

# トンネルと地下 **10**

vol. 47  
no. 10  
2016

Tunnels and Underground

線路下の道路函体71mをHEP&JES工法で施工  
補助工法による国道の沈下対策と坑外ベルコンで工事用道路の制約を回避  
小土かぶりの切羽安定対策と坑口地すべり対策で脆弱な頁岩を掘削  
ICTによる地下鉄トンネル維持管理システムの構築  
山岳トンネルの設計と現場との乖離(2)

日本トンネル技術協会誌



**FRD**  
FURUKAWA

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

ホイール式ドリルジャンボ

**JTH3200R-III PLUS / JTH3200R-III / JTH2200R-III**

国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事に用建設機械)指定機

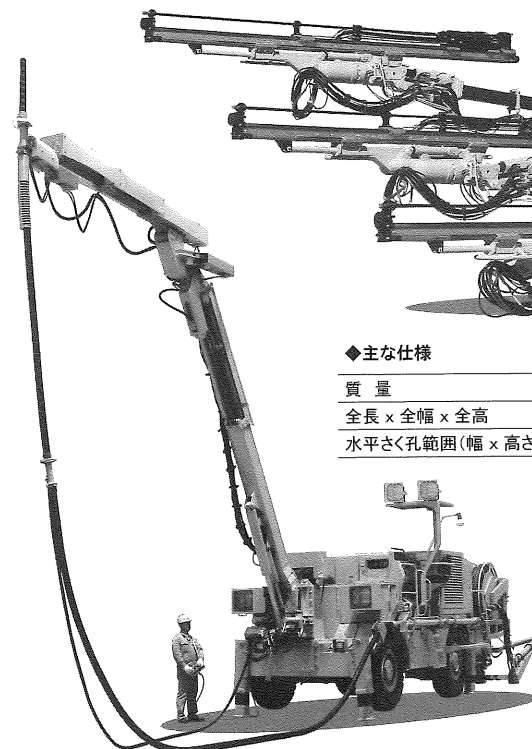
新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。



新型油圧ドリフトHD220搭載



▼JTH3200R-III PLUS



◆主な仕様	JTH3200R-III PLUS 3ブーム、2ケージ	JTH3200R-III 3ブーム、2ケージ	JTH2200R-III 2ブーム、2ケージ
質量	48.5 ton	44 ton	35.5 ton
全長 × 全幅 × 全高	15.6m × 3.1m × 4.2m	14.8m × 3.1m × 4.2m	14.2m × 2.7m × 4m
水平さく孔範囲(幅 × 高さ)	16m × 10.5m	13.2m × 8.8m	12.8m × 8.5m

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

**CJM2200E-V**

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

質量	24 ton
全長 × 全幅 × 全高	16 m × 3 m × 4 m
水平吹付範囲(幅 × 高さ)	13.3 m × 10 m

△古河機械金属グループ

**FRD 古河ロックドリル株式会社**

[www.furukawarockdrill.co.jp](http://www.furukawarockdrill.co.jp)

本社 〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目5番3号

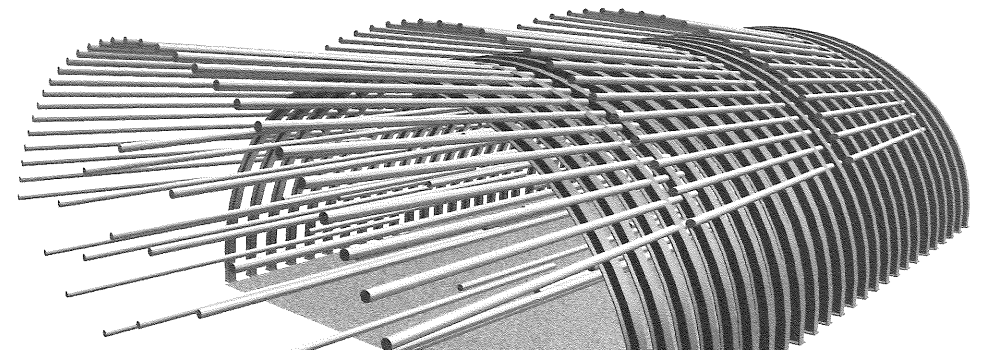
特機部 ☎03(3231)6966

札幌 ☎011-786-2222 東北 ☎022-384-8991 宮古 ☎0193-77-4245 関東 ☎027-326-9611  
名古屋 ☎0568-77-7700 関西 ☎06-6475-8221 中四国 ☎082-832-3542 九州 ☎092-948-2010

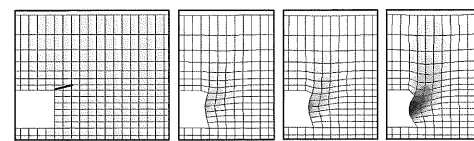
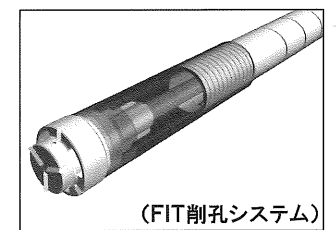
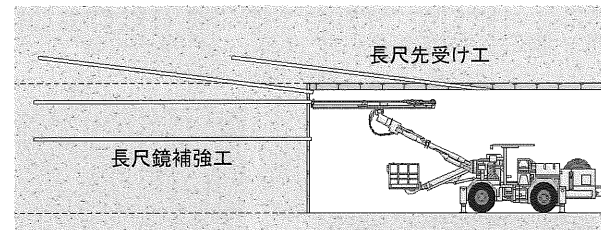
全方位 GFRP 管長尺補強システム

特許登録 第 2955279 号  
NETIS登録(No. CB-030065)  
施工実績 300 件以上

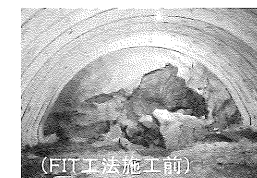
**FIT** 工法  
FRP INJECTION TUBE



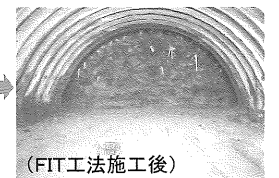
切削可能で掘削の妨げにならないGFRP管を使用し、切羽前方地山を確実にホールドできます。



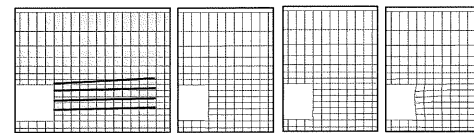
フォアポーリング



(FIT工法施工前)

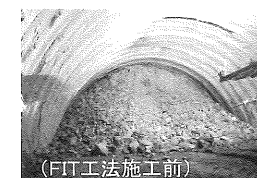


(FIT工法施工後)



FIT工法

(数値解析による効果の検証例)



(FIT工法施工前)



(FIT工法施工後)

**KFC 株式会社 ケー・エフ・シー**

東京土木営業部 TEL(03)6402-8251 FAX(03)6402-8255  
大阪土木営業部 TEL(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755  
札幌支店 TEL(011)751-4681 FAX(011)751-6482

ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

# 日本で生まれ、世界へ広がる。 NATMの補助工法

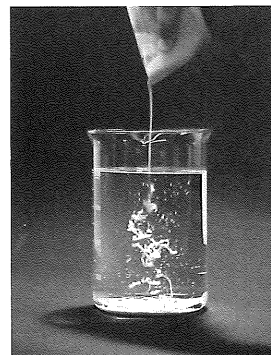
当社は、注入式フォアポーリングや長尺フォアパイリング、長尺鏡ボルトなど山岳トンネル工事の補助工法における樹脂系の注入材のパイオニアとして、数多くの実績を築いてきました。

スーパーSRFは「湧水地山においても水の白濁や泡立ちがなく確実に発泡固結し、湧水に流されることなく効果を発揮する」という他の樹脂系注入材にはない圧倒的な優位性があります。更に、多くの特許を取得しているため、他が追従できない商品です。

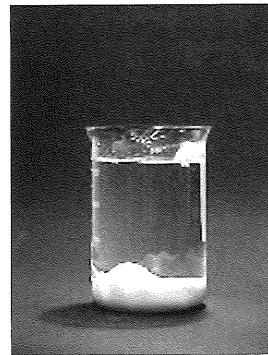
## スーパーSRFの優位性

スーパーSRFは、水に溶解、希釈することなく反応して発泡固結体を形成するため、湧水地山においても、水の白濁や泡立ちが発生せず、地山中に沈着し強固に結合するため、湧水に流されることなく卓越した効果を発揮します。これが他の樹脂系注入材には存在しない圧倒的な優位性であり、多くの特許を取得した「唯一無二」の技術です。

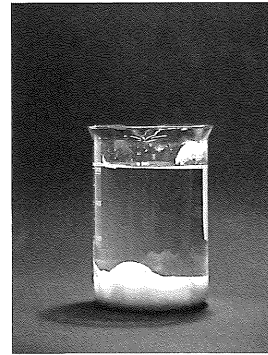
混合直後



3分後



10分後

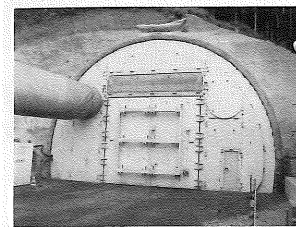


## 補助工法ラインナップ

- ⇒ 注入式フォアポーリング
- ⇒ 各種長尺フォアパイリング
- ⇒ 多重式長尺フォアパイリング
- ⇒ エコリムーブ工法
- ⇒ パノラマ工法  
(φ60.5MRS, φ76.3, φ89.1)

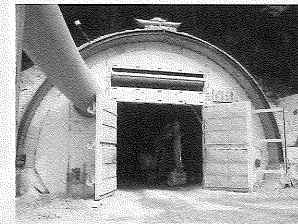
※特許取得、NETIS登録されているものがありますので、お問い合わせください。

## 快適な作業環境を提供する騒音対策システム ～25年の実績が最大級の安心をご提供いたします～



【防音扉】

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



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。

### 『防音扉マークII』の音響性能

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

### 『防音扉マークII 10s』の音響性能

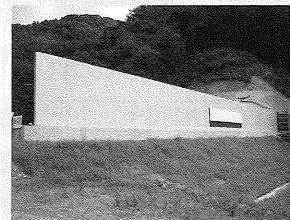
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	16 dB
2基設置	29 dB(A)	25 dB

### 『防音扉マークII 10c』の音響性能

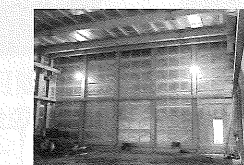
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	20 dB
2基設置	29 dB(A)	33 dB

### 『防音扉マークII 15c』の音響性能

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



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



Sタイプ(スタンダードタイプ)

Dタイプ(デラックスタイプ)

Hタイプ(ハイデラックスタイプ)



### 『防音パネルSタイプ』の音響性能

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

### 『防音パネルDタイプ』の音響性能

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

### 『防音パネルHタイプ』の音響性能

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

# 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.jp/>

技術部・中部営業部

TEL) 052-331-8821 FAX) 052-332-0164

東京支店

TEL) 03-3260-8321 FAX) 03-3266-1648

東京支店(仙台事務所)

TEL) 022-344-6041 FAX) 022-344-6042

関西営業所

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

九州営業所

TEL) 092-574-0856 FAX) 092-574-0846

北海道地区(株エイチ・アール・オー)

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

防音設備の設計、製造、施工、リース



# 株式会社 ヒューズ

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

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

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

建設業登録：東京都知事許可(般-25)第130153号

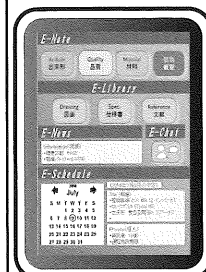
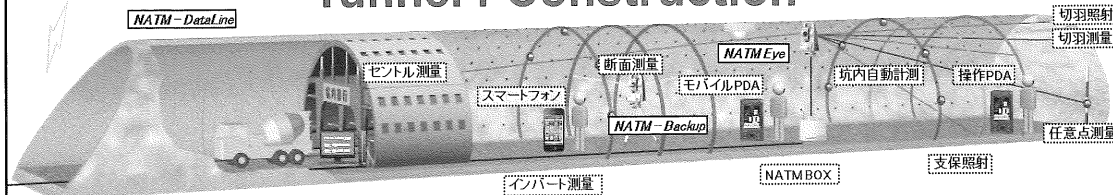
【建設騒音対策協会】E-mail: [souon@fuse-ind.co.jp](mailto:souon@fuse-ind.co.jp)

NEW

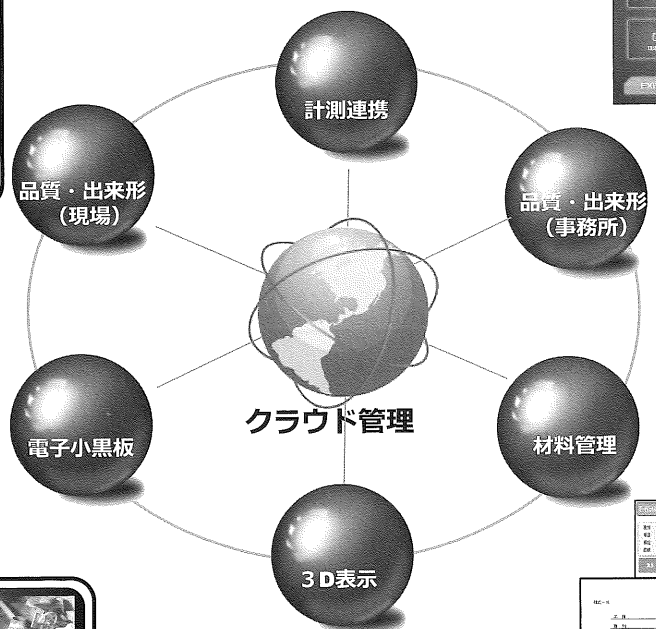
# 究極のトンネル施工管理システム

## 生産性向上への挑戦！！ En-Note

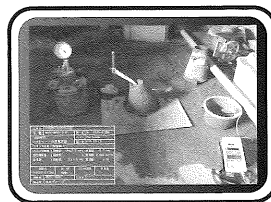
### Tunnel i-Construction



タブレット端末  
 ・品質  
 ・出来形  
 ・材料  
 ・切羽観察  
 ・写真  
 ・チャット  
 ・遠隔試験



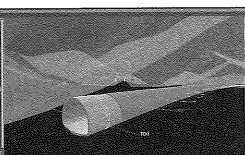
職員パソコン



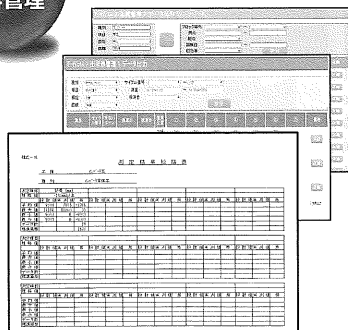
電子小黑板

クラウド管理

材料管理



3D可視化+情報管理(自動)



- ・現場で計測値を直観的な操作でタブレットに入力
- ・工事用小黑板で楽々撮影



黒板、野帳要らずで、現場の作業のみで各種情報はデータサーバへ保管



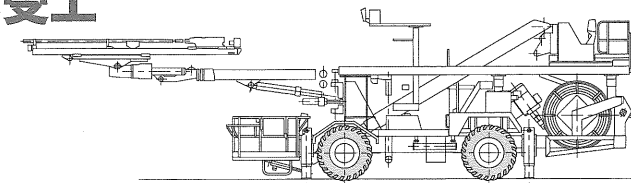
enzan

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

## 環境対応型長尺鋼管先受工

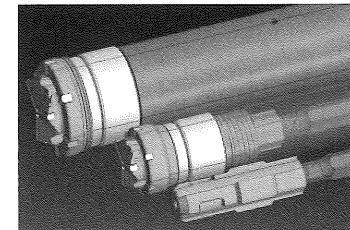
TOHO AGF System

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

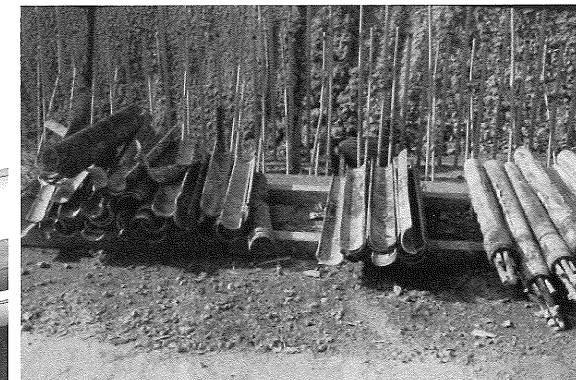
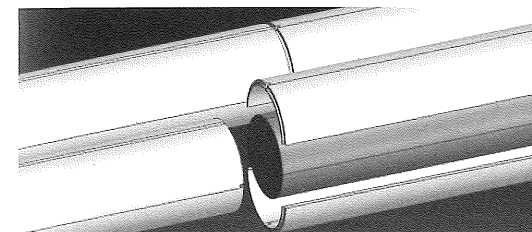


### AGF-Me工法

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



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



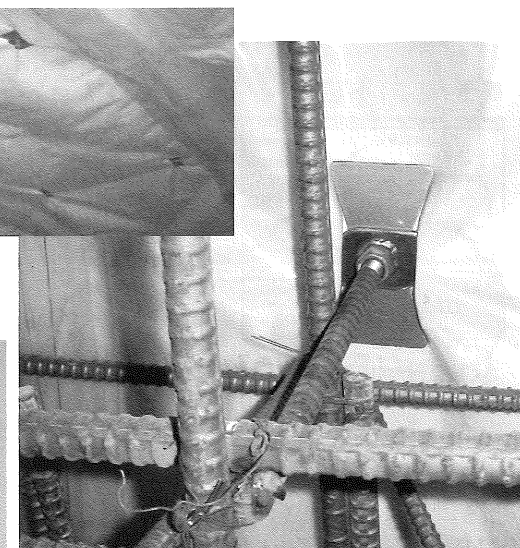
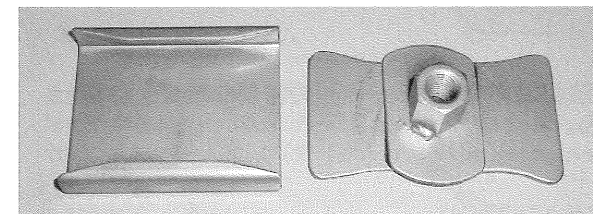
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

### TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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



東邦金属株式会社

TOHO KINZOKU Co., LTD

営業部

〒541-0051  
 大阪府大阪市中央区備後町2-4-9 日本精化ビル2階  
 Tel: 06-6229-9881 Fax: 06-6229-8150  
 URL: http://www.tohokinzoku.co.jp

株式会社 トーキソール

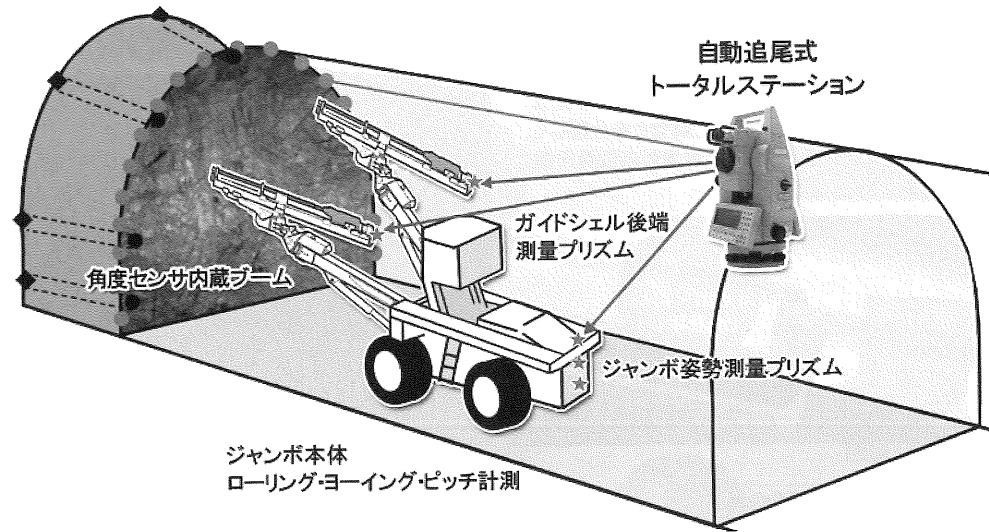
〒210-0854  
 神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11  
 Tel: 044-333-0012 Fax: 044-333-0321  
 (お問い合わせ先)

NETIS登録番号:KK-100049-A

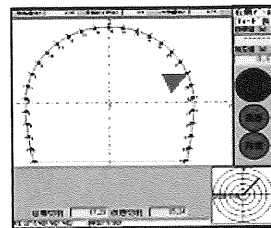
# 自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



## ■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

**MAC** マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

TEL:047-371-3191 FAX:047-371-3190

**FRD** 古河機械金属グループ  
古河ロックドリル株式会社

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3  
特機部

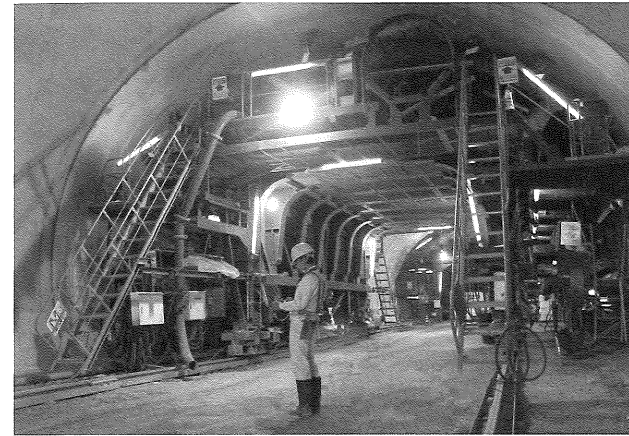
TEL:03-3231-6966 FAX:03-3231-6993

NETIS登録番号 QS-110040-VE

特許  
取得済

# 表面温度センサ!

【スマートセンサ型枠システム・セントル仕様】  
無線なので打設毎の配線手間が不要!



## スマートセンサ型枠システム 【セントル仕様】の特長

### コンクリート表面温度を 自動計測!

コンクリートの表面温度や型枠周辺温度、  
打設開始・脱型時期を記録します。

### 専用リーダーでデータを 読み取り!

表面温度や推定強度はグラフやカラー  
マッピングで解りやすく表示され、躯体の  
状態を現場でリアルタイムに把握するこ  
ができます。

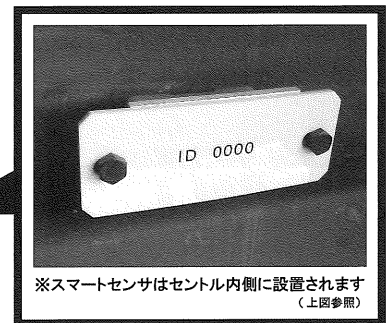


### 専用のSSリーダー

無線でデータ収集  
配線不要!



スライドセントル



※スマートセンサはセントル内側に設置されます  
(上図参照)

## II型樹脂型枠完成キャンペーン!!

NETIS標準仕様見積り単価

# 30~40%OFF!

### ■スマートセンサシステム

(1セット=1断面5台×3列=15台) \*セントル本体は別途

・使用料金... ~~140,000円~~ → 90,000円 / 打設回数 (基本料金含む)

・取付け・調整料金... 400,000円/回/1セット (センサの穴あけ別途)

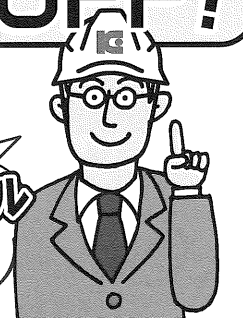
・取外し・校正料金... 400,000円/回/1セット (センサ部分の穴埋め別途)

### ■SSリーダー

・使用料金... 2,500円/日 (基本料金含む)

・諸経費・一般管理費 (技術指導・動作確認含む)

使用料金がより  
**リーズナブル**  
になりました!



児玉株式会社 & 東京大学

大学院工学系研究科  
建築材料研究室

児玉株式会社エンジニアリング事業部

〒812-0042 福岡市博多区豊2-4-23 TEL: 092-474-5360

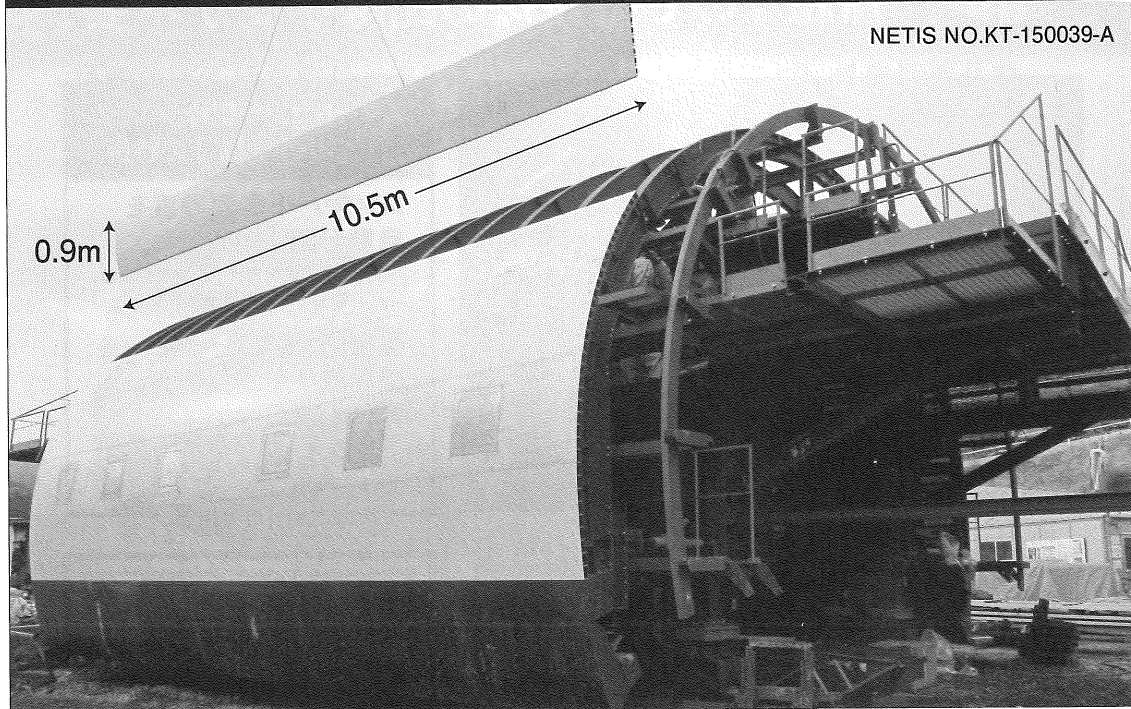
共同研究開発 特許製品

Email: engi.office@kodama-boss.jp

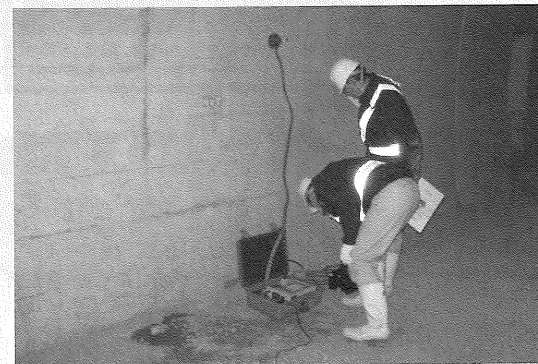
NEW

# トンネル覆工初期養生FRP工法 ～ハイブリッドフォーム誕生～

NETIS NO.KT-150039-A



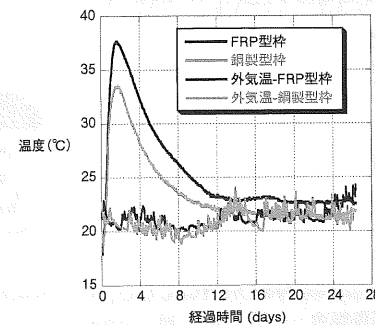
### ■透気試験実施



覆工コンクリートの表層部分の透気係数を測定することにより、コンクリートの中性化速度係数が30%～50%程度低下し耐久性が大幅に向上

### ■覆工コンクリート温度の経時変化

[宮崎大学との共同研究により、(株)アジタ 古江トンネル南にて測定]



◎3～4℃の保温効果により、コンクリート強度が15～20%向上

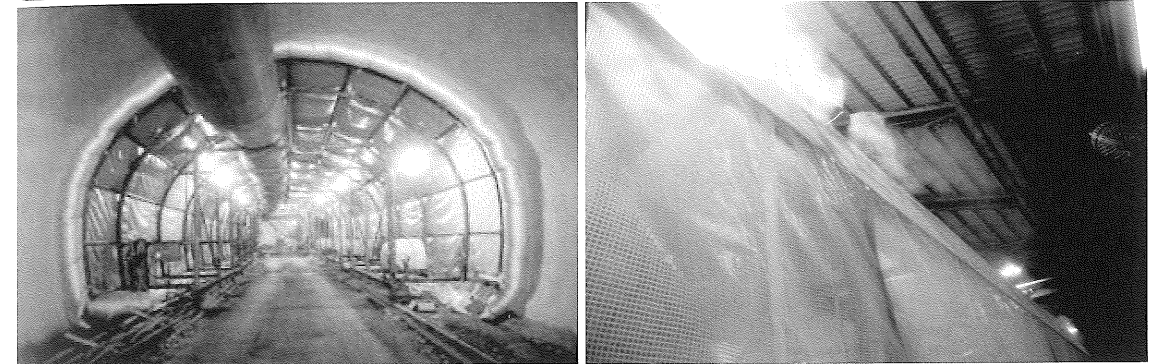
## M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

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

# トンネル覆工コンクリートの品質革命

## 散水式による覆工コンクリート養生システム

『トンネルミスト®』 NETIS登録:CG-080012-VR



散水式養生台車を使用します。

養生シートと覆工コンクリートの空間に散水を行い、湿潤養生を行います。気密性が保持され、保湿性・保温性が得られます。

### 【効果】

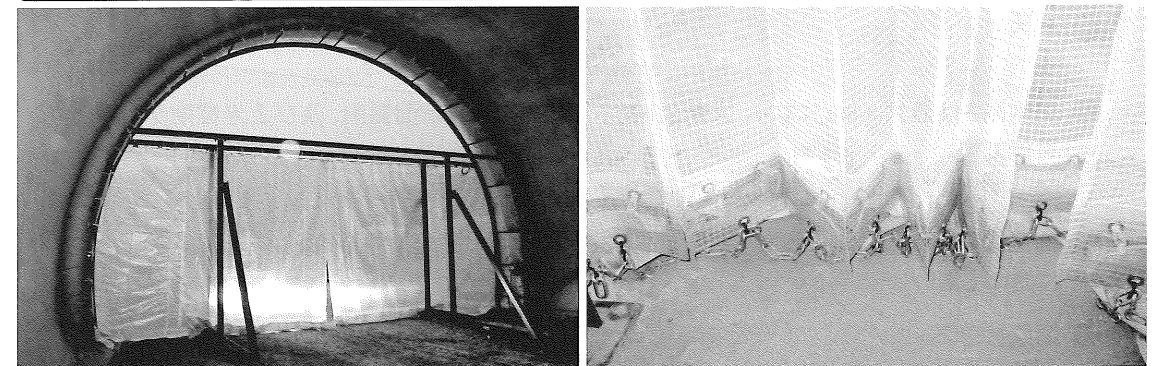
- ・コンクリートは密実になり、初期・長期強度を確保できます。
- ・乾燥収縮・温度応力によるひび割れが低減できます。
- ・耐久性に優れたコンクリートが得られ剥離剥落を防止できます。
- ・従来のひび割れ補修に比べて工期が短縮でき、コストダウンが可能となります。

実績および採用決定  
(平成28年2月現在)

施主	実績	計画物件
国土交通省	51件	5件
NEXCO	9件	5件
その他	41件	14件
合計	101件	24件

## 貫通後の通風を防止し、ひび割れを抑制します

『トンネルパーテーション』 NETIS登録:CG-110032-A



トンネル貫通後の坑口部に設置し、通風を防止します。

トンネル全断面を通風遮断シートで覆います。

固定式、移動式と用途に応じて仕様を選定できます。

### 【効果】

- ・貫通後の通風を防止できます。
- ・坑内温度・湿度を一定にできます。
- ・覆工コンクリートのひび割れが低減できます。

実績および採用決定  
(平成28年2月現在)

施主	実績	計画物件
国土交通省	8件	11件
NEXCO	4件	3件
その他	10件	8件
合計	22件	22件

## 株式会社 マシノ トンネルグループ

本社 〒733-0822 広島市西区庚午中1丁目19-23  
 TEL (082) 507-2737 FAX (082) 507-2721  
 大阪支店 〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3丁目16-3  
 TEL (06) 6389-6400 FAX (06) 6389-6410

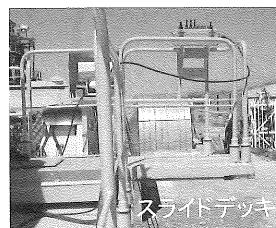
## 全断面对応トンネル高速施工掘進機 ロードヘッド SLB-350S



## 全断面トンネルの高速施工を目指して

### 特徴

- 国内最大の 350kW-4/6P 定出力型 2 速切換式電動機を搭載しており、軟岩トンネルはもとより、中硬岩トンネルにおいても十分な掘削能力を発揮します。
- 切削高さは最大 8.8m になり、大断面トンネルにおける全断面掘削、及び上半掘削が可能です。又、中折れブームを使用することで、ベンチ長を最大 5m まで確保できます。
- 低速掘削を行うことにより、機体安定性と掘削トルクが増加し、中硬岩トンネル掘削時において高い効果を発揮します。
- 油圧式のスライドデッキを機体両サイドに装備しており、機体幅より各々 1m の張り出しが可能であるため、下部掘削等におけるオペレータの視界が大幅に改善されます。



製造、販売、レンタル及びメンテナンス  株式会社 **三井三池製作所**

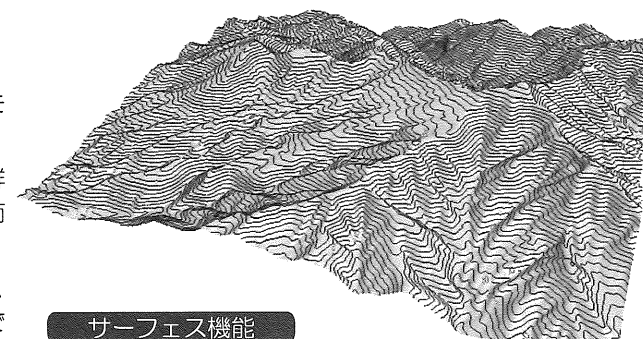
本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館  
産業機械営業部 TEL. 03-3270-2005 FAX. 03-3245-0203

http://www.mitsumiike.co.jp E-mail: sanki@mitsumiike.co.jp

## Geo-Graphia® を活用した 3 次元地質モデル作成と トンネルの情報化施工支援

### 地表面の生成

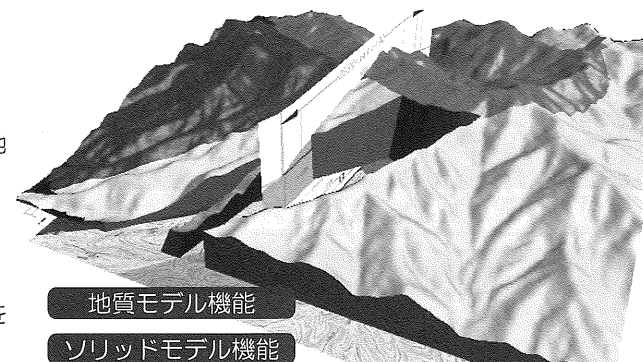
- 数値地図データなどから地表面の 3 次元モデルを速やかに生成します。
- レーザスキャンングにより得られた点群データを処理し、植生などを除いた地表面を生成します。
- 地形解析や落石解析・流解析を用いて、坑口斜面のリスク評価などを行うことができます。



サーフェス機能

### 地質モデルの作成

- 様々な資料を 3 次元画面に表示しながら地質モデルを作成します。
  - ・地質断面図、平面図
  - ・ボーリング結果
  - ・地質境界推定線、推定面
- 地質モデルを反映した有限要素メッシュを生成し、変形解析や浸透流解析に供します。

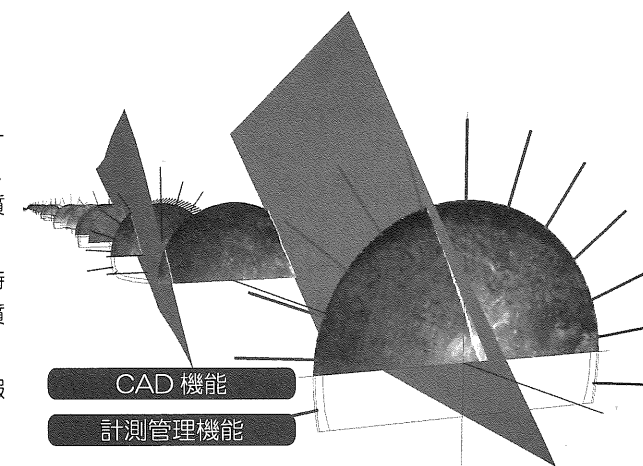


地質モデル機能

ソリッドモデル機能

### 地質モデルの更新

- 施工中に得られた切羽観察結果や先進ボーリング結果、前方探査結果などをもとに、地質モデルを更新し、トンネル前方の地質予測に貢献します。
- 岩級区分、支保パターン、計測結果を同時に表示し、トンネルの安定性に及ぼす地質の影響を評価します。
- 全てのデータを一元管理し、CIM への情報提供に備えます。



CAD 機能

計測管理機能



### 株式会社 地層科学研究所

本 社 〒242-0017 神奈川県大和市大和東 3-1-6 J Mビル 4F TEL.046-200-2281  
東京事務所 〒112-0004 東京都文京区後楽 2-3-25 金子ビル 6F TEL.03-5842-7677  
大阪事務所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-7-9 第7新大阪ビル 301号 TEL.06-6886-7774

Geo-Graphia 特設サイト



http://www.geolab.jp/

お問い合わせは chisouken@geolab.jp

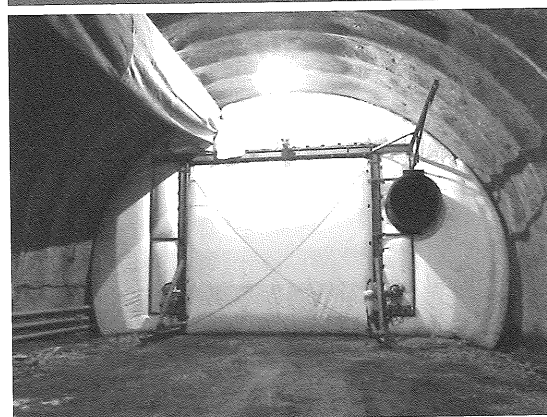
# トラベルクリーンカーテン(TCC)

NETIS登録 HK-120040-A 特許5757758号

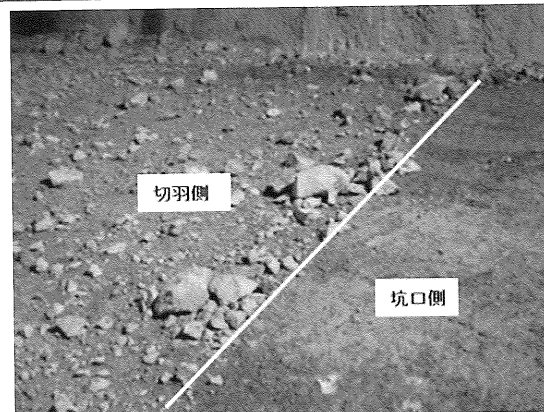
## 特徴

- 1, 粉塵を完全に封じ込め、粉塵が坑内へ拡散しません
- 2, 発破飛散石を完全に受け止め、重機を飛散石から守ります
- 3, クラッシャーの切羽側へ設置することで、サイドダンプによるズリ運搬距離が短縮可能となります

## 写真

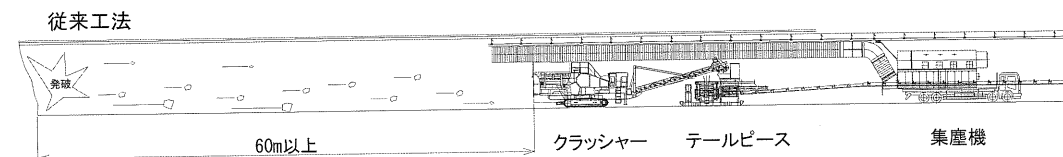


発破時のTCC

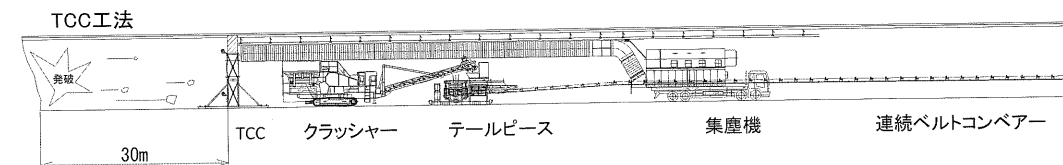


発破後の防護状況

## 概念図



従来工法: 切羽からクラッシャーまでの距離が長く、サイドダンプでの移動距離が長い



TCC工法: 切羽からクラッシャーまでの距離が短く、サイドダンプでの移動時間が短縮される  
又、移動距離が短くなることでサイドダンプの負担が減少する(修理費の低減)

## 総販売元



伊藤忠建機株式会社

エンジニアリング事業部 山岳土木機械部  
東京都中央区日本橋室町1丁目13番7号  
電話 03(3242)5022 FAX 03(3242)0370

## 製造

株式会社 東 宏

本社 札幌市東区東雁来9条3丁目2番3号  
TEL011-792-3000 FAX011-792-3333  
東京支店 江戸川区平井2丁目5番2号 平井ビル3F  
TEL03-3683-8011 FAX03-3683-8028  
URL <http://www.k-toukou.co.jp/>

# 月刊推進技術

## 購読のご案内



年間定期購読料金 **12,337円** (1冊1,130円(本体952円 税76円 送料102円))

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

### 申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号: 00130-3-576039 加入者名: 株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間定期購読料金12,337円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ております。

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

検索



## 月刊推進技術 編集室

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

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201 株式会社 LSプランニング内  
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail akasaka@lswb.co.jp

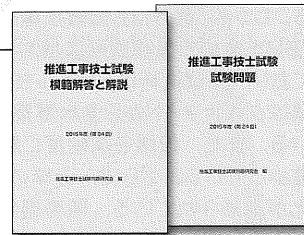
## 推進工事技士試験 過去6年間(2010~2015年度)

# 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、推進工法に係る技術、技能を適正に認定することを目的に(公社)日本推進技術協会が平成4年度より実施している制度で、管路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。



2015年度版発売中!!

### 1. 内容の特長

- 過去14年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- 各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出典箇所を明記

### 2. 価格

各年度単位に1set 2,000円(消費税・送料込)

### 3. 申込方法

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

## 株式会社 LSプランニング

<http://www.lswb.co.jp/shiken/anna>

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201  
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail oda@lswb.co.jp

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

# トンネルの発破技術

監修 山田隆昭 B5判 76頁 定価 1,500円+税 (送料別途)

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

山岳トンネルといえば、何を思い出すであろうか。「貫通発破」を思い出す方が多いのでは。発破の響きとともに岩が壊れ、外の光が差し込み、風が流れる。この感動は昔も今もトンネル関係者にとって普遍である。しかし、意外にも発破技術について詳しい人は少ないのが現状である。近年、機械の性能の向上に伴い、TBMを含めた機械掘削は増加の傾向にあるが、硬岩掘削は効率の良さから従来と変わらず発破が多用されており、発破技術はトンネル技術者にとって基本事項である。また、発破も時代とともに進歩しており、火薬類はダイナマイトから含水爆薬が主流となり、電気雷管も耐静電気性のも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

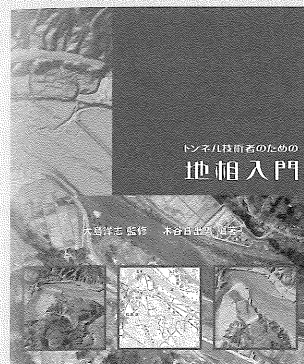
お申し込みは当社へ FAX、または、お近くの書店にてお申し込みください。FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は、書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記の上、お申し込みください。

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

好評発売中

地形にも相がある 地形の性質を知ろう！



## トンネル技術者のための 地相入門

大島洋志 監修 木谷日出男 編著  
B5判 203頁 定価 3,200円+税 送料別

図・表・写真 288点収録

山にも人の人相のように山の相がある。地形の性質を知り、事前に危険な箇所を把握することはトンネルを施工する上で重要である。

本書のように地形中心にこれほどまとまったトンネル技術書は今までになかった。施工者には施工中に予測される地形上の危険把握のため、発注者にはもっとも安全に施工できる路線選定ため、本書を有効利用いただくことが執筆陣の願いである。

第I編では地形図の読み方を平易にまとめ、第II編ではそれぞれの地形種について施工事例を交え説明している。第III編では監修者の経験を基に路線選定の注意点を施工事例とともに紹介している。

### 《主要目次》

序編 まえがき

地相は人相 山の性状

第I編 地形から読み取れる情報

地形から地相を読む方法 / 地形から得る具体的な情報

第II編 地形種とトンネルの施工事例

段丘・台地 / 崖錐・沖積錐・扇状地 / 傾斜層 / 地すべり /

マスマーブメント・滑落崖 / 断層 (断層変位地形) /

断層 (断層剝地形) / 火山地形 / カルスト地形・残丘 / 地形改変

第III編 路線選定

地相をよく観て路線選定を行う

あとがきにかえて

座談会

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

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

# コストダウンを可能にする Kリング・Kプレート

施工方法等詳細については下記までご連絡ください

製造・販売元 **静岡スチール**

〒436-0342 静岡県掛川市上西郷765-1  
TEL: 0537-24-3886 FAX: 0537-24-3859  
Mail: ktk@r5.dion.ne.jp

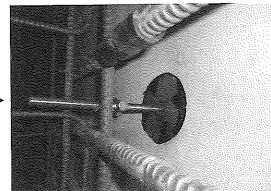
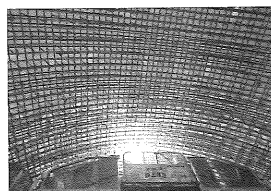
## ①アーチ鉄筋組立金物 (Kリング) 特許出願中 (特願 2001-309314号)

トンネル覆工工事におけるアーチ鉄筋組立金物。



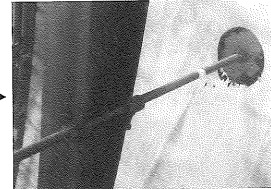
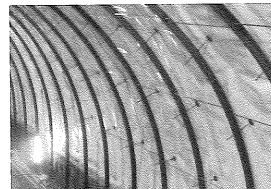
## ②トンネル覆工鉄筋防水シート接着ジベル筋組立 (Kプレート) 特許出願中 (特願 2015-037746号)

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



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

鋼製支保工を設置した場合もKプレートを使用することが可能です。



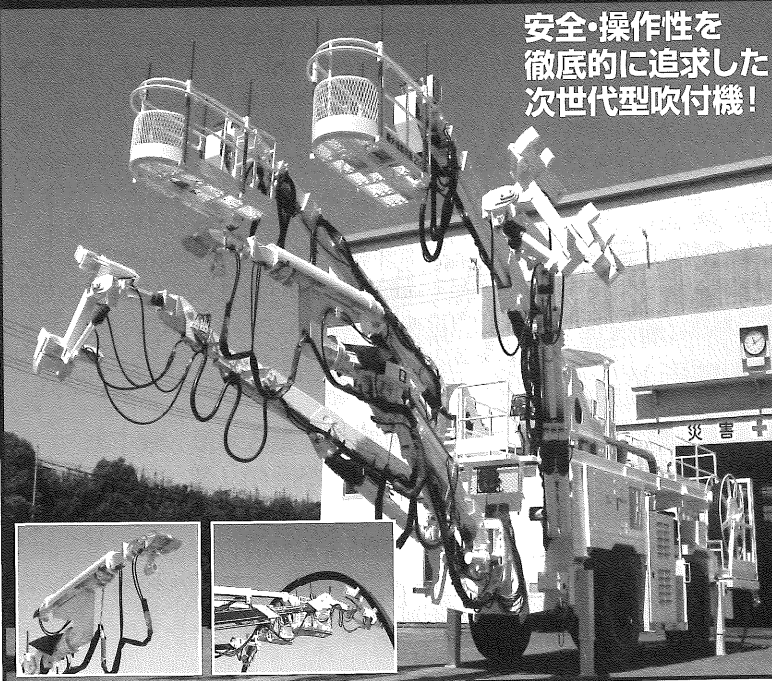
Kプレートで鋼製支保工を固定。架台の鋼製支保工の固定にも使用できます。

## エレクター付 コンクリート吹付システム (ホイール式)

# 『新型EJS NEJS I-TN』



安全・操作性を  
徹底的に追求した  
次世代型吹付機!



- ◆シャーシからの開発機種  
3種類の走行モードにより、  
高い機動力を発揮。
- ◆最新の吹付ロボット  
上下、左右の同調方式を採用し、  
意のままの操作が可能。
- ◆優れたエレクター機能  
1台で上、下半、インパットの  
全支保工建込が可能。
- ◆トラベル式円形バスケット  
車体からの直接乗込、  
地山への密着が出来、安全性にも考慮。



**ニシオティーアンドエム株式会社**  
山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業  
<http://www.nishio-tm.co.jp>

〒569-0836 大阪府高槻市唐崎西2-26-1

### ＜東日本カンパニー＞

- 北日本支店  
北海道営業所 TEL:0133-72-3715  
東北営業所 TEL:0197-71-2405
- 東日本支店 TEL:0268-62-1426  
浜松支店 TEL:0538-66-0166

### ＜西日本カンパニー＞

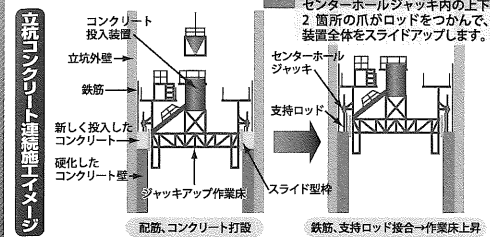
- 大阪支店 TEL:072-677-2101
- 九州支店 TEL:0982-26-2111
- 福岡営業所 TEL:092-976-6331

# 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

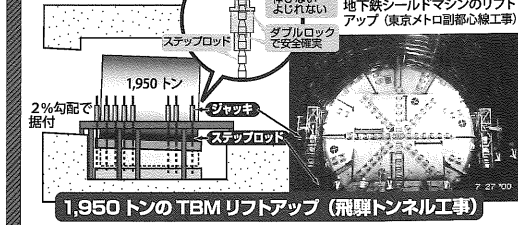
- コンクリート連続打設で  
工期短縮
- 型枠・足場組ばらし不要
- 掘削・グラウトスカフォード  
兼用でコストダウン



立坑コンクリート連続施工イメージ

## シールドマシン/TBMアップダウン

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



1,950トンのTBM リフトアップ (飛騨トンネル工事)

**営業品目** ■ジャッキリース・オペレータ  
■架台・型枠足場 設計・製作・据付工事

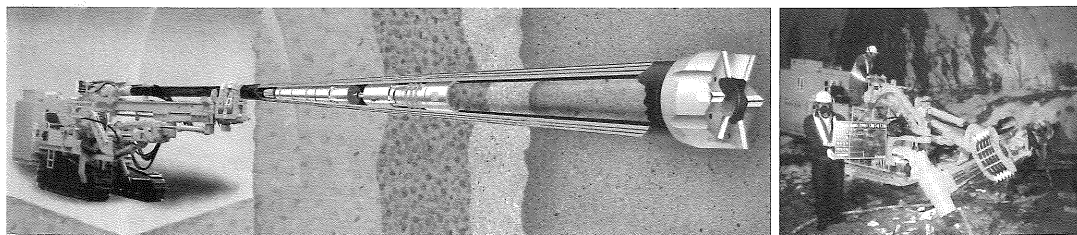
**JFE シビル 株式会社**  
JFE 都市基盤営業部 特殊工法グループ

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

# 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

- 断層破碎帯や湧水をとまらぬ難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行なえ、施工時間が大幅に短縮できます。
- 2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比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丁目17番22号 目白中野ビル1階  
TEL(03)6907-7888(大代表) FAX(03)6907-7527

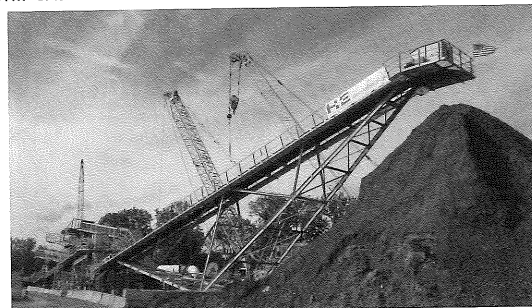
お問合せ先: エンジニアリング本部 エンジニアリング部  
TEL 03-6907-7512 FAX 03-6907-7522

<http://www.koken-boring.co.jp>

- 北海道支店: (011) 561-4961
- 東北支店: (022) 762-6075
- 信越支店: (025) 275-6877
- 首都圏事業部: (03)-6907-7511
- 大阪支店: (06) 6385-0350
- 中国支店: (083) 972-8757
- 九州支店: (092) 924-5001
- 海外事業部: (03)-6907-7515

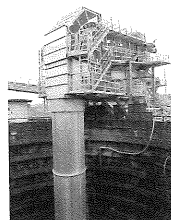
**HE**  
H+E LOGISTIK GMBH

Clever Conveying



Tunnel Diameter: 7.10 m  
Min. Radius: 1,000 m  
Minera l: EPB  
TBM Supplier: Herrenknecht  
Conveyor Length: 2,500 m  
Belt Width: 1,200 mm  
Capacity: 2,000 t/h  
Installed Power: 2×355 kW  
Belt Storage Capacity: 400 m / vertical

Tunnel Diameter: 11.30 m  
Min. Radius: > 457 m  
Minera l: EPB, Hard Rock  
TBM Supplier: Herrenknecht  
Conveyor Length: 5,410 m  
Belt Width: 1,000 mm / 1,600 mm  
Capacity: 1,200 t/h  
Installed Power: 4×160 kW, 2×90 kW  
Belt Storage Capacity: 2×300 m / horizontal



H+E Logistik GmbH  
日本代理店



**山崎マシーナリー株式会社** 担当：富樫

〒438-0216 静岡県磐田市飛平松 216 番地 1  
代表 TEL0538-66-1211 FAX0538-66-6410

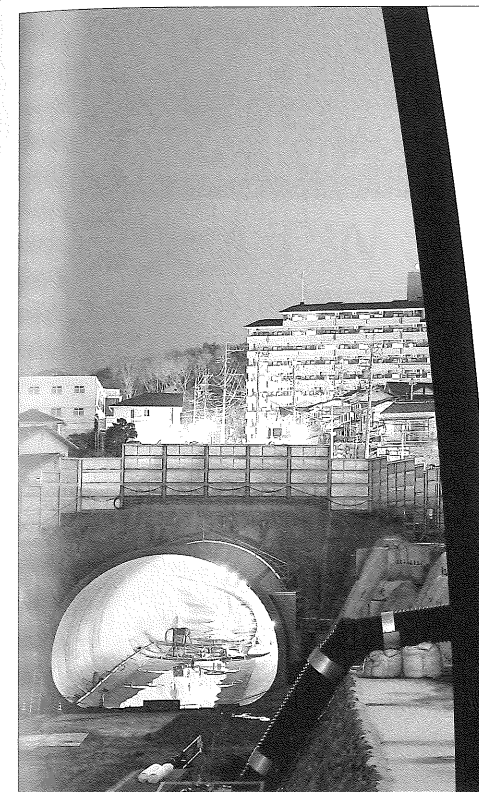
# 振動 マネージメント ソリューション

近接地に住居が存在する場合、振動の予測と管理を複雑高度な技術に頼らざるを得ません。利害関係は多岐にわたるので失敗をする余地は殆どありません。トンネル、道路、トレンチ、港湾、パイプライン等の掘削は、今後ますますコスト高となり、時間のかかる作業となってきました。

オリカ社は、日々直面するチャレンジに対する方策を見出す為に、全世界の技術研究所と技術力を使って前向きな考え方で取り組んでおります。その成果は電子雷管eDevilや発破デザインソフトであるShotPlus-T また、各種の爆薬に表れておりご理解頂けるものと思います。

一日でも早く完工する為に、日々の発破のモデル化、計測そして効率化を図っております。オリカ社がどの様な形で貴社のお手伝い出来るかについて [orica.com/edevill](http://orica.com/edevill) にアクセスしてeDevil Case Studyのビデオをご覧になって下さい。

[orica.com](http://orica.com)



**VOLVO 建設機械**

高い作業性とクールなデザインが人気  
年々強化される排ガス規制にも対応



ボルボ建機社 日本代理店 担当：浅野  
(直通) TEL0538-66-1215 FAX0538-66-6162

**TMS** Techni-Métal Systèmes

多目的運搬台車  
4次オフロード法取得 レールからの解放



TMS 社 日本代理店  
担当：富樫



**山崎マシーナリー株式会社**

〒438-0216 静岡県磐田市飛平松 216 番地 1  
代表 TEL0538-66-1211 FAX0538-66-6410

〔好評発売中〕

## わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修

B5判 209頁 本体価格2,500円 円340円

主要目次

序 編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第II編 トンネル工事と地質条件

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

第III編 地質調査法

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

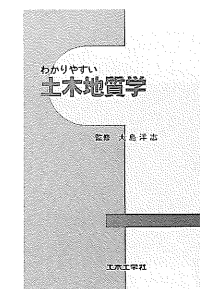
第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

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

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

**株式会社 土木工学社**

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

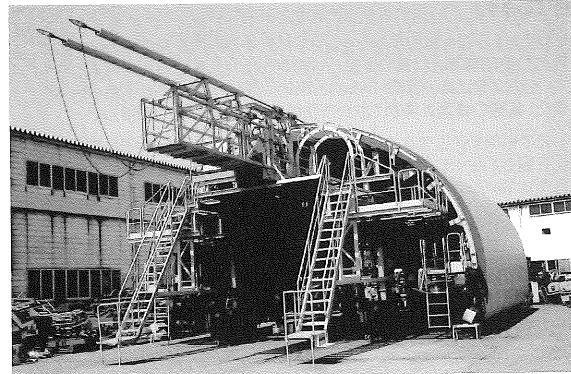


# 要求性能を満たす 覆工コンクリートの品質向上技術

## 鉄筋区間併用タイプ

### 天端引抜バイブレータ装置

NETIS 登録 No.HR-080001-V  
(平成 26 年度活用促進技術)



#### 期待される効果・特徴

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

## コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-VR (製造:株式会社マシノ)



#### 期待される効果・特徴

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

 **北陸鋼産株式会社**

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

北野工場：〒936-0806 富山県滑川市北野新 888 番地 TEL076(476)2155 FAX076(476)2177

滑川工場：TEL076(476)0333 FAX076(475)9121 東北営業所・工場：TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423  
東京支店：TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789 大阪支店：TEL06(4963)3520 FAX06(4963)3521

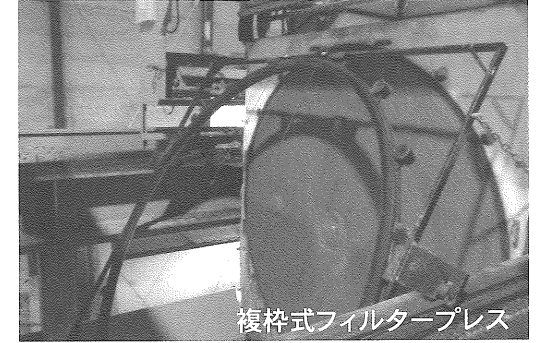
# 濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

## 環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0m<sup>3</sup>/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

#### 【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

## 《汎用車両全般》



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



10T ミキサー



10T ダンプ



4.5m<sup>3</sup>ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



各種車両 取り扱っております

 **株式会社 フジテックス**

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

■巻頭言

経験工学に理を加える

土屋幸三郎 ..... 5

■研究

ICTによる地下鉄トンネル維持管理システムの構築

榎谷 祐輝・三浦 孝智・川上 幸一・豊田 貞光 ..... 41

■報告

山岳トンネルの設計と現場との乖離(2)

—パネルディスカッション—

JTA 技術委員会山岳工法小委員会支保ワーキング ..... 59

■施工

線路下の道路函体71mをHEP&JES工法で施工

—名古屋都市計画道路椿町線—

中根 修・讃岐 賢太・岡田 英倫・水野 元 ..... 7

補助工法による国道の沈下対策と坑外ベルコンで工事用道路の制約を回避

—新東名高速道路 臼子トンネル・稲木トンネル—

間井 博行・藤井 研介・木梨 秀雄・秋山 幸一 ..... 19

小土かぶりの切羽安定対策と坑口地すべり対策で脆弱な頁岩を掘削

—九州横断道 高木トンネル—

峰 潔毅・中山 泰起・金子 和己・羽根田 隆 ..... 29

■連載講座

トンネル新技術への挑戦(11)

—WJ(Wing Joint)セグメント工法—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 ..... 67

■現場だより

「神々の降る里」御所市より

遠田 喜一 ..... 28

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

人との出会いを造ってくれたシールドトンネル

三浦 政美 ..... 49

■資料

土木情報

編集部 ..... 40

Tunnel Wall

平山 嘉一 ..... 46

トンネルジャーナル

編集部 ..... 48

工法・技術・製品ニュース

編集部 ..... 58

■会報

会報

日本トンネル技術協会 ..... 77

温泉とは？ 温泉の有効利用は？ この1冊であなたの疑問を解決します！！



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 本体価格1,200円(税込1,260円)

- 【主要目次】 1. バブル景気と『ふるさと創生一億円』 2. バブル崩壊後の温泉景気 3. 温泉とは
- 4. 温泉の分布と特徴 5. 温泉の成因と寿命 6. 温泉の探査技術 7. 温泉談義アラカルト
- 8. 外国の温泉 9. 日本の地熱開発 10. 将来の温泉開発と建設の考え方

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



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

【表紙説明】

線路下の道路函体71mをHEP&JES工法で施工

—名古屋都市計画道路椿町線—



本道路では、鉄道と交差する箇所においてアンダーパス工事を実施している。そのうち、本施工区間は施工延長が約71mの矩形断面長をHEP&JES工法で施工している。

本工事では、掘削時の効率化や施工時における路盤および軌道の変状抑制、切羽の安定確保を目的に技術開発を行った。写真は、箱形のエレメントの敷設が完了し、函体内を掘削している状況である。 [写真提供：東海旅客鉄道(株)] (本文7頁参照)

# 管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

## コンクリートトータル養生システム

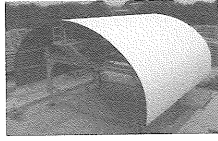
### セントル型枠

加温しながら初期強度を上げる  
**加温養生（型枠）**



### 第二養生

加温と湿潤を同時に行い品質向上  
**加温・湿潤養生**



### 第三養生

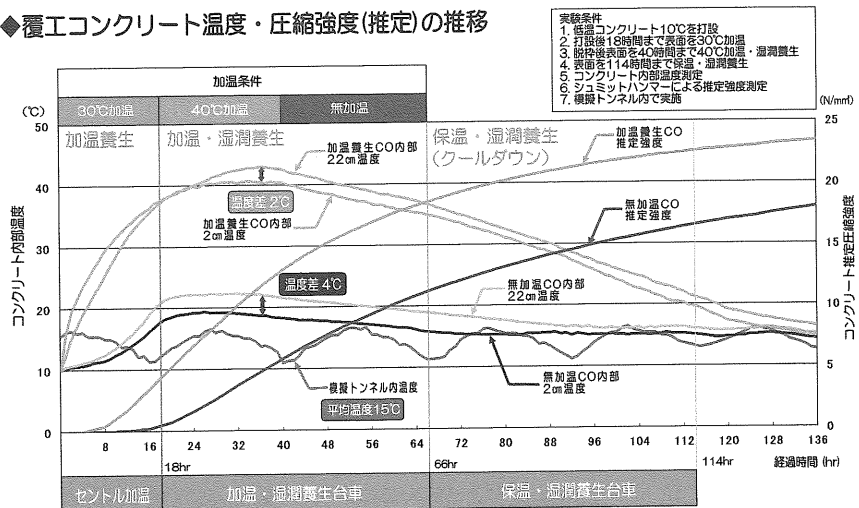
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ  
**保温・湿潤養生**



コンクリートの強度を予測管理  
**養生管理システム**

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



**岐阜工業株式会社**

本社 岐阜県瑞穂市田之上 811 番地 TEL 058-257-1000(代) FAX 058-257-1013  
営業部本部 TEL 058-257-1001 東京支店 TEL 03-5836-0531 札幌営業所 TEL 011-374-7027  
仙台営業所 TEL 022-259-2239 九州営業所 TEL 092-918-3880 宮古出張所 TEL 0193-77-5472

【製作・販売協力】

TECHNO  
テクノプロ株式会社

TOUKOU  
株式会社 東 宏

## 総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

小 山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

〔幹 事〕

居 相 好 信

株式会社大林組生産技術本部統括部長

伊 藤 聡

東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部  
改良建設企画課長

江戸川 修 一

清水建設株式会社土木技術本部  
地下空間統括部長

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

見 坂 茂 範

国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

西 岡 和 則

鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長  
(兼)土木管理本部土木工務部トンネルグループ長

藤 井 義 文

株式会社竹中土木常務執行役員

松 原 利 之

飛鳥建設株式会社技術研究所所長

森 正 彦

前田建設工業株式会社土木事業本部  
トンネル担当部長

八 木 弘

株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当)  
道路研究部トンネル研究担当部長

吉 富 幸 雄

大成建設株式会社土木本部土木技術部  
トンネル室参与

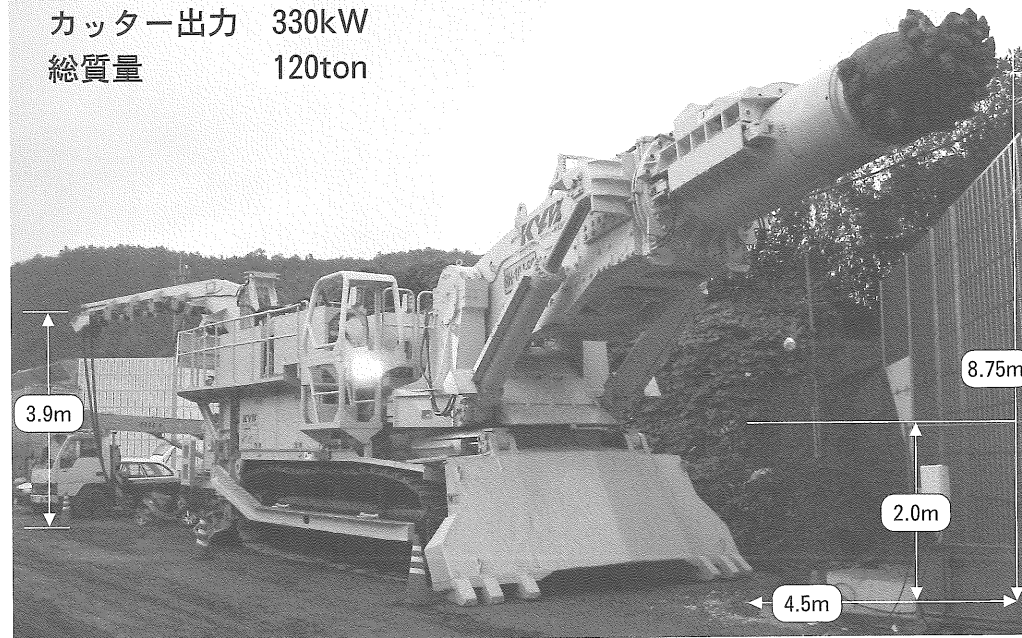
渡 邊 修

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

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4.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

**KYB** カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444  
カスタマーサービス 〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586  
相模事業所 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号 TEK 第二ビル TEL 06-6387-3371  
大阪支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998  
福岡支店 〒514-0396 三重県津市雲出長常町 1129 番地 11 TEL 059-234-4111  
三重工場

## 編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

### 〔編集委員長〕

小山 幸則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

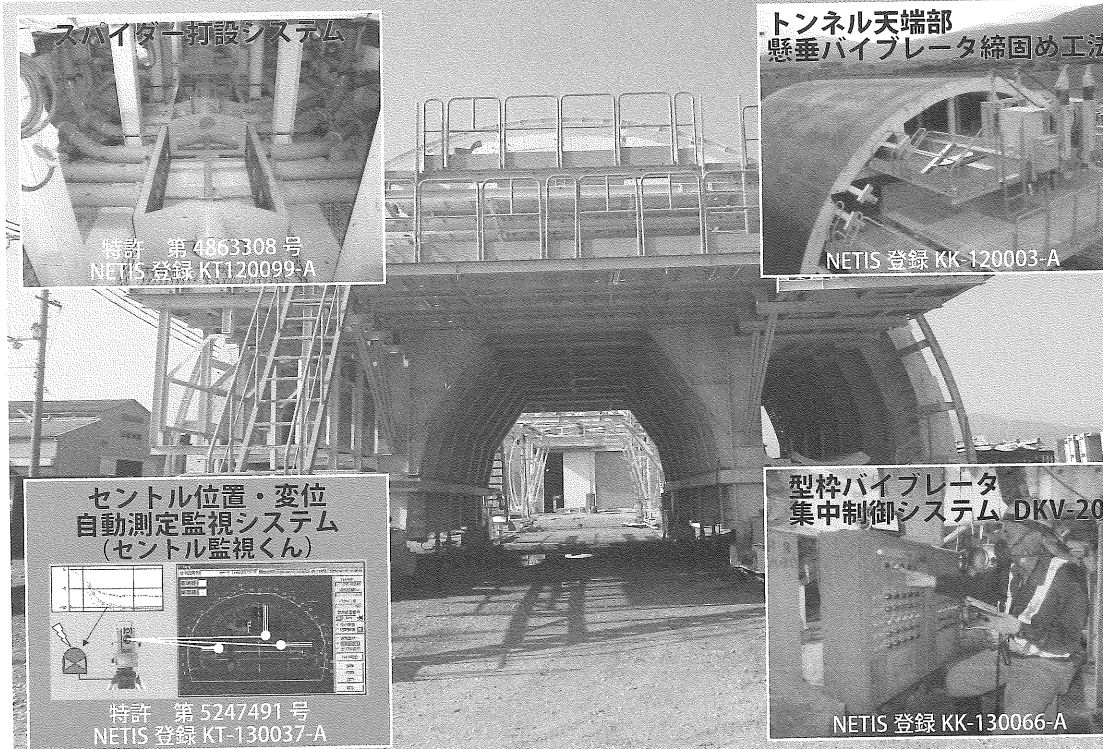
### 〔編集参与〕

大島 洋志 国際航業株式会社技術本部最高技術顧問 首都大学東京客員教授	真下 英人 一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所所長
木谷 日出男 国際航業株式会社フェロー技術本部 土地地盤研究担当	松浦 将行 地方共同法人日本下水道事業団理事
今田 徹 東京都立大学名誉教授	山田 隆昭 東日本高速道路株式会社参与 (シニアエキスパート)

### 〔委員〕

砂金 伸治 国立研究開発法人土木研究所つくば中央研究所 道路技術研究グループ(トンネル)首席研究員	平野 隆 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 技術基準担当課長
岡野 法之 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室室長	八木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当) 道路研究部トンネル研究担当部長
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長	安田 智 東京都交通局建設工務部計画改良課長
中井 宏 東京都下水道局建設部設計調整課長	山本 武史 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
中谷 誠一 東京都水道局建設部工務課長	吉本 正浩 東京電力パワーグリッド株式会社 工務部管路土木技術担当

# トンネル二次覆工型枠総合メーカー



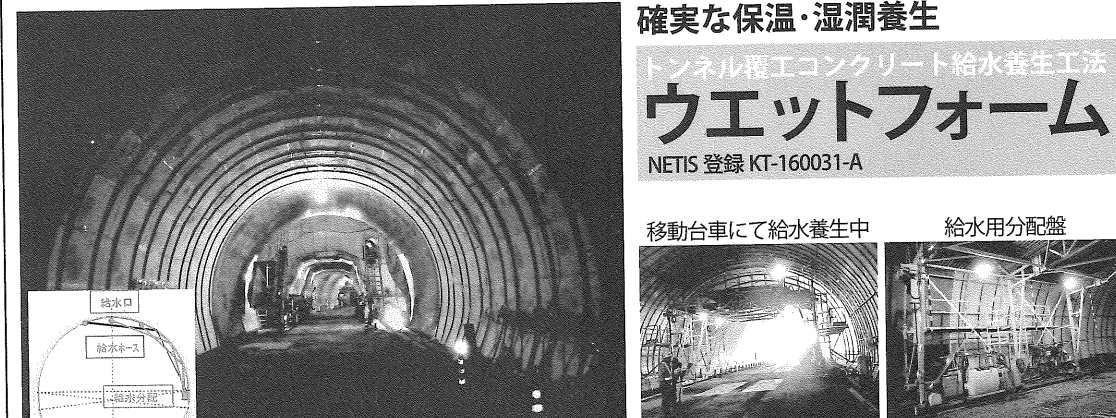
スパイダー打設システム  
特許 第4863308号  
NETIS登録KT120099-A

トンネル天端部  
懸垂パイプシートの締固め工法  
NETIS登録KK-120003-A

セントル位置・変位  
自動測定監視システム  
(セントル監視くん)  
特許 第5247491号  
NETIS登録KT-130037-A

型枠パイプシートの  
集中制御システム DKV-20  
NETIS登録KK-130066-A

## 新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



**確実な保温・湿潤養生**  
トンネル覆工コンクリート給水養生工法  
**ウェットフォーム**  
NETIS登録KT-160031-A

移動台車にて給水養生中      給水用分配盤

一步前進! ~限らない未来への挑戦~

**大栄工機株式会社**

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

## トンネルと地下 VOL.47 No.10 掲載概要

掲載頁  
7

線路下の道路函体71mをHEP&JES工法で施工  
—名古屋都市計画道路椿町線—

東海旅客鉄道(株) 中根 修

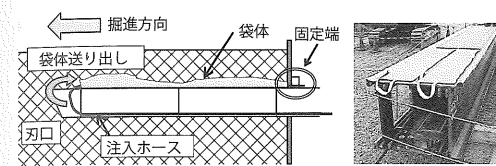
JR東海は、名古屋市の都市計画道路椿町線が鉄道と交差する箇所に、アンダーパス工事をHEP&JES工法で施工している。そのうち、本施工区間では施工延長が約71mと長大掘進長を有しており、矩形断面ではJR東海で過去最長の掘進長である。

本稿では当アンダーパスの構造概要を紹介したうえで、HEP&JES施工時の技術開発、計画時における課題・対策、および実施工時の課題克服策として実施した「想定外支障物への対策」「掘進中の出水に対する対策」「JR東海で初となる鉄道下の土留めの盛替え工法」について詳細を報告する。

**Build 71m Road Box Tunnel under Railway Tracks with the HEP&JES Method—Nagoya City Planning Road the Tsubakicho Road—**

By Osamu Nakane, Central Japan Railway Company

JR Tokai is currently constructing an underpass of the Tsubakicho Road as a Nagoya City Planning Road where it passes under JR railways using the HEP & JES method. JR Tokai is in charge of about 71m stretch to excavate and build it. It is the company's longest rectangular cross-section excavation on record.



This report contains an outline of the underpass construction as well as details of technological developments during use of HEP & JES technique, problems and measures during planning, and various measures against problems faced during construction: a measure against unexpected obstacles, dewatering during excavation and JR Tokai's first use of earth retaining replacement method under railway tracks.

掲載頁  
19

補助工法による国道の沈下対策と坑外ベルコンで工事用道路の制約を回避  
—新東名高速道路 白子トンネル・稲木トンネル—

中日本高速道路(株) 間井 博行

本工事中では、白子トンネルおよび稲木トンネルの上下線計4本の施工において、工程、安全、地質など各種施工条件によりそれぞれに大きな課題が存在し、適切に解決する必要があった。白子トンネルでは、マサ化した石英閃緑岩が分布する貫通側坑口部付近上部に近接した国道に支障が出ないようにトンネル掘削による沈下を抑制しながら、目標工期内に貫通させるため、追加調査、予測解析、補助工法を組合せ、先行の上り線、後行の下り線ともに無事に貫通させた。稲木トンネルでは、近接橋梁工事と共用する工事用道路の制約に対し、掘削ずりの搬出に坑外ベルトコンベヤを採用し、工程、安全、品質の課題を解決した。

本稿では、白子トンネルおよび稲木トンネルにおけるこれらの技術課題に対する解決策の検討と施工結果について報告する。

**Auxiliary Methods for National Road Subsidence and Overland Belt Conveyor for Road Restrictions—the New Tomei Expressway the Usugo Tunnel / the Inagi Tunnel—**

By Hiroyuki Mai, Central Nippon Expressway Company Limited

There were serious construction problems to solve in each of the 4 tubes consisted of inbound/outbound lanes of the Usugo Tunnel and the Inagi Tunnel on the New Tomei Expressway caused by process, safety and geological condition about building. For the Usugo Tunnel, we finished to build inbound and outbound tubes within the goal schedule using a combination of additional surveys, prediction analysis and auxiliary methods that had controlled subsidence of a national road above the arrival tunnel portal where weathered quartz diorite is distributed. For the Inagi Tunnel, we managed schedule, safety and quality issues using overland mucking belt conveyer that was installed in order to avoid heavy traffic caused by concurrently processing of adjacent bridge construction.

This report contains information on investigation into solutions for technical issues and construction results of the Usugo and Inagi Tunnels.



写真はベルトコンベヤの状況

九州横断道は、熊本県嘉島町から宮崎県延岡市を結ぶ高規格道路である。このうち、高木トンネルは、熊本県上益城郡御船町に位置し、造成された2つのゴルフ場の間を通過する全長約480mの山岳トンネルである。本トンネルの地質はスレーキング率の高い御船層群赤色頁岩が主体で、トンネル延長の50%以上が2D以下の小土かぶり区間となっている。このことから、掘削に伴う地山崩壊が懸念されたため、前方探査を実施し、探査結果にもとづく補助工法パターンを選定し掘削した。また、終点側坑口部右側斜面では白色凝灰岩に起因した地すべりが発生したことから、トンネル内外から地すべり対策を実施することでトンネル掘削を完了した。

**Dig Weak Shale While Stabilizing Face under Small Cover and Slope on Portal—The Kyushu Odan Expressway the Takagi Tunnel—**

By Kiyotake Mine, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism



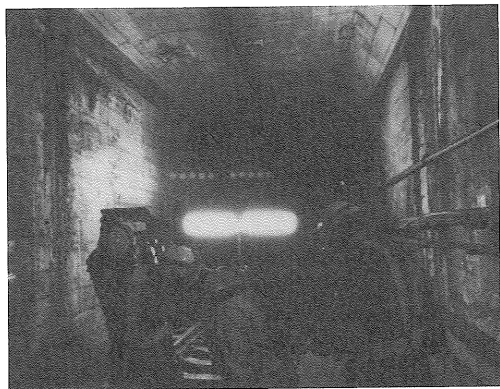
写真は赤色頁岩による法面崩壊(起点側坑口)

The Kyushu Odan Expressway is a high-standard road that links Kashima Town in Kumamoto Prefecture and Nobeoka City in Miyazaki Prefecture. On this road, the Takagi Tunnel is located in Mifune Town in Kami-Mashiki District, Kumamoto Prefecture and is a mountain tunnel of 480m in length that passes through 2 golf courses developed with cutting through mountain. The geological condition of this tunnel are mainly red shale of Mifune Group which has a high slaking ratio and over 50% of the tunnel's length does not have enough cover of less than 2D. Due to this, we predicted ahead of tunnel face in order to make a choice of auxiliary methods to excavate based on the prediction as there were concerns about ground collapse caused by tunnelling. In addition, as landslide caused by white tuff occurred on a slope to the right of the end point shaft, tunnel excavation was completed by implementing landslide measures inside and outside of the tunnel.

東京地下鉄(株)は、9路線、総営業延長195.1km(うち、トンネル延長166.8km)の施設を保有し、1日707万人のお客様にご利用いただき、日本の首都東京の都市機能を支える重要な社会資本となっている。しかし、今後人口減少による技術者の不足が予想され、今までどおりの人間に頼った維持管理を続けられるかどうか懸念されている。トンネルを健全な状態に保ち、安定した営業を将来にわたり継続していくためには、トンネルの検査や補修計画の立案の効率化が大きな課題となっている。このようなことから、トンネルの維持管理のICT化を進め、人間が行う検査が効率化でき、検査結果データから迅速に適切な補修計画が立案できるシステムを構築したので紹介する。

**Subway Tunnel Maintenance Management System Using ICT**

By Yuuki Enokidani, Tokyo Metro Co., Ltd.



写真はタブレット端末の使用状況

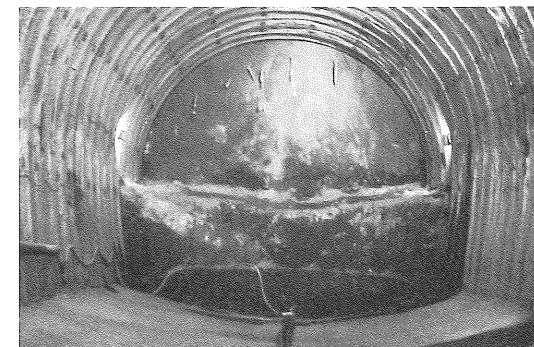
Tokyo Metro Co., Ltd. owns 9 subway lines that amount to 195.1km of total length in service, of which 166.8km is tunnels, has 7,070,000 passengers a day and is important social infrastructure that supports the metropolitan function of Japan's capital, Tokyo. However, it is predicted that there will be a lack of engineers in the future due to the decreasing population and concern remains about whether maintenance management is able to keep conducting by humans. Optimizing tunnel inspection and the creation of repair plans is a serious issue in order to maintain tunnels in a sound condition and continue stable operation into the future. This report contains information on the progress in use of ICT-supported tunnel maintenance management, the optimization of inspections by humans and the development of a system that can promptly create suitable repair plans from inspection results data.

トンネル工事を施工する際に、設計図書や示方書に記述されている内容どおりに施工することが困難、あるいは、できない場合がしばしばある。本WGでは、この課題について、「設計と施工の乖離」と考え、その現状を調査し、その結果を本誌Vol.44, No.6,7(2013(平成25)年6,7月号)に報告した。今回、本協会設立40周年記念事業として、この課題について議論する山岳シンポジウム「理論と実際の乖離」を開催した。ここでは、前回の調査結果に加えて、新たに追加の課題・疑問点を再度アンケート調査し、その現状を把握するとともに、実施した調査結果をもとにシンポジウムのテーマを設定することとした。前号では、アンケート結果について報告したが、本稿ではシンポジウムについて報告する。

**Disconnect between Dogma and Reality of Tunnel Supports (2)—Panel Discussion  
By Japan Tunnelling Association**

When conducting tunnelling works, some works are often difficult or even impossible to construct in accordance with design documents and specifications. We considered this issue as 'disconnect between dogma and reality', researched the current situation and reported its results in Vol.44, No. 6 and 7 (June/July, 2013) of this magazine.

A symposium 'The Disconnect between Design and Execution in Conventional Tunnelling', was held to discuss this problem as a project to commemorate the 40th anniversary of JTA. In addition to previous survey results, we conducted a new survey concerning additional problems and, along with understanding of the current situation, the symposium theme was set based on the survey results. We had reported survey result in last issue and provide result of the symposium in this.



写真は鏡安定対策を伴った早期閉合の事例

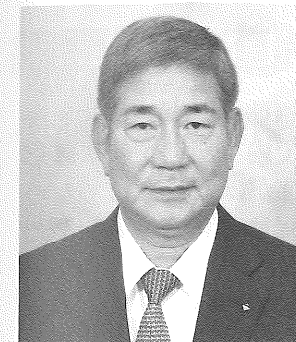
# 巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)

## 経験工学に理を加える

(株)大林組代表取締役副社長(本協会評議員)

土屋幸三郎



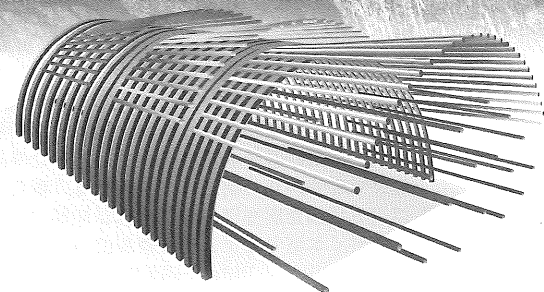
2016(平成28)年6月1日、スイス・アルプスを南北に貫く新スイス縦貫鉄道のゴッタールドベーストンネル57.1kmが開通式を迎え、わが国の青函トンネル53.9kmを抜いて、世界最長トンネルとなった。このトンネルの総延長は約152kmとなり、最大土かぶり2,300mのトンネル中央部を発破工法、それ以外を4台のTBMで掘削、約17年で完成させており、多くの最新技術が駆使されたものと想像される。

青函トンネルは、本坑と先進導坑などを含めると総トンネル延長が約124km、水深100m、土かぶり140mの海底トンネルである。この難しい工事を、1971(昭和46)年11月の本工事着工から1988(昭和63)年3月の開業まで約16年で完成させ、その後28年間は世界最長トンネルであった。さらに、掘削・支保工・覆工の新技術だけでなく、超長尺先進ボーリング、地山改良技術なども開発実用化され、わが国のトンネル建設技術発展に大きな影響を与えており、工事に携わられた多くのトンネル技術者の諸先輩の偉大さに改めて敬意を表したい。

わが国の山岳工法は、1978(昭和53)年、日本開催のITAシンポジウムを契機に、矢板工法(在来工法)から、ロックボルト・吹付け工法(NATM)に進化した。トンネル技術者は、過去に固執することなくチャレンジし、わずか8年、1986(昭和61)年にはNATMを土木学会トンネル標準示方書での標準工法に位置づけている。それ以降も日本独自の工法として発展を続け、高強度・高品質の支保部材、適用地山拡大やトラブル減少に寄与する各種の補助工法、高能力の削岩機や吹付け機、ずり出しでの連続ベルトコンベヤ、高能力の換気集塵システムなどが開発導入され、生産性と作業環境が飛躍的に向上してきた。

NATMの特徴の一つに、現場での計測データを設計・施工に反映する情報化施工が挙げられる。そして、計測機器を含むシステムに加えて、データ処理をするコンピュータ技術、さらにFEMに代表される数値解析技術も飛躍的に進歩してきた。

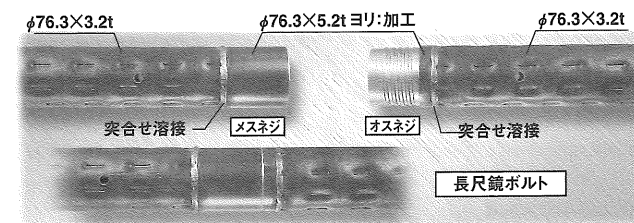
しかし、これらの解析技術と多くの計測データは本当にその現場の施工や次のトンネルの設計に有効に利用されているのか、NATMが地山本来の保有する支保能力を積極的に引き出して地山自体によってトンネルを安定させるという概念の工法であるので、とくに都市部などの土砂地山や軟岩では地山の強度・変形特性・地下水に対する定量的評価が地盤・岩盤工学的な見地から適切になされているのか、という点では懸念を持っている。トンネルは土木分野の中でもとくに経験工学の要素が多いと言われる。実際に



NETIS登録No.KK-160026-A

### ストロング FIXチューブ(S型)

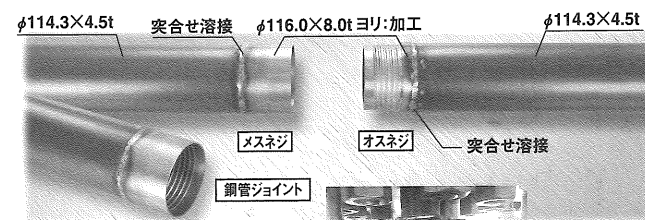
- ※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
- ※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



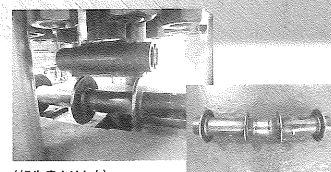
NETIS登録No.KK-150045-A

### AGF-STD工法

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

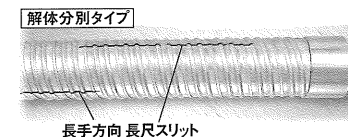
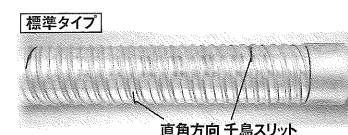


曲げ耐力30%UP!!



(報告書あります) 接続部の抗折力試験

#### 撤去管の選択



#### STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

### 注入材・その他工法

NETIS登録No.KK-110040-A

- ※ウレタン系空洞充填:NTR工法
- ※ウレタン系注入材:NEW-TSRF、NEW-TBU
- ※高速ルートパイル:SPフィックスパイル工法
- ※φ27.2注入管、自穿孔ボルト各種在庫あり



エステ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:072-990-0250 FAX:072-990-0251

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

行ってみて理論は後から付ける。的を得ているが、理論は追い付いているのか。経験工学の名のもとでその研究開発をなおざりにしていないかを感じる。一次支保は地質種別と弾性波速度・地山強度比などから判定する地山等級に対応した標準支保パターンで決められ、二次覆工はほぼ一義的に厚さが決まる。二次覆工は計測で内空変位が収束確認後に施工されるが、二次覆工に土圧が作用していないのか？ 変位がほぼ収束しても一次支保に過大な応力や変形が発生した場合、二次覆工の安全性担保はこれで良いのかと考える。

私は、おもに開削トンネルとシールドに従事し、若いころに土留めの研究をする機会を得た。そのとき、土留めに作用する土圧と水圧の解明が本質と考え、多くの現場計測データを分析し、その大きさと形状および掘削に伴う変化を解明して予測式を提案した。さらに、数種類の地盤ばねや回転ばねで、切梁のプレロードや土留め壁の回転拘束なども考慮できる土留め解析プログラムを開発し、解析と実際の計測結果との検証を行って実用化、土留めにおいて経験工学をベースに合理的な理論や設計法を確立し、実務に活用してきた。

シールド工法は、開放型の手掘り式シールドから密閉型の泥水式・土圧式シールドへ、都市部の軟弱地盤での安全で合理的な工法として飛躍的に進歩した。掘削径も東京湾横断道路トンネルでの採用により大口径化し、これから本格施工となる外環道では外径16m、1工区延長9kmにまで長距離化も進んできた。並行して、高速掘進を実現する各種のセグメント継手、掘進覆工同時施工や連続ベルトコンベヤのずり出しシステムも開発、実用化され、生産性も飛躍的に向上してきた。

私は、いわゆるバブル期、技術開発に意欲的だった時期に、シールドの掘進管理システムをスタートに、自動方向制御・セグメント自動組立てで自動化・ロボット化に取り組んだ。今、技能者の減少、生産性向上、インフラ整備のスピードアップという本質的なニーズの高まりから、これらの技術は高速掘進ツールの一つとして役立っている。

NATM導入初期、B計測として作用土圧や地中変位の計測も行い、結果分析や評価の議論があった。しかし、最近では作用土圧などの計測が省略されることも多く、計測結果の議論も少ないように感じる。NATMは地山自体によってトンネルを安定させるという概念の工法であるが、軟岩や土砂地山の一次支保には土圧が作用し、場合によっては二次覆工にも土圧が作用する。一般的な設計の観点から、外力としての土圧の議論なくして支保構造が決まることは理解しがたい。最近、中堅のトンネル技術者との会話で、トンネルは経験工学、理論は後から付けると言われるが、理論や定量的な設計法の議論はあまりなく、これで良いのかという意見があった。志のあるもっともな意見と思える。

自然、とくに地盤・岩盤を扱う土木技術者にとっての経験工学は非常に重要である。しかし、基本に戻り、NATMの特徴である情報化施工と計測結果の分析評価をしっかりと進め、その結果を理論的かつ定量的に反映した支保工および二次覆工の構造設計法の研究も必要と感じる。志を持つトンネル技術者、経験工学に理を加えられる技術者が増えることを期待したい。

# 施工

## 線路下の道路函体71mをHEP&JES工法で施工

### 一名古屋都市計画道路椿町線

東海旅客鉄道(株)建設工事事務土木工事課担当課長 中根 修  
 東海旅客鉄道(株)建設工事事務土木工事課主査 讃岐 賢太  
 ジェイアール東海建設・大成建設・竹中土木共同企業体椿町線Bv作業所現場代理人 岡田 英倫  
 (株)ジェイテック工事事務課長 水野 元

### 1 はじめに

現在、名古屋駅の南方に位置する旧国鉄笹島貨物駅跡地の約12.4haと中川運河船だまり周辺を含む地域を利用したまちづくりとして、「ささしまライブ24」の土地区画整理事業と街路事業を名古屋市が進めている。その一環として、当地域へのアクセスの利便性向上を目的とした名古屋都市

計画道路3・3・14号椿町線の整備が進められており、JR線、名古屋臨海高速鉄道あおなみ線、近鉄線が並走する箇所においてアンダーパス工事が実施されている(図-1)。そのうち、関西本線、名古屋車両区構内線および名古屋臨海高速鉄道(株)が運行管理しているあおなみ線を含む、計9線の直下についてJR東海が名古屋市より施工委託を受けており、ボックス延長71.4mは、JR東海が施工

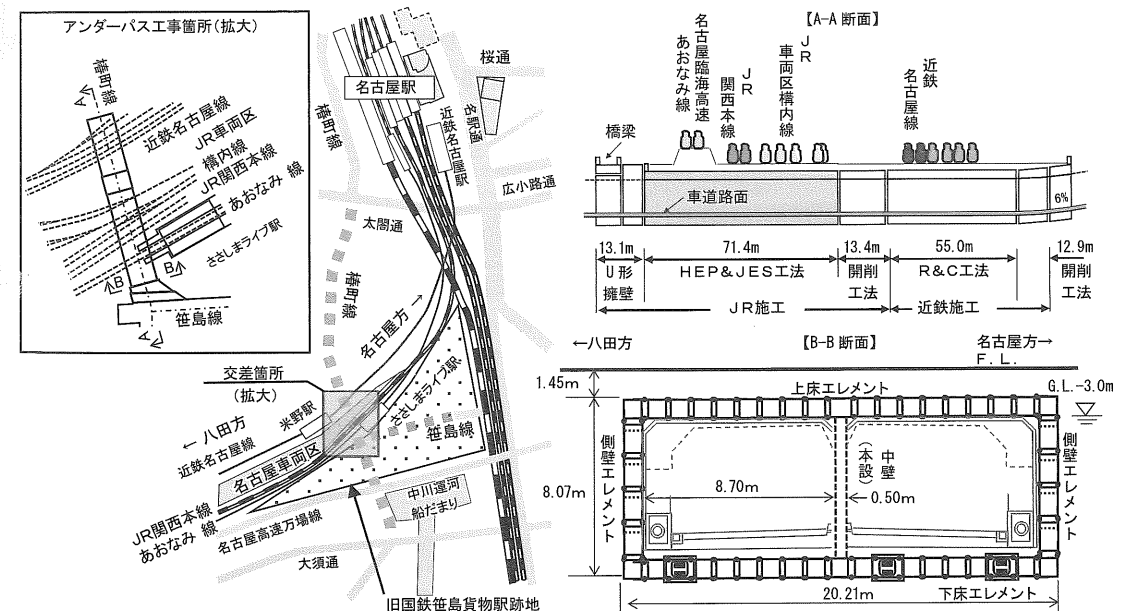


図-1 アンダーパスの計画概要

するアンダーパスでは、過去最長である。

掘進延長の長い鉄道下の非開削工法として、当初計画時には、HEP&JES工法、R&C工法、PCR工法などの各種工法が挙げられたが、小型の箱形エレメントを敷設し本体利用が可能となり軌道に与える影響をできる限り抑えられることなど、施工上の安全性や経済性および工期の観点からHEP&JES工法を採用した。

本稿では、アンダーパスの構造概要を紹介したうえで、HEP&JES工法施工時の技術開発、計画時における課題、対策、および実施時に発生した課題、対策について報告する。

## 2 HEP&JES工法およびアンダーパス構造概要

HEP&JES工法は、①断面寸法1m×1m程度、延長約70mの鋼製箱形エレメントを、PC鋼より線を利用して発進側から到達側へ牽引するHEP工法と、②各エレメントにJES継手を用いて嵌合させる特殊な構造を与え、延長に左右されずエレメントを順次線路下に敷設可能なJES工法を、組み合わせたものである。これにより、エレメント鋼板が鉄筋と同じように引張力を負担し、エレメント内に充填したコンクリートが圧縮力を負担する構造となる(図-2)。

線路下に敷設する函体の天端から鉄道の路盤面

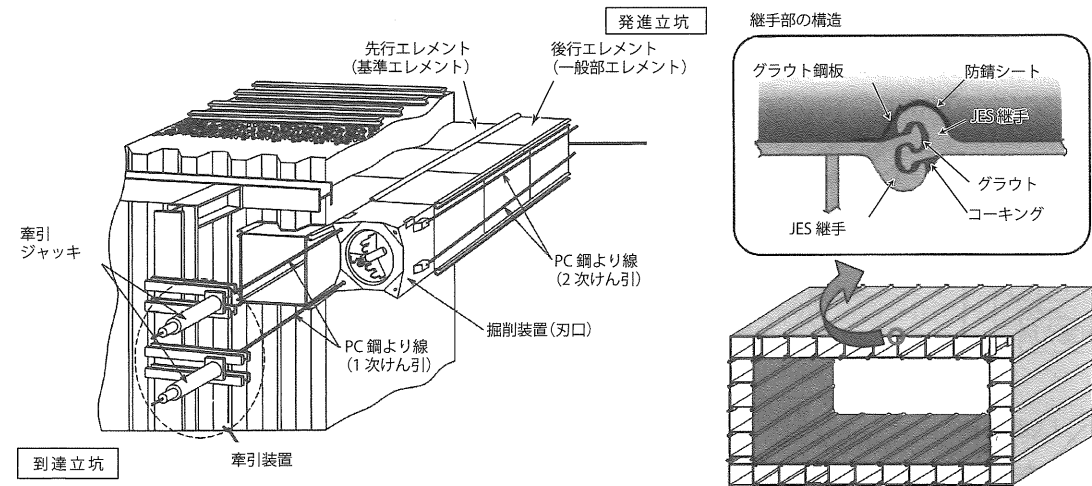


図-2 HEP&JES工法の概要

までの高さ(土かぶり)は、関西本線直下で1.45m、あおなみ線盛土直下で6.09mである(図-3)。また、当現場は、名古屋市西部に位置し、養老山脈から広がる沖積平野(南陽層)上の最東部にあることから、当該土質は一部シルトが混じるものの砂層が主となる(図-3下段)。さらに、施工時に測定した地下水位はGL-3.0m付近(上床版の下端高さ)に位置する。

## 3 HEP&JES工法施工時の技術開発

当現場では、矩形断面において最長の掘進長を有するHEP&JES工法を採用したことから、掘削時の効率化や施工時における路盤および軌道の変状抑止、ならびに切羽の安定性確保を目的として、以下3点の技術開発を行った。この技術開発は、JR東海、ジェイアール東海建設(株)、名工建設(株)、鉄建建設(株)、(株)ジェイテックの5社による共同開発として実施した。

### 3-1 隣接エレメント利用システム

一般的に、上床エレメント牽引掘進時の掘削土は、当該エレメント内を利用しトロヤベルトコンベヤで搬出する。さらに、エレメント内は幅1m高さ0.85mと非常に狭隘な環境となり、掘削、排土、エレメント内の出入りおよび資機材運搬などを含む坑内作業はすべて人力作業となるため、非常に時間を要する。

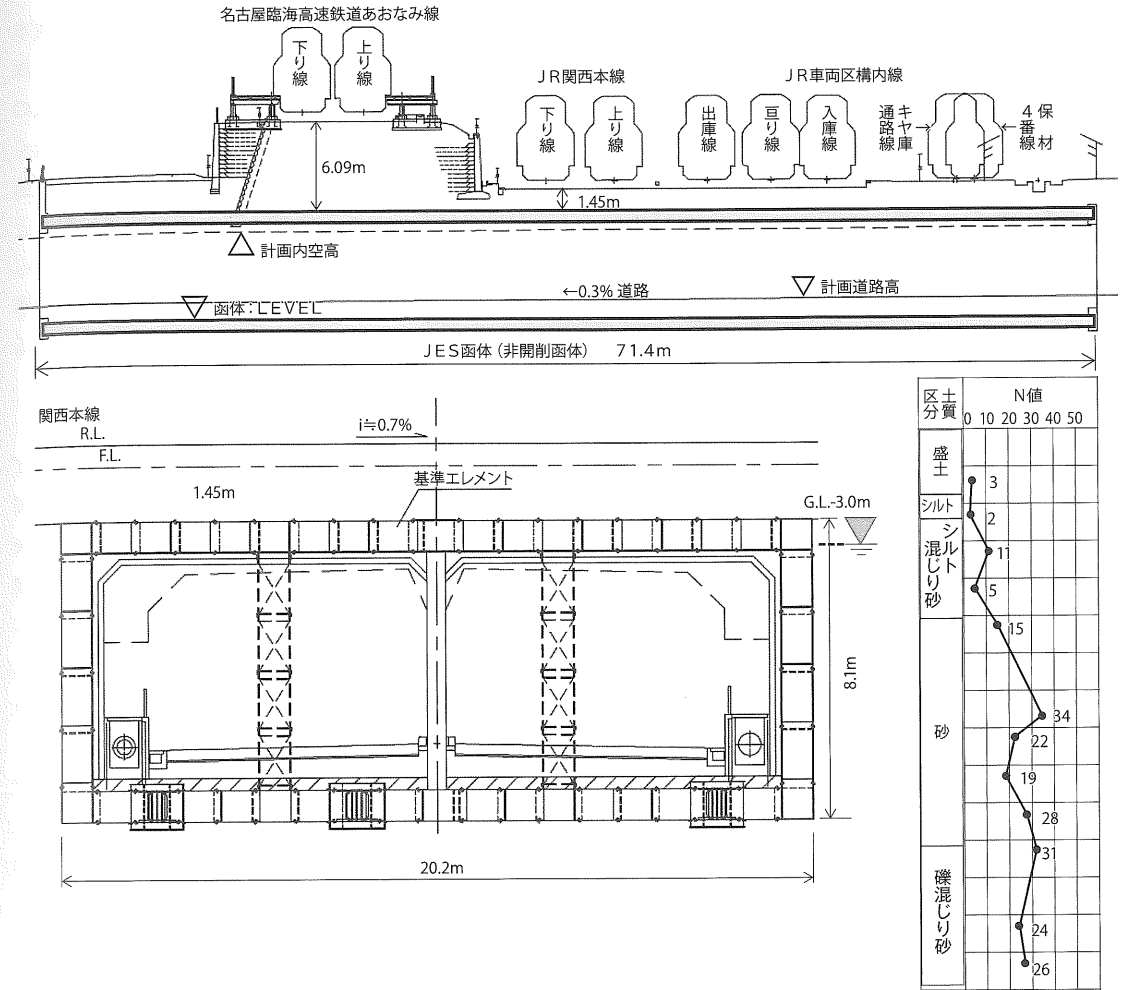


図-3 構造概要と地質

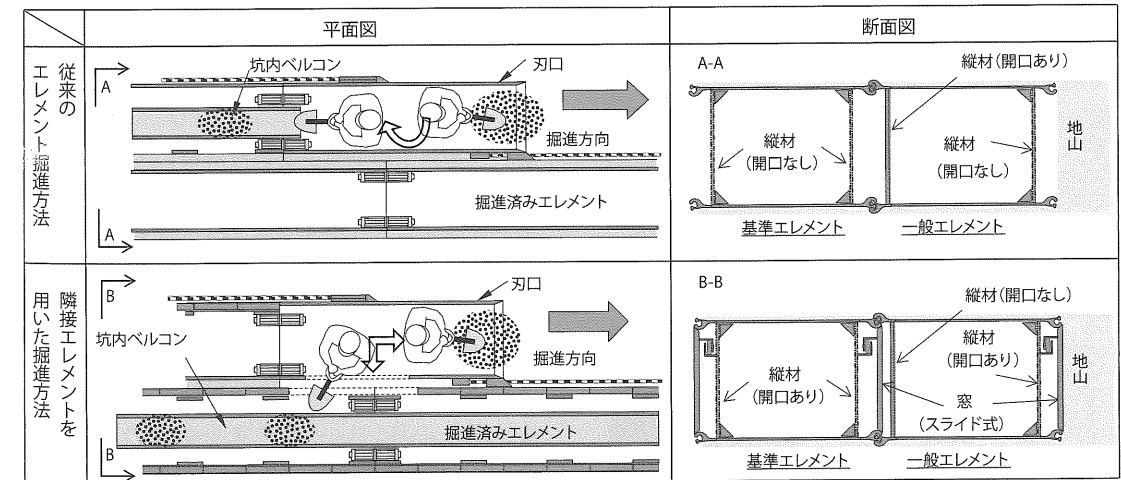


図-4 隣接エレメント利用システム

そのため当現場では、坑内作業の効率化を目的に、当該エレメントだけでなく、すでに掘進が完了した隣接エレメントを利用できるように、コの字で嵌合しているエレメントにスライド式の窓を設置するとともに、刃口にも開口を設けた特殊機構とした(図-4)。結果、隣接エレメントを利用しない場合と比較して、バラツキはあるものの地山部1方あたりの進捗で約20%程度の効率化が図れた。また、掘進中に発生した想定外の支障物では、通常であれば切羽に向かっての作業しかできないものが、隣接エレメントを利用してあらかじめ切羽前方で目視確認が可能となることや、事前に削孔、割岩などの撤去準備ができ、支障物撤去作業の効率化もできた。

### 3-2 即時裏込め注入システム

営業線軌道の直下を掘進するにあたり、もっとも軌道に影響がある上床版のエレメント牽引に伴う地山の緩みや空隙の発生による軌道変状を抑制する目的で、掘進後早期に裏込め注入の実施が可能となる技術を開発した。エレメント牽引とともにエレメント上面に合成繊維製の袋体をエレメント先端から送出し、即時に袋体に裏込め注入材を充填することで地盤の変状を抑える方法である(図-5)。また、合成繊維製の袋体を用いることにより、エレメントと地山の縁切り(摩擦抵抗の低減)作用も期待し採用した。

結果、比較的土かぶり大きいあおなみ線部(約6m)や発進側立坑に近い歩道部(約2.5m)で

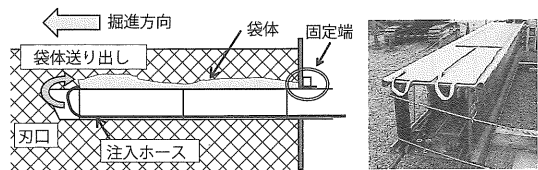


図-5 即時裏込め注入システム

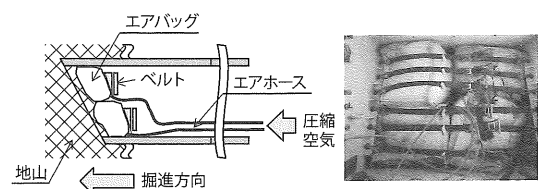


図-6 エアバッグ方式による切羽防護

効果が得られた。一方、土かぶりの小さい関西本線や車両区構内線部(約1.5m)では効果が低く、課題が残った。これは、土かぶりから定めた注入の管理圧力(管内損失も考慮した圧力)が比較的 low、注入管内の圧力損失などが起因となる管内抵抗値のバラツキに適應できず圧力上限値に達したことが原因で、袋体に注入材が十分に充填されなかったと考えられた。このことから、本システムの導入に際しては、一定程度の土かぶりが必要となることが判明した。

### 3-3 エアバッグ方式による切羽防護

休工中や休憩および昼夜2交代の交代時間などの作業停止時には、切羽を開放させないよう確実な切羽防護を行う必要がある。一般的には、木矢板と土嚢および不織布などを使用した土留めを設置するが、今回技術開発した方法は、圧縮空気による空気圧で加圧し膨張したエアバッグを利用し、迅速かつ確実に切羽の安定を確保するものである(図-6)。

この方法では、複数のエアバッグを切羽面に密着させ、固定用ベルトを利用しエレメントに固定したうえで圧力制御装置により一定の圧力に調整し、圧力異常時には自動警報装置が作動し異常を伝える設備とした。その結果、従来の土嚢による切羽防護では、設置20分、撤去10分が必要であるのに対し、エアバッグでは、設置約8分、撤去約5分と作業時間を低減することが可能となった。

## 4 計画時における課題・対策

### 4-1 仮設計画

一般的な HEP&JES 工法と同様に、①エレメントを発進する「発進側立坑」と、②牽引設備を設置しエレメントを到達させる「到達側立坑」の2つの立坑を設置する計画とした(図-7)。立坑の土留め壁には一般的に鋼矢板土留めが採用されるが、当現場では土留めの変位抑制を目的とした薬液注入が必要となったことから、工期や費用面を考慮し、剛性の高いソイルミキシングウォール壁(SMW壁)を採用した。また、立坑の盤ぶくれの抑制と止水性を考慮して、止水層と想定される

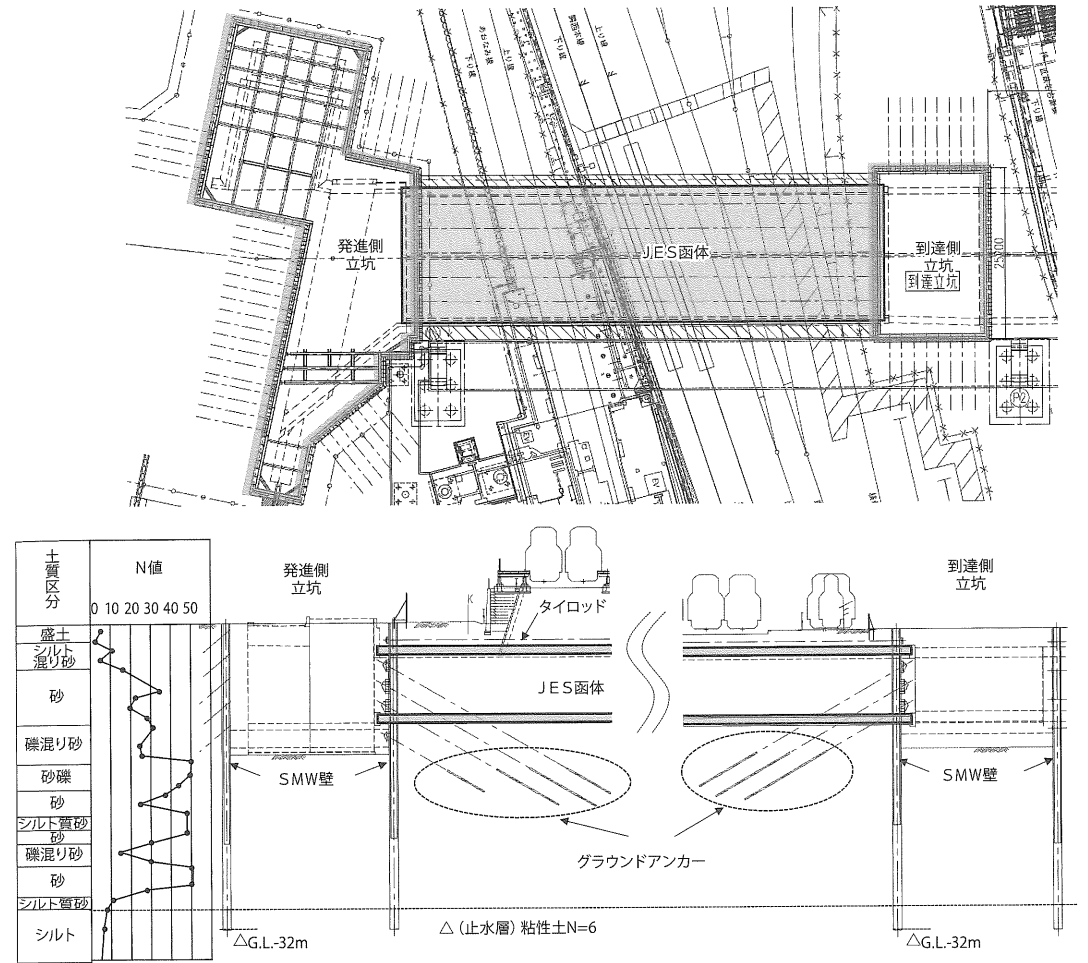


図-7 仮設計画図

GL-32m 付近の粘土層(止水層)に SMW 壁を根入れさせた。

鉄道側の支保工は、水平ボーリングによる全段タイロッドが採用されるのが一般的であるが、とくに当現場のように長大掘進長を有し地中支障物が想定される場合は、タイロッドの到達精度の低下が懸念されるため、施工中の精度確認や方向修正が可能な小口径推進工法が適用される。しかしながら、タイロッドの施工延長や本数を加味し工期や費用面を考慮した結果、上床エレメントより上部の支保工にはタイロッドを採用、上床エレメント以下はグラウンドアンカーによる支保工形式とし、下床エレメント牽引時に支障するグラウンドアンカーは切断することとした。これにより、

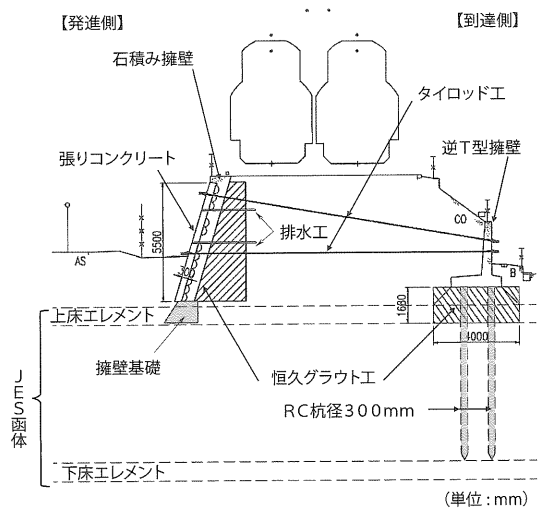


図-8 支障物と補強対策

グラウンドアンカー切断前に支えている土圧を側壁・仮壁エレメントへ盛替える必要があり、後述する「盛替え工法」を適用した。

### 4-2 当初想定された支障物と補強対策

エレメント掘進における支障物として、あおなみ線の既設盛土を支える石積み擁壁基礎および逆T形擁壁のRC杭が想定されていた(図-8)。これらの撤去に際しては、既設盛土への影響を事前に検討し、盛土の水平支持力および鉛直支持力不足を補うために恒久グラウトの注入(図-8斜線部)、ならびにタイロッドと張りコンクリートによる補強を実施した。

### 4-3 基準エレメントの施工検討と掘進精度管理

HEP&JES工法では、基準エレメント(1本目に牽引するエレメント)の施工精度が最終的な構造物の精度を左右する。そこで、基準エレメントの牽引に使用するPC鋼より線をエレメント本体より先に到達させるため、一般的には、牽引長が40m程度まではパーカッションドリルによる水平ボーリング、40m以上は小口径推進が採用される。当現場では牽引長約70mであることから、当初は小口径推進によるPC鋼より線の設置を考えた。

しかし、当現場の地質やエレメント断面や延長では、エレメントの掘進に最大約4,500kNの設計牽引力となり、4本のPC鋼より線(許容引張荷重664kN/本)と補助推進ジャッキ(100kN×2台)による牽引が必要であった。さらに、小口径推進で設置する4本の仮設鋼管(内部にPC鋼より線を配置)をエレメント牽引前にあらかじめ撤去できないため、エレメント牽引作業時に残った仮設鋼管が刃口内の切羽作業に支障することが想定された。そこで、基準エレメントは、PC鋼より線による牽引では困難と判断し、エレメントを直接ジャッキで押し出す「元押し」による推進工法とした。

元押し採用にあたり、基準エレメント掘進時には、刃口に直接ジャッキの推進力を与えられず、掘進中に刃口が

振れる可能性があり、PC鋼より線による牽引掘進よりも精度が低下することが考えられた。そこで、掘進1mごとに1回と測量頻度を上げ、4本のジャッキの推進力の配分により精度修正を行いながら掘進した結果、鉛直精度で管理基準値のL/500(L:エレメント延長)から定まる±141mmに対して90mm程度となり、管理基準値以内の精度で到達することができた。

## 5 実施時に発生した課題・対策

### 5-1 想定外支障物への対策

基準エレメントの掘進途中に、想定外のコンクリート支障物(写真-1)の存在が確認された。これは、当初想定されていた擁壁基礎とは別の、石積み擁壁の背部の控壁基礎であることが判明した(図-9)。このことから、大幅な工程遅延が予測されたため、支障物の効率的な撤去方法を検討した。

#### 5-1-1 基準エレメント施工時

基準エレメント掘進時は、人力によるはつりの



写真-1 想定外支障物

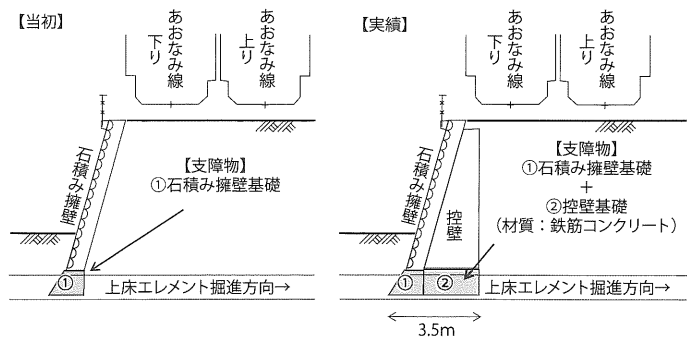


図-9 想定外支障物の位置

みで対応し、撤去時間は実績で26方(ここでの1方とは2交代作業で実作業時間9時間分を表す)を要した(図-10)。

ここで、作業効率の面では、平地などで実施する通常のコンクリート人力はつりと同等の効率であれば2.5m/方の掘進長が可能であるのに対し、基準エレメント施工時には、エレメント内の狭隘な環境下でプレーカーやチップパーなどの重量のある工具を使用するの人力はつりとなるためエレメント上部のはつりが困難となり、実績で0.1m/方まで作業効率が低下した。

そこで、以下の対策を実施することで、撤去の効率化と工程短縮を図った。

#### 5-1-2 支障物撤去対策の方針と効果

撤去対策として、はつりが困難となっていたエレメント上部や隅角部にあらかじめコアを削孔(図-11)するとともに、隣接エレメントからも同様にコア削孔を実施した。これにより、撤去対象物に自由面が増え、切羽作業の省力化につながった。結果、エレメント掘進速度は最大で0.3m/方まで改善し、エレメント1本あたり26方の撤去時間が必要であったものが、12~15方に向上了(図-12)。

さらに、3交代制を導入し24時間施工とすることで工程遅延防止を図り、1方目でコア削孔、2~3方目にはつりを実施する施工サイクルとした。結果、支障物範囲の掘進速度は、当初25cm/日程度であったものを平均75cm/日と向上させ、予定どおりの工期で上床版のエレメントの施工を完了した(図-13)。

#### 5-2 掘進時の出水への対策

側壁エレメント施工時において、地下水位以下の牽引掘削で支障物や互層の地質などの影響を受け、局所的に薬液注入の浸透が妨げられたことが原因となり、掘進中に出水したため、追加で出水

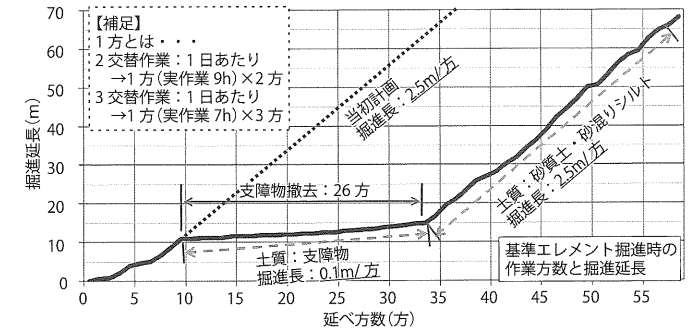


図-10 基準エレメント推進実績

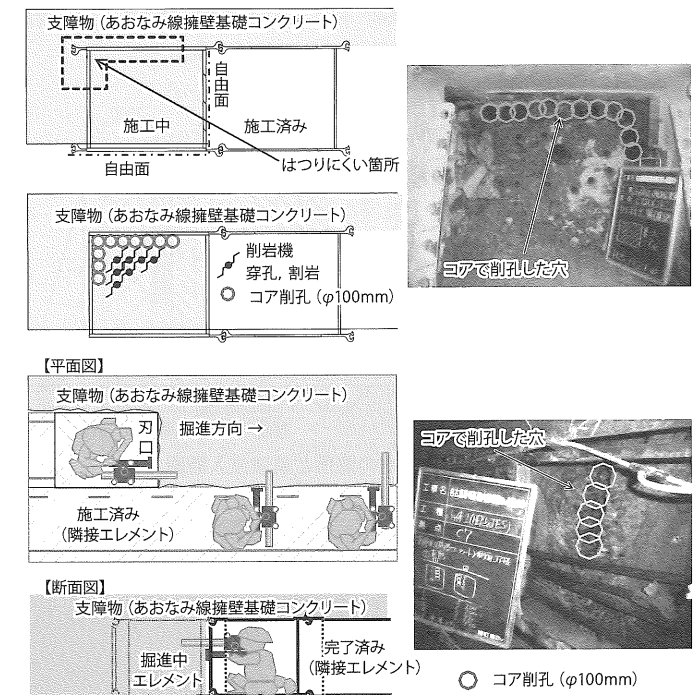


図-11 効率的な支障物撤去方法

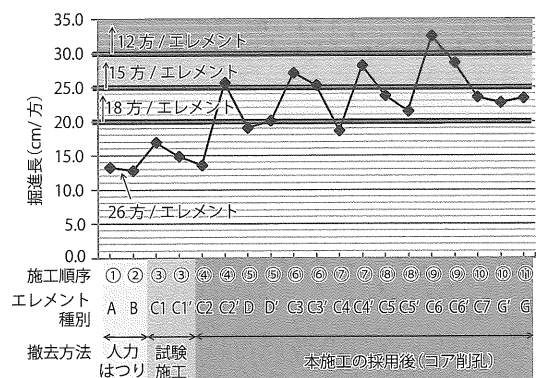


図-12 撤去速度の推移

対策を行うことになった。

### 5-2-1 出水時の状況

図-14に出水が発生したエレメントと出水時にすでに完了していた薬液注入範囲を示す。当時、側壁エレメント掘進では、①エレメント周りに止

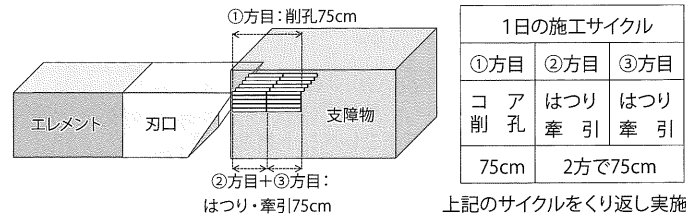


図-13 3交代制での施工サイクル

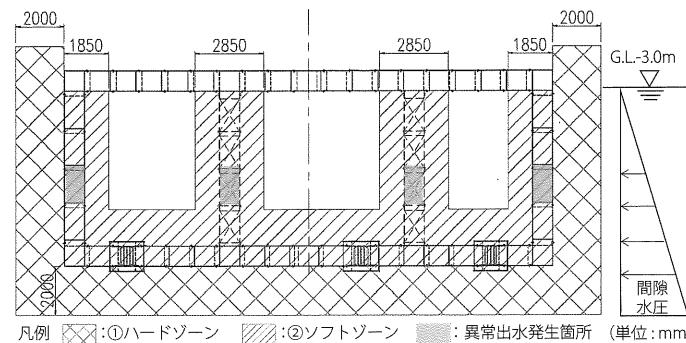


図-14 異常出水の箇所と薬液注入範囲

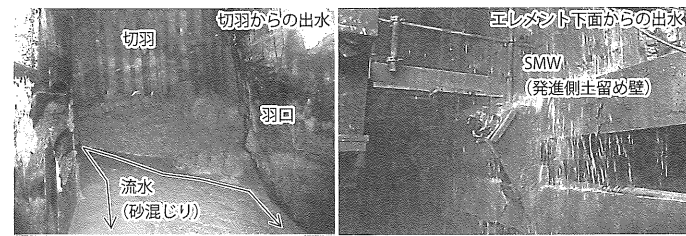


写真-2 出水状況

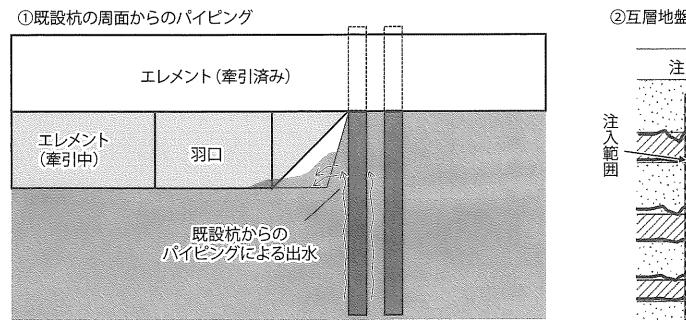


図-15 出水原因(推定)

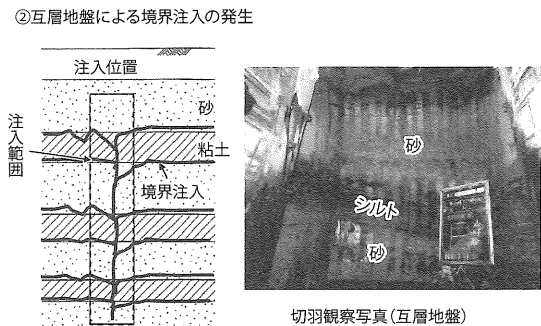
水目的で実施したハードゾーン注入と、②エレメント掘進時の切羽崩壊防止と止水を目的としたソフトゾーン注入の、2種類の薬液注入を実施していた。両注入ともに二重管ダブルバッカーもしくは二重管ストレーナー工法による注入を実施して

おり、注入率は地山の間隙率を考慮し、対象土量に対していずれも40.5%としていた。使用した注入材は水ガラス系溶液型で、砂質地盤への浸透注入を目的として、ゲルタイムは緩結型を利用した。

しかしながら、事前に止水対策を行っていたものの、側壁および仮壁エレメントの3段目では、掘進が中断するほど出水(100L/min)し、地山の土砂も出水と同時に流される状態が続いた(写真-2)。

### 5-2-2 出水の原因と対策

出水の原因は、①あおなみ線擁壁基礎の既設杭を伝わったパイピングと、②互層地盤による境界注入の発生が考えられた(図-15)。境界注入とは、砂・シルト・砂のような互層地盤の条件下で注入を実施した際に、層境で注入材が逸走する現象である<sup>1),2)</sup>。これは、3章の施工計画でも述べたように、掘削面に既製杭が存在し、あらかじめ実施した注入の浸透を妨げ、注入効果が一部希薄となった箇所があり、そこからパイピングを起こしたものと推測した。



切羽観察写真(互層地盤)

そこで、出水後速やかに軌道変状を防止するため、追加の止水注入および充填注入を実施した。注入材は、応急的な止水対策としてゲルタイムの比較的短い水ガラス系の注入材と空洞充填を目的とした懸濁型のCB材の2種類を使用した。

また、出水したエレメント以深についても、注入材の逸走による改良不足が発生しないように、掘進再開前にハードゾーンへの追注入を実施した。さらに、ソフトゾーンについては、エレメント内から「ステージ注入工法」による鉛直・斜め注入を実施し、切羽の自立を確保した(図-16)。

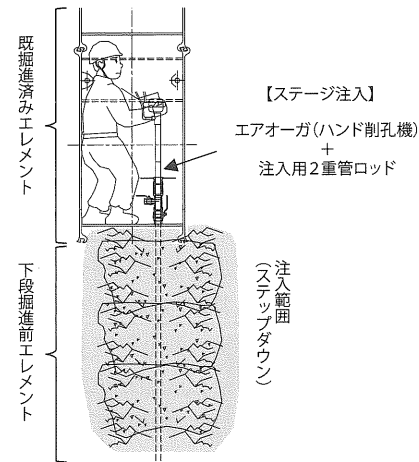


図-16 ステージ注入工法

「ステージ注入工法」とは、シールドトンネルなどの坑内から低い注入圧力で既設構造物の直近に注入できる工法で、エレメントを坑内に見立てて適用したものである。

当工法は、小型の軽量削孔機(エアオーガ)を使用するため、エレメント内の狭隘な環境であっても削孔から注入までの作業が実施できる特徴を持っている。注入にあたっては、次に掘進をする下段のエレメントの掘削面に向かって実施し、注入圧によるエレメントへの影響を抑えるためステップダウンによりエレメントから離れる方向へ注入した。

### 5-3 鉄道下の土留めの盛替え工法

発進・到達立坑の土留め支保工(鉄道側)は、上床エレメントより下部においてグラウンドアンカーによる土留め形式を採用している。そのため、下床エレメント牽引時にグラウンドアンカーで受けていた土圧を側壁・仮壁エレメントへ盛替えする盛替え工法が必要となった。

#### 5-3-1 盛替え工法の概要

本工法は、下床エレメント牽引時にグラウンドアンカーを切断するため、土圧を支えているグラウンドアンカーの代替えとして、施工が完了している側壁・仮壁エレメントに腹起しを隅金物で固定することで施工を進めるものである(図-17)。

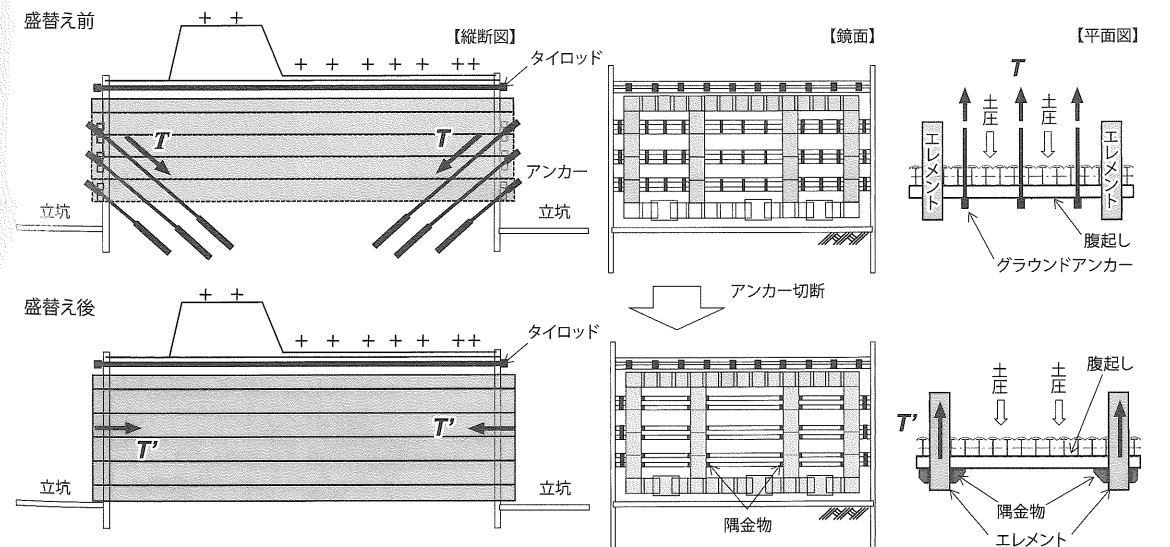


図-17 盛替え工法の概要

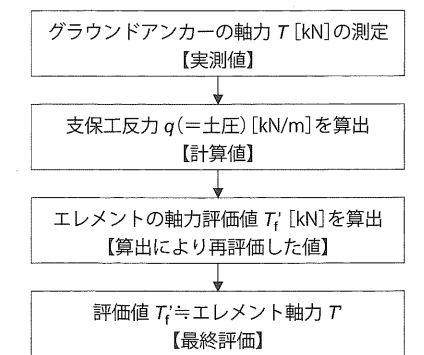
5-3-2 施工時の計測管理

盛替え工法はJR東海初となるため、施工中の安全確保、設計の妥当性および今後への適用性を確認することを目的に計測管理を行った。計測にあたっては、盛替え後にエレメントに作用する軸力(T')の実測値(ひずみゲージ(ε')から換算)があらかじめ算出した評価値(T<sub>i</sub>')と比較して妥当か評価することとした。

評価値(T<sub>i</sub>')の算出方法は、まず盛替え前のグラウンドアンカーに作用する軸力(T)を測定し、実際に作用している土圧(q)を推定、その土圧から再度算出したエレメントの軸力を評価値(T<sub>i</sub>')とした(図-18)。

今回の評価位置は腹起しと仮壁エレメントの高さが一致する4段目の仮壁エレメントとした(図-19)。グラウンドアンカーにロードセル(軸力T)、腹起しにひずみ計(ε)、仮壁エレメントにひずみゲージ(ε')を設置した。エレメントのひずみ(ε')測定に用いるひずみゲージの張付け位置は、軸力(T')がエレメント延長方向に作用する範囲を、以下に示す推定方法により、あらかじめ定めた。

盛替えによって最終的にエレメントに作用する軸力(T<sub>1</sub>', T<sub>2</sub>')が周面地山の周面摩擦(P) (9.8kN/m<sup>2</sup>程度)<sup>4)</sup>と釣り合うことから、周面摩擦で受け持つ



※盛替え後の腹起しの応力についても同様に評価

図-18 計測から評価までのフロー

範囲を L<sub>n1</sub>, L<sub>n2</sub>とし、図-20の式から作用範囲を算出した。その結果、軸力作用範囲(L<sub>n1</sub>, L<sub>n2</sub>)は、エレメントの端部から発進側では約37m、到達側では約32mとなったが、実際に作用する周面摩擦にばらつきがある可能性もあるため、両坑口端部を重点的に測定できるような配置を考え、仮壁エレメントにひずみゲージを全部で13枚取り付けた(図-21)。

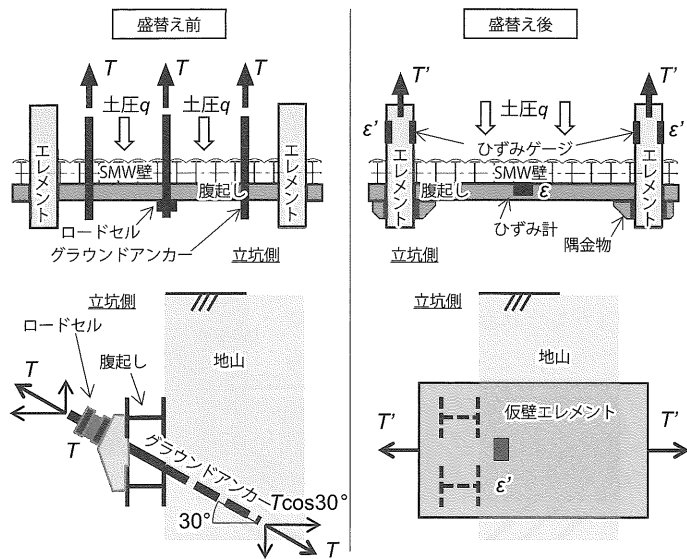
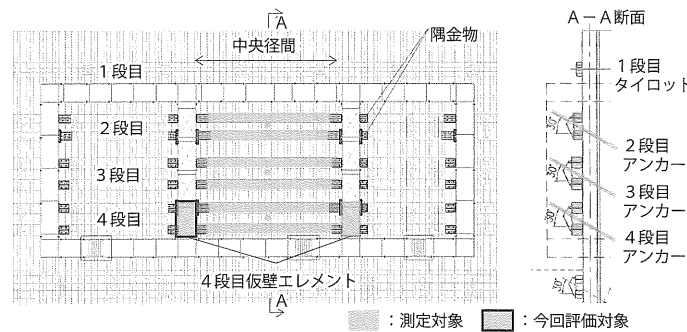


図-19 計測方法と使用機器

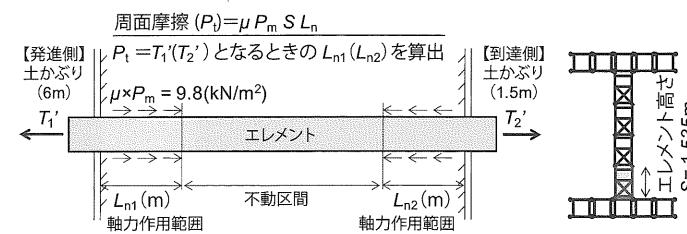


図-20 軸力(T')と周面摩擦との釣合い

5-3-3 計測結果と考察

4段目のグラウンドアンカーに実際に作用する軸力(T)の測定結果を図-22に示す。盛替え直前では設計アンカー力の約70%であることを確認した。計測結果より、追加の薬液注入施工時に一時的に作用する軸力が増加したが、側壁・仮壁エレメントの施工が進むに従って軸力が減少していることから、上床、側壁、仮壁の各エレメントが門形の構造体となり土圧を一部負担したものと考える。

次に、エレメントの延長方向に対して軸力が作用した範囲(図-23)と計測値(図-24)を示す。軸力が作用した範囲は、図-23の網掛け部分で示すように発進側、到達側ともに坑口から15m程度であった。これは、側壁エレメント掘進中の出水に伴う追加薬液注入によるエレメントと地盤との摩擦力の増加や、エレメントの継手の摩擦が作用していると考え(当初想定はエレメント牽引時の抵抗の経験値で土との摩擦は9.8N/m<sup>2</sup>とし、継手の摩擦10~20kN/mは考慮していない)<sup>4)</sup>。

次に、図-24に発進側の土留

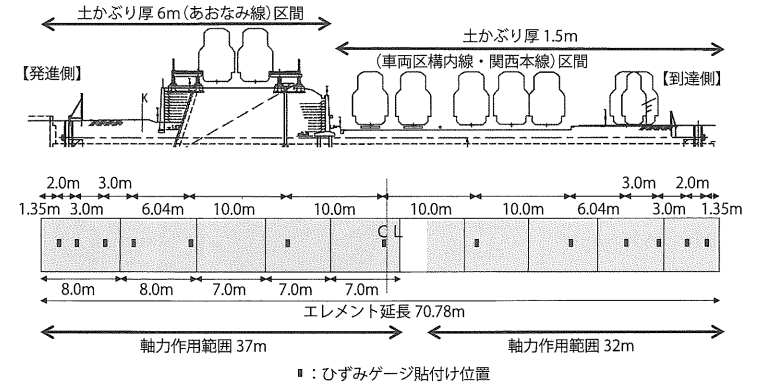


図-21 ひずみゲージ貼付け位置

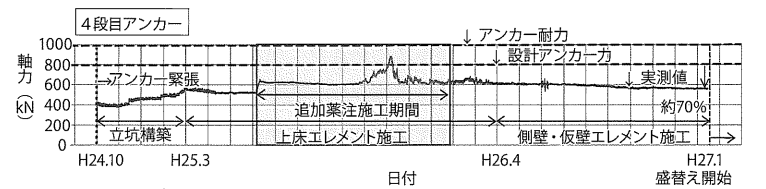


図-22 アンカーの軸力 T (盛替え前)

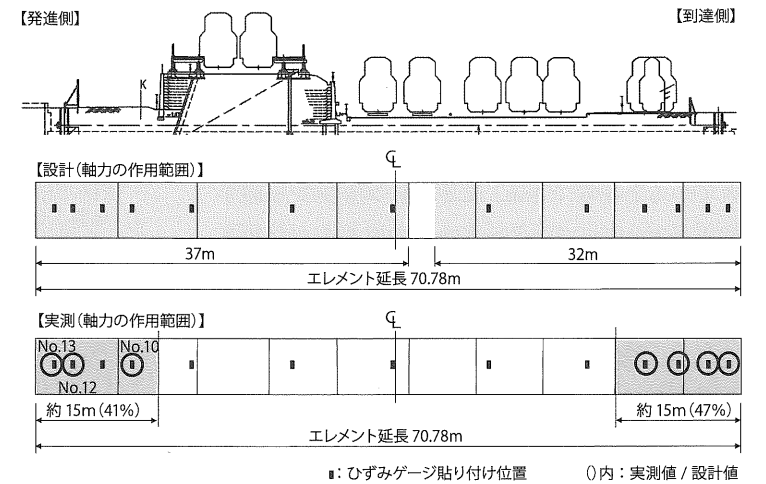


図-23 4段目エレメント延長方向の軸力作用範囲(盛替え後)

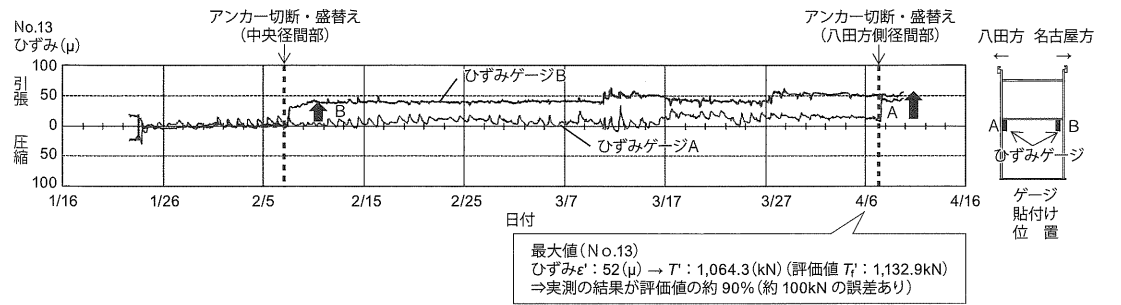


図-24 エレメントのひずみから換算した軸力 T' (盛替え前後)

	再計算した 評価値	腹起し発生 応力計算結果	上床エレメント 地山
2段目	43.08 N/mm <sup>2</sup>	3.64 N/mm <sup>2</sup> (8.4%)	①(上) ②(下)
3段目	26.12 N/mm <sup>2</sup>	18.85 N/mm <sup>2</sup> (72.2%)	③(上) ④(下)
4段目	23.57 N/mm <sup>2</sup>	9.60 N/mm <sup>2</sup> (40.7%)	⑤(上) ⑥(下)

( )内：実測値 / 設計値，値はそれぞれ腹起し1本分の応力

図-25 腹起しに発生した応力(盛替え後)

め壁にもっとも近いNo.13(最大軸力が作用する位置)を抜粋して示す。盛替え後に仮壁エレメントに作用する軸力( $T'$ )については、評価値( $T'$ )と比較して90%程度とおおむね設計値どおりであり、盛替えによりエレメントに応力が伝達されたことが確認できた。しかし、前述したようにエレメント継手の摩擦力などによりエレメントのひずみが拘束されたことも考えられるため、計測したひずみ( $\epsilon'$ )に10%程度(約100kN)の誤差が含まれていると推測できる。これは、エレメント継手の延長15mあたり150~300kNの摩擦力が作用する可能性があることが経験的にわかっており<sup>4)</sup>、これに相当する値であることから推測した。

なお、腹起しのひずみ( $\epsilon$ )も同様に盛替え前後で計測し、設計値以下であることを確認し、安全に施工を完了した(図-25)。

## 6 おわりに

今回の報告では、9線の直下を横断する大掘進長を有するHEP&JES工法として、おもに施工中に発生した支障物や異常出水などの課題に対する検討内容や、JR東海初となる盛替え工法の施工と計測結果について報告した。

エレメント内の支障物撤去では、狭隘な環境下で効率的な方法を検討し、3交代制作業の導入に合わせて削孔・はつりの施工サイクルを確立した。また、その後の出水についても、迅速に原因の追究と対策を計画し、当初予定していた工期内に掘進を完了した。エレメント掘進完了後の盛替え工法も、計測管理を行いながら鉄道の安全を確保した。

最後に、非常に厳しい条件の中で、各工事関係者の方々にご協力、ご指導、ご支援をいただきましたことをこの場をお借りして感謝する所存である。

## 参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：注入の設計施工マニュアル，2011.10.
- 2) 地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ27 薬液注入工法の理論・設計・施工，2009.6.
- 3) 佐藤・青木：線路下横断延長が長いHEP&JES工法の立坑土留支保工について，土木学会第68回年次学術講演会，2013.9.
- 4) 鉄道ACT研究会；HEP&JES工法技術資料，第3版，2013.3.

## セグメントの新技术

小泉 淳 監修 B5判132頁 本体定価2,000円(〒300円)



株式会社 **土木工学社**

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

# 施工

## 補助工法による国道の沈下対策と坑外ベルコンで工事用道路の制約を回避

### —新東名高速道路 臼子トンネル・稲木トンネル—

中日本高速道路(株)名古屋支社豊川工事事務所豊川鳳来工事区工事長 間井博行  
(株)大林組名古屋支店第二東名稲木工事事務所所長 藤井研介  
(株)大林組土木本部生産技術本部トンネル技術部首席技師 木梨秀雄  
(株)大林組名古屋支店軽岡トンネル工事事務所所長 秋山幸一

## 1 はじめに

新東名高速道路のうち、浜松いなさJCT~豊田東JCT、約55kmは、2016(平成28)年2月13日に開通した。稲木トンネル他1トンネル工事は、浜松いなさJCTから西側へ約20kmの愛知県新城市内西部に位置する、上下線合計4本の山岳トンネル(稲木トンネル、臼子トンネル)と切盛土工からなる工事である。

臼子トンネルは本工事の東側に位置し、貫通側(東側)坑口付近の地質は、強風化によりマサ化した石英閃緑岩(以下、「マサ土」)が分布していた。その地上部には、愛知県新城市作手地区への主要なアクセス道路となる国道301号が近接している。臼子トンネルは隣接する橋梁工事のために上り線を先行させ、貫通部の施工ヤードを早期に引渡す必要があった。

また、本工事の西側に位置する稲木トンネルは、同じ山道を工事用道路として利用する隣接橋梁工事の施工時期が変更となったことから、トンネル貫通側(西側)の工事の工程に間に合うようトンネルを貫通させるためのトンネル掘削と橋梁工事の施工時期が重複することとなった。このため、コ

ンクリートを頻繁に打設する橋梁上部工工事とトンネル掘削上下線合計約11万m<sup>3</sup>のずり運搬が同時期となり、掘削工程を順守できるずり搬出方法が必要となった。

本稿では、臼子トンネルで実施したトンネル補助工法の選定の経緯と施工結果について、および稲木トンネルで実施した坑外ベルトコンベヤを利用したずり運搬について記述する。

## 2 工事概要

工事全体概要を表-1に示す。

表-1 工事全体概要

項目	内容
工事名称	第二東名高速道路稲木トンネル他1トンネル工事
発注者	中日本高速道路(株)名古屋支社
施工者	(株)大林組名古屋支店
施工場所	愛知県豊川市~新城市
工期	2010(平成22)年5月1日~ 2015(平成27)年11月20日
主要工種	山岳トンネル工(NATM)、切土、盛土ほか
数量	トンネル延長：2,107m、掘削断面：約80m <sup>2</sup> 稲木トンネル：上り658m、下り717m 臼子トンネル：上り384m、下り389m 切盛土工：約140万m <sup>3</sup>

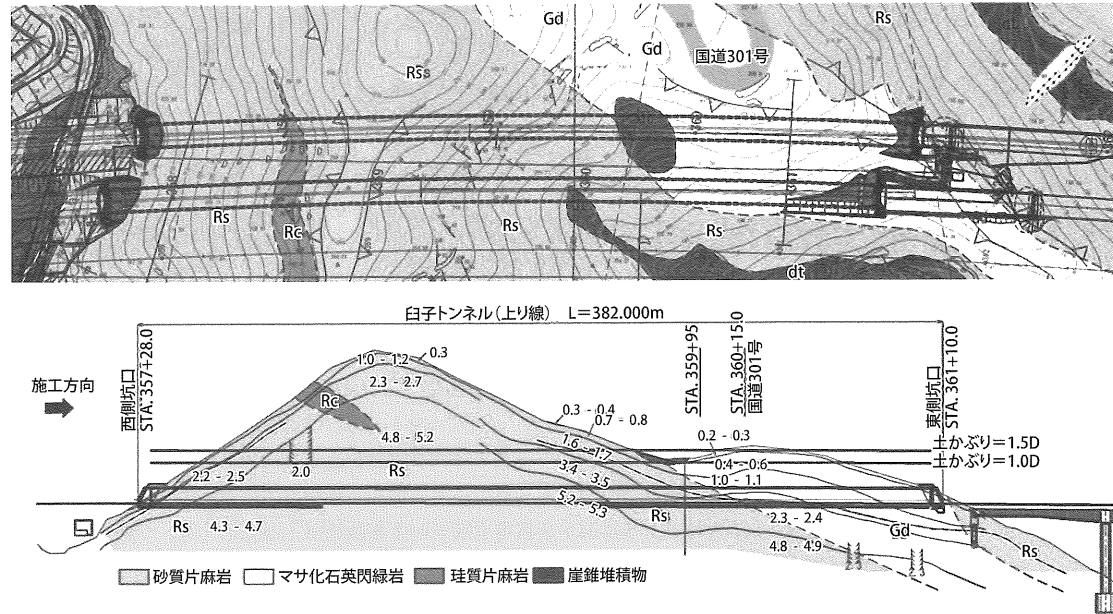


図-1 白子トンネル地質平面図および縦断面図(上り線)

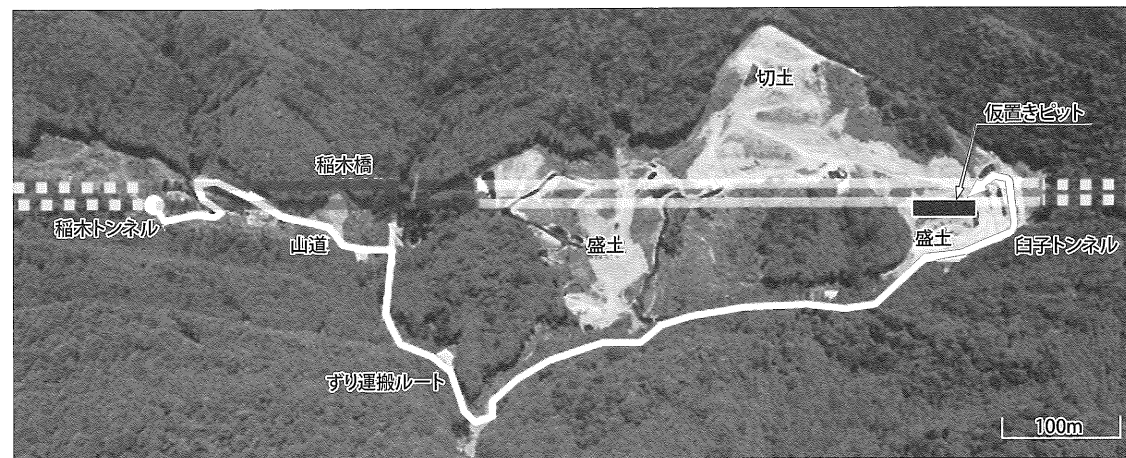


図-2 現場全景

白子トンネルは、中央構造線の北側に位置し、地質構造区分では領家帯に属する。図-1に示すように、トンネルは西側からの片押し施工で、坑口付近は片理や節理が発達した砂質片麻岩が分布し、片麻岩区間は補助ベンチ付き全断面掘削工法を採用している。

一方、貫通側となる東側はマサ土がインバートの下方まで分布し、機械掘削による上半先進ベンチカット工法を採用している。上り線で約110m、下り線で約90mの区間にわたり、弾性波速度2.0

km/s以下、 $N$ 値50以下で、容易に砂状となる未固結土が出現する。また、マサ土が分布する上り線STA.360+15付近には国道301号が近接しており、トンネル側壁から10m離れ、土かぶりが28.5mとなっている。

稲木トンネルを含む工事範囲の工事初期の全景を図-2に示す。ずりの仮置きピットを設置する範囲と、稲木トンネルの施工場所は離れており、その間には長さ約260mの橋梁(稲木橋)が架かる谷が存在する。当初、稲木トンネルは工事後半に

掘削を行い、掘削ずりは図-2に示す運搬ルートで山道を経由して約1.5km離れた仮置きピットに投入し、重金属や黄鉄鉱に関する分析を実施したのちに場内の盛土場もしくは場外の盛土場や重金属処理施設に搬出する計画であった。また、橋梁上部工がトンネル掘削開始前に完成する予定であったため、橋面利用が可能となったあとは山道を経由せずに橋面を利用して切羽から仮置きピットまで運搬することも計画・検討していた。

### 3 白子トンネルの施工

#### 3-1 施工上の課題

白子トンネルの地質、立地条件から以下の(1)~(3)のような施工上の課題が挙げられる。

##### (1) トンネル掘削時の切羽安定性確保

白子トンネル貫通側に分布するマサ土では、補助工法の採用により切羽崩落を防止するとともに、トンネル掘削に伴う周辺地山のゆるみを抑制し、切羽安定性を確保する必要がある。

##### (2) 国道301号へのトンネル掘削の影響抑制

国道301号は、周辺地域の主要な幹線道路であり、光ファイバーなどのライフラインが埋設されている。道路管理者との協議により、国道の沈下許容値が30mmに決定された。上記(1)の切羽安定確保とともに、国道の沈下を防止するための補助工法を選定し、トンネル掘削による影響を抑制する必要がある。

##### (3) 上り線トンネルの早期掘削貫通

白子トンネル東側に隣接する橋梁工事は、貫通後の白子トンネルを利用して施工することになっていた。そのため、白子トンネル上り線の石英閃緑岩区間(延長約85m)を3か月で貫通させる必要がある。

#### 3-2 対策および施工結果

##### 3-2-1 3次元解析による地山挙動の予測

トンネル掘削による周辺地山の挙動や国道の沈下を予測するために、3次元有限差分法(FLAC3D)による解析を実施した。3次元解析とすることにより、トンネル掘削の進行に伴う切羽の安定性と補助工法による補強効果を評価できる。解析は、以下の手順で実施した。

##### (1) 調査ボーリングによる地山物性値の把握

当初設計では、2次元解析により周辺地山の挙動を予測しており、変形係数はボーリング調査で得た $N$ 値から推定していた。しかし、変形係数が沈下予測に及ぼす影響は大きいので、ボーリングを追加実施し、孔内載荷試験から直接地山の变形

表-2 変形係数の再評価結果

地層区分	当初設計 変形係数 (MPa)	水平載荷試験 変形係数 (MPa)	水平載荷試験/ 当初設計
DL層	7.0	13.7	1.96
DM層	57.0	16.9	0.30
CL層	200.0	165.0	0.83

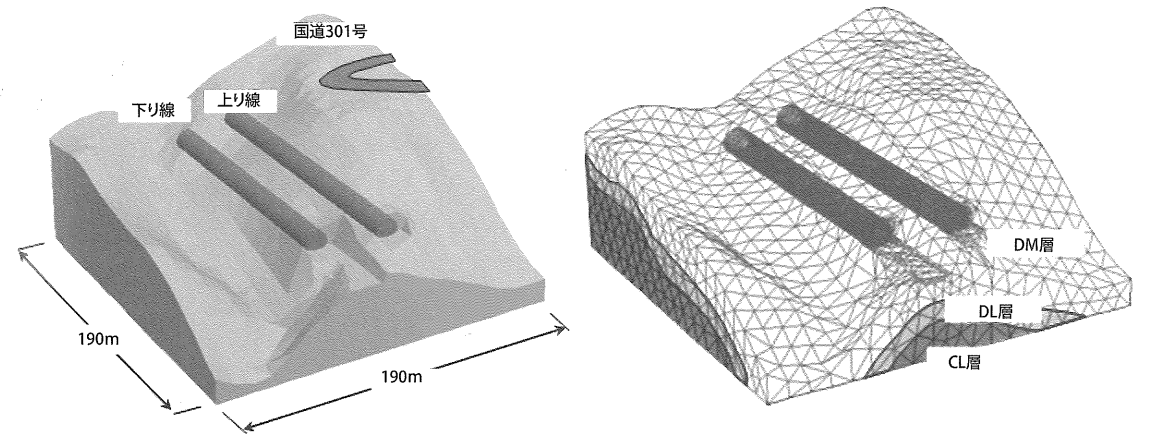


図-3 3次元解析モデル

係数を求めた。ボーリングは2か所で行った。図-3の解析モデルに示す地層区分DL, DM, CLの各層で孔内載荷試験を実施した。試験結果は、表-2に示すように、当初設計時の解析で用いた変形係数と比較して、DL層で約2倍、DM層で約1/3と大きく異なった。

(2) 先行する上り線掘削時の3次元解析

予備解析を実施した結果、国道の沈下は下り線掘削時よりも、上り線掘削時の沈下が支配的であることが判明した。そこで、先行する上り線掘削に着目して解析を実施した。トンネル断面の天端部、鏡部、脚部の補助工法を組み合わせた掘削解析ケースを作成し、トンネル周辺地山の挙動や国道の沈下に対する補助工法の効果を比較した。

解析モデルは図-3に示すようにDL, DM, CL層の3層構造とした。

3-2-2 上り線掘削時の補助工法選定

(1) 解析ケース

表-3に解析ケースを示す。当初設計では、貫通側39mの区間で長尺鋼管先受け工およびウイングリップ付き鋼製支保工を採用している。一方、比較検討した3ケースでは、マサ土が出現する貫通

側の110m区間で補助工法を設定した。補助工法は、長尺鋼管先受け工、長尺鏡ボルト工、脚部パイプ工、ウイングリップ付き鋼製支保工、脚部先行改良工、吹付けインパートによる早期断面閉合とし、その仕様および組合せを変更して解析を行った。

(2) 上り線掘削時の補助工法の選定

各解析ケースの上り線掘削完了時の国道の最大沈下量、坑内最大天端沈下量の解析結果と所要工期を表-4に示す。当初設計では、約50日で上り線を貫通させることができるが、国道の沈下予測値が52mmと許容値を超過した。補助工法をもっとも多く採用したケース3は、国道の沈下量が21.5mmに抑制できるものの、所要工期が約130日となる。一方、他2案より補助工法の少ないケー

表-4 解析結果および所要工期

解析ケース	国道最大沈下 解析値(mm)	坑内最大天端沈下		所要 工期 (暦日)
		解析値 (mm)	発生測点	
ケース1 (当初設計)	52.2	138.1	STA.360+53	51
ケース2	28.4	58.8	STA.360+39	94
ケース3	21.5	43.1	STA.360+40	130
ケース4	26.8	54.8	STA.360+49	104

表-3 上り線 解析ケース

測点 (STA.)	国道																			
	359+45	359+55	359+65	359+75	359+85	359+95	360+05	360+15	360+25	360+35	360+45	360+55	360+65	360+75	360+85	360+95	361+05			
ケース1 当初 設計	掘削工法		補助ベンチ付き全断面掘削								上半先進ベンチカット									
	天端安定対策		なし								なし								AGF120° L12.5m(9mシフト)	
	脚部安定対策		なし								なし								ウイングリップ	
ケース2	掘削工法		補助ベンチ付き全断面掘削																	
	天端安定対策		なし								AGF120° L12.5m(9mシフト)									
	鏡面安定対策		なし								鏡ボルトL12.5m(9mシフト)									
ケース3	掘削工法		補助ベンチ付き全断面掘削																	
	天端安定対策		なし								AGF180° L12.5m(6mシフト)									
	鏡面安定対策		なし								鏡ボルトL12.5m(6mシフト)									
ケース4	掘削工法		補助ベンチ付き全断面掘削																	
	天端安定対策		なし								AGF120° L12.5m(6mシフト)									
	鏡面安定対策		なし								ウイングリップ, 脚部パイプL3.5m 4本/m, インパート吹付け閉合									

ス2は、所要工期が94日と目標のほぼ3か月に等しいが、上り線掘削完了時の国道の沈下量が28.4mmと許容値に迫る値となった。

以上から、沈下抑制と工期確保の相反する2つの課題に対し、以下のように観測施工を併用した補助工法で対処することとした。

- ① ケース2の補助工法を採用し、3か月以内の上り線貫通を目指す。
- ② 掘削初期段階での国道の沈下量が解析値より大きい場合は、ケース3の補助工法に切替える。

ケース2の支保パターン図を図-4に示す。

3-2-3 上り線の施工結果

切羽進捗に伴う国道沈下量(最大値)を図-5に示す。おおむね実測値は解析値より小さく、採用した補助工法を変更することなく国道の沈下を許容値以下に抑制できた。上り線掘削完了時の国道の沈下量は最大10.7mmで解析値28.4mmの38%となった。

図-6に上り線のトンネル中心直上での地表面沈下量を示す。地表面沈下量は実測と解析がおおむね一致した。貫通部付近で両者に差異がみられるが、これ

は解析でのリバウンドの影響と考えられる。

なお、工期は暦日約3か月で当該区間の掘削を完了し、当初目標を達成した。

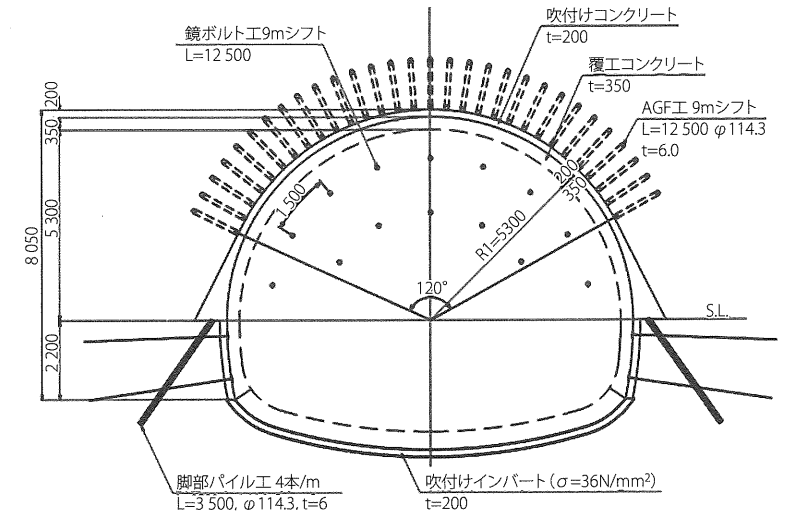


図-4 上り線で採用した支保パターン

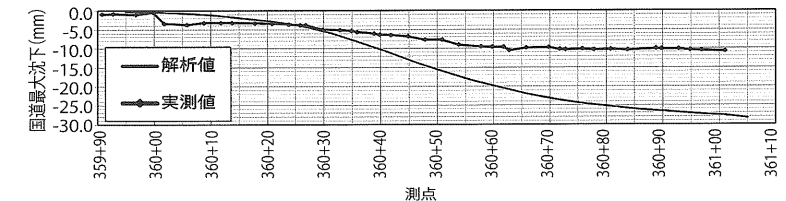


図-5 解析値と実測値の比較(最大国道沈下)

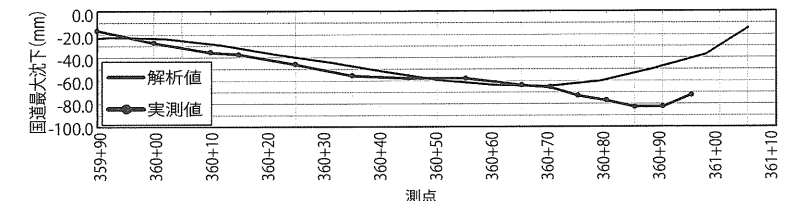


図-6 解析値と実測値の比較(地表面沈下)

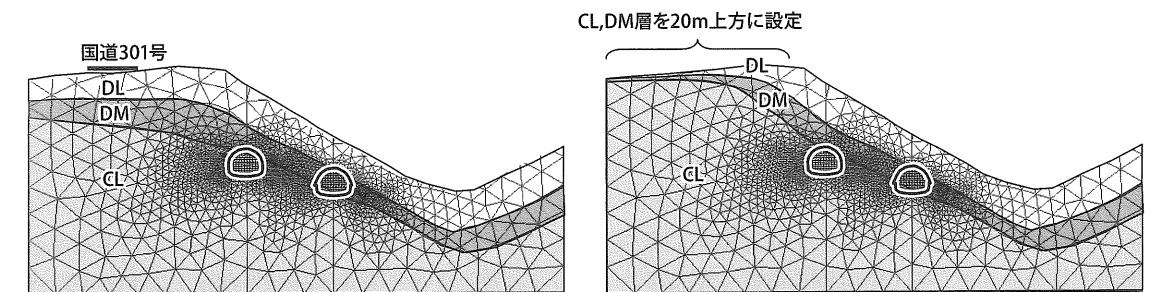


図-7 解析モデルの見直し

## 3-2-4 上り線施工結果の反映

## (1) 解析モデルの見直し

下り線掘削後の国道沈下量を精度よく予測するには、上り線の施工結果を踏まえたうえで解析モデルを修正し、下り線掘削時の予測を行うことが有効である。

前節に記載したとおり、上り線掘削完了時の実測値と解析値に差異があったが、上り線センター直上の地表面沈下は実測値と解析値がほぼ一致したことから、国道近傍の地層区分のみを見直した。

図-7に示すように、国道近傍のDM層、CL層の上部境界をそれぞれ20m上方に移動し、解析した結果、国道の最大沈下の解析値は12.2mmとなり、実測値の10.7mmに近い値となった。

## (2) 下り線掘削時の予測解析

見直した解析モデルで、下り線掘削による周辺地山挙動や国道の沈下を3次元FDM解析により予測した。当初設計では、垂直縫地ボルトおよびウイングリブ付き鋼製支保工が採用されていた。これらを解析モデルに取り込んだところ、下り線掘削完了時の国道の沈下量は15.8mmと許容値以下となったため、補助工法の内容を変更せずに下り線掘削を開始した。

## 3-2-5 下り線の施工結果

STA.360+84.4の上半掘削作業中に切羽天端部の崩落が発生した。マサ土に対し、ボルト間隔1.5mの垂直縫地工および充填式フォアポーリングでは切羽天端部の安定を図ることが困難であることが明らかとなったため、シリカレジンを注入式フォアポーリングに変更した。

STA.360+61.4～STA.361+9.4の48m区間では、管理レベルII(43mm)を超える天端沈下が発生し、地表面と共下がり挙動を示した。これは、ウイングリブ付き鋼製支保工を採用したものの、脚部耐力の不足が原因と考えた。そこで、インバート吹付けで早期に断面を閉合することにより、脚部沈下を防止した。これらの対策により、トンネル周辺地山の安定を確保し、下り線のトンネル掘削を貫通させた。下り線掘削作業終了時の国道の沈下量は、最大17.7mmであった。

## 4 稲木トンネルの施工

## 4-1 施工上の課題

稲木トンネルの施工準備段階になり、工事起点坑口および隣接橋梁を含むエリアの保安林解除、林地開発行為の許可が遅れ、橋梁工事は一部の下部工に着手できない状況が続き、上部工完成が大幅に遅れることが明らかとなった。一方で、トンネル西側貫通点での工事のためにトンネル貫通時期を遅延させることは不可能であった。

工程を見直した結果、当初予定と異なりトンネル掘削と橋梁上部工の施工が約9か月にわたり重複することとなったが、その結果生じる最大の課題は、工事用道路の同時利用であった。

稲木トンネル坑口への工事用道路は山道1本のみであるが、先行する橋梁工事も唯一の工事用道路としてこの山道を利用していた。山道は整備されていたものの、幅員は4mしかなく、しかも離合場所は少なく距離も離れているため、多数の工事車両の走行および離合は困難な状況にあった。昼間に走行できる台数はすべての車両が一定間隔で走行する理想的な条件でも1日最大290台であった。

ところが、各工事が工程を確保するために必要な台数は、トンネル工事ではずり搬出ダンプや吹付けモルタルミキサー車などで260台、橋梁工事では生コン車などで60台の合計320台で、山道の許容量を10%以上超過していた。この結果、ダンプが到着せずに搬出できないずりが坑口に溢れて掘削速度を低下せざるを得なくなることによるトンネル貫通時期の遅延や、生コン車の到着が遅れることによるコンクリート構造物の品質低下が懸念された。また、狭い道路に多数の大型車が走行することによる安全性低下も大きな問題であった。

## 4-2 課題解決策とその技術的根拠

工事用車両走行の問題を解決するために橋梁施工会社を含めて協議、調整した結果、橋梁のコンクリート品質確保のために生コン車の円滑な走行を可能とすることを前提に、稲木トンネルで計画進捗量に応じたずり運搬を可能とする対策を新た

表-5 ずり運搬の対策案

	案1：離合箇所の増設	案2：ずりの夜間運搬	案3：ベルトコンベヤによる運搬
概要	山道沿いの山林内や河川上に待避場所を増設する	ずりの運搬時間を日中から夜間限定に変更する	坑口から谷越えの仮設ベルトコンベヤを設置し、山道でのダンプトラック使用をやめる
メリット	交通容量が増加するため、必要台数の走行が可能となる	日中の生コン車走行に支障がない	日中の生コン車走行に支障がない
デメリット	林地開発や河川改修などの申請・協議に時間を大幅に要する	夜間の狭隘箇所での離合に危険が伴う	事例が少なく技術的な課題がある

に講ずることによって、トンネル工程および安全も確保することとした。

## 4-2-1 対策の立案

ずり運搬のダンプを数多く走行させるための対策のほか、山道を利用せずにずりを運搬するという視点を変えた対策についても検討した。

検討したずり運搬方法の内容とそれぞれのメリット、デメリットを表-5に示す。

## 4-2-2 ベルトコンベヤの採用

対策案の評価指標として、「工程の確保」と「安全の確保」で比較検討した結果、安全と工程を総合的に確保できる「案3：ベルトコンベヤによる運搬」を採用した。

「工程の確保」を最重要視した理由は、稲木トンネル貫通時期の遅延が貫通側の工事工程遅延に直結するためである。また、「安全の確保」については、ずり運搬で事故が発生するとトンネル工事が止まり、工程が大きく遅れる要因になる。

## 4-2-3 谷越えベルトコンベヤによるずり運搬の実現

稲木トンネルのずりを坑外に設置するベルトコンベヤで運搬することにしたものの、急峻な谷を越えるずり運搬用のベルトコンベヤは事例が少なく、実現のためにいくつかの技術的な課題解決が必要であった。

## (1) 線形について

平面線形は当初、直線的に計画したが、橋梁工事への支障が指摘されたため、橋脚支保工やワーゲンの組立て解体に支障がなく、林地開発許可範囲内で橋梁施工ヤードおよび工事用道路を迂回する線形とした。

縦断線形は、設備仕様に密接にかかわるため、施工が困難な高橋脚の基礎を減らしながら、通常

仕様のベルトコンベヤの限界勾配15°を超えない線形とした。急傾斜タイプなど特殊なベルトコンベヤの使用も検討したが、メンテナンスが複雑になり、万一の故障時にトンネル掘削の長期停止の可能性が否定できないことから、採用を見送った。最終的に、一部の架台にトラス構造を採用するとともに、勾配を緩くするために斜面を斜めに登るような線形とした。

## (2) 設備仕様について

1日あたりの必要最大運搬能力は、トンネル最大掘進量：80m<sup>2</sup>×10m＝800m<sup>3</sup>(地山土量)である。平坦地であれば一般的な600mmのベルト幅で対応可能だが、谷越えで急な下り勾配、上り勾配においては、傾斜角度やベルト速度などの条件により運搬量がかわるため、組合せを変えながら最適な設備仕様を求めた。とくに傾斜角度については、基礎および脚部を小さくするためには傾斜を大きくする必要があるが、その反面、傾斜が大きくなり過ぎると運搬量の低下や運搬物の落下が発生することになる。

検討の結果、「ベルト幅：600mm」「ベルト速度：100m/min」「最大傾斜角14.4°」を設備仕様とした。また、谷部の架橋構造については、部材重量を考慮しながら検討した。トラス構造の採用で最大スパン長を34mとし、大型橋脚の数を最小限に抑制した。最大橋脚高さは30mとなった。

最終的に、ベルトコンベヤは下り勾配1台、上り勾配6台、水平1台の計8台、合計出力114.2kWh、長さ11.8～65.1m/台、総延長300m、橋脚を含む総重量219.1tとなった(図-8)。

## (3) 施工について

限られた敷地内で橋梁工事とベルトコンベヤ設置工事を同時に安全に施工するため、施工ヤード

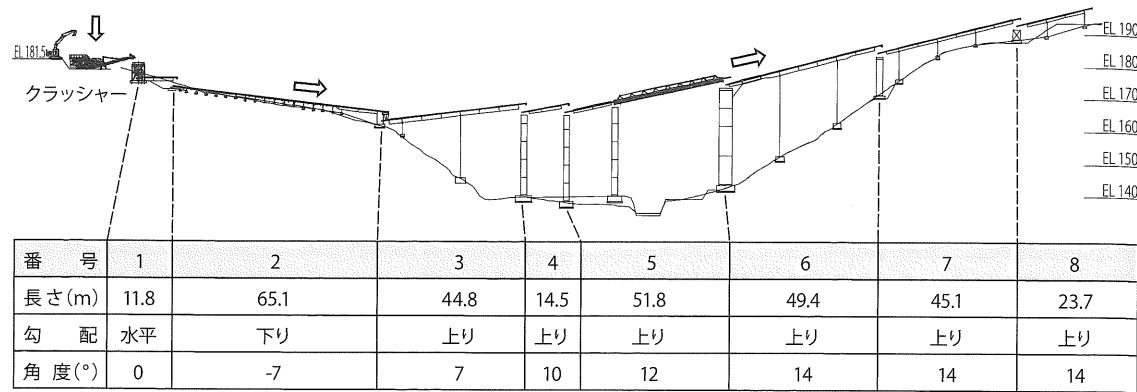


図-8 ベルトコンベヤの概要図

の区分けおよび施工時間の調整を行った。また、クレーン設置可能場所が限られ、部材の地組みヤードもない条件で、トンネル掘削までの短期間で設置できる施工方法を選択する必要があった。

ベルトコンベヤと架台の組立ては、現地作業を最小限とするためプレキャスト化を図り、部材の仮置きができるヤードを別の場所に確保して地組みし、さらに現地の工事用道路上で大組みしてから、所定の場所へ架設した。

とくに、脚間は大型クレーンを用いるが、近接する橋梁工事の構造物存在状況が施工時期によって大きく異なるため、吊り荷の最大重量と作業半径、高所への架設に対する支障の有無、条件に合うクレーンの選定など、緻密な揚重計画を立てるとともに、その内容を毎日見直ししながら作業を進めた。

最大で175tオールテレーンクレーンが必要となったが、クレーンそのものの地組みおよび常置する場所が限られたため、設置作業期間は橋梁工事の施工ヤードを使用した。また、地組みのために工事用道路を占有することや、作業エリアが明確に区分できないことから、安全確保と橋梁工事への支障回避のために橋梁工事との同時作業を避け、ベルトコンベヤ組立て・設置はすべて夜間作業とした。

4-3 結果

4-3-1 運用状況

ベルトコンベヤの状況を写真-1に示す。トン

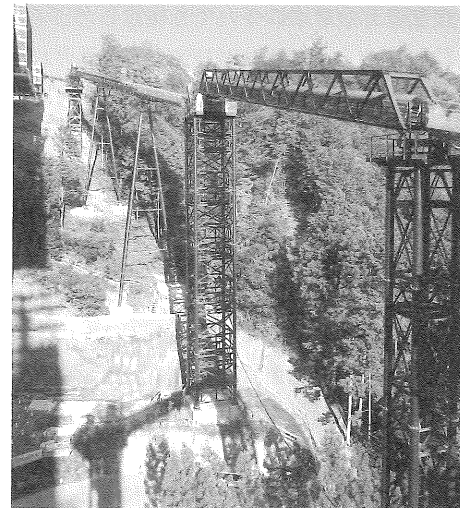


写真-1 ベルトコンベヤの状況

ネル掘削実績最大値は地山土量で750m<sup>3</sup>/日である。ベルトコンベヤの稼働は最大で午前7時～午後8時の13時間であり、1時間あたり地山土量で50～60m<sup>3</sup>(120～160t)を運搬した。

総運転時間は約4,000時間超、累計の運搬土量は110,000m<sup>3</sup>(地山土量)に達したが、ベルトの破断や乗換え部の閉塞といった大きなトラブルはなく、トンネルずり搬出の役割を十分に果たした。

4-3-2 ベルトコンベヤ利用の評価

(1) 工程面の成果

ベルトコンベヤ利用の最大の成果は、先にも述べたようにトンネルの掘削工程を確保できたことにある。橋梁工事で多数の生コン車が走行する影響も受けずにトンネル掘削の進行を可能としたた

め、ずり搬出の停滞が原因となる工程遅延は発生しなかった。

(2) 安全面の成果

山道をダンプトラックが走行しないため、狭隘箇所での大型車の離合が少なくなり、10tダンプによる運搬と比較し、工事用車両および山道利用者の安全性が向上した。

5 おわりに

白子トンネル施工では、未固結土を対象としたトンネル掘削において、3次元解析により地山挙動や国道の沈下を予測し、さらに、施工結果を加

味した逆解析により国道の沈下予測精度を向上させた。また、目標工程でのトンネルの貫通が可能となる補助工法を採用することで、国道の沈下を許容値以下に抑制し、かつ期日内にトンネルを貫通させた。

稲木トンネル施工では、現場で発生したずり運搬車両走行台数の制限という条件下で、10tダンプの走行のそのものをなくすという発想のもと、適用が困難と思われた地形での坑外ベルトコンベヤの利用を実現し、トンネル工事の工程確保、運搬経路での安全確保、さらに隣接橋梁工事の品質確保という3つの課題を同時に解決した。

ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

建設工事の  
**保安地質学**  
〔改訂版〕

理学博士 石井康夫 著

A 5判 上製本 475頁 本体価格6,300円 円 350円

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

〒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

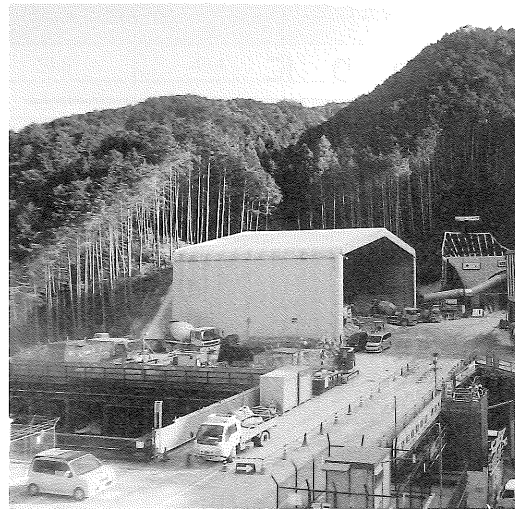
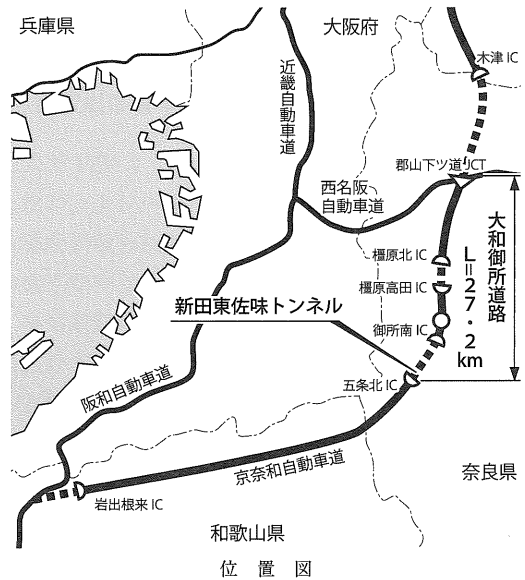


# 「神々の降る里」御所市より

遠田 喜一

御所市一带は、天皇家の外戚として権勢を誇った葛城氏や、継体天皇の擁立に功績のあった巨勢氏の本貫地であったことから、とりわけ5～7世紀の遺跡や史跡には目を見張るものがある。葛城襲津彦の墓の有力な候補とされる墳長238mの室宮山古墳(国史跡)は5世紀前葉の古墳としては破格の規模を誇り、全国でも唯一、「王の柩」といわれる長持形石棺を堅穴式石室に安置されたままの状態で見ることができ古墳として著名で、全国からの見学者が絶えない。また、巨勢氏の盟主の墓とみられる水泥南古墳の、蓮華文(ハスの花の文様)が刻まれた家形石棺は、その時代に新たに伝わり始めた仏教文化と、旧来の古墳文化の融合を示す、最古の事例として広く知られている。最近の條ウル神古墳の調査では、巨大な石室と家形石棺が話題になった。このほか、古代から禅行修道の場となった金剛山や、その山腹に所在する初期の古代寺院、高宮廃寺が国の史跡に指定されている。現場周辺にあるこれらの巨大古墳や神社仏閣を竣工までには、ゆっくりと探訪したいものである。

本工事は、京奈和自動車道大和御所道路(27.2km)のうち、新田東佐味トンネル(L=1,831m)の北側L=兵庫県



起点側坑口部

1,301mをNATM発破工法にて施工するものである。この区間の開通により、国道24号の渋滞緩和、交通事故の減少、走行時間短縮、定時性の確保など、地域の活性化が期待されている。

2015(平成27)年8月よりトンネル掘削を開始し、2016(平成28)年8月末現在、約900mまで掘削が完了している。地質は石英閃緑岩が主体であるが、断層が発達しており、切羽状況が急変することもあるため、探り削孔による切羽前方探査を行いながら慎重に掘削を進めている。

当現場の特徴として、掘削ずりに部分的に自然由来の重金属である砒素が含まれているため、現場ではさまざまな対策を講じている。とくに日々実施する掘削土の試験結果によりずりの搬出先が決定され、近場から遠方までと残土処分場が変更になるため、徹底した残土搬出管理を行っている。また、非常に狭い仮設ヤードであるため、上下2層構造の仮設備配置とし施工を進めている。

今後も地元の方々のご理解やご協力をいただきながら、職員・作業員が一致団結し、「心に残る仕事」をモットーに早期開通を目指し、施工に邁進していきたい。(鉄建建設(株)新田東佐味作業所所長)

# 施工

## 小土かぶりの切羽安定対策と坑口地すべり対策で脆弱な頁岩を掘削

—九州横断道 高木トンネル—

国土交通省熊本河川国道事務所建設監督官 峰 潔 毅  
前田建設工業(株)高木トンネル監理技術者 中山 泰 起  
前田建設工業(株)高木トンネル現場代理人 金子 和 己  
前田建設工業(株)高木トンネル工事課長 羽根田 隆

### 1 はじめに

九州横断道は熊本県嘉島町から宮崎県延岡市を結ぶ高規格道路であり(図-1)、高木トンネルは嘉島～山都道路事業(延長23km)の一環として御船町に建設する延長約480mのトンネルである。

高木トンネルは嘉島JCTから南西に約3kmに位置し、御船層群赤色頁岩を主体とする脆弱な地質を通過することから、掘削に伴う地山崩落が懸

念された。また、終点側坑口部ではトンネル掘削到達前の保護盛土造成時、白色凝灰岩の薄層に起因した変状が発生し、トンネル掘削到達前に対策工が必要となった。

本稿では、トンネル掘削時における切羽崩落対策の実施および終点側坑口部変状の調査、対策工について報告するものである。

### 2 高木トンネル概要

工事概要を以下に示す。

- 工 事 名：九州横断道(嘉島～山都)高木トンネル新設工事
- 発 注 者：九州地方整備局熊本河川国道事務所
- 施 工 者：前田建設工業(株)
- 工 期：2014(平成26)年2月27日～2016(平成28)年3月30日
- 工事内容：構造形式NATM、延長L=478.9m

### 3 地形・地質概要と技術的課題

#### 3-1 地形・地質概要

図-2に高木トンネルの位置図を示す。建設地の地質は御船層群が基盤岩として広く分布しており、赤色頁岩を主体として細砂岩や白色

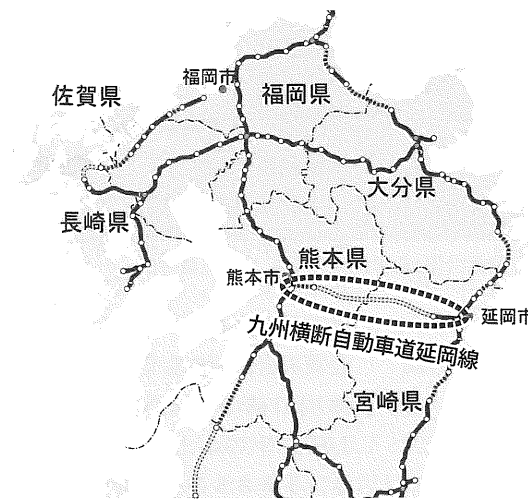


図-1 九州横断道位置図



図-2 高木トンネル位置図

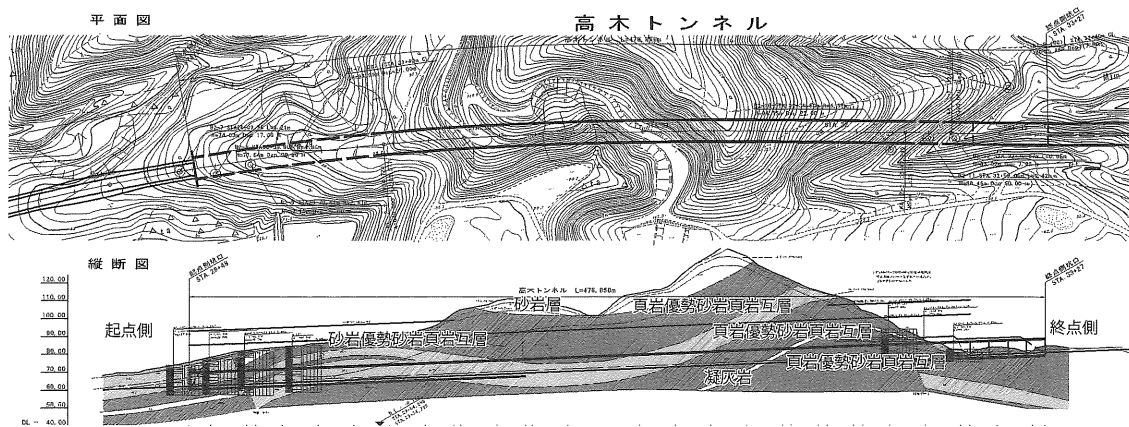


図-3 地質縦断面図

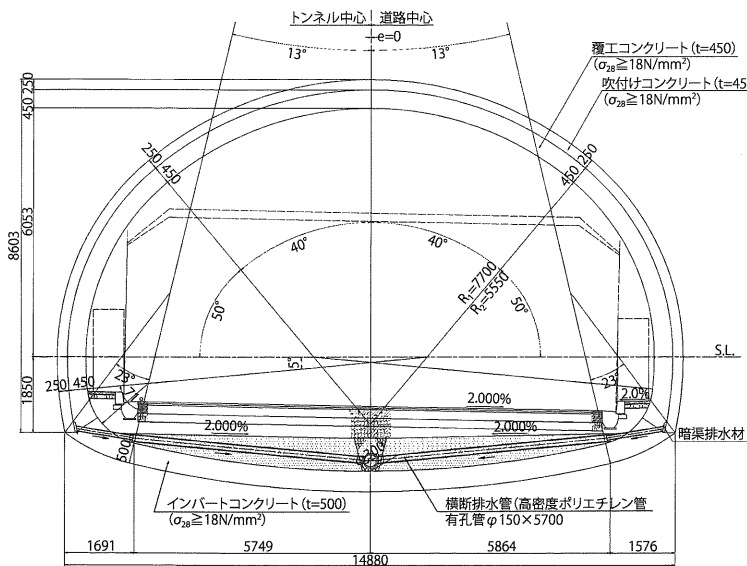


図-4 標準断面図

凝灰岩を挟在する。高木トンネルは丘陵地～小起伏地に位置し、造成された2つのゴルフ場の間を通過するルートとなる。

図-3に地質縦断面図、図-4に標準断面図を示す。

トンネル全線においてスレーキング率の非常に高い赤色頁岩が主体であり、起点側では断層破碎帯が分布し、終点側には白色凝灰岩が分布している。起点側坑口部の約120m区間では1.0D以下の小土かぶり部が続き、トンネル中央部の沢地形では、トンネル断面右側の土かぶ



写真-1 赤色頁岩による法面崩壊(田代地区)



写真-2 赤色頁岩による法面崩壊(高木トンネル起点側坑口)

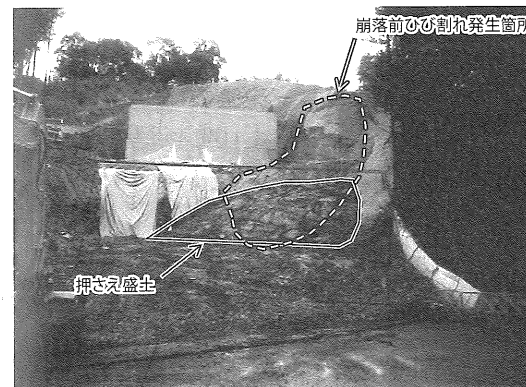


写真-3 白色凝灰岩による法面崩落前(田代地区)

りが1.5D以下と小土かぶりであることから、切羽の安定対策が課題となっていた。

また、終点側坑口部は偏圧地形であり、トンネル断面右側の土かぶりが1.0D以下となるため、トンネル掘削による地山緩みに起因した地すべりの発生が懸念された。

### 3-2 技術的課題

以下にトンネル施工前に想定した技術的課題を挙げる。

- ① 高木トンネルの主体的岩質である赤色頁岩は、風化に対する抵抗力が小さいこと、スレーキング率が70%以上と非常に高いことが特徴である。隣接工区や本工事による起点側坑口付け時に地山崩落が頻発した(写真-1, 2)ことから、このような地山が継続する場合、トンネル切羽安定対策として補助工法は不可欠であり、補助工法の採用や仕様を決定する地山判定基準を明確にする必要があった。
- ② 終点側坑口部は事前調査により白色凝灰岩が複雑に分布することが判明しており、隣接工区では、白色凝灰岩を原因とした地すべりが発生している(写真-3)。近隣工区の経験より、白色凝灰岩については数cm～数十cm程度の薄層であっても、30°程度の勾配があれば地すべりが発生するおそれがある。とくにトンネル終点側は偏圧地形となっており、白色凝灰岩の分布状況の把握と必要な対策を検討する必要があった。

## 4 赤色頁岩地山における切羽安定対策

### 4-1 削孔検層の概要

一般的に削孔検層は、削孔時に得られる削孔速度、打撃圧、フィード圧などの機械データより算出される削孔エネルギー(削岩に要した仕事量)の大小により地山の硬軟を判定する方法である。削孔エネルギーの算出式はさまざま提案されているが、主たるパラメータは削孔速度の逆数であり、打撃圧は仕事量への換算、フィード圧はオペレータによるフィード操作の補正に使われる場合が多い。亀裂質な地山ではジャミングによりビットが拘束されて削孔速度が低下する場合が多く、そのような場合には、削孔エネルギー値は大きく算出され、硬質な地山と見誤ってしまう場合がある。

今回の地山状況を考慮し、削孔状況と削孔検層結果を直感的かつ迅速に判断できるように、削孔エ

エネルギーではなく、削孔速度により地山の良・不良の判定を行った。なお、オペレータ操作による削孔速度変化の影響を除去するため、フィード圧一定(=3MPa)条件下で削孔速度の測定を行った。

### 4-2 試験削孔

3-2節で前述したように、起点側坑口付け時に大規模な崩落が発生したため、先受け工として注入式長尺鋼管フォアパイリング(φ114.3mm, L=12.5m, n=33本@450mm)、鏡面の補強として、注入式小口径長尺鋼管鏡ボルト(φ76.3mm, L=12.5m, n=22本@1,500mm)を施工した。事前調査の水平コアボーリング結果によると、起点側坑口から30m付近までは赤色頁岩層が継続することから、上記の対策を3シフト(9m×3シフト=27m)継続することとした。

切羽安定対策のための補助工法採用の判定基準をつくるため、坑口部において併せてドリルジャンボによる削孔検層を実施した。

測定頻度は、補助工法の1シフト長に合わせ9

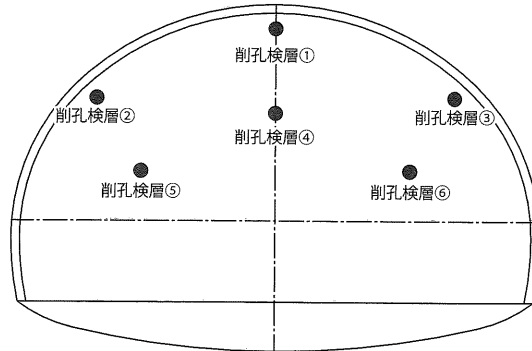


図-5 削孔検層位置図

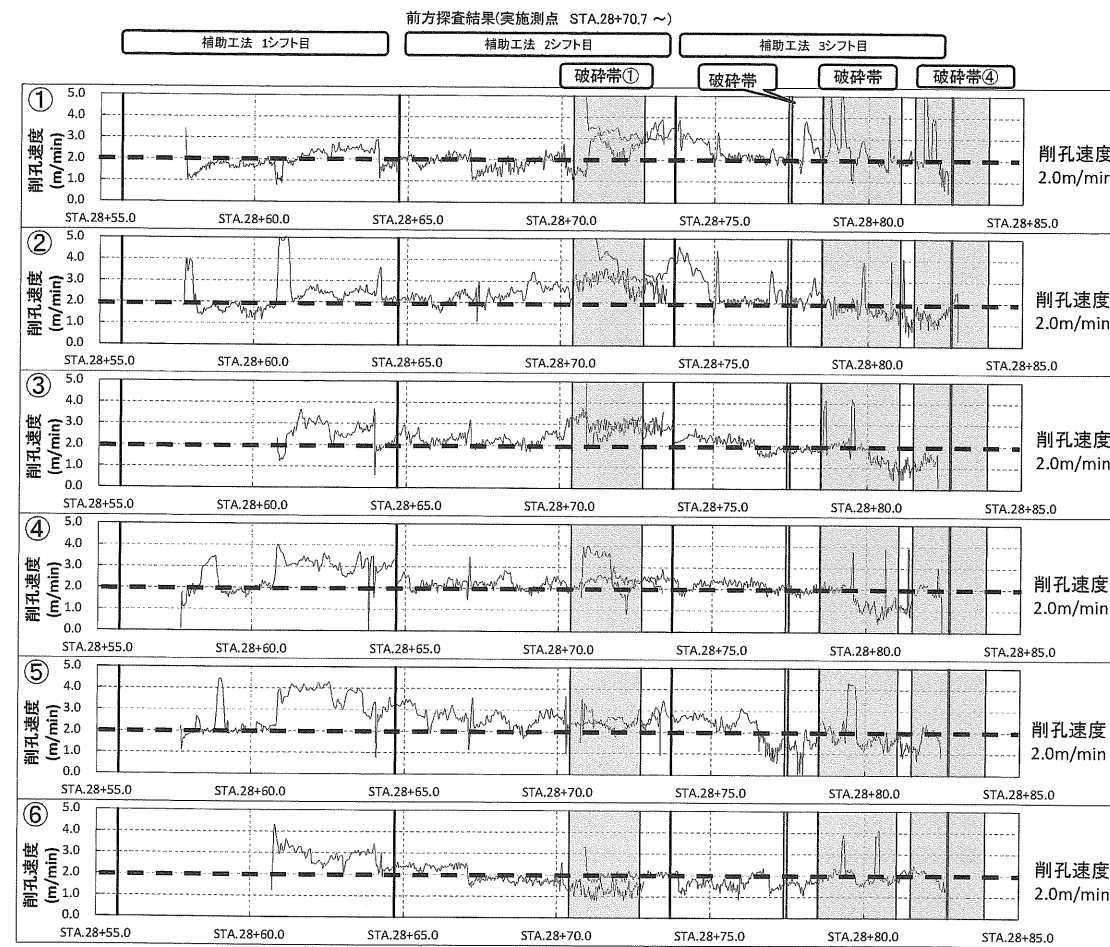


図-6 起点側坑口付近における削孔検層結果

mごととし、切羽面の地質分布を詳細に把握するため、トンネル断面に対して6か所測定した(図-5)。6か所のうち、①~③が天端部、④~⑥が鏡面を対象とした。

### 4-3 判定基準の作成

試験削孔の結果、起点側坑口の27m区間における測定結果より、削孔速度が2.0m/minを超える場合、切羽崩落の危険性が高いという傾向が得られた(図-6)。そこで、以下の判定基準により補助工法を採用することとした。

先受け工については、測定箇所①~③のうちのいずれかが連続して基準値:2.0m/minを超える場合に注入式長尺鋼管フォアパイリングを採用した。鏡面の補強については、測定箇所④~⑥の削孔速度値に応じ、打設間隔を、@1.2m(削孔速度3.0m/min以上)、@1.5m(削孔速度2.5m/min以上)、@1.8m(削孔速度2.0m/min以上)と使い分けることとした。

上記判定基準を運用しながらトンネル掘削を進めていく中で、坑口から300m付近では削孔速度の上昇傾向が確認され、地山状態が悪くなること予測されていたが、現状の切羽が安定していたことから、補助工法なしで掘削を継続したところ、突如、切羽崩落が発生した。この一件より、削孔速度による判定基準の有効性が再認識されることとなった。

## 5 トンネル終点側地すべり対策工

### 5-1 当初設計

終点側坑口部の当初設計は、右側法面を1:0.5で掘削し、明かり巻きの覆工コンクリートを延長L=42m構築後、路体相当の盛土により埋戻しを行う計画であった(図-7)。しかし、前述した起点側坑口における崩落箇所と終点側の地山状況が類似していることに加え、白色凝灰岩が複雑に分布していることや、法面の変状が発生した際の周辺への影響を考慮した結果、当初設計を見直すこととなった。

### 5-2 修正設計

修正設計では極力、右側の切土をなくすことを

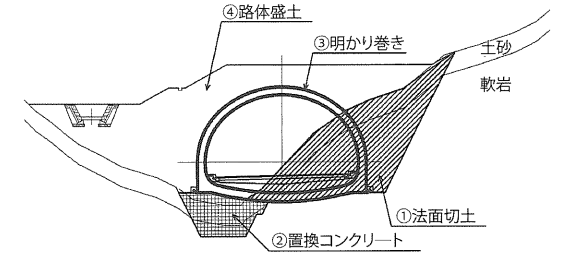


図-7 終点側坑口部の当初設計

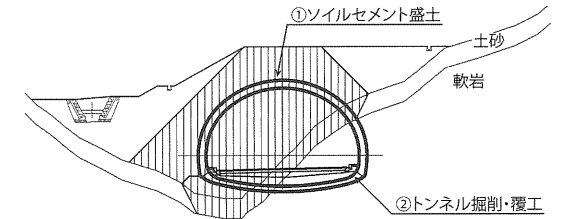


図-8 終点側坑口部の修正設計



写真-4 表土剥ぎ取り状況

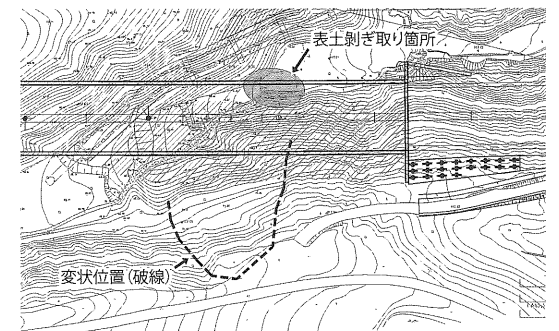


図-9 終点側変状位置図

目的とし、明かり巻きであった延長L=42m区間を先にソイルセメントで盛土し、その中をトンネル掘削するように設計を見直した(図-8)。

ソイルセメント盛土に先立ち、沢部の堆積土砂

および表土の除去に着手した(写真-4)。その直後、法面上に幅25~30mの馬蹄形をなす変状が発生し、オープンクラックが生じた(図-9)。クラックの進行が速かったことから、急遽、押さえ盛土により変位抑制を試みた。それにより大きな変位の進行は抑制されたが、その後もクリープ的な変位が数週間観測されたことから、ソイルセメントの施工を中断して対策工の検討を行うこととなった。

### 5-3 地すべり調査

変状発生原因を調査するため、調査ボーリングを右側斜面付近で図-10に示す5か所実施した結果、地すべりの原因となる白色凝灰岩が分布し(写真-5)、これによる浅層地すべり・崩積土地すべりが発生する危険性があった(図-11)。白色凝

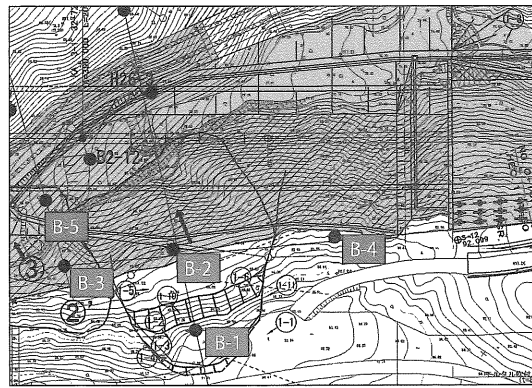


図-10 地質調査位置図

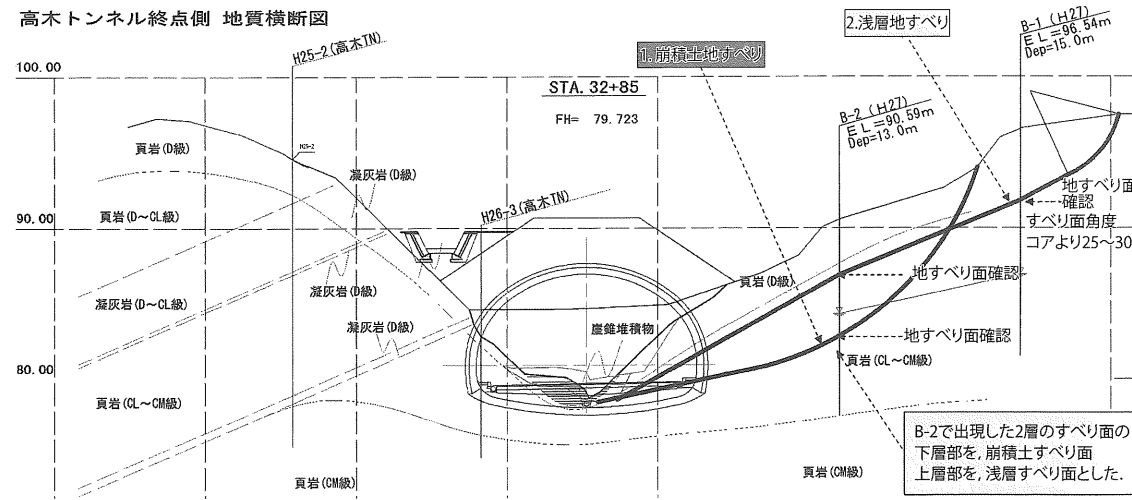


図-11 地すべりメカニズム(浅層地すべり・崩積土地すべり)

灰岩は事前調査では左側斜面で確認されていた。その詳細分布や連続性は調査数量の限界もあって明瞭でなかったが、今回のボーリング調査で低角



写真-5 白色凝灰岩(B-1 ボーリング)

度な流れ盤で右側斜面にも分布し、変状直前に施工した河床部土砂部のソイルセメント置換部の掘削位置付近まで連続していた。

### 5-4 地すべり対策工

対策工は、地すべり対策としてカウンターウェイトになる押さえ盛土を基本に、さらに、トンネル掘削時の盛土除荷となる地すべり抵抗力の補完と緩み地山に緊張力を導入できるアンカー工を選定した。また、崩積土は部分的に緩んだ箇所がトンネル周囲に分布することが想定されたため、坑内補助工法としてAGFを採用することとした。

変位抑制で応急的に実施した押さえ盛土はセメント改良されていないため、必要強度(1N/mm<sup>2</sup>)を得るためには原位置で改良する必要がある。改良深度は約10m程度以下であり、岩塊も含まため、中層混合処理であるスラリー攪拌揺動工(WILL工法)で改良し(写真-6)、残りの上の部分はソイルセメントで盛土した(図-12)。

アンカー工の設計にあたっては、将来的にトンネル断面内に地すべり線が入るため、トンネル掘削に伴う浅層すべり、崩積土すべりそれぞれにつ

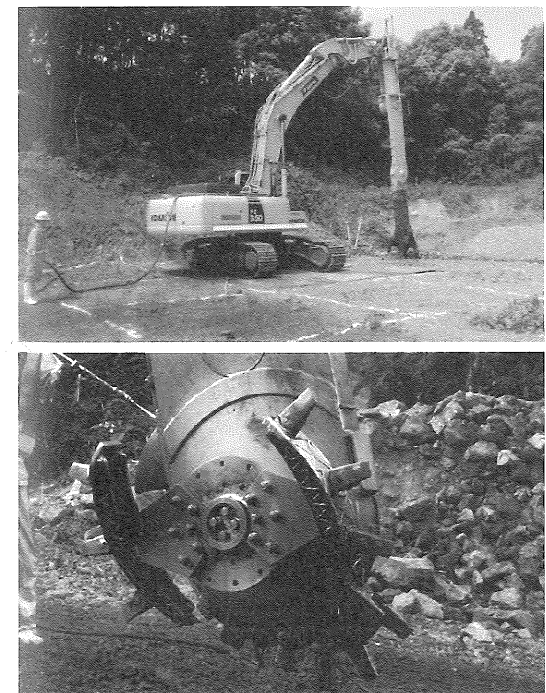


写真-6 スラリー攪拌揺動工による改良

いて検討した結果、各ケースとも地すべり発生時の安全率( $F_s = 0.98$ )を下回る結果となった。とくに崩積土すべりはトンネル掘削時の安全率が $F_s = 0.88$ まで低下し、安全率 $F_s = 1.2$ を得るための必要抑止力は約280kN/m<sup>2</sup>であることがわかった(図-13)。この時点でトンネル掘削は全長480mのうちの250mまで掘削が完了しており、また隣接構造物も完成しているため、変状部を避けたルート変更は現実的に不可能な状態となっており、地すべり抑止対策が必要であることがわかった。

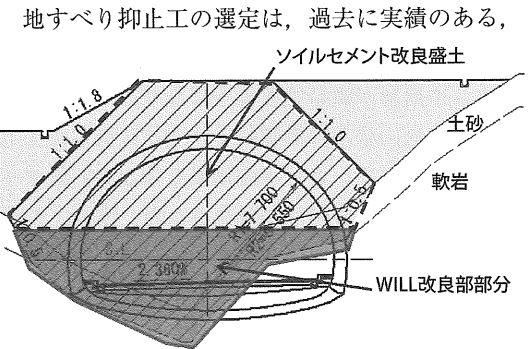


図-12 WILL工法とソイルセメントの改良区分

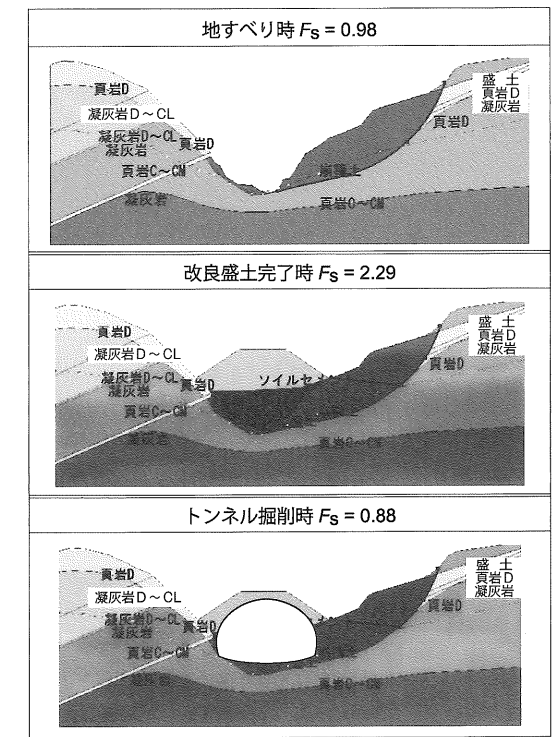


図-13 トンネル掘削時における崩積土すべりの安全率

①垂直縫地, ②グラウンドアンカー, ③抑止杭, で選定した。

垂直縫地に関してはミルクの充填性の問題やせん断抵抗に対して不確定な要素が多いため選定から除外した。グラウンドアンカー, 抑止杭ともに高い抑止効果が得られるが, 抑止杭は鋼管制作に時間を要するため, トンネル掘削到達までに施工が完了しない。結果として対策効果, 工程, 経済性で有利なグラウンドアンカー工を採用した(写真-7)。

5-5 追加検討

終点側坑口に向かうに従い, トンネル切羽側壁部より小崩落が頻発するようになり, トンネル掘削による地山緩みの影響により変状区間に施工したグラウンドアンカー工の効果を損ない, 地すべりが誘発される可能性が懸念された。また, 斜面安定計算では, グラウンドアンカー下部を一体化された土塊と仮定して安全率 $F_s=1.48$ が得られるが, 実際のトンネル掘削では以下のような現象の



写真-7 グラウンドアンカー施工完了

連鎖が懸念された(図-14)。

- ① トンネル掘削に伴う崩落・肌落ち
- ② 崩落・肌落ちに伴う緩み領域への変位発生
- ③ アンカー緊張力の低下
- ④ 地すべり発生

トンネル掘削による周辺地山への影響を評価するため, 2次元有限要素法(FEM)による弾塑性解析を実施した。破壊基準はMohr-Coulombの破壊基準を用い, 塑性領域の評価を行った。解析断面は, 地すべり主軸断面とし, 解析ケースは, 「対策なし」と「対策あり」の2ケース実施した。対策工としては, 注入式長尺鋼管フォアパイリングを変状側の側壁前方に打設することとし, 鋼管による先受け補強効果については, 地山の弾性係数に応じて先受け工領域の弾性係数を向上させる方法でモデル化した。解析メッシュを図-15, 解析物性値を表-1に示す。

図中の着色されたメッシュ部分がトンネル掘削

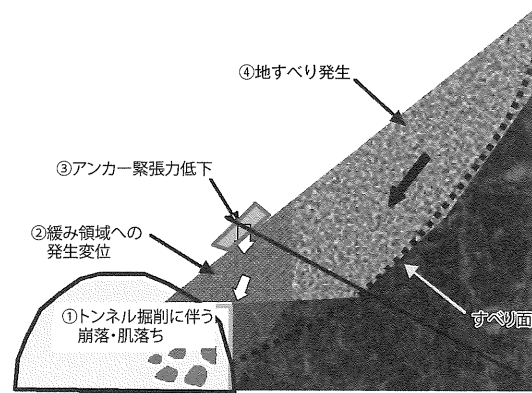


図-14 トンネル掘削時の崩落連鎖イメージ

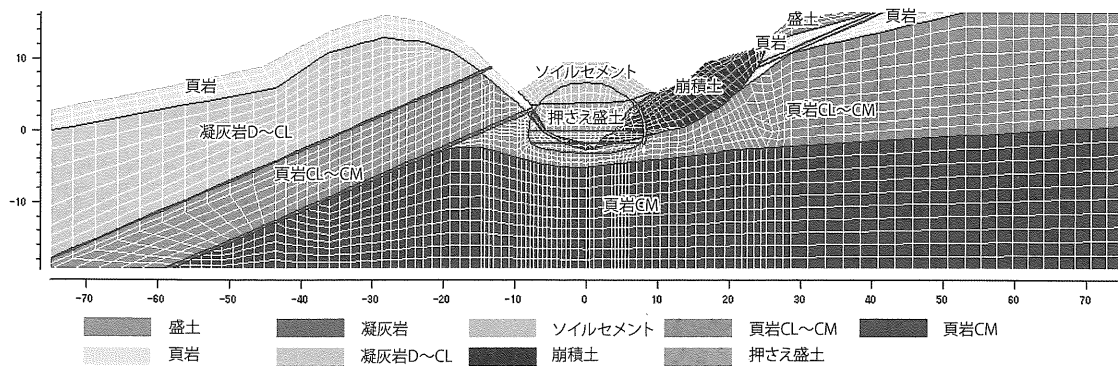


図-15 解析メッシュ図

に伴う塑性領域であるが, 「対策なし」のケースでは(図-16), トンネル断面右側の側壁部から地表面まで塑性領域が分布することから, トンネル掘削による地山緩みの影響がグラウンドアンカーの打設範囲まで影響する可能性が示唆された。

「対策あり」のケースでは(図-17), 「対策なし」に見られた塑性領域が見られなくなり, グラウンドアンカー下部を一体化された土塊と仮定で

きる条件に近いと考えられる。

5-6 施工結果

実施工では, 以下の条件のいずれかに該当した場合, 注入式長尺鋼管フォアパイリングによる側壁補強対策を実施することとした。

- ① 削孔検層をトンネル側壁前方に実施し, 削孔速度が2.5m/min以上となる場合
- ② 傾斜計およびアンカー荷重計の計測値が1

表-1 地山の解析物性値

地層	地山等級	変形係数(kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比	単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	粘着力(kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角(°)
盛土	E	80,000	0.30	18.0	10.00	20
頁岩	D	150,000	0.30	18.0	10.00	20
凝灰岩	D	150,000	0.30	19.0	5.71	20
凝灰岩D~CL	D	150,000	0.30	22.0	90.00	20
ソイルセメント	—	200,000	0.30	20.0	100.00	0
崩積土	E	80,000	0.30	19.0	10.20	20
頁岩CL~CM	CL	1,000,000	0.30	26.0	260.00	21
押さえ盛土	E	80,000	0.30	19.0	0.00	30
頁岩CM	CM	2,000,000	0.25	26.0	260.00	21

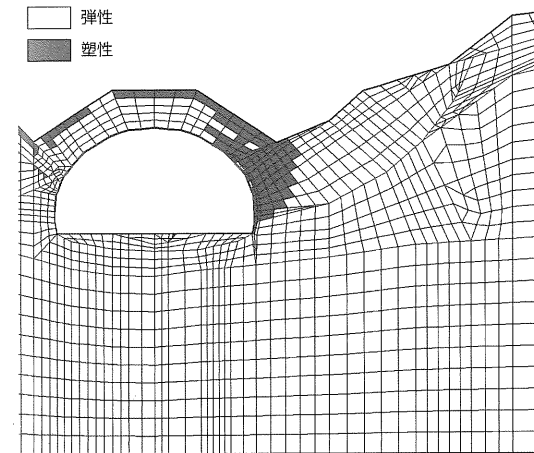


図-16 無対策の場合のトンネル掘削時の塑性領域

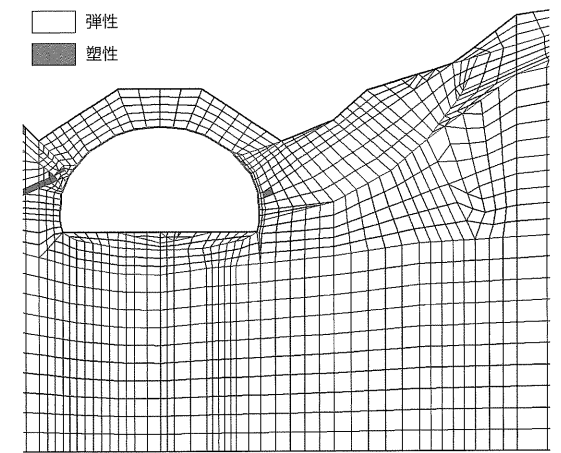


図-17 右側壁先受け補強(AGF)を実施した場合の塑性領域

表-2 傾斜計管理警戒区分

警戒レベル	変位速度(mm/日)	警戒レベルに応じた体制
通常	0.5未満	通常施工
一次警戒	0.5以上 2.0未満	トンネル掘削中断+経過観察 追加対策工の検討
二次警戒	2.0以上	トンネル掘削中止 追加対策の実施

表-3 グラウンドアンカー荷重計管理警戒区分

警戒レベル	アンカー力の推移(設計アンカー力に対して)	警戒レベルに応じた体制
通常	±7.5%未満	通常施工
一次警戒	±7.5%以上±10%未満	トンネル掘削中断+経過観察 追加対策工の検討
二次警戒	±10%以上	トンネル掘削中止 追加対策の実施

次警戒レベルを超過した場合(表-2.3) 変状区間への削孔検層の結果(図-18), いったん変状を起こした土塊であるため, 削孔速度は3.0m/min以上と非常に高い値であった.

以上より, 注入式長尺鋼管フォアパイリングによる側壁補強対策工は, トンネル断面右側壁に10本(@450mm)を27m区間(9m×3シフト)で実施した(写真-8).

トンネル掘削時は, 切羽右側からの崩落は見られたが鋼管背面の地山は保持されており, 上半掘削時の動態観測変位量は変状区間を通して1次警戒レベル以内で推移した. また, 下半掘削時は坑内傾斜計で2次警戒レベルを超過する変位が見られたが, 掘削をいったん中断し, 増しロックボルトを打設したことで変位は収束した. その後は下半1間ずつの施工により, 変状区間を通過するこ

とができた. グラウンドアンカー荷重計については, 掘削中の応力解放に伴う緩やかな低下が見られたが, 1次警戒レベル以内で収束した. また, 地表面計測には変位が観測されなかった. 以上の情報化施工により, 無事貫通に至った.

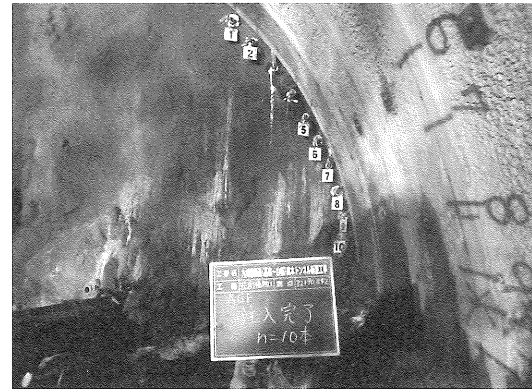


写真-8 側壁補強対策工実施完了

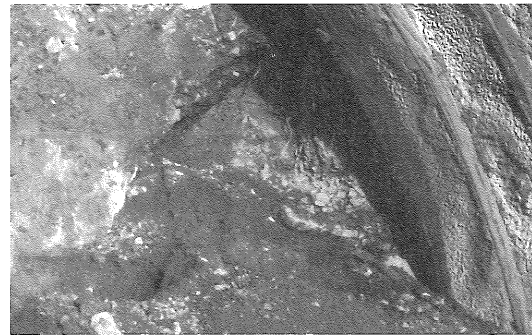
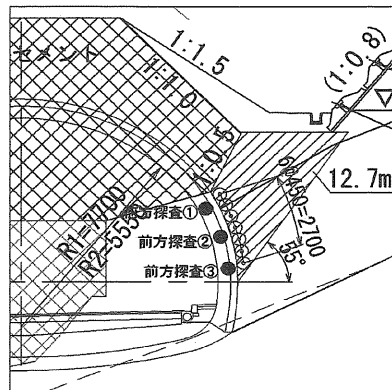


写真-9 掘削時の切羽右側の崩落状況

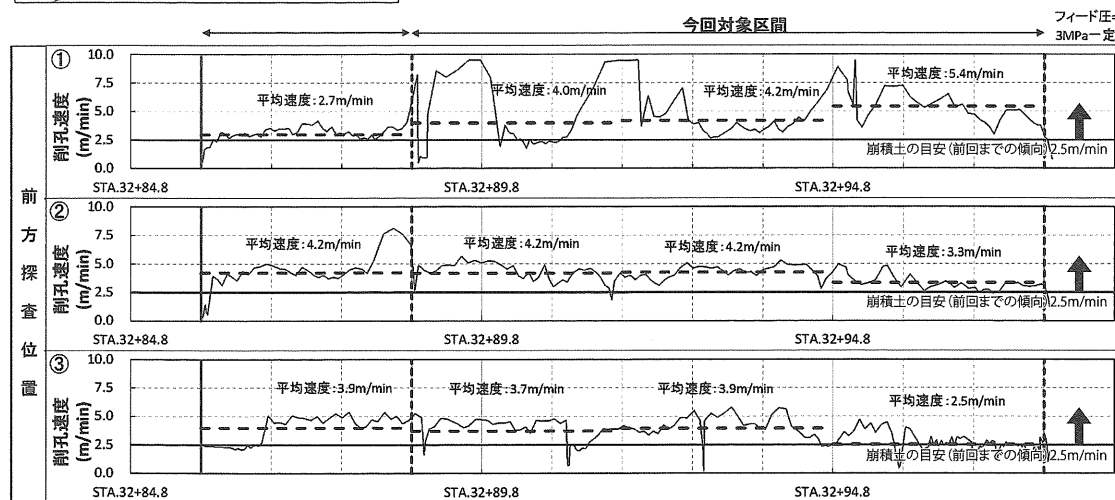


図-18 削孔検層結果(側壁補強対策区間3シフト目)

## 6 おわりに

今回, 事前調査で想定された地山よりも劣悪な地山が出現したが, 削孔検層により設定した判定基準にて最適な補助工法のパターンを迅速に選定しながら掘削を進めることができた. また, 終点側坑口部においてはソイルセメントの施工開始直

後に変状が発生したが, トンネル掘削到達までに変状の原因調査, 対策工選定, 対策工施工を実施することができ, 無事貫通に至った.

最後に, 今後九州横断道が供用され, 今回施工に携わらせていただいた高木トンネルが九州東西の流通の活性化と発展のために寄与することを期待する.

## 山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著

B5判 183頁 上製本 本体価格3,200円 円350

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

### 主要目次

山岳トンネル技術の要素と変遷/トンネル掘削による周辺地山の挙動/岩石の特性/トンネルと地質/トンネルの線形/断面の設計/支保構造物/吹付けコンクリート/ロックボルト/鋼アーチ支保工/覆工/切羽の安定/掘削工法・掘削方式の選定/併設トンネルの設計/特殊地山/坑口の設計/環境対策

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

# 土木情報 No. 520

今月の主な入札結果

(8月10日～9月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
北陸農政	庄川左岸農地防災事業荒又排水路(下老子工区)その4	松原建設	183
関東地整	H28・H29北千葉道路松崎函渠その2	古谷建設	239
〃	東関道小高地区函渠	石井工業	144.2
中部地整	H28 42号尾鷲第4 T北部	大林組	2,528
近畿地整	日高豊岡南道路上石T	安藤ハザマ	3,925
〃	〃 祢布T	安藤ハザマ	1,467
四国地整	H28土佐管内T補修	福留開発	109
水資源機構	房総導水路緊急改築東金・大網地区T補強外	東洋建設	235
〃	〃 小食土地区T補強外	浅沼組	490
〃	〃 上野地区T補強外	遠藤建設	220
東日本高速道路	上信越自動車道関ヶ原山T補強	西松建設	747
中日本高速道路	東京外かく環状道路東名JCTランプシールドT・地中拡幅(北行) 前田・奥村・安藤ハザマJV		49,800
都・水道局	葛飾区南水元二丁目地内から足立区中川五丁目地先配水管(2200mm)用立坑築造及びT築造	鉄建・奈良JV	1,874
〃	朝霞浄水場から朝霞市膝折地内間送水管(2600mm)用T築造	清水・西武・坂田JV	3,337.7
〃	練馬区石神井台一丁目地内から上井草給水所間送水管(2600mm)用立坑築造及びT築造	大豊・協和エクシオ・成友JV	2,626.2
都・下水道局	吾嬬ポンプ所施設再構築	飛鳥建設	7,138.63
千葉県下水道公社	木更津市公下金田西1号幹線(H28-1)建設(中島)	興和建设	121
東京都都市づくり公社	東村山市公下黒目川第六排水分区(その5)	新興産土木	108.3
牛久市	27社総交公下第1-4号, 上町排水区雨水管渠布設・第2-2号, 田宮地区汚水管渠布設合併	桂・手賀JV	118
小山市	横倉第一雨水幹線新設その1	山中・潮田・光洋JV	705.5
さいたま市	鴨川第1排水区下水道(北建-28-201)	ケイワールド日清・シン建・松永JV	1,428
〃	〃 第4排水区下水道(北建-28-203)	佐伯工務店	162.1
上尾市	28-3公共(補)雨水管渠築造	島村工業	175
横浜市	北部処理区獅子ヶ谷雨水幹線下水道整備(その5)	戸田・岡田JV	296.6
〃	〃 江ヶ崎地区下水道整備(その5)	横浜建設	213.65
〃	南部処理区新磯子幹線下水道整備(その3)	西松・福田・森本JV	1,539.54
長岡市	28浸水補東1号浸水対策下水道(雨水管渠)	河田・中越・永井JV	513.82
大阪市	高速電気軌道第6・7号線地下構造物耐震補強	銭高組	2,705
枚方市	公下第68工区サダ雨水貯留管整備	浅沼組	2,450

## 建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著 A5判 326頁 本体価格 4,300円(〒300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

## 研究

# ICTによる地下鉄トンネル維持管理システムの構築

東京地下鉄(株)工務部土木課副主任 榎谷 祐輝

東京地下鉄(株)工務部土木課課長補佐 三浦 孝智

東京地下鉄(株)人事部研修訓練センター所長 川上 幸一

(学法)産業能率大学総合研究所マネジメント研究センター長 豊田 貞光

## 1 はじめに

東京地下鉄(株)(以下、「東京メトロ」と呼ぶ)は、9路線、総営業延長195.1km(うち、トンネル延長166.8km)の施設を保有し、1日707万人のおお客様にご利用いただき、日本の首都・東京の都市機能を支える重要な社会資本となっている。

しかし、今後人口減少による技術者の不足が予想され、今までどおりの人間に頼った維持管理を続けられるかどうか懸念されている。トンネルを健全な状態に保ち、安定した営業を将来にわたり継続していくためには、トンネルの検査や補修計画の立案の効率化が大きな課題となっている。このようなことから、トンネルの維持管理のICT化を進め、人間が行う検査が効率化でき、検査結果データから迅速に適切な補修計画が立案できるシステムを構築したので紹介する。

## 2 地下鉄の全般検査

地下鉄では、毎日の維持管理に使用できる時間は準備・片づけを含み、夜間の送電停止中の3時間程度であることから、効率的かつ質の高い維持管理手法が必要である。東京メトロでは、『鉄道構造物維持管理標準』<sup>1)</sup>に準拠し全般検査を進めている。2年ごとの通常全般検査(以下、「通全」と呼ぶ)は、目視を基本に必要なに応じて打音調査を

用いて、徒歩で1路線を約3か月かけて行っている。20年ごとの特別全般検査(以下、「特全」と呼ぶ)は、2012(平成24)年度より高所作業車を用いた近接目視と打音調査で1路線を約1年かけて行っている。

日常的な作業としては、これら全般検査から個々の変状に対して健全度判定し、必要と判断した箇所は補修などの措置を取っている。適切な措置を継続することで構造物の長寿命化が図られていると考えられる。しかし、このような日常的な作業以外に、トンネルのある区間がまとまって悪くなった場合、抜本的な大規模補修・補強をするといった長期保全対策が必要となる。長期保全対策では、変状の適切な措置に加えて、発生させる原因(力学的要因、化学的要因)を調査し、対策の立案を行う。この長期的な対策を行う箇所については、過去から積み重ねてきた検査者の現場状況報告や各種計測などにもとづき、変状の著しい区間などを抽出し、その原因を調査し対策を講じてきた。しかし、現在の課題は、

- ① 特全で得られた大量の検査データをもとに、限られた時間で効率的に精度の高い通全などのその後の検査を行うこと
- ② 検査データを活用し、長期保全となるより説明力の高い維持管理を行うことである。

### 3 トンネル検査のICT化

#### 3-1 人間による検査の重要性

維持管理の効率化では、検査の機械化が考えられる。検査の基準となる国土交通省通達『鉄道構造物等維持管理標準』<sup>1)</sup>では、「通常全般検査における調査方法は目視を基本とする」とされ、「機械的な手法を用いる場合は、その精度が目視・打音と同等かそれ以上の精度を有することが確認される場合」とされている。東京メトロにおいても、赤外線を用いたトンネルのコンクリートの浮き・剝離箇所の検知<sup>2)~4)</sup>および、トンネル表面の画像撮影による、ひび割れや漏水の把握<sup>5)</sup>などについて検討を行っている。しかし、人間による検査との置き換えには、まだ、しばらく時間がかかり、当面は補助的な利用となるのが現状である。この機械化については引き続き検討を行っていくが、地下鉄トンネルの検査は、当面は人間が主体になると考えられる。

#### 3-2 効率的な検査のためのシステム開発

##### 3-2-1 開発の背景

人間による検査の効率化を目的として、タブレット端末(以下、「タブレット」と呼ぶ)の導入、アプリケーションおよびシステムの開発を行った。

トンネルなどの検査を行うためのシステム(以下、「既存システム」と呼ぶ)は世の中に複数存在するが、

- ① 既存システムと東京メトロの検査の記録方法が異なること
- ② 東京メトロの過去の検査情報を既存システムに統合するためには時間を要すること
- ③ セキュリティ上、社外の人間が扱うタブレット端末から社内サーバーへ直接アクセスができないこと

などの理由により、検査のためのアプリケーションおよびシステムを独自に開発した。なお、検査に従事する人がシステムをスムーズに使用できるよう、

現場で実際にトンネル検査作業を行っている会社の社員の意見も細かく取入れて開発を行った。

##### 3-2-2 検査効率化のポイント

今まで検査現場では事前準備として、過去の検査結果データ(紙ファイル)から次に検査する区間の変状の位置、状態、健全度、写真などを抽出・整理し、これらを記載した紙の資料(以下、「検査票」と呼ぶ)を数日かけて作成していた。検査当日は、この検査票を検査箇所に持参し、それをもとに変状を確認し、手書きでメモを残していた。さらに、検査終了後、事務所で手書きのメモをデータベースに転記・確認するといった、多くの作業工程を経て検査作業が完了していた。

また、東京メトロのトンネルにはさまざまな変状が多数存在し、かつ限られた時間で検査を行わなければならないことから、次の6つをポイントとしてシステムを開発した。

- ① 事前準備の簡素化
- ② 現場での記録の簡素化
- ③ 現場携行物の削減
- ④ 現場での変状確認漏れによる検査やり直しリスクの排除
- ⑤ 事務所での転記時間やミスの削減
- ⑥ 検査情報の確認・共有の迅速化

##### 3-2-3 ICT化した検査システムの概要と効果<sup>6)</sup>

開発したアプリケーションの検査画面を写真-1に検査状況を写真-2に示す。

一つひとつの変状に対して前回の検査記録(写

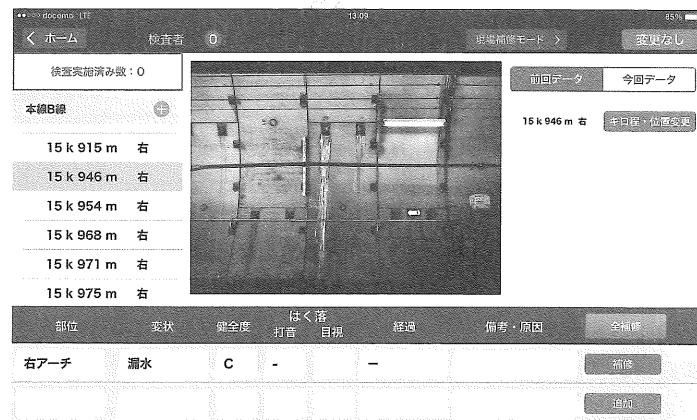


写真-1 アプリケーション画面



写真-2 タブレット端末の使用状況



写真-3 Beacon

真、キロ程、部位、変状、健全度など)が表示され、変状を確認したのち、タッチパネルの特性を生かし、迅速に記録できるようにした。さらに、変状の写真撮影は、撮影画面に前回の写真を小ウインドウで表示させ、前回写真と比較しながら同じ角度で撮影できるように工夫した。

また、現場での変状の確認忘れを防ぐための機能として、タブレット端末に位置情報を自動取得させ、検査者がトンネルのどの位置にいるかを容易に把握できるようキロ程を表示する機能を整備した。それに伴い、トンネル内ではGPSが使用できないことから、試験的に検査対象路線のトンネル内に位置情報発信装置(以下、「Beacon」と呼ぶ)を10mごとに設置した。さらに、この機能を利用して2番目の検査忘れ防止機能として、過去の検査で検出された変状を確認しないで20m以上進んだ場合アラームが鳴るようにした。

写真-3に防水防塵ケースに入れたBeaconの設置状況を示す。

アプリケーションの開発とともに、アプリケーション上に記録した検査情報をサーバーに蓄積し、その情報を確認・修正・記録するシステムを構築した。アプリケーションを含めたシステムの概要は次のとおりである(図-1)。

- ① 社内サーバーから、ネットワークを経由し

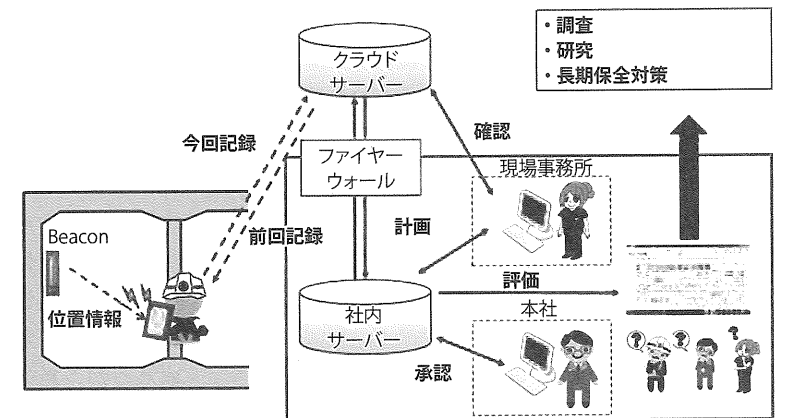


図-1 システムの概要

て過去の検査情報をタブレット端末へダウンロードする。

- ② タブレット端末上のアプリケーションで過去の検査情報の閲覧および検査の結果を記録する。
- ③ タブレット端末が、トンネルに設置されたBeaconにより位置情報を認識し、検査者のいる位置(キロ程)をタブレット端末上に表示させる。
- ④ タブレット端末からネットワーク経由で、検査情報をクラウドサーバーにアップロードする。
- ⑤ クラウドサーバーにアップロードされた検査記録をPCで確認・修正する。
- ⑥ クラウドサーバーに保管された検査記録を、データの最終的な管理先となる社内サーバーに保存する。なお、クラウドサーバーを経由

する理由はセキュリティを考慮したためである。クラウドサーバーには前回検査の情報および、今回の検査情報が一時的に保存され、最終的にすべての情報は社内サーバーに保存される。これにより社外の人間が社内サーバーに直接アクセスできないようにした。

タブレット端末、アプリケーションおよびシステムの導入により、現場作業では、検査記録の簡素化および、変状の確認漏れによる検査やり直しリスクが低下している。事務所作業では、事前作業や手書きのメモをPCに転記する作業がなくなった。

また、クラウドサーバー内の検査情報は検査関係者全員が常時閲覧することが可能なため、検査情報を迅速に確認・共有できる。これらにより検査作業が大幅に効率化できた。

現在この検査システムを特全でも使用しているが、実際に現場で作業している検査員にヒアリングを行ったところ、事務所内作業がICTを導入する前と比べて1/5程度まで軽減された。現在は多くの検査員がスマートフォンなどのタッチパネルの操作に慣れており、現場での拒否反応もなくスムーズに業務を行っている。

## 4 検査結果データの有効利用

### 4-1 開発の背景

将来にわたりトンネルを健全な状態に保つためには、2章で述べたように個々の変状に対する検査結果から補修を行う日常的な作業以外に、説明性の高い長期保全対策が必要となる。このような場合、どこを優先して措置すべきか、ベテラン社員の暗黙知により判断する場合もあり、措置計画の説明性を向上させることも課題であった。このようなことから、検査結果データを可視化し、長期保全対策となる措置計画に利用するシステムも開発した。

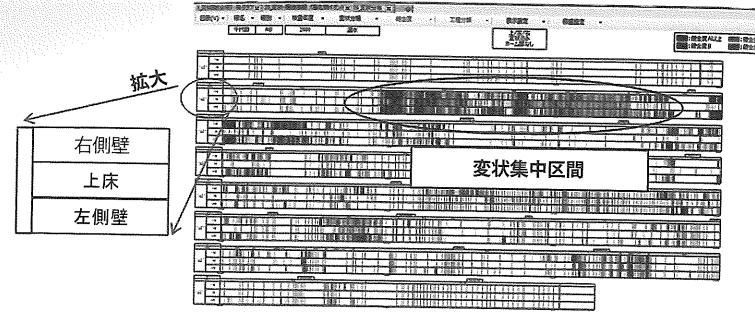


図-2 変状分布図

### 4-2 検査結果データの可視化

#### 4-2-1 可視化の概要

蓄積されたデータをわかりやすく共有するために可視化ツール(以下、「ビューアー」と呼ぶ)を開発した。さまざまな形でデータの共有が可能であるが、その一部をここで紹介する。

ビューアーはPCの1画面またはA3用紙にすべての情報を表示することで、全体を俯瞰して観察できることとし、詳細を確認する場合のために拡大表示機能を搭載した。いくつかのツールを作成したが、ここでは、よく利用する2つの例を紹介する。

#### 4-2-2 変状分布図

各地点に変状がどの程度存在し、どの程度の措置が進んでいるのかを俯瞰して見えるビューアーを開発した。これにより、現業機関、本社でリアルタイムに状況を共有し管理できるようにした。

また、変状分布図(図-2)の開発により、ベテラン社員が暗黙的に認識している変状の分布状況について、誰もが感覚的に理解できるようにした。

これをもとに、「なぜ、その部分に変状集中しているのか?」「どのような調査や対策が必要なのか」などの問題を現業機関と本社、若手社員とベテラン社員でディスカッションし、事業計画へ反映するためのツールとして利用できる。このほかに、検査や措置の進捗状況などを共有するレポート出力も行えるようにした。

#### 4-2-3 補修金額分布図

補修金額分布図を図-3に示す。これは、補修金額の分布状況を確認するもので、各路線の駅間で



図-3 補修金額分布図

コンクリート補修、漏水の止水、駅部の止水の費用を可視化したもので、上位3位を着色している。毎年、同じ区間が表示される場合、補修方法の見直しなどに利用している。

## 5 まとめ

東京メトロは多種多様な構造物を保有し、膨大な変状をこまめに管理する必要がある。一方、人口減少および、少子化高齢化により維持管理の効率化が求められ、機械化・自動化の研究を行いながらも、当面は人間による検査とそれらにもとづくデータ管理および補修計画の立案が必要である。その状況で、人によるトンネルの管理に焦点をあてた維持管理の仕組みを構築した。

とくに、タブレット端末、Beacon、クラウドサーバーなどを利用した効率的な検査により、夜間の限られた時間内に質の高い検査を行うことが可能となった。また、検査の事務所作業の工程短縮により、社員がより迅速に変状を共有することが可能となった。

これからデジタル化された検査結果を可視化ツールによりマッピングすることで、効果的な措置計画を立案できるシステムを開発した。また、検査、調査などの結果を可視化することにより、優先的に措置を行うべき範囲や、変状が発生している理由を明確にでき、説明性の高い効果的な措置計画の立案が可能となった。さらに、社員間での情報交換によるベテラン社員の持つ暗黙知の共

有や、新たな知見の創出への効果も期待できる。

ICTの導入により、維持管理の大量データを取り扱うことができるようになった。これを利用してわかりやすく意味あるかたちにして共有することと、新たな知見を創出していくことが重要と考えている。今後も、維持管理における社員の暗黙知を

継承・蓄積しながらも、可能な限り形式知化し、さらなる安心・安全を追求していく所存である。

最後に、今回の開発にあたって(株)メトロレールファシリティーズ小松様、(株)チェンジ伊藤様、尾形様にご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準(トンネル)，丸善，2009。
- 2) 川上幸一・小西真治・久保昌史・中山聡子：現場での赤外線熱計測による地下鉄覆工コンクリートの浮き検出の可能性，地下空間シンポジウム論文，土木学会地下空間委員会，Vol.20，A3-1，pp.73-84，2015。
- 3) 川上幸一・小西真治・村上哲哉・久保昌史・中山聡子：赤外線熱計測による地下鉄シールドトンネル内中子型セグメント表層コンクリートの浮き検出，第25回土木学会トンネル工学研究発表会，論2-02，2015。
- 4) 川上幸一・小西真治・村上哲哉・日下義政：赤外線サーモグラフィカメラによる地下鉄トンネルの浮き・はく離検出に関する有効性の検討，地下空間シンポジウム論文，土木学会地下空間委員会，Vol.21，B2-5，pp.9-16，2016。
- 5) 小西真治・川上幸一・三浦孝智・篠崎真澄・篠原秀明・村田利文・石川雄章：画像データによるはく落要注意箇所抽出方法の研究，第25回土木学会トンネル工学研究発表会，報Ⅲ-2，2015。
- 6) 川上幸一：東京メトロの土木構造物検査におけるICT活用，日本鉄道施設協会誌，Vol.41，2015-2，pp.40-43，2015。

## Tunnel Wall

## 埼玉県狭山市に貫通石ミュージアム

(元)日本道路公団 平山 嘉一

「トンネル貫通石」の展示場を開設し、みなさまに展示しましたところ、NHKテレビ、NHKラジオ、新聞、地元ケーブルテレビなどのメディアに取り上げられ大きな反響がありましたので紹介させていただきます。

トンネルはビジュアル的に印象が薄いためか、橋梁に比べると社会に対する貢献度の割には、残念ながらマスコミなどに扱われることは少ないように思われます。このような状況のためか、一般の方だけでなく土木屋の中でもトンネルに直接かわられた方以外は、トンネル工の苦勞、ましてや「トンネルの貫通石」の存在はあまり知られていません。

私は、在職中にトンネル工に関係していましたので、工事を担当した記念に貫通石を大事に持っていました。最初のころは大事に飾っていましたが、増えてくるにつれ、ちょっと見ただけで、しまっておくようになりました。最終的には、20個以上の貫通石と巡り合えたことは幸せだったと思います。退職して身辺整理を始めてみると、本ノート、報告書、名刺、日記、写真については数回に分けて少しずつ名残を惜しみながら減らしましたが、工の苦勞や思い出が凝縮された貫通石は手放すことができませんでした。

私にとっては宝物の貫通石も、私が亡くなれば、妻や子そして孫にとっては、ただの「石ころ」ということで捨てられてしまうのは必然です。トンネル工に従事された方々の思いの丈がこもった貫通石を埋もれさせるのは大きな損失です。何とか1か所に集めて、個々の貫通石のトンネルのことや、その技術、工事に携わった方々の苦勞を多くの人に理解していただきたいと考えました。また、貫通石は安産や学業成就のお守りとされてい

ます。安産に関しては、「神功皇后が朝鮮に遠征したとき、洞を貫き敵の背後から攻め大勝を得た。その記念に貫通点の石を九州へ持ち帰ったおり、産気づき枕辺に記念の石を置いたところ安産であった」という故事に由来しています。学業成就に関しては、「貫通石が、幾多の難関を乗り越えて石(意思)を貫いた結果、得られるものである」という語呂合わせに由来しています。このパワーを授かることができるパワースポットとして、新たな観光地、町おこしとしても活用できるのではないかと考えました。トンネル工のPRにもなり、貴重な貫通石の保存も可能になり、観光地にもなるとの考えから「貫通石ミュージアム」の設立にとりかかりました。

そこで、私と同様に貫通石の処遇で憂慮している方々がおられるはずと考え、元日本道路公団の仲間や、トンネル工に関係した人たちに「貫通石ミュージアム」の構想を説明し、貫通石の提供をお願いしたところ、多くの賛同者、協力者が得られ、3年弱で北海道から九州まで約200トンネルの貫通石を集めることができました。しかし、残念ながら名神、東名など、初期の高速道路建設時代の貫通石は集まりませんでした。その時代もトンネル貫通お披露目の記念品として貫通石を関係者や地元住民に配っていたはずですが、現在のようにアクリルなどできれいに仕上げる方法が確立されておらず、長期保存したいと思える代物ではなかったこともその一因であるのかもしれませんが。

みなさまの賛同を得て、貫通石の個数が集まるにつれて展示場探しで窮地に追い込まれました。とくに展示するだけでなく、将来保存していくというのが難題でした。そこで考えついたのは、私の先祖がお世話になっているお寺さん「徳林寺」

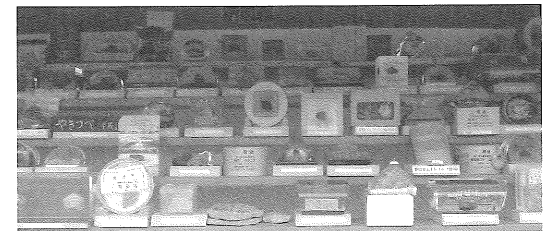
に相談することでした。寺の方丈(住職)さんに貫通石のご利益をキーワードに、お寺に貫通石を展示して、新たなパワースポットとして、将来、名刹とし、狭山市の新名所として多くの人たちが観光に来てくれる場所にしようと説得に努めました。貫通石をみなさんに見ていただきトンネルのPRになる、永久保存が可能になる、地元のパワースポットの新たな観光地が生まれるというように、大岡越前裁き三方一両損の上をいき、三方一両得というような解決となり、貫通石の展示が始まりました。

2016(平成28)年3月の北海道新幹線開通で、青函トンネルの話題が復活するというタイムリーなこともあって、「貫通石の展示」の反響は好評で、いろいろな方に見学に来ていただいています。資料を提供していただいた方、土木の仲間、友人、TVで見たという人たちなどです。坑夫だった方は、自分のやったトンネルの貫通石があるか見に来ましたということで、昔の苦勞話を懐かしく語られていました。ウォーキングの途中で立ち寄られた方は、「貫通石のこと初めて知りました。私の出身県のものもあり、故郷を懐かしく思い出しました。」と言われていました。孫に合格のお守りがほしいというおばあちゃんもずっと見つめていました。中でも、亡くなったご主人がトンネル技術者だったという奥様は、「主人から預かっていた大事な貫通石、ぜひ、ここで展示保存をお願いします。」と言ってお持ちいただきました。このときは、この企画をしてよかったと改めて感じました。

現在ミュージアムには250以上の貫通石を展示しています。いくつか紹介してみますと、軟弱な岩盤と異常出水で苦勞した当時世界最長の青函トンネル、大清水、八甲田などの鉄道トンネル。8年の苦闘の未完成した関越トンネル、フォッサマグナを横断する子不知トンネルに代表される北陸道のトンネル群、世界最大級のTBMで10年かけ



貫通石ミュージアム



納められた貫通石

での難工事となった飛驒トンネル、肥後、天王山など高速道路のトンネル。地熱や大量湧水と闘った安房トンネルほか地域の生活に密着した国土交通省、都道府県施工のトンネル。そのほかダム工事や他の工事を施工するためのトンネルなど多くのトンネルの貫通石が集められています。中には特別展示として今年7月に開業して世界最長のトンネルとなったスイスのアルプスを貫くゴッタルドベーストンネルの石(貫通石ではありません)やアクアラインのTBMの爪や貫通記念の枅、「ハイウェイカード」なども展示しています。

ぜひ、みなさまにも見学していただくとともに、貫通石ミュージアムのことを広めていただければと思います。これからも施設を充実して「貫通石の殿堂」と言われるように努力していきたいと考えておりますので、みなさまのご支援、ご協力よろしく願いいたします。

■展示場 埼玉県狭山市入間川23-11

徳林寺境内(年中無休)

URL <http://kantsuseki.webcrow.jp>

## トンネルジャーナル

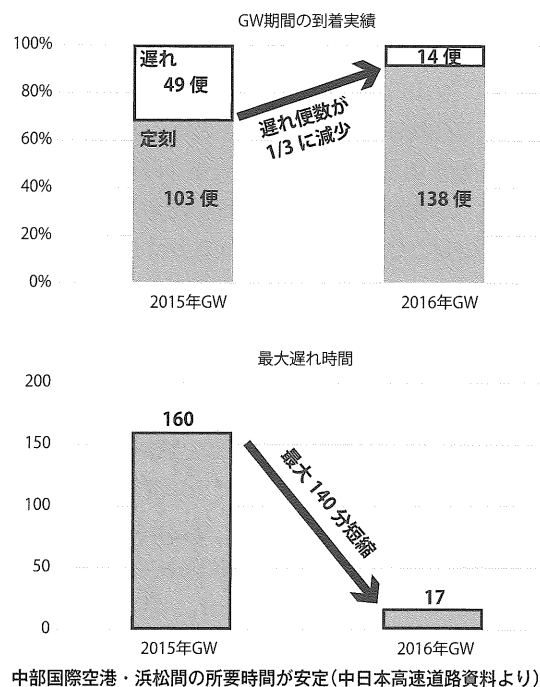
### 新東名浜松いなさJCT～豊田東JCTのストック効果が発現

中部地整，中日本高速道路および愛知県ほか新東名道路(愛知県区間)の沿線自治体は，2016(平成28)年2月13日に開通した新東名道路(愛知県区間)の浜松いなさJCT～豊田東JCT間の延長約55kmのストック効果について発表した。

ストック効果とは整備された社会資本が機能し，継続的に発揮される，生産性の向上などの効果を指す用語で，発表によると，並行する東名高速の渋滞が大幅に減少したこと，長距離輸送を支援する効果がみられること，高速バスの定時性が向上したこと，沿線地域の観光の活性化に貢献していること，が効果として確認されたとしている。

開通3か月間の渋滞は，開通前の同時期に比べ，115回から7回へと大幅に減少したほか，8月6～16日のお盆期間も，昨年の22回から2回へと改善が見られた。輸送会社に行ったアンケートでは岐阜県大垣付近から静岡県沼津付近までの輸送で所要時間を20分程度短縮できることから新東名を利用するようになったなどの回答があり，開通後，とくに物流を担う貨物車は，走行性の良い新東名を選ぶ傾向がみられた。

定時性の向上がもたらした結果として，浜松と中部国際空港約130kmを運行する空港直行バスでは，昨年のGW期間中，最大約140分の遅れ時間が発生していたものが，ことしは17分に短縮するなど，利



用者の信頼感の向上とともに運転手の負担も軽減にも貢献している。開通後，沿線の奥三河地域などで開催されたイベントでも，来訪者数が増加していることが確認されており，今後の継続的な効果発現が期待される。

### 『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

1. 原稿は弊社ホームページ(<http://www.tunnel.ne.jp>)に掲載されている投稿規定により執筆して頂きます。
  2. 原稿のボリュームは，原則として刷上がりで8頁以内とします(図・表・写真含む)。
  3. 原稿掲載の採否は，本誌編集委員会で審査のうえ決定します。
  4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
  5. 原稿は，原則として返却いたしません。  
(注:「現場だより」の投稿は受付しておりません)
- 送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係  
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
電話 (03) 3267-2888(代)

## 第八十二回 語り継ぎ 言い継ぎ行かむ

# 人との出会いを 造つてくれた シールドトンネル

(元)熊谷組  
三浦 政美

### はじめに

2010(平成22)年より始まった「語り継ぎ 言い継ぎ行かむ」に執筆依頼を受けたとき，私が指導を受けた諸先輩方が多くいるため躊躇したのですが，昨今「技術の継承」が課題として掲げられた状況下であり，現役のトンネル技術者の方々に，少しでも参考になればと思い執筆を受けさせていただきました。

私のトンネル工事に関する仕事は，新入社員のと時から現在まで48年間，すべて東京都市圏でのトンネルです。

このような経験を現役の技術者の方々に文章でうまく伝えられるか自信のほどはありませんが，入社当時から年月に戻り現場での経験を主として記してみたいと思います。

また，その都度の仕事で「学んだこと」「印象に残っている出来事」「トラブル例」についても述べてみたいと思います。

### シールド技術習得時期 1968～1972(昭和43～47)年

私が新入社員として熊谷組に入社した1968(昭和43)年は日本が高度成長期に入り，都市部では多くの交通インフラ整備が進められていました。シールド技術に絞れば昭和30年代からの羽田モノレール，石神井幹線などにより都市圏で本格的に導入され，またその後，地下鉄東西線，浅草線などの工事が盛んに施工されつつありました。このような状況下で，私はシールドトンネルに出会いました。

### ■日本国有鉄道新総武快速線トンネル工事で学んだこと

新入社員として配属されたこの現場は，東京駅から両国までを地下で結んで総武線ルートに入る新線で，熊谷組の施工は日本橋側の室町から東京駅までのシールド工事と一部の駅部(開削工事)でした。

シールド工法は手掘り式オープンシールド工法，セグメントはプレスコンクリート製，外径7.06m，



著者近影

トンネル延長1,060m, 圧気併用, 地質は東京礫層および洪積粘土層でした。この現場は私のシールド技術の原点であり、今でも電車の先頭に乗ってトンネルを見ることにしています。ここで私が技術的に学んだことや、印象に残るものを挙げれば次のようなものです。

#### 〈開削工事〉

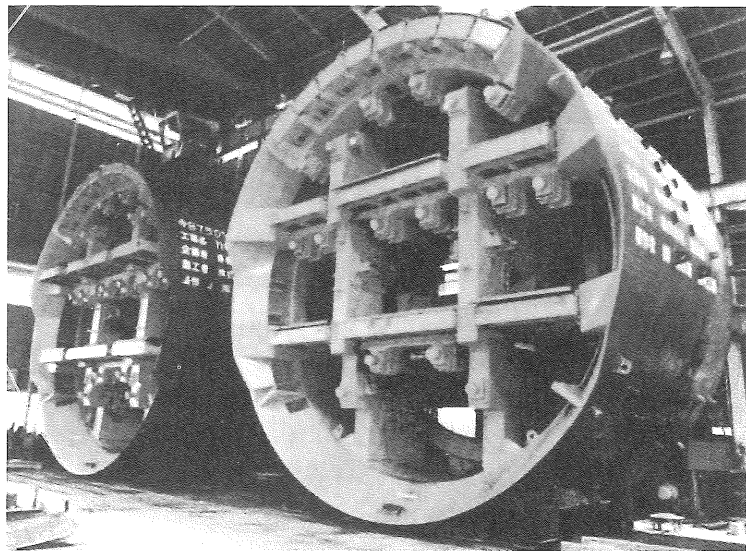
- ・開発されたばかりの薬液注入工法の設計、試験施工などにより薬液注入工法の基本技術をえました。
- ・土の粘着力と内部摩擦角(砂のせん断抵抗)を、スコップで作業員と一緒に掘削しているときに肌で感じました。このころの時代は作業員の仕事を、一度やってみることも必要でした。

#### 〈感謝〉

大先輩である渡辺和夫氏が、躯体の構造計算を、吉田徳次郎氏の名著『鉄筋コンクリート設計手法』を見ながら、手計算で照査を行っているのを見て感嘆しました。渡辺氏から「お前もこの本を買って勉強したほうが良い」と言われ、鉄筋コンクリートの設計を学びました。渡辺氏は私の土木技術の原

#### 著者略歴

昭和43年4月	(株)熊谷組入社(東京土木支店に配属) 日本国有鉄道新総武快速線トンネル工事: 東京駅~新日本橋間
昭和46年4月	日本国有鉄道横須賀線トンネル工事: 汐留~新橋間
昭和48年6月	帝都高速度交通営団11号線(半蔵門線)大手町土木工事: 大手町~三越間
昭和53年4月	東京都下水道局シールド工事及びNTTシールド工事(工事主任)
昭和60年4月	東京土木支店土木設計課(設計主任)
平成2年12月	東京湾横断道路プロジェクト室(担当課長)
平成5年4月	東京支店土木設計一課(設計課長)
平成7年4月	運輸省東京国際空港鉄道トンネル工事(所長)
平成11年1月	帝都高速度交通営団11号線(半蔵門線)清澄駅トンネル工事(所長)
平成14年4月	土木事業本部土木技術部(技術部長)
平成17年4月	東京支店土木部(土木部長)
平成19年4月	ジオスター(株)(取締役: 市場開発施工担当)
平成25年10月	(一財)先端建設技術センター(上席研究員)
平成28年4月 ~現在	パシフィックコンサルタンツ(株)(シニアアドバイザー)



手振り式オープンシールド

点であり感謝に堪えません。

#### 〈シールド工事〉

- ・掘進管理と線形管理は密接に関連しているが、掘進管理を先行して考える必要がある(セグメントはシールドの軌跡以外の所では組立てできない)。
- ・セグメントの設計手法は、当社

の大先輩である山本弘氏と藤本徹氏の研究により考案された、側方に三角形の地盤反力を設定した慣用法でした。

- ・リング間ボルトを爆弾形状のチャックピンを試験区間で使用しましたが、ピンの締結力が弱くリング間の目開きが発



トンネル到達時の全社員(後列左から4人目が著者)

生しました。昨今のセグメント継ぎ手を見れば「先駆者」だったと言えるでしょう。

#### 〈挿話〉

国鉄から熊谷組に入られたトンネル権威者の副社長である加納検二氏が現場視察に来られたとき、上司から「トンネルの権威者だ」と聞いて、直立不動でお迎えたものでした。

#### 〈感謝〉

工事主任であった中沢安政氏の厳しさや暖かさの両面からの指導、また、事務主任であった加藤弘氏には社会人としての心構えなど多々教えていただきました。

#### ■日本国有鉄道横須賀線トンネル工事で学んだこと

この工事は品川から東京駅まで横須賀線を通すトンネルで、浜松町駅東側から汐留を通過し現在の新橋駅西側に到達するもので、地質は洪積砂層と洪積粘土層でした。

現場の上司、先輩方は熊谷組のシールド技術を高めてきた人々であり、所長が多治見慈夫氏、工

事主任が「セグメント設計についての慣用法の開発」にかかわった山本弘氏、前の現場で指導いただいた渡辺和夫氏、先輩として長嶋氏、松村氏などでした。ここで私が技術的に学んだことや、印象に残るものを挙げれば次のようなものです。

- ・トンネル通過部の砂層は均等係数が小さく、また、圧気により砂層の地下水が排除されるため切羽がすぐ崩壊するものだった。砂層にはある程度の含水比があることにより崩壊の崩壊線が、安息角そのものであった。
- ・シールドの天端が崩壊したときの崩壊線はまさに「テルツァギー」の崩壊形状そのものであった。

#### 〈挿話〉

砂層に含まれている酸化第一鉄の変化により切羽の砂層が四十数度の熱を発生し、上半身は毎日T

シャツ1枚で掘進したものでした。また、所長と歩いているとき、歩くのが速いので聞いたところ、「仕事に目的があるから速くなるのだ。ノロノロ歩いている人間は目的のない人間だ」と言われ、確かにと思ったものでした。

#### シールド技術者として独り立ちできる~できたかなと 感じた時期

#### 1973~1984(昭和48~59)年

この時期は「独り立ちできる」と感じた時期から、「独り立ちできたかな」と感じた時期です。しかし、設計技術も含めた技術全体の熟度はまだまだであったと言えます。一方でその時期はそこまでの視野はないが、自信を持ち得たことは重要だったと今になって思えます。

#### ■帝都高速度交通営団半蔵門線大手町工区で学んだこと

この工事は、渋谷から押上に至る地下鉄半蔵門線で、私が配属された現場は大手町から三越本店に至るトンネルでした。

シールド工法は「半機械式オープンシールド工法」、セグメントはコンクリート製、外径6.50m、トンネル長858m、圧気併用、地質は東京礫層および洪積粘性土層でした。ここで私が技術的に学んだことや、印象に残るものを挙げれば次のようなものです。

#### 〈開削工事〉

- ・開削部での測定のミスです。緩和曲線を3次放物線で行うべきところをクロソイド曲線で行ったことにより、線形に若

干の誤差が発生した。土留めと躯体との余裕内で処理ができ大きな問題にはならなかったが、先入観で進めることの危うさを知り教訓となった。

### 〈シールド工事〉

- ・オープンシールドの場合、切羽に裏込め注入が回り込むため充填率が悪く、今後新しい材料と注入方法が必要であることを感じた。当時シールドにかかっている技術者全員の思いであり、現在の「可塑性注入材」へと発展するようになったと思っている。
- ・このころからRCセグメントは「プレス製作」を中止し現在の製作方法になったが、「プレス製作」のセグメントは破損するとき「弾ける」イメージであったことを記憶している。

### 〈挿話〉

現場の所長である新井時夫氏の仕事に対する思考は、「現状把握・問題点・対応策・効果」でありました。

当時、体系的に進めていく人は見あたらず、その後普通になりましたが10年早く実践しており、のちのち感服しました。

### ■東京都下水道局トンネル工事で学んだこと

- この現場は今までにはない経験をした現場であり、工事の状況と技術的に学んだことや、印象に残るものを挙げてみたいと思います。
- ・地質は上部に関東ローム層が6m前後、その下部は武蔵野礫層であり、この武蔵野礫層に自由水が豊富に存在していた。

また、礫層にはφ200mm前後の玉石が混在しており、土圧式を断念した背景の大きな要因でもあった。

- ・トンネル長が伸びるにつれ、切羽から最大1.0m<sup>3</sup>/分程度の大量な湧水が発生し、掘進は水と礫により苦戦の連続で、シールドの制御が難しく、また、セグメント組立て精度と裏込め注入率の低下が生じた。切羽への湧水の回り込みを抑制するため薬液注入による止水ゾーンの施工と、裏込め注入孔を使用したウェルポイントを配置し湧水を抑制した。
- ・このような状況下で大雨を伴う雷雨により停電が発生しました。私はそのとき切羽にいて異常を感じ、切羽の崩壊を防ぐため真っ暗の中、懐中電灯を灯し作業員とともにバタ角と矢板で切羽を押さえることに専念しました。すべての機器が停止しトンネル内は水が溜まってきており、下半身を水に浸かりながら作業員とともに坑内から出たものです。
- ・2系統の電源を施してあれば十分と思われましたが、掘進ごとに湧水が増加することを考えた場合、発電機を別に設置すべきだったとそのとき大いに反省した(危機管理での教訓)。

### 〈挿話〉

停電時、坑内から水に浸かりながら立坑まで来たとき、所長の東信彦氏が立坑で待機していたときの光景は今でも覚えており、この

トラブル以降なおいっそう現場の一体感が強くなりました。

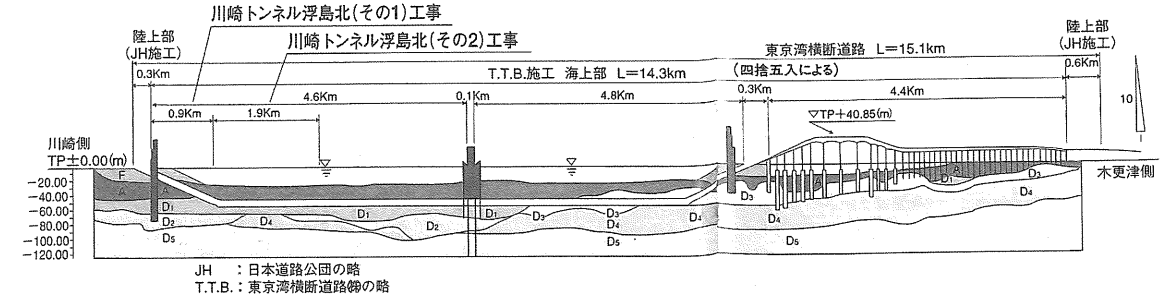
### シールド技術者として 幅を広げられた時期 1985~1993(昭和60~平成5)年

私のこの9年間は技術者として技術の幅を広げられた時期であったと思っています。現場から内勤となり設計業務を行い、その後、東京湾横断道路技術検討業務に携わることができ、設計会社、社外技術者を知り得る貴重な経験となりました。

### ■都市トンネル設計業務で学んだこと

初めての設計業務は勉強の毎日でしたが、大事なのはどうやって発注者の意図を満足し「物を作るか」ということです。原点は現場にありきでした。ここで私が技術的に学んだことを挙げれば次のようなものです。

- ・施工にこだわり過ぎると設計が行き詰まり、どこかで割切ることも必要である。要は施工手順を踏まえた施工時と完成時の本体構造物は押さえておく必要がある。また仮設構造物はおもなものを押さえておけばよいが、事故にかかわるような技術要件は検討しておく必要がある。
- ・主工法を選定する場合、地質・地下水条件が基本であるとともに、幅広い視野・条件・実績などから選定することが重要である。
- ・補助工法の採用の有無とその工法選択は必須であり、リスク



東京湾横断道路工事報告書より

を踏まえながら工期、コストなどにより判断する必要がある。

### 〈感謝〉

設計会社に派遣されていたとき、現在(株)ヤマハ化工東京の社長である山岸英昭氏には、設計技術や技術士の勉強方法など多々教えていただきました。私の技術の幅を広げてくれた人です。

### ■東京湾横断道路技術検討業務に携わって

東京湾横断道路技術検討業務に携わることで学識経験者、他社の技術者の方々と交流できたことは今でも私の財産になっています。また、このプロジェクトは、先人たちの努力、成果をもとに、産学官一体となりどう成功させるかを求められるものでした。今にして思えば日本にシールド技術が導入され、その後、いく多の技術開発を得ての総まとめだったと思えるのです。この工事でのおもな技術的課題を私なりに挙げてみたいと思います。

- ・道路線形を満足しながら、どの深さにトンネルを配置するか。その場合トンネルに作用する浮力抵抗は、セグメント重量とトンネル上部の土の重量で

あるが、土の破壊面の形状と土の破壊面のせん断抵抗(粘着力)をどのように評価するか？

- ・当時直径14mを超えるシールドは例がなく、チャンパ内の泥水が機能を果たし、切羽を安定しながら土砂を取り込めるか？
  - ・セグメントの止水材が数十年にわたって機能を発揮するための評価方法をどのように行うか？
  - ・発進部の補助工法を凍結工法とした場合の、躯体への凍結膨張圧をどのように緩和するか？
- その他、技術的課題は多々ありましたが、トンネルの配置深さとセグメント止水材の評価方法については、シールド技術の学識経験者による研究・指導と実験・解析により方針が決まりました。現在大断面シールドは特異なものではありませんが、この東京湾横断道路トンネルの技術が源となっていると確信しています。

### シールド技術者として 達成感を得られた時期 1994~2001(平成6~13)年

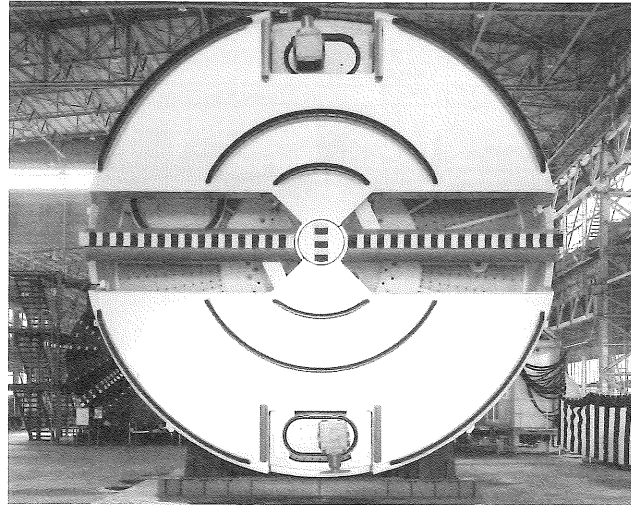
私のこの8年間は技術者として、

また現場の所長として部下とともに達成感を得られた時期であるとともに、今、振り返れば仕事人生の次へのステップとなった時期でした。現場のトップとしての責任感、使命感を痛切に感じるとともに、社内組織からの支援、部下との一体感、自分の過去の経験と知見が求められるものでした。記述させていただく2つの工事は技術難易度が高く、工事を完成できたことは発注者の指導と支援にもよるものでした。

### ■東京国際空港鉄道トンネル工事(京浜急行空港線)で学んだこと

この工事の場所は羽田空港内で、京浜急行空港線を空港ターミナルビルまで延伸するトンネル工事でした。当時、他支店が技術的課題に対して対応策を種々行っていました。この現場での特殊な技術条件を下記に示します。

- ・トンネル通過部は極度の軟弱地盤で(俗称マヨネーズ層)、上部は昭和40年代からの埋立て地盤で現在も圧密沈下が見られる。
- ・トンネル掘進時、滑走路2本、



ドレーン材切断装置を装備したシールド

誘導路、ターミナルビル直下を通過するためシールド掘進による地盤沈下の抑制が必須である。

・地盤の圧密沈下対策としてのペーパードレーンを施してあり、シールド通過断面に出現することからその除去方法が求められる。

技術条件に対して、熊谷組の既存技術と進行中の実験および新規の実験・解析などによりメーカー、設備業者も含め丸となって取組み、以下の対策で工事を進めることとなりました。

・動態観測の増加と、中央制御システムに動態観測データを即時取込み、シールド掘進管理(泥水圧制御)に反映させる。  
・地盤変状を抑制しペーパードレーン材を確実に切断・撤去するためのシールドの開発と、排泥・除去可能な流体設備により進める。

この工事で技術的に学んだことや印象に残るものを挙げたいと思

います。

・極度の軟弱地盤は掘進(泥水圧)により沈下・隆起が即時に発生し、発生したあと収束するまでの時間は約4～5か月くらい要する。

・泥水圧の設定値と動態観測データから、地盤は掘進時やや隆起させて掘進したほうが当初地盤に対しての沈下量が少ないなど、興味深いことが多々あった。

・ペーパードレーン材を切断可能なシールドは掘進時に十分効果を発揮し、ドレーンの切断片は開発した流体設備の除去装置により確認できた。また、切断後の地盤変状は過度に発生していない。

この現場では施工時の状況など語りたいたことが多々ありますが、予期せぬトラブルについて記してみたいと思います。

#### 〈トラブル〉

シールド掘進が順調に進んでいたある日のこと、突然、シールド



全社員と協力会社一同：前列右より4人目が著者

の回転トルクと推力が上昇し掘進が不可能となりました。切羽で異様な振動が発生し1日に100mmも進めない状況で、シールド面板に何か当たっていることが確実であり、除去装置内には切断された鉄板が数々出ていました。その後、チャンパ内で面板が回転することに異様な音とバルクヘッドが振動するようになり、検討した結果、おそらく大きな鉄の塊がチャンパ内で「あばれて」いるとの判断になりました。いろいろな対策の1つとして、面板の回転をやめ揺動作動(ワイパー作動)で掘進を行い、すでに地盤改良済の地点約100m付近まで掘進するのに2か月強を要しました。

ここでの出来事は技術的なことも踏まえて、深夜、トンネル切羽付近にJV職員一同が集まり、「長期中止となるがここで掘進をやめ抜本的な対策を施し進めるか」「マシンの状況と直上の滑走路、誘導路への影響も踏まえて、少しでも前へ進めるか」の選択を相談しま

した。結果は「24時間体制で少しでも前に進めよう」ということになりました。

ここで学んだことは、想定していないトラブルが発生した場合、技術的な背景はしっかり把握しておくが、最後は「かかわっている人の心、一致団結力」がものをいうことでした。工事完成してから20年近くになりますが、年1回集まり、酒を飲みながら当時の話に盛り上がります。また、局長表彰を授与していただいた発注者の指導・支援、日夜がんばっていた

#### ■帝都高速度交通営団半蔵門線清澄駅トンネル工事で学んだこと

東京国際空港鉄道トンネル工事完了後、半蔵門線清澄駅を3連シールドで施工する工事に配属され、発注者の幹部の方々も20年前の半蔵門線にかかわった人たちが多々おり、久しぶりにこの工事でお付き合いさせていただくことになりました。この工事での発注者の方針とおもな技術条件を下記に示します。

#### 〈発注者の方針〉

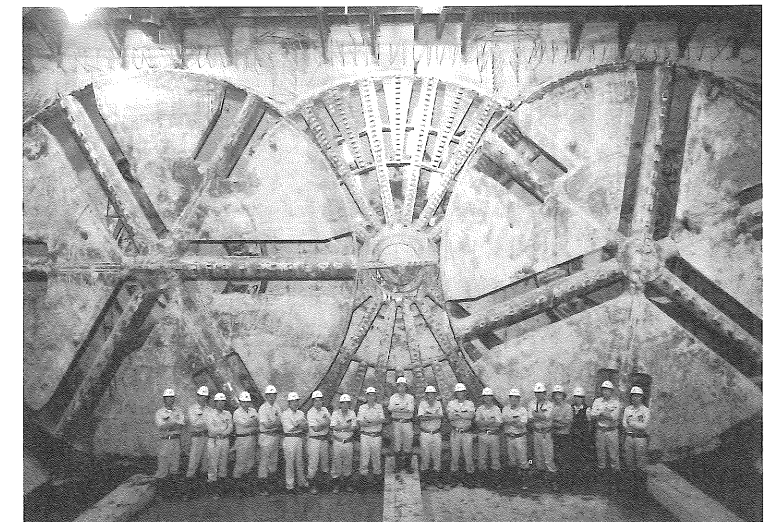
・駅部と留置線を3連シールドの非開削工法で施工する。  
・コストダウンも踏まえ、3連シールドでは初めてRCセグメントを採用する。

#### 〈技術条件〉

・沖積粘土層下で扁平形状となる3連シールド掘進時において地盤変状を抑制する。  
・3連形状でのRCセグメントの構造安定性(せん断破壊防止と設計モデルの確認ほか)を確認



清澄駅完成写真：上段は駅部、下段は留置線部



駅部到達時職員一同

する。

・将来の技術開発も踏まえて検討した結果、前例のない側方先行・中央揺動型3連シールドで進める場合の、切羽の安定と土砂の取込みの確実性を確認する。

当時熊谷組では、すでに3連シールドトンネルの実績があり、既存の技術と当現場で実証実験を新たに行うことにより進めること

となりました。

#### 〈対策〉

・RCセグメントの構造安定性を確認するため実物大モデルでの破壊試験と、縦桁構造設計モデル確認のため1/2モデルでの破壊試験を行う。

・側方先行・中央揺動型での土砂の取込みを確認するため、1/5モデルでの実証実験を行う。

・扁平形状となる3連シールド掘

進を踏まえ、大幅に地盤変状計測機器を増設する。

工事は大きなトラブルもなく完成し、今でもときおり清澄駅に降り、現況のセグメントをホーム上で見ることにしています。

〈感謝〉

セグメントの構造実験で多々ご指導いただいた早稲田大学理工学術院教授の小泉淳先生、発注者である東京地下鉄(株)の方々のご指導、ご理解があってこそこの工事でありました。

トラブル事例

私の過去の現場においてのトラブルを紹介させていただきますが、現在でも参考になるかと思えます。

■ボイリングによる出水

2本のトンネル間に本設用ポンプ室を築造するため、下図のように連壁土留めと掘削底盤を薬液注入により上部から開削を進めたところ、床付けまで約2.5m付近でボイリングが発生した例です。

原因はトンネル下部付近の被圧水に薬液注入が堪えられなかったことによるもので、湧水は横坑からトンネル内に流れ出す状況でした。検討した結果の対策は次のとおりです。

- ・横坑に隔壁とマンロックを、また連壁空間内に隔壁スラブを設け上部には水を張り限定圧気を採用する。
- ・限定圧気内で追加薬液注入を施工する。

狭い空間内で上記の対策により床付けまで掘削ができ、下床版を打設後限定圧気のための設備を撤去し、さらにセグメント背面の地盤緩み防止のため薬液注入を行いました。当時、高圧噴射攪拌杭工法は開発されておらず、また薬液注入も発展途上期でした。現在はさまざまな地盤改良工法がありま

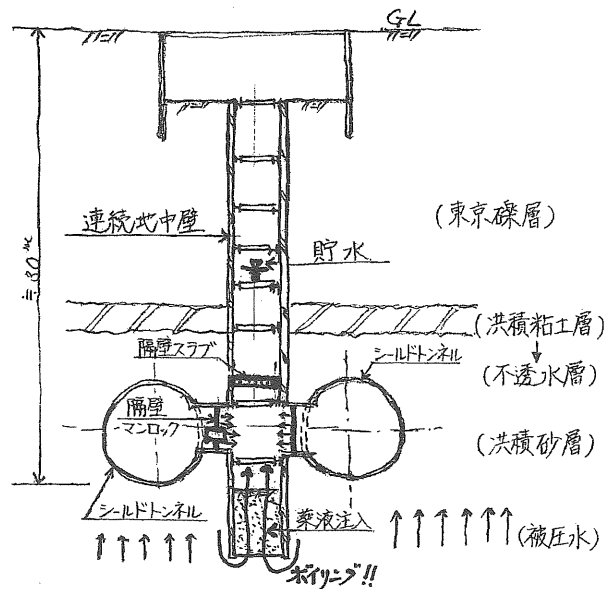
すが、ボイリング防止対策は現在も各場面において重要であると思えます。

■シールドの変形

オープンシールド工法で図のように掘削を先細りにしたことにより、洪積粘土層へシールド刃先が貫入状態となり、推力の分力(横からの力)によりシールド縦桁の接続部が破断し縦方向に変形したものです。

テール部のスキンが変形していなかったのが幸いでした。現在は密閉型が主ですが、このトラブル例が2点参考になると思えます。

- ・シールド外径からの外周ビットの出代を必ず確認すること、外周ビットの摩耗対策を図っておくことが必要である。
- ・シールド現地組立て検査時、シールド全体が先細りになっていないかを確認することが必要である。



トンネル間にポンプ室施工時ボイリング発生

管理部門からその後退職し、ゼネコンとは異なる環境へ 2002(平成14)年～

2002年から管理部門での仕事で印象に残ったものを2つ挙げたいと思います。

- ・豪州パースと香港の地下鉄工事の技術支援は、海外の技術者の思考、工事の進め方など参考になることが多々あり、一言で言えば「日本の進め方が必ずしもベストとは言えず、郷に入れば郷に従え」でした。
- ・東京港トンネル工法検討委員会に「(財)先端建設技術センターTC」として参加させていただいた仕事は、技術的に非常に有意義なもので、退職後の技術的財産となりました。

2013年からは、「(一財)先端建設技術センター」に勤めさせていただくこととなり、「技術提案評価支援業務」を担当させていただきました。より発注者に近い位置での仕事であり、提案者側から逆の立場になったことから、今まではない経験をしたと思っています。

〈感謝〉

先端建設技術センターでは、有識者である委員の方々、ご指導いただいた市川勝巳氏、また、当業務で「局長表彰」をいただいた背

景には国交省の方々の指導・支援、センター内で一緒に仕事をした仲間との成果と思っています。

2016年4月よりパシフィックコンサルタンツ(株)に勤めさせていただいております。ここでの私の役割(こころざし)は微力ですが「技術の継承」であり、仕事人生の最後の場を与えていただいた峯谷部長、木谷室長に感謝しているところです。

〈こころざし〉

現場を離れてからの仕事に従事して14年ほどになりますが、「物造りの原点は現場」であることは今でも変わらないと思っています。今年3月までの発注者支援業務においては、とくに意識をして日々取り組むことにしていました。

おわりに

私の「語り継ぎ」は冒頭の副題にもある「人との出会い」であり、「人との出会い」により今日があるとつねづね思っています。私の貴重な財産であり、感謝すべき方々は多々ありますが、誌面の都合上、紹介できないことが残念です。おわりに、過去を振り返りながら現在思っていることを3点ほど記してみたいと思います。

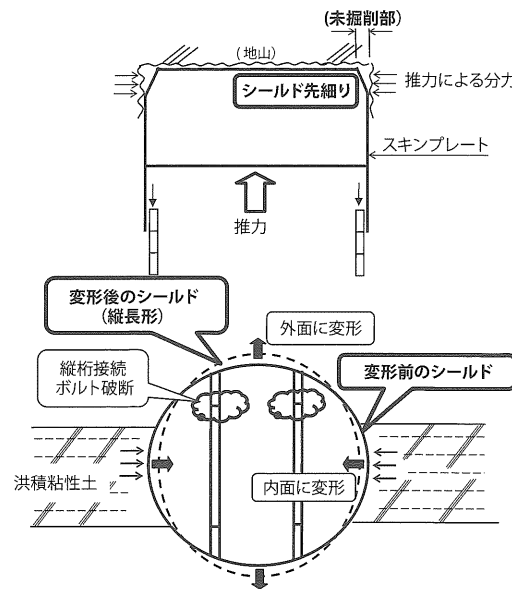
- ・苦勞した職場ほど「身になり、肥やしになり」、「知識、経験、感性(勘)、判断力、洞察力」

などが養われ、技術レベルが向上すると思えます。そのためには、「苦勞しているときこそ、自身がどうとらえるか」によるかと思えます。「苦難のとき、力になるのは自分の心の底力」という言葉がありますが、日々肥やしにしている人がいざというときに自分の判断基準で「自分の心の底力」が発揮できるのでしょうか。

・あるとき社外の人から、「会社という看板を外しても、評価される一個人の技術者になることが必要だ」と助言を頂いたことがあります。技術者として大事な側面かと思えます。

・一技術者で解決できることではありませんが、昨今、社会的影響の波紋が大きい失敗・トラブルに対しての寛容性が狭くなり、自然を相手にする土木技術者として非常に窮屈な時代であります。現役の方々はたいへんでしょうが、先人たちの成果を飛び越えて「時代にあった発想」で活躍していただければ幸いです。

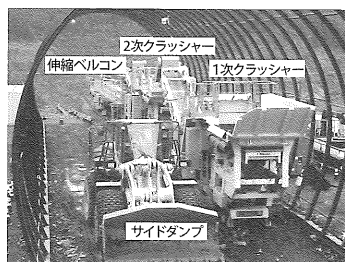
新入社員から現在までを記しましたが、読者の方々にひとつでも参考になれば幸いであり、また、このような機会を頂いたことに感謝し、関係者の皆様に心よりお礼申し上げます。



シールド変形の模式図

## 工法・技術・製品ニュース

### 工法 山岳トンネル工事における高速ずり処理システム



実証実験の状況

(株)奥村組  
技術研究所土木研究グループ  
TEL. 029-865-1521  
http://www.okumuragumi.co.jp

奥村組は、発破工法を用いた山岳トンネルの掘削工事において、掘削により発生したずり(岩石片)を高速で処理するシステムを開発し、実大規模の実証試験により、その高い処理性能を確認したと発表した。

同システムは、切羽側から、直列に配置した2台のクラッシャー、移動式伸縮ベルコンおよび連続ベルコンの順で構成され、切羽からクラッシャーへのずり運搬効率を向上させるとともに、直列に配置した2台のクラッシャーによる2段階破碎と分

散投入との併用により破碎能力の向上させるもの。

茨城県桜川市の採石場において、掘削断面70m<sup>2</sup>のトンネルを想定した実大規模の実証試験を行い、従来のクラッシャー1台で伸縮ベルコンを使用しない場合と比べ、ずりの処理能力が60%以上向上することを確認した。

今後は、同システムを山岳トンネルの急速施工に寄与する技術として、「長孔発破」との併用を視野に入れた展開を図るとしている。

### 製品 燃料消費性能をさらに向上させた油圧ショベル2機種



キャタピラー・ジャパン(株)  
GCI Marketing Innovation  
TEL. 03-5717-1292  
http://www.caterpillar.com/

キャタピラー・ジャパンは、オフロード法2014年基準をクリアする環境性能を備えたCat®326F L、330F L油圧ショベルの販売を開始した。

両機は、Eシリーズの特長を継承しつつ、一定時間アイドル状態が続くと自動的にエンジンを停止させ、燃費、CO<sub>2</sub>排出量を低減させるほか、可変スピードファンを採用し消費馬力を低減するなど燃料消費性

能を向上させ、最新の排出ガス規制に適合する性能を備えている。このほか、油圧ハンマーやシャーなどのCATワークツールにも幅広く対応し、汎用性も高い。大型のキャブはオペレータの快適性と安全性を確保し、シートはエアサスペンションシートでシートヒーター・ベンチレーターを装備。大容量エアコンで季節を問わず快適な作業環境を実現するなど作業環境も向上させた。

## 推進工法の理論と実際

B5判 437頁 本体価格8,500円 送料460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

## 報告

# 山岳トンネルの設計と現場との乖離(2)

## —パネルディスカッション—

JTA技術委員会山岳工法小委員会支保ワーキング

### 4 シンポジウム「山岳トンネルの設計と現場との乖離」

#### 4-1 開催概要

- ① 開催日：2015年11月18日
- ② 会場：虎ノ門発明会館・地下ホール
- ③ 参加者数：120名
- ④ プログラム：表-2

#### 4-2 パネルディスカッションのテーマ

基調講演と話題提供のあと、設計と現場との乖離をテーマとしたパネルディスカッションを実施した。そのテーマとして、「山岳トンネルの設計と現場との乖離」アンケート調査の結果から、本WGとして興味のある下記6つを選定するとともに、最後に設計と現場との乖離の最大の要因と考えられる「想定地質の違い」についてのコメントを求めた。

最後に設計と現場との乖離の最大の要因と考えられる「想定地質の違い」についてのコメントを求めた。

- ① 支保工の仕上がり面段差と上下半構造の違い
- ② ウィングリブの掘削形状
- ③ AGF区間の天端部ロックボルト
- ④ 核残しにおけるロックボルト
- ⑤ 早期閉合
- ⑥ 無筋の覆工コンクリートのひび割れ

本パネルディスカッションでは正解を求めるのではなく、立場、経験、視点などの違いにより、テーマによっては相反する見解があるなど、多様な見方、考え方があることを示すことを目的とした。ディスカッションで出た意見は、発言順にこ

表-2 シンポジウムプログラム

プログラム	演 題	講 演 者
基調講演	山岳トンネルの現場における設計と施工上の課題	西村和夫(首都大学東京教授)
話題提供①	新幹線トンネルでの盤膨れへの取組み	丸山 修((独)鉄道・運輸機構課長)
話題提供②	早期閉合に関して「トンネルと地下」から判ること	中田雅博(中日本高速道路(株)専門主幹)
	コーディネーター	西村和夫(首都大学東京教授)
	パネラー	砂金伸治((国研)土木研究所上席研究員) 服部修一((独)鉄道・運輸機構理事) 中田雅博(中日本高速道路(株)専門主幹) 石井三郎(清水建設(株)) 岡井崇彦(西松建設(株)部長)
	司 会	富澤直樹((株)鴻池組部長)

だわらず、整理している。また、理解しやすいように一部表現を修正している。

4-3 議論の内容

4-3-1 テーマ1：支保工の仕上がり面段差と下半構造の違い

(1) 支保工の仕上がり面段差(図-15)

- ・防水シートの施工や品質に影響がないか？
- ・覆工の拘束ひび割れの原因とならないか？

■コメント

- ・吹付け面の凹凸管理は  $D/L \leq 1/6$  以内であれば問題なしとされている。
- ・鋼製支保工を地山側に拡げて設置し、吹付け面と合わせている事例がある。
- ・覆工コンクリート背面の凹凸とひび割れ指数にかかわる論文によると、防水シートのアイソレーション効果で凹凸の背面拘束の影響はほとんどない。
- ・施工では、FILM(背面平滑型トンネルライニング工法)などで覆工コンクリート背面の平滑性を確保する提案をしているが、発注者の一部には標準とする動きもある。

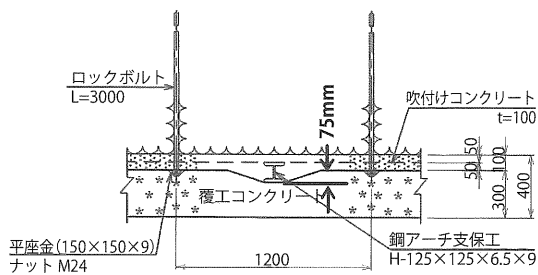


図-15 C II-b支保断面図

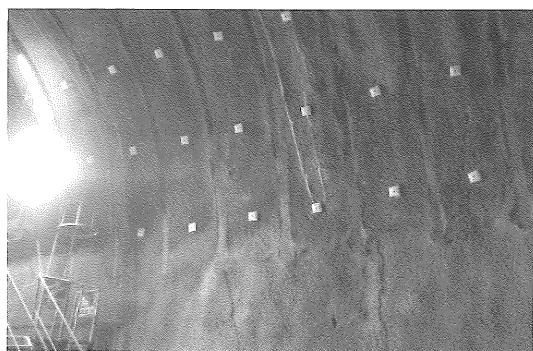


写真-1 C II-b全景

(2) 上下半構造の違い(写真-1)

- ・上半だけの鋼製支保工でも効果があるか？
- ・断面内で支保構造が変わってもよいのか？
- ・形状が変わることで覆工に影響はないか？

■コメント

- ・鋼製支保工を上半だけ設置することによる断面内での支保剛性の急変は構造上の弱点となる。地滑りや地震時に、上下半の鋼製支保工の境目に変状が連続して発生した事例がある。
- ・亀裂が多い地山では安全面も考慮し鋼製支保工を必要と判断しているが、計測結果から支保工応力が発生していないケースがある。
- ・切羽観察が鋼製支保工の有無を考えるポイントである。
- ・支保WG鋼製支保工SWGで鋼製支保工の機能と効果を整理した。C II-bパターンでは建込み直後の支保機能の補強となるので、下半の鋼製支保工は不要と考えられる。
- ・C II-bパターンの鋼製支保工は上半部に付けたもので、下半部を外したのではない。
- ・箱抜き施工時に動き出した事例がある。
- ・上下半境界の鋼製支保工の出張りは覆工コンクリートに影響が出るものと考えている。
- ・C II-bパターンの鋼製支保工に代えてファイバー吹付けを行えないか。
- ・ファイバー混入の吹付けコンクリートのはね返り材料が産廃扱いと判断された事例がある。省庁間で解決していただければ、施工は難しい。

4-3-2 テーマ2：ウイングリップの掘削形状(写真-2, 図-16)

- ・余掘りが生じ、地山を痛めるのではないか？
- ・フットパイルなど余分な掘削を伴わない工法の方が良いのではないか？

■コメント

- ・ウイングリップ形状は、設計により支持幅を設定している。
- ・接地面積は吹付けコンクリートの方が大きいので、ウイングリップだけで支える考え方はどうか。検証できる計測データはあるのか。吹



写真-2 ウイングリップの設置状況

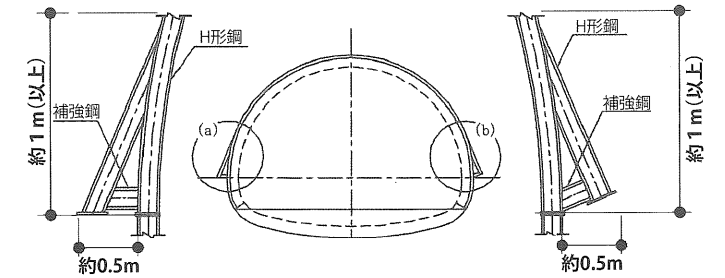


図-16 ウイングリップの形状例<sup>1)</sup>に加重

付けコンクリートによる拡幅で十分である。

- ・掘削形状が応力集中しやすく、空かし掘りであるため、NATMの理念に反するのではないか。フットパイルは不良地山では膨大な長さが必要で採用しがたいことがあるので、早期閉合で対応することが良い。
- ・荷重の作用方向(水平/鉛直)でウイングリップの考え方が決まるのではないか。
- ・変位モードが横方向であれば断面閉合が有効で、沈下であればウイングリップ。内空側に吹付けコンクリートを拡幅した事例もあり効果があった。
- ・閉合した断面では、沈下モードではなくなり、水中の泡に浮力が働くように沈下が止まる。

4-3-3 テーマ3：AGF区間の天端部ロックボルト(図-17, 18)

- ・AGFとロックボルトの両方が必要なのか？
- ・施工できるのか？

■コメント

- ・施工性が問題。
- ・掘り起こしてAGFの状況を確認した結果、鋼管の打設位置や注入材による改良などの施工状況が悪いものがあった。これらの例は、AGFの概念と異なる施工結果であった。
- ・施工は可能であるが、AGFが先に効く。ロ

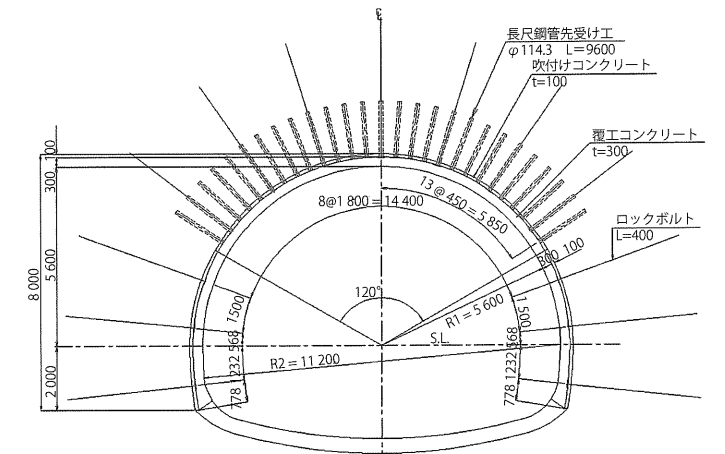


図-17 長尺鋼管先受け工区間でロックボルトが設置される設計例

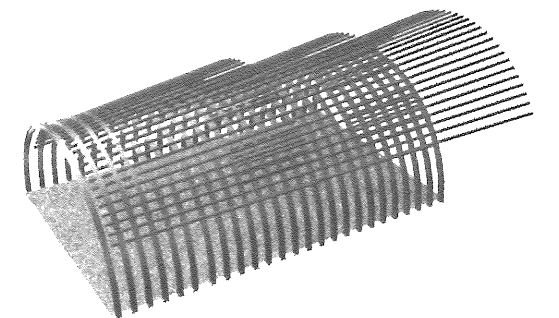


図-18 長尺鋼管先受け工区間の鳥瞰図<sup>2)</sup>

- ・クボルトの効果は出ても、そのあとからである。
- ・自治体や出先の工事事務所などからの問合せに対しては、施工が可能であればパターンどおりとするよう回答している。
- ・ロックボルトの水削孔にも問題がある。
- ・AGFとロックボルトに期待する効果の違いは？
- ・土かぶり大きい箇所では、AGFよりロックボルトが有効である。

- ・AGFを使用する条件ではロックボルトは不要である。ボルトは圧縮モードになる。
- ・ボルトの打設面をたわみ性にとするとロックボルトが全体に効くが、剛な場合にはあまり効果がない。相対変位が生じる条件でないとロックボルトの効果はでない。
- ・早期断面閉合の事例を整理した結果、早期閉合ではAGFを多く採用しているが、ロックボルトを実施している例は少ない。
- ・ロックボルトは引張部材で、曲げ部材として使用される場合は効果が小さい。
- ・支保全体として考える場合はどうか？
- ・FEM解析では、AGF施工範囲の地山物性を鋼管断面積を考慮した「変形係数の向上」として取り扱っているものが多い。しかし、AGFの施工状況が解析モデルに対応していないので、設計上ロックボルトを抜くべきではない。
- ・AGFの注入材が重要である。設計どおりいかないケースがあるのは注入材の適合性が悪いからではないか。

#### 4-3-4 テーマ4：核残しにおけるロックボルト (図-19、写真-3)

- ・ボルト打設方向や打設時期を変えたら支保効果が期待できないのか？
- ・そもそも核残しは合理的な切羽安定化対策なのか？

#### ■コメント

- ・1間遅れで長めの斜めボルトを施工した事例がある。
- ・NATMでは、核残しは相性が良くないように思う。
- ・歴史のある工法で確実な方法である。青函トンネルアプローチ部の未固結砂層矢板工法トンネルで、本来の核残しを実施した。最近の事例は核の形状が小さく、効果は少ないのではないか。
- ・一部の地方整備局の設計要領では斜めボルトが認められているが、角度の限界、頭部の処理など不明な点がある。

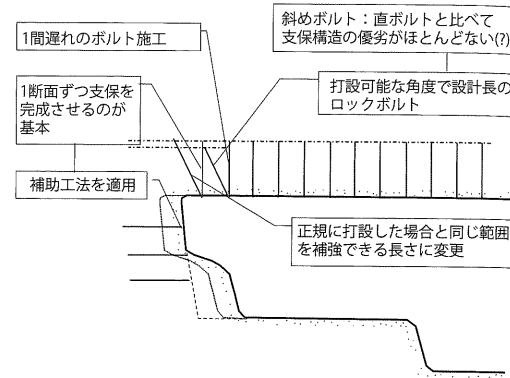


図-19 最近の核残しに関する課題

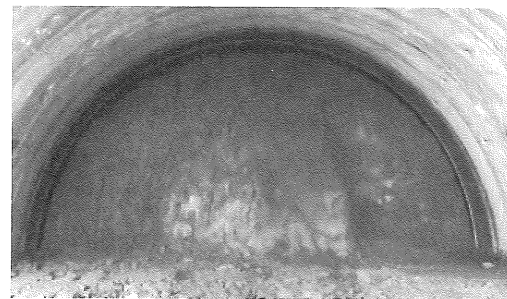


写真-3 核残しの例

- ・1間遅れの施工ケースでは本来の効果が小さくなるので、変位が発生する前に打設すると効果が大きい。切羽の近いところで斜めボルトでもいいのではないか。
- ・斜めボルトは切羽では効果があるが、通過後のパターンボルトとしての効果が問題になるのではないか。
- ・ボルトはともかく、核が邪魔で、吹付ける方向が面に対して斜めになることが問題では。
- ・核残しは技術基準に記載があるが、吹付けコンクリートの施工に心配がある。
- ・核残しは矢板工法では有効であるが、NATMでは鏡を立てて、吹付けコンクリートとロックボルトを施工すべきである。
- ・安息角(安定勾配)は有効な考え方であり、核残しの効果では形状が重要である。
- ・トンネル施工では施工速度も重要であるので、核残しにより施工性が低下することはマイナスである。機械化を進めるためにも核残しはそぐわないのでは。

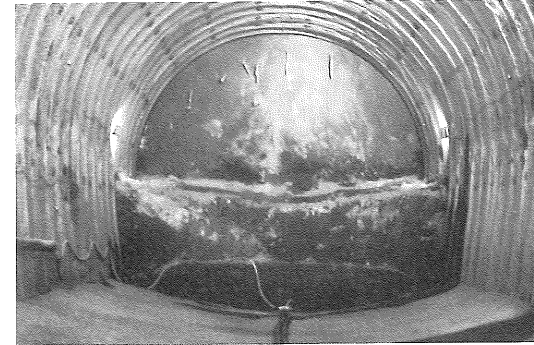


写真-4 鏡安定対策を伴った早期閉合の事例<sup>9)</sup>

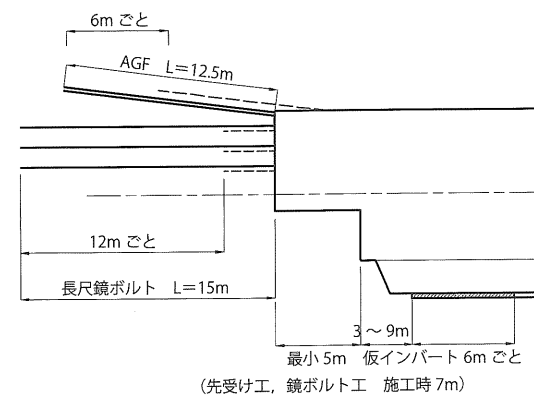


図-20 鏡安定対策を併用した早期閉合の模式図<sup>9)</sup>

- ・使用機械で加背が決まる現状では核残しはできないので、鏡を立てて施工することになる。

#### 4-3-5 テーマ5：早期閉合

##### (1) 鏡補強を伴う切羽直近での早期閉合(写真-4、図-20)

- ・施工時の安全確保のために鏡安定対策が必要なほどに切羽直近で早期閉合を行う必要があるのか？

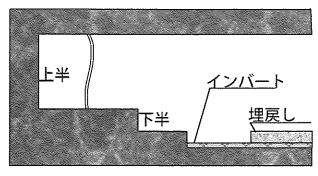

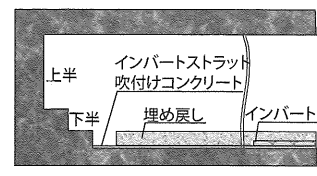
#### ■コメント

- ・閉合距離を短くするために安全対策として補助工法が併用されている機械化施工に適合している。
- ・八之尻トンネルでは、曲面切羽とすることで切羽前方の地山のアーチ作用を利用して、鏡ボルトなどの補助工法をせず、早期閉合を採用している。
- ・ミュラーによるNATMの理念における地山特性曲線に対して、不良地山での早期閉合や

AGFは設置時期が早すぎ、変位を許容しないので、変位を許容して地山の耐力を利用するNATMの理念に適合しない。

- ・NATMの理念は新しいものとなっているのではないか？
  - ・土木学会の「山岳トンネルのインバート」で文献調査した結果、土かぶりの小さい箇所では沈下を抑制させる場合や押し出し性地山で万策尽きて多重支保工による早期閉合が行われている。
  - ・都市トンネルでは変位抑制が要求事項となるが、山岳トンネルでは合理的な施工が求められている。山岳トンネルでの早期閉合を必要とする地山以外では、ミュラーの概念図(地山特性曲線)に従って支保を薄くして変形できる構造とすると、トンネル自体が変形することで、地山荷重のアンバランスを解消することができる。
  - ・地山強度を期待できない場合の工法である。
  - ・恵那山トンネルでは、地山リングを形成するために長尺のロックボルトを全周に施工した。
  - ・断面を閉合して内側から突張る考え方は、ミュラーの概念とは違ったNATMではないか。
  - ・穂別トンネル東では、断面が閉合できるとロックボルトの軸力が引張りから圧縮に反転した。断面閉合とロックボルトは相性が悪いと考えている。
  - ・飯山トンネルのように、いなしが効かなくなるケースでは、支保の耐力を仮閉合と組み合わせることで対応している。
  - ・飯山トンネルでは薄い支保でいなしていた。早期閉合ではベンチ長が短縮され、上半と下半が近接し、全断面工法に近い切羽形状となるので、安全上補助工法が併用されている。
  - ・地山によっては、増しロックボルトによる補強に限界があり、結果的に閉合が必要となった事例がある。
- (2) 本設インバートによる早期閉合(表-3)
- ・施工スパン長はどの程度が適切なのか？

表-3 早期閉合のためのインバートのレベル<sup>1)</sup>

	対応レベルⅠ	対応レベルⅡ	対応レベルⅢ
概要	下半切羽後方で本設インバート 	下半掘削直後で吹付けインバート 	下半掘削直後インバートストラット+吹付けインバート 
長所	・計測結果にもとづき、本設インバートの範囲、施工時期を検討・通常より早期にインバートを施工	・下半掘削後、切羽近傍で吹付けコンクリートをインバート素掘り面に吹付け・早期に閉合効果を得る	・下半掘削後、切羽近傍でインバートストラットと吹付けコンクリートを施工・より早期に閉合効果を得る
短所	・汎用資機材で可能・断面閉合時間に余裕がある場合、もっとも経済的	・下半掘削と併行して施工できるので早い時点で閉合が可能(ただし、吹付けコンクリート強度発現まで時間がかかる)	・下半掘削と併行して施工できるので早い時点で閉合が可能・吹付けコンクリート強度発現を要しないのでストラット設置後短時間で効果を発揮
短所	・下半切羽からある程度離れた位置で断面閉合・施工時間およびコンクリート強度発現まで数日かかる	・無筋なので過大な荷重に弱い・本設とする場合インバートコンクリートとの一体化に留意が必要	・新たな材料調達に時間を要するため、あらかじめ準備が必要

・本設インバートで変位拘束してもよいのか？

■コメント

- ・本設インバートで閉合してインバート自体が破壊した事例があるので、本設インバートは避けるべきである。強度が発現しない早期に変形してしまうので問題である。
- ・早期閉合でたびたび発生する失敗は、変位が収束すると安定化できたと錯覚することである。閉合後は応力計測が必要となる。
- ・七尾トンネルでは、仮インバートに大きな荷重が作用した。
- ・応力解放率は、一般的には一次解放率30%、二次70%と考えているが、閉合距離や先受けによる拘束で異なる。
- ・地山が安定していない状態では本設インバートは行うべきではない。双設トンネルで先進坑を閉合したあとに後進坑を掘削したところ、再び荷重が作用した事例がある。

4-3-6 テーマ6：無筋の覆工コンクリートのひび割れ(図-21)

- ・無筋の覆工コンクリートに対する有害なひび割れとは、一体どのようなものか？
- ・無筋の覆工コンクリートに生じたひび割れは、

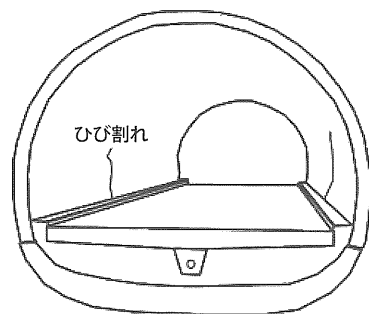


図-21 インバート拘束によるひび割れ模式図  
補修などの処置が必要か？

■コメント

- ・ひび割れ幅0.2mm以上は報告することになっている。インバートの拘束ひび割れで無筋であれば、補修する必要はないのでは。
- ・インバートによる拘束ひび割れは有害なものではない。
- ・施設管理者は、利用者被害の観点から補修を求めてくる。ひび割れに進展性があれば補修する方針である。
- ・新幹線には基準がある。振動や風圧などの影響があるため、打継ぎ部の剥離や剥落を注視している。
- ・無筋コンクリートのひび割れ基準は難しい。

維持管理とともに考えるべきではないか。

4-3-7 テーマ7：想定地質の違い

- ・地下深部に位置する線状構造物に対して、事前調査としての量、質が不足しているのではないか？
- ・であれば、施工に伴い行う切羽前方探査などの地質調査は標準として盛り込むべきではないか？
- ・想定地質の違いによる設計変更は、発注者の責任で行うべきではないか？

■コメント

- ・事前の弾性波探査だけでは破碎帯の存在がわからなかった事例がある。先行ボーリングや前方探査を当初設計へ組み込むことが必要で、これらの結果を併用しないと確度の高い支保設計ができない。
  - ・地質は、設計と乖離があることを前提として対応すべきである。岩種や地域特性など広範囲な見方をする事で精度を高める。
  - ・七尾トンネルでは、当初と実績の地質縦断面に大きな違いがあり、穴水累層の出現が当初はわからなかった。
  - ・当初と実績の地質縦断面図を比較検証し地質的な評価をした事例が少ない。
  - ・八甲田トンネルでは先進探査ボーリングが有効であった。
  - ・前方探査は保険である。必要となる地質調査を検討する必要がある。
  - ・地質調査担当は、工事の最後まで関与すべきである。当初と実績の地質の乖離を評価し、今後の地質調査方法や評価方法にフィードバックしていく必要がある。
- 4-3-8 そのほかのコメント
- 各テーマでの討議中に、テーマとは関連性はないが、有意義なコメントがあったので、以下にまとめておく。
- ・矢板工法では鋼製支保工はブロッキング(地山荷重を支保工に伝えるための木製ブロック(トンネル用語辞典))により地山を支持していた。NATMでは吹付けコンクリートを鋼

製支保工フランジ内部や地山との隙間へ充填することによる地山との一体化がこれに代わるが、完全充填は難しい。

- ・NATMになり吹付けコンクリートが面的に地山を支持できるようになり、逆に面的に支持している油断から支保工脚部に沿って排水側溝を設置し、地山を傷めていることが多くなっている。地耐力確保の配慮が必要な箇所が軽んじられている。
- ・3つの支保部材が同時に効果を発揮することはないが、線となる鋼製支保工と面で受ける吹付けコンクリートでは効果が明らかに異なる。

5 おわりに

「山岳トンネルの設計と現場との乖離」に関するアンケート第2弾の結果と、パネルディスカッション結果の概略をまとめると以下ようになる。

(1) 支保工の仕上がり面の凹凸

防水シートの効果により覆工背面拘束の原因とならないとの論文報告がある。また、発注者、施工者ともに、平滑に仕上げる工夫をしている事例がある。

(2) CⅡ断面のように支保工の上・下半の構造が異なる場合

その境界が構造上の弱点になった事例がある。鋼製支保工の必要性判断には切羽観察が重要で、あくまで上半掘削時に鋼製支保工で補強するパターンである。鋼製支保工の代替として期待される繊維補強吹付けコンクリートは、はね返り材を産廃処理しなければならない。

(3) ウイングリブ

問題となる荷重や変位がおもに鉛直方向であれば有効であるとの意見と、吹付けコンクリートの拡幅で十分、応力集中しNATMの理念にそぐわない、早期閉合の方が有効などの否定的な意見がある。

(4) AGF区間の天端部ロックボルト

ロックボルトの施工性に問題がある。そもそもAGFの施工精度に問題がある事例もある。また、事例調査によると早期閉合に伴ってAGFを施工

しているケースでは天端部ロックボルトを併用している事例が少ない。一方、AGFとロックボルトの効果に着目した場合、このような状況下ではロックボルトが有効ではないとの意見と、AGFの解析モデルが実状を反映していないためロックボルトを抜くべきではないとの意見がある。

#### (5) 核残し

NATMや(大型)機械化施工にそぐわないとの意見と、形状が重要であり安息角に期待する確実な工法であるとの意見がある。また、吹付けコンクリートの施工に課題がある。

#### (6) 核残しにおけるロックボルト

斜めボルトや1間遅れのボルト施工の事例があり、前者は発注者によっては設計要領に記載されている。しかし、いずれのボルトについても、パターンボルトとして十分な効果が期待できないとの意見がある。

#### (7) 鏡補強を伴う切羽直近での早期閉合

安全対策として鏡補強を実施するが、機械化施工に適合している。鏡補強に代えて曲面切羽として安定化を図る取組みも行われている。このような変位を許容しない考え方は、ミュラーによるNATMの理念とは異なる新しい考え方であり、地山強度を期待できない場合や万策尽きた場合に採用される。一方、NATMの理念に則り、地山リングを形成するために長尺のロックボルトを全周で施工した事例もあるが、補強には限界がある。

#### (8) 本設インバートによる早期閉合

コンクリート強度が発現しない早期に変形する、地山が安定しない状態では追加の荷重が作用するなどして、インバートが破壊した事例があるので、避けるべきである。早期に閉合した場合には応力計測が必要である。

#### (9) 無筋の覆工コンクリートのひび割れ

インバートによる拘束ひび割れは有害なものではない。しかし、管理者はそれぞれの観点で維持管理の基準を保有しており、補修が必要か否かは一概に決めがたい。

#### (10) 想定地質の違い

事前地質調査だけは不十分であることが多く、

設計と実際に乖離があることを前提として対応すべきである。確度の高い支保設計のためには先行ボーリングや切羽前方探査などが必要である。当初と実績の地質を比較検証し、今後フィードバックする必要がある。

NATMが導入されて以来30年以上が過ぎた。この間、施工機械と補助工法が著しい発展を遂げた。もともとNATMで用いている吹付けコンクリートにしてもロックボルトにしてもNATM導入以前から用いられていたものであり、かつ施工の自由度の高い支保であることから、これらの施工機械や補助工法が強い違和感もなくNATMに取り入れられ、多様な考え方のもとで発展してきている。これらシンポジウムでの支保や施工法に関する議論からもわかるように、NATMにおけるロックボルトや核残し、日々採用されている補助工法であるAGFやウイングリップについては、その効果について多様な意見が出るなど、設計や施工上の課題があることが明確になった。この一因は、課題があることは認識しながら、多様な考え方を持つ技術者どうしが、自由に討議し、場合によっては理解し合う場がこれまであまりなかったことにあると考えられる。今回のパネルディスカッションでの討議やアンケート結果の内容が、今後、課題解決の糸口になれば幸いである。

最後に、2度にわたるアンケートの対応やシンポジウムに参加していただいた会員の皆様に、厚くお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) JTA山岳工法小委員会：山岳トンネルのインバート(最終回)、トンネルと地下、Vol.42, No.5, pp.69-77, 2011.5.
- 2) 土木学会トンネル工学委員会技術小委員会山岳トンネル補助工法改訂部会：山岳トンネルの補助工法、2009年版、トンネルライブラリー第20号、p.69, 2009.9.
- 3) 土木学会トンネル工学委員会技術小委員会山岳トンネルのインバートに関する検討部会：山岳トンネルのインバート、設計・施工から維持管理まで、トンネルライブラリー第25号、p.151, 2013.11.

## 連載講座

# トンネル新技術への挑戦(11)

## —WJ(Wing Joint)セグメント工法—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会

### ① はじめに

大都市圏における高速道路の建設にあたっては、完成後の景観や騒音・振動対策、建設時の交通渋滞や騒音・振動対策など、周辺環境への配慮からシールド工法によるトンネル構造を採用する事例が増えている。その際、断面変化を伴う分岐・合流部の施工法が技術面の最大の課題となっている。

2010(平成22)年3月までに開通した首都高速道路の山手トンネル(中央環状新宿線(5号池袋線～3号渋谷線))では、シールドトンネルの側部を開削工法で切り抜けて分岐・合流部を建設する方法がおもに採用されていた。しかし、その際も周辺環境への影響、さらには、地下埋設物などの対応が必要であり、地上を使用せずに分岐・合流部を建設する地中拡幅工法の開発と実用化が求められていた。

本稿では、この地中拡幅工法として、首都高速中央環状品川線大橋連結路工事で初めて実現したWJ(Wing Joint)セグメント工法を紹介する。

### ② 開発の背景

本工法の開発は、大深度および大断面化が進む道路トンネルの厳しい施工条件へ対応するため、地中拡幅工法としてより合理的な構造、かつ地表面沈下など周辺環境への影響を最小限に抑えることができる施工法の実現を目指して着手した。

開発当時、中央環状新宿線の分岐・合流部では、

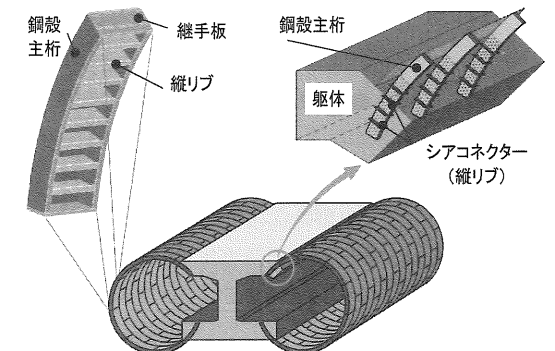


図-1 場所打ちコンクリートを用いた構造(中央環状新宿線の事例)

すでに2本のシールドトンネル間を場所打ちコンクリートでつなぐ構造が開発・採用されていた(図-1)。セグメントの大部分を本体構造物として利用し、必要な範囲のみを切り抜けて躯体を構築しセグメントを支持する構造で、施工範囲を縮小できるメリットがある。しかし、2mを超える躯体の部材厚やその構築工程の確保、また、ひび割れなどによる漏水の発生などが課題であった。

そこで、本工法は、トンネル間を「鋼製セグメント」でつなぐ構造を採用した(図-2)。鋼製セグメントは耐力が高くひび割れも発生しない。したがって、部材のスリム化と止水性の向上が期待できる。さらに工場製品であるため品質も向上し、省力化による工期短縮も期待できる。一方、シールドトンネルには掘進時の蛇行やローリング、変形などによる施工誤差が生じる。そのため、工場製品のセグメントでつなぐ場合にはその誤差の吸

収方法が課題であった。

さて、トンネル間をセグメントでつなく構造は、今から40年以上前の工事でも行っている。現在の東京メトロ有楽町線および半蔵門線の永田町駅、同じく半蔵門線の三越前駅である<sup>1),2)</sup>。本工法の発想の原点はここにある。

これらの駅では、トンネル間の切上げ施工にルーフシールド工法を採用している。本工法と同様にトンネル間をアーチ状に掘削し、アーチ状の

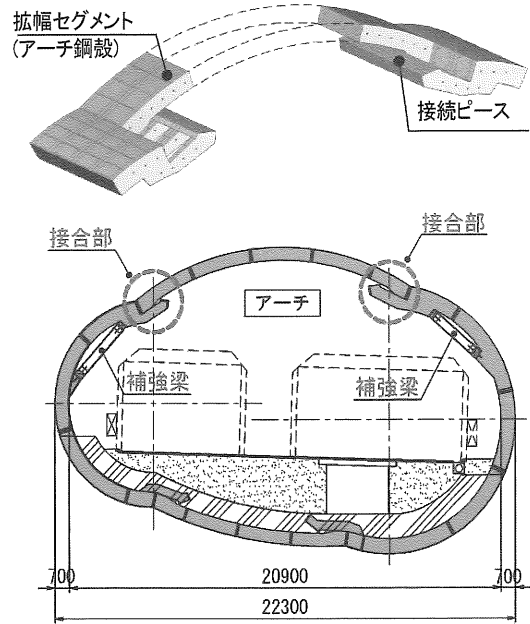


図-2 WJセグメント工法の構造

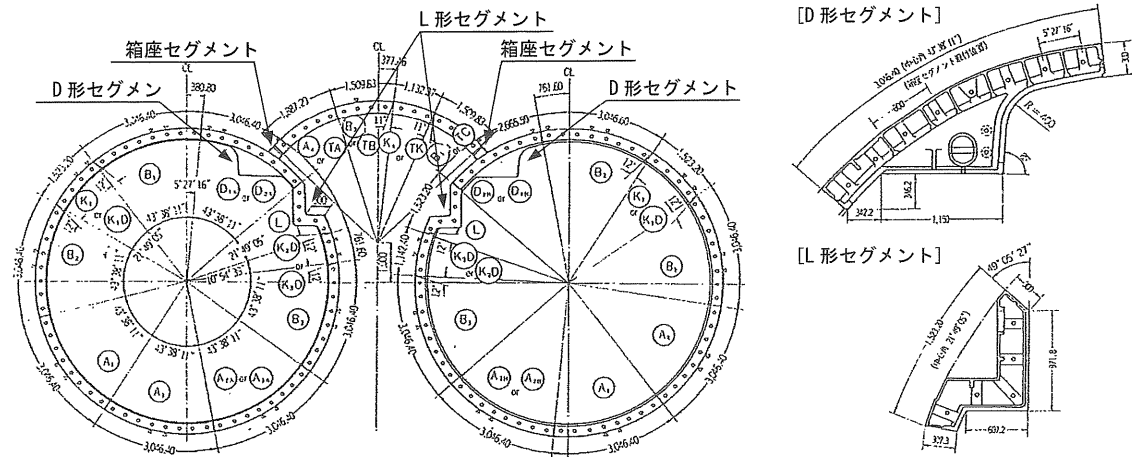


図-3 セグメント構造図(半蔵門線三越前駅)<sup>2)</sup>

鋼製セグメントを組み立てる。シールドトンネルの施工誤差は、箱座セグメントと呼ぶ長さの違うセグメント(100~300mm程度)を数種類用意しておき、ライナープレートと併用で調整する。また、特殊なセグメントとして、セグメントを部分的に切り欠いたL形セグメントを使用し、ルーフシールド掘進機の設置および推進スペースとしている。図-3に三越前駅のセグメント構造図を示す。最終的には2本の柱で支持する構造である。

WJセグメント工法は、これら40年以上前の技術を参考に、現状の道路分岐・合流部の建設にあてはめて、無柱で2本のシールドトンネルをつなぐ構造の合理化と周辺環境へ配慮した施工法へと進化させたものである。

### 3 工法の概要

#### 3-1 構造および施工法

本工法は、2本のシールドトンネルを地中で拡幅して無柱で大空間の拡幅トンネルを構築する技術である。トンネル間の覆工構造には楕円形状に近づけるようアーチ状の拡幅鋼製セグメント(以下、「アーチ鋼殻」)を採用し、シールドトンネルのセグメントとボルトで接合する構造である。

施工法は、まず、2本のシールドトンネルを左右に併設する。このとき、あらかじめ切欠き構造の特殊な接続ピースを設けておく(写真-1)。シールド掘進完了後、上半部のトンネル間を掘削し、

接続ピースに設置した充填ピースを取り除いてアーチ鋼殻を組み立てる。次に、下半部も同様にトンネル間の掘削とアーチ鋼殻の組立てを行う。切欠き構造の接続ピースを用いることで、中間部の仮設用セグメントを残したまま上下のアーチ鋼殻の組立てが完了できる。このとき、左右のシールドトンネルの変形や移動、安定を確保するため

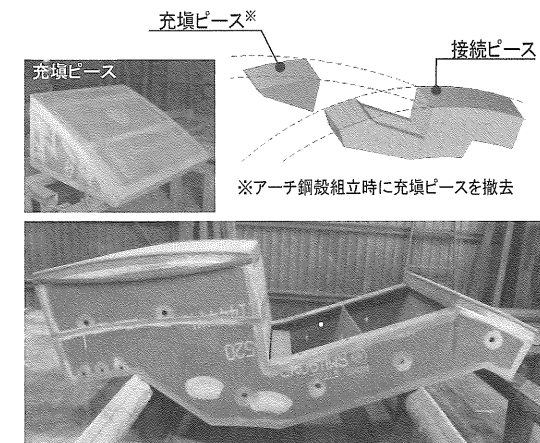


写真-1 接続ピース

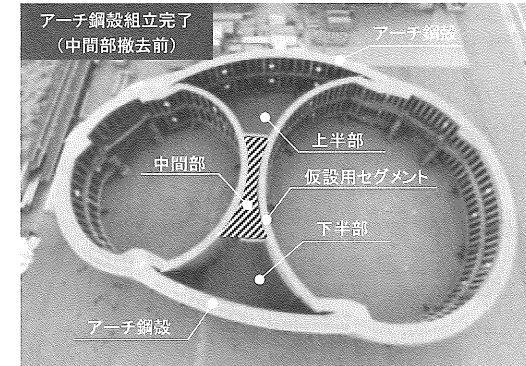


写真-2 WJセグメント仮組立て状況

に中間部の掘削は行わない。そして、上半部と下半部のアーチ鋼殻により拡幅トンネルの外殻が完成し、トンネル構造が安定した状態で中間部の掘削および仮設用セグメントの撤去を行い拡幅トンネルが完成する(写真-2)。

#### 3-2 構造の合理化

覆工構造のスリム化を図るためには、トンネル全体に荷重が円滑に伝達・分散することが重要である。本来は円形がもっとも合理的な形状ではあるが、本工法では、2本のシールドトンネルの一部を本体構造物として利用し、また、断面の縮小化を図るためにトンネル間にアーチ状にセグメントを配置した概略楕円の形状としている。これにより、トンネル断面の最適化を図っている。

しかしながら、アーチ鋼殻の端部(以下、「接合部」)では、シールドトンネルと若干の折れ角をもって継手が交わることから軸力が曲げモーメントに変化することで応力が集中しやすい。そこで、アーチ鋼殻の荷重を分散させるために、接合部に補強梁を設けて応力集中の緩和を図っている。

なお、補強梁は、内空の制約などにより設置できない場合も想定される。その場合は、やや不経済な部材になるものの省略することも可能であり、実際に大橋連絡路工事では、一部区間で補強梁を省略している。

#### 3-3 特長

本工法の特長は以下のとおりである。

##### 3-3-1 コストダウン・品質向上

高耐力の鋼製セグメントを採用し、かつアーチから構成される概略楕円の合理的な形状、補強梁の設置により部材厚が低減でき大幅なコストダウンが可能である。

また、鋼製部材であることから漏水の原因となるひび割れがなく、セグメントの継手部はシール材により高い止水性を確保できる。

##### 3-3-2 省力化・工程短縮

工場製品のセグメントを現地で組み立てることでトンネル覆工を築造できるため、覆工コンクリートに比べて省力化および大幅な工程の短縮が図れる。

### 3-3-3 周辺環境への影響抑制

中間部を撤去する前に拡幅トンネルの外殻が完成し、トンネル構造が安定した状態で中間部の撤去作業が行えるため、地表面沈下など周辺環境への影響が抑制できる。

### 3-3-4 大深度・大断面トンネルへの適用

高い耐力と止水性、周辺環境への影響抑制効果により大深度・大断面トンネルに適用が可能である。

## ④ 工法の検証

### 4-1 接合部の構造性能

#### 4-1-1 構造性能確認試験

前述したように本工法の覆工構造は、シールドトンネルのセグメントとアーチ鋼殻が若干の折れ角をもって接合し、かつ接合部には補強梁を設けた特殊な形状である。そのため、構造の成立性を検証するうえで、とくに接合部の力学的挙動と設計手法、補強梁の有効性を確認する必要がある、トンネル上半部を模擬した1/2サイズの試験体を

用いて、構造性能の確認試験を実施した(図-4)。

試験体全体に計測器を配置し、所定の载荷荷重に対する覆工の挙動を確認し、想定した設計モデルと比較することで、設計手法の妥当性ならびに構造の成立性を検証した。おもな確認項目は、覆工全体の変形特性や断面力分布、主桁や継手板などの応力状態、接合部の継手の回転剛性(回転ばね定数)、補強梁の効果とその軸剛性である。

試験ケースは、補強梁を設置したケースと設置しないケース、設置したケースについては、補強梁の端部構造をピン支承を利用したピン構造と端

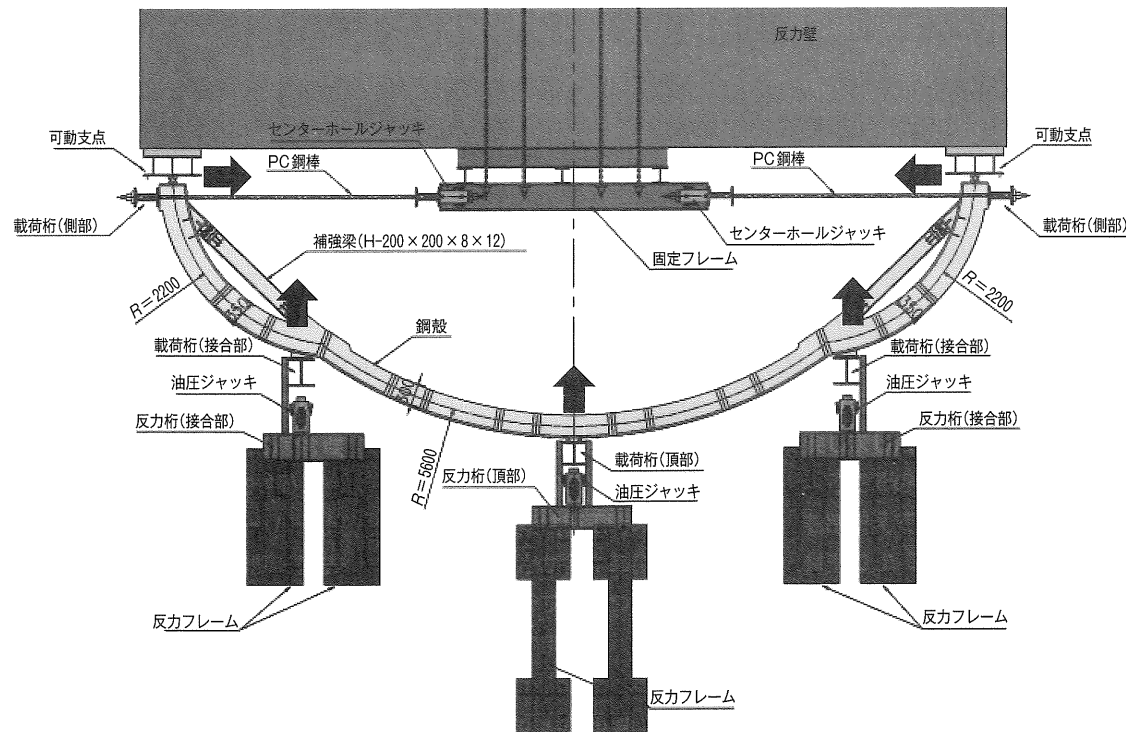
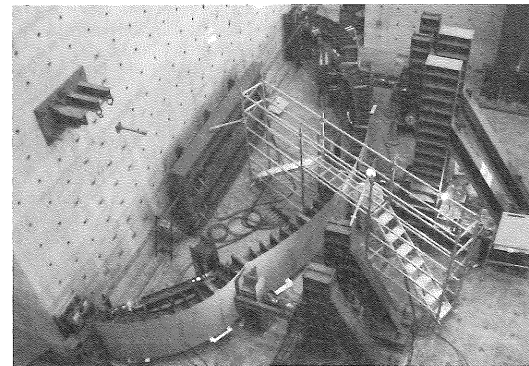


図-4 構造性能確認試験

部を凹凸にした鋼材どうしの突合せ構造の2ケースを実施した。突合せ構造のケースでは、補強梁設置時の部材間のなじみを除去する目的でプレロードを導入した。

表-1に試験ケースを、図-5に想定した設計モデルによる計算値と応力計測にもとづいた曲げモーメントおよび軸力分布の比較を示す。

試験の結果、ケース1,3は、設計値と計測値が一致することが確認でき、設計の妥当性と補強梁の有効性が検証できた。一方、ケース2は、設計値に対して補強梁の軸力が小さく、その軸力が外側のセグメントに伝達し、曲げモーメントを増大させていることが確認された。これは、ピン構造は突合せ構造に比べて部材構成が多く、ピンやエンドプレートなど各部材の変形や部材間の微小な隙間が蓄積し、荷重初期の初期段階での軸剛性が極端に低下して軸力が流れないことが原因であった。そこで、ケース3では、部材構成を減らした突合せ構造とし、さらに荷重初期の軸剛性を確保するためにプレロードを導入した。予備試験により、初期の軸剛性を確保するために必要なプレロード量は補強梁1本あたり50kNであることを事前に確認した。

以上より、補強梁のように、あらかじめ設けられた空間に新たに部材を追加設置して力を流す場合には、接触面でのなじみや部材自体の変形に起因する軸剛性の低下が生じやすく、部材構成を少なくするとともに相応のプレロードを導入することが重要であることがわかった。

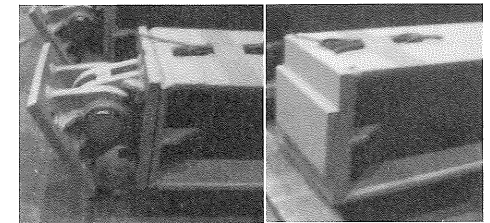
図-6にプレロードの導入方法としてフラットジャッキを用いた例を示す。補強梁の一端にフラットジャッキを設置する隙間を明け、固定ボルトで仮受けしたのちに、フラットジャッキを挿入してプレロードを導入する。その後、導入軸力を固定ボルトに受替えて固定し、フラットジャッキを引抜く。最後に、空いた隙間には無収縮モルタルを充填する。

### 4-1-2 縦断方向誤差(主桁ずれ)に対する検証

アーチ鋼殻は左右の2本のトンネル間を鋼製セグメントで接合するため、シールドトンネル間に縦断方向の施工誤差が生じた場合は、トンネル同

表-1 試験ケース

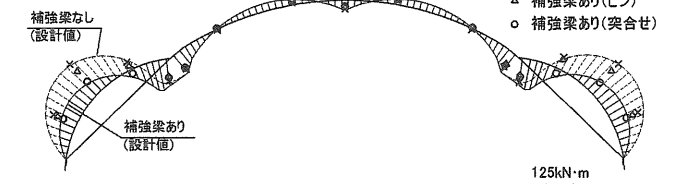
試験ケース	補強梁構造	プレロード導入
ケース1	なし	—
ケース2	H-200(ピン構造)	なし
ケース3	H-200(突合せ構造)	あり(50kN/本)



[ピン構造]

[突合せ構造]

曲げモーメント図



軸力図

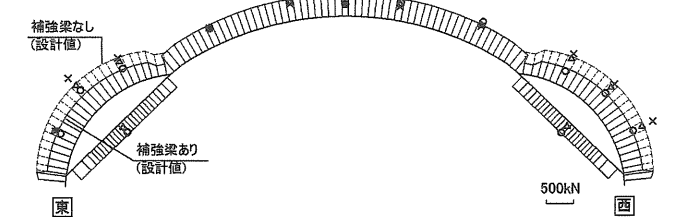


図-5 曲げモーメントおよび軸力分布

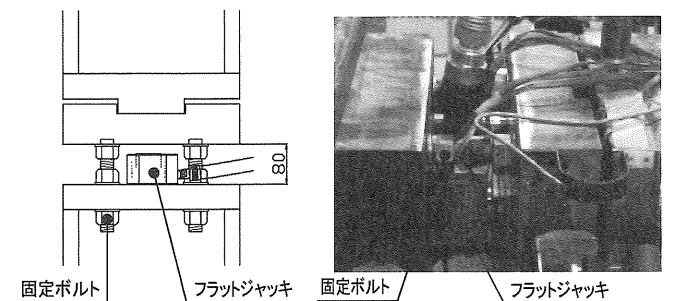


図-6 プレロード導入方法

一横断面上に主桁が連続せず、接合部で主桁が不連続となる。そのため、不連続部の継手板には主桁ずれによる偏心した軸力と曲げモーメントが作用し、過大な応力が集中することが懸念された。そこで、要素載荷試験および3次元FEM解析を実施して、主桁ずれに対する接合部の局所的な応力集中の有無、応力増加量と継手の回転剛性(回

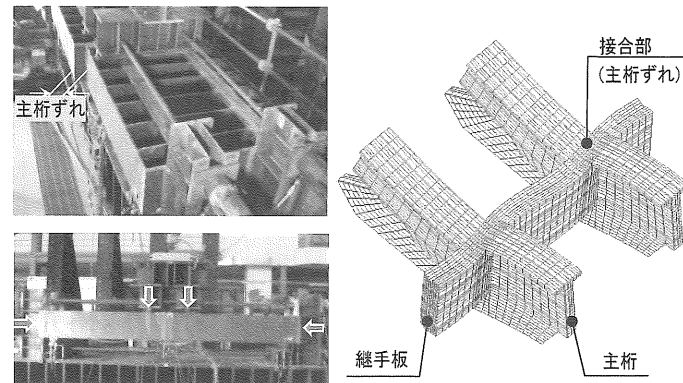


図-7 主桁ずれに対する構造検証

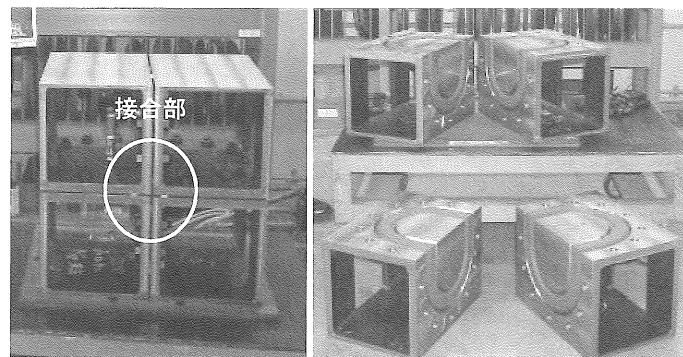
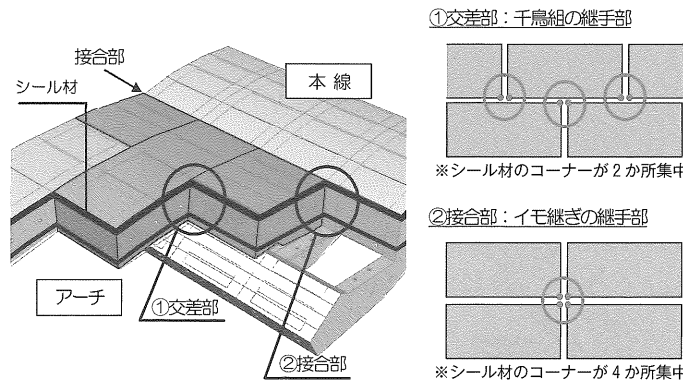


図-8 止水性能の検証

転ばね定数)の変化を把握した(図-7)。

### 4-2 接合部の止水性能

通常のセグメント組立てでは、継手が千鳥となるように組み立てるため、継手部は3面の継手面が接する配置となりシール材のコーナー部の集中は2か所である。一方、アーチ鋼殻の接合部は、イモ継ぎとなるため4面の継手面が接する配置となりシール材のコーナー部は4か所集中する。シール材はコーナー部が止水性能の弱部となりやすく、4か所集中する接合部は、通常のセグメント継手に比べてより厳しい条件となる。そのため、施工条件として、設計水圧0.55MPa、目開き5mm、目違い量6.5mmを想定した耐水圧試験を実施し、この条件の下で接合部の止水性能が満足できることを確認した(図-8)。

## 5 施工事例：中央環状品川線大橋連結路工事

### 5-1 工事概要

中央環状品川線大橋連結路工事は、首都高3号渋谷線と中央環状線(新宿線・品川線)を接続する大橋ジャンクションの一部として、ジャンクションと品川線を接続する連結路トンネルである。

大橋ジャンクションから大井方面へ向う合流部と、大橋ジャンクションへ向う分岐部が上下2層構造で延長200mにわたって建設される。土かぶり土は、上層が18m、下層が34mである。土質は上総層の泥岩(Kc層)が主体であり、数cmの介在砂層はあるもののおおむね均質なKc層である(図-9, 10)。

### 5-2 施工概要

#### 5-2-1 施工手順

2本のシールド施工後に、地中に残置される連結路シールドの外筒部に開口を設置して地中掘削の地中発進基地

とし、上半部から鋼アーチ支保工と吹付けモルタルによる一次覆工を用いた山岳工法による掘削を行う(STEP1)。上半部の掘削完了後、専用のセグメント組立装置で上半部のアーチ鋼殻を組み立てる(STEP2)。その後、下半部も同様にシールドを地中発進基地として掘削を行い(STEP3)、下半部のアーチ鋼殻を主として人力で組み立てる(STEP4)。上下のアーチ鋼殻をすべて組み立てて構造が安定した後、連結路と本線の間の中間地山を掘削し、仮設用セグメントを撤去する(STEP

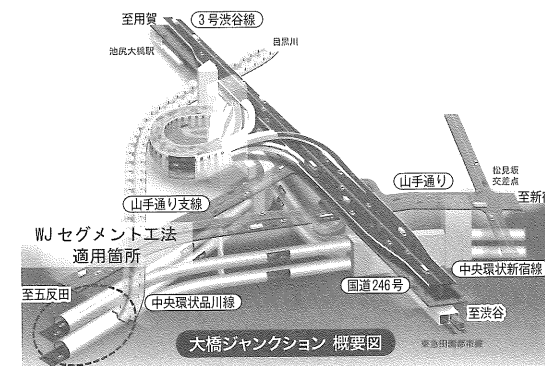


図-9 大橋ジャンクション概要図

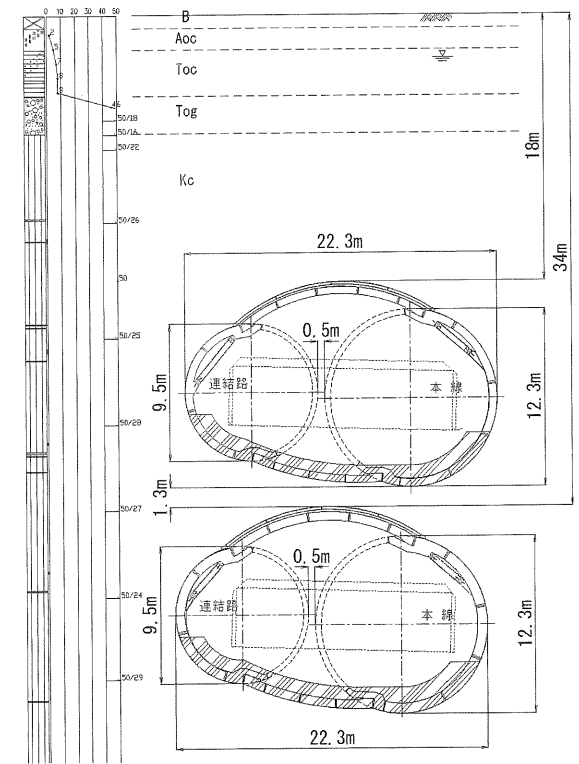
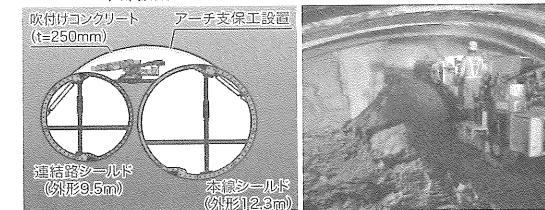
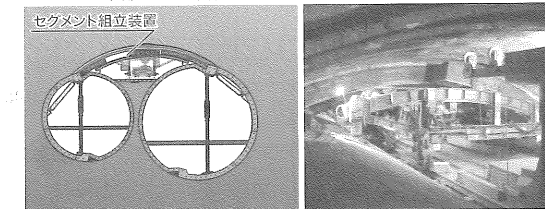


図-10 分岐・合流部横断面図

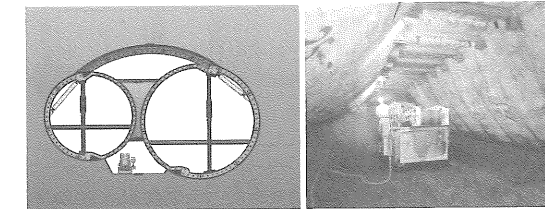
#### STEP1 上半部掘削



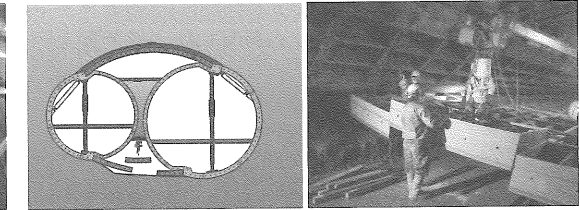
#### STEP2 上半部アーチ鋼殻組立



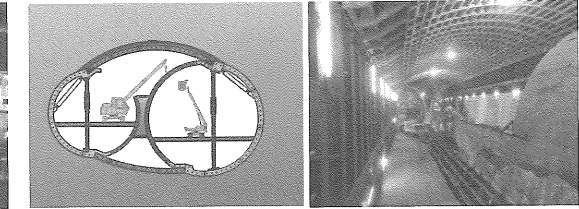
#### STEP3 下半部掘削



#### STEP4 下半部アーチ鋼殻組立



#### STEP5 中間部撤去



#### STEP6 底板構築(完成)

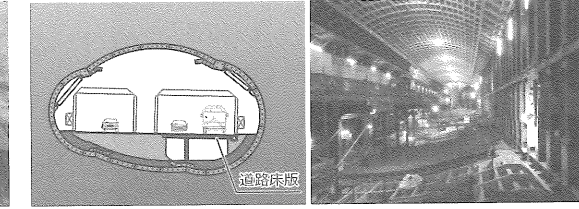


図-11 施工手順

5). その後、下半部に底版コンクリートを打設して覆工が完成する。最後に内部支保工を撤去し、道路床版などの内部構造物を構築して分岐・合流部が完成する(STEP 6)(図-11)。

5-2-2 シールド施工誤差への対応

アーチ鋼殻は、2本のシールドトンネル間をボルトで接合するため、シールド施工時の蛇行やローリング、縦断方向の伸縮誤差が許容値を超過した場合は、セグメントの組立てが不能となる。また、組立ては可能であっても、構造の安全性や止水性が確保できなくなる恐れがある(図-12)。

(1) 設計上の対策

蛇行やローリングが生じると互いのシールドトンネル間の位置関係が変化し、完成系のセグメントに発生する応力度も変化する。そこで、施工誤差を想定した位置関係を構造解析に反映し、増加する応力度を見込んで部材を設計した。

また、縦断方向の誤差が生じると、本線および連結路のセグメントとアーチ鋼殻を同一横断面上に組み立てられない。そこで、アーチ鋼殻を本線セグメントの出来形位置に合わせて組立て、連結

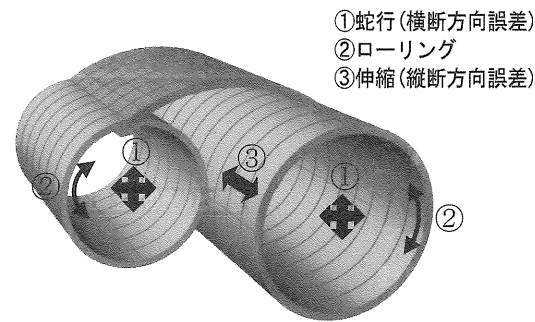


図-12 シールドの施工誤差

表-2 シールドの施工管理値

	連結路シールド	本線シールド
蛇行(横断方向誤差)	±50mm	±100mm
ローリング	±50mm	±100mm
伸縮(縦断方向誤差)	±50mm	

路セグメントとの接合部において主桁ずれを50mmまで許容することで施工誤差を吸収することとした。そして、これを前提に部材設計を行った。

(2) シールド施工時の対策

本工法では、接続ピースなど特殊形状のセグメントを用いているため、通常のテーパリングによる蛇行修正は適用できない。そこで、板厚がテーパ状に変化するプレート( $t=30\sim60\text{mm}$ )をリング間に挟む方法により蛇行修正を行った。

また、縦断方向の誤差に対しては、幅狭セグメントとストレート状のプレート(調整プレートリング)の組合せを数セット用意しておき、その誤差に応じて調整プレートリングをリング間に挟んで誤差が50mm以下となるように調整を行った(図-13)。

なお、先行シールドは設計位置を基準に、後行シールドは先行シールドの出来形位置を基準に施工管理を行うことで、相対的な施工誤差を抑制するよう配慮した。

図-14に上層トンネルの本線および連結路シールドの施工誤差、連結路側接合部でのアーチ鋼殻の主桁ずれ量を示す。

(3) アーチ鋼殻製作時の対策

アーチ鋼殻を確実に接合するためには、シールド

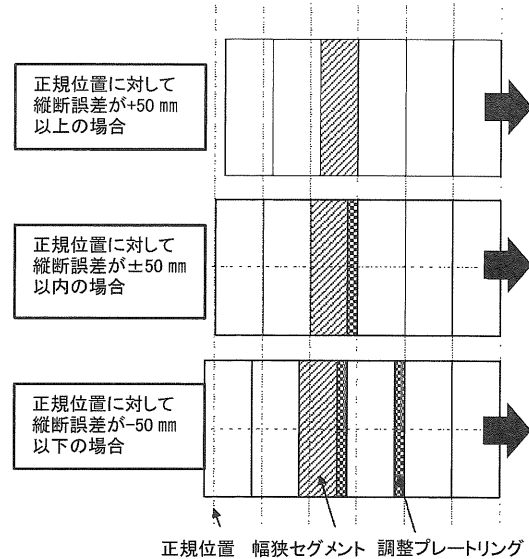


図-13 縦断方向の誤差調整

ド施工時の施工誤差に加えて、トンネル上半または下半掘削時のトンネルの変形をセグメント製作に反映する必要がある。そこで、複数のピースで構成するアーチ鋼殻のうち、両端ピースの製作を保留しておき、トンネル掘削後に接合部を直接測量して、これに合わせて弧長と継手板の面向きを調整して製作することで、最終的な施工誤差を吸収した。なお、トンネルの変形は、掘削幅の

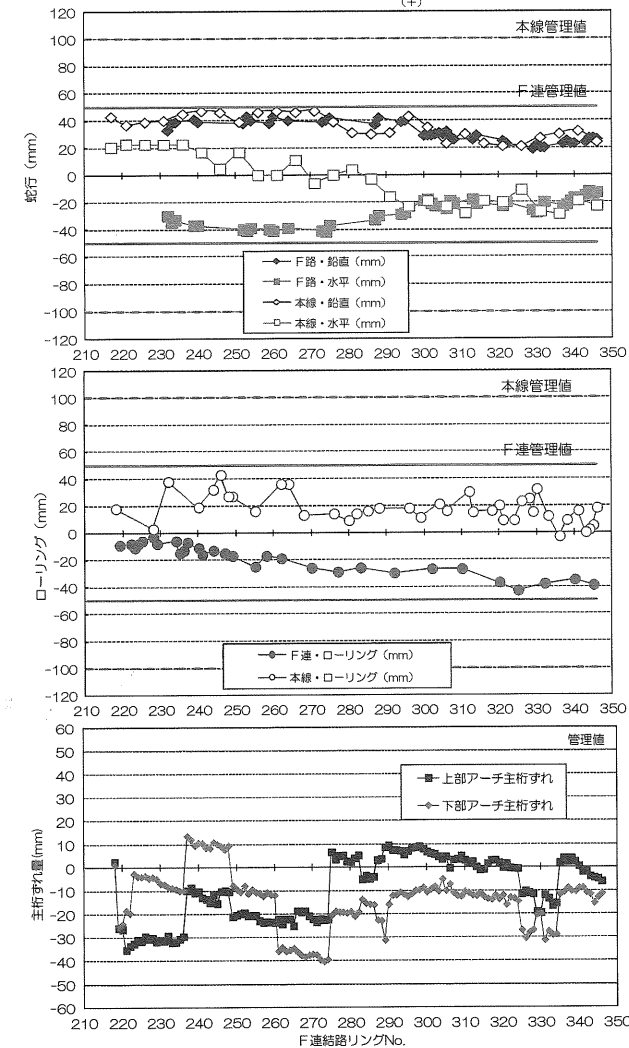
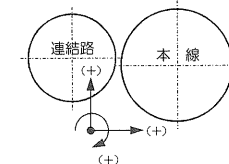


図-14 施工誤差(上層トンネル)

15m程度切羽が進行した時点で収束する傾向を示したので、その収束を確認したうえで測量を実施した。また、施工誤差により1リングごとに異なる端部ピースを正確かつ効率的に製作するために、端部ピースの形状や接合部の継手板の干渉の有無、ボルト孔の位置などを可視化でき、さらには、原寸図作成を自動化できるCIMを活用した3次元モデルの製作プログラムを開発・適用した(図-15)。

⑥ おわりに

WJセグメント工法は、中央環状品川線大橋連結路工事の中で、工法の検証と改善をくり返し、試行錯誤しながら初めて実現したものである。大深度・大断面かつ上下2層構造の前例のない厳しい条件下の施工であったが、

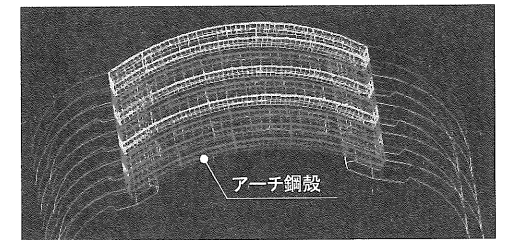


図-15 アーチ鋼殻製作プログラム

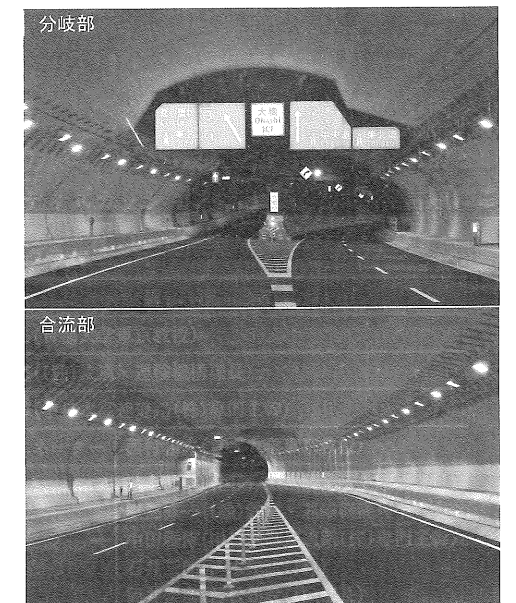


写真-3 大橋連結路分岐・合流部

本工法を適用することで、地表面地下など周辺環境への影響を最小限に抑えて安全に工事を完了することができた。また工期短縮、コスト縮減にも寄与した。

大橋連結路工事では、対象土質が均質なKc層であったためにトンネル間掘削に山岳工法を採用したが、Kc層以外の土質でも、その土質条件に応じた補助工法などを選定することで本工法を適用することが可能である。

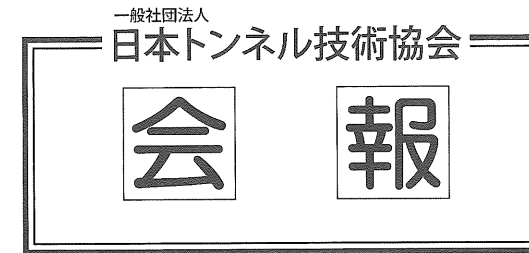
今後、大深度地下利用の進展に伴い、民地下かつ高水圧下というように大都市圏の道路トンネルの施工条件はますます厳しくなるものと予想される。環境保全を踏まえたうえでの建設工事のコスト縮減、工期短縮といった社会的ニーズの高まりの中で、本工法は、道路トンネル分岐・合流部の建設だけでなく、更なる大深度・大断面地下空間

の建設に大きく貢献できる技術であり、今後の同様のプロジェクトの参考となれば幸いである。

(文責：名倉浩・小倉靖之/(株)安藤・間)

### 参考文献

- 1) 特集・地下鉄有楽町線の建設工事 永田町駅のシールド工事, 土木技術, Vol.30, No.2, pp.118-134
- 2) 渡辺健・百瀬巖: 高層ビル街でのめがね形シールド駅の施工 地下鉄半蔵門線・三越前駅, トンネルと地下, Vol.11, No.1, pp.23-32, 1980.1.
- 3) 石田高啓・齋藤亮・長田光正・井上隆広・小倉靖之: 道路シールドトンネル分合流部における覆工構造の合理化に関する研究, トンネル工学報告集, Vol.19, pp.257-262, 2009.
- 4) 牛越裕幸・中西禎之・井上隆広・小倉靖之・花島常雄: 道路トンネル分岐・合流部における超近接併設シールドの設計・施工, トンネル工学報告集, Vol.22, pp.419-426, 2012.



### 1. 会員の現状

	8月31日現在
個人会員	910名
団体会員	204名
推薦会員	205名
特別会員	7名
名誉会員	4名
賛助会員	222名
合計	1,552名

### 2. 委員会の開催状況(8月1日~31日)

#### ①運営広報委員会関係

##### ◎総務委員会

・広報小委員会

会誌WG(8/3)

小山幸則主査ほか8名, 9月号の会誌と3か月計画を検討

##### ◎国際委員会

・海外文献小委員会

海外ニュースWG(8/29)

佐々木養一主査ほか8名, 海外文献の査読

##### ◎事業委員会

・事業委員会(8/9)

入江健二委員長ほか13名, 催物開催結果報告および今後の開催計画を検討

計 3回開催 32名出席

#### ②調査研究委員会関係

##### ◎技術委員会

・山岳工法小委員会

地山評価WG(8/4)

木谷日出男主査ほか11名, 切羽画像を検討

・安全環境小委員会

山岳アセスメント検討WG(8/3)

中川宏主査ほか11名, 改訂要望箇所を検討

##### ◎受託研究特別委員会

・長期耐久性特別委員会(8/5)

西村和夫委員長ほか32名, 報告書(案)を検討

コア幹事会(8/30)

松岡茂幹事長ほか11名, 報告書原稿を検討

・異高型トンネル耐震性能検討委員会(8/23)

前川宏一委員長ほか26名, 設立主旨説明および検討方針を検討

・既設新設接合特別検討委員会(8/25)

二羽淳一郎委員長ほか26名, 試験結果の検討  
計 6回開催 123名出席

合計 9回開催 155名出席

#### 新刊図書案内

■都市部近接施工ガイドライン《図書番号201504》

平成28年1月(A4判 370頁)

頒布価格: 個人会員 4,500円, 団体会員 5,000円  
一般 6,000円

■シールド技術変遷史《図書番号201505》

平成28年3月(A4判 315頁)

頒布価格: 個人会員 6,000円, 団体会員 7,000円  
一般 9,000円

■トンネル年報2016《図書番号201601》

平成28年6月(A4判 116頁)

頒布価格: 個人会員 2,000円, 団体会員 2,000円  
一般 3,000円

\*トンネル工事記録のみのCD-R版

頒布価格: 個人会員 10,000円, 団体会員 10,000円  
一般 15,000円

■Tunnelling Activities in Japan 2016

《図書番号201602》

平成28年5月(A4判 29頁)

頒布価格: 個人会員 3,000円, 団体会員 3,000円  
一般 3,600円

■第78回施工体験発表(山岳)テキスト

《図書番号201603》

課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—

平成28年6月, CD-R版 頒布価格: 5,000円

■第79回施工体験発表(都市)テキスト

《図書番号201604》

市街地における地下構造物の新設および改良工事—近接, 拡幅, 再構築等の施工事例—

平成28年6月, CD-R版 頒布価格: 5,000円

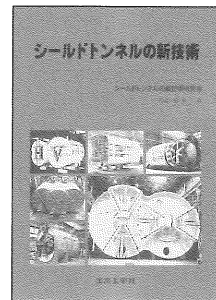
※1 頒布価格は消費税込みです。送料は実費負担となります。

※2 掲載内容, お申し込み方法などの詳細は協会ホームページをご参照ください。

## シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編 代表 鈴木 章

B5判 285頁 本体価格4,660円 円350円



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

株式会社 土木工学社

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

## 3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第43回ITA総会およびコンgres「Surface problems -Underground solutions」	2017. 6. 9~15	ベルゲン (ノルウェー)	Norwegian Tunnelling Society, ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc2017.no/
第44回ITA総会およびコンgres「Smart Cities: Managing the Use of Underground Space to Enhance the Quality of Life」	2018. 4.20~26	ドバイ (UAE)	Society of Engineers-UAE, ITA(国際トンネル協会) http://www.uaesocietyofengineers.com
第45回ITA総会およびコンgres「Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art」	2019. 5. 3~ 9	ナポリ (イタリア)	Italian Tunnelling Society, ITA(国際トンネル協会) http://www.societaitalianagallerie.it/ Prj/Hom.asp

\*会議に関する詳細は事務局(担当:関)までお問い合わせください。 TEL:03-3524-1755 FAX:03-5148-3655

## 4. 平成28年度催物開催現況

(平成28年8月現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(現場見学会)				
横浜市下水道トンネル現場研修会(磯子トンネル)	2016. 5.20	21	神奈川	2.0
新東名高速道路トンネル建設工事現場研修会(羽根トンネル)	2016. 6.28	22	神奈川	2.5
北海道トンネル建設工事現場研修会	2016. 7.28	18	北海道	4.8
新北陸トンネル建設工事現場研修会(葉原・大桐・奥野々工事)	2016. 8.26	24	福井	4.0
福岡地下鉄建設工事現場研修会	2016. 9.29	30	福岡	2.0
東北中央自動車道トンネル建設工事現場研修会 (山形蔵王トンネル, 三吉山トンネル)	2016.11.11	25	山形	
環状5の1号線地下道路建設工事現場研修会 (施工体験発表会)	2016.11.18	20	東京	
第78回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」	2016. 6.22	169	東京	5.9
第79回(都市)「市街地における地下構造物の新設および改良工事—近接, 拡幅, 再構築等の施工事例—」	2016. 6.23	111	東京	4.3
(講習会・シンポジウム)				
都市トンネルのための地盤改良講習会	2016. 5.18	44	東京	5.7
第2回トンネル維持管理業務講習会(基礎編)	2016. 9. 2	40	東京	6.3
第3回トンネル技術者のための地相入門講習会	2016.10.31	40	東京	6.3

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

## 「第3回トンネル技術者のための地相入門講習会」のご案内

好評により第3回トンネル技術者のための地相入門講習会を開催することといたしました。トンネル工事における地形・地質を理解するうえで、有益な資料『トンネル技術者のための地相入門』をもとに、トンネル経験5~10年程度の中堅技術者をおもな対象とし、実学としての講習会を実施します。講習では、地形図を用いた地形・地質情報の基礎的判読技術、おもな地形種ごとの特徴と事例解説による地形・地質情報の利用技術、計画路線周辺の地形・地質情報の利用技術などについての講義ならびに実習を行います。

本講習会は、路線計画、施工管理に携わる技術者はもとより、トンネル建設・維持管理に携わる技術者の皆様にとりまして、地形・地質の基礎的知識を習得する大変有意義な講習会と存じますので、多数ご参加くださいますようお願いいたします。

—記—

開催日：平成28年10月31日(月) 10:00~17:30

会場：日本印刷会館 2階「201+202」(〒104-0041 中央区新富1丁目16番8号)

定員：40名(定員になり次第締め切らせていただきます)

参加費：個人会員14,000円, 団体会員16,000円, 一般20,000円(昼食代, テキスト代を含む)

その他：プログラム, 申込方法, 事前アンケートなどの詳細は、ホームページをご覧ください。

## 訃報



本会3代目の会長を担っていただきました内田隆滋様(元)日本鉄道公団総裁・(元)東武鉄道社長が、本年7月29日に肺炎と敗血症のため96歳でお亡くなりになりました。永年のご貢献を感謝するとともに心からお祈りいたします。

本会の要職在任期間

副会長：1985~1986(昭和60~61)年度

会長：1987(昭和62)年度

## 11月号予告 [11月1日発売予定]

- 新幹線トンネルにおける路盤隆起対策の施工性向上
  - 新名神高速道路 野登トンネル
  - 大阪府都市計画道路大和川線避難路
  - 地下鉄トンネル覆工の浮き・剝離検出システム
  - DO-Jet工法における超高圧ジェット噴流の特性に関する実験的研究
- 【連載講座】
- トンネル新技術への挑戦(12)

\*内容等は変更になる場合がございます

## 編集後記

◆先日SNSを眺めていると「トンネル施工技術の進化」というタイトルの記事が流れてきました。ニュージャーニー工科大学が編集したもので、アメリカでの技術的な革新をもたらしたトンネルや施工技術の歴史などをビジュアル的に紹介しています。技術的な内容にコメントできる力はありませんが、アメリカに名前がついているトンネルは400強で、ほとんどは名前をもたないこと(識別の方法が違うだけかもしれません)、また、名の付いたトンネルの多くが著名な人の名前を冠しており、「リンカーン・トンネル」「アイゼンハワー・トンネル」はもとより「テッド・ウィリアムズ・トンネル」まであることに、驚きました。テッド・ウィリアムズといえばボストン・レッドソックスの強打者かつメジャーリーグ最後の4割打者として知られています。同トンネルはボストンの「ザ・ビッグ・ディグ」プロジェクトの一環で施工された沈埋トンネルで、このボストンのヒーローの名にちなんで命名されたとのこと。ちょうど、イチローがメジャー3000本安打を達成し、出身地・愛知と野球選手としてのキャリアを始めた神戸を結ぶ新名神高速道路の事業が進行中です。テッドはインタビューで「次に打率4割を達成する打者は誰か」という質問に対し、「イチロー」と答えたとの話もあるようです。もしも今後、新名神のトンネル名の公募などあれば、「イチロー・トンネル」を推したいと考えています。情報があればお寄せください。

(K.K.)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください。  
★(一社)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(一社)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47巻 第10号 (通巻554号)

ISSN 0285-631 X

Tonneru to chika

平成28年9月20日 印刷

平成28年10月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

## 本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

## 購読料

1冊 1,620円(送料110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製(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。本誌から複製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。

## 吸引ダクトが無くても全ての断面、全ての延長に対応

たった37kWで2,750m<sup>3</sup>/min イーダスコ270使用時

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO

イーダスコ240/イーダスコ270

ファン動力30kW ファン動力37kW

NETIS

公共工事における新技術活用システム

登録番号: TH-100024-VE

経済産業省後援

第39回優秀環境装置

日本産業機械工業会 会長賞

## 全てのトンネルに適用可能!



- クラス最高の集じん効率95%\*
- 有害な微細粉じんも逃さない電気式
- 現場メンテナンスは手間いらず
- 大風量と省エネを同時に実現

## 吸引捕集方式にも対応



48m<sup>2</sup>の設置例

## 希釈封じ込め方式での計算例

## ① 粉じん発生量

$$Fo = 360 \times 22 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.75 = 5,940 \text{ (mg/min)}$$

## ② 所要換気量

$$Q4a = \frac{5,940}{3.0 - 0.07} = 2,027 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

$$Qa = 54.0 + 2,027 = 2,081 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

## ③ 集じん機の選定

$$Qs = 1.2 \times \frac{2,081}{0.93} = 2,686 \text{ (m}^3/\text{min)} \leq 2,750 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

品名	e-DUSCO240	e-DUSCO270
型式	FTE2400/FTE2400-E	FTE2700-E
集じん装置の容積	1800・2100・2400m <sup>3</sup> /min 任意設定の4モード	1800・2100・2700m <sup>3</sup> /min 任意設定の4モード*
全長 <sup>①</sup>	7411mm(サイレンサー含む)	
全幅	2350mm	2350mm
全高 <sup>②</sup>	3700mm	
本体重量	10t	11t
電源仕様	3相3線400V58kVA	3相3線400V107kVA
ファン動力	30kW	37kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)	23kW・28kW・40kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)
洗浄水 <sup>③</sup>	2.4~3.2m <sup>3</sup> /回	
捕集ダスト処理	湿式	
集じん効率 <sup>④</sup>	95%以上	93%以上
吸引捕集方式	対応可	

注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

\*1 入口ダクト及び絞リダクトは含まれません。\*2 台車および揚重用治具の高さは含まれません。\*3 機種により多少異なります。

\*4 JIS Z 8808 並びに換気技術指針(H24.3)に定める試験方法に基づき第三者計量機関により測定した値です。\*5 任意設定にて最大2,750m<sup>3</sup>/minまで可能です。

古河機械金属グループ  
古河産機システムズ株式会社

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

本社

〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3

第二営業部 ☎03-3212-6575

大阪支店 ☎06-6344-2532

名古屋支店 ☎052-561-4580

札幌支店 ☎011-784-1179

東北支店 ☎022-221-3532

九州支店 ☎092-741-5193

小浜工場 ☎0285-23-8662

トンネル技術者のための地相入門

大島洋志 監修, 木谷日出男 編著  
3,200円+税 B5判

トンネルの計画・設計・施工にあたって留意すべき“地相”について、施工事例をもとに、豊富な図版と地形図を用いて、ていねいに解説した、画期的な入門書。



山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著  
3,200円+税 B5判

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



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修  
1,500円+税 B5判

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



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修  
2,500円+税 B5判

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



推進工法の理論と実際

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

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



わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修  
2,500円+税 B5判

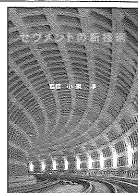
土木工事にかかわりのある地質学の基礎知識を盛り込み、土木工事において問題となる地質事象や、各種地質調査の原理についてわかりやすい解説を与えた。



セグメントの新技术

小泉 淳 監修  
2,000円+税 B5判

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



続きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著  
1,200円+税 新書判

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



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著  
6,000円+税 A5判

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



地質工学概論

菊地宏吉 著  
4,757円+税 B5判

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



地下水の科学 I～III(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

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

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編  
4,660円+税 B5判

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



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 編  
14,573円+税 B5判

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



ジオテクスタイル設計マニュアル

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

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



岩盤地下空洞の設計と施工

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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した。



建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著  
4,300円+税 A5判

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



トンネル工事の衛生と環境保全

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著  
3,200円+税 A5判

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



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著  
4,200円+税 A5判

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



わかりやすいトンネル技術入門(都市トンネル編)

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著  
2,800円+税 A5判

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



海洋資源開発

稲田善紀 著  
3,400円+税 A5判

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



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)

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

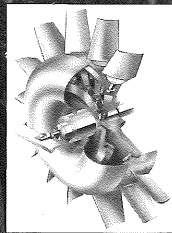


書籍のお申し込み

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

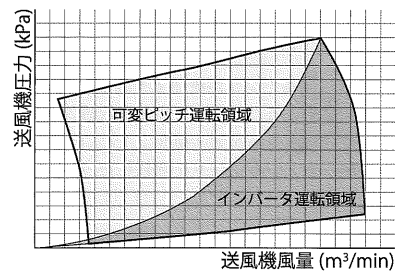
(株)土木工学社  
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807

# トンネル工事の必需品 可変ピッチ軸流送風機 BIG-LOG



BIG-LOG は当社の開発商品です

- 可変ピッチとは……必要に応じ羽根の角度を変えて風量調整をおこなう方式 (右上図)
- 風量を減らした場合でも圧力変動が少なくインバーター制御には無い幅広い運転領域を確保できます (右図)
- 風管抵抗に合わせて自動可変をおこない圧損調整をするため無駄な電力を消費しません
- 風量設定が数値で出来るため一定風量で運転が可能 (風量の見える化)



型 式	能 力	電 動 機	騒 音 値 機側 5m
CDH1120-30-60(4)W	1000m³/min × 3.92/4.9kPa 1500m³/min × 3.5/2.6kPa	60kW×4P×2台 50/60Hz 400/440V	74 dB
CDH1250-26-80(4)W	1500m³/min × 3.92/4.9kPa 2000m³/min × 1.76/1.76kPa	80kW×4P×2台 50/60Hz 400/440V	74 dB
CDH1250-26-110(4)W	2000m³/min × 4.11/4.9kPa 3000m³/min × 1.8/2.45kPa	110kW×4P×2台 50/60Hz 400/440V	74 dB
CDH1400-30-175(4)W	3000m³/min × 4.6/4.9kPa	175kW×4P×2台 50/60Hz 400/440V	77 dB

※2段で記載の機種はどちらか選択ができます

長距離でも無駄な風量を自動制御できるという可変式の特性を活かした  
省電力システム「i-Res」を開発しました

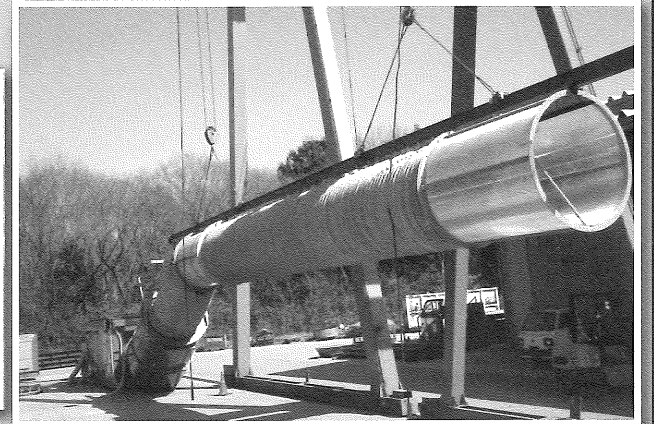
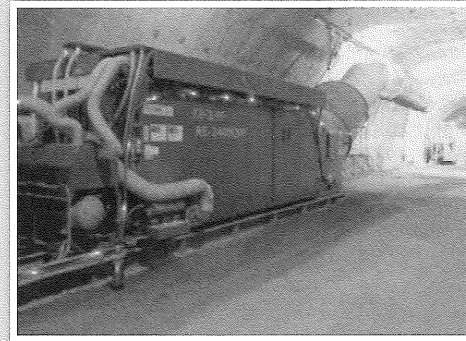


菅機械工業株式会社

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



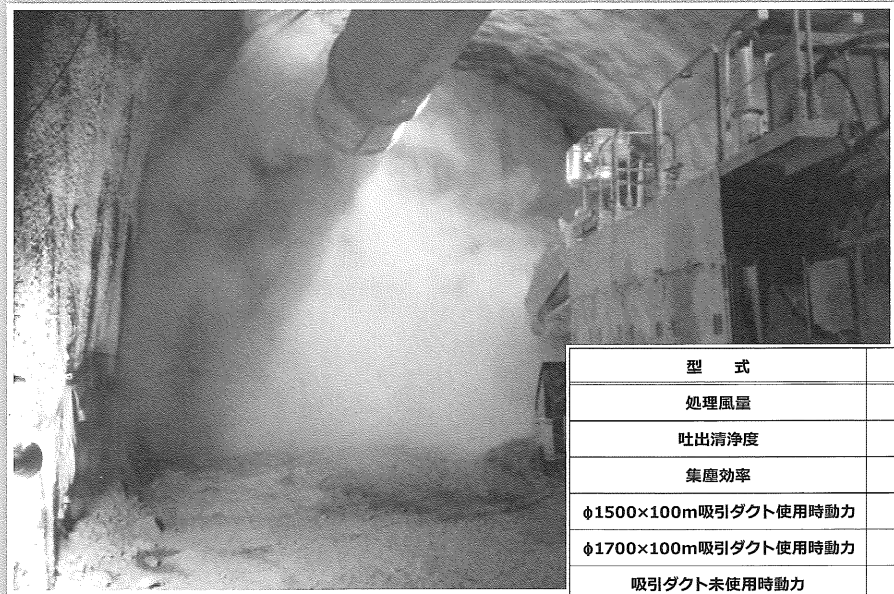
本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町13番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460



## 動力60%低減実現! (当社従来比)

### 吸引捕集換気システム 新登場 RE-2400QDP

「コンパクト&低動力&高浄度」を一度に実現した孤高のスペック



型 式	RE-2400QDP
処理風量	2,400m³/min
吐出清浄度	0.1mg/m³以下
集塵効率	99%以上
φ1500×100m吸引ダクト使用時動力	440V・83kW
φ1700×100m吸引ダクト使用時動力	440V・64kW
吸引ダクト未使用時動力	440V・58kW
寸法 (L×W×H)	2,869×12,963×3,387(mm)
重量	12,600kg

最適環境を創造する  
株式会社 流機 エンジニアリング

〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2  
TEL: 03-3452-7400  
URL: <http://www.ryuki.com/>  
E-mail: [eigyobu@ryuki.com](mailto:eigyobu@ryuki.com)

(PC・スマホ専用)

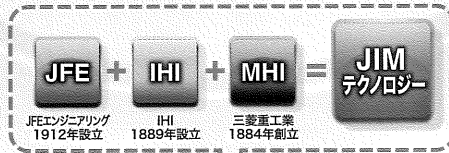


未踏の領域に挑み、  
夢を叶えてきた先駆者たち。  
JIMTはその志を受け継ぎ、  
地下開発の未来を築きます。



*Bravo à tous mes amis de T-5 18 décembre 1989*  
*Alt*

1989年12月 英仏海峡トンネルT-5工区貫通式



JIMテクノロジー(JIMT)は、株式会社IHI(IHI)、  
JFEエンジニアリング(JFE)、三菱重工業株式会社(MHI)の  
トンネル掘削機事業を統合した会社です。

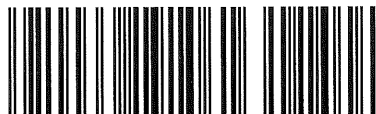


JIMテクノロジー株式会社

本社・川崎事業所……〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14 TEL.044-201-8268/FAX.044-201-8636  
神戸事業所……〒652-0864 兵庫県神戸市兵庫区笠松通7丁目2番25号 TEL.078-381-5100/FAX.078-381-6990

定価 1,620円  
本体価格1,500円

雑誌06619-10



4910066191061  
01500