

# トンネルと地下

# 9

vol. 46  
no. 9  
2015

Tunnels and Underground

可燃性ガス発生のおそれのあるトンネル工事における安全管理

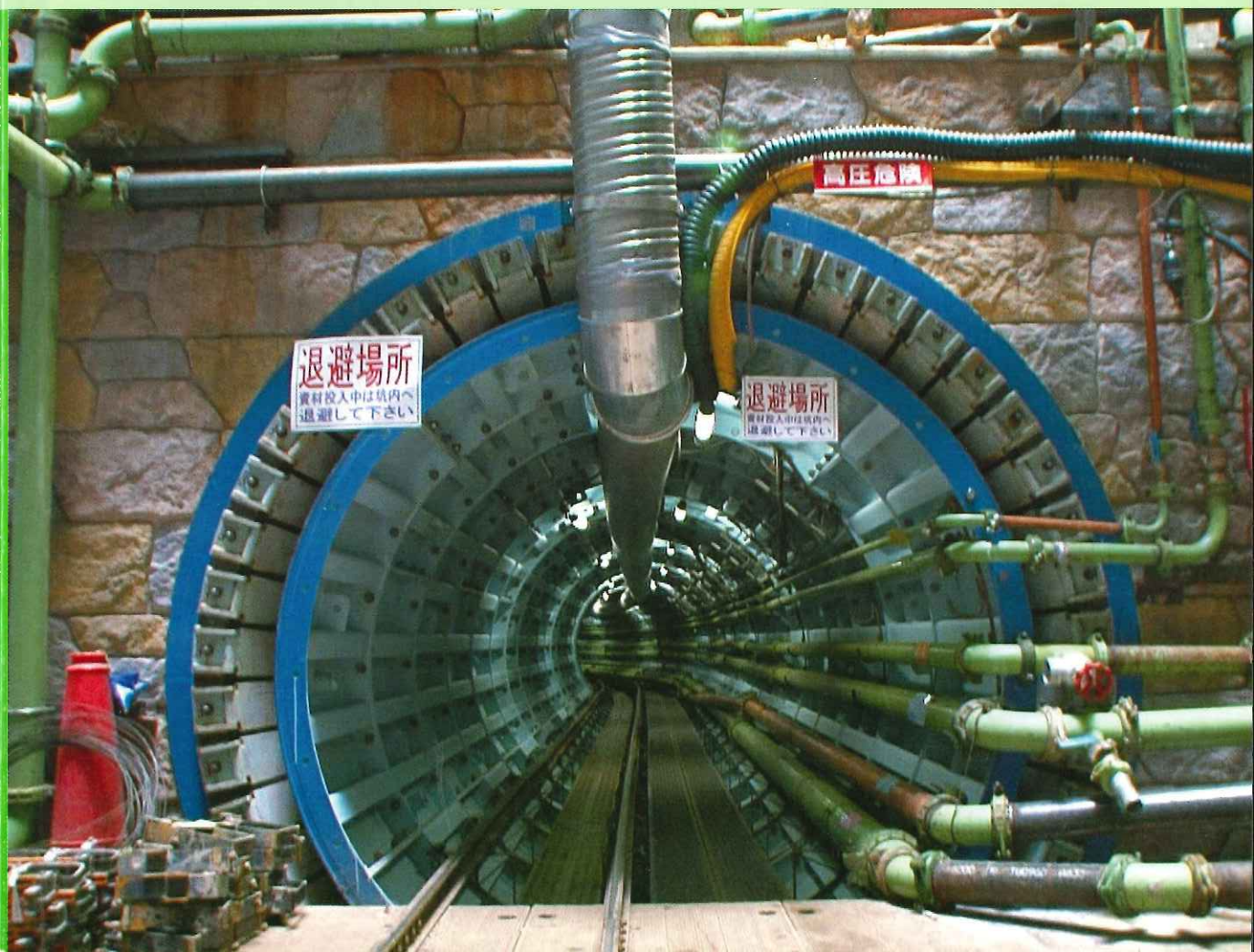
多摩地区における送水管ネットワークの構築を支えたトンネル技術

多摩川を横断する3本目の連絡管シールド

内部補強と外部補強を組み合わせたシールドトンネル変状対策(設計編)

低強度地山における全断面早期閉合工法に関する実証的研究

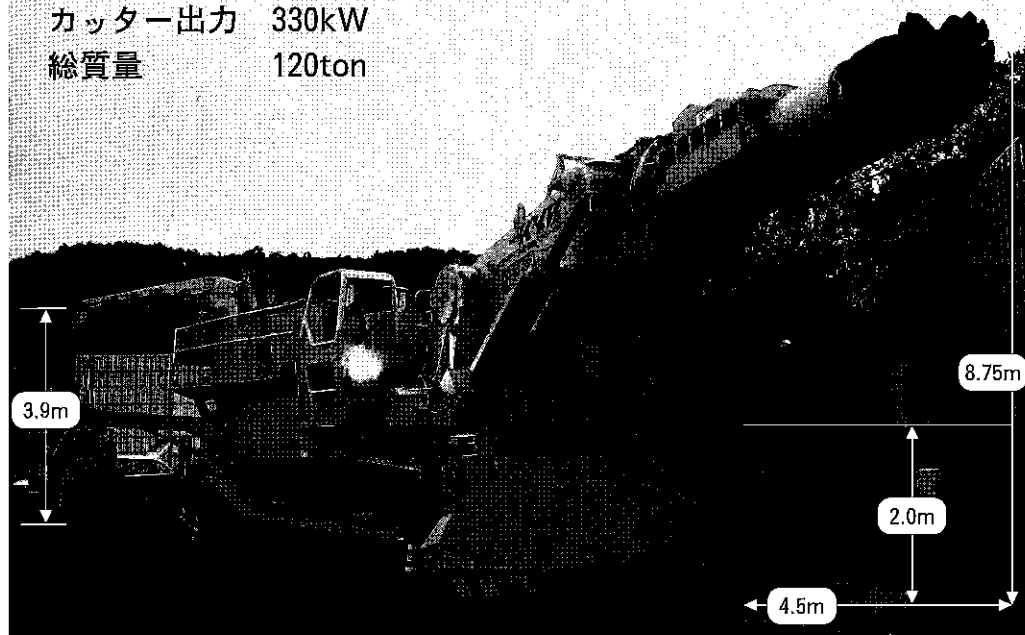
日本トンネル技術協会誌



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)
- ・定格最大切削範囲は、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

トンネル工事用 電気集じん器

**e-DUSCO 24**

**e-DUSCO 27**



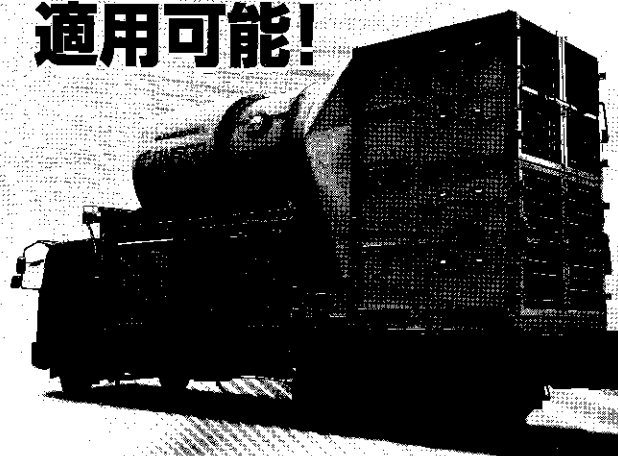
経済産業省 認定 第39回優秀環境装置 日本産業機械工業会 会長賞

たった37kWで  
2750m<sup>3</sup>/min

新版・換気技術指針でも**全ての断面、全ての延長**に対応。

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-DUSCO24D	e-DUSCO27D
型式	FTE2400-E	FTE2700-E
集じん容量の目安 (任意設定の4モード)	1800・2100・2400m <sup>3</sup> /min	1800・2100・2700m <sup>3</sup> /min
全長*	7411mm (サイレンサ含む)	7411mm (サイレンサ含む)
全高**	2350mm	2350mm
本体重量	3700mm	3700mm
本体質量	10t	11t
電源仕様	3相3線400V58kVA	3相3線107kVA
ファン動力	30kW	37kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意 (伸縮風管接続時同値)	23kW・28kW・40kW・任意 (伸縮風管接続時同値)
洗浄水	2.4m <sup>3</sup> /回*	2.4m <sup>3</sup> /回*
排気ダスト処理	濾過式	濾過式
集じん効率**	95%以上	95%以上

注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

\*1 入口ダクト及び排気ダクトは含まれません。\*2 台車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測定した値です。  
 \*5 任意設定にて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  
 第三営業部 ☎03-3212-6575

大阪支店 ☎06-6344-2532  
 東北支店 ☎022-221-3532

名古屋支店 ☎052-561-4580  
 札幌支店 ☎011-784-1179  
 九州支店 ☎092-741-5193  
 小浜工場 ☎0285-28-8662

# K series

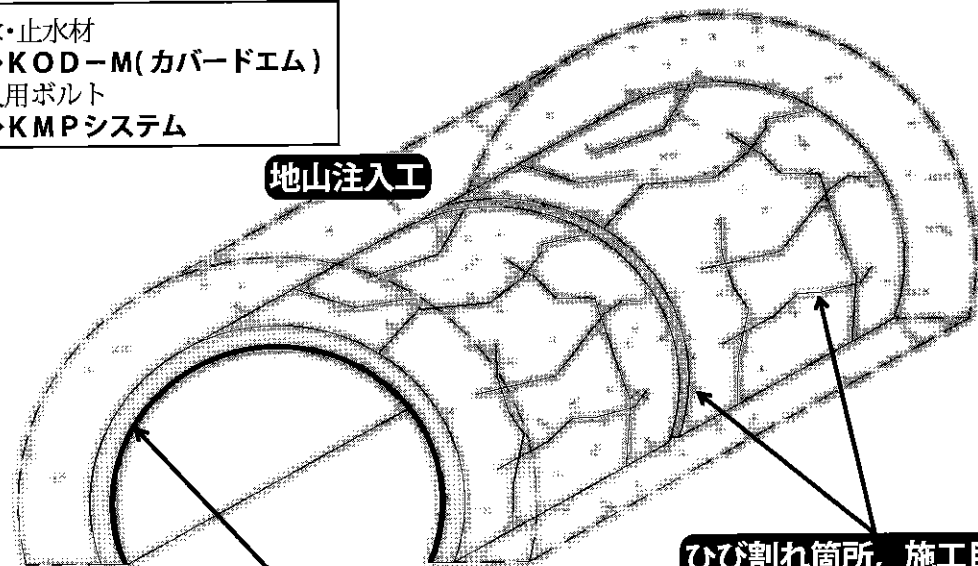
## カテックスの補修・補強材料

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。一方、老朽化してきている既設トンネルにおいては、適正に維持管理をし延命化するための補修、補強工事が行われています。これらに対応して、当社の樹脂系注入材の豊富なノウハウと技術力を活用して、既設トンネル補修、補強工事に適する樹脂系材料「Kシリーズ」を開発しました。

このKシリーズには、①減水止水材料あるいは地山注入工として適用する圧縮強度60MPa以上を有する高強度ウレタン系注入材「KOD-M(カバードエム)」、②空洞充填工や裏込め注入工として適用する高発泡ウレタン系注入材「KCF(シーエフ)」、③滞水弱層におけるロックボルト工の定着材として適用する湧水に流されことなく即効果を発揮するウレタン系ロックボルト定着材「KUF(クフ)」があります。

いずれも山岳トンネル工事の補助工法における樹脂系注入材で培われたノウハウと環境保全を優先する技術力を注ぎ込んで開発しています。

減水・止水材  
⇒KOD-M(カバードエム)  
注入用ボルト  
⇒KMPシステム



防水工

防水シート  
⇒スーパーシート  
⇒EMBOシート

ひび割れ箇所、施工目地部  
への漏水対策工

減水・止水材  
⇒KOD-M(カバードエム)

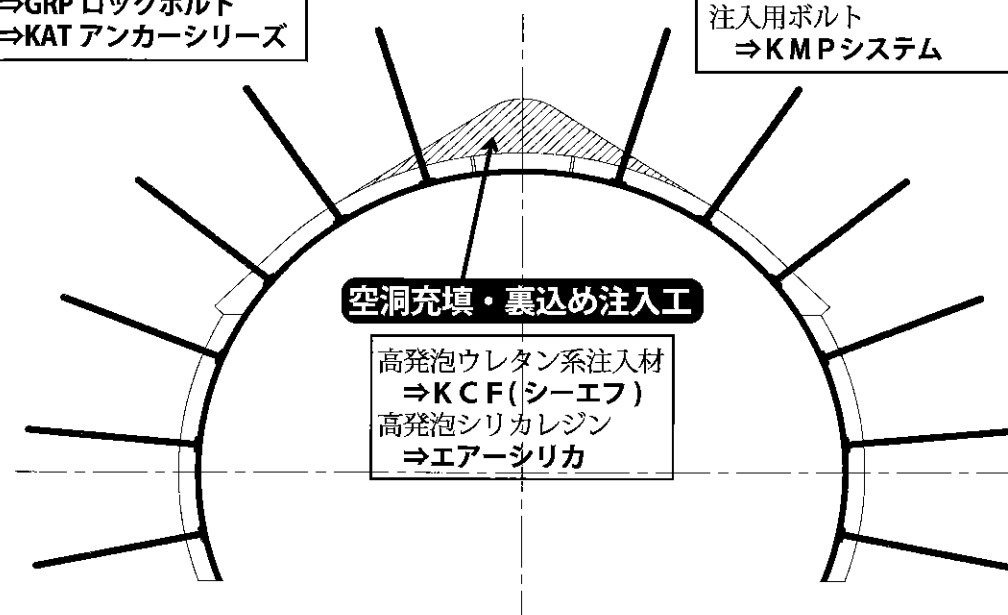
### ロックボルト工

ロックボルト材  
⇒ツイストボルト  
⇒異形棒鋼ロックボルト  
⇒GRPロックボルト  
⇒KATアンカーシリーズ

ウレタン系ロックボルト定着材  
⇒KUF(クフ)  
⇒高強度シリカレジン(SRC)

### 背面注入工

背面注入材(減水止水材)  
⇒KOD-M(カバードエム)  
注入用ボルト  
⇒KMPシステム



空洞充填・裏込め注入工

高発泡ウレタン系注入材  
⇒KCF(シーエフ)  
高発泡シリカレジン  
⇒エアースリカ

### 営業品目

- ・スーパーシート(防水シート)
- ・EMBOシート(防水シート)
- ・高耐力ロックボルト
- ・ロックボルト定着材
- ・減水止水材(KOD-M)
- ・各種注入材
- ・濁水処理設備
- ・アルカリフリー型液体急結材AFK-777J
- ・ツイストボルト/異形ロックボルト
- ・GRPロックボルト
- ・空洞充填材(高発泡ウレタンKCFシリーズ)
- ・切羽対策工全般
- ・コンクリート被膜養生剤クラテキュア
- ・建設資材全般

# KATECS

株式会社 カテックス  
建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.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

R²C(スクエアール)工法研究会 事務局(株)カテックス 内 TEL) 052-331-3997

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

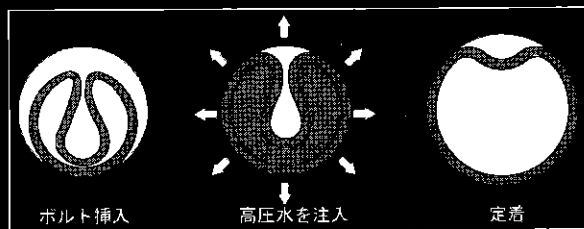
高耐食性めっき「ZAM」鋼管を採用した膨張型摩擦式ロックボルト

# RPE ROCKBOLT

RUST PROOFING EXPANSIVE RPE ロックボルト

## 「鋼管膨張型摩擦式ロックボルトの進化形」

即効性、耐湧水性、定着材不要による省力化。  
高耐食性めっきによる半永久的な機能が期待できます。<sup>※1</sup>



※1 地山条件によってめっき層の寿命は大きく変動します。

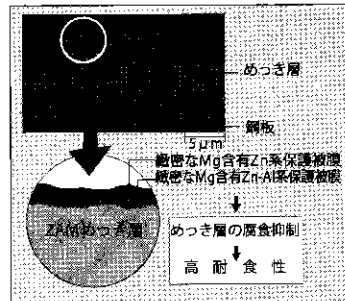
### ①「RPE ロックボルト」の特徴

- ・ 施工後、直ちに地山支保性能を発揮します。
- ・ 摩擦抵抗による定着のため、定着材は不要です。
- ・ 定着材の養生が必要ないため、湧水時にも使用できます。
- ・ 定着材の空袋が発生しないことから産業廃棄物の低減が図れます。
- ・ 「ZAMめっき」は、他の亜鉛めっきと比較し、硬度が高く傷が付きにくいめっき構造です。また、施工時の膨張によるめっき層の剥離はありません。
- ・ pH4~12の地山条件において優れた耐食性を発揮します。
- ・ 耐力 180kN タイプには高張力鋼を使用、軽量化により取り扱いが容易です。

・「ZAM」は、日新製鋼株式会社の登録商標です。

・「ZAM」は、日新製鋼株式会社が開発した溶融亜鉛 Zn-アルミニウム Al-マグネシウム Mg 合金めっき鋼板の商品名です。

### ◎ZAMの耐食機構



### ②「RPE ロックボルト」の仕様

#### ■ RPE ロックボルトの種類

種別	RPE120	RPE180
耐力(kN)	120以上	180以上
推奨穿孔径(mm)	φ45~φ51	φ45~φ51
鋼種	NTRB-400	NTRB-540
本体外径(母材鋼管)(mm)	φ36(φ54×2.0t)	φ36(φ54×2.3t)
単位質量(kg/m)	2.6	2.7
破断伸び(%)	35以上	20以上
標準長さ(m)	(2.0)3.04.0(6.0)	3.04.06.0

※標準長さの( )内は、受注生産になります。



(RPE ロックボルト施工状況)

**KPC** 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部: 東京都港区芝公園2丁目4番1号 TEL 03-6402-8251  
大阪土木営業部: 大阪市北区西天満3丁目2-17 TEL 06-6363-1884  
技術部: 東京都港区芝公園2丁目4番1号 TEL 03-6402-8256

損傷を目視で確認できる防水シート

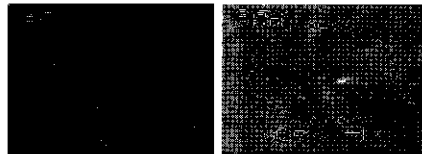
# シグナルシート

NETIS 登録番号  
KK-100083-A

防水層に「シグナルレイヤー」を設けることにより目視で傷を容易にチェックできます。



(シグナルシート施工状況)



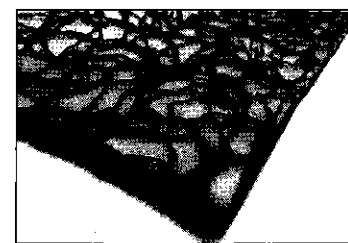
通常のシートに比較し、通常の明かりにおいて目視で  
たやすく損傷が確認できます。



## 「立体網状体」による高排水機能

# 立体網状体付き長繊維不織布

「立体網状体」の効果により、抜群の排水性能を発揮します。

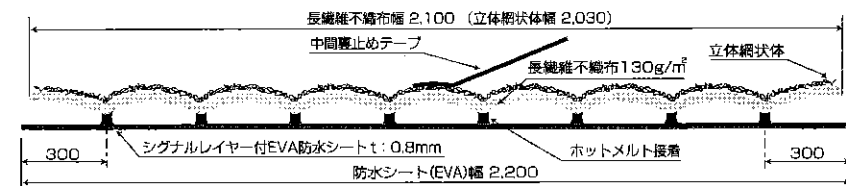


「立体網状体付き長繊維不織布」は通常の厚さ3mmの不織布に比較して約40倍の排水性能を有します。

排水能力比較結果 (試験方法 ISO12958 準拠)

商品名	ハイバネルSSシート SS-8030	ハイバネルシグナルシート SGP-8013/20
	不織布3mm	立体網状体付き長繊維不織布
載荷重 0.05MPa	0.0354L/10分	1.3670L/10分
0.10MPa	0.0180L/10分	0.8030L/10分

### 「シグナルシート」と「立体網状体長繊維不織布」の組み合わせ

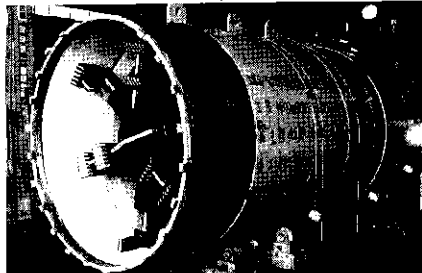


**KPC** 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部: 東京都港区芝公園2丁目4番1号 TEL 03-6402-8251  
大阪土木営業部: 大阪市北区西天満3丁目2-17 TEL 06-6363-1884  
技術部: 東京都港区芝公園2丁目4番1号 TEL 03-6402-8256

# 超流バランスセミシールド工法 超流セミシールド協会

貫入リング押出し回転切削型接合法



φ1500mm 貫入リング回転切削型掘進機(接合切削時)

- ① 人孔直接到達
- ② 到達作業省略形
- ③ 到達地盤改良省略
- ④ 急曲線・高深度施工

### 貫入リング回転切削型接合法の特徴

- 呼び径φ800~φ1500に対応可能(それ以上はMELIT)
- PC・RC・鋼製セグメント等の既設構造物を直接切削接合可能
- 大規模な到達地盤改良が不要(掘進機内注入可)
- 人孔等の直接到達後、内部駆動装置を発進側へ迅速に引戻しが可能(駆動装置引き戻し再設置可能)
- 急曲線・高深度施工に対応可能
- 軟弱層~玉石・砂礫層に対応可能

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法



φ1016mm鋼管対応リターン回収機能付掘進機

- ① 地下水位以下の施工が可能
- ② 高水圧対応
- ③ 長距離・曲線施工
- ④ 到達立坑不要

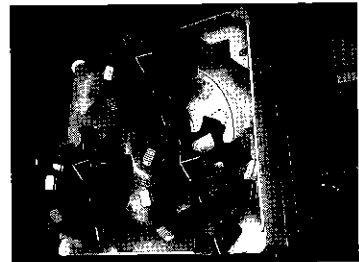
### 密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法の特徴

- JIS鋼管φ812~φ1216に対応可能(角鋼管も対応可能)
- 密閉型掘進機のため、高水圧下においても施工可能
- 長距離・急曲線推進が可能
- 軟弱層~粘性土層~硬質土層に対応可能
- 到達回収立坑がない場合でも、迅速な引き戻し回収が可能

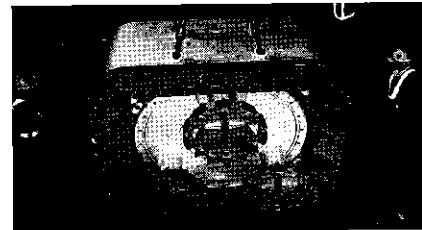
# ボックス推進工法

ボックス推進工法協会 NETIS QS-100019-A

多軸自転・公転掘進機(内空寸法□3000×3000)



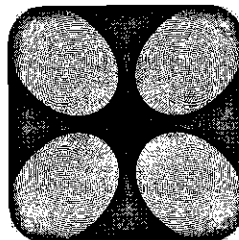
多軸自転・公転掘進機(内空寸法□2800×1800)



- ① 経済性
- ② 工期短縮
- ③ 狭路施工技術
- ④ 地表面への影響低減
- ⑤ 短距離からの施工

### ボックス推進工法の活用例

- 電力回路や通信回路の構築
- 開かずの踏切の解決策として、軌道下の人道通路の構築
- 高速道路路盛土区間の横断通路の構築
- 必要流量を確保した下水函渠・雨水函渠の構築
- 先受け大断面アンダーパス工事の構築



カッタービット軌跡

### ボックス推進工法の特徴

- 低土被り推進が可能
- 長距離・曲線推進が可能
- PC・RCボックスカルバート函体および角鋼管に対応可能
- 密閉型のため切羽の安定性に優れ、地山の緩みを防止可能
- 高トルク掘進機のため、多様な土質に適用可能
- 工場製品のボックスカルバート函体を直接推進するため、迅速な施工が可能

協会事務局・技術本部 株式会社 アルファシビルエンジニアリング

αCIVIL

〒812-0015福岡市博多区山王1丁目1番18号  
TEL (092) 482-6311 FAX (092) 482-6363  
E-mail: arfa@oregano.ocn.ne.jp  
URL: http://www.alpha-civil.com

建設コンサルタント登録番号: 建23第6677号  
測量登録番号: 登録第(2)-30507号  
建設許可番号: 国土交通大臣許可(特-第)19193号

※各工法協会会員名簿については、ホームページをご参照下さい。

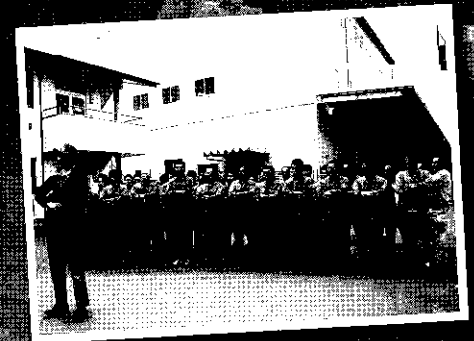


大型集じん機 300台!  
送風機 650台!  
世界最大の換気設備保有メーカー!

いままでにない技術。いままでにない挑戦。

# なんとかする力

「トンネル環境」のトータルソリューションは当社へお任せください。



1977年創業から、平素よりお世話になっております。  
昨年10月、39期より西村司が代表取締役社長に就任し、新しい「風」とともに全社員一丸で邁進しています。  
手に握めない「流」体を「機」械で「エンジニアリング」する会社として、様々な分野の『最適環境の創造』をして参ります。

最適環境を創造する  
株式会社 流機 エンジニアリング

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



コンクリートの劣化、欠陥箇所の改修、補修……

急硬性改修モルタル

# ドクターQ改修工法

〈工期短縮、即日仕上り〉

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

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

エアモルタル裏込め注入……

## エスコート L & K 起泡剤

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



◆ 土木資材の総合プランナー ◆



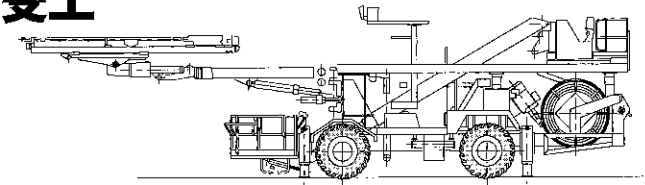
株式会社 マーイル

〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16  
TEL 03(3927)1331(代)

## 環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

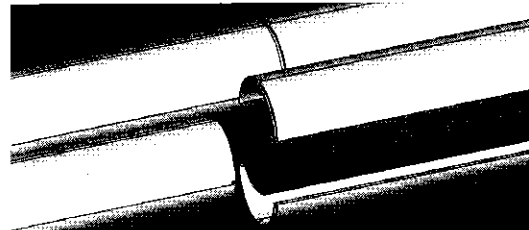
All Ground Fastening;  
Long-Distance, Fore-Filling Method



### 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。



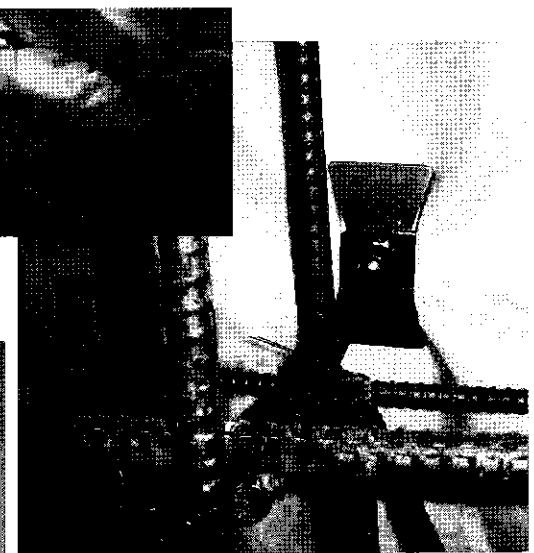
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

### 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>

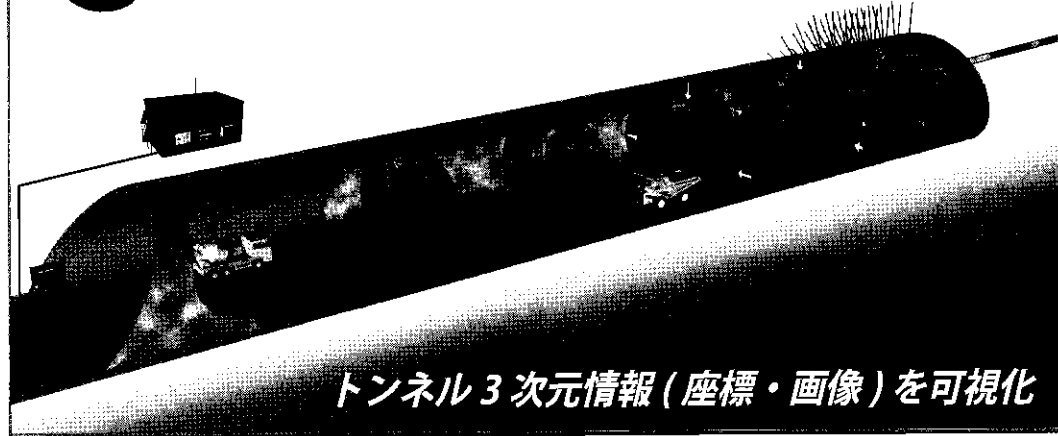
株式会社 トーキョーオール

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

# トンネルCIM元年 2015



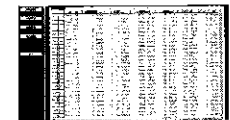
3D可視化プラットフォームによる  
CIM Communication (情報共有・一元管理)



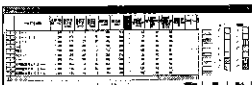
トンネル3次元情報(座標・画像)を可視化

## 基礎資料の収集

モデル作成に必要なデータや管理したい調査データを収集します。



線形情報(設計)



支保パターン情報(設計)



CyberNATM

## 1 初期モデルの作成

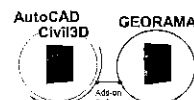
基礎資料をもとにCivil3D/GEORAMAを利用してモデル化を行います。



初期構造モデル



初期地盤情報モデル



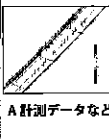
AutoCAD Civil3D GEORAMA

## 2 施工モデルの作成

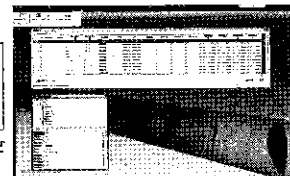
計測データや施工属性データをモデル化に反映し、日々の工事状況を可視化、管理していきます。



観測データ



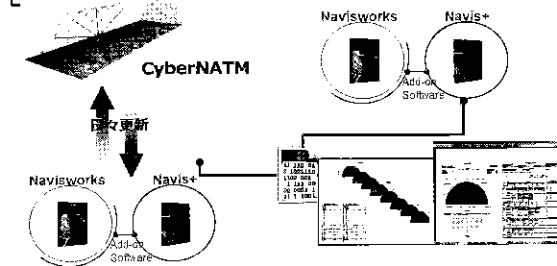
A計測データなど



CyberNATM

## 3 維持管理モデル

施工時に作成したモデルを利用して維持管理側でも利用します。追加の情報はエクセル等を用いて、その都度更新が可能です。



現在稼働中も含めて多数の実績があります。CIMに関する相談は、下記にお問い合わせ下さい。



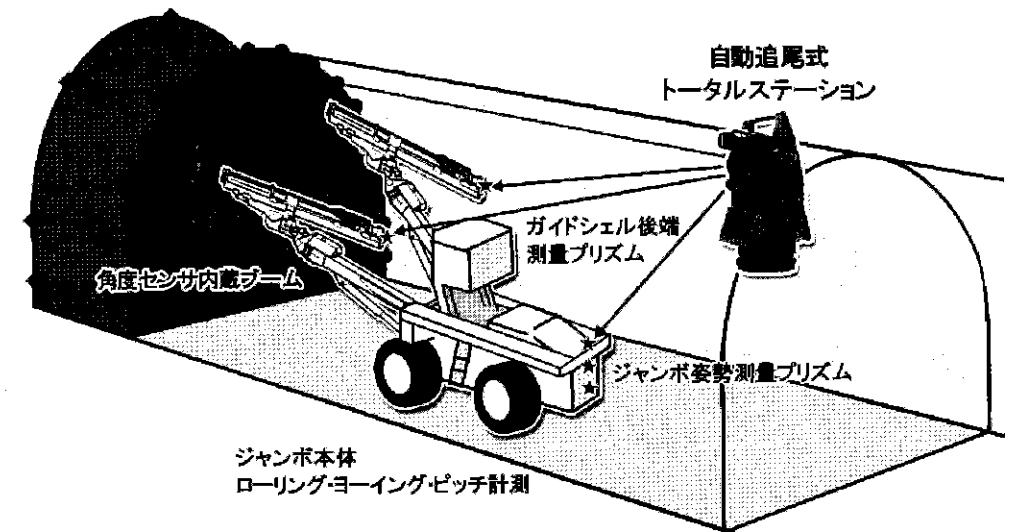
株式会社 演算工房  
■本社 〒602-8268 京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町 237 番地 3  
TEL: 075-417-0100 FAX: 075-417-0200

NETIS登録番号:KK-100049-A

# 自動追尾式余掘り低減システム

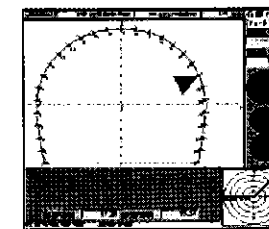
国土交通省 公共工事等における新技術活用システム「NETIS」に登録。

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



ジャンボ本体  
ローリング・ヨーイング・ピッチ計測

## ■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. ガイドシールの後端のターゲットを自動追尾することにより常に高い精度を得る事ができます。
3. 自動測量により本体セットアップが簡単に行なえます。
4. 操作方法が簡単でオペレータへの特別な教育を必要としません。

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご利用は

**MAC** マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

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

**FRD** 古河機械金属グループ  
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

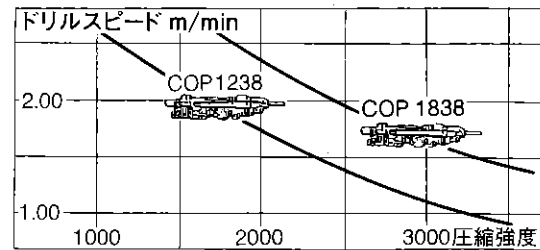
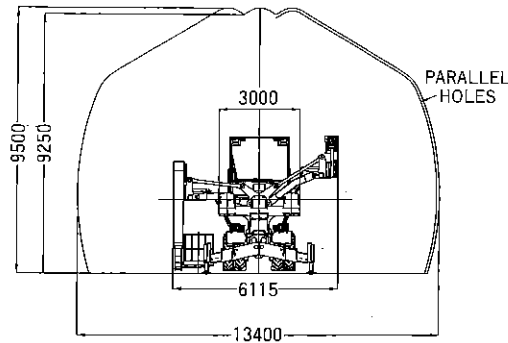
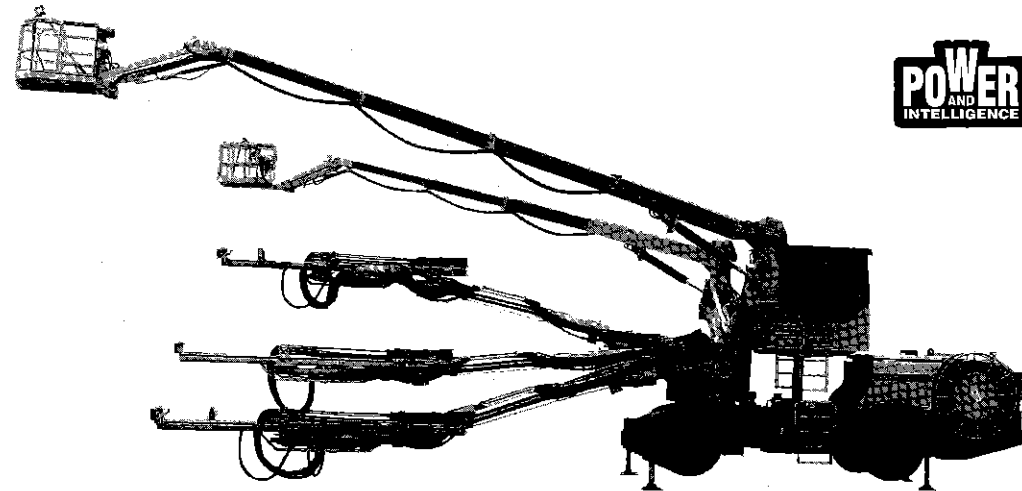
TEL:03-3231-6966 FAX:03-3231-6993

# アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

## The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B

### COP1838油圧ドリフター搭載

### 3ブーム・2バスケット



## ドリルマシン株式会社 DRILL MACHINE CO., LTD.

本社 〒116-0014 東京都荒川区東日暮里6-16-8 桂ビル5階  
TEL (03) 3806-3377 番 FAX (03) 3806-8461 番  
関西支店 〒657-0864 兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4  
TEL (078) 802-5551 番 FAX (078) 802-5528 番  
東北営業所 〒024-0055 岩手県北上大堤南2-1-36  
TEL (0197) 72-7416 番 FAX (0197) 72-7418 番  
九州営業所 〒830-0021 福岡県久留米市篠山町12-3-301  
TEL (0942) 27-5992 番 FAX (0942) 27-5993 番  
兵庫工場 〒679-1332 兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端454-3  
TEL (0795) 36-0461 番 FAX (0795) 36-0467 番

## 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78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

月刊推進技術 編集室 〒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

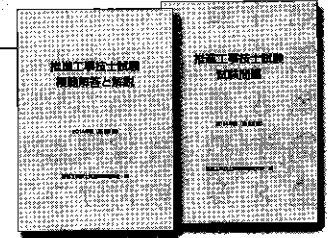
### 推進工事技士試験 過去13年間(平成14~26年度)

## 試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編

推進工事技士試験は、推進工法に係わる技術、技能を適正に認定することを目的に(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。



平成26年度版発売中!!

#### 1. 内容と特長

- 過去13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。

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

〒135-0033 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

# 山岳トンネル設計の考え方



東京都立大学名誉教授

今田 徹 著



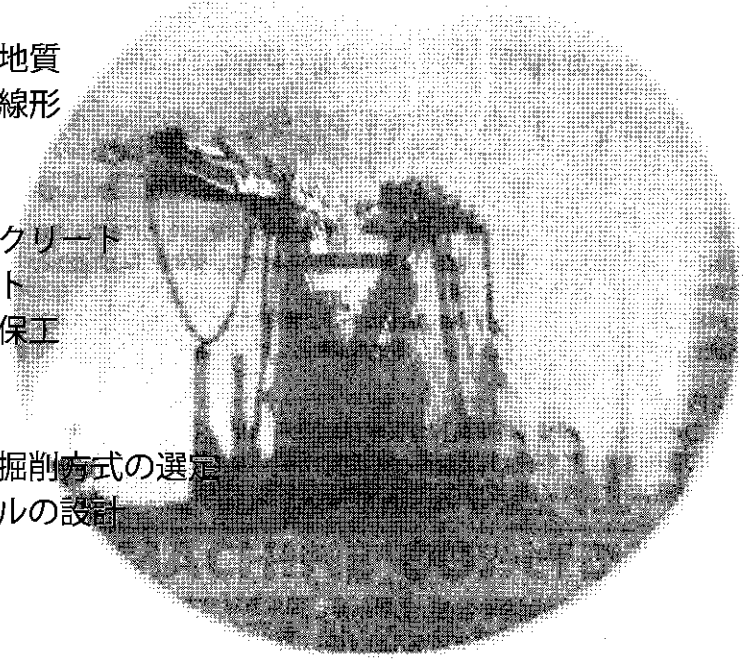
B5判 183頁 上製本 定価3200円+税

山岳トンネルを設計するうえでの考え方は勿論、設計の留意点などを平易にまとめている。

山岳トンネル工事に携わる諸兄の必携書である。

## 《主要目次》

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



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



株式会社 土木工学社

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

技術提案・創意工夫

## ジャンボで検層 プラスαの提案

従来の削孔検層では、排泥水からの土質サンプリングや削孔エネルギーデータの取得情報等により地山状況を想定・判断していましたが、当システムでは削孔検層を実施した際、ポアホール内にファイバースコープカメラを挿入する事で、より確実に地山状況を可視化し判断する事が出来ます。現場・地山状況により、最適な削孔ツール・資機材を選定提案し施工しますので、幅広い状況に対応します。

- ・ジャンボでの削孔検層による前方地山の可視化。
- ・切羽安全性の事前評価材料。
- ・補助工法の採用検討材料。
- ・削孔検層データとの複合的な評価材料。
- ・湧水発生箇所の特定材料。
- ・静止画もしくは動画にて撮影、保存が可能。
- ・技術提案、創意工夫。



ポアホール確認状況

カメラ機材

※地山の状況によっては、カメラ・ケーブルを挿入出来ない可能性もあります。

※ポアホールカメラではありませんので、ポアホール側面を円周状に捉える事は出来ません。

### 《取り扱い商品》

- ・削孔ツール全般
- ・空撮装置(マルチコプター)
- ・トンネル入出坑、坑内管理システム
- ・振動・騒音自動監視警報システム
- ・建設資材全般
- (吊鉄銚金具、コンクリート養生マット、安全用品、工具、他)
- ・長尺水垢き鋼管削孔システム
- ・LED照明
- ・ダンプ運行管理システム
- ・補助工法注入管理



### 《問い合わせ先》

株式会社アローズ 代表取締役佐川和夫  
Mobile: 080-1604-1097 (365days 24h OK)  
〒168-0064 東京都杉並区水碓2-36-4-107  
TEL: 03-3267-7089 FAX: 03-6800-2163  
E-mail: k.sagawa@arrows-sgw.com  
URL: www.arrows-sgw.com

# 道路,トンネル設計 (本体工,換気,防災,照明,施工管理他)

## トンネル現場診断



## 株式会社 ロード・エンジニアリング

会長 長田 島 利 男 代表取締役社長 清水 洋(技術士)  
(技術士・土木学会フェロー会員)  
常務取締役 堀内 浩三郎(工學博士) 大阪支店長 亀甲谷 義高(技術士)

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



# 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。

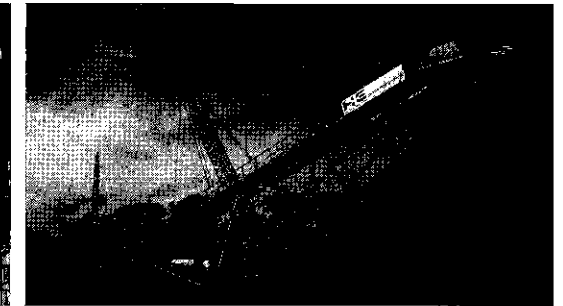
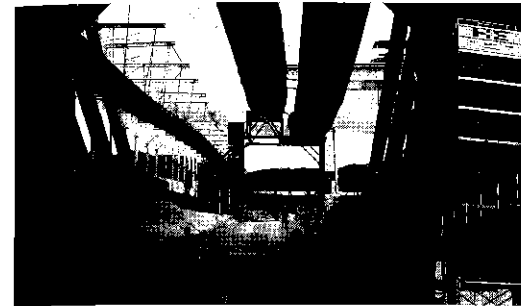
オリカ社は、日々直面するチャレンジに対する方策を見出す為に、全世界の技術研究所と技術力を使って前向きな考え方で取り組んでおります。その成果は電子雷管eDevilや発破デザインソフトであるShotPlus-T また、各種の爆薬に表れておりご理解頂けるものと思います。

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

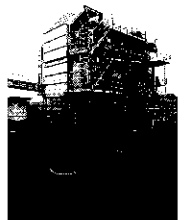


Clever Conveying



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



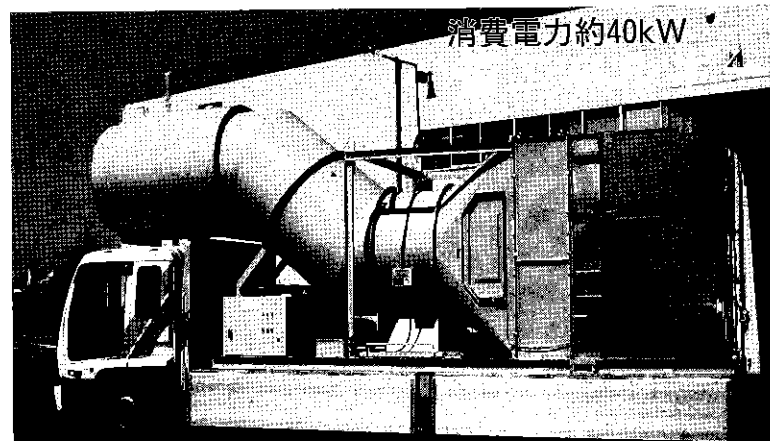
H+E Logistik GmbH  
日本代理店



山崎マシーナリー株式会社

担当：渡邊

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



消費電力約40kW

4t車にらくらく搭載  
軽量コンパクト

※坑内設置例

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



## 取扱レンタル商品

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

株式会社 レント

特機営業課 担当者 工藤

〒134-0093 東京都江戸川区二之江町1409-1 TEL: 03-5667-7803 FAX: 03-3804-6053

URL: <http://www.rent.co.jp> E-mail: [kudo.yuji@rent.co.jp](mailto:kudo.yuji@rent.co.jp)

VOLVO 建設機械

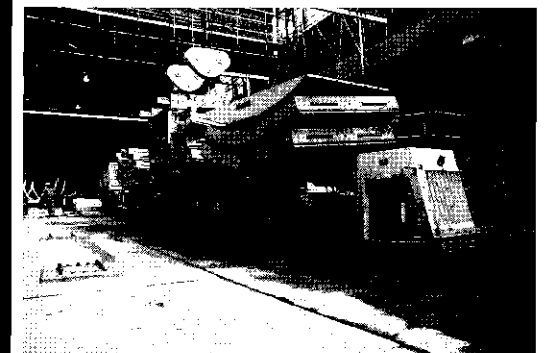


高い作業性とクールなデザインが人気  
年々強化される排ガス規制にも対応



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

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



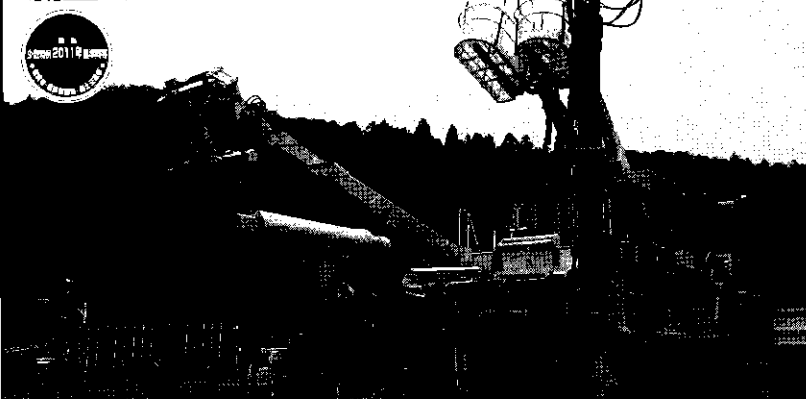
TMS社 日本代理店  
担当：渡邊



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

ゴムクローラ式エレクター付 コンクリート吹付システム  
**『新型スコピオン NSCPI-TN』**



安全・操作性を徹底的に追求した次世代型吹付機！  
 状況に応じキャッチャーやポンプの選択が可能！

項目	仕様	標準	オプション	項目	仕様	標準	オプション
1. 形式	NSCPI-TN	NSCPI-TN	NSCPI-TN	10. バックホウ	標準	標準	標準
2. 長さ	13.5m	13.5m	13.5m	11. バックホウ	標準	標準	標準
3. 重量	2500kg	2500kg	2500kg	12. バックホウ	標準	標準	標準
4. 動力	4000W	4000W	4000W	13. バックホウ	標準	標準	標準
5. 吹付量	1.5m³/h	1.5m³/h	1.5m³/h	14. バックホウ	標準	標準	標準
6. 吹付距離	10m	10m	10m	15. バックホウ	標準	標準	標準
7. 吹付角度	0°	0°	0°	16. バックホウ	標準	標準	標準
8. 吹付速度	0.5m/min	0.5m/min	0.5m/min	17. バックホウ	標準	標準	標準
9. 吹付圧力	0.5MPa	0.5MPa	0.5MPa	18. バックホウ	標準	標準	標準
10. 吹付口径	100mm	100mm	100mm	19. バックホウ	標準	標準	標準
11. 吹付長さ	10m	10m	10m	20. バックホウ	標準	標準	標準
12. 吹付径	100mm	100mm	100mm	21. バックホウ	標準	標準	標準
13. 吹付速度	0.5m/min	0.5m/min	0.5m/min	22. バックホウ	標準	標準	標準
14. 吹付圧力	0.5MPa	0.5MPa	0.5MPa	23. バックホウ	標準	標準	標準
15. 吹付口径	100mm	100mm	100mm	24. バックホウ	標準	標準	標準
16. 吹付長さ	10m	10m	10m	25. バックホウ	標準	標準	標準
17. 吹付径	100mm	100mm	100mm	26. バックホウ	標準	標準	標準
18. 吹付速度	0.5m/min	0.5m/min	0.5m/min	27. バックホウ	標準	標準	標準
19. 吹付圧力	0.5MPa	0.5MPa	0.5MPa	28. バックホウ	標準	標準	標準
20. 吹付口径	100mm	100mm	100mm	29. バックホウ	標準	標準	標準
21. 吹付長さ	10m	10m	10m	30. バックホウ	標準	標準	標準
22. 吹付径	100mm	100mm	100mm	31. バックホウ	標準	標準	標準
23. 吹付速度	0.5m/min	0.5m/min	0.5m/min	32. バックホウ	標準	標準	標準
24. 吹付圧力	0.5MPa	0.5MPa	0.5MPa	33. バックホウ	標準	標準	標準
25. 吹付口径	100mm	100mm	100mm	34. バックホウ	標準	標準	標準
26. 吹付長さ	10m	10m	10m	35. バックホウ	標準	標準	標準
27. 吹付径	100mm	100mm	100mm	36. バックホウ	標準	標準	標準
28. 吹付速度	0.5m/min	0.5m/min	0.5m/min	37. バックホウ	標準	標準	標準
29. 吹付圧力	0.5MPa	0.5MPa	0.5MPa	38. バックホウ	標準	標準	標準
30. 吹付口径	100mm	100mm	100mm	39. バックホウ	標準	標準	標準
31. 吹付長さ	10m	10m	10m	40. バックホウ	標準	標準	標準
32. 吹付径	100mm	100mm	100mm	41. バックホウ	標準	標準	標準
33. 吹付速度	0.5m/min	0.5m/min	0.5m/min	42. バックホウ	標準	標準	標準
34. 吹付圧力	0.5MPa	0.5MPa	0.5MPa	43. バックホウ	標準	標準	標準
35. 吹付口径	100mm	100mm	100mm	44. バックホウ	標準	標準	標準
36. 吹付長さ	10m	10m	10m	45. バックホウ	標準	標準	標準
37. 吹付径	100mm	100mm	100mm	46. バックホウ	標準	標準	標準
38. 吹付速度	0.5m/min	0.5m/min	0.5m/min	47. バックホウ	標準	標準	標準
39. 吹付圧力	0.5MPa	0.5MPa	0.5MPa	48. バックホウ	標準	標準	標準
40. 吹付口径	100mm	100mm	100mm	49. バックホウ	標準	標準	標準
41. 吹付長さ	10m	10m	10m	50. バックホウ	標準	標準	標準

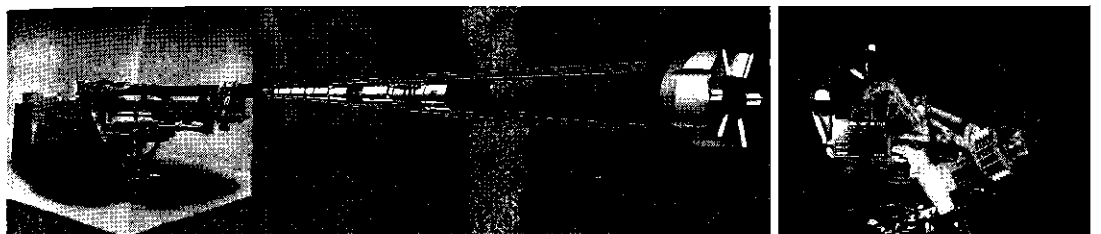
**T&M**  
 Tunnel & Mining  
 ニシオティアンドエム株式会社  
 山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業  
<http://www.nishio-tm.co.jp>

- 〒569-0896 大阪府高槻市唐崎西2-26-1
- 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
  - 浜松営業所 TEL:0538-66-0166
  - 西日本支店 TEL:072-677-2101
  - 九州支店 TEL:0982-26-2111
  - 福岡営業所 TEL:092-976-6331

**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**

- 断層破砕帯や湧水をとまなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実にこなえ、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。



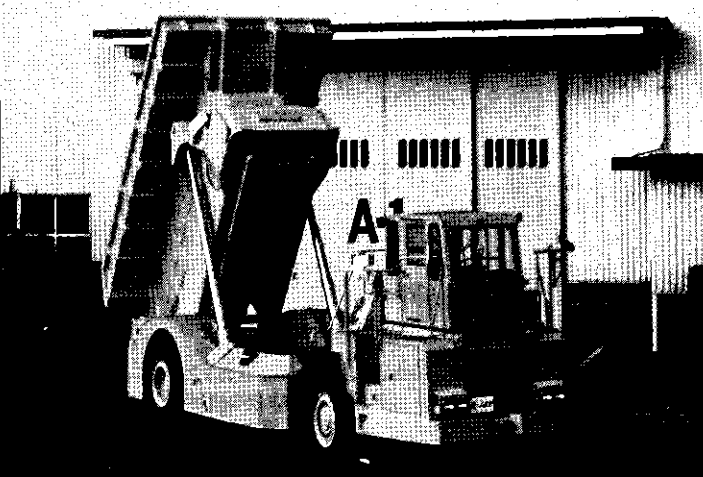
**KOKEN 鉦研工業株式会社**  
 本社 〒171-8572 東京都豊島区高田2丁目17番22号 目白中野ビル1階  
 TEL(03)6907-7888(大代表) FAX(03)6907-7527

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) 275-8877 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

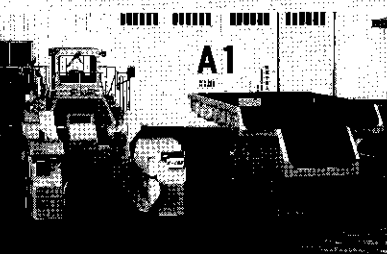
**MIWA K-40N KIRUNA**

**K-40Nトンネルズリ運搬車**  
 オフロード法 2014年排出ガス基準適合エンジン搭載車



**最新型コンテナ式運搬車**

- 特徴
1. 工期短縮
  2. 運搬車両台数の削減
  3. 坑内作業環境の向上
  4. ズリ搬出制約の対応
  5. 多目的使用



MIWA 三輪運輸工業株式会社  
 流れすみやかに | トランスポート・イノベーション ミワ・システム車両

本社 〒651-0072 神戸市中央区臨浜町 2-1-16  
 TEL:078-251-5001 FAX:078-251-4525  
 プログラムカンパニー 〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島 39  
 TEL:079-435-5115 FAX:079-435-1565  
<http://www.miwa-gr.co.jp>

【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

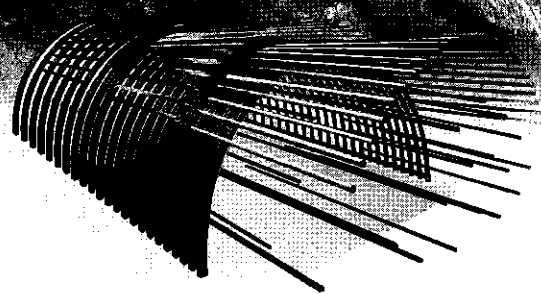
- 序編 トンネルと地質の関わり
1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質
- 第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学
1. 地球の構造 2. 地層や岩石の分類 3. 地質作用 4. 地質構造 5. 地形と地質との関わり 6. 日本の地質 7. 地下水
- 第II編 トンネル工事と地質条件
1. 路線選定と地質条件 2. トンネル工法・掘削工法と地質条件 3. 掘削方式と地質条件 4. トンネル掘削に伴う地質的現象
- 第III編 地質調査法
1. 地形・地質調査一般 2. 既存資料調査 3. 空中写真判読 4. 地質踏査 5. 弾性波探査 6. 電気探査 7. その他の物理探査法 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 土木工学社**

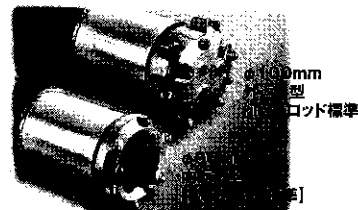
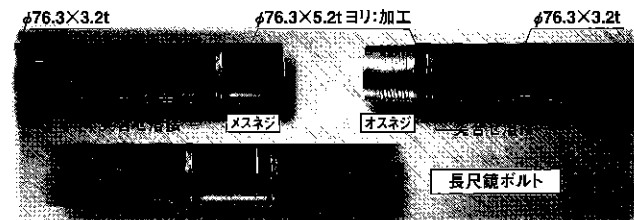
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂  
 電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072

# ユニークな発想でVEを提案



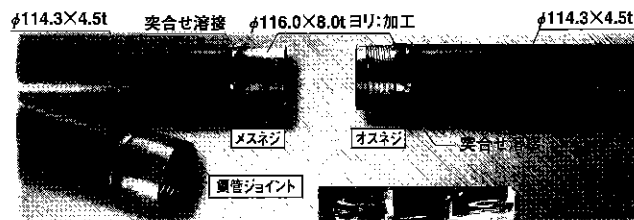
## ロストロング FIXチューブ(S型)

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



## AGF-STD工法

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

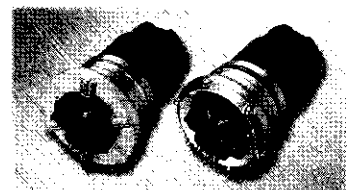
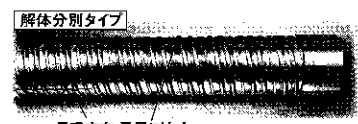


曲げ耐力30%UP!!



(報告書あります) 接続部の抗折力試験

### 撤去管の選択



呼称	鋼管径	スリット径
100A	φ114.3	φ124

## 注入材・その他工法

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



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

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2  
TEL:072-990-0250 FAX:072-990-0251

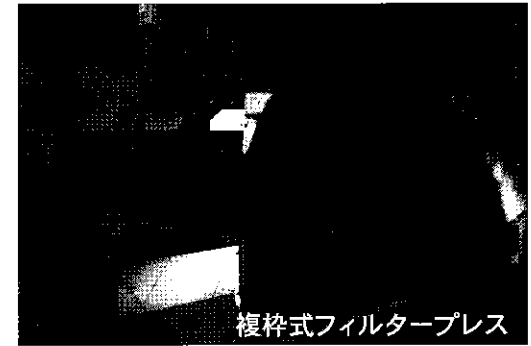
http://www.st-eng.co.jp

# 濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

## 環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ 小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0m<sup>3</sup>/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

### 【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

### 《汎用車両全般》



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



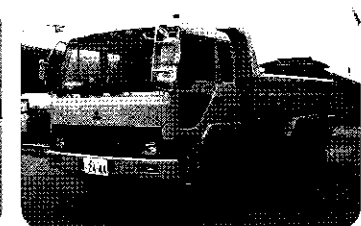
10T ミキサー



4.5mベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T 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 富山市飯野 12-1 TEL (076)452-1616(代) FAX(076)452-1617

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻頭言

待ったなしの国土強靱化

生木 泰秀.....5

■研究

低強度地山における全断面早期閉合工法に関する実証的研究

佐藤 淳・楠本 太・今田 徹・西村 和夫.....53

■計画

内部補強と外部補強を組み合わせたシールドトンネル変状対策(設計編)

—みなとみらい線 高島トンネル—

杉山 伸康・蘭 康則・神保 誠二.....31

■施工

可燃性ガス発生のおそれのあるトンネル工事における安全管理

—国道253号 八箇峠トンネル(十日町工区)—

小池 真史・佐藤 剛史.....7

多摩地区における送水管ネットワークの構築を支えたトンネル技術

—東京都水道局 多摩丘陵幹線—

溝口 博文・潮田 賢・藤井 雄輔.....17

**ヤマモト ながいき** 無騒音 無振動 静かな破碎  
 超大型油圧破碎機  
**YTB1120**  
**トンネルビッカー**

**ヤマモトロックマシン株式会社**  
 本社 東京都千代田区丸の内2丁目4番1号 丸の内ビル 903区 ☎(03)3201-0701(代)

工場 広島県庄原市東城町川西424-1 ☎(08477)2-2137(代)

仙台営業所 (022)792-4534(代) 大阪営業所 (06)6531-1571(代) 高知営業所 (088)892-4048(代) 九州営業所 (092)471-0381(代)

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

多摩川を横断する3本目の連絡管シールド

—東京下水道 北多摩二号・浅川水再生センター間連絡管—

北村 隆光・小林 裕・菊池 崇・柴 泰裕.....25

■連載講座

山岳トンネル覆工の長寿命化技術(8)

—覆工の補修・補強(概論)—

「山岳トンネル覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会.....65

■現場だより

豊かな森と清らかな水に恵まれた盛岡より

中島 賢.....15

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

思い出の記 トンネル工事現場より

松村 米紘.....41

■資料

土木情報

編集部.....16

工法・技術・製品ニュース

編集部.....64

トンネルジャーナル

編集部.....30

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会.....77

■会報

会報

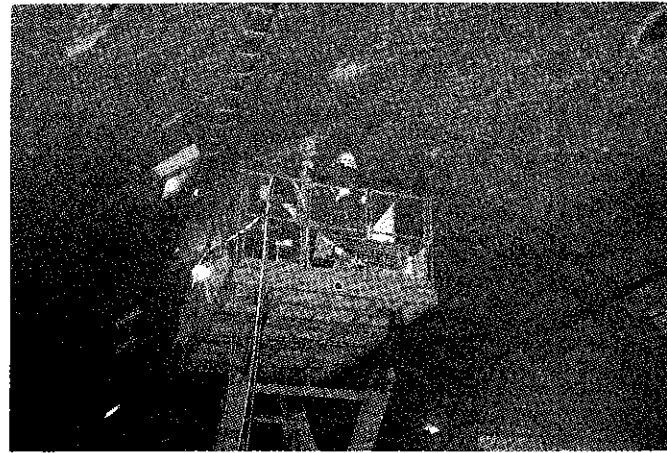
日本トンネル技術協会.....78

【表紙説明】 多摩地区における送水管ネットワークの構築を支えたトンネル技術  
 —東京都水道局 多摩丘陵幹線—

多摩地区における送水幹線は、北部に位置する東村山浄水場や小作浄水場を起点として南方向に樹枝状に整備されてきた。西南部では、都市化の進展に伴う送水幹線の能力が限界に達しつつあり、さらには管路の老朽化も懸念された。また、浄水場や給水所間の相互融通が不十分なため、バックアップが困難な地域が存在するなどの課題を抱えていた。そのため、広域的な送水管ネットワークを構築することを目的として、全線31.6km多摩丘陵幹線を整備した。写真は坑口全景である。  
 (写真提供：東京都水道局)(本文17頁参照)

急結性・高性能裏込注入材  
40倍発泡ウレタン  
**セットフォーム工法**

NETIS CB-040060-V 設計比較対象技術

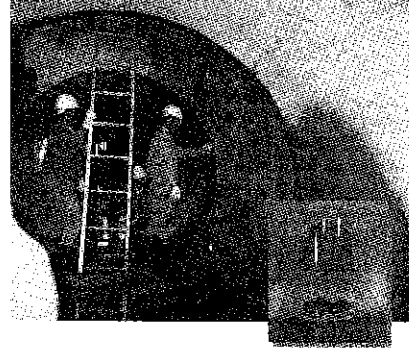


- 既設道路・水路トンネルの裏込注入工法
- シールド急曲線部の裏込注入(即時地盤反力の効果)
- シールド発進到達部の止水

漏水を瞬時にストップ!

**SF-A工法**

長期耐久性に優れた  
無溶剤タイプの  
ウレタン系止水材



- 山岳トンネル、下水道、共同溝、地下鉄、地下室、その他地下構造物の漏水補修
- 地下構造物の背面空洞の充填
- 地盤や岩盤の止水、および固結安定

ケミカルフォーム協会会員

アルス株式会社	〒950-0944	新潟市中央区愛宕 1-4-25	TEL 025-280-0337
株式会社内田工業	〒332-0032	埼玉県川口市中青木 2-12-2	TEL 048-257-0848
エコシビックエンジニアリング株式会社	〒135-0047	東京都江東区富岡 1-12-4 み満きビル	TEL 03-3643-7241
エスイーリペア株式会社	〒811-1313	福岡県福岡市南区日佐 5-15-24	TEL 092-585-5133
MC山三ポリマーズ株式会社	〒103-0012	東京都中央区日本橋堀留町 1-2-10 イトーピア日本橋SAビル	TEL 03-3662-0253
岡本興業株式会社	〒005-0021	札幌市南区真駒内本町 1-1-1	TEL 011-841-1435
株式会社共和	〒462-0832	名古屋市北区生駒町 7-148-1	TEL 052-911-3984
四国リニューアル株式会社	〒780-0815	高知市二葉町 3-5	TEL 088-878-0050
株式会社シーテクノ	〒371-0017	群馬県前橋市日吉町 3-22-3	TEL 027-235-5498
ショーレジ株式会社	〒104-0032	東京都中央区八丁堀 3-14-4 直平ビル	TEL 03-3551-8391
成和リニューアルワークス株式会社	〒163-0610	東京都新宿区西新宿 1-8-1	TEL 03-5326-0720
株式会社総合開発	〒768-0065	香川県観音寺市瀬戸町 2-14-16	TEL 0875-25-4162
日本綜合防水株式会社	〒171-0022	東京都豊島区南池袋 3-11-10 ベリエ池袋	TEL 03-5950-8211
株式会社デーロス・ジャパン	〒921-8005	石川県金沢市間明 2-70	TEL 076-229-7260
林建設工業株式会社	〒998-0023	山形県酒田市幸町 1-6-6	TEL 0234-23-3322
フジモリ産業株式会社	〒141-0022	東京都品川区東五反田 2-17-1 オールコート大崎マークウエスト	TEL 03-5789-2206
前田産業株式会社	〒755-0032	山口県宇部市寿町 3-5-23	TEL 0836-21-2666
株式会社マシノ	〒733-0822	広島市西区庚午中 1-19-23	TEL 082-507-2737
株式会社松井商店	〒062-0902	札幌市豊平区豊平 2 条 1-1-1	TEL 011-820-8688
株式会社マノール	〒120-0047	東京都足立区宮城 2-4-16	TEL 03-3927-1331
株式会社三原工業	〒531-0074	大阪市北区本庄東 1-22-3 四本ビル	TEL 06-6371-9947

協会事務局

〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 1-2-10 イトーピア日本橋SAビル MC山三ポリマーズ(株)内  
TEL 03-3662-0253 <http://www.chemicalfoam.jp>

製造元 **日清紡ケミカル株式会社** 断熱事業部  
〒289-2505 千葉県旭市鎌数9163-13 TEL 0479-60-3555

総務委員会広報小委員会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

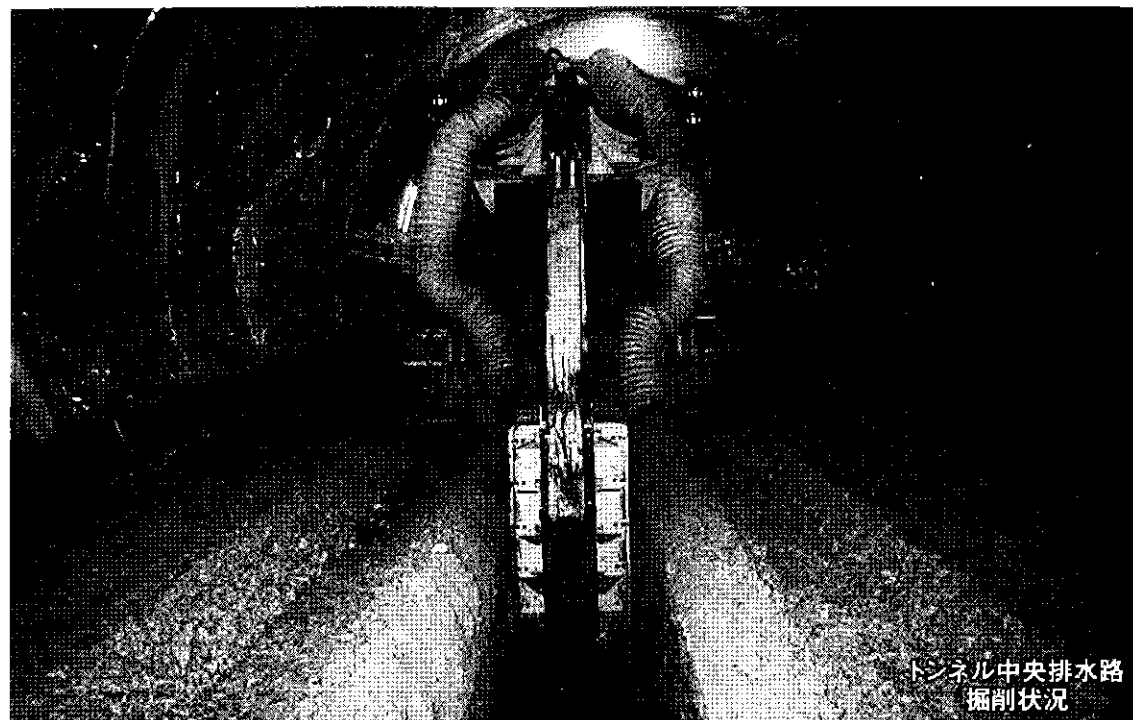
大 島 洋 志 国際航業株式会社技術本部最高技術顧問  
首都大学東京客員教授

〔幹 事〕

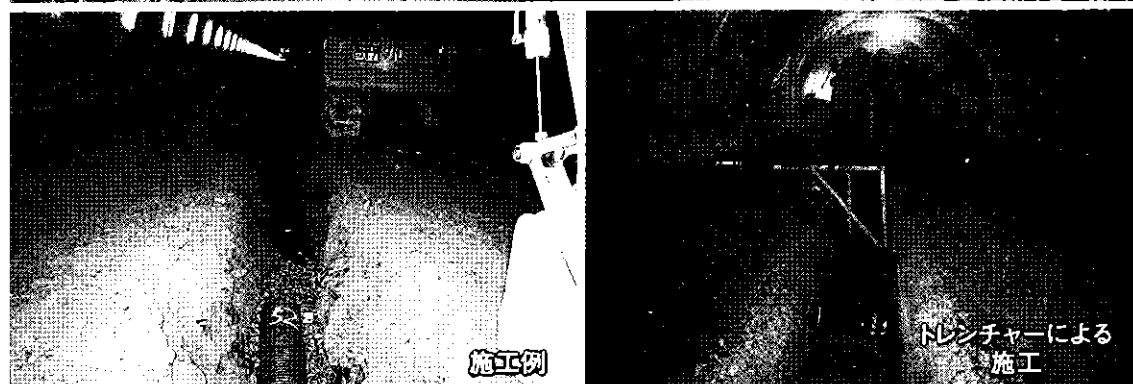
居 相 好 信 株式会社大林組生産技術本部統括部長	西 岡 和 則 鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長 (兼)土木管理本部土木工務部トンネルグループ長
伊 藤 聡 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 改良建設企画課長	藤 井 義 文 株式会社竹中土木常務執行役員
岩 田 美 幸 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	松 原 利 之 飛鳥建設株式会社土木事業本部 エンジニアリング部部长
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長	八 木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当) 道路研究部トンネル研究担当部長
小 松 敏 彦 前田建設工業株式会社土木事業本部土木部 担当部長(トンネル)	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
志 岐 寛 清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部 部長	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

# トレンチャー

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路掘削状況



施工例

トレンチャーによる施工

トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D6	M3
メーカ名	テスメック	テスメック	テスメック
掘削幅 (cm)	60	75	90
掘削岩の硬さ(最大)	500kg/cm <sup>2</sup>	700kg/cm <sup>2</sup>	800kg/cm <sup>2</sup>
重量 (t)	36	40	40
長さ (m)	13.0	10.8	11.2
幅 (m)	2.5	3.2	2.67
高さ (m)	3.30	2.86	3.41
エンジンの出力 (PS)	300	402	350

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

## 編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

### 〔編集委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社技術本部最高技術顧問  
首都大学東京客員教授

### 〔編集参与〕

木谷 日出男 国際航業株式会社フェロー技術本部 土木地盤研究担当	高橋 良文 東京都下水道サービス株式会社技術顧問
小山 幸則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授	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 (株)ネクスコ東日本エンジニアリング 常務取締役

### 〔委員〕

家壽田 昌司 東京都下水道局建設部設計調整課長	真下 英人 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部長
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長	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
谷内 雅之 東京都交通局建設工務部計画改良課長	焼田 真司 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室長
中谷 誠一 東京都水道局建設部工務課長	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
沼田 敦 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	綿引 秀夫 東京電力株式会社パワーグリッド・カンパニー 工務部管路・土木技術担当

**W ワールド開発工業株式会社**

●本社/営業部 〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484  
☎(026)213-7024(代) FAX(026)282-5803 <http://www.wkk.co.jp/>

# 最新型・電気集じん機 エコクリーンX

NETIS登録番号 KI-040047-A

このたび、弊社エムシーエムは1999年にクリンジェット1号機を現場納入して以来、培ってきたノウハウを結集し、電気集じん機の大幅な性能アップを図った「エコクリーンX」を開発いたしました。

**極板放電方式**  
放電線をなくし消耗品の削減と断線トラブルの撲滅

**少ない消費電力**  
同クラスのフィルター方式集じん機に比べおおよそ1/4

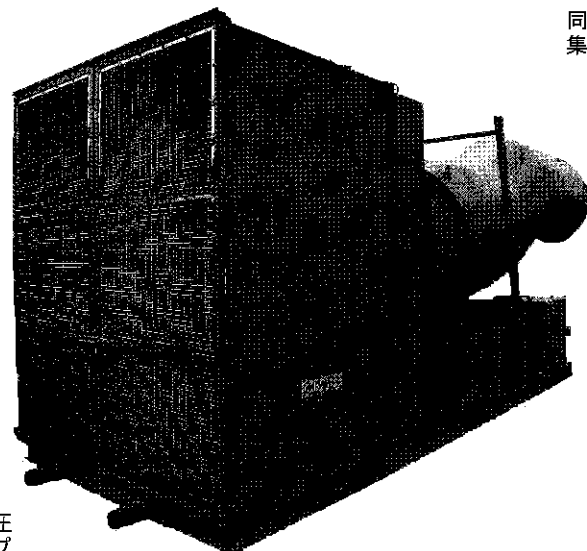
**処理風量**  
750m<sup>3</sup>/minから3000m<sup>3</sup>/minまで製作実績あり

**コンパクト**  
同クラス集じん機の中で最小

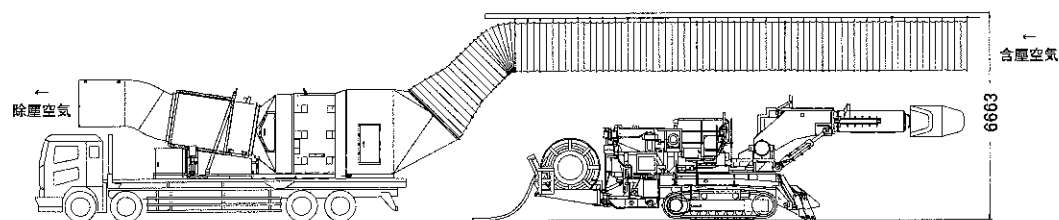
**貯水タンク**  
自動洗浄が随時可能

**高圧電源分割**  
集じんユニット毎の個別電圧印加により集じん効率アップ

**オプション**  
自走クローラ台車  
自走ホイール台車  
伸縮風管...etc.



伸縮風管(軽量型φ1500, φ1600製作実績あり)



伸縮風管接続例

弊社では「エコクリーンX」以外にTBM用吹付け「サブショットシステム」等、多様なトンネル工事用システムを開発ご提供しております。機器に関するお問合せはご遠慮なく下記までどうぞ。



株式会社エムシーエム

<http://www.mcmcm.jp>

本社：愛知県名古屋市天白区植田東2丁目1014番地  
tel.052-804-9633 fax.052-804-1505  
北陸センター：富山県高岡市福岡町下老子43番地2号  
tel.0766-64-0351 fax.0766-64-0352

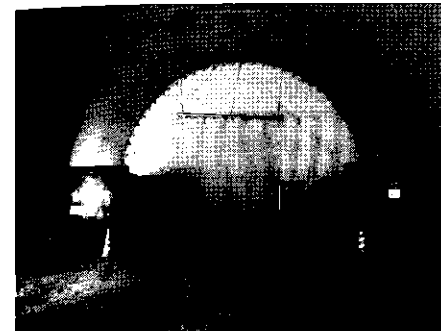
可燃性ガス発生のおそれのあるトンネル工事における安全管理  
—国道253号 八箇峠トンネル(十日町工区)—

大成建設(株) 小池 真史

八箇峠トンネルは延長2,840mの2車線の道路トンネルである。2012(平成24)年5月24日に南魚沼側工区のトンネル坑内でメタンガス爆発事故が発生した。残り750mの本工事(十日町工区)は、可燃性ガス発生のおそれがあるため、トンネル坑内の24時間連続換気、可燃性ガス発生量の予測、可燃性ガスの早期検知、安全教育と避難訓練などの安全対策を講ずることにより無事掘削を終えた。本稿は、本工事で実施した可燃性ガス対策について具体的に報告するものである。

Safety Management in Tunnelling Works with the Possibility of Generation of Inflammable Gas—National Route 253 Hakkatoge Tunnel (Tokamachi Section)—

By Masashi Koike, Taisei Corporation



写真は坑道換気設備

Hakkatoge Tunnel is a two-lane road tunnel of 2,840m in length. There was a methane gas explosion in the tunnel at Minami-uonuma-side section on 24th May, 2012. As there was concern about generation of inflammable gas in the remaining 750 m of these works (Tokamachi Section), We finished to excavate without another accident after conducted safety measures such as 24-hour ventilation in the tunnel, prediction of inflammable gas volume, early detection of inflammable gas, safety training and evacuations drills. This report contains specific information on the inflammable gas countermeasures implemented during these works.

多摩地区における送水管ネットワークの構築を支えたトンネル技術

—東京都水道局 多摩丘陵幹線—

東京都水道局 溝口 博文

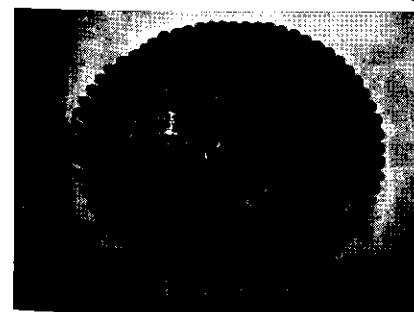
多摩地区における送水幹線は、多摩地区北部に位置する東村山浄水場や小作浄水場を起点として南方向に樹枝状に整備されてきた。西南部では、都市化の進展に伴う送水幹線の能力が限界に達しつつあり、さらには管路の老朽化も懸念された。また、浄水場や給水所間の相互融通が不十分なため、バックアップが困難な地域が存在するなどの課題を抱えていた。そのため、広域的な送水管ネットワークを構築することを目的として、全線31.6kmの多摩丘陵幹線を2つの整備区間に分割し整備した。このうち、延長12.0kmの第一次整備区間(鍾水小山給水所～聖ヶ丘給水所間)は、平成17年度に完成・運用している。

本稿は、このたび完成した第二次整備区間の概要と、多摩丘陵の地形に合わせた急曲線や礫対策など、多様な工法を用いた敷設工事について紹介する。

Tunnelling Technology to Support Water Transmission Network Construction in Tama Area—Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government Tama Hills Main Line—

By Hirofumi Mizoguchi, Bureau of Waterworks, Tokyo Metropolitan Government

The main transmission line in the Tama area has been organized to originate from the Higashi-Murayama and Ozaku filtration purification plants in the north of the area, branching off to the south. In the southwest, the capacity of the main transmission line was reaching its limits due to advancing urbanization and, furthermore, there was concern over deterioration of pipelines. In addition, as mutual interchangeability between purification



写真は1工区シールド到達状況

plants and water stations was insufficient, there were tasks such as the existence of areas in which back-up was difficult. For these reasons, with the goal of developing a wide-area water transmission network, Tama Hills Main Line with total extension of 31.6 km was constructed after divided into two sections. The first section for maintenance was 12.0 km in length (between the Yarimizu-Oyama water station and Hijirigaoka water station) and was completed and went into operation in 2005.

This report contains an outline of the second section for maintenance which was completed this time and installing pipes using various methods such as sharp curves due to Tama Hills topography and measures against gravels.

## 多摩川を横断する3本目の連絡管シールド

—東京下水道 北多摩二号・浅川水再生センター間連絡管—

東京都下水道局 北村 隆光

東京都が建設を進めている北多摩二号水再生センター・浅川水再生センター間連絡管は、両センターの処理機能を相互に融通し、震災時などにおける下水道機能を確保するとともに、効率的な更新や維持管理に活用することを旨とする施設であり、多摩川上流・八王子水再生センター間、北多摩一号・南多摩水再生センター間に次ぐ3本目の連絡管である。

本稿では、連絡管の概要、シールド工法で施工した連絡管工事の概要について報告する。

**Third Connection Pipe Crossing the Tama River—Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, Connecting pipe between Kita-Tama No.2 and Asakawa Sewage Treatment Plants—**



写真は完成したシールド坑内

**By Takamitsu Kitamura, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government**

The connecting pipe between the Kita-Tama No.2 sewage treatment plant and the Asakawa sewage treatment plant is under construction by the Tokyo Metropolitan Government. It is a facility with the aim of making the treatment function of both plants mutually interchangeable and ensuring sewage functions at the time of earthquakes as well as utilizing efficient upgrades and maintenance and operation. This is the third connection pipe after those installed between Tama River upstream and Hachioji sewage treatment plants and Kita-Tama No. 1 and Minami-Tama sewage treatment plants.

This report contains an outline of the connection pipe and the works implemented with a shield TBM.

## 内部補強と外部補強を組み合わせたシールドトンネル変状対策(設計編)

—みなとみらい線 高島トンネル—

横浜市 杉山 伸康

みなとみらい線新高島駅付近のトンネルにおいて、建設直後にその直上で行われたサンドドレーンと盛土の施工に伴い発生した地盤沈下の影響により、一部区間にトンネルの変位、変形が確認されていた。原因は、地盤沈下の影響が複雑な地形や地層条件などによって設計時の想定を上回ったことによるものと推定した。

本工事は、変形したトンネルの恒久的な安全性を確保するため、高圧噴射攪拌工法による外部補強工と、補強区間のうち変形がとくに大きい区間に対して実施した二次覆工による内部補強工を併用したトンネル補強工事である。外部補強および内部補強いずれについても供用中の鉄道トンネルに対する補強工であることから、列車運行の安全性を確保することが最大の課題であった。

本稿では、トンネル補強工事の設計について報告する。

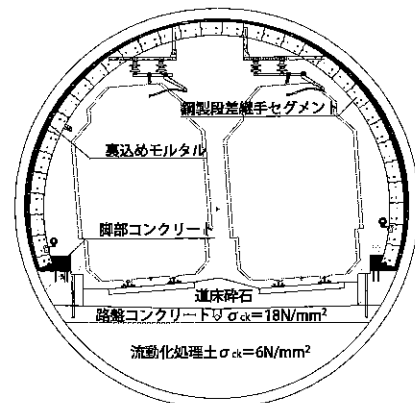
**Measures that Combined Internal and External Reinforcement against Deformation of Shield Tunnel. (Design Phase)—Minatomirai Line Takashima Tunnel—**

**By Nobuyasu Sugiyama, Yokohama City**

Displacement and deformation in one section of the shield tunnel were confirmed in the vicinity of Shin-Takashima Station on the Minatomirai Line. This occurred in connection with ground subsidence caused by the works of sand drains and embankment which was conducted directly above the tunnel straight after completion of the tunnel. The cause of this was assumed that the effects of ground subsidence exceeded the estimations at the design phase due to the complex conditions of topography and geology.

In order to ensure permanent safety in the deformed tunnel, both external reinforcement works using the high-pressure jet mixing technique and internal reinforcement works through a secondary lining implemented for the particularly large deformed section were conducted. As both external and internal reinforcement works were conducted in an in-service railway tunnel, ensuring the safety of operating trains was the highest priority.

This report contains information on tunnel reinforcement works design.



図は内部補強構造構成図

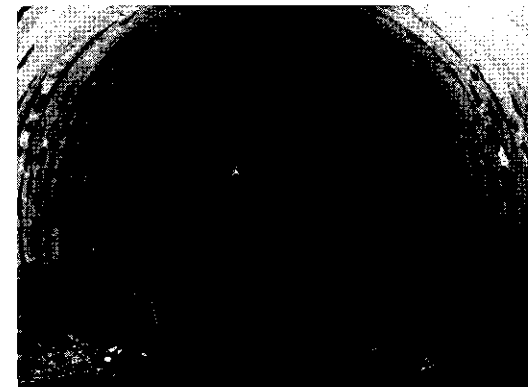
## 低強度地山における全断面早期閉合工法に関する実証的研究

中日本高速道路(株) 佐藤 淳

中部横断自動車道八之尻トンネルでは、地山強度比が0.1を下まわると予想された強風化泥岩地山のトンネル施工に、曲面切羽による全断面早期閉合工法を採用して、グラウンドアーチ形成が困難な押し性地山に施工する山岳トンネルの力学的安定を確保、施工を確実にし、作用土圧推定方法や支保耐荷力設計法および全断面早期閉合工法の有効性を実証した。本報告では、ここで採用した施工法の概要を述べるとともに、これまでに報告されている早期閉合トンネルの力学挙動特性を概括し、地山強度比、早期閉合距離、トンネル形状などの早期閉合トンネルの力学パラメータに関する知見を整理、分析して、合理的な早期閉合トンネル施工方法としてまとめ、提案した。

**Empirical Study of Technique of All Cross-Section Excavation with Early-Building-Invert in Weak Ground**  
**By Jun Sato, Central Nippon Expressway Company Limited**

The Hachinoshiri Tunnel on the Chubu-Odan Expressway was built in the ground of highly weathered mudstone of which competence factor was estimated less than 0.1. We ensured dynamic stability to reliably construct the tunnel in squeezing rock ground in which it is difficult to create ground arch effect by using the all cross-section excavation with curved cutting face and early building invert technique. We substantiated the validity of estimation of the acting earth pressure, estimation of support strength and the technique of all cross-section excavation with early building invert through construction. This report includes the following: outline of the construction, overview of the mechanical behavioural properties of tunnel with early-invert-building that have been reported up to now, summary and analyses about the dynamic parameters of an early-invert-building tunnel such as competence factors, distance between face and building invert, dimensions of tunnel and suggestion of technique for the rational early-invert-building tunnel.



写真は全断面早期閉合施工状況

# 管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

# コンクリートトータル養生システム

セントル型枠

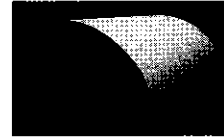
第二養生

第三養生

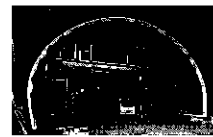
加温しながら初期強度を上げる  
加温養生(型枠)



加温と湿潤を同時に行い品質向上  
加温・湿潤養生



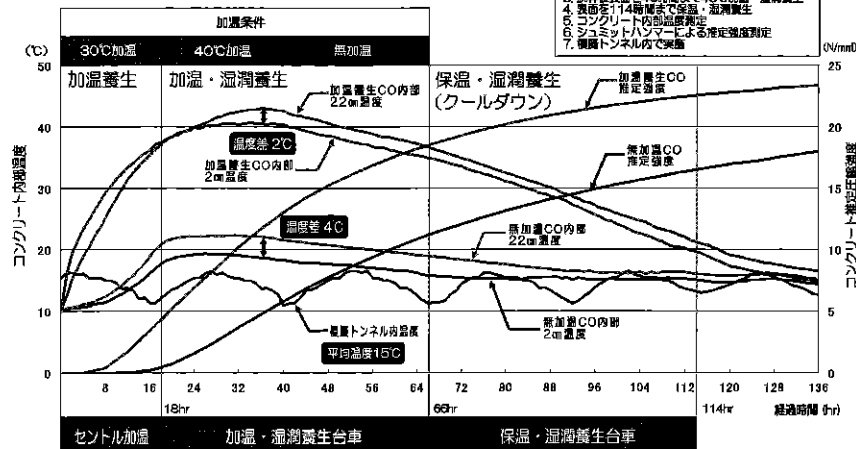
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ  
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理  
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



**岐阜工業株式会社**

本社 岐阜県瑞穂市田之上 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

TOUSU  
株式会社 東 宏

## 巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)

### 待ったなしの国土強靱化



日本国土開発(株)執行役員土木本部技師長

生木 泰秀

「天災は忘れたころに来る」とは明治・大正の学者で随筆家でもある寺田寅彦の有名な警句であるが、彼はさらにさまざまな随筆の中で災害や防災に関する独自の所感や洞察を述べている。

例えば大正11年、関東大震災の発生する1年8か月前、かなり強い地震があったとき、次のように書いている。

「……私の頭の奥のほうで、現代文明の生んだあらゆる施設の保存期限が経過した後起こるべき種々な困難がぼんやり意識されていた。これは昔天が落ちて来はしないかと心配した杞の国の人の取り越し苦労とはちがって、あまりに明白すぎるほど明白な、有限な未来に来るべき当然の事実である。たとえばやや大きな地震があった場合に都市の水道やガスがだめになるというような事は、初めから明らかにわかっているが、また不思議に皆がいつも忘れていた事実である。……」(寺田寅彦随筆集第一巻「断水の日」東京・大阪朝日新聞)

このころにおいて、すでに彼は宝永、安政地震について「東海、東山、北陸、山陽、山陰、南海、西海諸道ことごとく震動し……」と述べ、連動型の地震であったと分析しているようだ。

技術や文明が進み、都市部に人口が集中するにつれ、地震による被害は人口密度の低い江戸時代以前に比べ、格段に甚大なものになる。だが肝心のわれわれの意識は、喉元過ぎて熱さを忘れる状況であることは否定できない。行政、メディアを含めた大多数の国民の切迫感の薄さと覚悟の曖昧さは寺田翁でなくても憂いたくもなろう。ただここ数年の日本列島周辺の火山活動の活発化や、くり返される「経験したことのない集中豪雨」が、ある程度天災に対する人々の関心を高め、将来への警告となれば不幸中の幸いではあるが。

一方、引用文の中では同様の危機が、規模は違っても広範囲で、静かにかつ確実に進行するであろうことも示唆している。インフラの老朽化である。これも「来るかしのない地震災害」と軌を一にして、誰もがインフラのメンテナンスに無関心なまま、時間が過ぎてきた。

いまや、わが国の社会資本整備のためストックされてきたコンクリート構造物の量は90余億 $m^3$ にのぼると言われている。なかでも道路橋は全国に約70万橋、道路トンネルは約1万本存在するという。しかも大部分が財政難に苦しむ地方公共団体が管理するものである。

さらに、10年後には建設後50年を経過するトンネルの割合は34%となる試算が国土交通省の社会資本整備審議会より出されている。

確かに2012(平成24)年の笹子トンネルの事故は、われわれ関係者に冷や水を浴びせる効果はあったが、これが一過性のものとどまり、予算と技術者の減少に歯止めがかからず、なおざりに近い状態が続くのであれば、1980年以前のアメリカと同様に「荒廃する日本」への道を歩むことになる。

しかもインフラの劣化に起因する災害は、地震や火山噴火のような自然災害と異なり、明らかに人為的なものであり、国民の財産や生命の安全確保に対してなされるべき投資が行われなかったことにほかならない。

たとえ確率が数パーセントであろうが、巨大地震は必ず来るし、構造物を放置しておけば必ず劣化して少しの外力で崩壊する。現に今の知見で、かつての阪神・淡路大震災の発生確率を事前予測したとすれば、最大限に見積もっても、たかだが8%であったと言われている(土岐憲三「楽観と諦観考え直そう」2014.10.17, 朝日新聞)。

もちろん宝永、安政地震のような海溝型巨大地震は内陸型に比べてはるかに頻度は高い。

今われわれがやらねばならないことは、これらの明白で当然のリスクを直視し、産官学の知恵を結集する以外にないと思われる。

具体的な手法は、例えば前述の社会資本整備審議会道路分科会「道路の老朽化対策の本格実施に関する提言」などに詳しいが、基本はメンテナンスサイクルを定着させ、確実にこれを回していく体制を整備するとともに、インフラストックを適正に更新・廃棄することである。そして地震、火山噴火、集中豪雨などの自然災害への対応も意識し、4つの国土軸(多軸型国土構造)の形成とインフラネットワークの構築を急ぐことである。そのために残された時間はそれほどないに違いない。

## 施工

# 可燃性ガス発生のおそれのあるトンネル工事における安全管理

—国道253号 八箇峠トンネル(十日町工区)—

大成建設(株)北信越支店八箇峠トンネル工事作業所作業所長 小池 真史  
大成建設(株)北信越支店八箇峠トンネル工事作業所監理技術者 佐藤 剛史

## 1 はじめに

国道253号八箇峠道路は、新潟県南西部の上越市を中心とする上越地域と十日町市・南魚沼市を中心とする魚沼地域を相互に連絡する地域高規格道路「上越魚沼地域振興快速道路」(延長約60km)の一部を構成しており、魚沼地域の十日町市八箇峠～南魚沼市余川間を結ぶ延長約9.7kmの自動車専用

用道路である(図-1)。国土交通省北陸地方整備局発注の八箇峠トンネルは、八箇峠道路の中央部に位置する延長2,840mのトンネルであり、2007(平成19)年度から工事に着手し、2012(平成24)年度末までに南魚沼側からは1,434m、十日町側からは656mの掘削が完了していた(図-2)。

本工事は、十日町側からの残り750mのトンネル掘削を主とする工事であり、2013(平成25)年度に着手した。本稿では、本工事で実施した可燃性ガス対策について述べる。

## 2 可燃性ガス対策の概要

2012(平成24)年5月24日に、南魚沼側工区のトンネル坑内で、メタンガスを主成分とする可燃性ガスの蓄積によりガス爆発事故が発生した。この事故を受けて、「八箇峠トンネル事故に関する調査・検討委員会」が設置され、爆発事故の原因と再発防止策および工事再開に向けた留意事項について専門的見地から検討がなされた。この委員会に



図-1 トンネル位置図

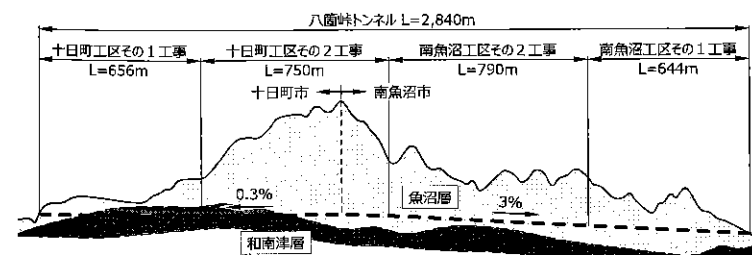


図-2 トンネル全体図

より、2013(平成25)年3月26日に提言されたガス爆発事故の再発防止に向けた留意事項などを下記に示す。

2-1 爆発原因の推定(可燃性ガスが坑内に蓄積した経緯)

- 掘削による地山の環境変化や事故の前年に発生した地震などが要因となって、地下深部に存在が推測される小規模な天然ガス貯留層から可燃性ガスが湧出した。
- 可燃性ガスの湧出量は微量であり、換気を伴う通常の施工状態では可燃性ガスの湧出を認識するのは難しい状況にあった。
- 可燃性ガスが坑内に滞留した原因は、約7か月間の冬期休工期間中に、メタンガスを主成分とする可燃性ガスがトンネル坑内に徐々に蓄積し、やがて爆発下限界を超える濃度に達した。

2-2 事故の再発防止に向けて(留意事項)

- 調査で可燃性ガスの存在が認められない場合でも、地質構造的に可燃性ガスが胚胎する可能性のある場合は、微量の可燃性ガスが湧出する可能性があることを十分認識する必要がある。
- 可燃性ガスの測定値が通常の施工状態で検出下限値以下であっても可燃性ガスの湧出がないことを必ずしも意味しない。とくに、地質構造が前項に該当する場合は慎重な判断が必要である。
- 冬期の工事中止など通常の状況と異なる状態となる場合は、慎重に可燃性ガスの状況を把握するとともに、工事の再開に向けての手順、対策を検討することが必要である。
- 通常の施工状態で可燃性ガスが検知できない場合、危険性の認識の維持が難しくなりがちであるが、第1項での地質条件下では潜在的な危険性に十分留意することが重要である。

2-3 工事の再開に関する安全対策

(1) 冬期休工解除時に講ずる事項

- 坑内の可燃性ガス濃度と酸素濃度の測定を行い、安全性が確保されたことを確認してから

入坑すること。

- 坑内換気設備の起動は、外の安全な場所から行うこと。

(2) 施工時に講ずる事項

- 「可燃性ガスが発生している」という前提で、関係法規、指針などにもとづいた適切な設備の設置、使用、運用を行うこと。
- 可燃性ガスが発生していることを、常に意識し、安全に工事を行うことを作業員も含め徹底すること。

(3) トンネル貫通までの間に配慮すべき事項

- 南魚沼工区の完成後も、トンネル貫通までの期間を要することから、貫通するまでの間の安全対策に配慮すること。

上記の事故再発防止に向けた留意事項に対して、本工事では以下のような安全対策を講ずることとした。

- トンネル坑内の24時間連続換気
- トンネル坑内への可燃性ガス発生量の予測
- 可燃性ガスの早期検知
- 避難者の早期確認および避難訓練

これらの具体的な対策内容について、以下に詳述する。

3 トンネル坑内の24時間連続換気

3-1 トンネル掘削中の換気

図-3の上段に示すように、十日町工区ではメタンガスによる爆発雰囲気が生じられる危険が予想されたため、トンネル掘削時は坑口に3,000m<sup>3</sup>/minの大型送風機を設置し、坑内風速を常時0.5m/sec以上確保することでメタンを消散させることに努めた。また、坑内にはφ2,000の帯電防止型風管を設置し、静電気の放電がメタンガスの着火源になることを防止した。

帯電防止型風管とは、導電性のあるカーボンを含んだ生地を使用し、外部に接地アースを設けることで風管自体に静電気が帯電しない構造となっている。

図-4に示すように、送風機稼働用の電源について、落雷などによる商用電源の供給停止に備えて、

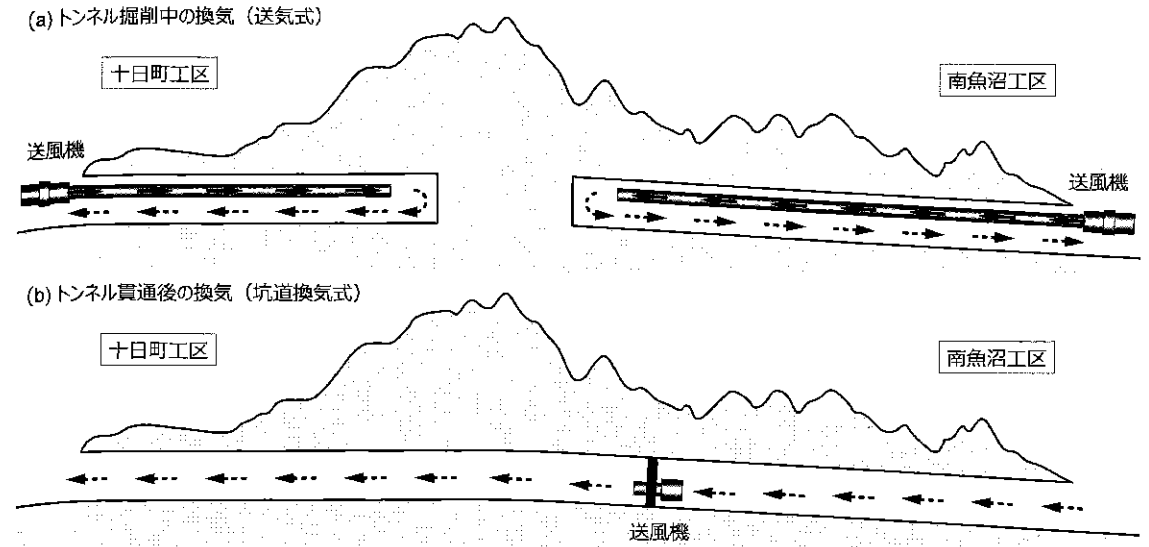


図-3 トンネル貫通前後の換気方式比較

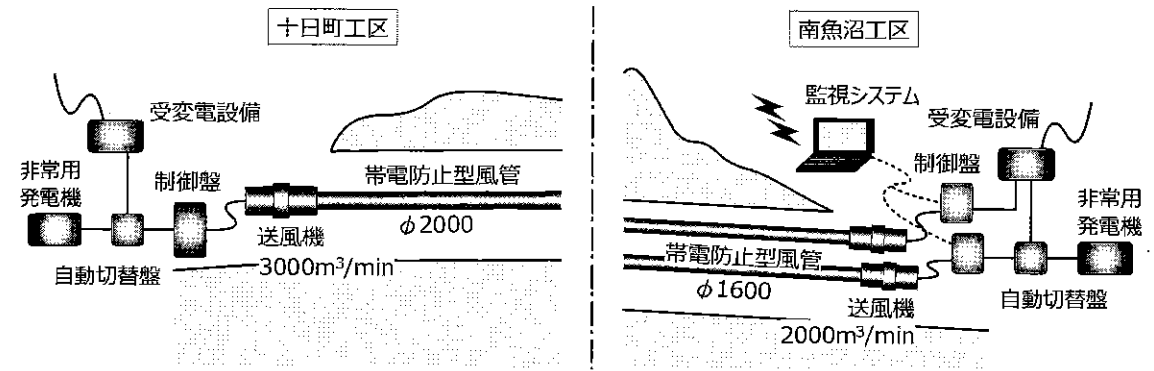


図-4 トンネル掘削中の換気設備詳細図

大型非常発電機を常設し、停電時には自動切替装置により商用電源から発電機に自動で切替わるシステムを構築した。

一方、南魚沼工区については、トンネル貫通前の2013(平成25)年12月に竣工し、積雪に伴う冬期閉鎖のために換気設備はすべて撤去された。そこで、冬期休工が解除されたあとは、本工事においてトンネル坑内の換気を行い、トンネル貫通に備えた。

南魚沼工区は、メタンガスが微量ではあるものの定常的に湧出しており、メタンを消散させるためには、十日町工区よりも坑内風速を大きくする必要がある。坑口に2,000m<sup>3</sup>/minの送風機2台を設置し、坑内にはφ1,600の帯電防止型風管

を2系列設置して、1.0m/sec程度の坑内風速を常時確保できるようにした。非常用発電機および自動切替装置についても十日町工区と同様に常設し、停電時に備えた。また、南魚沼工区には、本工事の関係者が常駐しないので、送風機の稼働停止状況を24時間監視するため、送風機停止時には、関係者の携帯電話へメールが配信されるシステムを構築した。

3-2 トンネル貫通後の換気

2014(平成26)年10月にトンネルは無事貫通したが、その時点では未覆工区間が500m程度残っていた。後述する定点式ガス検知器では検知されないが、坑内の水たまりにメタンガスの気泡が発生していることや、吹付けコンクリートの巻層検査

孔からメタンガスが湧出していることが確認された。

トンネル貫通後には換気設備は撤去するのが一般的ではあるが、微量のメタンガスの湧出が継続している状況下において、換気設備による強制換気から自然換気に切替えると、気圧や気温の変化に伴って坑内の風速と風向が変化するため、メタンガス発生環境下において必要な坑内風速0.5m/secを常時確保できなくなり、メタンガスが徐々に蓄積することが懸念された。そこで、関係省庁と協議のうえ、トンネル貫通後は送気式から坑道換気式の換気設備に切替えて、強制換気を継続することとした(図-3の下段)。坑道換気設備の詳細を以下に列挙する。

- ・送風機は、南魚沼工区の覆工コンクリート打設区間に設置した。この区間では、事前に調査を行って、換気が行われていない条件下でも1週間はメタンガスが蓄積しないことを確認した。
- ・送風方向は、覆工コンクリートが打設済みでメタンガスの湧出が抑制されている南魚沼側から、十日町側とした。
- ・坑道換気式で使用する送風機は、送気式で使用する送風機のような高風圧を必要としないため、消費電力の少ない低風圧の送風機により坑内風速0.5m/sec以上を効率的に確保できる。
- ・坑道換気式では風管を必要としないが、送風機のみを坑内に設置した場合には、吹き出し



写真-1 坑道換気設備

た空気が坑外に排出されることなく坑内を循環し、再び送風機に吸込まれてしまうため、バルーン型の隔壁を設置した(写真-1)。

### 4 トンネル坑内への可燃性ガス発生量の予測

掘削時における急激な地質の変化や大量出水に伴って、切羽において突発的にメタンガスが発生することがある。また、掘削された区間においては、大気圧が急激に低下するとトンネル坑内に湧出するメタンガスの量が増加することが知られている。これらの事象の発生を事前に予測することができれば工事関係者への事前周知などの先手管理ができるため、安全管理にとって非常に有効である。そこで、本工事では下記に示す方法により、トンネル坑内へのメタンガス発生量の予測を行った。

#### 4-1 掘削に伴う可燃性ガス発生量の予測

切羽前方の調査ボーリングを実施することにより、切羽前方地山中のメタンガスの賦存量を把握し、トンネル掘削に伴うメタンガス発生量を予測した。

##### 4-1-1 地山中の可燃性ガス賦存量の把握

図-5に、切羽前方地山中のメタンガス賦存量の把握フローを示す。本工事の掘削全範囲において、掘進90m程度ごとに切羽前方100m程度を対象とした調査ボーリングを実施した。調査ボーリングにおいて、遊離したメタンガス、メタンガスを含む地下水およびコア試料を採取し、室内ガス分析を行って、各試料のメタンガス濃度を把握した。調査ボーリングで実施した試験項目の一覧を表-1に示す。

##### 4-1-2 掘削に伴う可燃性ガス発生量の予測

ボーリングは、見かけ上、非常に小さなトンネルを掘削することに相当する。したがって、ボーリングと本坑掘削との掘進土量や湧水量の違いを評価すれば、トンネル掘削に伴う可燃性ガスの発生量を予測できる。なお、可燃性ガスの発生量は、下記の遊離ガス、地下水中の溶存ガスおよび掘削土中のガスを足し合わせることで算出した。

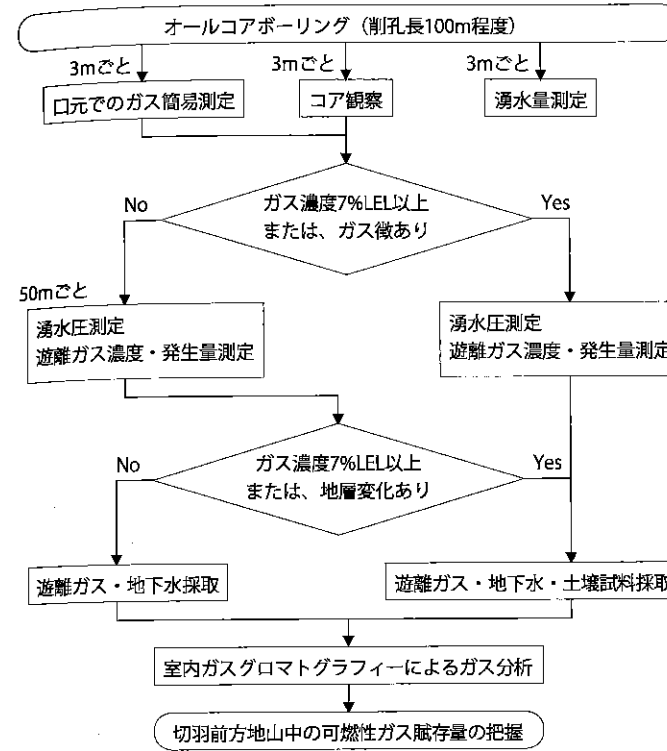


図-5 可燃性ガス賦存量の把握フロー

表-1 調査ボーリングで実施した試験項目一覧

項目	頻度・数量	備考
ガス微の確認	コアバレル(L=3m)を回収時に実施	採取コアを用いて確認
簡易ガス測定	掘進3mごと	ボーリング口元で実施
湧水量測定	掘進3mごと	ボーリング口元で実施
湧水圧測定試験	掘進50mごと、7%LEL以上の遊離ガス発生時	圧力解放後に遊離ガス濃度・発生量の測定
遊離ガス採取	掘進50mごと、7%LEL以上の遊離ガス発生時	
地下水採取	掘進50mごと、7%LEL以上の遊離ガス発生時	
室内試験用コア採取	地層ごとに1試料、7%LEL以上の遊離ガス発生時	
室内ガス分析試験	採取試料を用いてガス濃度・組成を測定	ガスクロマトグラフィー法

#### (1) 遊離ガス

室内ガス分析から求まる遊離ガス濃度とボーリング中に測定しておいた遊離ガス発生量に、トンネル掘削土量を加味して、遊離ガス発生量を算出する。

#### 4-2 気圧変動に伴う可燃性ガス発生予測

図-6のように低気圧や台風の接近により気圧が低下すると、周囲の地山からメタンガスが湧出し、坑内のガス濃度が上昇する傾向がある<sup>1)</sup>。そこで、図-7のように気象庁から有償提供される気圧予報

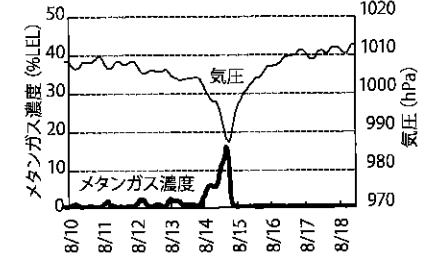


図-6 気圧とメタンガス濃度の関係<sup>1)</sup>

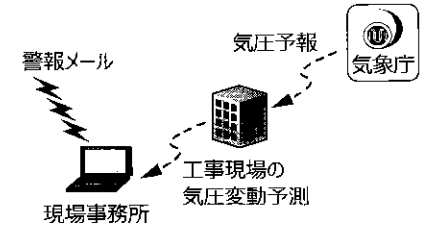


図-7 気圧予報システム

#### (2) 地下水中の溶存ガス

採取コアを用いた室内透水試験および粒度試験を行って地盤の透水係数を求め、ボーリング中に測定しておいた湧水圧を用いて、トンネル掘削に伴う切羽からの湧水量を予測する。さらに、切羽からの湧水量と室内ガス分析から求まる溶存ガス濃度を用いてトンネル掘削に伴う溶存ガス発生量を算出する。

#### (3) 掘削土中のガス

採取コアを用いて、地盤の含水比試験、湿潤密度試験および土粒子の密度試験を行い、採取コア中の液相(水)および気相の量を求める。液相および気相の量に、室内ガス分析から求まる溶存ガス濃度および遊離ガス濃度を乗ずることで、単位土量あたりの可燃性ガスを算定する。これに、トンネル掘削土量を乗ずることで、掘削土からのガス発生量を予測する。

を利用して、メタンガスの発生を予測するシステムを構築し運用した。

本システムでは、炭鉱の保安規定で定められている警戒体制をとるべき気圧の変化に準じて、関係者に警報メールを配信するようにした。これにより、坑内作業者のガスに対する安全意識の向上および万が一のガス発生時に備えることができた。

### 4-2-1 炭鉱の保安規定による警戒すべき気圧変化

- ① 大気圧が標準気圧より13hPa以上低下した場合
- ② 気圧が1時間に1.95~2.6hPa以上の割合で2~3時間以上継続して降下する状態になった場合(本システムでは2.0hPaを採用)

## 5 可燃性ガスの早期検知

### 5-1 安全管理体制

空気より軽いメタンガスを検知するため、延長200~300mごとに定点式ガス検知器をトンネル天端部に設置し、24時間監視を行った。検知されたメタンガス濃度に対しては、図-8のような4段階

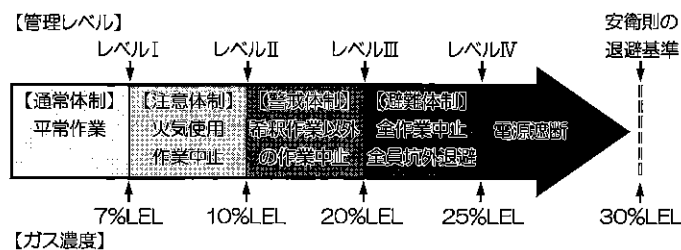


図-8 ガス安全管理体制

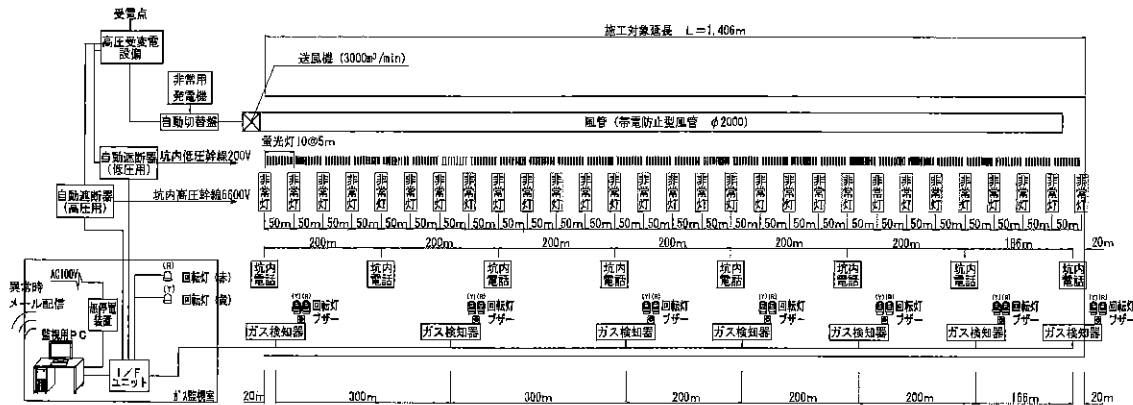


図-9 坑内ガス検知器配置図

の管理レベルを設けることにより、濃度の上昇に応じて、徐々に管理レベルを上げていき、円滑に避難できるようにした。

まずガス濃度が7%LEL以上となった場合には、坑内の火気使用作業を中止するとともにガス濃度が上昇しつつあることを坑内作業者に注意喚起した。

次に10%LEL以上となった場合は、通常作業を中止し、重機のエンジン停止などの退避準備に入ることとした。同時に、後述するガス測定者によりガスの湧出箇所を特定し、局所ファンで希釈作業を行うこととした。

さらに濃度が上昇し20%LEL以上となった場合は、全作業を中止し、全員坑外へ退避する。最終的に25%LEL以上になった場合は、発火源となる坑内電源が自動で遮断される。

定点式ガス検知器のガス濃度データは、坑口のガス監視室に収集され、各管理レベルになるごとに自動で関係者に通知メールが配信される。坑内作業者に対しては、パトライトとサイレンにより、

注意喚起や避難指示などを遅滞なく行えるようにした(図-9)。

### 5-2 専任ガス測定者の配置

定点式検知器では検知できない箇所での濃度測定や、メタンガス濃度上昇時における湧出箇所の特定を行うことを目的として、専任のガス測定者を配置し、24時間ガス管理を行った。具体的

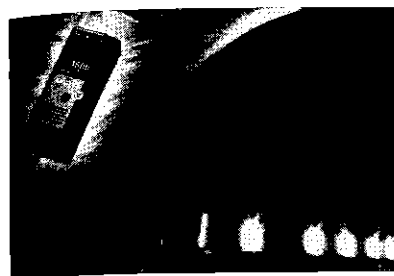


写真-2 遠隔型レーザー方式ガス検知器による測定状況

には離れた場所のガス濃度を瞬時に測定できる遠隔型レーザー式ガス検知器を用いて、非常駐車帯の棲壁部や箱抜き部などのように空気の流れが悪い場所のガス濃度を測定した(写真-2)。また、吹付け厚の検査孔や地質調査ボーリングの口元など、メタンガスが湧出しやすい箇所のガス濃度も測定した。

これにより、メタンガスが滞留もしくは湧出しやすい箇所に事前に局所ファンを設置し、ガス濃度の上昇を抑制するとともに坑内作業者に対する注意喚起を行うことができた。

## 6 避難者の早期確認および避難訓練・安全教育

### 6-1 入坑管理システム

従来の入坑管理は、自分の名前の付いた入坑札を裏返すことにより入坑者を把握していた。一方、本工事では、万が一の坑外退避に備えて自動で入坑者を監視できるシステムを導入した。本システムでは、各個人が一つずつICタグを所持し、坑口にあるICタグ検知エリアの横を通過すると、入坑した人物の顔写真が自動的に入出坑確認モニターに表示される(図-10、写真-3~5)。

ICタグを所持していれば、車両に乗車したままの通過でもICタグを検知するため、緊急避難時の入出坑者を迅速に把握することができる。

#### 6-1-1 ICタグ検出方法

- ① ICタグ検知パネル内のループアンテナから発信される電波により、ICタグ検出エリアができる。
- ② ICタグ検出エリアにICタグを持った人が

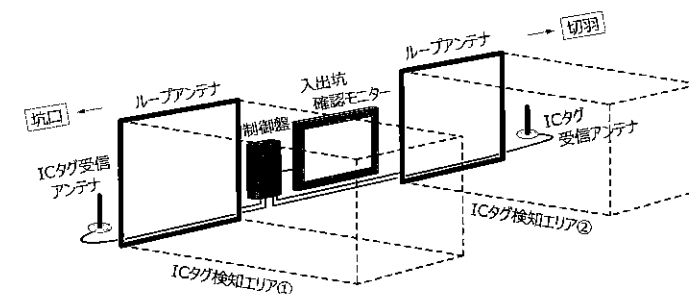


図-10 入坑管理システム

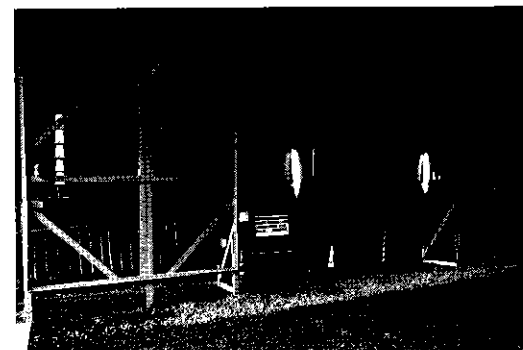


写真-3 入坑管理システム

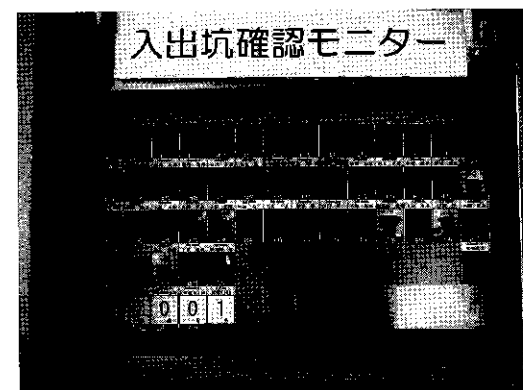


写真-4 入出坑確認モニター

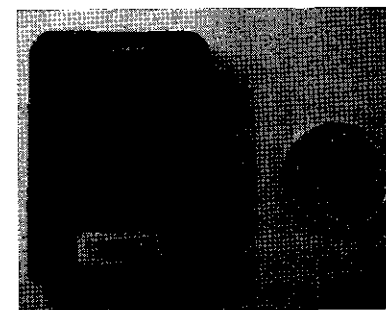


写真-5 ICタグ

入ると、ICタグが起動してID番号が発信される。

- ③ ICタグ受信アンテナがID番号を検出する。
- ④ 事前にID番号を各個人に割当てることにより、検出エリアに入った人物を把握する。
- ⑤ それぞれのID番号により、顔写真が入出坑確認モニターに表示される。

#### 6-1-2 入出坑の識別方法

- ・ICタグ検出エリア①、②の順で通過すると入坑(顔写真表示)
- ・ICタグ検出エリア②、①の順で通過すると出坑(顔写真非表示)

#### 6-2 避難訓練・安全教育

可燃性ガス濃度の上昇を想定し月2回の避難訓練を実施することで、坑内作業者が円滑に対応可能となるように備えた。また、可燃性ガスの特徴、避難救護器具の使用法および各種可燃性ガス対策設備の設置目的と必要性などに関する安全教育も月2回実施した。

## 7 おわりに

本工事でも、切羽付近の水たまりにメタンガスの気泡が発生しているのは確認されたが、定点式ガス検知器では、メタンガスは検知されなかった。したがって、メタンガスは無色、無臭であるために、その存在に気づきにくいことに加えて、換気により希釈が十分に行われていると、ガス検知器では検知できない場合もある。したがって、「可燃性ガスは発生していない」と油断することがもっとも危険であり、マンネリ化を防止することが非常に重要な安全対策であると考えられる。

最後に、本トンネル工事で実施した可燃性ガスに関する安全対策が、類似工事におけるガス爆発事故の防止に役立てば幸いである。

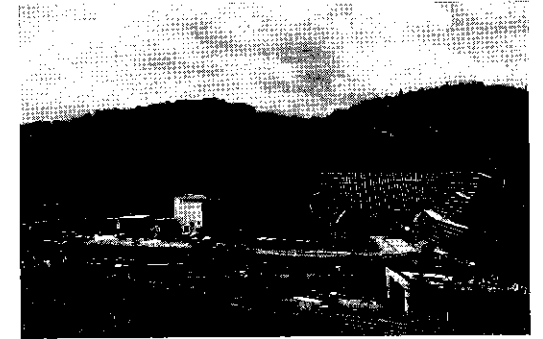
### 参考文献

- 1) 桑原始・中村一伸・堀内秀行・中原史晴：新桜町トンネルのメタンガス対策について、トンネル工学研究発表会論文・報告集, Vol.6, pp.247-250, 1996.



## 豊かな森と清らかな水に恵まれた盛岡より

中島 賢



宮古側坑口部

岩手県盛岡市は原敬、米内光政といった歴代の内閣総理大臣を輩出しており、1989(平成元)年に市制施行100周年を迎えた。1992(平成4)年4月に、都南村、2006(平成18)年1月に玉山村と合併し、人口約30万人、面積約890km<sup>2</sup>の中核市である。

岩手県内陸部に位置する盛岡市周辺には岩手山や北上川があり、市内中心部に目を移すと、盛岡城跡や岩手銀行旧本店本館など時代を感じさせられる建物や自然と調和した景色がある。なかでも樹齢約360年と言われる「石割桜」は、花崗岩を割って根づいたごとく花を咲かせる姿は圧巻である。また、毎年8月1~4日に催される「さんさ踊り」はもっとも多い数の和太鼓演奏(3,437人)でギネスレコードとして認定されている。

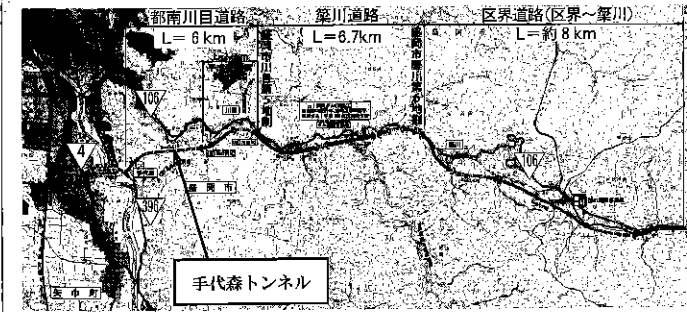
本工事路線である宮古盛岡横断道路は、宮古市から盛岡市に至る延長約100kmの地域高規格道路で、東日本大震災で被災した沿岸部と内陸部との強力な連携を推進することによる被災地の早期復興支援や、平常時も含めた緊急輸送圏域の拡大などによる安全・安心を確保するための復興支援道路として、国道106号の隘路箇所を解消し、速達性の向上を図るべく整備が進められている。国道106号は、牧庵(まか)和尚が改修した閉伊街道を前身としており、1966(昭和41)年に着手された改築事業(1978年完成)を経て現在に至っている。

手代森トンネル工事は、宮古盛岡横断道路の一部を形成する都南川日道路に属しており、横断道路の西端に位置する延長2,625mの自動車専用道路トンネルを

施工するものである。地質は、複雑な構造を呈する早池峰構造体の北端付近に位置することから、宮古側坑口より古生代「川目層(根田茂帯)」の粘板岩・チャート混在岩、凝灰岩、緑色岩、蛇紋岩、花崗岩、ホルンフェルス(砂質・泥質)と変化に富んだ地層で構成されている。また、盛岡側坑口は国道396号、宮古側坑口は主要地方道と接しており、市街地でのトンネル工事である。2014(平成26)年11月より掘削を開始し、2015(平成27)年4月末時点での掘削は400m、盛岡側坑口部明かり掘削は1.6万m<sup>3</sup>であるが、まだまだ序章にすぎない。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、作業員全員が一丸となって施工に邁進していきたい。

最後に、「岩手県」の謂われを紹介したい。この地方には「不來方」という言葉がある。これは、岩手県盛岡市を指し示す雅称で、三つの大石がそびえる盛岡

三ツ石神社の伝承によれば、悪い鬼が神様に捕えられ、二度とこの地に来ない証を手形として大石に残したのが「岩手」の由来であり、二度と来ないという意味で「不來方」の名が付されたと伝えられる。その鬼の退散を喜んだ人々が石の周りをさんさ、さんさと囃しながら奉納した踊りが「さんさ踊り」の始まりだとされているそうだ。(清水建設(株)宮古盛岡横断道路手代森トンネル工事作業所長)



位置図

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

A5判 上製本 475頁 本体価格6,300円 円350円

本書は、多くの人が『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。

**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.507

今月の主な入札結果 (7月10日～8月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
関東地整	H27中島樋管改築	戸田建設	851
東日本高速道路	東京外かく環状道路中央JCT南側BランプシールドT	大林・フジタ・岩田地崎JV	10,600
“	東北中央道たかつむじやまT	東急建設	3,990
中日本高速道路	東京外かく環状道路中央JCT南側FランプシールドT	大林・大本・銭高JV	8,930
千葉県	R410県単災害防止(松丘隧道・覆工その2)	宮本組	273
都・財務局	地下T築造及び街路築造(27二環5の1千駄ヶ谷)	フジタ・奥村組土木・あおみJV	3,840
“	環2地下T(仮称)及び築地換気所(仮称)ほか築造(27一環2築地工区)	大成・大日本・徳倉JV	8,990
都・建設局	善福寺川調節池(その3)	飛島・富士工・マルトJV	181.5
都・水道局	朝霞市泉水一丁目地先から同市宮戸一丁目地先間原水連絡管(2000mm)T内配管及び立坑築造	戸田・大日本土木・初雁JV	3,072
都・下水道局	足立区千住緑町一, 二丁目付近再構築	五洋建設	2,149.97
新潟県	防雪県道1-10-1号主地佐渡一周線跳板T	本間・本間JV	419
大阪府	R(新)371道路改良3工区(仮称出合第1T築造)	森本・南海辰村JV	1,267.16
坂東市	26線国補公下第4号・27市単公下第6号・26線国補社資交第2号-2、江川第五排水区雨水管渠・街路改良合併	オオシン	105
宇都宮市	準用河川大久保谷地川BP築造	大幹建設	106
富士見市	新河岸川第五排水区別所雨水幹線築造(第1工区)	松永建設	156.99
松戸市	春木川西部排水区雨水枝線(27-1工区)	六和建設工業	111.5
市原市	蔭原中央幹線管渠築造	新井組	156.78
千葉市	下水道排水施設(港雨水27-1工区)	真柄・須崎JV	365
日野市	東平山排水区(27-1)	真生工業	179
横浜市	南部処理区磯子地区下水道再整備(その18)	横浜建設	201.18
“	高速横浜環状北西線北八朔換気所建設	戸田・京急・横浜JV	1,967.3
“	“ 東方換気所建設	五洋・本間・土志田JV	1,829
茅ヶ崎市	公下松浪一丁目地内外(雨水)通常27-1	浅岡・大西JV	538
広島市	R433(大古谷)第2T(仮称)	増岡組	550



## 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

# 施工

## 多摩地区における送水管ネットワークの構築を支えたトンネル技術

—東京都水道局 多摩丘陵幹線—

東京都水道局多摩水道改革推進本部施設部工事課工事課長 溝口博文  
 東京都水道局多摩水道改革推進本部施設部工事課統括課長代理 潮田賢  
 東京都水道局多摩水道改革推進本部施設部工事課工事第三係主任 藤井雄輔

### 1 はじめに

多摩地区における送水幹線は、多摩地区北部に位置する東村山浄水場や小作浄水場を起点として南方向に樹枝状に整備されてきた。また、多摩地区西南部においては、都市化の進展に伴う水需要の増大から、既存の送水幹線の能力が限界に達しつつあるとともに、これら管路の老朽化の進行による更新が必要であった。さらには、浄水場や給水所間の相互融通が不十分なため、バックアップが困難な地域が存在するなどの課題を抱えていた。

こうした課題を解決するために、多摩丘陵幹線は、広域的な送水管ネットワークを構築することを目的として、全線31.6kmを2つの整備区間に分割し整備したものである。このうち第一次整備区間は、鎌水小山給水所から聖ヶ丘給水所間の延長12.0km区間で1997(平成9)年度から着手し、2005(平成17)年度に完成、運用している。

本稿は、このたび完成した第二次整備区間の概要と、多摩丘陵の地形に合わせ

た急曲線や隣対策など、多様な工法を用いた敷設工事について紹介する。

### 2 第二次整備区間の概要

第二次整備区間(以下、「本区間」)は、拝島給水所から鎌水小山給水所間の延長19.6km区間、拜

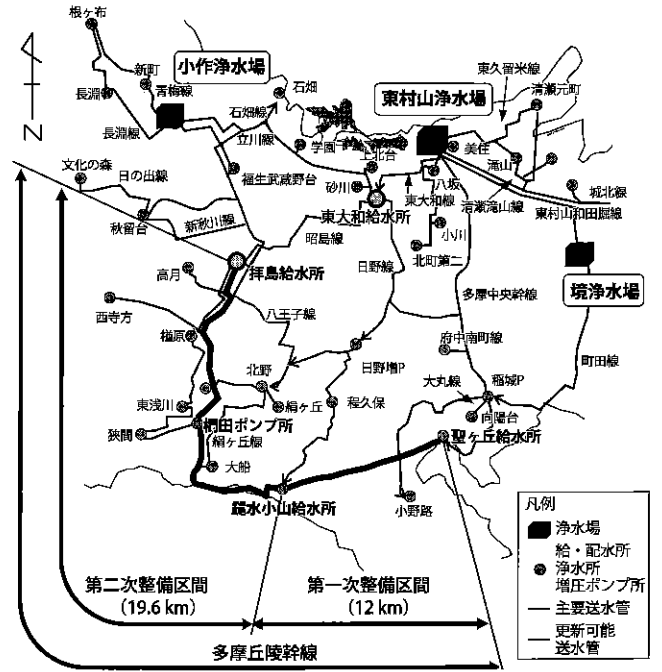


図-1 多摩丘陵幹線整備区

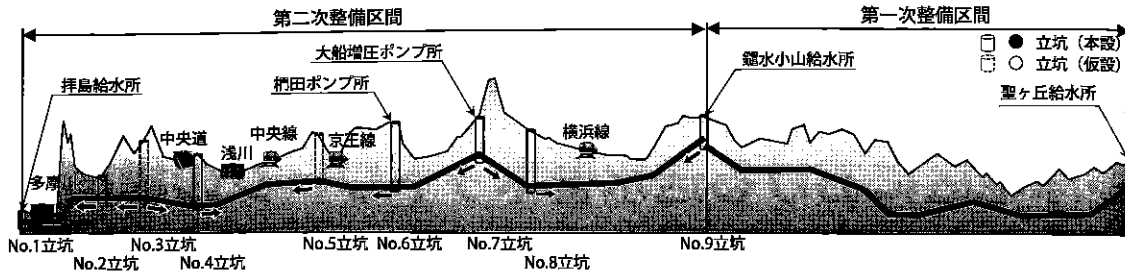


図-2 多摩丘陵幹線縦断面

島給水所、桐田ポンプ所、大船増圧ポンプ所など送水施設、丹木高月支線、川口西寺方支線など送水支線12.2kmがあり、2002(平成14)年度から着手し、2014(平成26)年度末に完成、運用している。

本区間の完成により、多摩丘陵幹線全線の運用がはじまり、多摩地区西南部約160万人への給水の安定性が向上した(図-1, 2)。

### 3 本区間のトンネル群

本章では、2002(平成14)年度から整備を進めてきた本区間について述べる。

#### 3-1 全体概要

本区間の整備内容は以下のとおりである(図-3)。

##### (1) シールド諸元

1工区：複合式シールド  
(土圧式、泥水式)

2～8工区：泥水式シールド

##### (2) 送水管

送水幹線：内径1,500mm、  
 $L=19.6$ km

送水支線：丹木高月支線、  
中野上町川口線、川口西寺方支線、  
第二榑原支線、狭間支線、大船支線  
送水ポンプ所など：拝島給水所、桐田ポンプ所、  
大船増圧ポンプ所

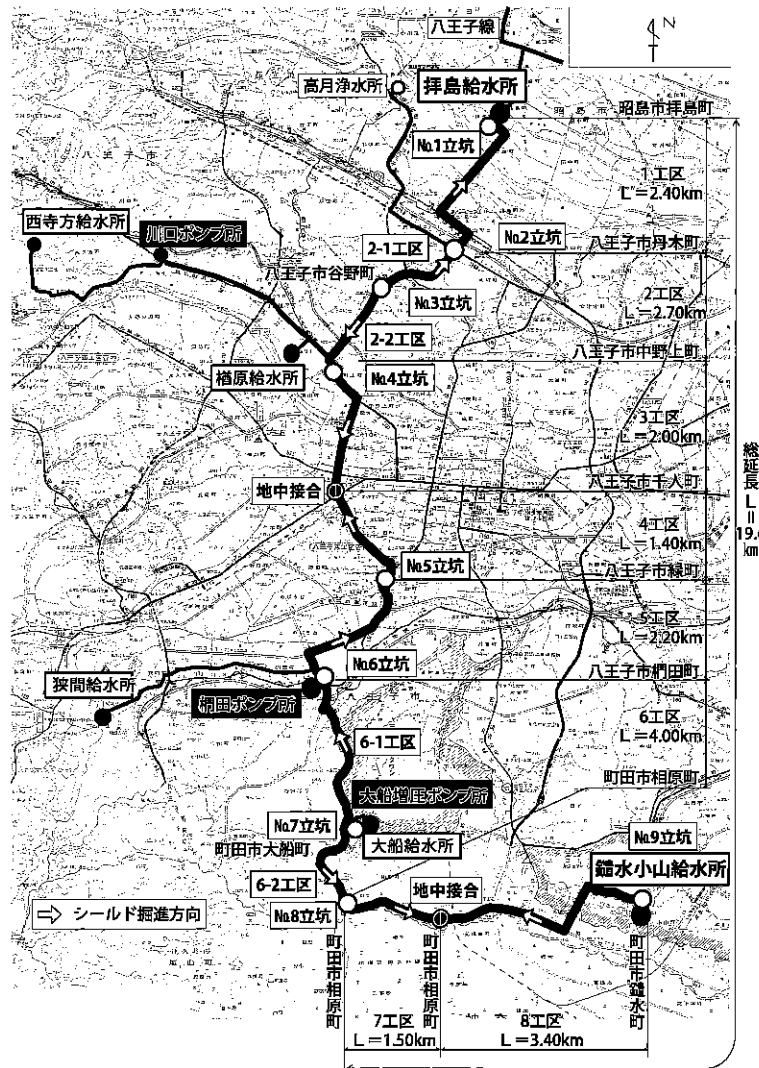


図-3 第二次整備区間整備概要図

#### 3-2 1工区

本工区は、八王子市丹木町のNo.2立坑を発進し、発進後20mほどで急曲線( $R=20$ m)に入り、加圧丘陵と呼ばれる丘陵山間部下を通過する。そ

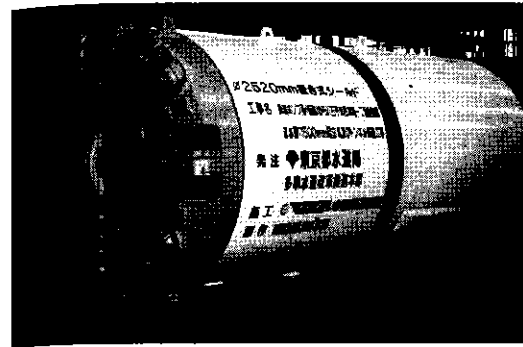


写真-1 複合式シールド

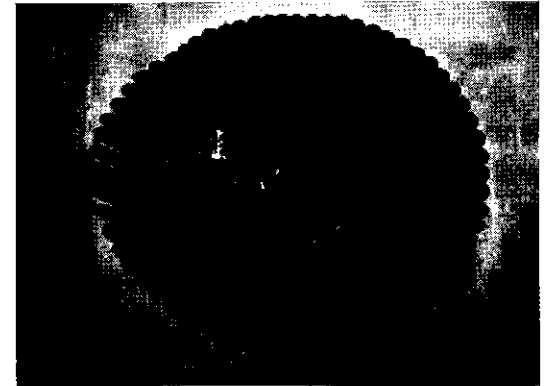


写真-2 1工区シールド到達状況

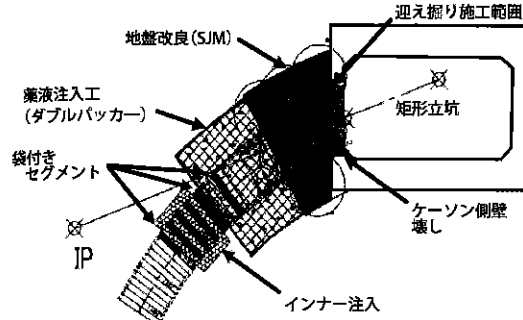


図-4 1工区シールド到達施工図

の後、多摩川水道橋直下を掘進しながら多摩川を横断し、拝島ポンプ所内のNo.1到達立坑へ急曲線( $R=20$ m)を曲がりながら到達する工区である(図-3)。

##### (1) シールドの概要

多摩川流域の半固結の粘性土層と、巨礫が点在する半固結の礫層を掘削するため、逸泥やビット摩耗による掘進停止などのリスクがあることから、土圧式、泥水式の双方に掘削モードを切替えることができる「複合式シールド(シールド外径2,520mm)」を採用した(写真-1)。

##### (2) 出水リスクを最小限とする到達対策

1工区の到達工は、急曲線を含む線形のため、シールドの面盤が、矩形立坑へ斜めに到達し、迎え掘りの施工範囲が発生する(図-4)。

「迎え掘り施工範囲」には、シールドの面盤とケーソン側壁にスペースが生じることや、急曲線施工の余掘りによる空洞が発生するため、地下水の出水事故やそれに伴う地盤沈下、シールドの掘進不能が懸念された。



写真-3 1工区シールド到達状況

そこで、止水性を確保するため、No.1立坑(到達立坑部)をSJM工法により地盤改良し、背面をダブルバッカー工法で薬液注入を行った。

また、袋付きセグメントを止水注入ゾーン前後に使用し、掘進時に生じる余掘り部分からの裏込め材などの流出を防止した(図-4)。

止水対策が効果的に機能したことから、シールドの拔出し時における出水もなく、シールドは、問題なく撤去できた(写真-2, 3, 図-4)。

#### 3-3 2工区

本工区は、八王子市谷野町210番地のNo.3両発進立坑より八王子市丹木町1丁目地先のNo.2立坑に至る2-1工区1,166.6mと、No.3両発進立坑より八王子市中野上町5丁目地先のNo.4立坑までの2-2工区1,527.1m、計2,693.7mの工区である(図-3)。

##### (1) シールドの概要

シールドの再利用によるコスト削減を図るため、

2-2工区を掘進したシールドを引上げ、シールドの再整備を行ったあと、2-1工区の掘進を行った。

カッタビットは発進、到達時のSEW壁を直接切削する特殊な先行ビット、巨礫対応のローラーカッタを配置した。2-2工区掘進完了後におけるシールドの調査では、カッタビットの摩耗が激しかったことから、2-1工区を安全に掘進できるようビットの交換を行って対応した。

また、シールド本体は、最小半径 $R=20\text{m}$ や最大水圧が $0.3\text{MPa}$ を超える区間に対応するため、後胴押し方式の中折れ機構(最大中折れ角:左右 $9.3^\circ$ 、上下 $1.0^\circ$ )に加え、ワイヤーブラシ式テールシールドを3段設置し、掘進の安定性や止水性能の向上を図った。

#### (2) 出水リスクを最小限とする到達対策

先に掘進した2-2工区における到達工は、地下水位が高く、SEW壁の直接掘削により到達させるため、出水などの事故が懸念された。このため、立坑内に流動化処理土を充填後、シールドによるSEW壁直接切削を行った。

一方、2-1工区の到達工は、No.2立坑内で1工区の発進工と同時期に施工中であったため、流動化処理土を充填する施工が困難であった。また、立坑はSMW壁により築造されていたが、2-2工区と同様、鏡切り後のシールド押し出し作業を行う際に出水する危険性があった。このため、シールド

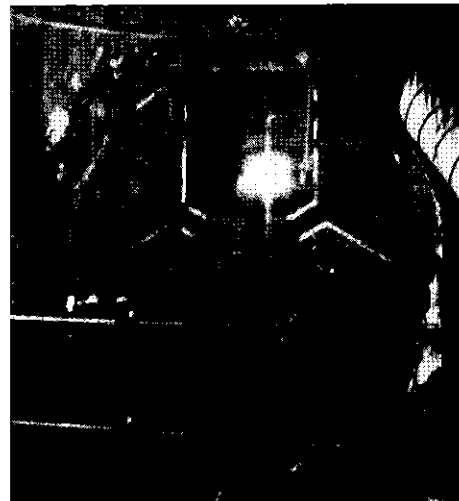


写真-4 2工区シールド到達状況

ドを地盤改良(CJG工法)区域の立坑直前で停止させた。そのうえで、背面から止水のためのダブルパッカー工法にて薬液注入を行った。その後、鏡切断、シールド内部の機器類解体、セグメントの空伏せを行い、トンネル掘削を完了した(写真-4)。

#### 3-4 3工区

本工区は、八王子市中野上町5丁目のNo.4立坑を発進し、主要地方道32号線(秋川街道)下を東南方面に掘進し、八王子市道1級21号線を南下、多摩川水系浅川下部を横断し、八王子市千人町1丁目地先の地中接合地点までの延長 $1,970.9\text{m}$ の工区である(図-3)。

##### (1) シールドの概要

礫地盤と泥岩の複合地盤を長距離掘進するため、ビットの摩耗対策として強化先行ビットを装備した。また、最大礫径 $100\text{mm}$ を想定し、内径 $200\text{mm}$ の排泥管を装備した。さらに、最小曲率半径 $R=20\text{m}$ に対応するため、中折れ装置を装備し、急曲線部の余掘りを確保するためにコピーカッタを装備した。

##### (2) 地中接合(MSD工法)

シールド到達箇所は交通量の多い国道20号(甲州街道)千人町交差点付近であり、JR中央線西八王子駅から $200\text{m}$ 圏に位置する商店や住宅の密集する市街地である。このことから、到達立坑の築造が不可能であったため、MSD工法による地中接合を採用した。

MSD工法は貫入リングを装備したシールドと受圧ゴムリングを装備したシールドを機械的に正面接合させる工法である。通常MSD工法による地中接合では、相互シールドの地中での位置合わせが重要となる。そのため、地上あるいはシールド内から位置確認し、その確認結果にもとづいて接合までの修正掘進を行っていく。

しかしながら、4工区の発進立坑となるNo.5立坑用地を地権者に返地する必要があり、4工区の配管を3工区のシールドが到達する前に行うこととなった。このため、No.5立坑側より水平ボーリング機械の持込みができず、シールド内からの測量による位置確認ができなくなった。

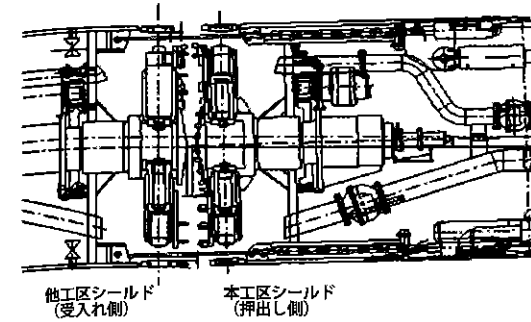


図-5 MSD工法概要図



写真-5 3工区シールド到達状況(写真は受入れ側)

No.4立坑側からの坑内測量精度を向上させるため、地上で4工区との位置関係をトラバース測量で閉合せせたのち、3工区のNo.4立坑から地上、地下部において、ジャイロコンパスを用いた方向角のチェック測量を実施することにより、精度の高い地中接合を行うことができた(図-5、写真-5)。

#### 3-5 4工区

本工区は、八王子市緑町361番地地先のNo.5立坑を発進し、八王子市千人町の地中接合地点までの延長 $L=1,417\text{m}$ の工区である(図-3)。

##### (1) シールドの概要

カッタビットは、最大径 $400\text{mm}$ 程度の礫が点在する礫層および粘着力の高い泥岩層それぞれに対応できる形状、配置を考慮したものとした。また、可燃性ガス発生のおそれがあるためトンネル内照明は防爆型とした。さらに、急曲線( $R=20\text{m}$ 、 $50\text{m}$ )対応として中折れ装置(最大中折れ角 $7.8^\circ$ )を装備した。

##### (2) シールド掘進

初期掘進区間の土質は坑口から約 $70\text{m}$ が砂層であり、その後は礫層であった。いずれも粘性土分をかなり含んでおり、泥水性状(比重、粘性)を確保するうえでは良好な地質であった。礫層では巨礫(長径 $200\sim 300\text{mm}$ 程度)による排泥管閉塞が頻繁に発生したため、排泥管内の礫除去作業を行いながら掘進管理した。

また、初期掘進完了直後に、急曲線( $R=20\text{m}$ )区間が存在するため、掘削線形の施工精度が要求された。そのため、通常、幅 $1,200\text{mm}$ のセグメントを使用しているが、急曲線に追従できる幅 $300\text{mm}$ のセグメントを使用し、平面線形蛇行量を許容管理値内に収めることで、施工精度を確保した。

#### 3-6 5工区

本工区は、八王子市柵田町545番地のNo.6立坑を発進し、八王子市幹線1級37号線を北上し、八王子市緑町361番地先のNo.5立坑までの延長 $2,236.5\text{m}$ の工区である(図-3)。

##### (1) シールドの概要

京王高尾線通過部では施工期間の短縮を求められたため、送排泥設備、泥水処理設備、パワーユニットの増強を図った。シールドの高速化に加え、セグメントを2リング一括搬送し、切羽部輸送装置を設置することにより、切羽部での搬送車両の拘束時間を短縮した。また、掘進区間には、礫層が点在するため、後続台車前部にロータリー式クラッシャーを設置し、シールド内に取り込まれた礫を排出可能な大きさに破碎したのち、処理プラ

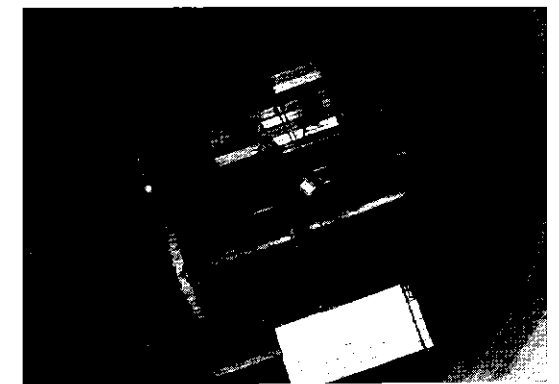


写真-6 5工区シールド搬入状況

ントに排出した。

シールド本体は、最小曲率半径  $R=60m$  に対応させるため、中折れ装置を装備し、急曲線部の余掘りを確保するためにコピーカッタを装備した(写真-6)。

(2) 鉄道への影響確認

シールドトンネル工事では、鉄道などの地上構造物への影響が重要となる。そのため、設計段階から有限要素法解析による影響検討を行っている。

本工区では、京王高尾線通過部があるため、京王電鉄立会いのもと、施工前、中、後に軌道内の沈下計測管理を11回実施し、影響がないことを確認しながら施工した。

3-7 6工区

本工区は、八王子市大船町のNo.7 両発進立坑より八王子市梶田町のNo.6 立坑に至る6-1 工区2,378.6mと、町田市相原町のNo.8 立坑までの6-2 工区1,587.9m、計3,966.5mの工区である(図-3)。

(1) シールドの概要

No.7 立坑から両発進(6-1 工区：シールド外径2,540mm、6-2 工区：同2,490mm)で施工した。

当路線は、曲線部26か所(最小曲率半径  $R=45m$ )含む線形であった。そのため、シールドの操作性の向上、セグメントへの偏圧、偏心の低減、テールクリアランスの確保をするため、中折れ装

置を装備した。また、適正な余掘り量を確保するため、コピーカッタを装備した。

3-8 7工区

本工区は、町田市相原町2781番地のNo.8 立坑を発進し、一般道506号線(八王子城山線)下を南方面に、また、主要地方道47号線(八王子町田線、町田街道)を東方面に町田市相原町1241番地先の地中接合地点まで掘進する延長1,538.3mの工区である(図-3)。

(1) シールドの概要

本工区は、曲線半径  $R=30m$  の区間を掘削するため、左右最大  $6.4^\circ$  の中折れ機構およびコピーカッタを1基装備した(図-6、写真-7)。

(2) 地中接合(MSD工法)

シールド到達箇所は、町田市の市街地であり、立坑用地の確保ができなかったため、MSD工法による地中接合を採用した。

当初、地中接合箇所において、7工区側の後行シールドが接合地点に近づいた時点で、8工区側の先行シールド内(すでに停止位置に到達してシールド内設備が解体撤去されている状態)から水平ボーリングにより、位置確認を行う予定であった。しかしながら、7工区側の後行シールドの掘進に時間を要していた。工事の進捗を図る必要性から、8工区側の先行トンネル( $L=3,380m$ )に水道本管

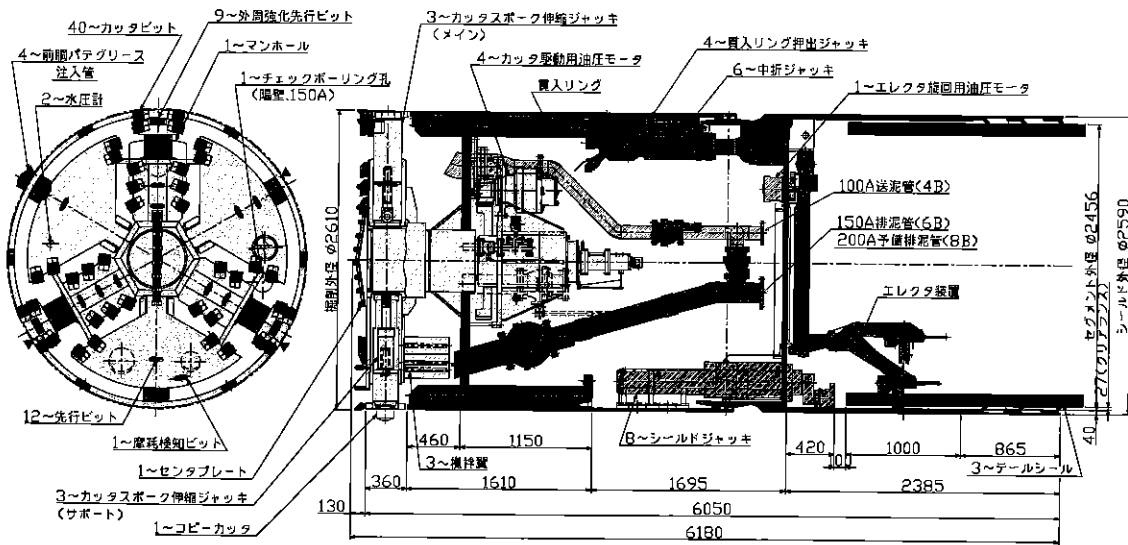


図-6 7工区シールド全体図

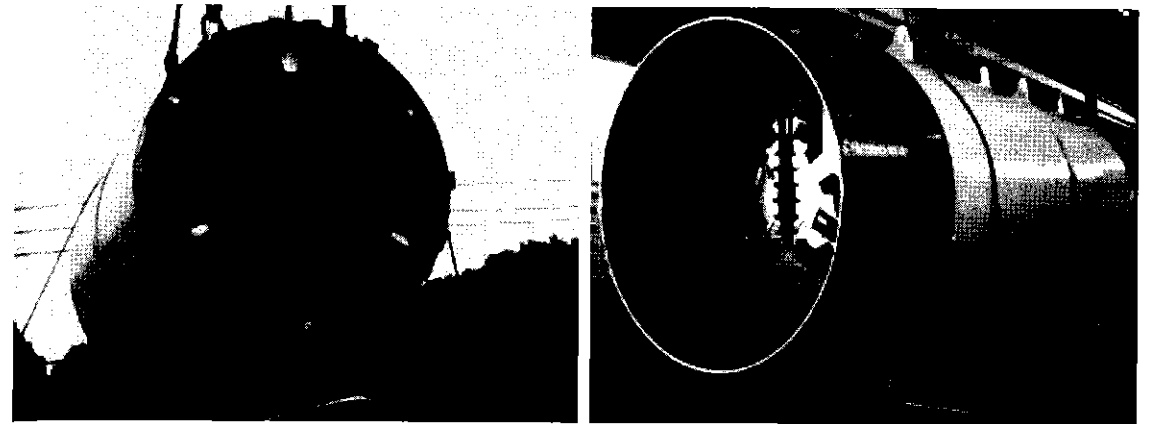


写真-7 7工区掘進時面板(左)と接合時面板(右)

(内径1,500mm)を敷設したため、シールド内(8工区側)からの位置確認ができない状況であった。

接合地点の地上部直上は、交通量の多い相互1車線の幹線道路で、接合位置の確認は、沿道の駐車場を利用して行った。初めに、この駐車場から小口径推進(ベビーモール工法)による斜め削孔を行い、先行シールドのスキムプレートおよび先行トンネルのセグメントを削孔、貫通させた。次に、この削孔したボーリング孔を利用し、坑内基準点の設置を行うことで、地中接合位置の測量が可能となり、高精度な地中接合を実施できた。

3-9 8工区

本工区は、鎌水小山給水所用地内のNo.9 発進立坑から町田市相原町1241番地先の地中接合地点までの延長2,381.1mの工区である(図-3)。

(1) シールドの選定

路線には  $R=45m$  の急曲線があることから中折れ装置を装備し、また、到達点では7工区側との地中接合になるため、機械式地中接合装置(受入れ側)を装備した。

(2) 巨礫層への対応

No.9 発進立坑の土留め壁(柱列式連続地中壁 ECW工法)完了後、立坑内掘削を開始する予定であったが、床付け前のGL-17.0~19.0m間において、事前の土質調査で確認できなかった巨礫(最大  $750 \times 250mm$ )が発見された。シールドの改造を検討したが、地中接合機能への影響や、機械断面(内空)縮小によるビット自動交換システムの動作

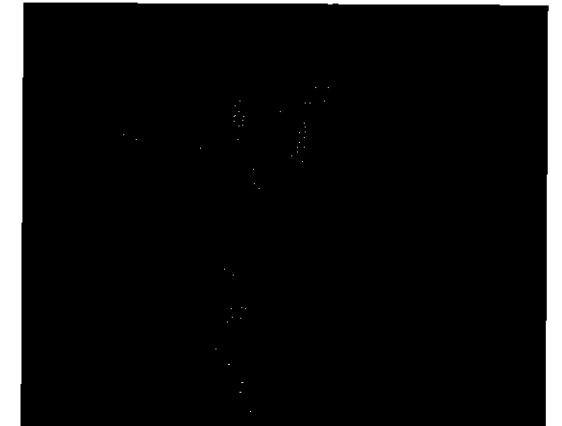


写真-8 8工区トンネル築造状況(急曲線部)

不能が懸念された。そのため、立坑をさらに掘下げ、シールドの発進位置を当初計画より4.2m深い位置に変更することで、巨礫層を回避した。

(3) 掘削機(カットビット)の補修

施工段階のボーリング調査の結果、 $N$ 値150以上の地盤が想定以上に続いたことから、ビットの摩耗が予測値より大幅に超える値となった。また、7工区の進捗が遅れたため、事業全体の完成時期を考慮し、本工区の掘進距離を990m追加することになった。そのため、ビットの補修も行う必要が生じた。

ビット補修、増設は、シールド外側に地盤改良(ダブルバッカー工法)を実施し、地山の安定を確保したあと、シールド内部より切羽前方に入り、掘削地山をモルタル吹付けで養生して、地山の変状を入念に監視しながら行った。

## 4 おわりに

多摩丘陵幹線は1997(平成9)年度から工事を着手し、約18年の歳月を経て、第一次・第二次整備区間合わせて全線が完成、運用となった。地形的、土地の利用上、さまざまな制約があったなか、技術的課題に挑戦し、それを克服していくことで、トンネル技術を蓄積することができた。

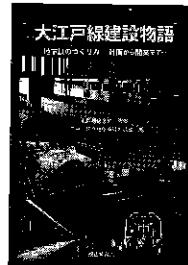
現在、東京都水道局では東村山浄水場から多摩

丘陵幹線を結ぶ広域送水ネットワークを構築するため、多摩南北幹線の整備を進めている。

多摩丘陵幹線の整備により得られたさまざまな経験や技術、あるいは教訓を後進に伝え、多摩南北幹線の整備をはじめ、今後の施設整備に反映させていく。

これまで整備に携わってきたすべての方々へのご尽力やご苦労に、この場を借りて深く感謝申し上げます。

### 【図書紹介】



## 大江戸線建設物語 地下鉄のつくり方—計画から開業まで—

東京都交通局 監修/大江戸線建設物語編集委員会 編 成山堂  
A5判 360頁 本体価格2,700円 2015年7月刊

地下鉄大江戸線は、放射部14kmと、環状部29kmからなる路線である。同路線は、既設の地下構造物を避けて、地下深く建設されたため、予想を超える工事となったが、当時の最新・最高の技術を駆使して難工事を乗り越え、計画から約30年の歳月を経て平成12年12月12日に全線開業した。

本書は、今年で開業15年をむかえる同路線の計画から事業の完成までの概要を、実際の建設に携わったメンバーで組織した委員会がとりまとめたもので、建設当時の実際の図面や写真、資料を多数用いて紹介している。

### 目次

- |                     |             |
|---------------------|-------------|
| 第1編 東京の公共交通と大江戸線の概要 | 第2編 建設      |
| 第3編 電気設備・車両         | 第4編 運転・安全対策 |

## 施工

# 多摩川を横断する3本目の連絡管シールド

—東京下水道 北多摩二号・浅川水再生センター間連絡管—

東京都下水道局流域下水道本部技術部工事課長 北村 隆光  
東京都下水道局流域下水道本部技術部工事課課長代理(土木工事係長) 小林 裕  
前田建設工業(株)東京土木支店多摩シールド作業所作業所長 菊池 崇  
前田建設工業(株)東京土木支店多摩シールド作業所工事課長 柴 泰裕

## 1 はじめに

東京都が建設を進めている北多摩二号・浅川水再生センター間連絡管(以下「連絡管」という)は、両センターの処理機能を相互に融通し、震災時などにおける下水道機能を確保するとともに、効率的な更新や維持管理に活用することを目指す施設であり、多摩川上流・八王子水再生センター間、北多摩一号・南多摩水再生センター間に次ぐ3本目の連絡管である。

本稿では、連絡管の概要、シールド工法で施工した連絡管工事の概要について報告する。

ポイントに、トンネル排水の最低勾配2%を考慮のうえ決められている(図-2)。多摩川横断後、到達立坑に向かって23.1%で上るかたちとし、到達立坑側が浅くなる縦断線形である。連絡管の概要は表-1のとおりである。参考に、以前に施工を行った多摩川上流水再生センター・八王子水再生センター間の連絡管内部を写真-2に示す。

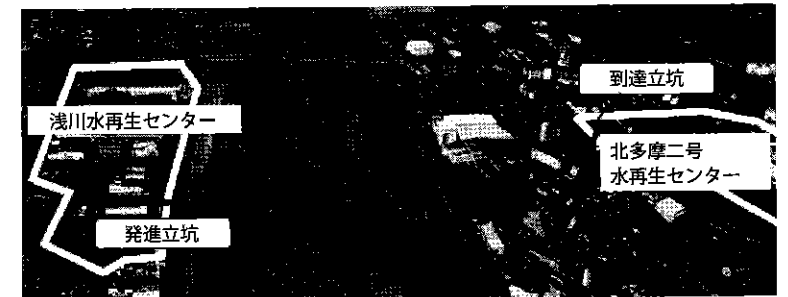


写真-1 全体路線位置

## 2 連絡管の概要

北多摩二号水再生センターと浅川水再生センターは、多摩川を挟んで対岸(直線距離で約0.7km)に位置している。連絡管の平面線形は、多摩川のほか、都道、市道、公園の地下を通過するルートである(写真-1、図-1)。

また、縦断線形は、多摩川河床との必要離隔をコントロール



図-1 路線平面図

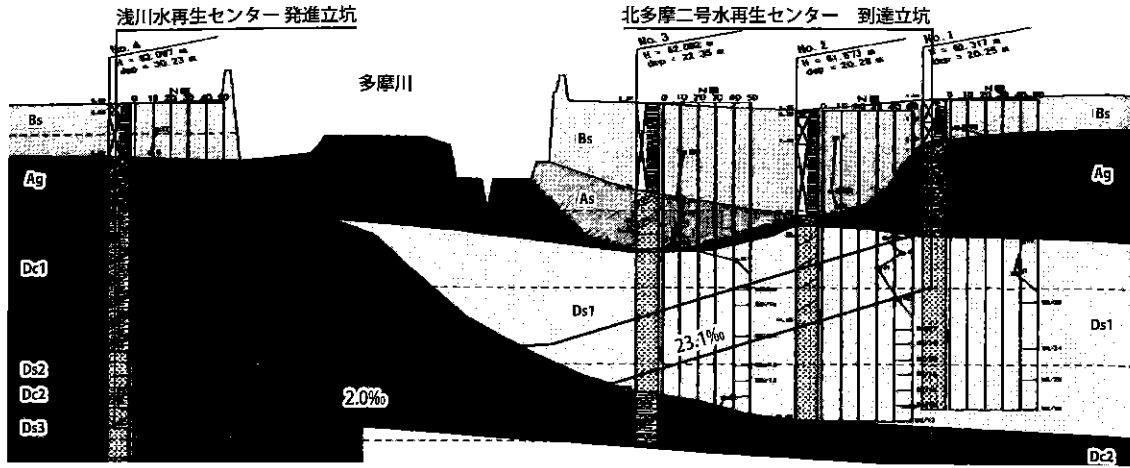


図-2 地質縦断面

表-1 連絡管の概要

仕上り内径	φ3,500mm
施工延長	960.71m
連絡管内収容物	汚水管 φ450mm×2本
	汚泥管 φ150mm×2本
	再生水管 φ150mm×1本
	汚水管 φ80mm×3本
その他各種ケーブルなど	

表-2 連絡管工事および関連工事概略工程表

年度	2012	2013	2014	2015
	立坑設置工事 (ニューマチックケーソン：浅川)	■		
連絡管工事 (シールド・インパート 0.9km, 到達立坑)		■	■	
連絡管その2工事 (ポンプ室・管廊：浅川)		■		
連絡管その3工事 (ポンプ室・管廊：北多摩二号)			■	
連絡管その4工事 (連絡棟・管廊：北多摩二号)			■	
連絡棟等建築工事 (北多摩二号・浅川)				■
ポンプ・配管等機械工事 (北多摩二号・浅川)			■	
受電設備等電気工事 (北多摩二号・浅川)				■



写真-2 連絡管内部収容物(参考)

### 3 工事概要

連絡管工事は、浅川水再生センター(日野市石田1-236)から北多摩二号水再生センター(国立市泉1-24-32)まで約0.96kmの区間を泥土圧シールドによりトンネルを築造するものである。覆工は、直線部および緩曲線部は二次覆工省略型鉄筋コンクリートセグメントを用いて二次覆工を省略する。また、急曲線部は鋼製セグメントにコンクリートを中詰めしている合成セグメントを使用し施工す

ることになっている。

連絡管工事および関連工事の概略工程表を表-2に示す。

#### 3-1 地質条件

シールド通過地盤は、更新世上総層群細砂、砂質固結シルトおよび粘土混じり細砂からなる。おおむね細砂層で、均等係数が小さく、含水量が多いのが特徴である(表-3、図-2)。

また、到達立坑付近は、礫層が上部に介在する地層である。

### 3-2 施工条件

シールドは、河川管理者である国土交通省の許可条件が河床から1.5D(Dはシールド外径)の離隔を取るようになっていた。多摩川横断後、府中市四谷公園、府中市道、都道を通過する。市道は道幅が狭く、近隣には都営住宅も立地していたことから、家屋被害や住民へのお知らせに万全の注意を払った。また、工事着工に先立ち各管理者と十分な協議を行うとともに、支障物の有無などについて調査を実施した。

表-3 地質構成

地質時代	地質名	地質記号	主構成土質	N値(平均)	
完新世	埋土層		Bs	礫混り粘性土	4~12(8.1)
	扇状地堆積物層	旧河道堆積物	As	シルト質細砂	5~12(8.0)
		砂礫堆積物	Ag	玉石混り砂礫	29~100(61.1)
第四紀更新世	上総層群・下総層群相当層		Ds1	粘土混り細砂	31~100(66.5)
			Dc1	砂質固結シルト	16~43(36)
			Ds2	細砂	50(50)
			Dc2	砂質固結シルト	32~100(55.4)
			Ds3	砂礫混り細砂	100(100)
			Dg1	砂礫	100(100)
			Ds4	細砂	83~100(94.4)

### 4 シールドなどの仕様

#### 4-1 シールド

##### 4-1-1 中折れ式の採用

平面線形に、R=60mの急曲線区間があるため、シールドは中折れ式の構造とした。中折れ角度は、最小曲率半径R=60mに対応した左右中折れ角度4.9°、上下1.0°とした。シールドの装備内容を以下に示す(写真-3、表-4、図-3)。

##### 4-1-2 カッタビットの対策

シールドは、総延長L=960mであるが、掘削地盤が硬質砂質地盤であることから、カッタビットの摩耗が懸念された。また、到達部



写真-3 泥土圧シールド掘進機

表-4 シールド装備内容

外 径	φ4,040mm
機 長	6,800mm
装 備 推 力	13,734kN(981kN×14本)
カッタトルク	1,523kN・m(定格)
最大中折れ角度	左右4.9°、上下1.0° R=60m急曲線施工時、所要角度3.8°

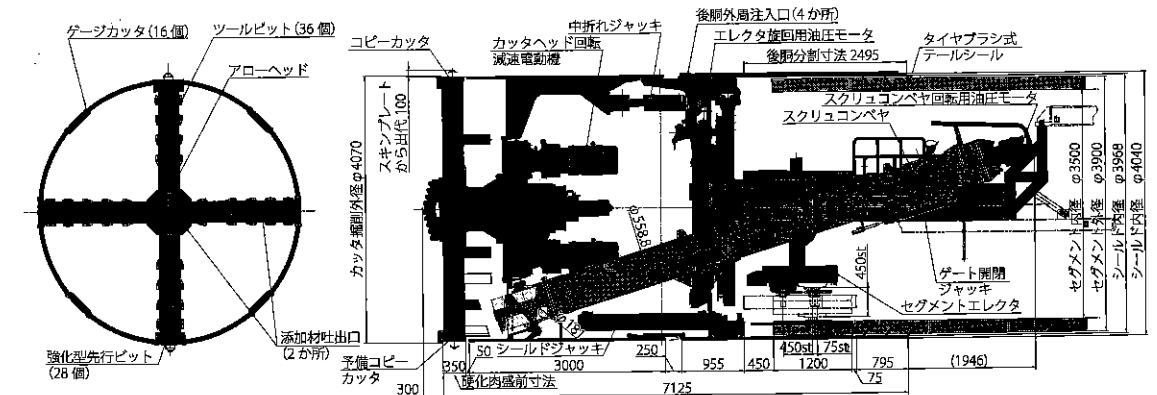
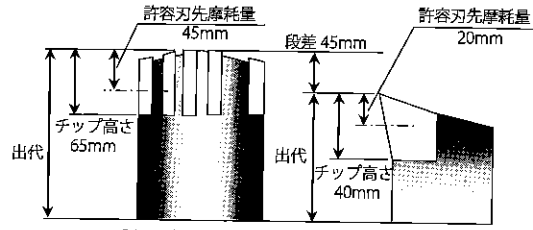


図-3 泥土圧シールド

付近に礫層が介在するため、摩耗に対して有効な超硬チップ材を使用するとともに、先行ビット、ツールビットの2段階配置のビット配列とした(図-4)。この結果、掘進完了までのカットビットの摩耗はわずかであり、摩耗対策の有効性を確認できた。

4-2 セグメント

セグメントは、直線部および緩曲線部では幅



【先行ビット(模式図)】 【ツールビット(模式図)】  
図-4 カットビット段差配置図

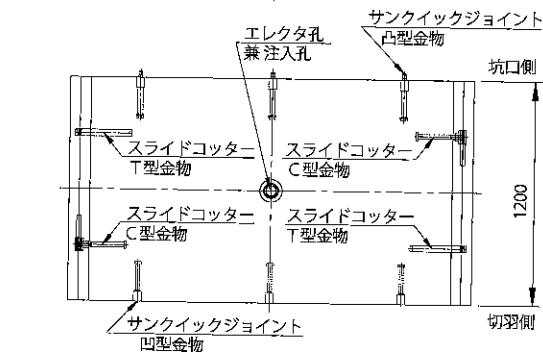
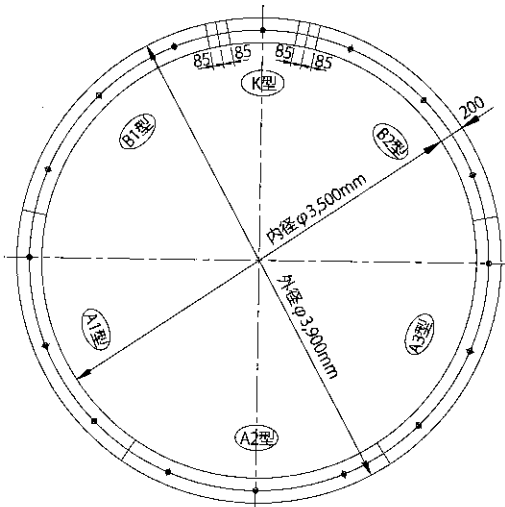


図-5 特殊コンクリートセグメント構造図(スライドコッター・サンクイックジョイント)

1.2m、桁高200mm、6分割の特殊コンクリートセグメントを基本仕様としている(図-5)。

一方、急曲線部では、幅500mm、桁高200mm、6分割の特殊鋼製セグメント(中詰めコンクリート鋼製セグメントII型)を使用する(図-6)。また、

表-5 セグメント仕様一覧表

施 工 延 長	960.71m		
シ ー ル ド 形 式	泥土圧シールド		
セグメント 諸元(mm)	特殊コンクリート セグメント	外径	φ3,900
		仕上り内径	φ3,500
		幅	1,200
		厚さ	200
	特殊鋼製セグメント (中詰めコンクリート)	外径	φ3,900
		仕上り内径	φ3,500
	幅	500	
	厚さ	200	

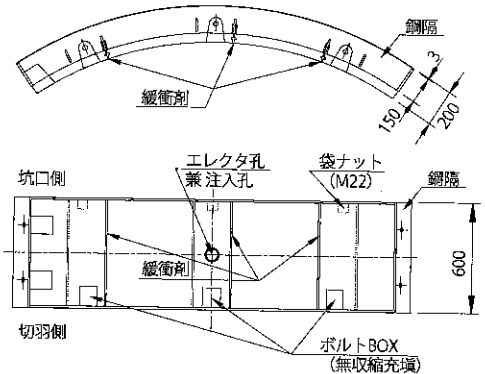
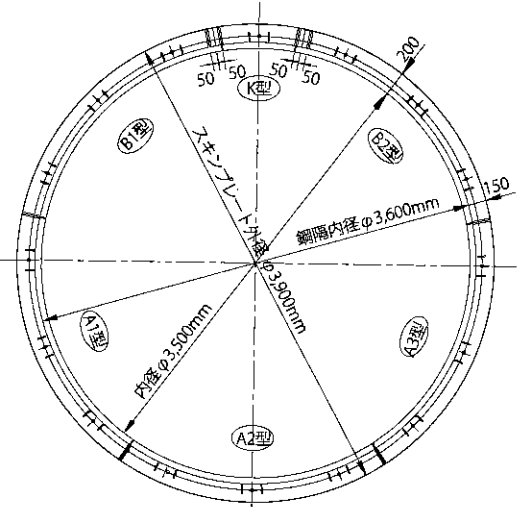


図-6 特殊鋼製セグメント(中詰め)構造図

この連絡管は、二次覆工省略(内面平滑型)セグメントを基本としていることから、自動締結型のジョイント(スライドコッター・サンクイックジョイント)を使用した。使用したセグメントの仕様を表-5に示す。

4-3 仮設備など

シールド内径φ3,500mmと比較的小さく、トンネル内作業環境の改善による労働衛生面、安全管理面の配慮が重要となる。また、掘削地盤が均等係数の小さい帯水砂層であることから、スクリーゲートからずり鋼車への移送時に噴発の可能性が危惧された。そのため、掘削土搬送方法を当初の鋼車から流体輸送に変更した。

4-4 そのほかの対策

そのほか、最小曲率半径R=60m施工、河川横断施工などから、次のような対策を講じた。

- ① 急曲線、河川横断施工であることから、シールドテールブラシを2段とし、シリコンを塗布した。また、後部の1段はウレタンでワイヤーブラシを包込むことで、テール部の止水性、耐久性を向上させた(写真-5)
- ② シールド本体については、注入用バルブを取付けて出水時に止水できるように工夫した

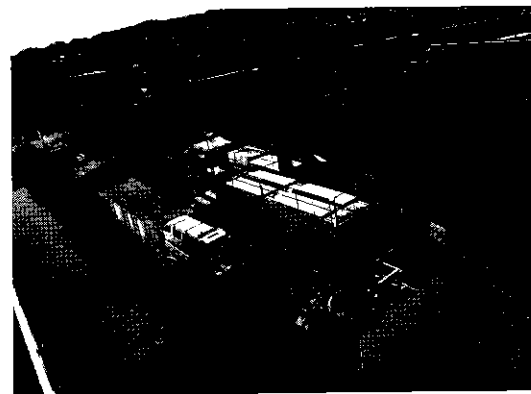


写真-4 シールド発進基地設備



写真-5 テールブラシシリコン塗布

③ セグメントシールは、全周貼りとした

5 おわりに

2013(平成25)年9月、シールド発進立坑が浅川水再生センター内に完成し、2014(平成26)年1月からシールド掘進を開始した。2014(平成26)年7月に約1,000mのシールドトンネル(写真-6)が完成し、これまでに重要構造物である多摩川河川敷と近接した沿道家屋、公道などを通過したが、徹底した掘進管理、計測管理により沈下などを生じることなく通過できた。

また、急曲線部(最大R=60m)の施工および到達付近の礫が介在するなかの掘進も幾度かの閉塞はあったものの、無事到達することができた。本工事で得られた知識やノウハウを今後のトンネル技術の発展にぜひ活かしていきたいと考えている。

さらに、連絡管の後続工事が継続して施工となるが、供用開始に向け、安全に品質の良いものを築造していく所存である。

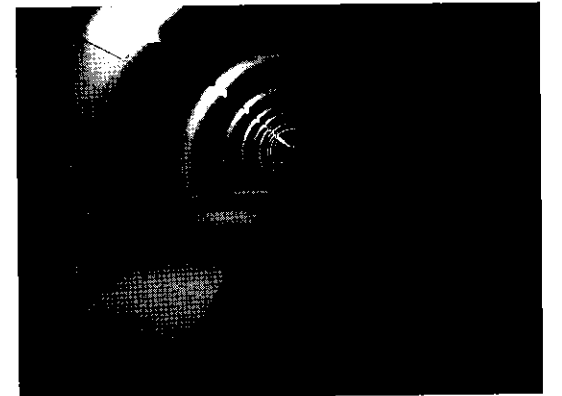


写真-6 シールド坑内

# トンネルジャーナル

## 三陸沿岸道路 唐丹第1トンネルが貫通

東北地整南三陸国道事務所が整備する吉浜釜石道路の(仮称)唐丹第1トンネルが貫通し、7月16日、貫通式典と地元見学会が開催された。式典には釜石市長ら約130人が出席し、地元小学校児童が唐丹よさこいソーランを披露するなどして貫通を祝った。式典後には地元見学会も開催され地域住民らが通り初めを行った。

同トンネルは釜石市唐丹町字小白浜と字片岸を結ぶ延長465mの2車線自動車専用道路トンネル。大林・富士ビー・エス特定JVが施工を担当する。大ロット工事である国道45号吉浜釜石道路工事では、同トンネルのほかに、荒川トンネル(1,169m)、唐丹第2トンネル(521m)、唐丹第1高架橋(306m)、唐丹第2高架橋(352m)などが建設される。

地山はおもに中生代ジュラ紀粘板岩、チャートからなり、発破方式により順調に掘進した。両坑口部に存在した割れ目が卓越した区間は、フォアポーリングを補助工法とした機械掘削によった。掘削期間は213日間で、最大月進は111.6mだった。坑口付近に、仮設住宅を含む民家が多数あるため、発破掘削にはとくに配慮した。対策として、防音ハウスと2枚の防音扉を設置するなど、発破騒音による地域への負担を極力軽減させた。また、工事ではCIMを導入していたことから、見学会や貫通式典ではこれを用いて、完成道路の走行シミュレーションの体験、視聴のブースを設けたほか、3Dプリンターで作成したモデルの展示を行った。

同トンネルが位置する吉浜釜石道路は吉浜IC(仮称)から釜石JCT(仮称)に至る延長14kmの自動車専用道路。2018年の開通を予定している。このたびの貫通が同道路での初の貫通となった。国道45号では、



(上)唐丹小学校児童による唐丹よさこいソーランの演舞  
(下)CIMを利用したドライブシミュレーター

東日本大震災の津波被害により通行止めが発生したことから、吉浜釜石道路を含む三陸沿岸道路は山側の高台に整備されている。これにより、大規模災害時にも寸断されない信頼性の高い道路ネットワークが形成されるほか、平時においても、迅速かつ安定的な救急搬送路として住民生活に安全と安心をもたらす道路としての役割を担うことができる。また、魅力的な観光資源が豊富な三陸沿岸地域の主要な観光ルートとして、地域の発展に寄与する役割も期待されている。

### 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

# 計画

## 内部補強と外部補強を組み合わせたシールドトンネル変状対策(設計編)

—みなとみらい線 高島トンネル—

横浜市交通局工務部施設課安全担当係長 杉山伸康

日本シビックコンサルタント(株)地下空間技術事業部課長 蘭康則

清水建設(株)土木横浜支店工事長 神保誠二

### 1 はじめに

本工事は、みなとみらい線横浜駅から新高島駅までの複線シールドトンネル(以下「高島トンネル」という)における延長110m(キロ程0 k624m~734m)に対するトンネル補強工事である(図-1)。

高島トンネルでは、トンネル内空が水平方向に増加する変形を一部区間において確認していた。2003(平成15)年度から約10年間にわたって計測による監視を継続してきたが、その変形量や進行性

が不安視されたため、2011(平成23)年2月に専門有識者による「みなとみらい線トンネル検討委員会」を設置し、現状の安全性や変形原因、対策工法の選定などについて検討を重ねた。その結果、変形の原因が建設直後にその直上で行われた宅地造成のためのサンドドレーンや盛土の施工による圧密沈下の影響であり、現状では一定の安全度を有しているが、将来荷重および地震時に対する恒久的な対策が早急に必要との結論を得たため、トンネル補強工事を実施することとした。

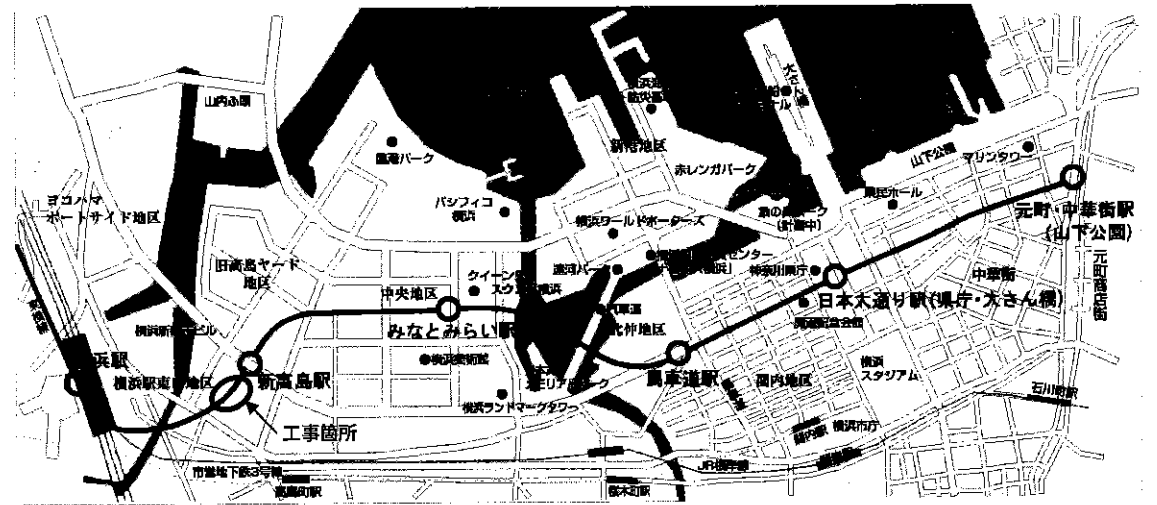


図-1 工事位置図

施工上の課題として、営業線内での補強工事となるので施工中の列車運行の安全性確保、施工条件に制約がある中での品質の確保、トンネル直上付近で土地開発が計画されているため安全対策工事として工期短縮を図ることが求められた。

上記の課題を踏まえて、高島トンネル補強工事では、トンネル外周に地盤改良を施工して外部からの対策とした点や、トンネル二次覆工用の鋼製部材を小分割して人力施工とした点などの特徴を有している。

本稿は、高島トンネル補強工事を実施するうえでの諸課題を踏まえた設計について報告するものである。

## 2 概要

### 2-1 トンネルの概要(図-2)

トンネル外形：9,800mm(複線断面)

土 か ぶり：約23m

セグメント寸法：厚さ250mm，幅1,200mm

リングあたりピース数：9ピース

セグメント形式：嵌合セグメント(NMセグメント)

二 次 覆 工：なし

### 2-2 地質条件

当該地区は、帷子川の旧河口沖合にあたる埋立て地に含まれ、明治時代から近年にかけて造成さ

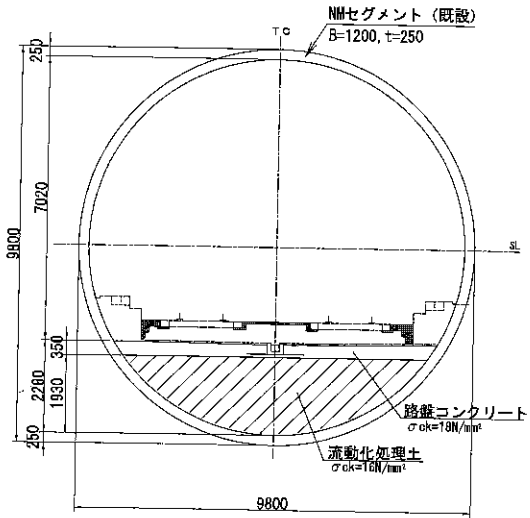


図-2 トンネル断面図

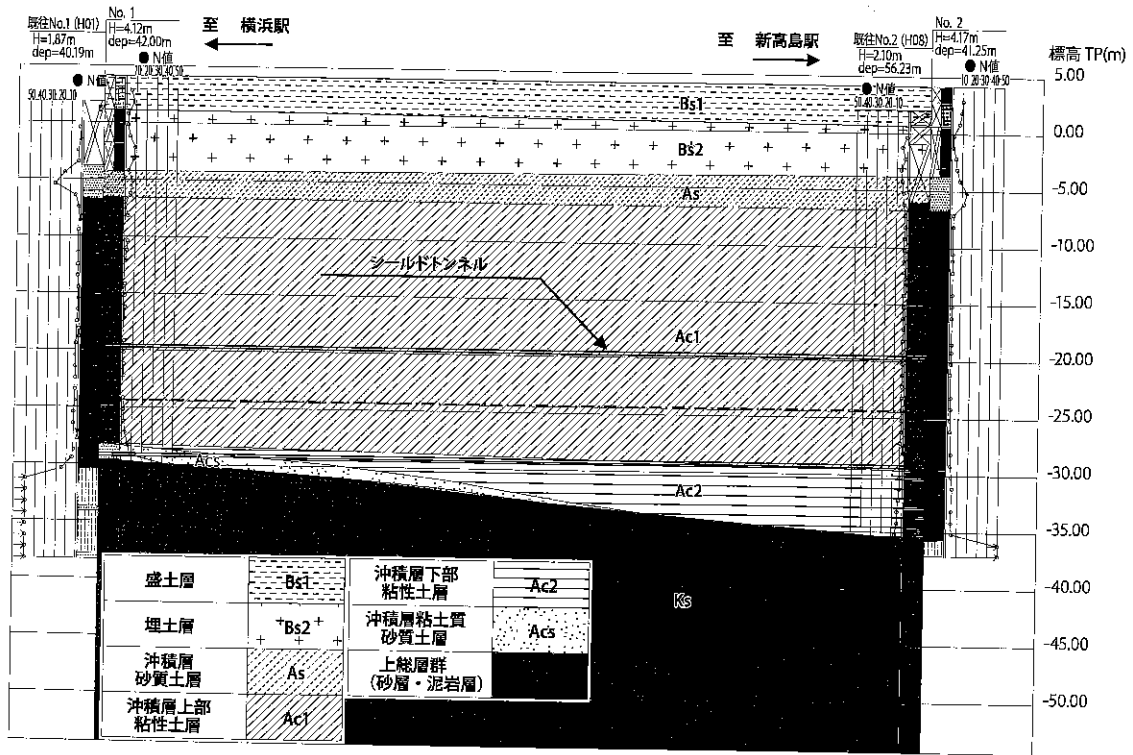


図-3 地質縦断面図

れた埋立て地である。埋立て地直下の地質の特徴として、基盤層である上総層群で形成される埋没谷があり、その埋没地形は変化に富んでいる。この埋没谷に埋積する粘性土を主体とする沖積層が厚く堆積し、その上位に埋土層が広く分布している。

地層は上部より、砂質土が主体の盛土層(Bs1)、粘性土が主体の埋土層(Bs2)が8m程度確認されている。その下部に沖積層砂質土層(As)が3m程度の層厚で分布する。その下部には軟弱な沖積粘性土層が確認されているが、N値の小さい沖積層上部粘性土層(Ac1)と、Ac1層に比べ砂分の混入が多い沖積層下部粘性土層(Ac2)とに区別されている。砂質土が主体である沖積層粘土質砂層(Acs)を挟み、基盤層となる上総層群(砂層・泥岩層)(Ks)が分布する(図-3)。

### 2-3 変形の発生経緯

変形が発生したトンネル区間は、2000(平成12)年4～5月の期間に施工された。また、変形を誘発したと考えられるトンネル直上付近で行われた宅地造成工事は、2003(平成15)年6～9月に施工された。なお、宅地造成工事はトンネル建設前から計画されており、トンネルの設計条件として想定されていた。

宅地造成工事の概要は以下のとおりである。

サンドドレーン工：約2,000本

サンドマット工：約21,000m<sup>2</sup>

盛 土 工：約20,000m<sup>3</sup>

宅地造成工事が完了後、2003(平成15)年10月にトンネル状況を調査したところ、トンネルの一部でトラフコンクリートとセグメントとの間の目開き(写真-1)やクラウンにクラックが確認された。このとき、スプリングライン位置で水平方向のトンネル内径を計測したところ、設計値(9,300mm)から最大で63mm拡大していたため、内空計測および水準測量による監視を開始した(図-4)。

8年間の計測で最大134mmの水平内空の拡大が確認された。

2003年10月：+ 63mm(宅地造成完了後)

2007年9月：+102mm

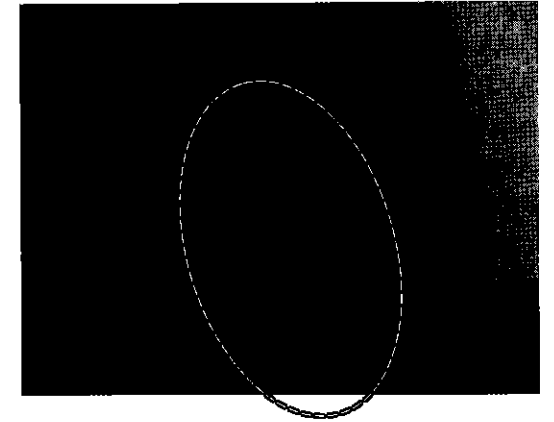


写真-1 トラフコンクリートとセグメントとの開き

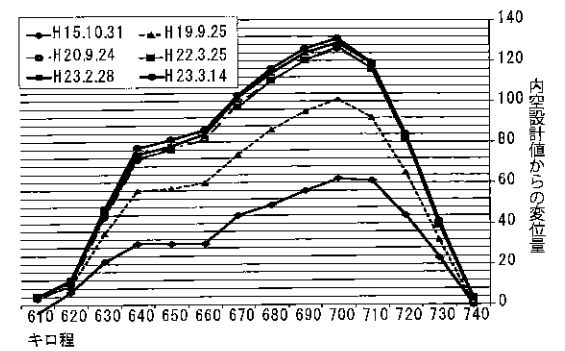


図-4 変形計測履歴

2008年9月：+126mm

2011年2月：+129mm

2011年3月：+132mm(東日本太平洋沖地震直後)

2011年10月：+134mm(最大値)

※数値はもっとも変形した0k700m地点の値

## 3 トンネルの変形原因と対策

### 3-1 トンネルの現状と安全性の評価

トンネル内空の変位が約120mmとなる際の発生断面力を求めてトンネルの状態を評価した。

検討の結果、常時の状態で最大となる応力度は降伏応力度付近にあると推測したが、トンネル全体の中で降伏応力度付近まで変形している範囲は部分的であり、今後変状に進行がなければ一定の安全度は有しているものと考えられた。ただし、今後予定されている土地開発による付加荷重や地震時の影響などの将来荷重に対しての安全性の確保は困難であると判断した。

### 3-2 トンネルの変形要因の推定

現地地盤の地形条件は、トンネル直下が硬質地盤に近接し、その地形はトンネル縦断方向に谷部を有しかつ海側に傾斜している。また、それに伴い地層条件としてトンネルの位置で粘性土の過圧密と正規圧密が縦断的に変化している。このような特殊な地盤条件のもと、サンドドレーンと盛土の施工の影響によって発生した即時的な沈下と、その後の圧密沈下の影響を主要因としてトンネルに変状が生じたものと推測した。また、これらの要因により生じた今回の変形量はトンネルの設計変形量を超える結果となったが、上記のように特殊な地盤条件であったため設計の段階でこれを予測することは困難であった。

### 3-3 対策工法の選定

トンネル補強の目的は、現状および地震やトンネル上部の土地開発に伴う将来荷重に対して、トンネル変状の進行防止と、恒久的な構造の安全性を確保することとした。

また、トンネル上部の土地開発スケジュールを阻害しないため工期が最短となる工法を選定することとした。

将来荷重に対しては、トンネルを内部から補強する方法に比べて工期短縮が可能となる高圧噴射攪拌工法による外部補強を採用することとした。

また、変形量が顕著な一部区間では、二次覆工による内部補強を併用し耐荷性能を向上することとした。

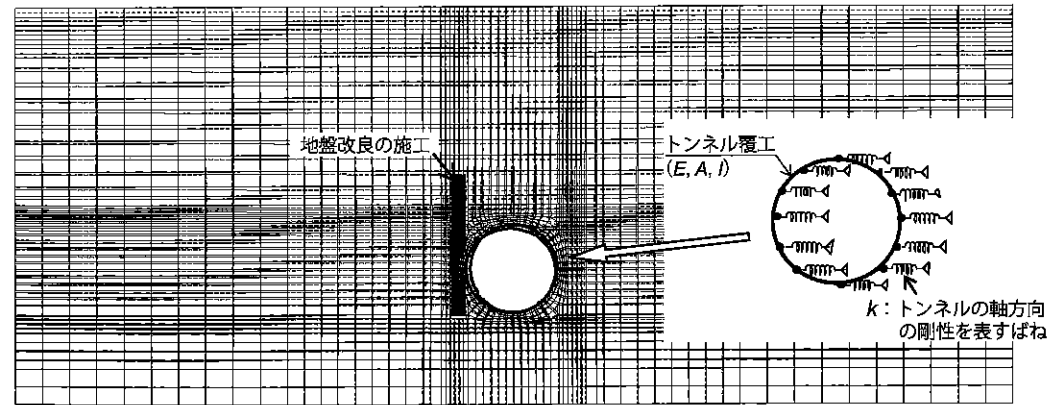


図-5 二次元の横断面解析におけるトンネル軸方向剛性の考慮

### 3-4 外部補強によるトンネルへの影響予測

外部補強の施工により変形したトンネルへの影響を考慮して、施工がトンネルに与える影響を定量的に把握するため解析を実施した。地盤改良施工時の影響でトンネルが押される可能性と、改良直後に改良体硬化前の影響でトンネルが広がる可能性とを解析した。

地盤改良施工時の影響では、改良圧がトンネルを押し込む場合の検討として、安全側の機械攪拌工法を想定した。改良体硬化前の影響では、トンネル側部が泥土で掘削された状態として解析を行った。また、それぞれの評価は、二次元の横断面解析の結果に三次元効果を考慮した。三次元効果は、トンネルの縦断方向の剛性と地盤改良施工時の縦断方向の不連続性を考慮した。トンネル縦断方向の剛性は、二次元の横断面解析においてトンネルの縦断方向の剛性によるセグメントリングの拘束効果を接点ばねで評価した(図-5)。地盤改良施工時の縦断方向の不連続性は、地盤改良の施工が改良杭を順次施工することに着目し、改良杭が離散して造成される場合と縦断方向に連続体として造成される場合とで発生する地盤変位量をそれぞれ平面解析によって求め(図-6)、この比率で二次元の横断面解析の結果を補正することで評価した。

解析の結果、地盤改良施工時の影響では8mm程度トンネルが鉛直方向に伸びる変形を、改良体硬化前の影響では10mm程度トンネルが水平方向に伸びる変形を生じる可能性があることと予測した。つま

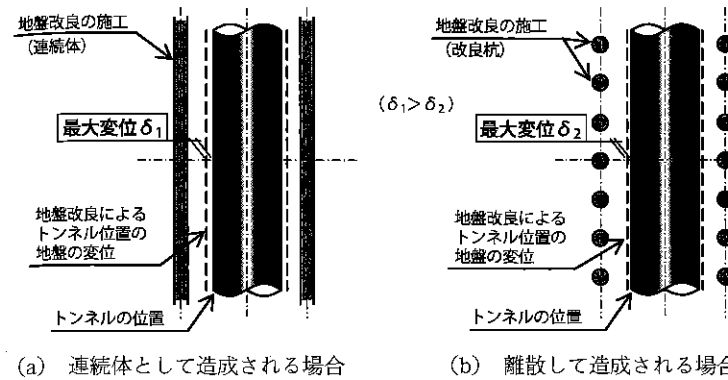


図-6 地盤改良の施工と地盤変位量の平面解析モデルの概要

り、施工時にはトンネル変形を戻す方向に作用し、改良直後にはトンネルの変形を増加させる方向に作用することが想定された。

施工影響としては、これらの挙動の累積も予想された。最大変位箇所付近では応力度が降伏応力度付近にあると推測しているため、試験施工を実施し、施工影響の詳細を事前に把握したうえで、施工手順や施工中の計測による安全管理を計画することとした。

## 4 外部補強の設計

### 4-1 補強のコンセプト

将来荷重をトンネルに作用させないよう、門型に造成する改良体で受持ち、荷重を基盤層に直接伝達させる構造とした。また、トンネルの変位や断面変形を拘束できるように、改良体とトンネルの側部を密着させる配置とした。

### 4-2 工法選定

地盤改良工法として、薬液注入工法と深層混合処理工法とを比較すると、薬液注入工法は改良強度と長期的な対策効果が期待しにくいことと、深層混合処理工法はセメント改良体の強度が比較的大きく補強効果が期待できることから、深層混合処理工法を選定した。

深層混合処理工法は、機械攪拌工法と高圧噴射攪拌工法に分類されるが、機械攪拌工法は、大型重機の使用により改良前のトンネルや周辺地盤への影響が懸念されること、トンネルとの密着が点になることから、高圧噴射攪拌工法を採用するこ

ととした。

高圧噴射攪拌工法として、JSG、コラムジェットグラウト(CJG)、スーパージェットミディ(SJM)、スーパージェット(SJ)工法を比較検討した。JSG工法は施工深度が適用対象外のため除外となる。CJG工法は対象地盤に対して噴射エネルギーが少なく造成径が確保できない可能性がある。SJ工法は設備が大きいことや、改良径が

大きいため必要以上に改良体を造成することになり経済的にSJM工法に劣る。以上のことから、SJM工法を選定した。

### 4-3 補強範囲と杭の配置

#### 4-3-1 平面範囲

変形により低下したトンネルの耐荷性能が将来荷重に対して安全率 $F_s=2$ を下回る範囲とし、110mの区間を補強範囲とした。

#### 4-3-2 断面範囲

トンネル周囲に地盤改良体を造成し、改良体による門型の補強とする。門型の柱に相当する部分は、下端で基盤層である上総層群砂層泥岩層(Ks層)に接するように造成することとした(図-7)。

#### (1) 部材の検討

将来荷重： $q=120\text{kN/m}^3$ (圧密付加荷重を含む)  
改良体諸元

一軸圧縮強度： $\sigma_u=1,000\text{kN/m}^2$

粘着力： $c=300\text{kN/m}^2$

付着力： $f=1/3 \times c=100\text{kN/m}^2$

曲げ引張強度： $\sigma_t=2/3 \times c=200\text{kN/m}^2$

安全率： $F_s=3.0$ (永久構造物)

#### (2) トンネル頂部 梁部材

地盤改良体の設計は永久構造物として安全率 $F_s=3.0$ で行うこととした。トンネル頂部の梁部材は、曲げ応力の発生しないディープビーム部材となる部材厚の検討と、改良杭を一体化(固化材を直接超高速噴射することによるプラスト効果で先行改良体と後行改良体相互を密着)させることを前提としてせん断力の検討を行い、梁厚さを6mと設

定した。

(3) トンネル側部 柱部材

将来荷重を負担するため、設計圧縮強度と安全率を考慮して柱幅を4mと設定した。

4-3-3 杭配置

将来荷重が確実に伝達されるため、改良杭同士

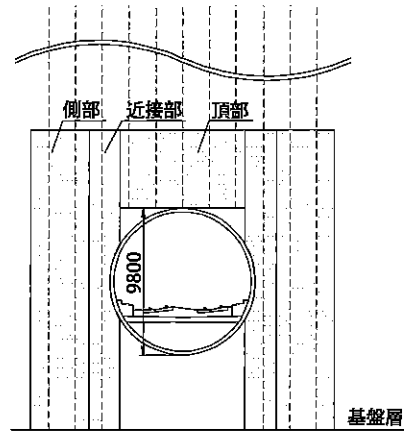


図-7 外部補強断面図

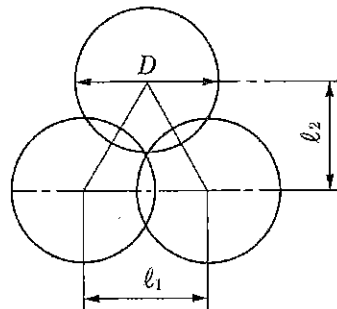


図-8 改良杭ラップ配置図

記号	名称	数量
●	水盛式沈下計	9断面×2台=18台
▼	内空変位計	12断面×3台=36台
◆	ひずみゲージ	2断面×3点+2断面×2点=10点

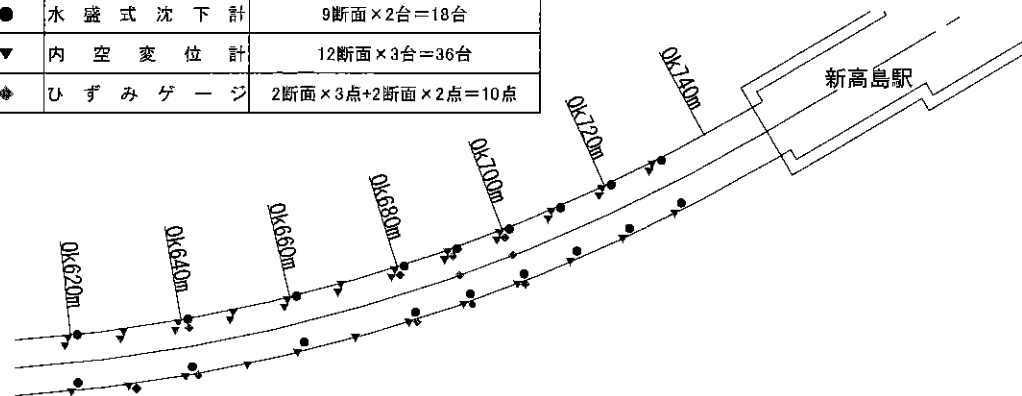


図-9 計測平面図

を完全に一体化する必要があることから、ラップ配置を採用した(図-8)。

4-4 計測計画

影響解析により、施工によるトンネルへの影響が予測されたので、施工中のトンネル挙動をリアルタイムで確認するため自動計測による監視体制を構築した(図-9)。

4-4-1 主な計測項目

表-1に主な計測項目を示す。

4-4-2 管理基準値と管理体制

施工中の安全性を確保するため、内空計測値に管理基準値を設定し、管理体制を構築した。

トンネルの構造安全上の限界値は、トンネルの内径が設計値(9,300mm)から150mmの変位を生じた場合との解析結果を得た。現状の最大変位量が約135mmであることから+15mmの変位を施工限界値と設定し、さらに限界値の70%となる+10mmを施工中の許容値として管理基準値を設定した(表-2)。

また、管理基準値ごとの管理体制を表-3のとおり実施することとした。

4-5 試験施工にもとづく設計の見直し

解析データにもとづき上述のとおり工事計画を設計した。地盤改良によるトンネル補強を実施するうえで、以下の3点が課題として考えられた。

(1) 課題1

地盤改良の対象となる土質の粘着力cが50kN/m<sup>2</sup>を越える粘着力が高い粘性土地盤であること

表-1 主な計測項目

計測項目	計測器	計測目的	計測方法	計測頻度
トンネル内空変位	レーザー距離計	トンネル断面変形への影響を把握するとともに、トンネル構造の安全管理の主項目とする。	スプリングライン位置に計器を10mごとに設置し、クラウン部と反対側側壁をターゲットとし、3方向の変位を計測する。	1回/10分
トンネル鉛直変位	水盛式沈下計	トンネル本体の鉛直方向の移動量を把握し、軌道変位との関連性を確認する。	施工影響外に設置する基準水槽と、10mごとにスプリングライン位置に設置する沈下計を連通管で接続する。	1回/10分
応力変化	ひずみゲージ	セグメントに発生する応力を計測し、トンネル内空変位データの評価を補足する。	セグメントの鋼材部にひずみゲージを貼りつける。	1回/10分
軌道変位	軌道変位測定器	施工による軌道への影響を把握し、列車運行の安全性を監視する。	レール間の枕木上に10mごとにワイヤーを張り、通りと高低の変位を計測する。	1回/10分

表-2 管理基準値

対象	管理項目	管理基準値(mm)			備考
		工事管理値 (許容値×0.5)	工事警戒値 (許容値×0.7)	許容値 (許容値×1.0)	
トンネル構造安全	内空変位量	+5	+7	+10	構造の限界量の70%を許容値として設定する。 (-)側の変位はトンネルの安全性が維持できる範囲で管理する。

表-3 管理体制

段階	対応(各段階の基準値を超えた場合)
1. 工事管理値	計測頻度のアップ、経時変化の確認、躯体および計測器の目視点検
2. 工事警戒値	計測頻度のアップ、経時変化の確認、躯体および計測器の目視点検、計測値の以降の予測、原因の究明、対策工の必要性の検討
3. 許容値	工事の一旦停止、原因の究明、対策を含めた工事方法の協議、対策工の実施、監視体制の強化、工事再開の判断

工期についての詳細データを把握し、本工法が現実的に適用できるかどうかを含めて確認することとした。

4-5-1 試験施工結果

(1) 品質・出来形

1回目の試験施工は、SJM工の仕様の範囲内で①削孔径、②プロジェクト(以降「PJ」)のピッチ、③PJの引上げ速度、④PJの添加剤の有無、⑤造成時の引上げ速度、⑥造成時の回転数、および⑦固化材の種類、を変えて複数の組合せで試験杭の造成を行い、最適と考える仕様(表-4)の評価を行った。2回目の試験施工は、1回目の結果の再現性が得られることを確認するために実施した。

その結果、1回目ではφ3,200mmの径が確認されたが、2回目では、φ1,000~1,800mmと出来形がばらつく結果となった。

(2) 計測結果

トンネル頂部での施工により数mm程度変位が拡大する傾向があったが、トンネル側部での施工によって変位が復元する方向に影響する方が支配的で、最終的に20mm程度変位が復元する傾向が確認された。

4-5-2 設計修正の考え方

試験施工の結果、土質によって改良杭の品質や

から、設計の杭径が確保できない可能性があること。

(2) 課題2

トンネルの構造上の安全性を確保するため、近接した地盤改良の施工でトンネルに更なる変形を生じさせないこと。

(3) 課題3

列車運行の安全性を確保するため、地盤改良によるトンネルの変形および圧力により、大量の漏水やセメントミルクの噴発を生じさせないこと。また、管理値を越えた軌道の変位を生じさせないこと。

したがって、試験施工を実施し、トンネルへの影響の傾向や程度、現地地盤における地盤改良の品質、出来形、施工性、現場条件におけるコスト、

表-4 主な試験施工項目と確定仕様

削孔径	PJピッチ	PJ引上げ速度(min/m)	混和剤(kg/m <sup>3</sup> )	引上げ速度(min/m)	回転数(rpm)	使用固化材
φ140	0.8mピッチ	6	6	12	4	SJ-2号
φ216	1.0mピッチ	10	12	24	3	SJ-3号

ハッチ部が確定仕様

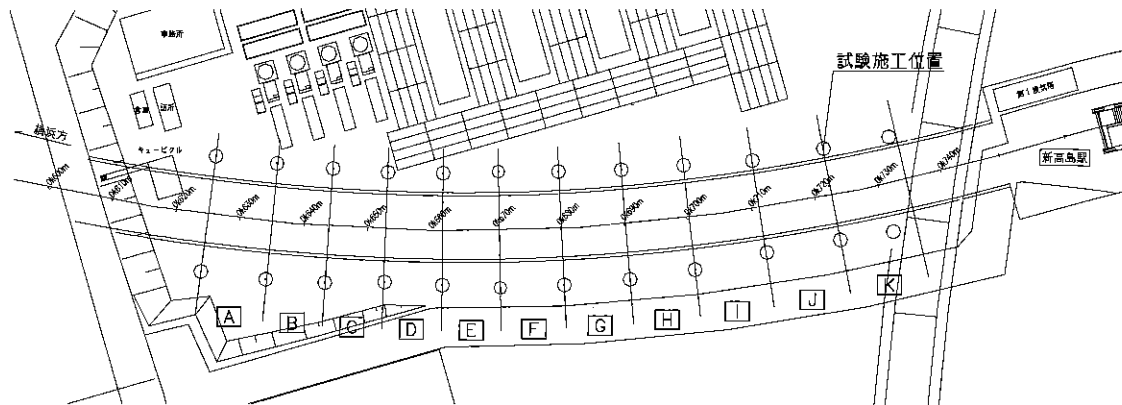


図-10 施工ブロック化平面図

出来形がばらつく結果となり、その原因は対象地盤が高粘着力地盤で複雑な土質であることによると考えられた。そのため、施工範囲を10mごとに小分割してブロック分けし、ブロックごとに試験施工を実施(図-10)し、PDCAサイクルを機能させることで、不明確な造成に対して、効率的な修正設計を実施する施工体制をとることとした。

## 5 内部補強の設計

### 5-1 補強のコンセプト

営業線内での施工となるので、現場打ちコンクリートによる二次覆工とすると限られた線路閉鎖時間内の施工では打ち継ぎ箇所が非常に多く発生する。その結果、止水の弱点の増加や二次覆工の剛性低下などの品質面の低下、および将来にわたる点検・補修箇所の増加による維持管理の効率の低下が懸念された。また、当該区間ではモーターカーなどの大型重機の使用が困難な施工条件であった。このため、人力での運搬・組立てが可能なプレキャスト部材を用いて既設トンネルの内側に円形に組立てて補強部材とし、空隙を無収縮モルタルで充填することで二次覆工を構築する補強工法を検討した。

内部補強に求める性能は、耐荷性、耐久性および列車運行に対する安全性とした。耐荷性については、外部補強で将来荷重を負担するが、内部のトンネルで過大な変形を生じている30mの範囲には一定の強度を確保できる補強を施すものとした。要求する強度は、内部のトンネルが工事開始前のトンネル変形量の最大値から推定した現況の作用荷重に対して安全率 $F_s=1.5$ を確保することとした。

耐久性については、トンネル内で塩分を含んだ漏水が確認されていることから、塩化物イオンに対する防錆対策を施すこととした。また、容易に更新工事ができないことから、部材の劣化や外力の作用による破壊に対しても、十分な耐久性を有する構造とした。

列車運行に対する安全性については、供用中の地下鉄トンネル内に設置するという条件を考慮し、完成状態ではもちろん、施工中でも材料や部品などの落下による運行支障が発生しない工法選定、仮設計画を検討した。

### 5-2 補強範囲

既設トンネルのシールドセグメントを1リングごとの構造物と見なし、1リングの幅1,200mm対

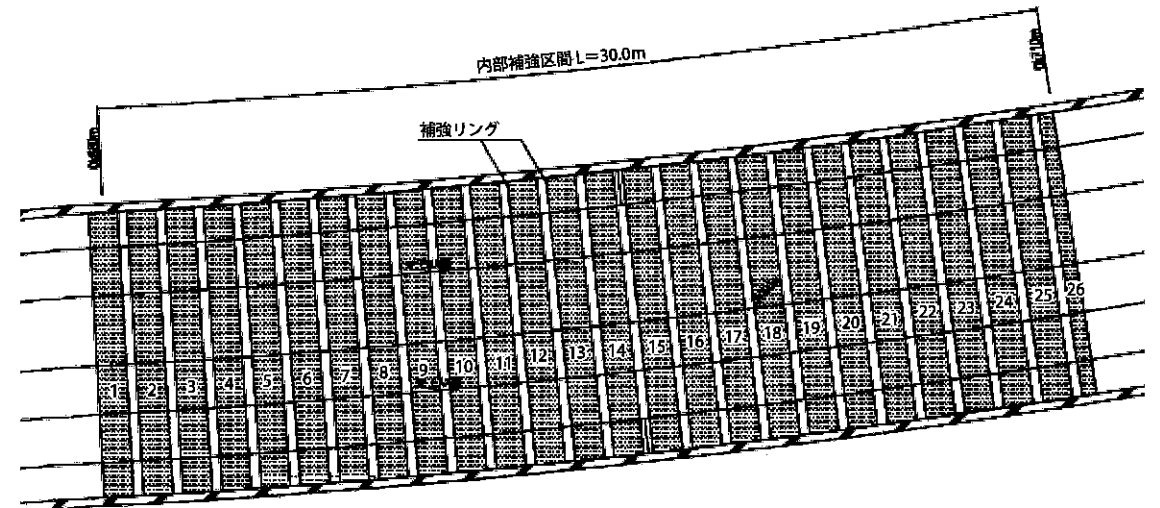


図-11 内部補強範囲図

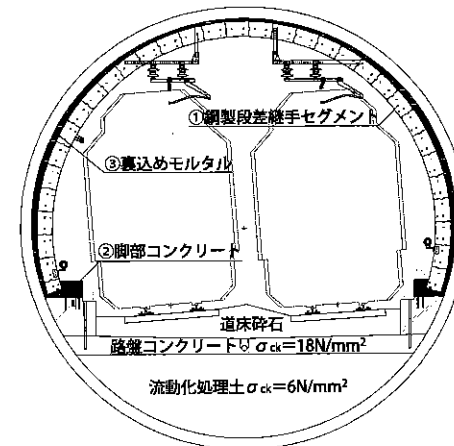


図-12 内部補強構造構成図

して、補強部材は中央部の幅900mmを補強する構造とした。内部補強を行う30m区間にはシールドセグメントが25リングと半分の割付けであったことから、補強部材も900mm幅で25リング、および450mm幅で1リングの合計26リングの構成とした(図-11)。

### 5-3 補強構造の概要

補強構造は、既設トンネル覆工の内側にさらに覆工体を設置して二重リング構造とし、二重リングの全体で所要の安全率を確保する構造とした。

補強部材は、①鋼製段差継手セグメント、②脚部コンクリート、③裏込めモルタルから構成される(図-12)。

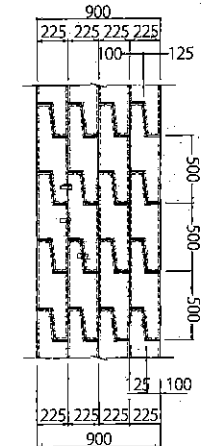


図-13 補強セグメント構造図

### 5-4 各部材の役割、構造、性能

#### 5-4-1 鋼製段差継手セグメント

トンネルの内部補強の部材には割れ欠けが生じない鋼製部材を採用した。

補強部材の鋼製段差継手セグメントはインバートを通じてアーチ状となり、設計荷重を支える部材である。鋼製のセグメント、およびボルトからなる構造である(図-13)。

セグメントは、継手部の目開きによる変形が生じやすい。内部補強には、将来荷重が作用した場合でもトンネルに変形を生じさせない高い剛性が必要であるため、継手部が目開きにくくリングとして高い剛性を有するプレキャスト部材を必要

とした。

検討の結果、鋼製段差継手セグメントを適用することとした。このセグメントは、ピース間の接合部が階段状の継手を有し、片側のピース間接合部は凸の形状を、他方のピース間接合部は凹の形状を有し、それぞれが嵌合することにより隣接するリングとイモ継ぎにならず、かつ高い剛性が得られる特徴がある。

また、鋼製段差継手セグメントの防錆仕様を検討した際、1ピースが小さく、形状が非常に複雑であることから、塗装による防錆では内部の細かい箇所確実に塗布することが困難であり、防錆性能が確保できないことが懸念された。このため、めっき強度が強く、過酷な腐食環境下で使用される溶融亜鉛めっき(HDZ55)による防錆を適用した。

内部補強の形状は、補強セグメントを運搬、組立てするための重機を使用することが困難な施工条件であったため、1ピースごとの重量を約100kgとなるようにセグメントを分割して、現場で組み合わせられるような設計とした。1ピースの幅が225mmである鋼製段差継手セグメントを4ピース並べたものを1段とし、それをトンネル周方向に33段組み合わせることで、幅900mmの補強部材1リングとなる構造とした。

#### 5-4-2 脚部コンクリート

脚部コンクリートは、鋼製段差継手セグメントと既設トンネル構造物との界面にて応力を伝達するための部材であり、鉄筋および無収縮モルタルからなる構造である。

セグメントからの水平分力は、最下段のピースに設置したボルト鋼材を介して伝達し、既設トンネルに打設した、あと施工アンカー、鉄筋材、無収縮モルタルにて既設トンネルと閉合させる構造とした(図-14)。

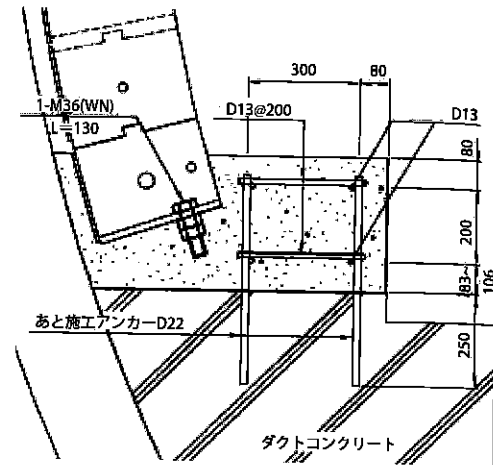


図-14 脚部構造図

#### 5-4-3 裏込めモルタル

裏込めモルタルは、既設セグメントに荷重が作用した際に、内部補強材に応力を伝達するための部材であり、無収縮モルタルからなる構造である。確実な充填を必要とするため、充填性に優れた材料の選定と、施工時の十分な充填管理によって行うこととした。

また、営業線内での施工となるため、大量のモルタルの漏れや、営業時間内の滴下を発生させることのない材料を選定して行うこととした。

## 6 おわりに

本稿では、営業線トンネルに対して、高圧噴射攪拌工法による外部からの補強および鋼製段差継手セグメントを使用した二次覆工による内部補強の設計を報告した。施工条件、環境条件を考慮し安全性や品質、工期、コスト縮減などの課題をクリアするため、さまざまな工夫を施したが、実施中에서도さまざまな事象が発生し、発注者、設計者、施工者が一体となって諸課題に取り組んだ。施工の詳細については、次の施工編で報告することとする。



## トンネル工事現場より

松村 米紘  
(株)大林組

東京オリンピックの前年、1963(昭和38)年、大林組に入社。最初のダム現場でほんの少しトンネルに携わって以来、2001(平成13)年に大林組を定年、トンネル専門工事会社の吉田直土木(株)を退職するまでトンネルに関与してきた。座右の銘とかいったものは何もありませんが、現場現場での思い出を記します。

### 20代のこと

#### ■電源開発七色発電所工事

アーチ式コンクリートダム、取水口から地下発電所を含め放水路までの一貫施工の現場が入社最初の現場だった。

ダム班に所属し、仮排水路、地下発電所への搬入トンネルなどを担当した。搬入トンネルでは法面防護のモルタル吹付けを支保に使い、また地下発電所の側壁などではルーフボルトと称して4m、2.5mのロックボルト(楔式全面モルタル充填型)が多数使われた。

1986(昭和61)年の土木学会『ト

ンネル標準示方書』の改訂で「吹付けコンクリートとロックボルトを主たる支保部材」とする工法(いわゆるNATM)を標準工法とした。トンネル経験のない新入社員としては木製、鋼製支保工と同じように吹付け、ロックボルトが使われているものだと思っていた。

現場の所長が新入社員によく言っていた。「大きな現場では自分の担当にしか目が行かないので、他の部署の仕事、問題点に対し『自分だったらどうするか』を常に考える訓練をしとけ」と。

工事の終わりごろ、地元の要望でダム頂からダム下流への取付道路が発注され、その一部110mがトンネルだった。下口から底設導坑で掘り、貫通発破が夜番に当たった。私は夜の世話役に指示をして宿舎に帰った(担当は自分のみ、貫通点はダム頂の擁壁の箱抜き箇所)。夜中に一番ヤンチャな坑夫さんが片道30分以上かけて呼びに来てくれた。「貫通発破というのは重いものなのだ。担当者たる者



2014(平成26)年6月 アンコールワットにて

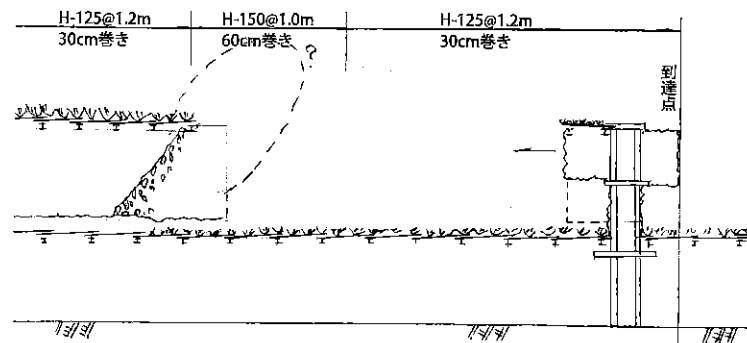
が立ち会わないのはなににごとか」と諭された。後々のトンネル屋暮らしにとってこの経験は大いに役立った。

■国鉄中央線新橋ヶ根トンネル

七色が終わって大阪本店に出頭したら「お前はトンネル屋」と言われた。たった110mのトンネルをやっただけなのになぜ？ 大林にはトンネル屋が少ないのか、性格的に合っていると見抜かれたのか。

恵那・武並間線増工事でトンネルは2,700m、そのうち武並側1,301m+応援分100mの担当。単線断面で底設導坑先進上部半断面、H形支保工木矢板、レール方式である。

坑口部は河川を渡り国道19号の下を通過する土砂山だった。上半は坑口より50m入った土かぶりか



切羽崩壊箇所縦断面図

20mになったところから切上がり、坑口に向かってしっかり固めながら戻った。

上半が1,385mまで、あと16mで完了という夜番に、運悪く流れ盤の石英斑岩が粘土目から滑り、切羽が崩壊、埋没した。幸い導坑はつぶされずにすんだので世話役さんと相談して、崩壊した切羽には手をつけず、到達点から切上り、奥から固めることにした。朝、事

務所に戻り、かくかくしかじかと上司に報告した。特段のお咎めもなく作業は継続し、切上りを含めて10日間ほどで作業は完了した。現在なら「ホーレンソー」ということで、崩壊の時点でなぜすぐ報告しなかったのかと怒られることだろう。今振返ってみてもこの夜の判断は正しかったと思う。当時、崩壊箇所に手をつけるには岩盤固結といった手法はなく、せい

著者略歴

- 昭和38年4月 (株)大林組入社
- 昭和38年6月 電源開発七色発電所
- 昭和40年9月 国鉄中央線新橋ヶ根トンネル
- 昭和43年2月 愛知県南知多道路切山工区
- 昭和44年7月 国鉄金山駅構内横断工事
- 昭和46年1月 山陽新幹線備後トンネル東工区
- 昭和49年1月 東北新幹線盛王トンネル中目工区
- 昭和50年3月 津軽海峡線青函ずいどう(三岳)工事
- 昭和51年12月 東京本社土木技術部
- 昭和52年9月 北陸電力有峰発電所第4工区
- 昭和56年1月 インドネシア国マニンジョウ水力発電所
- 昭和59年2月 東京本社土木技術部
- 平成元年4月 中部電力奥美濃水力発電所第4工区
- 平成5年3月 京都市高速鉄道烏丸線宝が池工区
- 平成8年12月 首都高飛鳥山トンネル
- 平成11年12月 東京本社東京工事計画部
- 平成13年3月 (株)大林組退社  
吉田直士木(株)入社
- 平成20年4月 吉田直士木(株)退社

ぜい丸太か半割りを撞木で叩込む先受けくらいしかなかった。

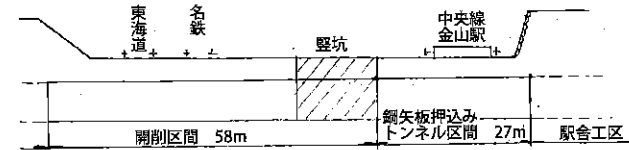
日ごろから、何かあったときは報告はもちろんだが、自分ならどう対処するかを考える習慣をつけることは大事なことだと思う。

■国鉄金山駅構内横断工事

名古屋市高速鉄道の2号線(金山~名古屋港間)、4号線(大曾根~金山間)の延長工事の一部で、中央線、名鉄本線、東海道線を横断する85mのトンネル工事である。複線型1基、単線型2基を構築するもので、国鉄が市より施工委託を受けていた。

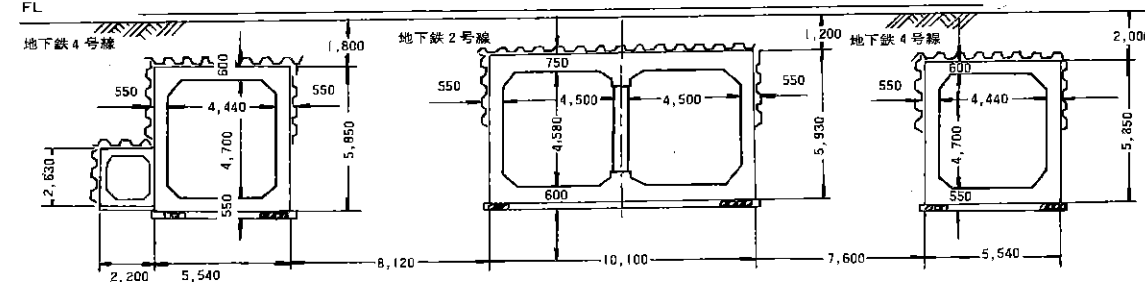
東海道線、名鉄線は線路切替えによる開削工法、中央線の下約26mは地形、列車運転保安などを勘案して、大林組が開発した鋼矢板水平押し込み工法による山岳トンネル方式とした。

この工法は無振動、無騒音の油圧式杭打機をヒントに、鋼矢板を水平方向に圧入すべく1967(昭和42)年より開発に取り組んでいた。

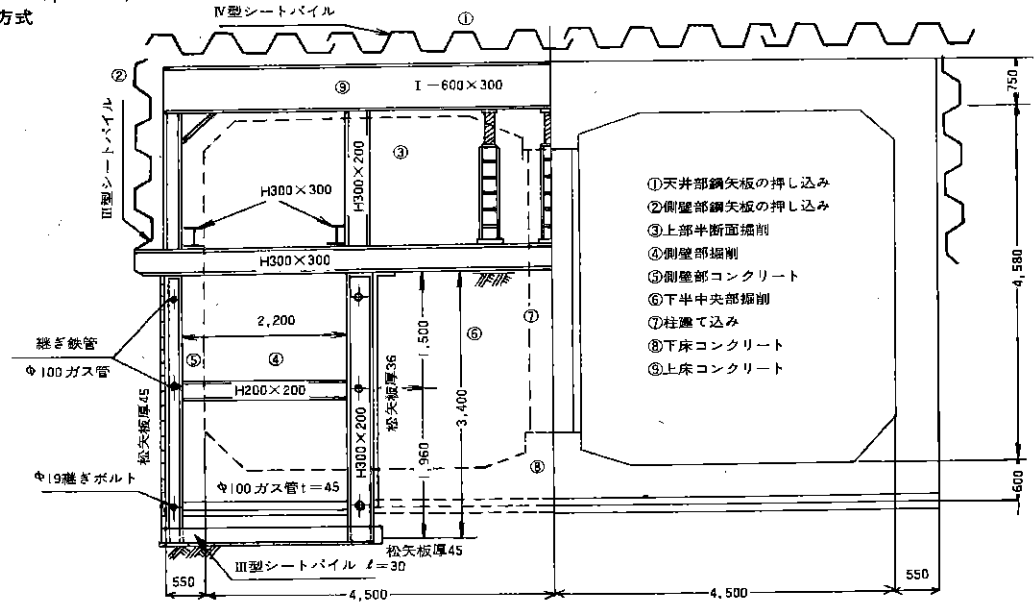


現場全景写真と縦断面図

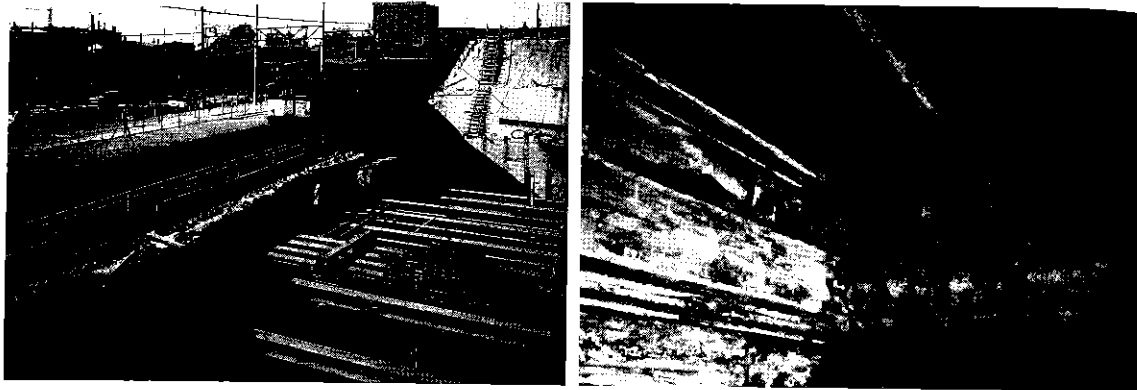
標準断面図



施工方式



標準断面図(大林組パンフレットより)



鋼矢板水平押込み状況(大林組バンフレットより)

水平鋼矢板で防護された切羽(土木学会誌昭和45年6月号より)

構造物の天端からレール面まで2m、地質はN値25~43のシルト質ローム。8枚の鋼矢板(Ⅲ、Ⅳ型)を1セットにし、1ストローク76cmで1枚ずつ押し込んだ。しっかりと固結したロームで、鋼矢板先端部の抵抗、接合部のせり合いなどで、最大押込み力225tのジャッキだったが、押込みには大変苦労した。ホーム中央に設けた検査坑が押込み精度の確認、押込み圧の低減に役立った。

頭の上を列車が走っていても鋼矢板のお陰で何の不安もなくトンネル掘削ができた。列車運転を確保しながら延長27m、3本のトンネルを鋼矢板押込みから構築完了まで6.3か月でできたことに満足している。

トンネル屋が望んでいた長尺の先受け工法の先駆けとなった工事だったが、押込み圧低減のための抜本的解決策に着手せぬまま転動してしまったことは、今思うと惜しかった。

### 30代 新幹線工事のころ

#### ■山陽新幹線備後トンネル東工区

尾道・三原間8,900mのうち、

尾道側3,680mの担当、作業用立坑の施工中に赴任した。当時は1975(昭和50)年春の開業を目指して急速施工が要求されていた。

立坑を起点に大阪方1,179m、広島方2,501mであったので広島方の急速施工を目指した。岩質は花崗岩、底設導坑先進上部半断面工法での土平掘削、側壁コンクリートの難点を解決するためサイロット工法を採用した。

左右側壁導坑の掘削、側壁コンクリートを先行し、残りのきのこ形断面(中央部と称した)を一発で掘削し、アーチコンクリートを打設するやり方である。

150mの月進を確保するために以下のような工夫をした。

- ・坑内の車両運行をスムーズにするため中央部用のジャンボは側壁コンクリートの天端を走らせた。
- ・側壁コンクリートの打設回数を減らすため1打設長を72m、4~5回/月とし、型枠は6mごとに特製の台車で移動した。
- ・中央部の発破に対し導坑の線路を確保するため切羽下にプロテクターを配した。

・中央部のずり積み機は1m<sup>3</sup>バケットのレール、電動式KR-70とした。

大目の堅硬な花崗岩から風化岩、破碎帯まで種々の岩質に対し、導坑掘削開始よりアーチコンクリート完了まで2,500mを24か月強(103m/月)で終わらせたことは、硬岩でのサイロット工法による急速施工が成功したと、今も考えている。

しかし安全面では列車事故で1件、中央部の肌落、落石で2件の死亡事故が発生した。

反省点として、今でも通じることだと思うが、以下のようなことが挙げられる。

- ・ヒトは坑内で常に緊張しっぱなしでいることはできない。ふっと気が抜ける 때가必ずある。そのときに危険要因と出くわすことのない手段を講じておくこと。ちょっとした工夫でも良い。
- ・ヒトは責任感というか善意というか、作業手順に優先して、何かを行動をしてしまうことがある。
- ・ヒトはエラーをするものという前提で計画を立てる。

- ・中央部の加背8.7mは厳しい。
- ・鏡の肌落、崩壊に対する安全策。

#### ■東北新幹線蔵王トンネル中目工区

蔵王トンネルは福島県と宮城県にまたがる11,210mのトンネルで宮城県(白石)側坑口より2,875mを担当した。

横坑交点より坑口側425mは扇状堆積物で、地質不良でのサイロット工法で坑口より掘削した。横坑交点より福島側2,450mは凝灰岩、凝灰角礫岩、集塊岩で、底設導坑先進上半、レール工法とした。1972(昭和47)年3月工事に着手した。

私は1974(昭和49)年1月に赴任したが、山陽では急速施工を求められていたのが、ここでは(発注者の予算事情もあったのか)工程に追いまかれることもなく、請負者の経済速度での施工ができ、その違いに驚かされた。

底設導坑掘削開始から側壁コンクリート完了まで28か月弱を要し、88.4m/月の進行となっている。底設導坑掘削完了後に何箇所かで切上がり、上半の切羽を増やすことができた。またアーチコンクリ-

ト完了後に大背土平の作業箇所も増やすことができ、これが全体進行の増につながっている。

#### ■青函トンネル三岳工区

大林・清水JVで函館側の陸上部6,400mを担当した。

大林組は斜坑交点より海底部に向かう、12/1,000の突込み区間3,200mを分担した。私は442mの斜坑掘削が完了したところ赴任した。

地質は泥岩、頁岩で被圧地下水も想定されたので、安全性を考慮しサイロット工法とした。備後トンネルとの相違点は、

- ・斜坑ウインチ1台と深さ104mのコンクリート投入坑を頼りに2社が競合すること
- ・岩質が軟らかいので発破後の大塊が少ない
- ・斜坑のずり運搬はベルコンである。

工夫した点としては次のようなことである。

- ・斜坑のベルコンに対応するため中央部のずり積みは1m<sup>3</sup>バケットのKR-70とトレンローダーの組合せとした。
- ・側壁コンクリートの型枠は1.5

mのパネルを24枚準備し、1打設長36mとした。導坑支保工にターンバックル、トロリーを取付け、これに1ビームのレールを通し、36mの型枠を一体として移動した。

・左右の導坑は列車の通れる連絡坑でつないだ。

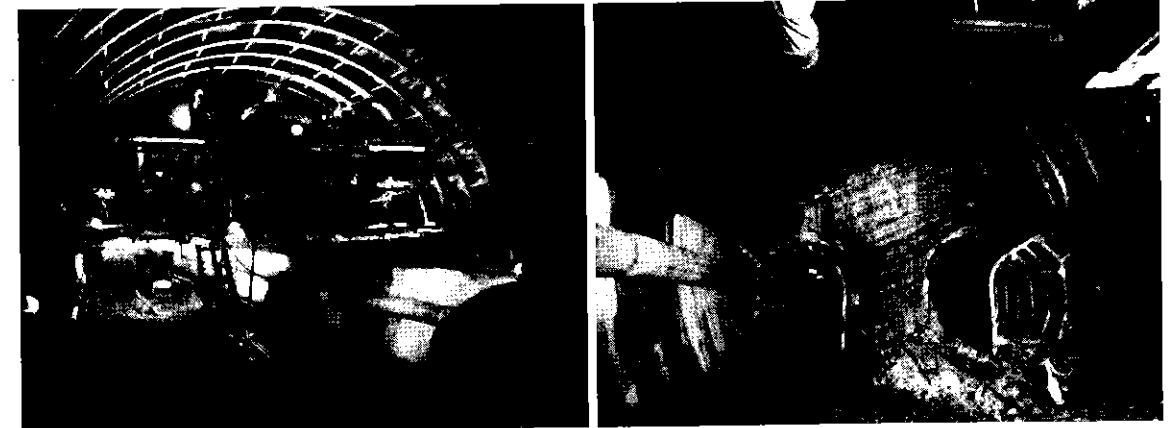
「このトンネルをどうしても獲りたいと思う請負師には山が柔らかく見えるものだ」という記事を書いたことがある。備後の大目で硬い花崗岩に比べたらなんと楽だったことか。

導坑開始からアーチコンクリート完了まで3,080mを36か月、86m/月の進行を得て、大きな事故もなかった。

### 水力発電所工事のころ

#### ■有峰発電所カラ谷工区

常願寺川水系和田川には、1960(昭和35)年に北陸電力が運用開始した、有峰ダムから取水する和田川第1、第2、新中地の3発電所が稼働中で、さらに有峰ダムを有効利用するため、有峰第1、第2、第3発電所の再開発が計画された。



8ブームドリルジャンボ(青函トンネル(三岳)工事工事誌より)

中央部切羽状況(青函トンネル(三岳)工事工事誌より)

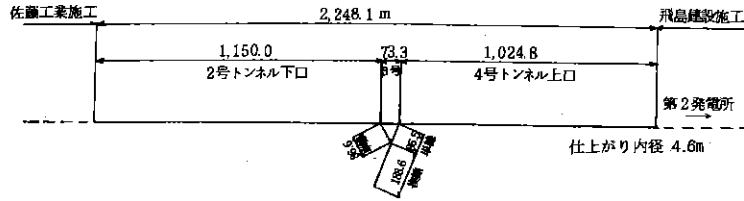
大林組は第2発電所の導水路トンネル、カラ谷工区を担当した。当時の有峰林道は富山県上新川郡大山町亀谷から和田川右岸沿いに有

峰湖まで、第1、第2発電所工事の唯一のアクセスであった。当地域は豪雪地帯で冬期作業は不能で、降雪前に上流工区よりブルドー

ザーを先頭に一連隊が下ってくるさまは壮観だった。

カラ谷工区の作業地点は亀谷地区より林道を4km上ったところで、カラ谷横坑口は林道の対岸800m、和田川河床まで40°の斜面を100m下り、河床から横坑口までは大塊だらけのカラ谷を、高低差140mで460m上ったところである。

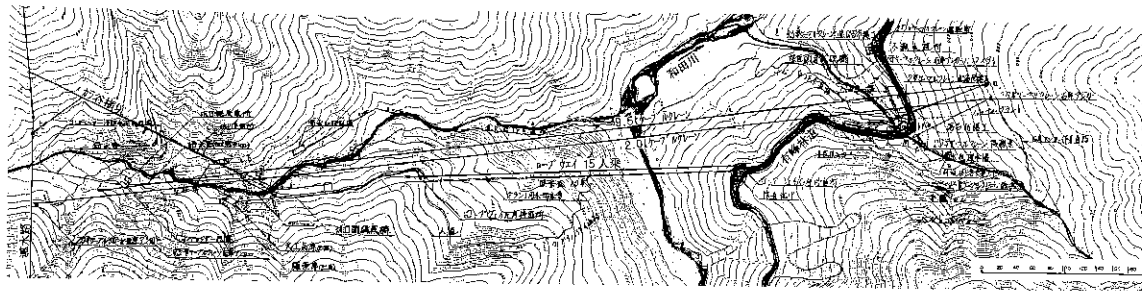
物、人をどうやって坑口まで運ぶか、乗込んだ秋にどこまで準備工事ができるか、が課題だった。人については宿舎を亀谷地区に決めたので(山での雪崩を避けて)、短時間で坑口に着けるようロープウェイと水平歩道とした。物は最大30m<sup>3</sup>/時のコンクリートを供給



工事概要図

ケーブルクレーンの仕様

名称	型式	定格荷重	主索径間	編程	横行速度	巻上げ速度	巻下げ速度
ケーブルクレーン	固定型	2.0t	1,200m	150m	300m/分	40m/分	
ケーブルクレーン	固定型	9.5t	1,078m	130m	400m/分	実100m/分 空180m/分	実130m/分 空160m/分
ロープウェイ	自動運転	15人乗り	385m	高低差52m	2m/秒		



仮設備概要図

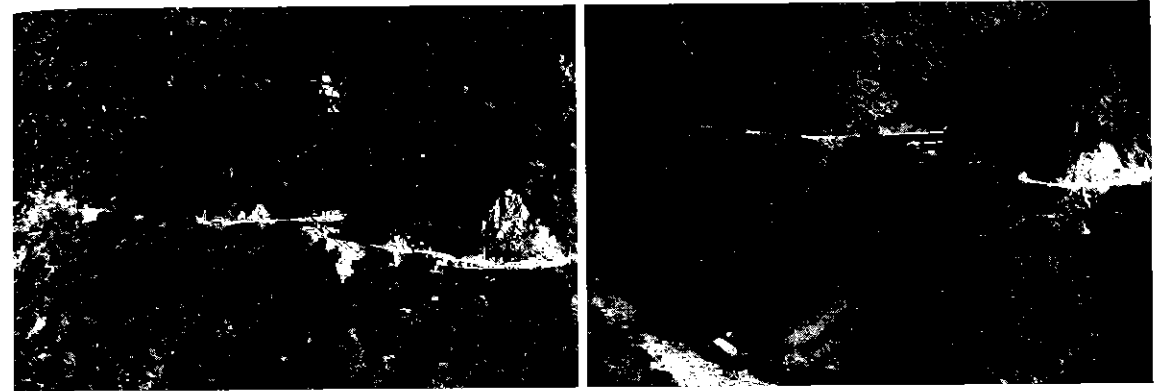


施工中

ロープウェイ

1958(昭和33)年当時

カラ谷、坑口方向を見る



施工中

1958(昭和33)年当時

有峰林道方向を見る

するため、バケット容量3m<sup>3</sup>、横行速度400m/分の9.5tのケーブルクレーンとした。また9.5tの架設用および将来のサブクレーンとして2tのケーブルクレーンを設置した。仕様は表のとおりである。当社は20年前にカラ谷で施工した経験があり、諸先輩から「仮設の段取り用索道としてスパン1,000mというのは無理だ」とアドバイスを受けた。索道屋のオヤジと山を歩き「この露頭した岩、立木がアンカーに使える」と、さすがプロのご宣託。1,200mスパンの索道に決めた。

左岸の9.5t用アンカーコンクリート200m<sup>3</sup>は降雪までにはほぼ打ち終わった(右岸のアンカーはトンネル方式とし、林道からポンプ打ちとした)。

この現場では二つのことに感謝している。

- ・電力さんの担当の方々との一体感、発注者と請負者の協調関係
- ・ニュー索道の社長さんのプロとしての力量

■マニンジョウ水力発電所

このプロジェクトはインドネシ

ア共和国西スマトラ州において天然のカルデラ湖の水を使って最大70,000kWの発電施設を造るもので、国際入札で国营電力公社より受注した。工事は取水口から放水口までの土木、建築の一貫工事で、契約形態はBOQ(数量単価総価)契約である。

建設地点はスマトラ島の西岸に位置し、熱帯雨林地帯だが明確な雨季、乾季の区別はない。工事中の1980~1983年の平均月別降雨量を次頁に示す。

入札時の資料では過去10年間の平均年間降雨量は1,810mmとなっていた。1979年末に乗り込み、1980年5月に半地下式の発電所の掘削に入ったが、提示された条件(地質、降雨量)と現状の違いに掘削は難渋していた。

私は1981年1月に応援部隊の一人として赴任した。初めての海外工事である。

トンネル工事のコンサルタントはスイスの会社。設計で気になったことを以下に示す。

- ・支保は鋼製支保工+コンクリートブロック(鉄矢木は可だが木

矢板は不可)、グナイト(吹付け)、ロックボルト。

- ・BQ(数量表)での掘削中の湧水の扱いは、突込み区間(排水ポンプの筒先で)10~50、50~100、100~150、150~200L/secの、各々の日数が示されている。上り区間(切羽より100m区間の湧水量)も同様に4タイプの日数が示されている。

- ・コンクリートの養生時間は30時間(交渉の結果24時間に)。
- ・コンクリートの連続打設は可(テレスコピック型セントルを準備したが設計が無筋から全区间鉄筋入りに変わり連続打ちを断念した)。

横坑1からの導水路掘削中、上流に570mの地点で35°Cの湧水、下流400m地点より湧水帯に入り排水量10L/secとなり、以後あちらこちらで集中湧水。690m地点で切羽より50L/sec、総排水量300L/secとなり、手持ちの給気管、コンクリート輸送管まで総動員するも切羽は水没し、日本からの機材の到着まで掘削は中断した。

当時インドネシアにはトンネル

経験者は少なく、ここでも全くの素人で最初は裸足で坑内に入る状態だった。日本人の職員、技能工の実践指導のもと、暑いトンネル、

大雨で寒いトンネルなど、悪条件のなか、よくがんばって掘り上げてくれたと感謝している。

好むと好まざるにかかわらず海

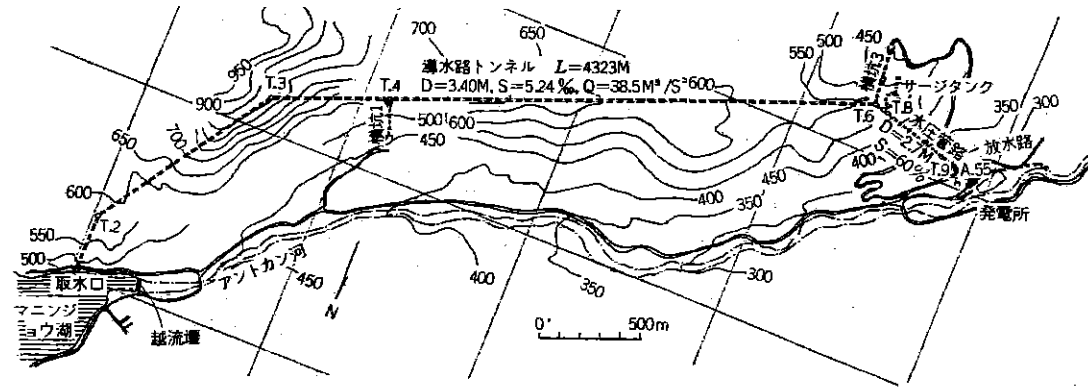
外工事に携わらなければならない人に老婆心ながら助言をさせていただく。

・何事にも常に好奇心を持つ習慣

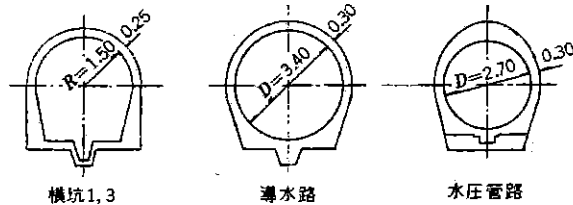
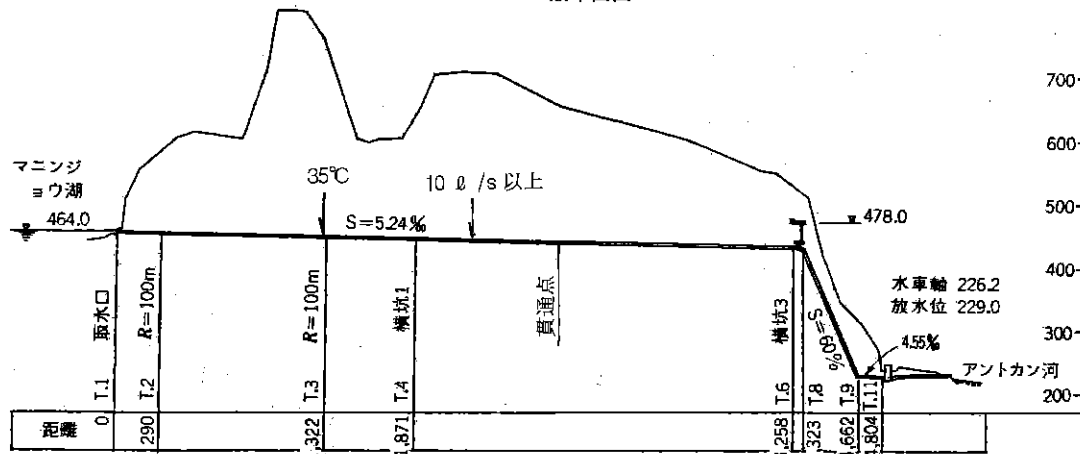
月別降雨量(トンネルと地下, Vol.16, No.1, p.83)

月別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計	月平均
降雨日(日)	13.3	11.3	14.7	17.0	19.0	9.8	15.8	12.8	17.0	20.8	21.3	18.7	191.5	16.0
降雨量(mm)	242	186	368	417	434	228	384	254	368	471	579	375	4,288	357

降雨日：1日1mm以上



一般平面図



断面図

一般平面図, 断面図(トンネルと地下, Vol.16, No.1, p.83)

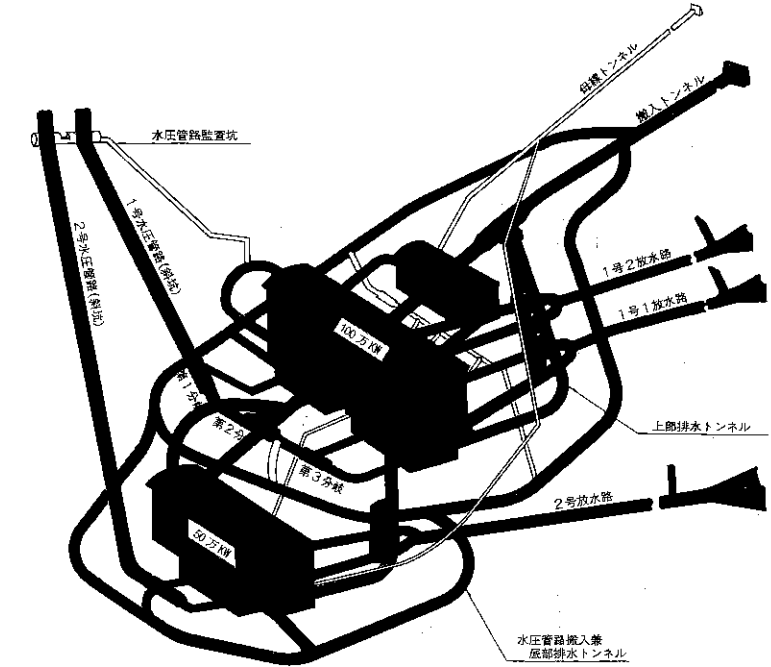


トンネル坑内にて

を、

- 国内に比べて格段と裁量事項(権)が増える、それでいて基礎知識が要求される(例えば、吹付けコンクリートの骨材に要求されることは、そしてどこで探し出し、手に入れることができるか)。
- 日本のように何でもできる坑夫さんがいるとは限らない、自分が技能の先生になるかもしれない。
- 工程表の重要性の認識。トンネル屋は工程が遅れると、何らかの策を立て、線を引き直すが、海外では与えられた条件で正当な計画を立てた結果が工程表。工程が遅れたのは与えられた条件と現状が違っているからだ、とまず考える習慣を。

エピソードをひとつ。会社の土木のトップが現場視察、督励に来られた。その会食の席で「大雨で苦労しているお前たちの前で申し訳ないが、日本では今『雨の慕情』という歌が流行っているんだ」と言って、歌ってくれた。そう、♪



発電所付近全体図(中部電力パンフレットより)

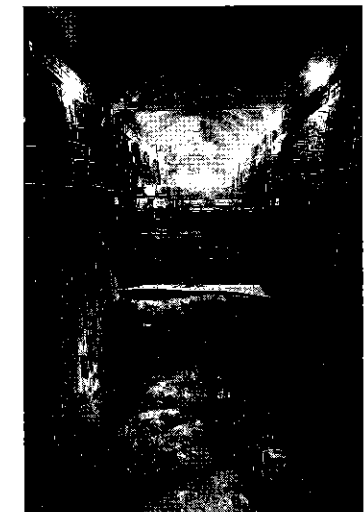
アメアメ降れ降れもっと降れ〜というやつ。

涙が出るほどうれしかった。偉くなる人はやっぱり凄いもんだと思ったものだ。

■奥美濃水力発電所

中部電力が岐阜県本巣郡根尾村に建設した最大150万kWの純揚水式発電所である。鹿島・大林・鉄建・西濃JVが地下発電所工区を担当した。100万kWの大空洞の掘削が終了するころ、50万kWの掘削に着手した。

地下発電所工事では、掘削断面が大は900㎡、小は5㎡。線形も複雑で、さらに斜坑、立坑と変化に富んでいる。したがって、新工法を採用しどんどんやるというよりは、頂設導坑とか側壁導坑とか、さらには明かりでのベンチ掘削と種々の手段を使い、多くの関連ごとを一歩一歩着実に進めていくと



100万kWベンチ掘削完了(奥美濃水力発電所工事写真集より)

ということが肝要だと思う。

私は企業体の副所長という立場で、おもに安全を担当した。

「全員参加による自主的安全衛生活動を進め 災害の絶滅を図る」を掲げ、次の3点を重点とした。

- ① 事前検討の充実



定礎式にて 先導役

② 安全意識の高揚と不安全行動の排除

③ 指示、命令の徹底  
毎日の打合せ、現場巡回を通じて上記の浸透に努めた。

安全管理のポイントは地下発の現場に限らず「全員参加」だと思ふ。なぜならだれでもが被害者にも加害者にもなり得るからだ。

フェイルセーフが100%とはいかないのが建設現場であり、働く人の知恵が活かせるのも建設現場。人は必ずミス(不安全行動)をする。元請だろうと協力会社だろうと一人一人が「自分の身は自分で守る」という積極的な安全意識を持って仕事に携わってもらいたいものだ。

### 飛鳥山トンネル

首都高速中央環状王子線のうち、明治通り、飛鳥山交差点、桜の名所の飛鳥山公園、JR軌道下を通過する延長700mのトンネルである。

大林・間・飛鳥企業体は交差点部(パイプルーフによる非開削)、公園部(立坑とNATMトンネル)を

担当した。私にとって数少ない都市部でのトンネルで、金山駅での鋼矢板水平押込みから進化した長尺先受け工法の経験だった。

2車線断面のトンネル2本を、幅7mほどの立坑を起点に、交差点下21mはφ600のパイプルーフ工法、公園下100mはφ600のパイプルーフ工法とロジジェット(高圧噴射注入)工法および全区間の止水の薬液注入によって構築するものである。

NATMトンネルは掘削断面240m<sup>2</sup>(到達部の拡幅区間は390m<sup>2</sup>)、中壁を共有するめがね形である。土かぶり5~7m、砂礫、砂質土、粘性土の互層、N値7~50の未固結地山、自由水面はトンネルより上にある。公園の樹木(なんと言っても桜の名所)を守るため地下水位の低下は不可。したがって、ウォータータイトのトンネルとなり、二次覆工は複鉄筋構造で、外周には防水シートが張られている。

平面、縦断線形は上り、下り線で異なり、中壁コンクリートで幅

概略の時間配分

工程	時間配分(%)	備考
薬液注入工	70.0	外周3m本坑分含む
掘削	8.5	12m間隔1.0m/間
段取り替え	7.8	土留め杭撤去構台盛替え
立坑掘削薬液注入工	6.3	φ600×12mパイプルーフ
パイプルーフ工	5.6	φ600×12m本坑分含む
初期盛替え工	1.8	到達部

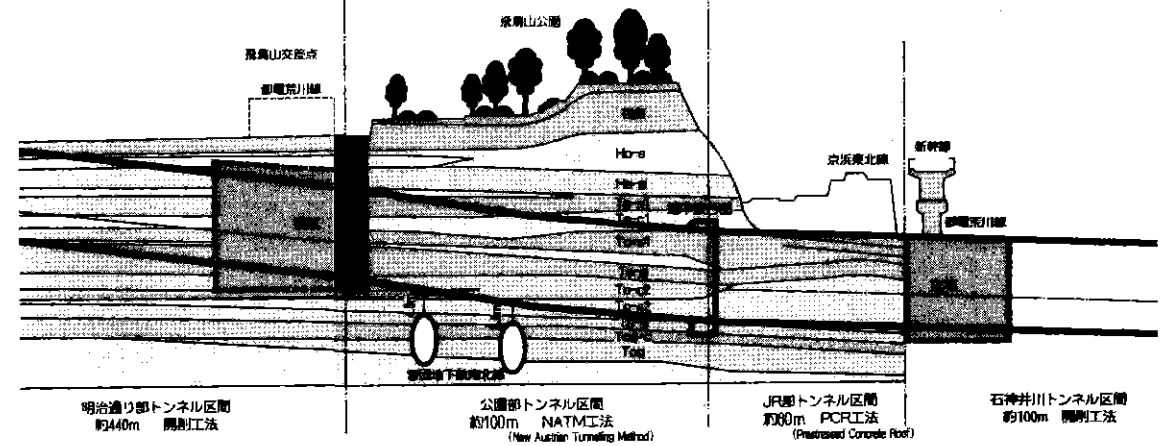
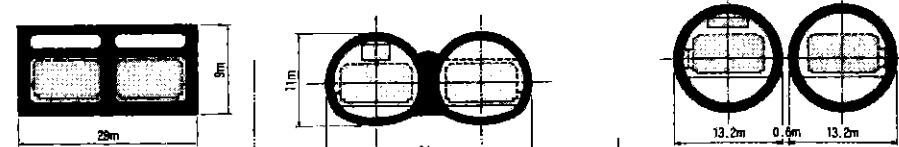
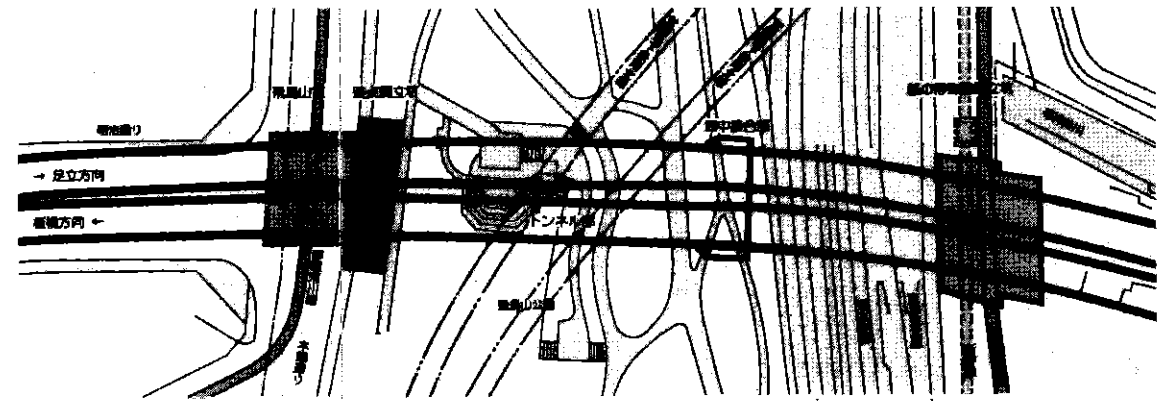
高さを調整している。中壁は高さ9mあり、セントルのセットは曲芸わざだった。

掘削は断面を6分割したが、補助工法を含め掘削開始から構築完了まで54か月かかった。100mのトンネル6本としても月進11mに過ぎない。施工順序は次頁下図のとおりである。

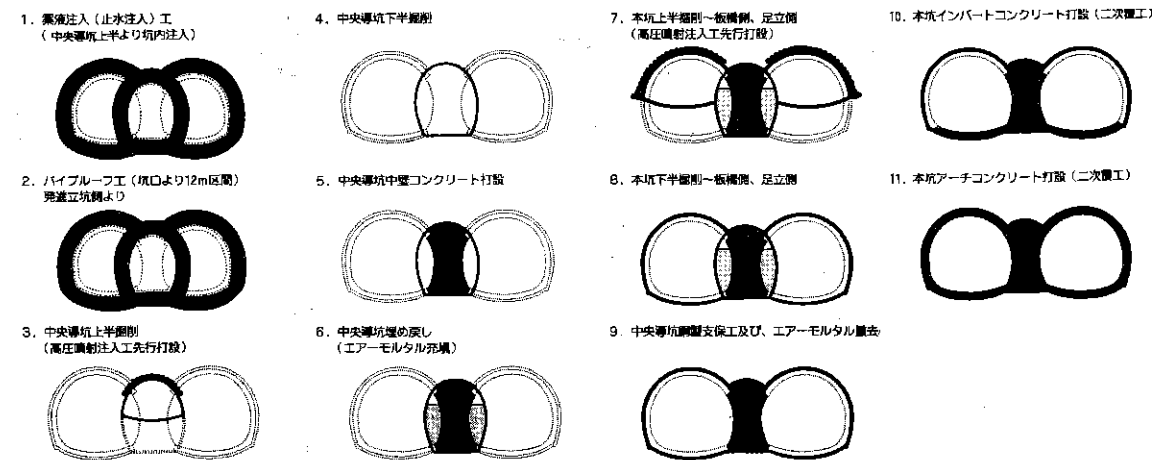
中央導坑上半部の土留め杭撤去から106mの掘削完了まで27か月を要した。概略の時間配分は上表のとおりである。

坑夫さんにはそのつど、ほかの現場から来てもらった。粘性土に挟まれた砂層に放射注入での確かな注入を行うには、地質状況の把握と注入の設計、管理が重要である。掘削時に帯水砂層の小崩壊が先か、押さえるのが先か競争状態がしばしば起きた。

鉄筋入りなので防水シートの破損防止、保守、左右のトンネルの線形の違いにも苦労した。中壁を共有するめがねトンネルでは左右のトンネルのF.L.は極力そろえ、中壁コンクリートは最終仕上がり形状とはしないで、本坑の巻立て



全体図と断面図(大林組パンフレットより)



施工順序図(大林組パンフレットより)



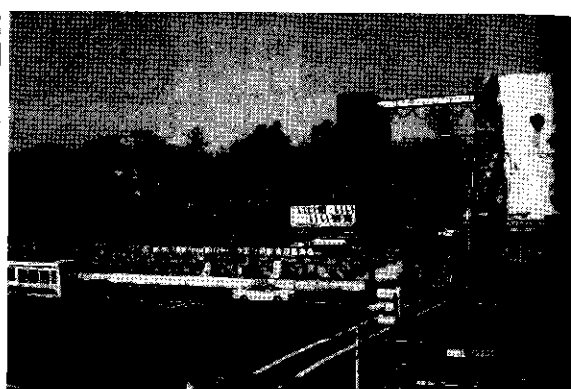
中壁コンクリート施工状況



長尺先受け工法施工状況



飛鳥山公園



飛鳥山交差点側立坑

花見時の工事現場

で仕上げるようにしたらどうだろうか、防水シートも左右のトンネル別々で張ることができ、確実性が増す。

く、花見時には建設ステーション(屋根裏は計測室)に1日1,000人以上の来訪者もあったのが、せめてもの慰めか。

おわりに

延長130mの2車線トンネル2本の完成まで10年を要したのは都市トンネルの立地、制約条件をクリアするための投資だったのか。山岳トンネルをやっている者は3年も同じ現場にいるとお尻がムズムズするものだが、職員のなかには最初から最後までがんばってもらった人もいた。現場は同じけど都市土木とNATMの両方を経験できるのだと納得してもらった。都電を止めることもなく、公園を立入禁止にするようなこともな

大林組を定年のあと吉田直土木に入社し、7年間安全管理に携わった。山岳だけでなくシールドの現場にも行く機会が増え、多くの人と会えた。手前味噌かもしれないが、所長や幹部諸氏の優秀さと大変さを知った。わが国のトンネルは、元請はもちろん、多くの協力会社の働く人々の力に支えられていると痛感した。

安全には特効薬がないので幹部

が集まる会合では「進行をあげろ」と声を大にして言ってきた。ムリ、ムダ、ムラといったようなものがなくなった結果が進行につながると思うからである。

日本トンネル専門工事業協会が推進するトンネル基幹技能者認定制度にスタートから関与できたこと、認定講習会や試験で各社の受講者に接し心強く思ったことに感謝している。

会社勤めを卒業して7年、トンネルに限らず建設業と縁の切れた身で書かせていただきました。45年にわたる会社生活で多くの人々のお世話になりました。感謝感謝です。

研究

低強度地山における全断面早期閉合法に関する実証的研究

中日本高速道路(株)東京支社御殿場保全サービスセンター副所長 佐藤 誠  
清水建設(株)土木技術本部地下空間統括部担当部長 楠田 正  
東京都立大学名誉教授 合田 正  
首都大学東京都市環境学部教授 西村 隆

1 はじめに

トンネル周方向応力 $\sigma_r$ が地山強度 $q_0$ より大きくなると、周辺地山は塑性流動化し、掘削外力の再配分域は深部に拡大、トンネル支保構造は不安定になり、過大なトンネル変位が発生する。このような強度不足に起因する押し出し性地山( $\sigma_r \gg q_0$ )では、切羽で早期閉合を行い、その内圧力 $P_i$ (耐荷力)で土圧 $P_0$ を保持する全断面早期閉合法は、もっとも有効な安定化方法と考えられ、一般的に採用されている<sup>1)</sup>。しかしながら、作用土圧の推定方法や支保耐荷力設計の考え方は未確立であり、早期閉合トンネルの力学パラメータである地山強度比 $\alpha_r$ やトンネル形状の早期閉合構造半径比 $r_0/r_1$ 、早期閉合距離 $L_r$ などが早期閉合トンネルの安定性に及ぼす影響は不明である。

本稿は、地山強度比が0.1を下まわると予想された強風化泥岩地山を、全断面早期閉合法で延長約565mを施工し、トンネルの力学的安定を確保、施工を確実にし、この方法の有効性が実証されたので、施工法の概要を述べるとともに、これまでに報告されている力学パラメータに関する知見<sup>2),3)</sup>を含めて整理、分析し、早期閉合トンネル施工方法として提案するものである。

2 トンネル概要

八之尻トンネルは、中部横断自動車道の増穂ICと六郷IC間に位置し、掘削断面積約115m<sup>2</sup>、内空断面積71m<sup>2</sup>、トンネル延長2,469mの対面通行道路トンネルである。トンネル掘削は、北側坑口から南側に向かって、330kW軟岩トンネル掘進機による全断面機械掘削とした。トンネル中央付近

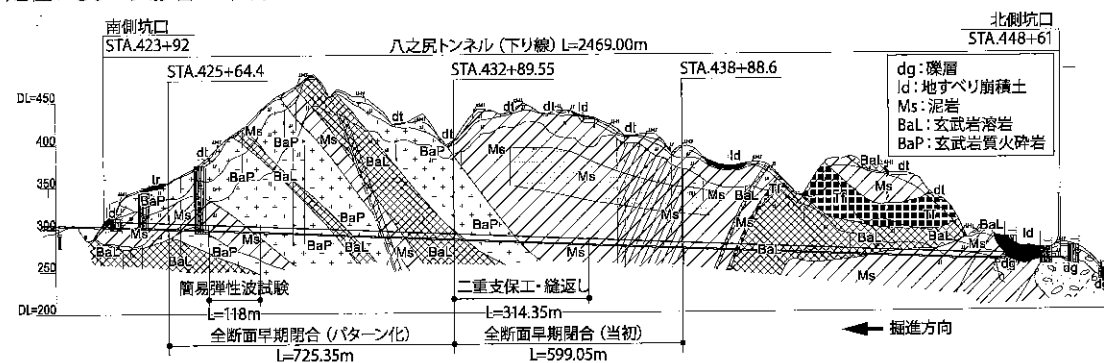


図-1 地質縦断面図(当初設計)

の測点STA.436+19.6から以奥に、強風化泥岩が出現し、高耐力二重支保工の試行や過大変位区間の縫返しなどを余儀なくされた(図-1)。強風化泥岩の一軸圧縮強度は $q_u=0.26\text{N/mm}^2$ 、単位体積重量は $\gamma=21.6\text{kN/m}^3$ である。ここでの土かぶり高は $h=155\text{m}$ であり、地山強度比が0.1を下まわる押し出し性地山である。

### 3 施工方針

強風化泥岩の区間においては、全断面早期閉合なしでのトンネルの力学的安定と必要内空確保は困難と考え、以下の方針で計画することにした。

- 多心円道路トンネルの力学的安定確保の方法は、吹付けコンクリートで健全な多心円リング構造を形成し、これの内圧力で土圧を保持する。覆工は、このリング状支保構造に耐力や靱性を余力として付加し、安定確保後の不確かな外力に対する供用中トンネルの健全性を担保する。
- 地山強度比 $c_t(=q_u/\gamma h)$ から吹付けコンクリート作用土圧 $P_0$ を想定し、厚肉円筒理論などを用いて必要支保耐力の内圧力 $P_i$ を算定。これを参考にして、早期閉合トンネルを設計する。
- 鋼アーチ支保工と鋼インバート支保工からなる鋼製支保工は、扁圧や大きな土圧が作用すると降伏しやすいので、構造形状変化点は剛接続、曲げ応力が小さい位置で突合せ接続とする早期閉合構造とし、吹付けコンクリートとの組合せで設計、多心円リング構造に靱性を付加する。
- 330kWブームヘッドによる全断面機械掘削の早期閉合とする。早期閉合距離は $L_i=4\sim 6\text{m}$ を基本とし、初期変位速度に応じて $L_i=3\text{m}$ や切羽閉合を選択し、トンネルの安定を確保する。変形余裕量は10cmを考慮する。
- 掘削補助工法は、岩盤固結の注入式長尺先受け工を基本とし、支保工までの間の天端掘削素掘り面の自立を確保する。切羽鏡は、安定形状の曲面切羽を採用し、必要に応じて鏡

ボルトを検討する。肌落ち、剥落に対する切羽作業の安全確保から、鏡吹付けを採用する。  
⑥ 計測工A, Bを実施し、早期閉合トンネルの力学的安定性、変形挙動特性を把握、評価し、設計を照査し、次施工を判断する。

## 4 早期閉合トンネルの設計

### 4-1 作用土圧の想定

吹付けコンクリートに作用する土圧 $P_0(\text{N/mm}^2)$ は、 $P_0=\gamma H$ ( $\gamma$ は地山の単位体積重量、 $H$ は土圧の土かぶり相当高または掘削影響高)で定義する。この吹付けコンクリート作用土圧の土かぶり相当高 $H(\text{m})$ は、掘削外力の $\gamma h$ ( $h$ は土かぶり高)に対する地山の一軸圧縮強度 $q_u(\text{N/mm}^2)$ の比で規定される地山強度比 $c_t(=q_u/\gamma h)$ との関係<sup>9)</sup>で示されており、これを用いて推定する。

強風化泥岩の地山強度比は、岩石試験値などを参考にして算定すると、 $c_t=0.1\sim 0.5$ の地山等級Eとなる。この地山強度比に対する吹付けコンクリ

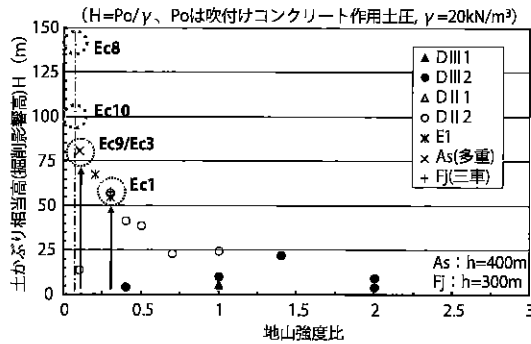


図-2 地山強度比  $c_t$  と土かぶり相当高  $H$

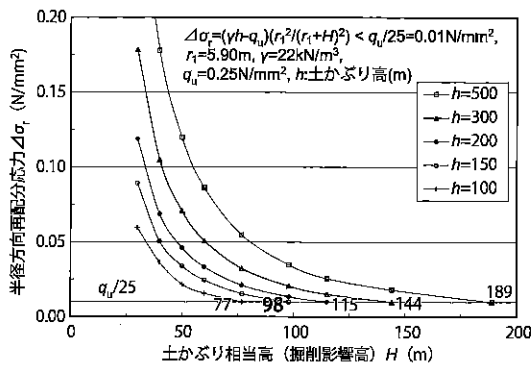


図-3 掘削影響高  $H$  と半径方向再配分応力  $\Delta\sigma_r$

ト作用土圧の土かぶり相当高 $H$ は、図-2から、 $c_t=0.3$ は $H=60\text{m}$ 相当(Ec1)、 $c_t=0.1$ は $H=80\text{m}$ 相当(Ec9)の土圧を想定する(図-2中のEc1やEc9などは早期閉合パターンを表す)。 $c_t$ が0.1を下まわる地山では、早期閉合構造半径 $r_3$ (=インバート半径 $R_3$ +インバート吹付け厚、図-7)が早期閉合トンネルの安定性に大きく影響すると考えられるので、 $H=100\text{m}$ 相当(Ec10)土圧を想定する。

一方、早期閉合トンネルにおける基本パラメータの代表値は、トンネル支保構造半径 $r_1=5.9\text{m}$ 、土かぶり高 $h=150\text{m}$ 、地山強度 $q_u=0.25\text{N/mm}^2$ 、 $\gamma=22\text{kN/m}^3$ である。

トンネル掘削で再配分される半径方向土圧の再配分応力 $\Delta\sigma_r$ は、掘削面からの距離 $L$ の二乗に反比例しながら低下するとする理論式<sup>9)</sup>を用いて掘削影響高を計算し、これを想定土圧の土かぶり相当高 $H$ とすると $H=98\text{m}$ となる(図-3)。また、最大土圧として、土かぶり相当高 $H=140\text{m}$ を想定し、事例を参考にして、高耐力二重支保(Ec8)を試行する。

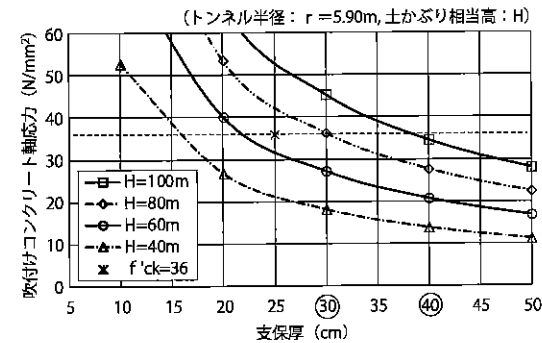


図-4 必要支保厚 $t$ (トンネル支保構造、 $r_1=5.90\text{m}$ )

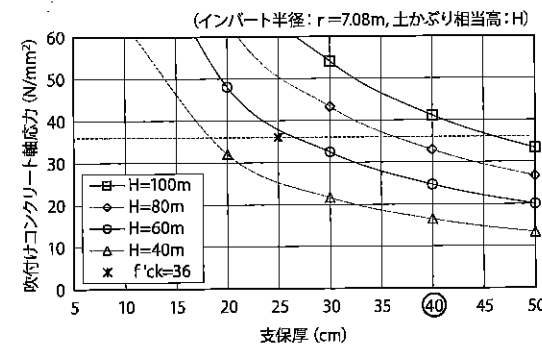


図-5 必要支保厚 $t$ (早期閉合構造、 $r_3/r_1=1.2$ )

### 4-2 支保耐力の算定

吹付けコンクリート作用土圧の土かぶり相当高を $H=60, 80, 100\text{m}$ とし、支保厚(吹付け厚 $t$ )と吹付けコンクリートに発生する軸応力(設計基準強度 $f'_{ck}$ )の関係を厚肉円筒理論<sup>9)</sup>を用いて求めると、図-4のようなになる。設計基準強度が $f'_{ck}=36\text{N/mm}^2$ の高強度吹付けコンクリートを採用すると、土かぶり高 $H=80\text{m}$ 相当土圧を保持するのに必要とする吹付けコンクリート厚は $t=30\text{cm}$ 以上、 $H=100\text{m}$ 相当の土圧では $t=40\text{cm}$ 以上となる。一方、早期閉合構造半径 $r_3$ の早期閉合構造半径比 $r_3/r_1=1.2$ とする早期閉合構造の耐力は、 $t=40\text{cm}$ を採用すると、おおむね土かぶり $H=90\text{m}$ 相当の土圧保持が可能である(図-5)。

### 4-3 早期閉合トンネル構造

トンネル中央付近の延長565.35m間は、強風化泥岩が出現し、全断面早期閉合で施工した。早期閉合トンネルEcの実施状況と代表的な早期閉合トンネル構造諸元を図-6、表-1に示す。耐力力を評価して定めたパターンのなかのEc5とEc10の構造概要を図-7に、縫返しEn構造諸元を表-2に示す。

主要支保部材の吹付けコンクリート仕様は、必要支保耐力を参考にして定める。曲げ部材の鋼製支保工は、おもに早期閉合までの間の再配分土圧の保持に有効に機能するので、吹付けコンクリートとの組合せで定める。ロックボルトは、早期閉合までの間の周辺地山強度保持に有効に機能するので、早期閉合距離との関係で設計する。インバート吹付けと鋼インバート支保工からなる早期閉合構造部材仕様は、トンネル支保構造の吹付けコンクリートと鋼アーチ支保工の部材仕様と同様である。押し出し性地山の早期閉合構造半径比は、一般的な $r_3/r_1=1.5$ とするが、 $c_t\leq 0.1$ では $r_3/r_1=1.2$ を採用する。変形余裕量は、初期変位速度に応じて $L_i=3\text{m}$ や切羽閉合を選択して、早期閉合トンネルの力学的安定と必要内空を確保するので、10cmを考慮する。

必要支保耐力から定めたEc1やEc9は、基本パターンである。非鋼繊維補強瞬結吹付けコン

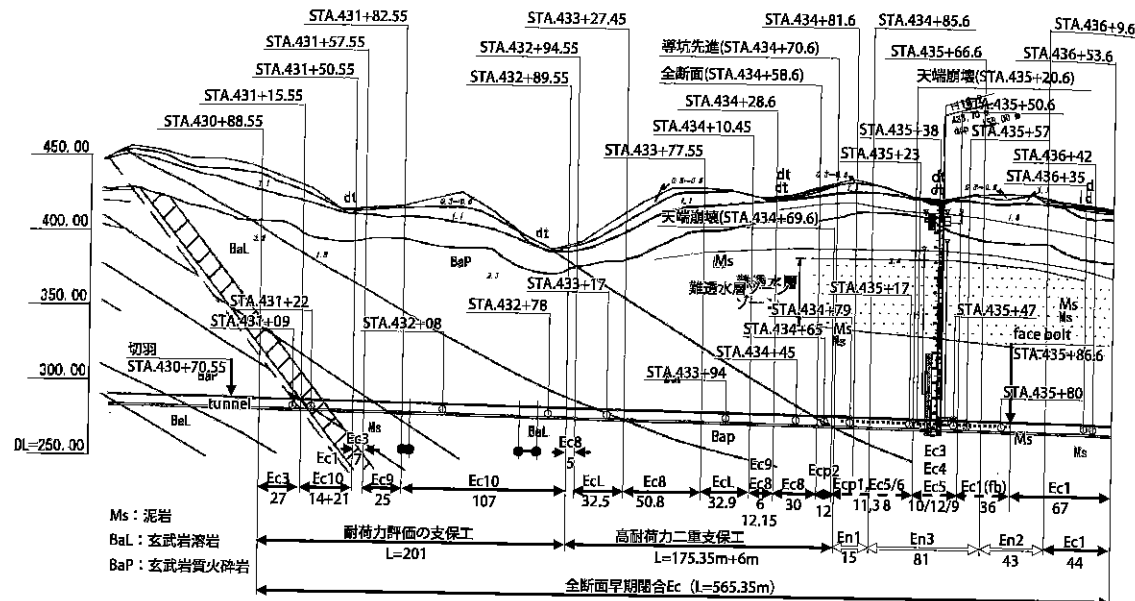


図-6 早期閉合トンネルEc実施状況(当初地質縦断)

表-1 代表的な早期閉合トンネルEc構造諸元

早期閉合パターン*	Ec10	Ec9(Ec3)	EcL(非航)	Ec8/Ecp2	Ec5/Ec6	Ec4	Ec1(fb)	Ec1
施工延長(m)	121	32	65.4	97.95/12	48	12	36	67
最大土かぶり高h(m)	141	145	148	152	158	147		151
想定地山強度比 $c_1$ (-)	$\ll 0.1$	$< 0.1$	$\ll 0.1$		$< 0.1$			0.1~0.3
土圧土かぶり相当高H(m)	100	80~100	120	140	80~100			60~80
掘進長(m)	1.00		1.00		1.00	0.75		1.00
変形余裕量(cm)	10		20		20			10
トンネル支保構造	吹付け厚(cm)**	40	30+20		40			30
	圧縮強度(28day)*3	36N/mm <sup>2</sup>	36N/mm <sup>2</sup>		36N/mm <sup>2</sup>			36N/mm <sup>2</sup>
	吹付け補強	—	—		瞬結, FRS	—		—
	鋼アーチ支保工**4	NH250(NH200)	NH250+NH200		NH250	NH200		NH200
	ロックボルト耐力	290kN	290kN		170kN			170kN
ロックボルト本数*5	L=4m(8/16本)	L=4m(16本)		L=4m(16本/8本)			L=4m(8本)	
早期閉合構造	早期閉合部材	上・下半と同様						
	構造半径比( $r_3/r_1$ )	1.20	1.50	1.10	1.50	1.50		1.50
	早期閉合距離L <sub>r</sub> (m)	3~7		7	4~7	6		6
覆工厚	30cm(全周), $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ , SFRC(0.5%vol.)							
おもな特徴	耐荷力評価	高耐荷力二重支保工	耐荷力評価, 長尺鏡ボルト, 縫返し	基本				

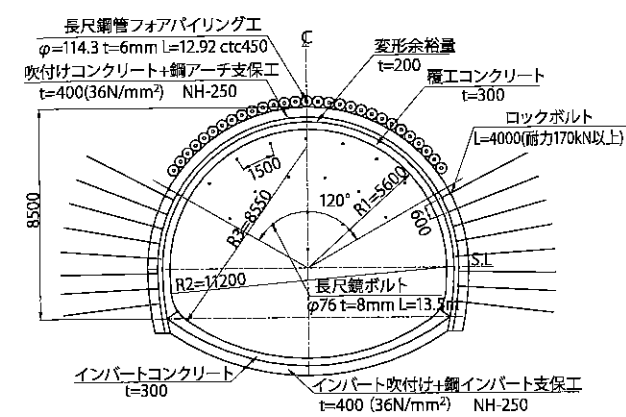
\*1 Ecp1は導坑先進, Ecl(fb), Ec4, Ec5, Ec6は長尺鏡ボルト併用, 長尺先受け工1シフト長は9mであるがEc5は6m, Ec6は4mである。

\*2 +表示の左は, 二重支保の一次, 右は二次をあらわす。

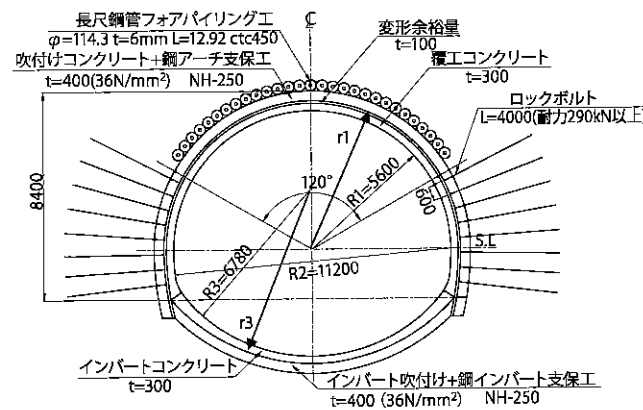
\*3 吹付けコンクリート $f'_{ck}$ : 瞬結3N/mm<sup>2</sup>(10min), FRS(0.75%vol.), 高強度2N/mm<sup>2</sup>(3hr)

\*4 NHは従来鋼である。

\*5 図-7に示すように, 側部ロックボルト間隔が0.6mは16本, 1.2mは8本である。



(1) Ec5( $r_3/r_1=1.5$ )



(2) Ec10( $r_3/r_1=1.2$ )

図-7 早期閉合トンネルEcの構造概要例

表-2 縫返しEnパターン構造諸元

早期閉合パターン	En1	En3	En2
施工延長(m)	15	81	43
土圧土かぶり相当高H(m)		140	80~100
掘進長(m)	1.00		1.00
変形余裕量(cm)	20	0	0
トンネル支保構造	吹付け厚(cm)	30+20	40
	圧縮強度(28day)	36N/mm <sup>2</sup>	
	吹付け補強	—	—
	鋼アーチ支保工	NH250+NH200	NH250
早期閉合構造	早期閉合部材	上・下半と同様	
	構造半径比( $r_3/r_1$ )	1.50	
	閉合距離L <sub>r</sub> (m)	3	3
覆工厚 <sup>1)</sup>	30cm(全周)		
当初パターン	Ecp1	Ec5/6	Ecl(fb)

\*1  $f'_{ck}=30\text{N/mm}^2$ , SFRC(0.5%vol.)

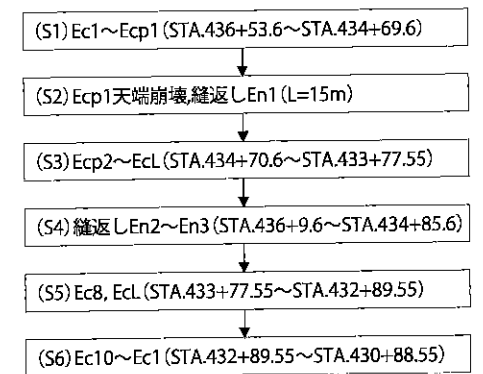


図-8 施工順序

リートのEc5/Ec6は, Ec9を早期高強度化したパターンである。Ec8には, 高耐荷力, 高靱性の二重支保構造を採用する。EcLは, 非常駐車帯大断面であるが, Ec8と同様の支保仕様とし,  $r_3/r_1=1.1$ を採用して, 単心円構造に近づけている。Ec10は, Ec9と同様仕様とし,  $r_3/r_1=1.2$ を採用して, 単心円リング構造に近づけ, 多心円トンネルの安定性を高めた。Enは縫返しパターンである。En1は, 縫返し後にEcp2, Ec8の施工が続き, 掘削影響を大きく受けるので, 変形余裕量20cmを考慮する。En2とEn3は, 変状支保の再施工であり, 縫返し位置で早期閉合を行うので, 変形余裕量はゼロとする。これら早期閉合パターンの施工順序を図-8に示す。

## 5 全断面早期閉合施工方法の概要

### 5-1 曲面切羽

曲面切羽<sup>9)</sup>は, 曲面と直平面で形成され, 切羽の前面は施工性を考慮し, 直平面とする(図-9)。鏡掘込み長 $L_0$ の目標は,  $L_0=2L$ を基本とし, 一掘進長 $L$ の2倍に支保工建込み余裕の0.3mを加えたものである。曲面形状の円中心は, トンネル中心縦断において, 主動崩壊線と直平面の交点位置をとり, 下半盤に平行する直線上に設ける。

### 5-2 全断面早期閉合

掘削方法は, 曲面切羽による全断面早期閉合の機械掘削であり, 図-9に示すように, 全断面掘削

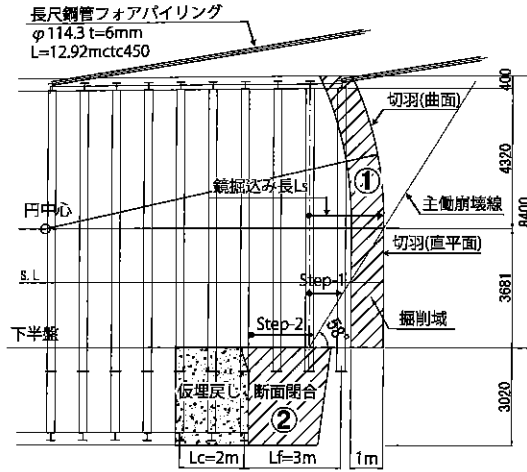


図-9 全断面早期閉合概要 ( $L_s=2L$ ,  $L_f=3m$ ,  $L_c=2m$ )

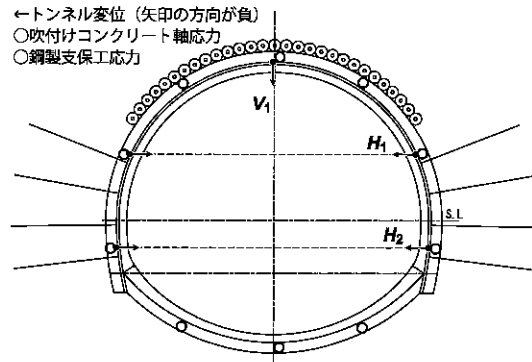


図-10 計測工測点配置概要

①と早期閉合②の2~3m進行ごとの交互施工である<sup>7)</sup>。早期閉合距離は $L_f=3\sim6m$ を基本とする。早期閉合施工単位 $L_c$ は、施工性と施工速度を考慮し、 $L_c=2\sim3m$ とする。 $L_f=3m$ で $L_c=2m$ の場合の全断面早期閉合概要を図-9に示す。

### 5-3 計測工概要

計測工A断面は、進行方向10m間隔に設ける。トンネル変位は、3次元自動測量計測システムを用いて、6~12時間ごとに自動測定する(図-10)。計測工B断面は、早期閉合パターンごとに設け、吹付けコンクリート応力と鋼製支保工応力を1時間ごとに自動測定する。

## 6 施工状況

曲面切羽に長尺鏡ボルトを併用すると、切羽前方地山強度は保持され、この地山強度に対応する

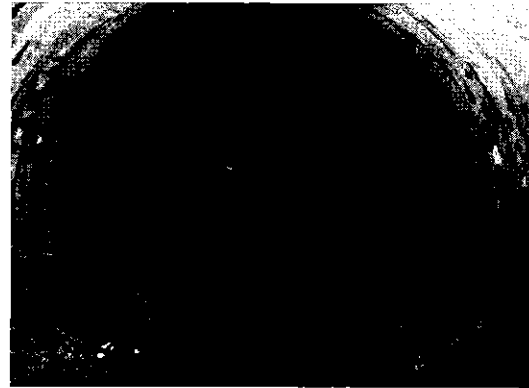


写真-1 全断面早期閉合施工状況(Ec10,  $r_3/r_1=1.2$ ,  $L_f=4m$ ,  $L_c=2m$ )

地圧を切羽で解放することになり、過大な初期下半内空変位速度  $dH_2/dt$  が発生、これにより支保部材は破壊され、支保構造は変状し、健全なリング構造形成は困難となった。このため、 $L_f=6m$ ,  $L_c=3m$ とする長尺鏡ボルト併用のEc4, Ec5, Ec6の複数パターン(表-1)で安定を確保する方法を試行した。この以ては、過大变位が発生したEc1(fb), Ec4, Ec5, Ec6は縫返しを必要とすることから、土圧の土かぶり相当高を $H=140m$ とする $r_3/r_1=1.5$ で高耐荷力二重支保構造のEc8と $r_3/r_1=1.1$ で非常駐車帯大断面二重支保のEcLで延長175mを施工した。その後、これらの実施で得られた力学挙動特性を基本として、多心円リング構造形状を見直し、土圧の土かぶり相当高を $H=100m$ とする $r_3/r_1=1.2$ のEc10(写真-1)および $r_3/r_1=1.5$ のEc9やEc3, Ec1を地山性状に応じて選定し、延長201mを施工した。

## 7 力学挙動特性

延長約565mにわたる地山強度比が0.1を下まわると予想された強風化泥岩地山の全断面早期閉合施工で得た知見<sup>7),8)</sup>の概要は、以下のとおりである。

- ① 長尺鏡ボルトの併用は、初期変位速度が大きくなり、トンネル変位は倍増した(図-11)。早期閉合距離 $L_f$ の短縮などで $dV_1/dt$ を $-20mm$ 以下、 $dH_2/dt$ を $-50mm/day$ 以下に抑制できると、多心円トンネルの健全なリング構造

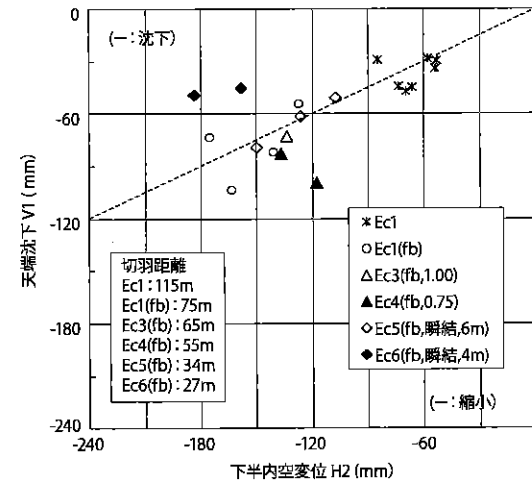
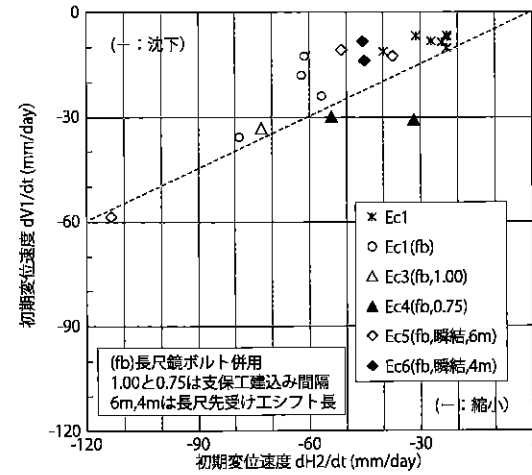


図-11 初期変位速度とトンネル変位(長尺鏡ボルト区間)

が形成され、トンネルの安定は確保でき、 $H_2$ は $dH_2/dt$ の約2倍以下で収束した(図-12)。

- ②  $r_3/r_1=1.5$ の多心円トンネルは、 $c_t$ が0.1を下まわるようになると、トンネル形状と地山性状変化に起因する曲げ応力の影響が顕著にあらわれ変状し、縫返しを余儀なくされた。単心円構造に近づけた $r_3/r_1=1.2$ のEc10では、健全なリング構造が形成され、トンネルの安定が確保できた(図-12)。
- ③ Ec5とEc6の非鋼繊維補強瞬結吹付けコンクリートは、トンネル変位やクラック発生の抑制効果、曲げ靱性向上効果はなかった。早期高強度化や微増の高靱性を図るも、 $L_f=6m$ とする早期閉合では、変位抑制効果

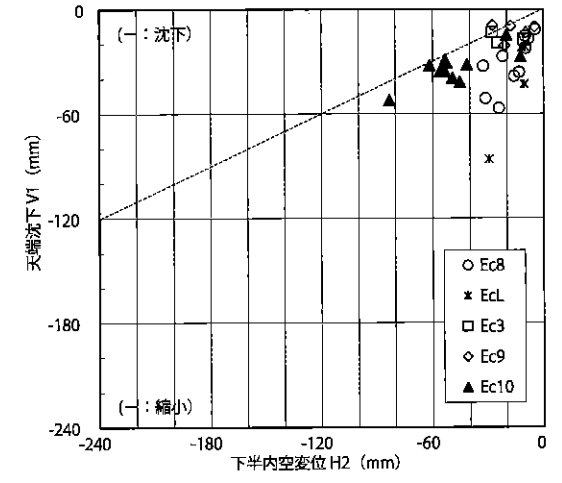
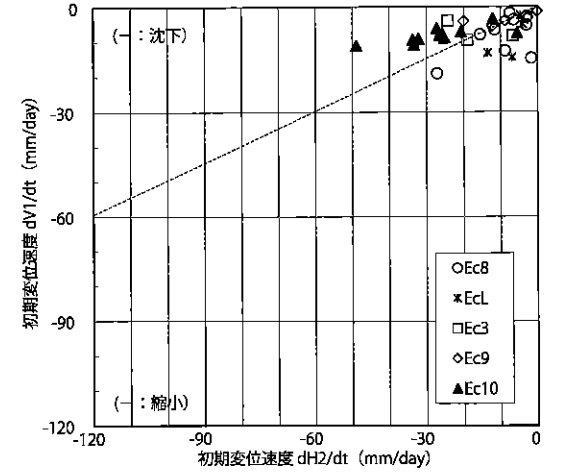


図-12 初期変位速度とトンネル変位(安定確保区間)

はみられず、支保部材は変状、過大变位が発生し、縫返しを余儀なくされた(図-11)。

- ④ 瞬結吹付けコンクリート軸応力が $10N/mm^2$ を超える切羽距離は約 $0.5D$ 後方で、吹付け5日後であった。瞬結吹付けコンクリート構造には、瞬結の影響があらわれて不均質になりやすく、クラックが発生しやすいなどの現象がみられたことから、標準使用の高強度吹付けコンクリートの方が有効である<sup>7)</sup>。
- ⑤  $L_f=4\sim7m$ の高耐力二重支保は、 $dH_2/dt$ と $H_2$ の内空変位の抑制に有効であった。しかしながら、 $dV_1/dt$ と $V_1$ の天端沈下の抑制効果はない(図-12)。
- ⑥ Ec8の二層吹付けコンクリートによるトン

ネル安定性確保における有意な効果はなかった。各層の吹付けコンクリート軸応力は、作用土圧の影響を受けやすく、別々の応力分布となり、二層構造による必要支保耐荷力の確保は困難である<sup>7)</sup>。

⑦ 一次、二次で建込む二重支保構造の鋼製支保工は、個別の変形挙動となり、一体構造としての曲げ剛性確保は困難である。 $r_3/r_1=1.1$ のEcLでは、一次側鋼インバート支保工に高い曲げ応力が発生した。 $r_3/r_1=1.5$ のEc8では、多心円トンネルによる曲げ応力の影響があらわれ、二次側鋼製支保工は変状しやすい

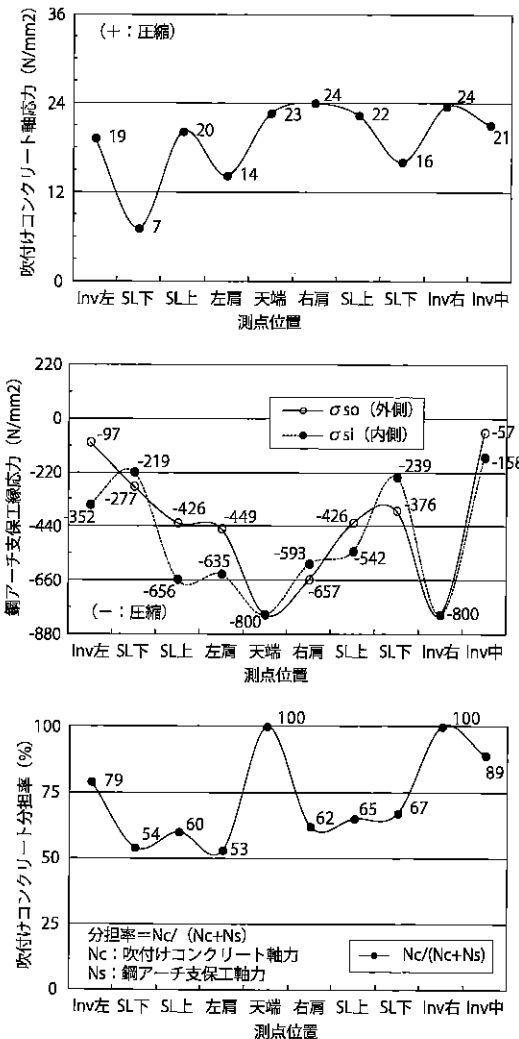


図-13 支保部材応力と吹付けコンクリート軸力分担率 (Ec10,  $r_3/r_1=1.2$ ,  $L_t=4$  m)

で、一次側と同等以上の曲げ剛性が必要である<sup>7)</sup>。

⑧  $r_3/r_1$ や支保性能、 $L_t$ の違いが天端沈下に及ぼす影響は小さかった。 $L_t$ が3~7mのEc10の $dH_2/dt$ や $H_2$ は、地山性状変化の影響を大きく受けるが、 $L_t$ の短縮で抑制される<sup>7)</sup>。

⑨  $r_3/r_1=1.2$ のEc10は、吹付けコンクリート応力は滑らかに分布し、リング構造全軸力の60~70%を負担、設計基準強度の2/3の応力レベルで健全なリング構造が形成され、 $L_t=3\sim6$  mでトンネルの安定が確保できた。

鋼製支保工は降伏強度を超えるが、健全なリング構造が形成された状態では、部材の力学的安定は確保されており、リング構造に靱性を付加し、トンネルの安定性を高めた(図-13)。

⑩ EcLは $r_3/r_1=1.1$ 、Ec10は1.2、このほかは1.5である。健全なリング構造が形成できると、 $r_3/r_1$ の違いがトンネル変形挙動に及ぼす影響は小さく、地山物性分布の影響が支配的である。EcLは、Ec8と同様の支保仕様であるが $r_3/r_1$ を1.1に縮小し、単心円構造に近づけることにより、 $L_t=7$  mとする非常駐車帯大断面の安定が確保できた(図-12)。

⑪ 作用土圧の土かぶり相当高 $H$ は、おおむね50m未満、50~65m、80~90mに区分され、地山強度比 $c_t$ はそれぞれ0.5以上、0.3~0.5、0.1以下に対応し、地山強度比 $c_t$ から吹付けコンクリート作用土圧を推定する方法の有効性が示された(図-2, 14)。

⑫ 健全なリング構造が形成された多心円トンネルに作用する土圧は、導坑先進や縫返し、早期閉合距離 $L_t$ などの施工方法およびトンネル形状の $r_3/r_1$ や支保性能の違いによる影響をあまり受けず、地山強度比 $c_t$ すなわち地山強度 $q_u$ と掘削外力 $\gamma h$ に支配される(図-2, 15)。

⑬ 土圧の最大土かぶり相当高は、En2とEn3の縫返しの影響を受けているEc8の $H=107$  mであり、 $r_1$ ,  $q_u$ と土かぶり高 $h$ をパラメータとする理論式からの $H=98$  mと同等レベル

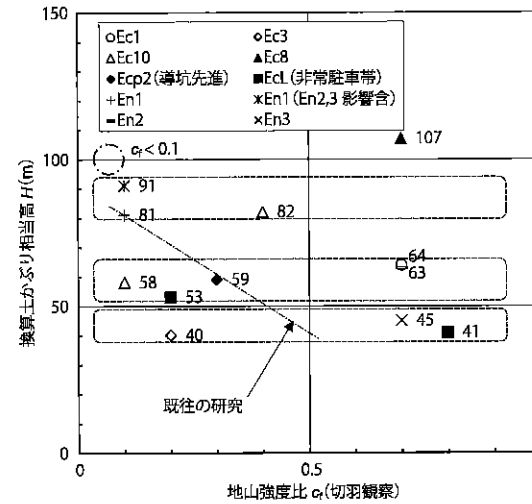


図-14 土圧土かぶり相当高 $H$ (換算)

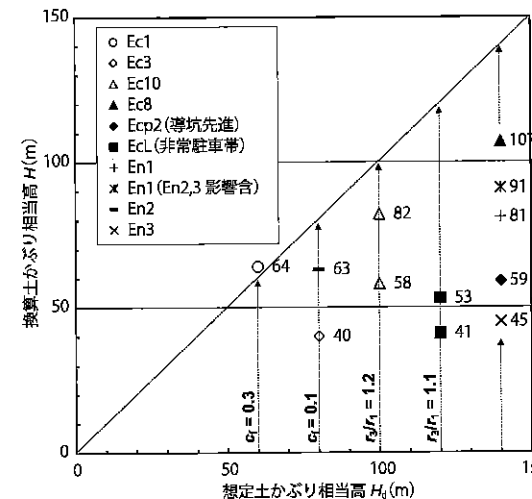


図-15 土圧土かぶり相当高 $H$ (想定と換算)

で、 $c_t < 0.1$ と推定される押し出し性地山の土圧推定方法の有効性が示された(図-3, 15)。

### 8 早期閉合トンネル施工法提案

トンネルの安定性から同程度の地山性状のものが分布すると推定された地山強度比が0.3を下回る押し出し性地山を全断面早期閉合法で施工した。計測データから、吹付けコンクリート作用土圧は、地山強度比 $c_t$ と土圧の土かぶり相当高 $H$ の関係で推定可能である。 $r_1$ ,  $h$ ,  $q_u$ をパラメータとする理論式による方法は、地山強度比が0.2を下回る押し出し性地山の土圧を高い精度で推定

できる。土圧 $P_0$ を保持するのに必要とする吹付けコンクリート厚は、厚肉円筒理論を用いて、吹付けコンクリート応力との関係で求めるなど、多心円リング構造の必要支保耐荷力評価の有効性が実証され、早期閉合トンネル耐荷力設計と早期閉合パターン施工の可能性が示唆された。

これらに加え、早期閉合トンネルの耐荷力設計、全断面早期閉合施工法、計測管理などに資する力学パラメータや安定確保のための基本事項<sup>9)</sup>について、得られた知見を整理、分析し、早期閉合トンネル施工法としてまとめると、以下のようになる。

#### (1) 早期閉合トンネル形状

トンネル形状は、トンネル支保構造半径 $r_1$ に対する早期閉合構造半径 $r_2$ の比の $r_2/r_1$ で規定する。通常断面では、下半支保構造半径 $r_2$ は、 $r_2/r_1=2.0$ が採用されている。 $c_t \leq 0.5$ では $r_2/r_1=1.5$ 、 $c_t \leq 0.3$ は1.2を採用する(表-3)。 $c_t$ が0.1を大きく下まわると、土かぶり $H=100$  m相当以上の土圧作用とともに、多心円リング構造に曲げ応力の影響があらわれるので、 $r_2/r_1=1.5$ や真円とするトンネル形状を検討する。

#### (2) 多心円リング構造の安定確保方法

$L_t$ が6 mで $r_3/r_1=1.5$ とする多心円リング構造は、地山強度比が0.1を下まわると、地山の性状変化とトンネル形状に起因する曲げ応力の影響があらわれ、支保部材の変状、破壊、大変位が発生するようになり、リング構造は不安定になりやすい。この不安定化に対する安定確保の方法として、表-4に示すように、 $L_t$ の短縮による早期のリング構造形成やトンネル形状を円形に近づけて軸力構造にする。吹付けコンクリートクラック発生後

表-3 早期閉合トンネル形状目安

地山強度比 $c_t(-)$	下半支保構造半径比 $r_2/r_1$	早期閉合構造半径比 $r_2/r_1$	備考
$0.5 < c_t < 1.0$	2.0	2.0	
$0.3 < c_t \leq 0.5$	2.0	1.5	Ec1
$0.1 < c_t \leq 0.3$	2.0	1.2	Ec10
$c_t \leq 0.1$	1.5	1.2	
	1.0	1.0	真円

表-4 不安定要因と安定確保方法

不安定要因	耐力確保と高靱性化
早期閉合以前のSL側部周辺では、土圧は片持ち梁状態のアーチ構造に作用することになり、 $dH_2/dt$ は-50mm/dayを超え、支保部材に変状が発生、耐力を失う。	$L_t$ を短縮し、早期のリング構造形成でトンネルの安定を確保する。側部ロックボルトの密配置により、早期閉合までの間の背面地山強度を保持させ、地山の自立性を高め、 $dH_2/dt$ を抑制する。
曲げ応力が卓越すると多心円リング構造は変状し、トンネルは不安定に推移し、必要支保耐力の確保は困難である。	早期閉合構造半径比 $r_2/r_1$ を小さくし、多心円トンネルを単心円形状に近づけ、健全なリング構造による安定場を形成させる。
過大変位の発生により、トンネル支保部材は破壊し、多心円リング構造は変状、耐力を失う。	高強度鋼繊維補強吹付けコンクリートを採用し、多心円リング構造の高靱性化を図り、終局耐力を確保する。

の耐力保持に有効な鋼繊維補強高強度吹付けコンクリートを採用して、クラック発生の抑制、分散させてリング構造の高靱性化を図るなどを選択し、必要支保耐力を確保する。

(3) 切羽の安定性確保方法

鏡掘込み長 $L_c$ を一掘進長 $L$ の2倍の $L_c=2L$ を基本とする安定性の高い曲面切羽を採用し、吹付け厚5~10cmの鏡吹付けを併用して、切羽作業の安全性を確保する。切羽での早期閉合が困難な不安定切羽では、曲面切羽に導坑先進早期閉合法の併用を検討する。先進導坑は、支保構造内空幅を6~7m程度とするリング構造の小断面トンネルとし、本線トンネル施工に資する基礎データ取得を兼ね、拡幅切羽との離れを30~50m程度とする交互施工を基本とする。

(4) 変形余裕量 $\delta$ 。

早期閉合距離 $L_t$ の短縮により、 $dV_1/dt$ は-20mm/day以下、 $dH_2/dt$ は-50mm/day以下に抑制すると、健全なリング構造が形成され、多心円トン

ネルの安定が確保でき、 $H_2$ は初期変位速度の約2倍の範囲内で収束する。このことから、変形余裕量として10cmを考慮し、必要内空を確保する。

(5) 早期閉合距離 $L_t$

耐力を超える土圧がトンネル支保構造に作用すると、初期変位速度は大きくなり、過大な変位が発生、変状し、アーチ構造は不安定になるので、切羽閉合によるリング構造形成を基本とし、初期変位速度に応じて早期閉合距離 $L_t$ を定める。早期閉合施工単位 $L_c$ は、トンネルと切羽の安定性を考慮し、施工速度との関係で定める(表-5)。

(6) 計測管理による最適化

地山強度比が1を下まわる通常断面における早

表-5 早期閉合距離 $L_t$ と早期閉合施工単位 $L_c$ の目安

地山強度比 $c_t$	早期閉合距離 $L_t$ (m)	早期閉合施工 単位 $L_c$ (m)	目標月進行 (m/mth)
$0.5 < c_t < 1.0$	6	3	60
$0.1 < c_t \leq 0.5$	3	2	40
$c_t \leq 0.1$	1	1	25

表-6 早期閉合トンネルEcパターン諸元目安(通常断面)

地山強度比 $c_t$	土かぶり相当高 $H$	掘進長 $L$	吹付けコンクリート・インパクト吹付け			鋼繊維補強 吹付けコンクリート	ロックボルト		早期閉合構造半径比 $r_2/r_1$	変形余裕量	早期閉合距離 $L_t$	覆工厚(アーチ・インバー)	八ヶ尻トンネルパターン例
			$f_{ck}$	厚さt	補強		周方向間隔	耐力					
—	m	m	N/mm <sup>2</sup>	cm	—	—	m	kN	—	cm	m	—	—
0.5	40	1.0	36	20	—	NH150	0.6	170	2.0	0	6	30	—
0.3	60	1.0	36	30	(SFRS)	NH250	0.6	170	1.5	10	4	30	Ec1
0.1	100	1.0	36	40	SFRS	NH250	1.2	290	1.2	10	2	30	Ec10

\*1 高強度鋼繊維補強吹付けコンクリート：2N/mm<sup>2</sup>(3hr)、10N/mm<sup>2</sup>(1day)、36N/mm<sup>2</sup>(28day)、混入量0.75%vol。  
\*2 高強度鋼繊維補強コンクリート：30N/mm<sup>2</sup>(28day)、混入量0.5%vol。

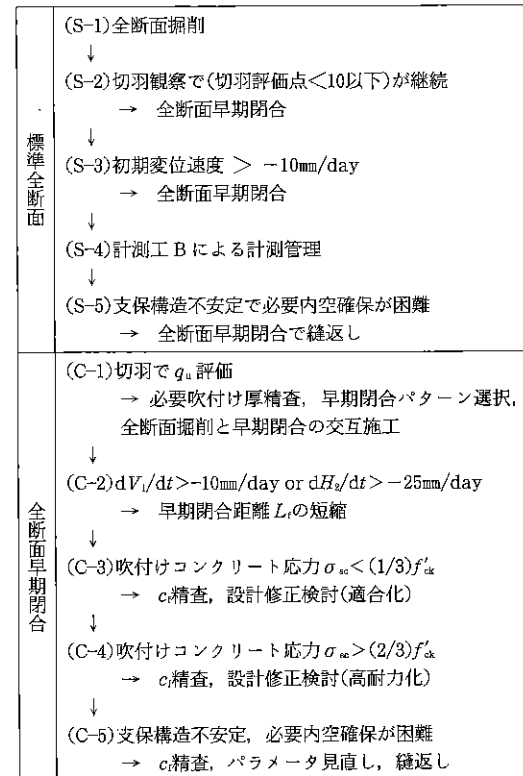


図-16 早期閉合トンネル計測管理の流れ

期閉合トンネルは、表-6に示すように、地山強度比 $c_t$ をパラメータとする早期閉合Ecパターンを設定し、切羽観察で地山強度を評価、これにもとづいて選択するパターン施工を基本とする。早期閉合トンネル計測管理の流れを図-16に示す。標準的な全断面工法からの全断面早期閉合法への移行、地山性状に適合する早期閉合構造の修正は、地山強度比と初期変位速度を判断の指標とし、トンネルの安定性や支保耐力の余裕などを評価し、次施工を判断する。

9 おわりに

押出し性地山における土圧想定、早期閉合トンネルの耐力設計、全断面早期閉合法施工法などの有効性を述べるとともに、得られた知見を整理、分析し、早期閉合トンネル施工法としてまとめ、提案した。

今後は、類似条件下の地山に、この方法による全断面早期閉合法を採用して、事例を積み重ね、早期閉合トンネルの力学パラメータに関するデータを蓄積、高精度化を図るとともに、多心円リング構造必要耐力や早期閉合トンネル安定性の余裕などを高精度に予測、評価できるように地山強度 $q_u$ を簡便に試験、評価できる原位置試験方法の高度化を進める予定である。

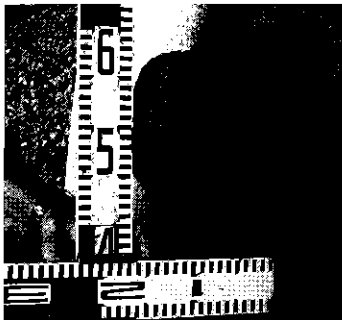
最後に、曲面切羽による全断面早期閉合の計画、実施にあたり中日本高速道路(株)技術・建設本部および東京支社、(株)高速道路総合技術研究所トンネル研究室をはじめ関係各位にご指導、ご助言をいただき、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中野清人・小川澄・楠本太・樽井裕：早期閉合トンネルの現状と挙動特性，トンネル工学報告集，Vol.20，pp.151-162，2010。
- 2) 大西昌彦・川俣和久・楠本太：大規模断層破砕帯に双設大断面トンネルを貫く，トンネルと地下，Vol.35，No.8，2005.8。
- 3) 秋田修・真弓英大・影山久司・楠本太：大規模蛇紋岩帯に施工した早期閉合トンネルの力学挙動特性，トンネル工学報告集，Vol.18，pp.107-117，2008。
- 4) 高橋俊長・垣見康介・楠本太：押出し性地山の山岳トンネル覆工構造，土木学会第66回年次学術講演会，VI-425，2011。
- 5) 西村和夫・城間博通・楠本太：早期閉合トンネル力学パラメータに関する考察，土木学会第66回年次学術講演会，VI-395，2011。
- 6) 楠本太・恩田雅也・上岡真也：押出し性地山における大断面トンネルの力学パラメータに関する考察，土木学会第60回年次学術講演会，第III部門，2005。
- 7) 佐藤淳・田丸浩行・楠本太・西村和夫：曲面切羽と全断面早期閉合の適用性に関する実証的研究，トンネルと地下，Vol.45，No.1，pp.49-51，2014。
- 8) 佐藤淳・楠本太・土門剛・西村和夫：早期閉合トンネル挙動特性と力学パラメータに関する考察，トンネル工学報告集，Vol.24，I-18，2014。
- 9) 3.8早期閉合トンネル施工要領(案)，トンネルの高速施工及び耐震性能に関する検討報告書，高速道路総合技術研究所道路研究部トンネル研究室，日本トンネル技術協会，pp.3-69-3-90，2010。

## 工法・技術・製品ニュース

### 工法 都市鉄道トンネルでの適用を目指した断面修復工法



TDRブレブショット工法の吹付け状況(連続的吹付けで、施工厚さ15cm以上に増厚)

飛鳥建設(株)土木事業本部エンジニアリング部インフラ防災G  
TEL. 044-827-6717  
URL. <http://www.tobishima.co.jp/>

飛鳥建設と電気化学工業は共同で、阪急電鉄と阪急阪神レールウェイ・テクノロジーの協力のもと、短時間での強度発現が期待できるモルタル吹付け工法「TDRブレブショット工法」を開発したと発表した。都市鉄道トンネルでの断面修復工への適用を目指すとしている。

鉄道トンネルにおける断面修復工事は、電車が止まっている夜間での工事となり、施工時間が2～3時間程度と短い。1回の施工で100mm程度の厚さを施工する必要があるのに加え、施工後ただちに列車が通過することから、列車通過時の風圧や振動の影響を受ける。このため断面修

復工法には早期の強度発現性と平滑な仕上げができる施工性が求められる。

同工法は、同社らが開発した「TDRショット工法」を改良したもので、従来の高品質の混和剤を配合した無機系プレミックスモルタルに、新たにカルシウムアルミネート系の急硬材をプレミックスし、これにオキシカルボン酸系の遅延剤を配合した。これにより、3時間で圧縮強度6N/mm<sup>2</sup>、付着強度0.6N/mm<sup>2</sup>を実現したほか、1回の施工で100mm程度の厚さが施工でき、また、施工表面を左官仕上げできるハンドリング時間も確保できているとしている。

### 製品 新型ディーゼルエレクトリックブルドーザを発売



キャタピラー(株)広報室  
TEL. 03-5717-1122  
E-mail: [cjl-public@cat.com](mailto:cjl-public@cat.com)

キャタピラー(株)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 D7E ブルドーザ(運転質量: 乾地車28,050kg、湿地車28,400kg)を発売した。

同機はディーゼルエンジンで発電機を駆動し、発電した電気をパワーインバータなどの装置で制御のうえ、走行モータに供給し駆動させるシステムをもつ。これにより、卓越した

作業効率と押し土性能を発揮し、生産性と燃料効率を飛躍的に向上させている。

また、窒素酸化物(NOx)を低減するシステムとして「NOxリダクションシステム」および尿素SCRシステムを採用することでNOx排出量を低減するなどして、最新の排出ガス規制であるオフロード法2014年基準をクリアしている。

## 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

## 連載講座

# 山岳トンネル覆工の長寿命化技術(8)

## —覆工の補修・補強(概論)—

「山岳トンネル覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会

### ① はじめに

今回は、山岳トンネルに発生する変状に対して適用される主な補修・補強対策に関し、長寿命化の観点も含め概説する。なお、本稿では補修、補強に関し表-1に示すように定義している。

### ② 山岳トンネルの補修・補強対策の分類

表-2に山岳トンネルに適用される補修・補強対策工の分類を示す。同表において、期待する対策効果として「外力」「剝落防止」「漏水」の3つに区分しているが、これは本講座第6回で紹介した「図-1 変状原因と変状区分・対策の区分との関係」に示す区分に対応する。また同図にもとづき、補修対策、補強対策との関係は以下のような関係にある。

補修対策：材質劣化対策(剝落防止対策)

漏水対策

補強対策：外力対策

以下、表-2に示す中で多用される主な対策工に関して、補強対策、補修対策の順で概説する。

### ③ 補修・補強対策の概要

#### 3-1 外力対策

##### 3-1-1 内面補強工

内空側の覆工表面に引張補強材(鋼板、繊維シート、FRP補強筋など)を設置し覆工と一体化を図

表-1 補修と補強の定義(文獻)を加工修正

	定義
補修	主に材質劣化や漏水によって生じた利用者の安全な通行を阻害する変状に対し、利用者の安全性を確保するために行う対策
補強	主に外力の作用や覆工耐荷力の不足によって低下した、トンネルの構造安定性を確保するために行う対策



写真-1 鋼板の腐食例

ることで、覆工表面の引張りひび割れを抑制し覆工耐荷力の向上を期待する工法である。とくに内空断面余裕の少ない道路・鉄道トンネルの補強対策として多用される。また変状の状態によってはロックボルト工などを併用する場合もある。

#### (1) 鋼板接着工

肉厚5mm程度の鋼板を覆工表面にコンクリートアンカーで固定して樹脂接着剤などで覆工コンクリートに接着する工法。せん断ひび割れの抑制効果も期待できるが、鋼材の腐食が問題となる場合がある。写真-1に鋼板の腐食例を示すが、覆工と一体化した鋼板材が腐食した場合の撤去・再設置

表-2 トンネル変状対策工の分類<sup>2)</sup>を加味修正

期待する対策効果 <sup>1)</sup>		対策の分類	対策工の種類		
外力	剝落防止		漏水		
	○		剝離部の事前除去対策	はつり落とし工	
	○		剝落除去後の処理対策	断面修復工	
	○		覆工の一体性の回復対策	ひび割れ注入工	
○	○	支保材による保持対策	金網・ネット工	金網工, エキスパンドメタル工 FRP <sup>2)</sup> グリット工, 樹脂ネット工	
			当て板工	パネル系(鋼板, 成型板)当て板工 繊維シート系 <sup>2)</sup> 当て板工 形鋼系(平鋼, 山形鋼など)当て板工	
			補強セントル工	鋼アーチ支保工	
○	△	覆工内面の補強対策	内面補強工	鋼板接着工 成型板接着工 繊維シート <sup>2)</sup> 補強工 格子筋補強工	
			内巻き補強工	プレキャスト工法 場所打ち工 鋼材補強工 埋設型枠・モルタル充填工 吹付け工	
△ 水圧 凍上圧		○ 漏水対策	線状の漏水対策工	導水工	樋工 溝切り工
				止水工	止水充填工(Vカット充填) 止水注入工(ひび割れ注入)
			面状の漏水対策工	導水工	防水パネル工 防水シート工 防水塗布工
				地山注入工	薬液注入工
			地下水位低下工	水抜きボーリング, 水抜き孔 排水溝	
○ 凍上圧		△ 凍結対策	断熱工	線状・面状漏水対策の導水材に断熱材を適用 表面断熱材処理工	
○			覆工背面の空洞充填対策	裏込め注入工 エアモルタル, エアミルク 可塑性型エアモルタル, 可塑性型ポリマーセメント モルタル, セメントベントナイト 発泡ウレタン	
○	△		地山への支持対策	ロックボルト工, アンカー工	
○	△	△	覆工改築対策	覆工改築工 部分改築, 全面改築 インバート工 新設または再設置	

注1) ○: 対策の主目的として効果を期待するもの, △: 対策を行うことで同時に効果が期待できるもの。ただし、坑内からの対策に限る。

注2) FRP: Fiber Reinforced Plastic

注3) 現在トンネル覆工の補修・補強に使用されている繊維材料には、炭素繊維、アラミド繊維、ビニロン繊維、ナイロン繊維、ガラス繊維がある。

が非常に困難であり、とくに沿岸地域や寒冷地などの腐食が進行しやすい地域での適用にはステンレス鋼板を用いるなど、耐久性について十分配慮する必要がある。また接着効果が持続しないと鋼板が落下する可能性があり、覆工全周にわたって鋼板を設置し、側壁脚部で鋼板を保持する構造とすることが望ましい。

(2) 成型板接着工

(1)の鋼板の代わりに引張強度を得られる成型板(繊維シートとフレキシブルボードの複合など)を覆工表面に接着する工法。鋼板に比べ軽量で、腐食のおそれがない(写真-2)。

(3) 繊維シート補強工

引張強度が期待できる炭素繊維あるいはアラミド繊維を樹脂で含浸接着(1方向繊維を2層直交貼り)する工法で、とくに鉄道トンネルでは材料の剝離に伴う短絡事故防止のため、非導電性材料である後者を適用することが基本となっている(写真-3)。

(4) 格子筋補強工

格子筋を、樹脂モルタルなどを用いて覆工表面

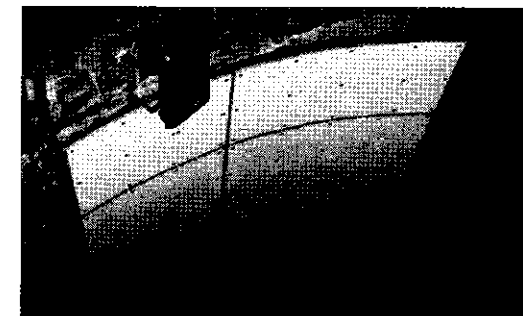


写真-2 成型板接着工の施工例



(a)施工状況 (b)炭素繊維シート  
写真-3 炭素繊維シート補強工の施工例

に定着する工法で、腐食のおそれのないFRP筋を用いる例が多い(写真-4)。

以上のように、内面補強工は補強材と覆工を一体化する必要がある。材料の定着にあたっては下地処理を入念に行う必要がある。とくに漏水処理は重要不可欠であるが、漏水対策を施しても寒冷



写真-4 格子筋補強工の施工例



※○範囲でシートが浮いて、背面に滞水している。  
写真-5 繊維シートの剝離と滞水



※防湿孔(矢印箇所)からの漏水、周囲のシートに浮きは見られない。  
写真-6 繊維シートでの防湿孔の例

地では覆工内部の水分が表面に滞留して冬期に凍結膨張し、補強材が浮き上がるケースがあるため(写真-5)、繊維シート補強工を適用する場合、防湿孔として径10mm程度の孔を0.5m間隔でシートの上から削孔して設けることがある<sup>1)</sup>(写真-6)。このような通気孔によって覆工内部の水分を排水させ、接着効果を持続することは補強工法自体の長寿命化にもつながるとともに、水分が促進要因となるアルカリ骨材反応の変状箇所での本工法の適用に対しても有効と考える。一方、鋼板接着工ではこのような通気の加工ができないため、鋼板背面で凍害が発生し、覆工材の劣化が進行して、最終的には鋼板材の落下を誘発するおそれもあるため、寒冷地での鋼板補強箇所については定期点検時に打音検査を併用し、鋼板の接着状態を確認しておくことが重要である。

3-1-2 内巻き補強工

覆工内空側に場所打ちコンクリートなどにより新たな覆工を内巻きして耐荷力を確保する工法である。

(1) プレキャスト工

プレキャストコンクリートパネルを内巻きする工法で、通常は先行して側壁を現場打ちコンクリートで形成し、その上に同パネルを設置する。パネル設置余裕も含めアーチ部で10~20cm程度の巻き厚が必要となる(写真-7)。

(2) 場所打ち工

セントルを設置してコンクリートを打ち込む工法であるが、巻き厚を(1)より厚くする必要があり、内空断面余裕の少ない道路トンネルや鉄道トンネルでは、活線改築での施工性の問題もあって適用事例は少ない。

(3) 鋼材補強工

ライナープレート(鋼製支保工と併用する場合がある)などで内巻きする工法で、施工余裕も含め5~20cm程度の巻き厚が必要となる(写真-8)。中長期的な耐久性を確保するためには鋼材の防錆対策が必須である。

(4) 埋設型枠・モルタル注入工

覆工内空側に埋設型枠を設置し、高強度モルタルを充填して覆工耐荷力の増加を期待する工法で、



写真-7 プレキャスト工法の施工例



※鋼製支保工+ライナープレート(溶融亜鉛メッキ加工)の内巻き(手前側)と防水シート(奥側:未施工区間)設置状況

写真-8 鋼材補強工の例

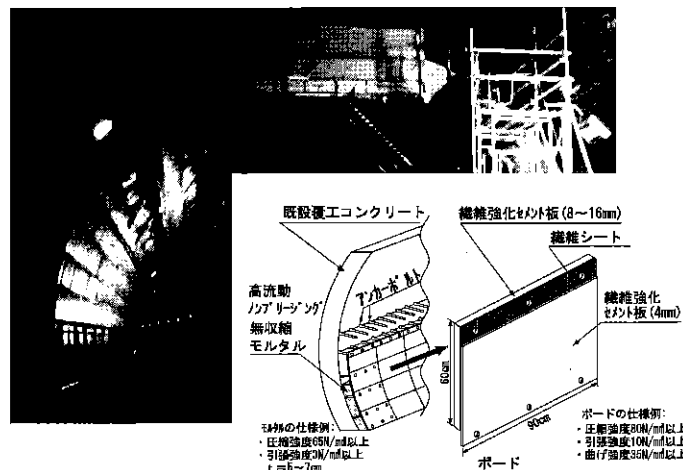


写真-9 埋設型枠・モルタル注入工の施工例

目標耐荷力に応じて内巻き厚を調整できる(写真-9)。

(5) 吹付け工

吹付けコンクリートで内巻きする工法。従来より劣化した覆工の補強対策として多用されていたが、吹付け材が多孔質で、漏水などによって吹付け材が劣化し(写真-10)、剥落するケースがあることや、覆工目地部の温度膨張収縮に追従できず、ひび割れが発生しやすいこと、施工時の坑内粉じんの発生で片側車線規制での施工に問題があることから、最近では適用事例は少ない。

上記(1)~(3)については覆工と内巻き材の間に防水シートを併用することで漏水対策も実施できる。また(1)、(3)は防止シートと内巻き材の間はエアミルクなどを充填して覆工を支持する。

なお、内巻き補強工では巻き厚が数十cm必要となるケースがあり、その場合にはトンネルの建築限界を確保するために路面の盤下げ工を併用するなど施工が大規模になる場合がある。



写真-10 吹付け工の変状(ひび割れと漏水)

3-1-3 裏込め注入工

矢板工法の山岳トンネルの場合、覆工背面に空洞が残存している場合が多い。このような状態で外力が覆工に作用すると覆工背面の地山の反力が確保できず、覆工が容易に変形してしまう。このため、外力対策としては、まず空洞充填を行う必要があり、前述の内面補強工などを適用する際には本工法を併用することが基本となる。

また、外力作用による変状がなくても、覆工上方で大規模な空洞が残存し、覆工巻き厚が十分でない場合に、空洞上部の地山が崩落して突発的に覆工が圧壊する事例が報告されている<sup>2),3)</sup>。このようなおそれがある場合にも裏込め注入工は適用される。

裏込め注入材としては表-3に示すような材料がある。トンネル建設時の裏込め注入材として昭和40年代ごろよりエアモルタルが用いられるようになったが、供用後の補強対策としての裏込め注入工にも同材料が主に使用されてきた。ただし、同材料は岩盤の亀裂や覆工側壁の裏面排水工に逸走しやすく、十分な充填ができない場合がある。こうした欠点に対応したセメント系可塑性注入材が開発され、現在は裏込め注入材の主流となっている。また発泡ウレタンは、ゲルタイムの調整により限られた部分や地下水量の多い箇所での充填、あるいは覆工巻き厚が薄くセメント系注入材では、その自重で覆工が変形・破損するおそれのある箇所の充填に適用される場合が多い。

3-1-4 インポート工

トンネル供用後、一定期間を経過して盤ぶくれ

表-3 裏込め注入材の材料特性一覧(文献1)を加工修正

材料	セメント系			③非セメント系
	①従来型注入材		②可塑性注入材	
	エア-系	エア-系	非エア-系	
項目	エアモルタル, エアミルク	エアモルタル+添加剤	ポリマーセメント	裏込め注入用発泡ウレタン
単位体積重量(kN/m <sup>3</sup> )	11~14: エアモルタル 6程度: エアミルク	11~12	13~15	0.3~1.0 (発泡倍率12~40)
ゲルタイム	数時間~1日程度	注入直後から可塑性	注入直後から可塑性	1~3分程度(硬化時間)
フロー値(mm)	200±20mm(シリンダ法)	80~150mm(シリンダ法)	80~120mm(シリンダ法)	— <sup>注1)</sup>

注1) 発泡ウレタンの場合、発泡しながら硬化するためとくにフロー値はない。

が発生する場合がある。その多くが施工時にインバートによる断面閉合が行われておらず、経年により路盤下方の地山で膨張性土圧が増加して盤ぶくれを誘発している。また、まれではあるが既設のインバートが破壊して著しい盤ぶくれ現象が発生した事例もある<sup>9)</sup>。このような盤ぶくれ対策では、インバート工を設置(あるいは再設置)して断面閉合を図ることで、ほとんどの盤ぶくれ現象は収束する。

ただし、活線改築でのインバート施工に関しては、道路トンネルでは分割施工(片車線ごと)時に供用車線において所定の建築限界が確保できないケースがあり、あるいは建築限界が確保できても長期の交通規制や工費の増大などの問題があるため、インバート施工に際しては施工計画も含め十分な検討を要する。なお最近、トンネル中央区間のインバートを曲線函体推進工法により施工することで、供用車線での建築限界を確保してインバートを設置した事例が報告されている<sup>9)</sup>。また、鉄道トンネルでは活線改築によるインバート施工は、事実上はほぼ困難である。

### 3-1-5 ロックボルト工

いわゆるNATMで用いるロックボルトの効果を期待して、坑内からロックボルトを打設する工法で、内面補強工などと併用して適用するケースが多い。また、インバートの施工が困難な盤ぶくれ箇所、下方にロックボルトを打設して変位の抑制効果を期待する場合がある。ただし、鋼材を用いるため、中長期的にはボルト材の防錆対策に



写真-11 ロックボルト頭部プレートに腐食の事例

十分配慮する必要がある(写真-11)。

以上、主な外力対策工に関して述べたが、こうした外力対策工の設計は、トンネルの変状ごとに諸条件が異なるため個別に検討を要する。ただし、ある条件を満たせば標準的な材料・配置あるいは対策工の組合せにより規定された標準対策工法の適用<sup>10)</sup>が可能となる場合もある。

## 3-2 剥落防止対策

### 3-2-1 はつり落とし工

剥落防止対策の、もっとも基本的な対策工法であり、浮き・剝離箇所を、ハンマー、電動ピック、ディスクサンダーなどを用いて除去する工法である。なお、ハンマーや電動ピックを使用する場合、過度な衝撃は周囲の覆工コンクリートにマイクロクラックを誘発し、劣化の一因となるため注意する必要がある。これに対しディスクサンダーを用いれば衝撃も少なく、表面が平滑化して後の点検などで変状の進行性の有無を把握しやすくなる(写真-12)、粉じんが発生しやすい欠点があり、浮き・剝離の状況によって双方を組み合わせる適用することが望まれる。

### 3-2-2 断面修復工

覆工の劣化部分を除去して、樹脂モルタルなどの付着力のある材料で修復する工法であり、鉄筋発錆による変状に対しては鉄筋の防錆対策と併用して用いられる。ただし、中長期的に修復材が経年劣化し(写真-13)、あるいは付着力が低下して剝落するケースがあるため、本工法を適用する場合は、後述する当て板工(パネル系、シート系)の



※ディスクサンダーによる平滑化  
写真-12 はつり落としの例

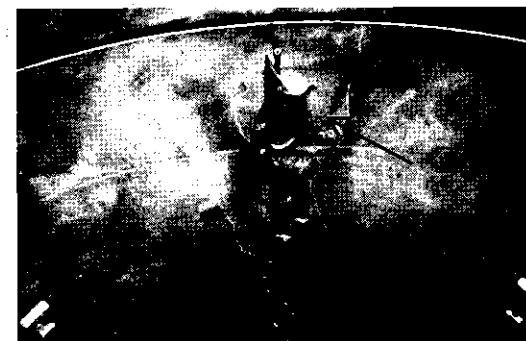
併用が望まれる(道路トンネルでは併用が基本とされている<sup>9)</sup>。

### 3-2-3 ひび割れ注入工

ひび割れが発生したRC構造の覆工での鉄筋腐食対策や当て板工(シート系、パネル系)などの下地処理として適用される場合が多い。無筋コンクリートを主体とする山岳トンネルにおいて、供用後、長期間が経過した覆工のひび割れ箇所については、ひび割れ内部に粉じんなどが付着して、ひび割れ注入による接着効果が期待できない場合があるため、本工法の単独の適用には十分検討する必要がある。一方、新設トンネルでは、注入材による接着効果もある程度期待でき、のちの定期点検などで、ひび割れの進行を(注入箇所が再度ひび割れすることで)確認できることから、外力起因と発生形態が同じような材質劣化に起因するひび割れにおいて、比較的開口量の大きいものには本工法を適用しておくことが望ましい(写真-14)。



※溝切り工で囲まれた箇所に断面修復工を適用  
写真-13 断面修復材の劣化例



※覆工天端の縦断方向ひび割れに適用  
写真-14 ひび割れ注入工適用例

### 3-2-4 金網・ネット工

浮き・剝離箇所を金網またはネットで覆って、周囲の健全な覆工にコンクリートアンカーで固定することで剝落を防止する工法である。施工性が良好で作業時間も短いため、剝落防止対策として多用される。最近では防錆対策が不要で、ある程度、材料の剛性も期待できるFRPメッシュ工(ガラス繊維のFRPグリット筋にガラスメッシュ網を併用したネット)の実績が増えている(写真-15)。

金網工では防錆対策(ステンレス材の適用など)が必要である。また変状規模が広範囲である場合は、金網やネットがたわみやすく、形鋼系当て板工(後述)を併用するケースもある。

本工法は、あくまで劣化箇所を保持して剝落を防ぐ工法であり、劣化部分の改善を図るものではないことに留意する必要がある。とくに凍害などの原因で劣化部分が拡大(覆工深部への拡大も含む)

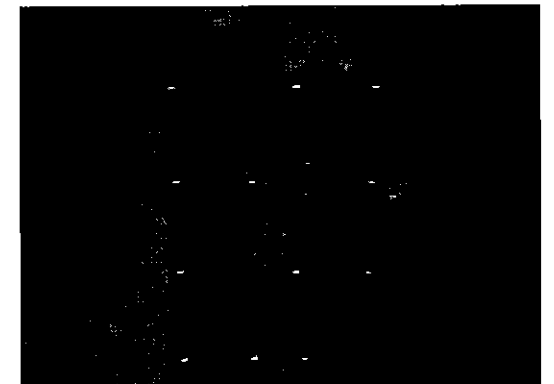
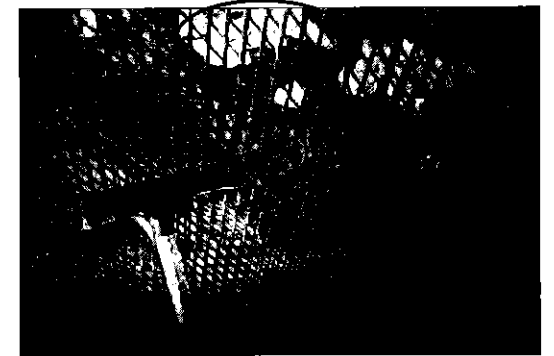


写真-15 FRPメッシュ工の施工例



※○範囲が剝落した覆工コンクリート片  
写真-16 金網工に堆積した覆工片

するおそれのある変状箇所では、コンクリートアンカーの定着深度まで劣化が進行すると、堆積した覆工片の自重で補修材(金網・ネット)が落下する危険性がある(写真-16)。このような箇所では初期コストは割高でも耐久性のある当て板工などの比較により、適用性を検討することが望ましい。

### 3-2-5 当て板工

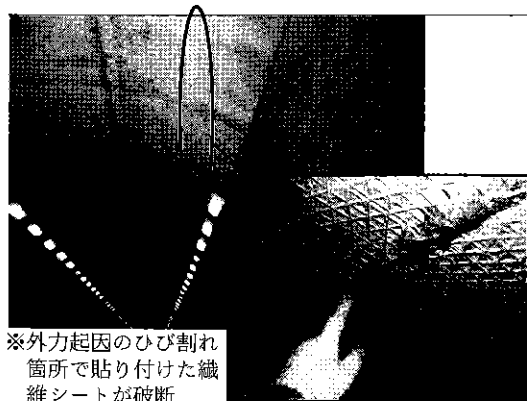
浮き・剝離箇所(または断面修復工適用箇所)を当て板により保持する工法で、当て板の材料としては、パネル系または繊維シート系材料があり、いずれも補修材料を覆工表面に接着または固定する。なお表-1においては、等辺山形鋼などの形鋼による保持対策も当て板工の一種として取り扱っている(ただし、形鋼の固定はコンクリートアンカーを用いる)。

#### (1) パネル系当て板工

鋼板、成型板などを用いるもので、鋼板は前述の内面補強工で記述した鋼板接着工に比べ設置範囲が限定的であることから、当て板の一部でも腐食や接着不良が生じると、これが拡大して中長期的には板材が落下する可能性があるため、採用にあたっては十分な検討を要する。

#### (2) 繊維シート系当て板工

繊維シートは補強対策に用いる炭素繊維、アラミド繊維のほかに、近年では強度は低いが高価なビニロン繊維、ナイロン繊維の適用実績ものびている。ただし、外力起因のひび割れ周辺の剝離箇



※外力起因のひび割れ箇所で貼り付けた繊維シートが破断

写真-17 ビニロン繊維当て板工の破断例

所では、低強度の繊維は容易に破断するため(写真-17)、材料の選択に十分注意する必要がある。

当て板工(シート系、パネル系)の適用に際しては前述の内面補強工同様、漏水処理も含め下地処理を入念に行う必要がある。

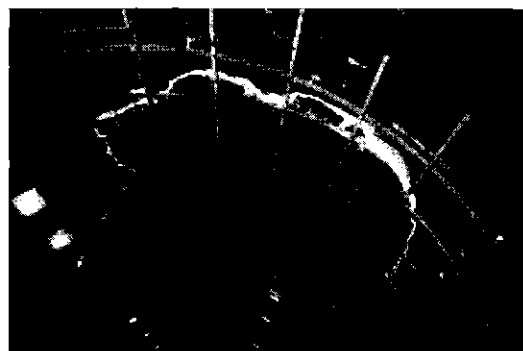
### (3) 形鋼系当て板工

ひび割れや横断目地などで閉合しブロック化した覆工コンクリート塊を保持するために用いられる工法(写真-18)で、金網・ネット工や繊維シート系当て板工と併用して用いる場合がある(写真-19)。

### 3-3 漏水対策

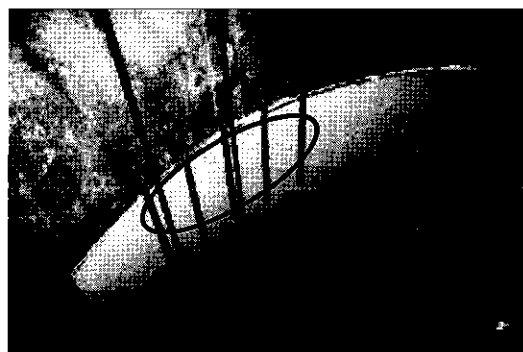
#### 3-3-1 樋工

漏水を覆工表面に設置した樋によって導水する工法で、他の漏水対策工に比べ施工性が良好であるため、漏水対策として多用される。



※トンネル縦断方向は等辺山形鋼、横断方向は平鋼を適用

写真-18 形鋼系当て板工の施工例(1)



※範囲でブロック化した覆工を保持するため繊維シート当て板工に加え、形鋼(等辺山形鋼)を併用

写真-19 形鋼系当て板工の施工例(2)



※○箇所より再漏水

写真-20 樋工からの再漏水の例

ただし樋の屈曲部や、樋面側の接着部の劣化で再漏水が発生しやすい(写真-20)。また、複雑なひび割れからの漏水箇所への適用には、直材の樋の組合せによる施工には限界があるため、このような場合には面状の漏水対策工などの適用が望ましい。

#### 3-3-2 溝切り工

内空断面余裕がない場合、樋工に替わって適用される工法で、図-1に示すように、覆工に溝を切って導水材をはめ込んで導水する工法である。従来はV字形にカットしメッシュホースや塩ビ管を設置して急結モルタルなどで充填するタイプが多かったが、経年で充填材が劣化して剝落するケースが多いため、現在は通水断面の大きいU字形にカットして、分離落下しにくいゴム製の導水材を設置するタイプが主流となっている。本工法は剝落対策箇所の事前の漏水処理として併用される場合も多い。

本工法も樋工と同様、経年で導水材の接着部分が劣化して再漏水するケースが見られるが(写真-21)、樋工と異なり再設置する場合は付着力を確保するため従前のU字形カットの幅を少し広げて切削して幅広のゴム材を適用する。このため再設置をくり返すと、溝幅が広がって適用できる導水材がなくなる場合がある。

また、複雑なひび割れが閉合している場合は、溝切りによって覆工コンクリートが欠損して地山が露出する場合もある(写真-22)。このように溝

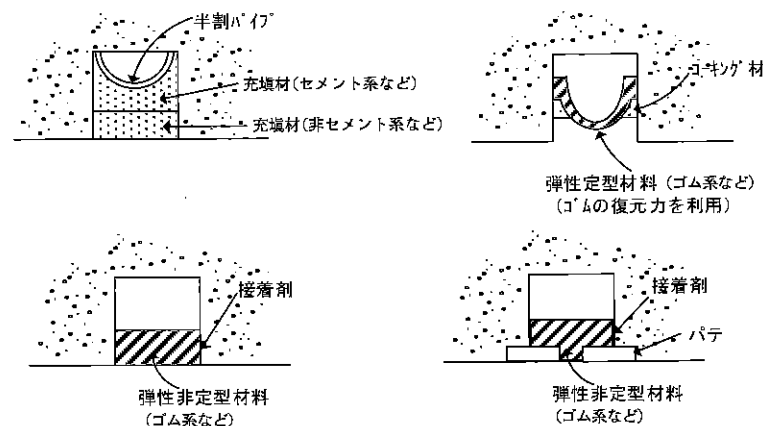


図-1 溝切り工の例(文献1)を加筆修正



※導水ゴム脇で凍害により断面欠損が生じ、再漏水が発生

写真-21 溝切り工の再漏水状況例



※矢印方向の溝切りで、覆工コンクリートが落下

写真-22 溝切り工施工時に覆工が欠落した例

切り工の過度な適用によって覆工の耐荷力が損なわれる場合もあるため、複雑なひび割れからの漏水に対しては、後述する防水パネル工の適用が望まれる。

なお、内空断面余裕がなく防水パネル工を適用できない場合は、ひび割れに対し止水注入工を適用して止水し、横断目地などの耐荷力に影響の少ない部位に溝切り工を適用して導水する方法がある。

### 3-3-3 止水注入工

山岳トンネル(排水トンネル)の漏水対策の基本は導水対策であるが、前述したように複雑な形状のひび割れからの漏水箇所や、内空断面余裕がなく、防水パネル工などを適用すると車両接触で破損する恐れのあるひび割れからの漏水箇所の止水対策として、本工法を適用する場合がある。また内面補強工などを適用する際の事前の漏水処理としても用いられる。

近年では図-2に示す高圧止水注入タイプの適用事例が多い。注入材には、ポリウレタン系、エポキシ樹脂系、アクリル系、超微粒子セメント系などの材料があり、ひび割れの進行にある程度追従可能で湿潤面に対しての接着性が優れるものを選定する必要がある。

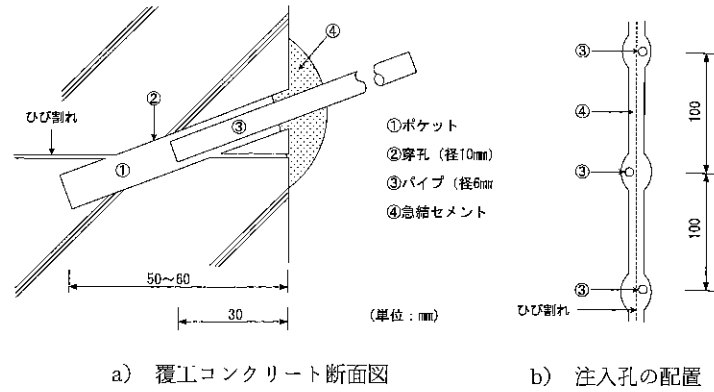
また、止水された漏水は必ず別の箇所から漏水するため、必ず導水工などを併用して漏水を適切に処理する必要がある。とくにNATMトンネルの覆工のひび割れからの漏水箇所に本工法を適用すると、覆工背面から浸出していた漏水は、防水シートと覆工との隙間に滞留して覆工に水圧が作用する場合があるため、本工法適用箇所の下方面などに別途、水抜き孔など排水対策を併用するなどの配慮が必要である。

なお、従来用いられていた止水充填工(Vカット充填)は対策効果の持続性があまり期待できず、充填材(急結セメントなど)が剥落する場合があるため、適用に際しては十分な検討を要する。

### 3-3-4 防水パネル工

複数のひび割れや、面的な劣化部から漏水がある場合、防水パネル工が適用される。とくに寒冷地では、断熱材をパネル材に併用することで面的に保温し、つららの発生を防止できるため、適用

トンネルと地下



a) 覆工コンクリート断面図 b) 注入孔の配置

図-2 止水注入工例<sup>1)</sup>

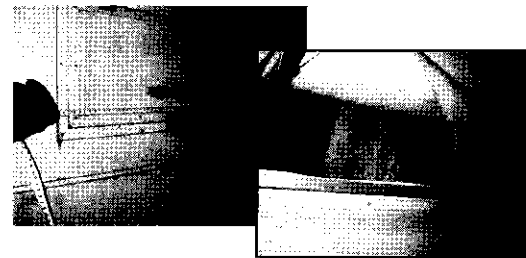


写真-23 防水パネルの背面確認窓の例

事例が多い。本工法を適用することで坑内の景観も改善されるが、変状がパネルで覆われてしまい、とくに外力起因の変状の進行が把握できないおそれがあるため、適用に際してはこうした点に留意し、必要に応じて確認窓を設けるなどの配慮が必要である(写真-23)。

### 3-3-5 防水塗布工

内空断面余裕が少なく、上記の防水パネル工を適用すると大型車両による接触破損が懸念されるようなトンネルで、面的な漏水対策として適用される。本工法は防水シートを設置してエキスパンドメタルなどの金網で防水シートを保持したうえで、金網を樹脂モルタルなどで一体化する工法で、材料の設置厚は数cm程度以内に収めることができる。ただし断熱効果が期待できないため、寒冷地で適用するとシート背面の漏水が凍結膨張して破損するため(写真-24)、このような環境下のトンネルには適用が困難である。

以上で記述した、剥落防止対策工および漏水対策工の設計方法に関しては関連文献<sup>1),6),7)</sup>を参照されたい。

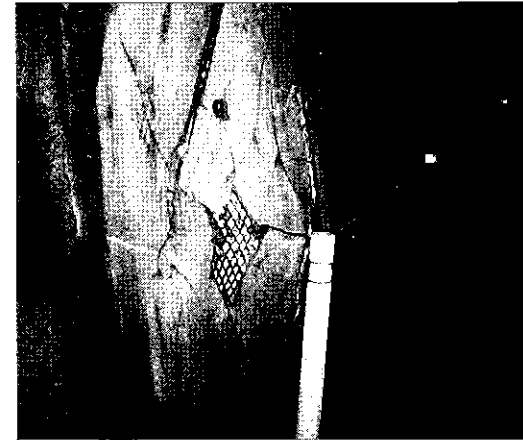


写真-24 寒冷地での防水塗布工の破損例

## ④ 対策工設計・施工に際しての留意事項

3章で記述した対策工の設計・施工に際しての主な留意点を以下に示す。

### (1) 再補修を考慮した材料・工法選定

トンネルの対策では、いったん適用しても中長期的に補修・補強材の劣化が進行し再補修する事例が多い。このため道路トンネルでは、「応急対策」に対し「恒久対策」という用語は用いず「本対策」という呼び方を用いている<sup>1)</sup>。このように対策工の選定にあたっては、初期工事費のみならず耐久性(再補修の周期)も加味したライフサイクルコストにも配慮する必要がある。

### (2) 内空断面余裕のないトンネル

昭和45年の道路構造令の改正に伴い、トンネルの建築限界が拡大されて現在に至っている。このため以前に施工された道路トンネルでは、現行の建築限界が確保されておらず、とくに内空断面余裕のない覆工アーチ肩部で大型車両が接触し、対策工が破損するケースがある(写真-25)。このような箇所への対策工の適用については工夫を要する(写真-26)。

### (3) 対策工による変状箇所の被覆

3-3-4項で記述したように、変状箇所を対策工で覆ってしまった場合に、後の定期点検などにより変状の状況や進行性の確認が困難となる。この

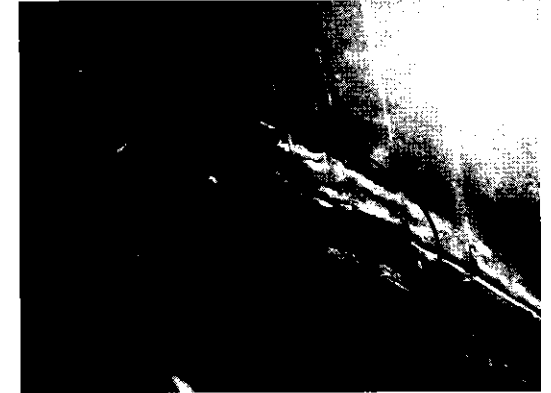


写真-25 車両接触による覆工の破損の例



※アーチ肩部で車両接触により破損しやすい部分に対し、覆工を切削し樋工を埋め込んで鋼板で被覆

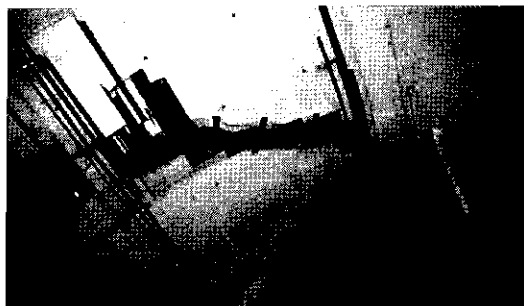
写真-26 鋼板による覆工の防護例

ため対策工適用前の変状展開図、状況写真などを記録として保存し、以降の点検時に同じ箇所での防水パネル工などの対策工の変状や変形の有無を重点的に確認することが重要と考える。

なお、繊維シート補強工など覆工に密着させた対策工で、外力変形などが進行すると繊維シートが剥離、破断するので(写真-27)、点検時にはこのような事象の発生の有無を重点的に確認することが望まれる。一方、鋼板はこのような現象が視認できないため、打音検査により鋼板が覆工に密着して固定されているか入念に確認する必要があると考える。

### (4) 樹脂系接着剤を用いる工法

冬期の低温下では施工性や品質が著しく低下する場合があります。工事時期についても配慮する必要があるものと考えられる。



※炭素繊維シート補強工の、ひび割れ沿いのシートの破断

写真-27 繊維シート補強工の破断例

### ⑤ おわりに

今回は、道路および鉄道トンネルにおける補修・補強対策の概要や留意点について紹介した。次回は新技術も含め、具体的な補修・補強対策の事例を紹介する予定である。

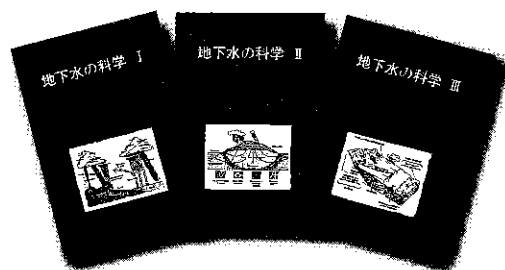
(文責：太田裕之/応用地質(株))

### ■ 図書案内

## 地下水の科学 — 全3巻 —

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

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

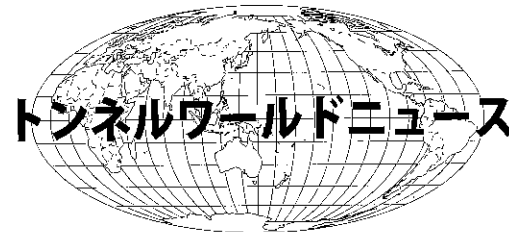


株式会社 **土木工学社**

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

### 参考文献

- 1) 土木研究所：道路トンネル変状対策工マニュアル(案)，土木研究所資料，第3877号，2003.2.
- 2) 猪熊明：道路トンネルの緊急点検と今後の維持管理，トンネルと地下，Vol.21, No.10, pp.35-40, 1990.10.
- 3) 国田雅人・竹俣隆一・役田徹：能登半島沖地震による被災トンネルを復旧，トンネルと地下，Vol.24, No.11, pp.8-13, 1993.11.
- 4) 奥井裕三・鶴原敬久・太田裕之・佐久間智・中田主税：盃山トンネルに発生した急激な路面隆起変状の計測および解析による変状メカニズムの考察，トンネル工学報告集，Vol.19, pp.173-180, 2009.11
- 5) 鈴木雄吾・岩永茂治：通行止めを回避した新たなトンネル断面隆起対策技術の適用，トンネルと地下，Vol.45, No.7, pp.7-18, 2014.7.
- 6) 東・中・西日本高速道路：設計要領第三集 保全編，2015.7.
- 7) 鉄道総合技術研究所：トンネル補修・補強マニュアル，2007.1.



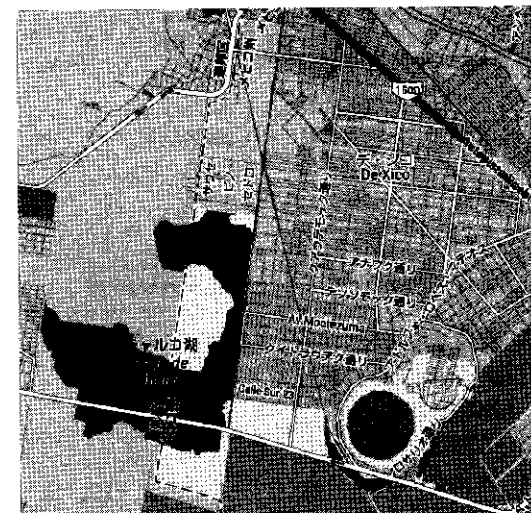
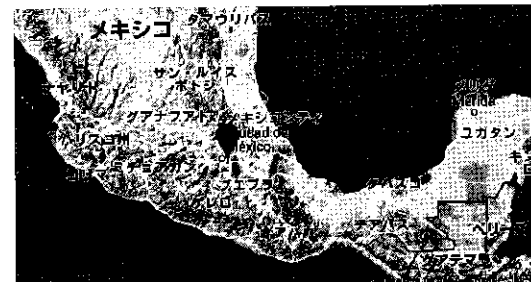
(一社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

### チャルコバレープロジェクトで 選択されたEPB掘削機

メキシコの建設会社Empresas ICAは、今年初めに落札した契約の締結後3年間で、EPB掘削機を使用することにより、メキシコのチャルコバレーに巨大な運河トンネルを建設する計画である。延長7.9km、直径5mのトンネルは、Parade del Toro排水機場からLa Caldera排水機場まで、おおむね運河と平行に建設される。

掘削にEPB機を使用するこのプロジェクトは、プレキャストコンクリートのセグメントの製造と設置、ライニングとカバーの仕上げ設置、および平均深さ25mを有する直径12mのドロップ型シャフト4本の構築作業も含んでいる。

この仕事は、チャルコバレー内の季節的洪水のリスクを軽減させるConaguaの長期計画のうち不可欠なものの一つであり、今後3年間で行われる予定である。Empresas ICAは、メキシコチャ



位置図(出典：google map)

ルコバレーにおいて、運河トンネルを建設するため、国家水委員会Conaguaから86万USドルの契約を確保した。

(T&T '14.8 担当：法橋亮・戸田建設(株))

### 『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

1. 原稿は弊社ホームページ(<http://www.tunnel.ne.jp>)に掲載されている投稿規定により執筆して頂きます。
2. 原稿のボリュームは、原則として刷上がりで8頁以内とします(図・表・写真含む)。
3. 原稿掲載の採否は、本誌編集委員会が審査のうえ決定します。
4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
5. 原稿は、原則として返却いたしません。  
(注：「現場だより」の投稿は受け付けておりません)

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

一般社団法人

日本トンネル技術協会

# 会 報

## 1. 会員の現状

	7月31日現在
個人会員	877名
団体会員	201名
推薦会員	207名
特別会員	12名
名誉会員	3名
賛助会員	155名
合 計	1,455名

## 2. 委員会の開催状況(7月1日~31日)

### ①運営広報関係委員会

#### ◎総務委員会

##### ・広報小委員会

##### 会誌WG(7/1)

大島洋志主査ほか9名, 8月号の会誌と3か月計画を検討

#### ◎設立40周年記念事業実行委員会

##### 作品展示等WG(7/9)

吉富幸雄主査ほか10名, パネル展示の準備状況確認

##### 催物企画等WG(7/27)

中間祥二主査ほか6名, 親子見学会準備状況およびスケジュールを確認

#### ◎国際委員会

##### ITA統括WG(7/15)

石田積主査ほか13名, クロアチア総会報告と今後の活動方針の検討

##### 海外ニュースWG(7/28)

清水健志主査ほか8名, 海外文献の査読  
計 5回開催 51名出席

### ②調査研究関係委員会

#### ◎技術委員会

##### ・保守管理小委員会(7/3)

浅見郁樹委員長ほか13名, 会誌掲載原稿作成方針および講習会実施内容を検討

##### ・都市トンネル小委員会

##### シールド変遷史編集WG調整サブWG(7/3)

五十嵐俊夫主査ほか7名, 原稿を検討

##### シールド変遷史編集WG第1GサブWG(7/29)

河越勝主査ほか6名, 原稿を検討

#### ◎受託研究特別委員会

##### ・北鎌倉隧道安全性検証等委員会(7/17)

西村和夫委員長ほか17名, 対策工を検討

##### ・小田急下北沢地区線増建事業技術委員会(7/23)

小山幸則委員長ほか14名, 施工状況および地下水・地盤状況を検討

##### ・長期耐久性特別委員会

##### 小幹事会(7/22)

松岡茂幹事長ほか16名, ひび割れパターンを検討

計 6回開催 79名出席

合計 11回開催 130名出席

### 個人会員のメールアドレス登録依頼

積極的な情報提供を行うため, 団体会員の窓口および個人会員のメールアドレスを登録していただいております。協会の催物をはじめ各種の連絡事項などの発信に活用させていただいております。ご登録をお願いします。なお, 登録後に変更が生じた場合はご連絡願います。

#### ①メールアドレス登録方法

送信タイトルを「JTAアドレス登録」とし, 氏名, 所属, TEL, E-mailアドレスを記載のうえ webmaster@japan-tunnel.orgまで送信願います。

#### ②その他

協会からの情報を発信する場合は当面送信タイトルに「jta」を明記します。

## 3. 国際会議の開催予定

会 議 名	開 催 日	場 所	主 催 者 等
第42回ITA総会およびコンgres「Uniting the Industry」	2016. 4. 22~28	サンフランシスコ (アメリカ)	Underground Construction Association of SME ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc.2016.us
第43回ITA総会およびコンgres「Surface problems - Underground solutions」	2017. 6. 9~16	ベルゲン (ノルウェー)	Norwegian Tunnelling Society ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc.2017.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

\*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27年度催物開催予定

(平成27年7月現在)

催 物 名	開 催 日	人 数	場 所	CPD取得単位
(現場研修会)				
東村山市水路トンネル現場研修会	2015. 7.23	25	東京都	2.5
九州新幹線現場研修会	2015. 8.27	25	佐賀, 長崎	3.2
(武雄トンネル, 大草野トンネル, 久山トンネル)				
(施工体験発表会)				
第76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—」	2015. 6.24	168	東京都	5.5
第77回(都市)「市街地におけるトンネル・地下構造物の築造技術」(講習会・シンポジウム)	2015. 6.25	109	東京都	4.7
トンネル技術者のための地相入門講習会	2015. 9.30	40	東京都	
(設立40周年記念事業)				
山岳トンネルの設計と現場との乖離(仮称)	2015.11.18	200	東京都	

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

## 10月号予告[10月1日発売予定]

- 水圧ハンマを用いた高速トンネル切羽前方探査技術の開発
- 品鶴線大崎駅構内住吉こ道橋
- 北薩横断道路 北薩トンネル
- みなとみらい線 高島トンネル
- ITA総会報告
- 【連載講座】
- 山岳トンネル覆工の長寿命化技術(9)

\*内容等は変更になる場合がございます

## 編集後記

◆トンネルに関するニュースを二つほど紹介します。一つ目は、メキシコシティ郊外にあるもっとも警備が厳しいはずの刑務所から、メキシコ最大の麻薬密売組織のボスが脱獄した事件です。この脱獄には独房のシャワースペースの真下まで掘られた1.5kmのトンネルが使用されました。電灯、換気装置も完備された坑内にはレールが敷かれ、そこを軌道走行が可能な改造されたバイクにまたがり、わずか3分で逃げ去ったということです。まるで映画のような大胆不敵な手口に驚愕した人も多かったと思います。

◆二つ目は、日本製のTBMも活躍したことで知られているイギリス—フランス間の英仏海峡トンネルの話です。同トンネルには、中東やアフリカなどの紛争地を逃れ、フランスから海を越えてイギリスに渡ろうとする不法移民が急増しています。その移動手段に同トンネルが利用されています。多いときには2,000人もの人々が同トンネルに侵入したようです。このため、イギリスでは物流に支障をきたし深刻な経済損失となっています。不法移民の方々は、英語圏に行きたいということもありますが、国内で難民申請をしてもらいたくないフランス側がやみくもに移民を摘発しないことも関係しているようです。

◆この二つのニュースはメディアでも紹介されましたのでご存じの方も多いと思います。恵まれた環境で暮らしているわれわれには、想像もできない出来事ですが、世界には麻薬の密売などの悪いことで巨万の富を得ている人間も、たまたま生まれてきたところが紛争地域や貧しい国であったため移民となってしまう人間がいることを再確認させられました。

(K.Y)

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

★(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46巻 第9号 [通巻541号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成27年8月20日 印刷

平成27年9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

目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16

番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

## 本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

## 購読料

1冊 1,575円(送料108円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

## 本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は本社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

TEL: 03-3267-2888

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

## トンネル二次覆工型枠総合メーカー

スライダー打設システム  
トンネル天端部  
懸垂ハイブレッタ締固め工法

特許 第4083308号  
NETIS登録 KT120099-A

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)

型枠ハイブレッタ  
集約制御システム DKV-20

特許 第5247491号  
NETIS登録 KT-130037-A

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



EPSパネルの保温性、保湿性が効く

実績および計画		
施主	実績	計画中
国土交通省	27	0
NEXCO	6	1
地方自治体	20	4
鉄道・運輸機構	1	0

平成27年4月1日 現在

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

一歩前進! ~限りない未来への挑戦~

大栄工機株式会社

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

URL http://www.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

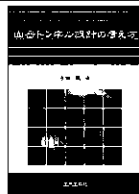
トンネルの計画・設計・施工にあたって留意すべき「地相」について、施工事例をもとに、豊富な図版と地形図を用いて、ていねいに解説した、両期的な入門書。



山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著, 3,200円+税 B5判

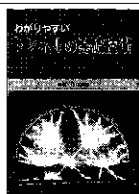
地山の力学状態を表す理論式から導かれる地山挙動の特徴を図表などを用いて手際よく説明した。トンネル掘削における工学的な理解を深化させる一冊。



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

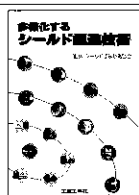
火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げ、また、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく解説。



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斯界の権威が翻訳・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

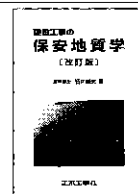
温泉開発における一般論から探査技術についてまとめ、今後の温泉開発の考え方を、外国の事例も交えながらわかりやすくまとめた。



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・E.W.シュワルツ 共著, 地下水の科学研究会・大西有三 監訳

地球という複雑なシステムを循環する水、とくに地下水循環を考え、汚染地下水など環境問題を地下水物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

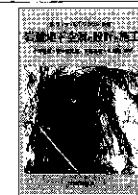
ジオテクスタイルの交通施設への利用について詳述された1981年の報告書を完訳。



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・斎藤正忠・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

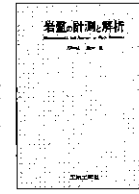
トンネル工事の際の労働衛生と環境保全の検討に有用な項目について、医学分野の知見から職業性疾病や有害環境条件、健康障害、衛生管理、保護具などを解説した。



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

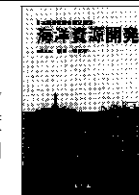
都市の代表的な地下施設である地下鉄、上水道、下水道の各トンネルについて、それぞれの主だった工法ごとに計画から施工まで実例をまじえてわかりやすく解説した。



海洋資源開発

稲田善紀 著, 3,400円+税 A5判

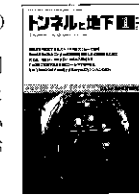
海洋の石油・天然ガス・石炭などのエネルギー資源と、マンガンノジュールの鉱物資源、また、海洋エネルギーなどの開発と利用についてまとめた。



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1口発売)

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



書籍のお申し込み

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

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

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 (断層剝削地形) / 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

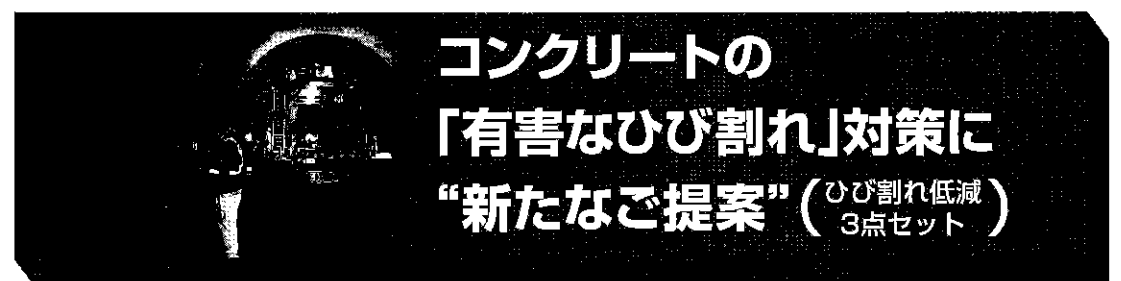
座談会

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

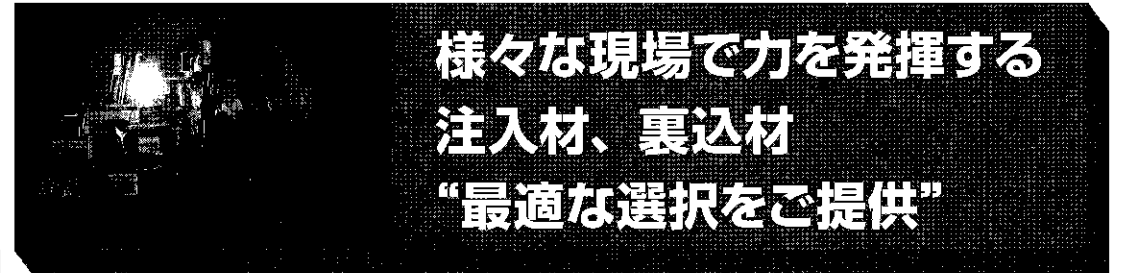
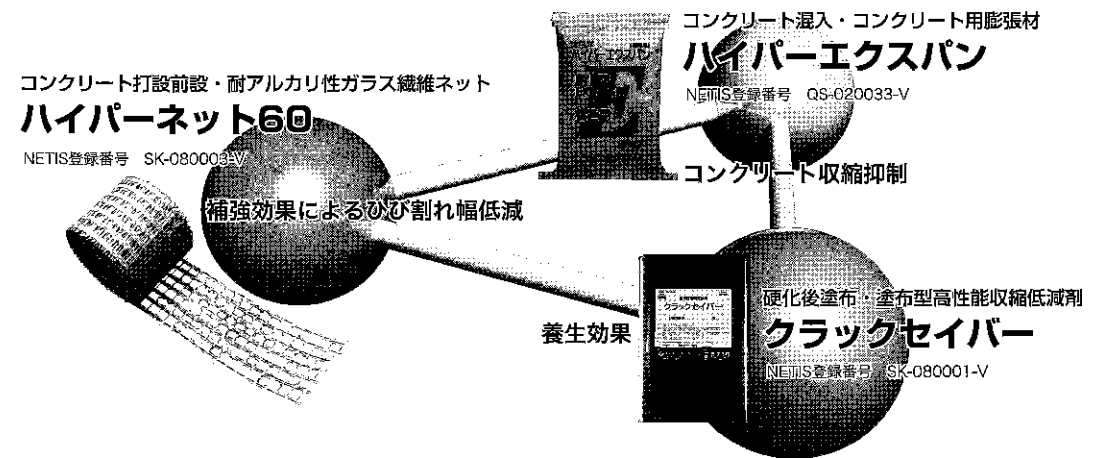


株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16-1 メイジャー神楽坂  
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807



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



## 様々な現場で力を発揮する 注入材、裏込材 “最適な選択をご提供”

注入材	超微粒子注入材	太平洋アロフィクスMC
	隣結工法用無機懸濁型 土質安定材・下水道止水材	太平洋アロフィクスMC2号
	注入式長尺先受工法用注入材	太平洋スーパーハード
	注入式長尺先受工法用注入材	太平洋スーパーファスター



太平洋マテリアル株式会社

営業本部

〒135-0064 東京都江東区青海 2-4-24 青海フロンティアビル 15F

<http://www.taiheiyo-m.co.jp>

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

# できるをつくる。Possibility of chemistry. デンカのトンネル関連技術

## 驚異の低粉じん吹付け

### デンカクリアショット NETIS:KT-080020A

- デンカナトミックLSA (酸性液体急結剤)
- デンカナトミックUSS (粉体助剤Fc=18N/mm<sup>2</sup>用)
- デンカナトミックHSS (粉体助剤Fc=36N/mm<sup>2</sup>用)

- ・脅威の低粉じん吹付けで労働環境、作業性が改善
- ・リターナルコンテナにより廃棄物・環境負荷低減
- ・確かな初期強度、長期強度発現性
- ・付着性が高く、跳ね返りが少ない
- ・湧水、低温にも強く、粉体急結剤と同等の吹付け性状

## 信頼の粉体急結剤

- デンカナトミック TYPE-5 (一般吹付け・高品質吹付け)
- デンカナトミック TYPE-10 (高強度吹付け)

- ・安定した初期強度と長期強度発現性を有する
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

## 粉体急結剤用粉じん低減剤

- クリアアップ2 : 主に天然砂配合コンクリートに適用
- クリアアップ3 : 主に砕砂配合コンクリートに適用
- クリアアップα (NETIS:KT-080020A)

：スランプの出難い種類の砂に対しても  
適度な粘性とスランプを付与します

## 瞬結・初期高強度吹付け

- デンカシグマショットSH (専用高強度混和材)
- デンカナトミック TYPE-10S (専用急結剤)

・吹付け後10分で3N/mm<sup>2</sup>、3時間で一般吹き付けの24時間強度(概ね8N/mm<sup>2</sup>)、28日で2倍以上の強度が得られます。



## トンネル関連製品

### 吹付けコンクリート用混和剤

- デンカライフセッター : 吹付けコンクリート用凝結調整剤
- FTN-30 : 吹付けコンクリート用高性能減水剤

### トンネル補助工法

- デンカES/ES-L : 無公害なセメント系土質安定用急硬材
- デンカコロイダルセメント : 微粒子セメント
- デンカコロイダルスーパー : 超微粒子セメント
- デンカPモル : 注入式ロックボルト定着材

### 小型吹付け

- PFモルタルTYPE-K : 小断面、TBM、シールド工専用吹付け

### 裏込注入工法

- デンカクリーニンググラウト : 非エア系可塑性モルタル

### 覆工コンクリート補修

- デンカワンステップガード工法 : 工期短縮型はく落防止工法
- NAV-G工法 : 可視型はく落防止工法 (NEXCO規格対応)
- NAV-G工法 (UV仕様) : 坑口・明かり部対応 可視型はく落防止工法 (NEXCO規格対応)

### トンネル・土砂捨場用コルゲート管

- トヨドレン

## 覆工のひび割れ対策

### デンカパワー-CSA TYPE-T

トンネル覆工コンクリート用膨張材

### デンカクラッコフ

有機無機複合型被膜養生剤

### GRACE Microfiber

ひび割れ抑制・耐久性向上ポリプロピレン短繊維

## 中流動コンクリート用混和剤

ADVA-PLUS : 後添加型 ※JIS対応



# Denka

電気化学工業株式会社

東京都中央区日本橋室町2-1-1  
インフラ・無機材料部門  
特殊混和材部 トンネル材料G  
TEL:03-5290-5558  
FAX:03-5290-5085

デンカビッグスワンスタジアム  
DENKA BIG SWAN STADIUM



Denka は「デンカビッグスワンスタジアム」のネーミングライツパートナーです

定価 1,620円

本体価格1,500円

雑誌06619-9



4910066190958  
01500