

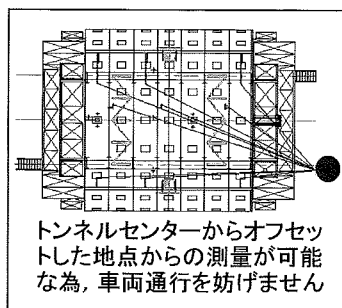
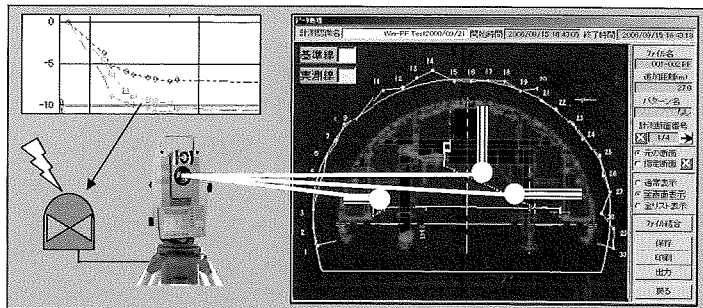


特許出願中

面板へのプリズム取付状況

セントル面板にセットされたプリズムを打設開始～終了まで自動計測することにより

- ・ セントルの設置位置測定の自動化
- ・ 打設中の沈下, 変位の自動計測
- ・ 変位量の管理値設定と, 警報出力(パトライト)機能
- ・ 実測セントル位置とノンプリズム断面測定結果を基準としたボリュームの算出が可能となりました。



トンネル用機材一般/土木資材の販売

**大栄工機株式会社**  
011466190190012000

**MAC マック株式会社**

本社 〒526-0842 滋賀県長浜市春近町90番地  
 TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765

〒272-0832 千葉県市川市曾谷 8-16-3  
 TEL 047-371-3191 FAX 047-371-3190

仙台営業所 〒981-1104 宮城県仙台市太白区中田5丁目16-8-313号  
 TEL 022-796-4510 FAX 022-796-4505

# トンネルと地下 3

vol. 41  
no. 3  
2010

Tunnels and Underground

蛇紋岩地すべり脆弱部を早期閉合で掘削  
 国道直下を地上からの地山改良で掘削  
 鉄道工事における環境負荷低減の取り組み  
 九州新幹線西九州ルート(武雄温泉・諫早間)のトンネル  
 無線センサを用いたトンネル変状監視

日本トンネル技術協会誌



定価 1,575円 雑誌06619-3  
 本体価格1,500円

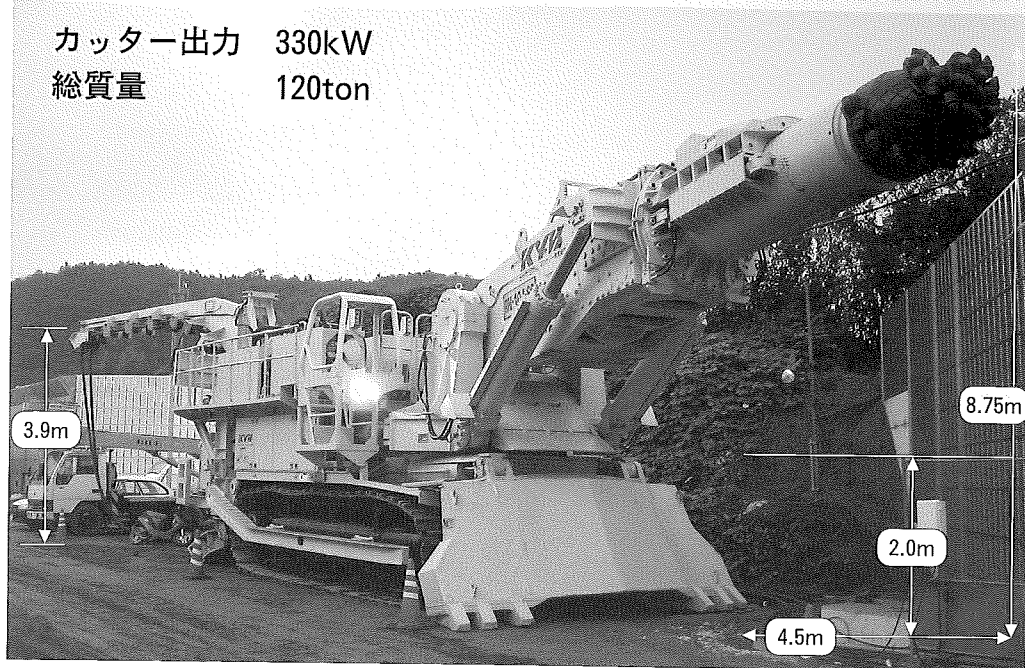


4910066190309  
01500

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

# RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW  
総質量 120ton



## 主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ10.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.0m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とビック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

**KYB** カヤバシステムマシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

<http://www.kyb-ksm.co.jp>

本社・営業  
カスタマーサービス 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444

中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町6番地2 TEL 059-234-4139

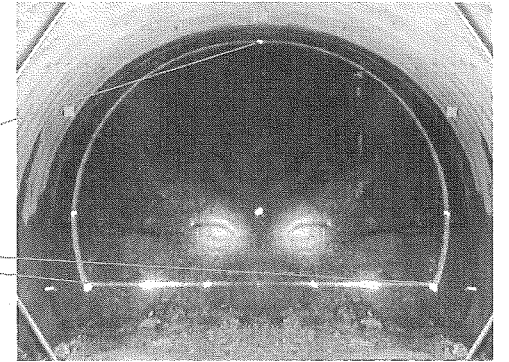
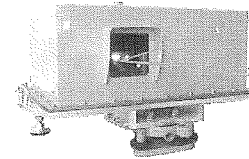
西部支店 〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多 TEL 092-411-4998

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

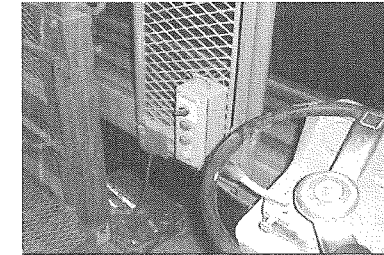
# レーザーマーキングシステム

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

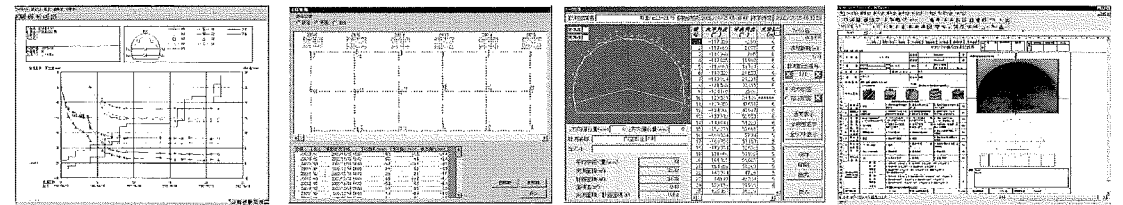


現場環境に耐え得る  
頑強なコントローラー



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。

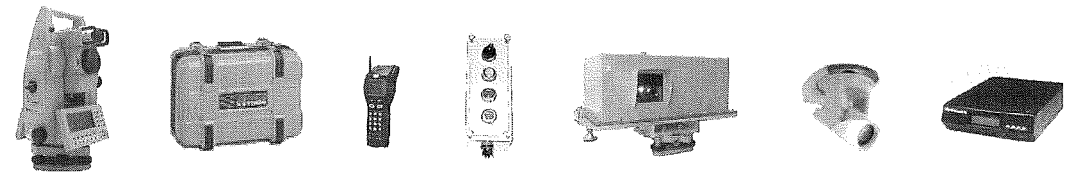


A計測データ処理

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

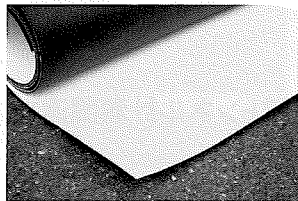
# ウォータータイトトンネル 防水システム



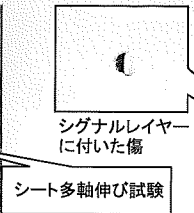
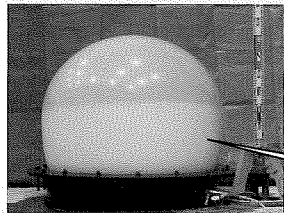
非排水型防水システム用メンブレン  
KFCタイトライナー

## シート防水材

- **KFCタイトライナー**  
追随性・溶着性・耐破損性の優れた防水シート
- **シグナルレイヤー**  
防水シート損傷部の発見が容易なシグナルレイヤー付防水シート
- **裏面緩衝材**  
長繊維不織布から透水性の優れた立体網状体まで豊富なバリエーション

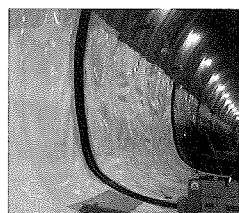
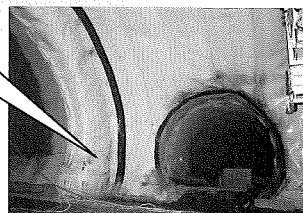


シグナルレイヤー付防水シート



シグナルレイヤーに付いた傷

シート多軸伸び試験



## 基本システム

- **ウォーターバリア**  
打継目からの漏水防止および漏水範囲の限定
- **コンタクトグラウト**  
被圧された地下水から防水シートの損傷防止

## 漏水対策システム

- **ストリップグラウト**  
打継目からの漏水対策  
漏水発生ブロックの特定
- **リペアシステム**  
クラックや打継目からの恒久止水対策

**KFC** 株式会社 ケー・エフ・シー

環境資材事業部(東京) TEL (03) 3570-5262 FAX (03) 3570-5233  
環境資材事業部(大阪) TEL (06) 6361-6038 FAX (06) 6363-3979

1本1本が大切! だから

次世代 **防食** ロックボルト

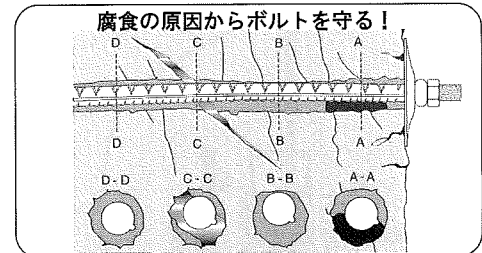
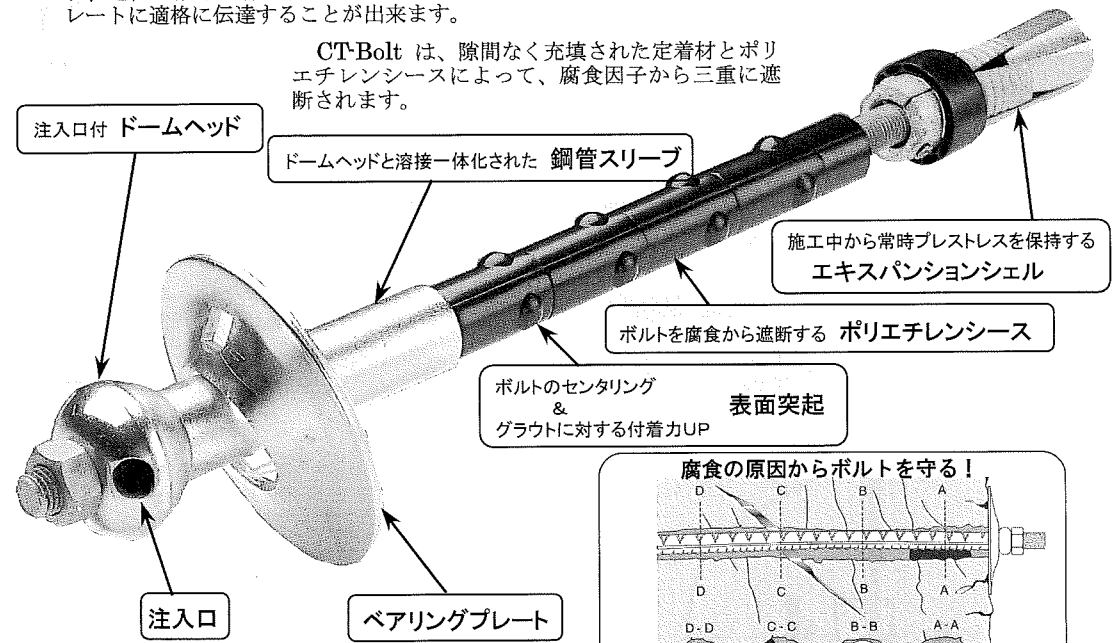
# CT-Bolt



通常施工により超長期支保

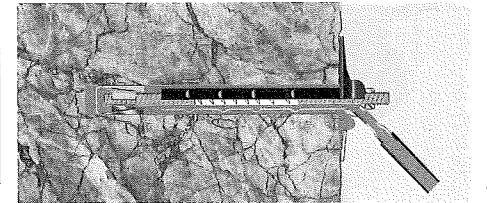
CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適格に伝達することが出来ます。

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



## CT-Bolt の定着は・・・

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



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

完全充填

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

総発売元 Your Fastening Partner

**KFC** 株式会社 ケー・エフ・シー

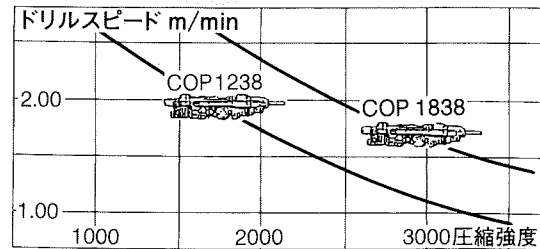
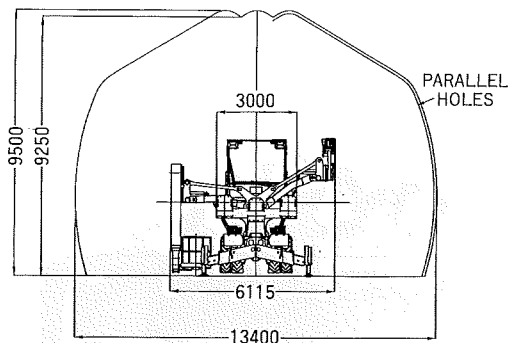
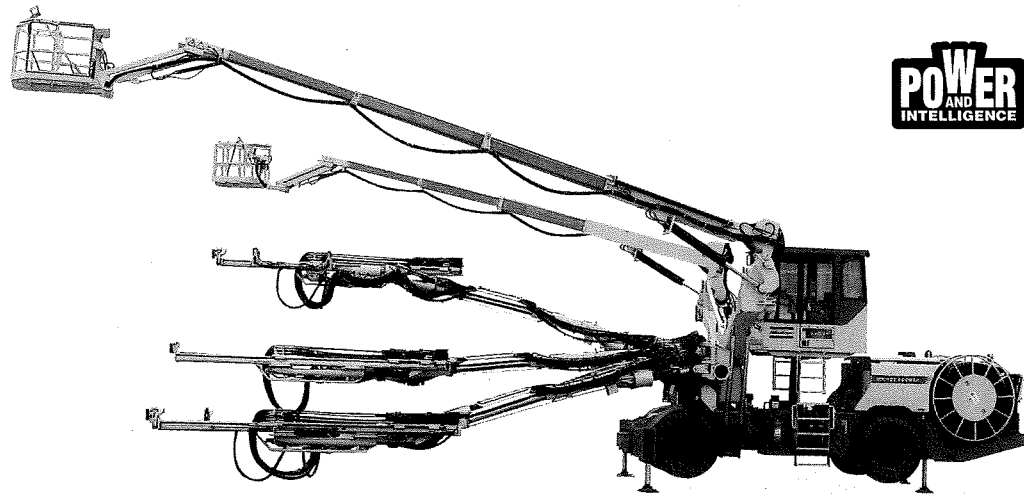
〒135-8073 東京都江東区青海2丁目45番タイム24ビル  
お問い合わせ先 TEL: 03-3570-5182  
技術部 FAX: 03-3570-5191

# アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

## The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B

COP1838油圧ドリフター搭載

3ブーム・2バスケット



## ドリルマシン株式会社 DRILL MACHINE CO., LTD.

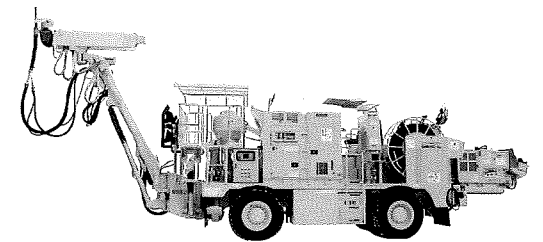
本社 〒116-0014 東京都荒川区東日暮里6-16-8 桂ビル5階  
 TEL (03) 3806-3377 番 FAX (03) 3806-8461 番  
 関西支店 〒657-0864 兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4  
 TEL (078) 802-5551 番 FAX (078) 802-5528 番  
 九州支店 〒839-0841 福岡県久留米市御井旗崎1-6-14  
 TEL (0942) 43-5315 番 FAX (0942) 43-5832 番  
 焼津営業所 〒425-0072 静岡県焼津市大住638-1  
 TEL (054) 620-7301 番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



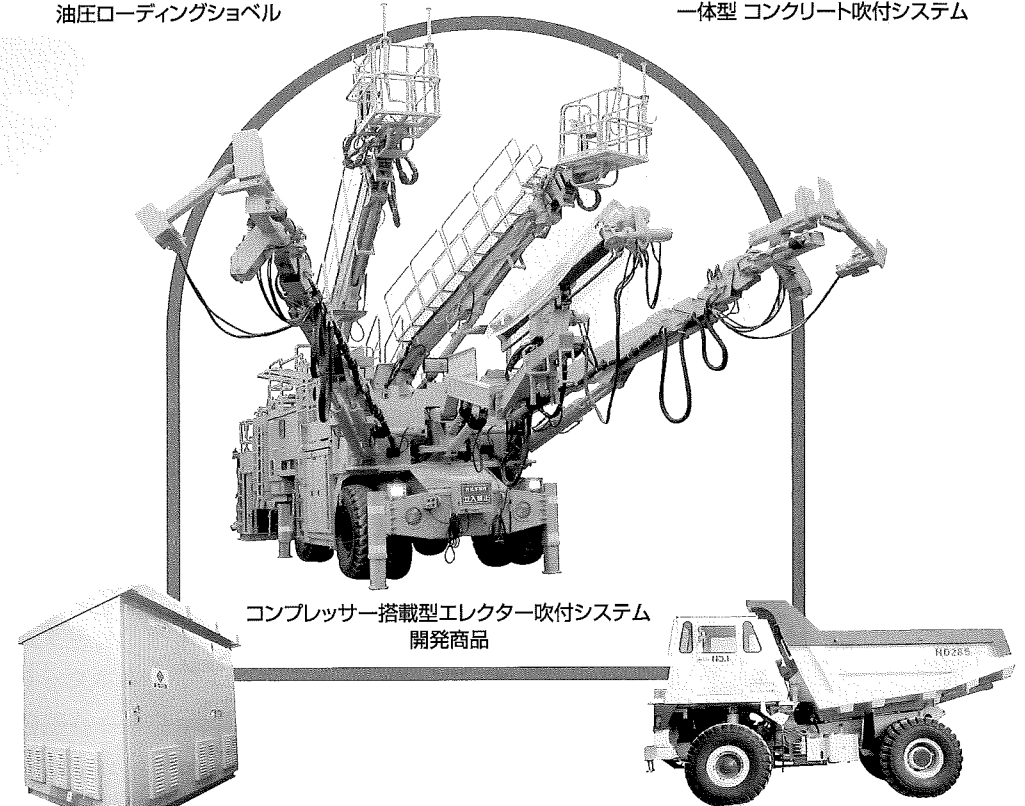
(2009年1月 新会社誕生!)  
(旧三興レンタルと旧新ケービーシーが一体化)



油圧ローディングショベル



一体型 コンクリート吹付システム



コンプレッサー搭載型エレクトラ吹付システム  
開発商品

フリッカ対策機 (インバータ方式): SVG  
 ※西尾レントオールの日本社営業課が電気機器営業部となります

ダンプトラック

## 山岳トンネル施工機械、鉱山・採石機械の総合レンタル企業 ニシオティールアンドエム株式会社

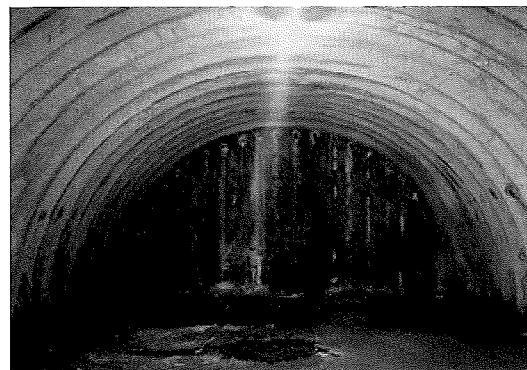
東日本営業本部  
 電気機器営業部 0133-75-8240  
 東北支店 0197-77-4101  
 関東支店 04-2928-3270

本社 大阪府高槻市唐崎西2-26-1  
 TEL 072-677-2127 FAX 072-677-2109  
 石狩工場 高槻工場 宮崎工場  
 0133-72-3715 072-677-4736 0982-22-8701

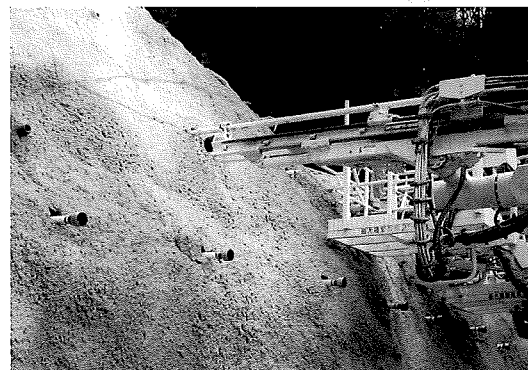
西日本営業本部  
 大阪支店 072-677-2101  
 九州支店 0982-26-2111

# 日本で生まれ、世界へ広がる。 NATMの補助工法

当社は「AGF工法のパイオニア」として、数多くの実績を築いてきました。この豊富な施工実績を基にした技術対応力で、バックアップ体制をとっています。さらに、豊富なビットシステムと多様な注入システムを保有しているため、「AGF工法～小口径二重管削孔システム」まで、地山条件や施工条件など目的に応じたご提案ができます。



(施工例)断面内からの無拡幅AGF工法



(施工例)鏡面への小口径二重管削孔システム

## AGF工法のバリエーション

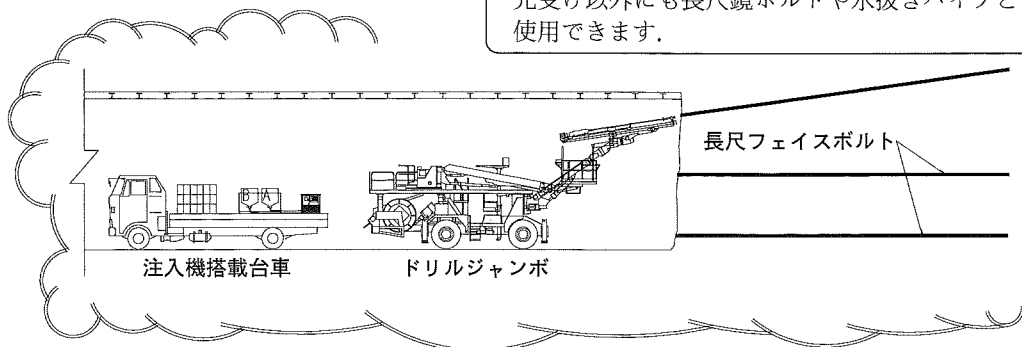
プロトタイプ  
無拡幅タイプ  
最小拡幅タイプ

## 小口径二重管削孔システム

鋼管径φ89.1mm～60.5mmまで対応ができ、鋼管・スリット管・特殊樹脂管が選べます。

↓ ↓  
先受け以外にも長尺鏡ボルトや水抜きパイプとして使用できます。

施工性や経済性を追及して、注入式フォアボーリングとAGF工法の間を埋める工法！



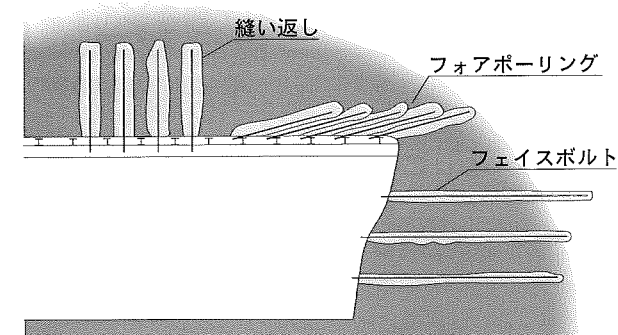
## 注入材のバリエーション

- シリカレジン注入材
  - ・スーパーSRF(標準タイプ)
  - ・スーパーSRF(Sタイプ)
  - ・スーパーSRF(低粘度タイプ)
- ウレタン注入材
  - ・ガンバンスーパーS
- 無機系注入材
  - ・シリカセーフ



(施工例)固結状況

## 注入ボルトのバリエーション



注入式フォアボーリングや鏡ボルト等に使用する注入ボルトとして、

- ・PUボルト
  - ・KATアンカー
  - ・GPRマルチタイプロックボルト
- 等があり、地山条件や使用目的に応じて選択できます。

## 主要営業品目

- ・スーパーシート(防水シート)
- ・ツイストロックボルト
- ・異形ロックボルト
- ・KAT自穿孔ロックボルト
- ・GRPマルチタイプロックボルト
- ・各種注入材
- ・アルカリフリー型液体急結剤AFK-777J
- ・各種AGF工法
- ・Small-P工法/パノラマ工法
- ・注入式フォアボーリング
- ・濁水処理設備
- ・建設資材全般

# KATECS

株式会社 カテックス  
建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.co.jp/>

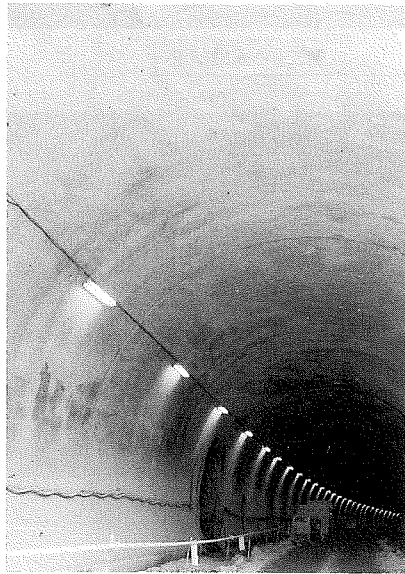
技術営業部  
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164  
東京支店  
TEL)03-3260-8321 FAX)03-3266-1648  
九州営業所  
TEL)092-574-0856 FAX)092-574-0846

中部営業部  
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164  
関西営業所  
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237  
北海道地区(株エイチ・アール・オー)  
TEL)011-821-5868 FAX)011-821-6644

コンクリートの劣化, 欠陥箇所の改修, 補修……

急硬性改修モルタル

# ドクターQ改修工法



〈工期短縮, 即日仕上り〉

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

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

エアモルタル裏込め注入……

## エスコート

L & K 起泡剤

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



◆ 土木資材の総合プランナー ◆



株式会社

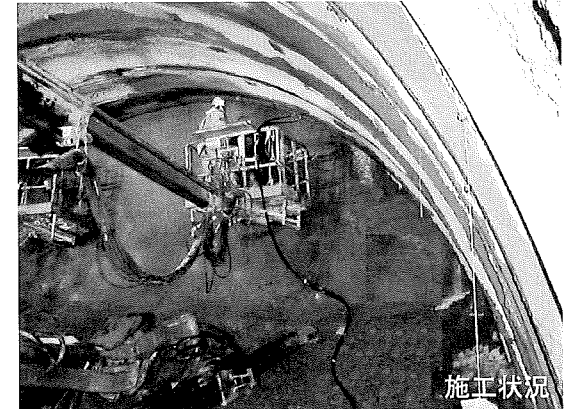
マール

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

## 補助工法・注入材のことならティーエムシー

### ■ AGF-OFP工法

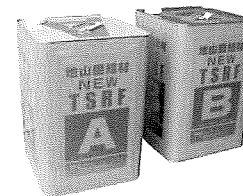
当社が提案するAGF-OFP工法(注入式長尺先受工法)は、長尺の先受を鋼管打設と注入により構築するもので、現場で通常使用されているドリルジャンボで施工できる、汎用性の高い長尺先受工法です。鋼管・削孔資材から注入材まで、全部まとめてお任せください。



施工状況

### ■ 各種注入材

NEW-TSRF  
(シリカレジン)  
NEW-TBU  
(ウレタン)



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

## 環境に配慮したリサイクルコンテナシステム



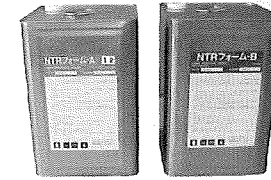
◎リサイクルコンテナ(左)と現場への搬入風景

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

## トンネル補修もティーエムシーにお任せください

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

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



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



株式会社ティーエムシー ホームページ : <http://www.tmc-net.com/>

お問合わせ・お見積のご相談はお近くの当社事務所まで

本社	〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-23-3 冠第二ビル5F	TEL : 03-3891-8211
仙台支店	〒984-0826 宮城県仙台市若林区若林2-5-5 SKビル3F	TEL : 022-286-5111
名古屋支店	〒486-0844 愛知県春日井市島居松町4-165 春日井中央ビル4F	TEL : 0568-56-4288
大阪支店	〒578-0903 大阪府東大阪市今米1-2-1 中辻第3ビル3F	TEL : 072-966-6280
富山営業所	〒933-0806 富山県高岡市赤祖父707 古川ビル2F	TEL : 0766-28-8355
九州営業所	〒839-0809 福岡県久留米市東合川3-12-40 アイソリューションビル1F	TEL : 0942-40-8151

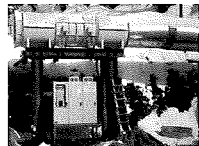
# ホンモノしか残らない。。。

# 換気・環境技術は進化しています

…1960～ 1970～ 1980～ 1990～ 2000……



大容量ファン



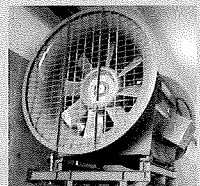
二軸反転  
サイレントファン



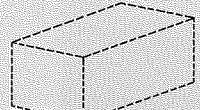
可変翼やインバーター  
での風量制御ファン



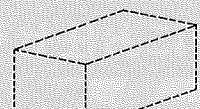
中型集塵機  
ノッカー払落し式



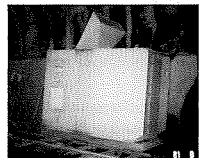
単段ファン



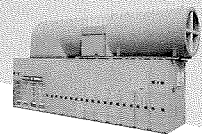
中型集塵機湿式



中型集塵機電気式



中型集塵機  
フィルタ交換型



大型集塵機  
1000～4000m<sup>3</sup>/min  
30000hメンテナンスフリー、トンネル用は清浄度0.1mg/m<sup>3</sup>以下保証

## 吸引ダクト SUPER LIGHT〔新型〕

自走式伸縮ダクト、自走レール、  
全体の重量が半減！  
φ600～1700、最長130m、  
切羽照明で安全UP



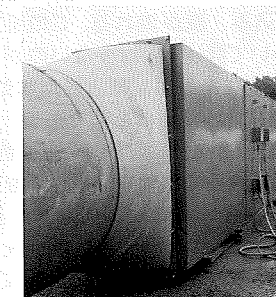
重量1/2に半減!!

2009……



密着

コンクリート密着養生システム  
コンクリート自身を持つ水分と水和熱により自然な状態で硬化



〔新型〕  
大風量中圧ファン  
EZ-2000Q  
(2000m<sup>3</sup>/min, 2.94kpa,  
150kw)

## 漏れない風管シリーズ〔新型〕

従来のビニール・鋼管の風管に比べて漏風がほぼゼロのため、  
中継なしで長距離送風が可能で大幅な省エネ  
負圧=ピタジョイントダクト(超軽量鋼管)  
正圧=ノンリークダクト(FRPリング式ビニール)

2010……



コンパクト大型集塵機  
(低動力・ガス吸着・冷房除湿)  
(高効率運転・再資源化…)

最適環境を創造する

株式会社 流機 エンジニアリング

URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: [eigyobu@ryuki.com](mailto:eigyobu@ryuki.com)

〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI聖坂ビル TEL: 03(3452)7400

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

# トンネルの発破技術

監修 山田隆昭 B5判 76頁 定価 1,500円+税(送料別途)

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで!  
振動や騒音の環境問題を詳述!!

山岳トンネルといえば、何を思い出すであろうか。「貫通発破」を思い出す方が多いのでは。発破の響きとともに岩が壊れ、外の光が差し込み、風が流れる。この感動は昔も今もトンネル関係者にとって普遍である。しかし、意外にも発破技術について詳しい人は少ないのが現状である。近年、機械の性能の向上に伴い、TBMを含めた機械掘削は増加の傾向にあるが、硬岩掘削は効率の良さから従来と変わらず発破が多用されており、発破技術はトンネル技術者にとって基本事項である。また、発破も時代とともに進歩しており、火薬類はダイナマイトから含水爆薬が主流となり、電気雷管も耐静電気性のもとなり安全性は格段に向上している。また、起爆を高精度に制御できるIC雷管も登場し、振動の軽減を図るための制御発破技術も一段と進歩している。さらに、近年のトンネル作業の効率向上と安全環境の確保の面から、発破の機械化、自動化が進められている。削岩機においては、自動的に位置を決めて穿孔するコンピュータジャンボも開発されている。また、2004年3月には火薬取締法施行規則の改正により、含水爆薬に関して移動式製造設備で火薬類を製造しながら装薬ができるようになり、爆薬の機械装填についても準拠できる基準が示された。これにより、含水爆薬の自動装填技術の取り組みも積極的になされている。

本書は、「トンネルと地下」に連載した「発破技術の現状」に若干の加筆、整理をして書籍化したものである。本書は、若いトンネル技術者にも発破技術が理解できるように、火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げるとともに、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく説明している。これだけまとまった発破技術の書籍が少ないため、ぜひ、多くの技術者に参考書として手元において愛読していただきたい。

### 〈主要目次〉

第1章 現状と展望、第2章 火薬類の基礎知識、第3章 発破技術の基本、  
第4章 新しい発破技術、第5章 発破と環境問題、資料

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

株式会社 **土木工学社**

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807

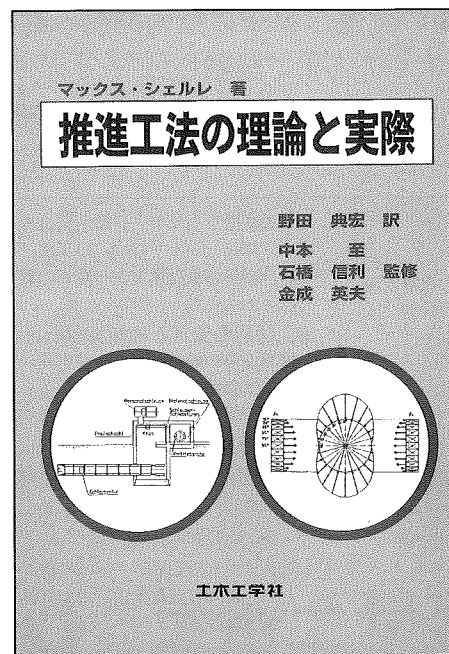
# 推進工法の理論と実際

## 推薦の言葉

中本 至・石橋信利・金成英夫

マニュアルを超えて  
推進工法の理解を  
さらに深める一冊

推進工法によって、下水道をはじめ多くの管渠が布設されている。下水道については一九六〇年にはわが国の普及率は十五%にすぎなかったが、今日では六〇%近くになっている。当初、一五〇〇キロしか施工実績がなかったが、近年の施工延長は年間一五、〇〇〇キロになっている。下水道の施工方法の選定にあたって、施工条件や建設環境、地下埋設物や地盤条件などの関係から、開削工法



より推進工法などの特殊工法が選定されることが多くなり、その中でもとくに推進工法の適用は多くなった。ところが、わが国では推進工法に関する実務書は多いが理論面を記述したものはあまり見当たらず、推進工法の一層の発展のためにも理論書が求められていた。

本書では、ドイツで推進工法の研究開発で著名なマックス・シェルレ博士が推進工法におけるいろいろな疑問について理論的に説明した古典的な名著である。博士は理論面のみではなく、実際の施工にも従事し、実務にも精通していたので、実務面の良さも持っている。

マックス・シェルレ 著、野田典宏 訳  
中本 至・石橋信利・金成英夫 監修  
B5判 定価：8,500円+税

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
tel: 03-3567-2888 fax: 03-3267-2807 http://www.tunnel.ne.jp

株式会社 **土木工学社**

# シールド トンネルの 新技術

シールドトンネルの新技术研究会 編  
B5判 280頁 定価：4,660円＋税

進化を続けるシールド工法。その誕生から技術の変遷、将来の技術開発の動向までをまとめ、最先端の技術について理論と実際にいたるまで記載した。豊富な設計・施工例を掲載し、応用のしやすい的確な解説を加えた好評の一冊。

## 主要目次

### 第1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／わが国におけるシールド工法の歴史／今後の技術開発の方向性

### 第2章 調査・計画編

1. シールド工法の調査技術  
シールド工事における調査の取り組み方／基本計画時の調査(予備調査)／設計時の調査(基本調査、詳細調査)／施工時の調査(確認調査、管理調査)／施工後の調査(追跡調査)
2. 断面および線形計画  
断面および線形／鉄道用シールド／下水道用シールド／断面と線形における今後の展開
3. シールド機種の種類と選定  
シールド機の構造と装備／現状のシールド機種の種類と選定方法
4. 新しいシールド工法  
大断面化、大深度化、長距離化への展望

### 第3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
3. 仮設備  
仮設備の計画
4. シールド工事の自動化  
掘進管理システム／方向制御システム／セグメント自動組み立てロボット／自動搬送システム／その他の自動化技術
5. 掘進と施工管理  
シールド掘進と施工管理／シールド機の発進と到達／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
6. 近接施工と環境対策  
近接工法と対策／アンダーパニングおよび支障物対策／シールド工事と環境対策
7. 新工法の現状と将来展望  
自由断面シールド掘進(縦楕円断面)／

- 異形断面シールド／分岐・接合シールド／球体シールド(ホルン)工法／複円形、矩形および拡大シールドの開発動向／ECL工法
8. 切羽の安定と地盤変状防止  
切羽安定の理論と実際／泥水式シールド工法の切羽安定／土圧式シールド工法の切羽安定／特殊条件下の切羽安定
  9. 地盤変位の理論と実際  
地盤変位の実際／地盤変位の予測解析

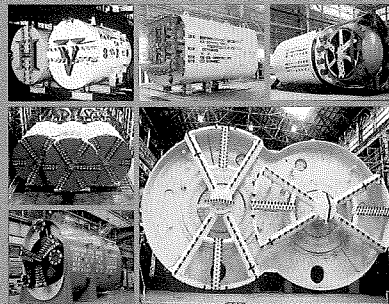
### 付録

1. セグメントの設計例  
セグメントの設計例／外国の設計手法との比較／有限要素法を用いたシールド覆工設計例
2. 地盤変位予測解析手法の例  
地盤変位の一般的性状／予測解析手法の例
3. シールド工事の施工計画  
施工計画書とは／施工計画立案手順／シールド工事施工計画書の参考例

参考文献／索引

## 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  
代表 鈴木 章



土木工学社

【好評発売中】

# セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 送料 290円

いわゆるバブルがはじけたここ数年、コスト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た。

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」編集委員会を作り、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

## 《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 \_\_\_\_\_

株式会社 土木工学社 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町メイジャー神楽坂  
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807 http://www.tunnel.ne.jp

好評発売中

# 多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判 141頁 本体価格2,500円



日本のシールド掘進技術は、国際プロジェクトに多くの日本企業が参画していることが示すように、国内はもとより海外でも高い評価を受けている。とりわけ、世界のスタンダード工法の感がある各種の泥土圧式や異形断面の掘進技術は、まさに日本が世界に発信している技術と言える。これらの掘進技術のほかにも、最近の技術開発の成果により実用化に至った掘進技術は数多く、毎年、新しい技術が更新を繰り返している。

このような背景を踏まえて、掘進技術を広くシールド技術者の参考となることを意図し、最近に開発、実用化された技術を中心に日本トンネル技術協会誌「トンネルと地下」に平成16年春より約1年にわたり『多様化するシールド掘進技術』という連載講座を設け紹介した。その結果、読者の方々より、掲載対象とした以外の技術との関係、従来工法との関わりなどの情報が欲しいとの意見が寄せられた。

このため、読者の声に応えるべく、連載講座には掲載しなかった工法、技術などを整理、体系化するとともに、各種工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点が、よりわかりやすいように手を加え再度、同名の図書「多様化するシールド掘進技術」をシールド工法技術協会が監修を行い、発刊することとなった。

## 〔掲載工法〕

- ①ラチス式同時施工シールド工法、②F-NAVIシールド工法、③ハニカムセグメントを用いた同時施工法、④ロングジャッキ式同時施工シールド工法、⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法、⑥充填式シールド急曲線工法、⑦地下茎シールド工法、⑧T-BOSS工法、⑨球体シールド工法、⑩上向きシールド工法、⑪MMST工法、⑫拡大シールド工法、⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法、⑭ワギング・カッタ・シールド工法、⑮自由断面シールド工法、⑯OHM工法、⑰H&Vシールド工法、⑱単円～三連型駅シールド工法、⑲MFシールド工法、⑳DOT工法、㉑MSD工法、㉒親子シールド工法、㉓拡張シールド工法、㉔DSR工法、㉕泥土加圧シールド工法、㉖ケミカル・プラグ・シールド工法、㉗気泡シールド工法、㉘コンパクトシールド工法、㉙既設シールド撤去工法

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先

(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

道路、トンネル設計 (本体外、換気、防災、照明、施工管理他)

トンネル現場診断

(社) 建設コンサルタンツ協会会員 ISO9001取得

## 株式会社 ロード・エンジニアリング

会長 長田 島 利 男 代表取締役社長 清 水 洋 (技術士)  
 (技術士・土木学会フェロー会員)  
 常務取締役 堀 内 浩三郎 (工学博士) 大阪支店長 亀甲谷 義 高 (技術士)  
 福岡支店長 朽 網 新

本 社: 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目24番7号 電話(03)3891-0711  
 大阪支店: 〒569-1133 大阪府高槻市川西町2丁目21番38号 電話(072)691-0711  
 福岡支店: 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前4丁目25番14号 電話(092)436-1588  
 沖縄営業所: 〒901-2122 沖縄県浦添市勢理客4丁目16番9号 電話(098)870-6411

## 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。

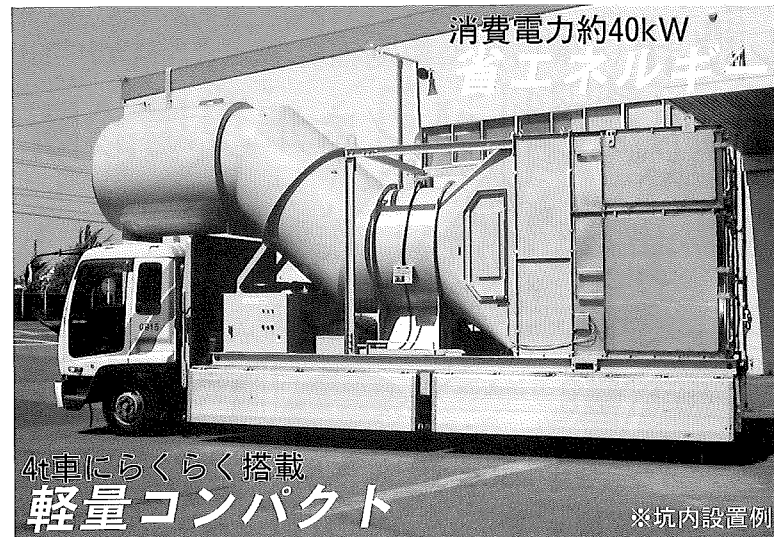
- タイヤ間の間隙が無いため石を噛まない
- サイドの切断に強い
- 石および普通釘に強い
- 弾性波

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 弌

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)



消費電力約40kW

省エネルギー

4t車にらくらく搭載  
軽量コンパクト

※坑内設置例

National電気集塵機クリンジェット(2,000m<sup>3</sup>/minタイプ)

**RENT**

取扱レンタル商品

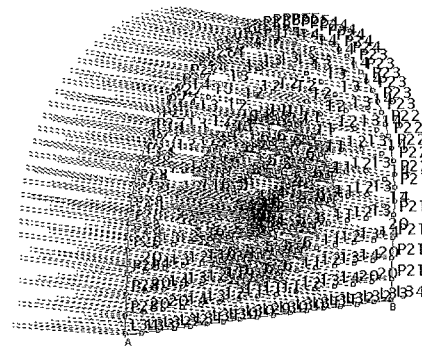
- フリッカー対策器
- MACレーザーシステム
- オアシス(坑内休憩室)
- 発電機エコ装置  
(従来より小容量の発電機で  
施工できる為、省エネ効果)

株式会社 レント

特機営業課 担当者 工藤

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-12-9 NIビル8階 TEL: 03-5642-6750 FAX: 03-3249-0415  
URL: <http://www.rent.co.jp> E-mail: [kudo.yuji@rent.co.jp](mailto:kudo.yuji@rent.co.jp)

トンネル専用電子雷管 eDev™



トンネルさく孔パターン設計  
各種制御発破に対応 1ms毎の秒時設定可能  
周辺孔余堀りの減少  
発破粉度・ズリ出し位置のコントロール  
長孔さく孔→急速施工

**ORICA**  
MINING  
SERVICES

オリカジャパン株式会社

代表取締役社長 安藤 宏

〒105-0001 東京都港区虎ノ門3丁目7番11号 虎ノ門三須ビル 7階  
TEL: 03-5777-4681 Fax: 03-5777-4682  
<http://www.oricaminingservices.com>

取扱品目: 技術サービス・電子雷管・導火管付雷管・電気雷管・含水爆薬・産業爆薬用硝安



機械掘削ツインヘッド

1.0m<sup>3</sup>クラス 322C 他

区分 Type	型式 Model	ピック型式 Tooth Type	ピック本数 Number of Teeth
標準型 Standard	MT-300S-F	HABCM-15	48
	MT-600S-F	HABCM-15	64
	MT-1000S-F	HABCM-15	72
	MT-2000S-F	HABCM-15	72
	MT-300S-C	RM5C-9	52
	MT-600S-C	RM8B-15	54
	MT-1000S-C	RM8B-15	62
	MT-2000S-C	RM8B-20	68
	MT-4000S-C	RM8B-25	80

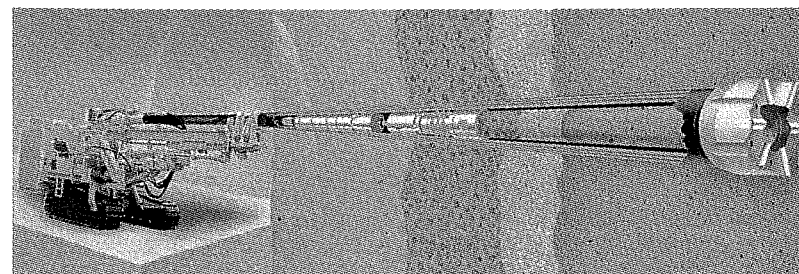
**k|lea** 株式会社 ケイリー

仙 台: TEL.022-359-5331  
東 京: TEL.03-3661-5651  
大 阪: TEL.06-6838-1372  
尾 道: TEL.0848-56-1124  
機材センター: TEL.022-359-4951

URL <http://klea.catrent.com>

トンネル掘さくの安全施工に  
アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーラインサンプリング工法



■ 特長

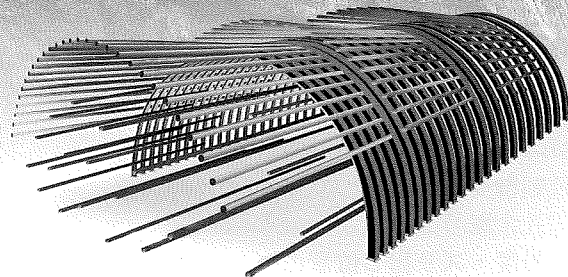
- ①断層破砕帯や湧水をとまう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行え、施工時間が大幅に短縮できます。
- ②2重管ワイヤーライン サンプリングシステムにより、地質条件にかかわらず、コアサンプルの採取率が従来とくらべて大幅に向上しました。

**KOKEN** 鉦研工業株式会社

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

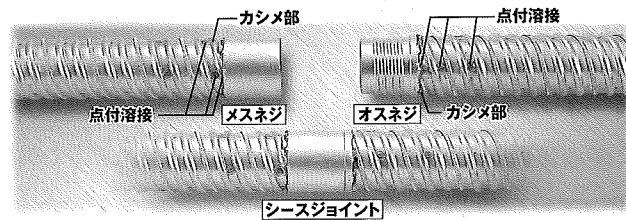
お問い合わせ先: 工事営業本部  
TEL. (03)6907-7512 FAX. (03)6907-7522  
<http://www.koken-boring.co.jp>

# ユニークな発想と高品質・自信の価格



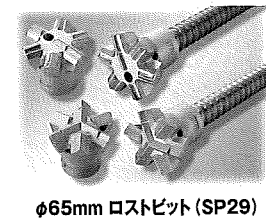
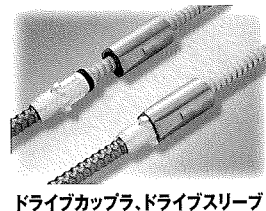
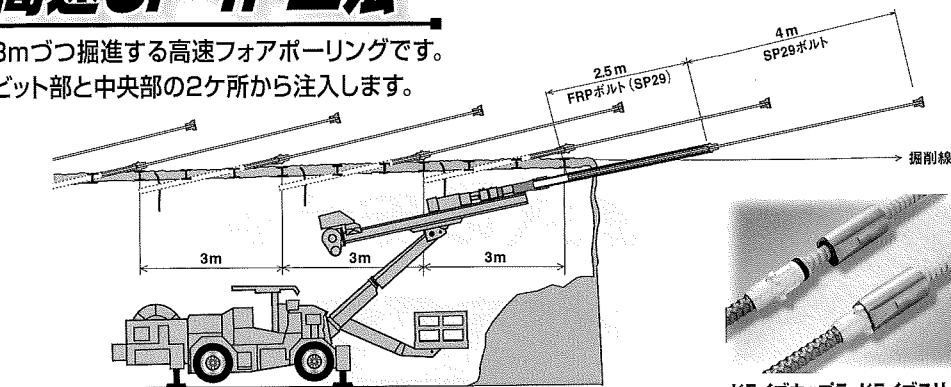
## FIXチューブ工法

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

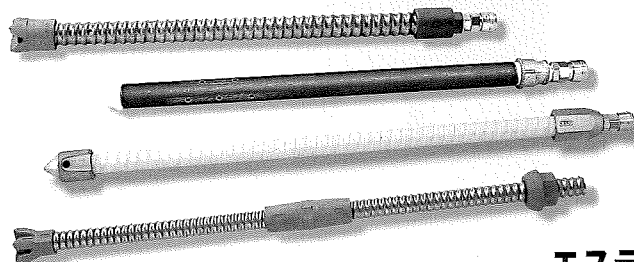


## 高速SP-IF工法

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



## 自穿孔ボルト&注入管



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

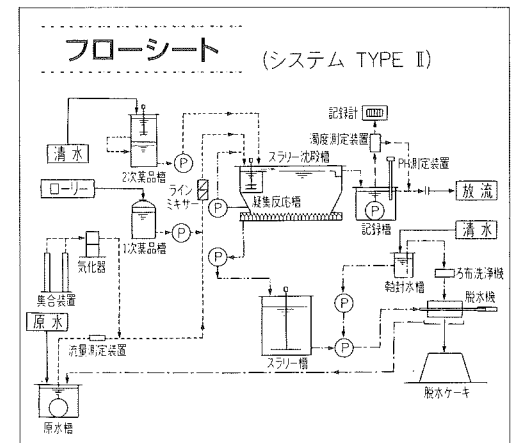
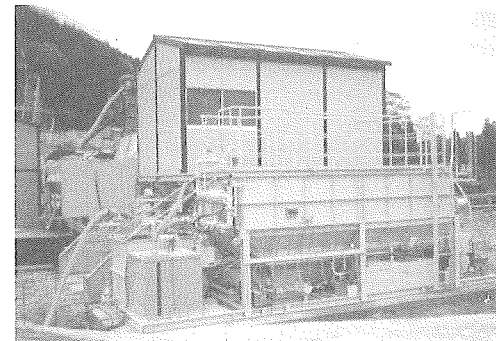


エスティーエンジニアリング株式会社  
ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2  
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251  
http://www.st-eng.co.jp

# TWS型シリーズ 濁水処理装置

## コンパクトながら 大きな処理能力



### 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状警報装置を標準装備している。

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

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

6. 豊富なオプション装置  
高分子凝集剤の自動溶解装置  
処理水返送装置 (異状警報装置と連動)  
炭酸ガス後中和処理装置  
鉄分除去処理装置 (エアレーション装置等)  
スラリ-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

### ■巻頭言

#### NEXCO東日本となり5年目—最近のトンネルの課題—

大西 敏夫 .....5

### ■研究

#### 無線センサを用いたトンネル変状監視

津野 究・蒲地 秀矢・中西 祐介・仲山 貴司 .....49

### ■計画

#### 九州新幹線西九州ルート(武雄温泉・諫早間)のトンネル

須澤 浩之・山口 修司 .....41

### ■施工

#### 蛇紋岩地すべり脆弱部を早期閉合で掘削

##### —北海道横断自動車道 タンネナイトンネル—

中野 清人・佐藤 諭一・本藤 敦 .....7

#### 国道直下を地上からの地山改良で掘削

##### —一般国道12号 旭川トンネル—

和田 芳明・館山 孝利・桶谷 強・後藤 隆之 .....17

#### 鉄道工事における環境負荷低減の取り組み

##### —小田急小田原線 連続立体交差および複々線化—

村松 泰・山野 泰弘・上野 修彦 .....33

### ■連載講座

#### ずり処理入門(3)

##### —発生土の運搬方法・レール方式—

「ずり処理入門」連載講座小委員会 .....55

### ■現場だより

#### 「豊後土工のふるさと」佐伯市より

前田 尚利 .....26

#### 「自然豊かな臨海工業都市」呉市より

萱野 朋之 .....32

### ■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

#### 導水路から鉄道へトンネル人生二十五年

小川 司郎 .....27

### ■資料

#### 土木情報

編集部 .....40

#### 工法・技術・製品ニュース

編集部 .....65

#### トンネルジャーナル

編集部 .....54

#### トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 .....66

### ■会報

#### 会報

日本トンネル技術協会 .....69

#### 【表紙説明】

蛇紋岩地すべり脆弱部を早期閉合で掘削  
—北海道横断自動車道 タンネナイトンネル—



北海道横断自動車道タンネナイトンネルは、占冠村西部に位置する816mのトンネルである。周辺にはJR石勝線鬼峠トンネルや道道夕張新得線赤岩トンネルなど、脆弱な地質などで難工事となったトンネルが位置している。タンネナイトンネルも脆弱な地すべり脆弱部を掘削することになったが、地すべり抑止などの事前対策とトンネル掘削における早期閉合による変位抑制などによって克服した。写真は蛇紋岩全面切羽の状況である。  
〔写真提供：東日本高速道路(株)〕(本文7頁参照)

**ヤマモト (やまがんき)** 無騒音 無振動 静かな破碎  
超大型油圧破碎機  
**YTB 1120**  
トンネルビッカー

**ヤマモトロックマシン株式会社**  
本社 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号富士ビル ☎(03) 3201-0701(代)

工場 広島県庄原市東城町36番地 ☎(08477) 2-2137(代)  
仙台営業所 (022) 262-4531(代) 大阪営業所 (06) 6531-1571(代) 高知営業所 (0888) 22-1367(代) 九州営業所 (092) 471-0381(代)

# Kanaflexの電力・通信ケーブル保護管

## 都市部での電線集中化工事を省力化・効率化

電力・通信ケーブル用多条保護管 特許出願中

# カナレックスML

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

### 1. 独自構造（波付き管と管台一体型リブの連続構造）

- ・リブに平面部があり、管を密着させて敷設できる為、掘削幅、深さを小さく出来る。
- ・従来品に比べ、良好な砂の充填ができ、一括埋め戻しが可能。

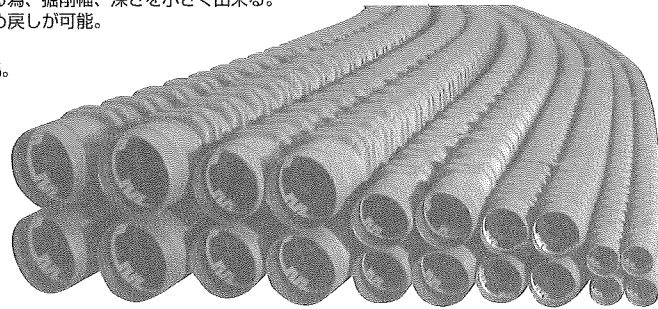
### 2. 可とう性に優れる

- ・上下左右に曲がり、既設物や障害物の回避が容易。

### 3. 優れた性能

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

### 4. 摩擦係数が低く整直性が良い為通線がスムーズ



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

# ワンタッチ継手付ハンドホール



※特許・  
意匠出願中

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

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

カナフレックスコーポレーション株式会社 ISO 9001 認証取得

株式会社 インテック

東京本社 〒106-6117 東京都港区六本木6-10-1 (六本木ヒルズ森タワー17F)

TEL(03)5770-5111 FAX(03)5770-5130

大阪本社 〒530-6017 大阪市北区天満橋1-8-30 (OAPタワー17F)

TEL(06)6881-0767 FAX(06)6881-0769

営業所 札幌・仙台・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・福岡・鹿児島

直営工場 北海道・仙台・栃木・千葉・滋賀・愛東・広島・四国・九州

## 総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

(主 査)

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

(幹 事)

池田 豊人

国土交通大臣官房技術調査課技術企画官

大石 敬司

東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部

改良建設企画課課長

久多羅木 吉治

東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

城間 博通

株式会社高速道路総合技術研究所  
道路研究部トンネル研究担当部長

高瀬 昭雄

独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
鉄道建設本部計画部計画課長

千葉 隆

清水建設株式会社土木技術本部  
地下空間統括部部長

長島 芳雄

株式会社竹中土木常務取締役

濱 建介

(元)日本鉄道建設公団理事

福家 佳則

鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部  
トンネルグループ長

松原 利之

飛鳥建設株式会社土木事業本部土木技術部  
トンネル技術グループ部長

山道 哲二

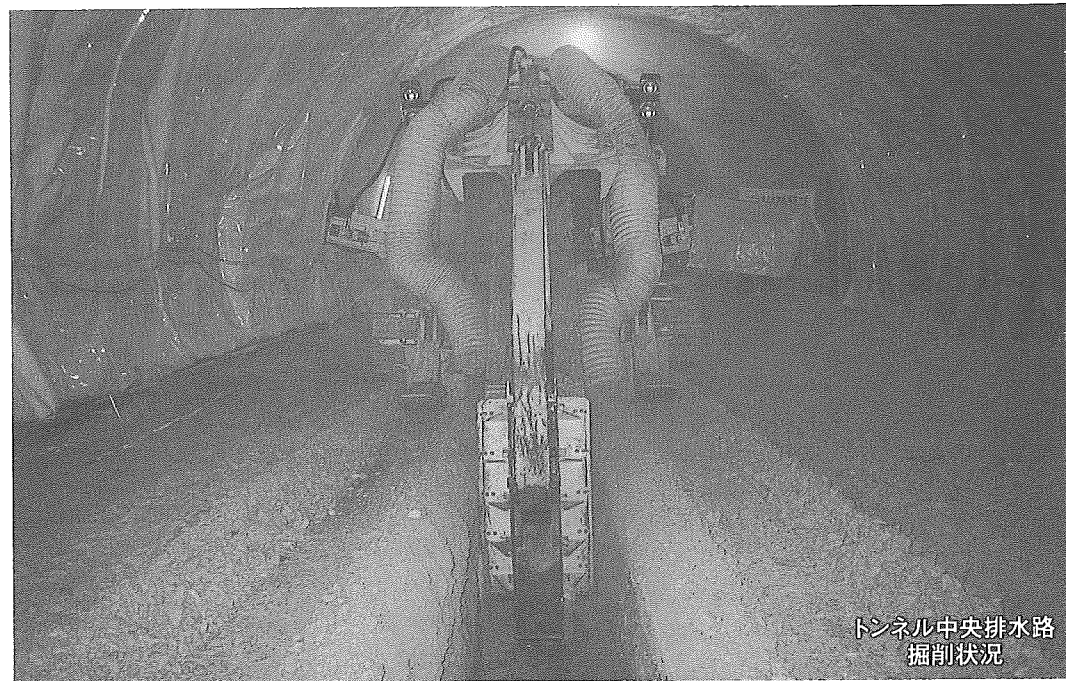
株式会社大林組東京本社生産技術本部  
統括部長

領家 邦泰

大成建設株式会社土木本部土木技術部  
トンネル技術室参与

# トレンチャー

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D7	40/30	60/35
メーカー名	テスメック	テスメック	マステンブルグ	マステンブルグ
掘削幅(最小)cm	45	75	70	70
掘削幅(最大)cm	60	100	110	110
掘削岩の硬さ(最大)	500kg/cm <sup>2</sup>	700kg/cm <sup>2</sup>	700kg/cm <sup>2</sup>	1000kg/cm <sup>2</sup>
重量 t	36	53	50	59
長さ m	13.0	10.8	14.0	15.4
幅 m	2.5	3.2	2.95	2.98
高さ m	3.30	2.86	3.00	3.20
エンジンの出力 PS	300	402	450	600

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細にご相談ください。



## ワールド開発工業株式会社

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

## 編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

### 〔編集委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

### 〔編集参与〕

今田 徹  
東京都立大学名誉教授

高橋 良文  
東京都下水道サービス(株)管路部長

橋本 定雄  
(元)東京都公営企業管理者下水道局長

濱 建介  
(元)日本鉄道建設公団理事

三浦 克  
株式会社竹中道路取締役社長

### 〔委員〕

池田 匡隆  
東京都下水道局建設部設計調整課長

今井 滋  
東京都水道局建設部工務課長

葛城 真治  
東京電力株式会社電力流通本部工務部  
地中送電グループ課長

亀山 勝  
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部  
計画担当課長

木谷 日出男  
財団法人鉄道総合技術研究所  
防災技術研究部部长

清水 満  
東日本旅客鉄道株式会社東京工事事務所  
立体交差課長

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

中本 忠道  
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

真下 英人  
独立行政法人土木研究所  
道路技術研究グループ長

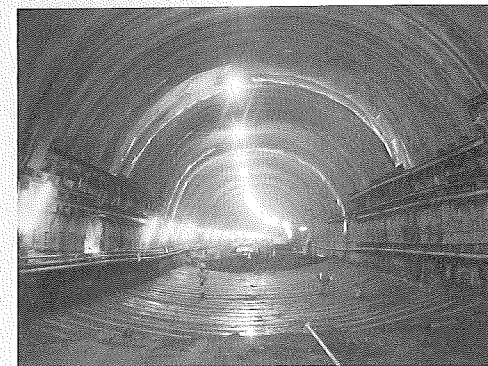
両角 幸範  
東京都交通局建設工務部計画改良課長

掲載頁  
7

蛇紋岩地すべり脆弱部を早期閉合で掘削  
—北海道横断自動車道 タンネナイトンネル—

(株)高速道路総合技術研究所 中野 清人

北海道横断自動車道タンネナイトンネルは、占冠村西部に位置する816mのトンネルである。周辺にはJR石勝線鬼峠トンネルや道道夕張新得線赤岩トンネルなど、脆弱な地質などで難工事となったトンネルが位置している。タンネナイトンネルも脆弱な地すべり堆積土を掘削することになったが、地すべり抑止などの事前対策とトンネル掘削における早期閉合による変位抑制などによって克服したものである。



写真はサイドパイル区間全景

Tunnelling with Early Building Invert in Serpentine Landslide Zone—Hokkaido Odan Expressway, Tan-nenai Tunnel—

By Kiyohito Nakano, Nippon Expressway Research Institute Company Limited

The Tannenai Tunnel is 816m long and is positioned in the west of Shimukappu. In the vicinity, there are tunnels such as the Onitoge Tunnel on the JR Sekisho Line and the Akaiwa Tunnel on the Yubari-Shintoku Prefectural Road which were difficult to construct due to fragile geological condition, etc. Tan-nenai Tunnel was also excavated in fragile landslide colluvium but the construction was able to completed due to prior measures to control landslides, etc. and deformation control through early building invert concrete.

掲載頁  
17

国道直下を地上からの地山改良で掘削  
—一般国道12号 旭川トンネル—

国土交通省 和田 芳明

旭川トンネル工事は、供用中の下り線トンネル(施工当時片側1車線の対面交通)に並行したトンネルを新設したものである。本トンネルは全線にわたり小土かぶり土砂地山トンネルであり、その直上には重要幹線である国道12号(4車線道路、土かぶり5~7m、L=90m)や住宅街(土かぶり15~30m、L=300m)などが広がっており、掘削に際しては地表面沈下に関しては厳しい管理を求められた(目標沈下量 国道部:3cm以下、住宅街:2cm以下)。

これらの区間の掘削にあたり、追加地質調査をもとにFEMによる沈下予測を実施し、その予測値が目標値を大きく超える沈下量が予測された。したがって、国道との交差点においては、事前に地上部より地盤改良工を実施し、また住宅街直下の掘削では、坑内よりの補助工法を採用した。

本稿ではこれらさまざまな条件下において実施した沈下対策について報告する。

Excavation with Ground Improvement from Surface directly under National Highway—National Highway 12, Asahikawa Tunnel—

By Yoshiaki Wada, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The construction of Asahikawa Tunnel was building a new a tunnel parallel to an outbound tunnel (at the time of construction, 1 line for two way traffic) in current use. All of this tunnel are earth tunnel with small cover and a major trunk line, National Highway 12 (4 lane road, cover of 5-7m, L=90m) and a residential area (cover of 15-30m, L=300m) exist directly above it that demanded strict control of ground surface settlement at the time of excavation (allowable settlement: National Highway section: less than 3 cm, residential area: less than 2 cm).

Additional geological surveys based on settlement predictions through FEM were carried out for the excavation of these sections and these predictive values were much higher than the allowable values. Consequently, in the area that intersected with the National Highway, prior ground improvement from surface was carried out and, further, in the excavation directly under the residential area, auxiliary methods were employed from inside the tunnel.

This report gives information on settlement measures carried out under these diverse conditions.

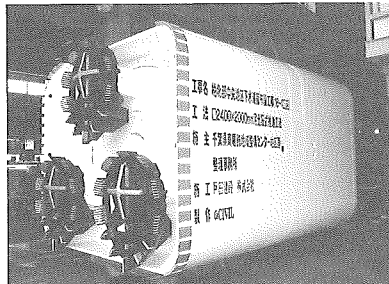


写真は国道交差点における地山改良工状況

超流バランスセミシールド工法

ボックスカルバート推進工法

施工場所：千葉県柏市若菜地内



多軸自転・公転掘進機(内寸方口2400×2000)

本工法は、有効断面を最大限に確保し、低土被り、長距離、急曲線の安全で迅速かつスムーズな密閉型矩形推進工法を確立しました。

先行工事としての角鋼管水平土留工やボックスカルバートの密閉型推進工法に活用可能です。

- ◆低土被りが推進可能(H=1.5m程度まで可能)
- ◆PC・RCボックスカルバート函体および角鋼管にて対応可能
- ◆密閉型のため切羽の安定性に優れ、地山の緩みを防止可能
- ◆完全密閉型多軸方式の高トルク掘進機のため、多様な土質に適用可能で迅速な施工を実現可能

リターン回収掘進工法

施工場所：東京都渋谷区神宮前



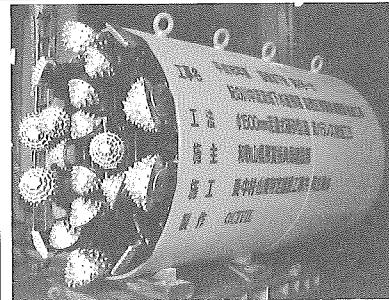
φ1016mm長距離バイブルーフ掘進機(リターン回収型)

本工法は、掘進機を発進基地に迅速に引き戻せる機構としたことで、到達立坑が不要となり、大幅なコスト縮減が可能となりました。

特に長距離、曲線バイブルーフ施工として有効なため、工期短縮およびコスト縮減が図れる画期的な工法です。

- ◆長距離・曲線バイブルーフとして適用可能
- ◆通常のJIS鋼管にて対応可能(鋼管φ812~φ1219mm)
- ◆継ぎ手付鋼管においても先行継ぎ手カッターにてスムーズな掘進が可能
- ◆到達回収立坑が不要(発進側へ掘進機内部装置を回収可能)
- ◆密閉型掘進機構ゆえに無水層~滞水層まで対応可能

巨礫・岩盤破碎型掘進工法

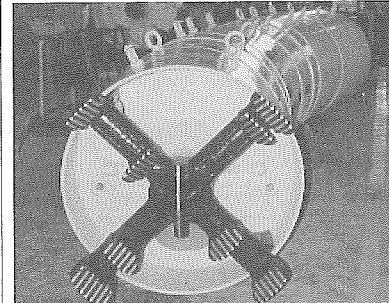


φ1500mm破碎型掘進機

本工法は泥濃式の取込方式の長所を生かしながら、破碎方式を兼ね備え、取込径以下の不要な破碎を行わないため、ビットの耐磨耗延長を従来の2倍以上とし、巨礫に対応しながら長距離推進を可能としました。

- ◆破碎型掘進機：呼び径φ600~φ1650に対応が可能
- ◆岩盤層実績 26件、延べ延長L=10.0km
- ◆巨礫層実績 47件、延べ延長L=15.6km
- ◆破碎型急曲線実績 R=15m(φ800、巨礫層)
- ◆破碎型長距離実績 L=619m(φ1000、巨礫層)

長距離・急曲線推進工法



φ800mm超急曲線掘進機(R=9.3m対応機)

本工法は泥濃式の中でも特に高トルク、超急曲線機能・超長距離安定機能の開発を進め、玉石砂礫層~軟弱層の広範囲の土質に対応できる画期的な掘進機を開発してきました。

- ◆呼び径φ600~φ2400に対応が可能
- ◆排土口径が大きいため、取込型掘進機でも管呼び径の40%程度の玉石等の摘出が可能
- ◆通常の泥濃式の送泥水注入と固結型滑材注入に加え掘進機外周からテルボイド安定材の注入、さらにテルボイド拡幅装置(TRS)を装着することで切羽の安定と良好なテルボイドの構築が可能
- ◆超急曲線掘進機は多段中折れ機構により管呼び径の40~15倍程度まで曲線施工が可能

認証取得  
ISO 9001  
ISO 14001

株式会社アルファシビルエンジニアリング(超流セミシールド協会)

〒812-0015福岡市博多区山王1丁目1番18号

TEL(092)482-6311 FAX(092)482-6363

E-mail: arfa@oregano.ocn.ne.jp

URL http://www.alpha-civil.com

建設コンサルタント登録番号：建18第8677号

測量登録番号：登録第(1)-30507号

建設許可番号：国土交通大臣許可(特-18)第19193号

## 鉄道工事における環境負荷低減の取り組み —小田急小田原線 連続立体交差および複々線化—

小田急電鉄(株) 村松 泰

小田急電鉄では、小田原線の世田谷代田駅～下北沢駅間の混雑と周辺道路の慢性的な交通渋滞の緩和対策として、線路を上下線各2線にする複々線化事業を代々木上原駅～和泉多摩川駅間(10.4km)にわたり実施する一方、東京都は、道路と鉄道を立体化する連続立体交差事業を行っている。

本事業は、密集した市街地に位置し、環状七号線や京王井の頭線との交差および東京地下鉄千代田線との隣接など、非常に厳しい施工条件のもと泥水式シールド工法に伴う発生土処理プラントにおける徹底した騒音対策、また開削工事においては、現営業線の仮橋梁化に伴い発生する列車騒音についての防音対策を実施した。

本稿は、これらの環境保全を周辺住民とコミュニケーションを図りトラブルの回避に努めた経過について報告するものである。

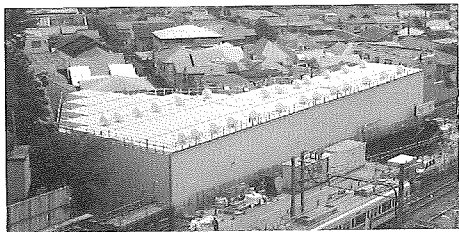
### Initiatives to Reduce Environmental Impact in Railroad Construction Work—Odakyu Odawara Line Consecutive Grade Separation and Quadrupling of Track—

By Yasushi Muramatsu, Odakyu Electric Railway Co., Ltd.

Odakyu Electric Railway is carrying out works to increase present tracks to the 2 inbound and 2 outbound tracks between Yoyogi-uehara and Izumi-tamagawa Stations (10.4km) and Tokyo Metropolitan government is conducting a consecutive grade separation project to separate the grade of roads and railroads, as mitigation measures for crowded train between Setagaya-daita and Shimo-kitazawa Stations on the Odawara Line and chronic traffic congestion on roads in the vicinity.

These site, located in a dense town area, were conducted under extremely severe construction conditions such as being adjacent to the intersection of Ringroad 7, grade separated crossing with the Keio Inokashira Line and the tracks of Tokyo Metro Chiyoda Line. Sound-proofing measures were carried out concerning operating noise of the slurry treatment plants for using slurry shield and train noise that occurs from the temporary piles that underpin the current tracks.

This report gives information on the efforts made to avoid problems through the communication of residents in the vicinity.



写真は防音ハウス全景

## 九州新幹線西九州ルート(武雄温泉・諫早間)のトンネル

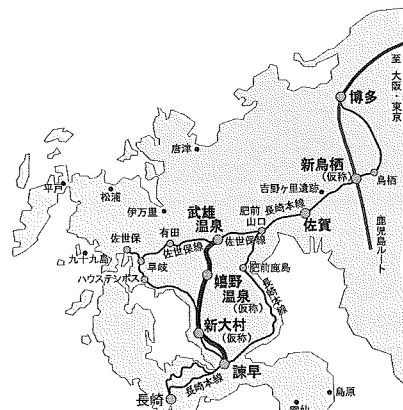
鉄道・運輸機構 須澤 浩之

九州新幹線西九州ルートは、福岡市から佐賀市を経由して長崎市までの基本計画路線のうち、武雄温泉・諫早間の工事実施計画(暫定整備計画)が平成20年3月に認可され、既に着工している。同区間では、延長の約半分にあたる計23km、30本のトンネルを施工する計画であり、このうち2工区で掘削を開始し、3工区で掘削開始に向けて準備を進めているところである。これらのトンネルの中には、膨張の想定される地山強度比の小さい泥岩層の掘削が想定されるトンネルや、住宅の密集する市街地化を比較的小さな土かぶりでも通過するトンネルなど、技術的な課題を有するトンネルが含まれている。本稿では、九州新幹線西九州ルートの概要および主要なトンネルの施工計画について紹介する。

### Tunnels on Kyushu Shinkansen West Kyushu Route (between Takeo Onsen and Isahaya)

By Hiroyuki Suzawa, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

The construction execution plan (provisional construction plan) between Takeo Onsen and Isahaya on the Kyushu Shinkansen West Kyushu Route were approved in March, 2008 as part of basic plan route from Fukuoka to Nagasaki via Saga and are already underway. In this section, the plan is to construct 30 tunnels of a total of 23 km which is approximately half its length. Excavation has started at two sites and three other sites are being prepared for the start of excavation. These tunnels include those that present technical challenges such as tunnels that are predicted to excavate in swelling mudstone ground with small competence factor of the ground or tunnels that pass beneath dense residential town areas with comparatively small cover. This report presents an overview of Kyushu Shinkansen West Kyushu Route and the main tunnel construction plans.



図は西九州ルート全体平面図

## 無線センサを用いたトンネル変状監視

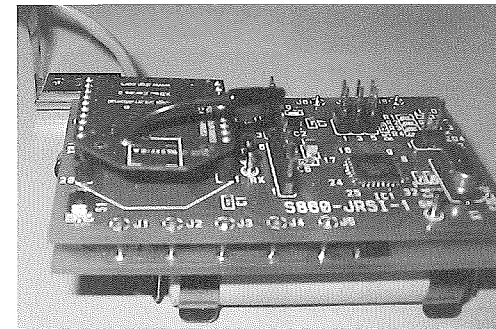
(財)鉄道総合技術研究所 津野 究

鉄道トンネルの変状監視において、計測機器で得られたデータを無線で転送することにより、データ収集にかかる手間やコストを大幅に低下させることを目的として、小型、軽量かつ省電力の無線センサを試作した。これを用いた性能試験を実施し、親機および子機の2台の無線センサでトンネル内で通信距離140mまで伝送可能であることや、中継用無線センサを用いてこれ以上の距離でも伝送可能であることを確認した。また、無線センサを用いたトンネル変状監視システムを用いて、実際の鉄道トンネルにおいてひび割れの計測を行った。本報では、試作した無線センサの概要、性能確認試験の概要および結果、実際の鉄道トンネルにおける現地試験について記述する。

### Tunnel Deformation Monitoring using Wireless Sensor

By Kiwamu Tsuno, Railway Technical Research Institute

For the monitoring of deformation in railroad tunnels, a prototype of a small, light and power-conserving wireless sensor was made to transmit data obtained from measurement devices wirelessly with the aim of drastically reducing the labour and costs involved in data collection. It was used to carry out performance tests and it was confirmed that it was possible to transmit with a communication distance of up to 140 m between the coordinator and end device inside the tunnel and that it was possible to transmit over distances greater than this using a relay wireless sensor. In addition, using a tunnel deformation monitoring system employing wireless sensors, measurements of crack width in actual railroad tunnels were taken. This report gives an outline of the prototype wireless sensor, and outline and results of performance verification tests and field tests in actual railroad tunnels.

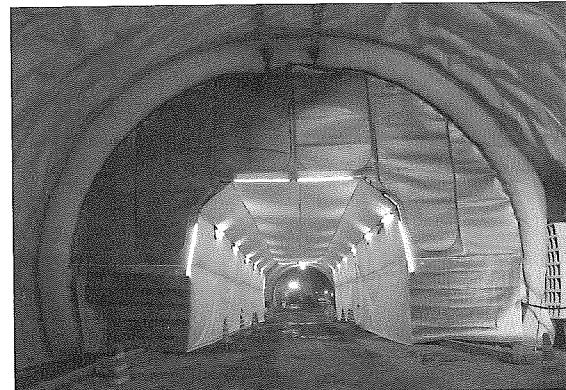


写真は試作した無線センサ

トンネルバルーン覆工コンクリート  
トータル養生工法

長期耐久性に優れた高品質な  
覆工コンクリート施工を実現します！

NETIS登録  
(No.HR-040005)

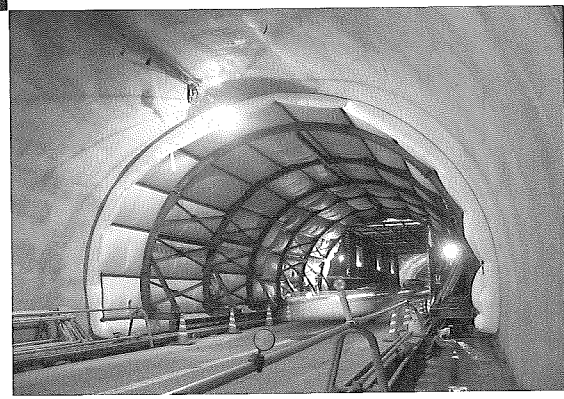


特許出願中

セントル温度養生バルーン

打設後から脱型までセントルをバルーンで覆い温度養生をします。

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

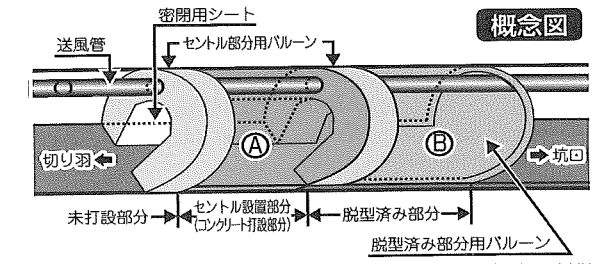


特許3811478号

覆工養生バルーン

脱型後の覆工コンクリートを覆います。

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



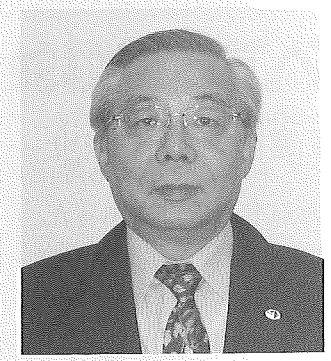
① セントル (コンクリート型枠) を両サイドのバルーンと密閉用シートではさんで空気層をつくり保護・保湿する  
② 打設後のコンクリートに薄い筒状のバルーンを密着させ保護・保湿する

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

2005年『日経BP技術賞 建設部門』受賞

**岐阜工業株式会社**  
GIFU KOGYO CO., LTD.  
本社・工場 岐阜県本巣市十四条144番地  
TEL 058(323)2000(代) FAX 058(323)1176  
東京支店 TEL 03(5836)0531 FAX 03(5836)0532  
仙台営業所 TEL 022(259)2239 FAX 022(259)3664  
九州営業所 TEL 092(713)5265 FAX 092(714)3028  
URL <http://www.gifukogyo.co.jp/>

**TOUKOU 株式会社 東 宏**  
本社 北海道札幌市東区北20条東5丁目1番7号  
TEL 011(742)3331 FAX 011(742)3333  
東京支店 TEL 03(3683)8011 FAX 03(3683)8028  
道東営業所 TEL 0155(34)6311 FAX 0155(34)8494  
URL <http://www.k-toukou.jp/>



NEXCO東日本となり5年目

—最近のトンネルの課題—

東日本高速道路(株)常務取締役  
**大西 敏夫**

東日本高速道路(株)(以下、NEXCO東日本)が2005年10月にスタートして、はや5年目に入った。これまで、お客様に「安全・安心で快適・便利」な高速道路空間を提供することを使命に、民間企業としての経営管理を導入し、経営の効率性・透明性の向上に努めてきた。

この間、高速道路整備に関しては、建設コストの縮減や完成時期の前倒しを図り、新たに19区間213kmの完成と6区間36kmの4車線化を行った。管理に関しては耐震補強や休憩施設の改良を行うとともに、各種通行料金割引や国の施策による割引を実施するなどお客様の利便性を高めてきた。

現在(平成22年2月末日)、324kmの建設と3,544kmの管理を行い、1日あたり約240万台のご利用をいただいている。また、これまでの活動により、1兆7,797億円の道路賃借料を支払い、公団時代の債務返済を確実に進める一方、218億円の法人税を支払い、民間企業としての責務を果たすことができた。民営化の目的である「①有利子負債の確実な返済、②必要な道路を早期に少ない国民負担の下で建設、③多様で弾力的な料金設定・多様なサービスの提供」についても期待に応えることができたと考えている。

弊社が管理するトンネルは461本、総延長487kmである。トンネルの老朽化については、これまで橋梁ほど大きな問題となっていないが、積年とともにトンネル構造物においても少しずつ問題が顕在化してきている。弊社の管内で近年それを象徴するような出来事がいくつか生じている。

一つは、平成19年7月に発生した新潟県中越沖地震による北陸道の米山トンネルの被災である。過去の地震によるトンネル損傷は、高速道路トンネルではほとんど発生していないが、今回はトンネルの中間位置で覆工コンクリートの天端部や側壁部の剝落、路面の隆起などが生じた。

被災があった区間は約25年前に在来工法で施工された区間であり、インバートは設置されていない。トンネルは地中構造物であり、従来地震に対しては他の構造物に比べ比較的高い安定性を持つものと考えられてきた。今回の原因については、地震動の影響な

ど解明できていない部分もあるが、地山の劣化もその一因となった可能性もある。

また、平成20年8月には供用後約17年経過した山形道の盃山トンネルにおいて、インバート設置区間にもかかわらず路面がきわめて短期間に最大で950mm隆起するという変状が生じた。このトンネルは膨張性地山を通過しており、地山の塑性圧によりインバートが破壊され、路面変状に至ったものと推定されている。当該トンネルは建設時にも地山の膨張現象が生じ、急激な内空変位、切羽の押し出しなどが生じ、難航した区間であった。

この盃山トンネルほどではないが、ほかにも路面や円形水路などの変状が生じているトンネルがいくつか報告されており、地下水や湧水の浸透による地山の劣化や塑性化による供用トンネルの変状事例は今後も増えてくると予想される。

従来トンネルは交通の隘路に設置されており、長期の交通閉鎖は社会的な影響も大きい。今後はこのような変状を事前に予測する手法や継続的な観測・モニタリングの技術、さらには変状が生じた場合にそれを効果的に、かつ極力交通を確保しながら補修・補強する工法の開発が望まれる。

一方それほど大きな変状ではないものの、老朽化などに伴う覆工コンクリートの剝落はお客様の安全に直結するものであり、頭を痛めている問題である。弊社ではより密実で品質の良い覆工コンクリートを打設するために、特殊な薬剤の代わりに石粉や石炭灰を添加することにより安価に流動性を高めた「中流動コンクリート」の採用を積極的に進めている。この中流動コンクリートは(株)高速道路総合技術研究所(NEXCO総研)で開発したもので、昨年、北海道横断道の久留喜トンネルで全面的な採用を行った。現在、この経験をもとに更なる普及に向けた最適な施工方法などの検討を行っているところである。

トンネルを健全な状態で保全し、お客様に安心してご利用いただくという責務を担う弊社にとって、これに従事する技術者の育成・確保も重要と考えている。保全を担当する技術者には、対象とするトンネルが過去どのような地質で、どのような技術により建設されたのかといったことを熟知したうえで、最新の技術でもって対処するというきわめて高い技術力が求められる。しかしながらノウハウを持った団塊の世代がすでにリタイアの時期に達する一方、新規建設が縮小化していくなか、若手技術者が新たに建設技術を習得する機会も減少している。今後は貴重な建設フィールドを有効に活用し、効果的なOJTと専門家による指導を組み合わせ、技術力の空洞化に対処していく必要性を痛感している。

これら課題を解決しつつ、今後ともNEXCO東日本は安全・安心なトンネル空間の確保に向けたさまざまな取り組みを行い、高速道路のプロ集団として、さらに質の高い高速道路サービスを提供していかなければならないと考えている。

当協会会員の皆様の豊富な経験と高い技術力に期待するとともに、引き続き高速道路事業にご支援いただくことをお願いする次第である。

## 施工

# 蛇紋岩地すべり脆弱部を早期閉合で掘削

## —北海道横断自動車道 タンネナイトンネル—

(株)高速道路総合技術研究所道路研究部トンネル研究室長 中野清人  
東日本高速道路(株)北海道支社千歳工事事務所占冠西工事長 佐藤諭一  
前田建設工業(株)・日特建設(株)特定建設工事共同企業体副所長 本藤敦

### 1 はじめに

北海道横断自動車道は、千歳恵庭JCTから分岐し、帯広・釧路方面へ北海道を東西に結ぶ高規格幹線道路(図-1)であり、昨年10月24日にトマム～占冠間が供用し、順次、整備が進んできている。タンネナイトンネルは占冠インターから西側約2kmに位置し、大規模な蛇紋岩の地すべり箇所において脆弱な地質を通過することから、トンネル掘削により地すべりの滑動に影響を与えることが危惧されていた。

本稿は、本地すべりに対して調査時から設計、および施工段階まで継続的に検討を行い、事前対策工の実施からトンネル掘削時における対策について報告するものである。

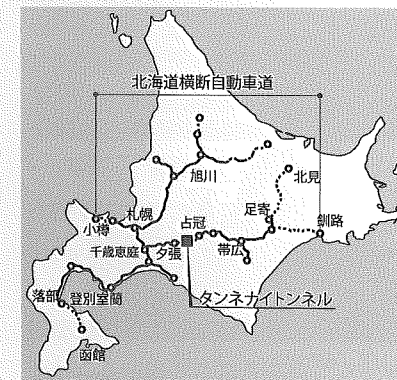


図-1 工事位置図

### 2 路線の概要と技術的課題

夕張～占冠間は図-2のとおり、夕張山地から日高山脈に連なる山地部を東西に通過する路線で約50%がトンネル構造で8本のトンネル(うち4,000m級避難坑ありが3本)の建設が進められ、現在、終盤に差し掛かってきている。並行するJR石勝線(旧紅葉山線)や一般国道274号は脆弱な地質などのため土工、トンネル工事などで難工事となり計画より長い期間を要したことから、これらの施工記録を調べるとともに、施工者からヒアリングを実施し、下記のとおり、技術的課題を整理・抽出した。

- ① 図-3のとおり、トンネル全延長のうち蛇紋岩、泥岩、堆積物など脆弱地質が約60%(地山等級DとEが全延長の60%以上)を占める。

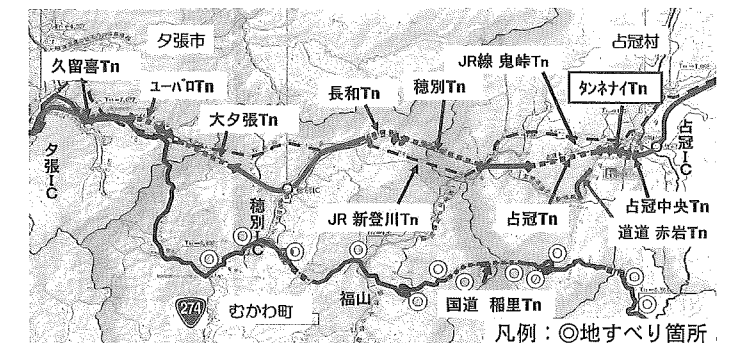


図-2 夕張～占冠間路線図

- ② 夕張など旧炭鉱地周辺を通過し、トンネル掘削時に可燃性ガスの発生の可能性が危惧される<sup>2)</sup>。
  - ③ トンネルと地すべりブロックが交差する箇所が多い。
- このため、調査・設計段階から外部の専門委員

○地質凡例

地質時代	地層名	記号	地質	地質時代	地層名	記号	地質
第四紀	砂土・砂	sd	砂・砂・粘土	白土層	中位-細粒砂岩	Hb5	中位-細粒砂岩
	砂・砂	sd	砂・砂		砂岩	Hb4	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		粗粒砂岩卓越	Hb3	粗粒砂岩卓越
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		シルト岩卓越	Hb2	シルト岩卓越
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩・凝灰岩互層	Hb1	砂岩・凝灰岩互層
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		上部頁岩層群	Ym	泥岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		泥岩	Ym	泥岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Ym	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩・泥岩互層	Ym	砂岩・泥岩互層
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		凝灰岩	Ym	凝灰岩
中生代	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土	中部頁岩層群	凝灰岩	Ym	凝灰岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		凝灰岩	Ym	凝灰岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		凝灰岩	Ym	凝灰岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		凝灰岩	Ym	凝灰岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		凝灰岩	Ym	凝灰岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		凝灰岩	Ym	凝灰岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		凝灰岩	Ym	凝灰岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		凝灰岩	Ym	凝灰岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		凝灰岩	Ym	凝灰岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		凝灰岩	Ym	凝灰岩
新生代	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土	ハルタオマナイ層	砂岩	Hm	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Hm	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Hm	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Hm	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Hm	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Hm	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Hm	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Hm	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Hm	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Hm	砂岩
第三紀	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土	賀入岩	玄武岩	Ba	玄武岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		玄武岩	Ba	玄武岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		玄武岩	Ba	玄武岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		玄武岩	Ba	玄武岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		玄武岩	Ba	玄武岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		玄武岩	Ba	玄武岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		玄武岩	Ba	玄武岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		玄武岩	Ba	玄武岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		玄武岩	Ba	玄武岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		玄武岩	Ba	玄武岩
第四紀	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土	紅雲山層	砂岩	Ms	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Ms	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Ms	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Ms	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Ms	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Ms	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Ms	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Ms	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Ms	砂岩
	砂・砂・粘土	sd	砂・砂・粘土		砂岩	Ms	砂岩

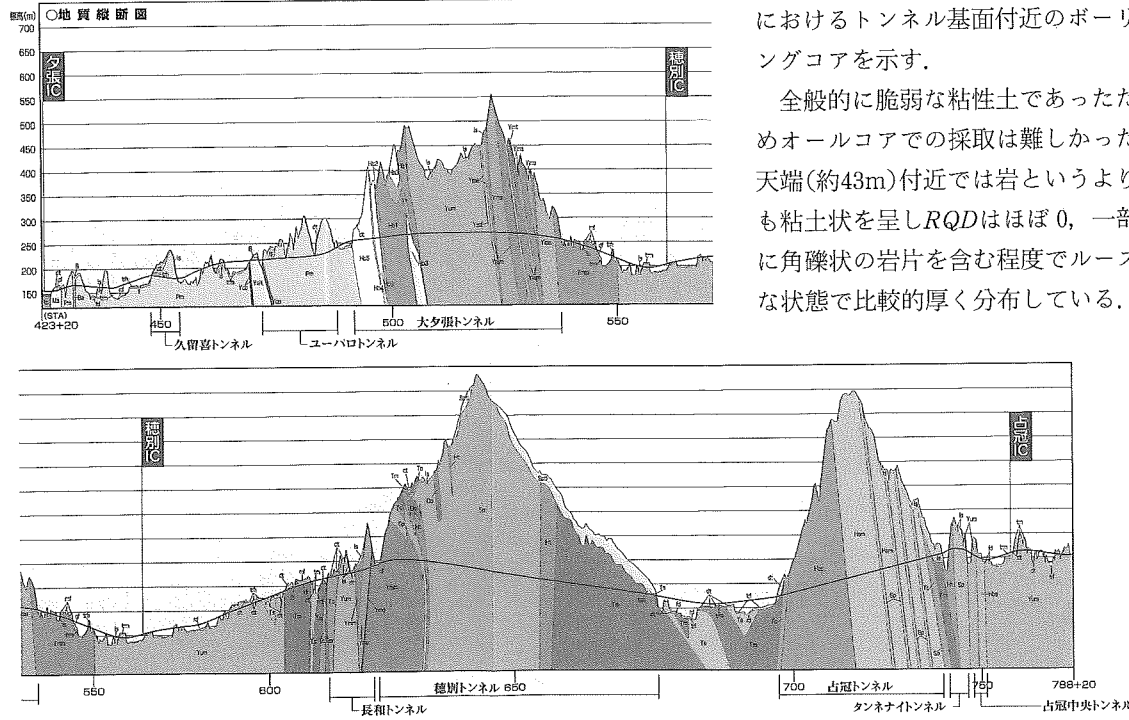


図-3 夕張～占冠間地質縦断面図

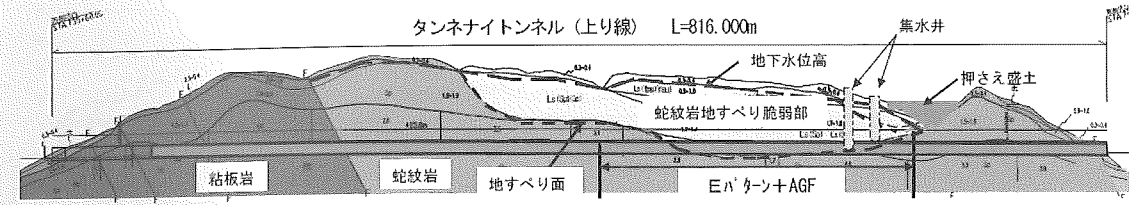


図-4 タンネナイトンネル地質縦断面図

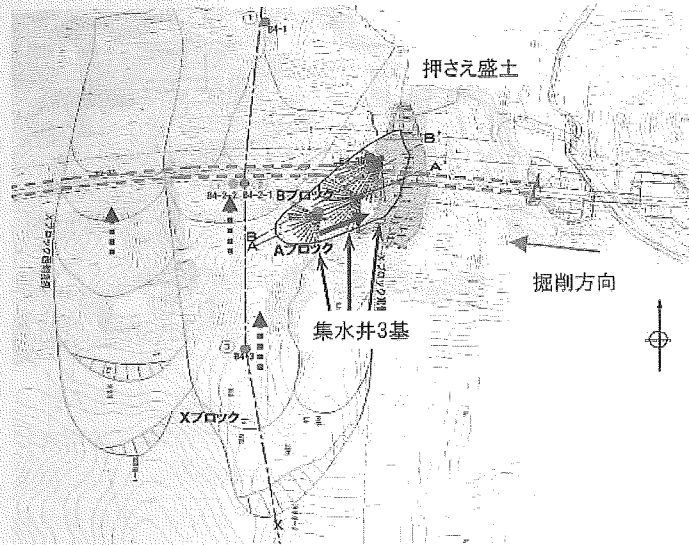


図-5 大規模複合地すべりブロック

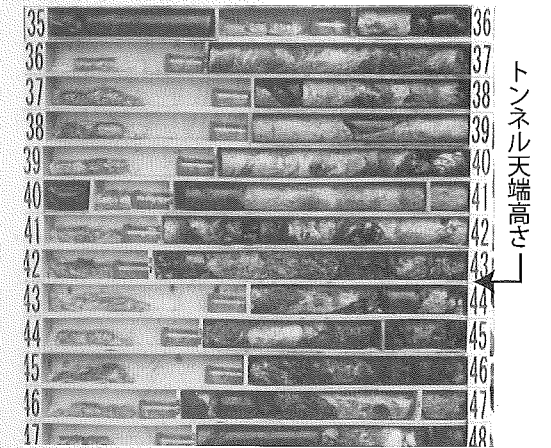


写真-1 脆弱部での天端付近のボーリングコア  
 点在する岩片での強度は0.5~0.8N/mm<sup>2</sup>で低く、地山強度比は0.57~1.57程度であった。  
 さらに、地上のボーリング孔の地下水位は、脆弱部と隣接する蛇紋岩区間では図-4のとおり地表面から5m程下にあり高いことが判明した。天端付近のルーズな粘性土の性状を考慮すると、トン

ネル掘削時に切羽からの突発湧水の発生やそれに伴う路盤の泥濁化などが懸念された。

4 事前の地すべり対策工と支保構造設計

大規模複合地すべりの確認後、直ちに傾斜計、地下水位計により観測を始めた。大規模なXブロックは滑動の傾向はなかったが、Xブロックに包含されるA、Bブロックは傾斜計に滑動の徴候が見られた。このためトンネル掘削による地すべりブロックへの影響を少しでも軽減するため、トンネル前後

も含めた縦断線形の見直しを行い、可能な範囲(約5m程度)で縦断線形を下げた。さらに、集水井3基による地下水位低下と押さえ盛土により、A、Bブロックの滑動を抑制しXブロック全体の安全率を確保することとした。本路線の地すべり対策の考え方は、周辺の鉄道や国道の施工記録などから、工事着手前に集水井や水抜きボーリングで地下水位を低下させ、融雪期での安定性を確認した後本線工事に着手することを前述の地すべり検討委員会に諮り基本ルールとした。本対策で地下水位は5~7m低下、さらに押さえ盛土でA、Bブロックの滑動を抑えた。また、トンネル掘削に先立ち、地すべりの挙動をより精度高くモニタリングするため、傾斜計13孔(うち自動計測4孔)、地下水位計14孔など観測ポイントを増やし、観測体制の強化を図った。

脆弱部の支保構造は周辺トンネルの施工事例<sup>1),3),4)</sup>を参考にして、FEM解析により決定した。地山物性値を表-1に、解析モデルを図-6に示す。

表-1 地山物性値

(1) 地山							
地山	弾性波速度 $V_p$ (km/sec)	単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	変形係数 $D$ (MPa)	ポアソン比 $\nu$	粘着力 $C$ (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ (度)	引張強度 $\sigma_t$ (MPa)
D1	0.3~0.4	18.4	100	0.40	0.50	25	0.05
D2	0.9~1.0	20.7	100	0.40	0.50	25	0.05
DM	1.7~1.8	22.1	18	0.48	0.13	15	0.01
DH	2.6	22.4	40	0.48	0.23	17	0.02

(2) 吹付けコンクリート

吹付けコンクリート	弾性係数 $E$ (kN/m <sup>2</sup> )	単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
高強度吹付けコンクリート	6.000E+03	0.023

(3) 先受け工

部材	弾性係数 $E$ (kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$	粘着力 $C$ (MPa)	内部摩擦角 $\phi$ (度)	引張強度 $\sigma_t$ (MPa)
先受け工 (AGF)	9.000E+02	0.30	5.25	52.00	0.16

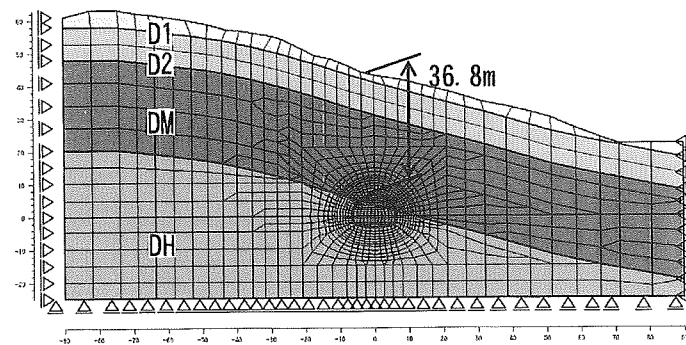


図-6 解析モデル

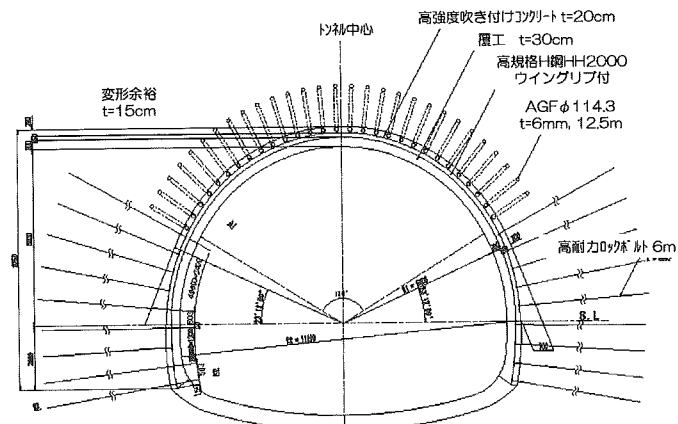


図-7 特殊支保 E パターン

蛇紋岩の粘性土が卓越するDM層とDH層の変形係数は、水平荷重試験による数値を採用した。解析結果から、標準支保パターンDIIでは天端沈下量は変形余裕量を大きく上廻るだけでなく、吹付けコンクリートの応力は設計強度(18N/mm<sup>2</sup>)レベルまで発生、鋼アーチ支保工応力も耐力を大きく

超過する結果となった。隣接するトンネルの脆弱区間で実施された支保構造も勘案し、新東名で使われている高強度吹付けコンクリート(36N/mm<sup>2</sup>)、高規格H形鋼(440N/mm<sup>2</sup>)、高耐力のロックボルト(29kN)を当初から適用させた。また、長尺鋼管先受け工(以下「AGF」という)は天端や支保構造の安定性を向上させること、A、Bブロックはかつて滑動傾向があったことからトンネル掘削による緩みを極力抑えたいと考え、A、Bブロック領域下について当初から採用し、図-7に示す特殊支保Eパターンを設定した。

## 5 トンネル掘削

### 5-1 上半先進ショットベンチ工法から早期閉合法へ

坑口部の掘削は上半先進ショートベンチカット工法(以下「上半工法」という)で着手したが、当初から図-8に示すとおり上半掘削でトンネル全体の沈下が生じ、下半掘削およびインバート掘削でも沈下、クリープ的な沈下が継続した。状況を見ながら、上半盤で根巻きコンクリート、下半盤でも施工したが、改善されない。その後、上半盤での仮インバートによる閉合は一時的な効果だけで、最終的にインバート断面内でH形鋼ストラットと

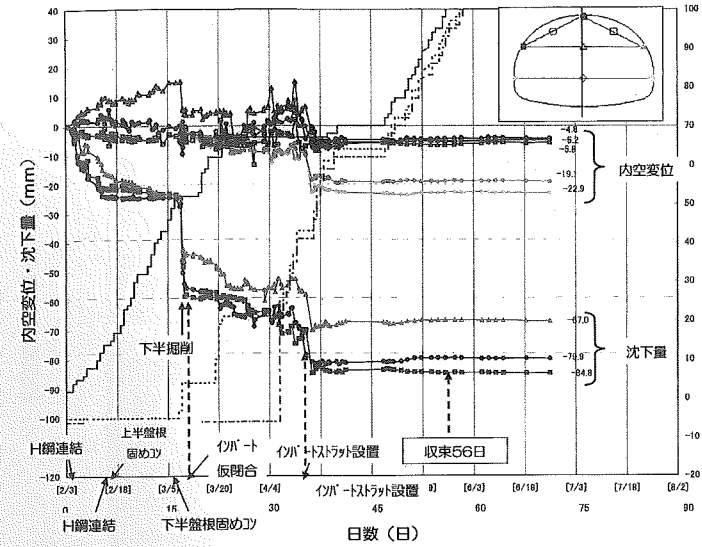
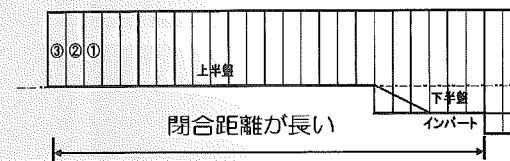


図-8 坑口部の変形と沈下対策(上半工法)



(1) 上半工法



(2) 早期閉合

図-9 早期閉合施工順序

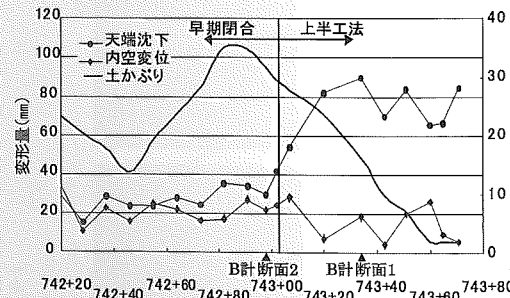


図-10 変形量の比較

吹付けコンクリートにて閉合すると、最終的に沈下は収束し安定した。このような状況が続き、坑内の作業は切羽付近だけでなく、後方の沈下状況を見ながら上半盤や下半盤での対策を場当たりの

に行わざるを得なくなった。

施工方法の抜本的な見直しが必要となった。そこで地すべり箇所や蛇紋岩などの脆弱地山のトンネルなどでは、変形を抑制する場合に補助ベンチ付き全断面に近い形態の掘削工法による早期閉合法(以下「早期閉合」という)が、効果的との報告が多いことから<sup>3)~5)</sup>、試行的に行った。早期閉合は図-9に示すとおり、サネを2m程度残し掘削は上半、下半およびインバートの3断面に分け、上半盤の施工の際は斜路を設置、下半盤の施工の際には撤去し、上半3間掘削後、下半・インバートの交互掘削3回と併進しながら、断

面閉合を行うものである。閉合距離は切羽位置から6~9mとした。全断面(上半と下半の同時)掘削は切羽の安定性が懸念されたこと、下半盤から掘削機械が届かないことから、採用しなかった。図-10のとおり、早期閉合では天端沈下量は上半工法の1/3程度、収束時間も1/3程度となり、効果的であった。また、上半工法で使わざるを得なかった各種の沈下対策工は不要となり、作業が切羽付近に集約され効率的となった。補助工法は、上半工法より切羽が高くなり不安定となる部分を補足するため鏡ボルト(5本)を切羽上部に設定した。切羽の状況を見ながらこの鏡ボルトの本数を増減することにした。

### 5-2 脆弱部の施工

脆弱部では、図-11に示すように切羽には蛇紋岩粘性土の割合が高くなり、部分的に塊状の蛇紋岩が点在する状況となってきた。切羽のほぼ80%以上が粘性土状の蛇紋岩となったが、すべり面は不明瞭で特定は困難であった。切羽は部分的な崩落をくり返したが、AGFが効果的に天端を保持していたため、大きな崩落には至らず、2m程度のサネと最小限の鏡ボルトで切羽の自立性は確保できていた。天端沈下は図-12のように60mm程度であるが、最初の15日ほどで収束に向かうもののクリープ的な変位が継続し完全に収束するまでに



3本配置した。このサイドパイル区間以降、切羽にさらに滴水の範囲が広がり切羽崩落の頻度が増えてきたため、鏡ボルトを12本に増加させた。併せてA計測側線ピッチを10mから5mへ変更した。STA.740+56からは、天端沈下と内空変位ともに初期変位速度が大きくなり、16m程度の区間、サイドパイルを用いた。サイドパイルにより変形は収束へ向かうように大きく改善され効果的であったが、脚部沈下は136mmと最大値でクリープ的な変形を示し収束するまで約50日以上を要した。

5-3 地下水調査

脆弱部は地下水位が高く、突発湧水が危惧されていたため、切羽前方に水抜きボーリングL=50mを3回試みた。一度だけ5ℓ/min程度の湧水量が確認されたが、他の2本はほとんど出なかった。しかし、地上からの地下水位観測では、継続して高い位置であった。この水の供給源を探るため、地下水位検層を行った。

図-18に示すとおりT18-2孔で水温法と比抵抗法で行った結果、若干高さの違いはあるが、湧水流入箇所は深度30~35m付近であった。この事実とこれまでの切羽状況を考えると、脆弱部は密実な(空隙の少ない)粘性土が切羽全体を覆い、トンネルより20m高い位

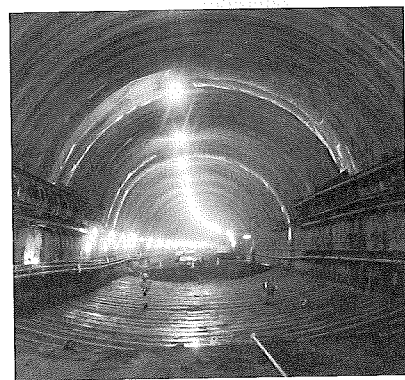


写真-2 サイドパイル区間全景

置の地下水を遮水しているのではないかと考えられた。脆弱部と蛇紋岩区間ともに滴水程度であったが、工事を進めるうえで非常に幸いな方向であったと思われる。

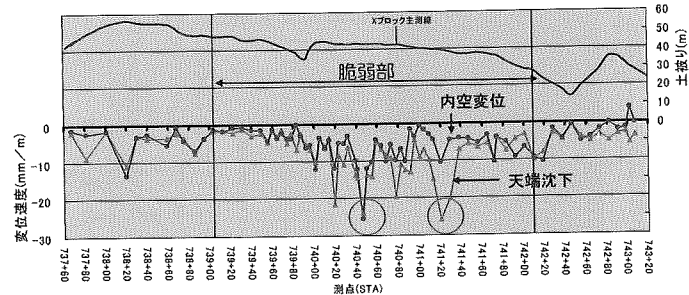


図-16 脆弱部の初期変位速度

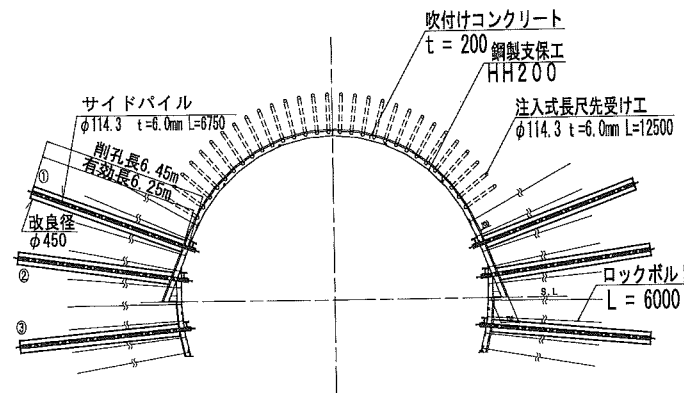
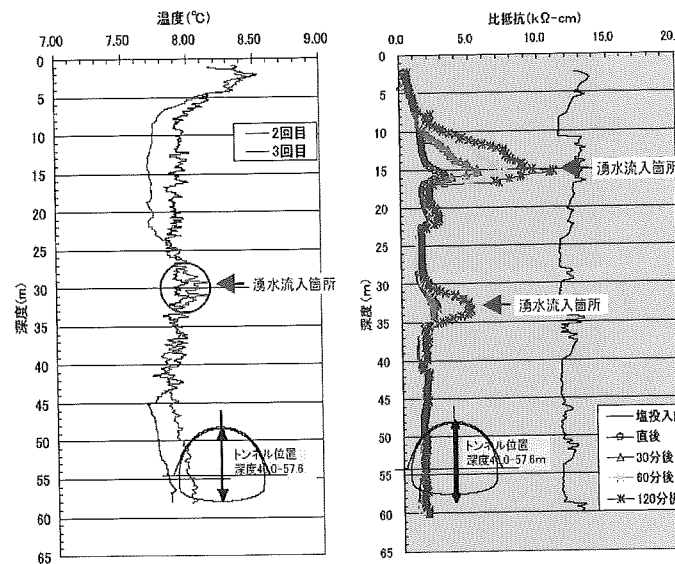


図-17 サイドパイルの配置



(a)水温法 (b)比抵抗法

図-18 地下水位検層結果

大きな荷重が作用することもあると言われている。損傷区間は最大沈下量が生じていたことからインバートにもっとも大きな断面力が作用していたのではないかとと思われる。

復旧はインバート半径をインバート半径/上半半径=2.0となる半径でトンネル断面の構造変更を行い、試行区間で変位の収束を確認した後、該当区間を縫い返した。

このようなことから、早期閉合で大きな変位や応力が作用していると判断される際は、変位の収束を確認した場合であっても、早期閉合したインバートの健全性については定期的に確認する必要があると思われる。

5-6 ハッタオマナイ層粘板岩区間

粘板岩区間では、岩盤強度が高く自立性が高い粘板岩が現れた。1D程度は従前の支保パターンと工法を継続した。変位量が少なく安定したと判断されたため、上半工法に戻した。しかし、一部、側方の押し出しやロックボルトの破断が急遽発生したが、増しロックボルト (L=6m) により地山を押さえ、変位を収束させて貫通に至った。坑口付けから貫通まで終始、想定以上の変形挙動が続いたが、夕張から占冠間のトンネルで最初の貫通となった。

6 おわりに

今回、調査段階からの掘削前の各種地すべり対策工やトンネル掘削時における支保構造や早期閉合などによって地すべりに対する影響を大きく軽減できたと思われる。

現在、夕張から占冠間は8本中6本のトンネルが貫通し、地すべりブロックと交差するトンネルはほぼ掘削が終了している。長大トンネルの穂別トンネル、占冠トンネルは掘削中で最終段階を迎えつつある。

最後に委員会にてご協力をいただいた、地すべり検討委員会の三田地(前)委員長、田中(現)委員長(北海道大学)、トンネル検討委員会の三上委員長(北海道大学)をはじめ各委員の方々に深く、感謝の意を表したい。



写真-3 インバートの変状

5-4 地すべりへの影響

A, Bブロック直下、およびXブロックの中央部を掘削した際、傾斜計の想定すべり面での変位はトンネル掘削に伴うゆるみの影響を受け、切羽が2D(D=直径)程度手前に近づく、傾斜計は変動を示したが、トンネル通過後に収束傾向となり、落ちついた。集水井3基による大幅な地下水位低下は、A, Bブロックの安定性だけでなくXブロックに対しても安定性を高めたものと思われる。

脆弱部を過ぎ、切羽は同じような状況が継続したため、早期閉合、特殊パターン、AGF、鏡ボルトは継続した。その後、徐々にではあるが変位量が少なくなり、傾斜計の動きについても監視しながら、補助工法および支保パターンを徐々にランクダウンさせた。

5-5 閉合インバートの変状

本設インバートを施工する際、サイドパイルを用いた大変位区間で早期閉合インバートに盤膨れが発生し、写真-3のように吹付けコンクリートにも大きなひび割れが確認された。ストラットは部分的に座屈し、中央付近で最大10cm程度持ち上げられ内空が侵されていた。変位計測では収束していたにもかかわらず、インバートのみが変形し変状を受けていた。

原因を究明のため、原位置試料で試験した結果、一部に膨張性鉱物を含んでおり、強度劣化による塑性地圧に加え膨張圧が作用したと思われる。また、早期閉合は早く構築されるリングによって変形を収めることが特徴である反面、支保部材に

参考文献

- 1) 日本鉄道建設公団札幌支社：石勝線建設工事誌，1982.3.
- 2) 加藤吉文・中野清人：トンネル掘削における可燃性ガスの発生状況と対策～北海道横断自動車道 穂別トンネル，占冠トンネル～，EXTEC，No.79，pp.18-22，2006.12.
- 3) 川村俊一・島豊・河田孝志・金岡幹：大規模地すべり脆弱部を2重支保で突破，道道夕張新得線 赤岩

- トンネル，トンネルと地下，Vol.37，No.12，2006.12.
- 4) 安藤武義・小澤隆二・内田渉・谷卓也：蛇紋岩地山での変形抑制と新しい吹付け応力測定法への取り組み，北海道横断自動車道 東占冠トンネル，トンネルと地下，Vol.39，No.6，2008.6.
  - 5) 田山聡・竹國一也・神澤幸治・平野宏幸：小土かぶりの大規模地すべり地帯を情報化施工で突破，第二東名高速道路 引佐第二トンネル，トンネルと地下，Vol.36，No.3，2005.3.

P.A.ドミニコ，F.W.シュワルツ著

地下水の科学 各B5判 全3巻

地下水の科学研究会 大西 有三 監訳

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

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

<第I巻 主要目次>

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

<第II巻 主要目次>

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

<第III巻 主要目次>

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

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

施工

国道直下を地上からの地山改良で掘削

—一般国道12号 旭川トンネル—

国土交通省北海道開発局旭川開発建設部旭川道路事務所第1工事課建設監督官 和田 芳明  
国土交通省北海道開発局旭川開発建設部旭川道路事務所第1工事課第2建設係長 館山 孝利  
大林・岩田地崎・荒井特定建設工事共同企業体旭川トンネルJV所長 桶谷 強  
大林・岩田地崎・荒井特定建設工事共同企業体旭川トンネルJV工事長 後藤 隆之

1 はじめに

一般国道12号旭川トンネルは，北海道旭川市の西端の丘陵地帯に位置し，旭川市中心部を通過する国道12号の混雑緩和や広域交通ネットワークとして北海道縦貫自動車道へのアクセス向上を図る環状バイパス道路「旭川新道」の一部である（図-1）。旭川トンネルは昭和62年に下り線のみ完成し，着工当時は対面通行で供用されていた。本工事は供用中の下り線トンネルと並行に上り線トンネルを新設するものである。

本トンネルはほぼ全線が未固結の火山灰質砂および砂礫で構成された土砂地山であり，トンネルの直上には国道12号や住宅街などが広がっており，

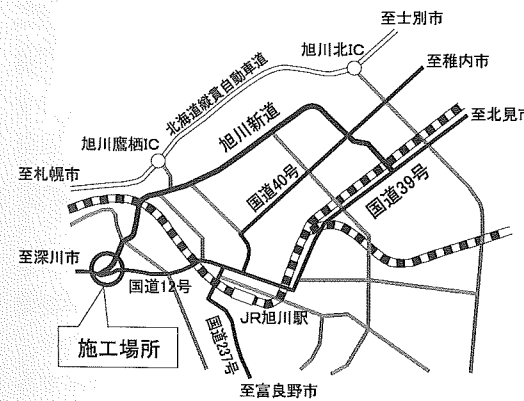


図-1 旭川トンネル位置図

施工に際して地上物件の安全確保のための沈下抑制を求められた。

そのため，本工事ではほぼ全区間に長尺鋼管フォアパイリング（以下，AGF）を採用したうえで，地表面沈下計測を全線にわたり実施し，嚴重な監視を行いながら掘削を行った。

本稿では主に国道直下の超小土かぶり区間における対策工の設計・施工について報告する。さらに住宅街直下の小土かぶり区間における施工結果についても報告する。

2 工事概要

2-1 工事概要

工事名称：一般国道12号旭川市旭川トンネル工事  
延長：799.985m  
施工場所：北海道旭川市神居町台場～忠和  
工期：平成17年11月～平成20年3月  
構造規格：第4種第1級  
設計速度：60km/h  
幅員：11.25m  
工事内容：トンネル掘削工 L=728.99m，掘削断面積102～113m<sup>2</sup>，仕上がり断面積80.9m<sup>2</sup>，巻き出し工 L=28.00m，坑門工 L=15.00m

2-2 地形・地質概要

施工区間はなだらかな丘陵地形をなしており、その土かぶりは最大約30mである。また地質は火砕流堆積物(十勝溶結凝灰岩)の火山灰質砂と砂礫によって構成された土砂地山である。地質縦断および平面を図-2,3に示す。本トンネルは地形、地

地質凡例					
時代	層序	層区分	記号	地質	
第四紀	沖積世		B	盛土	
		沖積層	Al	沢床堆積物	
		崖錐堆積物	Ddt	砂れき・砂質シルト	
		河床堆積物	Drd	砂・粘土	
	洪積世	段丘堆積物	第I層	Dc1	粘性土層1
				Dvs1	火山灰質砂層1
			Dg1	砂れき層1	
			Dc2	粘性土層2	
			Dvs2	火山灰質砂層2	
			Dg2	砂れき層2	
第II層		Dvs3	火山灰質砂層3		
		Dg3	砂れき層3		
火砕流堆積物		Dtf	軽石交じり凝灰岩		
		Dc4	粘性土層4		
下部礫層	第IV層	Dvs4	火山灰質砂層4		
		Dg4	砂れき層4		

質などの条件から表-1のように大きく四つのエリアに区分される。

本トンネルと国道12号とは土かぶり5~7mで斜めに交差し(エリア①), その影響範囲は延長90mに及ぶ。国道路面の目標沈下値は、交通量の多い一般国道における維持修繕要否の判断目標値30~40mm<sup>1)</sup>より、本工事では30mm以内と設定した。一方、住宅街(エリア②)での土かぶりは15~30mであり、延長約300mにわたり家屋が密集する。その区間では目標沈下量を20mm以内、傾斜量を1/1,000rad以下とした<sup>2)</sup>。

表-1 地形・地質に応じた分類

エリア	トンネル部の主な地質	平均N値	土かぶり	主な地上物件など
①	火山灰質砂	10~20	1D以下	国道12号
②	火山灰質砂	30~50	1~2D	住宅街
③	火山灰質砂	50以上	1.5~2D	雑木林
④	砂れき	50以上	1.5D以下	雑木林

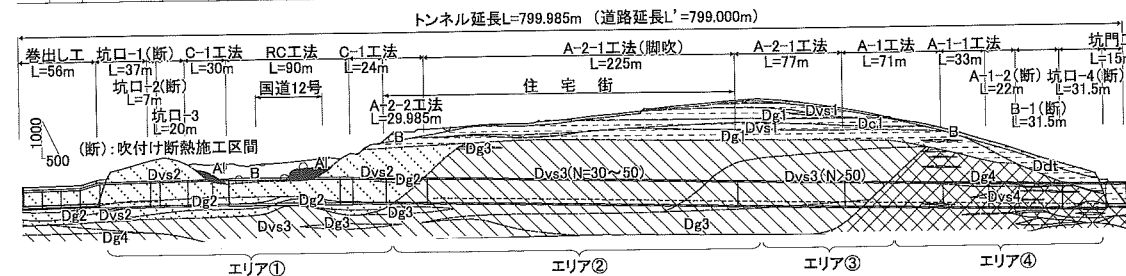


図-2 地質縦断図

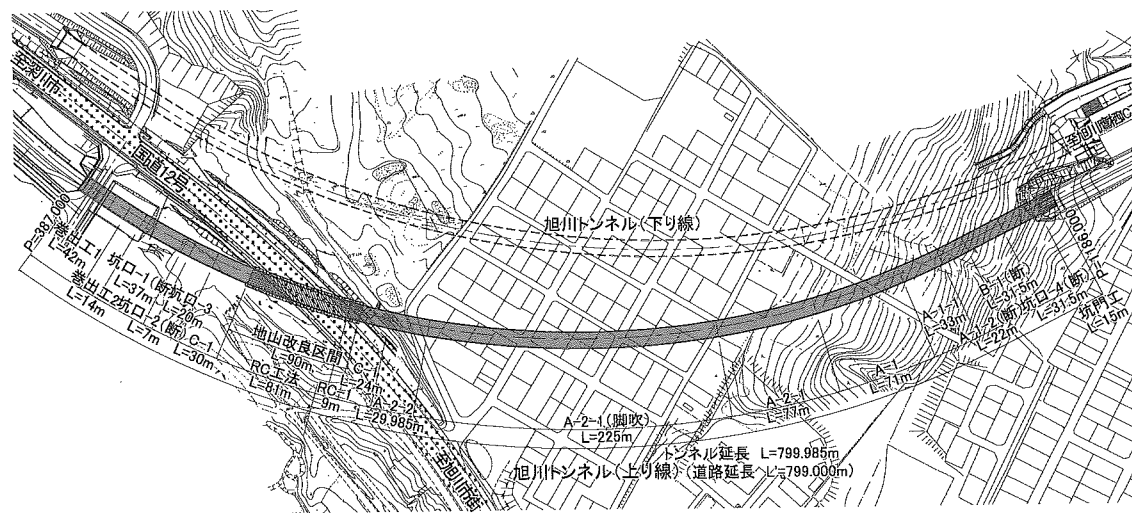


図-3 全体平面図

20程度と非常に脆弱であったが、湧水はほとんどなかった。

当初設計では起点側坑口~国道直下区間は、天端補強工として無拡幅型AGF、沈下抑制工として上半仮インバートが採用されており、事前の数値解析では最大29mmの地表面沈下量が予測されていた。

実際、掘削を行うと切羽通過直後の初期段階で目標とする30mmを超える地表面沈下量が発生したため、SP=480(TD=38m)より補助工法の追加を行うこととなった。

3-2 補助工法の追加とその結果

計測の経過を見ながら表-2に示す補助工法を採用した。この段階では基本的

的にトンネルの施工に用いる汎用機で施工できるものを選定した。

これらの補助工法を追加・変更したが、切羽通過後1日で地表面沈下は目標沈下量30mmを超える結果となった。その変位グラフの一例(SP=500, TD=57m)を図-5に示す。この地点では、掘削作業にはとくに問題はなかったが、地表面沈下量が40mmを超えたため直ちに上半掘削を中断し、下半・インバート掘削による早期閉合を図った。閉合後は65mm付近でいったん止まったが、掘削を継続すればさらに沈下は進行するものと予測された。

表-2 追加補助工法一覧

工法名	主な仕様	施工範囲
長尺鋼管フォアパイリング工法	拡幅型AGF-OFP工法, シリカレジン注入, L=12.5m×34本/シフト	SP=480~507
長尺鏡ボルト工法	GFRP管(FIT80S), シリカレジン注入, φ81mm, L=21.5m×15本/断面	SP=489~507
ウイングリブ付き支保工	上半支保工, W=500	SP=480~507
コンタクトバック工法	上半支保工背面, 支保工両脚部, 超速効性モルタル充填	SP=489~507
脚部改良工	GFRPボルト(中空), シリカレジン注入, φ30.5mm, L=4m×2本×左右(下向き打設)	SP=498~507

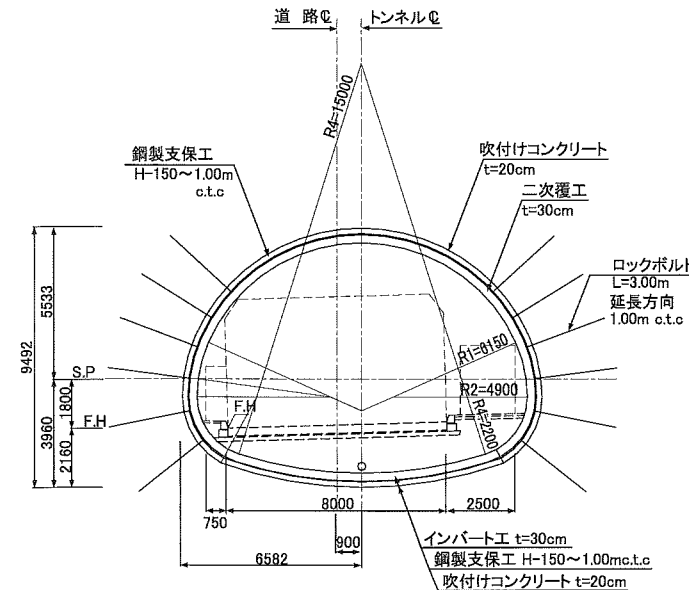


図-4 代表断面図

2-3 トンネルの概要

代表的な断面を図-4に示す。掘削は上半先進ショートベンチカット工法(上下半交互掘削), 機械掘削方式で行い、掘削機械には油圧式トンネル切削機(ロックカッタG75ATH-1, 1,400kg級)を採用した。また本トンネルの支保工の特徴として、小土かぶり・土砂地山トンネルであるため、早期閉合が必要であるとし、全線でインバート部に鋼製支保工+吹付けコンクリートが当初設計から採用され、下半掘削と同時に施工を行った。

また上半切羽安定対策として、核残しと鏡吹付けコンクリートを全線に実施した。

3 起点側からのトンネル掘削

3-1 国道直下掘削のための検討区間

起点側坑口から国道12号の影響範囲までの区間は延長が82mあり、地質と土かぶりはほぼ同じで、トンネル直上は用地敷地内という条件であった。よって、この区間を国道部施工のための検討区間として坑内外の計測工を行い、支保の妥当性や各種補助工法の効果などの検討を行うこととした。

平成18年2月、起点側(SP=443, TD=0m)よりトンネル掘削を開始した。地質はほぼ全面にわたり火山灰質砂で構成されており、N値は10~

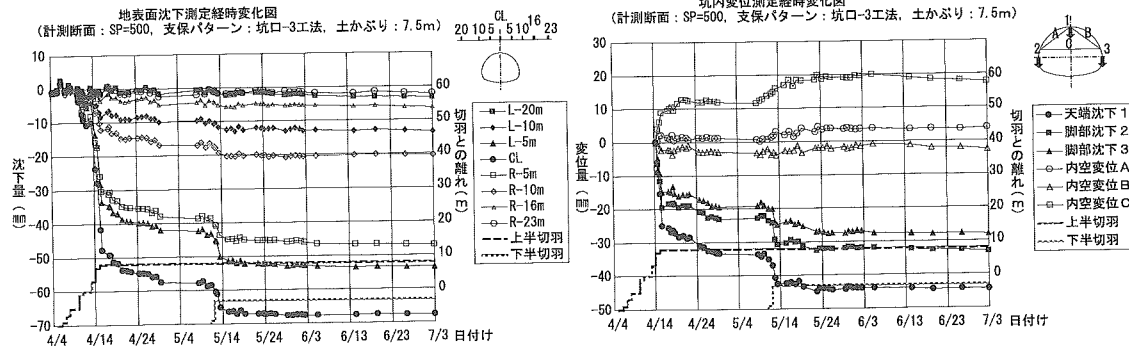


図-5 地表面・坑内変位測定結果

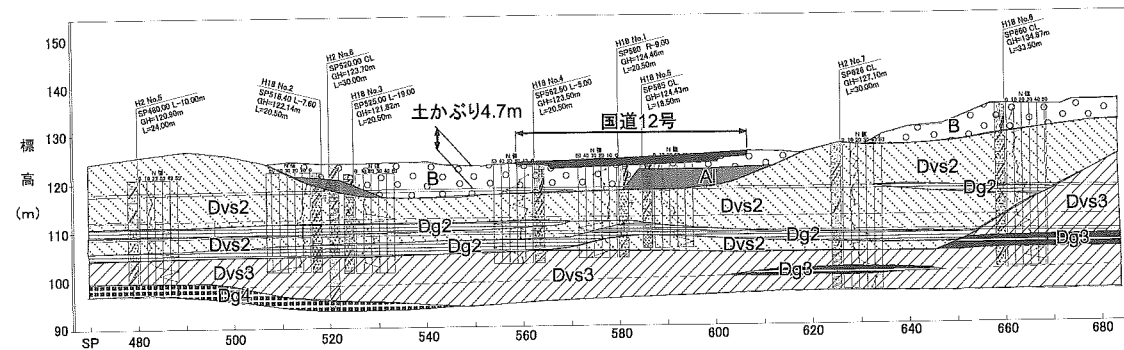


図-6 国道交差部地質縦断面図

この計測結果をもとに数値解析により地山物性値の見直しを行い、国道直下での変位予測を行ったところ、地表面で91mmの沈下量が予想され、このままでは国道直下の掘削は不可能であると判断し、平成18年4月、坑口より64m(SP=507)の地点でいったんトンネル掘削を中断し、国道部に対する検討を行うこととなった。

#### 4 国道交差部の地盤改良工

##### 4-1 追加地質調査

掘削中断後の現地踏査および40年前の国道設計時の図面などの調査から、トンネル直上の現国道はもともと沢部にあり、そこに盛土し造成されたものであることが判明した。さらにそれまでの切羽状況、数値解析などから地質も当初の設計時に用いられた地山物性値より悪いことが予測されたため、追加地質調査として国道部およびその周辺で合計6か所の追加ボーリング調査を行い、地質を見直すこととした。その地質調査結果を図-6, 7 および表-3に示す。

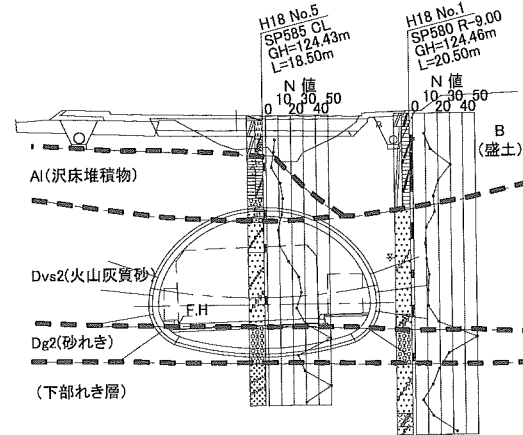


図-7 国道交差部地質横断面図

追加地質調査および検討区間での掘削結果より、トンネル掘削上の問題点として以下の事項を検討課題とした。

##### (1) 天端部に脆弱な地質が分布

国道交差部は盛土および沢床堆積物というN値が10以下はかなり脆弱な粘性土層で構成されており、それがトンネル上部を土かぶり5m程度で覆い、トンネル掘削時には地表面に大きな沈下をも

表-3 国道交差部における地質分類表

土層区分	記号	地質	代表N値	変形係数(MPa)
盛土	B	砂質シルト	10	2.85
沢床堆積物	AI	シルト質粘土	4	2.06
火山灰質砂	Dvs2	火山灰質砂	11	15.68
砂れき	Dg	砂れき	27	38.41

たらす可能性がある。

##### (2) 地山の地耐力不足

トンネル脚部に分布する火山灰質砂層の地耐力が不足しているため(N値10前後)、掘削後トンネル全体が沈下する可能性がある。

#### 4-2 施工方法の検討

##### 4-2-1 対策工の選定

上記の問題を解決する手段として、トンネル周辺を大規模に地山改良することが必要と判断し、対策工法を検討した。

対策工として、水平ジェットグラウト、パイプルーフ、薬液注入工法などの坑内からの補強工と、地上部からの地山改良工を比較検討し、その結果、地上部からの地山改良工を選定した。その選定理由は以下のとおりである。

- ・土かぶりが小さいことから、地上部よりトンネル周辺の地山改良が可能である。
- ・トンネル掘削時、沢床堆積物や盛土といった荷重として作用する部分のすべてを改良体として一体化することが可能である。
- ・支保工脚部下の地盤部分についても荷重を受ける改良体として補強されることにより、沈下を抑制することができる。
- ・もっとも確実にトンネル周辺に改良体を形成することができ、不測の事態(道路の陥没事故など)の発生する可能性が低い。

##### 4-2-2 改良体の形状と対策工の工法

改良体の形状として、①トンネル上部を全面改良し、②トンネル脚部に改良体を造成して、図-8に示すようにトンネルを門形に改良体で覆う構造とした。また改良材には、改良体として確実なものとするため、セメント系の改良材を用いることとした。

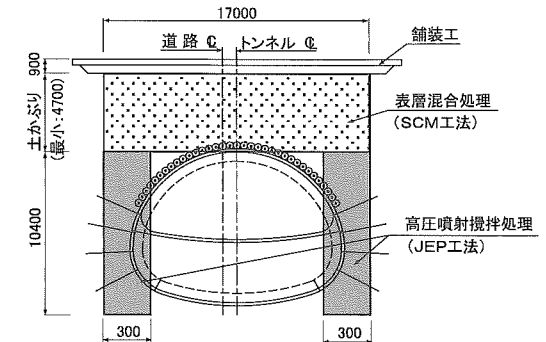


図-8 地山改良工横断面図

表-4 地山改良工仕様一覧

工法名	表層混合処理工法(SCM工法)
特徴	バックホウに専用攪拌機(ブレンダー)を取り付け、スラリー噴射方式で現位置土と攪拌混合を行う。
施工数量	V=7,600m <sup>3</sup>
目標強度	1MPa
目標変形係数	100MPa
スラリー配合	セメント系固化剤215kg:水215kg(対象土1m <sup>3</sup> あたり)
工法名	高圧噴射攪拌工法(JEP工法)
特徴	大口径(φ3,000)の改良体の造成が可能である。吐出圧力:40MPa
施工数量	φ=3m, H=10.4m, N=62本
目標強度	3MPa
目標変形係数	300MPa
スラリー配合	高炉セメント760kg, 専用混和剤10kg, 水743kg

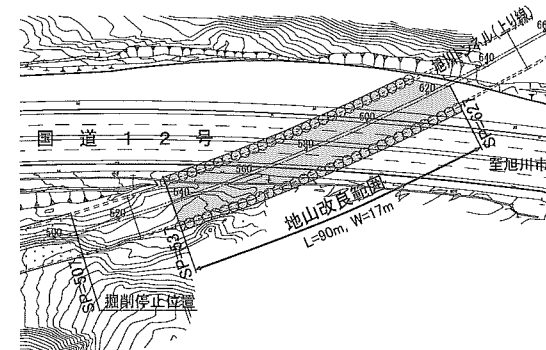


図-9 地山改良工平面図

改良体の要求強度、規模については、後述するFEM解析によって決定し、この要求性能を満たし、また現地条件、地質条件などを考慮し、施工方法を決定した。表-4に要求性能および工法など

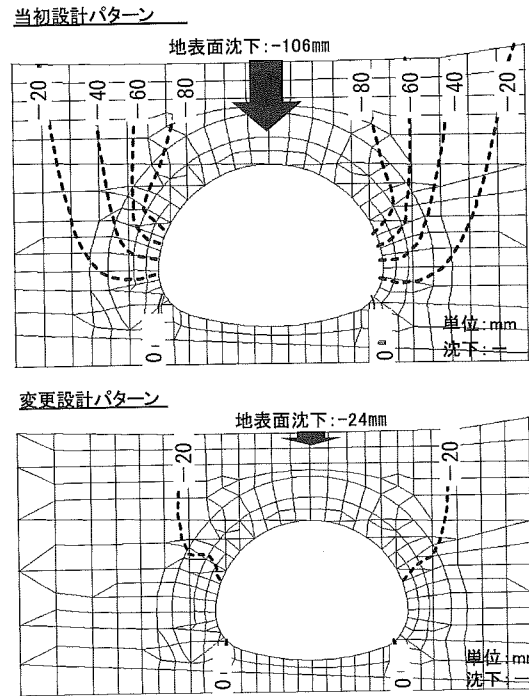


図-10 国道交差部における解析結果

を示す。また図-9には施工平面を示す。

選定したSCM工法は、バックホウをベースマシンとし、深度6m程度までの改良が可能であり、N値が30程度の地盤にも対応できる。JEP工法は、改良径3mの杭の造成が可能な高圧噴射攪拌法である。

#### 4-3 解析による予測

追加地質調査結果より見直した地山物性値を用いたFEM解析から、対策工による国道の沈下抑制効果を予測したところ(図-10)、当初設計パターンでは補助工法はAGF工法と上半仮インバートのみであり、脚部の支持力が得られないため、106mmの大きな地表面沈下を生じることが予測された。

一方、変更パターンは、トンネル上部を表層混合処理(SCM工法)により変形係数 $E=50\text{MPa}$ に改良、およびトンネル左右部を高圧噴射攪拌混合処理(JEP工法)により $E=100\text{MPa}$ まで杭状に改良した。さらに掘削時にはAGF工法と上半仮インバートを採用することとして、地表面沈下量の予測をしたところ30mm以内に抑制できるという結



写真-1 国道交差部における地山改良工状況(表層混合処理工法)

果を得た。この改良体については、試験施工を経て最終的に目標変形係数をSCM工法は $100\text{MPa}$ 、JEP工法は $300\text{MPa}$ とした。一般に改良の目標強度は一軸圧縮強度で管理されるが、ここではFEMによる沈下予測を考慮して、改良地山の变形係数で管理することとした。

#### 4-4 地盤改良工の施工

平成18年7月より試験施工を開始し、改良材の配合決定および施工性の可否を判定し、同年9月より本施工を行った。

国道には重要ライフライン(電話、電気、通信、水道など)が埋設されていたが、関係機関の協力もあり、施工に先立ちすべての切回し、もしくは一時撤去を円滑に行うことができた。それらの復旧工事はすべてトンネル掘削の完了後(収束確認後)に行った。

また交通量の多い国道12号は常時4車線確保が絶対条件であるため、施工の際は、迂回路の切回しを伴う5段階の分割施工を余儀なくされたが、安全な一般交通誘導のための仮設配置などの施工計画を検討し、スムーズな施工ができた。写真-1は、国道本線部をSCM工法で地山改良を実施している状況である。

### 5 国道交差部における掘削

#### 5-1 改良区間の掘削

国道部の対策工実施のため、起点側からのトンネル掘削は長期間の中断を余儀なくされたが、平成18年7月下旬より終点側(SP=1,170)からの掘

削を再開し、平成19年7月末、地山改良区間(SP=627)に到達した。

国道交差部のトンネル掘削は地山改良を先行していたことから、拡幅型AGF工法(セメント系注入材管内充填のみ)と上半仮インバートの併用で臨んだ。図-11に国道交差部における支保パターンを示す。

改良体は切羽断面に写真-2のように出現した。改良状況は部分的に巨礫の影響などによる欠損箇所が見られたが、全体的には良好であり、目標強度も十分確保できていた。

ただし写真-2に示すように、この区間の弱点のひとつである黒褐色の沢床堆積物が想定以上に深く上半切羽に現れており、最大では上半切羽面の80%以上を占めていた。旧沢部ということから含水率も高く、土砂の流出、鏡面の崩壊の恐れがあり、国道直下であることも考慮し、長尺鏡ボルトを施工し、鏡面の安定を図った。

長尺鏡ボルトには、GFRP管(FIT80S)を採用した。打設位置を図-11に示す。FIT80Sは従来品に比べ、継手部耐力を強化し、20m以上の長尺打設を可能としたものである。

したがって、打設長を21.5m/本(18m/シフト)とし、より切羽前方まで地山補強が可能となった。また、打設シフト数を削減することができるので、ラップ数が減り、コストダウンとなる。さらに素材の改良により、トンネル掘削時の切断が容易で、かつ作業時のガラス繊維の飛散が少ない特徴がある<sup>3,4)</sup>。

#### 5-2 路面計測

この区間の地表面(国道路面)沈下計測にはノンプリズムトータルステーションを用いた自動路面計測システムを導入し、路面の変位状況の監視を実施した。

計測結果は、最大で1.7mmであり、測定誤差を考慮しても路面沈下量は5mm以下に収まっているといえ、問題なく国道交差部を通過することができた。

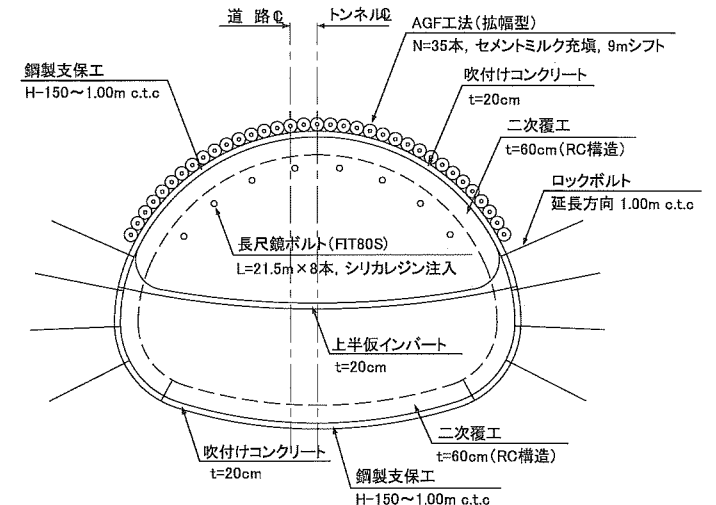


図-11 国道交差部における施工パターン図(施工パターン:RC工法)

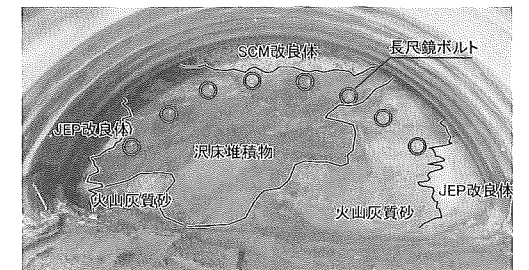


写真-2 国道交差部における切羽状況

### 6 終点側からのトンネル掘削

#### 6-1 終点側坑口より掘削

終点側坑口周辺は住宅地であり、仮設備用地も限られていたため、トンネル掘削に最低限必要な換気設備、給水設備程度を設置し、平成18年7月末よりトンネル掘削に着手した。終点側坑口(SP=1,170)から住宅街(エリア②)に達するまでの約200m間は地上物件もなく、順調に掘削を進めることができた。

#### 6-2 住宅街直下における掘削

住宅街(図-2のエリア②)ではボーリング結果から、主な地質は火山灰質砂礫であり、そのN値は30~40程度である。

住宅街直下の施工に先立ち、原位置孔内載荷試験結果から得た変形係数を用いた二次元有限差分解析を実施し、住宅部の地表面沈下を予測した。変形係数の試験値 $36\sim 72\text{MPa}$ の平均値 $60\text{MPa}$ を

解析入力値とした。その結果、住宅街の地表面沈下は目標値の20mmを超える25mm程度と予測された。

解析結果を受けて、脚部補強工などの補助工法の検討も行ったが、第一段階として、拡幅型AGF(シリカレジンを注入)+上半脚部吹付けコンクリートを採用し(図-12)、変位状況などを観察・分析しながら掘削を進めた。

住宅街での地表面沈下測定は、掘削影響範囲内をトンネルセンター上で10m間隔、その横断を5~10m間隔のメッシュに分け、できる限り多くの点で実施した。家屋に対しては、トンネル直上に

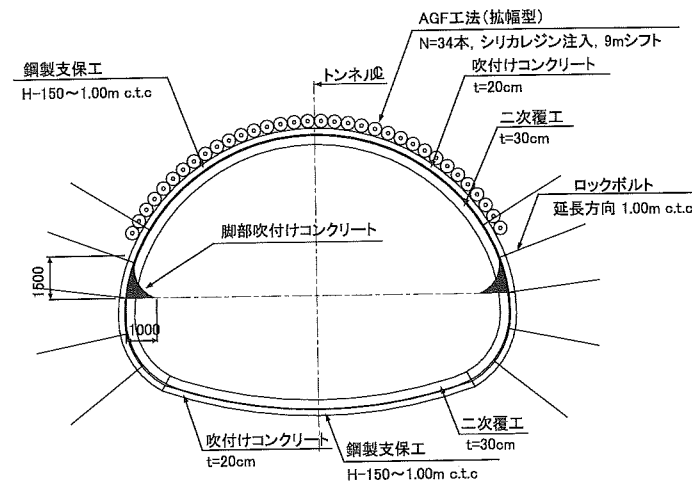


図-12 住宅街直下における施工パターン図(施工パターン:A-2-1(脚吹き)工法)

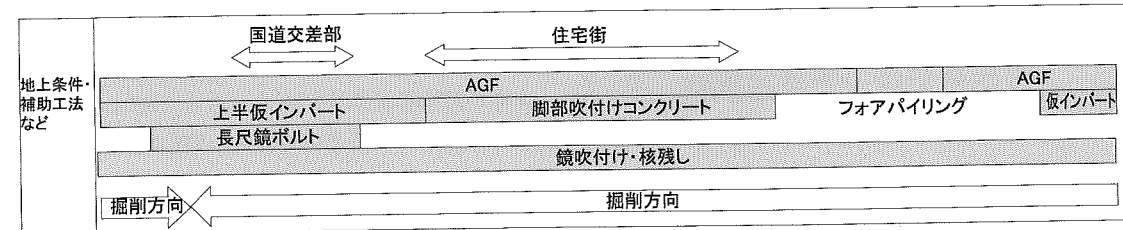
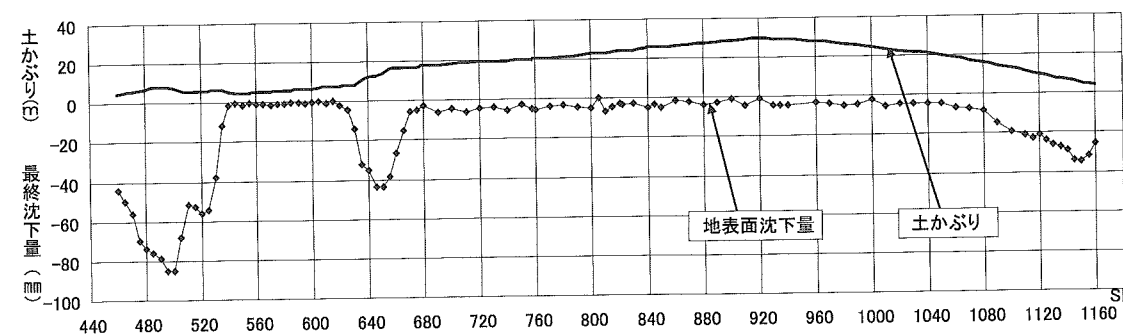


図-13 最終地表面沈下量

ある家屋(20軒)のみを対象とし、建物土台の4隅をレベル測定し、傾斜の有無を確認した。空地には計測杭を設置し、市道は舗装上に計測鉤を設置し、レベルによる計測を行った(計測点数:150点)。

掘削の結果、住宅街での実際の地表面沈下量は最大で5mm程度に収まり、とくに他の補助工法を追加することなく、平成19年7月無事に住宅街を通過することができた。

解析による予測が実測値の約5倍になった原因について、地山やAGF工法などの入力物性値について感度解析を行ったが、この差を説明しうる要因の特定には至らず、一般的にも指摘されている沈下予測の難しさが課題として残った。

### 7 おわりに

本トンネルは全線小土かぶりトンネルであり、地上物件が多いことから、地質調査の追加と地質性状の見直し、施工時には、全区間において地表面沈下測定を行い、その計測結果から補助工法の必要性を判断しながら掘削を進めた。

国道交差点部は、交通量の多い国道であり、超小土かぶりの軟弱地盤と悪条

件が重なった箇所であったため、地上から異なる2種類の地山改良工を採用し、トンネル周辺を門形に改良することによって、大きな沈下もなく無事に通過することができた。改良区間前後の未改良区間では最大85mmの地表面沈下が発生したことから、この改良が非常に有効であったといえる。住宅街では事前の予測より沈下量がかなり小さかった。これは、予想より地山状態が不良でなかったこと、AGF工法の効果、とくにシリカレジンの注入効果が十分発揮されたことなどによると思われる。図-13に本トンネルの地表面沈下測定結果一覧を示す。

結果として、現道の国道12号、住宅街ともに大きな地表面の変化もなく、平成19年10月無事に貫通し、平成20年度の「旭川新道」全線4車線供用

に至った。最後に、国道直下の掘削検討にあたり、北海道土木技術会トンネル研究委員会の方々(委員長:三上 隆・北海道大学大学院工学研究科長)より貴重なご意見・ご助言をいただいたことを記してここに感謝する次第である。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路維持修繕要綱。
- 2) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 2004.8.
- 3) 木梨秀雄・白旗秀紀・加藤健治・松田安則・羽馬徹: 不良地山における長尺鏡ボルト工法の開発, トンネル工学研究論文・報告集, Vol.13, pp.185-188, 2003.
- 4) 木梨秀雄・白旗秀紀・加藤健治・松田安則・羽馬徹: 低土被り未固結地山における長尺鏡ボルトの挙動計測, トンネル工学報告集, Vol.14, pp.217-224, 2004.

## 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工の設計, 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, 経験的計測法, 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 ○弾塑性論による解析/弾塑性学の基礎, 軸対称円形トンネル, 線対称円形トンネルの弾塑性解, 円形トンネルで地山の自重を考えた弾塑性解析 ○弾塑性解以外の検討/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



# 「豊後土工のふるさと」佐伯市より

前田 尚利

佐伯市は大分県の南東部に位置する県南地域の中核都市である。東部は日豊海岸国定公園の豊後水道に面しており、日本有数のリアス式海岸地帯が広がっている。内陸部は祖母傾国定公園の山々に囲まれており、南部は宮崎県との県境をなしている。市内を流れる一級河川の番匠川によってできた県南最大の沖積平野に市街地が拓けている。

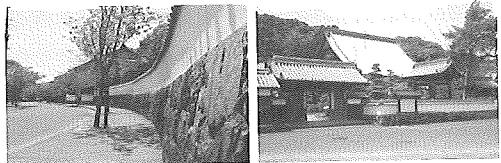
これら自然の特性は、豊富な森林資源を背景にした林業、温暖な気候を利用した農業、豊後水道の恵みを生かした水産業を、それぞれはぐくんでいる。とくに佐伯の海は、黒潮と瀬戸内海からの潮流がぶつかりあう豊後水道の好漁場となっており、浦々から揚がる豊富な海産物から、昔は「佐伯の殿様浦でもつ」と言われてきた。

市内には国土交通省選定の「日本の道百選」にも選ばれている「歴史と文学の道」があり、明治の先覚者矢野龍溪生家跡や、文豪国木田独歩が寄寓していた坂本邸、旧藩主毛利家の菩提寺養賢寺など観光名所が建ち並ぶ。

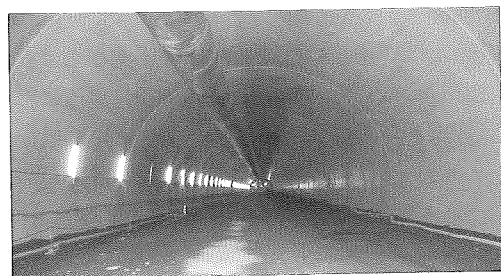
また佐伯市は、「豊後土工」のふるさとでもある。「豊後土工」とは、高度成長期、新幹線や高速道路など全国のトンネル工事に働きに出た男たちのことで、



位置図



(左)「歴史と文学の道」、(右)毛利藩菩提寺「養賢寺」



現場写真

トンネル導坑掘削にすぐれた腕とプライドを持ち、危険をかえりみない突貫精神と行動力、純朴な人柄、仕事をいとわない働き振りで、今も多くの人が全国各地で活躍している。

現在、観光地へのアクセス向上、豊かな水産品の輸送の支援、さらには高次救急医療サービスの支援を目的に東九州自動車道の整備が進められている。東九州自動車道は北九州市を起点に大分県、宮崎県を経て、鹿児島市に至る延長436kmの高速自動車国道であり、本路線の整備により、都市間の移動時間が大幅に短縮され、高速交通体系の整備が遅れている東九州地区に高速交通サービスをもたらす、地域の発展に大きく寄与することが期待されている。

当工事は東九州自動車道の大分県と宮崎県との県境に位置する「森崎トンネル工事」で、トンネル延長1,150mをNATMで施工するものである。地質は砂岩頁岩で、2008年8月よりトンネル掘削を開始し、2009年12月末で掘削完了。現在は、覆工コンクリートおよび中央排水工の施工中である。

今後、発注者・関係各位のご指導のもと、作業所職員、協力業社一丸となって、早期竣工を目指して努力していく所存である。

((株)竹中土木森崎トンネル作業所所長)

# 第三回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

# 導水路から鉄道へ トンネル人生二十五年

(元)大成建設(株)  
小川 司郎



## はじめに

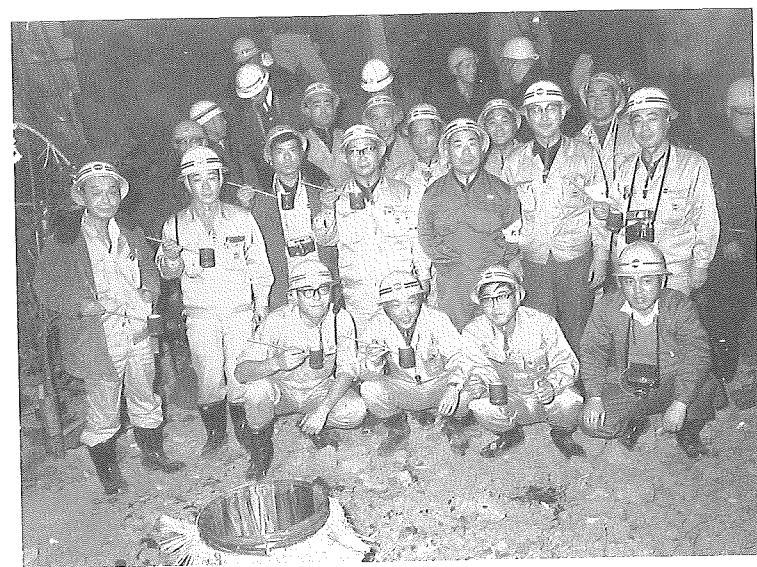
私は、昭和22年に大成建設(株)に入社し、以来昭和47年まで25年間、主にトンネル工事に携わってきました。現役を引退してから随分と経ちますが、折に触れ最近の技術の進歩について見聞きするたびに、私の経験してきたトンネル工事と、今の工事との違いを考えることがあります。私のような古いトンネル屋の思い出話も、若い皆さんのお役にたてることがあればと思い、今回お話ししてみようと思いました。

## 私の経歴

私の最初の工事は、昭和22年春の入社式終了後直ちに赴任した、木曾川流域の上松発電所の導水路トンネル工事でした。この工事においては、明かり工事が主担当であり、トンネル(昔は「ずい道」と呼んでいました)とのかかわりはあまりありませんでした。上松発電所の工事の後、いくつかの

明かり工事を担当しました。

昭和25年初めに、その上松町に大火が発生し(奇跡的に1名の死者もでませんでした)、町役場をはじめ615棟が類焼する災害がありました。この災害後の復旧工事が発注され、上松町に上水を建設する仕事が始まりました。この工事に、三重県で明かり工事を担当していた私が上松町での経験を買われ、急遽呼び戻されました。私の担当は、延長700mの小断面トンネルを、災害復旧工事であることから、いかに早く竣工するかということでした。そこで私は、両坑口に加えて中間に作業坑を設け、合計4切羽でトンネル掘削を行う突貫工事により年内にトンネルを完成させたのですが、この工事が、私にとっての長いトンネル工事に携わる歴史の始まりでした。その後、大井川流域の日本発送電(中部電力)奥泉発電所の導水路トンネル、木曾川流域の関西電力坂下発電所の導水路トンネル、大井川流域の中部電力畑籾発電所の



頸城トンネル貫通式 2列目右から2番目が筆者

導水路トンネルと、木曾川と大井川を行ったり来たりして、発電所の導水路トンネル工事に携わりました。

昭和37年に名古屋支店から新潟支店の樋曾山水路トンネルに転勤となり、それまでの小断面トンネルのレール工法から、初めてタイヤ工法に出会いました。昭和39年に阿賀野川用水路トンネルで最初の所長となり、その後日本国有鉄道の北陸本線頸城トンネルを終え、引き続き北越北線赤倉トンネルを施工、この赤倉トンネルが陣頭指揮を取った最後の現場となります。

長いトンネル工事の経歴のうち、私にとってとくに印象に残ったのは次の2現場です。

- (1) 中部電力奥泉発電所導水路トンネル工事
- (2) 日本国有鉄道頸城トンネル工事

この二つの現場について、工事にかかわった1人として思いの丈

を述べたいと思います。

### トンネル工事と私

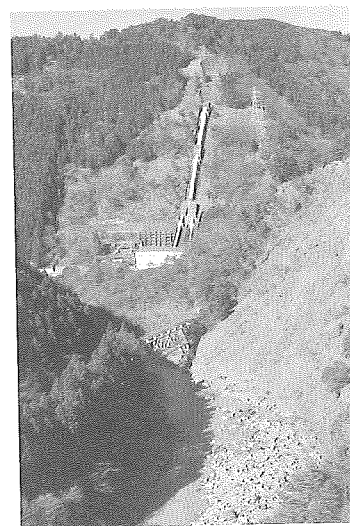
#### (1) 中部電力奥泉発電所導水路トンネル工事での思い出

中部電力奥泉発電所導水路トンネルは延長7,550m、断面積は19m<sup>2</sup>でした。発電所の出力は最大87,000kWで、昭和31年に運用を開始しました。

この導水路トンネル工事は、入社以来3か所目のトンネル工事でした。この作業現場は人里から離れた大井川の支流部であることもあり、坑夫の中には刑務所出身者が多数いました。当時は、寝泊まりする棟は坑夫たちとは別々でしたが、いわゆる「飯場」での共同生活です。そのころ坑夫達はわれわれに対し、口先だけは「社員様」と言っていました。ゼネコン社員が作業の指示をしても倶利伽羅紋々でドスを持っている連中は、なかなか言うことを聞いてはくれ

#### 著者略歴

昭和22年 3月	名古屋工業専門学校(現名古屋工業大学)土木科卒業
昭和22年 4月	大成建設入社
昭和22年	関西電力上松発電所
昭和25年	中部電力奥泉発電所
昭和30年	関西電力坂下発電所
昭和34年	中部電力第2畑籾発電所
昭和36年	樋曾山水路
昭和38年	阿賀野川用水路
昭和39年	北陸線頸城トンネル
昭和42年	北越北線赤倉トンネル
昭和46年	東北支店土木工事課長
昭和51年	名古屋支店営業部長
昭和53年	本社土木営業部長
昭和57年	日本基礎技術入社
平成元年	日本基礎技術専務取締役
平成3年	日本基礎技術退社



奥泉発電所遠景

ませんでした。

当時、新入社員に毛が生えた程度の技術しかない私は、坑夫達にトンネルの掘り方を教えてもらうしかありませんでした。それには、坑夫達と一緒に生活をするのが一番の近道だと思い、「同じ釜の飯を食う」ことを文字通り実行しました。一緒に食事をし、別々だったゼネコン社員用の棟を出て、坑

夫達と一緒にの棟に泊まることにしたので。

まず坑夫達の部屋に入って第一声、「今日からお世話になります」と言い、部屋の真ん中に敷いてあった小さな座布団に座ったところ「コラッ!」と怒られて、私はそこから突き落とされました。その座布団は、給料日になると50人くらいの坑夫達が花札をする神聖な(?)座布団だったので。

一緒に生活するにつれて、彼らからトンネルの掘り方について色々教えてもらえるようになり、私のトンネル施工の知識も増えてきました。そのうち彼ら坑夫は、ゼネコン社員の係長や班長の言うことは相変わらず従いませんでしたが、私の言うことなら聞くようになったのです。やはり、義・愛・智・汗、いざというときには、人情の琴線にふれることも大事なものです。

当時のトンネル工事には、<sup>よき</sup>斧指と呼ばれる人が坑夫の上位にいました。普段は鋸の目立てや、<sup>よき</sup>斧の砥石がけしかしていませんが、切羽が自立しないときには出番となり、坑夫を手元として使い、鏡(切羽)を矢板で押さえていました。

あるとき、昼食時に坑夫が一齐に坑外に出た後に、彼は一人で導坑の鏡の押さえをしていました。昼食を終え坑夫が戻ってきたら、鏡を押さえていた矢板を取り外し直ぐに発破をかけるのに、どうしてそのような無駄なことをするのか、当時の私は理解できませんでした。そこで私はその斧指しに理由を聞いてみると、彼の返答は

「鏡は早く押さえないと時間が経つにつれて緩んでくる、とくにこの鏡は緩みやすく、崩れやすい。彼らが帰ってくるまで鏡を自立させるのが俺の役目だ。たとえ短時間でも鏡の押さえをしないと、私もおちおち屋敷を食いにいけない。これが斧指しの仕事だ。」というものでした。今では鏡吹付けコンクリートという便利な工法がありますが、当時は斧指しの勤と経験に頼って、このように切羽の養生が必要か否か判断していました。斧指しが山を一番知っていました。

当時は、上司からも「技術は盗め」と言われていました。私はそれ以降、斧指しについてトンネルに入ることにしました。直接言葉でトンネルの掘削について教えてもらった記憶はありませんが、彼のさまざまな場面でのトンネル掘削時の対処方法を実際に見て学んでいくことができました。このことが、まさにトンネルが経験工学と言われる所以であると思います。切羽にすべての答えがある、そしてその眼を養うことがいつの時代でも重要なことだと思います。

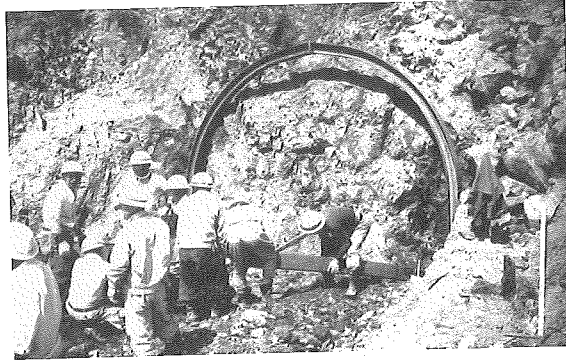
山の神に感謝する行事(安全祈願)が月に1回行われており、安全祈願の後の焼肉大会などにおいての坑夫達とのコミュニケーションと情報交換は、非常に大事でした。また、工事においても、測量の地ダボは坑夫に発破をかけて掘ってもらい、天ダボを穿孔してもらっていました。このように坑夫連中と仲良くなれないと仕事がスムーズに捗らなかったのです。

昔は人海戦術で100人の作業員がいましたが、今は機械化で40人の作業員でトンネルを昼夜施工していると聞きます。その現場において今、しばしば作業員とのコミュニケーションが取れていない、取りづらいつと聞きます。私が現役だった昔の方がはるかにコミュニケーションが取れていたように感じるの、どうしてなのでしょう。また、このような状態は如何なのでしょう。

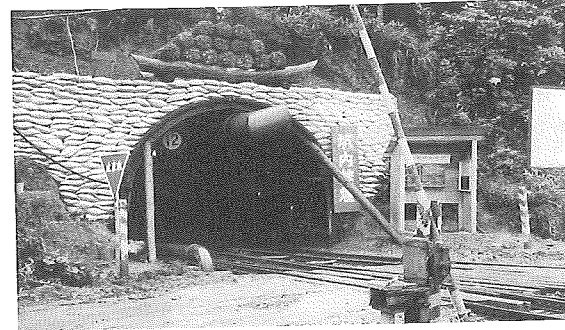
#### (2) 日本国有鉄道頸城トンネル工事での思い出

頸城トンネル(ずい道)は全長11,353mの長大トンネルで、両坑口だけではなく中間部からも3本の斜坑を設けることで、全区間を5工区に分割し発注されました。地質は新生代第三紀のシルト岩を主とし砂岩、凝灰質砂岩を挟む固結度の低いものでした。とくに当社が担当した1工区L=2,125mは著しい地殻変動を受けた地帯で、多くの褶曲軸や断層がありました。また、膨張性のあるベントナイト質凝灰岩や泥岩層の出現、メタンガスの噴出、石油の湧出などのさまざまな不良地山の出現に遭遇しましたし、坑内温度30℃、湿度90%にも及ぶ坑内環境など、掘削は困難をきわめました。

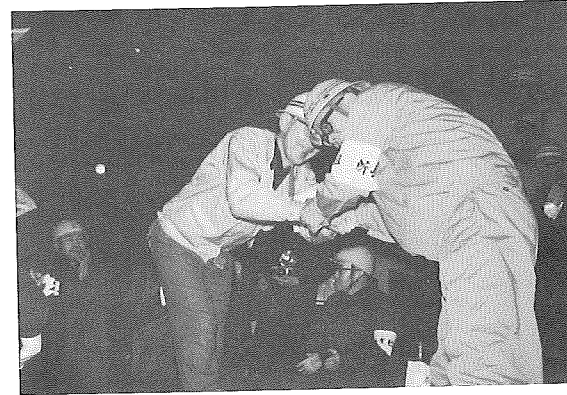
掘削は当初計画された中央底設導坑先進上部半断面逆巻き工法で順調に1,400mまで掘削しましたが、著しい膨張性泥岩に見舞われ、先進導坑の鋼製支保工の座屈、断面の変形(最大100cmの幅の縮小、80cmの盤膨れ)が発生しました。そこで掘削工法を上部半断面先進



坑口支保工建込み 昭和41年5月23日

坑口前全景 坑口前県道に遮断機設備 坑内メタンガス(CH<sub>4</sub>)湧出による坑内禁煙 横は来客用名札、マッチ、タバコ類置場

上半変型状況 手前は織り返し済



貫通式 大成建設所長(筆者)と間組所長握手 昭和44年1月7日

ベンチカット併進逆巻き工法に変更し、ワンピッチ4.5~6.0mを掘っては巻き、掘っては巻きをくり返し、掘削後短時間のうちに断面を閉合するという手間のかかる施工方法で突破することができました。今でもこの施工方法以外には、この著しい膨張性のある泥岩層区間を克服することはできなかつたと思っています。昭和41年4月に着工した工事を、種々の困難を乗り越え、昭和44年1月に34か月を要して2,135mを貫通することができました。

坑口付けの写真に示すように、私は坑口付けに際して、坑口の切土掘削を極力回避し坑口を前に出すことが最善だと考えていました。頸城トンネルも、当初は坑口位置

が20m程度地山を切り込むように、坑口の切土掘削が計画されていました。当時の国鉄の工区長は、「駅のポイントが坑口部に計画されており、ポイント部の前後に広い区間が必要である。だから、当初設計どおり坑口を20m奥にすることが必要だ。」と主張しました。そこで私は坑口を20m手前に出したうえで、坑口部の内空断面を拡張し、パラセトルで当該箇所を施工することを提案し、工区長の承諾を得ました。

この坑口前の切土掘削を行わないという私の信念は、大井川での施工経験にもとづいています。大井川の流域は、右岸左岸ともに亀裂や小断層が多くガサガサな地山で(当時は付加体という言葉はな

かつたがこの地域はまさに四万十帯であり、畑雑断層などが存在)、坑口付けに関し、いつも地滑りが懸念され、実際に滑った現場をいくつか見てきていました。その経験から、トンネル坑口は極力切り込まずに坑口付けを行うことを実行したのです。

### トンネル施工の心構え

トンネル工事に長らく従事してきて、また歴史好きな私が一つだけ皆さんに言葉を残すとすれば、「トンネルを掘る」すなわち「山を穿つ」ことは「戦争と同じである」と言うことです。丸裸で出たとこ勝負では戦いになりません。あの織田信長を世に出さしめた「桶狭間の戦い」が良い例だと思

います。

戦争で勝つには何にもまして情報が一番です、今では情報合戦とも言います。織田信長が今川義元になぜ勝ったのか、3万人の今川軍に3千人の信長軍が勝ったその勝因としては、次の3点があると思います。

- ・徹底的に相手の情報を集め、敵の兵力、武器、出陣後の動きを把握していた
- ・目的(戦略)を明確にし、奇襲戦法により義元的首を取ることに集中させた
- ・今川義元は信長本軍がここまで出てくるとは想像すらしていなかった

このことをトンネル掘削に当てはめてみると、織田信長は作業所長であり、作業所の方々などの読者の皆さんであります。今川義元はトンネルの大敵、すなわち破碎帯であったり、高圧多量の湧水であったり、膨張性地山であったり、未固結地山であったり、小土かぶりであったり、有毒ガスであった

り等々、敵は多種多彩に切羽の前方に待ち受けています。時と場合によっては大軍となり、工事に立ちばかり、難工事となります。

それに対抗するためには徹底的に情報を集めること、すなわち事前(出陣前)の、地すべり地形や断層地形の把握、地山踏査、原位置試験、地表からのボーリングや物理探査、数値解析等々の多くの情報収集が重要となります。当時は、今のように高度な探査技術がありませんでしたが、トンネル屋は事前に掘削する山を自分たちで実際に見て歩き、坑口から坑口まで軸線上を踏査したものです。最近のトンネル屋さんに話を聞くと、地山の踏査が疎かになっている傾向が見受けられますが、少し心配です。

事後(出陣後)の情報収集としては、切羽の観察、A計測・B計測であり、坑内からの探りボーリング、坑内弾性波速度や、それらのデータをよく吟味していただくこと。この事前、事後の調査(情報

収集)を実施し、敵の兵力、武器を的確にタイムリーに把握してこそ、有効な戦法、兵力、武器も用意できるのです。後は奇襲であれ何であれ読者の皆さんが信長になったつもりで、自信を持って作戦(工事)を進めることができれば、結果は明らかです。

### おわりに

最後になりますが、83歳になる私が、今までのトンネル工事での経験を通して皆さんに言えることは、自然の力は人間の力をはるかに超えたものです。自然を押さえ込もうとするのではなく、正しく状況を捉えたいうて、うまく利用すること、共存することが大切です。

当時のわれわれの技術よりはるかに優れている皆さんの知恵、知識、経験をもとに、最新のトンネル掘削工法、最新鋭の掘削機械を十分に活かし、世界に通用するトンネルマンになることを祈念します。



# 「自然豊かな臨海工業都市」呉市より

萱野 朋之

呉市は、広島県の中南部、安芸地方にある都市で、人口約25万人の瀬戸内海に面した気候温和で自然に恵まれた臨海工業都市である。また、平成の市町村大合併により、瀬戸内の風光明媚な島しょ部も加わり観光資源も豊かである。そのため、呉市のキャッチフレーズ「つなぐ手に海・技・人が光るまち」が良く似合う市である。

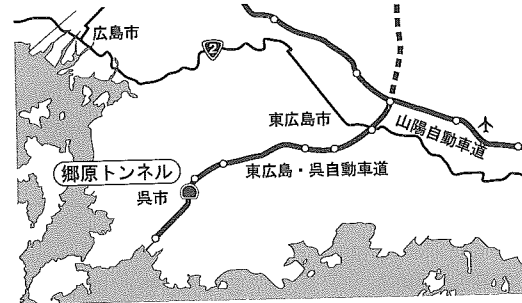
呉市を語るうえで欠かすことのできないことは、呉には天然の良港があり、古くは村上水軍の一派、明治以降は、帝国海軍・海上自衛隊の拠点となったことである。

明治時代に帝国海軍第二海軍区鎮守府(呉鎮守府)、呉海軍工廠が設置され、戦前は、旧日本海軍第一の軍港として栄えた。呉海軍工廠では、当時の最先端の技術が集結されさまざまな兵器・戦艦が製造されている。帝国海軍最大の戦艦である「大和」は、第二次世界大戦直前に呉海軍工廠にて建造されている。

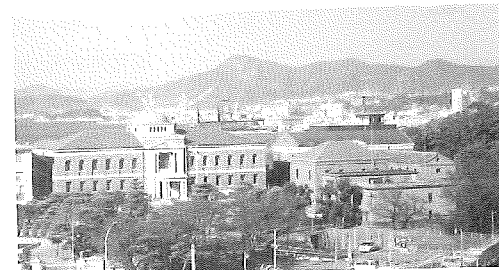
呉は、第二次世界大戦で米軍の空襲により大きな損害を受けたが、終戦後は、戦前から培われたさまざまな技術を生かし、造船・機械・鉄鋼・金属などの先端工業技術を持つ臨海工業都市へと今日発展している。また、海上自衛隊呉地方総監部が設置され、自衛隊のまちとしても知られている。

なお、平成17年には呉市海事歴史科学館(大和ミュージアム)が開館し、多くの観光客を集めている。

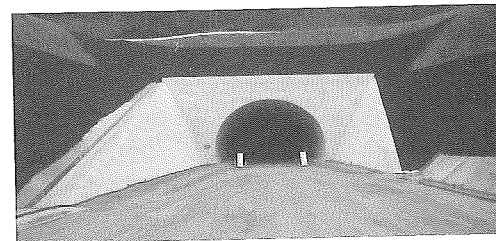
当現場は、呉市の中心部より約8km北東の呉市郷原町に位置し、一般国道375号の自動車専用道路(東広島・呉自動車道)の一環として、延長L=660mの郷原



位置図



呉鎮守府



起点側坑口

トンネルを施工するものである。

一般国道375号は、広島県呉市から三次市を経由して島根県太田市まで結ぶ道路である。この道路は、山陽・山陰を結ぶ幹線道路として重要な役割を担っている。その中でも呉市から東広島市の沿線は、広島広域都市圏の東部に位置し、広島都市圏が中国地方の中核として機能するために、その発展が期待されている。そこで、呉市・東広島市・広島市を拠点とする同地域の発展のための必要不可欠な社会基盤として、これら拠点間を迅速に結ぶ道路の整備を目的に計画された自動車専用道路が、東広島・呉自動車道である。

この道路が完成することにより、東広島～呉間の所要時間が大幅に短縮され、山陽自動車道から呉までの所要時間が約70分から40分となり高速道路へのアクセスがより便利となる。

郷原トンネルは、平成20年3月に工事を開始し平成21年12月に無事竣工を迎えることができた。しかし、現在、東広島・呉道路は多くの区間で施工中である。今後、地元住民・関係諸機関・発注者の方々のご努力のもと、一日も早い全線開通を願っている。

(東亜建設工業(株)郷原トンネル作業所)

# 施工

## 鉄道工事における環境負荷低減の取り組み

### —小田急小田原線 連続立体交差および複々線化—

小田急電鉄(株)下北沢工事事務所副所長 村松 泰  
小田急電鉄(株)下北沢工事事務所主任 山野 泰弘  
小田急電鉄(株)下北沢工事事務所主任 上野 修彦

### 1 はじめに

小田急電鉄は、都心と神奈川県中部方面を結ぶ総延長約120kmにわたる路線をもち、1日に利用されるお客様は、196万人に及ぶ首都圏の重要路線であり通勤、通学の足として、その役割を担っている。このうち小田急小田原線の最混雑区間である世田谷代田駅～下北沢駅間では、朝のラッシュ時には、大手民鉄では3番目となる191%の混雑率にまで達し、さらに、過密ダイヤにより列車速

度が低下するなど、輸送改善が必要となっている。また、過密ダイヤの沿線部にある踏切は、1時間に50分以上は遮断しているため周辺道路は慢性的な交通渋滞などの弊害が生じている。

小田急電鉄はこれらの問題の解決策として、線路を上下線各2線にする複々線化事業を代々木上原駅～和泉多摩川駅間(10.4km)にわたり実施する一方、東京都は、道路と鉄道を立体化する連続立体交差事業を一体的に進めており、これにより、踏切は解消され慢性化した交通渋滞が緩和され、

鉄道と道路の安全性の向上や緊急時における消防・医療活動の円滑化が図られる。さらには、鉄道によって隔てられていた市街地の一体化や駅周辺の整備が進められることによって、より高度な住環境が実現される。

本事業区間は、人口80万人を超える世田谷区のとくに住宅などが密集した市街地に位置しており、環状七号線や京王井の頭線との交差および東京地下鉄千代田線との隣接など、非常に厳しい施工条件下での工事である。

本稿は、これら施工環境のもと、開削工事における在来線の



図-1 線路略図・複々線事業区間

仮橋梁化(以下、「工事桁」という)に伴い発生する列車騒音についての防音対策や、泥水式シールド工法に伴う発生土処理プラントにおける徹底した騒音対策、さらに周辺住民とコミュニケーションを図りトラブルの回避に努めた経過について報告するものである。

## 2 事業概要

現在、代々木上原駅～梅ヶ丘駅間約2.2km(うち複々線化区間約1.6km)において、東京都の連続立体交差事業と小田急電鉄の複々線化事業を同時に地下化方式により進めている。これにより、9か所の開かずの踏切を解消するとともに、線路を増設し、複々線化を行うものである。2004年3月に連続立体交差化の都市計画事業認可を取得した後、同年9月より工事に着手した。

本工事は、東北沢駅、下北沢駅、世田谷代田駅の3駅を含む2.2kmを5工

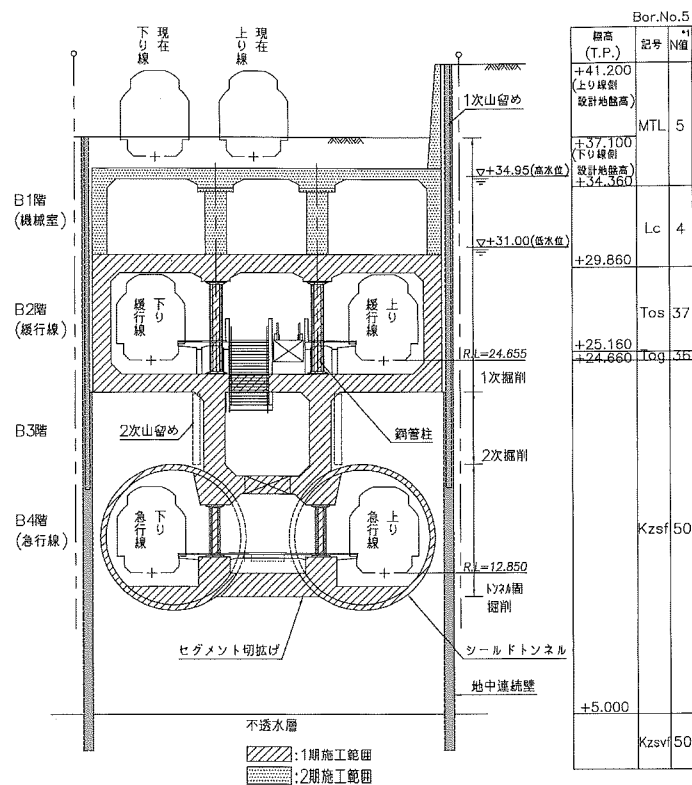


図-2 下北沢駅地下化完成図

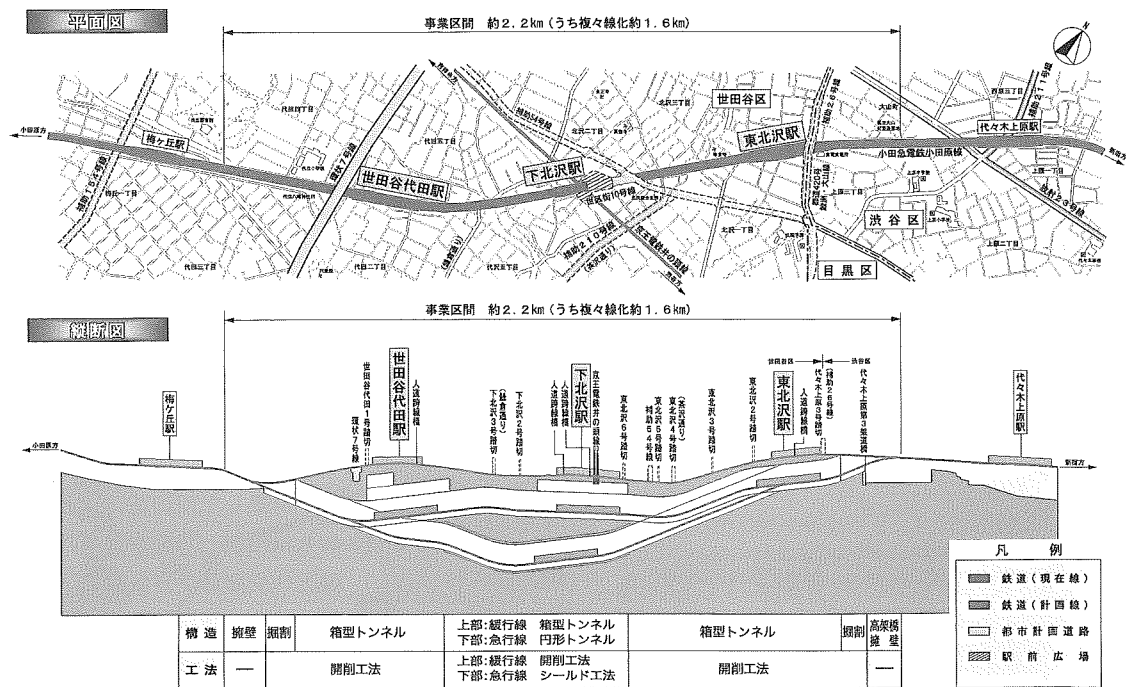


図-3 連続立体交差事業および複々線化事業概要図

区に分割している。施工については、区間全体にわたり営業線を抱き込む形で開削工事を基本としており、土留め壁の施工を行い、仮線工事桁に軌道を盛り替えられた後に掘削し躯体を構築する。

その他、下北沢駅を含む区間では、事業用地の関係から2線2層構造となるため、在来線直下においてシールドトンネル工事を先行して行った後、開削工法により上部を掘削し駅舎を構築するほか(図-2)、東京都の主要幹線道路である環状七号線との交差部では、推進工法(R&C)を採用している。

## 3 環境負荷低減の取り組み

### 3-1 工事桁への仮線切替に伴う騒音対策

#### 3-1-1 工事区間で行われている騒音対策実施例

下北沢駅付近を除く区間では在来線直下を掘削するため、在来線を工事桁で仮受けする仮線路への切替工事を鋭意進めている。工事桁への仮線切替により列車騒音の増大が見込まれていたと同時に、前章において説明したとおり、当工事区間は非常に住宅が密集しており、列車騒音に対する沿線住民からのご意見も予測されたため、工事を円滑に進めていくうえで列車騒音対策は必須であった。

このため、工事桁架設区間においては列車騒音対策を下記のとおり実施している。

- ① 工事桁(上路桁・抱き込み桁)はウェブ箇所に制振材を貼付(写真-1)
- ② 環境に応じて防音パネル・シートの設置(写真-2)

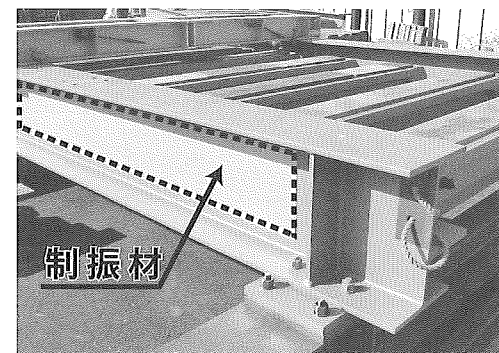


写真-1 設置する工事桁に貼付された制振材

- ③ レール継目をなくした軌道のロングレール化
- ④ 工事桁上面を足場板で、工事桁下面を防音シートにて閉塞(写真-3, 4)

#### 3-1-2 追加騒音対策

上記①～④について実施した後、有道床と工事桁の切替口(高架橋から地下躯体への取り付け部)付近の住民より、列車騒音に対するご意見が絶えなかった。ご意見の内容としては「『ゴー』というガード下のような音」がして相当うるさいとの

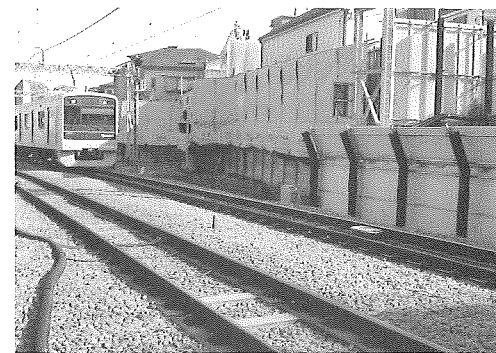


写真-2 防音パネル・シートの設置

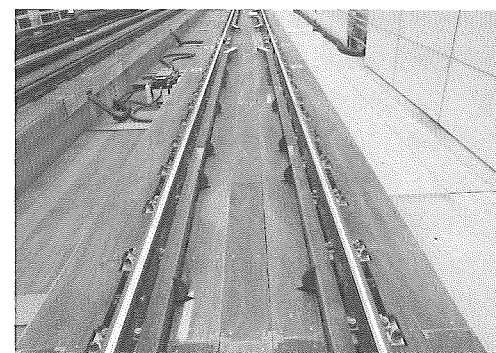


写真-3 工事桁上面を足場板にて閉塞



写真-4 工事桁下脇を防音シートにて閉塞



写真-5 防音パネルの嵩上げ

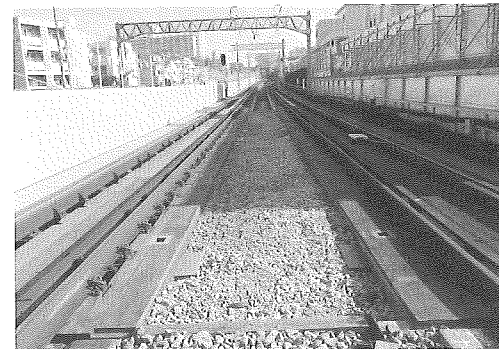


写真-6 消音碎石の投入

ことであったため、更なる追加対策を実施した。

- ⑤ 防音パネルの嵩上げ(写真-5)
- ⑥ レール削正
- ⑦ 切替口から約20mの工事桁区間において、底盤より流動化処理土で嵩上げし、そこに消音碎石を投入(写真-6)

また、⑤～⑦の対策前と対策後について列車騒音測定を行った結果、騒音対策前と比較し約10dB程度低減し、有道床区間との騒音の差は約3dB程度となった。

しかし、住民からはこれらの対策では「不十分」との回答があり、更なる対策が求められた。

### 3-1-3 新たな列車騒音対策

住民からの回答を踏まえ、連続立体交差事業の事業者である東京都の担当者も含め検討を行った。その結果、橋梁や架道橋などの騒音対策として他の鉄道会社で実績があった線路用ポリエステル吸音材に着目した。

ポリエステル吸音材の特徴としては、

- ① きしみ音などの転動音や列車のモーターで

ある主電動機ファン音の低減に効果がある。

- ② 軽量で桁への負担が少ない。
- ③ 枕木間やダブル間、橋側歩道など、音の発生源に近い箇所で敷設が可能である。
- ④ 鉄道を含めて施工実績がある。
- ⑤ 難燃性で自己消火性がある。
- ⑥ ペットボトルのリサイクル品であり環境にも優しい。

が挙げられる。

当社では、すでに敷設されていた現場の列車騒音の状況を調査した結果、住民からのご意見に対してポリエステル吸音材が有効であることが確認

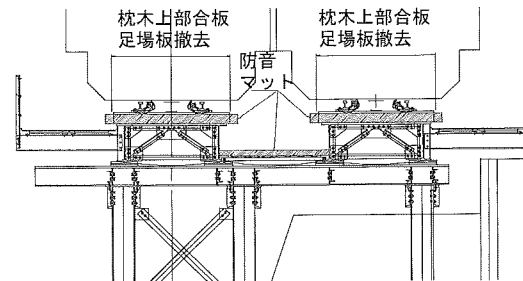


図-4 ポリエステル吸音材設置図

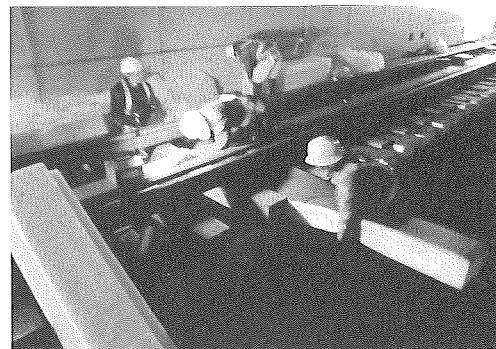


写真-7 ポリエステル吸音材設置状況



写真-8 ポリエステル吸音材設置完了

できたため、当現場で採用することとした。

### 3-1-4 敷設状況

敷設箇所については、上下線約30mの範囲の枕木間およびダブル間に敷設した(図-4、写真-7、8参照)。

### 3-1-5 騒音測定結果

ポリエステル吸音材の効果を明確にするために、レール近傍および桁下において敷設前後の騒音測定を実施した。

結果としてはレール近傍において約3dBの低減があり、有道床区間との騒音の差はほぼゼロとなった。また、桁下については設置前と比較し、約8dBの低減となり、設置による効果を確認することができた。

また、音の質についても工事桁特有の音の響きが解消され、電車内の音も静かになることが確認できた。住民の反応は「おかげさまでだいぶ良くなりました。」とお礼の言葉をいただき、事業者としては住民のご意見に対して満足できる結果となったと考えている。

## 3-2 発生土処理施設騒音対策

### 3-2-1 シールド工事概要

下北沢駅付近ではシールド工法により工事を進めた。シールドの外径は8,260mm、シールド機長は8,820mmであり、泥水式シールド工法を採用した。

シールドの掘進については世田谷代田駅付近の至小田原シールド基地

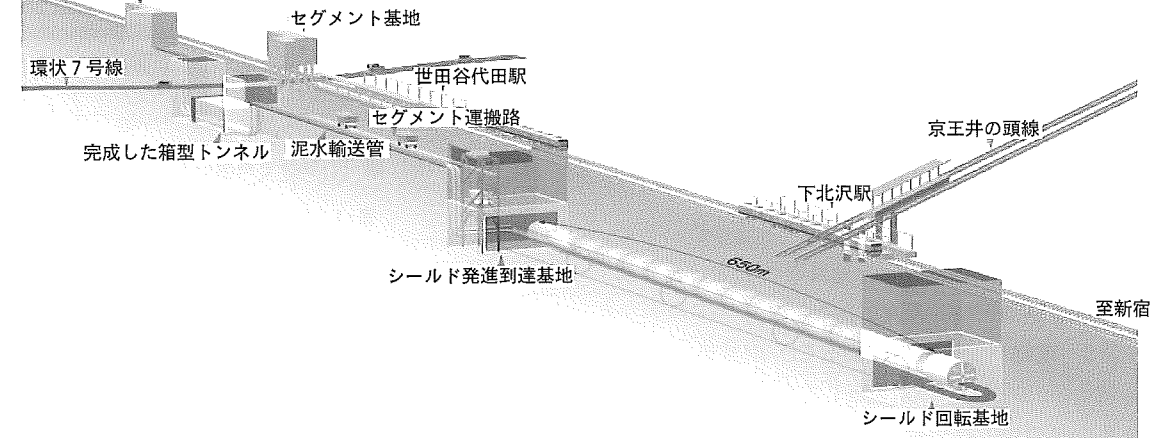


図-5 シールド区間概要図

発進・到達立坑より営業線直下を掘進し、回転立坑到達後、シールドを引き出し立坑内にて180度回転させ、再び発進・到達立坑へ掘進する計画であり、総延長は約1,290mに及ぶ(図-5参照)。

### 3-2-2 騒音対策までの経緯

一般的に泥水式シールド工法に伴う発生土処理施設に必要な敷地面積は、1,000~1,200m<sup>2</sup>とされているが、本工事にあたっては立坑付近でこれほどの敷地を確保することが困難であったため、約350m離れた場所に700m<sup>2</sup>程度の敷地を確保し、発生土処理施設を設置することとなった。

しかし、予定していた発生土処理施設周辺は、日頃から工作業に対するご意見が多い住宅密集地である反面、発生土処理施設における作業時間帯は深夜までとなるため、発生土処理施設周辺への何らかの騒音対策・環境対策を講じる必要があった。

### 3-2-3 騒音予測にもとづく防音対策

発生土処理施設箇所は、近隣住民との協議により、車両入退場可能時間が8:00~20:30までとなった。このような条件下においてシールド工事の連続施工を可能にできるよう、騒音対策を以下の3点において実施した(図-6参照)。

- ① 発生土処理施設全体を覆うように防音ハウス[BSK-Cタイプ]を設置(写真-9)。
- ② 低周波音防音ハウスを振動篩機専用として設置(写真-10)。

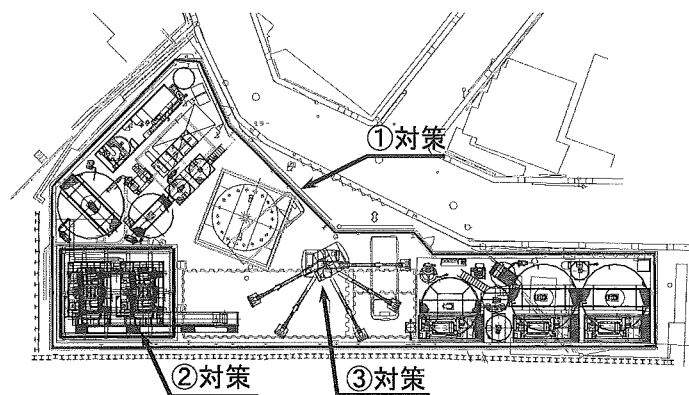


図-6 発生土処理施設内平面図

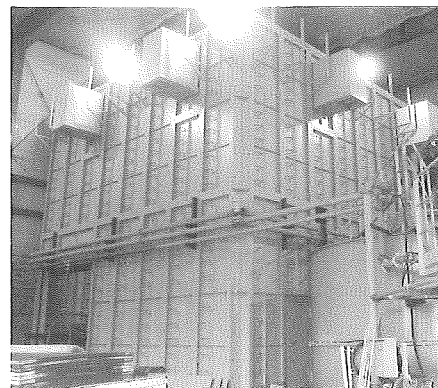


写真-10 低周波音用防音ハウス

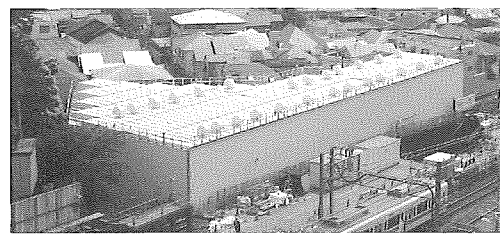


写真-9 防音ハウス[BSK-Cタイプ]全景

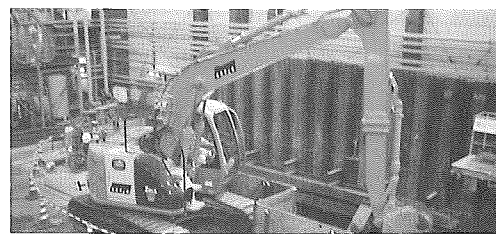


写真-11 電動バックホウ

③ 残土積み込みで使用するバックホウを電動化することにより駆動音の低減を図った(写真-11).

3-2-4 防音・振動対策効果について

①～③の対策における騒音予測についての解析結果は、図-7のとおり、暗騒音以下となることがわかった。この結果を踏まえシールドの掘進を開始した後、定点ポイントにおいて騒音測定を実施した。各計測ポイントにおいて着手前の暗騒音と、掘進施工中における騒音計測値をそれぞれ比較した結果を表-1に示す。

防音対策を実施した結果は、予測を約10dB程度上回った。解析予測値と騒音測定値との乖離要因としては、発生土処理施設付近に環状七号線があり、暗騒音値を高い値まで引き上げていると考えられる。しかし、稼働騒音値が暗騒音値以下であることから騒音対策は十分に機能していると判断できる結果となった。

3-2-5 電動バックホウによるCO<sub>2</sub>削減量

対策③の駆動音低減対策として実施した電動バックホウについては、発生土処理施設周辺への排気ガス削減に貢献するだけでなくCO<sub>2</sub>排出量の削減

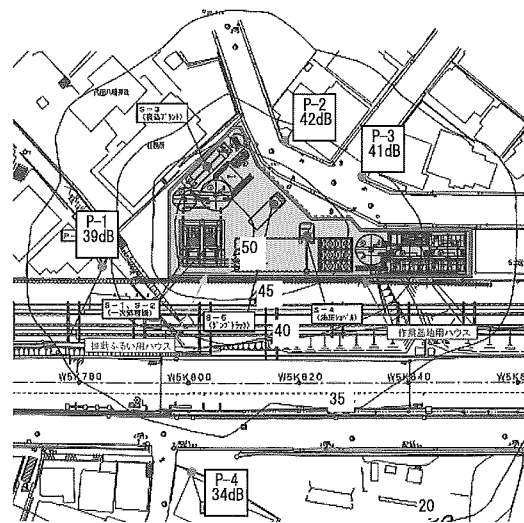


図-7 騒音予測解析図

表-1 対策騒音結果

項目	単位: dB		
	暗騒音	予測解析	掘削時 ①～③実施
定点ポイント			
P-1	55.2	39.0	53.4
P-2	55.4	42.0	53.5
P-3	52.7	41.0	53.6
P-4	51.3	34.0	50.8

表-2 バックホウCO<sub>2</sub>比較表

駆動種類	電動バックホウ	従来バックホウ
型式	ZX135US	ZX110-3
バケット容量	0.45m <sup>3</sup>	0.45m <sup>3</sup>
出力	3.7kW (交流モーター)	66kW (ディーゼルトーボ)
回転数	1,500rpm	2,150rpm
1時間あたり消費量 (1台あたり)	18kW	12.1ℓ
0.45m <sup>3</sup> あたり消費量	0.09kW	0.047ℓ
総積み込み土量 (75,200m <sup>3</sup> )消費量	15,040kW	7,854ℓ
CO <sub>2</sub> 換算式	15,040×0.555= 8,347.2kg	7,854×2.64= 20,735.1kg
CO <sub>2</sub> 削減量	20,735.1kg-8,347.2kg= 12,387.9kg≒12.3t 削減	

にも貢献することがわかった。

表-2に本シールド工事の際の従来バックホウと電動バックホウのCO<sub>2</sub>排出量の比較を示す。

結果より、12.38tのCO<sub>2</sub>排出量の削減が見られ、CO<sub>2</sub>削減にも貢献できたことがわかる。

4 ま と め

地球温暖化対策に代表されるとおり、現在グローバルに国際社会全体で取り組むべき課題が顕在化している。

本事業を取り巻く環境は、住宅密集地であるため、多くの分野の技術者が協力し合い、近隣住民をはじめ鉄道利用者など多くの人たちとコミュニケーションを図り工事に対する理解と協力を求めなければならない。

大規模かつ長時間を要する本事業の地下化工事は、環境に関する法令・基準などを遵守するだけに留まらず、多くの分野においてより積極的に環境対策に取り組むことが必須となっている。本稿では従来以上の安全対策・環境負荷低減策を住民とコミュニケーションを図りながら実施することにより、一定の成果を得ることができた。

今後、類似の工事において多少なりとも参考となれば幸いである。

『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)

# 土木情報 No.441

今月の主な入札結果

(1月10日～2月9日)

事業主体	工 事 名	請 負 会 社	請負額 単 位 百万円
中国四国農政	吉野川下流域農地防災事業東部幹線水路(太郎八須工区)	日本国土開発	988
北海道開発局	旭川十勝道路富良野市北の峰T	鹿島・三井住友・荒井JV	7,008
〃	一般国道231号石狩市新送毛T	清水・岩田地崎・伊藤組JV	4,656
関東地整	さがみ縦貫愛川T(その2)	間・安藤JV	6,106.1
〃	北国分地区函渠	奥村組	1,668
北陸地整	国道253号八箇峠T(十日町工区)	鹿島建設	3,298
〃	能越道水見第11T	大林組	1,602
近畿地整	豊岡排水機場接続函渠他	川嶋建設	133.9
中国地整	仁摩温泉津道路新馬路T	大日本土木	501
〃	大田防災大田T	西松建設	1,088.5
〃	尾道・松江自動車道横島T	福田組	1,079.8
九州地整	九州横断道(嘉島～山都)鶴山谷T	大成建設	809.3
〃	大分57号大野竹田道路挾田地区函渠	小田開発工業	102
水資源機構	大規模地震対策東部幹線併設水路本前工区	鹿島建設	1,461
鉄道・運輸機構	相鉄・JR直通線, 西谷T他	大成・東急・エスケイディJV	7,012
〃	〃 羽沢駅他	鉄建・相鉄建設・紅梅JV	4,284.7
〃	九州新幹線(西九州), 千綿T外1箇所他	大成・九鉄・上滝JV	4,755
都市再生機構	下高井地区相野谷川八丁橋下推進	北都建設工業	103
中日本高速道路	東名高速道路瀬谷地区歩道函渠工	奥村組	480
西日本高速道路	東九州自動車道赤尾第1T	大林組	2,215
都・財務局	町田地下歩道改良(21南東-2)	間組	210
都・下水道局	野川処理区下流部雨水貯留池	新井組	668.71
〃	墨田区八広五丁目, 東墨田二丁目付近再構築	村本建設	508
埼玉県	中川流域中央西幹線管渠築造2工区1号	ユーディケー	132
〃	〃 〃 〃 2号	島村工業	140.8
神奈川県	相模原市大島～城山町谷ヶ原地内送水管布設(シールド)	西松・エムテック・奈良JV	1,112
新潟県	県道改4-1-2号一般県道多田皆川金井線離島地域連携(県道改築)(仮称)小倉峠T(その2)	福田・共栄JV	880
三重県	宮川流域下水道(宮川処理区)宮川幹線(第12工区)管渠	熊谷・西邦・山野JV	843.65
滋賀県	琵琶湖流域下水道湖南中部日野第二幹線西川工区管渠	昭建	339
奈良県	一般国道168号地域連携推進事業(国道改築)	奥村・中尾JV	1,615.00
和歌山県	切目川河川総合開発(仮排水T)	熊谷・浅川JV	259
さいたま市	宝来川改修	三ツ和総合建設業協組	139.34
千葉市	下水道排水施設(東千葉雨水21-1工区)	アイサワ・小柳JV	125.34
横浜市	金沢処理区地域防災拠点(八景地区)流末枝線管きょ耐震化	馬淵建設	101.09
〃	藤塚ずい道耐震補強	西松建設	317.7
四日市市	南川・南五味塚雨水1号幹線管渠	間・中央・福道JV	1,248.55
大阪市	新今里～寺田町幹線下水管渠築造(その1)	大末建設	769
〃	本田～市岡幹線下水管渠(その4)	間・青木マリーナ・ショベルJV	2,681

## 計 画

# 九州新幹線西九州ルート(武雄温泉・諫早間)のトンネル

鉄道・運輸機構九州新幹線建設局大村鉄道建設所担当副所長 須澤 浩之

鉄道・運輸機構九州新幹線建設局工事第七課長 山口 修司

### 1 はじめに

九州新幹線西九州ルート(以下、「西九州ルート」という)は、福岡市から佐賀市を經由して長崎市までの基本計画路線のうち、武雄温泉・諫早間の工事実施計画(暫定整備計画)が平成20年3月に認可され、着工している。同区間には30本のトンネルが計画されている。本稿では、西九州ルートの概要および主要なトンネルの施工計画について紹介する。

### 2 西九州ルートの概要

西九州ルート全体の平面図を図-1に、事業の経緯を表-1に示す。西九州ルートの整備事業は、昭和47年に福岡市から佐賀市を經由して長崎市までの基本計画が決定され、このうち武雄市・長崎市間について、平成13年12月に暫定整備計画が決定され、武雄温泉駅・諫早駅間について、平成20年3月に工事実施計画が認可されている。現在の整備事業は、暫定整備計画にもとづき新幹線鉄道規格新線を整備するものである。新幹線鉄道規格新線とは、全国新幹線鉄道整備法において「その鉄道施設のうち国土交通省令で定める主要な構造物が新幹線鉄道に係る鉄道営業法第一条の国土交通省令で定める規程に適合する鉄道」と定められており、土木構造物のうちトンネルや橋梁などの路盤は、新幹線鉄道と同じ規格で建設するものの、

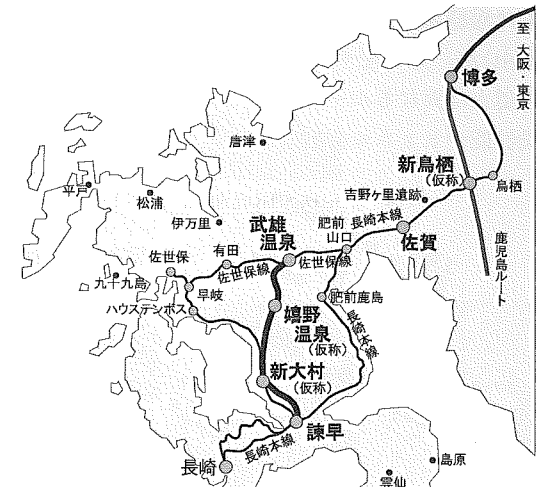


図-1 西九州ルート全体平面図

表-1 西九州ルート整備事業の経緯

昭和47年12月	基本計画の決定(福岡市・長崎市)
昭和48年11月	整備計画の決定および建設の指示(福岡市・長崎市)
平成13年12月	暫定整備計画の決定および建設の指示(武雄市・長崎市)
平成20年3月	工事実施計画の認可・着工(武雄温泉・諫早)

路盤の上に敷設される軌道については、在来線との直通運転を考慮し、在来線の規格で敷設するものである。

なお、佐賀県武雄市から長崎県大村市に至る区間のルートについて、昭和62年に、JR九州からルートの見直しの意見書が出され、関係地方自治体の合意が得られたことから、当初、長崎県佐世保市

はいき  
の早岐を經由していたルートが、図-1に示すよう  
に佐賀県嬉野市を經由するものに変更されている。

### 3 武雄温泉・諫早駅間の概要

西九州ルート武雄温泉・諫早間の線路平面図を  
図-2に、線路縦断面図を図-3に示す。延長は45.7  
kmで、武雄温泉駅(佐世保線併設)、嬉野温泉駅  
(新設、仮称)、新大村駅(新設、仮称)、諫早駅  
(長崎線の現駅を活用)の4駅が設けられる。

ルートは、国道34号や長崎自動車道とほぼ並行  
している。このルートは、もともと江戸時代にに  
ぎわった長崎街道が通っており、明治時代に建設  
された当初の長崎線(早岐・大村経由)や、昭和初  
期に短絡線として建設された現在の長崎線(多良  
経由)が、急勾配や長大トンネルを避けて、長崎  
街道とは異なるルートに建設されたのに対し、車  
両性能やトンネル掘削技術の向上により、長崎街

道に沿うルートで新幹線が建設できるようになっ  
たと言える。

縦断面図は、全体としては、嬉野温泉駅(仮称)・  
新大村駅(仮称)間の俵坂峠付近と、新大村駅(仮  
称)・諫早駅間の鈴田峠付近をサミットとする線  
形になっているが、長崎県東彼杵町付近では、地  
下水への影響が懸念されるためなるべく縦断面図  
を上げるように計画しており、同区間から大村平  
野に至る区間が、武雄温泉・諫早間の最急勾配で  
25%となっている。

線路規格は、表-2に示すとおりである。新幹線  
鉄道規格新線であるため、設計最高速度が時速  
200km、軌間1,067mm、電車線電圧20,000Vとな  
っているが、既述のとおり、路盤は新幹線規格(い  
わゆるフル規格)で建設することになっており、  
線形も時速260kmの運転を考慮したものとなっ  
ている。

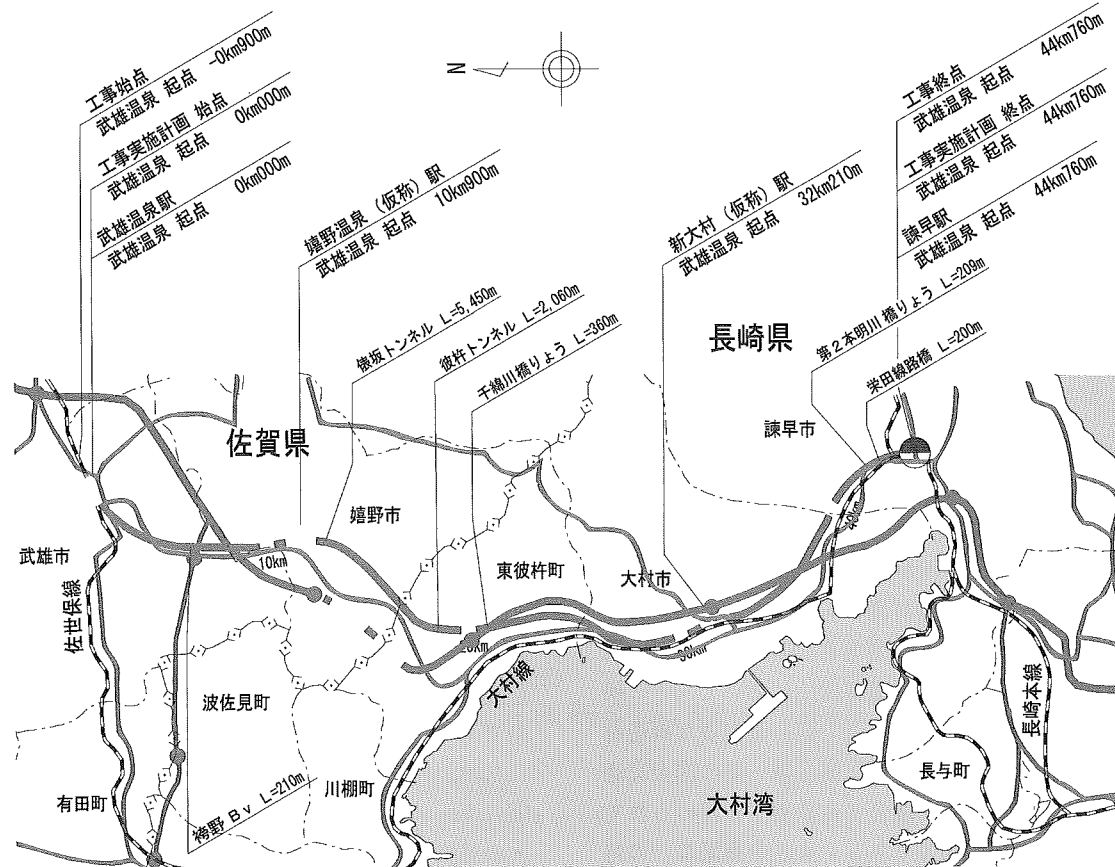


図-2 武雄温泉・諫早間線路平面図

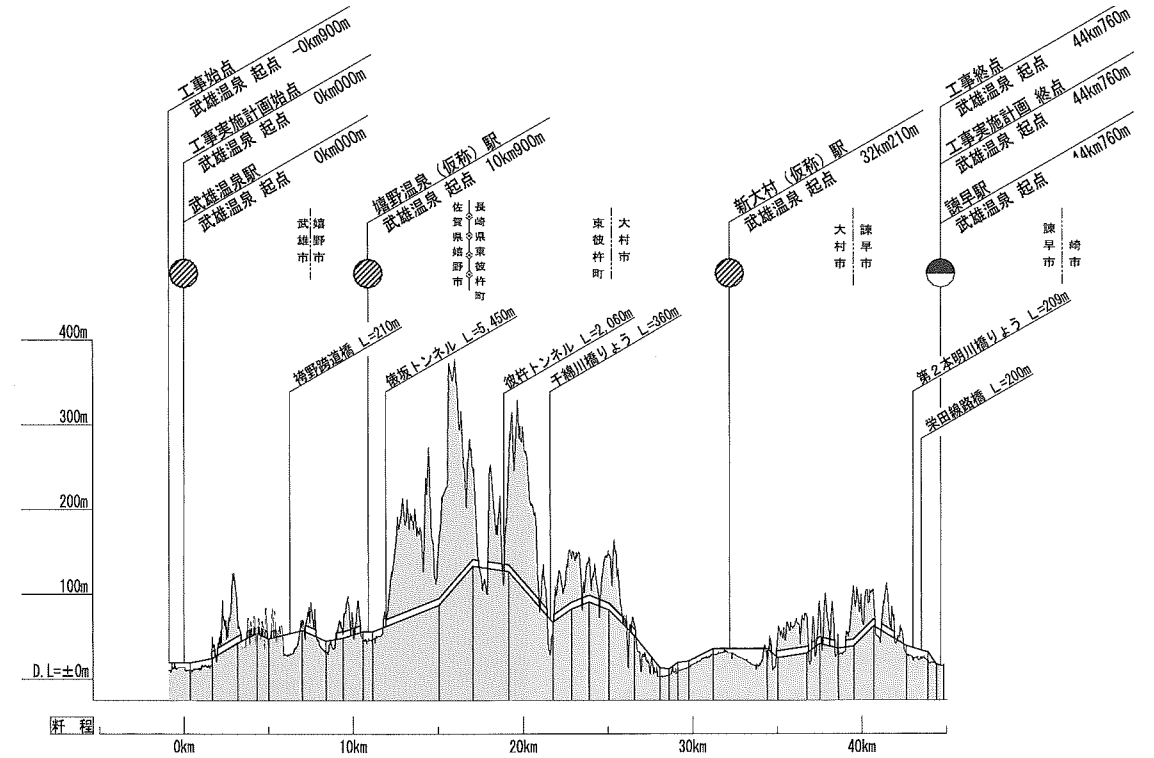


図-3 武雄温泉・諫早間線路縦断面図

表-2 西九州ルート武雄温泉・諫早間の線路規格

設計最高速度	時速200km	軌間	1,067mm
最小曲線半径	4,000m	電車線電圧	20,000V
最急勾配	25%		

### 4 地形・地質の概要

西九州ルート周辺の地形の概観図を図-4に示す。  
武雄温泉駅から嬉野温泉駅(仮称)にかけては、佐  
賀平野西方の古第三紀層(堆積岩)から構成される  
標高300m程度の山地帯、嬉野温泉駅(仮称)から  
諫早駅にかけては、新第三紀～第四紀に噴出した  
火山岩類から構成される多良岳(標高996m)およ  
び経ヶ岳(標高1,076m)の北西麓部～西麓部およ  
び南西麓部にあたり、新大村駅(仮称)周辺およ  
び諫早駅周辺は、郡川および本明川により形成さ  
れた沖積平野となっている。武雄温泉駅側の古第  
三紀層部分は、開析が進み低山体を形成しているの  
に対し、火山岩類から構成される多良岳北西～西  
麓部は、山頂部から放射状に延びる河川に沿っ  
て開析が進んでいる。

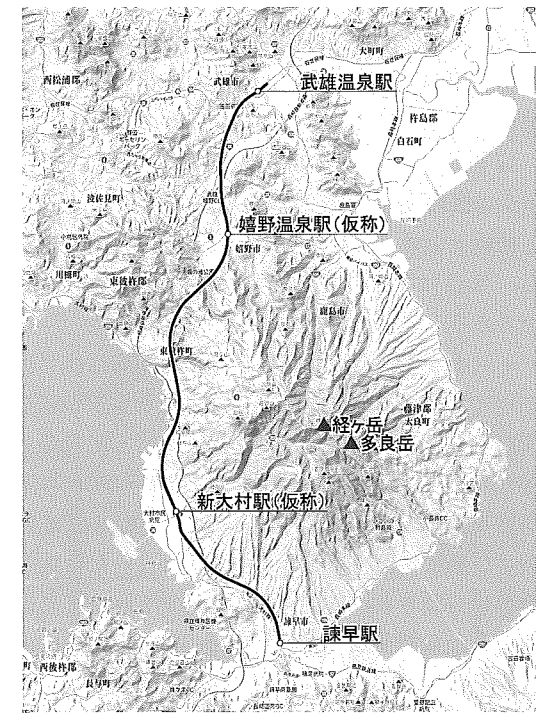


図-4 西九州ルート周辺の地形概観(Google マップより作成)

地層は、下位から、この付近の基盤となっている古第三紀の堆積岩である杵島層群あるいは諫早・矢上層群、新第三紀中新世～鮮新世にかけて噴出した火山岩類、第四紀更新世に噴出した火山岩類である多良岳火山岩類、大野原玄武岩、流紋岩類および段丘堆積物、完新世に形成された崖錐堆積物および河川沿いや大村湾沿岸に分布する沖積層で構成されている。

### 5 西九州ルートのトンネル群

西九州ルートでは30本、延長にして全体の50%にあたる約23kmのトンネルを掘削する計画である。延長1,000m以上のトンネルを表-3に示す。また、代表的なトンネル断面図を図-5に示す。

武雄温泉駅・嬉野温泉駅(仮称)間では、地形が開析が進んだ低山体であるため、延長が短く、土かぶりの小さいトンネルが多く、延長が1,000mを越えるトンネルは、武雄トンネル1本のみである。一方、嬉野温泉駅(仮称)・諫早駅間では、経ヶ岳・多良岳火山群の裾野を横切る比較的長いトンネルが多くなっている。また、長崎県東彼杵町付近では、経ヶ岳・多良岳火山群から放射状に流れる河川が深い谷を形成しており、坑口が急斜面に位置するトンネルが多くなっている。

以下、主要なトンネルの概要を述べる。

#### 5-1 俵坂トンネル

俵坂トンネルは、佐賀県と長崎県の県境に位置し、延長は武雄温泉・諫早間で最長となる5,450mである。

トンネルが位置する俵坂峠は、有明海に注ぐ塩田川と大村湾に注ぐ彼杵川の分水嶺となっている。周辺の地形は、標高180~200mの砂岩・泥岩を主体とするなだらかな丘陵地、標高250~350mの安山岩を主体とする山地、標高350~400mの玄武岩および凝灰角礫岩を主体とするなだらかな台地状地形に分類され、起点方坑口から約2.2kmまではなだらかな緩斜面であり、土かぶりは最大100m程度、それ以降は安山岩および玄武岩の山地となっており、土かぶりは最大約260mである。

俵坂トンネルの地質縦断面図を図-6に示す。掘削

表-3 西九州ルートの主要トンネル(延長1,000m以上)

名称	延長	名称	延長
武雄トンネル	1,400m	江ノ串トンネル	1,350m
俵坂トンネル	5,450m	木場トンネル	1,910m
彼杵トンネル	2,060m	鈴田トンネル	1,740m
千綿トンネル	1,670m		

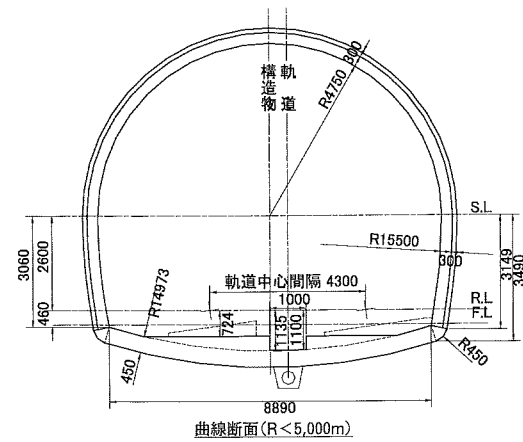
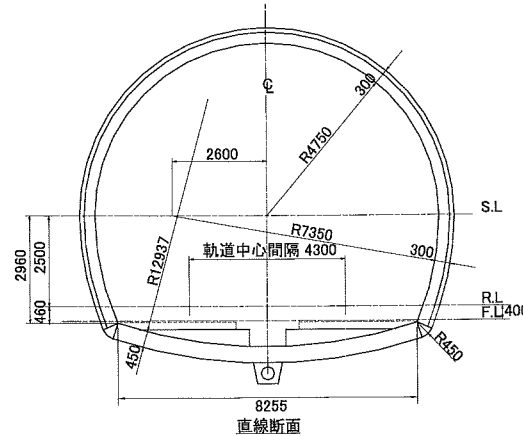


図-5 トンネル断面図

の対象となる地層は、起点方坑口から約2.2kmまでは、そのすべてが古第三紀の杵島層群の砂岩あるいは泥岩であると想定されるが、それ以降では、杵島層群の泥岩が主体となるものの、部分的にはその上位の新第三紀～第四紀の凝灰岩も掘削の対象となる。杵島層群は、トンネルの起点方では砂岩が優勢であり、終点方では泥岩が優勢であると想定されている。

工事は、トンネル延長が5,450mと長いので、全体を東西の2工区に分け、それぞれ起点方から

終点方へ向かって掘削することとしており、西工区については平成20年11月に、東工区については平成21年11月に発注したところである。

九州新幹線西九州ルートに並行し、塩田川を挟んで虚空蔵山側を通過する長崎自動車道は、うれしのトンネル、不動山トンネル、俵坂トンネルの3本のトンネルで俵坂峠を通過しているが、このうち、うれしのトンネルでは、インバートコンクリートを施工しなかった区間を中心に、路盤の隆起、覆工コンクリートのクラックなどの変状が発



写真-1 俵坂トンネル(斜路308m地点)の切羽状況

生したため、4車線化の機会にインバートコンクリートの設置による補強を行ったことが報告されている<sup>1)</sup>。西九州ルートの俵坂トンネル西工区では、本稿執筆時点で斜路を施工中であるが、設計内空幅6.4mに対し、部分的に20cmを超える内空変位が生じている状況である。

俵坂トンネルの特徴としては、膨圧の発生ほかに、トンネルの起点方の約半分の区間が嬉野温泉の近傍での掘削となること、終点方坑口周辺が地すべり防止区域に指定されていることが挙げられる。これらについては、今後引き続き、水文調査や地質調査を実施し、必要な対策について検討を進める予定である。俵坂トンネルの施工については、必要な検討、解析を行ったうえで、機会があれば別途報告したい。

#### 5-2 彼杵トンネル

そのき 彼杵トンネルは、長崎県東彼杵町に位置する延長2,060mのトンネルである。

トンネル周辺の地形は、経ヶ岳・多良岳の火山群の北西麓にあたり、標高200~400mの安山岩を主体とする比較的急峻な山地と、標高100~250mの玄武岩を主体とするなだらかな台地状の地形に分類され、トンネルの起点方は急峻の山地を貫いているが、終点方は台地状地形の端部に位置している。

掘削の対象となる地層は、起点方から、第四紀更新世の多良岳火山岩類の安山岩、凝灰角礫岩お

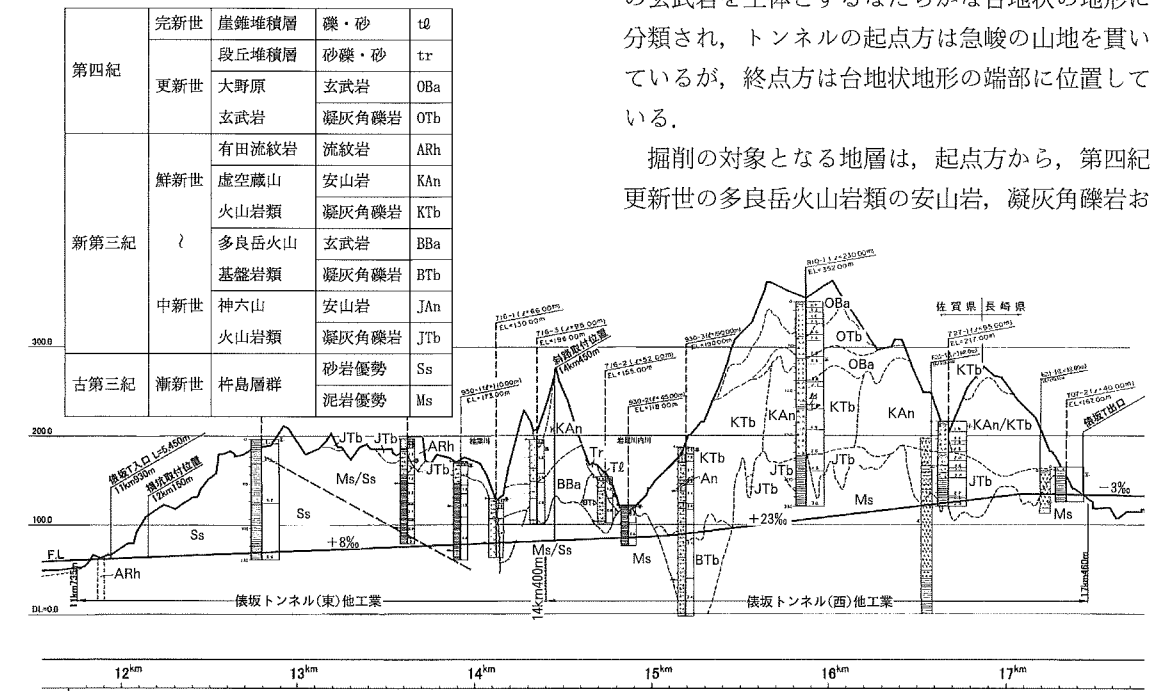


図-6 俵坂トンネル地質縦断面図

第四紀	完新世	沖積層	砂礫	a&	第四紀	更新世	多良岳 火山岩類	玄武岩質 安山岩 角閃石 安山岩	TAnb
	更新世	大野原	玄武岩	OBa		鮮新世 中新世	虚空蔵山 火山岩類 神六山 火山岩類	凝灰角礫岩	TTb
		玄武岩	凝灰角礫岩	OTb				安山岩	KAn
		大村	安山岩	MAn				凝灰角礫岩	JTb
古第三紀	漸新世	杵島層群	泥岩優勢	Ms	古第三紀	漸新世	杵島層群	泥岩優勢	Ms

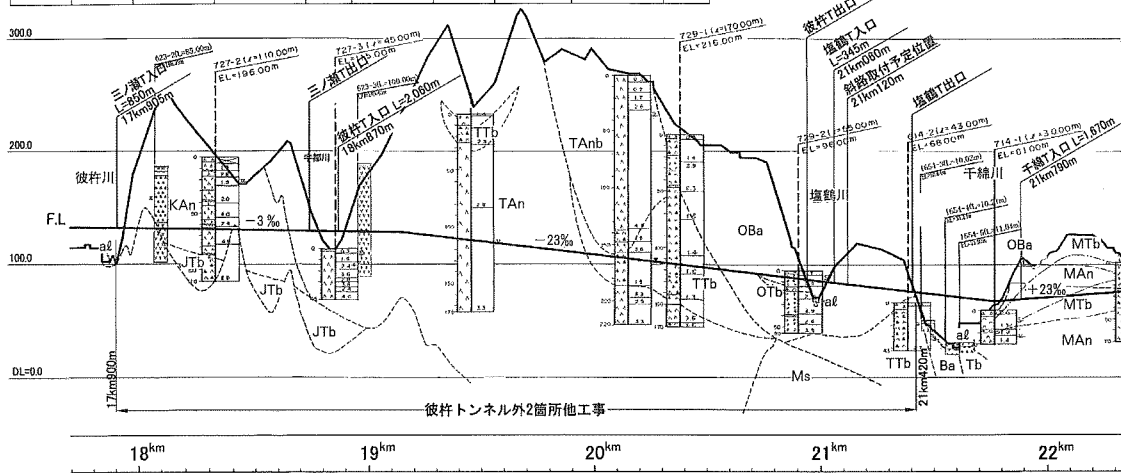


図-7 彼杵トンネル地質縦断面図

よび玄武岩と想定されている。安山岩部は、割れ目が多く発達しており、湧水が多いと想定されている。また、玄武岩部は、軟質な凝灰岩を挟在している。

施工は、彼杵トンネルへの取り付け道路の施工が困難であるため、前後の三ノ瀬トンネル、塩鶴トンネルとを合わせて施工することとし、平成21年12月に発注したところである。トンネルの掘削は、縦断勾配が起点方が3%、続いて23%の下り勾配であり、前述のように湧水が多いと想定されることから、終点方の塩鶴トンネルから、彼杵トンネル、三ノ瀬トンネルと進める計画であるが、塩鶴トンネルの終点方坑口は、アクセス道路となる県道との高低差が約30mあり、坑口への工事用道路の取り付けが困難であることから、まず約300mの斜路を掘削し、本坑にアクセスすることとしている。

長崎県東彼杵町では、水道水のすべてが湧水で賄われるほど湧水が豊富であり、また彼杵トンネルの西側には平山池、赤木池などの農業用ため池が位置している。前述のように、彼杵トンネルでは湧水が多いと想定されており、湧水が問題とな

る可能性があることから、これらへの対応が施工上の課題となる。現在、水文調査を実施して分析・検討を行っているところである。

### 5-3 木場トンネル

木場トンネルは大村市の市街地に位置し、延長は1,910mである。

周辺の地形は、経ヶ岳・多良岳の火山群の南西の裾野の縁にあたる標高50~70m程度の台地に位置し、土かぶりは約15~40mである。起点方坑口から約1.3kmの地点で、長崎自動車道と土かぶり約28m、交差角約35度で交差している。

木場トンネルの地質縦断面図を図-8に示す。掘削の対象となる地層は、大部分は第四紀更新世の西海凝灰角礫岩と想定されるが、それを被覆する半固結状の火山砕屑物や安山岩も掘削の対象となる可能性があり、さらに、両層の層境には多量の地下水が賦存している可能性も考えられる。

縦断線形は、起点方から終点方に向かって3%の上り勾配であるが、起点方坑口周辺は市街地であり、作業ヤードの設置が困難であると想定されることから、終点方坑口から掘削を進める方向で現在検討しているところである。

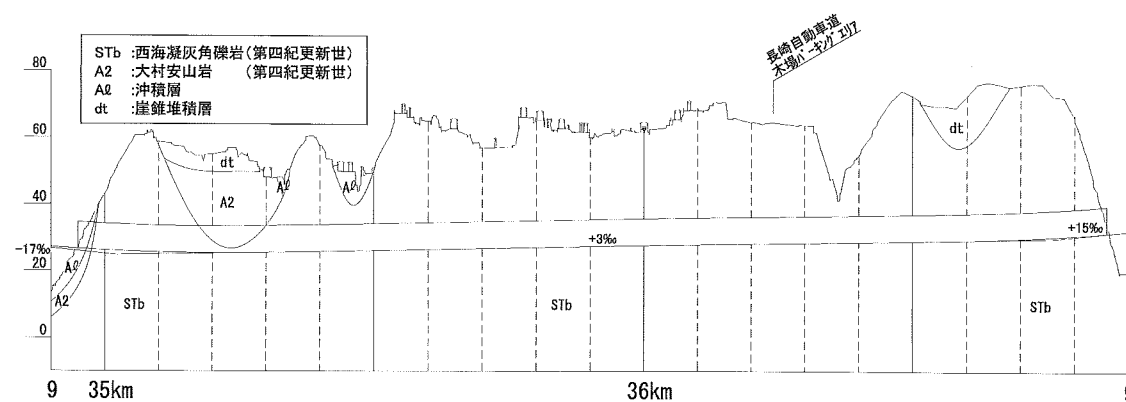


図-8 木場トンネル地質縦断面図

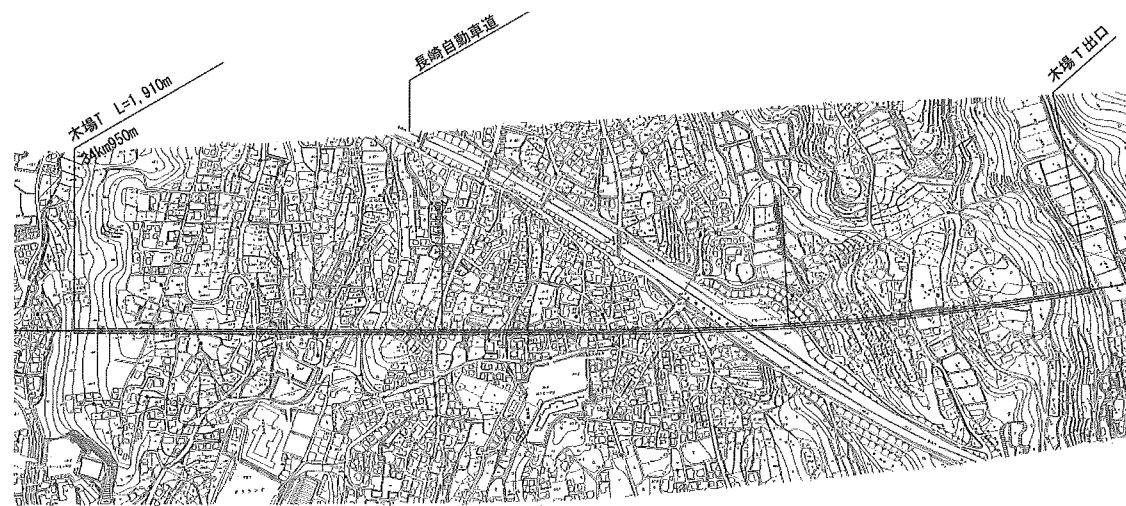


図-9 木場トンネル平面図

木場トンネルの平面図を図-9に示す。長崎自動車道との交差点から起点方は、住宅が密集した市街地直下で、土かぶり2D程度の掘削となることから、トンネル掘削による地表面の沈下や騒音・振動の抑制が施工上の課題として挙げられ、現在、検討を進めているところである。

### 5-4 鈴田トンネル

鈴田トンネルは、長崎県大村市と諫早市の市境に位置し、延長は1,740mである。

トンネルが位置する鈴田峠は、経ヶ岳・多良岳火山群の南西の裾野の縁にあたり、大村湾に注ぐ鈴田川と有明海に注ぐ本明川の分水嶺となっている。土かぶりはおおむね20~60mであるが、起点方は土かぶりが10m程度の区間が約200m続いている。また、起点方坑口から約1kmの地点で、



写真-2 鈴田トンネル(39km215m)の切羽状況

西谷川下を土かぶり約5mで、平面的にはほぼ直角に交差している。

鈴田トンネルの地質縦断面図を図-10に示す。掘削の対象となる地層は、起点方坑口から約1km

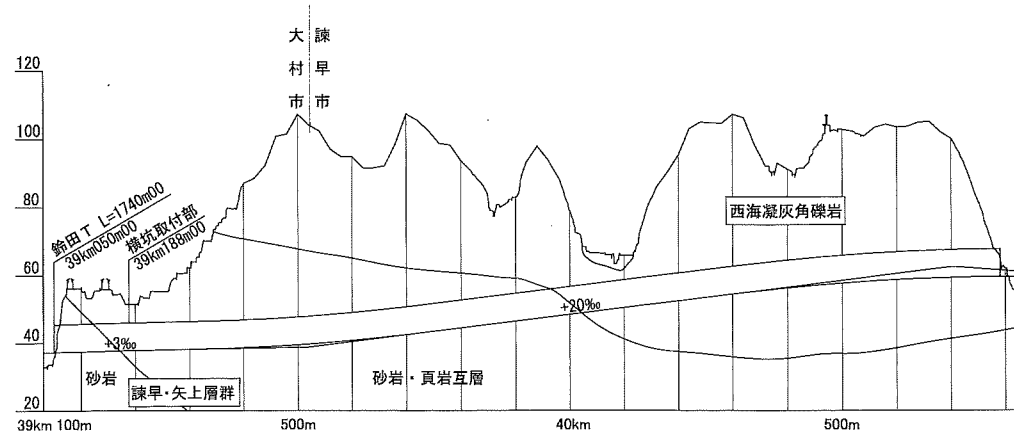


図-10 鈴田トンネル地質断面図

は第三紀漸新世の諫早・矢上層群の砂岩あるいは頁岩であり、それ以降は、その上位に堆積した第四紀漸新世の西海凝灰角礫岩である。

鈴田トンネル工事は、平成20年11月に契約しており、現在、起点方の小土かぶり部の掘削を行っているところである。今後、西谷川直下の施工方法などについて、検討を進める予定である。

## 6 おわりに

西九州ルートの特設トンネルについては、2工区で掘削に取り掛かっており、さらに3工区を発注し、掘削に向け準備作業を進めているところである。西九州ルートの特設トンネル群の中には、本稿で述べたように、地山の塑性変形が大きいと予想される

トンネルや、市街地下を比較的小さな土かぶりで通過するトンネルなど、技術的な課題を有するトンネルがあることから、江崎哲郎・九州大学教授を委員長とする「九州新幹線(西九州ルート)トンネルの設計・施工特別委員会」を組織し、今後、検討の深度化を図ることとしている。委員会での検討内容や、トンネルの施工状況などについては、機会があれば別途報告したい。

## 参考文献

- 1) 河野正博・高卯和博：供用トンネルにおける変状と対策，長崎自動車道うれしのトンネル，トンネルと地下，Vol.30，No.6，1999.6.

## わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格 2,500円 円340円

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

株式会社 **土木工学社**

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

## 研究

# 無線センサを用いたトンネル変状監視

(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部副主任研究員 津野 秀 究  
(株)ジェイアール総研情報システム数理解析部 蒲地 秀 矢  
北海道旅客鉄道(株)鉄道事業本部工務部工事課 中西 祐 介  
(財)鉄道総合技術研究所総務部 仲山 貴 司

## 1 はじめに

鉄道トンネルでは、建設時に予期していなかった地圧の作用などにより、トンネルが変形したり覆工コンクリートにひび割れが入るなどの変状を起こす事例がある。このようなトンネルでは、ひび割れ幅や内空変位などを人手で継続的に計測することで変状を監視する場合も多いが、深夜の列車間合いなどの限られた時間で行わなければならない、計測頻度に制約がある。

一方、緊急性や重要度が高い場合は、計測機器を取り付けて自動計測を行う場合もある。この場合、計測機器類を有線で接続してデータを送ることになるが、計測器自体が簡便なものであっても、配線が大がかりなものになり、配線類のメンテナンスも必要であった。

そこで、鉄道トンネルの変状監視において、計測機器で得られたデータを無線センサで転送することにより、データ収集にかかる手間やコストを大幅に低下させることを目的として、研究開発を行った<sup>1)~3)</sup>。

## 2 無線センサの概要<sup>2)</sup>

試作した無線センサの概要を表-1、外観を写真-1に示す。

無線センサは、親機(コーディネータ)と子機(エンドデバイス)の2種類があり、計測機器類に接続した子機からパソコンに接続した親機にデー

表-1 無線センサの概要<sup>2)</sup>

サイズ	7×4×3.5cm(電池含む)
重さ	約100g(電池含む)
電源	単三型リチウム1次電池2本
計測間隔	1分~(任意設定可能)
無線規格	IEEE802.15.4 ZigBeePro 規格
周波数帯	2.4GHz
出力強度	2 mW
稼働温度	-20~60℃
計測項目	ひずみ、温度、導電塗料など
収録データ	Excel に自動収録(csv データ)

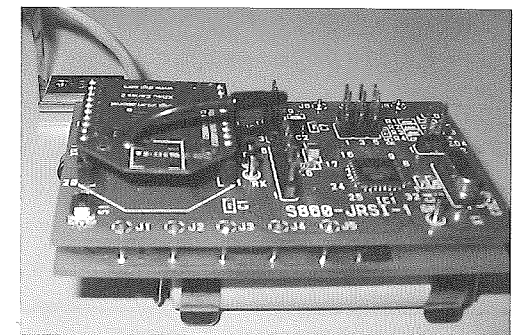


写真-1 試作した無線センサ<sup>3)</sup>

タを無線で伝送するが、写真-1は子機の写真である。無線センサネットワークを鉄道トンネルの変状監視に活用するためには、以下の3点が重要であると考えた。

- ① 建築限界を支障しないよう小型であること
- ② 電池により動作が可能で、省電力で長期間使用できること

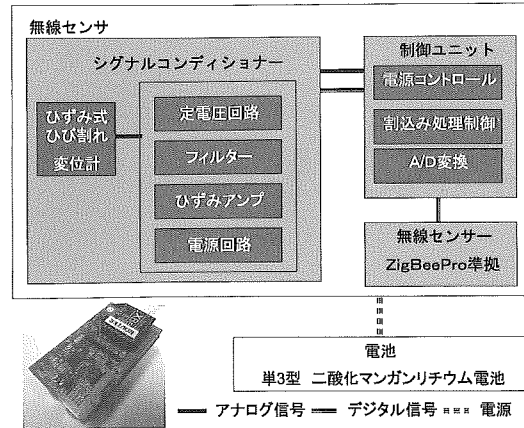


図-1 プロトタイプシステムの構成<sup>2)</sup>

③ 多数の無線機を設置できるようなネットワーク化が可能で電波の干渉や混信に強いこと  
また、延長方向に長い鉄道トンネルで使用する  
ことを考慮すると、無線機間の中継を行うことが  
必須条件となる。そこで、IEEE.802.15.4 ZigBee  
Pro 規格に準拠した無線機を選定し、図-1のよう  
にひずみ式ひび割れ幅計を無線センサに接続した  
プロトタイプシステムを構築した。

ここで、ひずみ式のセンサは微弱な電圧を扱う  
ことから、小型で省電力の信号コンディショ  
ナーを開発した。

無線機はスリープモードにより省電力化を図  
っており、単3型リチウム一次電池2本で動作可能  
となった。これにより、電池も含めてサイズが7  
×4×3.5cmと小型で軽量の無線センサとなり、  
トンネル内での設置作業の軽減も図ることができ  
た。

### 3 基本性能確認試験

#### 3-1 伝送性能確認試験<sup>1)</sup>

今回開発した無線センサの伝送性能を確かめる  
ために、写真-2のように屋外(河川敷)およびトン  
ネル(鉄道廃線トンネル、単線)において通信試験  
を行った。実際の計測では子機から親機に無線で  
データを伝送するが、試験では、親無線機(コー  
ディネータ)と子機(エンドデバイス)の2台の無  
線機を用いて行い、親無線機と子機の間を40  
byteのデジタル情報の往復を10回くり返して、



(1) 屋外(河川敷)



(2) トンネル

写真-2 伝送性能確認試験の状況

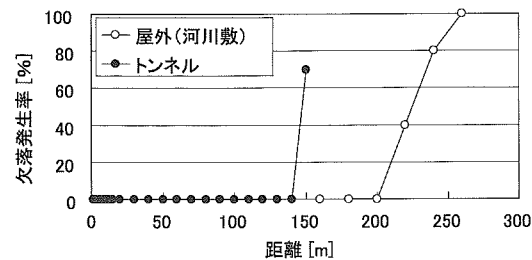


図-2 距離と欠落発生率の関係<sup>3)</sup>

デジタル情報の欠落発生率と電波の減衰を表す電  
波強度(RSSI)を計測した。ここで、無線機は、  
地表より1.3mの高さに設置した。試験は、デジ  
タル情報の欠落発生率が100%になるまで、親無  
線機と子機との距離を徐々に大きくしながら行っ  
た。

試験より得られた距離とデジタル情報の欠落発  
生率の関係を図-2に示す。これより、屋外(河川  
敷)では通信距離200mまでデータの欠落発生率が  
0%であり、確実に伝送できることが確認できた。  
また、トンネル内では、トンネルの延長が156m

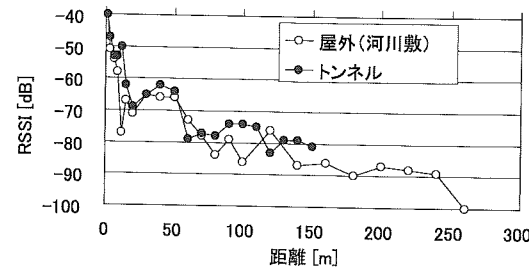


図-3 距離と電波強度(RSSI)の関係<sup>1)</sup>

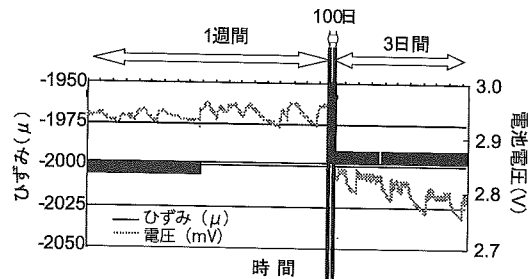


図-4 長期稼働試験結果(ひずみ, 電池電圧)<sup>2)</sup>

であったことから150m地点で実験を終了してい  
るが、通信距離140mまで伝送可能であることを  
確認した。

つぎに、通信距離と電波強度(RSSI)の関係を  
図-3に示す。これより、屋外(河川敷)、トンネル  
内とも距離の増加とともに電波強度が低下する傾  
向が確認された。この低下傾向を分析したところ、  
自由空間と仮定したときに予想される傾向とおお  
むね一致することを確認した<sup>1)</sup>。

#### 3-2 長期稼働確認試験<sup>2)</sup>

今回開発した無線センサネットワークを鉄道ト  
ンネルの変状監視に活用するためには、長期的に  
稼働することが必要となる。そこで、無線センサ  
が長期的に稼働することを確認するために、子機  
(エンドデバイス)に校正器を接続して常時  
-2,000μのひずみを電氣的に発生させ、親機(コー  
ディネータ)にパソコンを接続して長期的にデー  
タを収録した。ここでは、収録間隔を30秒間隔と  
短い周期に設定し、電池の消耗とひずみの推移を  
100日間程度計測した。実験結果を図-4に示す。  
これより、3か月以上の間、収録されたひずみの  
精度は±7μ(変位換算0.004mm)程度であり、温度  
変化や電池の消耗から受ける影響が少なく、安定

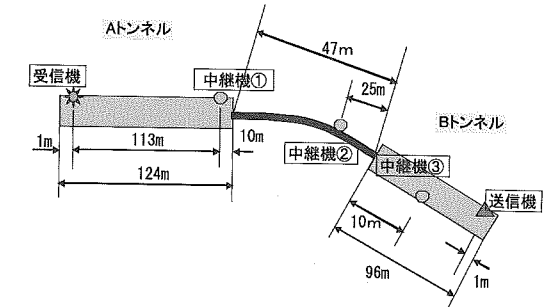


図-5 中継試験の概要<sup>3)</sup>

して収録できることを確認した。

このほか、寒冷地での使用が可能であるかを確  
認するため、子機を冷凍庫(設定温度-15°C)に3  
日間入れ、冷蔵庫外に設置した親機に3日間のデー  
タ伝送を行った。これにより、-15°Cでも計測が  
可能であることを確認した。

#### 3-3 中継試験<sup>1)</sup>

前述のように、今回試作した無線センサを用い  
てトンネル内で伝送可能であることを確認した。  
一方、延長の長いトンネルではこれ以上の伝送性  
能が必要となるため、中継用無線センサを使用す  
るなどで通信距離を延長する必要がある。

そこで、図-5に示す連続した2本のトンネル  
(鉄道廃線トンネル、単線)および明かり区間(延  
長47m)で中継用無線センサを用いた試験を行っ  
た。子機(エンドデバイス)にπ型のひずみ式ひび  
割れ幅計を接続し、図中のBトンネルに設置し  
た。一方、図中のAトンネルに親機(コーディネ  
ータ)を設置し、子機と親機の間の中継用無線セ  
ンサ3台を設置した。そして、ひび割れ幅計に強  
制的に変位を与えて計測し、計測値とノギスを用  
いて測定した値とを比較した。なお、無線センサ  
は、地表より1.3mの高さの側壁に、アンテナが  
トンネル坑内に向くように設置した。

試験の結果、計測値とノギスの測定値は一致し、  
通信の距離が265m間でも中継用無線センサを使  
用すれば通信可能であることが確認できた。

### 4 現地稼働試験<sup>3)</sup>

#### 4-1 試験概要

実際に供用している鉄道単線トンネルにおいて、

①トンネル内での長期耐久性、②防寒・耐寒性能、③列車などからのノイズの影響、などを検討するため、現地稼働試験を実施した。試験では、図-6のように、終点方坑口付近、坑口から15mおよび坑口から87mにあるひび割れに $\pi$ 型のひずみ式ひび割れ幅計を設置し、これに子機(エンドデバイス)を接続した。一方、坑口付近に親機(コーディネータ)を設置し、坑外の小屋に設置したパソコンをUSBケーブルで接続してパソコンに計測データを収録した。

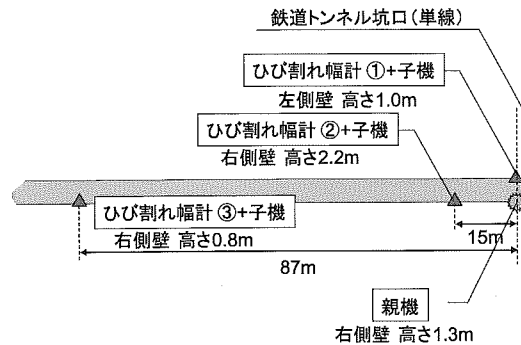


図-6 現地稼働試験の概要<sup>3)</sup>

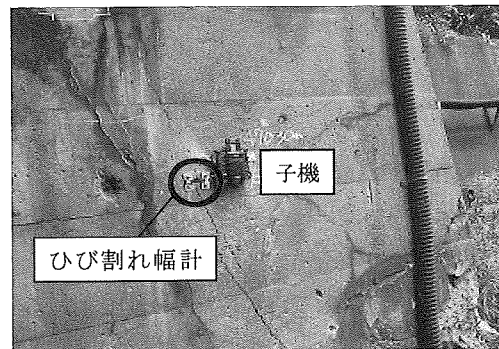


写真-3 ひび割れ幅計および子機の設置状況

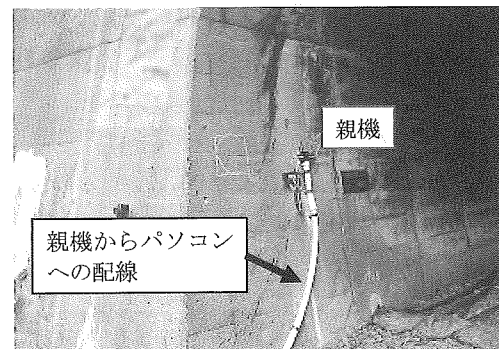


写真-4 親機の設置状況

現地稼働試験では、子機および親機を幅10cm、奥行き10cm、高さ3.5cmの防水・防塵容器に格納し、アンカーでトンネル覆工に取り付けた。なお、子機には温度センサも内蔵させ、ひび割れ幅のデータと同時に温度データも伝送し、収録できるようにした。データの伝送間隔は1分と10分に分け、収録間隔の違いによる電池残量との比較検討も実施した。

今回計測では、単3型電池4本を用いた。また、ひび割れ幅計③については性能確認試験と同様に二酸化マンガンリチウム電池を用いたが、坑口に近いひび割れ幅計①および②に接続した子機については、試験的に塩化チオニルリチウム電池(3.6V)を用いた。現地稼働試験における子機の設置状況を写真-3に、親機の設置状況を写真-4に示す。

ひび割れ幅計および無線センサの作業は、昼間の列車間合い(1時間程度)で行った。このうち、無線センサは、アンカー孔の位置だし、削孔および取り付け(ネジ止め)の手順で作業を行い、1か所あたり10分程度を要した。

#### 4-2 試験データ

無線センサ設置から3週間程度の温度およびひび割れ幅の経時変化を図-7に示す。ここで、ひび

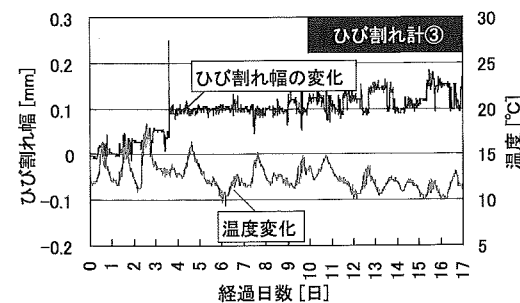
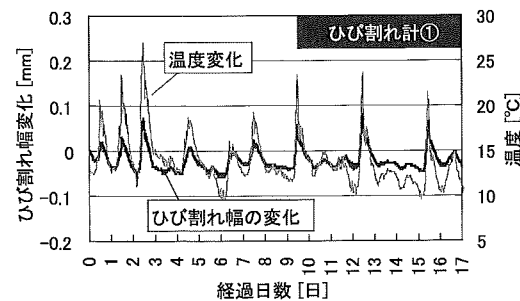


図-7 計測データ

割れ幅の変化は、計測開始時点(0(基準))とし、ひび割れ幅が拡大した場合にマイナスになるよう図示している。収録したデータには欠落もなく、供用中の鉄道トンネルにおいても使用できることを確認した。

計測した温度変化に着目すると、坑口付近(ひび割れ計①の設置位置)では温度の日変化が顕著であり、15°C程度ある日も見受けられる。一方、坑口から87mの位置(ひび割れ計③の設置位置)では、日変化が最大でも6°Cであり、トンネル内部は坑口付近と比較して温度変化が小さいことも確認できる。また、ひび割れ計①のデータを見ると、温度の日変化に合わせてひび割れ幅が±0.1mm以下のオーダーで変化し、坑口付近のひび割れは温度上昇とともにひび割れ幅が小さくなる(プラス方向になる)傾向が確認できた。一方、坑口から87mの位置のひび割れ計③のデータを見るとひび割れ幅の日変化は確認できなかった。

## 5 おわりに

今回は、トンネル変状監視で計測を行う際に課題となる配線作業をなくし、計測の効率化を図る

ことを目的に、無線センサを用いた計測システムを開発した。現地稼働試験は現在も継続中であり、今後も長期耐久性の確認や冬季における性能を確認し、供用中の鉄道トンネルで確実に使用できるシステムの実現に向けて、課題抽出やその解決を図っていきたいと考えている。

最後に、現地計測に御協力いただいた北海道旅客鉄道(株)の方々および基本性能確認試験にご協力いただいた長岡技術科学大学山内郁人氏に謝意を表す次第である。

## 参考文献

- 1) 山内郁人・津野究・仲山貴司・中西祐介・蒲地秀矢：無線センサを用いたトンネル変状計測の検討，第44回地盤工学研究発表会講演集，2009.8.
- 2) 蒲地秀矢・中西祐介・津野究・仲山貴司：トンネルの維持管理に活用するワイヤレスセンサーネットワークシステムの開発，第64回土木学会年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-400，2009.9.
- 3) 津野究・中西祐介・蒲地秀矢・仲山貴司：トンネル変状計測への無線センサの適用，日本鉄道施設協会誌，Vol.47，No.10，pp.49-51，2009.10.

## 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39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)

## トンネルジャーナル

### 椎谷岬トンネルが開通

新潟県が整備していた国道352号椎谷岬トンネルが完成し、1月7日、関係者約370人が出席して開通式典が開かれた。

同トンネルは、2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震での大規模な斜面崩壊により、全面通行止めとなっていた柏崎市椎谷-大崎間の観音岬沿い区間のバイパス道路。2008年3月に着工し、工事延長1,140mのうち886mをNATMで掘削、昨年4月に貫通を迎え、このたび開通し、約2年半ぶりに通行が可能となった。

開通により、同地区の安全な交通が確保されるとともに、中越沖地震で被災した新潟県管理道路の復

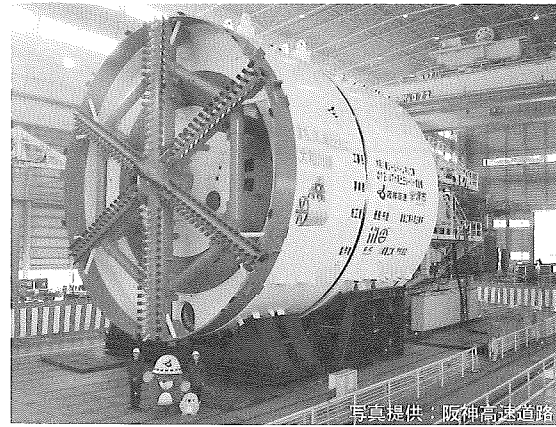
旧工事はすべて完了し、今後のさらなる復興が期待される。



### 関西最大級シールド公開

阪神高速道路では現在整備中の大和川線(全長約9.7km)に使用するシールドが完成したことにとともに、これを公開した。

同機は、大和川線シールドトンネル工事に投入される泥土圧シールドで、直径が12.47m、総推力が約14万kNと関西圏では最大級。遠里小野立坑を発進後、約2km掘進したのち常磐西立坑でUターンして並列トンネルを施工する。曲線区間が多いため中折れ機構を採用、またカッタの複数箇所から気泡材を注入可能とし、従来の加泥材を注入する場合に比べ掘削時に発生する建設汚泥量を1割程度低減することを可能とした。



### 3月28日中央環状新宿線開通

首都高速道路は、現在整備中の中央環状線山手トンネル(3号渋谷線~4号新宿線)が3月28日(日)16時に開通すると発表した。

同区間の開通により、3号渋谷線(東名方面)と川口線(東北道方面)、6号三郷線(常磐道方面)が中央環状線で接続されることになる。

開通効果としては、渋滞ピーク時(平日11時台)所要時間が、東名道用賀から東北道川口までが現在の58分(約42km)から山手トンネル経由で40分(約37km)になるとしている。東名道用賀から常磐道三郷については65分(約40km)が50分(約41km)に短縮されるとしている。また、都心環状線に集中する

交通が分散される効果により、首都高(東京線)全体の交通の流れがよくなることで、開通前に比べ、ピーク時の渋滞長が約3割減少するほか、中央環状線が都心環状線につながることでリダンダンシーの向上が期待される。

同トンネルは大橋ジャンクションで高架道路である3号渋谷線と接続するが、トンネルと高架の高低差が約70mあり、壁で覆われたジャンクションをループ状に2周して接続することになることから、同社ではループ内での安全・円滑な走行を確保するため、初の試みとなる「色による走行支援対策」を施すこととしている。

## 連載講座

### ずり処理入門(3)

#### —発生土の運搬方法・レール方式—

#### 「ずり処理入門」連載講座小委員会

#### ① はじめに

トンネル掘削は、大きな断面を効率よく施工するために、機械能力の向上、大型化が進み、それに伴いレール方式からタイヤ方式へと変化していった経緯がある。

レール方式の場合、軌道上を車両が走行することで、クリアランスが必要最小限で済み、内空断面の制約の中で最大の機械を使用することができるという特徴をもつ。また、タイヤ方式に比較して移動時の摩擦抵抗が小さいため、小さな動力・重量で、重量物を運搬することができる。これらのことから、現在でもレール方式は内空断面の小さいトンネルでは、有効な手段となっている。その一方で、レール方式は、軌道上しか移動できないため、切羽の進捗に合わせて軌道を延伸する必要がある。車両の入替えでは、分岐器(ポイント)などの設備が必要であり、設備投資も大きくなる。

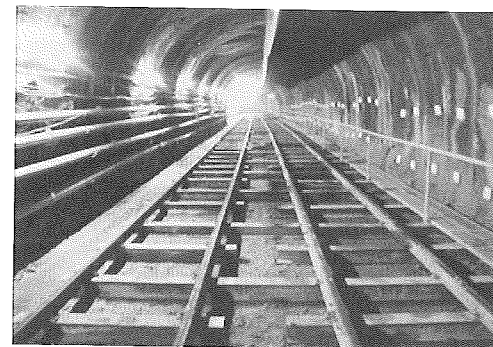


写真1 坑内レール敷設状況

このためレール方式の採用においては、その得失を踏まえた設備レイアウトが重要となる(写真-1)。

レール方式の利点として、

- ① 小断面トンネルでの適合性が高い
- ② 内燃機関が少なく、排ガスが少ない
- ③ 施工基面となる路盤の維持が容易である

などが挙げられる。一方、欠点としては、

- ① 設備投資が大きい
- ② 適用可能なトンネル勾配に限界がある
- ③ 逸走脱線による災害の可能性がある

などが考えられる。

#### ② ずり処理機械の種類と特徴

##### 2-1 積み込み機械

トンネルにおけるずり積み込み機械としては、

- ① かき込みローダ・パワーショベル
- ② ロッカショベル
- ③ トラクタショベル

が挙げられる。レール方式で多く採用されているのはかき込みローダである。以前は、設備やコストの面から空圧式のロッカショベルが使用されていたが、安全性が低く使用者の熟練度を要するため、現在ではほとんど使われていない。一方、トラクタショベルは特殊な機械との組み合わせでの採用実績がある。

##### 2-1-1 かき込みローダ(写真-2)

レール方式で一般的に使用される機械で、機体中央部切羽側より後方上部にかけて搭載されたコ

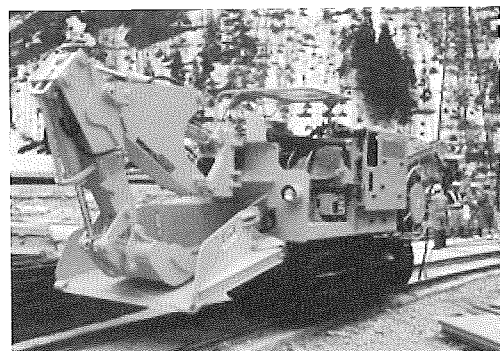


写真-2 かき込みローダ

ンベヤに、バケットやヘグにより掘削ずりをかき込み、機体後方の鋼車などに積み込む機械である。かき込みローダは、旋回せずにバケットでかき寄せて積み込むため、作業サイクルが短く、落石などの危険性が少ない。また、小断面トンネルでは、断面に適した機械の使用により、機械の移動が少なく効率的である。しかし、トンネル断面に対して車体サイズが大きく機動性が低いため、機械の入替えに難がある。

動力は電動式が一般的で、ディーゼル機関により自走するものもある。走行は履帯式であるが、レール方式で使用する場合、ポニートラック形式の格納車輪を装備して、けん引により移動する。

### 2-1-2 ロッカショベル(写真-3)

以前は、レール方式では一般的に採用されてきた機械で、鉄車輪によりレール上を走行し、ずりをすくったバケットを反転させて、機体後方にある積み込み用コンベヤにずりをあげ、機体後方の鋼車などに積み込む機械である。動力は空圧式がほとんどで、空圧の削岩機を使用していた頃は、圧縮空気設備を共用することができた。構造が単純で、頑丈に造られており、機械トラブルが少ない機械である。しかし、鉄車輪により走行するため、切羽直近までレールを敷設する必要がある。運転姿勢は、オペレータが本体横に立った状態で行い、バケットですくったずりがオペレータの顔の前を通過して後ろに送られる。また、エアースをつないだ状態で前後の激しい動きになるので、オペレータの熟練度が安全性や作業効率に大きく影響する。

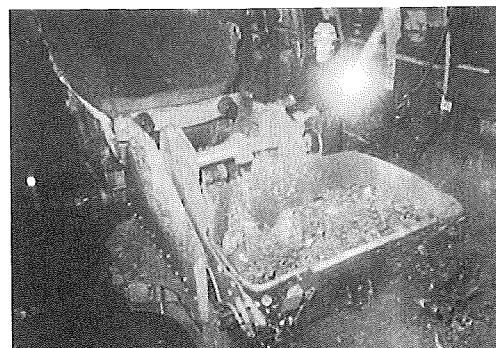


写真-3 ロッカショベル

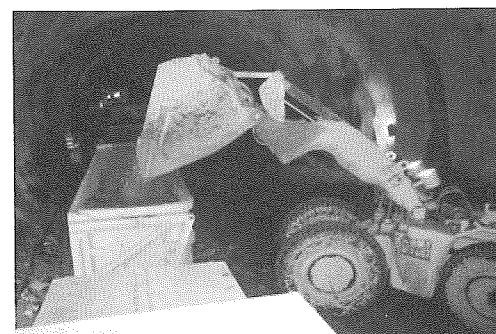


写真-4 トラクタショベル(ロードホウルダンプ)

### 2-1-3 トラクタショベル(写真-4)

タイヤ工法では一般的に使用される機械で、フロントエンド式とサイドダンプ式がある。レール方式での適用事例は、サイロット工法における本坑のずり積みや、小断面では、サイドダンプ式ロードホウルダンプでずり鋼車に積み込む使用方法がある。

## 2-2 運搬機械

レール方式におけるずりの運搬は、ずりを積み込む運搬車両とこれをけん引する軌道動力車で構成される。運搬車両機械の選定においては、1サイクルあたりのずり量と平面線形や縦断勾配、積み込み機械との適合性を考慮する必要がある。レール方式に使用されるずり運搬車両としては、

- ① ずり鋼車(ズリトロ)
- ② シャトルカー(シャトルトレン)
- ③ ベッセル(台車搭載)

が挙げられる。一般的にはずり鋼車やシャトルカーが選定されるが、特殊な組み合わせとして、トンネルコンテナ工法のベッセルを台車に搭載してずり鋼車と同様に使用している例もある。

り鋼車と同様に使用している例もある。

### 2-2-1 ずり鋼車(ズリトロ)(写真-5,6)

ずり鋼車は、レール方式では一般的な運搬機械で、現場条件や使用方法によりいろいろな種類がある。ずり鋼車の種類は図-1に示すように、①函体と台わくが分離する構造、②函体と台わくがヒンジ結合した構造、③函体と台わくが一体の構造に分類される。山岳トンネルでは一般的にヒンジ結合した構造の横転倒式鋼車を使用されている。横転倒式鋼車の中でも、油圧式転倒装置を使用す

- ①函体と台わくが分離する鋼車
  - つり上げ式鋼車
    - つり上げ式鋼車
    - 底開き鋼車
    - 底開き(半自動式)鋼車
- ②函体と台わくがヒンジ結合した鋼車
  - 横転倒式鋼車
    - 手動式鋼車
    - 油圧式鋼車
    - エア式鋼車
    - グランピ形鋼車
    - ホイスト式鋼車
    - タワー式鋼車
- ③函体と台わくが一体の鋼車
  - 函形鋼車

図-1 ずり鋼車の種類



写真-5 エア式ずり鋼車

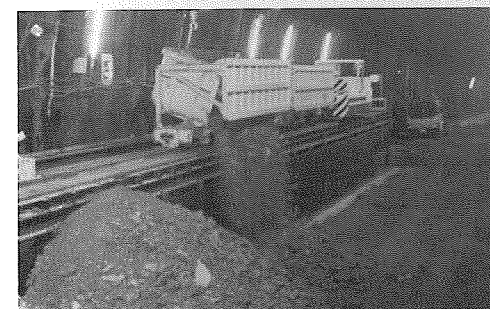


写真-6 ホイスト式ずり鋼車

る油圧式鋼車と、函体下部にエアバックもしくはエアシリンダを内蔵したエア式鋼車をもっとも多く採用されている。

ずり鋼車は、トンネル断面の大きさやトンネル延長、ずり積み機の能力を考慮して、容量・台数を選定し、坑外のずり捨て条件により転倒方式を決定する。ずり鋼車はコストが小さく機械トラブルも少ないが、鋼車の入替えや積み込み補助設備が必要となり、選定に際しては安全性も含めて検討する必要がある。

### 2-2-2 シャトルカー(シャトルトレン)

シャトルカー(写真-7)は、函体トラフ底部の床面にチェーンコンベヤを装備し、切羽側で積み込まれたずりを順次後方へ移動させながら函体全長にわたってずりを積載する機構となっている。ずり捨ては、積み込み時と同様にチェーンコンベヤを駆動させ坑口側端部の放出口より全量を排出する構造である。シャトルカーの最大の特長は、鋼車の入替えや積み込み補助機械を使用せずに、大量のずりを積み込むことができるため、サイクルタイムを大きく短縮できることである。一方、本

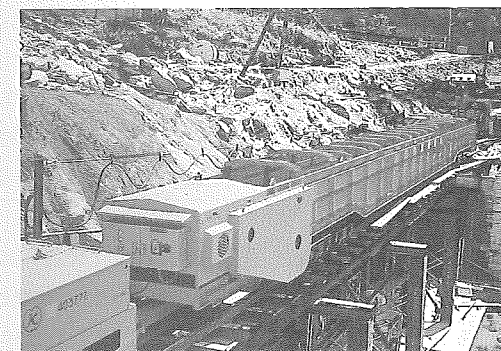


写真-7 シャトルカー

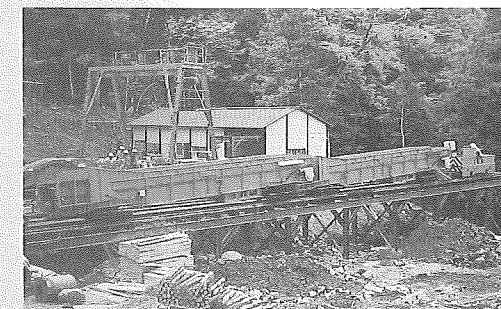


写真-8 シャトルトレン

体は高価で、消耗部品も多くランニングコストが高額になりやすい。シャトルカーは本体機長が長く重量も重いので、適用できるレールの平面・縦断線形に制約があるが、連結使用するシャトルレン(写真-8)はある程度平面線形に対応することができる。シャトルカーは10~35m<sup>3</sup>までの機種があり、選定に際しては、ずり量に合わせたシャトルカーを選定する。また、ずりの性状・性質によっては、チェーンコンベヤ移動時に積み込み容量が減少する場合がある。また、粘性の高いずりの場合、こねかえしにより排出不能となるため不向きである。

ずりの排出には高低差が必要で、栈橋などが必要となるが、ベッセルを使用した場合は、コンテナスプレッダによりベッセルを掴んでずり捨てするため、栈橋などの設備は不要となる。



写真-9 ベッセル(台車搭載)

2-2-3 ベッセル(台車搭載; 写真-9)

タイヤ方式で使用されるベッセル(コンテナ)を台車に搭載し、ずり鋼車と同様に使用する。

横転式ずり鋼車やシャトルカーの場合、

表-1 バッテリー機関車分類表

呼び重量	1t	2t	3t	4t	6t	8t	12t	15t
軌間(mm)	508	508	508	610	610	762	762	762
	610	610	610	762	762	914	914	914
運転席位置	端部	端部	端部	端部	端部	中央	中央	中央

表-2 バッテリー機関車性能比較表

特性	項目	サーボロコ	チョッパー制御式ロコ	抵抗制御式ロコ
運転特性	定速度運転	負荷の大小や勾配の緩急にかかわらず一定速度で走行可能なので運転手の技量に左右されず可能	負荷や勾配により速度が変化するため、運転手の技量に左右される	負荷や勾配により速度が大幅に変化するため、一定速度運転は難しい
	加減速	デジタル数値制御のため、非常に滑らか	滑らか	滑らかでない
	定低速度運転	一定速の低速でも最大のトルクが出力可能なので、重量物搬送の位置合わせに適している	不可能	不可能
	無線運転 自動運転	シーケンサー制御のため、リレー、マグネット類を少なくでき最適	改造費大	改造費大
ブレーキ特性	回生充電	走行中の速度制御により回生充電を絶えず行っている	回生ブレーキを操作したときのみ回生充電可能。低速度では効かない	不可能
	制動方式	サーボブレーキをメインにして制動をかけるため、制動距離も短く消耗部品がない	ブレーキシューでの制動となるため、通常制動では制動距離が長くなり、消耗部品が発生する	ブレーキシューでの制動となるため、通常制動では制動距離が長くなり、消耗部品が発生する
安全機能	デッドマン機能	コントローラーから手を離すと必ずブレーキ側に戻る	オプション	オプション
	坂道発進	サーボモーターの制御で下がらない	電流の上昇を確認してブレーキを開放させる	電流の上昇を確認してブレーキを開放させる
	1充電走行時間	回生充電機能により長い	やや長い	抵抗器損失により短い
保守点検	通常メンテナンス	メンテナンスフリー部品が多い	摩耗部品はやや少ない	摩耗部品多い
	故障時	専門的な技能が必要 ユニット部分が多くユニット交換可能	専門的スキルが必要 ユニット部分が多くユニット交換可能	一般技能で対応可能

2-3 けん引機械

けん引に使用する機関車はバッテリー機関車とディーゼル機関車があるが、走行距離が長く経済的に有利なディーゼル機関車を従来は多く使用していた。しかし現在では、換気や操作性、安全性を考慮して、バッテリー機関車が使われている。バッテリー機関車の種類は、呼び重量、軌間、制御方式、運転席の位置により分類される(表-1)。バッテリー機関車の制御方式としては、①抵抗制御方式、②チョッパー制御方式、③サーボ制御方式がある。近年、定速運転ができ、制動能力が高く操作性に優れた、サーボ制御方式のサーボロコ(写真-10)が主流となっている。

また、高性能のマイクロタービン発電機を搭載し、バッテリーと発電機のハイブリット走行が可能な新しい機関車(写真-11)も開発されている。

2-4 ずり処理補助機械(設備)

レール方式の場合、レールという決められた



写真-10 バッテリー機関車(サーボロコ12t)



写真-11 ハイブリット機関車(ターボロコ12t)

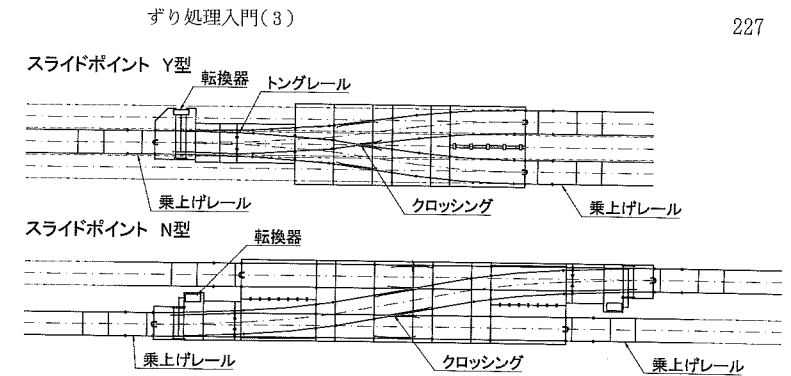


図-2 スライドポイント

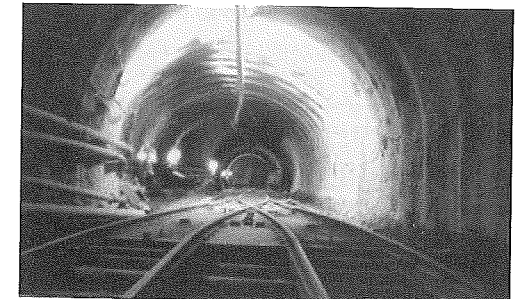


写真-12 スライドポイントY型

場所でしか施工機械が動くことができないため、さまざまな補助機械(設備)が必要となってくる。

ずり鋼車を入替えるための設備としては、①分岐器(ポイント)、②カーパッサ(カーシフター、トラバーサ)、③チェリーピッカーなどがある。また、ずり鋼車を入替えせずに積み込むための機械として、④トレンローダ(補助コンベヤ)がある。

2-4-1 分岐器(ポイント)

レール方式においては、列車の退避・交差・入替えなどには分岐器を用いる。分岐器には固定式分岐器と移動式分岐器(スライドポイント; 図-2)があり、前者は使用期間中その位置を移動させず、後者は切羽の進行に伴い一定距離ごとに移動して使用する。移動式分岐器は、分岐器に鉄板を取り付けて前後に乗り上げレールを設けて、既設レールの上を機関車などのけん引により移動できるようにしたもので、分岐の目的によりY型、N型、X型等の種類がある(写真-12)。基本的に分岐器を使用する場合のレールの敷設は、4本の間隔が等しい等三線で設置する。分岐器は脱線の原因となりやすいので据え付けを正確に行い、保守にも十分注意する必要がある。

### 2-4-2 カーパッサ(カーシフター; 写真-13, ト ラバーサ)

ずり鋼車をレールにのせたまま線路から線路へ平面的に横移動させる装置で、立坑を利用するシールドトンネルで使用されることが多い。

### 2-4-3 チェリーピッカー(図-3)

線路が単線の場合にずり鋼車を立体的に移動させる設備で、垂直に上げるものと横に移動させるものがある。使用法は、後方の空ずり鋼車を、列車から離して一番先頭に移動してずりを積むものであるが、安全性が低いため、現在ではほとんど使用されていない。

### 2-4-4 トレンローダ(補助コンベヤ; 図-4)

トレンローダはずり鋼車の入替えを行わずに、1列車分のずり積み込みが行えるように、ベルト

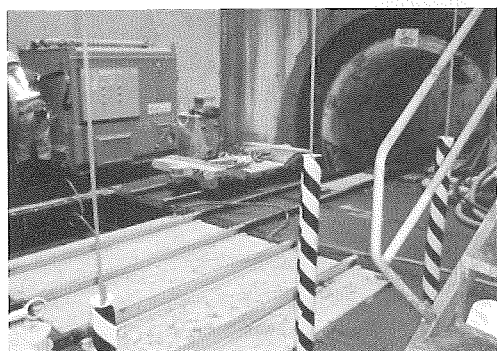


写真-13 カーパッサ

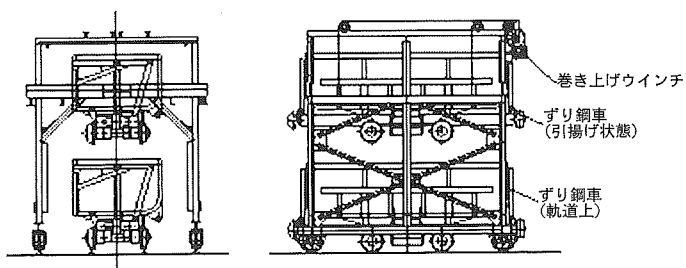


図-3 チェリーピッカー

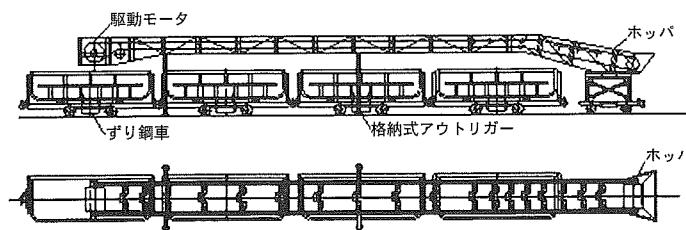


図-4 トレンローダ

コンベヤを長くしたオーバーヘッドコンベヤである。切羽の作業や進捗に合わせて移動して使用するが、設備が大掛かりでその他の機械との入替えが難しく、移動に時間を要する。

## ③ ずり処理計画

### 3-1 ずり処理機械の組み合わせと選定

ずり処理機械の選定においては、延長・線形(平面、縦断)・掘削工法・掘削断面積・岩質などを考慮し、それぞれの機械のバランスがとれ、効率よく安全に施工が行えるよう計画を立てる。とくにレール方式で使用する機械は、汎用機械と異なり作業員の熟練度に依存するものが多いため、機械特性を理解して安全に作業が行える機械選定が重要である。

#### 3-1-1 積み込み機械と運搬車の組み合わせ(図-5)

##### (1) かき込みローダ+ずり鋼車

もっともオーソドックスな組み合わせで、掘削断面積15~30m<sup>2</sup>程度で採用される。1サイクルあたりのずり量に合わせて、ずり鋼車を増減することができ、縦断線形や平面線形に対しての制約が少ない。一方、ずり鋼車の入替え(トロ回し)が必要なため、等三線軌条で移動式分岐器(スライドポイント)を使用する。トレンローダを使用し、トロ回しを行わない場合もあるが、設備が大掛かりとなる。かき込みローダのコンベヤでずりを投入するため、切羽付近のレールは基本的にトンネルセンターに単線で敷設し、切羽の進捗に合わせてレールを延伸する必要がある。

##### (2) かき込みローダ+シャトルカー(シャトルトレン; 写真-14)

掘削断面積が比較的小さくて単線でずり鋼車の入替えができない場合や、複線軌条が敷設できる場合でも、トロ回し作業時間の短縮を図るために採用される。小断面の単線トンネルで使用する場合は、1サイクルずり量を1台で積載できるシャトルカーを選定する。シャトルカーは平面・縦断線形の制約

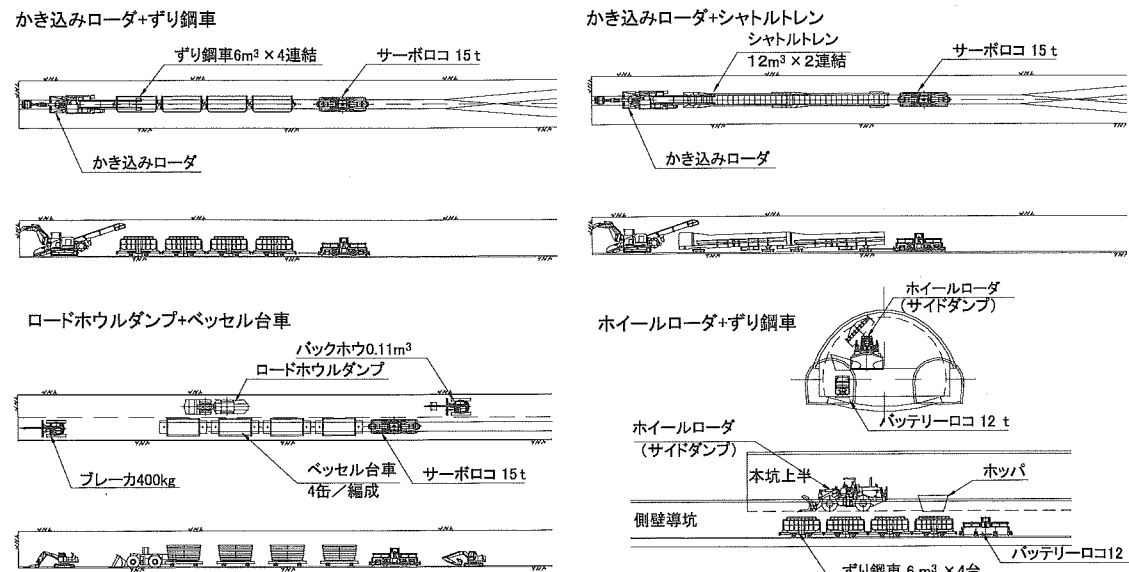


図-5 ずり処理機械の組み合わせ例



写真-14 かき込みローダ+シャトルトレン

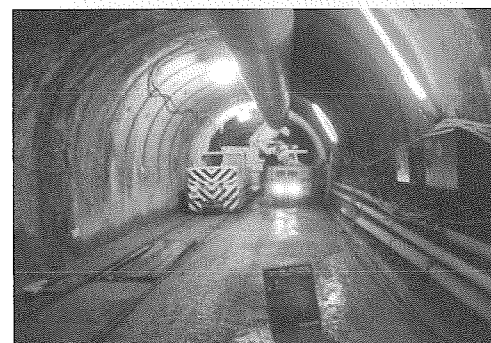


写真-15 ロードハウルダンプ+ベッセル台車

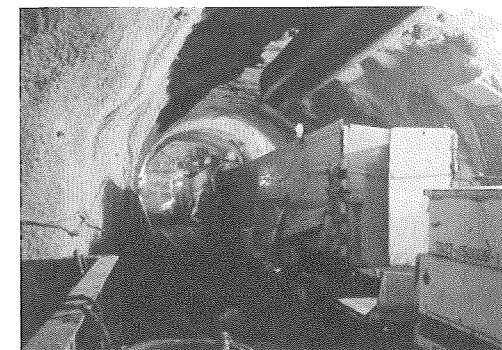


写真-16 ホイールローダ+ずり鋼車

が大きいので、ポイントを使用する場合、走行軌跡に注意を要する。ずり鋼車と同様、レールはトンネルセンターに敷設し、切羽の進捗に合わせてレールを延伸する必要がある。

(3) トラクタショベル+ずり鋼車  
サイロット工法における本坑断面のずり出し(写真-15)や、小断面トンネルでのレールとタイヤ方式を組み合わせた特殊な機械組み合わせでの

採用実績(写真-16)がある。基本的に施工機械はタイヤ方式によるため、レール位置に制約がなく自由度が大きい。重量物の走行がレール方式のため、路盤の損傷が少なく換気も良好となる。しかし、積み込み機械が、動きの大きいタイヤ方式のため、内空断面との余裕量を十分確保する必要がある。

3-1-2 列車編成・台数と軌条設備の選定

ずり運搬における列車編成は、1サイクルあたりの掘削ずり量や延長、縦断勾配などによって決められる。効率的なずり処理を行うためには、積み込み機械の待機時間を極力少なくすることが重要である。このため、容量の大きい運搬機械が必要となるが、1列車編成あたりの重量が大きくなればけん引する機関車も大きくなり、軌道設備もより丈夫なものが要求される。一方、列車の運行回数が減少するため、サイクル短縮や離合・待機回数が減り、分岐機などの設備を少なくすることができる。

ずり運搬車両の必要台数は、余掘りを含めた掘削断面とほぐされたことによるずりの変化率を考慮しなければならない。ずりの変化率は岩石の種類・性質や掘削方法によって異なり、また、積み込み方法にも影響されるので、注意が必要である。

機関車は、けん引力および制動力により選定される。一般的には下り勾配での実車運行が多いので、制動力によって機関車能力やずり運搬車両編成が決定される場合が多い。

軌道は、レール・まくら木・道床・その他で構成される。軌道のサイズは、レール内側の寸法(軌間、ゲージ)と呼ばれ、建設工事では610~914mmが通常使用される。使用するレールは最大重量により検討するが、15~30kg/mが一般的である。

3-1-3 車両連結方法

連結方法には、ピンリンク式と自動連結式(ウィルソン型;写真-17)がある。ピンリンク式は確実性が高いものの、車両間に入って作業するため安全

性に問題があった。近年、機関車の無線操作により安全性が確保されたため、ピンリンク式の使用が多くなっている。自動連結式は、車両と車両の接触によって自動的に連結されるもので、切り離しは側面の開放テコにより行う。しかし、軌道の段差や勾配差により接続が外れることがあるため、レールの精度や連結チェーンの使用が必要である。

3-2 レール方式特有の作業

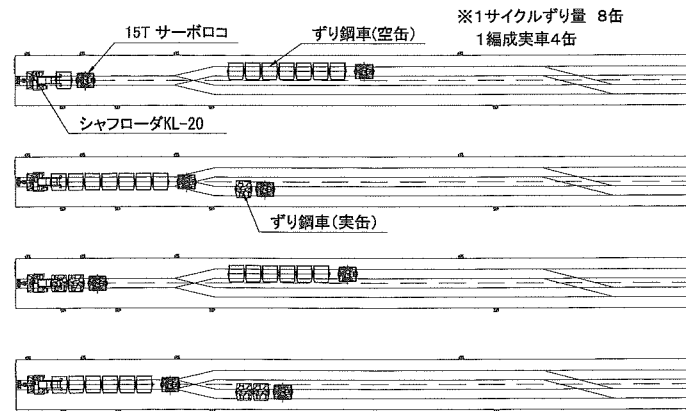
レール方式の掘削作業では、ずり鋼車の入替え(トロ回し)やレールの敷設といった、タイヤ方式にはない付帯作業が生じる。

3-2-1 ずり鋼車の入替え(トロ回し)

ずり鋼車の入替えは、施工サイクルに大きく影響する。また、列車の切り離しを頻繁に行うため、車両の逸走といった危険を内包している。とくに下り勾配での施工の場合は、逃げ場のない切羽へ逸走車両が突っ込む危険性があるため、トロ回し



写真-17 ウィルソンカバー



実車4缶で空車編成後方に仮置き  
図-6 ずり鋼車入替え(トロ回し)

の少ない施工方法の選定が望ましい。トロ回し方法は、機関車の使用台数や軌条配置で異なるが、一般的な施工順序を図-6に示す。

3-2-2 レールの延伸方法

積み込み機械にかき込みローダを使用する場合、ずり運搬車両は排出コンベヤの下に入る必要があるため、レールをその位置まで敷設する必要がある。一般的なレールの定尺長は、5mないし10mであるが、トンネルの1進行長は1~2m程度であるため、定尺のレールが敷設できるまでの間、仮のレールが必要となる。従来からよく行われていたのが、レールを天地逆にして既設のレールに沿わせて、切羽の進行に合わせて前方にスライドさせる「抱き線」(図-7)という方法である。また、1進行長分のレールを組み立てた「ハシゴ線」を1サイクルごとに敷設し、定尺分まで進行した時点で「ハシゴ線」を撤去して、本線を敷設する方法もある。

3-2-3 レールの敷設

本線レールの敷設は、一連の掘削作業サイクルの中で行われるが、据え付けが難になった場合、後に脱線(トンボ)などのトラブルを起こしやすい。いったん脱線が起これると復旧にも時間を要するため、日常から据え付け精度や固定を確実にを行う必

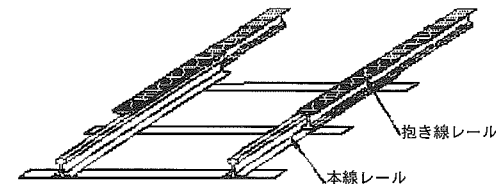


図-7 枕木固定方法

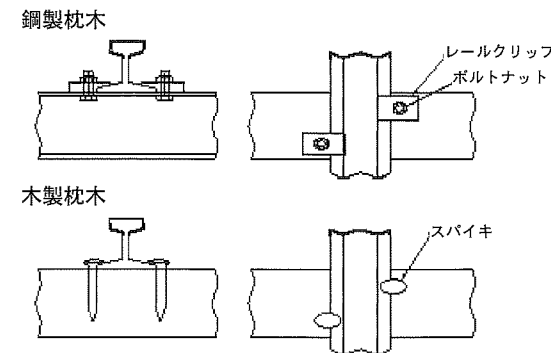


図-8 抱き線レール

要がある。

軌道の枕木は鋼製と木製の場合がある。鋼製枕木は、あらかじめ軌間に合わせたボルト穴により、レールクリップを締結するため、設置時の軌間の狂いは生じにくい。反面、枕木自体が滑動しやすいのと、レールをボルト固定するためレールの修正が難しい、などの問題がある。一方、木製枕木は、スパイク(犬くぎ)でレールを固定するので打ち直しができ、レールの修正や補修がしやすい(図-8)。ただし、工事終了後に処分費が発生する。

レールの固定は、木製・鋼製問わず枕木1本に対して4か所を「ハ」の字で固定する。これは、レールの軌間を保つだけでなく、枕木の移動やねじれを防ぐためである。

3-2-4 保守・管理

レール方式にとって軌道の保守・管理は生命線であり、常に良好な状態を維持することが、トラブル予防と作業効率の向上のためには重要である。山岳トンネルの場合、トンネルずりが道床となるため、枕木周辺の締め固めが不十分な場合に、軌道が狂いやすいので、注意が必要である。

曲線区間のレールでは、外周レールの摩耗が大きく、頭部の片減りが生じる。摩耗が進むと車輪のせり上がりが発生し、脱線(トンボ)しやすくなる。対策は内周レール内側への護輪軌条の設置、曲線内側へのカント付けなどがあるが、摩耗した外周レールの取り替えも必要である。

分岐器(ポイント)では特殊なレールが多く、設置時の精度はもとより、使用中の点検が重要である。とくに方向を切り替えるトングレールや、スライドポイントの乗り上げレールなどの動作や固定の確認が重要である。

3-3 ずり仮置き場(ずりびん)

トンネルからのずり出しは、坑外の仮置き場までの運搬が一般的である。とくにレール方式は、ずり捨て作業に付帯設備が必要な場合が多いため、ずりの仮置き場が必要となる。ずり仮置き場の容量については、発生するずり量や2次運搬の能力などを考慮し、余裕を持たせた設備にすることが必要である。また、レール方式の場合、ずり放出

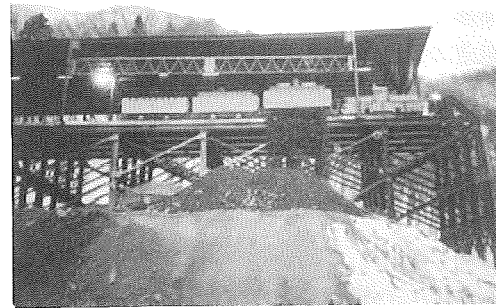


写真-18 栈橋形式(可動式転落防止柵)

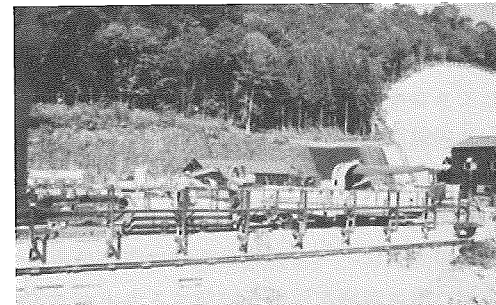


写真-19 土留め形式(張り出し足場)

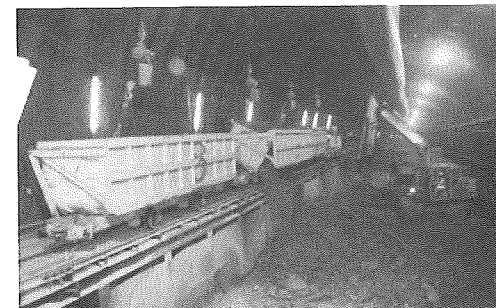


写真-20 構台形式(トンネル内設置)

のために仮置き場に現場条件を考慮して仮栈橋や土留め工などにより、高低差を確保している(写真-18~20)。

### 3-4 坑内安全設備

レール方式の安全面では車両の逸走が懸念される。とくに小断面トンネルにおいては、退避場所が確保しにくく、より確実な安全管理が求められる。

逸走防止・脱線ポイントや安全通路(写真-21)、信号設備(写真-22)などの安全設備はもとより、現場条件に適合した運行規定を策定し、常日頃からの教育により、安全意識を高揚させることが大切である。

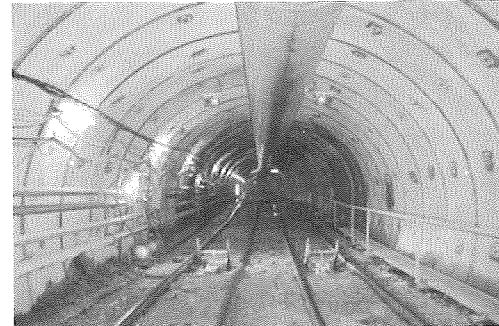


写真-21 逸走防止設備と安全通路

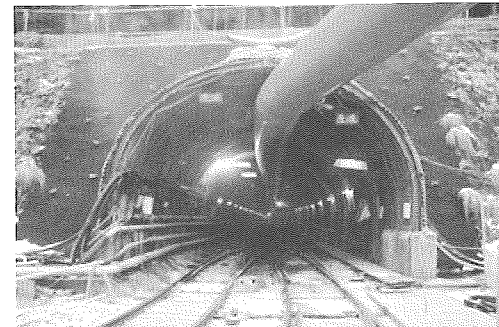


写真-22 ポイント信号

## ④ おわりに

従来のトンネル工事においては、レール方式が一般的であり、トンネルに従事する作業員も、レール方式を熟知し、専用機械の熟練度が高かった。現在のトンネル工事は、ほとんどがタイヤ方式であり、レール方式の経験がある作業員は非常に少なくなってきた。レール方式には、作業員ならではの技能・技術があり、スパイク打ち一つをとってもテクニックが存在する。

これからのレール方式では、作業員の技量に頼らずに、機械特性を理解して現場条件に適合する施工方法の選定を行う必要がある。

(文責：松原利之・山田博/飛鳥建設(株))

## 参考文献

- 1) (社)日本トンネル技術協会：トンネル工事機械便覧<山岳編>，1996.2.
- 2) 山本英一：安房トンネル平湯工区工事誌，熊谷・飛鳥・佐藤建設共同企業体，1996.6.
- 3) 大川隆司ほか：軌道装置動力車運転者必携，建設業労働災害防止協会，2007.2.28.

## 工法・技術・製品ニュース

### 製品 ブレード長3.1mのオフロード法対応モータグレーダ



※写真のキャブおよびキャブ上端作業灯は特別装備品です  
三菱MG230 III

キャタピラー・ジャパン(株)  
TEL：03-5717-1122  
http://japan.cat.com

キャタピラー・ジャパンは、道路工事での整地作業や除雪作業に活躍する三菱MG230 IIIモータグレーダ(ブレード長3.1m)の発売を開始した。

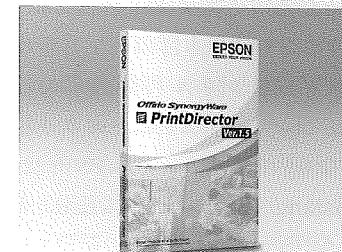
同機は、2003年1月発売のMG230 II(ブレード長：3.1m)のモデルチェンジ機。今回のモデルチェンジでは、新世代環境対応型エンジン「ACERT」を搭載し、ブレード長3.1mクラスとしては業界で唯一オフロード法に対応させた。また、エンジン出力の向上(従来機比約3%増の92.8kW)

により生産性も向上。さらに、ガラス面積を拡大した新型キャブ(オプション設定)の搭載により、運転視界面積を約5%向上したほか、エンジンフードをスローブ型に変更することで後方視界もより一層改善された。

#### ■主な仕様

運転質量(キャブ等除く) 10,115kg  
全長×全幅×全高(マフラ上端まで)  
7,640×2,160×2,730mm  
最小旋回半径 10.2m

### 製品 印刷管理ソフトウェア Offirio SynergyWare PrintDirector



Offirio SynergyWare PrintDirector

エプソンインフォメーションセンター  
TEL：050-3155-8066  
http://offirio.jp

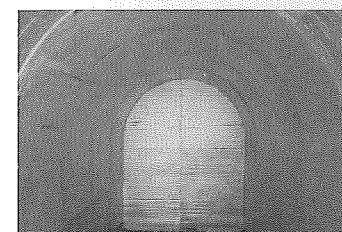
エプソンは、ネットワーク上での効率的なプリンター管理を実現する印刷管理ソフトウェア『Offirio SynergyWare PrintDirector』の最新版の発売を開始した。

同製品は、オフィス内の各所に配置されたプリンターをネットワーク上で管理するソフトウェア。ユーザーあるいはプリンターごとの印刷枚数の把握や印刷枚数制限といった「出力の管理」やプリンターの消耗品使用状況や稼動状況をリモートで一

管理できる「機器の管理」が可能となる。また集計表の「レポート出力」機能により、プリンターにまつわる管理者の管理工数削減につながる。

印刷環境において、消耗品の使用頻度、用紙の使用量などを管理し、適切な印刷を推奨することはコスト削減につながり、また、「いつ、誰が、何を」印刷したかを把握し管理することは、紙媒体からの情報流失抑制というセキュリティ対策にも寄与する。

### 工法 覆工コンクリート保湿・保温シート LHT



LHTシート貼付完了全景

日本国土開発 土木部総合支援グループ  
TEL：03-5410-5750  
(担当：奥津一俊)  
http://www.n-kokudo.co.jp

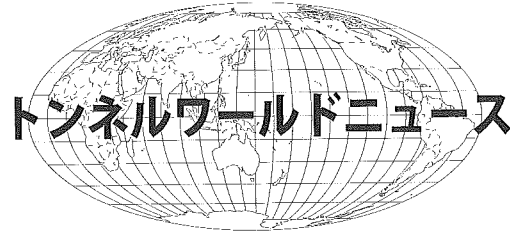
日本国土開発は、覆工コンクリート保湿・保温シート「LHT」工法を開発し、トンネル覆工コンクリート養生の実現場に採用して効果を確認したと発表した。

同工法は、脱型直後の覆工コンクリート表面に、11.5mmのLHTシートを専用接着剤で装着するもの。仮設備を必要とせず人力で施工可能なため、長期湿潤養生が可能となる。また、養生終了時、シートを剥がした後の表面に接着跡は残らない。

LHT養生による28日強度は、用いない場合に比べ、外気温25℃、湿度70%の場合、約8割増し、外気温10℃、湿度70%の場合約6割増しであることが確認されている。

また外気温0℃の場合の覆工断面内部と表面の温度差は、養生なしが10℃あるのに比べ、LHT養生では4.9℃と差が少なく、ひび割れ発生確率が小さくなることが確認された。

現在、特許出願・審査請求中で、NETISは平成22年1月に登録済み。



(社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

## New YorkのEast Side Access(ESA) に向かう新設トンネル

昨年、Metropolitan Transportation Authority(MTA)がトンネル本数の増加と施工工程の修正に伴ってDragados/Judlau JVと2回目の契約を結んで以来、New YorkのESAプロジェクトの掘削工事が再び開始されようとしている。

JVが最初に建設契約を結んだ本数の2倍となるが、8本の鉄道トンネルが直径6.7mのTBM2機で掘削される予定である。1機はRobbins社製のメインビーム型で、もう1機はRobbins社が製作したものをSeli社が改造したTBMである。

最初の契約はGrand Central Terminal(GCT)に向けて掘削する2組の双設トンネル(上下2×2)であった。TBMは63rd Stと2nd Aveの下にあるGCT5トンネルから発進し、分割掘削する予定であった。つまり、2.1kmの上部トンネルを掘進して、GCT5に戻し、1.7kmの下部トンネルを掘進するのである。

路線に沿った地質は一軸圧縮強度で80~200MPaの片麻岩を含む片岩から構成されている。トンネルの支保工は、もっとも地山の悪い区間で現場打ちコンクリートとし、それ以外の区間は鋼製支保とロックボルトと金網によるものとした。

しかしながら、TBMが掘削を開始して数箇月のころ、当JVは路線沿いにある追加のトンネル(GCT3)のCM019契約を受注した。TBMをより多く活用してGCT3の発破掘削を最小限にすることとした。つまり、この区間のトンネル本数は倍(上部4本、下部4本)となり、結果として駅に向かう別の4本のトンネルを生み出すこととなっ

た。

これを達成するために、それぞれの掘削機は最初に上部トンネル(元々計画されていたトンネルと追加となったトンネル)を掘削する。掘削機は第2の上部トンネルを再掘進するためにGCT3まで戻される。

Seli社製のTBMは2007年の終わりごろから掘削を開始し、昨年の中旬まででGCT3への進入トンネルと新設の上部トンネルを平均日進15.5mで1.7km掘削した。その掘削機はGCT3に戻され、5月から掘削を再開し、第2の上部トンネルを900m掘進し、日進で24.4mまで記録した。Seli社によると完了までに2本の下部トンネルを含めて合計3.1kmの掘削が残されている。

Robbins社製のTBMは2本の上部トンネルを2008年9月と2009年2月に完了しており、今月から掘削を再開するというのである。合計で2.77kmの掘削を完了しており、3本目のトンネルとなる延長1.58kmの下部トンネル再掘進のためGCT5へ戻された。もう一方の下部トンネルはGCT3から発進となる。

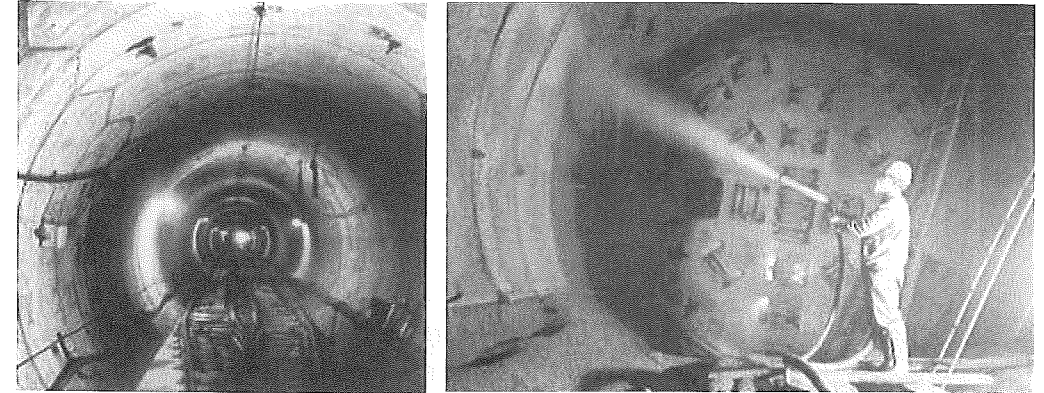
ESAはLong Island Rail Road(LIRR)をManhattanのGrand Central Stationの新設ターミナルに接続するために建設されている。

(T&TI '09.7 担当:石岡賢治・大成建設(株))

## 中国の記録破りのTBMが到達間近

直径4.8mのトンネルを掘るダブルシールドTBMが、先月、15,000番目のリングを設置して、中国の200kmに及ぶ黄河分水プロジェクトにおける最新工区のPinglu(平陸)トンネルが完成に近づいている。これによって、25.4kmのトンネルはその3/4が完成する。

中国-オーストリアHydraulic Engineering社(SAHEC)が、Pingluトンネルに対して責任を負っているが、2009年7月中旬時点で約7kmの掘削を残している。2006年9月30日以来、マシンは50MPa以上の混合層を掘進している。「われわれは、土砂、粘性の高い中硬岩、非常に研磨性の高い砂岩、石炭層といった非常に挑戦的とも言える地盤



外径4.8mのTBMが土砂と硬岩を含む混合地山を掘削している

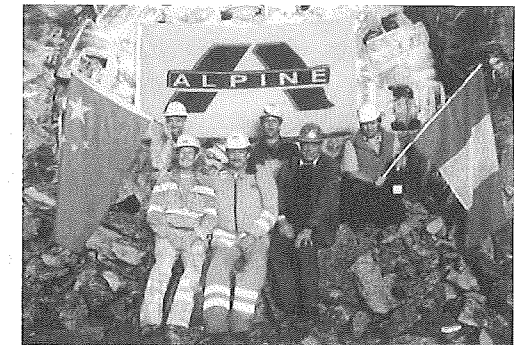
条件で大いに成果を出している」と、Paul Bargmann氏は言っている。彼は、SAHEC JVのリードパートナーであるAlpine Bau社の機械部門長である。

マシンは、2008年10月に13km地点の中間立坑に到達し、12月の再発進前に一新された。最終の到達は、2010年4月末の予定である。

2000年以来、中国ではロビンス社のマシンが稼働しており、黄河分水プロジェクトの初期に延長12kmのLot5トンネルの掘削に使用されている。その掘削期間中に、そのマシンは直径4~5mクラスにおける二つの世界記録、最大月進1,855mと平均月進1,352mを樹立している。これらはまだ破られていない。

TBMトンネルのすべての覆工には六角形セグメントが採用されている。これらはPingluトンネルの現場から15kmほど離れた朔州市で製作されている。セグメントは4エレメントのリングに組まれ、長手方向に蜂の巣状に構成される。その設計は、セグメントを組み立てている間も休止することなく、高速で連続的に掘進を可能とするものである。

Pingluトンネルは、黄河プロジェクトの北部主要ラインに接続することになる。このラインには、Pinglu、朔州とDatong(大同)地域に給水することになる約15kmの発破トンネル群が含まれている。南部主要ラインの100km以上は、1999~2001年にかけて4機のロビンス製二重シールドを含む5機のTBMによって掘削された。全体計



中間立坑到達を祝う作業員たち

画では、黄河から山西省の年間降雨量400mmの慢性的な乾燥地域に給水することになる。

(T&TI '09.8 担当:岡村光政・戸田建設(株))

## シンガポールの環状線を掘進

シンガポールで工事中の延長33.3kmの新しい環状線において、トンネル施工が完了した。陸上交通省は先月、最終的には全部で5段階の工事のうちステージ4と区分されるFarrer Road駅までのトンネル施工が8月17日に完了したと発表した。この路線は都市の外周を通る中型容量の路線で、すべてのMRT線(Mass Rapid Transit Line)を結び都心部へとつながる。最初にBartley駅からMarymount駅までの5駅の区間が2009年5月に開業した。そして、残る24駅についても2010年に完全開業することになっている。2004年には環状線工事中、開削を行っていたNicoll Highway駅で陥没が発生し、44億USドルの復旧計画が有名になった。結果的には陥没の規模は30mにもなり、

シンガポールのNicoll Highway 6車線に被害が及んだ。この崩落による死者は4人、負傷者は3人となった(T&TI, '07.7, p.31)。

シンガポールの地質はさまざまに変化に富んでおり、地下の状況の予測が困難である。ステージ4のトンネル施工では、極端に粒径が細かく軟らかい土や風化岩、非常に硬い花こう岩を掘進することとなった。「この挑戦を成功させるため、更に掘進を増進させるスラリー機、TBMを導入し困難な地質を処理した。施工安全強化のため、陸上交通省は広範囲にわたるトンネル線形に沿った地質調査を実施した。そして必要に応じて地盤改良を行った。」と陸上交通省のスポークスマン、Karen氏は説明した。

この路線延伸におけるトンネル施工では四つの掘削を行っている。うち二つの掘削はOne North駅からHaw Par Villa方面に向かう掘削で2008年に完了した。残る二つはOne North駅からBouna Vista駅、Holland Village駅を通りFarrer Road駅に向かう掘削であり、多くの施工者が困難に立ち向かった。

ステージ4は二つの契約会社により施工された。大成建設はFarrer Road駅からThomson駅、Botanic Gardens駅方面を川崎重工製のTBMで掘進した。WohHup社、Shanrhai Tunnelling社、Alpine Mayreder社のJVは残りの掘削をHerrenknecht社製のTBMで行った。

24駅はまだ建設中である。Kim Chuan車両基地と五つの駅(Dhoby Ghaut駅、Bras Basah駅、Esplanade駅、Promenand駅そして、Tai Seng駅)の施工はTemporary Occupation Permits社により完了しており、約76%の線路敷設が完了し

ている。(T&TI '09.9 担当：石井秀和・鉄道・運輸機構)

### 導水路トンネル内の崩落で水力発電所の運転を停止

スコットランドにあるGlendoe水力発電所と貯水池を結ぶ導水路トンネル内で崩落が発生し、トンネル内に岩塊が崩積した。この事態を受けて、SSE社(Scottish and Southern Energy)は、2008年12月に運転を開始したばかりのGlendoe水力発電所の運転を停止した。

発電所の施設は影響を受けていないが、導水路トンネルの補修前にトンネル全線にわたって詳細調査を実施するためには、トンネル内の水を排水する必要がある。SSE社によると、調査結果がでるまでは発電所の運転再開の見込みが立たないが、2009年11月には調査結果や補修工程を発表できる見込みとのことである。

SSE社の最高責任者であるIan Marchant氏は、「Glendoe水力発電プロジェクトで大きな成果が得られたと認められつつあるこの時期に、このような事態が生じたのはとても残念なことだ。調査や補修には細心の注意を払うつもりである。」と語った。

発電所と貯水池を結ぶ延長6.2kmの導水路トンネルは2008年1月に貫通したが、TBM掘削区間と発破掘削区間のどちらで崩落が発生したかは不明である。事業費2億6100万USドル、発電出力10万kWのこのプロジェクトには、総延長17kmのトンネル工事が含まれていた。

(WT '09.9 担当：伊藤 彰・(株)間組)

〔土木工学社図書案内〕

### 岩盤の計測と解析 工博 鈴木 光著

A5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。

## 社団法人 日本トンネル技術協会

# 会 報

### 1. 会員の現状

	1月25日現在
正 会 員	1,712名
団体会員	300名
個人会員	1,412名

### 2. 委員会の開催状況(1月1日~31日)

#### ①運営広報関係委員会

##### ◎総務委員会

広報小委員会誌WG(1/8)

大島洋志主査ほか14名、2月号の会誌と3か月計画を検討

##### ◎国際委員会

海外文献小委員会海外ニュースWG(1/28)

早坂治敏主査ほか8名、海外ニュースを翻訳

対外広報WG(1/28)

早坂治敏主査ほか9名、原稿を査読

計 3回開催 34名出席

#### ②調査研究関係委員会

##### ◎技術委員会

資機材検索リスト運営WG(1/14)

朝倉譲主査ほか8名、アンケート調査結果と対応

策を検討

山岳工法小委員会(1/14)

深沢成年委員長ほか16名、WGの活動報告および22年度計画を検討

共通技術小委員会(1/22)

中山範一委員長ほか12名、WG報告、22年度計画を検討

保守管理小委員会(1/28)

伊藤泰司委員長ほか14名、会誌掲載原稿を検討

##### ◎受託研究特別委員会

効率的掘削工法特別委員会施工・支保材料WG(1/13)

領家邦泰主査ほか6名、整理項目を検討

都道JR線立体交差特別委員会幹事会(1/13)

小島芳之幹事長ほか22名、施工方法を検討

効率的掘削工法特別委員会中流動WG(1/14)

金田勉主査ほか6名、取りまとめ方針を検討

効率的掘削工法特別委員会技術資料WG(1/18)

楠本太主査ほか6名、原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会補助ベンチWG(1/19)

鈴木雅行主査ほか9名、取りまとめ方針を検討

耐震設計検討特別委員会幹事会(1/21)

蔣宇静幹事長ほか16名、坑口部の検討ほか

効率的掘削工法特別委員会(1/26)

西村和夫委員長ほか26名、報告書原稿を検討

北海道新幹線(北海道方)トンネル特別委員会(1/27, 28)

三上隆委員長ほか29名、現地を視察

計 12回開催 182名出席

合計 15回開催 216名出席

### 3. 国際会議の開催予定

会 議 名	開 催 日	場 所	主 催 者 等
第36回ITA総会およびコンgres「Tunnel vision towards 2020」	2010. 5. 14~20	バンクーバー (カナダ)	The Tunnelling Association of Canada (カナダトンネル協会) International Tunnelling and Underground Space Association(国際トンネル協会) http://www.wtc2010.org
第37回ITA総会およびコンgres「Underground spaces in the Service of a Sustainable Society」	2011. 5. 21~25	ヘルシンキ (フィンランド)	Finnish Association of Civil Engineers RIL (フィンランド土木学会) International Tunnelling and Underground Space Association(国際トンネル協会) http://www.ril.fi/web/index.php?id=641

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

## 4. 平成21年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
<b>(見学会)</b>				
HEP&JES工法現場研修会	2009. 4.20	8	東京都	2.0
国道9号京都西立交差現場研修会	2009. 4.27	17	京都府	2.0
首都高速中央環状新宿線現場研修会	2009. 6.25	18	東京都	2.0
新東名島田第一トンネル現場研修会	2009. 7.13	20	静岡県	4.5
調布駅付近連続立交差現場研修会	2009. 7.17	25	東京都	2.5
北陸地区トンネル現場研修会	2009. 8. 7	20	福井県	7.0
仙台地区トンネル現場研修会	2009.10.16	19	宮城県	4.5
名古屋市地下鉄現場研修会	2009.11.20	18	愛知県	2.0
大阪地区トンネル現場研修会	2009.12.11	18	大阪府	2.0
城山八王子トンネル現場研修会	2010. 1.28	19	東京都	2.0
仙台市地下鉄建設現場研修会	2010. 3.19	20	宮城県	2.0
<b>(施工体験発表会)</b>				
第64回(山岳)「新たな発想により課題を克服した施工事例」	2009.10. 7	109	東京都	6.6
第65回(都市)「都市トンネル工事における創意工夫・新技術」	2009.10. 8	88	東京都	6.8
<b>(講演, 講習会)</b>				
第11回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2009.10.29, 30	27	東京都	20.5
第12回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2009.11. 5, 6	24	愛知県	13.0

## 協会ホームページ資材機械検索サイトのご案内

http://www.japan-tunnel.org/sk\_kensaku

JTA技術委員会共通技術小委員会

JTAのホームページには、トンネル工事特有の資材や機械を検索できる「山岳トンネル機械、山岳トンネル資材、シールドトンネル資材機械」のサイトが掲載されています。ご活用下さいませようご案内いたします。

The screenshot shows the website interface for the Japan Tunnelling Association (JTA). The main heading is "資材機械検索" (Material and Machinery Search). Below this, there is a description of the search service and its purpose. A disclaimer section titled "免責事項について" (Disclaimer) is visible at the bottom of the page content.

ホームページおよび協会事業活動に関するご意見はこちらへ

E-mail: webmaster@japan-tunnel.org

## 4月号予告[4月1日発売予定]

- 地すべりのトンネルへの影響に関する数値解析的検討
  - 総武線市川・本八幡間外環道こ道橋
  - 首都高速中央環状新宿線 大橋シールド
  - 北海道横断自動車道 上庶路トンネル
  - 京浜急行空港線 国際ターミナル駅
- 【連載講座】
- ずり処理入門(4)

\*内容等は変更になる場合がございます

### 編集後記

◆2010年冬季オリンピックが、カナダのバンクーバーで行われました。期間中画面を通じてカナダの大自然を堪能された方も多かったと思います。バンクーバーの町から一歩踏み出せばそこは大自然の宝庫です。ロッキー山脈を通るハイウェイを走行中に路肩に車をよせてカメラやビデオを構えている人に出会います。近くに野生動物がいるはずですが、しばらくすると、どこから現れたのか国立公園のレンジャーが動物の知識に乏しい観光客に必要以上に近づかないように注意を呼びかけます。「もともと動物が住んでいたところに人間が後からやってきた」という考えのもとに人間と野生動物が共存しているようにしているため、ここでは主役は動物で、脇役は人間です。しかし、道路の両脇にフェンスが設けられ、本来の動物の行動範囲が分断されたところもあります。そこで野生動物のために、トンネル(アニマル・アンダー・パス)や歩道橋(アニマル・オーバー・パス)をつくり従来の行動パターンを維持しようと努力しています。その後の調査でクマやオオカミはアンダーパスを使って移動しないことが判明したようですが、トンネルや橋をわたって移動する動物の姿を観てみたいですね。

◆バンクーバー近郊には、観光トンネルとして有名なスパイラルトンネルがあります。カルガリーからバンクーバーまで約1,000kmをゆっくりとロッキー山脈を越えていくカナダ太平洋鉄道が作った珍しい8の字形のトンネルです。大陸横断鉄道を建設する際に、最大の難関だった急勾配の箇所を越えるために考え出されたトンネルです。多いときには全長が数キロになる100両以上の貨物を引っ張っていく姿をみるために渓谷の対岸の展望台に多くの観光客が訪れます。機会があったら、是非、訪れてみてください。

(K.Y)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください。

★(社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(社)日本トンネル技術協会へご連絡ください。

## トンネルと地下

第41巻 第3号 [通巻475号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成22年2月20日 印刷

平成22年3月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0041 東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)

TEL: 03-3553-6174

FAX: 03-3553-6145

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16

番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

### 本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

■お申し込みの際は、誌名、購読期間、住所、所属、氏名などを明記のうえ、FAX(03-3267-2807)にてお申し込みください。後日、小社より振込用紙をお送りいたします。

### 購読料

1冊 1,575円(送料108円)  
(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

### 本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

TEL: 03-3267-2888

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



西日本高速道路株  
第二名神 栗東トンネル

名四国道事務所  
足助ハイパス 足助トンネル

高山国道事務所  
中部縦貫道 前原1号トンネル

熊本県 熊本3号トンネル

トンネル内専用として  
**セラダクトA<sup>エース</sup>**  
neo

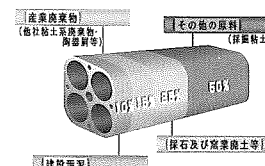
標準管の長さは65cmの新規格  
※従来のセラダクトAは60cm。

接続はカップリング方式で簡単  
スピーディー  
※従来のセラダクトAはバックン介在ボルト締め

長年の多くの実績から得た豊富なノウハウという「宝物」を新しい技術に。  
いらなくなった物で必要な物を作り出す。それが私たちの技術です。  
トンネル、電線共同溝、空港、工場敷地内、ありとあらゆるケースにお答え出来ます。  
資源循環型リサイクル製品「セラダクトA」。



セラダクトAシリーズは「エコマーク認定基準」に適合し、財団法人 日本環境協会から「エコマーク商品」として認定されました。



ISO 9001:2000取得



杉江製陶株式会社

http://www.sugie.co.jp/

本社・工場 愛知県知多郡武豊町字上山一丁目76番地 〒470-2387  
TEL(0569)35-2360(代) FAX(0569)35-4087  
東京支店 東京都渋谷区恵比寿一丁目21番8号セラ51ビル 〒150-0013  
TEL(03)3442-6181 FAX(03)3442-1691  
大阪支店 大阪府都島区御幸町1丁目3番1号 〒534-0012  
TEL(06)6922-6991 FAX(06)6922-2498

わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修  
1,500円+税 B5判

火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げ、また、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく解説。



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修  
2,500円+税 B5判

近年に開発、実用化された29工法を整理、体系化するとともに、各工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点などをわかりやすく説明した。



推進工法の理論と実際

マックス・シェルレ 著、野田典宏 訳、中本至・石橋信利・金成英夫 監修  
8,500円+税 B5判

推進工法の理論を、多くの挿図を用い解説した。日本の現在の推進工法の基本となった原著を斯界の権威が翻訳・監修。



わかりやすい土质地質学

大島洋志 監修  
2,500円+税 B5判

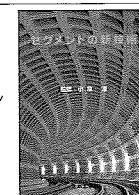
土木工事にかかわりのある地質学の基礎知識を盛り込み、土木工事において問題となる地質事象や、各種地質調査の原理についてわかりやすく解説を与えた。



セグメントの新技术

小泉淳 監修  
2,000円+税 B5判

1990年代から急速に機能が拡大したシールド用セグメント34種を掲載。セグメントの設計・施工の際に利用しやすいよう各々の特徴を整理して掲載した。



続きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著  
1,200円+税 新書判

温泉開発における一般論から探査技術についてまとめ、今後の温泉開発の考え方を、外国の事例も交えながらわかりやすくまとめた。



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著  
6,000円+税 A5判

建設技術者に必要な地質・岩石・岩盤などの基礎知識と酸欠・有害ガス・ガス爆発・湧水などの建設災害について、著者の経験を交えながらまとめた。



地質工学概論

菊地宏吉 著  
4,757円+税 B5判

土木構造物や岩盤構造物の計画・調査から設計・施工において必要と地質や岩盤に関する情報を得るために必要な理論および技術を平易に解説した。



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  
4,660円+税 B5判

シールド工法について変遷から将来の開発の動向にいたるまで広範にわたり掲載した。シールドトンネルの計画・設計・施工に用いるときに参照しやすくまとめた。



わかりやすいトンネルの力学

福島啓一 著  
5,825円+税 B5判

トンネルを掘るときに、どのような力学的な問題が生じるかについて、わかりやすく解説した。トンネル工学の理論と実際が統一されることを願って記された一冊。



地下水の科学 I～III (全3巻)

P.A.ドミニコ・E.W.シュワルツ 共著、地下水の科学研究会・大西有三 監訳

地球という複雑なシステムを循環する水、とくに地下水循環を考え、汚染地下水など環境問題を地下水理学の立場から取り扱うため、水の物理的・科学的性質、地球の状況、水資源としての地下水の状況、地下水の水理学的特性とその調査方法などをわかりやすく解説した。

- 第I巻 地下水の物理と化学 4,078円+税 B5判
- 第II巻 地下水環境学 4,272円+税 B5判
- 第III巻 地下水と地質 3,689円+税 B5判



ブロック理論と岩盤工学への応用

R.E.グッドマン・G.H.シー 共著、吉中龍之進・大西有三 共訳  
4,855円+税 A5判

岩盤内に分布する不連続面と掘削面などの自由面の間の三次元的幾何学的関係から安定に影響する岩塊を見出す新手法を解説。



山岳トンネルの新技术

ジェオフロント研究会 編  
14,573円+税 B5判

NATMによるトンネルを施工する際の基本事項を概説するとともに、1990年頃までに実用化された各種工法・補助工法について理論から施工のポイントを掲載した。



ジオテクスタイル設計マニュアル

T. A. Haliburton・J. D. Lawmaker・V. C. McGuffey 共著、田中茂・山岡一三・廣田泰久 共訳  
8,000円+税 A5判

ジオテクスタイルの交通施設への利用について詳述された1981年の報告書を完訳。



岩盤地下空洞の設計と施工

E.フック・E.T.ブラウン 共著、小野寺透・吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳  
9,800円+税 B5判

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した。



建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著  
4,300円+税 A5判

地質の基礎知識を説明して、調査・試験方法とその判断と評価について解説を加え、地すべり・斜面崩壊・山岳・都市トンネル・ダムなどの地質診断の要点を解説。



トンネル工事の衛生と環境保全

白谷三郎・橋本康孝・友田孝 共著  
3,200円+税 A5判

トンネル工事の際の労働衛生と環境保全の検討に有用な項目について、医学分野の知見から職業性疾患や有害環境条件、健康障害、衛生管理、保護具などを解説した。



岩盤の計測と解析

鈴木光 著  
4,200円+税 A5判

地質や地盤の事前調査と測定、工事中の施工管理計測、さらには、地盤や構造物の変形や応力分布に関する予測解析などの計測法と解析法を解説した。



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著  
2,800円+税 A5判

都市の代表的な地下施設である地下鉄、上水道、下水道の各トンネルについて、それぞれの主だった工法ごとに計画から施工まで実例をまじえてわかりやすく解説した。



海洋資源開発

稲田善紀 著  
3,400円+税 A5判

海洋の石油・天然ガス・石炭などのエネルギー資源と、マンガンノジュールの鉱物資源、また、海洋エネルギーなどの開発と利用についてまとめた。



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)

日本で唯一のトンネルと地下構造物の専門月刊誌。研究、調査・設計から施工にいたるまで、その時点での技術的問題点を中心に、業界の動向などをあわせて網羅しながら、新鮮な情報を提供する。



書籍のお申し込み

ご注文は当社へFAXまたは、書店にてお申し込みください。FAXでご注文の際は、書名、部数、送り先、氏名、電話番号を明記のうえ下記までお送りください。

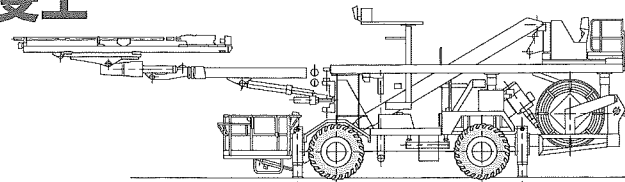
株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
TEL: 03 3267 2888 Fax: 03 3267 2807

# 環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

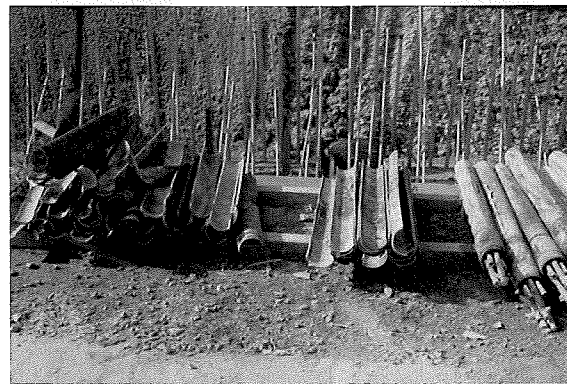
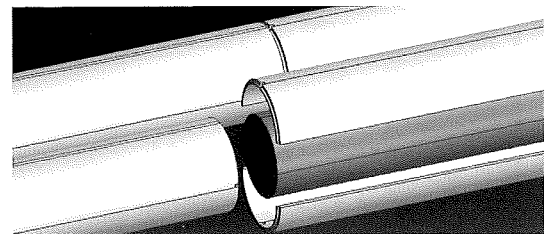
All Ground Fastening;  
Long-Distance, Fore-Pilling Method



## AGF-Me工法

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

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



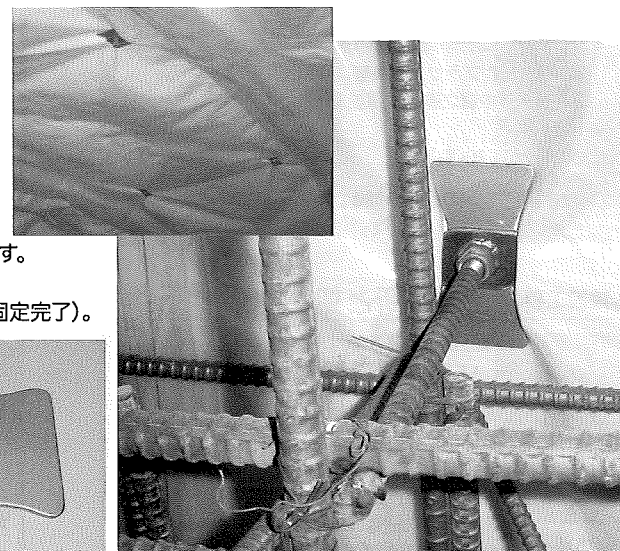
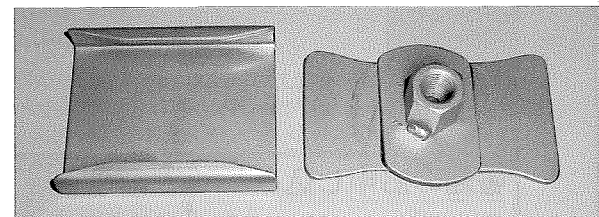
## 防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

### TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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

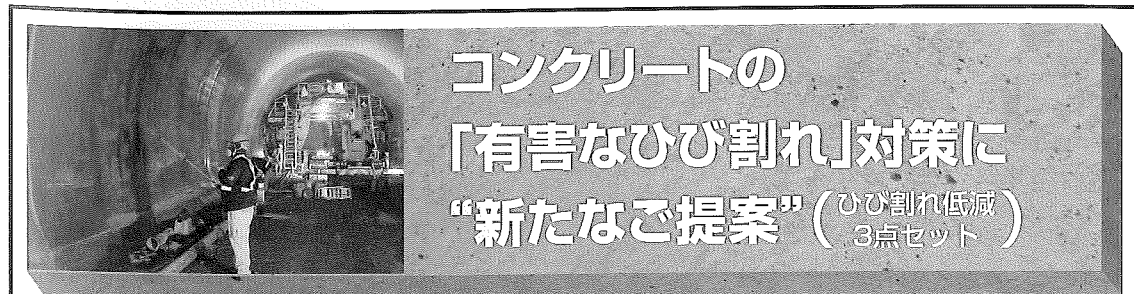


**東邦金属株式会社** 東京営業部  
TOHO KINZOKU Co., LTD

〒107-0052  
東京都港区赤坂2-19-8 赤坂2丁目アネックス6F  
Tel: 03-5545-7900 Fax: 03-5545-7905  
URL: <http://www.tohokinzoku.co.jp>

### 株式会社 トーキョーオール

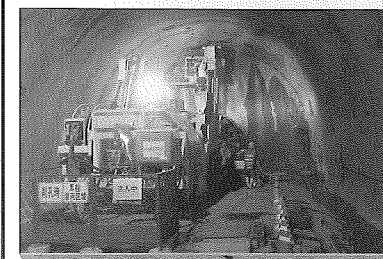
〒210-0854  
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11  
Tel: 044-333-0012 Fax: 044-333-0321  
(お問い合わせ先)



コンクリートの  
「有害なひび割れ」対策に  
“新たなご提案” (ひび割れ低減  
3点セット)

コンクリート打設前設・耐アルカリ性ガラス繊維ネット  
**ハイパーネット60**

NETIS登録番号 SK-080003-A



様々な現場で力を発揮する  
注入材、裏込材  
“最適な選択をご提供”

#### 注入材

超微粒子注入材

**太平洋アロフィクスMC**

瞬結工法用無機懸濁型  
土質安定材・下水道止水材

**太平洋アロフィクスMC2号**

注入式長尺先受工法用注入材

**太平洋スーパーハード**

注入式長尺先受工法用注入材

**太平洋スーパーファスナー**

#### 裏込材

ブレミックス裏込用充填材

**太平洋フォルトカバー**

**太平洋マテリアル株式会社**

営業本部 高機能建材営業部

〒135-0064 東京都江東区青海二丁目43番地 青海フロンティアビル15F  
<http://www.taiheiyo-m.co.jp>

TEL.03-5500-7510 FAX.03-5500-7542