

# トンネルと地下

vol. 41  
no. 8  
2010

Tunnels and Underground

採石場跡の軟弱な埋戻し土を山岳トンネルで貫く(設計編)

有楽町・副都心線並行区間の線路交差を2本の単線連絡トンネルで解消

鉄道トンネルの健全度診断システム

先進ボーリング技術のブレークスルーを目指して

切削ワイヤを用いた改良JES工法で地表面変位を抑制

日本トンネル技術協会誌



## トンネル開発技術に

## 70年のヒストリー!

**2009**  
〈中国初の大断面φ14.27m泥土圧シールド〉  
上海外灘地区の交通渋滞解消に貢献  
上海万博に合わせ貫通

**2008**  
〈支障物切削シールド〉  
土中のH杭やシートパイルをシールドマシンで切削

**2007**  
〈トバイLRT用シールド〉  
トバイの交通網の発展に貢献

**2006**  
〈世界最大径φ15.01m泥土圧シールド〉  
スペインマドリッド環状道路M30の洗滞回避に活躍

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

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

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

**1993**  
〈世界最大級の泥水式シールド〉  
東京湾横断道路工事で活躍

**1989**  
英仏海峡トンネルT-5工区貫通式完成にわく関係者たち

**1939**  
〈日本最初の本格的シールド〉  
関門トンネル工事で活躍

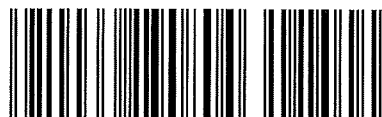
世界中で  
1700台の  
実績!

昭和14年(1939年)我が国初の本格的シールド式トンネル掘削機を開発して以来、三菱重工はトンネル開発技術のパイオニアとして70年にわたり国内や海外で数多くの実績を築いてきました。豊かな21世紀を育むために、三菱は最先端のジオテクノロジーでさらに前進しています。

### 三菱重工メカトロシステムズ(株)のシールド式トンネル掘削技術

三菱重工メカトロシステムズ株式会社 都市開発部  
神戸市兵庫区和田宮通五丁目4番22号 TEL.078-672-2873 FAX.078-672-2869  
東京都港区港南二丁目16番5号 TEL.03-6716-4092 FAX.03-6716-5833

定価 1,575円 雑誌06619-8  
本体価格1,500円



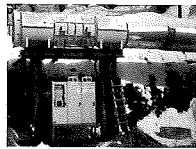
4910066190804  
01500

# ホンモノしか残らない...

...1960~ 1970~ 1980~ 1990~ 2000.....



大容量ファン



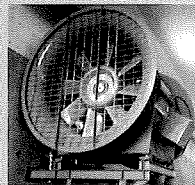
二軸反転  
サイレントファン



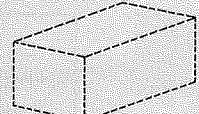
可変翼やインバーター  
での風量制御ファン



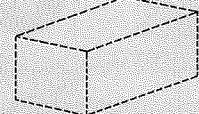
中型集塵機  
ノッカー払落し式



単段ファン



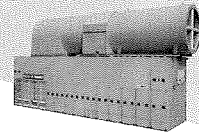
中型集塵機湿式



中型集塵機電気式



中型集塵機  
フィルタ交換型



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

## 吸引ダクト SUPER LIGHT〔新型〕

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



重量1/2に半減!!

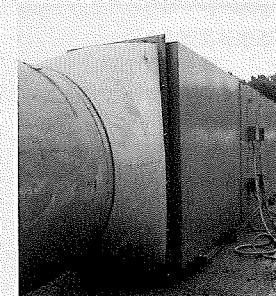
# 換気・環境技術は進化しています

2009.....



密着

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



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

## 漏れない風管シリーズ〔新型〕

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

2010.....



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

最適環境を創造する

株式会社 流機 エンジニアリング

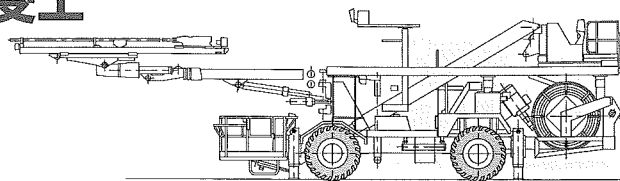
URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: [eigyobu@ryuki.com](mailto:eigyobu@ryuki.com)

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

## 環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

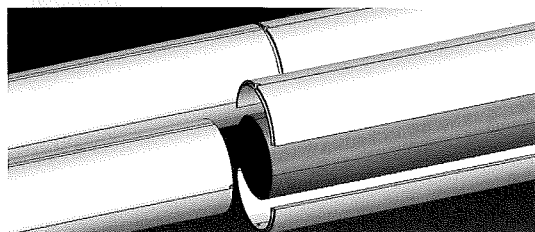
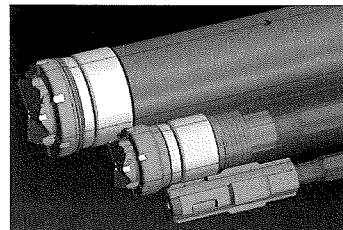
All Ground Fastening;  
Long-Distance, Fore-Piling Method



### 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。



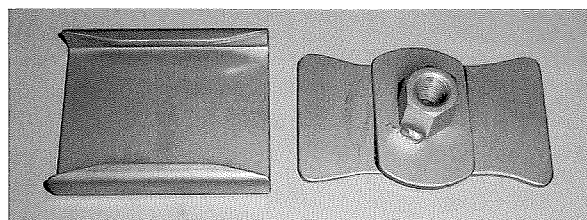
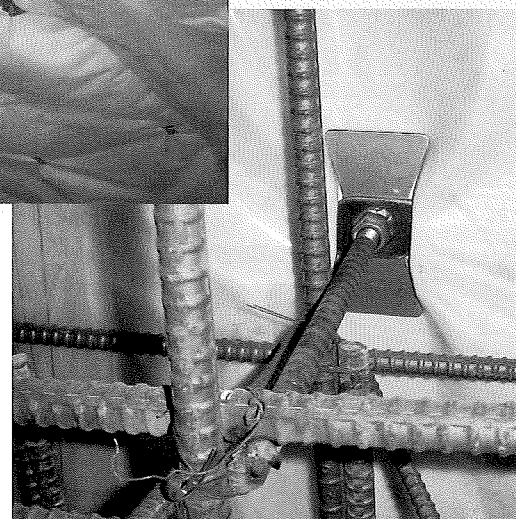
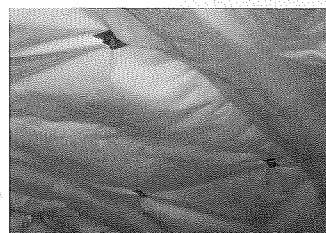
### 防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

### 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

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



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

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

**株式会社 トーキョーオール**

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

## トンネル工事を支えるコンクリート・ソリューション

長期耐久性に優れた高品質な覆工コンクリートの施工にお応えします。



湿式吹付けコンクリート用高性能減水剤

### NT-1000シリーズ

急結剤と併用することにより、高品質で経済的な吹付けコンクリートを実現。

- 単位水量を減少し、急結性・付着性・強度発現性などの諸性状を改善する
- 急結剤の使用量を低減する

品質向上  
対策

高性能AE減水剤 収縮低減タイプ

### レオプラス800S/800SR

AE減水剤 高機能・収縮低減タイプ

### ポリヒード® 15DS/15DSR

一般強度から高強度コンクリートまでの乾燥収縮ひび割れ対策を可能にする収縮低減タイプの混和剤。

- 収縮ひび割れを5~15%低減できる
- リーズナブルに使用できる

ひび割れ  
対策

覆工コンクリート用膜養生剤(水性タイプ)

### マスターキュア® 106

セメントの水和反応を最適環境下で進行させることができる養生剤。

- 保温・保水性が高く養生効果に優れる
- 初期ひび割れ発生を低減する

養生  
対策

BASFポゾリス

検索

<http://www.pozzolith.basf.co.jp>

### BASF ポゾリス株式会社

東京都港区六本木6丁目10番1号  
六本木ヒルズ森タワー 21階  
TEL 03-3796-9710(代) FAX 03-3796-9980(代)

コンクリートプラント廃棄物の再利用技術

### デルボシステム

プラントミキサトラックアジテータから発生するスラッジ廃棄物を削減。

- コンクリート廃棄物量を抑制できる
- 廃棄物処理費を低減する
- 環境に対する負荷を軽減できる

廃棄物  
削減対策



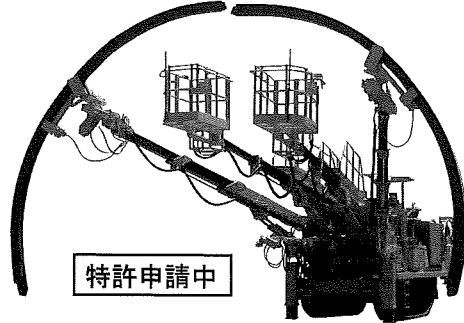
人とコンクリートのいい関係

**BASF**  
The Chemical Company

**T&M**  
Tunnel & Mining

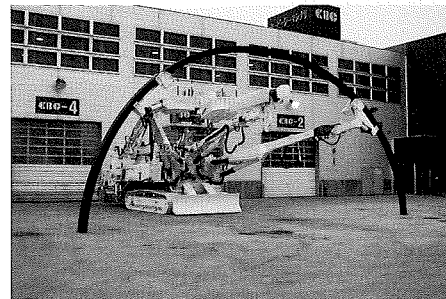
商品提供をより強力に  
2010年4月より新体制  
(旧トンネルのレンタル参入)

スコピオン I 型  
ゴムクロベース ★コンプレッサー搭載



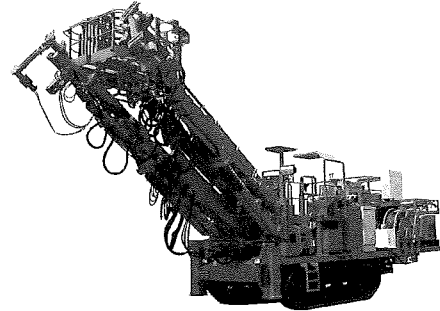
特許申請中

弁慶  
鉄クロベース

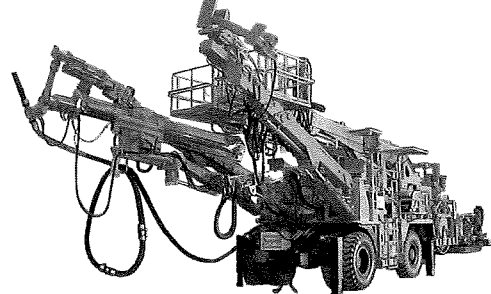


## エレクター搭載吹付システム ラインナップ

スコピオン II 型  
ゴムクロベース



EJS  
ホイールベース ★コンプレッサー搭載



山岳トンネル施工機械、鉱山・採掘機械の総合レンタル企業  
**ニシオティアーアンドエム株式会社**

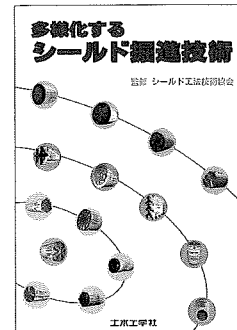
本社(大阪) 072-634-3939 【支店及び工場】 ・大阪支店・工場 072-677-2101  
営業推進(東京) 03-3280-3661 ・石狩工場 0133-72-3715 ・九州支店・工場 0982-26-2111  
東日本営業本部(長野) 0268-62-1426 ・東北支店 0197-77-4101 <製作・整備協力>  
西日本営業本部(大阪) 072-677-2101 ・関東支店・工場 0268-62-1426 ・(株)山崎マシナリ 0538-66-1211

好評発売中

# 多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判 141頁 本体価格2,500円



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

このような背景を踏まえて、掘進技術を広くシールド技術者の参考となることを意図し、最近に開発、実用化された技術を中心に日本トンネル技術協会誌「トンネルと地下」に平成16年春より約1年にわたり『多様化するシールド掘進技術』という連載講座を設け紹介した。

その結果、読者の方々より、掲載対象とした以外の技術との関係、従来工法との関わりなどの情報が欲しいとの意見が寄せられた。

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

【掲載工法】

①ラチス式同時施工シールド工法、②F-NAVIシールド工法、③ハニカムセグメントを用いた同時施工法、④ロングジャッキ式同時施工シールド工法、⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法、⑥充填式シールド急曲線工法、⑦地下茎シールド工法、⑧T-BOSS工法、⑨球体シールド工法、⑩上向きシールド工法、⑪MMST工法、⑫拡大シールド工法、⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法、⑭ワギング・カッター・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

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先

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

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の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

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

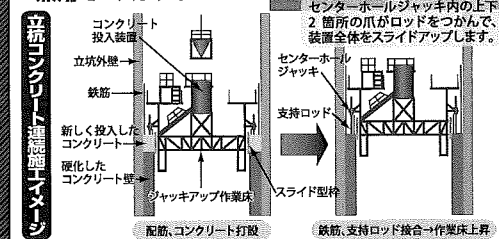
本社 〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1  
TEL(0581)38-2241(代) FAX(0581)38-3383  
営業所 〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387  
TEL(0581)34-3990(代)

# スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献!

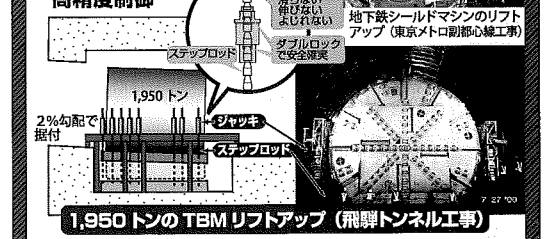
## 立坑スリップフォーム工法

- 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・グラウトスカフォード兼用でコストダウン



## シールドマシン・TBMアッパダウン

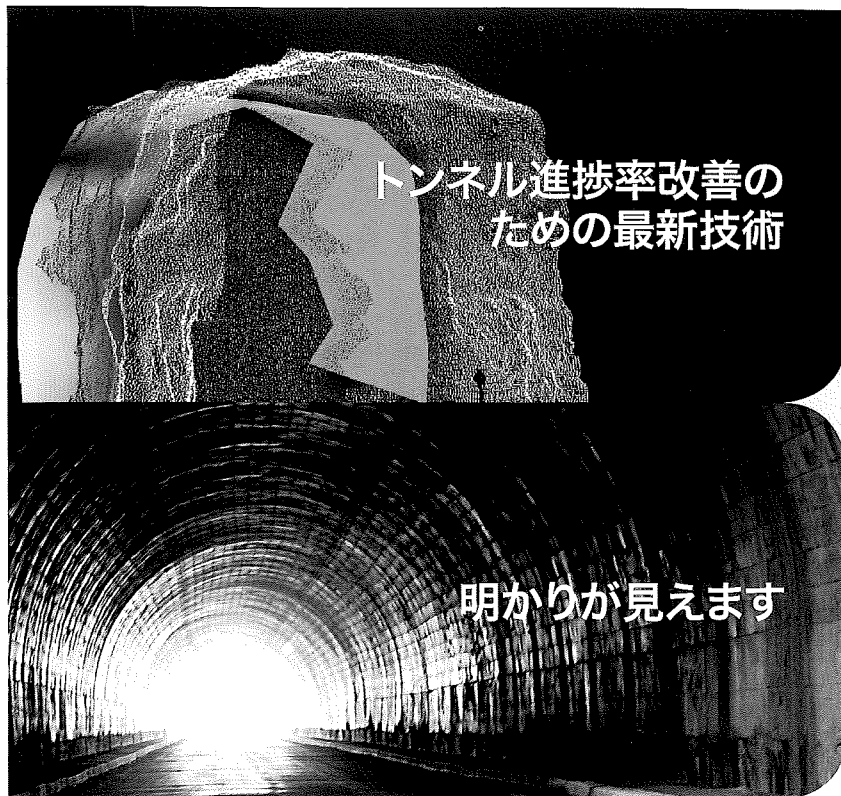
- 安全確実で経済的なステップロッド方式
- イコライザー機構で荷重・変位のバラ付きを解消
- 複数ジャッキを高精度制御



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  
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



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、発破のたびに進捗率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™、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。



機械掘削ツインヘッド

1.0m<sup>3</sup>クラス 322C 他

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

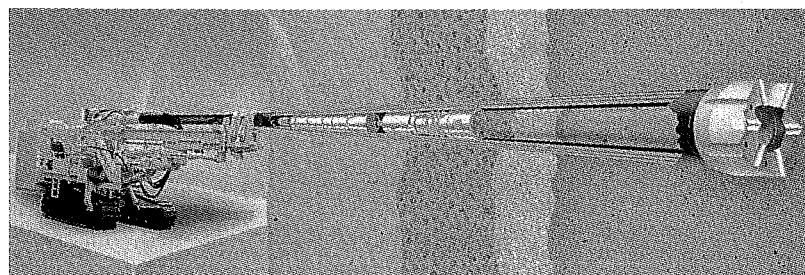
klea 株式会社 ケイリー

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

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

## トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

### パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



#### ■ 特長

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

 **KOKEN 鉦研工業株式会社**

本社 〒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>

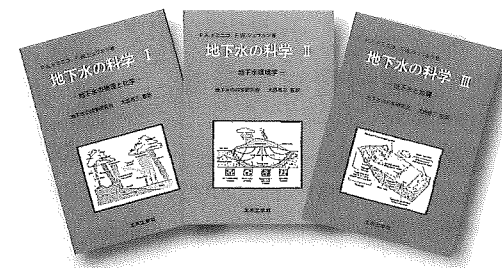
#### ■ 図書案内

## 地下水の科学

— 全3巻 —

P. A. ドミニコ・F. 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

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

第II巻 地下水環境学  
4,272円+税 B5判

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

第III巻 地下水と地質  
3,689円+税 B5判

■水資源 ■堆積盆水循環における地下水 ■地殻における地下水 ■地下水流動における熱輸送

 **株式会社 土木工学社**

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

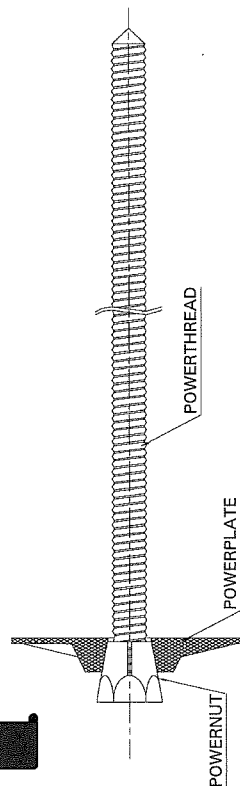
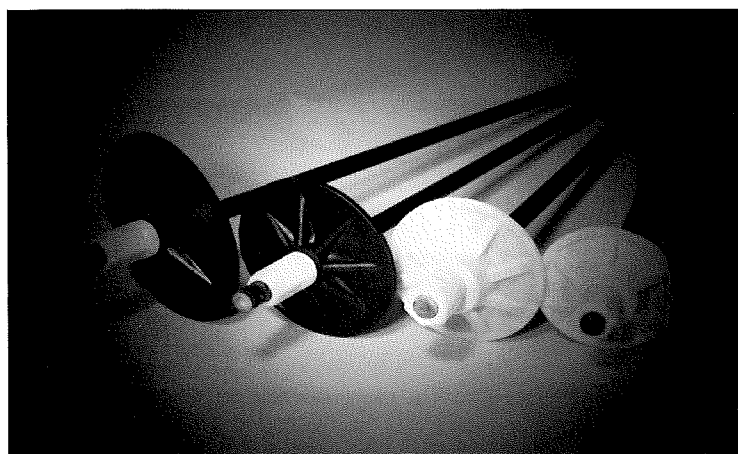
パターンボルトのGRP化

# POWERTHREAD

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

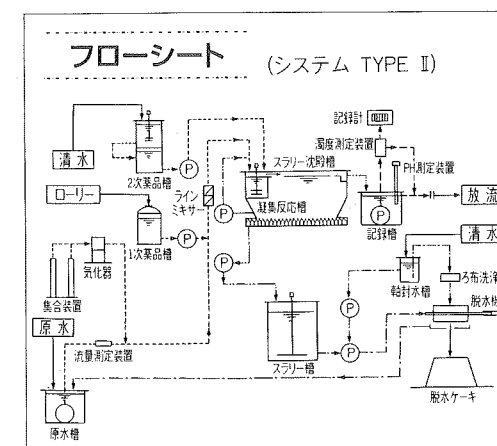
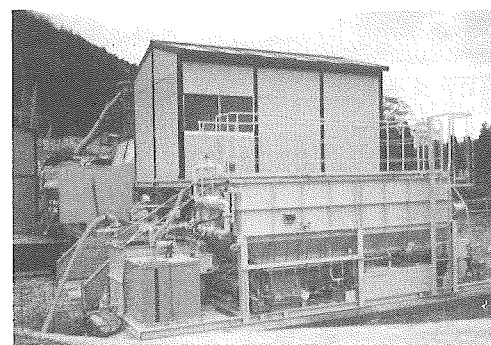
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237

北海道地区(株)エイチ・アール・オー

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

# TWS型シリーズ 濁水処理装置

## コンパクトながら 大きな処理能力



### 特長

1. 基礎、土木工事の期間が短く安価である。  
設置面積が小さくフラット基礎で設置可能である。
  2. 運転経費が少ない。  
ラインミキサー及び余剰ガス循環システムの組み合わせにより効率の良い中和が出来炭酸ガス使用量の節約になる。角型シクナー沈降面積及び容積をより大きく設計しており又傾斜板を採用していることから一次、二次薬品が少量でも効率の良いSS処理が出来る。複式汙板型の脱水機を採用していることから汙布等の消費費が少ない。  
又、加圧型脱水方式の為無薬注で脱水出来る。
  3. シクナー内流速を最少にする設計であることより清澄度の高い処理水が得られ、再利用が可能である。
  4. 運転管理が容易である。  
原水流入に合せた自動運転方式を採用している。パトライトによる異状警報装置を標準装備している。
  5. 多種多様な原水に対応出来る。  
凝集反応槽攪拌機及び集泥用レーキにインバーターを採用し、水量及び濃度に幅広く対応する。
  6. 豊富なオプション装置  
高分子凝集剤の自動溶解装置  
処理水返送装置 (異状警報装置と連動)  
炭酸ガス後中和処理装置  
鉄分除去処理装置 (エアレーション装置等)  
スラリー再濃縮装置  
脱水助材添加装置  
自動汙布洗浄装置
- シクナー5機種、脱水機4機種を標準化し、処理量に応じた自由な組み合わせが可能です。あなたの現場にピッタリフィットのシステムを御検討下さい。

詳細資料請求、お問い合わせは

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

Waste Water Treatment System

■巻頭言

建設産業を取り巻く環境変化について思うこと

中村 満義 .....5

■研究

鉄道トンネルの健全度診断システム

岡野 法之・小島 芳之・津野 究 .....29

先進ボーリング技術のブレークスルーを目指して

—長尺・高速掘進・孔曲がり制御などの技術開発—

二村 亨・梅村 哲男・萩原 博之・生森 敏 .....37

切削ワイヤを用いた改良JES工法で地表面変位を抑制

有光 武・桑原 清・小泉 秀之・長尾 達児 .....49

■計画

採石場跡の軟弱な埋戻し土を山岳トンネルで貫く(設計編)

—北関東自動車道 出流原トンネル—

今井 恵史・宗像 慎也・宮本 武司・山田 浩幸 .....7

有楽町・副都心線並行区間の線路交差を2本の単線連絡トンネルで解消

—東京メトロ 小竹向原駅~千川駅間連絡線計画—

鈴木 章悦・藤沼 愛 .....15

■連載講座

ずり処理入門(8)

—坑外仮置き場—

「ずり処理入門」連載講座小委員会 .....59

トンネル保守管理における記録とその活用(2)

—データベース化・電子化の取り組み(1)—

JTA保守管理小委員会 .....71

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

もぐらの戯言

飯塚 輝夫 .....23

■トンネル工事を見守る山の神

山の神と化粧木(その1)

阿部 公一 .....68

■資料

土木情報

編集部 .....22

工法・技術・製品ニュース

編集部 .....79

トンネルジャーナル

編集部 .....48

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 .....81

文献紹介

編集部 .....70

■会報

会報

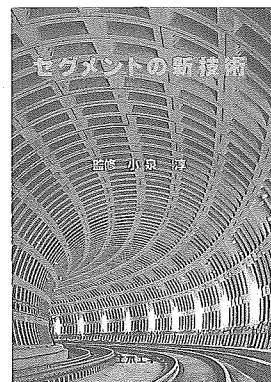
日本トンネル技術協会 .....82

【表紙説明】 採石場跡の軟弱な埋戻し土を山岳トンネルで貫く(設計編)

—北関東自動車道 出流原トンネル—



出流原トンネルは、小土かぶり軟弱な埋戻し土と軟岩の境界を通る特殊地山条件のもとで計画された。トンネル設計においては、数値解析にもとづき山岳トンネルの構造および施工法を検討した。その結果から、トンネル全線を山岳工法で施工する優位性を確認するとともに、切羽安定対策工としての地盤改良範囲や耐震照査にもとづくせん断補強を決定した。写真は、工期短縮のため、上り線の掘削と並行して地表から下り線の地盤改良を実施している状況である。〔写真提供：東日本高速道路(株)〕(本文7頁参照)



セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 千290円

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

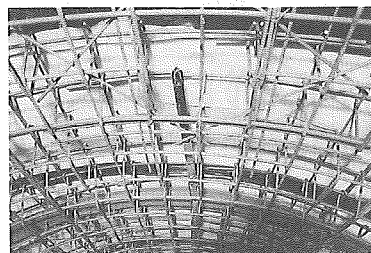
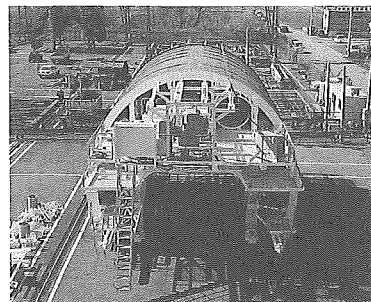
# 高品質なトンネル覆工に挑む

## 高品質なトンネル覆工を実現する 引抜バイブレータ締固システム

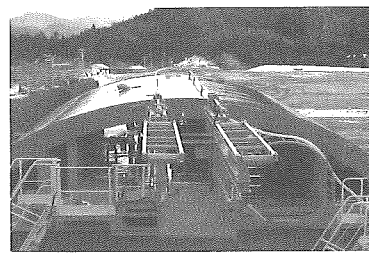
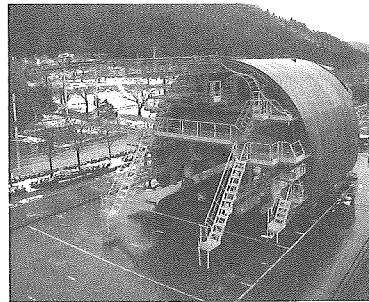
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

### ホースパイプ巻取り式



### パイプパイプ伸縮式



特願 2000-073694・2002-329301・2004-021814・2004-021817

### 効果・特徴

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



**岐阜工業株式会社**  
GIFU KOGYO CO.,LTD

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

本社営業部 (058)323-2001  
東京支店 (03)5836-0531  
仙台営業所 (022)259-2239  
九州営業所 (092)713-5265

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

## 総務委員会広報小委員会誌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 株式会社大林組東京本社生産技術本部 トンネル技術部部长	千 葉 隆 清水建設株式会社土木事業本部工事監理部 上席エンジニア
池 田 豊 人 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	濱 建 介 (元)日本鉄道建設公団理事
大 石 敬 司 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 改良建設企画課課長	福 家 佳 則 鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部 トンネルグループ長
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長	松 原 利 之 飛鳥建設株式会社土木事業本部土木技術部 トンネル技術グループ部長
城 間 博 通 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部トンネル研究担当部長	三 浦 克 株式会社竹中土木常務執行役員
高 瀬 昭 雄 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長	領 家 邦 泰 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル技術室参与

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16.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

**KYB** カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業  
カスタマーサービス 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444  
中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 TEL 059-234-4139  
西部支店 〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多 TEL 092-411-4998  
三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 TEL 059-234-4111

## 編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

### 〔編集委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

### 〔編集参与〕

今田 徹 東京都立大学名誉教授	濱 建介 (元)日本鉄道建設公団理事
高橋 良文 東京都下水道サービス(株)管路部長	三浦 克 株式会社竹中土木常務執行役員
橋本 定雄 (元)東京都公営企業管理者下水道局長	

### 〔委員〕

今井 滋 東京都水道局建設部工務課長	城間 博通 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部トンネル研究担当部長
葛城 真治 東京電力株式会社電力流通本部工務部 地中送電グループ課長	新谷 康之 東京都下水道局建設部設計調整課長
亀山 勝 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 計画担当課長	中本 忠道 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐
木谷 日出男 財団法人鉄道総合技術研究所 企画室長	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
清水 満 JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所次長	両角 幸範 東京都交通局建設工務部計画改良課長

掲載頁  
7

採石場跡の軟弱な埋戻し土を山岳トンネルで貫く(設計編)

—北関東自動車道 出流原トンネル—

東日本高速道路(株) 今井 恵史



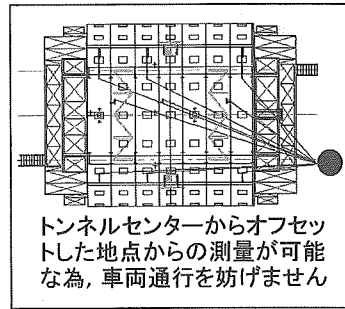
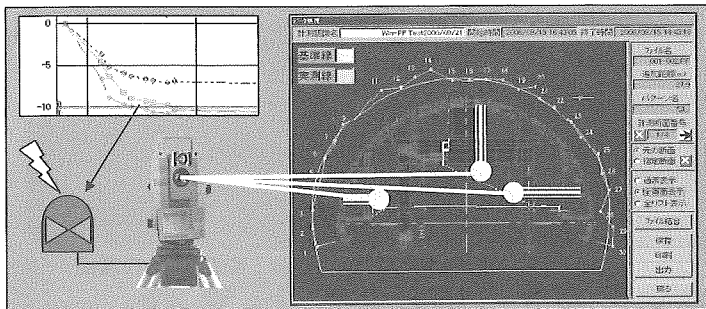
セントル位置・変位  
自動測定監視システム

特許出願中

面板へのプリズム取付状況

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

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



トンネルセンターからオフセットした地点からの測量が可能  
な為、車両通行を妨げません

トンネル用機材一般/土木資材の販売



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

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



MAC マック株式会社

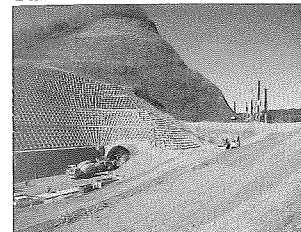
〒272-0832 千葉県市川市曾谷 8-16-3  
TEL 047-371-3191 FAX 047-371-3190

掲載頁  
15

有楽町・副都心線並行区間の線路交差を2本の単線連絡トンネルで解消

—東京メトロ 小竹向原駅～千川駅間連絡線計画—

東京地下鉄(株) 鈴木 章悦



写真は, 上り線の掘削と並行して地表から下り線の地盤改良を実施している状況である

By Keiji Imai, East Nippon Expressway Company Limited

Izuruvara Tunnel is shallow tunnel that was planned to pass through a boundary of soft rock and soft backfilled soil ( $N$ -value around 1-10, muck from a quarry (dehydrated soil: silt) or construction). Numerical analysis (prediction analysis, seismic analysis) and a review of structures and construction methods were implemented in the tunnel design. From these results, along with confirming the predominance of constructing all tunnel with the trenchless method (NATM), it was decided that, as a construction measure for face stability, soil improvement range and an shear reinforcement quantity based on seismic evaluation. This report gives an outline of the construction review and seismic evaluation results based on numerical analysis.

東京メトロ有楽町線は和光市駅～新木場駅間を営業路線とし, 和光市駅～渋谷駅間は副都心線として営業している。また, 和光市駅では東武東上線, 小竹向原駅では西武池袋線・有楽町線と相互直通運転を行っており, さらに平成24年度には副都心線が渋谷駅で東急東横線と, さらに同線を経てみなとみらい線と相互直通運転を行う予定である。

相互直通運転によるネットワークの拡大は利便性を高める一方で, 遅延時間の拡大や異常時の輸送障害の影響が長時間にわたり他社社まで影響するなどの事態を招くことがある。

本稿は, 小竹向原駅～千川駅間で発生している有楽町線と副都心線の列車運行経路の平面交差部を解消するために行う有楽町線の連絡線の設置計画について, 計画から工事発注までの経緯を述べるものである。

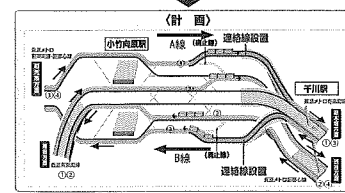
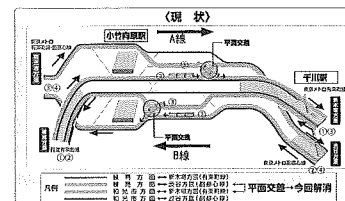
Resolve Level Crossing of Yurakucho/Fukutoshin Line with Two Connecting Tunnels —Connecting Lines Plan between Tokyo Metro Kotake-Mukaihara and Senkawa Stations—

By Akiyoshi Suzuki, Tokyo Metro Co., Ltd

The Tokyo Metro Yurakucho Line is in operation from Wako-shi Station to Shin-Kiba Station and Fukutoshin Line is in operation from Wako-shi Station to Shibuya Station. Further, these two lines operate a mutual through service at Wako-shi Station with the Tobu Tojo Line and with the Seibu Ikebukuro Line / Yurakucho Line operate a mutual through service at Kotake-Mukaihara Station. Further more, in 2012, the Fukutoshin line is expected to conduct a mutual through service with the Tokyu Toyoko Line and further, on the same line, with the Minato-Mirai Line.

On the flip side of enhancing convenience, the expansion of the network through mutual through services creates circumstances such as longer delay times and the influence of the transportation disorder also affects other companies over a long period of time.

This report gives information on the Yurakucho Line connecting line installation plan conducted in order to resolve the train service route level crossing on the Yurakucho and Fukutoshin Lines placed between Kotake-Mukaihara and Senkawa station from planning to the order for construction.



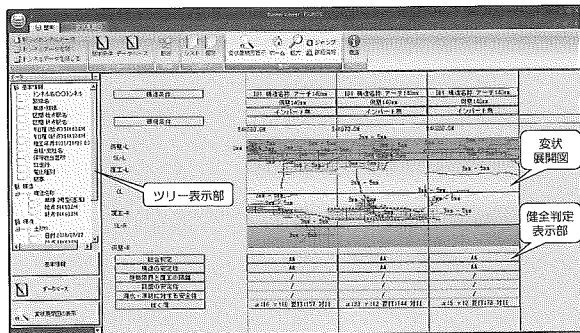
図は計画概要

鉄道トンネルにおける検査の一般的な流れである、全般検査、個別検査において、筆者らが持つ既往の知見をもとに、検査で得られるひび割れ情報やトンネル断面変形速度、地形、地質データなどから、トンネルの健全性の診断、および変状原因の推定、対策工選定の項目について、その大部分を自動的に行うことのできるシステムを開発した。これにより、トンネル検査の課題とされている検査結果のばらつきなどの個人能力差は排除され、検査精度の平準化や客観化が可能となる。

Soundness Diagnosis System for Railroad Tunnels

By Noriyuki Okano, Railway Technical Research Institute

In overall and individual inspections which is the general flow of inspections in railroad tunnels, based on the past accomplishments of the authors, a system was developed that can automatically conduct the greater part of tunnel soundness diagnosis and estimate the causes of deformations and select countermeasure solutions with the use of information about cracks and the cross-section deformation rate and geographical and geological features that can be obtained from inspections. This system eliminates the differences in individual skills such as discrepancies in inspection results which are an issue in tunnel inspections and makes consistent and objective inspection accuracy possible.



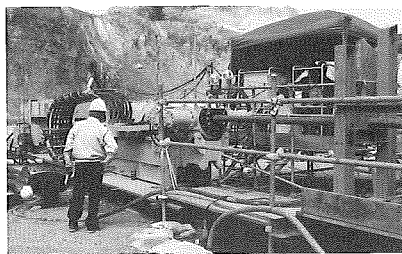
図はシステムの標準画面

路線計画に際して必要となる地形・地質情報を得るために、空中写真撮影(高精度の地形図取得)、地表踏査、物理探査、水文調査のほかに地質調査ボーリングが実施されている。これらの調査手法の中で、地下深部の地山を直接確認できるボーリング調査はもっとも信頼度の高く1,000m級の長尺のボーリング実績がある。しかし土かぶりの大きい場合、立地的・経済的制約のほか技術そのものの制約もあり、机上で考えるほど簡単には実施できない調査法でもある。このため、土かぶりの大きな長大山岳トンネルの施工リスクの軽減を図る一手段として、山岳トンネル分野におけるボーリング技術(とくに、①掘進速度、②方向制御、③ノンコアによる地質評価技術)を飛躍的に発展させる必要性があると考え検討を行ってきた。本稿では、その成果の一つとして、上記①、②の両面において従来技術とは格段の差のある技術レベルに達することができたので、ここにその概要を報告する。

Aiming for a Breakthrough in Pilot Boring Techniques —Technical Development of long/high-speed Excavation/Hole Deviation Control, etc.—

By Toru Nimura, Central Japan Railway Company

In order to obtain geographical and geological information that is required when planning routes, geological survey boring is implemented on top of aerial photography (to obtain high precision topographic maps), ground surface exploration, geophysical exploration and hydrologic studies. In the methods for these studies, boring surveys that can directly confirm deep ground are long boring have the highest level of reliability, and have some achievement of long boring near 1,000 m. However, if cover is large, there are also limitations not only of location and financial natures but also of technology itself and this is also a survey method that cannot be as easily implemented as it would seem in theory. For this reason, as one method of reducing the construction risks of long mountain tunnels with large cover, we have considered and investigated that it necessary to achieve a breakthrough in boring techniques (in particular: 1) excavation speed, 2) direction control and 3) geological evaluation technology through non-core) in the mountain tunnel field. This report, as one of the results of this, gives an outline of the fact that we have achieved a level of technology that is remarkably different to traditional technology for both 1) and 2) above.



写真は大口径長尺ボーリング機械の概観

非開削によるアンダーパス工法では、鉄道営業線の下で掘削作業を行う関係上、地表面への影響をいかに抑えるかが課題となっていた。とくに土かぶりが小さい地盤では、エレメント掘進中の地盤への支障物押し込み、また支障物撤去後の空洞によるゆるみ発生などによる地表面変状が懸念されるため、列車運行時間外での施工とならざるを得ず、工期・工事費を増大させていた。

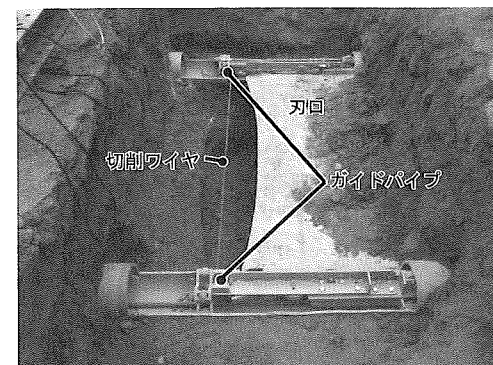
今回、地盤を切削しながらエレメント掘進することで、地表面変状を極力抑え、土かぶりが比較的小さい箇所でも列車運行時間帯に作業可能な工法を開発した。本稿では、開発時の検討事項、基礎試験、および試作した実物大の地盤切削機構付き刃口を用いた実証試験について報告する。

Development of a JES Method that Control Surface Displacement using Cut Wire

By Takeshi Arimitsu, East Japan Railway Company

In the trenchless underpass method, there is a challenge to reduce the influence on surface displacement in relation to excavating under tracks in service. In particular, in ground with small cover, as surface displacement due to the wedging obstacles into during element excavation or the loosening due to cavities after removing obstacles was a concern, construction duration and cost increased due to being forced to construct in hours when trains were not in service.

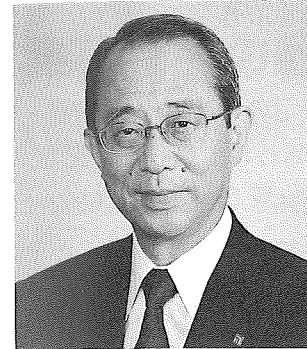
This time, by conducting element excavation while cutting the ground, a method that could control surface displacement to the utmost and made it possible to work during hours in which trains were in service even in locations with relatively small cover was developed. This report gives information on items for investigation at the time of development, preliminary studies and demonstration tests using a cutting edge with a prototype of an actual size ground cutting mechanism.



写真は刃口先端部構造

# 巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)



## 建設産業を取り巻く環境変化について思うこと

鹿島建設(株)代表取締役社長(本協会副会長)

中 杉 博 義

近年のアジアの高成長に見られるように、21世紀はアジアの世紀になると言っても過言ではない。中国そして韓国の高成長が世界の経済を牽引する時代が今まさに到来しようとしており、そのときに日本はどのような国家を目指すのかを真剣に考えなくてはならない。

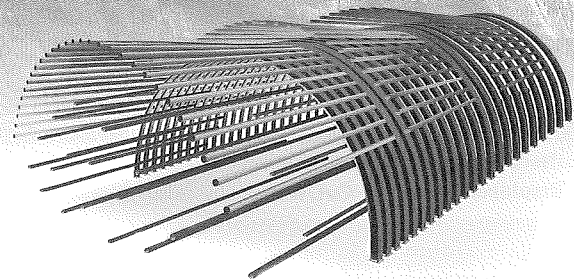
この危機意識はほぼ国民すべてに共通したものであり、5月17日に発表された国土交通省成長戦略においても、「人口減少・少子高齢化社会の中で国民が将来の憂いなく安心して生活を送るためには、日本経済の成長が必要不可欠な要素であり、攻めの姿勢と強い意志を持った実現性のある成長戦略を構築しなければならない。」と記述されている。

今後ますます激化することが予想される国家間競争の中で、日本が経済力と豊かさを維持するためには、従来の「均衡ある国土の発展」だけではなく、「魅力ある国際都市づくり」といった観点から社会基盤を整備していくことが強く求められている。そして、魅力ある国際都市づくりのためには、経済活動の一層の効率化と活性化が必要であり、国と国との移動や都市と都市の移動のスピード化は絶対的に必要な条件である。具体的な事業として、リニア新幹線など高速交通網充実による国内拠点間移動時間の短縮、環状道路のミッシングリンク解消による交通渋滞解消と経済効率向上などが挙げられる。

一方、現在、われわれが享受している豊かで安全・安心な暮らしは、先人達がこの国の将来像を描き、来るべき時代への先行投資として着実に社会基盤整備を行ってきたことの恩恵であることを忘れてはならない。われわれは先人が遺してくれた資産を維持管理しながら、さらに次世代のための先行投資をしていくことが歴史上課せられた使命だと認識しなければならない。そして、狭隘で急峻な地形、地震大国といった厳しい自然条件の中で、われわれの日常生活を支えている「国民生活基盤としてのインフラ」を確実に整備し、さらなる安全・安心を次世代に遺していかなければならないのである。

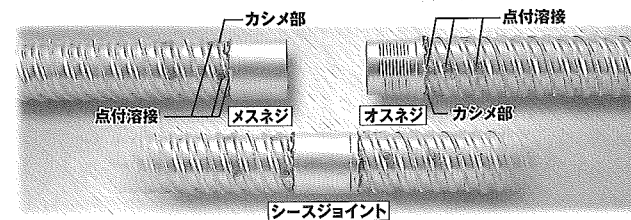
少子高齢化による社会保障費負担の増大、プライマリーバランスの改善といった厳し

## ユニークな発想と高品質・自信の価格



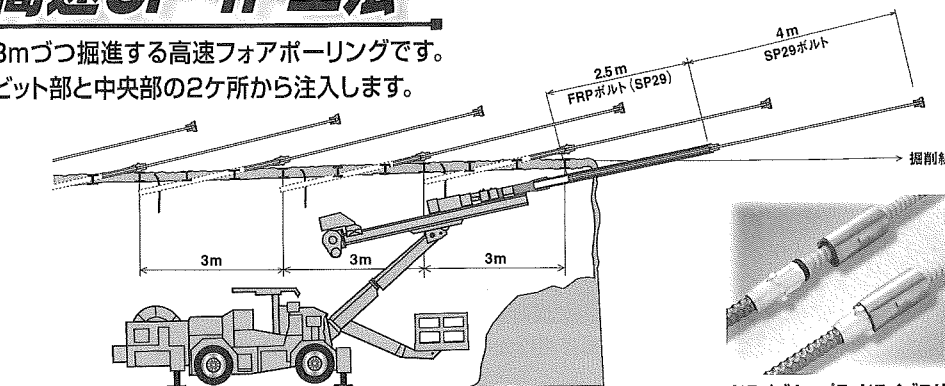
### FIXチューブ工法

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

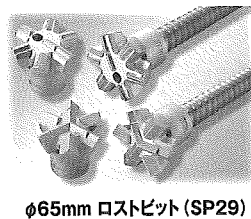
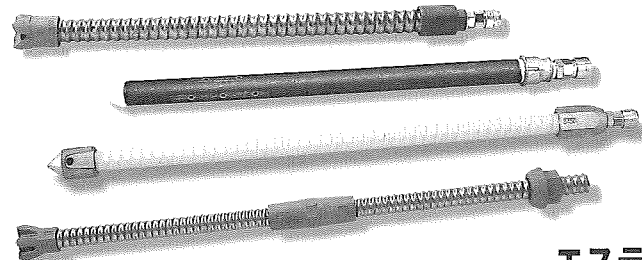


### 高速SP-IF工法

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



### 自穿孔ボルト&注入管



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

STE

エスティーエンジニアリング株式会社

ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2

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

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



対策工の選定およびその効果について検討した。

本稿は、設計で実施した数値解析にもとづく構造検討概要と耐震照査結果に関して報告する。

## 2 工事および検討概要

出流原トンネルは、当初めがねトンネルで計画していたが、道路線形の見直しによりトンネル中心間約30mの離隔を確保した併設トンネルへと計画変更した。元設計では地形・地質の特徴を考慮して、**図-2**に示すとおり、開削カルバート、トンネル工法カルバート、山岳工法といった複数の構造形式が選定され、数値解析にもとづくトンネル設計を実施していた。しかしながら、トンネル設計上の追加検討条件として以下の変更点があった。

- ① 中間部の地山は軟弱埋戻し土で、未固結な状態であり、盛土高さも設計当初に比べ高くなったこと。
- ② トンネルの解析条件(土質定数、除荷時変形係数)を追加調査により再確認したこと。
- ③ 開削時の鉱業廃棄物(脱水土：シルト)の処

理や仮設法面の安定性が懸念されたこと。

- ④ 用地収用の関連で工期短縮が必要となったこと。

これらの変更点をふまえたうえで、特殊地山条件におけるトンネル構造の連続性といった観点から全線を山岳工法により施工するものとし、再度数値解析を実施してトンネル構造の見直しを行い、トンネル施工時の挙動の把握、切羽安定のための対策工(補助工法)、施工手順、計測工管理基準値の設定といった項目に関して確認した。

数値解析におけるトンネル構造および対策工の検討フローを**図-3**に示す。

検討手順としては、もっとも盛土が深く条件の厳しい**①-①**断面(**図-2**: STA.132+70)を基本断面としてトンネル構造の検討を行い、地形的に異なる他の断面の比較検討により構造の妥当性を確認した。

なお、本トンネルの地山特性ならびに地形条件に配慮して非線形動的解析にもとづく耐震照査を実施した。

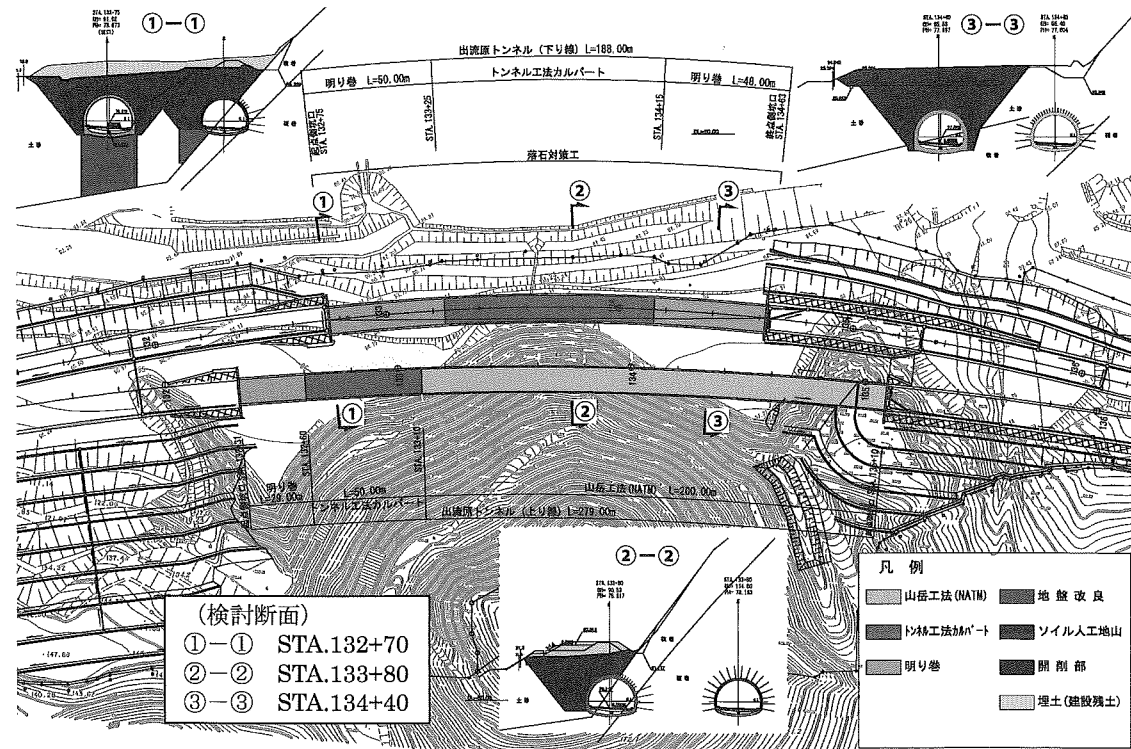


図-2 元設計トンネル構造

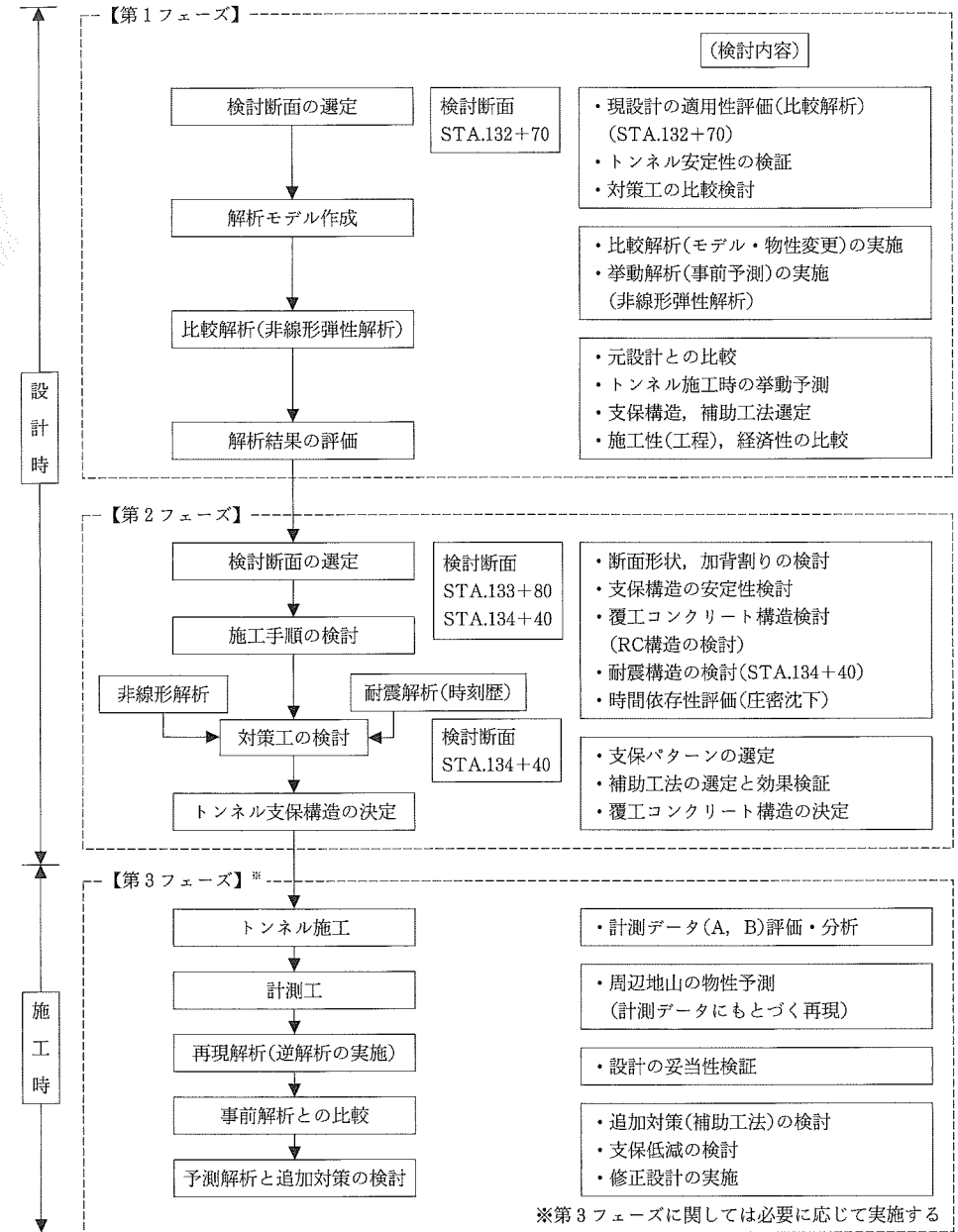


図-3 数値解析にもとづく検討フロー

## 3 トンネル構造および対策工の検討

### 3-1 トンネル構造と対策工の検討

#### 3-1-1 検討概要

第1フェーズとして、基本断面における非開削工法(山岳工法)の優位性を検討し、第2フェーズにおいて他の断面の比較検討と耐震照査を実施した。

以下に検討の詳細を示す。

地山条件的にもっとも厳しい条件である盛土が深い断面(**図-2**: **①-①**断面)を基本断面として数値解析マニュアル<sup>1)</sup>にしたがいFEM(非線形弾性解析)による挙動解析を行い、トンネル工法カルバートを除く開削工法と非開削工法(山岳工法)の

比較により山岳工法の優位性を確認した。

施工時の切羽安定対策としては、地山条件、地形条件および工程を考慮して、地表からの地盤改良を選定し、その改良範囲を解析結果により評価した。

3-1-2 検討条件<sup>2)</sup>

(1) 解析モデル

非開削工法の解析モデルを図-4に示す。検討では、地山のゆるみ域を把握することでトンネルの安定性を評価するため非線形弾性体とした。また、境界条件は、モデル底面を固定、モデル側面を鉛直ローラー境界と設定した。

(2) 解析物性値

表-2に解析に用いた物性値を示す。トンネル周辺地山は、軟弱埋戻し土(bg層およびbc2層)とチャート層からなる軟岩から形成されており、変形係数は追加調査による除荷時のものを用いた。また、地山改良部は深層混合改良工法による改良を想定し、設計改良強度 1 N/mm<sup>2</sup>として設定した。なお、支保パターンはDⅢパターン(吹付けコンクリート t=25cm, 鋼製支保工をH-200)とした。

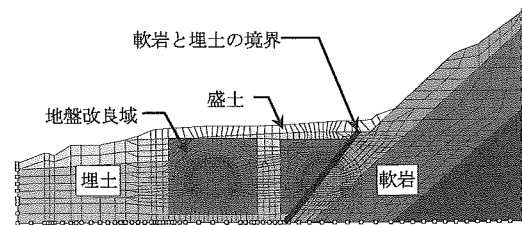


図-4 解析モデル<sup>3)</sup>

表-2 解析物性値<sup>3)</sup>

材料名	ヤング率 (kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比	単重 (kN/m <sup>3</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )	φ (deg)
埋土 bg	18,000	0.430	17.7	17	19.8
埋土 bc2	20,000	0.410	20.1	41	16.3
チャート風化層	680,000	0.350	22.0	400	35.0
チャート弱風化層	1,300,000	0.300	26.0	520	25.0
チャート新鮮層	6,100,000	0.250	26.0	920	29.0
盛土	21,000	0.400	20.0	1	40.0
地盤改良部	100,000	0.400	20.0	300	3.0
吹付けコンクリート	4,000,000	0.200	23.0	-	-
インバート	22,000,000	0.200	23.0	-	-
支保工【H-200】	2.10E+08	0.300	-	-	-

(3) 解析ケース

表-3に解析ケースの一覧を示す。まず、ケース①として開削と非開削工法の比較検討を行った。またケース②~④については、非開削工法を基本として、地盤改良域を変更した場合の検討を実施した。

(4) 検討結果の評価

トンネル周辺の健全性を評価する方法としてゆるみ係数<sup>4)</sup>Rを用いる。これは式(1)のように定義されるものである。

$$R = \frac{k d_{min}}{\sigma_1 - \sigma_m} \quad (1)$$

ここに、

k : 弾性限界パラメータ

d<sub>min</sub> : 中間応力

ここで、数値解析マニュアル<sup>5)</sup>によると評価基準としてRの値により以下のように判定している。

- R > 1.0 : 弾性領域
- 0 < R ≤ 1.0 : 非線形(ゆるみ)領域
- R ≤ 0 : 破壊領域

この指標を用いて、トンネルの健全性を評価した。

健全性の評価においては、ゆるみ域、破壊領域の範囲や発生位置、および支保工の発生応力といった観点から判断した、とくに軟弱埋戻し土と軟岩の境界部分(トンネルが境界部分を通過)における挙動やすべてが軟弱埋戻し土内に位置する下り線の健全性に着目した。

3-1-3 検討結果と考察

(1) 開削工法と非開削工法(山岳工法)の比較

表-4に各工法におけるゆるみ係数分布を示した。上り線ではゆるみ域の範囲に顕著な違いは見られないが、下り線では

表-3 解析ケース<sup>3)</sup>

ケース	施工法	内容
①	開削・非開削	比較検討
②	非開削	地盤改良域 5m
③	非開削	地盤改良域 4m
④	非開削	地盤改良域 3m

表-4 各工法によるゆるみ係数分布<sup>3)</sup>

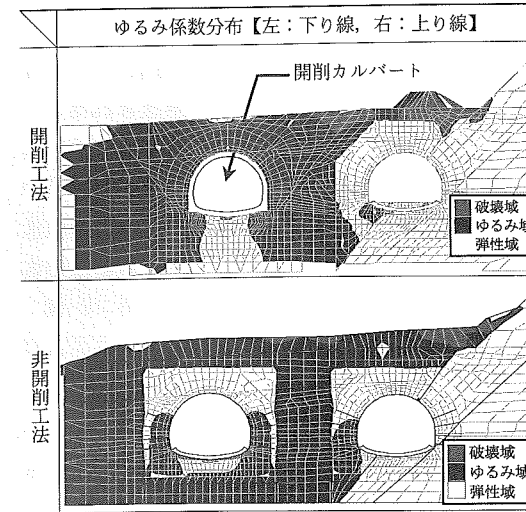


表-5 各工法による変位量<sup>3)</sup>

No.	開削工法		非開削工法	
	水平変位	鉛直変位	水平変位	鉛直変位
1	-32.5mm	-132.3mm	0.7mm	-26.9mm
2	-26.4mm	-64.3mm	6.8mm	-26.6mm
3	-0.8mm	-1.9mm	-0.3mm	-2.1mm
4	-16.1mm	-36.1mm	9.3mm	-12.3mm
5	-0.7mm	-0.8mm	-0.5mm	-0.6mm

非開削工法のゆるみ域が小さくなっており、地盤改良による効果が表れている。

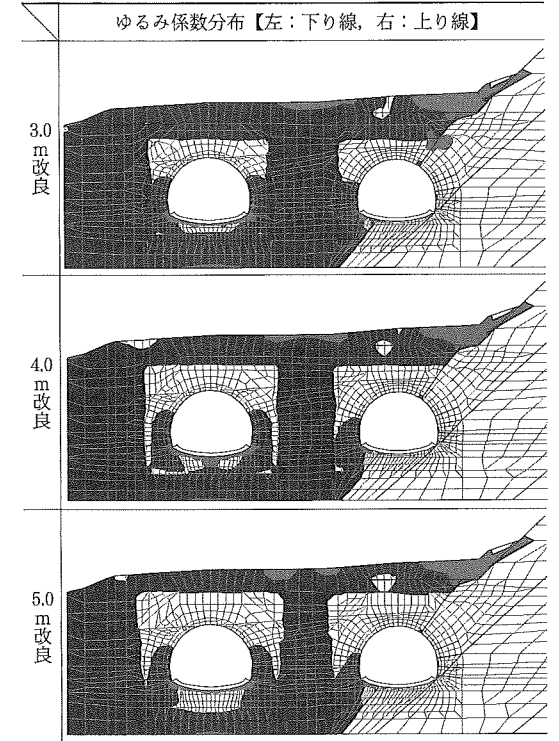
また、各施工法の上り線の変形量を比較したものを表-5に示す。天端沈下量(鉛直変位)で比較すると、開削工法が約130mmであるのに対して、非開削工法では約27mmとかなり変形が小さくなっている。同様に側壁部の変形量についても非開削工法が優位である結果となっている。

(2) 非開削工法における改良範囲の評価

表-6に非開削工法における地盤改良範囲の違いによるゆるみ係数分布を示す。

ゆるみ域は、主にトンネル側面および脚部付近

表-6 改良範囲とゆるみ係数分布<sup>3)</sup>



が卓越している。

表-7に上下線の変形量を示す。ゆるみ域の分布状況から、改良範囲の大きい場合にはトンネルの変形量が抑制されていることがわかる。この変形抑制効果は下り線に顕著に表れていた。

3m改良での天端沈下量が109.6mmであるのに対して、5m改良での天端沈下量が64.9mmとなり、41%程度の変形抑制効果が期待できる。

表-8には、支保工に発生する応力の一覧を示す。吹付けコンクリートおよび鋼製支保工に発生する応力値はいずれも許容値に収まり、ロックボルトについては、下り線で許容値を超える結果となった。

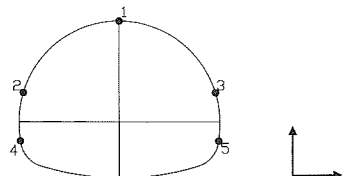
以上の結果から改良範囲が3mだと影響があるが、4mと5mでさほど差がないことから、経済性に配慮して改良範囲を4mと設定した。

3-2 耐震検討

3-2-1 検討概要

山岳工法で施工されるトンネルは一般に耐震性があるとされ、特別な場合(都市部など)を除いて

表-7 上下線の変形量<sup>9)</sup>



No.	下り線：改良域3.0m		上り線：改良域3.0m	
	水平変位	鉛直変位	水平変位	鉛直変位
1	-6.2mm	-109.6mm	1.0mm	-36.5mm
2	-25.1mm	-66.7mm	8.3mm	-39.3mm
3	6.8mm	-72.4mm	-0.2mm	-2.2mm
4	-14.6mm	-38.1mm	12.8mm	-24.2mm
5	-17.5mm	-49.2mm	-0.4mm	-0.6mm
No.	下り線：改良域4.0m		上り線：改良域4.0m	
	水平変位	鉛直変位	水平変位	鉛直変位
1	-4.4mm	-84.3mm	0.8mm	-30.2mm
2	-17.5mm	-49.9mm	6.8mm	-30.4mm
3	4.4mm	-53.6mm	-0.2mm	-2.1mm
4	-7.0mm	-42.7mm	9.2mm	-15.0mm
5	-10.3mm	-45.8mm	-0.4mm	-0.6mm
No.	下り線：改良域5.0m		上り線：改良域5.0m	
	水平変位	鉛直変位	水平変位	鉛直変位
1	-2.3mm	-64.9mm	0.7mm	-26.9mm
2	-9.3mm	-37.4mm	6.8mm	-26.6mm
3	1.2mm	-40.6mm	-0.3mm	-2.1mm
4	8.9mm	-20.1mm	9.3mm	-12.3mm
5	-17.8mm	-28.5mm	-0.5mm	-0.6mm

表-8 支保発生応力<sup>9)</sup>

	吹付け コンクリート		鋼製支保工		ロックボルト	
	応力 (MPa)	許容 応力度 (MPa)	応力 (MPa)	許容 応力度 (MPa)	応力 (kN)	耐力 (kN)
3.0m 改良	0.5 1.3	9	91.8 104.6	210	238.0 130.4	180
4.0m 改良	0.5 1.2		88.3 94.8		219.4 108.4	
5.0m 改良	0.6 1.2		80.8 88.6		206.3 100.7	

注：上の値は下り線の結果，下の値は上り線の結果  
は，耐震設計の必要性は少ないものと考えられている。

本トンネルでは前述のとおり，軟弱埋戻し土と

軟岩の境界を通る計画であり，土かぶり小さく，軟弱埋戻し土が未固結な状態であることから，地震時には軟岩と埋土が異なる挙動を示し，トンネルの構造に悪影響を与えることが懸念された。

したがって，トンネル構造の耐震性確保といった観点から，都市部山岳工法において実施されている耐震照査により覆工コンクリートの必要厚さおよび配筋を決定し，地震時の耐震性能に関する評価を実施した。

3-2-2 検討条件

(1) 検討断面

検討は，図-2に示す3断面に対して実施したが，今回の報告では，地形・地質条件から，耐震上もともと厳しいと考えられるトンネルが基盤に接する箇所(図-2：③-③断面)の検討結果について示す。

(2) 検討手法

検討断面は上り線が軟岩と盛土境界に位置し，その境界が傾斜しているため，水平成層地盤を対象とした応答変位法や応答震度法の適用が困難と考え，二次元有限要素法による非線形動的解析を行った。

(3) 地盤モデル

地盤の物性値は前述の挙動解析と同様のものを用い，地盤の非線形特性はR-Oモデル，構造物の非線形特性はM-φ関係をトリリニアモデル(武田型)とし，軸力変動を考慮した。

(4) 入力地震動

入力地震動は，『NEXCO技術資料第364号』<sup>10)</sup>にしたがい，レベル1地震動(2波)，レベル2地震動タイプ1(3波)，レベル2地震動タイプ2(3波)とした。

図-5に入力地震動の一部を示す。

3-2-3 検討結果と考察

解析結果として，M-N関係図を図-6に示す。軸方向剛性を鉄筋のみとした場合は，引張力はさほど大きくならず，応答値は当初設計で設定した許容値を少し上回る程度である(図-6右図)。また，軸方向剛性を全断面有効とした場合は，圧縮力が大きく発生するが許容値以下である(図-6左図)。

これらの結果から図-7に示すように，トンネル

覆工厚(複鉄筋の最小断面 $t=40\text{cm}$ )は変更することなく，周面方向の鉄筋径を変更すれば対処可能であると判断した。

なお，レベル2地震動タイプ2に対する解析の結果が前述のように，軸剛性を全断面有効とした場合，インバートと側壁の境界部で軸力変動幅が大きく(±3,000kN程度)生じたことから，その軸力変動幅の妥当性について検証した。

表-9に検討ケースおよび検討結果をまとめたが，地表面から突き出た地山の慣性力，および基盤岩

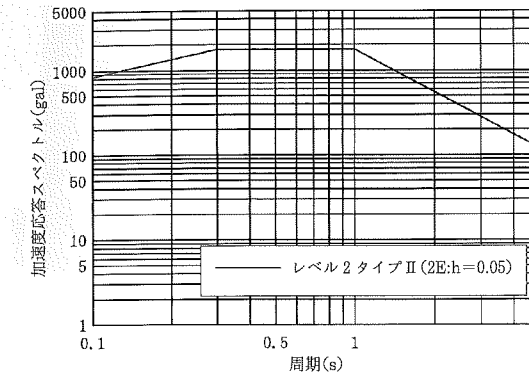


図-5 入力地震動<sup>9)</sup>(上：加速度応答スペクトル，下：時刻歴加速度波形)

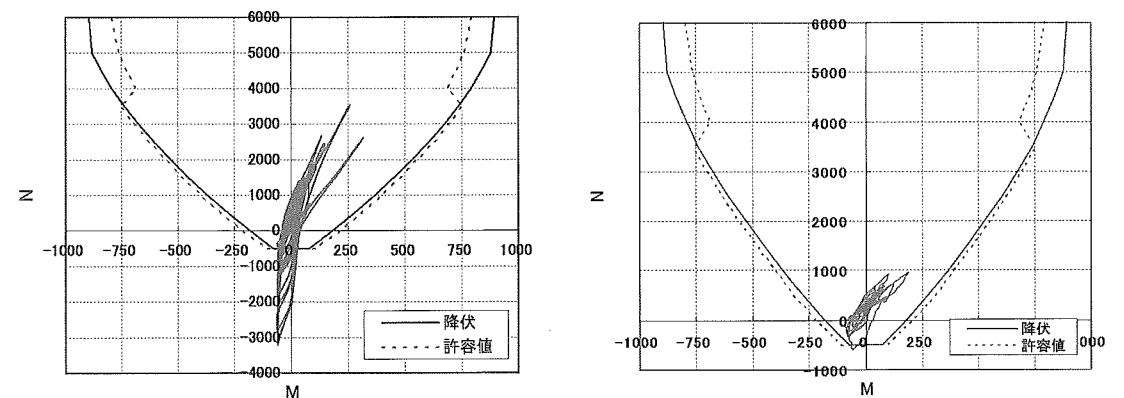


図-6 M-N関係図<sup>9)</sup>(左：軸剛性全断面有効，右：軸剛性主鉄筋断面)

が傾斜していることが軸力変動幅の大きくなる要因であることが判明した。また，部材が全断面引張となるような場合に，実際にはコンクリート断面は抵抗しないと考えられるため，設計では軸方向剛性を主鉄筋断面のみによる剛性として評価することとした。

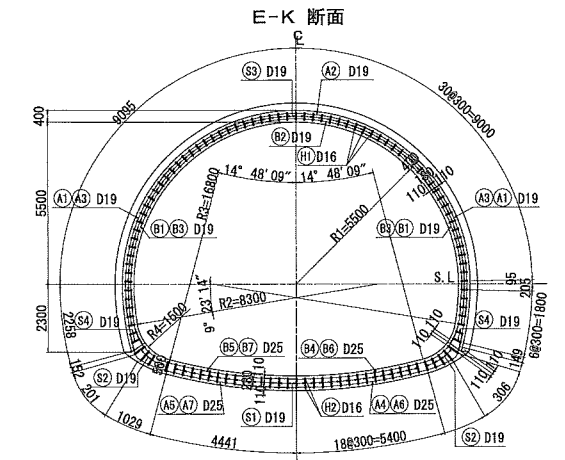


図-7 配筋図(E-K断面)<sup>9)</sup>

表-9 軸力変動幅の検証結果<sup>5)</sup>

No.	検討の着目点	検討方法 (モデルの変更点)	検討結果 (軸力について、元解析結果と比較)
1	非線形解析の影響	構造物：線形、地盤：線形	軸力変動幅はほとんど変わらない
2	構造物-地盤の接触面の影響	構造物と地盤の境界にジョイント要素を設置	軸力変動幅はほとんど変わらない
3	解析モデル形状の影響	山の部分を削除し、地表面を水平にしたモデル	軸力変動幅が減少 ±3,000kN程度→±1,000kN程度
4	基盤傾斜の影響	ケース3のモデル変更に加え、基盤面を水平にしたモデル	軸力変動幅はほとんど発生しない
5	側方境界の影響	側方境界を元の3倍程度拡大	上り線の軸力変動幅は減少、下り線の軸力変動幅はほとんど変わらない

## 4 まとめ

今回、採石場跡地における軟弱埋戻し土、および軟岩との境界部分にトンネルが計画された特殊地山条件において、数値解析(予測解析、耐震解析)にもとづき山岳トンネルの構造および施工法の検討を実施した。その結果から、トンネル全線を非開削工法(山岳工法)で施工する優位性が確認されるとともに、切羽安定対策工としての地盤改良範囲や耐震照査にもとづく配筋(せん断補強)を決定した。

なお、覆工材料としては、確実な覆工コンクリートの充填を図り、品質を確保するため、従来よりも流動性の高い中流動覆工コンクリートを採用している。

平成22年4月末現在、上り線が完了、下り線は16スパン/18スパンの施工が完了している。

最後に、特殊地山条件におけるトンネル設計において、数値解析にもとづくトンネル支保構造や耐震照査の検討に関して、西村和夫・首都大学東京教授に貴重な助言をいただいたことを記してここに感謝する次第である。

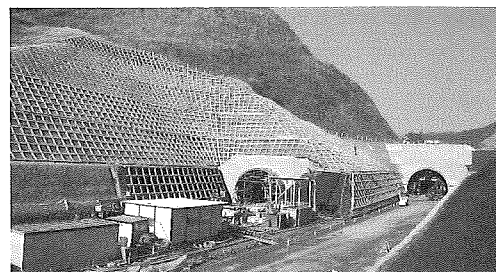


写真-1 現場状況(2010.2)

## 参考文献

- 1) 日本道路公団試験研究所：トンネル数値解析マニュアル、試験研究所技術資料、第358号、1983。
- 2) 土木学会：山岳トンネルにおける模型実験と数値解析の実務、トンネルライブラリー16、2006。
- 3) 福田毅・山田浩幸・今井恵史・牛口美信・宮本武司：特殊地山におけるトンネル施工法の数値解析的検討、トンネル工学報告集、Vol.19、pp.23-28、2009。
- 4) NEXCO中央研究所：都市部山岳工法のトンネルの耐震性に関する資料、中央研究所技術資料、第364号、2007。
- 5) 西村学・森崎啓・今井恵史・牛口美信・山田浩幸：特殊地山条件における山岳トンネルの地震時挙動解析、土木学会第64回年次講演会概要集、pp.823-824、2009。

## 続きみの庭にも温泉が出る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 本体定価 1,200円(¥210円)



株式会社 土木工学社

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

## 計画

# 有楽町・副都心線並行区間の線路交差を2本の単線連絡トンネルで解消

—東京メトロ 小竹向原駅～千川駅間連絡線計画—

東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部改良建設企画課課長補佐 鈴木章悦  
東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部設計課主任 藤沼愛

## 1 はじめに

東京メトロでは現在、9路線179駅195.1kmの総延長を有した鉄道路線を営業している。このうち、有楽町線は和光市駅～新木場駅間を営業路線としているが、平成20年6月に東京メトロ9番目の路線である副都心線が開業し、和光市駅～渋谷駅間は副都心線として営業している。また、和光市駅では東武東上線、小竹向原駅では西武池袋線・有楽町線と相互直通運転を行っており、さらに平成24年度には副都心線が渋谷駅で東急東横線と、さらに同線を経るみなとみらい線と相互直通運転を行う予定である。相互直通運転によるネットワー

クの拡大は目的地へ乗換えなしで到達可能となり、サービスおよび路線価値の向上が可能となるが、一方で遅延時間の拡大や異常時の輸送障害の影響が長時間にわたり他社線まで影響するなどの事態を招くことがある。

本稿は、小竹向原駅～千川駅間で発生している有楽町線と副都心線の鉄道線路交差(以下、「平面交差」とする)を解消するために、有楽町線の連絡線の設置計画について、計画から工事発注までの経緯を述べるものである(図-1)。

## 2 計画概要

図-2は平面交差部の現状および計画を示したものである。

表-1に示す四つの運行経路のうち、経路②と経路③が平面交差している。この平面交差部において、経路②と経路③の列車間隔が密になると、先行の列車が通過する際に、後続の列車はその手前で通過待ちのため、いったん停車をしなければならない状態が発生し、遅延が生じている。

こうした平面交差部の問題は、有楽町線の開業当初から顕在化していたものではない。有楽町線は、沿線や都市の発展に伴う利用者の需要増加に対応するため、和光市方面から新木場方面への運行本数をその時代に応じて増発してきた。加えて、

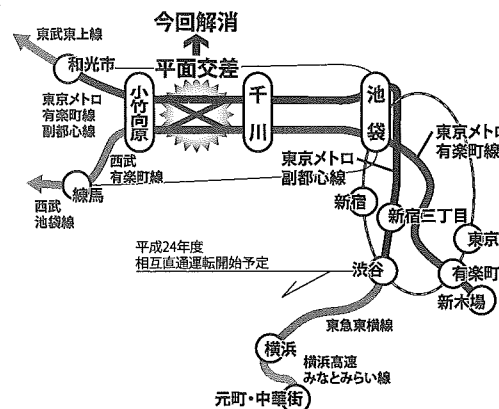


図-1 有楽町線・副都心線線路概要図

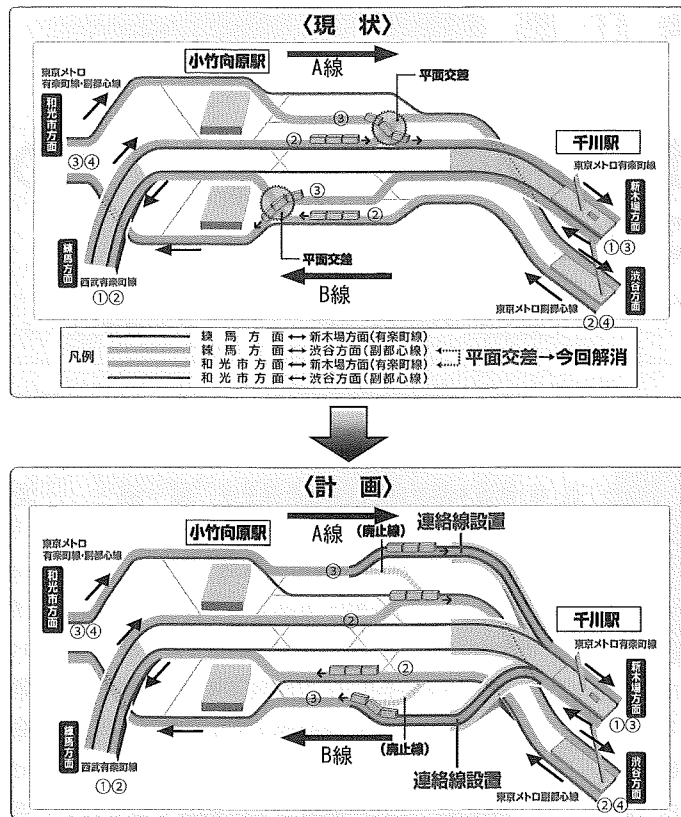


図-2 計画概要

副都心線の開業により複雑化した運行形態となったため、遅延が発生すると運行の混乱が長時間・広範囲に波及してしまうこととなった。この解決策として、

- a) 和光市方→有楽町線乗入れ本数および練馬方→副都心線乗入れ本数の低減による平面交差本数の削減
- b) 小竹向原駅の手前(和光市駅側)で有楽町線専用の連絡線を両側に新設
- c) 小竹向原駅～千川駅間において有楽町線専用の連絡線を両側に新設

などが考えられた。a)については、行き先本数に偏りが発生し、サービスの低下や混雑率の急増が考えられ、有楽町線、副都心線ともに現状の輸送力を確保する必要があることから、対策案としては不採用となった。b)については、既設の縦断線形・平面線形の関係から小竹向原駅を大規模に改良する必要があることや連絡線の占用位置に

表-1 運行経路と平面交差

No.	始点方	終点方	平面交差
①	練馬駅方面 (西武池袋線直通)	新木場駅 (有楽町線)	なし
②		渋谷駅 (副都心線)	あり
③	和光市駅方面 (東武東上線直通)	新木場駅 (有楽町線)	あり
④		渋谷駅 (副都心線)	なし

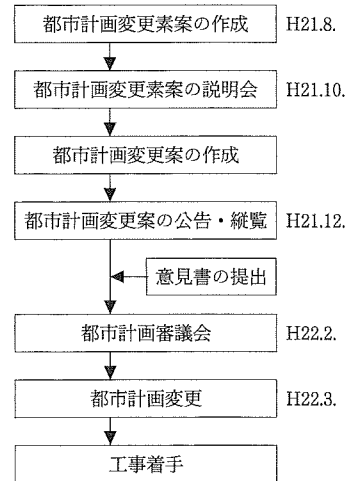


図-3 工事着手までの流れ

新たに用地買収が発生することとなり、膨大なコストと時間がかかることが想定された。一方、c)については、既設の駅間トンネルの改良範囲が最小限となることや現状の道路幅員内で新設構造物が収まることから、c案を採用することとなった。また、和光市方面から都心方面に向かう経路(以下、「A線」とする)と都心方面から和光市方面に向かう経路(以下、「B線」とする)について、A線およびB線を同時に整備することを検討したが、地上の道路形態や作業帯との関係などを考慮した結果、平成24年度に予定されている東急東横線との相互直通運転時に向けて、A線を先行して整備することで計画した。

### 3 行政手続き

有楽町線は東京都都市高速鉄道第8号線として位置づけられており、今回新たに設置する連絡線

は既存の都市計画範囲外に計画したことから、都市計画変更手続きが必要となった(図-3)。平成21年8月に東京都に変更手続きの正式書類を提出し、同年10月に地元住民に対して2回にわたり都市計画変更素案の説明会を実施した。今回の計画範囲は豊島区および板橋区に及んでいることから、同年12月に豊島区、平成22年1月に板橋区、さらには同年2月の東京都での都市計画審議会を経て、平成22年3月に都市計画変更決定の告示がなされた。

また、都市計画変更手続きと同時に並行で、工事発注に向けて鉄道事業法61条申請や道路法32条申請の協議を実施した。

### 4 構造形式

改良範囲の計画に際しては、当該道路がアンダーパス形状を有しており、また工事による路面交通への影響を極力抑えること(写真-1, 2)、既設構造物の改良範囲を最小限にするよう考慮した結果、改良範囲は小竹向原駅～千川駅間のうち約410mとした(図-4, 5)。

この間の構造としては、

- ① 全区間開削トンネル構造
  - ② 開削トンネル構造+シールド工法
- を候補に挙げた。①と②を比較検討した結果、①については路面交通や樹木など地上への影響範囲が大きくなることや、工期、工費などを総合的に検討した結果、②を採用することとした。また、シールドトンネルの形状は、掘削量が真円に比較して少なくなり、発進・到達立坑の占用部分を道

路下に収めることなどを考慮して、縦長の複合円形形状とした。

構造は大きく3種類に分類され、

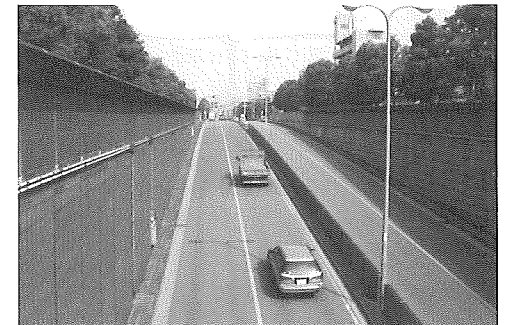


写真-1 アンダーパス状況



写真-2 道路状況

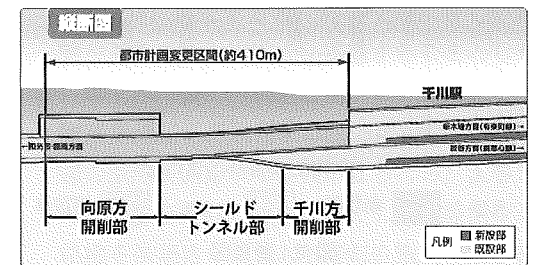


図-5 計画断面図

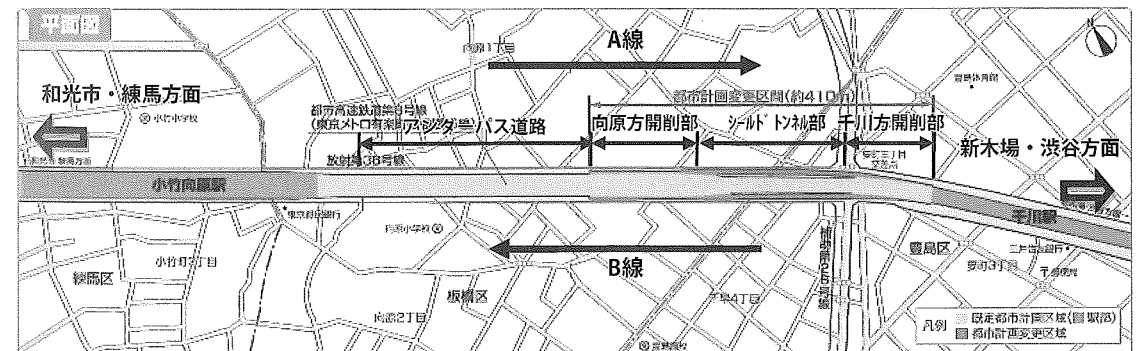
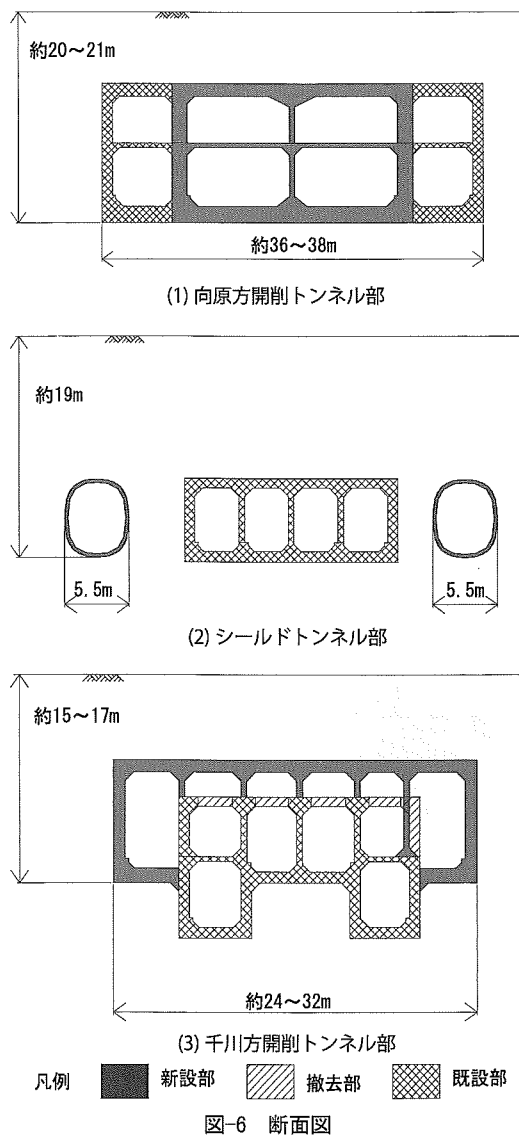


図-4 計画平面図



- ① 向原方開削トンネル部
- ② シールドトンネル部
- ③ 千川方開削トンネル部

となっている。それぞれの構造形式の範囲については図-4, 5に、断面図は図-6に示す。

#### 4-1 向原方開削トンネルの構造の考え方

向原方の開削トンネル部は、図-6に示すように、既設営業線部の側部に新たに連絡線部の構造を付け加える構造となっている。既設営業線部の側壁は、新たに設置する連絡線による建築限界の範囲に支障する箇所があり、その箇所については既設

営業線部の側壁の位置を変更する必要があった。そのため、新設の側壁を構築し既設営業線部の側壁は撤去する構造とした。既設営業線部の側壁を撤去することにより、既設のスラブを支えることができなくなるため、中壁を施工する必要がでてきた。中壁を施工する位置は、既設の側壁の位置になるべく近づけるようにすることで、建設当時の応力状態を崩さないようにした。このことにより、既設の中床版および下床版の補強などの大がかりな構造補強を行うことを必要としない構造となった。また、軌道階の中壁については、列車の運行の妨げにならないよう現場での安全性の確保および急速施工を目的として、プレキャスト部材(PCによる中壁)を採用することとした。

#### 4-2 シールドトンネル部の構造の考え方

##### 4-2-1 断面の形状の決定について

シールドトンネル部の断面の形状の決定については、

- ① 民地部との離隔を十分に確保すること
- ② 既設構造物との離隔を十分に確保すること
- ③ 断面積の縮小による環境負荷低減を図ること

を主な目的とし、図-7に示すような複合円形断面を採用することとした。複合円形断面とは、三つの曲線半径(R1, R2, R3)を組み合わせて成り立つ非円形断面である。この断面の特長は、断面積は円形断面に比べて低減を図りながら、保守空間を含めた地下鉄の運行に必要なトンネル内空間面積を確保していることである。形状の決定については、三つの曲線半径のうち、初めに側部と頂底部の円弧(半径R1, R2)を決定し、二つの円弧半径の交点を中心とする隅角部の円弧(半径R3)が決まるという順序である。検討の結果により、決定した断面を図-8に示す。今回は、R1=5,500mm, R2=7,800mm, R3=2,000mmとした。複合円形断面を採用することにより、断面積は円形断面と比べて約10%程度の低減を図りながら、トンネル内空間面積は地下鉄の運行に支障のない空間を確保することができた。円形断面との断面積の比較を表-2に示す。

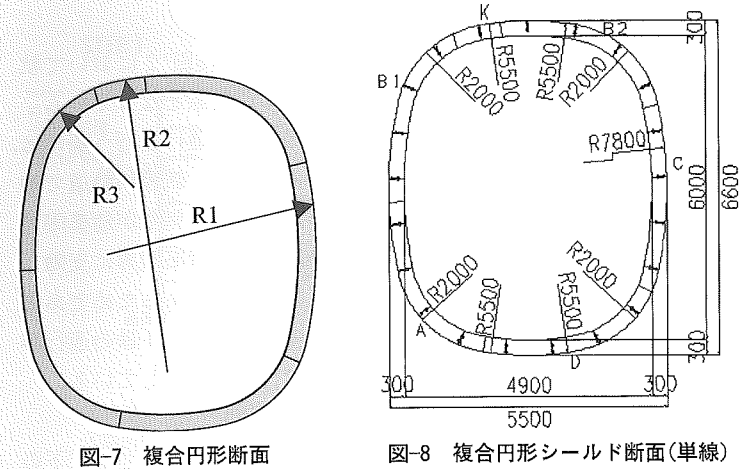


図-7 複合円形断面

図-8 複合円形シールド断面(単線)

表-2 断面積の比較

	掘削断面積	トンネル内空間面積
円形(φ6.6m)	34.21m <sup>2</sup>	26.48m <sup>2</sup>
複合円形(H6.6m×W5.5m)	31.15m <sup>2</sup>	23.64m <sup>2</sup>
複合円形/円形	0.91	0.89

##### 4-2-2 覆工構造

セグメントは、作用荷重・経済性を考慮し、鉄筋コンクリート製とした。

セグメント厚さは、設計上必要な厚さを考慮したうえで、地下鉄の運行に必要な内空断面(建築限界)を確保するために薄肉化を図り、300mmとした。分割は、軸方向挿入式のK型セグメントの組立て施工性及び供用開始後の漏水箇所の低減などを総合的に判断した結果、6不等分割とした。セグメント幅は、一般的にセグメント幅/セグメント厚さ≤5を満足するように設計することが多い。また、今回の掘進延長がA線側175m, B線側145mと比較的短いためセグメント幅を広げることが組立てリング数の減少や工程促進に大きく寄与しない。よって、これらを総合的に判断し、セグメント幅は1,500mmとした。

##### 4-2-3 シールド

シールドの形式は、泥土圧式シールドを採用することで計画している。これは、

- ① 後方設備の配置スペースが泥水式シールドと比べて比較的少なく済む
- ② 円形以外のシールドを掘削した実績が多い

という理由によるものである。

#### 4-3 千川方開削トンネルの構造の考え方

千川方の開削トンネル部は、図-6に示すように現在有楽町線が営業している地下1階部の構築を拡げ、新たに連絡線を設置することとした。千川方については、縦断勾配の変更も行う必要があるため、新設の上床版を構築し既設構造物の上床版を撤去する箇所がある。

既設構造物の上床版の撤去作業を、

できるだけ軌道階を使用せずに行うことを目的とし、新設の上床版と既設構造物の上床版との離隔を2m程度確保した。このことにより確保した空間を使用して、既設構造物の上床版の撤去作業を行う計画としている。

## 5 施工の特徴

今回の連絡線設置工事における施工の特徴は以下のとおりである。

- ① A・B線両方に連絡線を設置するが、A・B線同時に施工すると、路面交通に著しい影響があるため、片線ずつ整備することとした。
- ② 平成24年度に、副都心線が東急東横線との相互直通運転を開始するまでにA線側の連絡線の供用を開始する必要があるため、工事はA線側を先行して行う計画とし、A線側の連絡線を供用させた後にB線側の施工に取り掛かることとしている。シールドトンネルの掘進時期についても、発進・到達立坑として使用する開削トンネル部の施工に合わせて、A線側を優先して掘進し、一度シールドを現地から搬出した後、B線側の立坑の施工時期に合わせて再び現地へ搬入し、B線側の掘進を進める計画としている。
- ③ 軌道階の作業については、地下鉄の運行が終了した後の夜間作業となり作業時間に制約がある。安全性の確保と工程短縮のため、軌道階における作業が極力少なくなるような施

工法を採用する計画としている。

### 5-1 開削トンネル部

施工順序の概略を図-9, 10に示す。施工は、A線側を先行して施工することにより、先行してA線側の運行を開始する。その後同様の手順でB線側の施工を行い、B線側の構築を完成させB線側の運行も開始する。B線側の施工が完了した後、A・B線合わせて埋戻しや道路復旧などの復旧工事を行うことで計画している。

#### 5-1-1 向原方開削トンネル部

向原方開削トンネル部の施工上の課題は以下の点である。

- ① 地下鉄の運行を行いながらの施工となるため、新設構築を先行して施工することで、浸水の恐れを防ぐ。
- ② 既設建造物の側壁をすべて撤去する。

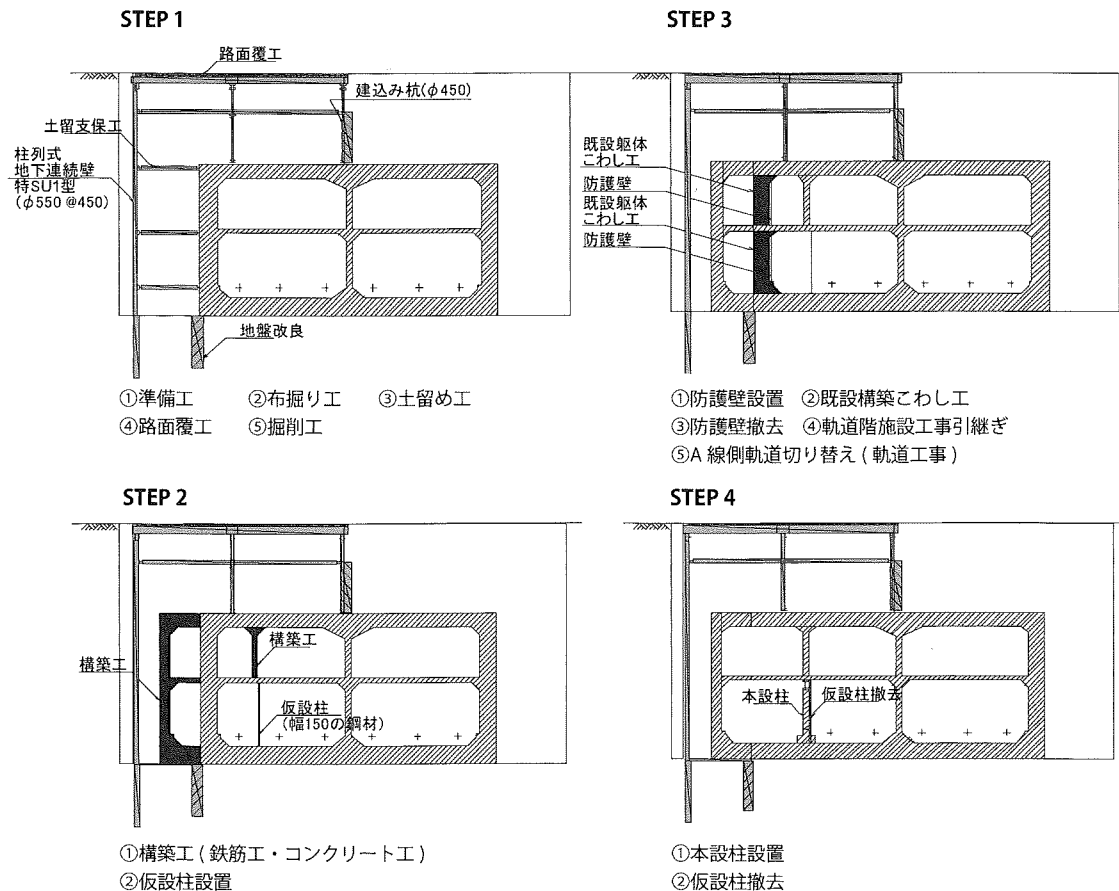


図-9 施工順序図(向原方開削部)

③ 軌道階での作業量が多い。

向原方開削部においては、STEP 2において軌道階に仮設柱を立てることが特徴となっている。これは、既設の軌道で地下鉄の運行を行う際には、新設の中壁が建築限界に支障し、新設の軌道で地下鉄の運行を行う際には、既設の側壁が建築限界に支障してしまうため、両方の建築限界に支障しない位置で中床版を支える必要があるためである。

仮設柱および本設柱の設置は、地下鉄の運行が終了した後の夜間作業で行うこととしている。

#### 5-1-2 千川方開削トンネル部

千川方開削トンネル部の施工上の課題は以下の点である。

- ① 地下鉄の運行を行いながらの施工となるため、新設構築を先行して施工することで、浸水の恐れを防ぐ。

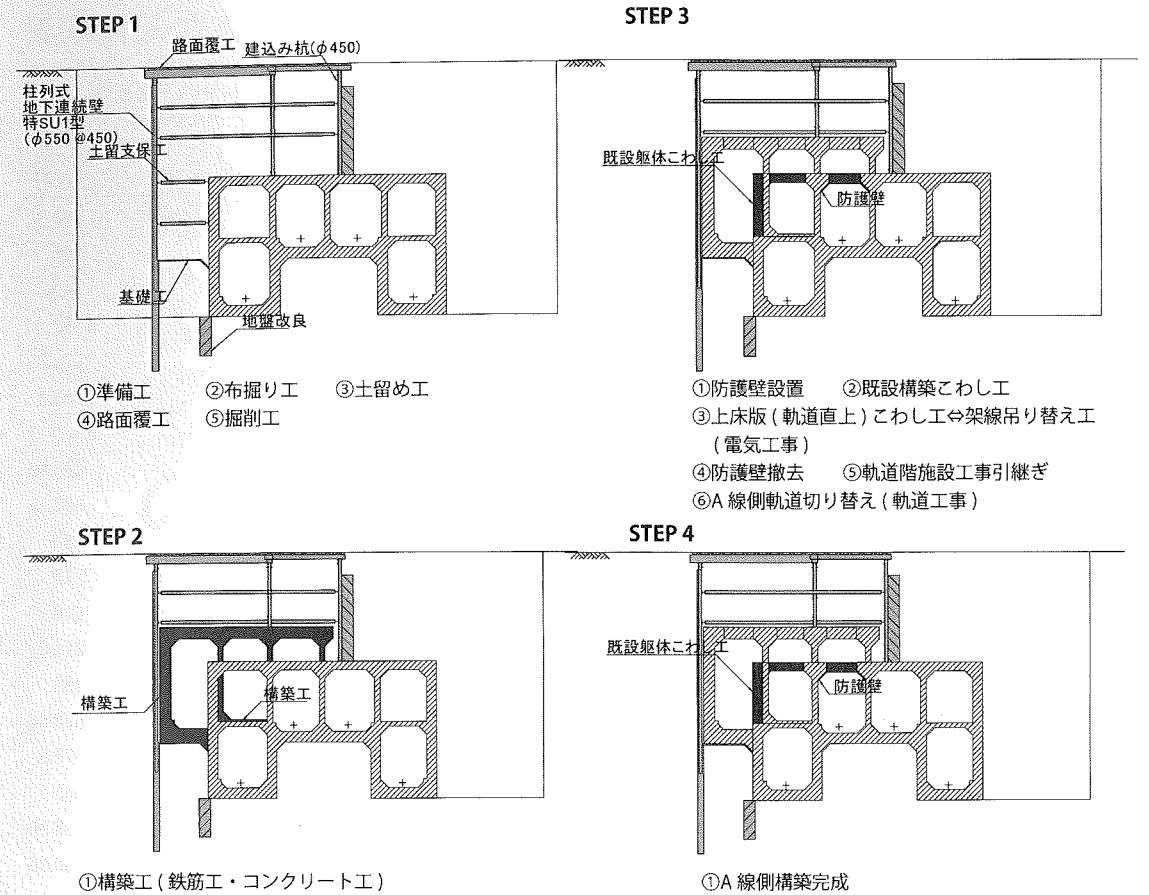


図-10 施工順序図(千川方開削部)

- ② 既設建造物の側壁および地下鉄の電線路を支えている軌道階上の床版を撤去する。
- ③ 軌道階での作業量が多い。

### 5-2 シールドトンネル部

シールドトンネルは、まず向原方の開削部を発進立坑とし、A線側175mを掘進する。千川方の開削部を到達立坑に到達した後、シールドの引抜きを行う。引抜いたシールドは、構築したA線側シールドトンネル内を通過して、向原方立坑部より搬出する。シールドは、B線側の施工に転用する計画としているため、いったん施工場所から搬出し、マシン工場などでメンテナンスを行った後、再び施工場所に搬入する。B線側についても、A線側と同様に向原方の開削部を発進立坑とし、145mを掘進し千川方に到達する計画となっている。

## 6 おわりに

現在、埋設物支障物の移設工事などの準備工を進めており、平成22年末には杭打ち工事を開始する予定とする。今後は列車運行上の安全確保を図りながら、平成24年度の副都心線と東急東横線およびみなとみらい線との相互直通運転の開始までのA線側の供用開始を目指し、工事を進めていく所存である。今後、機会をみて施工報告を行っていききたい。

# 土木情報 No.446

今日の主な入札結果  
(6月10日～7月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
関東地整	国道246号大橋地区共同溝耐震補強	奥村組	224.6
"	新4号上三川地区横断函渠設置	増淵組	195
"	国道1号虎ノ門立坑構築	新井組	180
九州地整	宮崎10号北川第1T新設	鉄建建設	1,192
水資源機構	滝沢ダム滝ノ沢地区排水T	ピーエス三菱	274.8
鉄道・運輸機構	北海道新幹線、第2外黒山T外1ヶ所他	鉄建・植木・鳥山JV	3,289.8
西日本高速道路	東九州自動車道本村T	奥村組土木興業	2,400
都・財務局	H22青海地区共同溝建設	前田建設工業	285.84
都・水道局	世田谷区等々力三丁目地先から目黒区自由が丘三丁目地先間配水本管(800mm)新設	鹿島建設	867.45
都・下水道局	港区南青山五丁目、渋谷区神宮前五丁目付近再構築	石川徳建設	488
"	新宿区市谷加賀町一丁目、市谷田町一丁目付近再構築	東急建設	373
"	台東区元浅草三、四丁目付近再構築	森本組	416
"	目黒区青葉台一丁目、上目黒一丁目付近枝線その3	馬淵建設	214.9
"	世田谷区岡本一、三丁目付近枝線	スミセキコンテック	468
"	中野区弥生町一丁目付近枝線	鹿島建設	593.44
"	中野一丁目、中央二丁目付近枝線その3	エムテック	377.8
"	豊島区駒込五丁目、北区西ヶ原三丁目付近再構築	不動テトラ	655
"	北多摩一号水再生センター・南多摩水再生センター間連絡管接続管廊その2	清水組	183.99
函館市	金堀雨水貯留管新設	五洋・富士サルベージ・石黒・中村JV	1,050.66
市川市	市川市西浦処理区管渠布設(第2201工区)	上條建設	124
昭島市	昭島都計公下東部2号幹線築造	飯田土建	204
横浜市	港北処理区新横浜駅前第二幹線下水道整備(その2)	日特建設	1,248
"	南部処理区初音雨水幹線下水道整備	青木あすなろ・みらいJV	1,104.51
"	工業用水道小野町口径1000mm配水管布設替	長野工務店	132.53
茅ヶ崎市	公下富士見町地内(雨水)通常22-1	磐梯建設	112.5
名古屋市	犬山系導水路A管犬山市大字犬山字西古券から扶桑町大字高雄字北郷地内間2000耗	鹿島・加藤・林本JV	1,880

## 『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

- 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。
  - 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)。
  - 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。
  - 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。
  - 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)

## 第八回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

# もぐらの戯言

飯塚 輝夫  
(元住友建設)

輝夫

### はじめに

人の一生は長いようで、過ぎ去ってみれば短いものである。一人の人間が体験できる工事など微々たるものに過ぎないが、その中でとくに印象に残った工事について記してみたい。

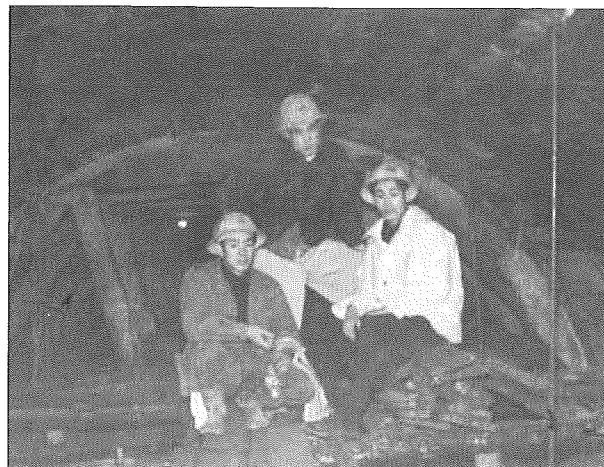
### 環境の変化に溶け込む

昭和28年、入社直後はとくに決められた仕事もなく、5時になると退社。初めての給料を前借りしてまで、同期の飲兵衛3人組で静岡の町を毎晩闊歩した。間もなく大命が下り、3人組は解散。小生は大井川上流の奥泉発電所トンネル工事へ赴任となった。

広重で名高い東海道五十三次の一つ、金谷の宿((現)東海道線金谷駅)より大井川をさかのぼること10里(約40km)。終点の千頭で木材運搬用の台車にしがみつき、当時のスピードで40分。ようやく山奥の集落奥泉の民家(仮事務所)に到着。翌日からトランシットと

レベルを担いで高低差500m、8kmの山道を歩き、谷底の工事予定地での地形測量の日々が始まった。すぐに、往復の時間がもったいないと、現場近くの営林署の山小屋が事務所兼宿舎となった。12坪1間の部屋に木の流し。床はゴザ、裸電球二つの掘り立て小屋だった。

ほんの一月前まで美酒を求めて毎夜巷をさまよっていた若者が、人跡未踏の山奥で昼は測量でマムシとヒルに悩まされ、夜は遅くまで裸電球の下で仕事に励むという生活環境の激変に、なんの抵抗もなく溶け込んでいけた。なぜだろうか。当時の日本は戦後復興間もなくで、ヤミ成金以外は皆貧しかった。学校を出して貰えれば、後は自分の力で生きて行くのが男だと信じていた。また、石の上にも3年と昔からよく辛抱を説かれていた。1度就職すれば終生仕え、そこが自分の死に場所とも思っていた。職を年中変える人間は軽く見られ、一人前にはみられなかつ



新入社員の筆者(右)

た。このような認識と社会環境がバネになったのではなかろうか。

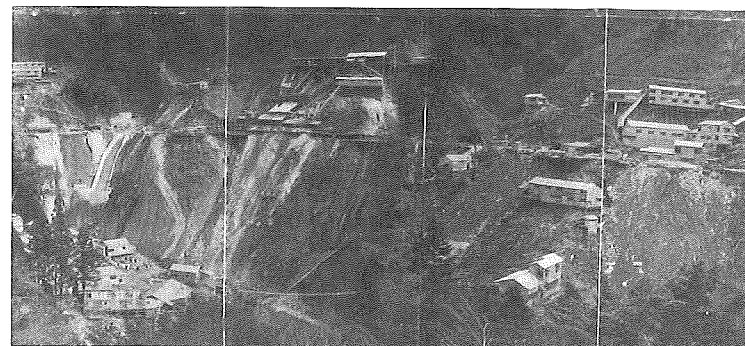
「坑口付け」での斧指の教え

断面20m<sup>2</sup>、延長1,700mの水路トンネルを二つの谷川の横からそれぞれ横坑を入れ掘り進む工事であった。無事坑口付けを完了し、お祝い<sup>よきよし</sup>のときのこと。親しくしている斧指あがりの世話役がそばに来て、酒を飲みながら話をしてくれた。坑口の上にしっかりと盛土をしないとヤラズは効かないから、担ぎ上げは大変でもやらせなくてはいけない。ヤラズの根元はしっかりと掘り込み、受ける面がヤラズの根元の面より上を向いていると浮き上がる危険があるから注意しなさい。皿板やパッキンで締め上げるが、根巻きコンクリートをすればなお良い、などと新入社員の小生に坑口付けのポイントを教えてくれた。

この教えが本当に威力を発揮したのは17年後、小生にとっては6本目のトンネルで、国道トンネルの新設工事だった。坑口部の土が

著者略歴

昭和6年 1月13日	群馬県に生まれる
昭和28年3月	早稲田大学第一工学部土木工学科卒業
昭和28年4月	勝呂組入社
昭和28年6月	中部電力奥泉発電所トンネル工事
昭和33年4月	国鉄常磐線東禅寺トンネル工事主任
昭和34年10月	国鉄常磐線内方山トンネル工事主任
昭和37年10月	別子建設と勝呂組が合併し、住友建設発足
昭和44年11月	建設省関東地建新極の木トンネル工事所長
昭和46年9月	国鉄山陽新幹線下松トンネル工事所長
昭和49年1月	本社土木監理部次長
昭和58年4月	住建道路東京支店長
平成8年3月	退任



奥泉発電所トンネルの仮設ヤード

ぶりは10m。このころはH形支保工が常用され、上半先進タイヤ工法で、まず上半断面の坑口付けをした。坑口付けを終え順調に掘り進み、表土と地山の岩との地層境に達したときのこと。発破後に切羽を点検していると天端が何となくおかしいので、すぐに全員退避。間もなく坑口斜面の表土が静かに動き出し、H形支保工の天端部分が坑口方向に拝むように曲がり始めた。これはつぶれると思い、皆坑口から離れた。不思議にH形支保工の肩から下は、垂直のままて坑口方向へ倒れる気配はなかった。なすすべもなく茫然と見ていると、坑口の上のほうに水平亀裂が入っ

てきた。「ああ、そこで止まってくれ」と叫びたくなった。この亀裂が大きくなったら、支保工は絶対持ちこたえられないと思った。暫くすると動きが止まった。H形支保工は、ヤラズの打ってある高さより上の部分が30cm坑口側に曲がっていた。どのくらいの力が働いたのであろうか、ヤラズをみるとパンパンに張っていて、チョット叩けば粉々に飛び散りそうだった。大きな水平力を限界まで吸収している感じだった。よく頑張ってくれたと、ヤラズに思わず手を合わせ、すでに他界していた斧指あがりの世話役に感謝した。NATMでも、同じように重要なポ

イントが若手社員に伝承されているのであろうか。

横坑掘削での坑夫の教え

横坑はずり出し、資機材運搬用として複線断面(9m<sup>2</sup>)とした。必要資材を運ぶにも道路はなく、人が歩くだけの道だった。重量物も軽量物も全部索道で山から山へと空中輸送であった。

コンプレッサーの稼働まで突貫でも3か月を要するとのこと。とても待てないので上横坑は電気削岩機(電削)、下横坑は手掘りで始めた。電削は部品の消耗激しく実用的でなく、手掘りと大差なかった。このころの坑夫は手掘りもできたのである。コンプレッサーが使えるようになるとスタンド方式2本で掘った。

このころ、Kというズバ抜けて優秀な坑夫がいた。皆から一目置かれ、慕われていた。小生は仕事を覚えるならこの人だとマークして、いつも同じ切羽にいた。地質は頁岩で褶曲が多く俗に言うもまれた山だった。1切羽ごとに変化していた。とくに亀裂には圧碎さ



重量物索道

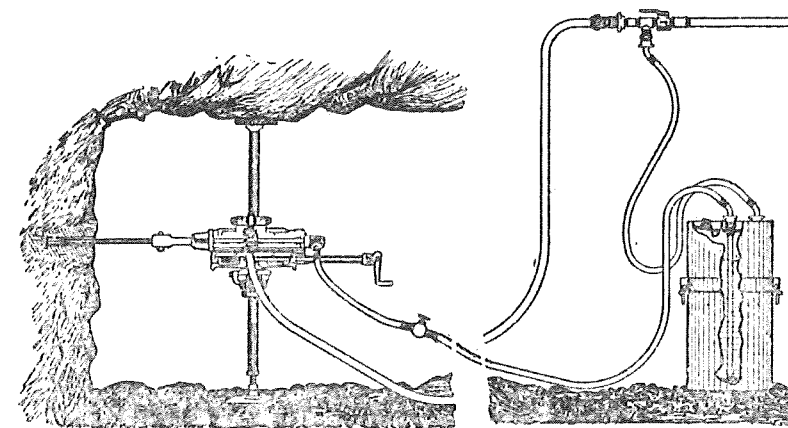
れた細かい岩が噛み、時には水が廻って粘土化していた。これを上手に穿孔するのが坑夫の腕だった。下手な坑夫は少しでも速く穿孔しようとしてドリフターを動かすので穴は荒れて砕岩にノミ先を獲られて進むことも退くこともできず、竹の子のでき上がりである。切羽半面で2本くらい出すこともあった。その点、Kはなかった。もまれているところに来るとガイドセルのハンドルを通し、山と会話をしているように見受けられた。動きに無駄がないため、いつも相方より2~3本早めに穿孔を終え、手助けしていた。相手方の孔を穿るのにスタンドでは角度的に相当無理があるが、発破をかけるときちんとおきていた。

Kは新入生の小生にいろいろと教えてくれた。心抜きが一番大事だから慎重にすること、心抜きの孔尻は一升枧(約17cm角)だと言った。岩質により多少の伸び縮みはあると思うが基本は一升枧の大きさである。私は孔尻の間隔さえ適正であれば必ずおきると言った。それは彼のスタンド掘削が証明し

ていた。また、Kの穿孔はガイドセルのハンドルを通して、探りノミの役目もしていた。終わったときには、穿孔長さの地質構造図が頭の中にできあがっていた。それが装填のときに役立った。無駄な増しダイヤは絶対使わなかった。

切羽に鉄板を敷き発破をかける時、ゴボッと鉄板の上に山になっていた。大きさも角スコですくえる大きさだった(当初は木製トロに手積みだった)。山を抜かさないので余分なずりもなかった。小生には芸術作品にみえた。下手な坑夫は穿孔の自信のなさを火薬でカバーしたがるので発破をかける時遠くへ飛び、スコップですくうのに鉄板の上に比べて2~3倍の体力を消耗した。山も抜けやすく余分なずりまで積み込まねばならなかった。1サイクルの所要時間に差がついた。誰もが楽しんで金になるKと一緒に仕事をしたがった。

今のドリフターは余りにも強力過ぎて、きめ細い地質の変化を感知できるのだろうか。五十数年前にKという坑夫がガイドセルのハンドルを通して感知したように、



スタンド方式

ドリフターにコンピュータをつけて総合的に作りあげた地質構造図から即座に各孔の火薬使用量を指示することは、今の技術を持ってすればさほど難しいことではないと思うが、いかがであろうか。トンネルでは必要以上の火薬量の使用は百害あって一利なしである。

### 山とのミスマッチ

トンネル掘削も、時まさに日本経済そのものを反映していた。わが国が中進国から先進国へとかけ上がって行ったように、手掘り、スタンド・手送りドリフターからレッグ工法、2連装ジャンボまで、1年半のうちに目まぐるしく変化した。さらに6連装ジャンボで全断面へと進む気配だったが、これは失敗に終わった。一言で言えば、山とのミスマッチである。

第1の失敗原因は、地質の調査不足である。当時の地質調査といえば、地質図と既存資料を集め、路線を踏査し、谷に下りて岩の露出面を見て資料を確認、走向傾斜など測り、地山を推定することである。わが工区は山あり谷ありの連続で、谷の露頭岩には激しい褶曲の跡が見られ、一部は粘土化していた。地質の変化は覚悟しなければならなかった。今のように弾性波探査や電気探査などの探査技術はなく、工事延長1,700mでたった2本の谷のボーリングしかなかった。当時の技術としては新オーストリア式掘削工法が適当かと思われた。

第2の原因は支保工である。坑口から無普請で行ける山ならいざ

知らず、そんな山は日本にはない。全断面確保の支保工が必要である。当時はV形鋼を試験的に使い始めたところでH形鋼も使ってみようか程度のころだった。わが工区の山では無普請で行ける岩質が続くような路線ではなかった。谷の下は間違いなく山が悪かった。H形鋼を使わせてくれと申し入れたが高価すぎて駄目だと言われた。また、使えたとしても悪い地質の所では切羽が自立しなかったと思う。当時の全断面ジャンボではブーム長さも短く、ベンチは残せなかった。当時は中進国の悲しさ、鉄や火薬は掘削コストに大きく響いたのである。

第3の原因は積み込み機である。当時はロッカーショベルである。行動半径に制約があった。

一機種だけが突出しても独り相撲になり、必ず失敗する。アメリカ生まれの6連装ドリルジャンボに日本の工業力がまだついて行けなかったのである。

### 落盤を経験して

昭和34年の暮れごろだったか、常磐線の平駅付近のトンネルを施工していたときに大きな地震があった。小生は急いでトンネルの点検に飛んでいった。当時は木製支保工なので、<sup>かすがい</sup> 錠などで部材を留めてあったが、全部ではない。地震で部材が外れていないか、とくに鼻梁はどうか、点検しているとトンネルの奥のほうから「落盤だ！」と叫びながら坑夫が飛んできた。小生もすぐに走り出し、奥へ向かった。先のほうで牛が絶叫している

ような声が、丸形(上半)のほうから聞こえた。声の手前でフンドシ板(上半ずり出し口の蓋)を外して上ってみたら、支保工が全部倒れ、天井から抜け落ちた岩塊が山になっていた。右端の山の淵に首だけ出して、体全体がずりに埋まった坑夫がいた。すぐに7~8人の坑夫が一斉に、埋まっている坑夫を掘り出し始めた。どのような格好で埋まっているのかわからないので、スコップを使うわけにはいかず、夢中で手で掘った。小生は天井の動きを懐中電灯で見ながら二次災害に備えた。声は相変わらず地獄からの咆哮で恐ろしかった。このような恐ろしい声を聞くのは初めてだった。気が動転して思考力など働かなかった。間もなく救出されると、咆哮はびたりと止まった。生き埋めになり体や胸が圧迫されて呼吸困難になると、あれほどの咆哮を出すのかと思った。担架に乗せようとしたら、すっと立ち上がった。これには皆唖然としたが、すぐに「ほかの人はどうした」と騒ぎ出した。2人がずり出しをしていたはずだとわかり、掘り起こそうと思ったが、3mも山になったずり取りは思うように進まなかった。下からも抜こうと降りた坑夫がフンドシから足が出ていると言うので、全員ずり抜きに集中。間もなく2人をずりの中より引きだしたが、息が絶えていた。岩塊にはさまれ即死だった。二人を送り出した後、復旧作業にかかった。天端から左肩にかけて台形状(幅4m、奥行き6m)にえぐられていた。地震で亀裂が緩んで一気に落

下し、支保工は偏荷重を受けて押し倒されたと考えられた。落下空間部は支保工上よりサンドルを組み、地山を押さえた。復旧も終わり、日が経つに従って、なぜ最初に現場の全体把握ができなかったのか、反省の念に駆られた。できていれば、同時に救出を始められたからである。結果的には即死で助けられなかったが、地獄の絶叫に惑わされたことを大いに恥じた。冷静に考えれば、大きな声が出せる人は後回しで良いのである。大声の出せない人を優先して、声が段々落ちてきたら掘り出せばよい。自分によく言い聞かせ、いざというときに備えたが、以後は支保工も変わって安全度も高まり、死亡事故に遭遇することなく、退役となった。

トンネルの落下崩落事故も地相により切羽崩壊、押し出し、落盤、肌落ち、いろいろあると思うが、最近では探査技術も進んでいるので、より正確な地質図の入手は容易と思われる。起きるとすればどのような種類か、おおよその見当はつくので、工事着手前の検討会で対応、心構えを打ち合わせしておけば、冷静に対応できるのではなかろうか。

### 職人氣質

昭和57年ごろ、木曾川水系飛騨川支流導水路トンネル工事のことである。地質図では溶結凝灰岩で弾性波速度は4km/s以上が大部分を占め、堅硬な地山と推測された。地表調査では、トンネル方向と緩い角度で交わる走向を持つ多

数の亀裂や破碎帯を伴っていることが認められていた。横坑1本で左右に別れ、掘削断面約8m<sup>2</sup>、長さ3,400mをNATM主体に、工期から逆算して日進6~7mの高速掘進を目指した。そのため地山の安定している区間は、吹付けコンクリートは後吹きにするなど、地山条件に見合った対応をした。小生は本社からトラブル対応のため現場に出張していた。帰る前にもう一度トンネル内を見ておこうと思いついていくと、奥のほうから坑夫が「山が来た」と走ってきた。逃げてくる二人の坑夫とすれ違って切羽に飛んでいくと、天端や肩の辺りが亀裂によってじわじわと緩み、落ち始めていた。ずりは取り終わり、切羽はしっかり自立していて、返ってくる心配はなかった。どう見ても破碎帯ではなかった。肩から上に亀裂が多く、その間に水が回り粘土化していたところが発破で緩みを与え、その緩みがずりを取る間にじわじわと広がっていったと瞬時に判断した。トンネル断面は小さいし(幅2.6m)、「これは行ける」と即座に判断した。吹付けを始めようと後ろを見ると彼らが戻ってきていて、こちらをじっと見ていた。彼らが吹付けを始めようとしたら、山が動き出したのである。「ノズルを持って来い」と怒鳴るとすぐに坑夫が走って持ってきた。「送れ！」と言って小生が吹き始めると坑夫たちが知らぬ間に小生の後ろに来て見ていた。吹きながら小生が切羽より、まず自分の居場所の安全を確保するのだと3~4m手前から

吹き始めた。岩自身は硬いものだから、岩のクボミを先に吹けと説明しながら2mも吹いたら、世話役が「自分がやります」と言うので渡し、「あそこを吹け、こっちを吹け」と指示をしているうちに、すぐ要領を飲み込み、切羽の天端も大きく抜ける前に押さえられた。それ以降は、何回か同じようなことがあったが、全然驚かず、「まず身の安全を確保して」といいながら冷静に対応していたという。自分の身が安全ならば、人間は冷静に頭も働かし、身のこなしもできるのである。

彼らは、吹付け工法はこの現場が初めてだったのである。普段の坑夫は1mいくらずい、生活がかかっているの、素直には言うことを聞く者は少なかったが、このときばかりは嫌に素直だった。いざというときは、職員が陣頭に立てるだけの総合力を持っていなければと痛感した。それには本人の自覚と意欲が必要である。自覚がなければ意欲はわいてこない。意欲さえあれば、自分に力をつける必要な情報は集まってくるものである。個人の経験的知識など高が知れている。先人の知識を吸収し、現在の新技术を習得するだけの意欲はほしいものである。それとともに指導力も必要である。いつも積極的に前向きに取り組んで行けば、自然に身につくものである。人間の性格は死ぬまで変わらぬ部分もあるが、職種にあった性格は本人の努力と精進により作られるものである。職人氣質がその最たるものである。

### 完成された新技術は 一気に取り込むべし

1970年代の終わりに、日本トンネル技術協会の欧州トンネル視察団に参加した。地下鉄工事や山岳トンネルなどを見てまわり、初めてNATMに触れた。同行の人たちの話ぶりを聞いていると、NATMについては相当勉強していることがわかった。当社は完全に出遅れたと思った。旅行中に皆さんの話に耳を傾け、どうしたら他社に追いつけるかばかりを考えていた。帰国後間もなく、同行したNから電話があり、「ゴルサーが日本に来る。1日体が空いているがどうか」とのこと。二つ返事でNATMの講演を依頼した。ここで一気に社内のトンネル技術者のNATM熱を高めようと思った。全支店に連絡し、当日60人くらい集まった。ゴルサーと通訳と3人で会議室に入っていったら、一番前にM副社長とK専務がいたのにはビックリした。話を聞いて自発的に参加されたようだ。通訳を介してだが、半日みっちりやった。一番理解したのはM副社長のような人だ。K専務はトンネル力学を翻訳したほどの人で、NATMの優位性など十分知り尽くしていた。参加者には十分刺激になったので、熱の冷めないうちに次の手はなにを考えているうちに2～3日過ぎた。休みの日、K専務から自宅に電話がかかってきた。「M副社長と決めた。当社もNATMをやろう」との話だった。

まだ坑口付けのしていないトンネルで、坑口からNATMでいく、という。当時NATMの最先端を行っている会社でも、坑口の崖錘部は矢板工法で入り、山が良くなったらNATMにするという時代である。小生がビックリしていたら、K専務が「山が悪いからNATMで入るんだよ」と事もなげに言う。自信に満ちていた。よくNATMを理解していたからこそ出る言葉なのである。対応する技術者がいないと言ったら、ゴルサーに設計や技術指導を頼めばよいと言う。すぐゴルサーに連絡をとり、打ち合わせに入った。必要資料を送り、標準設計ができあがった。オーストリア人の技術指導ヤーンが来日し、崖錘部の坑口を日本で初めてNATMで着手した。現場の連中はNATMをよく理解していないうえに、坑夫は吹付けなどしたことがない。矢板が頭の上に乗っていないと心細い連中なので、吹付け支保工など全然信用していなかった。言葉もドイツ語はもちろん、英語もろくにしゃべれない連中を相手に、施工順序や技術的な話は大変だったと思う。ヤーンは、理解されにくいところは自分で直接やってみせ、お手本を示した。でき栄えは見事なもので、今後の坑口付けのモデルに十分なものであった。詳細については本誌第12巻、第2号をご覧ください。

本坑を順調に掘り進む中、時たま破砕帯に遭遇。山が来て坑夫が逃げ出したとき、とっさの判断でヤーンは自分でノズルを持って吹

付けを継続し、押さえてしまった。それ以降、坑夫は一目置くようになった。

現場には坑夫と一緒に一方付き切りで指導する。夜は職員と一緒に夜遅くまで酒を飲む。暇なときはNATM理論、岩盤力学、計測にもとづく情報化施工などを職員に教えていた。これこそが世界に通用する、これからの現場技術者のあり方ではないかと思った。かくして、日本初の坑口崖錘部のNATM施工は成功した。

外国の新技術を、順序を追って会得していくには当社は大きく出遅れていた。ゴルサーの半日の講義でNATMの優位性を理解し、NATMの良き理解者Kとともに一気に技術導入に踏み切り、当社の遅れを取り戻したM副社長の経営能力には脱帽した。技術社員を研修生として次々に送り込み、ヤーンと一緒に24時間生活をともに過ごさせた。仕事を覚えるには、これが一番である。お陰で多くの職員もNATMになれ、単独施工の自信もついた。

### おわりに

日本も成熟社会に入り、トンネルの工事が減っていくものは止むを得ないが、小生のような昔の人間は坑夫の質の低下が気になる。理想的な坑夫とは小生が記したKのような人物である。いかがであろうか。

どうやら老いぼれモグラの戯言も長くなり過ぎた。この辺で終わりにしたい。

## 研究

# 鉄道トンネルの健全度診断システム

(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部(トンネル)主任研究員 岡野法之

(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部(トンネル)研究室長 小島芳之

(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部(トンネル)副主任研究員 津野 究

## 1 はじめに

鉄道では、トンネルをはじめとしたすべての供用中の鉄道構造物に対して、2年ごとに検査(「全般検査」と呼ばれている)が行われている<sup>1)</sup>。全般検査は、一般に目視と打音調査によって行われており、これにより確実に変状を抽出することが必要である。そのため、全般検査は多くの手間と時間を費やして実施されている。一方、鉄道事業者の多くは、熟練技術者の大量退職、トンネル技術に詳しい技術者の減少に直面しており、安全を保ちつつ効率的に検査を行っていくことが強く求められている。

最近、トンネルの覆工表面を連続的に撮影して全周展開画像を得る技術を活用した検査が、鉄道に限らず道路や水路などにおいても実施されている。鉄道総合技術研究所(以下、「鉄道総研」と記す)においても、ラインセンサカメラによる撮影システムである『トンネラス』(JR東海、川鉄情報システム(現：JFE電制)との共同開発、1999)、『トンネルスカナー』(2004)を開発<sup>2)</sup>し、目視の代替あるいは補完手段としていくつかの鉄道事業者で実用化されている。このような新技術を検査に取り入れることにより、検査の省力化と精度向上が図られたものと考えられる。しかしながら、その後に行う健全度判定については、検査員の経験的判断に依存しているため、判定結果にバラツキが生じることは避けられない。また、対策を講じるには、検査結果から変状原因を推定すること

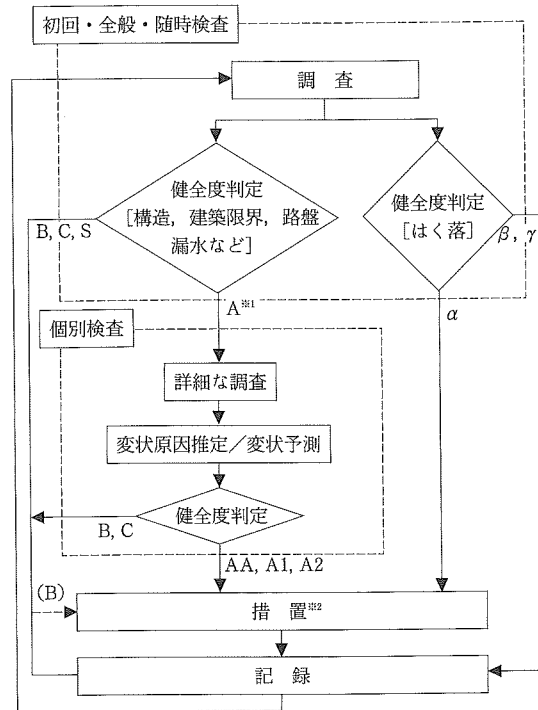
が求められるが、そのためにはトンネルの専門知識と経験が不可欠である。

一方、鉄道総研では、変状データをパソコンに入力することにより変状原因の推定を自動的に行うことができる『トンネル検査・診断エキスパートシステム』を1989年に開発<sup>3)</sup>しており、JRの一部で実務に適用された。その後、維持管理に対するニーズの増大や、検査法、健全度評価法、補修・補強法の飛躍的な発展、『鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物)トンネル』<sup>4)</sup>(以下、『維持管理標準』と記す)の制定などに伴い、新たな診断システムの開発が望まれてきた。

そこで筆者らは、今までの研究実績をもとに、検査で得られるひび割れや漏水などの変状データ、トンネルの内空変位速度、地形・地質、設計・施工などの詳細なデータから、維持管理の一般的な手順である健全度診断、変状原因推定および対策工選定の大部分を自動的に行うことができる『トンネル健全度診断システム TUNOS(Tunnel diagnosis System)』を開発してきた。これにより、トンネル検査の大きな課題であった健全度判定結果のばらつきなどの個人差が排除され、維持管理における検査精度および効率性の更なる向上が可能になる。

## 2 鉄道トンネルの一般的な維持管理方法

TUNOSの説明に入る前に、『維持管理標準』に示されている鉄道トンネルの一般的な維持管理



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

図-1 標準的な維持管理手順<sup>1)</sup>

方法について概説する。

鉄道トンネルの検査は、初回検査、全般検査、個別検査、随時検査の四つに区分され、そのうち、全般検査は、変状の有無や進行性の把握のため、目視と打音調査により2年ごとに定期的実施される。全般検査などの結果、変状の程度などにもとづき、詳細な検査が必要とされた場合に個別検査を実施し、目視や打音調査に加え、専用の機器を用いた調査などによって、変状原因の推定や進行性の予測などを実施する。そして、各検査段階において、トンネルに求められる要求性能を満足しているか否かを確認するため、適切な区間あるいは変状箇所ごとに健全度を判定し、必要な措置を実施するのが基本である<sup>1),4)</sup>。

鉄道トンネルにおける標準的な維持管理手順を図-1に、健全度の判定区分を表-1に示す。

健全度判定については、安全性、使用性、復旧性といった要求性能のうち、安全性に関する項目(①トンネル構造の安定性、②建築限界と覆工と

表-1 健全度の判定区分<sup>4)</sup>

(1) はく落以外の変状に対する判定

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

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

(2) はく落に対する判定

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

の離隔、③路盤部の安定性、④はく落に対する安全性、⑤漏水・凍結に対する安全性)ごとに行うのが、基本となっている。

図-1中、左側の流れはトンネル以外の構造物とも共通であるが、はく落に対する健全度判定も必要なのがトンネルの特徴である。

### 3 システムの概要

#### 3-1 システムの適用範囲

TUNOSは、鉄道トンネルの健全度診断、変状原因推定、対策工選定の大部分を自動的に行うことができるシステムである。現時点では、鉄道トンネルの多くを占める山岳トンネルの無筋コンクリート覆工を対象としている。健全度診断については、『維持管理標準』に示される前述の安全性に関する5項目について行うことができる。

#### 3-2 システムの構成

システムの全体構成を図-2に示す。トンネル諸元などの基本情報を入力後、全般検査の目視などで得られたひび割れや漏水の情報が入力された電子変状展開図をもとに、打音調査が必要な箇所を提示し、その後実施される打音調査の結果にもとづき、はく落に対する健全度(α, β, γ)を診断す

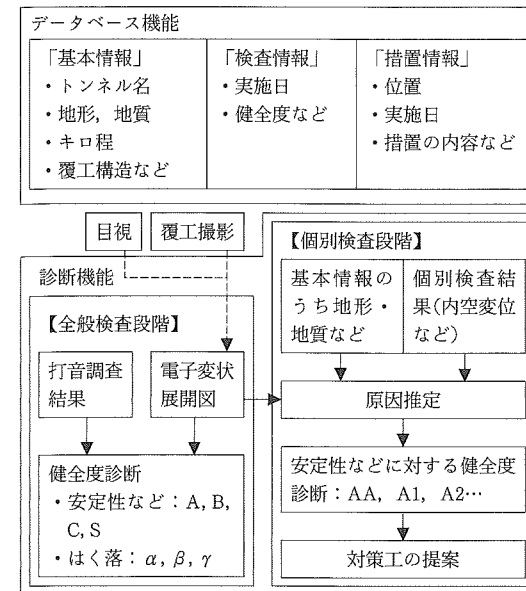


図-2 システムの全体構成

る。はく落以外の安全性に対する健全度(A, B, C, S)の診断は、電子変状展開図および入力データにより診断できるものは自動で行い、それ以外のものについては診断結果を手動で入力する。

その後、健全度Aと判定されたものについては、個別検査で得られるトンネル内空変位速度や地形・地質などの詳細な調査データをもとに、変状原因の推定、詳細な健全度診断、対策工の提案を行う流れとなっている。

その他の機能として、検査結果や措置情報の履歴管理や統計管理、変状写真、管理図面などをシステムに取り込むことも可能で、健全度診断システムとしてだけでなく、台帳管理システムとしての活用も可能なシステムである。

#### 3-3 システムの特徴

システムの動作環境としては、今後の汎用性を考え、業務上多用されるWindows上で作動する仕様とした。また、実用性を考え、電子変状展開図上のひび割れ情報については、CADシステムとの互換性を持たせることや、タブレットによるタッチペンでの入力が可能であり、既存の電子変状展開図の有効活用や、ひび割れ情報入力時の利便性を図っている。その他、入力画面の補助機

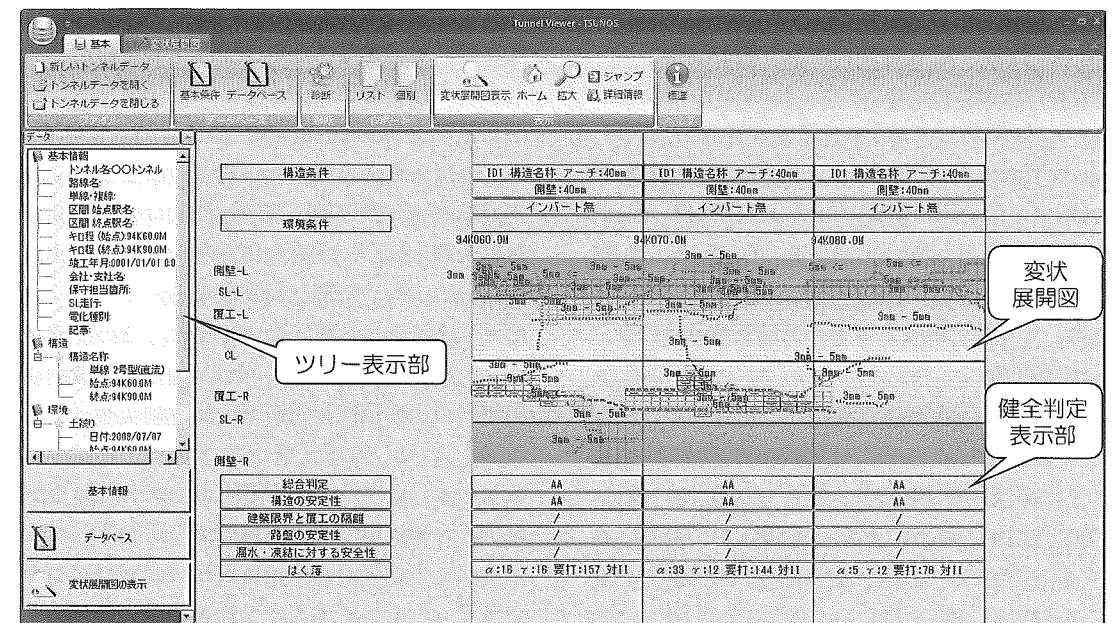


図-3 システムの標準画面

能としてツールチップウィンドウの表示によるヘルプ機能を充実させ、トンネルの維持管理に関連する用語解説などを『トンネル補修・補強マニュアル』<sup>9)</sup>の内容にもとづき表示させ、システム入力の手助けを行う。また、検査の引継簿として活用可能な自由記載欄を設けており、検査員が交代した場合でも、トンネルの状態などの状況を引継げるように配慮されている。

システムの標準画面を図-3に示す。電子変状展開図のもとに診断区間を対応させた健全度が要求性能項目ごとに表示される。

電子変状展開図上には、ひび割れ、漏水、ジャンカ、材料劣化が入力でき、その種別とそれぞれの程度に応じて、色、線種の違いにより識別可能となっている。左側のツリー表示された検査日を選択すると、それに対応したひび割れが表示される。

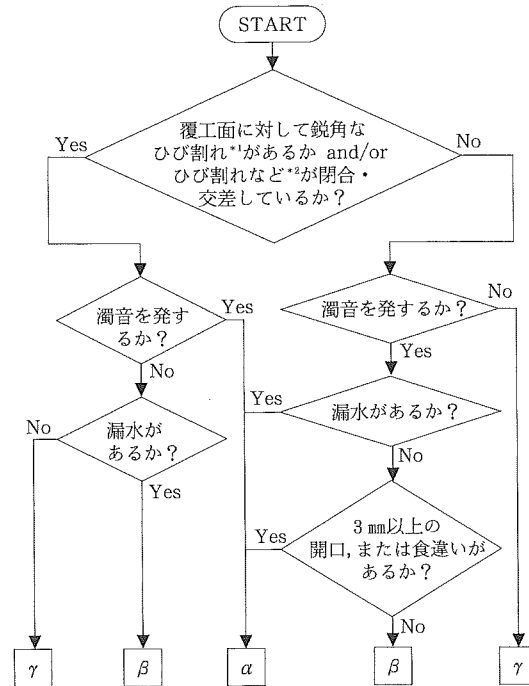
## 4 自動診断アルゴリズム

### 4-1 健全度診断

健全度については、全般検査、個別検査の両者において、大部分を自動で診断する。その方法は、『維持管理標準』に記載されている診断例を基本とし、2章で示した五つの性能項目ごとの健全度診断の実施や、構造条件・構造欠陥(インバートの有無や巻き厚不足など)により健全度の補正も行い、より現実的な診断を示すものとなっている。また、自動診断が可能のように、『維持管理標準』の診断例で抽象的に記載されている条件についても、筆者らが持つ既往の知見<sup>9)</sup>などを参考に具体的な閾値を決定し、定量的な判定を可能とした。

#### 4-1-1 はく落に対する安全性の健全度診断<sup>7)</sup>

全般検査段階で判定されるはく落に対する安全性については、電子変状展開図に表示されたひび割れの形状(閉合、交差、放射状など)を自動抽出し、打音調査の結果(清音、濁音)など、その他の情報を入力することにより、自動的に健全度を診断する。診断はトンネル周方向をある一定の角度ごとに32分割、軸方向を1mごとに分割したメッシュで実施する。また、健全度診断がαとなった



\*1: 圧ざやせん断ひび割れ  
\*2: \*1を除くひび割れと打継ぎ目, コールドジョイント

図-4 はく落に対する安全性の自動診断アルゴリズム例  
箇所は、電子変状展開図上に明示され、一見してαの箇所が把握可能となる。はく落に対する安全性の自動診断アルゴリズム例を図-4に示す。

なお、補修材を支持しているボルトなどははく落に関する健全度については、自動診断が不可能なため、結果を手入力する。

#### 4-1-2 トンネル構造の安定性に関する健全度診断

トンネル構造の安定性の健全度診断は、全般検査段階で得られた電子変状展開図に表示されたひび割れ種別(圧ざや開口ひび割れなど)やひび割れ幅などにより、自動的に実施する。そして、健全度Aと診断された箇所については、その後実施する個別検査で得られるトンネル内空変位速度や覆工材料の劣化範囲などをもとに詳細な健全度診断(AA, A1など)を実施する。自動診断のためにはこのようなデータが必要となるため、検査での確実なデータの取得と蓄積が重要となる。トンネル構造の安定性の自動診断アルゴリズム例を表-2に示す。なお、診断スパンは覆工打設継目を基本とした一定区間ごととし、覆工種別などの変更箇

表-2 トンネル構造の安定性の自動診断アルゴリズム例

変位の程度	大きなひび割れ ・L<5mかつW≥5mm ・5m≤L<10mかつW≥3mm ・L≥10mかつ3mm≤W<5mm	中程度ひび割れ ・L<5m かつ 3mm≤W<5mm
進行性 内空変位	圧ざ ・L<3m	
10mm/年以上 2mm/月以上	AA	AA
3mm/年以上 10mm/年未満	A1	A1
1mm/年以上 3mm/年未満	A1	A2
進行性なし	A1	A2

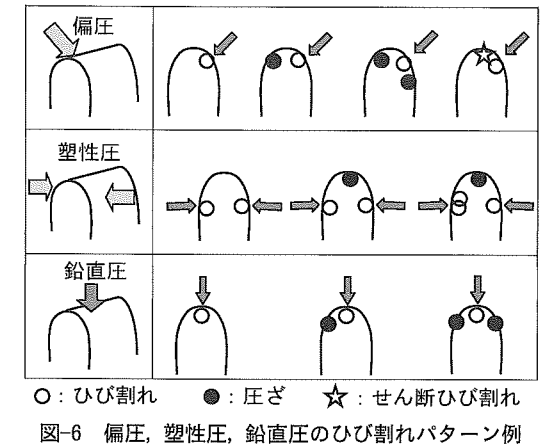


図-6 偏圧、塑性圧、鉛直圧のひび割れパターン例

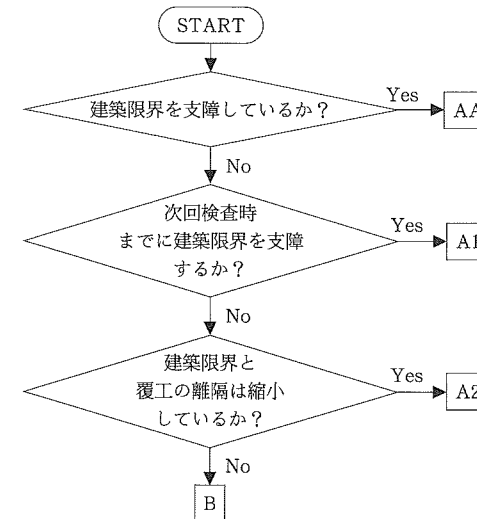


図-5 建築限界離隔の自動診断アルゴリズム例

所については適宜分割・変更可能である。

#### 4-1-3 その他の性能項目に関する健全度診断

上記二つ以外の性能項目に関する健全度診断は、建築限界離隔、路盤部安定性とも、個別検査で得られるトンネル断面変形量や路盤部水準測量結果などをもとに、自動診断する。診断スパンは4-1-2項と同様に、構造を考慮した一定区間ごととしている。建築限界離隔についての自動診断アルゴリズム例を図-5に示す。

なお、漏水・凍結に対する安全性については、進行速度の予測や影響度合いの把握が困難なため、健全度の自動診断を行わないものとした。

#### 4-2 変状原因の推定<sup>7)</sup>

変状原因の推定については、図-1に示す手順

に則り、個別検査実施時に外力による変状に対し提示することとした。原因種別は主なトンネル変状原因である、①「偏圧(斜め方向の地圧が卓越)」、②「塑性圧(横方向の地圧が卓越)」、③「鉛直圧(鉛直方向の地圧が卓越)」、④「凍上圧」の4ケースについて分類することとした。

これまで鉄道総研で実施した載荷実験結果や研究成果など<sup>6),8)</sup>を参考に、変状原因ごとにひび割れパターンを定めておき(図-6)、このひび割れパターンと、電子変状展開図上の覆工表面のひび割れ情報(ひび割れごとの長さや幅、発生位置など)とを同定することにより、変状原因を推定する。

そして、過去に変状の原因となった地形や岩種などのデータをもとに、先ほど得られた原因について更なる原因推定の精度を高め、この結果をもって最終的な変状原因とする。一連の作業はすべて自動で実施されるが、自動診断のためには、一定のデータ入力が必要なため、検査での確実なデータの取得と蓄積が重要となる。

④「凍上圧」については、図-7に示すように、ひび割れパターンのほか、凍上圧を発生させる気温環境にあるかにより推定する方法となっている。

#### 4-3 対策工の提案

対策工の提案については、変状原因によって対策工が異なるため、4-2節の手順により推定した変状原因ごとに標準設計の提案をすることとした。工法については『変状トンネル対策工設計マニュアル』<sup>9)</sup>に記載されている標準設計による対策を

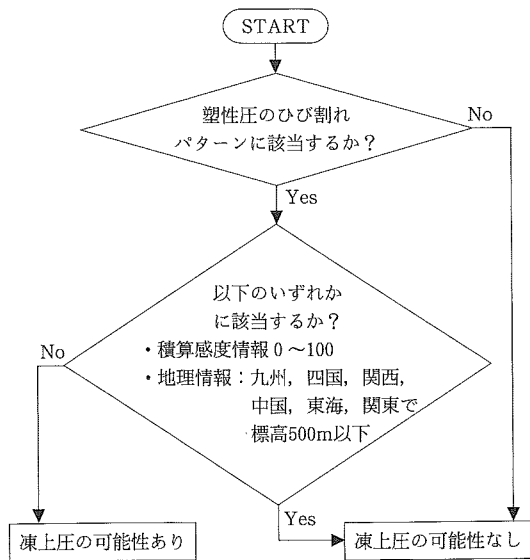


図-7 凍上圧に関する原因推定アルゴリズム例

表-3 偏圧に関する補強ランク

補強ランク	I	II	III	IV
変状程度	山側肩部に軸方向ひび割れ	I ほか箇所 に軸方向ひび割れ	圧ざまたはせん断ひび割れ	アーチ変形 断面軸の回転・移動
変状進行性	3mm/年未満		3mm/年以上 10mm/年未満	10mm/年以上
対策工	裏込め注入	裏込め注入 山側ロック ボルト	裏込め注入 全断面ロックボルト 内面補強	

〇〇トンネル 検査結果一覧

線名:〇〇線 駅間:〇〇・〇〇間

診断スパン	検査区分	調査日	トンネル構造の安定性	建築限界と覆工の離隔	路盤の安定性	漏水・結氷に対する安全性	剥落に対する安全性(箇所)				総合判定		個別検査による変状原因
							α	β	γ	要注意箇所	今回結果	(参考) 前回結果	
94K060MO ~ 94K070MO	個別	2008/12/1	A1	未判定	未判定	未判定	6	4	8	11	A1	-	塑性圧
94K070MO ~ 94K080MO	個別	2008/12/1	AA	未判定	未判定	未判定	4	10	12	12	AA	-	塑性圧
94K080MO ~ 94K090MO	全般	2008/11/1	B	未判定	未判定	未判定	5	7	10	8	B	-	-

項目	トンネル構造の安定性(スパン)	建築限界と覆工の離隔	路盤の安定性(スパン)	漏水・結氷に対する安全性(スパン)	剥落に対する安全性(箇所)				総合判定	
					α	β	γ	要注意箇所	今回結果	(参考) 前回結果
AA	1	-	-	-	15	21	30	31	1	-
A1	1	-	-	1					-	
A2	-	-	-	-					-	
B	1	-	-	-					1	-
C	-	-	-	-					-	-
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

図-8 全体結果の出力例

基本とし、現在の変状程度や変状の進行性から補強ランクを決定し、それに対応した標準的な補修・補強案の提案をすることとしている。

具体的には、前述の変状原因①~③について、補強ランクごとの変状程度・進行性および対策工が整理されており<sup>9)</sup>、これに従い対策工を提示する。一例として、偏圧に関する補強ランクを表-3に示す。このとき、補強ランクIVに該当する場合には、変状の程度が大きく、現象や構造に応じて対策工の選定も慎重に行う必要があるため、対策工の提案は実施しない。

はく落に対する対策工については、健全度αと診断されたものについてのみ工法の提案をすることとした。なお、工法については『トンネル補修・補強マニュアル』<sup>9)</sup>を参考とし、全般検査で得られた電子変状展開図の診断メッシュから、落下が予想される面積を自動算出し、その落下予想面積により対策工を提案することとしている。

### 5 診断結果の出力

診断結果の出力については、診断した全スパンについて一括出力する機能や個別検査結果の詳細について

### TUNOS 個別検査診断結果

線名/駅間: 〇〇線 〇〇・〇〇間  
判定位置: 94K060MO ~ 94K070MO  
調査項目: 内空変位測定

健全度	
トンネル構造の安定性 健全度: A1	建築限界と覆工の離隔 健全度: 未判定
路盤の安定性 健全度: 未判定	漏水に対する安定性 健全度: 未判定

#### トンネル構造の安定性に対する変状原因の推定

【塑性圧】の可能性が高い  
外力によるトンネル軸方向のひび割れが発生しており、そのパターンから塑性圧の可能性が高い。なお、トンネル軸方向のひび割れが両側壁に複数発生している事から、大きな軸力が発生していることが考えられる

#### ※ 変状原因に対するコメント

外因: 新第三紀の泥岩など一部の軟弱な地山においては、土盛り圧がトンネル周辺の地山の強度よりもある程度以上大きくなると、トンネルの内空断面の縮小、ひび割れ等の変状が現れることがある。ここでは、このような変状を生じさせる土圧を総称して塑性圧と呼ぶ。なお、膨潤性粘土鉱物を多量に含む場合等塑性圧が著しく大きい場合は、膨張性地圧(膨圧)と称されるが、ここではこれらも合わせて塑性圧として扱っている。  
内因: 一般に、変状が生じているトンネルは、なんらかの構造的欠陥を内因として持っていることが多い。塑性圧による変状の生じやすい構造的欠陥としては、以下のものが挙げられる。  
① 覆工天端部背面の空洞、② 巻厚不足、③ インバート無し、④ 割壁直

#### 対策工案

補強ランク	補強ランク II
アーチ部の変状状況	健全度 A1
内空変位速度	年間 3~10mm 未満
対策工	

※ 提示した対策工は標準的なものであり、その適用に当たっては、変状程度や構造条件等を考慮する必要がある。

図-9 診断スパンごとの詳細出力例

診断スパンごとに出力される機能を有する。

前者については図-8に示すように、診断を実施したトンネル全スパンの健全度、個別検査実施スパンの変状原因などを確認することができ、直近の検査結果の履歴も記載されるため、前回検査との比較により診断箇所ごとの変状の進行性も確認することができる。トンネル全体の健全度を一括して管理する台帳として活用可能である。

後者については図-9に示すように、個別検査を実施した診断スパンごとに、これまでに述べた方法で診断、提示した「健全度」「変状原因推定」「対策工提案」が出力される。出力の寸法は出力後の保存を考慮し、診断スパン1か所がA4サイズ1枚に印刷され、個別検査を実施した変状箇所

の詳細なカルテとして活用が可能である。また、変状原因に対しては、補助機能としてコメントが印刷される。これにより、システム化の際に懸念される判定、診断技術力の低下防止の一助となると考える。

### 6 おわりに

鉄道トンネルの無筋コンクリート覆工を対象として、電子変状展開図上のひび割れなどの変状データと、地形・地質条件やトンネル構造などの基本データをもとにして、健全度の診断、変状原因の推定、対策工の選定を自動的に実施できる『トンネル健全度診断システムTUNOS』を開発した。

本システムを活用することで、鉄道トンネルの維持管理上の課題である診断結果の客観化(個人差の解消)、精度向上につながるものと考えている。

本システムは診断のみならず、維持管理のためのデータベースシステムとしても利用できるものであるが、既存のデータベースシステムの変状展開図がCADで構成されている場合には、本システムをリンクさせて診断に活用することも可能である。なお、本システムは、現在のところ鉄道山岳トンネルの無筋コンクリート覆工を対象としているが、機会を見て都市トンネルなどにも適用できるようにしていきたいと考えている。

本システムが、鉄道トンネルの健全度評価におけるツールの一つとして、維持管理業務に活用されることを期待するものである。また、本稿が、他のトンネルの維持管理業務に携わっている方々の参考になれば幸いである。

### 参考文献

- (財)鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)トンネル, 丸善, 2007.
- 小島芳之・鶴飼正人: トンネルの健全度診断, RRR,

- Vol.63, No.5, pp.14-19, 2006.
- 3) 河田博之・松本吉雄：トンネル検査・診断エキスパートシステムの開発，日本鉄道施設協会誌，Vol.27, No.4, pp.16-18, 1989.
- 4) 小島芳之・新井泰・岡野法之：鉄道トンネルの維持管理の考え方，トンネルと地下，Vol.38, No.5, pp.45-54, 2007.
- 5) (財)鉄道総合技術研究所：トンネル補修・補強マニュアル，2007.
- 6) 野城一栄・小島芳之・藤井大三ほか：欠陥を考慮し

- たトンネル覆工押し抜き模型実験，トンネル工学論文集，Vol.14, No.5, pp.123-130, 2004.
- 7) 津野究・小島芳之：トンネル健全度を自動診断できる診断システムの開発，日本鉄道施設協会誌，Vol.43, No.8, pp.37-39, 2005.
- 8) 朝倉俊弘・小島芳之・安藤豊弘ほか：トンネル覆工の力学挙動に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.193/Ⅲ-27, pp.79-88, 1994.
- 9) (財)鉄道総合技術研究所：変状トンネル対策工設計マニュアル，1998.

## わかりやすい トンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 円340円

福島啓一著

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

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

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

株式会社 土木工学社

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

## 研究

# 先進ボーリング技術のブレークスルーを目指して

—長尺・高速掘進・孔曲がり制御などの技術開発—

東海旅客鉄道(株)東海道新幹線21世紀対策本部担当課長 二村 亨  
東海旅客鉄道(株)東京建設部担当課長 梅村 哲男  
国際航業(株)社会基盤事業部技術部長 萩原 博之  
鉦研工業(株)工事営業本部長 生森 敏

## 1 はじめに

路線計画に際して必要となる地形・地質情報を得るために，空中写真撮影(高精度の地形図取得)，地表踏査，物理探査，水文調査のほかに地質調査ボーリングが実施されている。これらの調査手法の中で，地下深部の地山を直接確認できるボーリング調査はもっとも信頼度の高い調査法ということもあり，1,000m級の長尺のボーリング実績がある。しかし，土かぶりの大きな地区における長尺ボーリングは立地的・経済的制約のほか技術そのものの制約もあり，机上で考えるほど簡単には実施できない調査法でもある。

2年ほど前，本誌の連載講座で「山岳トンネルの先進ボーリング技術」が平成20年の9月号から8回連載で取り上げられたことがある。その冒頭号に「トンネルのボーリング技術は小さな技術領域ではありますが，この技術のブレークスルー(飛躍的進歩)があれば，土かぶりの大きな長大山岳トンネルへの挑戦も現在よりずっとリスクの少ないものになるはずと確信しています」という展望が述べられていた<sup>1)</sup>。

土かぶりの大きな長大山岳トンネルの施工リスクの軽減を図る一手段として，上記の展望にある山岳トンネル分野におけるボーリング技術(とくに，①掘進速度，②方向制御，③ノンコアによる

地質評価技術)を飛躍的に発展させる必要性があると考え，いろいろな検討を行ってきた。その成果の一つとして，上記①，②の両面において従来技術とは格段の差のある技術レベルに達することができたので，ここにその概要を報告する。

## 2 山岳トンネル分野におけるボーリングの目的

### 2-1 一般的な目的

ボーリングは一般に，①地質調査(地質状況を事前把握)，②水抜き(地下水あるいはガスを事前に抜き，水圧やガス圧を軽減)，③注入(不良地山を注入工法や凍結工法で改良)，④その他(ロックボルトやアンカーの打ち込みおよび通気・材料投入孔(レイズボーリングなど))を目的に行われる。このうち，とくに技術開発の目的とするものは，①地質調査，②水抜きのボーリングである。

#### 2-1-1 地質調査ボーリング

このボーリングは路線選定や設計施工法を検討するために地表部から鉛直にあるいは斜めまたは水平方向に地質調査を目的として実施するのが一般的であるが，最近では切羽前方の調査手段として用いられることも多々ある。

コア採取を前提としたコアボーリングが一般的だが，コアを採取しないノンコアボーリングが行われる場合もある。コアは地質調査ボーリングに

としては重要なデータであるが、トンネル工事を進めるといふ意味においては、ノンコアであっても、スライムや湧水量、機械情報などから工学的に地質情報を推定することは可能で、それだけでも十分なこともある。

また、「ボーリングの施工難易は地質情報そのもの」とも言える。ボーリングが順調に掘進できた場合はトンネル施工にとって良い地山、そうでない場合は難航することが多い悪い地山であることが多いからである。

### 2-1-2 水抜きボーリング<sup>1)</sup>

切羽前方の水を抜くことで、前方の水圧を低減させ、切羽の自立性を高めることを目的として行うボーリングである。

NATMが定着する以前は、この水抜きの役割は、先進導坑とか、水抜き坑で行われることが多かった。それはボーリングに比較して断面積の大きい導坑や水抜き坑の方が水抜き効果が大きく、その小断面掘削技術が十分に維持されていたことと、ボーリング技術がそれほど発達していなかったことなどによる。

『丹那トンネルの話』<sup>2)</sup>という名著には、「如何に地質が悪く崩壊しやすい部分でも、一旦その個所に導坑を通すことに成功して、その付近の地下水を充分排除することさえ出来ればその後は楽に掘削できるのであります」とあることからわかるように、山岳トンネルにおいてはいかにして、水の少ない所に路線を選ぶか、それができない場合はいかにしてその水を事前に抜くかが、工事の成否を左右するポイントとなる。

土かぶりが大きく湧水量の多いトンネル施工に際し、NATMによる場合は、地山状況によっては地下水が十分に低下しないうちに、本坑の支保工や覆工を施工することになるため、かつての工法で導坑や水抜き坑が果たしていた先行水抜きという役割を水抜きボーリングに期待せざるを得なくなる場合もある。

### 2-2 技術開発の主目的

土かぶりの大きな長大山岳トンネルにおいては、中間に作業基地を挿入することが容易でなく、一

工区長が長いものになると想定される。また、地上からの地質調査が困難な地域もあるため、坑内から行う水平長尺ボーリング技術をより確実なものにすることが重要であり、その目的は、主に次の2点である。

- ① トンネル施工の確実な長期見通しを得るために、切羽前方約1,000m程度の地質情報を先進ボーリングにより常に把握できること。
- ② 切羽の安定した掘削を可能ならしめるよう、切羽前方の高圧・大量の湧水を事前にできるだけ抜いて(水圧を低減させておいて)おくこと。

## 3 坑内外からのボーリング技術の現状

では、現状のボーリング技術はどの程度なのかについて、これまでの経験や、文献調査で得られる事例を、掘進能率、孔曲がりの二つの観点から分析し、2-2節に述べた技術開発の目的に対して現状がどのレベルにあるかを検討してみた。

### 3-1 これまでの経験

#### 3-1-1 掘進能率

図-1はこれまでやってきた比較的長いボーリングについて、その掘進実績工程を鉛直と水平に分けて整理したものである。いずれも縦軸を作業時間(h)、横軸を掘進長(m)で図示した。なお掘進は昼間作業の場合と昼夜作業の場合があるが、すべて22時間/1日稼働として換算し、掘進速度の単位を「m/d」として統一した。

図からは次のことが言える。

- ① 平均掘進速度は鉛直で7.4m/d、水平で6.1m/dである。極端な速度の違いはない。
- ② ところどころ休止期間があるが、これは孔壁崩壊や大量湧水などに対する対策実施期間である。
- ③ 掘進速度は深度とともに低下する傾向があり、400~600m以浅では8.8m/d、それ以深では6.6m/dである。当然ながら深度が増すほど掘進速度が落ちる。とくに水平3の900m以深では2.2m/dとなっている。

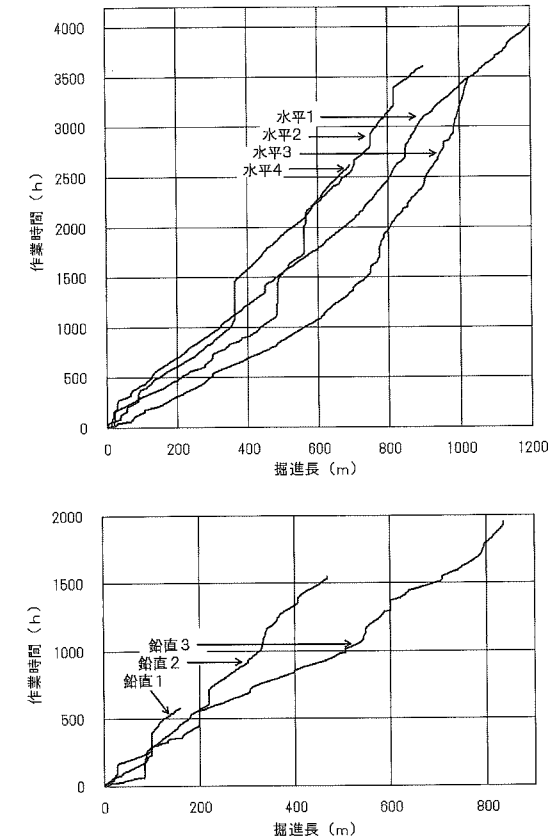


図-1 ボーリングの掘進実績工程

- ④ 水平1の800~900m、水平2の700~800m、水平3の780m以深は掘進速度の低下が著しい。破碎帯地質であり、コア詰まり、大量湧水などが頻発したことが原因している。

このように、コアボーリングでは掘進能率に掘進方向や掘進方式による能率の明瞭な差はなく、掘進速度は10m/dを上回っていない。

なお、良好岩盤であればそれ以上の速度での掘進は可能であるが、後述する孔曲がりを抑えることを重視し、最大でも10m/d程度の速度で掘削を行ったことがこの結果に少し影響している。

#### 3-1-2 孔曲がり状況

図-1に示したボーリングは、いずれも鉛直あるいは水平ないしある斜角度をもって真っ直ぐ掘ることを前提としているが、計画どおりにはコントロールできなかった。

孔曲がりの原因は、おおむね以下のとおりである<sup>3)</sup>。

- ① 機械的条件によるもの
  - ・孔径に対しロッドの径が小さい場合
  - ・ロッドそのものの欠陥
  - ・ビットの回転数、ビットへの荷重、スライム排除という3条件が不適な場合
- ② 地質条件によるもの
  - ・層理、片理、節理などの割れ目が発達した地山(これらの面に対し垂直になろうとする傾向)
  - ・硬軟の差が著しい場合

一般的には、上項の機械的条件に起因する孔曲がりを極力抑えるために、精度の良い孔曲がり計測を適切な頻度で行いながら、①切れ味のよいビットを常に使用、②孔径に近いロッドやコアチューブの使用、③送水量を増やすなどスライムの排除に努めるなどの対応をとっている<sup>4)</sup>。

図-1のボーリングについて、孔曲がりの状況を鉛直・水平別に示したのが図-2である。図では水平ボーリングについては縦断方向、鉛直ボーリングでは鉛直線に対しての最大水平離隔を示している。これらの図から次のことが言える。

- ① 水平ボーリングでは、すべての孔で下方(重力方向)への孔曲がりが発生している。孔曲がりはいずれの孔も深度300m付近より顕著になり、その後累積的に曲がっていく。
- ② 孔曲がりの程度はボーリング孔により異なる。水平1と水平4は孔曲がりが比較的軽微である。へき開面の傾斜が差目目で他のボーリング孔と異なることが原因している可能性がある。
- ③ 鉛直ボーリングでは片状岩盤が分布する鉛直3で顕著である。重力方向での掘削であるが、へき開面に直交しようとする方向へ孔曲がりが生じている。

以上のように、孔曲がりは重力の影響、へき開面などの岩盤の異方性に大きく影響されるものと言える。

なお、これらの実績のうち、水平3については、計画からかなり下がってしまったため、765mから881mまで、デビコ社(ノルウェー)のコントロー

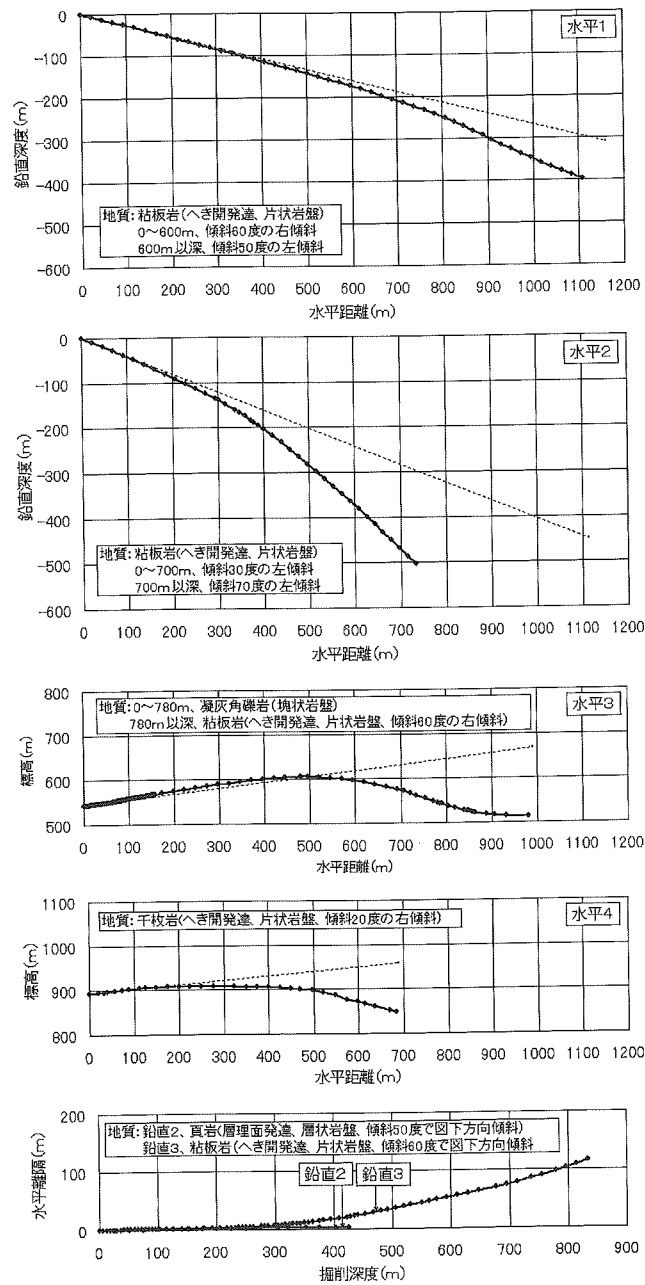


図-2 ボーリング孔の孔曲がり計測結果

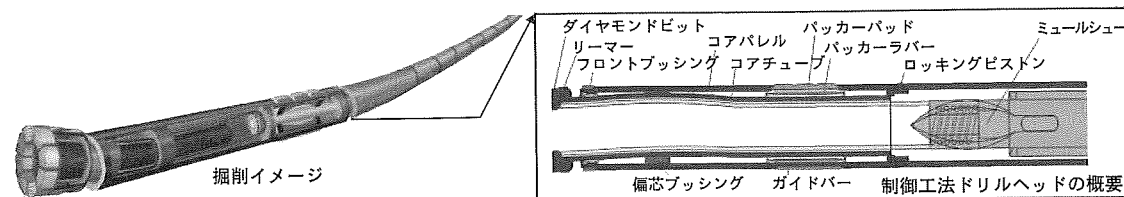


図-3 VIC工法掘削装置の概要<sup>1)</sup>

ルボーリング技術(VIC工法)を採用して改善させた結果であり、この技術がなかったら、もっと大きな孔曲がりが生じていたと考えられる。

3-1-3 デビコ社のVIC工法の概略

この工法は、図-3に示すように通常のワイヤライン型掘削装置に専用ドリルヘッドを装着し、コアを連続して採取しながら掘削することができる。

コアパレル部分は三重管になっていて、アウターチューブをパッカーパッドで孔壁に圧着させ、偏心ブッシングで先端のビットを曲げて掘進する構造となっている。方向制御掘削時にはビット先端部のみが回転し、パッカーパッドで圧着されたアウターチューブはガイドバーのソリ構造に支援されて、回転することなくスライドする。掘進に先立ち、あらかじめ方向を設定し、そのうえでアウターチューブを孔壁に圧着させるため、設定した方向へ確実に曲げることができる。コア回収時には方向記憶装置もセットで回収され、その都度掘進方向の確認ができる。

図-4はVIC工法の適用実績である。適用前は確実に下方へ(-0.2~-0.5度/10m)曲がりが増加させていたのに対し、適用区間では1~3度/10m上向きに修正できた。掘進には約360時間を要しており、平均掘進速度3.4m/dとなった。これは、通常のワイヤライン工法に比べると幾分遅いといえる。

VIC工法は、使用にあたっていくつかの制約があるものの、これまでの現場での適

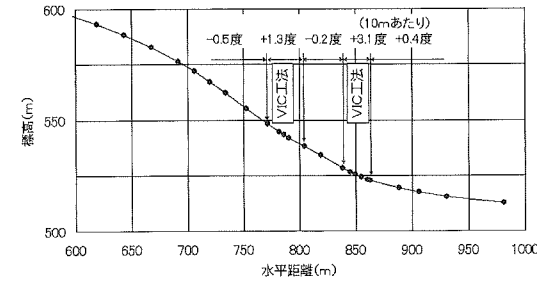


図-4 VIC工法による方向制御の実績

用実績からすれば、非常に有効な手法であると考えられる。

3-2 最近の坑内先進ボーリング実績

ここでは、文献1)の連載講座に示された事例を参考に、坑内を中心に行われている先進ボーリングの現状を整理してみた。

3-2-1 九州新幹線筑紫トンネル河内工区<sup>1)</sup>

前方の地質確認および水抜きを目的として計40本、4,424mのボーリングを行っている。

最初は油圧式ロータリーパーカッション工法(RPD-130C)を用いていたが、後半は水圧式ダウンザホールハンマー工法(Wassara W100)を用いている。

平均掘進速度は油圧式が100m程度を8.3m/hで、それより深部の掘削はできなくなるのに対し、水圧式は深部に行っても低下が少なく、150~200mでも10.3m/hを維持でき、最高では18時間で200mを掘削している。

3-2-2 東海北陸自動車道飛騨トンネル先進坑<sup>1),3)</sup>

大量湧水帯での施工となったため、TBMに搭載した削岩機による40~50m程度前方探査以外に、TBM後方から50~100m程度前方を探るロータリーパーカッション工法(アロードリル(RPD-100))を併用している。両者は約50m/d程度で掘進している。

さらに、TBMが拘束された場合、ボーリング坑を別途設けたうえで、300~500m程度の地質状況把握と先行水抜きとしてシールドリバース工法(TOP-LS21)による水平ボーリングを実施している。この場合の施工速度は5~10m/d程度と遅くなっている。

3-2-3 東北新幹線八甲田トンネル大坪工区<sup>1)</sup>

地質調査を目的に330m、200mの水平ボーリングをシールドリバース工法で施工している。また、PSワイヤライン工法による平均75~85mの水平ボーリングを62本削孔している。後者は土日の切羽作業休止2日間を利用して行っている。

3-2-4 第二東名富士川トンネル西工区<sup>1)</sup>

地質調査と水抜きを兼ねた100mの先進ボーリングを全油圧式ロータリーパーカッションドリル(アロードリル(RPD-100SF)コア採取型)により、昼夜作業3日間で実施している。削孔時にボーリング機械データを測定し、打撃エネルギー、打撃回数、削孔速度、削孔断面積より削孔エネルギー値を指標化し、これとトルク、送水圧力の深度軸での変化および地質試料の観察結果と対応させながら地山等級を推定している。

図-5は文献1)に示されている目的別水平ボーリング工法の概念図である。縦軸はボーリングの延長であり、短尺、中尺、長尺、超長尺と分類されている。この分類について、短尺は20~50m±、中尺は数百m以下、長尺は数百m以上、超長尺は1,000m以上とおおむね区分されている。横軸は地質調査精度を示すもので、左ほどノンコアでも良いとするもの、右ほどコア採取をめざすものというイメージとなっている。この図で見る限り、切羽の進行を阻害しないことに配慮しているため、短尺、中尺程度では、コア採取よりも高速施工性を重視するノンコアタイプ、削孔延長が長くなると施工速度よりも、コア採取を優先するものが多くなっている。

したがって、長尺・超長尺級のボーリングでは、

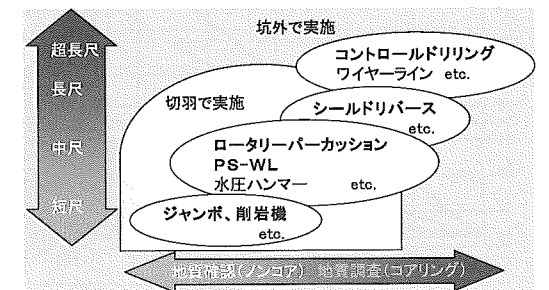


図-5 目的別ボーリング工法概念<sup>1)</sup>

シールドリバース工法を使用している例が圧倒的に多いが、そのことは必ずしもシールドリバース工法が最適工法であることを意味していないと考える。

これについては次節で触れる。

### 3-3 開発する坑内先進ボーリング機の方式と課題

先進ボーリングは切羽前方の地質状況を事前に把握し、水抜きを行っておくためのものであり、切羽到達よりかなり早い段階で終わっている必要がある。

シールドリバース工法の掘進速度は飛驒トンネルの事例にあるように一般に5~10m/d(昼夜作業)であり、通常のトンネル掘進速度の2倍程度でしかない。トンネル施工を考えた場合、切羽到達前6か月程度の時点にはボーリング作業が完了していることが理想であろう。そうすると、最低でも掘進速度20m/d以上、掘進延長800m以上のボーリングが必要となる(図-6)。

こうしてみると、3-1、3-2節で述べた現状は、2-2節で示した技術開発の目的に応えられるものではないと言える。

そこで、この期待に応えるボーリング機器の開発にあたっては、高速で孔曲がりが少なく掘れるという利点を備えた石油ボーリングやパイプライン敷設などの分野で用いられているダウンホールモーター(ビットのすぐ後ろでビットだけを高圧

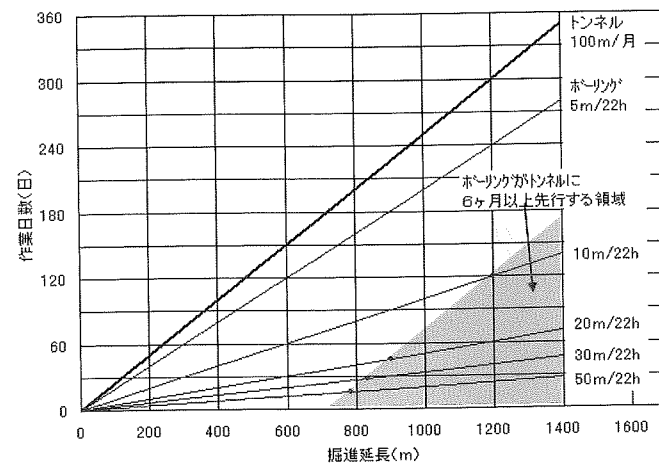


図-6 トンネルと先進ボーリングの掘進速度

水流などで回転させるモーター)によるノンコア&コントロールボーリング方式によるのがもっとも近道ではないかと考え、この組み合わせによるボーリングの適用、改良を試みることにし、これらの機器開発に必要な課題を次の4点とした。

- ① 高水圧、大量の坑内湧水下でもφ20~30cmの大口径高速掘進が可能(日進最大100m程度)
- ② 孔曲がりが少ない(1,000mで±5m程度)
- ③ 坑内設置の必要上、極力小型
- ④ 掘進中の諸データをトンネルの施工に資することができる地質情報への変換

### 4 坑外からの大口径長尺ボーリングの実施

前節に示した①、②の両課題を満足しうるダウンホールモーターによるボーリング工法としてリードドリル工法がある。これはダウンホールモーターを使用し、リアルタイムで孔先端位置を測定して随時方向修正しながら掘進するものである。わが国では日本海洋掘削(株)(JDC)が American Augers 社の DD-330 その他のボーリング機械を用いて、主に管路敷設を目的とした施工実績を有する(文献1)の Vol.39, No.10)。

DD-330は、表-1のような諸元をもつ。同表に比較のため示した国産最大級の能力を持つ機器と比較し、桁違いの能力をもった機械であることがわかる。

リードドリル工法は、図-7に示すツール編成で、直進または方向制御掘削を行う。直進時にはダウンホールモーターだけでなく、ドリルパイプも回転させてビットが首振りしながら掘進する。方向制御時にはドリルパイプの回転を止め、ダウンホールモーターによる先端ビットのみの回転でベントサブの曲がりの方向に掘進する。

JDCの有するDD-330を用いて、1,000mの水平ボーリング(ノンコア、仰角1°)を実施した(写真-1)。その結果を、掘進

実績工程(図-8)と、孔曲がり計測結果(図-9)に示す。

掘進工程に関しては、掘削開始から完了までの

表-1 主なボーリング機械の諸元比較表

機種名	DD-330	GSR-100改	TOP-LS21
メーカー名	American Augers社	鉦研工業(株)	東亜利根ボーリング(株)
寸法L×W×H(mm)	14,700×2,490×4,100	5,025×1,830×2,810	7,500×850×1,255
本体重量(t)	19.5	10.0	2.15
最大推力(kN)	1,500	230	120

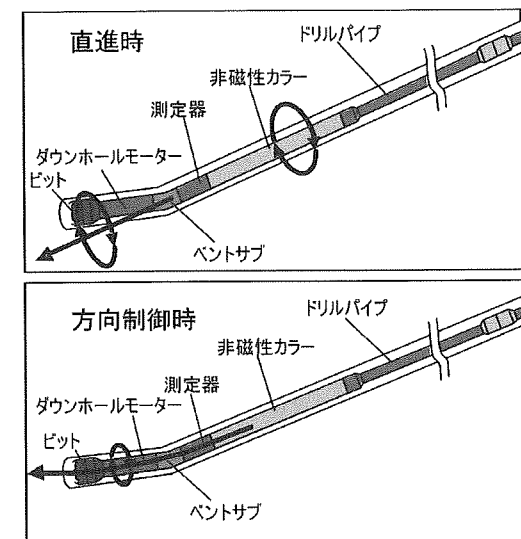


図-7 リードドリル工法における方向制御

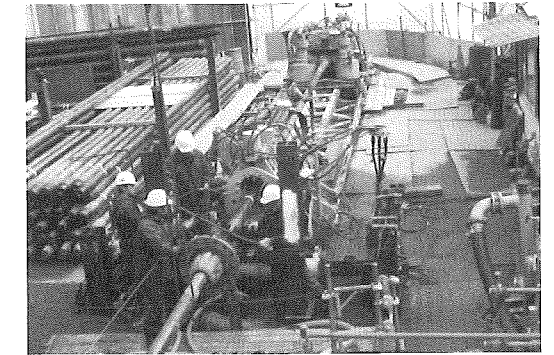


写真-1 DD-330ボーリング機械全景

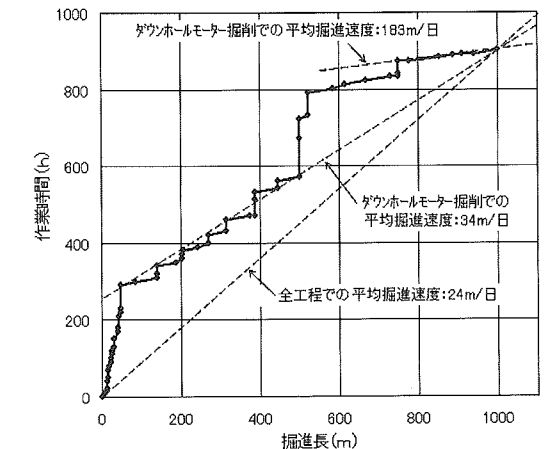


図-8 DD-330での掘進実績工程

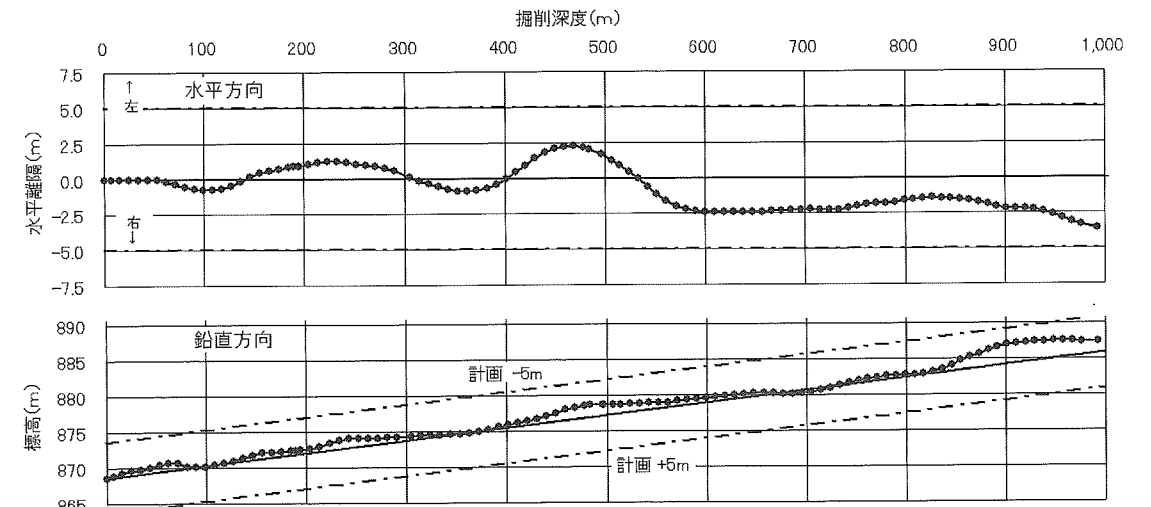


図-9 DD-330での孔曲がり計測結果

れ23日をかけている。実際の岩盤掘削はその後であり、平均掘進速度は34m/dであった。この速度には500mまでのケーシング挿入などの付帯作業が含まれている。とくに掘進が順調に進んだ750m以深では、平均183m/dという驚異的な速度を記録している。

孔曲がりに関しては、岩盤内の磁気異常などによる測定誤差はあるものの、水平方位、鉛直方位ともに計画線から2.5mの範囲内にあり、最大でも5m離れることなく掘進でき、直線性は十分に確保できた。

上記のように、DD-330ボーリング機械を使用した方向制御掘削は、技術開発の目的に十分に応える驚異的な成果を得ることができた。

しかし、この機械を坑内の切羽付近に持ち込んで切羽前方の地質調査や先行水抜きを実施するには、余りにも巨大すぎるのである。

したがって、坑内でのボーリングを想定した場合には、使用する機械類の小型化が必須であり、坑内で使用可能な機器を開発する必要があると考えた。

### 坑口からの大口径長尺ボーリングの開発とその性能試験

大きな土かぶり、それに伴い大きな水圧も考えられるトンネル内の切羽付近での稼働が可能で、1,000m程度を高速で狙った方向に正確に制御しながら掘削可能なボーリング機械という条件のもとで、表-2に示した諸元の機械を考えた。

DD-330の諸元と比較するとかなり小ぶりであるが、これまで坑内で使用実績の高いTOP-LS21と比較すればかなり大きな機械である。

このボーリング機械と方向制御用のツールを用いてこれまで3段階の試験を行ってきた。その結果を以下に示す。

#### 5-1 ツールスだけを用いた坑内掘削

ボーリング機械の完成前に、ツールだけの掘進性能(孔曲がり制御はこの段階ではできない)を確認する目的で、坑内切羽付近において、300mの掘削を行ってみた。実施にあたってはトンネル施工に支障しないよう、ボーリング機器類をトンネル拡幅部に設置した。

使用したボーリング機器類の編成を図-10に示す。ボーリング機械は自走式のS-150(鉦研工業製)を使用し、掘削ツールは先端部よりトリコンビット(6-1/4", 4-3/4"), ベントサブ(ベント角0度)、ダウンホールモーターという編成である。

300m掘削作業は、ボーリング機材の搬入・設置で6日、ストレナー管挿入と機材撤去で5日を要しており、全工程22日間で作業を完了した。

##### 5-1-1 掘進能率

掘進実績工程を図-11に示す。掘進開始から完了まで11日であり、平均掘進速度27.4m/dとなる。時間のかかる口元装置設置を除けば42.2m/d、連続掘進の場合76.5m/dである。

表-2 新しいボーリング機械の諸元

機種名	FSC-100	DD-330	TOP-LS21
メーカー名	鉦研工業(株)	American Augers社	東亜利根ボーリング(株)
寸法L×W×H(mm)	7,780×1,950×1,730	14,700×2,490×4,100	7,500×850×1,255
本体重量(t)	8.0	19.5	2.15
最大推力(kN)	290	1,500	120

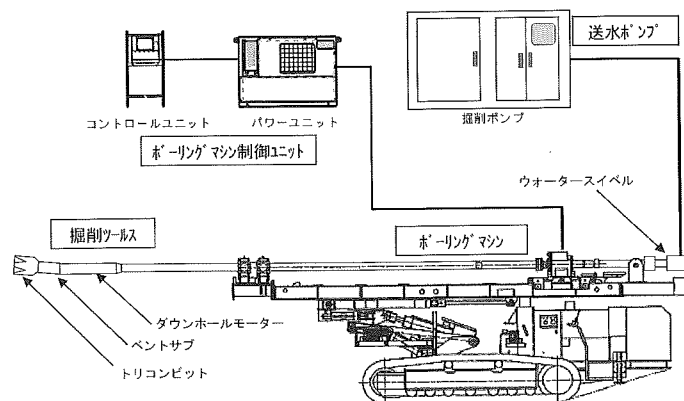


図-10 坑内300mボーリングでの機材編成概要

この結果を、DD-330による1,000m掘進記録と単純に比較することはできないが、連続掘進の場合の速度はDD-330に及ばないものの、ケーシング挿入などの付帯作業を含めた平均掘進速度で見れば、同等レベルの能力を有することがわかった。

#### 5-1-2 トンネル施工実績との比較

今回ボーリングを実施した区間については、その後トンネル掘削が進められ、ボーリング実績とトンネル施工実績との比較が可能となった。ここではボーリング孔からの湧水とトンネル切羽付近湧水量の関係を検討してみる。

図-12はボーリング掘進時の孔口からの湧水量とトンネル切羽付近湧水量を比較したものである。ボーリング孔と切羽の進行は前後しており、位置関係によりそれぞれの湧水量に次のような変化が見られる。

- ・ボーリング孔では先端がトンネル切羽に追い

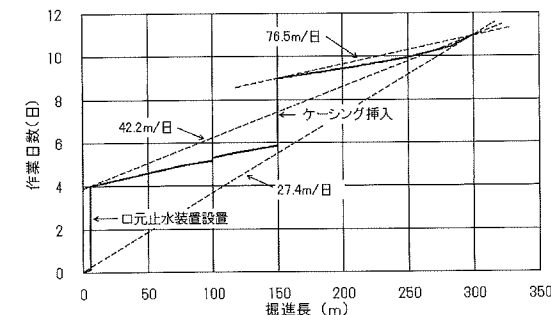


図-11 坑内300mボーリング実績工程

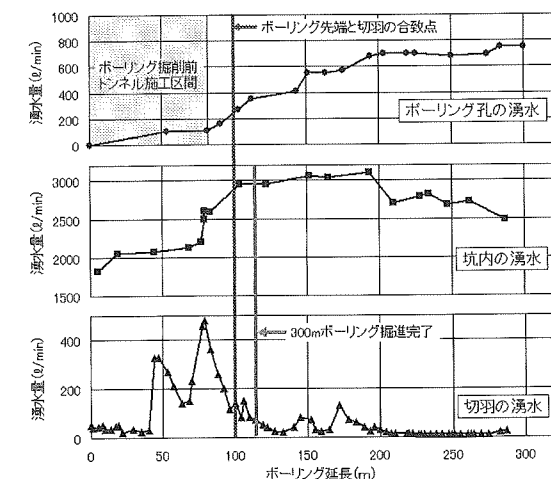


図-12 ボーリング孔湧水と坑内湧水の比較

つくまでの間は、孔内湧水量はほとんど発生していない(50~80m間)。

- ・ボーリング孔では80~200m間で累積的に湧水量が増加しているが、トンネルではボーリングが先行する100m以降坑内湧水量が一定となっている。200m以降はむしろ減少している。
- ・切羽からの湧水はボーリングが先行し始めて急激に湧水量が減少している。
- ・切羽湧水が減少したとはいえ、150m付近、170m付近の湧水増加はボーリング孔での湧水増加区間とほぼ一致する。

以上のことは、このボーリング孔が切羽前方の水抜き孔として非常に有効であり、また切羽からの湧水の多寡を予測するうえでも重要なデータを取得できることを示唆するものである。掘削孔径がφ120~160mmと大きいこと、掘進速度が速いことから、これが従来のボーリング以上に水抜き効果を発揮するものと考えられる。

#### 5-2 ツールとボーリング機械を併用した実験

ボーリング機械の完成後、本来の組み合わせで、まず採石場、次に坑内において掘進速度や孔曲がり制御の性能を確認する実験を行った。

ボーリング機械の概観を写真-2および図-13に示す。また、掘削ツールを含めた機材編成を図-14に示す。

坑外実験は削孔径を変えて約100mを2孔、坑内実験も約100mを1孔を掘削した。結果の概要を表-3に示す。

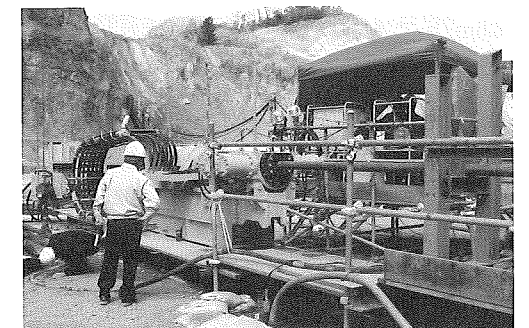


写真-2 ボーリング機械(FSC-100)の概観

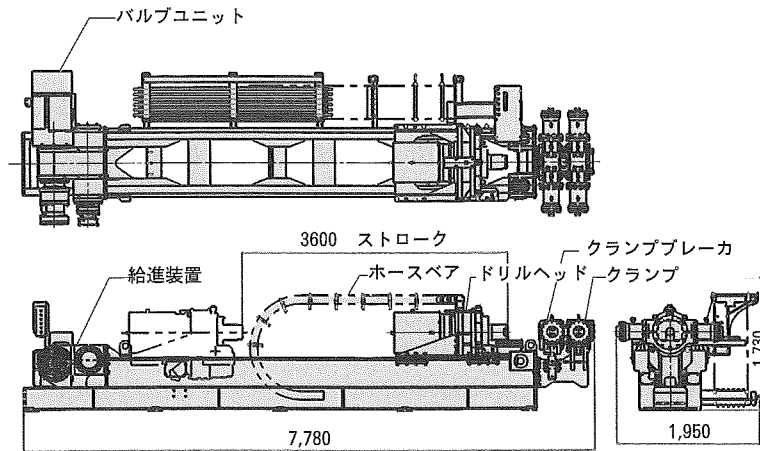


図-13 新型ボーリング機械(FSC-100)の概観図

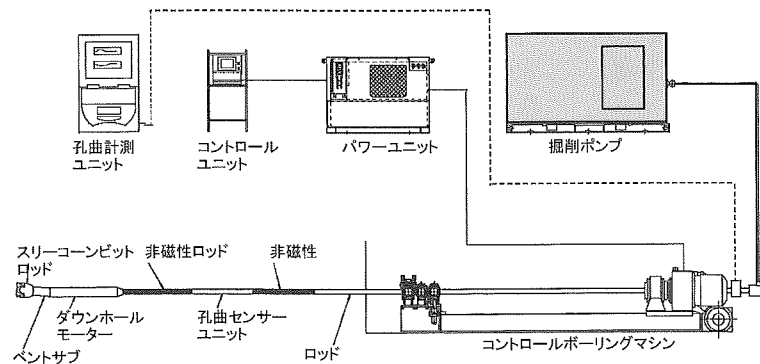


図-14 ボーリング機材編成概要

表-3 実験ボーリングの実績概要

	深度 (m)	削孔径 (mm)	掘進時間 (時間)	掘進速度 (m/n)
坑外実験1	81.69	200	14.5	5.4
坑外実験2	95.98	158.7	14.5	6.5
坑内実験1	100.97	120	11.2	8.8

### 5-2-1 坑外実験

掘進速度は坑外実験1が5.4m/h、坑外実験2が6.5m/hであり、これを日換算すれば118m/dおよび143m/dとなる。DD-330でのボーリングと比較しても遜色ない速度となった。

#### (1) 方向制御について

##### 1) 坑外実験1

30mまで直進掘削したが、左下に曲がったため上方修正を行った。水平方向では左曲がりの修正が不十分であったが、鉛直方向ではほぼ水平に戻すことができた。

### 2) 坑外実験2

掘進開始時点から上方へ強制的に曲げ、その後もとの位置に戻す計画で掘進し、計画どおりの軌跡を確保できた。

両実験は、掘進長が短いものの、期待する性能は有しているものとする。

### 5-2-2 坑内実験

トンネル坑内において、狭い閉鎖環境の中での作業性などの検証も兼ねて、前項と同様の実験を行った。その結果は表-3に併記したとおりである。

100.97mの水平孔を8.8m/h、日換算で194m/dで掘削できた。前項で述べた坑外実験より高速での掘進でDD-330を上回るものとなった。一方、孔曲がりに関しては無制御状態では水平方向に顕著に現れる傾向が見られたので、方向制御技術によりそれを所定の範囲に抑制すること

ができた。

坑外と坑内の実験では、掘進延長が100m程度と短く、この成果でそのまま1,000m級のボーリングにうまく適用できるかどうかという問題は残っているが、日進100m以上の高速掘進が検証でき、方向制御についても一応の成果を得た。ボーリング機械やツールは今回初めて使用するものである。オペレーターの熟練度が向上すれば、よりいっそうの高速化、より正確な方向制御が可能になると考える。

## 6 結論(今後の展開)

- 土かぶりの大きな長大山岳トンネルの施工には、事前の地質確認と水抜きを行う目的で、切羽前方1,000m程度の水平ボーリングを高速で孔曲がりを少なく確実に打てる技術の確保が必要である。

- この目的を適えるものとしては、石油分野で実績のあるダウンホールモーター式によるボーリングがあるが、この場合、地質確認はスライムや機械データなどの解析による。
- DD-330を用いて1,000mの水平ボーリングを実施した結果、平均日掘進速度34m、最大日掘進速度183m、孔曲がりは左右、上下5m以下という良好な結果を得た。
- 上記ボーリング機は坑内に入れて用いるには巨大すぎるため、坑内専用の高能率機器(ツールとマシン)を新たに製作し、その性能試験を3段階で行った。その結果、ツール単独で平均42m/d(連続ならば76.5m/d)、ツールとマシン併用ならば、5~8m/h(100~190m/d)という満足できる成果を得ることができた。
- 今回は記述していないが、機械データによる地質解析を試みた。トンネル掘削の実績とも対比しつつ実用的なものを確立していく必要があるが、岩盤の堅さ、岩盤の割れ目間隔などが掘進率に関係していることを確認できた。また、ボアホールカメラによる地質観察を併用することで、評価精度の向上を図っていききたい。
- 今後、坑内において、1,000m程度の水平ボーリングを実施し、当機器の能力の検証だけでなく、ノンコアによる地質評価法、事前水抜きの効果判定などを含め、さらなる改善を図っていききたい。それらの成果に関しては別の機会を得て報告したいと考える。

待する性能を示していると考えられる。このような大口径ボーリングが高速で、精度良く制御できるということになれば、地質調査や水抜き孔としてのボーリングだけでなく、トンネル構築前にセンタードレーンやサイドドレーンの機能をもった排水設備をあらかじめ設置できるという、これまでの常識を覆す適用法もありうると考えている。また、あらかじめ地下水位をコントロールできれば、支保パターン、掘削技術や補助工法、ずり出しなどの従来のトンネル技術に少なからず良い影響を与えることは、十分期待できる。

これから先、さらに試行錯誤をくり返しつつより優れたものにして、トンネル工事の安全・確実な施工に寄与できる工法検討を行いたいと考えている。

本工法の開発にあたっては、文献1)連載講座の委員長を務められた大島洋志氏には着想の段階から終始情熱的に指導をいただいた。また、大成建設の端則夫氏、青山繁夫氏、鹿島建設の伊藤範行氏、一條勝氏には、この工法をトンネル内に適用するうえでの問題点、改善点などの検討に参加していただいた。これらの方々に謝意を表し結びとする。

## 参考文献

- 山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会：山岳トンネル先進ボーリング入門(1)~(8)、トンネルと地下、Vol.39, No.9, 2008.9~Vol.40, No.4, 2009.4.
- 鉄道省熱海建設事務所：丹那トンネルの話、1933.12.
- 寺田光太郎・川北眞嗣・小林伸次・築地功：不良地山・大量湧水との闘い(大量湧水編)、東海北陸自動車道 飛騨トンネル、トンネルと地下、Vol.35, No.9, pp.15-25, 2004.9.

## 7 おわりに

従来機器より格段の性能をもった山岳トンネル用の高能率ボーリング機器の開発は、おおむね期

## トンネルジャーナル

### アンダーパス技術協会定時総会開催

アンダーパス技術協会は去る6月18日にアルカディア市ヶ谷(東京)で定時総会を開催した。

冒頭、植村誠会長より毎年恒例の健康長寿の話があり、参列者に向けて何か趣味を見つけて継続してがんばって元気で長生きしてもらいたいとのコメントがあった。

その後、平成21年度事業報告・決算報告、平成22年度事業計画・予算を審議し、満場一致で承認された。さらに、役員改選が行われ引き続き植村誠氏が会長職を務めることになった。



### 万年トンネル貫通

愛媛県が整備する国道379号万年トンネルが貫通し、6月8日、関係者が出席して貫通式が催された。

同トンネルは、伊予郡砥部町岩谷～万年を結ぶ岩谷バイパス(5.8km)の一部で、延長735m、幅員8.5mの2車線道路トンネル。平成21年7月に着工し、主に変質安山岩からなる地山をNATM(発破)により掘削した。C級地山は補助ベンチ付き全断面工法、



### 山手トンネル(1か月後)の整備効果

首都高速道路は、平成22年3月28日に開通した首都高速中央環状線山手トンネル(3号渋谷線～4号新宿線)について、1か月後の周辺一般道路の交通状況および整備効果を公表した。

同トンネルの上を走る山手通り(環状6号線)の交通量が6～14%(2～6千台)減少し、旅行速度が10km/hから20km/hへと増加したほか、大坂橋から初台までの屋間の渋滞の発生が解消されたのが確認された。また、開通前には山手通りなどの幹線道路が慢性的に渋滞していたため、山手通りに接続する生活道路に流入していた通過交通が、開通にともない減少している。渋谷区の「航研通り」や「栄通り」では、通過交通量が14～17%減少した。

首都高速の渋滞が緩和されたことで、首都高速を利用する新宿から羽田空港までのリムジンバスの所要時間も改善しており、最大で3割短縮(54分→37分)したほか、開通前、最小所要時間に対し、約22分の遅れが発生していたが、開通後は約5分の遅れとなり、定時性も向上した。

D級地山は上半先進ベンチカット工法で掘進し、湧水や崩落などの発生もなく工事は順調に推移した。

施工に際しては、トンネル周辺に鉱山跡が多く分布していたことから、事前に地質調査を実施した。その結果、掘削中にも重金属が含まれることが想定されたことから、掘削土すべてを対象として100m<sup>3</sup>ごとに公定法分析を実施し、分離保管できずり置場を34ピット設け、分析結果がでるまで保管した。分析の結果、基準値を超過したものは最終処分場に搬出し、基準値以下のものは盛土に利用もしくは一般土捨て場への搬出を行った。

同トンネルを含むバイパス整備区間は、平成元年より整備が実施されており、これまでに約4.1kmが供用され、同トンネルを含む残りの1.7kmが工事中となっている。現道の幅員が狭く、見通しの悪いカーブが連続しており、すれ違いが困難で安全な通行に問題があるうえ、異常気象時の通行規制区間にも指定されていることから、早期の全線供用が期待されている。

# 業界案内

2010

## 目次

コンサルタント業 I

建設業 II

建設機械業 III

建設資材業 IV

## 掲載内容の説明

### 会社名

代表者名 および 役職

業務内容、取扱商品名 など

問い合わせ先

所在地

TEL : (XXX)XXX-XXXX FAX : (YYY)YYY-YYYY

E-mail : XYZ@ZZZ.jp

URL http://www.ZZZ.jp

## 【コンサルタント業】

### 川崎地質 株式会社

代表取締役社長 内藤 正

建設コンサルタント 16-9

地質および土質調査、土質・岩石・水質試験、レーダ探査、検層、コンクリート劣化診断、設計(道路、トンネル)、環境(土壌・地下水汚染など)、測量、海洋調査、工事(地すべり・法面対策)、情報処理

問い合わせ先：本社 技術本部

〒108-8337 東京都港区三田2-11-15

TEL : 03-5445-2077 FAX : 03-5445-2093

E-mail : post-master@kge.co.jp

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

### 国際航業 株式会社

代表取締役社長 中原 修

空間情報サービス

地質調査/海洋調査

国土デザインソリューション

問い合わせ先：技術センター

〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1

TEL : 042-307-7110 FAX : 042-330-1031

E-mail : naoki\_muto@kkc.co.jp

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

### メトロ開発 株式会社

代表取締役社長 矢萩 秀一

●都市トンネルの調査・設計・施工管理●近接施工の設計・計測管理●建設資機材の販売リース●建築・設備の設計・施工管理●IPH(内圧充填接合補強)システムの施工●流動化処理土(Mソイル)、建設汚泥改質材(Mハード)の製造・販売

問い合わせ先：技術部 技術営業課

〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11番9号

TEL : 03-5847-7807 FAX : 03-5847-7825

E-mail : horikoshi@metro-dev.co.jp

URL http://www.metro-dev.co.jp

## 株式会社 ロード・エンジニアリング

代表取締役 清水 洋

道路、道路構造物、付帯設備の調査、設計、施工管理およびトンネル点検・調査・補修設計、とくにトンネルに関する部門を完備

問い合わせ先：本社  
〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-24-7 冠ビル  
TEL：03-3891-0711 FAX：03-3891-0701  
E-mail：info@road-eng.co.jp

## 【建設業】

## 新日本開発 株式会社

グループ代表取締役 箕井 伸

トンネル補助工法(バイブルーフ、マイクロパイル、AGF工法、DIP工法ほか)、各種杭工事、注入工事、地盤改良工事、地すべり対策工事(集水井、水抜き工、アンカー工)、地質調査業、構造物補修補強工、ウォーターハンマー工法

問い合わせ先：土木部  
〒550-0012 大阪市西区立売堀2丁目4番19号  
TEL：06-6543-1175 FAX：06-6543-1170  
E-mail：info@njd.co.jp  
URL http://www.njd.co.jp

## 西豊工業 株式会社

代表取締役社長 加藤 栄治

土木工事業 とび・土工事業  
トンネル工事施工(主に、山岳トンネル)

問い合わせ先：本社  
〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町三丁目7番3号  
TEL：03-3664-9188 FAX：03-3664-9190  
E-mail：NCC30@seihoh.co.jp

## 大豊建設 株式会社

代表取締役 水島 久尾

総合建設業

問い合わせ先：土木本部 土木営業部  
〒104-8289 東京都中央区新川1-24-4  
TEL：03-3297-7007 FAX：03-3551-4005  
E-mail：info@daiho.jp  
URL http://www.daiho.co.jp

## 飛鳥建設 株式会社

代表取締役社長 篠部 正博

総合建設業

問い合わせ先：土木事業本部 土木技術部  
〒102-8332 東京都千代田区三番町2番地  
TEL：03-5214-7083

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

## 日本基礎技術 株式会社

代表取締役社長 中原 巖

トンネル補助工事、地盤汚染対策工事、ダムグラウチング工事、斜面安定工事、地すべり対策工事、地盤改良工事

問い合わせ先：東京本社 技術本部技術部  
〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町15番17号  
TEL：03-3476-5701 FAX：03-3476-4551  
E-mail：etsurou\_jimabayashi@jafec.co.jp  
URL http://www.jafec.co.jp/

## 三井住友建設 株式会社

代表取締役社長 則久 芳行

総合建設業

問い合わせ先：土木本部 土木技術部  
〒104-0051 東京都中央区佃二丁目1番6号  
TEL：03-4582-3060 FAX：03-4582-3217  
E-mail：dobokutoiwase@smcon.co.jp  
URL http://www.smcon.co.jp

## 吉岡建設 株式会社

代表取締役社長 吉岡 隆一

建設業

土木工事施工(トンネル・シールド・ダムほか)

問い合わせ先：工務部  
〒569-1136 大阪府高槻市郡家新町41番2号  
TEL：072-681-1861 FAX：072-681-1866  
E-mail：yoshiokakensetsu@e-yoshioka.com  
URL http://www.e-yoshioka.com/

## 【建設機械業】

## カヤバ システム マシナリー 株式会社

代表取締役社長 羽生田信良

自由断面トンネル掘削機：ブームヘッダー(RH-10 J, RH-250-MB-SL, RH-8J, RH-3J)、ミゼットマイナー(MM-90, MM-49)、ブームカッターシールド(BCS)、シャフトヘッダー(SH-37)

問い合わせ先：本社 営業3部  
〒105-0012 東京都港区芝大門2-5-5 住友不動産芝大門ビル  
TEL：03-5733-9444 FAX：03-5733-9506

URL http://www.kyb-ksm.co.jp

## ケンサンリース 株式会社

代表取締役社長 晴披 保

トンネル工事、シールド工用各種機械、資材のレンタルおよび販売  
主な取扱い機械：バッテリーロコ、ズリトロ、各種運搬台車、コンクリート関連機械、レール、分岐、ジャンボ、送風機、集塵機、フリッカー装置、ほか

問い合わせ先：本社  
〒171-0022 東京都豊島区南池袋3-13-15  
TEL：03-5396-9331 FAX：03-5396-9333  
E-mail：l.kensan@oregano.ocn.ne.jp  
URL http://www9.ocn.ne.jp/~l.kensan/

## サンドビック マイニング アンド コンストラクション ジャパン 株式会社

代表取締役社長 松本 啓志

ジャンボ、ブレイカ、ロックツール、ロードホウルダンプ、ダンプトラック、ロードヘッダー、ツインヘッダー、さく孔具、モバイルクラッシュ&スクリーン、ほか

問い合わせ先：CS & マーケティング部  
〒222-0033 横浜市港北区新横浜2-15-12 共立新横浜ビル6階  
TEL：045-478-0662 FAX：045-478-0661  
E-mail：mayuko.yoshida@sandvik.com  
URL http://www.miningandconstruction.sandvik.com/jp/

## 古河ロックドリル 株式会社

代表取締役社長 猿橋 三郎

トンネルドリルジャンボ/クローラドリル(油圧・空圧)/油圧ブレイカ/油圧圧砕機・油圧鉄骨カッター/コンクリート吹付機/電動式坑内積込機/スロットドリル/インパクトオーガドリル/ハンドドリル・レグドリル/ハンドブレイカ/ビット・ロッド

問い合わせ先：本社 特機部  
〒103-0022 東京都中央区日本橋室町二丁目3番14号  
TEL：03-3231-6966 FAX：03-3231-6993

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

## 北陸鋼産 株式会社

取締役社長 中川 一勝

スチールフォーム製作・セントル製作  
テレフォーム製作  
その他のトンネル用工事機材・土木工事機械製作  
鋼材曲げ加工(高周波曲げ)・建築金物加工

問い合わせ先：営業部  
〒934-0056 富山県射水市寺塚原720番地1  
TEL：0766-82-1500 FAX：0766-82-1501  
E-mail：info@hokuriku-kosan.co.jp  
URL http://www.hokuriku-kenko.co.jp/kosan/index.html

## ヤマモトロックマシン 株式会社

代表取締役 山本 勝俊

油圧・空圧さく岩機、ドリフター、油圧・空圧クローラドリル、アタッチドリル、法面せん孔機、ドリルジャンボ、401・301・101ロックボルトせん孔機、立坑せん孔機、石材せん孔機、油圧割岩機、静的破砕剤、溶融炉開孔機、関連機器。

問い合わせ先：東京営業部  
〒100-0005 東京都千代田区丸の内3-2-3 富士ビル713区  
TEL：03-3201-0701 FAX：03-3201-5702  
E-mail：tokyo@yrm.co.jp  
URL http://www.yrm.co.jp

## 【建設資材業】

### カヤク・ジャパン 株式会社

代表取締役社長 山本 茂樹

産業用火薬類の製造・販売、危険性評価試験  
 含水爆薬(アルテックス, ランデックス)  
 ダイナマイト, アンホ爆薬, 導爆線  
 電子雷管, 導火管付き雷管(アイデット)  
 電子雷管(EDD), 発破器, テスター

問い合わせ先: 営業本部  
 〒130-0015 東京都墨田区横綱1-6-1(国際ファッションセンタービル9F)  
 TEL: 03-5637-0901 FAX: 03-5637-0940  
 E-mail: danger.kj@kayakujapan.co.jp  
 URL http://www.kayakujapan.co.jp/

### 株式会社 ジャペックス

代表取締役社長 黒川 孝一

爆薬 ■含水爆薬(ハイジェックス, 快力)  
 ■ダイナマイト ■アンホ爆薬  
 火工品 ■電気雷管 ■導火管付き雷管 ■導爆線  
 アクセサリー ■発破器 ■テスター  
 トンネル用爆薬遠隔装填装置 ■セーフチャージャー

問い合わせ先: 営業企画室  
 〒105-0003 東京都港区西新橋1-11-5 新橋中央ビル4F  
 TEL: 03-3506-9061 FAX: 03-3580-8244  
 E-mail: japex-staff@highjex.jp  
 URL http://www.highjex.jp

### 電気化学工業 株式会社

代表取締役社長 川端 世輝

吹付けコンクリート用急結剤〈デンカナトミック〉  
 TBM後吹きモルタル〈デンカPFモルタルType-K〉  
 先受け工法用注入材, 地盤注入材〈デンカES〉  
 覆工コンクリート用養生剤〈デンカクラッコフ〉  
 覆工コンクリート用膨張剤〈デンカパワーCSA〉

問い合わせ先: 特殊混和材部 トンネル材料グループ  
 〒103-8338 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号(日本橋三井タワー)  
 TEL: 03-5290-5358 FAX: 03-5290-5085  
 E-mail: dk010313@denka.co.jp  
 URL http://www.denka.co.jp

### 合資会社 日高商会

代表 川守田政臣

〔ドリフター用さく孔ツール類製造販売〕  
 シャンクロッド, 中継ロッド, カップリング, ビット  
 〔長尺先受工法用ツール類製造販売〕  
 AGF工法用鋼管, さく孔用ビットNSXビット, フェースボルト用鋼管, その他特殊工具類

問い合わせ先: 営業部  
 〒103-0023 東京都中央区日本橋本町4-14-2 ミマツビル102  
 TEL: 03-3663-0561 FAX: 03-3667-5443  
 E-mail: info@nikko-shokai.com  
 URL http://www.nikko-shokai.com

## 研究

# 切削ワイヤを用いた改良JES工法で地表面変位を抑制

東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所工事管理室主席 有 光 武  
 東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所工事管理室副課長 桑 原 清  
 東日本旅客鉄道(株)建設工事事務部構造技術センター主席 小 泉 秀 之  
 鉄建建設(株)エンジニアリング本部土木技術部課長 長 尾 達 児

## 1 はじめに

線路下のアンダーパス工事において採用されるJES工法<sup>1)</sup>は、特殊継手を有する小口径鋼製エレメントを使用し、隣接するエレメントに継手を嵌合させながら地盤に複数本挿入、継手間隙部のグラウト充填、ならびに鋼製エレメント内へコンクリート充填することで、そのまま本体構造物として利用する工法である。

従来のエレメント掘進では、掘進刃口を地山に圧入させながら、刃口のカタにより地盤を掘削するのが一般的であるため、対象地盤が礫層や玉

石混じり層である場合、比較的径の大きな玉石が機械掘削に支障する場合があった。また盛土などの内部には、過去の工事の際に存置された支障物(コンクリートガラ、玉石など)が含まれていることも少なくない。このため、とくに土かぶり小さい箇所では、刃口で支障物を押し込み、地表面隆起を発生させるケースや、玉石などを刃口部で撤去した後、空隙部の充填不良により、地表面沈下を発生させるケースなど、地盤内の支障物に起因して地表面変位を発生させる恐れがあった(図-1(a))。

よって、エレメント掘進は、地表面変位発生

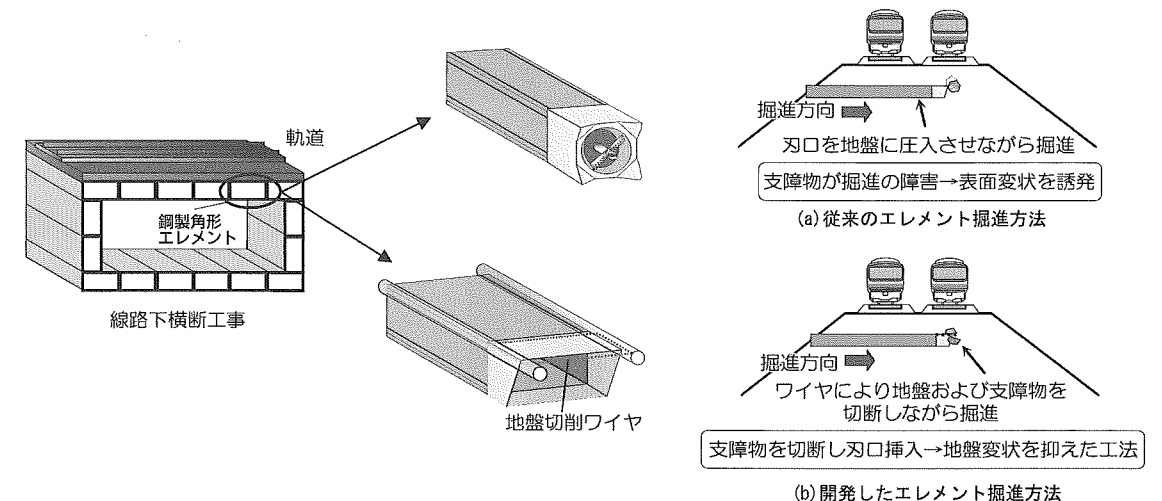


図-1 エレメント掘進方法

影響が少ない列車運行時間外などの夜間短時間での作業計画を余儀なくされ、工期・工事費が増大するという課題があった。

今回、地盤を切削しながらエレメント掘進することで、地表面変位を極力抑え、土かぶり比較的小さい箇所でも列車運行時間帯に作業可能な工法(地盤切削JES工法：図-1(b))を開発したので、その際の検討事項と実物大刃口による実証試験結果について報告する<sup>2),3)</sup>。

## 2 工法の概要

開発工法は、刃口前方上面に設置した地盤切削ワイヤにより、支障物が混在する地盤を切削しながら刃口を貫入する(図-2)。

切削機構は、刃口前方の地盤切削部分(写真-1)と、エレメント掘進に先行して設置したガイドパイプ(φ300mm程度)内を通るプーリー群ならびに刃口内部に設置した油圧モーター式の駆動プーリー

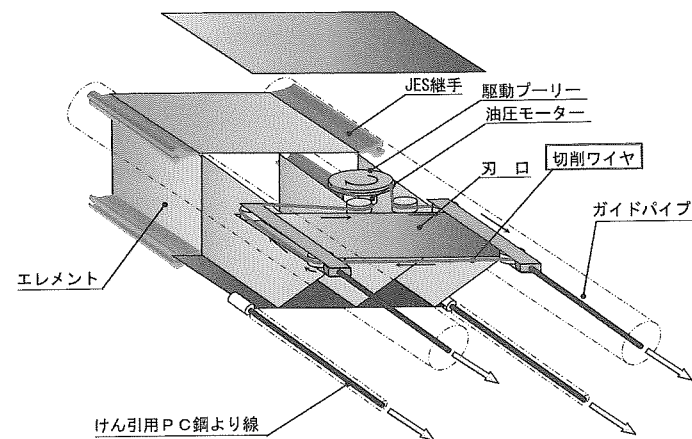


図-2 刃口概要図

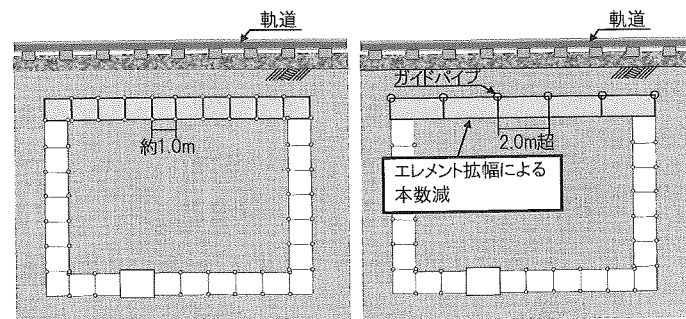


図-3 上床版エレメント挿入本数

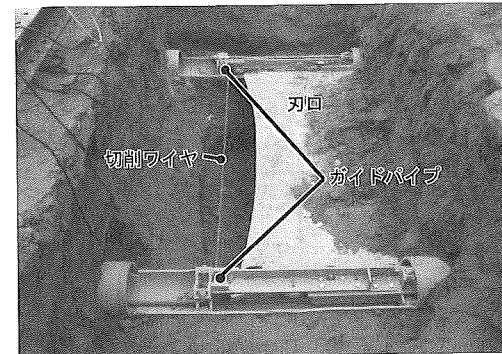


写真-1 刃口先端部構造

部から構成される。また、刃口上面のルーフ部分を先行して地盤に貫入させることで、地盤の沈下を抑制しながら、エレメントを掘進する。

エレメント幅は、従来工法では1,000mm程度を採用するケースが多かった。これは機械掘削を基本としており、オーガ式掘削マシン寸法を考慮したためである。開発工法では2,000mmを超えるエレメント幅とした。これは、開発工法では人力掘削を基本とし、エレメント幅の寸法変更が容易なことから、刃口内部での作業性向上、かつ機械掘削と比較して施工スピードが劣る人力掘削の施工速度向上を図り、エレメント挿入本数を減らして工期ならびに工事費縮減を実現するためである(図-3)。

本工法を開発するにあたり、以下の項目について検討した。

- ① 地盤を切削するのに適したワイヤ選定
- ② エレメント幅に伴う地表面などへの影響

## 3 地盤切削ワイヤ性能確認試験

ワイヤによりコンクリート構造物などを切断する場合、ワイヤの冷却と付着物の洗浄を目的に、水を使用するケースが多い。しかし、今回のように地盤を切削する場合、水の使用により地盤切削部の水分が増加し、地山の緩みを

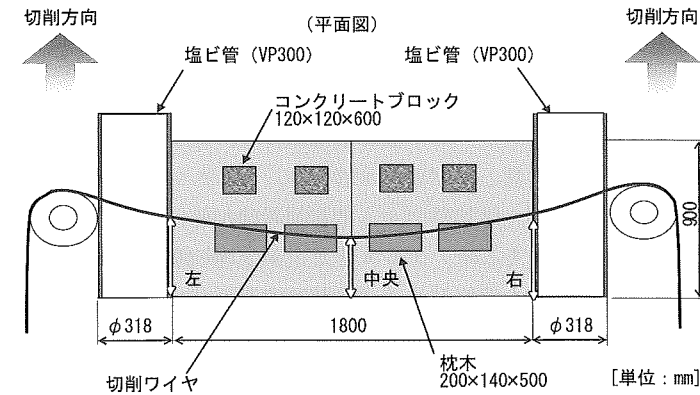


図-4 ワイヤ性能確認試験概要図(コンクリートブロック、マクラギ配置ケース)

表-1 ワイヤ性能確認試験結果

切削対象	切削距離 (mm)	切削時間 (分)	平均速度 (mm/分)	切削効率 (%)
支障物なし	840	62	13.5	100として
枕木	140	25	5.6	41
コンクリート	120	9	13.3	99
玉石 × 1	400	42	9.5	70
玉石 × 2	300	41	7.3	54

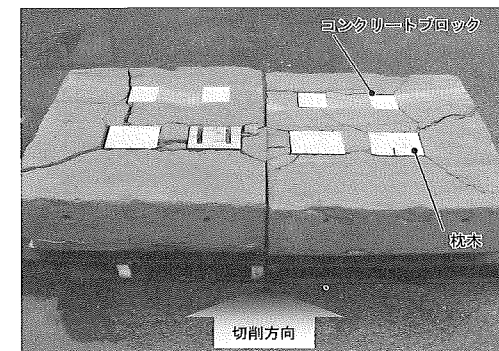


写真-2 切削面の状況

発生させてしまうことが懸念された。そこで、地盤切削に無水切削ワイヤ<sup>4)</sup>の採用を検討した。

ワイヤ性能を確認するため、支障物を含んだ模擬地盤を作成し、切削確認試験を実施した。模擬地盤は流動化処理土(一軸圧縮強度0.87N/mm<sup>2</sup>)中に、支障物を模したコンクリートブロック、マクラギあるいは玉石を配置した。試験概要を図-4に示す。試験は、ガイドパイプとなる塩ビ管(VP300)の切削状況も確認するため、模擬地盤の外側に塩ビ管を配置し、地盤と同時に切削した。

試験結果を表-1ならびに写真-2に示す。

切削時間は、切削前後の空運転、途中の停止時間を除いた時間である。試験結果は、切削対象により切削速度にばらつきはあるものの、切削能力は十分であり、切削中にワイヤの急激な温度上昇は見られなかった。また、ガイドパイプとなる塩ビ管の切削に関して、切削再開時などに局所的な衝撃が加わることによるワイヤ破断などが懸念されたが、スムーズに切削できた。

## 4 地表面などへの影響検討と対策

### 4-1 地盤沈下に対する検討

人力でエレメント掘進する場合、土かぶりが小さい箇所では、エレメント幅の拡幅に伴い、列車荷重などの変動荷重による刃口部での土砂崩壊、路盤陥没の発生が懸念される。

そこで、3次元の円筒すべり方法を用いて適切なエレメント幅の検討を行った。モデル化は、崩壊形状を横型円筒状と仮定し<sup>5)</sup>(図-5)、すべり土塊と抵抗力のモーメントのつり合いから安全率を算定する手法を採用した。この際、刃口ルーフを伸ばすことで、滑動に対する抵抗力向上を図ることとした。

検討地盤ケースを表-2に示す。なお必要安全率

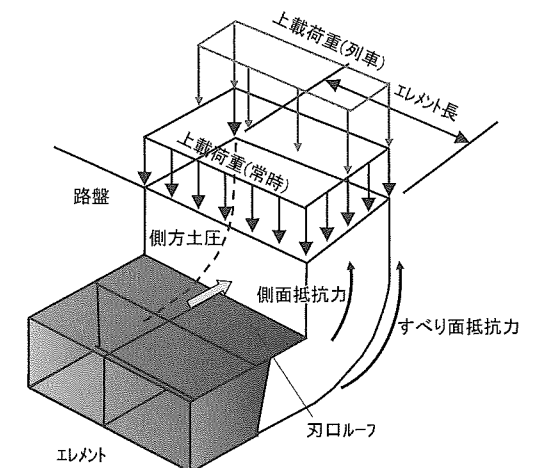


図-5 円弧すべり検討モデル

表-2 円弧すべり検討地盤ケース

土質区分	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (度)
土質①(粒度良好な砂, 砂礫など)	18	6	45
土質②(一般の砂, 砂礫)	17	6	40
土質③(粒度配合の悪い砂)	16	6	35
土質④(粘性土)	14	18	0

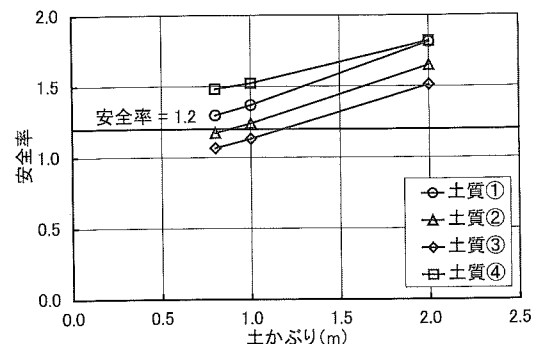


図-6 円弧すべり検討結果

は、既往の研究を参考に1.2とした<sup>9)</sup>。

地盤側面抵抗力 $M_{sr}$ ならびに安全率 $F_s$ の算定式を式(1a)ならびに式(1b)に示す。

$$M_{sr} = 2 \times \tau_c \times A_s \times L_c \quad (1a)$$

- $M_{sr}$ : 地盤側面抵抗モーメント (kN・m)
- $\tau_c$ : 側面抵抗領域のせん断抵抗 (kN/m<sup>2</sup>)
- $A_s$ : 側面抵抗領域 (m<sup>2</sup>)
- $L_c$ : すべり円弧中心点からの距離 (m)

$$F_s = \frac{R \sum (cL + W \cos \alpha \tan \phi) + M_{sr}}{R \sum (W \sin \alpha)} \quad (1b)$$

- $F_s$ : 安全率
- $R$ : すべり円弧の半径 (m)
- $c$ : 粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)
- $L$ : スライス底面の長さ (m)
- $W$ : スライスの全重量 (kN/m)
- $\alpha$ : スライス底面が水平面となす角度 (度)
- $\phi$ : 内部摩擦角 (度)

安全率の計算結果を図-6に示す。

エレメント幅を2,400mmとした場合、刃口上面が下面より前方に850mm(1.0h, h:エレメント高)突き出した形状とすることで、比較的良質な地盤において、土かぶり1.0m程度以上確保されていれば、おおむね必要安全率を満たすことが確認さ

れた。

#### 4-2 エレメント上載土塊移動抵抗検討と対策

エレメント幅の拡幅に伴い、エレメント上面と地盤との摩擦力が増加し、エレメント掘進時の上部土塊移動による地表面変状が懸念された。

そこで、エレメント上部土塊の水平抵抗力の検討を実施した。一様な路盤直下をエレメントが通過した際に、エレメント上載土が周囲から切り離され、エレメントとともに前方移動しようとした際に発生する水平力(滑動力)に対し、路盤のせん断力(内部摩擦角および粘着力から得られるせん断抵抗を用いた1面せん断抵抗)で抵抗するものとした。

検討モデルを図-7に示す。

エレメント幅は2,400mmとし、奥行き(エレメントけん引方向)1.0mあたりの滑動力と水平抵抗力を比較することとした。検討地盤ケースは表-2と同様とした。なお、路盤とエレメントとの周面摩擦抵抗値は、過去の実績をもとに $\mu \times P_m = 9.8 \text{ kN/m}^2$  ( $\mu$ :土とエレメントとの摩擦係数,  $P_m$ :周辺平均土圧)と一定とし<sup>9)</sup>、必要安全率を1.2とした。滑動力 $P_s$ と水平抵抗力 $P_R$ の算定式を式(2a)ならびに式(2b)に示す。

$$P_s = P \times L \times B \quad (2a)$$

$P_s$ : エレメント延長1mあたりの滑動力 (kN)

$$P = \mu \times P_m: \text{周面摩擦抵抗値}(=9.8 \text{ kN/m}^2)$$

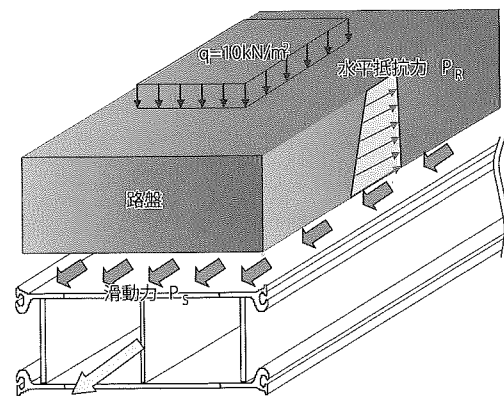


図-7 路盤滑動検討モデル

$L$ : エレメント延長(=1m)

$B$ : エレメント幅 (m)

$$P_R = 2 \times \sum (\tau \times L) \quad (2b)$$

$P_R$ : 路盤の水平抵抗力 (kN)

$\tau$ : せん断抵抗 (kN/m<sup>2</sup>)

$L$ : エレメント延長(=1m)

検討結果を図-8に示す。土質によっては、土かぶり1.0m前後で必要安全率を満たさないことから、必要によりエレメント上面に滑材塗布や摩擦低減(フリクションカット)シートを設置することで、摩擦力の低減を図ることとした。摩擦低減シートは、シート先端を発進立坑部に取り付け、エレメント掘進に伴い、刃口上面からロール式に巻き出す方法を採用した(図-9)。

シートとエレメントの摩擦力は、土とエレメントとの摩擦力より小さく、エレメント上部に発生する摩擦力を低減するとともに、シートにより、エレメント移動に伴う上部土塊の変位を抑えることが可能である。

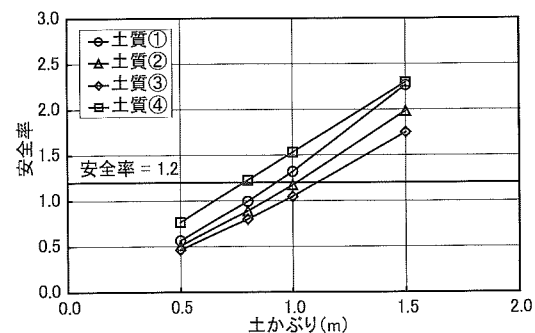


図-8 路盤滑動検討結果

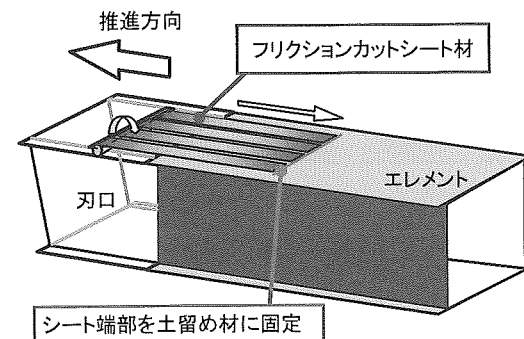


図-9 摩擦低減シートの例

#### 5 試験用刃口製作

本工法は、地盤切削機構の簡素化と装置自体の小型化を図るために、刃口頂面の一面切削とし、地盤切削ワイヤの駆動装置を刃口内に収納した(写真-3)。

刃口幅は従来のエレメント幅の2倍程度としている。

刃口全景を写真-4、地盤切削ワイヤを写真-5に示す。

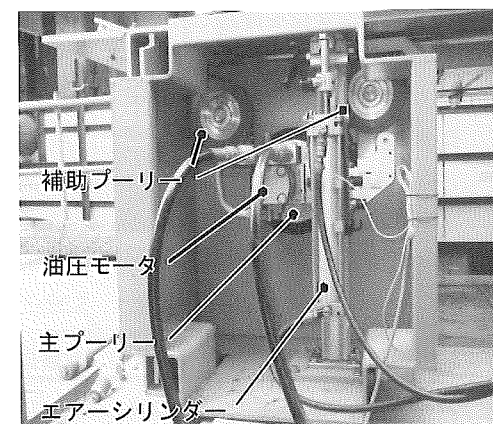


写真-3 ワイヤ駆動装置



写真-4 刃口全景

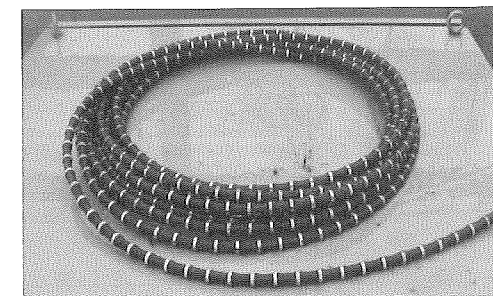


写真-5 地盤切削ワイヤ

## 6 実証試験

### 6-1 試験概要

図-10に試験概要図を示す。試作した実物大刃口に模擬エレメントを連結して模擬地盤における掘進実証試験を実施した。

試験は、基準エレメント(最初に施工するエレメント)対応(延長20m)と一般部エレメント対応(延長20m)の2回行った。掘削と土砂搬出用ベルコンへの積み込みは人力で行い、地盤切削性能・掘進性能・地表面変位を確認した。

掘進作業が完了した時点で、刃口およびエレメントを掘り出して敷設状況を確認した。

### 6-2 試験設備

#### 6-2-1 エレメント

本試験では、外形寸法幅2,400mm×高さ850mm×長さ4,000mm(1基分)の模擬エレメントを使用した。

写真-6に刃口と後方に接続する模擬エレメントの状況を示す。

#### 6-2-2 ガイドパイプ

地盤切削ワイヤ、プーリー、刃口けん引用ワイヤなどを通すためのガイドパイプはVP管(φ300)を使用した。実施工では立坑から水平ボーリング工を用いて設置する必要があるが、今回は模擬地盤を作成しながら事前に埋設することとした(図-10)。



写真-6 刃口・模擬エレメントの状況

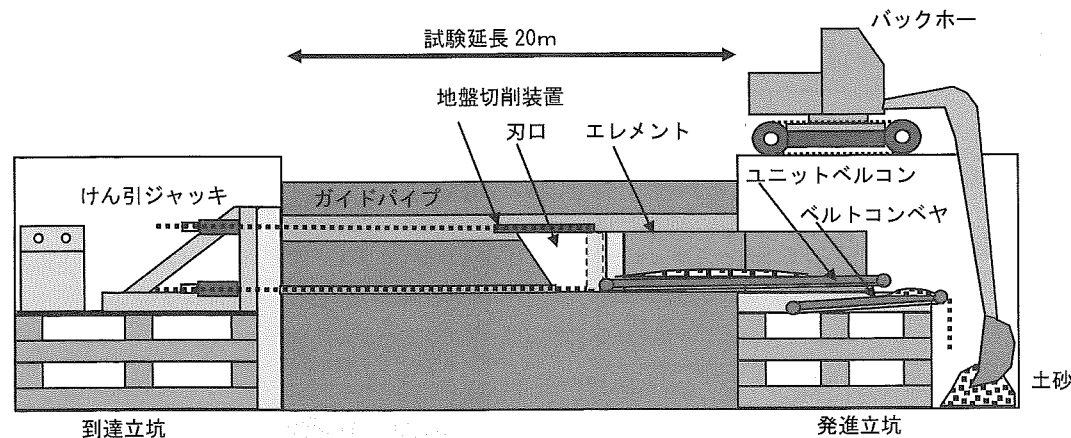


図-10 実証試験概要図

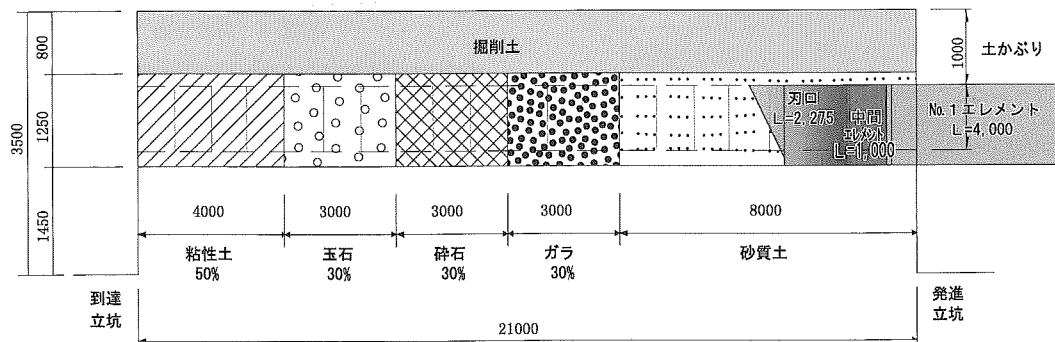


図-11 試験地盤条件

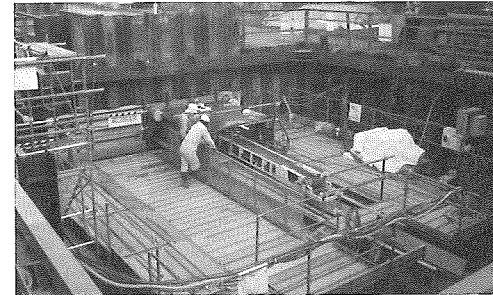


写真-7 実証試験状況(発進立坑)

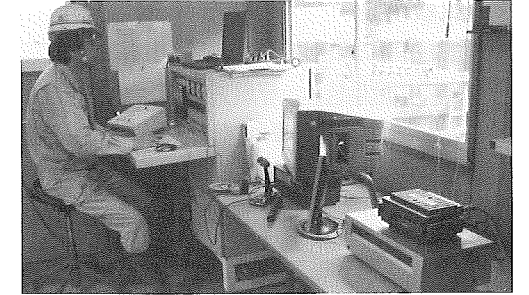


写真-8 実証試験状況(中央管理室)

#### 6-2-3 模擬地盤

本試験では、エレメント掘進状況、土質および混入物の相違による地盤切削への影響を確認する目的で、図-11に示すように発進～到達立坑間で、砂質土・粘性土のほか、ガラ・碎石・玉石の支障物が混入した模擬地盤を作成した。土かぶりは1.0mとした。

### 6-3 試験方法

発進側の鏡切りを行った後、図-10に示すように、地盤切削装置で前方の地盤とガイドパイプを切削しながら、けん引ジャッキで刃口およびエレメントを土中に貫入・掘進した。

刃口内部に取り込んだ土砂は、エレメント内に設置したベルコンに人力で積み込み、発進立坑まで搬出した。

エレメント1基分(4m)の掘進が完了した時点で、後続のエレメント接続、およびベルコン盛り替えを行った。

掘削方法は、基準エレメント掘進開始時点では、刃口ルー

フ先端の張り出し部(全長350mm)を地山に貫入しながらその下の土砂を掘削、掘進による地表面への影響を見ながら、地山貫入量を変えることとした。

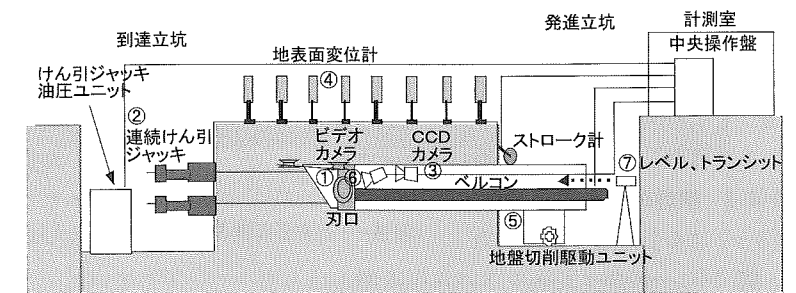


図-12 計測概要図

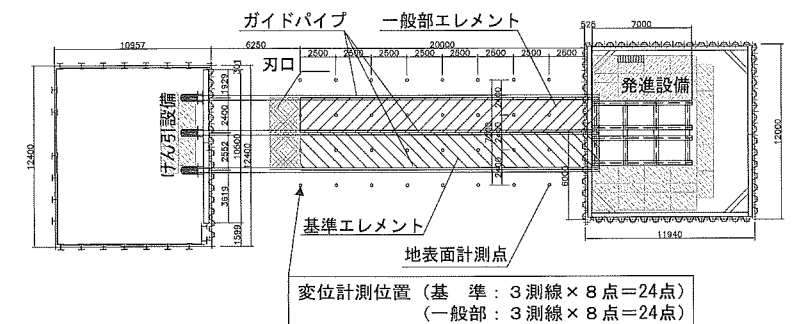


図-13 変位計測位置

表-3 計測項目

確認項目	計測項目	計測方法	時期
基本データ	①けん引力	中央操作盤	掘進中
	②移動距離・速度	ストローク計で計測	掘進中
	③作業状況	CCDカメラによる確認	常時
地表面変位	④地表面変位計測(3測線×8点=24点)	変位計による計測	随時
切削抵抗	⑤主プーリー油圧	圧力センサーで計測	機能・動作確認時
	⑥テンション機構の上下位置	ビデオカメラによる確認	掘進中
施工精度	⑦エレメント位置測量	レベル・トランシット測量	掘進中・後
作業環境	⑧騒音	騒音計	発進時、到達時

写真-7, 8に試験状況、図-12に計測概要図、図-13に変位計測位置、表-3に計測項目を示す。

## 6-4 試験結果

### 6-4-1 ワイヤの切削抵抗

ワイヤの切削抵抗は、駆動プーリー(主プーリー)の油圧から判断した。駆動プーリーの油圧の上限値(基準エレメント施工時で15.7MPa、一般部で11.8MPa)を設定し、上限値を超過する前に一旦けん引を停止し、油圧を下げるという調整を行いながらけん引掘進を行った。地盤・支障物の種別によって差は見られたが、切削に十分なトルクを有していることを確認した。

### 6-4-2 ワイヤ速度

ワイヤ速度は駆動プーリーの回転数を計測することで算出した。速度は、約15m/secであった。

### 6-4-3 掘進時の基本データ

#### (1) けん引距離とけん引力

図-14に一般部エレメントけん引距離とけん引力の関係を示す。けん引距離が延びるとけん引力は増大するが、けん引力のばらつきが小さく、ほぼ直線的に変化している。地盤条件の違いによるけん引力への目立った影響はなかった。けん引距離5.0m付近と9.0m付近で刃口上部を開削して、切削装置、プーリーなどの点検・交換を行ったた



図-14 けん引距離とけん引力(一般部)

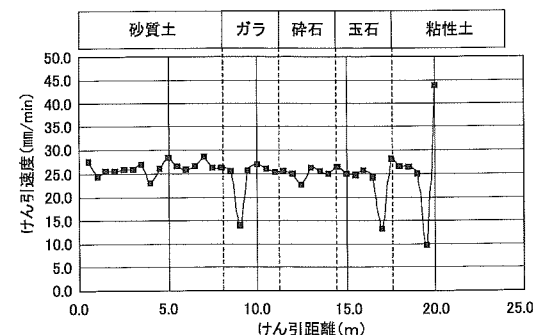


図-15 けん引距離とけん引速度(一般部)

め、その付近でけん引力が低下している。

実けん引力から算定した近似直線は、想定けん引力<sup>9)</sup>の約45%であった。これは、刃口・エレメント上部に設置したポリエチレンシートによる周面摩擦抵抗力の低減効果によるものと推定される(写真-9)。

#### (2) けん引距離とけん引速度

図-15に一般部エレメントのけん引距離とけん引速度の関係を示す。ここでいう「けん引速度」とは、掘削のみの時間や段取り替えなどの刃口停止時間を含まない「純けん引速度」を表している。

けん引距離が長大化してもけん引速度に変化はなかった。地盤条件の違いによるけん引速度への影響については、ガラおよび玉石区間において支障物の切断・撤去のために時間を要し、速度が低下していた。

### 6-4-4 切削状況・地表面変位

本試験における玉石などの切断状況を写真-10に示す。

図-16に一般部エレメントけん引掘進時の地表

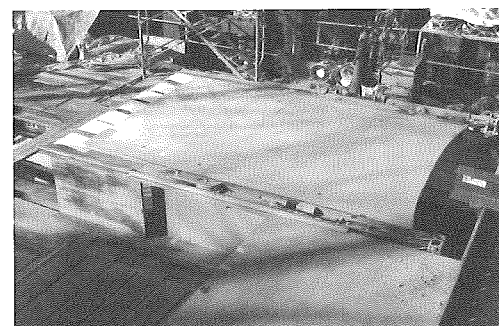


写真-9 摩擦低減対策(刃口後ろからのシート)

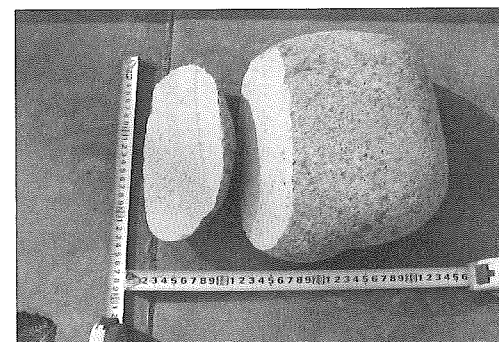


写真-10 切削物の状況

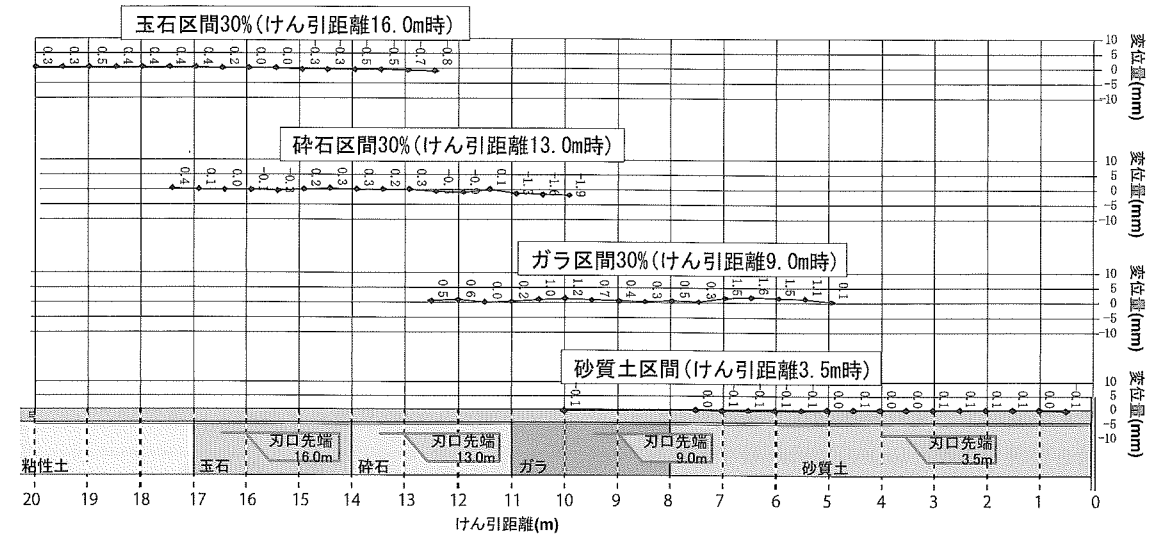


図-16 けん引掘進時の地表面変位(一般部)

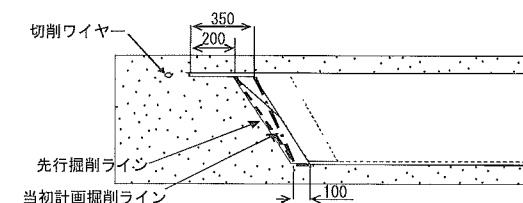


図-17 刃口前方掘削範囲(一般部)

面変位計測結果を示す。

基準エレメント掘進直後、地表面の先行隆起傾向が現れたため、刃口先端までを掘削する方法で掘進したところ、刃口通過後の後方沈下の傾向が見られた。よって、一般部では掘削ラインを図-17に示す位置(刃口先端から200mmを貫入)に変更した。

一般部けん引掘進時は、刃口先端部付近で最大2.1mmの隆起、玉石区間においても、刃口が通過した後方で最大-2.7mm程度の沈下、という結果であった。これより、地盤を切削しながらエレメントを挿入、かつポリエチレンシートの摩擦低減効果により、地表面変位を抑制できることを確認できた。

## 7 実証試験結果による結論

本試験により、以下のことが確認できた。

### 7-1 ワイヤの切削抵抗

・刃口内部に設置した駆動プーリーを含むワイ

ヤ駆動装置により、地盤・支障物切削に十分なトルクを確保できる。

・本切削機構により、支障物の混在する地盤およびガイドパイプ(硬質塩ビ管)を無水で切削可能である。

### 7-2 ワイヤソーの基本データ

・地盤条件、切削対象により切削抵抗は変化するが、切削抵抗の指標である駆動プーリー油圧を確認しながら、けん引速度を調整することにより、ワイヤの回転速度を一定に保持し、模擬地盤において平均掘進速度(けん引時の移動速度)約25mm/minでけん引した。

### 7-3 地表面変位

・先行掘削ラインを定め、刃口先端から200mmまで地山に貫入掘削させる方法により、地表面変位を抑えることができた。

### 7-4 けん引力

・刃口およびエレメント上部に摩擦低減用ポリエチレンシートを設置して付着力を減少させた結果、沈下を抑制でき、想定けん引力の約45%でけん引掘進できた。

## 8 おわりに

アンダーパス工事では、線路など既設構造物の安全性を保ちつつ、今後も更なる工期ならびに工

事費縮減が求められる。

今回報告した開発工法に関する設計上の検討、材料確認試験ならびに実証試験により、無水切削ワイヤソーの技術を地盤切削に応用することで、地盤(軌道)変状を抑制してエレメント掘進作業を行う基本的な仕組みを構築することができたと考える。

検討結果を踏まえ、本工法は、土かぶりと比較的小さいものの地盤条件が比較的良好な条件下で適用可能であることを確認できた。

実用化へ向けて、より効率的な工法とするための課題を整理すると、以下の項目が挙げられる。

#### 8-1 切削機構における課題

切削ワイヤが破断した場合、より短時間で復旧できるようプーリーの配置、ワイヤガイドなどを検討し、メンテナンス性を向上させる必要がある。

#### 8-2 ガイドパイプ敷設誤差の吸収

本工法は、ガイドパイプの敷設誤差をガイドパイプ内先端プーリー部の装置が吸収できない場合、エレメント敷設精度が悪くなり、またプーリーやワイヤの破損の原因となる。よって、従来のガイドパイプの敷設精度を考慮して、その敷設誤差を十分に許容できる先端プーリー部の構造を検討する必要がある。

#### 8-3 工法適用条件(土質別、施工延長別)の整理

刃口ローフのどの位置を掘削ラインとするかにより、地表面変位への影響が変わってくるため、

想定されるさまざまな土質条件における最適な掘削ラインを検討・整理する。

#### 8-4 掘削方法における課題

人力掘削作業の効率化・高速化を図るために、ワイヤ駆動装置や摩擦低減シートの配置を見直し、十分な作業空間を確保できるように検討する。また今後、機械掘削の適用性を検討する。

以上のような課題を解決し、線路の安全を確保しながら列車運行時間帯での施工が可能となることで、工期・コスト縮減を可能とする本工法の確立に向けての取り組みを進めていきたい。

#### 参 考 文 献

- 1) 千々岩三夫・斎藤雅春：地下空間での交通機関の新しい立体交差工法，地下空間シンポジウム論文報告集，Vol.8，pp.273-279，2003。
- 2) 小泉秀之・森山智明・有光武・長尾達児・中井寛：地表面変位を抑えたエレメント掘進工法の開発，トンネル工学報告集，第19巻，pp.279-283，2009。
- 3) 有光武・桑原清・小泉秀之・千々岩三夫・山村康夫：地表面変位を抑えたエレメント掘進工法の実証試験，トンネル工学報告集，第19巻，pp.285-290，2009。
- 4) (財)原子力発電技術機構廃止措置技術総合調査委員会：廃止措置技術ハンドブック除染・解体・再利用編，p.3-2，2007。
- 5) 片桐雅明・石井武司・斎藤邦夫・増田達・相沢文也・鶴飼恵三：砂地盤中の泥水掘削溝壁の破壊メカニズムとその解釈，土木学会論文集，No.666，Ⅲ-53，pp.127-143，2000。
- 6) JR東日本：非開削工法設計施工マニュアル，pp.8-29，2009。

### 研究論文募集のお知らせ

弊誌「トンネルと地下」では、研究論文(実験、技術開発など)を募集いたします。大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい。とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので、平易・簡潔にまとめていただくようご配慮のほどお願い致します。なお、応募方法の詳細につきましては22頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ、ご応募下さい。

問い合わせ先 株式会社 土木工学社 編集部

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

### 連載講座

## ずり処理入門(8)

### —坑外仮置き場—

「ずり処理入門」連載講座小委員会

#### ① はじめに

本連載の第3～7回では、発生土の運搬方式について説明してきたが、本稿では切羽で発生したずりの最初の運搬先となる坑外仮置き場について説明する。

トンネル掘削作業では、切羽で発生したずりを、最終的な搬出先となる盛土場へ直接運搬する場合も見受けられるが、多くの場合、いったん坑口付近の仮置き場に仮置きし、別途、盛土場へ二次運搬する方法がとられている。

また、通常、トンネル掘削作業は昼夜で行われ、盛土場への二次運搬作業は、昼間のみの作業となる。このため、坑外仮置き場では、昼間は「切羽からのずりの受け入れ」と「盛土場へずりを搬出する際のずりの積み込み作業」が併行して行われ、夜間は「切羽からのずりの受け入れ」のみが行われる。

トンネル工事では、坑外仮置き場が何らかの要因により切羽からのずりを受け入れられない状況となった場合、ずり処理作業はもちろん、掘削作業そのものが停止することになる。このため、想定される発生土量を予測し、発生土量に対してある程度の余裕を見込んだ仮置き場を計画するとともに、上述した仮置き場の作業状況を踏まえ、周辺環境へ配慮した施工を行うことで、ずり処理作業が停止することがないように努めなければならない。

#### ② 発生土量の予測と仮置き場計画

##### 2-1 発生土量の予測

ずり仮置き場の計画では、掘削サイクルと「掘削サイクルごとの発生土量」を予測したうえで、発生土の仮置き量を設定しなければならないことを、本連載の第2回で述べたが、とくに、トンネル全掘削期間における1日あたり発生土量の最大値を予測し、これをずり仮置き場の計画に反映させることが重要となる。

以下に、1日あたり最大発生土量 $Q_{max}$ の算出手順を示す。

- ① 支保パターンごとに1日あたりのサイクル数 $N$ (回/日)を算出する。
- ② 支保パターンごとに余堀りや土量変化率を考慮した1サイクルあたりの発生土量 $Q_1$ ( $m^3$ )を求める。
- ③ 支保パターンごとに1日あたりの発生土量 $Q_2=N \times Q_1$ ( $m^3$ /日)を予測する。
- ④  $Q_2$ ( $m^3$ /日)が最大となる支保パターンの発生土量を1日あたり最大発生土量 $Q_{max}$ ( $m^3$ /日)とする。

なお、一般には地山性状のもっとも良好な支保パターンの1日あたり発生土量が最大発生土量となるため、当該パターンの発生土量を算出することで仮置き場の計画は可能となるが、支保パターンごとに最大発生土量を算出しておくことで、設定した仮置き量に対する各支保パターンの余裕度

を把握し、日々の施工管理に役立たせることができる。

2-2 仮置き場計画

2-2-1 仮置き場の容量

ずり仮置き場では、昼間は、「切羽からのずりの受け入れ」と「盛土場へずりを搬出する際のずりの積み込み作業」が併行して行われるため、双方の作業が支障なく行えるスペースが必要となる。また、二次運搬先の盛土場における残土処理は、その進捗や作業実施の有無が天候に左右されるため、状況によっては盛土場への二次運搬ができない場合がある。このため、ずり仮置き場は、トンネル掘削に影響を及ぼさないよう、2〜3日分程度のずりが仮置き可能な大きさに計画することが望ましい。

2-2-2 狭隘な坑口部での計画

実際のトンネル工事では、仮置き場の設置候補となる坑口周辺などにおいて、その条件に見合う用地が確保できない場合、限られたヤードで必要容積を確保するために、仮置き場周囲に土留め工を施すなど、ずりを高盛土するための工夫が必要となる。この場合、土留め工は、降雨時の土砂流出防止の役目も担うことになる。

2-2-3 ずり排出箇所の計画

主にレール方式では、仮橋や土留め工などを設置することにより、運搬車両からのずり排出作業を仮置き場に対して数m〜数十m高い位置で行い、仮置き場にずりを落下・集積する方法を取り入れる場合が多い(事例は第3回を参照)。この場合、夜間におけるずりのかき揚げ作業が省略できる。

2-2-4 留意事項

ずり仮置き場では、

- ・主に中硬岩地山のトンネルでは、ずりを再利用するために小割りが必要となるケースがあり、その場合、専用のブレーカや自走式破碎機(図-1)などを使用する
- ・ずり運搬時の過積載防止対策としてトラックスケールを設置する

など、付帯作業や付帯設備にも配慮した仮置き場

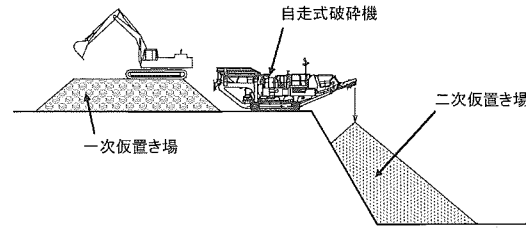


図-1 自走式破碎機によるずりの小割り

計画が必要になる場合もある。

このほか、周辺環境への影響に配慮し、仮置き場への特別な設備の設置や、ずりの坑内仮置きなどを検討しなければならないケースもあるが、それについては3章で述べる。

2-2-5 仮置き場の計画事例

仮置き場の計画事例として「狭隘な坑口部における施工事例」と「作業性を考慮した坑内仮置き事例」の2例を紹介する。とくに、前者は、仮置き場の工夫のみでは問題解決が難しく、ずり出し方式や仮設備配置計画全体の見直しを図った事例である。

(1) 狭隘な坑口部における施工事例

狭隘な坑口部において、ずり仮置き場に関する各種問題点を解決した事例として、石樽峠道路石樽トンネル工事の施工事例を紹介する。

1) 工事概要

工事概要を表-1に示す。

本トンネルの三重県側坑口箇所は、鈴鹿国定公園の保安林内にあり、非常に狭隘な箇所に仮設備を配置し、トンネル掘削を行う必要があった。ずり出し方式はタイヤ方式が標準とされ、三重県側の当初の仮設備配置計画では、ずり処理作業(仮置き場におけるずりの搬入出作業)と資機材搬入出作業が輻輳し、「掘削サイクルの維持」と「スムーズなトンネル資機材の搬入と残土搬出」が困難な状況にあった。そこで、当工事では、ずり出し方式に連続ベルトコンベヤ方式を採用し、さらにずり仮置き場の配置に工夫を施すことで、上記問題を解決した。

2) 当初計画の問題点

設計仮設計画では、図-2に示すように仮設橋を設置して国道421号を切り回し、ずり仮置き場を

表-1 工事概要

工 事 名	石樽峠道路石樽トンネル工事
工 事 場 所	三重県いなべ市大安町石樽南地先〜滋賀県東近江市黄和田町地先
工 期	平成18年1月24日〜平成21年8月29日
掘 削 工 法	全断面、上半先進ベンチカットNATM
掘 削 方 式	発破工法
ずり出し方式	連続ベルトコンベヤ(三重側)
主要工事数量	トンネル延長 4,157m 内空仕上り断面積 58.2m <sup>2</sup>

国道とトンネル進入路の間に設置する計画であった。その場合、切羽からずりを搬出するダンプトラックは、国道421号(仮設橋)の下方を通過し、仮設ヤードへの進入路を兼ねる栈橋上を通る計画となり、

- ・ずり仮置き場付近での作業輻輳による通行車両の阻害、およびそれに伴う作業継続の困難化と安全性の低下
- ・ずり仮置き容量の不足(仮置き場が傾斜地と

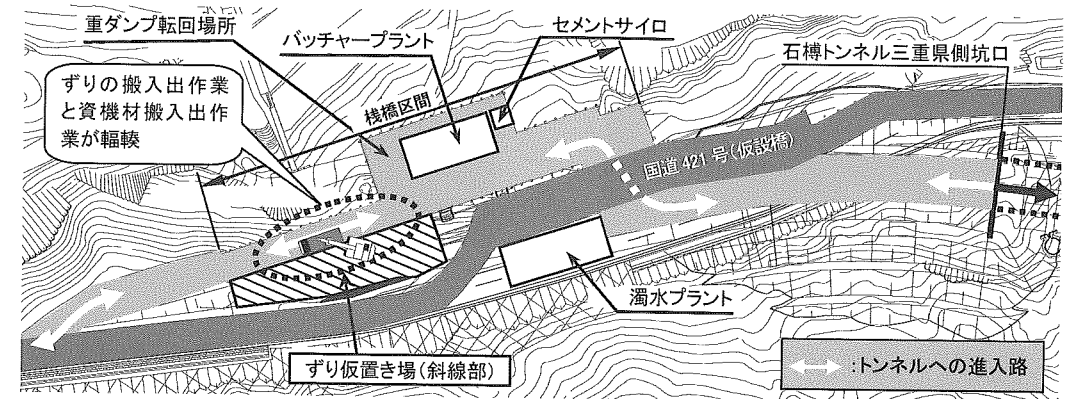
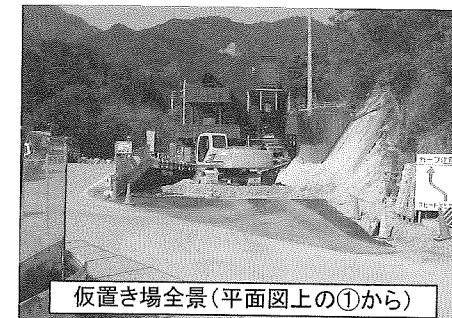
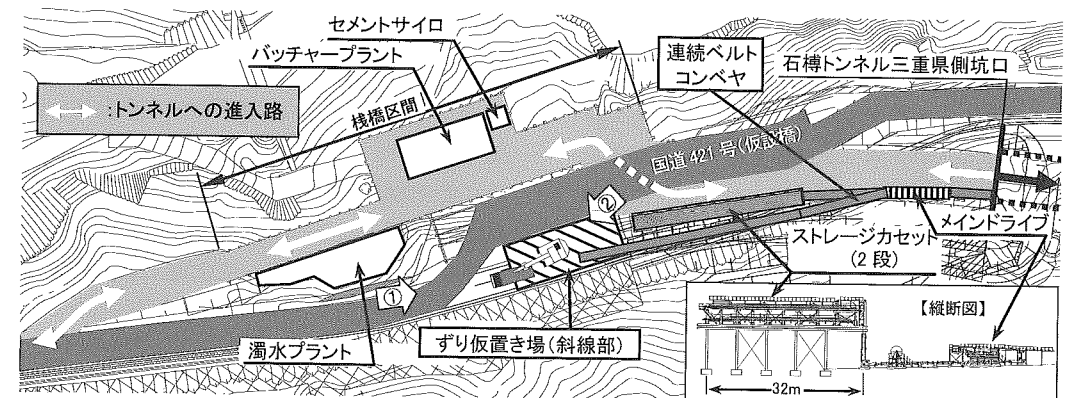


図-2 仮設計画平面図(設計)



仮置き場全景(平面図上の①から)



仮置き場全景(平面図上の②から)

図-3 仮設計画平面図(変更)

なり、土留めを行っても必要容量の約80%の容量しか確保できない)

- ・ダンプトラックの転回場所の確保が困難

などの問題があった。

### 3) 対処方法

上述の問題点を解決するために、当工事では、ずり出し方式に連続ベルトコンベヤ方式を採用し、ずりの小割り作業と切羽からずり仮置き場までのダンプトラックによるずり運搬作業を不要にした。また図-3に示すように、ずり仮置き場を当初濁水処理設備の配置が計画されていた位置に変更するとともに、残土搬出時のずりの積み込み箇所を国道の付け替え道路側で行うことで、トンネル進入路上での輻輳作業を回避した。

#### (2) 作業性を考慮した坑内仮置き事例

立坑から掘削ずりを坑外に搬出する際、本坑内にずりを仮置きすることで効率よくずりを搬出した事例として、台湾新幹線C210工区林口トンネル建設工事の施工事例を紹介する。

##### 1) 工事概要

台湾新幹線建設工事は台北～高雄間(全長343.1km)で施工された。C210工区の林口トンネル(6.5km)は延長が長いため、中間立坑を2か所に設置し、立坑からトンネル掘削を行った。本トンネルでは、既に前回で述べているように、立坑からのずり出しにはスキップが使用されたが、このスキップへのずり積み込みは、直接ダンプアップする方法で行われた。

##### 2) 坑内仮置きによる施工性の向上

当工事では、二つの切羽から発生するずりを、作業坑(横坑)を利用して一つの立坑から搬出する計画であった。切羽から重ダンプで運搬してきたずりを、立坑底部のスキップに直接ダンプアップする方法を採用したため、二つの切羽で同時にずり出し作業が行われた場合、スキップへのずり積み替え作業においてダンプの待ち時間が発生し、掘削サイクルにロスが生じることが予想された。そこで、移動式の坑内ずり仮置き設備(写真-1)を使用し、ずり出し作業が重なる場合にのみ、片側の切羽で発生したずりを坑内に仮置きした。さら

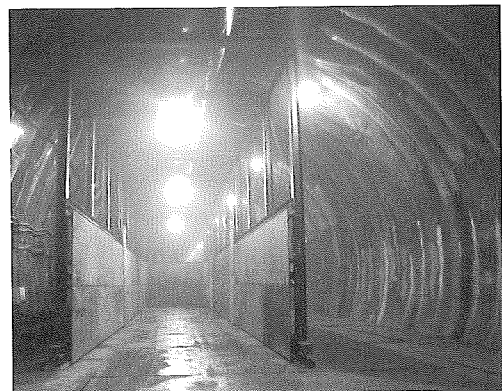


写真-1 坑内ずり仮置き設備(移動式)

に、坑内仮置き箇所をできるだけ切羽から近い位置に設置することで、掘削ずり出し作業を効率的に実施した。

### ③ 周辺環境への配慮

一般に、ずり仮置き場は坑口部周辺の坑外に設置されるが、仮置き場周辺には民家や農地などが存在する 경우가多々あり、その場合、

- ① 発生騒音への配慮
- ② 発生粉じんへの配慮

が必要となる。また事前調査などから、掘削ずりに自然由来の重金属が含まれることが予想される場合には、掘削ずりの取り扱いに注意しなければならない。

ここでは、ずり仮置き場における上記①、②に関する対処方法と、掘削ずりに重金属などを含む場合の取り扱い方法を、主に施工事例を通して紹介する。

#### 3-1 発生騒音対策

##### 3-1-1 防音ハウスの設置

発生騒音対策として、防音ハウスを設置した事例を写真-2、3に示す。トンネル坑口部が、一般民家が密集する市街地に位置し、工事に伴い発生する騒音、振動の影響が懸念される環境下にあったことから、ずり仮置き場を防音ハウス内に設置した事例である。

防音ハウスの設置は、効果および確実性が高い騒音対策といえるが、建屋の構造が大規模になるため、費用の掛かる方法でもある。このため、市



写真-2 ずり仮置き場(防音ハウス内)全景

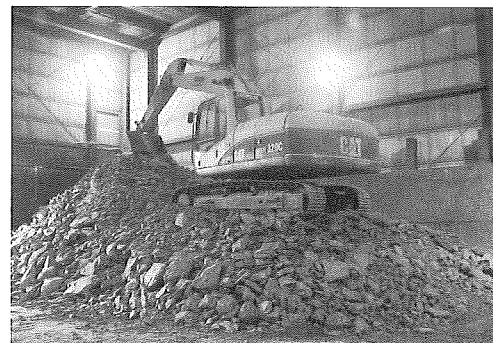


写真-3 防音ハウス内ずり仮置き状況

街地での工事や民家が近接するケースなど、工事に対する厳しい騒音規制が課せられる場合に採用される。

##### 3-1-2 ずりの坑内仮置き

ずりの坑内仮置きは、防音ハウスと同様に、坑口部周辺に民家などが存在し、騒音対策を施さなければならない場合の対処方法の一つであるが、主に、仮置き場で発生するずり捨て音やずり積み込み音が環境基本法や騒音規制法などをもとに設定した「騒音管理値」を超えることが予想される場合に採用される。採用ケースとしては、「夜間のみ坑内仮置き」と「昼夜を通して坑内仮置き」の二つのケースが考えられる。

また、トンネル内の車両走路の片側に仮置き場を設置することになるため、掘削断面積などに応じて、仮置き方法に工夫が必要となる。坑内にずりを仮置きした事例を写真-4、5および図-4に示す。

##### 3-1-3 その他の騒音対策

ずり仮置き場では、ダンプトラックからのずり捨て音やダンプトラックへのずり積み込み音に加

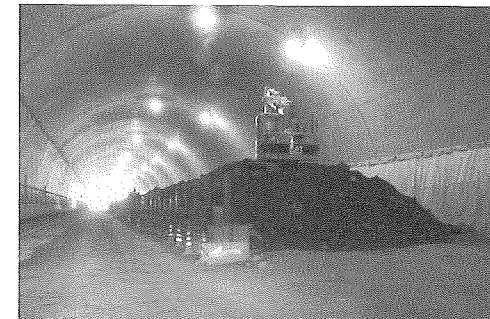


写真-4 坑内仮置き状況(三車線断面)

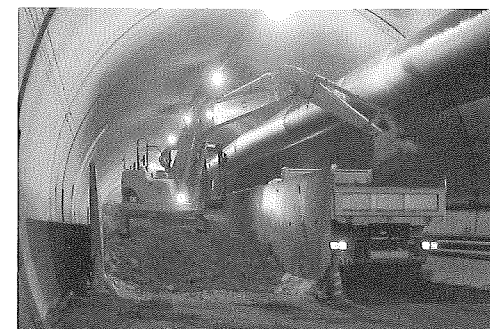


写真-5 坑内仮置き状況(二車線断面)

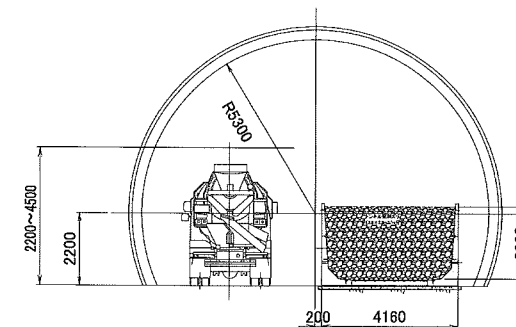


図-4 坑内仮置き計画図(二車線断面)

え、ダンプトラックの走行音にも配慮する必要があることから、

- ・仮置き場付近への防音壁の設置
- ・仮置き場付近のダンプトラック走路の仮舗装
- ・仮置き場付近におけるダンプトラック走行速度の抑制
- ・ずり積み込み用のバックホウのアイドリングストップ
- ・ずり出しへの連続ベルトコンベヤ方式の適用(写真-6)

などの騒音対策も効果的である。このため、周辺環境条件や費用対効果を考慮したうえで、上記対



写真-6 仮置き場全景(連続ベルトコンベヤ方式)

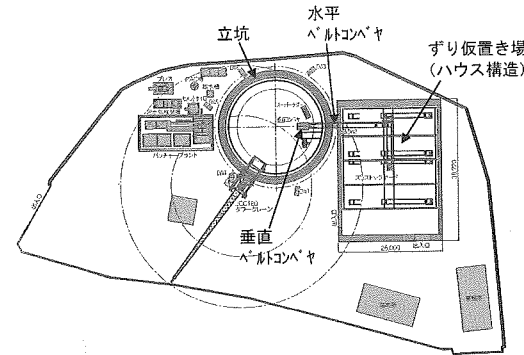


図-5 ずり仮置き場配置図

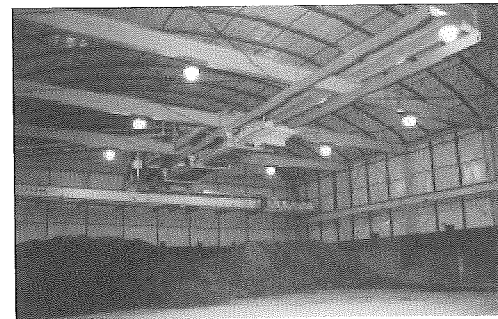


写真-7 ハウス内ずり仮置きき状況

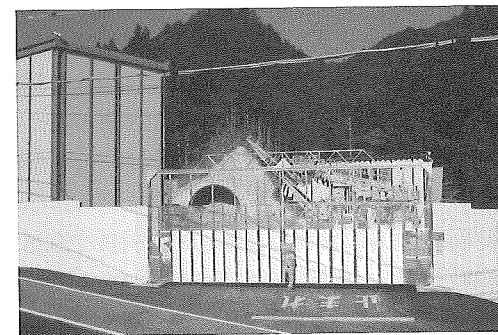


写真-8 万能鋼板設置状況(出入口ゲートの両サイド)



写真-9 防じんネット設置状況

策のいくつかを組み合わせて実施するが多い。

### 3-2 発生粉じん対策

#### 3-2-1 専用ハウスの設置

前回に垂直ベルトコンベヤの採用事例として紹介した恩廻公園調整池(本坑)工事では、全自動制御システムによるずり搬出設備を使用し、立坑底部から地上のずり仮置き場まで自動でずりを搬出した。本工事では、発生粉じん対策として、立坑底部から仮置き場までの区間(垂直および水平ベルトコンベヤ区間)を防じんカバーで覆うとともに、騒音防止も兼ねてずり仮置き場をハウス構造とした(図-5、写真-7)。

#### 3-2-2 粉じん飛散防止壁の設置

坑口部周辺に民家や農地が存在する場合、工事ヤード内で発生する土埃が住民の生活や農作物に悪影響を与える場合がある。そのような場合には、ずり仮置き場や仮設ヤードの周囲に万能鋼板や防じんネットなどの粉じん飛散防止壁が必要となる(写真-8, 9)。

万能鋼板や防じんネットの設置は、ハウスの設置と比較すると、コストの面でかなり優位となるが、強風が吹く場合には効果が十分に発揮されないため、通常は、次項に述べる対策と併用するが多い。

#### 3-2-3 その他の粉じん対策

ずり仮置き場には、切羽からずりを搬入するダンプトラックと盛土場へずりを搬出するダンプトラックの双方が出入りするため、多量のダンプトラックが出入りする。このような場合の粉じん対策として、

- ・仮置き場付近のダンプトラック走路の仮舗装
- ・ずり仮置き箇所やダンプトラック走路への散水
- ・盛土場搬出用ダンプトラック積載ずりのシート養生
- ・ずり仮置き場付近や仮設ヤードの出入口付近へのタイヤ洗浄装置の設置

などがあり、周辺環境条件や費用対効果を考慮したうえで、上記対策のいくつかを組み合わせて実施するが多い。

### 3-3 重金属などを含む場合の取り扱い方法

以下に、掘削ずりに重金属などを含む場合の取り扱い方法の事例を紹介するが、全般的な内容については、今後連載予定の第10, 11回で取り上げるため、ここでは、ずり仮置き場に限定した取り扱い方法を紹介する。

#### 3-3-1 シート養生

前回紹介した、現在施工中の瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事における、掘削ずりの取り扱い方法を以下に示す。

当工事では、掘削ずりに、自然由来によるホウ素、フッ素および砒素などの重金属を含有している可能性があったことから、立坑櫓(写真-10)内のピット(写真-11)において、100m<sup>3</sup>程度(立坑掘削の1サイクル2.6m分に相当)に1回の頻度で掘

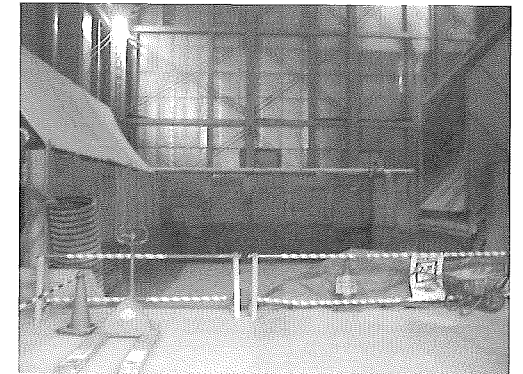


写真-11 立坑櫓内のピット



写真-12 研究所用地内堆積場(シート養生)

削ずりをサンプリングし、溶出試験を行っている。試験結果が判明するまで数日程度を要するため、ずりをピットから研究所用地内の堆積場に仮置きし、シート養生を行う方法を採用した(写真-12)。試験結果が「土壌の汚染に係る環境基準に基づく参考値」を超過した場合には、専門の処理施設へ搬出している。専門の処理施設では、土壌汚染対策法の「搬出する土壌の処分方法」の一つである「セメント工場におけるセメント原料への利用」にもとづき処分している。

#### 3-3-2 遮水舗装とシート養生

以下に、旭川紋別自動車道中越トンネル工事における掘削ずりの取り扱い方法を紹介する。

本トンネルは、北海道のオホーツク圏と道央・道北圏を結ぶ高規格道路旭川紋別自動車道のうち、上川層雲峡ICから浮島ICの区間に位置する延長3,296.5mの山岳トンネルである。

工事概要を表-2に示す。

本工事では、トンネル設計段階に実施したコア

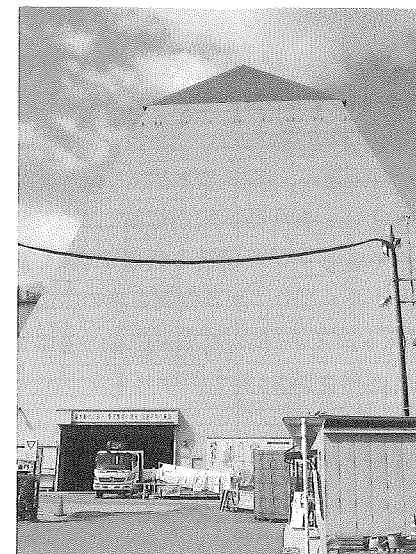


写真-10 立坑櫓全景

表-2 工事概要

工事件名	旭川紋別自動車道 上川町 中越トンネル工事		
工事場所	北海道の上川郡上川町字中越		
工期	平成15年11月18日～平成19年3月8日		
掘削工法	上半先進ベンチカットNATM		
掘削方式	発破工法		
主要工事数	トンネル延長	3,296.5m	
数量	有害物質含有土壌遮水工封込め工	23,600m <sup>2</sup>	
	有害物質含有土壌仮置きヤード設置工	4,500m <sup>2</sup>	
	原位置不溶化処理工	875m <sup>3</sup>	

ボーリング調査で、対象地山に自然由来の砒素を含み、局所的にその溶出量が基準値を超過することが確認されたため、トンネル施工時には、掘削に先立ち100～150mの先進ボーリング調査(コアボーリング)を行い、砒素が含まれる地層を特定するとともにその分布状況を把握した。

トンネルのある特定区間で砒素の溶出量が基準値を超過することが判明したことから、この区間のずりに対して道路盛土中への「遮水工封じ込め」を行うことにしたが、対象区間のトンネル掘削開始時期が積雪の多い冬期となったことから、この区間のずりは、道路土工に着手する春季以降まで仮置きすることになった。

以下に、ずり仮置き場で実施した拡散防止対策について紹介する。

仮置き場では、降雨による有害物質の浸透防止対策と、風による汚染土壌の飛散防止対策を実施した。具体的には、仮置き場を遮水構造(図-6)にするとともに、舗装表面に排水勾配を設けて、降雨などで汚染土壌と接触した水を集水し、沈砂貯留池を経由して専用の水処理設備に送水し、処理した。水処理設備では、砒素濃度が排水基準値以下まで低減したことを確認したうえで、河川に放流した。さらに、風による飛散防止対策として、シートと押さえ土のうを用いた被覆養生を実施した(写真-13)。

### 3-3-3 専用テントの設置

近年、環境に配慮した取り組みとして、土中に自然に含まれている重金属などの確認試験を行う間の保管施設として、テント構造(上屋構造)のずり仮置き場を設置するケースが見受けられるが、

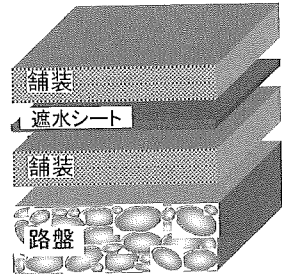


図-6 遮水構造(仮置き場の地盤構造)

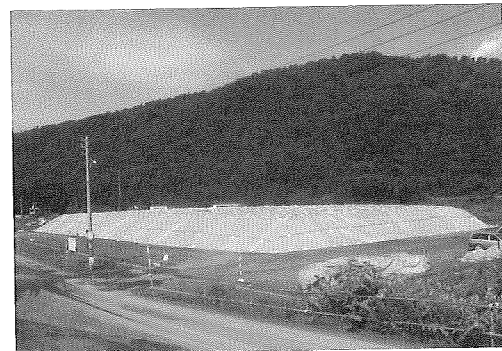


写真-13 汚染土壌養生状況



写真-14 ずり仮置き場全景(専用テント)

その事例を以下に示す。

掘削ずりの搬入・搬出方法としては、まず、切羽から搬出した掘削ずりを、風雨などの外的環境から遮断できるテント構造の仮置き場(写真-14)に仮置きする。なお、ずり仮置き場の内部は鋼矢板壁(シートパイル)により三つのヤードに仕切られており、厚さ25cmの土間コンクリートを打設している。

仕切られた各ヤードにおいては、下記に示す作業が順にくり返されている。

- 1日目：掘削ずりの受入れ
- 2日目：確認試験(分析試験)

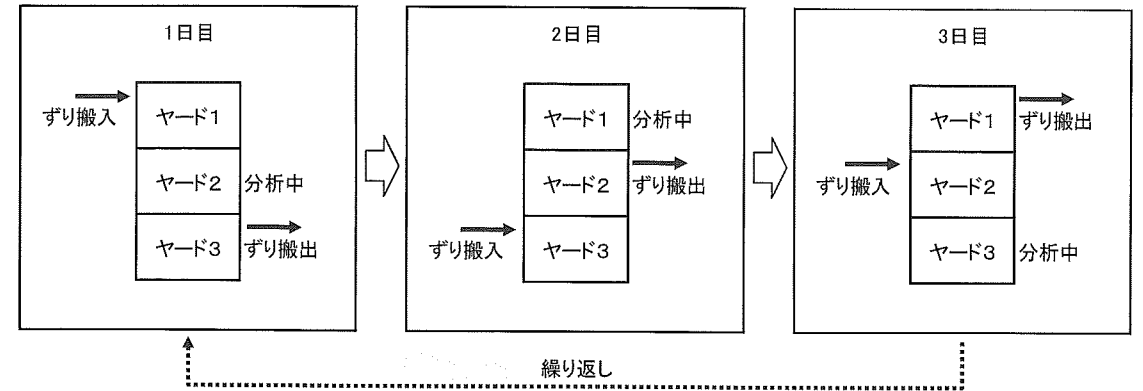
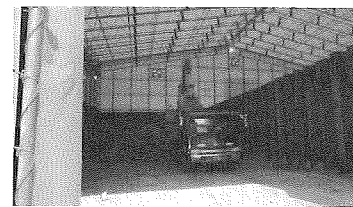
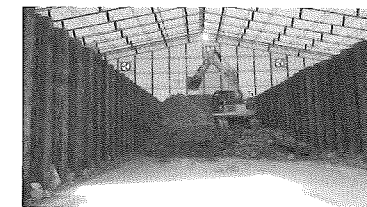


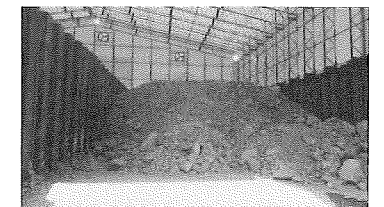
図-7 ずり搬入・搬出の流れ



【ヤード1：ずり搬出】



【ヤード2：ずり搬入】



【ヤード3：分析中】

写真-15 仮置き場内部(図-7の3日目の状態)

3日目：確認試験により判定を受けたずりの搬出

ここで、確認試験の判定には1日程度を要すことから、各ヤードで作業内容が重ならないように、ヤードを三つに分けて管理を行い、判定結果に応じて掘削ずりの運搬箇所を決定している(図-7、写真-15)。

## ④ おわりに

ずり仮置き場は、一時的に掘削ずりをストックする仮設ヤードにすぎないが、この仮置き場の計画を誤ると、掘削作業、ひいてはトンネル進行に

大きな影響を及ぼすことになる。このため、トンネル工事では、発生土量を正確に予測し、ずり出し方法や現地条件に見合った仮置き場を計画し、周辺環境条件や施工性に配慮した対策を施すなど、仮置き場に関する十分な検討が必要となる。

(文責：山道哲二・永久和正/(株)大林組)

## 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：狭隘な仮設ヤードでのトンネル掘削について、第28回日本道路会議一般論文、2009.10.
- 2) (社)土木学会：山岳トンネル施工時における環境対策、第64回年次講演論文、2009.9.

(土木工学社図書案内)

## 岩盤の計測と解析

工博 鈴木 光著

A5判 箱入 244ページ 本体価格4,200円 (〒380円)

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

このような理由から、建設工事では、従来にも増して計測や解析が重要となりつつある。本書は、応用範囲も広く重要と思われる岩盤の計測と解析法の紹介と解説を試みた実務書である。

## トンネル工事を見守る山の神(2)

## 山の神と化粧木(その1)

東日本高速道路(株)技術部次長 阿部公一

## 山の神に祈る坑口付け

ビルなどの建築物の工事開始にあたっては、一般に、その土地にいると思われる土地の神を祀り鎮める神事・地鎮祭を執り行う。土地の神は荒ぶる荒神であると考えられていて、これを鎮めるには供物を供えてその御心を安らかにするのがよいとされる。

トンネル掘削の開始にあたっては、山の神に工事の安全を祈る神事を行う。この神事は、一般に「坑口付け」と呼ばれ、かつては、トンネル掘削をする作業員を取りまとめる棟梁が神事を執り行い、これから掘削しようとする山に鎮留する山の神に、これからトンネルを穿つことを申し述べ、その間の工事安全を静かに祈った。工事に直接携わる人々のいわゆる身内の式であり、神主を招くことはない。しかし、最近ではゼネコン(元請け)が主催する安全祈願祭と並行することが多くなり、祭司を神主に依頼することが多くなった。そのとき、祀る神は国土の守護神である大地主神と、その地域の神様である産土神、またその土地の神々である「此の地を宇志波伎坐大神」などである。宇志波伎坐とは、主人として一定の場所を領有することをいい、まさに神主が祭司する安全祈願祭でも、山の神に向かって祈っているに違いない。

アンケート回答者の大部分も、元請けのゼネコンが主催する安全祈願祭で祭司が神主であろうが、安全祈願する神は「山の神」であると意識している。とはいえ、トンネル掘削の安全祈願をする

「坑口付け」がゼネコン(元請け)が主催する工事全体の安全祈願祭と並行することが多くなり、前者の祈り対象である「山の神」と後者の神主が招く神々との区別が曖昧になっているようにも感じられる。

## 坑口付けの手順・所作・神事の準備

トンネルを掘削し始めるには、いわゆる「坑口付け」を行う。坑口付けというのは、坑口の切り取り、根掘り、支保工建て込み、矢板掛け、埋戻し、土嚢積み、化粧木の設置、安全祈願までの一連の作業を指す。

坑口付けでは、一般に、地山の外側に数基の支保工を建て込み、この支保坑は坑内の支保工である「本枠」に対して「捨て枠」と呼ばれる。そして、もっとも外側の捨て枠2基に「ころがし」を設置し、さらにこの「ころがし」の上に化粧木が置かれる。こうした化粧木が載る外側の2基の捨て枠は「化粧枠」とも呼ばれる。

坑口付けの神事には、「捨て枠」のうち奥の2基に山の神が鎮座しているのので、そこに祭壇を設け供物や工事に使う工具を供えるともいう。

「坑口付け」は、工事に携わる人々にとって自然の力を畏怖しつつ困難な工事に立ち向かう気持ちを奮い立たせる実にも内面的で敬虔な行事である。

## 神事の所作と供物

坑口付けの神事の中心は清めと祈りである。坑口付けの神事はトンネル坑夫の棟梁が祭司を務めて、山の神に工事の安全を祈願することは前述し

たが、祭司によって、神事の所作はさまざまに定めはない。

長く坑夫の棟梁を務めた者の証言によれば、坑口をきれいに清掃したうえで、まず祭司は四方を塩で清め、次に支保工の根元にお神酒をかけてトンネル内を清め、さらに四方に酒をかける。清めを行った後、全員で二礼・二拍手・一拝して山の神に安全を祈願し、最後に御神酒を戴くという。

トンネルの清めには、塩や米、お酒が用いられる。塩は人間の生命を維持する食べ物の根源の一つで、食べ物の具体的シンボルであると同時に、塩には塩そのものがもつ霊力があると信じられてきた。一方の酒は穀霊のシンボルである。酒を飲むと普段と違った至福の状態になれる。神に酒を供えたり、これから掘削にかかる山に向けて酒を振りかけるのは、神に心地よくお酒を飲んでもらって心安らくなっていただくためだろうか。

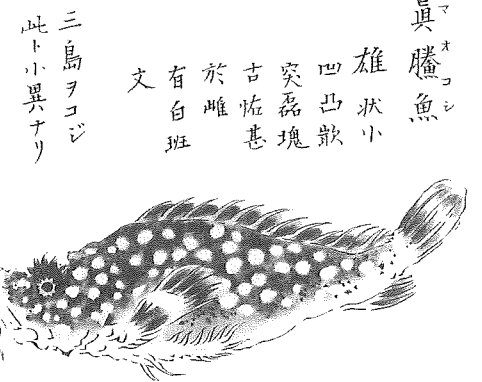
## 山の神への供物

山で仕事する人々の儀礼・習俗の中に、醜魚であるオコゼを供物として山の神に捧げる儀式がある。オコゼは海のオニオコゼで醜い顔をしている。

供物にオコゼを捧げるのは、「山の神は自分より醜いものがあるのを喜ぶから」とか、「オコゼは山の神の妻、あるいは家来である」からという。

トンネルの「坑口付け」にオコゼを供えるという習俗は一般的ではなさそうだ。ただし、一部のベテラン工事従事者から、供物として酒・塩・米のほかに、「田作り」を供えるとの証言がある。田作りとは、ごまめ(カタクチイワシの乾製品)のことで、田植えの祝儀肴として用いられたのでこの呼び名があり、いずれも山の神の好物であるオコゼから転じたのではと想像されるが、ここではこれ以上憶測するのは避ける。

山の神は酒・米・するめが好物で、トンネル作業者は、これら好物を掘削面に投げ入れた後、その場を立ち去って、絶対に振り返ってはならないというしきたりがあったという。なぜなら、山の神は醜い顔をして食べているところを絶対に見ら

図-2 山の神が好むオコゼ<sup>1)</sup>

れたくないからという。この話の真偽のほどは不明ながら、山の神への供物について、無視しえない示唆的な内容である。

## 炭鉱の「芝はぐり」

先に炭鉱で働く坑夫が信じる「山の神」とトンネル工事従事者の「山の神」の連続性を指摘したが、炭鉱の坑口付けの事例を振り返ってみたい。

自然界に手を施す場合、昔から神に許しを得る手続きとしてさまざまな儀礼を行ってきたが、炭鉱でも山肌に坑口を切り開くときには、「芝はぐり」と呼ばれる「坑口開け」の儀礼を行ったという。

森崎和江は、明治40年代前半の大資本による採炭が行われていたところと断りながら、「草ばかりの山の中で、おみきをあげてから木を切り、山に入口を何間幅かあけた。人が通れるくらい。それから鏡枠(坑口の化粧枠)をいれて、二・三間ばかり掘ってから神主さんが来て、お祓いした」と、「芝はぐり」の様子を語った証言を紹介している<sup>2)</sup>。

炭鉱にても坑口を開けるに際し神事を行ったが、大資本が開発するそこには、もはや山の神に祈る敬虔さは薄れていた。

## 参考文献

- 1) 柳田国男：山の神とヲコゼ、柳田国男全集 8、講談社。
- 2) 森崎和江：奈落の神々 炭坑労働精神史、平凡社、1996.7。



## 解 説

### 文献紹介



Vol.46, No.1, 2010.1.

松田好史：鉄道トンネルの維持管理の現状と課題，土木技術，Vol.65, No.2, 2010.2.

西村和夫：都市トンネルと山岳トンネルにおける現状と課題，土木技術，Vol.65, No.4, 2010.4.

小特集/パイプラインの再生技術，水土の知，Vol.78, No.4, 2010.4.

湯田坂彦彦・副島直史・中川雅由：フルサンドイッチ型合成セグメントの構造特性と製造方法，建設の施工企画，No.723, 2010.5.

## 設 計・計 画

森研一郎：仙台市の地下鉄路線計画，土木技術，Vol.65, No.1, 2010.1.

齋藤亮・副島直史・中川雅由：中央環状品川線シールドトンネル(北行)工事の設計概要，大断面・長距離シールドトンネルの合理的な構築と施工に向けて，土木技術，Vol.65, No.1, 2010.1.

松久保徹郎：国内外のプロジェクト ポスボラス海峡横断鉄道トンネル建設プロジェクト オリエン特急の夢をのせて，土木技術，Vol.65, No.2, 2010.2.

中島進・谷本俊輔・高橋章浩・佐々木哲也：樋門函渠の地震被害と解析事例，地盤工学会誌，Vol.58, No.2, 2010.2.

東田淳・吉村洋・井上裕司・向市清司：下水道カルバートの動的挙動(断面方向)に関する遠心実験と解析手法，地盤工学会誌，Vol.58, No.2, 2010.2.

中澤晋・蝦名郁美・木暮俊之：古川地下調節池の設計，発進立坑・シールドトンネル，土木技術，Vol.65, No.4, 2010.4.

安東敏弘・藤間誠司：高機能変性アクリル樹脂の土木分野への適用，土木技術，Vol.65, No.4, 2010.4.

## 施 工

伊藤保裕：劣化PC管の調査・診断方法，建設の施工企画，No.718, 2009.12.

北川真也：コンクリート表層部の健全性診断，建設の施工企画，No.718, 2009.12.

大西正浩：農業用水管理に伴うミニシールド工事の施

工事例について，農村振興，No.720, 2009.12.

特集/都市地下基盤の再構築③，月刊推進技術，Vol.23, No.12, 2009.12.

田中江利子：広域農道計画路線内における垂炭鉱採掘跡地の陥没対策，水土の知，Vol.77, No.12, 2009.12.

鉄道高架路線下をシールド機で掘進，東急東横線渋谷～代官山間地下化工事(東京都)，日経コンストラクション，2010年1月22日号，2010.1.

山田浩幸：山岳トンネルでの計測結果見える化技術，大土被りの蛇紋岩地山における「光る変位計」の適用，建設機械，Vol.46, No.1, 2010.1.

若林正則・穴井秀和：銀座線に近接した地下歩道を複合円形シールドで築造，上野中央通り地下歩道土木工事，建設機械，Vol.46, No.1, 2010.1.

諸田正喜・中野徳久：地すべり防止指定地域の旧水路トンネル微粉土グラウト閉塞工，水土の知，Vol.78, No.1, 2010.1.

特集/自動化施工への挑戦，月刊推進技術，Vol.24, No.2, 2010.2.

森田昇：宮川用水導水路における表面粗度の改良事例について，農村振興，No.722, 2010.2.

特集/首都高速山手トンネル(3号渋谷線～4号新宿線)の開通，基礎工，Vol.38, No.3, 2010.3.

伊藤一教・織田幸伸：ボスボラス海峡横断鉄道トンネル建設工事と情報化施工，ボスボラス海峡の潮流予報システム，建設の施工企画，No.721, 2010.3.

特集/環境対策ゼロエミッションへの挑戦，月刊推進技術，Vol.24, No.3, 2010.3.

高久節夫・桐谷祥治：コンパクトシールド工法，下水道再構築に適したシールド工法の標準化，建設機械，Vol.46, No.4, 2010.4.

八木弘：第二東名高速道路で最長の大断面トンネルを掘る，第二東名高速道路 金谷トンネル，土木技術，Vol.65, No.4, 2010.4.

武田厚：台北市における地下鉄建設工事，信義線CR580 B工区，土木技術，Vol.65, No.4, 2010.4.

戸塚誠司・松永清文：球泉洞トンネル整備事業，土木技術，Vol.65, No.4, 2010.4.

特集/流動化処理土，基礎工，Vol.38, No.4, 2010.4.

特集/大深度地下の可能性，地盤工学会誌，Vol.58, No.4, 2010.4.

特集/トラブルを発生させないための現場のサポート，月刊推進技術，Vol.24, No.4, 2010.4.

首都高速道路：首都高中央環状線山手トンネル(3号渋谷線～4号新宿線)の開通，道路，Vol.829, 2010.4.

## 建設特稿

# トンネル保守管理における記録とその活用(2)

## —データベース化・電子化の取り組み(1)—

JTA保守管理小委員会

第2～4回では，トンネル保守管理において，その記録のデータベースを電子化し，システム化している各事業者の取り組みについて述べ，今回(第2回)は，鉄道事業者と(財)鉄道総合技術研究所(以下，「鉄道総研」という)について述べる。

### ⑧ 各事業者取り組み

#### 3-1 鉄道総研の場合(構造物管理支援システムの開発と運用)

##### 3-1-1 開発の背景

鉄道トンネルの維持管理は，現在，『鉄道構造物等維持管理標準』(平成19年1月，国土交通省鉄道局)<sup>1)</sup>に沿って行われている。その中で，検査については，すべての鉄道トンネルに対して2年ごとに目視調査と打音調査による検査(全般検査)が行われ，問題となる変状が把握された場合に対してより詳細な検査(個別検査)が行われている。全般検査では，問題となる変状を確実に捉えることが重要であるが，的確に実施するためには，多くの手間と時間とともに一定の経験と技術が必要である。しかし，鉄道事業者の多くは，検査要員の不足や技術継承の問題を抱えており，全般検査結果にバラツキが生じることが懸念されている。

このことから，検査結果も含めて維持管理に関連する記録を電子化してデータベース化し，バラツキの少ない検査結果が得られる支援システムの実用化が望まれてきた。また，システムの開発は，複数の鉄道事業者が集まって共同で取り組むこと

が，より効率的かつ経済的であると考えられた。

そこで，14の鉄道事業者(大手民鉄および公営地下鉄)と鉄道総研は，トンネルも含めた鉄道構造物全体を対象とした「構造物管理支援システム」<sup>2)～5)</sup>の共同開発を平成14年度より行ってきた。そして，平成18年度にこのシステムが完成し，各鉄道事業者において，試行あるいは実運用が開始されている。

##### 3-1-2 システムの概要と機能

###### (1) システムの概要

本システムは，構造物の諸元および前項で述べた検査の記録をデータベース化し，一元管理することにより，全般検査における検査記録や変状データを蓄積管理するものである。

###### (2) システムの主な機能

以下に，本システムの機能を示す。

###### 1) データベースの一元化

本システムは，検査記録のみならず，当該構造物にかかわる各種資料(諸元および工事履歴など)を一元的に保管し容易に参照できるようになっている(図-1)。

###### 2) 健全度の目安を提示する機能

検査は毎回同じ検査員によって行われるわけではないので，判定結果にバラツキが生じる場合がある。そこで，このシステムでは，健全度を判定する際の参考になるように，目安を提示する機能が加えられており，検査員が異なってもバラツキの少ない判定ができるように配慮されている(図-2)。

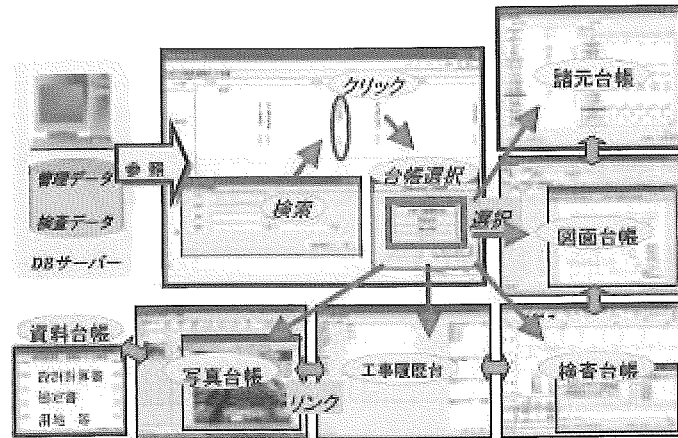


図-1 構造物管理支援システム画面イメージ<sup>5)</sup>

項目	大	中	小	目録値	大	中	小
程度	横断	斜め	電甲状	放射状	横断	斜め	電甲状
規模	覆工面に 沿内	30mm以上 径壁	幅1~3mm	幅1mm未満	土砂混入	有	-
分布	円周	平行	交差	環状	凍結	有	-
					腐蝕	有	-

図-2 目安判定画面の例<sup>5)</sup>

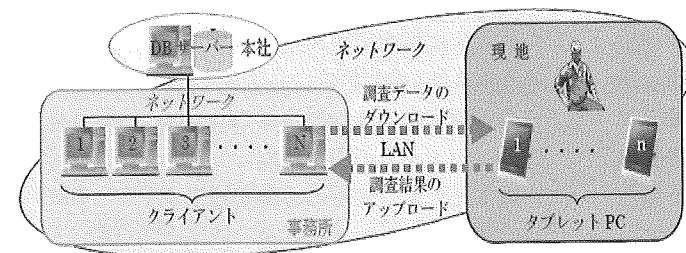


図-3 システムのネットワーク構成<sup>5)</sup>

3) 携帯端末の活用による効率的な検査

携帯端末を検査現場に持ち込み、現場で文字情報だけでなく変状展開図への記録も含め、検査結果(変状の位置、種別、判定結果など)を携帯端末に入力し、管理所では検査結果の情報をサーバにアップロードすることが可能となっている(図-3)。

3-1-3 システムの運用

構造物管理支援システムの運用にあたっては、上述のように14の鉄道事業者と鉄道総研により、本システムの周辺技術に関する情報の交換、追加

機能の検討とともに、維持管理に関する勉強、更にはより多くの鉄道事業者への普及も目的として、本システムの運営協議会を設けて進めている。現時点(平成21年度末)の運営協議会メンバーは、21業者に増えている。なお、本システムの運用を進めつつある東京メトロと東京都交通局における取り組みの例について、3-2と3-3で紹介する。

(文責：小島芳之/鉄道総研)

参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局監修，(財)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)トンネル，丸善，2007。
- 2) 三谷公夫・草野剛一・坂入敦・篠田知堅・林健二・菊池誠：構造物管理支援システムの構築(1)，土木学会第61回年次学術講演概要集，2006。
- 3) 進藤良則・菅原孝男・浅葉喜一・間下孝夫・中塚孝・大塚祐一郎：構造物管理支援システムの構築(2)，土木学会第61回年次学術講演概要集，2006。
- 4) 小出泰弘・尾山達己・小西真治・丸田大輔・藤巻恵・佐藤巧二：構造物管理支援システムの構築(3)，土木学会第61回年次学術講演概要集，2006。
- 5) 小西真治：鉄道構造物の全般検査支援システム，非破壊検査，Vol.56，No. 3，2007。

3-2 東京メトロの場合

3-2-1 維持管理の進め方について

東京メトロの土木構造物(建造物)の維持管理体制は、本社と現業があり、現業としては軌道も管理する工務区と中間管理事務所である工務事務所に分けられる(表-1)。

(1) トンネル検査の内容

建造物(トンネル)検査は、主に新設・改築時に行う初回検査を経て、通常全般検査を変状抽出のため2年に1回行い、検査結果から必要により個別検査を行う。

なお、20年に1回特別全般検査を行い、異常時

などに必要と判断される場合には随時検査を実施している(表-2)。

なお、検査における基本は人であると考え、目視で行う全般検査(通常・全般)の作業は、東京メトロのグループ企業に業務委託し、出向社員を含む検査員の編成として、維持管理業務に関する技術の伝承に取り組んでいる。(2) トンネル検査による健全度判定

構造物の健全度の状態は、A, B, C, Sの区分で判定している(表-3)。

AAは一番悪い状態を表し、運転保安、列車の正常運行および旅客、公衆などの安全を脅かし、またはその恐れのある変状などがあるものをいい、逆に健全なものはSで表している。

トンネルにおける剥落の健全度の判定区分は、 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ で表し、 $\alpha$ は近い将来に安全を脅かす剥落が生じる恐れがあり、措置が必要な状態を示すものである(表-4)。

(3) 検査記録の整理

検査を実施した結果は、変状展開図(図-4)としてひび割れ、漏水箇所、剥離箇所などの変状

状況を図面化し、その内容を健全度の判定区分別に建造物検査(トンネル検査)報告書として記録される(表-5)。

また、検査の結果、措置が必要な状態と判定さ

表-2 トンネル検査の内容

検査	目的	検査周期(時期)	検査項目	健全度判定
初回検査	構造物の初期状態の把握	新設・改築	入念な目視 必要に応じてその他の方法	A・B・C・Sに区分 剥落に対しては、 $\alpha$ ・ $\beta$ ・ $\gamma$ に区分
全般検査	通常	2年に1回	目視	
	特別	20年に1回	入念な目視 必要に応じて各種の方法	
個別検査	変状原因の推定、変状の予測、性能項目の詳細な照査	-	入念な目視 変状の状態により 各種の詳細な調査	Aより細分化して区分
随時検査	異常時など、必要と判断された場合に実施	-	目視 必要に応じてその他の方法	A・B・C・Sに区分 剥落に対しては、 $\alpha$ ・ $\beta$ ・ $\gamma$ に区分

表-3 トンネル検査の健全度判定区分

健全度	運転保安、旅客および公衆などの安全に対する影響	変状の程度	措置など
A	AA 脅かす	重大	緊急に措置
	A1 早晚脅かす 異常外力の作用に脅かす	進行中の変状などがあり、性能低下も進行している	早急に措置
	A2 将来脅かす	性能低下の恐れのある変状などがある	必要な時期に措置
B	進行すれば健全度Aになる	進行すれば健全度Aになる	必要に応じて監視などの措置
C	現状では影響なし	軽微	次回検査時に必要に応じて重点的に調査
S	影響なし	なし	なし

表-1 土木構造物の維持管理体制

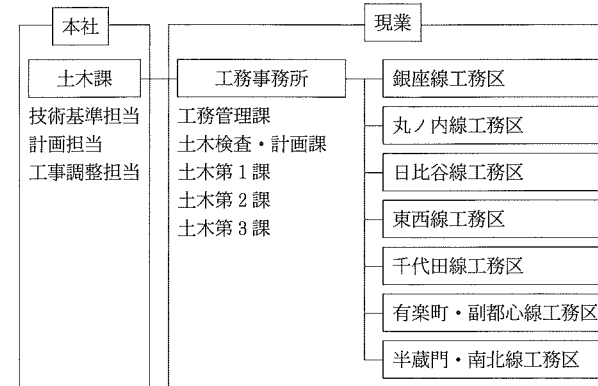


表-4 剥落の健全度判定区分

健全度	変状の状態	措置など
$\alpha$	近い将来、安全を脅かす剥落が生じる恐れのあるもの	措置が必要
$\beta$	当面、安全を脅かす剥落が生じる恐れはないが、将来健全度 $\alpha$ になる恐れがあるもの	次回通常全般検査時：注意して目視し、必要に応じて打音調査 次回特別全般検査時：打音調査
$\gamma$	安全を脅かす剥落が生じる恐れがないもの	次回特別全般検査時：打音調査

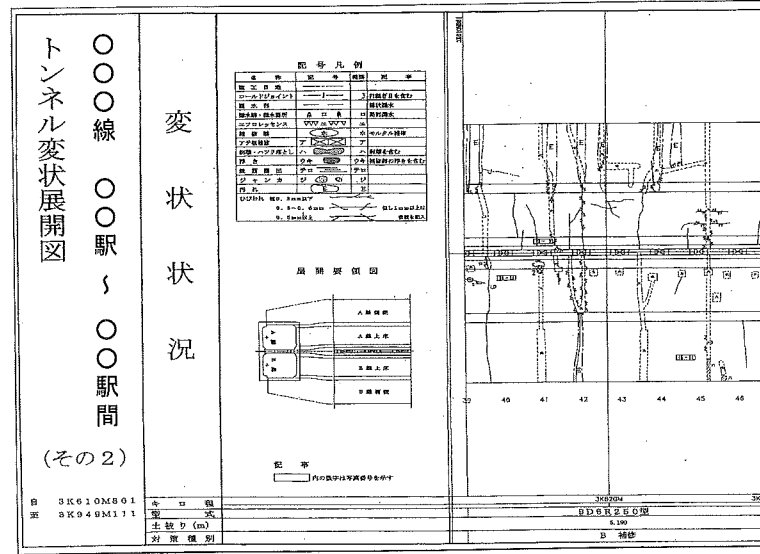


図-4 トンネル検査の記録(変状展開図)

表-5 建造物検査(トンネル検査)報告書

平成19年度 建造物検査報告書

番号	検査項目	検査年月日	変状箇所	変状内容	変状状況	変状原因	変状対策	変状結果	変状評価
1	トンネル	平成19年6月14日	07T01-B-005	上床板	ひび割れ	乾燥	補修	補修完了	A
2	トンネル	平成19年4月23日	05T01-A-008	左側壁	剥離	凍害	剥離除去	剥離除去完了	A
3	トンネル	平成19年4月23日	05T01-A-020	上床板	剥離	凍害	剥離除去	剥離除去完了	A
4	トンネル	平成19年6月14日	07T01-B-018	上床板	剥離	凍害	剥離除去	剥離除去完了	A
5	トンネル	平成19年6月16日	07T02-B-004	左側壁	剥離	凍害	剥離除去	剥離除去完了	A
6	トンネル	平成19年6月16日	05T02-B-046	右側壁	剥離	凍害	剥離除去	剥離除去完了	A
7	トンネル	平成19年6月17日	05T03-B-035	右側壁	剥離	凍害	剥離除去	剥離除去完了	A
8	トンネル	平成19年4月28日	05T04-A-014	左側壁	剥離	凍害	剥離除去	剥離除去完了	A
9	トンネル	平成19年4月28日	05T04-A-017	右側壁	剥離	凍害	剥離除去	剥離除去完了	A
10	トンネル	平成19年4月28日	05T04-A-018	左側壁	剥離	凍害	剥離除去	剥離除去完了	A

※ トンネル検査、土工検査、(8)より検査、高圧検査の健全度区分「A」ランクの変状を指す。 建造物検査実施記録018.4改正

表-6 トンネル検査・措置の記録(変状調査)

建造物変状調査記録

管理番号: 05T01-A-003

調査年月日: 平成19年4月23日

検査区分: トンネル

検査項目: 変状調査

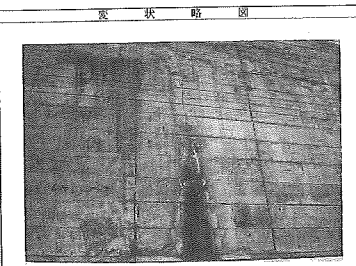
検査結果: 変状発生箇所: 0.5mm

変状原因: 乾燥

変状対策: 補修

変状結果: 補修完了

変状評価: A



れた場合、その状態および実施された措置内容を記録することとなる(表-6)。

3-2-2 構造物管理支援システムについて

3-1に述べたように、構造物管理支援システムは、東京メトロを含む14の鉄道事業者(大手民鉄および公営地下鉄)が『鉄道構造物等維持管理標準』(平成19年1月)の原案を作成した鉄道総研に、平成14年度からシステムの開発を委託し、平成18年度に完成し、各社で試行・実運用が開始されている。

(1) 東京メトロの開発目的

構造物の維持管理を効果的・効率的に行うため、膨大な資料からなる検査報告・工事台帳・完成図面、補修履歴などを適切に管理することができる「構造物管理支援システム」の構築を行うこととした。

(2) 構造物管理支援システムの機能

1) 効率的な検査実施: タブレットPCによる検査

検査結果を現場で直接PCに入力し、サーバーにアップロードするだけで検査記録が蓄積される。

2) 検査結果のバラつきを抑制: マトリクスによる健全度の目安を判定

変状の発生位置、程度などの情報をマトリクス上で選択することにより、目安判定が表示され、検査員による健全度判定のバラつきがなくなる。

3) 検査結果・各種資料の保管・有効活用: 検査結果・その他の資料のデータベース化

検査結果の記録をリンクさせ、現場検査時に当該箇所の変状履歴をタブレットPC上で容易に把握でき、補修履歴・設計図書などを一括で保管するデータベースとし、関係する資料が容易に参照できるものである。

(文責: 菅野 崇/東京地下鉄(株))

3-3 東京都交通局の場合

3-3-1 維持管理の進め方について

平成11年の鉄道トンネルの覆工コンクリート剥落事故を契機に、『トンネル保守管理マニュアル』が平成12年2月に旧運輸省により作成され、全般検査における目視検査・打音検査の対象と方法、判定の考え方が示された。

一方、平成13年12月に「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」が制定され、鉄道の技術基準は性能規定化された。

その後、鉄道総研による『トンネル保守マニュアル(案)』(平成12年5月)と『都市トンネル保守マニュアル』(平成14年3月)が作成された。さらに平成19年1月の国土交通省の維持管理標準の通達を受け、鉄道総研が作成した『鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)』(以下、「維持管理標準」という)により、鉄道トンネルの維持管理の考え方が整備されてきた。

これらの省令やマニュアルにもとづき、当局においても以下のとおり、維持管理を行っている。

(1) 検査

1) 初回検査

平成12、13年度に構造物の初期の状態を把握することを目的に、都営地下鉄4線のトンネル部について初回検査として実施した。

検査方法は、トンネルをビデオにより撮影し、亀裂や漏水などの状況を画像に入力後、健全度判定を行った。撮影範囲は矩形断面、円形断面問わずトラフ台から上の範囲とし駅部は天井のみとした。

2) 通常全般検査

初回検査以降、構造物の変状などの有無およびその進行性を把握することを目的として2年周期で実施している検査である。検査方法は、トンネル内を徒歩により十分な照明を用いて目視で検査を行うものであり、現在は当局の実績を積んだ職員が検査を行っている。

3) 特別全般検査

初回検査以降、20年周期で実施する検査である。当局では平成12、13年度に初回検査を実施しているため、今回の特別全般検査は平成32、33年度の予定となっている。検査方法は、健全度の判定精度を高めるため、高所作業車などを用いて直近にて目視検査を行うものである。

4) 随時検査

地震や大雨などにより、変状の発生もしくはその恐れのある構造物を抽出することを目的として、必要に応じて実施している検査である。初回検査以降、大きな地震はなかったが、台風などの大雨時に実施した。

5) 個別検査

全般検査および随時検査の結果、詳細な検査が必要とされた構造物に対して、精度の高い健全度判定を行うことを目的とする検査である。検査方法は、構造物の変状に即したものとし、変状原因の推定および変状の予測を行う。近年実施した個別検査は表-7のとおりである。

3-3-2 構造物管理支援システムについて

鉄道構造物については、前項のとおり定期的に

表-7 近年実施の個別検査

年度	対象路線	個別検査内容
平成15年度	浅草線(シールド部1か所) 三田線(シールド部3か所) 新宿線(シールド部3か所)	打音調査
平成16、17年度	浅草線、三田線(開削部)	打音調査
平成19年度	浅草線(河底部1か所)	亀裂、剥離および鉄筋腐食状況
平成20年度	浅草線(河底部1か所) 三田線(河底部1か所) 新宿線(シールド部2か所)	亀裂、剥離、中性化および塩化物イオン含有量調査 打音調査
平成21年度	浅草線、三田線(駅部)	打音調査

検査を実施しているが、今後、構造物の劣化の進行に伴い検査記録が増大していくことが予想される。また、維持管理標準に準拠した適切な維持管理を実現するために、検査をはじめとする維持管理行為の合理化および効率化などを図る必要がある。このような状況から当局を含む鉄道事業者14社局と維持管理標準の原案を作成した鉄道総研が共同でこれらの課題を解決するために、構造物管理支援システム(以下、「本システム」という)を開発した。ここでは、本システムの概要について述べる。

(1) システムの概要

本システムは、構造物の諸元および前項で述べた検査の記録をデータベース化し、一元管理することにより、全般検査における検査記録や変状データを蓄積管理するものである。

(2) 主な機能

1) データベースの一元化

本システムでは検査記録のみならず、当該構造物にかかわる各種資料(諸元および工事履歴など)を一元的に保管し容易に参照できるようにした(図-1)。

2) 健全度の判定機能

構造物検査は、毎回同じ職員が検査員として現地検査を行うわけではないので、検査員により判定結果にばらつきが生じる場合がある。そこで、このシステムでは維持管理標準に準拠した健全度の判定補助機能が付加されており、検査員が異なっても同一の判定できるようになっている(図-2)。

3) 携帯端末の活用による効率的な検査

携帯端末を検査現場に持ち込み、現場で文字情報だけでなく変状展開図への記録も含め、検査結果(変状の位置、種別、判定結果など)を携帯端末に入力し、管理所では検査結果の情報をサーバにアップロードすることが可能となっている(図-3)。そのため、検査結果の入力作業の省略や入力ミスを防ぐこと

が期待されている。当局においては、携帯端末の活用について検討中のため、現在は検査用紙にて記入し、検査結果を保存している。

(3) システムの使用状況

当局ではシステムを活用していくための前段として、平成12,13年度に行った初回検査におけるビデオ画像による展開写真と変状データを初期データとして入力完了している。また、平成20年度には新宿線の打音調査工事、平成21年度は浅草線・三田線の駅部打音調査工事についてシステムを活用し、データの蓄積を随時行っている。

(文責：谷内雅之/東京都交通局)

3-4 JR東日本の場合

3-4-1 MARSについて

JR東日本に1997年に導入された土木構造物管理システム(Maintenance Assistant system for Railway Structure)(以下「MARS」という)は、データベース化した設備データや検査データを、ネットワークを用いて集約し、サーバで一元管理するとともに、検査計画や工事計画などの業務を支援し、業務の質的向上と効率化を図ったものである。ここでは、MARSの概要について述べる。

(1) システム概要

MARSは図-5に示すように、サーバおよびこれにアクセスするクライアントから構成されている。本社、支社、土木技術センターは、一つに集約されたサーバにアクセスしてMARS機能を使用することとなる。また、検査時には携帯端末を

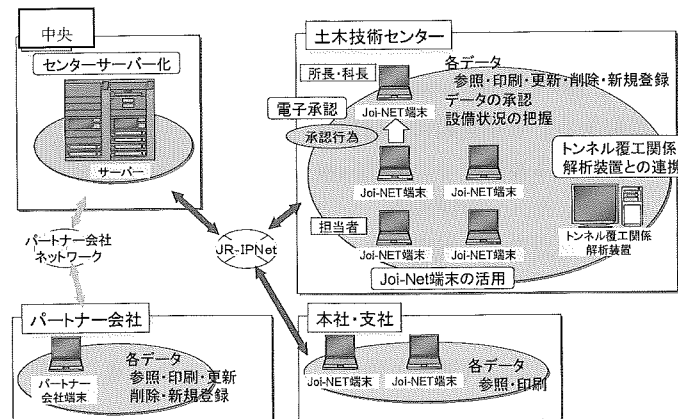


図-5 MARSシステム構成

用いて検査データを入力し、検査終了後にデータをアップロードすることで一元管理することができる。検査データはそのまま工事計画に反映する

ことができ、工事実施後は健全度判定に反映、常に最新の構造物の状態を把握することができる。MARSを利用した検査から工事までの流れを、

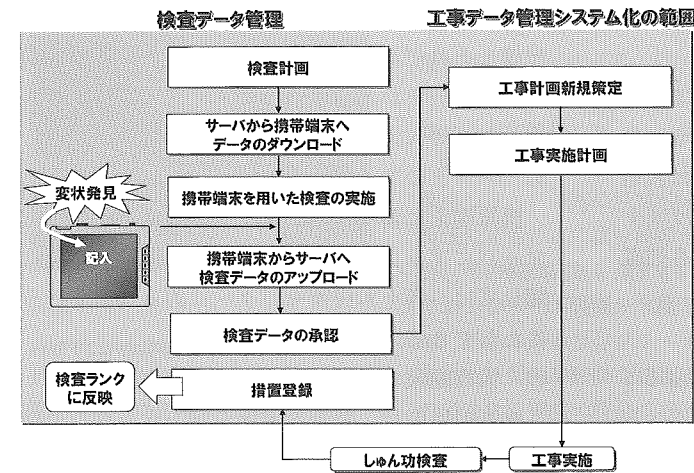


図-6 検査から工事までの流れ

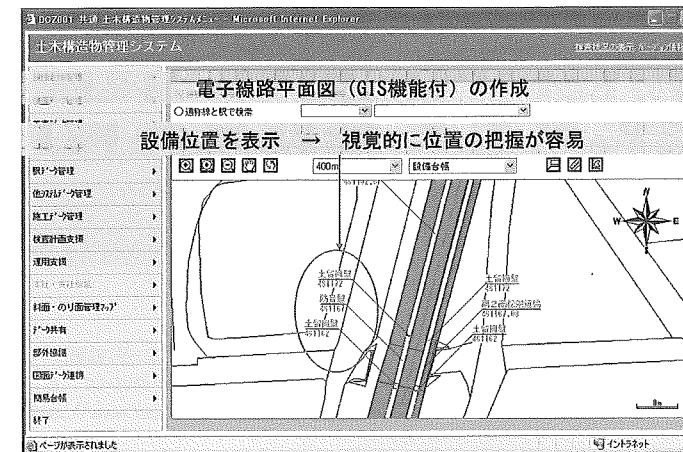


図-7 GIS機能の活用

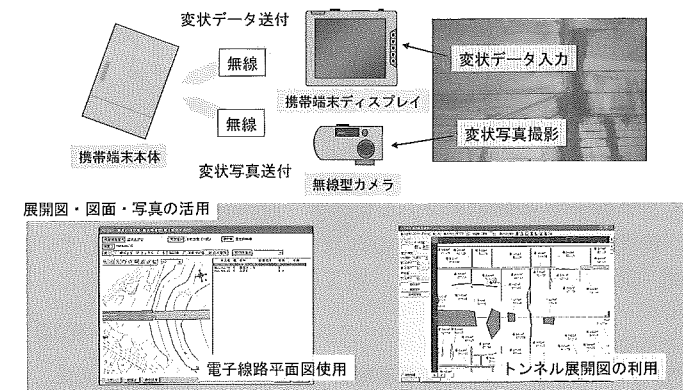


図-8 携帯端末の活用

図-6に示す。

(2) 主な機能

1) 設備台帳管理

設備台帳管理では、橋りょう・トンネル・土工等設備・停車場設備の位置や名称など、構造物の諸元情報を管理することができ、この情報をもとに設備台帳を出力することができる。設備は、電子線路平面図などからGISを活用し簡単に選択することができる(図-7)。また、設備台帳から関連する検査データや工事情報に簡単にリンクすることができる。

2) 検査データ管理

検査関係の機能では、検査計画の策定から検査結果の登録まで、すべてMARSで行うことができ、検査の適正な実施に対して強固な支援システムとなっている。

計画の策定は基準期間内で行うこととしており、期間を外れた計画を立てるとメッセージが発せられる。検査時には、携帯端末に設備情報や前回検査情報をダウンロードして持参、現地で情報を確認しながら、検査結果を随時登録することができ、必要に応じて、写真を登録することも可能である。検査結果はサーバに登録し、システム内で部内の承認行為を行うことができる。この際に、検査の実施時期が基準期間内でない場合は、メッセージが発せられる。

なお、検査計画が入力されていない構造物がある場合は計画入力を促すメッセージが、検査を実施せず、基準期間が迫っている構造物に関しては検査を促すメッセージが担当者に自動配信さ

れるシステムとなっている。

また、過去の検査履歴についても、検査実施年度や検査種別による検索が可能であり、常に最新データの参照が可能となっている。

### 3) 工事データ管理

工事データ管理においては、検査によって登録された変状に対して必要な補修・補強方法や工事費用などの工事計画を入力、工事实施後には実施内容を登録することで、構造物の健全度に反映することができ、次回検査時には最新の状態を把握することができる。

### (3) 携帯端末を用いた検査

携帯端末を用いた検査実施時の概念図を図-8に示す。具体的な検査方法について、以下に述べる。

#### 1) データのダウンロード

線名、構造物種別、キロ程などの条件から検査対象構造物を絞り込み、検査対象データをダウンロードする。この際に、前回検査結果や写真などの情報も併せてダウンロードすることができる。

### 2) 検査の実施

検査データは、検査を実施しながら随時携帯端末に入力していく。撮影写真も同時に取り込み、対象変状データに登録する。変状は、部位、内容、規模をそれぞれ入力し、ランクを決定するが、前回検査データがある場合は変状の進展部分を更新することで入力が簡略化される。

### 3) データのアップロード

携帯端末に蓄積されたデータは、検査終了後にサーバにアップロードする。その後の追加修正に関しては、各土木技術センターにある端末で行うことができる。

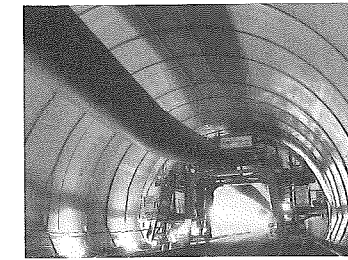
### 4) 検査結果の承認

検査担当者は、検査対象構造物の検査漏れや検査データに間違いがないか確認後、承認を行う。承認行為は、MARSを用いた電子決済で実施する。承認は、検査担当科長、検査責任者である所長が行う。

(文責：鈴木 尊/東日本旅客鉄道(株))

## 工法・技術・製品ニュース

### 工法 浸水養生システム「アクアカーテン」



ハザマCSR推進部  
TEL: 03-3588-5711  
<http://www.hazama.co.jp>

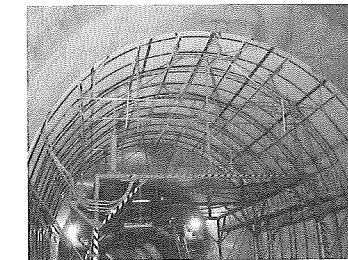
ハザマは、コンクリート構造物の浸水養生システム「アクアカーテン」を川上産業、岐阜工業および東宏の協力を得て開発した。

同システムはコンクリートと浸水養生シートとの間の空気を吸引し、負圧にすることにより両者を密着させ、その隙間に水を流すという方法でコンクリート表面を水膜で覆うもの。凹凸のあるコンクリート表面であっても両者を隙間なく密着させられるため、養生の程度にバラツキが

ないという特長がある。使用する資機材は気泡緩衝シートをはじめ、給水ポンプや吸引機など一般的なもので、特殊な装置は必要としないが、取り付けが困難なトンネル工事では、専用の台車を用いることで安全に施工できるとしている。

室内実験による養生効果としては1か月間浸水養生したものは、養生なしに比べて圧縮強度で約37%向上、中性化速度が約60%低減し、耐久性の向上を確認した。

### 工法 山岳トンネル覆工コンクリートの湿潤・保温養生工法



戸田建設(株)広報部  
TEL: 03-3535-6068  
<http://www.toda.co.jp>

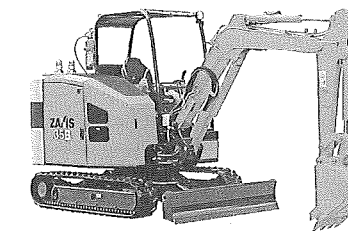
戸田建設、フジモリ産業、早川ゴム、流機エンジニアリングは共同で、山岳トンネル覆工コンクリート用の養生工法を開発し、北陸新幹線高丘トンネル工事内において実証施工を実施して養生効果や施工性の確認を行った。

同工法は、戸田建設が開発した湿潤・保温養生の同時養生が可能な「うるおんマット」を養生材とし、養生材の支持フレームとしてFRP製軽量部材などを利用した工法。システム

全体を軽量化し、施工性を向上させた結果、従来に比べ養生効果が高く、低コストの養生システムとなった。

「うるおんマット」の背面はFRPロッド(中空)で受け、それを角パイプ(□100×100mm)や単管パイプを組み立てて支持する構造とした。この結果、システム全体の軽量化(約2.5t/10.5m)が可能となり、施工性が向上したほか、コストは他社開発工法と比較して30%程度低減できると試算している。

### 製品 リチウムイオンバッテリーミニショベル



日立建機(株)コーポレートコミュニケーション部広報グループ  
TEL: 03-3830-8065  
<http://www.hitachi-kenki.co.jp>

日立建機は、3.5tクラスのリチウムイオンバッテリーミニショベルZX35Bを開発した。本体の開発元は、日立建機の子会社である日立建機ティエラ、バッテリー関連は、新神戸電機と日立建機の共同開発。

同機は、すべてのモータおよびシリンドラの動力を、本体に搭載したリチウムイオンバッテリーから供給して稼働する。排気ガスがゼロであるため、トンネル工事においても、排気ガスによる換気の問題が発生しない

うえ、エンジンを持たないので大幅な低騒音化が可能であり、静音性に優れている。

また、実用性に配慮し、長時間運転について改善を行っており、バッテリーフル充電の状態でも4～6時間の連続運転が可能で、昼の休憩時間を利用して急速充電を行えば、1日のうち、6～8時間の作業で運転が可能となる。また商用電源220Vの急速充電では、2時間でフル充電の80%を充電できるとしている。

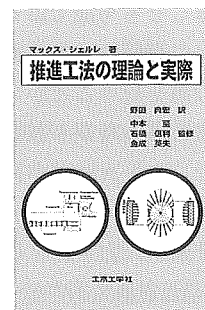
## 推進工法の理論と実際

B5判 437頁 価格8,925円 送料450円

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

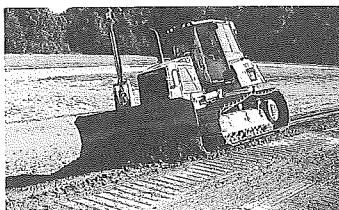
本書はドイツ人工学博士マックス・シェルレの著「Scherle Rohrvorrieb」の翻訳本である。挿図を多く用い推進工法の理論をわかりやすく解説している。研究・開発、計画・設計、あるいは、施工に携わる多くの実務者に最適。



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

## 製品 情報化施工システム CATアキュグレード



CATアキュグレードUTSを搭載したブルドーザ

キャタピラージャパン広報課  
TEL: 03-5717-1122  
E-mail: ojil-public@cat.com

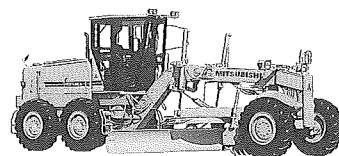
キャタピラージャパンは、CATブルドーザとCATモータグレーダの3次元マシンコントロール(作業装置自動制御)を可能とする情報化施工システムCATアキュグレードを、7月1日に発売した。

同システムは、「GNSSまたはUTSで測定した作業装置(排土板)の位置情報」と「施工現場の3次元設計データ」をもとに、現在の作業装置の位置と施工目標との差を計算し、作業装置を自動制御することで、従来の

方法に比べ高効率・高精度な施工を可能とする情報化施工に対応したシステム。

従来の施工方法に比べ測量時間が短縮され、また、丁張り・検測のための時間も不要となるため、施工時間が短縮可能となるほか、3次元設計データを使用して管理することにより、現場内のすべての位置で非常に高い精度で計画された高さや勾配に仕上げるのが可能になるなどの特長がある。

## 製品 ブレード長3.7mのオフロード法対応モータグレーダ



キャタピラージャパン広報課  
TEL: 03-5717-1122  
E-mail: ojil-public@cat.com

キャタピラージャパンは、土木・道路工事での整地作業や除雪作業などに活躍する三菱MG430Ⅲモータグレーダ(ブレード長:3.7m)の発売を始めた。

同機は、2003年9月に発売したMG430Ⅱ(ブレード長:3.7m)のモデルチェンジ機で、今回のモデルチェンジでは、オフロード法に適合する新型エンジンを搭載し、エンジン出力のアップ(従来機比約12%アップの129kW)により生産性を向上させ

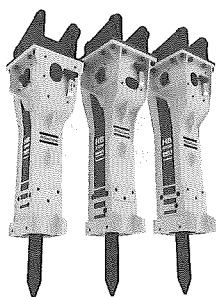
た。また、キャブのガラス面積を拡大したことにより、キャブからの運転視界面積を約5%向上させている。さらに、エンジンフードをスロープ型に変更することで後方視界もより一層改善した。

### ■主な仕様

運転質量*	13,660kg
全長	8,740mm
全幅	2,420mm
最小旋回半径	7.1m

\*キャブ・キャノピ非装着時

## 製品 新型重量油圧ブレーカ3種を発売



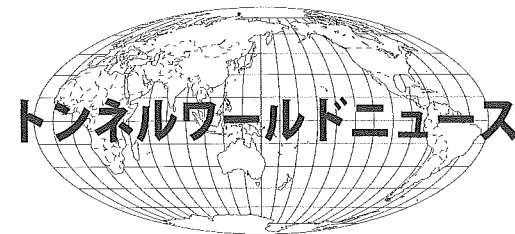
アトラスコブコ土木鉱山機械事業部  
TEL: 03-5765-7890  
http://www.atlascopco.co.jp

アトラスコブコは、アトラスコブコABがBauma2010(国際建設機械・建設資材製造機械・建設用車輛専門見本市)展示会で発表した重量油圧ブレーカHBシリーズの新モデル3種、HB2000、HB3100、HB4700の日本国内での販売を開始した。

同品は、油圧が高くなりすぎると油圧を遮断するPowerAdaptシステムを搭載しており、オペレータは効率とパワーの面で装置を最大限に利用できる。また、ガイドシステムに

改良を加えたことにより、過酷な条件下での稼働に耐えられるよう安定性と耐久性の向上が図られている。同機に装備された新型の保持バーは、とくに摩擦や消耗の激しい油圧ブレーカの下部に対して優れた保護性能を持っている。

HB2000は従来モデルのHB2200よりも約10%のパワーアップを実現し、HB3100とHB4700はそれぞれ従来モデルに比べて5%、13%のパワーアップを実現した。



(社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

## Brenner 2号トンネルの掘削開始と1号トンネルの掘削再開

2月初めにBrenner Baseトンネルの2号試験トンネルの掘削が始まった。反対側に位置する1号トンネルは、断層帯における高地下水圧のため必要となったセグメントの修復作業を終え、掘削が再開された。

坑口部の未固結の地山から巨礫を除去しつつ、オーストリアとイタリア間で計画されている延長55kmの鉄道トンネルの終点であるInnsbruckから5.7kmの試験掘削が3月初旬より本格的に始まった。掘削は発破工法による予定である。

Strabag社とPorr Tunnelbau社によるJVが請け負う工事一式は、およそ6,300万ユーロ(8,500万米ドル)の事業費である。工事にはAhrental地区の2.3kmの水平坑道も含まれており、発破工法により掘削される。

トンネルの反対側では、Seli社製のTBMが12月に掘削を再開してから665m進捗している。イタリアのAicaからおよそ6.15km入ったところにある断層帯で損傷を受けた直径6.3mのTBMは昨年8月に回収された。

2008年4月に掘削を開始したダブルシールド型

TBMは、一軸圧縮強度が220MPaまである花崗岩からなる岩盤を平均日進20mで掘削している。

しかしながら、断層帯において予期せず、27 barに達する高地下水圧が作用し、シールド後方の200mm厚のRCセグメントは変形し、相当な損傷を受けた。

トンネル工事の一部として掘削を請け負っているJV構成会社のSeli社によると、発注者の地質条件書では、極度の異方性をもったセグメントへの土圧は想定されていなかった。

掘削機から後方30リングは変形し、掘削機に隣接する4リングは致命的な損傷を受けていた。地盤を安定処理した後、損傷したセグメントは撤去され、特注の鋼製セグメントに置き換えられた。

TBMは回収され、修理された。切羽離れが50mまではポリマー樹脂が注入された。鋼製セグメントは断層帯を越えるまで用いられた。合計34リングが設置された。1月に断層帯を通過してから、RCセグメントに戻された。

JV施工会社には、Pizzarotti, Bilfinger Berger, Alpine Mayreder, Beton-und Monierbau, Jaeger, Seli, Collini impresa Costruzioni, Societa Italiana per Condotte d'Acquaが含まれる。

発注者であるBrenner Basis Tunnel SEは全線にわたる単線の試験トンネルを4工区の契約で計画している。最後の2工区は計画ルートの中央部に位置し、そこは土かぶり1,600mに達し、地殻変動のある地域でもある。

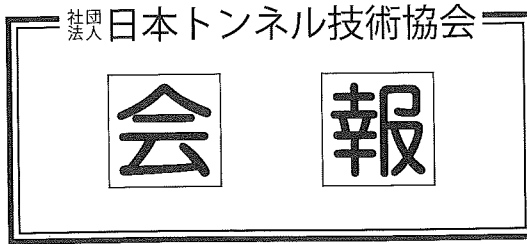
試験トンネルは、直径9.6mの複線鉄道トンネルのためのサービストンネルとなる。

(TTI '10.3 担当:石岡賢治・大成建設(株))

## わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格 2,500円 円340円

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



1. 会員の現状

	6月30日現在
正会員	1,741名
団体会員	368名
個人会員	1,373名

2. 委員会の開催状況(6月1日~30日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会誌WG(6/2)

大島洋志主査ほか14名, 7月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献WG(6/15)

大久保誠介主査ほか16名, 海外文献を査読

海外文献小委員会海外ニュースWG(6/24)

早坂治敏主査ほか10名, 海外ニュースを翻訳

計 3回開催 43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37回ITA総会およびコンgres* 「Underground spaces in the Service of a Sustainable Society」	2011. 5. 21~25	ヘルシンキ (フィンランド)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Finish Association of Civil Engineers RIL (フィンランド土木学会) http://www.wtc11.org/
第38回ITA総会およびコンgres 「Tunnelling and Underground Space for a Global Society」	2012. 5. 18~24	バンコク(タイ)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Thailand Underground & Tunnelling Group http://www.wtc2012.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。(社)日本トンネル技術協会 TEL:03-3553-6174

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

格言編集WG(6/9)

栗原謙一郎主査ほか7名, 格言内容を検討

◎受託研究特別委員会

効率的掘削工法特別委員会(6/4)

西村和夫委員長ほか25名, 報告書原稿を検討

耐震設計検討特別委員会打合せ会(6/15)

今田徹委員長ほか4名, 委員会資料を検討

効率的掘削工法特別委員会補助ベンチWG(6/17)

鈴木雅行主査ほか10名, 報告書原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会技術資料WG(6/17)

楠本太主査ほか8名, 報告書原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会施工・支保材料WG

(6/18)

領家邦泰主査ほか7名, 報告書原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会中流動コンクリートWG

(6/22)

金田勉主査ほか7名, 報告書原稿を検討

耐震設計検討特別委員会(6/23)

今田徹委員長ほか19名, 報告書原稿を検討

計 8回開催 95名出席

合計 11回開催 138名出席

4. 平成22年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
<b>(見学会)</b>				
北海道新幹線本州方津軽蓬田トンネル現場研修会	2010. 6. 4	38	青森県	2.0
調布駅付近連続立体交差現場研修会	2010. 6.18	28	東京都	2.0
京極発電所工事現場研修会	2010. 7.23	30	北海道	4.0
中央環状品川線トンネル工事現場研修会	2010. 7.30	40	東京都	3.3
<b>(施工体験発表会)</b>				
第66回(山岳)「山岳トンネルにおける創意工夫事例」	2010.11. 1	200	東京都	
第67回(都市)「厳しい施工条件下における都市トンネル工事」	2010.11. 2	200	東京都	
<b>(講演, 講習会)</b>				
第13回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2010秋予定			
第14回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2010秋予定			

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閲覧くださいますようお願いいたします。一般検索サイトで「トンネル技術協会 国内催物」あるいは下記URL入力でたどりつけます。

http://www.japan-tunnel.org/event\_japan

5. 図書案内

図書No.	図書名	頒布価格(税込み)		
		団体	個人	一般
201002	Tunnelling Activities in Japan 2010	3,000	3,000	3,600
200803	Tunnelling Activities in Japan 2008	3,000	3,000	3,600
200602	Tunnelling Activities in Japan 2006	3,000	3,000	3,600
200403	Tunnelling Activities in Japan 2004	3,000	3,000	3,600
200109	Tunnelling Activities in Japan 2002	3,000	3,000	3,600
200006	Tunnelling Activities in Japan 2000	3,000	3,000	3,000
201001	トンネル年報2010	2,000	2,000	3,000
200901	トンネル年報2009	1,900	1,900	2,100
200801	トンネル年報2008	1,900	1,900	2,100

## 9月号予告[9月1日発売予定]

- 埼玉県道葛飾吉川松伏線 吉川・新三郷間こ道橋
  - 仙台市高速鉄道東西線 青葉山トンネル
  - 島根原子力発電所取水トンネル
  - ITA総会および世界トンネル会議報告
- 【連載講座】
- ずり処理入門(9)
  - トンネル保守管理における記録とその活用(3)

\*内容等は変更になる場合がございます

### 編集後記

◆8月10日は「道の日」です。道路(道)は私たちの生活にとっても身近であるため、かえって関心を持ってもらえないというところで国土交通省(旧建設省)が昭和61年に制定いたしました。あわせて、「道の日」の制定の記念に「日本の道100選」も選ばれております。100選ということですが実際は104本の道が選ばれております。100選に選ばれた道を見ますと「新宿副都心街路」や大阪の「御堂筋」が入る一方で、京都の「哲学の道」や長崎の「オランダ坂」が入っていてとても地域色の強い選び方となっております。この100選に選ばれますと「道」と刻まれた銘版が道のどこかに埋め込まれます。その銘版を探して100選を旅する方も結構おられるようです。私も100選の中の静岡の天城路や沖縄の金城の石畳などに行ったことはあるのですが、この銘版を見過ごしてしまいました。都道府県に最低2本の道が選ばれておりますので、読者の皆様もお休みのときに見に行かれてはいかがでしょうか。

◆ちょうどこの文章を書いているころ、某テレビ局で放送された『新参者』をきっかけに東野圭吾先生の「加賀恭一郎シリーズ」を読んでいます。何気なく見た奥付頁ですが版数が48刷りとなっております。技術書を扱うものとしては夢のような版数と思う今日このごろであります。

(I.Y)

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

## トンネルと地下

第41巻 第8号 [通巻480号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成22年7月20日 印刷

平成22年8月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0041 東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)

TEL: 03-3553-6174

FAX: 03-3553-6145

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工社

〒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、書店または土木工社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。

## 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)

わが国の管渠整備事業においては、社会的ニーズや現場の施工条件等の要因により、推進工法の採用が必要不可欠とされています。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をしております。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おります。

### 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: 株式会社エス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。

月刊推進技術 編集室

http://www.lisweb.co.jp/micro-tunnelling/

〒135-0046 東京都江東区牡丹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@lisweb.co.jp

## 推進工事技士試験 過去8年間(平成14~21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. 内容と特長

- 過去8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)の典拠箇所を明記

### 2. 価格

各年度単体に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。

株式会社 LSプランニング

http://www2.ocn.ne.jp/~ls\_siken/

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

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

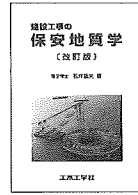
火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げ、また、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく解説。



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、著者の経験を変えながらまとめた。



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



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。



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。



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。



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。



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。



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。



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。



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。



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。



岩盤地下空洞の設計と施工

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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した。



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)

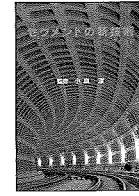
日本で唯一のトンネルと地下構造物の専門月刊誌。研究、調査・設計から施工にいたるまで、その時点での技術的問題点を中心に、業界の動向などをあわせて経歴しながら、新鮮な情報を提供する。



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。



地下水の科学 I~III (全3巻)

P.A.ドミニコ・R.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。



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。



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。



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

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病や有害環境条件、健康障害、衛生管理、保護具などを解説した。



書籍のお申し込み

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

株式会社 土木工学社

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

# 覆工コンクリート湿潤養生システム パラソル30ミスト工法

1. 一週間湿潤状態を保ち乾燥収縮によるひび割れを抑制
2. パラソル内でミストを噴出するため坑内の視界が良い
3. 天井部から吊っているためレール敷設が無く移動が簡単
4. 超細霧のため効率的な養生が出来て路盤の泥濘化を防止

NETIS登録申請中



NATMトンネル二次覆工コンクリートを最適に仕上げます

特許出願中



菅機械工業株式会社

URL <http://www.suga-kikai.co.jp>

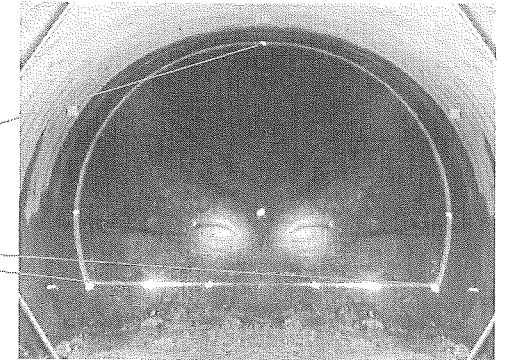
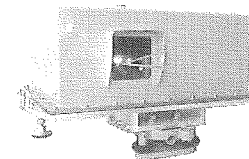
本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0021	東京都千代田区神田司町2-8-4	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-13-9	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460

本製品は特許出願中の技術であり、弊社はその特許出願について製品の実施権許諾を受けております

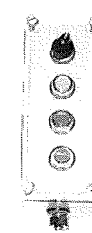
# レーザーマーキングシステム

国内、海外特許取得済み

残像効果を使ったペイント不用の連続高速照射を実現

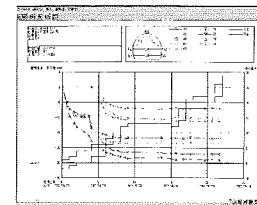


現場環境に耐え得る頑強なコントローラー

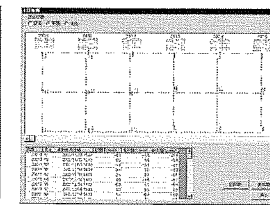


ジャンボに取付けて使用可  
AC200V対応

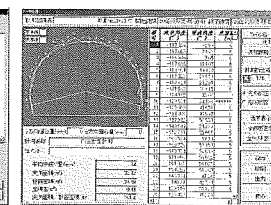
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



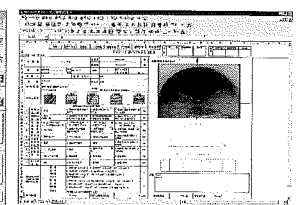
A計測データ処理



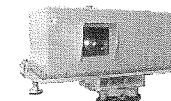
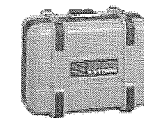
支保工立込精度、変形量



内空、巻厚検査



切羽観察、etc



豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

**MAC マック株式会社**

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

〔販売元〕

古河ロックドリル株式会社  
伊藤忠建機株式会社  
株式会社レント