筋・無筋境界部)沈下量

B断面の計測結果を示す(図-17)。B, C断面を除き、管理値を設定した計測項目である内空変位(沈下量)、目地違いについて、管理レベルIに達することなく収束した。クラック測定、ひずみ測定についてもほとんど変化なく掘削を完了することができた。高丘トンネルについても、天端沈下、内空変位ともに急激な変化もなく、無事掘削できたと考えている。

B断面については中野トンネル覆工コンクリートの無筋区間と鉄筋区間の境界部付近であり、中野トンネル覆工コンクリート構造(有筋、無筋)の境界部と交差部直上に近いことが影響し、沈下が大きくなったと考えられる。C断面については、鉄筋区間ではあるが、交差中心点であるため沈下量が管理レベルIを超えたと考えられる。管理レベルIを越えた場合、表-6にもとづけば施工体制・処置として、対策工の準備・検討となっているが、道路が供用中であることより早めの対策が肝要と判断し、具体的な対策を行うこととした。

7-2 追加対策工

B, C断面の沈下が管理レベルIを超えたことを受け具体的な対策を検討した。高丘トンネル坑内からの注入や中野トンネル内の補強工といった大規模な対策も考えられるが、沈下が収束傾向にあるため、大規模な対策はかえって地山への影響が大きく、沈下を助長すると判断した。その結果、道路管理者と協議のうえ、トンネル掘削時に早期閉合を目的として要注意範囲(36m区間)のみ施工していたインパットコンクリートを掘削影響範囲に広げ、施工することとした(図-15)。

時間の経過と追加対策工などにより、B, C断面

についても収束傾向にあり、現在は道路管理者と収束確認の準備を進めている。

8 ま と め

高丘トンネル北工区は、道路トンネルである中野トンネルと離隔2D以下の近接施工にもかかわらず、交差前の事前対策として行った中野トンネルの覆工鉄筋コンクリート、FEM解析にもとづく掘削時対策工の選定、および掘削中の計測管理などにより、高丘トンネルは中野トンネル直下を無事通過することができた。掘削前に発生していたクラックなども急激な変化をせず、高丘トンネル掘削による地山の若干の緩みに対する中野トンネル全体の若干の緩やかな影響のみで無事掘削できたと考えている。

とくに供用中の道路への影響は交通阻害を引き起こす可能性があるが、影響範囲内を掘削中は24時間の監視体制を取り、連続的に計測管理そして安全管理を行うことができた。これは現場関係者の協力によるものである。また、計画調整のための事前協議、施工前の協議、掘削中の協議および打ち合わせなど関係者が入念な調整の結果、安全確保ができたと考えており、関係者の方々に感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 鉄道総合研究所編；既設トンネル近接施工対策マニュアル，1996.9.
- 2) 日本道路協会編；道路橋示方書・同解説，2002.3.
- 3) 国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編；鉄道構造物等設計標準・同解説「都市部山岳工法トンネル」，2002.5.

施 工

大規模断層破碎帯に双設大断面トンネルを貫く

—第二東名高速道路 富士川トンネル(下り線)—

日本道路公団静岡建設局富士工事事務所所長 大西 昌彦
 日本道路公団静岡建設局富士工事事務所工事長 川 俣 和 久
 清水建設(株)土木技術本部技術第二部副部長 楠 本 太

1 は じ め に

富士川トンネルは、第二東名高速道路の富士IC～清水IC間に位置し、トンネル掘削断面積は約190m²、上り線延長4,520m、下り線延長4,434mの長大トンネルである。このため、TBM導坑先進拡幅掘削工法が採用されている。トンネルの中央付近には、活断層を含む入山断層破碎帯が分布し、強度不足による押し出し性地山である¹⁾。

このような地質での双設大断面トンネルの掘削は、これまでに経験はなく、押し出し性地圧によるトンネル支保構造系の破壊や後行トンネル掘削による先行トンネルへの悪影響が危惧されたが、縫返し工なしに、無事に、上り線、下り線の施工を終えることができた。

本稿では、ここでの双設トンネル設計の考え方、拡幅掘削方法、動態計測方法などの有効性が実証

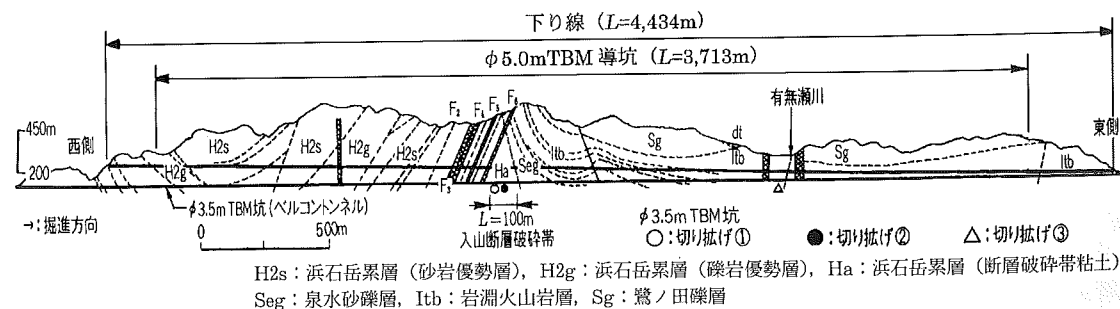
されたのと、双設大断面トンネルの挙動特性が明らかになったので報告する。

2 地 質 概 要

トンネルのほぼ中央に、粘土化した破碎帯、亀裂帯が連続する入山断層破碎帯が分布する(図-1)。この断層破碎帯粘土の一軸圧縮強度は、岩石試験値では0.07～1.87N/mm²、針貫入試験値では1～4N/mm²である。土かぶり厚は、約250～300mであることから、地山強度比は0.3～0.7となる²⁾。また、先行した下り線TBM導坑には、後行上り線TBM導坑の明らかな掘削影響が現われたことなどから、掘削影響は広域に及ぶ断層破碎帯粘土である。

3 工 事 概 要

富士川トンネル西工事では、これまでに、延長4,754mのφ3.50mTBM坑、延長3,713mの下り線



TBM導坑の先行掘削を終えている。現在、上り線は、西側の2,577mの施工を完了している。下り線は、掘削断面積が約260m²の集じん機室とこれに直交する約105m²の補機室の3か所を含む延長1,975mの本坑掘削は完了している。

全掘削延長4,552mのうち1,006.6mは、下り線側のTBM発進基地と上り線側のTBM到達部として、上半先進掘削工法で掘削し、3,545.4mはTBM導坑先進掘削工法で掘削した。入山断層破碎帯区間の施工は、表-1の施工実績に示すように、2004年10月末に、覆工コンクリート工を完了した。

4 後行トンネル掘削時の設計修正

先行上り線の掘削で得られたトンネル挙動特性²⁾にもとづいて、先行トンネル支保耐力不足分の補強工と後行トンネル必要支保耐力の増減は、吹付けコンクリート厚と変形余裕量の増減で見直し、修正する。

(1) 先行上り線トンネル補強工

吹付けコンクリート軸応力が高く、トンネル掘削時変位量が大きい区間では、以下に示す考えにもとづいて、変形余裕量を見直し、補強工を計画する。

- ① 鋼アーチ支保工の曲げ応力は、降伏応力を

表-1 入山断層破碎帯区間施工実績

| 箇所 | 年月 | 延長(m) | H12年度 | | H13年度 | | H14年度 | | H15年度 | | H16年度 | | 備考 |
|-------|----------------|-------|-------|------|-------|-------|--------------|-----|-----------------------|----------------|-------|-----|--|
| | | | 4月 | 10月 | 4月 | 10月 | 4月 | 10月 | 4月 | 10月 | 4月 | 10月 | |
| TBM導坑 | ②上り線(東工事JV) | 60 | | | 5/26 | 6/7 | | | | | | | ・東側→西側 ・STA.1027+65~STA.1028+25 |
| | ①下り線(西工事JV) | 100 | | 12/7 | 12/20 | | | | | | | | ・西側→東側 ・STA.1027+00~STA.1028+00 |
| | ③鋼製ライナ補強工(下り線) | 6 | | | | 11/26 | | | | | | | ・3か所×2リング ・計測IB(STA.1027+32.5) |
| 本坑 | ④上り線 | 69 | | | | | 掘削(11/4~3/5) | | インバートコンクリート(9/1~12/9) | | | | ・破碎質(36m), 粘土質(24m), 層境(9m) ・到達(STA.1036+00, 2004年2月5日) |
| | ⑤増吹付け補強工(上り線) | 30 | | | | | | | | 補強工(6/23~6/25) | | | ・粘土質と層境区間 ・吹付けコンクリート(SFRS1.0%), t=25cm |
| | ⑥下り線 | 108 | | | | | 掘削(9/15~3/2) | | インバートコンクリート(6/17~9/2) | | | | ・破碎質(48m), 粘土質(36m), 層境(24m) ・貫通(STA.1030+00, 2004年6月29日) |

超え、微増している。この支保耐力と同等レベルの吹付け厚 t=10cmの増吹付けコンクリートで受替える。

- ② 吹付けコンクリート軸応力の一部は、圧縮強度を超えており、後行下り線掘削影響の増分応力を負担する余裕はないので、双設トンネル影響分として、吹付け厚 t=15cmの増吹付けコンクリートを考慮する。

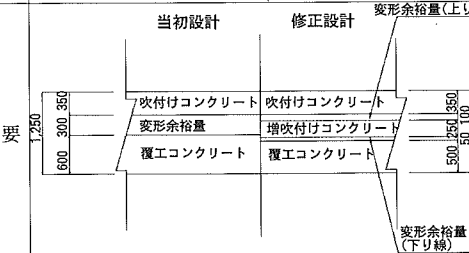
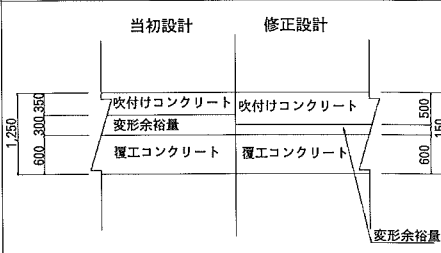
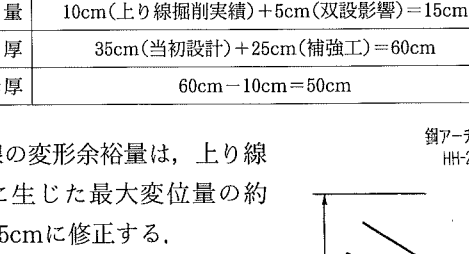
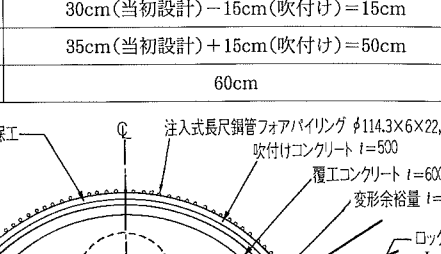
- ③ 後行下り線掘削時の上り線の変形余裕は、上り線掘削時最大変位量の1/2の5cmを確保する。

これらの考えにもとづいて、上り線トンネル支保構造体は、下り線掘削に先行して、上り線鋼アーチ支保工が支保耐力を失う以前に、吹付け厚 t=25cmの増吹付けコンクリートで補強する。

(2) 後行下り線トンネル設計修正

上り線破碎質DII-K-Pでは、当初計画どおり、トンネル支保構造系の力学的安定は確保できたので、後行下り線の支保構造仕様は、上り線と同様とする²⁾。粘土質E-K-Pでは、トンネル支保構造体は、設計強度に近い高い応力レベルで微増しているのと、下り線周辺地山は上り線掘削時の応力再配分の影響を受けているので、以下のように見直す。

表-2 上り線実績にもとづくトンネル構造仕様の修正(粘土質)

| 断面区分 | 先行上り線(E-K-P) | | | | 後行下り線(E-K1-P) | | | |
|---------|---|---|------------|--|---|---|------------|--|
| | 当初設計 | 修正設計 | 変形余裕量(上り線) | | 当初設計 | 修正設計 | 変形余裕量(下り線) | |
| 修正概要 |  |  | | |  |  | | |
| 変形余裕量 | 10cm(上り線掘削実績)+5cm(双設影響)=15cm | | | | 30cm(当初設計)-15cm(吹付け)=15cm | | | |
| 吹付け厚 | 35cm(当初設計)+25cm(補強工)=60cm | | | | 35cm(当初設計)+15cm(吹付け)=50cm | | | |
| 最小覆工巻き厚 | 60cm-10cm=50cm | | | | 60cm | | | |

- ① 下り線の変形余裕量は、上り線掘削時に生じた最大変位量の約1.5倍の15cmに修正する。

- ② 吹付けコンクリート厚は、変形余裕量15cm減に対応させ、当初設計時の35cmに加えて、その内空側に t=15cmの吹付けコンクリートを吹付けて、設計厚を t=50cmとする厚肉支保構造仕様に修正する。

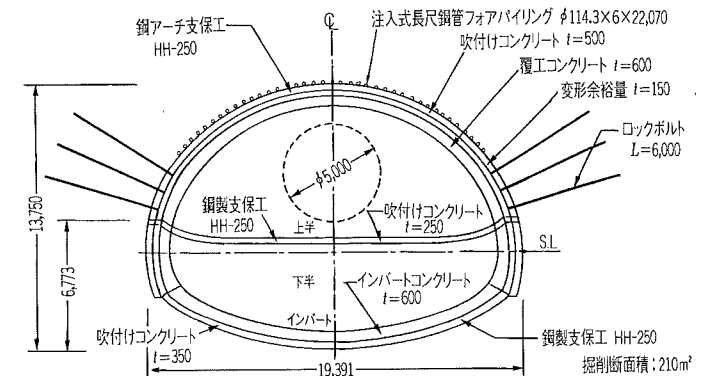


図-2 後行下り線トンネル支保構造概要(粘土質)

(3) 補助工法修正

先行上り線では、上半切羽の自立度は低く、たびたび切羽崩壊が生じたが、長尺鋼管フォアパイリングにより断面外への破壊進行は抑止できたので、下り線も同様に、無掘削タイプ長尺鋼管フォアパイリングを計画する²⁾。

断面閉合時の破碎帯区間では、インバート施工時に、下半切羽の崩壊が生じたが、下半の長尺鋼管フォアパイリングにより、断面外への破壊進行は防止できたので、上り線と同様に配置する。粘土質では、下半・インバート切羽の自立度は高かったため、下半の長尺鋼管フォアパイリングはなくし、サイクルタイムを短縮する。

以上のことから、上り線実績にもとづく粘土質区間のトンネル構造仕様は、表-2のように修正し、後行下り線トンネルの支保構造仕様は、図-2、表

表-3 後行下り線支保構造仕様(修正後)

| 断面区分 | DII-K-P(破碎質) | E-K1-P(後行, 粘土質) | E-K-P(先行, 粘土質) |
|-------|---------------|---|----------------|
| 断層幅 | 72m | 36m | 24m |
| 1掘進長 | 1.00m | 0.75m | |
| 変形余裕量 | 30cm | 15cm | 30cm |
| 支保 | 吹付けコンクリート吹付け厚 | 35cm | 50cm |
| | | 設計強度(36N/mm ²), SFRS(1.0% vol.) | |
| | 鋼アーチ支保工 | HH-250(SS590), 降伏応力(440N/mm ²) | |
| | ロックボルト | 上半6本(L=6m), 耐力(290kN以上) | |

-3のように修正した。

5 Cycle 3-6-12方式の早期断面閉合掘削方法

上り線と同様に、上半と下半・インバートの交互施工とし、上半切羽とインバート切羽の離れは、最大36mとする。上半と下半・インバートの施工単位は、12mを基本とし、変位速度に応じて6m

が選択できるようにする。断面閉合の単位は3mとし、下半3m施工ごとに、インバート3mを一度に掘削し、断面閉合を行うCycle3-6-12方式の掘削方法³⁾を採用する。

6 計測概要

トンネル支保構造系の力学的安定の確認、評価やトンネル支保構造仕様の検証、断面閉合時期や覆工コンクリート打設時期の次施工の判断に資するトンネル挙動特性の把握などを目的として、三次元自動測量・計測システムのPaM-Net⁴⁾を核とする計測工Bを計画、実施する(図-3)。

7 下り線掘削結果

7-1 工事工程

下り線入山断層破砕帯の区間延長は、TBM導坑掘削により、約110mとわかっていたので、12m×9施工シフトに分割し、上半と下半・インバートを交互に施工した(図-4)。上半切羽とインバート切羽の最小離れは、破砕質で24m、粘土質で12mを標準とした(写真-1)。このCycle3-6-12方式による施工速度は、上半12mの掘削に9日、下半・

インバート12m掘削に4日を要し、月あたり21mの進行となり、計画を若干下まわる進行で、無事に完了した。

7-2 施工状況

切羽に現われる地質は、上り線の場合と同様に、脆弱で破砕質のものと油目、鏡肌を呈す粗粒状粘土質のものが層厚20~25mで、下り線を横切る。TBM導坑掘削時に、鋼製ライナが変状、座屈した西側の約36m間では、拡幅掘削時に、上半切羽は頻りに崩壊した。この東側では、破砕質、細粒状粘土質ともに、上半切羽の自立度は高い。層境の24mを除いた全区間にわたって、上半切羽前方

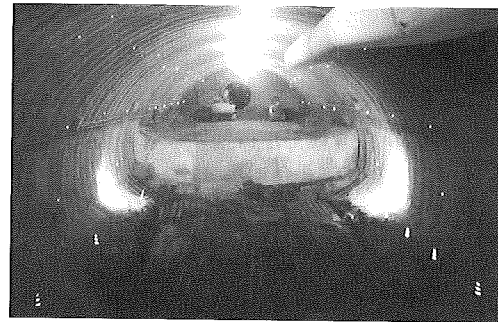
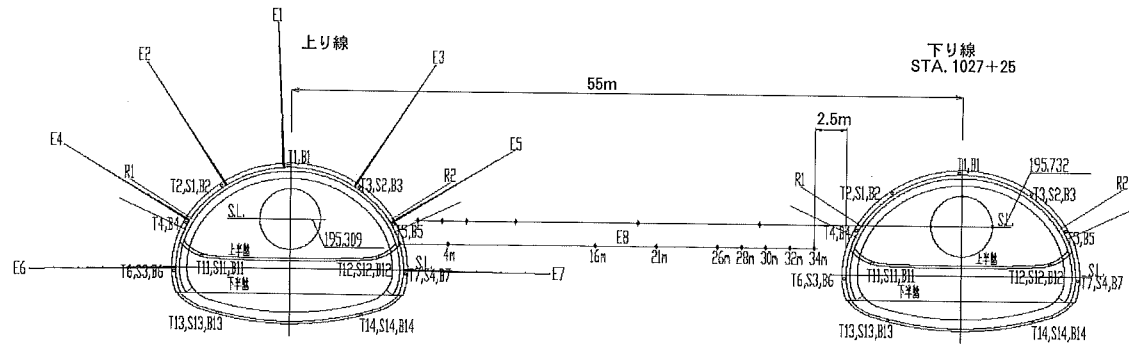
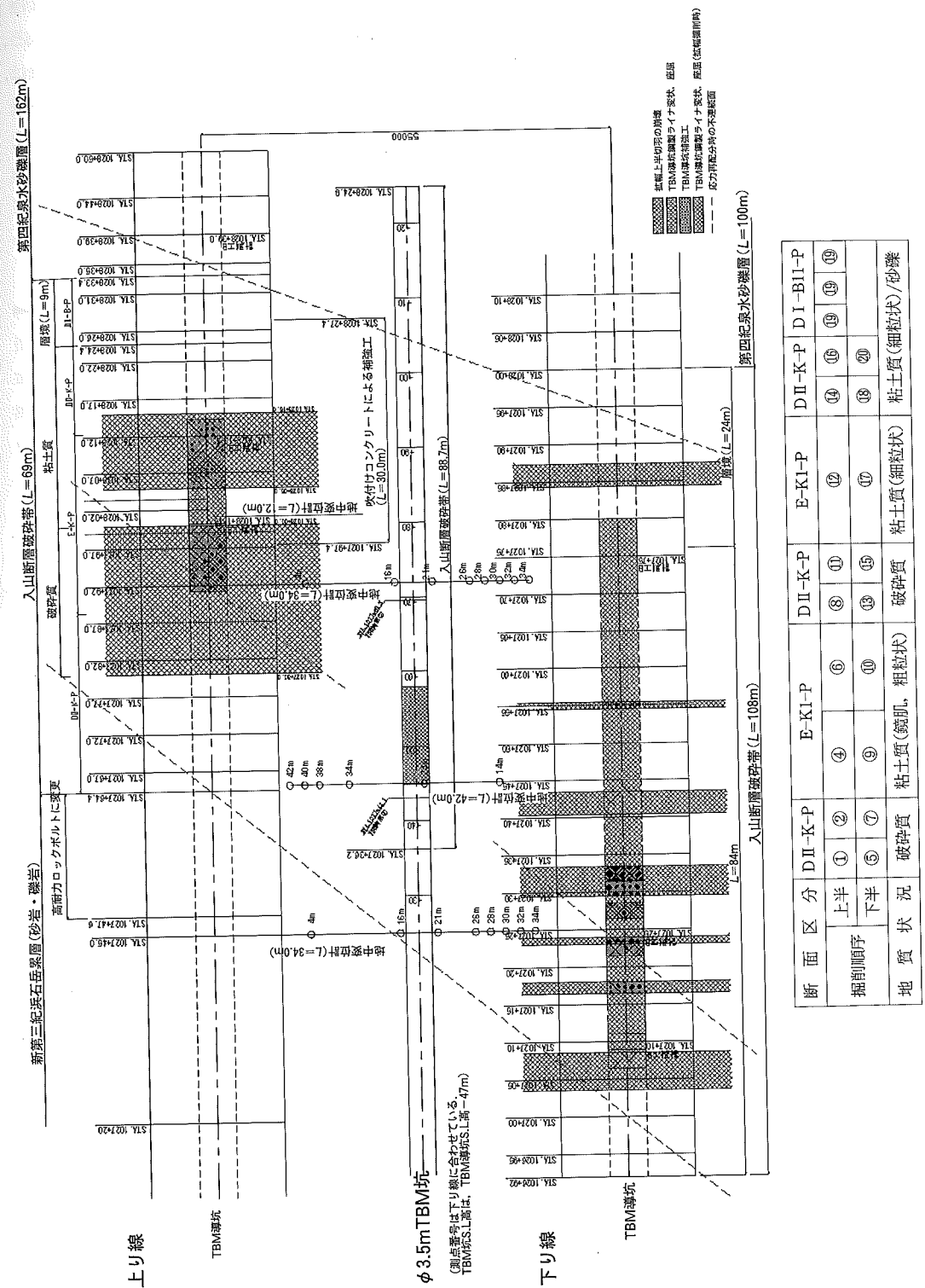


写真-1 Cycle 3-6-12方式(上半と下半・インバート切羽)



| 計測項目 | 計測機器と測点数 | 測点位置 | | |
|---------------|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | STA.1027+10 | STA.1027+25 | STA.1027+75 |
| 変形余裕量測定 | 3D自動測量・計測システム(7測点/断面) | 24断面(5m間隔) | | |
| ロックボルト軸力測定 | R ロックボルト軸力計(6測点/測線) | 2測線 | 2測線 | 2測線 |
| 地中変位測定(上り線設置) | E 電気式地中変位計(34.0m, 8測点/測線) | - | 1測線 | 1測線 |
| 吹付けコンクリート応力測定 | T コンクリート有効応力計 | 7測点 | 11測点 | 11測点 |
| 鋼アーチ支保工応力測定 | S ひずみゲージ | 8測点 | 8測点 | 8測点 |
| 背面土圧測定 | B 地圧計 | - | 11測点 | 11測点 |
| 覆工応力測定 | L コンクリート有効応力計 | - | 7測点 | - |

図-3 計測工B計器配置概要



| 断面区分 | 掘削順序 | | 地質状況 | DII-K-P | E-KI-P | DII-K-P | E-KI-P | DII-K-P | DI-BII-P | | | | | | | | | |
|------|------|---|--------------|---------|--------|---------|--------|---------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ① | ② | | | | | | | | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ | ⑩ | ⑪ |
| 上半 | | | 破砕質 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 下半 | | | 粘土質(鏡肌, 粗粒状) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 地質 | | | 破砕質 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 粘土質(細粒状) | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 破砕質 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 粘土質(細粒状) | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 破砕質 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 粘土質(細粒状) | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 破砕質 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 粘土質(細粒状) | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 破砕質 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 粘土質(細粒状) | | | | | | | | | | | | | | | |

図-4 下り線掘削順序と上半切羽状況(入山断層破砕帯)

のTBM導坑鋼製ライナ主桁は、変状、座屈した。

厚肉仕様の高強度鋼繊維補強吹付けコンクリートの施工性は、粘土質の吹付けコンクリート厚は $t=50\text{cm}$ であるが、 $t=10\sim 15\text{cm}$ の一次吹付け、鋼アーチ支保工建て込み後の $t=25\text{cm}$ の二次吹付け、その後の $t=15\text{cm}$ の三次吹付けを切羽位置で吹付けたが、不具合もなく良好であった(写真-2)。

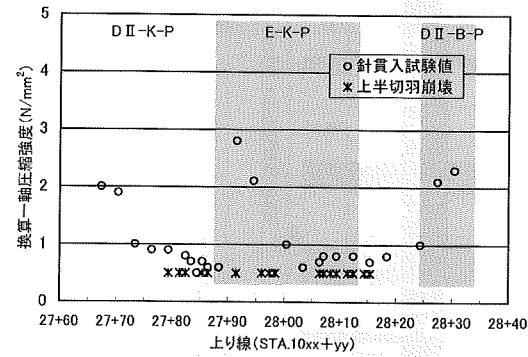
7-3 切羽の安定度

上半切羽の安定度は、針貫入試験値の換算一軸圧縮強度との関係で、以下のようであった(図-5)。

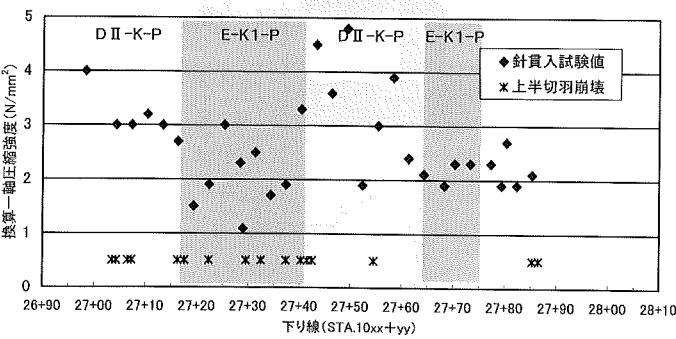
先行上り線では、換算一軸圧縮強度が 1 N/mm^2



写真-2 上半吹付け仕上がり状況(吹付け厚 $t = 50\text{cm}$)



(1) 上り線



(2) 下り線

図-5 一軸圧縮強度と切羽安定性

(地山強度比=0.2)を下まわると、上半切羽は自立できずに崩壊する。これが 1 N/mm^2 を超えると、破碎質、粘土質ともに自立する。後行下り線では、上り線掘削により、二度にわたり応力再配分を受けており、TBM導坑鋼製ライナは変状、座屈し、周辺地圧の一部は解放されているようであり、換算一軸圧縮強度が 2 N/mm^2 (地山強度比=0.4)を下まわると上半切羽は崩壊する。

8 計測結果と考察

計測データは、泉水砂礫との層境24mの断面閉合が完了してから60日後の測定データがほぼ収束した2004年5月25日時点のものであり、上半切羽はこの断面閉合端位置から東側に124m、下半は99m進行している。

8-1 下り線支保構造系の挙動特性

変位の最大値は、上半切羽が度々崩壊した破碎質DII-K-Pに生じており、上半右脚部で93mm沈下した。内空変位は、上半脚部測線で90mmの内空側変位である(図-6)。発生変位量は、支保剛性の低いDII-K-Pの方が大きい、変形余裕量15cmの範囲内にあり、必要内空断面は確保できている。また、先行上り線と比較すると、内空変位、鉛直変位ともに、上り線の約1.05~1.09倍、後行下り線の方が大きく変位した。

8-2 下り線支保構造系の力学特性

破碎質DII-K-PのSTA.1027+10、粗粒状粘土質E-K1-PのSTA.1027+25、細粒状粘土質E-K1-PのSTA.1027+75での支保部材応力の測定値から、以下のことがわかる。

(1) 吹付けコンクリート軸応力

吹付けコンクリート軸応力の最大値は、STA.1027+75の左肩部に生じており、 23 N/mm^2 の圧縮である。上半断面での平均値は、 19 N/mm^2 となり、圧縮強度の53%以上の応力状態で変動する(図-7)。

粘土質EのSTA.1027+25では、上半掘削時に最大約 25 N/mm^2 の圧縮応力を受けたが、断面閉合時に低下し、約

80%の 20 N/mm^2 で推移する。

(2) 鋼アーチ支保工曲げ応力

鋼アーチ支保工の曲げ応力は、右肩部で最大値を示し 362 N/mm^2 の曲げ圧縮となり、降伏強度 440 N/mm^2 の約83%の応力レベルに達し、厚肉の吹付けコンクリートを補強する(図-8)。

(3) 掘削外力分担

下り線吹付けコンクリート軸力の最大値は、DIIはトンネル延長方向1.0mあたり、Eは0.75mあたりに換算すると、粘土質Eで $9,910\text{ kN}$ の圧縮である。

鋼アーチ支保工は、 $750\sim 3,140\text{ kN}$ の圧縮である。このことから、吹付けコンクリートは、支保部材軸力の約67~80%を分担する主要支保部材であり、内圧力の作用とともに、これがグラウンドアーチの一部を形成する(図-9)。

8-3 トンネル周辺地山の挙動特性

上り線上半脚部位置から下り線に向けて設置した $L=32\text{m}$ の地中変位計からの下り線掘削にともなう地中相対変位と区間ひずみの測定結果は、粗粒状粘土質STA.1027+25と細粒状粘土質STA.1027+75について図-10に示す。これから、以下のことがわかる。

- ① 上り線計器口元の絶対水平変位量は、STA.1027+25は1.7mm上り線内空側に変位し、STA.1027+75は4mm下り線側に変位する。このことから、下り線の掘削面から深度2.5m位置の絶対水平変位は、両測点ともに39mm、下り線側に変位する。
- ② 下り線掘削面から深度2.5mと深度4.5m間の区間ひずみは、最大約0.3%の伸びひずみを受ける。この以深では、下り線掘削面から34.5m離れていても、約0.1%の伸びひずみを受ける。
- ③ 最終水平変位に対する上半切羽通過時水平変位の比は、粗粒状粘土質で0.36~0.45、細粒状粘土質で0.23~0.25である。断面閉合時では、粗粒状粘土質は0.73~0.78、細粒状粘土質は0.62~0.65となり、粗粒状粘土質の方

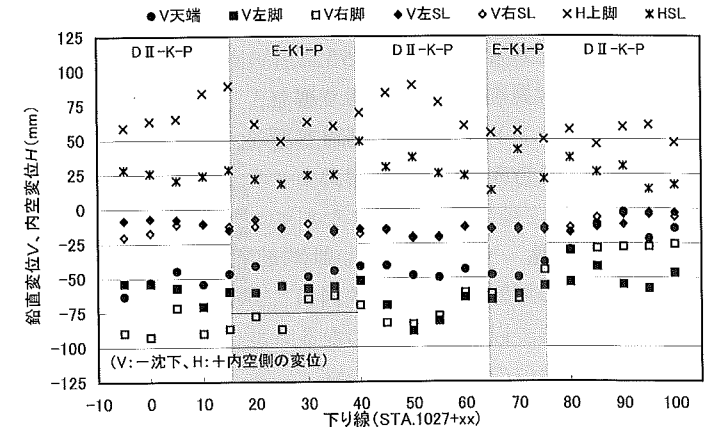


図-6 鉛直変位と内空変位(断面閉合60日後)

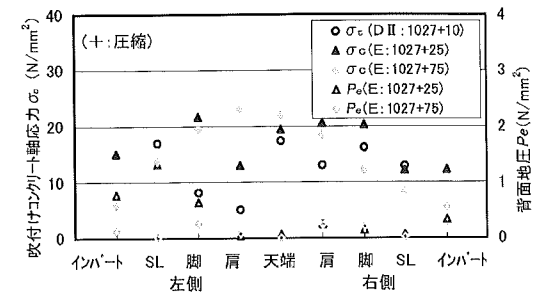


図-7 吹付けコンクリート軸応力(下り線)

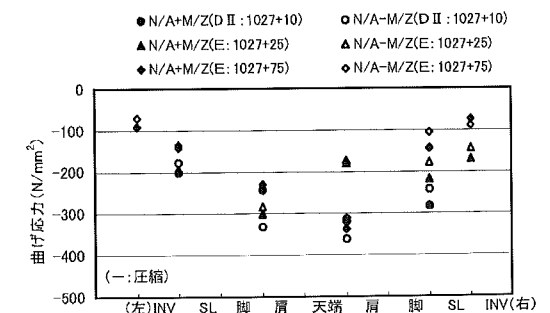


図-8 鋼アーチ支保工曲げ応力(下り線)

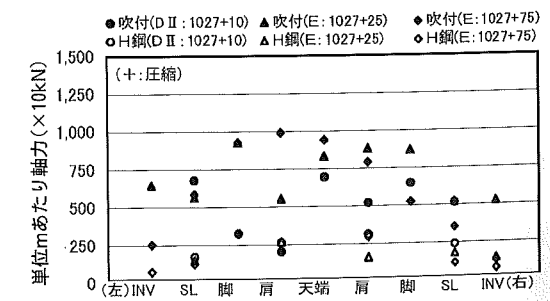


図-9 支保部材軸力(下り線)

が水平方向の先行挙動は大きい。これらのことから、この断層粘土区間では、下り線掘削時に、先行上り線を包含するグラウンドアーチが形成され、これに直交する方向に変位が生じたものと推察する。

8-4 双設影響

後行下り線の掘削影響は、上り線の計測データから、以下のことがわかる。

(1) 上り線変位の増分

内空変位は、3測線ともに、内空側に変位し、最大9mm変位する。鉛直変位は、最大4mmの沈下であり、変形余裕量50mmの範囲内で収束する(図-11)。

(2) 上り線吹付けコンクリート軸応力の増分

下り線掘削による上り線吹付けコンクリート軸応力の増分は、当初施工の吹付け厚35cmの方は、最大6.2N/mm²、平均で2.1N/mm²、圧縮側に増加する(図-12)。吹付け厚が25cmの増吹付けの方は、最大5.9N/mm²、平均で3.6N/mm²の圧縮応力が作用する。また、変形モードに対応して、引張応力が発生する。

(3) 断層破砕帯の挙動特性

下り線掘削による上り線絶対変位の増分は図-13に示し、下り線絶対水平変位は図-14に示す。これらから、以下のことがわかる。

① 下り線の上り線側測点の絶対水

平変位は、層境区間を除くと、上半左脚部で±15mm、左SL部で10~20mm、内空側に変位する。上半右脚部では40~90mm、右SL部は30~50mm内空側に変位し、右側測点の水平変位は、上り線側の3~6倍大きく変位する。

② 支保剛性が高い下り線E-K1-Pの上半右脚部絶対水平変位は、DII-K-Pのものに比べて小さく抑えられているが、明らかな不連続挙動が現われた。

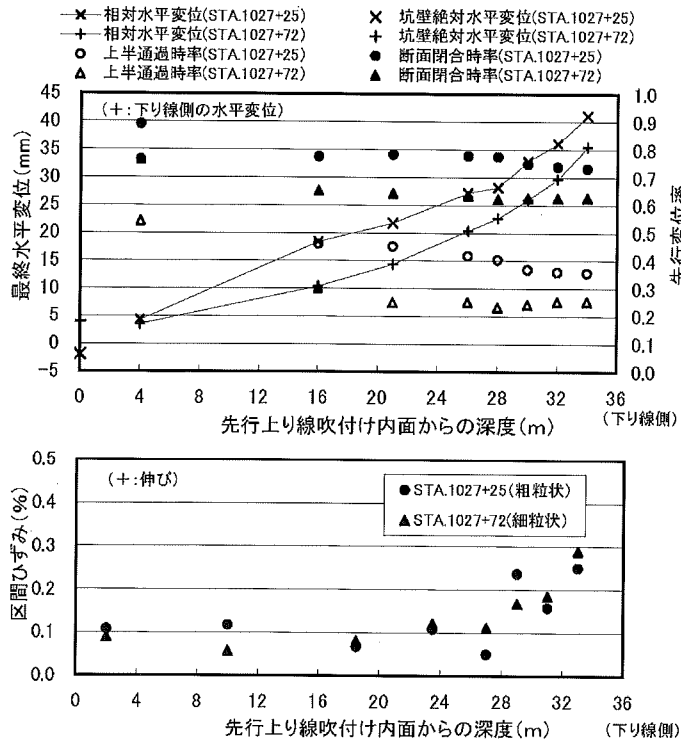


図-10 双設トンネル間地中変位と区間ひずみ分布

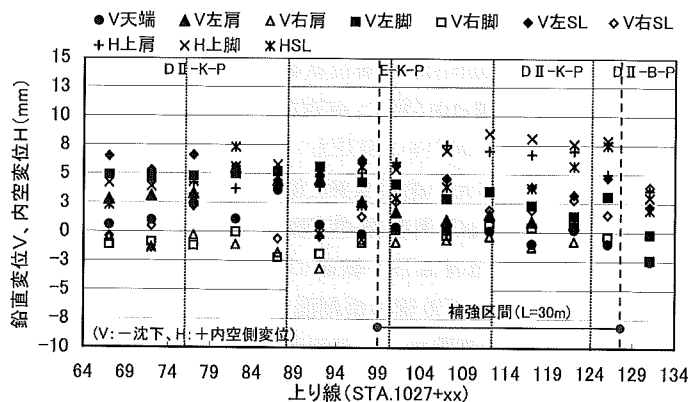


図-11 上り線増分変位(下り線掘削影響)

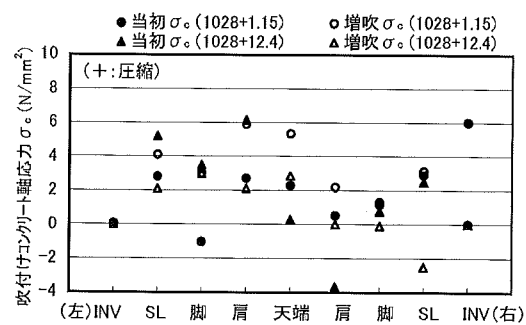


図-12 吹付けコンクリート増分軸応力(上り線)

③ 上り線水平方向絶対変位の増分は、下り線側の上半右脚部で1~12mm、右SL部で16~23mm下り線側に変位する。上半左脚部では5~21mm、左SL部で4~20mm下り線側に変位し、上半左脚部は、上半右脚部の約2倍、下り線側に変位する。

④ 上り線絶対変位の増分は、水平方向、鉛直方向ともに、DII-K-PとE-K-Pの境で、明らかな不連続挙動が現われた。

以上のことから、下り線掘削時の応力再配分過程において、「地質構造に起因する明らかに不連続な逆断層モードの変形挙動特性が現われ、グラ

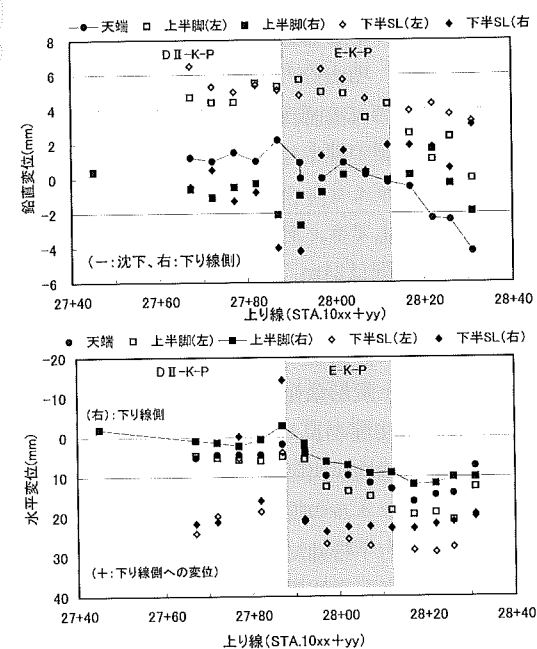


図-13 増分絶対変位量(上り線)

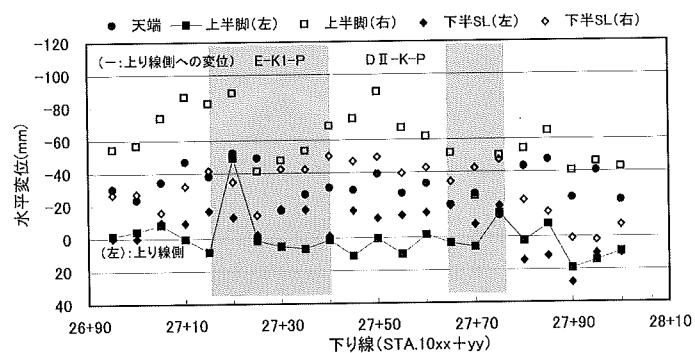


図-14 水平絶対変位量(下り線)

ンドアーチはこの影響を受けながら上り線を包含し、掘削幅の3~4倍以上の深部におよび形成された」と推察する。

8-5 必要支保耐力の検証

トンネル支保構造体が押し出し性地圧(p₀)と力学的にバランスできる必要支保耐力(σ₀)の計算式は、掘削影響域(H)と支保厚(T=b-a)をパラメータとして、厚肉円筒理論⁵⁾を用いて導くと、式(1)のようになる。

$$\sigma_0 = \frac{a^2 \cdot b^2 (p_0 - p_i)}{b^2 - a^2} \cdot \frac{1}{r^2} + \frac{p_i \cdot a^2 + p_0 \cdot b^2}{b^2 - a^2} \quad (1)$$

ここで、

a : 内空半径

b : 掘削半径

r : 支保耐力計算位置(r=(a+b)/2)

p₀ : 作用地圧(=γ・H(N/mm²), γは単位体積重量)

p_i : 内圧(=0 N/mm²)

支保厚に対する必要支保耐力は、掘削半径b=10mとし、掘削影響域をパラメータとして式(1)で計算すると、図-15のようになる。当初設計では、地山強度比は0.3~0.7であり、TBM導坑掘削時に双設影響が現われたことなどから、掘削影響域H=80~100mと推察し、斜線域を押し出し性地圧とバランスできる必要支保耐力の範囲とした。

上り線、下り線で計測された吹付けコンクリート軸応力度の最大値は、これに対応する吹付け厚との関係で表すと、斜線域内にプロットされる。

このことから、押し出し性地山での必要支保耐力の算定は、式(1)で高精度に計算できることが示された。また、計測データから、地山強度比が0.3~0.7の脆弱地質では、掘削影響域は60~80mに及ぶことが逆算された。

8-6 覆工コンクリート仕様の検証

吹付けコンクリート軸応力が最大値となった上り線STA.1027+12.0の吹付けコンクリート軸応力の収束値αと

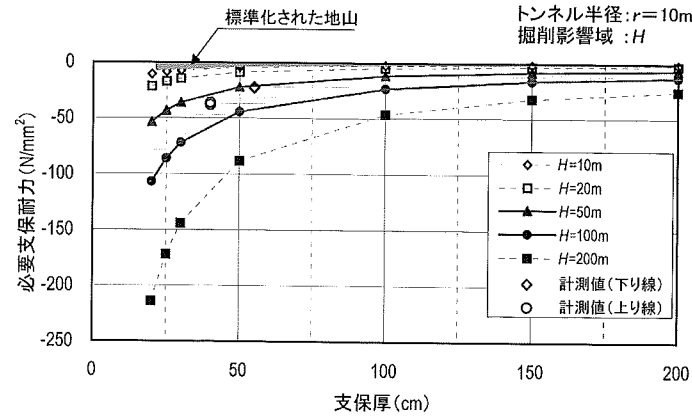


図-15 支保厚と必要支保耐力

係数βは、下り線の掘削開始日を始点とする経過時間と測定データ(t, y)を用いて、式(2)で推定すると、図-16のようになる。

$$y = a \{1 - \exp(-\beta \cdot t)\} \quad (2)$$

この結果から、吹付けコンクリート軸応力は、圧縮強度の36N/mm²を2~7N/mm²程度オーバーし、最大43N/mm²となり、断面閉合154か月後に収束することが予測される。

吹付けコンクリート圧縮強度のコア試験値は約40~42N/mm²であることから、トンネル支保構造系の力学的安定は確保できていると推察する。

このことから、覆工コンクリート仕様は、当初設計どおり、単位体積あたり0.5%の鋼繊維を混入する鋼繊維補強コンクリートとし、坑口部の覆工仕様と同程度の最小覆工厚さ50cmを確保し、圧縮強度30N/mm²でD19@200の複鉄筋SFRC構造とした(写真-3)。

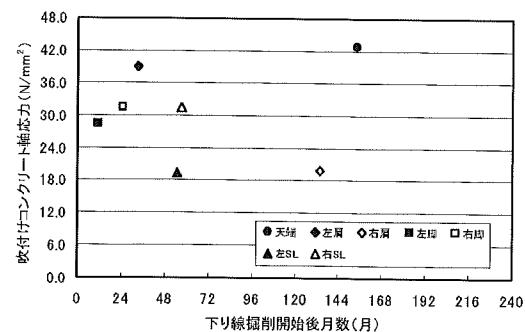


図-16 吹付けコンクリート軸応力の推定(上り線STA. 1028+12.0)

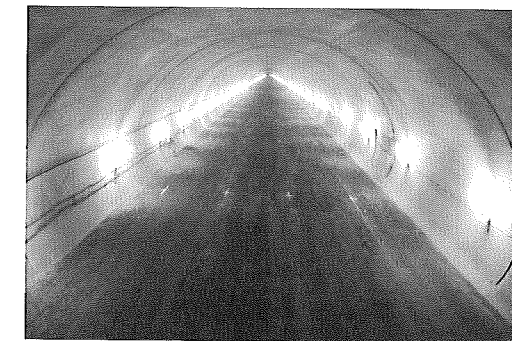


写真-3 施工完了後の入山断層破碎帯(上り線)

9 おわりに

先行トンネルは、地山強度と押し出し性地圧に見合う高耐力、高剛性仕様で設計、施工した。後行トンネルは、先行トンネルの挙動特性に双設影響を考慮し、上り線、下り線の支保構造仕様を修正し、PaM-Netなどによるリアルタイムな計測管理のもと、Cycle3-6-12方式の掘削方法で施工した。その結果から、以下のことが明らかになった。

- (1) TBM導坑の先行掘削とここでの岩盤・岩石試験により、断層破碎帯の規模や地質性状などは明確となり、地山の力学特性に合致したトンネル設計と施工方法が選択できた。また、TBM導坑は、切羽崩壊の抑止に有効に機能し、注入式長尺鋼管フォアパイリングとともに断面外への切羽破壊進行を防止でき、施工を確実にした。
- (2) 拡幅掘削は21m/月の速度で、予測したトンネル挙動の範囲内で、計画どおりトンネル支保構造系の力学的安定は確保できた。このことから、必要支保耐力と変形余裕量の算出方法、断面閉合距離選択の自由度が高いCycle3-6-12方式の掘削方法などの有効性が実証された。
- (3) 後行トンネルの掘削では、先行トンネル掘削で得られた力学特性にもとづいて、吹付けコンクリート厚と変形余裕量の増減で、当初設計仕様を修正、施工した。この方法は、不確かな力学特性を有する断層破碎帯での双設大断面トンネルの

合理的な設計・施工を可能にし、この有効性が実証された。

- (4) PaM-Netは、トンネル挙動のリアルタイムな把握に有効に機能し、Cycle3-6-12方式での断面閉合のタイミングが判断できるようになり、情報化施工を具現化した。これにより、工事変更への迅速な対応が可能となり、トンネル支保構造体の確実な力学的安定が確保できるようになった。
- (5) PaM-Netにより、「地質構造に起因する不連続な逆断層モードのトンネル変形挙動特性が検出され、入山断層位置は特定でき、トンネルのメンテナンスに有効な断層情報が得られた。また、グラウンドアーチは、この影響を受けながら、上り線、下り線を包含して形成される」ことが判明した。

2004年10月末に、入山断層破碎帯区間の覆工コンクリート工を終え、無事に施工を完了した。現在、上り線、下り線ともにトンネル支保構造系の応力測定とともに覆工コンクリート応力測定を継続中である。

今後は、押し出し性地山での双設大断面トンネルの力学的安定のメカニズムを数値シミュレーションで確認するとともに、設計パラメータとした必要支保耐力の計算式、変形余裕量推定のための数値解析手法の高精度化を進める予定である。

最後に、本工事にあたりJHトンネル委員会今田徹委員長をはじめ委員ならびに関係各位より、貴重なご意見を頂いたことをここに記して、感謝する次第である。

参考文献

- 1) 小林隆幸・佐藤 淳・楠本 太：TBMで大規模断層破碎帯に導坑を貫く、トンネルと地下、Vol.33, No.8, pp.15-26, 2002.8.
- 2) 小林隆幸・佐藤 淳・楠本 太：大規模断層破碎帯をTBM先進導坑で突破、トンネルと地下、Vol.35, No.3, pp.25-35, 2004.3.
- 3) T. Kobayashi, J. Sato, F. Kusumoto : Design and Excavation of Large-scale Tunnels in Squeezing Rock, (Re) Claiming the Underground Space, ITA/WTC2003, Vol. 1, 2003.
- 4) 小林隆幸・佐藤 淳・楠本 太：大規模断層破碎帯での大断面トンネル拡幅掘削時の挙動特性、第58回年次学術講演会、第Ⅲ部門, pp. 111-112, 2003.
- 5) (社)電力土木技術協会：電力施設地下構造物の設計と施工、(株)山海堂, p.42, 1986.

『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」の投稿は受け付けておりません)
- 送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888(代)



■「トンネル餅」の故郷

函館本線の倶知安と銀山の間に、小沢という小さな無人駅がある(図-1)。かつて、ここから岩内線と呼ばれるローカル線が分岐していたが、1985(昭和60)年に廃止され、今では単なる中間駅に過ぎない。この小沢駅からほど近い国道5号線沿いに末次商会という食堂があり、その店先に「トンネル餅」と大きく書かれたのぼりが立っている(写真-1)。「トンネル餅」は、この末次商会で製造されている地元の銘菓で、ほんのり甘味のあるやわらかな食感、懐かしくも上品な味わいがある。小沢駅は、その倶知安方に延長1,012mの倶

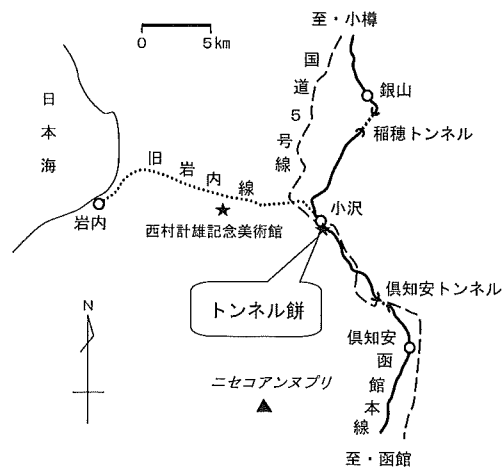


図-1 小沢駅とその周辺

知安トンネルが、銀山方に延長1,776mの稲穂トンネルがあり、「トンネル餅」もこれらのトンネルにちなんで考案者の西村久太郎によって名付けられたものである。

■「トンネル餅」と西村久太郎

西村久太郎は、1881(明治14)年10月20日、岩内郡小沢村(現・共和町小沢)で生まれた人物で、両親は能登からの入植者であったが、幼い頃に亡くなったため親戚に引き取られて育った。やがて久太郎は、アイデアマンとして才覚を現し、1904(明治37)年に北海道鉄道(のちに国有化されて函館本線となる)小沢駅が開業するとその駅前に居をかまえ、構内の営業権を獲得して弁当販売業を営んだ。そして、米と砂糖のみを原材料として



写真-1 小沢駅前の末次商会

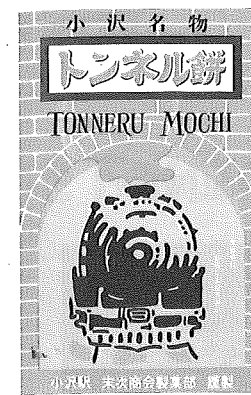


写真-2 「トンネル餅」の包み紙

「すあま(素甘)」のように仕上げた和菓子に「トンネル餅」の名をつけて売出したところたちまち人気商品となり、久太郎の商店は使用人を抱えるほどに成長した。

これによって財をなした久太郎は、学務委員や土功組合委員、村会議員などを務め、小

沢村の重鎮として活躍するに至った。

久太郎の趣味は、囲碁と狩猟であったが、絵も好きで、おそらく「トンネル餅」の包み紙のデザインも久太郎自身によるものではないかと思われる(写真-2)。そして絵にかける情熱は、その息子の計雄を世界的な画家へと育てあげるのである。

■「トンネル餅」が育てた画家

西村計雄は、1909(明治42)年6月29日に久太郎の四男として誕生し、6歳の頃から風景画を描いていたと伝えられる。1924(大正15)年に旧制倶知安中学(現・倶知安高校)に進学した計雄は、美術同好会に入会したが、息子をどうしても美術学校に進学させたかった久太郎は、学校側に「絵のこと以外に時間をとられないよう」説得した。このため計雄は、嫌な授業には出席せず、アトリエ代わりの理科室でデッサンに没頭することができた。また、父は「目が悪くなるから勉強するな」と命じ、試験は父親が自ら作ったカンニングペーパーでしのいだ。

こうした努力が実り、計雄は難関の東京美術学校(現・東京芸術大学)に現役で合格して周囲を驚かせた。当時、同校の現役合格は珍しく、この年の現役合格者は西村計雄と岡本太郎の2名だけであった。東京美術学校を卒業した計雄は、早稲田中学・高校の美術教師として過ごしていたが(その頃の教え子に永六輔がいた)、1951(昭和26)年には妻子を日本に残して単身でフランスへ渡り、



写真-3 父・久太郎(油彩・カンヴァス1,163×908 西村計雄記念美術館所蔵)

パリにアトリエを構えて本格的な創作活動を始めた。やがて計雄の存在は、ピカソを育てた画商・カーンワイラーに見出され、1953(昭和28)年には個展を開くまでになり、しだいに名声を確立するのである。父・久太郎は、パリ画壇にデビューを果たした息子を見届けるかのように1963(昭和38)年に他界するが、のちに計雄は、父の手伝いで「トンネル餅」を売り歩いた経験がパリで働きながら生活することに役立ったとし、父なくして今日の自分はなかったと述懐した。

フランスと日本をまたにかけて活躍した計雄は、2000(平成12)年12月4日、91歳で東京にて逝去したが、1990(平成2)年には兵庫県猪名川町に西村計雄美術館「翠松苑」が、1999(平成11)年には出身地の共和町に西村計雄記念美術館がそれぞれ開館し、その作品に接することができる。計雄が1948(昭和23)年に父・久太郎を描いた1枚は、今も西村計雄記念美術館に飾られているが、北海道の大地を背にパイプたばこを片手にくつろぐその表情は、画家として育ちつつある息子の姿に満足そうである(写真-3)。

「トンネル餅」の経営権はその後、西村家の手を離れて末次商会がこれを継いでいるが、包み紙や製造法は昔と変わらない。「トンネル餅」は、日持ちがしないため、遠方へのおみやげには向かないが、それゆえに北海道を訪れる機会があれば、足を伸ばしてでも賞味したい逸品である。



「甲子街道をゆく」会津下郷町より

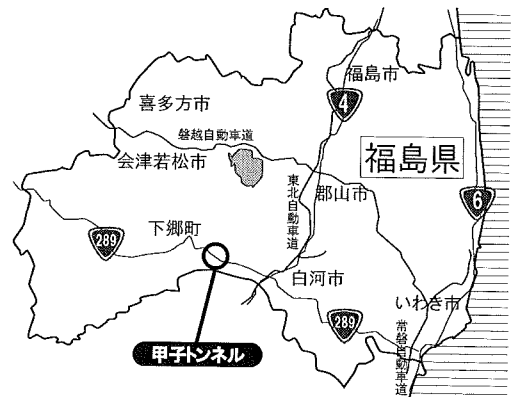
佐藤周治

新潟市を起点として、福島県南会津地方を経て、いわき市へ至る国道289号線のほぼ中間付近には、福島県下郷町と西郷町とを区境とする甲子峠があり、その区間は、古く江戸時代より「甲子街道」と呼ばれ、会津から白河へ入るための道として利用されてきた。日本三大馬市のひとつとして賑わった白河の馬市には、会津側から何十頭もの馬が甲子峠を越えて引かれていったと言われている。

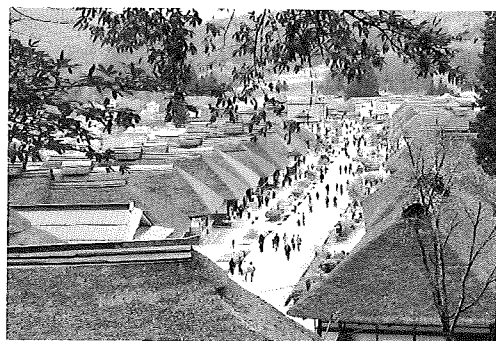
現在は、険しい峠に阻まれるため、車両は白河側へは通り抜け禁止になっていて、徒歩でしか通行できない。また国道289号線甲子峠区間は、登山道であっても今も国道のままという不思議な道路でもある。

周辺の一部は、日光国立公園の北端に位置し、緑したたる阿武隈川源流域の豊かな自然を生活の場としてさまざまな生物が数多く生息している。週末ともなれば、首都圏より多くの人々が春先の山菜取りや初夏の溪流釣り、秋の紅葉などに年間を通じて訪れるところである。

甲子峠は奥羽山脈最南端の標高1,380mの峠で、奥会津側の眺めがとくに素晴らしい。そこからの眺望を好み、幾度も訪れたという江戸時代中期の白河藩主松平定信公は、峠に至る道行について「坂道は険しく険しい、しかし道のりの苦しさのために登ることを断念してしまったとしたら、峠からの素晴らしい眺めを知ることではできなかったであろう」と述べている。



位置図



大内宿

後に、定信公は、藩政改革の成功により経済的手腕を認められ、江戸幕府の老中として中央政権に迎えられた。さらに「寛政の改革」といわれる非常に困難な幕府財政の改革に取り組むわけだが、その生涯に思いを馳せるとき、大変に意味深い言葉であるように思われる。

甲子街道を下郷町側へ下ると会津西街道と合流し、会津若松市へと伸びているが、その途中に宿場町のひとつであった大内宿がある。街道沿い約450mにわたり茅葺きの町並みが今も残されていて、江戸時代の宿場の雰囲気をそのままに伝えてくれている。

さて、私たちの工事は、車両通行不能だった甲子山(標高1,549m)の直下をほぼ東南東～西北西にわたり貫通させる、全長4,345mの道路トンネルの築造であり、当作業所は、その甲子トンネルの下郷工区側より2,386.6mを施工するものである。

トンネルのルートは、那須火山群の北部に位置し、地質は第四紀火山噴出物群が主体となっている。甲子トンネルが完成すれば、150kmもの迂回を余儀なくされてきた南会津から白河を35kmで直結することになり、開通により物流の高速化が図られ、また広域観光ルートの形成により往時の賑わい以上の発展が期待される。

当作業所は、2006年3月の完成を目指し、無事故・無災害の達成と、地元地域への十分な環境対策を念頭に置き、一步一步着実に前進していく所存である。(戸田・フジタ特定建設工事共同企業体所長)

施工

地下水位の上昇から地下駅を守る

—東北新幹線 上野地下駅—

東日本旅客鉄道(株)東京支社施設部工事課課員 久須美 賢一
東日本旅客鉄道(株)東京支社施設部工事課課員 小池 健司
東日本旅客鉄道(株)東京支社施設部工事課副課長 保野 聡裕

1 はじめに

東京地区における東日本旅客鉄道(株)(以下、「JR東日本」と表記する)の鉄道施設としての地下構造物にはトンネルや地下駅があり、これらの地下施設は路線としての重要度が高く、構造物の取り替えが困難なことから、長期間にわたる耐用年数を考慮して設計し、継続的に維持管理を行っていく必要がある。

ところが、東京地区のように、近年の被圧地下水層の水位上昇により建設当時の設計条件と異なる環境下に推移してきた場合、構造物に対し相応の対応が必要となってくる。とくにJR東日本の保有する地下駅には、ターミナルとしての役割から大規模なものが多く、地下水位の変動による影響を受けやすい構造となっている。

昭和60年3月に東北新幹線の駅として開業した上野地下駅は、地下30mまで掘削して構築された4層6径間・ボックスラーメン構造のトンネルである。近年の地下水位の上昇に伴う揚圧力の増加により、下床版の変形およびトンネル躯体の浮き上がりといった変状が想定されるため、平成7～9年度にかけて施工した鉄塊載荷による一次対策を引き続き、永久グラウンドアンカー工による二次対策を施工することとした。本稿ではその概要について述べる。

2 構造物および周辺環境の概要

2-1 上野地下駅の概要

上野地下駅は昭和53年4月に建設工事が開始され、昭和59年8月に竣工し、昭和60年3月に開業された。構造は地下4階建て(深さ30m、最大幅

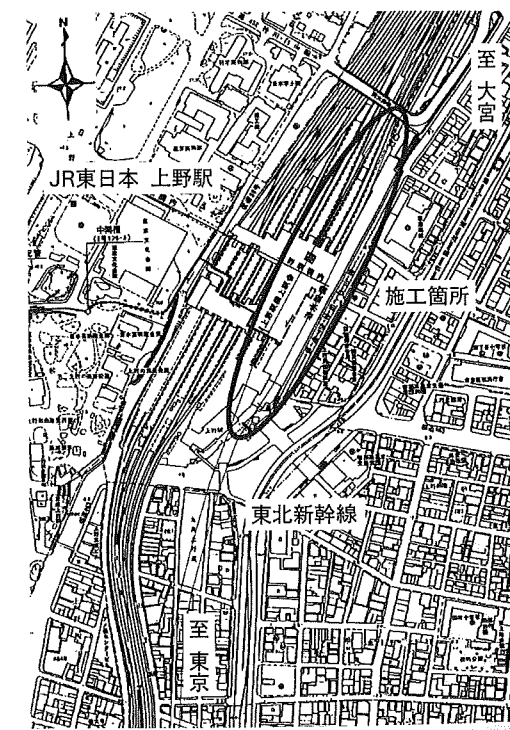


図-1 上野駅位置平面図

48m, 延長840m)でRCおよび鉄骨造で構築され, 地下4階部の下床版はRCのH形鋼埋め込み構造(版厚=1,500mm)となっている。また, 上部には駅設備としての2層建物が載荷されている(図-1, 2参照)。

2-2 周辺地盤

上野駅周辺の地形は, 山の手台地と低地との境に位置し, 地質的には上部より東京層砂層・東京層シルト層・東京礫層・江戸川砂層で形成されている(図-2参照)。

また, 地質柱状図は図-3に示すとおりである。左側より上野駅新幹線

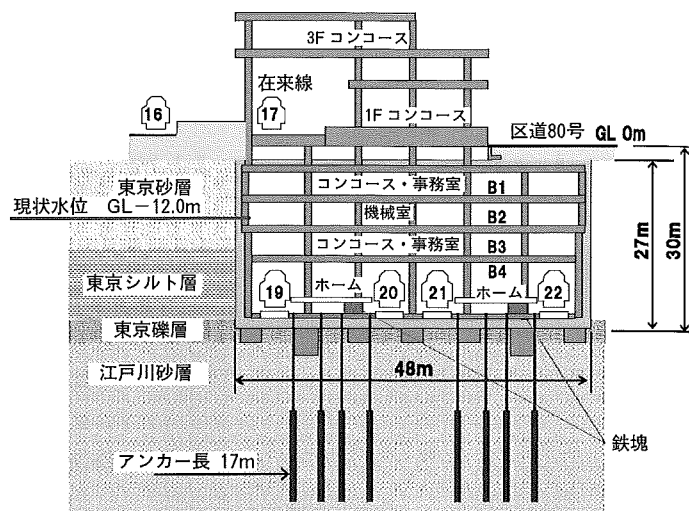
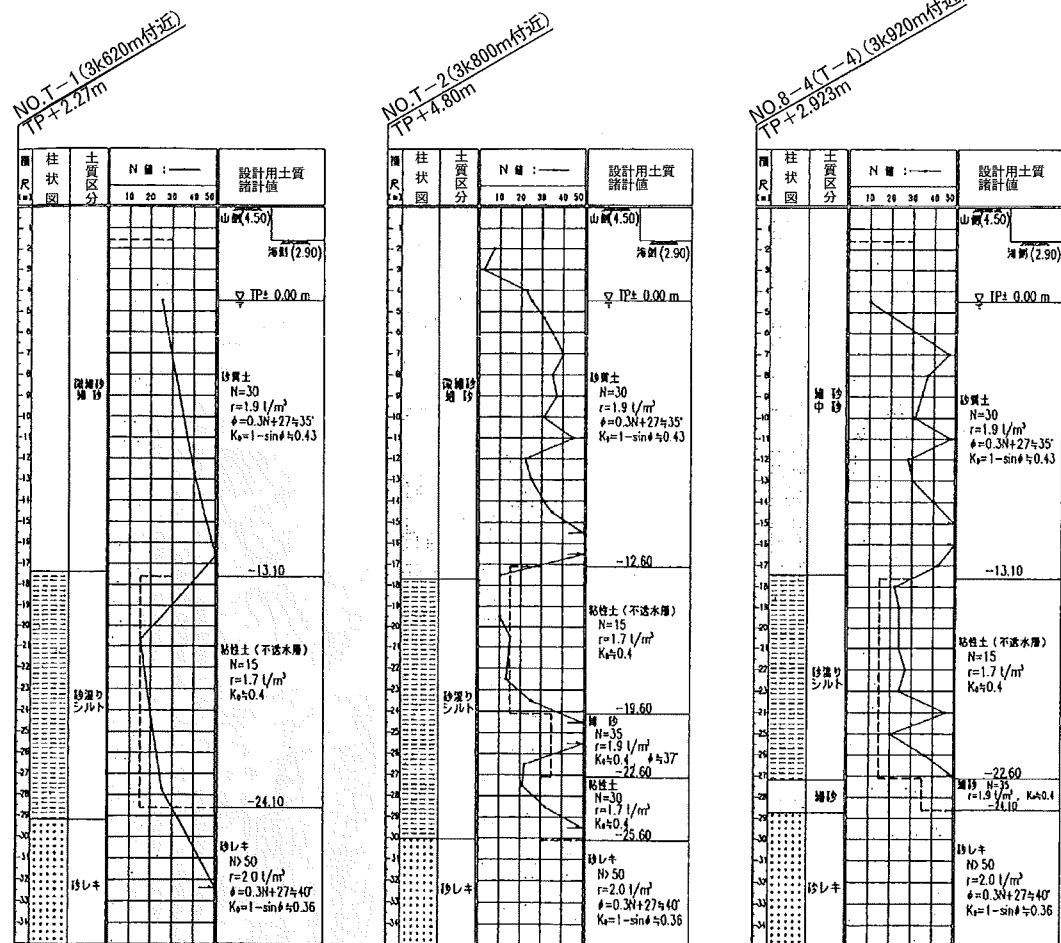


図-2 上野地下駅断面図



※上野地下駅南部外設計, 設計概要書(S. 54, 3)より抜粋

図-3 地質柱状図

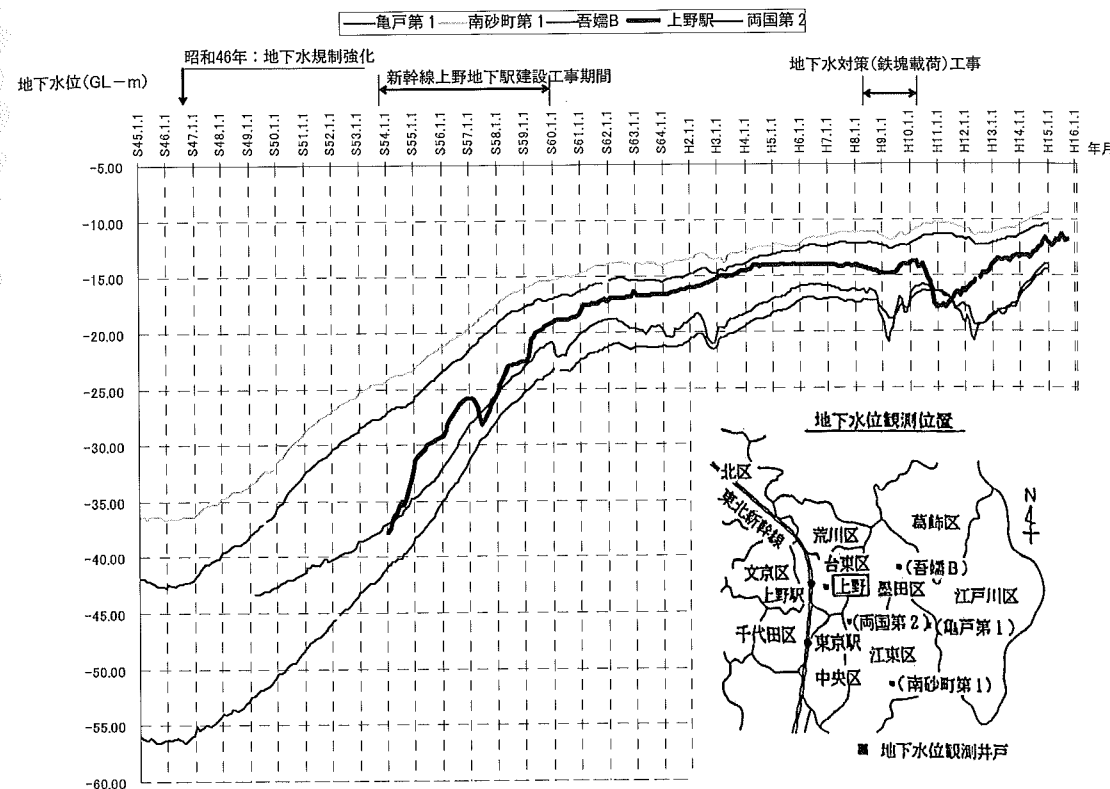


図-4 上野駅付近の地下水位の変動

ホームの東京方端部, 中央部, 大宮方端より1/4程中央寄りの位置に, それぞれ対応している。

2-3 地下水位の動向

上野駅周辺の地下水位の変動状況を図-4に示す。なお, 上野駅以外の観測点は東京都土木技術研究所の調査¹⁾によるものである。

昭和46年の地下水汲み上げ規制の発令により, 東北新幹線上野地下駅の設計当時(昭和47年)には地表から38mの位置(以下, 「G.L.-数値m」と表記する)にあった地下水位が, 完成時(昭和60年)にはG.L.-18.0mまで上昇するに至った。

その後も地下水位の上昇が続いたため, 平成7~9年度にかけてホーム下に鉄塊約37,000tを載荷する工事を第一次対策²⁾として実施した。これにより当時G.L.-14mの地下水位に対し, 限界水位をG.L.-13mからG.L.-11mまで改善した。

その後もなお50~80cm/年程度の水位上昇が続く, 平成16年にはG.L.-12mにまで復水しているため, 揚水設備による地下水の汲み上げを行い,

下水道へ放流することで地下水位の上昇を抑えている。

このまま上昇が続くと, G.L.-11m(1m上昇)で下床版の曲げひび割れが発生し, G.L.-10m(2m上昇)でトンネル躯体が浮き上がるという重大な変状が想定されるため, 恒久的な対策工を実施することとした。

3 対策工の検討

上野地下駅の地下水位上昇に対する恒久対策案の策定にあたっては, G.L.-5mまで復水する可能性を想定し, 以下の4案について効果・実現性・経済性・施工実績などの面から検討を行った。

- ① 鉄塊載荷案
- ② グラウンドアンカー案
- ③ グラウンドアンカー+揚水案
- ④ グラウンドアンカー+プレス案

平成7~9年にかけて上野地下駅で施工された一次対策では, ①の鉄塊載荷案により, 限界水位

をG.L.-11m(+2 m)まで改善した。

その後、JR東日本での技術開発により高被圧水下的永久グラウンドアンカー施工³⁾が実用可能となり、総武・横須賀線の東京地下駅の地下水対策⁴⁾として、②のグラウンドアンカー案が採用され、平成11年に施工した。

今回の検討でも、経済的に優れ、他の設備に対して与える影響も少ないことから、②のグラウンドアンカー案を採用することとした。なお、今回の対策工では限界水位をG.L.-7.5mまで引き上げることを目標とし、地下水位の上昇傾向を注視しながら三次対策(G.L.-5 m)の実施を判断することとした。

4 グラウンドアンカーの設計

4-1 アンカー耐力の設定

使用するテンドンの鋼材はPC鋼より線7本よりφ12.7×9本とし、定着長10m、自由長5mとした(図-5参照)。

許容アンカー力は、以下の4種類の値を計算した。

- (1) テンドンの許容引張力
 - ① テンドン極限荷重の60%
 - ② テンドン降伏荷重の75%
 - (2) アンカー体の許容引抜力
 - ③ グラウトと地盤との付着
 - ④ グラウトとテンドンとの付着
- ①のテンドン極限荷重の60%が最小となることから、

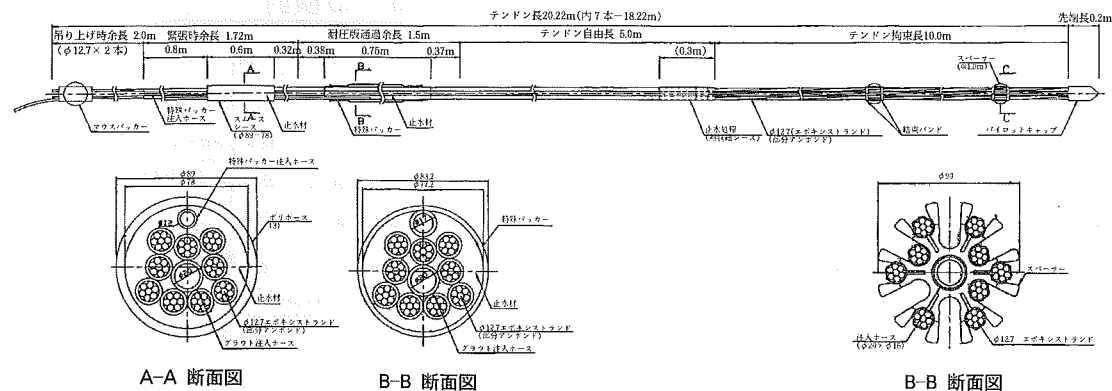


図-5 テンドン標準図

(許容アンカー力) = 168.3tf × 0.6 = 101.0tf/本とした。アンカー耐力については、永久グラウンドアンカーとして長期減少率等を10%とし、許容アンカー力の90%とした。

アンカー耐力 = 101.0tf × 0.9 = 90.9tf/本

4-2 グラウンドアンカーの位置選定

アンカーの設置位置により、

A列：ホーム中央部(階段部含む)

B列：側線側ホーム端部

C列：本線側ホーム端部

D列：本線上下線間(トンネル中央部)

の4タイプに分類できる。

アンカー1本あたりの効果としては、

D列 > C列 > A列 > B列

の順に高くなっているが、施工性の観点からは、

A列 > B・C列 > D列

の順である。

これらのことから、効果と施工性の両面から検討しアンカーの配置を決定した。

5 工事概要

本工事の概要は、下記のとおりである。

施工場所：東北新幹線上野地下駅

工事期間：平成16年6月～平成17年12月(予定)

施工概要：グラウンドアンカー工約650本

改善効果：限界水位を+3.5m改善

約650本のグラウンドアンカー施工のうち、ホーム中央部(A列)については仮囲い内(8m×4m)での昼間作業とし、1本/日のペースで施工し、

営業線に近接するホーム端部(B・C・D列)については夜間の終電～初電までの間合いで削孔1日、注入1日の0.5本/日のペースで施工する。また、編成は上下線各2基ずつの計4パーティーで施工を行っている。

その他、資機材の運搬方法について、プラント設備、テンドンなどの重量物の搬入については、現場から約3km北方にある田端保守基地からの保守用車による運搬とし、その他軽量なものは人力による搬入とした。

また、プラント設備は、濁水処理装置およびセメント製造プラントを上野駅構内の地上部に設置し、新幹線ホーム下のスペースにも配電盤、セメントミルク、削孔水などを受ける二次プラント設備を設置した。

削孔機については、日中の営業列車運行時間帯にも施工することを考慮し、低騒音型のロータリーパイロドリルタイプを採用した。これは従来のロータリーパーカッションタイプに比べて騒音レベル(dB)で約3分の2程度となっており、旅客への不快感ならびに構内放送の聞き取り状況の改

善に寄与している。

6 グラウンドアンカー施工順序

施工順序を図-6に示す。

止水ボックス設置までは準備作業として先行して施工する。ホーム中央部においては昼間に削孔工から注入工までを1日/本で施工し、営業線に近接するホーム端部においては終電から初電までの夜間に、削孔工1日、注入工1日の2日/本で施工している。そして養生期間をとおいて、品質保証試験を実施した後、緊張・定着作業を行い、頭部処理を施して完了となる。

本工事においては、下床版直下で0.18MPaの地下水による被圧を受けるという条件のもとで施工しており、止水機構については特段の注意を払っている。

以下、各作業について詳述する。

6-1 準備工

アンカー施工位置の墨だし後、止水装置設置のための枠(□800×800×650)を設置する。止水装置(写真-1参照)を設置後、ホームスラブおよび下

| 準備工 | 削孔工 | 注入工 | 定着工 |
|---|--|--|--|
| | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ・墨だし ・枠設置(800×800×650) | <ul style="list-style-type: none"> ・ホームスラブおよび下床版コア抜き ・止水装置設置 | <ul style="list-style-type: none"> ・削孔作業 ・先端ビット切離し | <ul style="list-style-type: none"> ・置換注入 ・テンドン挿入 ・マウスパッカー取り付け・膨張 |
| | | <ul style="list-style-type: none"> ・アンカー体加圧注入 ・ケーシング回収 ・特殊パッカー、口元パッカー膨張 ・止水剤充填 | <ul style="list-style-type: none"> ・品質保証試験 ・緊張・定着 ・防錆材充填 ・アンカー頭部処理 |

図-6 グラウンドアンカー施工順序図

床版のコア抜きを行う。ただし、下床版については出水を防ぐために150mm残し、鉄筋手前までとした。

また、下部止水ボックス頭部にはシャッターフランチ機能を設け、被圧地下水出水時にはシャッターを閉鎖し、止水材(水ガラス系材料)を注入することにより対応することとした。

6-2 削孔工

削孔はB4Fの新幹線ホーム上の削孔機よりホーム下に設置した止水装置にケーシングを連結して行う(写真-2参照)。削孔に用いるケーシングは、

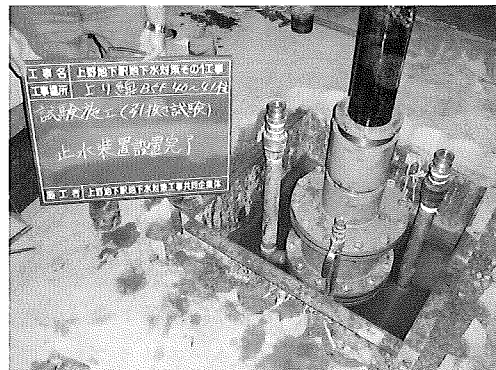


写真-1 止水装置設置状況



写真-2 削孔状況

φ135mm、長さ1m×17本を使用することとした。

削孔方式は単管方式でパイプロ機能+回転により削孔する。削孔スライムおよび地下水はケーシング外周部を伝って下部止水ボックスに取り付けた排水バルブより排出され、出水量および被圧力を確認する。削孔完了後、孔内を洗浄し、先端ピットを切り離す。

なお、削孔時のケーシング外周を伝う被圧水を止水するため、上部止水ボックス内の口元パッカーを被圧水の圧力+0.1MPaを膨張圧力として水により膨張させる。

削孔に要する時間は、準備工で残した下床版150mmとその下部にある均しコンクリート(100~200mm)部分に鉄筋が残っていないければ、地山の17m部分も含めて約2時間程度である。

6-3 注入工

注入工は主に以下の5工種からなる。

(1) 置換注入

ケーシング内部に注入ホースを孔底まで挿入し、セメントミルクを充填させ置換する。なお、グラウトは早強ポルトランドセメント(JIS R 5210)を使用し、以下の仕様を満足するように配合設計した。

設計基準圧縮強度：24N/mm²
設計基準フロー値：13±3秒

(2) テンドン挿入

今回使用するテンドンは図-5に示したように長さ約20mであり、テンドン巻き取り装置(鋼製ドラムφ1,900)より挿入する(写真-3参照)。東京地下駅での施工の際には人力による作業であったが、今回の巻き取り装置の導入により、作業スペースの縮小、作業の省力化および防食塗膜の損傷防止といった品質管理向上にも役立っている。

(3) マウスパッカーの取り付け・膨張

(2)に続き、テンドンの余長部分にマウスパッカーを取り付け、ケーシングを上部まで継ぎ足し、被圧水の圧力+0.1MPaを膨張圧力としてエアにより膨張させる。これによりケーシング内の被圧水を止水し、マウスパッカーの膨張圧以上の圧力をかけることにより、セメントミルクを孔底まで注入できる構造となっている。



写真-3 テンドン挿入状況

(4) アンカー体加圧注入・ケーシングの回収
ケーシングを1本(1m/本)引き上げるごとにドリルパイプ頭部よりセメントミルクの加圧注入を行ってケーシングを回収するという作業を、ケーシング先端が上部止水ボックス内の口元パッカーの位置にくるまで繰り返す。

(5) 特殊パッカーおよび口元パッカー膨張

下床版中に設置した特殊パッカーにセメントミルクを注入して膨張させ、下部止水ボックスの排水バルブの開閉操作を行って出水の有無を調べ、コアリング内が止水されていることを確認する。

続いて上部止水ボックス内の口元パッカーにセメントミルクを注入して膨張させ、残りの先端ケーシングを回収し、下部止水ボックスに止水材を注入する。なお、特殊パッカーおよび口元パッカーの膨張圧力は被圧水の圧力+0.2MPaとしている。

6-4 定着工

養生完了後、上部止水ボックスを取り外し、下

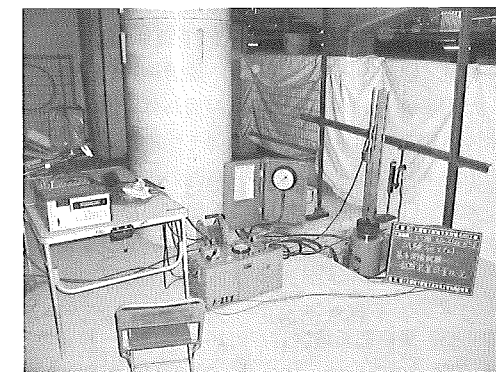


写真-4 品質保証試験状況

部止水ボックス内のはつりを行い、無収縮モルタルを打設する。

グラウトの強度を確認後、定着装置を取り付けて品質保証試験を行う(写真-4参照)。試験結果より設計アンカー力を確認した後、油圧ジャッキにて所定の緊張力により緊張を行う。

最後にヘッドキャップを取り付け、防錆材を注入しアンカー頭部処理後、完了となる。

7 各種試験結果の概要

本施工に先立ち、基本調査試験を地上部で1本、ホーム部で2本行った。地上部では主として設計諸元を確認することを目的として、被圧水の影響を受けない地表面から定着層まで削孔し、アンカー体を造成して引抜試験を行った。ホーム部では主として施工性ならびに止水機能を確認することを目的とした試験を行った。その結果により、設計諸元の妥当性ならびに施工性を確認することができた。また、品質保証試験⁹⁾としては、施工したグラウンドアンカーの10%に対して多サイクル確認試験を行い、残りの全数に対して1サイクル確認試験を行っている。

なお、多サイクル試験を行ったアンカーについては、ロードセルを取り付け、残存緊張力の継続的な監視を行っていく予定である。

8 おわりに

本工事は限界水位をG.L.-7.5mとする2次対策であり、今後の地下水位の推移によってはさらに3次対策も必要になることから、工事終了後も水位の変動を監視していくこととなる。今回の2次対策工事費は概算37億円であり、1mの水位上昇に対し10億円以上の資金を費やしていることになる。このように被圧地下水位の上昇は、JR東日本のような大規模な地下施設所有者に大きな負担を強いる結果となっている。

東京圏の被圧地下水位の上昇は、地下水の採取に対する規制が強化された昭和46年以降上昇傾向が見られ、上野駅周辺では30年間に26mも上昇しており、さらに現在も上昇を続けている。この規

制により地盤沈下の停止など多くの問題が解決された反面、地下水が低下していた時期に建設された地下構造物に過剰な水位上昇による深刻な影響を生じさせる結果ともなっている。

本工事では、これまで実績の少ない高被圧水でのグラウンドアンカー施工であるため、慎重な施工管理、品質管理を心がけながら日夜施工している。

平成16年度末時点で約370本の施工が完了しているが、今後も工事施工期間中は、乗客の安全ならびに新幹線の定時運行確保を第一として、無事故で工事を完遂できるよう努力していきたい。

参考文献

- 1) 東京都土木研究所：平成14年地盤沈下調査報告書，2003.7.
- 2) 成田昌弘・並木高志：大規模地下駅の地下水対策（東北新幹線上野駅），SED，No.9，1997.11.
- 3) 柳原雅樹・成田昌弘・中村俊景・奥野稔・落合栄司：被圧水での永久グラウンドアンカーの試験施工，グラウンドアンカー設計・施工例に関するシンポジウム発表論文集，Ⅲ-5，pp.57-62，1998.6.
- 4) 倉澤徳男・宮園達郎：東京地下駅の地下水上昇対策，トンネルと地下，Vol.31，No10，pp.7-16，2000.10.
- 5) (社)地盤工学会：グラウンドアンカー設計・施工基準 同解説，2000.3.

わかりやすい トンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 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，球形空洞周りの応力と変位 ○弾索性論による解析／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索性解，円形トンネルで地山の自重を考えた弾索性解析 ○弾索性解以外の検討／トンネルの大きさの影響，時間の影響，表面の影響，山はね，ゆるみと締めり，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

既設導水路の近接施工における振動低減対策

—北海道 新桂沢ダム取水導水路トンネル—

清水建設(株)土木技術本部技術第二部 石井三郎
清水建設(株)北海道支店土木部統括工事長 井上孝俊

1 はじめに

幾春別川総合開発事業では、流域の安全を守り、広い領域に用水を供給することなどを目的として、石狩川水系の幾春別川に昭和32年に建設された桂沢ダムを嵩上げて「新桂沢ダム」を建設する再開発事業と幾春別川支流の奔別川に「三笠ぼんべつダム」を新設する事業を行っている。

本工事は、このうちの「新桂沢ダム」の嵩上げに先駆けて実施した導水路の付替え工事(導水路トンネルの下流側と作業横坑の掘削)で、平成15年3月から平成16年3月にかけて施工したものである。

作業横坑と並行して走り、導水路トンネルの到達部に交差する桂沢発電所の既設発電用導水路トンネルは、常時発電中であるため、振動を制御したトンネル掘削とする必要があった。

そこで、作業横坑では機械掘削方式を選定した。

また、一方このトンネルの到達部で接近する導水路トンネルでは、掘削機械を入れることができない狭小断面であったので、発破掘削方式を基本として各種の振動低減対策を実施した。

そこで、本稿では、主に導水路トンネルの掘削に伴い実施した振動低減対策について報告する。

2 工事概要

2-1 工事概要

工事名：幾春別川総合開発事業の内新桂沢ダム取水放流設備導水路トンネル工事

工事場所：北海道三笠市

工期：平成15年3月7日～
平成16年3月18日

工事内容：導水路トンネル

掘削断面積 13.4m²(CI)
掘削延長 全長316.26mのうち
下流側136.40m

作業横坑

掘削断面積 16.3m²(CI)，
47.3m²
(分岐断面平均)

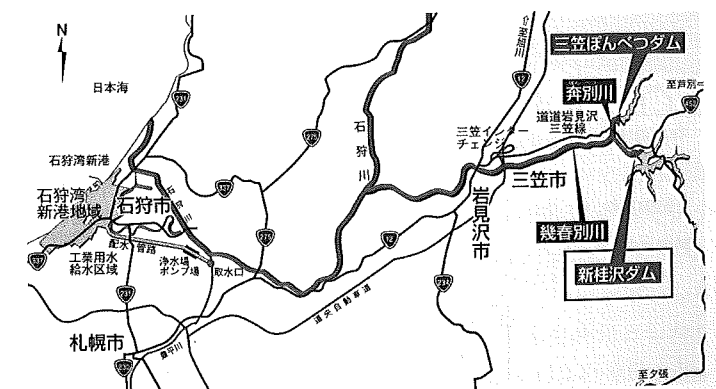


図-1 位置図

掘削延長 68.00m

坑門工, 覆工一式

導水路トンネルでは, 到達部のはかは全断面工法で発破掘削方式を実施したが, トンネル断面が狭小であることから, ロードホウルダンプ(3.8m³)による搬出方式を採用した。また, 先行して掘削した作業横坑では, 全断面工法(大断面の分岐部ではベンチカット工法を部分的に実施した)を採用し200kW級の自由断面掘削機による機械掘削方式として, 導水路と同様のロードホウルダンプ(3.8m³)による搬出方式を採用した。

2-2 地質概要

導水路の地質は, 坑口部では崖錘堆積物や風化岩が分布するものの, 坑奥の一般部には白亜紀の中部エゾ層群三笠層の細粒砂岩・泥質細粒砂岩互層, および細粒砂岩層が分布しており, これらの地層は硬強でトンネルの切羽はおおむね安定していた。また作業横坑では, 坑口部で上部エゾ層群下部層の泥質細粒砂岩が比較的厚く分布するほかは, 坑奥部では導水路同様, 細粒砂岩・泥質細粒砂岩互層, および細粒砂岩層が分布していた。これらの細粒砂岩は硬質で約90MPaの一軸圧縮強

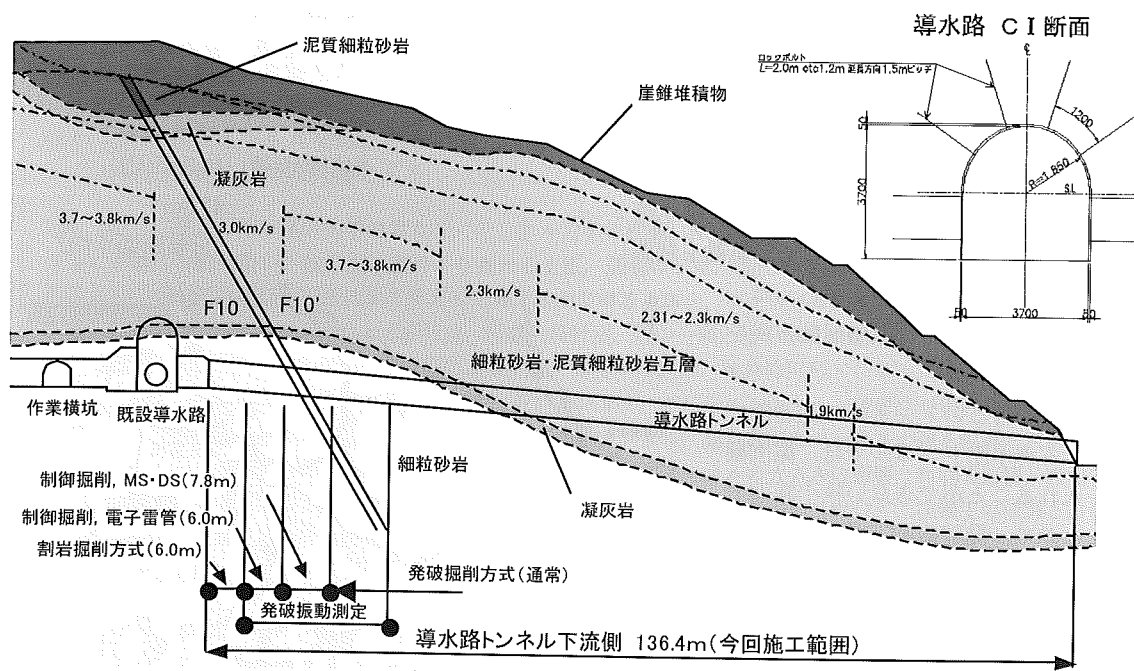


図2 導水路トンネル縦断面図

度を有しており, 機械掘削は少なからず難渋した。

3 施工方法

発電所近傍での過去の施工事例を参考に振動規制値は2kineと定められた。そこで, 作業横坑の掘削では前述のように振動制御の観点から機械掘削方式を採用した。また導水路では, 作業横坑であらかじめ実施した試験発破の振動測定, 岩石試験の結果を踏まえ, 図-4の掘削方式の選定フローにより, 以下のように掘削方式を選定実施した。導水路(下流)トンネルのうち, 既設発電導水トンネルにもっとも接近した範囲(10.4~4.4m, 延長6.0m)では油圧クサビによる割岩掘削方式を実施した。これは, 作業横坑では200kW級の自由断面掘削機による機械掘削方式としたが, この機械は導水路の断面には入れることができなかったこと, また, 岩盤の強度からこれ以下の機械では掘削が不可能であると判断されたこと, さらに, 導水路の施工条件では油圧クサビによる割岩掘削方式は静的破碎剤による割岩方式より有利であると考えられることなどの理由による。

また, 16.4~10.4m(延長6.0m)の範囲では電子

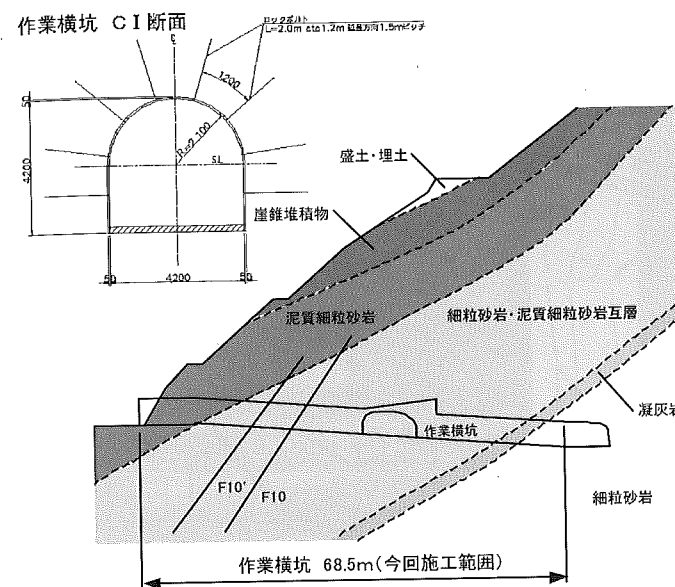


図3 作業横坑縦断面図

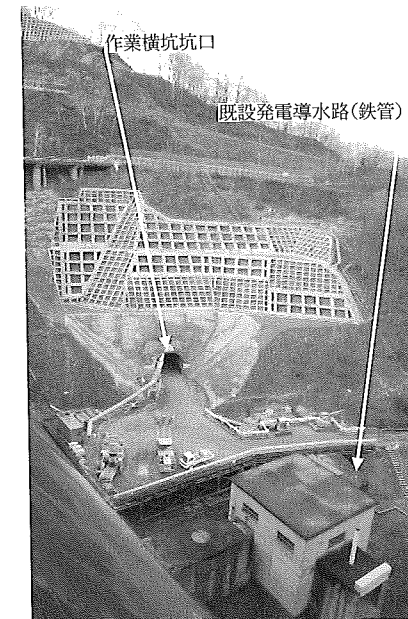


写真-1 作業横坑坑口

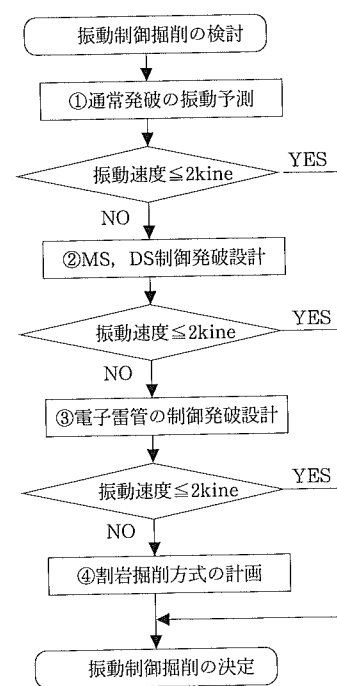


図4 掘削方式の選定フロー

雷管による振動制御掘削を実施し, 最大振動速度でも1.7kineに抑えることができた。さらに, 16.4mより離れた範囲(24.2~16.4m, 延長7.8m)では, MS, DS雷管を混用した振動制御掘削を実施した。



写真-2 導水路坑口ヤード

なお, 発破振動の測定は, これより約10m手前, 既設発電用導水路トンネルより34m手前の位置での掘削から既設発電用導水路トンネルの床面に振動検出器を取り付けて実施した。

図-6に, 導水路トンネルで使用した発破パターンを示す。同図の通常発破のパターンと制御掘削(MS,DS)では, トンネルの掘削幅が3.7mと狭小であることを考慮し, 掘進長は1.3mとしている。ここで, MS, DS雷管を混用して段数を増やした制御掘削パターンでは, 2~3孔を斉発としたパターンとし, 孔あたりの装薬量は0.4~0.6kgとした。また, 電子雷管を使用した発破パターンは,

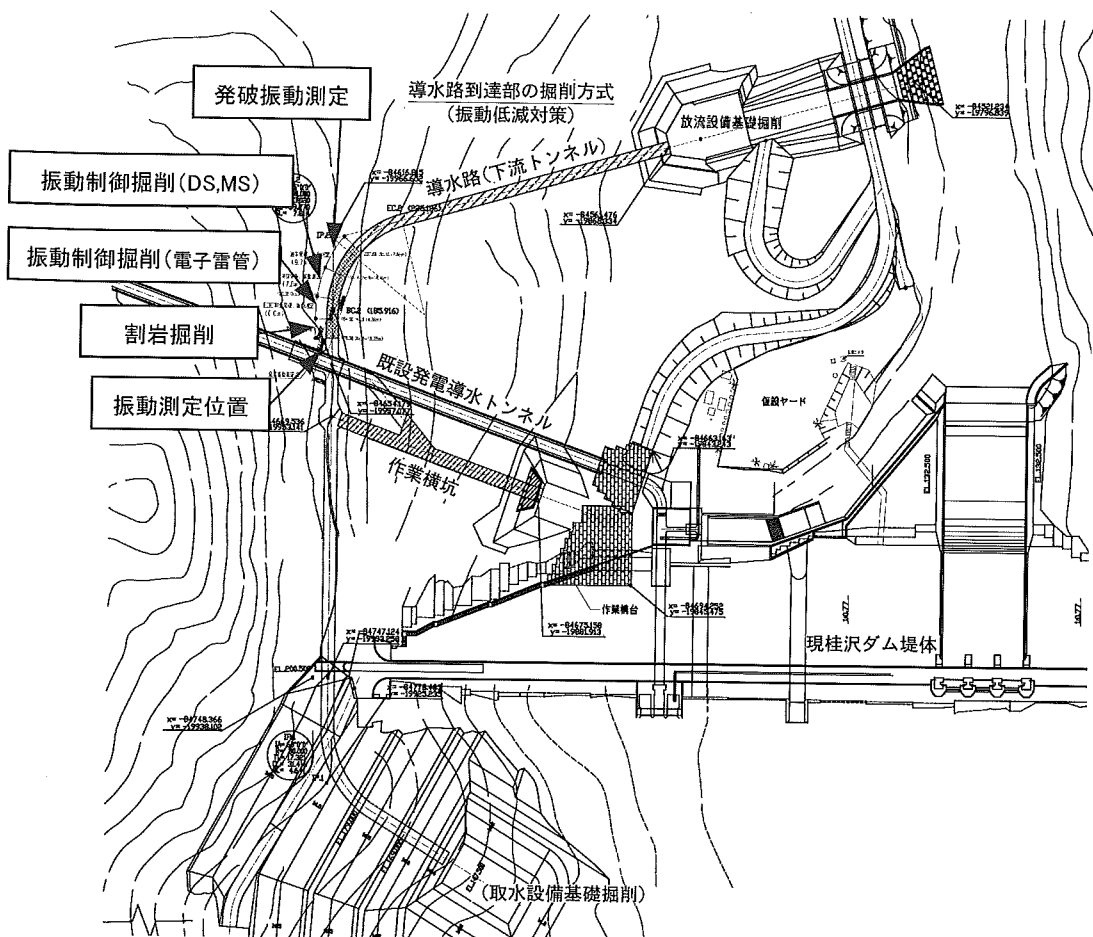
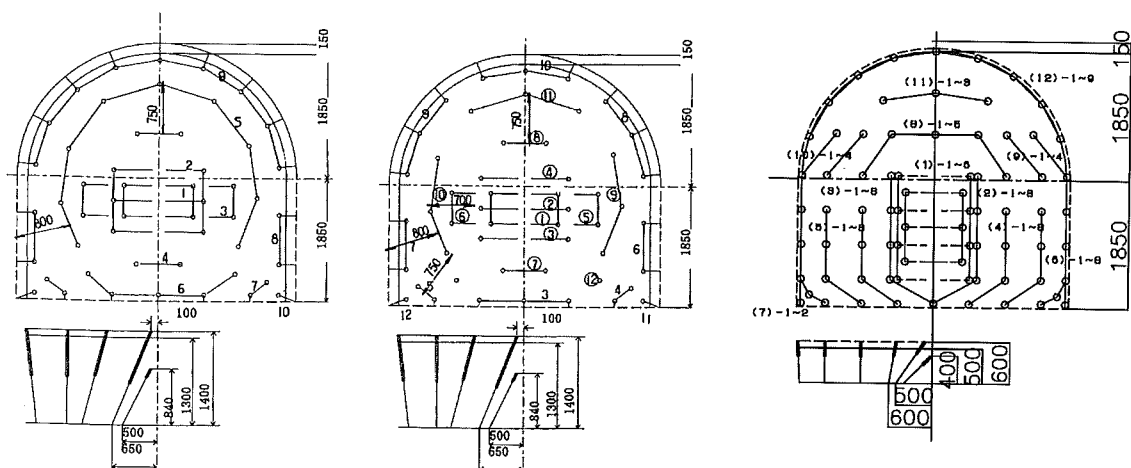


図-5 振動低減対策の実施位置



(1) 通常発破のパターン

(2) 制御掘削(MS, DS)

(3) 制御掘削(電子雷管)

凡例 1: DS雷管段数

①: MS雷管段数

(1)-3: 電子雷管, 主段数 1, 副段数 3

図-6 発破パターン

掘進長1.0mと0.5mの2パターンを使用した
 ここには後者のパターンを示した。同パターン
 では1段1孔で孔あたり0.1~0.2kgの爆薬を装填
 した。写真-4に電子雷管による発破の状況を示す。

図-7には既設トンネルにもっとも接近した範囲
 で実施した割岩掘削の割岩孔の配置パターンを示

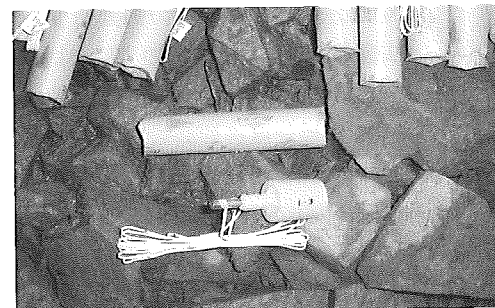


写真-3 電子雷管

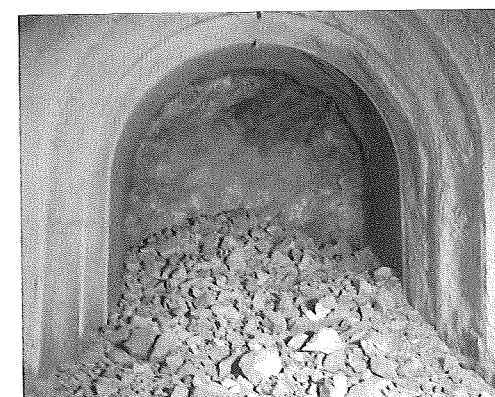


写真-4 電子雷管による発破

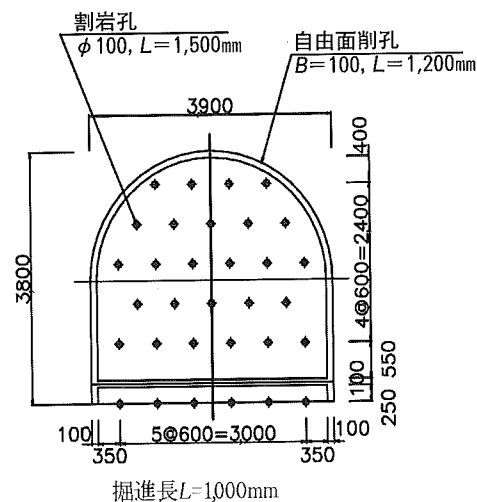


図-7 割岩孔の削孔パターン

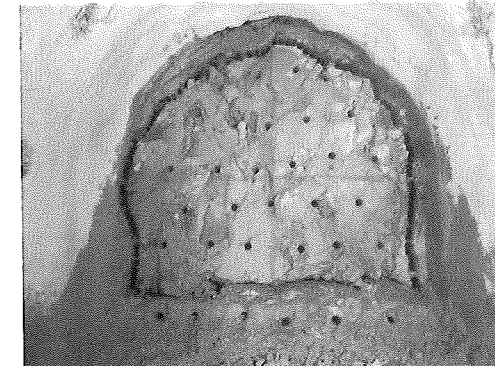


写真-5 割岩孔の削孔完了

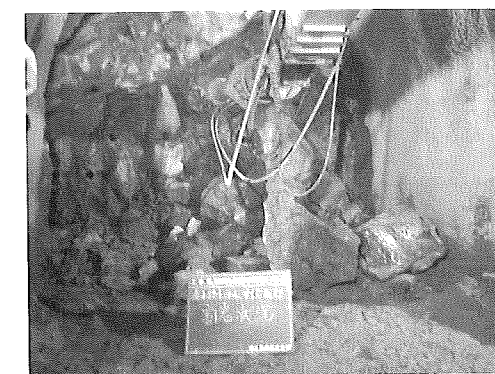


写真-6 割岩掘削の状況



写真-7 油圧割岩機(割岩力1,100tf)



写真-8 油圧ブレーカ(1.3t級)

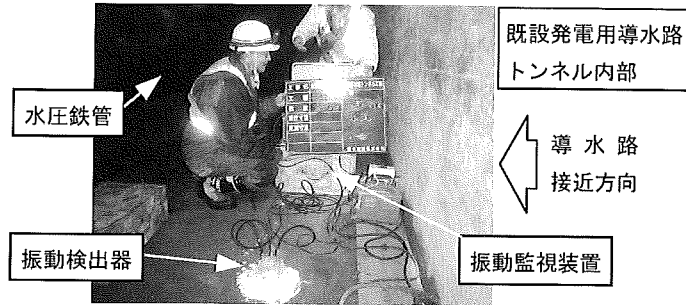


写真-9 発破振動測定状況

す。掘進長1.0mに対し、周辺の自由面削孔では、1.2m(幅100mm)の削孔長とした。また、割岩孔では割岩時のクサビの挿入長を考慮し削孔深度を1.5m(φ100mm)としている。写真-5, 6には割岩の実施状況を示す。導水路の断面が狭小であることから、小型の油圧割岩機(割岩力1,100tf)とブーム伸縮型の特殊な油圧ブレーカ(1.3t級)を使用した(写真-7, 8)。

写真-9には既設発電用導水路トンネルで実施した発破振動測定の状況を示す。振動の検出器は、XYZ一体型で監査路の床面に石膏で固定した。今回掘削する導水路トンネルは写真の右側から既設トンネルに接近する位置関係にある。

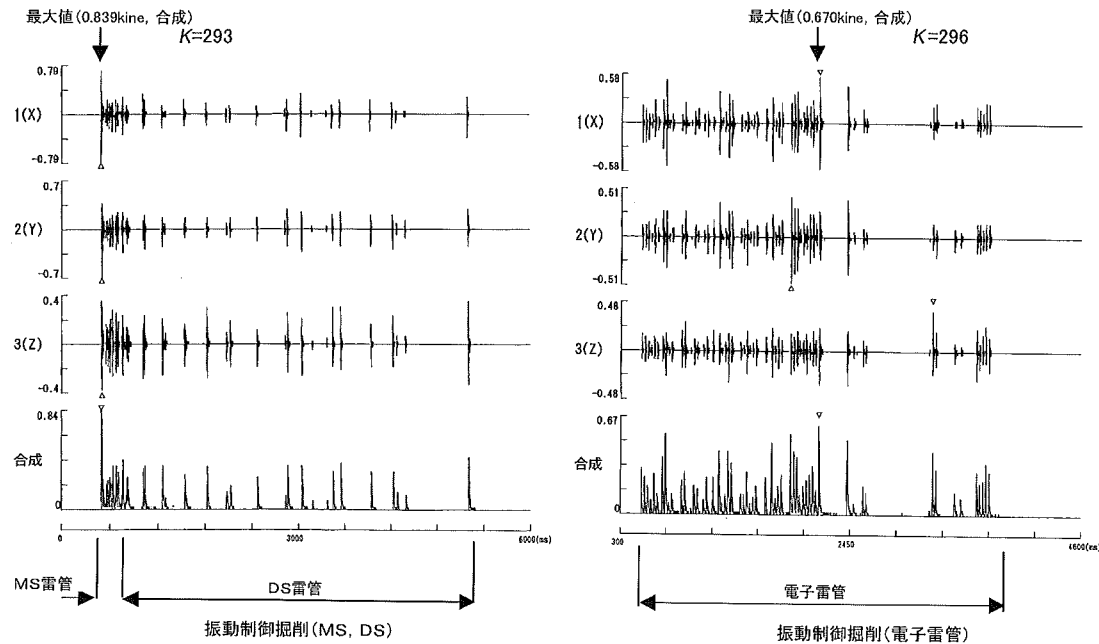


図-8 発破振動の測定結果

4 振動測定結果

振動制御掘削(MS, DS)と振動制御掘削(電子雷管)の振動測定結果を図-8に比較して示す。同図左側は、MS雷管とDS雷管を混用したものであるが、XYZ方向のそれぞれの振動速度と合成値を示している。この発破では、芯抜きに最大振動速度が発生しており、

0.839kineの合成振動速度を観測した。この最大値に対するK値は293と算定された。同図右側には電子雷管の場合のものを示すが、最大振動速度は発破時間の中間の払いで発生し、0.670kineの合成振動速度となり、この最大値に対するK値は296と算定されている。電子雷管で特徴的なことは、さまざまな段数で最大振動速度に近いピークが発生し、このときの段数でも最大振動速度となる可能性があること、またこのときのK値は、MS, DS雷管の発破芯抜きのK値とほぼ等しいことである。これは、電子雷管では、どの段でも1段1孔のパターンとしていたため発破状況がクレータ状となり芯抜きの状況と類似したためと考えられ

た。

なお、ここで示すK値は、以下の発破振動予測式(1)で、「発破条件や岩盤特性によって変化する係数」とされるものである。

$$V = K \times W^{2/3} \times D^{-2} \quad (1)$$

ここに、V : 振動速度(kine)

W : 段あたりの薬量(kg)

D : 発破場所からの距離(m)

図-9には、発破ごとに測定された振動速度の実測値と式(1)で算定される予測値を比較して示した。なお、K値についてはあらかじめ作業横坑で試験発破を実施しK=366であることを確認した(試験発破21回の測定でのK値の最大値)。距離で24.2mまでは通常発破が、さらに16.4mまでは振動制御掘削(MS, DS)が実施されたが、この範囲までは予測値に対し、実測値はやや小さめに測定された。ところが、16.4~10.4mの範囲では電子雷管による制御掘削が実施されたが、実測値は予測値を大きく上回るものとなった。振動の制限値は2.0kineであるが、この区間の最大振動速度は1.7kineであったため大事には至らなかったものの、このことは発破振動制御上の大きな問題となった。

これについては、式(1)の成立条件が、 $30 < D < 1,500m$, $10 < W < 3,000kg^2$ であることに起因すると考えられたが、確認のため以下のような分

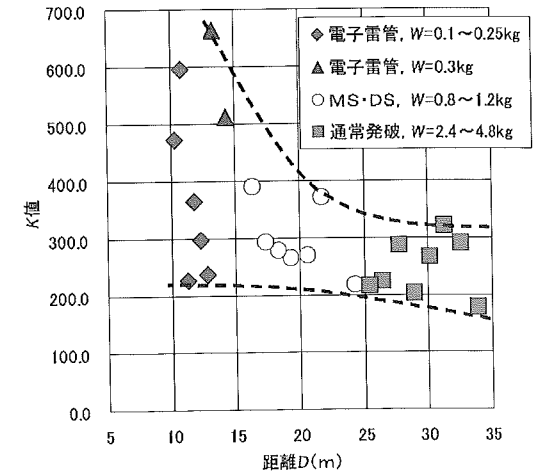


図-10 距離とK値の関係(導水路)

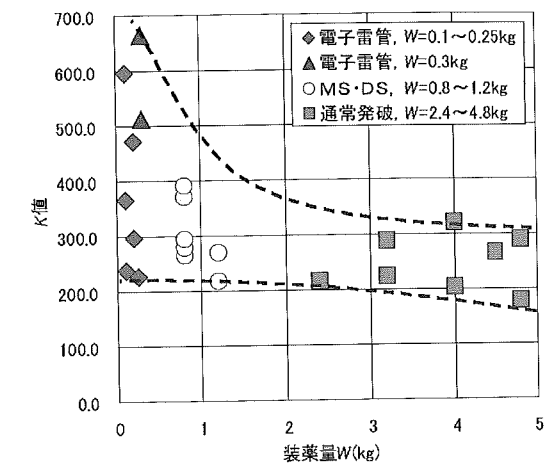


図-11 段あたりの装薬量とK値の関係(導水路)

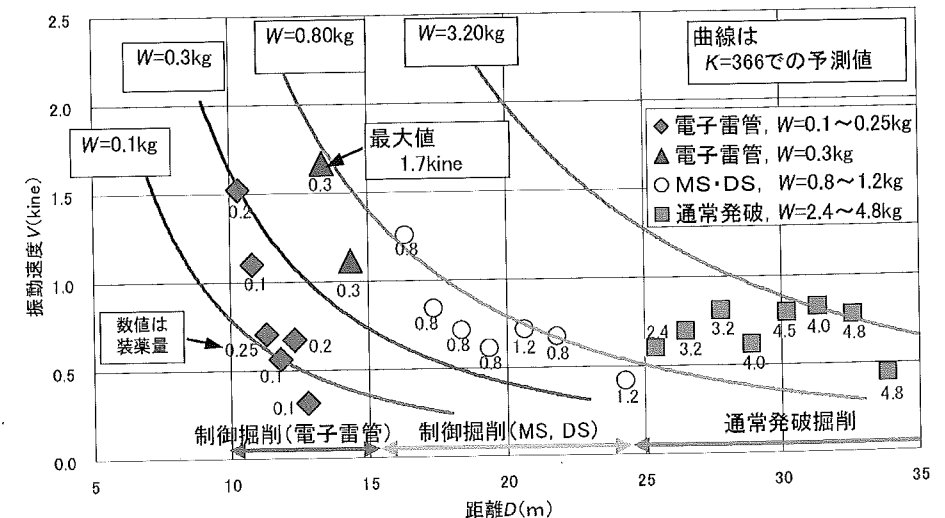


図-9 振動速度実施値と予測値の関係(導水路)

析を実施した。

発破ごとの振動測定値から計算されるK値と距離D、装薬量Wとの関係を図-10, 11に示す。図-10では距離が15mを下回る範囲ではK値は大きくばらつくが、一定の傾向はみられなかった。また、図-11でも、段あたりの装薬量がおおむね1.0kgを下回る範囲でK値が大きくばらつくものの、一定の傾向は見出せなかった。

一方、図-12に示すように、振動速度VとK値の間には、線形関係が認められた。同図に、電子雷管の測定値とMS, DS雷管による振動制御掘削、および通常発破の測定値を同時に示す。電子雷管の発破では、同じ振動速度であってもK値はやや大きめとなるも見られたが、この傾向は不明瞭であったため、ここでは回帰線の算定においては、雷管の違いを区別しないで同一に扱っている。

図-12の線形関係は、「振動速度が大きいほど、K値が大きくなる」というものであるが、このことが、距離がとくに小さい範囲で発破の振動速度の予測値と測定値が乖離することの原因であると考えられた。

この線形関係は、作業横坑での試験発破の振動速度測定(作業横坑では掘削箇所と振動測定箇所との距離がほぼ10.5mで一定な条件で発破、振動計測している)においても観測された。図-13に導水路の測定値とともに示すが、作業横坑の測定値では、振動速度とK値の線形関係は認められるものの、その傾きが導水路の傾きに比べ小さく40%程度となった。作業横坑の地質は、導水路とほぼ同一の地山と見ることができ細粒砂岩・泥質細粒砂岩互層であり、また、掘削箇所からの距離は、導水路の電子雷管のケース(10.4~16.4m)とほぼ等しい距離にあった。これらから前述の結果は、導水路がトンネルの掘進方向での測定値であったのに対し、作業横坑がトンネルの掘進方向とは直交する側壁方向での測定値であったことが原因で、振動速度とK値の線形関係における振動伝播方向の異方性であると推定された。図-13では、例えば1.5kineの振動速度が観測された場合、掘進方向ではK=550で、トンネルの側壁方向ではK=340となり、側壁方向に比べ掘進方向の方が約1.6倍、振動速度が大きく出やすいことを示している。

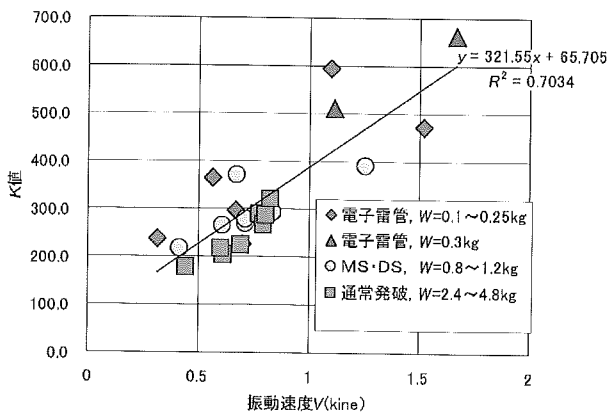


図-12 振動速度とK値の関係(導水路)

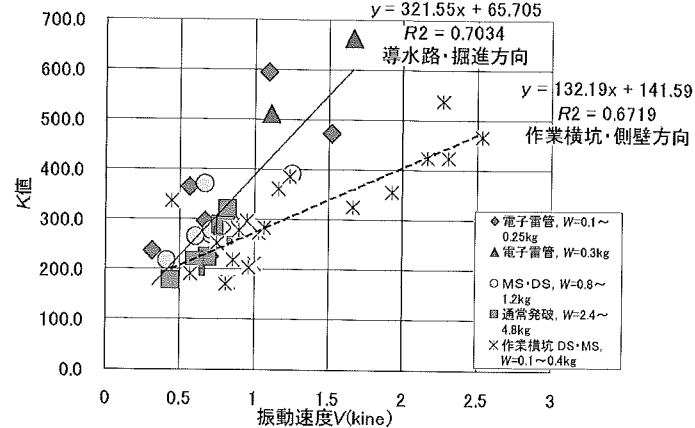


図-13 振動速度とK値の関係、振動測定方向の影響(導水路、作業横坑)

路の測定値とともに示すが、作業横坑の測定値では、振動速度とK値の線形関係は認められるものの、その傾きが導水路の傾きに比べ小さく40%程度となった。作業横坑の地質は、導水路とほぼ同一の地山と見ることができ細粒砂岩・泥質細粒砂岩互層であり、また、掘削箇所からの距離は、導水路の電子雷管のケース(10.4~16.4m)とほぼ等しい距離にあった。これらから前述の結果は、導水路がトンネルの掘進方向での測定値であったのに対し、作業横坑がトンネルの掘進方向とは直交する側壁方向での測定値であったことが原因で、振動速度とK値の線形関係における振動伝播方向の異方性であると推定された。図-13では、例えば1.5kineの振動速度が観測された場合、掘進方向ではK=550で、トンネルの側壁方向ではK=340となり、側壁方向に比べ掘進方向の方が約1.6倍、振動速度が大きく出やすいことを示している。

5 割岩掘削の結果

割岩掘削は、導水路到達部で延長6mにわたり実施した。断面が狭小(トンネル幅、高さ3.7m)で小型の施工機械の使用を余儀なくされ、油圧割岩機(割岩力1,100tf級)とブームが伸縮できブームだけを左右に30度旋回できる特殊な油圧ブレーカ(1.3t級)を用いて平均で約0.7m/日の掘進能率(支保施工時間含む)となった。

6 まとめ

導水路トンネルの振動制御掘削により得られたことをまとめると以下ようになる。

- ① 電子雷管を使用した発破では、芯抜きや払いの別なくさまざまな段数で最大振動速度が発生し、このK値は通常発破の芯抜きのK値にほぼ等しいものである。
- ② 振動予測式(1)において、距離が約15mを下回る範囲では実測値と乖離が顕著に生じるが、「振動速度とK値の線形関係」がこの原因であると考えられた。
- ③ この「振動速度とK値の線形関係」には、振動伝播方向の異方性が認められ、側壁方向は掘進方向よりK値が小さくなった。
- ④ 既設トンネルに約10mより接近する範囲では発破掘削は困難となり(制限振動速度2.0kine)割岩掘削を実施し約0.7m/日の平均掘削能率(支保施工時間含む)となった。また、これらを踏まえて電子雷管の発破検討を行う場合の留意点は以下となる。

- ① 芯抜きのK値により設計する。
 - ② 振動の伝播方向を考慮したK値を用いる。
 - ③ 近接の程度(約15m内外)でK値の変化(K値と振動速度の線形関係)を考慮する。
- データの数が限られるので、「振動速度とK値の線形関係」が、距離が小さく爆薬量が小さい範囲でのみ成立するのか、また、一般的に成り立つのかは不明で今後の継続的な研究とデータの蓄積により解明したいと考えている。

7 おわりに

新桂沢ダム取水放流設備導水路トンネル工事では、発電中の既設発電用導水路トンネルに約4mまで接近する困難な施工条件で、さらに当初の想定より硬質な細粒砂岩に遭遇した。そこで、作業横坑であらかじめ試験発破や岩石試験を実施し、この対策を検討した。その結果、導水路トンネルでは各種の掘削方式を駆使し、発破振動測定で安全を確認しながら計画どおりにトンネルを掘削完成することができ、満足できる結果³⁾となった。

本報告が、今後増加すると考えられる山岳トンネルの構造物への近接施工の設計・施工に参考となれば幸いである。

末筆ながら、工事の実施にあたり親身にご指導いただいた北海道開発局石狩川開発建設部幾春別川ダム建設事業所の皆様、また、発破振動測定などご協力いただいた電源開発(株)桂沢発電所の方々、さらに工事にご協力いただいた関係各位に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、日本化薬工業会：あんな発破 こんな発破 発破事例集, p.3, 2002.3.
- 2) (社)日本トンネル技術協会：構造物等に近接した山岳トンネルの設計施工に関する研究報告書, pp.135-138, 1992.3.
- 3) 石井三郎・井上孝俊：既設発電用導水路トンネルへの振動低減対策, 第55回施工体験発表会(都市), (社)日本トンネル技術協会, pp.9-16, 2004.

〔土木工学社図書案内〕

岩盤の計測と解析 工博 鈴木 光著

A 5判 箱入 244ページ 本体価格4,200円 (〒380円)

最近では、有限要素法を利用し、地盤や構築物の変形や応力分布に関する予想解析が行われるようになりつつある。そのために入力などに信頼度の高い各種計測値が要求されるようになってきた。

このような理由から、建設工事では、従来にも増して計測や解析が重要となりつつある。

本書は、応用範囲も広く重要と思われる岩盤の計測と解析法の紹介と解説を試みた実務書である。

以上のことから、同じバーンカットと称される心抜き方法であるが、採用空孔径、空孔数が異なる大口径バーンカットとの違いを明らかにするため、小口径バーンカットに関する破碎機構を究明する必要があると考えられる。そこでまず、小口径バーンカットの中心の装薬のみを起爆し、この起爆による岩石の挙動などに注目した。この実験の情報をもとに段階的な起爆を行い、段階ごとの破碎形状を照査し、中心装薬孔の役割の推定、空洞形成の経時変化から破碎機構の差異を明らかにするとともにその有効性を明らかにする。さらに、小口径バーンカットを用いた坑道掘進の実績値より本心抜き採用の是非とその実効性を検証する。

2 平行心抜きの破碎機構と特性

2-1 平行心抜きの現状

現在、わが国の支保パターンにおける標準設計進行長は、日本道路公団積算基準¹⁴⁾で1.0~2.5m、鉄道・運輸機構(元日本鉄道建設公団¹⁵⁾)では1.0~2.5m、となっており、これら一進行長の掘進において採用されている心抜き工法はVカット工法が多い。

近年、坑内掘削機器の大型化や地山評価判定基準、支保材料の向上、作業の迅速化、情報化施工などにより一掘進長延伸の検討が行われている。しかし、Vカット心抜き工法はその機構から、①削孔長はトンネルの形状・寸法に左右される(通常トンネルの幅45~50%とされる)、②安定した孔尻間隔の保持が困難で、削孔精度により起爆効果が安定せず所定の進行長の確保が困難である、などの問題があり、長孔発破に適した心抜き工法

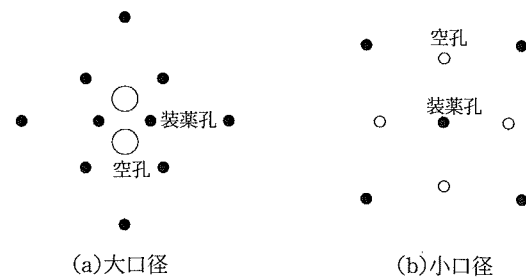


図-1 バーンカット例

とはいえない。硬岩地質が多い北欧では一発破掘進長約4.0~5.0mが一般的とされており一発破掘進長約7m余りの報告¹⁶⁾もある。これら長孔発破のトンネル掘削で標準的に採用されている心抜き工法は、自由面をあらかじめ持たせた平行心抜き工法の一つであるバーンカット(図-1(a):大口径バーンカット)が多い。

わが国でも大口径バーンカットはトンネル掘削あるいは心抜きの破碎に一応の成果が得られている。しかし、硬岩地山では一様な地質は少なく、大口径バーンカットの口付け誤差あるいは削孔精度などによる空孔と装薬孔の連結、あるいは節理による孔壁の崩壊などの理由から汎用性、利便性に欠ける工法であるという一面を持つ。このことから長孔発破を有効かつ効率的に実施可能な心抜き工法の確立が求められる。

2-2 破碎機構

Langeforsらは、大口径バーンカットの破碎機構を段階的な起爆により順次自由面の拡大状況を確認するとともに空孔径、離隔距離より装薬量を求める式を算出し、その論理的な心抜き方法と破碎機構を立証した⁹⁾。

また、Oucherlonyら¹⁰⁾による大口径バーンカットの実験において、装薬孔と大口径空孔間の岩石

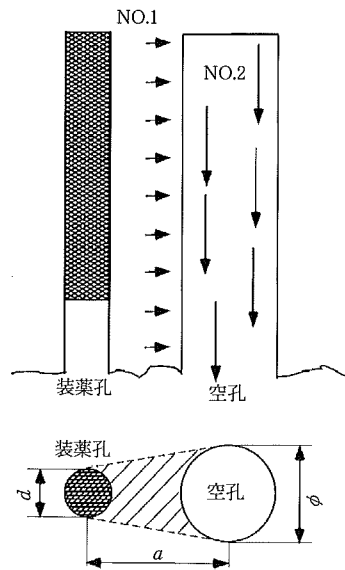


図-2 大口径バーンカットの破碎機構概念

は流体輸送のように空孔を通して排出されることを画像で確認している(図-2)。さらに、異なった爆薬を用いた平行心抜きに関し、密装薬可能な爆薬の優位性を示した。大口径バーンカットには前述のほかに、①削孔ビットの取り替えに時間を要する、②心抜き部の削孔数が多い、などの特徴がある。この2つの特徴は、トンネル掘削の良否の問題より経済性・利便性の観点からこの工法の問題点を示していると考えられる。一方、小口径バーンカットは、①装薬孔と同じビットで空孔を設けるため、ビットの取り替えや先行削孔などは省略できる、②心抜き周辺の削孔数は増える、などの特徴を持ち、大口径バーンカットと同様な項目はあるが大口径バーンカットと比べ①の点において優位性があると考えられる。

小口径バーンカットは、大口径バーンカットと異なり、最初に起爆する装薬孔は通常空孔の中心に位置している(図-1(b))。装薬孔を取り巻く周囲の空孔の断面積総計は通常長孔発破に採用される大口径バーンカットに比して削孔径あるいは空孔の数により同等もしくは大きい場合もある。一方、中央の装薬孔を取り巻く空孔の中心点を結んだ面積は、装薬孔と空孔面積の和より大きく、大口径バーンカットの破碎機構と同様に流体状に破碎岩片が排出されると考えるのは難しい。このことから、起爆孔と空孔間での破碎機構は大口径バーンカットと異なると推測され、その解明が必要となる。

3 小口径バーンカットにおける岩石破碎機構

3-1 破碎機構の推定

小口径バーンカット破碎機構の解明のための実験計画にあたり、小口径バーンカットの経験を有する技術者に対してヒアリングを行った。その結果にもとづき、小口径バーンカットの破碎機構を次のように推定した。

(1) 空孔の中心にある装薬孔の起爆に伴う衝撃作用および生成ガスによるガス圧の作用により以下のようなになる。

- ・装薬孔周囲の空孔をつなぐ内側のライン内に亀裂が発達する。
- ・ライン内の岩石は破碎され坑口方向に排出される。

(2) 破碎岩石の排出により形成された空洞は、段階的な起爆により拡大し、心抜きが完成する。

このような推定を検証するため、次のような実験を行うこととした。

3-2 当初仮定した考え方の検証(Step 1)

3-2-1 実験の目的

先の仮定の検証を前提とし、心抜き中央にある装薬孔の起爆によりその周囲に配置した空孔に向けてどのように破壊が生じるか、また、発破の基本とされるハウザーの公式¹⁷⁾から考えられる破碎形状である円錐状の破碎状況の実現などについての検討を予備的な実験として行った。

3-2-2 実験場所の地質・岩質条件

実験は、実施工トンネル工事の切羽で行った。実験切羽は、安山岩で大目・流れ目をなし堅固で湧水はなく節理に粘土、破碎岩は挟んでいない。地山弾性波速度は2,900~4,200m/sで、一軸圧縮強度は約200MPaと非常に硬い。

3-2-3 発破条件と計画

削孔長は4.0mを標準として心抜きの形状は装薬孔を中心とした四角形と六角形状とした。削孔径は、汎用性のある3種類(φ45, 51, 64mm)を選定した。心抜き形状、削孔径、空孔・装薬孔の間

表-1 Step 1 実験仕様

| 削孔径 D(mm) | φ45mm | | φ51mm | | φ64mm | |
|----------------------------------|-------|------|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| | 4孔 | 6孔 | 4孔 | 6孔 | 4孔 | 6孔 |
| 150 | ○ | - | ○ | - | - | - |
| 200 | ○ | ○ | ○ | ○ | - | - |
| 250 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 300 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 350 | - | ○ | - | ○ | ○ | ○ |
| 400 | - | - | - | - | ○ | ○ |
| 空孔面積 (cm ²) | 63.6 | 95.4 | 81.7 | 122.5 | 128.6 | 192.9 |
| 空孔φ10.2cm×1孔=81.7cm ² | | | 空孔φ10.2cm×2孔=163.3cm ² | | | |

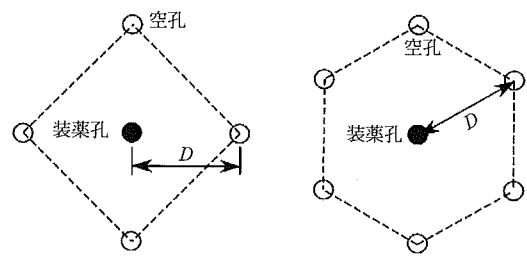


図-3 Step 1 実験の削孔配置

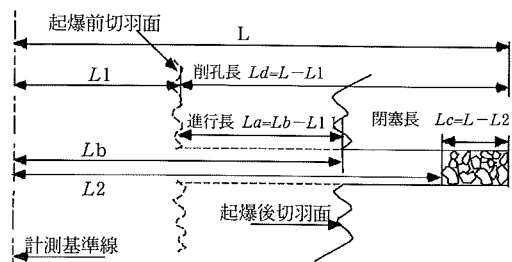


図-4 計測仕様図

隔などを表-1、図-3に示す。空孔の数ならびに孔間隔は大口徑バーンカット空孔断面積(φ102mm×1孔=81.67cm², 2孔=163.34cm²)および装薬孔と空孔で囲まれる面積を参考に同等の周辺条件となるように決めた。

親ダイは膠質状爆薬で、増しダイとしてANFO爆薬を機械装薬によりほぼ削孔長全長に装薬した。雷管は導火管付き雷管を用い孔底起爆(逆起爆)として込め物はしていない。ANFO爆薬の装薬密度は単管パイプ2インチ(内径44mm, 長さ4m)を用い機械装薬を行った結果、装薬密度0.88g/cm³(装薬集中度約1.34kg/m)が得られた。

起爆前に、①切羽写真、②削孔精度(口元位置、孔尻位置)、③削孔長、④装薬長を、起爆後に、⑤進行長、⑥閉塞長、⑦破碎形状写真撮影の項目の計測、などを行うこととした(図-4)。

3-2-4 実験結果(写真-1)

図-3に示した孔位置で削孔・装薬を行い、中心の装薬孔のみの発破を行った。表-1に示した24ケースの一段発破を行った結果を以下に記す。

- ・空孔と亀裂がつながった装薬孔は、24孔の内8か所(φ45mm:4か所, φ51mm:3か所, φ64mm:1か所)であった。
- ・鉄砲(吹き出し)現象は4孔(φ51mm:1か所,



写真-1 φ51×300×4孔(上下結合)

φ64mm:3か所)あった。

- ・閉塞長(装薬孔内において破碎された岩片が外部に押し出されず残った状態)は、φ51mmで平均約33.3%未滿, φ64mmで約50.9%であった。なお、φ45mmのケースでは、発破時に計測ピンが破碎され計測不能であった。
- ・発破後の装薬孔を中心とした切羽にはハウザー式という円錐状の破碎(過装薬, 弱装薬によるラッパあるいはチューリップ状など)は見られなかった。

3-2-5 考察

以上のように広範囲の条件について実験を行った。いくつかの装薬孔と空孔の連結はあったが、当初仮定した装薬孔を中心とした空孔と装薬孔間の破碎、空孔近傍の破碎、隣接する空孔間の亀裂など目視による明確な確認はできなかった。

このことから大口徑バーンカットの初期起爆の事象と比べ自由面の拡大などの現象はほとんどなく小口径バーンカットは大口徑バーンカットあるいは当初仮定した破碎機構とは異なることが明確になった。

3-3 多段階発破による小口径バーンカット破碎機構の検討(STEP2)

3-3-1 実験の目的

前述の予備的实验の結果、小口径バーンカットは中心位置の孔の発破のみで形成されるものでは

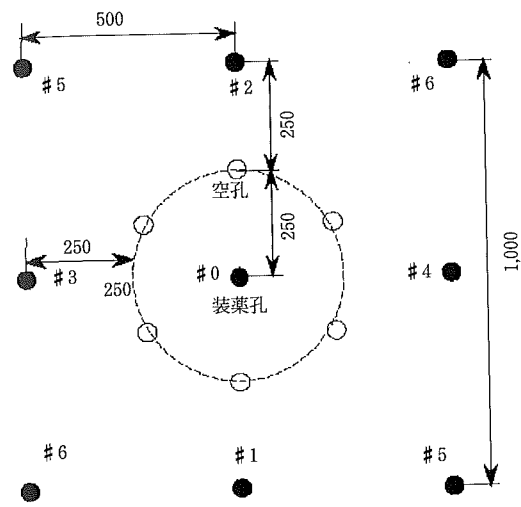


図-5 Step 2 実験の装薬孔配置・起爆パターン

なく心抜き形成は装薬孔が順次起爆されることによると考えた。したがって、実験の主たる目的は装薬孔が順次起爆されることにより心抜きが進行する状況を明らかにすることとなる。

しかし、この作業のためには1つの孔を発破することに切羽に近づき、計測、装薬を行わねばならない。一般に発破により発破孔に隣接する領域および切羽面は損傷を受ける。このような作業に対する安全性確保の目的から、くり返し計測、装薬、発破というプロセスを最小限である2回とした。そこで各ケースでの第1回目の発破において#0のみ(No. I), #0~1(No. II), ..., #0~4(No. V)と起爆し、それぞれの起爆段数での心抜きの進行状況を検討することとした。この各ケースの心抜きの進行状況を段階的に並べることにより、近似的に#0~4の順次起爆による心抜き進行の検討を行った。また、1回目の起爆、計測後に2回目の装薬、発破を行うこととした。心抜きのパターンを図-5に、実験順序を表-2に示す。なお、#0~6は導火管付き雷管の瞬発~6段を意味する。

3-3-2 実験場所の地質・岩質

実験は実施工トンネル工事の切羽で行った。実験切羽の地質は、黒雲母花崗岩を主体とし部分的に安山岩の貫入岩体が存在している。地山弾性波速度は4,500~5,000m/s, 一軸圧縮強度は約40~

表-2 Step 2 実験順序

| NO. | MS雷管段数 | |
|-----|--------------------|-------------|
| | 1回目 | 2回目 |
| I | #0 | #1, #2, #4* |
| II | #0, #1 | — |
| III | #0, #1, #2 | — |
| IV | #0, #1, #2, #3 | #4, #5, #6 |
| V | #0, #1, #2, #3, #4 | #5, #6 |

* : #3は破碎による孔閉塞のため、#4を起爆した

110MPaで前の実験地山より低い。また、おおむね堅硬で湧水や滴水はない。

3-3-3 発破条件と計測

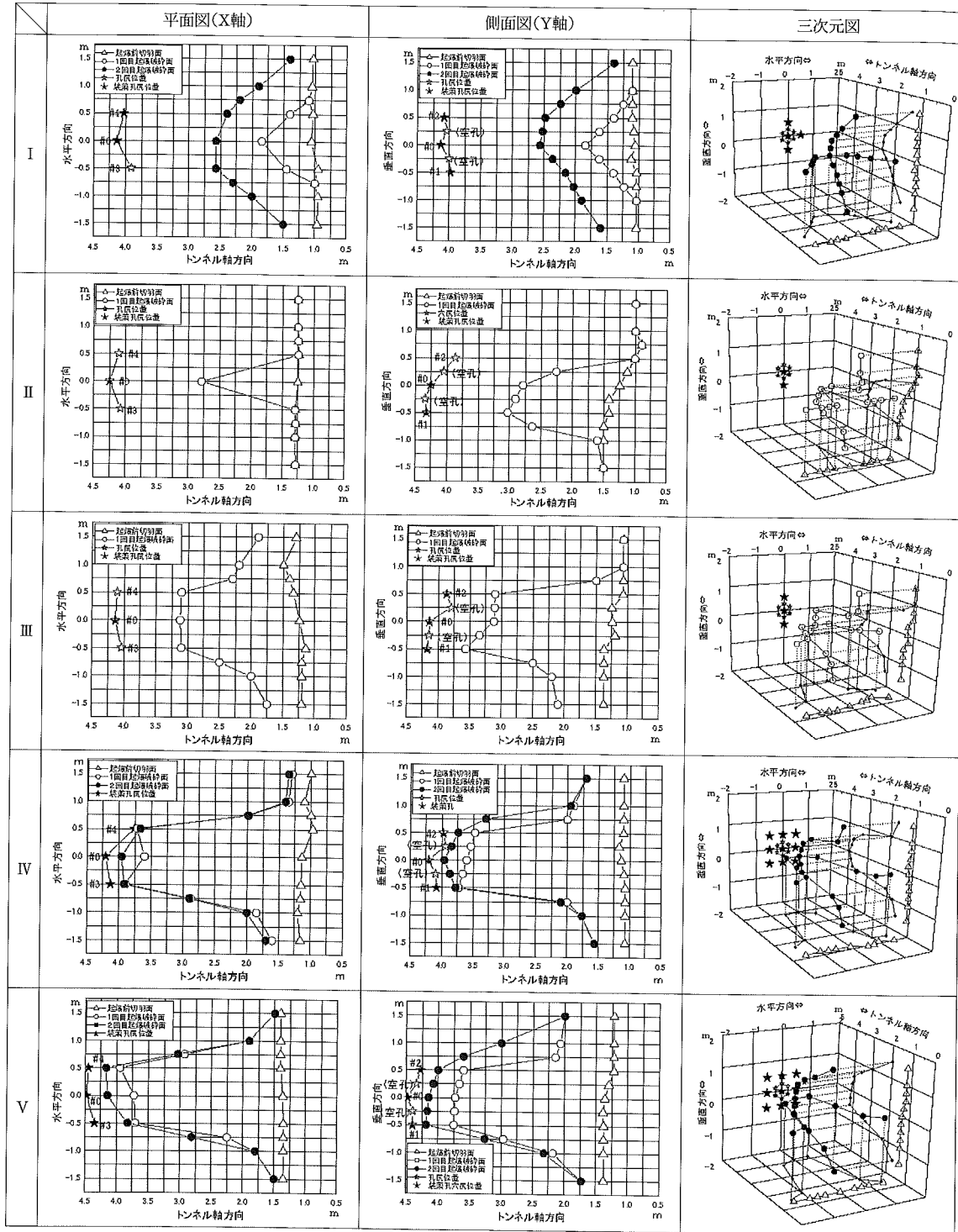
削孔長は標準3.0mとし削孔径はφ45mmを採用した。爆薬・雷管、計測項目などに関しては先の実験と同様とした。Step 1とStep 2の実験条件(地質、削孔長)は異なるが支配的な相違はないと考えた。

3-3-4 実験結果

前述のプロセスにしたがって第1回目の発破を行った。第1回目の発破によりNo. II, IIIにおいては第2回目起爆のための装薬孔が乱され、また切羽も不安定な状況となったため、2回目の発破は取りやめた。そのため予定を変更し、No. Iは内側の4辺形まで、No. IV, Vは最終心抜きまでの2回発破を行うこととした。

図-6に段階的起爆により得られた破碎形状の平面、側面、3次元図を示す。それぞれの図は1回目、2回目のそれぞれの起爆による中心面(#0孔を通る直行面)での進行状況を投影したものである。この平面図および側面図の投影において1回目の進行のみをNo. I~Vと並べて示したものが図-7 a), b)である。

前述のように岩盤、削孔精度のばらつきは考えられるが大まかに#0~4と順次起爆が進むにつれて心抜きの進行していく状況が見取れる。すなわち#0(No. I)によってほぼ平面、側面とも似たような形状の進行(クレータ状)が生じ、続いて中心孔の下および上に配置された#1, #2により下および上方向へ大きく進展し(No. II, III)これにより側面図に下側、続いて上側へ大きな変化



* 三次元図凡例; ★: 装薬孔位置 ☆: 空孔位置 ○: 1回目起爆破砕面
●: 2回目起爆破砕面 △: 起爆前切羽面

図-6 Step 2 実験の段階的な起爆後の破砕形状

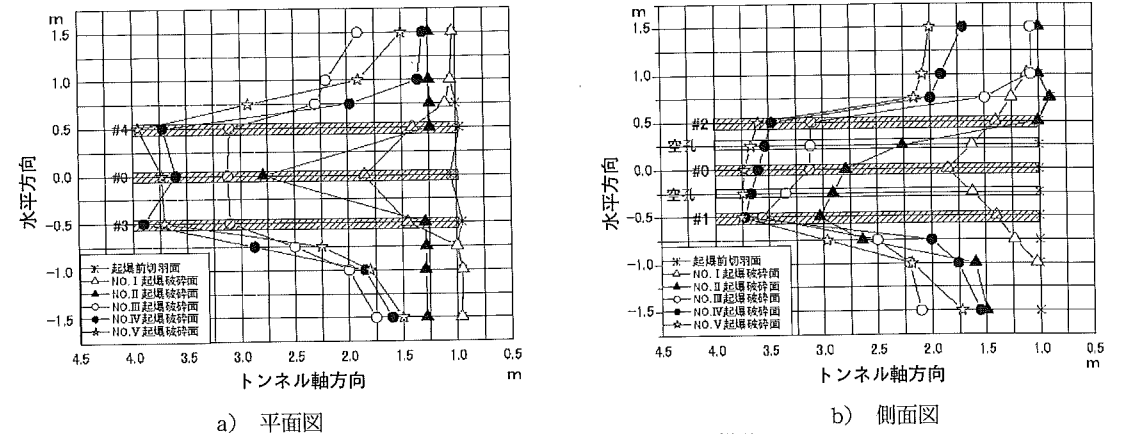
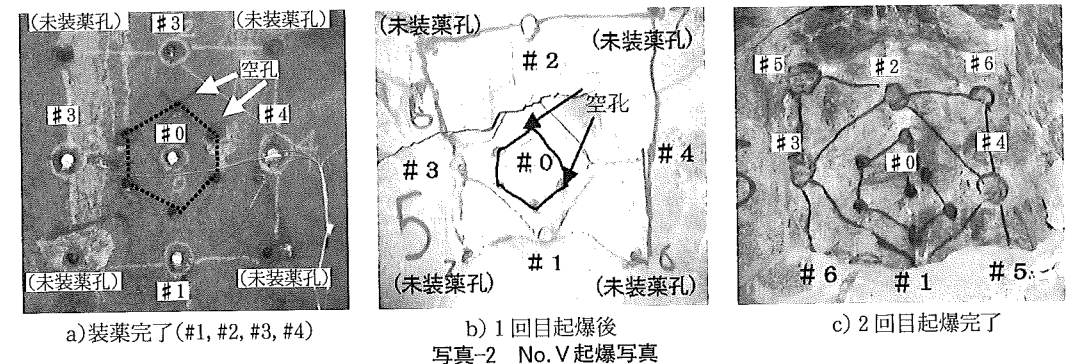


図-7 段階的な起爆による破砕面の推移



が現れている。その後、左右に配置された#3, #4(No.IV, V)により左右方向へ広がる状況が明らかである。前述のように2回目発破を行ったのはNo. I, IV, Vの3ケースである。No. IV, Vの最終進行形状を見るとほぼ望ましい形の心抜きが完成していることが認められる。この状況をNo.Vについて写真-2 a)~c)に示す。正面からの写真であり立体感に欠けるが、スプレーマーキングと図-6の最下段の3次元図を参考に心抜きが進行し完成する状況を推察されたい。なお、図-6, 7の平面図・側面図のトンネル軸方向(切羽面からの奥行き深さ: m)の数値は、計測基準点(0.0m)からの距離であり切羽面がほぼ1.0m位置となっている。

3-4 破砕機構の推定

Step 1 およびStep 2の実験結果から小口径バンカットの破砕機構は次のように推定できる。

3-4-1 爆源近傍の損傷領域について

爆源近傍の損傷領域は文献など^{5), 6)}によりその理論は明確になっていることから、以下の事項に着目して述べる。

(1) 中心孔を囲む空孔

中心の装薬孔を円柱状の長装薬によるベンチカット発破と想定した場合、起爆により岩石に投射された応力波により亀裂が成長し^{18), 19)}、さらに周囲に配置された空孔が自由面となり自由面からの反射波による引張り応力により亀裂が進むと考えられる。このことから、自由面(空孔の数, 径)の大小は破砕効果に影響を及ぼすと考えられる。

(2) 爆薬選択

装薬孔内に作用する圧力は、デカップリング比の大小により異なることが知られている⁶⁾。爆轟を減ずることなく効果的にその力を利用するためには、密装薬が可能な爆薬、さらに、ガス量が多い爆薬の選定が適当と考えられる。このうち、後者は爆薬の動的エネルギーによる亀裂に対して、

静的エネルギーと称される生成ガスの仕事効果により亀裂の成長が助長されることによる。

3-4-2 実操業で得られた損傷領域

Ouchterlony²⁰⁾、手塚ら²¹⁾による損傷領域の研究では、岩質・装薬量・抵抗線などの条件は異なるものの、手塚らは70～80cm程度の深度まで亀裂が見られ発

破面からおおむね50cmまでは発破の影響により多数の微小亀裂の発生が考えられるとしている。このように、自由面を十分にもつ爆破において自由面の反対方向にも損傷領域が生じることを考慮すると、自由面が少ない中心孔の起爆のエネルギーは、岩石の破壊と排出に費やされずに爆破孔近傍の亀裂の進展に寄与するものと考えられる。

3-4-3 本実験結果

中央装薬孔の起爆により装薬孔近傍およびその空孔間の領域が破碎・変形され、この領域は後段装薬孔の起爆により十分な破碎・押し出し(排出)を可能にする程度に脆弱化する。その微小な破碎・変形あるいは亀裂の発達した範囲は、中心孔の下、上、左右に配置された装薬孔に連続的起爆が行われることにより次第に心抜き部の損傷と空洞が側方への拡がりと同時に孔奥方向へと大きくなり心抜きが完成する。

小口径バーンカットの中心装薬孔とその周辺にある空孔は、後段の連続的な起爆によりその動的エネルギー・静的エネルギーを有効にかつ効率的に心抜き(坑道掘進の初期自由面確保のための方法)を推進するための役割を果たす部位であると推定される。

以上のように、Vカットや大口径のバーンカット工法では装薬孔に並んだ位置にある自由面に向かって破碎が進行するのに対して小口径バーンカットでは起爆により順次孔奥方向への破碎が進行するという異なる破碎機構を有するといえる。

3-4-4 実施工結果からみた評価

小口径バーンカットを用いた坑道掘進をA、Bの2か所のトンネルで行った。地質と施工断面からAトンネルでは6孔の空孔、孔間隔250mm、Bト

表-3 小口径心抜きを用いた実操業における進行率

| トンネル名 延長(m) | 掘削断面 (m ²) | 無 支 保 工 | | 一発破平均 進行長(m) | 進行率 (%) |
|----------------|---------------------------|---------|-----------|-----------------|------------|
| | | 延長(m) | 一発破削孔長(m) | | |
| A 1,613.0 | 29.95 | 654.0 | 2.1 | 1.90 | 90.5 |
| | | 491.0 | 2.6 | 2.48 | 95.4 |
| B 2,990.0 | 73.80 | 72.5 | 2.1 | 1.86 | 88.6 |
| | | 350.1 | 2.6 | 2.30 | 88.5 |

注) 進行率=一発破平均進行長÷一発破削孔長×100

ネルでは4孔の空孔、孔間隔250mmを採用した。なお、両トンネルの使用爆薬はANFO爆薬、削孔径45mmである。小口径バーンカットを使用した区間での進行率を表-3に示す。Aトンネルでは平均進行率90%を越えるが、Bトンネルでは平均進行率は90%を下回った。Aトンネルの実績は、Step 2の実験より大きな値が得られた。これは、心抜き後に起爆が連続して行われる実操業掘進発破では、後段の起爆が多い事から進行率が大きくなったものと推測される。一方、4孔を用いたBトンネルの進行率は設計指針などを下回った。この原因としては、トンネル地山の物性条件による差はあるものの、おもに空孔数と孔間隔に起因すると考えられる。空孔数と孔間隔の関係については、今後さらに検討する必要がある。

4 ま と め

本報告では、地質状況に影響を受けないと考えられる小口径心抜きの破碎機構を2段階に分けて検証した。予備的な実験の結果、中心にある装薬孔の起爆では、想定した中心孔の周囲に配置された空孔をつなぐラインに亀裂が発達する、あるいは、ラインの内側の岩石が破碎され、坑口方向へ排出されるなどの現象は目視では確認できなかった。また、ハウザーの公式に見られる円錐状の破碎状況も見られなかった。ただし、いくつかのパターンでは中心の装薬孔と空孔とが繋がった。この結果、中心孔の役割についての考察は十分得られなかった。この結果を踏まえ、次に段階的な起爆による破碎状況の検証実験を行った。その結果、連続的な起爆により順次地山の破碎、放出が行われ孔奥方向への心抜きが進行することが示さ

れた。この破碎機構が従来の心抜きと異なる点は、孔奥方向へ心抜きが進行する点で、これは、楔形心抜きあるいは大口径バーンカットとまったく異なる心抜き形成機構である。

小口径バーンカットの破碎機構のパラメータは、①口径、②中心孔と空孔との離隔距離、③装薬量と考えられたが、Step 2では実験数が少なくその関係を究明するまでに至らなかった。しかし、本研究により解明された小口径バーンカットのメカニズムはほかの工法に見られないものである。ANFOあるいはバルクエマルジョン爆薬などの使用が実用的段階に達した今日において、今後の平行心抜きの発展を考えるうえで有用な資料を提供するものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 日野熊雄：Concentrated type of no-cut round of blasting, 火薬学会, 1955.5.
- 2) 村田勉・田中一三：岩石発破に関する力学的研究, 工業火薬学会誌, 15-17巻, 1954-1955.
- 3) U. Langefors and B. Kihlstrom: The Modern Technique of Rock Blasting, Almqvist & Wiksell Forlag AB, pp.186-200, 1978.
- 4) Blaster's handbook 16th Edition: Dupont.
- 5) 発破工学ハンドブック：pp.116-119, 火薬学会, 2001.8.
- 6) 伊藤一郎・佐々宏一：爆源近傍の岩盤中に生じる動的応力について, 日本鉱業会, Vol.77, No.882, pp.11-18, 1961.12.
- 7) 佐々宏一：爆源近傍の破壊と波動, 工業火薬協会, Vol.45, No.3, pp.118-128, 1984.
- 8) 伊藤一郎：爆破に関する岩石力学, 工業火薬協会, Vol.29, No.4, pp.246-268, 1968.
- 9) 山口梅太郎・西松裕一：岩石力学入門(第2版), 東京大学出版会, pp.69-90, 1983.
- 10) A. Persson and R. Holmberg and J. Lee: Rock Blasting and Explosives Engineering, pp.218-231, CRC Press, 1994.
- 11) R.Gustafsson: Swedish Blasting Technique, Nora Boktryckeri AB 1973.
- 12) S. O. Olofsson: Applied Explosives Technology for Construction and Mining, Nora Boktryckeri AB, 1990.
- 13) F. Ouchterlony, Y. Kanoh, H. Minamide, K. Nakagawa: Parallel hole cut blasting tests with ANFO and Emulsion explosives, Swedish Rock Engineering Research, pp. 25, SveBeFo Report 28, 1997.
- 14) 日本道路公団土木工事積算資料：(財)高速道路技術センター, 19編, p.12, 平成14年度版.
- 15) 土木・建築工事標準歩掛：日本鉄道建設公団, p.138, 平成14年度版.
- 16) Niklasson, M. Keisu: New Methods for Contour Blasting Using Electronic Detonators and Water-Notched Boreholes, Including Longer Drift Rounds and Cuts without Large Cut Holes, pp.1-19, In Proc of 4th High Technology Seminar. State of the Art of Blasting, Technology, Instrument, Explosives, Applications. BAI, Allentown PA, 1992.
- 17) 発破工学ハンドブック：火薬学会, pp.116-119, 2001.8.
- 18) 勝山邦久・佐々宏一・伊藤一郎：一自由面爆破におけるき列およびクレータの生成機構についての一考察, 日本鉱業会誌, Vol.88, No.1014, pp.465-470, 1972.8.
- 19) 佐藤善政・井上篤雄・橋爪清・勝山邦久：爆源近傍の破壊に関する一考察, 火薬学会講演集pp.9-10, 2002.5.
- 20) F.Ouchterlony・中川浩二：スウェーデン“ASPO”SKB地下実験設備におけるトンネル周辺の発破損傷について一振動計測による予測一, 第24回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.395-399, 1992.2.
- 21) 手塚昌信・蓮井昭則・工藤洋三・中川浩二：発破による爆破近傍岩盤の損傷領域に関する一考察, 土木学会論文集, No.602/VI-40, pp.139-144, 1998.12.

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL

坑内排水を高度浄化

清水建設は、農林水産省東海農政局が発注した伸矢作川用水農業水利事業のシールドトンネル工事で、陸商事と共同で開発した特殊な膜濾過ユニットを使って濁水を処理する「新濾過処理システム」を初適用した。

同システムは、特殊な芯材を用いた膜濾過ユニットを水槽内に垂直に設置することで濁質を3次元的に捕足し浮遊物質を1ℓあたり5～10mgまで浄化する。濾過膜を通過する濁水の速度を遅くすることで1ℓ中の浮遊物質が1,000～3,000mgの高濃度濁水も処理できる。

山垣トンネル完成

近畿地方整備局兵庫国道事務所が建設を進めている北近畿豊岡自動車道春日和田山道路1の「山垣トンネル」が完成した。

同トンネルは、トンネル延長663m、NATMにより掘削した。地質は、全体的に中生代生野層群の安山岩が主体で比較的良好の状態だったが、坑口付近に崖錘堆積物が確認されたため補助工法として注入式フォアバイリングを採用した。発破掘削のため近隣に配慮しながら平均月進80mで大きな問題もなく無事掘削を完了した。佐藤工業が施工を担当した。

中国でシステム販売

みずほ情報総研は、上海同岩土木工程有限公司と販売店契約を締結し、中国でシールドトンネル断面力解析システム「MOLEMAN-i(モールマンアイ)」の販売を始める。

同解析システムは、早稲田大学の村上博智名誉教授と小泉淳教授が考案したM-K法を使い、シールドトンネルの断面に作用する力を解析できるシミュレータでシールドトン

ネルの設計に必要な解析機能を備えている。今回販売契約を結んだ上海同岩土木工程有限公司は、03年に設立された大学発のベンチャー企業。

仙台市地下鉄東西線
早期着工推進大会開催

東西線沿線まちづくり推進協会および東西線建設促進期成同盟会による仙台地下鉄東西線の早期着工推進大会が開催され、早期本格着工に向け、国に対し06年度の国庫補助金の確保を強く要望していくことを決議した。

地下鉄東西線は、動物公園駅と荒井駅を結ぶ13.9km。区間内には、13駅を設置する。車両はリニアモータ式を採用。建設費2,735億円。08年度の本格着工、15年度の開業予定。市は、着工時期の2年前倒しを目指している。

畑田トンネル開通

近畿地方整備局奈良国道事務所が建設を進めている京奈和自動車道で、五條市内を通る五條道路畑田トンネルが開通した。

京奈和自動車道路は、京都、奈良、和歌山を結ぶ延長120kmの高規格幹線道路。このうち、五條道路は五條市居伝町の五條北ICから同市畑田町までの7.9km。畑田トンネルは延長279m、掘削断面積110m²の山岳トンネルで、清水建設によって昨年12月に本格着工した。地質が粘土混じりの砂礫で、小土かぶりであったことなどから、地盤沈下対策として全線にAGFなどの補助工法を採用した。事業費は約13億円。

大柏木トンネル着工

関東地方整備局八ッ場ダム工事事務所は、大柏木トンネルの着工式を長野原町川原湯トンネル坑口付近で

行った。

同トンネルは、延長2,977m、掘削断面積が69.9～103.1m²で、NATMによる発破掘削で施工する予定。ダム本体の掘削土運搬やコンクリート骨材を運搬するための工事用道路に使用した後、一般県道として供用する。これにより、長野原町から吾妻町・高崎方面へのアクセス性が飛躍的に高まる。

シールド第二立坑に到達

九州地方整備局福岡国道事務所が進める福岡外環状共同溝第一工区シールド工区のシールドが第二立坑に到達した。

福岡外環状共同溝は、博多区西月隔～南区野多目間に計画されている延長16.2km。同工区は、このうち2,770mに直径5.7mの共同溝トンネルを外径6.46mのシールドで掘進している。都心部直下の同工区では、粘土質、砂利質といった軟弱な土質から花崗岩などの堅い土質まで多様な土質が存在する。このため、堅い土質に阻まれたり、薬液注入しながらの施工となった。

地中接合法で一重リングを初適用

五洋建設・みらい建設工業・りんかい日産建設JVは、東京都下水道局発注の飛鳥山幹線その5工事で、国内初適用の地中接合法「T-BOSS工法・S方式」による側面切削が完了した。

T-BOSS工法は、T字接合研究会が開発したもので、これまで、二重構造のW方式での施工実績はあるが、一重工法のS方式の適用は初めて。S方式では既設管の切削後、接合部のすき間に止水材を充填し、既設管内に防護コンクリートを設置することで既設管側からの出水を防止する。

連載講座

山岳トンネルにおける工事中機械の選定(22)

仮設備(1)―坑内設備(換気設備)―

「山岳トンネルにおける工事中機械の選定」連載講座小委員会

1. はじめに

トンネル工事における仮設備としては、①給排水設備、②給気設備、③換気設備、④電力設備、⑤照明設備、⑥通信設備、⑦安全設備、⑧運搬設備、⑨ずり出し設備、⑩荷役設備、⑪濁水処理設備、⑫吹付けプラント設備、⑬土捨て場設備、⑭仮設建物などが挙げられる。これらのうち、一般的なNATMタイヤ方式では、通常⑩～⑭は坑外に設置され、①～⑦が坑内設備となる。さらに、レール方式では⑧運搬設備が、ベルコン方式では⑨ずり出し設備が坑内設備に加わる。

一般的に仮設備は、工事の規模、期間および立地などの条件により、合理的、機能的かつ経済的に計画されなければならないが、このうち坑内設備は、とくにトンネル断面積の制約を受けることから、必要な能力と坑内作業空間を確保でき、なおかつ坑内の安全を十分確保できるように計画しなければならない。また坑内設備は、異常出水、有毒・可燃性ガス、酸欠空気、停電、漏電、坑内火災などの非常事態にも対応できるよう関係法規類に則った検討を加えておく必要がある。

最近注目すべき坑内設備としては、平成12年に策定された「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン(以下、ガイドライン)」以来、各現場での工夫が進んでいる換気設備や、情報化技術の進歩により目覚ましい発達を遂げている通信設備や掘削管理設備が挙げられる。

本稿では、長距離トンネルの換気設備と可燃性ガス対策を考慮した換気設備について事例で紹介し、次回には通信設備と掘削管理設備について紹介する。

換気設備は、送気方式、排気方式あるいはこれらの併用によって汚染空気を希釈する方式が一般的であった。しかしこれらの方式では、ガイドラインで設定された切羽から後方50mの位置での粉じん濃度目標レベル3mg/m³以下を達成することが、とくに吹付け作業時では難しい状況であり、そのため換気装置の大型化や大容

量集じん機の活用が図られている。大容量集じん機を組み込む換気方式は、集じん機によるエアカーテン効果によって後方への粉じん拡散を防止できることが利点であり、最近、この換気方式を適用する事例が増えている。また、粉じんを発生源の近くで効率的に捕集するために、局所集じんシステムや伸縮風管を利用する集じんシステムも開発されて採用され始めている。

このほか、吹付け作業時の粉じん発生抑制対策としては、①粉じん低減剤や液体急結剤などの吹付け材料の改良による対策、②エアレス吹付け、遠心力吹付けなどの吹付け方式の改良による対策などが研究され、これらの成果も現場に適用されつつある。

(文責：近藤啓二・鹿島建設(株))

2. 長距離トンネルの換気設備事例：
(北陸新幹線 峰山トンネル(東)工事)

2-1 工事概要

北陸新幹線峰山トンネルは、新潟県上越市名立区と隣接する能生町に位置する全長7,090mのトンネルであり、東工区はそのうちの起点側(上越方)の3,273mを施工する。

周辺地域の地質は、主に泥岩、砂質泥岩で事前のボーリング調査結果から可燃性ガス(メタン)の湧出が予想されたため、換気設備は湧出に対応できる設備計画とした。トンネル概要を表-1に示す。

表-1 トンネル概要

| 工事名 | 北陸新幹線峰山トンネル(東)工事 |
|------|--|
| 発注者 | 鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局 |
| 工事場所 | 新潟県上越市名立区地内 |
| 工期 | 平成14年10月1日～平成18年11月30日 |
| 延長 | 本坑：L=3,273m 横坑：L=170m(i=12%) |
| 掘削断面 | 80m ² 仕上がり断面 65.9m ² |
| 掘削工法 | NATM上半先進ショートベンチカット工法 |
| 掘削方式 | 機械掘削(タイヤ方式) |

2-2 換気設備選定の経緯

長距離トンネルにおける換気方式は、一般的に送・排気組み合わせ式が多く採用されている。当工区の換気設備計画は、可燃性ガス対策に有効な送気方式とし、電機集じん機との組み合わせによって坑内作業環境改善を図る集じん装置を併用した換気方式とした。現在、本坑2,800mを掘削中で、送風機は坑外ファンと中継ファン(本坑1,500m地点)の2台(ともに風量3,000m³/min)を設置している。また、電気集じん機は切羽から170m後方の多目的ガントリー台車とトラック搭載型の2台(ともに風量2,000m³/min)を導入して施工している。

2-3 切羽所要換気量の算出

切羽所要換気量は、作業者の呼気に対する所要換気量とディーゼル機関に対する所要換気量の和、作業者の呼気に対する所要換気量と吹付けコンクリートに対する所要換気量の和、および坑内風速(可燃性ガス発生条件あり)に対する所要換気量を算出、これら3つのうち最大値を選定する必要がある。また、ディーゼル機関に対する所要換気量の算定においては、工事途中の平成15年10月より排出ガスの基準値が第2次基準値に移行することが予測できたが、換気計画においては一部を除きセーフティプランとなる施工計画段階での基準値を採用した。また、道路運送車両法で規定する車両の規制値も考慮するなど、実施工段階で見直しが起こらないよう留意した。

表-2 各作業における使用機械1台あたりの所要換気量

| 工種 | 使用機械 | 排ガス基準 | 出力 | 実出力あたり換気量 | 負荷率 | 1台あたりの所要換気量 |
|-------------------|------------------------------|-------|------|--------------------------|------|-------------|
| | | | (kW) | (m ³ /min・kW) | | |
| | | | H | q | α | |
| 上半掘削 | ブームヘッダー電動 200kW級* | - | - | - | - | - |
| 上半ずり積み込み | ローディングショベル 1.8m ³ | 第2次 | 104 | 3.2 | 0.5 | 166 |
| 下半掘削 ずり積み込み | 油圧ブレーカ 1,300kg級 | 第1次 | 104 | 4.9 | 0.5 | 255 |
| | バックホウ 0.7m ³ 級 | 第1次 | 104 | 4.9 | 0.5 | 255 |
| ずり出し | 重ダンプ 25t | 第1次 | 172 | 4.9 | 0.25 | 211 |
| | 重ダンプ 30t | 第2次 | 212 | 3.2 | 0.25 | 170 |
| | ダンプトラック 10t | 第1次 | 246 | 4.9 | 0.2 | 241 |
| 支保工、吹付け コンクリート | 吹付け機 エレクタ付き | 第1次 | 104 | 4.9 | 0.5 | 255 |
| | トラックミキサー 4.5m ³ | 第1次 | 213 | 4.9 | 0.2 | 209 |
| | 資材用トラック 4t吊りクレーン付き | 第1次 | 127 | 4.9 | 0.2 | 124 |
| ロックボルト | ドリルジャンボ 2ブーム150kg級 | 第1次 | 104 | 4.9 | 0.5 | 255 |
| | 注入台車 | 第1次 | 89 | 4.9 | 0.2 | 87 |
| インバート掘削 | バックホウ 0.45m ³ 級 | 第1次 | 63 | 4.9 | 0.5 | 154 |
| | コンクリートポンプ | 平成9年 | 141 | 2.4 | 0.2 | 68 |
| 覆工コンクリート | トラックミキサー 4.5m ³ | 平成9年 | 213 | 2.4 | 0.2 | 102 |

*電動機駆動のため、排出ガスは発生しない。

(1) 作業者の呼気に対する所要換気量Q₁

$$Q_1 = 3(\text{m}^3/\text{min}) \times 20\text{人} = 60(\text{m}^3/\text{min})$$

(2) ディーゼル機関の排出ガスに対する所要換気量Q₂

ディーゼル機関による所要換気量Q₂を求めるにあたり、各作業における使用機械の種類、台数、排気ガス対策の種類を調べるとともに、工事進捗に伴う掘削延長に対する各作業の稼働台数の変化についても工程計画から求めた。各作業における使用機械1台あたりの所要換気量を表-2に示す。

また、上半作業時における重複作業については表-3に示す。この重複作業においてディーゼル機関の排出ガスがもっとも多くなる作業は、上半作業が「掘削」で、「下半ずり出し」、「インバート掘削」、「覆工コンクリート打設」が併行して行われているときである。重複作業における距離別の所要換気量を表-4に示す。この表からディーゼル機関の排出ガスによる所要換気量は、Q₂=1,728m³/minとなる。

表-3 上半との重複作業

| 重複作業 | 上半作業 | | |
|----------|------|------|-----------|
| | 掘削 | ずり出し | コンクリート吹付け |
| 下半掘削ずり出し | ● | | |
| インバート掘削 | ● | | ● |
| 覆工コンクリート | ● | ● | ● |

表-4 重複作業における距離別の所要換気量

| 機械名 | 所要換気量/台(m ³ /min) | 上半掘削(ショートベンチ・機械掘削) | | | | | |
|---------------------------|------------------------------|--------------------|--------|-----------------------|--------|--------|--------|
| | | 上半作業と重複作業 | | 下半掘削ずり出し・インバート掘削・覆工作业 | | | |
| | | 500m | 1,000m | 1,500m | 2,000m | 2,500m | 3,350m |
| ブームヘッダー | - | - | - | - | - | - | - |
| ローディングショベル | 166 | | | | | | |
| 油圧ブレーカ | 255 | (1)255 | (1)255 | (1)255 | (1)255 | (1)255 | (1)255 |
| バックホウ0.7m ³ | 255 | (1)255 | (1)255 | (1)255 | (1)255 | (1)255 | (1)255 |
| 重ダンプ25t | 211 | (2)422 | (2)422 | (2)422 | (1)211 | (1)211 | (1)211 |
| 重ダンプ30t | 170 | | (1)170 | (1)170 | (2)340 | (2)340 | (2)340 |
| ダンプトラック10t | 241 | (1)241 | (1)241 | (1)241 | (1)241 | (1)241 | (1)241 |
| バックホウ0.45m ³ | 154 | (1)154 | (1)154 | (1)154 | (1)154 | (1)154 | (1)154 |
| 吹付け機 | 255 | | | | | | |
| トラックミキサー4.5m ³ | 209 | | | | | | |
| 4t吊りクレーン付き | 124 | | | | | | |
| コンクリートポンプ | 68 | | (1)68 | (1)68 | (1)68 | (1)68 | (1)68 |
| トラックミキサー4.5m ³ | 102 | | (1)102 | (1)102 | (2)204 | (2)204 | (2)204 |
| 距離別最大所要換気量 | | 1,327 | 1,667 | 1,667 | 1,728 | 1,728 | 1,728 |

(カッコ内は使用台数、覆工は900m地点から施工)

(3) 吹付けコンクリート作業時の所要換気量Q₃

当現場では、高品質吹付けコンクリート(SEC)の採用により粉じん低減係数α=0.75として所要換気量Q₃を求めた。Q₃=F₀/G₀(F₀:推定粉じん発生量F₀=α・(90A_i), A_i:トンネル掘削断面80m², α:粉じん低減係数0.75, G₀:粉じん濃度管理目標3mg/m³以下)これより、所要換気量Q₃=1,800m³/minとなる。

(4) 坑内風速に対する所要換気量Q₄

坑内風速に対する所要換気量は、今回メタンガスの発生が予測されたため、メタンレアの消散が可能な風速(0.5m/sec)で算出した。

Q₄=A_i・V・60(A_i:トンネル断面積, V:トンネル風速0.5m/sec)

よって、所要換気量Q₄=2,400m³/minとなる。

(5) 切羽所要換気量のまとめ

以上の計算結果から、可燃性ガスがない通常の場合は、吹付けコンクリート作業時の所要換気量に作業員の呼気を加えた1,860m³/minとなるが、可燃性ガス対策により切羽所要換気量は2,400m³/minとなった。

2-4 換気ファンの選定

今回のようにとくにトンネル長が長い場合、風管長が長距離となるため、圧力損失が増大し換気ファンの能力

表-5 距離・風管径別の圧力損失(hf)・送風機軸動力(N)

| 風管径(mm) | 距離(風管長) | 所要換気量Q ₃ (m ³ /min) | | | | | |
|---------|---------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1,500m | 1,600m | 1,700m | 1,800m | 1,900m | 2,000m |
| φ1,700 | hf(kPa) | 4.2 | 4.5 | 4.8 | - | - | - |
| | N(kW) | 264 | 276 | 296 | - | - | - |
| φ1,800 | hf(kPa) | 3.1 | 3.4 | 3.6 | 3.9 | 4.1 | 4.4 |
| | N(kW) | 220 | 236 | 248 | 265 | 277 | 295 |
| φ1,900 | hf(kPa) | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 2.9 | 3.1 | 3.3 |
| | N(kW) | 114 | 124 | 135 | 145 | 157 | 168 |
| φ2,000 | hf(kPa) | 1.9 | 2.0 | 2.1 | 2.3 | 2.4 | 2.6 |
| | N(kW) | 160 | 164 | 172 | 183 | 194 | 202 |

を超える可能性がある。その結果、中継ファンを必要とする場合が多く、今回の施工においても中継ファンが必要となった。以下に換気設備の選定結果を記す。

表-5に記す結果から、本施工条件下における最適な風管径であるφ1,800mmを選定した。また、送気ファンは3,000m³/min(4.9kPa, 320kW)級が必要となった。選定した送気ファンの定格風量で再度圧力損失の計算を行った結果、送気ファン1台で風管長2,000mまで対応可能となることから、坑外・中継ファンともこの型式を選択した。中継ファンの設置は、坑外ファンの風管延長が約1,700mになった時点(本坑1,500m地点)で、坑外ファンから1,200m地点(本坑1,000m地点)に移動式中継ファン

を設置した。その後は掘削進捗に応じて、定期的に坑外ファンと中継ファンの風管長が同じ延長になるように中継ファンを移動している。

なお、計画時に選定した風管100mあたりの漏風率 $\beta = 0.010$ で計算した場合、今回の換気設備の配置においては、坑口ファンの風管出口風量を中継ファン吸込風量が上回るため、中継ファンが本坑を介し坑外へ排出される汚染空気を取り込み、汚染空気が切羽へ再流入することが予想された。そのため、中継ファンの設置を行う前(坑外ファンの風管延長が1,700m時点)、実際の漏風率を確認した。測定の結果、風管100mあたりの漏風率 $\beta = 0.0067$ 、圧力損失係数 $\lambda = 0.016$ と計画時よりも良好な結果で、心配された汚染空気が切羽へ再流入するという懸

表-6 送風機仕様および風管

| 送風機仕様(坑外, 中継とも) | |
|-----------------|---|
| 型 式 | MFA160P2-SC3-VPL(坑口) MFA160P2-SC3X-VPL(中継) |
| 風 量 | 3,000m ³ /min |
| 送風機全圧 | 4.9kPa(500mmAq) |
| 電 動 機 | 160kW-6P×2連 |
| 総 質 重量 | 16,800kg |
| 風 管 | 軟管ファスナー式φ1,800mm, L=10m |

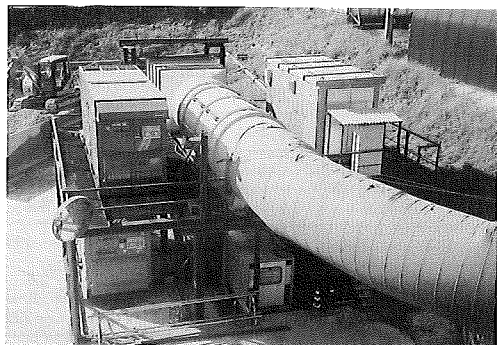


写真-1 坑外ファン(風量3,000m³/min)

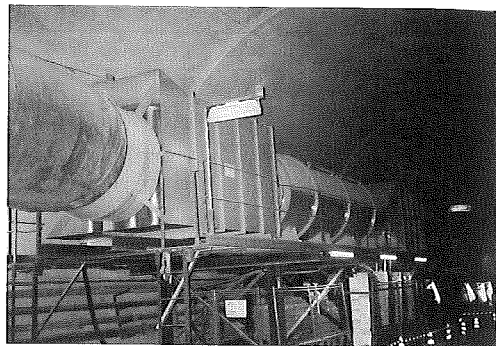


写真-2 坑内ファン(風量3,000m³/min)

念も解消された(工区境まで掘削した時点では、坑外ファンと中継ファンの離隔距離は1,700mとなり、中継ファンの風管長も1,700mとなる)。

現在は、風管延伸に応じて風量調節を行い、風管内風速測定から漏風率の確認をしながら施工している。

表-6に送風機仕様および風管を、写真-1に坑外送風機、写真-2に中継送風機設置状況を示す。

2-5 集じん機の設定

集じん機の設定は、長距離トンネルで長期使用となることから、消費電力の少ない電気集じん機を採用した。

集じん機設置時期は、“切羽から50mの位置で粉じん濃度3mg/m³以下”という管理目標の達成が困難と予想される地点からとし、当現場は、本坑800m地点からの使用となった。

電気集じん機の容量 Q_d は、切羽所要換気量 Q_a が2,400m³/minであるため、エアーカーテン効果係数 $K=1.2$ 、電気集じん効率 $\eta_D=0.85$ とすると、 $Q_d=K \cdot Q_a \cdot (1/\eta_D)$ から3,400m³/min以上となる。よって、集じん機は処理風量として1台あたり2,000m³/minの機種を選定、合計2台設置し、総処理風量4,000m³/minの集じん設備とした。なお、1台は多目的ガントリー台車に搭載することでトンネル天端付近の集じん、もう1台はトラック搭載型でトンネル下部の集じんを目的として配置した。

この設備配置により、粉じん濃度測定結果から集じん

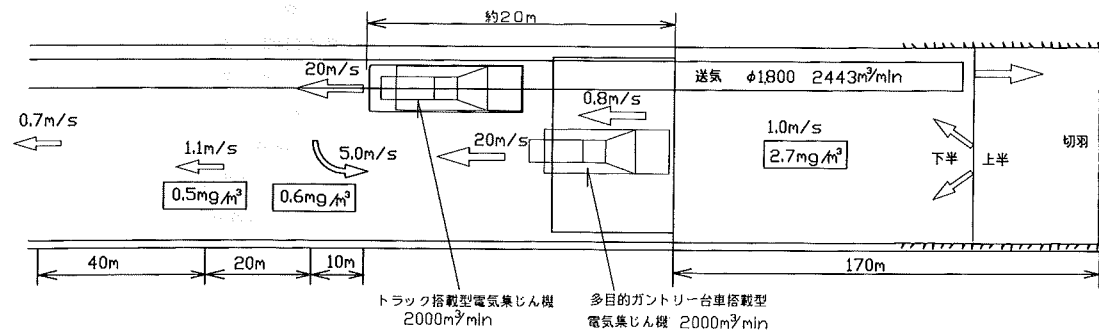


図-1 切羽付近の坑内環境測定図

表-7 電気集じん機仕様

| 電気集じん機(FY-20TKE)仕様 | |
|--------------------|--------------------------|
| 集じん方式 | 2段式電機集じん(乾式) |
| 風 量 | 2,000m ³ /min |
| 集じん効率 | 90% |
| 送風機出力 | 37kW |
| 消費電力 | 42kW |
| 総 質 量 | 約6,000kg |

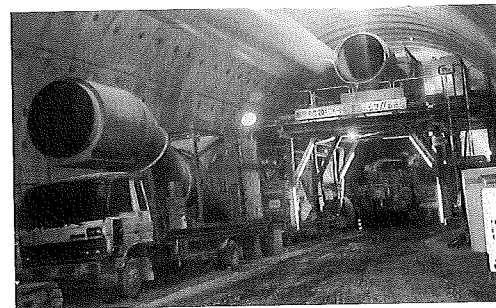


写真-3 坑内電気集じん機設置状況(2,000m³/min×2台)

前の2.7mg/m³が、電気集じん機による集じん後は0.6mg/m³となり、除じん効率は約80%を得ている。図-1に坑内環境測定図を示す。

また、メタンガス発生時の安全対策として、ガス濃度計が、10%LEL以上になると自動停止する制御とした。表-7に電気集じん機仕様を、写真-3に設置状況を示す。

2-6 その他の補助対策

上記の設備に加え、坑内作業環境維持として、走行路の散水と、切羽、インバートおよび覆工箇所ミスト散布を行っている。また、メタンガス保安対策としては、100mごとの調査ボーリング孔を利用して孔内を負圧にすることで、地山のガスを強制的に坑外へ排気する設備と、メタンガスの停滞しやすい、切羽、覆工箇所に局所ファンを設置している。

なお、停電時における送風機の非常用電源として、自動運転制御付発電機を設置している。

2-7 おわりに

当現場は可燃性ガス対策により、他の同等断面トンネル工事に比べ、約1.3倍程度の換気量で施工している。そのため、坑内環境が他の同等断面トンネル工事に比べて良好である。長距離トンネルの換気設備の計画においては、計算で得られる所要換気量以外に夏季の坑内温度上昇、切羽後方の作業環境、使用ディーゼル機関の増加などといった、施工計画時には予測が困難な事態に対応できる裕度をもった換気設備を選択しておくことも必要であると考えている。

(文責：熊澤伸康・(株)奥村組)

3. 可燃性ガス対策を考慮した換気システム事例：
(北陸新幹線 飯山トンネル富倉工区)

3-1 工事概要

飯山トンネルは、北陸新幹線(長野～上越間)の長野・新潟県に計画された、延長約22.2kmの長大トンネルである。このトンネルの東北30km付近には、建設当時において大きな膨張性土圧と、高圧可燃性ガスが発生し、施工が難航したことで知られている、ほくほく線鍋立山トンネルが位置している。

富倉工区(アプローチトンネル765m, 本坑4,504m)は、長野側から2工区目にあたり、既に本坑4,300mの掘削を完了しているが、切羽において原油の湧出と、最大1.1MPaにも及ぶ高圧可燃性ガスを観察しており、ガス対策を考慮した換気方式を採用している(表-8)。

3-2 当工事の地質概要

路線周辺は、北部フォッサマグナと呼ばれる地帯に位置しており、褶曲構造が発達し、その結果、地質構造の変形が顕著である。

新潟沿岸～東頸丘陵地帯の新第三紀中新世～鮮新世堆積岩類には、しばしば石油、天然ガスが胚胎していることで知られるが、富倉工区においても、石油、天然ガスの湧出が確認されている。また、この時代の泥岩、凝灰岩類中には、一般的に膨潤性粘土鉱物(モンモリロナイト)が多量に含有されている。

3-3 換気方式および設備の概要

換気方式は、送気方式、排気方式、送・排気方式、坑道式に代表されるが、掘削中は送気方式(直列式)を採用し、隣接工区との貫通後は坑道式を採用した。

送気方式は、トンネル全体に必要な換気容量のコントラファンを坑外に設置し、風管の吹き出し口を切羽近くに設けることにより、切羽における可燃性ガスの突出に対処するものである。希釈された汚染空気はトンネルを通して排出するため、切羽後方の坑内環境が悪く

表-8 施工概要

| | |
|---------|--|
| 工 事 名 | 北幹、飯山T富倉他工事 |
| 発 注 者 | 鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局 |
| 工 事 場 所 | 長野県飯山市大字富倉字下川 |
| 工 期 | 平成10年6月30日～平成19年12月31日 |
| 施工延長・断面 | 斜路 L=765m 32m ² 本坑 L=4,504m 80m ² |
| 掘 削 工 法 | 補助ベンチ付き全断面機械掘削工法 |
| ずり出し方式 | タイヤ方式+コンベヤ方式 |
| 換 気 方 法 | 掘削中：送気方式(直列方式) 貫通後：坑道換気方式 |

なる場合があるが、切羽近傍に大型集塵機を設置することで、この問題を解決している(図-2)。

同換気方式は、トンネルの進捗に応じてファンを増設していくため、長大トンネルにおいても、送気容量が低下しない。

隣接工区とのトンネル貫通後は、工区境にコントラファ

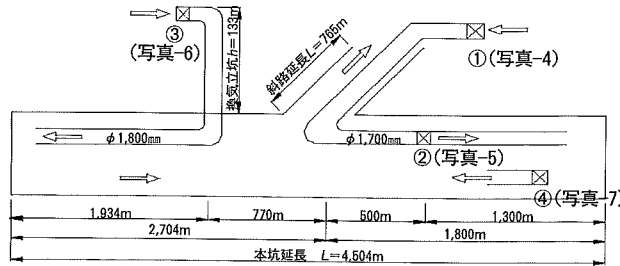


図-2 換気概要(貫通前)

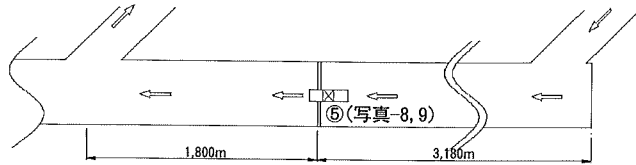


図-3 換気概要(貫通後)

| No. | 名称 | 性能 | 仕様 |
|-----|-------|---------------------------------|-------------------------|
| ① | 換気ファン | 4,000m ³ /min 5.4kPa | 110kW×2連×2台 風管φ1,700 |
| ② | 換気ファン | 3,000m ³ /min 3.4kPa | 150kW×2連(防爆型) 風管φ1,700 |
| ③ | 換気ファン | 3,000m ³ /min 5.3kPa | 160kW+150kW×2連 風管φ1,800 |
| ④ | 集塵機 | 3,000m ³ /min | 150kW |
| ⑤ | 換気ファン | 2,400m ³ /min 0.2kPa | 75kW(防爆型) |

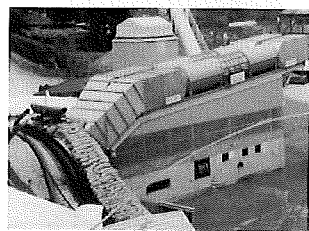


写真-4 坑口4,000m³①

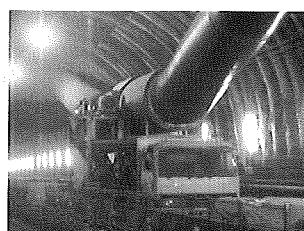


写真-5 坑内中継3,000m³②

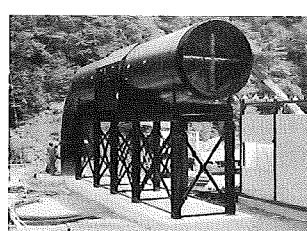


写真-6 立坑3,000m³③



写真-7 集塵機3,000m³④

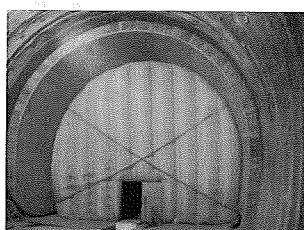


写真-8 工区境風門⑤

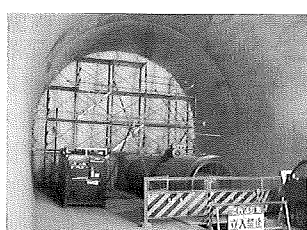


写真-9 工区境2,400m³⑥

ンを設置し、両工区の斜路坑口を吸・排気口として利用する坑道換気方式に切替えて、効率の良い換気システムを採用した(図-3)。

3-4 ボーリングによるガス抜きの実施

当工区では掘削中に鏡が押し出されるほどのガス圧を切羽前方に観察したため、切羽の進捗に合わせて、100m程度の調査ボーリングで、定期的にガス抜きを実施した。調査ボーリングにおいて確認されたガス圧は、最大1.1MPaを記録している。

同ガスはメタンを主成分とする可燃性ガスであり、このような突発性のガスには局所ファンやエアムーバーを設置することにより、メタンレアの形成を防止した。なお、ボーリングマシンは、原則として防爆型とした(写真-10, 11)。

3-5 可燃性ガスの希釈排出

坑内の空気が静止している状態では、メタンガスは分子拡散によりゆっくりと空気と混合し、浮力によって天井に沿って移動する。トンネル坑内風速を1.0m/s以上にすれば、メタンレアを形成しなくなるため、メタンガスが定期的に湧出している場合はトンネル坑内風速を1.0m/sに近づけることが望ましい。

当工区では、風管を切羽にできる限り近づけることにより、乱流が発生し、可燃性ガスの突出が懸念される切羽周辺では風速1.0m/s以上を確保している。

また、坑内風速は、停滞する可燃性ガスを排除するのに必要とされる0.5m/sを確保する設備とした(切羽先端の風管

において2,400m³/minを確保)。

斜路765mおよび本坑1,250mまでの掘削時は、坑口の4,000m³/min(写真-4)ファンにて、換気容量を確保し、それ以降は坑内に3,000m³のブースターファン(写真-5)を設置することにより、坑内風速0.5m/sを確保している。なお、いずれのファンもインバータ制御により、掘削延長に応じた効率的な稼働が可能である。また、坑内設置のブースターファンは火源対策の観点から防爆仕様

とした。

3-6 坑内の火源対策

原則として、坑内への火気の手持ちは禁止しているが、やむを得ずガス溶断、溶接などの火気取り扱い作業の必要が生じた場合は、事前に作業箇所のガス濃度を計測するとともに、作業中も継続してガス濃度を計測しながら、局所ファンおよびエアムーバーで対応した。

また、坑内の火源対策としては、電気設備、機械設備の防爆化があるが、すべての坑内設備を防爆化するには、技術的課題が多く、現実的ではない。このため、坑内設備の防爆化は、坑内設置のブースターファンおよび検知警報設備と、突発性ガスに遭遇する危険性が高くなるボーリングマシンについて実施した。

なお、換気設備は無停電対応とするため、予備電源設備を併設しているが、同設備においても火源対策の一環として、坑外設置を原則とした。

3-7 ガス検知警報設備

掘削中の切羽や、その他作業箇所にガス測定員を常時配置するとともに、定置式の可燃性ガス検知警報装置を設

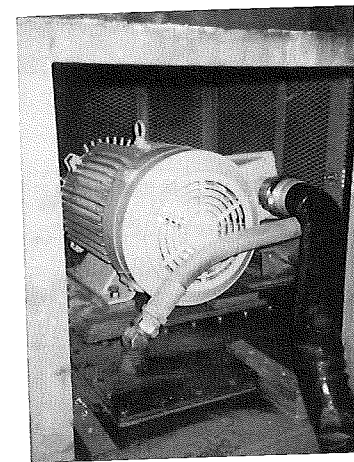


写真-10 防爆モーター

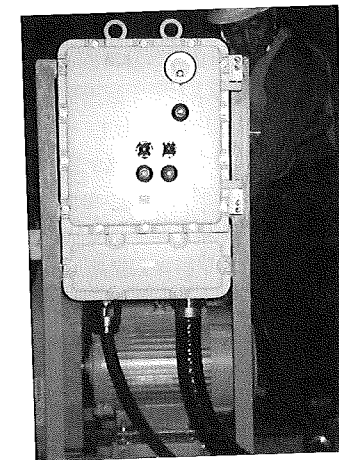


写真-11 防爆スイッチ

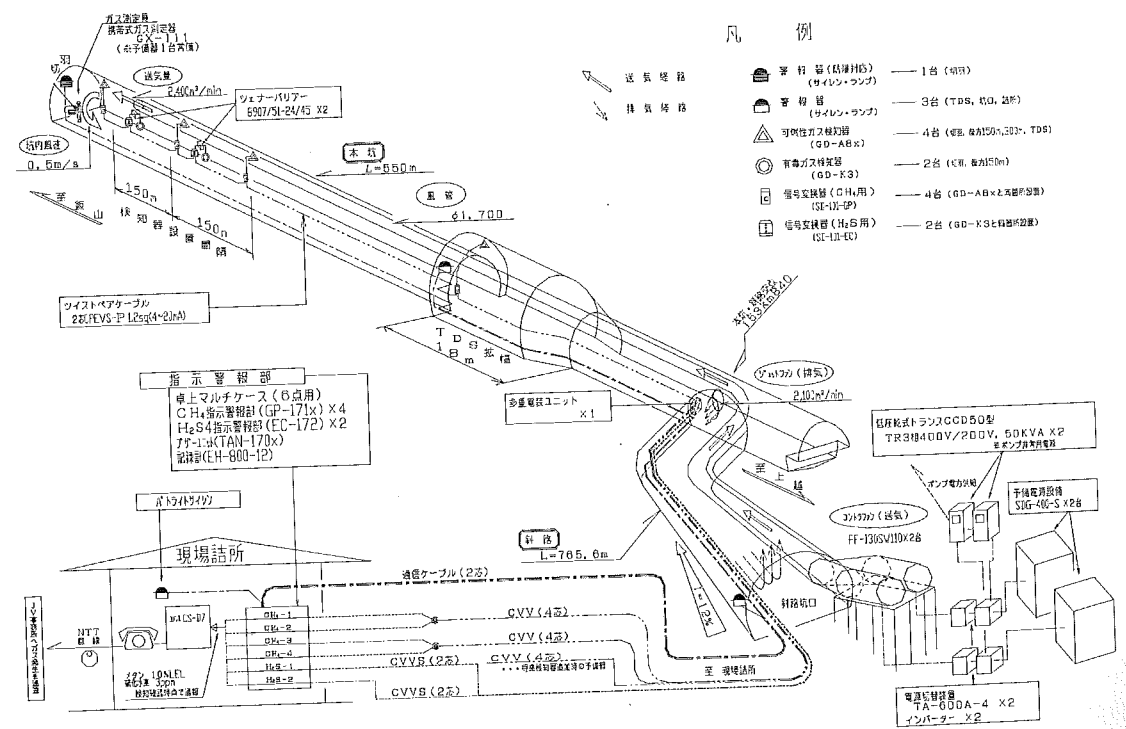
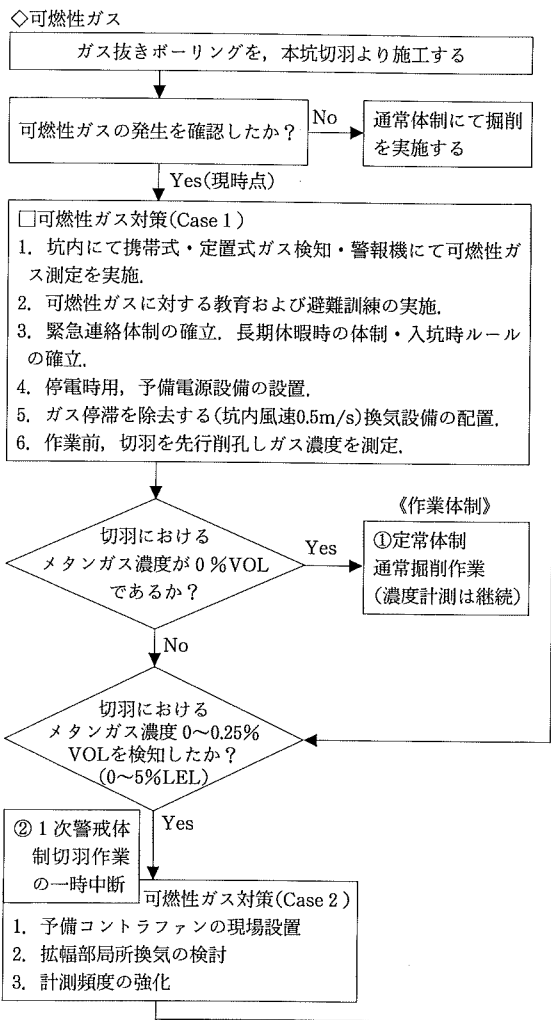


図-4 ガス検知システム概要図

置した。
坑内の定点(切羽から150m間隔および、ガス停滞が予想される箇所)にセンサーを配置し、坑外の集中監視装置で測定、自動記録を実施するものである(図-4参照)なお、センサー、警報装置は防爆構造としている。また、ガス濃度に異常を観測した場合は、電話回線を使用して、企業体事務所に自動的に通報されるシステムとしている。

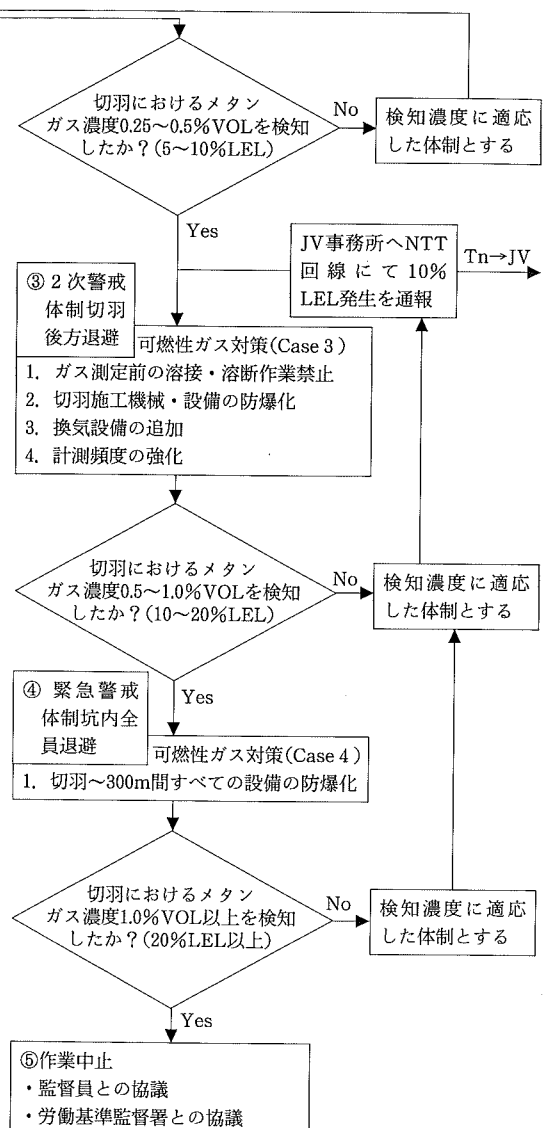
3-8 段階別作業基準
ガス測定員および、定置式警報検知システムにより規定濃度を超えた可燃性ガスを測定した場合は、作業規制



フローに準じて退避、対策などを実施することとした(図-5)。

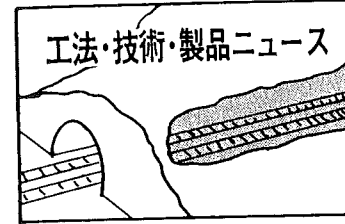
可燃性ガスに対して完全に安全な設備を計画設置することは、コスト的にも技術的にも非常に困難であるが、各種設備、計測頻度、有事のフローなどを総合的に組み合わせ、計画・実施する必要がある。

当工事では、掘削を開始して7年を経過するが、現在に至るまで良好な換気状況を確保している。(文責:杉本憲一・熊谷・日本国土・大本特定建設企業体飯山トンネル作業所)



注)法規則では1.5%VOL以上作業中止

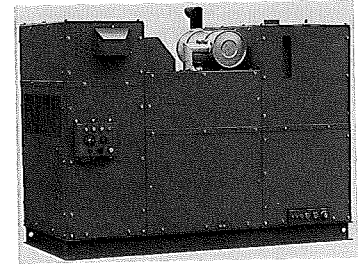
図-5 作業規制フロー



油圧パワーユニット

日立建機は、クローラドリルや定置式クラッシャなどの専用動力源として多くの利用が期待される、HU230油圧パワーユニットの販売を開始した。

従来は、特注品として応えてきたが、汎用品としてのニーズが高く、コンパクト化をさらに図って商品化したものである。特徴として、①エンジンと油圧パワーラインをコンパクトにユニット化、②低騒音・排出ガス対策クリーンエンジン搭載、③用途に応じて2タイプから選択可能、④大きなポンプ吐出流量、などである。



注入不要型機械式鉄筋継手

鈴木基行・東北大学大学院工学研究科教授と飛鳥建設は、従来の機械式鉄筋継手において必要とされるグラウト注入作業を省略する「注入不要型機械式鉄筋継手」を開発し、引張試験にて、土木学会基準の“静的耐力性能A級・高応力くり返し耐力性能あり”の性能を有することを確認した。

本継手は、あらかじめ特殊な薬剤を内面に塗布した継手カプラーと鉄筋との空隙に、コンクリート締め固

め時のバイブレータの振動によってモルタル分を自然流入させて薬剤と反応させて強化し、所定の継手耐力性能を發揮させるもの。従来型と比べて、技量や天候に左右されず、工期短縮、グラウト注入容器などの産業廃棄物が減少できる。

複合円形シールド完成

鹿島は、円形を上下に押しつぶしたような形状の複合円形トンネルの構築を実現する「EX-MAC(イー・マック)工法」を開発した。

円形で掘削するのに比べ掘削断面積を小さくでき、完成後に使わない無駄な掘削空間を極小化できる。東京地下鉄発注の13号線神宮前工区土木工事に適用する。シールドは、全長9.95m、横幅9.96m、高さ8.66mの泥土圧シールドで、円形で掘削すると、掘削断面積が73.90㎡になるが、複合円形では67.30㎡で施工でき、掘削残土量の軽減につながる。

回収型の泥土加圧掘進機

大豊建設は、日立建機と共同でカットヘッドと駆動部分を丸ごと管内から回収できる泥土加圧掘進機を開発した。

回収した掘進機のカットヘッドは、縮小・拡大が自在なので、異なる管径の掘削機に転用できる。掘削外径1.3~5m程度まで適用できる。回収作業は到達立坑側から手を加えることなく、掘進機内部からの操作で行える。そのため、直接工事費を10%程度削減でき、到達立坑を小規模にできるためのコスト削減にもつながる。

耐火層一体型セグメント

大林組は、石川島建材工業と共同で耐火層一体型の「ファイアガードセグメント」を開発した。

同セグメントは、内側に火災被害から本体構造を守るため、厚さ50mmの爆裂抑制層を設けている。爆裂抑制層には、径13mmの鉄筋を格子状に配し、鋼繊維を混入したコンクリートを型枠に流し込んでセグメントの本体部分と一体成形する。これにより、トンネルの耐火被覆工程を省略でき、耐火にかかるコストを10~15%縮減、被覆に要する3~7か月の工程を省略できるようになる。また、被覆板の設置などにより、目視でのセグメントの健全性の確認が行えるようになり、維持管理も容易になる。

コンパクトシールド急曲線部セグメントの共同研究開発

東京都下水道局は、下水道管渠の建設に用いる「二次覆工一体型シールド(コンパクトシールド)工法」の急曲線部のセグメントの開発の共同研究者に新日鉄グループと石川島建材工業グループの2者を選定した。

すでに、直線部の開発はほぼ完了しており、トンネル荷重に耐えられる安価な急曲線部用のセグメントの開発を目指す。研究期間は本年度末までで、来年度に実用試験を実施する予定。

粉じん捕集工法

飛鳥建設とサコスは、解体作業における粉じん捕集工法(DABW(ダブ))を開発し、市場展開する。

同工法は、水で希釈したDABW溶液(起泡力が強い少量でよく、細かい気泡ができ、消泡性が高く、生分解性が高いので環境へ残留しにくい)を粉じん発生箇所へ放水して“泡”で捕集するもの。特長として、①使用水量が少ない、②微細な粉じんを捕集できる、③油類の付着にも対応、④低発泡倍率の気泡のため、視界が保てる、⑤粉じん発生箇所で生成し、かつ低発泡倍率であるため、周辺に飛散しない。



(社) 日本トンネル技術協会
研究開発委員会

シドニーの地下掘削工事/Sydney undermined

Tunnelling & Trenchless Construction, August, 2004

「トンネルと地下」で文献抄訳してきた雑誌“World Tunnelling”はこの6月から“*No-Dig International*”という小口径管路の非開削設置を扱う雑誌と合体し、“*Tunnelling & Trenchless Construction*”という新たな名称になった。それに伴い、掲載記事も従来より幅広く地下工事を紹介するものとなっている。雑誌の合体後の最初のトピックスとしてオーストラリアのシドニーのプロジェクトを紹介している。

オーストラリアのシドニーでは、現在、Epping Chatswood 間鉄道トンネルおよび Cross City tunnel と Lane Cove tunnel の道路トンネルの3か所のトンネルプロジェクトが遂行中である(図-1、トンネル配置図参照)。

シドニーのトンネルの主な掘削対象土は三畳紀の Hawkesbury Sandstone で、その一軸圧縮強度は15~90MPa 程度である。トンネルが長距離であればTBMが最適な工法となるが、最近の技術開発により、ロードヘッダーも適用が十分に可能で、実際に多くのプロジェクトで使用されている。

(1) Epping Chatswood 間鉄道トンネル

シドニー湾北岸の延長13kmの Chatswood から Epping まで、直径7.2mの2本のトンネルと、Macquarie University, Macquarie Park,

Delhi Road, Epping の4駅を新設するプロジェクトで、工事全体の約半分の進捗である。

掘削はTBM (Robbins)が主体であるが、3台のロードヘッダー (Alpine Tunnel Miner 105 roadheader)を補助的に使用している。ロードヘッダーはHawkesbury 砂岩の掘削に最適で、過去15か月で24万 m^3 、最近1週間で4,500 m^3 の掘削を行い、工費の縮減に大きく貢献している。

(2) Cross City tunnel

King's Cross から Darling Harbour までの延長2.1km、片側2車線(幅8.6m、高さ7.6m)の2本の道路トンネルである。同じ延長の換気トンネル(5m×5m)を併設し、プロジェクトは完成間近である。

掘削は8台のロードヘッダーで行われ、6台(三井三池5300A)はトンネル切羽で全断面の掘削に、2台(Alpine105と三井三池5200MA)は連絡坑の掘削に使用された。本坑の進行は片側6m/日で計画されていた。

このトンネルは100年耐久を目指して、BBロックボルトと呼ばれる特殊なボルトを Tamrock Robolter 520-30 PCs で打設している。このBBロックボルトの詳細な記述はないが、このトンネルに交差する東バイパス道路 (Eastern Distributor) で開発されたエポキシ樹脂を被覆した特殊なボルトの流れをくむものと思われる。このボルトは、吹付けコンクリートとの一体化を図るためのスパイダー状の治具とセメントグラウトを確実に行うためのスペーサーおよび2本の充填用チューブを特徴とする。

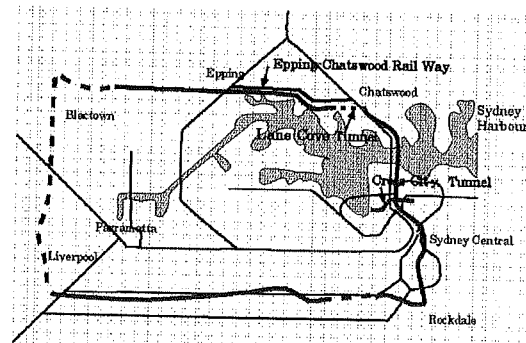


図-1 シドニーで施工中のトンネルの配置図

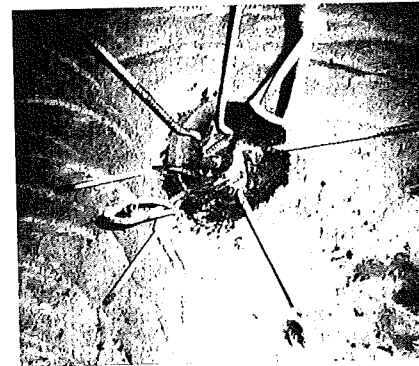


写真-1 ロックボルト頭部の構造
(Eastern Distributor)

このトンネルは9万台/日の交通量をトンネル内に封じ込めることで、シドニー中心部の空気の浄化にも寄与するとのことである。

(3) Lane Cove tunnel

シドニーの環状道路のM2自動車道と東バイパス道路 (Eastern Distributor) を結ぶ、延長3.6kmの4車線(片側2車線)道路トンネルで、工事は着手したばかりである。

掘削は7台のロードヘッダーで行われ、5台のAlpine 105と2台の三井三池製ロードヘッダーが配置される。このうち、3台のAlpine 105は

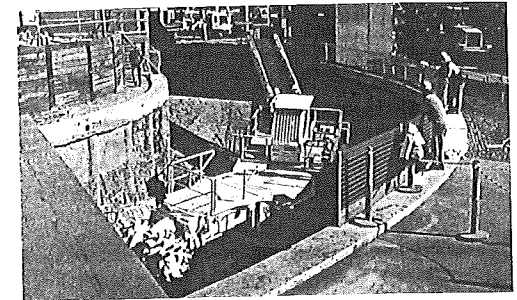


写真-2 Alpine 105によるアクセス掘削

Sandvik 社の ICUTROC システムを搭載した最新鋭の Alpine 105 IC で、この機械は高強度化されたカッタチップとカッタの最適な配置で硬岩への適用性が大幅に向上している。硬岩には従来の同機種の2倍以上の掘削能力を発揮するとのことである。Epping Chatswood 間鉄道トンネルでのビットの磨耗は、従来の0.100 picks/ m^3 から0.038 picks/ m^3 に軽減されたとのことである。

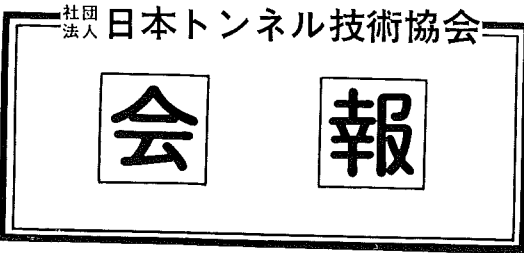
このトンネルの掘削時の支保はロックボルトが、永久支保は鋼繊維補強の吹付けコンクリートが予定されている。

(文責：香川和夫・(株)フジタ)

研究論文募集のお知らせ

弊誌「トンネルと地下」では、研究論文(実験、技術開発など)を募集いたします。大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい。とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので、平易・簡潔にまとめていただくようご配慮のほどお願い致します。なお、応募方法の詳細につきましては29頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ、ご応募下さい。

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



1. 会員の現状

| | 5月25日現在 | 6月25日現在 |
|------|---------|---------|
| 正会員 | 2,054名 | 2,054名 |
| 団体会員 | 359名 | 359名 |
| 個人会員 | 1,695名 | 1,695名 |
| 名誉会員 | 1名 | 1名 |
| 計 | 2,055名 | 2,055名 |

2. 委員会の開催状況(6月1日~30日)

①調査研究関係委員会

◎施工技術委員会

ITA長大トンネル対応分科会：6/3(下河内稔委員ほか3名)作業部会報告

都市トンネル小委員会幹事会：6/6(服部公一幹事ほか7名)調査項目を検討

◎研究開発委員会：6/14(大久保誠介委員長ほか17名)海外文献抄訳を検討

トンネル技術白書小委員会編集校正WG：6/1(松尾勉幹事ほか13名)方針を検討

同 打合せ会：6/20(岩田充功幹事ほか5名)第1章を検討

同 同：6/20(堀川淳幹事ほか3名)第4章原稿査読

同 同：6/20(楠本太幹事ほか2名)第1章原稿査読

同 総括WG：6/27(小野田滋主査ほか8名)原稿を検討

同 打合せ会：6/30(岩田充功幹事ほか5名)

全体構成を検討

同 編集WG：6/30(松尾勉幹事ほか12名)査読結果を検討

◎東北新幹線技術委員会：6/3,4(足立紀尚委員長ほか31名)現地視察

同 同：6/10(足立紀尚委員長ほか36名)事故状況を検討

同 機械化WG：6/3(田村武幹事ほか14名)計測結果を検討

◎小田急立体化特別委員会：6/22(小山幸則委員長ほか33名)地盤・地下水を検討

計 14回開催 203名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

同 受託業務検討WG：6/17(藤原基文主査ほか6名)ケーススタディを検討

同 委員会改革WG打合せ会：6/17(黒原一郎主査ほか10名)方針を検討

◎国際委員会(企画調整幹事会打合せ会)：6/14(岡米男委員長ほか8名)COB対策

国内広報WG：6/28(光木香幹事ほか8名)海外文献の査読

◎事業委員会：6/8(桑原彌介委員長ほか14名)催物事業を検討

同 打合せ会：6/3(光木香幹事ほか2名)発表会課題を検討

同 打合せ会：6/6(中島誠三委員ほか3名)講演会課題を検討

◎会誌委員会：6/1(大島洋志委員長ほか14名)7月号の会誌と3か月計画を検討

計 8回開催 73名出席

合計 22回開催 276名出席

3. 国際会議の開催予定

| 会議名 | 開催日 | 場所 | 主催等 | 備考 |
|--|--------------------|--------------------|--|--|
| 国際シンポジウム —世界最大のトンネル市場— 中国 | 2005. 9. 7~9 | 上海 (中国) | Tunnel and Underground Works Branch, China Civil Engineering Society, Intex Shanghai Co. Ltd. 中国土木学会トンネルおよび地下建設分科会 | http://www.tunnel-china.com |
| 第54回地盤力学会議 | 2005. 10. 13~14 | ザルツブルグ (オーストリア) | Austrian Society for Geomechanics オーストリア地盤力学協会 | http://www.oegg.at |
| 国際会議 「長大トンネルのデザイン, 建設, 管理・雪山トンネル開通記念」 | 2005. 11. 7~10 | 台北 (台湾) | Chinese Taipei Tunneling Association 台湾トンネル技術協会 | http://www.longtunnel2005.taneeb.gov.tw |
| 国際会議 トンネル—新しい方向, 新しいチャンス | 2005. 11. 28~12. 1 | ライプツィヒ (ドイツ) | STUVA e.V. 地下輸送施設の研究 | http://www.stuva.de |
| 国際会議と展示会 21世紀におけるトンネルと非開削技術 | 2006. 3. 7~9 | セランゴール (マレーシア) | The Institution of Engineers, Malaysia Tunnel and Underground Space Technical Division, IEM マレーシア工学会 トンネル及び地下空間部会 | http://www.iem.org.my/ |
| 第32回ITA総会およびコンGRESS 「地下空間の安全」 | 2006. 4. 22~27 | ソウル (韓国) | Korean Tunneling Association 韓国トンネル協会 国際トンネル協会 | http://www.ita2006.com |
| 第10回吹付けコンクリート国際会議 | 2006. 9. 12~16 | ウィスラー (カナダ) | Engineering Conferences International 国際技師会議事務局 | http://www.engconfintl.org/6ad.org Call for papers |

*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。社団法人日本トンネル技術協会 TEL:03-3553-6174

4. 平成17年度催物開催現況

| 催物名 | 開催日 | 人数 | 場所 |
|---------------------------------|------------------|-----|----------------|
| (見学会) | | | |
| イスタンブール国際トンネル会議技術調査 | 2005. 5. 7~18 | 26 | トルコ, スイス, フランス |
| 神戸市地下鉄現場研修会 | 2005. 7. 8 | 30 | 兵庫県 |
| 京都市地下鉄現場研修会 | 2005. 7. 22 | 30 | 京都府 |
| 大強度陽子加速器施設現場研修会 | 2005. 8 | 30 | 茨城県 |
| 北陸新幹線現場研修会 | 2005. 9 | 30 | 新潟県 |
| 北海道地区道路トンネル現場研修会 | 2005. 10 | 30 | 北海道 |
| 九州新幹線現場研修会 | 2005. 11 | 30 | 佐賀県 |
| (発表会) | | | |
| 第56回(山岳)「特殊環境下におけるトンネル工事」 | 2005. 12. 12 | 200 | 東京都 |
| 第57回(都市)「都市トンネルにおけるリニューアルと補強工事」 | 2005. 12. 13 | 200 | 東京都 |
| (講演, 講習会) | | | |
| 第8回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門) | 2005. 6. 23, 24 | 32 | 富山県 |
| 第7回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門) | 2005. 10. 26, 27 | 40 | 東京都 |
| トンネル技術特別講演会 | 2006. 2 | 300 | 東京都 |

9月号予告[9月1日発売予定]

日本トンネル技術協会設立30周年記念号

- 記念講演 社会資本整備の方向と技術力の継承
- 社団法人日本トンネル技術協会30年の歩み
- 一般国道230号 虹田町 青葉トンネル
- 地下鉄13号線新宿工区における丸ノ内線下受け工
- 東京電力 川崎火力発電所電気洞道
- 【連載講座】
- 山岳トンネルにおける工事用機械の選定(23)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆2か月前のことですが「トンネルと地下」が関西テレビで紹介されました。平日の2:05~3:30の生放送番組で『2時ワクッ!』という番組でした。関西より西でしか放送されておらず、また、日中の番組であったので、当誌の読者はほとんどご覧になっていないのではないかと思いますのでその時の内容を紹介します。

◆『2時ワクッ!』の中の「黒田義塾」というコーナーで当誌は紹介されました。「黒田義塾」というコーナーは吉本興業所属のメッセンジャー黒田さんがコーナーの司会を務め、主に視聴者から寄せられた日常生活の中でちょっと気になること、不思議に思うことを楽しくわかりやすくパネラーの皆さんと紹介する人気のコーナーです。当日は「マニアの雑誌の見出しチェック」ということで、パネラーはメイン司会の山本浩之アナウンサーをはじめ室井佑月さんやちはるさんなど7名でした。「トンネルと地下」のほかには、「月刊むし」、「ダンスファン」、「現代農業」の3誌が紹介されました。

◆『月刊〇〇と〇〇』さあ、雑誌のタイトルは何でしょう。』という司会の黒田さんのコメントで当誌の紹介がスタートしました。パネラーからは「花と蝶」、「海と山」、「なべとやかん」、変わったところでは「おすぎとピーコ」などコメントがありました結局あたりませんでした。そのあとの雑誌に対するコメントでは「定価1,575円って高い」、「すごい細かい図」などがあり、ちはるさんから「ちゃんと研究してくれているのはいいことだね」というものもありました。このコメントは少しうれしかったですね。派手な雑誌ではありませんが今後もトンネルの技術の情報発信の場としてがんばりたいと思いました。放送時間はわずか1分30秒程度でしたがなかなか好感の持てる番組でした。

(LY)

★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36巻 第8号 (通巻420号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成17年7月20日 印刷

平成17年8月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 小森 博

〒104-0041 東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)

TEL: 03-3553-6174

FAX: 03-3553-6145

http://www.soc.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)

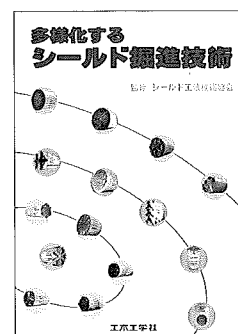
および転載することは、著作権上での例外を除き、禁じられております。本誌から複写または転載を希望される方は、小社(03-3267-2888)までご連絡ください。

8月発行予定

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 140頁程度 本体価格2,500円(予価)



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。

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

問い合わせ先

(株)土木工学社 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888 FAX: 03-3267-2807

【好評発売中】

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章

B5判 約280頁 本体価格4,660円 送料 340円

【推薦の言葉】

東京都技監兼下水道局長・工学博士 村田 恒雄

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

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

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

目 次

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



株式会社 **土木工学社**

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

きりりと線

《ご注文票》

シールドトンネルの新技术 _____ 冊 申込みます。

所在地 〒 ()

事業所名

部 課 名

申込者名



【好評発売中】

セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 税込 2,100円 送料 290円

いわゆるバブルがはじけたここ数年、コスト削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、シールド工事費の削減のためにはセグメントの製造コストの削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、「セグメントの新技术」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「セグメントの新技术」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。

〈セグメントの新技术〉

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

きりりと線

《ご注文票》

セグメントの新技术 _____ 冊 申込みます。

所在地 〒 ()

事業所名

部 課 名

申込者名



TAIKU



CL301E型 カッタローダ

強力な掘削

最大掘削高さ6.6m

特長

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

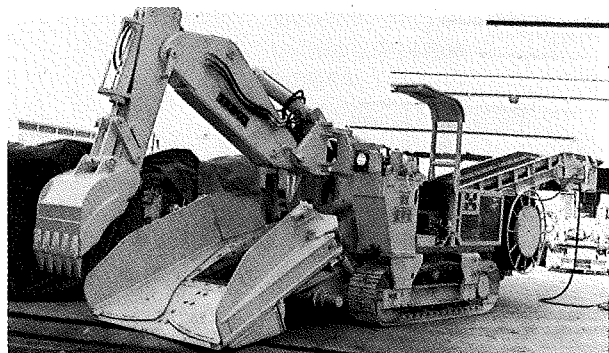
トンネル掘進機の本命・カッタローダ

山岳土木の豊富な実績を基に、なお開発に挑戦します。

RL型タフローダ

油圧式ズリ積機

アタッチメントとして
カッタヘッド
油圧ブレーカ搭載可能



RL10

| 型式 | RL16 | RL10 | RL5-1 |
|-----------|--------|--------|-------|
| 適用ズリ取断面 | 10~32㎡ | 7~30㎡ | 4~14㎡ |
| 油圧パワーバック | 53kW | 45kW | 31kW |
| ベルトコンベア能力 | 150㎡/H | 150㎡/H | 70㎡/H |
| 質量 | 16.5トン | 12.6トン | 9.2トン |

製造・販売・レンタル 株式会社 **タイクウ**

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

新発売

コンパクトで大出力
坑内タンクの革命児!!

Kawasaki

KUT300

輸送重量27t・3軸4輪駆動



コンパクト

大出力

クリーン

安全

- クラス最小の車体寸法
・全長7940mm
- クラス最大のエンジン出力
・212kW/2300min⁻¹
- 万全の環境対応
・第2次排ガス基準クリア
・セラミック製黒煙浄化装置
(オプション)
- クラス最小の回転半径
・5.850mm
(後輪軸リフトアップ時)
- 安全性
・4段階調整式リタダ
・後方カメラ・モニター
(オプション)

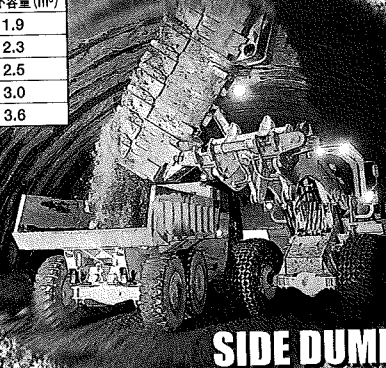
ずり積込機も運搬機もカワサキにお任せ下さい

両サイドタンク

| モデル名 | バケット容量(m³) |
|--------|------------|
| 70ZA-2 | 1.9 |
| 80ZA-2 | 2.3 |
| 85ZA-2 | 2.5 |
| 90ZA-2 | 3.0 |
| 97ZV | 3.6 |

ロードホールタンク

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



SIDE DUMP

LOAD HAUL DUMP



ONE FOCUS
Complete Solution

Kawasakiは一人一人のお客様を大切にします

川崎重工業株式会社

建設機械ビジネスセンター

東京本社 〒105-6116 東京都港区浜松町2-4-1(世界貿易センタービル)
☎(03)3435-6959 HPアドレス <http://www.khi.co.jp/kenki/>