

# トンネルと地下 11

vol. 47

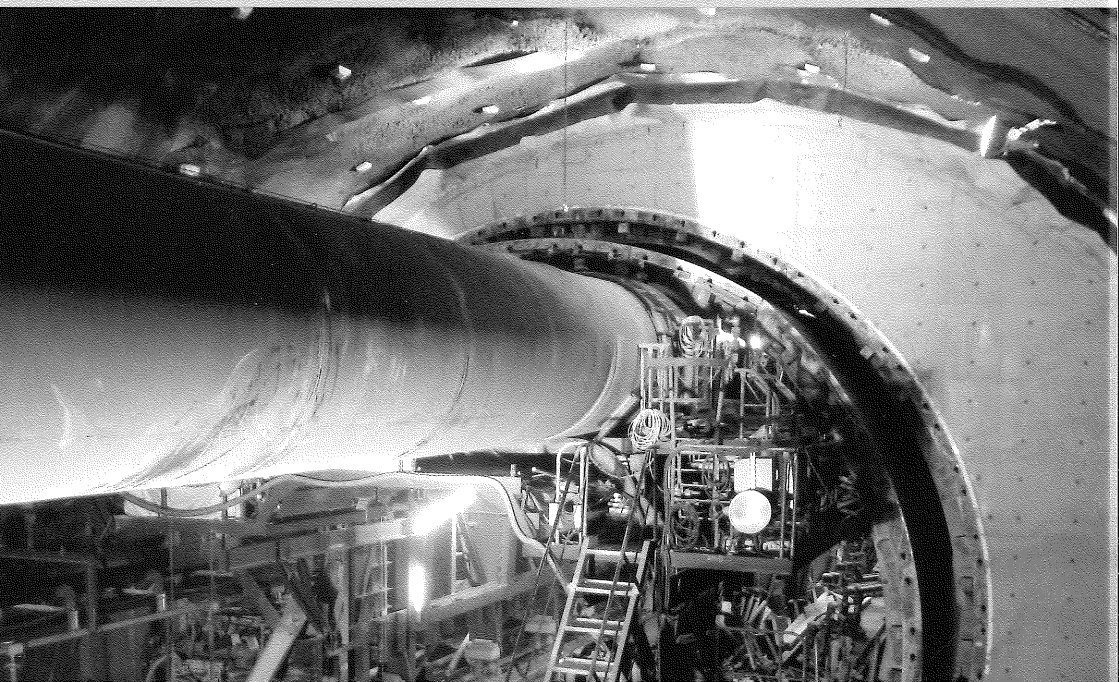
no. 11

2016

and Underground

の取組みと施工合理化に向けた切羽探査・計測技術  
避難通路用ボックスカルバートを特殊台車で搬送・敷設  
平行する本線トンネルの調査坑を全断面早期閉合で試みる  
ル覆工の浮き・剥離の可視化による検出システムの検討  
における超高圧2液混合ジェット噴流の影響範囲に関する実験的研究  
トンネルにおける路盤隆起対策効率化の取組み

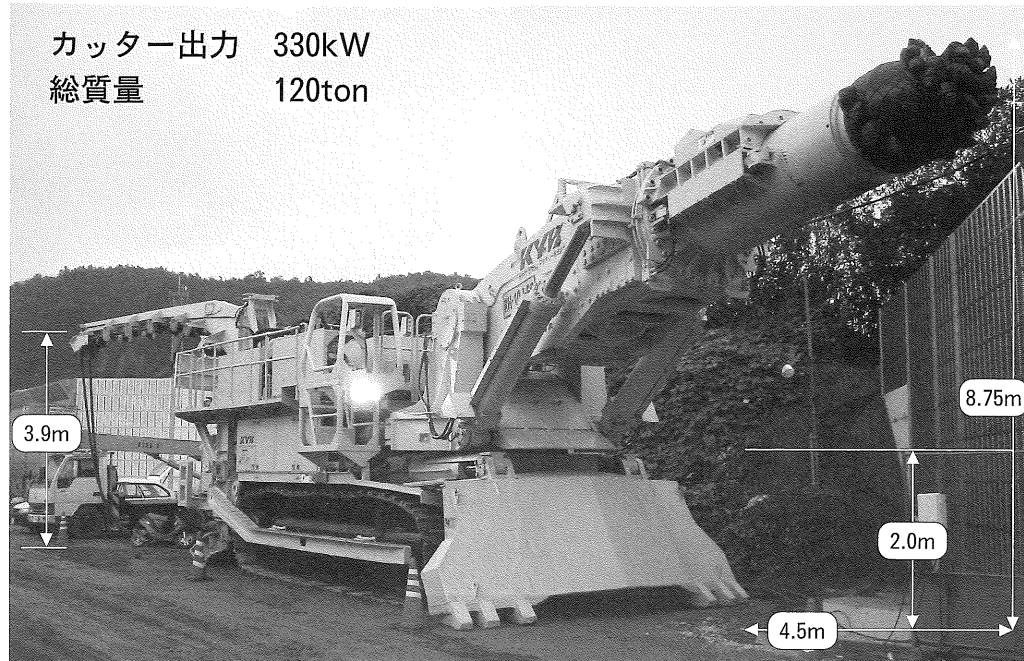
日本トンネル技術協会誌



ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

# RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW  
総質量 120ton



## 主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅4.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

**KYB** カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

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

吸引ダクトが無くても**全ての断面、全ての延長**に対応

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

**NETIS**

公共工事等における新技術活用システム

登録番号: **TH-100024-VE**

トンネル工事用 電気集じん器

**e-DUSCO**

イーダスコ240/イーダスコ270

ファン動力30kW ファン動力37kW

経済産業省後援

第39回優秀環境装置

日本産業機械工業会 会長賞

全てのトンネルに  
適用可能!

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



吸引捕集方式にも対応



## 希釈封じ込め方式での計算例

### ① 粉じん発生量

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

### ② 所要換気量

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

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

### ③ 集じん機の選定

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

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

注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

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

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

△古河機械金属グループ  
**古河産機システムズ株式会社**

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

本社

〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3  
第二営業部 ☎03-3212-6575

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

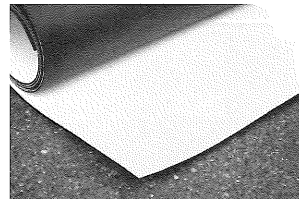
# ウォータータイトトンネル 防水システム



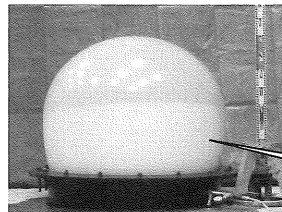
非排水型防水システム用メンブレン  
KFCタイトライナー

## 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



シグナルレイヤーに付いた傷

シート多軸伸び試験

## 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

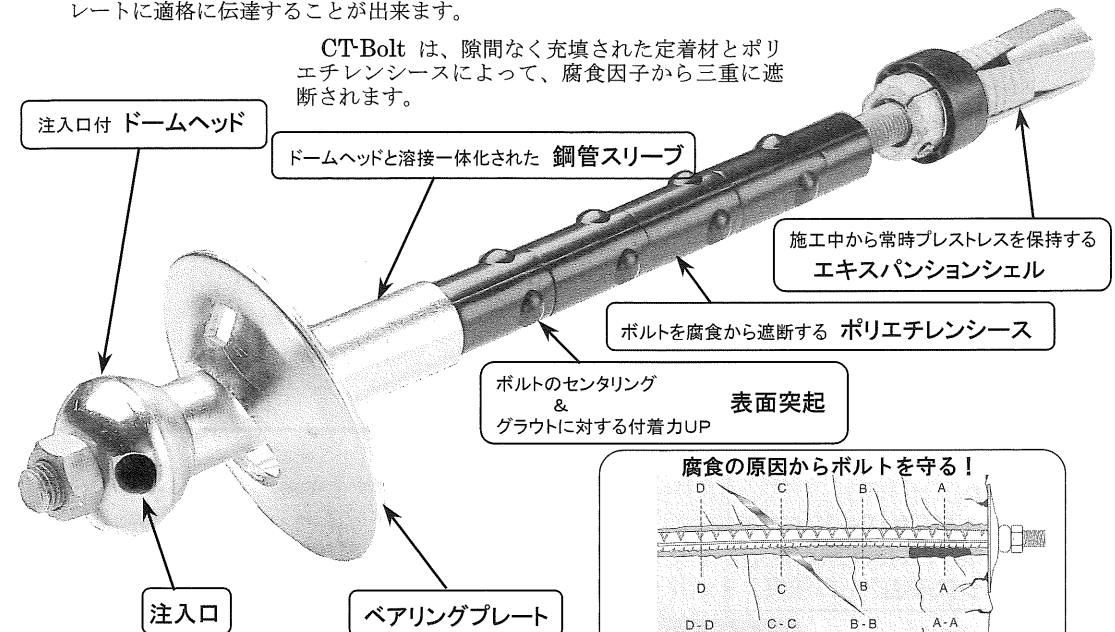
# CT-Bolt



## 通常施工により超長期支保

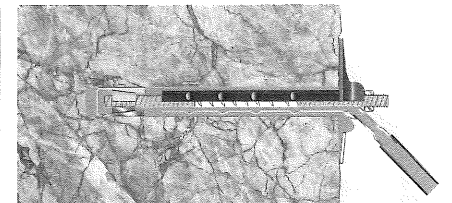
CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適格に伝達することが出来ます。

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。



## 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

## 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、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。

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。

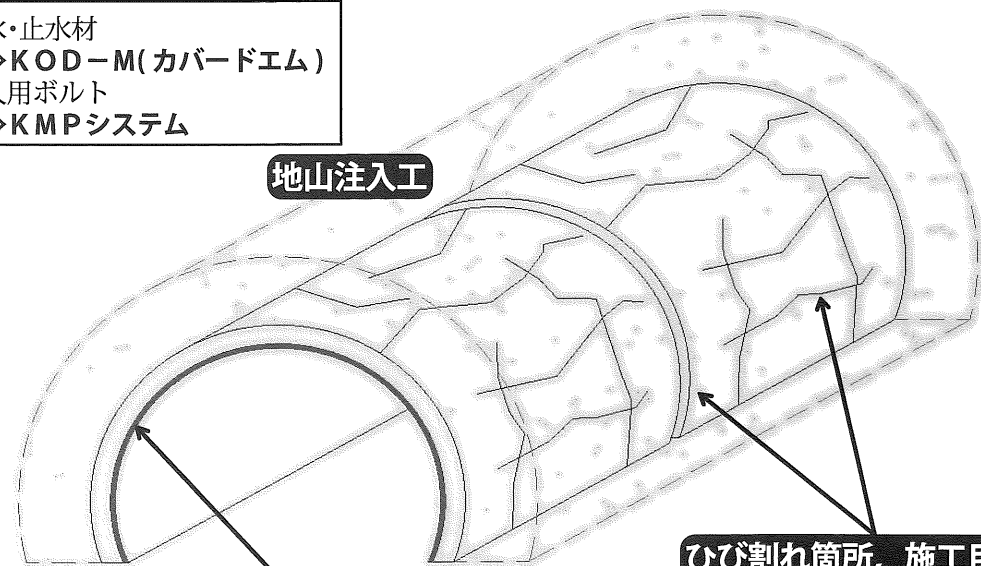
一方、老朽化してきている既設トンネルにおいては、適正に維持管理をし延命化するための補修、補強工事が行われています。これらに対応して、当社の樹脂系注入材の豊富なノウハウと技術力を活用して、既設トンネル補修、補強工事に適する樹脂系材料「Kシリーズ」を開発しました。

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る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)

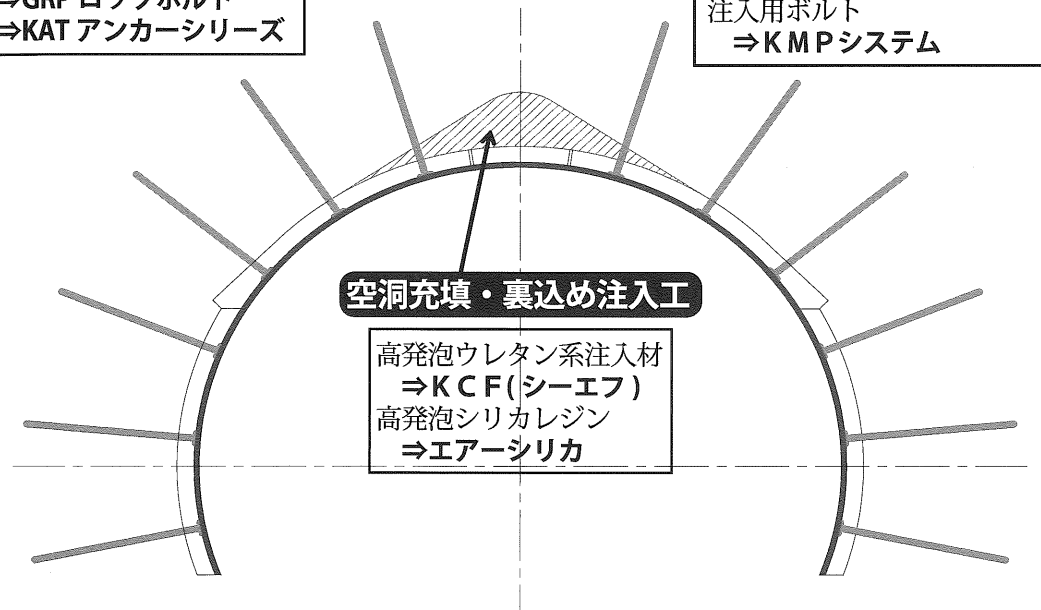
ロックボルト工

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(㈱エイチ・アール・オー)

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

R<sup>2</sup>C(スキュアール)工法研究会 事務局(㈱カテックス内) TEL) 052-331-3997

# 最新型・電気集じん機 エコクリーンX

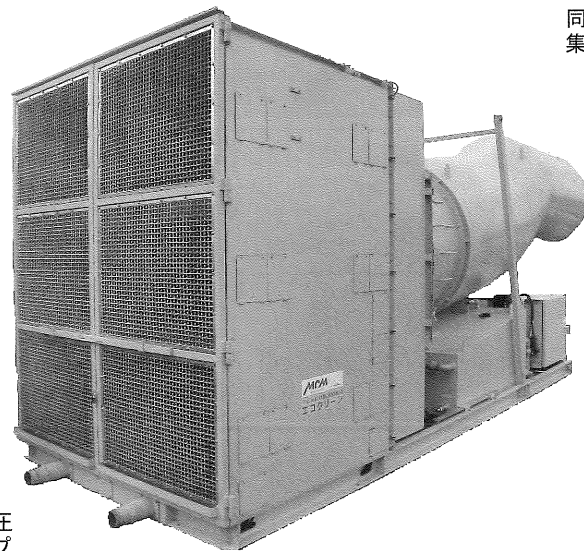
NETIS登録番号:KT-040047-A

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

**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



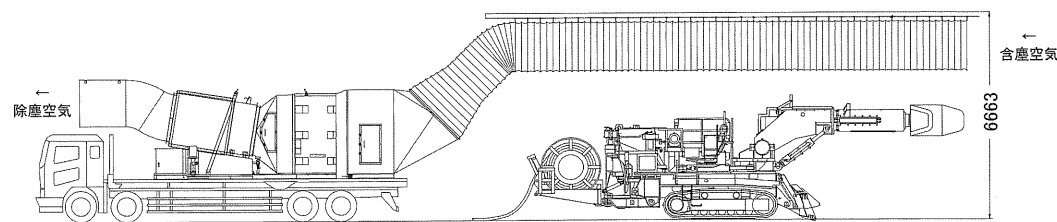
**少ない消費電力**  
同クラスのフィルター方式集じん機に比べおよそ1/4

**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.

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: 愛知県名古屋市中区植田東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

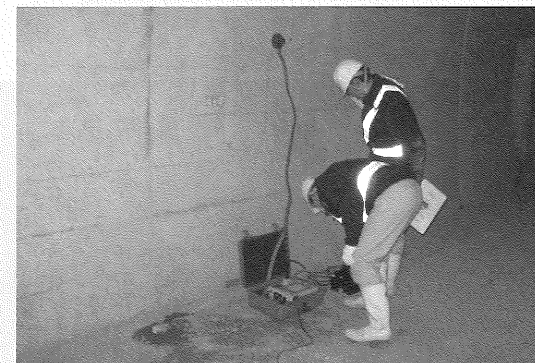
NEW

# トンネル覆工初期養生FRP工法 ~ハイブリッドフォーム誕生~

NETIS NO.KT-150039-A



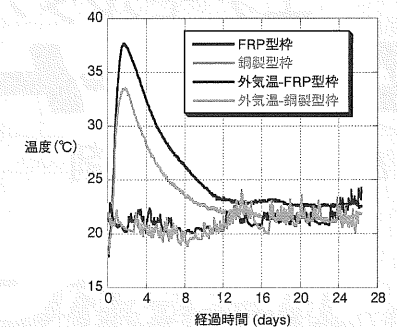
### ■透気試験実施



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

### ■覆工コンクリート温度の経時変化

【宮崎大学との共同研究により、崎アジタ 古江トンネル南にて測定】



◎3~4°Cの保温効果により、コンクリート強度が15~20%向上

## M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

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

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。

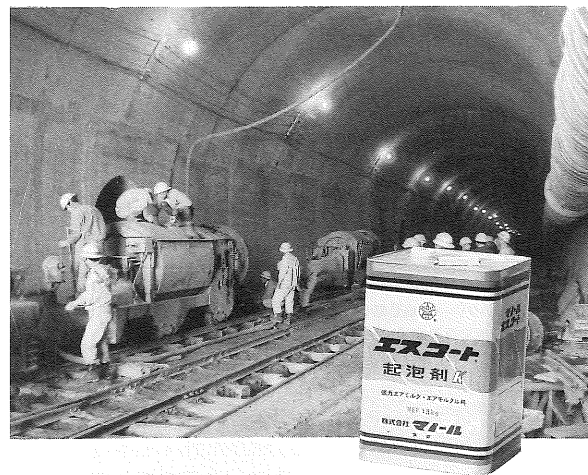
- 短時間で高強度，即日仕上り
- 強力な接着力と収縮，ヒビ割れ防止
- 防水性，防錆力に優れ，中性化防止
- 既調合品で現場管理が簡単

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



株式会社 **マイール**

◆ 土木資材の総合プランナー ◆

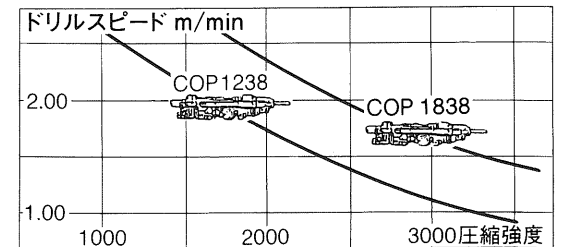
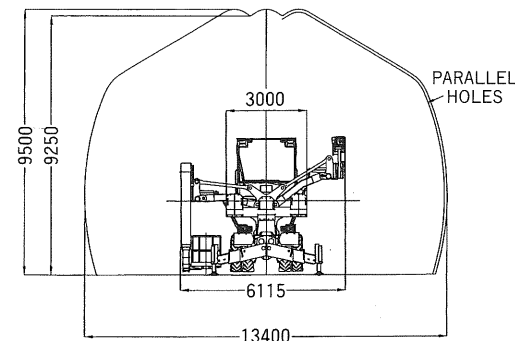
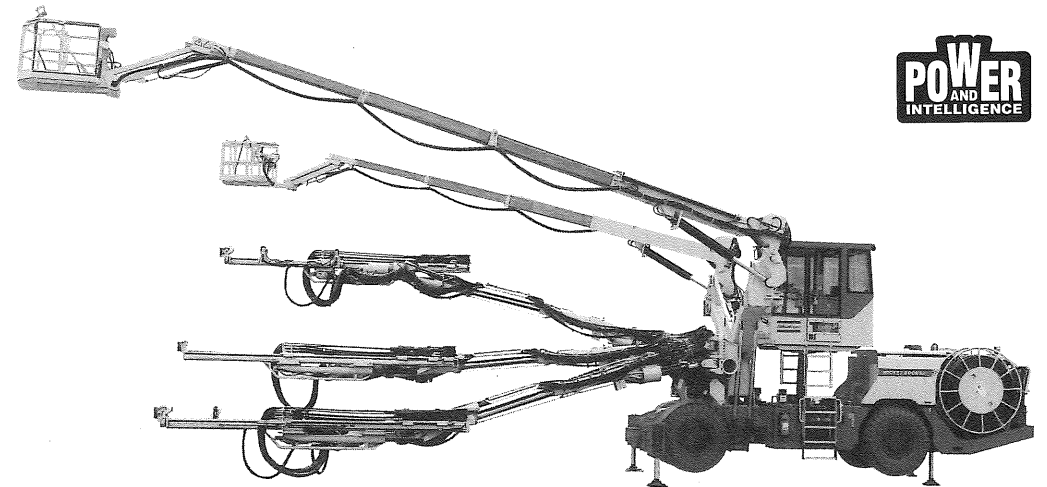
〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16  
TEL 03(3927)1331(代)

# 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

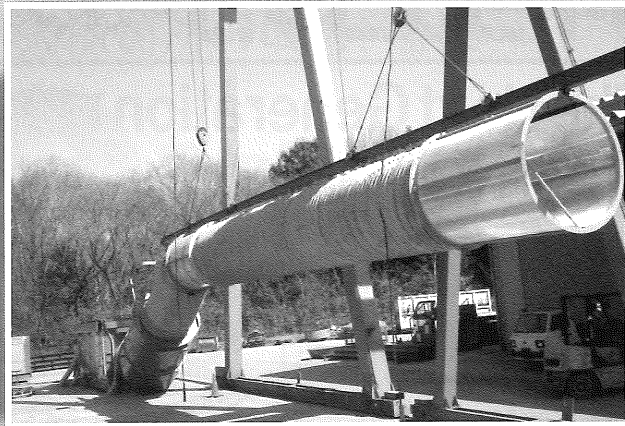
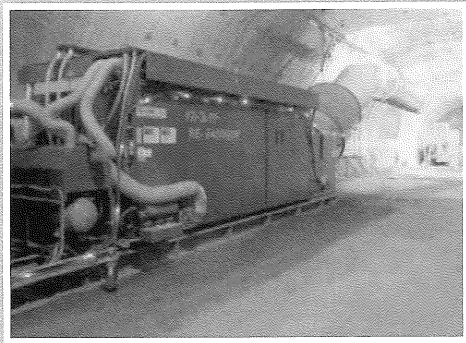
### 3ブーム・2バスケット



## 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 2-1-36  
TEL (0197) 72-7416 番 FAX (0197) 72-7418 番  
九州営業所 〒830-0021 福岡県久留米市篠山町 12-3-301  
TEL (0942) 27-5992 番 FAX (0942) 27-5993 番  
兵庫工場 〒679-1332 兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端454-3  
TEL (0795) 36-0461 番 FAX (0795) 36-0467 番

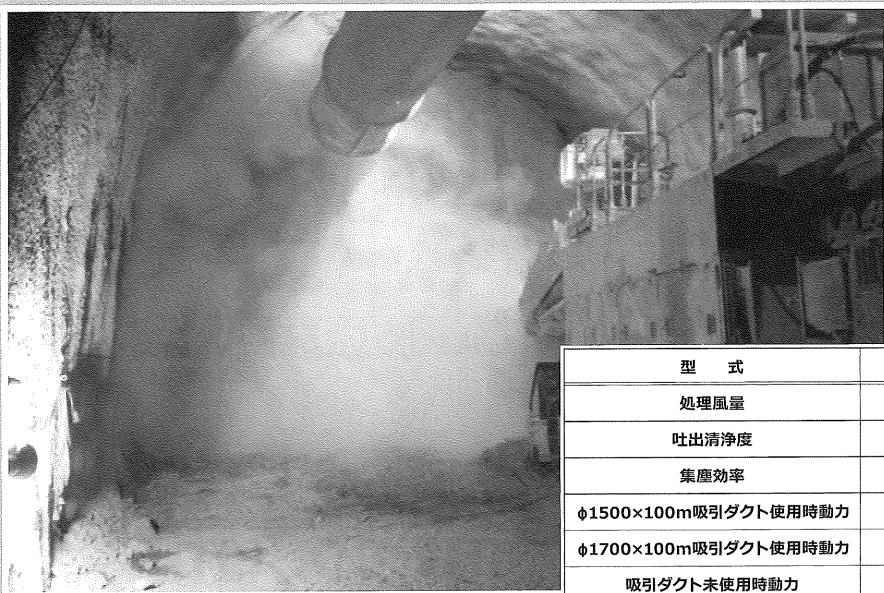


# 動力60%低減実現! (当社従来比)

## 吸引捕集換気システム 新登場

### RE-2400QDP

「コンパクト&低動力&高浄度」を一度に実現した孤高のスペック



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

最適環境を創造する  
株式会社 **流機** エンジニアリング

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

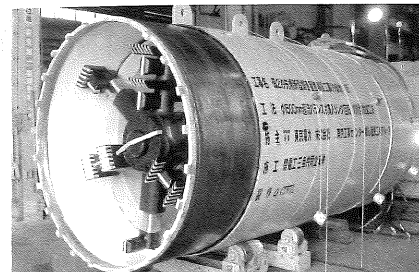
(PC・スマホ専用)



## 超流バランスセミシールド工法

超流セミシールド協会

### 貫入リング押し回転切削型接合法



φ1500mm 貫入リング回転切削型掘進機 (接合切削時)

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

#### 貫入リング回転切削型接合法の特徴

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

### 密閉型先受け長距離・曲線パイプーフ工法



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

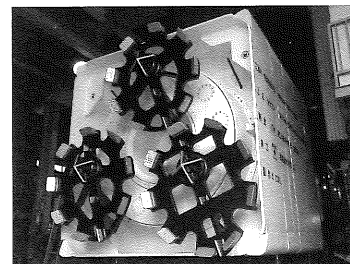
#### 密閉型先受け長距離・曲線パイプーフ工法の特徴

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

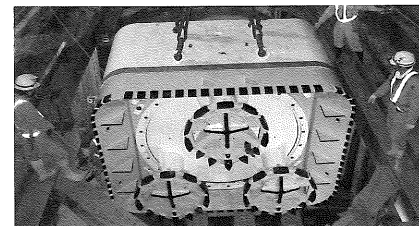
## ボックス推進工法

ボックス推進工法協会 NETIS QS-100019-A

### 多軸自転・公転掘進機 (内空寸法□3000×3000)



### 多軸自転・公転掘進機 (内空寸法□2800×1800)



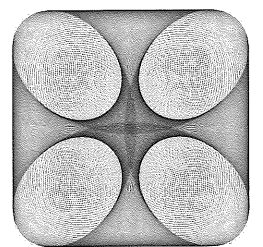
- ① 経済性
- ② 工期短縮
- ③ 狭路施工技術
- ④ 地表面への影響低減
- ⑤ 短距離からの施工

#### ボックス推進工法の活用例

- 電力管路や通信管路の構築
- 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

#### 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



カッタービット軌跡

協会事務局・技術本部 株式会社 **アルファシビルエンジニアリング**

**αCIVIL**

〒812-0015 福岡市博多区山王1丁目1番18号  
TEL (092) 482-6311 FAX (092) 482-6363  
E-mail: [arfa@oregano.ocn.ne.jp](mailto: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

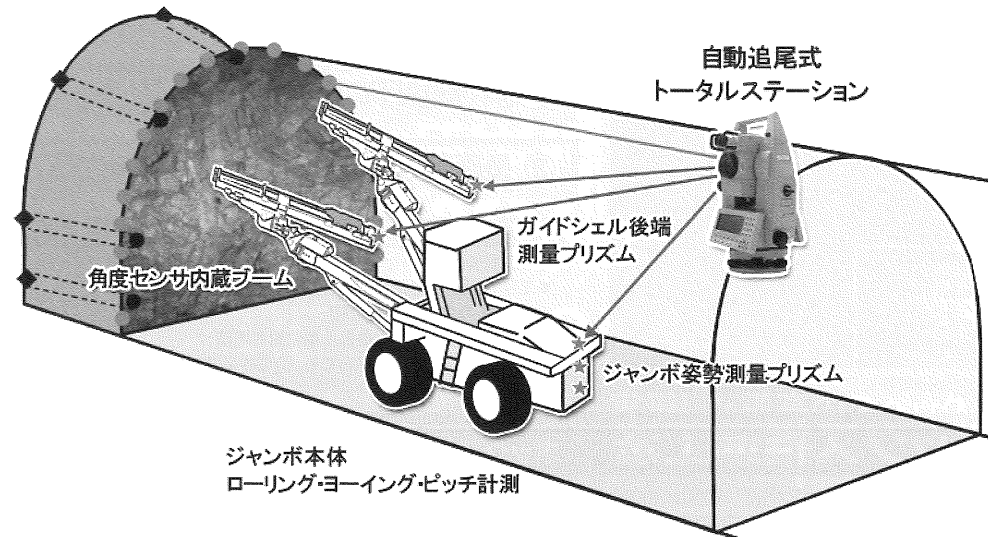
※各工法協会会員名簿については、ホームページをご参照下さい。

NETIS登録番号:KK-100049-A

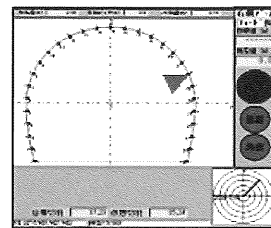
# 自動追尾式余掘り低減システム

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。



## ■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご利用は

**MAC** マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

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

**FRD** 古河機械金属グループ  
古河ロックドリル株式会社

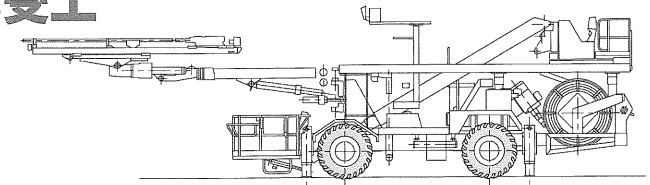
〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3  
特機部

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

## 環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

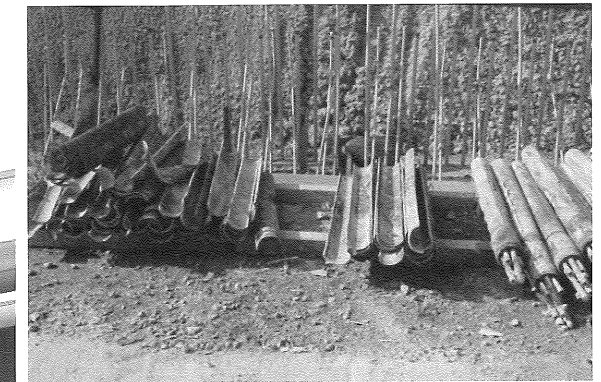
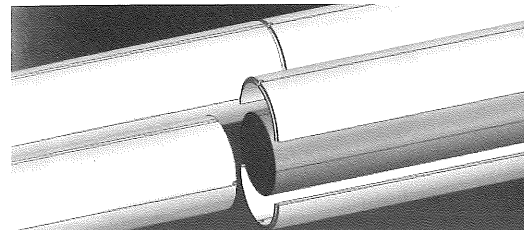
All Ground Fastening;  
Long-Distance, Fore-Piling Method



## AGF-Me工法

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

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



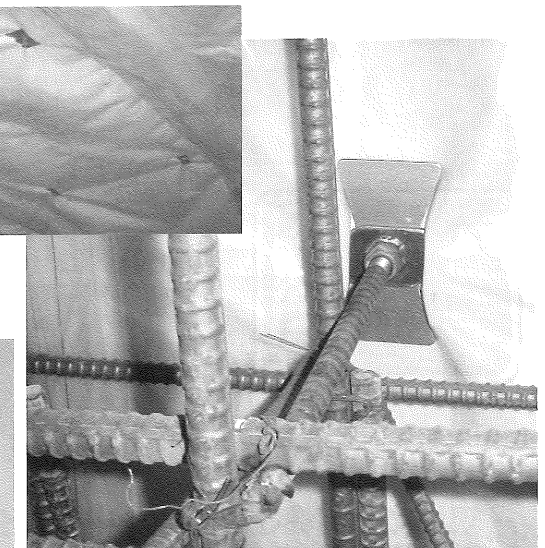
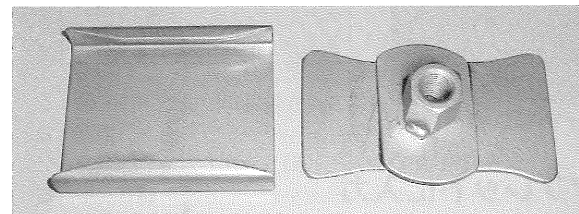
## 防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

## TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

1. 支保工へ溶接したグリッパーに防水シートを当てます。
2. 回転プレートを押込みます。
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>

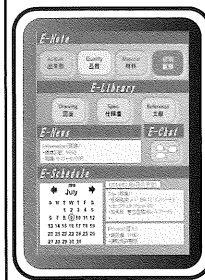
**株式会社 トーキョーオール**

〒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)

NEW

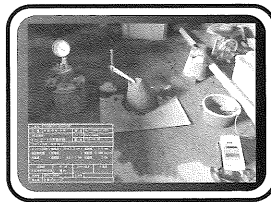
# 究極のトンネル施工管理システム 生産性向上への挑戦！！ En-Note

## Tunnel i-Construction



### タブレット端末

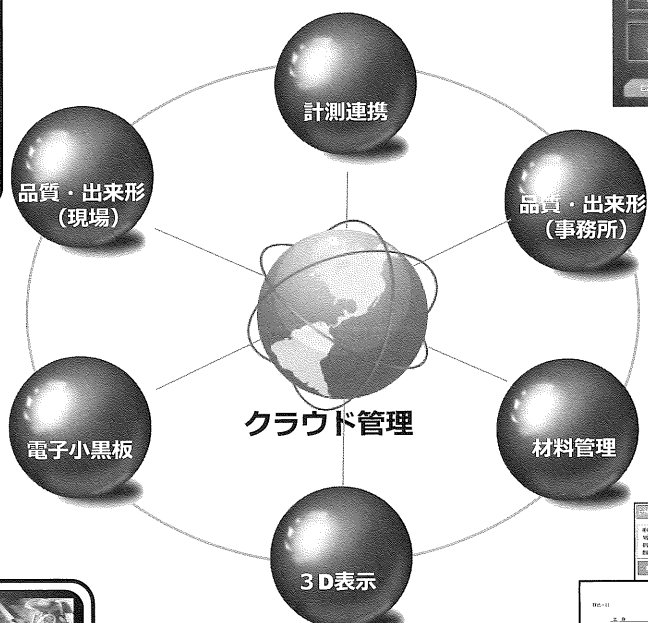
- ・品質
- ・出来形
- ・材料
- ・切羽観察
- ・写真
- ・チャット
- ・遠隔試験



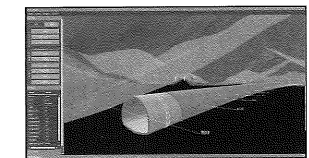
- ・現場で計測値を直観的な操作でタブレットに入力
- ・工用小黒板で楽々撮影



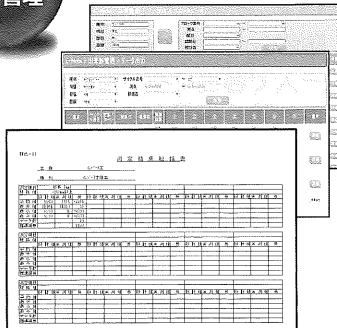
黒板、野帳要らずで、現場の作業のみで各種情報はデータサーバへ保管



職員パソコン



3D可視化+情報管理(自動)



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

# 月刊推進技術 購読のご案内



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

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

### 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ております。

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



お問い合わせ先

月刊推進技術 編集室

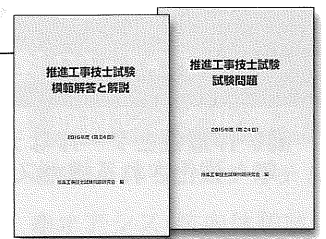
<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/>

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

## 推進工事技士試験 過去6年間(2010~2015年度)

# 試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編



2015年度版発売中!!

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

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

### 1. 内容と特長

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

### 2. 価格

各年度単体に 1set 2,000円(消費税・送料込)

### 3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社(団体)名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。

これらのことをインターネットでご案内しています。

お問い合わせ先

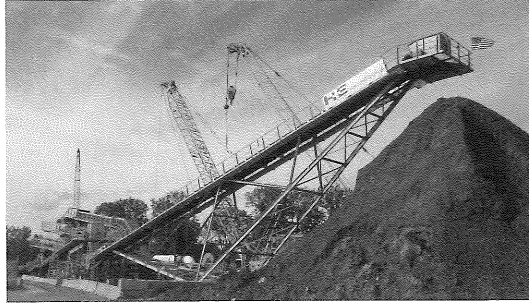
株式会社 LSプランニング

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

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

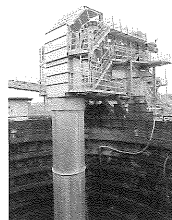
**H+E**  
H+E LOGISTIK GMBH

Clever Conveying



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

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



H+E Logistik GmbH  
日本代理店



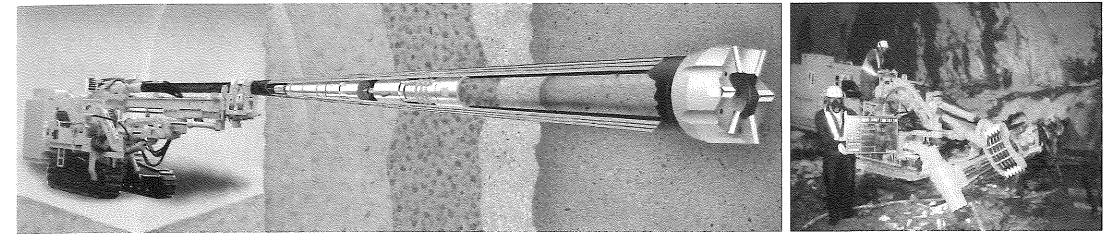
**山崎マシーナリー株式会社** 担当: 富樫

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

## トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

### パーカッションワイヤーライン サンプリング工法

- 断層破砕帯や湧水をとまらぬ難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実にこなえ、施工時間が大幅に短縮できます。
- 2重管ワイヤーラインサンプリングシステムにより、地質条件にかかわらず、コアサンプルの採取率が従来と比べて大幅に向上しました。



地球に  
する会社。  
**KOKEN 鉋研工業株式会社**

本社 〒171-8572 東京都豊島区高田2丁目17番22号 目白中野ビル1階  
TEL(03)6907-7888(大代表) FAX(03)6907-7527

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

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

北海道支店: (011) 561-4961  
大阪支店: (06) 6385-0350

東北支店: (022) 762-6075  
中国支店: (083) 972-8757

信越支店: (025) 275-6877  
九州支店: (092) 924-5001

首都圏事業部: (03) 6907-7511  
海外事業部: (03) 6907-7515

**VOLVO 建設機械**

高い作業性とクールなデザインが人気  
年々強化される排ガス規制にも対応



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

**TMS** Techni-Métal Systèmes

多目的運搬台車  
4次オフロード法取得 レールからの解放



TMS社 日本代理店  
担当: 富樫



**山崎マシーナリー株式会社**

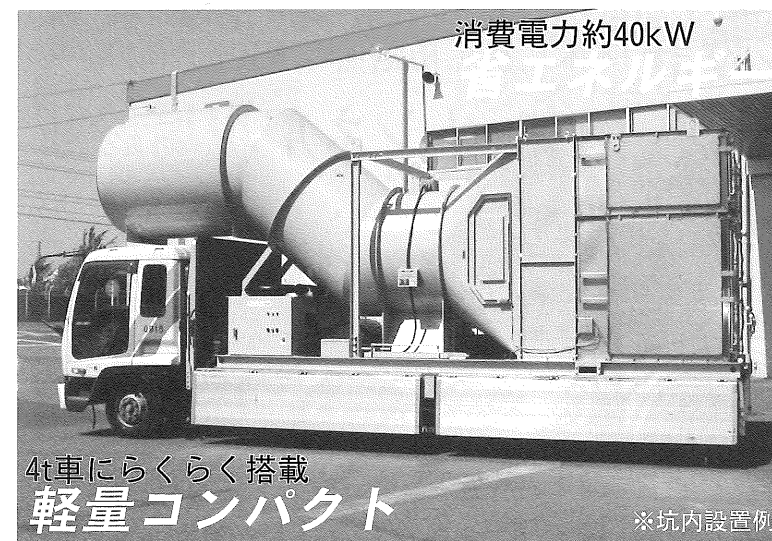
〒438-0216 静岡県磐田市飛平松 216 番地 1  
代表 TEL0538-66-1211 FAX0538-66-6410

消費電力約40kW

**RENT**

取扱レンタル商品

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



4t車にらくらく搭載  
軽量コンパクト

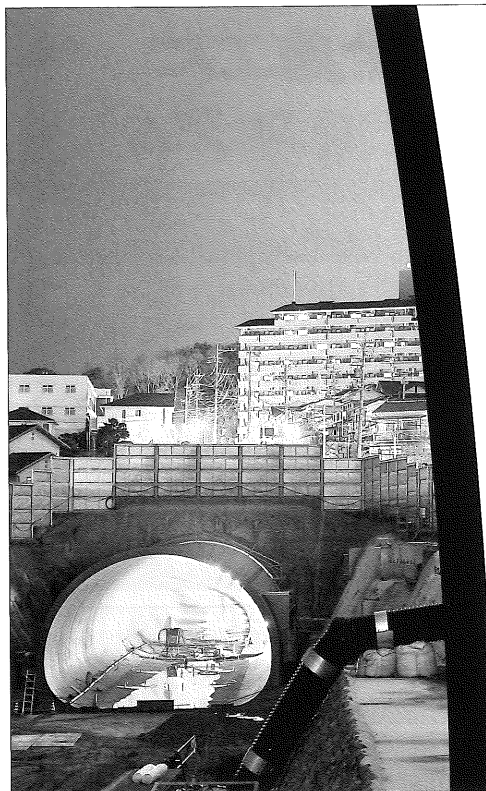
※坑内設置例

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

**株式会社 レント**

特機営業課 担当者 工藤

〒134-0093 東京都江戸川区二之江町1409-1 TEL: 03-5667-7803 FAX: 03-3804-6053  
URL: <http://www.rent.co.jp> E-mail: kudo.yuji@rent.co.jp



# 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おります。

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、計測そ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/edevill](http://orica.com/edevill) にアクセスしてeDevil Case Studyのビデオをご覧になって下さい。

orica.com



エレクター付 コンクリート吹付システム(ホイール式)

## 『新型EJS NEJS I-TN』



安全・操作性を  
徹底的に追求した  
次世代型吹付機!



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



Tunnel & Mining

ニシオティーアンドエム株式会社

山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業

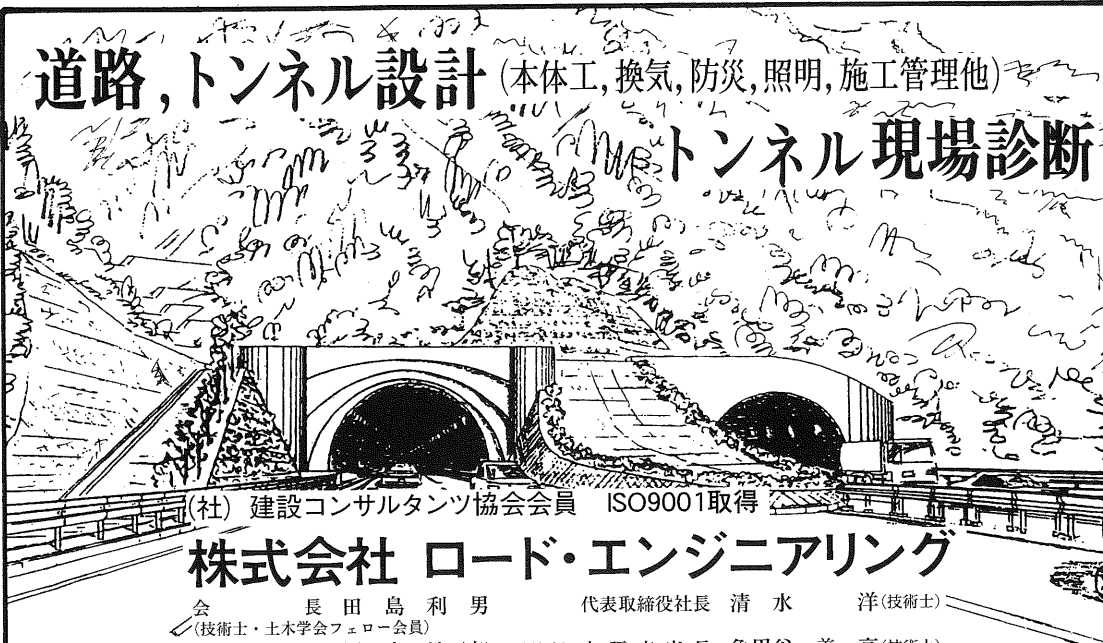
<http://www.nishio-tm.co.jp>

〒569-0836  
大阪府高槻市唐崎西2-26-1

- 〈東日本カンパニー〉
- 北日本支店  
北海道営業所 TEL:0133-72-3715  
東北営業所 TEL:0197-71-2405
  - 東日本支店 TEL:0268-62-1426  
浜松支店 TEL:0538-66-0166
- 〈西日本カンパニー〉
- 大阪支店 TEL:072-677-2101
  - 九州支店 TEL:0982-26-2111  
福岡営業所 TEL:092-976-6331

## 道路,トンネル設計 (本土工,換気,防災,照明,施工管理他)

## トンネル現場診断



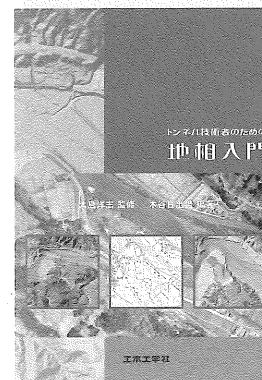
### 株式会社 ロード・エンジニアリング

会 長 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

地形にも人相がある 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

### 《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 /  
マスムーブメント・滑落崖 / 断層(断層変位地形) /  
断層(断層剝削地形) / 火山地形 / カルスト地形・残丘 / 地形改変
- 第III編 路線選定 地相をよく観て路線選定を行う  
あとがきにかえて 座談会

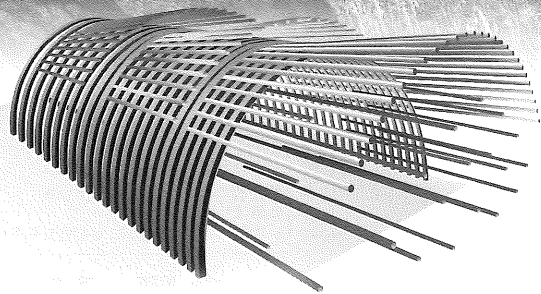
図・表・写真  
288点収録

お申し込みは当社へ FAX, または、お近くの書店にてお申し込みください



株式会社 土木工学社

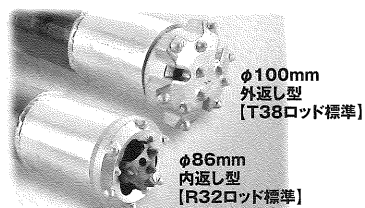
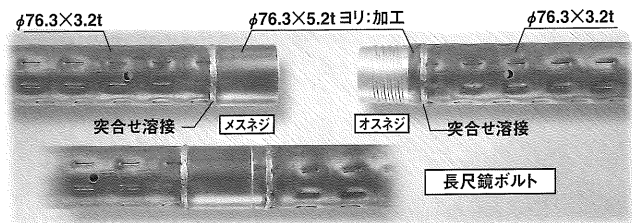
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂  
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807



NETIS登録No.KK-160026-A

## ストロング FIXチューブ(S型)

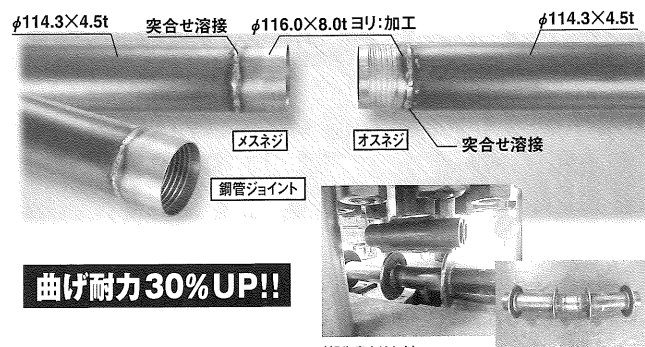
- ※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
- ※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



NETIS登録No.KK-150045-A

## AGF-STD工法

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

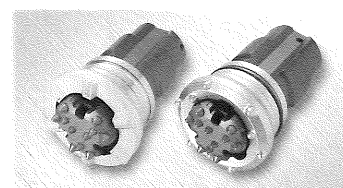
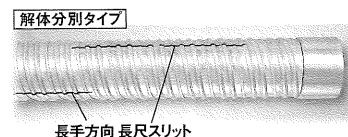
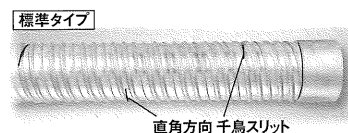


曲げ耐力30%UP!!

(報告書あります)

接続部の抗折力試験

撤去管の選択



STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

## 注入材・その他工法

NETIS登録No.KK-110040-A

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

STE

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

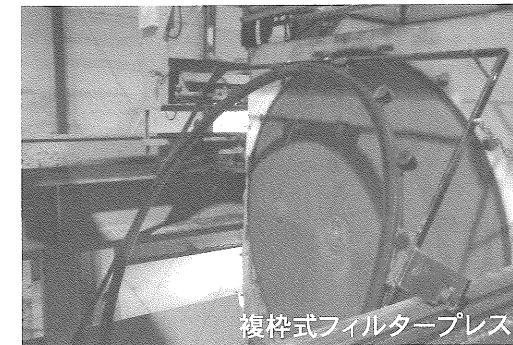
〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2

TEL: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



【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

■巻頭言

NATMとイチロー

服部 修一 ..... 5

■研究

地下鉄トンネル覆工の浮き・剝離の可視化による検出システムの検討

三浦 孝智・川上 幸一・小西 真治・篠原 秀明 ..... 41

DO-Jet工法における超高圧2液混合ジェット噴流の影響範囲に関する実験的研究

神山 守・磯部 隆寿・岩佐 行利・小泉 淳 ..... 47

■報告

供用中のトンネルにおける路盤隆起対策効率化の取組み

—北陸新幹線 碓氷峠トンネルほか—

北川 一希・細井 麻里・久保原 猛・若林 秀明 ..... 53

■施工

覆工高品質化の取組みと施工合理化に向けた切羽探査・計測技術

—新名神高速道路 野登トンネル—

伊原 泰之・塩梅 崇・白旗 秀紀・加藤 健治 ..... 7

トンネル内の避難通路用ボックスカルバートを特殊台車で搬送・敷設

—都市計画道路大和川線避難通路—

岸 秀樹・陣野 員久・天野 宏 ..... 17

中央構造線に平行する本線トンネルの調査坑を全断面早期閉合で試みる

—三遠南信自動車道 青崩峠トンネル(池島調査坑)—

渡部 達宏・桑原 良輝・八木田茂生・楠本 太 ..... 23

■連載講座

トンネル新技術への挑戦(12)

—通行止めを要しないインバート設置工法—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 ..... 61

■現場だより

伝説「静御前と鈴ヶ神社」岩手県宮古より

佐々木照夫 ..... 15

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

これからのシールド工事を担う諸君へ

佐伯 博 ..... 33

■資料

土木情報

編集部 ..... 16

工法・技術・製品ニュース

編集部 ..... 60

トンネルジャーナル

編集部 ..... 40

■会報

会報

日本トンネル技術協会 ..... 70

【表紙説明】

覆工高品質化の取組みと施工合理化に向けた切羽探査・計測技術  
—新名神高速道路 野登トンネル—



本工事では、連続ベルコン通過型テレスコピックセントルを導入して、覆工コンクリートの高品質化、および高速施工と坑内環境改善を実現した。また、先端駆動型水圧ハンマを用いた削孔データから精度よく地山評価を可能とする切羽前方探査技術や、重機が往来する坑内においてもインバート部の変位挙動を継続的に計測可能なインバート変位計測技術を採用した。写真は新型セントル内部を通過する連続ベルコンの状況である。

〔写真提供：中日本高速道路(株)〕(本文7頁参照)

**ヤマモト** **かくがんき** 無騒音 無振動 静かな破碎  
 超大型油圧破碎機  
**YTB 1120**  
**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)

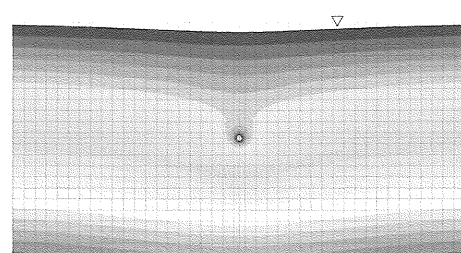
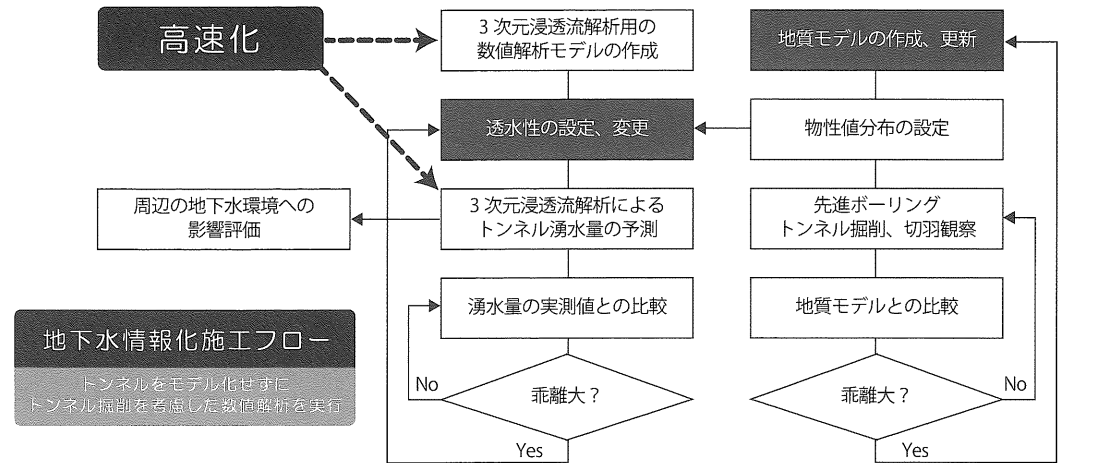
工場 広島県庄原市東城町川西424-1 ☎ (08477)2-2137(代)

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)

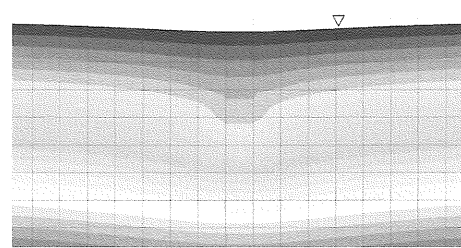
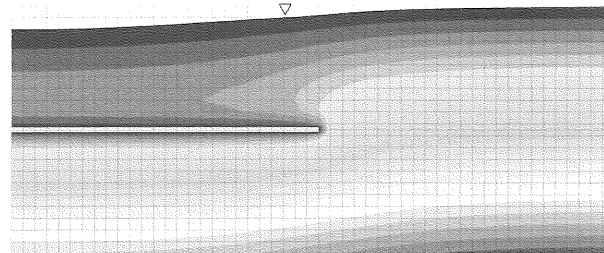
# 仮想トンネルモデルによる地下水情報化施工の支援

トンネルの情報化施工においては、先進ボーリングや切羽観察の結果に基づき地質モデルが更新されます。これに基づき、迅速に湧水量の予測や周辺地下水環境への影響予測も更新されれば、適切な改良工の選択などにより施工や環境影響を最小化することができます。

仮想トンネルモデルを用いた3次元浸透流解析は、このような要望に応える技術です。仮想トンネルモデルでは、トンネル自体をモデル化せず、また、トンネル掘削を表現するためのモデルや境界条件の変更を行いません。これにより要素分割が単純化され、解析モデル作成や解析に必要な時間を短縮することができます。



トンネルをモデル化した解析での間隙水圧分布の例 (要素数 118,320 / 解析時間 97 分)



仮想トンネルモデルによる解析での間隙水圧分布の例 (要素数 7,749 / 解析時間 1 分)

## 総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

### 〔主 査〕

小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

### 〔幹 事〕

- |   |   |
|---|---|
| 居 相 好 信<br>株式会社大林組生産技術本部統括部長                              | 藤 井 義 文<br>株式会社竹中土木常務執行役員                           |
| 伊 藤 聡<br>東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部<br>改良建設企画課長                   | 松 原 利 之<br>飛鳥建設株式会社技術研究所所長                          |
| 江戸川 修 一<br>清水建設株式会社土木技術本部<br>地下空間統括部長                     | 森 正 彦<br>前田建設工業株式会社土木事業本部<br>トンネル担当部長               |
| 久多羅木 吉治<br>東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長                           | 八 木 弘<br>株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当)<br>道路研究部トンネル研究担当部長 |
| 見 坂 茂 範<br>国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官                            | 吉 富 幸 雄<br>大成建設株式会社土木本部土木技術部<br>トンネル室参与             |
| 西 岡 和 則<br>鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長<br>(兼)土木管理本部土木工務部トンネルグループ長 | 渡 邊 修<br>独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構<br>鉄道建設本部計画部計画課長     |

弊社 Web サイトより

技術パッケージ

トンネルの情報化施工支援

地下水に注目した情報化施工



### 株式会社 地層科学研究所

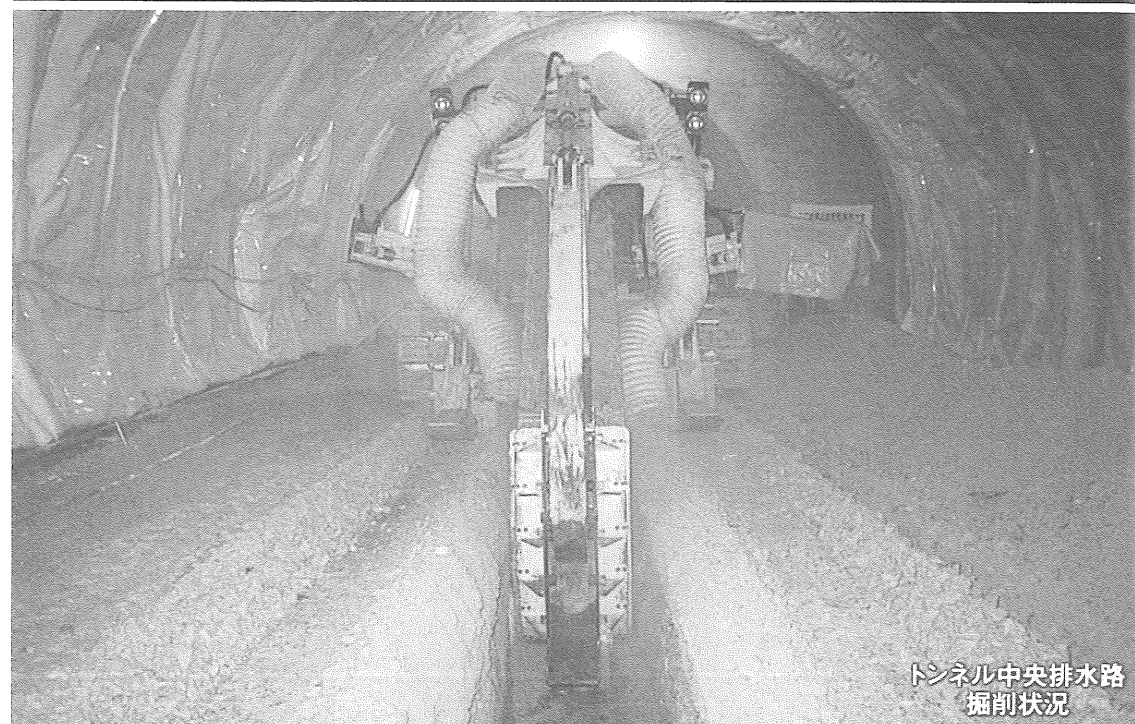
本 社 〒242-0017 神奈川県大和市大和東 3-1-6 J Mビル 4F TEL.046-200-2281  
東京事務所 〒112-0004 東京都文京区後楽 2-3-25 金子ビル 6F TEL.03-5842-7677  
大阪事務所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-7-9 第7新大阪ビル 301号 TEL.06-6886-7774

<http://www.geolab.jp/>

お問い合わせは [chisouken@geolab.jp](mailto:chisouken@geolab.jp)

# トレンチャー

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路掘削状況



施工例

トレンチャーによる施工

## トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D6	M3
メーカー名	テスメック	テスメック	テスメック
掘削幅 (最大)	60 cm	75 cm	90 cm
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	36 t	40 t	40 t
長さ	13.0 m	10.8 m	11.2 m
幅	2.5 m	3.2 m	2.67 m
高さ	3.30 m	2.86 m	3.41 m
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〕

小山 幸則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

### 〔編集参与〕

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

### 〔委員〕

砂金 伸治 国立研究開発法人土木研究所つくば中央研究所 道路技術研究グループ(トンネル)上席研究員	平野 隆 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 技術基準担当課長
岡野 法之 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室室長	八木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当) 道路研究部トンネル研究担当部長
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長	安田 智 東京都交通局建設工務部計画改良課長
中井 宏 東京都下水道局建設部設計調整課長	山本 武史 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐
中谷 誠一 東京都水道局建設部工務課長	吉本 正浩 東京電力パワーグリッド株式会社 工務部管路土木技術担当

**ワールド開発工業株式会社**

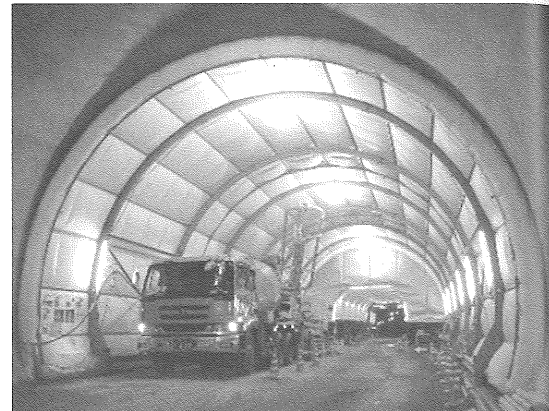
●本社/営業部 〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484

☎(026) 213-7024(代) FAX(026) 282-5803 <http://www.wkk.co.jp/>

## バルーンの東宏です



セントル養生バルーン(HR-04005VE)



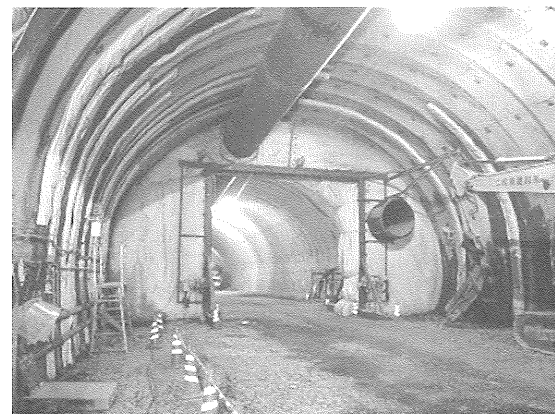
コンクリート養生バルーン(HR-04005VE)



アクアカーテン(HR-110011VE)



隔壁バルーン(HK-100007VR)



トラベルクリーンカーテン(HK-120040A)



肌落防護マット

《取扱い製品》 積算温度管理システム、モイスタータックプチ、トラミッキーカバー、ベルコン昇降装置  
キュアマイスター、モイストキュア、支保工スクレツパ、セントル、シート台車、棧橋、他

**TOUKOU** 株式会社 **東 宏**

本社 札幌市東区東雁来9条3丁目2番3号  
TEL011-792-3000 FAX011-792-3333

東京支店 江戸川区平井2丁目5番2号 平井ビル3F  
TEL03-3683-8011 FAX03-3683-8028

URL <http://www.k-toukou.co.jp/>

## トンネルと地下 VOL.47 No.11 掲載概要

掲載頁  
7

覆工高品質化の取組みと施工合理化に向けた切羽探査・計測技術  
—新名神高速道路 野登トンネル—

中日本高速道路(株) 伊原 泰之

新名神高速道路(三重県区間)の野登トンネル西工事では、連続ベルコン通過型テレスコピックセントルを導入して、覆工コンクリートの高品質化、および高速施工と坑内環境改善を実現した。また、先端駆動型水圧ハンマを用いた削孔データから精度よく地山評価を可能とする切羽前方探査技術や、重機が往来する坑内においてもインバート部の変位挙動を継続的に計測可能なインバート変位計測技術の採用による施工の合理化を図った。

本稿では、野登トンネル西工事で採用したこれらの新技術を紹介するとともに、採用結果について報告する。

Improvement of Tunnel Lining Quality and Survey/Monitoring System for Geology behind Face Aiming at Streamlining Construction —the Shin-Meishin Expressway the Nonobori Tunnel—

By Yasuyuki Ihara, Central Nippon Expressway Company Limited

In the construction works of west part of the Nonobori Tunnel on the Shin-Meishin Expressway (Mie Prefecture section), we used a telescopic tunnel formwork that allowed to install extensible belt conveyor to achieve quality improvement for tunnel lining, high-speed working and improvement of the environment within the tunnel. In addition, streamlining of construction works was achieved through the adopting an inspection technique that makes it possible to evaluate ground behind cutting face with high accuracy from drilling data using a tip driving type hydraulic hammer and a invert displacement monitoring technique that makes it possible to continuously measure invert displacement behavior in tunnel where heavy machinery is used.

写真は新型セントル内部を通過する連続ベルコンの状況

This report contains an introduction to the new techniques in this project as well as the results of their adoptions.

掲載頁  
17

トンネル内の避難通路用ボックスカルバートを特殊台車で搬送・敷設  
—都市計画道路大和川線避難通路—

旭コンクリート工業(株) 岸 秀樹

大阪府堺市から松原市にかけて大和川と平行に建設中の都市計画道路、大和川線(堺松原線)のシールドトンネル内の、災害時用避難通路の建設に採用されたプレキャストボックスカルバートの据付けに、特殊台車で搬送、敷設できる工法「ECO-C・L(エコ・クリーンリフト)工法」を適用した施工事例について記述するものである。

シールドトンネル内の不安定な曲面上を、約7tのプレキャストボックスカルバートをリフトアップしたまま安全に走行し、かつ短期間で敷設する必要があったため、従来の特殊台車を大幅に改良し、これらの問題点を解消した。災害時用避難通路であるため、ボックスカルバートどうしの接続には、耐震性、水密性および連続性に優れた、耐震性接着継手工法を採用した。

Special Truck Conveys and Installs Modular Tunnel Segments of Evacuation Passage within Tunnel —Evacuation Passage of the City Planning Road Yamatogawa Line—

By Hideki Kishi, Asahi Concrete Works Co., Ltd.



写真はボックスカルバートの搬送状況

This report contains examples of construction using the ECO-C/L (Eco Clean Lift) method that makes it possible to convey and install precast box-tunnel segments with a special truck. It was adopted in the construction of an evacuation passage within the shield tunnel of the Yamatogawa Line (Sakai-Matsubara Line), part of the city planning road that is under construction parallel to the Yamatogawa River from Sakai City to Matsubara City in Osaka Prefecture.

As it was necessary to safely convey 7 tons of a pre-cast tunnel segment kept up as well as to install it in a short period of time on unstable curved tunnel floor, a conventional special truck was highly improved to provide solutions to the above problems. As it was an evacuation passage, we adopted the aseismic connecting joints which is highly aseismic, watertight and connecting in order to connect tunnel segments.

## 中央構造線に平行する本線トンネルの調査坑を全断面早期閉合で試みる —三遠南信自動車道 青崩峠トンネル(池島調査坑)—

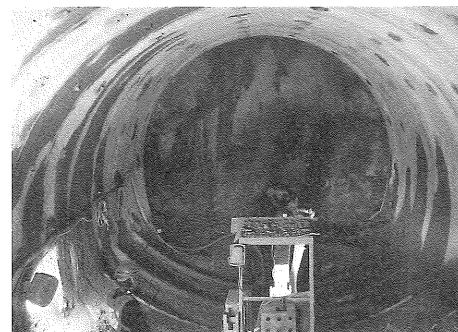
国土交通省 渡部 達宏

青崩峠トンネルは、中央構造線の西側に位置する延長約5kmの対面通行自動車専用道路の長大トンネルである。地質は、泥質変成岩などからなり、低強度の多数の断層破砕帯が分布し、最大土かぶりは約600m、地山強度比は1を下回る低強度地山の出現が予想された。このため、避難坑を調査坑として先行させ、本線トンネル計画に反映させることにしている。この調査坑は、内空幅5mの小断面トンネルであり、断層破砕帯では、吹付けコンクリート作用土圧を理論式で推定、必要支耐荷力を厚肉円筒理論で算定、全断面早期閉合によるリング構造トンネルのパターン設計を行った。施工は、タイヤ方式の全断面工法を基本とし、低強度地山の断層破砕帯では、全断面早期閉合法を採用した。この方法による施工結果から、グラウンドアーチ形成で自立安定する標準パターンのトンネル挙動とともに全断面早期閉合法によるリング構造トンネルの力学挙動特性が明らかになり、合理的な山岳トンネル施工技術としての有効性が示された。

### Investigation Drift Built with Early Full-Round Lining of Which Main Tunnel Parallel to the Median Tectonic Line—the San-En-NanShin Expressway the Aokuzure-Toge Tunnel (the Ikeshima Investigation Drift)—

By Tatsuhiro Watabe, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The Aokuzure-Toge tunnel is located on the west side of the Median Tectonic Line. Its geological conditions comprise



写真は全断面早期閉合施工状況

ground of metapelite, etc., many weak fault fracture zones and maximum cover of about 600m. As it was predicted that excavation would meet weak ground, the evacuation tunnel used as investigation drift were built in advance to reflected its work result in the main tunnel design.

This investigation drift with an inner diameter of 5m was designed to be built with early full-round lining technique. The tunnel was excavated with all cross section, mucking by trackless haulage technique and early full-round lining was used through weak ground of fault fracture zones. From the construction results we clarified cross-sectional behavior of tunnel while excavating through steady and weak ground and early full-round lining technique is shown to be effective technique as a reasonable mountain tunnelling techniques.

## 地下鉄トンネル覆工の浮き・剝離の可視化による検出システムの検討

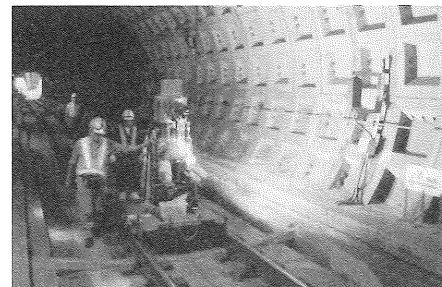
東京地下鉄(株) 三浦 孝智

トンネルの浮き・剝離は、剝落事故につながり、地下鉄の安全運行に支障が生じるおそれがある。東京地下鉄(株)は、4つの地下鉄トンネル覆工の浮き・剝離検出システムの新たな手法、1)赤外線熱計測、2)可視画像による浮き・剝離検出システム、3)ベイジアンネットワーク、4)特別点検を用いて、抽出した浮き・剝離を、以降の全般検査で変状の進行状況を監視し、変状が進行した場合補修を行う。また、統計分析により、区間に対する健全度評価を行うツールとして維持管理手法 $\theta$ を開発し、全検査結果が同じ土俵で比較できるようになった。これらを総合的に維持管理業務に取り込み、よりレベルの高い業務の実現を可能とすることで、安全運行の継続に貢献していく。

### Detection System through Visualization of Flaking and Peeling on Subway Tunnel Lining

By Takanori Miura, Tokyo Metro Co., Ltd

Flaking and peeling on tunnel lining concrete lead to spall incidents and there is concern that this will hinder the safe operation of the subway. Tokyo Metro Co., Ltd. uses four detection systems for monitoring flaking and peeling on subway tunnel lining: 1) infra-red heat measurement, 2) flaking and peeling detection system using visible images, 3)



写真は赤外線熱計測測定状況

Bayesian network and 4) special inspections. After flaking and peelings are confirmed through these systems we observe these deterioration progress in future general inspections and conduct repairs if deterioration has progressed.

In addition, We developed the maintenance management technique ' $\theta$ ' as a tool to conduct soundness evaluation for zones through statistical analysis and it was possible to compare inspection results based on same evaluation system. We will comprehensively incorporated these techniques into maintenance management works and will contribute to the continuation of safe operation by making it possible to achieve an even higher level of works.

## DO-Jet工法における超高圧2液混合ジェット噴流の影響範囲に関する実験的研究

東京都 神山 守

DO-Jet工法は、推進工法またはシールド工法の掘進機に超高圧ジェットシステムを搭載し、地中支障物の切断・撤去や地盤改良などを行う工法として多くの施工実績があり、その適用は拡大している。一方、近接構造物に対する影響に関しては、地盤中の超高圧ジェット噴流の動圧分布の実測例がなく、試験ヤードで施工した地山を掘り出し、確認するなど実証的に影響範囲を定めていた。このため、影響範囲に関する数値的根拠を明確にする必要があった。

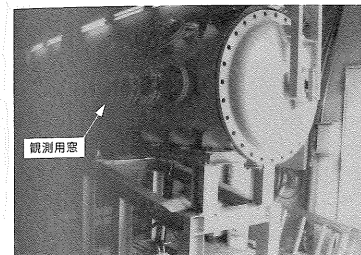
そこで、本研究では実際の地盤状況を再現できる特殊な大型圧力容器を用いた水中噴射実験により地盤への影響、挙動などを可視化するとともに噴流動圧の実測を行い、飽和地盤中における地盤改良時の超高圧ジェット噴流の影響範囲について考察した。

その結果、地盤改良用の超高圧噴射ノズルでは、ミキシング室内でジェットラインからの245MPaの超高圧噴流とアプレシブラインからのセメントミルクが混合し、低圧大流量の噴流としてアプレシブノズルから噴出すること、地盤中に噴出した噴流はノズルからの距離の増加に伴い動圧がさらに減衰し、800mmを超える距離では軟弱粘性土の地盤強度以下となるため、影響範囲は限定的であることなどを確認した。

### Experimental Research into Area of Influence Due to Ultra-High Pressure Jet with 2in1 Mixed Liquid in the DO-Jet Method

By Mamoru Kamiyama, Tokyo Metropolitan Government

The DO-Jet method uses an ultra-high pressure jet system equipped on Shield TBM or Pipe-jacking machine in order



写真は製作した被圧状態の地盤を再現できる圧力容器の外観

to remove underground obstacles and to improve ground. Meanwhile, with respect to the effects on adjacent structures, estimation of influence range by using this method based on not numerical analyses but empirical estimation led by the results such as one from outdoor test, etc.

Consequently, this research conducted measurements of jet flow dynamic pressure as well as visualizing influence on the ground and behavior through underwater jet experiments using a special large pressure vessel that makes it possible to simulate actual ground conditions and discussed the area of influence due to the ultra-high pressure jet while improving saturated ground.

As a result, it was confirmed that the area of influence during ground improvement was limited.

## 供用中のトンネルにおける路盤隆起対策効率化の取組み

—北陸新幹線 碓氷峠トンネルほか—

東日本旅客鉄道(株) 北川 一希

北陸新幹線安中榛名・軽井沢間に位置する一ノ瀬トンネル、碓氷峠トンネルの一部区間において、供用開始後に路盤隆起が確認された。対策工は、限られた施工条件から下向きロックボルト工を採用した。対策実施後も計測監視を継続し、隆起の収束を確認できなかったため、1~3次対策を実施している。その結果、隆起速度は徐々に小さくなったものの、完全な収束には至っていない。今後も、類似箇所において同様の対策を計画しており、より効率的な施工やコストダウン、工期短縮が求められる。本稿では、供用中の新幹線トンネルにおける未収束の路盤隆起に対し約10年にわたり実施してきた対策工と、施工速度向上のために実施してきた施工機械編成の改良について報告する。

### Optimize Measures against Swelling of Roadbed in In-Service Tunnel—the Hokuriku Shinkansen the Usui-Toge Tunnel and Others—

By Kazuki Kitagawa, East Japan Railway Company

Swelling of Roadbed were confirmed in some sections of the Ichinose and the Usui-toge Tunnels located between Annaka-Haruna station and Karuizawa station on the Hokuriku Shinkansen after their use were started. We adopted the downward rock bolting as measure works against them under restricted construction conditions. Monitoring has been continued since finish of the measures and primary, secondary and tertiary measures has been implemented because swelling has not been converged yet. These measures make swelling rate gradually decrease but not completely converge. In the future, we plan to implement the same measure in similar places while seeking more efficient work, cost reduction and worktime reduction. This report contains information on measure works against unconvergent swelling that have been implemented over the past 10 years in the in-service Shinkansen tunnels and improvement on composition of construction machines in order to increase

写真はボーリングマシンによる削孔状況

construction speed.

## 管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

# コンクリートトータル養生システム

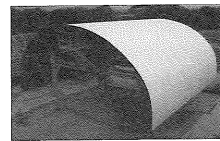
### セントル型枠

加温しながら初期強度を上げる  
**加温養生（型枠）**



### 第二養生

加温と湿潤を同時に行い品質向上  
**加温・湿潤養生**



### 第三養生

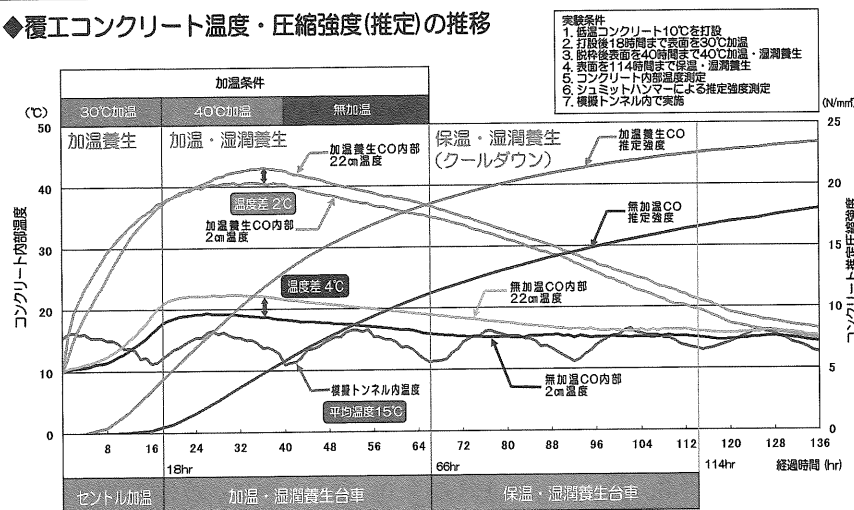
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ  
**保温・湿潤養生**



コンクリートの強度を予測管理  
**養生管理システム**

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移

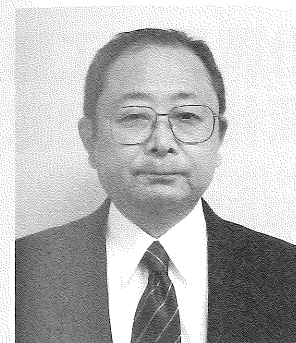


## 岐阜工業株式会社

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

【製作・販売協力】  
TECHNO  
テクノプロ株式会社

TOUJOU  
株式会社 東 宏



## NATMとイチロー

鉄道・運輸機構理事(本協会理事)

### 服部 修一

オバマ大統領がイチロー選手に「どうしてレーザービームのような送球ができるのか？」と訊ねた。イチローは「柔軟な筋肉です。大きな筋肉は必要ありません。」と答えた。大統領は「禅の精神だ」と感動を覚えたという。

私が就職した1978(昭和53)年は、日本においてNATMが普及し始めたころであった。この年オーストリアのL. ミューラー教授が来日し、22枚のスライドを使ってNATMの基本的な概念を紹介し、その講演は谷本親伯先生の翻訳により本誌(Vol.10, No.1)に掲載された。その後NATMは瞬く間に普及し、早くも昭和61年版の土木学会トンネル標準示方書山岳編(以下「示方書」)ではNATMが標準工法となった。

このようにNATMが急速に普及した理由として、地山は地山で保持するとか、フレキシブルな薄肉の支保工で変形を許容するといった「柔軟な筋肉」の発想が、日本人の思想に良くマッチしていたことがあげられるのではないかと。

ミューラー教授の13枚目のスライドにもあるように、それまでの矢板工法は2つの大きなアバットに渡した厚いアーチコンクリートによってトンネル緩み荷重を保持するという「大きな筋肉」の考え方であったが、NATMでは全周にロックボルトを配置して強化した地山を厚肉円筒と見なし地山を保持するという「柔軟な筋肉」の考え方になった。

矢板工法で大きな地圧に対抗するためには、より厚い覆工コンクリートが必要であり、そのためにはより大きな掘削断面積が必要となる。つまり悪い地山ほど大断面となり、作業時間の増加のほかに、鋼製支保工のサイズアップ、掘削断面の分割、覆工型枠の補強などに伴う段取り替えにも長期間を要した。押し出しがより大きい地山には、覆工コンクリートを「ドン付け」と称して切羽直近まで打設して地圧を受けるという「大きな筋肉」に対抗した。

NATMでは覆工コンクリートは原則として力学的機能を持たせない一定の厚さとし、押し出しに対してはロックボルトの長尺化や本数の増という「柔軟な筋肉」で対応するため、大きな段取り替えが必要なくなった。NATMの導入と機械化の進歩によって、トンネル延長あたりの人工は、東海道新幹線では58人日/m、最近の整備新幹線では6人日/mとなり、ほぼ10倍の生産性向上(国土交通省ホームページによる)が達成された。

ところが、インバートはNATMの思想となじまなかったようだ。示方書の初代NATM版である昭和61年版では、覆工コンクリートは「地山の変位の収束が計測によって確認された後に施工することを原則とする」となっているのに対して、インバートコンクリートは「地山条件が悪い場合には、上半切羽からインバートまでの距離を短くし、早期に全断面を閉合して周辺の地山の緩みを最小限にとどめなければならない」としている。すなわち、トンネルの上・下半は「柔軟な筋肉」だが、インバートは「大きな筋肉」を要求している。昭和61年版と平成8年版には掲載されているインバート部の下向きロックボルトの施工図は、どのような理由からか不明だが、平成18年版以降削除されてしまった。インバートには「柔軟な筋肉」は拒絶されたようである。

この「大きな筋肉」のインバートは、その後の平成8、18年の改訂においても踏襲されてきたが、今回改訂された平成28年版では「膨張性地山で本インバートの早期施工を行った結果、大きな外力が若材齢の本インバートに作用して長期耐久性が損なわれ、供用後に変状が発生した例もあるため注意を要する」という記述が加わるとともに、「一次インバートを適用した後トンネルの変位の収束を確認してから本インバートの施工を行うことが望ましい」など、おおむね覆工との整合が図られた。しかし、「地山条件が悪い場合等において、断面を閉合し安定させるために掘削後早い段階でインバートを設置する場合がある」との記述もあり、いまだ「大きな筋肉」に未練が残っているようだ。最近流行の早期閉合も「地山で地山を支える」よりも、大きな筋肉で内側から地圧に対抗する思想に戻っているようにも見える。

一般に土木構造物は鉄やコンクリートなどで土や水や車両などの荷重を支えているのだが、山岳トンネルは「地山で地山を支える」、すなわち支えるものと支えられるものの境目が不明といういかにも不思議な構造物であり、オバマ大統領の言う「禅」の世界なのかもしれない。

## 施工

# 覆工高品質化の取組みと施工合理化に向けた切羽探査・計測技術

## 一新名神高速道路 野登トンネル

中日本高速道路(株)技術・建設本部環境・技術企画部技術企画・開発チームサブリーダー 伊原 泰之  
 中日本高速道路(株)名古屋支社四日市工事事務所所長 塩梅 崇  
 (株)大林組新名神野登JV工事事務所所長 白旗 秀紀  
 (株)大林組新名神野登JV工事事務所工事長 加藤 健治

### 1 はじめに

新名神高速道路(以下、「新名神」)三重県区間は、東名阪自動車道の渋滞緩和とともに名神高速道路の代替機能としての効果が期待されており、2016(平成28)年8月に一部区間(四日市JCT~新四日市JCT)が開通し、2018(平成30)年度の全線開通を目標に事業を進めている。

また、新東名高速道路を含め、三大都市圏を結ぶ新たな日本の大動脈として期待されている。

新名神の鈴鹿PAと亀山西JCT(ともに仮称)の間に位置する野登トンネルは、延長約4.1kmの2車線双設トンネルで、完成すれば三重県で最長の道路トンネルとなる。そのうち、野登トンネル西工事は、西側(亀山市側)の工区を担当する。

本稿では、野登トンネル西工区において、施工の先進化と合理化を図るため、①施工法、②計測方法、③評価手法について、新たに活用した技術を3件紹介する。

### 2 工事概要

野登トンネル西工事は、三重県鈴鹿山脈の南端にある野登山(標高851.6m)を北東-南西方向に貫く延長約4.1kmのトンネルのうち、その西側の工区(上り線2,368m、下り線2,391m)を構築する工事である(図-1)。

工事内容は表-1のとおりである。

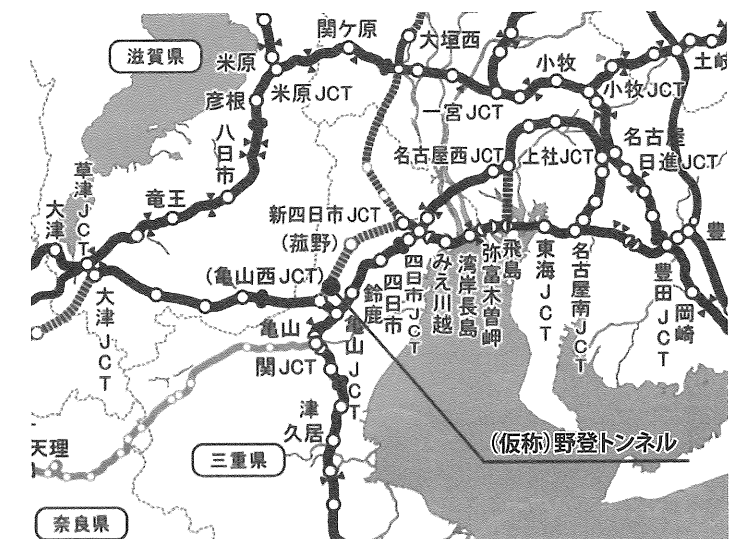


図-1 トンネル位置図

表-1 工事概要一覧

トンネル工法	NATM(発破工法)
トンネル延長	上り線2,368m, 下り線2,391m
掘削断面積	75.6m <sup>2</sup> (図-2)
土工量	780,000m <sup>3</sup> (土工延長L=365m)
その他	橋梁下部工: 2基 プレテンションPC桁: 7本

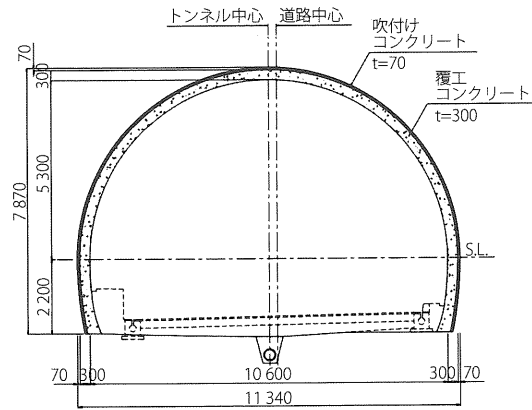


図-2 標準断面図

### 3 地形・地質概要

本トンネルの地質は中生代白亜紀の領家花崗岩類に属し、坑口から約100mの区間には加太花崗閃緑岩、それ以东には黒雲母花崗閃緑岩を主体とする野登山花崗閃緑岩が分布している。野登山花崗閃緑岩の一部区間では熱水変質作用を受けた小断層や多亀裂帯の存在が想定された。新鮮な花崗閃緑岩の一軸圧縮強度は100MPa程度である(図-3)。

### 4 新技術の活用

野登山トンネル西工事で採用した施工の先進化と

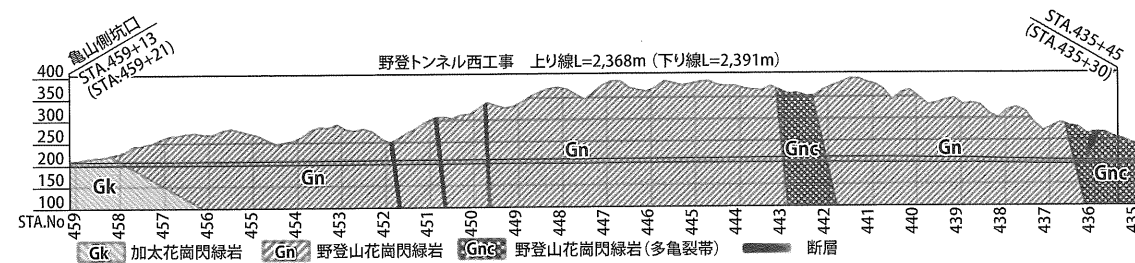


図-3 地質縦断面

合理化を図る新技術3件を以下で紹介する。

はじめに、高品質の覆工コンクリート打設と連続ベルコンを用いた掘削による高速施工と坑内環境の改善を可能にした連続ベルコン通過型テレスコピックセトルについて記す。次に、先端駆動型水圧ハンマを用いた削孔によって、その削孔データから精度よく地山評価が可能となった切羽前方探査システムの新技術を本工事で適用した結果について記す。最後に、重機が往来する坑内においてもインバート部の挙動を継続的に計測可能なインバート変位計を採用した結果を記述する。

#### 4-1 連続ベルコン通過型テレスコピックセトル

社会インフラの高寿命化が求められる今日、耐久性を有した優れた構造物の建設が必須となっており、山岳トンネルにおいても覆工コンクリートの高品質化が要求されている。

山岳トンネルの覆工コンクリートは、1フォームを搭載したセトルを用いて、2日に1回打設するのが一般的であり、通常のコンクリート構造物に比べて型枠存置時間が16~18時間と短いため、乾燥収縮によるひび割れが発生しやすいという問題がある。

加えて、山岳トンネルでは坑内作業環境の改善も大きな課題の一つである。一般的に、掘削ずりの坑内運搬にはダンプトラックを使用するが、頻繁な通行による路盤の損傷、接触災害発生リスク、粉塵の巻上げ、排ガス・排熱が発生することによる坑内環境の悪化が懸念され、その改善が急務となっている。

そこで、これらの問題を解決するために2フォームを使用することで長期の型枠存置時間を

確保できるテレスコピックセトルと、ダンプトラックを使わずに掘削ずりを坑内運搬できる連続ベルコンを併用した「連続ベルコン通過型テレスコピックセトル」(以下、「新型セトル」)を開発し、本工事で国内で初めて採用した(図-4,5)。

#### 4-1-1 現場への適用とその効果

テレスコピックセトル内に連続ベルコンを通すことは空間的な制約が多いため、一から詳細設計を実施し、幾多の改良を重ねながら一つひとつ課題を克服して、2014(平成26)年10月に新型セトル(打設長12.5m)を本工事に導入した。一般的なアーチ覆工セトルと比べてセトルの移動・セットの手順が複雑になり、構造全体のコンパクト化により各部材の寸法や稼働範囲の余裕代が減少したことから、セトル設置路盤を高い精度で施工する必要があった。そのため、フォームの移動・セットで約30分増、ベルコンの受替えに約30分増となり、合計1時間ほど作業時間が増加している。

標準的な2日に1回の打設を新型セトルへ適用した場合の施工サイクルを表-2に示す。

#### 4-1-2 覆工コンクリートの高品質化

テレスコピック方式とは、コンクリートの打設が完了したフォームの内側を、小さく折畳んだ別のフォームが

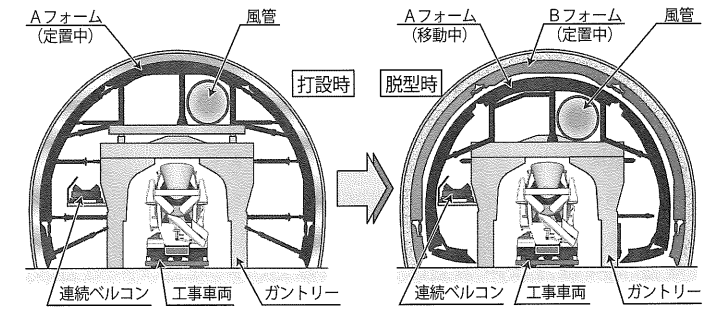


図-4 新型セトル横断面図

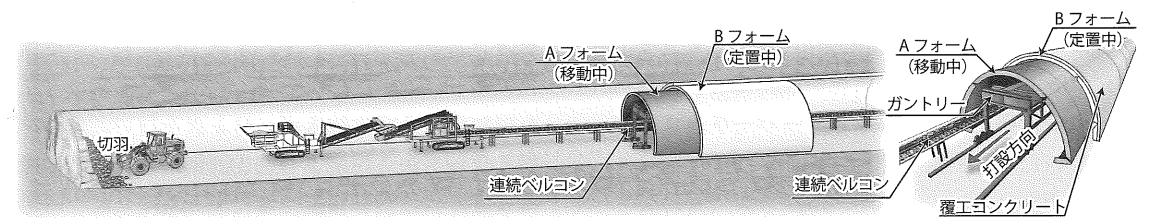


図-5 新型セトル概念図

表-2 施工サイクル

	1日目			2日目			3日目			4日目			5日目		
	8:00	10:00	14:00	16:00	18:00	8:00	10:00	14:00	16:00	18:00	8:00	10:00	14:00	16:00	18:00
フォームA	移動準備	脱型セット	複型枠	打設準備	コンクリート打設	型枠存置時間						移動準備	脱型セット	複型枠	
フォームB	型枠存置時間					移動準備	脱型セット	複型枠	打設準備	コンクリート打設	型枠存置時間				

くぐり抜けるテレスコピック方式により、後方でコンクリート養生をしながら前方で次の打設作業をすることが可能となる工法である。この方式により、2日に1回の打設サイクルを変えることなく、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、コンクリートの高品質化を図ることができる。加えて、1フォームを使用する従来方式では、セット時に後端部を脱型直後のコンクリートへオーバーラップさせるため、過度な押付けによりひび割れが発生しやすいという問題があったが、テレスコピック方式では、2つのフォーム同士をつなぎ合わせながら据え付けることでオーバーラップがなく、ひび割れのリスクは発生しない。

本工事で採用したコンクリートの初期強度試験結果を図-6に示す。通常の覆工コンクリートは、脱型に必要な圧縮強度の目安として2~3N/mm<sup>2</sup>とされており、打込み後16~18時間で脱型する場

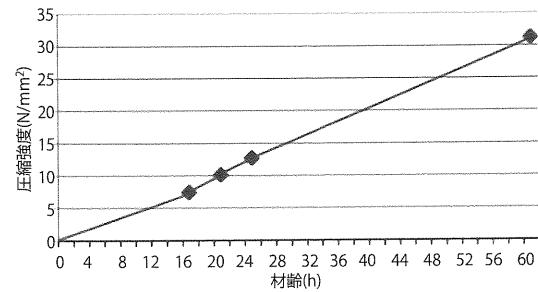


図-6 コンクリート初期強度

合が多い。しかし、新型セントルの場合には、60時間を超える長期養生が可能となることで、脱型時には10倍超の30N/mm<sup>2</sup>以上の圧縮強度を有することが確認された。

4-1-3 連続ベルコン使用による省人化、安全性・作業環境上

ダンプトラックに代わり、連続ベルコンで機械的にずり運搬を行うことで、切羽作業員を最大25%程度削減することが可能となった。また、ダンプ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の手間を削減し、坑内作業員とダンプトラックの接触事故を回避でき、加えて、ダンプトラック走行時の排気ガスや巻き上げ粉塵の減少によって作業環境の改善も図れた。新型セントル内部を通過する連続ベルコンの状況を写真-1に示す。

4-1-4 新型セントルの効果

新型セントルを本工事に導入した効果を以下にまとめる。

- ・養生時間を60時間以上確保することで、覆工コンクリートの高品質化が図れる
- ・既設側覆工にフォームをオーバーラップさせないため、過度な押付けによるひび割れリスクがない
- ・連続ベルコンと覆工作業の同時施工で、高速掘削(平均月進159m:1,749m/11か月)と覆工の高品質化の両立が可能
- ・路盤の損傷防止やダンプトラックとの接触災害発生リスクの低減・坑内作業環境の改善など、連続ベルコン使用によるメリットをそのまま享受可能

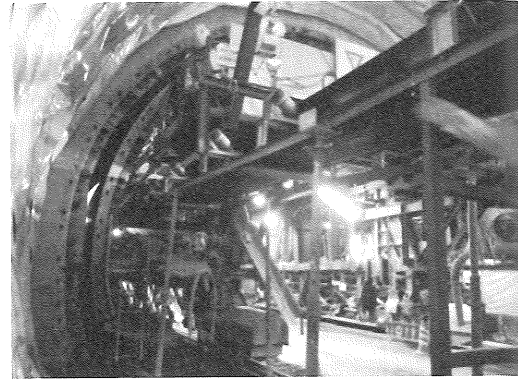


写真-1 新型セントル内部を通過する連続ベルコン状況

4-2 先端駆動型水圧ハンマを用いたトンネル切羽前方探査術

工事着工前の弾性波探査や空中写真による地層判読の結果から、地上の直線谷と鞍部の連なりからリニアメントの存在が確認でき、STA.442+00~443+00にかけて野登山花崗閃緑岩中の小断層または多亀裂帯を形成した不良地山区間が想定された。しかしながら、実際に掘り進めていくと想定された位置から約300m手前の切羽において不良地山が出現した。当該地質は、熱水変質作用を受けて脆弱化し、割れ目が細かく卓越しており、毎分20L程度の湧水も確認ができた。さらに、粘性土が介在していることで地山の緩みを誘発し、湧水のついた粘性土に沿って部分崩落が発生した。

想定外の区間で不良地山が出現したことから、今後の掘削箇所における地山状況の把握と、切羽の安定化対策として前方探査を兼ねた水抜きボーリングの施工が急務となった。そこで、一度に150m以上の長距離削孔が可能な先端駆動型水圧ハンマを用いて水抜きボーリングを行い、かつ、削孔データから精度よく地山評価ができる新開発の前方探査技術を採用するに至った。

本技術の優れた点は、ダウンザホール方式の水圧ハンマ(写真-2)を採用して、ロッド先端部へ送水した高圧水によってピストンを振動させて打撃力を得るため、従来方式の油圧ハンマに比べ、エネルギーロスが少なく、削孔深度によらず打撃時に安定して高いエネルギーを発生できることである。そのため、長距離削孔においても削孔速度が

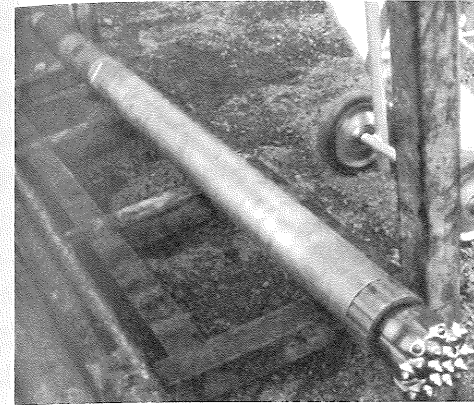


写真-2 水圧ハンマ

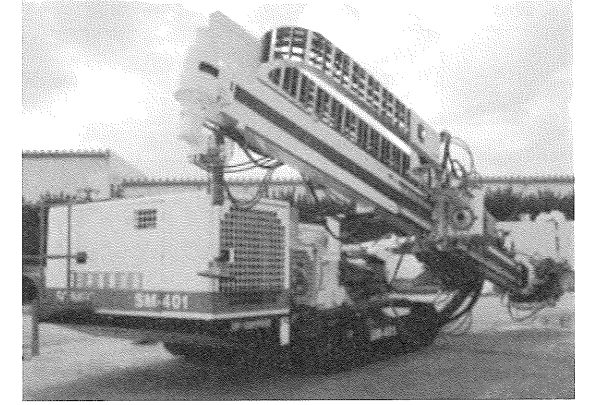


写真-3 ボーリングマシン

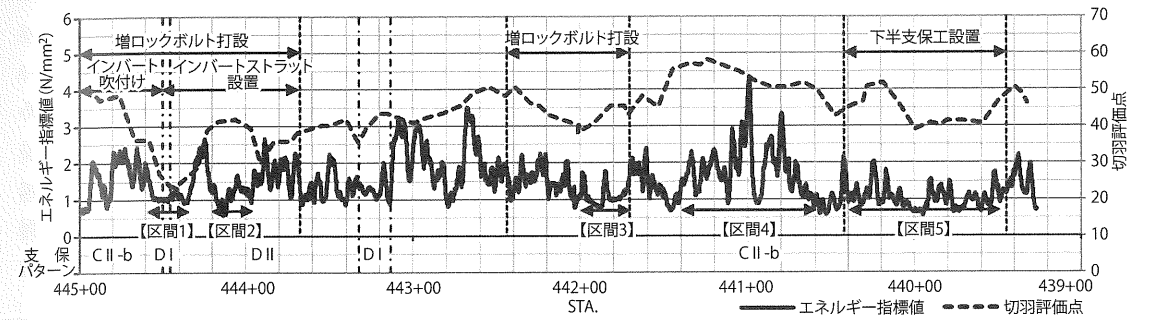


図-7 水圧ハンマ計測データ

低下せず、かつ、精度よく地山を的確に評価できるシステムとなっている。これまでに本技術で実施した切羽前方探査の延長はL=856m(累計)である。

4-2-1 高速削孔システム

8mの長尺ガイドセルを搭載したボーリングマシン(Soilmec社製:SM-401)を使用することで、削孔のロングフィード化を可能とし、ロッドの継足し時間を削減して工程全体を短縮した。また、ロータリーパーカッションドリルなどでは、ロッド長1.5mもしくは3.0mを使用するのに対し、本技術では、6mのロッドが使用可能なため、ロッド継足し回数を大幅に低減できた。その結果、1方で最長185mの削孔が可能となった。マシンの外観を写真-3に示す。

4-2-2 地山評価手法

本技術では、削孔に要した水圧ハンマの打撃エネルギーを地山評価の指標としている。水圧ハンマの1回の打撃エネルギーは、高水圧により加速

されたピストンの運動エネルギーと考えられる。ピストンの加速力は高圧水の水圧に比例するため、送水圧をP、振幅をA、単位時間あたりの打撃数をf、単位時間あたりの削孔延長は削孔速度Vとなるため、単位長さを削孔するのに要した水圧ハンマが地山に与える打撃エネルギーEは下式が成り立つ。

$$E \propto P A f / V$$

ここでは、同じ水圧ハンマを使用するためA:一定となり、

$$E \propto P f / V$$

の関係式が成り立つ。

前方探査の計測結果を図-7に示す。計測結果から、エネルギー指標値が低い区間および高い区間が5か所確認でき、各区間の考察を実際の切羽評価点と比較し以下に示す。また、実施した対策工も併せて図中に示す。

対策工を行う判断基準としては、A計測の結果により管理基準値をレベルI~IIIに設定して判断

表-3 本工事で用いた内空変位の管理レベル値

支保パターン	レベルⅠ 管理基準値の 50%	レベルⅡ 管理基準値の 75%	レベルⅢ 管理基準値の 100%
CII	25mm	35mm	45mm
DI	35mm	50mm	65mm

している。レベルⅠを超えた時点で計測および監視頻度を増やし、レベルⅡ超で増しロックボルトの打設、レベルⅢを超えればインバート吹付けまたはインバートストラットを設置することで対応した。

表-3に本工事で設定している内空変位の管理レベル値を示す。

(1) 区間1：STA.444+60～444+35

エネルギー指標値と同様に、掘削時の切羽評価点も低く判定されている。本技術のこれまでの蓄積データからも、エネルギー指標値が1を下回るとDI～DII相当の脆弱な地山に該当することが確認できており、当該地山もその判定方法を的確に反映している。切羽観察から、切羽全面に熱水変質作用を受けた粘性土の地山であることが確認でき、内空変位はレベルⅢを超え最大135mm発生したことにより、支保パターンも設計のCIからDIIへと変更している。

よって、前方探査によるエネルギー指標値により、設計段階では想定されていなかった脆弱部を事前に把握することが可能となった。

(2) 区間2：STA.444+20～443+95

区間1と同様に、エネルギー指標値が低く推移しており、内空変位量がレベルⅡの50mmを超えてもなお収束傾向を示さなかったため、増しロックボルトの打設とインバートストラットの設置を行っている。

(3) 区間3：STA.442+00～441+70

この区間でもエネルギー指標値が低下している。切羽評価点はやや高めに判定されているが、初期の内空変位が32mm(レベルⅠとⅡの間)発生し、切羽の進行とともに変位量が増加した。ロックボルト打設時に粘性土のくり粉が出たことから、鏡面に表れていない脆弱部が地山背面に潜在し、そ

れを前方探査ボーリングによってとらえていたと推察される。

事前にエネルギー指標値を用いた地山評価を行っていたことで、増しロックボルトなどの対策工を早期に取ることができたために、変位を最小限に抑えることが可能となった。

(4) 区間4：STA.441+40～440+60

エネルギー指標値が2～3のやや高い区間が80m計測され、掘削時の切羽評価点も高く判定されている。切羽観察からは、一部粘性土が介在していたが全体的に安定した地山と評価されている。加えて、点載荷試験からは1軸圧縮強度が約80MPaのやや硬質な地山と判定されている。

(5) 区間5：STA.440+40～439+50

この区間でもエネルギー指標値にばらつきはあるが低い値で推移している。切羽評価点も同じく低く判定されており、掘削時においてSL付近に粘性土が介在しているのが確認されたため、支保パターンはCII-bであったが下半支保工を追加設置して対応している。

4-2-3 現場への適用性

先端駆動型水圧ハンマを用いたトンネル切羽前方探査技術により、削孔データから得られたエネルギー指標値は脆弱部の有無に加え、地山の強度も把握できる可能性を残した。また、熱水変質作用を受けた地山においては、エネルギー指標値と切羽評価点に相関性があることも確認できた。

本トンネルの地山は非常に変化が著しく、局所的に脆弱部が出現しても、事前に切羽前方探査により地山性状を的確に把握していたため、脆弱部の補強対策を実施したあとに、切羽の安定を確保しながら安全に掘削することを可能とした。

4-3 インバート変位計

トンネル掘削時の変位は、上半3点、下半2点に基準点を設置して、それらの測点および測線の変位量を計測してトンネル断面の挙動を把握するのが一般的である。そして、土かぶりが大きく地山強度比が小さい地山においては、天端沈下や内空変位だけではなく、インバート部の隆起が懸念される。しかし、重ダンプトラックや重機が頻繁

に往来する坑内では、路盤に基準点を設けることが難しく、継続的に路盤やインバート部の変位計測ができないことが想定される。

そこで、施工時においてもインバート部の隆起が測定可能な新開発のインバート変位計を本工事で採用した。

4-3-1 計測システム概要

図-8に示すように、施工中のインバート中心部に水圧式の連通管式沈下計を設置することで、埋戻し後においても路盤の隆起量を常時計測できる。また、基準水槽本体の座標をトータルステーションによって絶対変位を計測することで、隆起量を絶対値に補正することも可能である。

4-3-2 設置手順

インバート部の掘削、吹付けコンクリート施工後に埋設保護管をインバート中央から側壁まで設置する(写真-4)。ずりで埋戻したのち、埋設保護管の中に計測器を挿入する。計測データはデータロガーに収録し、インバート部の隆起量に応じてLEDの色を変化させることで計測結果の見える化を図ることも可能である。

4-3-3 計測

本技術は、基準水位と先端の水圧計の水頭差による圧力変化から、隆起量を求めるものである。基準水槽内では、ポンプにより水を常時供給することにより、基準水面を一定に保つ仕組みになっている。事前に室内実験を実施して、その水頭差による圧力の計測精度の確認を行っている(写真-5)。加えて、温度変化が及ぼす影響が計測値に反映されるように補正することで、実際のインバート部の挙動をより正確に把握できるように改良されている。

4-3-4 現場への適用性

計測結果を図-9に示す。隣接したインバート部の掘削とストラット設置において、明確に約6mmの変位(隆起)がみられた。その後の上下半の掘削に伴い、計測値に小さな振幅が現れているが、インバート部の変位がほぼ収束していることが確認できた。本技術に

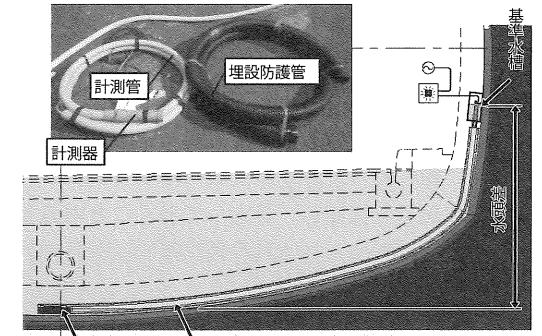


図-8 インバート変位計概念図

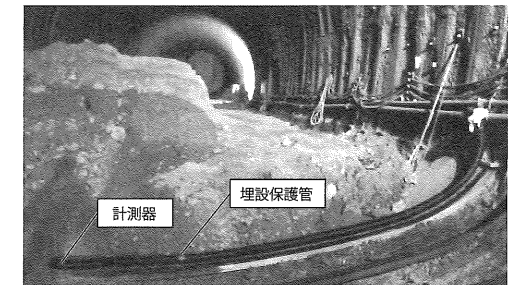


写真-4 インバート変位計設置状況

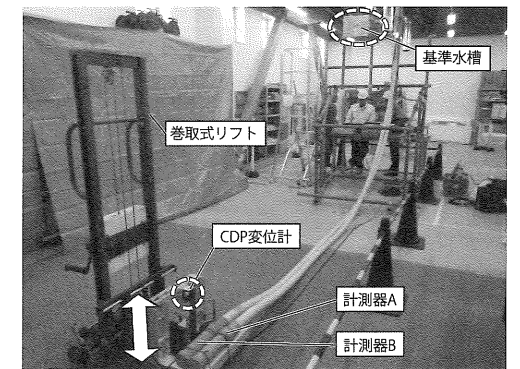


写真-5 計測精度確認実験

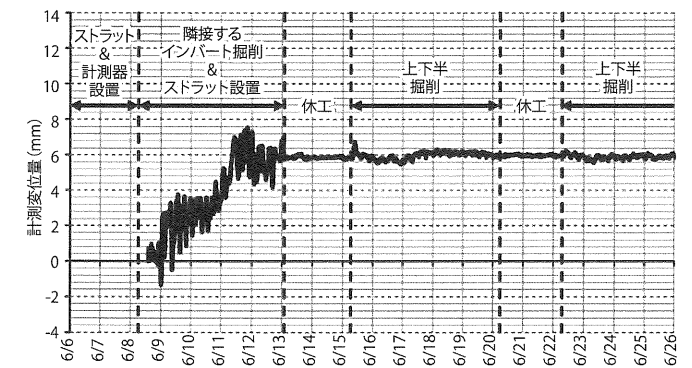


図-9 インバート変位計計測データ

において、インバート部の挙動を的確に把握し、継続的な計測を実施することで長期的なインバート部の隆起量を推測することも可能である。

供用中、路線でのインバート施工やインバート補修は、通行止めを伴うなど困難な場合が多い。事前に隆起量を推測し、対応しておくことの意義は大きいと考える。最後に、供用中の路盤管理において、路盤の起伏を簡易な設備で効果的に把握することが可能な本技術を薦めていきたい。

### 5 ま と め

現在、今回導入した3件の新技術を駆使して2017(平成29)年度中の工事竣工、2018(平成30)年度中の開通を目指している。これまでの実施工に

において、すべての新技術で施工性、品質、環境改善に大きく貢献しており、現場への適用性および有用性を実証することができた。今後も新技術、新工法の導入を積極的に図りながら、インフラに求められる耐久性、高品質、安全性などのさまざまなニーズに対応していく所存である。

### 参 考 文 献

- 1) 伊原泰之・久保嶋悠太・木野村有亮・長塚渉・磐田吾郎・木梨秀雄・伊藤哲：岩変質帯における水圧ハンマを用いたノンコア前方探査技術の適用，第25回トンネル工学研究発表会，2015.11.
- 2) 中日本高速道路：設計要領第3集，トンネル建設編，2016.8.



## 伝説「静御前と鈴ヶ神社」岩手県宮古より

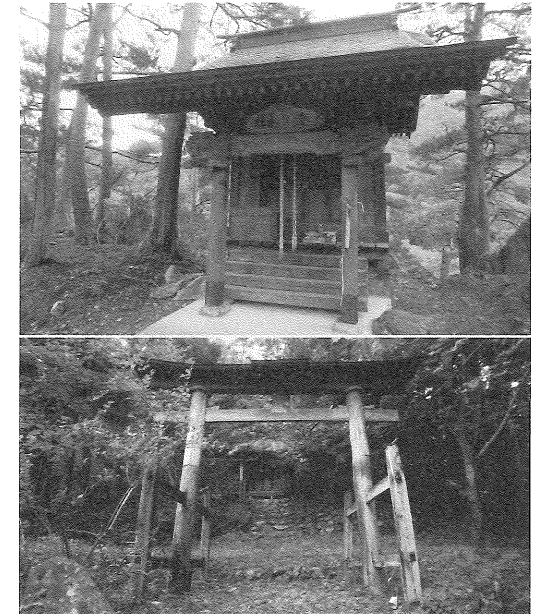
佐々木 照 夫

現場の所在地、岩手県宮古市箱石は、盛岡市より国道106号を宮古市方面に進み、車で約1時間の位置にある。西暦11世紀ごろ、この付近の鈴久名地区「金山」や横沢地区「金井沢」からは砂金が産出され、3代目藤原秀衡の家臣・橘次郎末春(商人・金売り吉次)により平泉の中尊寺(世界遺産)まで「榊原街道」(国道106号の前身)を利用して運搬されていた。金売り吉次は、奥州藤原秀衡氏の密命を受けて、逃亡中の源九郎判官義経の愛妾・静御前を平泉から山形へ、それから秋田に入り、岩手県の早池峰山を超え宮古市を経て、鈴久名の地へ運び、匿ったと伝えられている。

静御前は、鎌倉の都で初めて義経と出会ってから、幾多の苦難を乗り越え、東の間の安らぎを鈴久名の地で過ごしていたが、悲運なことに、難産の末、最愛の義経の2人目の男児とともに短い生涯を閉じた。そこで鈴久名の人々は、静御前の亡骸を密かに火葬して手厚く葬り、その後、静御前の縁りの祠として「鈴ヶ神社」を建立した。「鈴ヶ神社」は、岩肌から快々と延びる松木の間を抜けて、小高い山を約10分登った頂上にひっそりと建てられている。

また伝説のひとつに、平泉を脱出した義経主従がここ箱石にしばらく滞在し、鞍馬寺の毘沙門天を神社に奉祀したと言われている。それが「判官神社」である。この祠の中には義経が滞在中に彫ったとされる木彫りの像が数体奉じられている。また、指定無形民族芸能の「箱石こきりこ節」は、地区の若い娘たちだけで、2本の細い竹を使いながら華麗に踊る舞いだが、静御前本人の作詞であろうと推測されている。

ところで、砂金を運ぶ道として利用された峰伝いに辿る「榊原街道」は、義経と静御前の時代から約600年後に鞭牛和尚(Vol.46, No.7, p.22)により改めて道が築



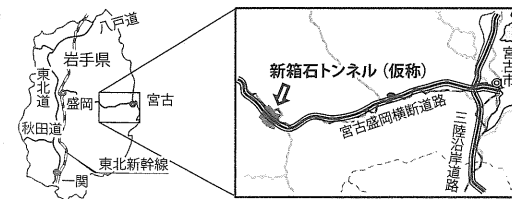
(上)鈴ヶ神社(鈴久名)、(下)判官神社(箱石)

かれることで、消滅している。

本工事は、国道106号宮古盛岡横断道路の改築事業の一環として宮古市藤原～箱石の区間に、(仮称)新箱石トンネル(L=1,493m)と上片栗橋下部工(3基)を施工する。本トンネルの地質は、早池峰構造体の北部に位置する中生代の付加体からなり、粘板岩を主体とし、緑色岩・チャートなどの岩塊を含み混在岩の性状を示す。

トンネル工事は2016(平成28)年2月より盛岡側から宮古側に向かって掘削を開始した。坑口部の厚い崖錐堆積物と破碎帯が約100m続き、進行が阻まれたが、8月末までに約280mの掘削が完了しており、9月からはトンネル掘削と平行し、インバート・覆工コンクリートの施工も進めていく予定である。出口側橋梁下部工の構築も進めており、今後工事の最盛期を迎えることとなる。復興支援道路の早期完成に向け、「安全はすべてに優先する」を所員一同のモットーとして1日も早く工事を完了させる所存である。

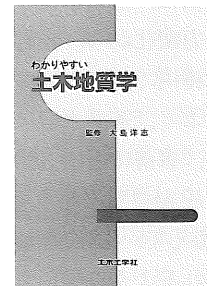
((株)安藤ハザマ新箱石トンネル作業所所長)



位置図

# 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



### 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. 地質路査 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



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

# 土木情報 No. 521

今月の主な入札結果

(9月10日~10月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
沖縄総合事務局	H28読谷道路開削T函渠(その1)	國場組	542
〃	〃(その2)	大寛組	533
北海道開発局	函館新外環状道路函館市見晴T	伊藤・宮坂JV	3,387.5
〃	日高道新冠町大狩部T	鹿島・宮坂JV	8,766
関東地整	烏山中間立坑構築	関電工	257.5
北陸地整	小立野樋門新設	平林建設	136
中部地整	H28新丸山ダム転流工	前田建設工業	2,326
〃	H28三遠南信小嵐T調査坑	鹿島建設	1,835.5
〃	〃池島T調査坑	三井住友建設	1,869.1
中国地整	三隅・益田道路新木部T	鴻池組	900.25
〃	〃古市場T	日本国土開発	829.4
水資源機構	付替県道2号T	佐田建設	479.2
東日本高速道路	東京外かく環状道路東名JCTランプシールドT・地中拡幅(南行)	安藤ハザマ・西松・日本国土JV	32,000
中日本高速道路	〃Hランプ	大林・戸田・佐藤JV	11,210
西日本高速道路	中国横断道時重T他1T	奥村組土木興業	3,120
茨城県	28国補特下第141-1号, 27国補特下第141-1号, 27県単特下第140-3号(合併), 管渠(ベルコン線)推進	常総開発・鹿島企業JV	174.5
栃木県	総合スポーツゾーン中央駐車場地下調整池新設	宇都宮・小平JV	287
群馬県	住居附線農山漁村地域整備交付金(トンネル)	佐田・田畑・黒沢JV	444
埼玉県	主地練馬所沢線東京都とのスクラム強化推進(改築)(函渠工)	中原建設	103.03
千葉県	作田川広域河川改修(復興)(作田川樋門設置工)	鈴木土建	137
〃	江戸川左岸流域下水道管渠築造(江戸川幹線845工区)	戸田・竹内JV	1,570
都・都市整備局	下水道管布設(28六町-12)	新日本工業	187.97
都・交通局	環状第5の1号線地下道路荒川線併行部(南池袋工区)地盤改良(その1)	清水・東鉄・西武JV	1,747
都・下水道局	杉並区善福寺二丁目, 上荻四丁目付近善福寺川流域合流改善貯留施設設置その2	飛鳥建設	365.5
〃	新番町幹線その2	日本国土開発	924.7
〃	第二田柄川幹線その2	鉄建・東洋JV	1,887
新潟県	総県離振6-1-5号主地佐渡一周線竹ヶ鼻BP(仮称)竹ヶ鼻T	福田・共栄・遠藤JV	2,071.7
三重県	R169(土場BP)道路改良(新土場T<仮称>)	日本土建・井本・宇城JV	1,170.98
横浜市	神奈川処理区たちばなの丘多目的雨水調整池築造(その9)	松尾・親和・たにもとJV	1,014
〃	都筑処理区西八朔小山雨水幹線下水道整備	鴻池・長野JV	735.4
〃	中部処理区本牧第二幹線下水道整備(その4)	大林・小雀JV	153.77
大和市	H28雨水幹線築造(下鶴間排水区)南林間雨水調整池	戸田・鈴木園JV	1,290.24
三条市	公下補7号三条市公下事業裏館第1雨水幹線その2	長谷川興産	113.5
長野市	篠ノ井中央6号雨水幹線	川浦土建	129.4
名古屋市	名古屋中央雨水幹線下水道築造(その2)	大成・りんかい日産・本間JV	18,188.15
茨木市	城の前町ほかφ800mm水道管布設	飛鳥建設	889.8
福山市	配水管布設(工二改28の1)	東急・前田・共進JV	675.15
高松市	西部BP幹線	大成・村上JV	2,565.20

## 施工

# トンネル内の避難通路用ボックスカルバートを特殊台車で搬送・敷設

### —都市計画道路大和川線避難通路—

旭コンクリート工業(株)技術・設計開発部技術開発課課長 岸 秀 樹  
 大阪府富田林土木事務所松原建設事業所主査 陣 野 員 久  
 久本組・大起工業特定共同企業体所長 天 野 宏

## 1 はじめに

下水道をはじめとする管路工事では、現場作業の省力化、急速施工、および構造物の耐久性などの要望が高まり、プレキャストボックスカルバートが数多く採用されてきた。また、近年、都市化が進み、市街地などの道路側に家屋が密集する狭隙地や、高架橋の直下および送電線などが近接する場所での施工が急増している。

これらの場所では従来のような移動式クレーンによる直接施工は、困難、もしくは大変な労力を要するものであった。

なお、住宅密集地や公共施設に隣接する現場では、移動式クレーンなどの重機の使用によって発生する騒音や振動に対する問題およびその対策が必要になる。さらに建設現場における地球温暖化対策が叫ばれる中、重機のアイドリング時に発生するCO<sub>2</sub>の排出量が多いことも問題である。

これらの問題を解消できる、バッテリーで作動する自走式の搬送台車によりボックスカルバートを搬送し、敷設することができる「ECO-C・L(エコ・

クリーンリフト)工法」を適用した施工事例について記述する。

## 2 シールドトンネル内での施工事例

### 2-1 工事概要

工事名：都市計画道路大和川線避難通路布設工事  
 施工場所：大阪府松原市(阪神高速道路大和川線)  
 発注者：大阪府富田林土木事務所



図-1 大和川線の位置図

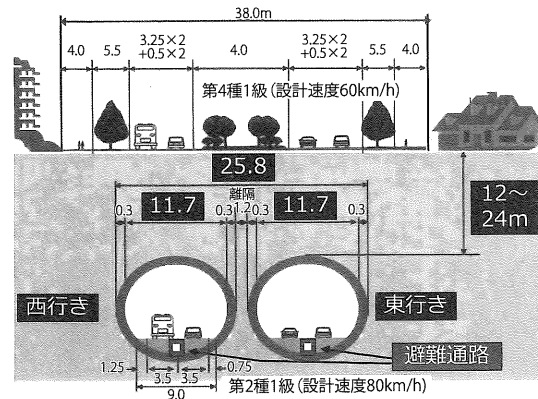


図-2 標準断面図

断面寸法：PRC, 2,000×2,500×1,200mm  
 製品質量：6.818t/1体  
 施工延長：東行き L=878.873m  
 西行き L=879.566m  
 用途：トンネル内の避難通路

2-2 採用となった経緯

本工事は、大阪府堺市から松原市にかけて大和川と平行に建設中の都市計画道路(9.7kmのトンネル構造)、大和川線(堺松原線)のシールドトンネル内の、災害時用避難通路の建設のうち、上下線約1.8kmの区間にプレキャストボックスカルバートが採用されたものである(図-1, 2)。

直径11.7mのシールドトンネル本体の設置が完了したあとに、上下線(東行きおよび西行き)の総延長が1,756m、総本数1,456本のボックスカルバートを搬入立坑から連続的に、また、トンネル内の不安定な曲面上でも安全かつ短期間で敷設する必要があった。そこで、これらの施工条件に合致した本工法が採用された。

トンネル本線の約150mおきに、避難通路に移動するためのすべり台による避難設備が設置され(図-3)、ボックスカルバートどうしの接続には、避難通路の耐震性、水密性および連続性を確保できる耐震性接着継手工法「TB(タッチボンド)工法」を採用した。

2-3 施工方法の概要

搬入立坑から、移動式クレーンによりシールドトンネル内に吊り降したボックスカルバートを、

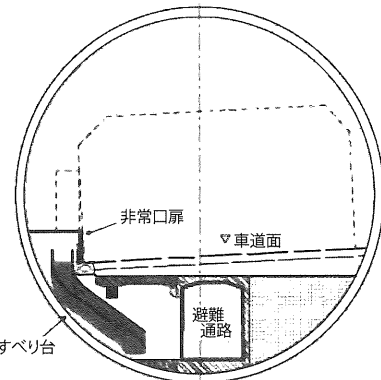


図-3 トンネル内の構造

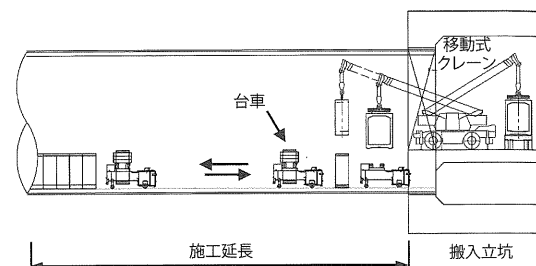


図-4 施工方法の概略図



写真-1 吊降し状況

台車によって所定の位置まで搬送し、その後バックにて搬入立坑までもどる工程を、図-4のようくり返すことで、ボックスカルバートを連続的に敷設し、避難通路を構築した。

搬入立坑内の作業床からトンネル頂部までの高さが7.9mと、非常に小さい有効高さ内での移動式クレーンによるボックスカルバートの移動作業が必要であったため、安全には十分注意した(写真-1~3)。

2-4 ECO-C・L工法の概要

バッテリーによって作動するECO-C・L工法用



写真-2 ボックスカルバートの搬送状況



写真-3 立坑内の状況

の特殊台車(以下、「台車」)は、狭隘地あるいは上空に制約があるなど、移動式クレーンで直接施工できない現場でも、基礎コンクリートに軌条を設備することなく1か所の荷降し地点からボックスカルバートを搬送して敷設することができる。無騒音なので、住宅密集地、病院および学校など公共施設に隣接する現場にも適用が可能で、また、CO<sub>2</sub>を排出しないため、温室効果ガスの削減や環境への負荷を低減することができる。

ECO-C・L工法の特徴は以下のとおりである。

- (1) 無騒音  
台車は無騒音で稼働するため騒音の心配がない。
- (2) CO<sub>2</sub>排出量の削減  
台車を使用することで、従来工法(移動式クレーンによる施工)よりCO<sub>2</sub>の排出量を約50%削減できる。

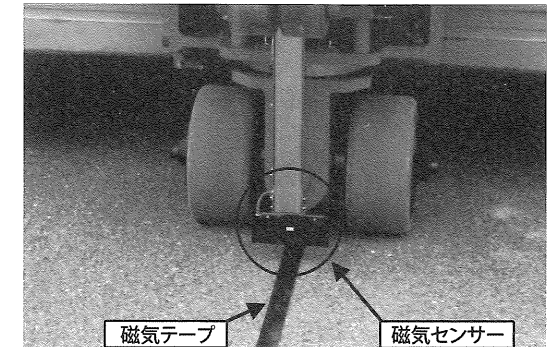


写真-4 自動誘導走行システム(台車前方)

(3) 優れた施工性、省人化および省力化  
 走行速度はほかの横引き工法の約2倍であり、ボックスカルバートを持ち上げる前後のリフトアップ部は独立して上下左右に作動するので、ボックスカルバートを正確かつ安全に敷設することができ、省人化および省力化が図れ、施工性が向上する。

(4) 資源の有効利用

バッテリーは夜間の余剰電力を活用して充電するので、資源の有効利用が図れる。

2-5 台車の特徴(新機能の追加)

シールドトンネル内においてもボックスカルバートの搬送および敷設を、安全、スムーズかつ正確に行えるよう、従来タイプの台車にはなかったさまざまな新機能を有する台車を新たに製作し、適用した。

(1) 自動誘導走行システムによる長距離走行性  
 閉ざされたシールドトンネル内での長距離走行による運転手への負荷を軽減するため、シールドトンネル底部に磁気テープを設置し、台車の前後に装備した磁気センサーが感知することで自動走行できる、自動誘導走行システムを採用した(写真-4)。

自動走行中に、台車の前方2.5m以内(バックの場合は後方)に障害物などがあった際には、これらをセンサーが検知し、自動的に台車が停止するシステムも併せて採用し、自動走行時の安全性を高めた。

さらに、2次的な安全対策として台車前後にパトランプを転灯させながら走行を行った。

(2) 自動水平保持システムによる搬送時の安全性  
シールドトンネル内の曲面上を走行中に台車が傾きかけても、前輪および後輪が左右の傾き(高低差)に自動的に対応し、台車を常に水平に保つ

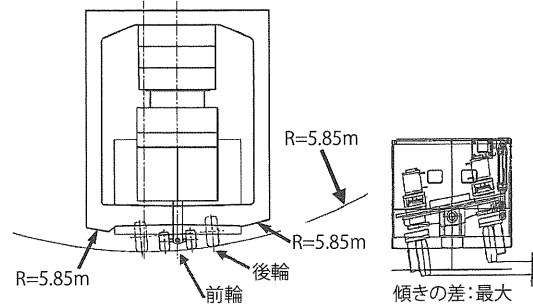


図-5 前輪および後輪の傾き

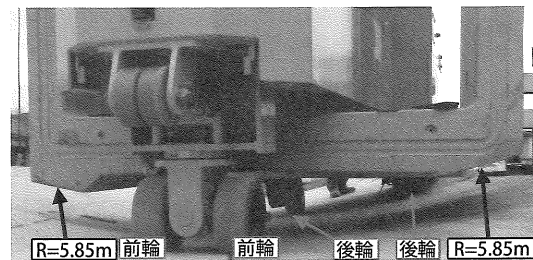


写真-5 前輪および後輪の様子

ことができる自動水平保持システムを採用することで、ボックスカルバートが傾くことなく、安全かつスムーズに搬送することを可能にした(図-5, 写真-5).

なお、ボックスカルバート下部の両端は、安定した設置ができるよう、シールドトンネルの内面形状(R=5.85m)に合わせて製作した。

(3) 上下左右方向の調整機構による正確な敷設  
前後のリフトアップ部が油圧により独立して作動することで、ボックスカルバートの敷設時に、上下左右方向への移動および製品の角度調整がスムーズになり、計画どおり正確にボックスカルバートを敷設することが可能になった(写真-6).



写真-6 微調整の様子

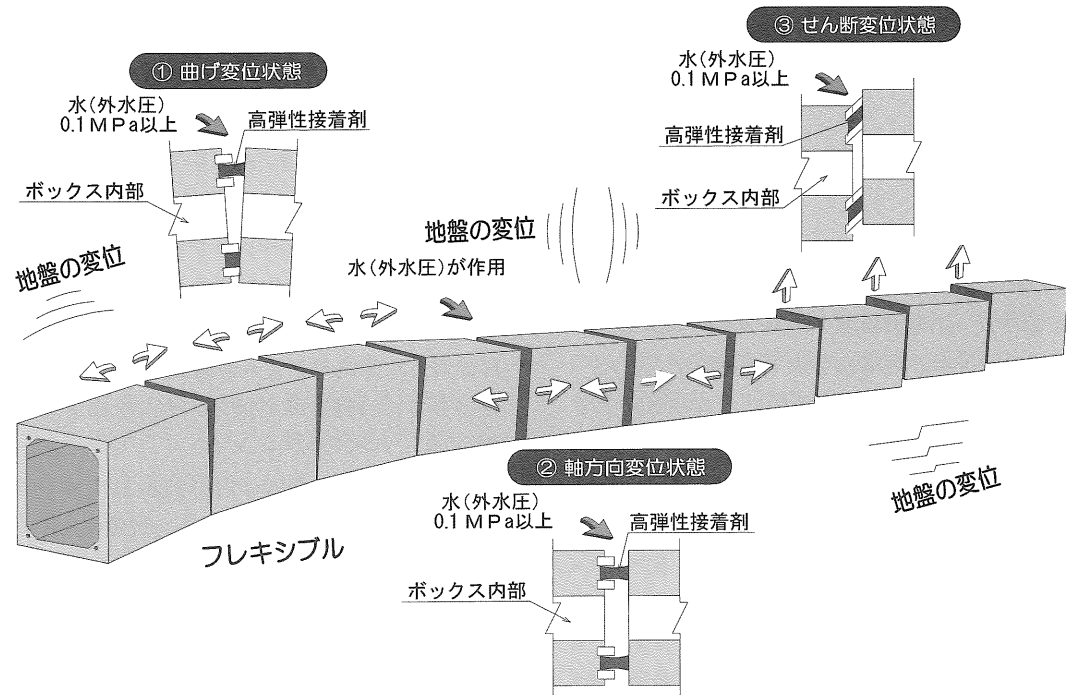


図-6 TB工法概念図(継手部の追従性)

### 2-6 耐震性接着継手工法の適用

本工事で建設する災害時避難通路は、全線にわたりレベル2地震動に対応する必要があったため、ボックスカルバートどうしの接続に、耐震性接着継手工法「TB(タッチボンド)工法」を採用した。

継手部は、変位を可能にするジョイントバーと伸び能力に優れた高弾性接着剤によって柔軟に接合されるので、図-6に示す、①曲げ変位、②軸方向変位、③せん断変位、などの地震時のあらゆる地盤の変位に対し、高い水密性能を保持したまま自在に追従することが可能で、地震後も避難通路の耐震性、水密性および連続性を確保することができる。

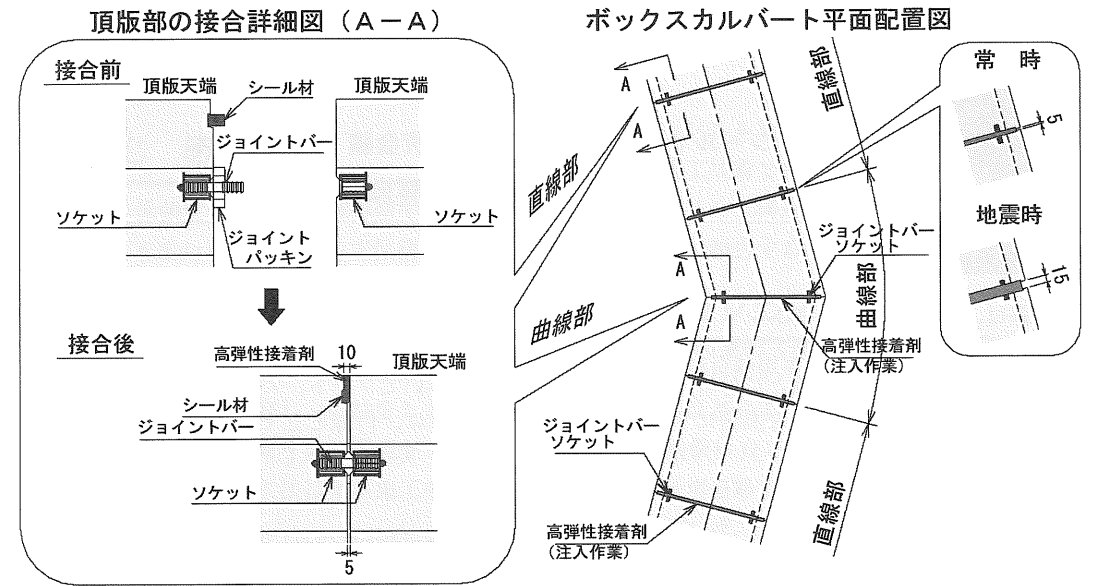


図-7 直線部および曲線部の耐震性



写真-7 高弾性接着剤の注入状況

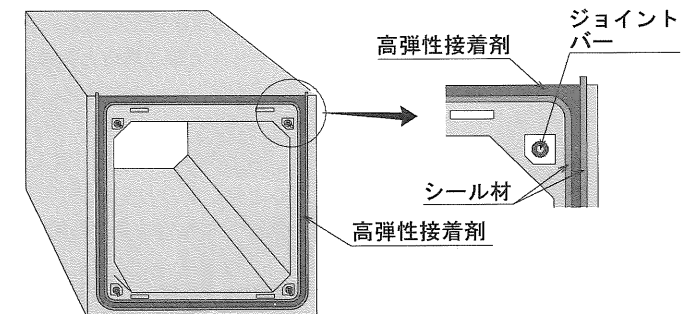


図-8 高弾性接着剤の充填部

TB工法は、ほかの耐震継手工法では対応できない曲線部(図-7)や断面変化部も、直線部と同様に施工できることが最大の特徴で、この工法の採用により避難通路の全線にわたり所要の耐震性および水密性を付与することが可能になった。

TB工法には、注入工法とコーキング工法があり、本工事では注入工法を採用し、敷設が完了したボックスカルバートの頂版上で、写真-7のように足踏み注入器を使用し、注入した(図-8)。

### 2-7 施工の完了

施工総延長が1,756m(878m×2)と非常に長く、また、閉鎖されたシールドトンネル内の曲面上を、安全かつスムーズにボックスカルバートを搬送し、正確に敷設しなければならない難易度の高い施工

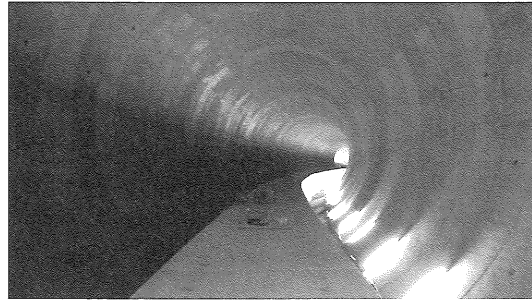


写真-8 施工完了状況

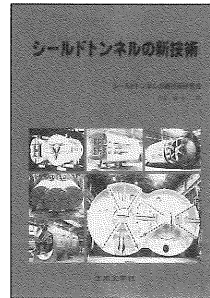
であったが、特殊台車の大幅な改良およびTB工法の採用により、約6か月で無事に施工を完了することができた。

### 3 おわりに

2010(平成22)年2月に、滋賀県米原市で初めてECO-C・L工法による実施工が行われ、その後、本工法の普及を図るため、2011(平成23)年2月に「NETIS」への登録を完了した。

実績を積み重ねることにより、ECO-C・L工法独自の特徴による多くの優位性が発注者から認められ、現在も施工実績が増加している。

今後も適用範囲と用途開発の拡大のために更なる技術開発を行い、社会資本整備への貢献に努めたい。



## 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

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。

〔目次〕第一章 概説 1. シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性○シールド工法の歴史○シールド工法誕生以前のトンネル工法○シールド工法の登場 2. わが国におけるシールド工法の歴史○シールド工法の導入と発展の経緯○シールド工法の現況 3. 今後の技術開発の方向性 第二章 調査・計画編 1. シールド工法の調査技術 2. 断面および線形計画 3. シールド機種の種類と選定 4. 新しいシールド工法 第三章 設計・施工編 1. 覆工○一次覆工の設計○二次覆工の設計と施工○シールドトンネルの防水技術 2. 立坑の設計と施工設備○立坑の設計と施工○シールド機の構造と装備○仮設備の計画○シールド工事による自動化 3. 掘進と施工管理○シールド掘進と施工管理○シールド発進と到達○裏込め注入工法と注入効果○曲線施工と地中接合○補助工法の種類と選定 4. 近接施工と環境対策○近接施工と対策○アンダーピニングおよび支障物対策○シールド工事と環境対策○新工法の現状と将来展望○ECL工法 5. 切羽の安定と地盤変状防止○切羽安定の理論と実際○泥水式シールド工法の切羽安定○土圧シールド工法の切羽安定 6. 地盤変位の理論と実際 付録 1. セグメントの設計例 2. 地盤変位予測解析手法の例 3. シールド工事の施工計画

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

# 中央構造線に平行する本線トンネルの調査坑を全断面早期閉合で試みる

## —三遠南信自動車道 青崩峠トンネル(池島調査坑)—

国土交通省中部地方整備局飯田国道事務所工務課長 渡部 達 宏  
国土交通省中部地方整備局飯田国道事務所建設監督官 桑原 良 輝  
清水建設(株)名古屋支店土木部工事長 八木田 茂 生  
清水建設(株)土木技術本部地下空間統括部担当部長 楠本 太

### 1 はじめに

大土かぶり低強度地山の断層破碎帯では、地山強度比は1を下まわり、トンネル支保構造は変状、不安定になり、過大变位の発生が懸念された。このため、吹付けコンクリート作用土圧を理論式で想定して、多心円リング構造調査坑の必要支保耐荷力を厚肉円筒理論で算定し、これをもとにして小断面早期閉合パターン<sup>あおくずれとうげ</sup>のリング構造トンネルを設計し、全断面早期閉合法による施工を計画した。

現在、池島トンネル調査坑工事は、静岡側坑口から延長1,239mの掘削を終えた。坑口から400m位置の、土かぶり高が200mのF23断層(以降、「F23」)では、標準DIパターンで施工した。850m位置のF21断層(以降、「F21」)と以奥のFs1断層(以降、「Fs1」)では、土かぶり高が350mを超えるので、リング構造の早期閉合パターンを採用し、トンネルの安定を確保した。一方、土かぶり高が300mを超える区間の標準DIパターンによる施工では、過大变位が発生し、早期閉合パターンによる縫返しを余儀なくされた。これらから、タイヤ方式全断面早期閉合法は、大土かぶり低強度

地山のトンネル施工を確実にし、合理的な山岳トンネル施工技術であることが示されたのと早期閉合されたリング構造トンネルの力学挙動特性が得られたので報告する。

### 2 プロジェクト概要

三遠南信自動車道は、長野県飯田市の中央自動車道を起点として、静岡県浜松市北区の新東名高速道路浜松いなさJCTに至る総延長約100kmの自動車専用道路である。このうちの青崩峠トンネル(仮称)は、長野県と静岡県の県境をまたぐトンネル延長5,014mの避難坑を併設する対面通行自動車専用道路である。最大土かぶり高が約600mを超え、中央構造線の西側(図-1)に位置し、20本以上の断層破碎帯を通過する長大トンネル

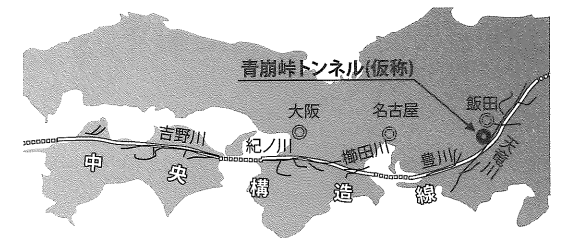


図-1 中央構造線とトンネル位置

であり、トンネルの安定性確保による過大変位の克服が最重要課題であった。

2014(平成26)年3月より、調査坑を兼ねた避難坑工事を開始し、静岡側の池島トンネル調査坑の成果は、長野側小嵐トンネル調査坑とともに、本坑工事に反映させる計画である。

### 3 地質概要

青崩峠トンネル調査坑のうち池島トンネル調査坑区間の地質は、珪質変成岩、斑状マイロナイト、泥質変成岩からなる(図-2)。断層破砕帯の一軸圧縮強度は、 $V_p$ から推定すると、 $q_u = 0.4 \sim 0.5 \text{N/mm}^2$ が想定される。土かぶり高が $h = 400\text{m}$ を超えるため、地山強度比 $c_t$ は0.1を下まわり、押し出し性地山の出現が予想された。

### 4 施工方針

調査坑の施工は、小断面トンネルの標準支保パターンによる標準的な施工法を基本とする。地山強度比が1を下まわる大土かぶり低強度地山では、多心円トンネルは不安定となり、過大変位の発生が予想されるので、以下の方針で計画する。

- ① 多心円トンネルの力学的安定確保の方法は、吹付けコンクリートで健全なリング構造を形成し、これの内圧力で土圧を保持する。
- ② 地山強度 $q_u$ と単位体積重量 $\gamma$ および土かぶり高 $h$ をパラメータとする作用土圧の土かぶり相当高 $H$ を算定する理論式<sup>1)</sup>を用いて吹付けコンクリート作用土圧 $P_0 (= \gamma H)$ を想定し、厚肉円筒理論を用いて必要支保耐荷力の内圧力 $P_i$ を算定、これを参考にして、早期閉合パターンを設計する。

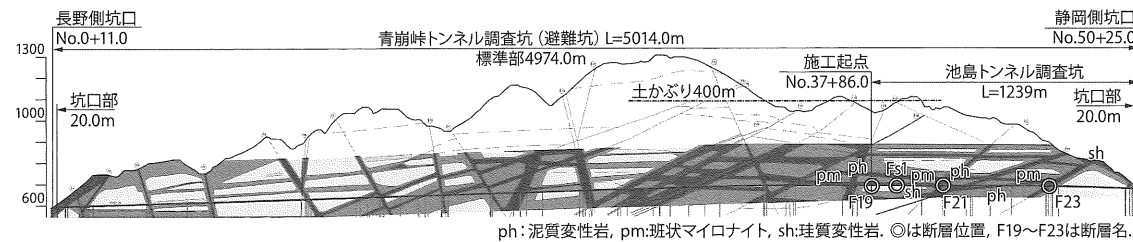


図-2 地質縦断図(池島トンネル調査坑)

- ③ 鋼アーチ支保工は、吹付けコンクリートとの組合せで多心円リング構造に靱性を付加する。
- ④ 覆工は、本坑掘削の影響や不確かな土圧などに対する避難坑のリング構造耐荷力に余力を付加し、避難坑の高耐力化を図り、健全性を担保する。
- ⑤ 施工は、全断面早期閉合とする。早期閉合距離は $L_i = 2 \sim 3\text{m}$ を基本とする。変形余裕量は10cmを考慮する。
- ⑥ 補助工法は、岩盤固結を基本とし、支保工までの間の天端素掘り面の自立を確保する。切羽鏡は、安定形状の曲面切羽を採用し、肌落ち、剥落に対する切羽作業の安全確保から、鏡吹付けを併用する。
- ⑦ 計測工A、Bを実施し、早期閉合パターンの力学的安定性、変形挙動特性を明らかにし、評価する。避難坑の設計を照査し、次ステップの施工を判断する。また、本坑トンネル設計に資する基礎データを取得する。

### 5 早期閉合パターン設計

#### 5-1 土圧の想定

トンネル掘削で再配分されるトンネル半径方向土圧 $\Delta\sigma_r$ は、掘削面からの距離の2乗に反比例しながら低下するとする理論式を用いて掘削影響域 $L$ を算定し、これを想定土圧の土かぶり相当高 $H$ とする<sup>1)</sup>。吹付けコンクリート作用土圧は、 $P_0 = \gamma H$ で想定する。ここで、 $\gamma$ は単位体積重量をあらわす。

避難坑小断面トンネルの支保構造半径は、 $r_1 = 2.75\text{m}$ である。地山強度は $q_u = 0.5 \text{N/mm}^2$ 、単位体

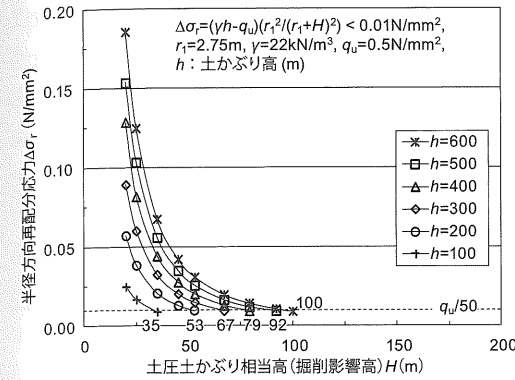


図-3 土圧土かぶり相当高 $H$ (理論解)

積重量は $\gamma = 22 \text{kN/m}^3$ として土かぶり高 $h = 100 \sim 600\text{m}$ に対する土圧の土かぶり相当高 $H$ を計算すると、図-3の横軸に示す値となる。

#### 5-2 早期閉合パターンのトンネル形状

多心円トンネル形状は、トンネル支保構造半径 $r_1$ に対する早期閉合構造半径 $r_3$ の比の $r_3/r_1$ で規定する。通常断面では、下半支保構造半径 $r_2$ は、 $r_2/r_1 = 2.0$ が採用されている例が多い。地山強度比が $c_t \leq 2.0$ では $r_3/r_1 = 2.0$ 、 $c_t \leq 0.5$ は $r_3/r_1 = 1.5$ 、 $c_t \leq 0.1$ では多心円トンネルの曲げ応力の影響があらわれるので1.2を採用する<sup>2)</sup>。

#### 5-3 必要支保厚

吹付けコンクリート作用土圧の土かぶり相当高を $H = 40, 60, 80\text{m}$ として、 $r_2/r_1 = r_3/r_1 = 1.5$ とする支保厚(吹付け厚 $t$ )と吹付けコンクリートに発生する軸応力(必要支保耐荷力)の関係を、厚肉円筒理論で求めると、図-4のようになる。 $f'_{ck} = 36 \text{N/mm}^2$ とする吹付けコンクリートを採用すると、土かぶり相当高 $H = 40\text{m}$ で $t = 15\text{cm}$ 、 $H = 60\text{m}$ で $t = 20\text{cm}$ となる。

#### 5-4 小断面トンネル構造諸元

支保構造の組合せは、標準パターンとともに、表-1に示す。

早期閉合パターンの吹付けコンクリート厚は、土圧の土かぶり相当高に対応できる必要支保厚と

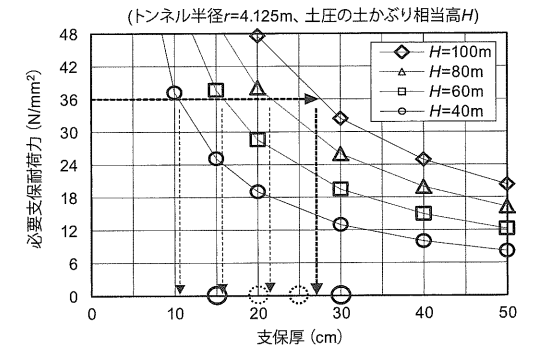


図-4 支保厚と必要支保耐荷力( $r_3/r_1 = 1.5$ ,  $r_1 = 2.75\text{m}$ ,  $r_3 = 4.125\text{m}$ )

表-1 小断面トンネル構造諸元

支保パターン <sup>*1</sup>	単位	早期閉合パターン				
		標準パターン DI1s/DIL	Ecp1	Ecp2	EcpL1	
想定地山強度比 $c_t$	—	2 $\leq$	<2	<0.5	<2	
想定土圧土かぶり相当高 $H$	m	20	40	60	40	
1掘進長	m	1	1	1	1	
変形余裕量	cm	0	10	10	10	
支保構造	吹付け厚	cm	10	15	20	20
	圧縮強度(28日)	$\text{N/mm}^2$	18	36		
早期閉合	鋼アーチ支保工	—	H-100	H-100	H-125	H-125
	ロックボルト工	—	$L=2\text{m}, 110\text{kN}$	$L=2\text{m}, 110\text{kN}$		
早期閉合	早期閉合部材	—	上・下半と同様			
	構造半径比( $r_3/r_1$ )	—	—	1.5	1.5	1.5
早期閉合	早期閉合距離 $L_i$	m	—	4	4	4
覆工	巻厚	cm	—	20	20	20

\*1: DIL, EcpLは拡幅断面である。

する。鋼アーチ支保工サイズは、H-125を最大規模とし、吹付け厚との対応で定める<sup>4)</sup>。1掘進長は1.0m、変形余裕量は全断面掘削に10cmを考慮する。ロックボルトは、早期閉合までの間の周辺地山の強度保持を期待し、標準DIと同程度とする。覆工は、小断面トンネルの支保パターンDIIを準拠する。代表的な支保パターン概要を図-5に示す。

### 6 施工方法

施工は、タイヤ方式全断面工法爆破掘削である。タイヤ方式標準断面と転換坑を併設する機械離合のための延長30mの拡幅断面を、切羽前方地山物



15を下まわり、標準パターンのアーチ構造によるトンネルの安定確保は困難と推測され、リング構造の早期閉合パターンEcp1を採用し、延長36mを施工した(写真-2)。

坑口から1,129m, No.39 + 12.8付近のFs1は、当初設計で想定されたものではなく、泥質変性岩を主体とする断層破碎帯と判断された。切羽評価点は連続して15を下まわり、土かぶり高が380mであるのでEcp1を採用し、延長42mを施工した。なお、断層部では、切羽の安定性は高いものの、切羽作業の安全確保から鏡吹付けを実施した。

7-3 トンネル変位と縫返し

Fs1の終端No.38 + 70.8の以奥では、切羽評価点が20を上回るDI地山と推定され、標準パターンによる施工に切替え、DIsで23m, DILで14.4mを掘削した。切羽がEcp1端から37.4m進行すると、DIsのトンネル側部に、変状を伴う内空変位で約-100mmを超える過大変位が発生(写真-3)し、内空断面確保は困難となり、Ecp1で23mを縫返した。

その後、DILを延長23.4mに延伸させ、転換坑坑口付けを行ったところ、アーチ構造DILの天端部は変状し、転換坑交差部では盤膨れ(写真-4)が発生し、高強度支保部材による交差部補強とEcpL1による拡幅断面の縫返しを余儀なくされた。この縫返し終端No.38 + 23.4から施工終端No.37 + 86までの延長37.4mの切羽評価点は16を下まわったので、リング構造のEcpL1とEcp1で施工し、大土かぶりトンネルの安定を確保して、過大変位発生を抑制した。

この約130m間の地質は、泥質変成岩と珪質・泥質互層が主体であり、土かぶり高は340~380mであった。

7-4 トンネル変位と地山物性値推定

施工延長1,239mの切羽評価点と小断面トンネル変位の関係を図-8、土かぶり高との関係を図-9に示す。断面形状別トンネル変位を図-10に示す。

計測工Bの吹付けコンクリート軸応力からの土圧の土かぶり相当高Hと理論式<sup>1)</sup>を用いて推定した地山強度 $q_u$ と地山強度比 $c_f(=q_u/\gamma/h)$ は、切羽



写真-2 切羽全景 (F21断層, No.41 + 39.3, 切羽評価点12.5)

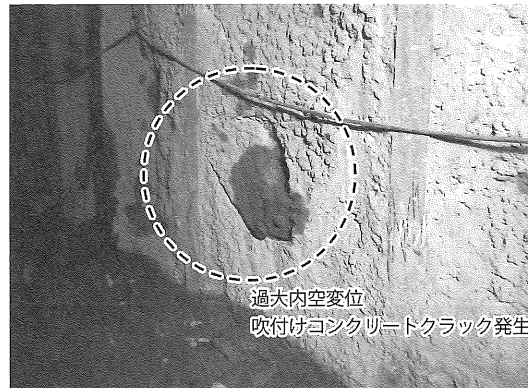


写真-3 DIの側部変状

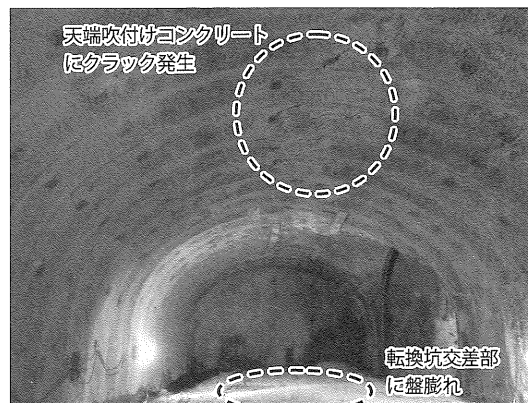


写真-4 DILと交差部変状 (転換坑坑口付け)

評価点との関係で図示すると図-11のようになり、 $q_u = 4.4 \sim 7.3 \text{ N/mm}^2$ ,  $c_f = 0.59 \sim 0.88$ となる。この $c_f$ とトンネル変位の関係を図-12に示す。

これらから、以下のことがいえる。

- ① 天端沈下  $V_1$ が $-20\text{mm}$ 以下、内空変位  $H_{sL}$ が

$-30\text{mm}$ 以下であれば、小断面トンネルは安定する。

- ② Ecp1は、切羽評価点が20を下まわっているが、 $V_1$ は $-10\text{mm}$ 以下の沈下、 $H_{sL}$ は $-20\text{mm}$ 以下の縮小で、トンネルの安定は確保されている。
- ③ 土かぶり高 $h$ が $350\text{m}$ を超えるアーチ構造DIは、切羽評価点が20を上まわっているが、 $H_{sL}$ は $-40\text{mm}$ を超え、支保は変状し、リング構

造のEcp1, EcpL1で縫返した。

- ④ 標準DIの内空変位 $H_{sL}$ は、拡幅DILに比べて、地山性状変化の影響を受けやすく、大きくばらつく。Ecp1とEcpL1のリング構造では、同等レベルのトンネル変位が発生し、トンネル形状や地山強度比の違いによる有意な差はない。
- ⑤ F21, Fs1とその周辺、F19では、 $c_f$ が1を下まわる低強度地山と評価され、早期閉合パターンによる施工でトンネルの安定が確保され、トンネル変位は $-10\text{mm}$ 以下である。

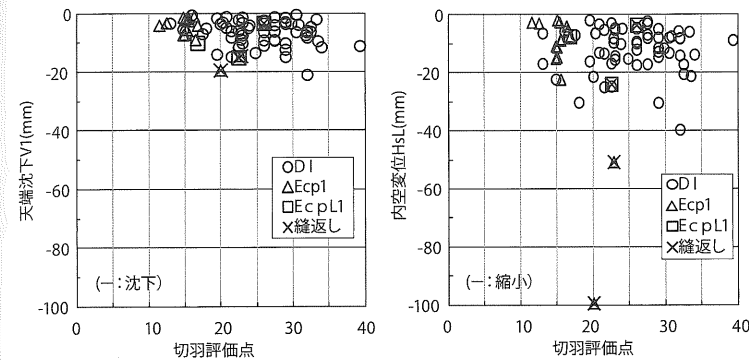


図-8 切羽評価点とトンネル変位

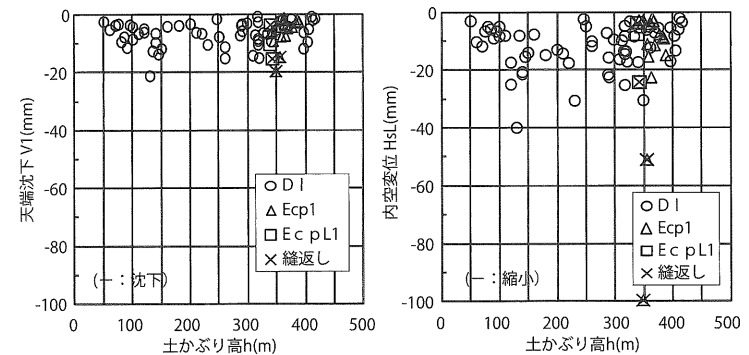


図-9 土かぶり高hとトンネル変位

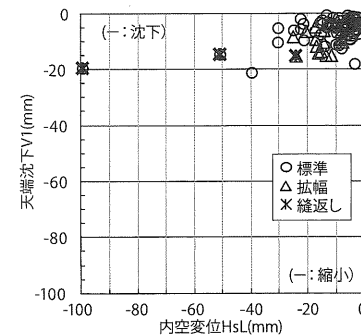


図-10 断面形状別トンネル変位

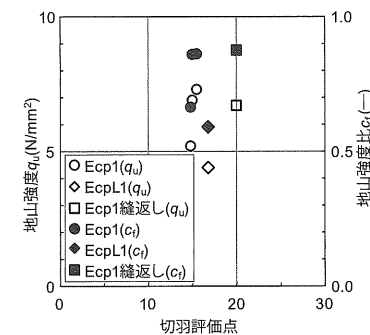


図-11  $q_u$ と $c_f$ (推定)

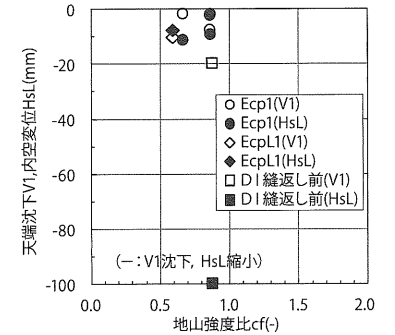


図-12  $c_f$ とトンネル変位

7-5 アーチ構造安定性

坑口からNo.41 + 80までの825m間は、標準DIパターンによる標準施工である。想定F23のNo.46 + 05.4に設けた計測工B測定データから、以下のことがいえる。ここでの土かぶり高は $h = 200\text{m}$ 、切羽評価点は29である。

- ① アーチ構造の吹付けコンクリート軸応力は、切羽が $65D$  ( $D$ は掘削幅)の330m進行し、離れていても変動しており、掘削の影響と推測される(図-13)。
- ② 吹付けコンクリート軸応力の最大は、天端部に発生

し、11.5N/mm<sup>2</sup>の圧縮である。脚部は、天端部の約1/2～1/3と小さい。

- ③ アーチ構造の軸力  $N (= N_c + N_s)$ 、 $N_c$ は吹付けコンクリート軸力、 $N_s$ は鋼アーチ支保工軸力(に対する吹付けコンクリート軸力の分担率  $(= N_c / (N_c + N_s))$  は、60～80%である(図-14)。
- ④ 鋼アーチ支保工縁応力の最大は、310N/mm<sup>2</sup>の曲げ圧縮である。鋼アーチ支保工は、吹付けコンクリートで拘束されているので、変状はみられない(図-15)。アーチ構造側部では、鋼アーチ支保工の片持ち梁による土圧保持状態と推測され、鋼アーチ支保工左肩部は降伏強度を超える。
- ⑤ 吹付けコンクリートの天端部では、土かぶり高で20m相当の土圧作用が推定される(図-16)。

7-6 リング構造安定性

計測工Bは、F21とFs1のEcp1で4断面、F19

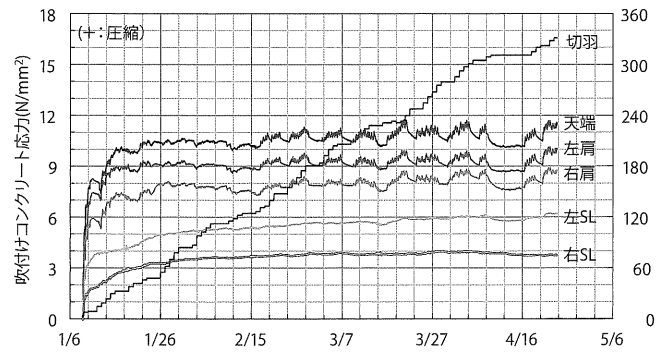


図-13 吹付けコンクリート軸力経時変化

のEcpL1で1断面を実施した(図-6)。リング構造の計測データから、以下のことがいえる。

- ① 吹付けコンクリート軸力は、切羽が約30mの5D(Dは掘削幅)進むと取束傾向を示し、リング構造の内圧力でトンネルの安定が確保されている(図-17)。
- ② リング構造をなす鋼アーチ支保工と鋼インバート支保工(以降、これらは「鋼製支保工」と称す)の鋼製支保工縁応力は、降伏強度を超え、曲げ圧縮応力状態で微増する。インバート中心では、早期閉合時に、多心円トン

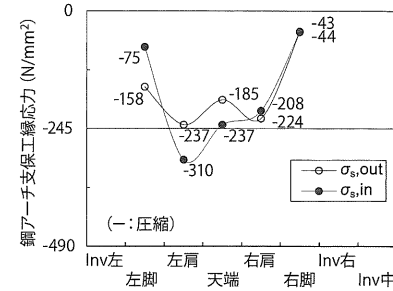


図-15 鋼アーチ支保工縁応力分布

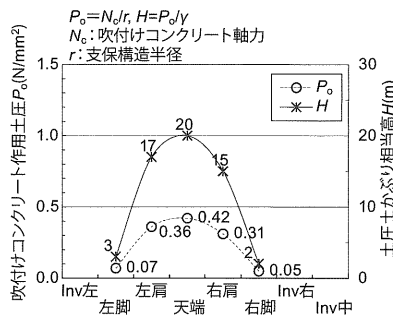


図-16 P<sub>o</sub>とH

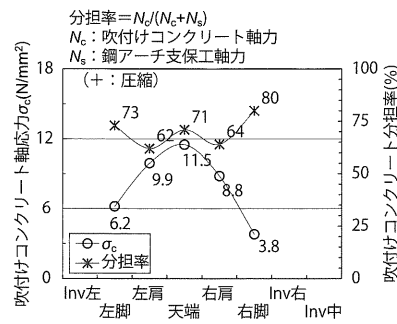


図-14 吹付けコンクリート軸力と軸力分担率

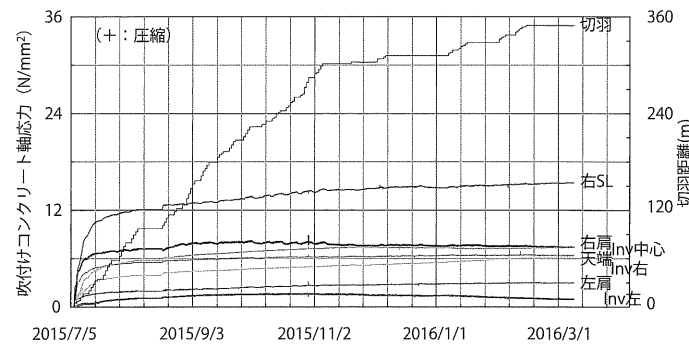


図-17 吹付けコンクリート軸力経時変化(F21, Ecp1-2)

ネルの曲げ変形の影響があらわれ、内空側凸の曲げ引張応力状態で推移する。切羽が120m進むと曲げ圧縮応力状態となる(図-18)。

- ③ 吹付けコンクリート軸力の最大は、EcpL1の左肩部に発生し、24.4N/mm<sup>2</sup>の圧縮、設計基準強度の2/3以下で安定が確保されている(図-19)。

- ④ リング構造の軸力  $N (= N_c + N_s)$ 、 $N_c$ は吹付けコンクリート軸力、 $N_s$ は鋼製支保工軸力(に対する吹付けコンクリート軸力の分担率  $(= N_c / N)$  は、アーチ部で50～90%となり、多心円トンネル形状と地山物性分布の影響を受ける(図-20)。

- ⑤ 地山強度比が0.5～1.0の低強度地山におけるEcp1, EcpL1は、鋼製支保工は降伏強度を超えるが、吹付けコンクリートによる健全な多心円リング構造が形成されているので、トンネルの安定は確保されている。

7-7 作用土圧推定

推定地山強度比  $c_t$  と土圧土かぶり相当高  $H$  の関係は、2車線トンネルの実績<sup>2)</sup>とともに、図-21に示す。これから、地山強度比が  $c_t = 0.6$  で  $H = 40 \sim 45$ m 相当の土圧作用が推定され、想定土圧の40mと同程度である。また、小断面トンネルにおいても、2車線トンネルと同様、地山強度比から吹付けコンクリート作用土圧を推定することが可能であることが示された。

8 まとめ

大土かぶり小断面トンネル調査坑を切羽観察で地山性状を評価しながらタイヤ方式全断面工法と全断面早期閉合法で施工した。

得られた知見は、以下のとおりである。

- ① 大土かぶり地山性状の推定が不確かな断層破碎帯の施工では、地山性状の変化への対応性に優れたタイヤ方式は有効である。
- ② 土かぶり高が200m程度、切羽評価点が30程度で施工したアーチ構造の標準DIパター

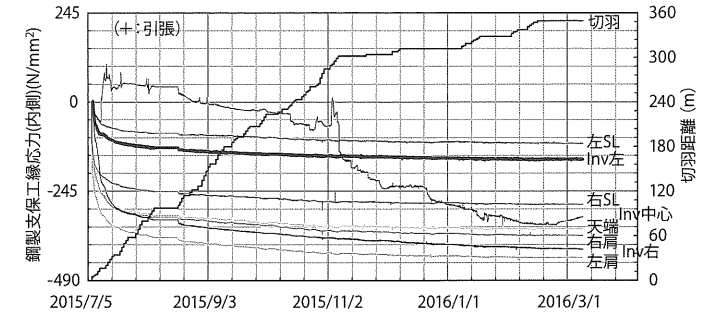


図-18 鋼製支保工縁応力経時変化(F21, Ecp1-2)

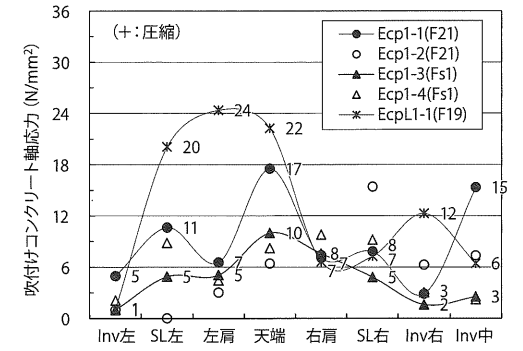


図-19 吹付けコンクリート軸力

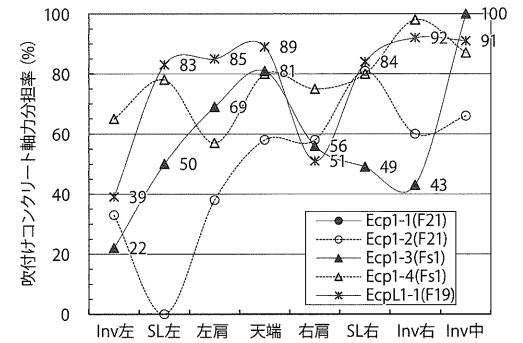


図-20 吹付けコンクリート軸力分担率

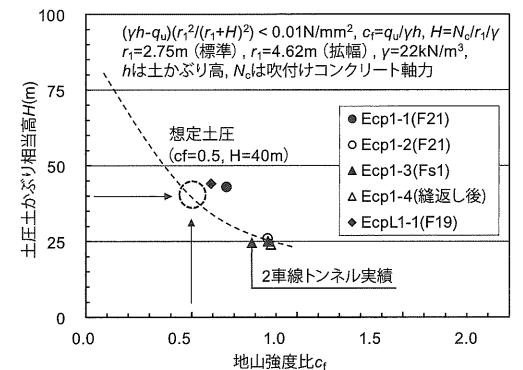


図-21  $c_t$ と土圧土かぶり相当高H

ンでは、吹付けコンクリート軸応力は、切羽が330m進行しても掘削の影響を受けて変動し、トンネルは不安定状態にある。

- ③ 地山強度比 $c_t$ が1を下まわる低強度地山の早期閉合パターントンネルは、多心円リング構造の内圧力で土圧が保持され、トンネル変位が-10mm以下であればトンネルの安定が確保されている。
- ④ 天端沈下 $V_1$ が-20mm以下、内空変位 $H_{st}$ が-30mm以下であれば、小断面トンネルは安定する。
- ⑤ 土かぶり高 $h$ が350mを超える標準DIのアーチ構造は、切羽評価点が20を上まわっていても、 $H_{st}$ は-40mmを超え、トンネル支保構造は変状し、リング構造による縫返しを余儀なくされた。
- ⑥  $E_{cp1}$ は、切羽評価点が20を下回っていても、 $V_1$ は-10mm以下の沈下、 $H_{st}$ は-20mm以下の縮小で、トンネルの安定は確保されている。
- ⑦  $E_{cp1}$ と $E_{cpL1}$ のリング構造では、同等レベルのトンネル変位が発生し、トンネル形状や地山強度比の違いによる有意な差はない。
- ⑧ 小断面トンネルにおいても、2車線トンネルと同様、地山強度比から吹付けコンクリート作用土圧を推定することが可能であることが示された。

## 9 おわりに

多数の断層破碎帯を貫く大土かぶり小断面トンネル調査坑工事のタイヤ方式全断面工法と全断面早期閉合工法の有効性、合理性が実証された。 $c_t$

が1を下まわる低強度地山では、全断面早期閉合工法による多心円リング構造の内圧力で土圧が保持され、トンネルの安定が確保され、施工を確実にできることが示された。

今後は、土かぶり高が600mの断層破碎帯に全断面早期閉合工法を採用して、この方法の有効性を確認するとともに、力学挙動特性を明らかにする予定である。また、この方法では、切羽評価点と地山強度比を早期閉合パターン選択の基本としているので、切羽と切羽前方地山のこれらの力学パラメータの定量化方法の高度化が望まれる。

最後に、タイヤ方式全断面工法爆破掘削と全断面早期閉合工法施工にあたって、ご助言、ご指導いただいた真下英人・(一社)日本建設機械施工協会施工技術総合研究所所長、砂金伸治・(国開)土木研究所道路技術研究グループ上席研究員をはじめ、国土交通省中部地方整備局飯田国道事務所と関係各位に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 西村和夫・城間博通・楠本太：早期閉合トンネル力学パラメータに関する考察，JSCE，第66回年次学術講演会，VI-395，2011。
- 2) 佐藤淳・楠本太・今田徹・西村和夫：低強度地山における全断面早期閉合工法に関する実証的研究，トンネルと地下，Vol.46，No.9，pp.53-63，2015.9。
- 3) 楠本太・恩田雅也・上岡真也：押し出し性地山における大断面トンネルの力学パラメータに関する考察，JSCE，第60回年次学術講演会，第III部門，2005。
- 4) 標準的な支保構造の組み合わせ，道路トンネル技術基準(構造編)・同解説，日本道路協会，p.131，2003.11。
- 5) 切羽評価点法，トンネル施工管理要領，第7版，高速道路総合技術研究所，pp.52-56，2013.7。

## 岩盤地下空洞の設計と施工

E. フック・E. T. ブラウン共著／小野寺透・吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳

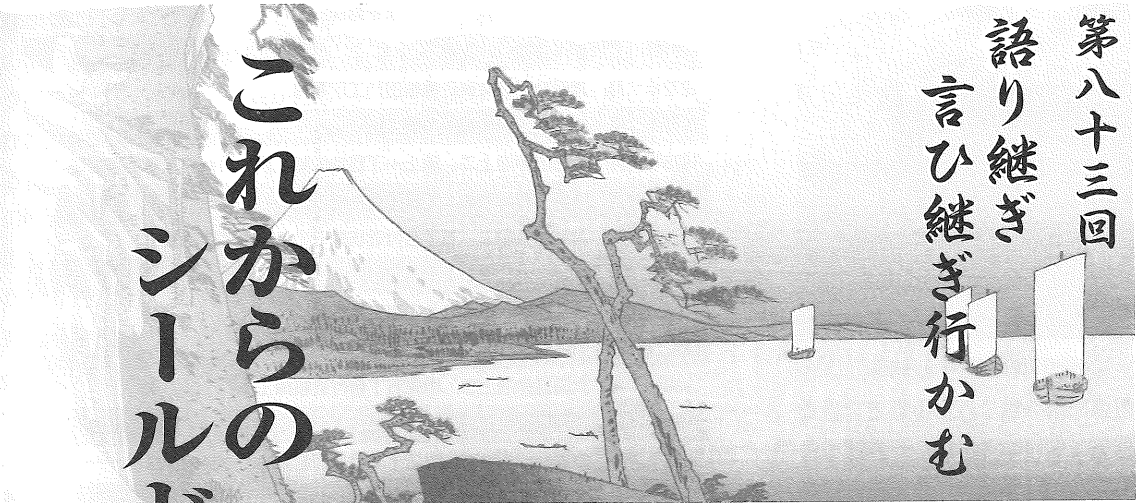
B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(〒450円)



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

## 第八十三回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ



## これからの シールド 工事 を 担う 諸君へ

(元)五洋建設(株)  
佐伯

博

## はじめに

1971(昭和46)年に五洋建設へ入社以来、約33年間、手掘り圧気シールド、ブラインドシールド、泥水シールド、泥土圧シールドなどによる総延長約20kmのトンネル施工に携わってきた。

実は五洋建設へは中途入社である。大学卒業後、炭鉱関連の建設会社に入社した。初めて配属されたのが北海道の河川改修工事で、60歳近い先輩と2人だけの現場であった。もちろん、測量もまともにやったことがないが、大学出ているんだからわかるだろう、測量もできるよな、と言われれば、できないとは言えない。測量器もテイルティングではなくYレベルで、トランシットのパーニアも虫眼鏡で見るようなものしかなかった。現場のおばさんを使って測量をしたが、不安で不安でしょうがない。河川のカーブをセッティングして河床などの高さを見るわけだが、レベルといっても今

のように箱尺に1mとか2mの印があるわけではなく、下手をしたら1mくらいすぐに間違えてしまう。そこで、実家にしまってあった測量実習とかの図書を送ってもらって、勉強しながら汗をかきかき測量に取り組んだ。カーブのセッティングも数表を見ながらではなく、理論的に合っているのか全部確認しないと気が済まなかった。そうやって勉強して初めて納得した。

着工前や施工中の現場の写真は失敗できないからと、会社のカメラと自分のカメラの2台で撮ったが、案の定、1台はいつも失敗した。カメラも信用できる時代じゃなかった。

この現場をこなしたことで、自分自身、ものすごく自信がついた。やる気になれば自分で調べればいい。へんな話だが、本に書いてあることがうそじゃないこともよく理解できた。これが私のものの見方の原点となった。

東北自動車道関連の仕事が出て、



著者近影(2016年8月撮影)

現場に家を借りて帰ってきたら勤務先が倒産していた。五洋建設の当時の副社長だった今中さんが私の上司の戦友で、その伝手で五洋建設に入社した。入社後、当社が受注した地下鉄シールド工事に配属されたことが、シールド工事に携わるきっかけである。

### 手掘り圧気シールドの経験

#### ■営団地下鉄有楽町線桜田門工区建設工事

この現場はM建設にお願いして研修をさせていただいた思い出深い現場である。もちろん私はシールド工場の経験は皆無で、すべてが初めてのことばかりであった。現場の所長はもうお亡くなりになったと聞いたが、非常におもしろい、いい人で、研修であったにもかかわらず、私を重宝してくれた。この当時は、シールドの運転、管理は職員の仕事で、初めてシールドを運転したときには背中に冷や汗が流れたのを今でも鮮明に覚えている。夜勤はもちろん私1人で、A線、B線のシールドを交互に運転した。油圧ホースが切れたりすることも日常茶飯事で、現場が止まらないように油圧ホー

#### 著者略歴

1971年9月	五洋建設(株)入社
1972年7月	営団地下鉄有楽町線桜田門工区研修
1973年2月	都営地下鉄10号線花園工区
1975年9月	大田区仲池上二、池上一丁目地先間配水本管新設工事工事主任
1978年8月	戸塚東幹線その6工事工事主任
1980年9月	葛飾区金町二、五丁目付近枝線その2工事工事所長
1982年10月	堀江南幹線その1工事工事所長
1985年10月	第二戸山幹線その4工事工事所長
1987年11月	東金町雨水幹線その5工事工事所長
1989年4月	大田区仲池上二、中央五丁目付近枝線工事
1989年11月	江戸川区東葛西七、清新町一丁目地先間配水本管新設工事総括所長
1992年4月	五洋建設(株)東京支店土木事業部営業第二グループ部長
2000年1月	Deep Tunnel Sewerage System T-02 Contract総括所長
2004年2月	五洋建設(株)東京支店支店次長
2007年1月	五洋建設(株)退職

スの交換もした。油圧ホースを間違えて取り付けてパンクさせてしまう失敗もやらかしたが、工事のちょうどおいしいところをやらせてもらったと思っている。いい経験になった。

現場は桜田門より発進し有楽町に至る工区で、凱旋濠と日比谷濠の下を掘進した。土質は有楽町層のシルト質砂と砂質シルトである。凱旋濠のところは、濠にシートパイルを打設して締め切って、万が一、山が落ちて支障がないようにしていた。また、江戸時代の屋敷跡には掘抜き井戸などが浅いところに残っており、それにぶつかると山がドンときた。おっ、山ってこんなふうに落ちるんだということ、身をもって経験した。

桜田門から祝田橋までの区間、凱旋濠区間は下り勾配で、背中にいつも土砂を背負っている状態だった。切羽は山留めのような格子でなんとか押さえたが、後方ま

で圧気が行き届かないうえに、当時は瞬結タイプの裏込め注入もなかったため、トンネル外周に沿って砂や泥を含んだ濠の地下水がドバツときて機械が埋まってしまったこともあった。

日比谷濠はドライにできないので、濠の上に簡単な栈橋を組んで地盤改良をした。地盤改良後に掘進したが、掘っているとたまに薬液注入孔から圧気が抜けて、日比谷濠の水面にぶくぶく、ぶくぶくと気泡が沸くこともあった。さすがに気持ち悪く、万が一、濠の水が入っても作業員の安全が確保できるように、トンネルの中に鉄板で仕切りを作って地上からエアがそこに直接送れるようにしたお椀状の緊急避難場所を作った。その中で我慢して救助を待つ、そういうアイデアだった。

この当時もピッチング計やローリング計があったが、精度の高い機器ではなく信頼できるものでは

なかった。そこで下げ振りで実際のローリングはどうか、ローリング計やピッチング計は正確かどうかを絶えず運転席でチェックできるような改良を加えた。M建設の所長には入って間もない未経験の私の意見を快く聞いていただいた。その後も、遠慮なくいろいろ現場の改善させてもらったことが、大変いい経験になった。

### 泥水シールドの経験

#### ■戸塚東幹線その6工事

神田川の洪水対策工事である。住民が反対派と賛成派の2つに分かれていた。高台の住民は酸欠空気発生地域で工事に反対、一方で低地の住民はとにかく早く着工してほしいとの強い要望があった。着工にあたっては協議会での説明と承諾が必要で、とにかく住民対策に明け暮れた。協議会は新宿の区議を全員集めて開催されたが、会議の席順のことでひと悶着あって、結局、席順を得票数で決めたということもあったようである。

泥水シールドの運転管理にコンピュータを導入している現場はまだ少なかったが、本現場では、当時、三菱電機が石油の出し入れの管理に使用していたコンピュータシステムを導入するとともに、テレビカメラで管理するようにした。また土砂量の管理ソフトを開発し、ほかの現場で掘削径が変わっても転用できるようにした。職員はこの管理ソフトの導入を非常に喜んだが、私が試しに掘削径を変えて入力しても算定される土砂量が変わらない。当然ソフトボード

(コード板)は作り直しである。それ以上に、職員がソフトの正確性を確認していなかったことがもどかしかった。

神田川はよく氾濫した。現場の安全確保が第一義である。万が一に備えて洪水保険(水難保険)に加入した。加入して1週間目に神田川が氾濫して立坑が水没した。機械の引上げや後方設備の整備など、かなりの出費であったが保険で十分賄うことができた。保険への加入はちょっとした判断だったが、この工事のポイントであったと思う。

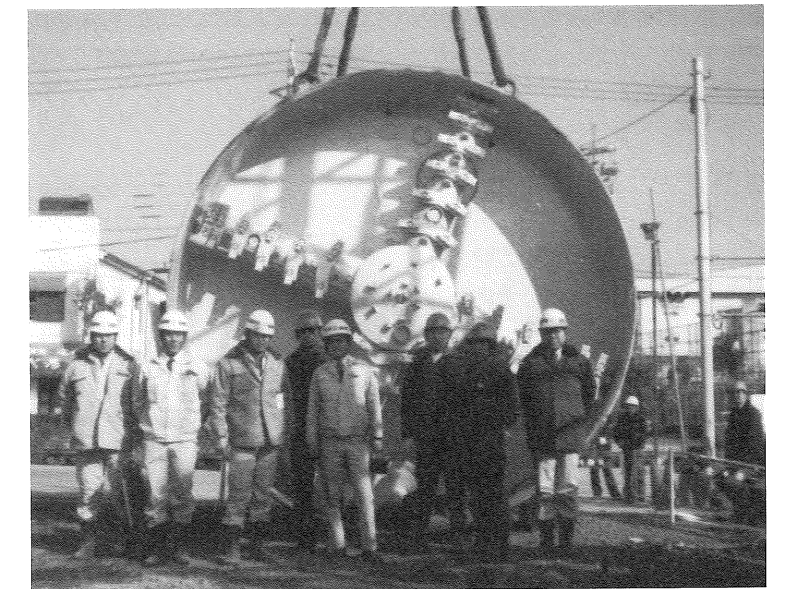
また、新宿・歌舞伎町の氾濫防止を目的に、既設のボックスカルバートに孔をあけて、中に小さな堰を造り、縦に飲み込む構造が計画されていた。そこで、はたしてこの構造が水理的に有効かどうかの確認をするため、FRPで縦管を作り、堰の構造や水位の上昇状況を現場で実験した。私の実験好

きはここから始まったのかもれない。

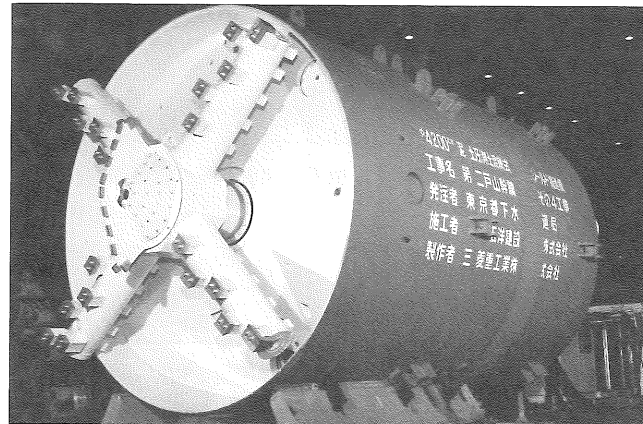
### 泥土圧シールドの経験

#### ■堀江南幹線その1工事

削土混練式シールド、いわゆる泥土圧シールドがこの当時に開発され、本工事でも泥土圧シールド工法が採用された。現在では、隔壁側に固定翼を付けて、できるだけ掘削土が供回りしないように改良されているが、当時はまだそのような装備はなく、チャンバ内に土砂がたまって粘土状になって固まった場合には人力で排除するしかなかった。そこでチャンバ内の閉塞を防止するために、カッタが45cmスライドする削土混練式シールドをメーカーと共同開発した。スライド装置を使って、セグメント組立て中に45cmだけ掘削し、掘進するときにジャッキと同調させて1/2のスピードでカッタを後ろに下げること、カッタに



堀江南幹線その1工事 削土混練式シールド



第二戸山幹線その4工事 削土混練式シールド

かかる力を半分にした。泥土圧シールドではカット抵抗をいかに落として攪拌効果のある機械を作るかがポイントである。また掘削機械をいかに安く作るかということで、センターシャフトのスライド装置だけは転用できる構造にした。

■第二戸山幹線その4工事

粘土、砂礫そして硬質地盤までをいかに効率よく掘るか？ これはシールド屋に課された課題である。地山が比較的軟質であっても、ビットがグッと地山に噛み込むと砂が脱水してしまい、逆に硬質になって抵抗が大きくなりビットの摩耗も激しくなる。そこで、ビットを極力少なくし、かつ千鳥配置にすることで、削った土の動きを変えて抵抗を小さくすると同時に練混ぜ効果も大きくした。常識的には硬いところを削るときにはビットが斜めの方がよく削れるので、本当はビットを斜めに付けたかったが、製作が不可能であった。

当時のシールドの製作に関しては、施工者がメーカーと直接話をしないとスタンダードなものしか

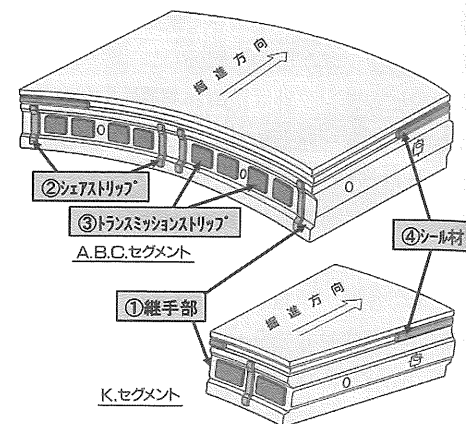
でき上がってこないような状況であった。メーカー自ら、こんな工夫をした方がいいと施工者側に技術提案したら責任を負わなきゃいけない。メーカーはそんなリスクを負いたくないから、スタンダードなタイプでお客様がいいと言ってくればそれでいい、というような風潮であったから、私は相当しつこく何回もメーカーと打合せを重ねてシールドの改良をした。

新技術への挑戦

■ほぞ付きセグメント

10現場で国内でのシールド工事を卒業し、土木事業部、営業部などの間接部門に勤務することになった。横浜支店の土木事業部に在籍しているときに、東京ガスの現場でほぞ付きセグメントが採用されることになり、現場への導入に関して検討を行った。ほぞ付きセグメントと一般の標準コンクリート系セグメントとの相違点は、金属の構造部材を用いずに構造をシンプルにした継手部分(ボルトレス継手)にある。

当社は1991(平成3)年11月にド



ほぞ付きセグメント

イツから2次覆工の省略が可能なボルトレスタイプの「ほぞ付きセグメント」の技術導入を開始した。欧州ではセグメント継手部の止水シールド材は非膨張合成ゴムを素材とするガスケットタイプが使用されていたが、国内における止水シールド材は水膨張シールド材が主流であった。水膨張シールド材をほぞ付きセグメントに適用すると、その形状や反発力から、なかなかうまく組み立てることができなかったため、工場へ足しげく通ってさまざまな実験をくり返し、シールド材の形状変更やトランスミッションストリップの設置などの改良を行った。現在ではさらに改良が加えられ、より合理的なセグメントになっている。

海外へ

■Deep Tunnel Sewerage System T-02

営業でお客様とのゴルフのプレー中に、当社の役員から電話があり、海外工事があるから赴任してほしいと言われた。明日からとりあえず1週間分の荷物を持って

行ってくれということであったが、結局そのままシンガポールに居座ってしまった。

工事は掘削延長7,725mで、2次覆工を含む全体工期は48か月、平均15m/日の掘進が求められた。受注後、日本の業者だけでなく韓国の業者からドイツの業者まで、シンガポール中のいろいろなシールド工事現場を見せてもらった。どの業者も花崗岩が風化した砂質土(石英)の掘進でビットの摩耗によるトラブルが多数発生していた。そこで耐摩耗性能を高めるために、ビットを特殊2段ビット(先行ビット150mm高、メインビット100mm高両面切削型)にして掘進距離を伸ばした。

また、セグメントがずれてしまうなどの問題も発生していたので、開発に携わった幅1,500mm、オールテーパーの一部ほぞ付きセグメントを工事に導入した。ただし、ほぞ形状によってセグメントの組立て施工性が左右されることから、ピンタイプに改良した。

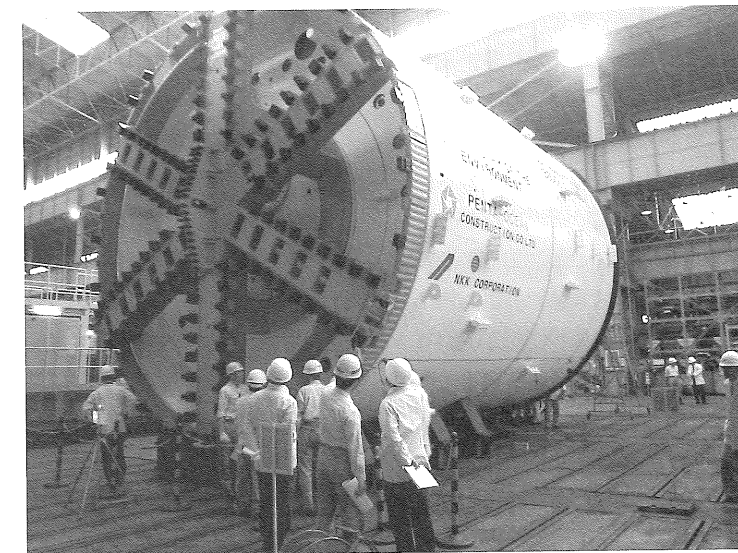
また、これまでの自分の経験から考え付く限りの工夫をした。軌道のトラブル防止のための枕木の固定による災害防止、坑内鋼車位置検知システム、坑内電話へのPHSの採用、運転席での無線式カメラによる長い列車編成(8m<sup>3</sup>鋼車4両とセグメント台車、裏込め台車)周囲の安全確認システム、自動測定の採用による測量時間の削減と連続掘進の実現、大型トラバーサ、8m<sup>3</sup>鋼車2両同時吊り揚げ門形クレーンの採用など、掘進を安定して行える設備を計画した。

また、2次覆工は設計の耐用年数が100年で、コンクリート表面330°に高密度ポリチレンを巻く設計であった。工期を短縮するため、37.5m(1ロット7.5m)のテレスコピック型セントルを2基採用し、トンネル中間から発達立坑側、到達立坑側へと巻立て、約10か月で完成させた。

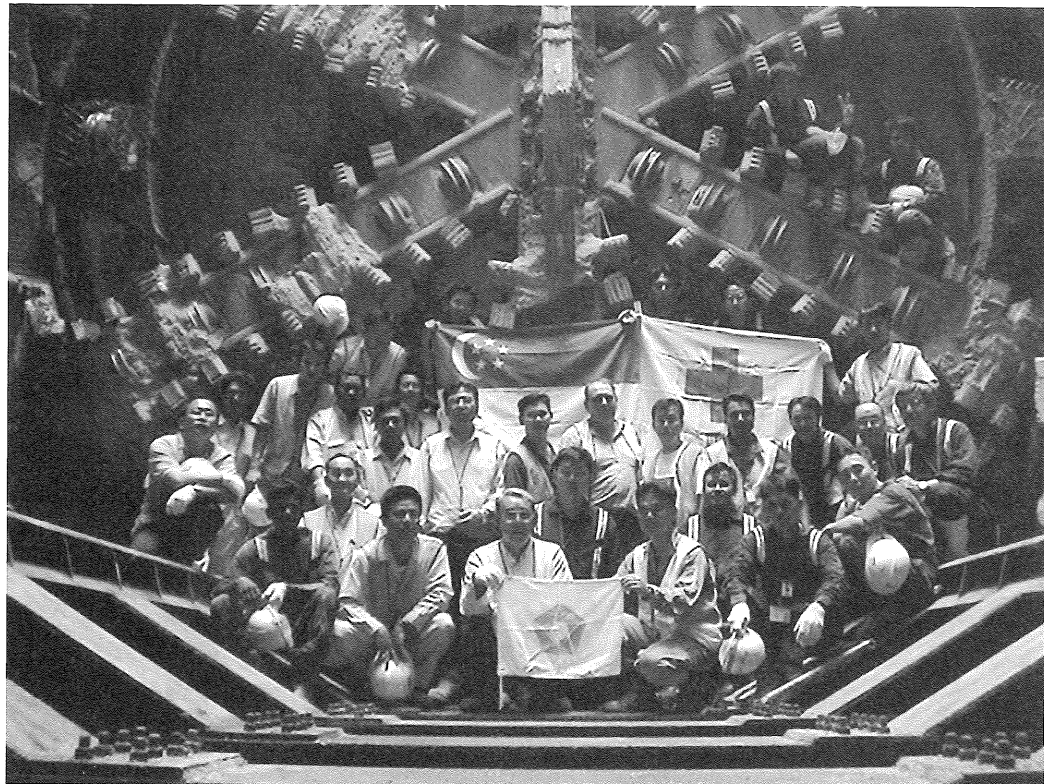
シンガポールの地質は非常に複雑で、かつ変化が激しい。追加の調査で設計段階ではなかった花崗岩を発見し、ルートの変更と地盤改良を行って掘進を行った。地質を把握して掘進するのか、わからないまま掘進するのか。今、地質がどういう状況にあるのかということ、常に念頭において掘ることは非常に重要である。使用していたφ7,160mmの泥土圧シールドは岩掘削用の機械ではなかったので、とくに花崗岩の出現には気を遣った。インドネシアのバタム島にも行って風化花崗岩の露頭部の地質調査もした。

工事区域には高速道路、側道、水路があり、もともとはこの直下を掘進する予定であったが、詳細土質調査の段階で花崗岩が確認された。上位には軟弱な沖積砂層が堆積していたが、高速道路だから地上から地盤改良ができない。高速道路を落としたら大変である。そこで、路線を高速道路境界外側の南側までシフトさせ、花崗岩が終わったところでもとの線形に戻した。

シンガポールでいうF1層(Fluvial Sand)は薬液注入が効かない。F1層は上位の粘性土層と下位の洪積層の間にサンドイッチ状に挟在しており、地下水の逃げ場がない状態である。したがって地盤改良しても効果がない。完全に流動性の土質で、その地層の中には流木が入っていたりした。この区間の掘進では、ゲートを閉めてもスクリーコンベヤのちょっとした隙間から砂が噴出した。道路も少しずつ沈下しはじめ、



DTSS 泥土圧シールド



DTSS 到達集合写真(最前列中央 著者)

これを防止するために薬液注入を徹底して行った。スクリーコンベヤの隙間からの噴出だけでもなんとか止めようと、スクリーコンベヤにポリマーを打込むと同時に、スクリーコンベヤのゲートも改良した。町工場へ走ってゲートをもう1枚製作し、ゲートを2枚取り付けた。

その間に「べろべろの砂」を持ってきて、どうしたら改良できるのかを私の部屋で実験した。ポリマーの添加量を0.1%単位で変化させて最適の添加量を見つけだし、現場の職員にポリマーを何%添加すれば無事に掘れるかということを実験で見せた。ポリマーをインジェクションポートから打込み、もしもそれが詰まってしまっ

あとあと大変になってしまう。そこで、バルクヘッドから打込むことにした。問題は定量ポンプである。これが現場にない。定量ポンプはなかったが、吐出量を少なく調整できる2次覆工用の裏込め用予備ポンプが1台あったので、それを使うことになった。しかし、今度は打込み用のホースに薬液注入用の高圧ホースしかない。その中にはすでに水が入っていて、打込むと途中で詰まりそうになる。どうしたらポリマーを反応させないで洗浄できるかをさらに実験で確認し、結局、ガンリンは危険で使用できないが、少量の軽油にはポリマーは反応しないことを発見し、軽油でホース内の水を押し出してポリマーをうまく添加させる

ことができた。残り20~30mで土質が変化し、ポリマーが不要になることが考えられたが、土質調査は50mピッチにしかやっていないので、万が一を想定して50m分のポリマーを用意した。ポリマーはイタリアから空輸しており、それが到着するまで掘進は当然中断させた。

シンガポールでのシールド工事はおもしろかった。考え方ひとつでいろいろなことができた。一方で、若い人の方が、頭が固いように感じた。業者に土質や機械設備のことを聞いたとたん、言われたことの裏付けもなくすぐに信用してしまう。逆に私は納得できないと信用しない。私の経験から言うと、機械メーカーが何か言ってき

ても、機械メーカーの技術者が際立って技術力が高いわけではなく、工事に携わる全員が物事を熟知しているわけではない。どの技術者もみんなゼロからスタートしているわけで、先輩に、手取り足取り、こと細かに教えられて育った人はほとんどいない。だから自分の周りの技術者の言ったことをすぐに真に受けてはいけぬ。自分が納得しない限りOKを出してはいけぬ。若い技術者は、機械メーカーの技術者が言ったからとか、専門家が言ったからといってすぐに信用してしまう。私は絶対に信用しない。きつい言い方だが、素人集団が集まって工事を進めている面があるということを忘れてはならない。

### おわりに

シールド工事では、掘削速度を安定させ、地山の変化をデータから捕えて適切な対応をすることが重要である。問題は掘進データを見てわかる職員が現場にいるかどうかということである。今では本社まで掘進データを送信できるシステムをどの会社も導入しているが、そのデータを見て微妙な変化が捉えられるかどうかのポイントである。私が現役時代にうろさく言っていたのは、掘れないからといって、いたずらに掘進速度を変えて、早く押ししたり、遅くしたりしては微妙な変化の把握はできないということである。一定の掘進速度を一定期間保ち、きちんと計測・管理することで、初めて現象と原因を捉えることができる

のである。

現場をうまく進めるためにはアイデアも大切である。ただ仕事をこなしている現場ではアイデアが生まれない。先輩がこう言ったからとか、業者がこう言って図面を書いてきたからって、それで現場をやられたら、たまったものじゃない。「佐伯さんはシールド経験が豊富だ」と言われるけれども、それは違う。私は現場を最初から徹底的にやるつもりでいるからいろいろ考えてやっているだけで、面はゆいが、常に先を考えて施工に挑んでいる姿勢を、経験豊富だと思われていたのではないかと思う。つまり、経験は技術の裏付けをもって検討した結果として初めて得られるものであり、単に経験したことではない。話は飛ぶが、今、新しい技術開発をたくさんやっているけれども、うまくいかなくてもいい。徹底的に考えてやる。これが重要である。

くどいようだが、技術には裏付けが絶対になくしてはならない。これまでこうしていたからこの施工方法にしたとか、機械の仕様をこうしたとかではなく、裏付けがあって初めてこのようなやり方を採用したとすることが大事である。よく「経験しました」という技術者はいっぱいいるが、それは本当の意味の経験ではない。先輩に言われてやったことは経験ではない。「ただ施工した」と「考えて施工した」には雲泥の差がある。これだけはこれからの若い技術者に伝えておきたい。

ある会社とのJV工事で、現場



著者(1985(昭和60)年、当時39歳、工務所長、事務所に)

のキックオフミーティングを行ったときのことである。私は支店の責任者だったから、もちろんそのキックオフミーティングに参加した。そのとき、JVの相手会社からは超ベテラン、ちょうど定年を過ぎたような方が2人来て、ここでは突発湧水が考えられる、ここでは切羽天端が崩落するというようなことを徹底して、喧嘩轟轟、議論した。当時、JVの相手会社も相当苦しい時代であったが、そういう凄くベテラン技術者をちゃんと雇って大事にしている。これこそが会社の実力だ、会社はこうじゃなきゃいけないと思った。若輩者の私であるが、ベテラン技術者の皆様にもエールを送りたい。

多くの現場とさまざまなシールド技術に携わってきたが、発注者、関係業者、会社、職員に恵まれ、大きなトラブルもなく技術者として満足できる仕事をたくさんやらせていただいた。ここに、誌面をお借りして関係者の皆様にお礼申し上げます。

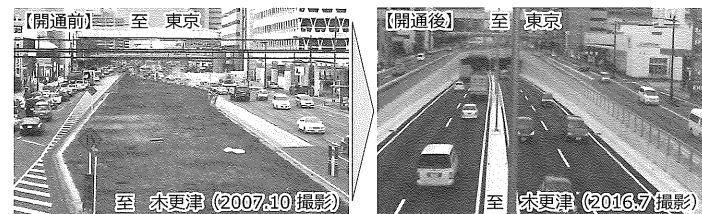
## トンネルジャーナル

### 千葉市役所前アンダーパスが交通状況を大幅改善

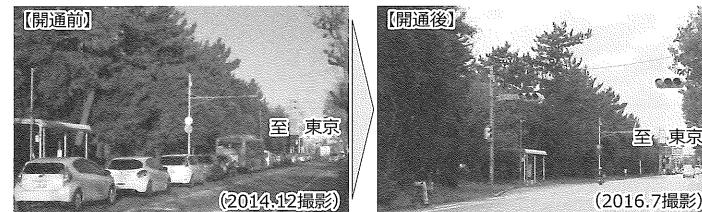
関東地整千葉国道事務所は、昨年12月22日に開通した国道357号千葉市役所前地下立体区間について、その整備効果を公表した。同道に並行する千葉市道・高洲中央港線の交通状況が大幅に改善したほか、地域の救急救命活動に貢献するなどの効果が認められた。

12月に開通した地下区間1.6kmを含む5.6kmを、ピーク時に走行したときの所要時間を計測したところ、開通前には上下線とも15分程度要していたものが、開通後は10分程度まで短縮されたことが確認された。また、並行する市道の交通が同道へ転換されたことに伴い、市道交差点で400m超あった渋滞長が、開通後には解消されていた。

地域の救急救命活動についてのヒアリング調査では、救急搬送を行うときには渋滞の多い国道357号を避けていたが、開通後は、この区間を走行することで搬送時間が短縮され、右左折の回数も減ることから、救急搬送患者の負担が軽減したことを実感するとの評価を得ている。



開通区間の交通状況



並行市道の交通状況

千葉国道事務所2016年9月12日記者発表資料より。一部加工。

同区間は、国道357号湾岸千葉地区改良事業の一環として整備された。同事業は、渋滞の解消と事故の削減を目的として、千葉市中央区間屋町のポートアリーナ前交差点と美浜区真砂の千葉西警察署入口交差点間の延長5.6kmにわたり、1.6kmの地下立体化と4.0kmの平面改良を連続的に行ってきた。

残る未開通区間である平面改良区間0.6kmについても早期の開通に向けて作業が進められており、全線開通による事業効果のさらなる発現が期待される。

### ユンボが未来技術遺産に

国立科学博物館産業技術資料情報センターは、未来技術遺産として、油圧ショベル「ユンボ」ほか16件を新たに登録した。

今回登録された「ユンボ」油圧ショベルY35は、キャタピラージャパンの前身である新三菱重工明石工場で生産され、1961年に国産初の全油圧式油圧ショベルとして出荷されたもの。当時の日本は高度経済成長のまっただなかで、商品名であった「ユンボ」が油圧ショベルの代名詞になるほど全国の建設現場で用いられた。部品など旧状を変えないことを第一義としたメンテナンスがなされ、現在も可動し、戦後日本の国土開発に顕著な貢献を果たした建設機械として重要であることなどが評価された。

未来技術遺産とは、科学技術史資料のうち、科学

技術の発展に寄与し、次世代に継承すべき資料であり、国民生活や社会に顕著な影響を与えた資料を登録するもの。今回の追加により総登録数は225件となった。



## 研究

# 地下鉄トンネル覆工の浮き・剝離の可視化による検出システムの検討

東京地下鉄(株)工務部土木課課長補佐 三浦孝智

東京地下鉄(株)人事部総合研修訓練センター所長 川上幸一

東京地下鉄(株)工務部土木担当部長 小西真治

(株)メトロレールファシリティーズ土木部検査第三課課長補佐 篠原秀明

## 1 はじめに

地下鉄の大部分を占めるトンネルコンクリート覆工は、ひび割れ、浮き・剝離、漏水といったさまざまな変状が発生する。とくに浮き・剝離は、剝落事故につながり、運行支障が生じる要注意変状である。この剝落事故を未然に防ぐために、

- ① 浮き・剝離箇所の抽出
- ② 浮き・剝離の進行の把握
- ③ 進行に応じた適切な処置の実施

の3段階の手順が必要である。今回、東京地下鉄(株)(以下、「東京メトロ」と呼ぶ)で取り組んでいる地下鉄トンネル覆工の浮き・剝離検出システムの開発を紹介する。

## 2 全般検査

浮き・剝離箇所の抽出は、『鉄道構造物維持管理標準』<sup>1)</sup>に準拠して、行ってきた。すなわち、通常全般検査は2年に1度、徒歩による目視を中心に、必要と判断した場合、打音検査を実施している。特別全般検査は20年に1度、足場を用いた近接目視と打音検査によって高精度の健全度判定を行っている。これら全般検査で得られた浮き・剝離は、以後の全般検査でその進行状況を把握し、必要と判断した場合、補修している。

この打音は、全面(例えば、10cm角で)を叩いて

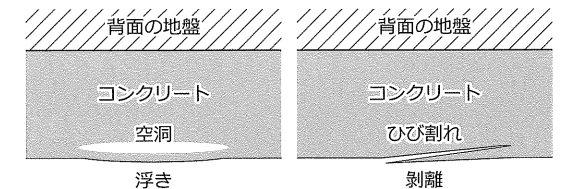


図-1 浮きと剝離の概念図

いるわけではなく、近接目視で怪しいと判断した箇所を打音している。しかし、浮き(コンクリート内の空洞)は、ひび割れを伴わないものも存在し(図-1)、目視では発見できない場合もあるため、見逃しが無いと言い切れないのが現状である。そこで、この見逃しをなくすために、浮き・剝離検出の新たな手法の開発に取り組んでいる。ここでは、4種類の手法について述べる。

## 3 新たな浮き・剝離検出手法

### 3-1 赤外線熱計測<sup>2)~4)</sup>

トンネル壁面は営業時間中、車両の熱で温められている。終電後は夜の冷たい外気が流れ込み急速に冷やされるが、浮きのある部分は冷えやすく、健全な部分と温度差が生じる。現在、これを赤外線カメラで見つける方法(写真-1、図-2)を検討している。3年間、実際のトンネルで検証した結果、以下のことがわかった。

- ① コンクリートの健全部と浮き部の温度差が0.03°C以上で検出できる

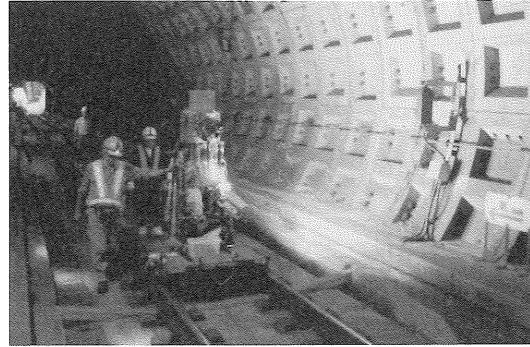


写真-1 赤外線熱計測測定状況

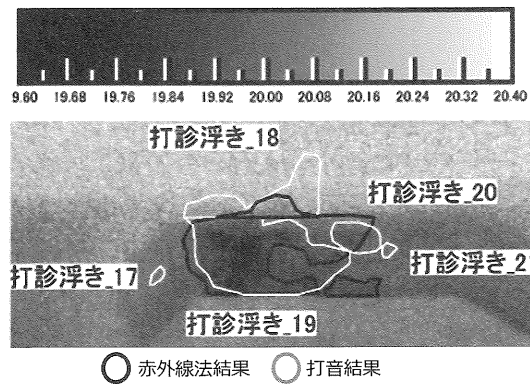


図-2 浮き抽出例

- ② トンネル内の空気温度とコンクリートの温度差が0.35℃以上になると①の状態が生じる
- ③ 外気温が10～5℃以下になると②の状態が起こりやすい

このことから、冬の寒い日が計測に適しているということがわかった。現在、この条件で計測すれば、全般検査で把握している明らかに濁音のする浮き・剝離に対して、シールドトンネルで約95%、開削トンネルで約80%程度検出することが可能になった。

また、一部区間については全般検査のあとに赤外線熱計測を行い、全般検査で検出した場所以外で検出できた箇所について再度打音調査を行った。その結果、赤外線新たに検出した浮き・剝離と推定される箇所のうち、約55%が実際に浮き・剝離が存在したところであった。つまり、目視のみでは発見できなかった箇所を検出できたと判断で

きる。今後は、この場所の全面打音を行い、見逃し箇所をどれくらいの割合でカバーできるか調査する予定である。近い将来、この手法で15km/h程度で撮影すれば3～4日間で東京メトロの1路線を計測できる見込みであるため、効率性・確実性ともに有力な点検方法の一つになると考えられる。

ただし、駅の近く、換気口の近くのような坑内空気の流動のあるところは温度変化が起こりやすく検出精度が高い一方で、換気口のない駅間の中間部では検出精度が落ちることもわかっており、実務への適用にあたっては、もうひと工夫が必要である。

### 3-2 可視画像による浮き・剝離箇所抽出システム

東京メトロでは、現在、9路線すべての可視画像データとそこから拾い出したひび割れや漏水などの変状をデジタル化したデータベースを保有している(図-3)。これを使って浮き・剝離箇所を検出するシステムも開発中である。鉄道では、剝落事故があった場合、よく似た箇所がないか一斉点検を行うが、長距離で、なおかつ膨大な量のトンネルの変状の中から、短時間に同様の箇所を見つけ出すのは非常に難しいことである。そこで、剝落のあった位置の剝落前の画像とよく似た場所を、画像認識技術を使って抽出するシステムを開発中である<sup>5)</sup>。

現在、主要な変状パターン(2つの変状が交差するパターンと平行するパターン)についてのプログラムの開発が進んでいて、検証テスト区間では全般検査で見つかった浮き・剝離の約98%を見つけることができた。前述の見逃し箇所についても36%を抽出できている。しかし、実際の変状の箇所数の100倍近い箇所も抽出(過検出)しているのが現状である。主たる原因として、上屋、側壁など部位ごとに抽出されるパターンが呈する可能性や、変状の整理単位によるものなどが考えられる。現在、プログラムの改良を進めて、近い将来この手法も検査の強力なツールの一つにする予定である。

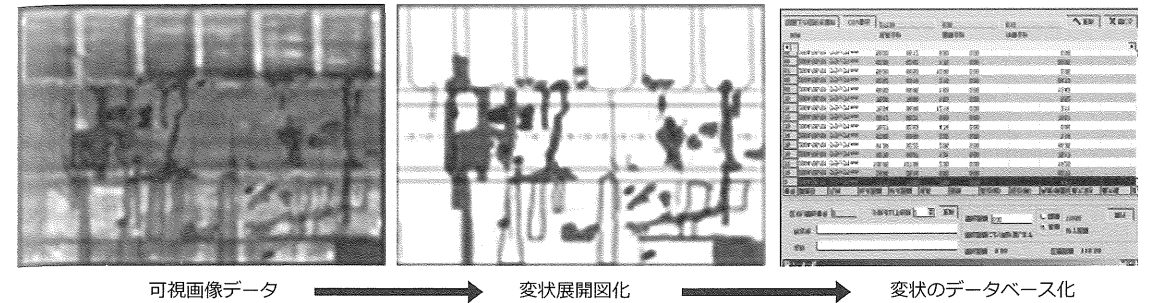


図-3 可視画像のデータベース化

### 3-3 ベイジアンネットワーク

検査時の見逃しの可能性がある箇所を、統計学的手法を用いて求める方法の開発も進めている<sup>6)</sup>。

これは、変状間の因果関係を探るためのものである。例えば、ひび割れと漏水という2つの変状を考えたときに、「ひび割れが発生した箇所でも漏水も発生する」、あるいは「漏水が発生した箇所でもひび割れも発生する」というような確率を条件付き確率と言いますが、この確率(観測確率)を比較すると、その値の大きい方が、因果関係が強いと判断できる。この確率を効率的に計算する確率推論のモデルをベイジアンネットワークと呼ぶ。

例えば、今は漏水が観測されていないが、浮き・剝離やひび割れなどの状況(検査結果)から、漏水があってもおかしくないと判断できる箇所があるとすると、

すなわち、漏水を見逃している可能性が高い場所を推定することができる。この手法を利用して浮き・剝離を見逃している可能性が高いところを見つめることができる。

実路線の例を図-4に示す。検査時に見逃しの可能性がある箇所でも確率が高くなっているが、その箇所を打音検査することで、新たな浮き・剝離

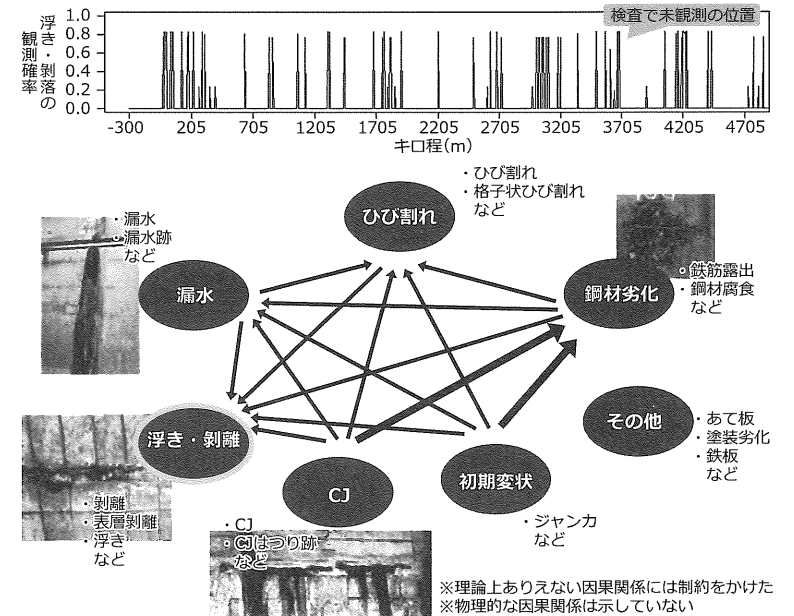


図-4 因果関係の構造図と浮き・剝離の観測確率

を効率よく見つけることができる。

### 3-4 特別点検

東京メトロの過去の実績では、一度、大規模な叩き落としを行った路線については、5年程度剝落が起きにくいこと確認している。そこで、2年ごとの通常全般検査、20年ごとの特別全般検査に加えて、当面の間、目視と打音による特別点検を4年に1度実施することにした。これにより、剝落につながりそうな浮き・剝離の見逃しが大幅に減少すると考えられる。

### 3-5 新しい方法と全般検査の関係

4種類の新しい検査手法と、全般検査との関係を図-5に示す。

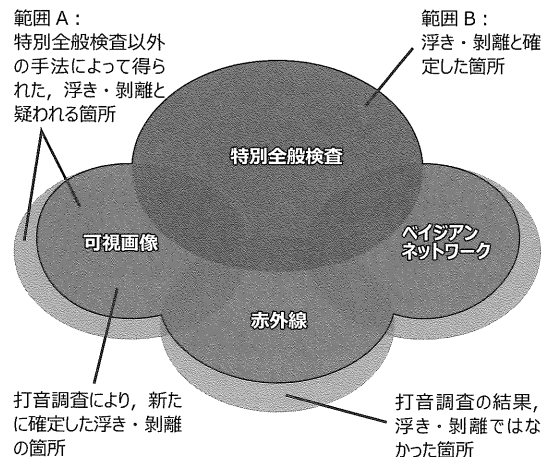


図-5 潜在的浮き・剝離箇所の抽出方法の概念図

まず、赤外線熱計測、可視画像による浮き・剝離箇所抽出システム、ベイジアンネットワークで検出した新規の潜在的浮き・剝離箇所(範囲A)を対象に、自主点検で打音を行うと、実際の浮き・剝離箇所が確定する。確定した箇所は、全般検査で得られた範囲との重なりはあるものの、その範囲よりも広く浮き・剝離を抽出することが可能となる(範囲B)。この際、トンネル内にチョーキングで記録を残しておくことで目視しやすくなるため、以降の全般検査時に進行状況を監視することができる。

## 4 統計分析を用いた評価

### 4-1 目的概要

上記の手法で抽出した浮き・剝離は、以降の通常全般検査で変状の進行状況を監視し、変状が進行した場合に個々の変状に対して補修を行う。しかし、このようなルーチンワーク以外に、トンネルのある区間がまとまって悪くなっている場合は、抜本的な大規模補修補強をすることになる。この場合、的確かつ効率的に実施するには、根拠に裏付けされた計画策定が必要で、このような計画策定を支援する手法の開発も進めている。膨大な検査データは個々の変状の健全度判定を行ったあとは利用されないままになっていたのが現状であるが、この取組みは、このようなデータを統計分析することで有効活用したものである。

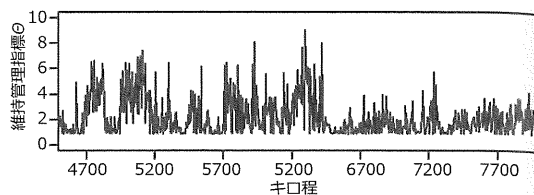


図-6 維持管理指標の計算結果例

### 4-2 維持管理指標θ

区間に対する健全度評価を行うツールとして、維持管理指標 $\theta$ を開発した<sup>7)</sup>。これはトンネル構築をキロ程5mごとに区切って、その区間ごとの変状集中度合いから、統計分析により5m区間の健全度を数値化したものである。 $\theta$ の算出は、蓄積している全般検査結果を数量化し、 $\theta$ と変状の観測確率の関係を示すモデルを仮定し、そのモデルに項目反応理論における「識別力」および「困難度」を表現するパラメータを持たせ、マルコフ連鎖モンテカルロ法を利用したベイズ推定によって各パラメータおよび $\theta$ を推定し、数値による健全度合いを尺度化したものである<sup>7)</sup>。

図-6に維持管理手法 $\theta$ の計算結果例を示す。

この $\theta$ の値により、路線の違いや検査者の違いによる検査結果のバラツキをなくし、東京メトロの全検査結果が同じ土俵で比較できるようになった。これにより、詳細な調査や長期的なあるいは大規模な保全対策が必要になる可能性がある区間を根拠を持って特定することができるようになった。

### 4-3 検査データおよび構造諸元などの統計分析

東京メトロの167kmにも及ぶトンネルすべての詳細な検査は膨大な作業量となるため、より効果的かつ効率的に検査を行うために、剝落の発生する可能性の高い区間を抽出することが必要である。

そこで、東京大学の「情報技術によるインフラ高度化」社会連携講座を通じて、浮き・剝離の発生傾向の分析も行っている<sup>8),9)</sup>。

分析は2つの手法で行っている。浮き・剝離の発生傾向を把握するため、地理空間上で変状の分

## 主成分分析の結果

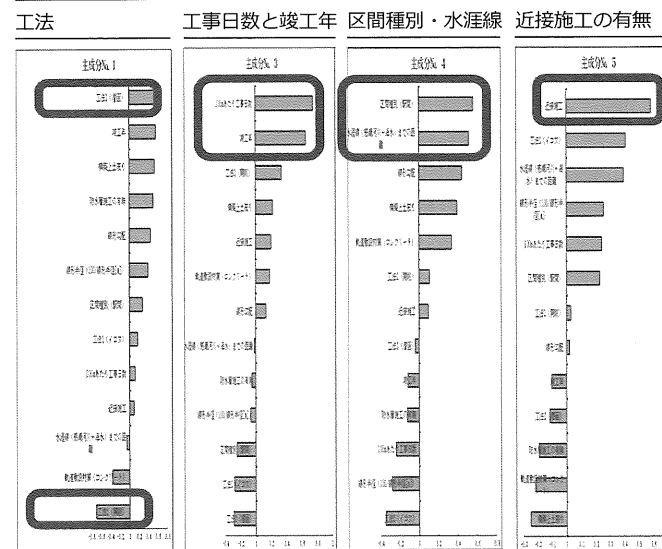


図-7 主成分分析の結果と気づき

## 気づきと今後の対応

「浮き・剝落」の発生と関係深い項目として、以下が挙げられた。

- ・工法
- ・100mあたりの工事日数と竣工年
- ・区間種別と水涯線までの距離
- ・近接施工の有無

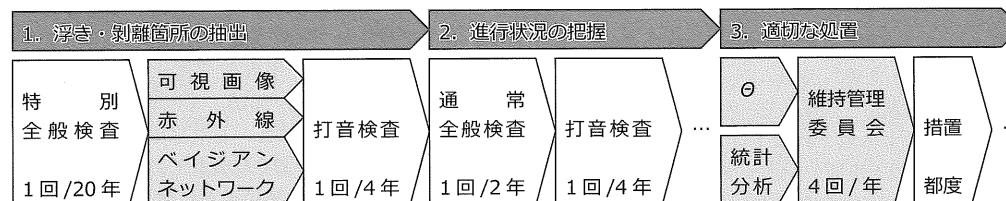


図-8 剝落防止のための運用フロー案

布傾向を確認できる地図可視化やトンネルに沿った変状件数のヒストグラムを利用した統計的傾向把握を行う方法と、主成分分析(図-7)、クラスター分析、t検定、相関性分析、重回帰分析などによる統計手法による方法である。

現在、建設工法や竣工年などさまざまな要素を対象に分析を行い、浮き・剝離の発生に関係性の高い要因を抽出・整理している。水涯線との関係、バラスト道床との関係などが抽出され、現在、工学的な知見との照合を行っている。

## 5 実務への適用

現在、検討している浮き・剝離の検出から処置までの流れを図-8に示す。剝落を未然に防ぐにあたって必要な3段階の実施要項を、それぞれにおいて確実かつ定期的を実施することが重要である。

通常全般検査が終了したタイミングで、2016(平成28)年度より維持管理の方針を定める維持管理委員会を社内で行うことにした。この委員会は、各検査結果や調査結果、上記のような統計分析結果、これまでの補修実績など複数の分析情報を踏まえて、短・長期的な維持管理計画を議論する場である。

例えば、長期的な維持管理計画については、検査や日常計測の結果についてより深い分析を行うことで潜在的な劣化リスクのある要注意区間を特定し、原因究明・立案対策のための調査計画や大規模な補修・補強方針など、路線ごとの維持管理方針を定める一方、短期的な維持管理計画として、これまでの全般検査により確認した浮き・剝離などの変状の状態にもとづく、変状ごとの短期的な措置計画に長期的な維持管理計画の結果を反映することで効率的な措置が実現できる。

## 6 ま と め

これまで、剥落事故防止のための取組みをさまざまなアプローチによって行ってきた。各手法の有効性が証明されつつあることから、それらを総合的に維持管理業務に取込み、当たり前運用されるまで仕組みを実行することによって、さらにレベルの高いトンネルの維持管理の実現および、その成果により安心・安全・安定運行の継続に貢献していきたいと考えている。

最後に、本研究開発にあたり、産業能率大学・福中公輔先生に維持管理指標θの開発、石川雄章・東京大学教授に統計分析を進めるにあたり大変お世話になりました。ここに感謝の意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説 トンネル，丸善，2009。
- 2) 川上幸一・小西真治・久保昌史・中山聡子：現場での赤外線熱計測による地下鉄覆工コンクリートの浮き検出の可能性，地下空間シンポジウム論文，土木学会地下空間委員会，Vol.20，A3-1，pp.73-84，2015。
- 3) 川上幸一・小西真治・村上哲哉・久保昌史・中山聡

- 子：赤外線熱計測による地下鉄シールドトンネル内中子型セグメント表層コンクリートの浮き検出，第25回土木学会トンネル工学研究発表会，論2-02，2015。
- 4) 川上幸一・小西真治・村上哲哉・日下義政：赤外線サーモグラフィカメラによる地下鉄トンネルの浮き・剝離検出に関する有効性の検討，地下空間シンポジウム論文，土木学会地下空間委員会，Vol.21，B2-5，pp.9-16，2016。
  - 5) 小西真治・川上幸一・三浦孝智・篠崎真澄・篠原秀明・村田利文・石川雄章：画像データによる剝落要注意箇所抽出方法の研究，第25回土木学会トンネル工学研究発表会，報III-2，2015。
  - 6) 川上幸一・小西真治・篠崎真澄・福中公輔：ベイジアンネットワークによる地下鉄トンネルの変状観測確率の検討，地下空間シンポジウム報告，土木学会地下空間委員会，Vol.21，B2-4，pp.123-128，2016。
  - 7) 川上幸一・小西真治・三浦孝智・篠崎真澄・福中公輔：地下鉄トンネルの全般検査データによる維持管理指標の研究，第25回土木学会トンネル工学研究発表会，報IV-1，2015。
  - 8) 岩本佑太・川上幸一・三浦孝智・小西真治・石川雄章・安達慎一：可視画像データを利用した地下鉄トンネルの状態分析，平成27年度土木学会全国大会，VI-155，pp.309-310，2015。
  - 9) 安達慎一・湧田雄基・石川雄章・小西真治・三浦孝智・田口真澄：特別全般検査データを用いた地下鉄トンネル上床の変状発生予測に関する分析，平成28年度土木学会全国大会，2016。

## 研究

# DO-Jet工法における超高圧2液混合ジェット噴流の影響範囲に関する実験的研究

東京都下水道局計画調整部長 神山 守  
 鹿島建設(株)技術研究所建築構造グループ上席研究員 磯部 隆寿  
 東京都下水道サービス(株)技術開発担当部長 岩佐 行利  
 早稲田大学理工学術院教授 小泉 淳

### 1 はじめに

DO-Jet工法は、推進工法またはシールド工法の掘進機に超高圧ジェットシステムを搭載し、中に残置された鋼矢板やコンクリートパイルなどの支障物の切断および除去、地盤改良などを行う工法として多くの施工実績があり、その適用は拡大している。

また、本工法による支障物の切断および除去や地盤改良の範囲およびその効果などは、試験ヤードにおいて施工した地山を掘り出して確認するなど、多くの実験により検証を行い、技術資料<sup>1)</sup>としてまとめられている。

一方、近接構造物に対する影響に関しては、超高圧ジェット噴流の地盤内の挙動(動圧分布やその減衰など)の施工中における計測が困難なため、超高圧ジェット噴流の影響範囲を明示するには至っていない。

そこで、地下水圧など実際の地盤状況を再現できる大型の圧力容器を用いた水中噴射実験により超高圧ジェット噴流の動圧分布を測定し、飽和地盤中における超高圧地盤改良時の影響範囲などについては可視化して確認を行った。

本稿は、この水中噴射実験の結果を中心に超高圧ジェット噴流の地中での影響について報告するものである。

### 2 超高圧ジェットシステムの概要

超高圧ジェットシステムに用いる超高圧噴射ノズルを図-1に示す。超高圧噴射ノズルは、ジェットライン、アプレシブライン、ミキシング室およびアプレシブノズルで構成される。ジェットラインからは超高圧の珪酸ナトリウム溶液が、アプレシブラインからは低圧の液体がそれぞれ供給され、それらがミキシング室内で混合されたあとに、アプレシブノズルから2液混合噴流として噴射する。

超高圧噴射ノズルには、図-2に示すように、地

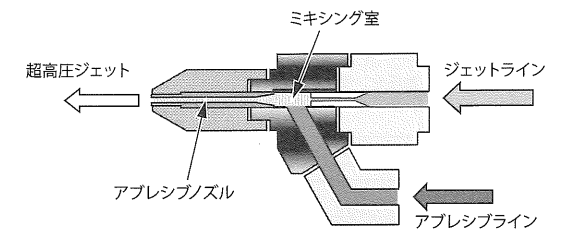


図-1 超高圧噴射ノズル構造説明図

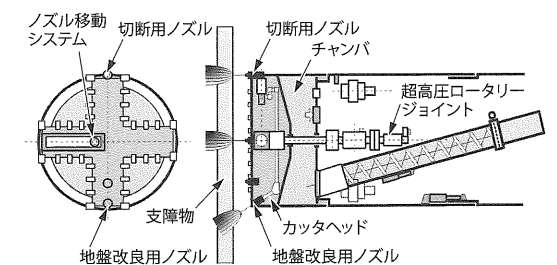
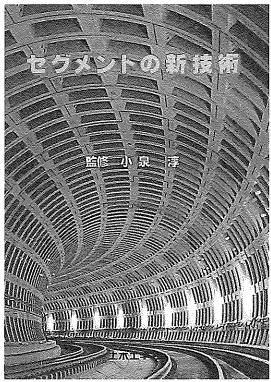


図-2 掘進機への超高圧噴射ノズル装着概要図



セグメントの新技术  
監修 小泉 淳

## セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B 5判 132頁 本体価格 2,000円 円300円

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

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

盤改良用ノズルと切断用ノズルとがあり、用途に応じてそれらを掘進機前面に装着する。超高压噴射ノズルのアプレシブラインに供給する液体は、地盤改良を行う場合にはセメントミルクを、地中支障物の切断を行う場合には、研磨材を混合したアプレシブスラリーを用いる。切断用ノズルの移動は、カッタヘッドの微速回転によるほか、必要に応じてカッタヘッドの半径方向に移動可能な移動システムを装備している。

本研究では、実工事における被圧下での超高压ジェット噴流の挙動を捉えるために、被圧状態の地盤を再現できる大型の圧力容器を製作し、超高压噴射ノズルのミキシング室内およびノズル出口からの噴流の状態を目視できるようにするとともに、

各種センサで測定することによって、超高压ジェット噴流の挙動の数値化を試みた。

### 3 実験装置の製作

#### 3-1 圧力容器の仕様

写真-1は圧力容器の外観を示したものである。圧力容器には、超高压噴射ノズル出口から動圧測定位置までの距離(以下、「スタンドオフ距離」と呼ぶ)を変えて噴流状態を観測するために、観測用窓と測定用窓を330mmピッチにそれぞれ6か所装備している。圧力容器は、水深50mまでの環境を再現できるように耐圧0.5MPaとし、圧力容器の上部フランジに取り付けた調整弁により圧力をコントロールできるようにした。ノズル装着部は、

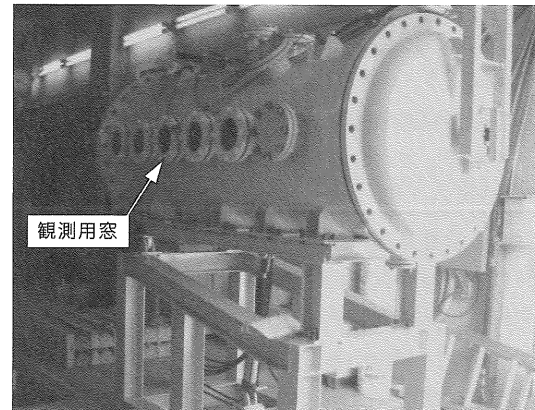


写真-1 圧力容器の外観

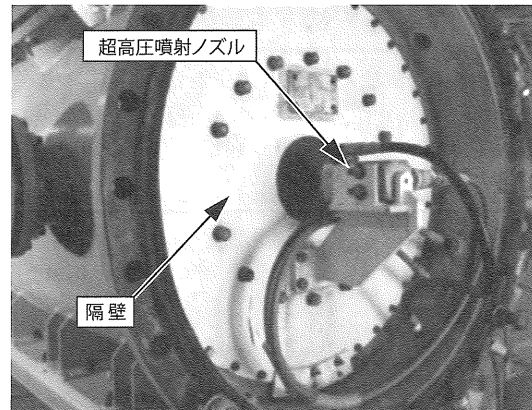


写真-2 圧力容器内のノズル装着部と隔壁

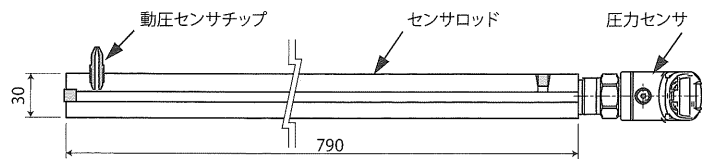


図-3 動圧測定センサ

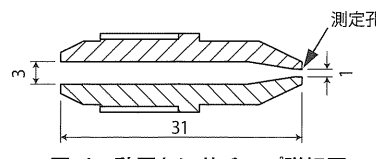


図-4 動圧センサチップ詳細図

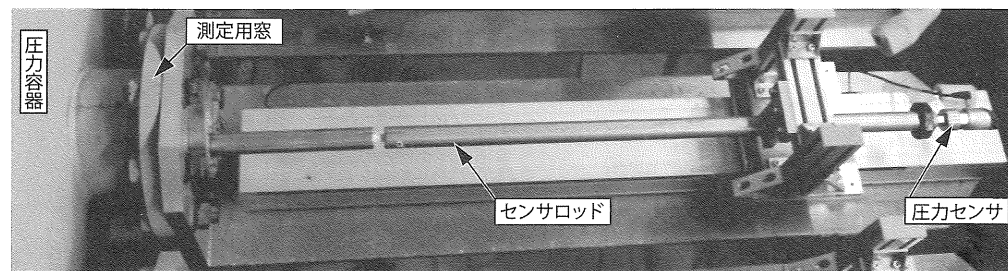


写真-3 動圧測定センサ移動装置

写真-2に示すように隔壁で仕切り、掘進機のカッタヘッドとチャンバを模擬した。

#### 3-2 動圧測定センサの仕様

流体の動圧測定には、一般にピトー管が使用される。しかし、超高压噴射ノズルの近傍では流速がきわめて速いことを考慮して、その材質および形状を検討した。その結果、図-3,4に示す形状の動圧測定センサを製作した。

また、超高压ジェット噴流は、噴流の半径方向に動圧が分布するため、動圧センサチップを噴流軸と直角方向に移動させる必要がある。このため、センサロッドを所定の速度で移動するための動圧測定センサ移動装置(写真-3)を製作し、圧力容器の測定用窓に装着した。

#### 3-3 動圧測定センサの精度確認

本実験は、超高压ジェット噴流の動圧を正確に測定し、その分布を数値的に把握することを目的としている。このため、以下に示す方法で事前にセンサの精度の確認を実施した。一般に気中の単一噴流では、噴射ノズルの出口近傍での動圧測定

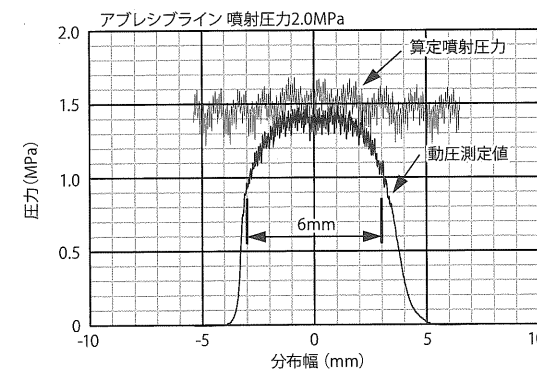
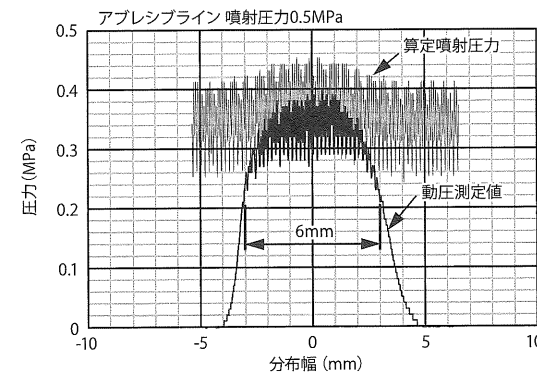


図-5 動圧測定センサの精度確認試験結果

値と噴射圧力が理論上ほぼ等しくなる。そこで、ジェットラインを閉鎖したうえで、アプレシブラインから一定圧力で大気中に噴射し、単一噴流の動圧を測定した。噴射する流体は、取扱いの容易さを考慮して水とした。以降の実験でも流体は、すべて水を使用した。

実験では、アプレシブノズル出口から2mmの位置にセンサを配置し、アプレシブラインの噴射圧力を4水準(0.5, 1.0, 1.5, 2.0MPa)として動圧分布を測定した。図-5は噴射圧力0.5, 2.0MPaの場合の動圧の測定値と算定噴射圧力とを比較した結果である。算定噴射圧力は、アプレシブラインのポンプ圧力から配管およびノズル内部の圧力損失を差し引いたものである。

図-5は、噴流軸中心部を0mmとして、噴流の端部間(-5~5mm付近)を一定の速度でセンサをスライドした場合の圧力の変化を示している。動圧の測定値および算定噴射圧力はともに、0.1~0.2MPaの振幅の波形を示しているが、これはアプレシブラインの供給ポンプによる脈動が表示されたものである。

噴流幅(分布幅)は、アプレシブノズル径6mmに対し、約8mmまで拡大した。これは孔径1mmの測定孔の一部に噴流が衝突し、実際の噴流の幅よりやや広がったためである。

実験結果から、噴流中心部の領域では、動圧の測定値と算定噴射圧力がほとんど一致しており、センサの測定精度が極めて高いことが確認できた。

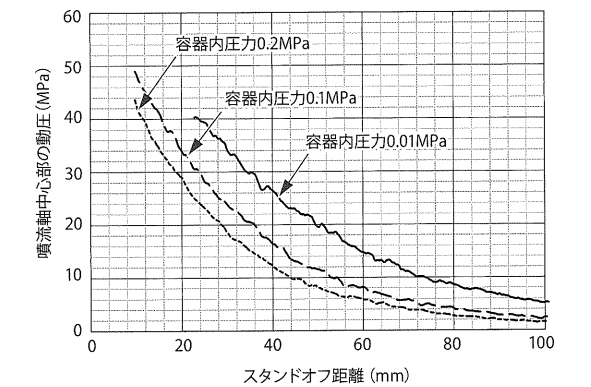


図-6 水中における噴流軸中心部の動圧測定結果

## 4 噴射状況の可視化および測定

### 4-1 ミキシング室内の噴流特性

超高压ジェットによる地盤改良の場合には、アプレシブラインから数MPaの圧力で供給されるセメントミルクと、ジェットラインからの超高压水流とがミキシング室内で混合し、2液混合噴流として噴射される。

ミキシング室内の混合過程で、ジェットラインからの高速水流の運動量が、周辺流体にどのように伝達するかを確認するため、噴射圧力80MPaのウォータージェットを圧力容器中で噴射し、スタンドオフ距離を伸ばしながら噴流軸中心の動圧を測定した。その結果は図-6に示すとおりである。パラメータは、容器内の圧力とした。同図から明らかのように、中心動圧はスタンドオフ距離が長くなるとともに減衰する。この現象は高速噴流の運動量が周辺流体に伝達されていることを示している。スタンドオフ距離80mm程度で動圧の減衰は緩やかになっており、高速噴流と周辺流体とはほぼ一体化していると考えられる。

DO-Jet工法に搭載する超高压噴射ノズルは、ミキシング室からアプレシブノズルの出口までの距離が約100mmであり、中心の高速噴流と周辺流体(セメントミルク)が一体化するには十分の長さであると判断される。これによって、ジェットラインからの流れとアプレシブラインからの流れは一体化し、アプレシブノズルから噴出するものと考えられる。

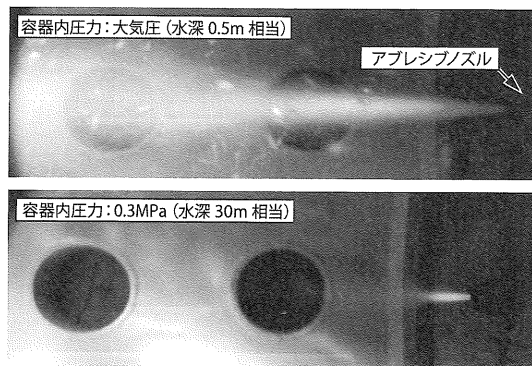


写真-4 圧力容器内の噴流状況

### 4-2 加圧水中における噴流状態の目視観察

地盤中におけるウォータージェット噴流の挙動は、一般に土水圧の影響を受ける<sup>2)</sup>ことが知られている。水中で噴射されたウォータージェットでは、ノズル近傍でキャビテーション(管路の拡大や渦流に伴う圧力低下により発生する蒸気泡)が生じる。ウォータージェットを水中で噴射した場合には、キャビテーションはジェット噴流の周囲に強い渦流が生じ、その中で発生する。これにより周辺の水の抵抗が緩和されるため、噴流速度の低下と噴流幅の拡大が抑制される。一方、加圧された水中の場合には、圧力の上昇に伴いキャビテーションの発生が抑制される。

これらの現象を観測するために、加圧した圧力容器中で超高压ジェットを噴射し、ノズルにもっとも近い観察用窓から噴流を写真撮影した。噴射圧力はジェットラインで200MPa、アプレシブラインで1MPaとした。容器内の圧力は、0.5m相当の大気圧を模擬したケースと水深30m相当の0.3MPaに設定したケースとで実施した。写真-4は、それぞれの容器内の圧力に対する噴流状態を示したものである。この写真で白濁した部分がキャビテーションの発生箇所であり、容器内の圧力の上昇とともに明らかにその範囲が縮小している。この現象が超高压ジェットの地盤掘削性能に与える影響については、動圧測定実験のところで詳述する。

## 5 水中における超高压噴流の動圧分布

### 5-1 スタンドオフ距離と動圧分布

超高压ジェットによる地盤改良(以下、「超高压地盤改良」と呼ぶ)を想定し、スタンドオフ距離と容器内の圧力をパラメータとした実験を行った。DO-Jet工法の超高压地盤改良システムの稼働時の標準仕様は、ジェットラインの噴射圧力が最大245MPa、噴射流量55L/minで、アプレシブラインの流量が70L/minである。実験は、ジェットラインの圧力を220MPa、アプレシブラインの噴射流量を70L/minに固定して行った。

図-7は、容器内の圧力を水深0.5m相当に設定した場合の動圧分布をそれぞれのスタンドオフ距離ごとに示したものである。動圧はスタンドオフ距離が2.25mmの場合で約20MPaに減少しているものの、噴流幅(分布幅)は狭い。しかし、スタンドオフ距離が長くなるほど噴流幅は広がる。これは噴流が持つ運動量が周囲の水に遷移したこと

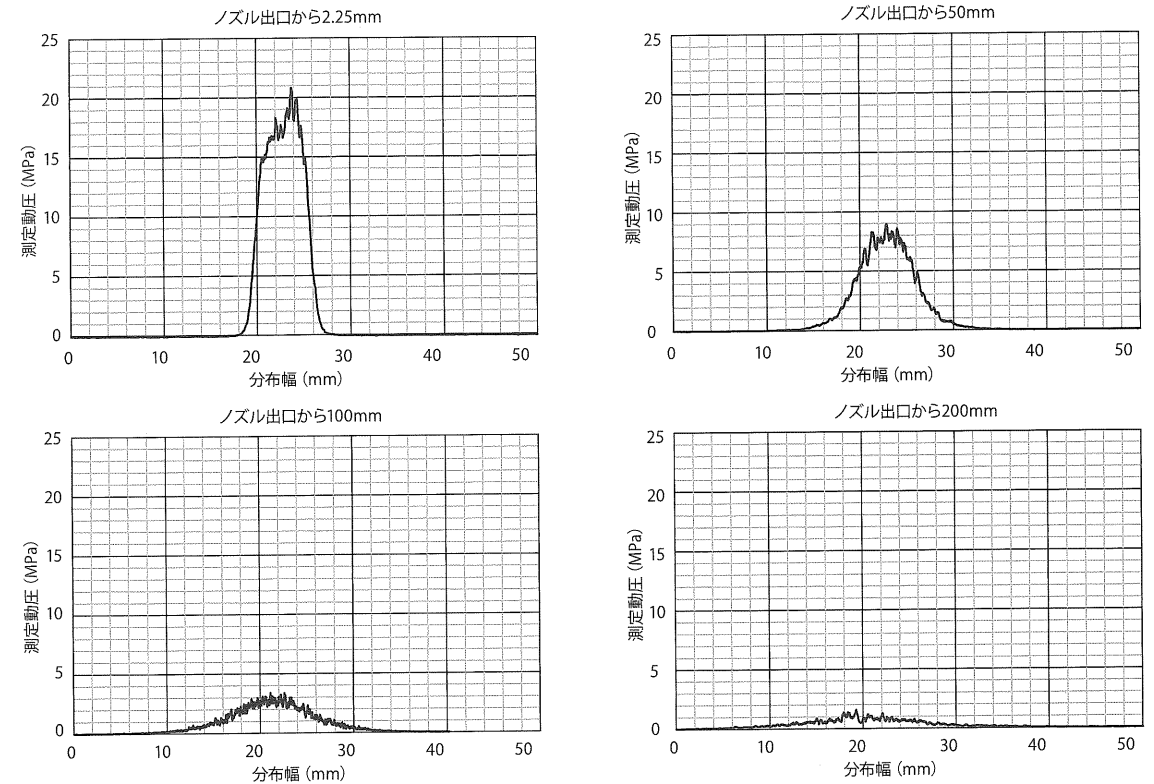


図-7 スタンドオフ距離-動圧分布測定結果

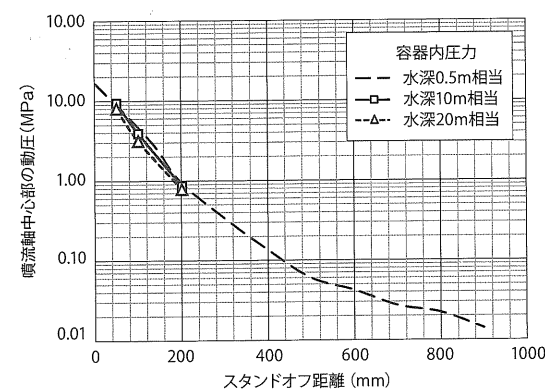


図-8 噴流軸中心部の動圧測定結果

によると考えられる。スタンドオフ距離が長くなると動圧は急激に減少し、ノズル出口から2.25mmの場合の動圧に比べ、スタンドオフ距離が100mmで約1/5に、200mmでは1/10以下になった。

### 5-2 噴流軸中心部の動圧

図-8は、容器内の圧力を水深0.5m相当、10m相当、20m相当の3ケースとして、スタンドオフ距離

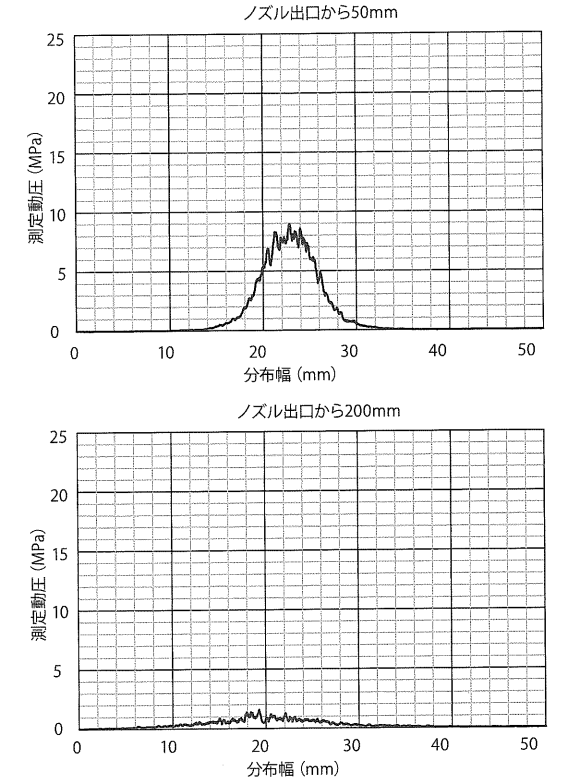


図-9 噴流幅の測定結果

離と噴流軸中心部の動圧測定値との関係を示したものである。

噴流軸中心部の動圧は、スタンドオフ距離が長くなるとともに減衰し、スタンドオフ距離が400mmでは130kPa、800mmでは20kPaまで低下した。この値は比較的軟弱な粘性土の一軸圧縮強さ以下に相当する。

なお、噴流軸中心部の動圧は、3ケースともスタンドオフ距離が200mmまでほぼ同じ測定値を示した。この結果を踏まえ、スタンドオフ距離が200mm以降の動圧の測定は、容器内の圧力を水深0.5m相当に設定して実施した。

### 5-3 噴流幅の測定結果

図-9は、容器内の圧力を前述の動圧測定と同じにした3ケースについて、スタンドオフ距離を変化させた場合の噴流幅の測定結果である。噴流は、スタンドオフ距離が長くなるとともに周囲の水の取り込み範囲を拡大する。スタンドオフ距離が900mmでの噴流幅は、ノズル出口付近の約25倍になった。この結果、高速で少量の超高压ジェットがスタンドオフ距離の増加とともに、低圧で大流量のウォータージェットに変化していくことを確認できた。

### 5-4 被圧の影響

一方、水深(容器内の圧力)の増加に対しては、噴流軸中心部の動圧も噴流幅も変化が見られず、同様の噴流構造となった。この結果から、被圧の高低は、超高压地盤改良時の掘削能力に影響しないことが確認できた。

## 6 まとめ

超高压ジェット噴流の動圧分布測定で明らかになったことを以下に示す。

- ① 超高压噴射ノズルでは、ミキシング室内でジェットラインからの超高压噴流とアプレシブラインからの低圧の液体が混合し、低圧で大流量の混合噴流となってアプレシブノズルから噴出する。
- ② 超高压地盤改良を想定した水中噴射実験に

より、超高压ジェット噴流の動圧は、スタンドオフ距離が長くなるとともに急激に減少し、スタンドオフ距離100mmでノズル出口の約1/5に、200mmで1/10以下になる。

- ③ スタンドオフ距離が800mmを超えると、動圧は比較的軟弱な粘性土地盤の一軸圧縮強さ以下になる。
- ④ 一方、噴流幅は、スタンドオフ距離が長くなるとともに噴流が周囲の水を取り込み拡大し、スタンドオフ距離が900mmではノズル出口の約25倍となる。すなわち地盤改良時の超高压ジェット噴流は、ノズル出口からの距離が長くなるとともに、より低圧で大流量のウォータージェットに変化していくことを示している。

以上の大型圧力容器を用いた水中噴射実験の結果と超高压ジェット噴流の地中での影響についての考察から、超高压ジェット噴流の動圧は、アプレシブノズルから噴出した時点で、一般の噴射式地盤改良と同程度の圧力まで低下し、コンクリート構造物が損傷を受ける可能性がある圧力レベル以下になる。

また、ノズルから噴出後の動圧は、スタンドオフ距離の増加に伴い減衰し、800mmを超える距離では軟弱な粘性土地盤の圧縮強さ以下になり、近接構造物への影響がきわめて低いことが確認できた。

DO-Jet工法は、施工実績の増加とともに既設構造物に近接するトンネル計画に採用されるケースが多くなっている。本研究の成果が今後、DO-Jet工法の実工事における超高压地盤改良の施工計画・検討時の一助となれば幸いである。

### 参考文献

- 1) DO-Jet工法研究会：DO-Jet工法技術資料，2012年版。
- 2) 磯部隆寿：アプレシブジェットを利用した鋼材の水中切断技術の開発，鹿島技術研究所年報，Vol.46，1998.9。

## 報告

# 供用中のトンネルにおける 路盤隆起対策効率化の取組み

—北陸新幹線 碓氷峠トンネルほか—

東日本旅客鉄道(株)高崎支社高崎土木技術センター施設技術係 北川 一 希  
東日本旅客鉄道(株)高崎支社高崎土木技術センター施設係 細井 麻 里  
東日本旅客鉄道(株)高崎支社高崎土木技術センター助役 久保原 猛  
東鉄工業(株)高崎支店軽井沢工事所所長 若林 秀 明

## 1 はじめに

2015(平成27)年3月、長野～金沢間の延伸開業を果たした北陸新幹線は、高崎～金沢間を結ぶ延長345.5kmの整備新幹線である。このうち、高崎～長野間(延長約117km)は、1997(平成9)年10月に先行し開業している。群馬県と長野県の県境に位置する安中榛名・軽井沢間(延長約23km)では、図-1に示すように秋間トンネル(L=8,295m)、一ノ瀬トンネル(L=6,165m)、碓氷峠トンネル(L=6,092m)の山岳トンネルが延長の約9割を占めている。

碓氷峠トンネルでは、2004(平成16)年以降の軌道変位による計測や現地調査の結果から、14か所で軌道隆起を確認した。もっとも隆起の著しい箇所では、最大で3mm/年の速度で隆起が継続し、路盤コンクリートの段差、側壁部の水平方向ひび割れなどが確認された<sup>1)</sup>。このため、供用中の新幹線トンネルにおいて施工可能な路盤隆起対策として、2006(平成18)年より路盤部への下向きロックボルトを施工した<sup>2)</sup>。その後、2012(平成24)年に

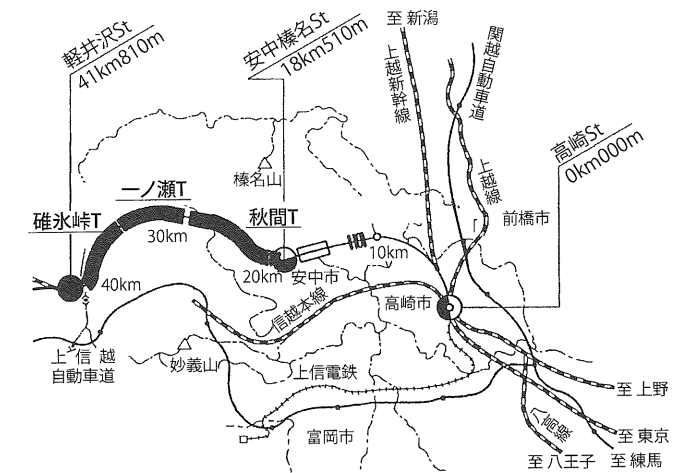


図-1 位置平面図

2次対策として下向きロックボルトの増打ちを施工した結果、完全な収束には至っていないが、隆起速度は徐々に緩やかとなり、2次対策以降は0.2mm/年程度となった。建設当時の工事誌<sup>3)</sup>や地質図<sup>4)</sup>によると、隆起が確認された周辺のおもな地質は凝灰角礫岩であり、変質作用によって部分的に膨張性粘性土鉱物が生成されている。

碓氷峠トンネルに隣接する一ノ瀬トンネルにおいても、碓氷峠トンネルと同様な路盤隆起が発生しており、2005(平成17)年1月からインバート部

への下向きロックボルトを施工している<sup>2)</sup>。このため完全な収束には至っていないが、隆起速度は緩やかになっている。

下向きロックボルト工による路盤隆起対策により、一定の効果が確認されていることから、今後も類似箇所において同様の対策を継続的に計画している。現在、軌道隆起が発生している14か所に対して、2028年までの継続的な対策を計画しており、今後の計画施工総本数はおよそ2,500本である。対策実施後の経過観察結果次第では、継続した施工が必要な可能性もある。

これまで、最大2本/日、年間約200本程度の施工量であるが、今後10年以上にわたる長期的な計画であり、施工速度の向上による工期短縮とコストダウンが課題となっている。

本稿では、碓氷峠トンネルにおいて、施工速度向上を目的とし2014(平成26)年から実施してきた施工機械編成の改良について報告する。

## 2 路盤隆起対策の概要と施工方法

### 2-1 路盤隆起対策の概要

碓氷峠トンネルでは、軌道変位の計測による経時変化から路盤隆起が確認された14か所のうち、とくに隆起の著しい37k121m付近および37k500m付近の2か所について、2006(平成18)年に下向きロックボルトによる対策工を実施した。その後、2015(平成27)年度までに12か所で対策を実施している。

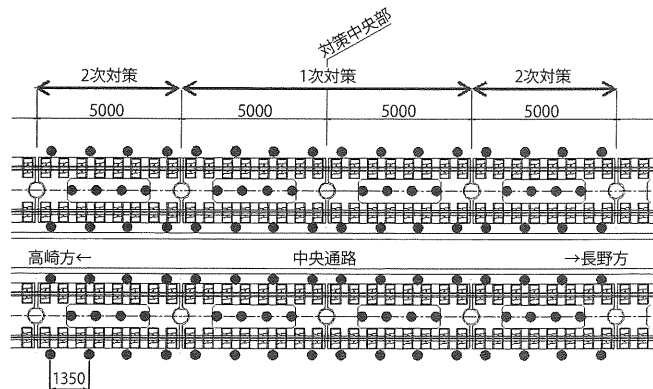


図-2 碓氷峠トンネル(1次・2次対策)の線路方向のロックボルト配置図

### 2-2 ロックボルト打設間隔の検討

碓氷峠トンネルは路盤部がりょう盤構造であるため、路盤コンクリートを梁部材と考え、断面が有する曲げ耐力より、ロックボルトに作用する引抜き力および押抜きせん断力を算出し、ロックボルトの打設間隔を定めた。打設位置は作業性から枠型スラブ内および中央通路脇の路盤コンクリート上と仮定し、打設間隔 $l=1.5m$ として検討を行った。その結果、1.5m間隔で打設すれば、ロックボルトが抜けることはなく、路盤コンクリートが有する曲げ耐力を十分に活かせることが確認された。

### 2-3 対策工の実施と効果

ロックボルトの配列は、図-2に示すように線路方向の打設間隔1.35mを標準とし、1次対策範囲をスラブ2枚分( $L=10m$ )として計48本施工した。なお、トンネル断面方向の配列を図-3に示す。

1次対策実施以降も軌道変位計測の結果、隆起傾向が収束せず継続していた。このため、1次対策範囲の起終点側の各スラブ1枚分の範囲( $L=5m$ )について、2012年に2次対策として下向きロックボルト工を実施した。

また、前述の2か所以外で隆起が確認された箇所については、軌道整備基準値(高低変位で10mmに達した場合は、補修を実施する)に対する累積隆起量をもとに、対策の必要性を判断することとした。その結果2015年までに、隆起が確認された全14か所中12か所について、順次対策工を実施している。施工後の状況を写真-1,2に示す。

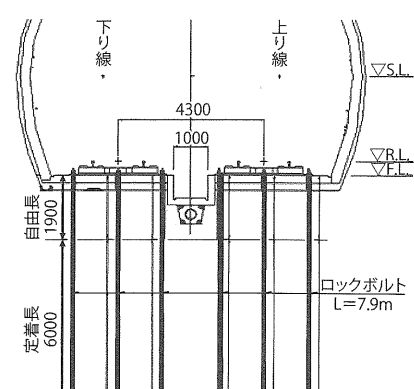


図-3 碓氷峠トンネル(1次・2次対策)のトンネル断面方向のロックボルト配置図

路盤隆起が確認された14か所のうち、一例として36k728m付近の2005(平成17)年4月からの計測監視結果を図-4に記す。なお、当該箇所は対策工の施工前で、1mm/年の隆起傾向を示していた。

対策実施により隆起速度は抑制されていることが確認できる。しかし、対策を実施した12か所のいずれにおいても、完全な収束に至らない監視結



写真-1 施工後の状況(遠景)

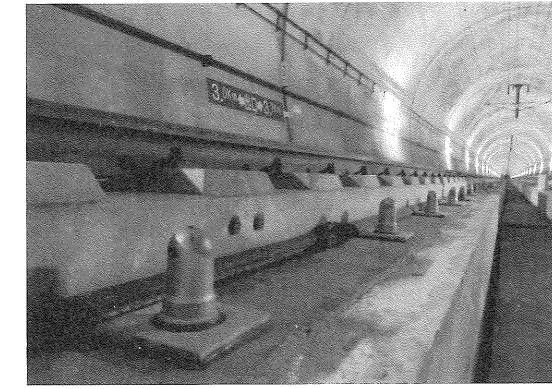


写真-2 施工後の状況(近景)

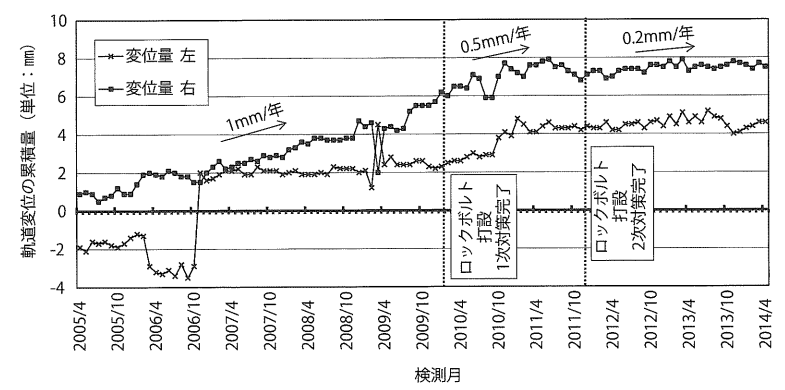


図-4 碓氷峠トンネル軌道計測結果

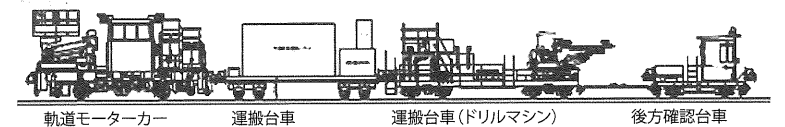


図-5 施工機械編成概要図

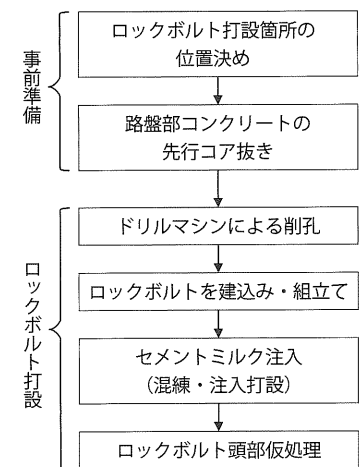


図-6 下向きロックボルトの施工手順

果が確認されており路盤隆起の収束に向けて今後も追加対策が必要と考えている。

### 2-4 路盤隆起対策の施工方法

#### 2-4-1 施工機械編成

図-5に施工機械編成概要図を示す。施工機械の編成は、牽引用の保守用車(軌道モーターカー)、運搬台車2両、後方確認台車により構成されてい

る。運搬台車2両のうち、1両にはロックボルト孔削孔用のドリルマシンを搭載している。

2-4-2 施工手順

施工は、事前準備とロックボルト打設に分類できる。図-6に下向きロックボルトの施工手順、写真-3に施工状況写真を示す。

事前準備として、打設箇所の位置決めを行い、路盤コンクリートをコアドリルにて削孔する。これにより、ロックボルト打設作業時には地山のみを削孔することとなり、作業時間の短縮が図れる。

ロックボルト打設は、前述の施工機械編成を用いて施工する。図-7に、ロックボルト標準図を示す。運搬台車に搭載したドリルマシンにより、ロックボルト孔の削孔を実施する。削孔はロータリーパーカッションにより行い、孔壁崩壊を防ぐためケーシングを挿入しながら実施する。削孔完了後、ケーシングを抜取り、ロックボルトの建込

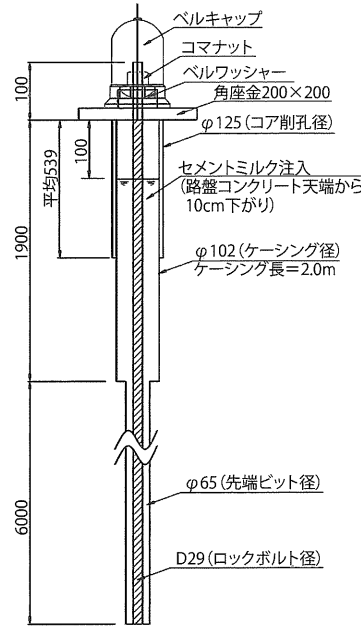
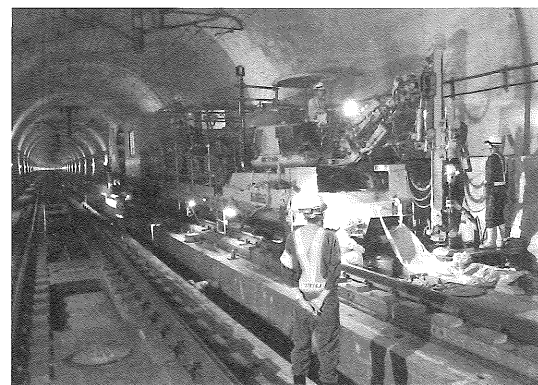
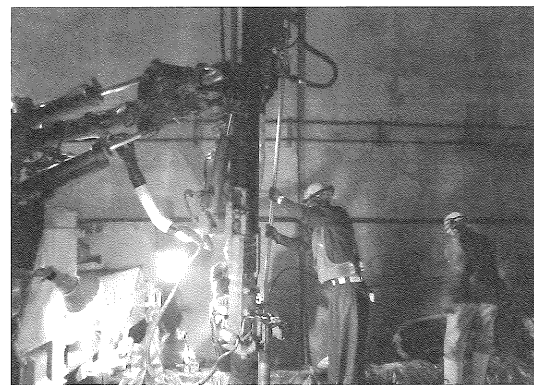


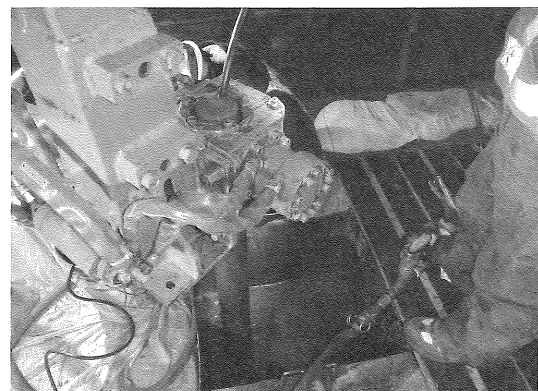
図-7 ロックボルト標準図



(1) ボーリングマシンによる削孔



(2) ロックボルトを建込み・組立て



(3) セメントミルク注入(混練・注入打設)



(4) ロックボルト頭部仮処理

写真-3 施工状況

みを実施する。鉄道トンネル内でのロックボルト建込みは、架空線による空頭制限があるため、計画ボルト長(L = 8.0m/本)を分割(L = 2.0m/本)して組立てながら建込みを行う。ロックボルトの建込み、組立て後、路盤コンクリート天端から10cm下がりの位置まで、孔内にセメントミルクを注入し、ロックボルト頭部の仮処理を実施する。仮処理をしたボルトは、後日50kNのトルクで締付けを行い、施工完了となる。

3 現状の課題

対策工の現状のサイクルタイムを図-8に示す。対策工は、夜間の限られた作業時間で行い、保守基地から離れた現場までの往復の移動に要する時間を考慮すると、碓氷峠トンネルにおける1晩あたりの実作業時間は、約3時間15分である。これまでの施工機械編成では、ロックボルト1本を施工するのに90分を要するため、最大2本/日しか施工できなかった。

4 施工速度向上に向けて

図-8より、ロックボルト施工にあたり、削孔に要する時間をもっとも多い(45分/本)ことから、削孔時間の短縮を目的とし、運搬台車に搭載している削孔機の改良を行った。旧型および新型削孔機を写真-4,5に示す。

新型削孔機は新幹線トンネルの耐震対策工事に製作されたドリルジャンボ<sup>®</sup>を、下向きロックボルト用に改良したもので、耐震対策時には覆工コンクリートへの自穿孔ロックボルトの施工に用いていた。改良にあたり、路盤隆起箇所におけるロックボルトはL = 8.0mと長いこと、地山の

作業項目	時間	23:00		0:00		1:00		2:00		3:00		4:00					
		20	30	40	50	0	10	20	30	40	50	0	10	20	30	40	50
保守用車使用着手	23:25	基地〜現地															
保守用車使用終了	4:50	現地〜基地															
旧型削孔機による削孔時間		1本目:90分間															
ドリルマシン位置合せ、削孔・ロッド引抜き、ケーシング引抜き	45分	45分															
ボルト建込み・組立て	15分	15分															
セメントミルク注入(混練・注入打設)	20分	20分															
頭部仮処理	10分	10分															

図-8 現行サイクルタイム

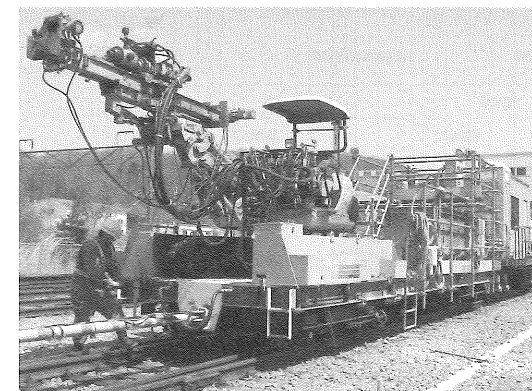


写真-4 旧型削孔機

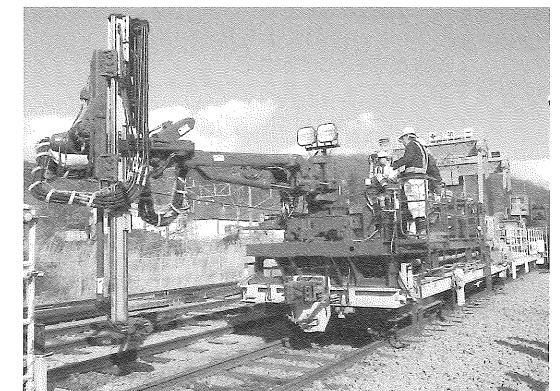


写真-5 新型削孔機

脆弱で孔壁がすぐにつぶされてしまうため、地山上部の孔壁防護を目的に二重管削孔とし、ロータリーパーカッションドリルの要素を取り入れた。

新型、旧型ともにロッドを回転および高速打撃を行い、岩盤を粉碎しながら穿孔するが、表-1に示すように、新型は旧型に比べ、回転数が大きい。そのため、削孔速度の向上と施工速度向上によるコストダウンが期待された。旧型および新型施工機械編成を図-9に示す。

## 5 改良後の実績

### 5-1 施工速度の比較

新型施工機械編成による施工は、2014年12月から開始した。その結果、3本/日の施工が可能となった。

表-1 新旧削孔機の回転数比較

比較項目	旧施工機械編成	現行施工機械編成
削孔機械	ロータリーパーカッション	ドリルジャンボ
回転数	0~80min <sup>-1</sup>	0~250min <sup>-1</sup>

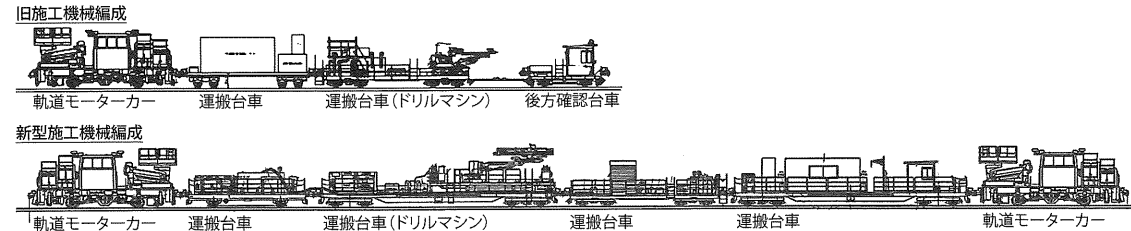


図-9 新旧施工機械編成

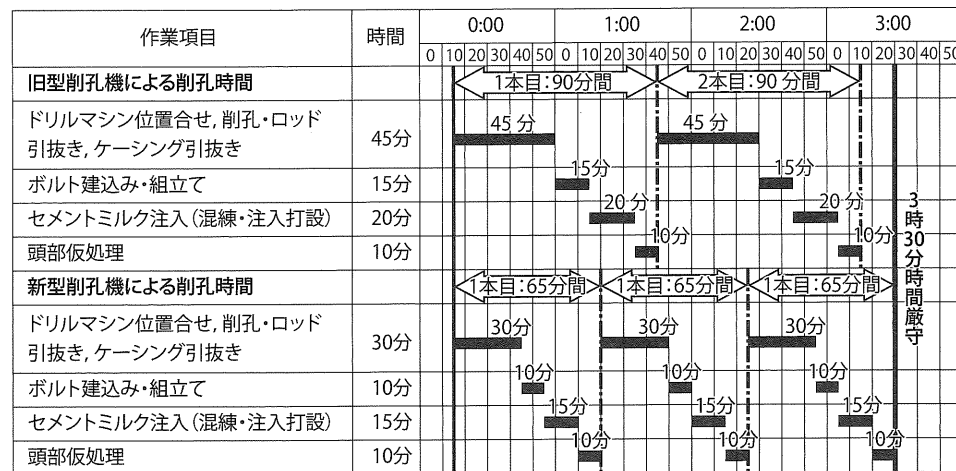


図-10 新旧削孔機のサイクルタイム比較

新旧削孔機によるサイクルタイムの比較を図-10に示す。

新型施工機械編成では、作業の中でもっとも時間のかかっている削孔作業において、最大15分程度の短縮が図られているため、3本目を施工完了できる時間を確保できるようになった。施工速度向上により、これまで200本/年であった年間施工量は、300本/年の施工が可能となり、全体計画の短縮が期待できることとなった。

### 5-2 コスト面での比較

削孔機械編成改良前後で比較すると、施工速度は日あたり最大施工本数で1.5倍、施工速度向上によるロックボルト1本あたりの施工費は18%程度のコストダウンが図られた。

## 6 まとめ

下向きロックボルトによる路盤隆起対策については、図-4に示したように、対策実施前に1mm/年であった隆起速度が2次対策実施以降は0.2mm/

年となり、抑制効果があることが確認された。ただし、隆起速度は抑制されているが、路盤隆起は完全に収束には至っていない。

トンネルの路盤隆起については、供用中の道路トンネルにおいても確認されている<sup>6)</sup>。本来、路盤隆起に対してもっとも効果が高い対策工は、りょう盤からインパットコンクリートへの打替えである。また、隆起に対して下向きの力を導入する観点から、グラウンドアンカーも効果的だと考えられる。

道路トンネルでは、供用後であっても迂回ルートの設定や片側通行止めなどにより、インパット打替えやグラウンドアンカーなど、より効果的な対策工の施工が可能である。

一方、鉄道トンネルでは、迂回ルートの設定は現実的でなく、また、供用後は限られた保守作業時間での施工となるため、選定できる対策工も制限される。

路盤隆起が収束しない状況下ではあるものの、限られた保守作業時間帯での施工条件においては、現時点では下向きロックボルトによる対策が現実的である。そのため、今後はより高い抑制効果を求めて、ロックボルト長の短縮や径の拡大などの改良を検討し、対策工を継続していく。

削孔機械編成を改良したことで一晩あたりの施工本数は増加しており、大きな効果が得られたと考えている。しかしながら、地山の硬さによって削孔時間が異なり、施工本数は前後するため、今後はどのような地山においても限られた保守作業時間帯に効率的に施工ができるよう、さらなる施工性の向上を目指していきたい。

## 7 おわりに

一ノ瀬トンネルおよび碓氷峠トンネルにおいて、路盤隆起対策のために施工した下向きロックボルトは、2005(平成17)年から約10年間で1,410本、対策区間にして290mである。これまで実施した対策区間における1mあたりの対策費用は、建設時のトンネル1mあたり建設費の約2.4倍となっている。

2015(平成27)年3月に北陸新幹線が金沢まで延伸となり、ますます安定・安全輸送が求められているが、継続的に路盤隆起箇所の監視および対策工を行い、維持管理に起因する輸送障害を起こさぬよう、努めていく所存である。

## 参考文献

- 1) 渡邊康夫・藍郷一博・鈴木尊：供用中の新幹線トンネルで発生した路盤隆起の原因とその対策，トンネルと地下，Vol.38，No.9，pp.7-16，2007.9.
- 2) 久保原猛・若林秀明・鈴木延彰・齋藤貴：供用中のトンネルで未収束の路盤隆起に挑む，北陸新幹線一ノ瀬トンネルほか，トンネルと地下，Vol.45，No.9，pp.45-53，2014.9.
- 3) 日本鉄道建設公団北陸新幹線建設局：北陸新幹線工事誌(高崎・長野間)，1998.3.
- 4) 日本鉄道建設公団北陸新幹線建設局：北陸新幹線工事誌(高崎・長野間)地質図，1998.9.
- 5) 中村宏・岡村直利・土屋尚登・小野桂寿：大規模機械編成による効率的なトンネル耐震対策，東北新幹線トンネル他耐震対策工事，トンネルと地下，Vol.40，No.10，pp.7-18，2009.10.
- 6) 佐久間智・菅原徳夫・多田誠：供用トンネルで発生した変状とその対策，山形自動車道 盃山トンネル(上り線)，土木学会第64回年次学術講演会，第Ⅲ部門，pp.803-804，2009.

## 建設工事の地質診断と処方

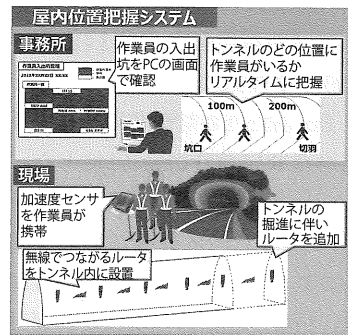
石井康夫・矢嶋壯吉 共著 A5判 326頁 本体価格 4,300円



〒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

# 工法・技術・製品ニュース

## 工法 安全管理・作業効率化を図る屋内位置把握システムを実用化



システム全体概要図

安藤ハザマ  
社長室 CSR 推進部  
TEL. 03-6234-3606

日立ソリューションズ  
経営企画本部 広報・宣伝部  
TEL. 03-5479-5013  
E-mail: koho@hitachi-solutions.com

安藤ハザマと日立ソリューションズは共同で、IEEE802.15.4対応無線を用いた屋内位置把握システムを実用化したと発表した。

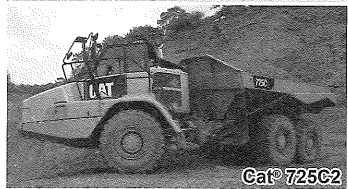
同システムは、IEEE802.15.4という消費電力が小さく、通信距離が数十mと比較的長い無線規格を用いることで、従来の有線方式によるものと異なり、トンネルの掘削にあわせて通信ケーブルなどを延長、敷設する必要がなく、システム構築にかかるコストなども抑えられる。トンネル内に設置する機器はUSBメモリ程度の大きさの「ルータ」のみで、現場職員による管理・運用が可能になる。

安藤ハザマが、施工中のシールドトンネルの現場で同システムの実証

実験を行った。現場はトンネル内径が3m、スチールとRCセグメントが混在し、約90°の急曲線部分があるトンネルで、坑内に50m間隔でルータを設置したうえで、タグをヘルメットに装着した作業員がルータに沿って移動した。作業員の移動に合わせてその位置を管理パソコン上で、リアルタイムに表示できることが確認され、また、故障を想定して任意のルータの電源を落とした場合でも、他のルータに自動的に接続することでシステムの稼働に影響がないことも確認された。

両社では、今後、トンネル現場への導入を推進するとともに、トンネル以外の建設現場への適用も視野に入れ、技術改良を重ねるとしている。

## 製品 環境性能を高めた新型ホイールローダなどが新発売



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

キャタピラー(株)は、オフロード法2014年基準をクリアする環境性能を備えたホイールローダ2機種、アーティキュレートトラック3機種、油圧ショベル4機種の発売を開始した。

ホイールローダは、Cat®950M Zと962M Zで、両機は従来機であるKシリーズの特徴を継承しつつ、すでに実績のある排出ガス低減技術に加え、エンジン出力や最大トルクのアップさせるなど、作業能力を向上させた。また、生産量の管理や過積載の防止に役立つ新型のペイロードシステムをはじめ、プロダクトリンクなどCat®Connectにより適切な車両管理を行うことができる。

アーティキュレートトラックは、Cat®725C2、730C2、730C2 EJの3機種で、Cモデルの後継機種となるC2シリーズとして発売される。従来機から、生産性、燃料生産性、燃

料消費量にかかわる性能が向上したのに加えて、ペイロード計測システムのCat®プロダクションメジャメントなどをオプションで装備できる。730C2 EJは、イジェクタ仕様のモデルで、排土するときボディをダンブする代わりに、ボディ内の排土板を後方へ押し出す機構を持つ。

油圧ショベルは、Eシリーズをモデルチェンジし、FシリーズとなったCat® 336F(L) XE、336F(L)、349F(L)、352Fの4機種。燃料効率を向上させたほか、油圧ブレーカやシャーなどのCAT®ワークツールにも幅広く対応し、高い汎用性をもつ。大型のキャブがオペレータの快適性と安全性を確保する。336F(L) XEは油圧ハイブリッドシステムを搭載するモデルで、ペイロード計測システムのCat®プロダクションメジャメントやCat®グレードコントローラなどを標準装備する。

## 連載講座

# トンネル新技術への挑戦(12)

## — 通行止めを要しないインバート設置工法 —

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会

### ① はじめに

わが国の戦後の急速な発展とともに整備された高速道路網をはじめとしたインフラ施設は、今後建設から50年を迎えようとする構造物が飛躍的に増大するとともに、老朽化施設の更新事業が社会の関心を集めているところである。トンネル構造物も例外ではなく、トンネル建設時には予期していなかった損傷事例が報告されており、トンネル耐久性の向上に向けた取組みが必要となっている。本稿は、供用後の高速道路トンネルにおける耐久性の向上に向けた対策として行っているインバート設置に関する現況と、通行止めを要しない新工法の開発状況について紹介する。

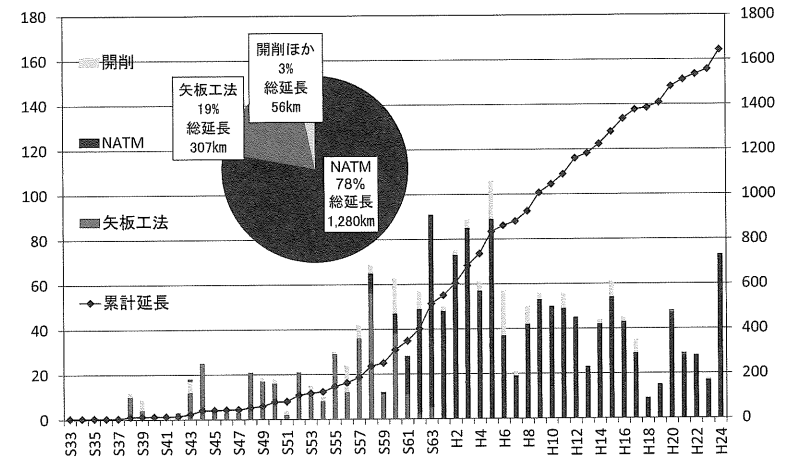


図-1 トンネル開通延長(平成26年4月現在)

### ② インバート設置の新工法開発の背景

#### 2-1 高速道路トンネルの現況

高速道路トンネルを供用年次と工法別に整理したものを図-1に示す。

供用後のトンネル損傷事例の中で、トンネル内の路面が隆起する「盤ぶくれ」現象がある(写真-1参照)。盤ぶくれの発生原因は諸説あり、その詳しいメカニズムは十分に解明されたとは言いがた

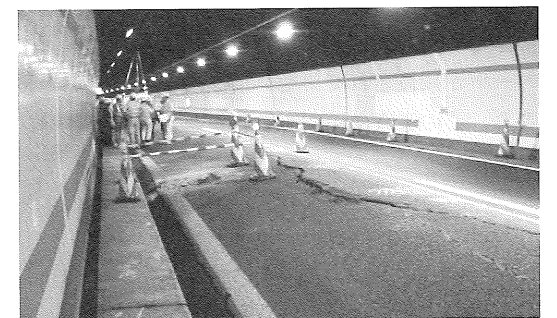


写真-1 盤ぶくれによる路面の隆起

いが、基本的に盤ぶくれ箇所の地山の地質がおもな要因とされている。これまで盤ぶくれが確認されているトンネルを地質別に分類すると、図-2のようになる。泥岩や凝灰岩などの一般的に風化しやすいとされる地質(以下、「盤ぶくれ懸念地質」

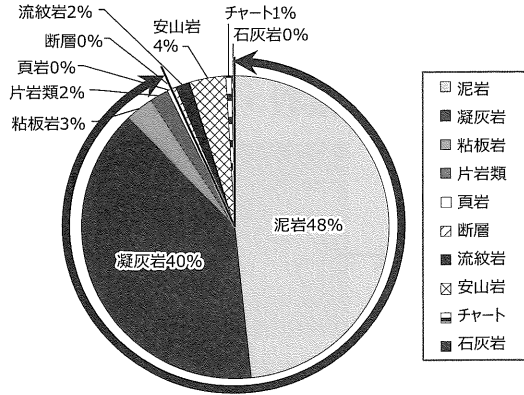


図-2 盤膨れ箇所の地質

という)で、かつインバートが設置されていない箇所が発生する傾向が強い。

NEXCOではこのような経験を踏まえ、トンネル建設時に適用する最新の設計要領第三集において盤ぶくれ懸念地質を定め、この地質区間に対しては標準的にインバートを設置することとしている。しかし、このインバート設置基準<sup>1)</sup>は表-1に示すように1997(平成9)年に大幅に改定され、その後2009(平成21)年に現在のかたちになっている。よって、それ以前の基準が適用されたトンネルにおいては、現在の基準で定める盤ぶくれ懸念地質であってもインバートが設置されていない箇所が存在することになり、このような箇所を含むトンネルは日本全国に点在していることになる。このうち、何らかの原因で地山の風化が進行したトンネルにおいて、盤ぶくれが顕在化しているものと考えられる。

2-2 盤ぶくれへの対策工

盤ぶくれへの対策工は複数考えられるが、供用中の高速道路においては、まずは舗装路面の切削とオーバーレイによる摺り付けによって走行性確保を優先した対応がなされることが多い。しかし、いったん盤ぶくれが顕在化した箇所では、その後も路面隆起が継続したり、隆起範囲が拡大していく事態になることがほとんどで、根本的な対策と

表-1 インバートの設置基準の変遷<sup>1)</sup>

時期	適用地山	概要
1970 (昭和45)	E	Dも設置の検討
1983 (昭和58)	坑口, D, E	Dでも検討のうえで省略できる
1985 (昭和60)	坑口, D, E	Cで、泥岩、凝灰岩などの長期耐久性を損なう場合に設置
1997 (平成9)	坑口, C, D, E	Cで、第三紀泥岩、凝灰岩などは長期耐久性を損なうので設置
2009 (平成21)	坑口, C, D, E	「第三紀」を抹消し、泥岩はすべて設置

対策工実施前の路盤隆起と計測開始からの経過年数の関係

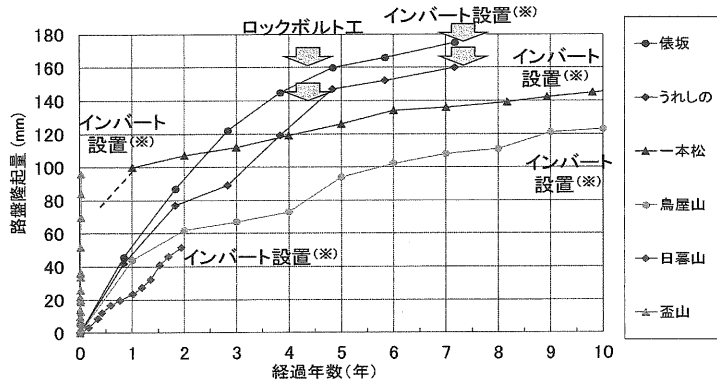


図-3 インバート設置の効果

はなっていない。

緊急的に実施可能な対策工は、下向きのロックボルトである。1998(平成10)年以前に盤ぶくれが発生した現場では、この方法を採用して地山補強がなされた例もあるが、現段階で再度盤ぶくれが発生している現場が確認されている。図-3に示すように、過去に実施された下向きロックボルトは隆起速度の鈍化には寄与したものの、路面隆起を完全に抑え込む恒久対策であったとは言えない状況である。

今後、パイル工法や地盤改良工法などによる工法改善の余地は残されていると思われるが、現時点では高速度道路における盤ぶくれ対策は、もっとも効果的な対策工と思慮されるインバート設置を基本とすることとしている。

2-3 インバート設置にあたっての社会的要請

供用中の高速道路トンネルにおいて、コンク

リートによるインバート設置を実施しようとした場合は、トンネルの通行止めを伴うことが通常であった。これは、インバートの設置にあたってトンネルセンター(2車線道路の中央線付近)の開削が必要となるためである。

しかし、今や高速道路は社会経済に欠かせないものとなり、とくに東日本大震災以降は、自然災害時の緊急輸送路としての役割など、高速道路の社会的重要性が高まっている。よって、通行止めは極力避ける必要があり、インバートを施工する際も、緊急時の走路の確保などを考慮することが求められている。

トンネルが2本ある区間では、1本を対面通行化することも考えられるが、事故や渋滞の増加など交通安全上のデメリットや、トンネルによっては非常用設備や換気設備など、諸設備の新たな対策が必要になるケースも多い。このため、トンネルを通行止めすることなく、車線規制によるインバート設置についての検討が求められている。

2-4 特定更新等事業の概要

NEXCOが管理する高速道路においては、構造物の長期耐久性確保の観点から、構造物を大規模に更新もしくは修繕する特定更新等事業<sup>2)</sup>を実施することになった。構造物比率の高い橋梁がメインではあるが、トンネルにおいても、インバート設置がメニューとなっている。これは、盤ぶくれ懸念地質であるもののインバートが未設置のトンネルにおいては、将来的には盤ぶくれの懸念があるためである。

また、盤ぶくれ発生箇所を細かくみていくと、インバート設置区間に隣接するインバート無区間など、断面剛性が高いスパンに隣接した箇所の変状が顕著なため、対策工範囲は若干広めにとることとしている。このように、予防的に対策工を施工していくのが特定更新等事業である。

概算ではあるが、覆工の補強なども合わせると、全国の約130kmでインバート設置を含めた何らかのトンネル補強が施工されることが想定されており、インバート設置のニーズが全国的に高まると予想される。

③ 鋼管複合工法の開発

3-1 開発経緯

インバートの設置にあたっては、幅員が広い一部のトンネルにおいては、片側の車線規制を行っても、トンネルセンター部分の開削が可能である。しかし、このような条件のトンネルは少ないのが実情である。このため、一般車の通行帯の幅員減少やシフトをすることなく、通常の車線規制のみで施工が可能なインバート設置工法として、長野自動車道において2013(平成25)年に「曲線函体推進工法を用いた3分割中央部非開削工法」が施工されている(写真-2)。

この工法の施工結果については、すでに本誌で報告<sup>3)</sup>されていることから、ここでは、その後(株)高速道路総合技術研究所(以下、「NEXCO総研」という)で新たに研究・開発に取り組んでいる鋼管複合工法<sup>4)</sup>について紹介する。

3-2 開発のコンセプト

鋼管複合工法開発にあたっては、新たな特殊な材料や施工機械を開発せずに、既存の技術で対応できる工法開発をコンセプトとした。ただし、本工法は複合構造であることから、コンクリートインバートを破壊するような強力な地圧への対応は当面考慮せず、もっとも開発ニーズの高いCII相当地山における盤ぶくれへの対応を念頭に検討を行った。

開発コンセプトをもとに、インバートの主材料は、開削が可能な範囲は通常のコンクリートとし、

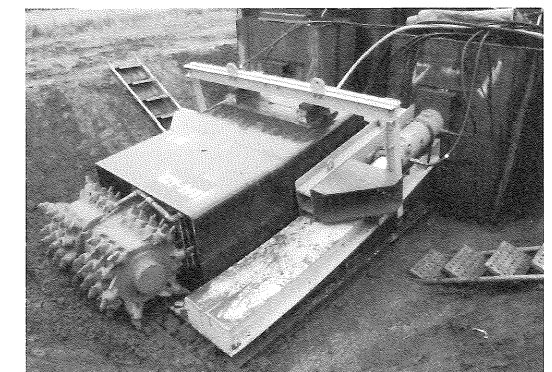


写真-2 曲線函体推進工法の掘削機

開削が困難なトンネルセンター部分を鋼管構造とした。鋼管部分の施工にあたっては、掘削した面からトンネルセンター(横断)方向に、通常の削孔機(ロータリーパーカッションなどのベースマシン)が適用可能である(図-4, 写真-3, 4)。

鋼管複合法の開発にあたっては、NEXCO 総研を中心に検討を行ったが、設計と施工の専門的な観点からのアプローチも必要と考え、解析を首都大学東京、施工関係を建設機械施工協会施工技術総合研究所との共同研究というかたちで行った。

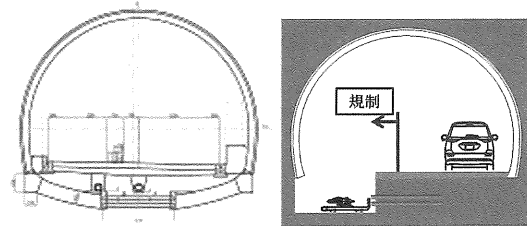


図-4 鋼管複合法のイメージ

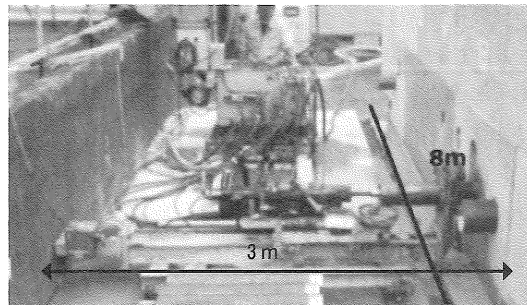
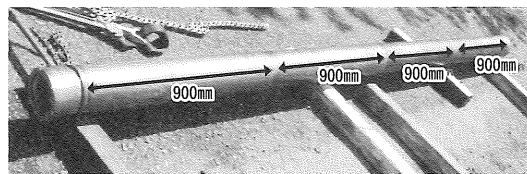
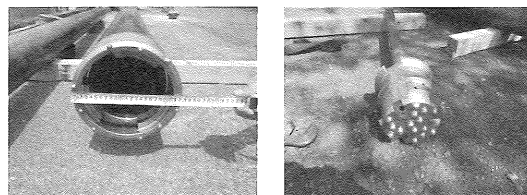


写真-3 狭小部に設置する施工機械



(鋼管本体部)



(リング)

(インナー)

写真-4 鋼管と削孔ビット

### 3-3 インバート形状の設計検討

#### 3-3-1 施工条件の設定

高速道路のトンネルの幅員は、道路等級1種3級の場合、8.5mである。1車線規制かつ通行帯の縮小などを行わない場合、車線幅3.5mと両側路肩0.5mおよび0.75mの計4.75m程度の通行帯を確保する必要がある。しかし、これでは全幅8.5mのトンネルにおいては、トンネルセンター部分の掘削ができず、通常のコンクリートによるインバートの構築は困難となる。

よって、鋼管複合法は全幅8.5mのトンネルに対して4.75mの通行帯を確保することを前提とし、作業エリアは図-5に示すように幅3.0mとして各種検討を行った。

#### 3-3-2 設計条件の設定

設計条件の設定にあたって、供用後に盤ぶくれが発生したトンネルの膨張圧を文献にて調査したところ、図-6に示すように0.1MPaを下回る場合がほとんどであった。その結果をうけて、鋼管複合法で対応する盤膨れ膨張圧を0.1MPaに設定した。この膨張圧をインバートを含むトンネル覆工全周に載荷した場合に、力学的に有利となるインバート構造を検討することとした(図-7)。

#### 3-3-3 インバートの形状の決定

鋼管複合法は鋼管を地山に挿入するため、施工にあたっては削孔機械を据える必要がある。この場合、通常の曲線のインバート形状に沿った掘削面への機械の据付けは困難なため、機械の据付け面は水平にする必要がある。つまり、新工法のインバート構築のための掘削は、通常のインバート形状より掘削断面が大きくなる。そこで、機械

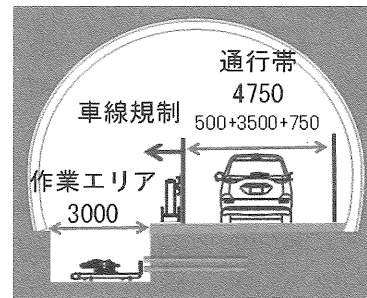


図-5 鋼管複合法の施工方法

据付けのための掘削部も同時にコンクリートを打設することが効率的なため、施工性を考慮して図-8に示すように鋼管打設側のインバートをフーチング形状にすることを考案した。

しかし、この形状を二次元FEMによる線形弾性解析により確認したところ、鋼管とコンクリートの接点部における過度の応力集中が確認された(図-9, 10)。これは接続部において急激な剛性の変化が生じ、その部位における応力集中が発生していると推察される。

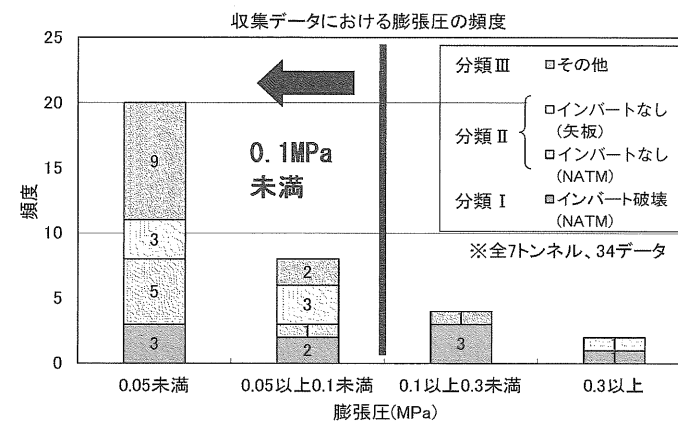


図-6 膨張圧の条件設定

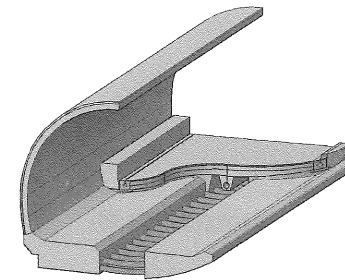


図-8 フーチング形状のインバート

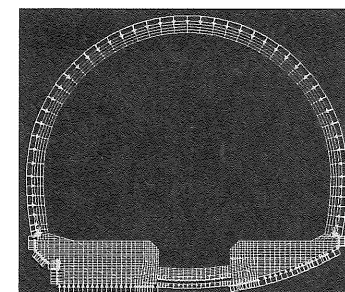


図-9 二次元FEMの解析モデル

よって、インバート形状は通常の形状とし、鋼管の据付け後に土構造でインバート形状なりに埋戻しや転圧を行うことは困難なことから、コンクリートにより埋戻しを行い、その後にインバートコンクリートを施工することを基本とした。

#### 3-4 鋼管部の形状検討

通常のインバート形状は曲率があり、力学的にもより真円に近い方が構造的に有利といわれている。このため、鋼管複合法におけるインバート形状も一般的な形状に合わせて、曲率を持たせることを前提として

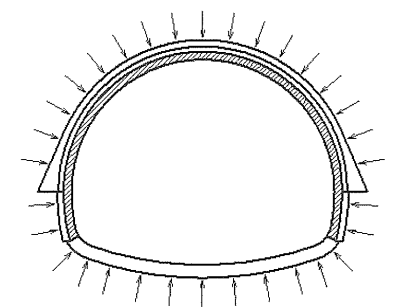


図-7 膨張圧作用方向

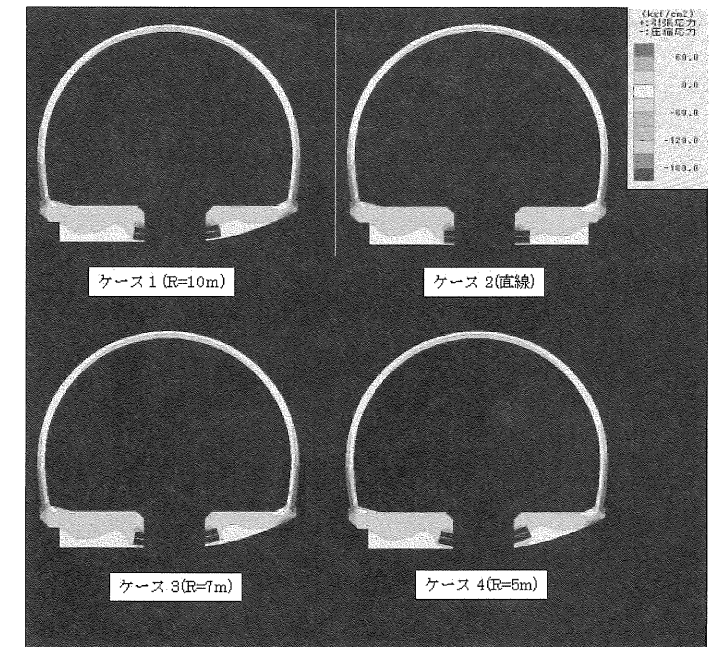


図-10 覆工とインバート部の最大主応力図

いた。したがって、鋼管部分もインバート形状なりの曲線鋼管で検討を進めていた。

しかし、曲線鋼管の削孔は施工の難易度が高いため、施工性の観点から一般的な直線鋼管の適用を模索していた。そこで、この鋼管形状の違いが構造に与える影響を数値解析により検討し、直線鋼管でも構造的に不利にならないと判断し、施工性が圧倒的に有利な直線鋼管を採用するに至った(図-11, 12)。

### 3-5 鋼管の仕様に関する検討

鋼管複合構造で用いる鋼管は、汎用性のあるSTK400( $t=11\text{mm}$ ,  $\phi 165$ )とした。ただし、鋼管の設計長は約3.0mであるが、これを作業幅約3.0mの狭小部から設置することになり、1本ものでの施工は物理的にも作業的にも困難であるため、3分割してねじ切りの継手を設けることとし、鋼管の内部は、防錆や耐力確保の観点から中詰めを充填することを検討した。この仕様においては、鋼管のねじ切り継手部の力学的な信頼性や、充填材料(モルタル)の設計基準強度などの課題があり、これらが中詰め鋼管の耐力に対してどのような影

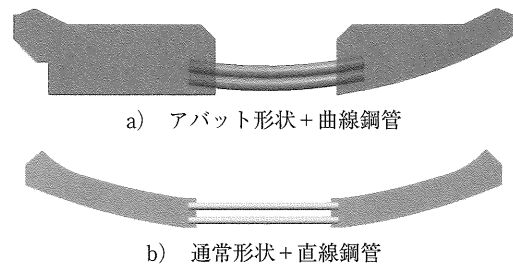


図-11 インバート形状の比較検討の例

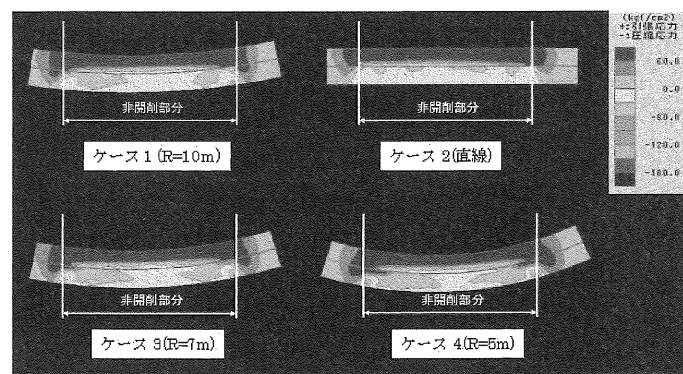


図-12 鋼管部の最大主応力図(※旧単位系)

響があるかを実験により確認することとした。

### 3-5-1 実験の概要

鋼管のみの供試体を作成し、圧縮試験と引張試験を実施した。試験の目的は、鋼管の継手の有無、モルタルによる鋼管内部充填の有無による耐力の相違と、内部充填ありの場合のモルタル強度の違いによる耐力の相違を見ることである。なお、試験機の能力などの問題から引張試験は設計より小さなサイズの鋼管を用いて実施した。

### 3-5-2 試験結果

継手は、最終的な座屈荷重に影響を与えるものの、降伏荷重や載荷時の挙動に関して、継手の有無による大きな差異は見受けられなかった。

中詰めについては、ある程度の効果は認められたものの、中詰めモルタルの強度を上げることによる有意な効果は認められなかった(写真-5, 6)。

### 3-5-3 実験を経て決定した鋼管の仕様

以上の実験結果を総合的に勘案し、鋼管の継手の弱点を補うために鋼管は中詰めにすることとした。また、中詰めモルタルの強度は高強度なものとして、通常の $20\text{N}/\text{mm}^2$ 程度のものを使用することとした。

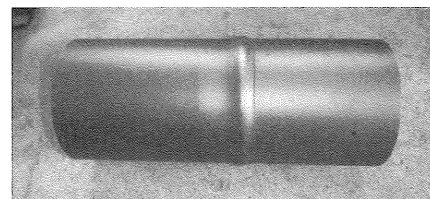


写真-5 圧縮試験後の中空鋼管(継手部)

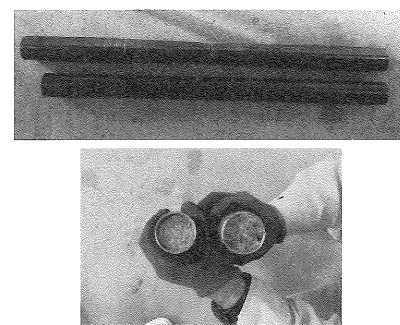


写真-6 引張試験前(写真上(下))と試験後(写真上(上))の中空鋼管、中詰め鋼管の破断面状況(写真下)

### 3-6 鋼管とコンクリートの接続部の検討

鋼管とインバートコンクリートの接続部の構造は、橋梁下部工の鋼管杭の考え方<sup>5)</sup>に準じて、定着長を $1.0D$ ( $D$ は鋼管径)、かぶりを $0.5D$ とすることを基本案とし、定着長やかぶりを変化させた試験体を4種類作成し、耐力試験により、接続部の最適な構造の検討を行った(図-13, 14, 写真-7)。

### 3-6-1 試験概要

地山の膨張圧( $0.1\text{MPa}$ に設定)を実物供試体の鋼管部に載荷する実験を行い、耐力や鋼管のひずみ、ひび割れなどを計測した(写真-8)。

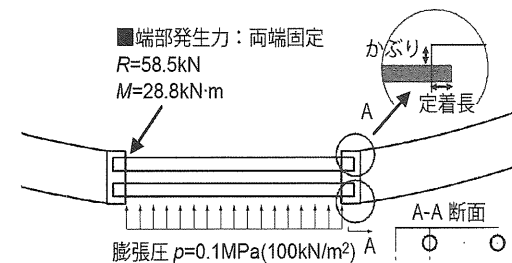


図-13 試験における着目点

### 3-6-2 試験結果

最大荷重(耐力)は、増加荷重を保持できなくなった荷重の最大値である。基本仕様に対し、定着長を2倍にしたケースは基本ケースの約1.2倍であったが、かぶりを2倍にしたケースと補強鉄筋を施したケースは約1.5倍であった。

荷重と変位の計測データをみると、載荷初期段階は荷重の増加とともに直線的に変位が増加していく領域と、増加荷重に対して変位の増加量が多くなる領域が存在する。この荷重は、鋼管複合工法が弾性域の限界(塑性域)へ達した荷重と考えら



写真-7 試験体の正面写真

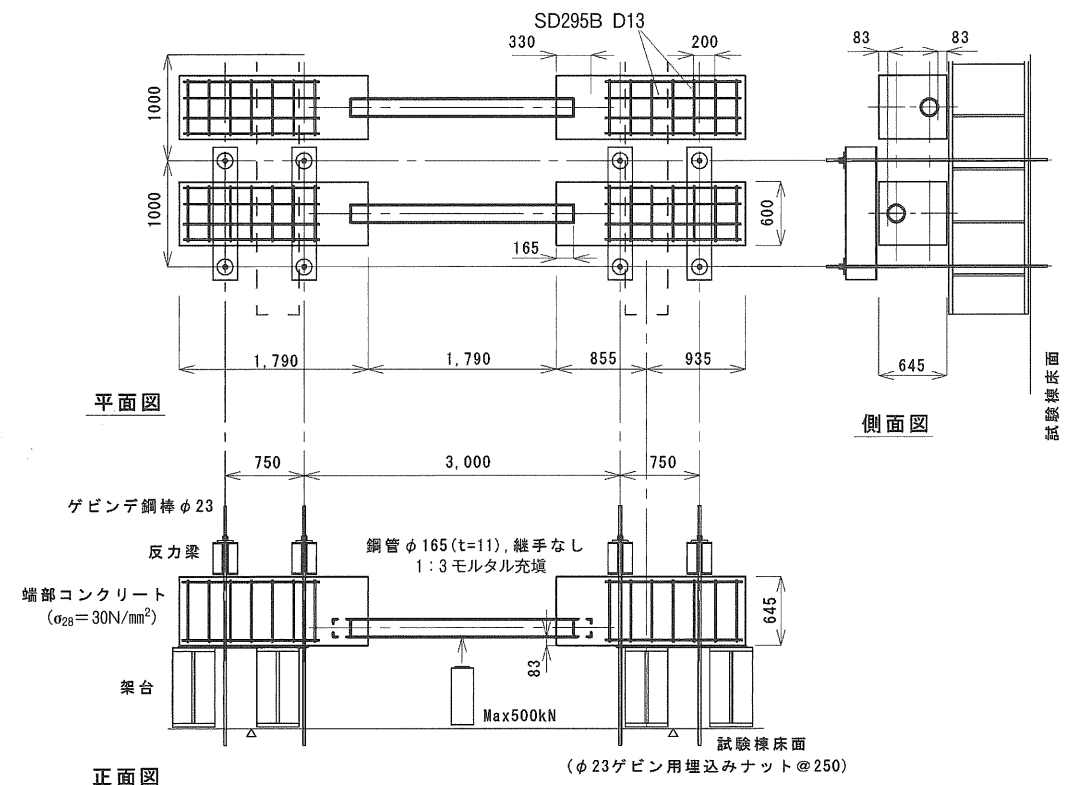


図-14 試験体の概要図

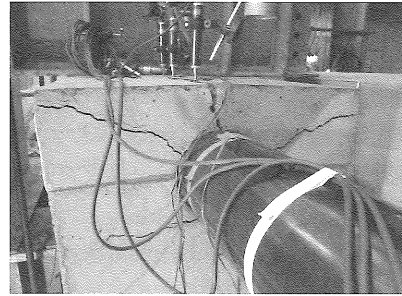


写真-8 試験鋼管の接合部状況

れる(図-15)。

コンクリートと鋼管の接合部のひずみの計測データをみると、荷重初期段階は鋼管上部が圧縮ひずみを示し、鋼管下部が引張ひずみを示す単純曲げ状態を示す。その後、ひずみ増分が正負逆転する挙動となるのが確認できる(図-16の○印)。この挙動は、鋼管端部が固定された状態から鋼管周囲のひび割れ発生とともに、固定状態が失われる挙動変化と考えられる。よって、接合部が一体構造を保持できなくなる変化点と考えられる。

### 3-6-3 鋼管とコンクリートの接続部の仕様決定

上記のような実験を経て総合的な検討を行い、当初の基本案に対して鋼管のかぶりを1.5Dに変更し、接続部の仕様を決定した(図-17)。

### 3-7 覆工直下のインバート掘削による影響検討

供用トンネルにおいてインバートを設置するためには、図-18のように既設覆工コンクリートの直下を掘削することになるため、この掘削が既設覆工などへ与える影響を三次元FEM解析<sup>6)</sup>にて分析した。

#### 3-7-1 インバート掘削による影響予測

施工単位を12mとしてインバートを構築する工程(インバート掘削→鋼管打設→コンクリート打設)をくり返したときの既設覆工コンクリートに生じる影響を解析した。1施工区間ごとに延長

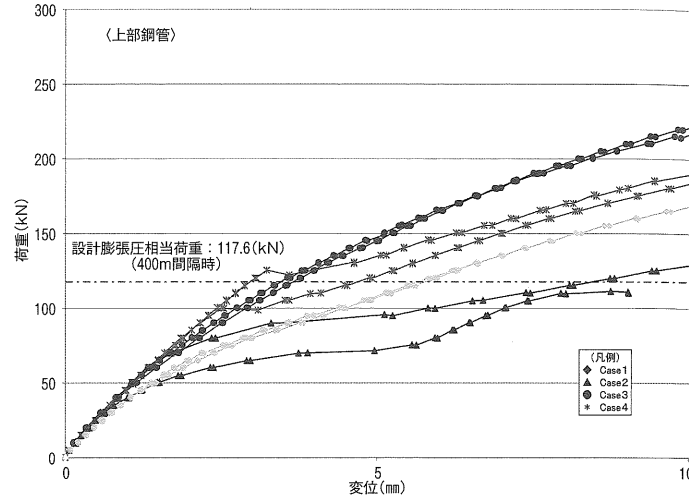


図-15 上段鋼管中央部の初期荷重時の挙動

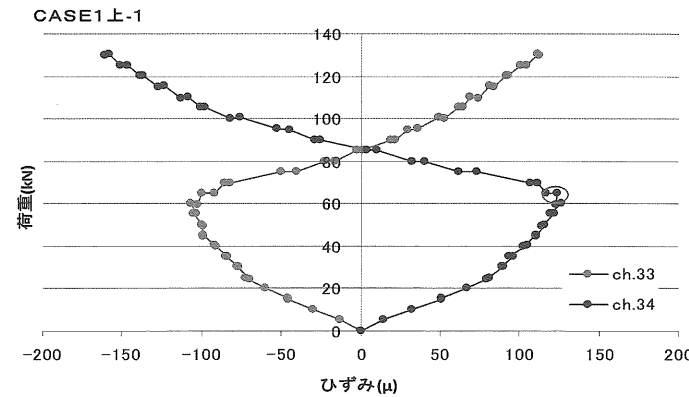


図-16 上段鋼管の接合部のひずみ挙動

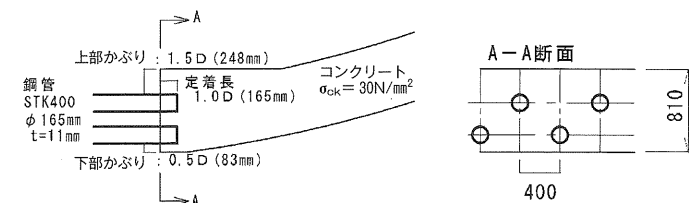


図-17 鋼管とコンクリート接合部の仕様案

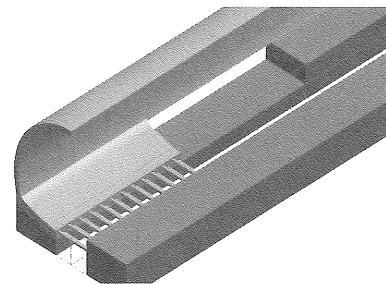


図-18 覆工足元の掘削イメージ

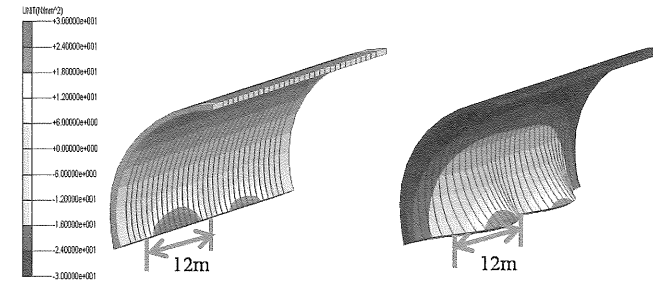


図-19 覆工足元の掘削による覆工への影響

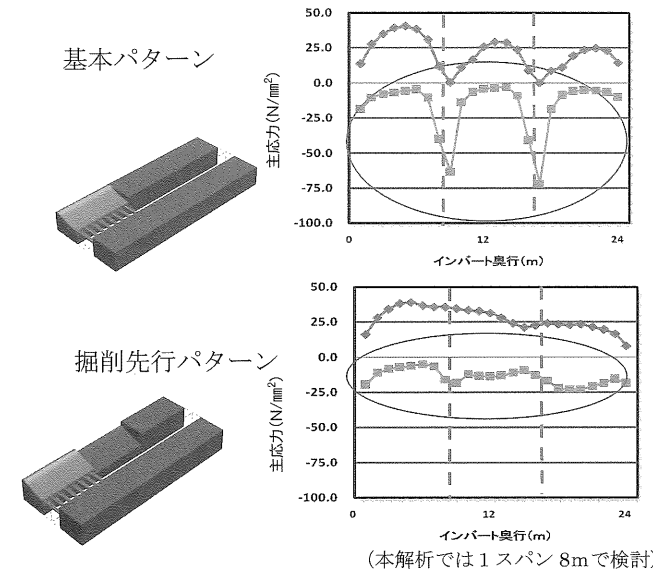


図-20 インバート掘削による覆工への影響

12mのインバートを構築する「基本パターン」では、直下の掘削で覆工脚部に応力が集中し、覆工が内空方向に変形する箇所が発生し、直接足元を掘削される覆工だけでなく、隣接する覆工にも影響が及ぶ結果となった(図-19)。

#### 3-7-2 掘削パターンの違いによる影響

インバート施工にあたっては、掘削とインバート構築をどのような順序で行うかは作業工程や費用に大きな影響を与える。そこで、前述の「基本パターン」とインバートを構築する隣接区間を先行して掘削する「掘削先行パターン」との既設覆工への影響の違いを検討した。図-20に示すように(濃灰が上段、淡灰が下段の鋼管の最大主応力の履歴)、基本パターンのときに施工区間の境目に発生した卓越した応力は、掘削先行パターンで

はそれが解消される結果となった。

### 3-8 その他の検討

その他の検討としては、鋼管部分からの地山の拔出しに対する解析的検討、コンクリートなどによる模擬地山を用いた削孔実験など、各種検討を行い、より実用性の高い工法へと改善を図った。

## ④ 今後の課題

鋼管複合工法は、実際の現場や地山での適用実績がないことから、現在の検討内容についての、施工上の課題や補強効果などについての十分な評価がなされていない。また、新工法の検討はNATMのトンネルに対してがメインであるが、矢板工法のトンネルへの適用も課題の一つである。今後は実際の地山での試験施工を行ったうえで、さまざまなニーズへの対応策を検討し改善してゆくことで、信頼性の高いインバート設置工法になり得ると考える。

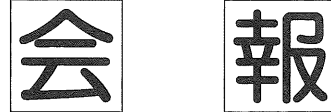
(文責：八木弘/(株)高速道路総合技術研究所)

## 参考文献

- 1) 東日本高速道路・中日本高速道路・西日本高速道路：設計要領第三集 トンネル本体工建設編, p.81, 2015.
- 2) 東日本高速道路・中日本高速道路・西日本高速道路：高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会報告書, 2014.1.
- 3) 鈴木雄吾・岩永茂治：通行止めを回避した新たなトンネル路面隆起対策技術の適用, 長野自動車道 一本松トンネル, トンネルと地下, Vol.45, No.7, pp.7-18, 2014.4.
- 4) 北村元・大津敏郎・岩尾哲也：供用路線における複合構造インバート設置工法の開発, 第30回日本道路会議, 2013.10.
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編, p.398, 2002.
- 6) 北村元・岩尾哲也・安井成豊・西村和夫：供用中のトンネルにおける鋼管を用いた複合構造によるインバートの設置工法の検討, トンネル工学報告集, Vol.23, 2013.11.

一般社団法人

日本トンネル技術協会



1. 会員の現状

	9月30日現在
個人会員	909名
団体会員	204名
推薦会員	205名
特別会員	7名
名誉会員	4名
賛助会員	233名
合計	1,562名

2. 委員会の開催状況(9月1日~30日)

①運営広報委員会関係

◎総務委員会

・広報小委員会

会誌WG(9/6)

小山幸則主査ほか12名, 10月号の会誌と3か月計画を検討

・トンネル関係技術者資格制度準備会(9/13)

砂金伸治主査ほか10名, 具体的実施方策を検討

・企画運営幹事会(9/16)

遠藤元一幹事長ほか10名, 各種規程ほか検討

◎国際委員会

・ITA統括WG打合せ(9/6)

砂金伸治主査ほか6名, ITA年次総会・世界トンネル会議2016報告会計画を検討

・海外文献小委員会

海外ニュースWG(9/26)

佐々木養一主査ほか8名, 海外文献を査読  
計 5回開催 51名出席

②調査研究委員会関係

◎技術委員会

・安全環境小委員会(9/13)

豊澤康男委員長ほか16名, 住民要望と対応策資料ほかを検討

◎受託研究特別委員会

・北陸新幹線, 金沢・敦賀間トンネル施工技術委員会  
検討会(9/26)

岸田潔主査ほか25名, 設計施工上の課題を検討

・中央アルプストンネル施工技術委員会シールド工法  
小委員会(9/29, 30)

小山幸則小委員長ほか22名, 現地調査および設計  
施工上の課題を検討

計 3回開催 66名出席

合計 8回開催 117名出席

個人会員加入のお誘い

技術の習得のために個人会員に加入してはどうか  
でしょうか。協会ホームページの申込書で簡単に入  
会手続きができます。

□個人会費: 年12,000円(月1,000円)

□特典1: 協会の機関紙「トンネルと地下」を  
毎月, 無料でお届けします。

□特典2: 協会発行図書が個人会員価格で購入  
できます。

□特典3: 協会開催の各種催物に個人会員価格  
で参加できます。

ご意見ご要望をお待ちしております

当協会のホームページ・情報開示や諸活動に対す  
るご意見・ご要望がありましたら下記へご連絡願  
います。担当委員会と協議してできるだけ会員のニーズ  
を反映した活動を実施したいと考えております。

TEL: 03-3524-1755 FAX: 03-5148-3655

E-mail: webmaster@japan-tunnel.org

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。

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。

その他: 協会からの情報を発信する場合は送信タイ  
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43回ITA総会およびコンgres 「Surface problems -Underground solutions」	2017. 6. 9~15	ベルゲン (ノルウェー)	Norwegian Tunnelling Society, ITA(国際トンネル協会) <a href="http://www.wtc2017.no/">http://www.wtc2017.no/</a>
第44回ITA総会およびコンgres 「Smart Cities: Managing the Use of Underground Space to Enhance the Quality of Life」	2018. 4. 20~26	ドバイ (UAE)	Society of Engineers-UAE, ITA(国際トンネル協会) <a href="http://www.uaesocietyofengineers.com">http://www.uaesocietyofengineers.com</a>
第45回ITA総会およびコンgres 「Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art」	2019. 5. 3~ 9	ナポリ (イタリア)	Italian Tunnelling Society, ITA(国際トンネル協会) <a href="http://www.societaitalianagallerie.it/Prj/Hom.asp">http://www.societaitalianagallerie.it/Prj/Hom.asp</a>

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

4. 平成28年度催物開催現況

(平成28年9月現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(現場見学会)				
横浜市下水道トンネル現場研修会(磯子トンネル)	2016. 5. 20	21	神奈川	2.0
新東名高速道路トンネル建設工事現場研修会(羽根トンネル)	2016. 6. 28	22	神奈川	2.5
北海道トンネル建設工事現場研修会	2016. 7. 28	18	北海道	4.8
新北陸トンネル建設工事現場研修会(葉原・大桐・奥野々工事)	2016. 8. 26	24	福井	4.0
福岡地下鉄建設工事現場研修会	2016. 9. 29	30	福岡	2.0
東北中央自動車道トンネル建設工事現場研修会 (山形蔵王トンネル, 三吉山トンネル)	2016. 11. 11	25	山形	3.0
環状5の1号線地下道路建設工事現場研修会 (雑司ヶ谷工区・南池袋工区)	2016. 11. 18	20	東京	1.5
(施工体験発表会)				
第78回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」	2016. 6. 22	169	東京	5.9
第79回(都市)「市街地における地下構造物の新設および改良工 事—近接, 拡幅, 再構築等の施工事例—」	2016. 6. 23	111	東京	4.3
(講習会・シンポジウム)				
都市トンネルのための地盤改良講習会	2016. 5. 18	44	東京	5.7
第2回トンネル維持管理業務講習会(基礎編)	2016. 9. 2	40	東京	6.3
第3回トンネル技術者のための地相入門講習会	2016. 10. 31	40	東京	6.3
第18回ステップアップ研修会「シールド部門」	2016. 11. 29, 30	30	東京	14.2

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

## 12月号予告 [12月1日発売予定]

- 東海道支線地下化事業
- 九州新幹線 武雄トンネル
- 上信越自動車道 金谷山トンネル
- 東京外かく環状道路 東名JCT本線シールド立坑
- 東京下水道 第二溜池幹線  
【連載講座】
- トンネル新技術への挑戦(13)

\*内容等は変更になる場合がございます

### 編集後記

- ◆ 秋の後半、皆様方におかれましてはいかがお過ごしでしょうか。先日、知人から「むかご」をいただき、わが家で炊き込みご飯を作ってもらいました。それといっしょにさんまの塩焼きをおかずに「味覚の秋」を堪能させていただきました。
- ◆ 本号は555号で5ならびのぞろ目の号になっております。そこであつてのぞろ目の号にどんな記事が載っていたか振り返ってみました。
- ◆ まず、111号です。巻頭言は当時建設省技監の浅井新一郎氏に執筆いただいております。浅井氏は約9年後、JTAの会長になりましたが、この当時はまだ会長に就くとは考えておられなかったことでしょう。施工報告では「上越新幹線榛名トンネル」が掲載されておりました。今では死語とも言ってもいい「圧気工法」での施工報告の紹介でした。
- ◆ 222号で感じたことは111号に比べて紙質がよくなったと思いました。記事では山本稔先生の「ロックボルト」に関する論文が掲載されておりました。また、今では廃止されました「読者賞」の投票応募要項が紹介されておりました。
- ◆ 333号では当社の最寄り駅である「飯田橋駅」の記事が目にとまりました。現在の大江戸線(当時は地下鉄12号線)の施工報告で333号に合わせたわけではありませんが3連シールドの記事でした。
- ◆ 444号では本号でも執筆された方が執筆されておりました。長期間にわたり投稿いただきありがたく思いました。
- ◆ 次なるぞろ目の号は666号となります。該当号は2026年2月号です。どんな記事が載るか楽しみにしたいと思います。

(LY)

- ★ 購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください。
- ★ (一社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(一社)日本トンネル技術協会へご連絡ください。

## トンネルと地下

第47巻 第11号 (通巻555号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成28年10月20日 印刷

平成28年11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1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 1,620円(送料110円)  
(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

### 本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。  
TEL : 03-3267-2888

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

## トンネル二次覆工型枠総合メーカー

### 新しいタイプの覆工コンクリート養生システム

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

移動台車にて給水養生中      給水用分配盤

一歩前進! ~限りない未来への挑戦~

 **大栄工機株式会社**

本社 〒526-0842 滋賀県長浜市春近町90番地 TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765  
URL <http://www.daieikouki.co.jp/> E-Mail: [daiei-co@minos.ocn.ne.jp](mailto:daiei-co@minos.ocn.ne.jp)

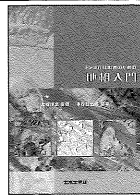
営業品目 各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売 ※詳しくはホームページを御覧ください

## 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。



### 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。



### 山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著  
3,200 円+税 B5 判

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



### 続きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著  
1,200 円+税 新書判

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



### わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修  
1,500 円+税 B5 判

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



### 建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著  
6,000 円+税 A5 判

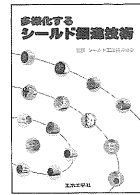
建設技術者に必要な地質・岩石・岩盤などの基礎知識と酸欠・有害ガス・ガス爆発・湧水などの建設災害について、著者の経験を交えながらまとめた。



### 多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修  
2,500 円+税 B5 判

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



### 地質工学概論

菊地宏吉 著  
4,757 円+税 B5 判

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



### 推進工法の理論と実際

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

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



### 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

### 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。



### シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編  
4,660 円+税 B5 判

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



### ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



### 山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 編  
14,573 円+税 B5 判

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



### ジオテクスタイル設計マニュアル

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

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



### 岩盤地下空洞の設計と施工

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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本事項について詳述した。



### 建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著  
4,300 円+税 A5 判

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



### トンネル工事の衛生と環境保全

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著  
3,200 円+税 A5 判

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



### 岩盤の計測と解析

鈴木 光 著  
4,200 円+税 A5 判

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



### わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著  
2,800 円+税 A5 判

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



### 海洋資源開発

稲田善紀 著  
3,400 円+税 A5 判

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



### トンネルと地下

1,500 円+税 B5 判 月刊(毎月 1 日発売)

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



### 書籍のお申し込み

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

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

**TKK**

# トンネル・地下工事で使用される 資・機材のリース・販売。 確かな技術と豊富な実績で 様々なニーズにお応えいたします。

東京機材工業は創業以来、国内外のプロジェクトにおいて資・機材の受注製作はもとより、各種多彩なリースや保守管理も担っております。ご要望や用途に応じた資・機材の検討から納品まで一貫体制をとっており、的確できめ細か、かつ迅速に対応できる体制を整えております。



バッチャープラント



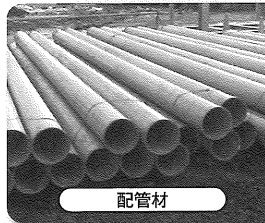
30tターンテーブル



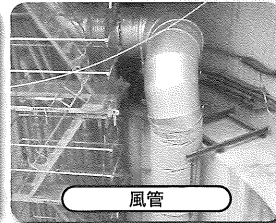
タイヤ泥落とし装置



トンネル  
支保工材



配管材



風管

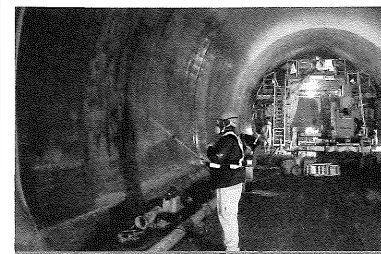
- 主な取扱商品**
- 受注製作品 支保工材、架設架台、鋼構造物、風管 他
  - リース商品 バッチャープラント、ターンテーブル、タイヤ泥落とし装置、水処理装置、配管材、汎用機材各種 他

全国7か所の機材センターから、必要なものを必要なタイミングで提供する体制を整えています。



**TKK 東京機材工業株式会社**  
<http://www.t-kizai.co.jp>

- |        |   |                                   |
|--------|---|-----------------------------------|
| 本社     | 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町1-9-12 共同ビル3階        | TEL 03-3245-1001 FAX 03-3245-0160 |
| 大阪支店   | 〒541-0042 大阪府大阪市中央区今橋3-2-20 洪庵日生ビル8階      | TEL 06-6121-6261 FAX 06-6121-6241 |
| 東北支店   | 〒980-0023 宮城県仙台市青葉区北目町1-18 ビースビル北目町4階     | TEL 022-738-7011 FAX 022-748-7881 |
| 九州支店   | 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前2-2-1 福岡センタービル8階   | TEL 092-432-0501 FAX 092-432-0504 |
| 名古屋営業所 | 〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-19-1 名古屋鴻池ビルディング13階 | TEL 052-228-6441 FAX 052-228-6442 |



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)

コンクリート打設前設・耐アルカリ性ガラス繊維ネット  
**ハイパーネット60**

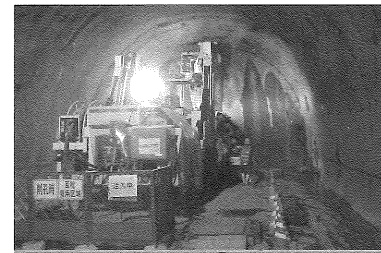
NETIS登録番号 SK-080003-V



コンクリート混入・コンクリート用膨張材  
**ハイパーエクパン**

NETIS登録番号 QS-020033-V

コンクリート収縮抑制



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                    | <b>太平洋アロフィクスMC</b>   |
|     | 瞬結工法用無機懸濁型<br>土質安定材・下水道止水材 | <b>太平洋アロフィクスMC2号</b> |
|     | 注入式長尺先受工法用注入材              | <b>太平洋スーパーハード</b>    |
| 裏込材 | 注入式長尺先受工法用注入材              | <b>太平洋スーパーファスナー</b>  |
|     | プレミックス裏込用充填材               | <b>太平洋フォルトカバー</b>    |

**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

# デンカのトンネル関連技術

おかげさまでデンカは昨年創立100年周年を迎えました。  
 私たちデンカのしごととは化学のチカラでさまざまな「できる」をつくりだすこと。  
 人に、社会に、世界に貢献するものづくり企業として次の100年へと前進していきます。

## デンカが誇る信頼の急結剤「デンカナトミック」

驚異の低粉じん吹付けが可能！

### 『デンカクリアショット工法』

KT-080020VR

- ・ハイブリッド急結剤により、「低粉じん」と「確かな初期強度発現性」を両立！労働環境、作業性、安全性が向上！
- ・再利用可能なリターナブルコンテナを使用するため、廃棄物削減による環境負荷を低減します！
- ・付着性が高く、跳ね返りが少ない！
- ・日本国内ですでに数十本ものトンネル工事現場で採用実績のある信頼性の高い吹付け工法です！

クリアショット吹付け状況（2ノズル吹付け）



写真提供：宮古盛岡横断道路 新区界トンネル工事

## 覆工コンクリートの品質向上技術

トンネル覆工ひび割れ抑制に

### 『デンカパワー-CSA TYPE-T』KT-130059A

- ・トンネル専用膨張材
- ・乾燥収縮、温度ひび割れ抑制に

後添加型中流動コンクリート混和剤

### 『ADVA-PLUS』JIS A 6204適合

- ・過大な粘性を与えることなく、分離抵抗性を向上します

『CSA』でひび割れ抑制



『ADVA-PLUS』を現場で投入



## その他 トンネル関連技術・製品

可視型はく落防止工法（NEXCO規格対応工法）

### 『NAV-G工法』KT-100023A

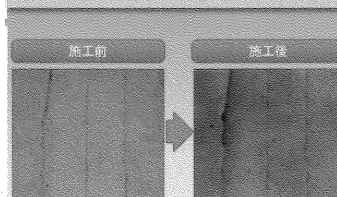
- ・アクリル系樹脂の特徴である速硬化性、低温硬化性で、寒冷地、時間制限のある工事で工期の短縮が可能
- ・透明度の高いFRPを形成し、施工後も目視観察が可能

トンネル中央排水工・裏面排水工 コルゲート管

### 『トヨドレン』

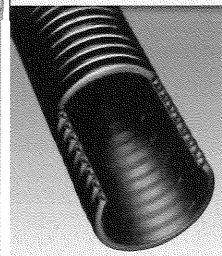
- ・ポリエチレン樹脂製で腐食に強く耐衝撃性に優れます

『NAV-G工法』可視化技術



繊維シート貼付け後も、  
ひび割れの経過観察が可能です

トヨドレン

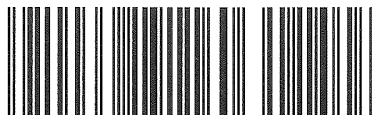


できるをつくる。 **Denka**

デンカ株式会社  
 東京都中央区日本橋室町2-1-1 日本橋三井タワー  
[www.denka.co.jp](http://www.denka.co.jp) Tel: 03-5290-5358

定価 1,620円  
 本体価格1,500円

雑誌06619-11



4910066191160  
 01500