

**FRD**  
FURUKAWA

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

ホイール式ドリルジャンボ  
**JTH2200R-III / JTH3200R-III**  
国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事に用建設機械)指定機

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



新型油圧ドリフタHD210 II 搭載



◆主な仕様	JTH2200R-III 2ブーム、2ケーシング	JTH3200R-III 3ブーム、2ケーシング
質量	35.5 ton	44 ton
全長 x 全幅 x 全高	14.2m x 2.7m x 4m	14.8m x 3.1m x 4.2m
水平さく孔範囲(幅 x 高さ)	12.8m x 8.5m	13.2m x 8.8m

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

**CJM2200E-III**

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

質量	24 ton
全長 x 全幅 x 全高	15.6m x 3m x 4m
水平さく孔範囲(幅 x 高さ)	13.3m x 10m

△ 古河機械金属グループ

**FRD 古河ロックドリル株式会社**

www.furukawarockdrill.co.jp

本社 〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目5番3号

特機部 ☎03(3231)6966

札幌 ☎011-786-2222 東北 ☎022-384-8991 関東 ☎027-326-9611 名古屋 ☎0568-77-7700  
関西 ☎06-6475-8221 広島 ☎082-832-3542 九州 ☎092-948-2010

長尺鋼管切羽補強工

高付着型長尺鋼管切羽補強工

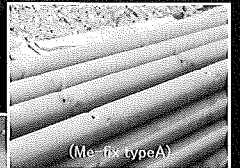
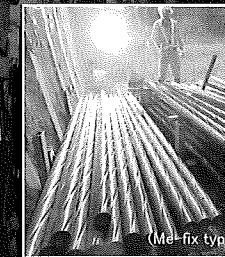
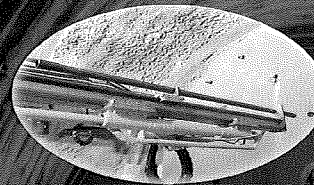
特許第 3882118 号

特許第 4942211 号

**Me** 工法  
Metal eco

**Me-fix**  
Metal eco

エコロジー&地山拘束効果。  
新しい長尺鋼管切羽補強システム。



特徴① 分別回収による鋼材のリサイクル化 ※特別仕様  
NETIS 番号:KT-080027

「Me 工法」、「Me-fix」の切除管は、掘削時に鋼管と注入材を分別回収できる構造で、鋼管のリサイクルが図れます。

特徴② 接続部補強により鋼管の薄肉化

「Me 工法」、「Me-fix」は接続部拡径・縮径によりネジ部耐力の増強を図り、小口径薄肉鋼管(φ76.3×4.2~4.5mm)の使用を可能とし、軽量化に伴い経済性、施工性が向上します。

特徴③ 長尺鋼管切羽補強工の付着耐力の向上

「Me-fix」はこれまでの鋼管による切羽補強工の弱点であった付着耐力の向上を図り、確実な地山拘束力が期待できる長尺鋼管切羽補強工です。適用条件によって「type A」、「type B」、「type R」の選択が可能です。

NEW!

	Me	Me-fix (typeA)	Me-fix (typeB)	Me-fix (typeR)
形状	φ76.3 (t=4.2)	φ76.3 (t=4.2)	φ76.3 (t=4.5)	φ76.3 (t=4.2)
概要図				
1m当り付着耐力 (kN/m)	50	150	500 以上	150

※付着耐力は室内試験結果。プレミックスモルタルは材令 24hr(qu=12N/mm<sup>2</sup>)

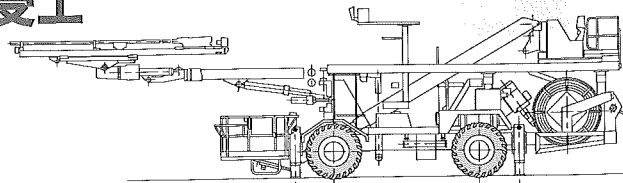
**KFC** 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部・東京都港区芝公園芝パークビルB館 Tel. 03-6402-8251  
大阪土木営業部・大阪市北区西天満3丁目2-17 Tel. 06-6363-1884  
技術部 : 東京都港区芝公園芝パークビルB館 Tel. 03-6402-8257

## 環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

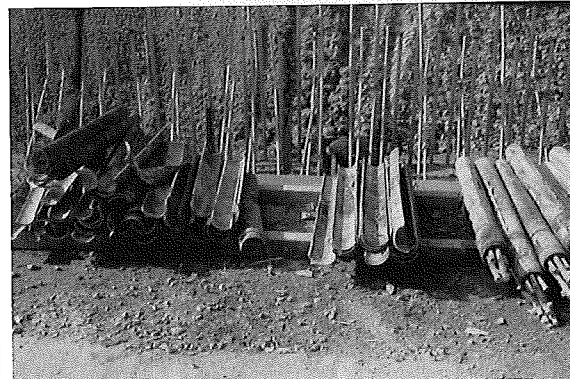
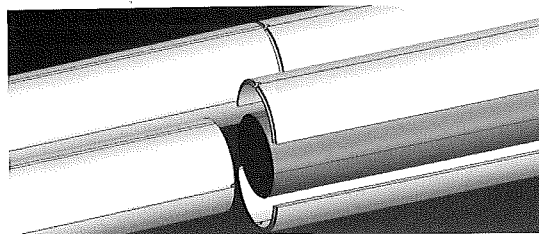
All Ground Fastening;  
Long-Distance, Fore-Pilling Method



### 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。



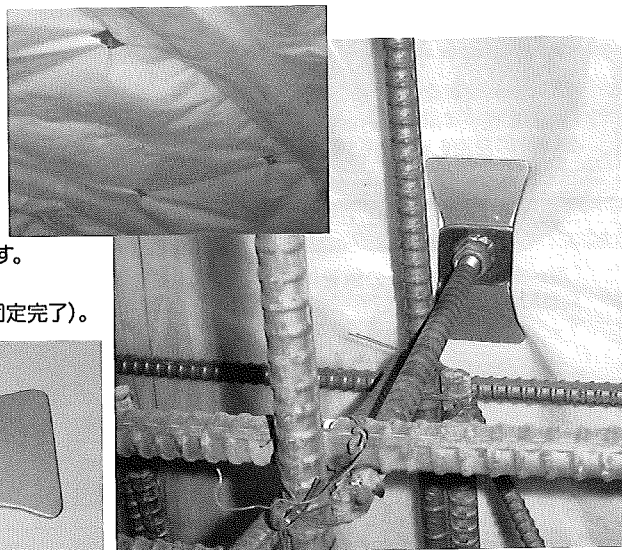
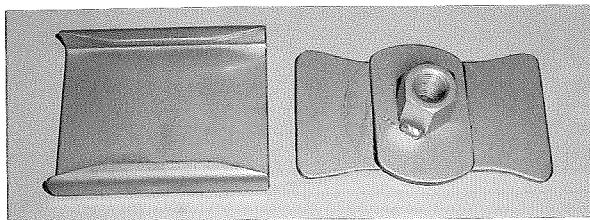
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

### 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

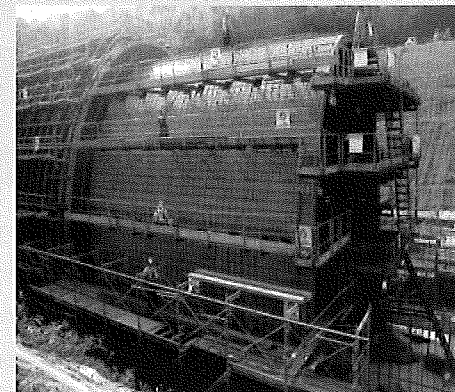
〒107-0052  
東京都港区赤坂2-19-8 赤坂2丁目アネックス6F  
Tel: 03-5545-7900 Fax: 03-5545-7905  
URL: <http://www.tohokinzoku.co.jp>

**株式会社 トーキソール**

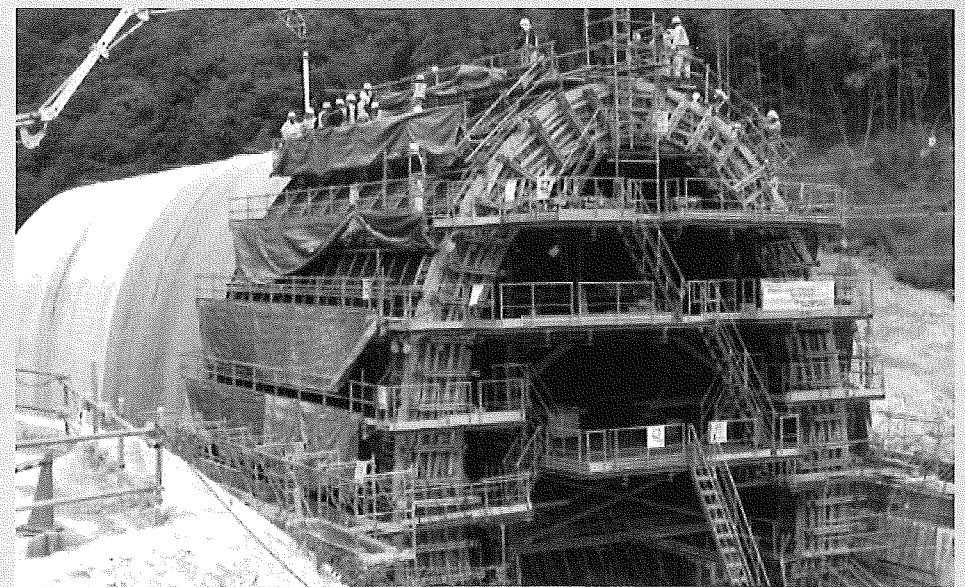
〒210-0854  
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11  
Tel: **044-333-0012** Fax: **044-333-0321**  
(お問い合わせ先)

## (明かり巻き) アーチカルバート用セントルの新工法

<画期的な構造により大幅にコストダウン>



IN側セントル窓から鉄筋工事用足場をスライドし、ケレン・鉄筋組立て工事を完了。  
(スライド足場収納式IN側スライドセントル:特許品)



①移動式OUTセントルをセット → ②セバ取り付け → ③棲作業 → ④コンクリート打設  
(左右スライド脱型式OUT側セントル:特許品)

**M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング**

■ 本社	〒553-0006	大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル	TEL:06-6443-7060
■ 九州営業所	〒812-0011	福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号	TEL:092-409-8008
■ 指定工場	〒919-0441	福井県坂井市春江町定重(森本工業)	TEL:0776-51-2410

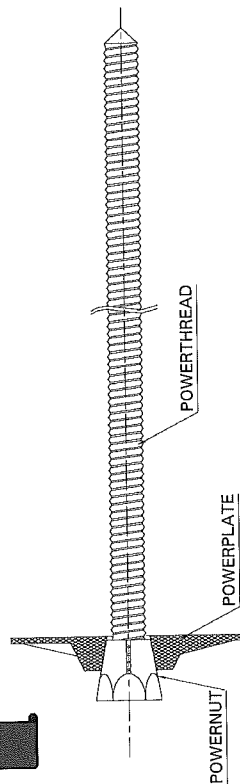
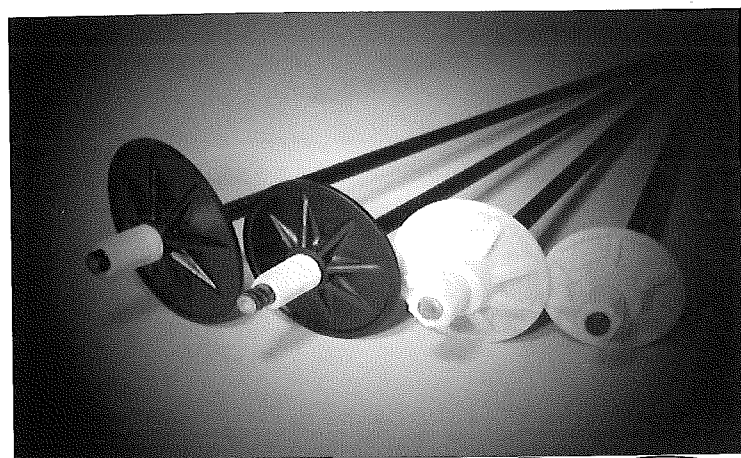
パターンボルトのGRP化

# POWERTHREAD FireP<sup>®</sup> Fiber Reinforced Polymer

耐食機能に優れたロックボルト

POWERTHREADは、POWERNUT/POWERPLATEを組み合わせることにより、  
全てGRP製に！！

※ GRPとは、Glassfiber Reinforced Plastic  
(ガラス繊維強化プラスチック)の略。



- ・棒鋼型ロックボルトと同等の耐力を有する。
- ・軽量である。
- ・腐食しない、錆びない。
- ・導電しない、耐電しない。
- ・製造過程でのCO<sub>2</sub>排出量が少ない。

環境にやさしいロックボルトシステム

## 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

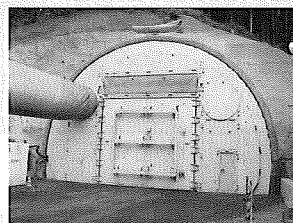
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237

北海道地区(株)エイチ・アール・オー

TEL)011-821-5868 FAX)011-821-6644

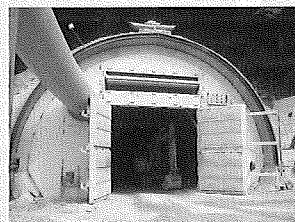
## 快適な作業環境を提供する騒音対策システム

～25年の実績が最大級の安心をご提供いたします～

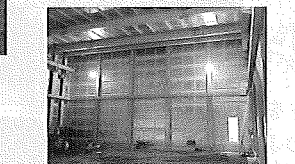
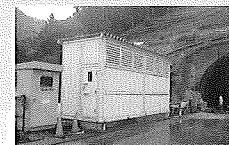
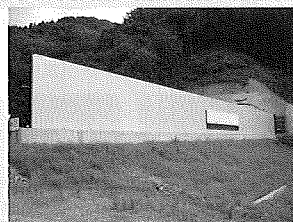


### 【防音扉】

- HFS型 マーク II
- HFS型 マーク II 10s
- HFS型 マーク II 10c
- HFS型 マーク II 15c



- 【防音壁】
- 【防音ハウス】
- 【防音シェルター】
- 【防音ボックス】



Sタイプ(スタンダードタイプ)

Dタイプ(デラックスタイプ)

Hタイプ(ハイデラックスタイプ)

#### 『防音扉マークII』の音響性能

対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	18 dB(A)	13 dB
2基設置	28 dB(A)	19 dB

#### 『防音扉マークII 10s』の音響性能

対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	16 dB
2基設置	29 dB(A)	25 dB

#### 『防音扉マークII 10c』の音響性能

対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	20 dB
2基設置	29 dB(A)	33 dB

#### 『防音扉マークII 15c』の音響性能

対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	21 dB(A)	23 dB
2基設置	30 dB(A)	36 dB

#### 『防音パネルSタイプ』の音響性能

項目	1/1 オクターブバンド中心周波数【Hz】					
	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	14	18	29	36	43	49
吸音率【%】	33	80	89	84	81	76

#### 『防音パネルDタイプ』の音響性能

項目	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	22	32	37	38	37	43
吸音率【%】	51	77	75	81	71	62

#### 『防音パネルHタイプ』の音響性能

項目	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	32	32	38	46	50	53
吸音率【%】	57	48	61	76	86	91

防音設備の設計、製造、施工、リース

## 株式会社フューズ

本社 〒132-0035 東京都江戸川区平井 6-35-5 TEL.03-3617-8111 FAX.03-3617-7565

大阪営業所 〒531-0072 大阪府大阪市北区豊崎 3-4-14 TEL.06-6359-2611 FAX.06-6359-2288

E-mail : [info@fuse-ind.co.jp](mailto:info@fuse-ind.co.jp) <http://www.fuse-ind.co.jp>

建設業登録：東京都知事許可（般-20）第130153号

【建設騒音対策協会】E-mail : [souon@fuse-ind.co.jp](mailto:souon@fuse-ind.co.jp)

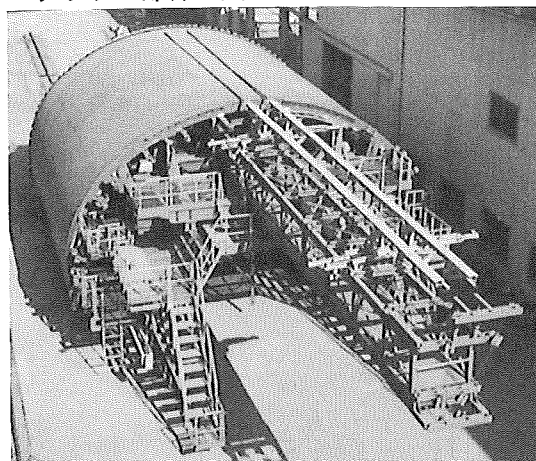
# 各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー



**東和機電工業株式会社** かいた 穎田工場

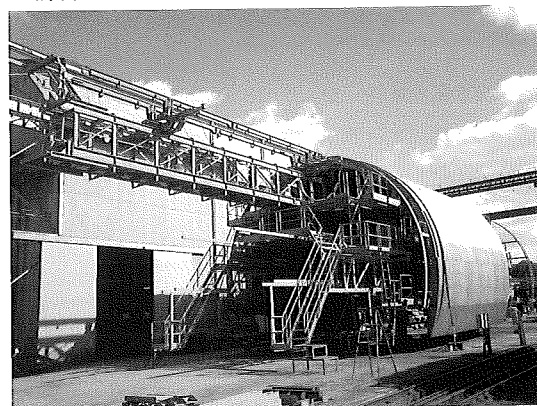
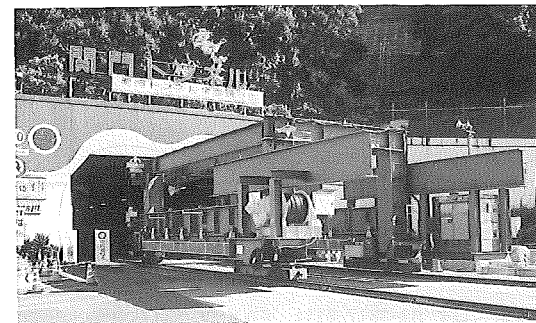
〒820-1111 福岡県飯塚市勢田2594番地の18  
 電話：(09496)2-3500(代表)  
 F A X：(09496)2-6310  
 E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

- 中流動コンクリート用ステンレスフォーム ● 新幹線用ステンレスフォーム
- クラウン部締め固めバイブレーター



- ◎ 強靱なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは、前進後進同一の力で抜き差し出来ます。
- ◎ 円周方向にスライドするガイドセルは、クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます。
- ◎ ガイドセルの上昇・下降により、任意の高さを締め固める事が出来ます。

- トンネル床版撤去架台
- 勾配対応四駆型(関門トンネル)



- 自動ケレン装置



- ベルコン通過型スライドフォーム(特許)
- ローター式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサー及び警鳴装置
- クラック防止用ラップウレタンゴム
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充填センサー
- 2段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セントル
- 横移動式棧橋

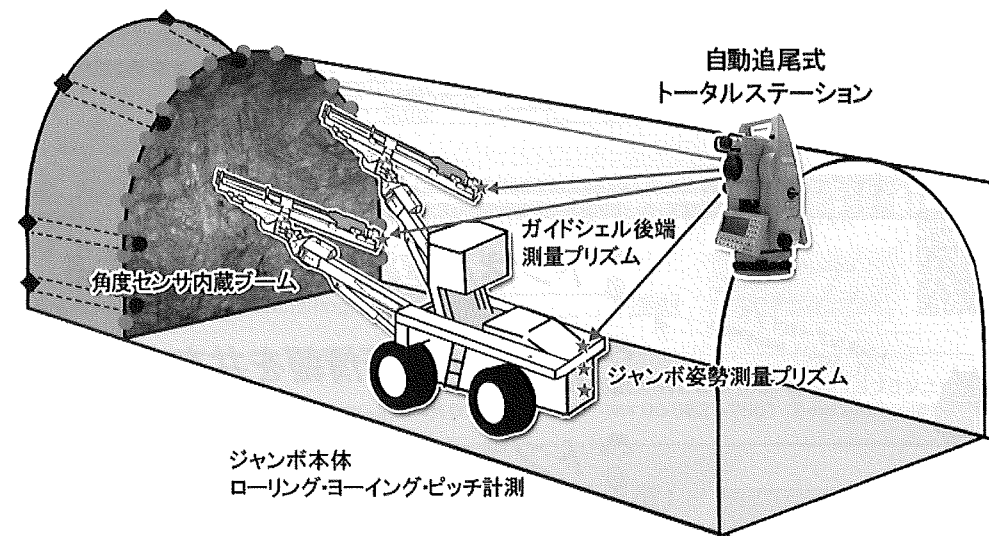
常に顧客のニーズに応えるため、安全性と施工効率を追求し、  
 高品質な製品を納めさせていただきます。

NETIS登録番号:KK-100049-A

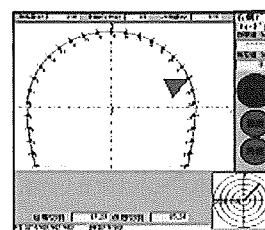
# 自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

自動追尾式測量器(トータルステーション)との連動により、外周装葉孔の高精度さく孔を可能にしました。余掘量の低減に効果を発揮し、余吹き・覆工コンクリート量を低減することが可能です。



## ■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

1. 最も重要な外周孔(追尾視準範囲)に限定することにより、従来のナビゲーションと比較し低コストを実現しました。
2. ガイドシェルの後端のターゲットを自動追尾することにより常に高い精度を得る事ができます。
3. 自動測量により本体セットアップが簡単に行なえます。
4. 操作方法が簡単でオペレータへの特別な教育を必要としません。

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご利用は

**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

**FRD** 古河機械金属グループ  
 FURUKAWA 古河ロックドリル株式会社

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3  
 特機部

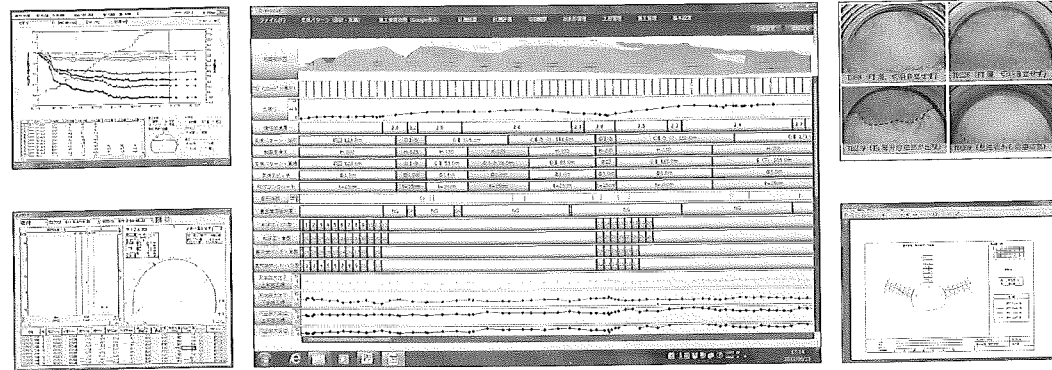
TEL:03-3231-6966 FAX:03-3231-6993

This August Debut  
**Cyber NATM 2<sup>nd</sup> Generation**

新時代の切羽情報管理システム

CYBER NATM Horus

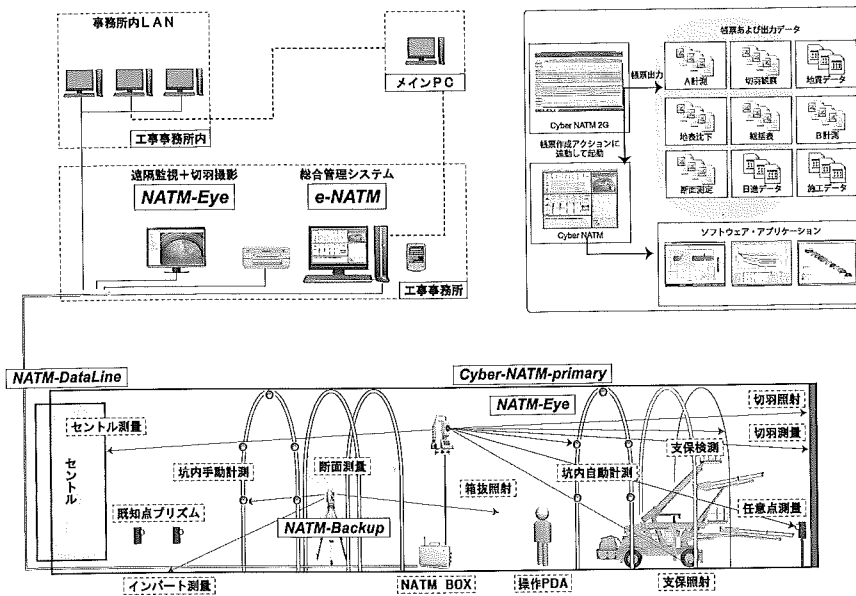
トンネル管理の原点はやはり巻物であった



トンネル連続情報を可視化する

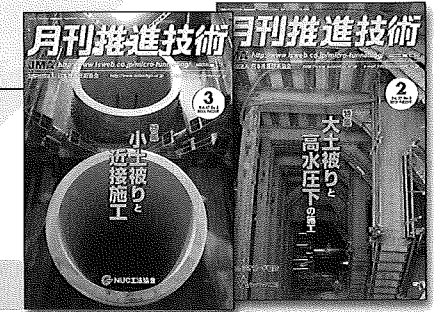
トンネル技術情報を共有化する

トンネル施工情報を一元化する



株式会社 演算工房 **ENZANKOUBOU CO., LTD.**  
 東京都本社 〒602-8268 京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地3  
 TEL: 075-417-0100 FAX: 075-417-0200

月刊推進技術  
 定期購読のご案内



定期購読料金 **12,000円** (@1,000円/月×12ヶ月 税・送料込)

わが国のライフラインなどのインフラ整備またはその再構築や新たな地下空間の築造に、掘削残土量やCO<sub>2</sub>排出量を抑制し、なおかつ耐震性の高い推進工法のニーズが高まっています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説しております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管渠埋設の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっています。

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039 加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間購読料金12,000円(毎月1冊×12ヶ月 税・送料込)をお支払いください。  
 詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたします。

<http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/> 月刊推進技術  検索

定期購読のお申し込みは  
 右のQRコード  
 または本誌ホームページから



月刊推進技術 編集室

<http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/>

〒135-0046 東京都江東区社丹2-2-3-105 株式会社 LSプランニング内  
 電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail akasaka@lsweb.co.jp

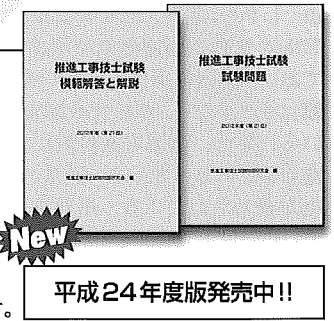
推進工事技士試験 過去11年間(平成14~24年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編

推進工事技士試験は、推進工法に係わる技術、技能を適正に認定することを目的に(社)日本下水道管渠推進技術協会(現(公)社)日本推進技術協会が平成4年度より実施している制度で、管渠施工の安全性と品質を確保する上で有益な制度です。

解答付きの解説書に対する受験者の皆様からのご要望に応じて、この程、推進工事技士試験過去問題集を刊行しました。受験対策書としてご利用いただければ幸いです。



1. 内容の特長

- 過去11年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- 各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出典箇所を明記

2. 価格

各年度単位に1set 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。  
 ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社(団体)名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。  
 これらのことをインターネットでご案内しています。  検索

株式会社 LSプランニング  
[http://www2.ocn.ne.jp/~ls\\_siken/](http://www2.ocn.ne.jp/~ls_siken/)

〒135-0046 東京都江東区社丹2-2-3-105  
 電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail oda@lsweb.co.jp

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

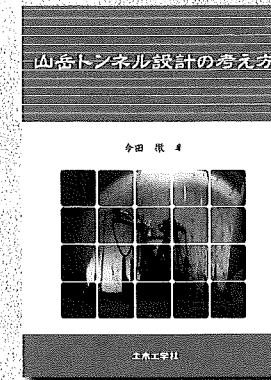
お申し込みは当社へFAX、または、お近くの書店にてお申し込みください。FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は、書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記の上、お申し込みください。

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

好評発売中

# 山岳トンネル設計の考え方



東京都立大学名誉教授

今田 徹 著

B5判 183頁 上製本 定価3200円+税

山岳トンネルを設計するうえでの考え方は勿論、設計の留意点などを平易にまとめている。山岳トンネル工事に携わる諸兄の必携書である。



### 〈主要目次〉

- 第1章 山岳トンネル技術の要素と変遷
- 第2章 トンネル掘削による周辺地山の挙動
- 第3章 岩石の特性
- 第4章 トンネルと地質
- 第5章 トンネルの線形
- 第6章 断面の設計
- 第7章 支保構造物
- 第8章 吹付けコンクリート
- 第9章 ロックボルト
- 第10章 鋼アーチ支保工
- 第11章 覆工
- 第12章 切羽の安定
- 第13章 掘削工法・掘削方式の選定
- 第14章 併設トンネルの設計
- 第15章 特殊地山
- 第16章 坑口の設計
- 第17章 環境対策

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

トンネル工事からパンクを追放

# 坑内用特殊複層タイヤ



特許第1610830号

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

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

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

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

**中濃産業株式会社**  
代表取締役 土田 義 式

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

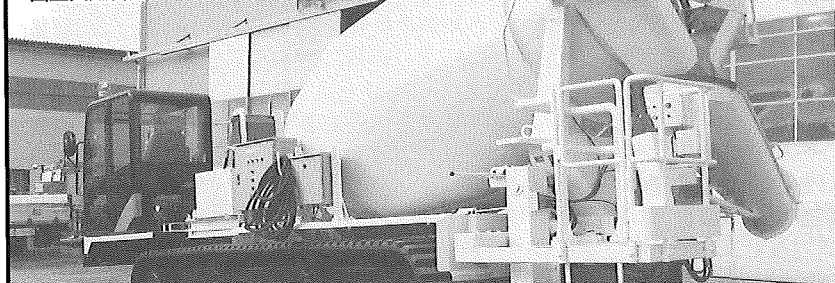


子どもたちに  
誇れる  
しごとを。

SHIMIZU CORPORATION  
**清水建設**

# ゴムクロ・ミキサー車

国土交通省排ガス2次トンネル工事用指定



クローラーだから小旋回  
斜路、軟弱路盤等悪路に強い!!  
後部運転席付。小断面でも前後進が可能!!

【仕様】 ゴムクロラ式ミキサー車 TGM-MR45T 上部ミキサー: カヤハ製 (混合容量4.5m³)			
全長	7,500mm	タンブラ中心間距離	3,870mm
全幅	2,690mm	クローラ全長	9,800mm
全高	3,620mm	クローラ幅	700mm
最低地上高	530mm		(100ピンチ×98リンク)
空車質量	11,000kg	セメント積載時質量	22,000kg
形式	三菱6D-TLE2B	定格出力	165kw/2,700min
排気量	7,545cc	最大トルク	700N・m/1,300min
速度1段	最大 7.6km/h		
速度2段	最大 20.0km/h		
空車時接地圧	20kpa	積載時接地圧	40kpa

## 【TGM-MR45T II 仕様】

- ・ドラム回転電動式 (オプション)
- ・生コン荷下時使用後部アウトリガー
- ・ドラム回転&アイドルアップ機構
- ・オフロード法少数特例承認機 (承認番号) NS-641



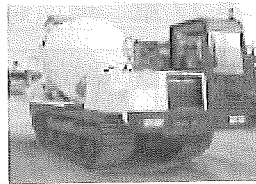
Tunnel & Mining

ニシオティードエム株式会社

山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業  
<http://www.nishio-tm.co.jp>

〒569-0836  
大阪府高槻市唐崎西2-26-1

- 北海道営業所  
tel: 0133-72-3715  
fax: 0133-72-3716
- 東北営業所  
tel: 0198-26-0240  
fax: 0198-26-0241
- 関東支店  
tel: 0268-62-1426  
fax: 0268-62-1999
- 大阪支店  
tel: 072-677-2101  
fax: 072-677-2109
- 九州支店  
tel: 0982-26-2111  
fax: 0982-26-2290

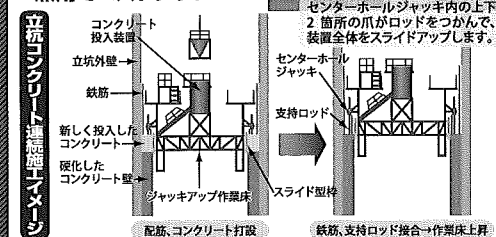


# スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献!

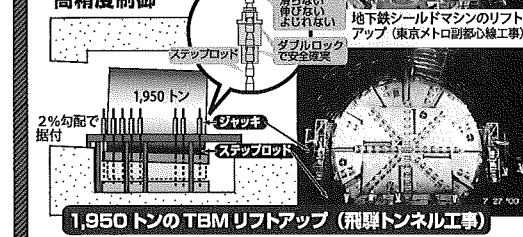
## 立坑スリップフォーム工法

- コンクリート連続打設で工期短縮
- 型枠・足場組ばらし不要
- 掘削・グラウトスcafford 兼用でコストダウン



## シールドマシン・TBMアップダウン

- 安全確実で経済的なステップロッド方式
- イコライザー機構で荷重・変位のバラ付きを解消
- 複数ジャッキを高精度制御



## 営業品目

- ジャッキリース・オペレータ
- 架台・型枠足場 設計・製作・据付工事

**JFE シビル 株式会社**  
JFE 都市基盤営業部 特殊工法グループ

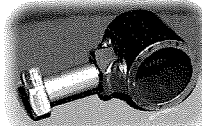
〒111-0051 東京都台東区蔵前2丁目17番4号 (JFE蔵前ビル)  
TEL: 03-3864-5293 FAX: 03-3864-7319  
URL <http://www.jfe-civil.com/> E-mail [jack@jfe-civil.com](mailto:jack@jfe-civil.com)

# コストダウンを可能にする Kリング・Kプレート

施工方法等詳細については下記までご連絡ください  
 製造・販売元 静岡スチール  
 〒436-0342 静岡県掛川市上西郷 765-1  
 TEL : 0537-24-3886 FAX : 0537-24-3859  
 Mail : ktk@r5.dion.ne.jp

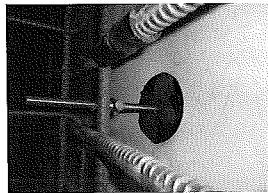
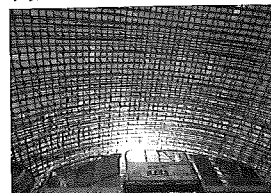
## ①アーチ鉄筋組立金物 (Kリング) 特許出願中 (特願 2001-309314 号)

トンネル覆工工事におけるアーチ鉄筋組立金物。  
 コストダウン、安全、工期、品質の向上を可能にします。



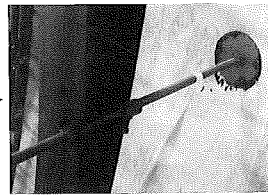
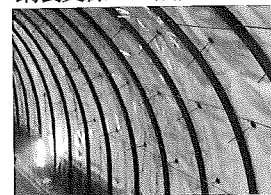
## ②トンネル覆工鉄筋防水シート接着ジベル筋組立 (Kプレート)

円型プレートを直接支保工下地防水シートに接着して使用します。Kリングと併用します。



ウォータータイト(全周止水)トンネルにおいて覆工コンクリートの鉄筋を自立させることによって、鉄筋受け架台の鋼製支保工コストの大幅削減を可能にすることができます。

鋼製支保工を設置した場合もKプレートを使用することが可能です。



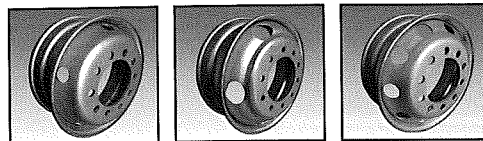
Kプレートで鋼製支保工を固定。架台の鋼製支保工の固定にも使用できます。

## トラック用タイヤ販売 海外日系メーカー純正指定タイヤ



コストダウン  
を実現する

サイズ 11R22.5 オールシーズンタイヤをラインアップ



11R22.5サイズ用ホイール、  
プロテクターチェーン  
も取り扱いいたしております



詳しくは弊社へお問い合わせください

株式会社 エスピーエス

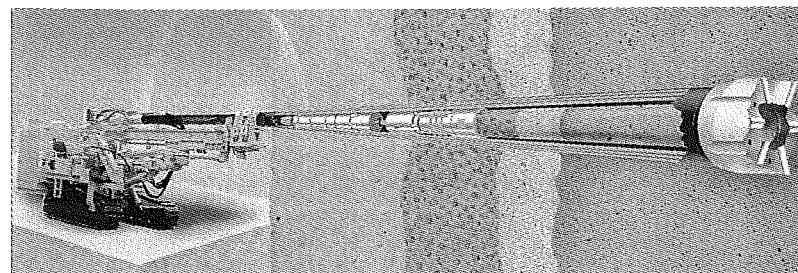
〒389-0207 長野県北佐久郡御代田町馬瀬口 2100-1

TEL : 0267-32-6793 FAX : 0267-32-6798 E-mail : info@spsusvi-m.com

http://www.spsusvi-m.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らぬ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。



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



トンネル進捗率改善のための最新技術

明かりが見えます

トンネルが貫通するまでの長い道のりの中で、工事完了までの間に大なる違いを生む原動力となるのは、トンネル進捗率における日々改良の積み重ねです。もちろん、発破のたびに進捗度を上げたいとご希望されることでしょう。

オリカ社は、今まで積み重ねてきた研究開発と技術力を駆使して、お客様が毎日直面する課題の解決策をご提供することができます。自由に延時設定可能なトンネル専用電子雷管eDev、トンネル発破デザインソフト New SHOTPlus-T<sup>TM</sup>、高エネルギーエマルジョン爆薬の結果をご覧になることができます。これらはすべて、お客様のご要望に沿って全てのプロジェクトに最適な技術サービスとサポートをご提供した結果です。

これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership (パートナーシップの力)」です。

www.oricaminingservices.com にアクセスして頂ければ、トンネル現場の最新技術をご覧になることができます。

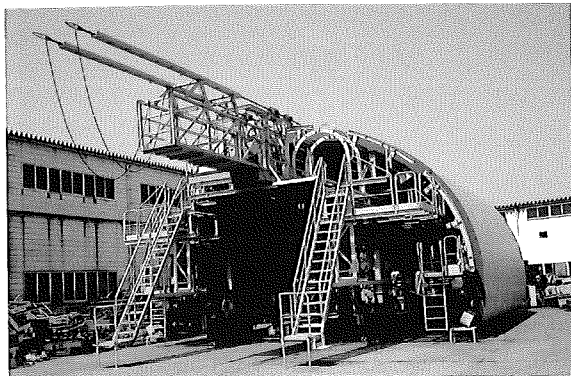


# 要求性能を満たす 覆工コンクリートの品質向上技術

## 鉄筋区間併用タイプ

### 天端引抜バイブレーション装置

NETIS 登録 No.HR-080001-A

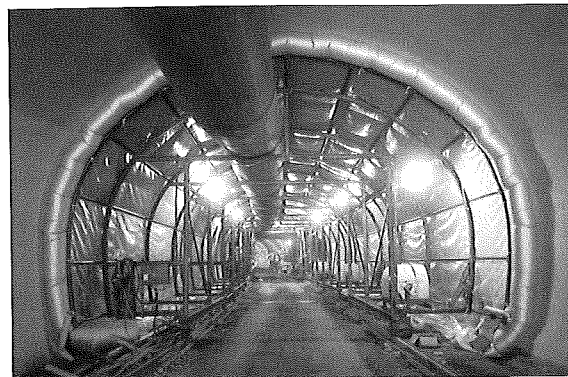


#### 期待される効果・特徴

- ・トンネルクラウン部の締固めと密充填が出来る
- ・高品質な覆工コンクリートが形成出来る
- ・鉄筋区間で一部主筋をずらして使用することが出来る  
(但し、カーブ区間はケーブル式を推奨します)
- ・覆工表面の縞模様を減らすことが出来る

## コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-A (製造:株式会社マシノ)



#### 期待される効果・特徴

- ・セントルと養生台車を連続してシートで覆い、坑内通気から遮断し、乾燥収縮クラックを防止する
- ・脱型直後の覆工コンクリートに水を噴霧し、湿潤状態を保持し、初期強度を向上させる
- ・養生中に追加噴霧することで湿潤状態を長期保て、覆工コンクリートの長期強度が増進する
- ・3台連結することにより7日間の湿潤養生が出来る

## 北陸鋼産株式会社

(旧社名 株式会社 佐賀)

URL <http://www.hokuriku-kosan.co.jp>

射水工場：〒934-0056 富山県射水市寺塚原 720 番 1 TEL0766(82)1500 FAX0766(82)1501

滑川工場：TEL076(476)0333 FAX076(475)9121 東北営業所・工場：TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423

東京支店：TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789 大阪支店：TEL06(4963)3520 FAX06(4963)3521

# 濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

## 環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0m<sup>3</sup>/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

#### 【TWS型濁水処理装置の特徴】

1. シックナーを大型化し、沈降面積を増やし槽内流速を抑えています
2. 複枠式フィルタープレスにより、確実な自動運転を実現しています
3. 砂ろ過装置、高分子自動溶解装置等豊富なオプション設備で様々な条件に対応します

#### ＜汎用車両全般＞



VOLVO ダンプトラック (A25CTS,A25CTR,A20/30CT)



10T ミキサー



4.5m<sup>3</sup>ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車輛 取り扱っております

## 株式会社 フジテックス

〒930-0821 富山市飯野 12-1 TEL (076)452-1616(代) FAX(076)452-1617

### ■巻頭言

#### 将来への基礎造り

水口 宇市 .....5

### ■研究

#### 列車振動を活用したトンネル覆工のはく落監視法に関する研究

瀬下 雄一・津野 究・杉山 俊幸 .....53

### ■施工

#### 完成をむかえた山梨リニア実験線(延伸区間)のトンネル群

渡辺 隆・古谷 佳久・山本 武史・村上 明 .....7

#### 地上発進・地上到達で大断面シールドを施工

—首都高速中央環状品川線 大井地区トンネル—

五十嵐 央・井澤 昌佳 .....17

#### 道路・動物公園直下の小土かぶり駅部大断面を中壁分割工法により施工

—仙台市高速鉄道東西線 八木山トンネル—

吉野 弘明・河村 和信・山本 敏明・鶴原 敬久 .....25

### 一般社団法人への移行のお知らせ

拝啓、時下益々ご清祥のこととお慶び申し上げます。

平素は、本会の活動に格別のご高配を賜り厚くお礼申し上げます。

さて、本会は、内閣府より「一般社団法人及び一般財団法人に関する法律」等に基づく「一般社団法人」への移行が認可され、4月1日に「一般社団法人日本トンネル技術協会」へと移行しました。

今後とも、トンネル及び地下空間の建設及び維持管理に関する調査研究を行い、地下利用技術の進歩向上を図ることによって、国土の保全と公共の福祉の増進に寄与することに一層の努力をしておりますので、よろしくお願い申し上げます。

敬具

一般社団法人日本トンネル技術協会会長 佐藤 信彦

#### 大断面シールドが離隔40cmで近接する既設電力洞道の挙動

石川 利明・株木 康吉・中野内美孝 .....45

### ■連載講座

#### トンネル技術者のための地相入門(12)

—火砕流台地・カルスト・残丘におけるトンネル工事—

「地相入門」連載講座小委員会 .....61

### ■現場だより

#### 「民話の里」遠野市より

増田丑太郎 .....15

#### 「戦国の世に思いを馳せ」愛知県新城市より

伊藤 敦信 .....16

### ■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

#### 貫通発破の魔力に魅せられて

藤田 筆司 .....37

### ■資料

#### 土木情報

編集部 .....52

#### 工法・技術・製品ニュース

編集部 .....71

#### トンネルジャーナル

編集部 .....60

#### トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 .....72

### ■会報

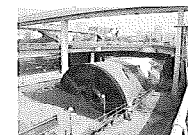
#### 会報

日本トンネル技術協会 .....74

#### 【表紙説明】

地上発進・地上到達で大断面シールドを施工

—首都高速中央環状品川線 大井地区トンネル—



中央環状品川線のうち、東京都が発注した大井地区トンネル工事に、国内初の地上発進・地上到達を可能とするシールド工法(URUP工法)を採用した。本工法は、従来の発進・到達時の立坑を不要とすることで大幅に工期が短縮され、工事に起因する交通渋滞や環境負荷の低減が可能な工法である。写真はシールドの地上到達状況である。

〔写真提供：東京都〕(本文17頁参照)

# 管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

## コンクリートトータル養生システム

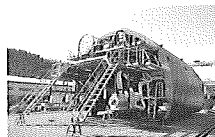


セントル型枠

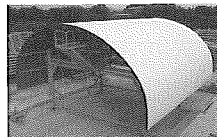
第二養生

第三養生

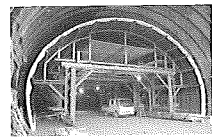
加温しながら初期強度を上げる  
加温養生（型枠）



加温と湿潤を同時に行い品質向上  
加温・湿潤養生



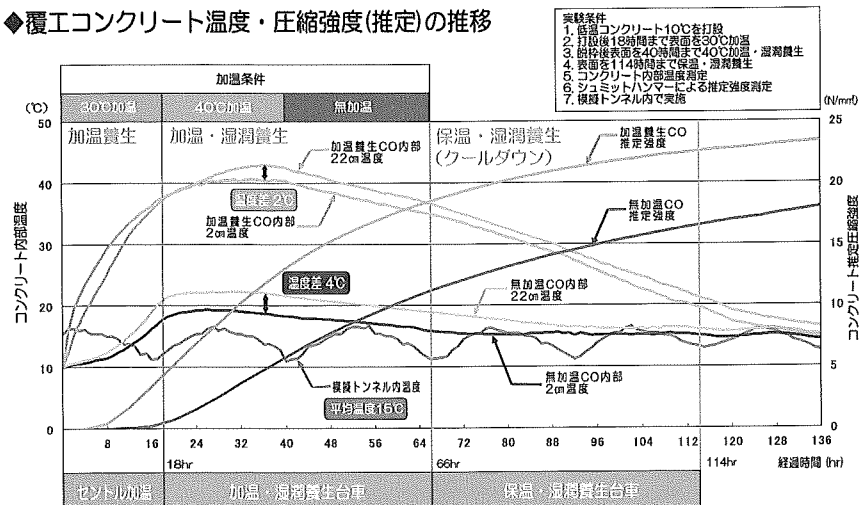
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ  
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理  
養生管理システム

コンクリート打設完了から養生完了までのコンクリート内部温度及び推定強度を表示します  
必要なコンクリート強度から使用者の判断で任意に加温設定が可能です

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



**岐阜工業株式会社**

本社 岐阜県本巣市十四条 144 番地  
TEL 058-323-2001 FAX 058-323-1176  
URL <http://www.gifukogyo.co.jp/>

東京支店 TEL 03-5836-0531  
仙台営業所 TEL 022-259-2239  
九州営業所 TEL 092-918-3880

【製作・販売協力】

TECHNO  
テクノプロ株式会社

TOUKOU  
株式会社 東 宏

### 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

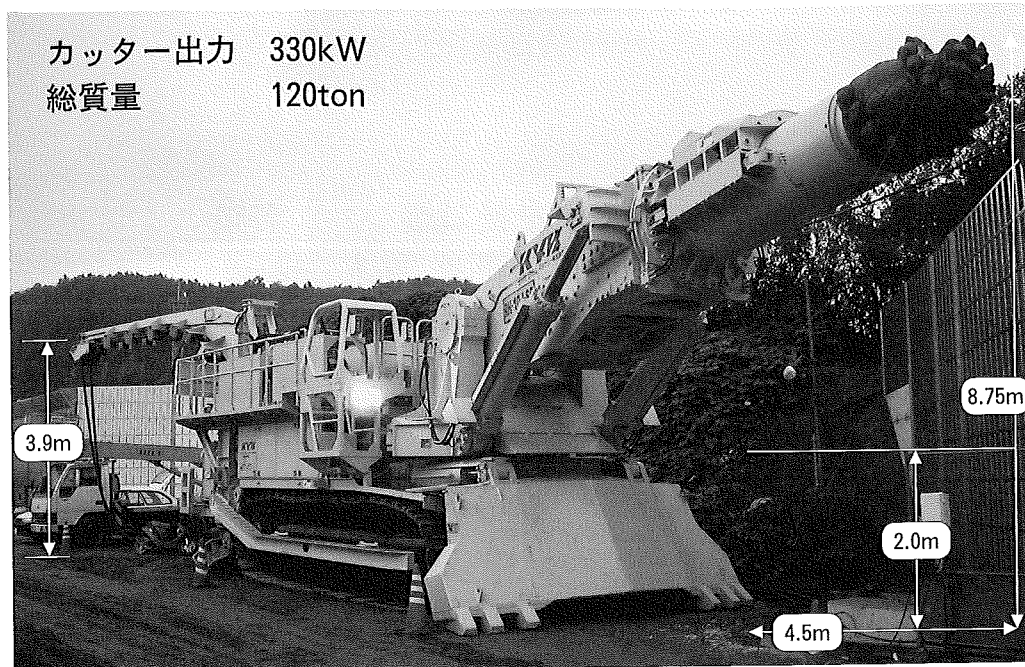
〔幹 事〕

- |   |   |
|---|---|
| 居 相 好 信<br>株式会社大林組生産技術本部統括部長                      | 志 岐 寛<br>清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部<br>部長        |
| 岩 田 美 幸<br>国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官                    | 西 岡 和 則<br>鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部<br>トンネルグループ長 |
| 大 石 敬 司<br>東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部次長                   | 藤 井 義 文<br>株式会社竹中土木執行役員                     |
| 大 津 敏 郎<br>株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部<br>トンネル専門主幹       | 松 原 利 之<br>飛鳥建設株式会社建設事業本部<br>エンジニアリング事業推進部長 |
| 金 山 洋 一<br>独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構<br>鉄道建設本部計画部計画課長 | 吉 富 幸 雄<br>大成建設株式会社土木本部土木技術部<br>トンネル技術室室長   |
| 久多羅木 吉治<br>東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長                   |   |
| 小 松 敏 彦<br>前田建設工業株式会社土木事業本部土木部<br>トンネルグループ長       |   |

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

# RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

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9.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

**KYB** カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業 〒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  
カスタマーサービス 〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586  
相模事業所  
大阪支店 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号TEK第二ビル TEL 06-6387-3371  
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 三重県津市雲出長常町 1129 番地 11 TEL 059-234-4111

## 編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

### 〔編集委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

### 〔編集参与〕

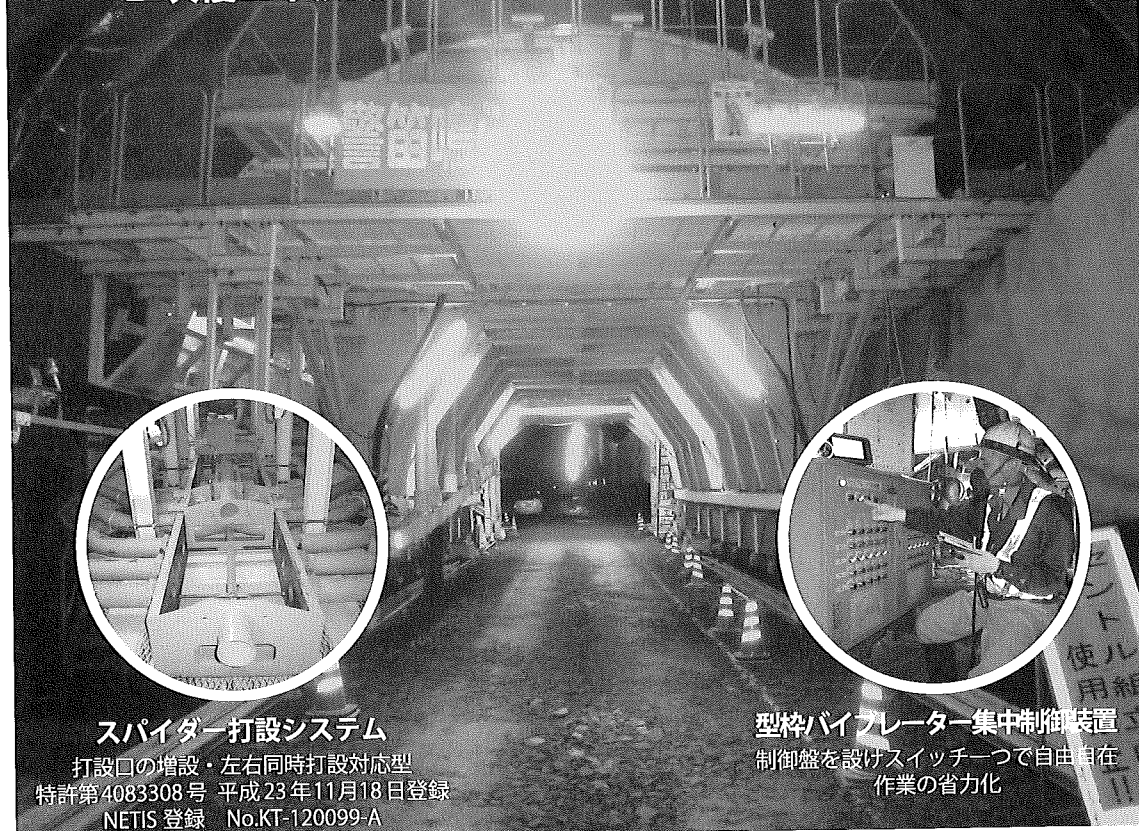
木谷 日出男 国際航業株式会社技術センター 地盤研究室長	橋本 定雄 (元)東京都公営企業管理者下水道局長
今田 徹 東京都立大学名誉教授	濱 建介 株式会社ANET取締役
高橋 良文 東京都下水道サービス株式会社専務取締役	三浦 克 株式会社竹中土木常務執行役員

### 〔委員〕

大津 敏郎 株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部 トンネル専門主幹	高田 武 東京都水道局建設部工務課長
亀山 勝 東京地下鉄株式会社鉄道本部鉄道統括部 移動円滑化設備推進担当課長	高橋 晃 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
坂口 淳一 東京都交通局建設工務部計画改良課長	真下 英人 独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ長
佐原 圭介 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	焼田 真司 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社建設工事部兼設備部 構造技術センター次長	柳 雄 東京都下水道局建設部設計調整課長

# トンネル二次覆工型枠総合メーカー

## 二次覆工中流動コンクリート対応型スチールフォーム



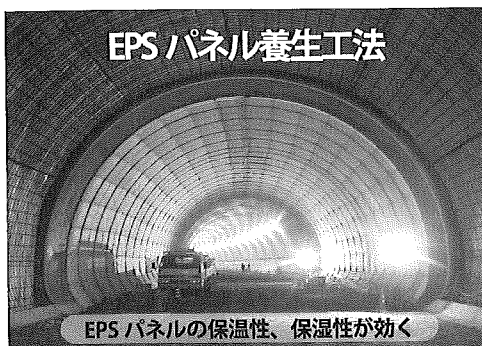
### スパイダー打設システム

打設口の増設・左右同時打設対応型  
特許第4083308号 平成23年11月18日登録  
NETIS登録 No.KT-120099-A

### 型枠バイブレーター集中制御装置

制御盤を設けスイッチ一つで自由自在  
作業の省力化

## 新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



### EPSパネル養生工法

EPSパネルの保温性、保湿性が効く

実績および計画		
施主	実績	計画中
国土交通省	24	0
NEXCO	6	1
地方自治体	12	2
鉄道・運輸機構	1	0

平成25年1月31日 現在

実施権許諾第 10396 号  
NETIS登録 (No.CB-090003-A)

一步前進! ~限りない未来への挑戦~

 **大栄工機株式会社**

本社 〒526-0842 滋賀県長浜市春近町90番地  
TEL 0749-64-0246 / FAX 0749-63-6765 / URL <http://www.daiaikouki.co.jp/>  
営業品目 各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売 ※詳しくはホームページを御覧ください

## トンネルと地下 VOL.44 No.4 掲載概要

掲載頁

7

完成をむかえた山梨リニア実験線(延伸区間)のトンネル群

東海旅客鉄道(株) 渡辺 隆

山梨リニア実験線では、平成20年5月に先行区間の設備更新および延伸工事に着手した。このうち延伸工事では、10か所のトンネル(L=19.1km)を建設し、平成24年3月に全トンネルが貫通した。

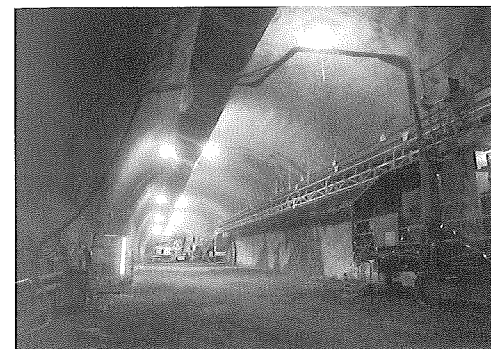
本稿では、山梨リニア実験線の概要と今回建設したトンネルの中から小土かぶり、長大トンネル、立坑および併設トンネルなどの施工事例を紹介する。

Tunnels on Yamanashi Maglev Test Line (Extended Section)

By Takashi Watanabe, Central Japan Railway Company

Replacement of facilities and track extension works on Yamanashi Maglev Test Line took place in May, 2008. The extension works were to construct tunnels (L=19.1km) in 10 locations and all tunnels were penetrated by March, 2012.

This report gives an outline of Yamanashi Maglev Test Line and information on examples of tunneling such as small cover, long tunnels and shafts, and twin-tunnel.



写真は切羽中継ベルトコンベヤ

掲載頁

17

地上発進・地上到達で大断面シールドを施工

—首都高速中央環状品川線 大井地区トンネル—

東京都 五十嵐 央

中央環状品川線のうち、東京都が発注した大井地区トンネル工事に、国内初の地上発進、地上到達を可能とするシールド工法(URUP工法)を採用した。本工法は、シールドを地上から直接発進させ、トンネル区間を小土かぶりで掘進した後、再び地上に到達させる技術であり、従来の発進、到達時の立坑を不要とすることで大幅な工期短縮が可能であるとともに、工事に起因する交通渋滞や環境負荷の低減が可能な工法である。

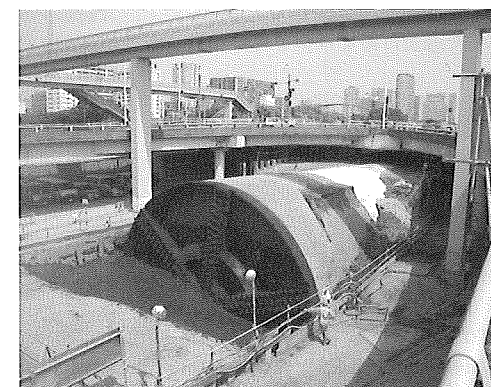
本稿では、当工事で実施された地上発進、地上到達における種々の施工技術を紹介するとともに、重要構造物との近接施工や高水圧下の換気所立坑におけるシールドの到達、Uターン方法などを紹介する。

Shield TBM Launched and Ended at Ground Level—Oi Area Tunnel on Central Circular Route Shinagawa Line, Metropolitan Expressway—

By Nakaba Igarashi, Bureau of construction, Tokyo Metropolitan Government

An innovative method in shield tunnel construction has been newly studied, developed, and eventually applied to the actual tunnel project. It is named URUP (Ultra Rapid UnderPass) which enables TBM to launch and arrive at the ground level without vertical shafts. Actually as the first implementation in the world, the URUP method has been applied to Oi Area Tunnel on Central Circular Route Shinagawa Line, Metropolitan Expressway which is approach tunnels between viaduct section and underground ventilation station in road project, at Tokyo, Japan.

This paper reports the unique technology of the URUP method for the launching of TBM at the ground level and other high-level technique for TBM tunnelling works.



写真は地上到達状況

## 道路・動物公園直下の小土かぶり駅部大断面を中壁分割工法により施工

—仙台市高速鉄道東西線 八木山トンネル—

鉄道・運輸機構 吉野 弘明

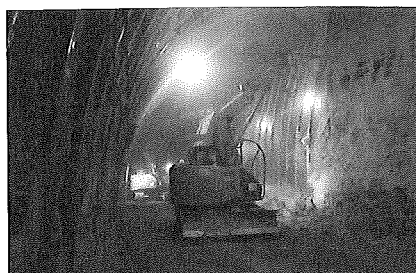
仙台市高速鉄道東西線、八木山トンネルは、延長648.5mの複線断面NATMトンネルである。起点方到達部である動物公園駅は開削延長を最小限にし、ホームなど駅設備の一部をNATM区間まで延長することでコスト削減を図っている。そのため、到達部付近はトンネル断面が駅設備を含む大断面となる。駅部大断面区間は、掘削断面積 $A=181\text{m}^2$ 、延長 $L=73\text{m}$ 、土かぶり約9m、掘削対象地質は $N$ 値20~50程度の軟岩層である。

本トンネル直上付近には、比較的交通量の多い市道およびコンクリート擁壁が存在する。これらの施工条件より、掘削工法は、先行事例および安全性から中壁分割工法を採用し、FEM解析などを用いた検討を行い、十分な安全性の確保に努めた。本稿は、中壁分割工法の施工計画および施工結果を報告するものである。

### Build Large Cross-section Station Tunnel beneath Road and Zoo with Small Overburden using the Centre Diaphragm Technique—Sendai Subway Tozai Line Yagiyama Tunnel—

By Hiroaki Yoshino, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

Yagiyama Tunnel on the Sendai Subway Tozai Line was constructed using NATM and has total length of 648.5 m and double-track cross-section. Dobutsu-koen station occupies starting side of the tunnel to install the station facilities such as platform in order to reduce the construction cost by minimizing the area of cut-and-cover tunnel for the station. This required larger cross-section to starting side of tunnel. The enlarge part has an excavation cross-section area of  $181\text{m}^2$ , a length of 73 m and small cover of approx. 9 m. The geological condition for excavation is soft rock of approx.  $N$ -value of 20 - 50.



写真は中壁撤去の状況

In the area directly above this tunnel there are a city road with comparatively heavy traffic and concrete retaining walls. Due to these construction conditions, the center diaphragm (CD) technique was adopted as building technique for large cross-section tunnel from the point of view of previous cases and stability. Investigation for CD technique was conducted using FEM analysis to secure required stability. This report gives information on the construction plan and results of Yagiyama tunnel using CD technique.

In the area directly above this tunnel there are a city road with comparatively heavy traffic and concrete retaining walls. Due to these construction conditions, the center diaphragm (CD) technique was adopted as building technique for large cross-section tunnel from the point of view of previous cases and stability. Investigation for CD technique was conducted using FEM analysis to secure required stability. This report gives information on the construction plan and results of Yagiyama tunnel using CD technique.

## 大断面シールドが離隔40cmで近接する既設電力洞道の挙動

東京電力(株) 石川 利明

近年、都心部では首都高速道路や地下鉄などの大規模構造物の建設が進められており、当社既設地中送電用トンネル(以降「既設洞道」と称す)に近接して施工される事例が散見されている。

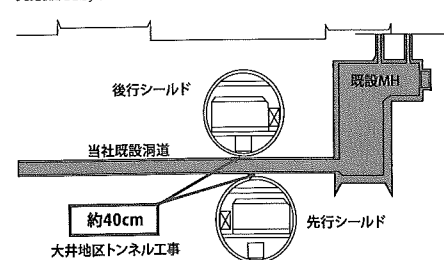
現在、施工が実施されている首都高速道路中央環状品川線工事における大井地区トンネル工事において、大断面シールドが当社既設洞道の上下を約40cmの離隔で交差して通過するといった過去にあまり例を見ない近接施工が実施された。

本稿では、近接施工における既設洞道の事前影響検討、計測管理手法および首都高速道路中央環状品川線大井地区トンネル工事に用いられた大断面シールド通過に伴う当社既設洞道の挙動計測のうち鉛直挙動計測結果について報告する。

### Behaviour of Power Transmission Tunnels 40 cm Apart from Large Shield TBM Passing Through

By Toshiaki Ishikawa, Tokyo Electric Power Company

In recent years, the construction of large-scale underground structures such as metropolitan expressways or subway systems in urban areas have progressed and there are some cases in which construction is conducted close to TEPCO existing underground power transmission tunnels (hereinafter referred to as the existing tunnels).



図は既設洞道への交差状況縦断面図

In the Oi Area Tunnel works on the Central Circular Route Shinagawa Line of Metropolitan Expressway under construction, an unprecedented adjacent construction was implemented in which the large shield TBM passed through above and beneath the existing tunnels with a distance of approx. 40 cm.

This reports a preliminary impact investigation on existing tunnels, the ways of measurement management and monitoring results of vertical behaviour of the existing tunnel from behaviour monitoring during the shield TBM of Oi area tunnel passing through.

## 列車振動を活用したトンネル覆工のはく落監視法に関する研究

東電設計(株) 瀬下 雄一

鉄道トンネルでは、覆工のはく落防止が重要な維持管理項目となっている。はく落のおそれがあるものに対しては、叩き落としなどの措置や重点監視をすることになる。重点監視については、覆工のひずみや変位、ひびわれ幅などを自動計測することも考えられるが、センサ設置箇所以外で変状が進行した場合や、変状が覆工の深部で潜在的に進展した場合は、変状の進展の評価が困難となる。

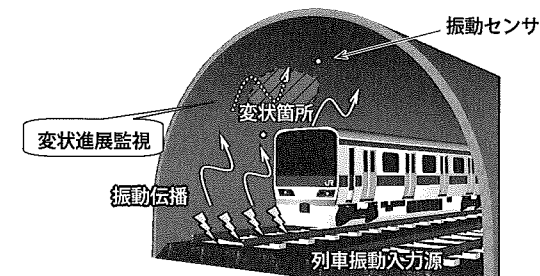
そこで、列車走行時の振動を活用し、トンネル覆工での振動特性の変化に着目した変状進展評価方法について検討した。実トンネルにおける振動計測、覆工の変状を模擬した梁試験体による振動実験および大型覆工模型載荷実験を実施し、列車振動がトンネル覆工の維持管理に活用できることを示した。

### Research on Monitoring Method for Falling Concrete Piece from Tunnel Lining by Means of Train-induced Vibration

By Yuichi Seshimo, Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.

The prevention of falling concrete piece from lining of railway tunnel is an important part of operation and maintenance. Measures are to be implemented such as knocking away or carefully monitoring the spots of lining which are likely to fall off. Automatic measurement of strain, deformation, crack width and others on the lining can be considered as the carefully monitoring but in cases that deterioration progressed at parts where sensors are not installed or beneath the surface of lining, the evaluation of the development of deterioration becomes difficult.

Accordingly, we investigated the method for evaluation of deterioration development focusing on changes in vibration properties of tunnel lining that are induced by train-running. Monitoring vibration on existing tunnels, vibration experiments using beam specimens which simulate lining deterioration and large-scale model lining load experiments were implemented. We demonstrate that it was possible to use train-induced vibration monitoring in the operation and maintenance of tunnel lining.



図は本研究の概要

## 将来への基礎造り

西松建設(株)代表取締役執行役員副社長

### 水口宇市



新年度を迎え、建設業界に新たに若い力が集まりました。将来への希望と熱意を持った若者達に、歓迎の意を表するとともに今後の活躍を大いに期待いたします。

建設会社に就職するという事は、社会資本の建設に携わるということです。社会資本の整備は国民の安全と安心して暮らせる国土造りを目的として進められ、その充実が国民生活を豊かにします。建設会社には、その整備を担うという重要な使命があります。

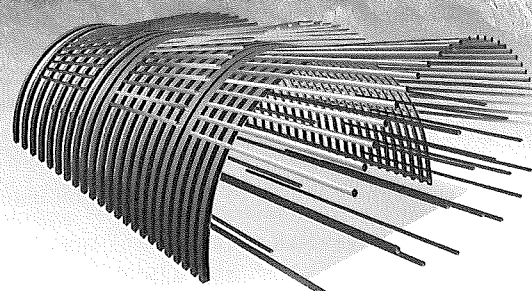
現在の建設業界を取り巻く環境は、東日本大震災被災地の復興の遅れや、社会資本の老朽化に対する対応など、課題が山積していると言っても過言ではありません。広範囲に及ぶ被災地の復興は十分な議論を要する復興計画の立案が重要ですので、復興事業が遅れていることは否めない感があります。一方で、高度経済成長期に建設された構造物は40～50年程度を経過し、その健全性の確保が大きな課題として浮上しています。

このような状況の中、政権に復帰した自民・公明政権は景気回復策を前面に押し出して動き出しています。とくに『国土強靱化計画』にもとづく諸施策が実行されることによる効果は建設業界にとって大きなものと考えられており、大いに期待しているところです。この国土強靱化計画では10年間に200兆円を集中投資して、事前防災の考えで全国を整備する考えです。震災被災地の復興の促進が掲げられていますので、遅れている被災地の復興も一気に加速するものと考えられます。

これらの施策の実行に際して、各種社会資本の整備を責任を持って「もの」として造り上げるのが建設会社であり、建設会社に所属する技術者の使命だと認識しております。その使命を全うするために、元請け・協力会社が一致団結して目的の構造物を協力して完成させるのが現場です。初めてのことばかりで、不慣れなことがあるのは当然だと思います。とまどうこともあると思いますが、素直な気持ちで物事に臨み、その活気ある現場でいきいきと活躍してほしいと願っております。

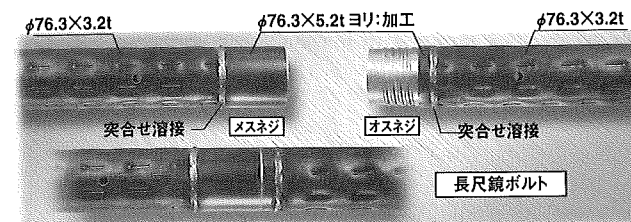
一方、被災地復興の推進や公共事業の拡大による人手不足や資材・機材の不足が予想されており、課題として挙げられます。建設業界では、少子化や職種の多様化で建設会

## ユニークな発想でVEを提案



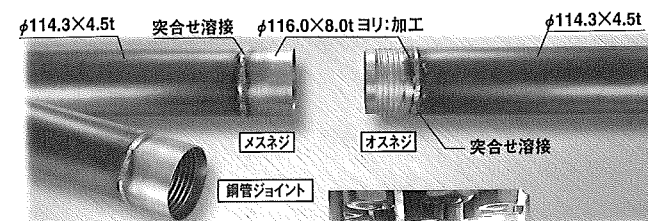
### ストロング FIXチューブ(S型)

- ※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
- ※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!

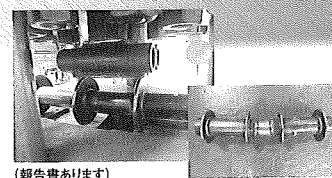


## AGF-STD工法

- ※軽量化による作業性とねじ強度の改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



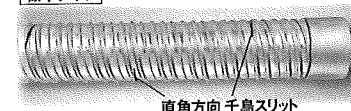
曲げ耐力30%UP!!



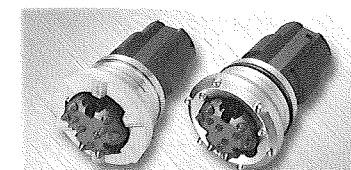
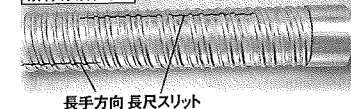
接続部の抗折力試験

### 撤去管の選択

#### 標準タイプ



#### 解体分別タイプ



### STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

## 注入材・その他工法

- ※ウレタン系注入材: NEW-TSRF、NEW-TBU
- ※セメント系注入材: コロイダルスーパー、デンカES
- ※セメント系充填材: デンカPモル
- ※高速フォアボーリング: SP-IF工法
- ※高速ルートパイル: SPフィックスパイル工法
- ※φ27.2注入管、自穿孔ボルト各種在庫あり



エステ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.072-990-0250 FAX.072-990-0251

<http://www.st-eng.co.jp>

社に就職する新卒者の減少があるため、若手の人材確保も課題です。長期的には、高齢化が加速する社会の中で、若い技術者の育成によって技術力を確保・維持していくことが今後の建設業界の責務とも言えます。また、現場作業員の高齢化も以前から課題として指摘されています。今後、事業を進めていくためには、若年層作業員の定着率向上を図り、さらに、熟練作業員から技術を伝承していくことが今後の「もの造り」のためには重要だと考えます。

社会資本の整備という観点では、国内のみならず海外においてもその重要性は同様です。海外で必要とされるインフラ整備を進めることは、その地域の社会的・経済的発展にも寄与することになります。弊社では、香港で当時の深刻な水不足解消対策として計画されたロアシンマングムの建設に従事してから50周年を迎えました。この工事以降、数多くのビッグプロジェクトを手掛け、香港は重要な海外事業展開の拠点となっています。現在でも、香港地下鉄西港線・南港線・觀塘延伸線の3件の地下鉄工事や香港西雨水トンネルなど、トンネル工事を中心とした建設に携わっています。これらの工事の完成が香港市民の生活を豊かにすることは、建設に従事したわれわれにとっても大変誇りに思うことです。海外工事は契約や工事の進め方など特有な面もあるため、そのエキスパートの育成が今後の海外市場進出の鍵となっています。視野を広く持って、海外への土木技術の輸出にも取り組んでほしいと思います。

現在、国内では新東名・新名神高速道路や圏央道、東京外かく環状道路などの道路建設、整備新幹線のうち、残っていた北海道新幹線、北陸新幹線、九州新幹線長崎ルート各区間の建設も動き始めています。また、リニア中央新幹線の建設も2014年度の着工予定とされています。さらに、直線で全長30kmの加速器トンネルを要する国際リニアコライダー計画の日本への誘致も大詰めとなっています。このように、新しい地下空間利用、新しい社会資本の整備により快適で豊かな環境を形成する動きが継続しています。被災地の復興や国土強靱化のための施策に加えて、新しい社会資本の整備に対して建設業界に期待される使命は非常に大きなものだと考えます。

新しく建設業界に入ってきた若い力は無限の可能性を秘めていると思います。現在の技術は、諸先輩の努力によって確立されてきました。それらの技術を礎として、その上に新たな技術を研究・開発し、有用な技術として確立されることを期待しています。そのためには、構造物と同じように堅固な基礎造りが大切です。自分達が将来の土木技術を、トンネル技術を担っていくという熱い思いを持った取り組み姿勢を期待いたします。

## 施工

# 完成をむかえた山梨リニア実験線(延伸区間)のトンネル群

東海旅客鉄道(株)中央新幹線建設部担当課長 渡辺 隆  
東海旅客鉄道(株)中央新幹線建設部山梨リニア実験線工事事務所長 古谷 佳久  
鉄道・運輸機構東京支社工事第三部工事第五課長 山本 武史  
鉄道・運輸機構東京支社山梨リニア実験線建設所長 村上 明

## 1 はじめに

平成23年5月、全国新幹線鉄道整備法にもとづき、国土交通大臣が東京都・大阪市間の中央新幹線の整備計画を決定し、同整備計画において超電導リニアを走行方式とすることが決定した。

超電導リニアについては、平成21年7月、国土交通省超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価委員会(以下、「実用技術評価委員会」という)において、「超高速大量輸送システムとして運用面も含めた実用化の技術の確立の見通しが得られており、営業線に必要な技術が網羅的、体系的に整備され、今後詳細な営業線仕様及び技術基準等の策定を具体的に進めることが可能となった」との評価がとりまとめられ、平成23年12月には国土交通大臣により技術基準が策定された。今後は、平成25年末までに山梨リニア実験線の設備の全面的な更新および42.8kmへの延伸工事を完了し、走行試験を実施する予定である。

山梨リニア実験線の設備更新および延伸工事は、平成20年5月に着手し、平成24年3月に全トンネルが貫通したところであり、本稿において代表的なトンネルについて報告する。

## 2 山梨リニア実験線の概要

### 2-1 建設決定の経緯

超電導リニアの技術開発については、国鉄時代から宮崎実験線における走行試験を中心に進められてきたが、営業線に向けてより本格的な技術開発を進めるため、平成元年8月に山梨に新たな実験線を建設することが決定した。平成2年6月には、JR東海、鉄道公団((現)鉄道・運輸機構)、鉄道総研に対して、運輸大臣より「超電導磁気浮上方式鉄道に係わる技術開発の円滑な推進について」が通達された。この通達で、リニア技術開発の基本計画をJR東海と鉄道総研が共同して作成すること、山梨リニア実験線の具体的な建設計画をJR東海、鉄道公団、鉄道総研が3者共同して作成することが指示され、リニア技術開発と実験線の建設を進めていくことが決まった。

### 2-2 位置や構造の概要

山梨リニア実験線は、山梨県東八代郡境川村((現)笛吹市)から南都留郡秋山村((現)上野原市)に至る42.8kmの区間であり、位置概要は図-1に示すとおりである。

また、インフラの基本部分については暫定的な技術基準が定められ、軌道中心間隔5.8m、最小曲線半径8,000m、最急こう配は40‰である。ト

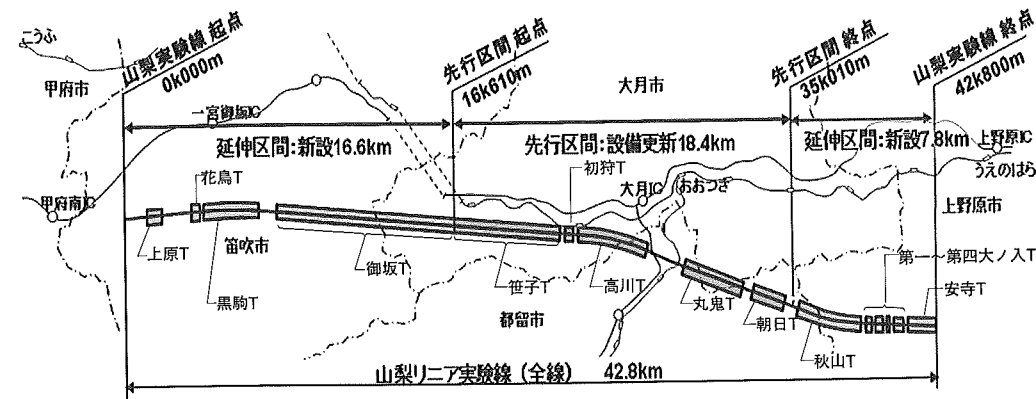


図-1 位置図

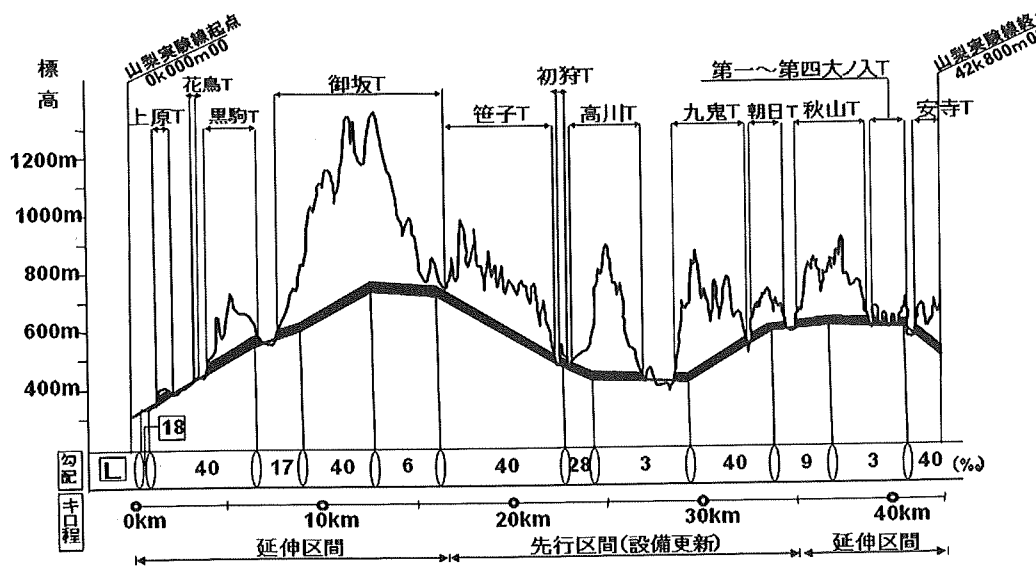


図-2 縦断面図

ンネルは14か所で、全延長の8割の約35kmはトンネル、明かり区間は約8kmである。縦断面図は図-2に示すとおりである。

2-3 先行区間での試験成果と設備更新・延伸

山梨リニア実験線では、平成9年3月に大月市から都留市に至る18.4kmの先行区間が完成した。

同年4月には走行試験を開始し、平成15年11月には連続走行試験を実施して新幹線の1日平均運行距離1,400kmの約2倍に相当する2,876kmを記録、同年12月には鉄道の世界最高速度である581km/hを記録するなど、既に営業運転に支障のない技術レベルに到達していることを確認した。

平成23年9月に先行区間での走行試験を終了したが、累計走行距離は87.8万kmに達している。

一方、現在工事を進めている延伸・更新後の実験線では、営業線仕様の第1世代となる新型車両L0(エル・ゼロ)系による走行試験を行い、実用技術として完成した超電導リニア技術のブラッシュアップと営業線における建設・運営・保守のコストダウンに取組み、これらの成果を中央新幹線に反映していくこととしている。

3 山梨リニア実験線延伸区間のトンネル群

3-1 全体概要

実験線の延伸区間(L=24.4km)において、計10か所の本坑(本線)トンネル(L=19.1km)を新たに建設した。これらのトンネル群に対し、鉄道・運

表-1 実験線延伸区間(本線)で新設されたトンネル一覧

トンネル名	延長(m)	工区名	工区延長(m)	主な地質	主な掘削工法・方式	掘削着手	覆工完了	施工区分
上原 T	580	小山	—	砂・粘土・礫	機械掘削・上半先進	H23.1	H24.3	鉄道・運輸機構
花鳥 T	150	黒駒T	—	風化花崗岩	発破掘削・補助ベンチ付き全断面	H22.9	H24.4	
黒駒 T	2,960		—	風化花崗岩	発破掘削・補助ベンチ付き全断面	H20.11	H24.2	
御坂 T	8,720	御坂T(西)	2,510	砂礫・花崗閃緑岩	発破掘削・補助ベンチ付き全断面	H20.11	H24.5	
		御坂T(中)	2,375	花崗閃緑岩	発破掘削・補助ベンチ付き全断面			
		御坂T(東)	3,225	砂岩泥岩・花崗閃緑岩	発破掘削・補助ベンチ付き全断面			
		笹子	610	砂岩泥岩	発破掘削・補助ベンチ付き全断面			
秋山 T	3,805	都留	2,894	安山岩・凝灰岩	発破掘削・全断面	H20.9	H24.4	JR東海
			911	安山岩・凝灰岩	発破掘削・補助ベンチ付き全断面			
第一大ノ入T	151	大ノ入	—	風化凝灰岩	機械掘削・上半先進	H22.3	H24.3	
第二大ノ入T	407		—	風化凝灰岩	機械掘削・上半先進	H23.7	H24.7	
第三大ノ入T	115	安寺	—	安山岩	発破掘削・補助ベンチ付き全断面	H23.7	H23.12	
第四大ノ入T	516		—	安山岩・凝灰岩	発破掘削・補助ベンチ付き全断面	H22.6	H23.9	
安寺 T	1,723		—	安山岩・凝灰岩	発破掘削・補助ベンチ付き全断面	H21.11	H24.8	

※掘削着手は横坑、斜路を含む

輸機構の施工区間(西側11.8km)は5工区、JR東海の施工区間(東側7.3km)は4工区に分けて施工した。各トンネルの名称、延長、主な地質と掘削工法などは表-1のとおりである。

掘削は、平成20年9月にJR東海施工区間の秋山トンネル横坑坑口で、同11月に鉄道・運輸機構施工区間の御坂トンネル中工区斜路坑口において、それぞれ着手した。平成24年3月末には延伸区間のすべてのトンネルが貫通したほか、同8月末までには全線において2次覆工が完了した。

(1) 標準断面

実験線のトンネルは、内空有効断面積として74m<sup>2</sup>を確保することとし、この有効断面積を確保するための掘削断面積は、支保パターンI<sub>N</sub>で115m<sup>2</sup>となる(図-3)。

(2) 覆工コンクリート

実験線の一般地山における覆工の巻厚については、高速走行時のトンネル内圧力変動など、維持管理上の問題を生じない厚さとして、最小厚を30cmで設計した。

標準的な覆工コンクリートは、現場打ちの無筋コンクリートで設計基準強度は18N/mm<sup>2</sup>である。

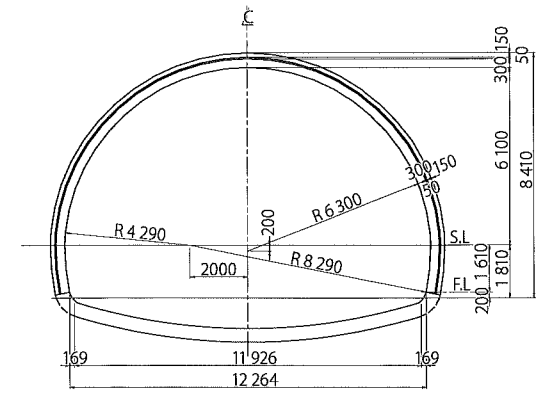


図-3 標準断面(パターンI)

坑口部などで複鉄筋コンクリートによる覆工を施工する区間では、24N/mm<sup>2</sup>の設計基準強度としたほか、小土かぶり区間などにおいて繊維補強コンクリートも使用した。

3-2 上原トンネル

上原トンネル(L=580m)は、小土かぶり非固結地山の掘削となるNATM複線断面トンネルである。地質縦断面図を図-4に示す。

地質は、ほぼ全線にわたりN値10程度の風化砂礫層であり、一部区間においてN値50程度の砂礫が下半部に出現する。土かぶりは最大1D(=14m)

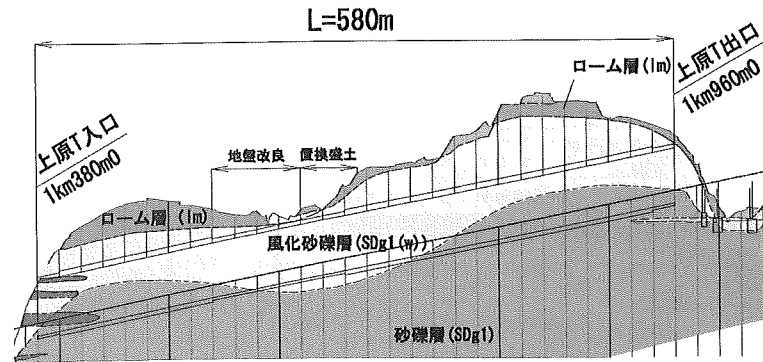


図-4 上原トンネル地質縦断面図

程度、最小でほぼ0m、平均で7m程度である。地上には電力会社所有の鉄塔2基、公園施設、近接建物が存在し、市道が5本交差する。

本トンネルは、全線が小土かぶりかつ地山が弱いことを考慮し、ショートベンチカット工法(ベンチ長15m)による掘削を行った。また、本坑掘削のサイクルにインバート掘削を入れ、インバート掘削後、ただちに1次吹付けコンクリートを行うことで、断面の早期閉合による変位抑制効果を期待した。また、地山の变形係数が小さくルーズな風化砂礫層であり、掘削時は切羽の安定性が低いと想定されたため、長尺先受け工(L=12.5m、1シフト9m)の施工を基本とした。

このほか、平均の土かぶりが2mと非常に小さいトンネルのほぼ中央部(1k540m~1k670m)区間には、地上部から垂直縫地による地盤改良および改良土による地上からの置換盛土を行ったほか、これより終点方では、掘削途上で沈下量の増大が確認されたため、脚部補強工(サイドパイル工およびレッグパイル工)の導入により沈下を抑制した。

### 3-3 黒駒トンネル

黒駒トンネル(L=2,960m)は、全体的に土かぶりが小さいトンネルである。

地質は、花崗閃緑岩で顕著なりニアメントが発達しており、トンネル切羽の状況と対応しやすいことが想定されたため、精度の向上した3次元TSPや岩盤強度を判定できる探りさく孔の結果などにより掘削前に支保パターンを選定することとした。具体的には、①地質専門家による地形断

解、②地表弾性波探査の再解析によるトモグラフィ化、③切羽岩盤の簡易弾性波による評価、④探りさく孔の打撃力による岩強度判定、⑤3次元TSPによる切羽前方の弾性波速度測定、⑥計測結果を判断し、支保パターンの速やかな決定と掘削工程の短縮を図った。

なお、当区間では高品質の防水・覆工コンクリートを構築することを目指し、無筋の覆工コンクリート区間において背面平滑型トンネルライニング工法<sup>2)</sup>を採用している。

### 3-4 御坂トンネル

御坂トンネル(L=8,720m)は、完成後に先行区間で施工済みの笹子トンネルとつながり、実験線で最長の延長14,600mのトンネルとなる。地質は花崗閃緑岩が大半を占めており、支保パターンはⅢ<sub>N</sub>が主体と想定していた。

本トンネルは延長が長いことから、起点方より西工区2,510m、中工区2,375m、東工区3,225mおよび先行区間起点から施工する笹子工区610mの4工区分割での施工とした。

#### 3-4-1 西工区

当初は比較的新鮮な花崗閃緑岩と予想されていた地山は、実際には全体的に熱変質を受けた地質であり、切羽には自立性に乏しい脆弱層が絶えず出現し、支保パターンは上半鋼製支保工を必要とするⅡ<sub>N</sub>パターンの変則タイプが大半を占めた。また、全線にわたりトンネル湧水が多く、2度の大量出水に見舞われるなど、清濁分離配管や濁水プラントの増設などにより、掘削作業の中断を余儀なくされる場面もあった。

上記の影響により掘削工程に遅れを生じたため、比較的切羽の安定した終点方の掘削では、上半切羽の進行を止めずに下半を同じサイクルで施工する、上下半併進工法を採用した。これは、上半全面と下半半断面を同時発破し、残る下半の半断面に斜路を設け、重ダンプで上半のずりを同時発破した下半に排出して、上下半合わせて大型のサイ

ドダンプにて投入するものである。

発破方式による上下半併進はあまり例がなく、下半発破時の仮設備防護や作業員の退避確認の徹底など施工管理を慎重に行うことが求められた。しかし、この工法の採用により、先受け工などの補助工法を併用しながらも平均月進を大幅に伸ばすことができ(80m/月→130m/月)、掘削作業を完了することができた。

なお、当工区では地質特性と湧水特性を総合的に予測することを目的にノンコア削孔解析と坑内弾性波による新しい前方探査を試みた<sup>2)</sup>。

ノンコア削孔解析はドリルジャンボを利用した短尺ノンコア解析(L=30~50m)とロータリーパーカッション型へ展開した中尺ノンコア解析(L=120~150m)を行い、当工区におけるリニアメントと湧水に関して予測を行い、また坑内弾性波探査TSPでは、短尺ノンコア解析と組み合わせることで、工期に大きな影響を与える大量湧水や突発湧水の予測手法を提案するなど、地山評価と湧水特性を総合的に予測する道筋が得られた。

#### 3-4-2 中工区

中工区の本坑へのアプローチは、トンネル中間部であるため地形的制約が大きく、種々検討の結果、本坑に向かった下りこう配となる掘削延長L=1,393m、こう配2.87%の斜路とした。斜路の掘削には、本坑同様切羽の湧水量が多かったこともあり、11か月を要した。

本坑の地質は、おおむね花崗閃緑岩で、土かぶりは最小310m、最大570mに達し、圧縮強度も最大で170MPaに相当する硬岩地山であり、発破の削孔に用いるドリフターを210kg級としたホイールジャンボを2台配置し、サイクルタイムの短縮を図ることとした。ずり出しは斜路延長が長大であることからベルトコンベヤ方式を採用し、切羽近傍にクラッシャを置いて破碎後坑外に搬出することで、坑内作業環境の改善を図った。

一方、切羽面では亀裂の発達により突発湧水が懸念されたため、探りさく孔による切羽前方地山の確認を必ず実施することとしていたが、幾度か突発湧水に見舞われ、切羽から最大2m<sup>3</sup>/minの

湧水があった。水抜きボーリングを併用しながら掘削したが、1本の水抜き孔から5m<sup>3</sup>/minの湧水をとらえることもあった。斜路が本坑に向かって下りこう配で、すべての湧水を揚水する必要があったため、後方の揚水設備および坑外の濁水処理設備の増設を行った。

また、斜路周辺ではもともと電力設備容量が逼迫していたため、大型発電機を6台設置し、停電時切替え設備を設置して東電受電と併用して運転したが、結果的には、東日本大震災時の計画停電の備えにもなった。

#### 3-4-3 東工区

東工区の地質は堅硬な花崗岩類を主体としており、設計支保パターンはパターンⅢ<sub>N</sub>の比率が本坑全体の約85%を占めている。このような条件から、硬岩部に対して次のとおり施工機械や施工方法の工夫により工程短縮を図った。

本坑が大断面である利点を生かし、3ブームと2ブームのコンピュータジャンボ2台を使用し、削孔精度を向上させることで余掘りやこそく作業によるタイムロスの少ない正確な掘削仕上がり面を構築した。

ずり出しには、コンベヤおよびクラッシャの能力を最大限活用させるため、掘削ずり破碎のための強力クラッシャ(破碎能力300~600t/h)にあわせて大容量連続ベルトコンベヤ(ベルト幅750mm)を配置した。さらに、切羽中継ベルトコンベヤを採用することで、切羽~クラッシャの距離を近づけ(通常80m→20m)、ホイールローダの運搬サイクルを短縮させ、ずり出し能力の向上を図った(写真-1)。

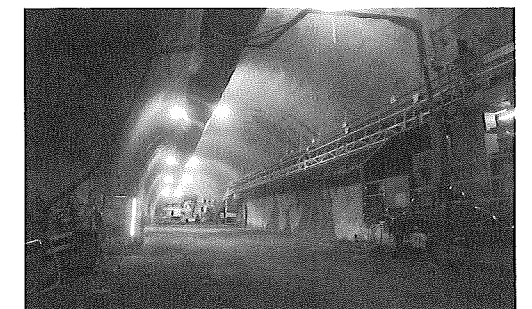


写真-1 切羽中継ベルトコンベヤ

また、吹付けコンクリートでは、粉じん発生抑制、初期強度発現性、はね返りの低減を目指したハイブリッド急結剤を使用した吹付けシステムを採用したほか、2台の吹付け用ノズルを有し、切羽へ同時に2台のノズルを使用して吹付けを行うことができるツインショット吹付け機を採用し、サイクルタイムの短縮を図った。

ハイブリッド急結剤の効果により発生粉じんを抑制できるため、2台のノズルによる吹付けを行っても、視界が良好な状態での施工が可能となり、低粉じん、急速施工吹付けを両立できた。

上記の取組みの結果、34か月で掘削を完了し、平均月進110m/月、最大月進180m/月であった。

3-4-4 笹子工区

(1) 概要

笹子工区は、先行区間の起点に位置し、延長610mの本坑と直径20mの立坑、さらに本坑と立坑を接続する延長30mの連絡坑を施工した。

連絡坑付近の地質は、基盤となる小仏層群の砂岩、泥岩互層を、地表から約23mの厚さで最大径1.5m程度の巨礫を含む比較的締まった粘土質堆積物が覆っている。地表には奥野沢川をはじめとする複数の河川が流れて谷を形成し、土かぶりは谷部で30~50m、隣接する御坂トンネル(東)工区との境界で150mである。

(2) 本坑と連絡坑の分岐

本坑切羽に出現した小仏層の砂岩、泥岩互層は常に褶曲変形し、一部は細片状に破碎されていたため、鏡や天端の肌落ちが多く見られた。しかし岩盤の目は密着していたため、透水係数は $10^{-6}$  cm/s程度と低く、土かぶり30mとなる河川直下の掘削であるにもかかわらず、湧水は $0.5\text{m}^3/\text{min}$ 未満ときわめて少なかった。掘削した延長610m中、550mは地山等級 $\text{II}_N$ 、残りは $\text{I}_N$ であった。

本坑を西側へ向けて320m掘削した位置より、本坑から90度南側へ向け、連絡坑を掘削した。図-5の①~③は連絡坑施工順序を示したものである。なお、この時点では立坑は未施工である。

連絡坑掘削時は、連絡坑断面と本坑断面が同一であることから、掘削の進捗に伴う本坑断面の変

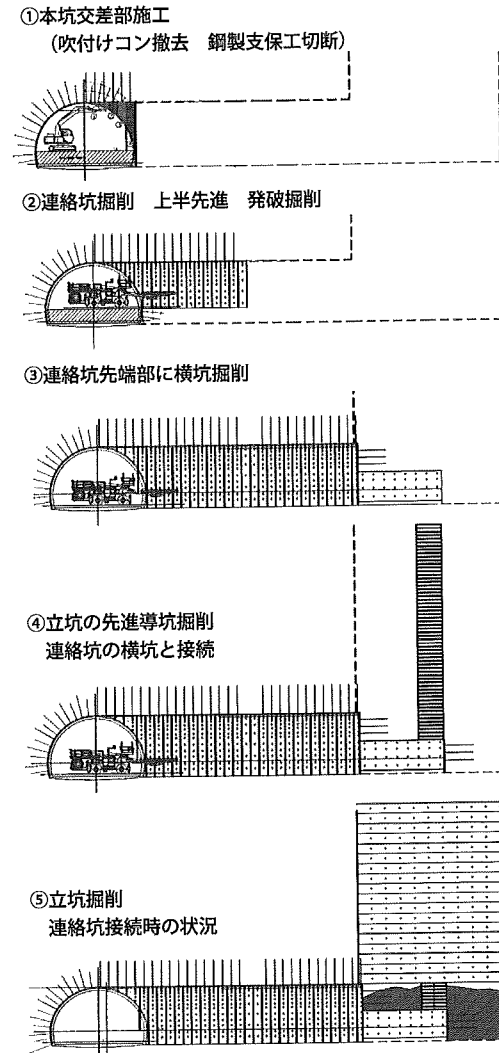


図-5 連絡坑および立坑施工順序

形が懸念されたため、交点部の本坑は20m程度、連絡坑は全延長において、地山等級( $\text{II}_N$ )よりも支保ランクをおおむね1段階落とし、さらに高耐力のツイストボルト(長さ4m)により補強することで、施工時にも交点部の内空変位は15mm以内と、小さい変形下で施工を完了できた。

(3) 立坑

立坑は、本坑(本線)トンネル南側に30m隔てた位置で地表ヤードから施工した、仕上がり内径20m、底面までの深さ53mとなる円筒形状の縦型トンネルである。本坑トンネルとは、前述した連絡坑を介して接続している。連絡坑掘削完了後の平

成22年10月より掘削に着手し、平成24年3月に覆工を含めすべて完了した。

立坑本体の掘削に先立ち、その中心に深礎工(直径3m、深さ45m)による先進導坑を施工し、地山および湧水状況の確認を行うとともに、連絡坑先端に設置した横坑と接続させ(図-5の④)、立坑掘削時の湧水排水とずり排土を、ともにこの導坑と連絡坑とを經由して本坑(本線)側から行えるようにし、坑外設備の集約と作業効率化を図った。

表層堆積物区間は機械掘削、それ以深の岩盤区間は発破掘削を行い、吹付けコンクリート(表層区間は鋼製支保工併用)とロックボルトによる1次支保工を設置しつつ、逆巻き工法により地表から底面まで掘削を実施した。覆工は順巻きで、底面から1.5m間隔で打設を行った。

連絡坑との接続時(図-5の⑤)は地山が安定していたため、立坑掘削側で特段の補強や補助工法などを行うことなく、連絡坑と立坑双方の内空変位が10mm以内と少ないなかで、施工を完了した。

3-5 秋山トンネル(都留工区)

3-5-1 概要

都留工区では、先行区間終点のすぐ東側に位置する秋山トンネル( $L=3,805\text{m}$ )のうち、西坑口からの延長2,894m区間と併設トンネル( $L=683\text{m}$ )を施工した。坑口での両トンネルの離隔は0.6mであるが、坑口から200m先(横坑交点)では30mに拡大する(図-6)。

地質は丹沢層群の凝灰岩、凝灰角礫岩、安山岩の互層である。岩石自体は一軸圧縮強さが0.5~

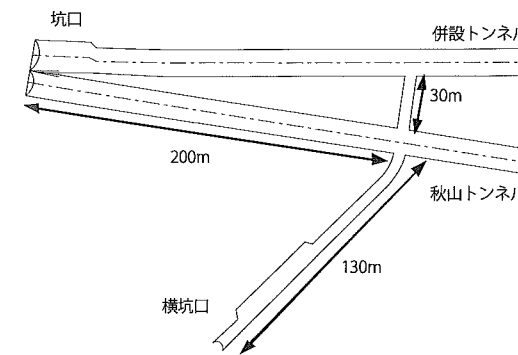


図-6 秋山トンネル坑口付近概要

$1.2\text{MN}/\text{m}^2$ と堅硬緻密であるが、岩盤には開口亀裂が発達して多くの場合は水みちとなっているほか、土かぶりが150mを超えるような場所でも亀裂沿いに風化や粘土化が進み、掘削時に亀裂に沿った塊状のまま崩落してくる場合がある。坑口から約150mの区間(土かぶりは2~60m程度)では、岩盤自体の風化と変質が進み、地山等級は $\text{I}_N$ ~ $\text{II}_N$ 程度である。それよりも坑奥側で $\text{III}_N$ ~ $\text{IV}_N$ へ漸移している。

両トンネルへの施工アクセスルートとなる横坑( $L=160\text{m}$ )の坑口付けを平成20年9月に行ったのち、本坑掘削と並行しつつ併設トンネルの掘削を平成21年11月に完了させた。その後、平成23年12月には本坑が隣接工区との間で貫通した。

3-5-2 併設トンネルの施工

(1) 坑外からの施工

坑口~横坑付近の施工順序を図-7に示す。先行区間終点のすぐ東隣での施工となる用地制約上、坑外からの施工は中央導坑(断面積 $65\text{m}^2$ )、中央支柱(延長15m、高さ7.8m、坑口部の厚さ0.6m)、ならびに支柱設置範囲に対応した坑口部掘削に限定して実施した。

坑外からの掘削時には、ローム層を主体とする非固結地山が、最大18m程度にわたりトンネル方向に分布すると考えられたため、補助工法として図-8に示すように、シリカレジンを注入によるAGF( $\phi 114.3\text{mm} \times 18.9\text{m}$ , @450mm : 120度範囲)

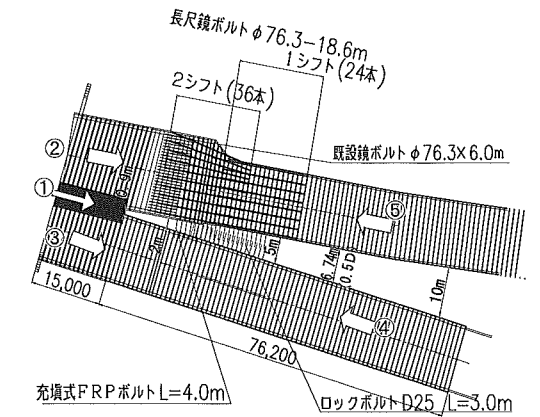


図-7 秋山トンネル坑口部施工順序

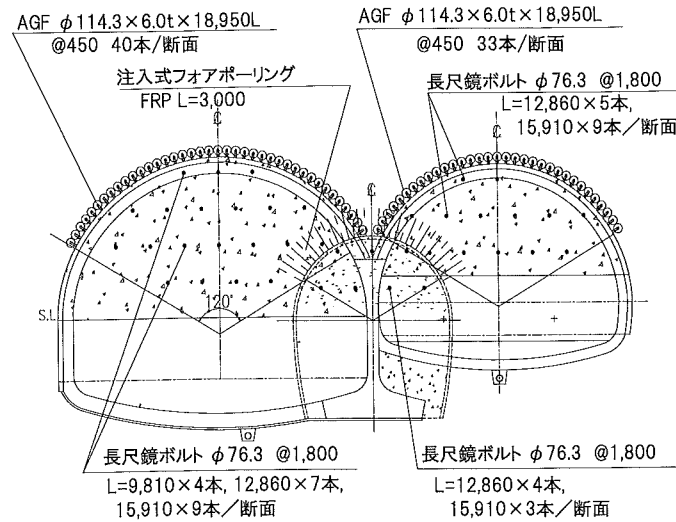


図-8 トンネル坑口部補助工法

ならびに長尺鏡ボルト(φ76mm×12.8または15.9m, @1,800mm:上半120度範囲)を採用した。支保工は、鋼製支保工H-200ならびに吹付けコンクリート厚250mmを設置し、インバート部は分割施工による掘削直後の吹付けコンクリートにより、早期閉合を図った。

(2) 秋山トンネル掘削

坑外からの掘削完了後に、秋山トンネルを横坑交点から坑口方面へ向かって掘削した。地山は亀裂が著しかったが、内空変位は5mm以下と安定していた。なお、併設トンネル施工時の参考とするため、坑口から80mおよび130mの位置で計測工Bを実施し、①地中変位測定結果から掘削による緩み域が壁面よりおおむね1~2mの範囲で変位量は1~2mmであること、②ロックボルトの軸力ピーク箇所は深度0.5~1.5m程度であること、③鋼製支保工応力は鋼材の降伏応力210N/mm<sup>2</sup>に対し1/3程度の80N/mm<sup>2</sup>であること、をそれぞれ確認した。

(3) 併設トンネル掘削

秋山トンネル掘削完了後に、併設トンネルを横坑交点から坑口に向け掘削した。坑口まで60mとなる地点からは、両トンネルの離隔が0.5D(D:掘削幅13.5m)未満となり、かつ土かぶりも20m以下となる。

当該区間の地山性状は先に秋山トンネルを掘削した際の挙動から、亀裂質であるもののトンネル周辺の地山が大きな塑性変形を起こすおそれは少ないと確認できていた。したがって切羽の自立、とくに亀裂面に沿っての急激な崩壊を防ぐことが施工を順調に行う鍵と考え、長尺鏡ボルト(φ76mm×18.6m)鏡補強を確実に行ったあとに掘削を行うこととした。掘削の結果、坑口付近における併設トンネルの内空変位は最大10mm程度、秋山トンネル側で最大5mm以下と、問題のない範囲で収束し、あと施工による地山補強をすることもなく覆工コンクリートを施工することができた。

ことができた。

4 おわりに

掘削期間中には、一部のトンネル工区で発破時間やずり出し時間の制限、土砂搬出先への運搬車両台数の制限など、工程を左右しかねないさまざまな外的要因があった。しかし、全体としては、当初の計画どおりに施工が進捗し、あと工程となる軌道(ガイドウェイ)設備、電気、信号通信設備などの設置作業に順調に移行した。

平成24年度末時点では、25年末までに予定される走行試験開始に向けた確認作業の一環として、トンネル構造物の仕上がり状態についての最終的な点検を実施している。

最後に、山梨リニア実験線延伸区間のトンネル施工にあたり、ご協力いただきました各位にはこの場をお借りして深く感謝申し上げます。

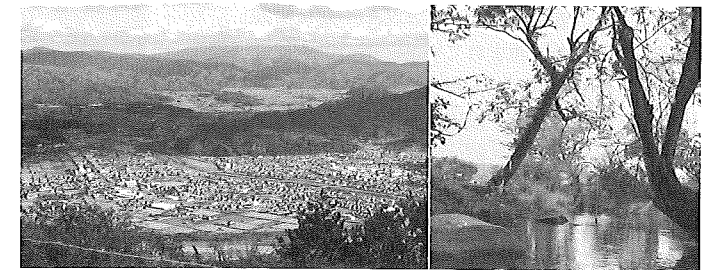
参考文献

- 1) 木村宏・本堂亮・小松敏彦・櫻井孝臣:地下水位下の成田層での止水壁併用NATMと新防水工法, つくばエクスプレス 南流山トンネル(西平井工区), トンネルと地下, Vol.37 No.2, pp.25-35, 2006.2.
- 2) 村上明・島哲也・桑原徹・田湯正孝:ノンコア削孔解析と坑内弾性波による新しい前方探査, トンネルと地下, Vol.43, No.6, pp.59-68, 2012.6.



「民話の里」遠野市より

増田 丑太郎

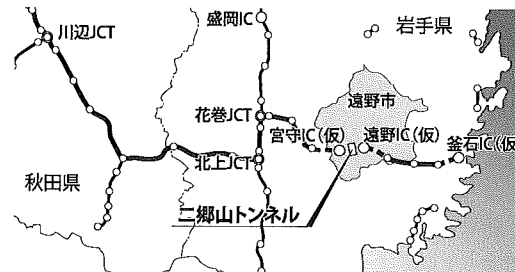


(左)遠野市内全景, (右)河童淵

岩手県遠野市は岩手県の内陸部に位置し、民話の里として広く知られている。柳田國男著『遠野物語』には、119話が収録されており、その中には、河童、山姥、座敷童、神隠しなどの怪異の物語が多く、早地峰山(岩手県で2番目に高い山)、猿ヶ石川などの具体的な地名も織り込まれている。

遠野物語研究所ホームページ(<http://www.tmkenkyu.com/>)より引用すると、「遠野は、アイヌ語でTO(湖)NUP(丘原)の意味で、太古に湖水であったという。『遠野物語』は、『伝え言う、遠野郷の地大昔はすべて一円の湖水なりしに、其水猿ヶ石川と為りて人界に流れ出しより、自然に此の如き邑落をなせしなりと』と語る。遠野の村建神話では『おいし・おろく・おはつ』という三人の姫神が遠野三山にそれぞれ住みたまうことから始まるという。やがて湖水の水は猿ヶ石となって流れ出し、七内八崎と呼ばれる谷間と岬が入り組んだ地形を残すことになる。四方の山々の溪流が盆地底で合流して猿ヶ石となる。そしてまたそこに、神隠しにあったサムの婆や湖神の話、河童伝説を生むことになる。長い年月の間、この土地の人々が繰り広げてきた神と自然との交流や人間模様を、歴史・民族として伝えることは、未来に生きる者の心の糧になるものと思う。」と記されている。

現在も「語り部」といって、昔から地域に伝わる民話、そして民話を介してそこに息づいている方言という無形の文化財を次世代に引き継ぐ取り組みも行って



位置図

いる。このように、遠野は夢と歴史と浪漫の町である。名物はジンギスカン。北海道との関係はない食文化だそうで、歴史は55年ほどさかのぼる。戦時中旧満州で食した羊肉料理を故郷に広めたいと、帰国後昭和30年ごろからお店に羊肉を出し始めたらしい。当時、岩手内陸では毛織用の綿羊を飼っていて羊肉の入手が容易であったことにも由来する。徐々に人気が高まり羊を食べつくしてしまったとのことで、現在では輸入に頼っている。また、一人あたりの羊肉消費量は、北海道と争うほどにジンギスカンが盛んな町である。

東北横断自動車道釜石秋田線は、釜石市を起点として、遠野市、花巻市、北上市、横手市を經由して秋田市に至る総延長212kmの高速道路である。このうち、東和~花巻(11.4km)が平成14年に開通し、東北縦貫自動車道から秋田市に至る秋田自動車道は平成9年11月に全線開通している。

現在、遠野~東和(33km)は、従来の有料方式から「新直轄方式」に変更され、国の事業として建設を進めている。

東日本大震災により、一部壊滅的な被害を受けた東北地方であるが、復興が始まり、二郷山トンネル工事もその一翼を担っている。トンネル延長309.5m、掘削断面102m<sup>2</sup>、仕上がり内空断面積84m<sup>2</sup>で、平成25年3月の完成を目指している。

工事も終盤、「がんばろう東北」を合い言葉に、遠野三山に見守られながら、発注者、関係各位のご指導ならびに地域住民のご理解・ご協力を賜り鋭意施工中である。

((株)鴻池組二郷山トンネル工事事務所所長)



# 「戦国の世に思いを馳せ」愛知県新城市より

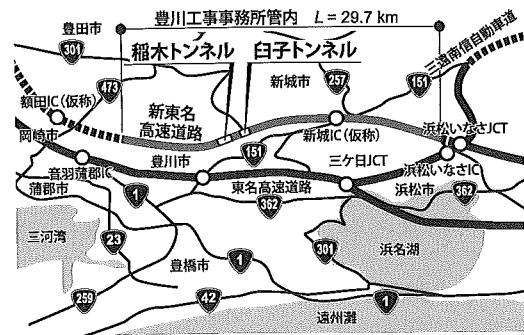
伊藤 敦信

新城市は、愛知県東部、東三河の中央に位置し、本宮山などの山々に囲まれていて、市の中央に豊川が流れる。この地でもっとも有名な歴史といえは、戦国時代、天下統一を目指す織田信長が、徳川家康と連合し、甲斐の武田勝頼を打ち破った長篠の戦いである。

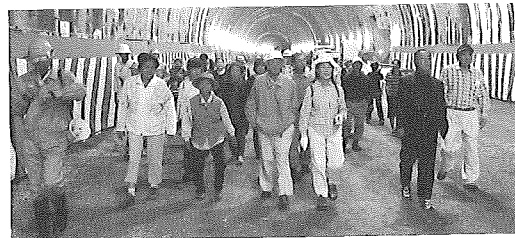
東に、今川・武田、西に織田・松平などの有力大名に囲まれたこの地では、自家存続のため、めまぐるしく従属関係を変えなければならず、時には親子が敵味方に分かれて戦うこともあった。天正3(1575)年この地の土豪であった奥平貞昌が、徳川氏の従属としてこの地に入ったことから歴史は動き出す。この城をめぐる織り広げられた織田・徳川連合軍の鉄砲・馬防柵と、それに対する武田騎馬隊の戦いは、斬新さ、合理性を追求した信長と、伝統に固執した勝頼との激突であり、新・旧時代性の対決であった。この功績から貞昌は、家康の娘・亀姫をめぐり、新城城を築造、その城主としてこの地の礎を築いた。

現在でも毎年5月に「長篠合戦のぼりまつり」や、「設楽原決戦場まつり」など歴史の町にちなんだイベントが人気で、火縄銃の実演は、圧巻である。また、長篠の戦いの戦死者を供養する「火おんどり」では、3mもの大松明を振りかざし、戦国歴史ファンを魅了している。

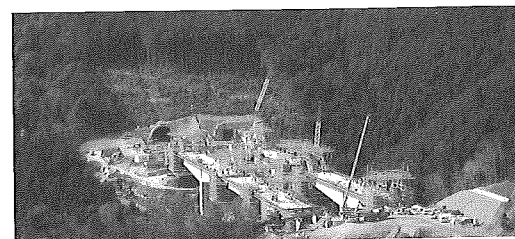
また、新城市には野田城という城がある。元亀4(1573)年、武田信玄が、上洛のため約3万の軍勢を率いて野田城を攻めたとき、城から聞こえる笛の音に聞き惚れているところを鉄砲で狙撃され、その傷が原因



位置図



貫通式典の様子



坑口状況

で死亡したとの伝説がある。黒澤明監督の映画『影武者』は、この城の伝説をもとに製作された。

新東名高速道路は、昨年4月に静岡県内、御殿場JCTから三ヶ日JCTが開通、安全で走りやすい道路として好評を博している。NEXCO中日本は、愛知県内路線として、引佐JCTから豊田東JCTまでの55.2kmを、豊川工事事務所管内29.7km、豊田工事事務所管内25.5kmに分けて施工している。稲木トンネル他1トンネル工事が属するのは豊川工事事務所管内で、現在、鳳来、新城東、新城西、豊川の4工事区、34工事が、施工中である。

昨年10月上旬に、掘削中の4本のトンネルのうちの、稲木トンネル下り線(710m)、臼子トンネル上り線(380m)が続けて貫通した。そこで、日ごろ理解をいただいている地域の方々と一緒に貫通を祝おうと「住民参加型の貫通式典」を企画し、貫通したトンネルを800人とともに歩いた。高速開通後には見ることのできない「工事中のトンネル」に、参加者は、興味津津の様子であった。

豊かな自然のなか、地域の皆さまとともに無事故・無災害工期完成を目指し鋭意工事を進めている。(株)大林組第二東名稲木工事事務所長

# 施工

## 地上発進・地上到達で大断面シールドを施工

### 一首都高速中央環状品川線 大井地区トンネル一

東京都第二建設事務所品川線建設事務所大井工事事務所所長 五十嵐 央  
大林・西武・京急建設共同企業体工事長 井澤 昌佳

### 1 はじめに

首都高速道路中央環状線は、首都圏3環状道路(首都圏中央連絡自動車道、東京外かく環状道路、首都高速中央環状線)においてもっとも内側に位置している。3環状道路は首都圏だけでなく、日本の国際的な競争力へ寄与する重要な路線であり、現在鋭意整備中である。このうち中央環状品川線は、中央環状線(全長約47km)の南西側部分を形成し、高速湾岸線と供用中の中央環状新宿線および高速3号渋谷線を結ぶ路線である(図-1)。

本路線は、都心部における慢性的な交通渋滞解消の切り札として、平成25年度の完成を目指し、東京都と首都高速道路(株)との共同事業として施行しているものである。本路線建設に伴う渋滞解消による環境改善効果は、年間約9万トンのCO<sub>2</sub>削減と予測されている。

中央環状品川線大井地区トンネル工事は、中央環状品川線のうち高速湾岸線から分岐する高架橋構造の大井ジャンクションとトンネル構造の中央環状品川線を接続する工事である。

今回、地上からトンネルへのアプローチ区間に掘削土量の縮減を目的の1つとして国内で初めて地上発進・地上到達が可能なシールド工法を採用した。

URUP(Ultra Rapid UnderPass)工法と名づけられた本工法は、発進/到達立坑を必要とせず

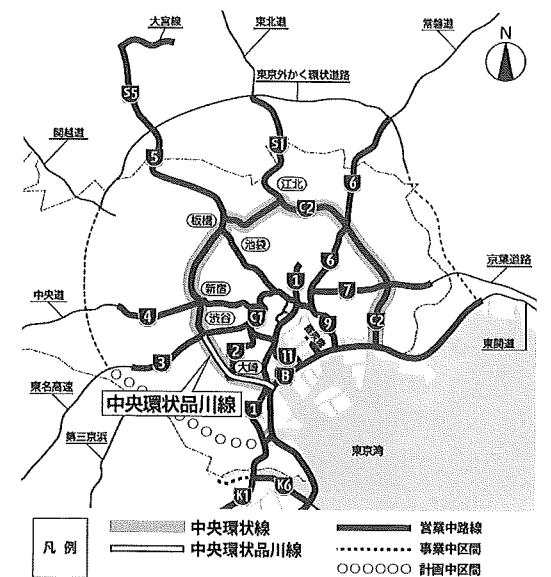


図-1 中央環状線の現状<sup>1)</sup>

に、シールドを地上から発進させて必要な地下構造を構築したのち、再び地上に到達させることを可能とした技術である。

URUP工法は、従来の発進、到達時の立坑が不要であるため、工期を従来の3分の1に短縮できる(延長500m、2車線のアンダーパスで試算した場合)。また、シールド工法により構造物に必要な断面のみを掘削するため、掘削土量の削減や工事に起因する渋滞の低減、ダンプトラックなど工事車両の低減により、CO<sub>2</sub>排出量を従来の50%も削減できる。

本稿では、本工事で実施された地上発進における種々の施工技術を紹介するとともに、重要構造物との近接施工や高水圧下の換気所立坑におけるシールドの到達方法などを紹介する。

## 2 本工法採用の背景<sup>2)</sup>

今回施工される本工事の周辺には、大規模放水路や電力洞道など重要構造物が存在している。当初の計画段階においては開削工法が想定され、軟弱地盤における大規模掘削に伴う地盤変状が、これら重要構造物に悪影響を与えてしまうという懸念があった。

この解決のため、東京都では技術提案型総合評価方式による発注を選択し、開削区間を最小限に抑え、近接構造物に及ぼす影響を極力小さくする技術提案を広く求めた。

その結果、URUP工法を本路線の要求にもっとも適した工法として評価し、本工事に採用した。その理由は以下のとおりである。

- ① 地上構造とトンネル部分を接続するアプローチ区間の施工に適している。
- ② 開削工法に比べて大幅に掘削土量の縮減が可能である。
- ③ 適切な切羽土圧管理により地盤変状を抑制できることから、近接地下構造物や小土かぶりに対して有効な施工方法である。

## 3 大井地区トンネル工事概要<sup>3)</sup>

中央環状品川線大井地区トンネル工事は、図-2に示すとおり、品川区大井地区の京浜運河沿いに、大井北換気所と、大井方向および大橋方向の上下2車線の自動車専用道路を構築する工事である。表-1に工事概要を示す。とくに、トンネル区間は、総延長886m(先行トンネル550m、後行トンネル336m)を国内最大級のシールドで施工する難度の高い工事である。以下、本稿ではこのシールドトンネルに関する技術について詳述する。

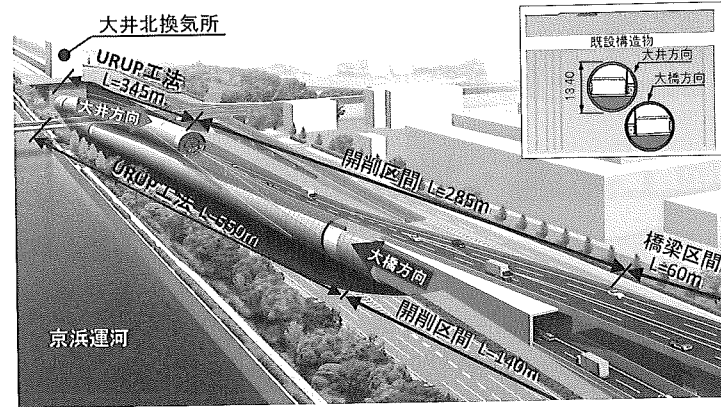


図-2 工事概要図

表-1 工事概要

トンネル部：シールド工法	換気所：ケーソン工法
シールド	躯体平面形状：39m×35m
形式：泥土圧シールド	掘削深度：44m
外径：φ13.6m	擁壁・カルバート部：開削工法
セグメント	擁壁延長：274m
外径：13.4m	大橋方向：60m
内径：12.5m	大井方向：214m
幅：1,700mm	カルバート延長：80m
シールド延長：886m	橋梁部：2径間PC橋梁
大橋方向：550m	橋長：60m
大井方向：336m	橋脚：3基

## 4 シールド地上発進時の課題と対策<sup>4)</sup>

シールドの地上発進時および小土かぶり掘進時に想定される課題やリスクを事前に抽出し、設計および施工における各種対策を以下のように講じた。

### 4-1 切羽土圧管理

シールドが地上から発進する場合、シールド上部が開放された状態となる(写真-1, 2)。その後、地山を掘削することで、チャンバ内に土砂を順次満たしながら掘進する。

地上からの発進時や小土かぶり掘進時には、切羽土圧の過不足が周辺地盤に大きな影響を与えると考えられるため、適切な切羽土圧の設定と圧力状態の把握、管理が重要となる。このため、本工事における切羽の管理土圧は土圧(静止土圧)+水圧(静水圧)以上に設定し、チャンバ内に複数設置した土圧計のうち、掘削断面の最上段の土圧計を管理ポイントとし、常に設定圧力以上を確保する

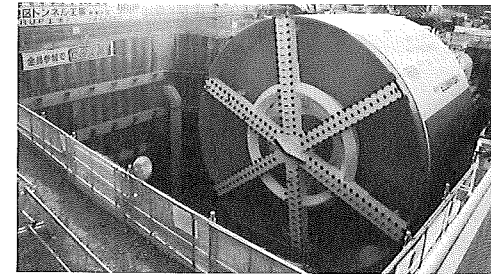


写真-1 地上発進前

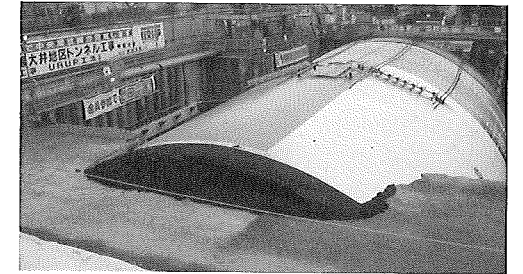


写真-2 地上発進状況

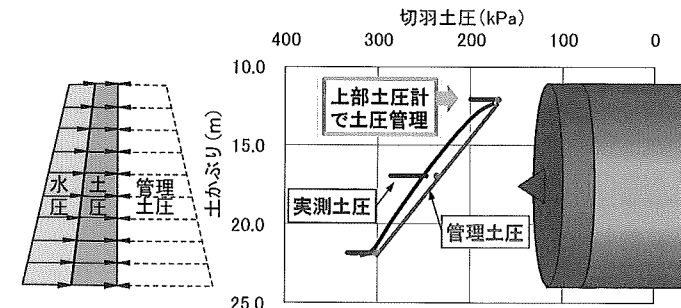


図-3 切羽土圧管理説明図

よう調整管理する(図-3)。

地上からの発進時はチャンバ内状況を地上から直接目視できるメリットがあり、同時にチャンバ内土砂の充填状況や塑性流動状態を監視することができる。小土かぶり掘進時は(株)大林組が開発したチャンバ内土砂流動管理技術を導入することで、掘削時のチャンバ内土砂の塑性流動状態を定量的かつ視覚的に評価、把握することが可能である。このため、加泥材添加量や切羽土圧をリアルタイムに調整でき、安全かつ確実な掘進管理が実施可能となる。このように切羽土圧の管理を確実にすることにより、発進部の法面崩壊や周辺地盤の変状を引き起こすことなく、安全に地上発進することができた。

### 4-2 浮上がり対策

地下水によるトンネルの浮上がりに対して、通常は以下の対策が考えられる。

- ・盛土による上載荷重の軽減
  - ・地下水低下工法による浮力低減
  - ・トンネル内に支点を設置するグラウンドアンカーによる浮上がり抑制
- 本工事の立地条件では、トンネル上部に盛土の



写真-3 地上発進完了

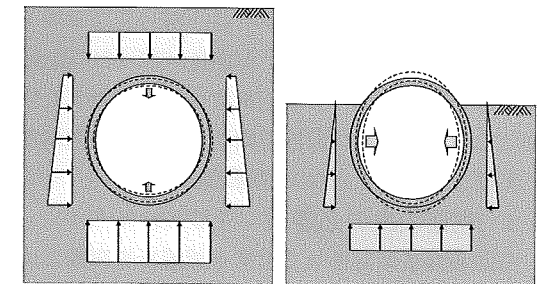


図-4 セグメント作用荷重概念図

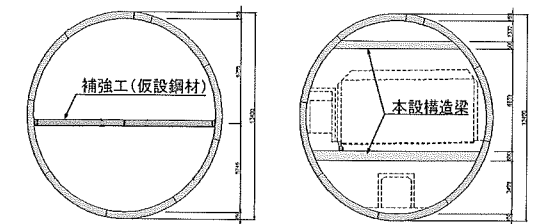


図-5 セグメント補強工および補強梁

施工が可能であったため、他工種で発生する残土を利用して盛土を実施した(写真-3)。

なお、完成時にはトンネル内部の道路部分の埋戻し荷重が作用するので、重量バランスにより構造物の安定を図ることができる。

### 4-3 セグメント補強工

一般的な土かぶりのあるトンネルと比べると、地上発進部のセグメントは上部鉛直荷重が側方土圧に比べて小さいため、セグメントに発生する軸圧縮力が小さく、曲げモーメントが卓越して変位が大きくなる(図-4)ため、水平方向に仮設鋼材を用いて補強し、セグメントの変位抑制を図った。その後、掘進完了時に、トンネル内空断面の上部および下部に本設の構造梁を構築し、仮設鋼材を撤去するものとした(図-5)。

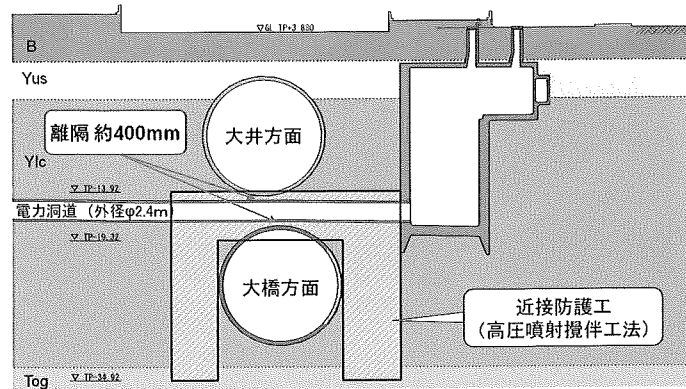


図-6 重要構造物近接状況図

### 5 重要構造物の近接施工<sup>6)</sup>

本工事における代表的な近接地下構造物として、電力洞道がある。電力洞道は外径2.4mのシールドトンネルで本工事のトンネル区間と直交しており、東京都内に電力を供給する重要幹線である。

本工事のシールドトンネルは、電力洞道とわずか400mmの離隔で通過させる必要があった(図-6)が、以下に示すような事前検討と情報化施工を駆使することにより、大橋方向シールドを電力洞道に影響を与えることなく通過させた。

#### 5-1 地盤改良の必要性

有限要素法にもとづくステップ解析を事前に実施し、シールド施工時の電力洞道への影響(洞道の変位や洞道セグメントに発生する応力度)を検討した。その結果、高圧噴射攪拌工法を用いた地盤改良による防護工の必要性が確認されたため、実施に反映した(図-6)。

#### 5-2 事前計測の実施

切羽土圧のわずかな管理誤差でも電力洞道に大きな影響を与えてしまう。このため、電力洞道の100mと200m手前にトライアル断面を設け、シールド通過における管理土圧の上限値と下限値(許容幅)を変化させ、管理土圧と地盤変状との相関を定量的に把握することとした。さらに、トライアル断面ではシールド通過に伴う電力洞道位置の地盤変位を実測して、地盤変位から水平変位に対する洞道セグメントの健全性の確認を行った。図

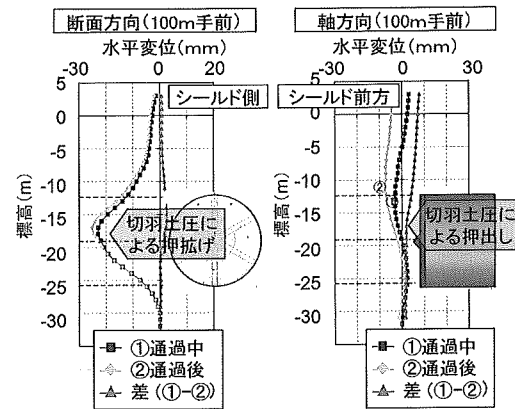


図-7 事前計測結果(100m手前の水平変位)

7-1に計測結果を示す。

電力洞道位置の地盤変位量は水平、鉛直とも10mm以下に抑制でき、洞道セグメントの健全性を確認した。この結果にもとづき、管理土圧の設定値を決定した。

#### 5-3 近接施工の影響結果

事前計測にもとづいた切羽土圧管理を行って、電力洞道の計測データを、リアルタイムで施工にフィードバックする情報化施工を、設備管理企業の協力を得て実施した結果、大橋方向シールド通過時の電力洞道の変位は、事前計測と同様に、切羽土圧の影響によるシールドの外側(鉛直変位は上方、水平変位は前方)に押し出された形状となった。その変位量は、トライアル断面で行った事前計測に比べて小さな値であった。後行の大井方向シールド通過時についても、同様な管理を実施することで、影響を最小限に抑制した。

## 6 高水圧下の換気所到達

換気所付近における地盤は、事前調査により地下水の豊富な砂礫層が卓越することがわかっており、シールドとの接合部では0.4MPaの高水圧下となる。さらに、通常の地下水位低下工法の適用は、帯水層の上部に厚く堆積する軟弱な粘性土の排水を助長することになり、圧密沈下を促進させる懸念があった。

これを受けてシールド到達時の出水リスクを回避するため、以下の対策を講じた(図-8、写真-4)。

- ・換気所到達部の壁に、シールドのカッタで直接切削可能なNOMST壁を採用
- ・到達防護工と局所的な地下水位低下を可能とする薬液注入を実施
- ・万が一の出水に備え、ディープウェルを事前配置
- ・換気所内へのNOMST壁の倒壊防止、出水確認をするための隔壁を設置

### 6-1 出水リスクを最小限とする到達対策

一般に、到達防護工の薬液注入はシールド+セ

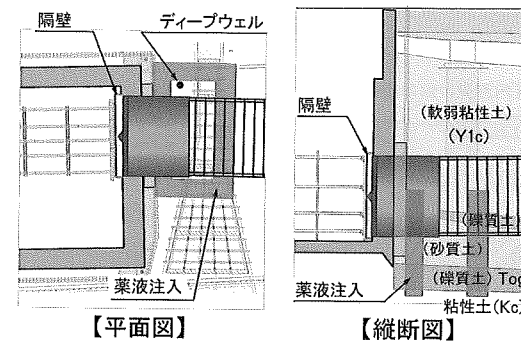


図-8 到達防護状況図

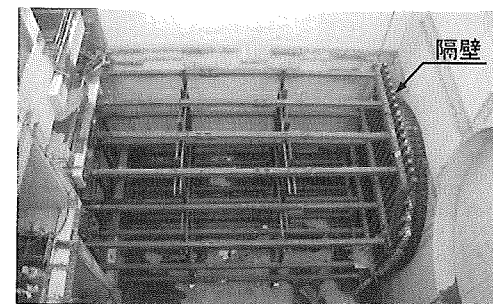


写真-4 隔壁設置状況

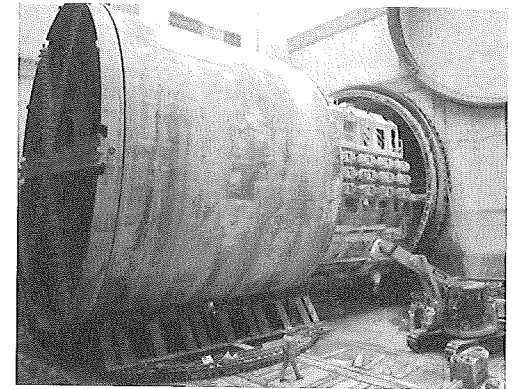


写真-5 シールド引抜き完了

グメント2〜3リングの範囲に実施することが多い。ただし、その止水効果は、確認ボーリング位置でしか事前確認できないため、出水事故が発生することがあった。

これらの経験を生かして、本工事のシールドでは、出水リスクを最小限とする以下のような対策を実施した。

まず、シールドの外側を囲む壁状の薬液注入を透水層に実施し、その中にディープウェルを配置して揚水することで、リアルタイムで防護工の止水効果を確認することを可能とした。

#### 6-1-1 シールド通過中

シールドが換気所に到着し、NOMST壁を切削する前に揚水試験を実施し、裏込め注入と薬液注入の止水効果を確認する。万一、シールド内への地下水の浸入が著しい場合は、裏込め注入や薬液による追加止水注入を実施するものとした。

#### 6-1-2 シールド到達後の確認

NOMST壁を貫通するときの地下水の浸入状況を確認できるように、隔壁を設置した。

万全の準備と対策を実施した結果、無事にシールドを立坑内に引抜くことができた(写真-5)。

## 7 立坑内のUターン施工<sup>6)</sup>

本工事に採用したシールドの総重量は1,500tである。このシールドを換気所内で回転(Uターン)させ、約10m引き上げて再発進させなければならない。換気所内で、安全かつ早期に回転、引上げを完了するため、以下に示す計画とした。

### 7-1 後方台車一体型シールド

シールドを駆動させるための油圧ユニットや運転席などの諸設備は、シールドと独立させた後方台車に配置することが一般的である。しかし、本工事に要求されるUターン施工および再発進時に後方台車の再設置を行わなければならないため、作業が複雑となり工期も長くなる。

本工事では、シールドと一体の後方作業台に諸設備を搭載することで、後方台車を省略した(写真-6)。

すなわち、シールドの回転、引上げは後方作業台をつけたまま実施するため、後方台車再設置が不要となり、大幅な工期短縮を図ることができた。

### 7-2 回転床整備の省力化

通常、回転床面は全面鋼板を敷き、継手面を溶接して平滑な床面を整備し、その床面でシールド受け台を回転させる。この方法では、鋼板の設置・撤去と継手面の溶接、溶接面の仕上げが必要であり工期が長くなる。

本工事では、回転・移動時の床面とシールド受け台に発生する摩擦力を極力低減するため、換気所床面に設置する鋼板とシールド受け台底面にモリブデン塗装を実施した。

さらに、シールド受け台側の下面に全面鋼板を設置し、床面側は帯状の鋼板を配置することで、床面に敷設する鋼板の施工量を低減して工期を短縮することができた。

### 7-3 けん引ジャッキ盛替え作業の低減

通常、4角形のシールド受け台を回転させる場合、けん引ジャッキおよび受け台のPC鋼線把持部の角度が鋭角になるとPC鋼線が損傷するため、けん引ジャッキの盛替えが必要となる。そこで、

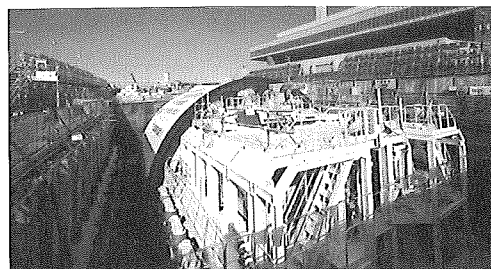


写真-6 後方台車一体型シールド

シールド受け台の外周部に円形のガイドを設置し、PC鋼線はガイドに沿ってけん引して把持部の鋭角化が発生しない配慮をした(図-9, 10)。

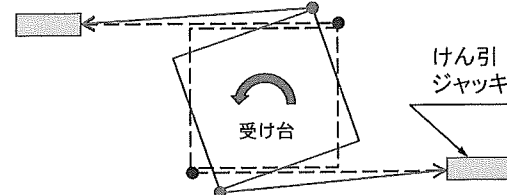
### 7-4 シールド引上げ方式による工期短縮

通常、シールドの設置高さを上方にする場合、油圧ジャッキでシールドを下方から押し上げ、シールド下部と床面の間に鋼材を挿入して、順次リフトアップすることが多い。この場合、油圧ジャッキのストローク量により押し上げ回数が決まり、その回数が多い場合は工期が長くなる。

本工事では、シールド受け台の下に挿入した引上げ桁とシールド側方に設置した支柱上のセンターホールジャッキをPC鋼棒で接続して引上げる方法を採用した(図-11)。

センターホールジャッキは連続的に引上げ・保持できるため、引上げ作業が1日で完了でき、大幅に工期を短縮することができた。

【通常受け台の回転方法】



【円形受け台の回転方法】

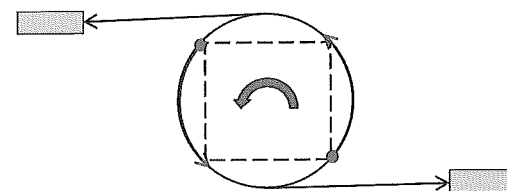


図-9 シールド受け台回転方法概念図

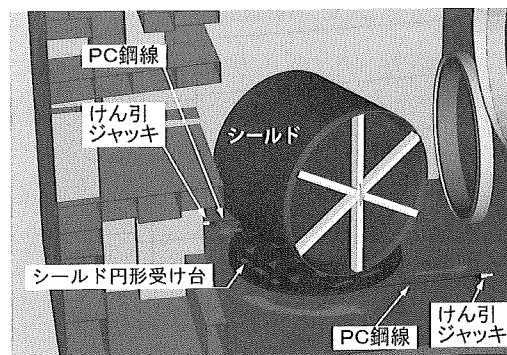


図-10 シールド回転

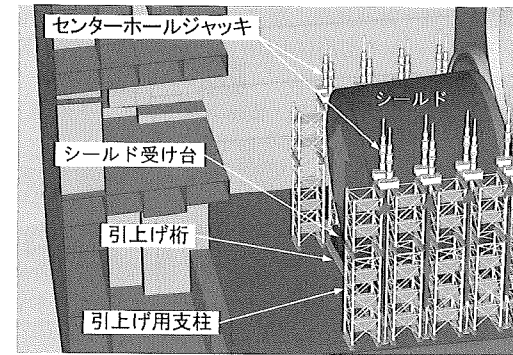


図-11 シールド引上げ



写真-7 地上到達位置盛土

## 8 地上到達の課題と対策

シールドの地上到達時に想定される課題やリスクを地上発進の実績を踏まえて事前に抽出し、設計および施工における各種対策を以下のように講じた。

### 8-1 浮上がり対策

地上発進時と同様に、トンネル上部に盛土の施工が可能であったため、他工種で発生する残土を利用して盛土を実施した。なお、到達位置が既設構造物の立体交差道路により、盛土高さに制限があったため、換気所工事で掘削した砂礫土を利用して単位体積重量の大きな土砂により浮上がりに抵抗する上載荷重を確保した(写真-7)。

### 8-2 切羽土圧、裏込め注入圧管理

地上発進と同様に、切羽の管理土圧は土圧(静止土圧)+水圧(静水圧)以上に設定し、チャンパ内に複数設置した土圧計のうち掘削断面の最上段の土圧計を管理ポイントとして調整管理した。

盛土材が砂質土であるため、切羽からの加泥材や裏込め注入材が、容易に流出することが予想されたため、予備圧を通常の30kPaから小土かぶり区間では20kPaに設定した。さらに、掘進中の土圧変動幅についてもシールド運転手と連絡を取りながら、最小となるよう管理した。

また、常時監視員を盛土上に配置して、流出が確認された場合は即座に圧力調整を実施した。その結果、既設構造物である立体交差道路や周辺地盤の変状を引き起こすことなく、安全に地上到達することができた(写真-8)。

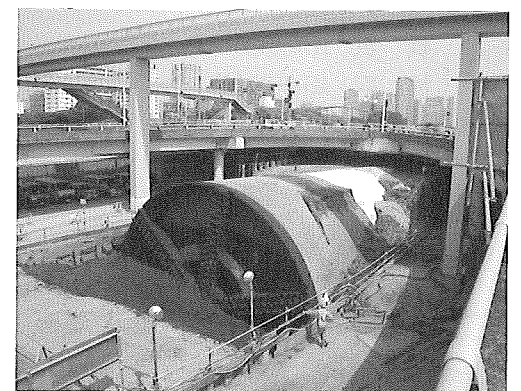


写真-8 地上到達状況

## 9 おわりに

本工法は今回の施工を通し、重要構造物との超近接施工や、高水圧下における換気所到達などを実証するとともに、今までに例のない発進・到達立坑を必要としないURUP工法を実際の現場において実証したことにより、新しいシールド工法を確立できたと考えられる。

今後、重層的な土地利用が進む高密度な市街地においては、立体交差への適用など本工法が有効な工法であり、CO<sub>2</sub>削減にも大きく寄与した。

また、品川線の整備工事では、今回紹介した地上発進・地上到達シールド工法のほかに、本線シールド工事において約100万m<sup>3</sup>の残土運搬に船を活用することでCO<sub>2</sub>削減として約70%削減(陸送比)を実現している。今後も、環境負荷の低減を図りつつ中央環状品川線の平成25年度の完成を目指していきたいと考えている。

最後に、本工事にあたり、施工の主要段階にお

いて、種々の技術的アドバイスをいただいている  
施工監理委員会ならびに関係各位に謝意を表しま  
す。

参考文献

1) 中央環状品川線工事概要パンフレット。  
 2) Fujiki, Nakamura and Izawa: URUP method the  
 first shield tunneling method for launching and  
 arrival at the ground level, *ITA-AITES World  
 Congress 2009*(CD-ROM), 2009.

3) 藤木仁成・井澤昌佳：都市高速品川線で採用した世  
 界初のシールド工法(URUP工法)，第28回日本道路  
 会議(CD-ROM)，2009。  
 4) 後藤広治・水内満寿美・後藤義直：シールドの地上  
 発進とその対策，土木学会論文集，2011。  
 5) 後藤広治・水内満寿美・河口琢哉・瀧本紅美：大断  
 面泥土圧シールド掘進時の軟弱地盤の挙動について，  
 土木学会論文集(CD-ROM)，2011。  
 6) 五十嵐央・潮田知史・河口琢哉・斎藤健司：大断面  
 シールドのUターン施工における工期短縮，土木学  
 会論文集(CD-ROM)，2011。

施工

道路・動物公園直下の小土かぶり駅部大断面を  
中壁分割工法により施工

—仙台市高速鉄道東西線 八木山トンネル—

鉄道・運輸機構東京支社仙台鉄道建設所所員 吉野 弘 明  
 鉄道・運輸機構東京支社仙台鉄道建設所所長 河村 和 信  
 仙台東西線，八木山トンネル他青木あすなる・みらい・丸本特定建設工事共同企業体現場代理人 山本 敏 明  
 応用地質(株)東北支社グループマネージャー 鶴原 敬 久

1 はじめに

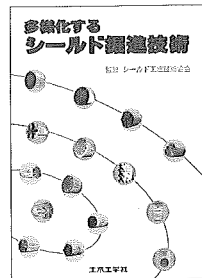
仙台市高速鉄道東西線(以下，仙台東西線)は，  
 市の南西部に位置する八木山動物公園付近から  
 JR仙台駅を中心とする都心を経て，市の東部に  
 位置する仙台市東部道路仙台東IC付近に至る延  
 長約13.9kmの地下鉄路線である。このうち，起  
 点方の動物公園駅(駅名はすべて仮称)から丘陵地  
 帯を経て，平野部の国際センター駅の起点側ま  
 の延長4.3km区間の土木・軌道工事を，鉄道・運  
 輸機構が事業主体である仙台市交通局から受託し，  
 平成27年度の開業に向けて施工を進めている(図-

1, 2)。

本稿で取り上げる八木山トンネル工事は，動物  
 公園駅起点0k255m50～1k019m40の延長763.9  
 mの山岳トンネル，開削トンネル，橋りょう下部  
 工工事であり，そのうち山岳トンネルは延長648.5  
 mで，複線断面をNATMにより掘削した。

到達方となる動物公園駅への接続方法につい  
 ては，駅部開削区間を最少とすることにより経済性  
 が図られることから，トンネル断面にホームなど  
 駅設備を取込む大断面構造とした。

駅部大断面区間の掘削工法については，先行施  
 工した青葉山トンネル，亀岡トンネルの施工実績



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

本書は、「トンネルと地下」に約1年間にわたり連載した『多様化するシールド掘進技術』をベ  
 スとして，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としてシールド  
 工法技術協会が監修を行ったものである。

(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・カッター・シールド工法，⑮自由断面シールド  
 工法，⑯OHM工法，⑰H&Vシールド工法，⑱単円～三連型駅シールド工法，⑲MFシールド工法，⑳DOT工  
 法，㉑MSD工法，㉒親子シールド工法，㉓拡径シールド工法，㉔DSR工法，㉕泥土加圧シールド工法，㉖ケミカ  
 ル・プラグ・シールド工法，㉗気泡シールド工法，㉘コンパクトシールド工法，㉙既設シールド撤去工法

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

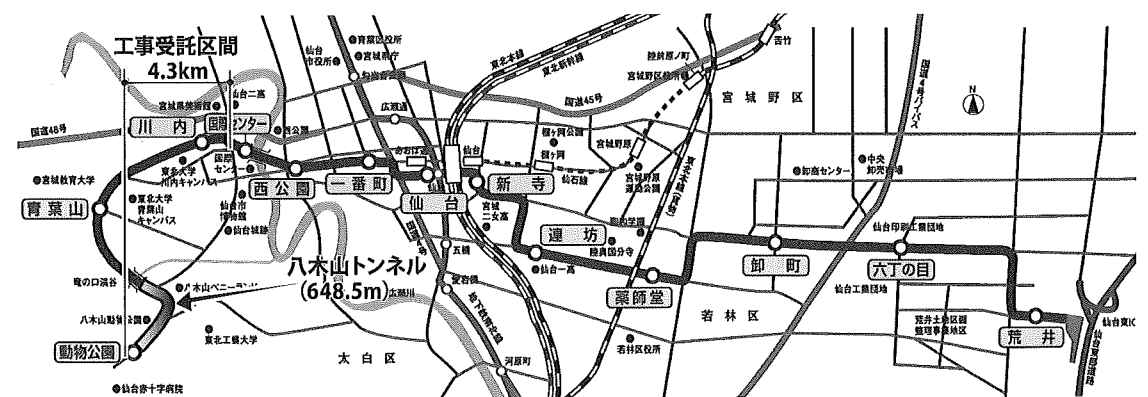


図-1 仙台市高速鉄道東西線路線平面図

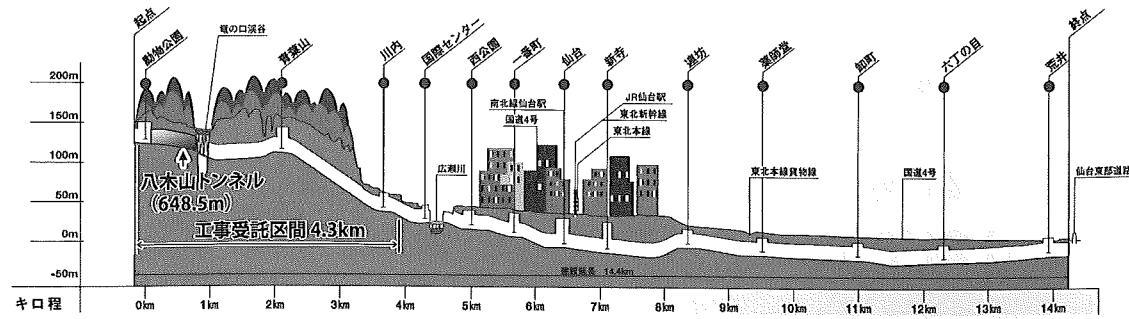


図-2 仙台市高速鉄道東西線路線縦断面図

および当該地質・施工条件ならびにFEM解析などから、もっとも安全性の高い中壁分割(CD)工法を採用した。

本稿は、駅部大断面の掘削方法として採用した中壁分割(CD)工法の施工結果について報告するものである。

## 2 八木山トンネルの概要

### 2-1 工事概要

八木山トンネル工事は、平成22年1月に開削トンネル部から着手し、この開削トンネルをNATM発進立坑として、同年12月から起点方動物公園駅へ向けて掘削を開始した。本トンネルの周辺環境は、起点方から動物公園、遊園地、そして終点方には風光明媚な竜の口

渓谷が存在し、市民に広く親しまれている自然豊かなレクリエーション地域となっている。

このような中、トンネルは動物公園内を平均土かぶり約10mで横断し、八木山地区の幹線道路である市道川内旗立線と並行する厳しい施工条件であるため、トンネル断面は、掘削進行方向から標

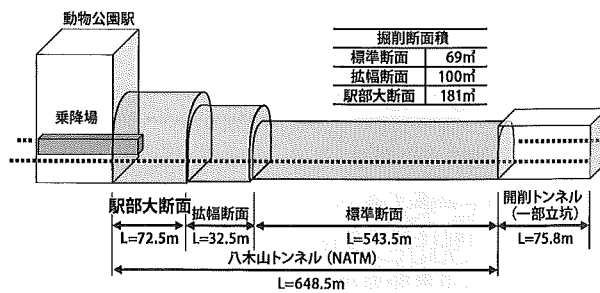


図-3 八木山トンネル構造略図

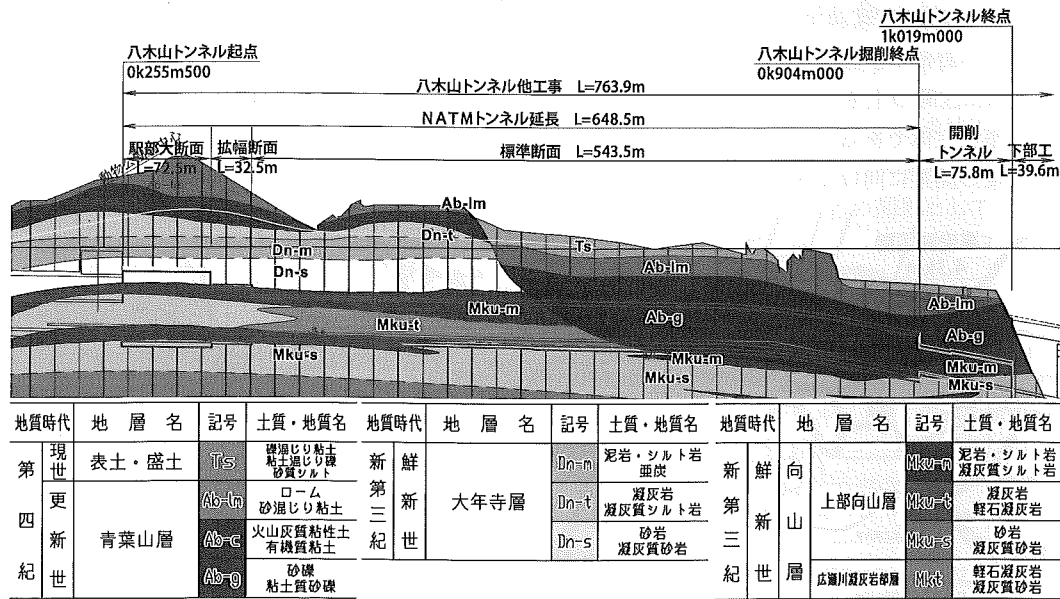


図-4 八木山トンネル地質縦断面図

準断面(69m<sup>2</sup>, 延長543.5m), 拡幅断面(100m<sup>2</sup>, 延長32.5m), 駅部大断面(181m<sup>2</sup>, 延長72.5m)と段階的に拡幅しながら動物公園駅に接続している(図-3)。

### 2-2 地形・地質概要

八木山トンネルの地質は、上部より青葉山層、大年寺層、向山層から構成されている。青葉山層は、第四紀更新世の粘土混じり砂礫からなる地層であり、N値20~40程度であるが、締まっておらず、地下水を含んでいるため、固結度は低い。大年寺層は、新第三紀の凝灰質泥岩および凝灰質砂岩からなるN値約20程度の脆弱な軟岩層であり、風化に伴い固結度およびN値が低い。向山層は、新第三紀凝灰質泥岩・シルト岩および凝灰質砂岩からなる地層で、N値50以上を示す軟岩層である。互層であるため、固結度にばらつきが見られるが、全体的に固結度が高い地層である。地下水は、青葉山層の切羽において湧水を確認している(図-4)。

## 3 駅部大断面区間の概要

駅部大断面区間(L=72.5m)のうち、動物公園駅側の約60m間は、乗降場設備として、1面2線の島式ホーム、コンコースや換気風洞を設けるための中床版や鋼管柱などを構築する(図-5)。

駅部大断面区間の土かぶりは平均約9mであり、地質は上位より青葉山層、大年寺層、向山層で構成されている(図-6)。掘削の対象となる層は、大年寺層、向山層(Dn-s層およびMku-m層、Mku-s層)の軟岩層であり、掘削天端・上部に存在する大年寺層(Dn-s層、Dn-m層)は、孔内水平載荷試験による変形係数が10~25N/mm<sup>2</sup>程度しかなく、固結度が低い軟岩層である。

また、駅部大断面区間の直上においては、トンネルに並行する市道川内旗立線の拡幅など、地下鉄開業にあわせた都市計画道路整備事業が進められており、トンネル直上に、高さ約6mのコンクリート擁壁が掘削開始前に完成していた。そのため、地質、小土かぶり、トンネル直上の片側にのみ擁壁が存在する偏圧地形を考慮して、掘削時の安全性を確保しつつ、コンクリート擁壁に極力影

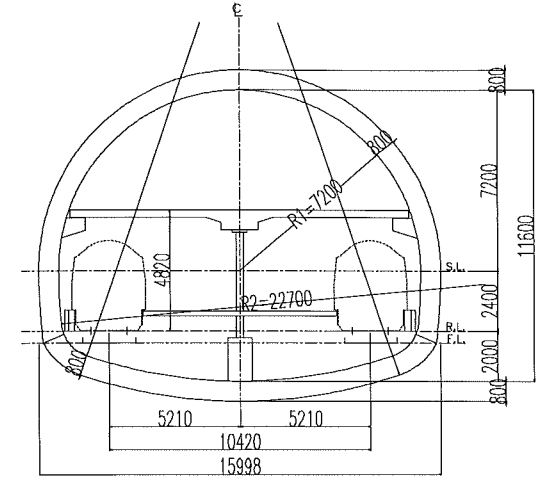


図-5 駅部大断面区間一般図

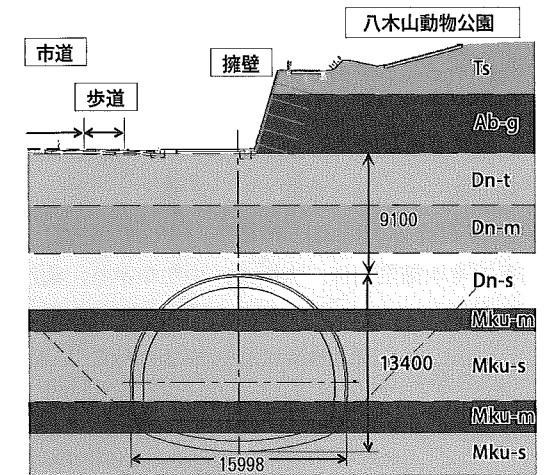


図-6 駅部大断面区間地質横断面図

響を与えないよう慎重な施工方法の選定が求められた。

## 4 駅部大断面区間の施工計画

### 4-1 施工方法の検討

仙台東西線においては、八木山トンネルの施工前に、駅部大断面NATMの施工実績が2件あり、青葉山トンネルでは中壁分割(CD)工法、亀岡トンネルでは多段ベンチ工法にて施工している。八木山トンネルの駅部大断面区間の施工条件として、以下のことが挙げられる。

- ① 掘削断面積が181m<sup>2</sup>と大断面である(ほか2工区は164m<sup>2</sup>)。

- ② 土かぶりが約9m(約0.6D)と小土かぶりである(ほか2工区は約22~24m)。
- ③ トンネル天端部に固結度が低い砂岩層(Dn-s)が存在する。
- ④ 地上地形により、偏圧地形となっている。
- ⑤ トンネル側方に供用中の市道がある(図-6)。これらの条件を踏まえ、施工した実績のある中壁分割(CD)工法と多段ベンチ工法の2工法で、「安全性」「施工性」「経済性」など、施工方法の比較・検討を行った。表-1より、多段ベンチ工法は切羽が単一のため、施工性、工期、経済性に優れる。一方、中壁分割(CD)工法は施工性、工期、経済性では劣るものの、掘削初期段階の変状を抑制でき、地表面に対する影響を少なくし、切羽の安定、地山の過大な変状に対して優位となる。周辺環境や諸条件の厳しさを考慮すれば、切羽の安定、地山の過大な変状への対策が最優先に求められるため、施工時の安全性に優れる中壁分割(CD)工法が適当であると判断した。

4-2 FEM解析による検討

トンネル掘削前に、大断面、小土かぶり、偏圧

地形などの条件により、FEM解析による地表面沈下量など検討を行った。まず、トンネル直上への影響を、より小さく抑えるために、右先行掘削(擁壁側を先に掘削(図-9))と左先行掘削(擁壁側を後に掘削)のどちらが有利であるか検討した。図-7より、解析結果として、地表面(擁壁基礎部)最大沈下量は、右先行掘削の場合が43mm、左先行掘削の場合が45mmとほぼ同様の結果となった。しかし、各掘削段階においては、右先行掘削の方が沈下量の偏りが小さいため、沈下勾配が緩やかとなり、擁壁に与える影響を小さくできると考えら

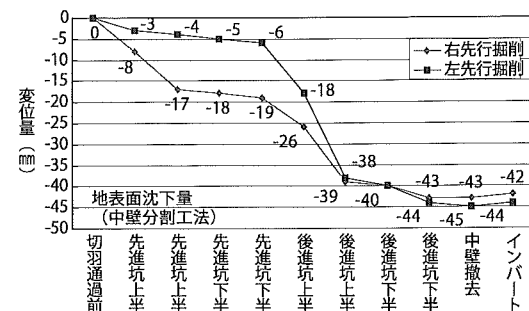


図-7 FEM解析による地表面沈下量

表-1 掘削工法比較表

		中壁分割工法	多段ベンチ工法
先行施工実績(仙台東西線)		青葉山トンネル	亀岡トンネル
施工条件		<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削断面積181m<sup>2</sup>(先行工区は164m<sup>2</sup>)</li> <li>・土かぶりが約9m(約0.6D)(先行工区は約22~24m)</li> <li>・偏圧地形(先行工区は平坦地形)</li> <li>・トンネル側方に市道が供用中</li> </ul>	
地質		<ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル天端部に固結度が低い軟岩層(Dn-s, Dn-m)が存在(孔内水平載荷試験による変形係数が10~25N/mm<sup>2</sup>程度)</li> </ul>	
安全性	①地山の安定(地表面への影響)	掘削断面が分割されるため、地山の緩み域の拡大を抑え、掘削初期段階の変状の抑制が可能	上半掘削断面が大きく、扁平となるため、切羽の安定性が低下する
	②急な変状への対策	加背割りが小さく、地山変形時に速やかな対応が可能	上半掘削断面が大きく、扁平となるため、急な変状への対応が困難
施工性	③施工性	施工基面幅が狭く、施工性が低下	単一切羽のため、施工基面幅が広く施工性が良好
	④工期	作業工程が増える(中壁撤去など)	(中壁分割工法に比べ)工期が短い
経済性	⑤経済性	—	—
総合評価		<ul style="list-style-type: none"> <li>・小土かぶりかつ偏圧地形であるため、切羽の安定および地山の過大な変状への対策において優位となる</li> <li>・当該区間の地山条件や周辺環境および安全性を考慮すれば、当工法が適当</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工性、工期および経済性については優位であるが、過大な変状が発生した場合の対策が困難となる</li> <li>・周辺環境などを考慮すれば、当工法は困難</li> </ul>

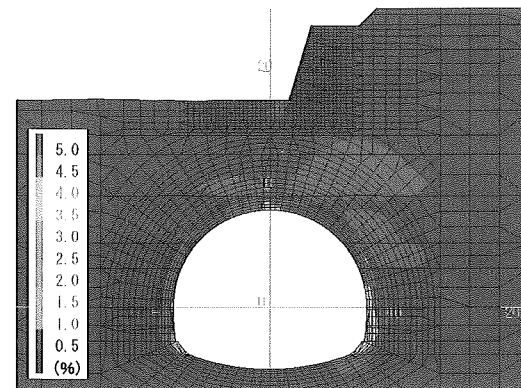


図-8 地山の最大せん断ひずみ(右先行掘削:⑥インバート掘削後)

れた。また、土圧が大きい断面右側の掘削は、地山への負荷が大きいため、先に小さな断面で掘削する方が、切羽および掘削時のトンネル安定性が良いと考えられる。したがって、右先行掘削が有利であると判断し、採用することとした。

また、図-8より、最終掘削時の地山の最大せん断ひずみは、アーチ部全体として1.0~1.5%程度であり、掘削対象地質の限界最大せん断ひずみ(Dn-s層:3.7%, Mku-m層:4.3%, Mku-s層:2.4%)を超過していないため、地山の状態は安定している。鋼製支保工応力についても、降伏点強度(245N/mm<sup>2</sup>)の70~85%程度で収まり、安全性が確認できた。

4-3 支保パターンの設定

前述のFEM解析により、中壁分割(CD)工法の安全性の確認に加え、過去の施工実績からトンネルの安定、沈下の抑制などに有効とされる施工方法を考慮した。支保パターンは以下のとおりである(表-2, 図-9)。

- ① 先受け工として、長尺鋼管フォアパイリング(L=12.5m, 打設ピッチ9m)を掘削天端120度の範囲に打設し、トンネル天端や切羽の安定、先行変位の抑制を図る(図-10)。
- ② 初期高強度吹付けコンクリートを採用し、トンネルを早期に安定させ、切羽後方の変位

表-2 支保パターン表

配置	アーチ・側壁(中壁)
ロックボルト	長さ(m)×本数(本) 縦断間隔(m)
吹付けコンクリート(上半)	アーチ・側壁(cm) 中壁(cm)
吹付けコンクリート(下半)	アーチ・側壁(cm) 中壁(cm)
鋼製支保工	アーチ・側壁 中壁

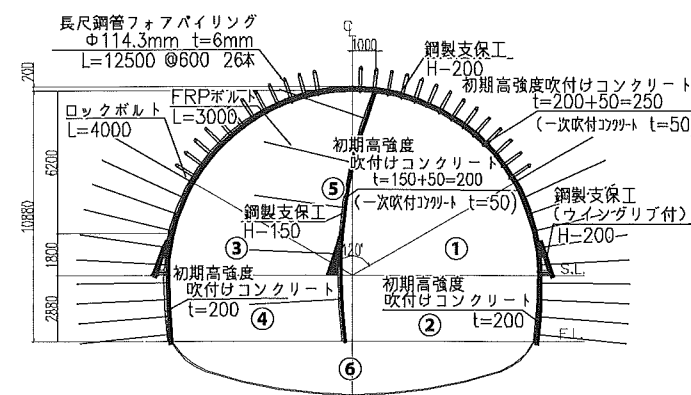


図-9 支保パターンおよび掘削順序

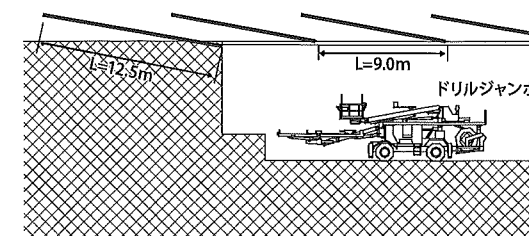


図-10 長尺鋼管フォアパイリング施工図

- 抑制を図る(10分で3.0N/mm<sup>2</sup>以上の強度発現)。
- ③ 鋼製支保工をH-200とし、上半支保工にウイングリブを設け、梁構造となる先受け鋼管と鋼製支保工の接点部にあたる支保工脚部の沈下を抑制することで、とも下がりを防ぐ。
- ④ 中壁支保工をH-150、中壁支保工脚部に根固めコンクリート、アーチ部のロックボルト打設間隔を75cmとし、脚部沈下抑制を図ることで、とも下がりを防ぐ。

中壁分割(CD)工法の施工順序については、図-9の①～⑥に示すとおり、①先進坑(断面右側)上半を起点方動物公園駅到達点まで一括掘削し、引き続き②の先進坑下半を到達点まで一括掘削する。③の後進坑(断面左側)上半、④の後進坑下半についても、それぞれ同様に一括掘削する。その後、地表面沈下、内空変位、支保工応力などを確認し、⑤の中壁を撤去し、⑥のインバートを掘削する。掘削ピッチは1.0m間隔とし、掘削機械はツインヘッダーなどを使用し、中壁撤去作業は、エレクトラおよび大型ブレイカーを使用する。

4-4 掘削管理基準値の設定

駅部大断面における地表面沈下量の掘削管理基準値は、『山岳トンネル設計施工標準・同解説』(鉄道・運輸機構)にもとづき、掘削段階ごとに先進坑上半・下半、後進坑上半・下半の4段階で設定した(表-3)。

管理レベルはI～IIIの3段階とし、FEM解析値を管理レベルIにしても、地山の安定は損なわれないという解析結果をもとに、管理レベルIはFEM解析値、管理レベルIIは管理レベルIの1.25倍、管理レベルIIIは管理レベルIの1.5倍と設定している。

表-3 駅部大断面区間の掘削管理基準値 単位(mm)

項目	管理レベル	先進坑掘削	後進坑掘削
上半	I	17	39
	II	21	48
	III	25	58
下半	I	19	43
	II	23	53
	III	28	64

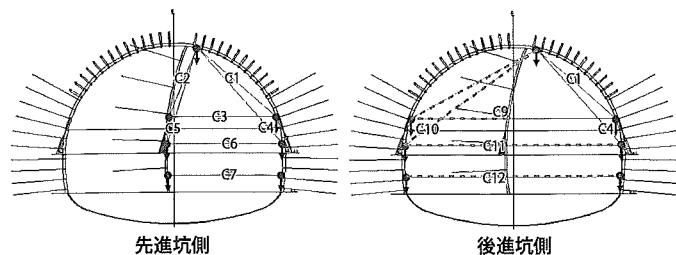
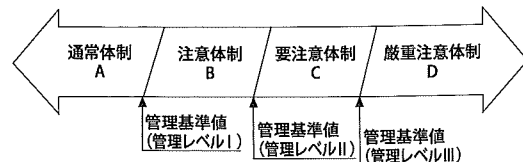


図-12 内空変位計測計画図



(管理レベルの考え方)

- A: 通常体制……… 定時計測, 坑内観察程度
- B: 注意体制……… 観察, 現場点検, 作業員への注意強化
- C: 要注意体制……… 観察・計測頻度の強化, 管理基準値からの最終変位予測, 変位速度を考慮し要因の分析, 必要に応じ対策工の準備と実施
- D: 嚴重注意体制……… 切羽掘削の一時中止, 変位要因・傾向の解析, 支保パターン・対策工の再検討

図-11 各管理レベルにおける施工体制

図-11より、管理体制については、掘削段階ごとに管理レベルIを超えた場合、注意体制(坑内観察・計測強化)に入り、管理レベルIIを超えた場合、要注意体制として即座に対策工を実施する。対策工としては、長尺鋼管フォアパイリングの追加打設、フットパイル・サイドパイルの施工、インバートストラット設置による早期閉合などを実施し、最終的に管理レベルIII(64mm)を超過しないよう十分に配慮した計画を行った。

なお、最大地表面沈下量については、擁壁管理者との協議により64mm以内に抑えることとしている。

5 駅部大断面区間の計測計画

5-1 内空変位計測

天端沈下量および内空変位量(以下、計測A)は、前述のとおり、中壁分割工法の掘削段階ごとに逐次監視し、あわせて、初期値からの累積変位量を把握することを考慮し、図-12に示すようなターゲット位置を設け、3次元計測システムにて掘削管理を行うこととした。

計測項目	数量	凡例
天端沈下測定	2	↑
内空変位測定	12	●
脚部沈下測定	9	↓

天端沈下量は、先進坑上半掘削時に設置した先進坑側のターゲットを最終時まで同一点にて計測管理することとし、内空変位量は、先進坑掘削時は外壁と中壁との相対変位量を、後進坑掘削時は

先進坑側の外壁(左側)と後進坑側で遅れて設置する外壁(右側)との相対変位を、初期値からの累積値として管理することとした。計測断面は5mごとに設けることとした。

5-2 地表面沈下計測、支保部材応力および地中変位計測

図-13より、地表面沈下計測(以下、計測B)はトンネル縦断方向に10m間隔で測定を行い、計測点は、擁壁基礎(R1)、擁壁天端(R4)、トンネルセンター(CL)などに設けた。また、図-14, 15より、掘削による地山挙動および各支保部材応力を把握し、大断面掘削の安全性を把握するため、駅部大断面区間の中間にあたる約36m地点(0k293m)において、地中変位測定および支保部材応力測定(以下、計測B)を行った。

6 駅部大断面区間の施工結果

駅部大断面区間の掘削は、平成24年3月初めより開始した(写真-1)。設定した掘削管理基準値にもとづき、10mごとに地表面沈下計測などを行い、地山挙動などを逐次監視しながら施工を進めた。なお、擁壁については、擁壁天端・擁壁基礎に設けた計測点の変位確認、目視による観察を行いながら、変状に対して注意深い監視を行った。

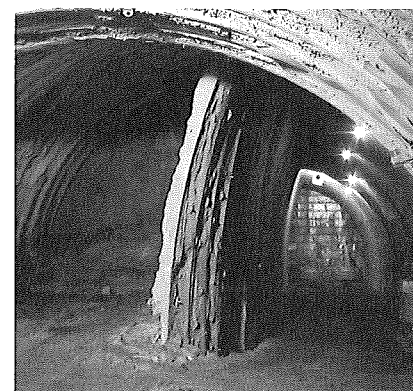


写真-1 後進坑上半の施工状況

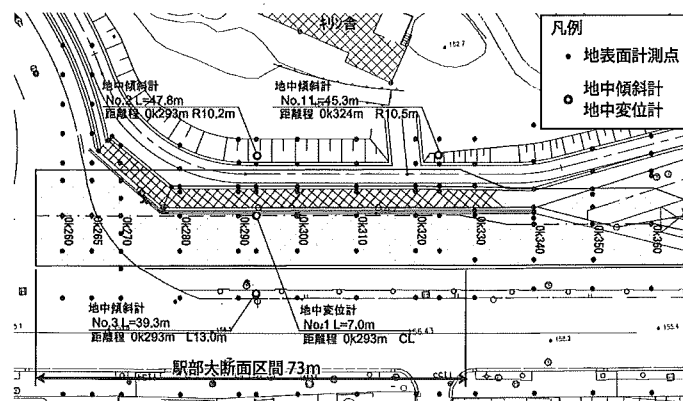


図-13 地表面・地中変位計測平面図

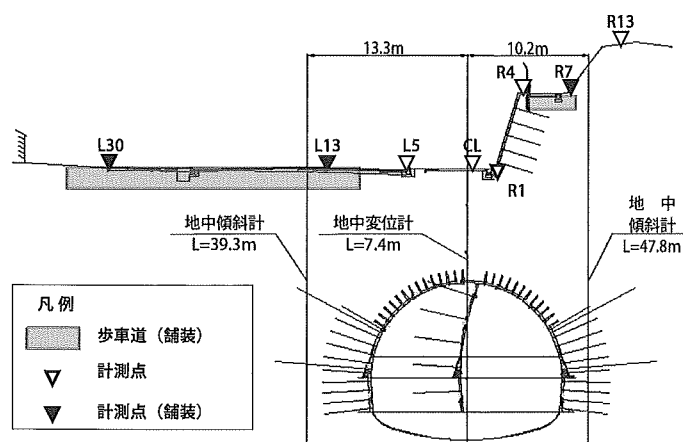


図-14 地表面・地中変位計測断面図

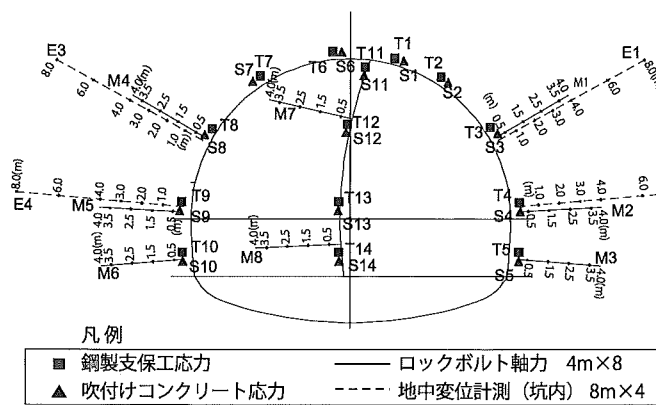


図-15 支保部材応力・坑内地中変位計測図

### 6-1 計測Aの結果(天端沈下・内空変位計測)

計測断面付近(0k290m)での天端沈下計測結果を図-16に示す。計測結果は、天端沈下が最大約23mm、脚部沈下が最大約16mmとなり、トンネル直上に擁壁が存在する偏圧地形や小土かぶりかつ大断面トンネルにおいても、とも下がり傾向は見られなかった。これは、脚部補強・側部改良として採用したウイングリブ支保工、根固めコンクリートなどが、脚部・側部の沈下抑制に、一定の効果を発揮したものと考えられる。

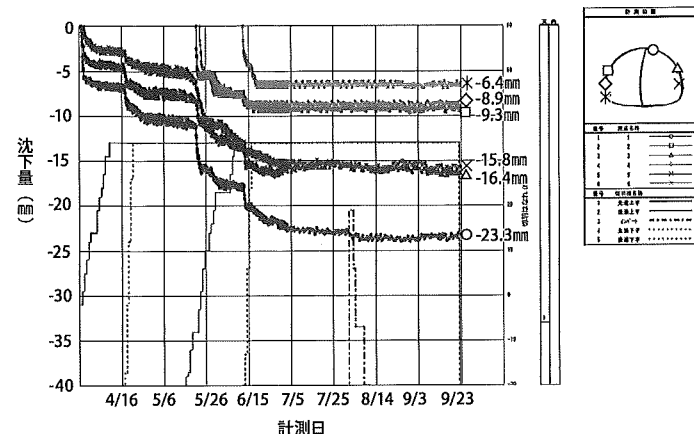


図-16 天端沈下計測結果(0k290m)

### 6-2 計測Bの結果(地表面沈下計測)

図-17に、駅部大断面区間のおおよそ中間の約36m地点(0k293m)における地表面沈下計測の横断方向分布を示す。最大地表面沈下量は、トンネルセンターから右に1mの擁壁基礎(R1)で、先進坑下半通過後の中間値で11mm、後進坑下半通過後で26mm、中壁撤去後の最終値で29mmと、どの掘削段階においても設定した掘削管理レベルIを下回った値で収束した。FEM解析値と計測結果の比率による変位出現率(計測結果/解析値)については、先進坑掘削で約58%(11mm/19mm)、後進坑掘削で60%(26mm/43mm)、中壁撤去後の最終変位で約67%(29mm/43mm)となっており、各掘削段階において、おおむねFEM解析値の約60~70%程度の変位で収束した。

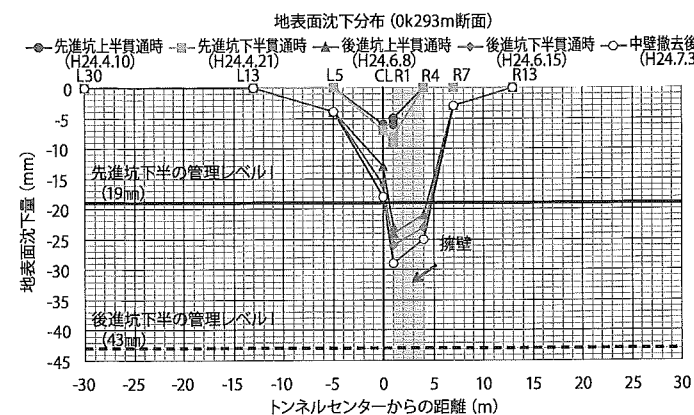


図-17 地表面沈下分布(0k293m)

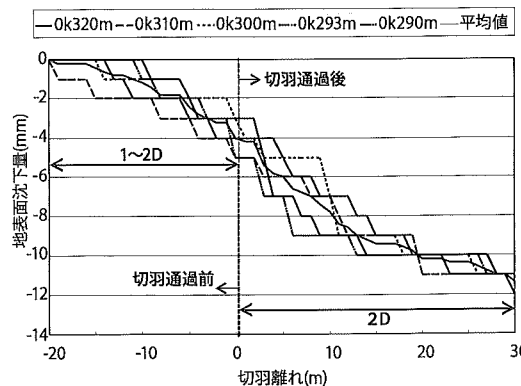
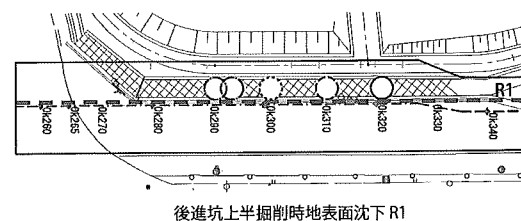


図-18 切羽位置と地表面沈下縦断分布

また、図-18に、切羽位置と地表面沈下縦断分布を示す。計測位置は擁壁基礎(R1)とし、後進坑上半掘削時の各計測点の沈下分布を表している。切羽が各計測点を通る前は、おおむね1~2D区間から変位ははじめ、計測点通過後はおおむね2Dで変位が収束している。一般に切羽後方の変位収束は2~5Dとしているが、今回は厳しい施工条件においても、早期に変位収束していることがわかる。

### 6-3 計測Bの結果(地中変位測定)

0k293m断面の左右に設置した地中傾斜計の計測結果を図-19に示す。後進坑掘削後において、擁壁側に設置した右側の傾斜計は、トンネル天端からSL間の地質境界付近で最大約10mm程度、トンネル内空側へ変位しており、SL下ではトンネル外方への変位も見られる。また、地表近くでは30mm程度の変位も確認できる。一方、トンネル左側の傾斜計は、約3~4mm程度トンネル外側へ変位している。FEM解析においても、このような挙動をおおむね再現できている。通常、地中傾斜計はトンネル内空側に変位する傾向にあるが、今回は偏圧地形により左右の土圧バランスが異なることで、不規則な変位が生じたものと考えられる。

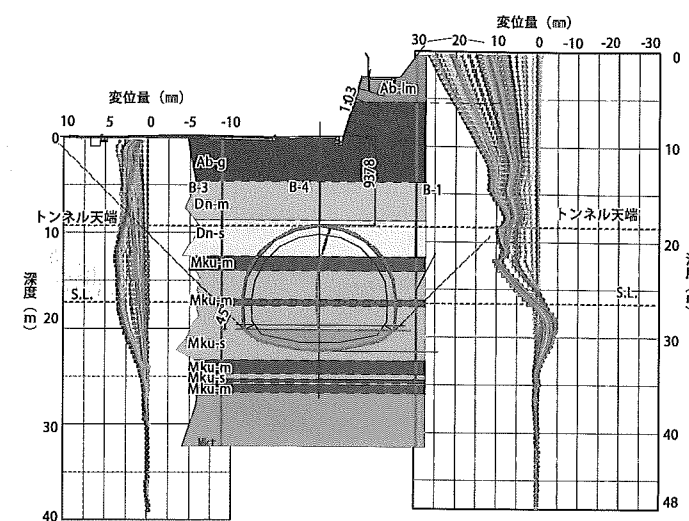


図-19 地中傾斜計の計測結果(0k293m)

また、図-20に、地中変位計の計測結果(地表面を基準とした相対変位)を示す。トンネル天端に施工した長尺鋼管フォアパイリングを考慮し、掘削天端+2.0mの位置が最下端(7.4m地点)となっている。後進坑掘削後において、最下端(7.4m地点)の位置で約7.8mmの変位が計測された。5.4m地点でやや大きな値が計測されたが、変位勾配は全体として線形挙動を示しているため、後進坑掘削後も地山は弾性範囲内で安定した状態を保っていると考えられる。

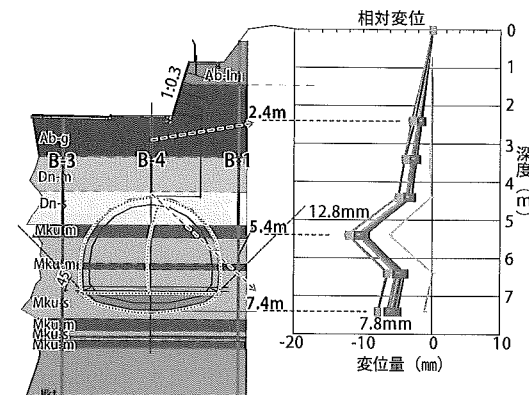


図-20 地中変位計の計測結果(0k293m)

### 6-4 計測Bの結果(支保部材応力)

0k293m断面に設置した支保部材応力などの計測結果を図-21~23に示す。なお、各計測結果は、後進坑掘削後(中壁撤去前)の値を示している。

図-21の鋼製支保工応力は、中壁支保工接点部と後進坑の脚部に一部曲げが発生しているが、アーチ天端部にはほぼ一様に圧縮力が発生している。中壁支保工接点部の挙動については、FEM解析でも再現できておらず、鋼製支保工どうしをボルト接合しているため、支保工建込み時の歪みなどが原因で曲げが作用していることも考えられる。しかし、最大応力は降伏点強度の約50%程度と、地山から過度の負荷を受けていないことがわかる。

図-22の吹付けコンクリート応力は、多少のばらつきはあるものの、おおむね設計強度18N/mm<sup>2</sup>の約20~30%しか発生しておらず、鋼製支保工同様、地山から過度の負荷を受けていない。

図-23のロックボルト軸力は、全体としてトンネル内空方向への変位に伴う引張軸力が発生しており、後進坑側が大きい傾向にある。一方、前述の図-19の地中傾斜計測結果では、後進坑側はトンネル外方へ変位しており、ロックボルト軸力の計測結果と整合していない。後進坑側の地山全体としてはトンネル外方へ変位するが、トンネル近傍では掘削時のゆるみに伴う内空方向の変位成分が上回っているため、このような変位が生じたものと考えられる。計測値は、ばらつきはあるものの、大きな引張軸力は発生していない。

したがって、図-20～22より、鋼製支保工、吹付けコンクリート、ロックボルト軸力が地山から過度の負荷を受けていないことから、地山は安定した状態を保っているものと考えられる。

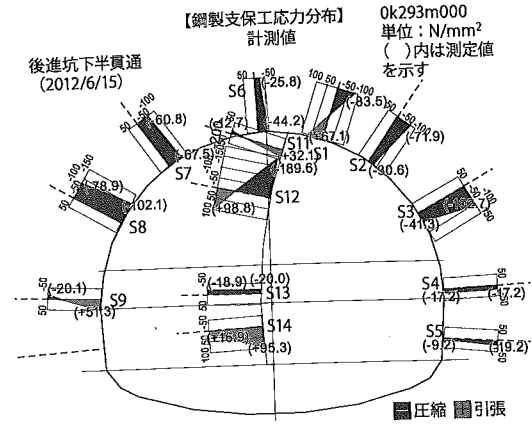


図-21 鋼製支保工応力分布

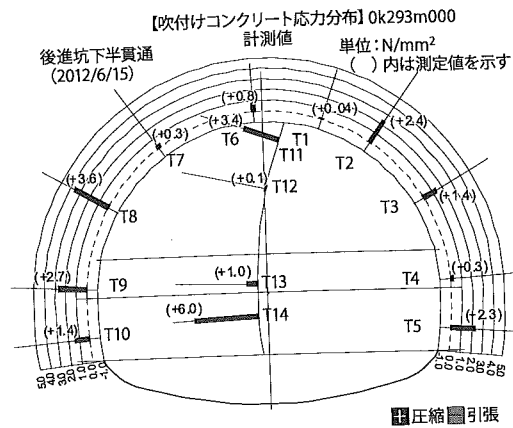


図-22 吹付けコンクリート応力分布

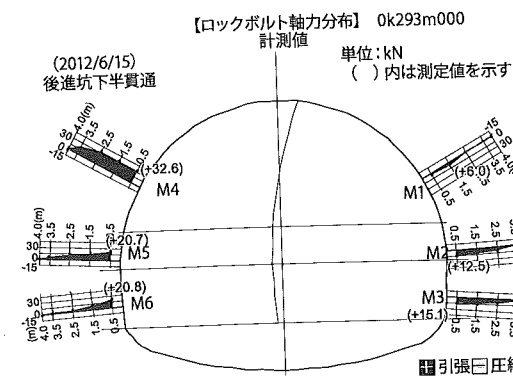


図-23 ロックボルト軸力分布

## 7 施工結果にもとづく分析・検討

### 7-1 初期高強度吹付けコンクリートの効果

『山岳トンネル設計施工標準・同解説』(鉄道・運輸機構)<sup>1)</sup>では、吹付けコンクリートは3時間で1.5N/mm<sup>2</sup>の強度発現を要求していたが、初期高強度吹付けコンクリートは10分で3N/mm<sup>2</sup>以上の強度発現が可能となり、早期に吹付け後の後方変位を抑制できることが考えられる。図-24に、八木山トンネルで採用した初期高強度吹付けコンクリートの強度発現結果を示す。通常の吹付けコンクリートは、3時間で1.7N/mm<sup>2</sup>、最終28日で35N/mm<sup>2</sup>であるが、初期高強度吹付けコンクリートは10分で4.3N/mm<sup>2</sup>、最終28日で48.9N/mm<sup>2</sup>の強度発現をしている。初期の強度発現勾配が大きく、早期の地山変位抑制に大きな効果を発揮すると思われる。

また、吹付けコンクリートと鋼製支保工軸力の経時変化については、初期は鋼製支保工が負担し、続いて吹付けコンクリートが硬化し、鋼製支保工と一体となって荷重に抵抗すると言われている<sup>2)</sup>。早期に吹付けコンクリートで負担させることができれば、鋼製支保工と一体となって地山変位を抑制し、地山の安定化が図れるものと考えられる。

図-25に、八木山トンネルの吹付け打設後の強度発現結果を示す。吹付けコンクリートはおおむね1日、鋼製支保工はそれより早い0.5日で収束傾向を示している。一方、図-26の通常の吹付けコンクリートを用い、中壁分割工法で施工した青葉山トンネルでは、吹付けコンクリートが3日、鋼製支保工が2日で収束傾向を示している。変位

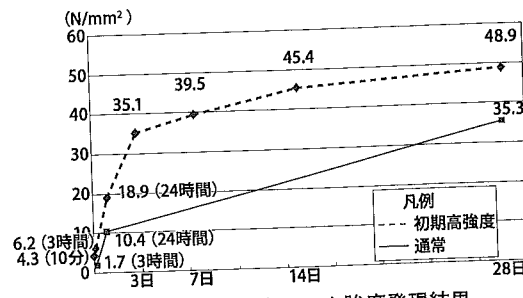


図-24 吹付けコンクリート強度発現結果

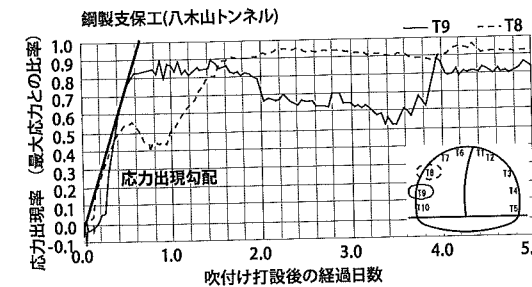
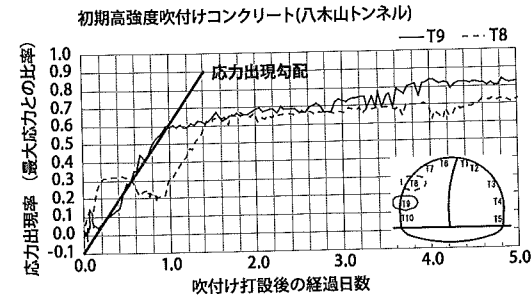


図-25 八木山トンネルの強度発現結果

勾配を比較すれば、八木山トンネルは早期に鋼製支保工と一体となって応力負担していることがわかる。前述の図-18の地表面沈下縦断分布において、切羽後方の変位がおおむね2D区間で収束していることは、早期支保が切羽後方の変位抑制に効果を発揮したものである。したがって、初期高強度吹付けコンクリートは、切羽後方の変位抑制に十分効果が期待できると考えられる。

### 7-2 中壁撤去までの支保工の軸力変化

図-27に、中壁撤去までの支保工軸力の経時変化を示す。後進坑上半通過後、アーチ支保工、中壁支保工の軸力は増加している。しかし、後進坑下半通過後は、アーチ支保工の軸力は増加する一方で、中壁支保工の軸力は180kNとなり、120kN減少しているが、残留軸力は存在している。これは、中壁支保工の軸力減少分120kNと後進坑下半掘削による地山荷重の増加分がアーチ部に配分されて、アーチ支保工の軸力が増加したものと推測できる。

中壁撤去後、中壁支保工の軸力はすべて消失す

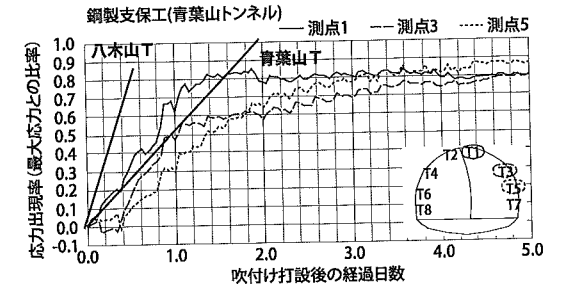
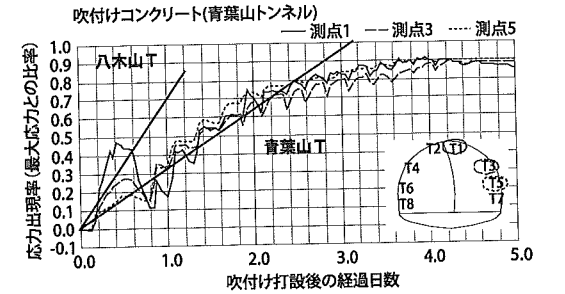


図-26 青葉山トンネルの強度発現結果

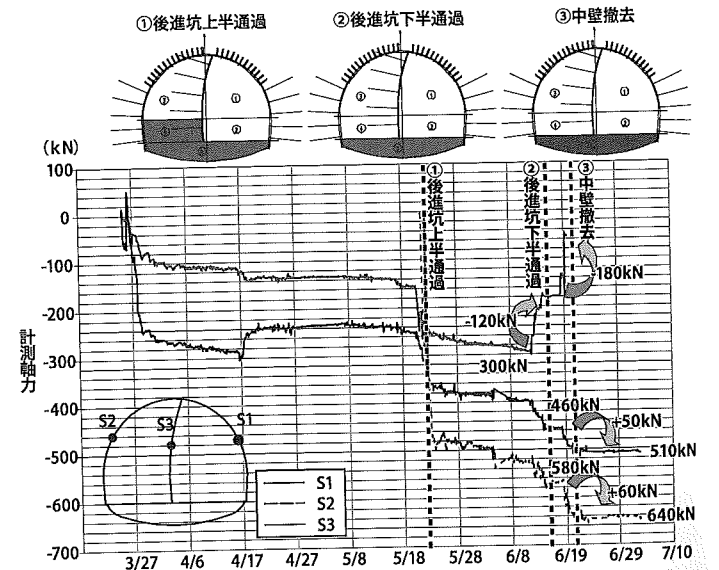


図-27 支保工軸力計測図

るが、アーチ支保工の軸力はさらに増加している。数値化すれば、中壁支保工の軸力は180kNが消失するが、アーチ支保工の軸力はそれぞれ50kN、60kNと合わせて110kN増加した。中壁支保工の軸力減少分180kNとアーチ支保工の軸力増加分110kNは一致しないが、再配分されなかった70kNについては、地山やその他の支保部材(吹付けコンクリートなど)が負担しているものと考えら

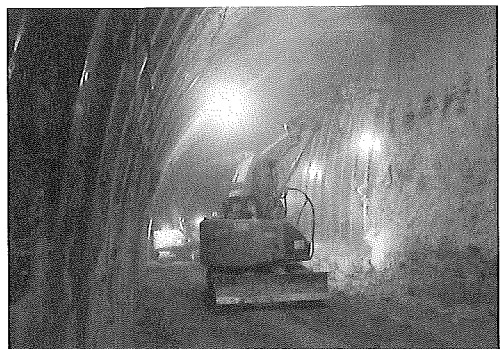


写真-2 中壁撤去の状況

れる。したがって、中壁支保工の軸力は、後進坑上半時に最大値を示し、下半通過後に減少、中壁撤去により消失するが、アーチ支保工の軸力は掘削ステップごとに増加し続け、中壁支保工の軸力消失後、その一部(今回は約70%)がアーチ支保工の軸力に再配分されたことがわかった。

今回は中壁支保工撤去前のアーチ支保工の軸力が降伏点強度(245N/mm<sup>2</sup>)に対して十分余裕があると確認できたが、中壁撤去の判断については、アーチ支保工軸力を計測し、再配分される中壁支保工の軸力を応力換算し、再配分後のアーチ支保工の軸力が、降伏点強度(245N/mm<sup>2</sup>)に対して十分余裕があるか確認することを、ひとつの判断指標とすることができると考える。写真-2,3に中壁撤去状況を示す。

## 8 おわりに

本トンネルは、先行施工した青葉山トンネル、亀岡トンネルの施工結果およびFEM解析などをもとに種々の施工方法を検討したなかで、安全性に優れた中壁分割(CD)工法を採用した。実施工においては、掘削管理基準値を見定めながら綿密に計測管理を行った結果、平成24年6月中旬に無事掘削を完了した。これで、仙台東西線における鉄道・運輸機構受託の3トンネルの掘削はすべて無事に完了した。

本トンネル掘削完了にあたりましては、仙台市地下鉄東西線トンネル技術検討会の朝倉俊弘委員長(京都大学大学院教授)、京谷孝史委員(東北大学大学院教授)をはじめとした委員の皆様方、ま

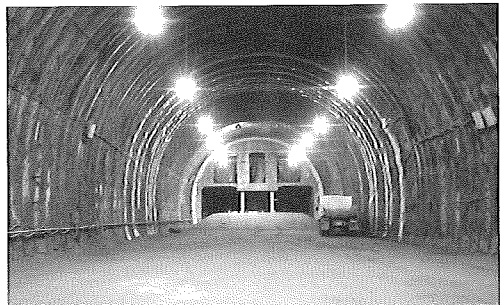


写真-3 中壁撤去完了後の状況



写真-4 到達式の様子

た仙台市交通局の皆様方ならびに関係各位から多大なるご指導・ご協力をいただいた賜物であり、本誌面を借りて厚くお礼申し上げます。最後に、本報告が今後の大断面トンネル施工の一助となれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 鉄道・運輸機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説、p.280, 2008.4.
- 2) ジェオフロンテ研究会：山岳トンネルの新技术、土木工学社、p.91, 1991.1.
- 3) 本堂亮・東優・浅川敏郎・鶴原敬久：駅部大断面トンネルを中壁分割工法で施工、仙台市高速鉄道東西線 青葉山トンネル、トンネルと地下、Vol.40, No.10, pp.43-51, 2009.10.
- 4) 本堂亮・東優・浅川敏郎・鶴原敬久：駅部大断面トンネルを中壁分割工法で構築、仙台市高速鉄道東西線 青葉山トンネル、トンネルと地下、Vol.41, No.9, pp.17-26, 2010.9.
- 5) 今井正樹・東優・山田亮志・鶴原敬久：駅部大断面NATMを隣接トンネル実績を活用して計画、仙台市高速鉄道東西線亀岡トンネル、トンネルと地下、Vol.42, No.4, pp.41-51, 2011.4.
- 6) 今井正樹・河村和信・山田亮志・鶴原敬久：隣接工区の実績を再評価し駅部大断面を多段ベンチにより経済的に施工、仙台市高速鉄道東西線 亀岡トンネル、トンネルと地下、Vol.43, No.3, pp.27-38, 2012.3.

# 貫通発破の 魔力に魅せられて

(元)鹿島建設(株)  
藤田 筆司

第四十回  
語り継ぎ  
言ひ継ぎ行かむ

## はじめに

トンネル工最大のイベント「貫通」。轟音とともに前方に少しずつ明かりが見え、風が通り爆薬の匂いを感じると、「もうトンネル工事は嫌だ」と思っていたこれまでの苦労が一瞬に飛び去り、美酒に酔い、技術者冥利に浸る。このくり返しが私のトンネル屋人生でした。

1955年、鹿島に入社し、東京都水道局小河内ダム工事(現在の奥多摩湖)から始まり、関連会社を経て、2008年に退職するまで、主に工事現場を担当してきました。私がトンネル工事に最初にかかわったのは、1959年中部電力畑発電所導水路トンネル工事でした。それを皮切りに、1995年、九州縦貫自動車道加久藤トンネル南工事(以下、加久藤トンネル)完了まで、現場に実質28年間、そのほか管理部門での支援業務を合わせると約40年の長きにわたるトンネル屋人生でした。新幹線(東海道、山陽)

や高速道路(東名、九州)、海外(台湾鉄道)などの長大トンネルが多く、14本のトンネル、延べ施工延長約36,000mの現場を経験いたしました。ダム、橋梁、土工、構造物なども一通りの経験をしてきましたが、工事節目のタイミングでいつの間にか、自分の意思とは関係なく、トンネル屋人生を歩いていました。振り返ってみれば、「これもまた楽し」の心境です。今回は、比較的新しい肥後トンネル・加久藤トンネル工事を振り返りながら、「トンネル屋人生」を振り返ってみたいと思います。先輩の背中を見、指導を受けながら経験だけは積み重ねました。今日とは時代が違いますが、古きものの何かが参考になれば幸いです。

## 肥後トンネル

九州縦貫自動車道肥後トンネル南工事(全長6,340mのうち人吉側3,340m、以下、肥後トンネル)は、九州を斜断する中央構造線をはじめいくつもの断層が重なり、軟弱



2001年土木学会技術功労賞を受賞したときの筆者

## 著者略歴

1955年	鹿島建設(株)入社
1959年	中部電力畑薙発電所工事
1961年	東海道新幹線蒲原トンネル工事
1963年	東海道新幹線丹那トンネル工事
1966年	東名高速道路都夫良野トンネル工事
1970年	山陽新幹線新関門トンネル工事
1974年	九州電力大平ダム工事
1976年	台湾北廻鉄道・16号トンネル工事所長
1981年	佐賀県三瀬トンネル工事所長
1983年	九州縦貫自動車道肥後トンネル工事所長
1989年	九州縦貫自動車道加久藤トンネル工事所長
1995年	鹿島建設(株)九州支店次長
1999年	鹿島建設(株)退職
1998年	ケミカルグラウト(株)取締役九州支店長
2008年	ケミカルグラウト(株)退職

な破碎帯や、石灰岩層での空洞の出現、突発湧水などに悩まされ、しばしば工事が中断した。難工事であったが、NATMや空洞処理など多くの技術的進展があった。NATMは1970年代後半、上越新幹線中山トンネルの難工事区間に、日本で初めて採用されたが、長大道路トンネルへの全面採用は、1983年着工の肥後トンネルが初めてであった。

## ■NATM導入

私には、吹付けコンクリートによる支保を実施し、試行錯誤した経験があった。九州での最初の現場であった山陽新幹線新関門トンネル和布刈工区工事(18,713mのうち3,040m、1970年着工)は、関門海峡門司側の作業用斜坑(320m)で本坑まで降り、海峡海底部の約半分500mを含む工事である。当時、NATMの理論的な考えもなく、青函トンネル工事で吹付けコンクリートを試験的に実施していると

聞いてはいた。この新幹線新関門トンネルの経験が、のちにNATMを導入した肥後・加久藤トンネルの役に立った。

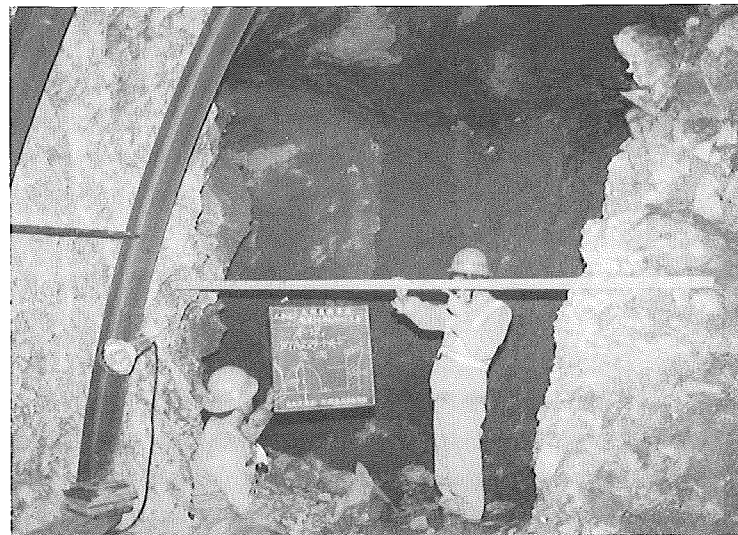
新関門トンネル工事では、トルクレットによる乾式吹付けで、機械や設備に苦労した。小断面の作業用斜坑はまだ良かったが、いちばん困ったのは、本坑上半断面になると、作業員が不安がって坑内に入りたがらないことであった。まだ吹付けコンクリートなどの施工経験が浅く、品質への信頼度や、変位崩落に対しての不安があったのだ。また矢板工法に慣れていた地山の情報が、吹付けで全部隠れてしまうことなどへの心配もあった。

実際には小規模の剝離落下があったが、比較的地質の良い区間に限定し、上半鋼アーチ支保工を必要に応じて入れ、吹付けコンクリートの品質改善、手探りの計測管理などで対応しながら実績を作った。

初めてのNATMの感想は、NATM理論の「地山の能力を引き出し……」は別として、矢板、鋼アーチ支保ではトンネル断面方向の地山との接点だけで受ける荷重が、NATMでは、吹付けコンクリートによって進行方向も含めた筒状全面で持たせることで、軟弱な地質にはたいへん効果があり、各種補助工法を含め日本のトンネル掘削技術の転換期になることを感じた。

## ■空洞処理

肥後トンネル工事の特徴は、軟弱な破碎帯の対応とともに、1,000mに及ぶ石灰岩区間に点在する空洞の処理問題にあった。近くには観光地の球泉洞という鍾乳洞もあり、また坑口の前には「水無川」の名のとおり、水は上流で地下に落ち、トンネル坑口付近で湧き出ている状態であった。広範囲にわたる事前の調査は不可能であり、まずは工事中の安全確保を先決にして、切羽から長・短の調



石灰岩地帯における空洞

査ボーリングを実施しながら掘削を進めて行った。とくに路盤下部は作業員や重機類の陥没災害を未然に防ぐため、1サイクルごとに調査を行ったが、現実には調査には限度があり事前にすべて確認することは難しく、発破後の安全点検に重点を置いて慎重に行った。45か所の大きささまざまな空洞が出現したが、なかには路盤部の空洞で小石を投げると暫くしてポチャンと音がするような危険なものもあった。

またパイロット坑の切羽後方で、確認できていなかった上部空洞の堆積土が、水圧などにより荷重バランスを失い、一気に落下、流出し、坑内が閉鎖され、切羽作業員が閉じ込められるという事故が起きた。幸い空洞規模が小さく、荷重が抜けたあとは安定したので事なきを得た。あまり類のない事例であったが、以後の作業に貴重な教訓となった。

山岳トンネルの施工計画時に用

いられる地質情報が、掘ってみると、実際とかけ離れていることは常にある。地質の事前調査はたいせつな情報だが、だれも見ただけでもなく、確実性を求めるのは無理である。掘り進んでいく作業そのものが調査と考え、そのつど、そこでの「資料」で先を読み、その山の特徴を解析しフィードバックしていくことが重要だと思っている。

## ■骨材プラント

肥後トンネルの現場へは、人吉市から急峻山岳地に向け、未整備の県道を60分以上もかかった。コンクリートの運搬に時間がかかり、品質上の問題が生じるおそれがあったので、トンネル掘削ずりを利用した骨材プラントとバッチャープラントを現地に設備し、九州縦貫自動車道工事に従事する周辺の関連会社にも供給販売する契約になっていた。生コンクリートや吹付けコンクリートなど合わせて骨材20万 $m^3$ 、生コンクリート18万 $m^3$ を

生産し、ちょっとしたダム工事分の数量であった。掘削ずりの選別や砂の大量製造には苦労をした。とくに他社工区への提供は橋梁上部工などの重要構造物もあり、また他工区の進捗により出荷量が変動して、品質の確保は当然であるが、コスト面でもたいへん神経を使った。

## 技術革新

支保工が木製から鋼製アーチに代わり始めたのは、1950年代の半ばごろで、ちょうど私が初めてトンネル工事に従事したころであった。木製支保工の時代には<sup>よきよし</sup>指という職種の職人が活躍しており、いろんなことを教えてもらった。支保の名称には、<sup>にない</sup>担、<sup>ころがし</sup>転、<sup>おおひき</sup>大引、<sup>こまはり</sup>後光梁……等々。先輩からは「トンネルの切羽崩壊は針の穴から始まり、早期の対応で、手ひとつ、矢板1枚でも止めることができる」と教わった。千差万別の地質条件の変化に対し、早期対応のたいせつさを言ったのであろう。またそのころ学んだ「トンネル十訓」などは現場の座右の銘として頭に残っており、現在でもトンネル掘削の基本原則として通用するものがあると思う。

## ■日本式NATM

「技術開発こそ、明日の鹿島を創る」「旧来の方法が一番良い、の考えを捨てよ」などなどを信条として、新技術のたいせつさを教えられてきたが、私としては1現場で1つの新技術を開発しようと考えてきた。

肥後トンネルでは「全自動油圧

ジャンボシステムAD」, 加久藤トンネルではNATMの合理的な掘削システム「KFB工法」を開発し, 工事に活用してきた。条件変化の激しいトンネルの掘削工事を安全かつ効率的に行うためのものであるが, それなりの目的を果たしたと思っている。

「何か今よりいい方法はないか」「今日より明日, 明日より……」の気持ちが何かを生み出す。NATM導入以来, トンネル技術も大きく変わり, とくに複雑な日本の地盤に適応した, 機器類や補助工法の技術開発がなされ, 今では「日本式NATM」と言えるようになってきた。悪条件のなかでもそれに対応し, 新技術にチャレンジしていく, その積み重ねがまた新しいNATM技術を生み, 進化することであろう。

#### ■含水爆薬の発明

鋼製アーチ支保工, NATM導入は大きな変換点であったが, 今一つ忘れてはならないのは爆薬の開発である。爆薬による発破作業はトンネル工事には欠かせないものだが, 安全・保安面から, 気が重くなる課題である。

トンネル工事に使われるダイナマイトは, 1866年アルフレッド・ノーベルが発明して以来, 今日でも爆薬のなかで重要な地位を占めている。

強力な破壊力と同時に, 発破作業の取扱い方によっては暴発などの危険な性質を持ち合わせている。1955年鈍感爆薬(ANFO, 含水)が発明され, 1981年には含水爆薬が日本でも使用されるようになり,

作業中の発破事故が激減した。穿孔中のビットが残火薬にくり当てても暴発する事故がなくなったからである。NATM導入とあわせて, トンネル担当者にとっては大きな開発であった。

発破作業を伴うトンネル工事はまだまだ危険度が高く, 肥後トンネルで開発した「全自動油圧ジャンボシステムAD」は, 当時は法的な制約やセンサー精度技術などで, 爆薬装填までの自動化は無理であったが, これからもこのような安全・環境の改善につながる技術開発が望まれる。

#### 加久藤トンネル 一つながります青森～鹿児島～

肥後トンネル完成と時を同じくして, 隣接する加久藤トンネル南工事(全長6,213mのうち, えびの側2,945m)を受注した。1989年, 昭和天皇が崩御され, 年号が平成に変わった年の6月であった。当然のごとく横滑りで現場代理人の任命を受け赴任した。

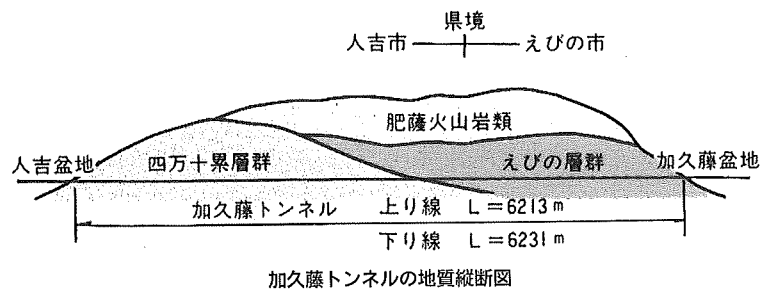
熊本, 宮崎の両県境(人吉市～えびの市)を抱いて横たわる山岳地には2本のトンネルが既につくられていた。ひとつは, JR肥薩線(旧鹿児島線)の矢岳トンネル(2,095m)であり, もうひとつは

国道221号の加久藤トンネル(1,800m)である。これに九州縦貫自動車道の加久藤トンネル(6,213m)が加わるのである。

矢岳トンネルの工事は1906(明治39)年に着工しているが, 急峻な地形で, 多量な水分を含む軟弱な凝灰岩に阻まれ困難を極めたという。湧水が激しく, 「建設資材を運搬していた馬がトンネル内の排水路に倒れこみ, そのまま流され救助が間に合わず溺死した。」とか「大量の出水を利用して発電所を作り, 坑内排水と点灯や送風に使った。」などの記録が残っている。

それほどの大湧水に苦しんだが, 1909(明治42)年に完成した。これで鹿児島本線(現在のJR肥薩線)が全通し, 関門海峡の船舶連絡を挟んで, 青森から鹿児島までの在来線鉄道がつながった。矢岳トンネルも施工は鹿児島組((現)鹿児島建設(株))であった。80年の時を経て, 苦しくも同じ地にて高速道路の青森～鹿児島がつながる最後のトンネル工事を担当することに, 何か因縁めいた巡りあわせを感じた。

加久藤トンネル(えびの側)の地質は四万十累層群を基盤岩として, これを覆って火山岩類(肥薩火山



岩類と, えびの層群)が分布している。地質構造的には下部のえびの層群は風化, 変質が見られる凝灰角礫岩で, 上部の肥薩火山岩類は, 節理が発達し地下水の豊富な安山岩が主体である。事前の調査でも破砕帯や大量湧水の予測はなされていたが, それが現実のものとなった。

#### ■大規模な崩落

本坑坑口より1,125m付近の地層境で, 最大16t/minの突発湧水とともに切羽天端が崩落し, 約500m<sup>3</sup>の安山岩が流出する事態が発生した。NATMでの小崩落は何度か経験していたが, このような大規模の崩落は初めての経験で, 連絡を受け現場に急行したが, 体の震えが止まらなかった。幸い作業員や機械類は退避して無事であり胸をなで下ろした。対策工には確実性を最重視し, 切羽や作業場の補強から始め, 崩落周辺の地質状況調査・把握したのち, 本坑横に水抜き坑を掘り, 湧水を迂回させた。崩落部空洞および周辺地山

への充填(セメントミルク), 注入補強(LW)を終え, 崩落部の縫返しを行い, 4か月半の中断で掘削を再開した。

矢板工法での崩落災害には, 支保の変状, 矢板のきしみの音などに感じる事前の兆候があり, それなりの早期対応ができる場合がある。現実には木材で切梁や胴梁, 矢板掛け, 遣らずなど, 作業員の懸命な対応で, 大崩落までいかに食い止めた事例を数多く経験してきた。またそれだけの質の高い坑夫がいた時代でもあった。

NATMは観測や計測管理により挙動を把握するが, 今回のような突発的なものへの対応には難しいものがある。このような災害時の心構えとして, 最悪の状態を常に想定し判断をしなければならない。まずは作業員の安全確保からである。そして, 復旧への基本は絶対に2次災害を起こさない技術的配慮である。

トンネルの掘削によって生じる, トンネル壁面の圧力とか変位など



湧水と大規模崩落

は, 力学的には解析されトンネル設計がなされているが, 「地山の顔」は千差万別で, 時折, 想定外の地圧や水圧がかかり, 崩壊につながる。どれだけの計算外の圧力がかかったのか, はっきり言っていないことが多い。

その一例だが, 私は1976年から3年あまり, 台湾の北回り鉄道建設工事(蘇澳～花蓮間)に従事した。約80kmにわたる施工指導と, 2本の長大トンネル(16号, 8号)の請負工事で, 私は16号トンネル(6,543m)作業所所長の立場であった。

1978年10月に台湾北東部を台風が襲った。1日あたり850mmの降雨があり, バケツをひっくり返すような雨で被害は甚大であった。とくに8号トンネルでは60cm厚さのコンクリートのライニングが, せん断力で破壊されたり, 側壁コンクリートがアーチコンクリートの継ぎ目から, もろに60cm以上, 押し出されてきた。それはこれまで経験したことのない, 信じられない光景であった。土かぶりや地形から見ても考えられない水圧や地圧の局所的な応力集中がかかったことは確かである。阪神淡路大震災の阪神高速道路高架橋の倒壊, 東日本大震災などの光景がだぶって, 「想定外」という言葉を考えさせられる。

#### ■60t/min大量湧水

加久藤トンネル坑口から1,800m, 先行パイロット坑において15t/minの大量湧水があり, また膨張性を示す軟弱な岩盤は, 崩壊・泥ねい化し, 内空変位も90mmと異

常値を記録した。このため約80m区間にわたりNATMから矢板工法に変更し、多くの補助工法でなんとか切り抜けた。

この区間はもともと破碎帯と湧水が予測されていたので、パイロット坑から事前に、延長350mの先進コアボーリングをして調査したが、破碎帯らしき存在は確認できず、湧水量もわずかであった。「点」で調べる事前予知の難しさを実感した。

この区間の湧水対策として、パイロット坑から本坑側に向けて水抜きボーリングを21本行ったが、最大湧水量は60t/minに達した。本坑施工時の事前対策として、本坑脇に水抜き迂回坑をつくり、本坑側に向けて水抜きボーリングと、本坑切羽からの薬液注入を行い、無事、湧水区間を突破することができた。

地中の水みちを予測するのは難しい。そこを塞ぐと水圧をため込み、また弱いところを探して崩壊・

噴出する。やはり、山の顔をよく見、山と相談しながら、一部の水を抜くなど水圧・地圧を安定させることが大切である。わずかな湧水量でも作業に大きく影響することがあり、また大量の湧水でもさほど影響を受けない場合もある。定量・統計的な数字やマニュアルだけでは、作業への影響度合いを測ることは難しい。施工の計画や積算には、数字で予測をしなければならぬが、掘ってみないとわからないトンネル工事のリスクがいちばんの悩みであり永遠の課題である。

#### ■最大日変位100mmを超える

大量の湧水・崩落の連続で苦労した区間を過ぎ、次第に火山軟岩と呼ばれる第三紀えびの層凝灰角礫岩地帯の、膨張区間に突入していった。

先行するパイロット坑の挙動特性や計測データから本坑の新支保パターンを設定し、慎重な施工をしたのだが、2D区間を過ぎて

変位は200mmを超え、収束の気配もみせず、変形余裕量を大幅に超えるものとなった。ロックボルトの破損、吹付けコンクリートの剝離・クラック、鋼製支保工の座屈などの現象が起り、トンネル崩壊のおそれを感じさせた。

このような事態に直面したNATM事例は当時は少なく、対応には苦労したが、上半仮閉合コンクリート、PC鋼棒・ウレタン注入などの補助工法を適宜組み合わせ、補強を行って事なきを得た。収束しない変位をどこまで許せるか、何回もの縫返しは不合理である。このような膨張性の軟岩は、ある程度の地山を緩め、変位を許したあとは、剛体で抑え込む考えで収束させ、良い結果が出た区間もあった。昔の「いなし工法」的なことであろうか。いろんな地質があるなかで、理論的なことのみでこだわる必要はなく、またそこから新しい技術も生まれてくると思う。

#### ■切羽を止める

補強対策で切羽が止まったのは、本坑で9か月、パイロット坑で4か月であった。切羽での出来高は、トンネル工事の生命線で、ここで作業する数人の坑夫が、ほかの全体作業員や機器類、坑外設備、ひいては工事事務所の経費に至るまで背負っていると言える。昔は「切羽は金を稼ぐところで一刻も空かしてはいけない」と教えられ、測量の時間も儘ならなかった。時は金なりと言うが全体工期の15%にあたる工事ストップは厳しいものであった。

人間関係を築けてきたことが、すべてに良い結果をもたらしたと考えている。

支店の管理部門に在籍時は、安全や品質管理などのパトロールなどで現場に行く機会が多かった。その現場がうまく運営されているかどうかは、現場事務所の環境や雰囲気、たいせつな判断基準として見ていた。応接する女性社員の対応を見るだけでも感じるものがある。人間関係、人の和のたいせつさは、1+1が2でなく3にも4にもなる。限りある社員での現場運営には欠かせないものであった。

#### ■感動の共有

現場所長の立場では、社員が働きがいを感じて、持っている能力を発揮できる場を与えることがたいせつであるが、そのような働きやすい環境を、いかにしてつくるかは難しい。

トンネル工事には「貫通」という、ほかにはない、はっきりとした節目がある。このときの感動は苦勞の分だけ喜びも大きく、この仲間と一緒に仕事ができて良かったと思う。貫通という目標に向かって精いっぱい努力をして、目標を皆で達成したときの「感動の共有」こそが、働きがいや生きがいとなって、自分の人生のために仕事をしているという実感が湧いてくる。

忘れられない思い出がある。加久藤トンネル貫通の社内祝賀会で、下請会社の炊事のおばさんが「私は毎朝、坑夫を送り出したあと、必ず『今日も無事に帰ってくるように』と毎朝、神棚に手を合

わせていました」と言われた。会に参加していた支店の幹部が、「あなた方と全員で、一緒に力を合わせて作り上げた……」と大号泣され、全員が涙し感動した。私はここで皆がひとつになったと実感し、痛飲してしまった。

どんな小さな事柄でも一人ひとりが汗を流し、目標を達成した感動を共有することで、自分に自信がつき、また次の目標にチャレンジできる。そのサイクルこそが、ひいては組織の力となり、企業としても大きなエネルギーとなると思う。このことが人材を育てるうえでのポイントだと思う。後継者の育成や技術の伝承は、技術的なマニュアルや統計的な数字だけでなく、フェース対フェースでつなげる心の中に原点があると感じる。企業イメージとはそういうところからしみ出てくるものだと思う。

#### ■安全が第一

私が初めてトンネル工事に従事した1960年代ごろは、不謹慎な話だがトンネル工事1kmあたり1名の死亡事故発生を見込んでいた。その時代から今日まで、時代の流れに相まって、いろんな安全対策が講じられ、長い目で見れば確実に進展を見たが、同時に資機材や工法技術の進歩も大きく寄与したといえる。

しかし企業の存続にかかわると言われながら、事故はいまだに途絶えない。現場に赴任するときは必ず上司から「安全が第一だよ」と言われ、さてどうしたら良いか、なにか一歩殻を破って、先に出るやり方がないものか、決め手がな



黒墨化した木片

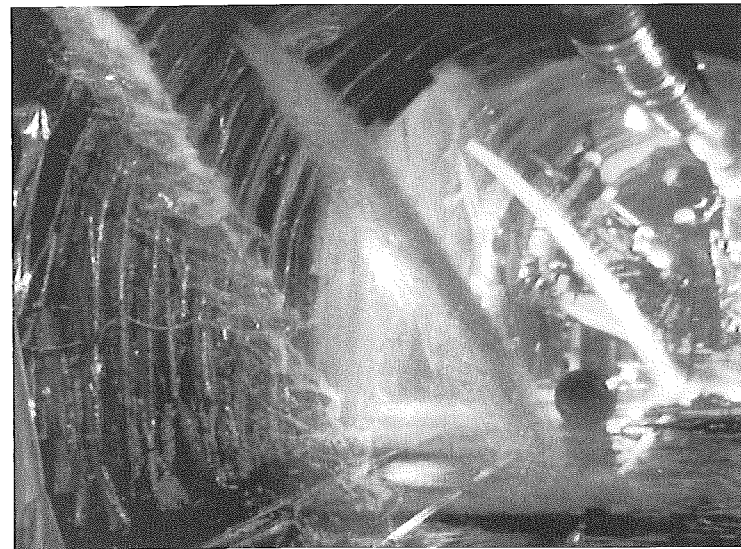
#### ■記念品

坑口より1,600m付近は軟弱な凝灰角礫岩で、一部人力で掘り進んでいたが、そこで「黒墨化した木片」が発見された。炭化の程度から300万年前のものだと判明した。太古の霧島連山噴火のおり、溶岩流に封じ込まれたものであろう。空気に触れるとすぐ風化するのでコーティングし記念品として保存した。炭化した、小さな木片のかけらだが、はるか古代のロマンに触れた感じで、われわれにとって宝物である。

#### 現場運営で思うこと

#### ■人の和

山岳トンネルの現場は、泊まり込み共同生活での作業が多い。また長大トンネルだと工期も4～5年と長く、同じ釜の飯を食うという仲間意識が強くなっていく。当時の請負形態は2～3社の共同企業体による受注が主で、社風の違った社員の寄り集まりとなり、それを束ねる組織づくりが、現場運営の大きなポイントであった。幾多の難関を突破して工事を完成してこられたのも、「人の和」を強調し、企業体が丸となって、よい



水抜きボーリング出水状況



肥後トンネル本坑貫通

く悩んだものだ。

肥後トンネルでは「意識のサイクルアップ運動」という活動を行った。これは日々変化する地質やアクシデントに対して、その対策検討に現場の坑夫さんにも意見を聞き、計画を立て、参加意識を持たせる。完成した喜びを共有し、結果を称えてさらに意欲を燃やしていく。このサイクルで安全を含め

た、意識をアップしていく運動である。作業員のやる気、働きがい、誇り。このような人の心に触れる活動が、これからの安全活動の方向を後押ししてくれるのではないだろうか。

#### おわりに

私は縁あって大学で講座を持つことになり、現役時代を含め2011

年まで19年間、福岡の3大学で非常勤講師として教壇に立ちました。大学工学部の学科名から土木の名前が消え、土木業界が逆風のさなか、土木技術者を目指し巣立っていく4年生が対象でした。専門講座内容とは別に、社会基盤づくりに携わる誇りと、ものづくりの現場の匂いを少しでも知ってもらうのが主目的でした。延べ約3,000名の学生との出会いは、私自身が「若さ」を貰い勉強をさせていただきました。ときおり街中で声をかけられ、近況を聞くのは楽しくて嬉しいことです。トンネル経験ということだけが先走り、どんぶり鉢のなかだけの、技術者バカにならぬように、これからも心掛けたいと思っています。

どこかのコマーシャルで聞いた「技術は人柄」。これが、私の好きな言葉です。

## 施工

# 大断面シールドが離隔40cmで近接する既設電力洞道の挙動

東京電力(株)東京工事センター副長(チームリーダー) 石川利明  
東京電力(株)東京工事センター 株 木 康 吉  
東電設計(株)土木本部都市土木部課長 中野内 美 孝

## 1 はじめに

近年、都心部では首都高速道路や地下鉄などの大規模構造物の建設が進められており、当社既設地中送電用トンネル(以降「既設洞道」と称す)に近接して施工される事例が散見されている。

このため、当社では近接施工における既設洞道に対する影響を把握するため、計測管理手法<sup>1)</sup>を確立し運用を行ってきた。

現在、施工されている首都高速道路中央環状品川線工事における大井地区トンネル工事(図-1参照)において、当社既設洞道の上・下を約40cmの離隔で交差して通過するといった過去にあまり例を見ない近接施工が実施された。

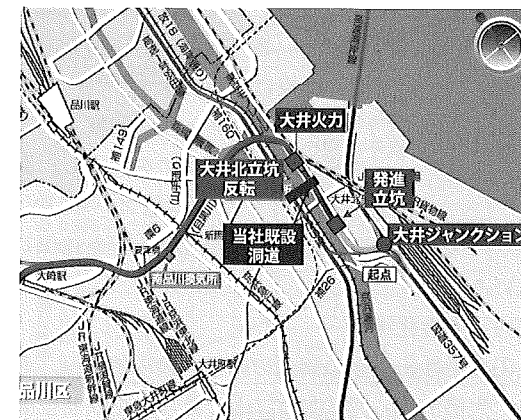


図-1 大井地区トンネル工事概要

本稿では、首都高速道路中央環状品川線大井地区トンネル工事通過に伴う当社既設洞道の挙動計測のうち鉛直挙動計測結果について報告する。

## 2 工事概要

### 2-1 工事概要<sup>2)</sup>

中央環状品川線大井地区トンネル工事は、地上から泥土圧シールド(外径φ13.4m)を発進させ、大井北換気所でUターンして、地上に到達する円形URUP工法で施工された。

### 2-2 当社設備との近接状況

中央環状品川線大井地区トンネルと当社既設洞道の位置関係を図-2に示す。

## 3 当社設備状況

### 3-1 設備概要

当該既設洞道は昭和46年に施工され、40年経過したシールド洞道(写真-1参照)であり、洞道の内径は2,000mm、外径は2,400mmである。

セグメントは、桁高200mm、幅800mmのRC平板形セグメント(図-3参照)を等6分割で用いており、二次覆工は施工されていない。

セグメントおよびリング継手ボルトの仕様を表-1に示す。

### 3-2 地質概要

当該箇所土層構成は図-4に示すように、上位

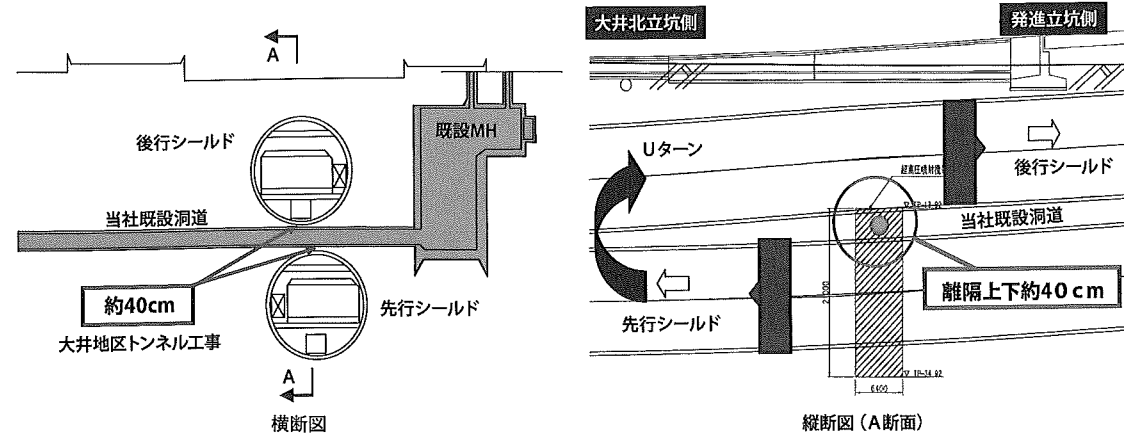


図-2 当社既設洞道への交差状況図

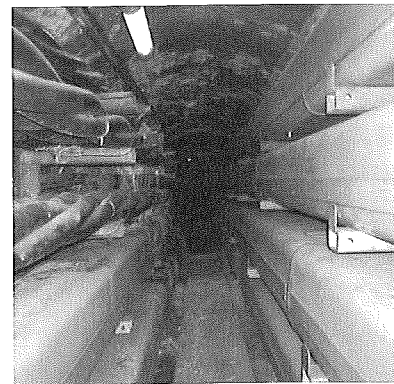


写真-1 既設洞道内状況

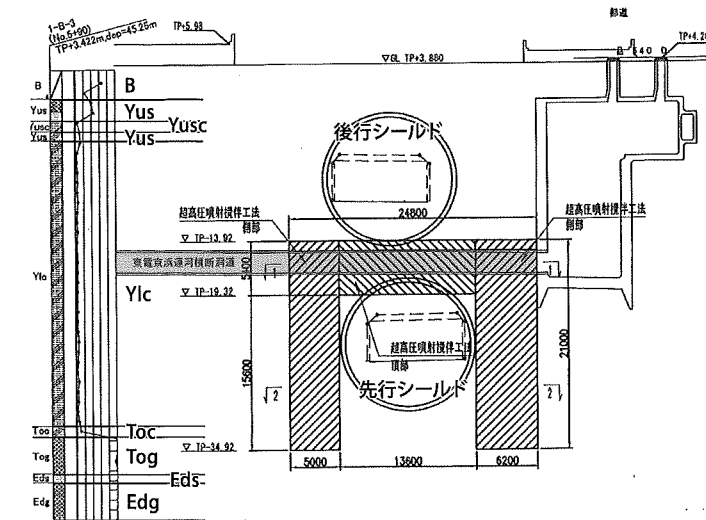


図-4 地質状況

表-1 ボルト仕様

	セグメント継手	リング継手
継手種類	鋼製ボックス	鋼製ボックス
ボルト強度	4.6(F4T)	4.6(F4T)
ボルト寸法	M22	M20
継手板寸法	高さ	100mm
	幅	125mm
	厚さ	6mm(設計値)

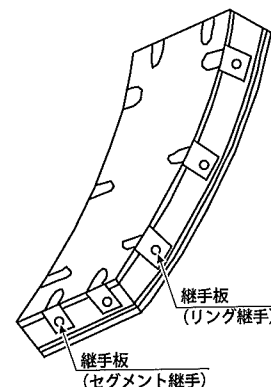


図-3 平板形セグメント

より埋土層(B)および沖積層(有楽町層砂質土層: Yus, 有楽町層粘性土層: Ylc)が約36m, 洪積層(東京層, 江戸川層)により構成されている。首都高速のシールド通過位置および当社既設洞道は、有楽町層粘性土層(Ylc)に位置している。

ている。

(2) 中性化深さ

- ① 中性化深さの調査の結果, 最小値6mm, 最大値31mm, 平均値20.7mmであり, 主鉄筋位置(実測平均かぶり40.4mm)には到達していない。

3-3 設備の劣化状況

当社既設洞道は建設後40年経過していることから, 過去に劣化調査を実施している。以下に劣化調査内容とその結果について示す。

(1) コンクリート圧縮強度

φ36mmの小口径コアを採用し, 異常値を除外した平均値は, 47.1N/mm<sup>2</sup>と設計基準強度42N/mm<sup>2</sup>を確保し

- ② 中性化深さの調査データにより, セグメントコンクリートの中性化進行を予測すると, 今後50年経過しても中性化は主鉄筋位置には到達しない。
- (3) 塩化物イオン
  - ① 鉄筋位置の塩化物イオン量は, 3~37kg/m<sup>3</sup>の範囲にあり, 腐食発生限界塩化物イオン量1.2kg/m<sup>3</sup>を大きく越えている。
  - ② 塩化物イオンの拡散予測の結果, 10~30年後の鉄筋位置における塩化物イオン量は26~36kg/m<sup>3</sup>程度となる。

(4) 鉄筋の腐食

- ① 33年経過時に実施した鉄筋腐食調査の結果, 鉄筋径の減少量は平均0.76mm(0.1~1.6mm)であった。なお, 減少量が比較的小さいのは, 昭和60年の調査後に断面修復工法による塩害補修を行い, 鉄筋に防錆処理が施されていることによるものと考えられる。
- ② 腐食による鉄筋径の減少量を予測した結果, 図-5に示すように, 近接施工時(40年経過)で平均0.92mm(95%上限値1.66mm)となった。
- (5) 継手(ボルトおよびボルトボックス)の腐食
  - ① ボルトは腐食しているが, 「ネジ山」部の腐食であり, 有効径は減少していない。
  - ② 継手板(ボルトボックス)は腐食が見られる

が厚さは6.05~6.18mmで, 現状で設計値6.0mmを満足している。

- ③ 継手板の減少については, 鋼管杭の経年腐食速度の試験結果をもとに予測した結果, 図-6に示すように, 近接施工時(40年経過)で0.144mmとなった。

以上の調査結果を踏まえ, 既設洞道の安全性評価にあたっては, 腐食による鉄筋径および継手板厚の減少を応力度照査時に考慮するものとした。

4 事前影響検討

当社既設洞道は, 中央環状品川線建設シールドが既設洞道の上・下を通過する際に, シールド掘削による応力解放に伴い, 図-7のように洞道縦断方向に変形するものと考えられる。そこで, シールド通過に伴う既設洞道縦断方向の影響に対する事前影響検討を実施することとした。

4-1 洞道縦断方向の検討

(1) 地盤変位の解析手法

応力解放に伴う検討は, 2次元弾性FEM解析を用いて行った。解析は, シールドの施工順序を踏まえて, 先行シールド, 後行シールドそれぞれの掘削解放力に伴うステップ解析にて行った。ステップ解析の手順を以下に示す。

1) 初期応力解析(Step-1)

- ・洞道およびマンホールはモデル化せず地盤と同等の剛性とする。
- ・改良体位置はモデル化する。ただし, 初期応力解析時は地盤の変形係数とし, 次ステップ以降で地盤改良の剛性を評価する。

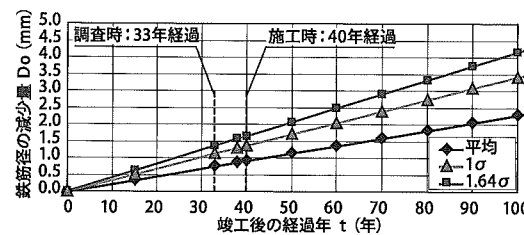


図-5 鉄筋径の減少予測

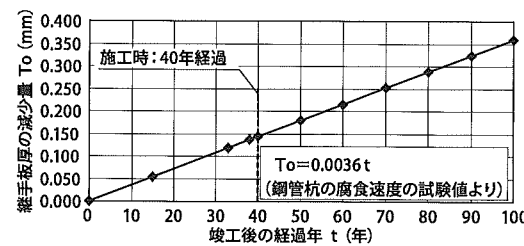


図-6 継手板厚の減少予測

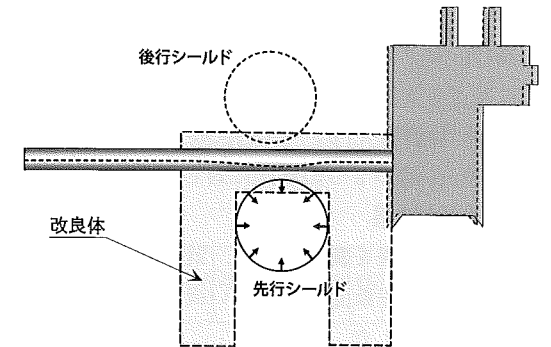


図-7 既設洞道の縦断方向変形イメージ

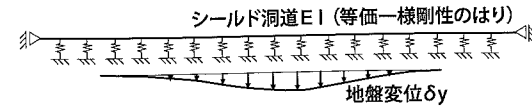


図-8 洞道縦断方向の検討概念図

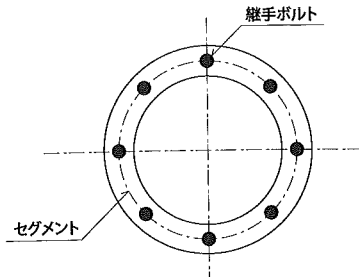


図-9 RC円環断面

- 2) 先行シールド掘削(Step-2)
  - ・地盤改良の剛性を入力
  - ・掘削相当外力：掘削解放率 $\alpha$ %
  - ・掘削径はシールド外径とする。
- 3) 残りの解放力作用時(Step-3)
  - ・セグメント(覆工)の剛性を入力する。
  - ・裏込め材位置に面要素を追加する。
  - ・掘削面の境界条件：固定
  - ・掘削相当外力：掘削解放率 $(100-\alpha)$ %
- 4) 後行シールド掘削(Step-4)
  - ・先行シールドの固定を解除
  - ・掘削相当外力：掘削解放率 $\alpha$ %
  - ・掘削径はシールド外径

(2) 洞道縦断方向の検討

応力解放によるFEM解析結果より抽出した地盤変位を荷重として、図-8に示す縦断方向の梁ばねモデルにより洞道縦断に発生する断面力を算出した。次に、得られた断面力を、洞道のリング継手ボルトを鉄筋とみなした図-9のRC円環断面に対し、セグメント本体、リング継手ボルトの応力度照査を実施した。

なお、検討は先行シールド(Step-2)と後行シールド(Step-4)の2つの状態に対して行った。

4-2 検討結果

上記検討結果を表-2に示す。既設洞道の照査については、発生断面力の大きい後行シールド通過時(Step-4)とした。

本結果にも示されるように、シールド通過によ

表-2 応力度照査結果一覧

照査項目	記号	発生応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )
コンクリート曲げ圧縮応力度	$\sigma_c$	0.0	16
リング継手ボルトの引張応力度	$\sigma_b$	6.3	120
リング継手ボルトのせん断応力度	$\tau_b$	2.9	90
継手板の最大曲げ応力度	$\sigma_m$	89.8	160
継手板のせん断応力度	$\tau$	3.2	90

る既設洞道の発生応力度は、許容応力度以下となり、シールド通過に伴う影響は問題ないとの結果となった。

また、シールド通過に伴う既設洞道の変位は、先行シールド通過時(Step-2)で約9mm沈下し、後行シールド通過時(Step-4)で約6mm隆起するという結果となった。

5 計測監視工

上記事前解析の結果、中央環状品川線建設シールド通過に対する既設洞道への影響は問題ないとの結果となったが、シールドが既設洞道の上下を約40cmの離隔で交差して通過するという超近接施工が実施されることから、既設洞道に対するリスクを踏まえ、計測監視を実施することとした。

5-1 計測管理方法

中央環状品川線建設シールド通過に伴う既設洞道の沈下および隆起による影響を把握するため、洞道縦断鉛直方向の計測を実施した。計測機器は、V-1とV-13を基準点として、既設洞道の変形モードを捉えるため、図-10に示すように基準点を含め13か所に磁歪式水盛り沈下計を設置した。

洞道の管理は応力度管理とした。応力度管理方法は、計測で得られた鉛直変位の変位分布にフィッティングする荷重を推定し、推定した荷重から図-11に示すように地盤ばねを介した等価一様剛性の梁ばねモデルに作用させて、上記の事前予測解析と同様に、各部材に発生している応力を算定して計測管理を実施した。

また、安全確保のためには、工事中における既

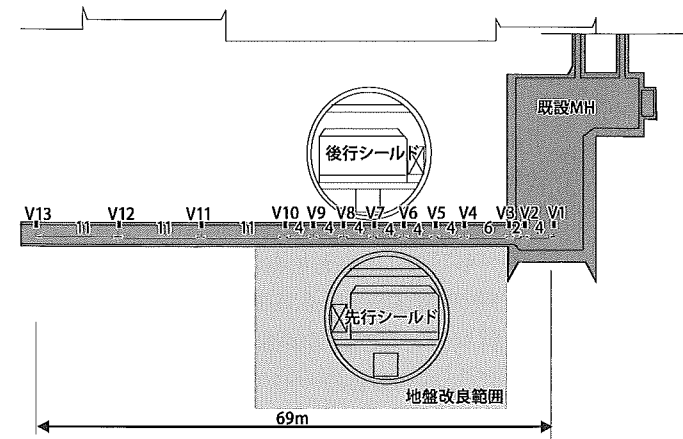


図-10 洞道縦断方向計測器配置図

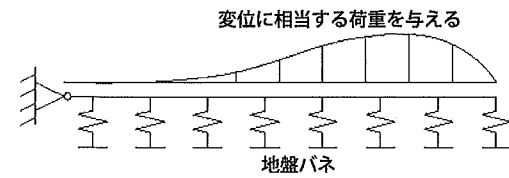


図-11 等価一様剛性の梁ばねモデル

設洞道の応力度が許容値を超えないことが必要条件であり、過去の計測事例<sup>3)</sup>も参考にし、安全監視では、許容値を超えることが予測された時点で未然に対策を講じる必要があるため許容応力度を基準(3次管理値)にして、段階を踏んだ管理値を設定した(2次管理値：許容応力度の80%、1次管理値：2次管理値の80%)。

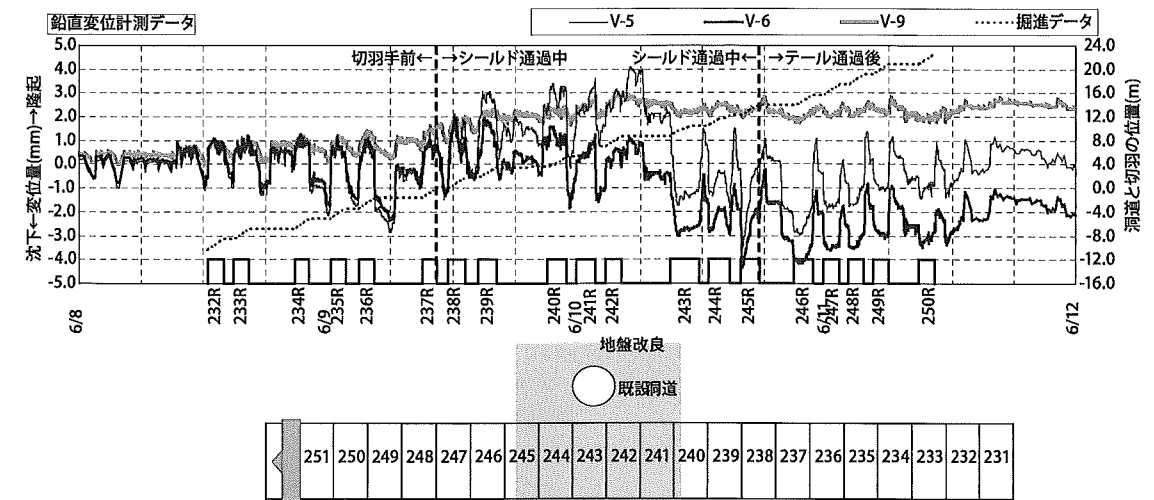


図-12 洞道縦断方向計測結果(先行シールド通過時)

5-2 計測結果

5-2-1 縦断鉛直変位

(1) 先行シールド通過時の挙動

図-12に先行シールド通過時における洞道の縦断方向の計測結果(V-5, 6, 9)を示す。

洞道が切羽手前にあるとき、洞道はシールド掘進時に切羽の圧力で隆起し、セグメント組立て時に切羽の圧力が下がると沈下する傾向を示した。また、シールドが近づくにつれて、沈下量が増加する傾向を示した。

上記影響は、セグメント組立て時に切羽の圧力が下がり、地盤の土水圧が切羽の圧力より大きくなり、シールド側に地盤が変位したと思われる。

シールド通過直後は、切羽の予備圧で掘進時に隆起し(図-13(a))、セグメント組立て時に切羽の予備圧が下がると元に戻る傾向を示した。また、シールドの通過途中では、掘進時のシールド外周のボイド発生に伴い沈下し、セグメント組立て時の裏込め注入後に遅れて隆起する傾向を示した(図-13(b))。

その原因としては、裏込めが全体に充填されるのに時間がかかるためと思われる(図-13(c))。

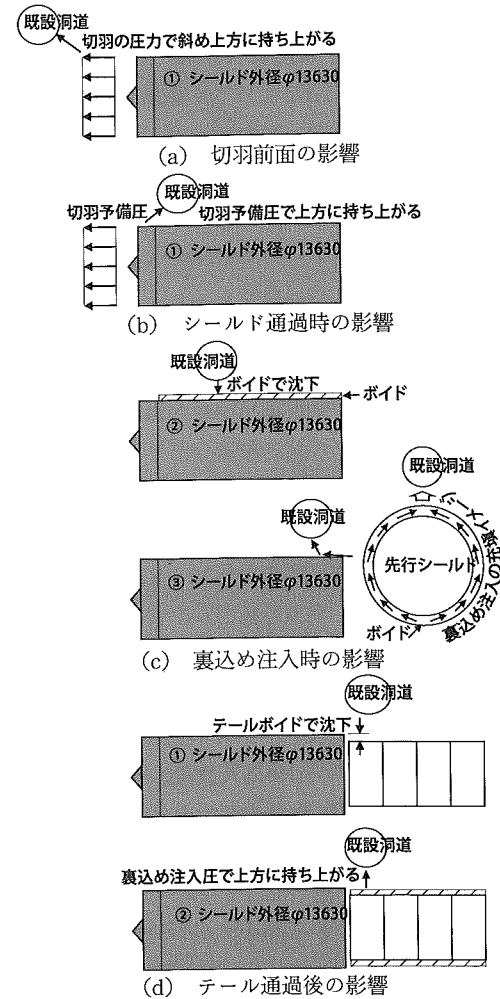


図-13 先行シールド通過時の挙動

テール通過後においても、掘進時のシールド外周のボイド発生に伴い沈下し、セグメント組立て時の裏込め注入後に遅れて隆起する傾向を示した。その原因は、上記と同様の理由と思われる。(図-13(d))

(2) 後行シールド通過時の挙動

図-14に後行シールド通過時における洞道の縦断方向の計測結果(V-5, 6, 9)を示す。

後行シールドの切羽が接近した時点での洞道の鉛直変位は、先行シールドが洞道の下を通過した影響が残っており、最大8.5mm程度沈下した状態である。

先行シールド通過時には、シールドが近づくとつれて切羽圧の影響により洞道の隆起・沈下が見られたが、後行シールドでは、切羽手前での沈下・隆起は見られない。後行シールドは土かぶりが約4.9mと小さく、先行シールドと比べて切羽圧が1/3程度と小さいことから、切羽圧の影響は小さかったものと考えられる。

後行シールドが洞道上部を通過しているあいだ、洞道は徐々に沈下量が減少する傾向を示した。この原因としては、シールド掘削による地盤の応力解放の影響、およびシールドの浮き上がり(シールドの比重0.97)による影響が考えられる。

なお、先行シールドでは裏込め注入圧の影響で隆起する傾向が見られたが、後行シールドでは、

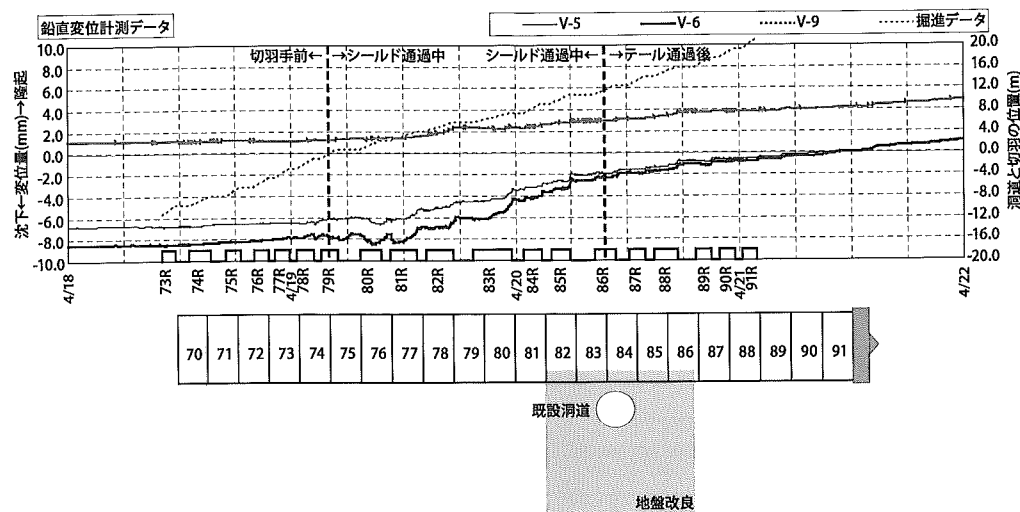


図-14 洞道縦断方向計測結果(後行シールド通過時)

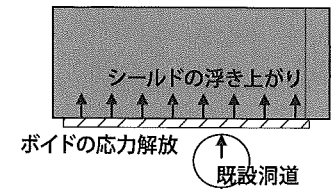


図-15 後行シールド通過時の挙動

洞道上部を通過するため注入口が離れていること、注入圧が先行シールド時の1/2程度と小さいことなどにより、裏込め注入圧の影響は明確には見られなかった。

5-2-2 洞道応力

(1) 先行シールド通過時の挙動

前述したように計測管理は応力度管理とし、洞道縦断方向に対してはセグメント本体のコンクリート圧縮応力度、リング継手のボルト引張応力度および継手板の曲げ応力度に着目して管理した。

コンクリート圧縮応力度の最大は0.2N/mm<sup>2</sup>(1次管理値9N/mm<sup>2</sup>)、ボルト引張応力度の最大は55N/mm<sup>2</sup>(1次管理値115N/mm<sup>2</sup>)、継手板曲げ応力度の最大は309N/mm<sup>2</sup>(1次管理値175N/mm<sup>2</sup>、3次管理値240N/mm<sup>2</sup>、242Ring組立て時)と、洞道の隆起が最大のときに継手板曲げ応力度が3次管理値を超過した。このため、洞道内の状況を確認し、大きな亀裂や漏水(大)がないことを確認し、慎重な施工をして頂いた。

なお、継手板曲げ応力度は、その後、洞道の沈下に伴い減少し、1次管理値程度まで収束した。

(2) 後行シールド通過時の挙動

継手板曲げ応力度は、後行シールド通過前は110N/mm<sup>2</sup>であったが、徐々に緩和され、後行シールド通過後には50N/mm<sup>2</sup>まで減少した。鉛直変位計測データに示すように、沈下量が徐々に減少し

て隆起傾向に変わるとともに、洞道縦断方向の変位差が減少して曲げモーメントが小さくなったことにより、応力度が減少したものと考えられる。

コンクリート圧縮応力度は最大0.1N/mm<sup>2</sup>(1次管理値9N/mm<sup>2</sup>)、ボルトの引張応力度の最大は8N/mm<sup>2</sup>(1次管理値115N/mm<sup>2</sup>)、継手板曲げ応力度は最大113N/mm<sup>2</sup>(1次管理値175N/mm<sup>2</sup>)と、すべて1次管理値以下であった。

6 おわりに

上記の計測監視により、当社既設洞道に影響を及ぼすこともなくシールド施工は平成23年6月に完了した。

本稿では、既設洞道の縦断鉛直方向の変位について報告したが、このほかにもシールドの通過に伴う洞道の水平変位などの検討および計測を実施していることから、今後これらのデータを取りまとめ、報告を行う予定である。また、計測結果と事前予測解析との比較結果についても今後実施し報告する予定である。

最後に、本検討を進めるにあたり、小泉淳・早稲田大学教授にご指導をいただいたことに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 産業技術サービスセンター：近接施工技術総覧，pp.261-277，1997。
- 2) 五十嵐央・井澤昌佳：地上発進・地上到達で大断面シールドを施工，首都高速中央環状品川線 大井地区トンネル，トンネルと地下，Vol.44，No.4，pp.15-22，2013.4。
- 3) 高橋晃・新津強・河村隆・小室真一：近接施工に伴うシールドトンネルの計測・監視について，土木学会第51回年次学術講演会，1996。

セグメントの新技术

小泉 淳 監修 B5判132頁 本体定価 2,000円(〒290円)



〒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

# 土木情報 No.478

今月の主な入札結果  
(2月10日～3月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
沖縄総合事務局	H24大木地区函渠	屋部土建	270
東北地整	R13下院内T	前田建設工業	2,291
関東地整	工専用トンネル補修	戸田建設	237
北陸地整	R289 7号T	西松建設	2,070.2
〃	入善黒部BP江口横断函渠その2	東城建設	113.4
中部地整	1号笹原山中BP 2号T	不動テトラ	576
〃	佐久間道路浦川地区第1T新設	大林組	3,705
〃	21号坂祝BP坂祝T	三井住友建設	1,461
〃	41号下原T	飛島建設	824
近畿地整	近畿自動車道紀勢線田野井第2T	大成建設	3,186
〃	名塩道路八幡T	鴻池組	1,557.6
〃	紀北西道路知谷T他	鴻池組	1,043
〃	〃 春日T他	大本組	783.8
〃	丹波綾部道路瑞穂IC函渠他	熊谷組	982
四国地整	H24-26前山T	奥村組	1,413
〃	H24-25稲生T	フジタ	499
〃	H24-25稲生T地盤改良	青葉工業	223
鉄道・運輸機構	九州新幹線(西九州), 新長崎T(東)他	鴻池・日本国土・西武・竹下JV	6,350
〃	相鉄・東急直通線, 新横浜駅他	清水・竹中土木・熊谷・松尾JV	10,171
水資源機構	大規模地震対策東部幹線併設水路伊良湖工区	東急建設	965
都市再生機構	高岡川5号函渠他	増川建設	190
日本下水道事業団	習志野市香澄汚水幹線建設	村壑建設工業	105
中日本高速道路	中部横断自動車道原T	鹿島建設	2,161
首都高速道路	(改)トンネル耐久性補強1-2	管清工業	150
群馬県	社会資本総合整備(地域自主戦略交付金事業)(下水)管渠築造(伊勢崎幹線第2-1工区)	田中建設	305
〃	〃 (伊勢崎幹線第2-3工区)	関東建設工業	280.8
埼玉県	24水整第404号荒川横断送水管路更新(シールド)	西松建設	3,369
都・下水道	練馬区南大泉1,3丁目付近枝線	福田・東亜JV	1,398
〃	高段幹線再構築その3	東急建設	467.7
〃	山谷堀雨水渠再構築その2	徳倉建設	433
〃	尾久東幹線・第二浅草幹線間連絡管建設	真柄建設	523
大阪広域水道事業団	送水管布設(BP・堺市日置荘原寺町～堺市深井畑山町)	浅沼・大鉄JV	1,865
〃	〃 (BP・堺市深井畑山町～堺市田園)	奥村組土木・株木・ヤマトJV	1,817
〃	〃 (長吉松原BP送水管・大阪市ほか)	戸田・南海辰村JV	2,730
さいたま市	鴨川第38処理分区分下水(南建-24-40)	三ツ和・湊川JV	563.39
〃	〃 (南建-24-43)	ユーディケー・武蔵野JV	435.85
飯能市	小岩井地内導送水管布設替	鴻池組	494
名古屋市	中村中部雨水幹線下水道築造	ハザマ・西武・山越JV	3,265.51
大阪市	大隈～十八条幹線下水管渠築造(その9)	松村組	579.44

## 研究

# 列車振動を活用したトンネル覆工のはく落監視法に関する研究

東電設計(株)土木本部耐震技術部保全技術グループマネージャー 瀬下雄一  
 (公財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部主任研究員 津野 究  
 山梨大学工学部土木環境工学科教授 杉山俊幸

### 1 はじめに

鉄道事業においては、トンネル覆工コンクリートのはく落は、鉄道輸送の安全性・信頼性が問題視されるなど社会的反響が大きい。はく落事故を防止するために、定期的な実施される目視検査と打音調査により、はく落が発生する可能性のある箇所を抽出している。一般に、「措置が必要」と判定された箇所では、コンクリートに浮きが生じている箇所をその場で叩き落とし、早期に補修が実施されている。ここで、「措置が必要」と判定されなかったものの、コンクリートの浮きの部分を容易に叩き落とせないもの、潜在する変状範囲が広範囲であるものなど、将来的にははく落につながる可能性がある潜在的な変状もあるのが現状である。このような箇所については、次回の検査で打音調査を実施するなどの対応を行っているが、このような変状を状態監視する手法が確立できれば安全性のさらなる向上につながると考えられる。そこで、本研究では、図-1のように、列車振動を活用してはく落につながる変状の進展を状態監視する方法について検討した。列車振動を活用することで、変状の潜在的な進行性や、センサ設置箇所周辺の広範囲の変状の進展性の監視が可能となる可能性があるとともに、くり返し通過する列車から多くのデータが得られることで変状進展の検知精度が向上するものと考えられる。

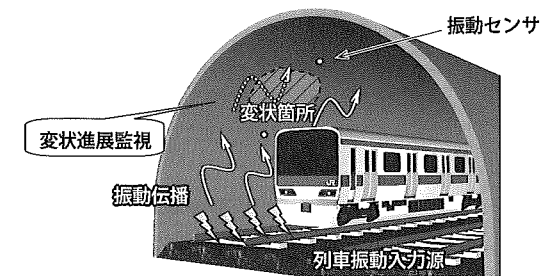


図-1 本研究の概要

本稿では、これまでに実施した実トンネルの振動計測結果、ならびに覆工の変状の進展性を模擬した実験結果<sup>1),2)</sup>について報告するとともに、本研究で提案している列車振動を活用したトンネル覆工の状態監視方法を紹介します。

### 2 実トンネルにおける振動計測

#### 2-1 振動計測の概要

本研究では、1～2m程度以上の長さを有するひび割れや浮きの進展監視を対象としている。このような変状の進展を評価するためには、最低でも数十cm程度のひび割れや浮きの長さの進展の把握が必要であると考えている。これを振動特性の変化で検知しようとした場合、振動の波長が変状の進展長さより大きすぎると変状の進展を評価できないことから、本研究では、数千Hz程度までの高い周波数を対象とすることにした。このような高い周波数までを対象とした鉄道振動の計測事例は見当たらない。そこで、12,000Hzまで分析

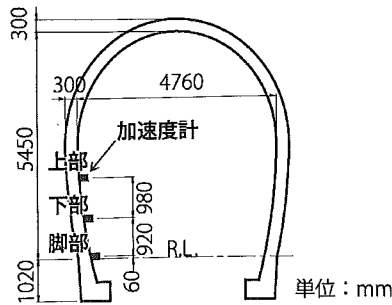


図-2 実トンネルにおける振動計測位置

表-1 振動計測した列車の一覧

No.	種別	編成(車両)	速度(km/h)
1~5	貨物	21	36~56
6~9	特急	5もしくは6	68~103
10	普通	1	39

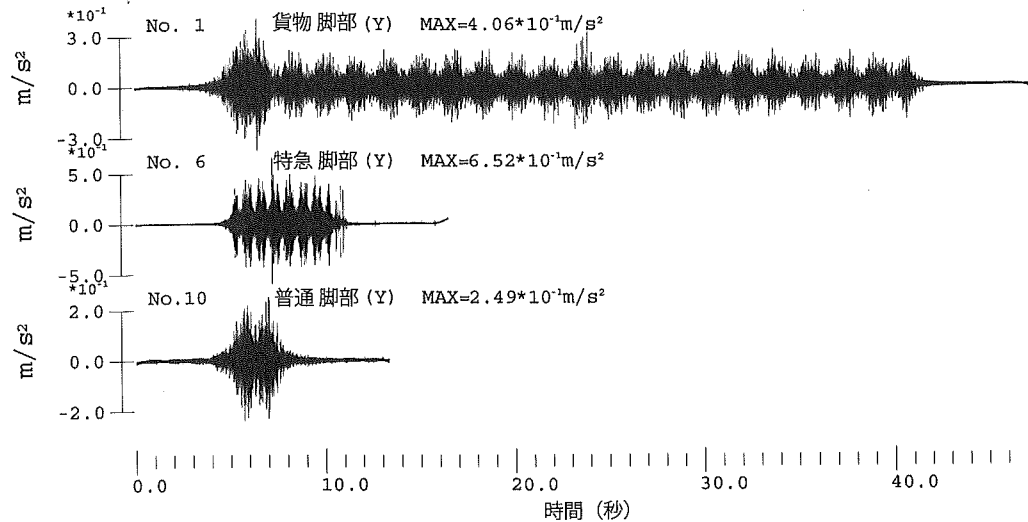


図-3 振動計測で得られた加速度時刻歴の例(覆工面外方向の振動成分)

可能な計測仕様で、実際のトンネルで列車走行時の振動計測を行った。

振動計測の対象としたトンネルは、昭和40年代に建設された単線山岳トンネルであり、計測箇所近傍では、ひび割れや浮きがないことを確認している。計測は、図-2に示すように、覆工壁面の3か所に圧電型の加速度センサを設置して行った。計測中には、表-1に示すように、貨物、特急、普通列車の走行時の振動が得られた。

2-2 振動計測結果

計測した加速度波形の一例を図-3に示す。また、

「脚部」位置で計測した加速度のフーリエスペクトルを図-4に示す。この図に示すように、列車の走行に伴う振動加速度のフーリエスペクトルは、列車種別によって異なっている。列車の種別によって車両の重量や走行速度が異なることから、振動のエネルギーの大きさが異なり、これに伴ってフーリエスペクトルの大きさも異なっているものと考えられる。

一方、トンネルの覆工や覆工背面の地盤の剛性および質量は、計測期間中は変化しないことから、トンネル覆工と背面地盤からなる振動系は変化し

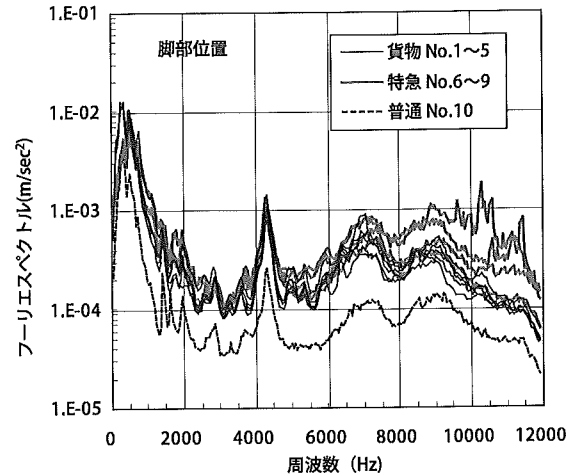


図-4 「脚部」位置の加速度のフーリエスペクトル(覆工面外方向の振動成分)

ない。したがって、覆工表面で計測している振動の卓越周波数は列車種別で大きく異なっていないものと考えられる。

列車走行時のフーリエスペクトルは、列車種別、走行速度によって形状が異なることから、フーリエスペクトルを変状進展監視の指標として直接用いることは困難である。変状監視を行うためには、変状が進展しない状態では、一定の関係を有する指標を考える必要がある。そこで、振動波形の周波数に依存しない「振動の伝達特性」に着目することにした。具体的には、変状進展の指標として、覆工面上の2点間のフーリエスペクトル比を用いることを考えた。

実トンネルで計測した振動波形を用いたフーリエスペクトル比の例を図-5に示す。このフーリエスペクトル比は、「上部」の計測位置に対する「下部」のフーリエスペクトル比である。図-5は、表-1のすべての列車の計測結果を重ね書きしたものである。この図に示す8,000Hz以下の周波数帯では、列車種別によるばらつきが小さく、フーリエスペクトル比は列車種別や通過速度が異なっても、同一の形状を示していることがわかる。

以上のことから、本研究では、列車走行時の覆工壁面における振動計測結果を用い、測定点間のフーリエスペクトル比を指標として、変状進展性を評価することとした。

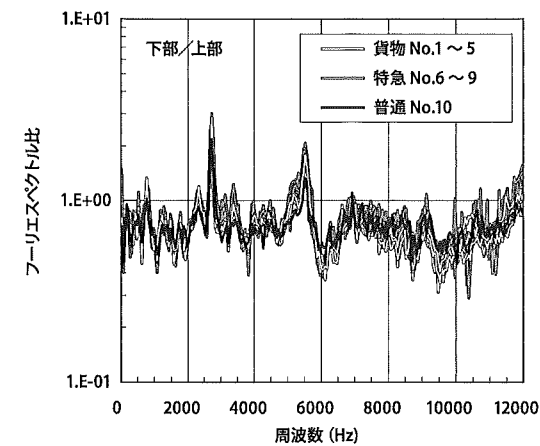


図-5 「上部」位置と「下部」のフーリエスペクトル比(覆工面外方向の振動成分)

3 振動実験による変状進展時のフーリエスペクトル比の変化

3-1 梁試験体による振動特性確認実験

覆工にひび割れが確認されている状態から、ひび割れが潜在的に進展したときの振動特性の変化について分析するために、梁試験体を用いた振動実験を行った。この実験では、図-6に示すように、梁試験体の端部において、砂を介したパイプレタにより振動を与えて、梁表面に設置した加速度計で振動を計測した。ひび割れがある梁試験体と、このひび割れが潜在的に進展した梁試験体に対して実験を行い、測定点間のフーリエスペクトル比の比較を行った。

フーリエスペクトル比の比較の例を図-7に示す。この図は、計測位置②に対する④(測定点間距離

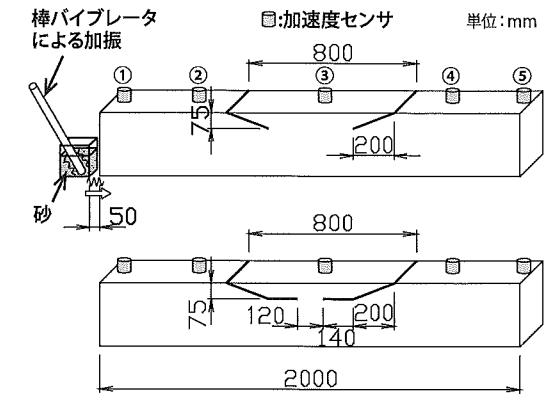


図-6 梁モデルによる振動特性確認実験の概要

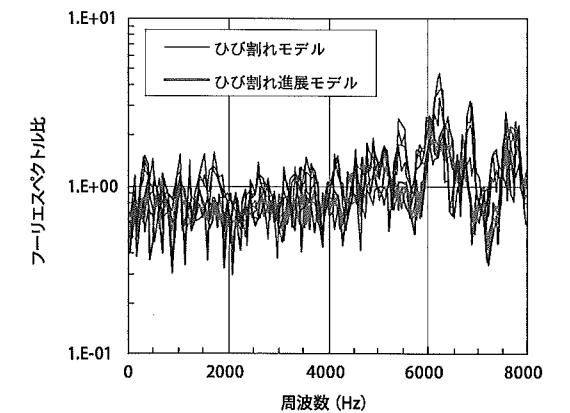


図-7 計測位置②と④のフーリエスペクトル比の例(鉛直方向振動成分)

が120cm)のフーリエスペクトル比の例であり、各梁試験体に対して4回の振動計測結果を重ねている。4回の振動計測結果はばらつきが少なく、ひび割れが進展したことでフーリエスペクトル比には、試験結果のばらつきよりも大きな違いが生じていることがわかる。

これは、ひび割れの進展によって新たな振動境界が形成され、この境界面と試験体表面の間でも反射波が生じることで、広い周波数の範囲でもフーリエスペクトル比の形状に変化が生じたものと想定される。このことから、測定点間のフーリエスペクトル比の変化を計測することにより、変状の潜在的な進展を把握することが可能であると考えられる。

### 3-2 トンネル覆工大型模型による振動特性確認実験

変状が進展したときのトンネル覆工の振動特性の変化を分析するために、トンネル覆工模型荷重実験を行った。この実験では、荷重によって覆工にひび割れなどの変状を生じさせた。荷重荷重を増加させて変状が進展した状態で、覆工の脚部近傍で振動を与えて覆工の加速度を計測し、変状の進展に伴う覆工の加速度のフーリエスペクトル比の変化を調べた。

実験に用いた供試体は新幹線標準断面の1/5スケールの模型で、矢板工法のトンネルを想定した無筋コンクリート製の単芯円アーチとなっている。実験の概要を図-8に示す。

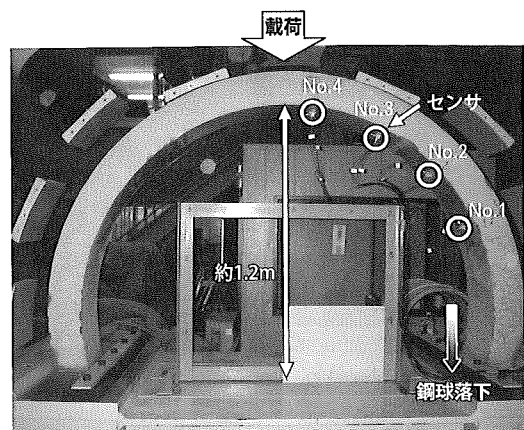


図-8 トンネル覆工大型模型実験の概要

覆工に変状を生じさせるための荷重は、天端部に設置した荷重用油圧ジャッキにより覆工に鉛直下方の強制変位を与えることで行った。振動の計測は、主な変状を確認した時点で一時的に変位を保持した状態で実施した。加振は、覆工の脚部から20cm離れた位置に直径6.5cmの鋼球を20cmの高さから落下させて行った。

荷重時の荷重と変位の関係を図-9に示す。天端での沈下量が50mmのときのひび割れなどの変状を図-10に示す。天端の沈下量が50mmのとき、覆工天端内面のひび割れの幅は23~24mmとなっており、覆工背面では圧ざと呼ばれる圧縮破壊が生じている。覆工の天端から約60度の位置には、覆工表面ではく離・はく落が生じている。

一例として、天端内面のひび割れ幅が0.06mmのときの荷重状態STEP 3と、ひび割れ幅が0.35mmのSTEP 4と、ひび割れ幅が2mmのSTEP 5のフーリエスペクトル比を比較したものを図-11に示す。この図は、計測した加速度から、測定点1に対する測定点4のフーリエスペクトル比を求めたものであり、覆工の面外方向の振動成分を対象としたものである。振動の測定は、鋼球を2回落下させて計測を行っており、この図では、それら2回の波形を重ね書きしている。各荷重状態において、2波のばらつきはほとんど見られず、実験の再現性は良い。

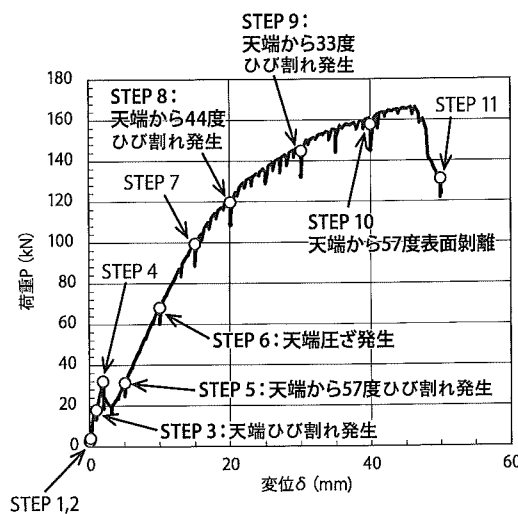


図-9 荷重実験における荷重～天端変位の関係

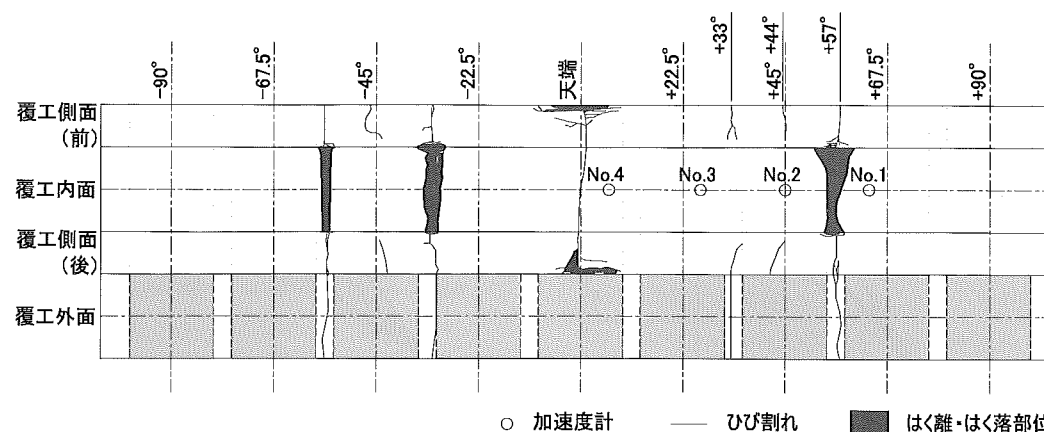


図-10 天端変位が50mmのときのひび割れなどの状況

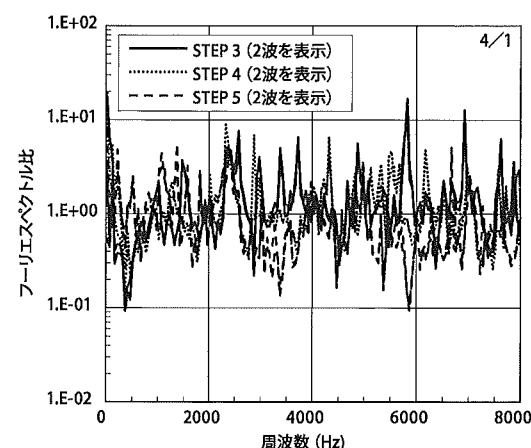


図-11 ひびわれ状況が異なるときのフーリエスペクトル比(面外方向振動成分)

天端のひび割れ幅が0.06mmのSTEP 3とひび割れ幅が0.35mmのSTEP 4では、フーリエスペクトル比の形状の違いがあることがわかる。ひび割れ幅が2mmとなったSTEP 5では、STEP 3や4のフーリエスペクトル比の形状と大きく異なっている。これは、STEP 5では、天端から57度の位置で幅1.5mmのひび割れが存在しており、このひび割れがフーリエスペクトル比の形状の違いに影響したものと考えられる。

天端のひび割れは、フーリエスペクトルを求めている測定点間に含まれてはいないが、フーリエスペクトル比の形状には変化が生じている。このように、トンネル覆工大型模型実験においても、変状進展によってフーリエスペクトル比の形状に変化が生じることを確認することができた。

## 4 列車振動を活用した変状監視方法

### 4-1 フーリエスペクトル比の変化の定量化

フーリエスペクトル比の形状の変化は、発生する変状の種類、程度によって、変化する周波数帯が異なる。変状の進展に伴うフーリエスペクトル比の形状を変状監視に活用するためには、形状の変化を定量的に表す指標が必要となる。そこで、フーリエスペクトル比の形状の変化を定量的に評価するために、ある変状の状態からのフーリエスペクトル比の変化を、次式に示す進行性指標Rを用いて定量的に評価することとした。

$$R = 1 - \frac{\text{Cov}(x, y)}{\sigma_x \times \sigma_y}$$

ここに、Covはある変状の状態におけるフーリエスペクトル比の対数値xと、比較するフーリエスペクトル比の対数値yの共分散である。σ<sub>x</sub>とσ<sub>y</sub>は、xとyの標準偏差である。

ある変状において計測したフーリエスペクトル比の形状に変化が生じない場合は、この進行性指標は0となり、フーリエスペクトル比の形状に変化が生じた場合は、進行性指標は0より大きな値を示す。

梁試験体による振動特性確認実験でひび割れが潜在的に進行した場合の変状進行性指標Rを求めた結果、Rは0.45となり、0より大きな値を示した。また、トンネル覆工模型荷重実験における計測結果を用いて進行性指標を求めた結果を図-12

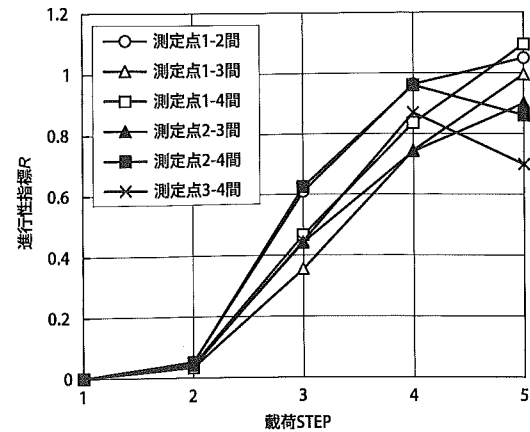


図-12 STEP 1からの進行性指標Rの変化

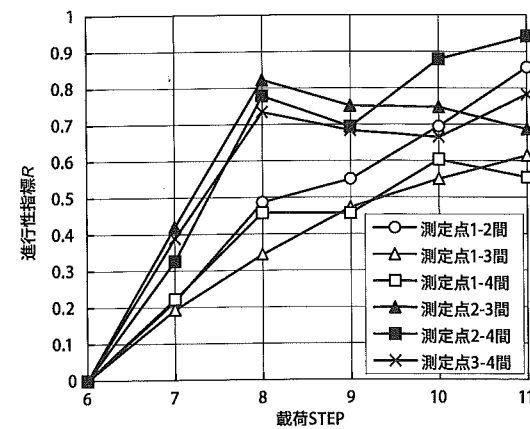


図-13 STEP 6を基準とした進行性指標Rの変化

に示す。この図は、載荷を始める前の状態のSTEP 1を基準とし、このフーリエスペクトル比に対して、変状が進展した状態の各載荷STEPのフーリエスペクトル比との関係から、STEP 5までの進行性指標の変化を示したものである。変状がないSTEP 1, 2に対して、天端内面でひび割れが生じたSTEP 3となった時点で、すべての計測点間で進行性指標Rの値が大きく増加している。しかし、基準としたSTEP 1, 2から大きく変状が進展したSTEP 5では、その前のSTEP 4と比較してRが減少している計測点も見られる。

図-13は、天端背面で圧ぎが生じたSTEP 6を基準としたときの進行性指標Rの変化を示したものである。覆工の圧ぎの範囲が拡大するとともに、隣接個所で表面剥離が生じて、その範囲が広がる

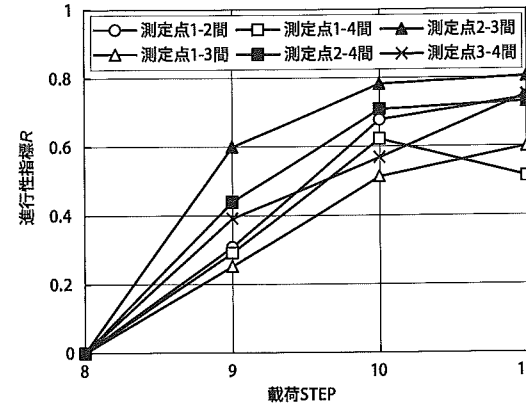


図-14 STEP 8を基準とした進行性指標Rの変化

STEP 7, 8にかけて、STEP 6を基準としたときの進行性指標Rの値がすべての計測点間で増加している。しかし、STEP 8以降では、ひび割れ幅や離している範囲の拡大、STEP 9で新たなひび割れの発生があるにもかかわらず、Rの増加がない測定点も散見される。ところが、STEP 8を基準として進行性指標Rを求めた場合は、図-14に示すように、基準としたSTEP 8の直後のSTEP 9, 10では、変状の進展によってRが増加する。

進展性指標Rは変状の進展に伴い増加する傾向を示すが、基準としたSTEPから変状が大きく進展した場合は進行性指標が顕著に増加しないことがある。また、基準とするSTEPが異なれば同じSTEP間でも進行性指標は異なる値を示している。しかし、基準としたSTEPの直後のSTEPでは、進行性指標に大きな変化を確認することができることから、基準とするSTEPからのわずかな変状の進展を進行性指標Rで検知することが可能であると考えられる。

なお、実トンネルの計測結果を用いて、表-1のすべての列車のフーリエスペクトル比の平均値を基準とし、それぞれの列車に対して進行性指標Rを求めた結果、Rは0.1以下の安定した値を示した。計測対象としたトンネルでは変状が顕在化しておらず、振動を計測している時間の範囲においても、短時間であることから変状の進展はないと考えられる。

## 5 おわりに

本研究では、列車走行時に生じる振動を活用してトンネル覆工の変状の進展度を評価する方法を検討するために、実在の鉄道トンネルにおける列車振動の分析と、実験による変状進展時の振動特性の変化を調べた。本研究のこれまでの検討結果から、変状が顕在化した時点から、2点間のフーリエスペクトル比の変化を「進行性指標」として評価することで、変状の進展の有無を監視できるものと考えられる。本稿で示した結果は、覆工面外方向の振動成分を対象としているが、覆工周方向の振動成分を用いても、「進行性指標」を用いることで変状の進展を評価できることを確認している。

今後は、変状の種類や進展の状況などを変化させた場合の検討を行うことが必要と考えている。

## 参考文献

- 1) 瀬下雄一・津野究・加藤拓也・小島芳之・杉山俊幸：列車振動を活用したトンネル覆工の変状進展監視方法の提案，土木学会論文集F1(トンネル工学)特集号，Vol.68, No.3, 2012.11
- 2) 瀬下雄一・津野究・加藤拓也・小島芳之・杉山俊幸：鉄道トンネルの列車振動を活用した変状進展度の評価に関する検討，構造工学論文集，Vol.59A, 2013.3

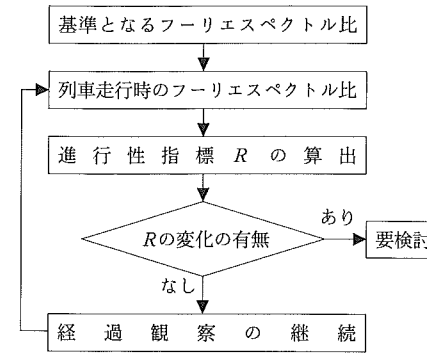


図-15 列車振動を活用した変状監視の流れ

以上のことから、変状の程度によらず、進行性指標Rを活用して変状の進展を把握できるものと考えられる。

### 4-2 変状進展のための監視方法

著者らが考えたトンネル覆工の変状監視の流れを図-15に示す。20kHz程度まで計測できる加速度計を変状箇所中心位置と、その周辺で2点以上配置し、列車が変状箇所を通過するごとにトンネル覆工壁面の振動を計測するものである。現状の覆工状態を把握するために、加速度計の設置当初に複数の列車の平均的なフーリエスペクトル比を求めておき、このフーリエスペクトル比からの変化を評価することで、変状の進展を監視する。フーリエスペクトル比に変化が生じた時点で、対策などの措置方法についての検討を行うことになる。

## 『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、本誌編集委員会が審査のうえ決定します。
4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
5. 原稿は、原則として返却いたしません。  
(注:「現場だより」の投稿は受け付けておりません)

送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係  
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
電話 (03) 3267-2888(代)

# トンネルジャーナル

## 復興道路 三陸沿岸道路で尾肝要トンネルが初の貫通

東北地整が整備する三陸沿岸道路尾肝要トンネルが貫通し、2月10日、貫通式が執り行われた。国会議員をはじめ地元の代表や事業関係者ら約200人が参列したなか、樽神輿や地元の田野畑村に古くから伝わる甲地鹿踊などが披露され、震災復興道路である三陸沿岸道路では初となる貫通を祝った。

同トンネルは、国道45号の岩手県下閉伊郡田野畑村に位置する全長2,736m、内空断面積62.7m<sup>2</sup>の2車線道路トンネル。南北両工区の施工をハザマが担当し、発破掘削による補助ベンチ付き全断面工法を用いて掘進した。

地山は田野畑深成岩体花崗岩類からなり、おおむね堅硬な岩盤であったが、亀裂や湧水が多く、岩の抜け落ちも頻発した。北工区では坑口付近での鏡崩壊、南工区では坑口から350m付近に破砕帯が出現するなどし、鏡補強やフォアポーリングなど、先受けの補助工法を用いて対処した。掘削ずりは、村内に建設中のサケ孵化場の嵩上げや、高台移転に伴う盛土材など、復興資材として活用されている。

工期が2011年3月24日から東北地方太平洋沖地震発生約2週間後だったこともあり、5月までの工事中止ののち、同年11月に掘削に着手した。震災の影響により当初から資機材の調達が難しく、とくに生コンクリートは、他の復旧・復興工事との調整



式典で通り初めをおこなう事業関係者

を行いながらの調達となった。打設日や打設時間などの調整は、現在でも続いている。このような状況のなか、最大月進165m、両工区を合わせた平均月進が182.4mとスピード掘進を果たし、地域の早期復興を後押しする貫通を遂げた。

同トンネルは国道45号の最大の難所である閉伊坂峠の隘路解消を目的に整備されるもので、供用により救急搬送路の確保による地域医療の改善、災害時の緊急輸送ルートや救急活動の支援、また宮古と久慈の交流連携強化が図られるものと期待されている。

## 建設コンサルタンツ協会が設立50周年

一般社団法人建設コンサルタンツ協会(大島一哉会長)が今年3月に設立50周年を迎えた。これに合わせ同協会では「明るい未来の創造のために～持続可能で活力ある国土形成の担い手として～」をメインテーマに掲げ、1年間をかけてさまざまな記念事業の展開を予定している。

5月30日には記念式典と祝賀会を東京で開催するほか、7月3日には記念講演会において基調講演やパネルディスカッションを通して、社会資本の重要性、必要性や仕組みを正しく伝えるために建設コンサルタンツの果たすべき役割、基本的行動などについて議論を展開する予定。

また、土木遺産をはじめ著名な土木施設、工事現場など社会資本の役割や重要性をわかりやすく解説



し、それらの探訪ルートを紹介するウェブページの公開や、2014年1月初頭には50周年記念誌の発刊が予定されている。

## 連載講座

# トンネル技術者のための地相入門(12)

—火砕流台地・カルスト・残丘におけるトンネル工事—

「地相入門」連載講座小委員会

### ① はじめに

今回は、前回の火山地形の続きとして火砕流台地、石灰岩地域に形成されるカルスト、硬質の岩石が風化・浸食から取り残されてできる残丘を取り上げる。

### ② 火砕流台地の特徴とトンネル工事

#### 2-1 地形的な特徴

本連載(11)の図-1に第四紀火砕流堆積物の分布を示した。国内では第四紀を通じて火山活動がきわめて活発であり、図に示すように北海道、東北、関東甲信越、ならびに九州中南部地方の台地や丘陵地には火砕流堆積物が厚く堆積している。

カルデラの形成を伴うような巨大噴火では、空中に吹き上げられた火山灰や軽石は密度の高い熱雲となって山麓を流下し、周辺の山麓および凹地に堆積する。堆積した厚さ数十mから数百mに及ぶ火砕流堆積物の内部は高温のため溶融し、その後冷却・固結して溶結凝灰岩と呼ばれる岩石ができる。溶結部を伴う火砕流堆積物の構造は図-1に示すように、下部は冷却に伴う縦方向の節理が発達し、かなり堅硬であるが、溶結度の低い表

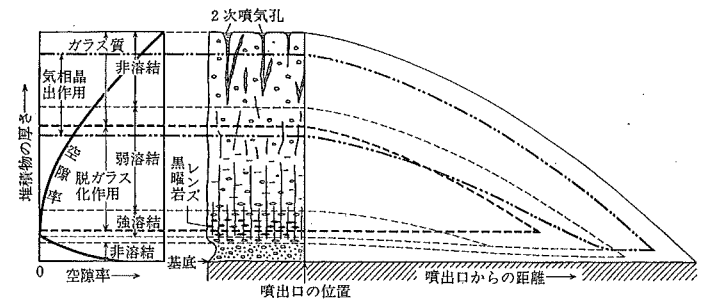


図-1 一部溶結した火砕流堆積物の構造

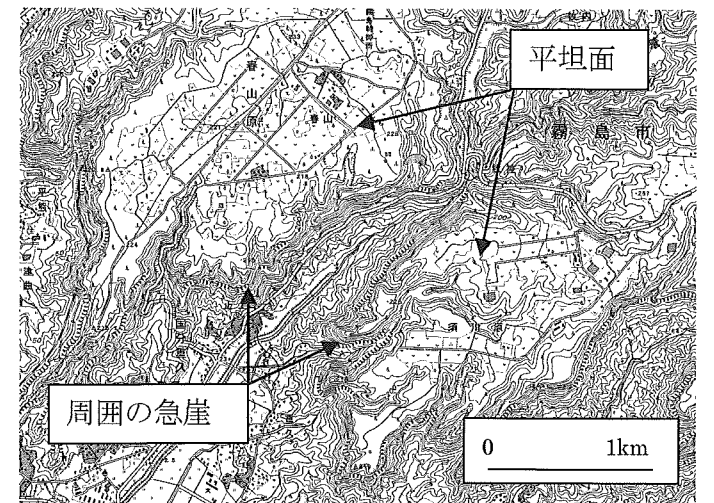


図-2 火砕流台地(国土地理院 1:25,000地形図「日当山」)

層部は強度も小さく節理も不明瞭となる。火砕流堆積物は広い範囲に平坦な地形面をもつ火砕流台地を形成する。その後の浸食により台地は分断され、台地の外周には垂直に近い崖が形成されて柱状節理を伴う溶結凝灰岩が露出していることが多

い、鹿児島湾北部の火砕流台地の地形図を図-2に示す。鹿児島湾周辺には厚さ100mを超える火砕流堆積物が堆積し台地(いわゆるシラス台地)を形成している。この火砕流の噴出によってカルデラが形成され鹿児島湾となった。鹿児島湾周辺の火砕流堆積物のうち、灰白色・無層理で溶結していない軽石質の部分はシラスと呼ばれている<sup>2),3)</sup>。

## 2-2 工学的問題点

### 2-2-1 地山の安定性

南九州のシラスは乾燥状態では断崖絶壁でも自立しているが、含水状態では非常に弱く、切羽も自立しない。また亀裂がなく透水性も低いので注入による改良が難しい。このため、地下水位下のシラスを掘削する場合、ウェルポイント、ディープウェルなどの地下水位低下対策が採用される<sup>4)</sup>。

風化を受けたシラスや二次堆積したシラス(二次シラス)、盛土されたシラスは元のシラスよりも強度や剛性が低いため緩みやすく、土かぶり小さい場合には地表沈下などが問題となる。

一方、溶結凝灰岩は適度に固結し、土かぶりが小さい場合には「最高に掘りやすい地山」<sup>5)</sup>である。九州の阿蘇溶結凝灰岩などの分布地域では小断面ながら写真-1のような素掘りのトンネルが多数存在する。

### 2-2-2 湧水

火砕流が流れる前の降下堆積物である細粒の火山灰層や火砕流上部の非溶結部は、柱状節理の発達した溶結凝灰岩に比べて透水性が低いため、溶結凝灰岩層が透水層(帯水層)になることがある。火砕流の活動がくり返されると不透水層と透水層

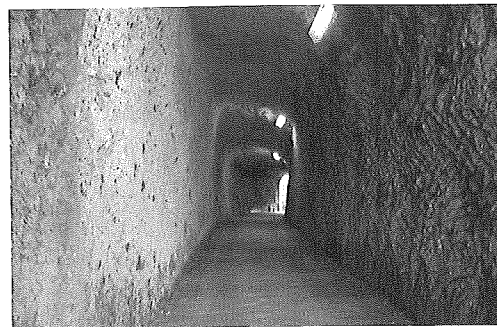


写真-1 弱溶結凝灰岩中の素掘りトンネル (大分県竹田市)

の互層構造となり、各層が別々の地下水位を有し、深い層では被圧地下水となる。このような場合には大量湧水が発生する可能性があるため、地下水位の調査や施工中の計測管理が必要である。節理の発達した溶結凝灰岩では開口節理が連続するため、止水注入に苦労する場合がある。

### 2-2-3 地下水流による浸食・噴泥

地下水面下にある含水比の高い非溶結の火砕流堆積物は浸食されやすく、とくに鉄道トンネルでは車両のくり返し荷重による「噴泥現象」を起こす可能性がある。このため透水性路盤などの対策が施される<sup>6)</sup>。

## ③ 火砕流台地の施工事例に見る地相の読み方

### 事例1：九州新幹線新田原坂トンネル【溶結凝灰岩台地での施工事例】<sup>7)</sup>

九州新幹線新田原坂トンネルは、九州新幹線新玉名駅～熊本駅間に位置する全長2,940mの複線トンネルである。土かぶりは全体的に小さく最大29m、最小4.5mとなっている。トンネルの地形図を図-3、地質縦断面図を図-4に示す。地形図のおおむね東半分が標高100m程度の台地で、大部分が溶結凝灰岩からなる火砕流堆積物に覆われている。西南側は火砕流噴出前からの山地で、東側の阿蘇山から流れてきた火砕流に埋まらなかった部分である。

トンネルの大部分は溶結凝灰岩中を通過しているが、土かぶりの小さい部分や沢の下を通過する部分では、火砕流の非溶結部分の風化帯で、礫や砂を含む粘性土である「灰土」<sup>8)</sup>と呼ばれる軟弱層となっている。灰土はN値3以下の軟弱層であり、乱すとさらに強度が低下する。本トンネルでは地質縦断面図に示すように、A～Eの5区間で灰土がトンネル断面内および上部に現れている。灰土区間(A～C)の当初設計は開削工法であった。

しかし開削工法で施工した場合、工程の確保が難しいため、浅層および深層混合による地盤改良を補助工法としてトンネル方式で掘削した。その地盤改良の範囲を図-5に示す。

A～Dの区間は地盤改良+NATM、E区間は地表面の作業ヤード確保が困難であったため、坑内からの先受け工(フォアパイリング)を補助工法として採用した。この結果、表-1に示すような地表面沈下量でトラブルなく完成した。北側に平行するJR鹿児島本線の田原坂トンネルは、ほとんどが溶結凝灰岩中を掘削しており、問題なく施工されている。

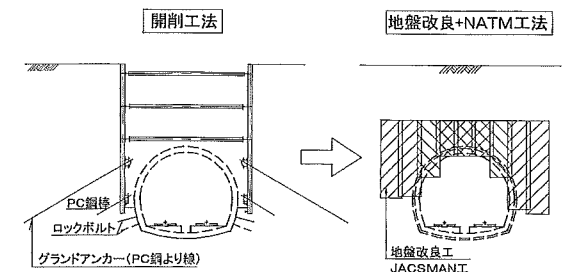


図-5 開削方式とトンネル方式の比較<sup>7)</sup>

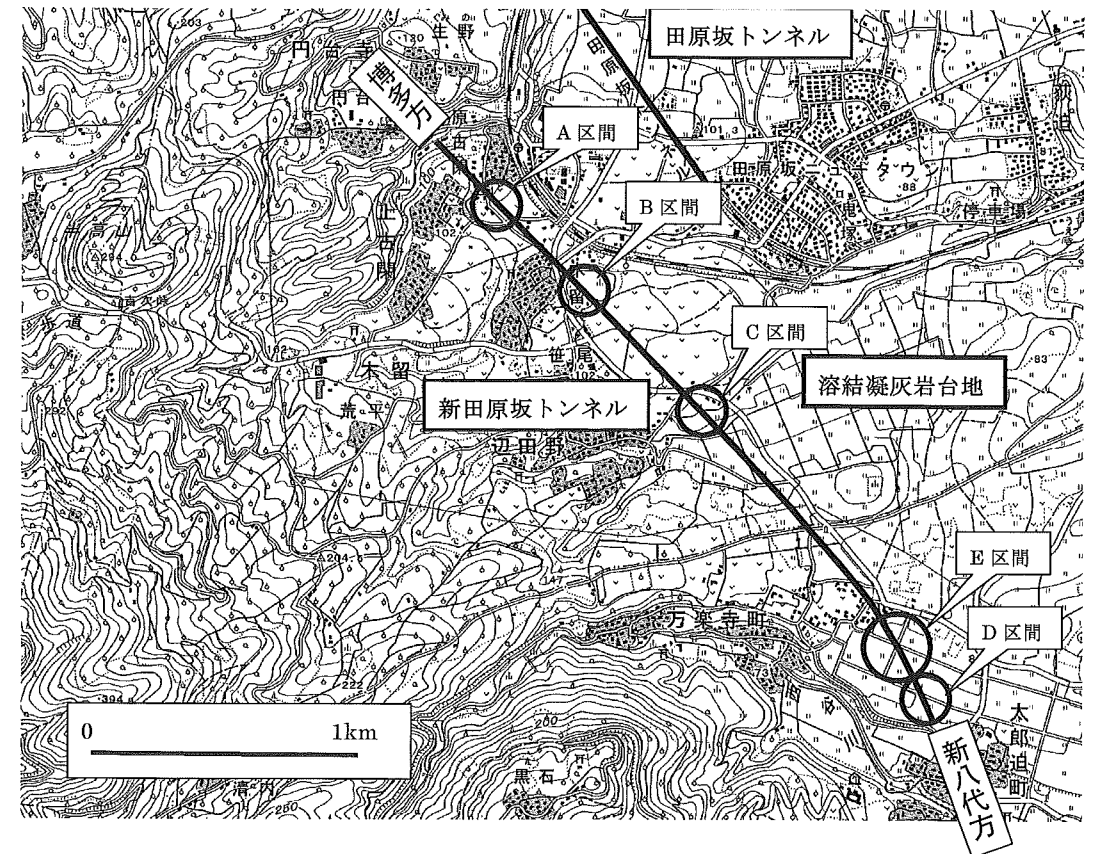


図-3 新田原坂トンネル地形図(国土地理院 1:25,000地形図「植木」)

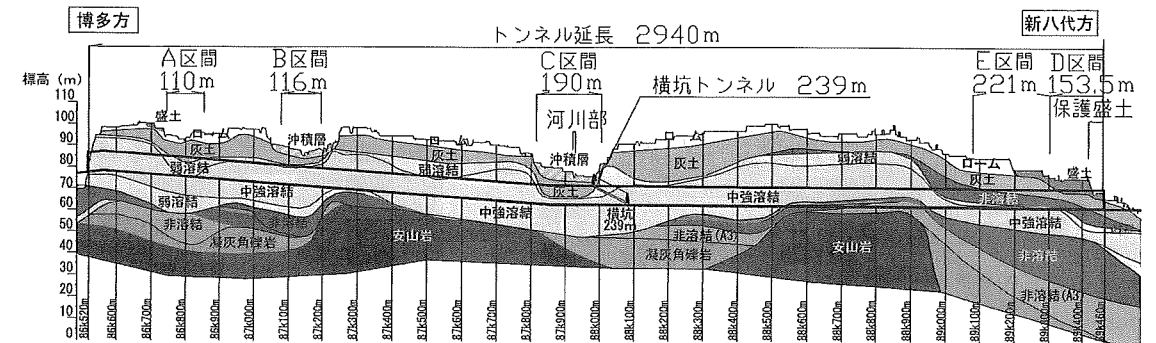


図-4 新田原坂トンネル地質縦断面図<sup>7)</sup>

表-1 灰土区間の計測結果<sup>2)</sup>

区間	土かぶり (m)	工法	地表面沈下 (mm)	天端沈下 (mm)	内空変位 (mm)
A区間	10.9	機械攪拌+ 高圧噴射併用	-9	-7	-2
B区間	5.5	トレンチャー式 機械攪拌	-10	-5	-4
C区間	8.7	機械攪拌+ 高圧噴射併用	-3	-4	-3
〃 (河川)	6.0	高圧噴射	-2	-5	-2
D区間	6.2	機械攪拌+ 高圧噴射併用	-10	-8	+3
〃 (保護盛土)	6.2	バックホウ混合	-8	-6	-2

※-がトンネル内側方向への変位

### ④ 火砕流台地の技術的課題と留意点

新しい時代の火砕流堆積物で形成された火砕流台地は平坦面と周囲の急崖によって認識されやすい地形である。

トンネル施工において問題となるのは、

- ① 非溶結の低強度層や風化・二次堆積・人工改変(盛土)などによって強度が低下し土かぶりが小さい場合
  - ② 地下水位以下で非溶結部を掘削する場合
  - ③ 溶結部で大量湧水が発生する場合
- などである。

地形を見るときにとくに注意しなければならないのは、二次堆積物が溜まっている可能性が高い埋積された沢である。また、切り盛りによって施工された大規模な造成地では、古い地形図や航空写真との比較を行って盛土部分の把握が重要である。

このような地形の検討によって問題点として把握された位置では、ボーリング調査や土質試験を行ったうえでトンネルの設計を行い、さらに施工中の計測が重要である。火砕流台地周囲に湧水がある場合には、その標高とトンネルレベルとの関係を検討しておく必要がある。

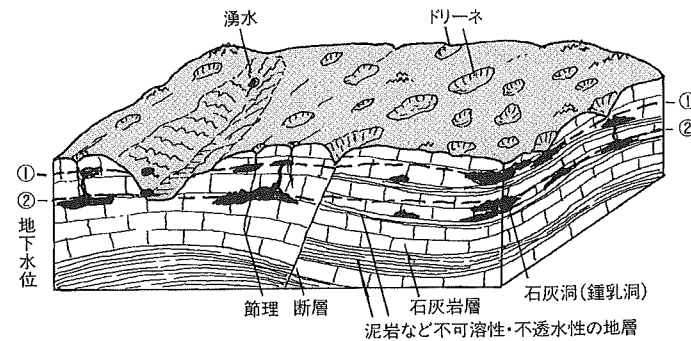


図-6 カルスト地形<sup>9)</sup>

### ⑤ カルスト地形の特徴とトンネル工事

#### 5-1 地形の特徴

カルスト地形は石灰岩からなる山地に形成されるドリーネなどの水の吸い込み穴、地下にある鍾乳洞などの地下水系で特徴づけられる地形である。日本では秋吉台(山口県)、平尾台(福岡県)、四国カルスト(高知県・愛媛県境)が3大カルストと呼ばれ、そのほか各地に小規模なカルスト地形がある。

カルスト地形は弱酸性の水に溶けやすい石灰岩の特性によって形成される。石灰岩自体は硬質の岩石であるが、地下に形成された地下水脈や鍾乳洞の存在がトンネル施工上大きな問題となる。カルスト地形の模式図を図-6に示す。

#### 5-2 工学的な問題点

##### 5-2-1 大量湧水

地下水脈が発達しており、大量の湧水が長期間にわたって継続する。地下水は一般の硬質岩盤では亀裂の中を流れるが、石灰岩では大きく開口したパイプ状の地下水脈が広い範囲から地下水を集める。トンネルが鍾乳洞やドリーネとつながっていると工事中あるいは完成後も、降雨時の地下水位上昇により、トンネルへの突発湧水や土砂の流入が発生することがある<sup>10)</sup>。

##### 5-2-2 鍾乳洞の存在

鍾乳洞は地下の空間であり、覆工などトンネル構造物の施工上支障をきたす。とくにトンネルの下部に鍾乳洞があるとトンネル構造物を支持するための対策が必要となる。また空洞が軟弱な土砂

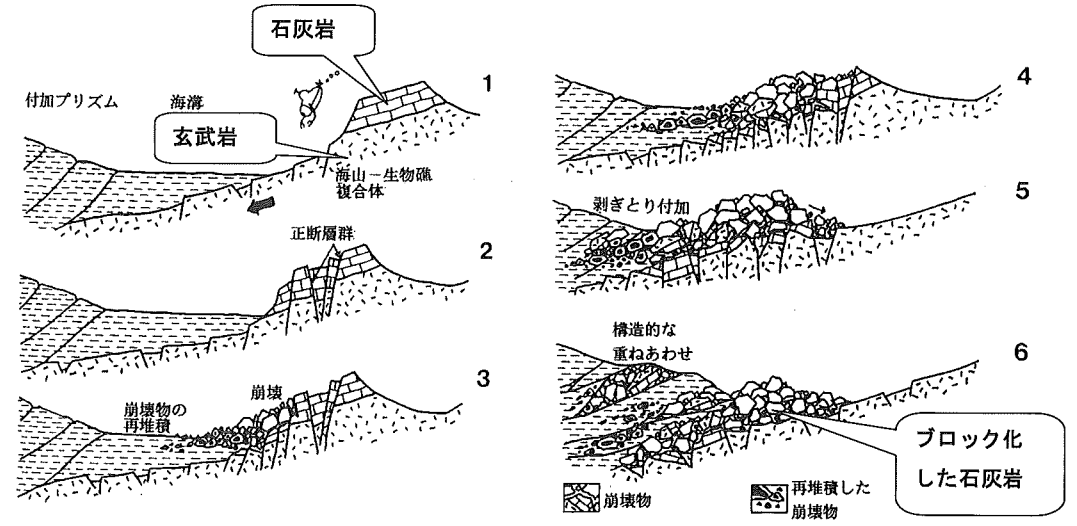


図-7 石灰岩を伴う海山の崩壊と付加<sup>11)</sup>に關

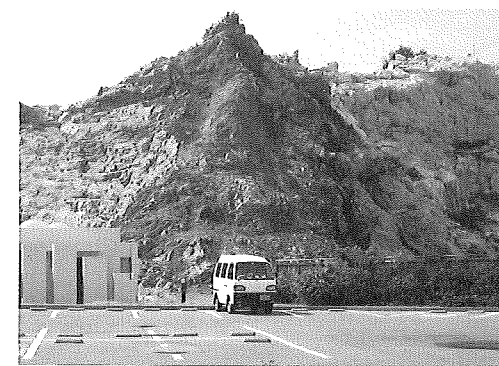


写真-2 石灰岩ブロックに挟まれる緑色岩(和歌山県白高郡由良町白崎)

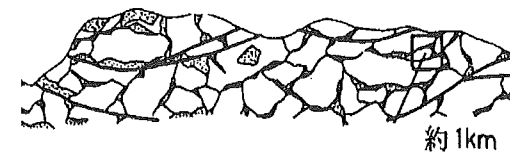


図-8 石灰岩ブロックで構成されるカルスト(文献11)図21の一部、白ヌキが石灰岩、その間を泥質岩や緑色岩が埋める)

で充填されていることもあり、トンネル基面より上部にあると切羽崩落や支保工への土圧の原因となり、下部にあると支持力不足となる。

##### 5-2-3 脆弱岩盤の挟在

必ずしも地形の問題ではないが、日本の石灰岩

\*1: 玄武岩が変質した岩石で、緑~赤紫色を呈する。従来は輝緑凝灰岩(シャルスタイン)と呼ばれていた。

は図-7のように、海溝部で付加体に取り込まれるときにブロック化し、ブロックの集合体として存在するものが多い。広いカルスト台地を形成していても図-8のように石灰岩ブロックの間には付加体の基質である泥質岩(泥岩、粘板岩)や石灰岩の基盤である玄武岩または緑色岩<sup>\*1</sup>を伴う。泥質岩は剥離性が顕著で緩みやすく、緑色岩は変質して強度が低下している場合がある。このような脆弱な岩盤に対して、とくに土かぶりが大きい場合や、高い水圧が加わっている場合には切羽崩壊や支保工変状など大きな問題となることがある。

### ⑥ カルスト地形の施工事例に見る地相の読み方

#### 事例1: 新帝釈発電所導水路工事【鍾乳洞対策】<sup>12)</sup>

中国電力(株)新帝釈発電所は広島県の東端部に位置し、秋吉帯に属する。導水路約4.5kmのうち、上流側1.1kmが石灰岩で、図-9に示すように地表には多数のドリーネ(地形図記号は図-10参照)が存在する。

このトンネルでは流入粘土に充填された鍾乳洞に数回遭遇した(写真-3)。水路の下部まで粘土が分布している箇所では図-11のように、粘土下部の岩盤に達する杭を打設して、その上に水路となる覆工コンクリートを施工した。このような空洞

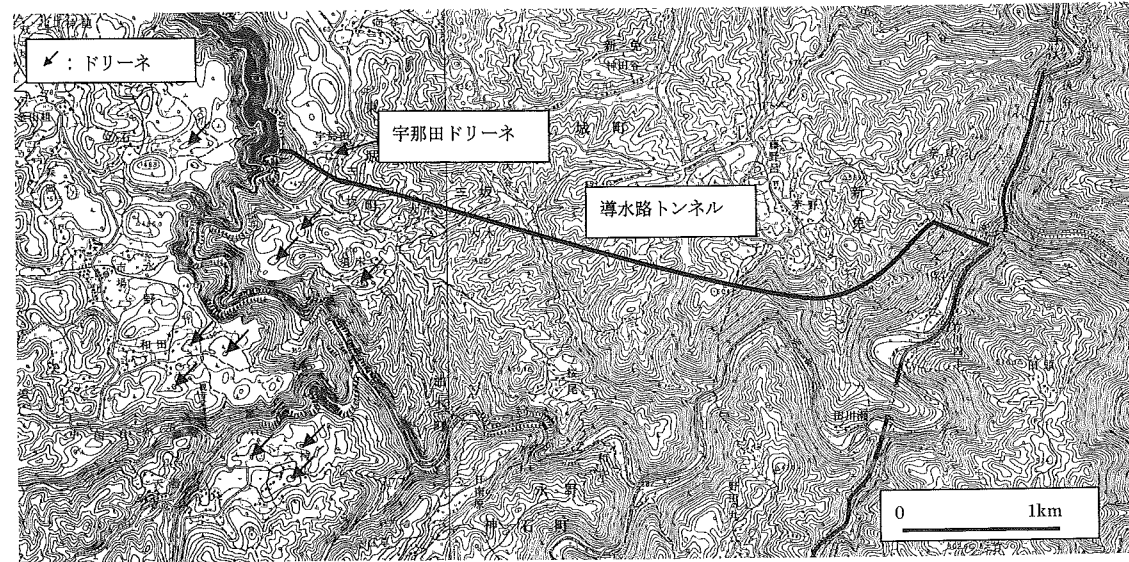


図-9 新築発電所導水路トンネル地形図(国土地理院 1:25,000地形図「福永, 由木」)

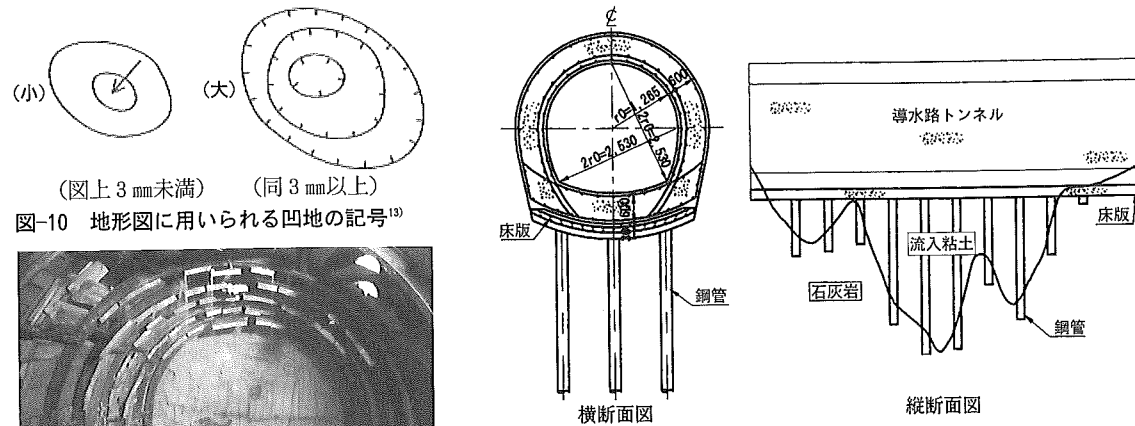


図-10 地形図に用いられる凹地の記号<sup>13)</sup>

図-11 粘土で充填された空洞の対策工<sup>12)</sup>

トが東西20kmにわたって広がっている。図-12に示すようにトンネル直上部には特徴的なカルスト地形はないが、東の五段城、西の大野ヶ原には石灰岩柱が林立し、ドリーネも多数存在する。地質的にはジュラ紀付加体の秩父帯に位置しており、東端部で石灰岩の採掘が行われている鳥形山では、石灰岩中に玄武岩や泥質岩を伴うことが報告されている<sup>15)</sup>。

愛媛県側の縦断面図は図-13のとおりであり、坑口から700m付近で石灰岩ブロックの湧水帯に遭遇した。トンネルは4個の石灰岩ブロックを貫通するように掘削され、ブロックの間には剥離性の強い粘板岩や粘土化した緑色岩が挟まれていた。

写真-3 切羽に現れた粘土で充填された空洞<sup>14)</sup>

に橋を架け、その上にトンネルを載せた例<sup>14)</sup>もある。

**事例2：地芳トンネル【大量湧水・脆弱岩盤対策】**

地芳トンネルは愛媛-高知県境の四国カルストを南北に貫く延長2,990mの国道トンネルである。

愛媛県側の工区では、坑口より700m付近から石灰岩が出現して20t/分の大量湧水が発生した。この湧水による広範囲に及ぶ地下水位低下が懸念されたため、その後のトンネル掘削は止水工法で進められた。地芳トンネルの上部には四国カルスト

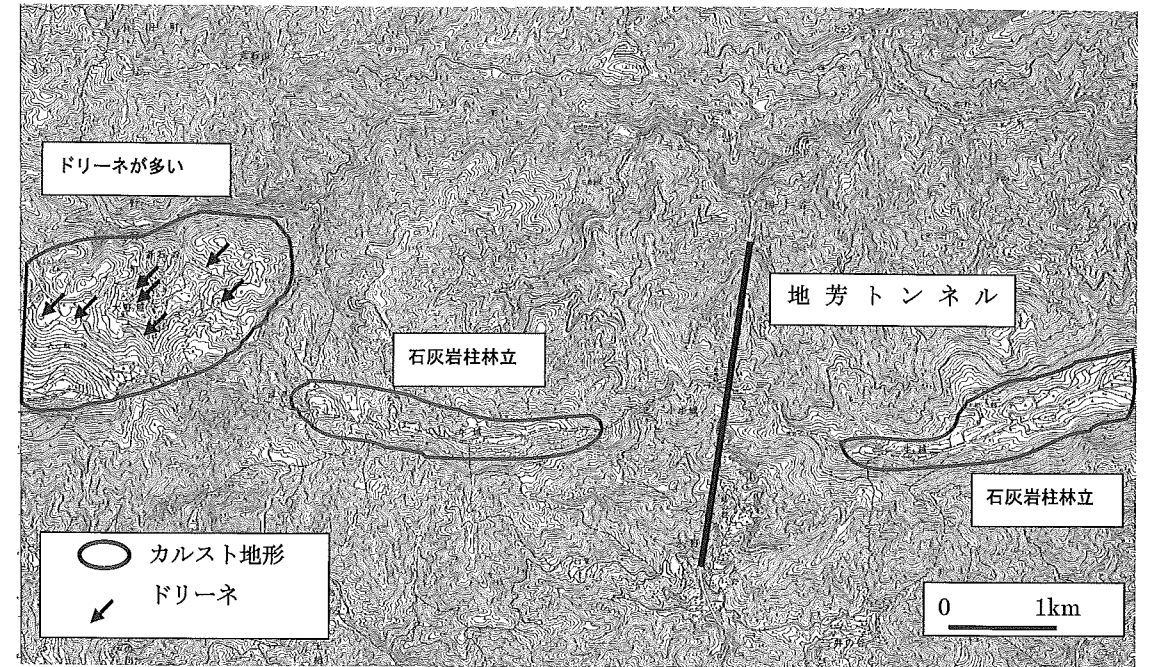


図-12 地芳トンネル地形図(国土地理院 1:25,000地形図「越知面」)

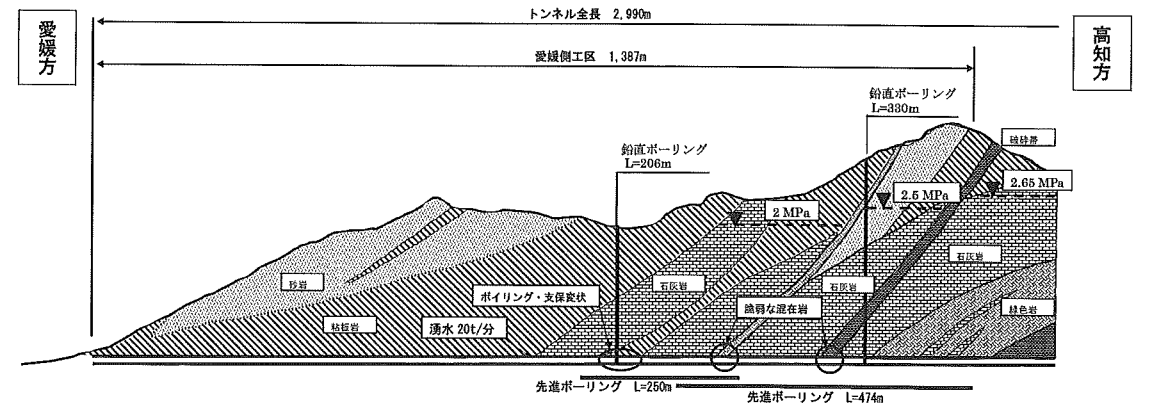


図-13 地芳トンネル愛媛側地質縦断面図<sup>16)</sup>をもとに作成



写真-4 ボイリングによる支保工の変形<sup>16)</sup>

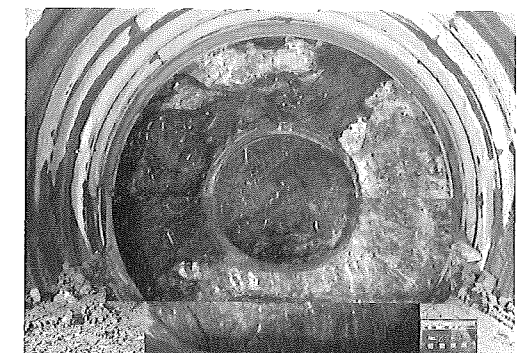


写真-5 円形断面切羽の緑色岩(中央)と石灰岩<sup>17)</sup>

粘板岩では切羽の緩みや崩落、高水圧下の粘土化した緑色岩ではボイリング状の土砂流出(写真-4)、支保工の変形などが発生し、まれに見る難工事となった。

対策工としては先進ボーリングによる前方地質の確認、止水注入、ボイリングの発生した脆弱挟み層の部分における円形導坑併用の円形断面本坑と全周先受け、切羽位置での全断面閉合など緩みを抑制する工法が採用された(写真-5)。このような石灰岩ブロックに挟まれた泥質岩や緑色岩は南予導水路吉田トンネル<sup>18)</sup>や四国横断自動車道齒長山トンネル<sup>19)</sup>でも確認されている。

### 7 カルスト地形の技術的課題と留意点

カルストおよび石灰岩分布地域は湧水が多く、地域の水源あるいは「名水百選」などの観光資源として利用されている場合が多い。このため湧水を枯渇させないことが施工上の重要な課題とされることがあり、水文調査にもとづく水理地質構造の評価や施工中の観測が非常に重要となる。

6章の事例1では地表からの電気探査によって鍾乳洞の存在が推定され、ルート選定に考慮されたが、完全に避けることはできず、施工時に空洞に遭遇している。また挟在する脆弱岩盤に関しても、不規則に分布しているため、ルート選定段階で詳細に把握することは困難である。これらについては湧水調査も兼ねた先進ボーリングなどの施工段階での調査が重要である。

### 8 差別削剝による残丘の特徴とトンネル工事

#### 8-1 地形の特徴

ここで言う残丘はメーサ、ビュート、火山岩頸、モナドノックなど、差別削剝地形<sup>\*2</sup>として形成され周囲より突出した地形の総称として用いる。このうちモナドノックは、準平原上で周囲よりも風化や浸食に強い岩石の部分を取り残された地形上の高まりである。国内では岩手県の早池峰山(蛇紋岩)、茨城県の筑波山(はんれい岩)、京都府の大江山(蛇紋岩)などがその例である。また日本各地の平野・盆地・丘陵地などには、さまざまな地質的要因にもとづく差別削剝地形として形成された孤立丘が存在する。そのほか〇〇富士と呼ばれる山が多数あり、静岡・山梨県境の富士山と同様に火山として形成された蝦夷富士(羊蹄山)のような例もあるが、讃岐富士(飯野山)や近江富士(三上山)のように差別削剝地形として形成されたものも多い。

このような地形のうち、山頂部に硬質の岩石が分布し、テーブル状の台地を形成しているものがメーサ、周囲が浸食され円錐状となったものがビュートであり、それぞれ香川県の屋島と飯野山(讃岐富士)が代表的なものである。また古い時代(おおむね新第三紀以前)に噴出した火山岩が火道(溶岩の通り道)を埋めて固まり、周囲が削剝されたものを火山岩頸と呼ぶが、これも孤立した丘を形成している(例：仙台西南部の太白山)。

表-2 差別削剝地形として形成された残丘の例

早池峰山	三上山(近江富士)	屋島	飯野山(讃岐富士)	太白山(宮城)
蛇紋岩 粘板岩 花崗岩	チャート 花崗岩	(メーサ) 安山岩 花崗岩	(ビュート) 安山岩 花崗岩	(火山岩頸) 安山岩 凝灰岩
筑波山(茨城) 大江山(京都)	金華山(岐阜) 信夫山(福島)	五色台(香川) 城山(同)		甲山(兵庫) 高尾山(長野)

\*2：削剝(浸食および崩落・地すべりなど)に対する岩石の抵抗力の差異に起因して形成される地形<sup>20)</sup>

差別削剝地形として形成された残丘の例を表-2に示す。

#### 8-2 工学的な問題点

##### 8-2-1 硬質岩石の分布

山頂部を形成している硬質岩石がどのような形態で分布しているか(山頂部だけなのか、深部まで連続しているのか)を確実に調査する。メーサやビュートでは山頂部は硬いが下部は異なる岩石で構成されている。また下部の岩石が軟岩の場合は全体が軟質であるが、花崗岩などでは表層は風化していても、山の芯の部分は新鮮な状態で残っている場合がある。

##### 8-2-2 周辺斜面の崖錐・地すべり

山頂部を形成している岩石が崩壊して周囲に崖錐を形成しており、坑口対策工が長い区間にわたって必要になる場合がある。また山腹部の地質によっては周囲の斜面に地すべりが多い。とくに山頂部が平坦で垂直方向の節理が発達した岩石の場合、地下水が浸透しやすく、キャップロック型構造<sup>9)</sup>による地すべりを起こしやすい。

### 9 差別削剝による残丘の施工事例に見る地相の読み方

#### 事例1：大江山トンネル【蛇紋岩の残丘】

京都府北西部の大江山は中国山地の北東端に位置し、蛇紋岩などの超塩基性岩(深成岩のうち、マグネシウム・鉄が多い黒っぽい岩石)が東西方向に延びる連山を形成している(図-14および本連

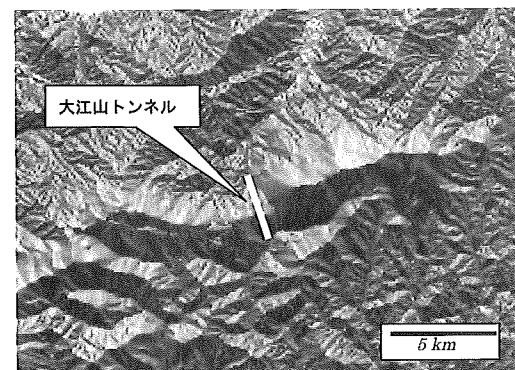


図-14 大江山トンネル付近の地形<sup>21)</sup>  
(東西に延びる大江山連山は周囲より標高が高いだけでなく、水系の発達状況が異なる)

載(2)のp.75、図-9参照)。この連山の北側は花崗岩類、南側は粘板岩が分布しており、山頂部は超塩基性岩が分布している。図-14では蛇紋岩山地は亀裂が多いため、周囲に比べて谷密度が低く、山腹斜面は平滑で、地質の違いが地形に現れている(本連載(2)参照)。

この山には南北方向の2本のトンネルが施工されており、そのうちの東側のトンネル(京都縦貫自動車道大江山トンネル)は北側坑口付近を除く大部分が蛇紋岩中を通過している。最大土かぶり<sup>22)</sup>は250m程度であり、岩質は塊状蛇紋岩を主体としていたため、葉片状や粘土状蛇紋岩にみられる内空への押し出し・盤膨れなどの変状はほとんどなく、CII主体の支保パターンで施工されている。ただし、表面のスレーキング防止のため大半の区間でインバートが施工された。したがって、一般に大きな変形や支保の変状などで問題となることの多い蛇紋岩であっても、大規模な岩体を形成するような硬質な蛇紋岩ではそれほど問題なくトンネルを施工できる場合があることを示した事例であるといえる。

#### 事例2：信夫山トンネル【盆地の孤立丘】

図-15の地形図および写真-6は福島盆地の北部



図-15 福島盆地信夫山の地形図(国土地理院 1:25,000 地形図「福島北部」)

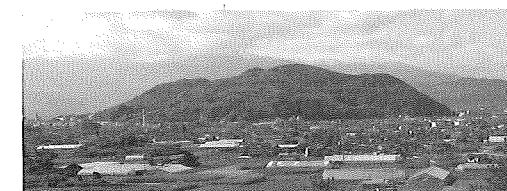


写真-6 信夫山

に位置する孤立丘の信夫山である。この山は盆地からの比高約200mの小高い山で、地質は新第三紀の流紋岩、凝灰岩などからなり、一部は珪化作用を受けており、かつて採掘された金鉱脈もある。この山には国道13号の上下線2本(L=700m)とその両側に歩道トンネル(L=714m)<sup>22)</sup>、さらに東北新幹線の信夫山トンネル(L=692m)<sup>23)</sup>の計5本のトンネルが施工されている。このうち歩道トンネルは中央部125mをTBMで施工している。この区間は弾性波速度3.6~4.0km/sec程度の硬い流紋岩である。初期のTBM施工であり、カッタービットの著しい摩耗による頻繁な取替え、発生する粉塵など、岩石が硬いことによる苦勞があったようである<sup>22)</sup>。

## ⑩ 差別削削による残丘の技術的課題と留意点

孤立丘として残るからには、少なくとも山頂部は周囲より硬い岩石であることは確実であり、また信夫山のように小さな独立丘の場合、周囲からの地下水の供給がないため、地下水位は一般に低いと考えられる。信夫山歩道トンネルでは湧水は皆無であった。したがって、崖錐や地すべり地形が発達する場合はとくに坑口部分での対処が必要となるが、一般的には比較的問題なく工事を進めることができる地形である。

(文責：一條 勝、稲葉武史・鹿島建設(株))

## 参考文献

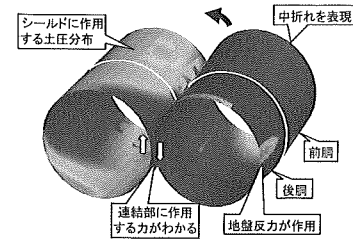
- 1) 荒牧重雄：火山、岩波講座地球科学7, 1979.
- 2) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門, 第4巻, 古今書院, 2004.
- 3) 横山勝三：シラス学—九州南部の巨大火砕流堆積物, 古今書院, 2007.
- 4) 亀江孝二・重水治雄・土井英雄：地下水位下のしらす層にトンネルを掘る、肝属川鹿屋分水路(その2)、トンネルと地下, Vol.21, No.9, pp.7-13, 1990.9.
- 5) 大島洋志：私の地質工学随想増補, 2012.
- 6) 松本雄二・須長誠・大島洋志・加藤僚一：地下水面下のシラス地山に透水性路盤を採用、九州新幹線麦生田トンネル, トンネルと地下, Vol.31, No.8,

pp.7-14, 2000.8.

- 7) 丸山修・吉村直人・鹿執耕治：複数の開削予定小土かぶり区間を地盤改良によりNATMで貫く、九州新幹線新田原坂トンネル, トンネルと地下, Vol.40, No.7, pp.7-16, 2009.7.
- 8) 福田光治・西浦謙二・西秀則・山崎智寛・北園芳人：Aso-4火砕流非溶結部と灰土の連続性, 土木学会第63回年次講演会講演概要集, pp.903-904, 2008.9.
- 9) 貝塚爽平：発達地地形学, 東京大学出版会, 1998.
- 10) 後藤正登・井口哲也・真邊剛典・川越佳人：石灰岩区間における高濁度突発湧水の克服, 第二東名高速道路 浜松トンネル, トンネルと地下, Vol.37, No.4, 2006.4
- 11) 佐野弘好：海山-礁複合体の成立から衝突・崩壊まで(その2), 秋吉石灰岩層群における例, 石灰石, No.258, pp.23-45, 1992.7.
- 12) 吉岡一郎・市原昭司・林淳一・小畑大作：新帝釈川発電所新設工事石灰岩地帯における導水路トンネルの溶蝕空洞対策, 電力土木, No.315, pp.37-41, 2005.1.
- 13) 国土地理院ホームページ.
- 14) 森部慎之助：鍾乳洞発見によりトンネル内に架橋, 高知県・天崎トンネル(仮称), 土木施工, Vol.44, No.6, pp.68-73, 2003.6.
- 15) 玉田恵美：高知県島形山石灰岩の内部組織破壊と地質構造, 地質学雑誌, Vol.100, No.12, pp.978-981, 1994.12.
- 16) 片岡正彦・濱田向啓・松川久俊・藤井広志：四国カルスト直下の高圧大量湧水帯を貫く, 一般国道440号地芳トンネル, トンネルと地下, Vol.40, No.3, pp.15-26, 2009.3.
- 17) 鹿島・日本国土開発特定建設工事共同企業体：地芳トンネル第1工事工事誌, 2010.
- 18) 原田種雄：20kgf/cm<sup>2</sup>の水圧に挑む, 南予用水吉田導水路トンネル, トンネルと地下, Vol.17, No.4, pp.57-63, 1986.4.
- 19) 前田良文・和田信義・近森 博・土田淳也：名水百選など周辺水環境に配慮し中央導坑方式を採用, 四国横断自動車道歯長山トンネル, トンネルと地下, Vol.40, No.8, pp.17-25, 2009.8.
- 20) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門, 第3巻(第二刷), 16章, 2008.5.
- 21) カシミール 3Dで作成.
- 22) 高橋正三：信夫山歩道トンネルの機械掘削, トンネルと地下, Vol.2, No.1, pp.57-66, 1972.1.
- 23) 日本国有鉄道新幹線工事局：東北新幹線(黒川, 有壁間)工事誌, 1983.

## 工法・技術・製品ニュース

### 技術 H&Vシールド工法のスパイラル掘進用シミュレータを開発



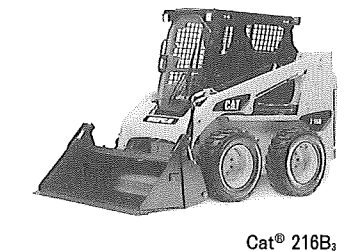
解析結果例(シールドに作用する土圧分布)

ハザマCSR推進部

Tel: 03-5717-1122

http://www.hazama.co.jp

### 製品 新しいスキッドステアローダとコンパクトトラックローダ



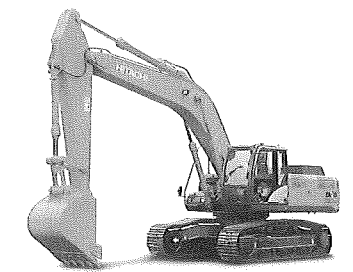
Cat® 216B3

キャタピラー(株)広報グループ

Tel: 03-5717-1122

e-mail: cjl-public@cat.com

### 製品 オフロード法2011年基準対応油圧ショベル4機種を発売



ZX330-6S(ロングクローラ仕様)

日立建機(株)広報戦略室広報・IRグループ

Tel: 03-3830-8065

http://www.hitachi-kenki.co.jp

ハザマと杉本光隆・長岡技術科学大学教授は、H&Vシールド工法におけるスパイラル掘進用シミュレータを共同開発したと発表した。

これは杉本教授が開発したシールド、地盤、セグメントの掘進時の相互作用を解析する「シールド機動力学モデル」を応用したH&Vシールドのスパイラル掘進用のシミュレーターで、①シールドのローリングやピッチングなどの姿勢、位置、地盤中の移動量、地盤との力やり取り、②シールドの外筒やシールドの連結部に作用する力、③姿勢制御に必要な機能やそのタイミング、範囲、④セグメントに作用するテールとの競りなどの施工時荷重、⑤地盤反力、などを解析する。

これにより、H&Vシールド工法が横2連から縦2連へ移行するスパイラル掘進を行うさいの課題であった、①特殊な姿勢制御装置を用いた2連のシールドの姿勢制御方法、②2連のシールドが受ける施工時荷重、③複雑なスパイラル線形における施工精度の確保が解決でき、合理的な設計と線形管理の精度向上が達成できるとしている。

キャタピラー(株)は、新たに、スキッドステアローダ2機種とコンパクトトラックローダ1機種の国内販売を始めた。

スキッドステアローダはスピーディな機動性を発揮する4輪駆動のホイールタイプのミニローダで、コンパクトトラックローダは、山間部などの足場の悪い現場にも対応可能な高位置スプロケットデザインのラバーベルトトラックタイプのミニローダ。

今回、発売されたスキッドステア

ローダはCat 216B3(バケット容量0.40m<sup>3</sup>)、Cat 226B3(同0.40m<sup>3</sup>)の2機種で、コンパクトトラックローダはCat 259B3(同0.44m<sup>3</sup>)の1機種。

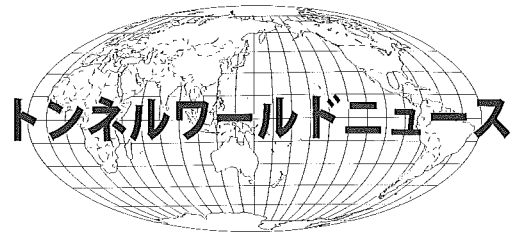
32種類におよぶ多彩なCatワークツール(アタッチメント)がオプションで用意されており、その能力を最大限に引き出すためワークツール専用の油圧システムを装備した。道路工事のほか幅広い現場において高い汎用性を発揮するとともに、キレのある操作性と高い生産性を実現する。

日立建機は、新型油圧ショベルのZAXIS-5シリーズとして、ZX240-6S(標準バケット容量1.0m<sup>3</sup>、運転質量23.8t)、ZX280-6S(同1.1m<sup>3</sup>、同27.8t)、ZX330-6S(同1.4m<sup>3</sup>、同31.9t)、ZX470-6S(同1.9m<sup>3</sup>、同46.0t)の4機種を発売した。

同シリーズは、排出ガス規制のオフロード法2011年基準に適合した油圧ショベル。ZX470-6Sは、従来機と比較して、作業量は同等で約11%の燃費を低減し、その他の機種では、

ハイブリッド油圧ショベルで好評だった3ポンプ3バルブ式の省エネ油圧システムを採用し、従来機と比較して作業量は同等で、約10%の燃費を低減させた。

排出ガス規制は、日本のオフロード法2011年基準のほか、欧州、北米にも対応し、排出ガスの後処理装置として、PM(粒子状物質)を捕集して燃やすマフラーフィルタを搭載し、最適な燃焼を促す可変式ターボチャージャーも搭載した。



(社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

## ヨーロッパのXFEL研究プロジェクトの トンネル構造物が完成した

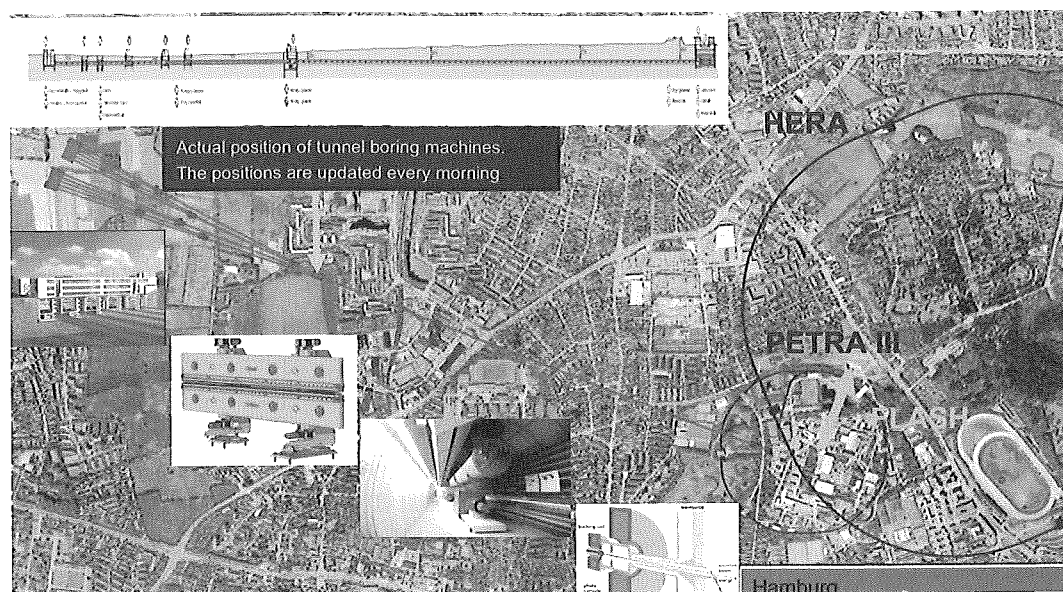
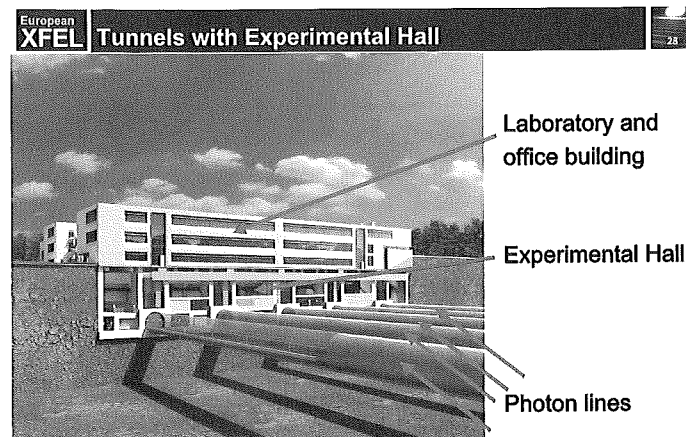
ドイツでX線自由電子レーザーの研究用トンネル群のうち2か所にHerrenknecht社のTBMが使用された。そのうち3.4kmのトンネルは内径5.3mの直線の線形で土かぶりが6~38mと変化に富んでいる。

また、東坑口では研究所のキャンパスへ向け放射状にトンネルが幅員4.6mで掘削された。ヨーロッパのX線自由電子レーザー(X-ray Free Electron Laser; XFEL)研究施設はドイツ北部のハンブルグ近郊に建設中である。こ

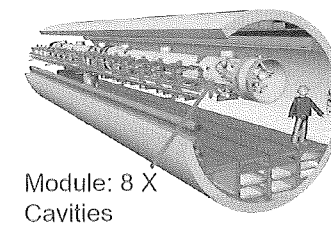
の極超短波のX線レーザーの閃光は27,000回/秒で、その明るさも通常のX線の状態が良い場合の10億倍になる。本格的な研究は2015年から始まり、科学研究や産業分野にとって全く新しい分野の開発となる。

原子や分子といったきわめて微細な物の構造や、ナノレベルの極薄物体を3D映像のように詳しく観察することが期待されている。また惑星の中心核構造解析などの研究も可能になるという。

XFELを生み出す源は、(ほぼ光速まで加速された)電子の集まりでXFELを発生させるための重要な装置としてアンジュレータ(磁石を多数並べ電子を蛇行させて光を放出させる装置)が使用

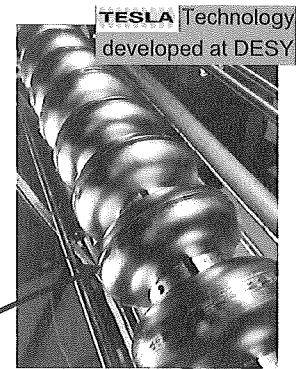


100 8-Cavity modules, 1.4 km,  
17.5 GeV Electron Energy



Module: 8 X  
Cavities

Niobium Cavities



される。電子は蛇行するたびに放射光を発生し、光と相互作用し、徐々に光の波(山と山、谷と谷)が整流し増幅されレーザー発振に至る。

この研究施設では8か所で小口径トンネルが複雑に構築されており、TBMが3回到達し立坑の上げ下ろし4か所も移動しては掘進をくり返した。そのためHerrenknecht社ではトンネル線形管理にVMT社のレーザーマシニングシステムを採用した。

このトンネル構築は掘削がたいへんに難しい地域で工程どおり完了したことは喜ばしいことだとヨーロッパXFELのCEOであるDr. Massimo Altarelli氏は言った。

Hochtief社、Bilfinger Berger社は500tと560tの2台のTBMにより研究所のトンネルシステムの総延長5.78kmを2010年7月に掘進開始し、2012年6月に貫通させた。

(T&TI '12.9 担当: 篠原慶二・前田建設工業(株))

## Herrenknecht 社のTBMが Vosges デビュー

Herrenknecht社はトンネル内で異なる土質状況に応じて変更することのできるオープンモードの土圧シールド(EPB)を開発した。そして、このシールドフランス東部のSaverneトンネル(フランスの東部)の1つ目のトンネルで使用され、当初計画より2か月早く到達した。

直径10mのシールドは、2011年11月にErnol-

sheim lés Saverne(Vosges山の東側)近くの発進基地で、約4kmの北行きトンネルの掘削を開始。2012年6月下旬には掘削を終了した。7か月間のシールド掘削期間における最高のパフォーマンスは、最大日進46m/日、週間進捗250m/週だった。

北行きトンネルの初めの200mは、未固結の岩盤(砂岩と貝殻石灰岩の混合層)でシールドはクローズドモードで掘削。残りの硬質岩層(赤色砂岩)の掘削は、オープンモードで掘り続けた。

2つのモードを切り換えるのに必要なのは、カットヘッドの調整だけで、ベルトコンベヤとスクリーコンベヤは両方のモードでシールドに組み込まれたまま残っている。これがベルトコンベヤによる排土が可能となるオープン・ハードロック・モードであり、変更可能なシールド(EPB)によるTBM掘削の1つの用途である。とHerrenknecht社は言う。

シールドは、個々の構成部品ごとに発進基地へ輸送され、10月の南行きトンネル掘削のために組み立てられる。

この4kmの2本の鉄道トンネルは、最高時速320km/hの列車速度に対応するため拡大され、パリ-ストラスブール間のTGV網の主要な一部を形成する。

このトンネルは、フランスの建設コンソーシアムでSpie Batignolles TPCI-Dodin Campenon Bernard社によって建設される。

(WT '12.10 担当: 戸崎雅之・三井住友建設(株))

一般社団法人

日本トンネル技術協会



1. 会員の現状

	2月28日現在
正会員	1,466名
団体会員	351名
個人会員	1,115名

2. 委員会の開催状況(2月1日~28日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会誌WG(2/6)

大島洋志主査ほか11名, 3月号の誌と3か月計画を検討

企画運営幹事会(2/12)

小島治雄幹事長ほか8名, 平成24年度決算見込みおよび25年度予算等を検討

広報小委員会(2/13)

秋葉芳明委員長ほか7名, ホームページアクセス状況確認と今後の作業方針を検討

総務委員会(2/20)

宮林秀次委員長ほか6名, 平成24年度決算見込みと25年度予算等を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会海外ニュースWG(2/18)

浅見均主査ほか9名, 英文原稿を査読

◎事業委員会(2/22)

事業委員会

桑原彌介委員長ほか11名, 催物結果報告および平成25年度計画を検討

計 6回開催 58名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

都市トンネル小委員会(2/14)

岡野敏彦委員長ほか16名, 平成24年度作業報告と25年度作業計画を検討

技術委員会(2/27)

今田徹委員長ほか15名, 平成24年度作業報告と25年度作業計画を検討

◎受託研究特別委員会

中流動覆工コンクリート特別委員会幹事会(2/4)

松岡茂幹事長ほか11名, 配合試験立会いおよび耐久性評価の作業方針を検討

大深度シールド設備特別検討会泥水WG(2/7)

河本武士主査ほか11名, アンケート調査結果と取りまとめ方針を検討

大深度シールド設備特別検討会泥水WG 打合せ会(2/22)

河本武士主査ほか9名, 作業分担と作業方針を検討

大深度シールド設備特別検討会泥土圧WG(2/8)

守屋洋一主査ほか11名, アンケート調査結果と取りまとめ方針を検討

小田急下北沢地区線連立事業技術委員会(2/8)

小山幸則委員長ほか27名, 2期施工の計測計画ほかを検討

補修補強調査特別検討会海外文献調査WG(2/21)

横尾敦主査ほか9名, 作業分担と作業方針を検討

地下鉄トンネル塩化物対策特別委員会(2/26)

大即信明委員長ほか27名, シールドトンネルの塩害対策基本方針ほかを検討

計 9回開催 145名出席

合計 15回開催 203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39回ITA総会およびコンgres「Underground - the way to the future -」	2013. 5. 31~6. 7	ジュネーブ(スイス)	Swiss Tunnelling Society International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://www.wtc2013.ch/
第40回ITA総会およびコンgres*「Tunnels for a better living」	2014. 5. 9~15	イグアス(ブラジル)	COMITE BRASILEIRO DE TUNEIS International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://www.wtc2014.com.br/
第41回ITA総会およびコンgres「Promoting Tunnelling in South East European (SEE) region」	2015.5.22~28	ドヴロヴニク(クロアチア)	Croatian Tunnelling Association International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://wtc15.com/

\* 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。TEL:03-3524-1755 FAX:03-5148-3655

4. 平成24年度催物開催現況

(平成25年2月現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(現場研修会)				
中部横断自動車道トンネル建設工事現場研修会(八之尻, 醍醐山)	2012. 7.27	25	山梨県	3.2
東九州自動車道トンネル工事現場研修会(赤尾第一, 中津)	2012. 8.28	22	大分県	3.0
横浜環状北線シールド工事現場研修会	2012. 9.21	24	神奈川県	1.8
新東名高速道路トンネル工事現場研修会(雁峰, 稲木)	2012. 9.24	21	岐阜県	2.5
清滝生駒道路清滝トンネル工事現場研修会	2012.10.26	24	大阪府	2.0
阪神高速大和川線トンネル工事現場研修会(大和川線シールド, 三宝第4工区(その1)開削および換気所)	2012.11.26	20	大阪府	2.8
仙台市地下鉄東西線現場研修会	2012.12. 7	12	宮城県	3.5
下水道工事現場研修会(第二溜池幹線および勝どき幹線工事)	2013. 1.24	19	東京都	2.5
東北・道路トンネル現場研修会(国道45号是川)	2013. 2. 6	19	青森県	2.0
九州新幹線(西九州ルート)トンネル現場研修会(施工体験発表会)	2013. 2.18	18	長崎県・佐賀県	3.2
第70回(山岳)「課題克服に貢献した新技術・創意工夫事例」	2012. 6.26	154	東京都	5.1
第71回(都市)「困難な施工条件下での都市トンネル工事事例」(講演, 講習会)	2012. 6.27	104	東京都	5.6
第14回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2012. 9.27, 28	19	東京都	17.3
第15回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2012.11.21, 22	24	東京都	9.8

催物の案内は逐次協会のホームページに掲載いたしますのでご覧ください。http://www.japan-tunnel.org/event\_japan

会員の皆様へお願い

4月は転勤など異動の多い時期です。会誌の送付先など変更が生じた場合は速やかにご連絡ください。また、新たにトンネルに携わる方にとって、会員になることは大変有意義と考えます。是非加入の勧誘をお願いします。まだ、会員になられていない方もこの機会に是非ご加入ください。なお、変更や入会の申し込み様式はホームページに掲載していますのでご参照ください。

また、当協会では、事業活動に対するご意見ご提案を受け付けています。会員の皆様のニーズを反映した諸活動を目指してまいりますので、下記アドレスにメール送信お願いいたします。

メールアドレス webmaster@japan-tunnel.org

## 5月号予告[5月1日発売予定]

- 供用中の山岳トンネルで発生する路盤隆起現象とその対策工の効果
  - JR関西線平野駅改良 馬場地下道新設
  - 金沢井波線 清水田島トンネル
  - 東京メトロ有楽町線小竹向原・千川間連絡線
  - 海外トンネル支保工の事例調査
- 【連載講座】
- トンネル技術者のための地相入門(13)

\*内容等は変更になる場合がございます

## 編集後記

◆この冬はとて厳しく、各地で積雪が過去最高を記録したそうです。雪による交通体系への影響も多く、吹雪で埋まった車内で痛ましい死亡事故が起きるなど、2年前の震災の記憶も鮮明に残るなか、自然の脅威を改めて感じるしだいです。さて、4月に近づくにつれ暖かさのますなか、寒さを理由にサボってきたジョギングなどを再開しています。東京低地を走る河川堤防は整備の状態も良く、走りやすいのでジョガーの姿が絶えません。そんな堤防を走っていると、意外にも堤防に沿ってトンネルの坑口を見かけることがあります。いわゆるスーパー堤防の下を縦断占用した道路トンネルです。沖積低地ではトンネルじたいが珍しいうえ、スーパー堤防の整備率が低く、細切れに点在するだけなので、なおさら貴重な光景です。私の地域で配られる洪水ハザードマップによると、再現期間を100~200年とした洪水が起きたとき、堤防のある箇所が決壊したとすると、2mでいど浸水するようです。これからの出水期、洪水のほうもなかなか心配です。スーパー堤防は洪水流にたいしては、決壊しない構造なので、「国土強靱化」を掲げるいま、将来の安全・安心を見据えて、百年の大計をもって実現されることを願っています。

(K.K)

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

## トンネルと地下

第44巻 第4号 [通巻512号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成25年3月20日 印刷

平成25年4月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL : 03-3524-1755

FAX : 03-5148-3655

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。

トンネル工事に用 電気集じん器

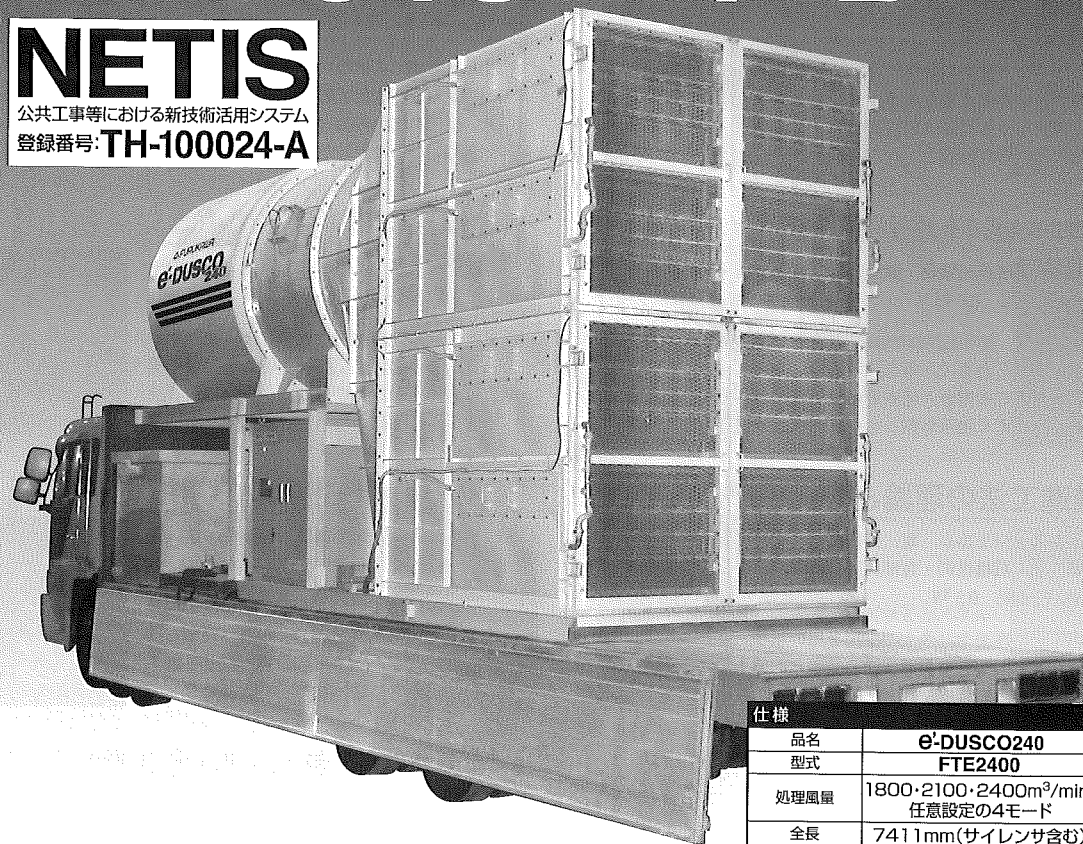
e-DUSCO  
イーダスコ・ニーヨンマル

究極の省エネ

70%も節電

NETIS

公共工事における新技術活用システム  
登録番号: TH-10024-A



仕様	
品名	e-DUSCO240
型式	FTE2400
処理風量	1800・2100・2400m <sup>3</sup> /min、任意設定の4モード
全長	7411mm(サイレンサ含む)
全幅	2350mm
全高 <sup>※1</sup>	3700mm
本体重量	10t
電源仕様	3相3線400V58kVA
ファン動力	30kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意
洗浄水	2.4m <sup>3</sup> /回
捕集ダストの処理	湿式
集じん効率 <sup>※2</sup>	95%以上

※1 車両高さは含まれていません。  
※2 JIS Z 8808により測定した値です。

## クラス最高の集じん効率95%

従来の電気式では達成できなかった95%以上の高集じん率を確保。

## 微細粉じんも逃さない電気式

電気式だから人体に有害な微細粉じん(0.2~5μm)も捕集できます。

## 現場メンテナンスは手間いらず

放電電極は丈夫で長持ちするブレード式により断線故障無く安心して御使用頂けます。捕集した粉じんもラクラク処理。

## 大風量と省エネを同時に実現

処理風量は20%増えたのにいっそう省エネ。安定した処理風量でCO<sub>2</sub>削減を実現する工コ製品です。

## 古河機械金属グループ

## 古河産機システムズ株式会社

URL : http://www.furukawa-sanki.co.jp/

本社  
〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3  
第二営業部 ☎03-3212-7804

大阪支店 ☎06-6344-2532 名古屋支店 ☎052-561-4580 札幌支店 ☎011-784-1179  
東北支店 ☎022-221-3532 九州支店 ☎092-741-5193 小山工場 ☎0285-23-8662

# 図書案内

## 山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著  
3,200 円+税 B5 判

地山の力学状態を表す理論式から導かれる地山挙動の特徴を図表などを用いて手際よく説明した。トンネル掘削における工学的な理解を深化させる一冊。



## 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。



## 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。



## 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。



## 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。



## 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。



## 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。



## 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囲にわたり掲載した。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。



## わかりやすい土木地質学

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い解説を与えた。



## 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。

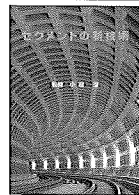


- 第 I 巻 地下水の物理と化学  
4,078 円+税 B5 判
- 第 II 巻 地下水環境学  
4,272 円+税 B5 判
- 第 III 巻 地下水と地質  
3,689 円+税 B5 判

## 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。



## わかりやすいトンネルの力学

福島啓一 著  
5,825 円+税 B5 判

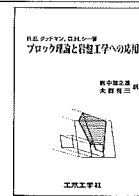
トンネルを掘るときに、どのような力学的な問題が生じるかについて、わかりやすく解説した。トンネル工学の理論と実際が統一されることを願って記された一冊。



## 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

ジェオフロンテ研究会 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・齊藤正忠・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・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。



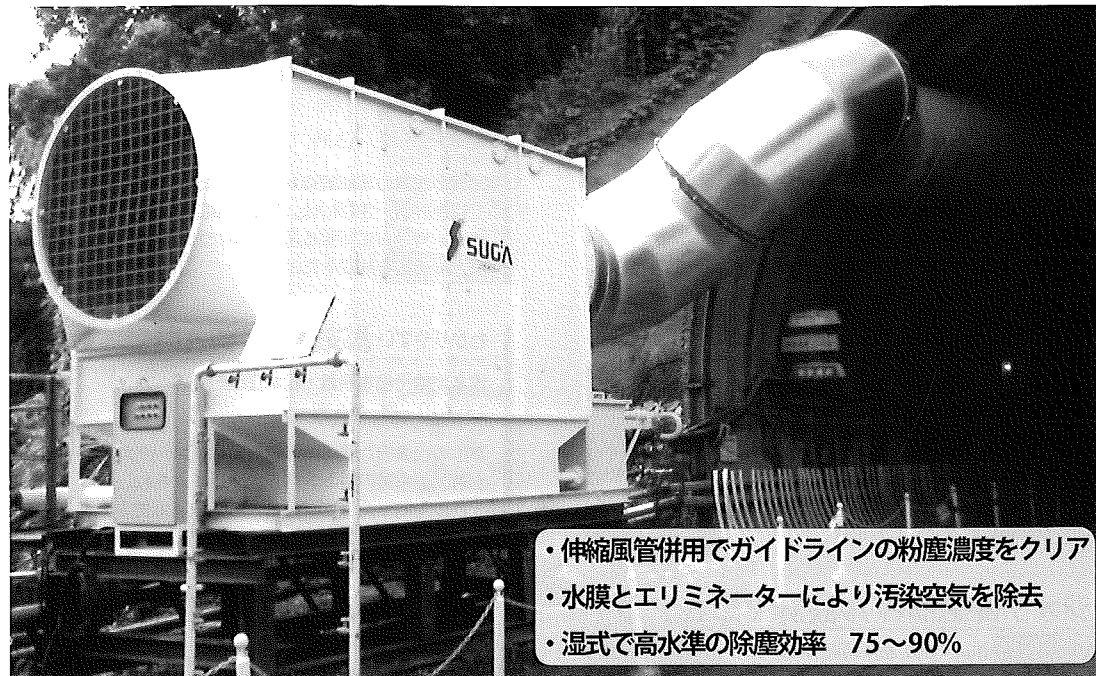
## 書籍のお申し込み

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。

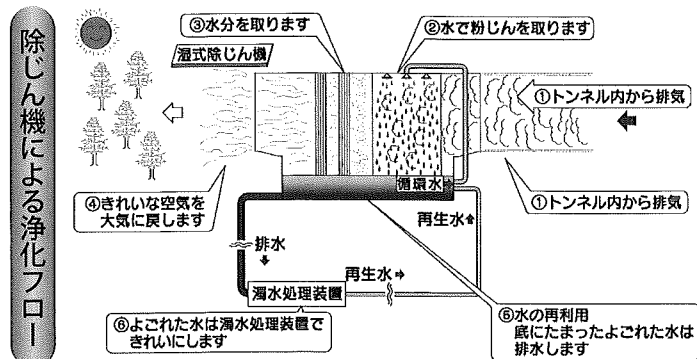
(株)土木工学社  
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町 16 メイジャー神楽坂  
TEL: 03 3267 2888 Fax: 03 3267 2807

# 新指针对応の排気式換気システムに新戦力現る！ 湿式除塵機 シャワーエリミネーター

集塵機を使用しないで大幅なイニシャル&ランニングコスト低減  
2000m<sup>3</sup>/min集塵機との比較で電力90%削減 110kW(55kW×2)⇒11kW



- ・伸縮風管併用でガイドラインの粉塵濃度をクリア
- ・水膜とエリミネーターにより汚染空気を除去
- ・湿式で高水準の除塵効率 75~90%



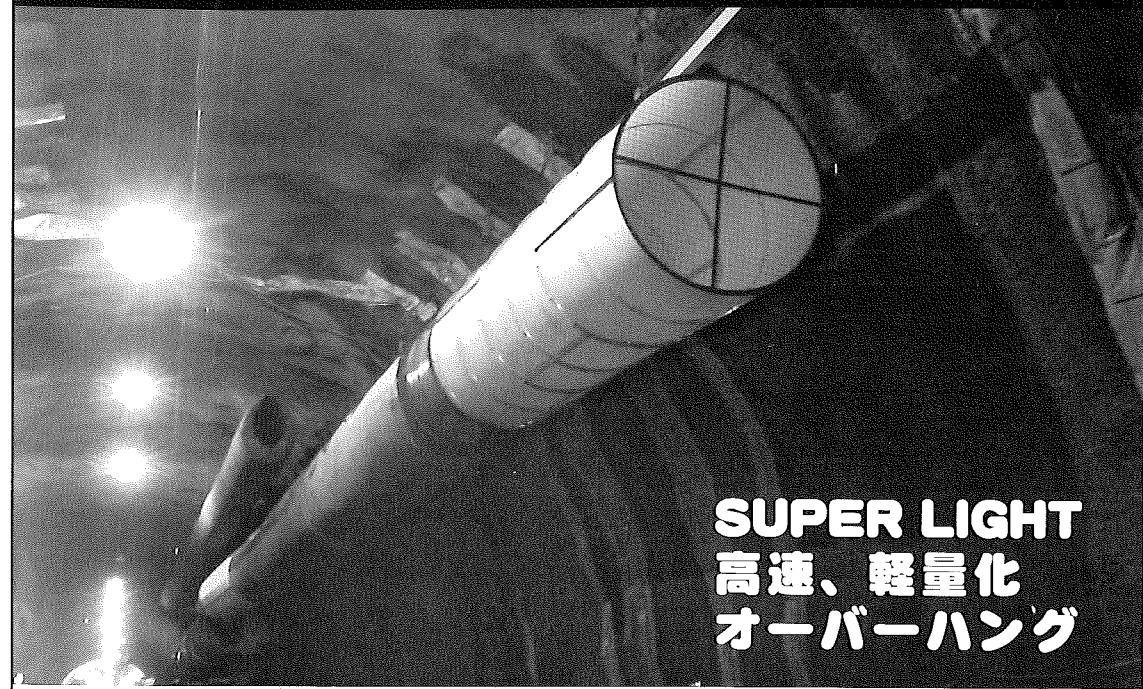
**機種**  
①1500m<sup>3</sup>/min 動力：7.5kW  
②2000m<sup>3</sup>/min 動力：11.0kW  
\*動力は循環ポンプのみ  
\*使用水は再生水循環式

**SUGA** 菅機械工業株式会社  
URL <http://www.suga-kikai.co.jp>

本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町12番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460

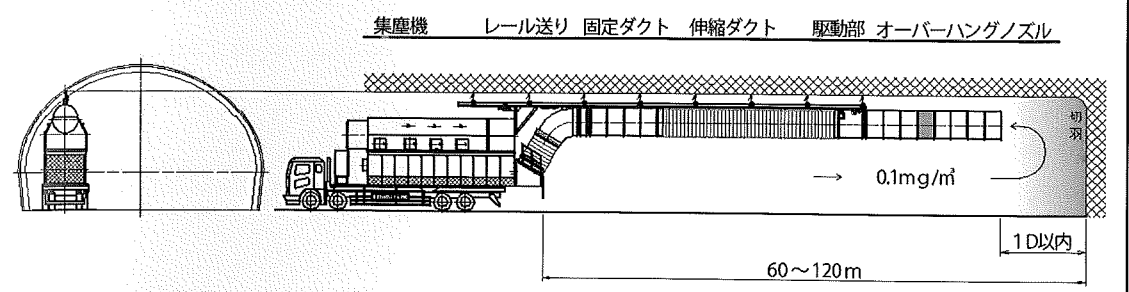
# 時代は吸引捕集方式へ...

トンネルじん肺を根絶できる最良の方法です



**SUPER LIGHT**  
高速、軽量化  
オーバーハング

- ・吸引捕集方式は切羽直下で粉じんを吸引し、切羽の作業員を守ります。
- ・フィルタ式集塵機で大気レベルに清浄化、トンネル全域をきれいにします。
- ・発破後の換気時間を短縮、余掘防止など生産性も向上します。
- ・国際トンネル協会 (ITA) も推奨している方式です。



最適環境を創造する  
**株式会社 流機** エンジニアリング  
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI 聖坂ビル  
TEL : 0120-449-881  
URL : <http://www.ryuki.com/>  
E-mail : [eigyobu@ryuki.com](mailto:eigyobu@ryuki.com)

(PC・スマホ専用)  
QRコード