

# トンネルと地下 **7**

vol. 46  
no. 7  
2015

Tunnels and Underground

津波被災地区の丘陵部をNATMで移設復旧

情報化施工による大深度立坑掘削の中間評価

新駅建設に伴う大規模な地下駅アンダーピニング計画

東京臨海部の大深度・高水圧下におけるシールドトンネルの設計

開閉式点検扉による切羽障害物除去システムの開発と施工事例

球面切羽の全断面工法適用性に関する実証的研究

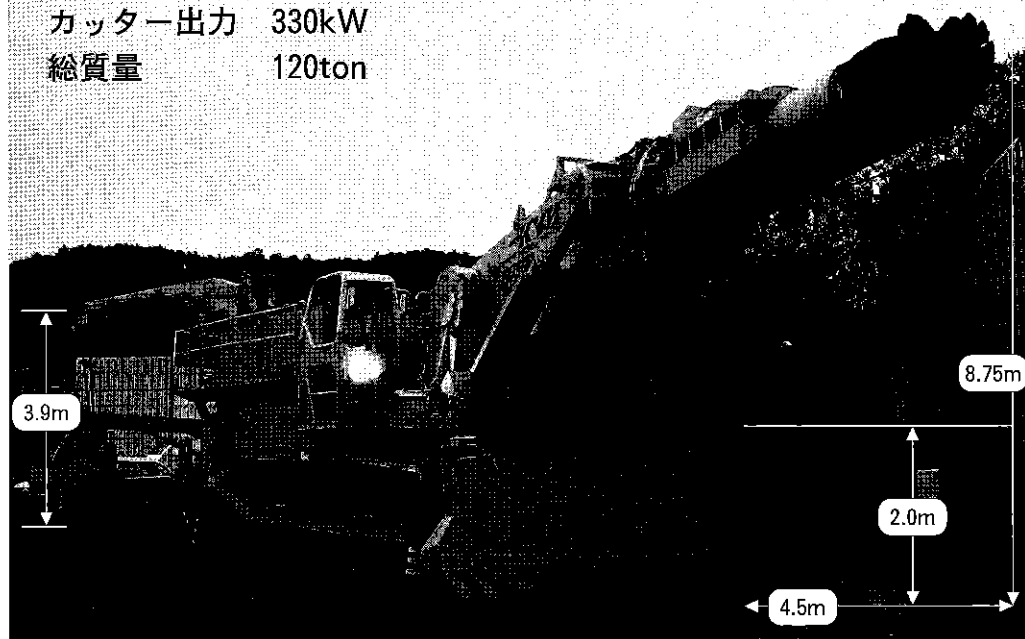
日本トンネル技術協会誌



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、強力な切削力を実現し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m（ケーブルハンガーを除く）
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅4.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とビック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

**KYB** カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

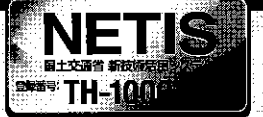
本社・営業 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444  
 カスタマーサービス 相模事業所 〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586  
 大阪支店 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号TEK第二ビル TEL 06-6387-3371  
 福岡支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998  
 三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出長常町 1129 番地 11 TEL 059-234-4111

トンネル工事用 電気集じん器

**e-DUSCO 270**

**e-DUSCO 270**

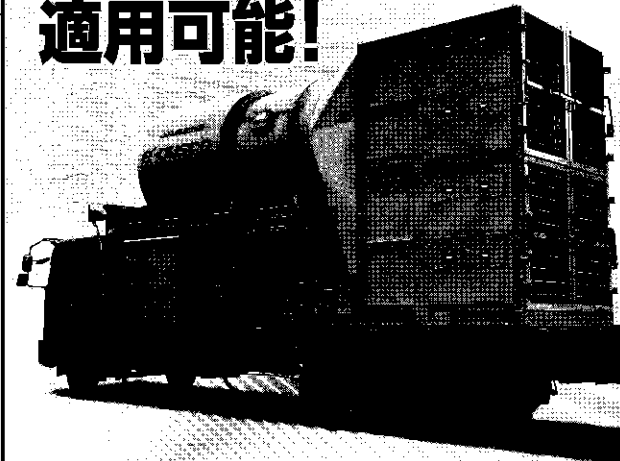
たった37kWで  
2750m<sup>3</sup>/min



経済産業省後援  
第39回優秀環境装置  
日本産業機械工業会 会長賞

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  
 $Q_{4a} = \frac{5,940}{3.0 - 0.07} = 2,027 \text{ (m}^3/\text{min)}$   
 $Q_a = 54.0 + 2,027 = 2,081 \text{ (m}^3/\text{min)}$
- ③ 集じん機の選定  
 $Q_s = 1.2 \times \frac{2,081}{0.93} = 2,686 \text{ (m}^3/\text{min)} \leq 2,750 \text{ (m}^3/\text{min)}$

品名	e-DUSCO240	e-DUSCO270
型式	FTE2400-E	FTE2700-E
集じん容量の選定	1800・2100・2400m <sup>3</sup> /min 任意設定の4モード	1800・2100・2700m <sup>3</sup> /min 任意設定の4モード*
全長	7411mm (サイレンサ含む)	7411mm (サイレンサ含む)
全幅	2350mm	2350mm
全高	3700mm	3700mm
本体重量	11t	11t
電源仕様	3相3線400V50kVA	3相3線107kVA
ファン動力	30kW	37kW
消費電力	23kW・28kW・30kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)	23kW・28kW・40kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)
洗浄水	2.4nl/回*	2.4nl/回*
集じん効率	95%以上	93%以上

注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

\*1 入口ダクト及び吸口ダクトは含まれません。\*2 台車の高さを含みません。\*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 名古屋支店 ☎052-561-4580 札幌支店 ☎011-764-1179  
 東北支店 ☎022-221-3532 九州支店 ☎092-741-5193 小浜工場 ☎0285-23-8662

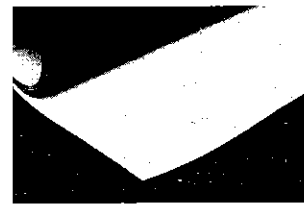
# ウォータータイトトンネル 防水システム



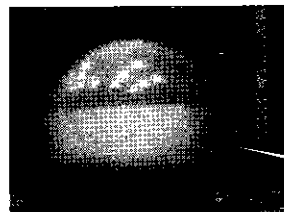
非排水型防水システム用メンブレン  
KFCタイトライナー

## シート防水材

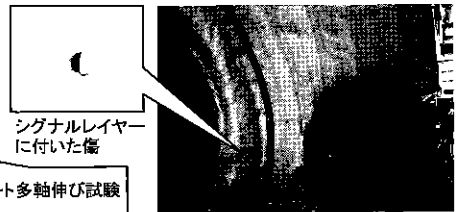
- **KFCタイトライナー**  
追随性・溶着性・耐破損性の優れた防水シート
- **シグナルレイヤー**  
防水シート損傷部の発見が容易なシグナルレイヤー付防水シート
- **裏面緩衝材**  
長繊維不織布から透水性の優れた立体網状体まで豊富なバリエーション



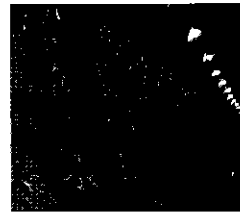
シグナルレイヤー付防水シート



シート多軸伸び試験



シグナルレイヤーに付いた傷



## 基本システム

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

## 漏水対策システム

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

**KFC** 株式会社 ケー・エフ・シー

土木資材事業部(東京) TEL(03)6402-8251 FAX(03)6402-8255  
土木資材事業部(大阪) TEL(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755

1本1本が大切! だから

次世代 防食 ロックボルト

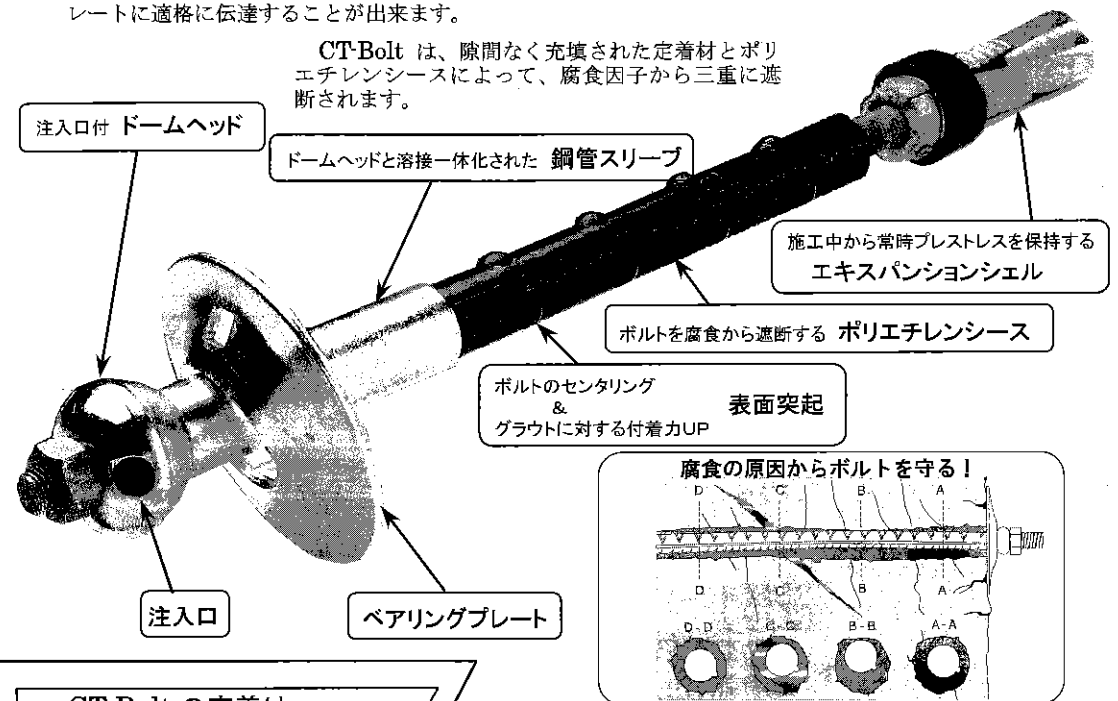
# CT-Bolt

...  
Ørsta Stål

通常施工により超長期支保

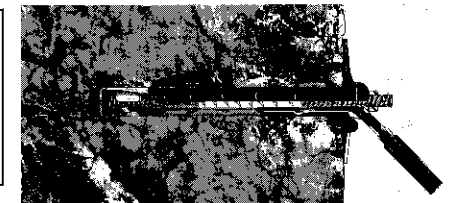
CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適格に伝達することが出来ます。

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



## CT-Bolt の定着は・・・

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



完全充填

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

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

総発売元 Your Fastening Partner

**KFC** 株式会社 ケー・エフ・シー

〒105-0011 東京都港区芝公園2丁目4番1号  
お問い合わせ先 TEL:03-6402-8256  
技術部 FAX:03-6402-8255

# K series

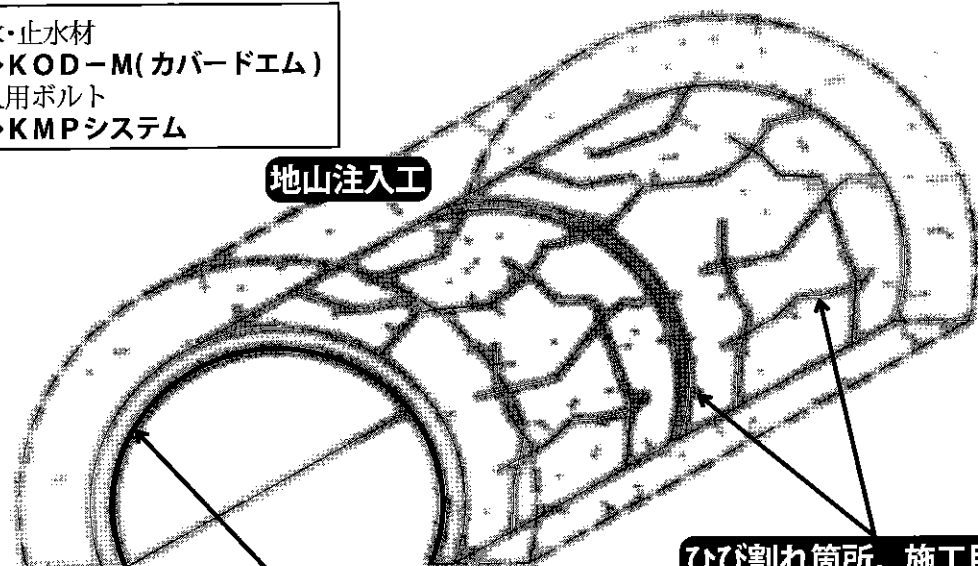
## カテックスの補修・補強材料

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



地山注入工

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)

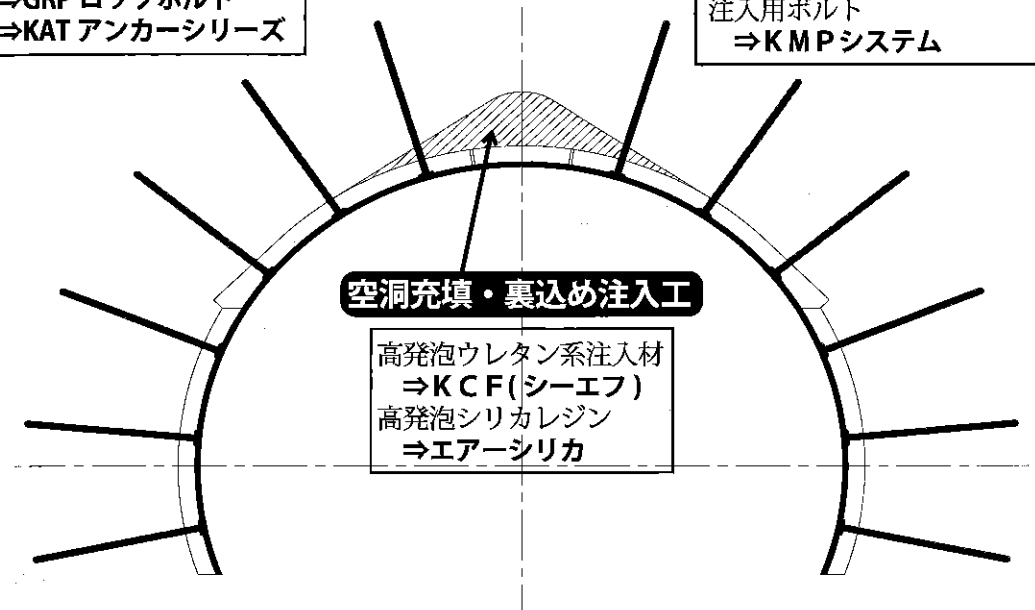
### ロックボルト工

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  
⇒エアーシリカ

### 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

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

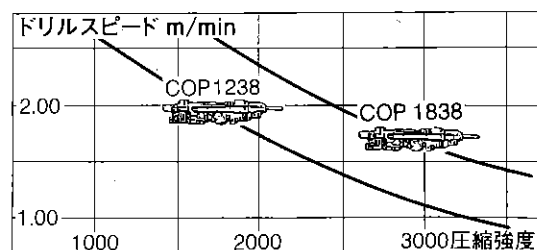
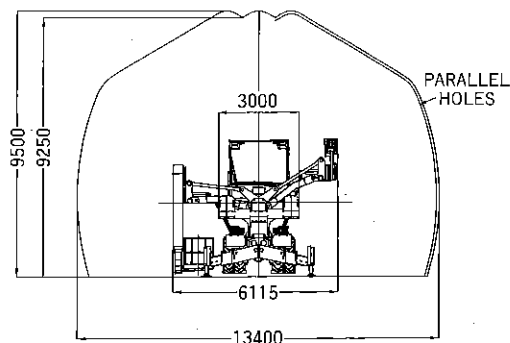
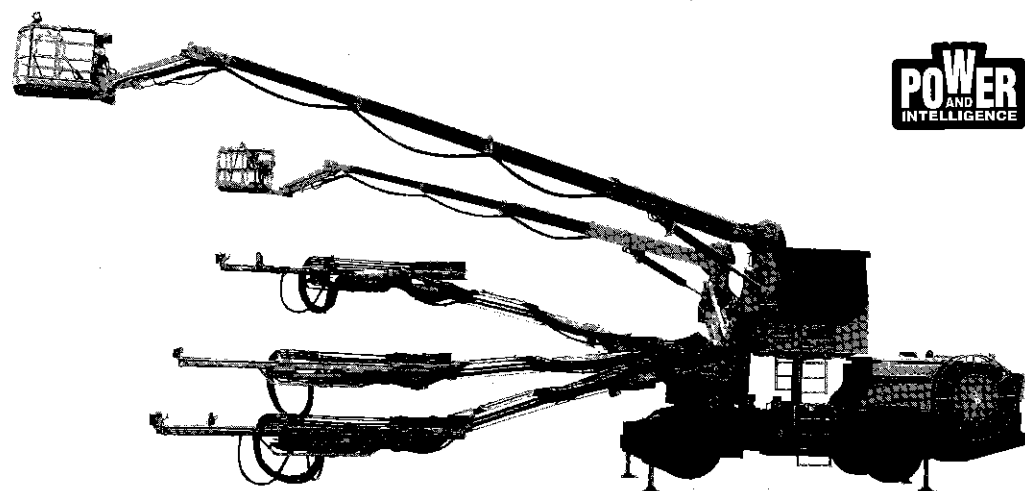
R<sup>2</sup>C(スクエアール)工法研究会 事務局 (株)カテックス 内 TEL) 052-331-3997

# 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

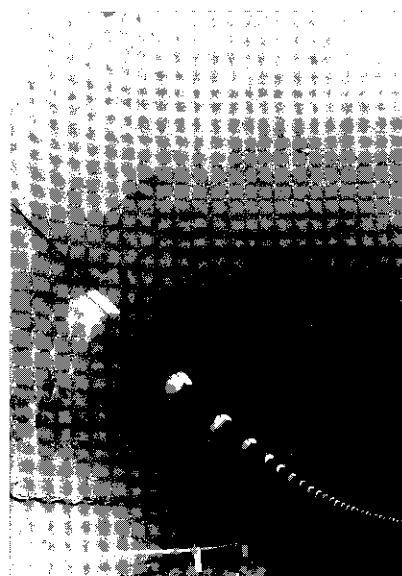
### DRILL MACHINE CO., LTD.

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 岩手県北上市大堤南2-1-30  
 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

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 ◆



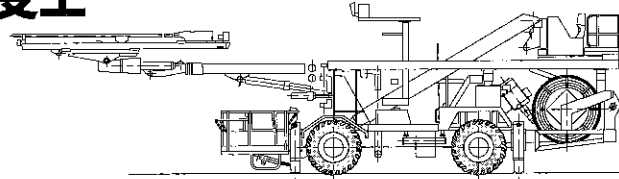
## 株式会社 マイール

〒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

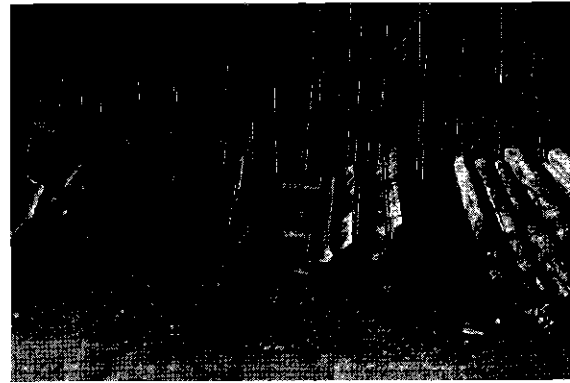
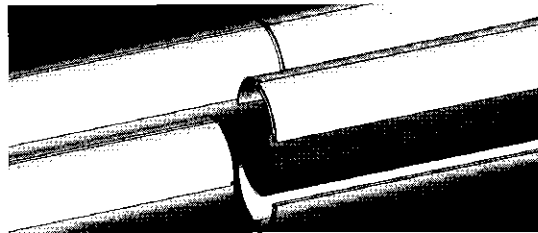
All Ground Fastening;  
Long-Distance, Fore-Filling Method



### 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。



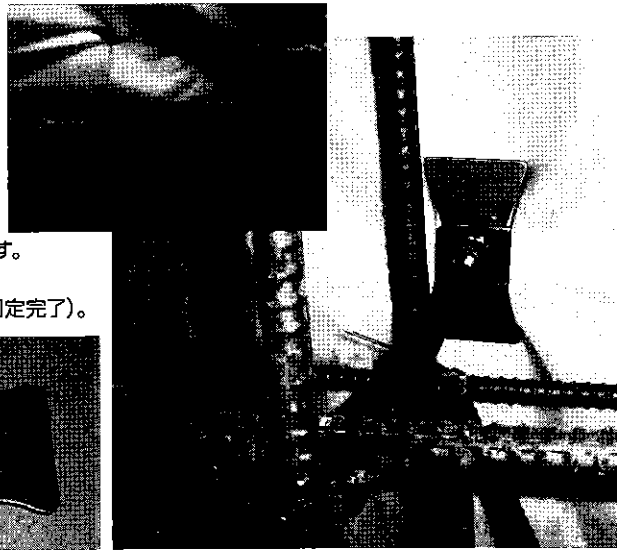
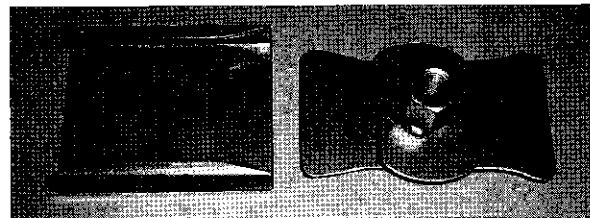
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

### TKグripper

- ・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ripper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)。



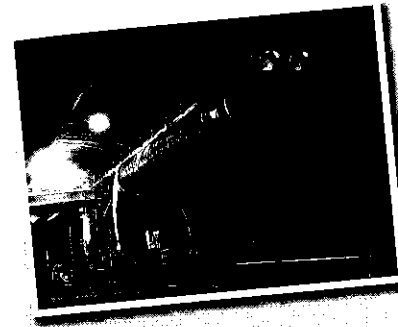
**東邦金属株式会社**  
TOHO KINZOKU Co., LTD

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)

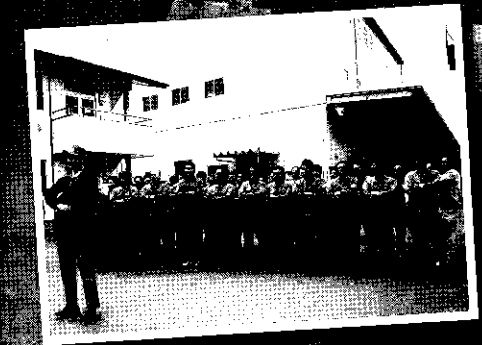


大型集じん機 300 台！  
送風機 650 台！  
世界最大の換気設備保有メーカー！

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](mailto:eigyobu@ryuki.com)

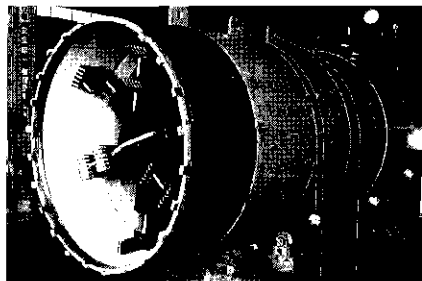
(PC・スマホ専用)



# 超流バランスセミシールド工法

超流セミシールド協会

貫入リング押し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、内部駆動装置を発生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

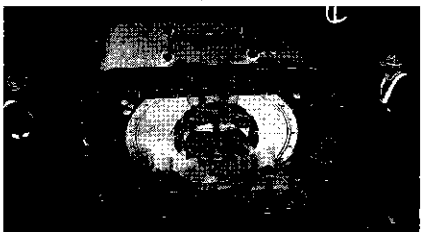
# ボックス推進工法

ボックス推進工法協会 NETIS QS-100019-A

多軸回転・公転掘進機(内空寸法□3000×3000)



多軸回転・公転掘進機(内空寸法□2800×1800)



① 経済性

② 工期短縮

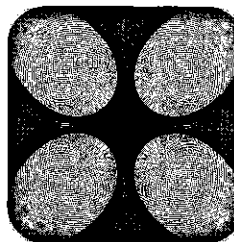
③ 狭路施工技術

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

ALCIVIL

〒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8677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-23)第19193号

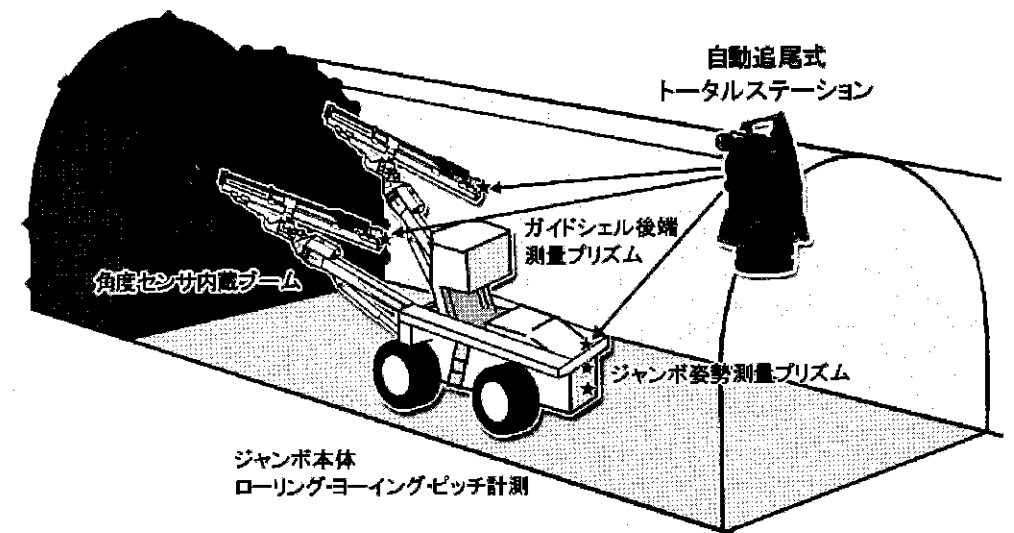
\*各工法協会会員名簿については、ホームページをご参照下さい。

NETIS登録番号:KK-100049-A

# 自動追尾式余掘り低減システム

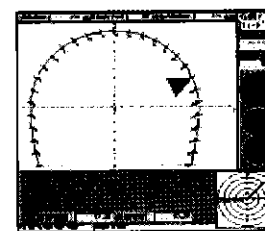
国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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用命は

MAC マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

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

FRD 古河機械金庫グループ  
古河ロックドリル株式会社

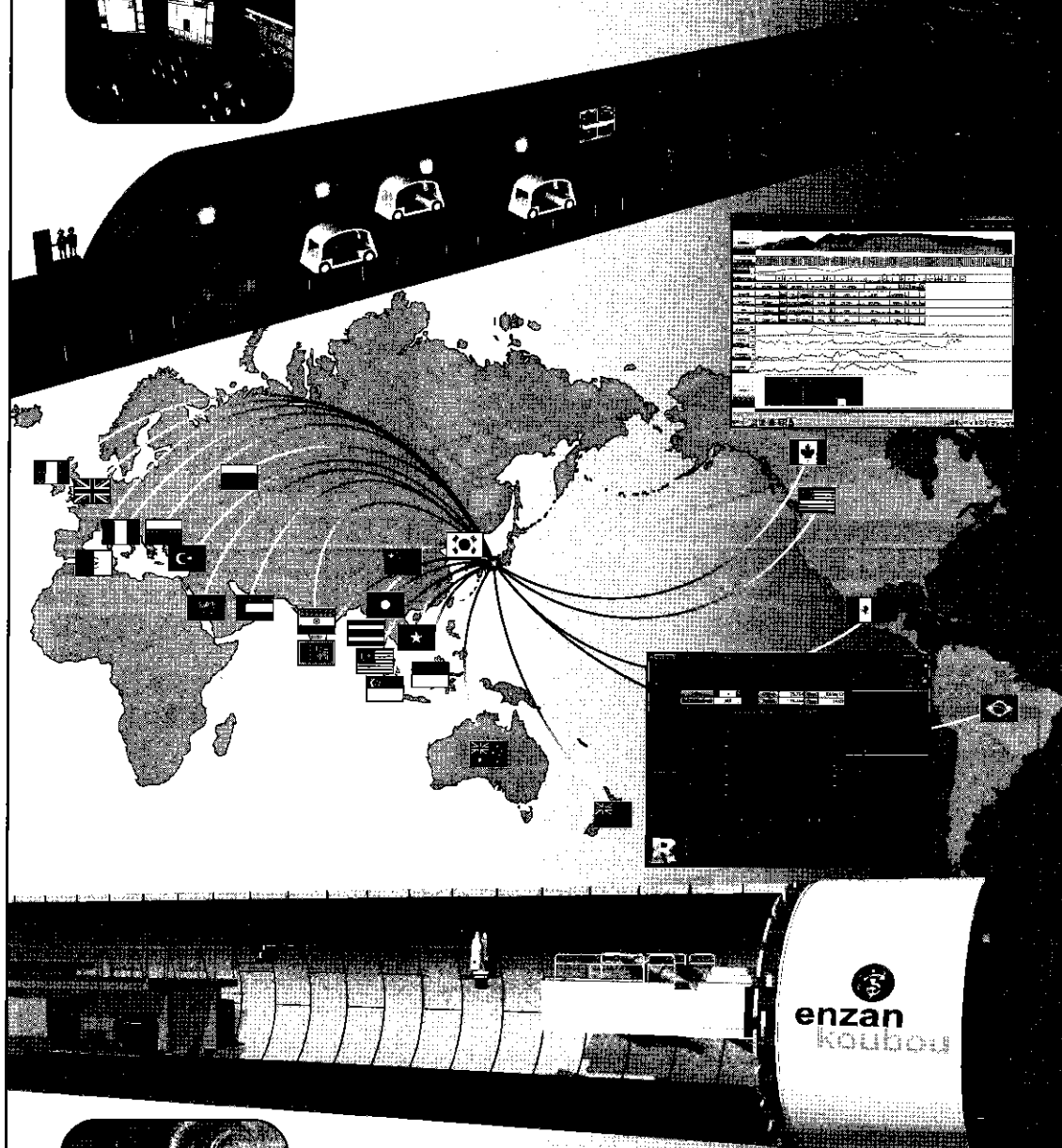
〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3

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

Easy to handle, Difficult to imitate.

GUIDANCE & LOGGING & SURVEY system for TUNNEL

Our target will be No.1 tunneling system company in the world



from Kyoto/Japan to the world.  
ENZAN KOUBOU CO.,LTD(www.enzan-k.com)



最新型・電気集じん機

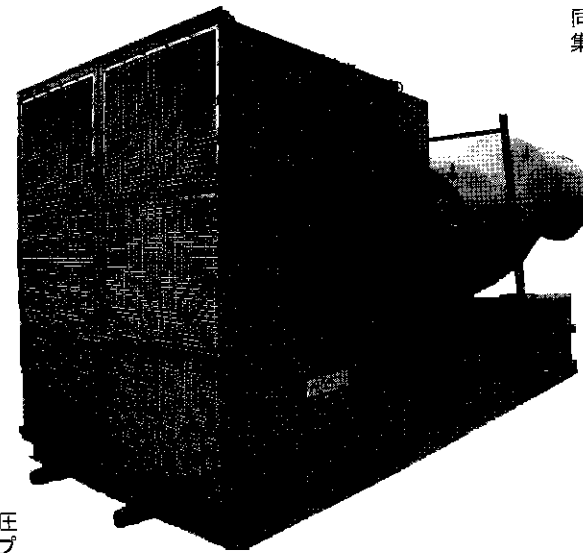
# エコクリーンX

NETIS登録番号:KF-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  
集じん機に比べおよそ1/4



**コンパクト**  
同クラス集じん  
機の中で最小

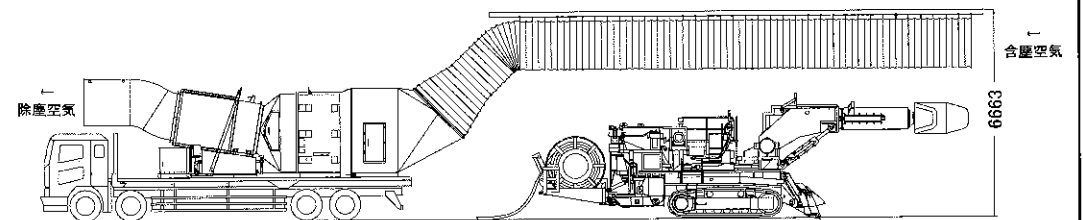
**貯水タンク**  
自動洗浄が  
随時可能

**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.

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

**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

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



# 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 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をしております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管渠埋設の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっております。

### 申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039 加入者名：株式会社エ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ます。

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



月刊推進技術 編集室

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

〒135-0033 東京都江東区深川12-12-4-201 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

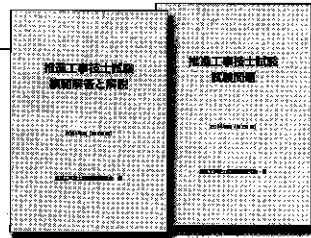
## 推進工事技士試験 過去13年間(平成14~26年度)

### 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)日本推進技術協会が平成4年度より実施している制度で、管渠施工の安全性と品質を確保する上で有益な制度です。

解答付きの解説書に対する受験者の皆様からのご要望に応じて、この程、推進工事技士試験過去問題集を刊行しました。受験対策書としてご活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12-12-4-201  
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail oda@lswb.co.jp

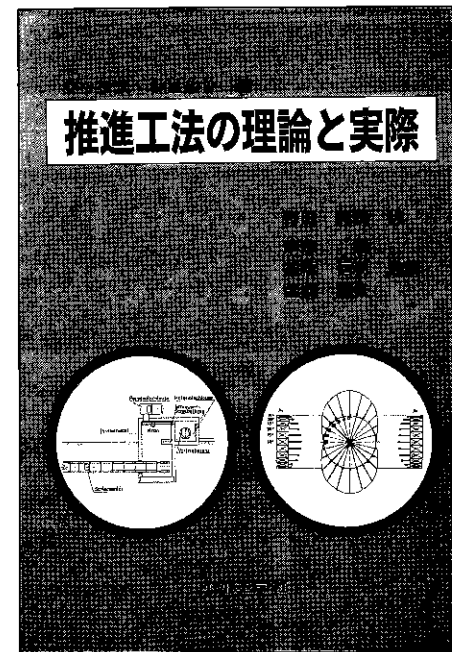
# 推進工法の理論と実際

## 推薦の言葉

中本 至・石橋信利・金成英夫

## マニュアルを超えて 推進工法の理解を さらに深める一冊

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



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

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

私たちは、野田氏(訳者)の翻訳を監修したわけだが、推進工法の理論面と実務面を実に詳細に解説している点に驚いた。したがって推進工法に従事し、一層活躍しようとする人たちに本書を推薦したいと思う。

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

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

株式会社 **土木工学社**





# 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っております。

一日でも早く完工する為に、日々の発破のモデル化、計測をして効率化を図っております。オリカ社がどのような形で貴社のお手伝い出来るかについて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。

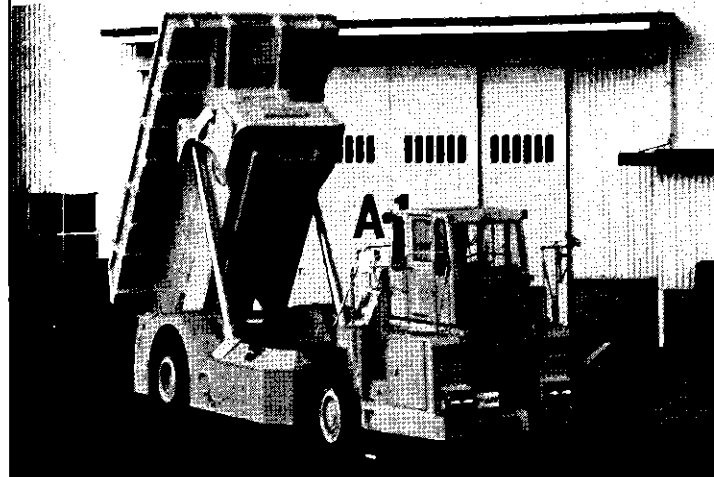
orica.com



# MIWA K-40N KIRUNA

## K-40Nトンネルスリ運搬車

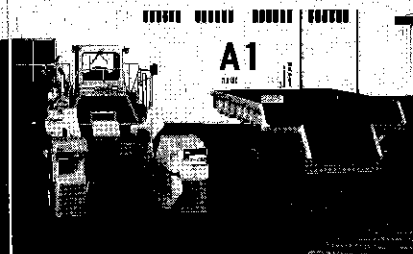
オフロード法 2014年排出ガス基準適合エンジン搭載車



### 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. スリ搬出制約の対応
5. 多目的使用



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

## 三輪運輸工業株式会社

本社 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町 2-1-16  
TEL:078-251-5001 FAX:078-251-4525  
本省外かパニー 〒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

## 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 (工学博士) 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

【好評発売中】

# わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修

B5判 209頁 本体価格2,500円 円340円

#### 主要目次

序 編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第II編 トンネル工事と地質条件

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

第III編 地質調査法

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

第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

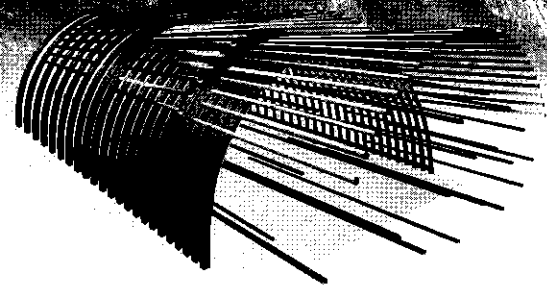
1. 調査の基本 2. 地山条件の調査の流れ 3. トンネル工事のための地山評価法 4. 調査の成果

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

## 株式会社 土木工学社

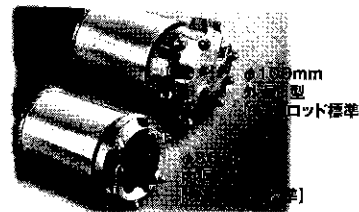
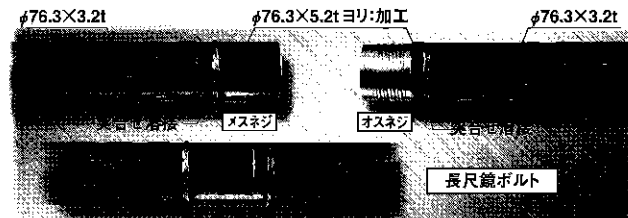
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂  
電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072

# ユニークな発想でVEを提案



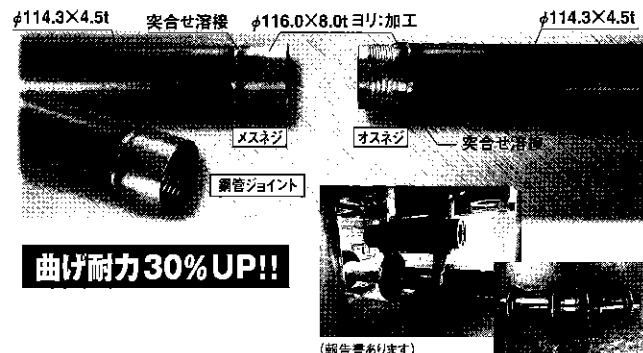
## ストロング FIXチューブ(S型)

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



## AGF-STD工法

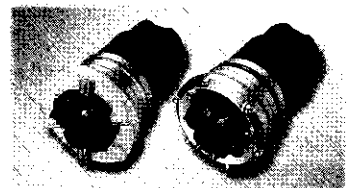
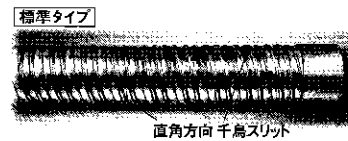
- ※軽量化による作業性とねじ強度の改善!
- ※鋼製シー스로環境に優しい無拡幅施工!



曲げ耐力30%UP!!

(報告書あります) 接続部の抗折力試験

### 撤去管の選択



STD BITS (ロストリング方式)

規格	鋼管径	リフトビット径
100A	φ114.3	φ124

## 注入材・その他工法

- ※ウレタン系注入材: NEW-TSRF, NEW-TBU
- ※セメント系注入材: コロイダルスーパー、デンカES
- ※セメント系充填材: デンカPモル
- ※高速フォアポーリング: 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

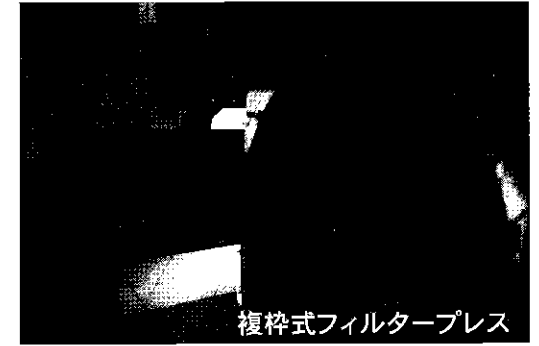
# 濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

## 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



100.0 m<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



4.5 m<sup>3</sup> ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車両 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

#### トンネルを取り巻く環境変化とその対応

藤森 伸 .....5

### ■研究

#### 球面切羽の全断面工法適用性に関する実証的研究

佐々木 隆・雨宮 啓二・楠本 太・今田 徹 .....57

### ■解説

#### 閉閉式点検扉による切羽障害物除去システムの開発と施工事例

岡村 道夫 .....47

### ■計画

#### 新駅建設に伴う大規模な地下駅アンダーピニング計画

—相鉄・東急直通線 新横浜駅—

梅田 浩・山口 麻香 .....23

#### 東京臨海部の大深度・高水圧下におけるシールドトンネルの設計

—東京下水道 芝浦・森ヶ崎水再生センター間連絡管—

大塚 文昭・藤本 英悟・萩原 清志・伊藤 博昭 .....31

### ■施工

#### 津波被災地区の丘陵部をNATMで移設復旧

—JR常磐線 戸花山トンネル—

伊藤 雄太・島田 武 .....7

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

### 情報化施工による大深度立坑掘削の中間評価

—幌延深地層研究計画地下研究施設整備(第Ⅱ期)事業—

藤田 朝雄・青柳 和平・名合 牧人 .....13

### ■連載講座

#### 山岳トンネル覆工の長寿命化技術(6)

—覆工の点検技術—

「山岳トンネル覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会 .....69

### ■現場だより

#### 「宮古街道の新しい時代」宮古盛岡横断道路

西川 幸一 .....22

### ■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

#### トンネル工事の難しさと魅力そして心構え

平島 清行 .....39

### ■資料

#### 土木情報

編集部 .....30

#### 工法・技術・製品ニュース

編集部 .....68

#### トンネルジャーナル

編集部 .....38

#### 海外文献速報

JTA国際委員会 .....81

### ■会報

#### 会報

日本トンネル技術協会 .....82

#### 【表紙説明】

津波被災地区の丘陵部をNATMで移設復旧

—JR常磐線 戸花山トンネル—



東日本大震災により甚大な被害を受けたJR常磐線駒ヶ嶺～浜吉田間は、内陸側へ線路を移設して復旧を行う。この移設区間のうち、(新)坂元駅～(新)山下駅間にある戸花山と呼ばれる小さな山をNATMにより2本のトンネルを施工する。戸花山は標高が低いので、当該トンネルは全体的に土かぶり小さい特徴がある。写真は第1戸花山トンネルの貫通状況である。 [写真提供：東日本旅客鉄道(株)](本文7頁参照)

# 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

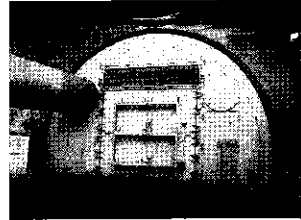
### ヤマモトロックマシン株式会社

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)

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



【防音扉】

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



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。

『防音扉マークII』の音響性能

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

『防音扉マークII 10s』の音響性能

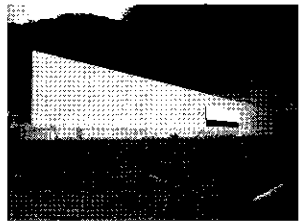
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	16 dB
2基設置	29 dB(A)	25 dB

『防音扉マークII 10c』の音響性能

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

『防音扉マークII 15c』の音響性能

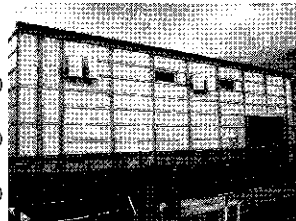
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	21 dB(A)	23 dB
2基設置	30 dB(A)	36 dB



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



Sタイプ(スタンダードタイプ)  
Dタイプ(デラックスタイプ)  
Hタイプ(ハイデラックスタイプ)



『防音パネルSタイプ』の音響性能

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

『防音パネルDタイプ』の音響性能

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

『防音パネルHタイプ』の音響性能

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

防音設備の設計、製造、施工、リース

**株式会社フューズ**

本社 〒132-0035 東京都江戸川区平井 6-35-5 TEL. 03-3617-8111 FAX. 03-3617-7565  
大阪営業所 〒531-0072 大阪府大阪市北区豊崎 3-4-14 TEL. 06-6359-2611 FAX. 06-6359-2288

E-mail: info@fuse-ind.co.jp http://www.fuse-ind.co.jp

建設業登録：東京都知事許可(般-25)第130153号

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

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

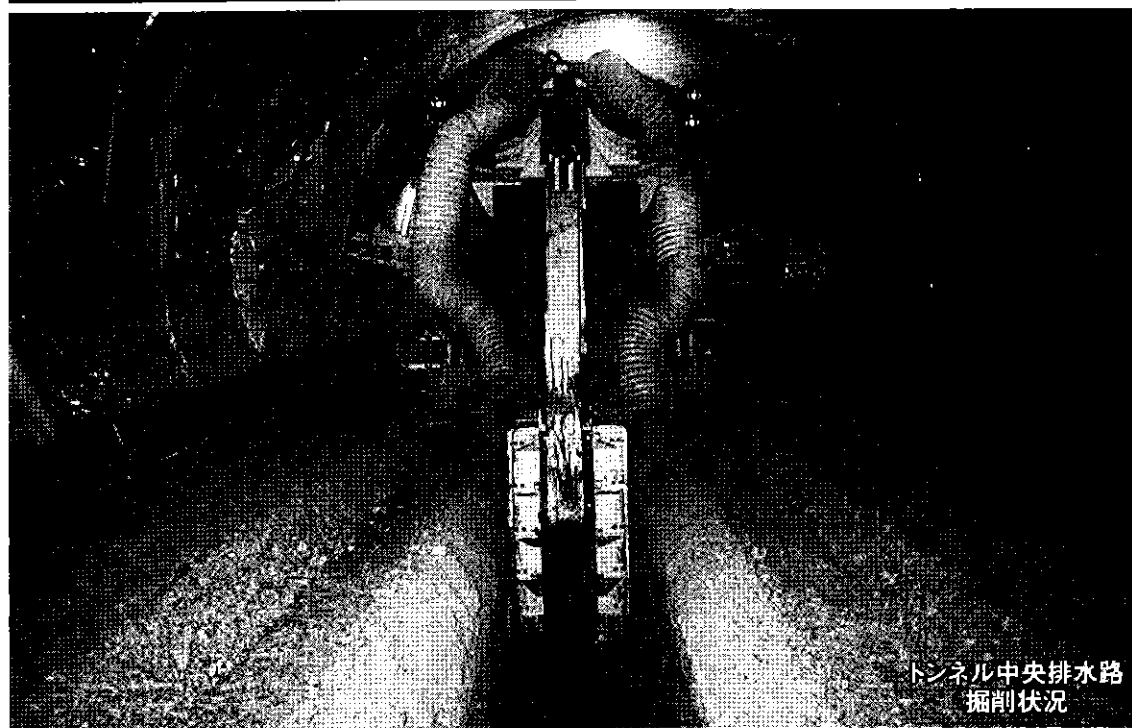
〔幹 事〕

居 相 好 信 株式会社大林組生産技術本部統括部長  
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  
岩 田 美 幸 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官  
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  
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)  
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

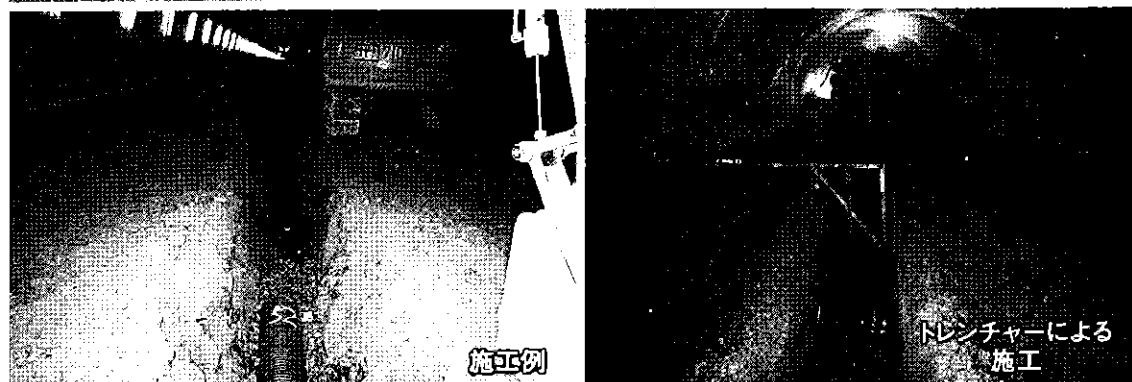
西 岡 和 則 鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長(兼)土木管理本部土工務部トンネルグループ長  
藤 井 義 文 株式会社竹中土木常務執行役員  
松 原 利 之 飛鳥建設株式会社土木事業部エンジニアリング部部长  
八 木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当)道路研究部トンネル研究担当部長  
吉 富 幸 雄 大成建設株式会社土木本部土木技術部トンネル室参与  
渡 邊 修 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構鉄道建設本部計画部計画課長

# 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
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

### 〔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	今田 徹 東京都立大学名誉教授
小山 幸則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授	高橋 良文 東京都下水道サービス株式会社技術顧問
	松浦 将行 地方共同法人日本下水道事業団理事

### 〔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	松田 信夫 東京都水道局建設部工務課長
高橋 晃 東京電力株式会社パワーグリッド・カンパニー 工務部流通土木グループマネージャー	八木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当)
谷内 雅之 東京都交通局建設工務部計画改良課長	道路研究部トンネル研究担当部長
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	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
	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

**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/>

掲載頁 7 津波被災地区の丘陵部をNATMで移設復旧  
—JR常磐線 戸花山トンネル—

東日本旅客鉄道(株) 伊藤 雄太

東日本大震災により甚大な被害を受けたJR常磐線駒ヶ嶺～浜吉田間の復旧にあたっては、鉄道利用者の安全を最優先としつつ、沿線自治体の街づくりとの整合を図るため、内陸側へ線路を移設して復旧を行う。この移設区間のうち(新)坂元駅～(新)山下駅間には戸花山と呼ばれる小さな山があり、常磐線復旧のためNATMにより2本のトンネルを施工する。戸花山は標高が低いため、当該トンネルは全体的に土かぶり小さい特徴がある。今回は当該トンネルの設計概念および施工計画、施工状況についての報告を行う。

Relocate and Rebuild Railway Line in Hill near Tsunami-Hit Area with NATM—JR Joban Line Tohana-yama Tunnel—

By Yuta Ito, East Japan Railway Company



写真は第1戸花山トンネルの貫通状況

Restoration of the section between Komagamine station and Hamayoshida station on the JR Joban line which was badly damaged in the Great East Japan Earthquake, while putting the safety of passengers first and foremost, is being conducted by relocating the tracks inland in order to coordinate with town planning for the municipalities along the line. There is a small mountain called Tohana-yama between (new) Sakamoto station and (new) Yamashita station in the relocation section and two tunnels will be constructed with the conventional tunneling in order to rebuild the Joban Line. As the altitude of Tohana-yama is low, the tunnels have small cover overall. This report contains information on tunnel design concept and construction plans and conditions.situation

掲載頁 13 情報化施工による大深度立坑掘削の中間評価  
—幌延深地層研究計画地下研究施設整備(第II期)事業—

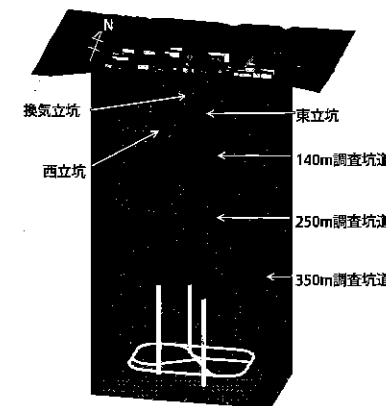
日本原子力研究開発機構 藤田 朝雄

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構は、幌延深地層研究計画として、北海道天塩郡幌延町において、立坑と研究坑道の建設を行っている。本報告では、幌延深地層研究センターの立坑掘削時の情報化施工手法の検討について取りまとめた。とくに、換気立坑掘削時の壁面周辺岩盤の崩落の進展により覆工コンクリートにクラックが発生した事象をうけて、立坑掘削時の岩盤の崩落現象とその対策や、崩落の進展に応じた支保選定のフローを構築し、後続の立坑掘削へ反映させた。また、立坑掘削時に問題となる湧水への対策工として実施した断層部へのプレグラウト工の施工について述べ、その効果について論じた。

Interim Evaluation of Deep Shaft Excavation with Computerized Construction—Horonobe Underground Research Laboratory, Underground Research Facilities Project (2nd Period)—

By Asao Fujita, Japan Atomic Energy Agency

The Japan Atomic Energy Agency (a National Research and Development Agency) is constructing a shaft and a research tunnel in Horonobe-cho, Teshio-gun, Hokkaido as part of the Horonobe Underground Research Laboratory Project. This report summarizes investigations into computerized construction while excavating the shaft for the Horonobe Underground Research Centre. Cracking in the lining concrete occurred due to the development of rock spalling near the wall surface while excavating the ventilation shaft. To that end, we created a flowchart to select kinds of shaft supports for use in subsequent works that took steps appropriate for the bedrock collapse phenomenon during excavating, countermeasures for this and extent of spalling. In addition, this report contains information on pre-grouting works on the fault zone and its results which were conducted as a measure against groundwater inflow which can be a problem during excavating works and also the results of these works.



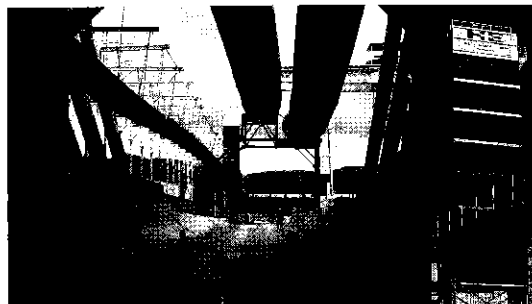
— 2014(平成26)年6月末までの掘削範囲  
※このイメージ図は、今後の調査研究の結果次第で変わる可能性がある。

図は幌延深地層研究センター地下施設のレイアウト

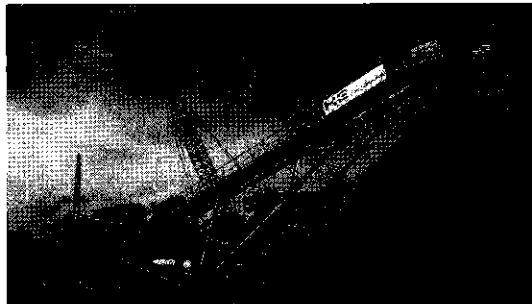


H+E LOGISTIK GMBH

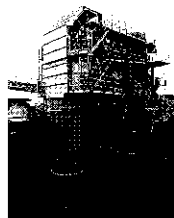
Clever Conveying



Tunnel Diameter:	7.10 m
Min. Radius:	1,000 m
Mineral:	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
Mineral:	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

VOLVO 建設機械



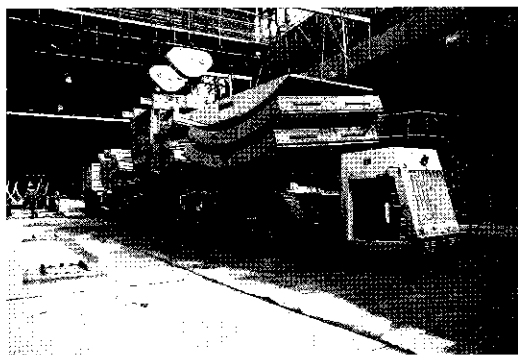
Techni-Metal Systemes

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

## 新駅建設に伴う大規模な地下駅アンダーピニング計画

—相鉄・東急直通線 新横浜駅—

横浜市 梅田 浩

横浜市交通局では、相鉄・東急直通線新横浜駅(仮称)のうち、市営地下鉄新横浜駅と交差する区間(延長約76.5m)について、整備主体である鉄道・運輸機構から受託して工事を進めている。この工事はJR新横浜駅の駅前交差点部という厳しい環境下において、営業する市営地下鉄新横浜駅をアンダーピニングして新駅を建設する難工事であり、設計段階より安全・確実かつ効率的な設計となるよう検討を進めてきた。

本稿では、アンダーピニングの施工方法や営業線の計測管理計画など、本工事の施工計画の概要について報告する。  
Underpinning Plan of Large-Scale Underground Station for a New Station—Sagami/Tokyu Through Line Shin-Yokohama Station—

By Hiroshi Umeda, Yokohama City

The Yokohama City Bureau of Transportation has conducted works on the section where the Sagami/Tokyu Through Line Shin-Yokohama Station (provisional name) will intersect with the Yokohama Municipal Subway Shin-Yokohama Station (approx. 76.6 m in length) which has been commissioned by the Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency as the primary contractor. These works are to construct a new station with underpinning the in-operation Yokohama Municipal Subway beneath Shin-Yokohama Station intersection. Investigations in order to create a safer, more reliable and more efficient structure have conducted since design stage.

This report contains an outline of the construction plan for these works including underpinning works and measurement management plans for the line that was in operation.



図は市営地下鉄との交差・接続イメージ

## 東京臨海部の大深度・高水圧下におけるシールドトンネルの設計

—東京下水道 芝浦・森ヶ崎水再生センター間連絡管—

日本下水道事業団 大塚 文昭

東京都下水道局では、芝浦と森ヶ崎の両水再生センター間を連絡管で結び、水処理や汚泥処理の相互融通を図り、施設の再構築時に不足する水処理能力の補完や災害時におけるバックアップ機能の確保を目的とした事業を進めている。連絡管は、最大土かぶり約60m(施工深度約70m)という「大深度・高水圧下」のもと、内径6,000mm、延長約8kmをシールドで構築する大規模事業である。このような深度での施工は、全国的に見ても事例が少なく、「大深度・高水圧下」における施工の安全性を十分確保することが重要である。

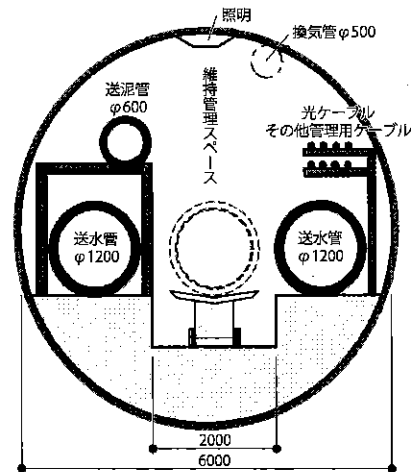
本稿では、この設計における安全対策上の取組みのうち、おもに、施工時荷重を考慮したセグメントの設計手法について報告する。

Design of Shield Tunnels for Deep Underground/High Water Pressure Work on the Tokyo Waterfront—Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, Connecting Pipe between Shibaura and Morigasaki—

By Fumiaki Otsuka, Japan Sewerage Works Agency

The Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government is progressing with a project which aims to connect the Shibaura sewage works and Morigasaki sewage works with a connection pipe, to reciprocally support to treat water and sludge in order to supplement shortages in water treatment capacity during facilities repairing and to ensure a back-up in times of disaster. Installing connection pipe works were to construct a 6,000 mm inner diameter, 8 km long tunnel with maximum cover of 60 m (construction depth 70 m). There are very few examples of boring such deep under the ground nationwide and it is important to sufficiently ensure safety in deep underground and under high water pressure conditions.

This report contains information on segment design that mainly take the load acting on segments during tunneling into consideration out of the initiatives for safety countermeasures in this design.



図は連絡管断面図

## 開閉式点検扉による切羽障害物除去システムの開発と施工事例

(株)推研 岡村 道夫

近年の推進技術の進歩は著しく、1kmを越える長距離推進も行われるようになってきている。しかし推進距離が長くなると想定外の地盤変化や障害物に遭遇する確率が高くなり、これらに対する対策が推進工法の課題となっている。そこで切羽状況の確認やビット交換が可能な掘削機を基本構成とした複合推進(CMT:Compound Mini Tunnel)工法を開発した。

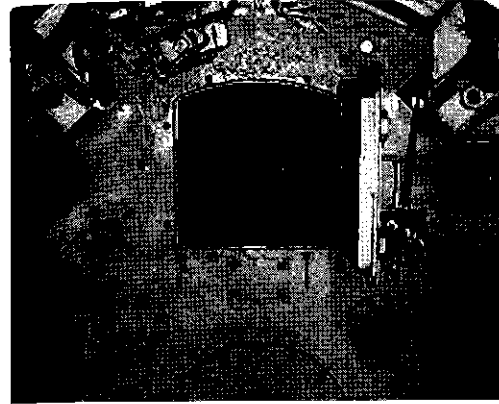
本稿では、本工法の特徴を活かした切羽障害物除去システムについての概要および施工実績などについて紹介する。

Development of Obstruction Removing System with an Inspection Door and Construction Examples

By Michio Okamura, Suiken Co., Ltd.

Recent developments in micro-tunneling technology have been remarkable. It has become possible to conduct long-distance pipe-jacking of over one kilometer. However, as jacking distances increase, there has been an increase in the probability of encountering unforeseen changes of ground condition or obstacles. Countermeasures for these are challenges for micro-tunneling. Accordingly, we have developed the Compound Mini Tunnel (CMT) technology with which the condition of the cutting face can be confirmed and bits can be replaced.

This report contains an outline of the face obstacle removal system which utilizes this method and construction results.



写真は点検扉を開いた様子

## 球面切羽の全断面工法適用性に関する実証的研究

北海道開発局 佐々木 隆

山岳トンネルの安定確保における球面切羽と全断面工法の合理性がこれまでに報告されているが、これらがトンネルや切羽の力学的安定性、トンネル変形挙動や施工性に及ぼす影響、効果などは不明である。このことから、一般国道336号広尾町新宝浜トンネル南工事において、球面切羽形状や発破パターン、一掘進長などをパラメータとする試験施工を計画、実施した。

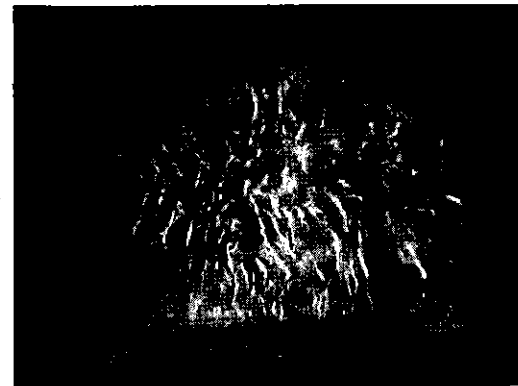
その結果、地山等級CIIの硬質塊状岩盤への球面切羽による全断面工法爆破掘削の適用性は高く、グラウンドアーチ形成に有利で、トンネルの自立安定性が活かされるなどの知見が得られ、この方法の合理性、有効性が実証された。

Empirical Study of the Applicability of Curved Cutting Face to the Full Face Tunneling

By Takashi Sasaki, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Hokkaido Regional Development Bureau

There have been reports in the past about the rationality of the full face tunneling and curved cutting face in ensuring stability in mountain tunnels but impact of these technique on dynamic stability for tunnels and faces, deformation behavior of tunnel and constructability are still unclear. Due to this, we planned and implemented test construction with parameters such as shape of curved faces, blasting patterns and one cycle length in the south works of the Shin-takahama Tunnel, Hiroo-cho on National Route 336.

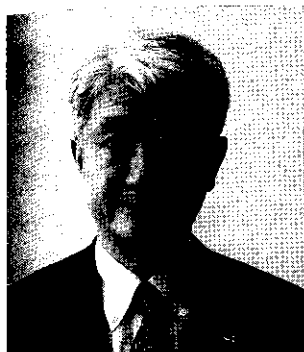
As a result, full-face blast excavation with curved cutting faces has high suitability for hard massive rock as C II of ground classification, advantage in making ground-arch effect and stability. Rationality and effectiveness of this technique were verified.



写真は延伸CII-b(E2)切羽全景(2L-4)

# 巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)



## トンネルを取り巻く環境変化と その対応

東日本旅客鉄道(株)執行役員千葉支社長

藤 伸一

1990年代初頭、日本国内のトンネル工事の工区数は2,000弱ありました。その工区数が2010年代初頭には500工区にまで減り、建設業界におけるトンネル工事は、全体として縮小傾向にあるという印象がありました。しかし、景気の緩やかな回復基調を背景に、ここ数年の建設業界では、さまざまな新設工事が計画・施工されています。トンネル工事においても、北海道新幹線、リニア中央新幹線、東京外かく環状道路など、山岳トンネルやシールドトンネルのビッグプロジェクトが数多く計画あるいは進められており、業界全体が久しぶりに活気づいている状況です。

そのような中、弊社におけるトンネルのビッグプロジェクトの一つとして、羽田空港アクセス線構想があります。羽田空港へのアクセス性の向上については、国土交通省の交通政策審議会においてさまざまな議論がされています。これまで弊社グループでは東京モノレールが羽田空港へのアクセスを担ってきましたが、羽田空港における発着枠の拡大、政府によるインバウンド政策などの推進により、今後利用される海外のお客さまの増加が見込まれます。そのような背景のもと、更なる利便性を向上させるべく、東京駅、新宿駅、新木場駅を発着駅として複数のルートで羽田空港と結ぶ計画を検討しています。

この計画の中では、東京貨物ターミナルから羽田空港までの区間をアクセス新線として、シールドトンネルを主としたトンネル構造物で新線を敷設します。計画ルート上では、東海道貨物線や道路・空港施設などの各種重要構造物に近接した施工を伴うことが想定され、弊社としても高い技術力が求められるプロジェクトです。

新しいビッグプロジェクトが注目を集めている一方で、鉄道においては既設構造物の改良による線路下空間などのスペースの有効活用、鉄道と道路との平面交差の解消を目的とした線路下横断構造物のニーズも増えています。既設構造物の改良工事や線路下横断工事は、鉄道の安全安定輸送を確保するため、列車運行時間帯を避けた夜間の終初電間の短時間で進めてきました。そのため、工事の完成までに比較的長い期間を要しサービスの低下につながっていました。そのため弊社では、列車運行時間帯においても鉄道の安全安定輸送を確保しながら施工可能な工法の技術開発を進めております。

# 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

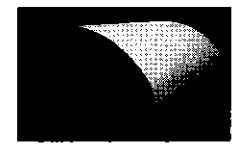
第二養生

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



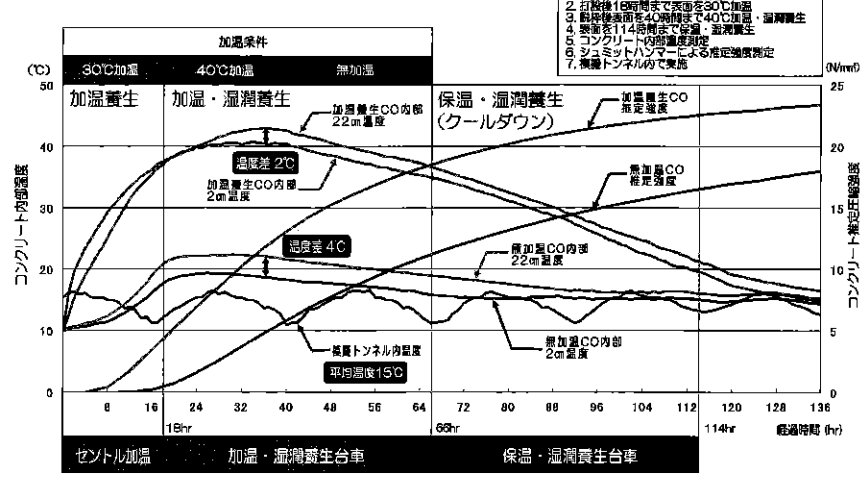
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ  
保温・湿潤養生



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】  
 TECKING  
 テクノプロ株式会社  
 TOUJOU  
 株式会社 東 宏

弊社の非開削工法による線路下横断構造物の構築方法の一例を紹介しますと、特殊な鋼製継手を有した角形鋼管を地盤内に挿入し、鋼管内にコンクリートを充填し本体構造とするJES工法を開発し、これまで約130件の実績を積み重ねてきました。しかしながら、近年、線路下を横断する道路のアプローチ長を短くしたいという自治体側の要望により、線路直下の土かぶりを極力小さくしなければならない事例が増えています。小さな土かぶりでの線路直下の角形鋼管の施工は、地盤内の支障物に伴う隆起や沈下といった軌道変状リスクおよび夜間の終初電間での施工に伴う工事期間の長期化などが懸念されました。そこで、地盤に挿入する角形鋼管先端の刃口上部に地盤および支障物を切削可能なワイヤを装備した軌道変状リスクを低減した新たな工法を開発し、実現場にて列車運行時間帯での施工を行い良好な結果を得ています。

新設・改良などさまざまなプロジェクトが進められている中で、中央自動車道笹子トンネルの天井板落下事象以降、社会インフラの維持管理についても改めて注目度が高まっています。既設構造物の経年の増加、生産年齢人口の減少が進み、それらの環境の変化に対応した維持管理が求められています。

道路トンネルでは、構造物の老朽化や効率的な維持管理に向けて、昨年6月に定期点検要領が策定され、5年に1回の定期点検が義務付けられたところでもあります。鉄道トンネルでは、2年に1回の定期検査(通常全般検査)を基本として維持管理を行っていますが、先に述べた環境の変化を踏まえて更に高いレベルの維持管理を目指していくことが重要と考えています。

弊社内の維持管理にかかわる状況の変化としては、検査診断業務に従事する社員が急速に若手社員に移行しつつある世代交代や技術継承の問題、経年100年を超えるような構造物の増加が挙げられます。とくにトンネルの維持管理においては、設計や建設時の情報、供用中の補修・補強履歴などのおおのこのトンネルが有している歴史(情報)が重要であり、その歴史(情報)を次世代へ継承していくことが維持管理の技術向上の基礎となるものと考えます。そのため、設計・施工から維持管理まで精通した技術者の育成および更に高いレベルの維持管理体制の構築を目的として、昨年7月に弊社内で組織改正を実施しました。これまで構造物の設計、改良、補修・補強、災害対応、技術基準類の制定などにかかわる技術的指導、管理を一元的に実施してきた構造技術センターが、新たに維持管理の基礎、基盤となる構造物検査業務にかかわる技術支援・指導にかかわる業務も担当することとしました。維持管理にかかわる業務内容の一例として、これまで支社ごとに実施していた特別全般検査に同行し検査の支援および指導を行い、検査診断技術の向上や標準化、業務知識・情報の共有化を図っていきます。

土木分野を取り巻く周辺環境や社会的なニーズの変化は多様かつスピーディーです。このような変化を的確に捉え、さまざまな視点とアプローチにより柔軟に対応していくことが、鉄道事業者のみならず多くの土木技術者に求められる期待されることです。

## 施工

# 津波被災地区の丘陵部をNATMで移設復旧

—JR常磐線 戸花山トンネル—

東日本旅客鉄道(株)東北工事事務所常磐復興工事区施設技術係 伊藤 雄太  
鉄建建設(株)常磐線山下作業所工事主任 島田 武

## 1 はじめに

東北地方太平洋沖地震に伴う津波により甚大な被害を受けた線区のうち、JR常磐線の駒ヶ嶺駅～浜吉田駅間は、鉄道利用者の安全確保を最優先としつつ、地域全体の復旧・復興、まちづくりと一体としたルートとし、現位置よりも内陸へ移設して復旧を行うこととなった。移設区間の概略ルートを図-1に示す。移設区間のうち(新)坂元駅～(新)山下駅間には戸花山と呼ばれる標高約32mの小さな山があり、2本のトンネルによって通過する計画とした。

本稿では、当該トンネルの施工計画および施工概要について報告する。

### 1-1 計画概要

計画当初、戸花山を通過する構造として切土とトンネル構造の比較検討を行った。切土構造の場

合、大規模な地形改変による周辺環境への影響が大きいこと、戸花山一帯に桜の植樹活動が行われていること、また、当該区間には多数の埋蔵文化財が存在し、発掘調査による復旧工程への影響が大きいことなどが想定されたため、総合的に判断してトンネル構造を採用した。

当該トンネルは、日暮里方から第1戸花山トンネル、第2戸花山トンネルとし、延長はそれぞれ177m、427mの単線電化の鉄道トンネルである。トンネル内空断面は、幅5.6m、高さ6.1mであり、道路トンネルなどと比較すると、小断面かつ縦長なトンネル断面形状である。なお、本トンネルは津波の浸水区域内に施工するため、トンネル断面内に津波発生時の避難路を兼ねた作業用通路(幅700mm)を設けることとした。図-2に内空断面図を示す。

戸花山は標高が約32mと低いため、トンネルの



図-1 移設区間概略ルート図

掘削天端から地表面までの土かぶり厚は最大で2D(D:トンネル掘削径7.6m)程度であり、土かぶり厚が1Dを下回る区間が全体の約3割以上を占める小土かぶりのトンネルとなっている。図-3にトンネル縦断面図を示す。

1-2 土質条件

本トンネルの設計にあたり、ボーリング調査と弾性波探査を行った。地層構成は、表層から順に、著しく風化した固結度の低い砂質シルト粘土層(N値10程度)、風化した半固結状態の凝灰質砂質土層(N値10~30程度、 $V_p=0.4\sim 0.8\text{km/s}$ )、固結した砂岩層(N値50程度、 $V_p=0.8\sim 1.2\text{km/s}$ )の順に構成されている。

『山岳トンネル設計施工標準』を参考に分類すると、軟岩と土砂の境界にあたるF岩種に分類

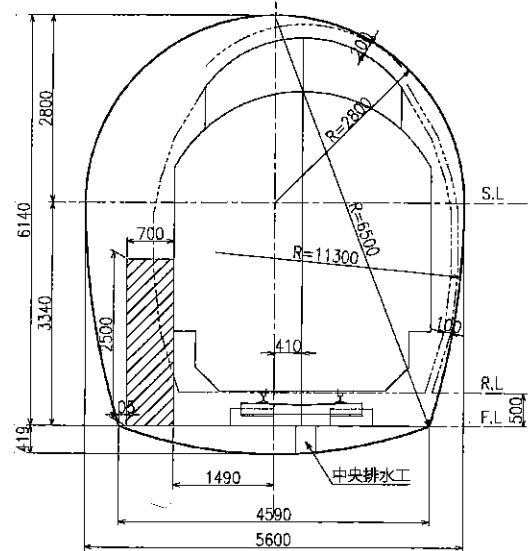


図-2 内空断面図

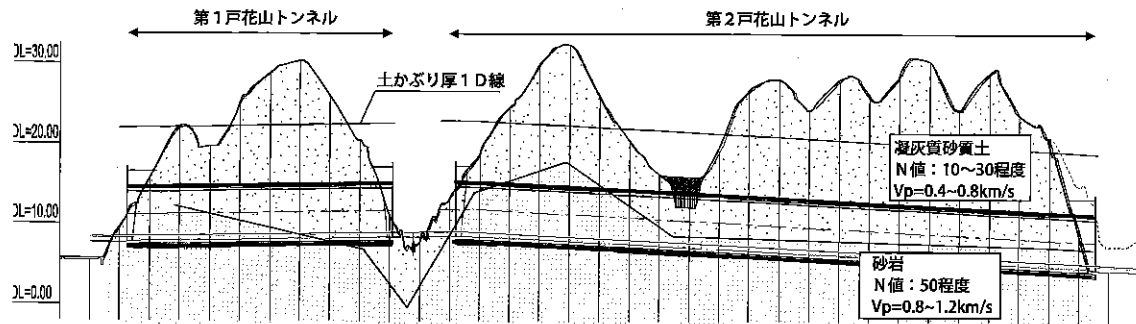


図-3 トンネル縦断面図

された(表-1)。

土質試験より細粒分含有率は10%以上となる一方で、各ボーリング調査結果よりN値が10~30程度となり相対密度は80%に満たない結果であった(ただし、相対密度はN値からの推定値)。地山分類基準<sup>2)</sup>ではこの調査結果に該当する分類は存在しないが、細粒分含有率が20%以上確保され、切羽が自立することが考えられるため、当該地山をI<sub>L</sub>に区分することとした(表-2)。

1-3 掘削工法の選定

本トンネルの掘削工法の選定に際しては、地山が未固結であり早期の断面閉合が必要であると考え、上下半交互併進掘削(機械掘削)として、インバートの早期閉合を行うこととした。掘削断面略図を図-4に示す。

1-4 構造計画

1-4-1 支保

支保工の計画にあたっては、地山が未固結であ

表-1 F岩種の特徴

岩種	形成年代、形態、岩種名
F	①第四紀更新世の堆積物(礫、砂、シルト、泥および火山灰などにより構成される低固結~未固結な堆積物)
	②新第三紀堆積岩の一部(低固結、未固結、土丹、砂など)
	③マサ化した花崗岩類

表-2 岩種-Fにおける地山分類基準

地山等級	分類基準
I <sub>N-1</sub>	相対密度80%以上かつ細粒分含有率10%以上
I <sub>L</sub>	相対密度80%以上かつ細粒分含有率10%未満
特 <sub>L</sub>	相対密度80%未満

ること、小土かぶりであることを考慮し、『鉄道構造物等設計標準・同解説(都市部山岳工法トンネル)』<sup>2)</sup>に記載される標準支保パターン(I<sub>LSP</sub>)を適用することとした。なお、土かぶり1D以上の区間については、インバート部の地質がN値50程度の砂岩層であるため、インバート支保工を設定し

ないこととした(表-3)。

1-4-2 補助工法

本トンネルでは、小土かぶりであること、トンネル上部への影響、復旧工程などを考慮し、天端の崩落防止および切羽の安定性確保のため、補助工法を採用することとした(図-5)。

(1) 天端の補助工法

土かぶり1D未満の区間では、グラウンドアーチの形成が難しく、天端部の地山崩落の可能性が懸念された。土かぶり1D以上の区間においても、未固結地山のため局所的な地山の抜落ちの可能性があった。このため、トンネル全区間で天端部の補助工法として長尺鋼管先受け工(打設長12.5m、以下「AGF工」)を計画し、掘削時の地山状況に応じてその要否を判断することとした。

今回、天端部は未固結な砂質土であることから、通常のビットを使用すると大量の削孔水により、孔径の増大による鋼管の垂れ下がりや注入量の増加および天端部の崩落の危険性があった。

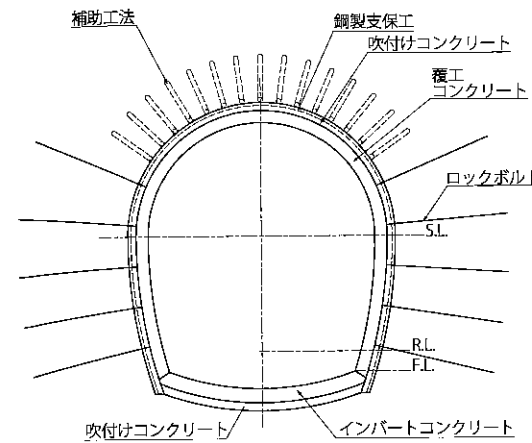


図-4 掘削断面略図

表-3 適用支保構造

適用支保構造	土かぶり1D以上	ロックボルト		吹付けコンクリート厚		鋼製支保工		
		長さ	本数	アーチ・側壁	インバート	アーチ・側壁	インバート	建込み間隔
	土かぶり1D以上	3m	10本	200mm	200mm	125H	—	1.0m
	土かぶり1D未満	3m	10本	200mm	200mm	125H	125H	1.0m

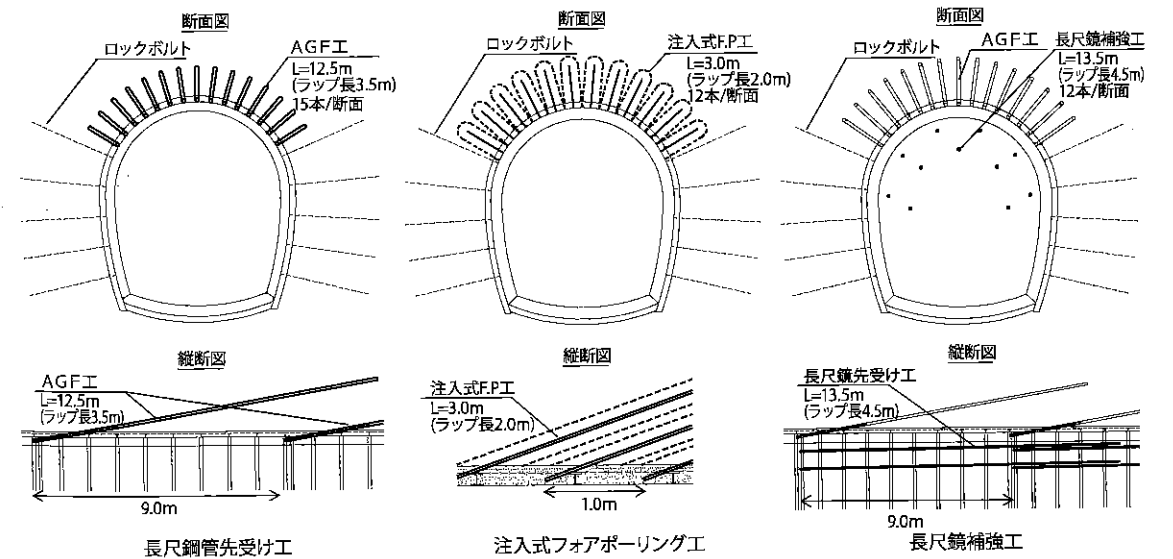


図-5 補助工法略図

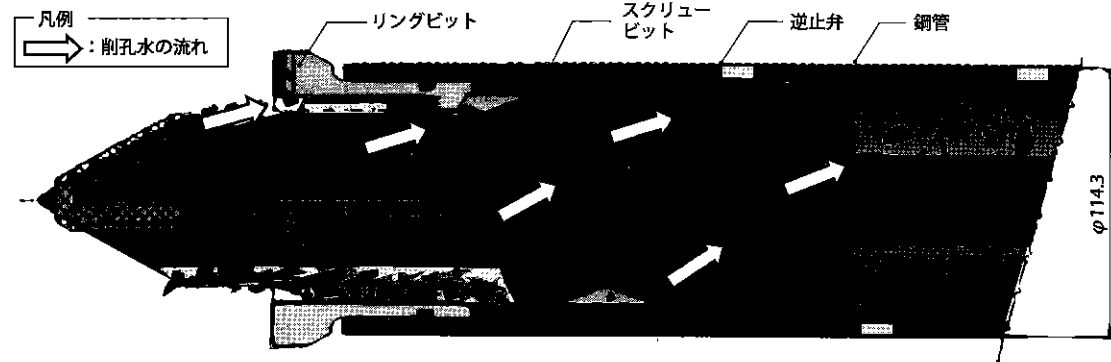


図-6 スクリュービット構造図

そこで、鋼管先端に極力削孔水を回さないビット構造を選定することとし、リングビットから削孔水をビット内に取り入れ、鋼管内をリターンする構造のビットを採用した(図-6)。

第1トンネル起点方においては小上かぶり区間が連続するため、AGF工を施工すると地表面に鋼管が露出してしまうことが懸念された。そのため、当該区間については短尺の注入式フォアポーリング工(打設長3.0m、「注入式FP工」)を採用した。

(2) 切羽の補助工法

坑口付近では、N値が10前後の緩い土質があり、切羽面の崩壊が懸念されることから、長尺鏡補強工(打設長12.5m)を採用し、切羽面の補強を行うこととした。

2 施 工

2-1 施 工

2-1-1 掘削関係

本トンネルは鉄道単線断面のトンネルのため、内空断面が比較的小さい(約40m<sup>2</sup>)特徴がある。

切羽近傍においては施工機械のすれ違いができないため、上半と下半の掘削作業を同時に行うこ

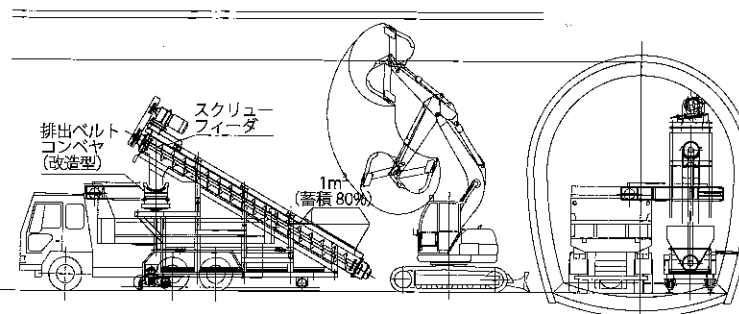


図-7 ずり出し機械(スクリーフィーダ)

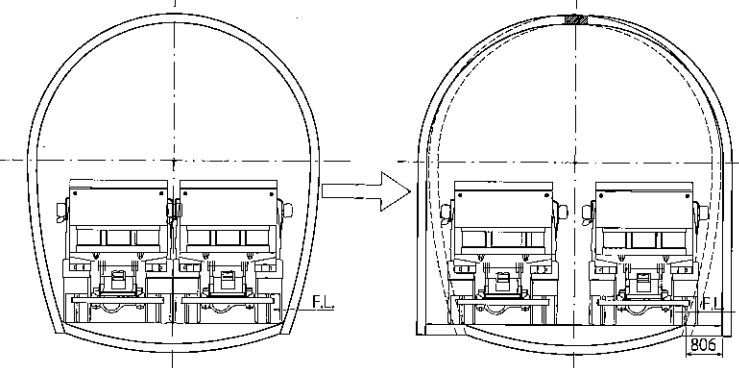


図-8 拡張断面図

とができない。地山状況から早期の断面閉合が必要であることも考慮し、上半と下半の施工をくり返す上下交互併進機械掘削方式を採用し、ツインヘッドにより日進3mとして掘削を行った。

通常のトンネル断面であれば、掘削土の積込み時にサイドダンプによるずり出しやバックホウを巡回させての効率的なずり出し可能であるが、今回は断面が狭く不可能であることが想定された。そこで、新たに横持ち積込み機能を有したずり出

し機械(スクリーフィーダ)を開発し、小断面のずり出しを可能とした。なお、スクリーフィーダは総重量10tで、排出能力は毎時30~70m<sup>3</sup>のベルコンシステムである(図-7)。

切羽後方でも掘削土搬出用のダンプトラックや施工機械のすれ違いができず、掘削土の搬出などが非効率になってしまう。そこで、拡幅断面(延長L=25m)を100mに1か所設け、機械の入替えに伴う施工の効率化を図ることとした(図-8)。

2-1-2 切羽状況

掘削中の切羽状況は、ほぼ全線にわたって共通しており、上部から半固結状態の砂層、水分を多く含む半固結状態のシルト層の順に構成されていた。トンネル断面中央部付近の砂層は、湿潤状態では肌落ちなどは発生しない自立状態ではあるものの、乾燥が進むと自立しない状態となった。シルト層に関しては、シルトが主体であるものの砂を多く混入していることから比較的安定していた。しかしながら湧水が多く、流砂現象が認められるため注意を要した。これらのことから、早期の断面閉合と吹付けコンクリートが不可欠であった。

また、第2トンネルの中央部付近においては、未固結な砂層とシルト層に加え、天端部付近で粒子が細かく非常に未固結な砂層が現れた。当該区間での掘削の際には、多くの切羽で肌落ち、天端部の土砂の抜落ちが確認され、一部区間では掘削断面外に打設したAGF工の鋼管下面が露出する場合もあった。ただし、天端部の土砂の抜落ちはAGF工によって形成された改良体下部までであり、AGF工上部の土砂が抜落ちすることはなく、安全に施工を進めることができた。当該区間の切羽状況を写真-1に示す。

本トンネルの地山の自立性は全体的に低いものの、今回、天端部の崩落防止のために採用したAGF工の効果が十分に発揮されたものとする。

2-2 計測管理

掘削中はトンネル周辺地山の安定性、支保構造の妥当性を確認するために内空変位、天端沈下を10mごとに計測した。なお、坑口部および小土かぶり部においては地表面沈下も計測した。とくに、

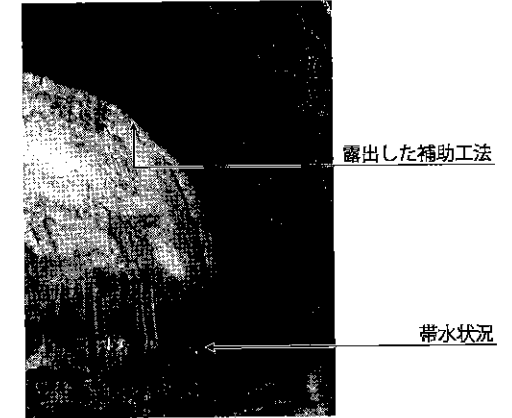


写真-1 切羽状況

表-4 土かぶりごとの管理レベルおよび基準値

管理レベル	土かぶり1D未満	土かぶり1D以上
I	14mm	9mm
II	22mm	13mm
III	36mm	22mm

※縮小、沈下を正(+)とする。内空変位へ適用の際は直径に換算するため2倍した値となる。

表-5 各種計測結果(最大値)

	内空変位	天端沈下	地表面沈下
第1トンネル	17.4mm	9.0mm	8.9mm
第2トンネル	14.7mm	7.3mm	7.6mm

※縮小、沈下を正(+)とする。

内空変位と天端沈下は施工の安全性に直接影響することから、櫻井<sup>9)</sup>により提案された「直接ひずみ制御法」により管理基準値を設定することとした。

今回は算出した限界変位量から、『道路トンネル観察・計測指針』<sup>9)</sup>を参考に3段階の管理レベルを設定した。限界変位量と同値をもっとも危険な状態であるレベルIIIに設定し、その60%の値をレベルII、40%の値をレベルIと設定し、計測結果と比較してレベルに応じて計測体制や監視体制の強化を行うこととした。土かぶりごとに区分した管理基準値を表-4に示す。

第1,2トンネルの内空変位、天端沈下および地表面沈下の計測結果を表-5に示す。いずれの値も土かぶり1D未満の箇所での最大値を計測し、事前のFEM解析結果より小さい値であるとともに、管理レベルIの変位量内であった。

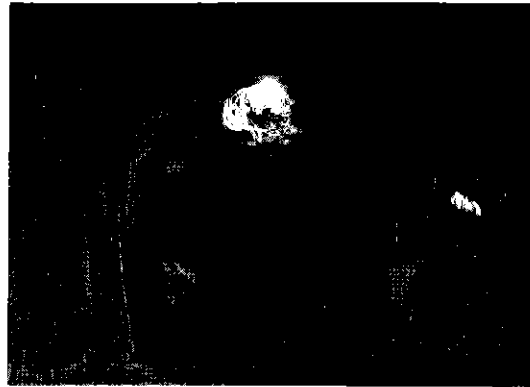


写真-2 第1トンネル貫通状況

### 3 おわりに

戸花山トンネルは、第1トンネルが2014年10月20日、第2トンネルが2015年3月4日に無事貫通を迎えることができた。今後は覆工コンクリート

の施工が本格化することになるが、品質良く、安全に施工を行い、常磐線の早期復旧に向け尽力する所存である。

今回の小土かぶり、狭小断面におけるトンネル工事で得られた知見を今後の工事に活かしていくとともに、同種工事の一助となれば幸いである。

#### 参考文献

- 1) 鉄道・運輸機構：山岳トンネル設計施工標準，2008.4.
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(都市部山岳工法トンネル)，2002.5.
- 3) 地盤工学会：NATMにおける現場計測と管理基準値，土と基礎，1986.2.
- 4) 日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針，2009.2.



## 山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著

B5判 183頁 上製本 本体価格3,200円 円350円

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

#### 主要目次

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

株式会社 **土木工学社**

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

## 施工

### 情報化施工による大深度立坑掘削の中間評価

#### —幌延深地層研究計画地下研究施設整備(第II期)事業—

日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センター堆積岩処分技術開発グループリーダー 藤田 朝雄  
日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センター堆積岩処分技術開発グループ研究員 青柳 和平  
幌延ジオフロンティアPFI(株)総括責任者 名合 牧人

#### 1 はじめに

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」)は、北海道天塩郡幌延町において、幌延深地層研究計画<sup>1)</sup>を実施している。幌延深地層研究計画では、深地層の研究施設などを活用し、深地層の科学的研究、地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化などに向けた基盤的な研究開発を進めている。同計画にて、地下施設は、2005(平成17)年11月に建設が開始され、2014(平成26)年6月時点で、東・換気立坑の深度380mまで、西立坑の深度365mまでと、深度140m、250mおよび350m調査坑道の整備が完了している。これまでに同計画において、換気立坑掘削に採用した機械掘削方式については既報<sup>2)</sup>にて紹介している。

立坑を効率的に掘削するにあたって、支保に変状、たとえば覆工コンクリート表面にクラックなどの損傷が生じた場合、変状場所までスカフォードとよばれる作業用の移動式吊り足場を上昇させて作業を行うことになる。この際、切羽作業を中止し、補修作業に時間を要することになる。また、覆工コンクリート打設後に掘削に伴う岩盤の応力の再配分や地震の発生による動的な荷重が載荷される場合には、クラックなどの損傷がさらに進展する可能性もある。そのため、立坑掘削時には、支保

の変状に影響を与える要因を抑制する必要がある。

立坑掘削時の支保の安定性に影響を与える要因として、立坑壁面岩盤の崩落が挙げられる。過去に、櫻井ら<sup>3)</sup>は、これまでの大深度立坑の工事報告書とそれらに携わった技術者への聞き取り調査にもとづき、立坑の掘削径以上の連続性を有する断層・破碎帯と立坑が交差する場合に、その断層破碎帯上部の岩塊が立坑内に崩落する「高抜け」は、覆工コンクリートに発生するクラックと関連していると報告している。

この事例分析にもとづき、これまで経験的に語られてきた立坑掘削に伴う崩落現象やその発生機構に関する知見が体系化されたが、崩落の進展に応じた支保選定手法は構築されていない。また、近年国内における立坑の掘削事例はきわめて少なくなっているため<sup>4)</sup>、掘削時に問題となるような湧水や壁面周辺岩盤の崩落などの対策について記録に残すことは重要であると考えられる。

そこで本報告では、幌延深地層研究センターの立坑掘削時の情報化施工手法の検討について取りまとめた。とくに、立坑掘削時の岩盤の崩落現象とその対策や、崩落の進展に応じた支保選定のフローを構築し、後続の立坑掘削へ反映させた。また、立坑掘削時に問題となる湧水への対策工として実施した断層部へのプレグラウト工の施工について述べ、その効果について論じた。

## 2 施設概要

図-1に、幌延深地層研究センターの地下施設のレイアウトを示す。先述したとおり、2014(平成26)年6月時点で、東・換気立坑の深度380mまで、西立坑の深度365mまでと深度、140m、250mおよび350m調査坑道の整備が完了し、2015(平成27)年4月時点では、施設内の機械設備や電気設備などの保守点検や修繕といった維持管理業務を実施している。

幌延地域には、下位より新第三系の稚内層、声間層、新第三系～第四系の勇知層、第四系の更別層、更新世末～完新世の堆積物が分布する。地下研究施設の掘削対象となる岩盤は、深度約250mまでは声間層とよばれる珪藻質泥岩が分布し、深度250m以深は稚内層とよばれる珪質泥岩が分布している。平均的な一軸圧縮強さは、声間層で5MPa程度、稚内層で20MPa程度である。地山強度比は2～5程度であり、比較的低い値を示す。初期地圧条件に関しては、側圧係数は東西方向1.3、南北方向0.9であり、異方性を有している。

また、幌延地域の特徴として、地下水に1ccあたり大気圧解放下で約2ccのガス(全体の約80%がメタンで約20%が二酸化炭素)が溶存している。

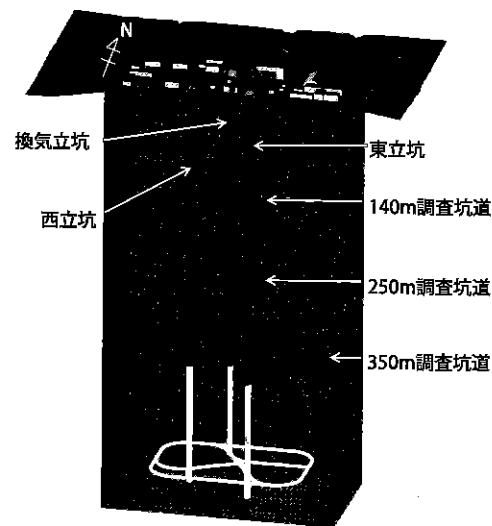


図-1 幌延深地層研究センター地下施設のレイアウト

このことから、地下施設掘削時に発生するメタンガスへの対策として、防爆性を備えた掘削機器の導入、メタンガス濃度常時モニタリングと監視システムの整備、送風管と風門による通気システムの構築による換気の徹底といった対策を施している。

## 3 立坑の情報化施工技術

### 3-1 立坑の掘削方法

幌延深地層研究センターの換気立坑(内径4.5m)および西立坑(内径6.5m)は機械掘削、東立坑(内径6.5m)は発破掘削により施工された。3立坑とも、ショートステップ工法で施工し、主要な支保部材は、設計巻き厚さ400mmの覆工コンクリート、鋼製支保工、長さ3～4m、径24mmの全面定着式ロックボルトとした。覆工コンクリートは無筋コンクリートであり、鋼製支保工は、円形に曲げ加工した4分割のH形鋼からなり、切羽に搬入して円形に組み上げた。

立坑の掘削手順は、図-2に示す4つの段階からなる。初期状態を底盤から高さ約1mまで覆工コンクリートが構築された状態(図-2(a))として考えると、はじめに1m掘削したあと、鋼製支保工とロックボルトを施工し(図-2(b))、さらに1m掘削した。ただし、湧水対策のためのプレグラウト工の施工深度では、岩盤改良範囲の損傷を避けるためにロックボルトは打設せずに施工した。

その後、地質観察を行い、断層位置、走向傾斜などを含む壁面のスケッチを実施するとともに、3次元レーザスキャナ(以下「3Dスキャナ」と記載)を用いた壁面の形状計測を実施した。3Dスキャナによる測定は、地質観察と並行して行い、その時間内に、搬入・設置・計測・撤去・搬出を行うこととした。測点の間隔はおおむね10mmとし、壁面の凹凸量の測定を行った。

観察終了後、図-2(b)と同様に鋼製支保工とロックボルトを施工するとともに(図-2(c))、底盤から1mを残して鋼製の移動型枠を設置し、覆工コンクリートを構築した(図-2(d))。このサイクルのくり返しにより、掘削が完了した。

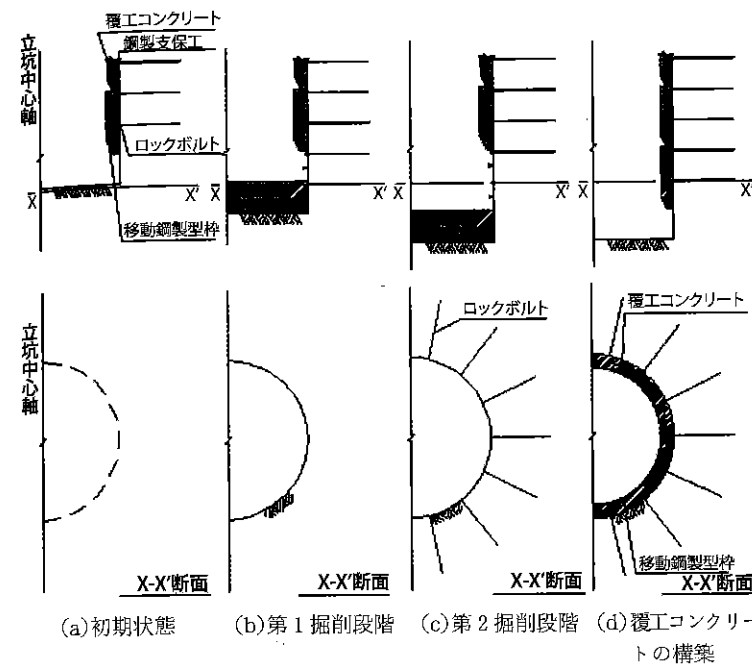


図-2 立坑の施工手順

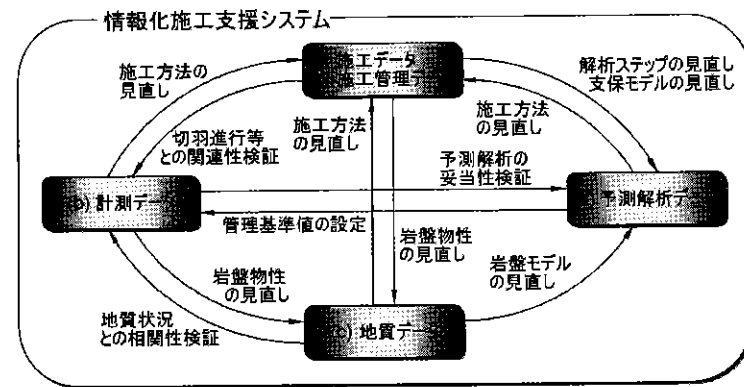


図-3 地下施設の情報化施工概念図

### 3-2 情報化施工計画

情報化施工においては、図-3に示すとおり、予測解析データ(設計含む)、施工データ、地質データ、計測データなどから得られる情報を適切に連携させることが重要である。たとえば、先行ボーリングやこれまでの切羽観察などで得られた地質データにより、掘削範囲の地質予測をつどり、その後の支保パターン(設計)や補助工法を含む施工方法の見直しに効率的に反映させることが重要である。そこで、幌延深地層研究センターでは、

それらのデータをより正確にかつ同時に把握するため、3次元地質構造・施工情報可視化システム<sup>①</sup>(以下、「3次元可視化システム」と記載)を導入した。

このシステムは、工事関係者全員で地質構造や岩盤挙動について明確な共通認識を確立し、合理的な対策方法の立案を支援するツールである。具体的には、走向傾斜などを反映した断層・亀裂帯などの弱層、プレグラウト工施工時の注入量データ、特定の断面で行われた地中変位や覆工コンクリートの応力などの計測結果の情報を個別に項目化し、これらの情報を画面上で任意に表示して確認することが可能である。また、地下研究施設全体を全方向から鳥瞰することができ、平面では確認が困難な箇所や地質情報や地下研究施設と断層との位置関係などの把握が可能である。

この3次元可視化システムに施工が完了した範囲の地質観察の結果やグラウト注入量の分布などを随時反映することにより、以降の掘削時の危険箇所や対策工が必要な箇所を事前に確認

することが可能となった。

### 3-3 崩落現象への対策

#### 3-3-1 崩落の発生と支保への影響

換気立坑の深度250m以深の掘削時には、設計掘削仕上り面より0.4～1.2m程度崩落が進展した。壁面観察結果と3Dスキャンによる坑道断面形状の分析の結果、壁面に崩落が起きやすい箇所は、初期応力の最小主応力方向、すなわち南北方向であることがわかった(図-4(a))。また、立坑の掘削径以上の連続性を有する断層が出現する場合に

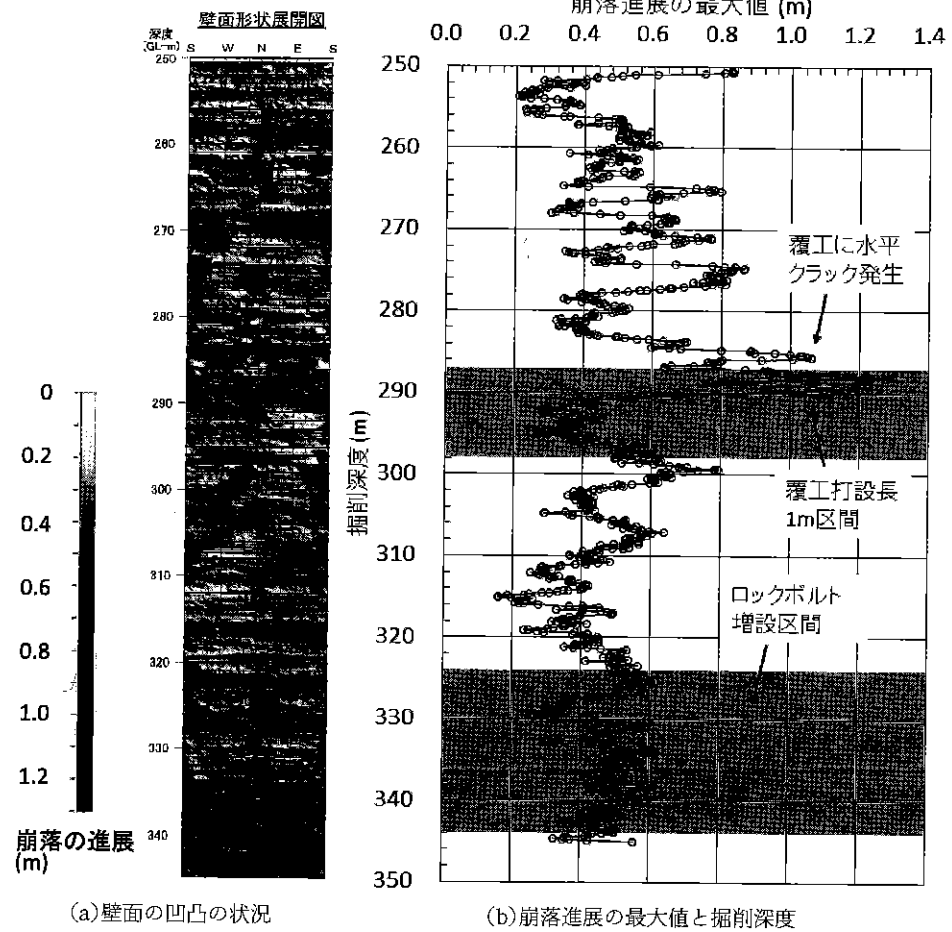


図4 崩落の深度分布

は、その上、下端部の周辺で崩落が発生しやすかった。さらに、これら2つの要因が重なる箇所では、崩落の進展が大きくなる可能性が高いことが推定された<sup>7)</sup>。

図4(b)に、崩落進展の最大値と掘削深度の関係を示す。本図より、深度284~290mで崩落の進展が顕著であることがわかる。とくに、深度284~287mで発生した崩落は、既設覆工コンクリート背面の岩盤が崩落する高抜け現象を誘発する可能性があった。

また、このオーバーハング形状の崩落が発生した箇所の直上の深度282~284mに打設された覆工コンクリートには、長さ4m、幅1mm程度の水平クラックが発生した<sup>8)</sup>(写真-1)。発生したクラックからは、湧水が染み出していたことから、覆工

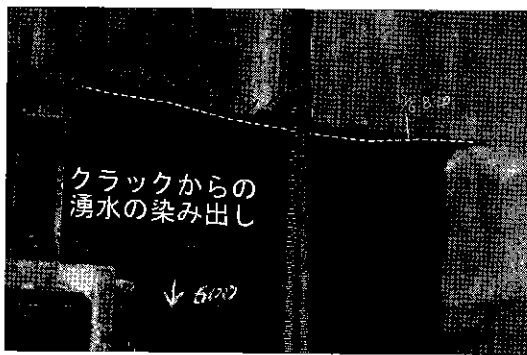


写真-1 覆工コンクリート表面に生じた水平クラック  
コンクリート内部を貫いていると判断された。当クラックは、次の掘削ステップが始まるまえに、グラウト材で充填された。この事象を受け、深度287~298mの掘削では、断層の影響による覆工コンクリートのクラック発生の回避と、湧水対策の

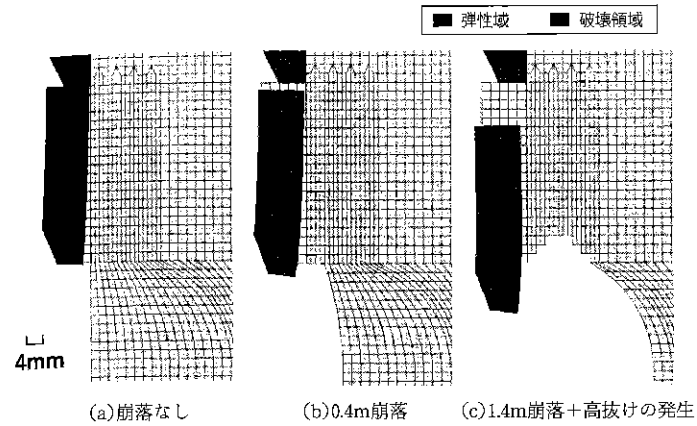


図5 覆工コンクリート内部の破壊領域の進展

ためのプレグラウト工の施工による改良範囲への損傷を避けるために、ロックボルトの打設は行わず、覆工コンクリートの打設長を1mへと変更し、立坑の掘削を再開した。

壁面周辺岩盤の崩落と覆工コンクリートの水平クラックの因果関係を調べるため、2次元軸対象解析を実施した。壁面周辺岩盤の崩落の進展に伴い、崩落箇所直上の覆工コンクリートの応力状態の変化を確認し、岩盤の崩落と覆工コンクリートに発生した水平クラックの因果関係を推定した<sup>9)</sup>。

解析結果を、崩落の進展ごとに3段階に分けて図5に示す。

崩落が0.4mまで進展した図5(b)では、覆工コンクリートの岩盤側に引張応力が発生することにより、要素に引張破壊が生じる。崩落が1.4m進展し、さらに覆工背面の岩盤も抜落ちするような高抜け現象の兆候が認められる状態に対応する図5(c)では、覆工コンクリートの全面にわたり引張応力が発生することにより、コンクリートの多くの要素が引張破壊の結果となった。これにより、崩落を低減させることが覆工コンクリートの健全性を確保するために重要であるという知見が得られた。

### 3-3-2 崩落への対策工

3-3-1項で述べたように、深度284~287mで発生した、壁面周辺岩盤の崩落による覆工コンクリートの損傷を低減するために、覆工コンクリートの打設長を1mへと変更する対策工を立案した。この

対策工の採用により、岩盤の裸坑状態での時間を短縮するとともに、掘削によるゆるみを小さくする効果を期待した。覆工打設長の変更在先立ち、3次元FEM解析による覆工の健全性の検討を行ったところ、2m覆工と比較して覆工コンクリート内に生じる応力が小さいことを確認した<sup>9)</sup>。よって、覆工打設長を1mに変更して掘削を再開させた。

深度287m以深の掘削再開後、深度約290m付近までは崩落が大きかった

が、掘削の進展とともに崩落の進展が減少し、最終的には崩落は0.5m程度になった(図4(b))<sup>10)</sup>。また、覆工コンクリートにクラックも発生しなかった。このことから、打設長を1mに変更することにより、打設長が2mの区間と比べて崩落の進展が小さくなり、覆工コンクリートの健全性も向上することが確認された。

また、崩落の進展と掘削深度の関係を示す図4(b)より、覆工打設長が2mの場合に支保が健全であるときの崩落の進展の最大値は0.8m程度であり、崩落の進展が1.1mを超えたときに水平クラックが生じたことがわかった。当該深度はプレグラウト工の施工による岩盤改良範囲に含まれているために、ロックボルトを打設すると、改良範囲を損傷させるおそれがある。以上から、崩落の進展が0.8m以上となったときには、覆工の打設長を1mに変更することとした。

次に、崩落箇所におけるロックボルトの増設の効果を検討した。対象は、プレグラウト工の施工による改良範囲外となる、換気立坑の深度324~344mの岩盤区間とした。なお、当該区間の覆工コンクリート打設長は2mである。

覆工コンクリート打設前の崩落の進展を、支保に損傷を生じさせないときの崩落の最大進展深度である0.8m以内に抑制することを目的として、ロックボルトの増設の実施基準を事前に0.5mと設定して実施した。結果として、ブレイクアウトが発生している南北方向の崩落が0.6m程度とな

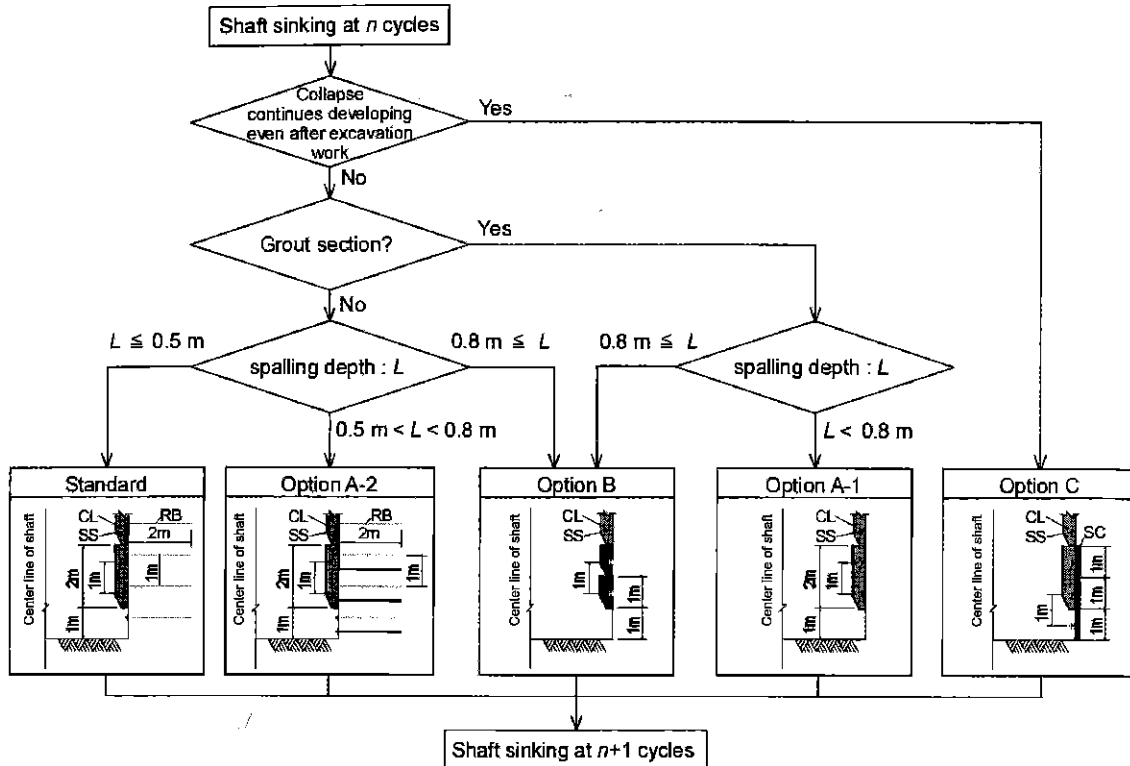


図-6 崩落の進展に応じた支保選定フロー

り、岩盤の崩落を抑制することができた(図-4(b)).

以上の検討結果から、岩盤の崩落の進展に関して、0.5m、0.8mという閾値を設け、プレグラウト工の施工による岩盤改良範囲内外における崩落の進展の程度に応じて、ロックボルトの増設や、覆工の打設長の変更といった対策を立案するためのフロー図を、図-6のように構築して、後続の立坑掘削に反映させた<sup>11)</sup>。

### 4 湧水抑制対策工

#### 4-1 湧水抑制対策工の概要

原子力機構は、2006(平成18)年1月に北るもい漁業協同組合と締結した「幌延深地層研究所の放流水に関する協定書」にもとづいて、幌延深地層研究センターからの1日あたりの排水量を750m<sup>3</sup>以下としている。これを踏まえて、換気立坑を深度140.5mまで掘削した時点にて、深度150m以深の換気立坑近傍の地質構造や透水性などの地質環

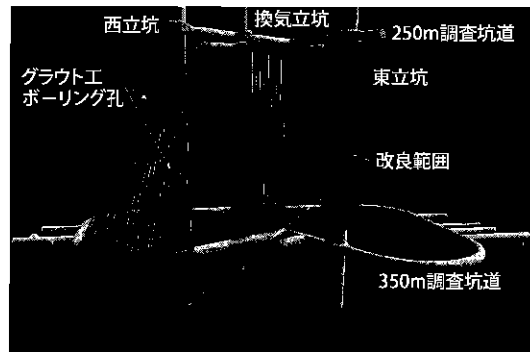


図-7 プレグラウト工の概念図

境特性を詳細に把握するために、換気立坑の近傍に地表から掘削長520mの先行ボーリングを行い、換気立坑の深度250m以深の高透水性の断層の分布を確認した<sup>12)</sup>。

その結果、深度250m以深に高透水性の断層が確認され、協定書遵守のために、適切な湧水対策が必要であると判断した。立坑掘削に伴う湧水量を抑制するために、ボーリング調査で確認された断層を対象に、深度250m以深の立坑の掘削前に、

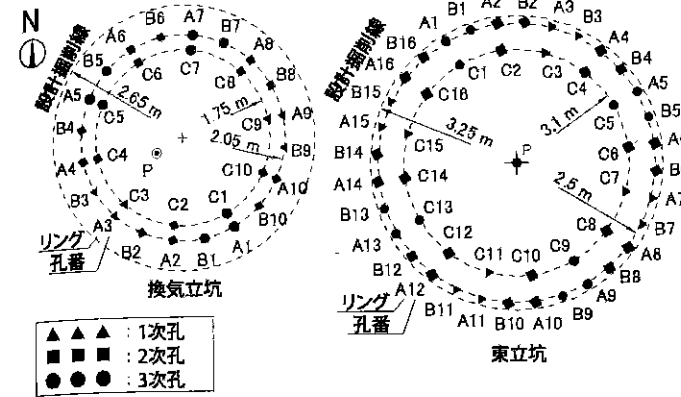


図-8 プレグラウト工のボーリング孔の配置図

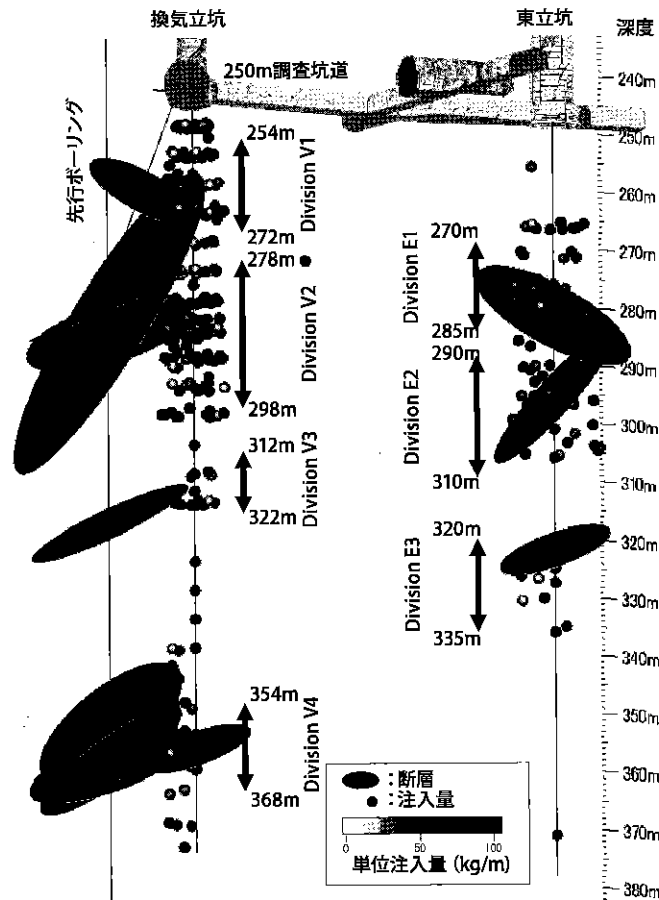


図-9 立坑周辺の断層分布とグラウトの単位注入量

図-7に示すように、各立坑の深度250mの底盤からプレグラウト工を実施することとした。

換気および東立坑のプレグラウト工のボーリング孔(孔径はすべて46mm)の配置図を図-8に示す。

立坑周辺の設計改良範囲は、換気立坑では約3m、東立坑では約4mである。岩盤の改良目標値は0.1Lu以下であり、グラウト材は、早期硬化型超微粒子注入材を基本とした。注入方式は、ステージ方式(標準ステージ長は5m)を採用した。基本的な施工手順としては、パイロット孔(P孔)のあと、A、B、Cリングの順で施工し、最後に、チェック孔(C2孔とC6孔)を施工した。

各ボーリング孔の施工手順については、削孔(基本的にφ46mm)、透水試験(パイロット孔とチェック孔のみ)または水押し試験(パイロット孔とチェック孔以外の孔)、グラウト材の注入、再削孔とした。また、削孔中にガスや地下水の噴発が生じた場合は、ただちに削孔を中断してパッカーをかけ、グラウト材の注入を行うショートステージ工法に移行した。注入圧力が高過ぎると孔壁崩壊を招くことから、注入圧力を水押し試験やルジオン試験で得られた限界圧力から+0.2MPa程度で管理して施工した。

注入配合は、注入前のルジオン値にかかわらず、水セメント比(W/C)=20.0から注入を実施し、順次段階的にW/Cを小さくした。噴発が発生した場所においては、W/C=1.0もしくはW/C=0.8の配合で実施し、高濃度注入を実施した。なお、これでも止水が困難と判断された場合には、硬化促進剤を添加した<sup>13)</sup>。

#### 4-2 プレグラウト工の効果と断層情報の更新

図-9に、3次元可視化システムを用いて、ボーリング調査とプレグラウト工の施工実績から予測した断層の分布に、換気および東立坑において注入されたグラウト材の量の分布を重ね合わせたものを示す。本図より、予想された断層

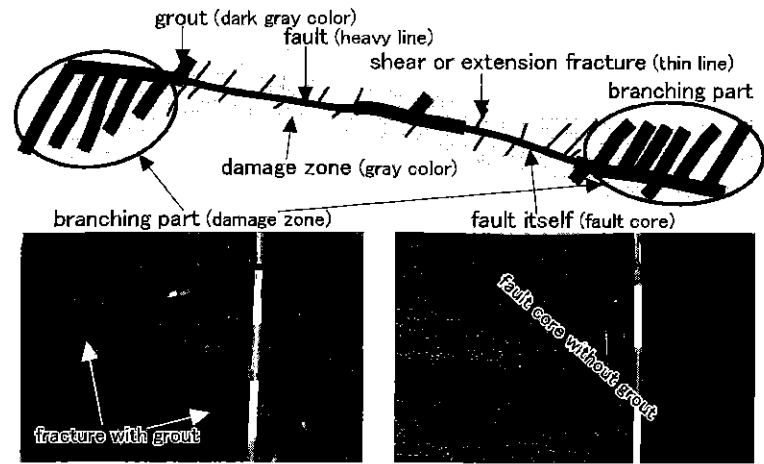


図-10 立坑壁面における割れ目とグラウト材の充填に関する概念図(Tokiwa et al., 2013より、許諾を得て引用)

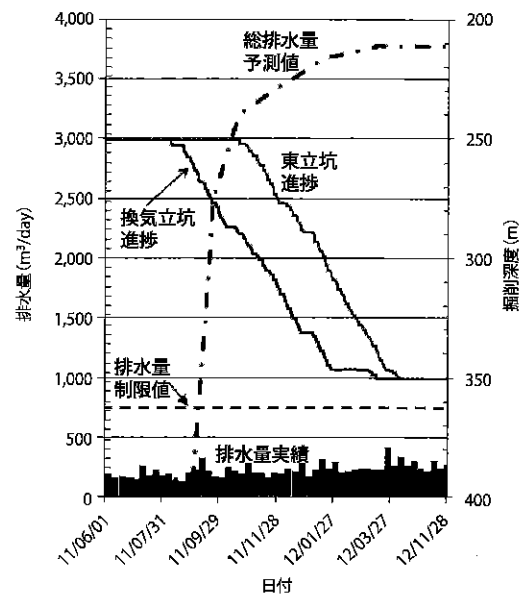


図-11 換気立坑および東立坑の掘進に伴う排水量の実績と予測値の比較

部において、多くのグラウト材が注入されたことがわかる。また、施工面においては、溶存ガス環境下で、ボーリングに伴う溶存ガスなどの噴発や掘削ビットの締付けなどに遭遇しながらも、岩盤の透水性を改良できることを確認することができた。

立坑の掘削においては、推定した断層とプレグラウト工の単位注入量の分布にもとづいて、立坑掘削に伴う崩落危険区間(図-9中のDivision V1

～V4 およびE1～E3)を想定し、同区間での掘削手順や支保構造の変更などの検討を行った。

グラウト材が多く注入された深度を掘削している際に、立坑の壁面観察において、グラウト材が認められた割れ目を分析した。その結果、図-10に示すように、グラウト材は、主要な割れ目本体やそれから派生した割れ目に注入されていた<sup>14)</sup>。

次に、図-11に立坑の深度250 m以深の掘削の進捗と坑内排水量の実績値の経時変化を表す。

同図には、グラウト注入を行わない場合の排水量の予測値も併せて示す。同図より、今回のプレグラウト工の施工により、排水量を予想値や漁協との協定による制限値である750m<sup>3</sup>/dayよりも大幅に抑えることができた。

## 5 おわりに

本報告では、幌延深地層研究センターの立坑掘削時の情報化施工手法の検討について取りまとめた。とくに、立坑掘削時の崩落現象とその対応、崩落の進展に応じた支保選定フローの構築について論じた。また、立坑掘削時に問題となる湧水への対策工として実施した断層部へのプレグラウト工の施工について述べ、その効果について論じた。得られた成果は、以下のとおりである。

- ① 立坑壁面周辺岩盤の崩落が、覆工コンクリートへ水平クラックを生じさせた原因であることが示された。そこで、覆工コンクリート打設長の変更、ロックボルトの増設といった崩落を抑えるための対策を施すことにより、覆工へのクラックの発生といった支保の損傷と、壁面周辺岩盤の崩落の両者を抑制することができた。
- ② 換気立坑における崩落による支保への影響を考慮し、崩落の進展に応じた支保選定フローを構築した。後続の立坑は、この支保選定フ

ローを導入することにより、支保の変状を生じさせることなく掘削が完了した。今回提案した支保選定フローは、今後の立坑掘削における情報化施工法の立案におおいに役立つ知見であるといえる。

- ③ 立坑掘削時の湧水対策として、先行ボーリング調査で明らかとなった断層へグラウトを注入した。この注入データを3次元地質情報・施工情報可視化システムへ導入することで、断層への注入状況を確認することができた。さらに、壁面観察結果から、断層部へのグラウトの注入状況を把握した。これらの成果にもとづき、効率的なグラウト注入量、注入孔配置といった将来的な施工計画への適用が期待される。
- ④ 3次元地質情報・施工情報可視化システムにグラウト注入量のデータを追加することにより、断層の位置や方位の情報を更新し、立坑壁面岩盤の崩落の危険性がある区間を推定し、後続の立坑掘削時の支保選定へ反映させた。

最後に、幌延深地層研究センターの現場監理に携わっていただいた、大成・大林・三井住友特定建設工事共同企業体の皆様に深く感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 核燃料サイクル機構幌延深地層研究センター：幌延深地層研究計画、平成12年度調査研究成果報告、JNC TN 1400 2001-008, 2001.
- 2) 一安健治・尾留川剛・小島亘・北川義人：深度500 mの立坑を積み込み機一体型自由断面掘削機で掘る、幌延深地層研究計画地下施設、トンネルと地下、Vol. 38, No.10, pp.35-42, 2007.10.
- 3) 櫻井春輔・清水則一・芥川真一・吉田秀典・佐藤稔紀・山地宏志：国内超大深度立坑工事の地山崩壊形態から見た崩壊発生機構に関する考察、土木学会論文集F, Vol.62, No.4, pp.662-673, 2006.
- 4) 幌延深地層研究センター：幌延深地層研究計画、平成27年度調査研究計画、2015.4.
- 5) 太田久仁雄・阿部寛信・山口雄大・國丸貴紀・石井英一・操上広志・戸村豪治・柴野一則・濱克宏・松井裕哉・新里忠史・高橋一晴・丹生屋純夫・大原英
- 6) 重廣道子・岩永昇二・武田宣孝・山上順民・名合牧人・竹田直樹：3次元地質構造可視化ソフトを利用した情報化施工支援システムの導入、土木学会第54回年次学術講演会、pp.713-714, 2008.
- 7) 津坂仁和・稲垣大介・名合牧人：堆積軟岩における大深度立坑掘削に伴う壁面崩落現象、地下空間シンポジウム論文・報告集、Vol.17, pp.155-162, 2012.
- 8) Tsusaka, K., Inagaki, D., Nago, M., Matsubara, M. and Sugawara, K.: Influence of Rock Spalling on Concrete Lining in Shaft Sinking at the Horonobe Underground Research Laboratory, Japan, Proceedings of the 6th Japan-Korea Joint Symposium on Rock Engineering, pp.911-916, 2013.
- 9) 萩原健司・南出賢司・名合牧人・三浦養一・稲垣大介：堆積軟岩における大深度立坑掘削に伴う壁面崩落およびその対策について、トンネル工学報告集、Vol.23, pp.137-142, 2013.
- 10) Tsusaka, K., Inagaki, D., Nago, M., Kamemura, K., Matsubara, M. and Shigehiro, M.: Relationship between rock mass properties and damage of a concrete lining during shaft sinking in the Horonobe Underground Research Laboratory Project, Proceedings of World Tunnel Congress 2013, pp.2014-2021 (2013b).
- 11) Tsusaka, K., Inagaki, D., Nago, M., Aoki, T. and Shigehiro, M.: Rock Spalling and Countermeasures in Shaft Sinking at the Horonobe Underground Research Laboratory, Proceedings of the 6th International Symposium on In-Situ Rock Stress, pp.339-346, 2013.
- 12) 中山雅・佐藤満昭・真田祐幸・杉田裕 編：幌延深地層研究計画 平成21年度調査研究成果報告、JAEA-Review 2010-039, 2010.
- 13) 澤田純之・中山雅・石川誠：幌延深地層研究計画 地下施設建設におけるプレグラウティングの注入実績データ集、換気立坑のプレグラウティング結果、JAEA-Data/Code 2013-018, 2013.
- 14) Tokiwa, T., Sawada, S., Ochiai, S. and Miyakawa, K.: Occurrence of high-permeability fracture estimated by grouting in Horonobe URL of Japan, Proceedings of the 6th Japan-Korea Joint Symposium on Rock Engineering, pp.1021-1025, 2013.



# 「宮古街道の新しい時代」宮古盛岡横断道路

西川 幸一

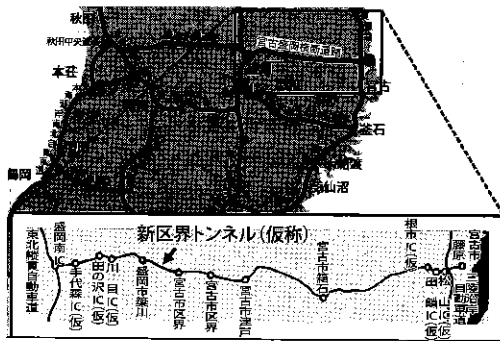
新区界トンネル(仮称)のある宮古市の区界峠は岩手県の中央部、盛岡市とその東側の宮古市との境にあり、標高約750mに位置する。この峠は閉伊川(宮古側)と築川(盛岡側)の分水嶺をなし、かつては交通の難所とされていた。昭和の初めに(現)JR山田線区界駅ができ、現在も東北地方では最高所に位置する駅である。有人駅ではもっとも利用者が少ない。

昔は築川と閉伊川沿いに小道があるのみで、道なき道と言われていたが、その後、道路は大きく2つの時代に分かれて整備されてきた。

1つ目の時代として、江戸時代に個々の道を開削し、この地方に住む人々に希望を与え、地域発展の基礎をつくった偉人がいた。牧庵鞭牛こと鞭牛和尚である。今の宮古市和井内に生まれた鞭牛和尚は、道が不便なことから道づくりをはじめた。その当時は重機も火薬もなく、つるはし、すいさび、げんのうによる人力作業が中心だった。そのような状況で硬い岩をくだく工夫として、岩の上に木材を積み重ねて燃やし、真っ赤に焼いたところに水をかけ、急に冷却することで岩にひびを入れ、そのひびに、げんのうやつるはしで叩いて岩を砕く方法を取入れ、道を作ったといわれている。この道が現在の宮古街道の前身となった。

そして2つ目の時代として、1975(昭和50)年ごろ、現在の国道106号が完成した。しかし区界峠を越えるルートがほかになく、事故などで通行止めになると、孤立状態になる場所だった。

そして新たな時代としてこの復興支援道路の施工と



位置図



国道沿いの無人野菜販売所

なる。

峠一带の区界高原はシラカバの林に覆われ、春はスズラン、山菜、夏はハイキング、秋は紅葉、きのこが見られる自然に満ち溢れた場所である。特筆すべきは冬の気候で、12月から3月までの4か月間、積雪があり、今年は最低気温も-19度まで下がり、給排水管に熱電線を配置しても凍結してしまう現場泣かせの極寒地である。しかし、雪のない時期は高原ならではの涼しく快適な場所、なんとと言っても豊富な高原野菜は有名で、無人販売所は週末になると車の駐車する場所がなくなるほどの盛況ぶりである。

個人的には夜空の星がとくに美しく、週末に自宅から現場宿舎へ戻る際見上げる夜空の星は、日ごろ気にかかる些細なことを忘れさせる至福の時間を与えてくれる。

新区界トンネル(仮称)は岩手県宮古市と盛岡市を結び、全長約100kmの地域高規格道路の一部である。このうち最大の難所となる宮古市区界～盛岡市築川間を結び全長約5kmの長大トンネルが完成すれば、岩手県内で最長となる。この道路は復興支援道路として位置づけられており、早期供用が求められている。

昨年の11月より宮古側避難坑の掘削を開始し、今年の3月より本坑の掘削を開始したところである。新年度を迎え、地元の方々と交流を深めながら、安全でより良いものを早期に完成できるようJV職員一同・協力会社と一丸となって日々奮闘中である。(鹿島・東急特定建設工事共同企業体現場代理人)

## 計画

# 新駅建設に伴う大規模な地下駅アンダーピニング計画

### —相鉄・東急直通線 新横浜駅—

横浜市交通局工務部建設改良課設計係長 梅田 浩  
横浜市交通局工務部建設改良課設計係 山口 麻香

## 1 はじめに

横浜市営地下鉄は、1972年開業のブルーラインと2008年開業のグリーンラインの2路線40駅を営業しており、ブルーラインは、あざみ野駅から湘南台駅までを結ぶ延長40.4kmの路線である。一方、相鉄・東急直通線は、都市鉄道等利便増進法にもとづき鉄道・運輸機構が整備を進めている路線であり、新しく設置される新横浜駅(仮称)においてブルーライン新横浜駅と交差・接続する計画である。

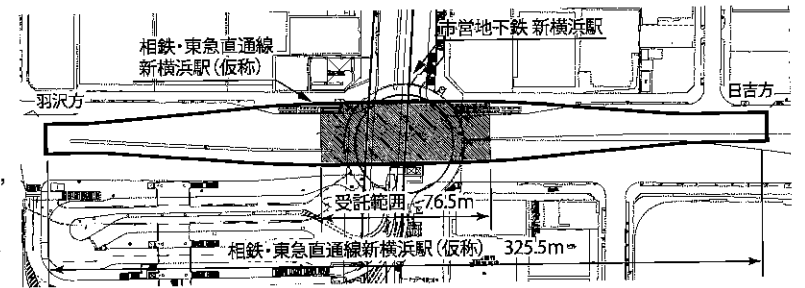


図-2 新横浜平面図

表-1 相鉄・東急直通線の概要

路線名	相鉄・東急直通線
整備区間	JR東海道貨物線横浜羽沢駅付近～東急東横線・目黒線日吉駅
建設主体	鉄道・運輸機構
営業主体	相模鉄道(株)、東京急行電鉄(株)
延長	約10.0km
運行区間	海老名駅・湘南台駅～西谷駅～羽沢駅(仮称)～新横浜駅(仮称)～新綱島駅(仮称)～日吉駅～渋谷方面・目黒方面
運行頻度	朝ラッシュ時間帯：10～14本/時 程度 その他時間帯：4～6本/時 程度

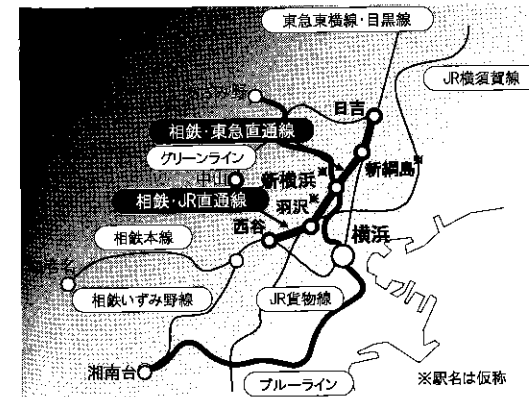


図-1 路線概要図

本稿は、本工事における新横浜駅アンダーピニングの施工方法や計測管理計画などの施工計画概要について報告する。

## 2 構造概要

### 2-1 全体概要

相鉄・東急直通線新横浜駅(仮称)と市営地下鉄新横浜駅は、両駅の中央付近でほぼ直角に交差する計画となっている。市営地下鉄は地下2層構造、相鉄・東急直通線は地下4層構造となっており、



図-3 交差・接続イメージパース

直通線が地下鉄を抱込むかたちで交差し、地下1階部で乗換えのための接続を計画している。

### 2-2 市営地下鉄新横浜駅の構造

市営地下鉄新横浜駅は幅18.3m×高さ11.8m×

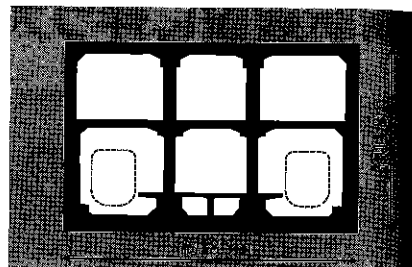


図-4 市営地下鉄新横浜駅断面図

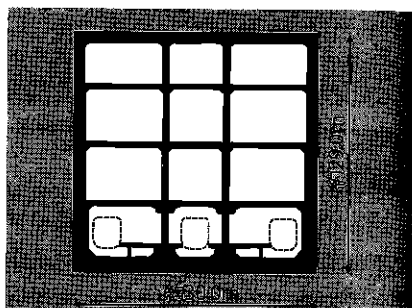


図-5 相鉄・東急直通線新横浜駅(仮称)断面図

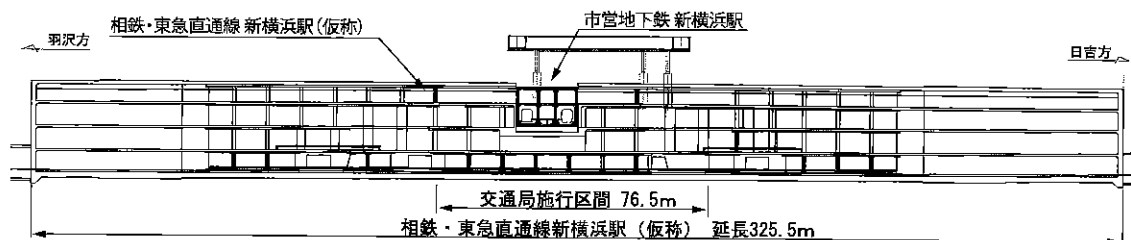


図-6 新横浜駅構造図(市営地下鉄横断方向)

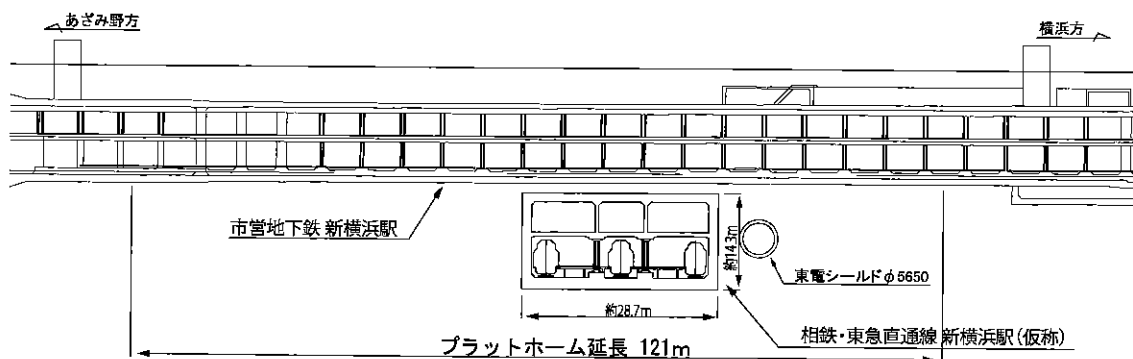


図-7 新横浜駅構造図(市営地下鉄縦断方向)

延長238m(土かぶり5.3m)、1面2線、2層3径間のボックスカルバート構造の駅である。軌道構造は直結軌道、集電方式は第3軌条集電方式である。1983(昭和58)年4月に完成、1985年に開業し、現在では1日あたり平均約6万7千人の乗降客が利用している。

### 2-3 相鉄・東急直通線新横浜駅(仮称)の構造

相鉄・東急直通線新横浜駅(仮称)は幅約14.4~30m、高さ約29m、延長325.5m(ホーム延長205m)の2面3線、4層3径間のボックスカルバート構造の駅である。このうち市営地下鉄と交差する直下部は幅28.7m×高さ14.3m、2層3径間のRC構造となる。

## 3 施工環境

### 3-1 周辺環境

新横浜は、東海道新幹線、JR横浜線および市営地下鉄の3路線が乗入れる拠点駅であり、駅前

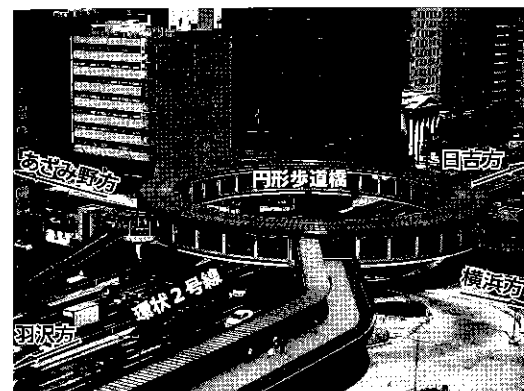


写真-1 新横浜駅前交差点部

を中心に、商業・業務、文化・交流施設などの多彩な機能が集積している。

施工箇所は、幹線道路の環状2号線が通る新横浜駅前交差点部に位置しており、非常に厳しい環境下での施工となる。また、この交差点には新横浜駅のシンボリックな存在である円形の歩道橋が存在するため、重機などの空頭制限を受けるほか、橋脚の受替えなどを行う必要もあり、歩道橋への影響に十分に配慮した施工が必要となる。

加えて、地下には離隔2.8m程度の位置にφ5,650の東京電力の洞道(シールド構造)が新駅に平行して存在するため東京電力洞道に対する影響に十分に配慮する必要がある。

### 3-2 地質概要

当該箇所の地質構成は、表層に軟弱な沖積粘性土層(Ac)が堆積し、その下部は上総層群が主体となっている。上総層群は、砂質土層(Ks)、泥岩層(Km)、砂と泥岩が細かく互層状態になっている層(Ksm)とに分類され、交通局が受託する市営地下鉄交差点付近の大部分は上総層群内に位置している。しかし、すぐ北側に流れる鶴見川に向かい、施工箇所の周辺には沖積粘性土層(Ac)が厚く堆積しているため、地下水位の低下に伴う地盤沈下に留意して施工することが重要となる。

各層の主な土質性状は次のとおりである。

#### (1) 沖積粘性土層(Ac)

- ・N値は0~3と非常に軟弱で、含水量が多い。圧縮指数も大きい。間隙水圧低下に伴う圧密沈下に留意する必要がある。

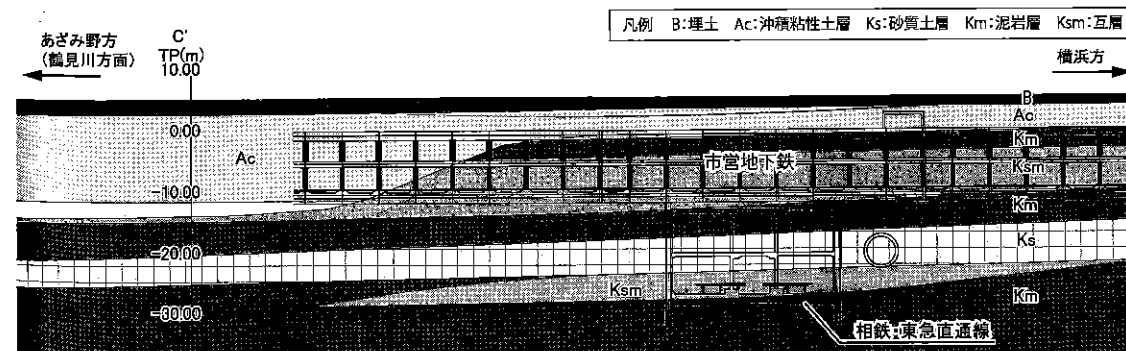


図-8 地質縦断図

(2) 砂質土層(Ks)

- ・透水係数は $1.6 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ と透水性が高く、被圧水頭は16mと高い被圧状態にある。
- ・N値は換算値で100以上を示しているが、未固結の砂層であり、乾燥密度が $1.63 \text{g/cm}^3$ 、細粒分含有率6.2~7%、均等係数が2.1~2.6と粒度分布が悪い。流砂現象を起こしやすいと考えられるため注意が必要である。

(3) 泥岩層(Km)

- ・N値は換算値100以上と非常に密な状態の固結したシルト(泥岩)を主体とするが、一部に砂質土の薄層を含む部分が見られる。

## 4 施工方法

### 4-1 アンダーピニング工法の選定

アンダーピニング工法の選定にあたっては、大断面トレンチ(溝状断面)掘削により新駅を分割施工し、構築した新設構造物で地下鉄を受替える「新設構造物直受け方式」と、中規模トレンチ掘削により地下鉄下部に杭を打設して直受けする「杭直受け方式」、小規模トレンチにより地下鉄下部に下受け桁を挿入し、それを函体外部に設ける杭と縦桁で支持する「下受け桁方式」の3タイプ

について比較を行った。

「新設構造物直受け方式」は、新設構造物を基礎とし、既設構造物を支持するため、この方式において設置可能な仮受け支点間隔では、地下鉄中柱直下に支点を設けられず、地下鉄下床縦桁のせん断耐力が許容値を超過してしまう。また、新駅の構造ジョイントが多くなり構造安全性と止水性の面で望ましくない。

「下受け桁方式」は、都市部の鉄道工事においてよく用いられる工法である。しかし、今回計画されている新駅の縦断線形では、受替えられる既設構造物と新設構造物の間に十分な離隔を確保することができず、仮受け縦桁の設置位置が新設構造物の上床版施工位置に支障してしまう。

「杭直受け方式」は、仮受け支点間隔を長くできる場合や、既設構造物と新設構造物との間に離隔が少ない場合に有効な工法である。

本事例の場合、地下鉄函体の耐力が大きく、受替えるジャッキ数を少なくできるため、ジャッキ管理が比較的容易に行うことができ、営業線に対する安全性、経済性、施工性および工期面においてもっとも有利な「杭直受け方式」によるアンダーピニング工法を採用した。

表-2 アンダーピニング工法比較

種別	A案	B案	C案
方式	新設構造物直受け方式	杭直受け方式	下受け桁方式
概略図			
市営地下鉄の安全性	・せん断応力度が許容値を超過 ×	・ジャッキ管理が容易で安全性が高い ○	・ジャッキ管理と調整が複雑で困難 △
適応性	・新設構造物の不等沈下により、中間部接続時に問題が生じる懸念 ・コールドジョイントが多くなる △	・仮受け杭を地下鉄柱と同間隔で配置が可能 ○	・仮受け縦桁が新設構造物に支障 △
施工性	・狭い導坑内で新駅を構築する必要があり、施工性が悪い △	・トレンチ断面が小さい ・トレンチとジャッキの数が少ない ○	・トレンチ掘削数やジャッキおよび下受け桁の本数が多く、工期、経済性の面でもB案より不利 △
評価	×	○	△

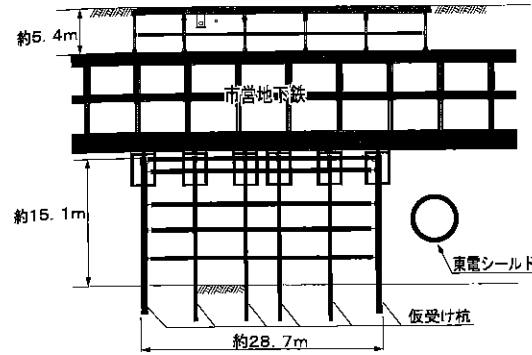


図-9 アンダーピニング横断面図

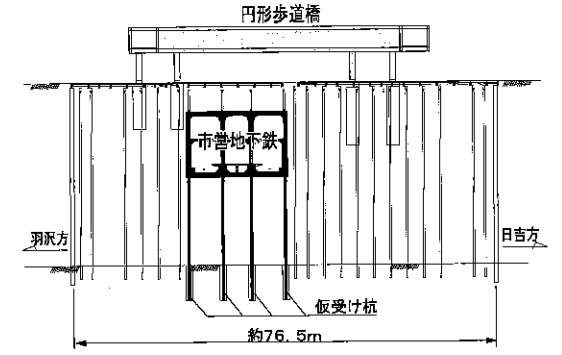


図-10 アンダーピニング縦断面図

### 4-2 アンダーピニングの概要

「杭直受け方式」による施工方法は、市営地下鉄函体下部に小断面の導坑を6列掘削し、その中から仮受けのための支持杭を打設する計画とした。仮受け杭は、地下鉄線路方向に柱間隔と同じ約6m間隔で6か所、直角方向は側壁と縦桁下の4点に設置し、合計24本の杭で、仮受け総重量約68,000kNを受替える計画である(図-9, 10)。仮受け後、地下鉄函体直下を掘削し、新駅の躯体を構築していく。

地下鉄線路方向の仮受け杭位置は、仮受け時における地下鉄下床縦桁のせん断耐力から決定している。これは、柱間隔と同間隔で柱直下付近に配置することで、地下鉄函体の安全性を確保するものである。直角方向に関しては、仮受け時に下床版応力が現状に対して反転するが、下床版耐力が大きく、安全性が確保されることから下床版中央には支点を設けず、側壁と縦桁のみに仮受け支点を設ける設計とした。

### 4-3 施工手順

本工事は施工上の制約が多い駅前交差点部で営業線をアンダーピニングし、新駅を構築する難工事である。通常どおり施工すると相当な工期を要することが懸念されたため、可能な限り効率的な施工計画を立案することが、この工事

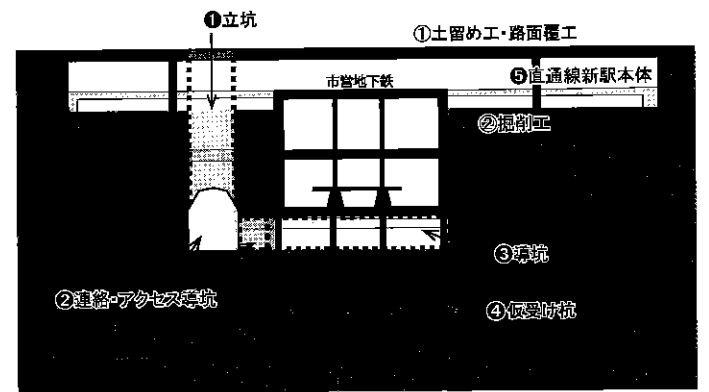


図-11 施工手順概要

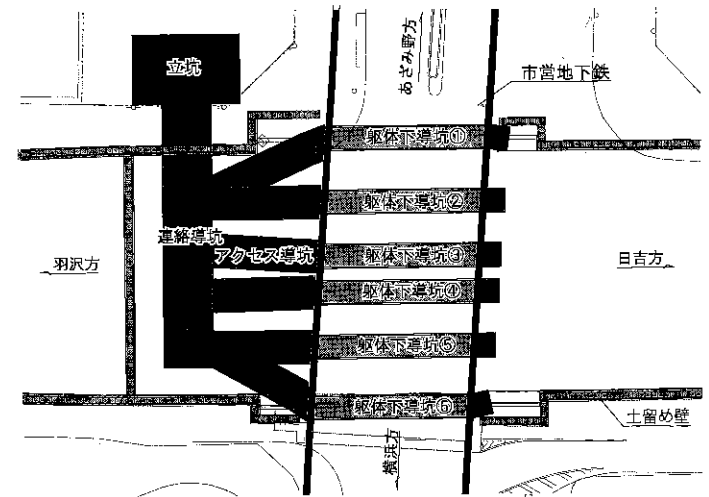


図-12 導坑平面図

を受託した当初からの大きな課題とされ、検討に取り組んできた。

一般的には、開削駅工事の手順に沿って、工事箇所を土留めで囲い、路面覆工をかけ、道路下を

順次掘下げて地下鉄を露出させたあとに、地下鉄下部に導坑を設け、仮受け杭を打設する方法が考えられる。この場合、地上作業(土留め・路面覆工など)に相当な期間を要するうえ、さらに仮受け工のために多大な時間を要してしまう。また、直列的な作業手順であるため個々の工程で多少の工夫が図れたとしても、全体として大きな進捗を図ることは難しい。

そこで、施工手順を、図-11,12に示すように、地上作業(土留め、路面覆工など)と並行して、道路外に築造した立坑から小断面の導坑によって駅直下部に到達し、仮受け杭の打設を先行して行う計画とした。こうすることで、地上から地下鉄下部まで順次地盤を掘下げてきたときには、仮受け工がすでに完了した状態になっており、大幅な工事進捗が期待できる。

こうして、本工事は都市部の道路交差点においてNATMによる6列の導坑が並列する前例のない工事となるが、補助工法を適切に選定し安全・確実な施工を心掛けていく所存である。

#### 4-4 地下水対策

今回の施工手順では、土留め壁の完了前に導坑の掘削を行うことになるが、当該地盤の砂層(Ks)は被圧地下水を有しているため、導坑掘削時の地下水対策が重要となる。そこで地下鉄の直下部以外の導坑に対しては、あらかじめ導坑を囲うように薬液注入(二重管ダブルパッカー工法)などによる遮水壁を設け、被圧地下水を遮断する計画とした。

一方、地下鉄直下部の導坑に対しては、地上から改良ができないため、一般的には水平方向の薬液注入に頼らざるを得ないが、当該地盤は砂層と泥岩層が細かく互層状態に存在しているため、水平薬液注入のみで確実な改良は難しい。とくに本工事では、下記に示すとおり、出水時に生じるリスクが非常に大きいため、地下水に対して万全な対策を取る必要がある。

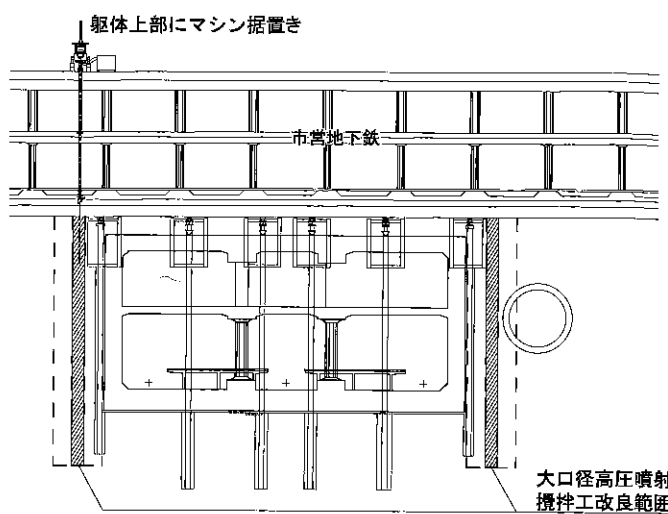


図-13 貫通地盤改良施工イメージ

- ① 狭隘な導坑のみで地下鉄下部にアクセスする計画であるため、異常出水時における作業員の安全確保に課題がある。
- ② 当該部の砂層は流砂現象を起こしやすく、出水とともに砂を引込むと即時的な沈下を招き、営業線や周辺構造物への影響が懸念される。
- ③ 地下水位の低下に伴い周辺に厚く堆積する沖積粘性土層の圧密沈下が懸念される。

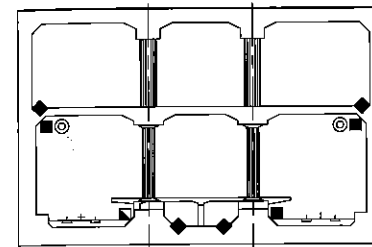
以上より、安全・確実な施工を行うためには鉛直方向からの改良が不可欠であると考え、地下鉄構内から躯体を貫通させ大口径の高圧噴射攪拌工による地盤改良を行うこととした。

貫通位置は、改良体どうしのラップ厚を最低1m確保することを条件に駅構内設備への支障を最小限とするよう配置した。施工は、営業線のき電が停止されている短時間に行う必要があるため、軌道内への機械搬出入など、準備、片付けに要する時間を可能な限り抑えられるように、マシンを躯体の上床版の上に据置き、駅を上床から下床まで貫通させ地盤改良を実施する計画とした(図-13)。

### 5 計測計画

#### 5-1 計測器の設置

施工時の地下鉄の挙動を適切に監視するため、駅構内に計測器を設置した。計測器は温度変化に



凡例

記号	計測器
■	開水路式鉛直変位計
▣	開水路式鉛直・水平変位計
◎	全方位傾斜計
◆	ひずみ計

図-14 計測器設置図

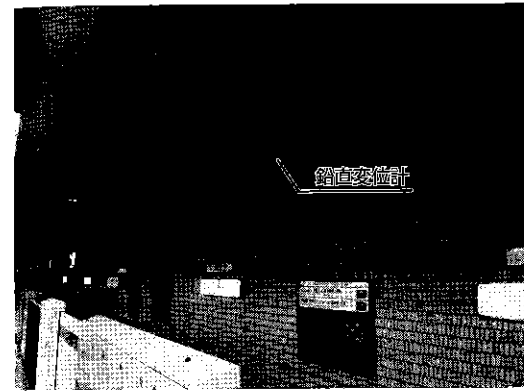


写真-2 計測器設置状況(側壁上部)

よる誤差が小さく、0.1mm精度で微小な変位を正確に測定できる、開水路式の変位計を使用することにした。

計測位置は図-14に示すように、側壁部とホーム下の計4側線(うち1側線は水平方向の変位も測定)とし、計測間隔は柱通りに合わせて6mピッチ、計測範囲は本工事による影響範囲と考えられる約80m間とした。また、躯体の変形や挙動を正確に把握するために、補助的に全方位傾斜計やひずみ計を設置した。

#### 5-2 管理値の設定

管理値は、「列車の走行安全性」と「地下鉄函体の健全性」の2つの視点から、おのおの設定し

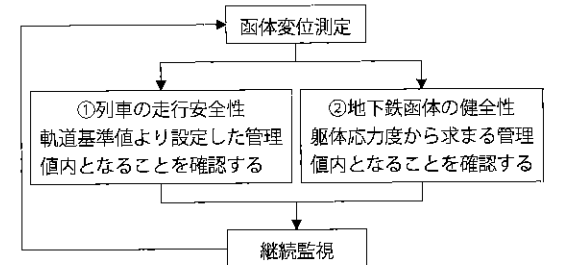


図-15 計測管理の全体フロー

た(図-15)。

「列車の走行安全性」は、横浜市交通局で定めている軌道整備基準より軌道の水準、高低、水平について限界変形量を算出し設定した。「地下鉄函体の健全性」は、縦断方向、横断方向の相対的な変形によって函体に生じる応力度を逆解析することで限界変形量を算出し、管理値を設定した。

#### 5-3 監視体制

早急な対応ができるように、管理値を超えた場合は自動的に施工業者および発注者の携帯電話に警報が届くようにしている。また、計測データはインターネット回線を通じ、施工業者と発注者の両者が常時監視できるシステムとした。

### 6 おわりに

本工事は、2013(平成25)年4月に第1期目工事を契約(請負人：鹿島・鉄建・不動テトラ・NB建設共同企業体)し、現在まで道路付属物処置や支障物の移設などを進め、今後、本格的に導坑掘削、アンダーピーニング工事へと着手していく予定である。新横浜都心部での大規模工事であり、技術的な課題も多いため、営業線の安全運行の確保はもちろんのこと、周辺地盤環境および地下水環境、騒音・振動対策、交通対策に十分に配慮し施工を進める必要があると考えている。

平素よりご協力いただいている委託者である鉄道・運輸機構をはじめ、関係者各位に心よりお礼申し上げますとともに、今後ともご指導とご協力をお願いしたい。

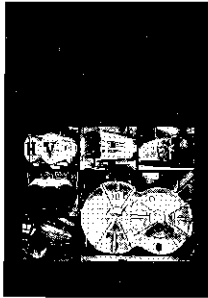
# 土木情報 No.505

今月の主な入札結果  
(5月10日～6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	新三国T改良その3	萬屋建設	161
"	H26忍排水樋管整備	岡田土建	158
近畿地整	大和御所道路新田東佐味T南	前田建設工業	2,855
"	八鹿日高道路青山T	りんかい日産建設	506.05
"	日高豊岡南道路水上T	鹿島建設	1,351.8
東日本高速道路	北陸道山王T内装板補修	松栄技研	174
中日本高速道路	新東名高速高取山T東	大林・鴻池JV	8,730
西日本高速道路	中国横断道奥小屋T他1T	五洋建設	3,230
都・下水道局	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その5-1	新井組	618
いわき市	内郷・湯本線(仮称)堀坂T新設	大豊・常磐・渡辺JV	1,836.97
水戸市	姫子1丁目都市下水路新設	株木・昭和・菅原JV	356
"	国補公下那珂川第1排水区枝線(1-2工区)	東洋・常磐JV	108
"	本庁舎駐車場下雨水貯留槽設置(とりおり)	菅原・田口JV	124
"	都第4号, 米沢町・元吉田町都市下水路新設	横田・酒井JV	121
神栖市	神契公告第11号, 27国補北公共埠頭1-1号, 雨水幹線整備第1工区(とりおり1)	常総・誠殖産JV	410
"	神契公告第12号, 27北公共埠頭1-1号, 雨水幹線整備第2工区(とりおり2)	大平建設	308
新座市	公下野火止中央第二幹線その12	西武建設	243.95
世田谷区	世田谷区成城四丁目付近枝線	高橋組興業	129.8
松本市	H27県第一雨水幹線新設その1	村瀬組	311.06

## 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 代表 鈴木 章  
B5判 285頁 本体価格4,660円 円350円



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

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

## 計 画

# 東京臨海部の大深度・高水圧下における シールドトンネルの設計

—東京下水道 芝浦・森ヶ崎水再生センター間連絡管—

日本下水道事業団東日本設計センター土木設計課長 **大塚 文昭**  
日本下水道事業団東日本設計センター土木設計課 **藤本 英悟**  
東京都下水道局建設部土木設計課長 **萩原 清志**  
東京都下水道局建設部土木設計課設計第三係長 **伊藤 博昭**

### 1 はじめに

東京都下水道局では、芝浦と森ヶ崎の両水再生センター間を連絡管で結び、水処理や汚泥処理の相互融通を図り、施設の再構築時に不足する水処

理能力の補完や災害時におけるバックアップ機能の確保を目的とした事業を進めている。連絡管の位置を図-1に示す。連絡管内は、図-2に示すとおり、送水管(φ1200mm×2条)、送泥管(φ600mm×1条)および光ファイバケーブルなどが敷設され、中央部は、維持管理スペースとして、台車などが通れる空間を確保する計画である。

この連絡管は、最大土かぶり約60m(施工深度



図-1 連絡管平面図

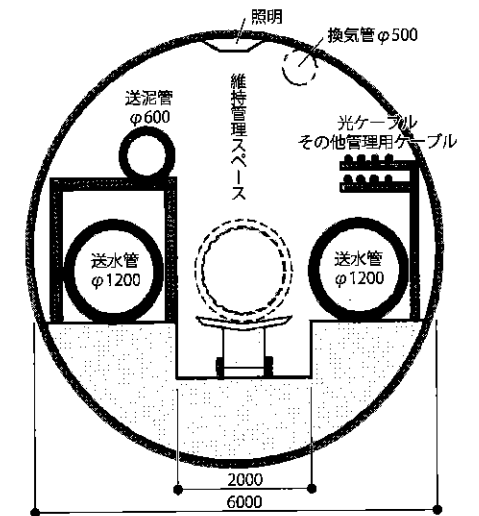


図-2 連絡管断面図

約70m)という「大深度・高水圧下」のもと、内径6,000mm、延長約8kmをシールドで構築する大規模事業である。途中の大井ふ頭中央海浜公園に両発進立坑を構築し、両センターに向け掘進する。このような深度での施工は、全国的に見ても事例が少なく、「大深度・高水圧下」における施工の安全性を十分確保することが重要である。そのため、設計における安全対策上の取組みや施工計画・安全管理の具体的方法を検討するため「工事施工検討会」を設置し、安全対策の取りまとめを進めている。

本稿では、この設計における安全対策上の取組みのうち、おもに、施工時荷重を考慮したセグメントの設計手法について報告する。

## 2 工事概要

今回の対象範囲は、全線8kmのうち、南側に位置する中間発進立坑から森ヶ崎水再生センター間の2.3kmである。

工事概要は、以下のとおりである。

### (1) 工事件名

芝浦水再生センター・森ヶ崎水再生センター間  
連絡管建設工事その2

### (2) 工事内容

泥水式シールド工法(中折れ式)

二次覆工省略型セグメント

仕上り内径：φ6,000mm

管路延長：約2,320m

土かぶり：48~59m

最小曲率半径：R=180m

### (3) 関連工事

発進立坑

内径：14.0m

深さ：71.8m

施工方法：ニューマチックケーソン工法

到達立坑

内径：14.0m

深さ：71.6m

施工方法：ニューマチックケーソン工法

トンネルと地下

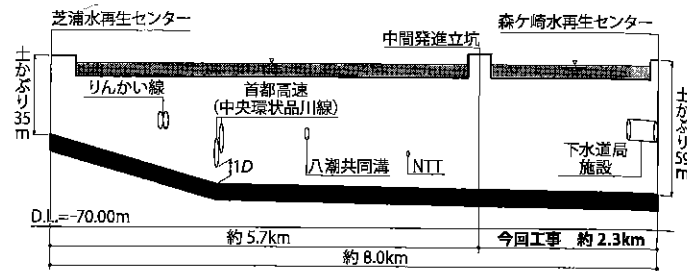


図-3 連絡管縦断面図

本工事においては、図-3に示すとおり、路線の途中に各種埋設物が存在し、とくに首都高速中央環状品川線からの離隔を1D確保する必要があるため土かぶりが最大で約60mとなる。

シールドが通過する箇所の土質は、全路線にわたりN値50以上の泥岩層、砂礫層である。このため、本工事では、別途、到達用ビットをカッターヘッドに格納しておき、到達時にこのビットを押し出すことが可能な構造とした。発進立坑と到達立坑の鏡切り部分は、シールドで直接掘削可能な材料(NOMST)を配置することとした。

さらに、地質調査の結果から、地下水溶存ガスが5%を超えるところが確認され、最大22%であった。このことから、シールドを防爆型とし、換気設備、ガス検知器などの設置を行った。

## 3 検討内容

### 3-1 セグメントの概要

セグメントの設計は、『トンネル標準示方書』および『シールド工事前標準セグメント』を基本とし、「大深度・高水圧下」の施工となることから施工時荷重を考慮した設計を行うこととした。

セグメント幅：直線部 1,200mm

曲線部 1,000mm

桁 高：300mm(桁高外径比：300/6,600=4.5%)

鉄筋のかぶりは、外側は標準かぶりの20mmとし、内側は、二次覆工を省略する場合の標準かぶりの25mmに100年分の中性化代21mmを加え46mmとした。

### 3-2 施工時荷重を考慮したセグメント設計

「大深度・高水圧下」でのシールド掘進時におけるセグメントの検討を行った事例として、中村

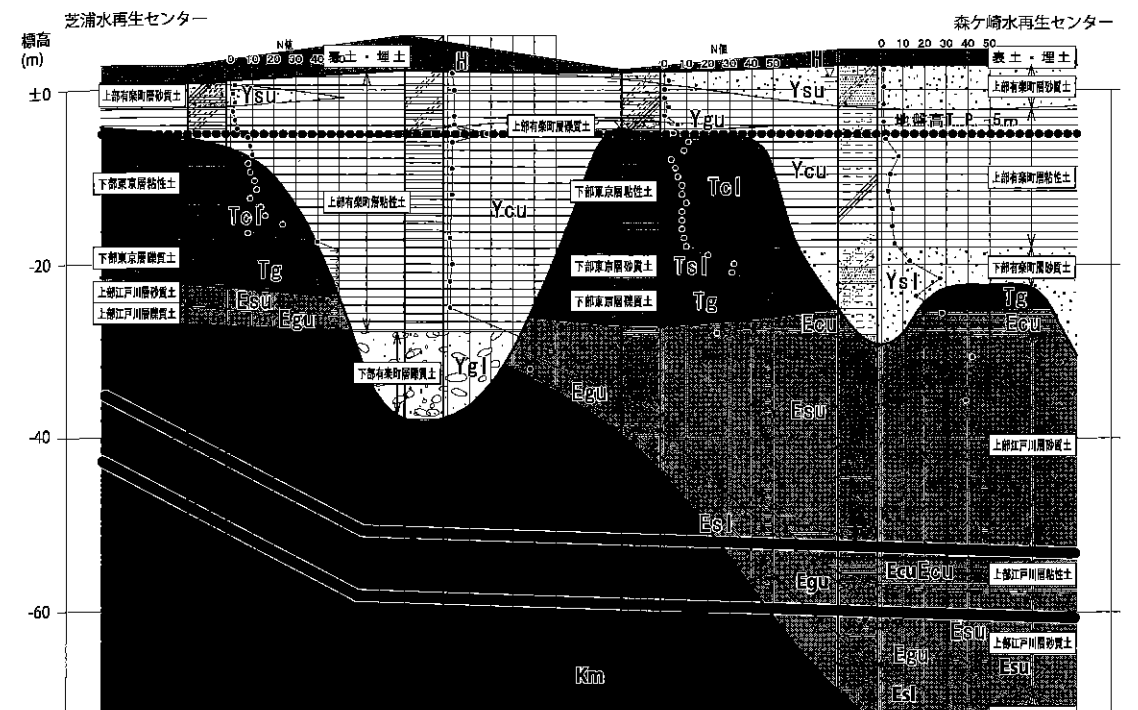


図-4 地盤状況

らの報告<sup>9)</sup>がある。これは、1999(平成11)年9月、東京都中野区において発生した、土かぶり54mの大深度シールド掘進時のコンクリート製セグメント損傷に関する報告である。本工事でも、この考えを採用し、施工時荷重を考慮したセグメントの検討を行うこととした。

通常、シールド施工時には、セグメントにジャッキ推力、テールグリス圧、テールブラシ圧、裏込め注入圧など、さまざまな荷重が作用する。セグメントの損傷は、ジャッキの高推力によるセグメントの変形、高水圧に対抗するテールグリス圧による偏圧などが複合的に起因して発生する。したがって、施工状況を考慮した設計を行い、万一の場合にも重大な事故につながらないよう安全性を確保する必要がある。

報告では、シールド施工時に発生するテールグリス圧に関し、弥生町幹線の実測結果などから新赤坂幹線のテールグリス圧を図-5のように設定した。

図-5を、本工事の施工時水圧650kPaに適用すると、テールグリス圧は下記のとおりとなる。

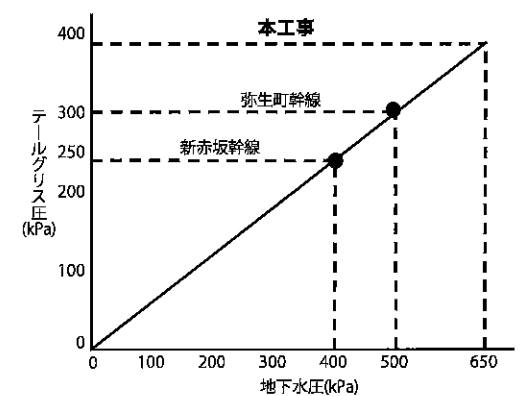


図-5 テールグリス圧算定

$$\begin{aligned} \text{テールグリス圧} &= 300 \times 650 / 500 \\ &= 390 \approx 400 \text{ kPa} \end{aligned}$$

これを施工時荷重として、3リング連続の梁ばねモデルで解析を行った。位置図および荷重条件は、図-6,7のとおりである。

1R目については、シールド内部にあるセグメントを想定し、シールド掘進の中でもっとも危険となる曲線部を通過する際に、セグメントが曲線外側に押され、水平方向のテールシール圧が上昇して作用するものとした。

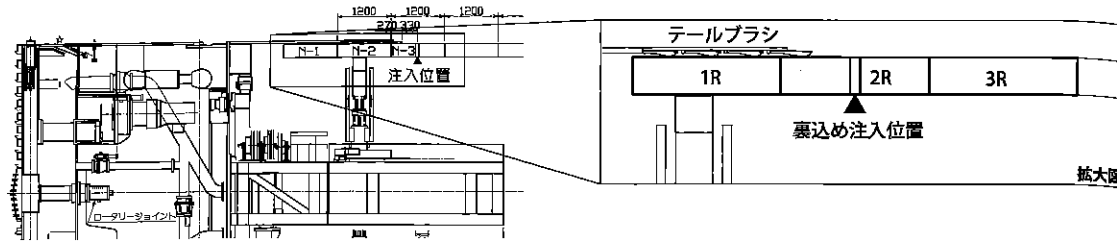


図-6 モデル位置図

設計基準強度 42N/mm <sup>2</sup>		荷重条件図
1 R	本体 ・水平三角90° テールシール圧400kPa ・水圧作用 ・セグメント幅B=1.2m ・地盤ばね値 自重時 5MN/m <sup>3</sup> 外荷重時 5MN/m <sup>3</sup>	テールシール圧 400kPa 
	セグメント継手 コーンコネクタD25型	
1-2 R間	リング継手 SP継手 M24(10.9)相当	
2 R	本体 ・上半円周90° 裏込め注入圧280kPa ・水圧作用 ・セグメント幅B=1.2m ・地盤ばね値 自重時 5MN/m <sup>3</sup> 外荷重時 5MN/m <sup>3</sup>	裏込め注入圧 280kPa 
	セグメント継手 コーンコネクタD25型	
2-3 R間	リング継手 SP継手 M24(10.9)相当	
3 R	本体 ・上半円周90° 緩み土圧 2D <sub>0</sub> 作用 ・水圧作用 ・セグメント幅B=1.2m ・地盤ばね値 自重時 5MN/m <sup>3</sup> 外荷重時 50MN/m <sup>3</sup>	土圧 
	セグメント継手 コーンコネクタD25型	

図-7 荷重条件

次に、2R目については、裏込め注入点にあるセグメントを想定し、荷重は、水圧相当と裏込め注入圧の管理値280kPaを上半90°から作用させた。3R目については、裏込め注入が終了し、外荷

重が作用している状態を想定した。荷重は、セグメントと地山が安定している状態として水圧と土圧を作用させた。なお、土圧については緩み土圧 2D<sub>0</sub>を作用させた。

また、本解析では、以下の影響については、安全側となることから考慮しないこととした。

また、本解析では、以下の影響については、安全側となることから考慮しないこととした。

- ・ジャッキ推力によるセグメントリングの拘束の影響
- ・3R目以降の外荷重が作用した既設リングの拘束の影響
- ・真円保持装置によるセグメントリングの変形抑制の影響

発生応力を表-1に、応力度果を表-2に示す。施工時荷重を考慮した計算の結果、コンクリートの圧縮および鉄筋の引張とも許容応力度以内に収まることから、当初設計におけるセグメント桁高により施工することとした。

3-3 施工管理  
本工事では、上記の検討結果と実際の施工との比較を行うために、テールグリスの元圧管理に加えて、図-8に示すとおりテールグリス部に近いシールド内部に圧力計を設置し、テールグリス圧の計測管理をより適切に行うこととした。また、裏込め注入圧に関しては、基準値以上の圧力がセグメントにかからないように注入圧と注入量を管理することとした。

3-3 施工管理

本工事では、上記の検討結果と実際の施工との比較を行うために、テールグリスの元圧管理に加えて、図-8に示すとおりテールグリス部に近いシールド内部に圧力計を設置し、テールグリス圧の計測管理をより適切に行うこととした。また、裏込め注入圧に関しては、基準値以上の圧力がセグメントにかからないように注入圧と注入量を管理することとした。

表-1 応力発生図

	リング1	リング2	リング3
モーメント (kNm)			
軸力 (kN)			
せん断力 (kN)			
変位 (mm)			
リング間せん断力 (kN)			

トの平面位置、縦断位置を自動計測し、組立て真円度も逐次計測して、継手部の止水性の向上、適正なクリアランスの確保、変形に伴うセグメントの偏圧を防止することとした。

3-4 その他の対策

これまで述べてきた施工時荷重を考慮したセグメントの検討に加え、本工事では、高水圧に対応するために、テールブラシを4段配置とし、最後

表-2 照査結果一覧

			断面力		応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		
1R	本体 ・水平三角90° テールシール圧400kPa ・水圧作用 ・セグメント幅B=1.2m ・地盤ばね値 自重時 5MN/m <sup>3</sup> 外荷重時 5MN/m <sup>3</sup>	正の曲げモーメントと軸力を受ける場合	コンクリート最大応力度	M+	105 (kNm/Ring)	$\sigma_c$	11
			鉄筋の最大応力度	N	2,625 (kN/Ring)	$\sigma_s$	-52
		負の曲げモーメントと軸力を受ける場合	コンクリート最大応力度	M-	-78 (kNm/Ring)	$\sigma_c$	11
	鉄筋の最大応力度		N	2,719 (kN/Ring)	$\sigma_s$	-48	
	せん断力最大点の場合		S	-165.49 (kN/Ring)	$\tau$	0.671	
	セグメント継手 コーンコネクタD25型	正の曲げモーメントと軸力を受ける場合	コンクリート最大応力度	M+	105 (kNm/Ring)	$\sigma_c$	12
鉄筋の最大応力度			N	2,627 (kN/Ring)	$\sigma_s$	-106	
負の曲げモーメントと軸力を受ける場合		コンクリート最大応力度	M-	-66 (kNm/Ring)	$\sigma_c$	11	
		鉄筋の最大応力度	N	2,581 (kN/Ring)	$\sigma_s$	-92	
2R	本体 ・上半円周90° 裏込め注入圧280kPa ・水圧作用 ・セグメント幅B=1.2m ・地盤ばね値 自重時 5MN/m <sup>3</sup> 外荷重時 5MN/m <sup>3</sup>	正の曲げモーメントと軸力を受ける場合	コンクリート最大応力度	M+	72 (kNm/Ring)	$\sigma_c$	11
			鉄筋の最大応力度	N	2,783 (kN/Ring)	$\sigma_s$	-62
		負の曲げモーメントと軸力を受ける場合	コンクリート最大応力度	M-	-98 (kNm/Ring)	$\sigma_c$	12
	鉄筋の最大応力度		N	2,708 (kN/Ring)	$\sigma_s$	-43	
	せん断力最大点の場合		S	-149.76 (kN/Ring)	$\tau$	0.607	
	セグメント継手 コーンコネクタD25型	正の曲げモーメントと軸力を受ける場合	コンクリート最大応力度	M+	54 (kNm/Ring)	$\sigma_c$	11
鉄筋の最大応力度			N	2,795 (kN/Ring)	$\sigma_s$	-106	
負の曲げモーメントと軸力を受ける場合		コンクリート最大応力度	M-	-60 (kNm/Ring)	$\sigma_c$	11	
		鉄筋の最大応力度	N	2,663 (kN/Ring)	$\sigma_s$	-94	
3R	本体 ・上半円周90° 縦み土圧2D <sub>v</sub> 作用 ・水圧作用 ・セグメント幅B=1.2m ・地盤ばね値 自重時 5MN/m <sup>3</sup> 外荷重時 50MN/m <sup>3</sup>	正の曲げモーメントと軸力を受ける場合	コンクリート最大応力度	M+	71 (kNm/Ring)	$\sigma_c$	10
			鉄筋の最大応力度	N	2,604 (kN/Ring)	$\sigma_s$	-58
		負の曲げモーメントと軸力を受ける場合	コンクリート最大応力度	M-	-59 (kNm/Ring)	$\sigma_c$	11
	鉄筋の最大応力度		N	2,942 (kN/Ring)	$\sigma_s$	-57	
	せん断力最大点の場合		S	67.97 (kN/Ring)	$\tau$	0.275	
	セグメント継手 コーンコネクタD25型	正の曲げモーメントと軸力を受ける場合	コンクリート最大応力度	M+	49 (kNm/Ring)	$\sigma_c$	10
鉄筋の最大応力度			N	2,642 (kN/Ring)	$\sigma_s$	-100	
負の曲げモーメントと軸力を受ける場合		コンクリート最大応力度	M-	-53 (kNm/Ring)	$\sigma_c$	12	
		鉄筋の最大応力度	N	2,921 (kN/Ring)	$\sigma_s$	-103	

段は、高水圧対応として耐久性・止水性に優れたウレコンシールを採用することで、テール部からの裏込め注入材や土砂を伴う地下水の流入を防止することとした。

また、発進部のエントランスパッキンは2段パッキンとし、切羽側のパッキンは、チューブを加圧

してセグメントに押付けることが可能な構造とし、立坑側は通常のパッキンとした。

到達後は、2つのパッキンの間にウレコン系の止水材を注入するとともに、坑口に止水板を溶接し、立坑側のパッキンと止水板の間を無収縮モルタルで止水する計画とした(図-9)。

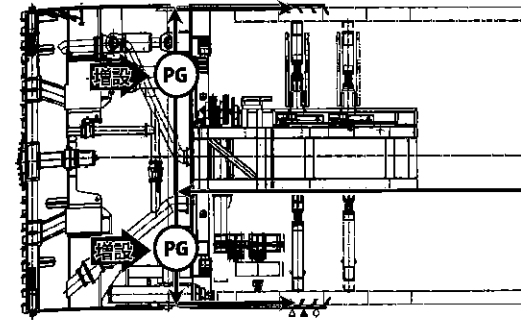


図-8 圧力計設置位置

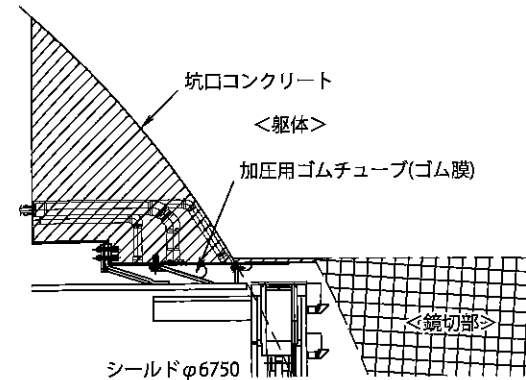


図-9 エントランスパッキン(掘進時)

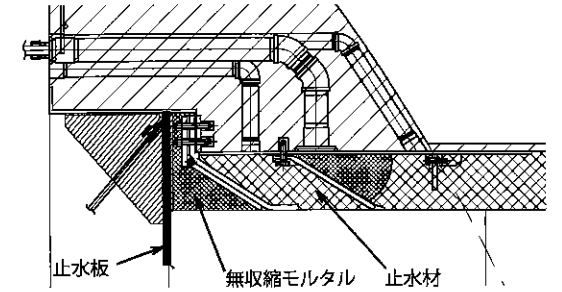


図-10 エントランスパッキン(到達後)

ルトトンネルの設計に際し、施工時荷重を考慮したセグメントの設計を中心に検討結果を報告した。今後、シールドの掘進を行うにあたっては、設計で検討した事項と施工中のデータの整合性をはかり、安全管理に十分配慮しながら掘進管理を行うこととなる。

本稿の内容が、今後増えるであろう「大深度・高水圧下」でのシールドトンネルの設計施工に携わる関係各位の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 中村益美・松浦将行・西小野清治：大深度の施工時荷重を考慮したセグメント設計，東京都下水道 新赤坂幹線，トンネルと地下，pp.45-51，2003.4.

4 ま と め

本稿では、「大深度・高水圧下」における、シー

多様化する  
シールド掘進技術  
B5判 141頁 本体価格2,500円

## 多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判 141頁 本体価格2,500円

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

# トンネルジャーナル

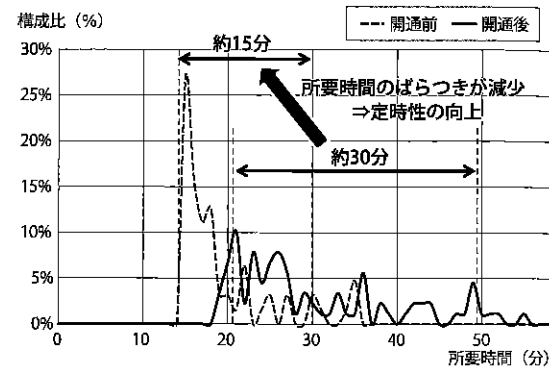
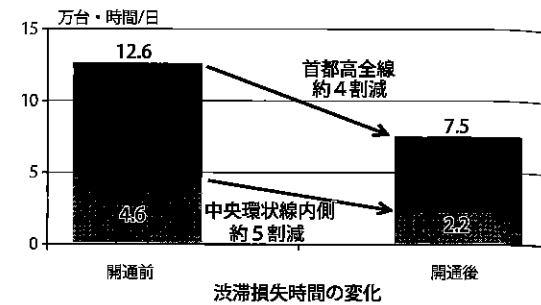
## 中央環状線品川線開通1か月 内側での渋滞損失時間が5割減少

首都高速道路と東京都は、ことし9月7日に開通した首都高速中央環状線(高速湾岸線～高速3号渋谷線)―中央環状品川線―の開通後1か月の利用状況を発表した。

これによると、中央環状線の全線開通により、都心に集中する交通の分散が図られており、前年と比較すると、都心環状線の交通量は約5%の減少にとどまっているが、渋滞損失時間でみると中央環状線内側で約5割、首都高速全線においても約4割減少した。また、混雑緩和に伴って所要時間のばらつきが減少し、定時性が向上した。例えば、首都高を利用して、新宿から羽田空港まで行く場合、所要時間のばらつきが30分あったものが15分に半減している。この効果により、羽田空港のリムジンバスでは、この4月のダイヤ改正から、混雑時の所要時間を最大15分短縮して設定するなど、定時性の向上にともなって利便性が大幅に向上している。

一般道路については、今回開通した区間と並行する山手通り、環七通りなどから中央環状線への交通転換が図られており、混雑している時間帯での所要時間に約1～3割の短縮が見られる。

国際標準コンテナ車(背高4.1m)は、東京港から東名・中央道方面へ向かうとき、都心環状線や山手通りの構造上の制約などにより、おもに環七通りや環八通りを利用していたが、中央環状線ではこれらの通行が可能であることから、環七通りで約15%減



新宿から羽田空港までの所要時間のばらつきの変化  
 『首都高速中央環状線(高速湾岸線～高速3号渋谷線)―中央環状品川線―』の開通後1か月の利用状況』pdfより

少するなどの効果がみられたほか、山手通りに並行する区道においても、大型車交通量が減少し、自転車走行の安全性向上なども図られている。

## アンダーパス技術協会 第10回定時総会開催

アンダーパス技術協会は去る6月1日にアルカディア市ヶ谷(東京)で定時総会を開催した。

冒頭、植村誠会長より毎年恒例の「元気で長生きの秘訣」が披露された。総会に先立ち、事務局より正会員1社の入会により、正会員48社、賛助会員9社、合計57社になった旨の報告があった。その後、平成26年度事業報告・決算報告、平成27年度事業計画・予算を審議し、満場一致で承認された。最後に事務局よりSFT工法による工事が堅実に受注できているとの報告があり閉会となった。

総会終了後には、第10回の節目としてNPO法人笑顔工場理事長で介護福祉士、漫談家のメイミ氏に



による記念講演が行われた。  
 写真は植村会長(左)とメイミ氏(右)。

# 第六十七回 語り継ぎ 言ひ継ぎ 行か

# 事の魅力 そして心構え

平島 清行  
 (元)鹿島建設(株)

## はじめに

私が鹿島建設に入社した1964(昭和39)年は、日本が高度成長期の真っ只中にあり東京オリンピック開催の年でもありました。東名高速道路や首都高速道路そして東海道新幹線などの開通整備に湧き、その後もNHKの『プロジェクトX』で取り上げられた「青函トンネル」や「本四連絡架橋」などに代表されるビッグプロジェクトが見えていました。仕事の環境は「3K(きつい、汚い、危険)」の代表のごとく蔑まれていたものの、われわれ土木屋には国土建設の未来に展がる夢のほうが大きく、それを乗り越えて行こうという活力に満ちていました。

入社後約2年間は管理部門で工事見積りや設計の助手的な仕事をし、その後は東京都内で約10年、そして栃木県で新幹線高架橋工事に約4年従事していました。1980(昭和55)年2月より「東京電力今市発電所新設工事(揚水式発電所

の地下空洞建設)」に従事することになりましたが、この工事が山岳トンネル工事にかかわる契機となり、その後、1996(平成8)年まで山岳トンネル工事とかかわってきました。

このコラムを執筆されてきた「この道一筋」の多くの先輩方のように、トンネルの多くを語るように、トンネルの多くを語る引出しを私は持ち合せていませんが、本稿では私が携わったトンネル工事のロボット化など、合理化の経緯を披露し、トンネル工事の難しさや魅力とともに心構えなど、感じていることを述べることにします。

## トンネル工事の 難しさ・魅力とは

山岳トンネル、とくに形成年代が比較的新しい地層の多い日本の場合は、その「地相」は岩種が同じでも場所によって異なるので、設計時に想定した岩盤区分と支保パターンが施工時にそのまま通用することはまれです。設計どおり



著者近影

著者略歴

- 1964年 鹿島建設(株)入社・土木部工務部員補課
- 1966年 日本道路公団中央高速道路調布インターチェンジ工事
- 1969年 鉄建公団武蔵野西線東村山隧道・新小平駅附近他工事
- 1971年 鉄建公団武蔵野南線生田ずい道他工事
- 1973年 東京都東村山浄水場施設増強工事
- 1974年 京王帝都電鉄新宿駅ターミナルビル新築工事
- 1976年 国鉄東北新幹線那須北BL他工事
- 1980年 東京電力今市発電所新設他工事
- 1984年 本社土木工務部トンネル課
- 1987年 台湾電力明潭抽蓄工程役務契約(台湾電力技術顧問)
- 1990年 国際事業本部土木部
- 1991年 北陸電力志賀原発1号機取・放水路海底トンネル工事  
鉄建公団北幹五里ヶ峯トンネル他工事(坂城工区)所長
- 1996年 関東支店栃木営業所所長
- 関東支店技師長
- 2001年 鹿島建設(株)定年退職  
(株)橋梁コンサルタント入社、現在同社顧問

のパターンが適用できるのは、トンネル全長の3割程度ではないかという印象を私は持っています。『隧道十訓』の「第1条 地相は人相、山の性状」にあるように、工事で出会うたび刻々変化する切羽の観察が肝要で、掘削しながら山との折合いをつけてその「地相」に似合う「支保パターン」を見つけていかないと。ここにトンネル工事の難しさと同時に、山と語らう喜びあるいは山との親近感という魅力があるのだと思います。

ですから、登山家と同じように次々に新しい山に挑戦したいという意欲に駆られるのでしょう。しかし決して山を征服してやろうと思っただけでなく、教を請うという心構えが肝要でしょう。

また、トンネルの発破掘削における余掘りの低減は永遠のテーマですが、日本のような変化に

富む地山では掘削作業のロボット化のみでそれをなし得るのはまだまだ難しいと思っています。

今流行りのAI(Artificial Intelligence: 人工知能)はチェスの名人や将棋の高段者にも勝てるほどに進化しましたが、明確なルールや範囲などに決まりがなく、千変万化の地山には支保パターンも含めて自在に対応できることにはならないでしょう。やはり、先人の知恵や自分の経験と知恵を総動員して謙虚にかつ地道に「山との折合いをつける方策」を練ることが大切かと思えます。

以下に私が取り組んだトンネル工事のロボット化など合理化の例と考察を述べたいと思います。

**東京電力今市発電所(揚水式発電所・地下空洞)新設工事における種々のロボット化**

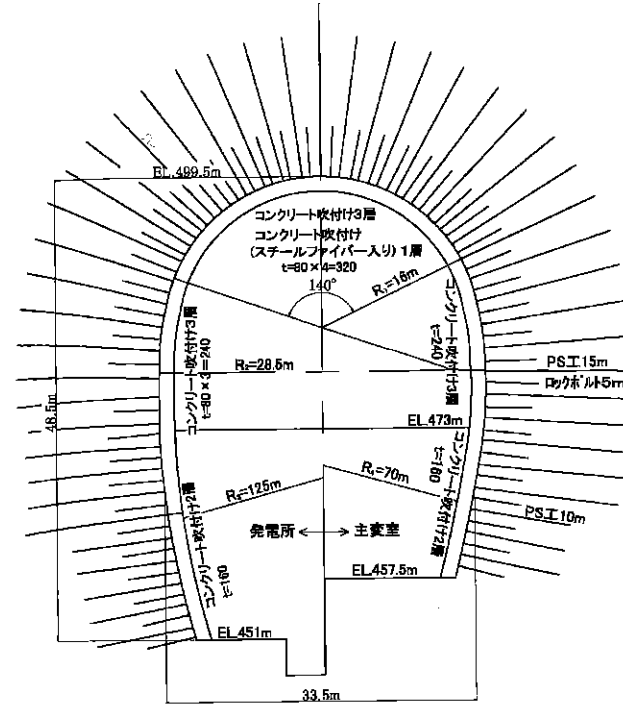
わが国の揚水式発電所用地下空

洞は、従来、覆工コンクリートで巻立てを行う「キノコ形」断面形状が採用されてきたが、当発電所空洞は土かぶりが大きく、従来の約2倍の高地圧が作用する。そこで力学的に安定度の高い形状とするため「タマゴ形(馬蹄形の方がふさわしいか)」の断面形状(B×H×L=33.5m×51m×160m)が採用され、PS(prestressed)ケーブル、ロックボルト、吹付けコンクリートで永久覆工を行う設計になっていた。

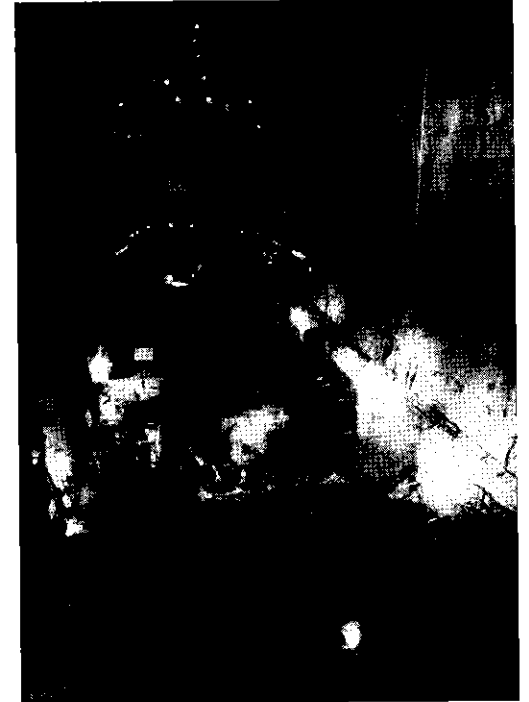
永久覆工としての品質保証体制確立にあたっては、とくに上向き的大量の支保を安全で確実かつ迅速に施工するためには主要施工機械のロボット化が必須と考えられ、以下に述べるロボット化に取り組んだ。

**■吹付けロボット**

天井アーチ吹付けコンクリートの設計厚さは32cm(8cm×4層で、



今市発電所掘削断面

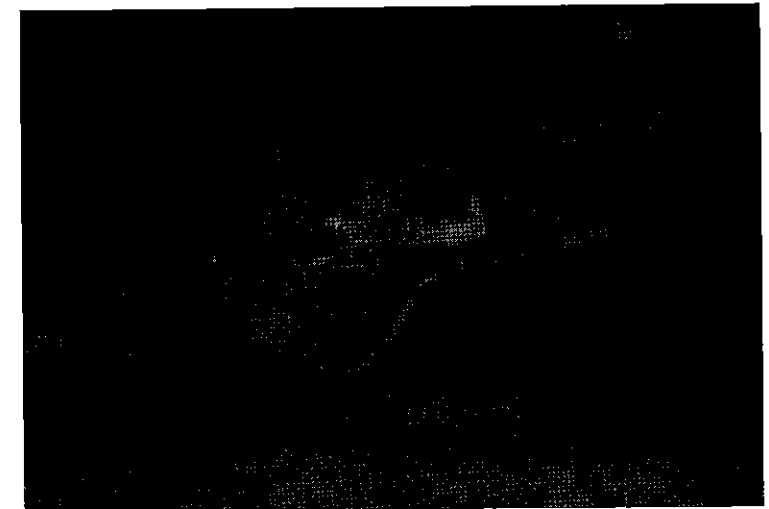


今市発電所掘削

1~3層目はブレンコンクリートで最内層の4層目は鋼繊維補強コンクリート(SFRC))になっていた。

日本にいわゆるNATMが本格的に導入されたのが1978(昭和53)年で、1980(昭和55)年当時はトンネルの一次覆工としての吹付けコンクリートについては確立された施工法がなく、いわゆる「乾式」が主流だった。その施工はできる限り「ハネ返り量」を少なくすることが主目的で、作業の一切はノズルマンに委ねられていた。

品質のばらつきを抑えるためには、まずノズルコントロールの条件を一定にする必要があると考え、油圧ショベルをベースマシンとして、この動きのロボット化を図った。その要点は、吹付け方式は従来から主流の「乾式」を採用し、



吹付けロボット

ノズル操作についてはマシンのオペレータがノズル位置を壁面に垂直にかつ距離を約1mに保つことの容易化とノズルのスライドとスイングの自動化であった。これにより任意の吹付け面に対するノズルの動きを一定条件下で制御可能

となった。また、コンクリートの強度に大きな影響のあるw/cの一定化を図るため、流量計を使用してノズルへの供給水量を制御した。このロボット化により、ブレンコンクリートの圧縮強度はパネルコア

で  $\sigma_{28} = 32.5\text{MPa}$ , 変動係数  $C_v = 10.5\%$ , また現場採取コアでも  $\sigma_{28} = 29.6\text{MPa}$  で  $C_v = 10.6\%$  となり, 目標値 ( $\sigma_{28} = 25\text{MPa}$ ,  $C_v = 20\%$ ) を上回る結果が得られた. ちなみにパネルコアと現場コアとの強度の相関係数は0.746であった.

このロボット化はその後のトンネル工事における吹付けコンクリート作業のロボット化推進の先駆けとなり, 今日の進化につながったこととして評価している.

■全自動油圧ジャンボ (AD : Auto-Drilling)

タマゴ形大空洞を吹付けコンクリートで永久覆工する仕様であるため, 滑らかな掘削壁面を得る目的で, 従来, オペレータの技量に頼っていた削孔作業の自動化を図った.

このADは, 作動基準位置にマシンを設置して自動削孔装置を起動させることで, あらかじめ記憶させていた削孔パターンに従って削孔終了まで全自動で行うものである.



全自動油圧ジャンボ

ADに期待したことは, とくに周辺孔の削孔精度であり, タマゴ形大空洞の安定という観点からできる限り壁面の凹凸を小さく仕上げることを意図していた. 結果として一定の効果はあったと評価できたが, このADではティーチング・プレイバック方式を採用しており, かつ記憶できるのは1パターンのみであったため, 地山の変化にきめ細かく機敏に対応するのは難しく, 空洞掘削当初のアーチ部掘削では必ずしも満足できる結果は得られなかった.

空洞掘削の高さが約25mに達した時点でアーチ部の一部に変状が生じたため, 掘削を中断して原因の調査と補修・補強を実施した. 主たる原因は空洞背面に存在した局所的なシーム群で, これによる応力集中および損傷と判断されたが, 掘削壁面の凹凸も少なからず影響したと思われる. その後の盤下げ掘削では, 掘削面を設計より少し内側に設定しておき, こそく時のプレーカ仕上げと吹付けコン

クリートの施工管理を強化して平滑な仕上り壁面形成に努めた.

ここでは, 性状が刻々変化する地山に対して, 平滑な掘削仕上りを削孔精度のみに期待するのは難しく, ジャンボのロボット化への限界を感じた.

■上向き削孔用油圧クローラドリルとピンチローラ式PSケーブル挿入機の開発

この発電所空洞では日本で初めて天井アーチ部に上向きに長さ15mのPSケーブルアンカーが採用されたため, 作業の安全性と施工効率向上を狙いとして「上向き削孔」と「ケーブル挿入」のロボット化を図った. これらのうち, とくにケーブル挿入機はユニークな発想が自慢であるが, その詳細は, 誌面の都合で割愛する.

これらの開発には厳しい時間制限の中で何度も試行錯誤を強いられたが, なんとか工事工程に影響なく実機として投入でき, 所期の目的を達成できた. ここでは機械の新規開発工程には想定外の初期トラブルがつきものであることを織込む必要があると痛感した.

北陸新幹線五里ヶ峯トンネル (坂城工区) 工事における 施工の合理化とロボット化

当工事は, 北陸新幹線高崎~長野間(117km)の一環となる「五里ヶ峯トンネル(全長15.2km)」を4工区に分割して施工する工事のうち, 起点側から2番目の工区で, 作業横坑(830m)を掘削後に本坑(当初4,000m, 最終的に4,150mに変更増)を2切羽同時に施工する

ものである. この新幹線は1998(平成10)年2月の長野冬季オリンピック開催までに開業することが大前提となっていた.

工事発注は1991(平成3)年12月ではあったが, この時点では地元協議が完了していなかったため, すぐに工事中止命令がなされ, 再着手指示は翌年の4月となった. それから超突貫で地元説明会, 坑口仮設用地借地交渉, 農地転用手続きと, 仮進入路造成を行い, 併せて仮設ヤード試掘の結果, 当初予定になかった埋蔵文化財の調査などまでをこなし, 仮設ヤードの造成と坑口仮設備を終えて横坑掘削開始に漕ぎつけたのは1992(平成4)年10月であった. この時点で, 全工事完了の予定工期1996(平成8)年5月まで残りの工事期間は約3.5年になっていた.

当初, 予定工期に間に合わせるには「本坑の掘削平均月進=150m/月」とする必要があったが, 機械の新規開発には時間がなく, 既存の機械の最適組合せでも至難と判断し, いくつかの設計変更の提案および協議(横坑の取付け位置変更が最重要課題)を重ねて以

下のような施工の合理化改善を行った.

■作業横坑の本坑取付け位置変更

当初設計は横坑取付け位置から起点側(上田方)に580mと終点側(長野方)に3,420mを施工する計画で, 2切羽同時施工するには距離のバランスが悪いものであった. これを横坑の坑口位置は変えずにかつ横坑長さもほぼ同一として本坑への取付け位置を, 当初設計より1,000m終点側にシフトする案を提案した. 種々議論の末, 本坑縦断勾配の限界を考慮して700mシフトで妥協した. これで2切羽の施工距離のバランスがかなり改善された.

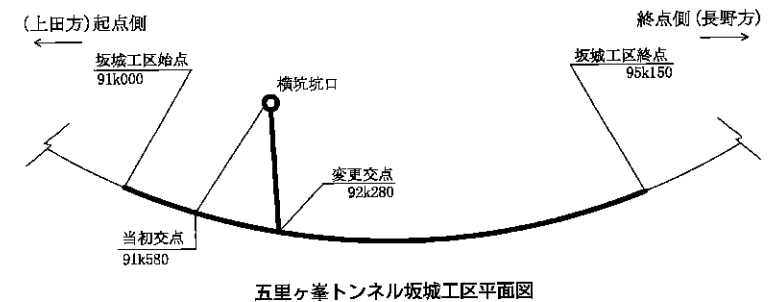
■作業横坑断面の拡大変更

本坑を2切羽同時に掘削する場合の十分な換気および, ずり運搬の効率化と安全運行を考慮して横

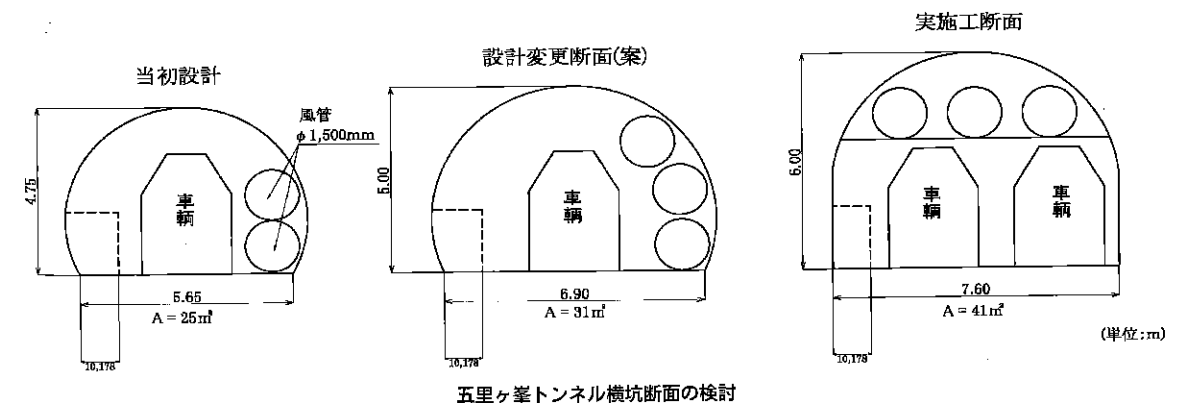
坑断面の拡大変更を提案した. 下図に示すように, 当初設計案の「150mごとに待避所を設ける1車線断面(25m<sup>2</sup>)」では換気のための長野方風管2本と上田方風管1本の設置が物理的に不可能であった. 承認された設計変更案は「150mごとに待避所を設ける1車線断面(31m<sup>2</sup>)」で, 図では風管3本は設置できるが, 車両運行効率と歩行者安全通路の安全性低下が懸念された. そこで, 横坑断面は本坑施工時のメリットが大きいと判断し, 2車線確保の実施工断面(41m<sup>2</sup>)を採用した.

■換気方式の改善

発注者の計画は換気計画①の図のような送気方式で, これでは必要な坑内環境が確保できないと判断し, 設計変更の提案をしたが認められなかった. そこで, 必要な



五里ヶ峯トンネル坂城工区平面図



五里ヶ峯トンネル横坑断面の検討

換気量を確保するために、JV施工計画原案として②のような「送・排気方式」を立案した。

しかし、この方式では、最長3,550m(横坑830m+本坑2,720m)の送排気経路になるため十分な換気量を確保できるか否かの疑問が残っていた。そのため、これと平行して③に示す「換気立坑設置+送・排気方式」も検討した。立坑位置は作業横坑接続点から180m

終点側に比較的土かぶりの小さい(約110m)沢部があり、ポーリングによる地質調査の結果、上部19mは深礎掘削で、それ以下はレイズボラで掘削可能と判断できた。

そこで、②と③の費用を比較した結果、「立坑設置・撤去費」と「ファン1台と電気料金および風管(φ1600)3,600mの材料費と維持補修費などの減額費用」がほぼ同額となったので、換気効率で有

利な③を採用し、立坑用地(林道近くの原野)の借地を行い実施した。

■ずり搬出方式の改善

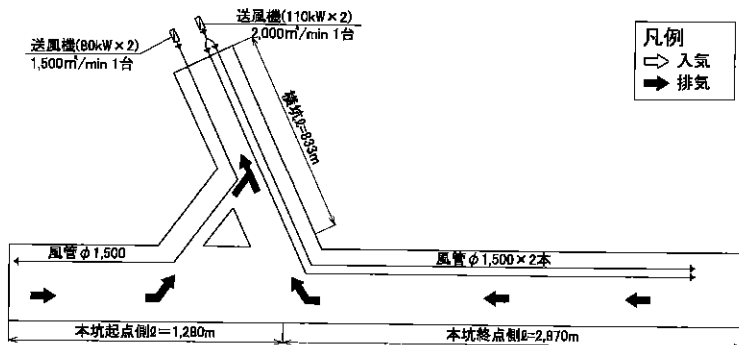
発注者の計画は「ホイールローダ+10tダンプトラックの組合せ」であったが、これを「ローディングショベル(3m³)+20tダンプトラックの組合せ」に変更した。これにより、掘削サイクルタイム短縮と使用ダンプ台数減による搬出時の安全性も向上できた。ちなみに、本坑長野方(L=2,870m)の掘削の最大月進は205m/月、平均月進は約130m/月であった。

■路盤コンクリート用フィニッシャの開発(ロボット化)

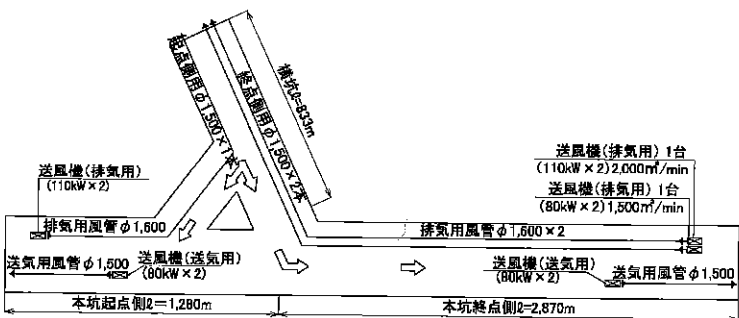
当工事区間の線形は中央付近に曲線部(R=4,000m, L=1,936m)とその両側に緩和曲線部(L=505m×2か所)がある。その部分の路盤鉄筋コンクリートにはカントが必要で、とくに緩和曲線部はカントが185(12.3%)~0mmまで連続的に変化する構造になっている。また、施工精度は「高さ±5mm」が要求されていた。

すべて直線あるいは、すべて一様な曲線の線形なら要求精度を満たす施工管理は難しくはないが、緩和曲線部で連続的に変化する横断勾配の施工管理は、従来的人力施工あるいは既存の路盤コンクリートフィニッシャでは困難とされたので、その解決のため新規にロボットを開発した。結果としては8人編成で平均130m/日(他工区の直線部での人力施工実績は12人編成で70m/日)で施工できた。

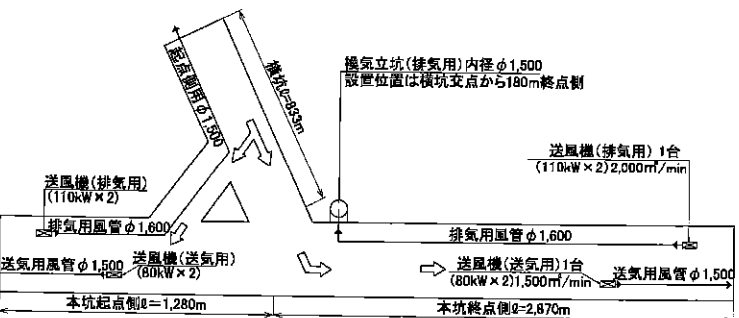
とくに高さの施工精度はコンク



換気計画① 送気方式



換気計画② 送排気方式



換気計画③ 換気立坑孔設置・送排気方式



ずり出し状況



路盤コンクリート用フィニッシャと打設状況

リートはつりによる手直しが数箇所済み、良好であった。このロボット化においても、試験施工による試行錯誤と実機として使用後も約30項目の初期トラブルの改善を余儀なくされ、実施工の後半でようやく目標とするパフォーマンスが得られた。

上記の合理化により工事は1997(平成7)年12月にほぼ完了、予定工期を約5か月短縮できた。現場運営の要諦は「人の和とヤル気の醸成および工程(進度)の管理」にあり、工程が順調なら、品質、コストおよび安全などのパフォーマンスも自ら向上すると私は思っている。

ロボット化など施工の合理化の意義

施工に携わる者はだれしも良いものを安く早くという思いで施工方法の検討を行う。しかし、それが設計変更を伴う場合は発注者の積算基準や面子もあって、仮に甲乙両方にとって良かれという思いの提案であっても少なからぬ抵抗にあって苦勞する場合が多い。もちろん快く理解してその実現に努



五里ヶ峯トンネル貫通直後の喜び

力してくれる人もいる。私はそういう意味では、そこで出会った発注者、JVの職員そして協力会社の職員から作業員に至るまで、周りの人には恵まれていたと実感している。

しかし、どんな場合でも強い思いがそれを実現し、一時的には費用が持ち出しになったとしても品質(Q)、コスト(C)、工程(D)および安全(S)のトータルで評価すれば満足できるパフォーマンスが得られるものである。

今市地下発電所の工事では途中から工事全般を指揮する主任技術

者となり、約4年半この工事に従事した。その中で作業のロボット化にあたっては、「地山の評価」とは直接かかわりのないものについては目的をひたすら追求し、それなりの効果が得られたが、「全自動油圧ジャンボ」のような「地山の評価」と連動するものはその効果を期待するのが難しいと感じた。

北陸新幹線五里ヶ峯トンネル工事ではJVの所長として種々の難問に遭遇したが、諦めずに真剣にもがき、あがいているうちに、あるとき、突然解決のヒントが閃くことがあるとわかったのが印象的

である。この工区は比較的町場に近く、工事中は騒音振動あるいは湧水対策など、気苦労の多いものであったが、トンネル全体として土かぶり小さいため地山の不安定化の懸念がつねにあり、毎朝切羽と対峙しながら「どう折合いをつけるか」、山との相談に明け暮れた感がある。

当初設計の支保パターンは、A(IV<sub>N</sub>直線部)、B(IV<sub>N</sub>曲線部)、C(IV<sub>N</sub>)およびD(土砂)の4パターンであったが、種々細かく対応して結果的には「E~Oまで11種類」の設計変更パターンが追加されることになった。これは、いたずらに設計変更増を図ったわけではなく、発注者との岩判定協議できめ細かくていねいな協議を行ったすえの結果である。

もともと山岳トンネル工事の従事経験が比較的少ない私にとって、力学的解明が難しい地山挙動を予想する「勘所」を掴むためには、毎日切羽と向き合って学ぶ姿勢が重要と考えていたので、当初は横坑坑口に掲げるスローガンを「山と語ろう」にしたいとも思っていた。しかし、やや不遜な考えかとも思われたので結局取止め、始点側切羽が1,000mに到達した

記念のテレフォンカードに「つちおとに夢を託して山と語ろう」という文言を入れてその思いを表現した。

### おわりに

昨今メディアで報じられる土木工事の事故に関するニュースを見聞きするたびに思うことは、これに携わる人たちの自然に対する謙虚な気持ちが薄れてきているのではないかということです。

トンネル工事に携わる者は、先人の知恵を噛みしめ、そのうえに自分の経験を重ねて、いわゆる「勘」あるいは「感性」を磨く努力が必要でしょう。難しい判断を必要とせず力学的に解明できることで省力化・合理化できるものはロボット化を進めればよいが、地山評価のような複雑な判断を伴う事柄についてはロボット化やマニュアル頼りで進めるのは危険で、「知恵」を養う必要があると思います。

最近の日経新聞電子版で、トヨタ自動車の工場が「ロボット作業の一部をあえて手作業に置き換えた」という記事を見ました。その狙いは「脱マニュアル化するなわち手作業による原理原則を再認識

(原理原則を理解しなければ知恵がでない)し、想定外にも対応できる技能向上」あるいは「今あるロボットの技術をさらに高めるには人の技能を高める必要がある。すなわち人はつねに機械を越えていなければ機械の進化が止まる」などのようです。

企業内訓練校であるトヨタ学園の学園長は次のようなことも述べています。「すべての技能が機械に落とし込めるわけではなく、手作業で残るものもある。将来的には使われなくなる技能かも知れないが、いざ使うとなった際に鍛えるのでは間に合わない。勤とコツを要する作業は少人数でもつないだ方がよい」、さらに「人材育成の基本は人に教えることではない。自分が蓄積したことを惜しみなく後輩に伝えるのは当然の話。自分が成長するかどうかを部下は見ている。できないという危機感を持ってどうするかが大事」とも言っています。

上記トヨタの例は、同様な感性が求められるトンネル技術の伝承についても示唆に富む話ではないでしょうか。先人の知恵『隧道十訓』などはその意味で味わい深いものと私は思います。

## 解説

# 開閉式点検扉による切羽障害物除去システムの開発と施工実例

## 1 はじめに

近年の推進技術の進歩は著しく、1 kmを超える長距離推進が行われ、長距離化に伴い曲線推進が不可欠となることから、掘進機の曲線造形や推進管列の曲線形成の新技术なども開発され、今日では長距離・曲線推進施工はあたりまえとなっている。しかし、長距離推進などを手かけると、想定外の地盤変化や障害物に遭遇する確率は高くなっていく。この問題は管径の大小を問わず推進工事の宿命的課題であり、この課題の対応なくして長距離推進の計画は無謀であると考えられる。

複合推進工法(以下「CMT工法」という)の原点は岩盤推進にある。岩盤推進は、岩盤の種類、強度によりビットの摩耗はさまざまである。しかも、岩盤も一般土質と同様に変化が著しく、ある位置のボーリング調査による岩強度が50MN/m<sup>2</sup>であっても、数m先の地点における岩強度が100 MN/m<sup>2</sup>となることはよくあり、ビット交換のできない機種での推進計画は不適となる。このことにより、開発当初より切羽状況の確認・ビット交換の可能な掘進機を基本構成として開発されたのがCMT工法である。

本稿では、本工法の特長を活かした切羽障害物撤去システムについての概要および施工実績などについて紹介する。

## 2 CMT工法の基本構成

本工法は、単一システムの工法ではなく、推進システム、排土システムなどを複合的に組合せ、

種々の施工条件に対応する複合したシステムを組合せたことが、CMT工法(Compound Mini Tunnel)の命名といわれている。その代表的なシステムは、次のようになっている(図-1)。

### 2-1 CMT岩盤推進システム

呼び径800の掘進機より、カッタを外周駆動とすることで、隔壁部(バルクヘッド)に「点検扉」を設置し、ビット交換が可能な構造としている。岩盤においても推進距離がビット寿命に左右されることはない(写真-1)。

### 2-2 CMT玉石・砂礫地盤推進システム

呼び径800より強力なカッタトルクを有し、玉石専用のローラビットで玉石・砂礫を破碎する(写真-2)。

### 2-3 CMT超軟弱・流砂地盤推進システム

掘進機の軽量化と機体の重心を機長のほぼ中心位置にすることで、軟弱地盤でもノーズダウンすることなく掘進できる。また、「モノスリット定位置停止システム」や「スリット自動開閉装置」などにより、土砂の取込み量を制御し、安定した掘進が行える(写真-3)。

### 2-4 CMT長距離推進システム(フローティングシステム)

フローティングシステムは、推進管外周の厚さ15mm程度のテールポイドに2液を混合して塑性状態に練った「緩み土圧抑制材(一次裏込め材ともいう)」を、掘進機および推進管注入孔から圧送充填し、緩み抑制材の膜を形成させて、この中を推進管がスライドする。緩み土圧抑制材の膜の外周は地山に粘着し、内周は推進管壁に粘着して前

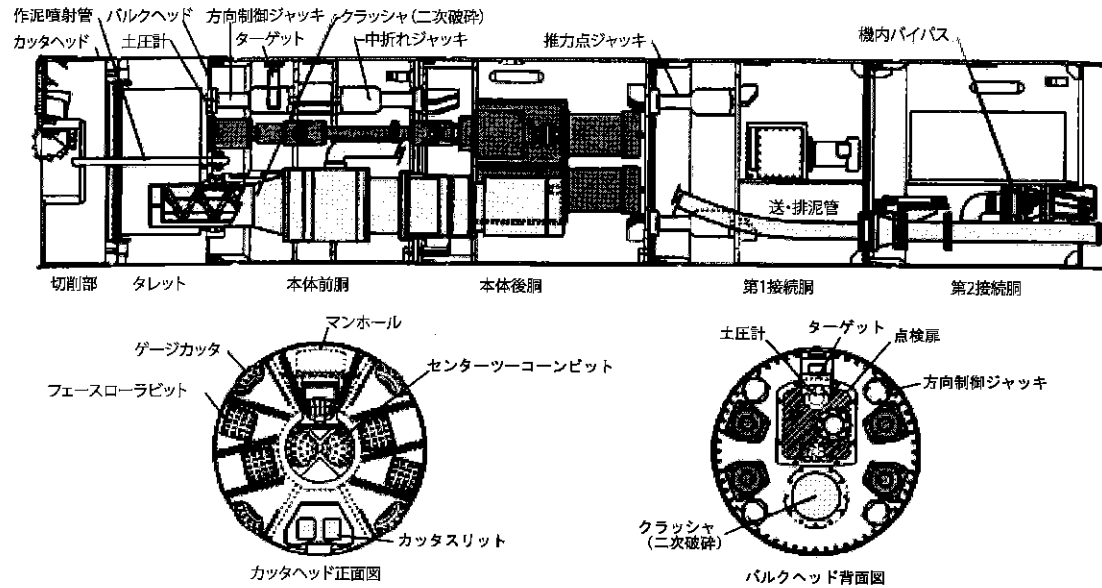


図-1 CMT複合掘進機概要図

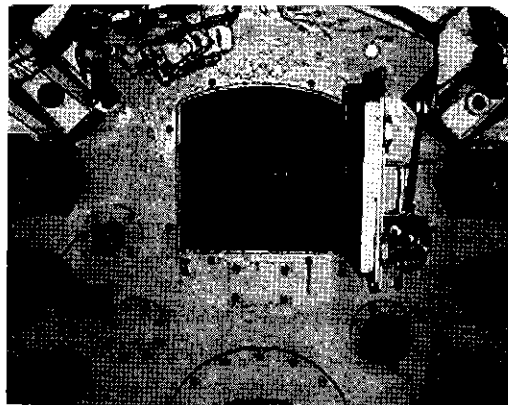


写真-1 点検扉の開放

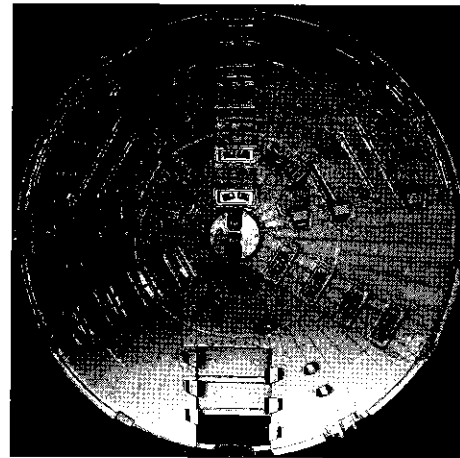


写真-3 モノスリット型切削ビット

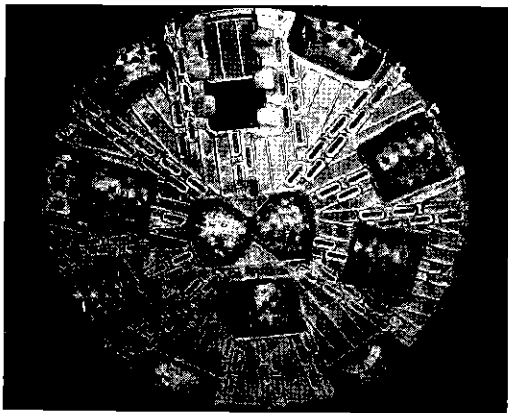


写真-2 到達後の掘進機面

進する。すなわち、緩み土圧抑制材は塑性材料の厚みの内部でずり変形を起こして変位する。このずり変形に対する抵抗力をずり抵抗と呼ぶ。

このように、フローティングシステムにおける推進抵抗は土質には無関係であり、ずり抵抗そのものである。ずり抵抗は速度の関数であるが、推進速度は遅く、無視できるほどに小さく、したがってずり抵抗の値は、緩み土圧抑制材の粘度のみの関数となる。

変形抵抗を推進抵抗とすることによって、緩み

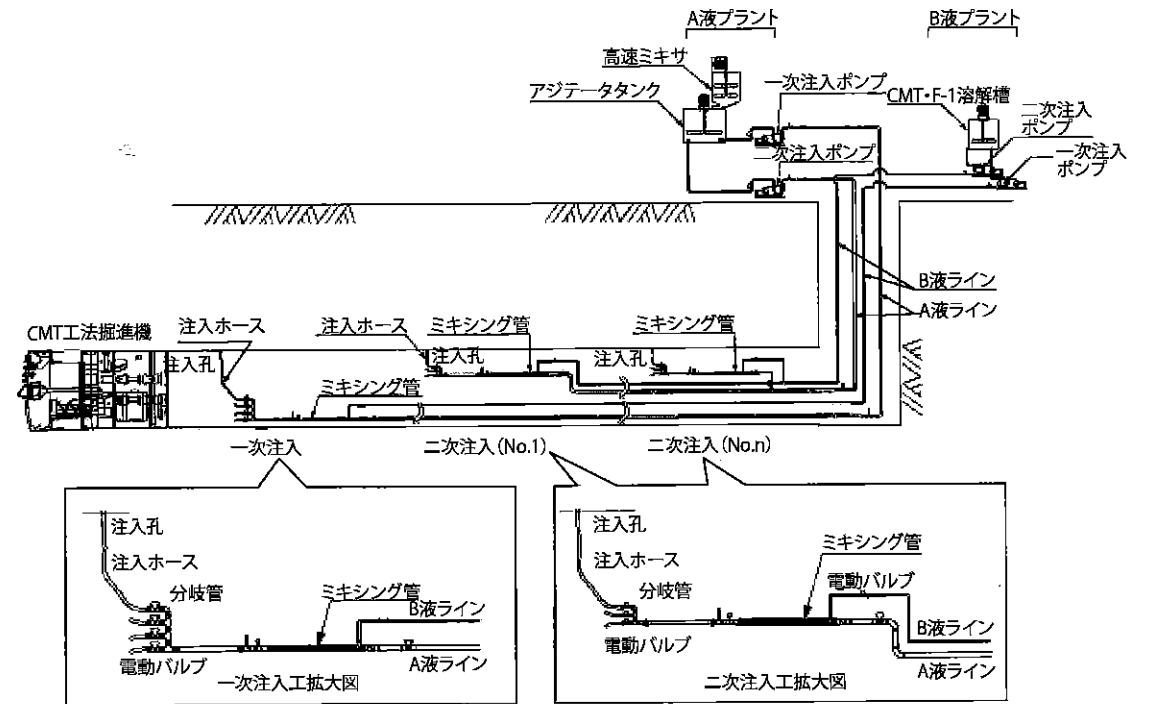


図-2 フローティングシステム図

土圧による推進抵抗を抑制し、大幅な推進低減と長期間のテールボイド保持を実現できる(図-2)。

### 2-5 CMT曲線推進システム

掘進機は、「掘進機中折れ装置」や「折れ角吸収装置」の採用によって、急曲線の推進施工が可能となる。「掘進機中折れ装置」の中折れジャッキは、曲線部の曲線造成を的確に行うために設置されるもので、掘進機の姿勢をつねに正しい方向に修正するための方向制御ジャッキとは別に設置されている。

また、CMT曲線推進システムで使用する曲線用推力伝達材である防腐合板(パルリング)は、平断面の幅を全幅とする近似的台形をしており、推進管の端面の曲率中心側の大きな端面面積が利用できる。

さらに、曲線推進中の推進管の端面が近似的台形の斜辺部分に当たり、目地開き角度が一定し、曲進管路の線形が安定する。このため、管端面の上下中央側の部分だけを利用する方法に比べて曲進伝達推進力のはるかに大きくとれ、長距離推進を可能とする(写真-4、図-3)。

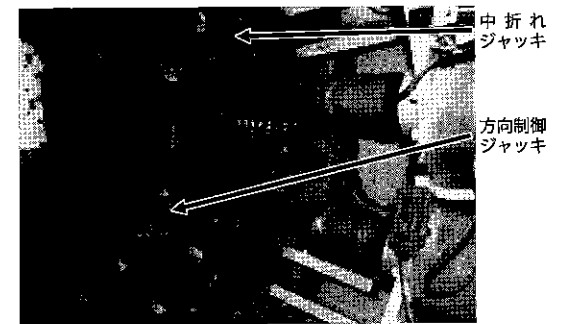


写真-4 掘進機中折れ装置

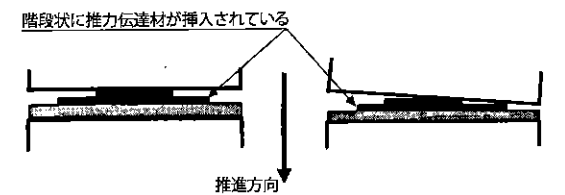


図-3 パルリング挿入模式図

### 2-6 CMT切羽障害物撤去システム

呼び径800より掘進機の隔壁部の中央部に大型の「点検扉」を設置し、切羽状況確認や障害物の目視確認など障害物の除去が可能である。

## CMT切羽障害物撤去システム

過去の岩盤掘進は、ビットの摩耗が発生し、交換せざるを得ないときには、その位置に立坑を構築し、ビットの交換が行われてきた。

この方法では、岩強度によっては頻繁なビット交換が必要となる場合、計画的な推進設計は困難となる。このため、CMT工法では、「いつでも」「どこでも」機内からのビット交換ができ、しかも呼び径800からでも対応できる掘進機の開発を行った。

本工法の特長は、隔壁に「点検扉」を設置したことにある。その「点検扉」を開閉する機構とすることにより、ビット交換が機内より可能となり、ビット交換のための立坑構築が不要となって計画的な推進設計が行える。その「点検扉」を利用して機内ビット交換と同じ要領で障害物の目視確認、除去が可能となる。

推進中に、切羽の異常(切羽監視センサ、掘削

表-1 事前検討および対応表

検討項目	対応	
	撤去可	撤去不可
障害物条件		
コンクリート構造物 <sup>※1</sup>	ローラビット型掘進機で通過	管を引抜き、曲線推進による回避を検討
PC, RC杭 <sup>※2</sup>	同上	同上
鋼材(H形鋼, 鋼矢板)	火気を使用し切断撤去	同上
流木, 木杭	外周にゲージカッタを装備した掘進機で通過	同上
地盤条件		
玉石砂礫層	ローラヘッド, モノスリット面板, 出現後ローラビットやスリットを取外し, 開口部を拡大	
砂質土, 粘性土	切削ビット, モノスリット面板型掘進機を使用し, 出現后面板を取外し開口部を拡大	
地下水圧0.08 MPa以下	気圧工法	
地下水圧0.08 MPaを超える	薬液注入工を主体に気圧工法併用	

※1: 原則として無筋構造が対象

※2: マルチ型掘進機で杭を破砕(鉄筋切断)が対象

(マルチ型: 切削ビット+ゲージカッタ)

音), 搬出残土に混入物など, 障害物遭遇の種々の情報をキャッチすれば, まず推進を中止し「点検扉」を開けてチャンパ内から切羽の状況を直接目視する。このことにより現状を正確に把握することができ, 最適な判断と対応がとれるのである。

### 3-1 障害物への対応

推進工における障害物の遭遇には, 予測される場合と不意に切羽に出現するものがある。この障害物への検討, 対応は基本的には同様だが, それぞれの留意点について以下に説明する。

#### 3-1-1 予測障害物

##### (1) 事前検討と対応

事前検討には, 障害物自体に対するものと, 地盤条件に対するものが検討される。その対応については撤去可能なものと, 障害物の状況に応じて撤去不可能なものに対応が分かれる。障害物の撤去には, 管理者による構造物などの目視確認と協議が必要となる。詳細は, 表-1のとおりである。

##### (2) 面板の対応

障害物を撤去するためには, 開口部の面板を拡大する必要があり, 各種面板の対応が事前検討さ

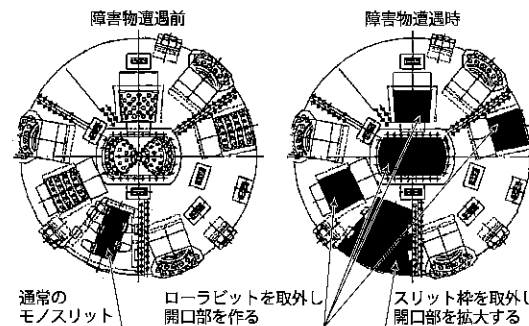


図-4 ローラ型面板

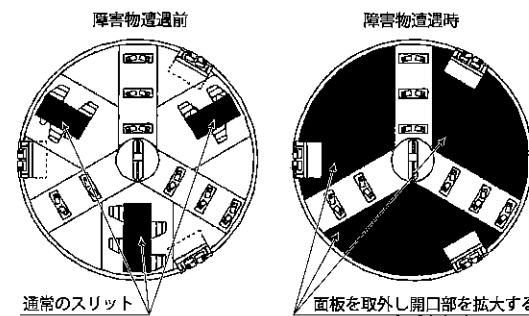


図-5 切削型面板

れる。土質条件によって, 地盤が軟弱な場合は開口部を最小限にすることにより, 安全性を確保した慎重な対応が行われる。各種面板の基本的な対応策を図-4, 5に示す。

#### 3-1-2 不測障害物

不測の障害物に遭遇した場合に, どのような対応がとれるかが, その工法の真価が問われるところである。近年は, 基礎杭, 上下水道管路, 通信線など種々の埋設物との遭遇があり, 対象障害物の種類や状況を目視で確認することが非常に重要である。CMT工法では隔壁部に「点検扉」を有しており, それを開口することによって切羽でその障害物が何であるかを確認でき, 最適な対応処置がとれるのである。対処方法は, 事前検討と同じ

表-2 検討項目

検討項目	対応	
	撤去可	撤去不可
コンクリート構造物	通過する。殻, 鋼線が絡み障害になった場合, 点検口より撤去	管を引抜き, 曲線推進による回避を検討
障害物条件		
PC, RC杭	同上	同上
鋼材(H形鋼, 鋼矢板)	ビットを取外し, 開口部を極力確保し, 火気を使用し切断撤去	同上
流木, 木杭	通過し木くずがスリット閉塞などの障害になった場合は点検口より撤去	同上

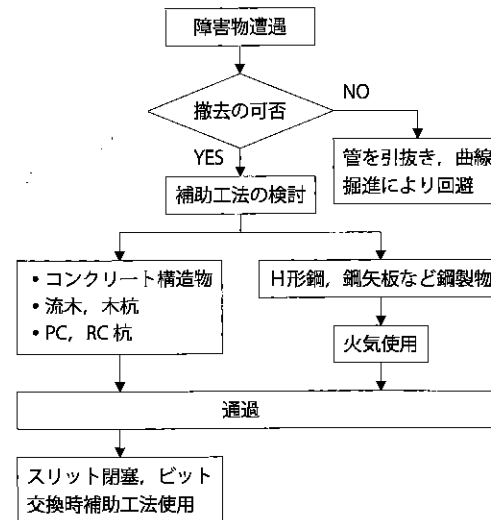


図-6 検討フロー

であるが, 事前に面板の対応が考慮されていない。

したがって, 不測障害物の対応策としては, 掘進機面板の開口部が拡大できるように, 取外し可能なマンホール板を複数箇所を設置して, 撤去作業が行いやすい面板機構としている(表-2, 図-6)

### 3-2 補助工法

本工法において, 管中心位置で地下水圧が0.08 MPa以下の場合には, 圧気工法を採用している。それ以上の地下水圧がある場合は, 薬液注入工による地盤および透水係数の改良を主体として実施し, より安全性を確保するために圧気工法を併用している。薬液注入工は, 地上からの鉛直注入だけでなく, 水平注入となる管内注入方式も検討する。

圧気設備は, 作業性・安全性の向上を考慮して独自に開発された推研式のプロアユニットおよびロックユニットにより, 短時間で効率良く圧気設備の設置および解体が行える機構となっている(写真-5, 6)

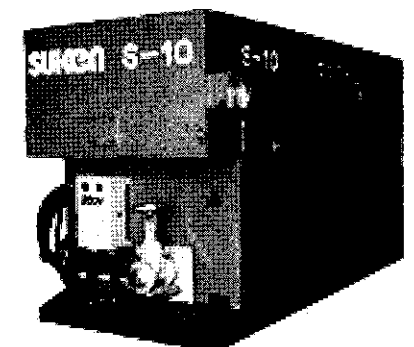


写真-5 プロアユニット

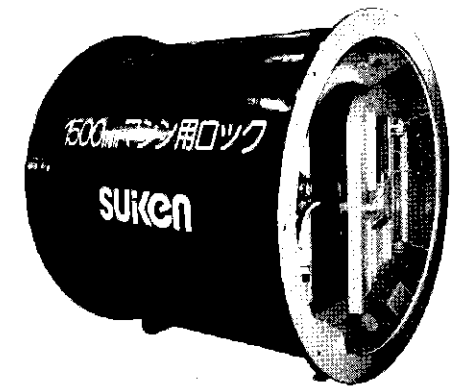


写真-6 ロックユニット

### 4 施工実績

ここでは本工法により施工した数件の予測障害物と不測障害物対象工事について紹介する。

#### 4-1 予測障害物対象工事

##### 4-1-1 予測障害物1(流木, 木杭)

本工事の予測障害物は、推進路線に流木、木杭が出現することが想定された施工事例である。木杭は、推進管の上部に埋設されている既設管渠の基礎杭とのことであった。

##### (1) 工事概要(図-7)

発注者：いわき市

工事名：公共下水道平汚水専用幹線築造工事

施工年度：2008(平成20)年度

呼び径：φ1,100mm

推進延長：L=720m

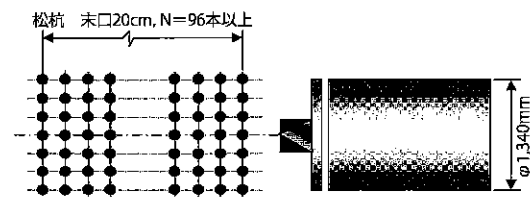
土かぶり：H=9.91m(平均)

土質：砂層

補助工法：圧気工法

##### (2) 施工方法

土質条件が地下水の多い砂層のため、切羽部の土砂が必要以上にチャンバ内に流れ込まないように、掘進機の先端にはモノスリットを装備した面



■木杭打設時の正確な資料がなく、切羽に出現した想定図である。

図-7 木杭想定模式図

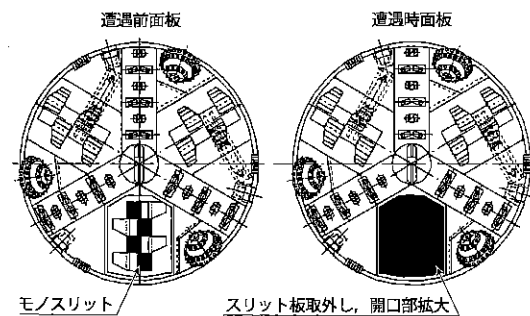


図-8 面板対応図

板が設置された。モノスリット部には、流木や木杭の切削が効率良く行えるように左右に切削ビットが装備された。切削した木杭などの木くずでモノスリット部が閉塞した場合には、開口部を拡大して閉塞の解除が容易に行えるように、モノスリッ

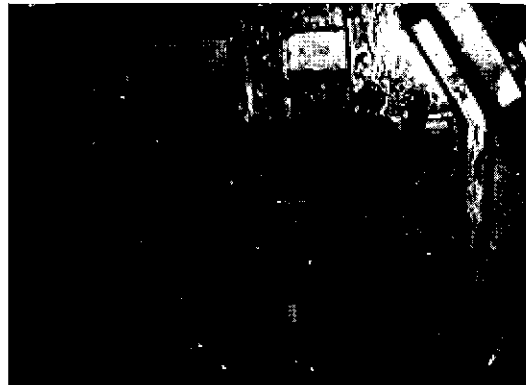


写真-7 木杭スリット閉塞状況



写真-8 マンホール板撤去状況

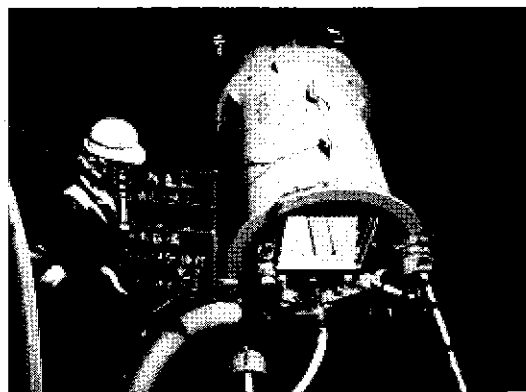


写真-9 圧気用ロックユニット設置状況

トはモノスリット兼用マンホール板に固定された構造とした(図-8)。

##### (3) 施工結果

予測障害物である最初の木杭は、当初想定したとおり推進管87本目(約210m)より出現した。木杭は、モノスリット部に装備された切削ビットにより細かく切削され、モノスリットからチャンバ内に取り込まれた。

推進中に切削された木くずの繊維が切削ビットに絡み付いて切削効率が悪化したり、掘削土砂に比べて木くず量が多くなると木くずが絡み付いて大きな玉状となって、モノスリットの開口部を閉塞する。このときは、いったん推進施工を停止して補助工法である圧気工法などを用いて切羽部の安定を図り、目視で障害物の状況確認を行ったのち、スリット兼用マンホール板を取外し、開口部を拡大して、木くずの撤去を効率良く行った(写真-7~9)

##### 4-1-2 予測障害物2(H形鋼)

本工事の予測障害物は、神戸市内における地下鉄築造時の土留め親杭で、H-300×300のH形鋼が9本残置されていた施工事例である。

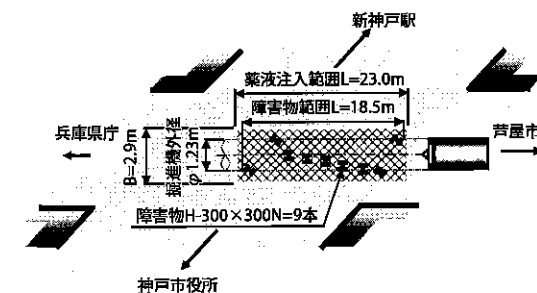


図-9 加納町交差点模式図

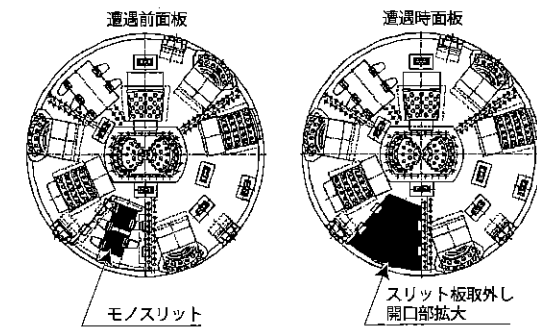


図-10 面板対応図

##### (1) 工事概要(図-9)

発注者：神戸市水道局

工事名：中央(加納町他)中層連絡管新設工事

施工年度：2009(平成21)年度

呼び径：φ1,000mm

推進延長：L=250m

土かぶり：H=3.99m(平均)



写真-10 H形鋼切断中



写真-11 H形鋼切断完了



写真-12 切断片立会い

土質：玉石砂層  
補助工法：薬液注入工+圧気工法

(2) 施工方法

地下水の多い玉石砂層のため、障害物に遭遇するまでは、切羽部の砂が必要以上にチャンバ内に流れ込まないように、モノスリット工法が採用された。遭遇時には機内よりスリット兼用マンホール板を取外し、開口部を拡大する施工方法が採用された(図-10)。

(3) 施工結果

予測障害物である最初のH形鋼に遭遇すると、いったん推進施工を停止して薬液注入工や圧気工法などの補助工法を実施し、切羽の安全を確認してから障害物の確認を目視で行った。発注者立会いのもと、H形鋼の状況確認を済ませて、火気切断によって効率良く障害物の切断・撤去が行われた(写真-10~12)。

4-2 不測障害物対象工事

4-2-1 不測障害物1(不明金属物)

本工事は、玉石砂礫地盤での推進施工で、計画時には推進路線に障害物の出現はないと想定され

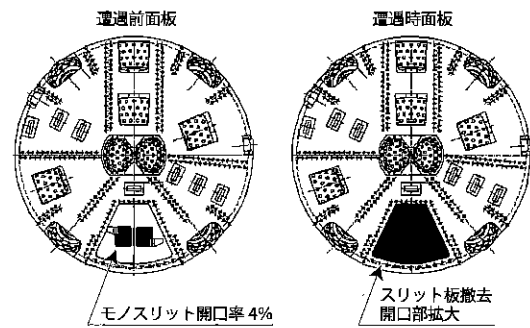


図-11 面板対応図



写真-13 不明金属物

た施工事例である。

(1) 工事概要

発注者：美濃加茂市  
工事名：本郷雨水幹線築造工事(第6工区)  
施工年度：2009(平成21)年度  
呼び径：φ1,200mm  
推進延長：L=249.0m



写真-14 破碎された鉄片



写真-15 ゲージカッタチップの破損状況



写真-16 交換したゲージカッタの状況

土かぶり：H=5.38m(平均)

土質：玉石砂礫層  
補助工法：圧気工法

(2) 施工方法

地下水の多い玉石砂礫層のため、切羽部の砂や礫砂が必要以上にチャンバ内に流れ込まないように、モノスリット工法が採用された。機内より開口部を拡大できるようにスリット兼用マンホール板を設置した面板が採用された(図-11)。

(3) 施工結果

発進直後に、クラッシャに異常が発生し、掘削土より鉄片が搬出された。このため、推進施工を中止して圧気工法による補助工法を実施し、切羽の安全を確認してからクラッシャおよび障害物の確認を行った。チャンバ内には、円筒上の不明金属物とその金属を破碎した鉄片が見つかった。

この不明金属物により、クラッシャの破碎翼の破損と、面板に装備した一部のゲージカッタのチップが破損していることが確認された。このため、切羽部およびチャンバ内の金属物および鉄片を撤去し、破損したクラッシャと一部のゲージカッタを機内より交換した。その後、推進施工を再開し、無事、推進施工を完成させた(写真-13~16)。

4-2-2 不測障害物2(H形鋼)

本工事は、大阪市北区の繁華街を約347m直進し、新御堂筋線の手前からR=28mの急曲線で右に迂回してから新御堂筋線下を約126m直進して到達するという厳しい環境下での長距離・急曲線推進事例である。当初、推進路線を横断する電気、ガスなどのパイプライン部分には、管路敷設時に構築した土留め材が残置されている可能性がある

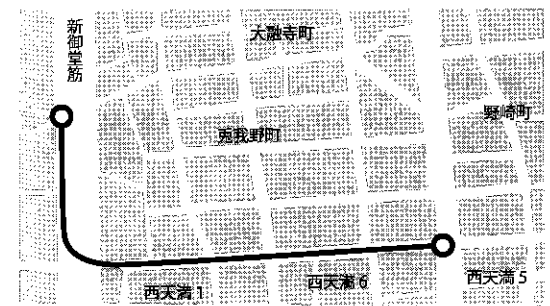


図-12 推進路線図

との予測であった。

(1) 工事概要(図-12)

発注者：大阪市  
工事名：兎我野町~西天満幹線下水管渠築造工事

施工年度：2012(平成24)年度

呼び径：φ1,500mm

推進延長：L=536.036m

土かぶり：H=4.20m(平均)

土質：砂質土

補助工法：薬液注入工+圧気工法

(2) 施工方法

万一の障害物の出現に対処するために、掘進機面板の開口部が拡大できるように、取外し可能なマンホール板を複数箇所を設置した(図-13)。

(3) 施工結果

予測障害物である土留め材の残置は、想定され

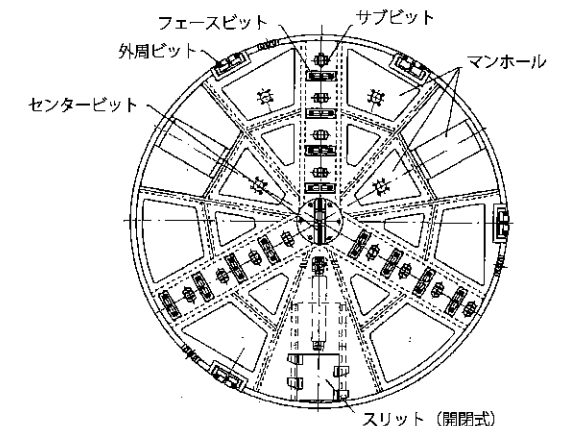


図-13 面板対応図



写真-17 不測障害物確認



写真-18 不測障害物切断状況

た箇所から出現することはなかった。推進施工はR=28mの急曲線推進も高精度で通過して新御堂筋線下に入り、本工事は障害物に遭遇することもなく無事完成するものと思われていた。

しかし、残り30m地点において不測の障害物であるH-300×300に遭遇した。推進施工を停止して薬液注入工や圧気工法などの補助工法を実施し、切羽の安全を確認してから障害物(H形鋼)を目視で確認した。発注者立会いのもと、火気切断によって効率良く障害物の切断・撤去を行い、困難が想定された長距離・急曲線推進施工を完成させた(写真-17~19)。

## 5 おわりに

推進技術者にとって、推進施工中に障害物に遭遇することは厳しい状況下に追込まれることになる。あらかじめ障害物の位置や内容が予測できる場合には、事前検討が行えることから、その対応はかなり可能となるが、障害物が想定されていない不意の状況ではなんの準備もされておらず、通常の密閉型掘進機では対応はできず、地上からの立坑構築などによる対処ができないと立往生することとなる。

また、障害物の確認は非常に重要で、当初想定されたものと相違する場合には、その障害物などの内容確認と新たな撤去方法などの協議が必要と

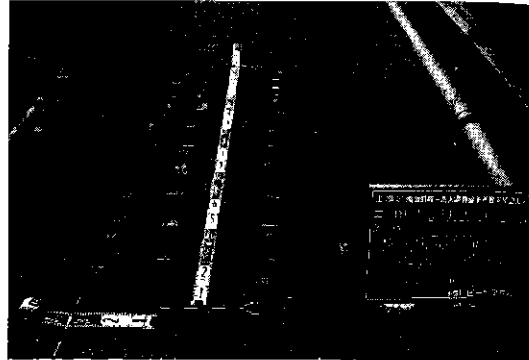


写真-19 切断片立会い

なってくる。通常の掘進機では障害物の目視による内容確認はできず、確認をしないまま切削・破碎が行われているのが現状である。障害物が管理図に記載のない使用中のパイプラインなどの場合には、大惨事へと発展する可能性を含んでいる。

CMT工法は、呼び径800の掘進機から隔壁部に「点検扉」を有しており、「点検扉」を開けて障害物の内容や位置確認が目視で確実に行え、その障害物の処置を最適な方法で講じることが可能となっている。

CMT工法は、岩盤・玉石推進などを主体とした推進総延長が約149kmで、途中で立往生することなく、すべての工事を完成させている。切羽障害物除去対応の工事も、すでに51件を無事故・無災害で良好な実績をあげ、高い評価をいただいている。

今後も、本工法の技術研鑽に努め、微力であるがライフライン整備事業の普及発展に貢献していきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 蒲田洋：CMT工法における障害物への対応，月間推進技術，VoL.22，No.3，2008.3.
- 2) 森本正敬：自由にビット交換ができるCMT工法による障害物対応，月間推進技術，VoL.25，No.9，2011.

## 研究

# 球面切羽の全断面工法適用性に関する実証的研究

北海道開発局帯広開発建設部道路計画課道路計画専門官 佐藤 隆

清水建設(株)北海道支店土木部工事長 雨宮 隆

清水建設(株)土木技術本部地下空間統括部担当部長 橋本 隆

東京都立大学名誉教授 今野 隆

## 1 はじめに

山岳トンネルの力学的安定確保における球面切羽と全断面工法の合理性などが報告<sup>1)</sup>され、球面切羽による全断面工法機械掘削による一掘進長延伸試験施工が行われている<sup>2)</sup>。その後、球面切羽による全断面工法爆破掘削が試行され、この方法に関する基本データが報告<sup>3)</sup>されている。

本研究では、これらの成果をもとにして、地山等級CIIにおける球面切羽による全断面工法爆破掘削の一掘進長延伸試験施工を計画、実施し、球面切羽形状や発破パターン、一掘進長などがトンネルや切羽の力学的安定性、トンネル変形挙動、施工性やサイクルタイムなどに及ぼす影響、効果を分析、評価し、技術課題の顕在化とともに有効性を明らかにし、この方法の適用性が高いことを実証した。

## 2 試験施工概要

一掘進長延伸試験施工は、一般国道336号広尾町新宝浜トンネルのSP=65,553.0~65,853.0の延長300m間で実施した。地質は、花崗閃緑岩を主体とし、硬質な岩盤が分布する(図-1)。部分的に風化帯を含むものの地山等級はおおむねCIIである。試験施工区間の土かぶり高は、100~210mである。一掘進長延伸試験施工パターンと測定データ項目や評価項目を表-1に示す。

## 3 試験施工計画

### 3-1 試験施工パターン

一掘進長延伸試験施工は、一掘進長をL=1.20

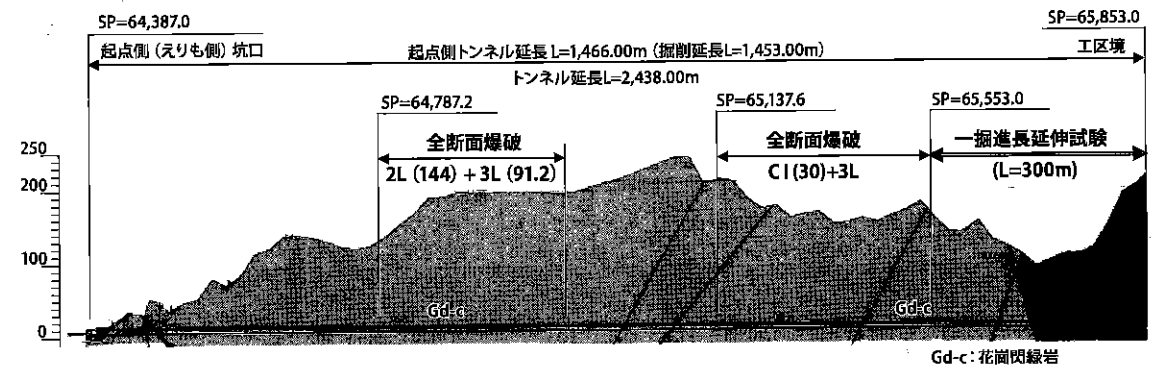


図-1 地質縦断面図(えりも側)

表-1 一掘進長延伸試験施工パターンと測定・評価項目

1. 施工区分		標準		延伸	
2. 支保パターン		CII-b		CII-b(E) CII-b(E2)	
3. 一掘進長 L(m)		1.20		1.50	
4. ロックボルト周方向間隔(m)		1.50		1.50 1.20	
5. 施工方法		掘削工法		全断面	
		掘削方式		爆破	
		球面切羽形状 Ls		2L 3L 2L	
区間延長(m)		30 60+30		90 90	
6. 地山条件		地質		花崗閃緑岩	
		地山等級		CII	
7. 切羽の安定性		切羽観察		切羽観察	
		切羽自立安定性(評価区分)		○ ○ ○ ○ ○ ○	
		切羽湧水状態(評価区分)		○ ○ ○ ○ ○ ○	
8. トンネルの安定性		計測工A (1断面/10m)		計測工A	
		計測工B		計測工B	
9. 経済性		サイクルタイム		サイクルタイム	
		穿孔		○ ○ ○ ○ ○ ○	
		装薬, 爆破, 換気		○ ○ ○ ○ ○ ○	
		ずり出し		○ ○ ○ ○ ○ ○	
		こそく, 当り取り, 路盤整形		○ ○ ○ ○ ○ ○	
		鋼製支保工建込み		○ ○ ○ ○ ○ ○	
		吹付けコンクリート		○ ○ ○ ○ ○ ○	
		ロックボルト		○ ○ ○ ○ ○ ○	
		1mあたりサイクルタイム(分)		○ ○ ○ ○ ○ ○	
		歩掛り		歩掛り	
火薬量(kg/m³)		○ ○ ○ ○ ○ ○			
穿孔数(孔/m³)		○ ○ ○ ○ ○ ○			
吹付けコンクリート練混ぜ量		○ ○ ○ ○ ○ ○			
10. 適用性		作業の安全性		○ ○ ○ ○ ○ ○	
		施工性		○ ○ ○ ○ ○ ○	
		品質確保, 出来形管理		○ ○ ○ ○ ○ ○	

表-2 試験施工パターン

施工パターン (掘進長m)	支保パターン	ロックボルト 周方向間隔(m)			区間延長 (m)	発破パターン	計測工A 断面数*	計測工B 断面測点 (SP=)
		1.20	1.50	3L				
標準(1.20)	CII-b	○	○	○	65,553.0	2L-3	3	-
延伸(1.50)	CII-b(E2)	○	○	○	65,583.0	3L-1	5	65,622.4
	CII-b(E)	○	○	○	65,643.0	2L-4	9	65,685.0
標準(1.20)	CII-b	○	○	○	65,733.0	2L-4	8	65,775.0
標準(1.20)	CII-b	○	○	○	65,823.0	3L-1	3	65,831.4

\*1: 計測工A断面は10m間隔に設ける。

表-3 地山等級CII支保構造の組合せ(全断面工法)

支保 パターン*	一掘進長 L(m)	ロックボルト			吹付け コンクリート 厚さ(cm)	鋼製支保工*2 サイズ (上・下半)	覆工厚(cm)		変形余裕量 (cm)
		長さ (m)	耐力 (kN)	間隔(m)			アーチ・ 側壁	インバート	
CII-b	1.20	3.0	170	1.50	10	H-125	30	-	0
CII-b(E)	1.50	3.0	170	1.50	10	H-125	30	-	0
CII-b(E2)	1.50	3.0	170	1.20	10	H-125	30	-	0

\*1: (E), (E2)は, 延伸パターンを表す。(E2)の単位面積あたりロックボルト本数は標準CII-bと同様である。

\*2: 補助ベンチ付き全断面工法は, 上半のみである。

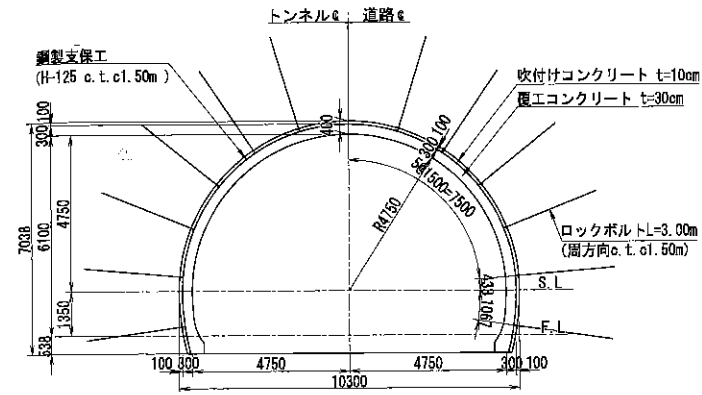
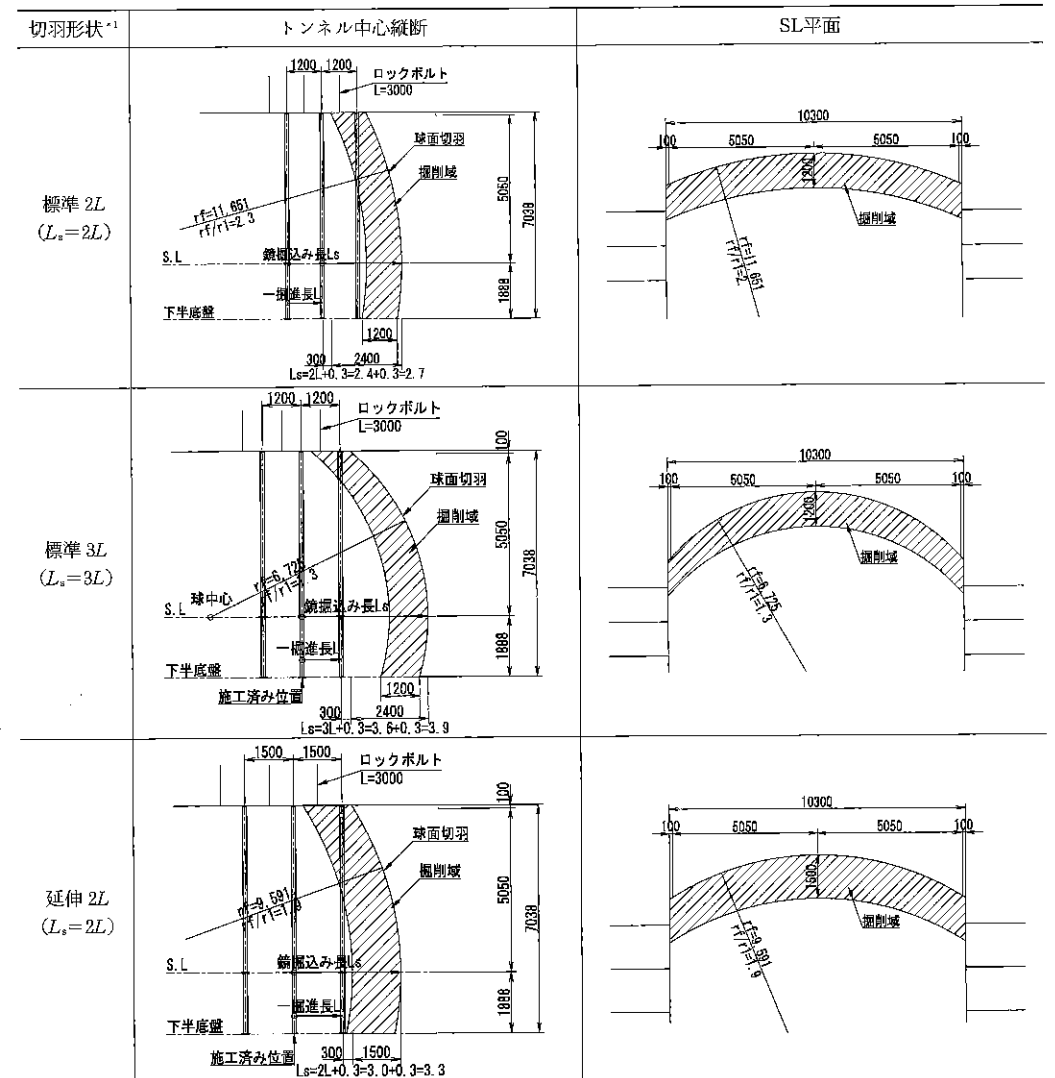


図-2 延伸CII-b(E)支保構造概要

mとする標準パターンとL=1.50mとする延伸パターンで実施した(表-2)。全断面工法における地山等級CIIの支保構造の組合せを表-3に, 延伸CII-b(E)支保構造概要を図-2に示す。全断面工法CII-bの鋼製支保工は, 切羽で上下半同時に建込むこととし, 補助ベンチ付き全断面工法の上半断面のみと異なる。また, 延伸CII-b(E2)の単位面積あたりロックボルト本数は, 標準CII-bと同様である。

表-4 球面切羽形状(地山等級CII)



\*1: ( )は, 球面切羽の鏡掘込み長 Ls を表す。

3-2 球面切羽形状

全断面工法爆破掘削における切羽形状は、表-4に示す球面切羽形状を施工目標とする。標準パターンの鏡掘込み長は、一掘進長をLとすると、これの2倍と3倍の $L_s=2L$ と $3L$ である。延伸パターンは、掘進長の2倍の $L_s=2L$ である。

3-3 設計発破パターン

発破パターンは、 $SP=64,787.2\sim 65,553.0$ の球面切羽による全断面工法爆破掘削の施工成果<sup>9)</sup>を反映させて計画する。穿孔径は45mm、穿孔長は一掘進長 $L+0.2m$ である。設計発破パターン諸元を表-5に示す。標準CIIの一掘進長 $L=1.20m$ の発破パターンは、鏡掘込み長 $L_s=2L$ と $3L$ について、それぞれ $2L-3$ 、 $3L-1$ とするが、発破パターン諸元は同様である(図-3)。延伸CIIでは、発破パターンは $2L-4$ とし、標準CI

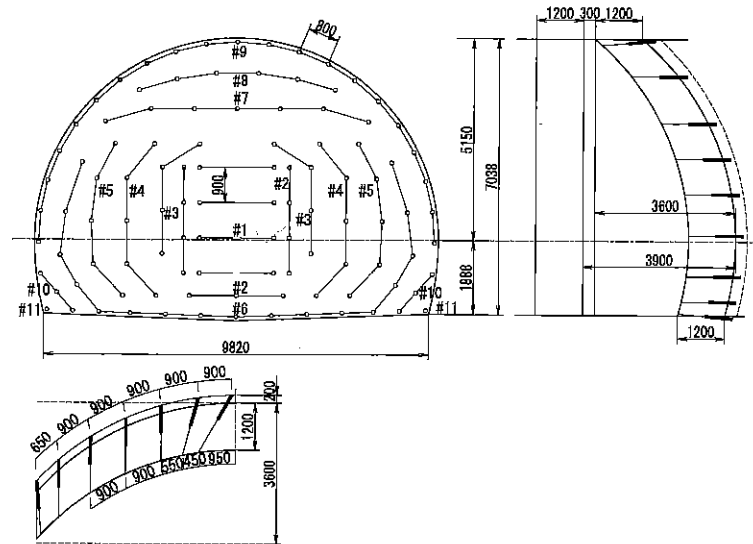


図-3 設計発破パターン概要(3L-1)

表-5 設計発破パターン諸元(地山等級CII)

施工パターン <sup>a)</sup>	発破パターン	一掘進長 L(m)	球面切羽鏡掘込み長 L <sub>s</sub> (m)	設計数量				爆薬量		
				穿孔数 孔	1m <sup>2</sup> あたり穿孔数 孔/m <sup>2</sup>	破砕量 m <sup>3</sup>	総爆薬量 kg	1m <sup>2</sup> あたり火薬量 kg/m <sup>2</sup>	心抜き kg	上半外周長 kg
標準(2L)	2L-3	1.20	2L=2.4+0.3	106	1.72	74.00	57.30	0.77	4.80	6.30
標準(3L)	3L-1	1.20	3L=3.6+0.3	106	1.72	74.00	57.30	0.77	4.80	6.30
延伸(2L)	2L-4	1.50	2L=3.0+0.3	103	~1.69	92.55	70.95	0.77	6.00	9.45

\*1:( )は、球面切羽の鏡掘込み長L<sub>s</sub>を表す。

表-6 主要施工機械

施工区分	機械名称	能力、出力	台数
穿孔	油圧式ドリルジャンボ	ホイール式、3ブーム、ドリフタ質量210kg級	1
こそく	大型ブレーカ	油圧式1,300kg級、ベースマシンはバックホウ山積み0.8m <sup>3</sup> 級	1
ずり積み	ホイールローダ	サイドダンプ式山積み2.3m <sup>3</sup> 級	1
ずり搬出	ダンプトラック	22t	3
鋼製支保工建込み	エレクタジャンボ	1t級、2ブーム	1
吹付けコンクリート工	コンクリート吹付け機	湿式、一体型、16m <sup>3</sup> /h	1
	トラックミキサ車	4.5m <sup>3</sup>	2
ロックボルト工	油圧式ドリルジャンボ	穿孔を兼ねる	(1)

手込めとともに、切羽の自立性に応じて機械装填を併用する。

4 調査・計測概要

(1) 地山評価

地山等級は、NEXCO『トンネル施工管理要領』<sup>9)</sup>に示されている切羽の観察調査に準拠し、原則1日1回の切羽観察を行い、切羽観察データシートに記録、切羽評価点で評価する。切羽の自立安定性および切羽湧水量は、掘削素掘り面の状態、切羽観察データシートの「F.湧水量の評価区分」を用いて、観察、評価し、記録する(表-7)。

(2) 計測工概要

計測工A断面は、トンネル進行方向10m間隔に設け、1断面あたり測点は5点である(図-4)。計測工Bは、ロックボルト軸力測定のみとし、施工パターンごとに1断面を設ける(表-2)。測点位置は、深度0.5m、1.0m、1.5m、2.0mの4点とし、測線は、天端1、上半2、下半2の5測線とする。測定頻度は、1時間ごとの自動測定である。切羽形状測定は、1日あたり1断面を基本とし、トンネル中心縦断とSL平面の2断面について、測定間隔を1.0mとする掘削素掘り表面のノンプリズム自動測定である(図-4)。

(3) 余掘り

余掘りは、設計吹付けコンクリート量に対する吹付けコンクリート練混ぜ量の比で評価する。設計吹付けコンクリート量は、地山等級CIIの設計吹付け厚10cm、余吹き厚7cm、ロス率2.3、吹付けコンクリート周長は19.683mであるので、表-8のように計算される。なお、切羽作業の安全確保から、毎切羽において、おおむね1.5m<sup>3</sup>程度の一次吹付け、鏡吹付けを実施しており、吹付けコンクリート練混ぜ量に含んでいる。

(4) サイクルタイム

1サイクルの作業項目は、①穿孔、②装薬・爆破・換気、③ずり出し、④こそく・当り取り・路盤整形、⑤鋼製支保工建込み、⑥吹付けコンクリート工(一次と二次吹付けの合計)、⑦ロックボルト

表-7 切羽の自立安定性と切羽湧水状態評価

評価区分	1	2	3	4
切羽の自立安定性(素掘り面の状態)	肌落ち、剥落なし	岩片などが剝離、剥落した	岩塊、岩片などが抜落ちた	—
切羽湧水状態	なし	滴水程度(1~20L/分)	集中湧水(20~100L/分)	全面湧水(100L/分以上)

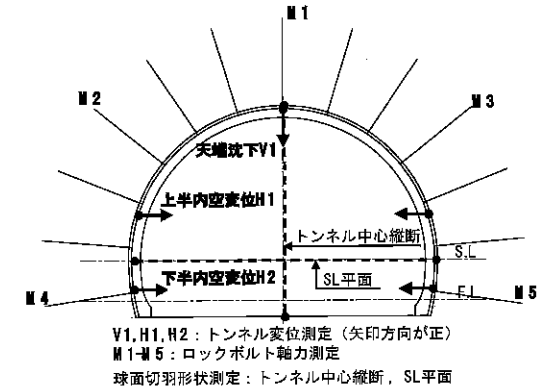


図-4 計測工A、B測点(測線)と切羽形状測定断面

表-8 設計吹付けコンクリート量(地山等級CII)

施工パターン	トンネル1mあたり設計吹付け量 V <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	一掘進長 L(m)	一掘進長あたり設計吹付け量 V=V <sub>i</sub> ×L(m <sup>3</sup> )
標準	19.683×0.10×2.3	1.20	5.432
延伸	=4.527	1.50	6.791

工とし、各作業の終了と開始時刻の差を分単位で計算、その合計をサイクルタイムとする。調査対象は全切羽とし、このサイクルタイムからトンネル1mあたりサイクルタイムに換算する。

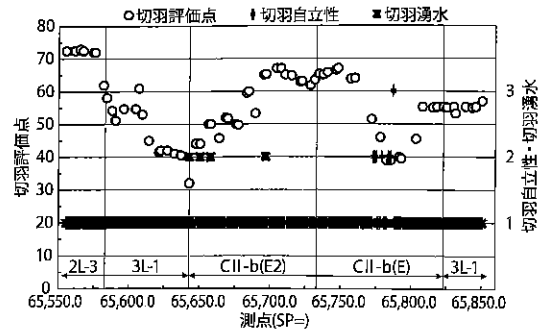
(5) 爆薬使用量

穿孔、装薬は、表-5に示す設計発破パターンを目安に行うが、地山性状に応じて変更、実施する。爆薬と雷管の使用量は、消費日報から書き出し、1m<sup>3</sup>あたり火薬使用量(kg/m<sup>3</sup>)、1m<sup>2</sup>あたり穿孔数(孔/m<sup>2</sup>)として整理する。調査対象は、試験施工区間の全切羽とする。

5 施工結果と考察

5-1 地山性状

試験施工区間の地質は、花崗閃緑岩が分布し、岩石グループはH(硬質岩)塊状岩盤である。切羽評価点、切羽の自立安定性、切羽湧水状況を、図



点数	切羽自立性	切羽湧水
1	肌落ち・剥落なし	湧水なし
2	岩片などが剥離・剥落	湧水 (1~20L/min)
3	岩塊などが抜落ち	集中湧水

図-5 地山評価点と切羽性状(試験施工区間)

-5に示す。

これから、以下のことがいえる。

- 切羽評価点は40以上であり、地山等級はCIIと判定される。標準2L区間は、地山等級CI程度である。これを除くほかの施工3パターンは、同等レベルで分布する。
- CII-b(E)のSP=65,773~65,787の14m間を除くと、切羽の自立安定性は高く、掘削素掘り面から肌落ち、岩片などの剥落はない。この14m間は、風化した破碎帯が出現し、岩片などが剥離、剥落する。SP=65,787の切羽では、天端付近で1~2mほどの岩塊などの抜落ちが生じたが、こそく後の切羽の安定は確保できた。
- CII-b(E2)のSP=65,643~65,658の15m間とSP=65,697を除くと、切羽湧水は見られない。切羽湧水箇所では滴水程度であり、切羽の自立安定性に影響するほどの切羽湧水はない。

5-2 切羽の安定性

発破パターン3L-1の標準CII-bの切羽全景写真を写真-1に、発破パターン2L-4の延伸CII-b(E2)のものを写真-2に示す。球面切羽形状測定結果を表-9、球面切羽形状を規定する鏡掘込み長 $L_s$ の目標値と測定値の平均を図-6に示す。

これから、以下のことがいえる。

- 鏡掘込み長 $L_s$ の違いや一掘進長延伸による感覚上の切羽の自立安定性に有意な差はなく、



写真-1 標準CII-b切羽全景(3L-1)



写真-2 延伸CII-b(E2)切羽全景(2L-4)

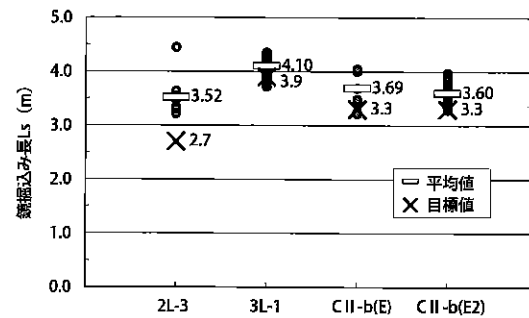


図-6 鏡掘込み長 $L_s$ (目標と測定値)

不安感などはない。

- 切羽形状測定データから、標準CII-bの鏡掘込み長 $L_s=3L$ のものが球面切羽形状の目標にもっとも近く、測定断面形状間でのばらつきも小さい。
- 標準CII-bの $L_s=2L$ は、目標形状より切羽進行方向に深く掘込まれる傾向があるが、 $L_s=2L$ の延伸CII-b(E)、延伸CII-b(E2)とも

表-9 球面切羽形状測定結果

切羽形状パターン	発破パターン*	球面切羽形状**	
		トンネル中心縦断	SL平面
標準CII-b $L_s=2L$ $L=1.20m$	2L-3 (8)		
標準CII-b $L_s=3L$ $L=1.20m$	3L-1 (18)		
延伸CII-b(E2) $L_s=2L$ $L=1.50m$	2L-4 (8)		

\*1: 発破パターン( )の数値は、切羽形状測定断面数を表す。

\*2: 破線は球面切羽目標形状を表し、実線は掘削素掘り面の測定形状である。

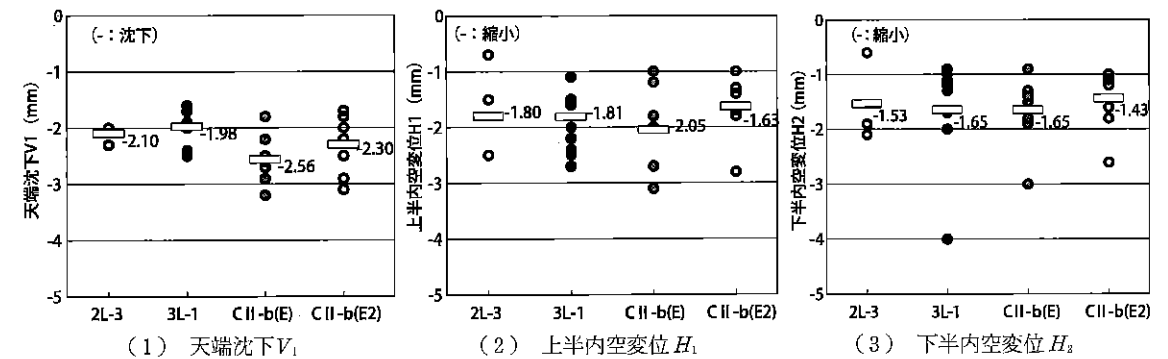


図-7 トンネル変位

に、自立安定性の高い球面切羽の形成は可能であった。

5-3 トンネルの挙動特性

$L_s=2L$ の標準CII-b(2L-3)と $L_s=3L$ の標準CII-b(3L-1)、 $L_s=2L$ の延伸CII-b(E)と延伸CII-b(E2)のトンネル変位と平均値を図-7に示す。

これから、以下のことがいえる。

- 天端沈下が卓越し、トンネル変位は-4mm以下であり、トンネル安定上の課題はない。
- 上半内空変位 $H_1$ の方が下半 $H_2$ より大きい。一掘進長延伸の影響は小さく、同等レベルである。
- 標準CII-bにおいて、球面切羽形状の違いによる有意な差はない。
- 標準CII-b(3L-1)と延伸CII-b(E)から、一掘進長を延伸すると、天端沈下 $V_1$ は大きくなる。
- 延伸CII-b(E)とCII-b(E2)から、ロックボルト周方向間隔を狭めると、トンネル変位は抑制される。

5-4 トンネルの安定性

標準CII-b(3L-1)のロックボルト軸力分布を図-8に示す。これと延伸CII-b(E)、延伸CII-b(E2)のものは、同様の分布状態であり、以下のことがいえる。

- 計測工Bの4断面ともに、天端と上半2測線のロックボルト軸力は、5kN以下の引張である。
- 下半2測線のロックボルト軸力は、 $SP=65,831.4$ の標準CII-b(3L-1)を除くと、10kN

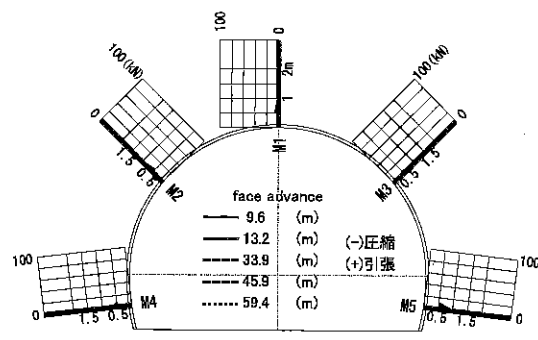


図-8 ロックボルト軸力分布(CII-b(3L-1))

以下である。この $SP=65,831.4$ の左測線では、深度1m位置で最大値を示し40kNの引張である。ロックボルト軸力の最大値は、これを除くすべての測線で、深度0.5m位置に発生する。

- ロックボルト軸力は、一掘進長の違いや延伸パターンにおけるロックボルト本数の違いによる有意な差はなく、球面切羽による全断面工法爆破掘削では、切羽通過時にグラウンドアーチはおおむね形成されており、トンネルの自立安定性が有効に活かされたと想像される。

5-5 余掘り

施工4パターンにおける設計に対する吹付けコンクリート練混ぜ量の平均値を図-9に示す。これから、以下のことがいえる。

- $L_s=3L$ の標準CII-b(3L-1)の設計に対する練混ぜ量の比の平均値は1.75となり、もっとも大きい。
- これを除く $L_s=2L$ の標準CII-b(2L-3)と延伸CII-b(E)、CII-b(E2)の平均値は1.60~1.63となり同等レベルである。一掘進長延伸による影響は小さい。
- 標準CII-b(2L-3)と(3L-1)の比較から、鏡掘込み長を $L_s=2L$ から $3L$ に大きくすると、設計に対する練混ぜ量の比は大きくなり、余掘りが大きくなると想像される。

5-6 歩掛り

施工4パターンにおける1m<sup>3</sup>あたり火薬使用量の平均値を図-10に、1m<sup>3</sup>あたり穿孔数を図-11

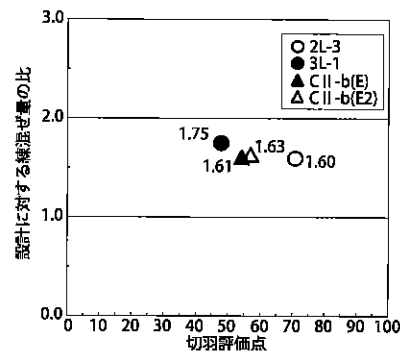


図-9 設計に対する吹付け練混ぜ量(平均値)

に示す。これらから、以下のことがいえる。

- 地山等級CII-bの1m<sup>3</sup>あたり火薬使用量は、設計発破パターンの0.77kg/m<sup>3</sup>に対して0.69~0.81kg/m<sup>3</sup>である。1m<sup>3</sup>あたり穿孔数は、標準CII-bの2L-3と3L-1は1.72孔/m<sup>2</sup>、延伸CII-b(E)とCII-b(E2)は1.69孔/m<sup>2</sup>に対して1.50~1.60孔/m<sup>2</sup>である。
- 標準CII-bにおける1m<sup>3</sup>あたり穿孔数は、鏡掘込み長 $L_s$ の違いによる有意な差はない。1

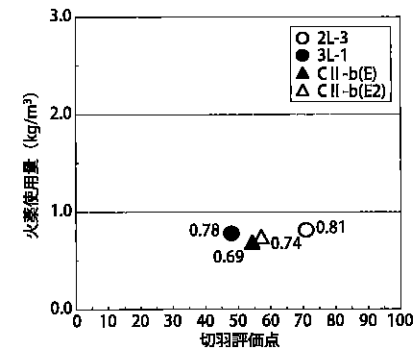


図-10 火薬使用量(平均値)

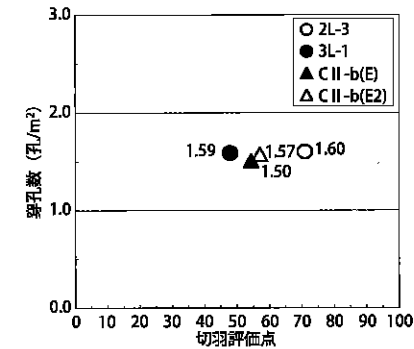


図-11 穿孔数(平均値)

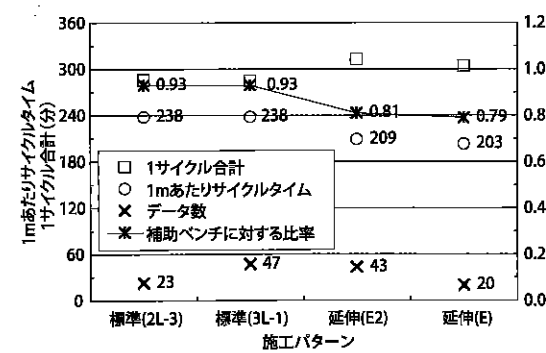


図-12 1m<sup>3</sup>あたりサイクルタイム(平均値)

m<sup>3</sup>あたり火薬使用量は、 $L_s=3L$ の方が少ない。

- 標準CII-b(3L-1)と延伸CII-b(E)の比較から、一掘進長を延伸すると、1m<sup>3</sup>あたり穿孔数、1m<sup>3</sup>あたり火薬使用量ともに少なくなる。

5-7 サイクルタイム

施工4パターンにおける1mあたりサイクルタイムとこれの補助ベンチ<sup>3)</sup>に対する比の平均値を図-12に示す。これから、1mあたりサイクルタイムは、補助ベンチが257分であるのに対して、全断面の標準CII-bは238分、延伸CII-b(E)とCII-b(E2)はそれぞれ203分と209分となり、補助ベンチより全断面、全断面の標準より延伸の方が短縮される。1mあたりサイクルタイムの補助ベンチに対する比では、全断面により0.93、一掘進長延伸により0.79~0.81に短縮される。

6 球面切羽による全断面工法の適用性

球面切羽による全断面工法爆破掘削にかかわった作業員とJV工事担当者にヒアリング調査を実施した。ヒアリング結果は、作業の安全性、施工性、品質確保や出来形管理に区分けし、おのおのについて、

- ① 補助ベンチ付き全断面工法も同様である
- ② 留意点・感想である
- ③ 全断面工法固有の技術課題である

の判断基準で評価、整理すると、表-10, 11のようになる。

この結果から、切羽評価点が40以上の硬質塊状岩の地山等級CIIにおける球面切羽による全断面工法爆破掘削とこれの一掘進長延伸の適用性について、以下のことがいえる。

(1) 球面切羽による全断面工法爆破掘削

一掘進長を1.20mとする標準CII-bおよび一掘進長が $L=1.50$ mの延伸パターン(地山等級CI同等)の球面切羽による全断面爆破掘削では、「機械装填機の使用により、球面直下に入らなくて良い」「念入りにこそくする習慣がついた」などにより、切羽作業の安全と切羽の自立安定性が確保されて

表-10 ヒアリング結果(1)

作業項目	作業の安全性
穿孔・装薬	②切羽に入ることが想像より怖くない ①孔荒れがあった場合、直下に入る不安がある ①切羽湧水、肌落ちや岩片の剥落、抜落ちる切羽では、直下に入る不安がある ③機械装填機の使用により、球面直下に入らなくて良い ②切羽全体が見やすくなり、人の動き、居る場所がわかり、監視がしやすい
こそく・ずり出し	②当たり取りの合図者がベンチの上に登らなくて良くなり危険作業が減った ②鋼製支保工建込み時の根足部の掘出しが下半盤での1回で済み、また、切羽鏡が掘込まれているので、作業性と安全性が格段に向上した ①バックホウでずりを掘出す作業が少なく、サイドダンプとの接触災害リスクが減った ③念入りにこそくする習慣がついた
鋼製支保工建込み	②上半盤への昇り降りがなくなり、足元がよくなった ②マンゲージが上半盤に接触するリスクが減った ②エレクタと下半盤との間に挟まれるリスクが減った ②切羽が掘込まれているので、肌落ち、剥離、剥落が生じても、岩塊が直下に落ちるため、人に当たるリスクが少ない
吹付けコンクリート工	②ホースが閉塞しても切羽が遠いので、その場で交換ができ、安全確保がしやすい
ロックボルト工	②切羽鏡が掘込まれているので、剥離、剥落に対するリスクが少ない

①標準施工の補助ベンチ付き全断面工法も同様である、②留意点・感想、③技術課題

表-11 ヒアリング結果(2)

作業項目	施工性	品質確保や出来形管理
穿孔・装薬	②切羽がよく見えて穿孔がしやすい ②ベンチがないので穿孔・装薬しやすく、作業時間も短い	②余掘りは、鏡掘込み長2Lより3Lの方が多い ②火薬の使用量が減少した
こそく・ずり出し	②補助ベンチ上のずりを掘出す作業がなくなった ②サイドダンプでずりがすくいやすくなった ②重機ブームの調整範囲など、重機の動ける範囲が広がり施工性が良い	①湧水、岩質によって、余掘りが左右される ②切羽に近づけるので切羽が見やすい
支保工建込み	②建込みがしやすく、作業時間も短い ②エレクタのブーム操作性が良い	②切羽鏡が掘込まれているので、建込み精度の確保が容易である
吹付けコンクリート工	②上下半同時吹きとなり、吹付けがしやすい ②吹付け機の段取り替えがなくなった ②支保工のケレンも1回で確実にできる	②上下半同時に吹付けるため、継目のない滑らかな仕上りの施工ができる
ロックボルト工	②ジャンボのブームの操作性がよい	②打設角度などの施工精度が確保しやすい

①標準施工の補助ベンチ付き全断面工法も同様である、②留意点・感想、③技術課題

いる。また、球面切羽による全断面工法は、施工性が格段に向上し、品質管理、出来形管理における課題はないなどが示され、この方法の有効性が実証された。

(2) 一掘進長延伸

一掘進長をL=1.50mとする延伸CII-b(E)や延伸CII-b(E2)のL<sub>c</sub>=2L球面切羽の全断面爆破掘削では、全周鋼製支保工を採用し、作業の安全性が確保され、施工性が向上、品質管理、出来形管理における一掘進長延伸にかかわる固有の課題は

なく、標準CII-bと同様の球面切羽による全断面爆破掘削技術による施工が可能であることが示された。

7 おわりに

地山等級CIIの硬質塊状岩盤への球面切羽による全断面工法爆破掘削の適用性は高く、一掘進長延伸においても、施工性やトンネル品質は向上し、作業の安全性、施工性、品質管理や出来形管理における課題はないなどが確認された。一方、標準

CII-bの球面切羽形状L<sub>c</sub>=3Lは、切羽の自立安定性の確保に有利であるが、余掘りが大きくなり、発破パターン3L-1を基本とするsmooth blastingなどを検討、高度化することが望まれる。また、L<sub>c</sub>=2Lで一掘進長をL=1.50mに延伸すると、天端沈下V<sub>1</sub>は大きくなる傾向を示すが、1m<sup>2</sup>あたり火薬使用量、1mあたりサイクルタイムは低減され、この方法の有効性が示された。いずれの施工パターンにおいても、球面切羽による全断面工法爆破掘削は、補助ベンチ付き全断面工法に比べて、作業性などが向上、サイクルタイムは短縮され、グラウンドアーチ形成に有利でトンネルの自立安定性が活かされ、切羽とトンネルの安定性は高まるなどが示され、この方法の合理性が実証された。

今後は、類似地山の地山等級DIなどへの適用性を調査し、堆積岩や火山岩地山などに採用して、施工事例を増やすとともに、基礎データを蓄積し、この方法の有効性を確認していく予定である。

最後に、球面切羽の全断面工法爆破掘削と一掘

進長延伸試験施工の実施の場を与您にいただいた国土交通省北海道開発局帯広開発建設部広尾道路事務所、施工にあたってご助言いただいた真下英人・国土技術政策総合研究所道路構造物研究部部長、砂金伸治・(独)土木研究所道路技術研究グループ上席研究員をはじめ、関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 今田徹：変化するトンネル技術NATM後の動向、JICE REPORT, Vol.14, pp.74-79, 2008.
- 2) 佐藤淳・西村和夫・楠本太：鏡の形状が切羽安定性に及ぼす効果の解析的検証と試験施工、トンネルと地下, Vol.43, No.9, pp.43-52, 2012.9.
- 3) K. Amemiya, K. Kakimi, F. Kusumoto and T. Sasaki: Application of a spherical tunnel face to full-face tunnel excavation by drill and blast, 8th Asian Rock Mechanics Symposium, PO-73, 2014.
- 4) 高速道路総合技術研究所：トンネル施工管理要領(計測工編), pp.4-26, 2013.

■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

第I巻 地下水の物理と化学

4,078円+税 B5判

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

第II巻 地下水環境学

4,272円+税 B5判

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

第III巻 地下水と地質

3,689円+税 B5判

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

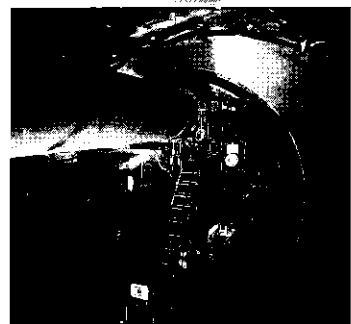
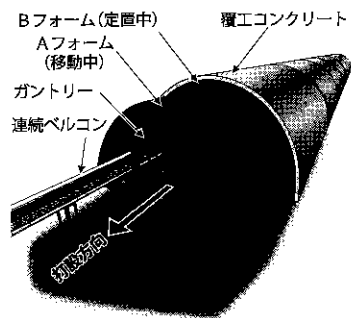


株式会社 土木工学社

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

# 工法・技術・製品ニュース

## 工法 覆工コンクリートの高品質化とトンネル掘削の省人化を実現



(株)大林組CSR室広報部広報第一課  
TEL. 03-5769-1014  
https://www.obayashi.co.jp

大林組は、山岳トンネルの高速掘削と覆工コンクリートの高品質化を両立させる「連続ベルコン通過型テレスコピック式セントル」を開発し、新名神高速道路野登トンネル西工事(三重県亀山市、トンネル掘削延長：上り線2,355m、下り線2,378m、発注者：中日本高速道路)に、国内で初めて適用したと発表した。

同セントルは、2組のフォームを使用することで長期養生時間を確保するテレスコピック式セントルと、トラックを使わずに掘削ずりを坑外へ連続的に運搬できるベルトコンベヤを併用したもの。連続ベルトコンベヤとテレスコピック式セントルの組合せは、これまで断面の制約により難しいとされていたが、使用機材の形状などを工夫し、適用した。

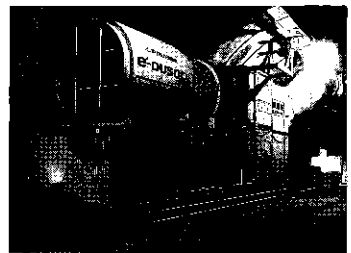
コンクリート打設後のフォームを自立させた状態で、その内側を小さく折畳んだ別のフォームがくり抜

けるテレスコ方式により、後方で養生しながら前方で次の打設作業を進めることができる。2日に1回の標準打設サイクルを交えることなく、フォームの存置期間を60時間以上確保する長期養生が可能となり、コンクリート強度を増進させる。

また、ダンプトラックの代わりに連続ベルトコンベヤで機械的にずり運搬を行うことで、切羽作業員を最大25%程度削減可能。トラックの往来によって発生していた路盤の損傷の修復などの手間や時間が削減できるとともに、坑内作業員とトラックとの接触事故などトラブルの回避、トラック走行時の排気ガスや巻き上げ粉じんの減少による作業環境の改善などが図れる。

今後は、同工事にてフォーム3組によるテレスコ方式を試行し、覆工品質を確保しつつ急速覆工の可能性を追求する予定としている。

## 製品 e'-DUSCOシリーズに新版・換気技術指针对応機



古河産機システムズ(株)第三営業部  
TEL. 03-3212-6575  
https://www.furukawa-sanki.co.jp

古河産機システムズは、トンネル工事に用いる電気集じん器 e'-DUSCO270を開発し、販売を開始した。

同機は、2012年3月に改訂された『新版・ずい道等建設工事における換気技術指針』(建設業労働災害防止協会)に対応するよう、e'-DUSCO240をベースに開発されたもの。

改訂では、換気方式に関して、送風機などにより強制的に換気する風管換気法を用いた場合、①集じん機の吐出口(坑口側)にエアカーテンダクトなどを設置する「希釈封じ込め方式」と、②集じん機の吸込口(切羽側)に吸引ダクトを接続する「吸

引捕集方式」の2通りのみが、集じん機を用いる方式として示されている。

従来機では、吸引捕集方式に対応しておらず、また、希釈封じ込め方式についても、処理風量の容量が足りなかった。

同社では、2014年6月にe'-DUSCO240について吸引捕集方式に対応したモデルチェンジを行っており、容量を2,750m<sup>3</sup>/minに引き上げた同機が希釈封じ込め方式にも対応したことで、e'-DUSCOシリーズが全トンネルに適用することになったとしている。

## 連載講座

# 山岳トンネル覆工の長寿命化技術(6)

## —覆工の点検技術—

「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

今回より山岳トンネルの維持管理段階における現在の技術動向について紹介する。その初回として今回は、道路および鉄道トンネルを対象とした覆工の点検技術について記載することとする。なお、今後解説するトンネルの維持管理の理解を深化化するため、点検や補修・補強の対象となる、山岳トンネルで発生する変状についても概説する。

### ② 山岳トンネルに発生する変状

表-1にトンネルに発生する変状現象の分類を示す。

表-1 トンネルの変状現象の分類リを加筆修正

対象	変状現象
覆工	ひび割れなど
	ひび割れ
	目地切れ
	段差
路盤、路面	コールドジョイントの開口
	変形、移動、沈下、側壁の転倒
	覆工ならびに補修材料の劣化、浮き、剥落、洗掘
	漏水、つらら、側水、土砂流入、石灰分などの溶出
坑門	排水溝のひび割れ、変形
	路面・路肩・監査廊、道床・軌道などの隆起または沈下、ひび割れ、縁石の転倒
	噴泥、沈砂、滞水、水盤
設計	ひび割れ、劣化、浮き、剥落
	食違い
	前傾、沈下、移動

またこれら変状の原因としては、表-2に示すようなものがあるが、実際には同表に示す原因が複合して変状が顕在化する場合が多い。

図-1はこうした変状原因の複合によってトンネルに発生する変状現象と対策の区分を整理したものである。

同図に示すように、山岳トンネルに発生する変状は、外力、材質劣化(鉄道トンネルでは「材質劣化」で区分されるが同義語)、漏水に区分して変状を評価し、必要に応じて補修・補強対策や監視などを実施することになる。

表-2 変状原因の区分リを加筆修正

		変状原因	
外	力	地形・地質	緩み土圧、膨張性土圧、偏土圧・斜面のクリープ、地すべり、支持力不足
		地下水	水圧、凍上圧
		その他	近接施工、地震、地殻変動など
因	環境	経年	経年劣化(中性化)、鋼材腐食
		地下水	漏水、凍害
		その他	塩害、有害水、火災など
内	材	骨材、セメント	セメントの異常凝結、水和熱(温度応力)、低品質骨材、反応性骨材など
		コンクリート	ブリーディング、乾燥収縮など
		鉄筋組立て	配筋の乱れ、かぶり不足など
因	施	コンクリートの施工	打込み不良、締固め不足、養生不良、巻厚不足、背面空洞残存など
		型枠	型枠変形、早期脱型、支保工の沈下など
		設計	インバートなし、押え盛土不足など

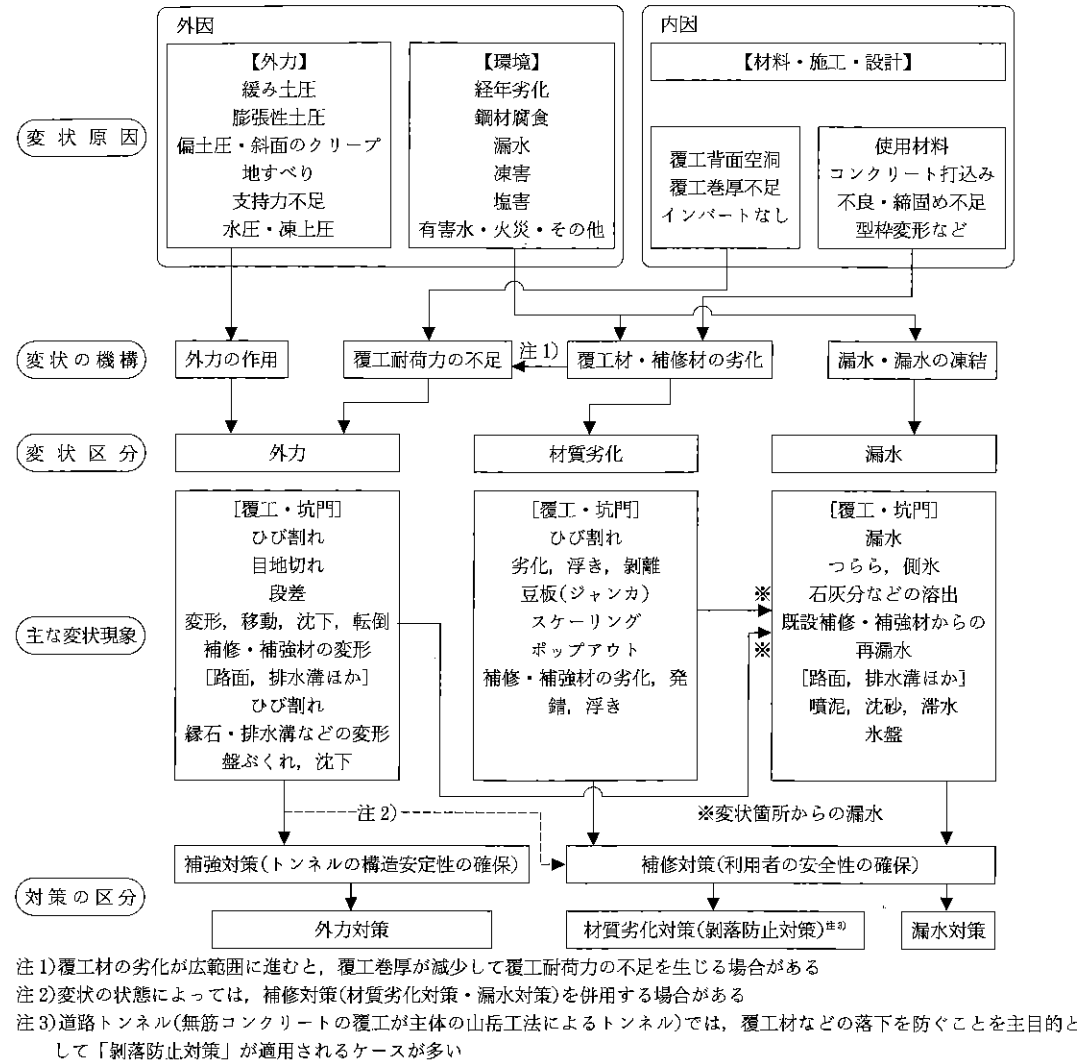


図-1 変状原因と変状区分・対策の区分との関係(道路トンネルの例)<sup>2)</sup>を参照

表-3 道路トンネルにおける点検の種類<sup>4)</sup>の一例<sup>5)</sup>をもとに作成

点検の種類	概要
日常点検	原則として道路の通常巡回を行う際に併せて実施する点検。
異常時点検	日常点検により異常が発見された場合に実施する点検。
定期点検	トンネルの最新の状態を把握するとともに、次回の定期点検までに必要な措置などの判断を行ううえで必要な情報を得るために行うもので、一定の期間ごと(5年に1回を基本)に定められた方法で実施する点検。なお、定期点検では必要に応じて調査を行い、その結果をもとにトンネルごとの健全性を診断し、記録を残す。
臨時点検	集中豪雨、地震およびトンネル内事故などが発生した場合に実施する点検。

### ⑧ 道路トンネルの点検

#### 3-1 点検の概説(体系)

社会資本の維持管理が重要視される中、道路構

造物においても、メンテナンスサイクル(点検→診断→措置→記録)を確立し、継続的な維持管理を行うことが求められている<sup>3)</sup>。

道路トンネルの点検においては表-3に示すよう

表-4 道路トンネル定期点検要領の内容

項目	道路トンネル定期点検要領(平成26年6月)	
	直轄版要領 <sup>※1)</sup> (策定：国土交通省道路局 国道・防災課)	全国版要領 <sup>※1)</sup> (策定：国土交通省道路局)
(1)適用範囲	道路法第2条第1項に規定する道路におけるトンネルのうち、国土交通省および内閣府沖縄総合事務局が管理する道路トンネルの定期点検に適用する。	道路法(昭和27年法律第180号)第2条第1項に規定する道路におけるトンネルの定期点検に適用する。
(2)定期点検の頻度	定期点検は、5年に1回の頻度で実施することを基本とする	
(3)定期点検の方法	本土工の定期点検は、近接目視により行うことを基本とする。また必要に応じて触診や打音などの非破壊検査などを併用して行う <sup>※2)</sup>	
(4)定期点検の体制	道路トンネルの定期点検を適正に行うために必要な知識および技能を有するものがこれを行う。 ○点検員は以下に示すいずれかの実務経験を有することが望ましい。 1)大学卒業後、5年以上のトンネルに関する実務経験を有するもの 2)短大・高専卒業後、8年以上のトンネルに関する実務経験を有するもの 3)高校卒業後、11年以上のトンネルに関する実務経験を有するもの 4)前項1)~3)と同等以上の能力を有すると道路トンネルの管理者が認めたもの ○調査技術者は、トンネルの変状に関する調査、診断に関連する以下の専門的な資格を有する者が望ましい。 1)技術士(トンネル) 2)RCCM(トンネル)	○点検員は、トンネルに関する一定の知識および技能を有することとする。 ○調査技術者は、トンネルの変状に関する必要な知識および技能を有することとする。当面は、以下のいずれかの要件に該当することとする。 ・道路トンネルに関する相応の資格または相当の実務経験を有すること ・道路トンネルの設計、施工、管理に関する相当の専門知識を有すること ・道路トンネルの点検に関する相当の技術と実務経験を有すること
(5)対策区分の判定	道路トンネルでは、トンネルの変状の状況を把握したうえで、変状ごとに表-6の判定区分による判定を行う。	(規定されていない)
(6)健全性の診断	変状等の健全性の診断は、表-7 <sup>※3)</sup> の判定区分により行うことを基本とする。 覆工スパンごとおよびトンネルごとの健全性の診断は、表-7 <sup>※3)</sup> の判定区分により行う。 健全性の診断結果にもとづき、道路の効率的な維持および修繕が図られるよう、必要な措置を講じる。	
(7)措置	対策 緊急対策または本対策を適用する(具体的な対策の方法等は定められていない)。 監視 (本対策が適用されるまでの監視の方法) ・判定区分IV、IIIの覆工スパン 前回の定期点検または監視から2年程度以内に近接目視などを実施する。 ・判定区分IIの覆工スパンのIIaの箇所 前回の定期点検または監視から2年後を目安に近接目視を行うことを基本とする。 ・判定区分IIの覆工スパンのIIbの箇所 日常巡視などで状況を把握することに努めることを基本とする。	(具体的な監視の方法は定められていない)
(8)記録	定期点検および診断の結果ならびに措置の内容などを記録し、当該道路トンネルが利用されている期間中は、これを保存する。 台帳3様式、調書9様式=12様式	左記のうち、調書の下記2様式のみを提示 ・トンネル変状・異常箇所写真位置図 ・変状写真台帳(本土工変状)

※1: 本稿では、それぞれ「直轄版要領」「全国版要領」という。なお全国版要領は「道路法施行規則第4条の5の2の規定にもとづいて行う点検について、最小限の方法、記録項目を具体的に記したもの」とされている。

※2: トンネル本土工に発生した変状および、トンネル内附属物(付属施設、標識等トンネル坑内や坑門に設置されるもの総称)の取付状態や、取付金具類などの異常を確認する。

※3: 両定期点検要領では、変状単位の判定区分表と、覆工スパンごとおよびトンネルごとの判定区分表をそれぞれ掲載しているが、両表とも同じ内容であるため、本稿では誌面の関係で、まとめて同じ表を掲載している。

な各種の点検があり、道路管理者が個別に方法を定めて点検を実施している。

このうち定期点検に関しては道路法の改訂に伴う省令<sup>7)</sup>・告示<sup>8)</sup>(平成26年7月施行)にもとづき、道路トンネルにおいては、近接目視により5年に1回の頻度を基本として点検を行い、その結果にもとづいて健全性の診断を行って、その結果を国土交通大臣が定めるところにより分類することになった。このための点検の方法に関し、表-4に示す『道路トンネル定期点検要領』(以下、「定期点検要領」という)が定められている。なお、定期点検要領には表-4に記載のように直轄版要領<sup>9)</sup>と全国版要領<sup>9)</sup>があり、後者は「定期点検の最小限の方法、記録項目を具体的に記したもので、必要に応じてより詳細な点検、記録を行う場合は直轄版要領などを参考とする」とされている。

なお、定期点検における健全性の診断に関しては、トンネルのみならず、橋梁、大型カルバートなどの道路構造物に対しても同じ判定区分にて実施されることになるため、定期点検要領では従来のトンネルに特化した点検結果の判定方法などが全面的に見直されている。以下に、従来の『道路トンネル定期点検要領(案)』<sup>9)</sup>(以下、「旧定期点検要領」という)と比較して、定期点検要領の導入に伴う道路トンネルの維持管理の要点を整理する。

- ① 旧定期点検要領での定期点検作業の範囲は、点検結果にもとづき応急対策や調査の必要性を3段階区分(A, B, S)で判定するまでであったが、これからの定期点検では表-3に示すように、必要に応じて調査を行い健全性の診断まで実施することになる。
- ② 定期点検の方法は、近接目視(打音検査なども含む)で行うものとされ、旧定期点検要領での2回目以降の定期点検の方法のひとつであった遠望目視は、定期点検の方法には含まれない。このため、定期点検以外で健全性の診断を行う場合は、定期点検と同等の近接目視(打音検査など含む)の実施が必要となる。
- ③ 定期点検の対象は、本体工の変状に加え、附属物(付属施設、標識、情報板、吸音板な

ど、トンネル内や坑門に設置されるもの(総称)の取付状態の異常についても確認する。

- ④ 定期点検においては「点検員」とは別に、診断を行うために一定の要件を満足する「調査技術者」を配置する。
- ⑤ 定期点検の結果の記録として、全国版要領では表-4に示す2様式が提示されており、すべてのトンネルで最低限、この様式に記載されている項目の情報を記録として残す必要がある。
- ⑥ 健全性の診断にもとづき必要な措置(対策または監視)を講じる必要がある。また定期点検および診断結果、措置の内容などを記録し、当該道路トンネルが利用されている期間中はこれを保存する必要がある。

### 3-2 点検・調査の方法

定期点検では、トンネル全線に対して近接目視、打音検査、触診などを実施し、また必要に応じて調査を併用してトンネル本体工の変状、附属物の取付状態について確認する。なお近年、最新技術として覆工展開画像撮影や非破壊検査などの適用事例が増えているが、このような新技術の採用は「調査技術者が近接目視によって行う評価と同等の評価が行えると判断できる新技術が開発された場合は、新技術の併用を妨げるものではない」<sup>9),10)</sup>とされている。

なお、定期点検以外の各種点検の方法については、道路管理者が個別に定めて点検を実施する。

### 3-3 健全性の診断

健全性の診断の方法に関しては、直轄版要領に詳しく規定されており、まず対策区分の判定として、表-5に示す変状区分それぞれに対して、変状種類に該当する変状が確認された場合、表-6の5段階の対策区分の判定を行う。続いて、その結果にもとづき表-7に示す4段階で健全性の診断を行う(変状ごとの健全性の診断を行ったうえで、覆工スパン単位、トンネル全体での診断を行う)ことになる。なお、全国版要領では、5段階の対策区分の判定に関しては規定されておらず、「付録2 判定の手引き」を参考に表-7による4段階の

表-5 変状種類および変状区分との関係<sup>9)</sup>

変状種類	変状区分		
	外力	材質劣化	漏水
① 圧ざ、ひび割れ	○		
② 浮き、剝離 <sup>※1)</sup>	○	○	
③ 変形、移動、沈下	○		
④ 鋼材腐食		○	
⑤ 有効巻厚の不足または減少		○	
⑥ 漏水などによる変状			○

※1 原文<sup>9)</sup>では「うき、はく離」と表記されているが、本稿では用語の統一のため、以降の表も含めてすべて「浮き、剝離」と表記している。

表-6 判定区分(対策区分の判定)<sup>9)</sup>

区分	定義
I	利用者に対して影響が及ぶ可能性がないため、措置を必要としない状態。
II	IIb 将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、監視を必要とする状態。
	IIa 将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態。
III	早晚、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早期に対策を講じる必要がある状態。
IV	利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急に対策を講じる必要がある状態。

※1 判定区分IVにおける「緊急」とは、早期に措置を講じる必要がある状態から、交通解放できない状態までをいう。

表-7 判定区分(健全性の診断)<sup>9),10)</sup>

区分	状態
I 健全	構造物の機能に支障が生じていない状態。
II 予防保全段階	構造物の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
III 早期措置段階	構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
IV 緊急措置段階	構造物の機能に支障が生じている、または生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

健全性の診断を行うこととされている。

また附属物の取付状態については表-8に示す2段階で健全性の診断を行う。

ここで、直轄版要領での対策区分の判定の方法の一例として「浮き、剝離」に関する判定区分と判定の目安をそれぞれ表-9、10に掲載するが、他の変状種類においても同様な方法により判定を行

表-8 附属物に対する異常判定区分<sup>9),10)</sup>

異常判定区分	異常判定の内容
×	附属物の取付状態に異常がある場合
○	附属物の取付状態に異常がないか、あっても軽微な場合

表-9 浮き・剝離に対する判定区分<sup>9)</sup>

I	ひび割れなどによる浮き、剝離の兆候がないもの、またはたたき落としにより除去できたため、落下する可能性がなく、措置を必要としない状態
	IIb 浮き、剝離の兆候があり、将来的に落下する可能性があるため、監視を必要とする状態
II	IIa 浮き、剝離の兆候があり、将来的に落下する可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
	III 浮き、剝離などがみられ、落下する可能性があるため、早期に対策を講じる必要がある状態
IV	浮き、剝離などにより覆工コンクリートなどの浮き、剝離などが顕著にみられ、早期に落下する可能性があるため、緊急に対策を講じる必要がある状態

表-10 浮き・剝離などに対する判定の目安例<sup>9)</sup>

対象箇所	部位区分	ひび割れなどの状況	打音異常	
			有	無
覆工断面内		ひび割れなどはあるものの、進行しても閉合の恐れがない	IIb	
		ひび割れなどは閉合してはいないものの、ひび割れの進行により閉合が懸念される	III	IIb
		ひび割れなどが閉合しブロック化している	IV	IIb~III
		漏水防止モルタルや補修材が材質劣化している	III~IV	IIb~III
		覆工コンクリートや骨材が細片化している、あるいは豆板などがあり材質劣化している	IV	IIb~III

補足1) ブロック化とは、ひび割れなどが単独またはひび割れと目地、コールドジョイントなどで閉合し、覆工が分離した状態をいう。

うことになる。

対策区分の判定および健全性の診断に際しての留意点を以下に整理する。

- ① 定期点検要領に記載の「判定の目安」については、あくまで参考であり、実際の変状状態を十分に確認し適切に判定を行う必要がある。

- ② 可能な限り、応急措置(たたき落とし)を行ったあとの状態で判定を行う。
- ③ これまでの定期点検では、利用者被害を生じる(可能性のある)変状すべてについて点検表に記録し、点検後に調査を実施して対策の要否を判断することとしていた。しかし、これからの定期点検では変状区分に対応する変状種類(表-5)に関して、変状を抽出・診断して、措置が必要な変状を対象に記録することになる。
- ④ 上記③の具体例として、例えば表-5で材質劣化を判定するための変状種類に「ひび割れ」は該当しておらず、ひび割れが発生していても「浮き、剝離」の兆候がない場合、これを変状展開図には記載するが、材質劣化に関する変状として記録様式に記載する必要はなくなる(注：鉄筋腐食に起因するなど将来、「浮き、剝離」や「鋼材腐食」の可能性のあるもの、「巻厚不足」によるものは除く)。

なお、定期点検以外の各種点検において、変状や異常が確認され、健全性の診断を行う必要があると判断された場合は、近接目視(打音検査など含む)を改めて実施したうえで、健全性の診断を行うことになる。

### 3-4 措置・記録

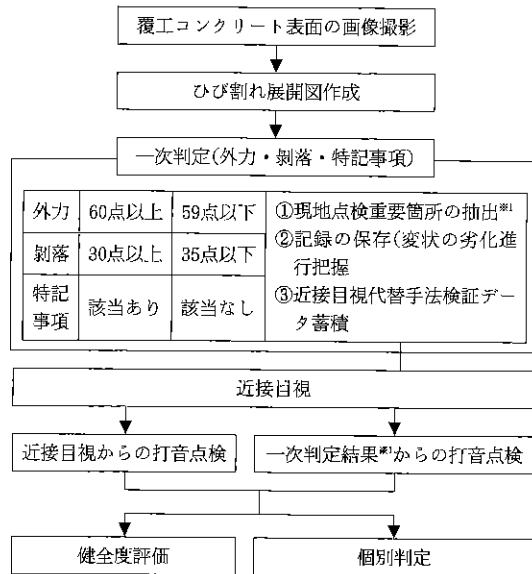
措置とは対策または監視を行うものとされ、対策は応急対策と本対策とに区分される。また監視の方法としては表-4に示すように、直轄版要領では本対策が適用されない状態の判定区分IV, III, IIの覆工スパンについての監視の方法が規定されている。一方、全国版要領では具体的な監視方法は定められていないため、全国版要領に従う場合は独自に監視方法を定める必要があることに留意する必要がある。

記録に関しては、同じく表-4に示すように全国版要領に提示されている2様式(トンネル変状・異常箇所写真位置図、変状写真台帳)に記載されている項目の情報を最小限、記録として残す必要がある。ただし、以降に変状対策の設計・施工を行う場合には、この2様式に記載の情報だけでは

十分とは言えず、全国版要領に準じて定期点検を実施する場合でも、設計・施工に必要な変状展開図などの情報は併せて取得することが必要になる。なお、全国版要領(直轄版要領も同様)に規定される2様式に記載し記録として残す本工の変状は、判定区分II~IV(対策後のIも含む)とされている。

### 3-5 東・中・西日本高速道路(株)が管理する高速道路トンネルにおける点検

3-1節で述べたように道路法が改訂され、道路法施行規則でトンネルなどの点検は「近接目視に



※1 近接目視と併せて打音を実施するスパンおよび箇所  
図-2 詳細点検の流れ



写真-1 覆工表面撮影車両一例<sup>10)</sup>

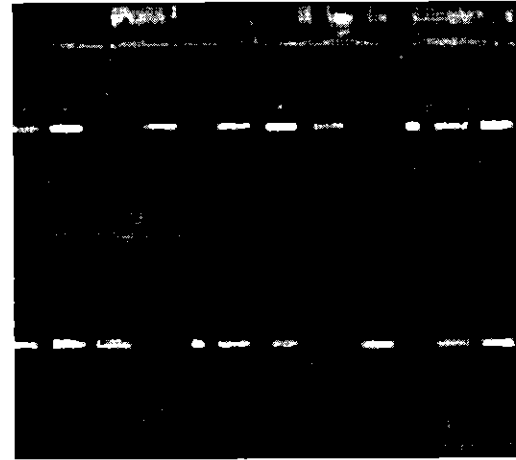


写真-2 覆工表面画像例

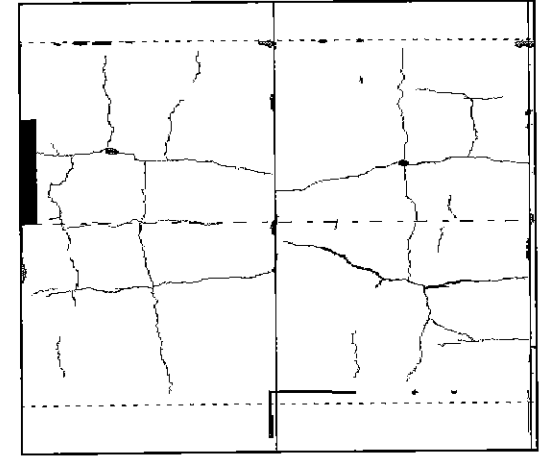


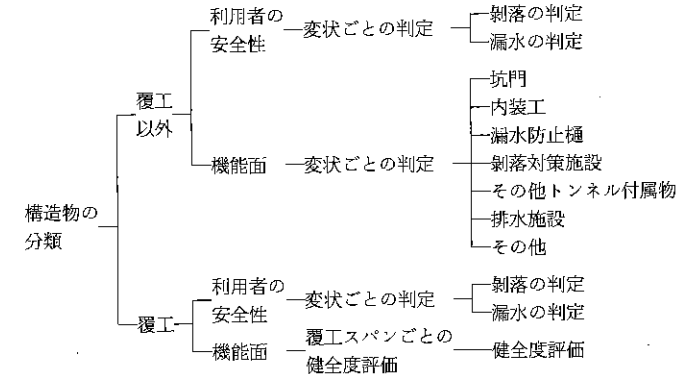
図-3 ひび割れ展開図例

より5年に1回の頻度で行うこと」が義務づけられた。東・中・西日本高速道路(株)(以下、「NEXCO」という)においても5年に1回の頻度で行う詳細点検において、近接目視を義務付け、点検対象における打音および触診を併せて実施することとしている。

NEXCOにおいては、従前から詳細点検に覆工表面画像撮影を近接目視の支援として活用しており、図-2に詳細点検の流れを示す。覆工表面画像は、高速道路を規制することなく時速50km/h以上で

走行する覆工表面画像撮影車両(写真-1参照)により取得し、ひび割れ展開図を作成するにあたり、トレースできるよう連続写真として作成する。連続写真およびひび割れ展開図を写真-2および図-3に示す。ほかにも覆工表面画像の活用は、覆工表面画像から作成したひび割れ展開図を現地に持参することで、変状位置など精度の高い展開図が取得できることも期待される。

ひび割れ展開図を作成することで、ひび割れ密度、ひび割れ形態などの覆工表面の情報から覆工スパン単位において定量的に評価点(外力評価点・剝離評価点)を算出<sup>11),12)</sup>することで、一次評価を行い、とくに重点的に点検が必要と判断されたスパンおよび箇所を事前に抽出したうえで、近接目視および打音を実施することとしている。



※「鋼材腐食」「有効巻厚の不足または減少」についても判定を行うこととしている。

図-4 トンネル構造物の分類別における判定区分<sup>13)</sup>を加筆修正

打音を実施するスパンおよび箇所について、以下に記述する。

- (1) 全面打音を実施するスパン
  - ① 外力評価点が60点以上のスパン
  - ② 剝離評価点が36点以上のスパン
- (2) 打音を実施する箇所
  - ① ひび割れ幅2mm程度のひび割れが連続して3m以上ある
  - ② ひび割れ幅3mm程度以上のひび割れがある
  - ③ 打継ぎ目部に三日月型のひび割れがある
  - ④ 添架物(ジェットファン、標識など)のアンカー部およびその周辺に放射状のひび割れがある
  - ⑤ モルタル系の補修材による既対策箇所がある

- ⑥ 豆板、ジャンカなどがあり、浮き・剥離の危険性がある
- ⑦ 構造上問題があると判断されるひび割れがある
- ⑧ 健全度ランクⅢ-1, Ⅲ-2, Ⅳ, Ⅴに対し、前回点検時から補修・補強が実施されていない
- ⑨ 前回点検時のひび割れ展開図と比較して新たに変状が発生した箇所

表-11 機能面に対する判定区分<sup>13)</sup>

判定区分	一般的状況
AA	変状が著しく、機能面への影響が非常に高いと判断され、速やかな対策が必要な場合
A	変状があり、機能低下に影響していると判断され、対策の検討が必要な場合
A1 <sup>特</sup>	変状があり、機能低下への影響が高いと判断される場合。
A2 <sup>特</sup>	変状があり、機能低下への影響が低いと判断される場合。
B	変状はあるが、機能低下への影響はなく、変状の進行状態を継続的に監視する必要がある場合。
C	変状の状態(機能面への影響度合いなど)に関する判定を行うために、調査を実施する必要がある場合。
OK	変状がないか、もしくは軽微な場合。
第三者など被害に対する判定	E 安全な交通または第三者などに対し支障となる恐れがあるため、対策が必要と判断される場合。

※1 日常点検以外の点検では、A判定区分を2区分に細分化した判定を実施する。

表-12 健全度評価とその定義<sup>13)</sup>を加重修正

健全度ランク	定義
V	変状がきわめて著しく、直ちに何らかの対策を行う必要があるもの
Ⅳ	変状が著しく、早急に何らかの対策検討を行う必要があるもの
Ⅲ-2	変状があり、速やかに何らかの対策検討を行う必要があるもの
Ⅲ-1	変状があり、適切な時期に何らかの対策検討を行う必要があるもの
Ⅱ	変状があるが、現状は継続的に監視を行う必要があるもの
I	変状がないか、もしくは軽微なもの

- ⑩ 前回点検時に打音を実施している箇所
  - ⑪ 前回点検以降の補修・補強箇所およびその周辺
  - ⑫ 水平打継ぎ目・横断目地部およびその周辺
- 次に点検結果の判定について、図-4に示す。点検結果の判定区分には、利用者の安全性や覆工以外の機能面に対して判定を行う個別変状と覆工スパン単位で行う健全度評価がある。

ここでは、代表的な判定区分として、覆工以外の機能面に対する判定区分を表-11に、健全度評価区分を表-12に示す。

高速道路のトンネルにおいて、安全で快適な走行空間を維持するうえでも、建設時の施工データや点検・補修データなどを確実に保存し、記録・蓄積・更新を行っていくことが重要である。そこで道路構造物の劣化状態を定量的に把握・評価し、効率的かつ適切な維持管理を計画的に遂行するためのツールとして、トンネルマネジメントシステム(以下「TMS」という)を構築し運用している。

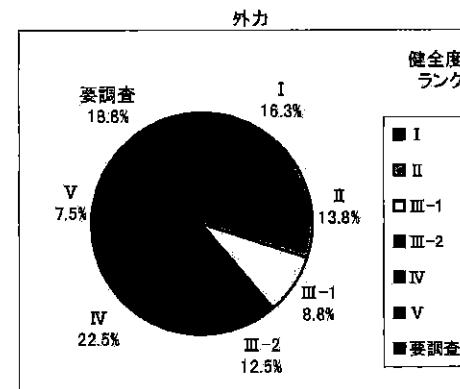
TMSは、点検結果を蓄積していくためのデータベースであり、詳細点検業務成果品に必要な各種帳票を自動的に作成することができる機能も有している。

また、点検結果などから覆工スパン単位における変状原因の推定が可能であり、対策工選定の目安となっている。さらに点検データを蓄積していくことで、表-13、図-5のように覆工スパン単位やトンネル単位での健全度および変状の経年変化を把握することができるようになっている。

表-13 覆工スパン単位における健全度判定履歴サンプル

健全度判定実施日				2014/10/22			2009/10/10				
スパンNo.	位置(KP)	区間長(m)	断面区分	詳細点検			詳細点検				
				外力	剥落	漏水	外力	剥落	漏水		
1	145.353~145.346	7	坑門部	46	Ⅱ	27	なし	46	Ⅱ	27	なし
2	145.346~145.336	10	一般部	13	I	7	なし	13	I	7	なし
3	145.336~145.326	10	一般部	60	Ⅲ-1	40	あり	36	Ⅱ	18	なし
4	145.236~145.316	10	一般部	8	I	4	なし	8	I	4	なし

詳細点検 (2009/10/10)



詳細点検 (2014/10/22)

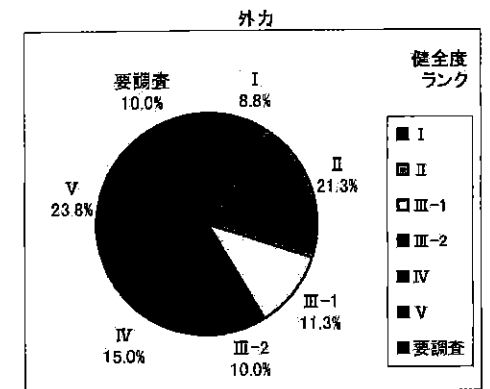


図-5 トンネル単位の健全度ランク分布図サンプル(2009点検と2014点検の比較)

### ④ 鉄道トンネルの検査

#### 4-1 検査の概説(体系)

鉄道土木構造物の定期検査は、2002(平成14)年2月より施行された国土交通省令「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」の第九十条に規定されており、関連する告示「施設及び車両の定期検査に関する告示」の第二条により検査の間隔が定められている。事業者は、検査を行う際の具体的な手続きを「実施基準」として自ら制定して国に届け、それにしたがって実際の検査を行うことになっている。関連して『鉄道構造物等維持管理標準』<sup>14)</sup>が2007(平成19)年1月に策定され、実施基準策定にあたっての解釈基準として用いられている<sup>15)</sup>。

図-6に鉄道トンネルの維持管理の流れを示す。同図に示すように鉄道トンネルでは、定期的な検査によりトンネルの状態を確認し、健全度を判定し、必要により措置を行い、記録を行うことにより、トンネルの維持管理がなされている。

#### 4-2 検査・調査の方法

トンネルで定期的実施される主な検査には、「通常全般検査」と「特別全般検査」がある(図-7)。通常全般検査は、変状の有無とその進行性、変状発生箇所の状況を把握することを目的として、トンネルの全般にわたって定期的実施する検査

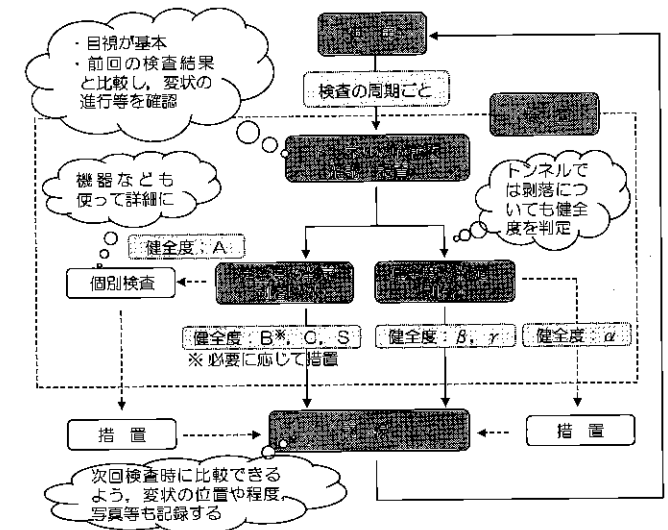


図-6 鉄道トンネルの維持管理の流れ

で、2年ごとに行うことが定められている。通常全般検査では変形、ひび割れ、漏水などに関する項目について、徒歩などによる覆工の目視を主体として調査を行う。調査項目の一例を表-14に示す。トンネルの場合は覆工の一部や添架物などの剥落が列車の安全な運行に直接影響を及ぼすことから、剥落に対する安全性についても健全度の判定を行うことになっている。剥落に対する安全性は、目視により剥落に対する健全度判定が必要な変状であるかどうかを確認し、必要な場合は、打音調査を行うことにより判定する。

トンネルにおいては、健全度の判定の精度を高めることを目的として、目視の精度を上げ、定期

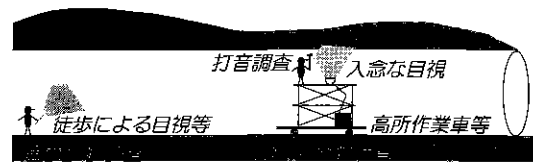


図-7 トンネルの検査

表-14 山岳トンネルの調査項目の一例<sup>14)</sup>

分類	調査項目	
変形	・位置(範囲) ・断面形状	
覆工の変状など	ひび割れなど	・位置(範囲), パターン, 長さ, 幅など ・剝離(浮き)の有無
	ジャンカ	・位置(範囲) ・剝離(浮き)など
	材料の劣化に関するもの	・位置(範囲) ・劣化の程度 ・種類(土砂化, 変色, 鉄筋露出, 腐食, 母材・目地の不良など) ・剝離(浮き)の有無
	凹凸部	・位置(範囲), 長さ, 幅
添架物, 補修材	・位置(範囲) ・劣化の程度, ボルト類の緩み ・剝離(浮き)の有無	
漏水	・位置(範囲) ・濁り, 漏水量 ・凍結の有無(程度) ・漏水跡	
表面の汚れ	・位置 ・種類 ・色	
つららなど	・位置(範囲), 大きさ	

的に特別全般検査を実施することになっている。

特別全般検査における調査項目は通常全般検査における調査項目に準ずるが、地上からの目視が主体となる通常全般検査と異なり、高所作業車などを用いて覆工に接近し、十分な照明のもとで目視(入念な目視)を行う。特別全般検査の周期は、新幹線で10年、新幹線以外で20年であり、通常全般検査と同様、必要と判断された場合には打音調査を実施する。

トンネルの検査は、目視や打音が主体であるため、検査員にかかる負担が大きい。また、検査員の経験や判断力に依存する部分もある。そのため、検査員による目視や打音を補完するための技術開発が盛んに行われている。図-8は、トンネル覆工表面の撮影車で、軌道上を自走しながらトンネル覆工表面を連続撮影する車両である。撮影結果は連続写真に合成し、ひび割れ展開図と関連づけた帳票が作成される。また、カメラ撮影による方法

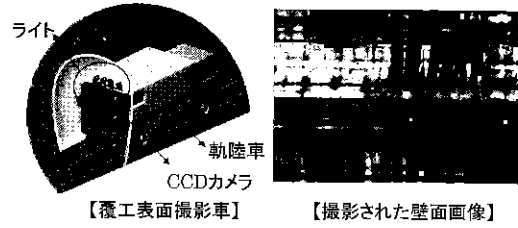


図-8 ライセンスカメラを用いた覆工撮影車<sup>14)</sup>

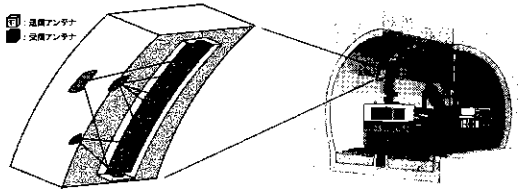


図-9 レーダ・アレイを搭載した覆工検査車<sup>14)</sup>

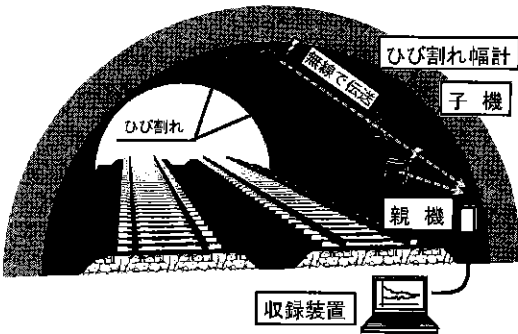


図-10 無線センサを用いた変状監視手法<sup>17)</sup>

のほか、レーザーを照射し、その反射光によりひび割れの検出を行うタイプのものもある。これらはコンピュータ性能や画像撮影・処理技術の飛躍的な進化により実用化が進み、トンネルの検査における一般的な技術となってきた。打音調査の補完のための技術としては、図-9に示したようなレーダ・アレイを搭載した覆工検査車がある。電磁波法による覆工内部の非破壊検査は従来から用いられてきた技術であるが、複数のレーダを搭載することにより、コンクリート内部の変状を立体的に検出することが可能となっている。

そのほか鉄道トンネルの変状監視には、従来内空変位の手動計測など人手による計測方法が主に用いられてきたが、これに代わるものとして、構造物の変状の兆候を初期の段階でとらえることのできる常時監視用センサによるモニタリング技術

についても研究開発が行われている。一例として、図-10に無線センサを用いた変状監視手法を示す。電源として電池を用い、計測データを無線センサで転送するタイプのもので、低消費電力のZig Bee規格の無線を用いることにより長期間の計測を可能とし、同時に、計測にかかる人工や、配線にかかるコストの低減が可能なものとして期待されている。

4-3 健全度の判定

通常全般検査、特別全般検査とも、変状の種類、程度および進行性などに関する調査の結果から、表-15に示す標準的な健全度の判定区分にもとづき、表-16に示す性能項目に対し、適切な区間ごとに健全度を判定する。トンネルの場合は覆工の一部や添架物などの剝落が列車の安全な運行に直接影響を及ぼすことから、剝落に対しても健全度 $\alpha \sim \gamma$ の判定も行うのが他の構造物と異なる。

全般検査で健全度Aと判定されたトンネルに対しては、精度の高い健全度(健全度A1, A2など)の判定を行うために、個別検査を行う。個別検査では、構造物の種類、変状の種類、周辺の状況に応じて、内空変位、コンクリートの強度、中性化深さなど目視や打音調査のみではわからない項目に関する調査も実施して、変状原因の推定や変状の予測を行うことになっている。

4-4 措置・記録

構造物の性能低下に起因する事故や災害を未然に防ぐため、必要な場合は、監視、補修・補強などの措置を行う。措置は、健全度を考慮して実施し、一般には健全度Aと判定された構造物や健全度 $\alpha$ と判定された箇所に対して実施することになる。なお健全度AAの場合は緊急に、健全度A1の場合は早急に、健全度A2の場合は必要な時期に措置を講じる必要がある。またトンネルにおいては、覆工が劣化やひび割れの発生などにより剝落を生じた場合、運転保安を直接脅かすこととなるので、健全度 $\alpha$ と判定された箇所については、速やかに劣化・剝落対策工などの措置を施工する必要がある。

検査結果は、変状展開図(図-11)に記入する。

表-15 標準的な健全度の判定区分<sup>14)</sup>

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

表-16 健全度の判定を行う性能項目<sup>14)</sup>

性能項目	具体的な内容
トンネル構造の安定性	トンネルが崩壊しないこと
建築限界と覆工との離隔	建築限界を支障しないこと
路盤部の安定性	列車の安全な運行に支障するような路盤の隆起・沈下・移動が生じないこと
剝落に対する安全性	列車の安全な運行に支障するようなコンクリート片, 補修材などの剝落が生じないこと
漏水・凍結に対する安全性	列車の安全な運行に支障するような漏水, 凍結が生じないこと

変状履歴、検査履歴のほか、工事誌や建設時の地質図についても整理・保管し、維持管理の際の参考としている。

5 おわりに

今回は、道路および鉄道トンネルにおける維持管理の具体的な流れ(検査・点検, 診断, 措置, 記録)とそれらに関する基準類、ならびに変状を把握するための最新のモニタリング手法などについて紹介した。次回以降は具体的な点検・検査の

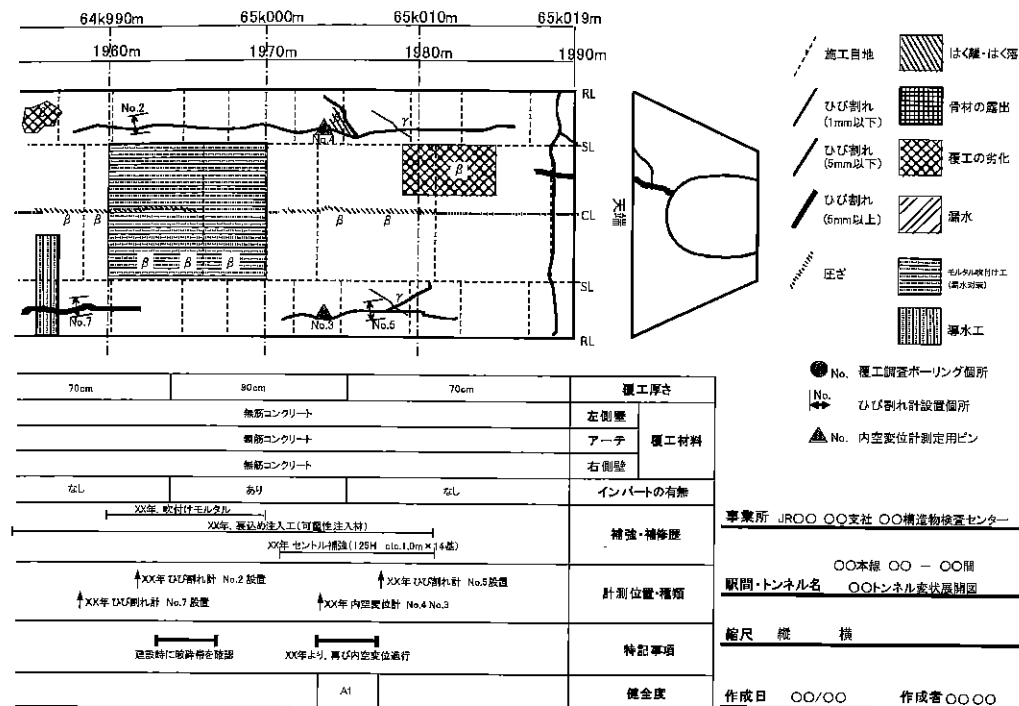


図-11 変状展開図<sup>14)</sup>

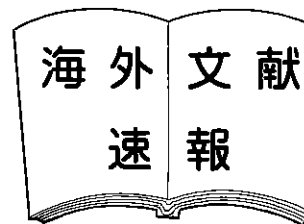
新技術や補修・補強対策について記述していく予定である。

(文責：太田裕之・応用地質(株)/水野希典・(株)高速道路総合技術研究所/野城一栄・(公財)鉄道総合技術研究所)

参 考 文 献

- 1) 土木学会：山岳トンネル覆工の現状と対策，トンネルライブラリー12，p.66，1993.9.
- 2) 太田裕之：補修・補強対策の変化・変遷，土と基礎，Vol.54，No.11，pp.30-32，2006.11.
- 3) 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，2014.4.
- 4) 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧，1993.11.
- 5) 国土交通省道路局国道・防災課：道路トンネル定期点検要領，2014.6.
- 6) 国土交通省道路局：道路トンネル定期点検要領，2014.6.
- 7) 道路法施行規則(昭和二十七年建設省令第二十五号).
- 8) トンネル等の健全性の診断結果の分類に関する告示(平成二十六年国土交通省告示第四百二十六号).
- 9) 国土交通省道路局国道課：道路トンネル定期点検要領(案)，2002.4.

- 10) 西日本高速道路エンジニアリング九州(株)：ホームページ，<http://www.w-e-kyushu.co.jp/>(平成27.4時点を確認のもの)
- 11) 山田隆昭・佐野信夫・馬場弘二・吉武勇・中川浩二・西村和夫：トンネル覆工コンクリートの定量的な健全度評価基準，土木学会論文集F，Vol.63，No.1，pp.86-96，2007.3.
- 12) 山田隆昭・佐野信夫・馬場弘二・重田佳幸・吉武勇・西村和夫：ひび割れ指数を用いたトンネル覆工コンクリートの健全度評価法の構築，土木学会論文集F，Vol.65，No.1，pp.11-16，2009.1.
- 13) 東・中・西日本高速道路：保全点検要領(構造物編)，2015.4.
- 14) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編トンネル)，2007.1.
- 15) 小島芳之・新井泰・岡野法之：鉄道トンネルの維持管理の考え方，トンネルと地下，Vol.38，No.5，pp.45-54，2007.5.
- 16) 大澤裕之・赤井司：トンネル覆工検査車の導入，日本鉄道施設協会誌，Vol.42，No.12，pp.39-41，2004.12.
- 17) 津野究・平田亮：無線センサネットワークを活用したトンネルの変状監視手法の開発，鉄道総研報告，Vol.27，No.6，pp.25-30，2013.



(一社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

最大のセグメント/Largest Segments  
By M. Pepino, G. Comin, A. Di Cara :  
TUNNELS & TUNNELLING, March,  
2013, pp.34-39

世界最大径のEPBM(泥土圧式シールド，Herrenknecht社製)が，イタリアのSparvoハイウェイ・トンネルの南坑道を掘削中である。直径15.615mと複雑な地質条件により，セグメントは厚さ700mmの高密度配筋が必要となった。

(1) セグメント製造工場

セグメント製造と保管場所として，20,000m<sup>2</sup>のスペースが必要であった。セグメント製造は，93人の従業員が3シフト，24時間，週6日の操業で行っている。平均日産量は80セグメント(8リング分)である。

(2) 養生サイクル

養生炉は3つのセクションに分かれている。最初の段階では20℃で一定に保たれ，これにより最小の強度を発現させ，かつ，微小クラックの発生を防いでいる。次のセクションでは温度を毎時15～20℃上げる。最終セクションでは55～60℃で4時間できるだけ一定に温度管理する。

(3) コンクリート配合設計

コンクリートの設計基準強度は， $f_{ck}=50N/mm^2$ である。

(4) セグメント

セグメントの諸元を表-2に示す。初期掘進中に異常なひび割れが発生し，ひび割れの発生プロセスを解明するため，実物大試験やFEM解析を行った。ひび割れ対策として，鉄筋量の増加，かぶりを30mmに減少， $\phi 5 \sim 100mm \times 100mm$ のメッシュに

表-1 コンクリート配合表

(1 m <sup>2</sup> あたり)						
C	W	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	高性能AE減水剤
kg	L	kg	kg	kg	kg	L
410	153	300	570	860	100	4.3

表-2 セグメントの諸元

セグメント幅	2m
セグメント厚さ	0.7m
セグメント周長	4.73m
リング形状誤差	±18.8mm
セグメント重量	16.55t
キーセグメント重量	8.27t
リング重量	157.22t

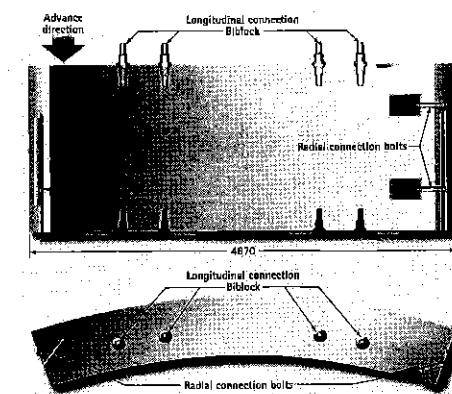


図-1 セグメント

よる端部の補強を行った。

長手方向のセグメント間の接続は接続スチールピン(パイブロック・システム)による(図-1)。周方向の各ジョイントは，2本のスチールボルトで固定する。各リングは9ピースのセグメントと1ピースのキーセグメントからなる。

(5) 許容誤差と品質管理

品質管理はまず，コンクリート配合の正確なチェックから始まる。骨材，セメント，混和剤の配合は，プログラマブル・ロジック・コントローラ(PLC)により制御される。さらに，セグメントの製造では精度0.1mmの計測装置によって，計画的な管理が行われる。

(文責：畑生浩司・鉄建建設(株))

一般社団法人

日本トンネル技術協会

会報

## 1. 会員の現状

	5月31日現在
個人会員	876名
団体会員	201名
推薦会員	207名
特別会員	12名
名誉会員	0名
賛助会員	148名
合計	1,444名

## 3. 委員会の開催状況(5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(5/11)

大島洋志主査ほか13名, 6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

## 催物企画等WG(5/12)

中間祥二主査ほか6名, 親子見学会予定地下見と案内文を検討

## 作品展示等WG(5/26)

吉富幸雄主査ほか11名, 作成資料の確認と配布計画およびパネル展示内容を検討

## 作品展示等WG展示サブWG(5/18)

早川淳一主査ほか5名, パネル展示内容を検討

## ◎事業委員会

## ・事業委員会(5/19)

桑原彌介委員長ほか16名, 施工体験発表会および現場研修会計画を検討

## ◎国際委員会

## 海外ニュースWG(5/21)

清水健志主査ほか8名, 海外文献を査読

計 6回開催 65名出席

## ②調査研究関係委員会

## ◎技術委員会

## ・山岳工法小委員会

## 支保WG打合せ会(5/21)

丸山修幹事長ほか4名, シンポジウム実施計画を検討

## ・安全環境小委員会(5/13)

豊澤康男委員長ほか16名, 記念事業報告と27年度作業方針を検討

## ・都市トンネル小委員会

## シールド変遷史編集WG第3GサブWG(5/26)

守屋洋一主査ほか7名, 原稿を検討

## シールド変遷史編集WG第1GサブWG(5/27)

河越勝主査ほか6名, 原稿を検討

## ◎受託研究特別委員会

## ・長期耐久性特別委員会縮小幹事会(5/28)

松岡茂幹事長ほか11名, 原稿を検討

計 5回開催 49名出席

合計 11回開催 114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。積極的にご登録をお願いします。なお, 登録後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)

\*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6月現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(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	200	東京	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」	2015. 6. 25	200	東京	4.7

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

## 日本トンネル技術協会設立40周年記念行事

## 「相鉄・JR直通線」トンネル工事親子見学会のお知らせ

## ～夏休みの自由研究に～

設立40周年を記念して, トンネルのつくり方や役割などについて学習し, トンネルについての理解を深めていただけるよう, トンネル工事親子見学会を下記のとおり開催します。詳細は, 協会のホームページをご参照ください。

## —記—

開催日時:平成27年8月4日(火)

見学場所:神奈川県横浜市の「相鉄・JR直通線 羽沢駅(仮称), 西谷トンネル工事」現場

募集対象:小学3～6年生の児童および保護者

募集人員:最大45名(保護者1人につき児童3名まで, 応募多数の場合は抽選)

交通手段:集合～見学場所～解散の移動は大型バス1台を予定

参加費:無料(集合場所までの交通費などは参加者負担)

集合・解散:有楽町の東京交通会館前(集合13:00, 解散17:00ごろ)

※集合・解散場所の「有楽町交通会館」ではトンネルの「パネル展示」を行っています。親子見学会と併せてご覧いただきますようご案内いたします。

(1)場所:東京(有楽町交通会館B1「ゴールドサロン」)

(2)期間:2015年8月2日(日)～8日(土) 10:00～18:00

※2日(日) 13:00～18:00

8日(土) 10:00～15:00

(3)内容:各種トンネルとその建設に関するパネル・模型と写真などの展示および施工ビデオの放映など

8月号予告 [8月1日発売予定]

特集：協会設立40周年記念  
—暮らしを支え、夢を叶える  
トンネル・地下空間—

【連載講座】

●山岳トンネル覆工の長寿命化技術(7)

\*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆春ごろテレビのニュース番組で日本国際賞の授賞式が天皇皇后両陛下のご臨席のもと執り行われたことが紹介されました。日本国際賞とは聞きなれないので、調べてみると『国際社会への恩返しの意味で日本にノーベル賞なみの世界的な賞を作ってはどうか』との政府の構想に、松下幸之助氏が寄付をもって応え、1985年に実現した国際賞。全世界の科学技術者を対象とし、独創的で飛躍的な成果を挙げ、科学技術の進歩に大きく寄与し、もって人類の平和と繁栄に著しく貢献したと認められる人に与えられる。毎年、科学技術の動向を勘案して決められた2つの分野で受賞者が選定される。賞だそうです。今年の受賞者は、医学・薬学分野から、セオドア・フリードマン博士とアラン・フィッシャー博士が、資源、エネルギー、社会基盤分野から東京大学名誉教授の高橋裕博士が受賞されました。高橋博士の受賞は、流域管理の革新的概念の創出と水災害軽減への貢献が評価されていることです。土木工学分野からは初の受賞のようです。博士の受賞講演はYouTubeから視聴でき、受賞の記念に『国土の変遷と水害』(岩波書店)が復刊されております。高橋博士は、これはひとえに私の不勉強によるところですが、『現代日本土木史』の著者としての印象が強く、高名な河川工学の先生だったと、受賞講演(動画)を見て知ったしだいです。独立した事業として行われていた「治水」「利水」「治山」などを、水循環という概念のなかに組込むことで、国土の安全を守ろうとする博士の哲学は、国土計画という大計をささえる大黒柱としてふさわしいものだと感じました。トンネル・地下技術が貢献する水循環を健全化する対策に地下貯留管などの建設があります。これからの季節、いわゆるゲリラ豪雨が頻発する時期であります。これらの施設により、浸水などによる被害が少なくなることを願っています。

(K.K.)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください。  
★(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7号 [通巻539号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成27年6月20日 印刷

平成27年7月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL : 03-3524-1755

FAX : 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

TEL : 03-3267-2888

FAX : 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

購読料

1冊 1,675円(送料108円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

TEL : 03-3267-2888

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

トンネル二次覆工型枠総合メーカー

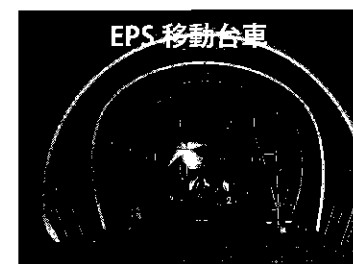
スライダ打設システム  
特許 第4083308号  
NETIS登録 KT120099-A

トンネル天端部  
懸垂ハイブレード締固め工法  
NETIS登録 KK-120003-A

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

型枠ハイブレード  
集束制御システム DKV-20  
NETIS登録 KK-130066-A

新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



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! ~限らない未来への挑戦~

大栄工機株式会社

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

URL http://www.daienkouki.co.jp/ E-Mail: daiel-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

## 図書案内

### トンネル技術者のための地相入門

大島洋志 監修, 木谷日出男 編著  
3,200円+税 B5判

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



### 山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著  
3,200円+税 B5判

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



### わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修  
1,500円+税 B5判

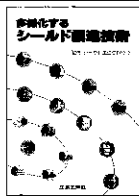
火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げ、また、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく解説。



### 多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修  
2,500円+税 B5判

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



### 推進工法の理論と実際

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

推進工法の理論を、多くの挿図を用い解説した。日本の現在の推進工法の基本となった原著を斯界の権威が翻訳・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・F.W.シュワルツ 共著, 地下水の科学研究会・大西有三 監訳

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



第I巻 地下水の物理と化学  
4,078円+税 B5判

第II巻 地下水環境学  
4,272円+税 B5判

第III巻 地下水と地質  
3,689円+税 B5判

### シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編  
4,660円+税 B5判

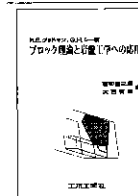
シールド工法について変遷から将来の開発の動向にいたるまで広範囲にわたり掲載した。シールドトンネルの計画・設計・施工に用いるときに参照しやすくまとめた。



### ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



### 山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 編  
14,573円+税 B5判

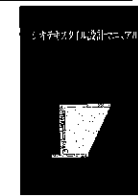
NATMによるトンネルを施工する際の基本事項を概説するとともに、1990年頃までに実用化された各種工法・補助工法について理論から施工のポイントを掲載した。



### ジオテクスタイル設計マニュアル

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

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



### 岩盤地下空洞の設計と施工

E.フック・E.I.ブラウン 共著, 小野寺透・吉中龍之進・齊藤正志・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

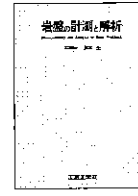
トンネル工事の際の労働衛生と環境保全の検討に有用な項目について、医学分野の知見から職業性疾病や有害環境条件、健康障害、衛生管理、保護具などを解説した。



### 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

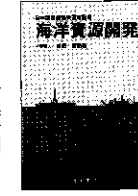
都市の代表的な地下施設である地下鉄、下水道、下水道の各トンネルについて、それぞれの主だった工法ごとに計画から施工まで実例をまじえてわかりやすく解説した。



### 海洋資源開発

稲田善紀 著  
3,400円+税 A5判

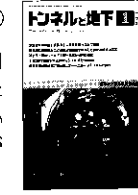
海洋の石油・天然ガス・石炭などのエネルギー資源と、マンガンノジュールの鉱物資源、また、海洋エネルギーなどの開発と利用についてまとめた。



### トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)

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



### 書籍のお申し込み

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

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

好評発売中

地形にも相がある 地形の性質を知ろう!



# トンネル技術者のための 地相入門

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

図・表・写真 288点収録

山にも人の人相のように山の相がある。地形の性質を知り、事前に危険な箇所を把握することはトンネルを施工する上で重要である。本書のように地形中心にこれほどまとまったトンネル技術書は今までになかった。施工者には施工中に予測される地形上の危険把握のため、発注者にはもっとも安全に施工できる路線選定ため、本書を有効利用いただくことが執筆陣の願いである。

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

## 《主要目次》

序編 まえがき

地相は人相 山の性状

第I編 地形から読み取れる情報

地形から地相を読む方法 / 地形から得る具体的な情報

第II編 地形種とトンネルの施工事例

段丘・台地 / 崖錐・沖積錐・扇状地 / 傾斜層 / 地すべり /  
マスマーブメント・滑落崖 / 断層 (断層変位地形) /

断層 (断層剝地形) / 火山地形 / カルスト地形・残丘 / 地形改変

第III編 路線選定

地相をよく観て路線選定を行う

あとがきにかえて

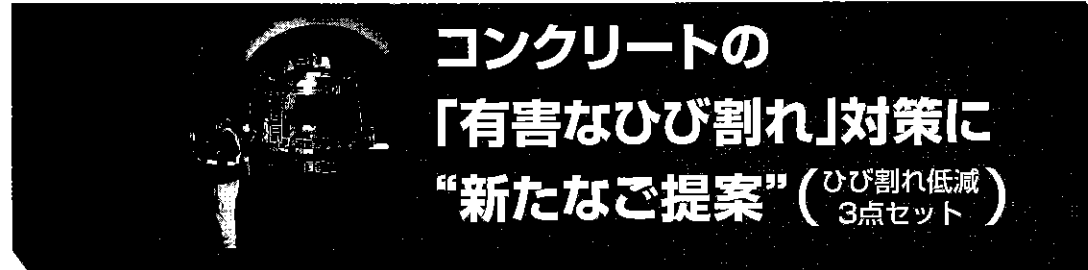
座談会

お申し込みは当社へFAX、または、お近くの書店にてお申し込みください

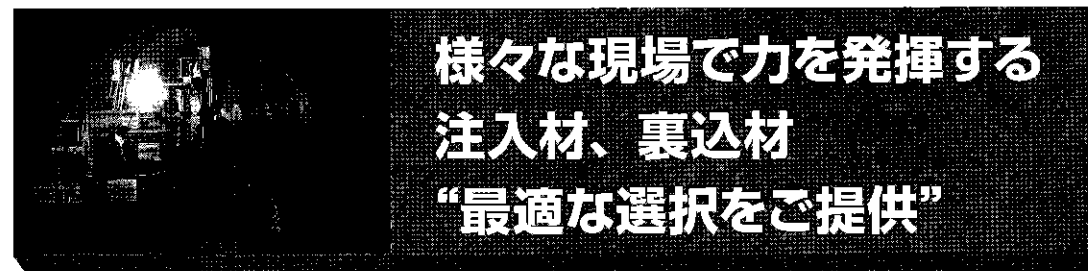
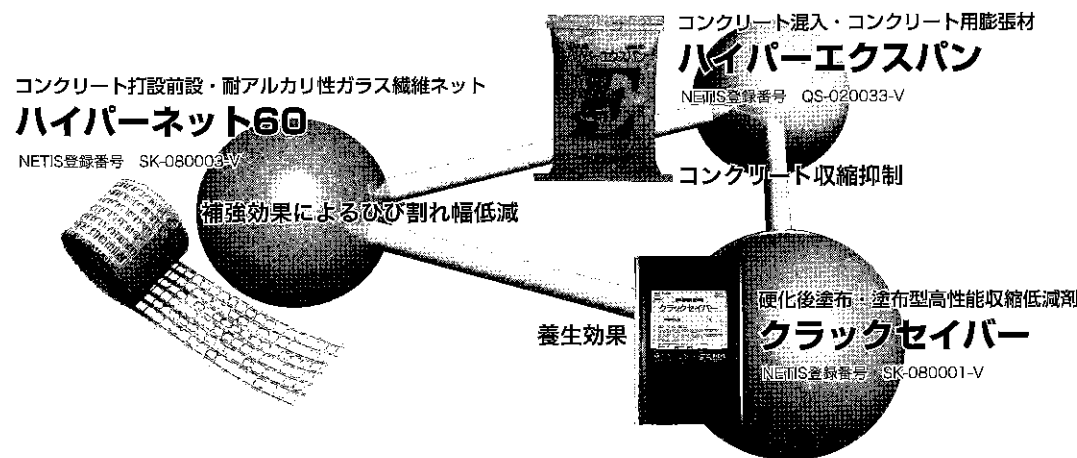


太平洋マテリアル株式会社

〒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
	瞬結工法用無機懸濁型 土質安定材・下水道止水材	太平洋アロフィクスMC2号
	注入式長尺先受工法用注入材	太平洋スーパーハード
	注入式長尺先受工法用注入材	太平洋スーパーファスナー
裏込材		太平洋フォルトカバー



太平洋マテリアル株式会社

営業本部

〒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

信頼の品質

# 技術提案に好適!! デンカの特種混和材

## デンカの液体急結剤 《デンカクリアショット》

NETIS:KT-080020A

液体急結剤 **デンカナトミックLSA**

粉体助剤 **デンカナトミックUSS**  
(Fc=18N/mm<sup>2</sup>)

**デンカナトミックHSS**  
(Fc=36N/mm<sup>2</sup>)

- ・脅威の低粉じん吹付けが可能
- ・確かな初期強度、長期強度発現性
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない
- ・粉体急結剤と同様の吹付け性状
- ・湧水、低温にも強い

優れた低粉じん吹付け

## 《デンカスラリーショット》

**デンカナトミックUS-32**

**デンカナトミックUS-50**

《粉じん低減剤》  
**デンカクリアップ2 & 3**

- ・安定した低粉じん吹付けが可能
- ・確かな初期強度、長期強度発現性
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

実績の粉体急結剤

一般吹付け・高品質吹付け  
**デンカナトミックTYPE-5**

高強度吹付け  
**デンカナトミックTYPE-10**

瞬結吹付け・初期高強度吹付け  
**デンカナトミックTYPE-10S**  
**デンカΣショットSH & S**

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

覆エコンクリート  
ひび割れ抑制・耐久性向上

コンクリート用膨張材  
**デンカパワーCSA**

有機無機複合型被膜養生剤  
**デンカクラッコフ**

ポリプロピレン短繊維  
**GRACE Microfiber**

- ・高品質な覆エコンクリートが得られます

### ◆トンネル関連製品

- ・PFモルタルTYPE-K…小断面、TBM・シールド工用吹付けモルタル
- ・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
- ・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/コロイダルスーパー…微粒子、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
- ・デンカクリーニングラウト…非エア系可塑性モルタル

# DENKA

電気化学工業株式会社

特殊混和材部  
東京都中央区日本橋室町2-1-1  
電話 03-5290-5558

定価 1,620円 雑誌06619-7

本体価格1,500円



4910066190750  
01500