

トンネルと地下 **5**

vol. 46
no. 5
2015

Tunnels and Underground

開業を迎えた北陸新幹線(長野・金沢間)のトンネル群

観察・修正法を駆使して破碎質泥岩地山を掘る

小土かぶりの連絡通路を土圧式ボックス推進工法で施工

地下鉄虎ノ門駅直下の大深度・高水圧地盤で凍結工法により地中接合

40周年を迎えた山陽新幹線のトンネル路盤対策の変遷

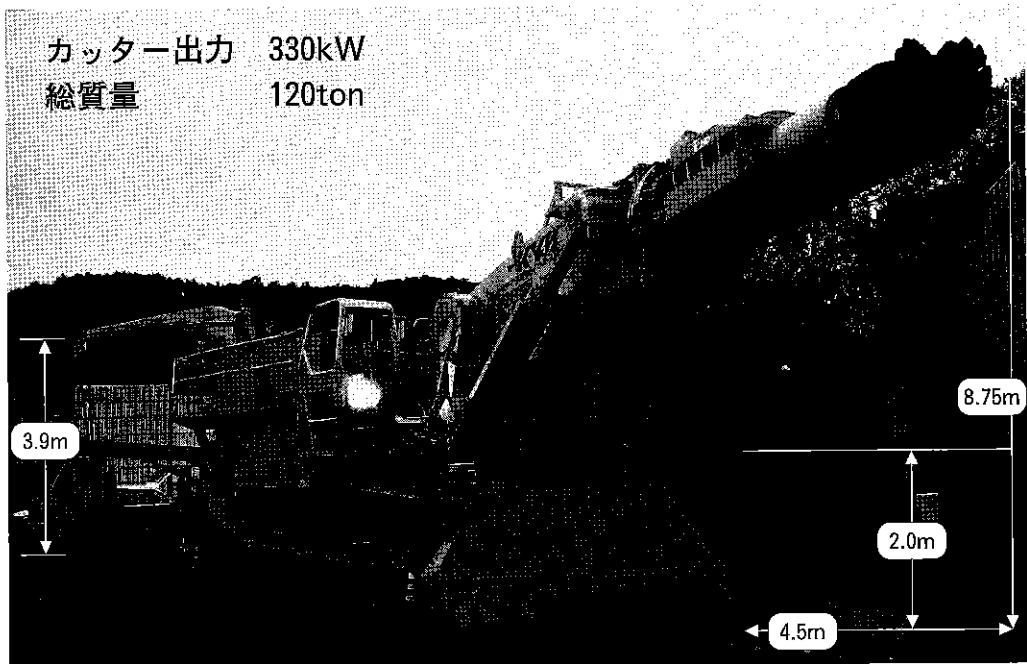
日本トンネル技術協会誌



ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW
総質量 120ton



主な特長

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

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444
 カスタマーサービス 〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586
 相模事業所 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号 TEK第二ビル TEL 06-6387-3371
 大阪支店 〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多 TEL 092-411-4998
 西部支店 〒514-0396 三重県津市雲出長常町 1129 番地 11 TEL 059-234-4111
 三重工場

NETIS

公共工事等における新技術活用システム
登録番号:
TH-100024-A

お待たせしました!

吸引捕集方式対応

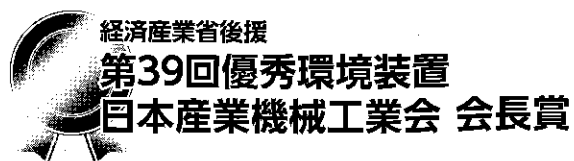
ファン動力30kW
換気電力を格段に低減

48m²の設置例

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO

イダスコ・ニオンマル



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

クラス最高の集じん効率95%
従来の電気式では達成できなかった
95%以上の高集じん率を確保。

微細粉じんも逃さない電気式
電気式だから人体に有害な微細粉じん
(0.2~7μm)も捕集できます。

現場メンテナンスは手間いらず
放電電極は丈夫で長持ちするブレード式により
断線故障無く安心して御使用頂けます。
捕集した粉じんもラクラク処理。

大風量と省エネを同時に実現
安定した処理風量で電力負荷低減とCO₂削減
を実現するエコ製品です。

△古河機械金属グループ
古河産機システムズ株式会社 URL: <http://www.furukawa-sanki.co.jp/>

本社 〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3 第三営業部 ☎03-3212-6575
大阪支店 ☎06-6344-2532 名古屋支店 ☎052-561-4580 札幌支店 ☎011-784-1179
東北支店 ☎022-221-3532 九州支店 ☎092-741-6193 小浜工場 ☎0285-23-8662

仕様	品名	e-DUSCO240
	型式	FTE2400-E
集じん装置の容量		1800・2100・2400m ³ /min 任意設定の4モード
全長 ^{*1}		7411mm (サイレンサ含む)
全幅		2350mm
全高 ^{*2}		3700mm
本体重量		10t
電源仕様		3相3線400V58kVA
ファン動力		30kW
消費電力		23kW・28kW・33kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)
洗浄水		2.4m ³ /回 ^{*3}
捕集ダスト処理		湿式
集じん効率 ^{*4}		95%以上

※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。
 注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

K series

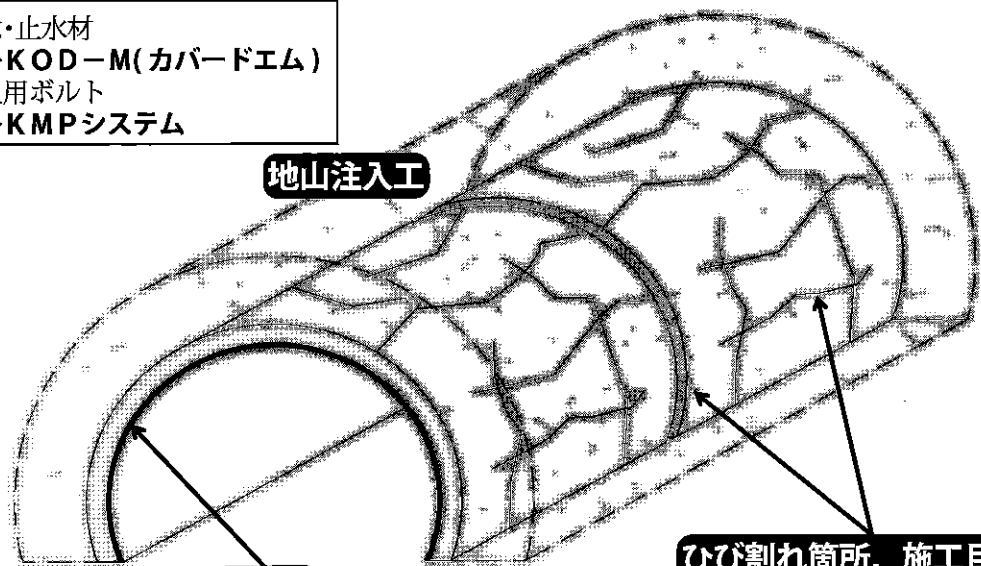
カテックスの補修・補強材料

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



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)

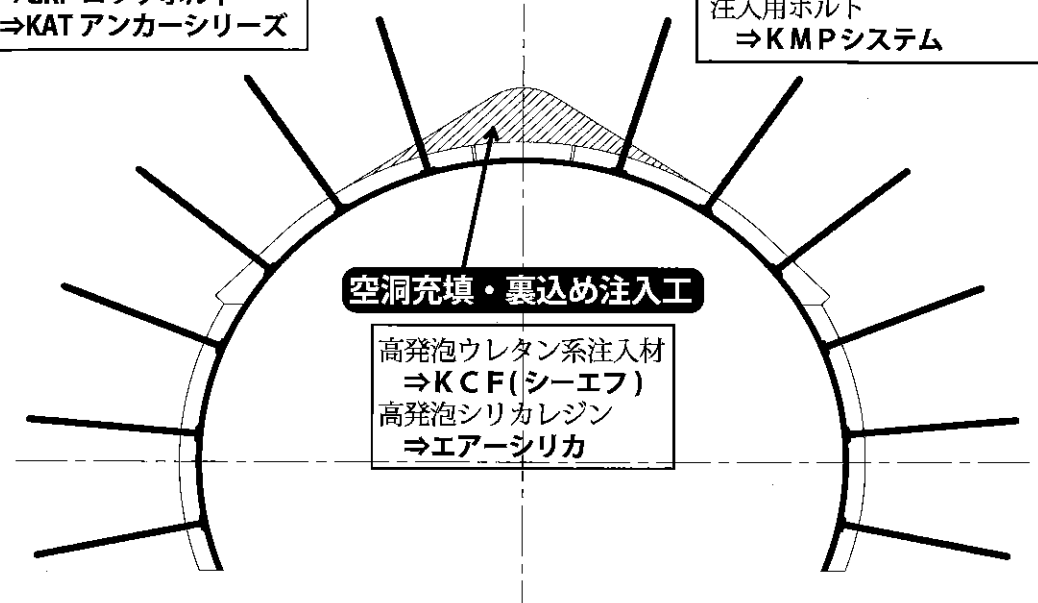
ロックボルト工

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-シリカ

営業品目

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

KATECS

株式会社 カテックス
建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.jp/>

技術部・中部営業部

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

東京支店

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

東京支店(仙台事務所)

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

関西営業所

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

九州営業所

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

北海道地区(㈱エイチ・アール・オー)

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

R²C(スキュアール)工法研究会 事務局(㈱カテックス内) TEL) 052-331-3997

高耐食性めっき「ZAM」鋼管を採用した膨張型摩擦式ロックボルト

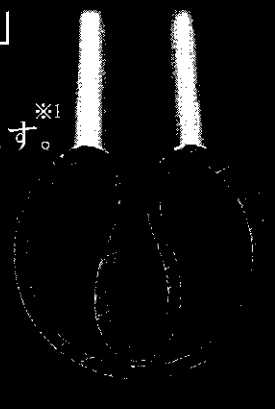
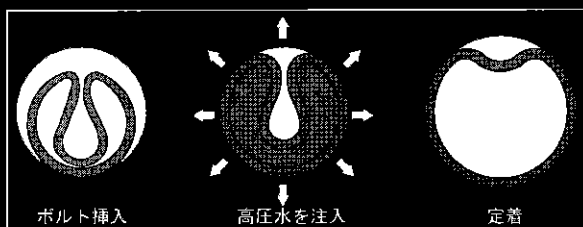
RPE ROCKBOLT

RUST PROOFING EXPANSIVE

RPE ロックボルト

「鋼管膨張型摩擦式ロックボルトの進化形」

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



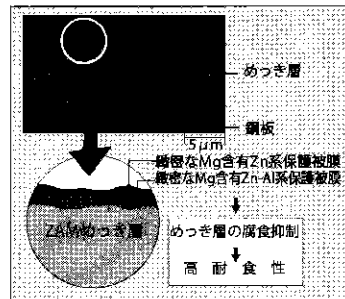
※1 地山条件によってめっき層の寿命は大きく変動します。

① 「RPE ロックボルト」の特徴

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

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

◎ZAMの耐食機構



② 「RPE ロックボルト」の仕様

■ RPE ロックボルトの種類

呼称	RPE120	RPE180
耐力(kN)	120以上	180以上
推奨穿孔径(mm)	φ45~φ51	φ45~φ51
鋼種	NTRB-400	NTRB-540
本体外径(母材鋼管)(mm)	φ36(φ54×2.0t)	φ36(φ54×2.3t)
単位質量(kg/m)	2.6	2.7
破断伸び(%)	35以上	20以上
標準長さ(m)	(2.0)3.0,4.0,(6.0)	3.0,4.0,6.0

※標準長さの()内は、受注生産になります。



(RPE ロックボルト施工状況)

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

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

損傷を目視で確認できる防水シート

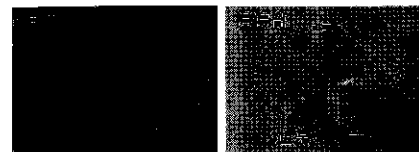
シグナルシート

NETIS 登録番号
KK-100083-A

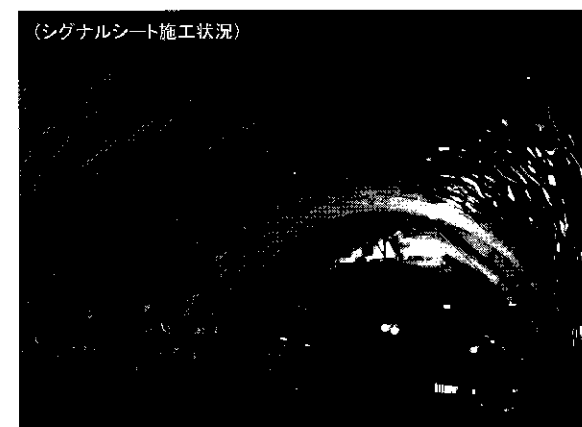
防水層に「シグナルレイヤー」を設けることにより目視で傷を容易にチェックできます。



(シグナルシート施工状況)



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

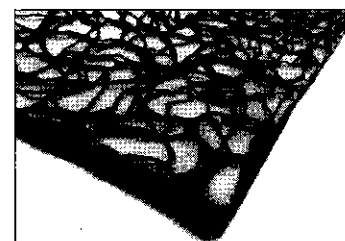


「立体網状体」による高排水機能

立体網状体付き長繊維不織布

「立体網状体」の効果により、抜群の排水性能を発揮します。

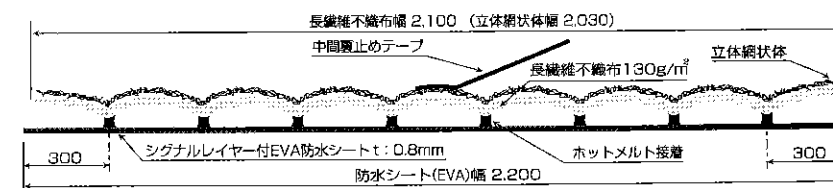
「立体網状体付き長繊維不織布」は通常の厚さ3mmの不織布に比較して約4.0倍の排水性能を有します。



排水能力比較結果 (試験方法 ISO12958 準拠)

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

「シグナルシート」と「立体網状体長繊維不織布」の組み合わせ



KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

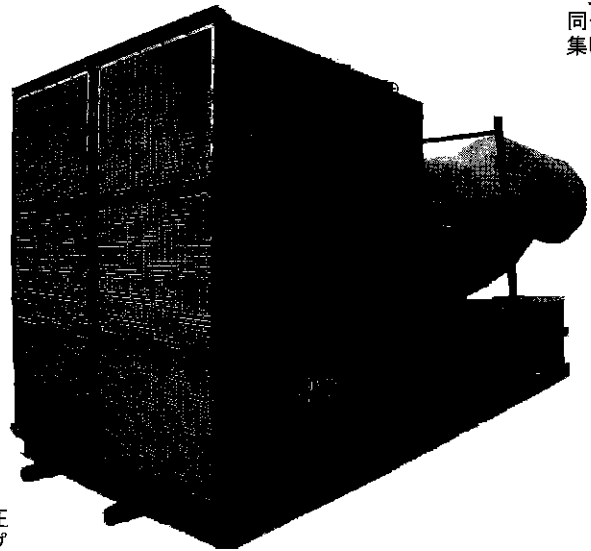
東京土木営業部: 東京都港区芝公園2丁目4番1号 Tel. 03-6402-8251
大阪土木営業部: 大阪市北区西天満3丁目2-17 Tel. 06-6363-1884
技術部: 東京都港区芝公園2丁目4番1号 Tel. 03-6402-8256

最新型・電気集じん機

エコクリーンX

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

極板放電方式
放電線をなくし消耗品の削減と断線トラブルの撲滅



処理風量
750m³/minから3000m³/minまで製作実績あり

高圧電源分割
集じんユニット毎の個別電圧印加により集じん効率アップ

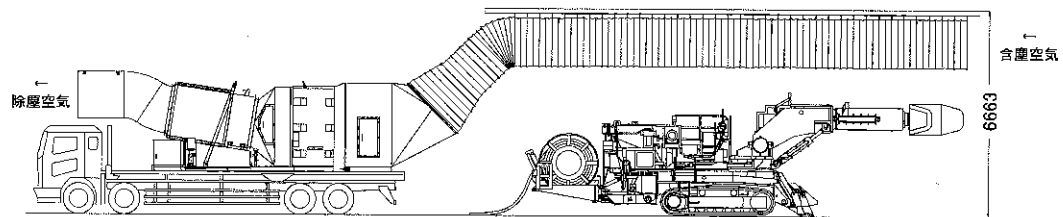
少ない消費電力
同クラスのフィルター方式集じん機に比べおよそ1/4

コンパクト
同クラス集じん機の中で最小

貯水タンク
自動洗浄が随時可能

オプション
自走クローラ台車
自走ホイール台車
伸縮風管...etc.

伸縮風管(軽量型φ1500, φ1600製作実績あり)



伸縮風管接続例

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



株式会社エムシーエム

<http://www.mcmcm.jp>

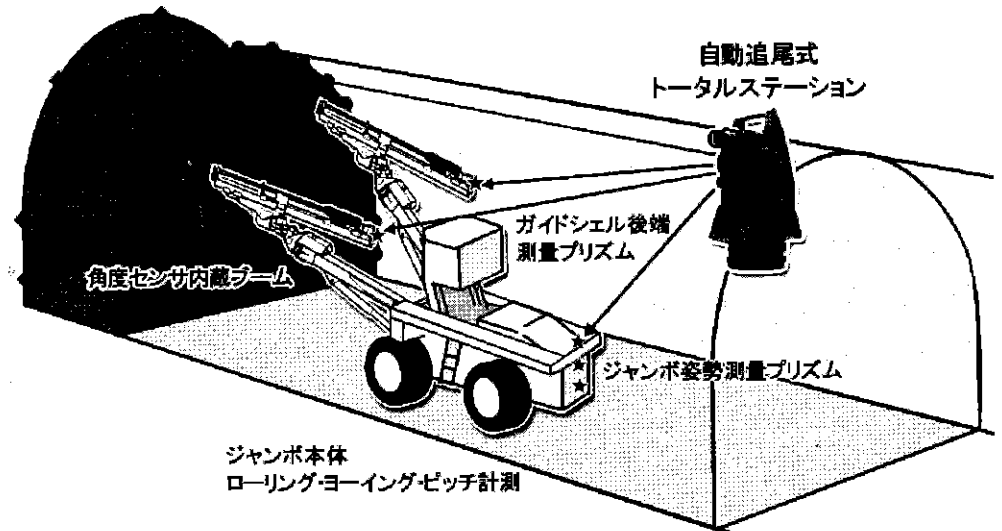
本社：愛知県名古屋市中天白区植田東2丁目1014番地
tel.052-804-9633 fax.052-804-1505
北陸センター：富山県高岡市福岡町下老子43番地2号
tel.0766-64-0351 fax.0766-64-0352

NETIS登録番号:KK-100049-A

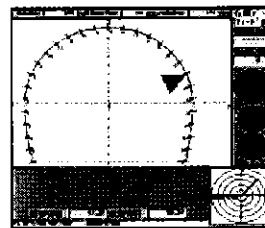
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市菅谷8-16-3

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

FRD 古河機械金属グループ 古河ロッドドリル株式会社

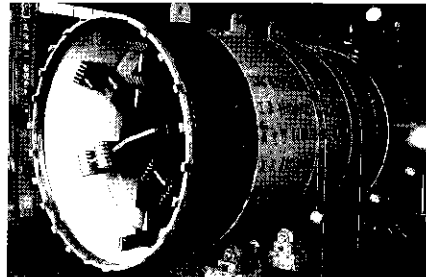
〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3 特機部

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

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

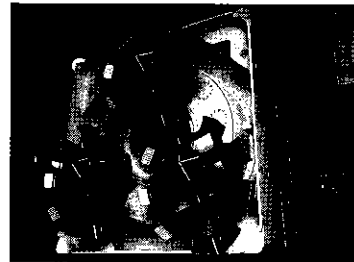
密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法の特徴

- 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

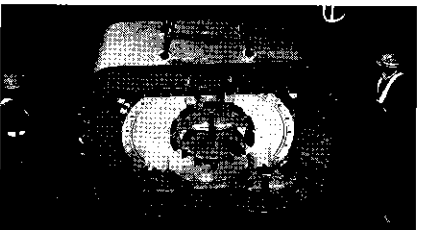
ボックス推進工法

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)



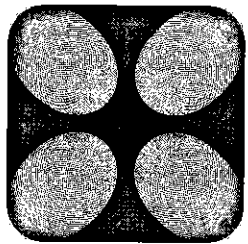
多軸自転・公転掘進機(内空寸法□2800×1800)



- 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

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



カッタービット軌跡

ボックス推進工法の特徴

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

協会事務局・技術本部 株式会社アルファシビルエンジニアリング

ALCIVIL

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

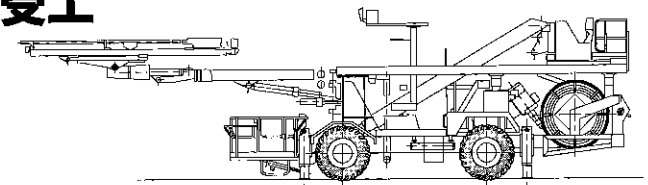
建設コンサルタント登録番号: 建23第8677号
 測量登録番号: 登録第(2)-30507号
 建設許可番号: 国土交通大臣許可(特-23)第19193号

*各工法協会会員名簿については、ホームページをご参照下さい。

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

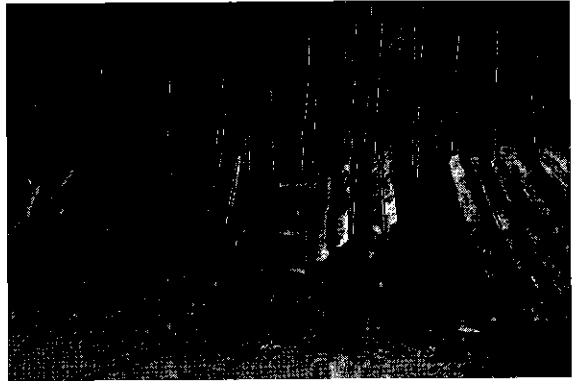
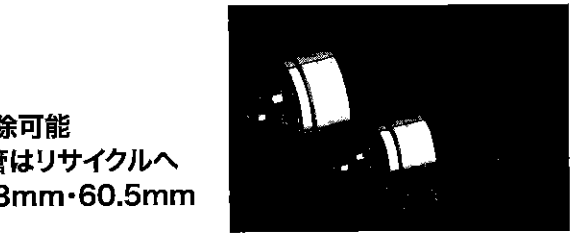
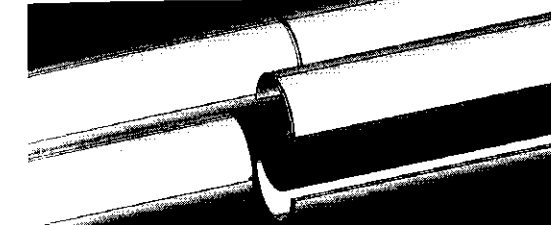
All Ground Fastening;
 Long-Distance, Fore-Pilling Method



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。

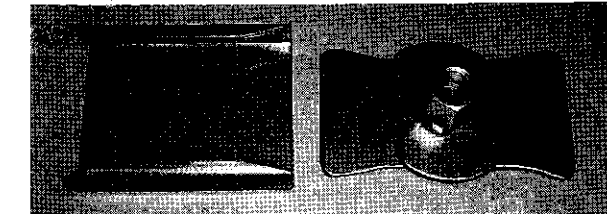


防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

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

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

株式会社 トーキョーオール

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

日本のインフラ維持が注目される今!!

NETIS登録番号
KT-070035-A

アキレスTn-p工法

トンネル裏込補修用ウレタン注入工法 老朽化したトンネルを災害から守る新しい工法です

1 超軽量で安全性向上

従来の工法に比べ、超軽量であり、覆工コンクリートの重量を軽減できます。

2 注入設備がコンパクト

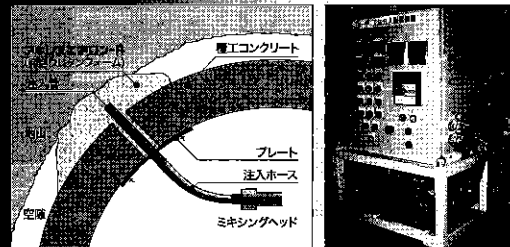
狭小スペースで、4t車1台に全ての注入設備を収めることが可能です。

3 急速硬化して工期短縮

急速硬化するため、亀裂等の危険性を低減できます。

4 現場環境保全

騒音・粉塵を一切発生させず、現場環境保全に貢献します。



アキレスTn-p工法



あなたの身近にいつか...



断熱資材販売部

本社 〒169-8885 東京都新宿区北新宿2-21-1 03-5338-9648
 新潟フロントタワー
 関西支社 〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島2-2-7 06-4707-2355
 中之島セントラルタワー
 北海道営業所 〒061-3241 北海道石狩市新港西1-726-3 0133-73-9591
 九州営業所 〒813-6591 福岡県福岡市東区多の津1-1-4 092-622-2671

Tn-p工法

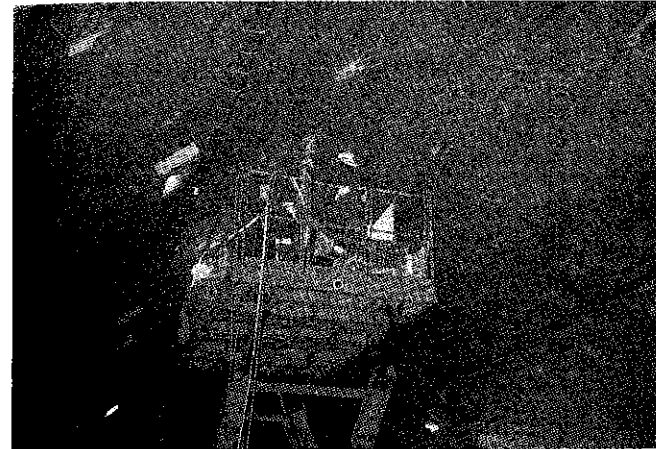
検索

<http://www.achilles-foamsystem.com/>

急結性・高性能裏込注入材
40倍発泡ウレタン

セットフォーム工法

NETIS CB-040060-V 設計比較対象技術

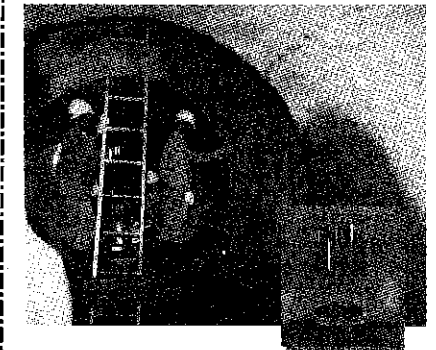


- 既設道路・水路トンネルの裏込注入工法
- シールド急曲線部の裏込注入(即時地盤反力の効果)
- シールド発進到達部の止水

漏水を瞬時にストップ!

SF-A工法

長期耐久性に優れた
無溶剤タイプの
ウレタン系止水材



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

ケミカルフォーム協会会員

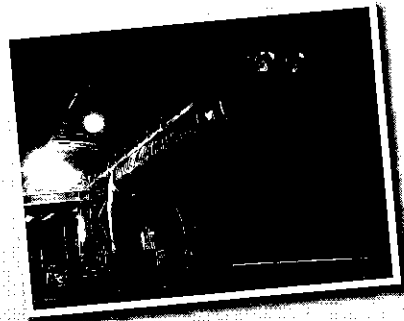
アルス株式会社	〒950-0944	新潟市中央区愛宕1-4-25	TEL 025-280-0337
株式会社内田工業	〒332-0032	埼玉県川口市中青木2-12-2	TEL 048-257-0848
エコシビックエンジニアリング株式会社	〒135-0047	東京都江東区富岡1-12-4み満きビル	TEL 03-3643-7241
エスイーリペア株式会社	〒811-1313	福岡県福岡市南区日佐5-15-24	TEL 092-535-5133
MC山三ポリマーズ株式会社	〒103-0012	東京都中央区日本橋堀留町1-2-10イトーピア日本橋SAビル	TEL 03-3662-0253
岡本興業株式会社	〒005-0021	札幌市南区真駒内本町1-1-1	TEL 011-841-1435
株式会社共和	〒462-0832	名古屋市北区生駒町7-148-1	TEL 052-911-3984
四国リニューアル株式会社	〒780-0815	高知市二葉町3-5	TEL 088-878-0050
株式会社シーテクノ	〒371-0017	群馬県前橋市日吉町3-22-3	TEL 027-235-5498
ショーレジン株式会社	〒104-0032	東京都中央区八丁堀3-14-4直平ビル	TEL 03-3551-8391
成和リニューアルワークス株式会社	〒163-0610	東京都新宿区西新宿1-8-1	TEL 03-5326-0720
株式会社総合開発	〒768-0065	香川県観音寺市瀬戸町2-14-16	TEL 0875-25-4162
日本総合防水株式会社	〒171-0022	東京都豊島区南池袋3-11-10ペリエ池袋	TEL 03-5950-8211
株式会社デーロス・ジャパン	〒921-8005	石川県金沢市間明2-70	TEL 076-229-7260
林建設工業株式会社	〒998-0023	山形県酒田市幸町1-6-6	TEL 0234-23-3322
フジモリ産業株式会社	〒141-0022	東京都品川区東五反田2-17-1オーバルコート大崎マークウエスト	TEL 03-5789-2206
前田産業株式会社	〒755-0032	山口県宇部市寿町3-5-23	TEL 0836-21-2666
株式会社マシノ	〒733-0822	広島市西区庚午中1-19-23	TEL 082-507-2737
株式会社松井商店	〒062-0902	札幌市豊平区豊平2条1-1-1	TEL 011-820-8688
株式会社マノール	〒120-0047	東京都足立区宮城2-4-16	TEL 03-3927-1331
株式会社三原工業	〒531-0074	大阪市北区本庄東1-22-3四本ビル	TEL 06-6371-9947

協会事務局

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

製造元 日清紡ケミカル株式会社 断熱事業部

〒289-2505 千葉県旭市鎌数9163-13 TEL 0479-60-3555



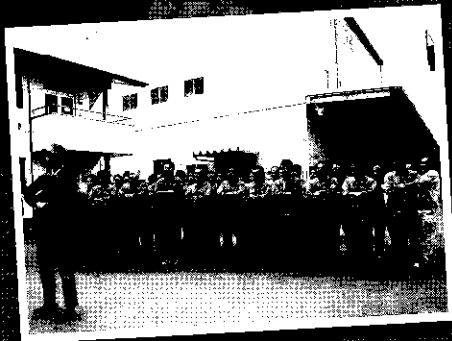
大型集じん機 300 台！
送風機 650 台！
世界最大の換気設備保有メーカー！



いままでにない技術。いままでにない挑戦。

なんとかする力

「トンネル環境」のトータルソリューションは当社へお任せください。



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

最適環境を創造する
株式会社 **流機** エンジニアリング

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



コンクリートの劣化、欠陥箇所の改修、補修……

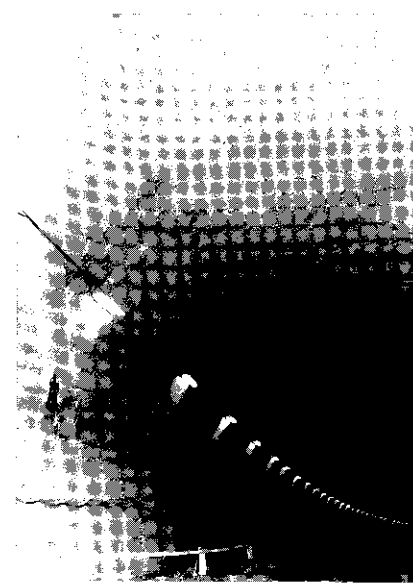
急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法

〈工期短縮、即日仕上り〉

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

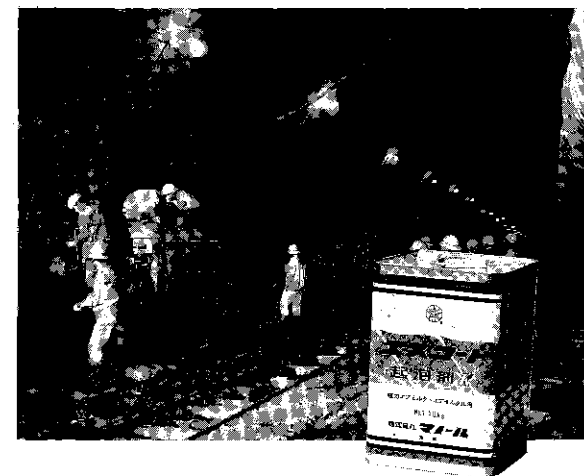
- 短時間で高強度，即日仕上り
- 強力な接着力と収縮，ヒビ割れ防止
- 防水性，防錆力に優れ，中性化防止
- 既調合品で現場管理が簡単



エアモルタル裏込め注入……

エスコート L & K 起泡剤

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



◆ 土木資材の総合プランナー ◆



株式会社 **マール**

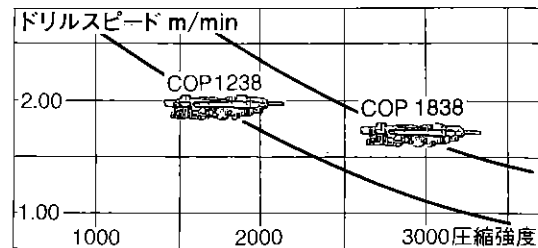
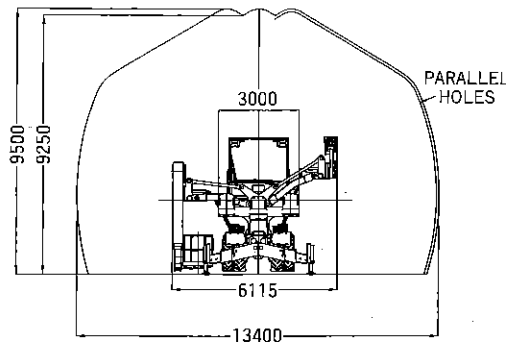
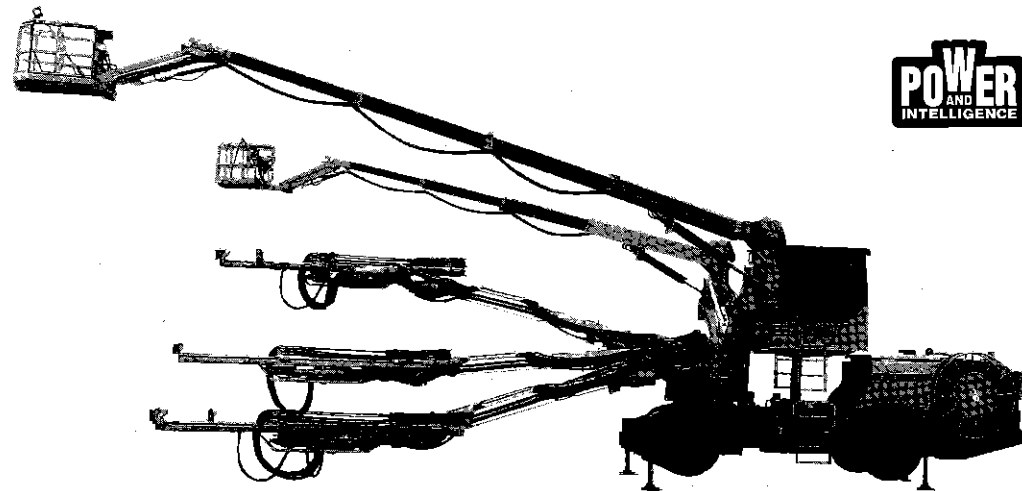
〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)

アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B

COP1838油圧ドリフター搭載

3ブーム・2バスケット



ドリルマシン株式会社 DRILL MACHINE CO., LTD.

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

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

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039 加入者名：株式会社LSプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間定期購読料金12,337円をお支払いください。
詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。



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

月刊推進技術 編集室

<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

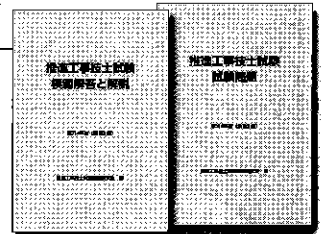
推進工事技士試験 過去13年間(平成14~26年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編

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

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



平成26年度版発売中!!

1. 内容と特長

- 過去13年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- 各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出典箇所を明記

2. 価格

各年度単体に1set 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

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

これらのことをインターネットでご案内しています。

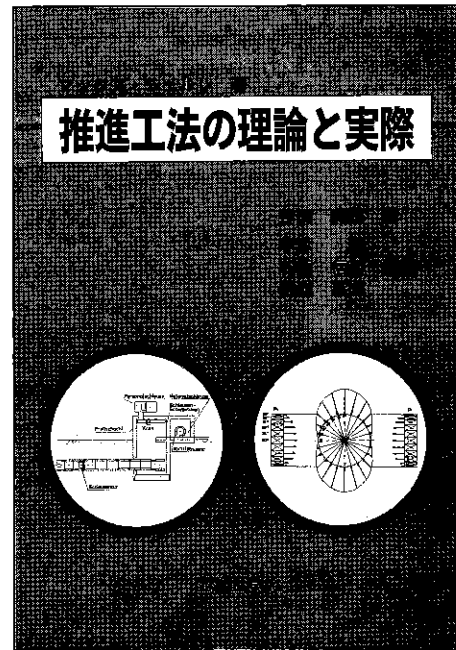
株式会社LSプランニング

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

推進工法の理論と実際

マニュアルを超えて
推進工法の理解を
さらに深める一冊



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

推薦の言葉

中本 至・石橋信利・金成英夫

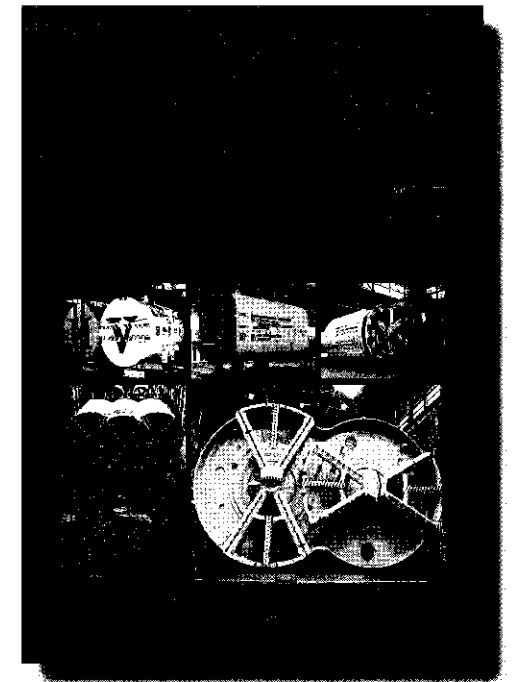
推進工法によって、下水道をはじめ多くの管渠が布設されている。下水道については一九六〇年にはわが国の普及率は十五%にすぎなかったが、今日では六〇%近くになっている。当初、一五〇〇キロしか施工実績がなかったが、近年の施工延長は年間一五、〇〇〇キロになっている。下水道の施工方法の選定にあたって、施工条件や建設環境、地下埋設物や地盤条件などの関係から、開削工法

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

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

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

シールド トンネルの 新技術



シールドトンネルの新技术研究会 編
B5判 280頁 定価: 4,660円+税

進化を続けるシールド工法。その誕生から技術の変遷、将来の技術開発の動向までをまとめ、最先端の技術について理論と実際にいたるまで記載した。豊富な設計・施工例を掲載し、応用のしやすい的確な解説を加えた好評の一冊。

主要目次

第1章 概説

1. シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性
シールド工法の歴史/わが国におけるシールド工法の歴史/今後の技術開発の方向性

第2章 調査・計画編

1. シールド工法の調査技術
シールド工事における調査の取り組み方/基本計画時の調査(予備調査)/設計時の調査(基本調査, 詳細調査)/施工時の調査(確認調査, 管理調査)/施工後の調査(追跡調査)
2. 断面および線形計画
断面および線形/鉄道用シールド/下水道用シールド/断面と線形における今後の展開
3. シールド機種の種類と選定
シールド機の構造と装備/現状のシールド機種の種類と選定方法
4. 新しいシールド工法
大断面化, 大深度化, 長距離化への展望

第3章 設計・施工編

1. 覆工
一次覆工の設計/二次覆工の設計と施工/シールドトンネルの防水技術
2. 立坑の設計と施工設備
立坑の設計と施工
3. 仮設備
仮設備の計画
4. シールド工事の自動化
掘進管理システム/方向制御システム/セグメント自動組み立てロボット/自動搬送システム/その他の自動化技術
5. 掘進と施工管理
シールド掘進と施工管理/シールド機の発進と到達/裏込め注入工法と注入効果/曲線施工と地中接合/補助工法の種類と選定
6. 近接施工と環境対策
近接工法と対策/アンダーピーニングおよび支障物対策/シールド工事と環境対策
7. 新工法の現状と将来展望
自由断面シールド掘進(縦槽円断面)/

- 異形断面シールド/分岐・接合シールド/球体シールド(ホルン)工法/複円形, 矩形および拡大シールドの開発動向/ECL工法
8. 切羽の安定と地盤変状防止
切羽安定の理論と実際/泥水式シールド工法の切羽安定/土圧式シールド工法の切羽安定/特殊条件下の切羽安定
 9. 地盤変位の理論と実際
地盤変位の実際/地盤変位の予測解析

付録

1. セグメントの設計例
セグメントの設計例/外国の設計手法との比較/有限要素法を用いたシールド覆工設計例
 2. 地盤変位予測解析手法の例
地盤変位の一般的性状/予測解析手法の例
 3. シールド工事の施工計画
施工計画書とは/施工計画立案手順/シールド工事施工計画書の参考例
- 参考文献/索引

【好評発売中】

セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 送料 290円

いわゆるバブルがはじけたここ数年、コスト削減はすべてに優先する至上命題となっており、シールド工事もその例外ではない。シールド工事の直接費に占めるセグメント費の割合は約4割程度と言われているが、シールド工事費の削減のためにはセグメントの製造コストの削減は避けて通ることのできない課題の一つとなってきた。

このような状況を受けてここ10年ほどの間に、急激にいろいろなセグメントが提案され実用化された。

これらのセグメントのうちにはよく似たものも多く、名称もバラエティに富み、その特徴や適用範囲などが明確でないため混乱が起きている例もある。

このため「トンネルと地下」の編集委員会では過去10年間に開発され、実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し、また、土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し、「セグメントの新技术」の連載講座を設けてこれらのセグメントを順次紹介した。セグメントの名称、特徴、開発目的、適用範囲などは同じフォーマットで掲載され、また、最終回では、そこで紹介されたセグメントを整理分類し、新しいセグメントの開発の動向や今後の展望を総括した。

本書はこの連載講座をもとに新たに「セグメントの新技术」編集委員会を作り、個々のセグメントに加筆、修正を加え、より充実した内容にまとめたものである。

〈セグメントの新技术〉

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. 薄型化・高強度セグメント | 18. シンプロセグメント |
| 2. サンドイッチ型合成セグメント | 19. WBセグメント |
| 3. 矩形トンネル用合成セグメント | 20. リングロックセグメント |
| 4. NMセグメント | 21. KLセグメント |
| 5. 二次覆工省略型ダクタイルセグメント | 22. コーンコネクターセグメント |
| 6. リングシールド工法用セグメント | 23. FRP-Key継手 |
| 7. コンクリート中詰め鋼製セグメント | 24. ほぞ付きセグメント |
| 8. DNAシールド | 25. HOTセグメント |
| 9. ガイドロックセグメント | 26. インサート継手(その1:アーチ形) |
| 10. ウイングセグメント | 27. インサート継手(その2:NF型) |
| 11. ハニカムセグメント | 28. CPIセグメント |
| 12. CONEX-SYSTEM | 29. PPCセグメント |
| 13. スパイラルセグメント | 30. FBRセグメント |
| 14. コッター・クイックジョイントセグメント | 31. NRTセグメント |
| 15. ワンパスセグメント | 32. タイドアーチセグメント |
| 16. ASセグメント | 33. 遠心力締固めRCセグメント |
| 17. マルチブレード式継手セグメント | 34. 高流動コンクリートセグメント |

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

きりりと線

《ご注文票》

セグメントの新技术 _____ 冊 申込みます。

所在地 〒()

事業所名 _____

部 課 名 _____

申込者名 _____

Ⓜ

土木工学社の地質学書

〔好評発売中〕

わかりやすい**土木地質学**

大島洋志 監修

B5判 209頁 税込2,625円 予340円



主要目次

序 編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第II編 トンネル工事と地質条件

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

第III編 地質調査法

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

第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

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

〔その他の既刊図書〕

建設工事の保安地質学〔改訂版〕 石井康夫 著 A5判 475頁 税込6,300円 送料340円

建設工事の地質診断と処方 石井康夫・矢嶋壯吉 共著 A5判 324頁 税込4,515円 送料340円

地下水の科学 P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ 共著 大西有三 監訳

第I巻 地下水の物理と科学 B5判 235頁 税込4,281円 送料340円

第II巻 地下水環境学 B5判 252頁 税込4,485円 送料340円

第III巻 地下水と地質 B5判 197頁 税込3,873円 送料340円

岩盤地下空洞の設計と施工 E.フック・E.T.ブラウン 共著 小野寺進・吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳

B5判 444頁 税込10,290円 送料450円

ブロック理論と岩盤工学への応用 R.E.グッドマン・G.H.シー 共著 吉中龍之進・大西有三 共訳

A5判 360頁 税込5,097円 送料340円

岩盤の計測と解析 鈴木光 著 A5判 244頁 税込4,410円 送料340円

地質工学概論 菊地宏吉 著 B5判 276頁 税込4,994円 送料340円

続 きみの庭にも温泉が出る 石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 税込1,260円 送料210円

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

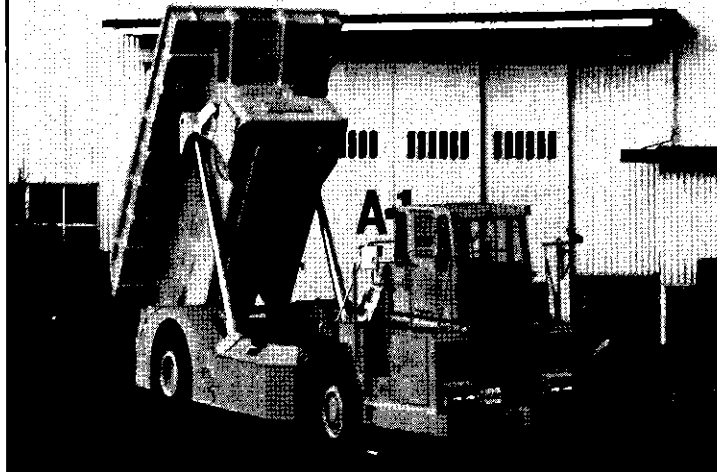
株式会社 **土木工学社**

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

MIWA U-40N **KIRUNA**

K-40Nトンネルズリ運搬車

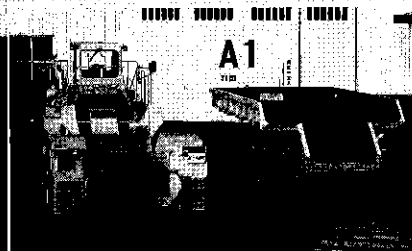
オフロード法 2014年排出ガス基準適合エンジン搭載車



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

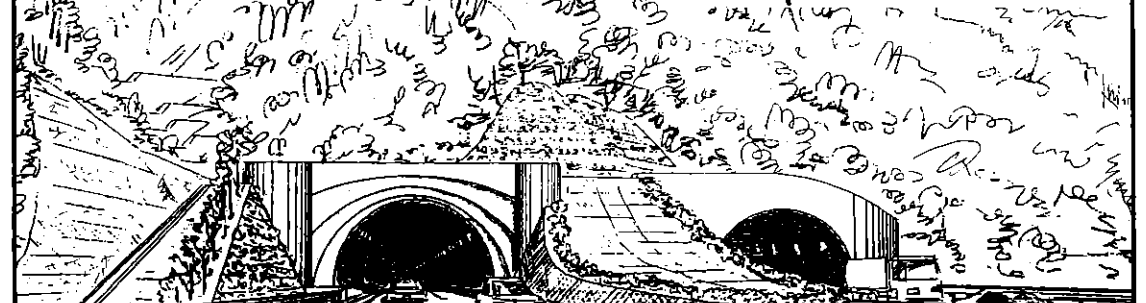


流れすみやかに！トランスポート・イノベーション ミワ・システム車両

三輪運輸工業株式会社

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

道路,トンネル設計 (本体工,換気,防災,照明,施工管理他)
トンネル現場診断

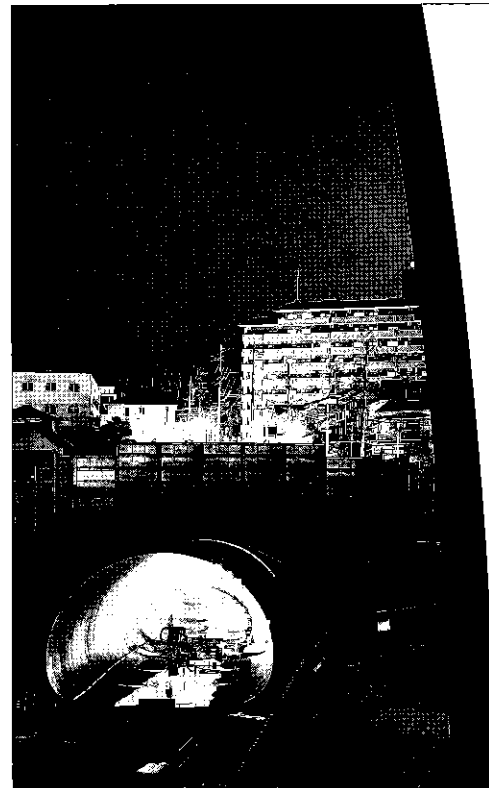


(社) 建設コンサルタンツ協会会員 ISO9001取得

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) 891-0711
福岡支店 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前 4 丁目 25 番 14 号 電話 (092) 436-1588
沖縄営業所 〒901-2122 沖縄県浦添市勢理客 4 丁目 16 番 9 号 電話 (098) 870-6411



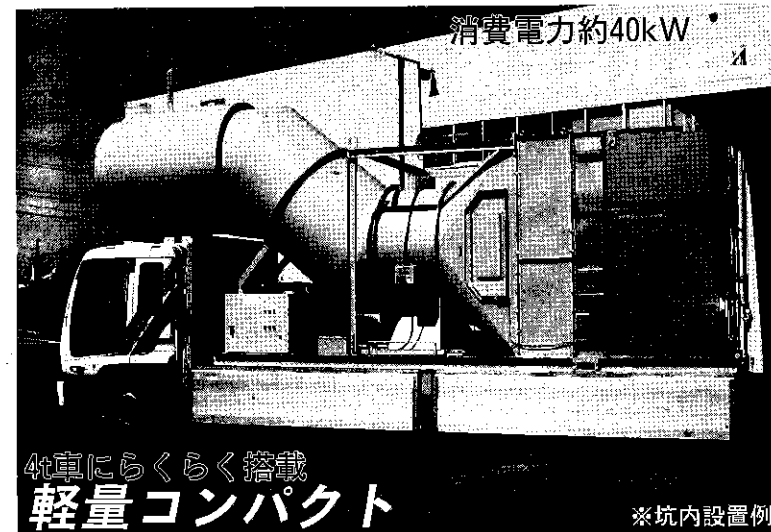
**振動
マネージメント
ソリューション**

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

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

一日でも早く完工する為に、日々の発破のモデル化、計測をして効率化を図っております。オリカ社がどの様な形で貴社のお手伝いを出せるかについて orica.com/edevil にアクセスして eDevil Case Study のビデオをご覧ください。

orica.com



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)

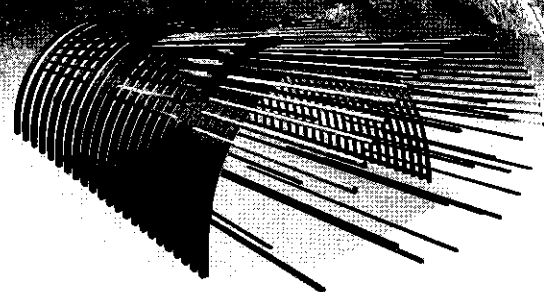
株式会社 レント

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

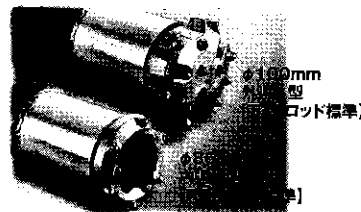
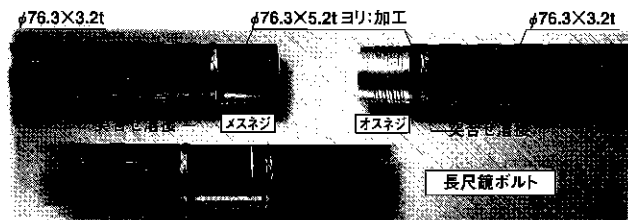
URL: <http://www.rent.co.jp> E-mail: kudo.yuji@rent.co.jp

ユニークな発想でVEを提案



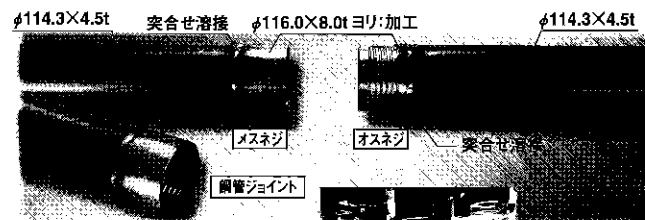
ストローク FIXチューブ(S型)

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



AGF-STD工法

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



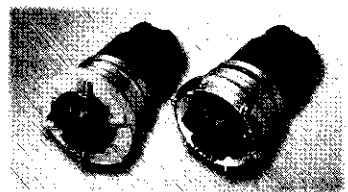
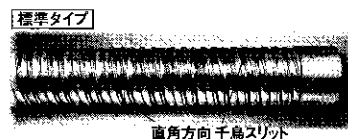
曲げ耐力30%UP!!



(報告書あります)

接続部の抗折力試験

撤去管の選択



STD BITS (ロストリング方式)

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
- ※高速フォアボーリング: SP-IF工法
- ※高速ルートパイル: SPフィックスパイル工法
- ※φ27.2注入管、自穿孔ボルト各種在庫あり



エステ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



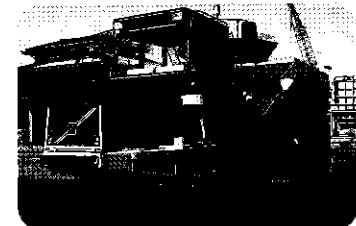
【TWS型濁水処理装置の特徴】

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)



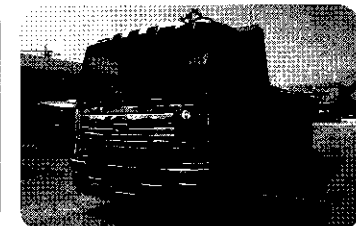
10T ミキサー



10T ダンプ



4.5m³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

「想定外」「木を見て森を見ず」を考える

石井 宏和5

■報告

40周年を迎えた山陽新幹線のトンネル路盤対策の変遷

—検査手法と対策工法—

坂本 寛章・近藤 政弘・長山 喜則57

■施工

開業を迎えた北陸新幹線(長野・金沢間)のトンネル群

市橋 学・野宮 正好・若公 雅敏7

観察・修正法を駆使して破碎質泥岩地山を掘る

—旭川十勝道路 北の峰トンネル—

佐藤 秀史・齋藤 宏樹・成田 望・横田 泰宏19

小土かぶりの連絡通路を土圧式ボックス推進工法で施工

—東京メトロ東西線 門前仲町駅—

森谷 剛・松島 和紀・鈴木 雅史・松元 文彦29

地下鉄虎ノ門駅直下の大深度・高水圧地盤で凍結工法により地中接合

—東京下水道 第二溜池幹線—

小倉 憲治・宮司 憲男・彦坂 勇次・岩崎 広幸47

■連載講座

山岳トンネル覆工の長寿命化技術(4)

—覆工コンクリートの品質向上技術(施工①)—

「山岳トンネル覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会67

■現場だより

歴史のロマンと美しい自然が息づく国境の島

山添 朋弘18

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

私のトンネル掘進記

—工法の変遷とその先—

佐藤 馨介37

■資料

土木情報

編集部28

工法・技術・製品ニュース

編集部56

トンネルジャーナル

編集部46

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会66

■会報

会報

日本トンネル技術協会76

【表紙説明】

開業を迎えた北陸新幹線(長野・金沢間)のトンネル群



北陸新幹線(長野・金沢間)は、北信越4県(長野県・新潟県・富山県・石川県)にわたる総延長231kmの路線である。この間のトンネルは35本で、その延長は103kmである。工事は平成4年8月に着手し、23年の歳月を経て、平成27年3月14日に開業した。写真は金沢駅出発式の状況である。(本文7頁参照)

ヤマモト 破がんき 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)

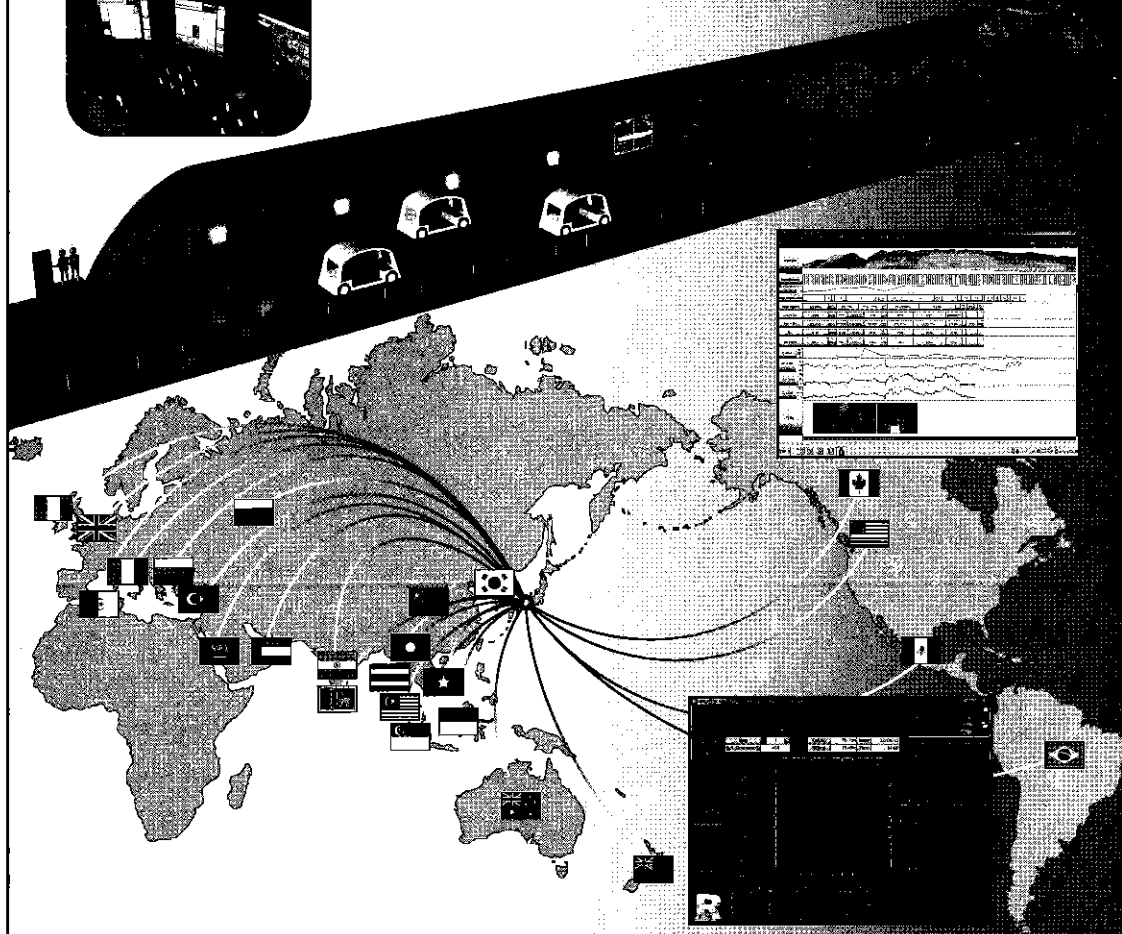
工場 広島県庄原市東城町川西424-1 ☎ (08477) 2-2137(代)

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)

Easy to handle, Difficult to imitate.

GUIDANCE & LOGGING & SURVEY system for TUNNEL

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



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



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〕

大 島 洋 志 国際航業株式会社上席フェロー技術開発センター最高技術顧問
首都大学東京客員教授

〔幹 事〕

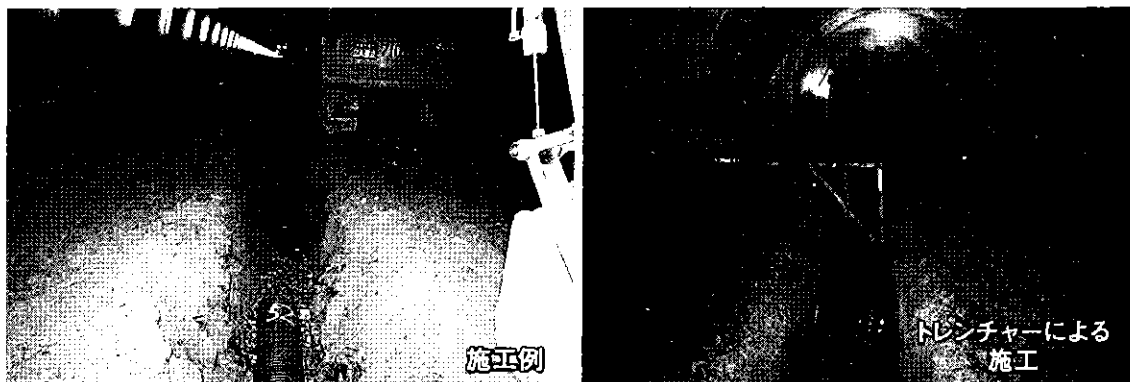
- | | |
|--|---|
| 居 相 好 信
株式会社大林組生産技術本部統括部長 | 西 岡 和 則
鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長
(兼)土木管理本部土木工務部トンネルグループ長 |
| 伊 藤 聡
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
改良建設企画課長 | 藤 井 義 文
株式会社竹中土木常務執行役員 |
| 岩 田 美 幸
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官 | 松 原 利 之
飛島建設株式会社土木事業本部
エンジニアリング部部長 |
| 久多羅木 吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長 | 八 木 弘
株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当)
道路研究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

トレンチャー

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路
掘削状況



施工例

トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D6	40/30	60/30
メーカー名	テスメック	テスメック	マステンブルグ	マステンブルグ
掘削幅 cm	60	75	70	70
掘削岩の硬さ(最大)	500kg/cm ²	700kg/cm ²	700kg/cm ²	1000kg/cm ²
重量 t	36	40	50	59
長さ m	13.0	10.8	14.0	15.4
幅 m	2.5	3.2	2.95	2.98
高さ m	3.30	2.86	3.00	3.20
エンジンの出力 PS	300	402	450	600

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術開発センター最高技術顧問
首都大学東京客員教授

〔編集参与〕

木谷 日出男 国際航業株式会社フェロー技術開発センター 地盤研究室長	今田 徹 東京都立大学名誉教授
小山 幸則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授	高橋 良文 東京都下水道サービス株式会社技術顧問
	松浦 将行 地方共同法人日本下水道事業団理事

〔委員〕

岡田 龍二 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	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
家壽田 昌司 東京都下水道局建設部設計調整課長	松田 信夫 東京都水道局建設部工務課長
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
高橋 晃 東京電力株式会社パワーグリッド・カンパニー 工務部流通土木グループマネージャー	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
谷内 雅之 東京都交通局建設工務部計画改良課長	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

ワールド開発工業株式会社

●本社/営業部 〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484

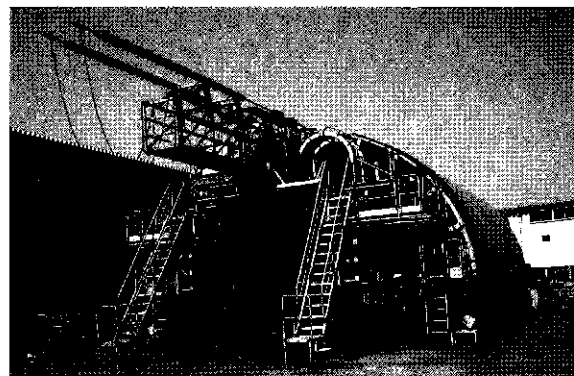
☎(026)213-7024(代) FAX(026)282-5803 <http://www.wkk.co.jp/>

要求性能を満たす 覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレータ装置

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



期待される効果・特徴

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

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-A (製造:株式会社マシノ)



期待される効果・特徴

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

北陸鋼産株式会社

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

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

滑川工場: TEL076(476)0333 FAX076(475)9121 東北営業所・工場: TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423

東京支店: TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789 大阪支店: TEL06(4963)3520 FAX06(4963)3521

開業を迎えた北陸新幹線(長野・金沢間)のトンネル群

鉄道・運輸機構 市橋 学

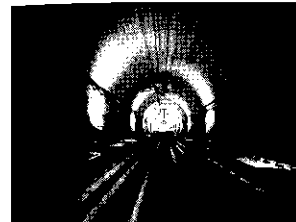
北陸新幹線(長野・金沢間)は、1992(平成4)年8月に着手し、23年の歳月を経て、2015(平成27)年3月14日に開業した。北信越4県(長野県、新潟県、富山県、石川県)にわたり、総延長231kmのうち、トンネル数35本、延長計103kmの建設に取り組んできた。

本稿では、北陸新幹線(長野・金沢間)の開業にあたり、関係者への大いなる感謝の意を表するとともに、路線概要、トンネルの概要、および主要なトンネル(送電線鉄塔、高速道路、および家屋密集地直下を掘削した高丘トンネル、多重支保工により膨張性地山を克服した飯山トンネル、高速掘進を実現した峰山トンネル)について述べ、建設の足跡を振り返りたい。

Tunnels of The Hokuriku Shinkansen That Newly Opened between Nagano and Kanazawa

By Manabu Ichihashi, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

Construction on the Hokuriku Shinkansen between Nagano and Kanazawa began in August 1992 and the line opened on March 14, 2015, 23 years later. It stretches across the four prefectures in Hokushinetsu (Nagano, Niigata, Toyama and Ishikawa) for 231 km in total length. There are 35 tunnels on the line, which add up to 103 km.



写真は完成した飯山トンネル

As the Hokuriku Shinkansen between Nagano and Kanazawa opened, this report gives recognition to all persons concerned and looks back over the process of construction, even as an outline of route, tunnels and information about typical three tunnels: the Takaoka Tunnel which was excavated under transmission line towers, expressways and densely populated residential areas, the Iiyama Tunnel on which we overcame swelling ground with multiple supports and the Mineyama Tunnel on which we implemented high-speed excavation.

観察・修正法を駆使して破碎質泥岩地山を掘る

—旭川十勝道路 北の峰トンネル—

北海道開発局 佐藤 秀史

旭川十勝道路は、旭川市から占冠村を結ぶ延長約120kmの地域高規格道路として計画されている。旭川十勝道路のうち、北の峰トンネル(仮称)は、延長2,928mのトンネルであり、2009(平成21)年度から工事に着手している。本トンネル周辺は、芦別岳に代表される夕張山地山麓の丘陵地で、広大な森林や豊富な地下水など豊かな自然環境が保たれている。そのため、地下水環境の保全を目的として止水注入工やウォータータイト構造を用いた施工が進められている。

一方、この地方は富良野断層帯の一部に属することから、起点側切羽には断層活動の影響を受け、著しく破碎化された新第三紀泥岩が広く分布し、トンネルに過大な変位を生じさせた。しかしながら、迅速かつ適切に支保をランクアップさせた結果、安全に掘削を行うことができた。また、坑内・地中変位計測結果や支保工応力計測結果から、これらの支保パターンの妥当性を検証することができた。

Excavation of Fractured Mudstone Using Observation and Remediation—Asahikawa-Tokachi Road Kitanomine Tunnel—

By Hidefumi Sato, Hokkaido Regional Development Bureau

The Asahikawa-Tokachi Road is planned as a local high-standard highway of 120 km in length linking Asahikawa City and Shimukappu Village. There is a 2,928 m tunnel called the Kitanomine Tunnel (provisional name) on the road, building works of which were started in 2009. The area surrounding this tunnel is the hills at the foot of the Yubari Mountains typified by Mt. Ashibetsu where abundant natural environment including vast forest and underground water is conserved. We are progressing with construction using waterproofing



写真はサイドパイル打設状況

grouting and water-tight fittings with the aim of conserving the underground water environment.

Meanwhile, this region is in part of the Furano fault zone, there is widely distributed Neogene mudstone around the starting portal, which is considerably fractured by fault activity. This had caused excessive deformation of the tunnel. However, as a result of upgrading tunnel supports promptly and appropriately, it was possible to conduct excavation safely. In addition, from the results of convergence and ground displacement and support stress, it was possible to verify the validity of these support patterns.

東西線門前仲町駅改良土木工事は、旅客サービス向上ならびにバリアフリーの一環として構内ルートにエレベータおよび連絡通路を都道永代通り北側の歩道直下に増設するものである。

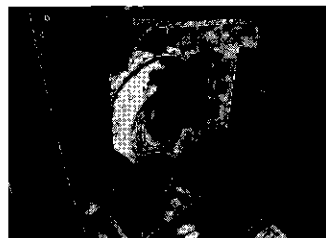
当初設計では開削工法により計画されていたが、施工場所は商店街に沿ったアーケードがある歩道直下であり、店舗兼住宅と隣接している。さらに道路下には下水道やガス、電力などの地下インフラが数多く埋設されており、これら埋設物の切廻しが困難であったことから、開削工法の土留め鋼矢板の打抜きや掘削が事実上不可能と考えられたため非開削工法による施工となった。

本稿では狭隘なスペースで施工時間の制約があるなか、大断面の矩形プレキャストボックスカルバートを密閉型ボックス推進工法にて直接埋設した事例を紹介し、当該現場の技術的課題とその対応策および施工結果について報告する。
Construction of Small Cover Passageway with The Earth Pressure Type Pipe Jacking—Tokyo Metro Tozai Line Monzen-nakacho Station—

By Takeshi Moriya, Tokyo Metro Co., Ltd

Improvement works at Monzen-nakacho Station on the Tozai Line are underway to extend the underground station with an elevator and a passageway directly under the footpath on the north side of Eitai Dori as part of passenger service and accessibility improvements.

The basic plan was to use the cut and cover method but the construction site is directly under a footpath with an arcade in a shopping street and is adjacent to shops with dwelling. Furthermore, many different underground infrastructures are buried under the road such as sewers, gas and electricity. As it was difficult to shift all of these, sheet piling and excavation works of the cut and cover method were found difficult, construction method was switched to the trenchless method.



写真は掘進機到達状況

This report presents examples of underground installing pre-cast concrete box with large cross-section using the closed shield pipe jacking under the condition of strict limitations on time and area of site for construction and contains technical issues at this site and their countermeasures and construction results.

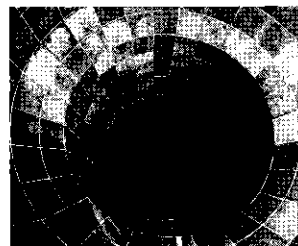
第二溜池幹線は、上流側(仕上り内径6,500mm×延長1,995m)および下流側(仕上り内径8,000mm×延長2,517m)からなる全長4,512mの幹線であり、土かぶり約40mの大深度に計画された。

本工事は、下流側幹線の管渠築造と供用中の上流側幹線との地中接合を凍結工法にて行うものである。接合作業時のシールドの変形により、凍土がシールド周面から剥離するのを防止するため、変形解析を行い、開口部を鉛直支保工で補強した。本報告では、地中接合部において、シールド内空の変位を限りなくゼロに近づけるために変形解析を実施し、凍結範囲の設定と変形抑制対策を行った、施工実績について報告するものである。

Underground Connecting using The Ground Freezing in Great Deep And High Water Pressure Ground beneath The Underground Toranomon Station—Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government No.2 Tameike Sewer Main—

By Kenji Ogura, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

The no.2 Tameike sewer main is 4,512 m in length and is composed of an upstream part (completed inner diameter of 6,500 mm and length of 1,995 m) and a downstream part (completed inner diameter of 8,000 mm and length of 2,517 m). It was planned at approx. 40 m below surface.



写真は地中接合完了状況

These works are to build the downstream part of the sewer main pipe and connect it underground to the in-use upstream part with the ground freezing technique.

In order to prevent frozen ground from removing from the surface of the shield TBM caused by its deformation during connecting works, deformation analysis was conducted and opening were reinforced with vertical steel supports.

This report contains information on results of construction in which condition of frozen range was set and countermeasures against displacement control was implemented using displacement analysis in order to reduce deformation of the TBM close to zero.

山陽新幹線は今年の3月で全線開業40周年を迎えた。山陽新幹線の建設では、保守の省力化を図るため、バラスト軌道に代わって当時開発されたスラブ軌道が採用された。岡山～博多間(約400km)においてはトンネル区間も含めて全面的にスラブ軌道が採用され、同区間の約70%にあたる約280kmに敷設されている。これらのトンネルのなかには、開業後間もなく、軌道スラブ、中央通路や側壁の変状、中央通路への噴砂・噴泥といった路盤の変状が発生した。そこで開業後から断続的に対策を実施し、これまで安全・安定輸送を確保してきている。本稿では、これらの山陽新幹線トンネルのスラブ軌道区間における路盤対策に関する取組みを紹介する。

Transition of Measures for Roadbed in Tunnels on The Sanyo Shinkansen Which Marks 40-year Anniversary—Inspection Techniques and Countermeasures—

By Hiroaki Sakamoto, West Japan Railway Company

The Sanyo Shinkansen marked 40-year anniversary this march. Instead of ballasted tracks, slab tracks that were developed at the time were adopted for the Sanyo Shinkansen, in order to save labour in maintenance. Between Okayama and Hakata (approx. 400 km in length), slab tracks were employed overall including in tunnel and were installed 280 km long amount to approx. 70 percent of this section. Some of these tunnels have occurrences of deformation of track slabs, central passageways and sidewalls and damages of roadbeds such as sand boil and mud pumping on the central passageway shortly after opening. Since opening, measures have been intermittently implemented and, up until now, safe and stable transportation has been ensured. This report presents measures for roadbed under track slab in these Sanyo Shinkansen tunnels.



写真は集水井における水平ボーリングの施工状況

巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)



「想定外」「木を見て森を見ず」 を考える

地方共同法人日本下水道事業団福島再生プロジェクト推進室長(本協会評議員)

石井 宏和

日本下水道事業団(以下「JS」)は1972(昭和47)年に下水道事業センターとして設立されました。1975(昭和50)年の認可法人を経て、2003(平成15)年に地方共同法人日本下水道事業団となり、今年で43年目を迎えます。

JS発足当時の1972(昭和47)年のわが国の下水道普及率(全国人口のうち、下水道を利用できる人口と比率)は17%でしたが、42年経過した現在(2013(平成25)年度末)では77%まで増加しました。

現在、全国に約2,100か所の下水処理場がありますが、そのうちの7割、約1,400か所の下水処理施設の計画・設計・建設にJSは関与してきました。

下水道事業は大きく分けると、下水を収集する管渠・ポンプ場と収集した下水を処理する処理場に分かれます。私は、JSのプロパーで、今年で勤続32年になります。JSに入社以来、下水道計画の策定(計画設計)、下水処理場・ポンプ場の設計、建設工事監督をして下水処理・汚泥処理の技術開発などの部門に携わってきました。このため、巻頭言の依頼を受け、何を書こうか悩んでいますが、これまでの経験から下水道施設(処理場・ポンプ場)の設計を行う際に注意していることを書こうと思います。

近年「想定外」という言葉をよく聞きます。東日本大震災では「想定外」の揺れと津波により広範囲な地域に大きな被害を受けました。また近年では異常気象の影響で、「想定外」の降雨強度の豪雨や、ゲリラ豪雨のような短時間で狭いエリアでの集中豪雨が発生しています。水を相手にするため下水道施設では降雨の影響を大きく受けます。

下水道が対象とする下水には雨水と汚水があります。下水の収集方法には、雨水と汚水を同一の管で集める合流式と、別々に収集する分流式があります。水質汚濁対策(汚水対策)が重要となった1970年代以降は、分流式で汚水を収集する方式が多くの自治体で採用されています。処理場に流入する下水量は1日単位、年間単位で変動するため、下水道の施設設計ではこの変動も考慮して施設能力を決定します。分流式の下水処理場や汚水中継ポンプ場の設計では対象下水は計画汚水量となるため、雨水に比べその量は格段に小さくなります。集中豪雨などにより分流式の管渠に雨水が流入し、下水処理場に大量の下水が流入することがあります。この場合、水処理施設の壁の上部に開口を設け、施設から溢れた水をこの開口からバイパス水路に落とし、塩素混和槽を通じて放流することで、水処理施設全体の水没を回避した事例があります(合流式の処理場では事例がある)。

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

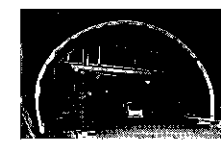
加温しながら初期強度を上げる
加温養生(型枠)



加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



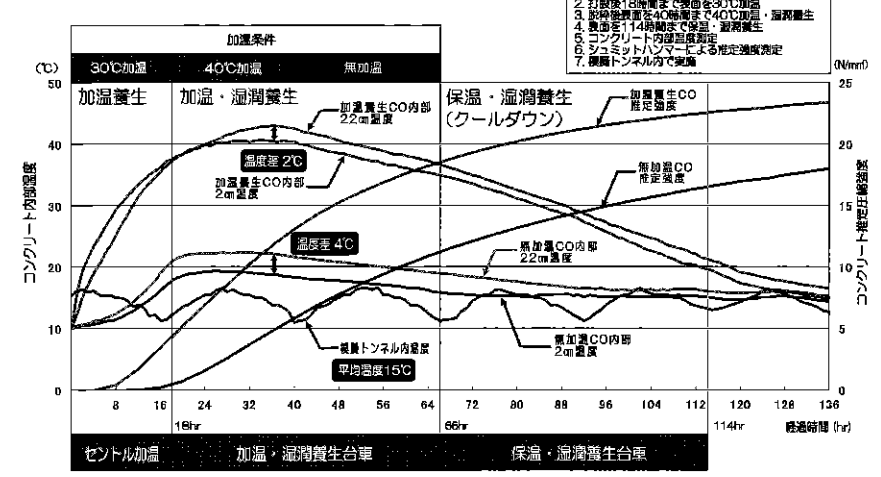
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



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湿設定が可能です

◆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
株式会社 東 宏

雨水ポンプ場や汚水の中継ポンプ場では、想定外の豪雨で道路が冠水した場合でも、ポンプ場の機能停止を避けるため電動機や電気の盤の設置レベルを道路面より若干高くして、水没から守る工夫をしています。この場合、道路の冠水レベルをどの程度に設定するかが問題となります。また、ある下水処理場の建設現場では、集中豪雨により想定外の出水があり、現場の周辺が水没して、建設中の中空の施設が浮力で浮き上がったことがありました。この事故例を参考に、一定のレベルまで水が来たら意図的に建設中の施設に水を流し込む工夫(たとえば構築中の壁の一部を低く、最後に立ち上げる、壁に開口を用意しておくなど)をすることにより、最悪の浮上を回避できる対策を取ったことがあります。

このように、下水道の施設設計では設計条件以外の状況をどこまで想定できるか、また想定外の状況になったときに最低限守るべき機能を考え、施設の全面ダウンを回避する対応策(リスク回避)を考えておく必要があります。

「木を見て森を見ず」とは物事の一部や細部にとらわれ、全体を見失うことのとえで言われます。先ほど述べたように、下水道の普及率が77%に達し、全国的に人口が減少に転じた現在では、流入下水量増加による処理施設の新設・増設はあまり見込めません。一方、建設した施設(とくに機械・電気設備)は年数を経ると老朽化が進み、下水処理に不具合を生じることがあるため、設備の更新が必要になります。

下水処理場の機能は大きく分けると汚水を処理する水処理系と汚水を浄化した後に発生する汚泥の量を減らすことを主目的とする汚泥処理系に分かれます。汚泥処理系を例にいうと、通常、大規模な下水処理場では汚泥を濃縮→(消化)→脱水→焼却→搬出で処理しています。(消化は省略される場合が多い)。汚泥処理施設の改築更新事業の場合、汚泥の濃縮設備、脱水設備、焼却設備が更新の対象となります。これら設備の処理性能は投入する汚泥性状の影響を大きく受けます。

最近、高性能の脱水機の開発により、汚泥の含水率を低くすることが可能となったのですが、後続の焼却炉への汚泥搬送設備が目詰りを起こすため、安定運転のため汚泥の含水率の低下を抑えた事例があります。

近年、汚泥の嫌気性消化によりバイオガス(メタンガス)を回収し、発電などに利用する事業が脚光を浴びています。従来、嫌気性消化槽がなく汚泥を直接焼却処理していた処理場で消化槽を入れてメタンガス回収後に焼却する方式に変更したところ、焼却炉投入汚泥の性状が未消化汚泥から消化汚泥に変わったことにより、焼却能力が低下し、同じ能力確保のために既存焼却炉の改造が必要になったことがあります。

このように、汚泥処理プロセスの一部の機械設備の性能が向上しても、必ずしも汚泥処理系全般にわたる効率化(最終処分量の減量)に結びつかない、処理工程の一部に変更を加えたときに、その部分のみに注意を集中すると、システム全体への影響検討が十分でなくなり、結果として全体の効率が低下することがあります。

JS東日本設計センターでは、入社3年目までの若手を集めて、設計センター幹部職員も参加して『下水道施設設計画・設計指針と解説』の読み合わせ会(勉強会)を行っています。この中では上記の失敗事例も含めて、施設設計指針では読み取りが難しい工夫の話をしています。上記2点の考え方が若い技術者の参考になればと考えています。

施工

開業を迎えた北陸新幹線(長野・金沢間)のトンネル群

鉄道・運輸機構参与 市橋 学
 鉄道・運輸機構新幹線部新幹線第二課長 野宮 正好
 鉄道・運輸機構新幹線部新幹線第二課 若公 雅敏

1 はじめに

北陸新幹線(長野・金沢間)は、1992(平成4)年8月に着手し、23年の歳月を経て、ついに開業した。北信越4県(長野県・新潟県・富山県・石川県)にわたり、総延長231kmのうち、トンネル数35本、延長計103kmの建設に取り組んできた。開業にあたり、関係者への大いなる感謝の意を表するとともに、トンネルの概要と主要なトンネル(高丘トンネル、飯山トンネル、峰山トンネル)について述べ、建設の足跡を振り返りたい。

文末に、本誌に掲載された北陸新幹線(長野・金沢間)に関する報文の一覧を示す。各トンネルの詳細については、そちらを参照されたい。

2 北陸新幹線(長野・金沢間)の概要

2-1 建設経緯

北陸新幹線は、長野市、富山市、小浜市付近を経由して東京都と大阪市を結ぶ路線である。

長野・金沢間については、1992(平成4)年8月に西石動(仮称)信号場・金沢間、1993(平成5)年9月に西糸魚川(仮称)信号場・東魚津(仮称)信号場間が、新幹線鉄道規格新線(スーパー特急方式)で認可され、工事に着手した。その後、1998(平成10)年3月に長野・上越(仮称)間、2001(平成13)年4月に上越(仮称)・富山間、2005(平成17)年4

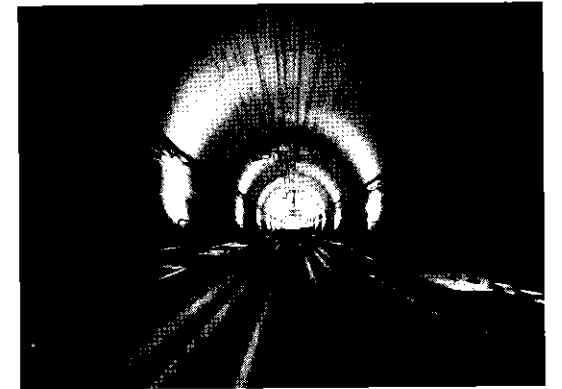


写真-1 完成した飯山トンネル

月に富山・金沢間、2006(平成18)年4月に白山総合車両基地(仮称)が標準軌新線(フル規格)で認可され、当初スーパー特急方式で認可された区間も含め全線をフル規格で建設した。線路延長は228.0km、工事延長は231.1kmである。

2-2 路線概要

長野駅から長野車両基地までの約8km間は、長野開業の時点より回送線として供用されていた。路線は、長野市、中野市内を北上し飯山駅に至り、長野県と新潟県境の東頸城丘陵を飯山トンネルで通過する。

飯山トンネルを出ると、高田平野を北西に向かって上越妙高駅に至り、妙高山系から日本海にかけての複数の谷地形をトンネル群で抜け、糸魚川駅に至る。その後、北アルプスと日本海が接する急

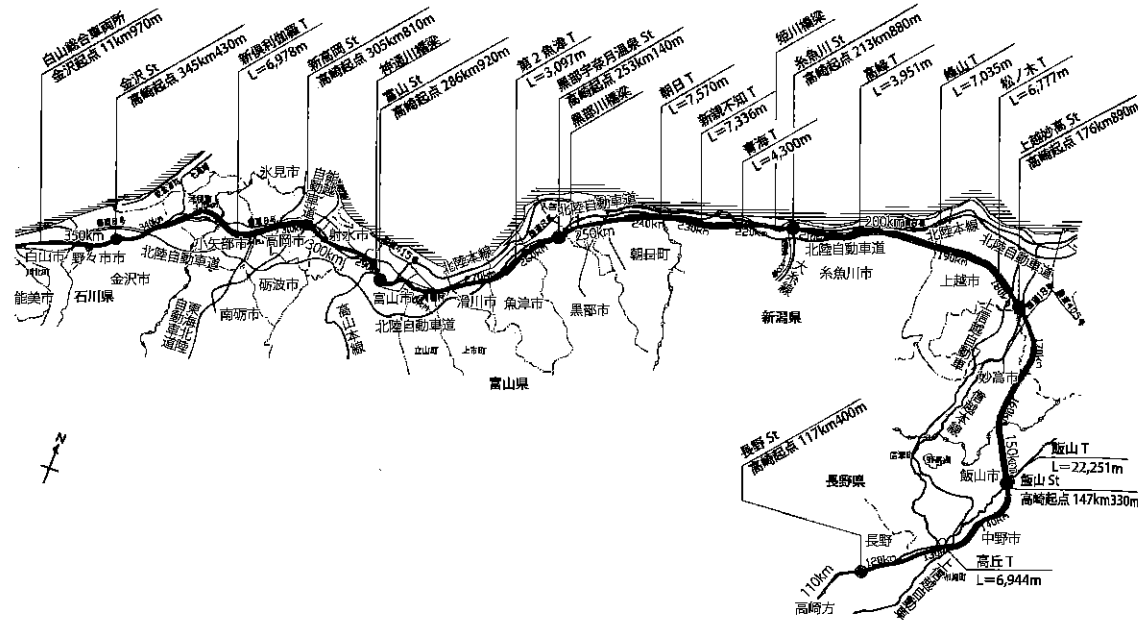


図-1 長野・金沢間 線路平面図

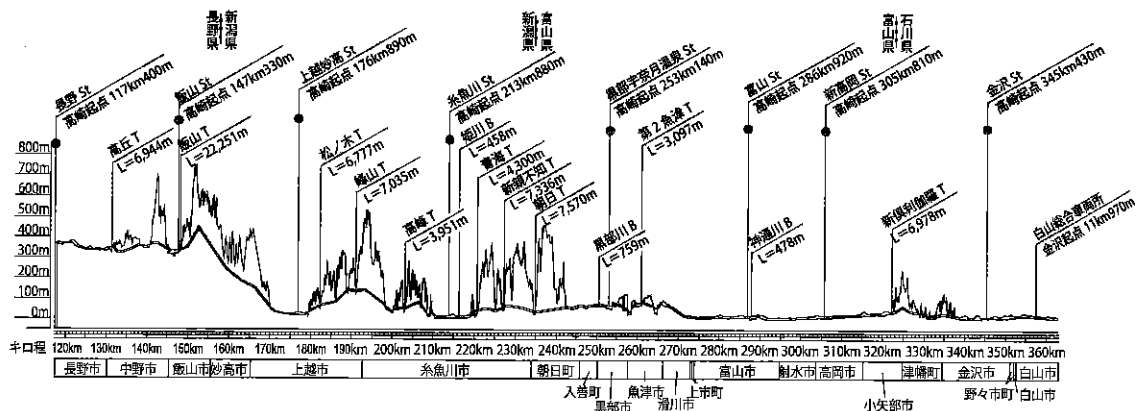


図-2 長野・金沢間 線路縦断面図

峻な山岳部を、複数のトンネルで通過し、途中の境川で新潟県から富山県に入る。

トンネル群を抜けると黒部川扇状地に入り、黒部宇奈月温泉駅に至る。黒部市および魚津市の丘陵地帯は小土かぶりのトンネルで通過する。その後、富山平野に入り、以降、富山県内は高架橋を主体として西進し、富山駅、新高岡駅を経て、富山県・石川県境の丘陵を新俱利伽羅トンネルで抜ける。

石川県に入ると津幡町内の丘陵地帯をトンネル群で通過したあと、金沢市に入る。以降は高架橋

主体となり、JR北陸本線森本駅付近からは北陸本線とほぼ並行して南西へ進み、今回開業区間の終着となる金沢駅に到達する。金沢駅からさらに南西に進み、白山市にある白山総合車両所へ至る。

2-3 トンネルの概要

長野・金沢間のトンネル延長は103.1kmで、今回工事延長の44%に相当する。トンネル一覧(延長1,000m以上)を表-1に示す。トンネル工事は、1992(平成4)年12月の明神トンネルの工事着手に始まり、2010(平成22)年12月の新呉羽山トンネルの貫通により、すべてのトンネルが貫通した。

表-1 主なトンネル(延長1,000m以上)

区間	名前	延長
長野・飯山	高丘トンネル	6,944m
	高社山トンネル	4,278m
飯山・上越妙高	飯山トンネル	22,251m
	高田トンネル	2,752m
	松ノ木トンネル	6,777m
	桑取トンネル	1,806m
	峰山トンネル	7,035m
上越妙高・糸魚川	新木浦トンネル	2,614m
	高峰トンネル	3,951m
	中浜トンネル	1,472m
	青海トンネル	4,300m
	歌トンネル	1,747m
糸魚川・黒部宇奈月温泉	新親不知トンネル	7,336m
	朝日トンネル	7,570m
	第2黒部トンネル	1,293m
黒部宇奈月温泉・富山	第1魚津トンネル	1,055m
	第2魚津トンネル	3,097m
新高岡・金沢	新俱利伽羅トンネル	6,978m
	明神トンネル	2,880m

全線をつうじてNATMによるトンネル掘削を基本としている。覆工は無筋コンクリートで厚さ30cmが標準であるが、坑口付近などの重点区間では、鉄筋コンクリートまたは鋼繊維補強コンクリートを使い分けている。

2-3-1 長野・新潟間のトンネル

トンネル全体のうち約7割が長野県・新潟県内に位置する。この区域の地質は大部分が新第三紀

鮮新世～第四紀更新世という若い年代であり、断層を有するなど不安定な地山が多くある。代表的なトンネルとして、未固結地山で土かぶりが小さく、かつ地上に道路や民家が存在する高丘トンネル(3-1節で詳述)や、膨張性地山で可燃性ガスを胚胎する飯山トンネル(3-2節で詳述)がある。また、比較的地山が安定していた峰山トンネルでは、機械方式による高速掘進を実施した(3-3節で詳述)。

2-3-2 新潟・富山間のトンネル

新潟県糸魚川市から富山県朝日町にかけてもトンネルが集中している。代表的なトンネルとして、

新潟県・富山県境を流れる境川を挟んで、東側に新親不知トンネル(延長7,336m)、西側に朝日トンネル(延長7,570m)がある。この付近は糸魚川静岡構造線の北部西側で、北アルプスが日本海に急崖となって没する「親不知・子不知」に位置し、飛騨山脈の北部から日本海へと続く急峻な山岳地帯の一部である。

とくに新親不知トンネルにおいては、延長7,336m間に20あまりの断層が確認され、その破砕帯幅は1m程度の小断層から100m以上の大断層までさまざまであった。湧水の存在を確認すべく、探りボーリングによる前方の地質や地下水状況の確認を行いながら掘削を進めたが、最大29t/minの大量出水を発生した箇所もあり、薬液注入による止水も実施した。

富山県内は全体に明かり区間が主体となるが、黒部市・魚津市内に複数のトンネルが存在する。この付近の代表的なトンネルとして、第2魚津トンネル(延長3,097m)がある。台地や段丘地形の割合が多く、地上部が道路、民家、水田などの用途で使用されている箇所を小土かぶりで通過することが特徴として挙げられる。土かぶりが4～5mと極小の区間については、東北新幹線で実績のある事前地山改良を実施した。地上に道路や民家が存在する区間については、注入式フォアボーリングを併用して掘削し、坑内だけでなく地上における沈下・傾斜も計測して、安全管理に努めた。

2-3-3 富山・石川間のトンネル

富山県小矢部市から石川県津幡町・金沢市にかけて、長野・金沢間では最後となるトンネル群がある。代表的なトンネルとして、新俱利伽羅トンネル(延長6,978m)がある。この付近は津幡・森本丘陵に位置し、地質は第三紀中新世～鮮新世を主体としている。

富山方でJR北陸本線・県道・集落の直下を土かぶり4～10mで通過するため、これら重要保安物件への対策を要した。また、河川・ため池と交差し、トンネル天端が河床やため池底面を上回る線形であったことから、河川改修やため池形状変更を伴う施工を実施した。

3 主要なトンネル

3-1 高丘トンネル

3-1-1 概要

高丘トンネルは、長野県中野市に位置する延長6,944mの山岳トンネルである。2000(平成12)年3月に着手し、2008(平成20)年11月に全貫通した。

本トンネルは、標高がおおむね340~350mの低丘陵性の長丘丘陵にあり、土かぶりが10~50mと小さい区間が多い。また、送電線鉄塔、携帯電話中継鉄塔、住宅団地、高速道路、道路トンネルなど多数の重要保安物件と交差する。これら構造物への影響を最小限に抑える必要があり、山岳トンネルの施工にはきわめて厳しい条件であった。

3-1-2 地質

高丘トンネル南工区の地質縦断図を図-3に示す。地質は、おもに第四紀更新世中期のシルト、砂、礫からなる湖底堆積物で、シルト主体の粘性土地山は、一軸圧縮強度1.0MPa前後、変形係数20MPa前後と低く、軟質で緩い特性である。

本トンネルは1847年の善光寺地震(推定マグニチュード7.4)の震源断層とされる長丘断層(長野盆地西縁断層)を東縁とする長丘丘陵に位置し、この断層に近接して平行に計画されている。地山は断層運動と褶曲運動による大きな変形を受けており、潜在的な亀裂が多く、その亀裂が地盤の変形性をいっそう増大させている。そのため、塑性変形および支持力低下によるトンネルの沈下と地表面沈下が懸念された。

3-1-3 送電線鉄塔直下における掘削

鉄塔は、長野県北部地域へ電力を供給する、275,000V送電線1本と77,000V送電線3本を支え

る重要な鉄塔である。本トンネルと鉄塔との近接度は、土かぶりが約15m、鉄塔基礎との離隔が15.6mであり、掘削に伴う影響が懸念された。

当該地の地質図を図-4に示す。地層は、砂層と薄いシルト層の互層からなり、右へ30°程度傾斜している。トンネル断面内に現れる砂層は、鉄塔の深礎基礎の支持面まで達しており、トンネル掘削時の砂層の崩落や流出が鉄塔基礎に影響を及ぼす可能性があった。

これらの状況を踏まえ、鉄塔の移設、鉄塔自体への補強、地盤改良の対策工の比較検討を行った。その結果、現地への適用性と経済性により、地盤改良を選定した。

地盤改良の目的は、流砂の発生を抑制するために砂の粘着力を高め、砂層の自立性の向上を図ることであった。これを踏まえ、薬液注入工法を選定し、試験注入を実施して注入仕様を決定した。また、薬液注入により改良ゾーンが形成され、このゾーンの損傷および地下水の浸透を防ぐため、ロックボルトは打設していない。本坑の支保パターンを図-5に示す。

地質層序表・凡例	
地質名	記号
粘性土・砂層	Mic
礫層	Micg
シルト層	Tyc
砂層・シルト層	Tys
シルト・砂互層	Tygs
礫層	Tyg
凝灰角礫岩類	Tygb
砂岩・礫岩・シルト層	Tyag
軽石質凝灰岩	Satb
礫岩層	Sacg

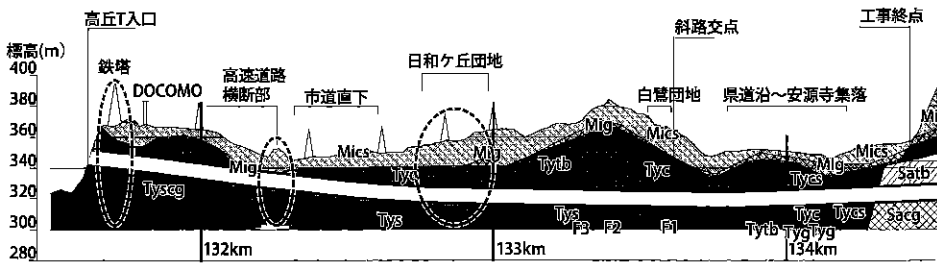


図-3 高丘トンネル地質縦断図

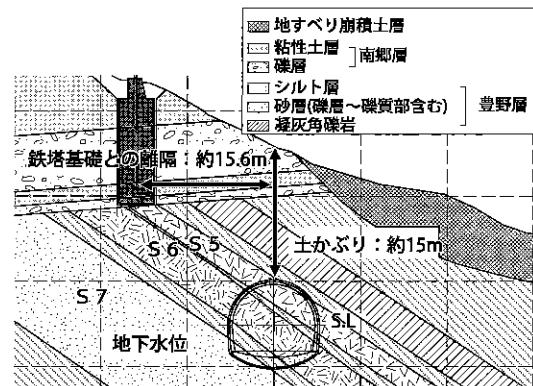


図-4 鉄塔部地質図

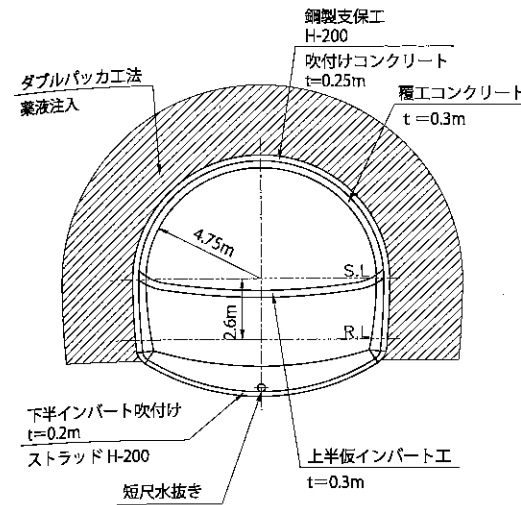


図-5 本坑支保パターン

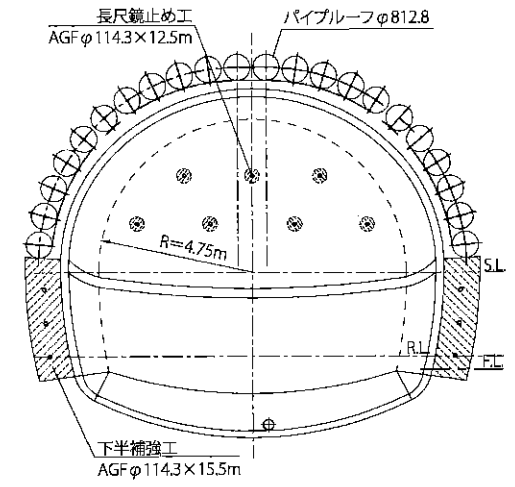


図-6 パイプルーフ+側壁改良図

施工の結果、鉄塔の変位は、鉄塔管理者との協議により定めた管理限界値42.0mmに対し、最大で2.4mmという結果であった。トンネル掘削による鉄塔への影響は最小限にとどめることができた。

3-1-4 高速道路直下の掘削

本トンネルは上信越自動車道と交差しており、交差延長は110mである。高速道交差部の土かぶりは約14mで、そのうち盛土部が約7m、地山部が約7mとなっている。実質的な土かぶりが約7mで1D未満であるため、トンネル掘削に伴う地山の緩みや沈下を抑制し、上信越自動車道への影響を防ぐことが課題であった。とくに、盛土部がトンネルへの作用荷重となることが懸念された。そのため地表面沈下抑制、高速道路路盤の陥没事故などを防止する観点および経済性を考慮して検討を行った結果、パイプルーフ工法を採用することとした。

道路管理者との協議により、沈下量の管理限界値を50mmとした。パイプルーフの設計にあたっては、2次元FEM解析により沈下量を予測した。上半180°配置で予測値43mm(パイプルーフ施工時16mm+掘削時27mm)となり、管理限界値に収まることから、このパターンを選定した。

施工の結果、予測値16mmを超える19mmの沈下を観測した箇所があった。追加地質調査により、当初想定していなかった帯水砂層および軟弱粘性土

が確認された。これらの存在により、地表面沈下の増加や下半側壁部分の塑性変形および支持力不足によるパイプルーフのとも下がり懸念されたため、パイプルーフ脚部のゾーン改良を行うこととした。

掘削前の変形抑制が必要であったため、側壁先行改良工法を採用した。具体的には、当該区間直前の下半掘削時に、前方に向けてAGF鋼管を打設し、注入材(シリカレジン)を注入した。パイプルーフおよび側壁先行改良を実施した断面図を図-6に示す。施工の結果、管理限界値を超過することなく、無事掘削することができた。

3-1-5 家屋密集地直下における掘削

本トンネルは、住宅の密集する日和ヶ丘団地と約220m間にわたり交差する。土かぶりは2D前後である。家屋に有害な不同沈下を生じないよう、本工区のこれまでの施工実績にもとづき、地表面沈下量の管理限界値を50mmとした。

当該区間の掘削パターンを図-7に示す。まず補助工法として、注入式AGFを選定した。また、鏡止め工についても、自立性確保と掘削による地表面の先行変位抑制を目的とし、同様に注入式AGFを選定した。地山特性として、脚部沈下の抑制が地表面沈下抑制に効果的であることから、側壁先行改良を実施した。掘削中も、各段階で早期閉合を図るため、上半掘削ごとに上半盤吹付け

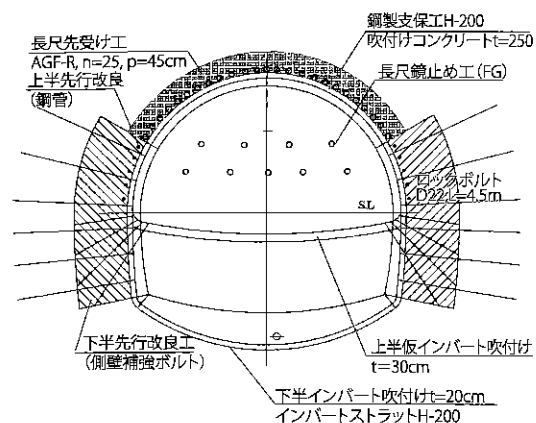


図-7 日和ヶ丘団地付近の掘削パターン

による仮閉合、インバート掘削ごとにストラット付きインバート吹付けを実施した。

施工の結果、地表面沈下量は最大で15mmで、管理限界値に対して十分に小さい値で無事掘削を完了することができた。

3-2 飯山トンネル

3-2-1 概要

飯山トンネルは、長野県飯山市と新潟県上越市を結ぶ延長22,251mの山岳トンネルである。その長さは北陸新幹線最長で、国内では第4位となる。1998(平成10)年6月に着手し、2007(平成19)年12月に全貫通した。以降で述べる技術開発が評価され、2008(平成20)年度の土木学会技術賞を受賞している。

飯山トンネルルート of 北東30km付近には、建設時において大きな膨張性土圧や可燃性ガスに悩まされた北越北線(ほくほく線)の鍋立山トンネル

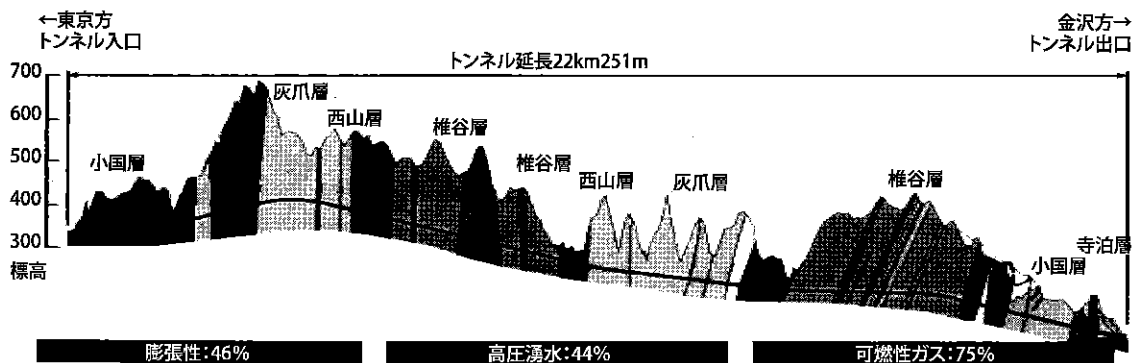


図-8 飯山トンネル地質縦断面

が位置し、地形・地質が類似しているため、同様な現象の発生が懸念された。事前に調査坑9か所で種々の計測および試験を実施した結果、一部の地山において30cmの内空変位が計測され、さらに湧水帯および可燃性ガスも確認された。

3-2-2 地質

地質は、下位より新第三紀の寺泊層、椎谷層、西山層、灰爪層、第四紀の小国層および新規火山噴出物などから構成されている。寺泊層は火山砕屑岩主体であり、椎谷層、西山層は泥岩主体、灰爪層は砂岩、礫岩、凝灰岩の互層、小国層は砂礫主体の地質となっている。

図-8の地質縦断面に示すとおり、膨張性地山間が全体の46%を占め、高圧湧水間が全体の44%、可燃性ガス湧出区間が75%ときわめて施工難度の高い特殊地山であった。

3-2-3 膨張性地山を克服する多重支保工

掘削当初、膨張性地山に対し、ショートベンチカット工法などを採用し、地山の変化により早期閉合およびロックボルトの増し打ちなどの補強工併用の山岳工法で掘削した。

しかし写真-2のように、膨張性土圧によるトンネル断面の縮小が徐々に激しくなり、鋼製支保工の座屈・破断や吹付けコンクリートの圧壊が発生し、再掘削(縫返し)を余儀なくされた。

一般に、縫返し後の内空変位量は、当初掘削時に比べ小さくなることを確認されていることに着目し、縫返し時と類似の効果を期待し、かつ、施工の手戻りとならない工法として多重支保工法



写真-2 支保工変状状況

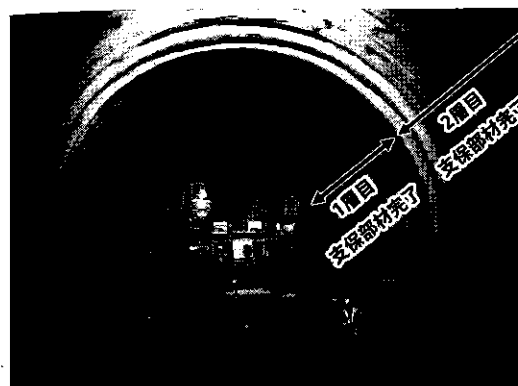


写真-3 多重支保工法

(写真-3)を開発・採用した。

多重支保工法は、初期坑壁の変位量をあらかじめ見越し、切羽で変位余裕量を取込んで、1層目の支保工を設置し、支保部材に初期地山応力を変位として一部開放させ、その内側に適切な時期に2層目の支保部材を設置することで変位を制御する工法である。図-9に示すとおり、従来工法では切羽が500m離れても収束傾向がみられなかったが、多重支保工法では、早期収束・変位の大幅低減が可能となった。

膨圧に対抗するため、さらに大きな鋼製支保工を用いた場合、支保重量が重くなり通常の施工機械では対応できず、特殊な施工機械が必要になる。また、機械の入替えのため手待ちが生じるなど工程の問題に加え、特殊な機械・材料を用いるため経済的問題も発生する。しかし、多重支保工法では、通常の機械・材料で施工可能なため、経済的にも優れている。縫返しを行う場合に比較し、平均で工事費を85%以下に抑えることができた。

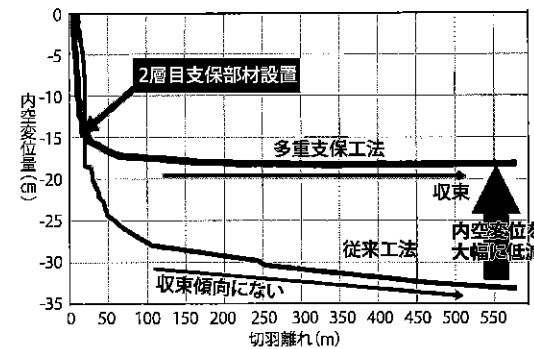


図-9 内空変位量



写真-4 ボーリングからの湧水状況

3-2-4 高圧帯水層における切羽管理技術

飯山トンネルでは、写真-4のように最大湧水圧1.5MPaときわめて高い湧水圧をもった帯水層が偏在しており、長尺の水抜きボーリングで地下水を低下させながら掘削してきた。しかし、水抜きボーリングが高圧湧水帯や偏在する帯水層を捉えることができず、十分な水抜きができなかった場合には切羽の安定を確保することが難しく、2003(平成15)年9月に上倉工区(151km086m付近)において、大規模なトンネル崩落事故が発生した。

これは崩落事故としては過去最大規模(土かぶり約190m、流出土砂約26,000m³)となった。地表面が陥没したうえ、流出土砂は掘削切羽から1,234m後方まで流出し、切羽後方約550m付近のセントルが受け台となり全重機25種類および流出土砂がこの付近に堆積した(写真-5)。

このため、崩落以降は、固結度の低い砂岩層が分布するなど帯水層が偏在する可能性の高い地山に対し、従来の長尺ボーリング(200m級)に加え

て、中尺ボーリング(100m級)および短尺ボーリング(15m級)を組合せ(図-10)、切羽崩壊の要因となる地下水を把握する管理手法を採用し、無事、残りの掘削を終了した。

長尺・中尺ボーリングで帯水層が確認された場合には、トンネル掘削の是非を判断するために、口元で湧水量、湧水圧を測定した。この測定結果をもとに、切羽前方の土塊をカバーロックとみなし、土塊に作用する水圧と水圧に抵抗する土塊(幅×高さ×奥行)の抵抗力のバランスを考慮して管理基準値を定めた。土塊の抵抗力が大きい場合はトンネル掘削を実施し、抵抗力が小さい場合は、

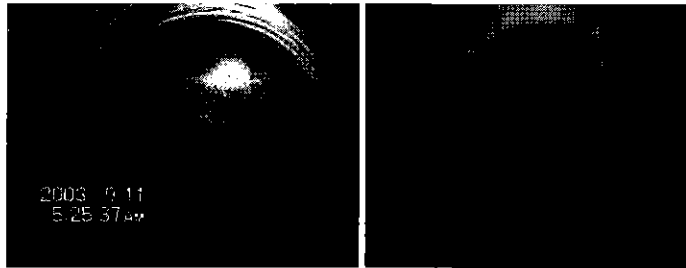


写真-5 上倉工区で発生した崩落事故

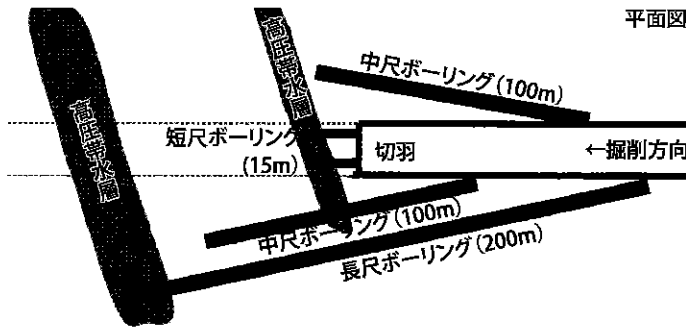


図-10 ボーリングの組合せ状況

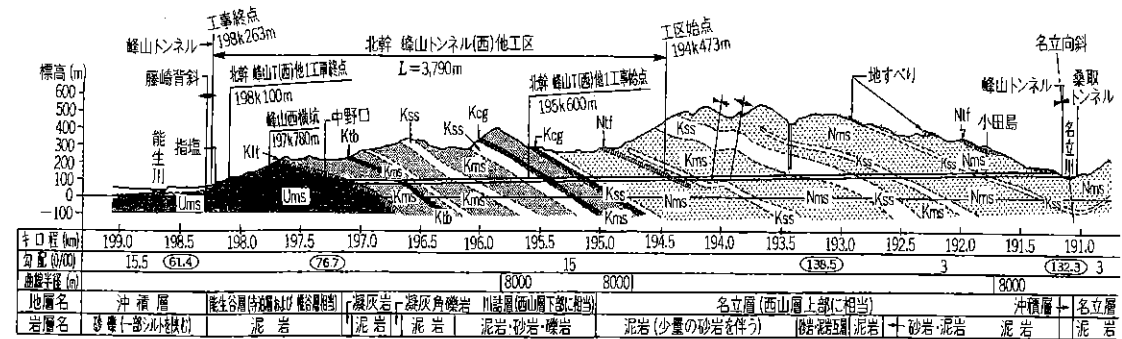


図-11 峰山トンネル地質縦断面図

湧水圧が低下し土塊の抵抗力が大きくなるまで、十分な水抜きを行った。

短尺ボーリングでも湧水量、湧水圧を測定し、『鉄道構造物等設計標準 都市部山岳工法トンネル』を参考に、測定当初においては湧水圧0.1MPaを管理基準値として設定した。長尺の水抜きボーリングでは低下させることのできない局所的な地下水を短尺ボーリングで捕え、安定的な掘削作業に貢献することができた。

3-3 峰山トンネル

3-3-1 概要

峰山トンネルは、新潟県上越市と糸魚川市を結ぶ延長7,035mの山岳トンネルである。2001(平成13)年に着手し、2005(平成17)年の7月に貫通した。

本トンネルでは、比較的地山が安定していることが事前調査により把握できたため、高速掘進を実施した。この結果が評価され2005(平成17)年度の土木学会技術開発賞を受賞している。

3-3-2 地質

当工区の地質は、新第三紀中新世～鮮新世初期の能生谷層、鮮新世の川詰層および名立層からなり、発達した同斜構造を成す(図-11)。

能生谷層は泥岩を主体とし、一部、凝灰岩の挟在箇所もある。川詰層は砂岩の卓越する地層、礫岩の卓越する地層、泥岩を主体とする地層に区分され、ほかに凝灰角礫岩や凝灰岩の分布が見

られる。名立層は泥岩を主体とする地層で、細粒砂岩の卓越する地層を挟む。

3-3-3 高速掘進

高速掘進は、表-2に示す新たに開発した要素技術により構成される。

(1) 初期高強度吹付けコンクリート

従来の吹付けコンクリートは、強度発現に3時間を要していたが、さらに若材齢における強度発現を目的として、高強度化混和材の開発や、急結剤を含めた配合の検討を行った。その結果、10分

で3N/mm²以上の強度を発現することができた。また、28日強度についても従来の約2倍の強度を発現した。強度を比較したグラフを図-12に示す。

(2) 新支保パターン

従来の鋼製支保工を用いた標準的支保パターンと、新支保パターンの構成を図-13に示す。新支保パターンは、前項で述べた初期高強度吹付けコンクリート(以下「高強度吹付け」)とロックボルトによる支保構造であり、鋼製支保工を省略している。掘削サイクルタイムの短縮を実現すべく、

表-2 高速掘進技術の構成

技術区分	要素技術	技術内容
材料	初期高強度吹付けコンクリート	吹付け直後に硬化し支保効果を発揮する吹付けコンクリート材料。10分で3N/mm ² の強度発現。
設計	鋼製支保工を省略した新支保パターン	初期高強度吹付けコンクリートの早期支保効果により、軟岩地山の支保部材として標準的に用いられている鋼製支保工を省略。
施工法	大型自由断面掘削機(350kW級ロードヘッド)(写真-6)	従来の国内最大級300kW級自由断面掘削機の切削能力と切削範囲を大きく超える掘削機。
	掘削自動制御システム	自由断面掘削機の位置、姿勢を後方の追尾装置で測定し、それをもとに切削ドラムが設計断面から外れないように制御するシステム。
	掘削・積込み同時掘削施工法(写真-7)	サイクルタイムを短縮するために掘削とずり積込みの同時作業を行う掘削施工法。
	エアカーテン式換気システム(写真-8)	送気管の先端に特殊風管を設置しエアカーテンを形成させるとともに集塵機の吸気口を極力切羽に近づけることにより、高速地山掘削時に顕著となる粉じんの後方への拡散を抑制。



写真-6 大型自由断面掘削機

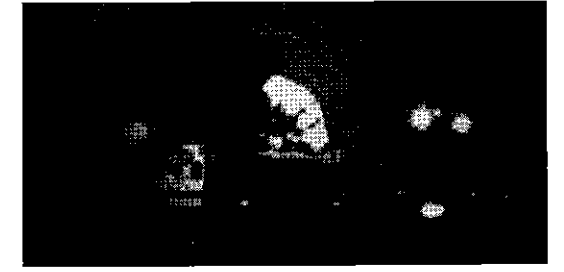


写真-7 掘削・積込み同時掘削施工状況



写真-8 エアカーテン式換気システム

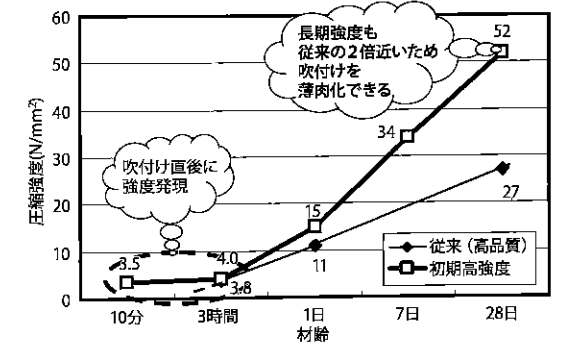


図-12 吹付けコンクリートの強度比較

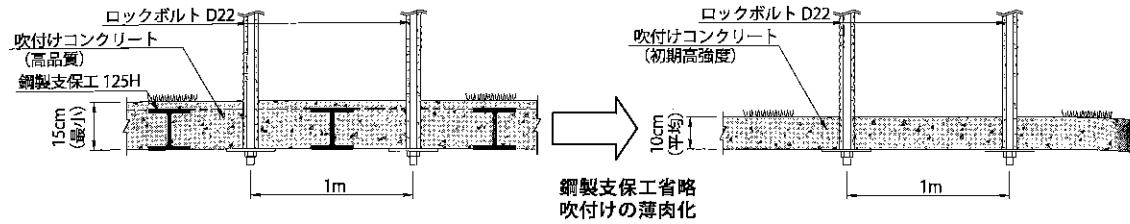


図-13 従来と新支保パターンと比較

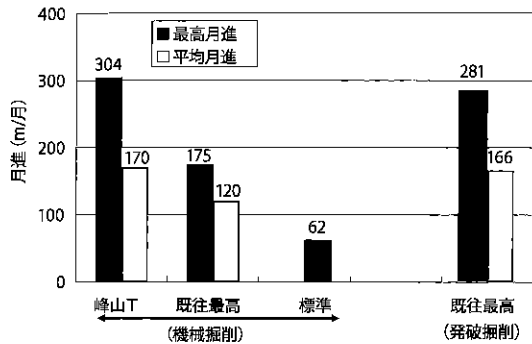


図-14 峰山トンネル西工区 月進実績

初期に鋼製支保工が担う支保機能を高強度吹付けに担わせる考え方である。また、高強度吹付けの長期強度が優れていることから、従来に比べて薄肉化(15cm→10cm)を図り、掘削断面積の減少および吹付け量の減少を実現した。

(3) 施工方法の改良

前述の「施工法」に関連する写真を写真-6~8に示す。

(4) 高速掘進施工実績

当時のトンネル掘削月進記録は、機械掘削で175m、他工法も含めた記録は281m(発破掘削)であったが、当工区において2003(平成15)年3月に304mの月進を達成した。また、新支保パターン区間全体の平均月新も170mと優れたものであった。当工区の月進実績を図-14に示す。

4 おわりに

長野・金沢間のトンネル施工にあたっては、数々の難条件を克服し、安全かつ経済的な施工を行うため、学識経験者を含む技術委員会を設置し、適切な技術を導入するべく指導助言を頂いた。以下、委員会の経緯について記述する。

「飯山トンネル他特別委員会(委員長：足立紀尚・京都大学名誉教授)」では、飯山トンネル・高丘トンネル・高社山トンネルを対象とし、1998(平成10)年~2009(平成21)年までご指導をいただいた。

「小土被りトンネル施工技術員会(委員長：(故)田村武・京都大学教授)」では、枕野トンネル、第1魚津トンネル、第2魚津トンネル、上中島トンネル、新呉羽山トンネル、金山トンネルといった小土かぶりトンネルを対象とし、2005(平成17)年~2009(平成21)年までご指導をいただいた。

足立委員長をはじめ、委員会関係の皆様のおかげにわたるご協力のおかげで、無事開業を迎えることができました。改めて感謝、お礼申し上げます。

最後に、23年間の長きにわたり、北陸新幹線の工事にご理解と温かい応援をいただいた沿線住民の皆様、ならびに関係者の皆様へ、誌面を借りてお礼申し上げます。

本誌に掲載された北陸新幹線(長野・金沢間)に関する報文

著者	タイトル	対象トンネルおよび区間	巻号	頁	発行年月
大迫 哲ほか	膨圧層克服に自信を深めた飯山トンネル	飯山トンネル調査坑	Vol.19, No.6	15-24	1988. 6.
未永充弘ほか	耐久性に富む高強度吹付けコンクリートの施工	加越トンネル	Vol.22, No.12	15-23	1991.12.
光木 香ほか	北陸地方の新幹線工事いよいよ始まる	西石動信号場・金沢間	Vol.24, No.5	53-58	1993. 5.
森本持男ほか	日本海沿岸に延びる新幹線	糸魚川・魚津間	Vol.25, No.4	15-19	1994. 4.
佐川 博ほか	未固結・被圧帯水層を注入工法で突破	新倶利伽羅トンネル	Vol.27, No.11	7-14	1996.11.
釘宮純慈ほか	東頸城丘陵の新第三紀泥岩層をいかに貫くか	飯山トンネル調査坑	Vol.28, No.7	7-15	1997. 7.
東 博秋ほか	ため池の点在する地域を小土かぶり施工	新倶利伽羅トンネル西工区	Vol.29, No.8	19-27	1998. 8.
豊原正俊ほか	鋼製支保工の高耐力化と早期閉合で膨圧を克服	朝日トンネル東工区	Vol.29, No.12	7-17	1998.12.
早坂治敏ほか	断層破砕帯の湧水を新たな水抜き工で突破	新親不知トンネル西工区	Vol.30, No.11	7-15	1999.11.
光木 香ほか	北陸新幹線飯山トンネル地質調査最終報告	飯山トンネル	Vol.31, No.7	53-61	2000. 7.
北川修三ほか	二重支保工法で膨張性地山を克服	飯山トンネル富倉工区	Vol.31, No.11	7-16	2000.11.
宮崎電聖ほか	オーバーハング直下での坑口施工	青海トンネル	Vol.32, No.10	7-13	2001.10.
鈴木恒男ほか	長尺AGF工法で含水未固結地山を克服	飯山トンネル上倉工区	Vol.33, No.1	7-15	2002. 1.
豊原正俊ほか	長大トンネルのずり搬出に連続ベルコンを採用	朝日トンネル西工区	Vol.33, No.2	7-16	2002. 2.
平出廣和ほか	可燃性ガスを含む膨張性地山の施工	飯山トンネル新井工区	Vol.33, No.6	7-16	2002. 6.
竹津英二ほか	膨張性地山を多重支保工法で克服	飯山トンネル木成工区	Vol.34, No.8	7-13	2003. 8.
田中健一ほか	初期高強度吹付けを用いたNATM新支保パターン	峰山トンネル西工区	Vol.34, No.10	7-16	2003.10.
依田淳一ほか	火砕岩類の高圧湧水帯を水抜きボーリングで突破	高社山トンネル北工区	Vol.35, No.2	7-12	2004. 2.
綿貫正明ほか	地すべり地帯を1D以下の小土かぶりで貫く	上野トンネル	Vol.35, No.3	7-14	2004. 3.
依田淳一ほか	PASSによる小土かぶり・未固結地山への挑戦	高丘トンネル南工区	Vol.35, No.7	7-14	2004. 7.
依田淳一ほか	極小土かぶりにおける保護盛土を用いたトンネル掘削	高社山トンネル南工区	Vol.36, No.1	7-15	2005. 1.
矢部可彦ほか	小土かぶりの未固結地山を地盤改良併用の補助工法で施工	第1黒部トンネル	Vol.36, No.3	7-14	2005. 3.
中村 敦ほか	異常な膨圧現象が発生する擾乱帯を多重支保方式で突破	飯山トンネル(木成工区、板倉工区)	Vol.36, No.7	7-17	2005. 7.
依田淳一ほか	道路トンネル直下を計測管理により掘削	高丘トンネル北工区	Vol.36, No.8	7-18	2005. 8.
依田淳一ほか	多亀裂・褶曲を有する第四紀未固結シルト地山への挑戦	高丘トンネル南工区	Vol.36, No.11	7-16	2005.11.
萩原秀樹ほか	供用中の道路トンネル直上を斜め横断	高峰トンネル西工区	Vol.37, No.5	7-15	2006. 5.
依田淳一ほか	偏在する高圧帯水層中を切羽前方湧水圧調査による管理で掘削	飯山トンネル富倉工区	Vol.38, No.1	7-15	2007. 1.
田中健一ほか	地すべり地帯で小土かぶりのトンネルを掘る	新木浦トンネル	Vol.38, No.2	7-15	2007. 2.
久湊 豊ほか	未固結泥部を小土かぶりで掘る	第2魚津トンネル	Vol.38, No.3	15-22	2007. 3.
中村 敦ほか	膨張性地山での二次工の現状評価と設計手法の提案	飯山トンネル東菅沼工区	Vol.38, No.4	39-47	2007. 4.
依田淳一ほか	高速道路との交差点における対策工の選定と計測管理	高丘トンネル南工区	Vol.38, No.6	7-16	2007. 6.
中村 信ほか	新しい鋼管ロックボルト工法で泥岩地山の変形に挑む	峰山トンネル東工区	Vol.38, No.7	7-15	2007. 7.
中村 信ほか	河川下に小土かぶりのトンネルを掘る	高峰トンネル東工区	Vol.38, No.11	7-15	2007.11.
久湊 豊ほか	短時間高剛性吹付けコンクリートの施工試験	第2魚津トンネル	Vol.38, No.12	7-13	2007.12.
依田淳一ほか	飯山駅に近接する丘陵地を小土かぶりで斜め横断	長峯トンネル	Vol.39, No.3	7-14	2008. 3.
都築保男ほか	高水頭未固結砂岩層の大崩落とその克服	飯山トンネル(上倉工区・富倉工区)	Vol.39, No.8	7-14	2008. 8.
東 光秋ほか	糸魚川-静岡構造線に近い断層破砕帯を貫く	新親不知トンネル	Vol.39, No.9	7-14	2008. 9.
北野仙之ほか	小土かぶりで連続する河川・民家・道路直下の段丘を掘る	第2魚津トンネル	Vol.40, No.5	7-15	2009. 5.
松本浩司ほか	地盤改良などによる対策工で重要鉄塔直下を突破	高丘トンネル南工区	Vol.40, No.5	17-25	2009. 5.
古谷 聡ほか	トンネル掘削による近接営業線トンネルへの影響検討	新呉羽山トンネル	Vol.41, No.2	7-14	2010. 2.
梶田 寛ほか	地山改良工で最大土かぶり7mの水田丘陵地を掘削	魚津上中島トンネル	Vol.41, No.6	7-14	2010. 6.



歴史のロマンと美しい自然が息づく 国境の島

山 添 朋 弘

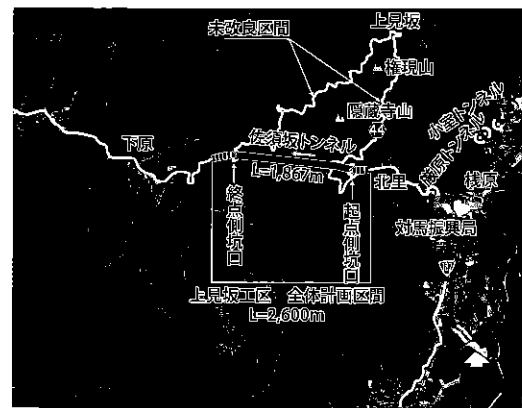
対馬は九州最北端、玄界灘に位置し、本土から130km、韓国まで50kmという国境の島である。対馬海流に洗われた海岸線は山がせまり急な斜面になって落ち込んだ断崖や磯の浜となっている。また、入り江が多く天然の良港となっており、めぐまれた漁場が近海に多くあるため、夜にはたくさんのイカ釣り船の灯りが海を照らす。

島は非常に細長く、南北82km、東西18km、面積は約710km²で、全国第10位の大きさである。

山林が島全体の89%を占める自然豊かな島であり、島の南側に位置する厳原町の竜良山と美津島町の白嶽には原始林が残り、国の天然記念物に指定されている。島の地形は標高200~300mの山々が海岸まで続き、場所によっては高さ100mの断崖絶壁もある。対馬の豊かな自然には、国の天然記念物のツシヤマメコをはじめ、対馬でしか見ることのできない生物や、朝鮮半島などの大陸系動植物(ツシマサンショウウオ、オウゴンオニユリなど)も多く生息している。

対馬は、日本の中で朝鮮半島にもっとも近いという地理的条件から、大陸からの文化を伝える日本の窓口であった。また、朝鮮半島の間では古くから貿易などの交流が盛んに行われてきた。現代でも交流は続いていて、街の中心部やスーパーなどあらゆる箇所韓国観光客を目にすることができる。

本工事は、対馬南部の東岸(厳原町中心部)と西岸



位置図



椎根の石屋根

(小茂田地区)を結ぶ、主要地方道棧原小茂田線上見坂工区(2.6km)における事業のうち、1,867mの佐須坂トンネルを施工する工事である。

トンネル起点側の厳原町は古くから対馬の中心地であり、鎌倉時代に宗氏(対馬島主、のちに対馬藩主)が城下町を形成した場所で、現在でも地域経済の中心となっている。一方、終点側の小茂田地区は、元寇(文永の役)の際に蒙古軍・高麗軍が襲来し、大きな被害を受けた場所である。

この歴史ある対馬南部の東西を結ぶ主要地方道棧原小茂田線は、日常生活はもとより物流を支える基幹施設としての重要な役割を担ってきた道路であるが、急峻な山間部を通過するため線形が悪く、急勾配が連続し、幅員も狭いため交通の難所となっていることから、早期の整備が望まれている。事業の完了で延長約8km、17分の時間短縮が図られ、救急医療、産業、観光などに大きく貢献するものと期待され、地元にとっての50年来の念願が叶うこととなる。

本トンネルは、仕上り断面で44m²である。地質は、全線にわたりホルンフェルスで、対馬独自の建築で石屋根に見られるような層状で平滑性を持った割れ目を形成する特徴があった。また断面に比べ長大トンネルであるため、施工の確実性や安全性を考慮して、ずり搬送には延伸ベルコンを採用した。2013年3月に掘削に着手し、2014年10月に無事貫通を迎えた。現在は、覆工・排水工を施工中であり、2015年12月の竣工にむけ、鋭意施工を進めているところである。(フジタ・田浦・三槻特定建設工事共同企業体現場代理人)

施工

観察・修正法を駆使して破碎質泥岩地山を掘る

—旭川十勝道路 北の峰トンネル—

北海道開発局旭川開発建設部富良野道路事務所工務課長 佐藤 秀 史

北海道開発局旭川開発建設部富良野道路事務所工務係長 齋藤 宏 樹

鹿島・三井住友・荒井特定建設工事共同企業体北の峰トンネル工事事務所所長 成 田 望

鹿島・三井住友・荒井特定建設工事共同企業体北の峰トンネル工事事務所 横 田 泰 宏

1 はじめに

旭川十勝道路は、旭川市から占冠村を結ぶ延長約120kmの地域高規格道路として計画されている。北海道縦貫自動車道および北海道横断自動車道と接続することで、北海道における広域交流ネットワークを形成し、当該地域の交通円滑化、地域間連携や広域的な人流・物流の活性化に寄与する路線である¹⁾。このうち、北の峰トンネル(仮称、以下省略)は、富良野道路(富良野市宇学田~富良野市宇上五区間8.3km)において計画されている延長2,928mのトンネルであり、2009(平成21)年度から工事に着手している(図-1)。

本トンネル周辺は、芦別岳に代表される夕張山地山麓の丘陵地で、広大な森林や豊富な地下水など豊かな自然環境が保たれている。そのため、地下水環境の保全を目的として止水注入工やウォータータイト構造を用いた施工が進められている²⁾。

一方、この地方は富良野断層帯の一部に属することから、起点側には断層活動の影響を強く受け、著しく破碎化された新第三紀泥岩

が広く分布していた。この破碎質泥岩の区間では、掘削に伴い大きな変位が発生したが、支保を迅速かつ適切にランクアップしたことで、現在まで安全に掘削を行うことができています。

既往の工事では、早期閉合によるトンネルの変形抑制効果に着目した事例は数多く見られるが、支保が負担する荷重の大きさはもちろんのこと、応力の分布形状や、おもに閉合までの間に各支保が効果を発揮するタイミングに着目して支保パターンを選定した事例や、妥当性を検証した事例は少ない。本稿では、おもに破碎質泥岩の掘削実績、支保パターンの選定経緯とその効果について取りまとめた。

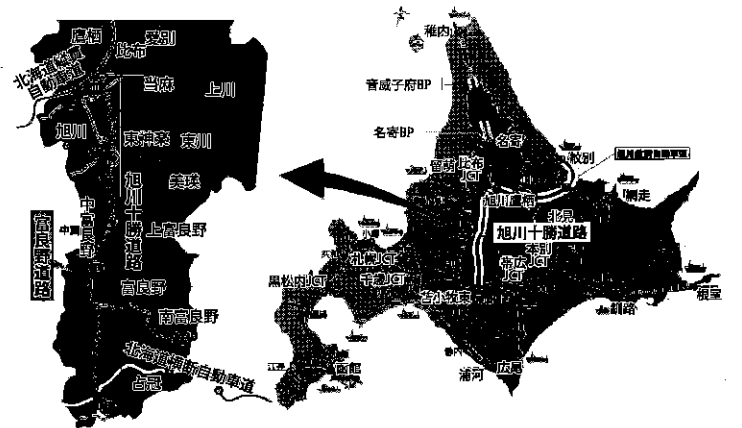


図-1 北の峰トンネル位置図

2 工事概要

発注者：北海道開発局旭川開発建設部

施工者：鹿島・三井住友・荒井建設工事共同企業体

全体工期：第1期工事：

2010年2月4日～2013年8月30日

第2期工事：

2013年8月14日～2016年12月25日

工事内容：トンネル延長2,928m

掘削工法：NATM

内空断面：標準断面 74.9m²

ウォータータイト断面 98.5m²

3 地形・地質

図-2は、トンネル周辺の活断層分布図にトンネル線形を加筆した図である³⁾。また、図-3は地質縦断面図である。

起点側は新第三系の黒色泥岩(Ts層)が主体となる予測であったが、切羽が起点側TD.400m付近から始まる小土かぶり部に近づくとともに、黒色泥岩の破碎化が進行し、脆弱な地山が分布した。その後も、切羽が進むにつれて破碎化の程度は悪化し、細片化した破碎質泥岩や粘土状を呈する破碎質泥岩(Tss層)が分布した。これらの破碎質泥岩区間では、大きな坑内変形が発生した。図-2のトンネル周辺の活断層分布からもわかるように、

起点側はトンネルの線形が中御料断層と平行することから、これまでのように破碎化が進行した泥岩が広く分布したものと考えられる。現在では、泥岩区間を抜け、溶結凝灰岩(Tk層)との境界付近を掘削中である。

一方の終点側は扇状地堆積物の土砂区間が想定以上に続いたのち、土砂状を呈するTk層の非溶結部が現れ、土砂区間が連続した。その後は、比較的硬質な溶結凝灰岩が分布したが、御料断層に近づくにつれ、多亀裂な岩盤から再び土砂状の地山へと変化した。



図-2 北の峰トンネル周辺の活断層

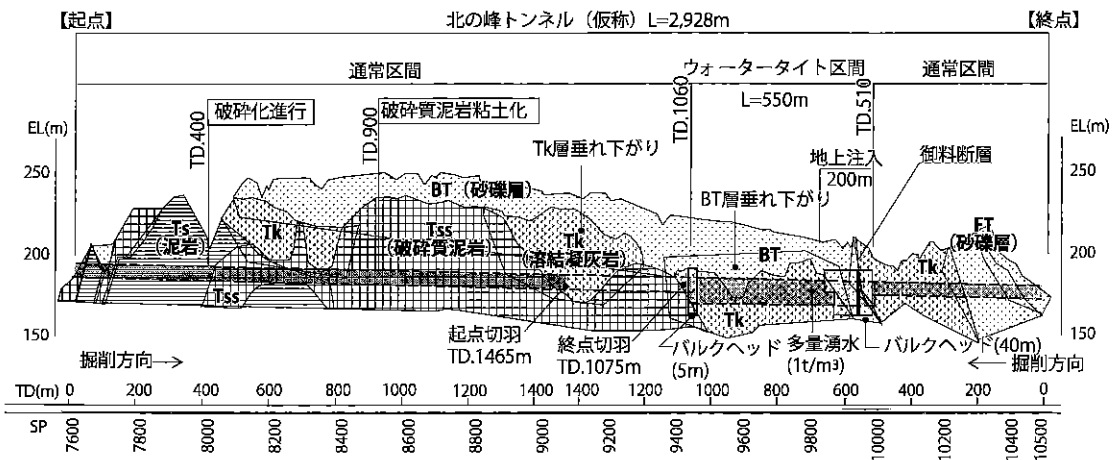


図-3 地質縦断面図とトンネル進捗(2015年1月現在)

御料断層以降は、土砂状の扇状地堆積物(BT層)が鏡全面を占め、その区間は約100m連続した。その後、切羽下部から溶結凝灰岩風化層(Tk-w層)へと変化し、現在では再び亀裂の卓越したTk層が分布している。

4 破碎質泥岩の掘削実績

4-1 破碎質泥岩の特徴と分布状況

起点側では、掘削開始から1.5D以下の小土かぶり区間が連続し、風化した泥岩層に崖錐堆積物が垂れ下がった脆弱な地質を呈したことから、当初設計どおり補助工法を用いて掘削を実施していた。その後は、先進ボーリング、切羽観察、既掘削部のA計測結果を総合的に判断しながら支保パターンを決定していた。

しかし、切羽がTD.400m付近の小土かぶり部(坑口パターン)に近づくとともに、黒色泥岩層の

破碎化が進行し、その後、岩質も変化して破碎質泥岩となった。破碎質泥岩はやや褐色を呈し、軟質であり、手で容易に細片化する。さらに、時間の経過とともに著しく劣化する特徴を有する(写真-1)。写真-2は、黒色泥岩から破碎質泥岩への推移状況である。軟質な破碎質泥岩は、次第に細片化し、TD.1,000m付近からは、著しく粘土化した泥岩へと変化した。

4-2 破碎質泥岩の力学的物性

掘削当初、本工事では先進ボーリングを行い、切羽前方の地質状況を評価するとともに、孔内水平載荷試験より得られた変形係数から支保パターンの選定やA計測の管理基準値を見直し、合理的な掘削を行ってきた。しかしながら、泥岩の破碎化や粘土化が進行するにつれて、A計測の管理基準値を超過する区間が連続するようになった。孔内水平載荷試験は、孔壁が安定していないと実施

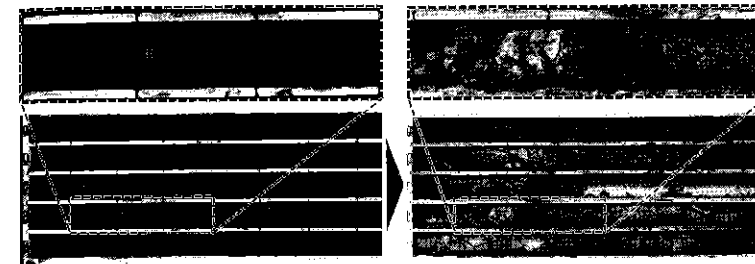


写真-1 岩石コアの変化(左：掘削直後、右：強度低下後)

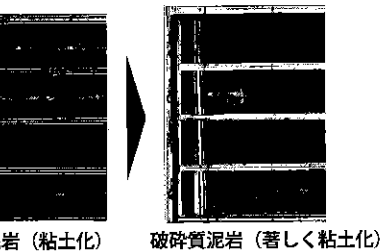
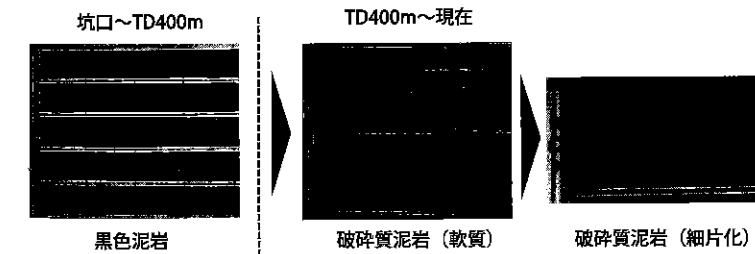


写真-2 破碎質泥岩の変化

できず、このような地質状況が極端に悪い地山の場合、試験位置より得られる変形係数はその地質における上限に近い値となり、適当な指標が得られない。そのため、切羽前方の全体的な地質状況を正しく評価することができず、適切な管理基準値や支保パターンを決定することも困難となった。

そこで、TD.865m以降においては、先進ボーリングで得られた岩石コアに10cm間隔で針貫入試験⁴⁾を行い、より信頼性の高い地山物性値を算出し、その値を用いて切羽前方の地質状況を評価することにした。ただし、これ以降に見られた破碎質泥岩は、ボーリングによる応力解放に伴い岩石コアが急速に細片化し、時間の経過による岩石強度の低下が顕著に見られた。そのため、コア採取直後に得ら

れた試験結果は、トンネル変位との相関を表すのに適当な指標ではないと考えた。

実際の掘削においても、切羽前方の地質が先行して緩み、掘削直後に応力解放され、さらに含水比の低下や乾燥の影響を受けて強度が低下し、トンネルの変形として現れた。北の峰トンネルでは、掘削の影響が坑内の沈下や変位に約4週間(切羽離れ2.0D)継続して見られ、岩石コアも強度低下を示した。

約2週間後の強度が、この間の平均的な値を示すことから、コアについても約2週間後に針貫入試験を実施し、その結果をもとに管理基準値を再設定し、支保パターン選定にも活用することとした。

図-4は、トンネル位置と針貫入試験による推定準岩盤圧縮強度との関係図である。同図に併記し

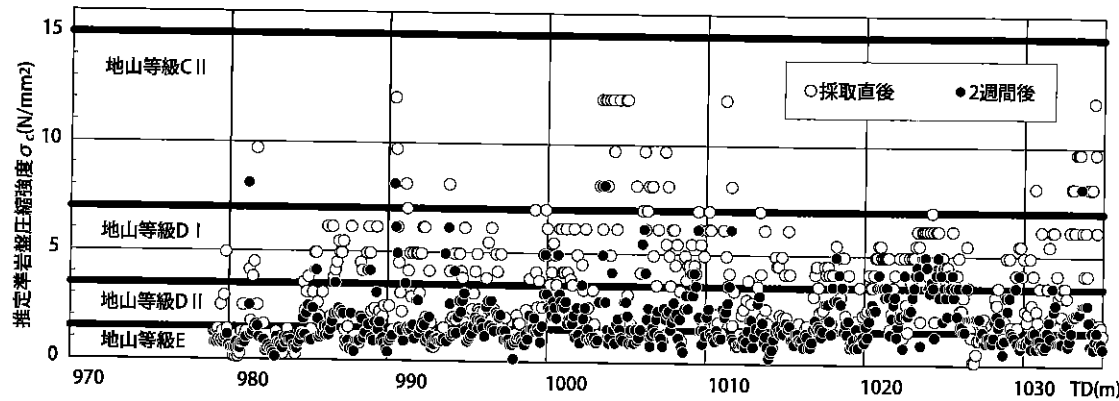


図-4 針貫入試験から推定した準岩盤圧縮強度

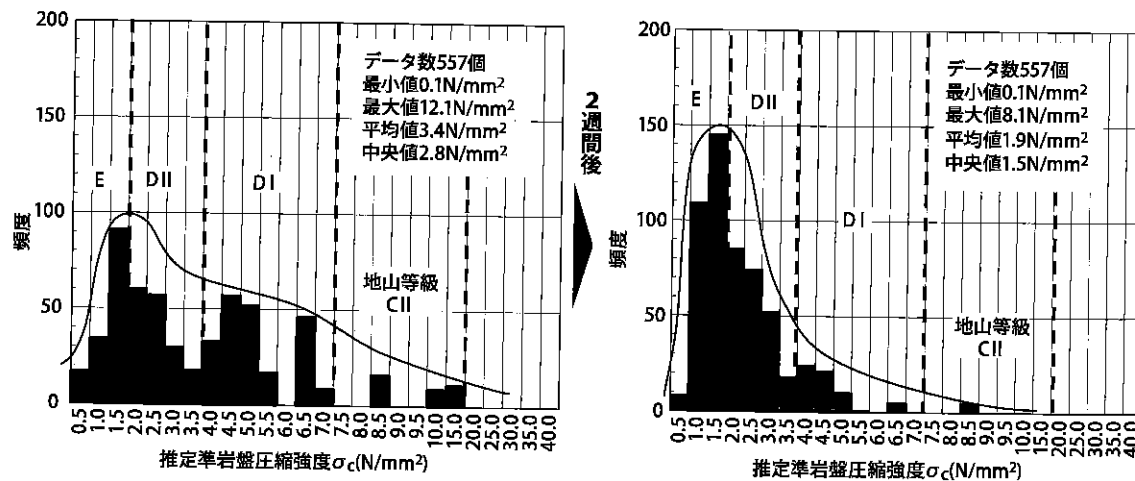


図-5 推定準岩盤圧縮強度の推移

た地山等級は、北海道開発局の地山分類表⁹⁾を引用した。また、図-5は、針貫入試験から得られた推定準岩盤圧縮強度のヒストグラムを掘削直後と2週間後で比較した結果である。これらの結果を見ると、ボーリング採取直後の測定では、1.0~5.0MPa(中央値2.8MPa)のおおむね地山等級DI, DII, Eに相当する値が多く、5.0~10.0MPaの箇所も少量存在した。一方で、2週間後の測定では、0.5~2.5MPa(中央値1.5MPa)の地山等級Eに相当する値が多くなり、5.0MPa以上の箇所はほとんど見られなくなった。

この破碎質泥岩区間では、6m高耐力ロックボルトや高強度吹付けコンクリート、サイドパイルなどDIIパターンより上位の特殊な支保(以下「Eパターン」)が必要であったことから、強度低下を考慮した針貫入試験より得られた地山等級と支保

実績は整合性があつたことがわかる。

本試験は、前方地山の力学物性を全線にわたって評価できるだけでなく、孔内水平載荷試験や一軸圧縮試験が行えないような軟弱地山の力学特性を評価するのに非常に有効な評価手法であった。また、先進ボーリングは、切羽前方の地山を直接観察できるだけでなく、今回のように試験を行うことで地山物性を確実に把握でき、その後の支保選定に活用できることから有効な調査手法であつ

たことは明らかである。

4-3 実施支保パターンと計測結果

掘削方法と実施支保パターンを表-1に示す。本節では、早期閉合法の変形抑制効果、インバート半径の変更によるトンネルの安定性向上効果、切羽位置におけるサイドパイル工の補強効果について取りまとめる。

4-3-1 計測結果と各種対策工の効果

図-6は、起点側のA計測結果である。TD.900m

表-1 代表的な実施支保パターン

パターン名	E11	E12, E13	E14(1)	E14(2), (3)
略 図				
区 間	TD.911-976	TD.976-1,042	TD.1,042-1,195	TD.1,195(現在)
掘削工法	上半先進	ミニベンチ早期閉合 インバート半径≒3R	ミニベンチ早期閉合 インバート半径≒1.5R	ミニベンチ早期閉合 インバート半径≒1.5R サイドパイル工: E14(3)は4本
閉合距離	5.0D以上	≒0.5D	≒0.5~0.75D	≒0.5~0.75D
鋼製支保工	H-200ウィングリブ付き	H-200	H-200	H-200
閉合方法	上半ストラット仮閉合 下半吹付け仮閉合	下半ストラット閉合	インバートストラット閉合	インバートストラット閉合
ロックボルト	高耐力6m 上半15本, 下半4本	高耐力6m 上半15本, 下半4本	高耐力6m 上半8本, 下半4本	高耐力6m 上半8本, 下半4本
吹付け コンクリート	25cm	25cm E13のみ高強度	高強度25cm	高強度25cm

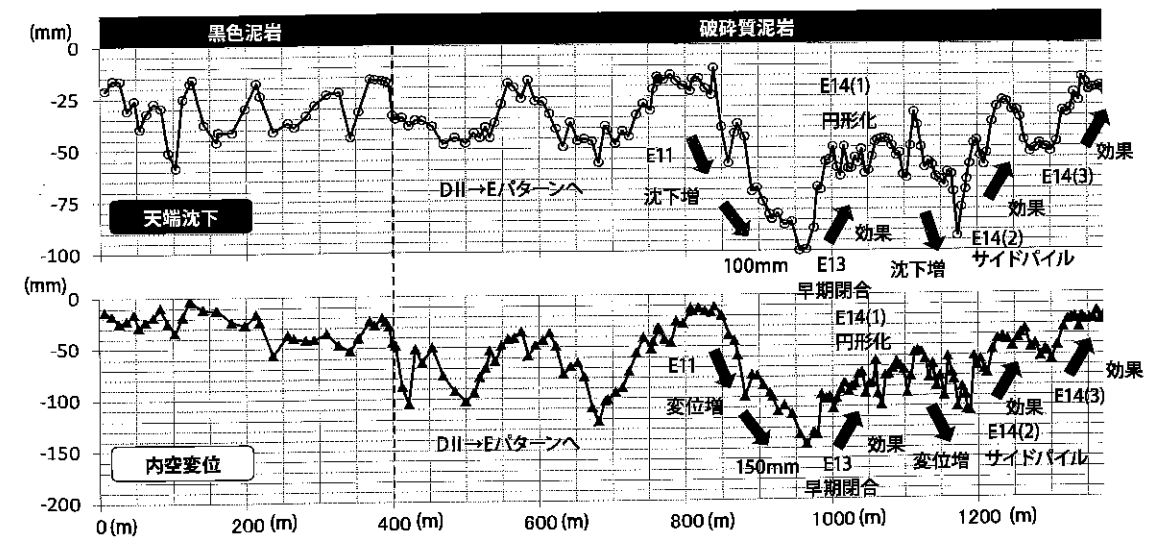


図-6 A計測結果の推移

付近では、E11パターン(H-200, 高強度吹付けコンクリート, 高耐力ロックボルト, 上下半インバートストラット閉合)を採用したが、天端沈下・内空変位ともに管理レベルを大きく超過した。そこで、ミニベンチ工法を採用し、早期に閉合を行うE13パターンに変更した。その結果、天端沈下で約40%、内空変位で約35%の抑制効果が見られた。しかしながら、それでも限界ひずみ⁹⁾から求まる管理レベル以内に抑制することは困難であった。

また、支保パターンの妥当性を検証するために設置したB計測結果(鋼製支保工軸力・曲げ・せん断, 吹付けコンクリート応力, ロックボルト軸力, 地中変位)を見ても、インバート部の鋼製支保工軸力が許容値を大きく超過していることが確認された(図-7左参照)。そこで、過剰に発生した鋼製支保工軸力を緩和するため、E14(1)パターンとして、インバート半径を変更し、トンネル断面を円形に近づけることで、トンネル構造をより安定させることを試みた。

その結果、図-7右を見ると、インバート部で過剰に発生していた軸力の最大値が顕著に抑制され、トンネル全周にわたって均等に荷重が分担されることが確認できた。これらの沈下や変位が卓越した区間においては、長期間の地山劣化による本インバートの変状事例もあるため、覆工の仕様を検討するとともに、吹付けコンクリートやインバートの計測・観察を強化し、経時的にトンネルの安定性に問題がないことを確認している。

E14(1)パターンへの変更後は、天端沈下と内空変位にも、徐々にパターン変更の効果が見られ始め、管理レベル以内を示す傾向が確認された。しかしながら、再び地質状況が悪化したことに伴ってTD.1,150m以降で天端沈下が80mm程度発生し、さらにTD.1,200mに近づくと、内空変位も100mm近い変位が発生した。

下半施工までの初期変位とインバート閉合後の計測結果に着目すると、天端沈下では1.0m掘削

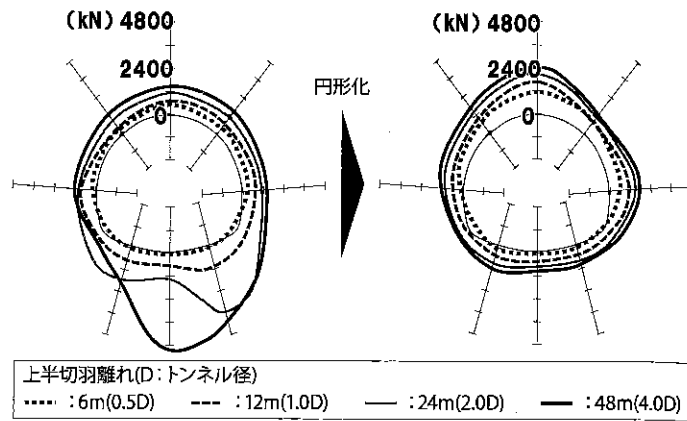


図-7 インバート形状変更前後の鋼製支保工軸力

あたり最大14.6mm(脚部沈下では最大30.7mm)、内空変位でも44.3mmと大きな初期変位が発生した一方で、インバート閉合を行えば、安定した支保構造となるため、沈下および変位は収束傾向を示していた。そこで、閉合を完了するまでに天端沈下と内空変位の両者の初期変位を抑制できる工法として、①緩み領域外へ地山の荷重分散、②トンネル側部・脚部周辺地山のせん断補強、③引張耐力による内圧効果などを期待できるサイドパイル工を採用した(E14(2)および(3)パターン)。

図-8は、サイドパイル工の施工図面である。サイドパイルにはAGF鋼管を用い、注入材にはシリカレジンをを用いた。破碎質泥岩のように強度が短時間で低下する地山に対しては、できるだけ早期に緩みを抑えることが重要と考え、サイドパイルを切羽直近、前方に向けて打設した。また、緩みと沈下、内空変位を抑制するためには、サイドパイルの先端が緩み範囲外へ入っていることが重要と考え、地中変位計測結果にもとづき、従来のサイドパイルの標準よりも長いサイドパイルを使用した。

さらに、沈下抑制に寄与するよう、サイドパイルの頭部は、鋼製プレートを用いて鋼製支保工と連結し、荷重を伝達できるよう工夫した(写真-3)。また、地山側のフランジに鋼製プレートを設置することで、サイドパイルの頭部を高強度吹付けコンクリートで固定できるため、沈下および内空変位の抑制効果が高まることも期待した。

図-9は、天端沈下量と内空変位量の平均値をサイドパイル採用前後において比較した結果である。サイドパイル採用後は、天端沈下と内空変位のどちらも抑制され、その打設本数の増加に伴い、抑制効果もさらに増加することが確認できた。結果として、破碎化が進行し、かつ応力解放の影響を受けて軟弱化しやすい地質に対して、サイドパイル工を採用することにより、管理レベル以内に変形を抑制しながら安全な掘削を行うことができた。

図-10は、サイドパイル工の効果検証を目的として実施したB計測結果である。サイドパイルの軸力計測結果を見ると、上半切羽がわずかに0.25D進んだ段階で、ロックボルト(最大200kN程度)を大きく上回る軸力が作用した。軸力が著しく発生

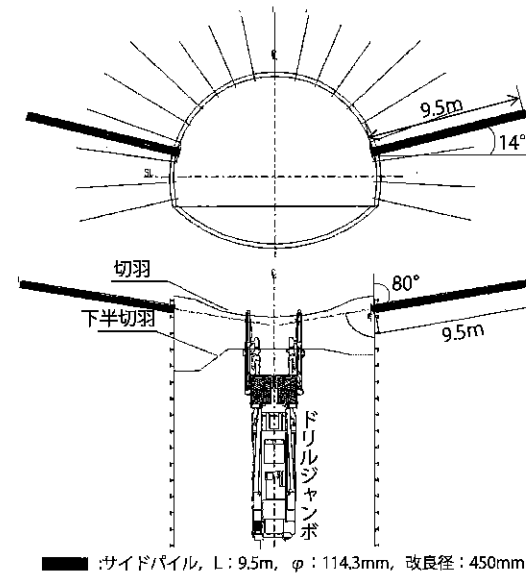


図-8 サイドパイル施工図面

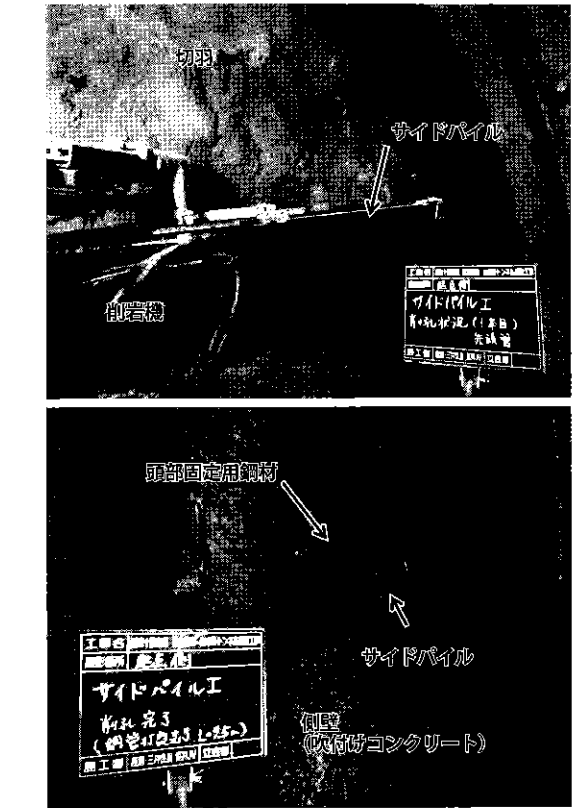
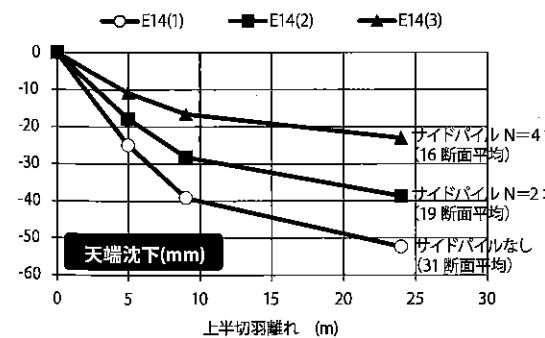


写真-3 サイドパイル施工状況(上: 打設状況, 下: 打設完了)

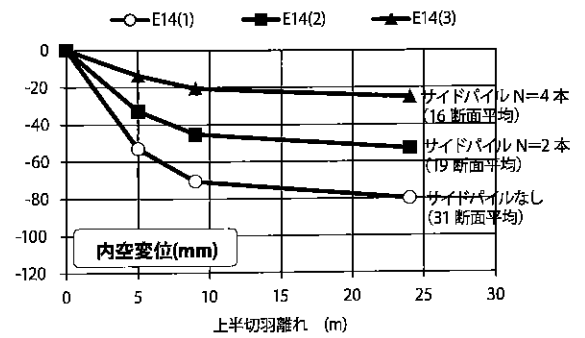
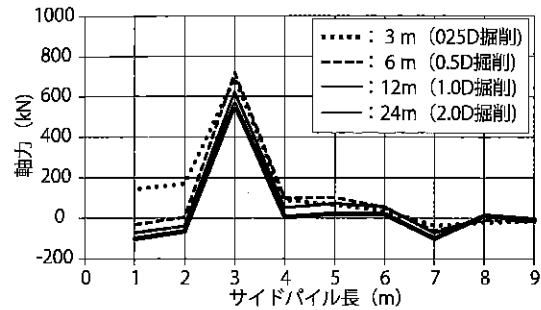
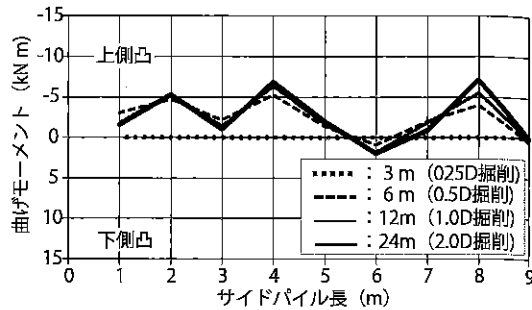


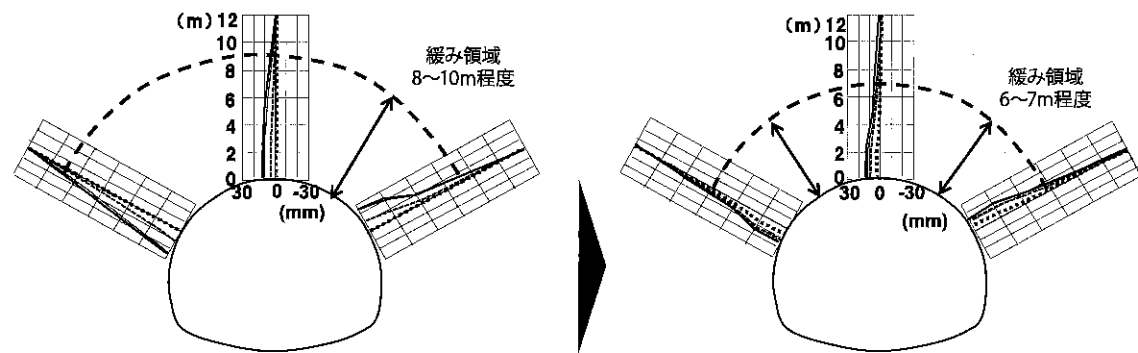
図-9 サイドパイルの効果(A計測結果)



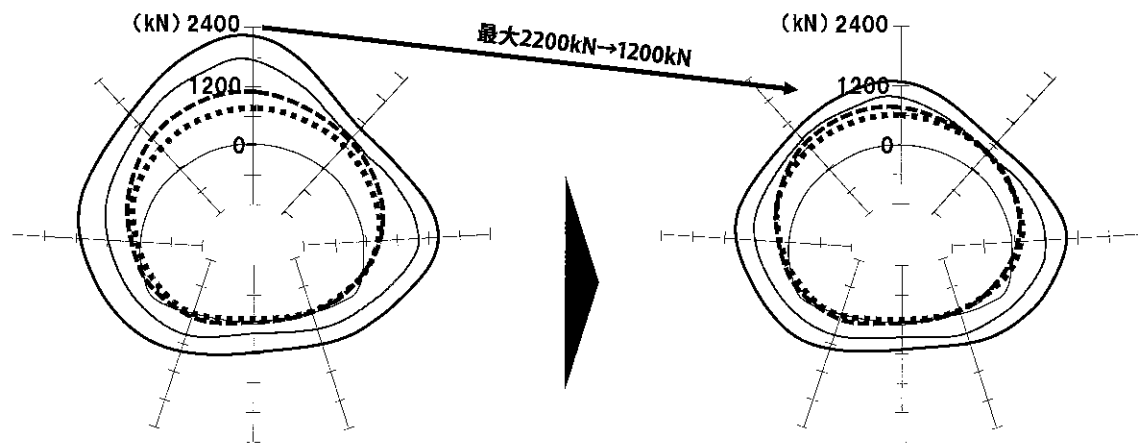
(1) サイドパイル軸力



(2) サイドパイル曲げモーメント



(3) 地中変位計(左:サイドパイルなし, 右:サイドパイルあり)



(4) 鋼製支保工軸力(左:サイドパイルなし, 右:サイドパイルあり)

図-10 サイドパイルの効果(B計測結果)

合は、この領域が6～7m程度に抑制されている。また、0.25D掘削した段階では、緩み領域は3～4m程度であり、サイドパイルに発生した軸力の範囲と整合している。さらに、緩み領域の減少に伴い、鋼製支保工が負担する最大荷重も約50%軽

減されたことから、サイドパイル工の効果の高さを確認することができた。

これまでのB計測結果からも、破碎質泥岩を対象とした切羽では、ロックボルトが掘削初期の応力解放を抑制するように働き、荷重を早期に負担

することが確認されていた。サイドパイル工は、ロックボルトの補強効果以上に掘削初期の荷重を分担し、応力解放の抑制に寄与したものと考察できる。

サイドパイル工の補強メカニズムは、引張耐力による内圧効果が大きく、とくにその打設方向から内空変位の抑制に直接的に貢献したと考えている。天端沈下に関しては、頭部固定用鋼材による鋼製支保工への荷重の伝達、緩み領域外へパイルを打設することによる荷重分散効果、また掘削初期の応力解放が顕著に抑制されたことによる間接的な沈下の抑制など複数の要因が挙げられる。

5 おわりに

近年、早期閉合法を採用し、沈下や変位を抑制した事例は数多く報告されている。一方で、北の峰トンネルで見られた岩盤強度が低く、著しく緩みを生じやすい地山に対しては、単に早期閉合を行うだけでは、閉合するまでの間に過剰な初期変位を許したり、変位は抑えられても後荷を背負い鋼製支保工や吹付けコンクリートに変状が生じたりすることが危惧される。そのため、このような地山を掘削する際には、注意深く地山の評価を行い、支保パターンを選定し、その妥当性を検証しながら掘削を進めていくことが重要である。

本トンネルでは、このような懸念事項に対し、先進ボーリングのコアを対象に強度低下を考慮した針貫入試験を実施し、管理基準値の修正や支保パターンの選定に活用した。トンネル変状が進行し、B計測結果からインパートへの荷重集中が確認された場合には、トンネル形状を円形に近づけることで、インパートに偏っていた荷重を分散し、均一化することができた。

さらに変状が進行した際には、閉合前に発生する沈下および変位を軽減するため、サイドパイルを切羽位置で打設し、掘削初期の緩みの影響を顕著に抑制することができた。加えて、サイドパイルだけが支保荷重を負担するのではなく、高強度吹付けや高耐力ロックボルトにもうまく分担され全体で緩みや変位を抑制することも計測より確認することができている。これらの変更した支保パターンの妥当性についても、A計測結果やB計測結果により検証を行いながら、掘削を進めることができた。

その結果、切羽崩落による災害や大規模な支保工の変状などはなく、現在までのところ安全な掘削を行うことができています。今後もこれまでと同様に、坑内観察や計測結果を総合的に判断しながら、安全・確実に工事を進めていきたい。今後、本稿が同種の地質におけるトンネル工事の一助になれば幸いです。

参考文献

- 1) 小林暁・柏谷光晴・千葉哲也：帯水層における非排水構造トンネルの施工について、非排水構造の施工中間報告、第56回北海道開発技術研究発表会、2013。
- 2) 坂巻俊次・柏谷光晴・齋藤宏樹・伊達健介・成田望：地下水環境保全を目的とした非排水構造トンネルの地上注入工と掘削工、トンネル工学報告集、Vol.23, 1-28, pp.189-196, 2013.11。
- 3) 活断層研究会：「新編」日本の活断層、東京大学出版会、pp.73-76, 1991。
- 4) 土木学会：軟岩の調査・試験の指針(案)、pp.56-60, 1991。
- 5) 北海道開発局：道路設計要領、第4集トンネル、pp.4-2-4-27。
- 6) 桜井春輔：NATMにおける現場計測と管理基準値、土と基礎、Vol.34, No.2, pp.5-10, 1986。

建設工事の地質診断と処方

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

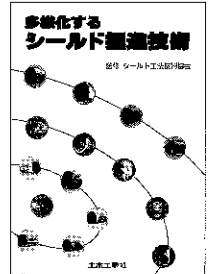
株式会社 **土木工学社**

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

土木情報 No.503

今月の主な入札結果
(3月10日～4月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
関東地整	東京国際空港構内道路立体交差部函渠拡幅及び地盤改良等(その2)	大本組	245
中部地整	H26 19号鳥居T補修	吉川建設	227
鉄道・運輸機構	北海道新幹線、後志T(落合)他	大成・佐藤・田中・堀松JV	9,493.6
"	北陸新幹線、新北陸T(清水)他	清水・東急・坂川JV	5,377.6
"	" 脇本T他	東急・東鉄・小倉JV	4,431.4
"	" 武生T他	鉄建・五洋・田中JV	6,250.8
日本下水道事業団	広島市宇品雨水8号幹線建設	戸田・沼田JV	1,532
東日本高速道路	磐越道会津坂下～西会津間T補修	大林組	381
首都高速道路	(負)高速横浜環状北西線シールドT(港北行)	大成・佐藤・東洋JV	35,210
阪神高速道路	T覆工コンクリート補強(26-北)	新井組	624
都・下水道局	足立区島根三丁目付近枝線及び千住宮元町付近再構築	アース建設	230.68
"	北区王子本町一丁目付近石神井川流域合流改善貯留施設設置	新井組	525
長野県	H26県営中山間総合整備事業信州高山地区中山工区水路T	岡谷組	366
横浜市	相鉄・東急直通線新横浜駅地下鉄交差部土木(その2)	鹿島・鉄建・不動テトラ・NB JV	7,125.84
川崎市	等々力水処理センター建設土木その34	重田・清生JV	345.33
新潟市	北下301号葛塚排水区雨水貯留管下水道	新潟藤田・吉田JV	516.5
名古屋市	名古屋中央雨水幹線下水道築造	森・吉田・トーエネックJV	1,625.97
大阪市	大隅～十八条幹線水管渠築造(その10)	安藤ハザマ・大本・中林・大勝JV	7,599.2
"	本町幹線水管渠築造	安藤ハザマ・中林JV	1,904
"	新今里～寺田町幹線水管渠築造(その3)	大成・ハンシンJV	1,550
"	浪速枝管(その5)1500mm配水管布設(シールド他)	佐藤・株木・国誉JV	4,129
"	高速電気軌道第2・5号線地下構造物耐震補強	竹中土木	2,055
広島市	千田地区下水道築造26の15号	鴻治組	1,185
高知市	送水幹線二重化(3工区)管渠築造	西松・啓大・四国水道JV	3,285.6



多様化する
シールド掘進技術

多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会
B5判 141頁 本体価格2,500円



株式会社 土木工学社

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

施工

小土かぶりの連絡通路を土圧式ボックス推進工法で施工

—東京メトロ東西線 門前仲町駅—

東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部第三工事事務所技術課長 **森谷 剛**
 東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部第三工事事務所改良建設係 **松島 和紀**
 (株)鴻池組東西線門前仲町駅改良工事副所長 **鈴木 雅史**
 (株)アルファシビルエンジニアリング事業本部技術営業部取締役技術部長 **松元 文彦**

1 はじめに

今回紹介する東京地下鉄東西線門前仲町駅改良土木工事は、旅客サービス向上ならびにバリアフリーの一環として構内ルートにエレベータおよび連絡通路を都道永代通り北側の歩道直下に増設するものである。

当初設計では開削工法により計画されていたが、施工場所は商店街に沿ったアーケードがある歩道直下であり、店舗兼住宅と隣接している。さらに道路下には下水道やガス、電力などの地下インフラが数多く埋設されており、これら埋設物の切廻しが困難であったことから、開削工法が事実上不可能と考えられたため非開削工法による施工となった。

本稿では狭隘なスペースで施工時間の制約がある中、大断面の矩形プレキャストボックスカルバートを密閉型ボックス推進工法にて施工した事例を紹介し、当該現場の技術的課題とその対応策および施工結果について報告する。

2 工事概要

工事概要を以下に示す。東京メトロ東西線の門前仲町駅は隅田川の東側に位置し、一帯は軟弱層

が分厚く堆積し、地表面は東京湾の平均海面より低い場所である。

本工事はこの駅のB2F地下鉄ホーム階からエレベータを介してB1F改札階まで結ぶ連絡通路を新設するものである(図-1, 2)。

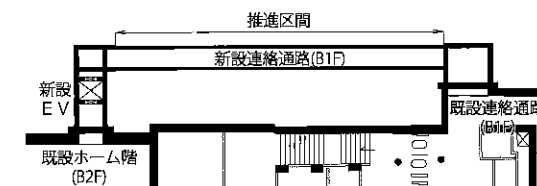


図-1 改良工事概要平面図

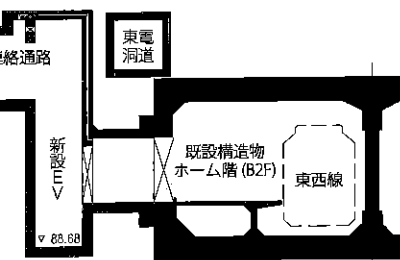
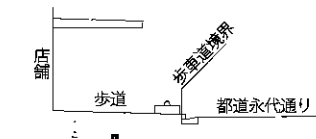


図-2 改良工事概略断面図

工事件名：東西線門前仲町駅改良土木工事
 掘削断面：□3,370×2,570mm
 推進延長：L=29.57m
 作業時間：夜間施工21：00～6：00(8時間施工)
 土質条件：砂質シルト～細砂層(N値4～7)
 工法：密閉型泥土圧式ボックス推進工法

3 工法の選定

非開削工法としては、パイプルーフ工法+現場打ち躯体構築工法、エレメント牽引(推進)工法、矩形シールド工法、矩形推進工法が候補として挙げられた。当該現場においては、コスト以外に、地上・地下とも限られたスペース内での埋設物との離隔確保や、日中の車道の全面開放、掘削推進機の製作日数などを含め、迅速な施工が可能であることが重要な選定項目となった。

表-1に非開削工法の選定表を示す。

これまで矩形の非開削技術としてはパイプルーフ工法が先行して開発され実績も多いが、構築断面の外郭を囲うパイプルーフや内面掘削時の支保工などの仮設物の設置スペースが大きく、限られた占有スペースのなかで本体構造物の壁厚や内空断面確保が困難である。

エレメント牽引(推進)工法は、エレメントの最小寸法が壁厚より大きく、本体利用が困難なこと、設備が大きく昼間の道路開放が困難で工期面でも不利であった。

矩形シールド工法については、シールド製作日

数が長く必要であり、推進30mの距離ではコスト高になる。矩形推進工法としては開放型の矩形刃口推進は古くから実施されているが、土かぶりの小さい軟弱地盤での大断面掘削は、切羽の安定上、地盤改良などの補助工法が必要となり路床や埋設物への影響が大きい。

以上から、工程、コスト、安定性に優位で、かつ本躯体の矩形形状と近似した寸法の密閉型泥土圧式推進機での施工を採用した。

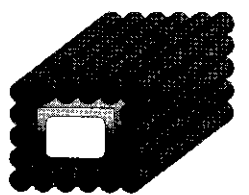

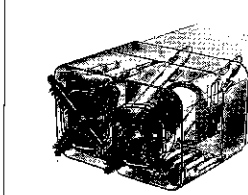
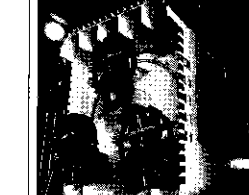
4 施工上の課題と対策

実施に際しては、地下埋設物や残置鋼矢板などとの干渉防止や離隔確保のため、立坑形状やトンネル位置の調整を行う必要があった。

施工上の課題として下記の4項目の検討を行った。

- ① 小さい土かぶりへの対応
 - ② 軟弱地盤への対策
 - ③ 近接した民家・埋設物・重要構造物への影響軽減
 - ④ 狭隘スペースでの作業性の向上
- 土かぶりは約2.7mと非常に小さく、N値が4～7の軟弱地盤である。また地下埋設物も輻輳しており、民家・店舗と近接している(写真-1,2)ことから、推進工に先行して小口径φ150mmのパイプルーフと掘削地盤を対象に水平薬液注入による地盤改良を行い、課題①～③の対策を講じた(図-3,4)。

表-1 非開削工法の比較

パイプルーフ+現場打ち躯体	エレメント牽引(HEP&JESなど)	矩形シールド	矩形推進
			
仮設材のデッドスペースが大きい	エレメント本体利用が困難・設備が過大	シールド製作の期間・コストに難	設備が小さく経済的に優位
×	×	△	○

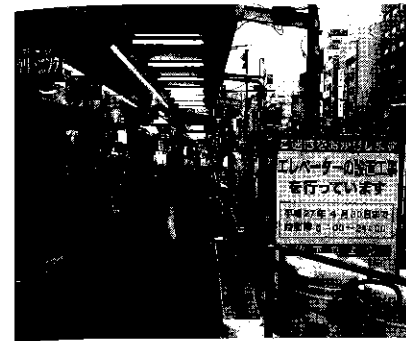


写真-1 現地状況①



写真-2 現地状況②

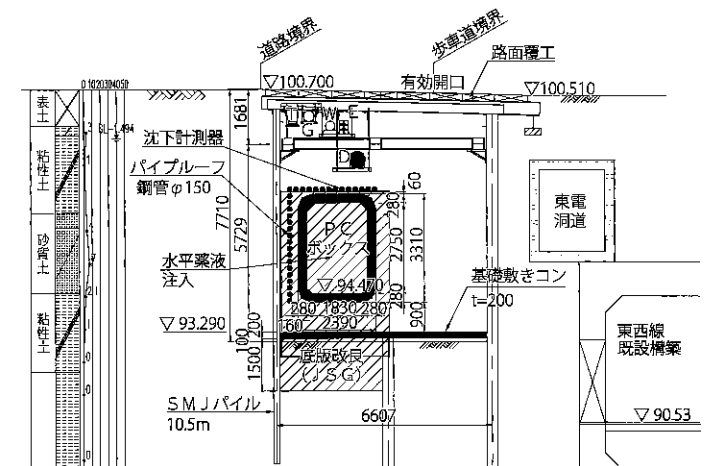
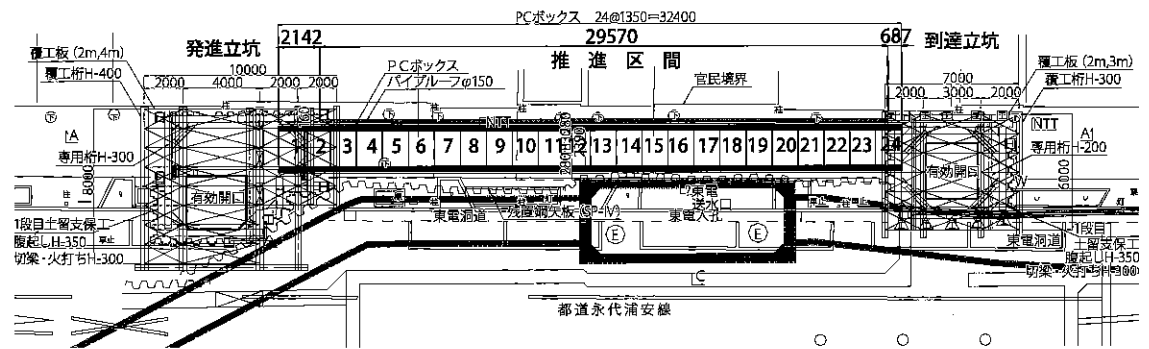
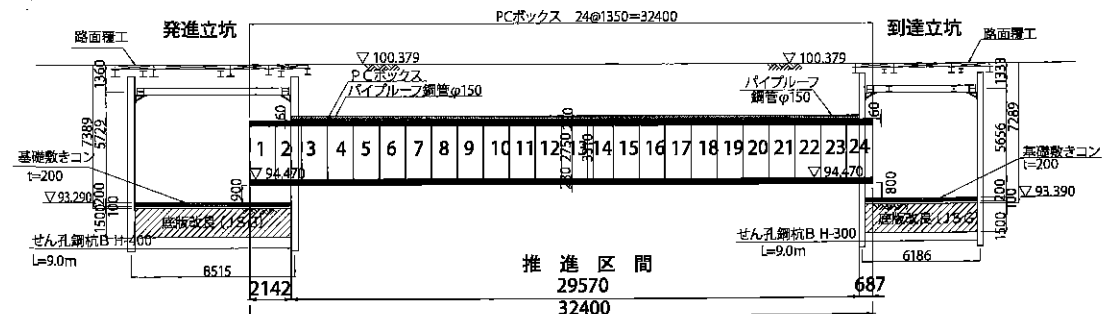


図-4 横断概要図



(1) 平面図



(2) 縦断図

図-3 路線概要図

使用機材の能力を勘案して車上化を図った。

5 推進機

密閉型ボックス掘進機の掘削機構は、3軸の自転・公転軸を持つ遊星ギヤと偏芯カッタで構成されている(図-5)。このギヤ比を調整することで、正方形断面を1回転ですべて掘削可能となる(写真-3、図-6)。ただし、縦長矩形断面の当該現場では上下に未掘削部が残ることから、上下に Cutting 刃口構造を追加し、圧入抵抗を低減する構造とした(写真-4)。また、矩形断面の場合、ローリング現象が本体構造物の品質に大きな影響を与えるため、掘進機の隔壁部に内蔵したジャッキでフードを回転させてローリングを修正するムーバブルフード機構を設けた。前方フードのハッチング部分が左右に3度回転する構造となっている。

掘削機構は大断面の切羽安定を図るため、φ470mmの軸付きスクリュコンベヤを搭載し、切羽土圧の制御と安定した連続排土を行える機能を持たせている。また、軟弱地盤層の掘進でしばしば遭遇する転石などの支障物に対応するため、泥濃式に用いられる排土エアバルブも搭載している。これは圧縮空気により膨張収縮されることで開閉

するバルブで、急激に高水圧が作用した場合にスクリュ軸を排土エアバルブで挟むことで噴発防止できる機能に加え、支障物に遭遇した場合にスクリュコンベヤを抜き、スクリュ管までの大径転石などを安全に機内に取り込む機能を有している。

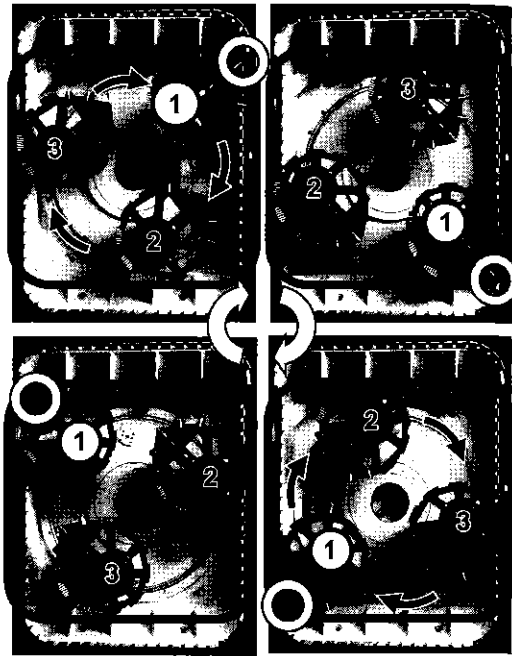


写真-3 ビット軌跡

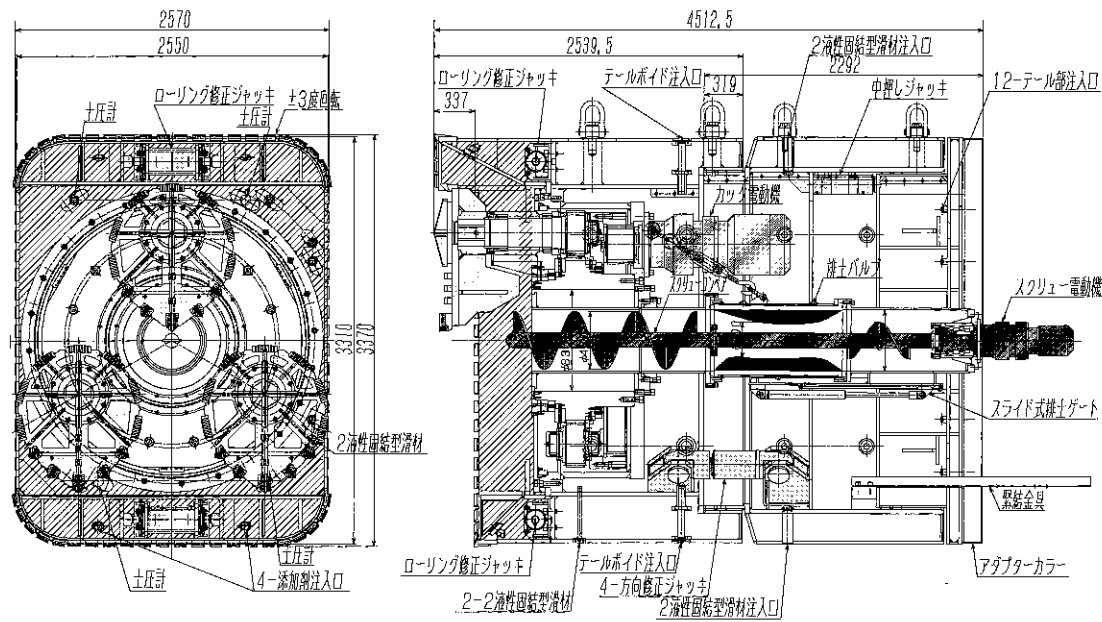


図-5 密閉型ボックス掘進機図

方向制御としては、修正用の中折れジャッキとは別に、推進機後方には中押しジャッキを装備しており、推進力が急激に上昇した場合に推進機鋼殻だけを前進させることができる構造とした。

そのほか、大断面であるため、切羽の土圧計は上下左右4か所、鋼殻周辺には滑材などの吐出孔を多数設置した。また、支障物の出現などにおい

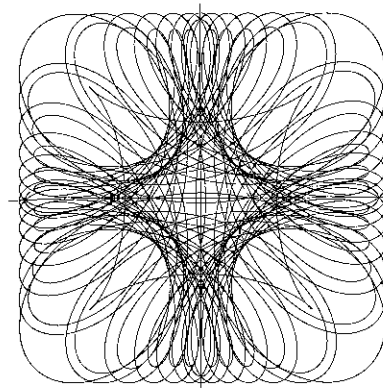


図-6 ビット軌跡図

ても掘進機内から対応できるように隔壁部にはφ830mmのマンホール構造を設けた。

ボックス函体としては、側面を2重パッキン構造とし、上下左右の壁中央部に周辺摩擦係数低減のための滑材および恒久グラウトとしての裏込め注入用のグラウトホールも設置した。さらに外縁の角部は丸め、エントランスパッキンの破損および端部の摩擦力を防止するなどの工夫を行った(写真-5、6)。

ボックス函体の推進架台への設置においては、直上からは降ろせなかったため、車道側に投入口を設け、横引きトラバーサに載せて架台まで移動する計画とした。そのため、函体搬入は1日あたり2函体までとし、日進量がそれ以下の場合には立坑内に仮置きスペースを設け覆工

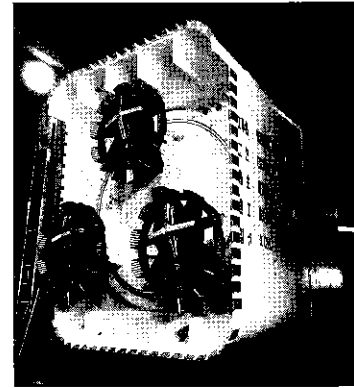


写真-4 密閉型ボックス掘進機全景

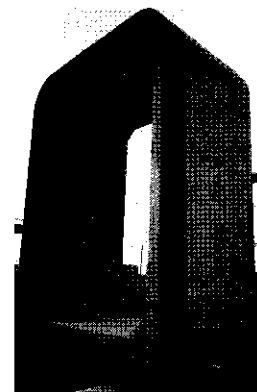


写真-5 PC-BOXカルバート(メス側)

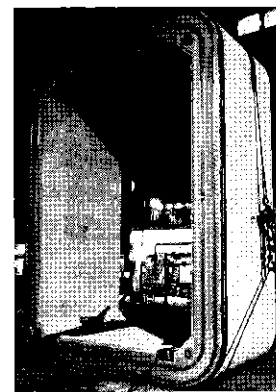


写真-6 PC-BOXカルバート(オス側)

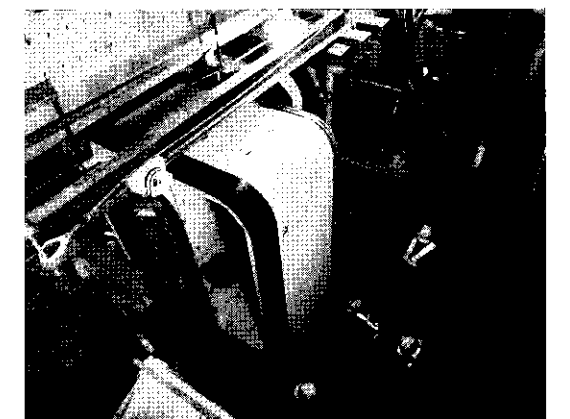


写真-7 発進立坑内ボックス函体横引き状況

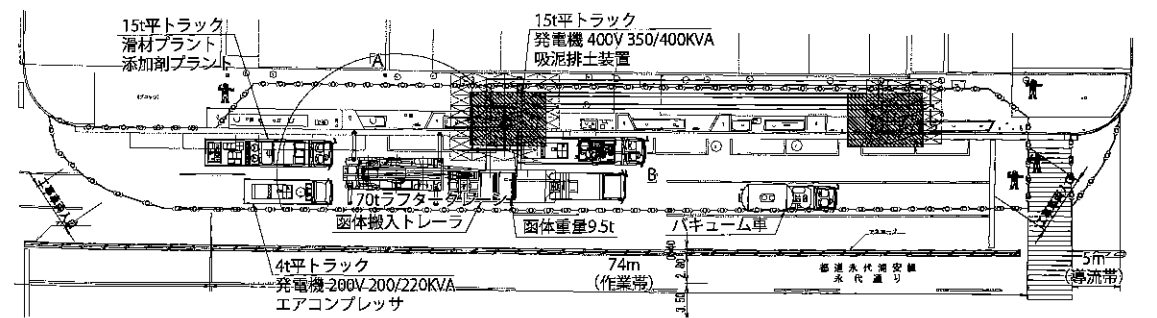


図-7 車上プラント配置図

板を閉じる計画とした。また、その際の鋼製押輪は直上移動ができないため、天井クレーンを覆工下に設置し、函体搬入に支障のない後方まで運搬することとした(写真-7)。

排土方法は、ずり鋼車の立坑内の横引き搬出が難しく、日進量も低下するため、車上プラント上の強力バキュームポンプにて吸引排土する方法とした(図-7)。

6 周辺地盤への影響対策

推進時の周辺影響軽減対策は、移動する函体と地山との摩擦力を低減させることにある。この方策として切羽および地山と函体との隙間(以下「テールボイド」と称す)に膨潤性の高い粉末粘土、逸泥防止としての繊維目詰材、流動性確保のための高分子材を配合した高比重・高粘性の添加材を充填させることとした。

排土管理は地下水圧+20~40kPaの範囲で切羽の土圧計に応じながらスクリュコンベヤの回転数の調整を行い、スライド開閉ゲートの開口率を調整することで、噴発現象を抑止する対策をとった。

矩形断面においては、円形とは違い地山のアーチアクションの形成が困難であることから、掘進機後方からのテールボイド安定材注入とは別に、補助として上下左右面から二液性固結型充填材(ゲルタイム30秒以下)の注入が可能な構造とし、対応できるようにした。

7 計画推進力

計画推進力については、ボックスカルバート推進工法の設計指針(ボックス推進工法協会：設計指針・積算要領、平成19年版)にもとづき推進力の検討を行った。この結果をもとに立坑背面の検討とボックスカルバート函体の検討をそれぞれ実施し、最大推力であっても支圧壁背面地山の支持力および函体の耐荷力は超えないことを確認した。

8 施工条件

本現場においては、道路使用許可条件より一般的な定置式プラントの設置が許可されないため、

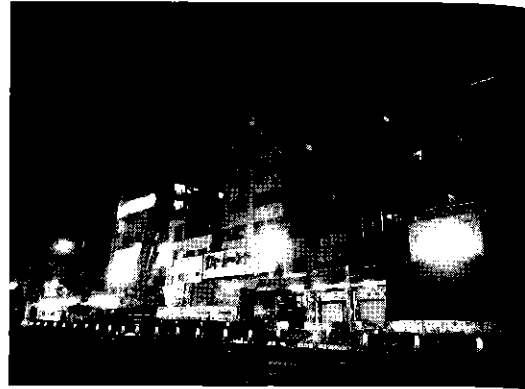


写真-8 車上プラント配置状況

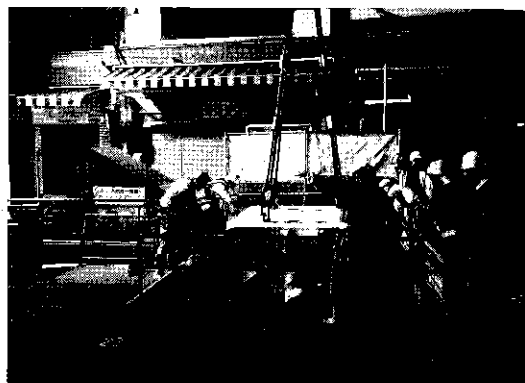


写真-9 掘進機分割投入状況

すべて車上プラントによる施工を実施した。推進工法の場合、シールド工法のような大型設備を必要としないことから、今回のような狭い施工条件に対しても対応が可能であるが、当該工事においては、円形に換算すれば呼び径φ3,000mmクラスの今までに例の少ない大口径推進となるため、必要最小限のプラント設備とした。車両台数も3台(函体搬入車と排泥運搬車を除く)にして夜間道路占用面積を抑えた(写真-8)。

掘進機については狭い発進立坑であることと総重量が60tを超えることに配慮し、細分化して投入・組立てを行う必要があった。そのため、掘進機製作過程からカット本体、電動機、掘進機先導体などを分割可能な構造とし、それぞれを立坑内に投入し、現地にて組立てを行う方法をとった(写真-9)。

揚重設備としては掘進機分割時の最大重量が34tであり、300tオールテレーンクレーンが必要で



写真-10 ブーム設置状況(特殊リフト)

あった。その組立て時に夜間の道路占用2車線では相番クレーン2台の配置が困難であったため、車体4隅に上下動作ができるジャッキ脚を持つ特殊リフトを使用し、ブームの移動・組立てを行った(写真-10)。

9 施工結果

軟弱層を掘進する本工事においては、掘進機重量が60tを超えるため、掘進機自沈による推進後のボックス函体の浮き上がり現象が懸念された。しかしながら、発進架台左側(歩道側)のスペースは0.5m以下と非常に狭く、浮き上がりを防止する鋼材を門形に組立てることができなかった(図-8)。そこで、修正ジャッキを上向きにし、後続函体と掘進機とを鋼材で緊結し、さらに掘進機下部より二液性固結型充填材を注入し、初期掘進時の自沈傾向を抑制した。掘進中のトンネル内の状況を写真-11に示す。

当初から想定はしていたが、転石や流木に遭遇した。この支障物が非常に多く(写真-12)、最終的にスクリュ閉塞に至った。そのため、間欠排土となるが、軸付きスクリュを撤去して排土エアバルブによる排土管理に変更し、掘進を続けた。また、懸念された推進機右側(車道側)に残置されている鋼矢板との離隔については、50mm程度しかなく、接触する可能性が非常に高かったが、事前の綿密な測量と、細やかな測量管理や方向修正により、接触や影響を及ぼすことなく無事到達することができた。

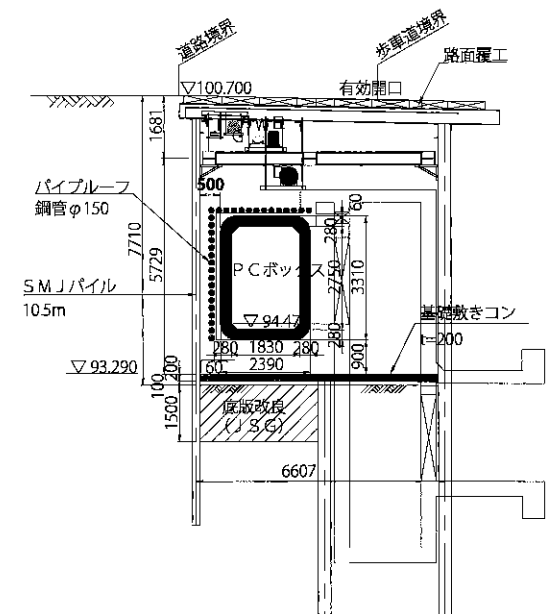


図-8 発進立坑横断面図



写真-11 掘進中のトンネル内状況

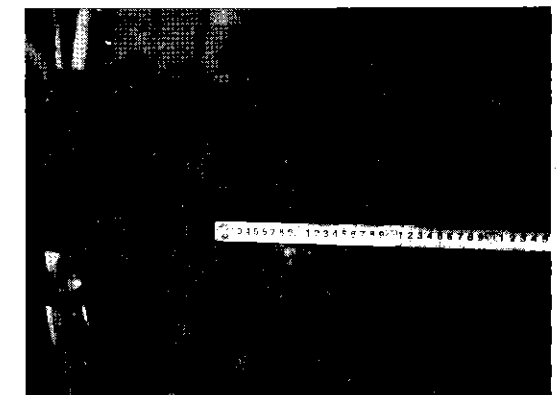


写真-12 障害物撤去状況(木杭)

表-2 実施工サイクルなど

工 種	作業時間など
平均掘進速度	25mm/min
平均日進量	1.35m/日
作業帯設置・撤去	2時間
覆工板開閉	1時間
配線・配管設置・撤去	3時間
推進函吊降し・設置	1時間
掘進時間	1時間

到達鏡切り時においても発進同様、立坑歩道側が狭く、到達坑口金物の設置まではできたが、推進機押し出し時に歩道側に推進作業者が入坑できる空間がないため、掘進機到達時の坑口パッキンの捲れ防止対策ができないことから、出水が懸念された。そのため、到達鏡切り前に推進機側より硬化薬液を上下左右および切羽前面に充填し、出水を回避することができた。掘進機回収作業にあたっては、3分割で分割搬出した。

施工サイクルとしては、大口径の車上プラントのため、覆工板開閉作業、設備投入作業はもとより、太い配線・配管の接続・撤去作業に時間を要した。実推進作業時間は1時間程度と非常に短いものであったが、掘進速度は平均して25mm/minを保持することができ、通常掘進時では函体1本分(L=1.35m)の日進量となった(表-2)。

最大推進力は、多様な障害物の出現によるテールボイドの乱れから、函体の外周面抵抗値が計画よりも増加し、 $F=3,000\text{kN}$ 程度(計画の120%)となった(写真-13, 14)。

10 おわりに

今回、密閉型泥土圧式ボックス推進を地下歩道通路構築に採用した。これまで技術的に円形でしか対応できなかったものが矩形断面の適用が可能になったことにより、今後さらに適用範囲は広がるものと考えられる。ただし、矩形の場合は、円形のような規格化が進んでおらず、需要も少ないことから、そのつどの現場諸条件に応じた対応が求められている。また、アーチアクションが期待できない矩形特有の課題もあることから、施工



写真-13 掘進機到達状況

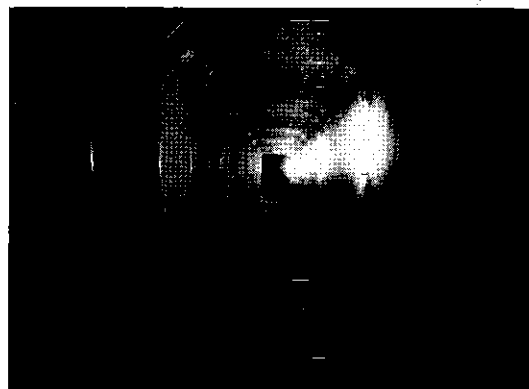


写真-14 推進完了後のトンネル内

実績を増やして工学的な検証も求められる。

本工事において得られた知見を以下にまとめる。

- ① 都市部の狭隘スペースでの小規模トンネルでは、工程、コスト的にボックス推進工法が優位である。
- ② 車上プラントは大口径であっても適用可能であるが、今回のような施工サイクルに大きく影響するため、適正な工期設定が重要である。
- ③ 狭隘な施工場所や道路開放などの時間制約を強いられる条件の施工においては、並行できない作業や機械の特殊配置などの時間的ロスが必ず発生するため、綿密な施工手順計画が重要である。

最後に、本工事においては、関係各位にご協力および資料を提供していただきここに記して謝意を示す。



工法の変遷とその先

私のトンネル掘進記

佐 薙 馨 介
(元)前田建設工業(株)

はじめに

私は1965(昭和40)年4月、前田建設工業に入社し、上越線複線電化工事の新清水トンネルに赴任しました。その頃、本坑掘削は中盤に入っており、私はおもに覆工コンクリートや路盤コンクリートと道床コンクリート工事に携わりました。

この工事以降、トンネル工事経験者ということで、山陽新幹線の六甲トンネルや安芸トンネル、岩国トンネルと、新幹線建設工事の華やかなりし時代を経験しました。そして、当時のトンネル技術の変遷を通じ、国鉄の技術屋さんや当社の先輩から、トンネル工事に対する基本的な技術論や仕事の取り組み方を叩込まれました。

その後、昭和50年代後半から平成に入ると、新工法のNATMに移行してきました。私も当時の日本道路公団の工事に携わり、NATMの初期から成熟期までを経験することができました。

最後の現場となった第二東名高速道路では、3車線大断面をTBMによる先進導坑掘削工法という新工法にチャレンジする機会を得ることができました。まさに、山岳トンネルの掘削工法と機械化の変遷を体験しました。

私が退職してすでに十数年が過ぎました。当時の技術が改良され引継がれているものや、新しい技術の進化が芽を出しているかもしれませんが、山岳トンネルにかかわった者として、もっとも克服すべき問題は、次の3点であると考えます。

- ① 作業環境の改善(坑内環境など)
 - ② 重大災害の絶滅(地山崩壊、落盤事故など)
 - ③ 手作業からロボット化へ
- 都市トンネルとは隔絶の感があることは、山岳トンネル屋として認めざるを得ないと同時に1歩でも2歩でも近づけたいと願うものであります。



著者近影(本原稿の打合せにおいて)

新入生での初めての現場 —新清水トンネル工事—

新入時の赴任地である新清水トンネルは、当時の上越線複線化工事の下り線を新設するもので、2,000m級の谷川連峰のおおむね真下を縦断する路線でした。トンネルの延長は13,490mで、当時は北陸トンネルに次いで日本で2番目、世界でも7番目という長大隧道でした。当社の工事区間は3工区のうち中央の土合工区で、斜坑延長337m、本坑延長は約5,400mでした。赴任した当日は4月初旬でしたが、土合駅に降りると一面の雪で、ジープの迎えには驚かされました。ただちに所長自らの案内でわれわれ3人の新入社員を斜坑から本坑まで案内してくれましたが、いきなり土砂降りの暗闇の世界に引込まれたような感覚であったことを覚えています。

そのころ、すでに本坑掘削は2km余り掘進されていましたが、

著者略歴

昭和40年4月	前田建設工業(株)入社 上越線複線化工事新清水トンネル工事土合工区
昭和42年8月	山陽新幹線六甲トンネル春日野工区
昭和45年4月	山陽新幹線安芸トンネル鹿野工区
昭和46年1月	山陽新幹線岩国トンネル東工区土木主任
昭和54年4月	山口県道米川トンネル工事作業所長
昭和57年4月	日本道路公団吉川舞鶴線大内トンネル工事課長
昭和58年11月	日本道路公団京滋ハイパス宇治トンネル東工区作業所長
昭和63年4月	日本道路公団舞鶴線黒谷トンネル工事作業所長
平成3年7月	日本道路公団山陽自動車道平井トンネル工事作業所長
平成6年6月	大阪支店土木部長
平成7年1月	神戸支店副支店長
平成8年4月	北関東支店副支店長
平成10年3月	日本道路公団第二東名高速道路岡部トンネル工事作業所長
平成13年10月	前田建設工業(株)退職



厳寒の新清水トンネル(土合工区)の坑外設備

覆工コンクリートは諸々の悪条件で工程はかなり遅れていました。そのためもあってか、私の担当は覆工コンクリートと引続いての路盤・道床コンクリートでした。

工程遅延の原因は次のようなことでした。当現場の冬はとくに厳しいため、給水管や骨材などの凍結でプラント機能の麻痺は日常的でした。このロスをなくすため、発注者から大型ポイラによる給湯

暖房設備の貸与を受けました。また、坑内温度が12~15度と低いため、養生時間が24時間かかり、打設サイクルに大きく影響していました。養生時間の短縮と強度確保の両面からフライアッシュをやめ、セメント配合280kg/m³のみに変更されました。それ以降は養生時間を12時間程度にすることができ、打設サイクルは大きく向上しました。



新清水トンネルアーチコンクリート全断面セントル

さらに、もっとも重要なことは、土合工区の単線区間だけでも延長が4,280mであり、このままでは計画工程に乗らないことでした。そのため、1スパン15mのスチールフォームを2基採用することとし、平均月進302m、最高月進365mを記録しました。これにより1967(昭和42)年10月開業という、至上命題に大きく貢献することができました。

コンクリートの打設は、コンクリートポンプで行い、配管は天端中央にスライド式のパイプジャンボを配置しました。これにより、狭い天端でコンクリートまみれの劣悪な作業環境でのパイプ切離し作業から解放され、また、充填も確実なものにすることができました。

覆工の見通しが付いた1966(昭和41)年8月ごろから、路盤工が開始され、実質6か月で終了し、引続き道床コンクリートに取りかかりました。

これに先立ち、私たち測量班職

員には、レール敷設の基準点設置がありました。これは1/10mmの特別な精度が要求されたため、連日、合宿のおばさんの手弁当持参で1か月半ほど続き、太陽が恋しくなったものでした。無事に道床コンクリートが終わり、土合工区も斜坑の覆工と階段工事を残すのみとなったころ、山陽新幹線への転勤の話となりました。

モグラがいきなり都市土木へ —山陽新幹線 六甲トンネル—

六甲トンネルには1967(昭和42)年8月から赴任しました。六甲山を縦断する山陽新幹線の、当時日本一長いトンネルであり、わが社が一番西側の春日野工区で、神戸市葺合区(現 中央区)の春日野墓地から斜坑掘削を着工しました。坑口からは眼下に神戸港を見下ろし、夜ともなると百万ドルの夜景が見渡せる、なんともぜいたくな現場でした。

私は斜坑掘削の途中で、1968(昭和43)年10月、神戸市の下水幹線工事の担当を命ぜられ、いったん新幹線工事から離れることになりました。この工事は、幹線道路の直下に内径1.8mの雨水幹線を築造する工事、オープンシールド工法でした。この現場は都市土木であり、見るもの聞くもの初めてのことばかり。モグラとしては戸惑うことばかりでした。工事内容を把握すると同時に、周辺のあらゆる条件に神経とアンテナを張ることが要求され、山の中の現場で自分のエリアだけを考えていたことからすると、大きく成長でき

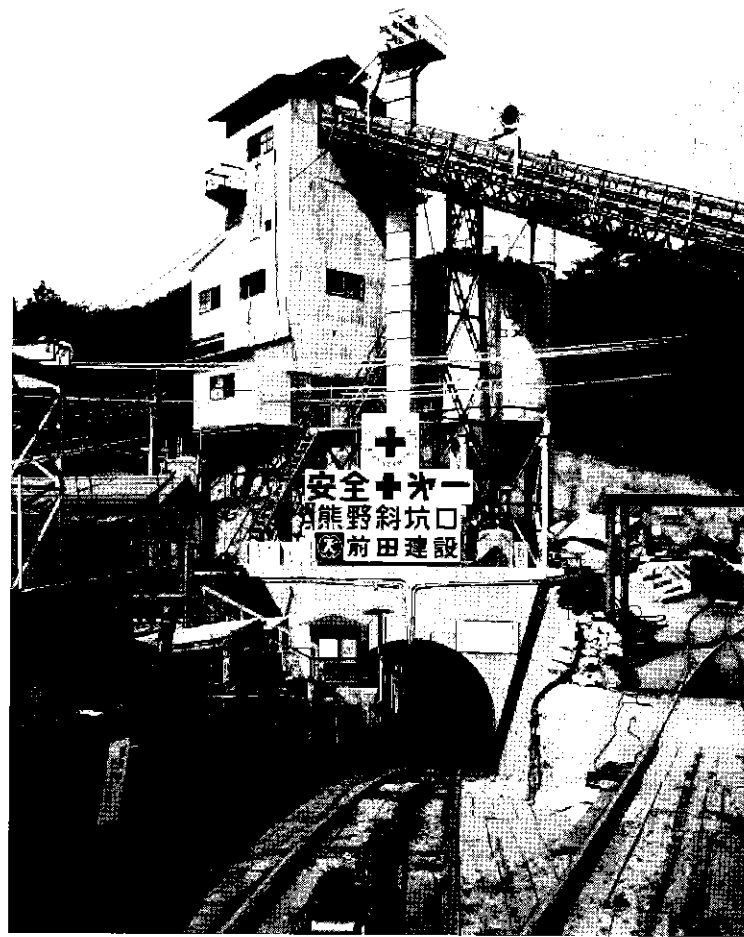
たと実感したものでした。

このシールド工事はたいへん順調に進捗して、約半年で完成し、次のオープン管路工事の受注にもつながりました。私はシールド工事の完成後、再び六甲トンネルに出戻りしたのですが、今度は六甲トンネルの出口にあたる布引中学校の校庭部分の開削工事や坑門築造と明かり巻きのアーチ鉄筋コンクリートなどを担当し、明かり屋の修行をいたしました。

新幹線建設工事の 華やかなりし時代 —山陽新幹線 安芸トンネル・ 岩国トンネル—

1970(昭和45)年4月、広島支店の安芸トンネル作業所へ転勤になりました。私は3度目の斜坑施工となり、当時の月進記録となる180mを達成しました。地質は広島花崗岩の軟岩で、幸い湧水も少なく作業性にも恵まれたこと、なんといっても職員・作業員の一体感が記録への挑戦に向かわせたのでした。

安芸トンネルに転勤して8か月、やっと斜坑掘削が終わり、これから安芸トンネルも本格化という矢先の1971(昭和46)年1月には岩国トンネルへ転勤です。時代背景は高度経済成長期の終わりに近く、「いざなぎ景気」と言われた時代の転換期でした。当時の国の計画で山陽新幹線の新大阪〜岡山間は1972(昭和47)年3月開業、岡山〜博多間は1975(昭和50)年3月開業と目標が決定していたのです。したがって、ゼネコン各社は仕事量



安芸トンネル坑口および仮設備風景

の増加に伴って、職員不足、下請けの不足、資材の不足や高騰など、社会問題化してくるのです。その2年後には、「石油ショック」に見舞われインフレへと突入するのです。

岩国トンネルは私にとって初めての水平坑で、しかも直接本坑掘削に掛かれるという恵まれたトンネルでした。岩国トンネルは延長2,926mの底設導坑先進上半切掘げ工法で、覆工は上半逆巻き工法でした。地質は粘板岩・頁岩を主体とした軟岩および中硬岩でした。このトンネル工法の特徴および

問題点は次のような点に要約されました。

- ① 延長が約3kmと長く、入口が1か所であること、工程が進むほど作業が煩雑になる。作業工程は次のとおりで、先進導坑⇒上半掘削⇒アーチ逆巻きコンクリート⇒大背掘削⇒土平掘削⇒足付けコンクリート⇒側壁掘削⇒側壁コンクリートで、8つの工種が競合し、作業人員も増え、工種ごとの作業効率は悪くなる。
- ② 覆工が逆巻きであるため、接続部の充填に時間と労力

(精度)を要する。

- ③ 延長が進むほど坑内環境が劣化するため、作業員の作業環境ならびに安全意識の向上に特段の注意を必要とする。

このような厳しい条件に対し、とくに安全管理や労務管理に関しては、現場はもとより本社や支店が一体となって作業環境の整備、安全教育の徹底に取り組みました。その結果、1974(昭和49)年末には無事竣工することができました。

1973(昭和48)年ごろには、いわゆる「石油ショック」により石油関連商品は品薄と同時に見る見るうちに価格が上昇しました。初めのうちはガソリンや軽油が影響を受け、次第に塩パイプ・ビニルシートなどの石油関連商品が値上がり、そして、セメントや鉄筋へと波及し、やがて木材にまで影響は及びました。それにより、現場の採算は大きく損ない社会問題となりましたが、このときばかりは、ほとんどの公共工事で物価スライドが実施され、大きな損失は免れました。

多くの破碎帯に遭遇し難渋 —米川トンネル—

1979(昭和54)年7月に受注した米川トンネルは、山口県発注の延長1,159mの複線道路トンネルです。入社以来十数年、鉄道トンネルのレール工法に携わってきましたが、初めての道路トンネルでレール工法からやっと解放され、上半先進タイヤ工法ということで、大いに期待したものでした。また、初めて統括責任者という職責を与

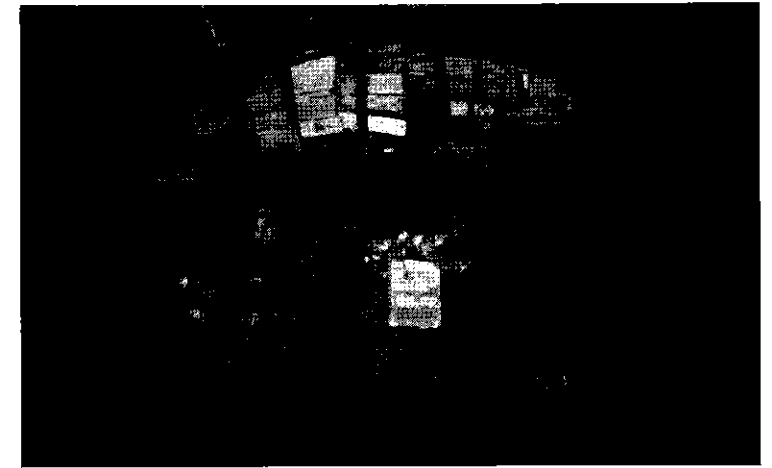
えられ、責任感とともに良い結果に向かって燃えていました。しかし、期待とは裏腹に過酷な山に当たり、トンネル上半貫通に2年余りかかりました。

1979(昭和54)年10月初旬に坑口付けを行い、TD70mほど進んだころ、岩肌は真っ黒い油目の風化黒色片岩で、切羽左側で頭部と前方に向かってバッサ、バッサと抜落ちが止まらない状態になりました。崩落がおさまるのを待って、おそろおそろ崩落部を覗いてみると高さ5~6mほどの空洞ができていました。切羽には、崩れた岩砕をブルドーザで押え付け、それ以上の崩壊を止めました。対策工として軽量トレンチパイルや矢板、半割り丸太などで空洞部の蓋をし、エアモルタルを注入しました。

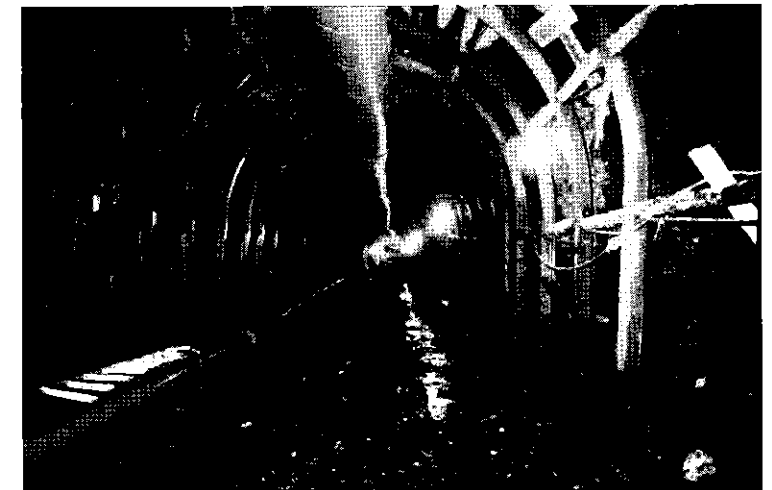
■土かぶり150m上の田んぼの水が枯れる

その後も地山は不安定な状況が続き、ドリーネの粘土質シルトには測量用のポールが容易に刺さり、支保工脚部に風化石灰岩が出現すると支保工が沈下しました。対策としては、支保工脚部にコンクリート歩道版やシートパイルを敷き、C形チャンネルでつなぎ、溶接することで沈下防止に努めました。

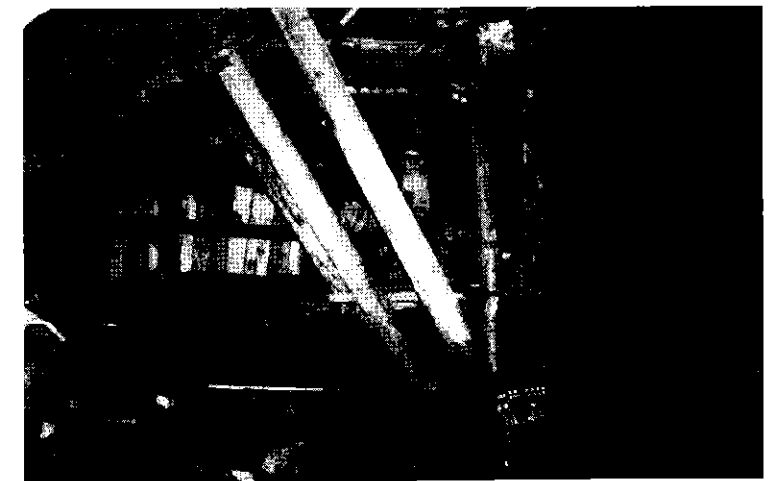
TD600m以後、次第に湧水が多くなり切羽の自立が難しい状態になってきたため、φ150mmの水抜きボーリングを切羽後方5mから前方斜め15度で延長30mを目安に実施しました。その結果、毎分500Lほどの湧水を確認し、1日半で湧水はかなり少なくなり、掘削を再開しました。



米山トンネル破碎帯の上半掘削



米山トンネル水抜き導坑掘削



米山トンネル切羽の鏡止めと支保工補強

その後、農家の方が「自分の田んぼの水が急になくなった」と言われ、現地を確認すると、土かぶり150mほどでしたが、位置的にはトンネルの真上に近いところでした。色水を流したところ、トンネル内でわずかの色水が確認され、トンネル掘削の影響は間違いありませんでした。田んぼの用水対策については発注者側でトンネルとは切離して実施されたため、工事が影響を受けることはありませんでした。

■導坑掘削—地質確認と水抜き—

引続き地山は安定せず、切羽の鏡張りを必要とする状況と後荷による天端の沈下などで縫返し作業がくり返されました。このため根本的な対策として、水抜きと地質確認の目的で反対側からの導坑掘削を提案したところ、発注者から承認されました。

導坑掘削の延長は340mで、湧水を絞り出す効果と地質状況(粘土層の位置と状況や石灰岩の空洞など)も事前に把握できました。その効果もあって上半再開後200mほどは、ほぼ順調に進行できましたが、100m残す地点で最後の大きなトラブルに見まわりました。

■上半がつぶされる

導坑掘削で事前に地山の状況が把握でき、導坑も上半掘削のずりて埋戻しながら進んで行きましたが、支保工の沈下が数mほど続き、沈下量は10~80cmで天端も押しつぶされてきました。ただちに後方に影響を及ぼさないよう、正常な区間を鋼材でつないだり、後光梁で受け、仮巻きコンクリートを

打ちました。また、できる限り切羽に近づけて本巻きのアーチコンクリートを打設しました。その後、つぶされた上半の縫返しをし、完全な復旧までに約1か月を要しました。その後は、最後の出口まで2基ごとに仮巻きコンクリートを打ち、切り抜けることができました。

このように悪戦苦闘の2年と1か月でしたが、1981(昭和56)年11月24日に無事貫通式を迎えることができました。

NATMに挑戦 —宇治トンネル—

宇治トンネルは、1983(昭和58)年11月に発注された道路公団京滋バイパスの長大トンネルで、総延長は4,616mです。全区間NATMが採用され、当社は東工事の上り線を担当しました。

1984(昭和59)年4月から掘削を開始しましたが、在来工法とは勝手が違い、発注者の担当者も施工者側のわれわれも戸惑うことの連続でした。湧水を伴うと吹付け作業中に地山ごと剥落することが頻繁にあり、むしろ支保工と矢板に頼らざるを得ないケースが多く「NATMに非ず」とさえ言われたものでした。

吹付けコンクリートの作業不慣れと配合の悪さで試行錯誤をくり返すこと2~3か月余り、ようやく昼夜で3~4サイクルの進行が取れるようになりました。掘削は当初上半断面を先行させるロングベンチ方式の計画でしたが、坑口から100m区間と500m付近では内空変位が大きかったため、下半

宇治トンネル工事(東工区)概要

延長 (明かり区間含む)	上り線 2,747m 下り線 2,822m
トンネル延長	上り線 2,390m 下り線 2,445m
非常駐車帯	3か所(上り線担当)
集塵機室	2か所(同上)
地下換気所	1か所(同上)

を上半に接近させるショートベンチ方式による上下半併進工法を適宜採用しました。

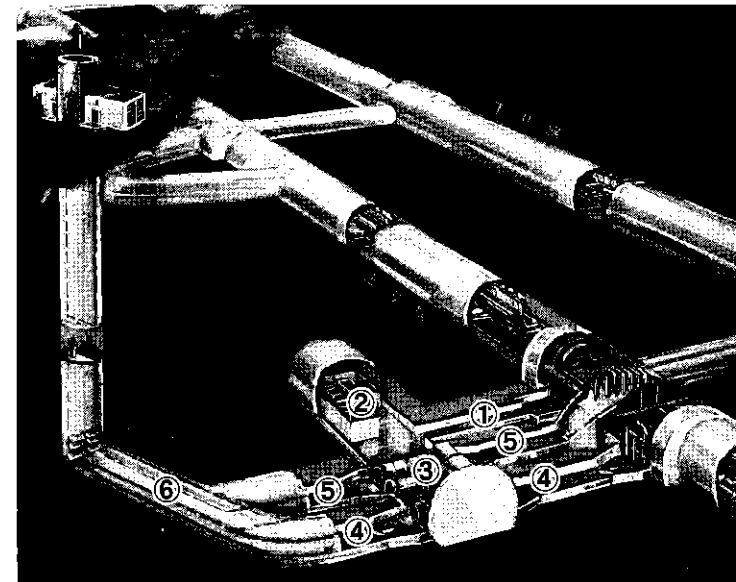
NATMの地山に対する支保の確実さと計測の信頼性が作業員に至るまで徹底されるようになると、NATMの優位性が理解され、スムーズに進行するようになりました。しかし、低速度帯として周知された所では、慎重に施工を行いました。120~130m²の大きな崩落や、偏圧で支保工の変形と沈下が生じ、15mほどの縫返しと補強工事を行いました。

このようにNATMも万全ではないこと、そして、事前調査に時間とコストをかけるか(すなわち事前の地質判定に従い、あらかじめボーリングなどをし、そのつど事前対策工を施す)、それともトラブルを最小限に抑えてその後の対策工で対処するかは、現場を預かる者としては今後とも非常に重い課題であると考えます。

最終的にその1、その2工事で延長2,394mの本坑掘削と、同じ断面の集塵機室(2か所)の延長280mを含めて、29か月を要し、1986(昭和61)年7月、無事終了しました。

■地下換気所の施工

地下換気所の施工にあたっては、



- ① 搬入坑 (断面積 30.1m² 延長 36.4m)
- ② 電気室 (断面積 70.3m² 延長 30.0m)
- ③ 機械室 (断面積 118.6m² 延長 45.5m) 上, 中, 下段の3分割施工
- ④ 排気坑 (断面積 31.7m² 延長 77.3m)
- ⑤ 送気坑 (断面積 30.9m² 延長 76.0m)
- ⑥ 合流坑 (断面積 63.7m² 延長 52.6m)

地下換気所の鳥瞰図(①~⑥は掘削順序)



宇治トンネルの貫通式の様子。1987(昭和62)年5月23日(筆者は左から2番目)。

当社技術研究所NATM専従班による計測計画書が作成され、当時の道路公団の担当工事長と詳細な検討会が何度も行われました。掘削順序に従い、本坑の計測点および隣接坑の計測点の変位を計測しな

がら変位の収束状況を確認し、さらに多くのデータから最終変位を予測することが可能となり、安心して掘削することができました。掘削に要した期間は、1986(昭

和61)年8月から約5か月という短期間で施工できました。また、JV他社が担当した、ゴルフ場の敷地から掘進した立坑(仕上り径8.2m、延長278m)と1987(昭和62)年1月に無事貫通しました。

小土かぶり偏平大断面 3車線トンネルに挑戦 —山陽自動車道 平井トンネル—

1991(平成3)年7月、兵庫県三木市の郊外でブドウ園とゴルフ場に挟まれた丘陵地を貫く、平井トンネルに携わることになりました。山陽自動車道のもっとも東に位置するトンネルで、上り線は登坂車線を含めた3車線、下り線は2車線でどちらも810m余りの延長でした。

このトンネルは、土かぶりが小さい(0~45m)大阪層群の未固結な土砂山の偏平大断面(135m²)の3車線トンネルと2車線トンネルの双設トンネルです。まず、下り線の2車線トンネルを150mほど先行させ、地質および湧水を確認しながら3車線トンネルを掘進しました。途中までは上半中壁工法への変更も可能な体制で掘削を進めましたが、想定されたより湧水が少なく、また切羽の自立も良かったので通常の上半先進工法で施工することができました。

また、ほぼ全区間にわたって、切羽前方へのフォアパイリングや掘削直後に一次吹付けコンクリートを施すことで地山の緩みを抑え、土かぶりの小さい区間も大きな崩落を未然に防ぐことができました。しかし、もともと、地山の自然含

水比が18~20%程度と高いため、工事中路盤はめかるみ、工事に支障を来すため、セメントにより路盤改良しながら掘進しました。また、NATMの最大の利点である計測によるデータのフィードバックが十分生かされ、切羽直後の内空変位から最終の内空変位を予測し、掘削断面を侵されないように十分な余裕を持たせて掘削することができました。このようにして数多くの制約を受けながらも、重大災害ゼロで1993(平成5)年4月21日貫通式を迎えることができました。

■3K、5Kからの脱出—イメージアップ作戦—

平井トンネルでは道路公団の神戸工事事務所の掛け声で、巷でよく言われた建設業の3K、5Kを払拭し、優秀な人材を集めて活気を取り戻そうと、イメージアップ作戦を展開しました。おもな取組みとしては、

- ① 飯場から建設事務所または建設ステーションへ
広くゆとりのある快適な空間から機能的な事務所を目指す



平井トンネル坑口(左)上り線、(右)下り線

し、職員の作業服も明るいユニフォームを採用しました。

- ② 協力業者の施設も宿舍の大部屋を廃止して2人部屋を原則とし、エアコンを取付けました。

- ③ 作業員の住環境の改善として、食堂設備、浴室なども余裕のあるスペースとし、働きがいのある職場を目指しました。このような取組みは地元の市町村の広報やメディアにも報道され、その目的の一端を果たしました。

さらに、NHKの『昼とき日本列島』にも生放送で取上げられ、3車線トンネルの切羽の様子や、作業員の食堂、浴室の和やかな風景が全国に流され話題となりました。

上下線双設の 3車線大断面トンネル —第二東名高速道路 岡部トンネル—

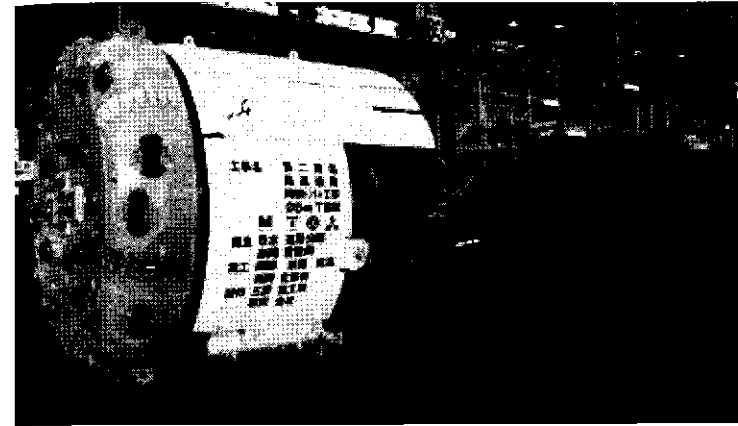
1998(平成10)年3月、第二東名高速道路岡部トンネル工事の受注後、さっそく赴任先の静岡営業所を訪ね、岡部町の現地を下見しま

した。現地は静かな山村でお茶畑や椎茸栽培の農家が十数軒点在し、本線の位置はその集落の30~40m直上でした。

岡部トンネルは、上り線2,653m、下り線2,612mの3車線偏平大断面のトンネルで、上半断面に先進導坑としてTBM(トンネルボーリングマシン)が採用され、大型機械および発破工法にて拡幅する工法が採用されました。TBMに対しては発注者や施工業者、また、メディアに至るまで、各方面の期待度は大きく、TBMの機種の設定にはメーカーや本社機材部の度重なる綿密な検討会が行われ、想定地質も勘案して改良型オープンシールドとしました。

岡部トンネル周辺の地元のみならずとは、親しく交流させていただき、2002(平成14)年の朝比奈龍勢花火大会では、特注で「岡トン号(TBMの愛称)」を制作してもらったのです。打上げでは、町長をはじめ地元関係者ほかが見守るなか、真っ青に晴れ渡った天空に真っ白な煙を残して「岡トン号」の旗をひらめかし、岡部トンネルの安全と無事完成を祈ったのです。

しかし、現実には下り線西坑口から数十m進んだ辺りでTBMは地山に咬み込まれ、天端崩落で掘進不能に陥ったのでした。結局、マシン後方から人力により切抜けながら崩壊土砂を取除き、その空間を使ってマシン前方に地山改良剤を注入して掘進を再開しました。このような状況は坑口から130m付近まではたびたびくり返されました。これは在来トンネルの縫返し



TBM岡トン号(外径5m)

以上に厄介な状況です。個人的にはTBMの信頼性に対し首を傾げることになりました。

その後は1,100m付近までは月進220m程度を確保できましたが、2000(平成12)年11月から再び掘進不能状態に陥り、約400mの長い区間、TBMの求められる期待からはかけ離れたものでした。このように地山の性状が目まぐるしく変わる地質では現状のTBMの限界なのでしょうか。

私はTBM掘進中の2000(平成12)年9月、定年で一次退職をして現場を去ることになりました。

私たち長年トンネルに携わった者は、在来工法の中での変遷(底

設導坑先進工法→側壁導坑先進工法→上半先進タイヤ工法)を経験し、さらにNATMに到達したのです。しかし、NATMもあるべきさらなる改良がなされることと思います。さて、その次にトンネル屋が求めているものは何か。夢の万能TBMではないか。火薬を使わない! 吹付けも必要ない! どんな地質にも適合するシールドのように!!

おわりに

私が初めて現場の責任者として任されたのは、山口県発注の米谷トンネルでした。当時の社長・前田又兵衛さんから「現場の責任者

はだれよりも早く現場を回り、現場の状況を知ることが第一である。現場を知らないで安全の指示が出せるか!」という話が支店の責任者会議であったのです。当時、全社的にも重大災害が非常に多く、毎年十数名の犠牲者があったことに又兵衛社長が「カツ」を入れたのでした。

私も初めて現場を預かる者として絶対に重大災害を出さないという決意を抱き、翌日から「朝一番の現場巡回」を実行しました。現場の親方や作業員とのコミュニケーションもスムーズに行き、より具体的な指示が届くようになったと確信したものでした。それ以来、すべての現場で実行し、重大災害ゼロが達成できたことに感謝する次第です。トンネルに携わって30年余り、新入社員当時からかわったトンネルは大小合わせて10本余りで延長20,000mほどになりました。おかげさまで重大災害もなく勤め終えたことに対し、ご指導いただいた各発注者、また、地元のみなさまのご理解、ご協力に対し、さらに会社諸先輩や仲間のみなさまに感謝申し上げる次第です。

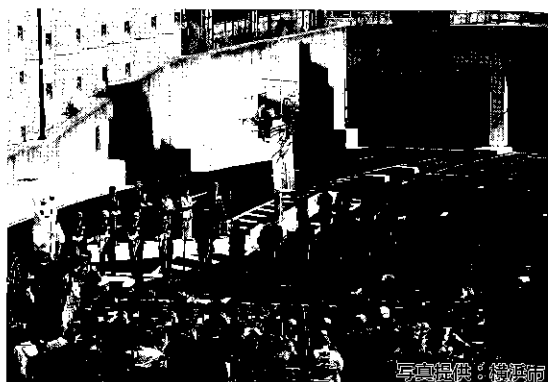
トンネルジャーナル

戸塚アンダーパスが開通

横浜市が整備を進めてきた戸塚アンダーパスが3月25日開通した。開通したのは都市計画道路柏尾戸塚線のうち戸塚区戸塚町から矢部町に至る延長約661m、幅員約20mの上下4車線、自動車とオートバイのみが通行でき、戸塚駅の東西を結び、JR東海道線などの線路下を約311mのトンネルで通過する。

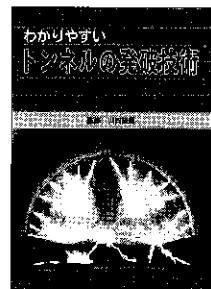
これまで、駅周辺で街の東西を結ぶ幹線道路は国道1号のみで、戸塚駅の北側でJR東海道線・横須賀線・東海道貨物線の上下線計6線を渡っていた。これは戸塚大踏切と呼ばれた「開かずの踏切」で、ピーク時には1時間のうち57分も遮断することがあった。吉田茂元首相がこの踏切が引き起こす渋滞に業を煮やし横浜新道を整備させたり、踏切による遮断が箱根駅伝の結果を左右したりなどのエピソードも知られている。

市では、踏切による地域の分断や渋滞などの問題を解消するため、駅周辺の整備事業の一環として立体交差化を事業化。このうち、同踏切の上空に建設された歩行者用の戸塚大踏切デッキが、昨年1月に開通していた。同アンダーパスの開通により戸塚大踏切が解消され、自動車とオートバイは国道1号をバイパスする柏尾戸塚線を利用する。これにより踏



切の渋滞を回避して戸塚駅の東西を結んでいた経路が約3km短縮されたほか、踏切のない緊急輸送路としても利用できるようになった。

トンネルのうち線路下の横断部約80mの区間はJR東日本が横浜市から委託を受け施工した。当初は、非開削工法で計画されていたが、変状リスクや工期を考慮して開削施工へと計画が変更された。高密度の運行がなされる路線のもと、線路内での作業の間合いが非常に短いなか、9年あまりの工期を経て完成した(本誌Vol.40, No.20, pp.7-14およびVol.44, No.12, pp.7-15参照)。



トンネル発破技術のバイブル!!

わかりやすい

トンネル発破技術

監修 山田隆昭

B5判 76頁 本体価格1,500円 円300円

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

株式会社 **土木工学社**

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

施工

地下鉄虎ノ門駅直下の大深度・高水圧地盤で凍結工法により地中接合

—東京下水道 第二溜池幹線—

東京都下水道局第二基幹施設再構築事務所工事第二課長 小倉 憲 治
東京都下水道局第二基幹施設再構築事務所工事第二課工事係 宮司 憲 男
東京都下水道局第二基幹施設再構築事務所工事第二課工事係 彦坂 勇 次
安藤ハザマ・大豊建設共同企業体設計主任 岩崎 広 幸

1 はじめに

東京都下水道局は、近年頻発する豪雨による浸水被害から都民を守るため、管渠やポンプ所の整備を進めている。港区赤坂地区、溜池地区、中央区銀座地区、築地地区では、既設管渠の流下能力が不足しており、浸水対策強化が急務となっている。また、これらの地区は、合流式下水道で整備され、一定量以上の降雨により、汚水混じりの雨水の一部が皇居内濠や築地川へ放流され、閉鎖性水域の水質悪化の一因となっている。

このような課題に対し、浸水被害を軽減し、閉鎖性水域への水質改善対策として放流先を隅田川へ変更するために、第二溜池幹線工事および勝どき幹線を計画した。図-1に路線全体図を示す。

第二溜池幹線は、上流側(仕上り内径6,500mm×延長1,995m)および下流側(仕上り内径8,000mm×延長2,517m)からなる全長4,512mの幹線であり、都心の幹線道路下、

土かぶり約40mの大深度に計画された。事業効果を早期発現するため、上流側の施工を先行させ、2001(平成13)年度から雨水を一時的に貯留する暫定貯留管(約53,000m³)として既に供用している。

第二溜池幹線の上流側と下流側の接合箇所は東京メトロ銀座線虎ノ門駅直下にあり、立坑の構築が困難であるため、非開削で管接合を行う。土かぶり約40mの大深度、0.4MPaの高水圧下での地



図-1 路線全体図

中接合工事となることから、慎重かつ安全な施工方法を計画した。

本稿は、地中接合部において、変形解析を実施し、凍結範囲の設定と変形抑制対策、施工実績について報告する。

2 地中接合工の概要

2-1 施工条件

地中接合箇所を平面図を図-2に、縦断図を図-3に示す。管接合点は東京メトロ銀座線虎ノ門駅直下であり、土かぶり約40mの大深度、0.4MPaの高水圧下での施工となる。

上流側シールドは管接合点に到達後、掘進設備を解体し、二次覆工を施工済みであり、外胴・隔壁・面板は残置されている。なお、上流側管渠は、管接合点より約400m上流側に仮壁を設けてあり、暫定供用区間とは分離されている。

これに対し、下流側シールド(今回施工)は管芯合わせで面板離隔が500mmとなる位置まで掘進し、掘進設備を解体後、管接合を行う。施工箇所は勝どきポンプ所建設用地内にある発進立坑から約2.5km離れており、緊急時における対応など、厳しい施工環境である。

2-2 接合部の構造

図-4に接合部の構造概要図を示す。管接合部は、上流側・下流側両シールドの隔壁・面板を撤去するとともに両シールド間を鋼製セグメントで接続し、二次覆工コンクリートで仕上げる。仕上り内径は、上流側(既設)が6,500mm、下流側(今回施工)が8,000mmである。

2-3 補助工法

補助工法は、凍結工法を採用している。凍結工法は、改良体の強度・信頼性が高く、かつ高い止水性が得られることから、大深度・高水圧下の管接合に適した工法と言える。

2-4 検討会の設置

凍結工法は、凍土が適切に維持されていれば非常に信頼性が高い工法であるが、地下水の坑内への出水という大

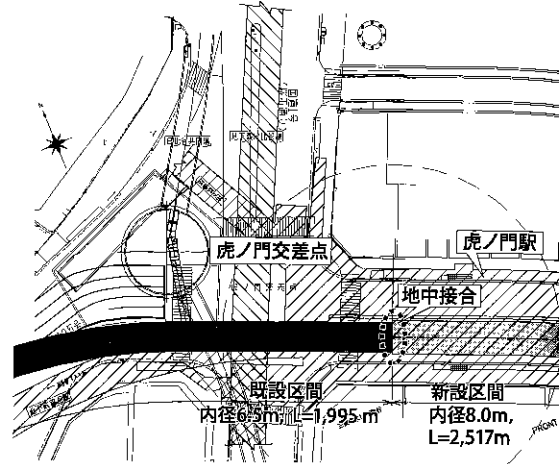


図-2 地中接合箇所平面図

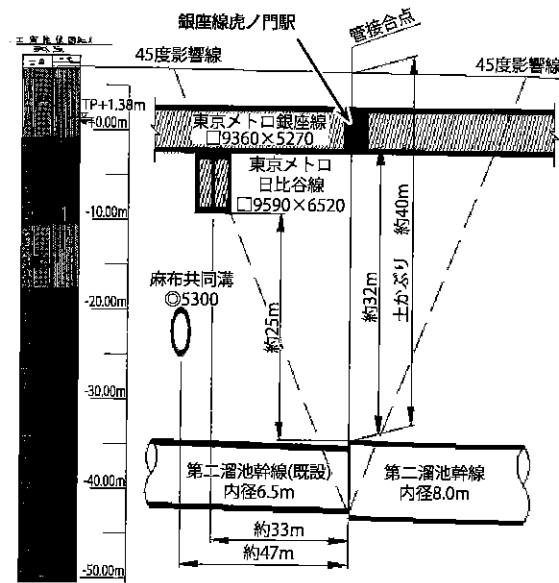


図-3 地中接合箇所縦断図

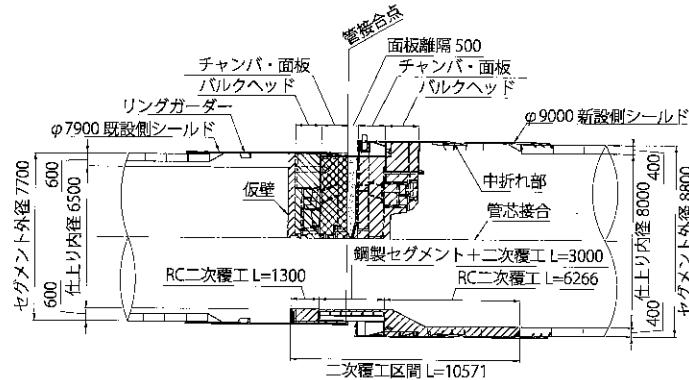


図-4 構造概要図

きなリスクがあり、小さなトラブルが大規模なトラブルに発展する可能性があることが危惧される。そこで、工事の安全性を高めるため、「地盤凍結工法による地中接合工事検討会」を設置した。検討会では、凍結工法の設計、施工の経験のある職員をメンバーにするとともに、過去の出水事例の事故原因を究明し、施工上の問題点を抽出した。

出水原因には、構造物の急激な変形に伴う凍土からの剥離によるものと、凍土面の温度上昇による融解によるものがある。そこで、

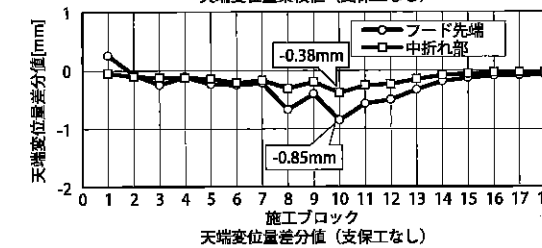
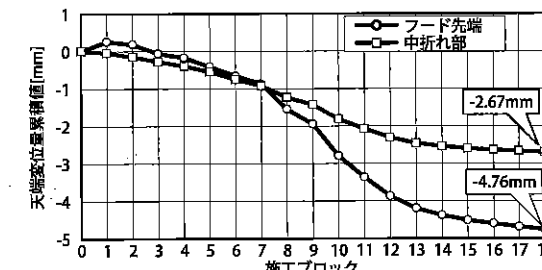
- ① 凍土からの剥離を防止するため、シールド内空の変位を限りなくゼロに近づけるための変形抑制対策を実施する。
- ② 凍土の融解を防止するため温度管理を徹底する。
- ③ 事故発生時の被害を最小限にする。

を最重要課題とし、施工前および施工段階における対策、緊急時の対策について、おのおの実施した。

3 事前検討と施工管理

3-1 変形解析にもとづく凍結範囲の設定と変形抑制対策

シールドのバルクヘッドはシールドのスキンプレートを補強する機能があるため、これを解体するとシールドのスキンプレートに変形が生じる。



このときの変形速度が凍土の追従可能な範囲を超えると、スキンプレートの凍土から剥離し、出水の危険性が高まる。

そこで、バルクヘッド撤去時のスキンプレートの変形解析を実施し、凍土の剥離に対する安全性の確認を行った。

3-1-1 分割施工

スキンプレートの変形速度を低減するため、バルクヘッドの解体撤去は、図-5のようにブロック分割して段階的に実施する計画とした。そこで、変形解析は施工ブロックごとに実施した。図-6にシールド頂部のフード先端および中折れ部にお

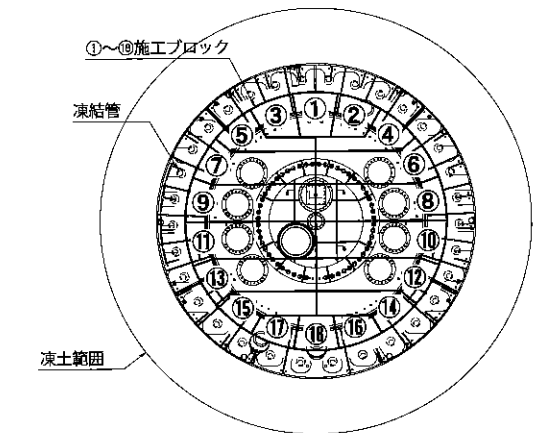


図-5 18ブロック分割図

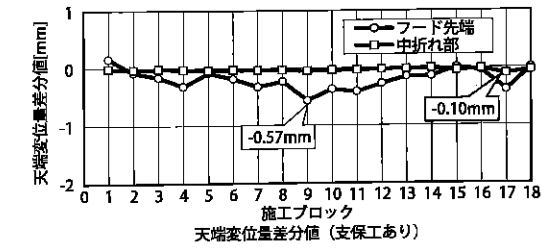
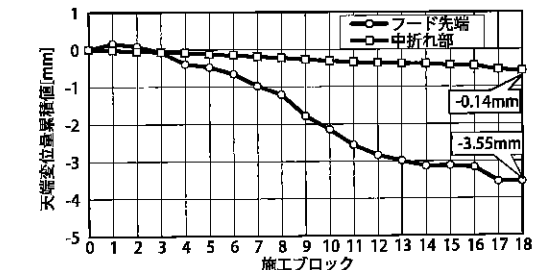


図-6 変位量の推移

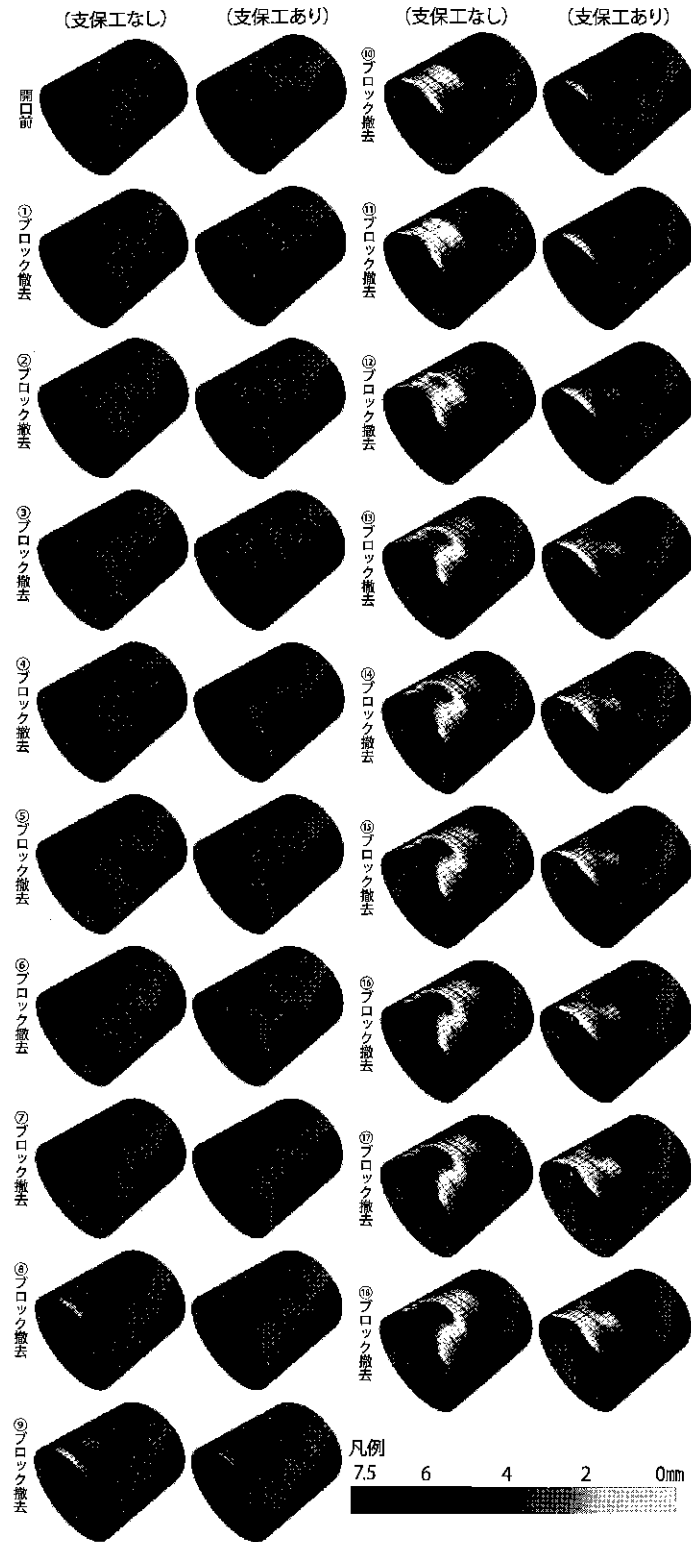


図-7 変位コンター図

る変位量の累積値と差分値の推移を、
図-7に変位コンターを示す。

搬出時の運搬や作業の効率性、経済性を踏まえ、18分割に分割施工することにより、変位量をフード部で4.76mmから0.85mm、中折れ部で2.67mmから0.38mmとなり、おのおの82%、85%低減できる結果を得た。

3-1-2 変形抑制工

凍土からの剝離に対する安全性をさらに向上させ、凍着部の変位をゼロに近づけるために変形抑制工(内部支保工)を計画した。解析結果より、もっとも変位が低減できる位置に内部支保を配置した(図-8)。

下流側の設置位置は、①変形量が大いバルクヘッドの直後と、②シールド中折れ部の2か所とし、使用部材はH形鋼の製品の中で軸剛性が最大のH-498×432×45×70とした。

上流側は、搬入ルートの制約からH-400×400×13×21を使用し、①凍着部の起点であるバルクヘッド直後と、②補剛効果の高いリングガーダー部の2か所に配置した。

変形抑制工を行った場合の変形解析結果を図-6, 7に示す。

下流側の支保工設置位置である中折れ部の累積変位量をわずか0.14mmに抑制できる結果を得た。

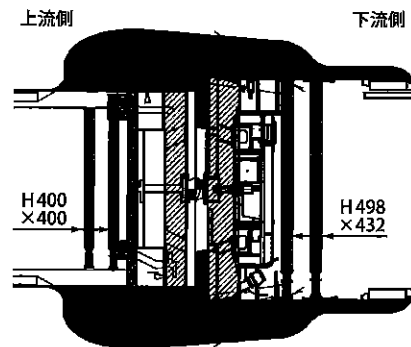


図-8 内部支保工配置図

3-1-3 凍結範囲の設定

下流側について、変形解析により得られたシールド天端変位量累積値の管軸方向の分布を図-9に示す。

分割施工、変形抑制工を実施することで、累積変位量が-0.1mm未満となるほぼ変位ゼロの点を、開口部近傍のフード先端から5,095mm(中折れ部から805mm)のテール側に確認できた。そこで、

- ① 下流側はフード先端より5,095mmの変位ゼロ点を不動点とし、凍着範囲2,500mmの起点に設定した。
- ② 上流側についても、剛性が高く解析上変位のないシールド部の撤去端部を不動点とし、凍着範囲2,500mmの起点とした。
- ③ 下流幹線側凍着部の凍土厚は、貼付凍結管のみで造成可能な400mmとするが、恒久(耐久)グラウトを用いた補足注入により、地中の空隙を充填することで、地下水の浸入を防ぐこととした。
- ④ 管接合部は、バルクヘッド解体

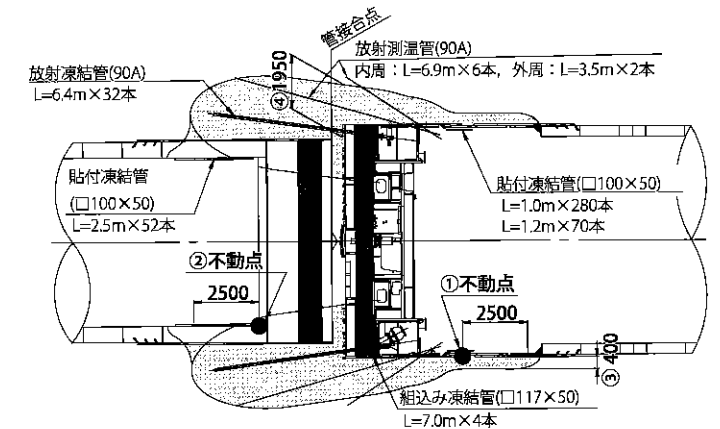


図-10 凍土造成範囲図

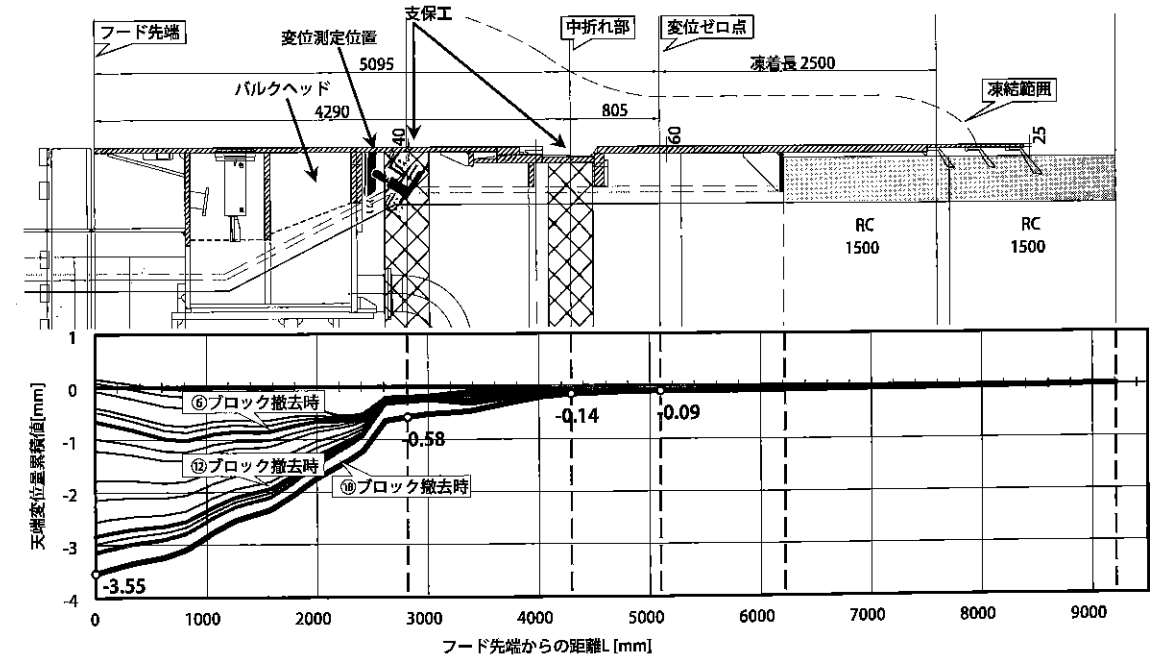


図-9 下流側シールド天端変位量(累積値)の管軸方向分布(支保工あり)

3-2-1 凍土造成

必要凍土厚を確保するために、シールド内部から放射状に埋設する放射凍結管(L=6.4m×32本, 90A)および各部内面に貼付凍結管を配置し凍土を造成した。

凍土造成には、ブライン方式を採用し、ブラインと呼ばれる不凍液を循環させることで、凍土造成、維持を行った。

3-2-2 温度管理

凍土の状態(凍土造成範囲、温度状況)やシールド周囲の止水状況を把握するため、地中およびシールド周囲に図-11のように6本の測温管を放射状に設置し、1本の測温管に5つの測点を設け、測点全30地点で凍土の品質を管理した。また、凍結設備の稼働状況を確認するために、専任の管理者が8時間ごとに設備点検、ブライン、冷却水の温度測定を行った。

凍土温度が-10.0℃以下になると、設計強度を持った凍土が形成されたものとして、地中接合作業を開始する。

凍土の強度不足による掘削面の崩壊が起こらないよう、表-1のように温度管理基準を定め、凍結速度のチェックや凍土造成範囲の予測を行い、温度変化には細心の注意を払いながら凍土温度を管理した。

なお、凍土造成開始後148日でシールド解体を

開始し、管接合に90日の期間を要した。必要以上の凍土造成を防止するため、管接合の間、1次管理値である-15.6℃を基準に管理し、凍土温度は-13.9~-17.8℃で推移した(図-12)。

3-2-3 接合工

バルクヘッド解体時の変形シミュレーションで設定したのと同様に、管頂から円周方向に18分割

表-1 凍土温度管理基準

①凍土の厚さ(地中温度計測結果より得られる凍土厚)

LEVEL	状態	管理基準
1	注意段階	1.85m
2	警戒段階	1.70m
3	緊急事態	1.60m

②貼付凍結部の温度

LEVEL	状態	管理基準
1	注意段階	-8℃より高い
2	警戒段階	-5℃より高い
3	緊急事態	-2℃より高い

③凍着部の温度勾配

LEVEL	状態	管理基準
1	注意段階	+1.0℃/dayを超過
2	警戒段階	+2.0℃/dayを超過
3	緊急事態	+3.0℃/dayを超過

警戒段階：作業を中断し防熱措置実施、凍結運転を強化して待機。

緊急事態：出水のおそれがあり、作業継続不可な状態。

管理項目のいずれかがLEVEL3に達した場合は緊急事態対応に移行する。

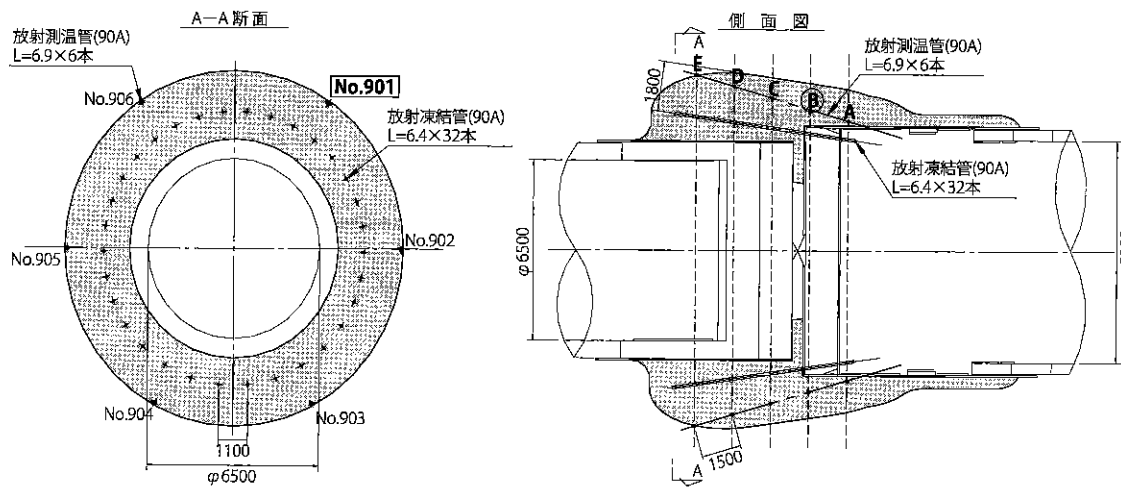


図-11 測温管配置図

に区切って、順次、掘削を行うことでシールドの変形を最小限にし、凍土の融解とスキムプレートの剥離を防止した。

掘削は、下流側からシールド内側の鋼材の切断、撤去と人力のはつりをくり返しながら掘削を進め、上流側に到達した箇所から順次、止水鉄板を貼り付け、水みちが発生していないことを確認しながら

ら施工を進めた。さらに、掘削および止水鉄板の設置の全周完了後、すぐに鋼製セグメントを組立て、裏込め材を注入することで、確実な止水が可能となった。

3-2-4 内空変位管理

変位の測定は、施工上、測定可能な内部支保工を設置した下流側バルクヘッド直後(図-9)で行い、表-2のように管理値を定め、レーザ距離計でシールドの内空変位の変化を常時計測した。

下流側バルクヘッド直後の鉛直変位は、実測値-0.5mm(図-13)となり、解析値である-0.58mm(図-9)と同等の結果を得た。これより、変位ゼロ点である不動点においても変位がゼロであることが推測される。

表-2 内空変位管理値

管理値	内空変位量(mm/日)	対応
1次管理値	±3mm (2次管理値の80%)	シールド内での火気および水の使用禁止
2次管理値	±4mm (限界値の80%)	作業の一時中止 作業員は待機
限界値	±5mm (過去事例値)	作業の中止 作業員退避

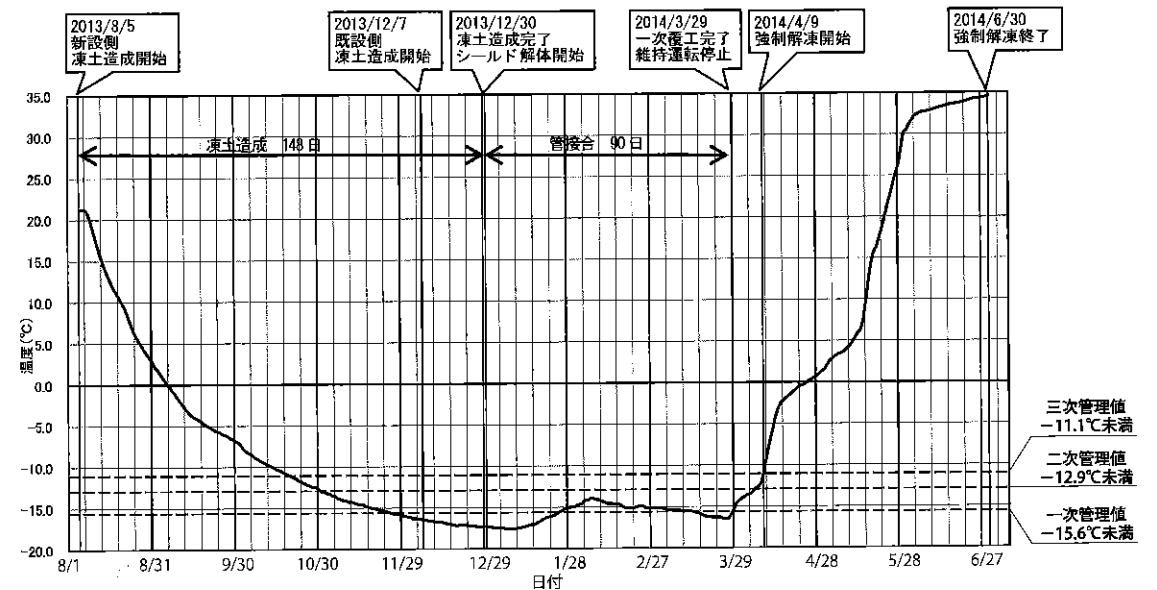


図-12 凍土温度の時系列変化(測温管901-B)

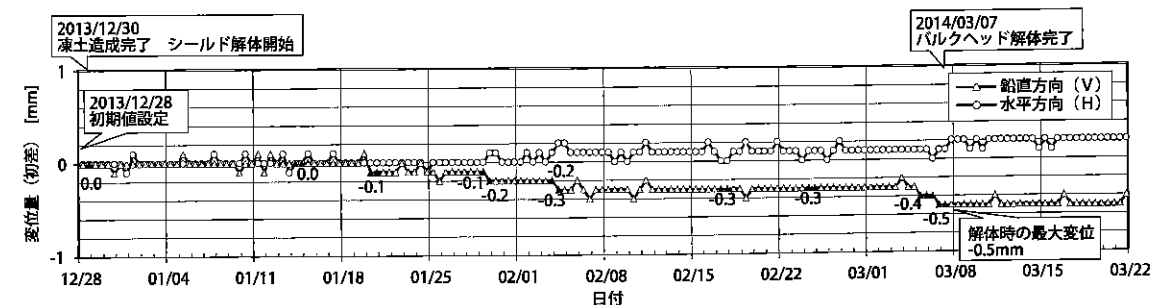


図-13 内空変位の計測結果

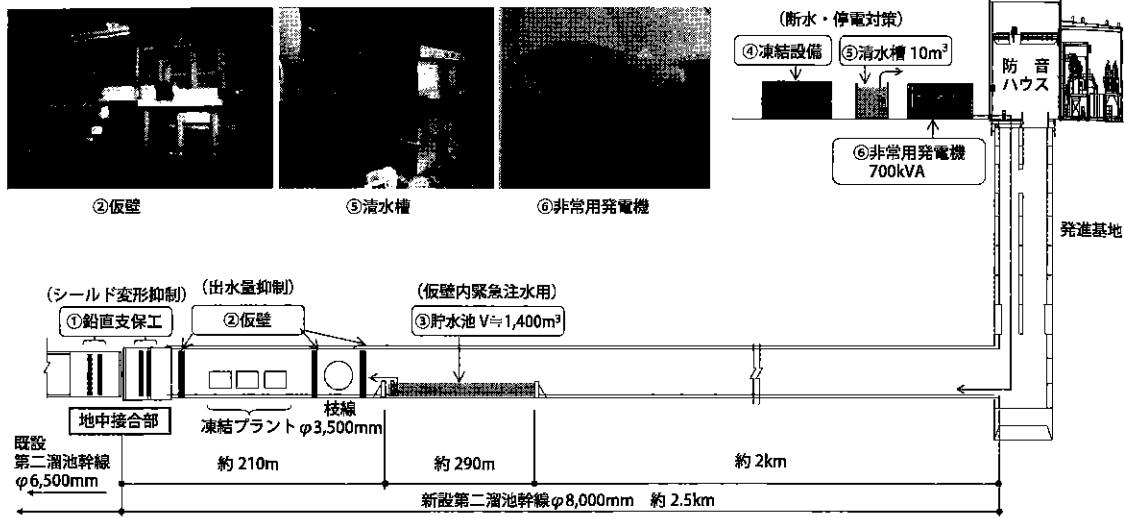


図-14 緊急設備模式図

4 緊急時における対策

4-1 断水・停電対策

本工事発進立坑は、前述のように、地中接合箇所から約2.5km下流にある勝どきポンプ所建設用地内にあり、緊急時対応について、以下の対策を実施した。図-14に緊急設備模式図を示す。

4-2 断水・停電時対策

凍結設備の故障などによる運転停止から復旧までにおいて、防熱措置を施すことによる凍土維持可能時間を解析し、その時間内に設備を復旧できるよう訓練を実施した。また、断水時にも凍結プラント冷却水を供給できるよう、場内に清水槽(図-14⑤)を常備した。

東京電力からの電力供給がストップした場合に備え、凍結プラントの稼働を維持できるよう、非常用発電機(図-14⑥)を地上部に配備し、停電時に電源供給の切替えを自動でできる受変電設備を常備した。

4-3 浸水対策

万が一の出水による2次災害を防止するため、シールド内に地下水、土砂などの流入量を最小限に抑える目的で仮壁(図-14②)を3か所設置した。また、仮壁内への流入水を抑え、構造物や地盤への影響を最小にするため、坑内に水を貯留し、仮

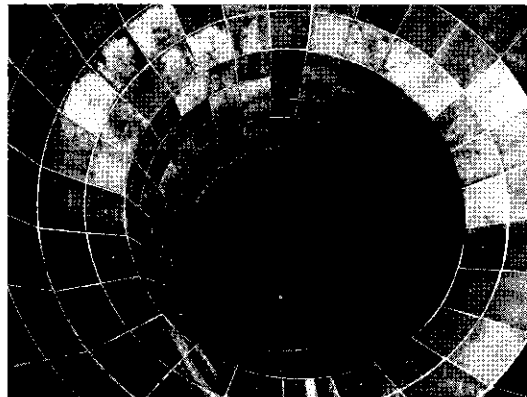


写真-1 地中接合完了状況(下流から上流撮影)

壁内への注水設備を常備した。

さらに、仮壁の閉塞、注水方法などの緊急時防災訓練をくり返し実施した。結果としては、重大事故や出水事故はなく、緊急時対策を活用することなく安全に地中接合を終えることができた。

5 おわりに

シールド工事の接合箇所は、立坑を設置して接続することが基本である。しかし、都心部のような大都市エリアにおいては、立坑用地の確保が年々困難になっており、道路占用に伴う交通規制による交通環境の影響を考えると、必ずしも立坑用地を確保できるとは限らない。本地中接合工事は、

虎ノ門駅という重要構造物の直下にあるとともに、地下埋設物も多数輻輳し、大深度、高水圧という厳しい施工環境であった。そのため、万一の場合、都市活動に大きな影響を与えることとなる。

そこで、局内に検討会を設置して発注者、受注者の協力体制のもと、変形解析を用い、変形抑制対策を実施することで、累積変位量が0.1mm未満の変位ゼロ点を開口部のフード先端から5,095mmの位置に確認できた。これにより、シールドを変形させない安全で最適な凍結範囲を決定することができた。

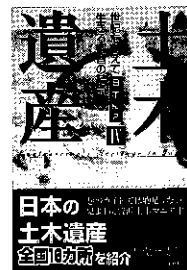
今後は、凍土造成範囲検討時に鉛直支保工の形状、数量を考慮することで、より安全に配慮した凍土造成ができると考えている。現在、地中接合

工事は完了し、全路線完成に向け施工中である(写真-1)。今後も大都市において大深度、高水圧下における地中接合工数の増加が想定されるなか、本稿が参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 伊藤美治・石井健二・岡部威：H&Vで下水道幹線の同時施工を計画、東京都下水道 第二溜池幹線・勝どき幹線、トンネルと地下、Vol.40, No.10, pp.53-56, 2009.10.
- 2) 泉谷信夫・中村雄一郎・滝沢究・岩崎広幸：凍結工法を活用し虎ノ門交差点直下で既設シールドと地中接合、東京都下水道 第二溜池幹線、トンネルと地下、Vol.42, No.9, pp.47-53, 2011.9.

図書紹介



土木遺産IV 日本編2 世紀を越えて生きる叡智の結晶

(一社)建設コンサルタンツ協会『Consultant』編集部 編 ダイヤモンド社
A5判 216頁 本体2,200円 2015年2月刊

いにしえより独自の思想で造られた重厚な土木建築物や、日本の近代化の過程でヨーロッパから伝播した技術がその土地の風土や文化と融合し、独自の魅力を醸し出す土木遺産。そこには、先人たちの知恵と工夫が織りなす技術と歴史が込められ、今なお、私たちの生活を支え続けている。ヨーロッパ編、アジア編に続き日本編第2弾となる本書は、より身近な日本の土木遺産とのふれあいから、知的好奇心を満たしてくれるガイドブックでもある。

目次

景観の中の土木遺産

- パート1 北海道・東北・関東(小樽港外洋防波堤/藤倉ダム/貞山運河/玉川上水)
- パート2 北陸・中部(箱根旧街道/黒部溪谷鉄道/アカタン砂防)
- パート3 近畿・中国・四国(丸山千枚田/布引ダム/満濃池/三滝ダム)
- パート4 九州・沖縄(南河内橋/通潤橋/三角西港/安房森林軌道/金城の石畳道)

巻末資料

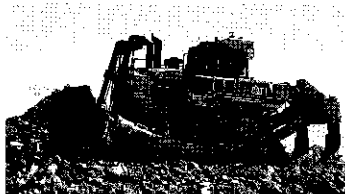
※各編に同設計者施設、近隣土木施設、類似土木施設、現地を訪れるならなどを掲載

工法・技術・製品ニュース

製品 キャタピラーから小割り破碎機と大型ブルドーザが発売



P200シリーズ小割り破碎機



D10T2ブルドーザ

キャタピラー・ジャパン(株)広報室
Tel: 03-5717-1122
E-mail: ojl-public@cat.com

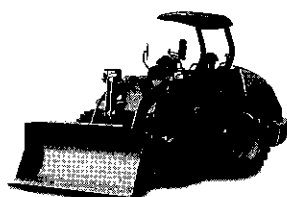
キャタピラー・ジャパンは、破碎作業や分離作業を短時間で処理できる小割り破碎機と大規模土木などに用いる大型ブルドーザを発売した。

小割り破碎機Cat P200シリーズは、15~60tクラスの油圧ショベル向けの製品で、P215、P225、P235の3モデル。コンクリートや解体廃材を大量に処理するための専用設計がなされている。固定式の頑丈でワイドなジョーは、ひと噛みでコンクリートの断面を破碎し、回転の必要がないため、高い生産性を実現するほか、鉄筋カッターは反転可能で、摩耗時に反転することで鋭い切断能力を維持する。また、容易に交換が可能な破碎歯・圧砕歯や油圧系統への簡単なアクセスなど優れたメンテナン

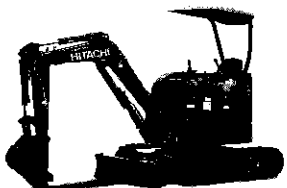
ス性/サービス性を備えた。

新型ブルドーザCat D10T2(運転質量71,400kg)は、Cat D10Tのモデルチェンジ機で、パワフルで低燃費なCat C27 ACERTエンジンの搭載や、作業負荷に応じて作業装置に最適な油量を供給するロードセンシングシステムの採用などにより燃費効率を向上させた。また、車両の状態確認や各種設定を簡単に行うことのできるフルカラー・タッチパネル式のインフォメーションディスプレイの搭載や視界性を向上させた新型キャブなどによりオペレータ環境を改善したほか、着座感知機能付きシートや始動時オイルモニタリング機能など、安全性・サービス性も高めている。

製品 日立建機からホイールローダとミニショベルが発売



ZW80-8Bホイールローダ



ZX20U-6A後方超小旋回型ミニショベル
日立建機(株)広報戦略室広報グループ
Tel: 03-3830-8065
http://www.hitachi-kenki.co.jp

日立建機は、新型ホイールローダZW-8シリーズとして、ZW80-8B(標準バケット容量0.9m³、運転質量4,895kg)を、後方超小旋回型ミニショベルZX20U-6A(標準バケット容量0.07m³、機械質量1,990kg)をモデルチェンジして、発売した。

ZW80-8Bは、オフロード法の排出ガス2014年基準に適合したホイールローダで、現行モデルの良さを踏襲しながらも、経済性や作業性能、オペレータの快適性などを改良した。高出力エンジンを採用したことで余裕のある作業性を実現し、大きなダンピングクリアランスとリーチ、小さな旋回半径でさまざまな作業現場

に対応可能。また、各種車両状態を表示するモノクロ液晶モニタをセンターパネルに内蔵したほか、サスペンションシートを標準装備して、快適な運転操作性を実現した。

ZX20U-6Aは、レバー操作方式に全操作油圧パイロット式を新たに採用して操作性を向上させた。また、サイクルタイムを短縮し、作業量も従来機比で向上している。リストコントロール式の操作レバーを新たに採用して、足元スペースを拡大したほか、オプションで装着する4柱キャノピに鉄製ルーフを採用し、TOPS、ROPS、OPGトップガード(レベル1)に適合している。

報告

40周年を迎えた 山陽新幹線のトンネル路盤対策の変遷

— 検査手法と対策工法 —

西日本旅客鉄道(株)構造技術室基礎・トンネル構造主査 坂本寛章
西日本旅客鉄道(株)構造技術室基礎・トンネル構造担当課長 近藤政弘
西日本旅客鉄道(株)構造技術室基礎・トンネル構造担当室長 長山喜則

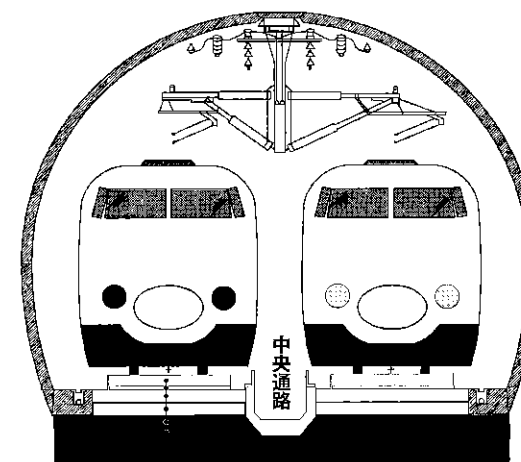
1 はじめに

2015(平成27)年3月に山陽新幹線は全線開業40周年を迎えた。本稿は、山陽新幹線トンネルの維持管理にかかわるこれまでの取組みのうち、トンネル路盤対策を取りまとめたものである。

山陽新幹線の建設では、保守の省力化を図るため、バラスト軌道に代わって当時開発されたスラブ軌道が適用された。新大阪~岡山間での試験敷設を経て、岡山~博多間(約400km)においてはトンネル区間も含めて全面的にスラブ軌道が採用され、同区間の約70%にあたる約280kmに敷設されている。

図-1にスラブ軌道が敷設された山陽新幹線トンネルの標準的な路盤断面図を示す。当時のトンネル建設では、一般的な地山ではインバートは設けておらず、スラブ軌道は路盤コンクリート上に敷設されている。

一方、山陽新幹線岡山以西のトンネルでは、開業後間もなく、湧水の多い区間において、軌道スラブ、中央通路や側壁の変状、中央通路への噴砂・噴泥といった路盤の変状や、これに伴う軌道狂いが発生した。これらは、列車のくり返し荷重により、路盤下の地盤が細粒化して流出した結果、路盤下に緩み領域や空隙が形成されたことが原因で



軌道スラブ
CAモルタル
路盤コンクリート
りょう盤コンクリート
均しコンクリート
良質な岩ずりによる路面整理

図-1 山陽新幹線トンネル(スラブ軌道区間)の路盤断面

あるため、開業後より断続的に対策を実施し、これまで安全・安定輸送を確保してきた。また、最近では将来にわたって山陽新幹線を健全な状態で供用できるよう、抜本的な対策を開始したところである。

本稿では、これらの山陽新幹線トンネルのスラブ軌道区間における路盤対策に関する取組みを紹介する。

2 路盤変状の概要

2-1 路盤変状のメカニズム推定

トンネル内スラブ軌道区間でみられた路盤変状による軌道などへの影響を図-2および写真-1に示す。変状の発生箇所が、地下水位の高い湧水の多い箇所であることから、路盤変状の発生メカニズムは下記のとおりと想定される。

- ① 列車荷重により路盤コンクリート底面が路盤下を面的に圧縮
- ② 路盤下地盤が細粒化あるいは粘土化され、地下水によって細粒分が流出(とくに、地下水位が高い場合は間隙水圧の上昇により路盤部の施工継目から細粒分が路盤コンクリート上へ噴出)
- ③ 列車のくり返し荷重により路盤コンクリート下に緩み領域や空隙が徐々に拡大し、路盤変状が発生

スラブ軌道における路盤コンクリートの基礎工の考え方が『山陽新幹線設計施工資料』¹⁾に示されている。これによると、掘削基準面付近の基盤を清掃したあと、均しコンクリートを打設して所定の基準面を設定し、その上に路盤コンクリートを施工することを基本としている。しかし、余掘りが大きく相当な延長にわたる場合で、当該部分が良質な岩ずりて充填されていると判断される場

合に限り、均しコンクリートの平均厚さ(15cm)と転圧層(5cm程度)に相当する部分をすき取り、その後、転圧層部分に砕石を敷詰めて転圧することで基準面としてよいと示方されている。

このことから、トンネル建設当時、湧水区間においても同様の考え方で路盤コンクリートを施工したことが想定され、これが先ほどの変状過程を助長させたと考えられる。

2-2 路盤検査

JR西日本においては、トンネル内スラブ軌道の路盤部について、2年に1回の周期で、各土木技術センターによる目視(必要により打音)の検査を実施している。ただし、路盤下の変状に関しては、直接、その発生状況を把握するのは困難であることから、下記の項目から推定している。

- ① 軌道変状の状況(おもに高低値)
- ② 噴砂・噴泥の状況
- ③ 路盤コンクリート端部の変状発生状況(写真-1)
- ④ 中央通路や側下水の常水・堆砂の状況

3 路盤変状の対策工

3-1 中央排水溝の追加

東海道新幹線におけるトンネル区間では、バラスト軌道と中央通路下の排水構造が標準であった。一方、山陽新幹線の岡山以西のトンネル区間では、

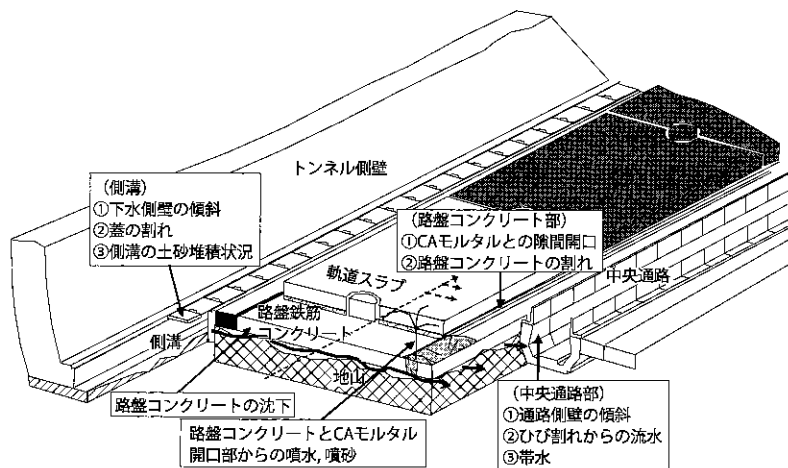


図-2 路盤下変状による軌道などへの影響



写真-1 側溝蓋の傾斜

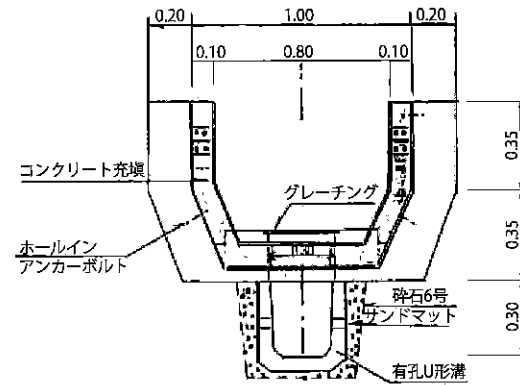


図-3 中央排水溝の例

スラブ軌道が採用されるとともに、排水構造も標準仕様が側溝に変更されている。このため、集水位置が高くなり地下水の影響を受けやすくなったと考えられることから、開業後、中央通路の下部へ集水溝を追加施工している(図-3)。

ただし、夜間の列車間合いの中、中央通路下を開削する施工となり、中央通路の側壁の安定性を保ちながらの施工が困難な施工とならざるを得なかったことから、中央排水路の設置は一部区間の施工に留まっている。

3-2 路盤下注入

路盤下注入は、セメント系の注入材料を用いて、空隙を充填する方法である。開業後より路盤下変状が生じた箇所への注入を随時実施している。ただし、地下水が存在する状況で施工するため、地下水の流れの影響を受けやすく、設計注入範囲に留まらないこともある。

これまでの調査では、地下水流が速いと思われる箇所などでは充填が十分でない箇所が散見された。これは注入圧力を低く抑えていることや地下水流などの影響により注入材が希釈あるいは流出しているためと思われる。

これをふまえ、注入材料について水中不分離性の向上を図ってきた。表-1に改良した注入材料の特性を示す。流水下でもモルタルの不分離性を高めるよう酢酸ビニルなどEVA系の樹脂を添加している。

水中不分離性の確認のため図-4に示す水流がある型枠中での注入試験を実施した。注入状況を写

表-1 改良した路盤下注入材料の特性

材 質	EVA系急硬セメント
練上り温度(℃)	17.6
粘 度(MPa s)	20,000 以上
ゲル化時間(分)	20
硬化時間(分)	60

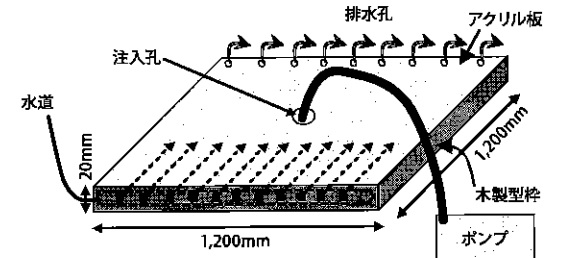


図-4 注入材の水中不分離性試験

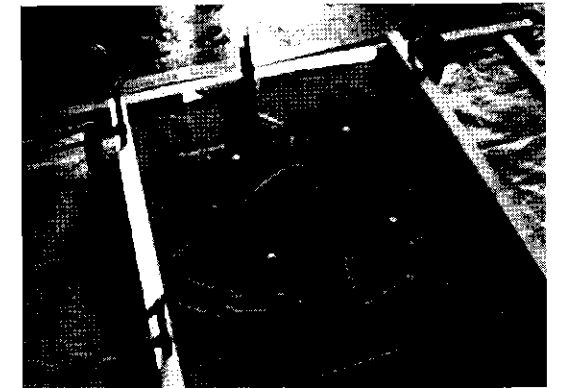


写真-2 注入材の水中不分離性試験

真-2に示す。既存の注入材料の場合で水中での材料分離が生じたものの、改良材料では分離せず、充填率(型枠中の全体積に対する充填された割合)は80.3%であった。

なお、すでに路盤下変状により軌道の沈下が生じた箇所については、路盤下注入を施工するとともに軌道側での対策として軌道こう上を実施しており、軌道パッドによるこう上のほか、増厚タイプレートの挿入によるこう上が行われている。

3-3 坑外集水井の施工(山田トンネル)

山田トンネルは、山陽新幹線厚狹・新下関間に位置する全長2,898mのトンネルである。起点方坑口付近の上部の状況を図-5に示す。このトンネルは、山陽新幹線のトンネルの中でもとくに路盤

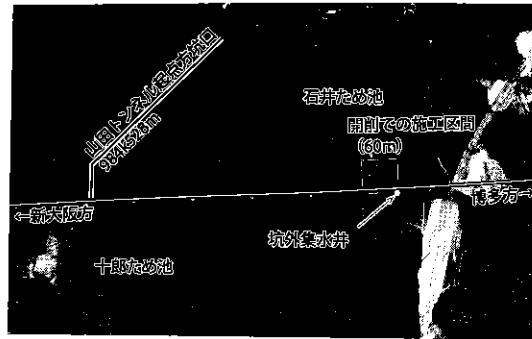


図-5 山田トンネル上部の状況

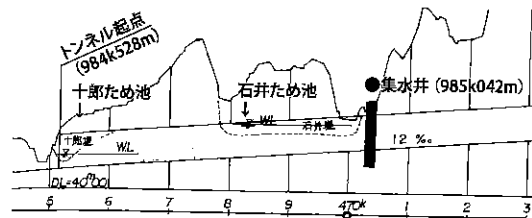


図-6 山田トンネル縦断面図(ため池付近)²⁾

変状が著しく、これまで路盤沈下がくり返し発生し、抜本的な対策が必要であった。

山田トンネル周辺の地形および地質条件として、起点方坑口付近は、真砂層の発達している丘陵地であり、トンネルを挟んで2つのため池(十郎ため池、石井ため池)があることから、トンネル建設時は、ため池の濁水が懸念された。トンネルとため池の位置関係を図-6に示す。地質は、起点方坑口より真砂、強風化花崗岩、風化花崗岩などの花崗岩風化帯を通り、985k150m付近で花崗岩の岩盤に入り、途中4か所の断層破碎帯を経て終点方に至っている。また、谷地形の985k018mを中心とするトンネル延長60mは、強風化岩の基面上に開削工法で施工されており、変状に伴う路盤沈下が大きい区間となっている。

山田トンネルにおいて路盤沈下対策工を検討するにあたり、次のことに留意した。

- ① 軌道側で対応してきたこう上用タイププレートによる路盤沈下対策は限界量(最大厚40mm)に達しつつある。
- ② 開削区間は谷地形の集水箇所であるため、地下水位が軌道面よりも高い位置にある。
- ③ 現在使用されている注入材料は軌道隆起を

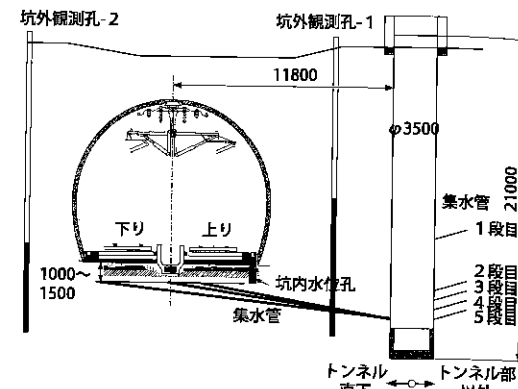


図-7 集水井周辺断面図

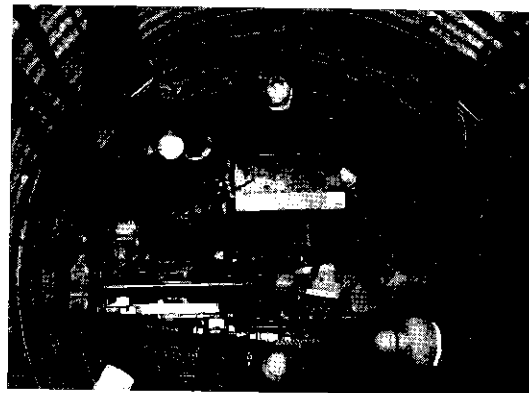


写真-3 集水井における水平ボーリングの施工状況

防止するため低圧注入となり、路盤下に介在する砂層には注入できない。

- ④ 地下水位以下に存在する風化花崗岩は、上部の砂層部の空隙とこれに対するポンプ作用により細粒化し、今後の路盤変状の進展につながる可能性が高い。

これらの留意点を考慮し、路盤変状の誘因と考えられる地下水位の低下を優先的に実施するために、トンネル坑外に集水井を計画した。集水井の目的は安全に地下水位を低下させることにあるため、地下水とともに路盤直下の砂を排出することは避けなければならない。そこで、まずトンネル部以外の水平ボーリングで集水の効果を確認しながら、徐々にトンネル近傍を集水対象とする手順とした。

図-7に集水井周辺の断面図を、写真-3に集水井内部からのボーリング施工状況を示す。図-8に山

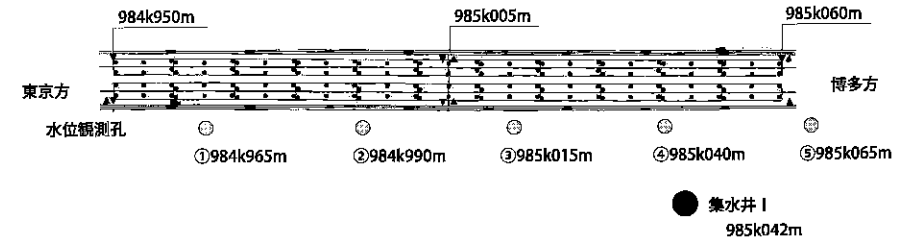


図-8 坑内水位計測位置図(No.1~5)

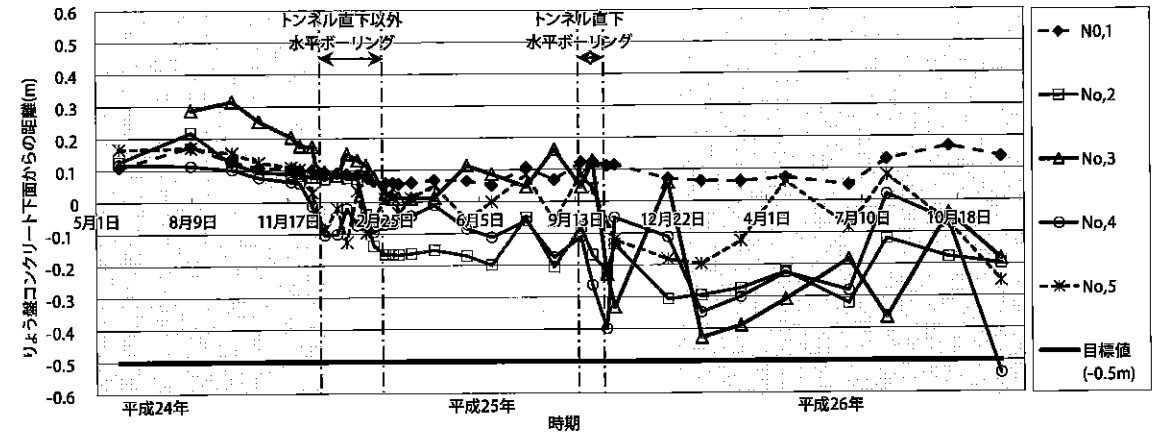


図-9 坑内地下水位の経過

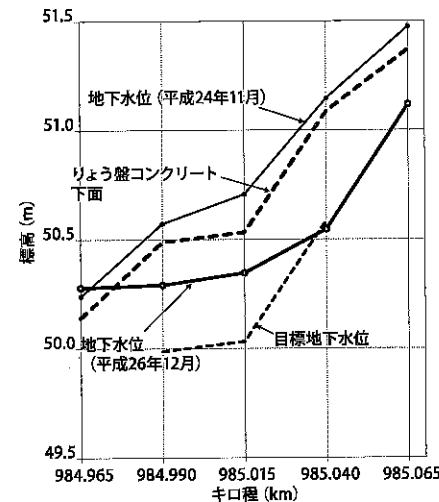


図-10 構造物と地下水位の関係

田トンネルの水位観測孔の配置図を示す。

もっとも変状が大きい箇所を中心にその両側も含めて5か所で25m間隔に配置した。

図-9に各水位観測孔における水位の経過、図-10にトンネル縦断方向の坑内地下水位を示す。ボーリングは、当初トンネル部以外の方向に施

工したものの、水位の低下が十分でなかったため、トンネル直下部に対しても水平ボーリングを施工した。この施工後も地下水位変動はあるものの、2014(平成26)年12月現在、地下水位はりょう盤コンクリート下面におおむね保持されており、ボーリング孔から砂の流出は認められていない。今後も季節的な変動などを見極めるため、少なくとも約1年は継続的に坑内水位を計測することとしている。

3-4 路盤支持杭の施工(周東トンネル)

路盤変状に対する抜本的対策の1つとして、すでに東北新幹線で実績のある、路盤支持杭による桁構造化の方法³⁾を周東トンネル(新岩国・徳山間)に適用した。路盤支持杭の構造を図-11に示す。既設のスラブ軌道の路盤下に小口径の場所打ち杭を構築し、路盤全体を杭で支持する構造である。杭は線路直角方向に約2.5m、線路方向には約1.7m間隔に配置する。路盤コンクリートから鉛直荷重を杭へ伝達するためには、杭頭の路盤コンクリートを支持する部分の径を拡大する必要があり、所

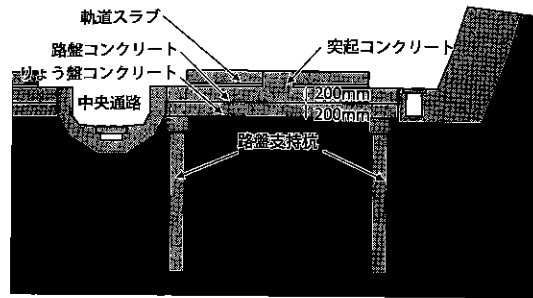


図-11 路盤支持杭の工法概要図

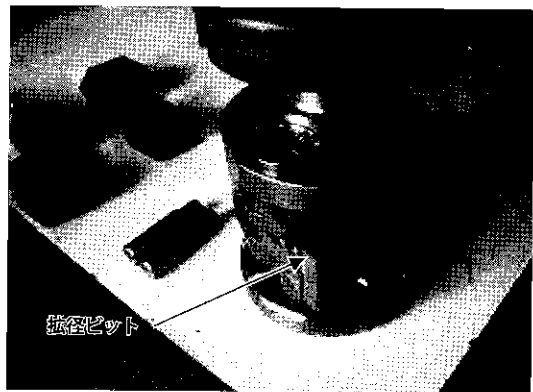


写真-4 拡径装置

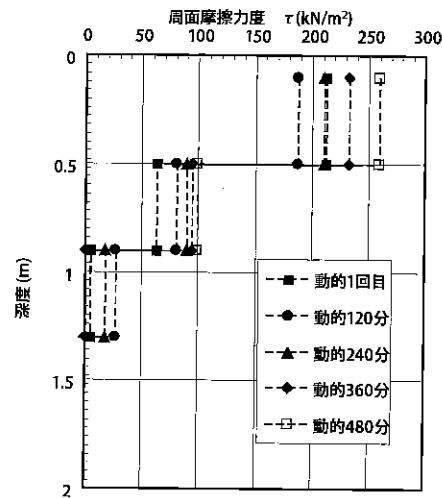


図-12 周面摩擦力度の分布

定の拡径部を確実に施工することが重要となる。そこで、遠心力により拡径ビットが開く装置を新たに作成し、試験施工を行った。

写真-4に拡径装置を示す。

試験施工の結果、対象地盤が硬質でも確実な施工が可能であることが確認できたことから、この

拡径装置を含む施工機械を用いることとした。また、路盤支持杭の風化花崗岩における支持力特性を確認するため、動的載荷試験を実施した。

各層の周面摩擦力度を算定した結果を図-12に示す。

加振時の入力荷重や杭軸ひずみの動的な変動もあることから、くり返し回数(動的載荷中の時間)によって、最大軸力が若干ばらついているため、周面摩擦力度もばらついた結果となっているが、くり返し回数に伴って低下する傾向は認められず、風化花崗岩地盤における杭の適用性が確認できた。

4 路盤変状探査手法

これまで路盤変状に対する調査方法としては、コア削孔を行って空隙を測定する方法が採られているが、部分的な方法であるため、路盤の変状的確にとらえるのは困難である。そこで、軌道検測車による検測データを用いた路盤変状の推定⁹⁾や、路盤の振動特性を利用した探査手法について検討を行ってきた。これらの方法について述べる。

4-1 軌道検測データを用いた抽出方法

軌道検測値(とくに高低値)およびその進行値は、路盤下空洞や路盤下変状を推測し、路盤注入などの実施判断の目安の1つとして経験的に使用されてきた。そこで、一次スクリーニング手法として、軌道検測車による検測データを用いた効率的な抽出方法の標準化の検討を行った。

山陽新幹線における軌道管理では、指標の1つとして10m弦と呼ばれる値が用いられている。これは、図-13に示すように、レール頭頂部に対し10mの弦を張ったと仮定したときの中間部(5mの位置)における、鉛直方向の相対変位である。路盤変状により沈下が生じると、図-14に示すように上部の軌道にも影響が出ると考えられることから、10m弦高低の進行性に着目し、検討を行った。

従来、路盤変状による対策工の実施箇所は、土木側、軌道側からそれぞれ選定し、優先順位づけを行ってきた。とくに軌道検測データにより選定される箇所についてトレースを行い、従来の基準

を見直した。

その結果、年間または半年における10m弦高低の進行値が1mmを超過する箇所について、優先的に対策(おもに路盤注入)を実施することとした。10m弦高低の進行値が超過している箇所を効率的に抽出するため、軌道管理システム(LABOCS)に超過箇所のみを抽出する機能(軌道狂い推移出力)を追加し、対策候補箇所を選定する仕組みを構築した(図-15)。

図-16に抽出の一例を示す。路盤注入の前後の検測データを示しており、注入後に検測値の進行が緩やかになっていることがわかる。

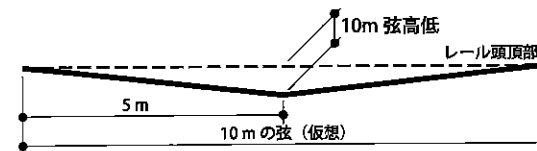


図-13 10m弦高低

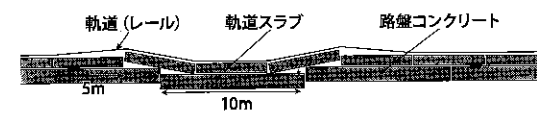


図-14 路盤コンクリートと軌道狂いの関係(イメージ)

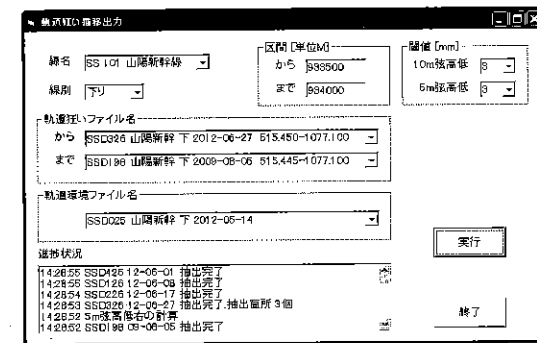


図-15 軌道狂い推移出力(設定画面)

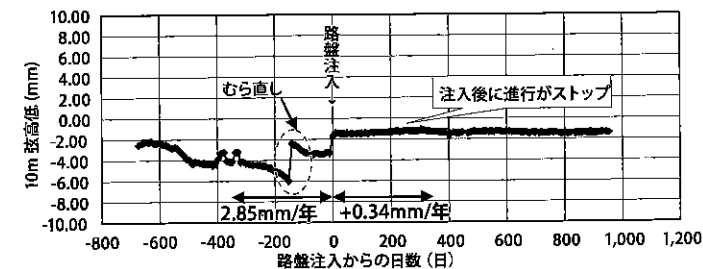


図-16 軌道狂い推移出力の例

4-2 振動特性を利用した探査手法

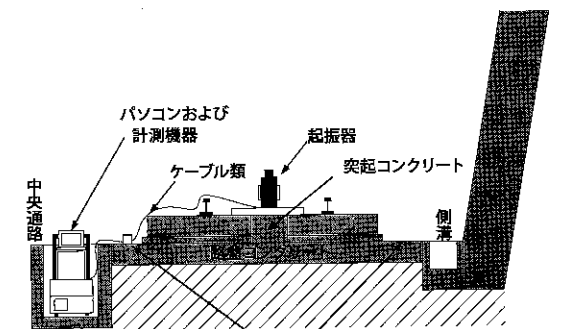
路盤変状の有無や程度および広がり、路盤の振動特性との相関性を把握することを目的に、小型起振器を用いた振動試験を行った。

小型起振器による振動試験は、構造物を起振器で強制的に振動させ、構造物の固有振動数などの応答特性を求める方法である。試験に用いる小型起振器を写真-5に示す。

突起コンクリートと呼ばれる、軌道スラブ間に路盤コンクリートが一部露出した箇所に小型起振器を設置し、路盤に直接起振力を作用させる。



写真-5 小型起振器



加速度センサー

図-17 計測機器の配置

表-2 小型起振器の性能

最大加振力(N)	490
最大変位(mm)	150
最大速度(cm/s)	100
最大加速度(m/s ²)	152.9
周波数範囲(Hz)	0.1~1,000
総質量(kg)	48

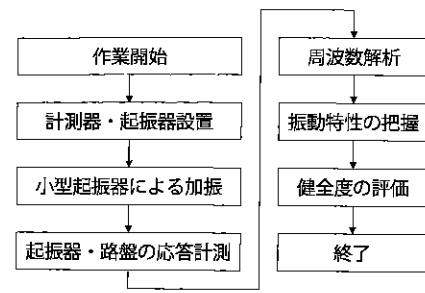


図-18 起振器試験のフロー

図-17に計測機器の配置などを示す。小型起振器の性能を表-2に示す。

小型起振器は約50kgの重さである。加振1.0Gの条件で3~200Hzの範囲で加振できるため、この周波数範囲で加振する。振動試験の実施フローを図-18に示す。

路盤の振動試験結果に対する評価指標としては、固有振動数による評価やスペクトル面積による評価がある。固有振動数による評価は、橋脚や高架橋の衝撃振動試験でも用いられる一般的な方法である。一方、スペクトル面積による評価は、図-19で示すように、所定の範囲の伝達関数(振幅比)で囲まれた面積の大小で評価する方法で、もたれ壁やL形擁壁に対して行われている例がある。

この評価手法を用いた計測結果を図-20に示す。これは、路盤変状対策工として、路盤注入を実施した箇所での施工前後に振動試験を実施した結果を示している。これより、路盤注入後にはピークが高振動数領域へ移動し、スペクトル面積も低減している。路盤注入箇所に対して、連続的に10か所の突起

コンクリート上で加振させた結果、図-21に示すように、すべての箇所で近傍の計測箇所でのスペクトル面積は低減した。これより、路盤注入による対策効果を定量的に評価できているといえる。

このように、同一箇所における相对比较であ

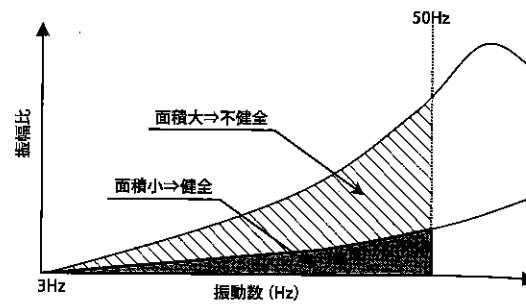


図-19 スペクトル面積による評価

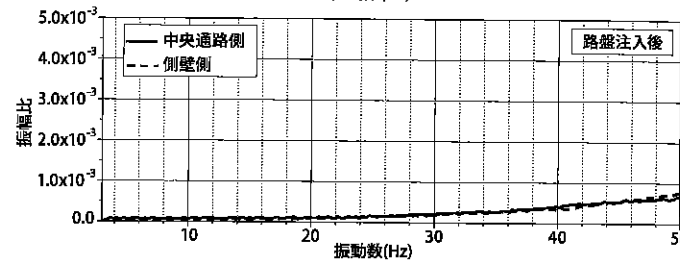
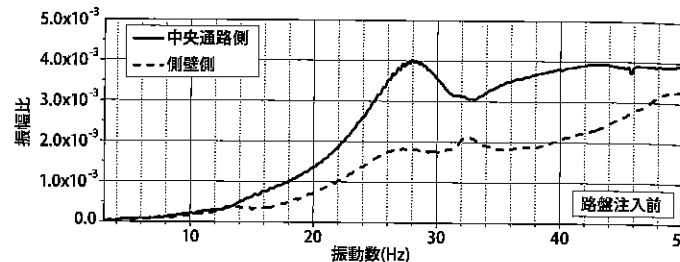


図-20 路盤注入前後における振動計測結果

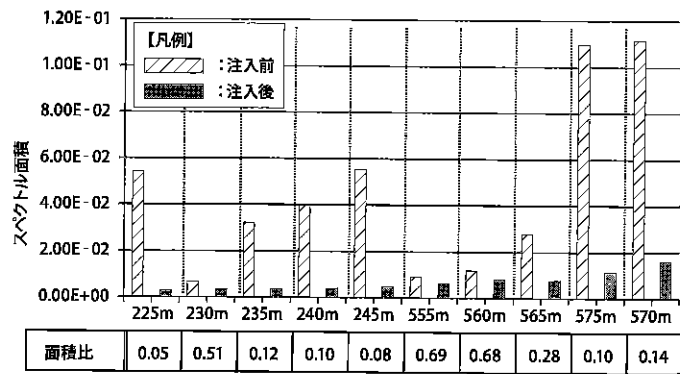


図-21 スペクトル面積の比較

ば、初期値を測定し、その後の変化を確認することで、健全度評価は可能である。ただし、初期値がない状態で路盤の健全度を評価する場合には、基準値が必要となる。

今後、これまでの振動試験結果の分析を進め、

基準値(しきい値)の検討を進めるとともに、4-1節で示した軌道検測データを用いた抽出手法も含めた総合的な検査体系の構築に向けて取り組んでいく予定である。

5 おわりに

これまで、山陽新幹線の路盤沈下対策について述べてきた。これらの対策については、JR西日本が(公社)日本材料学会に委託している「持続可能な鉄道コンクリート構造物に関する検討委員会(委員長:宮川豊章・京都大学大学院教授)」およびそのなかのWGである「トンネルWG(主査:朝倉俊弘・京都大学大学院教授)」において継続的に議論されてきた。

山陽新幹線は開業40周年を迎えるが、今後もトンネル路盤の維持管理に関して新技術を取り入れながら、引続き健全性の確保に努めていきたい。

参考文献

1) 日本国有鉄道広島新幹線工事局:山陽新幹線設計施

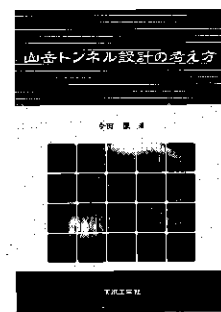
工資料, 1974.3.

- 2) 日本国有鉄道下関工事局:山陽新幹線工事誌(小瀬川・博多間), 1976.3.
- 3) 中村宏・清水満・橋本芳輝・土田大輔:トンネル内噴泥・路盤沈下対策に場所打ち杭を採用,東北新幹線白坂トンネル,トンネルと地下,Vol.33, No.10, pp.7-17, 2002.10.
- 4) 近藤政弘・坂本寛章・小林俊彦・長山喜則:トンネル内路盤支持杭の載荷試験(風化花崗岩における支持力の繰返し強度特性),第48回地盤工学研究発表会概要集, pp.617-618, 2013.7.
- 5) 佐々木陽・武山和生:路盤下空洞の影響を受ける軌道狂い発生メカニズムの解明と管理方法に関する一考察,土木学会第65回年次学術講演会概要集, pp.491-492, 2010.11.
- 6) 真井哲生・田中祐二・大村寛和・阿部慶太・篠田昌弘:既設もたれ式擁壁補強工の定量的評価法,第55回地盤工学シンポジウム平成22年度論文集, pp.267-274, 2010.11.
- 7) 窪田勇輝・篠田昌弘・中島進・阿部慶太・江原季映・坂本寛章・御崎哲一・高梁康将:起振器を用いたスラブ軌道を有するトンネル路盤の変状対策工評価方法,土木学会第68回年次学術講演会概要集, pp.179-180, 2013.9

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



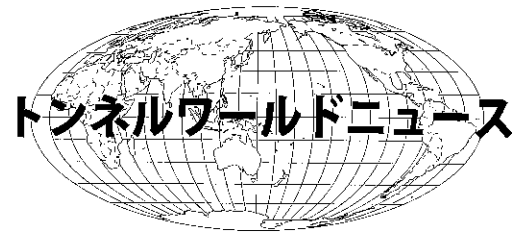
山岳トンネルを設計するうえでの考え方は勿論、設計の留意点などを平易にまとめている。山岳トンネル工事に携わる諸兄の必読書である。

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

株式会社 土木工学社

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



(一社)日本トンネル技術協会
国際委員会

マレーシアにTBMの改装設備を計画

中国鉄道トンネル設備有限公司(CRTE)は、マレーシアにTBM用の改修施設の建設を予定しており、2,000万リンギット(約600万USドル)の予算を組んでいると発表した。

52歳で25年以上のトンネル経験者であるCRTE社長のLi Jianbin氏は、「クランパレーMRTスングアイブロー〜カジャン線(SBK線)の一部を掘削するTBMのうち、2台は再利用される。新規製作のマシンをMRTで使用する計画があるマレーシアでTBM改修を選んだことは、自然なことである。」と語った。

例えば、シンガポールはすべての地下鉄計画で最新のマシンを求めている。SKB線のトンネル建設の契約でさえ、新規製作が入札条件となっている。インドネシアでは、最近ジャカルタ地下鉄の建設事業が開始し、地下鉄トンネルの掘削が始まった。これらはすべて、転用可能な多くのTBMにまだ需要があることを示している。中国以外での改修事業は、国際的なTBM供給元として変革するCRTE社の目標と調和する。

中国ではすでに最大のTBMメーカーであるが、中国国内で稼働するTBMは700以上の形や大きさがあり、国内の競争は激しい。

「われわれは自由貿易地域の中の3〜4haの用地を借用または買収しようとしている。」と、CRTE社の国際部門であるCTE社のDon Hall社長は述べた。CTE社はブラウ・インダ内のクラン自由貿易港(PKFZ)にある土地に目を付け、適した広さで借入も可能だった。さらに20人以上の熟練工が働いていたが、マレーシアにおける初め

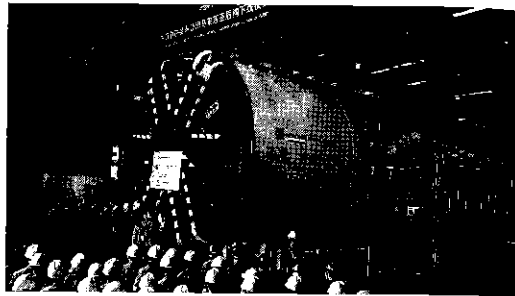


写真-1 TBM完成式

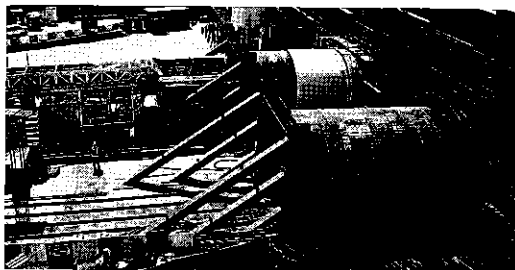


写真-2 掘進直後のTBM



写真-3 駅舎部への到達

でのTBM改修工場としては軟弱地盤であったため契約は中止された。自由貿易地域は面倒な税関事務手続きが省略されるため、輸送や改修のためのTBMの出入れが容易である。

「PKFZの予定地は軟弱な地盤を除けば適した場所だったが、機械設備は特殊であり床には最低でも300t/m²の重量がかかる。」

CTE社はいまだにマレーシアでの事業に関心を寄せている。パサール・セニMRT駅に8月と9月にそれぞれ到達する2台のTBMを整備する期限が迫っているため、用地を捜している。(T&T '14.7 担当：山下高俊・三井住友建設(株))

連載講座

山岳トンネル覆工の長寿命化技術(4)

—覆工コンクリートの品質向上技術(施工①)—

「山岳トンネル覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会

① はじめに

新設トンネルの施工における覆工コンクリートの長寿命化とは、コンクリートの密実化と表層品質の向上(緻密化)を図り、水や排気ガスによる浸透劣化を抑止するとともに、施工に起因するひび割れの発生を低減することと考えられる。

ここでは、各施工段階(工種別)に用いられている工法の現況と、長寿命化に着目して取り入れられている新しい技術について概説する。

② 防水工

防水工の役割はおおむね、漏水の防止や水密性の確保、覆工背面との拘束低減(アイソレーション)である。

ここでは、供用後の第三者への影響が注目される鉄道や道路トンネルの覆工防水工に注目し、その長寿命化に対して有効であると考えられる技術の紹介と、これからの改善の方向について報告する。

2-1 防水工の重要性と現状に対する認識

トンネルの漏水の防止や水密性の確保は、安全な交通空間確保のほかに、覆工コンクリートの耐久性や付属設備の長寿命化の面からも重要な課題である。一方これまで防水工は、単に防水シートを張り付けるだけの工種であり、革新的な技術開発が進まなかった分野である。例えば、トンネルの完成時には見られなかった漏水が、数年後発生

するケースを耳にするが、これらの中には施工段階で生じた防水シートが、完成後数年で排水機能が低下し、誘発されたものも少なくないと考えられる。

また、防水工の成否がよりシビアに求められる非排水型トンネルにおいて、厚さ2mmのシート防水だけで完全な水密性を確保することは容易ではないため、防水工がトンネルの構造において重要な機能を有している点を再認識する必要がある。

2-2 防水工の問題点

防水工の信頼性を低下させている要因は、施工システムと施工方法の両面にある。材料面では、シート表面の損傷を視覚的に把握できる防水シートや裏面排水機能を向上できるような不織布(裏面緩衝材)に立体網状体を取り付けた防水シートのほか、覆工コンクリートとイオン結合により強固に接着する防水シートなどが製品化されており、用途に合わせて選択できる環境が整っている。一方施工面では、一次支保工(吹付けコンクリート・ロックボルト工)、防水工、鉄筋組立て工、覆工コンクリート工など、多くの工程において防水シートに潜在的な欠陥を残す危険性が潜んでいる。

一般的にそれぞれの工程は専門化しており、各工程の間で防水シートの欠陥を点検してから後工程に引き継ぐようなシステムは確立していない。また、施工方法の面でも以下に示すリスクがあることを認識しておく必要がある。

① 一般的に使用されている防水シートは、工

場でEVAシートと不織布を一体加工しているため、EVAシート自体の規格どおりに伸びない。このため施工においては、吹付けコンクリートの凹凸面への追従性が悪く、縦横両方向に適切な余裕を持たせて張り付けることが難しい。

- ② 現場で施工する防水シート同士の溶着部は、溶着後の強度が母材の30%近くまで低下するため、覆工コンクリート打設時の衝撃や圧力により裂ける危険性がある。
- ③ 吹付け面の釘や仮設物のアンカーなどの突起物の取り忘れのほか、ロックボルトの頭部（とくに鋼管膨張型の大きな頭部）や座金の角などが防水シートを傷めてしまう危険性がある。
- ④ 鉄筋組立時、鉄筋の端部が防水シートを傷つけてしまうことがあり、シートの張り方によってはこれを見逃す危険性がある。

2-3 土木学会が示すトンネル覆工の施工指針

1999(平成11)年に山陽新幹線福岡トンネルで覆工からコンクリート塊が落下するという事象が発生し、その後も同様の事象が数件相次いで発生した。トンネルの安全性に対する懸念が増大する中で、土木学会は「トンネルコンクリート施工指針作成小委員会」を設置し、翌年わが国では初めて、トンネル覆工の施工技術の現状と問題点およびその改善の方向性について、施工指針(案)¹⁾を示した。指針には、防水材の【解説】で「張付け工法のシートは、覆工コンクリートに巻込まれたりコンクリート充填を妨げたりして、空洞や巻厚不足発生の要因となることがあるので、施工にあたっては十分注意しなければならない。吹付けコンクリートに密着する安価でコンクリートの充填を妨げないような実用的な方法の開発が望まれている」旨が記され、防水工に関する改善の方向性が明記された。

2-4 新しい防水工(背面平滑型トンネルライニング工法(FILM: Flat Insulated Lining Method), 以下「FILM」)

FILMはセントル形状の型枠面に、不織布と一

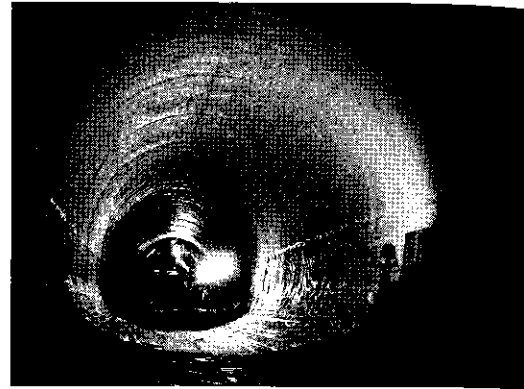


写真-1 非排水型防水シート貼り付け状況

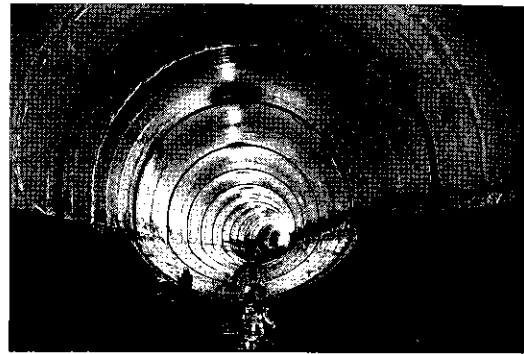


写真-2 非排水型トンネルへのFILMの適用の例

体加工されたシート防水材(標準的に使用されている防水シート)をあらかじめ配置し、不織布と吹付けコンクリートの間にモルタル状の材料を充填することで、シート表面に凹凸を残さず、覆工背面を平滑に仕上げる工法であり(写真-1, 2)、非排水型トンネルでの実用化を目指して開発されたものである。

2-5 FILMに期待される効果

FILMの特徴として以下の項目が挙げられる。

- ① 吹付けコンクリートやロックボルトの凹凸が原因となる防水シートの破損を防ぐことで、防水性能が向上する。
- ② 覆工背面の凹凸または防水シートの余裕不足・余裕過多による覆工コンクリートの充填不良が減少する。
- ③ 防水シートが吹付けコンクリート面に接しないため、ロックボルト頭部および座金などの突起物処理が不要となる。

- ④ 幅広防水シートの使用による施工の機械化、ならびに補強鉄筋区間のシート破損の減少による防水性能の向上が図れる。

一方、覆工厚が均一になることにより、覆工コンクリートにおける応力集中の抑制や、ひび割れ発生の低減が期待できる。

なお、(独)鉄道・運輸機構では、FILMを山岳トンネルの標準工法として適用している²⁾。

③ 型 枠 工

トンネルの覆工に用いられる型枠は、移動式と組立て式に大別される。移動式はセントルと鋼製パネルやスキンプレートを一体化し、架台に乗せて移動できるよう製作されたものであり、組立て式はセントルと鋼製パネルをコンクリート打込みごとに組立て、解体するものである。組立て式型枠は、拡幅部などで移動式型枠の使用が制約される場合などに用いられ、一般断面には移動式型枠が使用されている(図-1)。

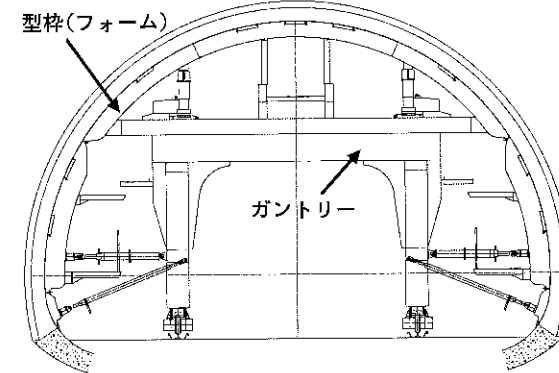


図-1 移動式型枠の例

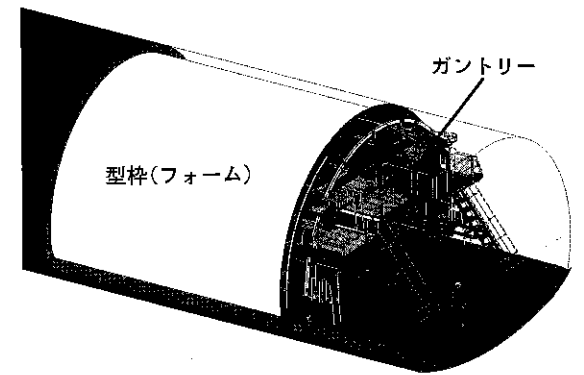


表-1 型枠の材質と特徴

材質(表面仕上げ)	コスト*	耐摩耗性	離型性	コンクリートの仕上がり	
普通鋼板	無垢(黒皮)	1.0	B	養生温度が低い冬期に異常付着が起きやすい	総じて黒っぽい
	プラスト仕上げ	1.1	B	養生温度が低い冬期に異常付着が起きやすい	淡いつや消し
	樹脂コート	1.2	C	使用初期は表面張力で剝離剤の塗布性が劣る	使用初期はつやあり
	セラミックコート	1.4	A	なじみが良くなると抜群の離型性を示す	白っぽいつや消し
ステンレス鋼板(梨地仕様)	1.6	B	普通鋼板以上に冬期の異常付着が起きやすい	やや白っぽいつや消し (セラミックコートに似た仕上がり)	
強化プラスチック(FRP)	1.5	C	熱伝達率が鋼材よりも低く、コンクリート温度の保温性が高いため、離型性が良い	やや白っぽく強いつや消し	

*型枠(フォーム)製作費に対する比率

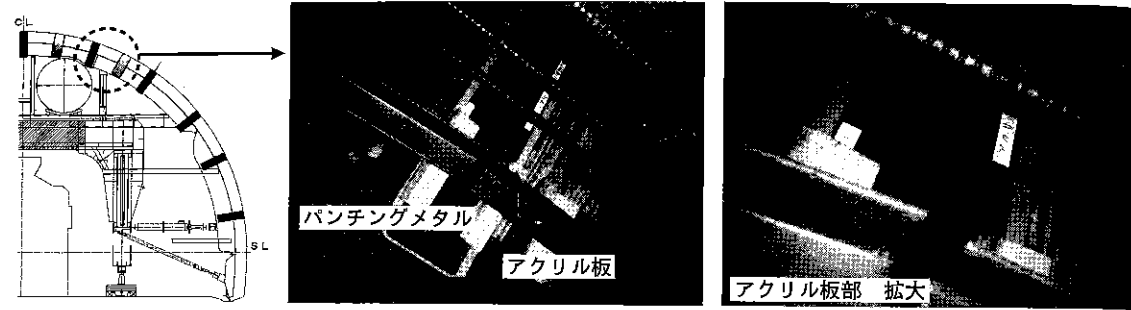


写真-3 妻型枠の例

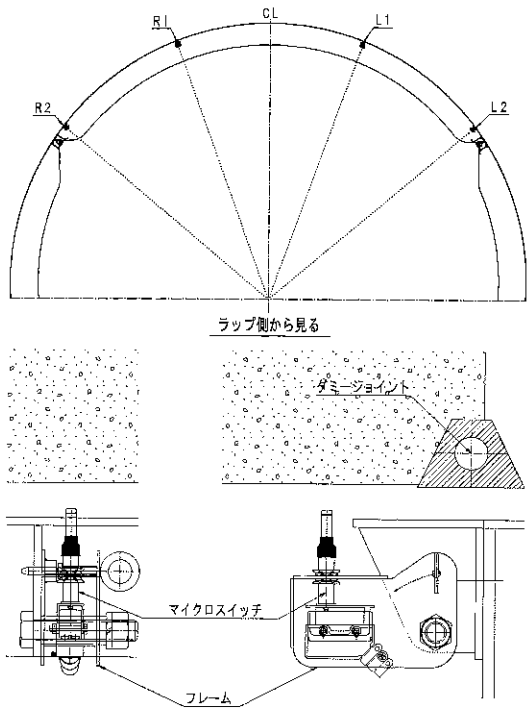


図-2 押し上げクラック防止センサの例

は、光沢を有するが黒っぽくなり、コーティングを施した場合は、つや消しの白っぽい仕上がりとなる。これは、覆工表面の粗度の違いによる光の乱反射率が異なるためであり、養生環境が等しければ、表層の緻密度に差は生じない。

なお、妻型枠にはブリーディング水の確実な排出を図るため、一部にパンチングメタルを使ったり、天端の充填高さが視認できるように、天端の妻型枠にアクリル板を使ったりする場合もある(写真-3)。

3-2 型枠セット時のひび割れ防止対策

通常の移動式型枠の場合、次ブロックの施工に

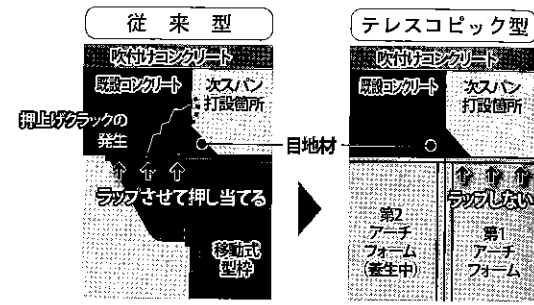


図-3 移動式型枠セット時の相違(従来型とテレスコピック型の場合)

向けて型枠をセットする際には、末端のラップ用型枠を既打設部のコンクリート表面に重ねてセットするため、このときに型枠を押し当てると、既打設部のコンクリートに過剰な押し付け力が作用し、三日月型のひび割れを生じさせる場合がある。この回避策として、ラップ用型枠の先端に押し上げクラック防止センサ(図-2)を取り付けたりするが、実際の施工では、勾配や曲率の変化に内空断面の施工誤差が加わり、当たる位置がセットの都度まちまちになるため、細心の注意を払っても当該ひび割れが発生する場合もある。

なお、次回の施工②で詳細を概説する予定のテレスコピック型セントル⁰では、型枠セット時は既打設部に存置された型枠と突合せで行うため、機構上、上記のひび割れは発生しない構造になっている(図-3)。

④ 打 込 み

トンネル標準示方書では、「覆工コンクリートはコンクリートの材料分離が生じないように打込み、空隙が残らないように品質の良いコンクリー

トを完全に充填して締め固めなければならない。また、空隙を残さないためにコンクリート打込み量を事前に十分に把握し、確実にその数量を打ち込む必要がある」と記述されている。

覆工コンクリートでは、打込み方法により、①側壁部、②天端部の2つのブロックに大別される。側壁部の打込みでは、落下高さが高い場合や長い距離を横移動させた場合に材料が分離するので、適切な高さの複数の作業窓を投入口として用いて打ち込むことが必要である。

天端部のコンクリートの打込みには、一般に吹上げ方式が採用されている。天端部は背面に空隙を残さず、妻部まで完全に充填することが重要である。したがって覆工コンクリートは、妻型枠の開口部などからブリーディング水、空気を排除しながら既設の覆工コンクリート側から連続して打込み、覆工背面の不陸により空隙の発生しそうな部分には、空気抜きなどの対策を講ずる必要がある。

また、側壁部の打込み作業から天端部の打込み作業への切替え時間はできるだけ短くし、側壁部と天端部の境界は締め固めにより一体化を図ることが重要である。

4-1 コンクリート打込み口と配管設備

普通コンクリートの場合は、図-4に示すような打込み口を配置する場合が一般的であるが、天端の吹上げ方式による打込み範囲をなるべく狭くすることを目的として、近年は肩部にも吹上げ口を設ける場合が多く、その際は配管切替えが多発するため、油圧の配管切替え装置(図-5)を備え付け

る場合が多い。

また、吐出口からの流動距離を極力短くし、材料分離を抑制することを目的に、打込み口を多数設けて自動配管切替え装置を用いて打設する方法や(図-6)、無筋区間に限定はされるが、天端にスライドレールを設置して打設配管を移動させて、明かり工事と同様なイメージで筒先を配って打設する方法もある(図-7)。

一方、中流動覆工コンクリートなどの流動性が高いコンクリートの場合は、図-8に示すような打込み口の配置とする場合が一般的であり、天端の

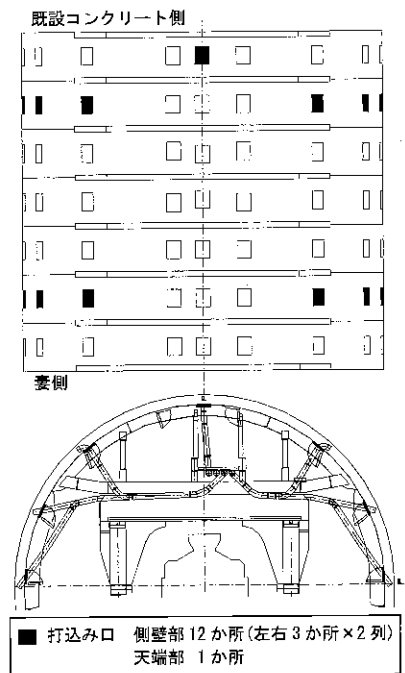


図-4 コンクリート打込み口の配置例(普通コンクリートの場合)

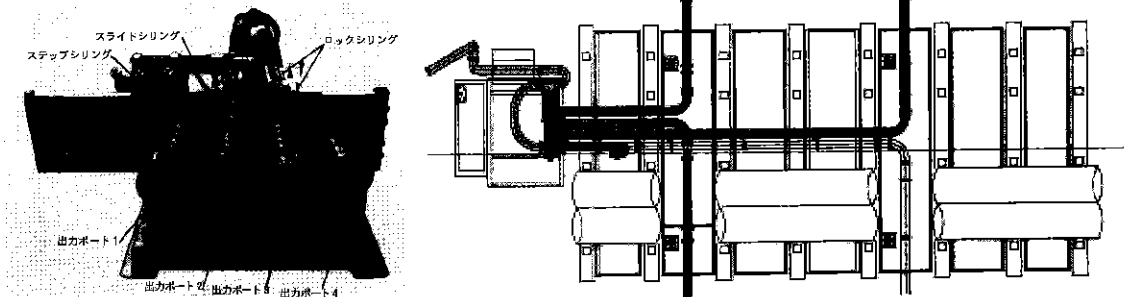


図-5 配管切替装置

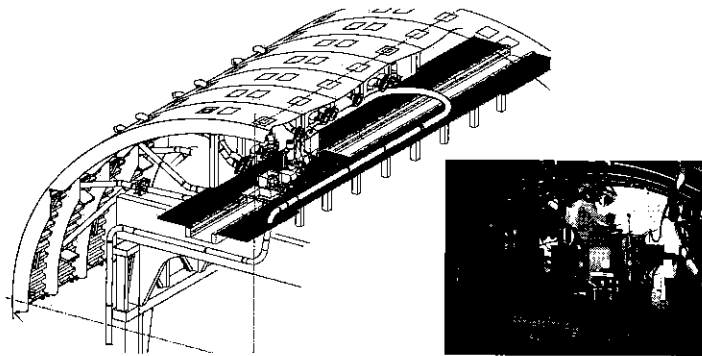


図-6 自動配管切替装置の例

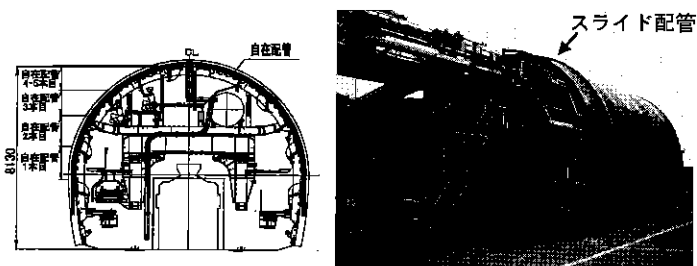


図-7 天端スライド配管(自在配管)による打設の例⁹⁾

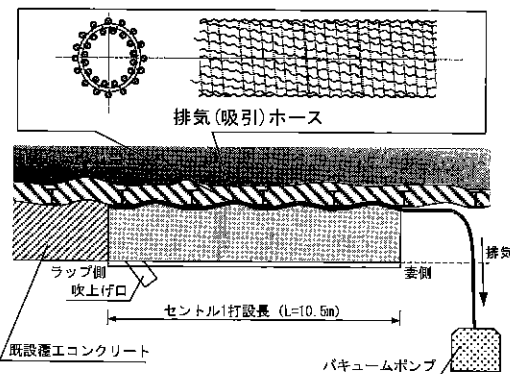


図-9 ブリーディング水・エアの排出例

充填まではスパンセンターに設けられた打込み口から両妻側に向かって流し込むように平坦に打設し、天端の充填は普通コンクリートと同様に吹上げ方式で打設する。

があるため、表面に溜まったブリーディング水は適切な方法で排出する必要がある。

天端のブリーディング水の排出やエア抜きについては、型枠内の巻厚検測ピンを利用して排出するほか、天端に特殊加工を施した排気(吸引)ホースを敷設して、パキュウムポンプで積極的に排出する方法がある(図-9)。

4-3 充填の確認方法

覆工コンクリートの打込みの際には、型枠に偏圧が作用しないように、左右の打上げ高さは均等に保つことと、天端の吹上げ打設時は確実に充填を確認することが重要である。

前者についてはセンサを用いた打設高さ管理ができるシステムを、また後者については天端の凹凸面に充填検知センサを取り付けるほか、コン

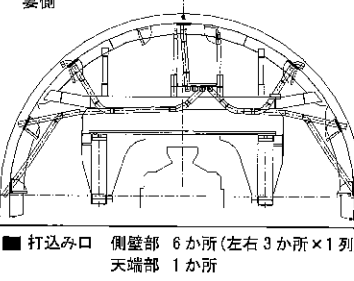
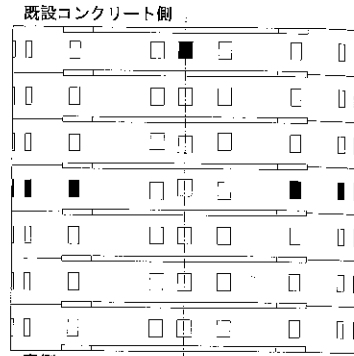


図-8 コンクリート打込み口の配置例(中流動覆工コンクリートの場合)

4-2 ブリーディング水・エアの排出

ブリーディング水が多いと、コンクリートに巻き込まれ、覆工コンクリートの均一性、一体性が損なわれ、天端部に背面空洞が発生する可能性

クリート圧送管内や巻厚内の圧力をリアルタイムに表示し、充填圧および異常圧の管理を確実に実施するため、圧送管や型枠面に圧力計を設置して充填圧力を管理するシステムを適用する場合もある。

4-4 コンクリート打込み管理

覆工コンクリートは、コンクリートポンプを用い連続打込みすることを原則としている。覆工コンクリートの打込みの中断はコールドジョイントの発生など構造物の弱点を生じさせやすい。そのため、コンクリートを連続打設するために、コンクリートの供給量や運搬時間などを適切に管理する必要があり、GPSを用いて生コン車の運行状況を把握するシステムを適用する例もみられる。

また、中流動覆工コンクリートなどの流動性の高いコンクリートでは、打込み速度が速い場合は型枠に作用する側圧が上昇し、構造的な負荷が大きくなる可能性があるため、打込み速度を調整することが重要である。

5 締 固 め

トンネル標準示方書では、「覆工コンクリートの締固めは、時間あたりの最大打込み量およびコンクリートの配合に適した内部振動機を使用し、締固めに適した必要台数で行うものとする。また、コンクリートのワーカビリティが低下しないうちに、上層と下層のコンクリートが一体となるように、型枠の隅々に行きわたるように入念に締め固めなければならない。内部振動機をかけ過ぎるとコンクリートの材料分離を引き起こすことがあるので、振動時間の設定には注意を要する。また、内部振動機により覆工コンクリートを横移動させてはならない」と記述されている。

しかしながら、トンネル覆工は、巻厚が薄く、断面および延長方向に広い面積を有するアーチ形状であること、全周が型枠で覆われており締固め作業を行える箇所が点検窓に制限されること、天端・アーチ部は吹上げ施工となることなどから、一般的な内部振動機(以下、「棒状バイブレータ」という)のみでは、確実に締め固めることが難し

い構造物である。そのため、近年では、効率よく確実に締固めを行うことができるさまざまな方法が開発されている。

5-1 棒状バイブレータによる締固め

棒状バイブレータは主に普通コンクリートの締固めに用いられ、棒状バイブレータを改良した締固め器具には、以下のものがある(写真-4~6)⁹⁾。

- ① 伸縮式バイブレータ：あらかじめ型枠内部に設置しておき、油圧駆動により伸縮させることで覆工コンクリートに挿入して締固めを行うバイブレータ
- ② 浮きバイブレータ：棒状バイブレータに浮き(フロート)を設置することで、コンクリー

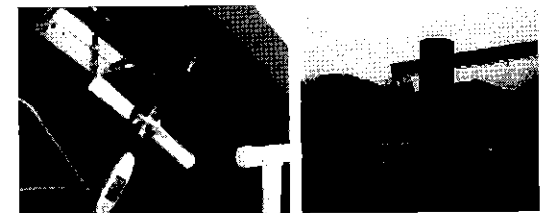


写真-4 伸縮バイブレータ



写真-5 浮きバイブレータ

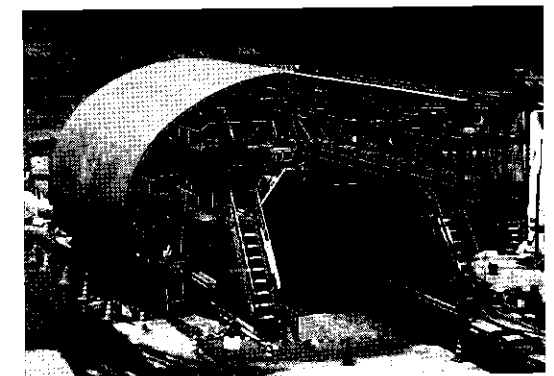


写真-6 引抜きバイブレータ

トの打ち上がり高さに合わせて、常に一定の挿入深さを確保できるパイブレータ

③ 引抜きパイブレータ：セントル長よりも長尺の棒状パイブレータをアーチ・天端部の覆工内部にあらかじめ設置し、コンクリートの打込みに合わせて、締め固めを行いながら引き抜くほか、クラウン部の打設が完了した後に、充填されたコンクリートを締め固めながら引き抜くパイブレータ

5-2 型枠パイブレータによる締め固め

中流動覆工コンクリート⁹⁾のような流動性の高いコンクリートの場合、充填性が高いため、型枠全周に設置した型枠パイブレータにより締め固めを行うことができる。このため、作業員は点検窓から身を乗り出して締め固めを行う必要がなくなり作業環境が大幅に改善できること、一定の振動エネルギーをコンクリートに付与できることから、作業員の技量によらず確実に締め固めを行えるなどの利点を有する。ただし、中流動覆工コンクリートを締め固めるには3~4 J/Lの振動エネルギーを作用させる必要があるが、型枠端部やヒンジ部では振動エネルギーが減衰し、場所によっては所要のエネルギーが作用しない場合があるため、適切な間隔で型枠パイブレータを設置する必要があることや、パイブレータが固定式であるため、必ずしもコンクリートの打込み上面で締め固めを行うことができず、場所によって振動エネルギーの過不足が生じる可能性があることなどが指摘されている⁹⁾。

この対策の1つとして、レール移動式型枠パイブレータが開発・実用化されている^{9),10)}。概要を図-10に示す。セントルの軸方向の各所に移動用レールを設け、型枠パイブレータを設置する。型枠パイブレータは電動ウインチで移動させ、締付け治具にて固定する。また、ジョイントレールを設置することでサイドフォームと天端(アーチ)フォームとの移動を可能としている。コンクリートの打ち上がり高さに応じて型枠パイブレータを移動して締め固めを行えるため、上層と下層のコンクリートの一体化、確実な締め固めと過振動の防止を図る

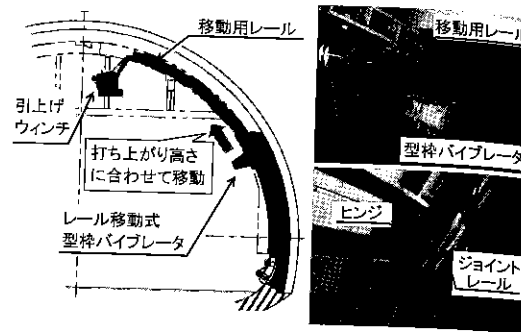


図-10 レール移動式型枠パイブレータの概要

ことができる。

なお、スプリングライン(S.L.)下のハンチ部分を型枠パイブレータにより締め固めると、振動源である型枠表面に空気が移動・付着するため、覆工コンクリートに表面気泡が生じやすくなる。したがって、ハンチ部分では打込み上面方向に空気を逃すように、棒状パイブレータで締め固めを行う場合が多い。

⑥ おわりに

今回は、新設トンネルの施工における覆工コンクリートの長寿命化に対する新しい技術の中から、防水工、型枠工、打込み、締め固めの4工種について紹介した。次回は施工②として脱型や養生などの技術について概説する予定である。

(文責：森正彦/前田建設工業(株)、手塚康成/鹿島建設(株)、村上真一/(株)安藤・間、桜井邦昭/(株)大林組)

参考文献

- 1) 土木学会：トンネルコンクリート施工指針(案)，pp.26-27，2000.7.
- 2) 秋田勝次・井浦智実・前田龍一・小松敏彦・北澤剛：山岳トンネルにおける新しい覆工工法の実用化に向けた課題の克服，トンネル工学報告集，Vol.22，pp.233-238，2012.11.
- 3) 内田明・中村敏夫・松井芳彦：透水性型枠を用いたコンクリートの物質移動抵抗性に関する一考察，土木学会第66回年次学術講演会概要集，V-275，pp.549-550，2011.9.
- 4) 竹市篤史・日野博之・西岡和則・手塚康成：新型テレスコピックセントル『TAF工法』による覆工コン

クリートの施工，JTA第74回施工体験発表会(山岳)，pp.92-100，2014.6

- 5) ジェオフロンテ研究会：最近の覆工技術に関する調査報告書，p.99，2013.11
- 6) 須田悦次・板屋良人・倉園貢・鹿執耕治：2ノズル吹付け機と覆工の自在配管打設システムによる施工，トンネルと地下，pp.7-14，Vol.45，No.5，2014.5.
- 7) ジェオフロンテ研究会：最近の覆工技術に関する調査報告書，pp.79-82，2013.11.
- 8) 東・中・西日本高速道路：トンネル施工管理要領，

2014.7.

- 9) 齋藤佑貴・井上良・桜井邦昭・西浦秀明・友納邦雄・谷口信博：レール移動式型枠パイブレータによる中流動コンクリートの合理的な締め固め方法の開発，土木学会第68回年次学術講演会概要集，VI-420，pp.839-840，2013.9.
- 10) 齋藤佑貴・谷口信博・桜井邦昭・西浦秀明・間井博行：レール移動式型枠パイブレータを用いた中流動覆工コンクリートの施工，土木学会第69回年次学術講演会概要集，VI-058，pp.115-116，2014.9.

図書販売・講習会のお知らせ

『高速道路のトンネル技術史 ～トンネルの建設と管理～』

本書では、関門トンネルなどの古い事例から新東名の超大断面施工まで、施工技術の粋を集めた特色のあるプロジェクト41事例を掲載し、建設から管理段階までを写真で解説している。トンネル技術の普遍的な考え方の基盤や本質を学ぶ書としてご活用いただきたい。

【価格】10,800円(本体10,000円+税)，送料別

【発行】平成27年5月下旬(予定)



道路のトンネル技術に関する講習会

道路トンネルの変状要因や点検時の着目点の解説とともにトンネル建設技術の変遷や新技術の動向などを学ぶことにより、維持管理のうえで必要なトンネル技術に関する基礎的知識の習得を目的としている。

【日 時】平成27年5月29日(金) 13:00~17:10

【受講料】26,000円(一般) 23,400円(賛助会員)[書籍代金を含まず。]

*講習会では上記の書籍をテキストとします。

【問合せ先】公益財団法人 高速道路調査会
〒106-0047 東京都港区南麻布2-11-10
E-mail: book@express-highway.or.jp
TEL: 03-6436-2096 FAX: 03-6436-2098

EHRF 公益財団法人 **高速道路調査会**
EXPRESS HIGHWAY RESEARCH FOUNDATION OF JAPAN

一般社団法人

日本トンネル技術協会

会 報

1. 会員の現状

	3月31日現在
個人会員	866名
団体会員	202名
推薦会員	206名
特別会員	12名
名誉会員	0名
賛助会員	169名
合計	1,455名

2. 委員会の開催状況(3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(3/4)

大島洋志主査ほか12名, 4月号の会誌と3か月計画を検討

◎事業委員会

・事業委員会(3/13)

桑原彌介委員長ほか11名, 講習会報告および平成27年度計画を検討

◎設立40周年記念事業実行委員会

・記念事業実行幹事会(3/26)

久多羅木吉治幹事ほか9名, 作業状況を確認

映像記念誌WGサブWG(3/3)

安井啓祐主査ほか11名, 原稿を検討

催物企画WG(3/19)

中間祥二主査ほか5名, 若手座談会企画などを検討

作品展示WG(3/23)

吉富幸雄主査ほか10名, 作業状況確認および方針を検討

◎国際委員会

・国際委員会・企画調整幹事会・ITA統括WG合同会議(3/10)

中村武夫委員長ほか11名, 26年度活動報告, 27年度活動方針の検討

・海外文献小委員会

海外ニュースWG(3/27)

清水健志主査ほか8名, 海外文献の査読

計 8回開催 85名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

・安全環境小委員会(3/18)

豊澤康男委員長ほか17名, 安全啓発資料を検討

・山岳工法小委員会

支保WG(3/19)

丸山修主査ほか20名, アンケート調査集計結果を検討

・都市近接施工ガイドライン編集小委員会

参考資料WG(3/20)

山元寛哲主査ほか9名, 原稿を検討

・都市トンネル小委員会

シールド変遷史編集WG第1GサブWG(3/4)

名倉浩主査ほか7名, 原稿を検討

シールド変遷史編集WG第3GサブWG(3/17)

守屋洋一主査ほか6名, 原稿を検討

◎受託研究特別委員会

・既設新設接合検討委員会(3/2)

二羽淳一郎委員長ほか31名, 主旨説明および検討方針を検討

・相鉄・JR・東急直通線検討委員会(3/9)

小山幸則委員長ほか51名, 施工法の検討

・小田急下北沢地区線増連続立体交差事業技術委員会(3/10)

小山幸則委員長ほか23名, シールド上部掘削計画結果ほかを検討

・長期耐久性特別委員会幹事会(3/6)

松岡茂幹事ほか19名, 成果品のとりまとめ方針を検討

・九州新幹線(西九州)トンネル検討委員会(3/11, 12)

江崎哲郎委員長ほか34名, 現地視察および各トンネル施工法の検討

・シールドトンネル補修補強対策検討委員会(3/16)

小泉淳委員長ほか28名, 検討成果を確認

計 11回開催 256名出席

合計 19回開催 341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41回ITA総会およびコンgres「Promoting Tunnelling in See Region」	2015. 5. 22~28	ドヴロヴニク(クロアチア)	Croatian Tunnelling Association ITA(国際トンネル協会) http://wtc15.com/
第42回ITA総会およびコンgres「Uniting the Industry」	2016. 4. 22~28	サンフランシスコ(アメリカ)	Underground Construction Association of SME ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc.2016.us <論文募集中>
第43回ITA総会およびコンgres「Surface problems - Underground solutions」	2017. 6. 9~16	ベルゲン(ノルウェー)	Norwegian Tunnelling Society ITA(国際トンネル協会)

*会議に関する詳細は事務局(担当: 関)までお問い合わせください。

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

4. 平成26年度催物開催結果

(平成27年3月末現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(現場研修会) 東北地区道路トンネル工事現場研修会	2014. 6.27	18	宮城	2.0
—国道108号花洲山2号トンネル—				
中部横断自動車道トンネル工事現場研修会	2014. 7.24	32	山梨	2.8
—八之尻トンネル, 宮狩トンネル—				
北海道道路トンネル工事現場研修会	2014. 8.28	23	北海道	3.8
—北海道横断自動車道第二天神トンネル・天狗山トンネル, 国道5号忍路トンネル—				
近畿地区道路トンネル工事現場研修会	2014. 9.12	20	兵庫	2.0
—名塩道路・八幡トンネル—				
有楽町線小竹向原・千川間連絡線工事現場研修会	2014. 9.29	21	東京	2.0
九州新幹線(西九州)トンネル現場研修会	2014.11.28	16	長崎	3.5
—第一本明トンネル, 新長崎トンネル(東)—				
東北地区道路トンネル見学会	2014.12.17	10	福島	2.0
—八木沢トンネル—				
(施工体験発表会) 第74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—」	2014. 6.24	172	東京	6.3
第75回(都市)「創意工夫・新技術によるトンネル・地下構造物工事—新設および改良・再構築の施工事例—」	2014. 6.25	114	東京	5.5
(講演・講習会) 第16回ステップアップ研修会(シールド)	2014.10. 1~2	34	東京	15.5
第17回ステップアップ研修会(山岳)	2014.11. 6~7	19	東京	9.8
「トンネル技術者のための地相入門」講習会	2015. 3. 6	43	東京	6.0
(記念事業) トンネル保守管理特別講演会	2014.10.29	143	東京	3.7

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

平成27年度定時総会のお知らせ

定款第14条の規定により平成27年度定時総会を下記のとおり開催いたします。会員の皆様には5月上旬にはご案内をお送りする予定です。総会議案の議決には、正会員総数の過半数の出席が必要です。総会には、ご出席または委任状の提出による代理出席をお願いいたします。なお、総会議案は、ホームページに掲載いたしておりますのでご覧いただきますようお願いいたします。

—記—

日 時：平成27年6月5日(金) 15:00開会
場 所：アーバンネット大手町ビル21F LEVEL 21(スタールーム)
東京都千代田区大手町2-2-2 TEL:03-5255-1515
議 題：第1号議案 (報告事項)平成26年度事業報告について
第2号議案 (審議事項)平成26年度事業収支決算について
第3号議案 (報告事項)平成27年度事業計画について
第4号議案 (報告事項)平成27年度事業収支予算について
第5号議案 (審議事項)役員を選任について

※総会終了後、16:00から設立40周年記念特別講演会を、17:00から懇親会を同室にて予定しています。

平成27年度施工体験発表会

恒例の現場技術者による施工体験発表会は、下記のとおり開催いたします。詳しくはWEBをご参照してください。

■第76回施工体験発表会(山岳)

開 催 日：平成27年6月24日(水)

開催場所：発明会館 地下ホール

港区虎ノ門2-9-14 TEL:03-3502-5499 FAX:03-3595-2763

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、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きており、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77回施工体験発表会(都市)

開 催 日：平成27年6月25日(木)

開催場所：発明会館 地下ホール

港区虎ノ門2-9-14 TEL:03-3502-5499 FAX:03-3595-2763

テ ー マ：「市街地におけるトンネル・地下構造物の築造技術」

趣 旨：都市部の地下は、各種地下施設が複雑しており、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、これら避け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、環境に対する関心がこれまで以上に高くなっており、周辺住民やリサイクルなどへの配慮も不可欠です。今回は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

4月は転勤など異動の多い時期ですが、各種異動届の提出はお済でしょうか。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すようお願いいたします。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おり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

「ITAトンネル大賞(ITA Tunnelling Awards-2015)」募集のご案内

主催 国際トンネル協会

国際トンネル協会(International Tunnelling and Underground Space Association)は第1回「Tunnelling Awards」を設立いたしました。応募の詳細は下記のとおりです。奮ってご応募ください。

—記—

- 応募項目：1)年間優秀事業(工事規模：5千万ユーロまで)
2)年間優秀掘削事業(工事規模：5千万ユーロから50億ユーロ)
3)年間優秀主要事業(工事規模：50億ユーロ以上)
4)年間優秀補修・補強事業
5)年間優秀技術革新
6)年間優秀環境対策
7)年間優秀安全対策
8)年間地下空間利用の革新
9)年間優秀若手トンネル技術者

応募締め切り：平成27年8月14日(金)

申し込み方法：ウェブサイトから(平成27年4月10日より開設)

申し込み先：ITA事務局

E-mail: awards@ita-aites.org

ウェブサイト: www.ita-aites.org

表彰式ならびに受賞祝賀会：平成27年11月19日(木)

場 所：ハーゲルバッハ試験場内会議場、スイス

問い合わせ先：一般社団法人日本トンネル技術協会 関

〒104-0045 中央区築地2-11-26 築地MKビル6階

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

E-mail: noriko.seki@japan-tunnel.org

月号予告[6月1日発売予定]

- 北陸新幹線 飯山トンネル
- 新名神高速道路 箕面トンネル
- 新名神高速道路 六石山トンネル
- 東京下水道 隅田川幹線
- 富山市 松川貯留管

【連載講座】

- 山岳トンネル覆工の長寿命化技術(5)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆「AH1」。ある標識ですが、何の標識かわかりでしょうか。東名高速道路の東京料金所の手前にありました。「AH1」の文字の下には、「ASIAN HIGHWAY」と表記されております。もうわかりだと思いますが、正解は「アジアンハイウェイ1号線」の標識です。以前からあった標識だと思いましたが見逃していました。「アジアンハイウェイ1号線」は総延長2万kmを超え、起点の日本橋から韓国、北朝鮮、中国、ベトナム、カンボジア、タイ、ミャンマー、インド、バングラデシュ、インド(2回目)、パキスタン、アフガニスタン、イランを経由してトルコに至ります。日本以外の国は陸地がつながっているのでもそれほど意識が高くないかもしれませんが、日本から車でほかの国へ行けることを想像しますと夢がありますね。夢を実現するにはアジア諸国がもっと平和になることは言うまでもありませんが、その前に「日韓トンネル」の実現も不可欠です。「日韓トンネル」実現に向けて、いつの日か日本のトンネル技術を発揮する日が来るかもしれません。

◆3月14日に北陸新幹線長野～金沢間が開業しました。本号の表紙は金沢駅でのセレモニーの写真です。長野～金沢間が開通し、東京から金沢が大変近くなりました。北陸には今までに1度しか訪れたことはありませんが、そのときには富山湾の海の幸を堪能し、忘れられない旅となりました。新幹線開業を機にぜひ近いうちにまた北陸に訪れたいと思います。開業して間もない北陸新幹線に乗車したことがない方は多いと思います。そんな方はこちらのサイトでご満喫ください。
http://www.jreast.co.jp/nagame/

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

トンネルと地下

第46巻 第5号 (通巻537号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成27年4月20日 印刷

平成27年5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 1,575円(送料108円)
(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

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

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

トンネル二次覆工型枠総合メーカー

スライダ打設システム
トンネル天端部
懸垂ハイブレッタ締め工法
NETIS 登録 KK-120003-A

特許 第4083308号
NETIS 登録 KT120099-A

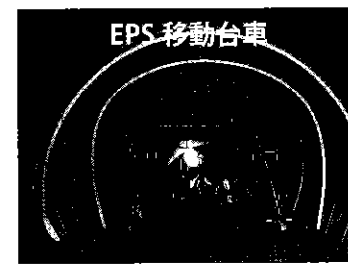
NETIS 登録 KK-120003-A

センター位置・変位
自動測定監視システム
(センター監視くん)

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

特許 第5247491号
NETIS 登録 KT-130037-A

新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



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

平成27年4月1日 現在

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

EPS パネルの保温性、保湿性が効く

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(センター)の設計・製造・販売 ※詳しくはホームページを御覧ください

図書案内

トンネル技術者のための地相入門

大島洋志 監修 木谷日出男 編著
3,200円+税 B5判

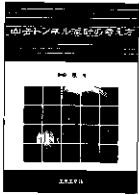
トンネルの計画・設計・施工にあたって留意すべき“地相”について、施工事例をもとに、豊富な図版と地形図を用いて、ていねいに解説した、画期的な入門書。



山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著
3,200円+税 B5判

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



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修
1,500円+税 B5判

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



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修
2,500円+税 B5判

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



推進工法の理論と実際

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

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



わかりやすい土质地質学

大島洋志 監修
2,500円+税 B5判

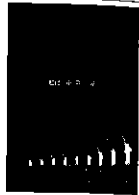
土木工事にかかわりのある地質学の基礎知識を盛り込み、土木工事において問題となる地質事象や、各種地質調査の原理についてわかりやすい解説を与えた。



セグメントの新技术

小泉 淳 監修
2,000円+税 B5判

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



続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著
1,200円+税 新書判

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



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著
6,000円+税 A5判

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



地質工学概論

菊地宏吉 著
4,757円+税 B5判

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



地下水の科学 I～III(全3巻)

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

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



第I巻 地下水の物理と化学
4,078円+税 B5判

第II巻 地下水環境学
4,272円+税 B5判

第III巻 地下水と地質
3,689円+税 B5判

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編
4,660円+税 B5判

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



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



山岳トンネルの新技术

ジオフロンテ研究会 編
14,573円+税 B5判

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



ジオテクスタイル設計マニュアル

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

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



岩盤地下空洞の設計と施工

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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本事項について詳述した。



建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著
4,300円+税 A5判

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



トンネル工事の衛生と環境保全

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
3,200円+税 A5判

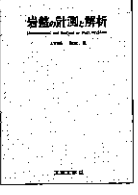
トンネル工事の際の労働衛生と環境保全の検討に有用な項目について、医学分野の知見から職業性疾患や有害環境条件、健康障害、衛生管理、保護具などを解説した。



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200円+税 A5判

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



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800円+税 A5判

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



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400円+税 A5判

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



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)
日本で唯一のトンネルと地下構造物の専門月刊誌。研究、調査・設計から施工にいたるまで、その時点での技術的問題点を中心に、業界の動向などをあわせて網羅しながら、新鮮な情報を提供する。



書籍のお申し込み

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

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



技術提案に好適!! デンカの特種混和材

デンカの液体急結剤 《デンカクリアショット》

NETIS:KT-080020A

液体急結剤 **デンカナトミックLSA**
粉体助剤 **デンカナトミックUSS**
(Fc=18N/mm²)
デンカナトミックHSS
(Fc=36N/mm²)

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

優れた低粉じん吹付け

《デンカスラリーショット》

デンカナトミックUS-32
デンカナトミックUS-50
《粉じん低減剤》
デンカクリアップ2 & 3

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

実績の粉体急結剤

一般吹付け・高品質吹付け
デンカナトミックTYPE-5
高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10
瞬結吹付け・初期高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10S
デンカΣショットSH & S

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

覆工コンクリート ひび割れ抑制・耐久性向上

コンクリート用膨張材
デンカパワーCSA
有機無機複合型被膜養生剤
デンカクラッコフ
ポリプロピレン短繊維
GRACE Microfiber

- ・高品質な覆工コンクリートが得られます

◆トンネル関連製品

- ・PFモルタルTYPE-K・・・小断面、TBM・シールド工用吹付けモルタル
- ・デンカライフセッター・・・吹付けコンクリート用凝結調整剤
- ・FTN-30・・・吹付けコンクリート用高性能減水剤
- ・デンカES/ES-L・・・無公害なセメント系土質安定用急硬材
- ・デンカコロイダルセメント/コロイダルスーパー・・・微粒子、超微粒子セメント
- ・デンカPモル・・・注入式ロックボルト定着材
- ・デンカクリーニンググラウト・・・非エア系可塑性モルタル

DENKA

電気化学工業株式会社

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

定価 1,620円

雑誌06619-5

本体価格1,500円



4910066190552
01500