

トンネルと地下 **3**

vol. 47
no. 3
2016

Tunnels and Underground

先進導坑を用いた小土かぶり未固結地山における扁平大断面トンネル
DO-Jet工法による既設下水道管の防護および基礎杭の切断・除去
路面隆起が徐々に進行するトンネルの変状調査と再現解析
繊維補強吹付けコンクリートの現状と課題(1)
設立40周年記念若手技術者座談会(2)

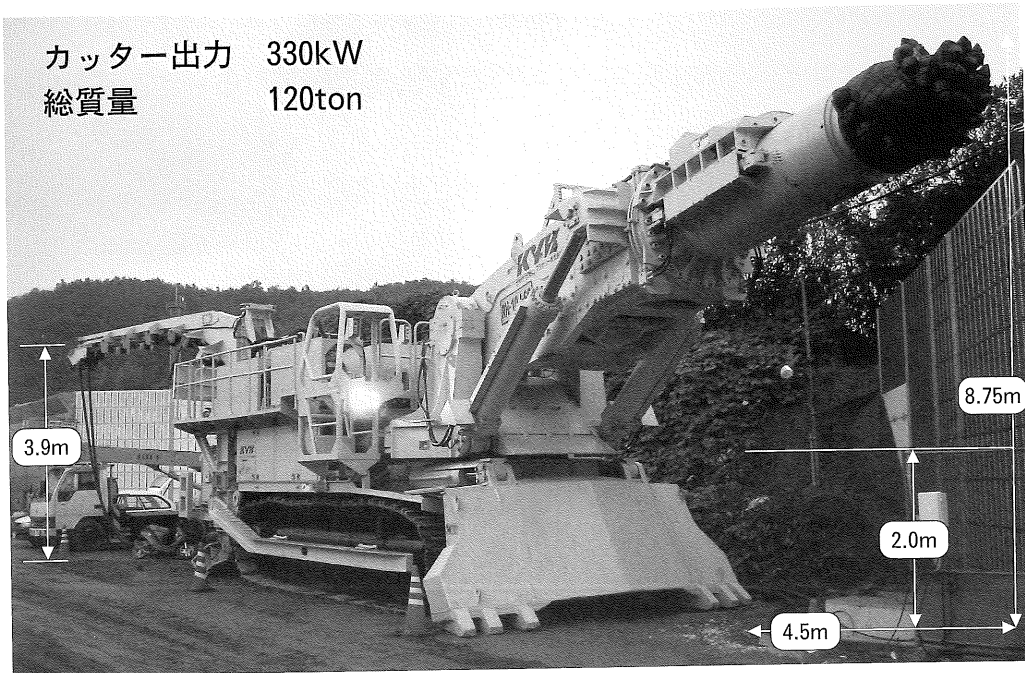
日本トンネル技術協会誌



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9.1m
- ・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 千105-0012 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 千252-0328 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 千564-0063 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 千812-0013 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 千514-0396 三重県津市雲出長常町 1129 番地 11 TEL 059-234-4111
 三重工場

NETIS

国土交通省 新技術活用システム
登録番号: TH-100024-A

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

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO 240
イダスコ・ニーヨナル

e-DUSCO 270
イダスコ・ニーナナル

たった37kWで
2750m³/min

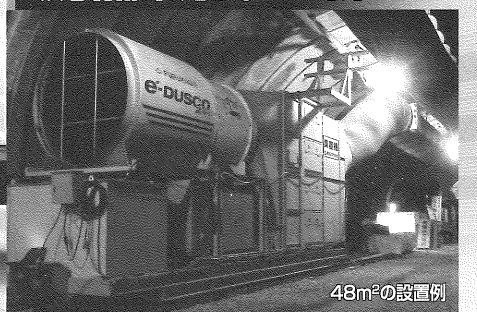
新版・換気技術指針でも**全ての断面、全ての延長**に対応。

**全てのトンネルに
適用可能!**

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



吸引捕集方式にも対応



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-E	FTE2700-E
集じん装置の容量	1800・2100・2400m ³ /min 任意設定の4モード	1800・2100・2700m ³ /min 任意設定の4モード*
全長*1	7411mm (サイレンサー含む)	
全幅	2350mm	
全高*2	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*3	2.4m ³ /回	
捕集ダスト処理	湿式	
集じん効率*4	95%以上	93%以上
吸引捕集方式	対応可	

※1 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 台車の高さは含まれません。※3 機種により多少異なります。
 ※4 JIS Z 8808 並びに 換気技術指針 (H24.3) に定める試験方法に基づき測定した値です。※5 任意設定にて2,750m³/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 千100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3 第三営業部 ☎03-3212-6575
 大阪支店 ☎06-6344-2532 名古屋支店 ☎052-561-4580 札幌支店 ☎011-784-1179
 東北支店 ☎022-221-3532 九州支店 ☎092-741-5193 小浜工場 ☎0285-23-8662

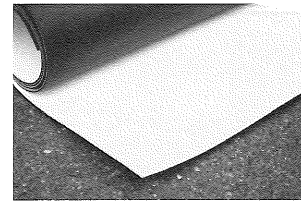
ウォータータイトトンネル 防水システム



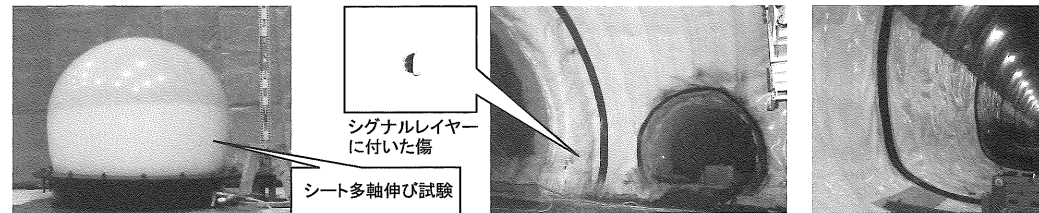
非排水型防水システム用メンブレン
KFCタイトライナー

シート防水材

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



シグナルレイヤー付防水シート



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

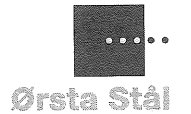
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

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

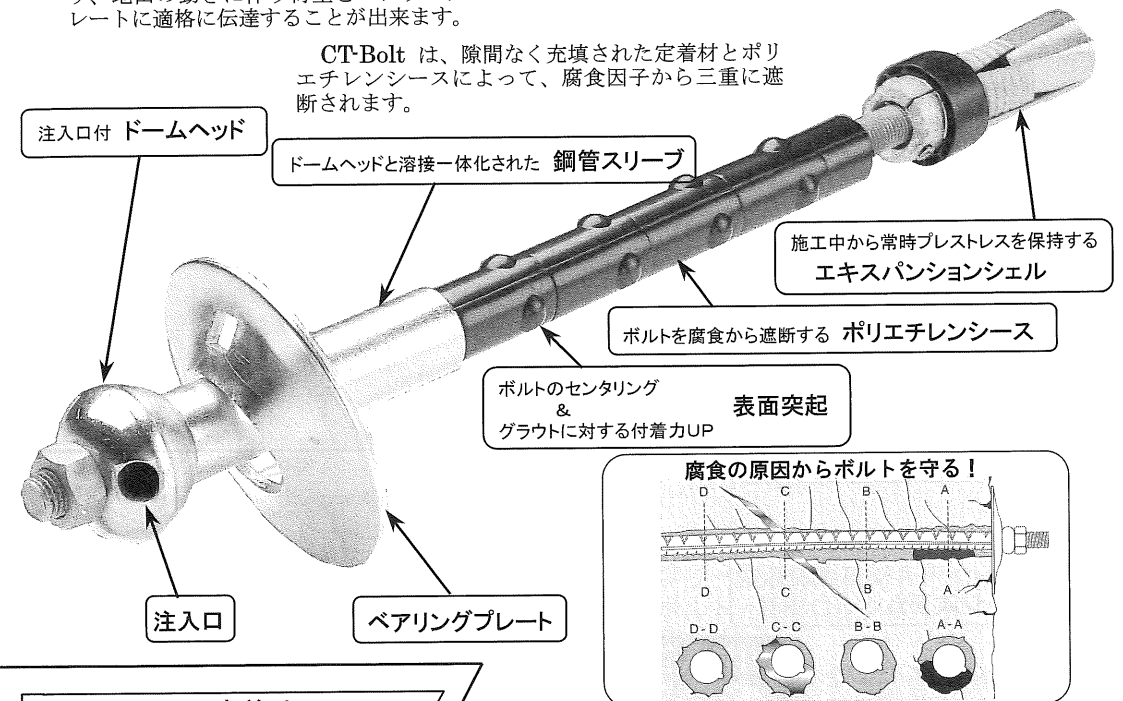
CT-Bolt



通常施工により超長期支保

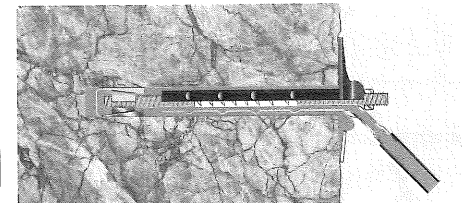
CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適格に伝達することが出来ます。

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す。グラウトはポリエチレンスリーブ内に充填された後、先端部から孔壁とスリーブの間を充填して戻り、リターンによって全面定着が確認出来ます。

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。

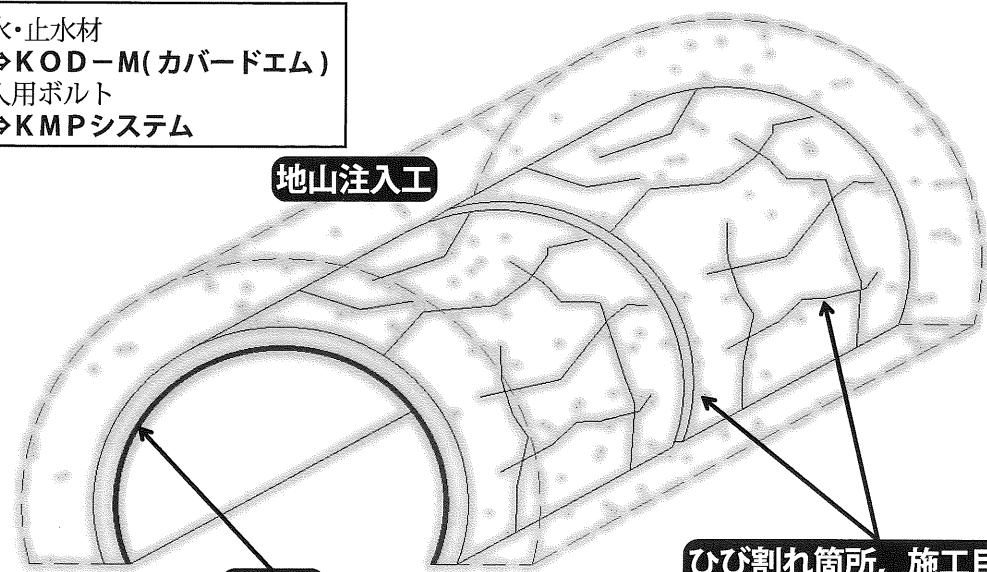
一方、老朽化してきている既設トンネルにおいては、適正に維持管理をし延命化するための補修、補強工事が行われています。これらに対応して、当社の樹脂系注入材の豊富なノウハウと技術力を活用して、既設トンネル補修、補強工事に適する樹脂系材料「Kシリーズ」を開発しました。

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

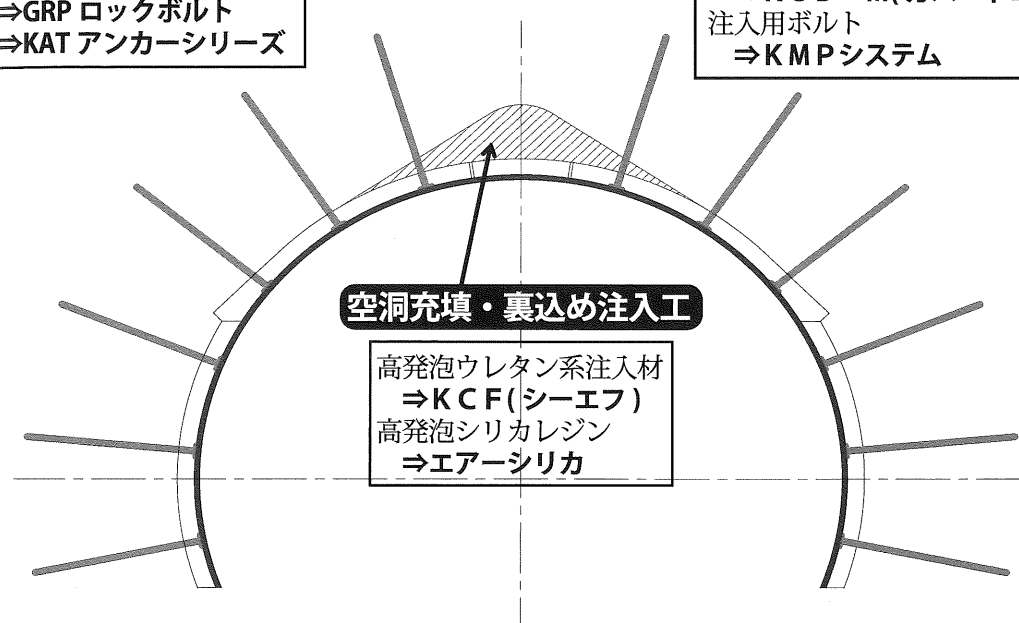
ウレタン系ロックボルト定着材
⇒KUF(クフ)
⇒高強度シリカレジン(SRC)

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

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

関西営業所

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

九州営業所

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

北海道地区(株)エイチ・アール・オー)

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

コンクリートの劣化、欠陥箇所の改修、補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



〈工期短縮，即日仕上り〉

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

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

エアモルタル裏込め注入……

エスコート L&K 起泡剤

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



◆ 土木資材の総合プランナー ◆



株式会社 **マイール**

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

最新型・電気集じん機

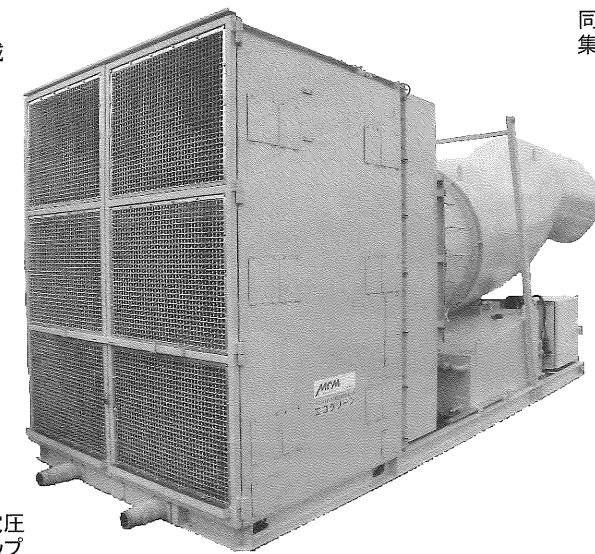
エコクリーンX

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

少ない消費電力
同クラスのフィルター方式
集じん機に比べおおよそ1/4



処理風量
750m³/minから3000m³
/minまで製作実績あり

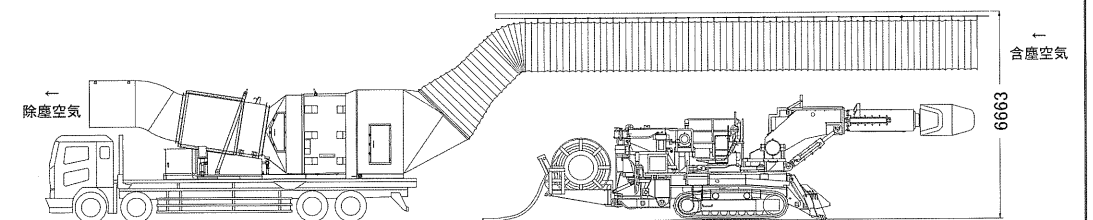
コンパクト
同クラス集じん
機の中で最小

貯水タンク
自動洗浄が
随時可能

高圧電源分割
集じんユニット毎の個別電圧
印加により集じん効率アップ

オプション
自走クローラ台車
自走ホイール台車
伸縮風管...etc.

伸縮風管(軽量型Φ1500,Φ1600製作実績あり)



伸縮風管接続例

弊社では「エコクリーンX」以外にTBM用吹付け「サブショットシステム」等、多様なトンネル工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：愛知県名古屋市長区植田東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

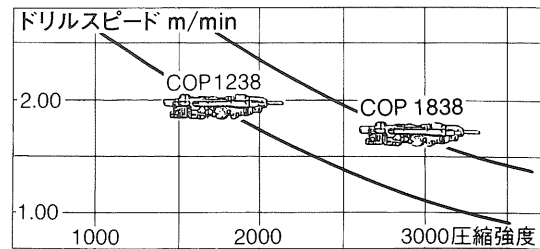
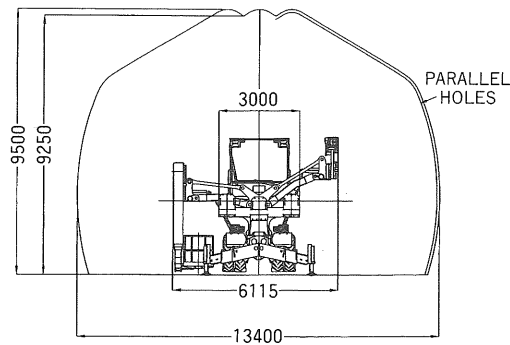
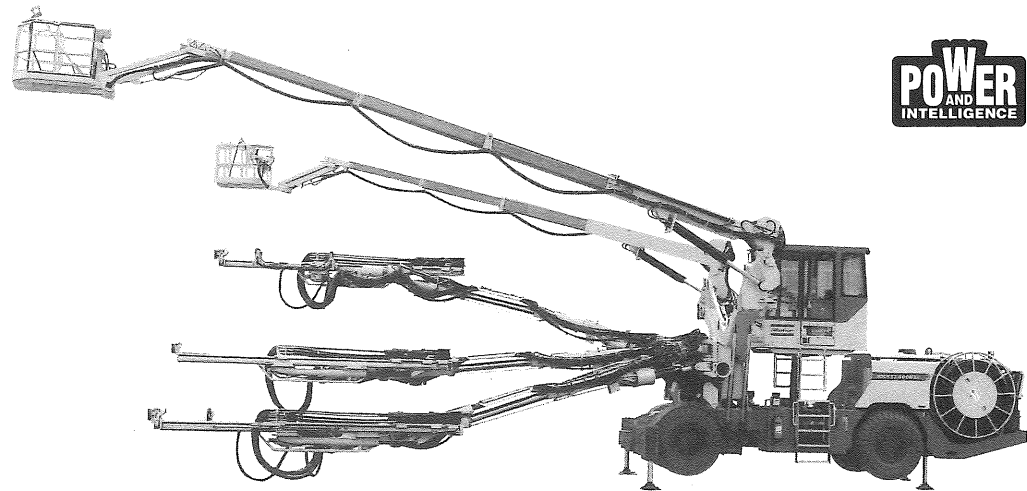


アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B

COP1838油圧ドリフター搭載

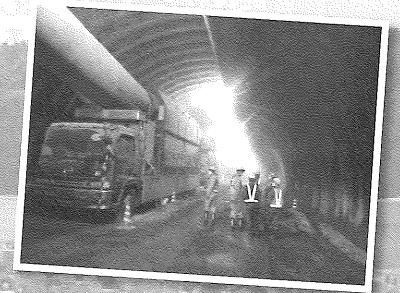
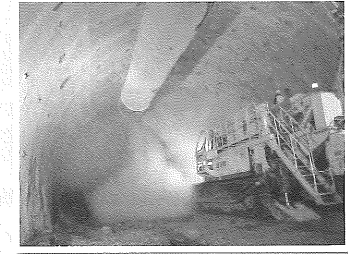
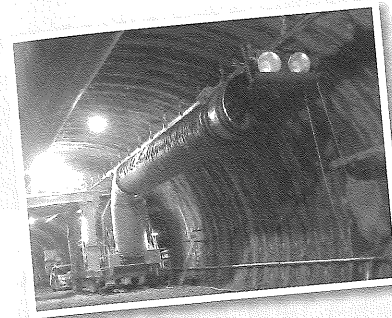
3ブーム・2バスケット



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



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

いままでにない技術。いままでにない挑戦。

なんとかする力

「トンネル環境」のトータルソリューションは当社へお任せください。



1977年創業から、平素よりお世話になっております。
 2014年10月、39期より西村司が代表取締役社長に就任し、新しい「風」とともに全社員一丸で邁進しています。
 手に握めない「流」体を「機」械で「エンジニアリング」する会社として、様々な分野の「最適環境の創造」をして参ります。

最適環境を創造する
株式会社 流機 エンジニアリング

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

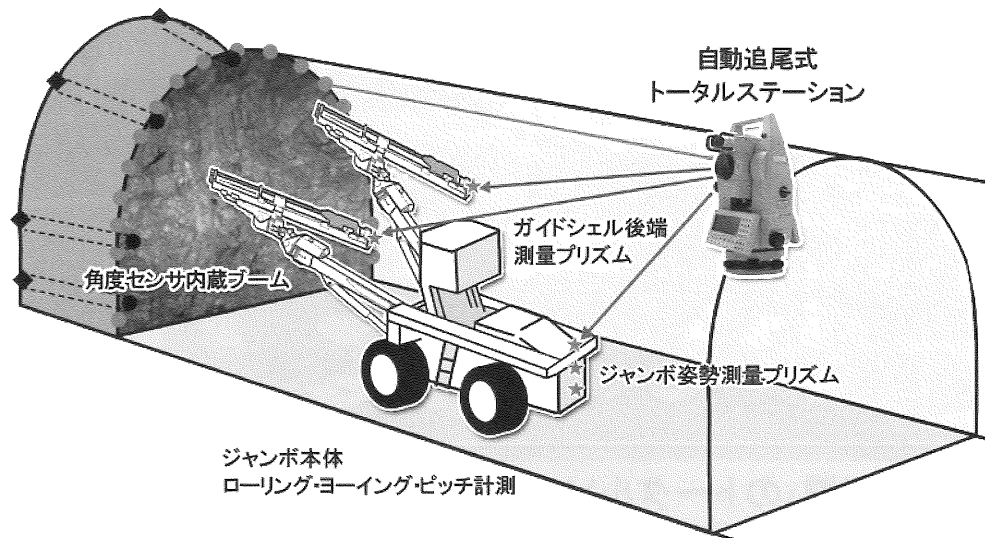


NETIS登録番号:KK-10049-A

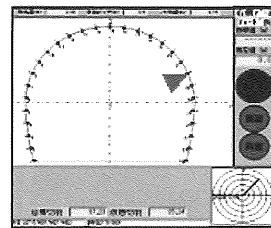
自動追尾式余掘り低減システム

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、外周装薬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

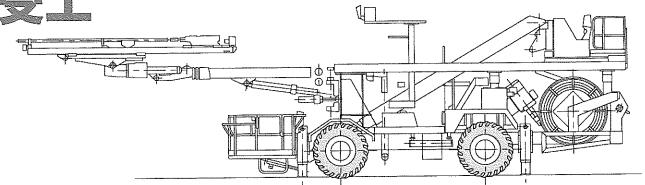
〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3 特機部

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

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

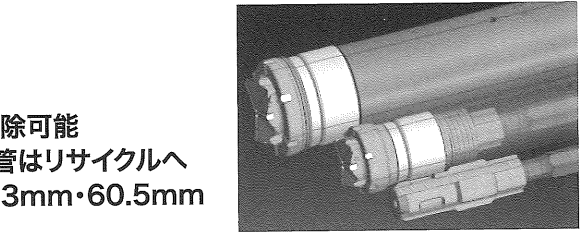
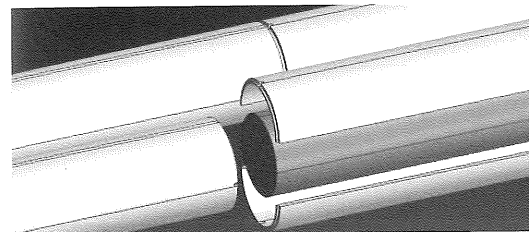
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



AGF-Me工法

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

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



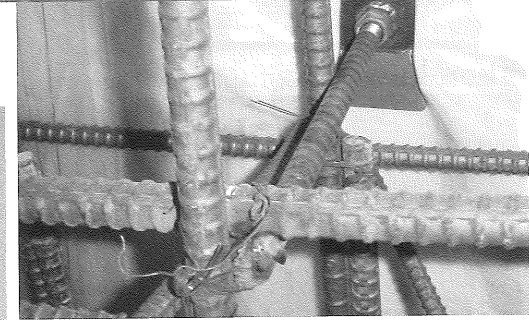
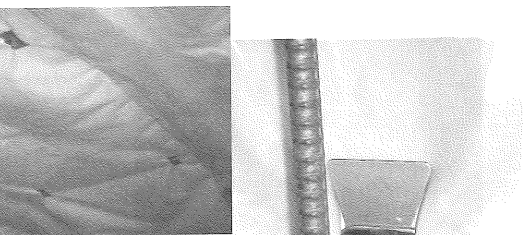
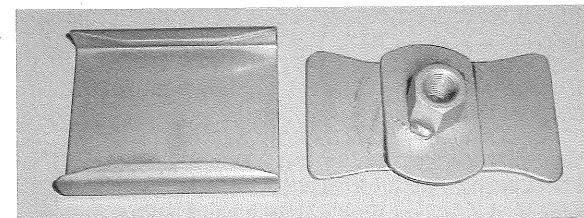
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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



東邦金属株式会社
TOHO KINZOKU Co., LTD

営業部

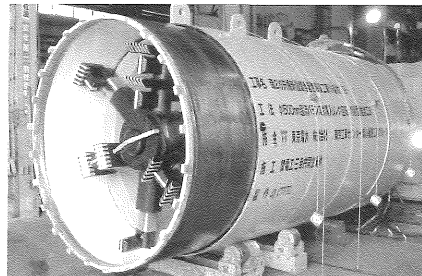
〒541-0051
大阪府大阪市中央区備後町2-4-9 日本精化ビル 2階
Tel: 06-6229-9881 Fax: 06-6229-8150
URL: <http://www.tohokinzoku.co.jp>

株式会社 トーキソール

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

超流バランスセミシールド工法 超流セミシールド協会

貫入リング押出し回転切削型接合法



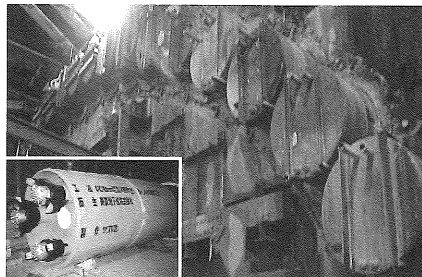
φ1500mm 貫入リング回転切削型掘進機 (接合切削時)

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

貫入リング回転切削型接合法の特徴

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

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法



φ1016mm鋼管対応リターン回収機能付掘進機

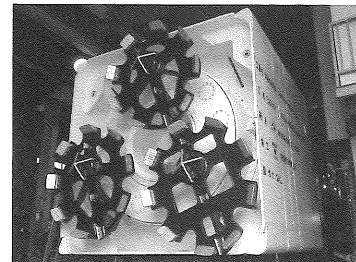
- ① 地下水位以下の施工が可能
- ② 高水圧対応
- ③ 長距離・曲線施工
- ④ 到達立坑不要

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法の特徴

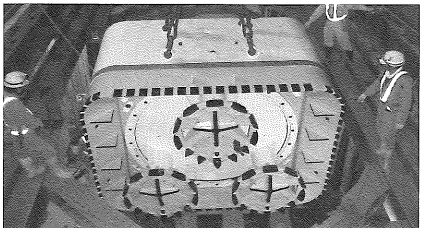
- JIS鋼管φ812～φ1216に対応可能(角鋼管も対応可能)
- 密閉型掘進機のため、高水圧下においても施工可能
- 長距離・急曲線推進が可能
- 軟弱層～粘性土層～硬質土層に対応可能
- 到達回収立坑がない場合でも、迅速な引き戻し回収が可能

ボックス推進工法 ボックス推進工法協会 NETIS QS-100019-A

多軸自転・公転掘進機 (内空寸法□3000×3000)



多軸自転・公転掘進機 (内空寸法□2800×1800)



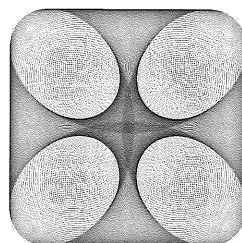
- ① 経済性
- ② 工期短縮
- ③ 狭路施工技術
- ④ 地表面への影響低減
- ⑤ 短距離からの施工

ボックス推進工法の活用例

- 電力函路や通信函路の構築
- 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**

ALCIVIL

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

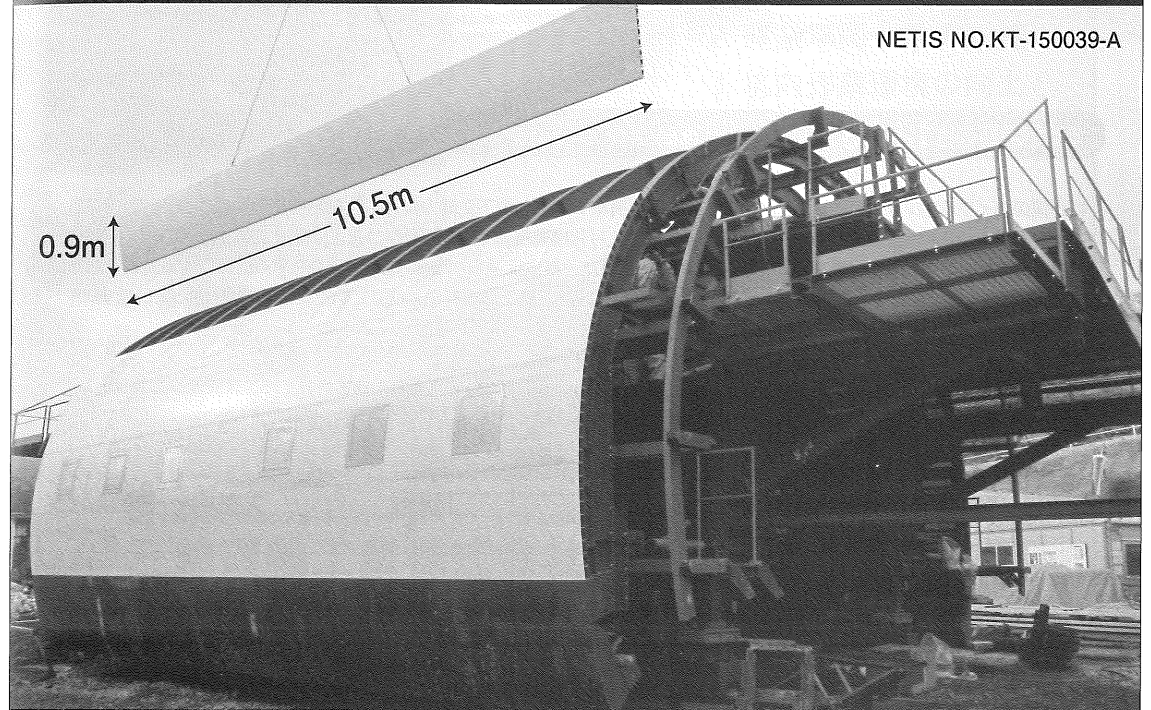
建設コンサルタント登録番号: 建23第8677号
 測量登録番号: 登録第(2)-30507号
 建設許可番号: 国土交通大臣許可(特-23)第19193号

※各工法協会会員名簿については、ホームページをご参照下さい。

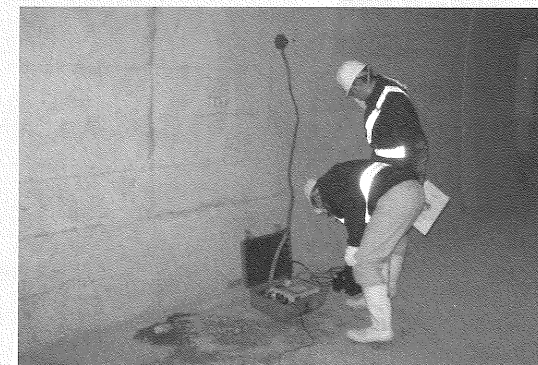
NEW

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



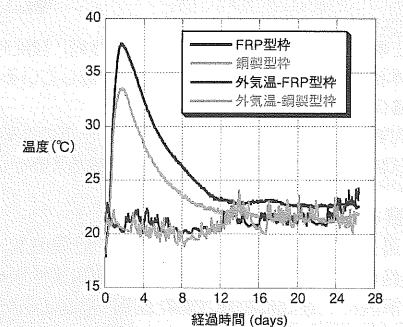
透気試験実施



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、横アジタ 古江トンネル南にて測定]



◎3～4℃の保温効果により、コンクリート強度が15～20%向上

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

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

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CO₂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/>



お問い合わせ先

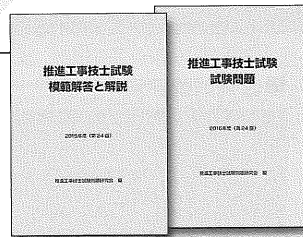
月刊推進技術 編集室
<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/>

〒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14年間(平成14~27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利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

各年度単位に 1set 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

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

これらのことをインターネットでご案内しています。

株式会社 LSプランニング
http://www2.ocn.ne.jp/~ls_siken/

〒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

お問い合わせ先

MIWA K-40N KIRUNA

K-40Nトンネルズリ運搬車

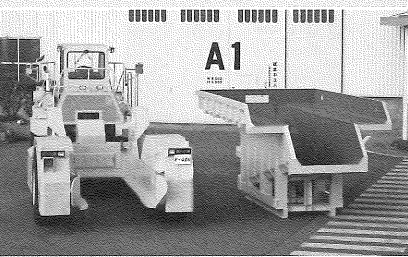
オフロード法 2014年排出ガス基準適合エンジン搭載車



最新型コンテナ式運搬車

特徴

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

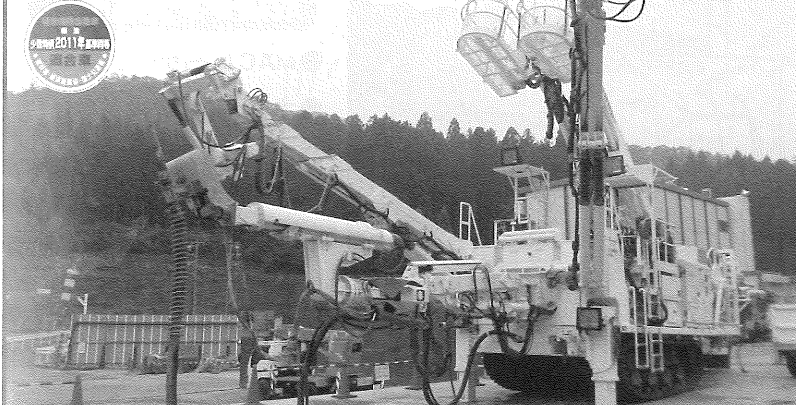


流れすみやかに! トランスポート・イノベーション ミワ・システム車両

MIWA 三輪運輸工業株式会社

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

ゴムローラ式エレクトラ付 コンクリート吹付システム 『新型スコーピオン NSCP1-TN』



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

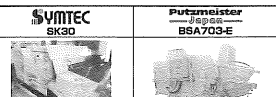
項目	仕様	項目	仕様	項目	仕様
1 寸法	全長 13485 mm 全幅 2375 mm 全高 4200 mm	2 作業機	※ 所選機種 ※ 吹付機種 ※ 吹付機種(上下) ※ プーム原形機(変形) ※ プーム原形機 ※ プーム原形機(変形) ※ プーム原形機	3 仕様	172 mm 2950 mm 300 mm 42 mm 1600 mm 120 mm 390 mm 1300/600 mm 45-50 mm 55-64 mm 3810 mm
4 吹付機種	※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita	11 エレクター	※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita	12 コンクリート	※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita
5 吹付機種	※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita	13 コンクリート	※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita	14 コンクリート	※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita
6 吹付機種	※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita	15 コンクリート	※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita	16 コンクリート	※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita ※ 10000 Kunita

T&M

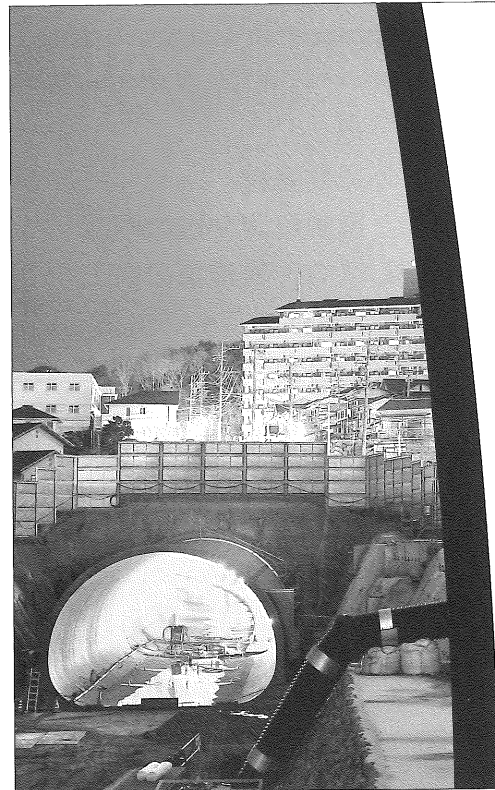
Tunnel & Mining
ニシオティーアンドエム株式会社

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
- 北海道営業所 TEL:0133-72-3715
 - 東北営業所 TEL:0197-71-2405
 - 東日本支店 TEL:0268-62-1426
 - 浜松営業所 TEL:0538-66-0166
 - 西日本支店 TEL:072-677-2101
 - 九州支店 TEL:0982-26-2111
 - 福岡営業所 TEL:092-976-6331



トンネルの掘削や管渠の敷設において、より効率的に掘削したコンクリートポンプの選択が可能です。... (text continues)



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eDevll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を出せるかについて orica.com/edevll にアクセスしてeDevll Case Studyのビデオをご覧になって下さい。

orica.com

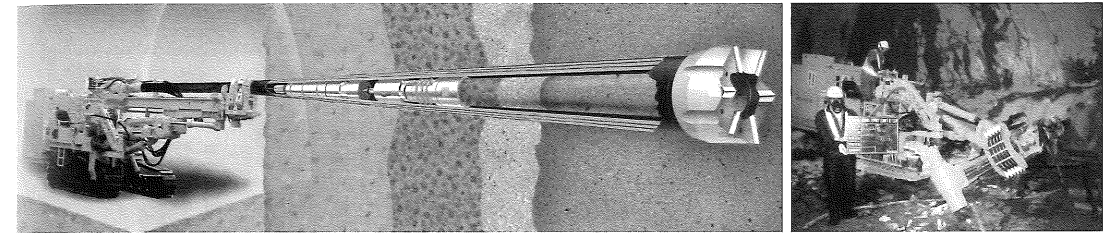


トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法

■断層破砕帯や湧水をとまなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実にこなえ、施工時間が大幅に短縮できます。

■2重管ワイヤーラインサンプリングシステムにより、地質条件にかかわらず、コアサンプルの採取率が従来と比べて大幅に向上しました。



KOKEN 鉦研工業株式会社

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

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

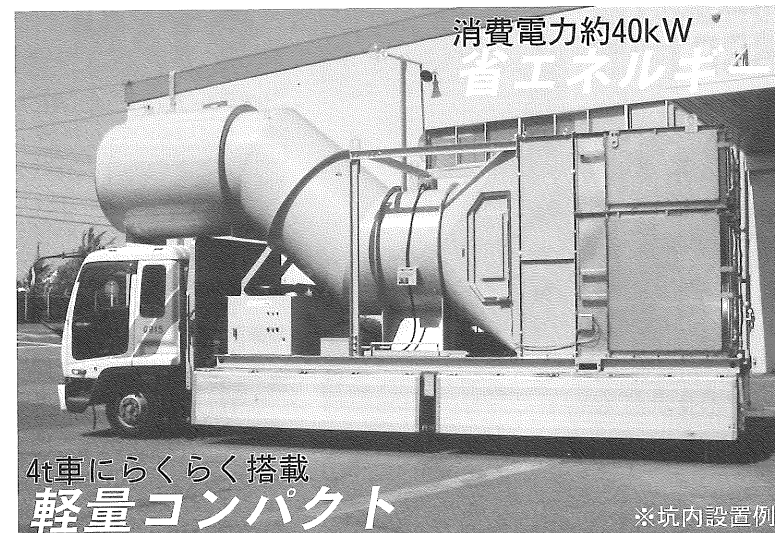
<http://www.koken-boring.co.jp>

北海道支店: (011) 561-4961
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



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 (2,000m³/minタイプ)



取扱レンタル商品

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

株式会社 レント

特機営業課 担当者 工藤

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

URL: <http://www.rent.co.jp> E-mail: kudo.yuji@rent.co.jp



道路, トンネル設計 (本体工, 換気, 防災, 照明, 施工管理他)

トンネル現場診断

(社) 建設コンサルタンツ協会会員 ISO9001取得

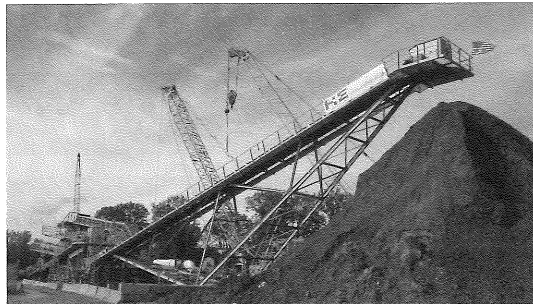
株式会社 ロード・エンジニアリング

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

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

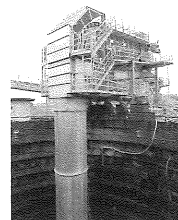
HE
H+E LOGISTIK GMBH

Clever Conveying



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

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



H+E Logistik GmbH
日本代理店



山崎マシーナリー株式会社

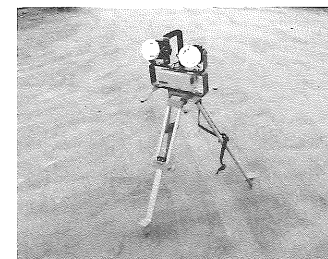
担当：富樫

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

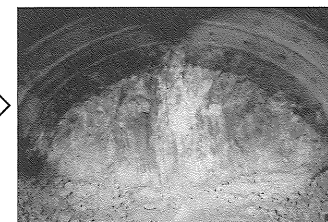
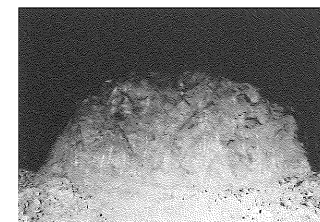
充電式 強力LED投光器：セフティーライト

重量5.5kgと軽量で持運びが容易に出来ます。充電式で煩わしい配線が不要。いつでも何処でも使用出来ます。全光束2500lm、7時間点灯、2灯式で広範囲を照らせます。

- ・切羽立会い時（岩判定）の補助照明として。
 - ・切羽写真撮影の補助照明として。
 - ・発電機、電源の確保が難しい場所での照明として。
- トンネル現場における様々なシーンで活躍しています。



※デモ機の貸出し致します。是非一度お試しください。



《取り扱い商品》

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



《問い合わせ先》

株式会社アローズ 代表取締役佐川和矢
Mobile: 080-1604-1097 (365days 24h OK)
〒168-0064 東京都杉並区永福2-36-4-107
TEL: 03-3327-7089 FAX: 03-6800-2163
E-mail: k.sagawa@arrows-sgw.com
URL: www.arrows-sgw.com

VOLVO 建設機械

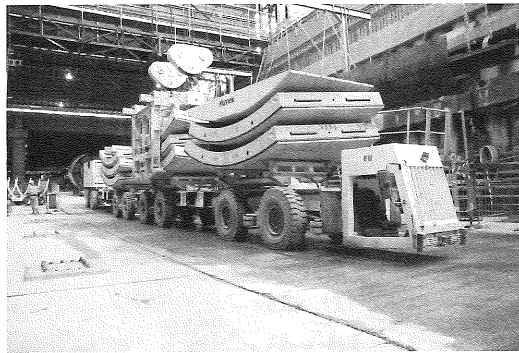
高い作業性とクールなデザインが人気
年々強化される排ガス規制にも対応



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

TMS Techni-Métal Systèmes

多目的運搬台車
4次オフロード法取得 レールからの解放



TMS社 日本代理店
担当：富樫



山崎マシーナリー株式会社

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

好評発売中

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(断層削剥地形) / 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

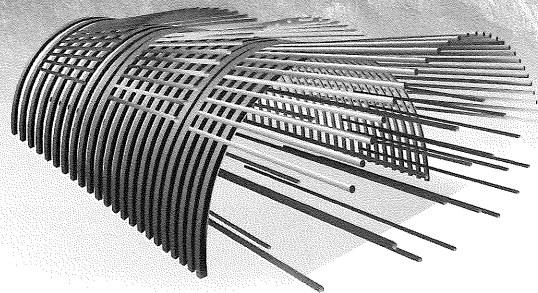
お申し込みは当社へ FAX, または、お近くの書店にてお申し込みください



株式会社 **土木工学社**

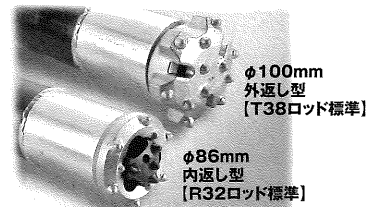
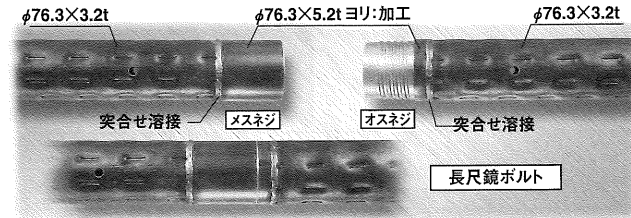
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町 16 メイジャー 神楽坂
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807

ユニークな発想でVEを提案



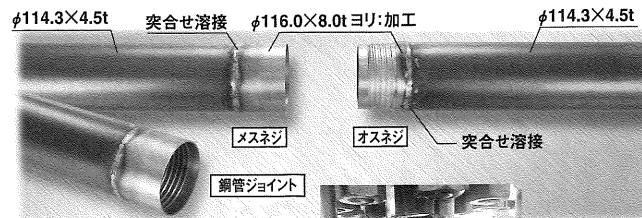
ストロング FIXチューブ(S型)

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

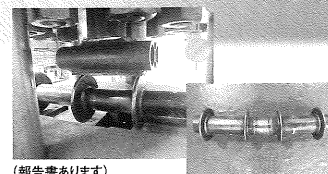


AGF-STD工法

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



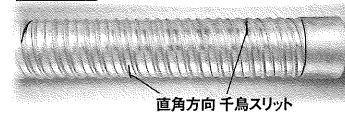
曲げ耐力30%UP!!



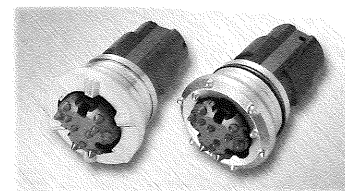
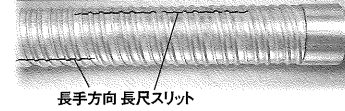
接続部の抗折力試験

撤去管の選択

標準タイプ



解体分別タイプ



STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リンクビット径
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

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



エステ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 m³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

首都圏のシームレスな料金の導入と環状道路整備

遠藤 元一 5

■座談会

設立40周年記念若手技術者座談会(2)

暮らしを支え、夢を叶えるトンネル・地下空間—若手技術者トンネルの未来を語る

JTA 設立40周年記念事業実行委員会催物企画等ワーキング 53

■報告

繊維補強吹付けコンクリートの現状と課題(1)

JTA 技術委員会山岳工法小委員会支保ワーキング 45

■計画

路面隆起が徐々に進行するトンネルの変状調査と再現解析

—磐越自動車道 鳥屋山トンネル—

宮沢 一雄・安田 賢哉・菊池 慎司・鶴原 敬久 33

■施工

先進導坑を用いた小土かぶり未固結地山における扁平大断面トンネル

—国道1号笹原山中バイパス1号トンネル—

若林 宏彰・佐溝 健治・山本 雅広・野田 佳彦 7

DO-Jet工法による既設下水道管の防護および基礎杭の切断・除去

—東京下水道 新宿区河田町, 市谷本村町付近再構築—

武山 信幸・中條 明彦・川元 克哉 19

■連載講座

トンネル新技術への挑戦(4)

—超長尺コントロールボーリングFSC-100—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 63

■現場だより

「奇岩と紅葉が彩る絶景」中津市耶馬溪より

平野 啓一 18

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

シールド技術の進展とともに歩んだ土木屋の道

吉成 寿男 25

■資料

土木情報

編集部 32

工法・技術・製品ニュース

編集部 62

トンネルジャーナル

編集部 44

トンネルワールドニュース

JTA 国際委員会 73

■会報

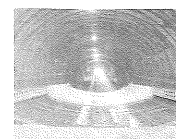
会報

日本トンネル技術協会 77

【表紙説明】

先進導坑を用いた小土かぶり未固結地山における扁平大断面トンネル

—国道1号笹原山中バイパス1号トンネル—



笹原山中バイパス1号トンネルは、軟弱なローム層や火山礫凝灰岩が分布する未固結地山を、最大土かぶり8m、仕上り内空断面積126m²、延長79mの扁平大断面で掘削するため、地表面沈下を最小限に抑えることが求められた。そのため、地質調査を兼ねた先進導坑を掘削し、本坑拡幅時には長尺鋼管先受け工および早期断面閉合を行いながら掘削を完了した。写真は、インバート鉄筋組立て状況である。

〔写真提供：国土交通省〕(本文7頁参照)

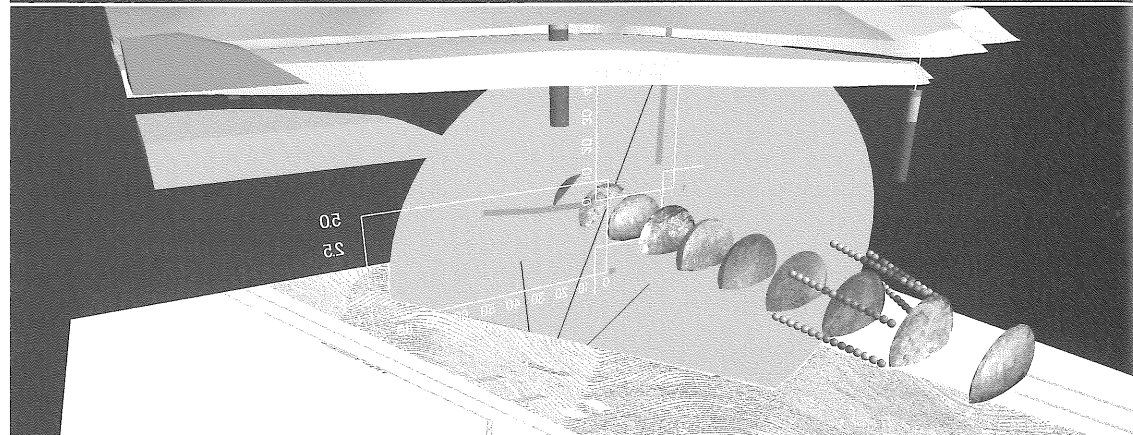
ヤマモト **くがんき** 無騒音 無振動 静かな破碎 超大型油圧破碎機 **YTB 1120** **トンネルビッカー**

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)

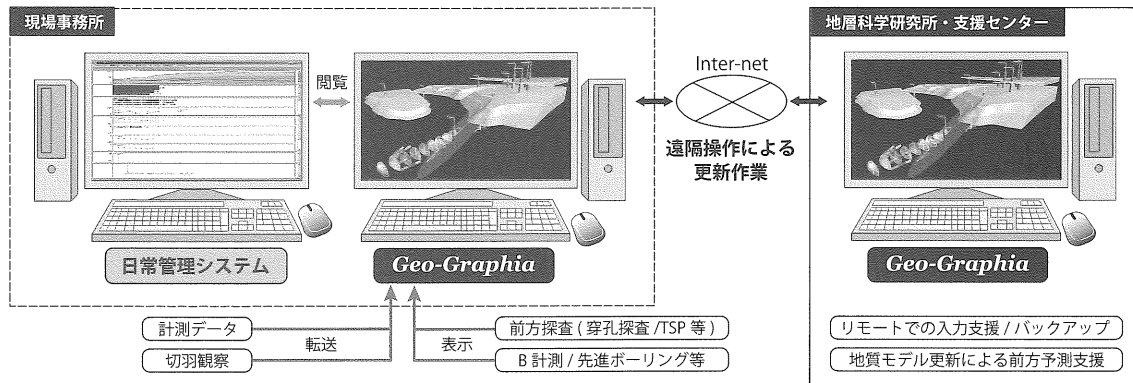
工場 広島県庄原市東城町川西424-1 ☎ (08477)2-2137(代)

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)

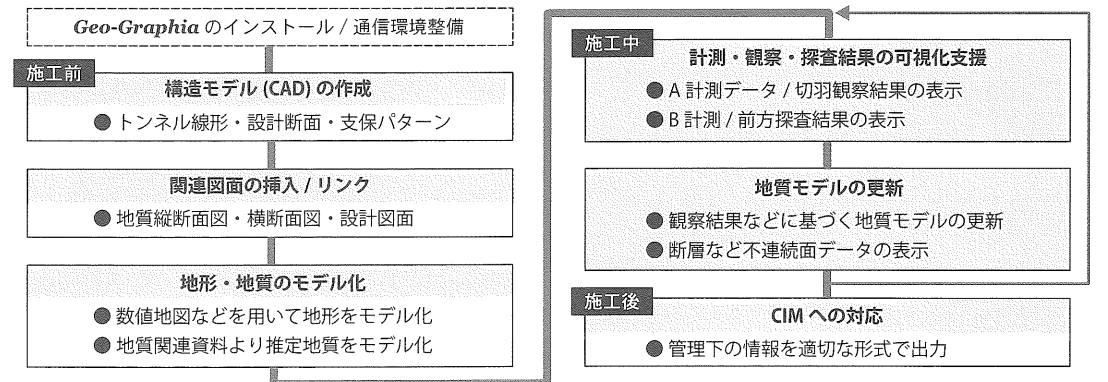
Geo-Graphia® を活用したトンネルの情報化施工支援



技術者の意思決定を支援 ▶▶▶▶ 3次元可視化により現状の迅速な把握を可能に



情報化施工支援センター ▶▶▶▶ 初期モデルの作成や施工中のモデル更新などをお手伝い



<http://www.geolab.jp/> お問い合わせは chisouken@geolab.jp



株式会社 地層科学研究所

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

Geo-Graphia
特設サイトは
こちらから→



総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

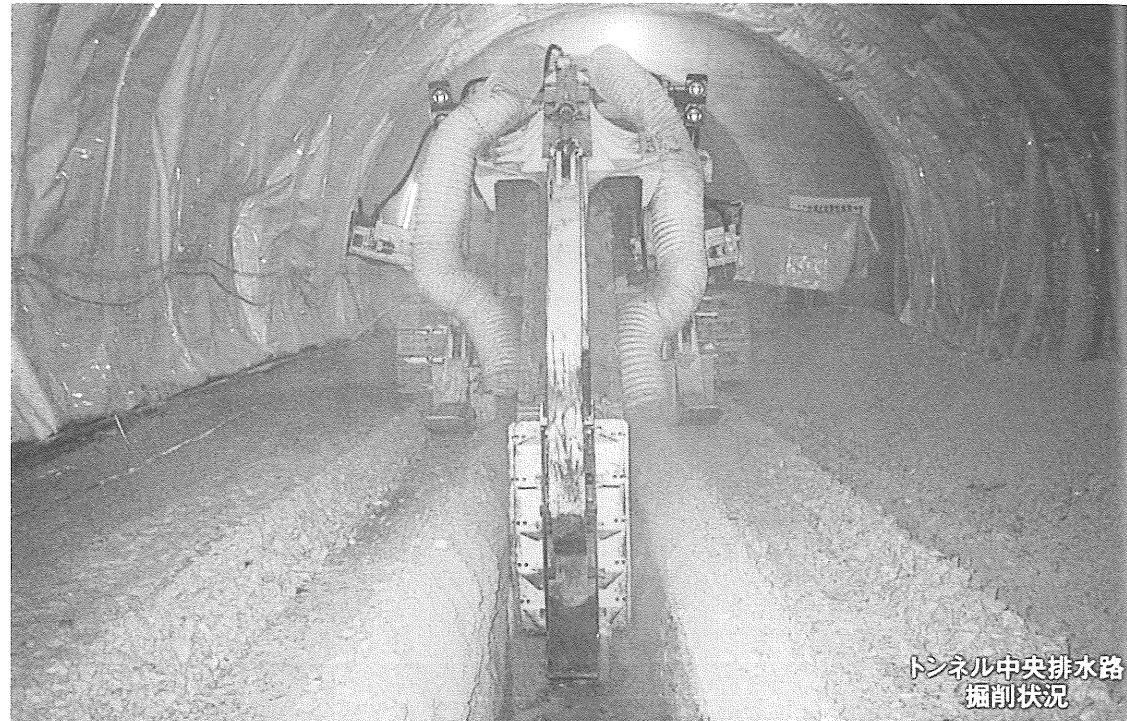
小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

〔幹 事〕

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

トレンチャー

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路掘削状況



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 cm	60	75	90
掘削岩の硬さ(最大)	500kg/cm ²	700kg/cm ²	800kg/cm ²
重量 t	36	40	40
長さ m	13.0	10.8	11.2
幅 m	2.5	3.2	2.67
高さ m	3.30	2.86	3.41
エンジンの出力 PS	300	402	350

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

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	松 浦 将 行 地方共同法人日本下水道事業団理事
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	山 田 隆 昭 東日本高速道路(株)参与(シニアエキスパート)
今 田 徹 東京都立大学名誉教授	

〔委員〕

家壽田 昌 司 東京都下水道局建設部設計調整課長	真 下 英 人 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部長
清 水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長	八 木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当) 道路研究部トンネル研究担当部長
谷 内 雅 之 東京都交通局建設工務部計画改良課長	焼 田 真 司 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室長
中 谷 誠 一 東京都水道局建設部工務課長	山 本 武 史 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐
沼 田 敦 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 技術基準担当課長	綿 引 秀 夫 東京電力株式会社パワーグリッド・カンパニー 工務部管路・土木技術担当

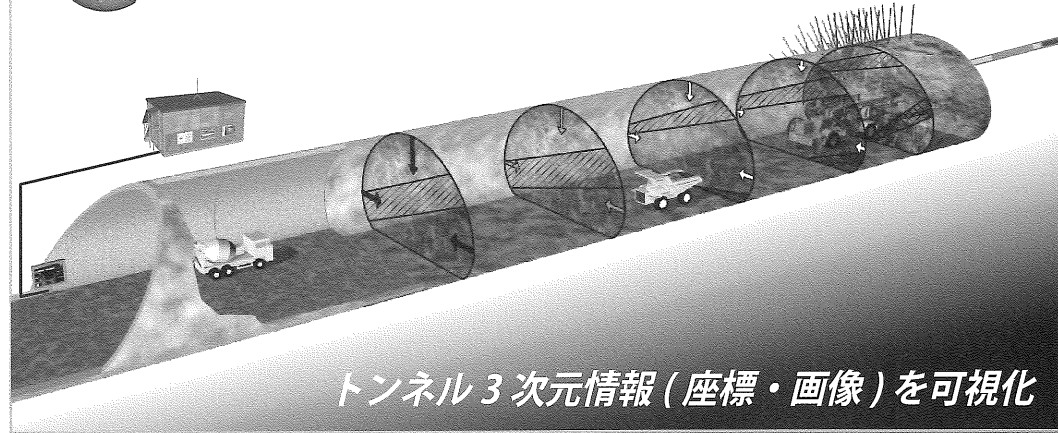


●本社/営業部 〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484
☎(026) 213-7024(代) FAX(026) 282-5803 <http://www.wkk.co.jp/>

トンネル CIM



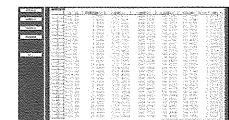
3D可視化プラットフォームによる CIM Communication (情報共有・一元管理)



トンネル3次元情報(座標・画像)を可視化

基礎資料の収集

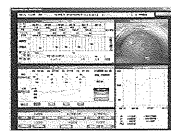
モデル作成に必要なデータや管理したい調査データを収集します。



線形情報(設計)



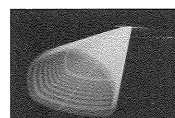
支保パターン情報(設計)



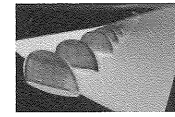
CyberNATM

① 初期モデルの作成

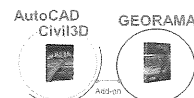
基礎資料をもとにCivil3D/GEORAMAを利用してモデル化を行います。



初期構造モデル



初期地盤情報モデル

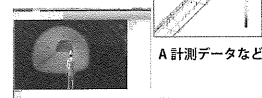


② 施工モデルの作成

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



観測データ



A計測データなど



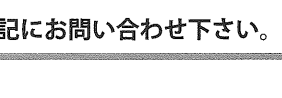
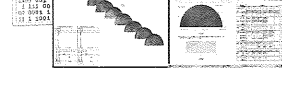
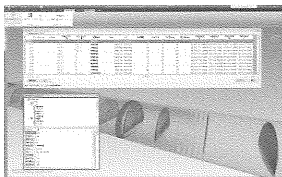
CyberNATM



Navisworks Navis+

③ 維持管理モデル

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



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



株式会社 演算工房

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

トンネルと地下 VOL.47 No.3 掲載概要

掲載頁
7

先進導坑を用いた小土かぶり未固結地山における扁平大断面トンネル —国道1号笹原山中バイパス1号トンネル—

(株)鴻池組 若林 宏彰

笹原山中バイパス1号トンネルは、最大土かぶり8m、仕上り内空断面積126m²、延長79mであり、軟弱なローム層(N値10以下)や火山礫凝灰岩が分布する小土かぶり未固結地山に、扁平大断面トンネルを掘削するものである。また、本トンネルは史跡山中城跡に近接し、遺跡であるラオシバ曲輪直下に位置するため、史跡保全と歴史的景観保持への配慮から、とくに地表面沈下を最小限に抑えることが求められた。そのため、はじめに地質調査を兼ねた先進導坑掘削、本坑掘削時には、長尺鋼管先受け工および早期断面閉合を行いながら掘削を完了した。

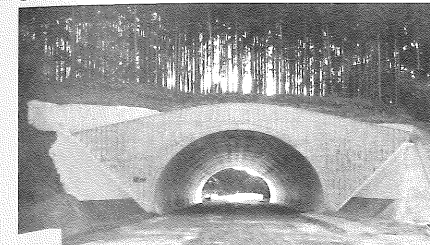
本稿では、この特殊な条件下でのトンネル掘削状況と実施した計測、FEM解析(順解析および逆解析)結果について報告する。

Flat Large Cross-Section Tunnel Built Shallowly in Unconsolidated Ground Using an Advancing Drift—National Route 1 Sasahara-Yamanaka By-pass Tunnel No.1—

By Hiroaki Wakabayashi, Konoike Construction Co., Ltd.

The Sasahara-Yamanaka By-pass Tunnel No.1 has maximum depth of 8m, a completed inner section area of 126m² and length of 79m. Its construction plan is to shallowly excavate a large, flat cross-section tunnel in unconsolidated ground in which lapilli tuff and soft loam (Their N-value are less than 10) distributed. In addition, as this tunnel is adjacent to the historic site of Yamanaka Castle ruin and is directly under the remains of Raoshiba Kuruwa, it is required that surface settlement in particular is kept to a minimum when considering the conservation of ruins and the maintenance of the historical aspect. For this reason, at the beginning advancing drift was excavated in part as a geological survey. Reaming was conducted with the forepiling and early-building invert concrete to finish boring.

This report contains information on tunnel excavation status and measurement results taken under these special conditions and the results of FEM analysis (general analysis and back-analysis).



写真は本坑完成状況

掲載頁
19

DO-Jet工法による既設下水道管の防護および基礎杭の切断・除去 —東京下水道 新宿区河田町、市谷本村町付近再構築—

東京都下水道局 武山 信幸

新宿区河田町、市谷本村町付近再構築工事は、新宿区住吉町付近の浸水対策、既設主要枝線の負荷を軽減させ管渠能力の向上などを図るため、新宿区河田町を起点とし、新宿区片町付近で既設市ヶ谷幹線に接続する仕上り内径2,200mm(外径2,550mm)、全長約1.5kmの主要枝線工事である。

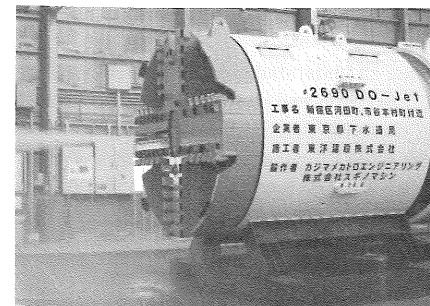
本工事では、約198mの区間で「DO-Jet工法」を採用し、既設下水道ボックスカルバート(1.82m×1.45m、DP=1.4m)の基礎杭(木杭)を切断、除去しながらシールド掘進を行った。本稿では、本工事における工法の選定の経緯から施工実績までを紹介する。

Protection of Established Sewage Pipes and Cutting and Removal of Foundation Piles with the DO-Jet Method—Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, Reconstruction of Sewerage in the Vicinity of Kawada-cho and Ichigaya Honmura-cho in Shinjuku city—

By Nobuyuki Takeyama, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

The Reconstruction works in the vicinity of Kawada-cho and Ichigaya Honmura-cho in Shinjuku city is to build major branch sewer of approximately 1.5km in length with finished inner diameter of 2,200mm (outer diameter: 2,550mm). It started in Kawada-cho to connect to the established Ichigaya sewer main in the Katamachi, Shinjuku city with the aim of improving anti-inundation measures for the Sumiyoshi-cho area, Shinjuku city, reduction of the burden on established major branch sewer to improve the capacity of pipes.

These works employed the DO-Jet Method in 198meter-shield-excavation while cutting and removing wood foundation piles which support an established sewage box (1.82m × 1.45m, DP=1.4m). This report contains information about these works from the background of selection of construction methods to construction results.



写真はDO-Jet掘進機

調査対象となったトンネルの変状区間は、建設時の切羽の岩判定によりインバートコンクリートがない支保パターンで施工された。供用開始1年半後には路面に隆起変状の発生が認められたため、路面の隆起量の測定が行われてきた。しかし、路面隆起の範囲や変位速度、原因についての詳細は不明であった。

そこで、路面の縦断測量、および地質調査などを実施し、路面の隆起状況とトンネル地質の特性を把握した。結果、路面の隆起は現在も継続していること、路面から5m下方までの部分に膨張性を示す地質が存在し、トンネル縦断方向への連続性がなく局所的に存在することが判明した。ここでは、供用中のトンネルの変状区間における地質特性を明らかにするとともに、隆起に至ったメカニズムについて考察した。

Survey and Simulation about Upheaval of Road Surface in Tunnel Progressing Gradually—Ban-Estu Expressway Toyasan Tunnel—

By Kazuo Miyazawa, East Nippon Expressway Company Limited

Surveyed deformed section of the tunnel was built with a support pattern using no invert concrete which was determined through rock classification in cutting face at the time of construction. As deformation of upheaval on the



写真はアスファルト舗装面に生じた横断クラック

road surface was confirmed a year and a half after opening, monitoring upheaval value have started. However, the details of extent, deformation ratio and causation of upheaval had been unknown.

Therefore, we conducted longitudinal survey on the road surface and geological surveys and so on to obtain an understanding of the road surface upheaval status and the geological characteristics along the tunnel. The results showed that upheaval goes on at present and expansive soil is present in areas 5 m underneath the road surface which is distributed not serially in the longitudinal direction but locally. Here we clarified the geological characteristics at the deformed section of the tunnel in service as well as considered the mechanisms that caused the upheaval.

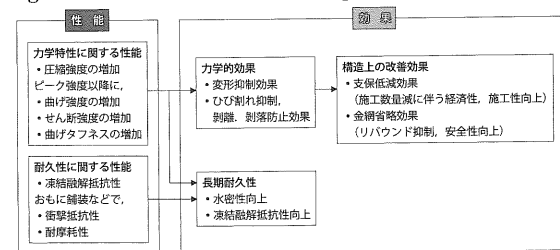
繊維補強吹付けコンクリートは、通常の吹付けコンクリートに比べてせん断抵抗性や曲げタフネスなどに優れているため、海外では広く普及しているが、日本では、特殊地山などにおける変状対策など、補助工法的に採用されることが多い。

そこで、繊維補強吹付けコンクリートの国内外の基準や指針、要領に加えて、国内外合わせて96編の論文などを参考にして技術の現状を把握し、試験・評価方法、設計および施工に関する技術的な課題と解決策について検討を行った。その成果を今回と次回の2回に分けて報告する。今回は、日本における繊維補強吹付けコンクリートの技術の変遷、ならびに性能と効果について示す。

Current Status and Challenges of Fibre Reinforced Spray Concrete #1

By JTA Technical Committee Mountain Tunnelling Subcommittee Support Working Group

Fibre reinforced spray concrete excels in shearing resistance and flexural toughness more than ordinary spray concrete. It is already widely used overseas but in Japan, It is often used as auxiliary material such as for a measure against tunnel deformation in unique ground.



図は繊維補強吹付けコンクリートの性能と効果の整理

After we obtained an understanding of the current status of technology of fibre reinforced spray concrete referring to international and domestic standards, guidelines and manuals for it and 96 research papers both international and domestic, we investigated the testing and evaluating methods and the technological problems of and solutions for design and execution. These results is presented in two parts in this issue and next issue. The first part provides information on the technical transition of reinforced fibre concrete in Japan and its performance and effects.

日本トンネル技術協会は、1975(昭和50)年8月に社団法人となってから、ちょうど40年の節目を迎えた。本協会では、設立40周年記念事業の一環として、トンネル建設に従事する若手技術者による座談会開催した。

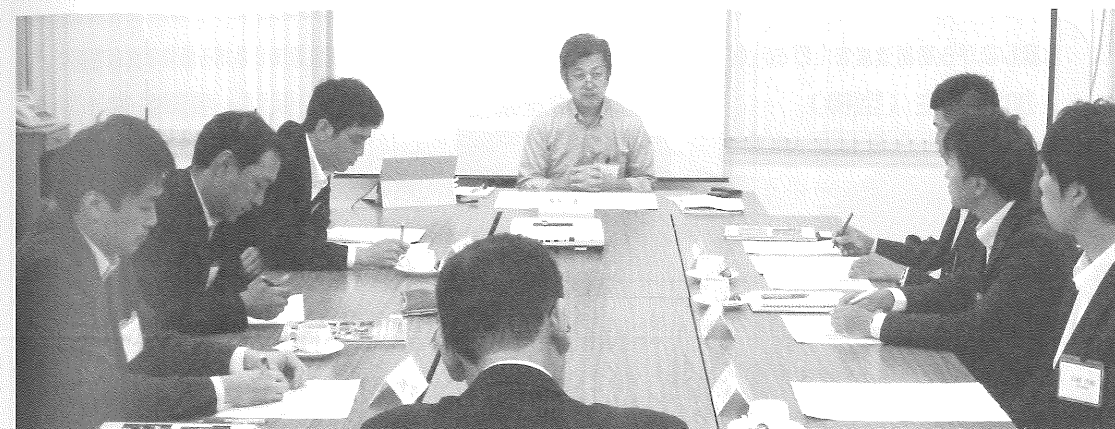
本稿では、前号に引き続き座談会の2回目として新たなメンバーによるトンネルに対する思いや考え、将来の仕事の在り方、未来のトンネルなどについて、熱い思いや柔軟な発想を紹介する。

40th Anniversary Commemorative Young Engineer's Discussion #2—Tunnels and Underground Spaces Supporting Life and Dreams, Young Engineers Talk about the Future of Tunnels

By JTA 40th Anniversary Celebration Executive Committee Events Planning Working Group

The Japan Tunnelling Association made its 40th anniversary of its incorporation in August, 1975. As part of the 40th anniversary celebration events, the Association held a discussion meeting for young engineers engaged in tunnel construction.

This report of second discussion presents the thoughts about tunnel, passionate opinions and flexible ideas about the future nature of work and future tunnels which were discussed by different members from the last issue.



座談会風景

巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)

首都圏のシームレスな料金の導入と環状道路整備



東日本高速道路(株)建設・技術本部長(本協会評議員)

佐藤 信彦

昨年、本協会の評議員となりましたNEXCO東日本の遠藤です。よろしくお願いたします。

昨年10月、NEXCO東日本は、道路公団が分割民営化されて10年を迎えました。この間、東日本大震災や原発事故、笹子トンネルの天井板落下事故など大変残念なこともありましたが、NEXCO東日本では、この10年で北関東道や道東道の全通、昨年3月には常磐道の全通など500kmを超える新規供用を行いました。また、老朽化という課題も抱えながら、24時間・365日、お客様の安全・安心を最優先に快適で便利な高速道路を目指して、3,800kmを超える東日本地域の高速道路の管理・運営を行っています。

首都圏では、長年の懸案であった環状道路の整備も着実に進んでいます。昨年開通した首都高品川線では、中央環状線内側の交通量が5%減っただけで、渋滞量が5割減るなど大きな効果を発揮しています。圏央道についても、昨年10月、埼玉県区間が全通したことで、東名、中央道、関越道、東北道が直結し、全体計画300kmのうち8割が開通いたしました。外環の東側区間については、2017(平成29)年度には常磐道と東関東道が直結する予定で、残る西側区間(関越～東名)についても、本格的な事業着手の段階に至っています。

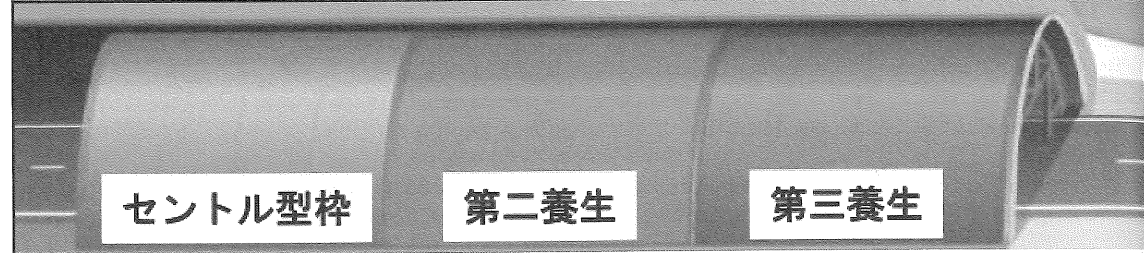
このように環状道路を中心としたネットワーク整備が進展しつつある中、首都圏の高速道路が、より効率的に賢く使われるよう、環状道路時代を見据えた首都圏の料金に関する具体方針が、国の政策として取りまとめられ、2016(平成28)年度から順次、移行していくこととされました。具体的には、整備の経緯などの違いから、料金水準や車種区分などが路線や区間で異なっている圏央道内側の料金体系について、環状道路の整備の進展を踏まえ、整備重視の料金体系から、利用重視の料金体系へ移行するとされています。

これは都心部の渋滞などに対して、交通流動の最適化を目指し、圏央道や外環をより賢く使っていただくために、環状道路の機能が有効に発揮されるよう、圏央道を利用する交通に対して、割高となっている西側区間を含め、大都市近郊区間の水準に引き下げ

管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

コンクリートトータル養生システム



セントル型枠

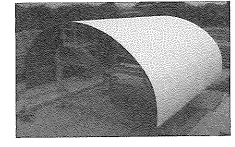
第二養生

第三養生

加温しながら初期強度を上げる
加温養生(型枠)



加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



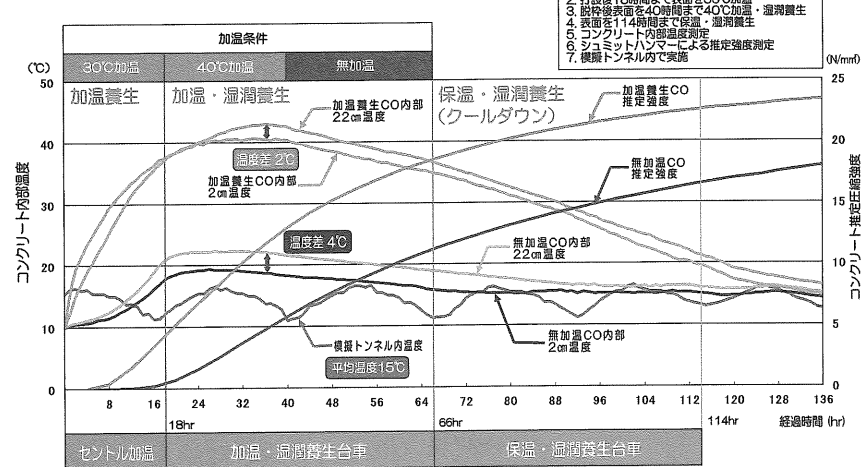
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

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

【製作・販売協力】
TECHNO
テクノプロ株式会社

TOUGOU
株式会社 東 宏

るとともに、同一起終点であれば同一料金とすること、また、首都高を利用して通過する交通に対しては、車種区分を5車種に変更するとともに、圏央道など外側の環状道路の利用を促す観点から、都心通過の料金が安くないよう設定するなど、利用者にとってより使いやすい合理的でシームレスな料金体系を目指していくこととされています。

ここ数年で環状道路の整備が確実に進展し概成が見えてきたことから、残る外環の西側区間や圏央道横浜区間などのミッシングリンクの早期整備が大きくクローズアップされています。

外環の西側区間や圏央道横浜区間は、ネットワーク上もきわめて重要な区間であるにもかかわらず、都市部の市街化された地域を通過することから、残念ながら環境面や土地利用の課題、用地取得への理解などを巡って、長い間合意形成に至らず、事業着手まで長い期間を要した区間です。しかしながら、近年の都市トンネル技術、とくにシールドトンネル技術の著しい技術革新などもあって、環境負荷がより少ない工法が可能となったため、ようやく本格的な着手に至ることができました。これは、この間、さまざまな困難を克服しながら、シールド技術を含めた都市トンネル技術の開発・発展に携わった協会の会員の皆様方の努力の賜物であると感謝しています。

外環西側や圏央道の一部区間となる横浜環状南線は、直径16m規模の3車線大規模シールドトンネルとなっています。外環西側では、大深度地下での地中拡幅技術の開発、横浜環状南線では、小土かぶりでの近接施工や大断面トンネルなど、今後、技術者が力を合わせて克服しなければならない技術的課題も多く残っています。

とくに、外環西側は、世界にも例を見ない総延長16kmにも及ぶ大深度の片側3車線のトンネルで、現在、計画中の南進区間も合わせれば更に長いトンネル区間となる構想です。今後、利用者の安全・安心に直結する交通安全対策や事故時の避難誘導を含めた総合的な防災対策についても、関係機関と具体的に詰めていく必要があります。

また、本格的なメンテナンスを迎える時代にあって、設計・施工段階から、IT技術も活用した完成後の効率的な点検や診断、維持修繕や管理の在り方についても、総合的に検討しておくことも重要な課題と考えています。

外環道や圏央道のミッシングリンク区間は、首都圏の持続的な発展や防災面への対応に大きな貢献が期待され、早期整備が要請されています。事業者と建設会社、関係機関が気持ちを一つにし、早期完成に向けて、さまざまな技術的課題を克服しながら、早期完成に向けて本格的な事業段階に移行できればと考えています。日本トンネル技術協会や会員の皆様におかれましても、今後とも、このような事業を通じて、わが国のトンネル技術や経済の発展に貢献していただけることを期待しています。

施工

先進導坑を用いた小土かぶり未固結地山における扁平大断面トンネル

—国道1号笹原山中バイパス1号トンネル—

(株)鴻池組土木事業本部技術部課長 若林 宏 彰

(元)国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所沼津国道維持出張所長 佐溝 健 治

中央復建コンサルタンツ(株)総合技術本部道路系部門ゼネラルマネージャー 山本 雅 広

(株)鴻池組名古屋支店土木部笹原山中バイパス1号トンネル工事事務所所長 野田 佳 彦

1 はじめに

国道1号笹原山中バイパスは、静岡県三島市山中新田から同市笹原新田に至る延長 $L=4.3\text{km}$ の道路である。国道1号における現道の幅員狭小、線形不良、急勾配区間をバイパスし、交通安全の確保と沿道環境の改善を図るために、中部地方整備局により整備が進められている(図-1)。

笹原山中バイパス1号トンネルは、本事業計画区間のうち、山中地区($L=1.6\text{km}$)の箱根側に位置するトンネルである。当該箇所は、通常であればオープンカットにより道路を建設する施工区間であったが、日本百名城のひとつである史跡山中城跡に近接し、本丸である北ノ丸を直接守るラオシバ曲輪を貫くため、史跡保全と歴史的景観保持の観点からトンネル構造となった(図-2)。

本トンネルは、新東名高速道路トンネルの3車線断面とほぼ同程度の大きさの扁平大断面トンネル(掘削断面積 126m^2)であり、地形・地質状況がトンネル全線にわたって小土かぶり(最大土かぶり約 8m)で、表層には軟弱なローム層が厚く堆積した未固結地山であったため、地表面沈下の抑制や切羽の安定性確保に配慮した施工が求められる

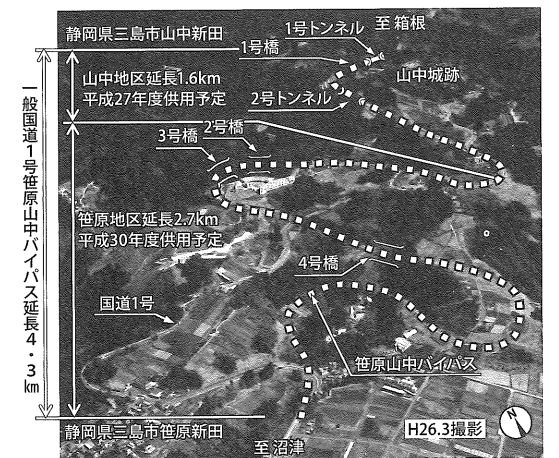


図-1 施工位置図

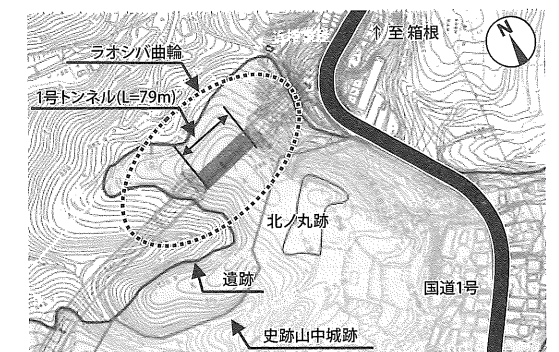


図-2 現場の周辺状況

た。

本稿では、この特殊な条件下において、事前の地質調査、トンネル施工中の計測とFEM解析によるフィードバックを実施した施工事例について報告する^{1),2)}。

2 工事概要

工事概要を以下に示す。

工事名：平成25年度1号笹原山中バイパス1号トンネル工事

発注者：中部地方整備局沼津河川国道事務所

施工者：(株)鴻池組

工事場所：静岡県三島市山中新田

工期：2014(平成26)年2月19日～

2015(平成27)年3月27日

工事内容：工事延長L=159.3m

トンネル延長L=79m

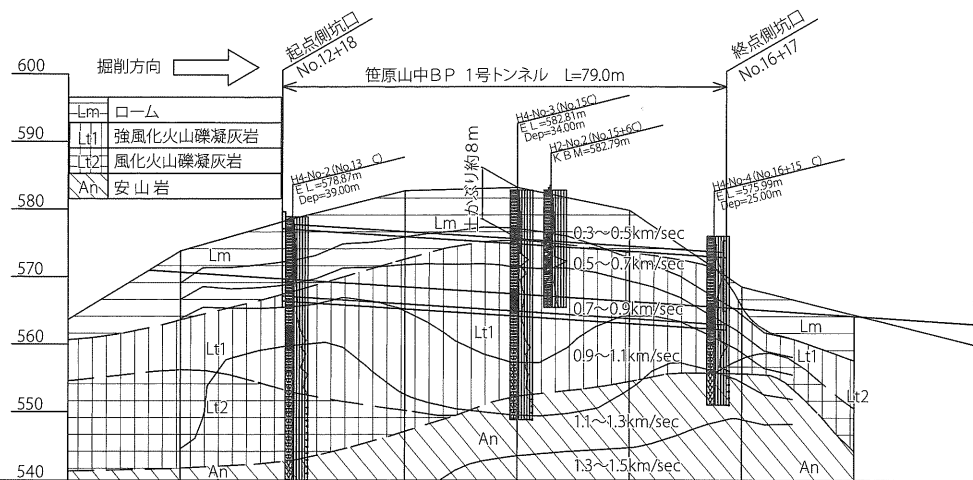
3 地形・地質概要

図-3に地質縦断図を示す。

地形は、最大土かぶりが約8m(約0.5D, D:トンネル掘削幅)であり、トンネル全区間で小土かぶりを呈する。

地質は、地表面から3～10mの厚さで、N値5以下の軟弱なローム(Lm層)が、その下部からトンネル底盤にかけてN値10程度の強風化した火山礫凝灰岩(Lt1層)が分布する。

また、事前の地質調査では、地下水位はトンネル下半からインバート付近に存在していることが確認されていた。



測点	NO.12	NO.13	NO.14	NO.15	NO.16	NO.17	NO.18	
設計支保パターン	坑門工	DIIIa-2	DIIIa-1	DIIIa-2	坑門工			
覆工巻厚(cm)		50(50)	50(50)	50(50)			()内はインバート厚を示す	
吹付けコンクリート(cm)		25	25	25				
金網		上下半	上下半	上下半				
ロックボルト[]内は長尺鋼管		6.0 [12.5]	6.0 [12.5]	6.0 <21.5>			< >内は超長尺鋼管	
周方向×延長方向		1.0×1.0 [0.45×10.7]	1.0×1.0 [0.45×6.0]	1.0×1.0				
鋼アーチ支保工		H-200	H-200	H-200				
補助工法		坑口部 長尺鋼管フォアパイルング	長尺鋼管フォアパイルング	坑口部超長尺鋼管 フォアパイルング				
本坑区間長(m)		0.8 9.9	42.0	25.6	0.7			
先進導坑			Ds					
先進導坑区間長(m)			79.0					
掘削工法		NATM 先進導坑 補助ベンチ付き全断面工法インバート早期閉合(機械掘削方式)						

図-3 地質縦断図

4 トンネル構造および施工方法

本トンネルは、通常の2車線に加えて登坂車線と歩道を伴うため、新東名・新名神高速道路トンネルの3車線断面とほぼ同程度の大きさの扁平大断面トンネル(掘削幅17.3m, 掘削高さ8.7m, 扁平率0.5, 掘削断面積126m²)が採用された(図-4)。

設計段階でFEM解析が実施され、前述の地形・地質条件で切羽の安定性を確保し、地表面沈下を抑制する施工方法として、中央導坑先進補助ベンチ付き全断面工法、起点側坑口からの長尺鋼管フォアパイルング工法(L=12.5m, @450mm, 6mシフト, オールラップ), 終点側坑口からの超長尺鋼管フォアパイルング工法(L=21.5m, @450mm)および吹付けインバートによる早期断面閉合(インバート支保工H-200, 吹付けインバートt=250, @1m)が採用された。また、覆工コンクリートおよびインバートコンクリートは、将来的に全土かぶり荷重がトンネル構造に作用することを想定し、設計基準強度30N/mm², 設計厚t=500mmの複鉄筋構造が採用された。

5 調査・計測にもとづく解析と施工

5-1 設計・施工の最適化フロー

図-5に調査・解析結果にもとづく設計・施工の最適化フローを示す。

本トンネルは、小土かぶり、かつ、軟弱地山で、史跡直下に扁平大断面トンネルを施工することから、切羽の安定性を確保し、地表面沈下を最小限に抑制する施工方法が求められた。そのため、施工中の計測工を強化し、FEM解析により本坑掘削時の挙動を予測しながら施工に反映することが重要である。しかし、本トンネルは延長が短いため、本坑掘削時の計測結果にもとづいて逆解析を実施した場合、以降の施工に反映することは時間的にも困難であった。

そこで、本トンネルでは、トンネル掘削前に詳

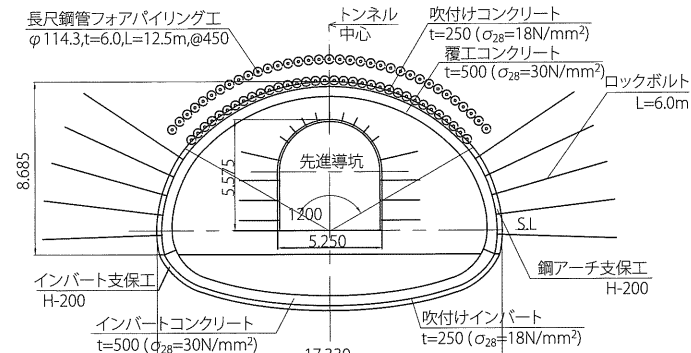


図-4 支保パターン図(D III a-1)

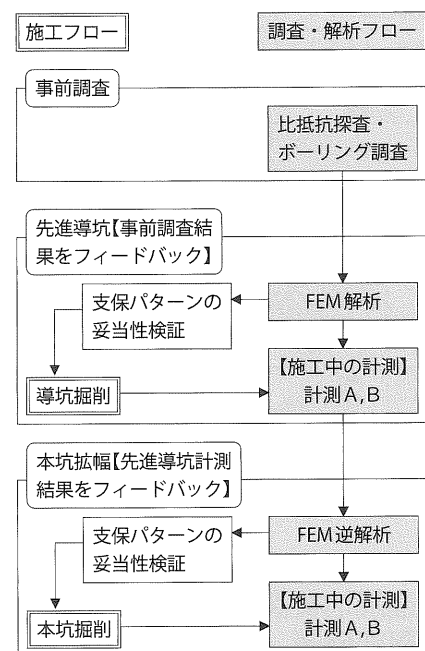


図-5 設計・施工の最適化フロー

細な地質調査を行い、それにもとづく順解析を実施して、本坑掘削時の挙動を事前予測するとともに、先進導坑掘削時の切羽状況や計測結果にもとづく逆解析を実施し、解析定数を見直すことで本坑掘削時の挙動を再予測した。

5-2 解析断面および計測断面の設定

本トンネルでは、地山やトンネルの挙動、支保部材の安全性を把握しながら最適な施工方法に反映するために、支保パターン変化点(No.13+8.7, No.15+10.7)と最大土かぶり位置(No.15+00)の3断面に解析断面と計測Bを設定した。

表-1 計測項目一覧

計測項目	記号	計測断面
計測 A	内空変位測定	C1~C4 C1'~C4'
	天端沈下測定	S, S'
	地表面沈下測定 A	▽
計測 B	地表面沈下測定 B	▼
	地中変位測定	E1~E4
	ロックボルト軸力測定	M1~M4 M1'~M4'
	先受け工応力測定	G, G'
	吹付けコンクリート応力測定	▲
鋼アーチ支保工応力測定	■	

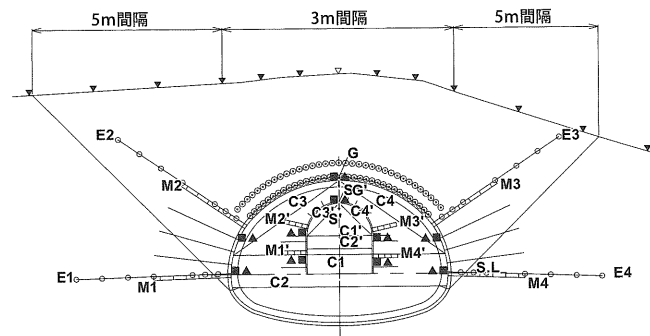


図-6 計測工断面図(No.15+00)

表-1に計測項目一覧, 図-6に計測工断面図を示す。

6 追加地質調査とFEM解析による事前確認

6-1 追加地質調査の実施結果

図-7に追加地質調査の実施結果を示す。

事前の地質調査では、鉛直ボーリングを4か所実施していたが、地質の分布状況や地山性状を再確認するために、鉛直ボーリングを2か所、水平ボーリングをトンネル全線、比抵抗探査(比抵抗トモグラフィ)を3測線、各地層で地山物性試験(坑内水平載荷試験, 3軸圧縮試験)を追加した。

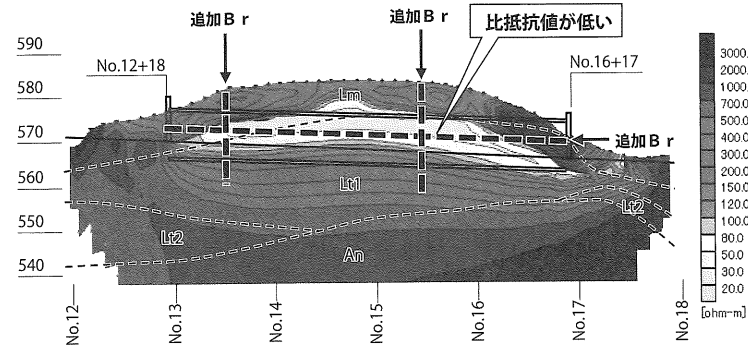


図-7 追加地質調査結果

その結果、地質の分布状況は、当初想定していた地層境界と一致していたが、トンネル掘削のおもな対象地山となるローム(Lm層)や強風化火山礫凝灰岩(Lt1層)は、比抵抗値が低く地下水が含まれている可能性があることがわかった。また、地山物性値は、当初設計と多少の差異が見られたことから、同一地層でも亀裂状況や風化変質状況が異なること、試料採取時の乱れによる影響などが考えられた。

この結果、追加地質調査にもとづくFEM解析では、安全側の結果が得られるように地山物性値を見直した。

6-2 追加地質調査にもとづくFEM解析

図-8に解析モデル図, 表-2に解析入力物性値を示す。

FEM解析は、2次元非線形弾性解析とし、追加地質調査にもとづいて地山物性値を設定し、先進導坑と本坑を含めた施工手順にしたがって、地山やトンネル挙動、支保部材の安全性を検証した。

図-9にFEM解析による変位分布, 表-3に追加地質調査にもとづく解析結果を示す。

今回の追加地質調査を反映したFEM解析では、地山やトンネルの変位量、支保部材の発生応力はいずれも許容値以内に収まっていることを確認できた。これにより、当初計画どおりの施工方法で先進導坑の掘削を開始した。

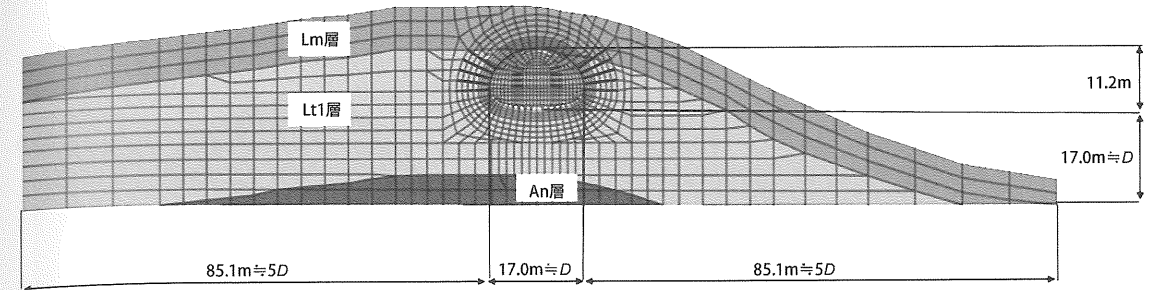


図-8 解析モデル図(No.15+00)

表-2 解析入力物性値

地層	N値	単位体積重量γ (kN/m³)	変形係数E (MN/m²)	粘着力c (kN/m²)	内部摩擦角φ (°)
ローム(Lm)	3	12.4	4.0	160	0
強風化火山礫凝灰岩(Lt1)	8	15.2	28.5	90	18
安山岩(An)	300	22.0	500	170	38

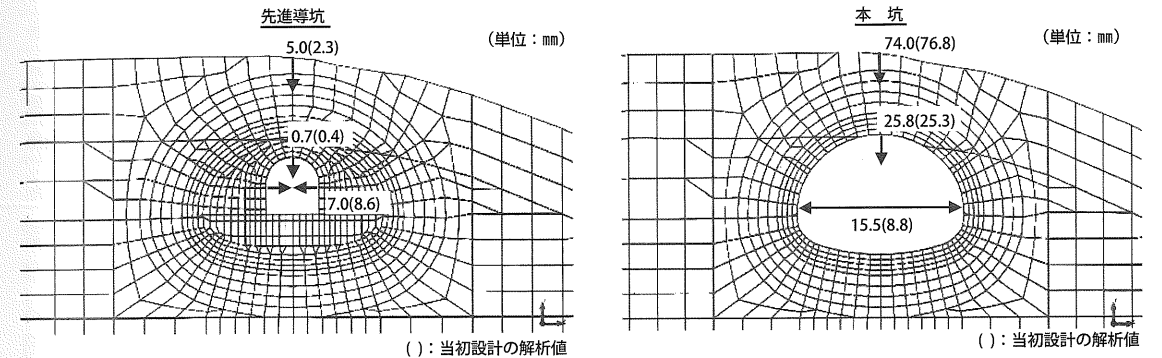


図-9 FEM解析による変位分布(No.15+00)

表-3 追加地質調査にもとづく解析結果(No.15+00)

計測項目	単位	先進導坑			本坑		
		追加調査	当初設計	許容値	追加調査	当初設計	許容値
内空変位	mm	-7.0	-8.6	29	15.5	8.8	96
天端沈下	mm	-0.7	-0.4	-31	-25.8	-25.3	-48
地表面沈下	mm	-5.0	-2.3	-30	-74.0	-76.8	-81
鋼アーチ支保工応力	N/mm²	69.2	110.9	210	88.7	121.4	210
吹付けコンクリート応力	N/mm²	0.73	0.92	6.75	0.90	1.27	6.75
ロックボルト軸力	kN	47.1	69.1	170	39.0	28.1	170

7 先進導坑掘削時の計測結果と本坑掘削時の再解析

7-1 先進導坑の掘削状況

写真-1に先進導坑の掘削状況, 写真-2に先進導坑掘削時の切羽状況を示す。

先進導坑は、油圧切削機(ツインヘッド2,100kg級)およびバックホウ(0.7m³級)を使用して容易に掘削することができた。切羽状況は、ローム(Lm層)では、全体的に軟弱で、滲水から滴水程度の湧水を含むとともに、時間経過によって肌落ちが確認され、比抵抗探査結果とも一致した。また、

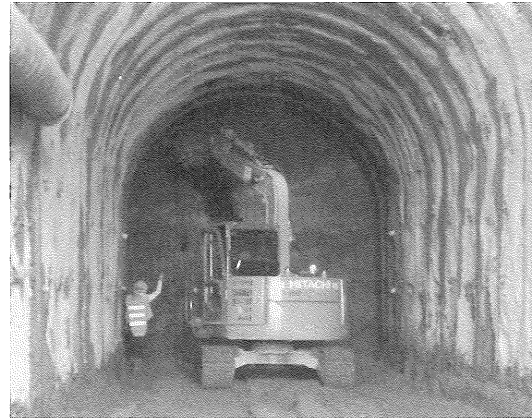


写真-1 先進導坑の掘削状況

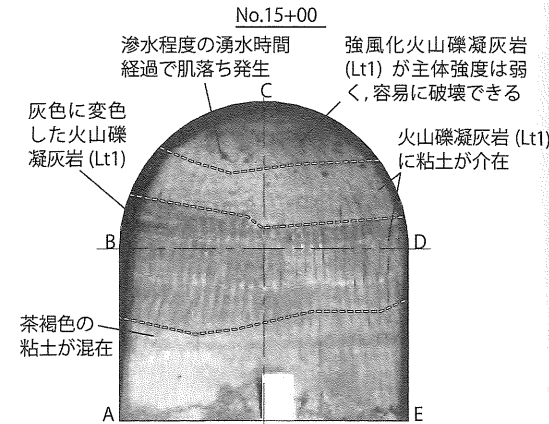


写真-2 切羽状況(先進導坑)

表-4 先進導坑掘削時の計測値と解析結果との比較

計測項目	単位	No.13+8.7			No.15+00			No.15+10.7			許容値
		計測値	追加調査	逆解析値	計測値	追加調査	逆解析値	計測値	追加調査	逆解析値	
内空変位	mm	-1.6	-11.8	-1.7	-0.6	-7.0	-1.1	-1.1	-6.7	-1.2	29
天端沈下	mm	-0.9	0.5	-1.5	-1.6	-0.7	-1.4	-1.8	0.1	-1.1	-31
地表面沈下	mm	-8.7	-19.4	-9.7	-3.7	-5.0	-2.6	-4.4	-4.1	-2.5	-30
鋼アーチ支保工応力	N/mm ²	-13.1	85.8	-49.2	-23.9	69.2	-48.9	-15.0	57.2	-43.3	210
吹付けコンクリート応力	N/mm ²	0.80	0.47	0.48	0.70	0.73	0.69	0.50	0.60	0.61	6.75
ロックボルト軸力	kN	3.7	34.5	22.1	6.5	47.1	27.7	7.0	42.2	24.7	170

強風化火山礫凝灰岩 (Lt1 層) では、手で容易に潰すことができるほど風化変質が進み、部分的に粘土を介在する箇所も確認された。

なお、先進導坑掘削時の切羽観察により、当初設計および追加地質調査で設定した地層境界がおおむね一致することを確認できたため、解析モデルにおける地層境界の見直しは行わなかった。

7-2 先進導坑掘削時の計測結果と逆解析による解析定数の再設定

表-4に先進導坑掘削時の計測値と解析結果との比較を示す。

先進導坑掘削時の地山およびトンネル変位量、支保部材の発生応力は、いずれも許容値内に収まるものの、追加地質調査時の解析値より計測値のほうが全体的に小さい値を示した。そこで、先進導坑掘削時の計測値にもとづいて逆解析を行い、側圧係数や変形係数を見直すとともに、本坑掘削時の地山およびトンネル挙動、支保部材の安全性

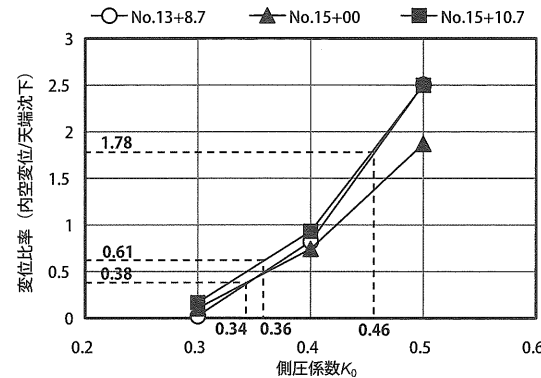


図-10 変位比率曲線

を検証した。

逆解析にあたっては、No.15+00断面において、はじめに側圧係数を $K_0=0.3, 0.4, 0.5$ の3ケースで順解析を実施し、変位比率曲線を作成するとともに(図-10)、先進導坑の収束変位(天端沈下 δ_s : -1.6mm, 内空変位 δ_i : -0.6mm)から変位比率 λ ($\lambda = \delta_i/\delta_s = 0.38$)を算出して、側圧係数 $K_0=0.34$ を

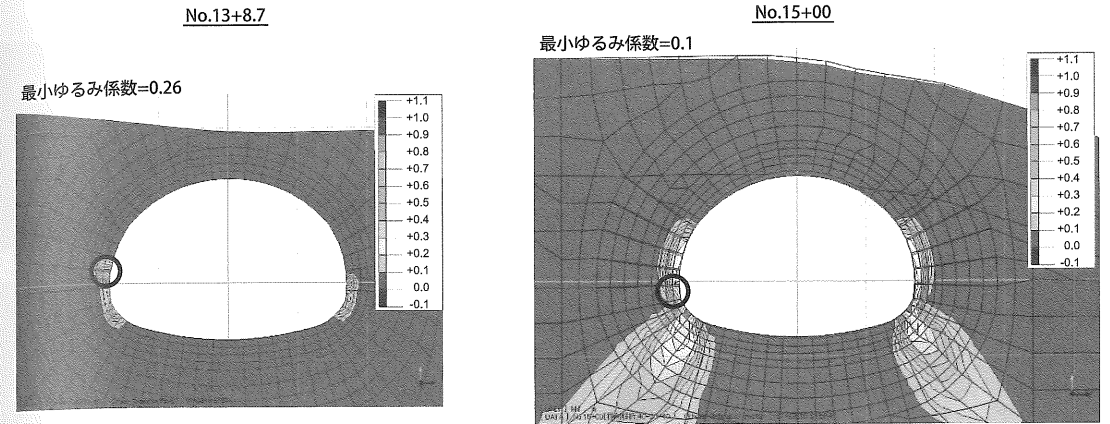


図-11 地山のゆるみ係数分布図

表-5 本坑掘削時の解析結果

計測項目	単位	No.13+8.7	No.15+00	No.15+10.7	許容値
内空変位	mm	4.2	7.7	6.0	96
天端沈下	mm	-32.3	-29.1	-21.1	-48
地表面沈下	mm	-49.9	-33.3	-29.1	-81
鋼アーチ支保工応力	N/mm ²	57.8	64.0	53.8	210
吹付けコンクリート応力	N/mm ²	0.64	0.90	0.78	6.75
ロックボルト軸力	kN	20.2	33.7	26.0	170

決定した。次に側圧係数 $K_0=0.34$ を用いて順解析を実施した結果、解析変位が約3倍となったことから、各地層の変形係数の割増し率 α を3倍と設定した。

No.13+8.7断面, No.15+10.7断面に対しても同様の検討を実施し、各断面の側圧係数および変形係数の割増し率を平均化して、側圧係数 $K_0=0.4$, 変形係数の割増し率 $\alpha=3$ として再解析を実施した。これにより、先進導坑掘削時の計測値と逆解析による解析値がおおむね一致することを確認できた。

7-3 本坑掘削時の再解析

前述の逆解析にもとづいて解析定数を見直し、順解析により本坑掘削時の地山やトンネル挙動、支保部材の安全性を検証した。

表-5に本坑掘削時の解析結果を示す。

各解析断面において、地山やトンネルの変位量、支保部材の発生応力はいずれも許容値以内に収まっていることを確認できた。

図-11に本坑掘削時の地山のゆるみ係数分布図

を示す。

地山のゆるみ係数が0~1.0の範囲となる非線形領域は、側壁部からインバート脚部にかけて発生し、ゆるみ係数が0以下となる破壊領域は確認されなかった。このことから、長尺鋼管フォアパイリング工法や吹付けインバートの早

期断面閉合により、地表面や天端を含めた周辺地山の安全性を確保していることを確認できた。

これらの結果にもとづき、当初計画どおりの施工方法で本坑掘削を開始した。

8 本坑掘削時の計測結果と解析結果

8-1 本坑の掘削状況

写真-3に本坑の施工順序、写真-4に本坑掘削時の切羽状況を示す。

本坑掘削では、先進導坑と同様に油圧切削機(ツインヘッド2,100kg級)およびバックホウ(0.7m³級)を使用して容易に掘削することができたが、部分的に $\phi 1 \sim 2$ mの大きな転石が出現する箇所では、大型ブレーカ(1,500kg級)を併用して掘削した。切羽状況は、ローム(Lm層)では、全体的に軟弱で、滲水から滴水程度の湧水を含むとともに、時間経過によって肌落ちが確認された。また、強風化火山礫凝灰岩(Lt1層)では、容易に手で潰すことができるほど風化変質が進み、部分的に粘土を介在する箇所も確認された。

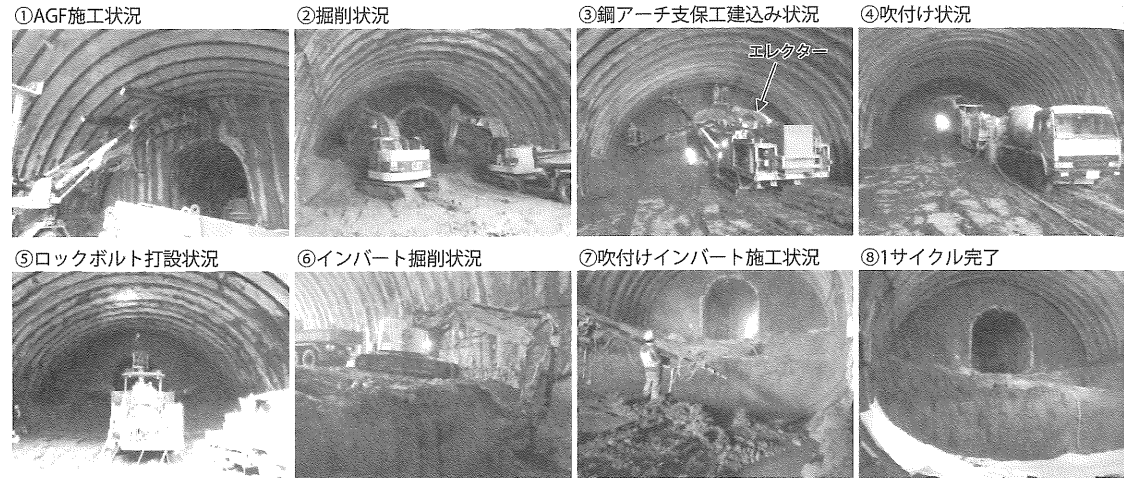


写真-3 本坑施工状況

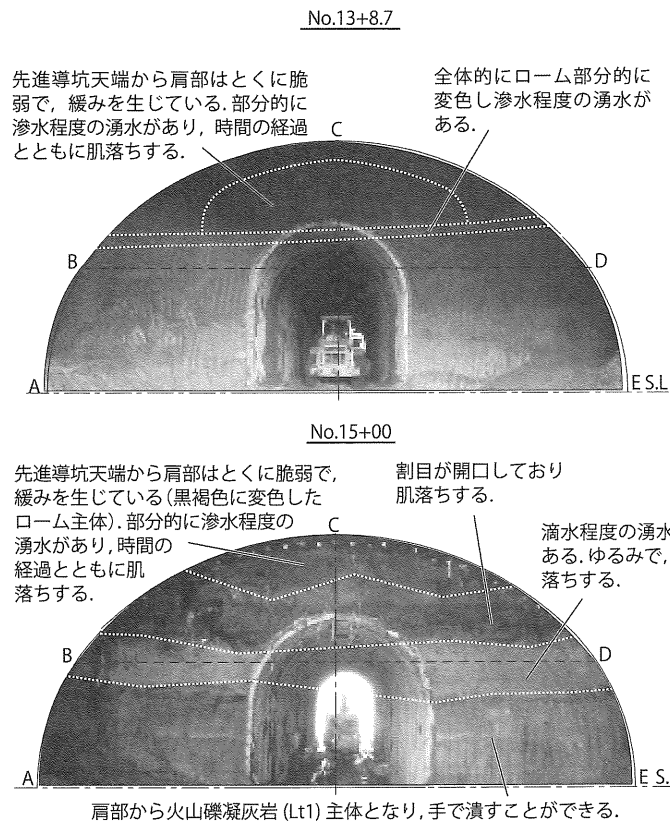


写真-4 切羽状況(本坑)

本坑掘削では、切羽の安定性を確保し、地表面沈下を最小限に抑制するために、起点側坑口部から長尺鋼管フォアパイリング工法(L=12.5m, @450mm, 6mシフト, オールラップ), 終点側坑口

部から超長尺鋼管フォアパイリング工法(L=21.5m, @450mm)および吹付けインバートによる早期断面閉合(インバート支保工H-200, 吹付けインバートt=250, @1m)を実施した。

長尺鋼管フォアパイリング工法は、大量の削孔水を必要とするため、少量の削孔水と圧縮空気を使用したミスト削孔を採用することで削孔水による地山の劣化を抑制し、先受け工の地山改良効果もあわせて切羽の安定性を確保できた。また、粘性の高いローム(Lm層)では、シリカレジン注入不良が懸念されたが、実注入量は当初設計の約1.4倍程度となり、粘性が高く、非常にゆるんだ地山において確実に改良することができた。

吹付けインバートの早期断面閉合を上半切羽から約8m以内(約0.5D, D:トンネル掘削幅)で実施することで、トンネル変状や地表面沈下を早期に抑制することができた。また、吹付けインバートにより、インバート底盤を早期に被覆することで湧水による地山劣化や圧密沈下も抑制できた。

鏡面の肌落ちが確認された箇所では、鏡面安定

対策として、鏡吹付けコンクリート(t=5cm)を実施したが、鏡ボルトなどのさらなる補助工法は必要なかった。これは、事前に先進導坑を施工することで、前方地山の補強効果や、本坑掘削時の地山応力の低減効果(いなし効果)が発揮されたためと考えられる。

8-2 地表面沈下および坑内変位測定結果

図-12に地表面沈下および坑内変位測定結果を示す。

地表面沈下の最大値(-52.2mm)は、ローム(Lm層)がトンネル下半盤まで分布しているNo.13+8.7断面で、天端沈下の最大値-30.8mmは、最大土かぶり位置のNo.15+00断面で発生した。また、地表面沈下/天端沈下の比率は、1.2~3.7倍の範囲にあり、土かぶりの小さい両坑口部ほどその比率は増大した。これは、土かぶりの小さい両坑口部では、地山のアーチアクションを十分確保できないことから地表面の先行沈下が増加し、地表面沈下/天端沈下の比率が増大したものと考えられる。

なお、内空変位は、天端沈下と比べて非常に小さく、小土かぶり扁平大断面の特徴である天端が下がって側壁部が横に広がるような分布形状を示した。

図-13に横断方向の地表面沈下分布、図-14に地表面沈下の経時変化を示す。

横断方向の地表面沈下は、トンネルセンターを最大値とし、左右対称の沈下傾向を示した。

最大土かぶり位置での地表面沈下は、上半切羽が計測点に到達した時点から始まり、吹付けインバートが通過したあと5~15m以内の早期に収束した。このことから、事前の先進導坑による切羽補強、長尺鋼管フォアパイリング

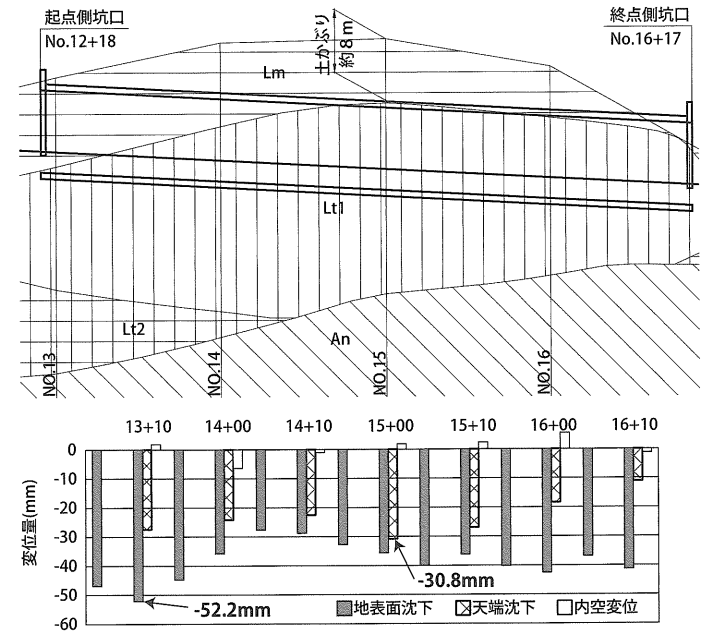


図-12 地表面沈下と坑内変位測定結果

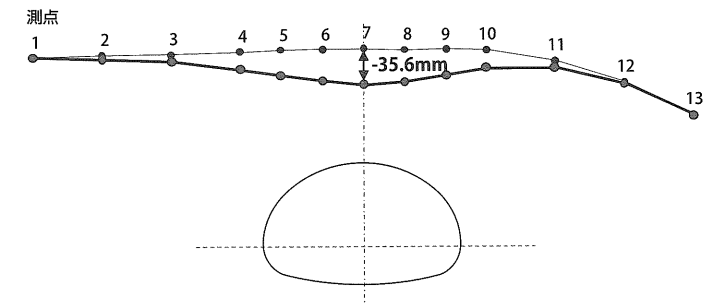


図-13 地表面沈下分布(No.15+00)

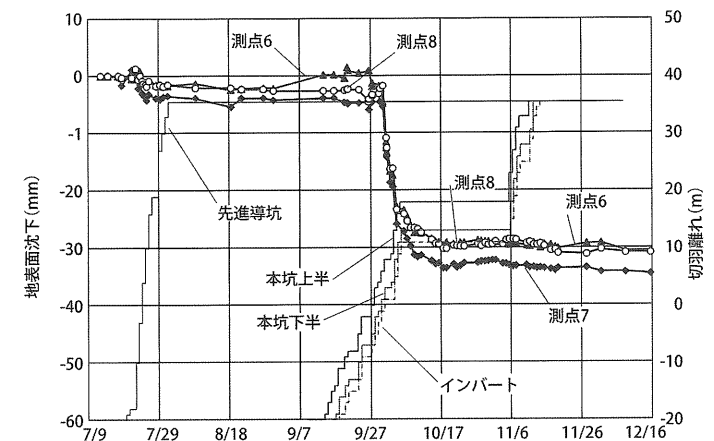


図-14 地表面沈下経時変化(No.15+00)

工法や吹付けインバートの早期断面閉合による地表面沈下抑制対策が、非常に効果的な施工方法であったことを確認できた。

8-3 地中変位および支保部材の挙動

図-15に坑内地中変位分布を示す。

各計測断面において、壁面変位は1~4mm程度、区間ひずみは0.5%以下となり、とくに大きなゆるみは計測されなかった。

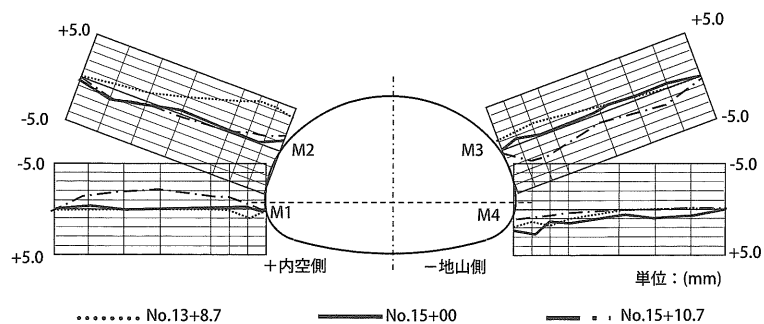


図-15 坑内地中変位分布

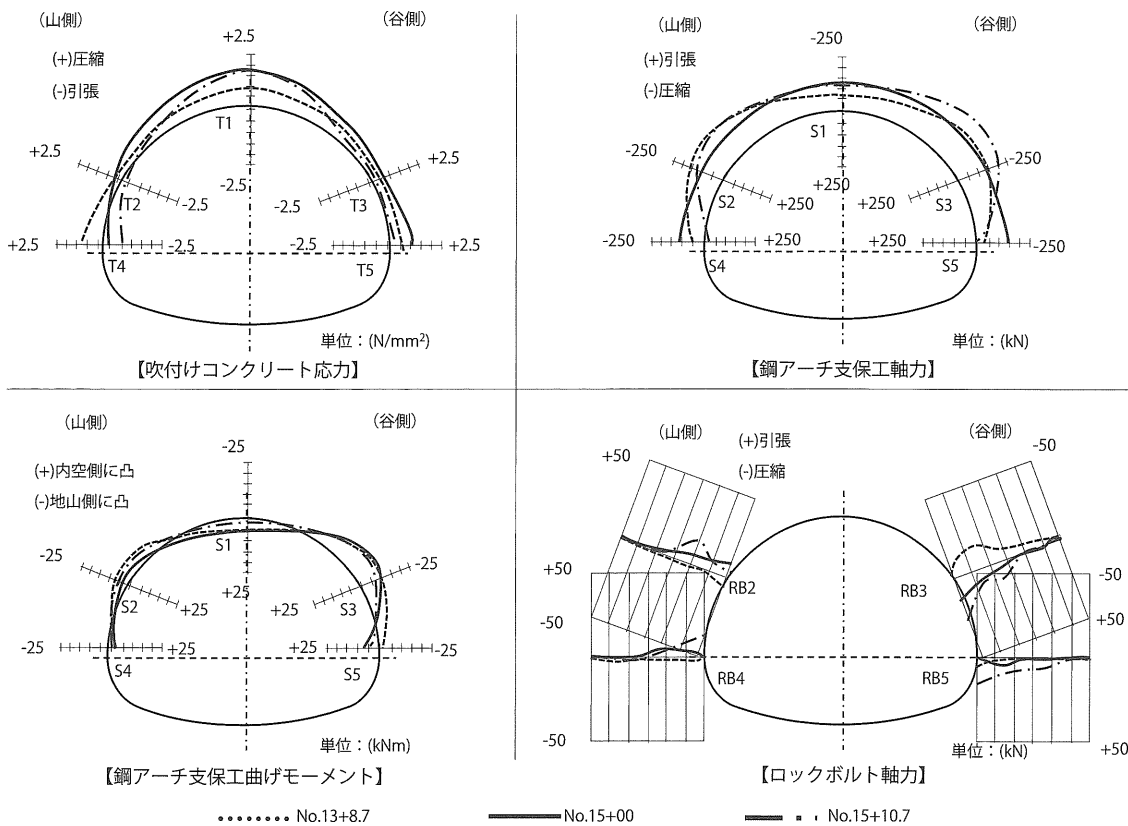


図-16 支保部材の挙動

図-16に支保部材の挙動を示す。

各項目とも天端から肩部にかけて支保部材の発生応力が大きくなっている。

また、鋼アーチ支保工の曲げモーメントは、山側から谷側へ大きくなり、偏圧の影響を受けていることを確認できた。しかし、各支保部材の発生応力は、土かぶり小さいこともあって、いずれも管理レベルI以内に収まっており、支保部材の安全性を確保できた。

8-4 本坑掘削時の計測結果とFEM解析結果の評価

表-6に本坑掘削時の計測値と解析結果との比較を示す。

すべての計測項目において許容値を下回り、安全に施工することができた。また、地表面沈下および坑内変位は、計測値と解析値がおおむね一致すること

表-6 本坑掘削時の計測値と解析結果との比較

計測項目	単位	No.13+8.7		No.15+00		No.15+10.7		許容値
		計測値	解析値	計測値	解析値	計測値	解析値	
内空変位	mm	1.8	4.2	2.0	7.7	2.3	6.0	96
天端沈下	mm	-27.5	-32.3	-30.8	-29.1	-26.9	-21.1	-48
地表面沈下	mm	-52.2	-49.9	-35.6	-33.3	-36.2	-29.1	-81
鋼アーチ支保工応力	N/mm ²	52.2	57.8	46.8	64.0	53.7	53.8	210
吹付けコンクリート応力	N/mm ²	1.3	0.64	3.2	0.9	3.2	0.8	6.75
ロックボルト軸力	kN	8.4	20.2	12.2	33.7	18.1	26.0	170

を確認できた。これにより、先進導坑の計測値にもとづく逆解析による本坑掘削時の挙動予測は妥当であったと評価できる。

ただし、吹付けコンクリート応力およびロックボルト軸力は、計測値と解析値とで差異が見られた。これは、FEM解析では地山を連続体モデルとして計算しているが、当該地山は風化変質が激しく地質性状が様でないこと、土砂や岩が多数混在する不連続地山であることから、支保部材に局所的な応力集中や分散が生じ、計測値と解析値とで差異が見られたものと考えられる。

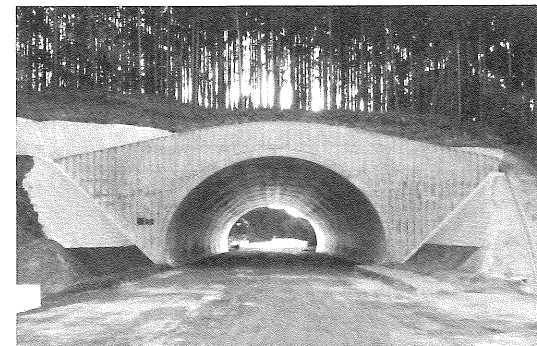


写真-5 本坑完成状況

また、トンネル変形に関する解析予測値と計測値がほぼ一致していたことから、施工途中段階の計測結果を用いた逆解析が有効であることも確認できた。

最後に、本トンネルの施工にあたり、ご指導、ご協力いただいた関係各位に感謝の意を表します。

9 おわりに

追加地質調査結果および先進導坑掘削時の計測結果にもとづく逆解析により本坑支保の安全性を事前検証し、本坑掘削時の計測工によりトンネル挙動を確認しながら施工を進めた結果、未固結地山、小土かぶり、扁平大断面トンネルという厳しい条件下で、トンネルの安定性を確保しながら掘削を完了することができた。これは、地山のゆるみを極力抑制するための補助工法と、掘削後早期に断面を閉合し支保の剛性を有効に活かして積極的に変位の縮小化を図る吹付けインバートによる早期断面閉合の採用が功を奏したと考えられる。

参考文献

- 1) 佐溝健治・山下和也・野田佳彦・富澤直樹・若林宏彰：小土かぶり未固結地山における扁平大断面トンネルの施工，土木学会第70回年次学術講演会，2015.9.
- 2) 市川英敏・佐宗輝倫・松原春菜：未固結地山における低土被り・大断面トンネルの施工，1号笹原山中BP1号トンネル，中部地方整備局管内事業研究発表会，2015.7.

建設工事の地質診断と処方

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



〒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



「奇岩と紅葉が彩る絶景」中津市耶馬溪より

平野 啓一

中津市は、大分県の北西部に位置し、山国川を挟んで福岡県と接している。福沢諭吉の育った街としても知られ、戦国時代の軍師・黒田官兵衛が築いた中津城などの歴史的建造物や羅漢寺などの重要文化財が点在する。

食文化ではB級グルメで全国区となった「中津からあげ」が有名であり、市内いたる所にテイクアウトのからあげ専門店を目にする。少し高級なものでは、京料理で使われるハモが特産品である。ハモには長くて硬い小骨が多く、食べるには「骨切り」という熟練を要する下処理が必要であるが、一説にはハモの「骨切り」技術は中津の漁師から隣接する天領日田を通して京都に伝わったのではないとも言われている。

市域南部は耶馬日田英彦山国定公園に指定され、新日本三景でもある耶馬溪などの景勝地を有する。耶馬溪とは、凝灰岩や凝灰角礫岩、熔岩からなる台地が浸食されて形成された奇岩が連なったものをいう。観光地として名高い青の洞門は江戸時代に諸国遍歴の僧、禅海和尚がノミと植だけで30年もの歳月をかけて掘り抜いたトンネルとして知られ、国内初の有料道路と伝えられている。

秋の深まりとともに昼夜の気温差が大きいこの地域



耶馬溪の奇岩群(深耶馬溪)

では美しい紅葉の条件をよく満たす。毎年11月ごろには、奇岩群を覆うように紅葉が彩りを添え、山水画の世界が朱色に染まる絶景を求めて多くの観光客が訪れる。

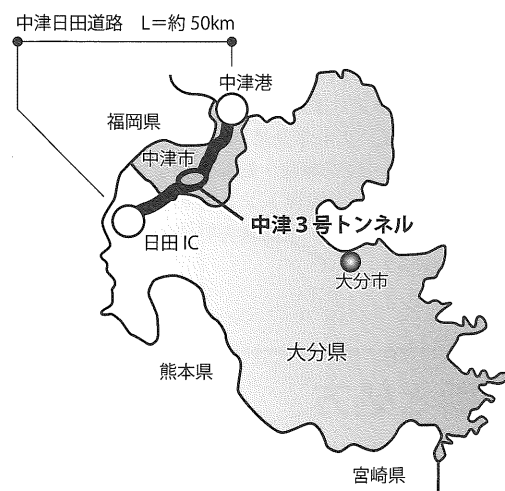
本工事は、大分県の中津市と日田市を結ぶ地域高規格道路・中津日田道路の一区間である耶馬溪道路に建設する中津3号トンネル(L=2,986m)の2工区(日田側、L=1,440m)を施工するものであり、災害時における代替路の確保、観光地へのアクセス向上など地元から期待が寄せられている。

トンネルの地質は、耶馬溪の奇岩を構成する溶結凝灰岩下に分布する凝灰角礫岩を主体とした堆積層が続き、坑奥部では安山岩が出現する。

掘削は2015(平成27)年9月末に開始した。民家や学校に比較的近い場所であり、地元の方々の理解と協力を得るため、騒音・振動・粉塵・交通安全対策には細心の注意を払っている。無事故、無災害での貫通と竣工を目指し、所員一同気合いを入れてスタートしたところである。

自然に囲まれたこの地では、ホテルや紅葉など観光シーズンでの交通量の増加、冬の積雪や凍結など工事をするうえでの懸念要素もあるが、四季の移り変わりを楽しみながら腰を据えてトンネルを掘っていければと思う。

(三井住友・小田開発・野村特定建設工事共同企業体 中津トンネル作業所長)



位置図

施工

DO-Jet工法による既設下水道管の防護および基礎杭の切断・除去

—東京下水道 新宿区河田町、市谷本村町付近再構築—

東京都下水道局西部第一下水道事務所建設課長 武山 信幸
東京都下水道局西部第一下水道事務所建設課主任 中條 明彦
東洋建設(株)関東支店土木部新宿作業所長 川元 克哉

1 はじめに

本計画は、新宿区住吉町付近の浸水対策、既設主要枝線の負荷を軽減させ管渠能力の向上などを図るものである。

現在、この流域の既設主要枝線は、谷状の地形の底部付近を通過し、住吉町付近で既設市ヶ谷幹線に接続しているが、既設管渠の排水能力不足により、地盤の高さが低い住吉町付近では浸水被害が多発している。

本事業は、新宿区河田町を起点とし、新宿区片町付近で既設市ヶ谷幹線に接続する全長約1.5kmの主要枝線工事である。

2 再構築工事の概要

本工事は、新宿区河田町付近の都市計画道路の整備予定区域内に築造した立坑から発進し、主に既設道路下を使用して、片町付近の既設市ヶ谷幹線までの区間を施工する計画である。工事概要は以下に示すとおりである。

工 事 件 名：新宿区河田町、市谷本村町付近再構築工事

延 長：約1.5km

仕 上 り 径：内径2,200mm(外径2,550mm)

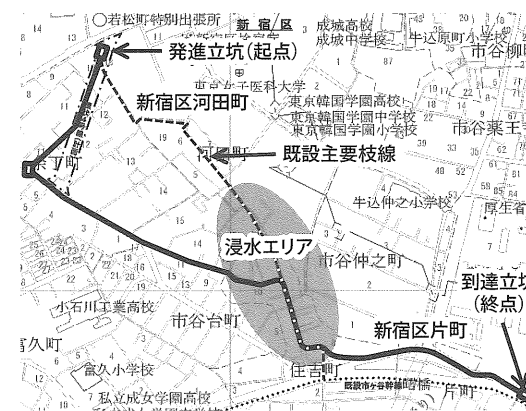


図-1 位置図

使用セグメント：二次覆工一体型RCセグメント(曲線部は鋼製セグメント)

土 かぶり：3.07~17.33m

3 工法選定の経緯

3-1 本検討箇所の概要

最上流(起点)は、都市計画道路の整備予定区域内にあり、都営大江戸線の若松河田駅から抜弁天交差点を馬背として靖国通り方向へ急傾斜が扇状に広がる地形である。周辺には、東京女子医大および同病院、防衛省、陸上自衛隊市ヶ谷駐屯地、中央大学大学院、都営新宿線曙橋駅などが立地

している。

主要な地下埋設物は、到達部(終点)から既設市ヶ谷幹線接続区間(開削部)である靖国通りに集中し、都営地下鉄新宿線、水道本管φ1,100mm、同φ1,350mm(さや管)、NTT管路9条4段、6条6段、東電管路4条3段などが埋設されている。

周辺環境は、一般住宅と中高層ビル(集合住宅)が中心の市街地構成である。

3-2 工法選定

3-2-1 下水道管渠布設工法の選定

下水道管渠布設工法には、開削工法、推進工法、シールド工法などが挙げられる。本計画路線では、地形の高低変化、道路幅員、事業中道路下の利用、布設延長(約1,500m)、計画内径断面φ2,200mm、輻輳する埋設物(水道管、既設BOX基礎杭の想定)などを考慮してシールド工法により検討した。

3-2-2 地中障害物の撤去について

あけぼのばし商店街では、延長約198m区間において新設管が既設下水道管(ボックスカルバート:1.82m×1.45m、DP=1.4m)直下を縦断的に掘進する。新設管と既設下水道管との離隔が1.08~1.54m、地表から新設管までのN値が1~2程度の凝灰質粘土層であるため、既設下水道管の基礎杭(木杭)が想定された。

道路幅員が狭く、新設管と既設下水道管の幅はほぼ同じ大きさであるため、基礎杭(木杭)を開削で撤去することが不可能である。

これらの条件を勘案し、当局が、掘進中のマシン内から地中障害物を探査し、その切断・除去ならびに地盤改良ができる工法の開発を、都の監理団体などに要請して実用化した「DO-Jet工法」を採用した。

また、発注時には地中障害物が未確認であったことから、地中障害物が探査により確認できた場合に対応することが可能となるようDO-Jet工法の地中障害物保険方式を採用した。これは、発注時点において地中障害物の存在は未確認であるが、地中障害物の存在が想定される場合などに適用する方式であり、その旨を設計図書の特記仕様書に記載し、工事請負契約事項として盛り込んでいる。

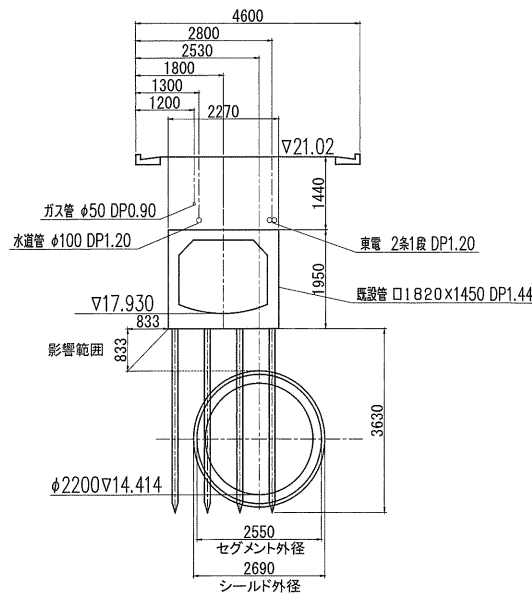
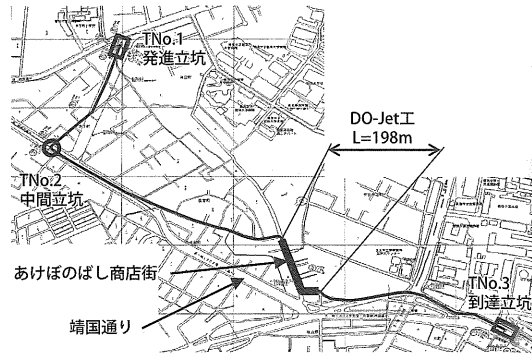


図-2 DO-Jet施工位置図、代表断面図

本工事では、カッターヘッド部装置などのシールド部は発進後に取付けができないことから、DO-Jet仕様をあらかじめ装備した。地中障害物(木杭)を探査などにより確認した時点で、DO-Jet工法に変更して、残りの機材を設置し、施工に対応することとした。

4 DO-Jet工法による超高压地盤改良および基礎杭(木杭)の切断、除去

4-1 概要

基礎杭の切断、除去工法として採用したDO-Jet工法は、推進工法またはシールド工法の掘進機に、超高压ジェットシステムを搭載し、地

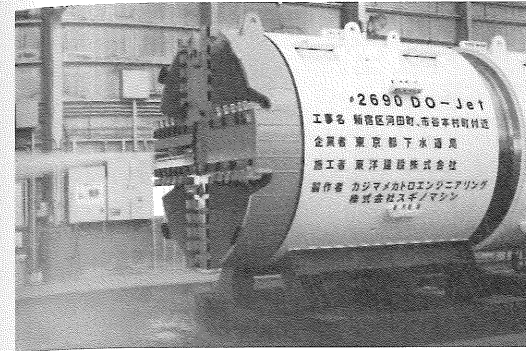


写真-1 DO-Jet掘進機

中障害物の位置、形状、寸法などの把握、地中障害物周辺部の地盤改良や近接する重要構造物の防護改良および地中障害物の切断、除去の一連の作業をすべて掘進機から行う工法で、以下の3つのシステムで構成されている。

- ・前方探査システム
- ・超高压地盤改良システム
- ・切断、除去システム

4-2 前方探査システム

掘進断面内に出現した地中障害物の位置、材質、形状、寸法、範囲などを探査、解析する一連のシステムである。解析結果から、地中障害物を地中障害物現況図に表し、地盤改良計画図および切断計画図を作成する。

(1) 反射音の受信

カッターヘッドに装備した超高压噴射ノズルから超高压ジェット水を地中障害物に噴射し、地中障害物からの反射音を音響センサにより受信する。

(2) 解析作業

受信したデータを解析し、地中障害物の位置、形状、寸法、範囲などを判定する。

図-3に前方探査概念図、図-4に前方探査システム説明図を示す。

(3) 作図

解析結果より判定した地中障害物を現況図に表し、地盤改良および切断施工図を作成する。

4-3 超高压地盤改良システム

地中障害物切断箇所周辺部の地盤の安定や既設構造物の防護改良、急曲線部の反力防護のため、掘進機からセメント系の地盤改良材を噴射し、改

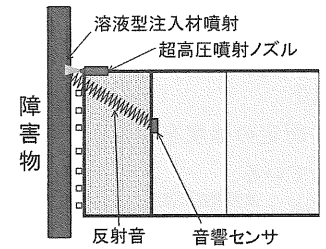


図-3 前方探査概念図

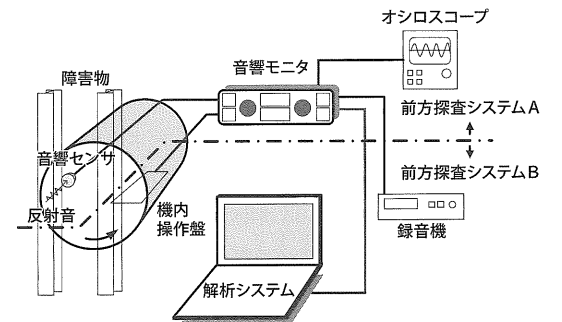


図-4 前方探査システム説明図

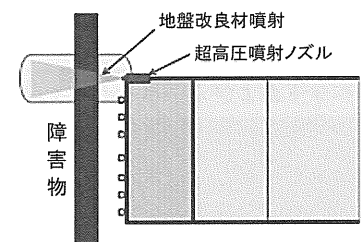


図-5 超高压地盤改良概念図

良体を造成するシステムである。

図-5に超高压地盤改良概念図を示す。

(1) 加泥材注入

掘進機チャンバ内への加泥材注入は、地盤改良時の切羽保持と固結防止を目的とし、地盤改良前、地盤改良中および地盤改良後に行う。

(2) パック材注入

バック材を掘進機外周に注入することで、地盤改良材が掘進機スキンプレート外周部へ廻込み、固結するのを防止するため、地盤改良スパンごとにバック注入を行う。

(3) 地盤改良材の噴射

地盤改良ノズルを噴射位置に合わせ地盤改良材を噴射する。改良範囲を確実に、かつ改良体の強

度を均一化させるために地盤改良ノズルを、噴射位置を中心に移動させて噴射する。

(4) 養生

改良体の所定の強度を得るため標準では12時間養生としている。

(5) 洗浄

地盤改良材の噴射後に沈降付着した地盤改良材を除去するため、水道水および加泥材で洗浄を行う。

4-4 切断、除去システム

前方探査で作成された切断計画図にもとづき、掘進機内から超高压のアプレシブジェット(研磨材、ポリマー溶液と溶液型注入材の混合液)を噴射することにより地中障害物を切断し、切断片は切断後に排土装置によって掘進機内から搬出するシステムである。切断可能な地中障害物の種類は、鋼材、コンクリート、鉄筋・鉄骨コンクリート、木杭である。

図-6に切断計画図例、図-7に切断概念図を示す。

(1) 切断、除去

カッターヘッドおよびオーバーカッター部に装備された切断ノズルを任意の位置に移動させ、アプレシブジェットを噴射し、排出可能な大きさに切断する。また、切断、除去後に掘進機を通過させる

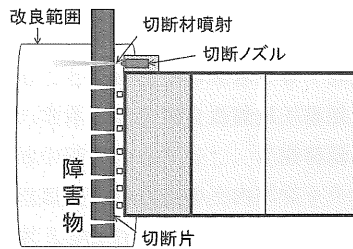


図-6 切断概念図

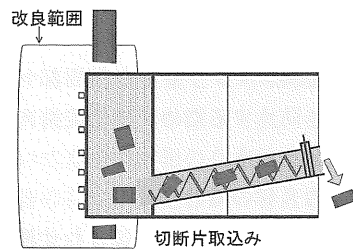


図-7 除去概念図

ため、掘進機外周から30~300mmのオーバーカッター機能を有している。

(2) 洗浄

アプレシブジェットの噴射後に沈降付着した研磨材を除去するため、水道水および加泥材で洗浄する。

(3) 除去

切断ノズルで細断された地中障害物を掘進機坑内に取り出し、立坑まで搬出する。

5 本工事における施工

シールドの施工に先立ち、地中障害物調査をボーリングで実施し、削孔内部をCCDカメラで撮影した結果、既設下水道管の基礎杭(木杭、末口180mm程度)の存在を確認したことから、既設下水道管の防護改良と基礎杭(木杭)の切断、除去をDO-Jet工法により施工することを決定した。

5-1 本工事の施工フロー

本工事の施工日数および施工フローを図-8に示す。

本工事では、既設下水道管直下を掘進する延長約198m区間において、既設下水道管の防護改良と基礎杭(木杭)の切断を行うこととなったことから、地盤改良、基礎杭(木杭)切断、掘進をくり返す施工サイクルとなり、この間の掘進量は1.5m/2日であった。

5-2 地盤改良と基礎杭(木杭)の切断について

5-2-1 地盤改良について

本工事における地盤改良の施工は、既設下水道管の防護および基礎杭(木杭)切断により、基礎杭が受ける荷重を改良体で受けかえることなどを目的に行う。図-9に本工事における地盤改良計画を示す。

地盤改良は、既設下水道管直下を掘進する延長約198m区間全線において行い、地盤改良断面は土質区分によりA-A断面とB-B断面の2断面で施工した。A-A断面とB-B断面ともに、FEM解析により、既設下水道管の安定が確保できる改良範囲として、新設管の上半分を改良厚さt=0.6mで改良した。

施工日数	
準備工	25日
前方探査工	2日
超高压地盤改良、切断・除去工	274日
合計	301日
通常の一次覆工を施工した場合	32.2日
	(約269日の増)

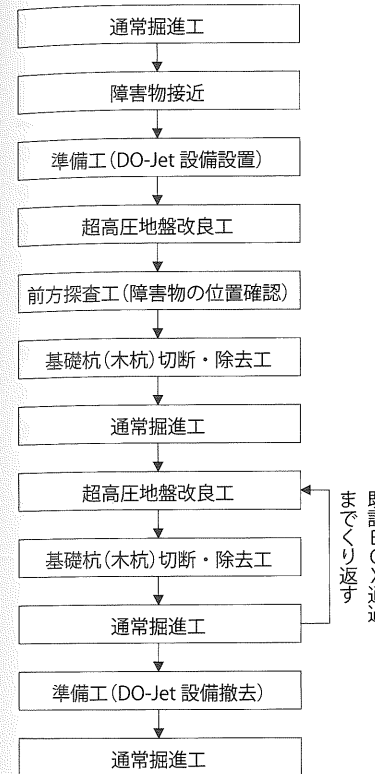


図-8 施工日数および施工フロー図

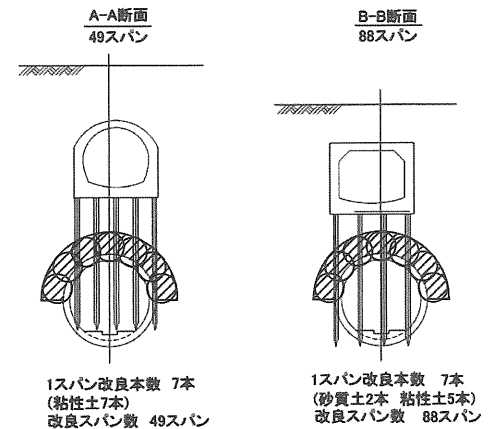
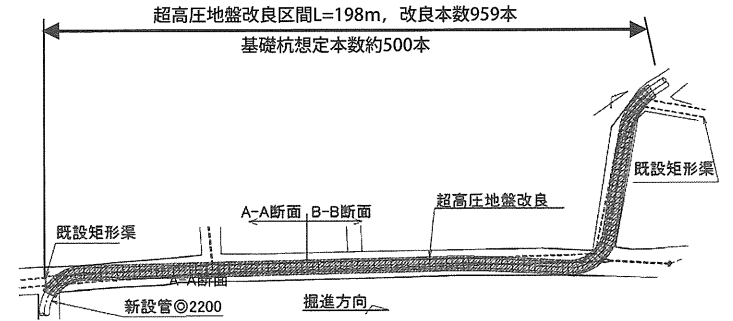


図-9 地盤改良計画図



写真-2 回収された木杭

5-2-2 基礎杭(木杭)の切断について

基礎杭(木杭)は、500本程度想定された。DO-Jet工法の標準装備の切断ノズル(鋼材などを切断)では、基礎杭(木杭)を1本ずつ切断するため工期が長く必要となることから、木杭切断専用ノズルを5か所装備し、この5個のノズルから同時に切断材を噴射させながらカッターヘッドを回転させ、掘進機前面に出現する基礎杭(木杭)を同時に切断することにより工期の短縮を図った。

基礎杭(木杭)を切断する切断材は、珪酸ナトリウム溶液と硬化剤を混合した溶液型注入材とし、切断後すぐにゲル化させることにより、地山の乱れを防止しながら切断した。

5-3 本工事での施工管理

5-3-1 土圧管理および排泥管理

DO-Jet工法施工区間の土かぶり厚は3.71~5.08mと比較的小さく、既設下水道管が上部に位置するため、地盤改良および基礎杭(木杭)の切断を行うにあたり、地山の隆起や崩壊、既設管の変形などを起こさないために土圧管理および排泥管理をとくに注意して行った。

土圧管理は、地盤改良中および基礎杭(木杭)切断施工中は、静止土圧+10~+20kPaの範囲で管理することで切羽を安定させ、地山の隆起および崩壊を防止した。

排泥管理は、改良1本ごと、また切断1回ごとに噴射量の確認と切羽からの排泥量の計測を行い、収支バランスが取れる管理を行うことで、地山への影響を最小限にした。排泥はずり鋼車により行い、ずり鋼車1車ごとに排泥量を測定することで確実な排泥量の管理を行った。

5-4 本工事での留意点

5-4-1 セメントミルクの送液

DO-Jet工法の施工位置は、発進立坑から約900~約1,100mの区間であったため、地上で練上げた材料の送液に注意を要した。とくにセメントミルクは均一な材料を送液するため、セメントミルクと珪酸ナトリウム溶液の配合を検討し、計画と同等以上の強度が保て、均一な送液が可能な配合に変更して取組んだ。

シールド坑内では、アジテータを設けて、地上

から送液されたセメントミルクを再攪拌することで、安定したセメントミルクを供給した。

5-4-2 木杭の回収

本工事では、基礎杭(木杭)が500本程度想定されたことから、木杭が掘削土砂に混ざって排泥されるため、排泥タンク内に木杭回収装置を設け、掘削土砂と木杭の分別の作業効率を上げた。

6 おわりに

都市部での施工においては、周辺環境、道路形状、地中構造物などのさまざまな施工上の制約条件がある。トンネル工事を行う際には、上記条件を考慮した十分な検討を行ったうえで、ルート、工法選定を計画しなければならない。

今回施工した「DO-Jet工法」は地中から地盤改良、支障物の切断、撤去することが可能な工法であり、今回工事のような地上からの施工が困難な条件下において真価を発揮する工法である。

本工事の実績が今後のトンネル施工の発展性に寄与することになれば幸いである。

第七十五回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

シールド技術の進展と ともに歩んだ土木屋の道

はじめに

昭和46(1971)年、佐藤工業に入社して、最初に配属になったのは厚木市北部に位置する内陸工業団地の下を横断する導水路トンネルのシールド工事現場でした。以来、約40年にわたりシールド技術にかかわる仕事をしてきました。現場の施工管理、技術開発、本支店の管理業務と、一貫してシールド工事を中心とした都市トンネル分野を歩いてきました。この間に海外工事部にも席を置き、シンガポール、クアラルンプールのシールド工事の入札にも参加でき、日本の土質から海外の土質まで幅広い条件下でシールドトンネルの設計施工を経験しました。

私が経験したシールド技術は、昭和40年代から平成20(2008)年までであり、この期間はちょうど日本でシールド工事が本格的に採用され始めてから各種の密閉型シールド技術の完成期にあたり、私の技術はシールド技術の進展期に

培ったものです。私の技術が継承するに値するかは別として、この間の技術の変遷に対し、実際の現場での取り組み方、問題・課題への対応、検討方法についてどのように適用してきたか、失敗も含めて語りたいと思います。

初めて経験した 圧気手掘り式シールド工事

■神奈川県水道企業団導水路トンネル第13工区工事

入社後1週間の新入社員教育を経て、東京支店に配属になり、即日、小田急線厚木駅から車で1時間ほどのシールド工事の現場合宿に送り込まれました。すでにシールド工事は、初期掘進を終えて本掘進が開始されていました。翌日から、測量と切羽観察スケッチの仕事が与えられ、朝から晩まで切羽と事務所を往復する日々が始まりました。外径5,100mmのシールドのハーフデッキから作業員3~4人が圧縮空気掘削ノミで切羽を半裸で掘削している状況を見て、

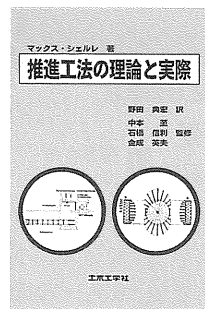
(元)佐藤工業(株)
吉成 寿男

推進工法の理論と実際

B5判 437頁 本体価格8,500円 送料460円

マックス・シュルレ 著

野田典宏 訳 中本 至・石橋信利・金成英夫 監修



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



株式会社 土木工学社

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



著者近影。NCセグメント(株)試験棟にて

著者略歴

- 昭和46年 佐藤工業(株)入社
神奈川県水道企業団導水路トンネル第13区工区工事
- 昭和47年 相模川流域下水道平塚幹線管渠工事
- 昭和48年 小伝馬町共同溝工事
- 昭和49年 東京都下水道局江東区豊洲三、四丁目附近枝線工事
- 昭和51年 東京都下水道局篠崎幹線その5工事
- 昭和55年 江戸川左岸流域下水道510区工区工事
- 昭和58年 土木本部海外工事部長
- 平成元年 技術開発本部技術開発部課長
- 平成6年 技術本部土木技術部次長
- 平成8年 東京電力本牧埠頭付近管路新設工事所長
- 平成11年 東京メトロ半蔵門線線本所工区土木工事工区部長
- 平成12年 横浜支店土木部門土木部門長
- 平成17年 土木事業本部技術部技術部長
- 平成19年 土木事業本部副本部長(技術統括)
- 平成21年 佐藤工業(株)退社
日本コンクリート工業(株)入社
- 平成23年 NCセグメント(株)代表取締役社長
現在に至る

映画の1場面を見ているような気がしました。

本工事は、土かぶり40mの砂礫層約2,000mを圧気手掘り式シールド工法で施工するもので、セグメントはRCセグメントでした。立坑は外径10mのスチールセグメントによる深礎工法の立坑で深さは約50m。資機材の投入はこの立坑から行いました。坑口から1,000m付近で、切羽崩壊があり、出水による坑内停電で照明が途絶え、トンネル内は漆黒の闇でした。このような状況でトンネル内の調査を命ぜられ、体が恐怖で震えていたことを覚えています。入社1年目にして切羽崩壊というトラブルに対して、どのような手順でどう対処したらよいかを、現場所長をはじめとした先輩社員に身をもって教えていただきました。

毎日の切羽観察は、こうした切羽崩壊の兆候を早期に把握して、事前の対策にする重要な仕事であると肝に銘じたトラブルでした。現在は密閉型シールドが主流で、ほとんど切羽を肉眼で観察する機会がなくなりましたが、入社早々約2,000mの切羽観察を毎日記録したことは、その後、密閉型シールドの掘進管理や技術開発で掘進地山の想定や土質データの解釈に非常に優意義な経験となりました。

初めての泥水式シールド工事

■相模原流域下水道平塚幹線管渠工事

前述の厚木市のシールドトンネルの貫通後、しばらく二次覆工を施工して、昭和47(1972)年に平塚市で施工する泥水式シールド工法による下水道管渠築造工事に従事

しました。当時、泥水式シールド工法は事例も少なく、佐藤工業でも初めての工事でした。本工事は、土かぶり約7m、工事延長約990m、シールド外径3,210mm。土質は、細粒分の少ない砂礫層で、現在でも高度な技術対応が必要な土質でした。

シールドの基本的構造は現在とほぼ変わりませんが、礫処理やバルクヘッド内排泥口の閉塞防止機構の対策はありませんでした。泥水輸送システムや泥水処理システムは、まだまだ未経験の領域で、現在では想像もできない設備を使用していました。泥水中の礫処理はスパイラルクラッシュファイヤーを使用し、細粒分は溜池で沈降分離を行っていました。サンドコレクターとかフィルタープレスといった設備は土木用では流通し

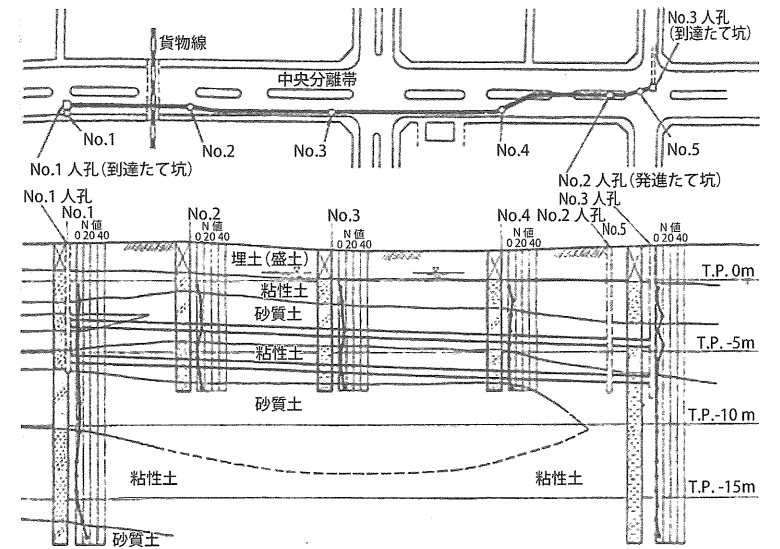
ていなかったと思います。

当時、泥水処理設備は川砂利生産プラントを小型化したような設備でした。泥水の品質管理も試行錯誤の状態では、比重、粘性の調整にはベントナイトと増粘剤を使用していました。土質にあった管理ができませんでした。そのため、切羽閉塞や排泥管閉塞がたびたび発生して、その都度バルクヘッド内に立ち入り、礫の撤去清掃作業、排泥管の清掃作業などがあり、工事の中断が余儀なくされました。現在では、こうした経験を踏まえて密閉型シールド工法で対応できるようになりましたが、土質にあった工法の選択は土木工事の基本だと思います。

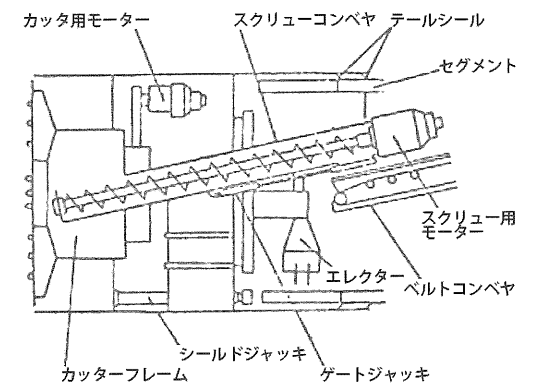
創生期の土圧式シールド工事

■東京都下水道局豊洲江東区三、四丁目附近枝線工事

昭和50(1975)年、東京都豊洲の下水道工事に赴任しました。本工事は、佐藤工業で初の土圧式シールド工事(日本初の土圧式の適用年の1975年と同年)で、シールド外径2,870mm、工事延長約530m、土かぶり約6mでした。従来、ブラインド式シールドでは、砂分量が卓越すると排土が困難になることがあり、手掘り圧気方式と併用してきました。スクリーコンベヤをシールドに隔壁を介して装備し、掘削土を強制排土することにより、幅広い土質に対応できるシールド工法として採用されました。本工事では、排土量管理方式を地表面の沈下量との関係から適切な排土率をとり、大きなトラブ



豊洲平面縦断面図



豊洲シールド図

ルもなく貫通できました。その後、土圧式シールド工法が改良・改善され、土質にあったシールドの機能付加が各種開発され、ほとんどの土質の掘削が可能になったシールド工法に進歩してきたのは周知のとおりです。

土圧バランス型加水式(ハイブリッドタイプ)シールド工事

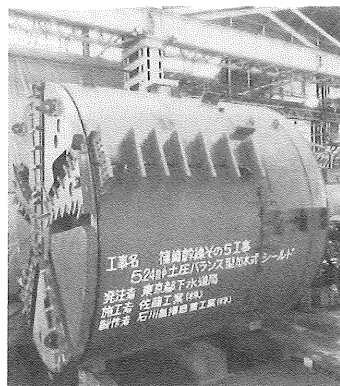
■東京都下水道局篠崎幹線その5工事

昭和51(1976)年、東京都下水道

局発注の篠崎幹線その5工事に赴任しました。本工事はシールド外径5,240mm、セグメント外径φ5,100mm、幅900mm、桁高200mmのシールド工事で、延長1,000m、地質はシルト質細砂でした。

シールドは掘削機構が土圧密閉型シールドで、スクリーコンベヤの排土口に加水調整槽を設け、掘削土砂を流体輸送で行うものでした。

後向きの泥水処理設備は泥水加圧式シールド工法と同様な処理設備としたものです。切羽水圧に



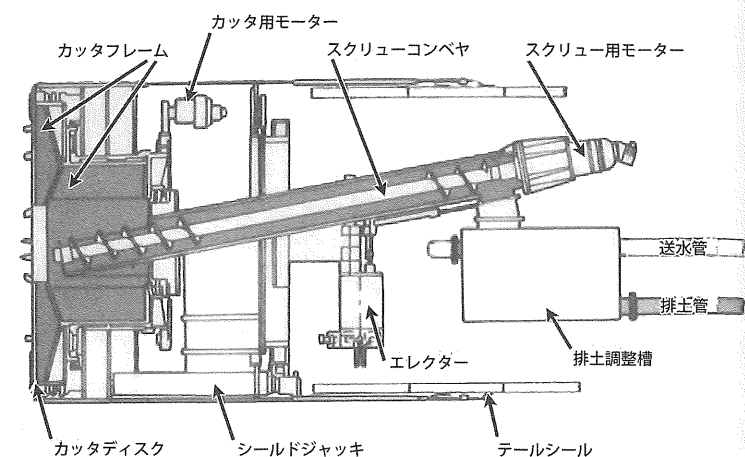
篠崎マシン

じて、加水調整槽の圧力を調整して切羽水圧にバランスさせるという思想で開発された工法でした。

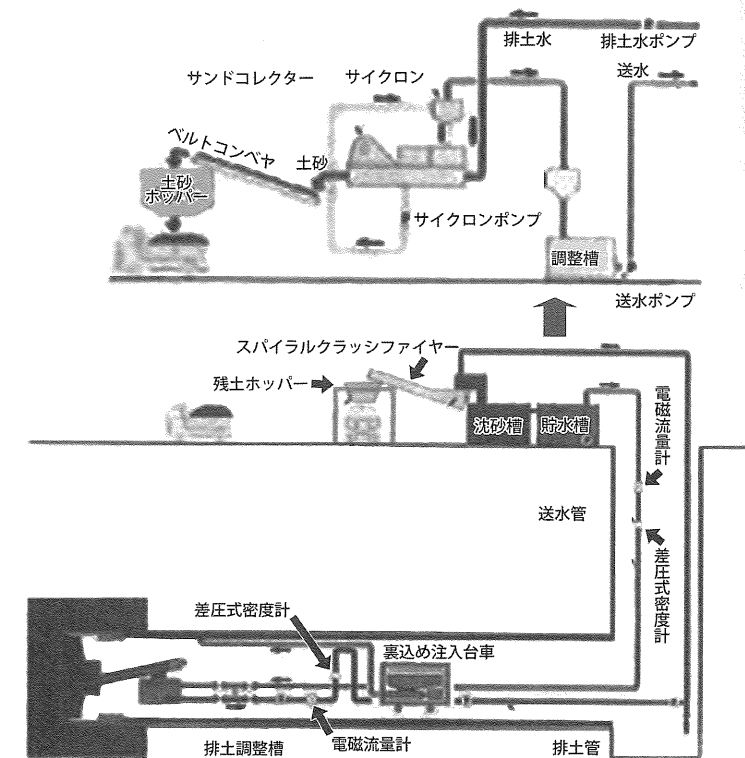
当時は、泥土圧式シールド工法は細砂層を掘削する場合、水圧が高いとスクリーコンベヤでは止水できず、コンベヤ排土口から地下水が噴発することがありました。良好な加泥材やスクリーコンベヤの構造機構の改良で、現在では噴発のトラブルは見受けられなくなりましたが、当時は工法の発展段階で多々発生していました。また、スクリーコンベヤに排土調整槽を付けることにより、シールドの重心位置が後方に移り、シールドが上昇する傾向にあり、マシン制御には苦労した記憶があります。

泥水処理設備は、サンドコレクター、サイクロン、フィルタープレスと、昭和47(1972)年当時に経験した処理設備とは全く違った高性能、コンパクトな設備となり、大きく進歩していました。ただ、流体輸送や処理設備の中央制御室の計器類はアナログ式で現在のデジタル式とは、だいぶかけ離れたものでした。

土圧バランス型加水式シールド掘進機



篠崎加水式概要図



加水式工法フロー図

高水圧下の泥水シールド工事

■江戸川左岸流域下水道510工区工事

昭和55(1980)年に、前述の東京都下水道局篠崎幹線とは江戸川を

挟んで対面に建設される江戸川左岸流域下水道工事に配属となりました。本工事は、シールド外径4,430mm、セグメント外径φ4,300mm、幅900mm、桁高175mm、土かぶり約GL-35m。地質は均等係数

が小さい細砂層、延長約1,500mでした。

発進立坑は、ニューマチックケーソン工法で築造しました。刃口深度GL-41m、最終圧気圧は0.35MPaでした。

ケーソンの沈下中は、毎日掘削前にケーソン作業室に入り、地質状況と地下水漏洩の有無を観察スケッチして施工管理を行いました。この経験は、その後の仕事で地質柱状図の理解に大いに役立てることができました。

同じN値でも粘性土、砂質土での性状の違いを身をもって覚えることができたのは、大変な収穫でした。

シールド掘進では、テールシールの交換を2回行いました。当時のテールシールはポリウレタン製で、2段取り付けしたシールも外側は半分以上引きちぎられていたため、内側シールを交換するためのテール部の止水には薬液注入などで相当の時間を要しました。細砂で高水圧の地盤のため、相当な泥水が噴出しました。

とくにセグメントの注入孔の取付けに失敗すると、0.3MPaの水圧で消防ホースの口先同様な勢いで棒状に泥水が噴出し内径4,000mmの反対側のセグメント壁に当たる勢いの水勢でした。

対応処置としては、木栓を注入孔に打込むか、注入コックのバルブを開いた状態で注入孔のネジ山に噛み合わせるかで対処しました。ある時点で注入孔に逆止弁をセグメント組立て前に組込むことを考え、改善することができました。

海外のシールド工事

■シンガポールMRT第1期工事

昭和58(1983)年、海外工事に参加して3工区のシールド工事の入札業務を担当しました。現地調査から始まり、設計検討、施工計画、資機材の調達と、現地スタッフと合同で作業を進めました。これまでの国内工事では地質も似通った沖積層から洪積層をおもに扱ってきましたが、現地では地質の年代違い、硬軟入り込んだ縦断ルートをシールド掘削するという、これまでの国内技術の延長では対応できない現場条件でした。工事を進めるための仮設備の考え方もまちまちで、これまでの常識が覆されることも多々ありました。資機材の調達も、全方位で世界規模の視野で調達先を決めるといった新しい経験もできました。

残念ながら、最初のシールド工事の受注はかないませんでした。その後、MRT 駅部工事では施工実績も多く、最近ではシールド工事でも多数受注できているとのこと。

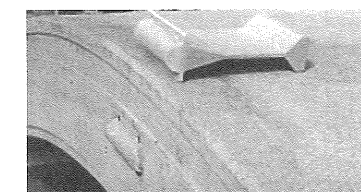
高流動コンクリートセグメントの初適用

■本牧埠頭付近管路新設工事

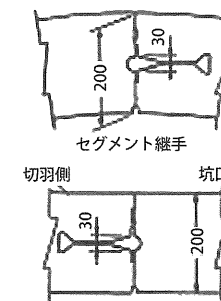
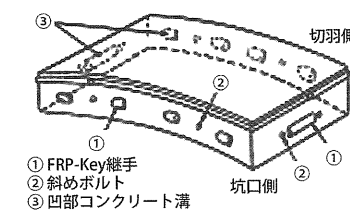
本工事では東京電力(株)と佐藤工業(株)で共同開発した高流動コンクリートを用いた等5分割セグメントを現場に初適用すること、および、覆工厚47mmの二次覆工を採用するなど技術的な課題を解決して、経済的な施工法を採用しま

した。高流動コンクリートを使用したセグメントについては、さらにコストダウンを指向して等5分割セグメント(調芯ピン付き)として採用しました。また同様に東京電力(株)と佐藤工業(株)で共同開発したFRPKEY継手を一部区間に試験導入しました。

曲線区間における二次覆工は、二次覆工の主目的である防水、防錆および立金物支持について検討した結果、既往工事で施工されている標準巻厚200mmから、シールド工事費の削減を図るため、トンネル断面を増大させることなくRCセグメントと(桁高200mm)と鋼製セグメント(桁高153mm)の桁高差を有効活用した設計巻厚47mmの二次覆工を高流動コンクリート



FRPKEY写真



FRPKEY図

で施工しました。

高流動コンクリートセグメントについては、開発当初から開発担当者として、セグメント製造会社に泊り込みで実験検討を重ね、実用化したものでした。さらに本工事で現場所長として開発したセグメントを現場に初適用することができ、開発から実用化までを経験させていただきました。ここに誌面をかりて当時の東京電力(株)、佐藤工業(株)の関係者のみなさまに感謝いたします。

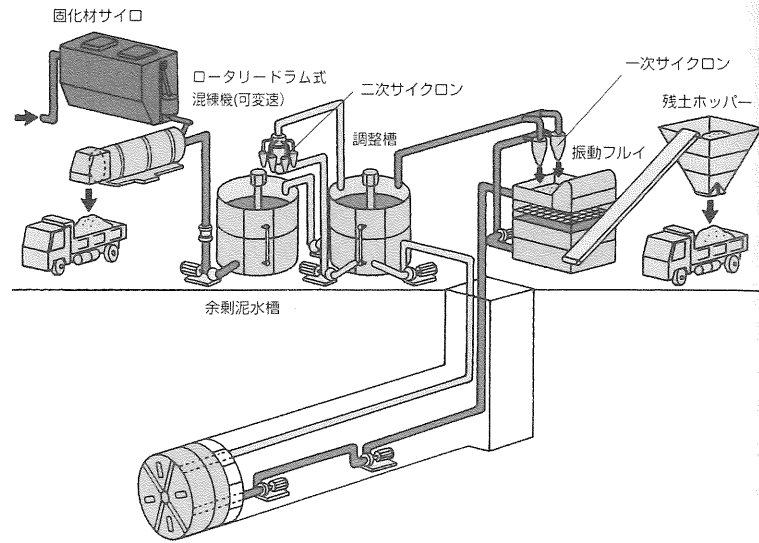
高度成長期の技術開発と
低成長期の技術管理

■場所打ちライニング工法、泥水再利用システム、坑内無人搬送システム、高流動コンクリートセグメント、スライドゲート、セグメント形状保持システム
平成元(1989)年には技術開発部に課長として配属となり、場所打

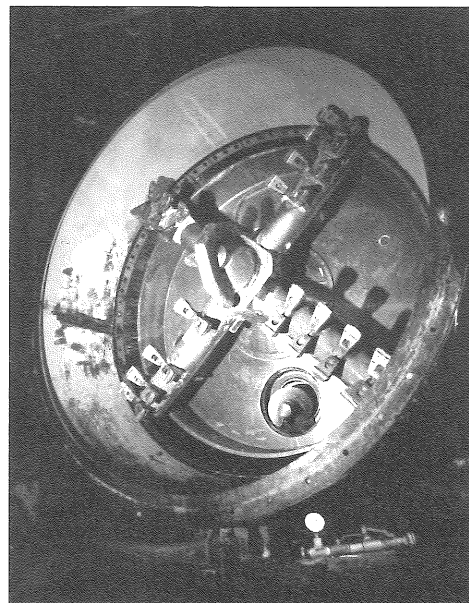
ちライニング工法SECLを開発して、桜木町駅構内下水道シールド工事に初適用しました。平成2(1990)年には複数のサイクロンの組合せによって泥水処理の効率を上げ、高濃度泥水を作り、固化材を混練して埋戻し材として再利用する工法を開発して、営団地下鉄

7号線本駒込三工区に初適用しました。平成6(1994)年には長距離トンネルの資材搬送を無人で行う坑内自動搬送システムジオシャトルを開発して、道志導水路トンネル(TBMによる7kmの施工)に初導入しました。

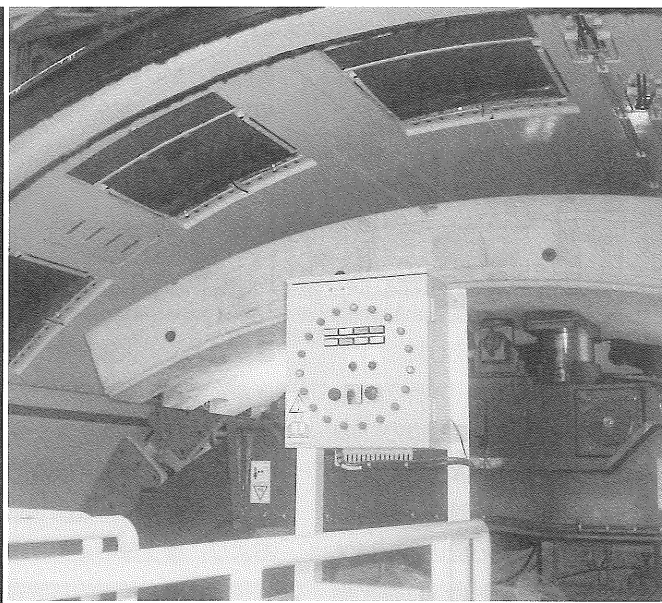
その後、本社土木技術部長、



本駒込 泥水再利用



スライドゲート到達



セグメント形状保持装置

支店土木部門長、本社技術部部长として技術開発の推進や工事管理業務を主体としてシールド工事に携わりました。この期間のおもな技術開発は以下のような事例があります。

スライドゲートによるシールドの到達を池之端3、4丁目付近再構築工事で現場導入して、第7回国土技術開発賞を受賞しました。セグメント形状保持装置は、東京メトロと早稲田大学の小泉淳先生との共同開発で、副都心線西早稲田工区の駅部シールド(シールド外径8,150mm)に採用されました。

平成元~10(1989~1998)年ごろは、高度成長期のいわゆるバブル

期で、技術開発や調査研究に投資する余裕が建設業界全般にあり、各種技術開発は、おおいに進んだ時期でした。その後は建設業界冬の時代と言われるようにシールド工事の工事量も減少して、技術開発投資も少なくなりました。この時期はおもにコストダウンに関する技術開発が主流で、規模の大きい技術開発や官民・異業種間の共同研究も少なくなっていました。

おわりに

開放型圧気シールド工法を皮切りに、各種の密閉型シールド工法の施工および技術開発を約40年にわたり経験してきました。この間、

シールドの機能向上、掘削管理技術、掘削土運搬処理技術、泥水運搬処理技術、各種補助工法、測量技術の進展もあり、現在ではシールド工法はあらゆる土質に対応できるトンネル工法として広く採用されています。とくに近年は外環道路、リニア新幹線などに見られるように大断面、大深度、急速施工、分岐合流といったキーワードに代表される技術ニーズが大きくなっています。これまでにない高度な技術と新たな技術開発の視点が必要になると考えています。

日本のシールド技術がますます進展し、これまで同様、世界のトップランナーであることを願います。

土木情報 No. 513

今月の主な入札結果
(1月10日～2月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
東北地整	成瀬ダム国道付替2号T	鹿島建設	3,438
関東地整	大月BP花咲地区改良	早野組	494.8
〃	〃 大月第二T	西武建設	766
〃	16号相模原市橋本地下道建設	小島組	232.4
〃	新三国T	フジタ	3,920
〃	H27入間川鹿飼樋管改築	奥村組	1,053.7
近畿地整	冠山峠道路第1号T	大成建設	2,129.5
中国地整	鳥取西道路桂見高住T	大豊建設	1,730.74
〃	〃 気高第2T	鴻池組	1,856.2
四国地整	H27-31新猪ノ鼻T	佐藤工業	3,813
九州地整	東九州道(清武～北郷)九平T新設	前田建設工業	3,734.39
〃	宮崎218号平底T新設	前田建設工業	4,742.93
〃	大分212号三光第1号T新設	安藤ハザマ	2,268.56
鉄道・運輸機構	北海道新幹線, ニッ森T(尾根内)	清水・岩倉・札建・吉本JV	8,890.6
〃	〃 野田追T(南)	東急・東鉄・廣野・草野JV	8,189.75
東日本高速道路	関越自動車道関越T(上り線)はく落防止対策	ボンドエンジニアリング	231
千葉県	白濁北排水樋門	片岡工業	176
都・交通局	三田線西栗鴨駅～新板橋駅間T長寿命化(単価契約)	化工建設	295.3
〃	新宿線神保町駅エレベーター設置土木・建築その他	鉄建建設	535.4
神奈川県	H27酒匂川流域下水道箱根小田原幹線管渠築造(1-2工区)公共(その1)	伊達建設	271.54
福井県	原子力災害制圧道路等整備(仮称)敦賀半島第2T	塩浜・寛・嶺南JV	1,450
静岡県	136号社会資本整備総合交付金(国道道路改築2次)(仮称)下船原T本体	鴻池・土屋JV	752
和歌山県	紀の里地区横谷T	三友・小田JV	422.85
さいたま市	日進樋引排水区下水道(北建-27-77)	三ツ和総合建設業協組	157.31
〃	上小排水区下水道(北建-27-2002)	中央建設協組	107
品川区	大森駅水神口自転車等駐車場整備	浅川・鈴木JV	738.95
〃	浜川雨水排水管建設その2(浜川公園人孔等整備)	福田・大旺新洋JV	792
横浜市	南部処理区大岡川右岸雨水幹線下水道整備(その4)	鹿島・五洋・松尾JV	1,827.36
〃	大江橋シールドT補修	鹿島・京急・馬淵JV	2,475
横須賀市	H27金堀T補強	岩田地崎建設	168
逗子市	(沼間5号)神武寺T拡幅	森本組	692.75
静岡市	H27広野排水区広野2号幹線築造	大成・静和・石福JV	1,776.5
高知市	送水幹線二重化(5工区)管渠築造	フジタ・尾崎・大藤JV	2,754.05
福岡市	中部2号幹線(3)築造	大林・宮本・東田中・丸三JV	3,142

わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格 2,500円 円340円

株式会社 **土木工学社**

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

計 画

路面隆起が徐々に進行するトンネルの変状調査と再現解析

—磐越自動車道 鳥屋山トンネル—

東日本高速道路(株)東北支社社会津若松管理事務所工務担当課長(現)山形工事事務所副所長 宮 沢 一 雄
 (株)ネクスコ・エンジニアリング東北保全技術部土工・トンネル課課長代理 安 田 賢 哉
 (株)ネクスコ・エンジニアリング東北郡山事業所所長 菊 池 慎 司
 応用地質(株)東北支社ジオテクニカルセンター上級専門職 鶴 原 敬 久

1 はじめに

地中構造物であるトンネルは、建設段階に断層破砕帯や坑口地すべりなど、周辺環境から受ける影響を可能なかぎり少なくして、必要であれば対策工を施工し、供用を迎える。今回対象となったトンネルの変状発生区間では、建設時の切羽の岩判定により堅硬な岩盤と判定され、インバートコンクリート(以下「インバート」)がない支保パターンで施工された。供用開始1年半後には路面に隆起などの変状の発生が認められたため、路面の隆起量の測定が行われてきたが、路面隆起の範囲や変位速度、原因となる地質についての詳細は不明であった。

本稿では、資料調査、路面の縦断測量および地質調査などを実施し、路面などの変状状況とトンネルの地質特性を把握したので報告する。

加えて、調査の結果、路面の隆起は現在も継続していること、路面から5m下方までの部分に膨張性を示す地質、いわゆる「膨張性地山」が存在するこ

と、およびその膨張性地山はトンネル縦断方向への連続性がなく局所的に存在することが判明した。供用中のトンネルの変状区間における地質特性および隆起メカニズムを明らかにするとともに、既存資料の重要性と微小な変位量に対する継続調査の有効性についても報告する。

2 トンネル概要

路面の隆起が顕在化したトンネルは、福島県と新潟県を結ぶ磐越自動車道 会津坂下IC～西会津

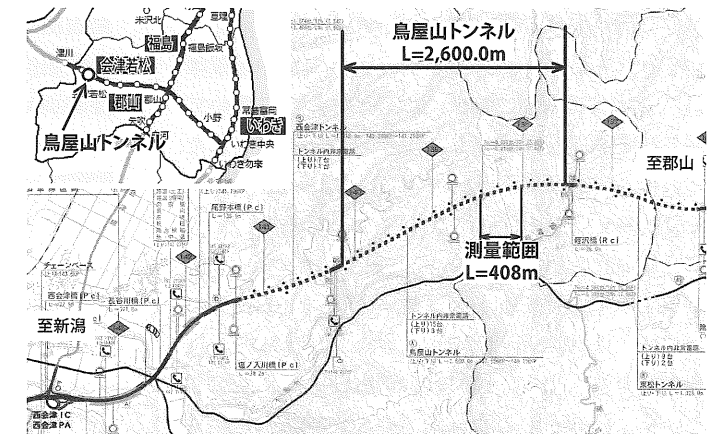


図-1 鳥屋山トンネル位置図

表-1 鳥屋山トンネルの諸元

道路規格	第1種第3級設計規格B
設計速度	80km/h
車線数	暫定2車線
道路幅員	9.5(1.25 + 3.50 + 3.50 + 1.25)m
縦断勾配	1.952%(西側下り)
横断勾配	2.0%(左下り)
トンネル延長	2,600m
防災等級	A
舗装	セメントコンクリート舗装 t=250mm
トンネル断面	断面形状: 5芯円(扁平断面) 内空諸元値: $R_1=4,400$ $R_2=11,000$ $R_3=6,200$ $H_1=1,800$ $H_2=2,300$ $e=220$
内装板	タイル直張り

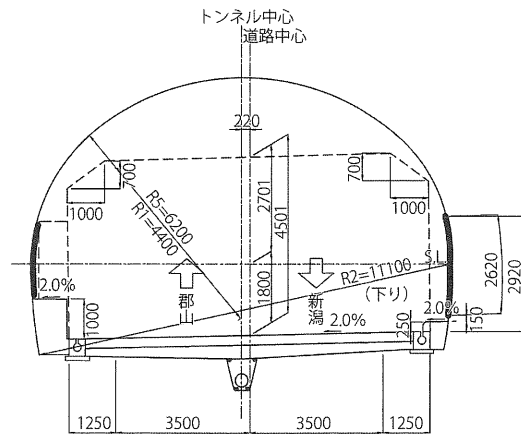


図-2 トンネル標準断面図

IC間にある延長2,600mの鳥屋山トンネルである(図-1)。本トンネルの諸元および標準断面図をそれぞれ表-1および図-2に示す。

本トンネルは、会津盆地西方の低山地～丘陵地に位置する鳥屋山(標高580.7m)を東西に貫いており、I期線を3分割して工事発注し施工された。そのうち、路面の隆起などの変状は東工事(施工延長1,095m)の一部の区間で発生しており、土かぶりは160～180mとなっている。

東工事におけるトンネル掘削工法は上半先進ベンチカットによるNATMであり、当初は機械掘削方式であったが、のちに爆破掘削方式に変更した。路面隆起を生じた区間での地山等級はC級で切羽の岩判定により堅硬な岩盤と判定されたため、



写真-1 アスファルト舗装面に生じた横断クラック
支保パターンはインバートがないCIIパターンで施工された。

トンネル工事は1996(平成8)年5月に竣工し、同年10月より供用を開始した。1998(平成10)年4月に東坑口より約600～800m奥の区間でコンクリート舗装面が40～50mm隆起していることが確認された。隆起箇所に対してはコンクリート舗装面の切削工を実施したうえ、車両の走行性確保のためにアスファルト舗装によるオーバーレイ工にて対処してきた。

トンネルの建設段階での調査結果から、トンネルの地質は新第三紀中新世荻野層の凝灰質砂岩、泥岩および緑色凝灰岩であり、いわゆるグリーンタフ変動の影響があった地域に相当する(図-1)。施工時の切羽観察結果からは、岩質はいずれも脆く「軟岩」に属する箇所が存在することが示されていた。

当区間では、隆起確認より約16年間にわたり路面測量を継続して実施しており、これまで大きな問題はなかったが、最近になってアスファルト舗装面に亀裂の発生が新たに確認されるようになった(写真-1)。

3 調査結果

3-1 路面測量

3-1-1 縦断測量結果

路面の隆起を確認して以降、現在まで計97回の縦断測量を実施してきた。得られた測量値には舗装修繕工などによる人為的な段差が加わっているため、そのままでは「地盤隆起量」として取扱

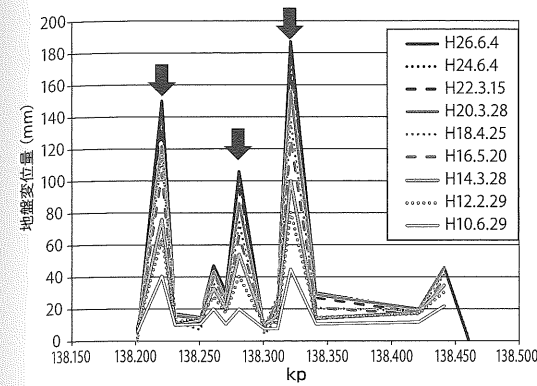


図-3 トンネル縦断方向における地盤隆起量の推移(矢印の箇所で隆起傾向あり)

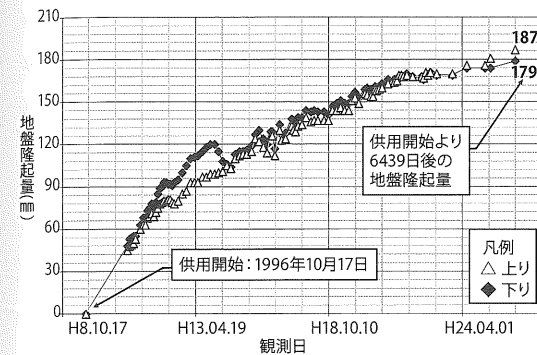


図-4 もっとも隆起が大きい地点での地盤隆起量の推移

表-2 最近3年間の隆起量と平均隆起速度

隆起箇所(kp)	隆起量*(mm)	平均隆起速度(mm/年)
138.221	11～13	4.2～5.0
138.281	8	3.1
138.321	17	6.6

*隆起量は、2011(平成23)年11月1日～2014(平成26)年6月4日の946日間の累積隆起量である

うことはできない。そこで、舗装修繕工などの履歴を調査し、測量値から段差による増減を取り除くことで、「地盤隆起量」を算出し評価した。

その結果、隆起が停滞している箇所と継続している箇所があることが判明し、顕著な隆起が継続している箇所はトンネル縦断方向に不連続に3か所に点在していることが判明した(図-3)。また、隆起が継続している箇所では、図-4のように隆起初期に立上がり急勾配であったが、徐々に隆起速度が減少しており、長期的には2次クリープ状態を呈するようになった。短期の変動状況に着目

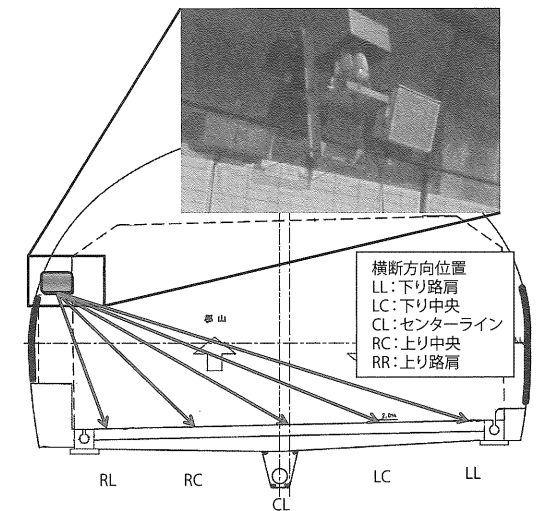


図-5 路面TS測定概要図

すると、隆起や沈下をくり返しながらも隆起を継続している場合もあるため、隆起量がごく微小な場合には継続して測量することにより長期的な変位の増加傾向を把握しやすいこともわかった。

顕著な隆起を示す3か所では、最近3年間における隆起量は8～17mmであり、平均隆起速度は年3.1～6.6mmであった(表-2)。これらの値は、NEXCO設計要領¹⁾において「補強ランクC(3～10mm/年)」に相当する。

3-1-2 路面トータルステーション測定²⁾

対策工事までの日常管理を目的として、隆起が顕著な3か所において、側壁上方にトータルステーション(以下「TS」)を設置して路面高さの自動測定システムを構築した(図-5)。

隆起箇所1か所あたりトンネル縦断方向に30m区間が測定可能範囲となり、縦断方向に2m間隔で計79点の測定点を配置した(図-6)。本測定は、1日6回(4時間間隔)の自動測定で、遠隔操作が可能であること、測定データをWeb配信によって監視できる特徴がある。なお、測定誤差は路面鉛直方向に±1mmとした。

測定はノンプリズムの仕様となるため路面上にはターゲットが不要であるが、TSの定期的なメンテナンス時に測定位置を確認するため、路面上にターゲットとなる白色ペンキ塗装のマーキング(200mm四方)を配置した(写真-2)。

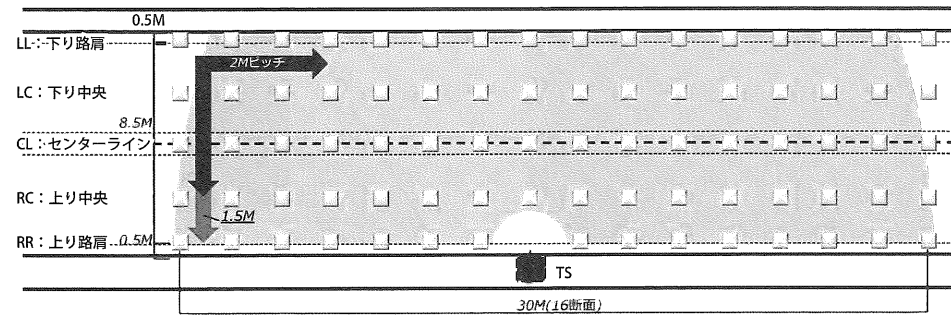


図-6 各隆起箇所における測点配置図



写真-2 TS測定のための路面上の測定点

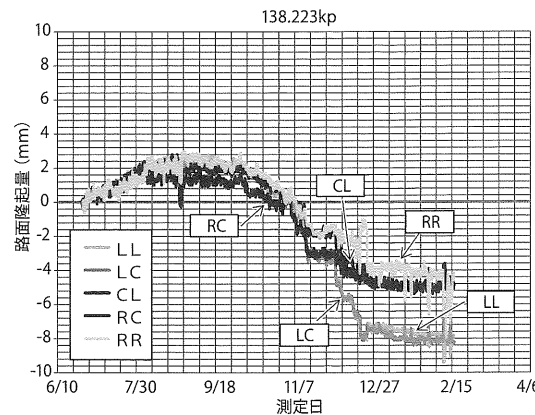
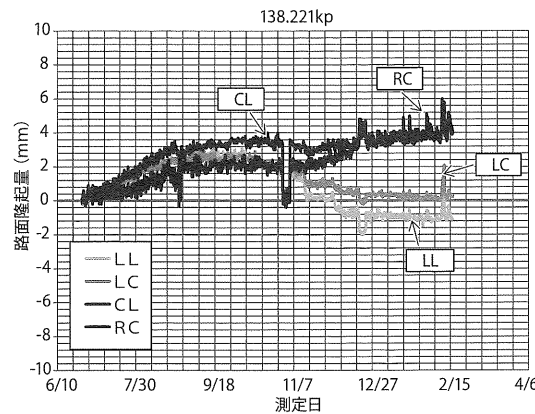


図-7 測定点の挙動例(上: 138.221kp, 下: 138.223kp)

以下に、2014(平成26)年7月~2015(平成27)年2月中旬の約7か月間の測定データを示す。

138.221kp(図-7の上)のセンターラインおよび上り中央では全期間にわたってほぼ隆起傾向を示し、最大4.1mmの隆起を確認できた。一方、それより2m離れた138.223kp(図-7の下)ではいったん隆起したあと、沈下傾向を示し、最大8.3mmの沈下となった。これらの中間路面には亀裂が発生してきており、測定値と現地状況とが対応している結果であった。

これら測定点の挙動をまとめて等高線表示したのが図-8である。路面隆起は局所的に分布しており、トンネル縦断方向への連続性は乏しいものであった。この結果は、前述した縦断測量結果と整合的であった。

3-2 地質調査結果

3-2-1 切羽スケッチなどにもとづくトンネル位置の地質復元

施工時の切羽スケッチや完成図面をもとに、路面隆起が著しい区間についてトンネル位置における地質の分布状況を復元した。

その結果、分布地質は泥岩、凝灰質砂岩および緑色凝灰岩の3岩種であり、路面隆起の変状が認められた箇所の地質には小断層を多く伴うとともに、一部に粘土を挟む箇所があり、全体に地殻変動による破碎を大きく受けていることが判明した(図-9)。とくに、隆起が顕著な箇所では凝灰質砂岩が分布し、その中に泥岩層や粘土を挟む小断層、変質粘土層が挟在していることが判明した。なお、隆起箇所での地質の傾斜角は60~80°と急傾斜

を示していた。

3-2-2 ボーリング調査結果

路面隆起がもっとも著しい箇所において、路面

より鉛直下方にボーリング調査(掘削径86mm, 掘削長10.0m)を実施し、トンネル直下の地質を確認した。

その結果、路面下4.62mまでは、小断層に沿って破碎された凝灰質砂岩(深度1.25~2.90m間)、シルト岩(深度2.90~3.69m間)および砂岩(深度3.69~4.62m間)が分布し、岩級区分は電研式岩盤分類³⁾によりD級相当であった(図-10)。

一方、その下位の深度4.62~10.0m区間では岩級区分がCL~CM級に相当するやや堅硬で均質な凝灰質砂岩が分布した。

3-2-3 ボーリングコアによる岩石試験結果

既往文献における盤膨れ判定指標⁴⁾および本トンネルの岩石試験結果を表-3に示す。

路面下4.62mまでの部分のコアには膨潤性粘土鉱物であるスメクタイトを含有していることが確認できた。また、吸水膨張特性がきわめて大きく、吸水膨張率は88.7~139%を示すうえ、浸

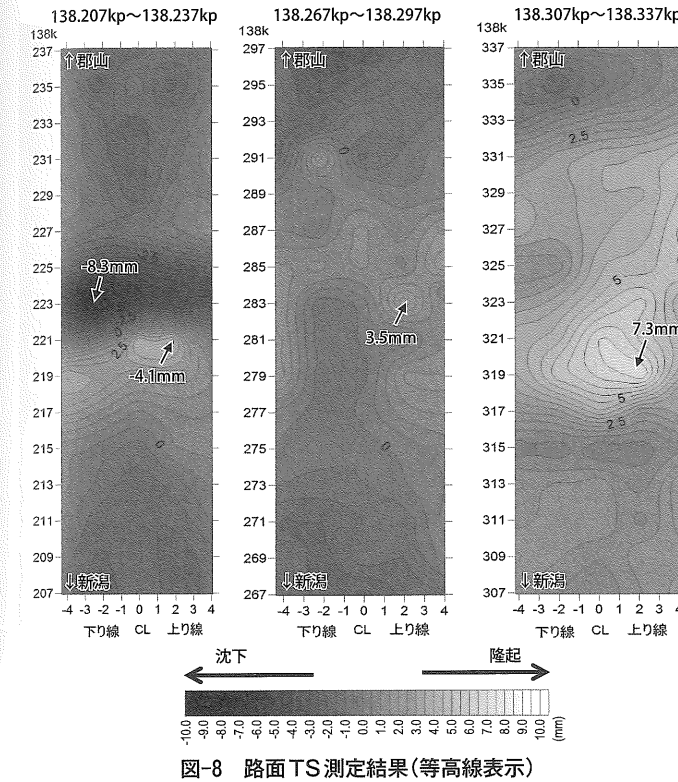


図-8 路面TS測定結果(等高線表示)

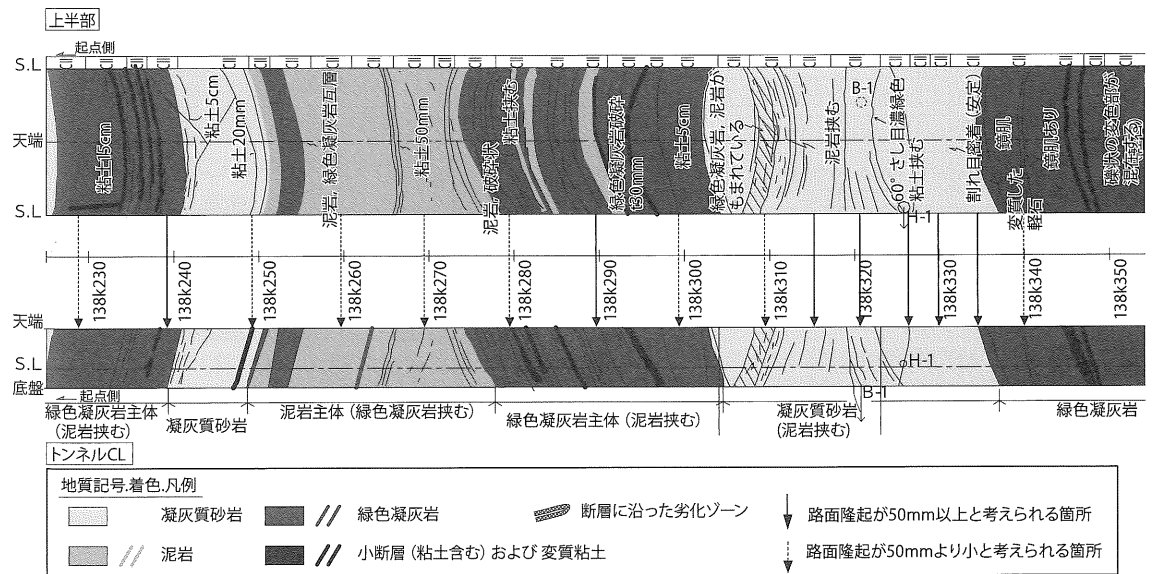


図-9 切羽スケッチから復元した地質断面図(上: 上半部の地質展開図, 下: トンネルセンターでの縦断面図)

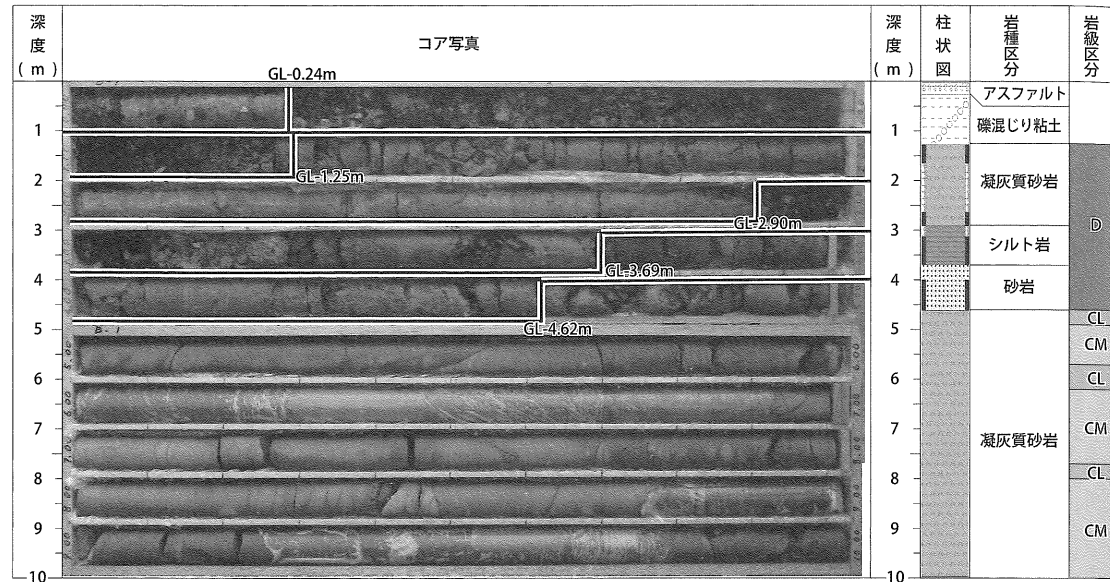


図-10 ボーリング調査結果図

表-3 盤膨れ判定指標¹⁾

項目	細目	単位	JH判定基準(案)	既往研究文献			本トンネル凝灰質砂岩		
				日本鉄道建設公団 ²⁾ (1977)	大塚ほか(1980)	佐藤ほか(1980)	新宮ほか(1982)	GL-1.30~ -2.90m	GL-5.00~ -5.15m
物理試験	単位体積重量	kN/m ³	≦21	—	≦20.5	≦18.0 (乾燥状態)	—	18.8	21.16
	自然含水比	%	≧20	—	≧20	≧20	—	25.7	—
	塑性指数	%	≧60	≧70(25)	≧70	—	—	—	—
	2μ以下の粒子の含有量	%	≧25	≧30(15)	≧30	—	—	—	—
	吸水膨張率	%	[≧2.0] ³⁾	—	≧2.0	—	—	88.7~139	0.06~0.29
定性試験	浸水崩壊度試験	—	C, D	D	—	C, D	—	D	A~C
	簡易スレーキング試験	—	3, 4	—	—	—	—	—	—
科学試験	X線回折	—	スメクタイト含有量少量以上	主要粘土鉱物がモンモリロナイト	—	モンモリロナイト含有量≧30%	モンモリロナイト含有量≧20%	スメクタイト含有量中量	スメクタイト含有量微量
	CEC試験	meq/100g	≧20	≧35(20)	≧35	—	—	37	18.3

※1: []は既往文献の管理値から採用するもの

※2: 膨圧の可能性が非常に大きい地質の判定基準、()内は膨圧の可能性のある地質の判定基準

水崩壊度も大きい値(区分D: 原形をとどめない)を示した。これらを総合すると、路面下4.62mの部分の地質は膨張性地山の可能性を有していることが判明した。

一方、4.62m以深の部分では微量のスメクタイ

トを含有するものの、吸水膨張特性は小さく、浸水崩壊度も顕著でないことから、膨張性はない地質であると判断した。

3-3 地中変位

路面隆起が顕著な箇所において鉛直下方に地中

変位計(延長10m)を設置し、約2年5か月間の観測値を取得し、孔底(深度10.0m)からの累積変位量を算出した。

深度0~6m間で最大7mm程度の隆起方向の変位が発生していた(図-11)。深度6mよりも深い地点では変位はほとんど発生しておらず、その大部分が膨張性のない、堅硬で均質な凝灰質砂岩に相当するためと考えられる。

3-4 覆工調査

覆工や内装タイルの表面にはひび割れなどの損傷が発生していたが、いずれも小規模で進行性のある損傷は認められなかった。また、塑性圧に伴う水平ひび割れなどの特徴的な損傷も認められなかった。

3-4-1 覆工ひずみ

2012(平成24)年6月に覆工ひずみ計を設置して以降、約2年5か月間の覆工ひずみを観測した。

ひずみ値は増減をくり返ししながら1年後におおむね0に戻っており、その後も同様の挙動を示した(図-12)。覆工ひずみは温度と相関があり、夏季に縮みが冬季に伸びが卓越する傾向となり、異常値は認められなかった。

以上より、覆工ひずみは温度に伴う経年的な変動が認められたが、顕著な累積性のある変化は認められなかった。

3-4-2 覆工応力測定

覆工表面に張付けたひずみゲージに対し、オーバーコアリング削孔を実施し、応力開放時のひずみ変化量を測定した。また、オーバーコアリングで回収したコア試料を用いた静弾性係数測定により、覆工壁面の2次元応力状態を求めた。

覆工コンクリートに発生していた応力は覆工コンクリート強度の7~19%であり、現段階では覆工への影響は小さいことが判明した(表-4)。

3-4-3 内空変位測定

レーザー距離計を利用した簡便な測定により、

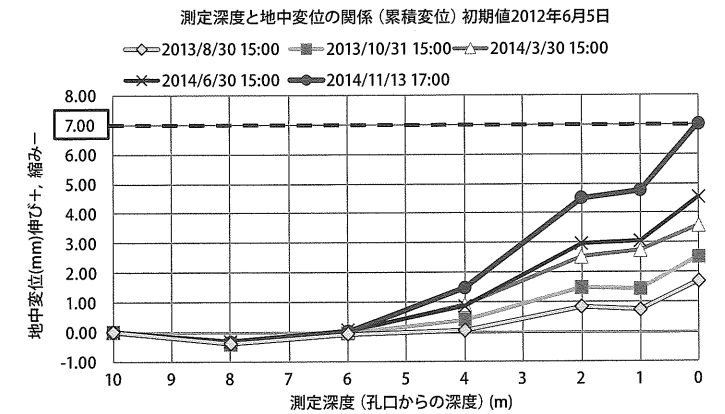


図-11 鉛直地中変位計の経時変化図(孔底10mからの累積変位)

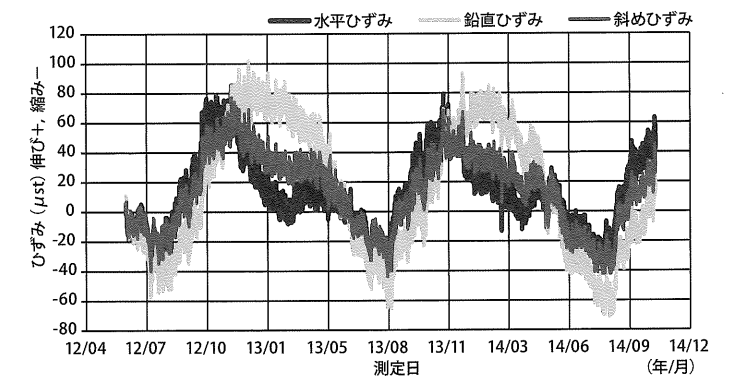


図-12 覆工ひずみの経時変化図

表-4 覆工応力測定結果

測定箇所	応力計算結果(MPa)		主ひずみ		弾性係数(MPa)	ポアソン比	強度(MPa)	応力/強度
	σ _{max}	σ _{min}	ε _{max}	ε _{min}				
地点1	0.72	-1.60	37.4	-65.4	26,200	0.161	24.0	7%
地点2	-3.49	-5.47	-88.6	-166.4	29,500	0.160	28.8	19%
地点3	-0.60	-2.63	-5.0	-94.0	26,800	0.177	30.7	9%

スプリングライン付近のトンネル内空の水平距離を測定した。2011(平成23)年11月の測定値を初期値とした比較では、最大でも1mmの変位量(縮み)であった。測定器自体の精度が±1.5mmであることから、変位は発生していないと判断した。

4 変状再現解析による路面隆起予測

4-1 解析モデル概要

解析対象断面は、舗装版隆起のもっとも大きい138.321kpとした。この箇所の土かぶりは約180m

で、支保パターンはC IIパターンであった。

3次元解析モデルの領域は、境界条件の影響が及ばない範囲として、側面境界までを壁面から左右に約5D(D:掘削径)確保し、底面境界までを

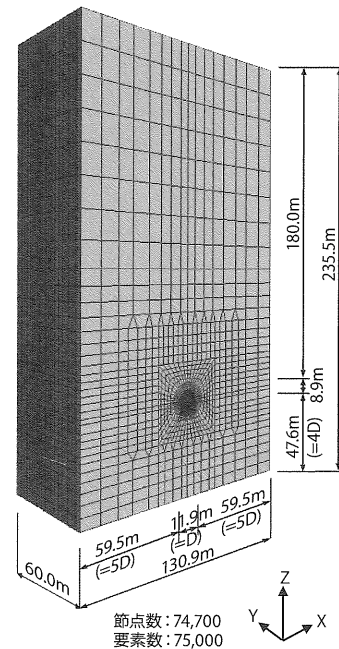


図-13 3次元解析モデル

インバート底面から4D確保した(図-13)。また、地表面までは土かぶり高さとし、縦断方向は全体で60m、C IIパターンの施工であったことから1メッシュの奥行き長さは1.2mとした。

境界条件は、底面を固定、縦断方向側面X方向固定、Y方向・Z方向ローラー、横断方向側面Y方向固定、X方向・Z方向ローラーとし、地表面はオールフリーとした。

現況の変状調査においては、以下の傾向が見られていた。

- ① ボーリング調査により深度約5mまでは岩盤劣化が著しく、この範囲にスメクタイトを含有すること
- ② 地中変位計の観測結果により深度4m付近から隆起挙動が確認され、累積的に隆起していること

これらより、舗装版下5m付近までは地山の劣化が著しく、同深度以浅では地山内の隆起現象も

表-5 地山物性値

地質	単位体積重量 γ_i (kN/m ³)	変形係数 E (MN/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
凝灰質砂岩	22	4,600	0.30	4,800	20

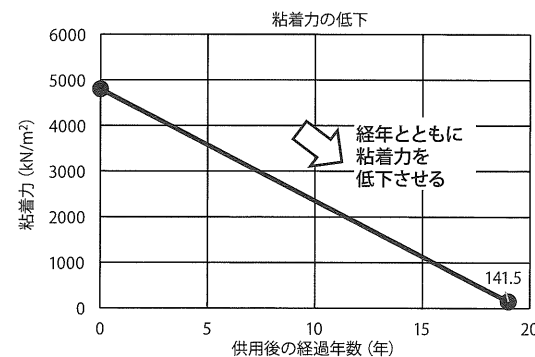
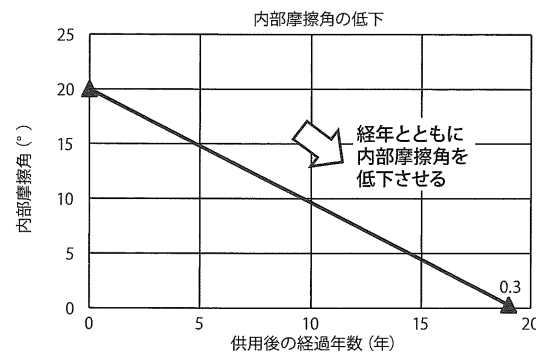


図-14 強度定数の経年低下

表-6 構造物物性値

構造物	仕様	要素モデル	弾性係数 E (kN/m ²)	断面積 A (m ²)	断面2次モーメント I (m ⁴)	断面係数 Z (m ³)
吹付けコンクリート	$t = 100\text{mm}$	シェル要素	4.0×10^6	0.10	—	—
鋼アーチ支保工	H-125@1.2m上半のみ	ビーム要素	2.0×10^8	30.00×10^{-4}	839×10^{-8}	134×10^{-6}
ロックボルト	$L = 3\text{m}@1.2\text{m}$	トラス要素	2.0×10^8	5.067×10^{-4}	—	—
二次覆工コンクリート	$t = 300\text{mm}$	シェル要素	2.2×10^7	0.30	—	—

累積的に現れていることから、舗装版下5mの範囲をクリープ領域として解析モデルに組込むこととした。

さらに、路面隆起の実挙動においては、コンクリート舗装版と円形水路との間に段差を生じていたことから、縁切れした状態を円形水路と舗装版間、舗装版の一部と地山間に設けて解析を実施した。

4-2 入力物性値

トンネル施工時の観察、計測記録や既往の調査設計資料より、掘削前の地山物性値を表-5のとおりとした。時間依存を考慮したクリープ解析を実施するため、地山強度定数の強度低下も考慮することにした。強度定数は当初の入力値から供用開始19年経過後には残留強度程度まで低下するものとし、残留強度はこれまでの調査で確認されたD~CL級の平均値を採用した。強度定数の低下グラフを図-14に示す。

C IIパターンにおける一次支保、二次覆工の要素モデルおよび入力定数を表-6に示す。

4-3 解析ステップ

3次元解析ステップは、初期応力計算後に上半逐次掘削の解析を行い、下半逐次掘削後に二次覆工および舗装版ほか施設をモデル化した。

次に、クリープ領域を設定したのち、クリープ領域内の強度定数を低下させながら、1年ごとのクリープ解析を実施し、舗装版隆起を再現した(図-15)。

4-4 解析結果

変状再現解析結果により、舗装

step	概要図	備考
1		・初期応力の計算
2		・上半掘削 (0~2.4m) ・上半支保設置 (0~1.2m)
3		・上半掘削 (2.4~3.6m) ・上半支保設置 (1.2~2.4m)
}		上半掘削, 1.2m 遅れで上半支保設置の計算をくり返し, 上半掘削 60m まで逐次計算
61		・下半掘削 (0~2.4m) ・下半支保設置 (0~1.2m)
62		・下半掘削 (2.4~3.6m) ・下半支保設置 (1.2~2.4m)
}		下半掘削, 1.2m 遅れで下半支保設置の計算をくり返し, 下半掘削 60m まで逐次計算
120		・二次覆工打設 (0~60m) ・舗装版ほか施設モデル化 (0~60m)
121		・クリープ解析 →クリープ領域の設定 ・供用開始後19年経過までを解析 (1996年10月~2015年10月)

図-15 3次元解析ステップ図

版隆起は上下線で若干の差はあるが、おおむね同値の隆起量を示していた。実測値と比較した舗装版隆起の経時変化グラフを見ても、3次元解析による舗装版隆起量は実測値をほぼ再現しており、19年後には200mmを超える隆起量となった(図-16)。

二次覆工変位は図-17に示すように水平変位が内空側へ0.6mm、鉛直変位が隆起の0.1mmと、二次覆工変位もおおむね実測値(内空変位測定結果)を再現していた。このときの二次覆工発生応力は最

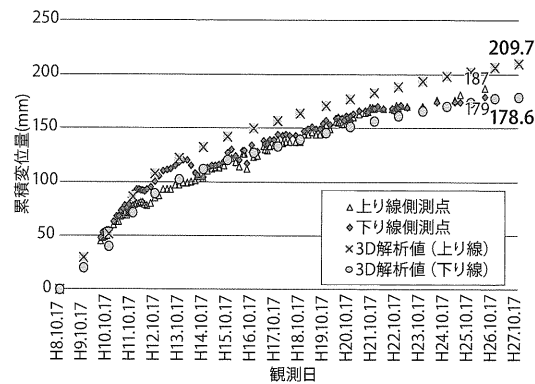


図-16 変状再現解析結果(舗装版の累積変位量)

大圧縮応力が3.64MPa、最大引張応力が0.12MPaとなり、最大引張応力は許容増分応力以内の値であった。

5 考察

以上の調査結果より、路面隆起箇所はトンネル縦断方向への連続性に乏しく、むしろ局在して分布し、現在も隆起していること、隆起区間にはおもに凝灰質砂岩が分布しており、スメクタイトを含有すること、凝灰質砂岩には泥岩層、小断層や粘土薄層を挟在していることがわかった。

路面隆起の原因は、地山強度の低下を考慮した解析ではほぼ再現できることから、凝灰質砂岩に含まれる泥岩層、小断層や粘土薄層が水の影響などにより時間とともに地山強度が低下し、塑性領域が広がることにより生じている可能性が大きいと考えられる。また、スメクタイトも検出されていることから膨潤の影響も複合されていると考えられる。なお、地質の傾斜が60~80°と急傾斜であったことから、とくに地質不良な層が続かず、幸いにも広範囲に連続した大規模な隆起を伴う変

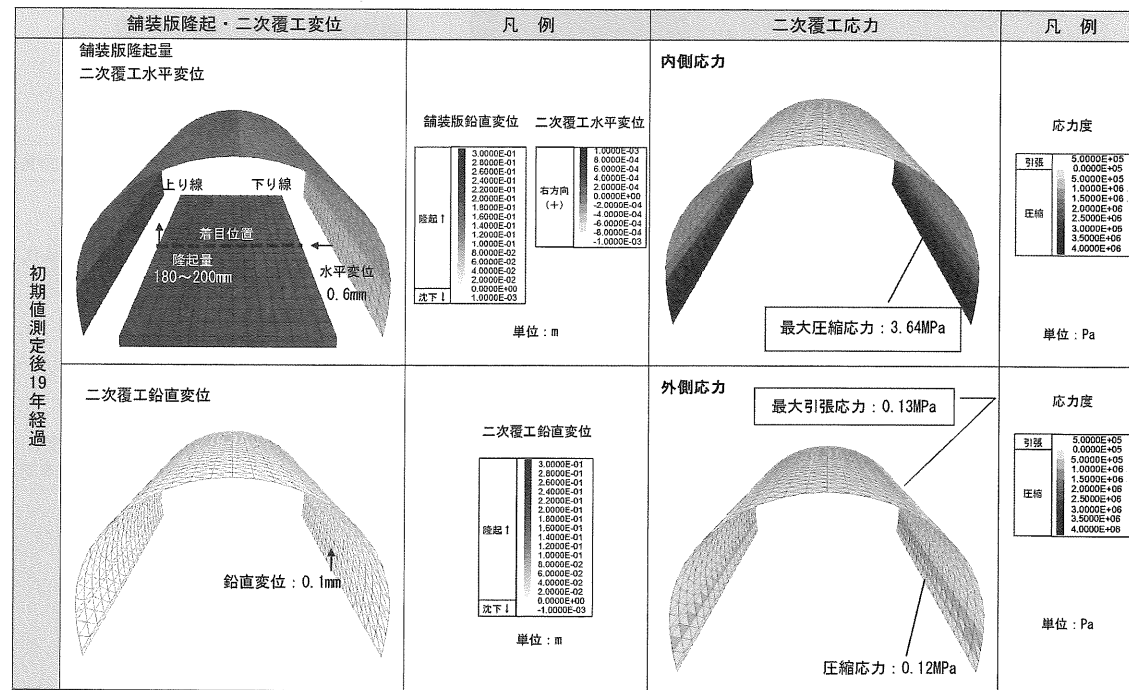


図-17 変状再現解析結果(各種コンターマップ)

状を免れ、路面隆起は不連続かつ局所的になったとも考えられる。一方、覆工には塑性圧に伴う水平ひび割れなどの顕著な損傷は認められず、覆工ひずみ、覆工応力および内空変位いずれにも覆工に影響する値は認められなかった。

6 おわりに

供用中の高速道路トンネル内での調査では交通規制にかかる時間、内空断面やトンネル照明などの支障物件があることから、時空間的に制限を受けるのが一般的である。しかし、今回の調査ではトンネルの完成図面や既往の文献を詳細に調査することで、現地調査を効果的に実施することができた。とくに、高速道路建設時代の各種資料や維持管理時における測量データが豊富に残っていたことから、調査を進めるうえで、それらは重要な情報源となり、非常に役立つものであったことは言うまでもない。

また、路面の隆起が微小に変化する場合には長期間のデータ蓄積により全体傾向を把握することができた面は、本調査において大変有効であった。ただし、過去の観測値はその内容を吟味して使用

することが必要であり、とくに他機関で得られたデータを整合させて使用する場合は細心の注意が必要と考えられる。

なお、本トンネルの調査結果を受けて、盤ぶくれ対策の工事が、2015(平成27)年6月および9月に行われた。工事については別途報告する予定である。

参考文献

- 1) 東日本高速道路：設計要領，第三集トンネル(1)トンネル本体工保全編(変状対策)，2012.7.
- 2) 安田賢哉・菊池慎司・宮沢一雄・鶴原敬久・松井端亘：路面隆起トンネルに適用した新しい路面測定手法，地下空間シンポジウム 論文・報告集，Vol.20，pp.171-176，2015.1.
- 3) 田中治雄：土木技術者のための地質学入門，山海堂，1964.
- 4) (株)高速道路総合技術研究所トンネル研究室：盤膨れに伴うトンネル補強対策工法に関する手引き，高速道路総合研究所技術資料，No.358，2007.10.
- 5) 菖蒲幸雄・鶴原敬久・奥井裕三・佐久間智・菅原徳夫・多田誠・末岡真純・中田主税：供用後に変状が発生した益山トンネルの地質状況，全地連「技術e-フォーラム」松江，2009.9.

山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著

B5判 183頁 上製本 本体価格3,200円 円350円

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

主要目次

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

株式 土木工学社

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

トンネルジャーナル

三陸沿岸道「吉浜道路」開通1か月 難所を回避し所要時間を短縮

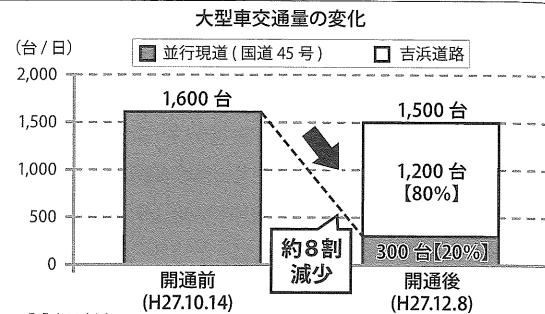
東北地整が整備を進めている三陸沿岸道路のうち、昨年11月29日に開通した「吉浜道路」(三陸IC～吉浜IC, 3.6km)について、開通1か月後の交通状況が公表された。

開通前の2015年10月14日(水)と開通後の2015年12月8日(水)に行われた交通量と旅行速度の調査の結果、国道45号の現道区間では、利用交通量が約7割減少し、三陸IC～吉浜ICの所要時間は約6分短縮されたことがわかった。

開通前、約7,900台が利用した現道は、開通後には2,500台の利用にとどまり、約5,800台が開通した吉浜道路を利用していた。とくに、現道を利用する大型車は、約1,600台から約300台へと8割程度減少する結果となった。開通した約3.6km区間の所要時間は、現道を通ると約10分かかっていたものが、吉浜道路を使うことで約4分へと短縮された。

今年1月に行われたヒアリング調査の結果からは、峠道の難所が解消されたことで、大船渡市内の病院や買い物へ行きやすくなった、通勤時間が約10分短縮され、降雪時に遅れてしまう心配がなくなったなど、利便性の向上を実感する声が聞かれたとしている。

同道は、大船渡市三陸町越喜来の三陸ICと同町吉浜にある吉浜ICを結ぶ約3.6kmの自動車専用道路。おもな構造物に吉浜トンネル(1,644m)と越喜来高架橋(584m)、吉浜高架橋(374m)がある。現道が通る羅生峠は、曲率半径150m以下の急カーブが33か所、約8割が5%以上の急勾配と、交通の難所として知られる。同区間における2009～2012年に起きた交通事故のうち、5割以上が正面衝突事故



【】内は割合
交通量調査 開通前:H27.10.14(水)、開通後:H27.12.8(火)、7時～翌7時



(上)大型車交通量の変化。(下)開通後の吉浜道路。南三陸国道事務所:三陸沿岸道路(吉浜道路)の開通後の交通状況、効果についてお知らせします、記者発表資料、2016.1.15より

だった。吉浜道路が開通したことで、周辺地域の、重大事故の削減、救急医療の支援、暮らしの安全の確保、地域産業の復興支援などへの貢献が期待されている。

吉浜トンネルの施工については、本誌Vol.46, No.3, pp.28-39に掲載の、菊池ほか「復興事業にお稀有トンネル施工と地域共同への試み—三陸沿岸道路吉浜トンネル—」を参照ください。

続きみの庭にも温泉が出る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 本体価格 1,200円 (〒210円)



株式 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

報告

繊維補強吹付けコンクリートの現状と課題(1)

JTA技術委員会山岳工法小委員会支保ワーキング

1 はじめに

繊維補強吹付けコンクリート(以下「FRSC」と記す)は、通常の吹付けコンクリートに比べてせん断抵抗性や曲げタフネスなどに優れている。このため、地山の変形抑制や金網の省略による施工性、安全性の向上などが期待できることから、NMT(Norwegian Method of Tunnelling)では標準的に使用されるなど、海外では広く普及している。一方で、日本においては、特殊地山などにおける変状対策など、補助工法的に採用されることが多く、海外に比べて限定的な使用にとどまっている。そこで、本ワーキング(表-1)では、国内外の基準や指針、要領に加えて、国内外合わせて96編のFRSCに関する論文などを参考にしてFRSCに関する技術の現状を把握し、FRSCに関する試験・評価方法、設計および施工に関する技術的な課題と解決策について検討を行った。その成果を今回と次回の2回に分けて報告する。

今回は、日本におけるFRSCの技術の変遷、ならびに性能と効果について示す。次回は、国内外における要求性能と試験・評価方法、設計手法および施工方法の現状を紹介し、これらに関する技術上の課題と課題解決に向けて今後期待することを示す。

表-1 山岳工法小委員会支保ワーキング
繊維補強吹付けコンクリートサブワーキング
(2013(平成25)年4月～2015(平成27)年10月在任)

	氏名	所属
支保ワーキングの構成		
主査	蓼沼 慶正*	(独)鉄道・運輸機構
〃	丸山 修	
以下、略		
繊維補強吹付けコンクリートサブワーキング(SW)の構成		
SW主査	土田 淳也	五洋建設(株)
委員	蓼沼 慶正*	(独)鉄道・運輸機構
〃	丸山 修	
〃	北村 元	(株)高速度道路総合技術研究所
〃	須藤 敦史	岩田地崎建設(株)
〃	横尾 敦	鹿島建設(株)
〃	富澤 直樹	(株)鴻池組
〃	加藤 公章*	
〃	鈴木 仁志*	佐藤工業(株)
〃	藤川 保	
〃	柳 博文	鉄建建設(株)
〃	岡村 光政*	戸田建設(株)
〃	内藤 将史	
〃	岡井 崇彦	西松建設(株)
〃	野間 達也	(株)フジタ
〃	森田 篤	前田建設工業(株)
〃	石田 積	電気化学工業(株)((現)デンカ(株))

*:期間中交替, 前任者を示す

2 繊維補強吹付けコンクリートの技術の変遷

わが国におけるトンネル掘削での吹付けコンクリートの採用は、1964年の電源開発七色発電所の搬入路トンネルが最初の事例とされている。その後、青函トンネルの調査坑などの掘削に採用されて実用化され、NATMとして最初に採用されたのは、1976年の上越新幹線中山トンネルである。

今回行った調査では、FRSCについて、少なくとも青函トンネルにおいて基礎試験が行われていることがわかったが、本格的な使用開始時期がいつであったのかは不明である。そこで、土木学会のトンネル標準示方書などにおける記述を抜粋することで、技術の変遷を概観したい。また、古い時代の技術的変遷を補足するうえで、1977年6月～1978年1月に『トンネルと地下』に掲載された連載講座「吹付けコンクリート工入門」が参考になる。これについても、その一部を紹介する。

最近では第二東名・名神(現在の新東名・名神)高速道路の大断面トンネルの一部の支保パターンで標準支保材料に適用され、それに伴い大きな技術的発展があり、多くの報告がなされている。一方、鉄道トンネルについても、大きな変形に対する有効な支保部材として設計施工標準に記載されている。

2-1 土木学会における繊維補強吹付けコンクリート

参照した資料内で吹付けコンクリートと繊維補強に関して記述されている事項について、出版物別(出版年代順)に整理した結果を表-2に示す。吹付けコンクリートに関する記述が現れるのは、1969年のトンネル標準示方書からである。FRSCについてはさらに遅れ、1983年の吹付け鋼繊維補強コンクリート施工要領(案)からである。1996年のトンネル標準示方書では鋼繊維補強吹付けコンクリートに関する記述が多くなり、その前のトンネル標準示方書が発刊された1986年以降の10年間に、多くの技術的な蓄積があったことがわかる。最新である2006年のトンネル標準

示方書では鋼繊維補強吹付けコンクリートが標準仕様として使用された事例が紹介されるなど、記述の充実が図られており、さらなる技術的発展があったことがわかる。

2-2 トンネルと地下「吹き付けコンクリート工入門」

1977年6月～1978年1月(全8回, Vol.8, No.6～Vol.9, No.1)にわたり連載された講座の第7回で「鋼繊維補強コンクリートの吹き付け」をテーマとしている。

鋼繊維補強コンクリートの吹付けについて、以下のような記述がある。

- ・プレーンコンクリートと比較して優れている点として、ひび割れに対する抵抗性が大きいこと、じん性が著しく高いこと、などが挙げられ、可縮、可屈性の優れたトンネルライニング材である。
- ・プレーンコンクリートの吹付けと比較すると、変形性能やせん断抵抗などの単なる物性の改善にとどまらず、掘削断面あるいは巻厚の減少による経済性の増大、さらにはひび割れ抵抗や凍結融解抵抗が大であるので、漏水防止、つらら防止などメンテナンスの軽減が期待できる。
- ・以上のことより、鋼繊維補強コンクリートの有望な用途としては、断層破砕帯などの強大な地圧の作用するトンネルや不定形の空洞地下構造物の覆工およびこれらの箇所での補修が挙げられる。
- ・鋼繊維の配向は、ほとんど吹付け面に平行に配列されている。このことは力学的には好ましい配向性である。
- ・鋼繊維の分散は、非常に均質であり、力学的な均質性を証明している。

2-3 NEXCO(日本道路公団)における繊維補強吹付けコンクリート

旧日本道路公団時代、NEXCOでは超大断面トンネルである第二東名・名神(現在の新東名・名神)高速道路のトンネルについて、従前の一般的なトンネルに比べて断面積が飛躍的に大きく扁平

表-2 土木学会資料における繊維補強吹付けコンクリートに関する記述の有無

資料*	吹付けコンクリート	繊維補強吹付け	従前の資料には記載がなかった特記すべき内容
1964(昭和39)年8月 トンネル標準示方書/トンネル標準示方書解説	記述なし	記述なし	
1969(昭和44)年11月 トンネル標準示方書/トンネル標準示方書解説	記述あり	記述なし	
1977(昭和52)年1月 トンネル標準示方書(山岳編)/同解説	記述あり	記述なし	
1983(昭和58)年3月 C.L.50 鋼繊維補強コンクリート設計施工指針(案)(吹付け鋼繊維補強コンクリート施工要領(案))	記述あり	記述あり(鋼繊維)	<ul style="list-style-type: none"> ・曲げ、引張り、せん断などの強度およびタフネスを改善し、吹付け厚の縮小、耐久性の向上などが期待できる。 ・吐出配合と付着配合とで、鋼繊維混入率が異なる。 ・品質として、曲げ強度および圧縮強度を基準とする。 ・品質(強度および変形性能)には異方性が生ずる。
1984(昭和59)年12月 T.L.2 ロックボルト・吹付けコンクリートトンネル工法(NATM)の手引書	記述あり	記述あり(鋼繊維)	<ul style="list-style-type: none"> ・吹付けコンクリートをいたずらに厚くすることは曲げモーメントを発生させることになり得策ではなく、局部的破壊に対する耐力の増ならびに肌落ち防止などの目的で鋼繊維補強コンクリートは有効な方法である。
1986(昭和61)年11月 トンネル標準示方書(山岳編)/同解説	記述あり	記述あり(鋼繊維)	<ul style="list-style-type: none"> ・凍結融解に対する抵抗性が高い。 ・耐摩耗性、耐衝撃性が高い。
1996(平成8)年7月 トンネル標準示方書(山岳工法)/同解説	記述あり	記述あり(鋼繊維)	<ul style="list-style-type: none"> ・最近では耐久性に優れていることから永久覆工としても使用されている。 ・大きな土圧が作用し、大きな変形が発生する箇所では、支保耐力、変形能力を増大して地山に対する拘束力の増強を図ることにより、トンネルを含む周辺地山の早期安定に対する効果が大きい。 ・ひび割れによる剝離、剝落が生じにくいことから安全管理上もきわめて有効な支保部材となる。 ・通常の吹付けコンクリートに比べ、強度、変形能力が大きいだけ、吹付けコンクリート厚の低減が可能である。 ・鋼繊維の分散性や特定方向の配向性が施工性や強度に大きく影響する。 ・膨張性地山のトンネル：吹付けコンクリートの品質を改善するため、鋼繊維補強吹付けコンクリートが用いられることもある。 ・山はねが生ずる地山のトンネル：FRSCを使用するなど一次覆工のタフネスを上げ、剝落の危険性を減少させる。
2005(平成17)年7月 C.L.121 吹付けコンクリート指針(案) [トンネル編]	記述あり	記述あり(鋼繊維・非鋼繊維)	<ul style="list-style-type: none"> ・曲げタフネスを設定する場合には、材齢28日のタフネスとして設定する。 ・国内ではコンクリート用非鋼繊維としての規格がないため、鋼繊維補強コンクリートの規格に準拠している。
2006(平成18)年7月 トンネル標準示方書(山岳工法)/同解説	記述あり	記述あり(鋼繊維・非鋼繊維)	<ul style="list-style-type: none"> ・FRSCの設計強度は、一般の吹付けコンクリートの項目に加えて、目的に応じて曲げ強度や曲げタフネスなどが規定される。 ・ひび割れが部材断面を貫通しにくく止水性を保ちやすいことから構造物としての耐久性が向上する。

*C.L.: コンクリートライブラリー, T.L.: トンネルライブラリー

な形状となることから、建設費の増大や天端部からの岩塊の崩落などが懸念された。そこで、安全かつ合理的な支保構造の確立が必要と考え、吹付けコンクリートをはじめとする支保部材・材料の新技术、新工法に関する研究を行った。その過程

で、吹付けコンクリートの役割、機能、要求品質が整理され、FRSCが一候補として検討された。また、このような大断面の安定化を早期に図るためには急速施工が必要となるため、強度などのばらつきやリバウンド、粉じんを抑制した高品質な

吹付けコンクリートの急速施工技術をほぼ確立していた北欧の技術が参考とされた。

このように海外の技術の整理、導入と国内の材料、施工機械を用いた各種試験、解析的な検討および試験施工を経て、2001年1月制定の『設計要領第三集(1)トンネル本体工建設編(第二東名・名神高速道路)』において、FRSCが初めて標準支保部材として位置づけられた。同要領では、岩体としての強度が大きく、トンネル掘削に伴う変位が小さく、偏圧などによる大きな曲げが作用しない、亀裂性岩盤の比較的良好的な地山に適用されることとなった。

なお、現在建設中の新東名・名神高速道路は超大断面での計画が見直され、前述の第二東名・名神を対象とした設計要領第三集は事実上適用されておらず、FRSCは標準支保部材に採用されていない。以下に、検討過程の概要を示す。

(1) 超大断面トンネルの合理的設計・施工法に関する調査検討委員会(1995年3月)

本委員会は超大断面トンネルの施工に必要な第二東名・名神高速道路の設計にあたって実施した検討委員会である。吹付けコンクリートや鋼製支保工の機能を分析し、海外での設計事例などを参考にして超大断面トンネルにおける支保の仕様の提案がなされた。

(2) 第二東名・名神トンネルの合理的支保構造に関する検討委員会(1996年2月)

FRSCに関する設計強度や配合などについて検討を進め、トンネル支保部材として適用するうえで実施すべき試験などを提案している。また、施工上の問題点や品質管理などについても検討がなされている。

(3) 第二東名・名神トンネルに関する技術的検討の現状と今後への展望(1996年5月)

超大断面トンネルの設計、施工などについて検討した内容と技術的課題について、試験施工の結果を交えて講演されたものである。ここでは、鋼繊維補強吹付けコンクリートを標準支保部材としているQ-Systemに準拠した不連続解析(UDEC-BB)による設計例も紹介されている。

(4) トンネルの新支保材料に関する検討委員会(1997年3月)

FRSCの補強効果を整理のうえ、適用にあたっての課題が示された。

(5) 第二東名・名神トンネルに関する技術講演会(1998年)

扁平大断面トンネルが主体となる第二東名・名神高速道路の建設に向けた技術開発および試験施工状況が報告されている。その中で、FRSCに期待する支保機能と仕様の研究状況が報告された。

(6) 日本道路公団 設計要領第三集(1)トンネル本体工建設編(第二東名・名神高速道路)(2001年1月制定)

これまでの研究成果などをもとに設計要領として制定された。この中でFRSCが初めて標準支保部材として仕様化され、おもに硬岩地山の上半で適用されることになった。

(7) NEXCO 設計要領第三集(1)トンネル本体工建設編(2015年7月改定)

NEXCOで建設される一般的な断面のトンネルに適用される同要領では、変形が大きい場合などに適用する特殊な吹付けコンクリートとして扱われている。

2-4 鉄道・運輸機構における繊維補強吹付けコンクリート

鉄道・運輸機構ではFRSCを標準支保部材に位置付けていないが、地山条件が悪く大きな土圧が作用し、大きな変形が発生する箇所では早期安定を図ることができる支保部材としている。

(1) 山岳トンネル設計施工標準・同解説(2008年4月制定, 2011年5月改訂)

おもに新幹線トンネルで参照される同標準においても、FRSCに関する記述がある。トンネル坑口部や断層破碎帯あるいは膨張性地山など地山条件が悪く、大きな土圧が作用し、大きな変形が発生する箇所では、FRSCの活用により支保工の耐力が増強される結果、トンネルを含む周辺地山の早期安定を図ることができるとしている。また、剝離や剝落がしにくく、安全管理上からも有効な支保部材としている。

3 繊維補強吹付けコンクリートの特性

FRSCは通常の吹付けコンクリートに比べて力学特性や耐久性が向上するため、トンネル安定性や施工時の安全性、経済性の向上などの効果が期待できる。本章では国内外の文献を調査し、鋼繊維補強吹付けコンクリートがもつ特性と効果について得られた知見を具体的に整理する。図-1に吹付けコンクリートの要求性能の一例を示す。

3-1 補強繊維の種類

吹付けコンクリートの補強材料として用いられる繊維はその素材によって鋼繊維と非鋼繊維に分類される。

(1) 鋼繊維

一般に、形状0.5×0.5(φ0.4~0.6)mm、長さ25~30mm、アスペクト比(長さ/径)が40~60程度の鋼材が用いられる。また、腐食防止としてステンレス製や亜鉛メッキもある。

(2) 非鋼繊維

非鋼繊維は鋼繊維と比較して非常に軽いため、

材料運搬・混入作業が容易で、繊維の踏抜きなどによる作業時のけがのおそれがなく、作業機械などの摩耗の低減、ポンプ圧送性の向上などといった利点がある。主としてビニロン繊維やポリプロピレン繊維が用いられている。

3-2 鋼繊維補強吹付けコンクリートの性能

3-2-1 力学特性に関する性能

(1) 圧縮強度(ピーク強度以降の残留強度)

圧縮強度はコンクリートの配合に支配され、鋼繊維混入による強度増加は認められない(図-2)。ただし、ピーク強度以降の残留強度は向上する(図-3)。

なお、土木学会では「付着した鋼繊維の大部分は平面方向(吹付け面に平行)に配向する傾向があり、鋼繊維は2次元ランダム配向に近い状態でコンクリート内に分布する。このため、得られる品質(強度および変形性能)には異方性が生ずる。」³⁾と留意点を述べている。

(2) 曲げ強度

曲げ強度は鋼繊維混入により向上する(図-4)。また、鋼繊維補強吹付けコンクリートの曲げ強度

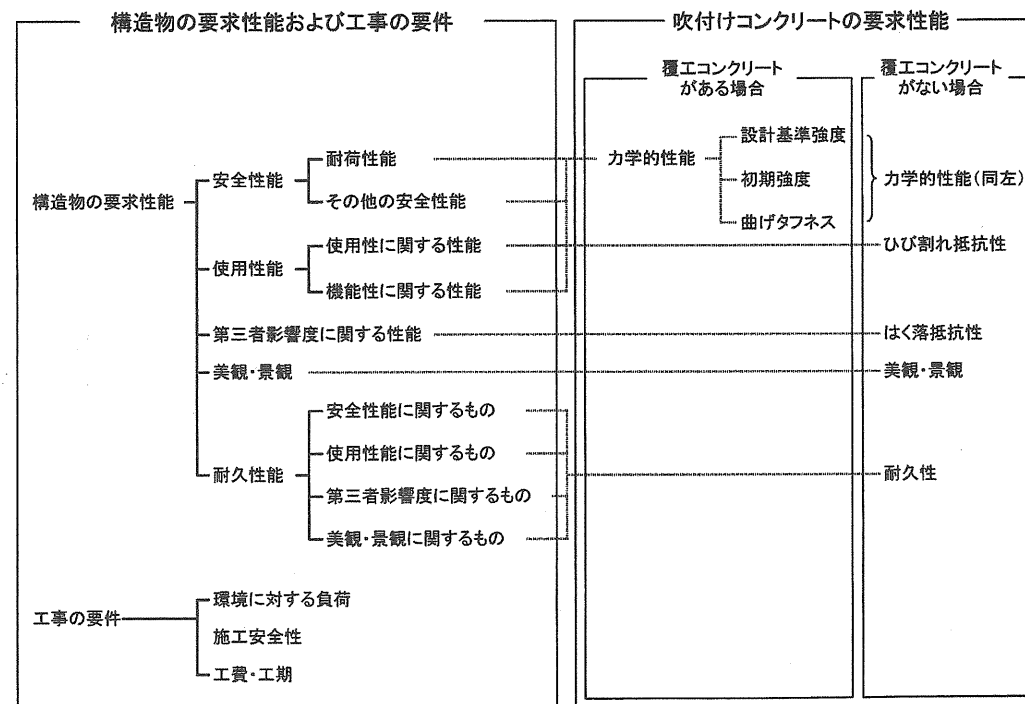


図-1 吹付けコンクリートの要求性能の一例¹⁾

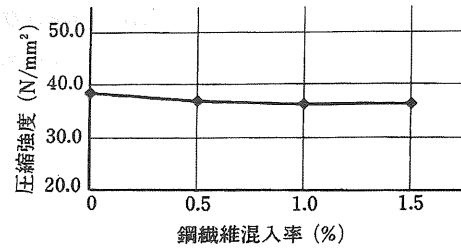


図-2 鋼繊維混入率と圧縮強度の関係例²⁾

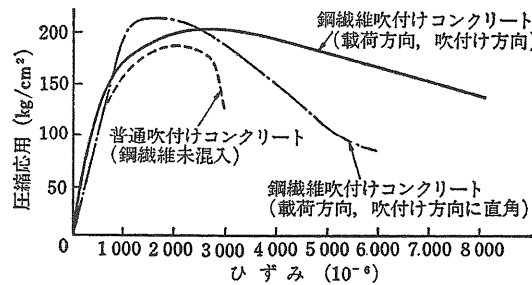


図-3 ひずみと圧縮強度の関係例³⁾

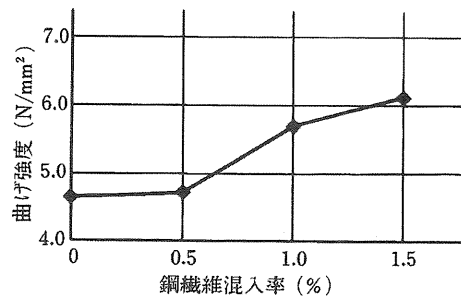


図-4 鋼繊維混入率と曲げ強度の関係例⁴⁾

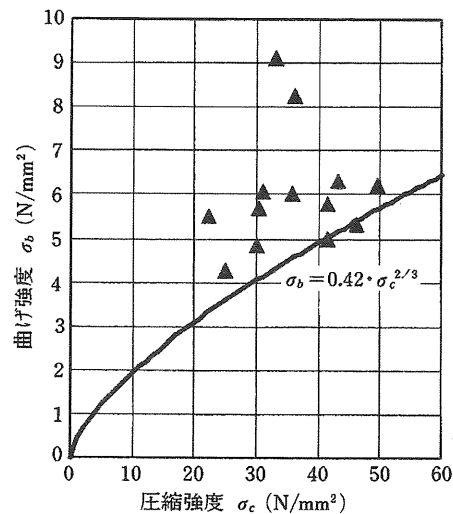


図-5 圧縮強度と曲げ強度との関係⁵⁾

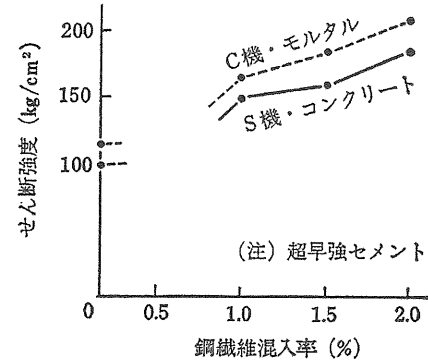


図-6 鋼繊維混入率とせん断強度の関係例⁶⁾

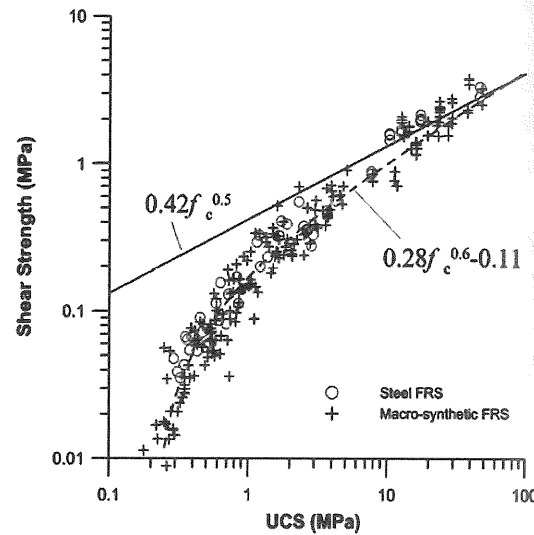


図-7 圧縮強度とせん断強度との関係⁷⁾

と圧縮強度の関係の一例を図-5に示す。

(3) せん断強度

せん断強度は鋼繊維混入により向上する(図-6)。また、圧縮強度とせん断強度はある程度相関が認められる(図-7)。

(4) 曲げタフネス(曲げじん性)の向上

繊維を混入することにより曲げタフネス(曲げじん性係数)が向上する(図-8)。

海外では図-9のように荷重-たわみ曲線で所定のたわみまでの曲線下の面積を「エネルギー吸収量(Energy Absorption)」と称して評価している。また、曲げタフネスは、金網補強した通常の吹付けコンクリートに比べて鋼繊維補強吹付けコンクリートの方が大きい(図-10)。この点や、鋼繊維のコンクリート中の分散性や均質性を確保するた

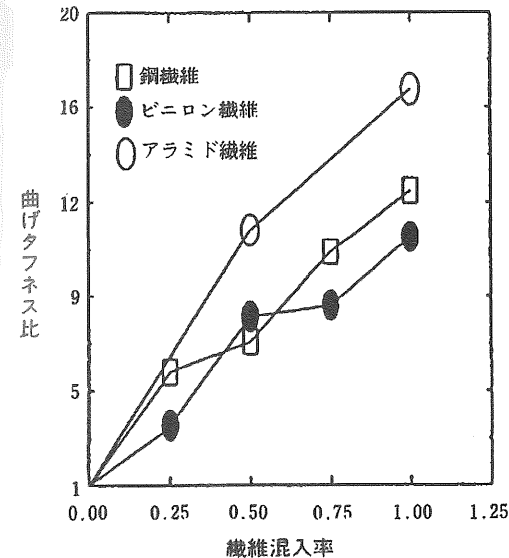


図-8 各種繊維混入率と曲げタフネス比⁸⁾

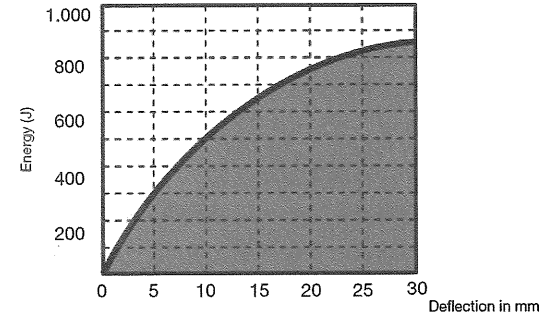
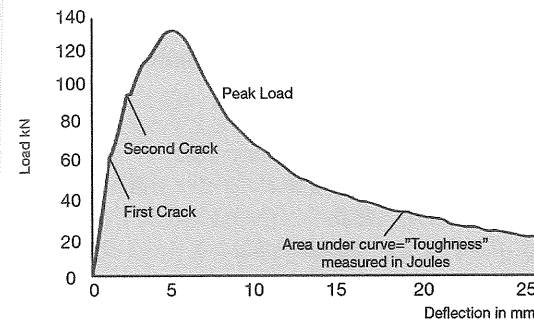


図-9 エネルギー吸収量(Energy Absorption)による曲げタフネスの評価⁹⁾

め、鋼繊維補強吹付けコンクリートを採用した多くの場合で金網は使用されていない。

3-2-2 耐久性に関する性能

(1) 凍結融解抵抗性能

凍結融解に対する抵抗性は、鋼繊維混入率に比例して増大する(図-11)。

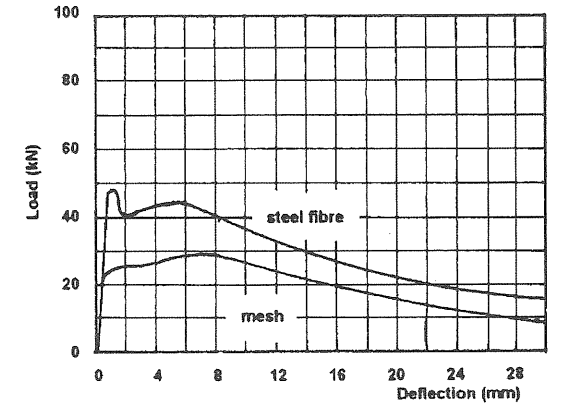


図-10 普通吹付けコンクリート+金網補強と鋼繊維補強吹付けコンクリートの比較¹⁰⁾

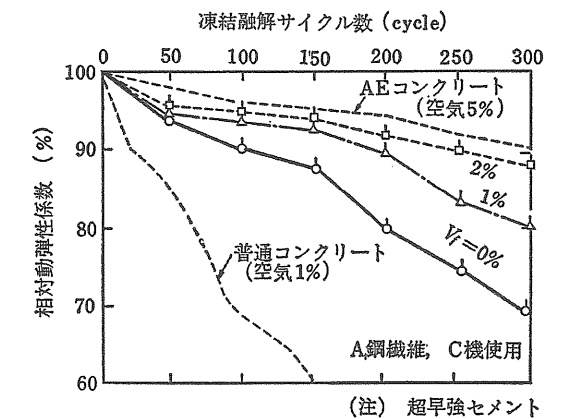


図-11 鋼繊維補強吹付けコンクリートの凍結融解試験結果¹¹⁾

表-3 鋼繊維補強コンクリートと普通コンクリートの性能比較¹²⁾

性質	普通コンクリートに対する改善率
曲げ強度・せん断強度	1.3~2.5倍
圧縮強度	わずか
靱性(破壊に至らしめる仕事量)	10倍以上
衝撃強度(鋼球落下試験)	10倍以上

(2) 衝撃抵抗性, 耐摩耗性

鋼繊維を混入することで衝撃抵抗性や耐摩耗性が向上するため、舗装や床板に利用されているが、吹付けコンクリートにこれらの性能が求められることはほとんどないと思われる。参考までに、衝撃強度は繊維をいれることで10倍以上になるという報告がある(表-3)。

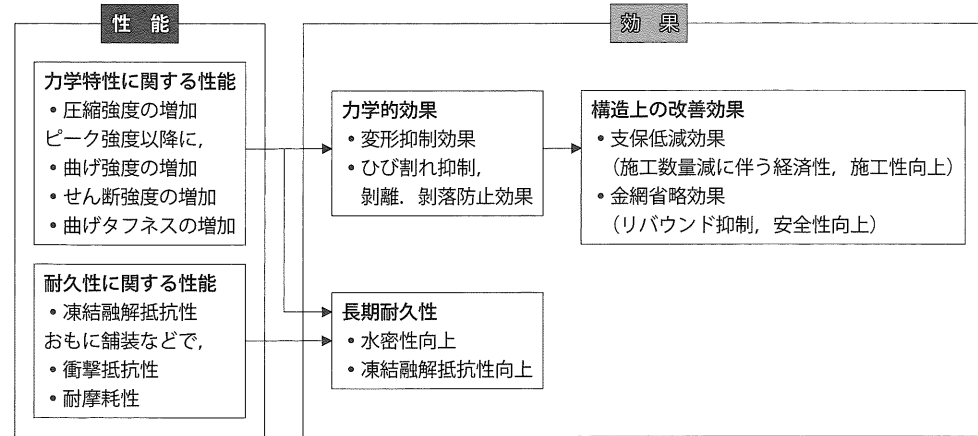


図-12 繊維補強吹付けコンクリートの性能と効果の整理

3-3 繊維補強吹付けコンクリートの効果

前節で述べた性能がどのような効果を発揮するかを、以下に整理する。また、図-12にFRSCの性能と効果について整理する。

3-3-1 力学的効果

(1) 変形抑制効果

せん断強度や曲げ強度の向上による地山土塊落下防止やひび割れ発生後も残留強度を維持して内圧を付与することなどによる、変形抑制効果がある。

(2) ひび割れ抑制、剝離・剝落防止効果

曲げタフネスの向上やひび割れ分散性能によるひび割れ抑制、剝離・剝落抑制効果がある。

3-3-2 構造上の改善効果

(1) 支保低減効果

力学性能の向上を利用して、吹付け厚の低減や鋼製支保工のサイズダウンあるいは省略ができる。これに伴い、支保数量、掘削断面積が縮小するなど、施工性や経済性の向上が期待できる。

(2) 金網省略効果

力学性能の向上を利用して、金網を省略できる。これにより、金網振動によるリバウンド防止、切羽直近での作業時間削減による安全性向上効果が期待できる。

(3) 長期耐久性向上効果

ひび割れ抑制による、①水密性向上や②凍結融

解抵抗性の向上により、長期耐久性向上効果が期待できる。

参考文献

- 1) 土木学会：吹付けコンクリート指針(案)(トンネル編)，p.9, 2005.
- 2) 日本鉄鋼連盟：鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル トンネル編，p.103, 2002.
- 3) 土木学会：鋼繊維補強コンクリート設計施工指針(案)，p.152, 1983.
- 4) 日本鉄鋼連盟：鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル トンネル編，p.103, 2002.
- 5) 日本鉄鋼連盟：鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアル トンネル編，p.100, 2002.
- 6) 土木学会：鋼繊維補強コンクリート設計施工指針(案)，p.153, 1983.
- 7) E. Stefan Bernard：EARLY-AGE RE-ENTRY UNDER FRESH FIBRE REINFORCED SHOTCRETE, *Proceedings of the 11th international conference; Shotcrete for underground support XI*, p.6, 2009.
- 8) 日本トンネル技術協会：トンネルの吹付けコンクリート，p.89, 1996.
- 9) Dramix®：パンフレット.
- 10) EFNARC：EUROPEAN SPECIFICATION for SPRAYED CONCRETE, p.15, 1996.
- 11) 土木学会：鋼繊維補強コンクリート設計施工指針(案)土木学会，p.155, 1983.
- 12) 鋼材倶楽部：スチールファイバーコンクリートの手引，p.2, 1998.

座談会

設立40周年記念若手技術者座談会(2)

暮らしを支え、夢を叶えるトンネル・地下空間

—若手技術者トンネルの未来を語る—

JTA 設立40周年記念事業実行委員会催物企画等ワーキング

座談会出席者

出席者(五十音順)

<座長>	芥川 真一 神戸大学大学院工学研究科教授
<出席者>	
石川 篤	(株)不動テトラ気仙沼地区下部工事作業所
小林 大助	中日本高速道路(株)東京支社 静岡保全・サービスセンター
谷村 浩輔	清水建設(株)八之尻トンネル工事作業所
張 信一郎	(独)鉄道・運輸機構大阪支社工事第四部 工事第六課
法橋 亮	戸田建設(株)土木工事技術部技術1課
米澤 和人	(株)フジタ九州支店中尾トンネル作業所

はじめに

事務局 本日は若手技術者座談会の2回目です。前回とメンバーを交代して、トンネルに対する思いや未来について、忌憚のない意見をお聞かせいただきたいと思います。座長は神戸大学の芥川教授です。

芥川先生は、トンネルの大家である櫻井春輔先生に師事され神戸大学をご卒業後、1983(昭和58)年に渡米。その後、オーストラリアのクイーンズランド大学で博士号を取得し、1992(平成4)年、神戸大学に戻られ、2009(平成21)年、教授にご就任されました。おもに岩盤力学と数値解析を専門とされ、施工の見える化を図るOSV研究会の立上げなど、広範囲でご活躍中です。

それでは先生、よろしくお願いたします。

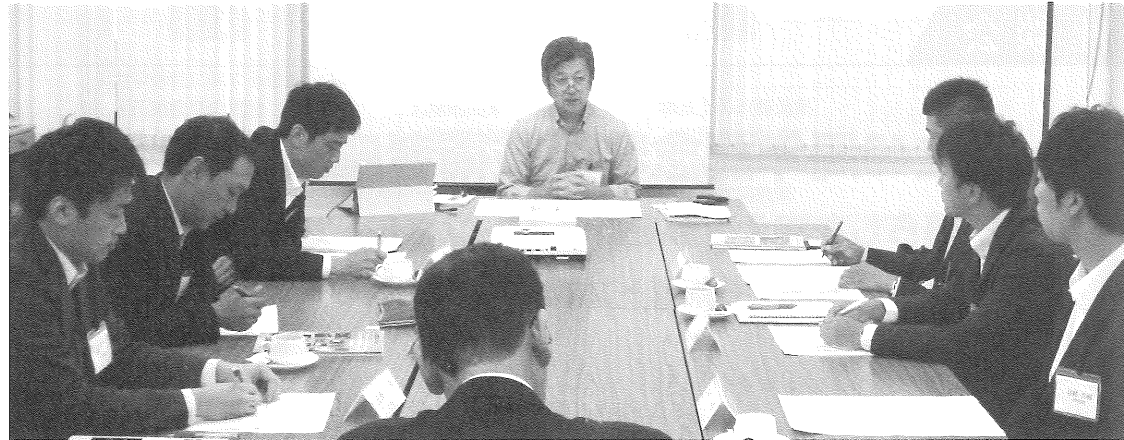
座長 座長の芥川です。櫻井先生のお名前が出ましたので、私と先生とのかかわりについて少しお話しします。私の学生時代は、櫻井先生のもとでNATMの施工管理に用いられる地山限界ひずみの研究をしていました。さまざまな岩種、強度の限界ひずみを試験で求めるとともに、海外の文献からもデータを収集し、一軸圧縮強度と限界ひずみの関係グラフを作っていました。当時、櫻井先生からお聞きした話では、先生がアメリカで博士号を取得されたあと、30歳くらいで帰国されたとき、日本ではちょうど青函トンネルが建設中で、

先生も若手メンバーとして技術検討委員会に参加されたそうです。青函トンネルは当時世紀の一大プロジェクトであり、さまざまな課題を克服する中で、櫻井先生が施工管理手法として提案したかった岩盤の力学モデルを検証する機会を得られたのですが、現場検証の過程で、計測結果は、得られたら、すぐに施工に反映させることが、大切であることを痛感され、その後の情報化施工の提唱につながったということでした。私たち学生が行った限界ひずみの把握試験もその一環で、これが、私がトンネルにかかわった最初です。

トンネルへの思い

座長 まず、皆さんがこれまでトンネル建設に携わっている中で感じていること、今後、取り組みたいことなどがあればお話しください。

法橋 戸田建設の法橋です。2010年入社で今



座談会風景



座長/芥川 真一/神戸大学

年6年目になります。私は地質の専門職として施工管理に携わっていますが、切羽観察の重要性について見直す必要を感じています。切羽スケッチにもとづく地質縦断・平面図を作成して計測結果と対比、管理することが本来のトンネル工事の進め方だと思っていますが、最近は計測管理に偏っている気がします。私たちよりさらに若い技術者には、切羽観察を基本に地山と向き合う姿勢を再認識してもらうことが必要と感じています。また、これからトンネル工事に従事する若手技術者を確保するために、作業環境がいかに改善され優れた状況にあるかとか、経験工学とは言いながらも学問として体系化され、綿密な検討のもとで議論が行われているかなどを、さまざまな媒体を通じて、

世に発信していかなければならないと思います。きつい・汚い、のイメージをなくすことで、トンネル工事に従事したいと考える若手技術者が増えていく環境づくりに貢献したいと考えています。

小林 中日本高速道路静岡保全・サービスセンターの小林です。2001年入社15年目です。上信越道で供用中のトンネルの盤膨れ調査検討を担当し、北陸自動車道で供用中トンネルの避難坑増設工事や、中部横断自動車道のトンネル工事に従事していました。近年、道路トンネルにおいて、インバートが設置されていないことによる盤膨れなどの変状が多数報告されており、供用後にインバートの設置対策を進めています。供用後の補修工事は、建設時より何倍もの工費がかかり、交通規制などによる社会的影響が大きいため、今後はインバート設置範囲を拡大する改善が必要と考えています。またトンネル掘削において、現在は切羽で地質を確認し支保や補助工法などを判定していますが、対応が後手に回ることがあるため、前方の事前調査に多少のお金をつぎ込むことも必要だと思います。また、安く精度の高い前方探査技術の開発も望まれます。

張 鉄道・運輸機構の張と申します。入社は2005年で11年目です。現在は大阪支社で、北陸新幹線(金沢～敦賀間)にある延長約20kmの新北陸トンネル工事を担当しています。これまでに、2015年春に開業した北陸新幹線(長野～金沢間)



谷村 浩輔/清水建設(株)

で2本のトンネル工事を担当しました。

トンネル工事では、事前に把握できる地山状況に限界があるため、日々切羽状況をしっかり確認し、計測しながら施工を進めていく必要があります。柔軟に施工方法を見直していく姿勢が重要で、この点がトンネル工事の特徴だと思っています。

次に工事を発注する立場として感じる改善点についてお話しします。現在、総合評価型入札制度の中で、施工業者さんから技術提案をしていただいているのですが、提案事項をただ履行するということが陥っていないか危惧しています。先のわからないトンネルだからこそ、技術提案に限らず、現場条件に合致した新しい技術を積極的に取り入れられるような環境作りをしていきたいと考えています。

トンネル技術の進むべき方向

座長 さて今、新しい技術を取入れたいとのご意見がありましたが、今後、技術革新はどのような方向に進むべきとお考えですか。

米澤 フジタの米澤です。2002年入社で14年目です。新入社員から農道トンネル、2年目にシールド工事に配属されましたが、その後は九州、中四国、直近では長野県で大断面の河川トンネルなど山岳トンネルをおもに施工してきました。

現場を進めるうえでの喫緊の課題として、作業員の高齢化、労働力の絶対的な不足がありますの

で、重機などの遠隔操作、無人化技術の導入促進、さらに進歩した人工知能を持った機械による施工、ロボット化が必要であると思います。とくに、地下工事においては安全の面からも価値が高いと考えます。

石川 不動テトラの石川です。1999年入社17年目です。入社後さまざまな工種を経験し、近年ではシールド工事を2件経験しました。やはり自動化施工技術を開発する必要があると思います。深く、巨大な地下空間を造る場合、人間が入れない環境に遭遇する場合もあるからです。また、とくに都市部での地下構造物構築は社会的影響が大きく、地盤沈下、騒音、振動、水質汚濁などのミスが許されません。さらに都市部ではすでに地中にさまざまなものが埋設されており、地下空間を有効利用するためには、地中障害物をかわして新しい構造物を造る技術も必要になると思います。

谷村 清水建設の谷村です。2008年入社8年目になります。立坑工事、ダム工事を経て現在は山岳トンネル工事に従事しています。トンネル工事は、経験的なスキルに負うところが大きいですが、トンネルを誰でも造れる構造物にしていかなければならないと思います。各工事で得られた知識や経験を標準化し、1社だけでなくすべての会社に展開し共通建設技術として皆が使えるようにするべきと考えます。また、発注者ごとに異なる施工基準も統一し、硬い岩盤から柔らかい地盤



石川 篤/(株)不動テトラ



法橋 亮/戸田建設(株)

まで施工できる仕様書を作るべきだと思います。そして、これを実践する第三者機関を設けられれば良いと思います。例えばJTAさんなどが第三者機関として運用するかたちになれば、皆が施工しやすい技術が確立できると考えます。

新しい技術を

座長 JTAの活躍の場が広がると良いですね。さて、目を未来に向けて、こんな新技術が望ましいとか、こんな技術を開発したいと思うものはありますか。

張 技術革新の方向性としては、最近の公共工事に求められている、整備効果を早期に社会還元するという命題に対し、より早く、より安全に施工を進めるための技術開発が重要だと感じています。

谷村 トンネル工事の環境面の課題として、塵肺問題に代表される粉塵対策があります。現在所属する現場では、切羽直近まで集塵システムを延伸しエアカーテンと合わせて対策していますが、集めた粉塵の再利用技術があれば面白いと思います。粘土化して焼き物にするなど。また、補助工法としてAGFを施工しましたが、シリカレジに替わる安価な注入材料の開発を望みます。また前方地山探査に関して、現在はドリルジャンボに装備する技術がありますが、点ではなく切羽全面の地質を把握できれば支保パターンの適正化や繰返しの削減などにつながると思います。

石川 シールド工事でも、限られたボーリングから3次元的に地下構造を把握できるような技術が欲しいです。私が経験したシールド工事では事前の調査ボーリング結果から礫径450mmに対応できるシールドを計画しましたが、実際にはより大きな巨礫に遭遇し掘進トラブルが起きました。調査ボーリングは200mピッチで実施されていましたが、この限られた情報からより正確な礫径など地下構造を把握できる技術を望みます。また、今後の大断面シールド工事や東日本大震災の除染工事では発生土の処分場所に課題がありますので、建設廃棄物の分解、縮小、溶かす技術があれば良いと思います。

座長 切羽前方探査という、見えないものをいかにして探るかという技術について、前方にボーリングして実物を見る方法以外にも、物理探査と呼ぶ手法がいくつかあります。前回もお話しましたが、物理探査のひとつでミュオンと言う宇宙線に起因する素粒子を用いた地盤の透視技術があり、地盤工学の分野への適用研究が始まっているようです。この技術は福島原発で溶けた核燃料の調査に使われたこともあり、火山でマグマの動きを透視することにも使われています。ピラミッドの透視にも使われるようです。この技術は、地盤を広範囲にスキャンできる可能性がありますので、トンネル工事の分野でも注目していくべき技術です。



張 信一郎/(独)鉄道・運輸機構

米澤 トンネルでは発破掘削や機械掘削が主流ですが、火薬や大型重機を必要としない、例えばウォータージェットで掘削して泥水化しポンプで排土するなどの工法があれば、粉塵が発生しないので環境的にも良いのではないかと思います。また、トンネル工事に限りませんが、写真に撮ったものを高精度に図面化する技術などがあれば良いと思います。掘削作業の合間を縫っての測量・計測作業は拘束時間の長さなど職員にかかる肉体的な負担が大きく、測量・計測作業が省力化できれば施工管理に携わる技術者にはありがたいです。

法橋 たとえば、強力な酸や熱で岩石を溶かす技術があればトンネル掘削の急速施工が図れると思います。また、高性能圧縮空気や流体などを利用して自動ずり出しシステムを開発すれば、効率化、省人化も図れると思います。

座長 ありがとうございます。粉塵対応について皆さんが興味をもたれていることが新しい気づきでした。さらに新しい掘削方法については、今後大いに注目していくべき分野であると考えています。ウォータージェットや岩石を溶かす発想も面白いですね。ところで、現在実用化されようとしている新技術で放電破砕というものがあります。電気エネルギーを溜めて一度に放電させ、その衝撃で岩を砕く技術です。また、岩石の風化プロセスを加速するやり方も可能性としてあります。さらに、最近ではバクテリアの研究が盛んで、バイオ的に岩を掘りやすくする技術があれば良いですね。どこかで研究していただくとありがたいです。そして、これら現状技術の向こう側にある技術が実用化されてくると、次の話題である未来のトンネルにつながっていくと思います。

新たな挑戦

座長 私が20歳台後半にオーストラリアにいたころ、日本では高景気のもとで鹿児島、愛媛、岩手の石油備蓄、揚水発電の地下発電所など大空洞の構築が盛んでした。今はそのころの大規模工事がほぼ完了した状況ですが、今後、リニア新幹線などの大規模工事も始まります。皆さんの将来



米澤 和人/(株)フジタ

に向けての夢をお聞かせください。

張 鉄道トンネルの近未来について、旅客輸送に特化している新幹線トンネルを貨物輸送に広げ、生活に必要な物資の高速輸送空間として活用することも考えられると思います。青函トンネルは、来年3月の北海道新幹線開業後も貨物輸送と併用することになっていますが、貨物専用の青函トンネルがあっても良いのではないかと思います。また、私は四国出身なのですが、本州と四国、または四国と九州をつなぐ海底トンネルがあったら良いと思います。

座長 物流ルートとしてもう1本の青函トンネルを造るお話ですが、現在の日本の社会情勢の中で、そういったプロジェクトにゴーサインがでる素地はあるのでしょうか？

張 難しいかも知れません。しかし、先ほど先生からお話があったように、今の日本にはリニア以外のビッグプロジェクトがあまりないように思います。かつては3本の本四架橋や青函トンネルなどビッグプロジェクトと呼べるものがありました。もうひとつ夢のあるプロジェクトとして新しい青函トンネルなど、もう一度海底トンネルに挑戦したいと思っています。

小林 私も同感です。すでに計画があり一部で調査トンネルも施工されているようですが、日本と韓国を結ぶ対馬海峡トンネルが実現すればと考えています。さらに東京～トルコにいたるアジア

ハイウェイなどの大構想に乗って、日本とヨーロッパを直接結ぶことができれば、日本の発展に大きく寄与できるのではないのでしょうか。

座長 国と国を結ぶトンネルの話が出ましたが、私が子供のころ、1960年代の科学漫画でブラジルに向けてトンネルを掘る話がありました。そのときに言われていたことですが、仮にブラジルまで真直ぐにトンネルを掘ることができて、摩擦なくトンネル内を通過することができれば、物理計算上44分でブラジルにたどり着くことができるそうです。東京と上海間に同様のトンネルを掘った場合も物理計算上44分になるそうです。当時、世界中のどこでも44分で行けるという夢の話でした。

夢のプロジェクト

座長 次に、新しい地下空間の利用という観点でご意見あればお願いします。

米澤 冷夏や猛暑の被害を受けない地下農園や、増大した人口に対応するような地下都市、地下発電所、核燃料の廃棄施設などが考えられます。地下にいても地上にいるような感覚にさせてくれればきっと住みやすいでしょうね。また、私事になりますが、四国に実家があり九州で働いているので、張さんと同じように四国と九州を結ぶトンネルがあればと思います。

法橋 住空間、一般的な生活空間としての地下利用のほか、地上には存在しない有用資源、新開発の農作物などを獲得するための資源・食糧開発基地として活用できれば良いのではと思います。また地下利用の促進方法として、例えばテーマパークや人が集まるところには、「巨大地下駐車場を設けなければならない」などの規制ができれば、地下空間のますますの有効利用につながるのではないのでしょうか。さらに未来に目を向けて、「日本完全トンネル化案」と称して、例えば制限速度200km/h対応の超高速トンネル道路で各県主要部をつなぐネットワークを構築します。こうすることで、今後の人口減少や移動のスリム化に対応できると思います。



小林 大助/中日本高速道路(株)

谷村 地下空間の利点は、環境変化の影響を受けにくいこと、欠点は太陽光を必要とすることです。したがって地下空間に太陽光を引込み、この太陽エネルギーのもと、光合成や風、水、バイオマスなどの再生可能エネルギーを活用したクローズドシステムを具現化して地下空間を利用すればと思います。さらに、直径30m以上のTBMによる大口径円形トンネルを施工して、そこに電力、ガス、上下水道、電話、鉄道、道路などのすべてのインフラを集約して都市間ネットワークを構築すれば非常に便利なものになると思います。100年先の子供の夢物語としては、過去、未来へとタイムスリップのできるトンネルもありでしょうか？

座長 ありがとうございます。さまざまな地下利用が見えてきました。ところで、ミネソタ大学の土木工学科は地下にあります。おそらく世界唯一だと思いますが、大学構内の公園にさり気なく上屋が建っていて、その下に地下8~9階の土木工学科が埋まっています。ミネソタに行く機会があれば、是非、見てみてください。ミシシッピー川沿いの良好な岩盤中に造られており、斬新な設計やエネルギー効率の優位性などでアメリカ土木学会の賞を受賞しています。

地下都市へ

座長 ところで最近、太陽風による災害がクローズアップされてきています。適度な太陽風は



座談会風景

きれいなオーロラの発生につながりますが、太陽フレアにより太陽風が強くなりすぎると電力ネットワークのダウンなど重大な被害が発生します。日本ではまだ発生していませんが、欧米では今後深刻な事態が生じると懸念されています。もし頻繁に起こるようになると、いろいろなインフラ設備や住居を地下に建設する必要がでてきます。そこで、例えば10万人規模の町を地下に造るとすると、どのようなものになるのでしょうか。技術の進歩も合わせてご意見ををお願いします。

石川 私がイメージした10万人規模の地下都市は、500m~1kmの大深度に構築されるものです。地上から細長いアクセストンネルが延びており、その下に円形や楕円形の大空間が構築されています。この場合、巨大な地下空間はできる限り硬い岩盤内に造り、地下構造物にかかる土圧を分散するため円形の構造になると思います。利用区分も重要で、深度によって上から順に生活圏、空洞内交通システム、防災施設、食料備蓄施設などをイメージします。

施工方法としては、全自動の無人化施工が必要です。地下に100m進むごとに3度ずつ温度が上昇すること、有害ガスなど人間が入って作業するような環境ではないと想定するからです。地上付近においては錯綜する都市の地下空間を通過しますので、地中障害物をかわせるアクセストンネルの施工方法も必要になると考えます。

座長 どれくらい深いところに地下都市を造るかの話ですが、人間が行ったことのある最大の深さは南アフリカの鉱山で4,500mだそうです。石

油業界のボーリングで9,000m、人間が手を付けた最大深度ですね。大深度探査の技術は、今後開発が進んでいくと思います。トンネル分野ではありませんが、海洋研究開発機構やプレートテクトニクスの研究者は20~30kmのボーリングを可能とする技術開発を目指しているようなので、将来的にはトンネル工事への適用もあるでしょう。

張 10万人規模の地下都市を計画する場合、地下空間は水が溢れば対応できない宿命ですので、災害時、とくに水害時でも安全を確保できる構造とすることが絶対条件であると思います。また、太陽光に代わる光源や、都市から排出される廃棄物の処理技術も必要です。

小林 張さんと同じ意見です。地下都市には止水処理が重要だと思います。グラウト技術の開発や排水処理の技術が、まず克服すべき課題になると思います。

座長 チリにエルテニエンテという今でも世界最大規模の地下鉱山がありますが、鉱山のベース基地がアンデス山脈の海拔2,000mくらいの所にあり、そこから10kmほど列車で坑内に入ると土かぶり2,000mの地点に到着します。そこから、500mのエレベータを乗継いで各自の持ち場に分かれるのですが、常時3,000人の人が働いている、地下都市のような鉱山でした。

米澤 巨大空間を支保するためには太い柱が必要となるはずですので、柱の中に人が生活するマンションやオフィスビルを造り込み、空間を支える柱と居住施設を兼用させると良いでしょう。これにより必要となる空間を大幅に縮小できるはずです。要素技術としては地震や地殻変動に耐える構造の柱(ビル)の構築技術が必要です。また、地下空間は閉塞または半閉塞状態ですのでCO₂を出さない燃料供給技術や空気や汚水を100%再利用できる技術があれば良いと思います。

法橋 巨大な地下空間を構築するためには、比較的地盤が堅固で安定しているところを選定することが最重要課題だと思います。国際リニアコラ

イダープロジェクト*の候補地ともなっている東北は北上山地の花崗岩体周辺が、立地的に適していると思います。施工技術としては、支保の大型化、高浸透性の薬液注入などにより岩盤の割れ目を深い深度まで一体化させる補助工法の開発が必要と思います。

座長 トンネル掘削に関して、夢のような話として、物体を小さくする方法があります。宇宙には、原子を構成している電子が、陽子と一体化して収縮している中性子星と呼ばれる星があり、例えば体重60kgの人が中性子化すると一辺3 μ mの立方体になるほど小さくなります。一般の原子を中性子化するような技術はまだ得られていませんが、物理学の進歩とともにそういった技術をわれわれが使う日が来るかもしれない。もしそうなれば、トンネルを掘削するというイメージはなくなります。そこにあるものを小さくすることで一瞬にしてトンネルができる。今は夢の話ですが、興味のある話です。

谷村 10万人規模の地下都市と聞いて、トルコのカップドキアやアリの巣を連想しました。それから規模を大きくしてみたもので、直径10kmの高台の地山にクロードシステムの都市を計画します。形状は下方に向かって縮小する円錐構造ですり鉢状のもので、皆さんが話されているように堅硬で自立する岩盤中に構築し、円錐構造の中心に直径50m程度の立坑を配置し、最外周には ϕ 16m程度の超近接双設TBMトンネル(鉄道、道路)が0.3%程度の下り勾配でらせん状に下がる。立坑内には住民が地上とアクセスできる超高速エレベータなどを設ける。すり鉢の最下層には同様の意見がありました貯槽、駐車場、刑務所、軍事施設なども設置するイメージです。

座長 ありがとうございます。遠い未来の話かもしれませんが、今後技術開発が進んで、本

*国際リアコライダープロジェクト：全長約30kmの直線状の加速器をつくり、現在達成しうる最高エネルギーで電子と陽電子の衝突実験を行う計画。宇宙初期に迫る高エネルギーの反応を作り出すことによって、宇宙創成の謎、時間と空間の謎、質量の謎に迫るといふもの。



座談会風景

に大勢の人間が地下に住まざるを得なくなることがあるかも知れません。

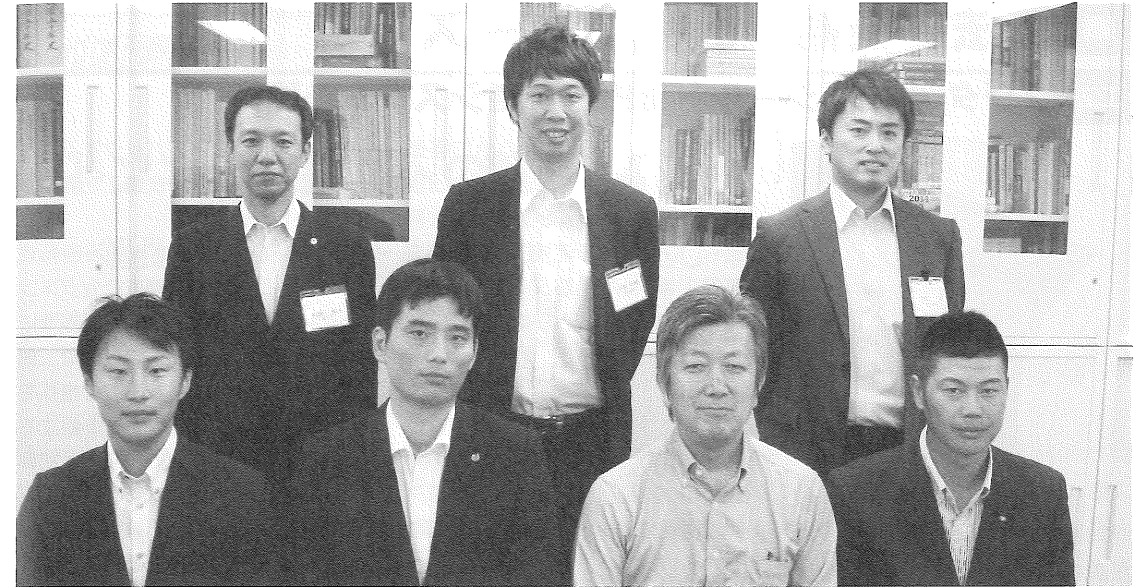
未来を見つめながら

座長 先日、東京大学の梶田先生がニュートリノでノーベル賞を受賞されました。私たちは物理学と土木、トンネルとは関係が薄いと思っていましたが、小柴先生がノーベル賞を受賞された研究の舞台であるスーパーカミオカンデの建設現場に行ったことがあります。ちょうど掘削しているときに、直径40m、深さ70mの真ん中あたりを掘っていました。その何年かあとに、小柴先生がノーベル賞を受賞され、またそのお弟子さんが受賞されて、感じるものがありました。

先ほど話したミューオンについても全く別世界の話かもしれませんが、土木屋がミューオンを使う時代が来るかもしれない。そして、その先ではニュートリノを使うという夢のまた夢のような話がわれわれの生きているうちに起きるかも知れません。同じ神岡鉱山で、東京大学の研究チームが重力波を計測する研究でトンネルを使用しています。従来のインフラ系のビッグプロジェクトだけでなく、リアコライダーを含めて物理研究施設のビッグプロジェクトがあるかも知れない。ぜひ、政府にゴーサインを出してもらいたいものです。

おわりに一言

座長 そろそろ時間が参りましたので、このあたりで終わらせていただきたいと思います。皆さん、本日の感想などあればお願いします。



集合写真

石川 岩盤の掘削に苦勞した経験がありますので、風化を促進する技術や自然の力を利用するなど、実現すれば素晴らしいと本当に思いました。

座長 世界の誰かが研究していてもおかしくないと思います。風化速度を100万倍くらい早くできれば実用性があると思います。

小林 日ごろ話す機会のない話題がいっぱいありましたが、私も風化促進技術についてはおもしろい考え方だと思いました。附随してボーリング技術も必要になると思います。

谷村 普段このような会話は全くしないですね。余裕がないのかもしれませんが、現場としては今ある技術をうまくこなすことで目一杯です。本日の機会を設けていただいて、柔軟な発想も大事だと気づきました。ありがとうございます。

法橋 あまり社内でする話ではありませんでしたが、この2~3年、前方探査に関する新技術の開発などについて社内ワーキングを行っているので、本日の話題は非常に参考になり有意義でした。

米澤 私も、普段は既存の技術、既存の考え方が頭にないのですが、もとを辿れば宇宙技術や軍事技術であったものが、今現在活用されている例があることについては本日の気づきでした。普段は縁の薄い分野の技術にも興味を広げるべきと

感じています。

張 こういう話題をする機会は社内でもなかなかないですが、皆さんのお話を聞いていて普段考えていることや問題意識にはさほど大きな差はないと感じました。芥川先生のお話をお聞きして、日ごろの業務に追われて狭い世界のことばかり見るのではなく、広い分野の興味を持つことが大事だと感じました。

まとめ

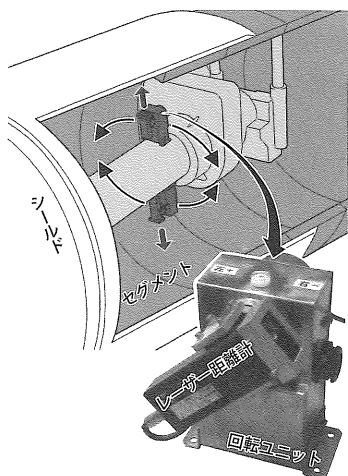
事務局 私も、日ごろ忙しいなかでつい目先の部分しか見えていないことを再認識させられました。どうかこれからも、折に触れて本日感じたことを思い出して、会社内でも話題提供していただければと思います。また今後の技術開発、ひいては日本のトンネル技術の発展につなげていただければと思います。

最後に本日の座談会の文が多くの方の目に触れ、協会とトンネルの将来について考えるきっかけとなれば幸いです。本日は、誠にありがとうございました。

(2015(平成27)年10月19日JTA会議室にて収録。役職は当時のまま)

工法・技術・製品ニュース

工法 フジタ 小口径シールド真円度計測システムを開発



フジタは、直径2mの小口径断面シールドに設置できる「小口径シールド真円度計測システム」を開発し、江戸川左岸流域下水道管渠築造工事(松戸幹線501-2工区)(千葉県)において、その有効性を確認したと発表した。

同システムは、同社が2013年に開発した「大口径向け真円度連続計測システム」を改良したもの。シールド内の対角位置2か所に取付けた回転式レーザー距離計と制御装置から構成され、組立て直後のセグメントの真円度を、掘進と連動して連続計測できる。これにより、セグメントの異常な変位を早期に是正することが可能となり、シールドの姿勢制御やセグメントの組立てパター

ンの調整にフィードバックすることで、より高品質な一次覆工を構築できるとしている。

計測精度±1.5mmを有する回転式レーザー距離計で高精度にセグメントの内空を計測し、シールド掘進にあわせてリアルタイムの計測で、掘進に伴うセグメント真円度の推移を解析。即時に次のセグメント組立て管理に反映させる。計測装置と制御部を分離して小型化することで、小口径断面(直径2m)の狭隘なシールド内に後付けで設置することが可能となった。

今後は、小口径トンネルのシールド工事へ普及を進め、適用事例を増やし、同システムのさらなる小型化を検討していくとしている。

フジタ広報室
TEL. 03-3402-1911
URL. <http://www.fujita.co.jp/>

製品 オフロード法2014年基準に適合のホイールローダー2機種



ZW40-SS

日立建機は、新型ホイールローダーZW-5シリーズとして、ZW40-SS(標準バケット容量0.5m³、運転質量3,340kg)、ZW50-SS(同0.6m³、3,670kg)を発売した。

両機は、オフロード法排出ガス2014年基準に適合したホイールローダーで、国土交通省超低騒音型建設機械に指定を申請中。

パワートレインには実績のあるハイドロ・スタティック・トランスミッション(HST)システムを採用し、アクセルワークひとつで車両の

速度をコントロールすることが可能。また、乗降口の左右に手すりと大型ステップを装備したほか、シートベルトを標準で、キャノピ仕様や、安全性の高いROPS/FOPSキャブをオプションで、装備する。

大きなごみが浮遊している作業環境向けにラジエータダストスクリーンをオプション設定するほか、標準装備の盗難を抑制するNSキーに加え、盗難抑止効果の高い電子キーロックをオプション設定できるなど、多彩なオプション装備が可能。

日立建機ブランド・コミュニケーション
本部広報戦略室広報グループ
TEL. 03-3830-8065
URL. <https://www.hitachicm.com/>

セグメントの新技术

小泉 淳 監修 B5判132頁 本体定価2,000円(〒300円)



株式会社 土木工学社

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

連載講座

トンネル新技术への挑戦(4)

—超長尺コントロールボーリング FSC-100—

「トンネル新技术への挑戦」連載講座小委員会

① はじめに

今回は、山岳トンネルの切羽前方に対して行う先進ボーリング技術に関し、筆者ら(巻末文責参照)が取り組むFSC-100機の開発状況を紹介します。

② 開発の背景

2-1 6,7年前までの状況

山岳トンネルの先進ボーリング技術に関し、筆者の一人である大島は委員長として2008年9月から8回にわたり本誌に連載講座を掲載した。

その講座の第1回「ボーリング・先進ボーリングの概要」は、下記のような構成になっている¹⁾。

1. はじめに
2. ボーリングとは
3. トンネル工事へのボーリング技術導入の歴史・発展
4. ボーリングの目的・役割
5. 大深度・長尺ボーリングへの挑戦と長さによる区分
6. 先進ボーリングの掘進速度を上げるための努力
7. ボーリングの孔曲がり制御
8. 坑外から行う最新の長尺・超長尺ボーリングなど
9. おわりに(ボーリング技術のブレークスルーが必要)

3章では、東海道本線丹那トンネル建設のころ

に始まる山岳トンネルへのボーリング技術の導入など、その歴史を振り返り、青函トンネル建設の時代に急速にレベルアップした切羽前方の先進ボーリング技術を紹介した。4章では、ボーリングは地質調査が主目的と思われがちであるが、それ以外にも水抜きや地盤改良(注入)、その他種々の用途があることを紹介した。5章では、長く、深く掘る技術に挑戦してきた流れの中で、長さによる区分を紹介した。6章では、高速掘進のための努力を、7章ではボーリングで避けられない孔曲がりの原因とそれを防止する技術の現状を紹介した。8章では、坑外から実施する長尺ボーリング技術の現状を紹介した。最後の9章において、「ボーリング技術のブレークスルーが必要」として筆者の夢を概略次のように語った。

「わが国の土木業界は逆風の中、なかなか新規のビッグプロジェクトがスタートせず、若者の理科離れの傾向はかつて一世を風靡した土木工学系にことのほか厳しくのしかかってきている。この沈滞した空気を変えるものは、夢を感じるような新たなプロジェクトの創出と、これを支える技術の革新である。トンネルのボーリング技術は小さな技術領域ではあるが、この技術のブレークスルー(飛躍的進歩)があれば、土かぶりの大きな長大山岳トンネルへの挑戦も現在よりずっとリスクの少ないものになるはずであると確信する。」

2-2 先進ボーリング技術の開発目標²⁾

大島が、切羽前方の先進ボーリングに興味を抱

いたのは、大量の湧水で難航した山陽新幹線福岡トンネルにおいて経験した、ダウンザホール型のビューラと呼ばれるボーリング機の威力を実感したときに始まる¹⁾。ノンコアではあるが、切羽の40~50m前方の湧水の有無や硬軟の情報を1週間ごとに行うボーリングで確認できたので、先の計画を立てるうえで非常に役立つからであった。

それ以降も、昭和50年代から大島自身のライフワークとして従事していた中央新幹線の南・中央アルプスのトンネルの実現に向けて、先進ボーリング技術には興味を持ち続けていた。この話が具体化するにつれ、土かぶり1,000mを越える中部山岳部での地表からの地質調査には限界があり、津軽海峡下を貫いた青函トンネルと同様に、切羽から行う長尺ボーリングによる地質調査技術に対しとくに下記2点を飛躍的に向上させる必要性を痛感するようになり、私的な勉強会の中で種々の検討を行った。

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

2-2-1 研究着手時点までのボーリング技術²⁾

(1) 掘進能率

- ① 日掘進速度(m/d)は鉛直で7.4m/d、水平で6.1m/dである。極端な速度の違いはない。
- ② 孔壁崩壊や大量湧水などに対する対策のために、ところどころ休止期間を必要とする。
- ③ 掘進速度は深度とともに低下する傾向があり、水平の場合400~600m以浅では8.8m/d、それ以深では6.6m/dである。900m以深では2.2m/dという事例もある。

このように、コアボーリングでは掘進能率に掘進方向や掘削方式による明瞭な差はなく、日掘進速度10m/dを上回るようなことはない。なお、良好岩盤であればそれ以上の速度での掘進は可能

だが、孔曲がり制御のために、日掘進速度10m/d以下に抑えるようしている面がある。

(2) 孔曲がり状況とその制御

ボーリングは鉛直あるいは水平、ないしある斜角度をもって真っ直ぐ掘ることを前提にしているが、なかなか計画どおりにはいかないものである。孔曲がりの原因は、おおむね以下のとおりである。

1) 機械的条件によるもの

- ・孔径に対しロッドの径が小さい場合
- ・ロッドそのものの欠陥
- ・ビットの回転数、ビットへの荷重、スライム排除という3条件が不適

これらに起因する孔曲がりを極力抑えるために、精度の良い孔曲がり計測を適切な頻度で行いながら、次の対応をとるのが一般的である。

- ・無理のないビット回転数と荷重で掘進
- ・切れ味のよいビットを常に使用
- ・孔径に近いロッドやコアチューブの使用
- ・トルクの変動に注意
- ・送水量を増やすなどスライムの排除に努める
- ・スタビライザやドリルカラーの有効利用

2) 地質条件によるもの

- ・層理、片理、節理など、割れ目が発達した地山(これらの面に対し垂直になろうとする傾向)
- ・硬軟の差が著しい場合

われわれのこれまでの経験からは、孔曲がりは重力の影響、剝離面などの岩盤の異方性に大きく影響されるもので、なかなか思いどおりには掘れないのが実態である。

そこで、坑内の切羽から行う先進ボーリング技術に関し、①ノンコア、②1,000m級、③高速掘進、④方向制御可能、に絞ったブレイクスルーの必要性を説き、その夢の実現に向けて、鉱研工業、国際航業、JR東海の仲間達と一緒に追い求めるようになった。

2-2-2 研究着手時点での先進ボーリング実績

(1) 九州新幹線筑紫トンネル河内工区¹⁾

水抜きを目的として計40本、4,424mのボーリングを行っている。最初は油圧式トップハンマー

工法(PKD-130C)を用いていたが、後半の25本は一度に200m程度を格段に早く掘れる水圧式ダウンザホールハンマー工法(Wassara W100)を用いている。当該現場での平均掘進時速は油圧式が100m程度を8.3m/hで、それより深部の掘削はできなくなるのに対し、水圧式は深部に行っても低下が少なく、150~200mでも10.3m/hを維持でき、最高では18時間で200mを掘っている。この実績は非常に魅力的である。

(2) 東海北陸自動車道飛騨トンネル先進坑¹⁾

当先進坑はTBMによる施工がなされているが、地質上のトラブルが頻発したため、TBMに搭載した削岩機による40~50m程度の前方探査以外に、TBM後方から50~100m程度前方を探るロータリーパーカッション工法(アロードリル(PR-100SF)コア採取型)を併用している。両者は50m/d程度で掘進している。

さらに、TBMが拘束された場合、ボーリング坑を別途設けたうえで、300~500m程度の地質状況把握と先行水抜きをシールドリバース工法(TOP-LS21)による水平ボーリングで実施している。この場合の日掘進速度は5~10m/d程度で、地質状況が悪くなると計画長に至らぬ前に断念している。

(3) 東北新幹線八甲田トンネル大坪工区¹⁾

地質調査を目的に330m、200mの水平ボーリングをシールドリバース工法で施工している。また、PSワイヤライン工法による平均70~80m/dの水平ボーリングを62本削孔している。後者は土日の切羽作業休止2日間を利用して行っている。

(4) 第二東名富士川トンネル西工区¹⁾

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

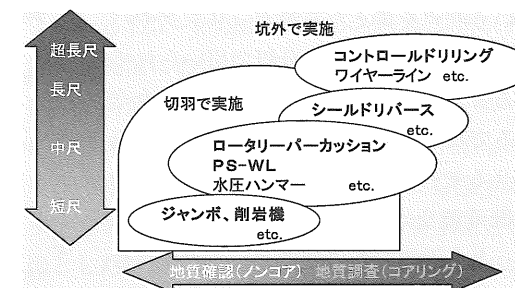


図-1 目的別ボーリング工法概念²⁾

図-1は文献1)で筆者らが示した目的別水平ボーリング工法の概念図である。

縦軸はボーリングの延長であり、短尺(20~50m前後)、中尺(数百m以下)、長尺(数百m以上)、超長尺(1,000m以上)といったことを想定したものである。横軸は地質調査精度を示すもので、左ほどノンコアでも良いとするもの、右ほどコア採取を目指すもののイメージとなっている。この図で見ると、切羽の進行を阻害しないことに配慮しているため、短尺、中尺程度では、コア採取よりも高速施工性を重視するノンコアタイプ、削孔延長が長くなると施工速度よりも、コア採取を優先するものが多くなる。

2-3 われわれが必要と考える坑内先進ボーリング機の方式と課題

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

シールドリバース工法では2-2項(2)の事例のように昼夜作業での日掘進速度5~10m/dは、通常のトンネル掘進速度の2倍程度でしかない。トンネル施工を考えた場合、半年先の切羽到達程度までの地質を確認できることが理想であろう。そうすると、最低でも20m/d以上の掘進速度、掘進延長800m以上のボーリングが必要となる(図-2)。

こうしてみると、研究着手時点の現状は、われわれが抱いているボーリング技術への2つの期待に答えられる性能の機器はないことがわかる。

そこで、この期待に応えるボーリング機器の開発にあたっては、高速で孔曲がりが少なく掘れる

という利点を備えた石油ボーリングやパイプライン敷設などの分野で用いられているダウンホールモータ(ビットのすぐ後ろでビットだけを高圧水流などで回転させるモータ)による、ノンコアで方向制御可能なボーリング方式によるのがもっとも近道であると考え、この組合せによるボーリングの適用、改良を試みることにした。そして、これらの機器開発に必要な課題を次の4点とした。

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

2-4 開発の流れと現況

まず第1段階としてノンコアボーリング技術の現状を調べてみた。その中で、日本海洋掘削(株)が所有するAmerican Auger社のDD-330という超大型のボーリング機(最大トルク68tm, 最大引張り/押力150t, ロッド単位長9m)により1,000mの掘削を実施してみた。結果は図-3に示すようにダウンホールモータのみで34m/dという日平均掘進速度を示し、とくに掘進が順調に進んだ750m以深では183m/dという驚異的な速度となるなど、その威力には驚かされた。しかし、当機は、坑内に入れるにはあまりにも巨大過ぎる(幅2.5m, 長さ10.5m, 高さ2.0m, 重量22t)。

そこで2009年から第2段階として、当機ほどの能力はなくても良いから、前節で述べた4条件をクリアできる機器をFSC-100(FSはFrontier Sprit:開拓者精神, CはControl:制御の意味)と名付け、その実用化を目指すことにした。

これまでFSC-100の開発の節目ごとに成果を公表するよう努めてきた。第1弾は「先進ボーリング技術のブレークスルーを目指して」と題して発表した²⁾。2011年春にはその後の実績も加えて土木学会シンポジウムにおいても発表し⁴⁾、さら

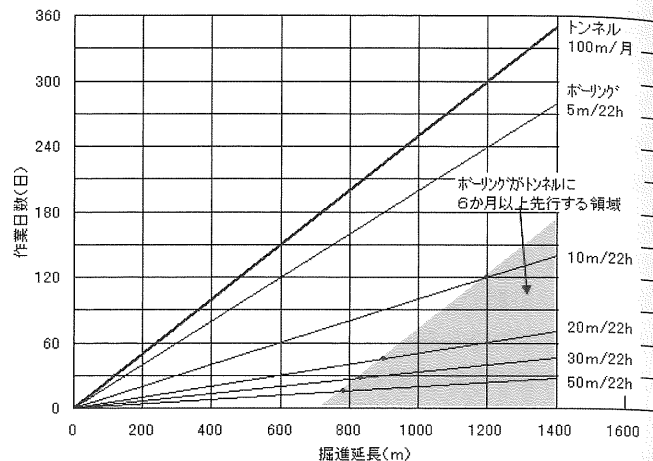


図-2 トンネルと先進ボーリングの掘進速度²⁾

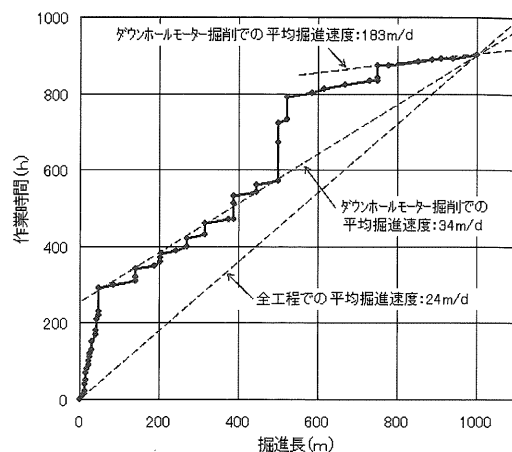


図-3 DD-330での掘進実績工程²⁾

に第2弾を発表した⁵⁾。日経コンストラクションでは「大土被りの長大トンネルが予想されるリニア新幹線を見据えた技術開発も進む」と、当技術が取り上げられた⁶⁾。

その後、われわれの仲間では実績を積み上げることに集中し対外的な発表は控えてきた。しかし、本手法に興味を示されたNEXCO西日本の第二名神箕面トンネルで当機を使用していただき、その報告がされた⁷⁾。われわれが狙っていた目的にかなう性能を発揮したことを評価いただき、顧客にも一定の満足をしていただけたのではと、嬉しく思う。

2008年ごろに着手し7年余、開発は従来技術からすれば格段のレベルに達したといえるが、ま

だ改善の余地が多々あり、今後しばらくは、夢の実現に向け頑張りたいと考える。

以下、これまでの既発表の文献を中心に、その他の実績も踏まえながら当技術の現状と課題、その後の展開などに関し記述する。

③ 開発機FSC-100を用いた超長尺コントロールボーリングの諸元

本工法は、大きく①FSC-100(掘削機)、②ダウンホールモータ、③孔曲計測ユニット、④掘削ツールに分けられ、他にダウンホールモータを駆動するための高圧ポンプが必要となる。

3-1 掘削機FSC-100

表-1に掘削機FSC-100(鉦研工業(株))の諸元を示す。前出のDD-330に比較した場合、とくにマシン高を1.73m(DD-330は2.00m)に抑え、先進導坑や排水トンネルなど中・小規模断面のトンネルにおける資材材の取回しに留意している。

また本機は、ダウンホールモータを用いた先端駆動掘削によるコントロールボーリングを想定しており、本掘削においてドリルヘッドの回転によるロッド回転掘削を、通常は想定していない。しかし、岩盤状況への対処、水平ボーリングにおいて避けて通れない孔壁崩落によるツールの拘束からの脱出、ケーシングの挿管・抜管など、想定される最大1,200m規模の掘削に対処可能な回転能力・給進力を有している。

3-2 ダウンホールモータ

図-5にダウンホールモータの概要図(toro社製 φ3.75in, φ4.75inの例 in:インチ)を示す。

図-5に示すパワーセクション部に掘削水が流れスパイラル状の水車(ローター)が回転し掘削動力となる。掘削機の回転をロッドにより伝える場合と比べて、深度増に伴うロッド重量および摩擦の増加による掘進能力の低下が起りにくい。これに

より、φ120~200mmトリコンビットを用いた方向制御掘削において、日進50m/d以上(2方作業、実掘削時間)を実現している。ダウンホールモータに送水する高圧ポンプは、最大14.7MPaの送水圧力を有し、水頭差1,000m以上にも抗する送水能力を持つため、高圧湧水による排水阻害を原因とした掘削能力の低下も単純には考えにくい。

3-3 孔曲がり計測ユニット

本掘削システムにおいては、ダウンホールモータに装着するベントサブの「曲がり」を利用して方向制御を行うが、その概要は文献2)を参照さ

表-1 掘削機FSC-100の仕様

型 式	FSC-100型		
	低速	中速	高速
ドリルヘッド能力	低速	中速	高速
回 転 数 (rpm)	0~30	0~54	0~260
最大トルク(kN-m)	16	9	1.8
スピンドル内径(mm)	φ150		
給 進	低速	中速	高速
速 度 (m/min)	0~5	0~9	0~30
最 給 進 力 (kN)	290	170	50
	瞬時後退時:360		
ストローク長(mm)	3,600		
寸法 L×W×H (m)	7,780×1,950×1,730		
質 量 (kg)	9,500		
駆 動 方 式	全油圧式		
最大掘進能力(m)	1,200		
原 動 機 (kW-P)	75-4 200V(または400V)		

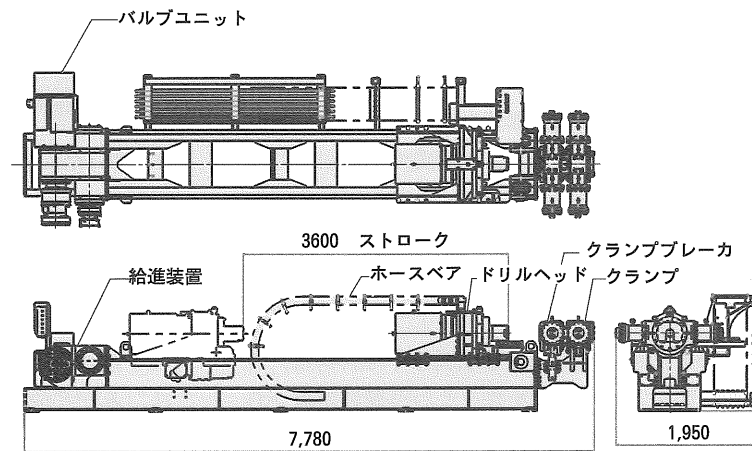


図-4 FSC-100の概観図

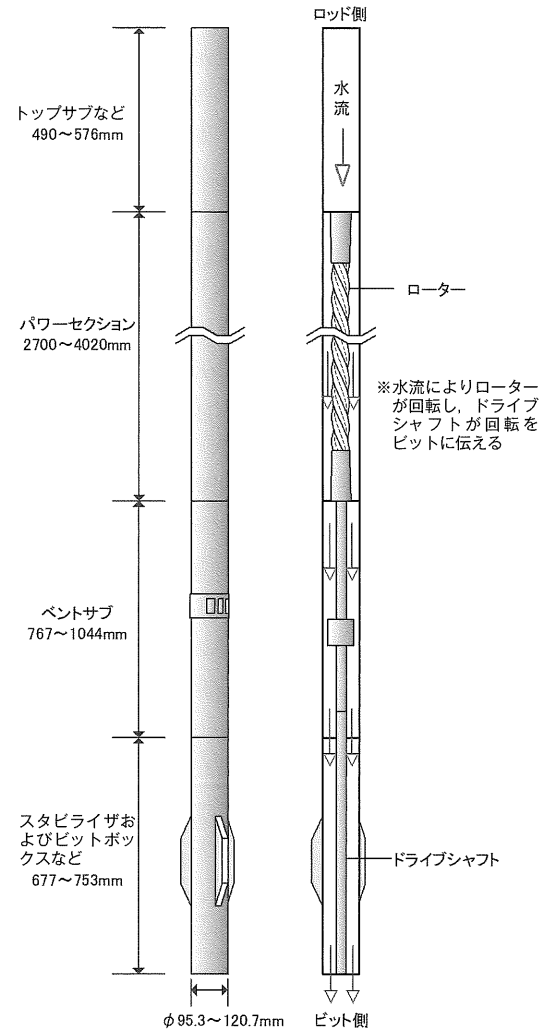


図-5 ダウンホールモータの概要図⁹⁾

りたい。孔曲がり計測は、Advanced Mining Technologies社のDrill Guidance Systemを用いており、鉛直方位を重力加速度センサーにより、水平方位を磁気センサーにより測定する。

ダウンホールモータと掘削ロッドの間に配置されたセンサーにより、計測部の水平方位と上下角を測定し、掘削ロッドの延長と合わせて現在位置を算定する。

この方法により、前述した機材や地質構造、重力に起因する孔曲がりを修正しつつ削孔計画からおおむね5m以内の離隔で収めることが可能となっている。

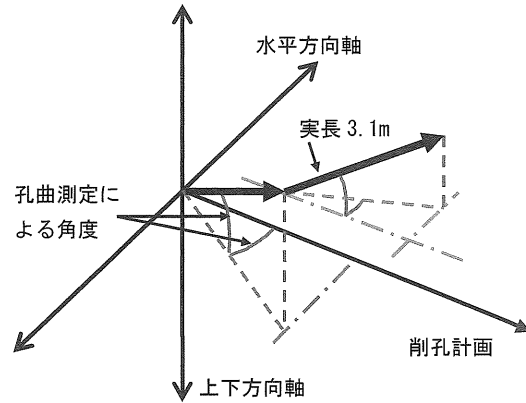


図-6 孔曲計測による現在位置の把握

また、 $R = 900 \sim 1,000\text{m}$ 以上であれば、計画した曲線に沿って掘進することもおおむね可能である。

3-4 掘削ツール

掘削ロッドは、トンネル内での取回しを重要視した掘削機FSC-100のストローク長に対応しており全長3.1mである。DD-330のロッド長が9mであるのに対し、その3分の1の長さとなる。また、φ96mm、φ133mmの2種類を準備し使い分けしている。

トリコンビットによる高速掘削では、掘削スライムの排出が掘削作業中の大きな課題となるため、掘削径に合わせてロッド径を使い分けることになる。このロッドには通信ケーブルが内蔵されており、前述の孔曲計測ユニットからデータを取得するのに用いる。

④ 使用実績からみたFSC-100を用いた超長尺コントロールボーリング

2015(平成27)年10月の執筆の時点で、開発に着手して満6年が経過しFSC-100は2機体制となった。この間、当機を用いて表-2に示す約10件ほどの業務を処理しつつ、機械の改良や掘削技術の習熟に努めてきた。表においては、

- ・掘進速度は、ビット交換などの付帯作業を含み、孔曲がり、崩壊対応、ツールの損耗による交換、故障による停滞期間を含む。
- ・他方、孔曲がり修正や孔壁崩壊に対処する長

表-2 ダウンホールモータによる長尺水平ボーリングの実績(おもにFSC-100によるもの)

No.	全孔長 (m)	平均掘進速度 (m/d)	最大偏心 (m)	実施場所	備考
	DHM掘削長 (m)	最大掘進速度 (m/d)	ケーシング長 (m)	おもな地質	
1	300	27.4	-	坑内	方向制御は実施していない。掘削機はS-150(鉋研工業)を使用。
	0~300	76.5		頁岩・砂岩	
2	900	18.0	8.6/900	坑内	深度680m付近より、 $R = 700\text{m}$ で曲線掘削を試みるも離隔は深度なりに拡大、最終離隔23.4m。
	0~900	47.0	0~500	頁岩・砂岩	
3	952	20.0	4.2/952	坑内	深度640m付近より、 $R = 1,000\text{m}$ で曲線掘削を行い、曲開始付近以降は離隔が2mを越えず掘削。
	0~952	44.0	0~500	頁岩・砂岩	
4	300	37.3 ^{※1}	3.7/300	坑外	深度160mで離隔が13.2mに達し、注入後再掘削。 ※1は再掘時平均、※2は半日を1日に換算。
	33~300	127.2 ^{※2}	0~21	花崗岩類	
5	1200	18.4	5.6/1200	坑外	実施中最大傾斜の下向き20°で掘進。孔壁の保持に孔内水の存在が寄与したと推定される。
	37~1204	55.8	0~800	頁岩・砂岩	
6	712	32.2	1.9/712	坑外	孔壁崩壊後、洗浄により突破したものの、掘進が進捗した後再度崩壊し、掘削を終了している。
	47~712	71.3	0~400	頁岩・砂岩	
7	662	37.2 ^{※3}	2.0/662	坑外	※3は崩壊発生しほぼ全区間注入閉塞後、再掘削時の速度、長期崩壊対策、再掘削作業除く。
	48~662	55.0 ^{※3}	0~47	花崗岩類	
8	676	23.6 ^{※4}	3.5/676	坑内	※4は孔曲修正のための再掘削区間を除く。
	0~676	93.0 ^{※4}	0~200	頁岩・砂岩	
9	714	22.8 ^{※5}	21/714	坑内	※5は再掘削区間を除く。
	0~714	74.4 ^{※5}	0~500	頁岩・砂岩	
10	1000	31.9 ^{※6}	6.6/1000	坑外	※6は昼夜作業期間(24時間)のみの速度。 最終深度では離隔が10.4mまで拡大。
	50~1000	58.9 ^{※6}	0~600	頁岩・チャート	

・坑外においては、表層の未固結層を他工法により掘削する。掘進速度は、DHM(ダウンホールモータ)によるもの。
 ・平均掘進速度: 半日12hまたは8h、1日24hとみなし、DHM掘削にかかわるすべての付帯作業時間(ビット交換、崩壊対処)を含む。
 ・最大掘進速度: 連続24時間での最大掘進速度。

期の停滞期間および再掘削期間を含まない。

- ・最大偏心は、方向制御(コントロール)が可能であった範囲での最大値を示し、方向制御が不可能となった最大偏心は備考に示す。

などの条件下において、できるだけ均質に評価し作成している。調査地点名は伏せるが、相当する公表文献の示した平均掘進速度や最大掘進速度とは、異なると思われるので留意されたい。

4-1 掘進速度

平均掘進速度は、最小18m/d、最大37m/d程度である。No.2は作業の錬度が低かったことによるが、最大掘進長1,200mを記録したNo.5においては、深度の増加に伴う付帯作業の増加が影響している。

トリコンビットの交換はおおむね100~150mの掘削延長ごとに実施されるが、深度800m程度を超えると、ビットの交換に3~4日を要し、ビットライフ(≒ビットごとの使用時間)と同等かそれを超えてしまうことになる。そのため、掘進長が延びるほど平均掘削速度は低下する。

最大掘進速度は、最低44m/d、最大127m/dとなっている。最大掘進速度の最低値は、「掘削を支障する何らかの問題がない限り、期待できる日掘進量」と考えてもよい。

No.4において記録した127m/dは、マサ〜風化花崗岩の岩相において記録されたものであり、適度に掘りやすかつ孔壁が自立する条件下で達成されたものである。同掘削においては当初、深

度160mの区間で軟質な地質側に偏心し方向制御できなくなり、充填閉塞後に再掘削を行っており、最大掘進速度はその後の作業で発現した。再掘削時には、ベントを大幅に調整したうえで方向制御と高速掘進を達成している。地質条件に掘削方法を適応させることができた例であり、同時に岩の硬軟としては本工法を適用できる下限であったと推定される。

4-2 最大偏心(方向制御)

最大偏心(計画線計からの離隔)は、No.2, No.10を除いておおむね5m程度の範囲で方向制御できている。表-2の備考に示しているが、No.2では、 $R=700$ の曲線掘削を試みるも方向制御が及ばず、最終離隔は23mとなった。これを踏まえて実施したNo.3では、 $R=1,000$ の曲線掘削を問題なく行っている。前出のNo.4では、深度160m付近で13.2mの離隔となり、再掘削を行っている。

各孔とも地質条件や掘削条件が異なるため、比較は容易でないが、①方向制御掘削の支点となる岩盤の硬軟、②ベントの角度と地質の性状、③ケーシングのない裸孔区間(の長さ)、④深度、などが方向制御に影響しているものと推定される。

4-3 排水効果

表-2のNo.1, 2を実施した区間において、その後トンネル掘削が進められ、ボーリング実績とトンネル施工実績の比較が可能となった。No.1の

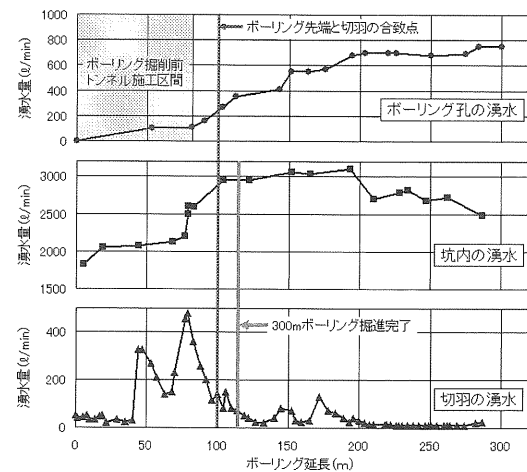


図-7 ボーリング孔湧水と坑内湧水の比較²⁾

内容は文献2)で報告したが、改めてその内容を示す。

図-7はNo.1掘進時の、孔口からの湧水量とトンネル切羽付近の湧水量を比較したものである。トンネルの下位側方に平行するボーリング孔と切羽の進行は前後しており、位置関係によりそれぞれの湧水量に次のような変化が見られる。

- ・孔内湧水は先端がトンネル切羽に追いつくまでは、孔内湧水はほとんどない(50~80m間)。
- ・ボーリング孔では80~200m間で累積的に湧水量が増加しているが、トンネルではボーリングが先行する100m以降、坑内湧水量が一定となり、200m以降は減少している。
- ・切羽からの湧水は、ボーリングが先行し始めて急激に量が減少している。
- ・切羽湧水が減少したとはいえ、150m付近、170m付近の湧水増加はボーリング孔での湧水増加区間とほぼ一致する。

以上のことは、トンネル下位側方に平行して掘削されたボーリング孔が切羽前方の水抜き孔として機能し切羽周辺における湧水量の低減に大きく貢献していること、また切羽からの湧水の多寡を予測するうえでも重要なデータを取得できることを示唆するものである。①ボーリング孔が常にトンネルの下位に平行しており、②孔径が $\phi 120\sim 160\text{mm}$ と大きく、③延長が長く掘進が速い(切羽との離隔が大きい地点から長期間排水を促すことができる)、ことなどが従来のボーリング以上に水抜き効果を発揮できている理由と考える。

5 残された課題

これまでの掘削において顕在化した、おもな課題について述べる。

5-1 ケーシングプログラムと掘削サイクル

水平ボーリングにおいては、掘進の進捗に伴ってボーリング孔の「天端」が連続して形成されることになる。したがって、保孔されていない裸孔区間が長くなるほど、いずれかの区間で崩落が発生する可能性が高くなる。それゆえ、掘削延長が長いほどケーシングが不可欠となり、鉛直孔にお

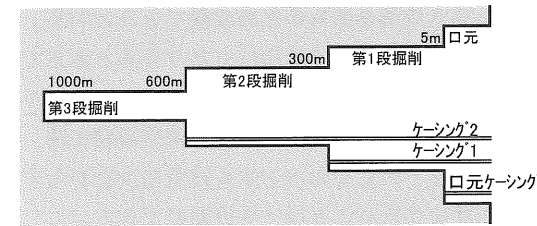


図-8 ケーシングプログラムの例

ける「対処工」としてのケーシングとは多少意味合いを異にする(図-8参照)。

これまでの掘削において、裸孔で掘削を継続できた区間はおおむね400m程度までであり、掘削の障害となる脆弱部の崩落は、事前調査において顕著な断層の分布が知られていない地山においても、おおむね200~300mに1回程度の頻度で発生している。このような崩壊箇所に遭遇した場合、当該区間の再掘削、洗浄をくり返すことにより突破できることもあるが、掘削が進んでから再び崩壊を起こすことも少なくない。そのため、長尺水平ボーリングにおいては、あらかじめケーシングプログラムを計画し、地山状況に応じて適切に運用していくことが不可欠である。

崩壊した深度が浅い場合、パッカーを用いたセメントグラウチングを用いて充填固化、再掘削することも可能であるが、小規模の崩壊ごとにグラウトを実施しては掘削が進捗しない。そのため、崩壊の状況を、排出されるスライムや排水、掘削状況から判断して保孔の要否を判断する必要がある。今のところ現場の監督者やオペレータの経験値を上げることが先決となる。

今後、トンネル切羽の前方調査としての役割を果たす際には、掘削ヤードや排気設備を設ける回数と、1ヤードごとの掘進長が実施コストにかかわってくるため、適切な掘進目標と掘進計画を確立していく必要がある。

5-2 超硬質岩における掘削

前出表-2のNo.10の掘削において、初めてまとまったチャート層に遭遇したが、掘削は困難をきわめた。もとより超硬質岩として知られているが、本掘削法においては、掘削において形成される孔の状況が、片状岩と塊状岩で大きく異なることが

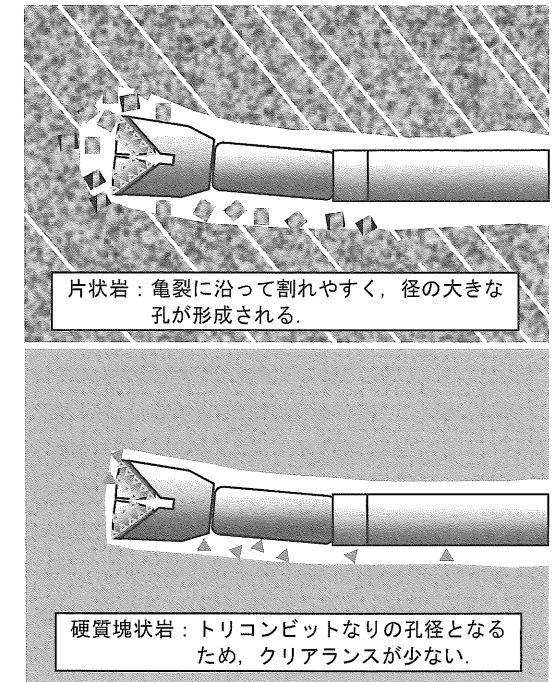


図-9 片状岩と硬質塊状岩の削孔の違い

判明した。

No.10の掘削においては、チャートの掘削区間において以下の現象が生じた。

- ① 掘削速度が遅い(3~5m/d)。
 - ② 削孔スライムが細粒(通常は粗砂~細礫)。
- 上記のうち①は自明であるが、②は亀裂の少ない硬質岩に特徴的なものと考えられる。図-9にそれを図示する。

へき開面や片理面、節理や亀裂の発達した岩石では、トリコンビットのような「押し潰す」掘削の場合、岩石が持つ亀裂(あるいは弱線)に沿って割られるため、トリコンビットの超硬チップで削られるよりも大きなスライムが発生しやすい。一方、亀裂面の少ない塊状硬質岩では、トリコンビットの超硬チップで削り取られる分しか掘削が進行しない。このため、掘削に時間を要するほか、掘削孔はおおむねトリコンビットの径なりの掘削径となる。この際、孔曲がりコントロールにベントを使用しているため、ベント部が孔壁に衝撃しやすくなる。

実作業においては、送水量を減らし回転数を落

とす(適正回転の模索),あるいはロッド回転掘削を併用することなどで掘削の効率を多少改善できたが,掘削方法には改良の余地を残している。

5-3 地山評価法

本手法においては,ボーリングコアを得られない代わりに,掘削作業中の削孔エネルギー係数と,施工時の切羽評価点および地山評価を根拠として,地山評価基準を設定しており,その詳細については文献5)において述べている。

削孔エネルギーの算定に用いる各種機械データの取得に際しては,掘削速度をできるだけ一定に保つことにより,取得データの均質性を確保している。しかし,前出のようなチャートなど超硬質岩が出現した場合などは,掘削速度を一定に保つことは困難となる。

また,施工時の切羽評価点や地山評価と,掘削エネルギー係数の対比は,四万十帯の弱変成堆積岩においてしか行われておらず,他の地質への適応の可否の検討は十分ではない。

未検証ではあるが,前出のような岩盤の剝離性や亀裂の有無が,掘削に及ぼす影響が明らかになるにつれて,現有の掘削エネルギー係数に対比される地山評価は,ある程度広く適用できるものとの感触を得ている。さらに,特段問題となる脆弱部などについては,掘削時のスライム径,排水色や湧水状況の変化,オペレータの操作感を組合せて評価することで,より高い精度で認識できると言える。しかし,より確信を得るためには,今後増えるさまざまな岩種への適応結果と,そのトンネル施工時の結果を対比し,精度を上げていく必要がある。

⑥ おわりに

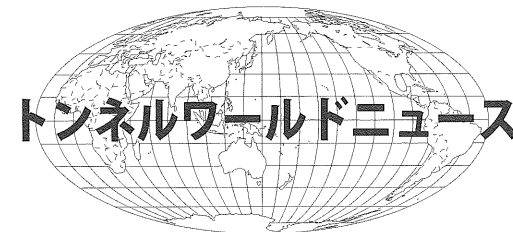
従来機器より格段の性能をもった山岳トンネル用の高能率ボーリング機器の開発は,おおむね期待する性能を示してくれつつあると考える。このような大口径ボーリングが高速で,精度よく制御できるということになれば,地質調査や先行水抜きとしてのボーリングだけでなく,トンネル構築前にセンタードレーンやサイドドレーンの機能を

もった排水設備をあらかじめ設置できるという,これまでの常識を覆す適用法もありうると考えている。また,あらかじめ地下水位をコントロールできれば,支保パターン,掘削技術や補助工法,ずり出しなどの従来のトンネル技術に少なからず良い影響を与えることは,十分期待できる。

現在,FSC-100は2機体制で需要をこなしており,今春には3機体制になる予定でオペレータの育成にも注力するまでの段階にきた。これから先,さらに試行錯誤をくり返しつつより優れたものにして,トンネル工事の安全・確実な施工に寄与できる工法の検討を行いたいと考えている。(文責:大島洋志・三好壮一郎/国際航業(株),生森敏/鉦研工業(株),吉川互司/東海旅客鉄道(株))

参考文献

- 1) 「山岳トンネル先進ボーリング入門」連載講座小委員会:山岳トンネル先進ボーリング入門(1),ボーリング・先進ボーリングの概要,トンネルと地下,Vol.39, No.9, pp.53-64, 2008.9.
- 2) 二村亨・梅村哲男・萩原博之・生森敏:先進ボーリング技術のブレークスルーを目指して,長尺・高速掘進・孔曲がり制御などの技術開発,トンネルと地下,Vol.41, No.8, pp.37-47, 2010.8.
- 3) Toro Downhole Tools: Toro Downhole Tools Drilling Motor Handbook 2010 Edition Rev.C, 2010.
- 4) 山本雄介・二村亨・萩原博之・生森敏:長大山岳トンネル施工を見据えた長尺先進ボーリング技術の開発,土木学会地下空間シンポジウム論文・報告集,Vol.16, pp.201-208, 2011.
- 5) 萩原博之・三好壮一郎・倉岡研一・田中雅裕:先進ボーリング技術のブレークスルーを目指して(その2),削孔データによる地山評価手法の検討,トンネルと地下,Vol.42, No.12, pp.53-61, 2011.12.
- 6) 大土被りの長大トンネルが予想されるリニア新幹線を見据えた技術開発も進む,精度上がるトンネル前方探査—工事を止めずに調査できる技術も実用化,日経コンストラクション,pp.62-67, 2011.5.23号.
- 7) 岡浩一・山下学・三隅宏明・加藤宏征:道路トンネルで初めて超長尺先進コントロールボーリングを採用,新名神高速道路 箕面トンネル,トンネルと地下,Vol.45, No.11, pp.15-24, 2014.11.



(一社)日本トンネル技術協会
国際委員会

米シアトルで停止中のシールドの解体が終了

米国ワシントン州交通部(WSDOT)によると,STP(Seattle Tunnel Partnership)によるSR99 TBMの解体が終了し,損傷状態のチェックが行われているとのことである。5月の同部の発表では,JVが修理範囲が確定できるまではSTPは新たな掘削工程の発表を行わないとしていた。STPによると,メインベアリングと外側シーラの交換は,予期していたとおりに必要になるだろうとのことである。また,内側シーラも外側との互換性から交換されるとのことである。5月末には日本で製造された内側シーラが到着することになっている。日立造船製のこの径17.5mのマシンは予想よりも損傷範囲が広く,分解時にも外側シーラや固定板などにわずかながら損傷が生じた。カットドライブのピニオンや主ベアリングギアにも損傷があった。今回の事故に関し,2つの別個の報告がなされている。1つは州交通部からの,SR99へのアクセストンネル施工に伴う沈下に関するもので,アクセストンネル周辺の沈下は,以前からあった地盤の自然挙動と,マシン修繕に伴う水位低下,そして周辺の他の工事による水位低下が重なって起こったものだが,主要な原因はマシン修繕時の排水としている。もう1つのSTPによる報告では,自然挙動と他の工事による地下水位低下が主要な原因であり,トンネルに絡む作業ではアクセストンネル周辺の分だけだとしている。いずれの報告も,もとづいているデータ採取箇所は同一のものである。この問題は,地下40mへのアクセストンネル掘削とマシンの修理の際に,

STPにより測定された昨年末より周辺の沈下が始まったことにある。この沈下に対応すべく,州交通部とSTPは沈下計測頻度を多くした。何百もの計器をトンネル付近に設置し,高架橋や付近の建物も調査した。双方の報告とも,水位低下による沈下は収束し,地盤の動きも少なくなり,構造物への影響はないとしている。州交通部の報告では,衛星観測も用いることにより,現在の計測範囲の外側にも沈下があったことがわかっている。同部は,衛星画像も挙動の傾向を把握するのに役立つが,現地盤の計測がもっとも信頼できるものであると述べている。州交通部とSTPの双方は継続して現状評価にあたり,必要に応じて本事業に起因する沈下を防ぐための事前対策を採ることとし,現在の水位低下抑制対策の再考も必要となるであろうとしている。

(T&TI '15.6 担当:清水健志・鉄道・運輸機構)

GLOGGNITZ トンネル契約の受注

オーストリア鉄道はGloggnitzのトンネルを建設する契約をHochtiefインフラオーストリア社,Impleniaオーストリア社,Thyssen Schachtbau社と締結したと,先月,Hochtief社が発表した。この契約でSBT 1.1JVの契約総額約5億1100(USD)のうち,Hochtief社の出資比率は2億460万(USD)で40%である。

Semmering Tunnel(SBT)の始点は,東のLower Austriaの南部Gloggnitzの郊外に位置する。SBT 1.1トンネルの掘削区間は延長約7.4kmで,両側からNATMで掘削する。このJVは,最大500m間隔で16本の連絡通路がある双設単線トンネルを建設する。

地質が悪く,また必要な建設資材の最適な輸送を確保するため,最初に約1,000mの横坑が掘られた。トンネルの終端部分ではトンネル工事に必要な2本の立坑が,260mの深さまで掘下げられる。

Gloggnitzトンネルは2024年に完成が予定されている。GloggnitzとMurzzuschlag間27.3kmの双設鉄道トンネルはオーストリアとヨーロッパの

両方の鉄道インフラであり、非常に効果的な投資である。ヨーロッパ全体で重要なバルト海とアドリア海の回廊でもある。

(T&TI '15.7 担当：山下高俊・三井住友建設(株))

Sanam Chai 駅にて掘削貫通

タイ地下鉄ブルーライン延伸工事の1工区で掘削が完了した。2015年5月16日に、延長2,800mの路線西側、トンネル掘削最終地点となるバンコクの Sanam Chai 駅で、直径 6.44m の TERRATEC 社製土圧式シールドが掘削貫通した。請負業者である Italian-Thai Development は、ルート沿いの2つの未掘削の駅や1つの換気坑を通過した。次に計画されている路線東側での掘削では、掘削済みの2つの駅との交差が必要となり、シールドの牽引が必要となる。

路線の最深部では、巨礫と砂岩を伴う硬質粘土およびバンコクの帯水砂層が入り混じった複雑な地質から構成されていた。そこでは高い水圧が問題となるばかりでなく、古い市街地の歴史的建造物の下をTBMが通過するため、沈下制御が課題であった。TBMは、シールドを介し2液相タイ

プの裏込めシステムと特殊なクレーショック工法を備えていた。両者の組合せは非常に有効であることが示され、これらの重要地域において10mm未満の沈下に制限することができた。土圧式シールドは、建造物基礎のような障害物だけでなく、最大8つの隔壁を掘削しなければならなかった。このことがプロジェクト開始時に予想されると、TERRATEC社は、周りの土を乱すことなくスムーズにそれらを切削できるよう、円錐形状のカッターヘッドデザインを選択した。TBMは、掘削サイクル中に計画していた1日平均18m、もしくは週平均82mを達成した。現在TBMは解体され、8月初旬までに東側での掘削にとりかかれるよう移動中である。

(T&TI '15.7 担当：法橋 亮・戸田建設(株))

ハワイ最長のトンネルでのTBMの発進

ホノルルの Kaneohe-Kailua 排水輸送トンネルのTBMが発進した。直径3.96mのRobbins Main Beam TBMは、延長4.6kmの下水道トンネルの掘削を開始した。玄武岩の岩盤を貫くこのトンネル工事は、Southland-Moleの共同企業体が担当し、

深さ23mの発進立坑から掘削が開始され、約300mまでの掘削が完了している。

代表者は、以下のように述べている。「トンネルの設計段階で、トンネルのルートは、住宅地域を迂回するために内陸の地下深くに決定された。トンネル路線設計に半径150mのカーブが導入されていたため、このTBMは通常にはないバックアップシステムを採用した。カーブ箇所では専用の操縦手順があり、TBMは通常の半分のストロークで操縦する必要がある。」

概略設計では、内陸のトンネルではなく、海底を通るより小さなトンネルであった。Kaneohe湾は環境的に繊細な地域であったため、内陸のトンネルは魅力的な選択として残されていた。

Wilson Okamoto Corporation の Richard Harada は、この最終決定について以下のように説明している。「確実性、建設コスト、ライフサイクルコスト、環境への影響、工事の難易度などの多くの要因を考慮して、内陸のトンネルに決定した。」

Southland Tim Winnの管理者は、以下のように付け加えた。「このTBMは、ハワイでは今までにない大きさで、この長さのトンネルも今までにない。このトンネルは、浄水場から開始している。他の業務も同時に進行している。」

(T&TI '15.8 担当：辰巳順一・(株)安藤・間)

Bozberg トンネル契約

Implenia社が7月16日、新しいBozberg鉄道トンネル建設のためにスイス連邦鉄道(SBB)より1.51億USDの契約を獲得したと発表した。

道路よりもむしろ鉄道によって運ばれるアルプスの貨物量をさらに高めるため、SBBは2020年までにゴットハルト鉄道ルート of the building limit to 4m high.

9.81億USDの費用がかかると予想される当プロジェクトは、スイスの交通政策の重要な構成要素である。ゴットハルト鉄道ルート of the building limit to 4m high. 約20のトンネルでプラットフォーム、牽引システム、信号機

および歩道橋の幅および修正が必要となる。

スキームの中で最大のプロジェクトは、当ルートでコンテナを輸送できるように、既存のBozbergトンネルを複線トンネルに変更するものである。プロジェクトでは、設置場所には、両方の場所に設置されており、おもな掘削作業がSchinzach-DorfのサイトでTBMによって行われる。

新しいBozberg鉄道トンネルの掘削作業は、2016年半ばよりSchinzach-Dorfの南側から発進し、トンネルは2020年に運用する予定である。

業務の範囲は、救助用やサービス用トンネルにトラックや電気機器を設置するだけでなく、既存トンネルの複線トンネルへの変換が含まれる。新旧両トンネルは、緊急アクセスを提供するために、5本の避難立坑と接続され、この変換作業は2022年まで続くと思われている。

(T&TI '15.8 担当：岡嶋和義・大成建設(株))

テムズタイドウェイ計画の資金が確定

ロンドンで新規下水道工事が来年に始まる。予算をつけて計画を進めることが承認されたと8月に報じられた。

テムズウォーター社とは別に、新設された特定目的会社のBazalgette社が65.2億米ドルの計画を請負うこととなり、英国の認証機関Ofwatより免許を交付された。

全長25km、直径7.2mのトンネル工事計画が既に認証され、現在同社は契約できる状態にある。

また、テムズウォーター社が別々に実施した入札で落札した各業者が、以下の3工区を請負うことになる。

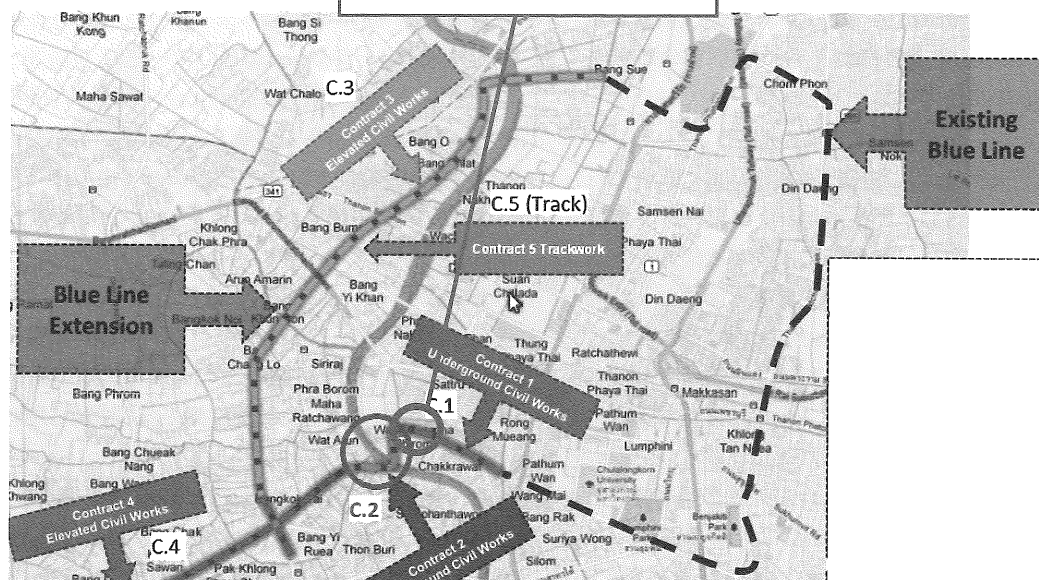
西工区：BAM Nuttall, Morga Sindall, Balfour Beatty JV

中工区：Ferrovial Agroman UK, Laing O'Rourke Construction JV

東工区：Constain, Vinci Construction Grands Projects, Bachy Soletanche JV

テムズウォーター社CEOのMartin Baggs氏は「今日はロンドンとテムズ川にとって重要な日だ。」

Sanam chai station



ここまで来るのに貢献してくれたすべての人に感謝する。これは歴史的な偉業で、Bazalgette社が安全かつ工期および予算内で計画を遂行できるようサポートしていきたい。建設技術と資金面における激しい競争により500万以上の世帯にとってもコストを抑えることができた。

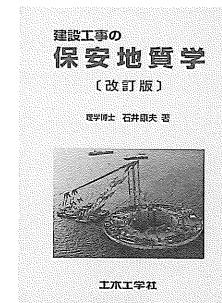
また、Elizabeth Truss 環境大臣は「当計画は世界をリードする英国の技術力を示す好例となる。ロンドンの経済成長を加速させ、9,000以上の雇用が創出されるとともにテムズ川を下水から守り自然環境にも大きく寄与することとなる。今日の発表でロンドンの老朽化した下水システムを蘇らせるのにまた1歩近づいた。豪雨のたびに下水で汚染されるような川は、21世紀の大都市にはふさわしくない」と述べた。

現在はBazalgette社が所有しているテムズアイドウェイ社CEOのAndy Mitchell氏は「これから7年間にわたりわれわれが行う業務はつまるところ、ロンドンの下水システムが今日の需要を確実に満足できるようにするものだ。チームの皆が期待を持ち、着工の時を待ち望んでいる。また、掘削による発生土は船で運搬するが、これにはテムズ川を交通網として再活性化する狙いがある」と述べた。

このトンネルは環境局によってもっとも汚染性が高いとされている34の溢れた下水から分流するものである。河川に放流されていた下水を2016年初頭からロンドン東部のBeckton下水処理場に流すため既にテムズウォーター社により建設されているリートンネルと結ばれる。

Bazalgette社の費用は年金基金やAllianz, Amber インフラストラクチャーグループやDalmore Capital Limited, DIFなどといった長期投資家らにより拠出されている。投資者の大部分は英国の年金基金であり、170万人の年金加入者が間接的にこの計画に投資を行うことになる。年金からの資金捻出は、英国のインフラ開発を十分な経験を伴う民間からの投資で賄うとする大蔵省の国家インフラ計画の重要な鍵となる。

Bazalgette社の名称は、150年以上前に首都改造に携わりテムズ川への下水流入を止めるしゃ集管渠敷設を行ったビクトリア朝の技師Joseph Bazalgette 卿に由来している。この管渠は現在もコンディションは良好で、ロンドンの下水ネットワークの主役を担っているが、急速な人口増加に伴い容量が追い付いていないのが現状だ。(T&TI '15.9 担当: 安井真太郎・東京都交通局)



ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

建設工事の 保安地質学 〔改訂版〕

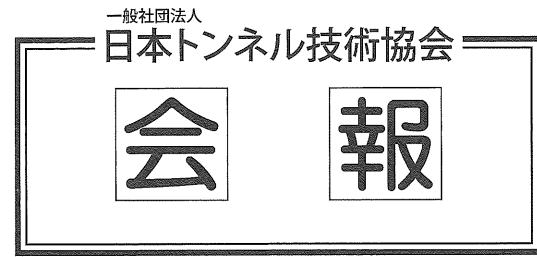
理学博士 石井康夫 著

A 5判 上製本 475頁 本体価格 6,300円 円 350円

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



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



1. 会員の現状

	1月31日現在
個人会員	908名
団体会員	205名
推薦会員	207名
特別会員	11名
名誉会員	3名
賛助会員	223名
合計	1,557名

2. 委員会の開催状況(1月1日~31日)

①運営広報関係委員会

- ◎総務委員会
 - ・広報小委員会
会誌WG(1/8)
小山幸則主査ほか15名, 2月号の会誌と3か月計画を検討
 - ◎国際委員会
 - ・海外文献小委員会
海外ニュースWG(1/29)
清水健志主査ほか6名, 海外文献の査読
対外広報WG(1/13)
清水健志主査ほか9名, 作業状況の確認
- 計 3回開催 33名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第42回ITA総会およびコンGRESS 「Uniting Our Industry」	2016. 4. 22~28	サンフランシスコ (アメリカ)	Underground Construction Association of SME ITA (国際トンネル協会) http://wtc.2016.us
第43回ITA総会およびコンGRESS 「Surface problems -Underground solutions」	2017. 6. 9~16	ベルゲン (ノルウェー)	Norwegian Tunnelling Society ITA (国際トンネル協会) www.wtc.2017.no
第44回ITA総会およびコンGRESS 「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) www.uaesocietyofengineers.com

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

4. 平成27年度催物開催現況

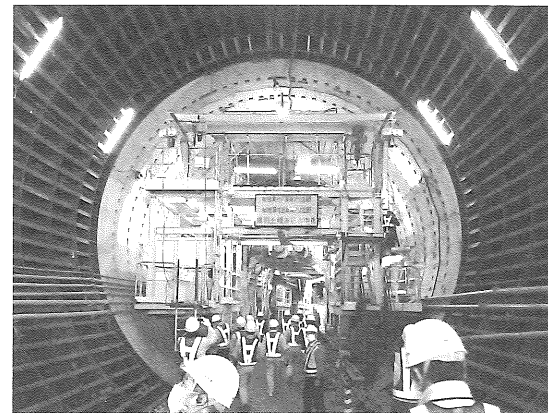
(平成27年1月現在)

催 物 名	開 催 日	人 数	場 所	CPD取得単位
(現場見学会)				
東村山水路トンネル現場研修会	2015. 7. 23	16	東 京	2.5
九州新幹線現場研修会 (武雄トンネル, 大草野トンネル, 久山トンネル)	2015. 8. 27	16	佐賀, 長崎	3.2
新名神高速道路路面トンネル現場研修会	2015. 9. 18	24	大 阪	3.0
東京外かく環状道路新宿線交差部建設工事現場研修会	2015.10.14	25	千 葉	2.0
東北地区道路トンネル現場研修会 (手代森トンネル, 山口第2トンネル, 津軽石トンネル)	2015.12. 9	14	岩 手	4.3
中部横断自動車道トンネル建設工事現場研修会 (樽峠トンネル南, 森山トンネル)	2015.12.16	16	静岡, 山梨	3.3
横浜環状北線工事現場研修会(馬場出入口部)	2016. 1. 26	19	神奈川	2.0
新名神高速道路トンネル建設工事現場研修会 (川西トンネル, 切畑トンネル)	2016. 3. 14	25	兵 庫	4.5
(施工体験発表会)				
第76回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」	2015. 6. 24	168	東 京	5.5
第77回(都市)「市街地におけるトンネル・地下構造物の築造技術」	2015. 6. 25	109	東 京	4.7
(講習会・シンポジウム)				
トンネル技術者のための地相入門講習会	2015. 9. 30	39	東 京	6.2
第17回トンネル技術ステップアップ研修会「シールド部門」 (設立40周年記念事業)	2015.10.19,20	40	東 京	11.5
設立40周年記念展	2015. 8. 2~ 8	841	東 京	—
親子見学会	2015. 8. 4	45	神奈川	—
山岳トンネルの設計と現場との乖離シンポジウム	2015.11.18	120	東 京	3.7
トンネル維持管理業務講習会(基礎編)	2015.12. 4	43	東 京	6.3

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



横浜環状北線現場研修会



横浜環状北線現場研修会

新刊図書案内

図書名：都市部近接施工ガイドライン

図書番号：201504

体 裁：A4判 370頁

頒布価格：個人会員4,500円, 団体会員 5,000円, 一般6,000円(消費税込み, 送料実費負担となります)

申し込み：TEL, FAXあるいはE-mailにてお申し込みください。

TEL：03-3524-1755 FAX：03-5148-3655 E-mail：book@japan-tunnel.org

担当：米田

※本書は、平成11年度発刊の「地中構造物の建設に伴う近接施工指針」の改訂版として、最新の事例・技術を反映したものである。

※図書の内容については、本会ホームページをご参照ください。

施工体験発表会テーマと開催日決定

恒例のトンネル工事に携わっている現場技術者による施工体験発表会は、下記のとおり開催することとなりました。詳細は、後日ホームページに掲載いたします。

■第78回施工体験発表会(山岳)

開催日：平成28年6月22日(水)

開催場所：発明会館 地下ホール

テ ー マ：「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—」

趣 旨：近年、山岳トンネルは、新設, 改良を問わず、難しい立地条件における高度な施工が求められているとともに、工事区域の住民や生態系などの環境への配慮も不可欠となっており、各種補助工法や新技術, 創意工夫などの技術を駆使して施工がなされています。また、一方では、合理的かつ品質の良い構造物の施工も求められています。今回はこれらを体験した方々に発表していただく予定です。

■第79回施工体験発表会(都市)

開催日：平成28年6月23日(木)

開催場所：発明会館 地下ホール

テ ー マ：「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—」

趣 旨：都市部の地下は、各種地下施設が輻輳しており、トンネルや地下構造物の新設に限らず既存インフラにおいても改良・再構築に際し、これらを守るために近接施工や狭隘な作業条件下での工事を余儀なくされています。さらには市街地では、周辺住民の環境に対する関心がこれまで以上に高くなってきています。これらを含めた各種課題を克服するために行った施工体験を発表していただく予定です。

会員の皆様へお願い

3, 4月は転勤など異動の多い時期です。会誌の送付先など変更が生じた場合は速やかにご連絡ください。また、新たにトンネルに携わる方にとって、会員になることは大変有意義と考えます。是非加入の勧誘をお願いします。まだ、会員になられていない方もこの機会に是非ご加入をお願いします。なお、変更や入会の申し込み様式はホームページに掲載していますのでご参照ください。

また、当協会では、事業活動に対するご意見ご提案を受け付けています。会員の皆様のニーズを反映した諸活動を目指していきますので、下記アドレスにメール送信をお願いいたします。

メールアドレス webmaster@japan-tunnel.org

4月号予告[4月1日発売予定]

- 九州新幹線西九州ルート 木場トンネル
- 新名神高速道路 野登トンネル
- 中部横断自動車道 城山トンネル
- 東京都水道局 第二朝霞東村山線
- 繊維補強吹付けコンクリートの現状と課題 (2)

【連載講座】

- トンネル新技術への挑戦(5)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆彼岸の中日にあたる春分(秋分)の日は、太陽が真東から昇って真西に沈み、昼と夜の長さがほぼ同じになります。そのため、この日を境に暑さ寒さも和らいでいくことから、「暑さ寒さも彼岸まで」と言われています。また、この時期に先祖の供養にお墓参りに行く風習もこの太陽の動きに関係しているようです。仏教では、生死の海を渡って到達する悟りの世界を「彼岸」、その反対側のわれわれの世界を「此岸」といい、「彼岸」は西に、「此岸」は東にあるとされており、太陽が真東から昇って真西に沈むこの日が、両岸がもっとも通じやすくなるとの考えからこのような風習ができたと言われています。なかなか遠方の方はお墓参りに行けないかもしれませんが、交通の便も年々向上していますので是非この機会にご先祖様に元気な姿をみせてください。

◆さて、3月26日に北海道新幹線の新青森～新函館北斗間が開業します。同区間のトンネルについては、弊誌でもすでに報告しておりますのでそちらを参照してください。新函館北斗～札幌間のトンネルも機会があれば紹介させていただく予定ですのでお楽しみください。

(K.Y)

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

★(一社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(一社)日本トンネル技術協会へご連絡ください。

トンネルと地下

第47巻 第3号(通巻547号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成28年2月20日 印刷

平成28年3月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

購読料

1冊 1,620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写(コピー)および転載することは、著作権上での例外を除き、禁じられております。本誌から複写または転載を希望される方は、小社(03-3267-2888)までご連絡ください。

トンネル二次覆工型枠総合メーカー

新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



EPS パネル養生工法



EPS 移動台車

EPS パネルの保温性、保湿性が効く

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

平成27年8月31日 現在

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

一歩前進! ~限りない未来への挑戦~

大栄工機株式会社

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

URL http://www.daieikouki.co.jp/ E-Mail: daiei-co@minos.ocn.ne.jp

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

できるをつくる。～デンカ100周年～ デンカのトンネル関連技術

驚異の低粉じん吹付け

デンカクリアショット NETIS:KT-080020A

デンカナトミックLSA (酸性液体急結剤)

デンカナトミックUSS (粉体助剤Fc=18N/mm²用)

デンカナトミックHSS (粉体助剤Fc=36N/mm²用)

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

瞬結・初期高強度吹付け

デンカシグマショットSH (専用高強度混和材)

デンカナトミック TYPE-10S (専用急結剤)

- ・吹付け後10分で3N/mm²、3時間で一般吹き付けの24時間強度(概ね8N/mm²)、28日で2倍以上の強度が得られます

トンネル関連製品

吹付けコンクリート用混和剤

デンカライフセッター：吹付けコンクリート用凝結調整剤

FTN-30：吹付けコンクリート用高性能減水剤

トンネル補助工法

デンカES/ES-L：無公害なセメント系土質安定用急硬材

デンカコロイダルセメント：微粒子セメント

デンカコロイダルスーパー：超微粒子セメント

デンカPモル：注入式ロックボルト定着材

小型吹付け

PFモルタルTYPE-K：小断面、TBM、シールド工用吹付け

裏込注入工法

デンカクリーニンググラウト：非エア系可塑性モルタル

覆工コンクリート補修

デンカワンステップガード工法：工期短縮型はく落防止工法

NAV-G工法：可視型はく落防止工法 (NEXCO規格対応)

NAV-G工法 (UV仕様)：坑口・坑門部、明かり部対応

可視型はく落防止工法 (NEXCO規格対応)

トンネル・土砂捨場用コルゲート管

トヨドレン：軽量で施工がしやすく、耐薬品性、耐衝撃性に優れています

信頼の粉体急結剤

デンカナトミック TYPE-5 (一般吹付け・高品質吹付け)

デンカナトミック TYPE-10 (高強度吹付け)

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

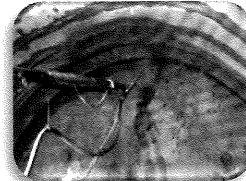
粉体急結剤用粉じん低減剤

クリアップ2：主に天然砂配合コンクリートに適用

クリアップ3：主に砕砂配合コンクリートに適用

クリアップα (NETIS:KT-080020A)

- ・スランプの出難い種類の砂に対しても適度な粘性とスランプを付与します



覆工のひび割れ対策

デンカパワー-CSA_{TYPE-T}

トンネル覆工コンクリート用膨張材

デンカクラッコフ

有機無機複合型被膜養生剤

GRACE Microfiber

爆裂防止・ひび割れ抑制 ポリプロピレン短繊維

中流動コンクリート用混和剤

ADVA-PLUS：後添加型 ※JIS対応



Denka

デンカ株式会社

(旧社名：電気化学工業株式会社)

東京都中央区日本橋室町2-1-1

インフラ・無機材料部門

特殊混和材部 トンネル材料G

TEL: 03-5290-5558

FAX: 03-5290-5085

デンカビッグスワンスタジアム

DENKA BIG SWAN STADIUM



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

定価 1,620円

本体価格1,500円

雑誌06619-3



4910066190361

01500