

トンネルと地下

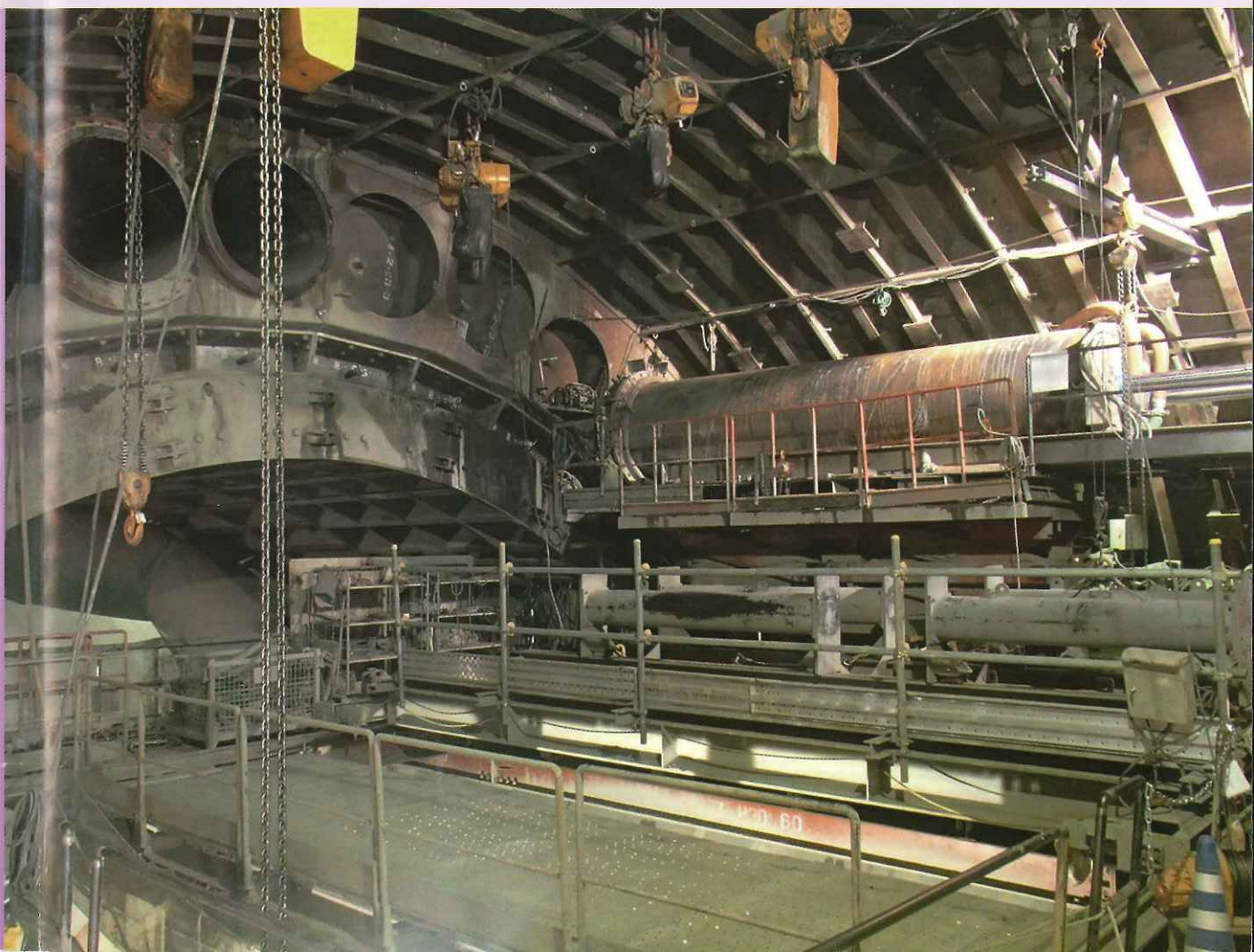
9

vol. 45
no. 9
2014

Tunnels and Underground

パイプルーフを用いたシールドトンネルの大断面地中拡幅
2組の型枠を用いたツインアーチフォーム工法で覆工養生時間を確保
酸性水が湧出するトンネル計画の長期耐久性に関する検討
供用中のトンネルで未収束の路盤隆起に挑む
圧密沈下起因するシールドトンネルの変形予測手法

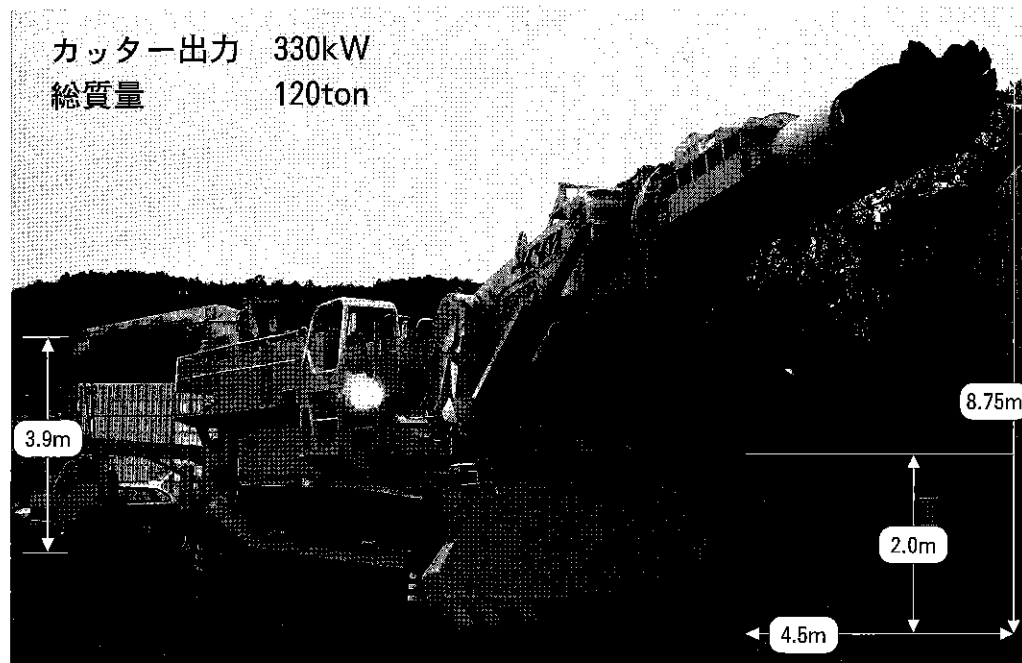
日本トンネル技術協会誌



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）
- ・定格最大切削範囲は、高さ8.75m×幅4.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とビック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444
カスタマーサービス 〒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・ニーヨナル

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。

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。

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。

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。

仕様	
品名	e-DUSCO240
型式	FTE240D-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 (伸縮風管接続時も同じ)
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みません。
※2 台車の高さは含みません。
※3 機種により多少異なります。
※4 JIS Z 8808 並びに
換気技術指針(H24.3)に定める試験方法に
基づき測定した値です。
注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

△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 ☎092-741-5193 小田原工場 ☎0285-23-8662

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

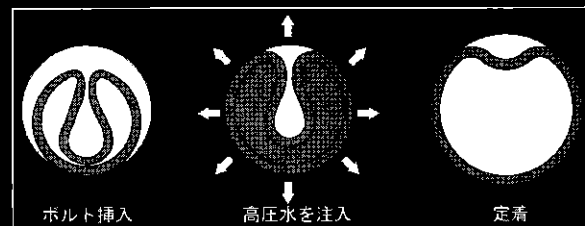
RPE ROCKBOLT

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。

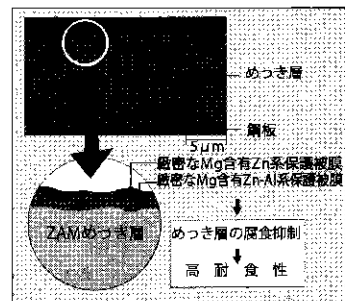
①「RPE ロックボルト」の特徴

- ・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 タイプには高強度鋼を使用、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)	φ 45~φ 51	φ 45~φ 51
鋼種	NTRB-400	NTRB-540
本体外径(母材鋼管)(mm)	φ 38(φ 54×2.0)	φ 38(φ 54×2.3)
単位質量(kg/m)	2.6	2.7
破断伸び(%)	35 以上	20 以上
標準長さ(m)	(2.0)3.04.0(6.0)	3.04.06.0

※標準長さの()内は、受注生産になります。



(RPE ロックボルト施工状況)

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

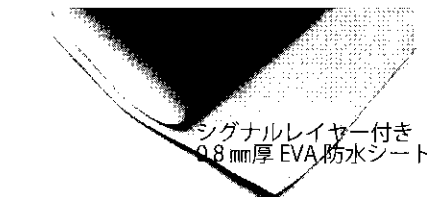
東京土木営業部: 東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 Tel. 03-6402-8251
大阪土木営業部: 大阪府北区西天満 3 丁目 2-17 Tel. 06-6363-1884
技術部: 東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 Tel. 03-6402-8256

損傷を目視で確認できる防水シート

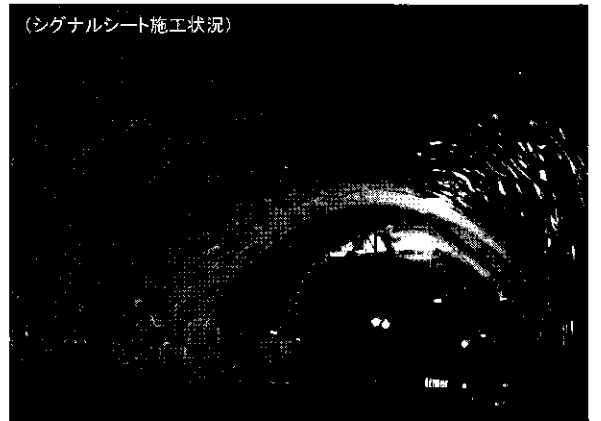
シグナルシート

NETIS 登録番号
KK-100083-A

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



(シグナルシート施工状況)

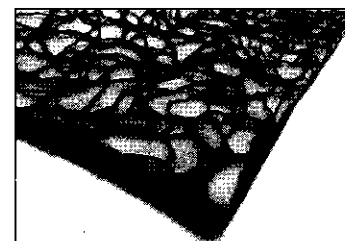


通常のシートに比較し、通常の明かりにおいて目視でたやすく損傷が確認できます。

「立体網状体」による高排水機能

立体網状体付き長繊維不織布

「立体網状体」の効果により、抜群の排水性能を発揮します。

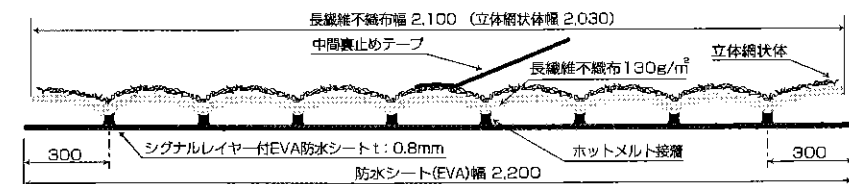


「立体網状体付き長繊維不織布」は通常の厚さ3mmの不織布に比較して約40倍の排水性能を有します。

排水能力比較結果 (試験方法 ISO12958 準拠)

商品名	ハイパネル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
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: 大阪府北区西天満 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

K series

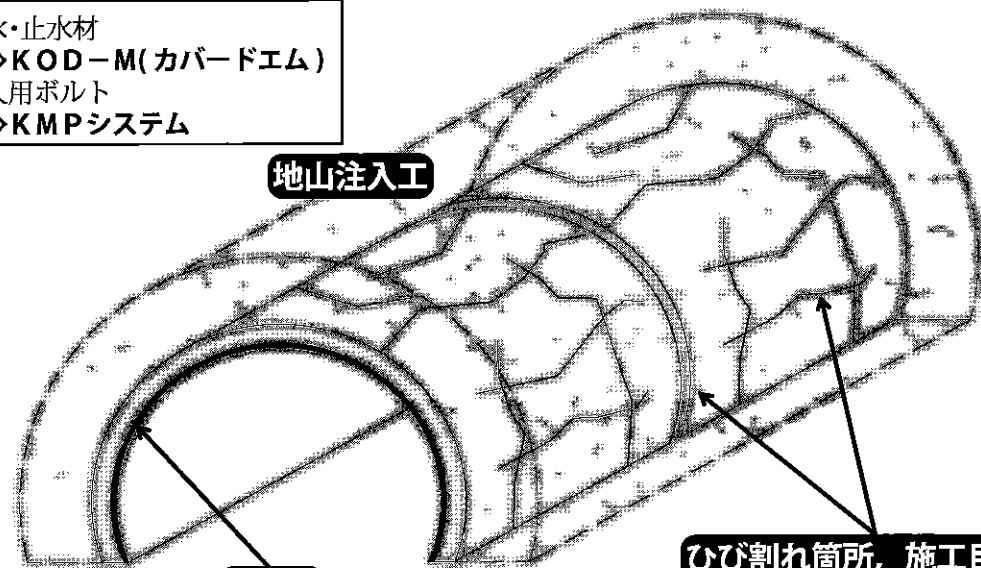
カテックスの補修・補強材料

当社は、注入式フォアボーリングや長尺フォアパイリング、長尺鏡ボルトなど山岳トンネル工事の補助工法における樹脂系の注入材のパイオニアとして、数多くの実績を築いてきました。一方、老朽化してきている既設トンネルにおいては、適正に維持管理をし延命化するための補修、補強工事が行われています。これらに対応して、当社の樹脂系注入材の豊富なノウハウと技術力を活用して、既設トンネル補修、補強工事に適する樹脂系材料「Kシリーズ」を開発しました。

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

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

減水・止水材
⇒KOD-M(カバードエム)
注入用ボルト
⇒KMPシステム



防水シート
⇒スーパーシート
⇒EMBOシート

ひび割れ箇所、施工目地部
への漏水対策工

減水・止水材
⇒KOD-M(カバードエム)

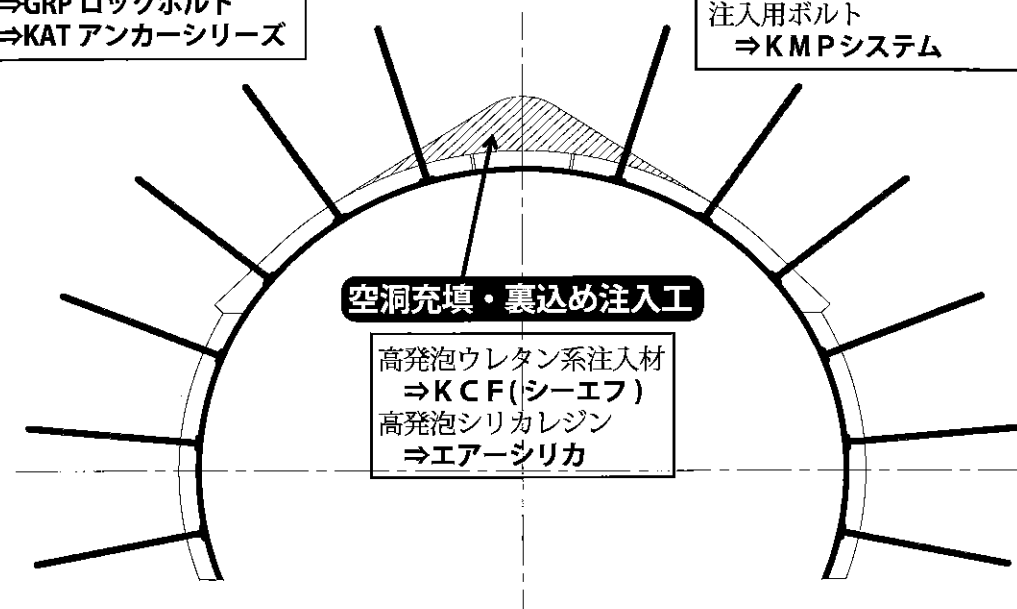
ロックボルト工

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

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

背面注入工

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



空洞充填・裏込め注入工

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

営業品目

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

KATECS

株式会社 カテックス
建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.jp/>

技術部・中部営業部

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

東京支店

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

東京支店(仙台事務所)

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

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

関西営業所

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

九州営業所

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

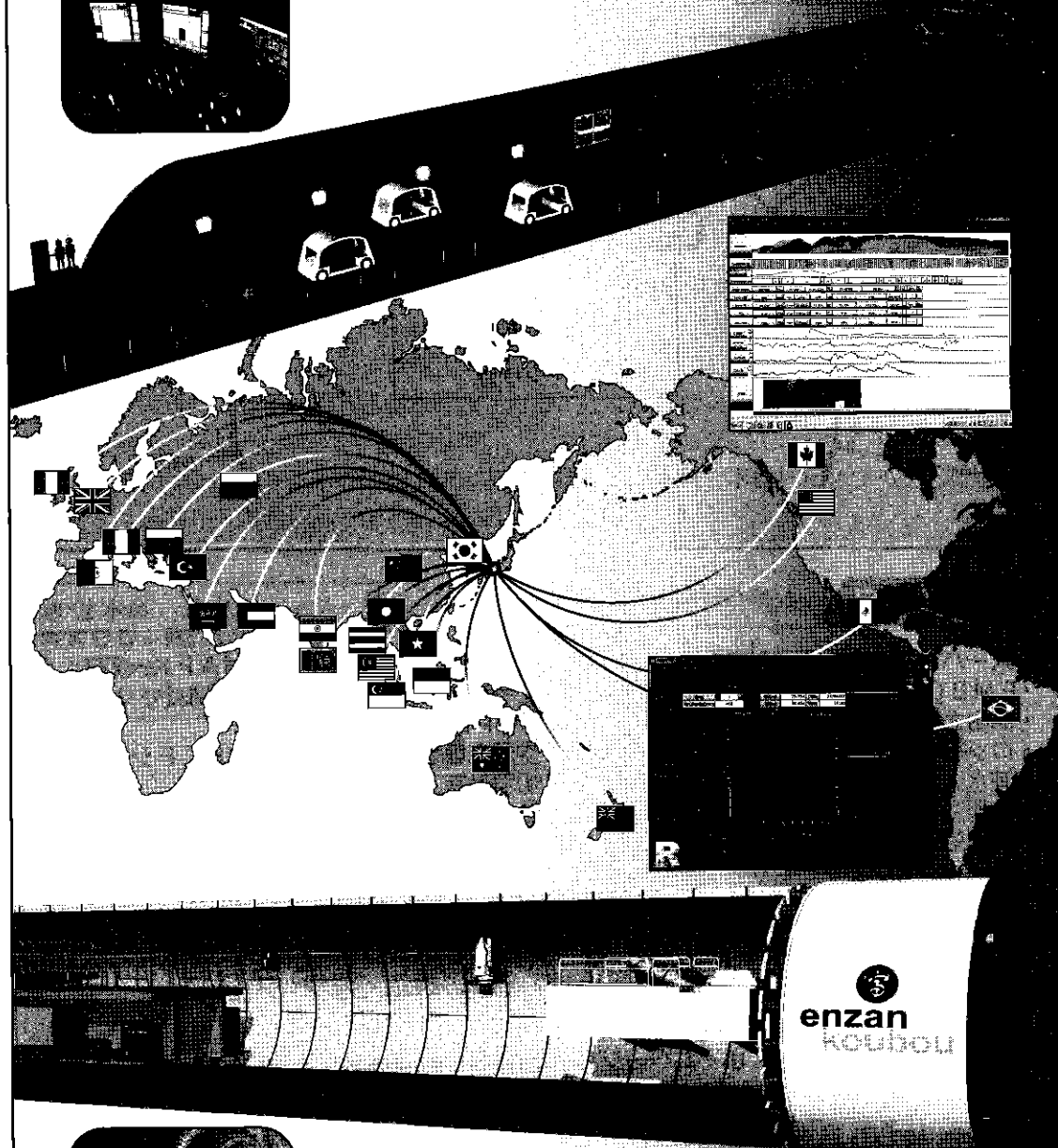
北海道地区(株)エイチ・アール・オー)

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

Easy to handle, Difficult to imitate.

GUIDANCE & LOGGING & SURVEY system for TUNNEL

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



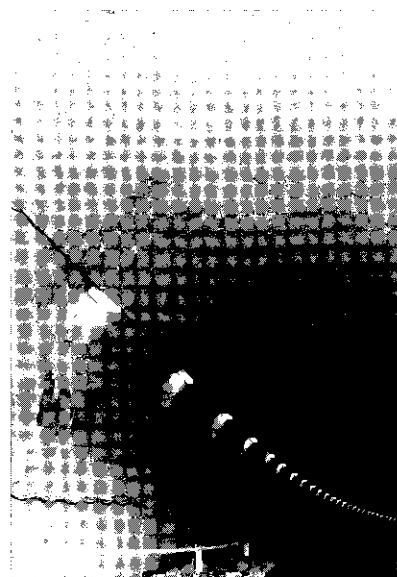
from Kyoto/Japan to the world.
ENZAN KOUBOU CO.,LTD(www.enzan-k.com)



コンクリートの劣化、欠陥箇所の改修、補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



〈工期短縮、即日仕上り〉

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

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

エアモルタル裏込め注入……

エスコート

L & K 起泡剤

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



◆土木資材の総合プランナー◆



株式会社 マーイル

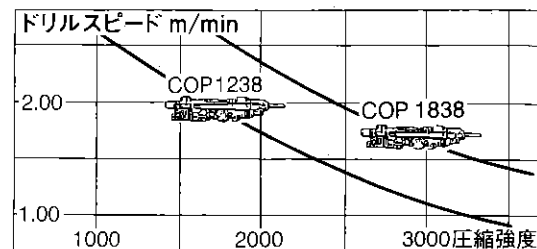
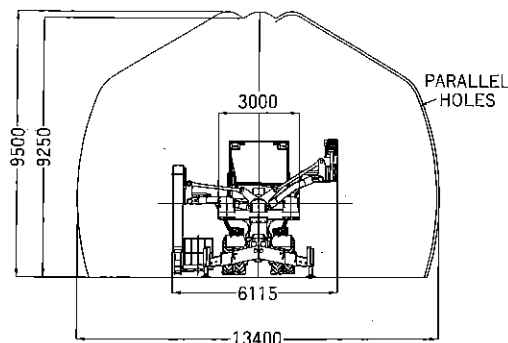
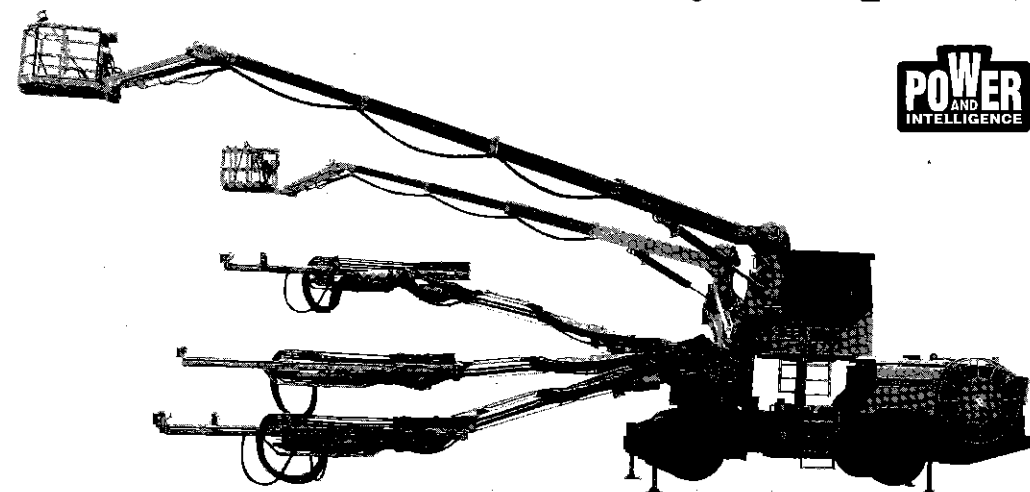
〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)

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



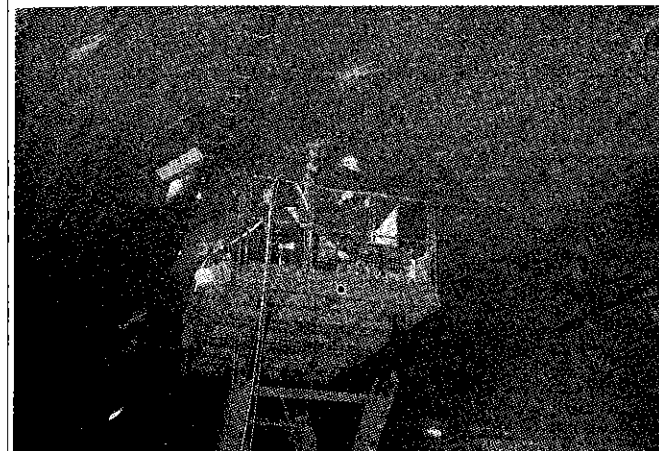
ドリルマシン株式会社

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

硬質発泡ウレタン セツフォーム工法

急結性・高性能空隙充填材

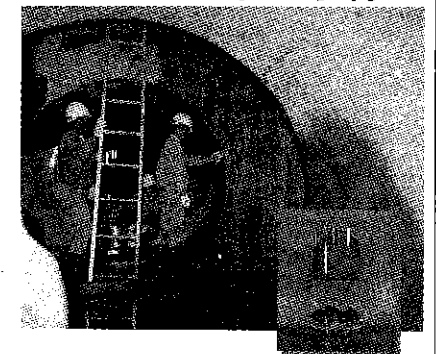


- シールドにおける滞水層、軟弱地盤の全面裏込め注入
- シールド急曲線部の裏込め注入(即時地盤反力の効果)
- トンネル構造物などの背面空洞充填
- 深基礎工法の裏込め(止水、裏込め後の即時掘削可能)

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 みぎきビル	TEL 03-3643-7241
エスイーリペア株式会社	〒811-1313 福岡県福岡市南区日佐5-15-24	TEL 092-585-5133
MC山三ポリマーズ株式会社	〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町1-2-10 イトーピア日本橋SAビル	TEL 03-3662-0253
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
日本綜合防水株式会社	〒171-0022 東京都豊島区南池袋3-11-10 ベリエ池袋	TEL 03-5950-8211
株式会社デーロス・ジャパン	〒921-8061 石川県金沢市森戸1-104	TEL 076-299-7260
林建設工業株式会社	〒998-0023 山形県酒田市幸町1-6-6	TEL 0234-23-3322
フジモリ産業株式会社	〒141-0022 東京都品川区東五反田2-17-1 オールコート大崎マークウエスト	TEL 03-5789-2206
前田産業株式会社	〒755-0032 山口県宇部市寿町3-5-23	TEL 0836-21-2666
株式会社マシノ	〒733-0822 広島市西区庚午中1-19-23	TEL 082-507-2737
株式会社松井商店	〒062-0902 札幌市豊平区豊平2条1-1-1	TEL 011-820-8688
株式会社マノール	〒120-0047 東京都足立区宮城2-4-16	TEL 03-3927-1331
株式会社三原工業	〒531-0074 大阪市北区本庄東1-22-3 四本ビル	TEL 06-6371-9947

協会事務局

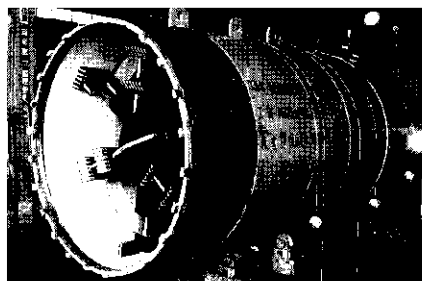
〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町1-2-10 イトーピア日本橋SAビル MC山三ポリマーズ(株)内
 TEL 03-3662-0253 <http://www.chemicalfoam.jp>

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

超流バランスセミシールド工法

超流セミシールド協会

貫入リング押し回転切削型接合工法



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工法の特徴

- 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、内部駆動装置を推進側へ迅速に引き戻しが可能(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

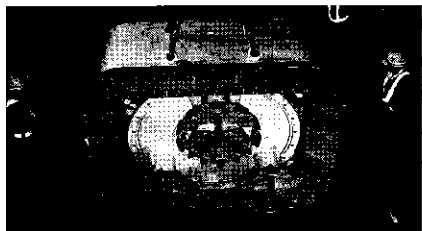
ボックス推進工法

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

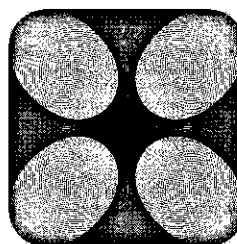
③ 狭路施工技術

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管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管体を直接推進するため、迅速な施工が可能

協会事務局・技術本部

株式会社アルファシビルエンジニアリング

αCIVIL

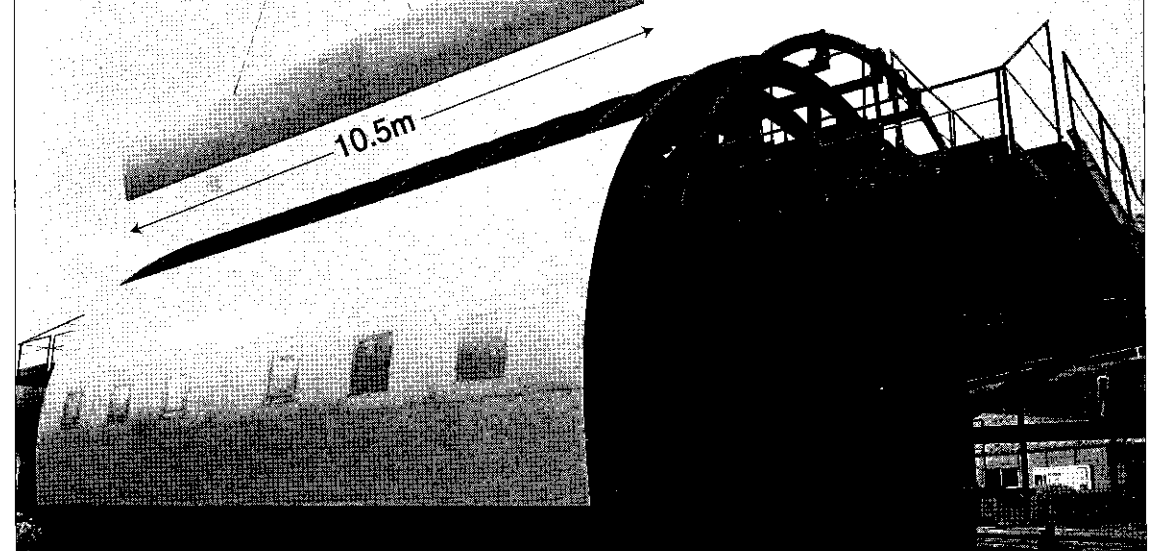
〒812-0015福岡市博多区山王1丁目1番18号
TEL (092) 482-6311 FAX (092) 482-6363
E-mail: arfa@oregano.ocn.ne.jp
URL http://www.alpha-civil.com

建設コンサルタント登録番号: 建23第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

※各工法協会名簿については、ホームページをご参照下さい。

新着ニュース FRPセントルによる 覆工コンクリートの密実性を検証

初期養生FRPセントル ハイパーフォームG



(特許No. 第4416223号)

■透気試験状況



国土交通省東北地方整備局横道トンネル 側方施工

国土交通省東北地方整備局が発注した東北中央自動車道(相馬~福島)の横道トンネル工事(全長1,492.8m)において、トンネル全線(非常駐車帯部を除く)で採用したFRP製セントルと非常駐車帯部で使用した鋼製セントルで施工された覆工コンクリートの表層部分の透気係数を測定することにより、コンクリートの中性化速度係数が30%~50%程度低下し耐久性が大幅に向上する事が実証された。

特徴

1. すぐれた断熱効果により、保温養生を実現(鋼製型枠に対し熱伝導率1/150以下)
2. 外気の温度変化に対する影響が少なく、寒冷地に最適
3. 剥離性がよく、ケレン作業が低減

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

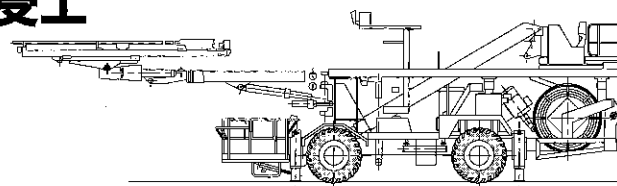
■ 本社 〒553-0006 大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル
■ 九州営業所 〒812-0011 福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号
■ 指定工場 〒919-0441 福井県坂井市春江町定重(森本工業)

TEL:06-6443-7060
TEL:092-409-8008
TEL:0776-51-2410

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

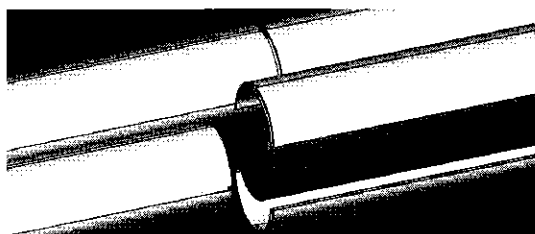
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



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。



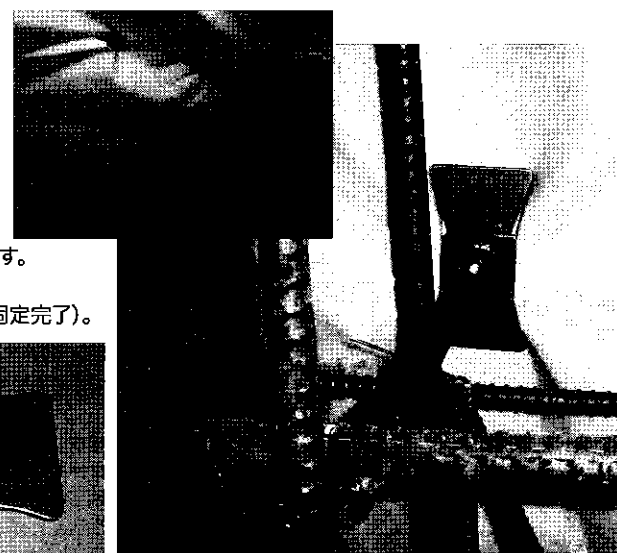
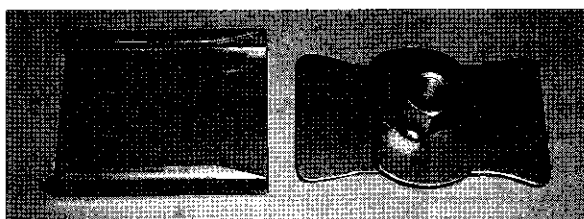
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリップー

- ・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プに防水シートを当てます。
2. 回転プレート押し込みます。
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 東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD

〒107-0052
東京都港区赤坂2-19-8 赤坂2丁目アネックス6F
Tel: 03-5545-7900 Fax: 03-5545-7905
URL: <http://www.tohokinzoku.co.jp>

株式会社 トーキンオール

〒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)

流機エンジニアリングだから出来ること お客様の「できたらいいな」を実現します

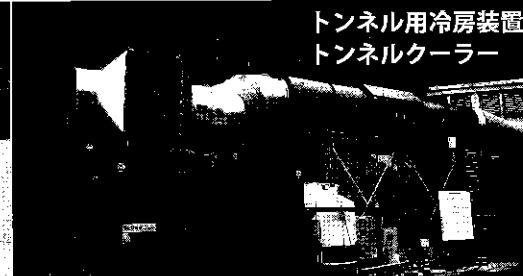
吸引ダクト SUPERLIGHT
[重量 1/2+オーバーハングノズル 新型]



超低騒音ファン EZ-Q シリーズ
EZ-3000Q : (3000 m³/min 220kW) Coming soon !
EZ-2000Q : (2000 m³/min 150kW)

74 dB
省エネ
CO₂ 削減

トンネル用冷房装置
トンネルクーラー



除染事業対応装置のご提案
『除染作業を大幅に省力化できます』



集塵・換気設備 (10 m³/min ~ 3000 m³/min)

バキュームシステム

エジェクターユニット (コンプレッサーエアーによる移送装置)

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 いちご聖坂ビル
TEL: 03-3452-7400
URL: <http://www.ryuki.com/>
E-mail: eiogyobu@ryuki.com

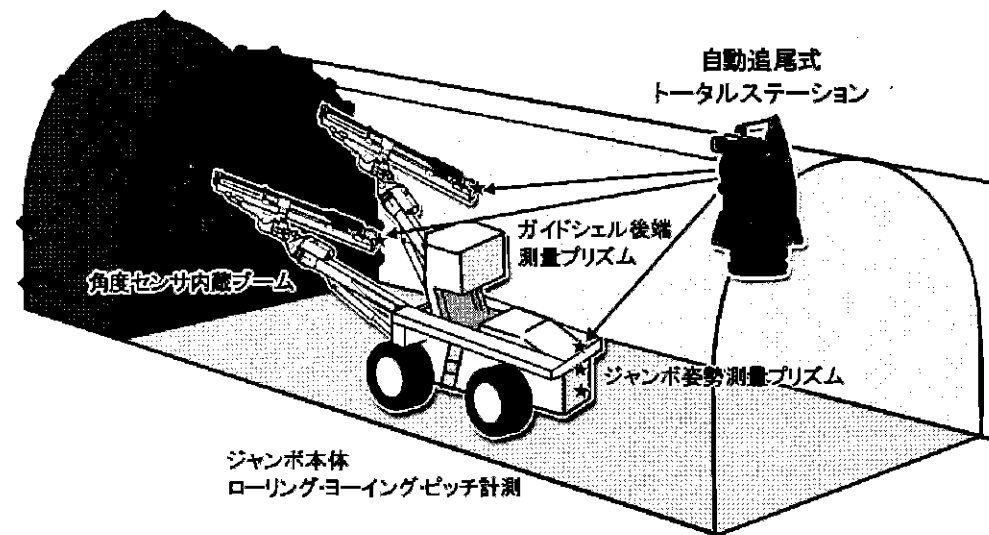


NETIS登録番号:KK-100049-A

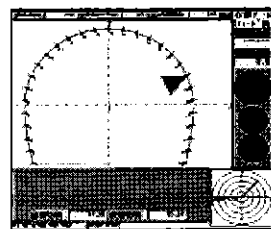
自動追尾式余掘り低減システム

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、外周装薬孔の高精度さく孔を可能にしました。余掘量の低減に効果を発揮し、余吹き・覆工コンクリート量を低減することが可能です。



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

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

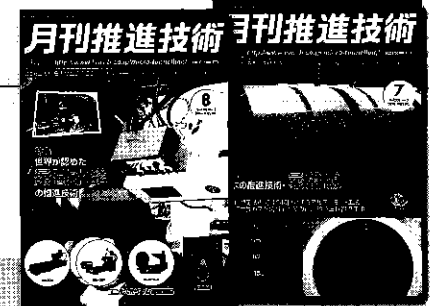
FRD 古河ロッドドリル株式会社
FURUKAWA

〒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

月刊推進技術

定期購読のご案内



定期購読料金 **12,337円** 1冊1,130円/月×12ヶ月(税込)

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います。

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号:00130-3-576039 加入者名:株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間購読料金12,337円(毎月1冊×12ヶ月 税・送料込)をお支払いください。

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたします。

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

検索

定期購読のお申し込み
は右のQRコード
または本誌ホームページから



毎月1冊

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12年間(平成14~25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(財)日本下水道管渠推進技術協会(現(公)日本推進技術協会)が平成4年度より実施している制度で、管渠施工の安全性と品質を確保する上で有益な制度です。

解答付きの解説書に対する受験者の皆様からのご要望に応えて、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25年度版発売中!!

1. 内容と特長

- 過去11年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- 各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出典箇所を明記

2. 価格

各年度単位に1set 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

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

これらのことをインターネットでご案内しています。 [推進工事技士試験]

検索

毎月1冊

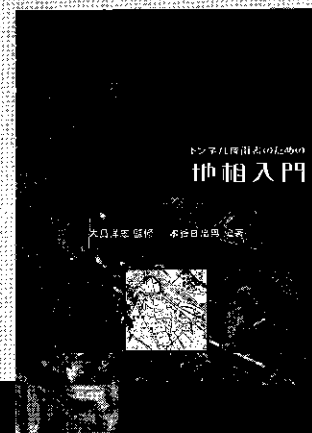
株式会社LSプランニング

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

新刊図書のご案内 地形にも相がある 地形の性質を知ろう！



トンネル技術者のための 地相入門

大島洋志 監修 木谷日出男 編著

B5判 203頁 定価3,200円+税 送料別

図・表・写真 288点収録

山にも人の人相のように山の相がある。地形の性質を知り、事前に危険な箇所を把握することはトンネルを施工する上で重要である。

本書のように地形中心にこれほどまとまったトンネル技術書は今までになかった。施工者には施工中に予測される地形上の危険把握のため、発注者にはもっとも安全に施工できる路線選定ため、本書を有効利用いただくことが執筆陣の願いである。

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

《主要目次》

序編 まえがき

地相は人相 山の性状

第Ⅰ編 地形から読み取れる情報

地形から地相を読む方法 / 地形から得る具体的な情報

第Ⅱ編 地形種とトンネルの施工事例

段丘・台地 / 崖錐・沖積錐・扇状地 / 傾斜層 / 地すべり /

マスマーブメント・滑落崖 / 断層 (断層変位地形) /

断層 (断層剝地形) / 火山地形 / カルスト地形・残丘 / 地形改変

第Ⅲ編 路線選定

地相をよく観て路線選定を行う

あとがきにかえて

座談会

お申し込みは当社へFAX、または、お近くの書店にてお申し込みください



株式 土木工学社

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

トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法

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

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



KOKEN 鉋研工業株式会社

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

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

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

北海道支店: (011) 561-4961

東北支店: (022) 762-6075

信越支店: (025) 275-8877

首都圏事業部: (03)-6907-7511

大阪支店: (06) 6385-0350

中国支店: (083) 972-8757

九州支店: (092) 924-5001

海外事業部: (03)-6907-7515

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



建設車両のタイヤのパンク、磨耗、破損を大幅に低減、車両の有効利用、修理に伴う人件費の削減等、工事の進捗に大いに貢献します。

- タイヤ間の間隙が無いため石を噛まない
- サイドの切断に強い
- 石および普通釘に強い
- 弾性波

0~20 (約2年) 20~30 (1年6か月)

30~40 (約1年) 40~50 (6か月)

【営業品目】 複層タイヤ / 油圧ホース / マテリアルホース / 各種中古車 / 触媒 / 線路 (中古)

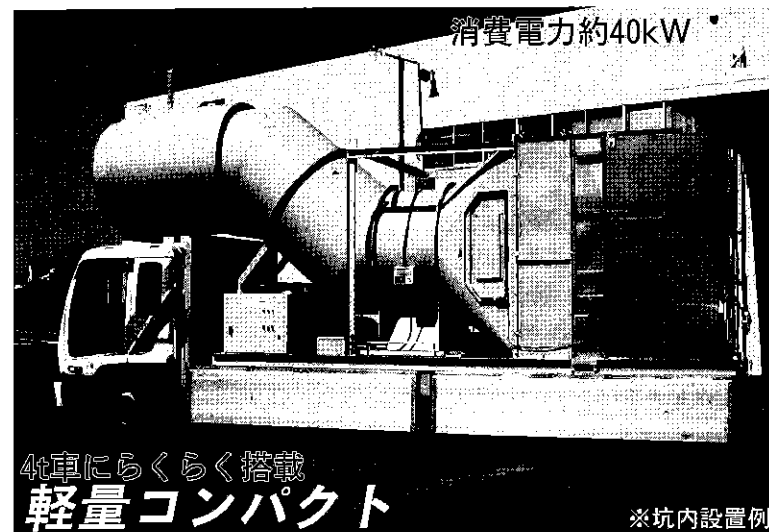


中濃産業株式会社

代表取締役 土田 義 式

本社 〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241(代) FAX(0581)38-3383

営業所 〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990(代)



RENT

取扱レンタル商品

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

※坑内設置例

National電気集塵機クリンジェット(2,000m³/minタイプ)

株式会社 レント

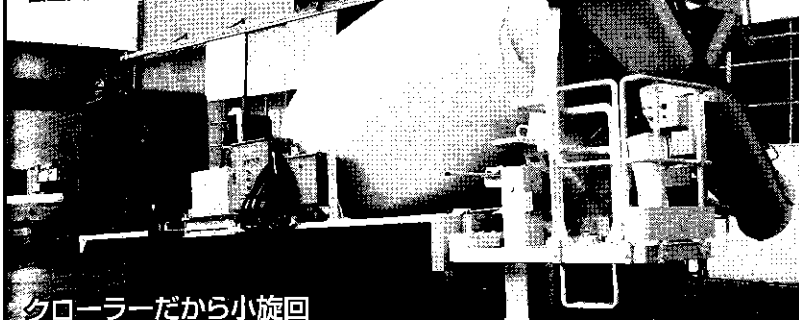
特機営業課 担当者 工藤

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

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

ゴムクロ・ミキサー車

国土交通省排ガス2次トンネル工事用指定



クローラーだから小旋回
斜路、軟弱路盤等悪路に強い!!
後部運転席付。小断面でも前後進が可能!!

【仕様】 ゴムクローラ式ミキサー車 TGM-MR45T 上部ミキサー: カヤハ製(混合容量4.5m ³)			
全長	7,500mm	タンブラ中心間距離	3,870mm
全幅	2,690mm	クローラ全長	9,800mm
全高	9,620mm	クローラ幅	700mm
最低地上高	630mm		(100ピンチX98リンク)
空車質量	11,000kg	セメント積載時質量	22,000kg
形式	三菱6D-TLE2B	定格出力	165kw/2,700min
排気量	7,545cc	最大トルク	700N・m/1,300min
速度1段	最大 7.6km/h		
速度2段	最大 20.0km/h		
駆動時接地圧	20kpa	駆動時接地圧	40kpa

【TGM-MR45T II仕様】

- ・ドラム回転電動式(オプション)
- ・生コン荷下時使用後部アウトリガー
- ・ドラム回転&アイドルアップ機構
- ・オフロード法少数特例承認機
(承認番号) NS-641

T&M

Tunnel & Mining

ニシオティーアンドエム株式会社

山形トンネル施工機械等の総合レンタル企業

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

〒569-0836

大阪府高槻市唐崎西2-26-1

■北海道営業所

tel: 0133-72-3715

fax: 0133-72-3716

■東北営業所

tel: 0197-71-2405

fax: 0197-71-2406

■関東支店

tel: 0268-62-1426

fax: 0268-62-1999

■大阪支店

tel: 072-677-2101

fax: 072-677-2109

■九州支店

tel: 0982-26-2111

fax: 0982-26-2290



道路,トンネル設計(本体工,換気,防災,照明,施工管理他)

トンネル現場診断



株式会社 ロード・エンジニアリング

会長 島 利男 代表取締役社長 清水 洋(技術士)
(技術士・土木学会フェロー会員)

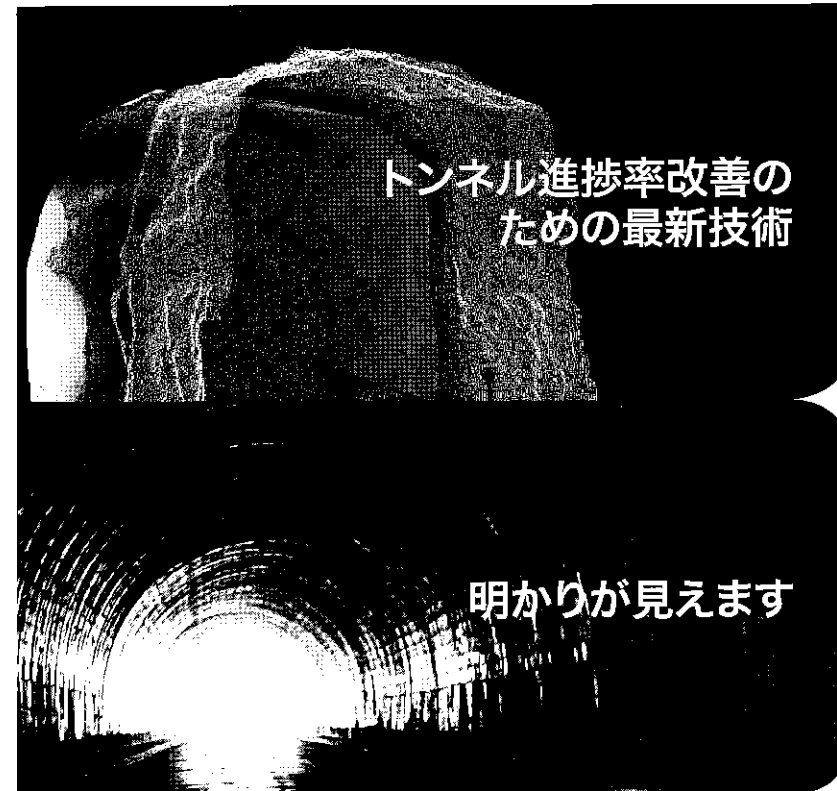
常務取締役 堀内 浩三郎(工学博士) 大阪支店長 亀甲谷 義高(技術士)

本社: 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目24番7号 電話(03)3891-0711

大阪支店: 〒569-1133 大阪府高槻市川西町2丁目21番38号 電話(072)691-0711

福岡支店: 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前4丁目25番14号 電話(092)436-1588

沖縄営業所: 〒901-2122 沖縄県浦添市勢理客4丁目16番9号 電話(098)870-6411



トンネル進捗率改善の
ための最新技術

明かりが見えます

トンネルが貫通するまでの長い道のりの中で、工事完了までの間に大いなる違いを生む原動力となるのは、トンネル進捗率における日々改良の積み重ねです。もちろん、発破のたびに進捗度を上げたいとご希望されることでしょう。

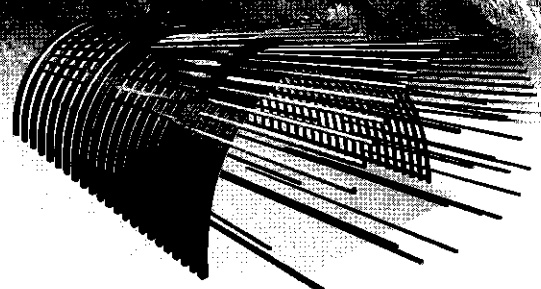
オリカ社は、今まで積み重ねてきた研究開発と技術力を駆使して、お客様が毎日直面する課題の解決策をご提供することが出来ます。自由に延時設定可能なトンネル専用電子雷管eDev、トンネル発破デザインソフト New SHOTPlus-TTM、高エネルギーエマルジョン爆薬の結果をご覧になることが出来ます。これらはすべて、お客様のご要望に沿って全てのプロジェクトに最適な技術サービスとサポートをご提供した結果です。

これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership (パートナーシップの力)」です。

www.oricamining.com にアクセスして頂ければ、トンネル現場の最新技術をご覧になることが出来ます。

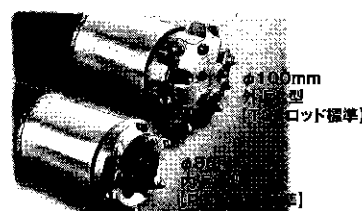
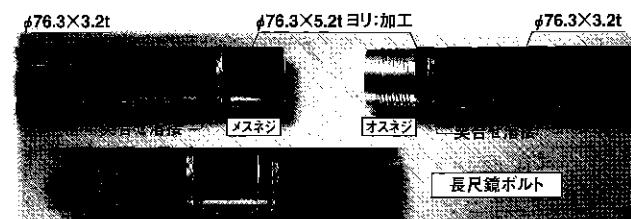
ORICA
MINING
SERVICES

ユニークな発想でVEを提案



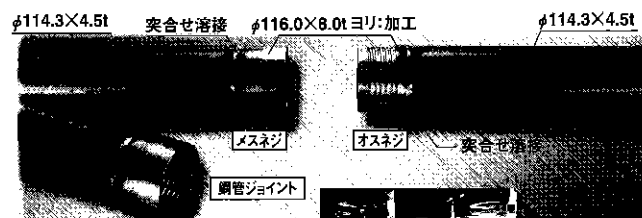
※ストロング FIXチューブ(S型)

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



AGF-STD工法

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

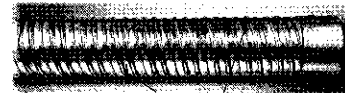


曲げ耐力30%UP!!

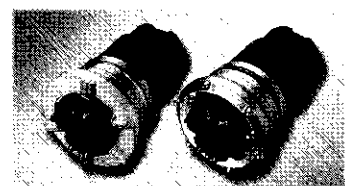
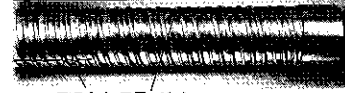


撤去管の選択

標準タイプ



解体分別タイプ



STD BITS (ロストリング方式)

規格	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

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

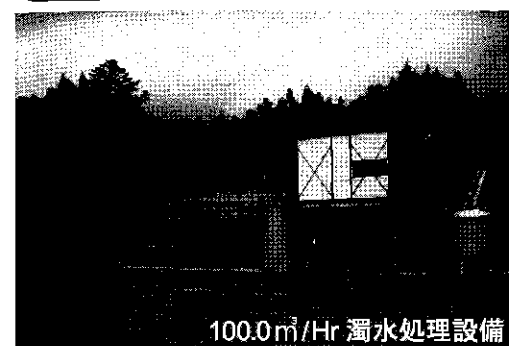
TEL:072-990-0250 FAX:072-990-0251

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

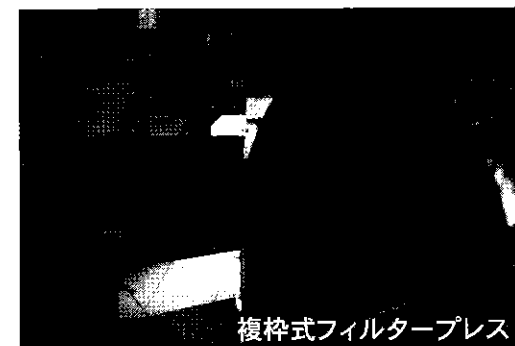
濁水処理からズリ出しまで
トータルにフォローアップいたします

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



100.0m³/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

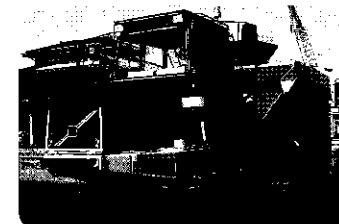
【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

《汎用車両全般》



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



10T ミキサー



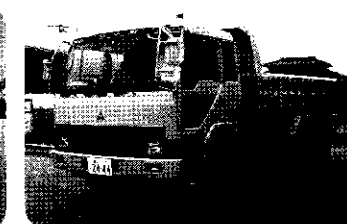
10T ダンプ



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

先輩方の思いを胸に

野焼 計史 5

■研究

圧密沈下起因するシールドトンネルの変形予測手法

焼田 真司・仲山 貴司・津野 究・赤木 寛一 55

■報告

供用中のトンネルで未収束の路盤隆起に挑む

—北陸新幹線—ノ瀬トンネルほか—

久保原 猛・若林 秀明・鈴木 延彰・齋藤 貴 45

■計画

酸性水が湧出するトンネル計画の長期耐久性に関する検討

—国道17号 新三国トンネル—

太田 英雄・高橋 智洋・加藤 勝彦・西園 裕一 35

■施工

パイプルーフを用いたシールドトンネルの大断面地中拡幅

—首都高速横浜環状北線トンネル—

川田 成彦・春日 清志・藤井 剛・大野 了 7

2組の型枠を用いたツインアーチフォーム工法で覆工養生時間を確保

—新東名高速道路 徳定トンネル—

間井 博行・橋爪 智・居川 圭太・金子 恵一 17

■連載講座

都市トンネルのための地盤改良工法(4)

—セメント固化改良工法(2)—

「都市トンネルのための地盤改良工法」連載講座小委員会 63

■現場だより

「新旧融合のまち」すさみ町より

三上 英明 26

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

シールド技術の変遷とともに、シールドの多様化に向けて

松本 龍二 27

■資料ほか

土木情報

編集部 54

トンネルジャーナル

編集部 62

工法・技術・製品ニュース

編集部 72

■会報

会報

日本トンネル技術協会 78

文献紹介

編集部 74

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 75

ヤマモト たくがんき

無騒音 無振動 静かな破碎

超大型油圧破碎機

YTB1120

トンネルビッカー

ヤマモトロックマシン株式会社

本社 東京都千代田区丸の内2丁目4番1号 丸の内ビル 903区

☎ (03)3201-0701代

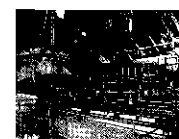
工場 広島県庄原市東城町川西424-1 ☎ (08477)2-2137代

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

【表紙説明】

パイプルーフを用いたシールドトンネルの大断面地中拡幅

—首都高速横浜環状北線トンネル—



本工事は首都高速横浜環状北線トンネルのうち、約5.5kmの併設トンネルを大断面泥土圧シールドで施工し、その後、出入口につながる分合流部を地中拡幅により構築するものである。地中拡幅方法は周辺地盤への影響を極力低減させるため、剛性の高いパイプルーフを用いた。また、薬液注入により施工時の止水性を確保するとともに、覆工にはポリプロピレン繊維を混入した現場打ち耐火コンクリートを採用した。写真は、パイプルーフ施工状況である。

[写真提供：首都高速道路(株)](本文7頁参照)

最新型・電気集じん機 エコクリーンX

NETIS登録番号:KT-040047-A

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

極板放電方式
放電線をなくし消耗品の
削減と断線トラブルの撲滅

少ない消費電力
同クラスのフィルター方式
集じん機に比べおよそ1/4

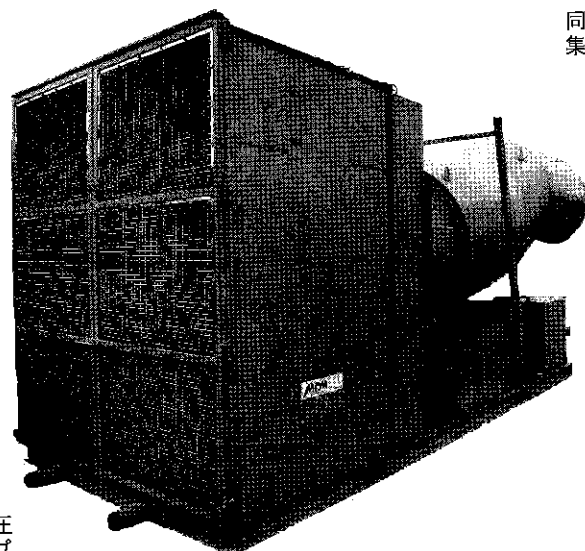
処理風量
750m³/minから3000m³
/minまで製作実績あり

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

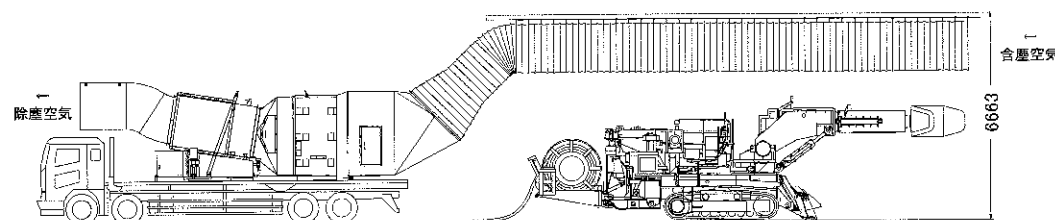
コンパクト
同クラス集じん
機の中で最小

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・提供しております。
機器に関するお問合せはご遠慮なく下記までどうぞ。



株式会社エムシーエム

<http://www.mcmcm.jp>

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

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	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
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	西 岡 和 則 鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部 トンネルグループ長
岩 田 美 幸 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	長谷川 雅 彦 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
大 津 敏 郎 株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部 トンネル専門主幹	藤 井 義 文 株式会社竹中土木執行役員
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	松 原 利 之 飛鳥建設株式会社建設事業本部 エンジニアリング事業推進部長
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

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	テストメック	テストメック	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

〔編集参事〕

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
小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授
今田 徹 東京都立大学名誉教授
高橋 良 文 東京都下水道サービス株式会社専務取締役

〔委員〕

大津 敏 郎 株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹
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
佐原 圭 介 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
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長
高田 武 東京都水道局建設部工務課長
高橋 晃 東京電力株式会社パワーグリッド・カンパニー
工務部流通土木グループマネージャー
谷内 雅 之 東京都交通局建設工務部計画改良課長
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
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
柳 雄 東京都下水道局建設部設計調整課長

W ワールド開発工業株式会社

●本社/営業部 〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484

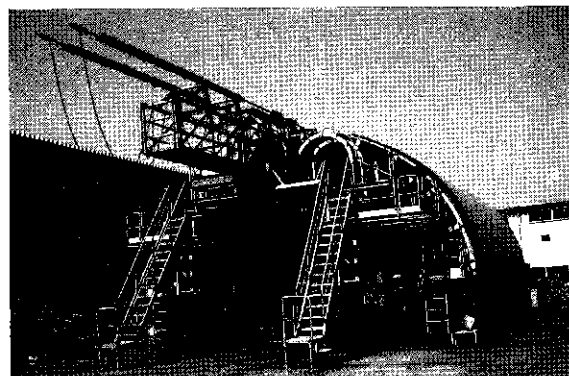
☎(026)213-7024(代) FAX(026)282-5803 <http://www.wkk.co.jp/>

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)

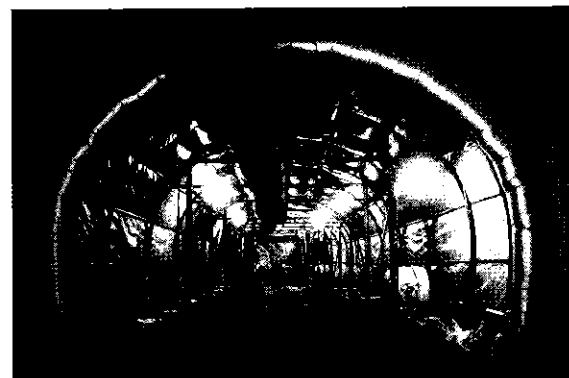


期待される効果・特徴

- ・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)
- ・覆工表面の縞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

トンネルと地下 VOL.45 No.9 掲載概要

掲載頁
7

パイプルーフを用いたシールドトンネルの大断面地中拡幅 —首都高速横浜環状北線トンネル—

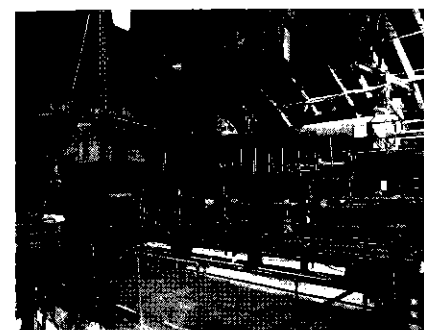
首都高速道路(株) 川田 成彦

首都高速横浜環状北線は、横浜市の道路ネットワークの骨格を形成する横浜環状道路の北側区間にあたり、本工事はそのうち、約5.5kmの併設トンネルを大断面泥土圧シールドで施工し、その後、出入口につながる分合流部を地中拡幅により構築するものである。本工事での地中拡幅方法は、周辺地盤への影響を極力低減させるため、剛性の高いパイプルーフにより地山を支保して地盤変状を抑制し、薬液注入により施工時の止水性を確保する。また覆工には、ポリプロピレン繊維を混入した現場打ち耐火コンクリートを採用し、坑内火災時の耐火性能を確保させている。本稿では、地中拡幅方法の概要とこれまでの施工状況、さらにトンネル覆工の耐火性について報告する。

Reaming Large Cross-section Shield Tunnel Using Pipe Roof—Metropolitan Expressway, North Line of Yokohama Ring Expressway—

By Naruhiko Kawada, Metropolitan Expressway Co., Ltd

The North Line of Yokohama Ring Expressway of Metropolitan Expressway is the northern section of the Yokohama Ring Expressway which forms the framework of the Yokohama city road transportation network.



写真はパイプルーフ施工状況

These works are to construct approximately 5.5 km twin tunnels with large cross-section muddy soil pressure balanced TBM and, after that, to ream the tubes to build merging area that connects to the entrance/exit. The underground reaming technique used in these works controls ground deformation with highly rigid pipe roof that support surrounding ground and ensures waterproof at the time of construction through chemical grouting in order to reduce the effect on the surrounding ground. In addition, cast-in-place fireproof concrete mixed with polypropylene fibre was used for the lining to ensure fire resistance in case of tunnel fire. This report contains an outline of the underground reaming technique and information on the construction up to the present as well as on the fire resistance of the tunnel lining.

掲載頁
17

2組の型枠を用いたツインアーチフォーム工法で覆工養生時間を確保 —新東名高速道路 徳定トンネル—

中日本高速道路(株) 間井 博行

新東名高速道路徳定トンネル工事では、中流動コンクリートを採用したツインアーチフォーム工法(以下、TAF工法)にて施工を行った。TAF工法とは、特殊セトルを用いることで、2日に1回の打設サイクルを短縮することなく、66時間型枠存置が可能となる覆工コンクリートの施工法である。愛知県発注の国道473号設楽バイパス建設工事のうち岩古谷トンネル工事での適用に次ぐ2例目であり、中流動コンクリートとの組合せでは初めての適用となる。そこで、TAF工法による型枠養生効果について、発注者と受注者として協議のうえ、各種の効果検証試験を実施している。本稿では、その施工実績と効果検証結果の一部について報告する。

Ensuring Lining Concrete Curing Time with The Twin Arch Form Technique Using Two Sets of Form—Shin-Tomei Expressway Tokusada Tunnel—

By Hiroyuki Mai, Central Nippon Expressway Company Limited

The Shin-Tomei Expressway Tokusada Tunnel works were conducted with the Twin Arch Form Technique (TAF Technique) using semi self-compacting concrete. The TAF Technique is auxiliary to build lining concrete with special tunnel lining form that had been cured for 66 hours on concrete form without changing the concrete pouring cycle of once two days. This is the second example of the technique after its adoption in the Iwakoya Tunnel works on Shitara By-pass of National Route 473 ordered by Aichi Prefecture, adopted in combination with semi self-compacting concrete for the first time. Therefore, after discussions between the contractor and contractee, deferent types of effectiveness verification tests are being implemented for curing effects using the TAF Technique. This report contains information on the results of construction and a part of the results of effectiveness verification tests.



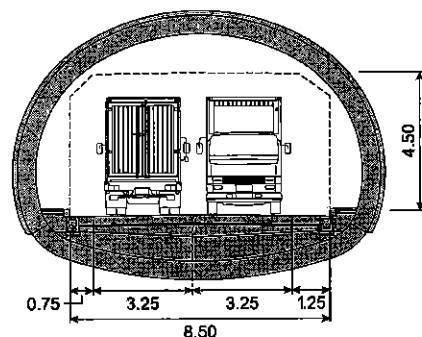
写真はくくり抜け状況

三国トンネルは群馬、新潟県境に位置する道路トンネルである。このトンネルは酸性水の湧出により覆工コンクリート増厚などの補強工事が実施されてきた。そのため、内空が縮小断面となり交通の安全性の確保が急務な状況である。これより、平成23(2011)年度に三国トンネルの近傍に新たな2車線のトンネルを建設するという基本方針が策定された。平成24(2012)年度にはトンネルを計画するうえでの課題の検討を目的とし、三国トンネル技術検討委員会を設立した。本稿は、酸性水の湧出によるNATMの支保部材の劣化、覆工コンクリートの劣化および酸性水により発生する沈殿物による排水機能の劣化の3点を課題と考え、その検討結果について報告するものである。

Long-term Durability of Tunnel Design in Which Acid Water Wells—National Route 17 Shin-Mikuni Tunnel—

By Hideo Ota, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

Mikuni Tunnel is a road tunnel located on the border between Gunma Prefecture and Niigata Prefecture.



図は新三国トンネル断面図

Reinforcement works such as thickening lining concrete in this tunnel have been conducted due to the welling of acid water. For this reason, internal cross-section has been reduced to invade clearance outline and it is essential and urgent for the safety of traffic. Due to this, in FY2011, a basic plan was formulated to construct a new two lane tunnel in the vicinity of Mikuni Tunnel. In FY2012, with the aim of reviewing issues to design the tunnel, the Mikuni Tunnel Technological Examination Committee was established. This report gives information on three agendas; deterioration of tunnel support members due to acid water welling, deterioration of lining concrete due to acid water welling, deterioration of drainability due to deposit that occurs from acid water, and on the results of their investigation.

北陸新幹線安中榛名・軽井沢間に位置する—ノ瀬トンネル、碓氷峠トンネルの一部の区間において、供用開始後に路盤隆起が確認された。対策工は、限られた施工条件から下向きロックボルト工を実施した。とくに—ノ瀬トンネル32k029m付近では、2005年に一次対策、2009年に二次対策を実施してきたが、その後も路盤の隆起が収束しないため、2010年から三次対策を実施した。その結果、隆起速度は徐々に小さくなったものの、完全に収束していないことが調査結果で確認された。そのため、継続的な監視が必要であり、場合によっては追加対策が必要であると考えられる。本稿では、供用中の新幹線トンネルにおける未収束の路盤隆起に対し、約10年にわたり実施してきた対策工とそれに付随して実施してきた調査および計測監視結果について報告する。

Tackling Slowly Converging Heave on Floor of Tunnels in Service—Hokuriku Shinkansen Ichinose Tunnel, etc.—

By Takeru Kubohara, East Japan Railway Company

Floor heaves in Ichinose and Usuitoge Tunnels were found after their operations began, which are located between Annaka-Haruna station and Karuizawa station on the Hokuriku Shinkansen. Rock bolts were installed



写真は調査ボーリングの実施状況

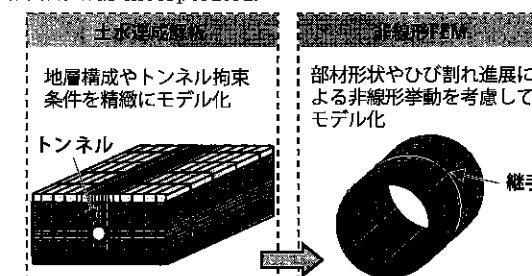
to downward direction as a countermeasure due to the restricted construction conditions. In particular, in the vicinity of 32k029m of Ichinose Tunnel, primary countermeasures were implemented in 2005 and secondary one in 2009 but the floor heave did not converge even after these, so tertiary countermeasures were implemented in 2010. Even though the rate of floor heave decreased gradually, the results of an investigation showed that they are still not completely converged. For this reason, continuous monitoring is required and it is thought that further countermeasures may also be required in certain cases. This report contains countermeasures that have been implemented over approximately ten years for slowly converging floor heave in tunnels in service and results of investigation and monitoring that have been carried out in conjunction with countermeasures.

軟弱地盤中のシールドトンネルで、周辺地盤の広域的な圧密沈下が原因と想定される変形や覆工のひび割れが見られる場合がある。このような圧密沈下に起因するシールドトンネルの変状は、緩慢ながらも長期間にわたって進行することから、長期的な変形挙動を予測することが維持管理上重要であり、そのための予測手法の確立が求められている。そこで、著者らは、圧密沈下に起因するシールドトンネルの変形挙動や変状の進行を、維持管理の実務で把握されているトンネル内空変位量の経時変化をもとに、土水連成解析を用いて予測する方法について検討を行ってきた。本論文では、地盤を広域にモデル化した土水連成解析とトンネルをモデル化した非線形FEMを組み合わせる方法と、ひび割れによるリング剛性低下を簡便に評価する手法を構築し、これを土水連成解析に組み込んだ予測手法を提案したので紹介する。

Calculating Deformation of Shield Tunnels Due to Consolidation Settlement

By Shinji Yakita, Railway Technical Research Institute

In shield tunnels in soft ground, deformation or cracks in lining concrete that are assumed to result from wide consolidation settlement of the surrounding ground may be found. Predicting long-term deformation in shield tunnels due to the consolidation settlement is important for operation because its progresses slowly over a long period of time and maintenance and, for this reason, there is a need to establish a technique for prediction. Therefore, based on time-dependent change of convergence measurement data from regular maintenance, the authors have investigated calculation methods of tunnel deformation behaviour and its progress using soil-water coupling analysis. This report contains information on the two calculating methods: combined method with non-linear FEM analysis of modeled tunnels and soil-water coupling analysis of modeled wide ground, earth-water coupled analysis method in which developed technique to easily evaluate reduction of stiffness of lining due to generation of cracks was incorporated.



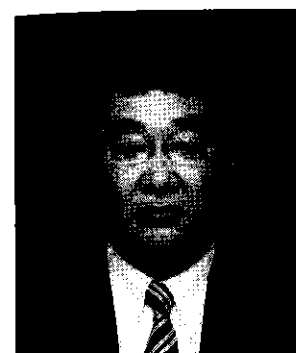
土水連成解析で得られた内空変位を非線形FEMに投入

図は土水連成解析と非線形FEMを組合せた手法の概要

先輩方の思いを胸に

東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部長(本協会評議員)

野焼計史



私は、営業線改良工事は新線建設工事の応用問題だと考えている。限られた時間と空間での作業に加えて、線路・架線・信号ケーブルなどのさまざまな鉄道施設の防護など、始発電車を無事に見送るまで工事の安全確保に細心の注意が求められる。また、既設構造物と新設構造物の接合に関する設計・施工上の技術的課題も多い。

当社における営業線改良工事の歴史は実に古い。

戦後からに限っても、銀座線の輸送力増強として、1953(昭和28)年から車庫の拡張工事、6両編成化に伴う駅のホーム延伸工事を行い昭和44年に完成している。

駅の混雑緩和対策として大規模な改良工事が行われたのは、1968(昭和43)年、銀座線・丸ノ内線が接続する赤坂見附駅が最初である。その後、丸ノ内線霞ヶ関駅、銀座線新橋駅、同日本橋駅において、既設の島式ホームを片線専用とし外側にホームを新設して変則相対式とする方式でホームやコンコースの拡幅が行われた。さらに乗降人員の大幅な増加や乗換駅の混雑緩和対策として、日比谷線・東西線・有楽町線などでも駅の大規模改良工事が行われた。また2方向避難通路などの火災対策設備の整備、ホームから地上までのエレベーター1ルートを始めバリアフリー設備整備などの駅改良を実施してきた。

このように、これまでは輸送力増強・混雑緩和対策や法令・基準が定められたことに起因する駅の改良工事であったのに対して、現在あるいは今後取り組んでいく改良工事はそれらに加えて、路線全体の機能更新、いわゆる輸送改善対策が主体になるのではないかと考えている。その典型的な例、現在取り組んでいる東西線各駅の改良工事をご紹介します。

東西線西船橋方の朝ラッシュ時の混雑率は首都圏鉄道のワースト4位(平成24年度)であり、しかも混雑に起因して列車の遅延が常態化している。この解決策の第一段階として、江東区内の南砂町駅から都心部の茅場町駅まで連続する5駅において駅改良工事を同時に実施している。遅延の解消によりダイヤどおりの運転本数(27本/1時間)を確保するものである。なお第二段階としては、輸送力増強(30本/1時間)により混雑率の低

管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

コンクリートトータル養生システム

セントル型枠

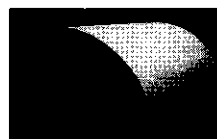
第二養生

第三養生

加温しながら初期強度を上げる
加温養生(型枠)



加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



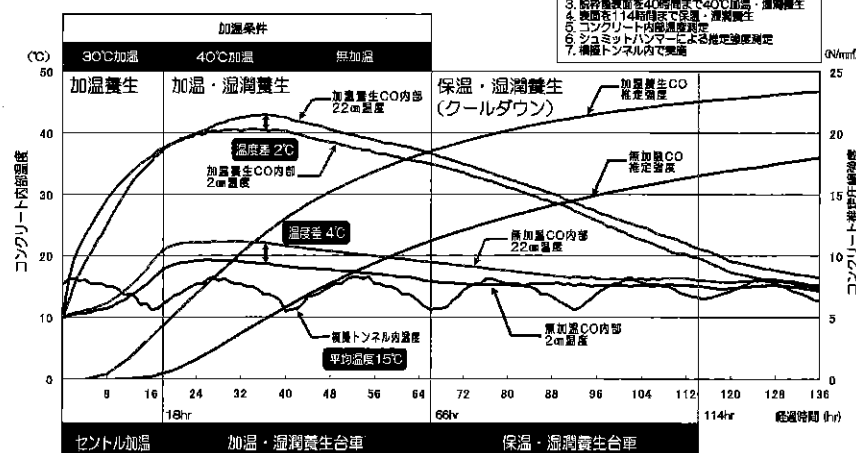
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

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

【製作・販売協力】

TECHNO
テクノプロ株式会社

岐阜
株式会社 東 宏

減を図るため、都心部に折返し線を設置する計画である。

5 駅の工事のうちもっとも西船橋寄りの南砂町駅では、列車の交互発着が行えるよう現行 1 面 2 線島式ホームを 2 面 3 線化する工事を実施している。国内の地下鉄では前例がない大規模な駅の造り替えである。またわが国初のシールド駅である木場駅では、端部の立坑部に昇降設備が集中し乗降に時間を要していることから、上下の駅単線シールド(ホーム幅員片側 3 m)を延長約 70m にわたり開削トンネルに置き換え、島式ホーム(幅員 12m)とするものである。さらに茅場町駅では日比谷線へ乗り換えるお客様が後ろ寄りに集中し停車時分が所定より長くなることから、ホームを約 40m 西船橋方へ延伸して、列車の停止位置変更と階段・エスカレータの再配置を行う計画である。これらの改良工事は軟弱な地盤条件、埋設物が輻輳し交通量が多い道路内での工事であるなどの施工条件に加え、ホーム上のお客様の流動や電車の安全運行を日々確保しながら直上のスラブ、側壁やセグメントの撤去を行うなど、いずれもきわめて難度が高い工事である。先輩方から受け継いだ技術力をベースに、新たな知恵を出し合って、慎重に工事を進めていかなければならない。

ところで、2020(平成32)年に第32回オリンピック、第16回パラリンピックが東京で開催されることが決定した。開催都市の重要な交通インフラの担い手として、現在取り組んでいる東西線の改良工事やバリアフリー設備の整備などに加えて、会場周辺の駅の出入口の増強やバリアフリー設備の追加整備など、当社が取り組まなければならない課題は数多い。実は、1964(昭和39)年の第18回オリンピック東京開催が決定したのは1959(昭和34)年 5 月であり、この時点での営団地下鉄の営業路線は銀座線と丸ノ内線池袋・新宿間のみで、寸前に日比谷線の最初の区間、南千住・仲御徒町間を着工したところであった。日比谷線は部分開業を重ね、最後の区間、東銀座・霞が関間が開業し、20.3キロが全通したのはオリンピック寸前の 8 月 29 日であった。オリンピック関連工事の集中による資材や人手不足に加えて、営団地下鉄初の総合駅となった銀座駅の施工、さまざまな重要構造物との近接、軟弱地盤などの厳しい施工条件を乗り越えて、オリンピック開催に間に合わせる苦労は並大抵なものではなかったのではないかと思う。日比谷線建設にかけた当時の先輩方の懸命な努力や苦労に思いを馳せるとき、われわれの世代も 2020(平成32)年に向けて重要な改良工事をきっちりやり切らなければならないと気が引き締まる。先輩方の思いを胸に刻んで、総力を結集して取り組んでいきたい。

施工

パイプルーフを用いたシールドトンネルの大断面地中拡幅

—首都高速横浜環状北線トンネル—

首都高速道路(株)神奈川建設局設計課課長 川 田 成 彦

首都高速道路(株)神奈川建設局設計課課長代理 春 日 清 志

大林・奥村・西武横浜環状北線シールドトンネル特定建設工事共同企業体副所長 藤 井 剛

大林・奥村・西武横浜環状北線シールドトンネル特定建設工事共同企業体副所長 大 野 了

1 はじめに

現在、首都高速道路(株)(以下、「首都高」)が整備を進めている横浜環状北線(以下、「北線」)は、横浜市の交通ネットワークの骨格を形成する横浜環状道路の北側区間であり、第三京浜道路「港北インターチェンジ」と首都高速道路横浜羽田空港線「生麦ジャンクション」をつなぐ延長約 8.2km の自動車専用道路である(図-1)。

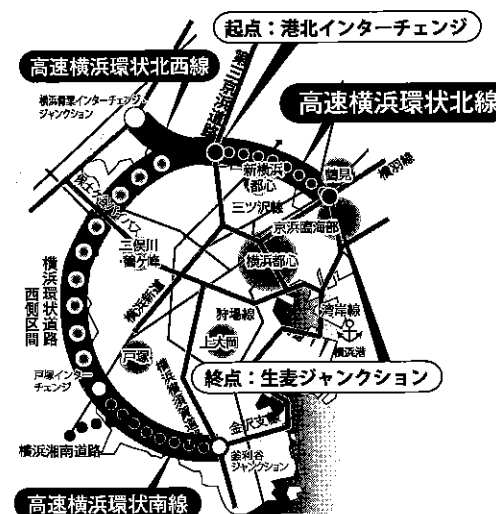


図-1 横浜環状北線の概要

北線では、家屋の移転を少なくし、周辺環境を保全するために、全体の約 7 割をトンネル構造とした。

横浜環状北線シールドトンネル工事は、北線のトンネル部のうち、新横浜発進立坑を起点に子安台換気所を終点とする延長約 5.5km の併設トンネルを 2 台の大断面泥土圧シールド(外径 $\phi 12.49\text{m}$)によって構築し、さらにシールド通過後に出入口へつながる分合流部をシールドトンネル坑内から地中拡幅によって 4 か所構築するものである。

シールドトンネル区間はほぼ全線にわたって住宅地域直下に位置していることから、分合流部 4 か所(A~Dランプ)の施工もすべて非開削で行う必要があった。

本稿では、地中拡幅方法の概要とこれまでの施工状況、さらにトンネル覆工の耐火性について報告する。

2 工事概要

工事概要を表-1、トンネル地質縦断面図を図-2に示す。トンネルの土かぶりは 11~57m、分合流部の土かぶりは 28~54m であり、掘削土層は上総層地盤を主体とした泥岩(Km)、砂質泥岩(Kms)

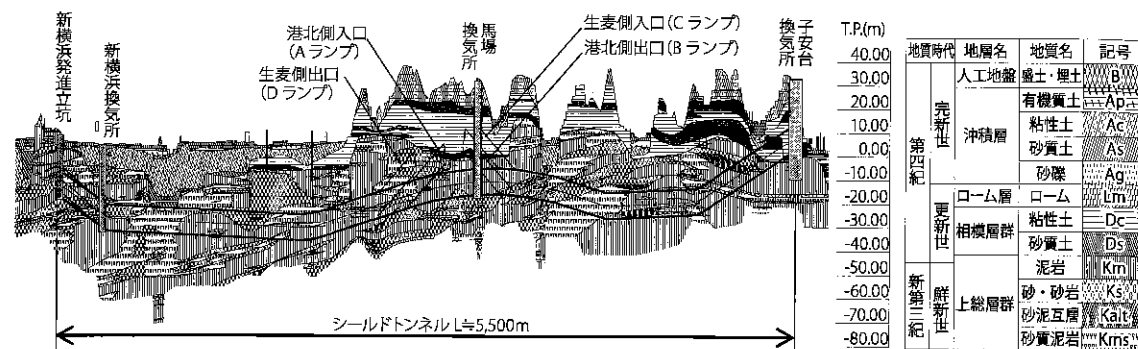


図-2 トンネル地質縦断面図

表-1 工事概要

工 事 名		横浜環状北線シールドトンネル工事
シールド延長		(内回り)5,513m, (外回り)5,517m
シールド		(外径)12,490mm, (工法)泥土圧シールド
セグメント外径		12,300mm
セグメント 仕 様	シールド 区 間	RCセグメント：幅2,000mm, 桁高400mm
	鋼製セグメント：	幅2,000, 1,500, 1,200, 1,000mm, 桁高400mm
	複合(RC+合成+鋼製)セグメント：	幅2,000mm, 桁高400mm
	鋼製セグメント：	幅2,000mm, 桁高400mm
切 掘 区 間 長		(内回り)Aランプ：約205m, Bランプ：約157m (外回り)Cランプ：約212m, Dランプ：約149m

(一軸圧縮強度1,000kN/m²以上), 砂, 砂岩(Ks)(N値50以上)の互層で, いずれも硬質な地盤である。しかしながら, Ks層の水圧は最大0.5MPaであり, 均等係数も6.0程度と比較的小さい。また, 生麦側地中拡幅部に位置するKs層は, 近傍の沖積層と水理的につながっていることが懸念された。

3 本工事における課題

3-1 地盤変状の抑制と止水性の確保

分合流部の施工方法は, 地中拡幅を行う範囲の施工地盤を考慮すると, NATMによる地中拡幅も可能と考えられたが, 地下水の流出に伴う流砂現象や地下水低下による沖積層の圧密沈下現象を誘発する可能性があった。

そこで, 本工事では施工時の地盤変状や地下水低下による影響を最小限に抑制することが重要であり, より安全でかつ確実な施工方法の立案が課題であった。

3-2 分合流部覆工の耐火性の確保

分合流部の覆工は, ウォータータイト構造として地下水圧と土圧を負担させるため, トンネル内で火災が発生してもトンネルの構造性能を保持できるよう耐火性を確保することが必要であった。

耐火性は, 耐火吹付けや耐火パネルにより確保することも可能であるが, コスト縮減, 工期短縮, 維持管理(点検容易性)に対する配慮から, 本線シールドでは, コンクリートに有機繊維を混入し, コンクリート自体が耐火性を有する方法を採用しており,

分合流部の覆工についても, 同様に耐火性を確保することが課題であった。

4 分合流部の地中拡幅方法の概要

4-1 基本方針

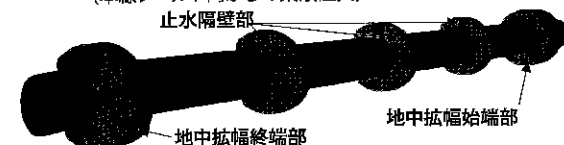
以下の基本方針にもとづき, 施工方法を立案した。

- ① 地盤変状の抑制：地山を支承する部材の剛性により地山の变形量を抑制。また, 地山を支承するまでの施工過程においても地山の応力解放を低減。
- ② 施工時の止水性確保：地盤改良により確実に止水を行う。万一の出水に対しても速やかな対応を可能とする。

4-2 施工ステップ

分合流部の施工ステップを図-3に示す。同図ステップ2において, 地中拡幅始端部に拡大シールドにより本線シールドの外周にパイプルーフを施

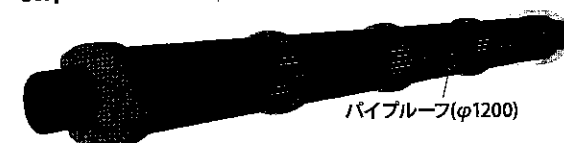
Step1 地中拡幅始端部, 止水隔壁部, 地中拡幅終端部薬液注入工 (本線シールド内からの薬液注入)



Step2 地中拡幅始端部パイプルーフ発進基地構築(拡大シールド)施工



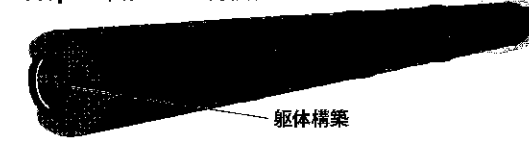
Step3 パイプルーフ(φ1200)施工



Step4 パイプルーフ間薬液注入工 (パイプルーフ内からの削孔注入)



Step5 本線シールド内躯体構築



Step6 地中拡幅掘削(幅4.0m)



Step7 地中拡幅掘削部躯体構築(3.0m) 【次ブロック掘削(3.5m), 掘削部躯体構築(3.5m)】* *くり返し



Step8 完成



図-3 施工ステップ図

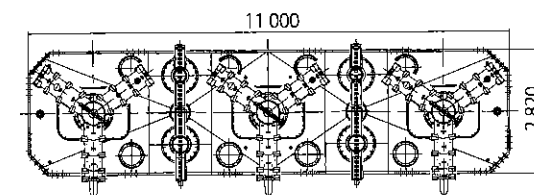


図-4 拡大シールド概要図

工するための発進基地となる空間を構築する。この拡大シールドは, 本線シールドの下部に立坑を構築し, その立坑内で拡大シールド(図-4, 写真-1)を組立て, 本線シールドの外周を円周方向に掘進する。

拡大シールド施工部には, 事前のステップ1で薬液注入工を行うことで施工時の止水性を確保している。その後, 拡大シールドにより構築したパイプルーフ発進基地からトンネル軸方向に大口徑パイプルーフ(φ1,200, 27本)を施工する。パイプルーフ間の地山には, パイプルーフ内から薬液注入を行い, 本線シールドトンネル, パイプルーフ, 薬液注入されたパイプルーフ間の地山, さらに



写真-1 拡大シールド仮組立て状況

に薬液注入された地中拡幅終端部と止水隔壁部からなる遮水ゾーンを構築する。遮水ゾーン構築後, トンネル軸方向4.0m幅で, 本線シールドを切開き, パイプルーフで覆われた地山を拡幅掘削する。拡幅掘削部には, 本設構造となる覆工コンクリートを施工し, 必要強度が確保されたあとに隣接する次ブロックの掘削を行う。

4-3 施工方法の特徴

パイプルーフは覆工または未掘削部の地山によ

り、つねに支保された構造となるため、パイプルーフの剛性により、周辺地山への影響を低減することが可能である。当該技術の特長を以下に示す。

(1) 大深度地下での施工が可能

拡大シールド工法・パイプルーフ工法などの既存技術を組み合わせることで、大深度でも安全・確実に施工可能。

(2) 地域住民の生活環境の保全

非開削で施工するため、工事に伴う交通渋滞や騒音・振動を大幅に低減。

(3) 周辺環境への負荷低減

構造物の必要断面だけを掘削するため、発生土量および工事によるCO₂を低減。

5 分合流部の施工状況

5-1 パイプルーフ発進基地の施工

パイプルーフ発進基地の施工は、現在4か所すべてが完了している。以下に、拡大シールドの特徴とパイプルーフ発進基地構築の施工順序を述べる。

5-1-1 拡大シールドの特徴

- ① 拡大シールド施工による万が一の出水対策、掘削土砂の効率的な排出のため、密閉型シールド+ポンプ圧送方式を採用した。
- ② 拡大セグメント組立て時の作業の安全性を考慮し、発進立坑でセグメントの組立てを行う、元押し推進方式を採用した。
- ③ 拡大シールドの方向制御の精度をより高め

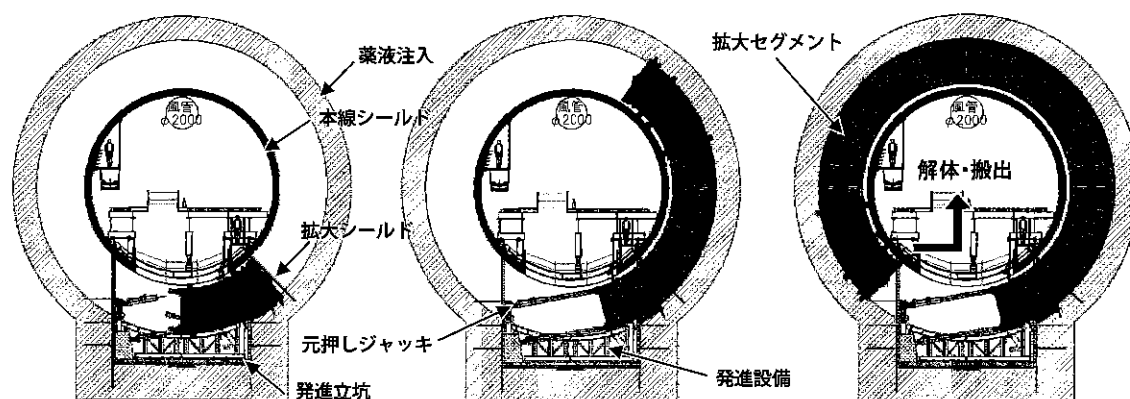


図-5 拡大シールド施工概要図

るため、方向制御装置(方向制御ジャッキ、可動ソリ、グリッパ)を装備した。

- ④ 上総層に適した泥土圧掘削方式の選定、さらに未切削領域を極力小さくするため、複円形の Cutterヘッドを採用した。

5-1-2 パイプルーフ発進基地構築の施工順序

(1) 立坑構築および発進設備設置

拡幅始端部の本線シールド下部の仮設セグメントを撤去し、拡大シールド発進基地となる立坑(立坑寸法:幅8.4m×奥行き13.0m×本線セグメント下端から深さ5m)を構築する。掘削はバックホウにて行い、土留めは吹付けモルタルとロックボルトにて施工した。

その後、拡大シールドを発進させるための立坑設備(架台、支圧壁、エントランスなど)を設置した。

立坑掘削状況を写真-2に示す。

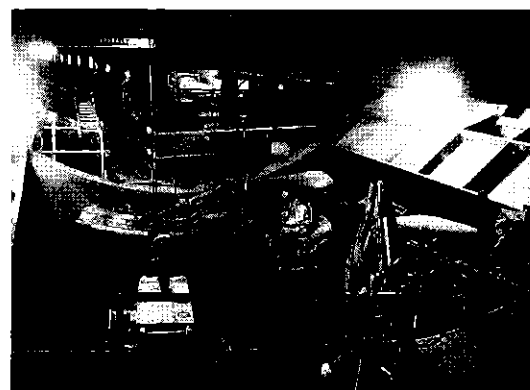


写真-2 立坑掘削状況

(2) 拡大シールドの搬入・組立て

拡大シールドは、立坑への搬入(セグメント開口部からの投入)や立坑内での組立てを考慮し、1ピースの大きさ(最大3m×3m)と重量(最大22t)を制限し、分割数を決定した(全分割数26ピース)。

(3) 拡大シールド掘進

拡大セグメントは、円周方向に10°で分割された36リングで構成され、1リングずつ立坑内で組立て、方向制御を行いながら、元押しジャッキにより推進した。拡大シールド発進～到達の施工概要図を図-5に、また、拡大シールドの到達状況を写真-3に示す。

(4) 拡大シールドの搬出・解体

拡大シールドを所定位置まで推進したのち、マシン前方から順に解体・搬出した。

(5) 本線セグメントとの接続

到達後、本線セグメントと拡大セグメント内周側を撤去し、接続用ピースと接続プレートにより拡大セグメント側面部と本線セグメントを接続し



写真-3 拡大シールド到達状況

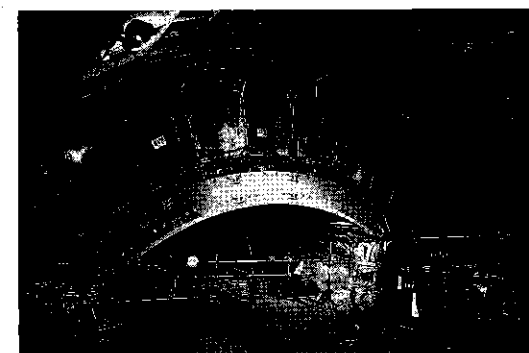


写真-4 セグメント接続状況

た(写真-4)。これにより、トンネル全周にわたって拡大された空間が確保される。

5-1-3 施工状況

拡大シールドの掘進精度は、軸方向・法線方向ともに、すべて管理値±100mm内に収めることができた。また、施工中の坑内湧水量も薬液注入の止水効果を加味した浸透流解析による予測値内に収まっており、掘削や湧水による地表面への影響もなく無事施工が完了している。

5-2 大口径パイプルーフの施工

5-2-1 施工概要

各ランプのパイプルーフは、①地山切開き時の支保工として、②切開き部外周を止水するための薬液注入工の作業エリア(パイプルーフ内からの薬液注入)として構築する。各ランプの施工数量を表-2に示す。

各ランプの推進工法は、高水圧、長距離、当該地山への適用性、施工規模などを考慮し、内回り

表-2 パイプルーフ施工数量

ランプ名	スパン数	延長(m)	総延長(m)	推進工法	備考
Aランプ	27	197	5,319	泥水式	
Bランプ	27	148	3,996		
Cランプ	27	205	5,535		
Dランプ	27	140	3,780	泥濃式	曲線パイプルーフ

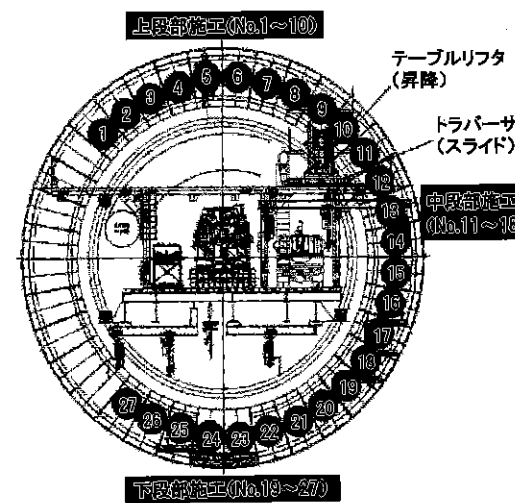


図-6 パイプルーフ施工配置

トンネル(A, Bランプ)では泥水式推進工法を、外回りトンネル(C, Dランプ)では泥濃式推進工法を採用した。なお、両工法とも、掘進機はリターン回収型とし、掘進機は到達後、掘進機を発進基地まで引戻す方式を採用した。また、A, B, Cランプのバイブルーフは、直線施工(縦断勾配2.0%)であるが、Dランプでは、都市計画線との関係から曲線施工($R=1,000\text{m}$)とした。

バイブルーフに使用する鋼管は、外径1,200mm、厚さ12mm、最大鋼管長6.5m、材質SKK400またはSKK490とした。鋼管同士の接合は、直線施工では溶接継手を、曲線施工ではソケット式継手を採用した。

施工は、各ランプとも工期短縮の観点から、図-6に示すように上段部、中段部、下段部施工に範囲分けを行い、掘進機3～4台による同時施工を実施している。2014年4月末現在、4か所中、3か所のランプで施工中である。

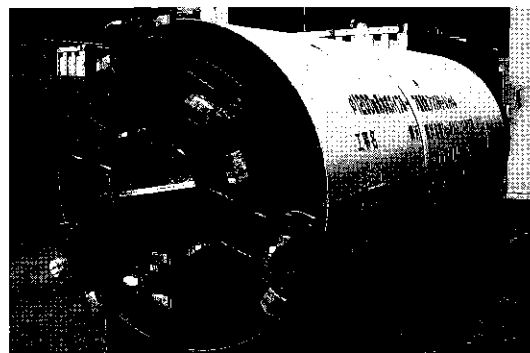


写真-5 泥水式推進工法掘進機



写真-6 泥濃式推進工法掘進機

5-2-2 泥水式鋼管推進工法

泥水式推進工法のおもな特徴を以下に示す。

- ① 泥水を掘進機(写真-5)のカッタチャンバ内に送泥し、切羽の土圧および水圧とバランスさせ、地山の安定を図る。
- ② カッタヘッドで掘削した土砂を泥水に混入させ、バイブルーフ外へ流体(排泥水)輸送する。
- ③ 排泥水は、本線シールド内の泥水処理設備により土砂と泥水に分離し、泥水は再度掘進機のカッタチャンバ内に送泥する。

5-2-3 泥濃式鋼管推進工法

泥濃式推進工法のおもな特徴を以下に示す。

- ① 掘進機(写真-6)のカッタチャンバ内に高濃度泥水を圧送・充满し、切羽の土圧および水圧とバランスさせ、地山の安定を図る。
- ② カッタヘッドで掘削した土砂を高濃度泥水と攪拌混合し流動化させ、掘進機内の排土バルブから排土する。排土した掘削土砂は、バキュームにより吸引・搬出する。

5-2-4 鋼管接合

(1) 溶接接合

直線バイブルーフでは、開先角度 35° 、ルートギャップ7mmで完全溶込み溶接継手とし、鋼管内部から溶接作業を実施した(写真-7)。

(2) ソケット接合

Dランプのバイブルーフでは、曲線施工($R=1,000\text{m}$)のため、差込み式のソケット接合とし、



写真-7 鋼管内溶接状況

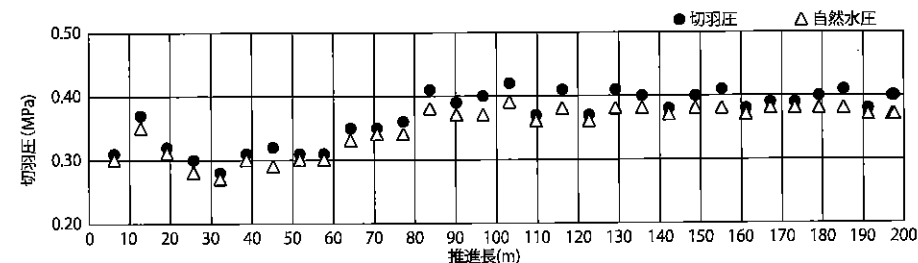


図-7 推進時切羽圧管理例

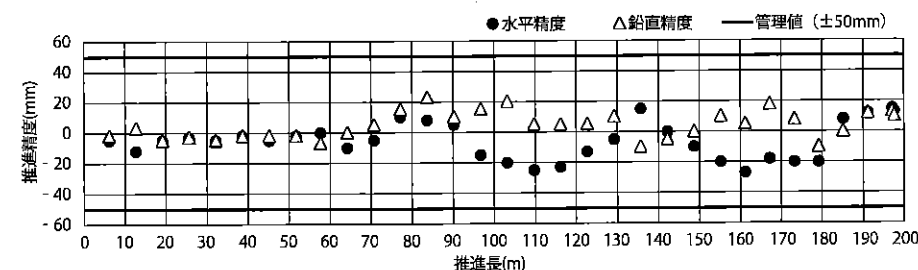


図-8 推進精度管理例

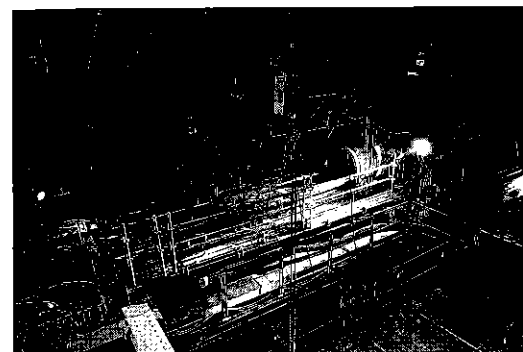


写真-8 バイブルーフ推進状況

ソケット部は水膨張シール材による止水構造とした。

5-2-5 推進状況

推進時の切羽圧力は、自然水圧+0.05MPa以内で切羽の安定を図り、推力は、計画推力(カッタ前面土水圧および周面摩擦力)程度(最大3,000kN)、推進速度は、土丹層で40～50mm/分、砂層で50～60mm/分で推進している。

また、線形精度は、鋼管1本ごとに蛇行量を測定し、マシン内に設置した方向修正ジャッキによる修正を実施することにより、管理値(±50mm)以内に収まっている。

写真-8に推進状況、図-7に推進時切羽圧管理

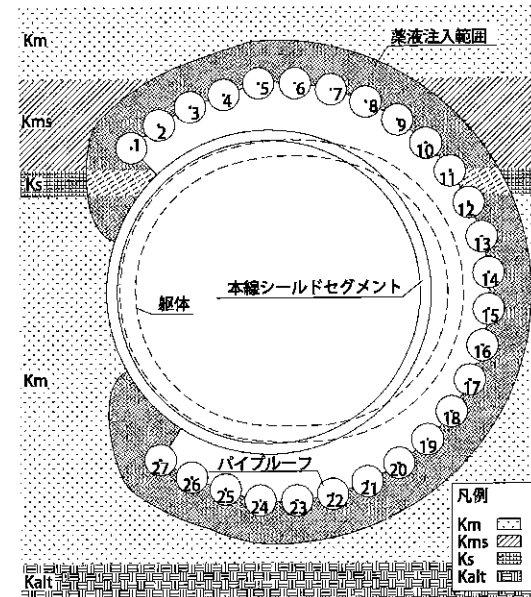


図-9 薬液注入範囲(断面)例

例、図-8に推進精度管理例をそれぞれ示す。

5-3 薬液注入による止水対策

薬液注入による地盤改良は、さきに述べた施工ステップのうち、ステップ1とステップ4で実施される。

ここでは、バイブルーフ鋼管内からの薬液注入工法について述べる。薬液注入工は、鋼管推進前

に設置した注入孔から削孔・注入をくり返す。図-9に薬液注入範囲例を示す。

なお、薬液注入は、帯水した砂層への浸透注入をおもな目的とし、溶液型の低圧浸透注入工とした。

5-3-1 削 孔

二重管ロッドにより、所定の深度を削孔し、湧水量を測定した。

当現場では、薬液注入の止水効果目標として、透水係数 $3.0 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ と定め、注入前の湧水量が、目標透水係数相当の湧水量以上である場合、薬液注入を実施することとした。

5-3-2 注 入

注入材料は、有機系溶液型の高強度タイプの溶液を使用した。一次注入として削孔孔周囲のシールおよび粗詰めを目的に、瞬結型注入材による注入を、その後、二次注入として緩結型注入材による低圧浸透注入を実施した(写真-9)。注入速度は、どちらも10L/分を標準とし、ホース内抵抗圧を除く注入上限圧を0.7MPaと設定した。薬液注入範囲の地表からの深度は30~50m程度で、地下水压が0.3~0.5MPa程度であることから、注入上限圧を0.7MPaに設定した。注入率は、湧水が目標透水係数相当以上の場合、帯水した砂層または土丹層の亀裂と判断し、注入対象土量の81.5%とした。また、一次注入材(瞬結型溶液)と二次注入材(緩結型溶液)との注入割合は、1:3を標準とした。

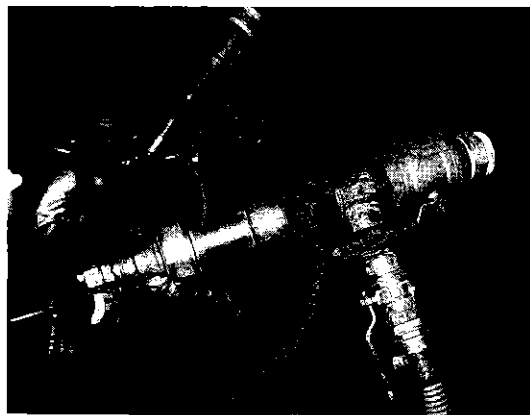


写真-9 鋼管内注入状況

効果の確認として、注入前の湧水量が多い箇所やパイプルーフ工で砂層と判断した箇所を再削孔し、注入後の湧水量を測定し、透水係数を満足するか否かを確認した。

平成26年4月末現在、Aランプで薬液注入工を実施しており、他ランプでもパイプルーフ工の進捗に合わせ、順次施工して行く予定である。

6 覆工コンクリートの施工性および耐火性能確認^{1), 2)}

地中拡幅部の覆工は、図-10に示す楕円形の構造とし、床版上の道路空間は施工性を考慮してスランプタイプと高流動タイプの2種類の現場打ち耐火コンクリートを用いることとした。コンクリートの設計基準強度は 40 N/mm^2 であり、温度ひび割れの発生を抑制するため、低発熱・収縮抑制型の高炉セメントB種を使用した。

近年、耐火性を有するセグメントの施工実績は増えており、本線シールドのセグメントも耐火性能を有するものとなっているが、現場打ちで施工する耐火コンクリートの実績はない。しかしながら、今回適用するコンクリートは耐火に対して条件の厳しい高強度かつ高流動であることから、耐火性能を付加する必要があった。

そこで当該工事では、現場受入れ、立坑内へのコンクリート運搬、坑内運搬、ポリプロピレン短繊維(以下、「PP繊維」)投入、打込みの流れを考慮した配合設計を行い、流動性を確認し、それにもとづいて試験体を作製して、耐火性を確認することとした。

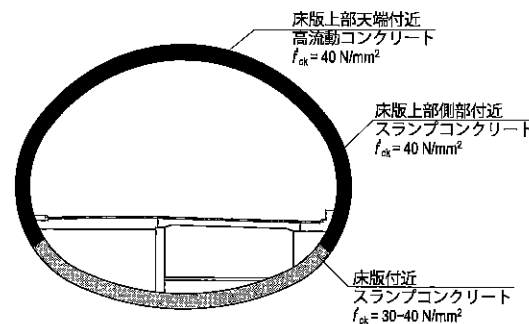


図-10 分合流部覆工構造

6-1 流動性の確認

PP繊維の形状は、アジテータ車での攪拌性、繊維投入後のスランプフロー低下を考慮し、繊維度17dtex×長さ20mmとした。高流動コンクリートの場合のスランプフローの経時変化を図-11に示す。PP繊維投入後のスランプフローは60cm以上であり、十分な流動性を確保することができた。また、コンクリート内のPP繊維の分散性についても、ファイバボールや繊維の分離は認められなかった。

6-2 耐火性の確認

トンネル内の覆工は、 $1,200^\circ\text{C}$ にも達する自動車火災が発生してもコンクリート崩壊を防止し、トンネル利用者が安全に避難でき、また消火活動が行える環境を確保する必要がある。火災時のトンネルの安全性に対してはコンクリートの爆裂による断面欠損が及ぼす影響がもっとも大きいと考えられており、既往の研究からもコンクリートの圧縮応力度が大きいほど爆裂しやすいことがわかっ

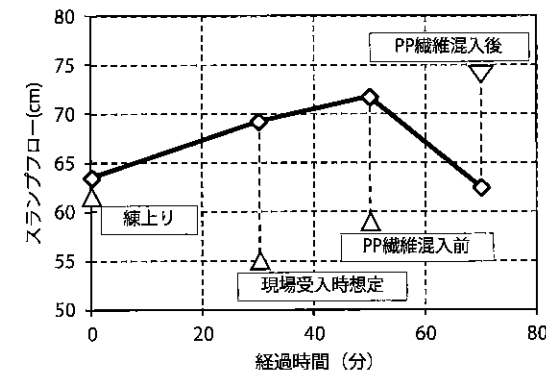


図-11 スランプフローの経時変化

ている。

そこで、耐火試験は、緻密性が高く、耐火に対する条件の厳しい高流動コンクリート(水セメント比35%)を対象として、設計基準強度 40 N/mm^2 に対する許容曲げ圧縮応力度の 14 N/mm^2 を全断面に作用させた状態で実施した。

混入率は容積比で0.1%とし、さらに現場管理上20%の変動を想定して、その下限値となる混入率0.08%の2ケースとした。

試験体の寸法は、幅 $1,700 \text{ mm}$ ×長さ $1,900 \text{ mm}$ ×厚さ 500 mm とし、主鉄筋は内面側をD25、外面側をD29、芯かぶりを 130 mm とした。また、試験体に圧縮応力を作用させるため、PC鋼棒を14本(7本×2段)配置した。加熱条件は、坑内が $1,200^\circ\text{C}$ となる自動車火災を想定したRABT曲線を用いた。表-3に試験概要を示す。

耐火試験の結果を表-4に示す。PP繊維の混入率が容積比で0.1%および0.08%のどちらのケースにおいても、耐火試験後の試験体表面の爆裂は発生しなかった。局所的に表層部のはく離が確認されたが、はく離箇所は加熱面の1.5%以下であり、平均はく離深さは 1.0 mm 以下と極微小の範囲であった。また、加熱時および加熱後に、試験体に崩壊もしくは過大な変形が生じることはなかった。

表-4 耐火試験の結果

項 目	PP繊維混入率(容積比)	
	0.10%	0.08%
最大爆裂深さ(mm)	4.0	3.0
平均爆裂深さ(mm)	0.04	0.02
爆裂面積率(%)	1.40	1.00

表-3 耐火試験の概要

加熱条件	概要図	確認事項
		①加熱によるコンクリート表面の損傷の程度 ・爆裂の有無(加熱時CCDカメラによる観察) ・爆裂の深さ ②コンクリートの断面内の温度分布 ③鉄筋の温度(許容温度 300°C 以下) ④受熱後の構造物の耐力照査

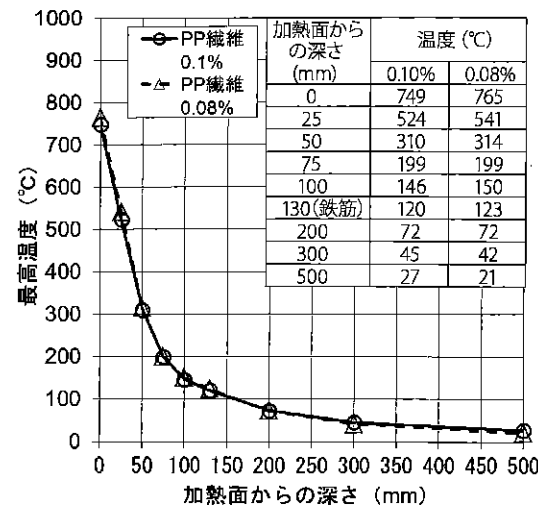


図-12 加熱面からの深さと最高温度の関係

加熱面からの深さと最高温度の関係を図-12に示す。両ケースとも温度履歴はほぼ一致しており、鉄筋の温度は許容温度(300°C)以下に十分収まることが確認できた。また、断面内の温度分布から、受熱後のコンクリートと鉄筋の残存強度を算出し、設計断面力に対して応力度照査を行ったが、両ケースともコンクリートのほとんどの領域で応力度が設計強度以下であり、鉄筋の応力度が降伏強度以下であることが確認できた。

7 おわりに

パイプルーフ発進基地の施工は、周辺地盤に影響を与えることなく無事完了し、現在パイプルーフ工を鋭意施工中である。今後、パイプルーフ工、パイプルーフ間の薬液注入工が完了次第、拡幅掘削・覆工構築を進めていき、各種計測により施工時の安全性を確保するとともに、設計の妥当性を検証していく予定である。

また、今回検証を進めた耐火コンクリートは、分合流部の現場打ち部へ適用するにあたり、十分な耐火性を有することが確認できた。

本稿が、今後ますます増加すると考えられる地中での拡幅施工の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 津野和宏・落合栄司・川田成彦・藤井剛・高浜達矢：民地下に道路トンネル分合流部を構築するための技術的対策，トンネル工学報告集，Vol.22，pp.447-454，2012.11.
- 2) 西嶋宏介・藤井剛・屋代勉・川西貴士：トンネルの分合流部に使用する現場打ち耐火コンクリートの耐火試験，土木学会年次学術講演会概要集，Vol.67，V-183，pp.365-366，2012.9.

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

1. 原稿は弊社ホームページ(<http://www.tunnel.ne.jp>)に掲載されている投稿規定により執筆して頂きます。
 2. 原稿のボリュームは、原則として刷上がりで8頁以内とします(図・表・写真含む)。
 3. 原稿掲載の採否は、本誌編集委員会で審査のうえ決定します。
 4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
 5. 原稿は、原則として返却いたしません。
(注：「現場だより」の投稿は受け付けておりません)
- 送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888(代)

施工

2組の型枠を用いたツインアーチフォーム工法で覆工養生時間を確保

—新東名高速道路 徳定トンネル—

中日本高速道路(株)名古屋支社豊川工事事務所豊川工事長 間 井 博 行
中日本高速道路(株)名古屋支社豊川工事事務所豊川工事区 橋 爪 智
鹿島建設(株)徳定トンネル工事事務所長 居 川 圭 太
鹿島建設(株)徳定トンネル工事事務所監理技術者 金 子 恵 一

1 はじめに

新東名高速道路徳定トンネル工事は、浜松いなさJCT-豊田東JCTを結ぶ、新東名高速道路の一部である。施工延長が約1.5kmあり、上下線それぞれ約600mの本線トンネル構築工事と、橋梁下部工6基、36万m³の土工事を含んでいる。

本工事では、トンネル覆工コンクリートの品質向上を図るため、全線、中流動コンクリートとツインアーチフォーム工法(以下、「TAF工法」)を適用して施工を行った。

TAF工法とは、特殊セメントを用いることで、2日に1回の打設サイクルを变えることなく、66時間型枠置留が可能となる覆工コンクリートの施工法である。愛知県発注の国道473号設楽バイパス建設工事のうち、岩古谷トンネル工事での適用に次ぐ2例目であり、中流動コンクリートとの組合せでは初めての適用となる。

そこで、TAF工法による型枠養生効果について、

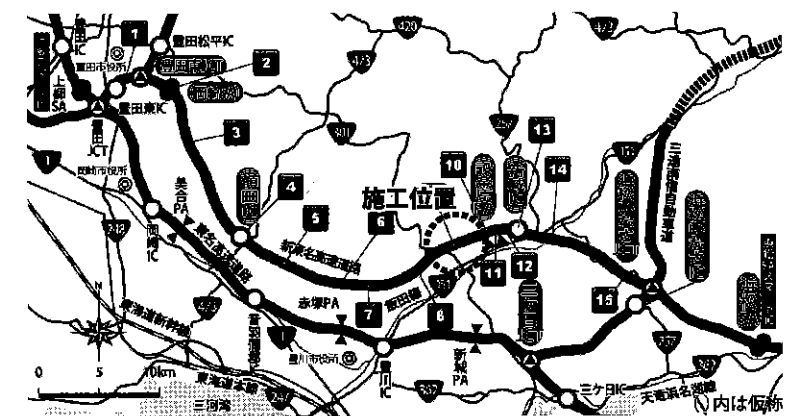


図-1 施工位置図

て、発注者と施工者との協議のうえ、各種の効果検証試験を実施している。

本稿では、その施工実績と効果検証結果の一部について報告する。

2 工事概要

全体工事概要は以下のとおり。

工 事 名：新東名高速道路徳定トンネル工事

発 注 者：中日本高速道路(株)

施 工 者：鹿島建設(株)

工事場所：愛知県新城市徳定～上平井

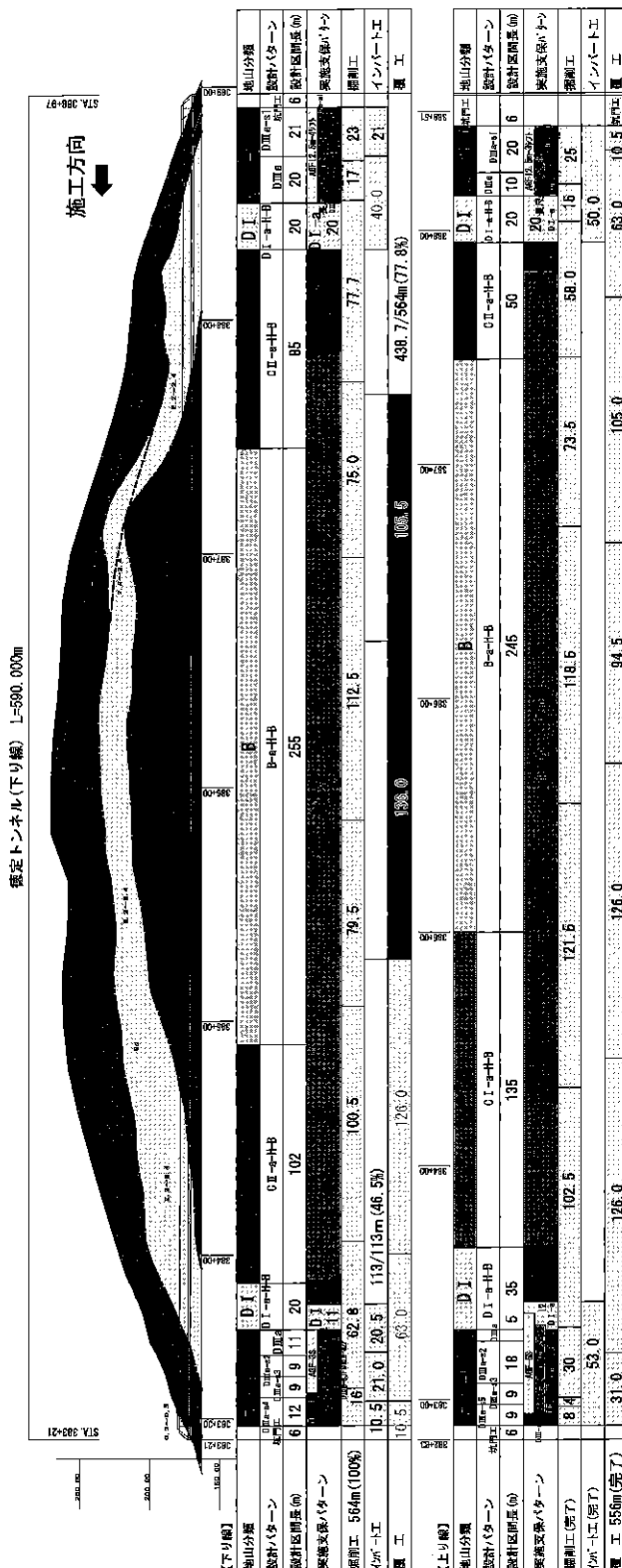


図-2 徳定トンネル縦断面図

工 期：2011年8月25日～

2014年12月19日

主要工事数量：

- ・トンネル工(補助ベンチ付き全断面掘削工法、爆破掘削、内空断面75～80m²)
- 上り線 582m
- 下り線 590m
- ・切 土 量 360,000m³
- ・本 体 橋 台 2基
- ・側 道 橋 台 1基
- ・跨道橋橋台・橋脚 3基
- ・の り 枠 工 4,100m²
- ・深 礎 工 2か所
- ・調整池・用排水・雑工 1式

3 TAF工法の概要

TAF工法に適用するセントルの概念図を図-3に、このセントルを適用した場合の施工手順を図-4に示す。両図のように、2組の型枠それぞれに径を縮小・拡大できる機能と自立できる機能を持たせて、一方が型枠養生を行っているあいだに、もう一方の型枠をガントリーに載せ、径を縮小させて前方にくぐり抜け、次の位置に移動したところで径を拡大させ、打設を行うことが可能である。

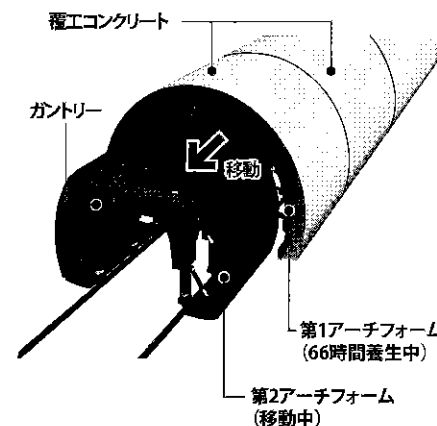


図-3 TAFセントルの概要図

【TAF工法の施工手順】

- 第1日目**
第1型枠は養生中。
第2型枠を使用してコンクリートを打設する。
- 第2日目**
第2型枠と運搬装置(ガントリー)を分離し、第2型枠はそのままの状態養生する。
第1型枠の径を縮小してガントリーに乗せ、第2型枠の下をくぐり抜け、次の打設位置まで前進する。
- 第3日目**
第2型枠は養生中。
第1型枠を使用してコンクリートを打設する。
- 第4日目**
第1型枠と運搬装置(ガントリー)を分離し、第1型枠はそのままの状態養生する。
第2型枠の径を縮小してガントリーに乗せ、第1型枠の下をくぐり抜け、次の打設位置まで前進する。

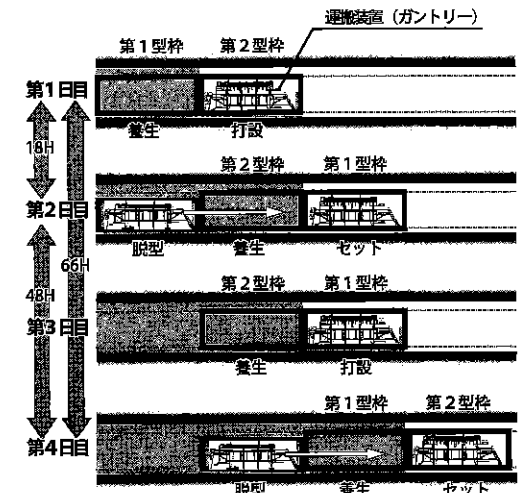


図-4 TAF工法の施工手順

4 TAF工法の開発コンセプト

覆工コンクリートの内部温度を測定した結果を図-5に示す。これによると、コンクリートの内部温度のピーク(もっともセメントの水和反応が活発な時期)は打設完了後約21時間であり、18時間の時点では、水和反応はピークの手前であることがわかる。つまり18時間で型枠を脱型した場合は、表面が暴露されることで水和に必要な水分まで蒸散し、表面の緻密化が阻害される。

通常、型枠の存置期間を延長するためには、

- ① 1台のセントルを長時間存置する
- ② セントルを2台用意して交互に打設することが考えられるが、①の場合、標準的なトンネル覆工の打設サイクルは、打設6時間+養生18時間+脱型・移動セット8時間+夜間休止16時間の48時間で計画されており、打設工程の調整は、現実にはできないことがほとんどである。

また②の場合、トンネル全長を2区間以上に分割して2台のセントルで個々に施工するケースと、1台を歯抜けで先行させて2台目はその間を打設しながら併進するケースとが考えられる。前者の場合、比較的施工延長の長いトンネルへの適用に限定され、かつ個々の施工場所が分散されるため、作業管理が非常に煩雑になる。後者の場合、先行部は常に両妻枠、後行部は両ラップ施工となり、

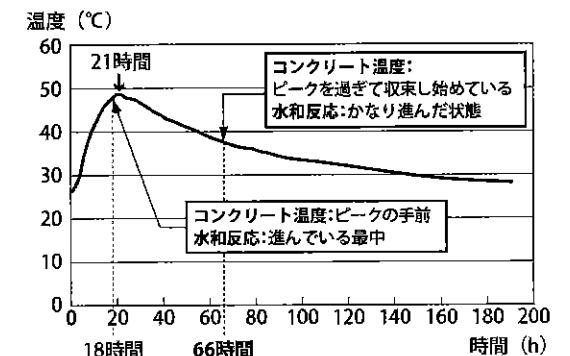


図-5 覆工コンクリート内部温度の経時変化

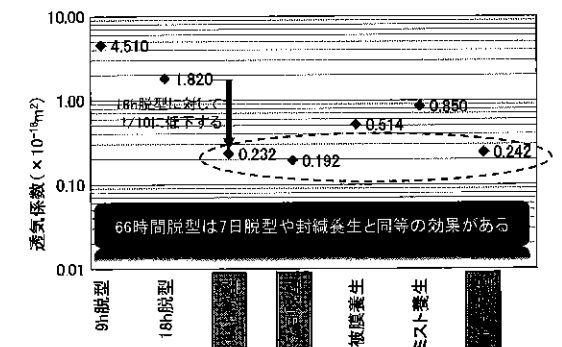


図-6 透気試験結果(小規模模擬試験)

天端の充填圧力を十分に確保することが困難になるなど、いずれの場合も品質確保のうえで問題となる。そこで、2日に1回の打設サイクルを変えずに型枠存置期間を長く取るために、フォームを2台用意し、1台目のフォームはガントリーで支

持された状態でコンクリートを打設し、その間、先行打設した2台目のフォームは養生のために存置が可能となるテレスコピック構造を開発の基本コンセプトとした。

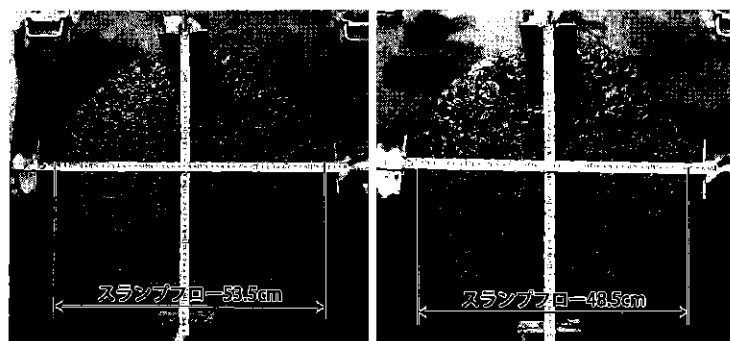
1台のガントリーを2台のフォームで兼用することによって、18時間+48時間=66時間の型枠存置期間の確保が可能となる。この効果について、実施工に先立ち、小規模模擬試験にてコンクリート表面の4週後の透気係数を比較することにより検証した¹⁾。図-6にその結果を示す。従来の18時間脱型では約 $2.0 \times 10^{-16} \text{m}^2$ に対して、66時間脱型

表-1 使用材料

使用材料	記号	摘 要
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度: 3.16g/cm ³
細骨材	S ₁	平岡産川砂、表乾密度: 2.64g/cm ³ 、吸水率: 1.42%、粗粒率: 2.74
	S ₂	鳳来産砂砂、表乾密度: 2.65g/cm ³ 、吸水率: 1.22%、粗粒率: 2.78
	S ₃	佐久間産川砂、表乾密度: 2.61g/cm ³ 、吸水率: 1.33%、粗粒率: 2.39
粗骨材	G ₁	鳳来産砕石2010(硬質砂岩)、表乾密度: 2.66g/cm ³ 、実積率: 59.0%、吸水率: 0.56%
	G ₂	鳳来産砕石1505(硬質砂岩)、表乾密度: 2.66g/cm ³ 、実積率: 59.0%、吸水率: 1.01%
混和剤	VSP	グレニウム6500、ポリカルボン酸エーテル系化合物と増粘性高分子化合物の複合体
繊維	FB	ポリプロピレン、密度: 0.91g/cm ³ 、長さ: 47mm

表-2 特殊混和材系中流動コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単 位 量(kg/m³)								
		W	C	S ₁	S ₂	S ₃	G ₁	G ₂	VSP(%)	FB(%)
50.0	49.0	175	350	387	218	258	551	365	1.00	0.30



(1) ベース

(2) 繊維投入後

写真-1 コンクリートのフレッシュ性状

では約 $0.2 \times 10^{-16} \text{m}^2$ と1オーダー低下しており、7日間型枠を存置して養生した場合とほぼ同等の結果となることがわかった。つまりTAF工法によって66時間型枠を存置することで、材齢初期の型枠養生効果は十分に発揮されることを確認した。

5 徳定トンネルでの適用実績

5-1 コンクリートの配合

中流動コンクリートには、石灰石微粉末などの混和材を添加するものと特殊混和剤を使用するものがある。高速道路会社では粉体系を基本としているが、本工事では、現地レディミクストコンクリート工場において石灰石微粉末などの混和材を添加するための予備サイロがなく、サイロの増設も困難であったため、特殊混和剤系中流動コンクリートを採用した。

採用にあたっては、高速道路総合技術研究所の立合いのもとで粉体系と特殊混和剤系の中流動繊維補強コンクリートの性状比較試験を行い、粉体系と同等の流動性、材料分離抵抗性を有し、かつ硬化物性も同等であることを確認した。

特殊混和剤系中流動コンクリートの使用材料を表-1に、配合を表-2に示す。また、ベースおよび繊維投入後のコンクリートのフレッシュ性状を写真-1に示す。

5-2 TAFセントルの構造

TAFセントルは、すでに1号機として岩古谷トンネルで導入していたが²⁾、2号機を中流動コンクリートに適用するにあたり、側圧の増加に伴い部材が厚くなったぶん減少した、TAFセントルによる第2フォームのくぐり抜け時のクリアランスを

十分に確保するため、構造変更と、さらなる部材厚の低減を図った。

この改造により、図-7に示すように天端部で約300mm、肩部で約160mmの離隔を確保した(写真-2)。さらに、他工事で予定している3号機では、この改造で、TAFセントル移動時にベルトコンベヤを稼働状態で通すことが容易になった(図-8)。

施工に際しては、各種計測器を設置してコンク

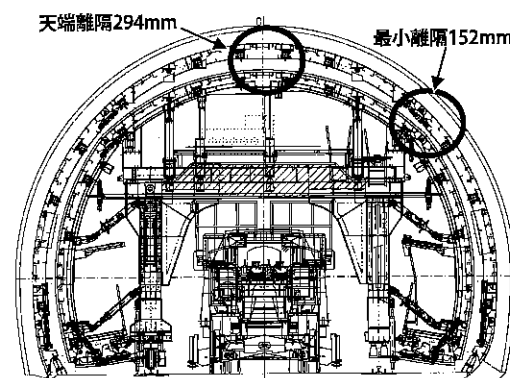


図-7 くぐり抜け時のフォーム離隔(2号機)



写真-2 くぐり抜け時の離隔状況

リートの側圧やフォーム応力および支持ジャッキの軸力測定を行った。その結果、フォームに作用した側圧は設計荷重以下に収まっており、中流動コンクリートに対しても、構造上問題がないことを確認した。

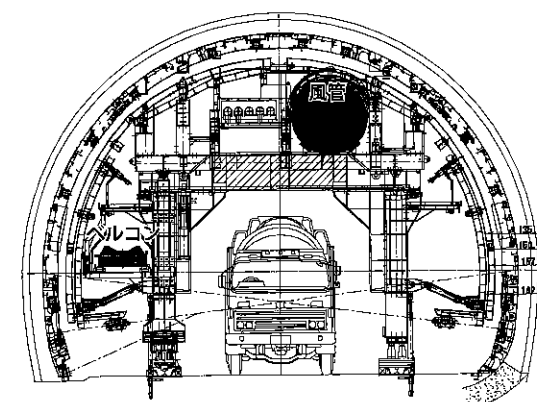


図-8 風管とベルコンの配置例(3号機:2号機をベース)

表-3 標準施工サイクル

セット日	打設日
7:00 朝礼・KYK	朝礼・KYK
8:00 棲型枠解体・ジャッキ解体	ポンプ車セット・配管
9:00 ガントリーダウン・移動	
10:00 フォームキャッチ・ダウン・移動	
11:00 ケレン	
12:00 セット	
13:00 昼休み	
14:00	
15:00 ジャッキ固定・棲型枠・差板組立て	先行均しコンクリート打設
16:00	
17:00 片付け	レール移動
18:00	

5-3 作業サイクル・人員

表-3に標準的な施工サイクルを示す。

通常セトルよりウォールとフォームの着脱操作分だけ作業量が多いため、覆工コンクリート施工開始当初は、この作業に慣れるまでの時間がかかり、2日に1回の打設サイクルが乱れることもあった。しかし、15ブロック以降は通常の施工人員体制で、確実に2日に1回の打設サイクルで66時間脱型を実施できた。

6 徳定トンネルでの効果検証

1号機を適用した岩古谷トンネルにおけるTAF工法の効果検証結果³⁾から、以下のことが確認できていた。

- ① 覆工表面の透気係数測定結果から、66時間型枠を存置することで透気係数は大幅に小さくなり、覆工表面の緻密化が図られる。
- ② 覆工内部のひずみは従来の工法に比べて収縮ひずみ量が約40%に抑制され、脱型後に漸増する覆工表面の収縮ひずみも生じにくい。しかし、これらがひび割れ低減に対してどのように寄与しているかの解明までには至らなかった。そこで徳定トンネルにおいては、発注者と施工

者で協議のうえ、下り線の施工において、通常はTAFセトルを用いて66時間脱型で施工しているところに、従来工法と同じ18時間で脱型したブロックを設定して、表層品質改良効果とひび割れ低減効果の検証を行った。

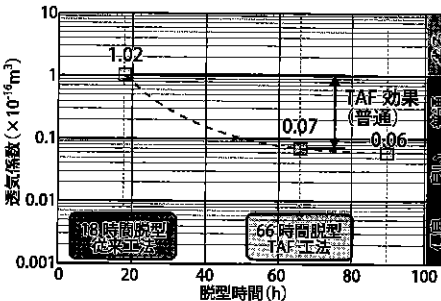
具体的には、低温・低湿度の冬期とそれ以外の時期(以下、「通常期」と称す)で、それぞれ表-4に示す項目について計測を実施した。それによって、従来の18時間で脱型した場合と、TAF工法により66時間で脱型した場合の、覆工コンクリートに対する型枠養生効果について比較検証を行っている。

ここでは、冬期(2014年2月打設)と通常期(同年4月打設)の各測定結果と、現時点までに得られた知見を示す。

6-1 表層品質の改良効果⁴⁾

表層品質については、図-9に示すように、断面方向ではアーチ天端とアーチ肩の上部・下部とS.L部の4か所、トンネル軸方向では既設部・中間部・棲部の3か所の、計12か所について、18時間脱型ブロックと、同時期打設の66時間脱型ブロックで、トレント法により透気係数を測定し比較した。

表-4 既往の知見と徳定トンネルにおける検証内容

項目	岩古谷トンネルまでの知見	徳定トンネルで検証すべきこと
表層品質 透気係数測定	- 透気係数測定結果(普通コンクリート) - TAF工法の効果により透気係数は1/10に下がり、コンクリート表面はより緻密になる。 	- 中流動コンクリートにおける表層品質の改良効果の検証 ①使用するコンクリートの相違で、左記の傾向が変化するかを確認する。 ②徳定トンネルはトンネル延長が短く外気の影響を受けやすいので、通常期と冬期で実施し、より厳しい条件下での効果を確認する。
力学的効果 ひずみ測定	- 覆工ひずみ測定結果 ①収縮ひずみの発生量が66時間脱型は、18時間脱型の約40%に軽減される。 ②内外面の収縮ひずみの差が、18時間脱型に比べて、66時間脱型ではほとんど発生しない。	- ひび割れ低減効果の検証 - 左記の知見が、ひび割れ低減にどのように寄与するかについて、脱型後の材齢初期段階における、覆工内部に発生する応力状態から比較検証するとともに、ひび割れ進展観察を定期的実施して検証する。

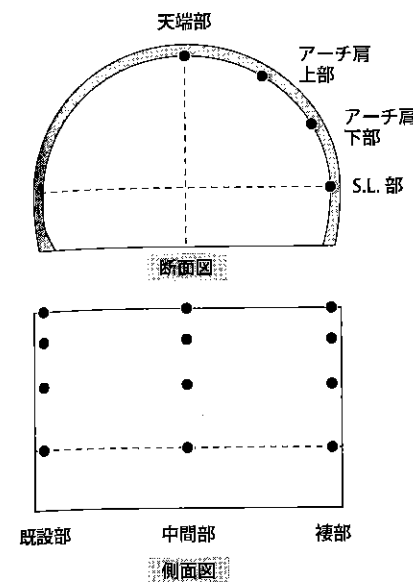


図-9 透気係数測定位置

その結果を図-10に示す。打設時期にかかわらず、18時間脱型ブロックの透気係数は $0.10 \sim 3.00 \times 10^{-15} \text{m}^2$ とばらつきが大きく、対数平均値が $0.80 \times 10^{-15} \text{m}^2$ 程度になっている。

一方、66時間脱型ブロックは、 $0.05 \sim 0.20 \times 10^{-15} \text{m}^2$ とばらつきが小さく、対数平均値は $0.09 \times 10^{-15} \text{m}^2$ 程度となった。

これらの結果は、普通コンクリートで施工した岩古谷トンネルでの知見とも合致している。すなわち、中流動コンクリートにおいても、従来の工法により18時間で脱型した場合に対して、TAF工法により66時間型枠を存置して脱型した場合、透気係数は1オーダー小さい値になり、ばらつきも小さくなることから、覆工表面全体が均等に緻密化されることが確認できた。

6-2 ひび割れ低減効果

6-2-1 覆工ひずみ測定結果

写真-3のように、天端およびアーチ肩上下部とS.L部の覆工コンクリート内部に、ひずみ計を覆工表面から10cmの位置(内側)と20cm(外側)の位置の2か所に埋設し、型枠存置期間の差によって生じる覆工内部のひずみの変化量を測定し、比較検証した。

図-11にアーチ天端における測定結果を示す。

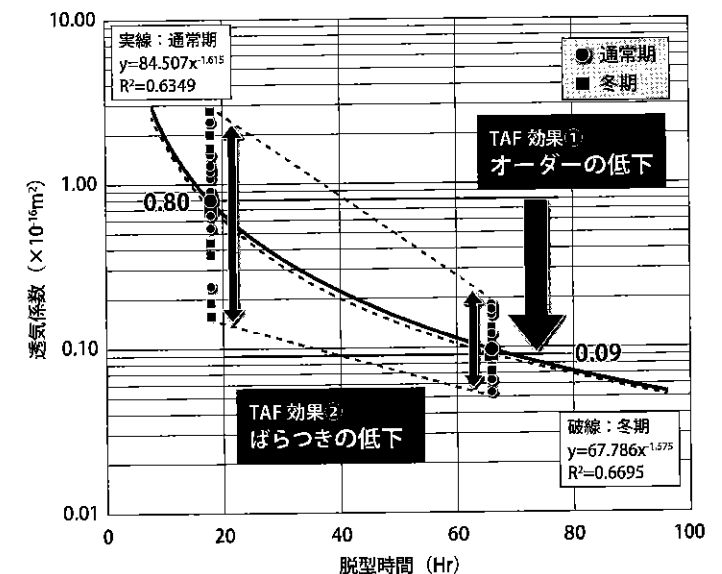


図-10 透気係数測定結果(打設4週後)

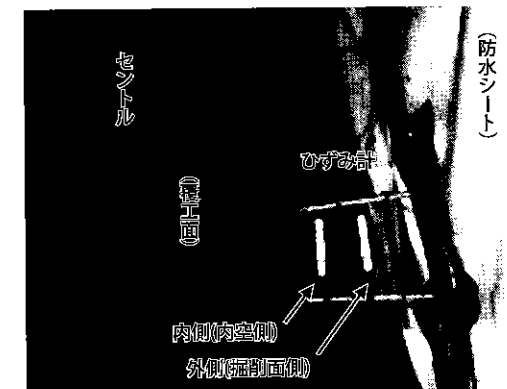


写真-3 ひずみ計の設置状況

18時間で脱型すると、まだ水和反応により発熱が盛んな時期に内空側が外気により急速に冷却されるため、内空側と岩盤側に温度ピークの時間差が生じており、硬化のごく初期の段階で、内部拘束による引張応力が発生していると考えられる。また、その後の温度差や表面の乾燥により、内空側と岩盤側の収縮ひずみ差は拡大しており、この傾向は、冬期において顕著に表れている。

一方で、66時間で脱型した場合は、既往の知見と同様に、施工時期にかかわらず、内空側と岩盤側に温度ピークの時間差は生じず、収縮ひずみも内空側と岩盤側で、ほぼ同様な動きを示しており、顕著な差は発生していない。

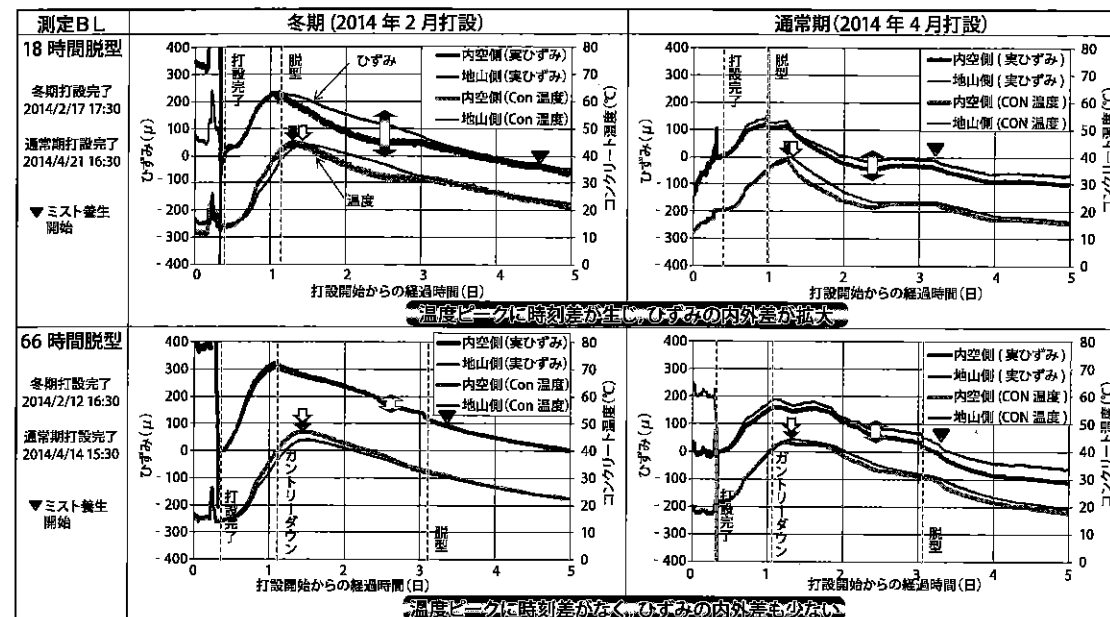


図-11 埋設ひずみ計による覆工内ひずみの測定結果(アーチ天端:打設から5日間)

表-5 ひび割れ発生率の比較

トンネル名	竣工時期	施工BL数	ひび割れ発生BL数	発生率(%)
Sトンネル(従来)	2007.03	134	48	36
Tトンネル(従来)	2011.03	120	25	21
岩古谷トンネル	2014.03	126	7	6
徳定トンネル	施工中	53	1	2

※インバート拘束ひび割れは除く(徳定トンネル)

すなわち、TAF工法により66時間型枠養生を行うことにより、材齢初期における急冷や乾燥などによる不均衡な収縮ひずみの発生を抑制し、覆工断面内を一樣な応力状態に保つことができる。

これによって、材齢初期段階におけるひび割れが低減されることが考えられる。

6-2-2 ひび割れ観察結果

前節の結果を確認するために、先行して施工された上り線全線(582m, 全53ブロック, 2013年11月打設完了)において、クラックスケール内蔵光波測量器(KUMONOS)を使用し、2014年3月末にひび割れ調査を行った。

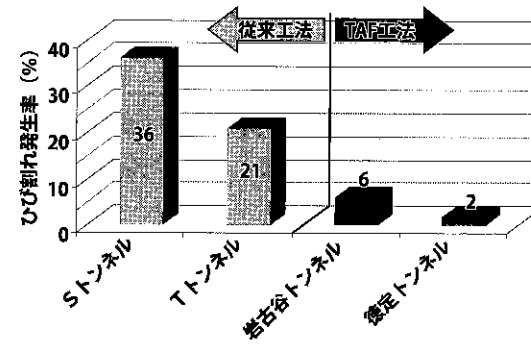


図-12 ひび割れ発生率の比較図

その結果、全線で認められたひび割れは全部で18本であり、そのうち17本が坑口付近のインバート区間で、インバート打継ぎ面から周方向に発生(L=0.1~1.7m)しており、インバートによる拘束ひび割れと思われる。

その他の区間においては、箱抜き部での背面拘束と思われるひび割れが1ブロックで認められた以外は、ひび割れは発生していなかった。

表-5および図-12に既往のトンネルとのひび割れ発生率の比較を示す。これによると、従来工法による場合は、施工ブロック全体の20~35%にわたってひび割れが発生しているが、TAF工法を

適用した岩古谷トンネルや徳定トンネルでは2~6%に留まっており、TAF工法によるひび割れ低減効果によるものと考えられる。

7 おわりに

徳定トンネルでは、新しく開発されたTAF工法を中流動コンクリートに初めて適用し、全107ブロックを2014年5月末に打設完了した。

TAF工法の型枠養生効果について、透気係数の測定結果から、中流動コンクリートにおいても表層品質の向上が認められ、ひずみ測定結果やひび割れ観察結果から、初期のひび割れ低減効果について定量的に確認することができた。

今後の検証については、ひび割れの追跡調査と

あわせて、ひずみ測定結果にもとづき解析的な検討も実施し、ひび割れ低減効果と長期耐久性向上効果の検証を、継続して実施していく予定である。

参考文献

- 1) 近藤啓二・西岡和則・坂井吾郎・安齋勝：第68回年次学術講演会，VI-424，土木学会，2013。
- 2) 竹市篤史・日野博之・西岡和則・手塚康成：第73回施工体験発表会(山岳)，日本トンネル技術協会，2014。
- 3) 西岡和則・手塚康成・坂井吾郎・近藤啓二：第23回トンネル工学研究発表会，I-15，土木学会，2013。
- 4) 金子恵一・川崎雄太・坂井吾郎・佐藤崇洋ほか：第69回年次学術講演会，VI-065，土木学会，2014。



わかりやすい トンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 千350円

福島啓一 著

NATMの導入以来、トンネル工事の現場に計測が大幅に取り入れられるようになって、トンネルの力学がますます重要視されるようになった。

本書はトンネル力学の基礎的な事項に基づく問題点を経験則と理論則から説明し、設計・施工に携わる実務者がトンネルを掘るとき、また、計画・設計するときに考慮しなければならないトンネルの力学を主眼にした入門書である。

【目次】○従来のトンネル力学の考え方/トンネル力学の発展，NATM以前の考え方/ゆるみ高さの推定，ゆるんだ地山の釣り合い，沈下量の差により変わる土圧，切羽の安定，地山の分類による支保の設計，NATMの考え方/せん断破壊説，変形による圧力の低減，地山のゆるみ防止，アンカーボルトによる地山の補強，地山挙動の時間依存，せん断破壊説による設計法，経験的設計法，地山分類と地山等級に対応した支保工の標準設計，NATM力学についての問題点，○弾性論による解析/弾性学の基礎，軸対称円形トンネル，線対称円形トンネルの弾性解，円形トンネルの弾性解析，地表面に近いトンネル，だ円形のトンネル，球形空洞周りの応力と変位，○弾塑性論による解析/弾塑性学の基礎，軸対称円形トンネル，線対称円形トンネルの弾塑性解，円形トンネルで地山の自重を考えた弾塑性解析，○弾塑性解以外の検討/トンネルの大きさの影響，時間の影響，表面の影響，山はね，ゆるみと締めり，地山のゆるみ，再圧密を考えた考察，○その他の検討/二次覆工の役割とひび割れ，安全率，支保工の設計・観察・計測の解釈と逆解析，力学的に好ましい，または好ましくないトンネルの設計および施工法，有限要素法，トンネルと地下水



「新旧融合のまち」すさみ町より

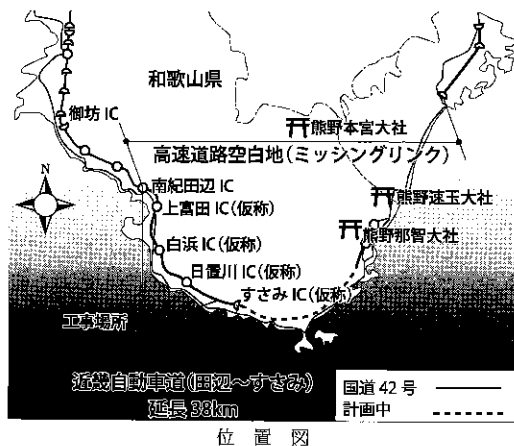
三上英明

和歌山県西牟婁郡すさみ町は紀伊半島のほぼ南端にあり、暖流の黒潮が流れる太平洋に面している。気候は年間を通して温暖で、0度を下回ることはほとんどない「常春の町」である。現場紹介とあわせ、すさみ町の歴史とレジャーについてご説明したい。

歴史は古く、6世紀頃から紀南の地として栄え、1400年ごろに周参見氏居城によりこの名となった説が有力らしい。のちに周参見家は豊臣派となり、歴史的な要所で深くかかわってきたようだ。

ユネスコの世界遺産「紀伊山地の霊場と参詣道」(2004年7月登録)の熊野古道がある。熊野古道は熊野三山(熊野本宮大社、熊野速玉大社、熊野那智大社)への参詣道で、現場付近は大辺路に属する。その中でも長井坂は保存状態がよく、休日にはハイカーが多い。工事現場の脇をハイカーが通る姿は新旧の融合で面白い。さらに通り道には世界遺産登録の和深川王子神社がある。懸仏の保存状態と境内の林の形態が貴重といわれている。地元の方の協力でここで安全祈願祭を執り行うことができたのは非常にありがたい話である。

レジャーは海と食である。魚の種類は200種類と全国を通しても多く、シケ以外は釣り客やダイバーで賑わう。渡船で岩場へ渡り、磯での大物狙いは釣キチにはたまらないと聞く。調子しだいでインダイ、グレ(メジナ)、クエが上ると大評判。潜りが趣味なら「海底ポスト」がある。海底10mで手紙を出せる。全



世界遺産 和深川王子神社

国で3か所という数少ない。世界でもっとも深いポストとしてギネスに登録されている。

食の代表はケンケン鰯。漁の仕方ですいたブランド名である。全国でとれるカツオと実は同じもの。ただしタキではなく刺身で食べるのがこちらの食べ方。刺身で食べるためには手間がかかり、釣りあげた直後に活け締め、ていねいに血抜きし、海水水に入れ鮮度を落とさないで出荷する。工夫と努力の賜物であることに感謝である。

本工事は南紀田辺 ICからすさみ町を結ぶ38kmの事業のうち和深川トンネル(L=454m)という道路トンネルを新設する工事。工種にはトンネル以外に橋梁もある。工事進入路をきつい傾斜で500mのぼった先の狭い敷地に起点、終点向きに2本のトンネル坑口がある。戸田建設は終点向きの施工だ。起点向きの施工者に仮設備の共用を提供。約10か月で所定の延長を完了させる突貫工事である。霊験あらたかな熊野三山のお蔭か、平成26(2014)年4月末に無事故で貫通することができた。現場屋にとってこれほどの喜びはない。

現在、橋梁工事の準備を行っている。来春の工期まであと一息とがんばりである。仕事の合間に和深川王子神社の御神木の緑で心を癒し、熊野古道を行き交った古人に思いをはせる。ケンケン鰯をつまみに地酒「熊野三山」を呑み、未来への架け橋となる新道の建設に……さて、もういっちょがんばるか。

(戸田建設(株)紀勢線と和深川トンネル他作業所所長)

第五十七回
語り継ぎ
言ひ継
ぐは



変遷とともに、
シールドの多様化に向けて

松本 龍二
(元)鹿島建設(株)

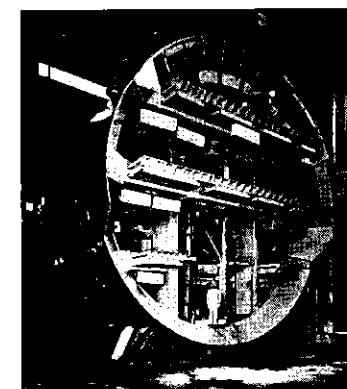
はじめに

東京オリンピックから5年経った1969年に社会人になりました。前年に日本のGNPが世界第2位となり、都内では地下鉄、上下水道、共同溝、電力地中線などインフラ整備が盛んで、朝方はあちこちの工事現場でいきいきと始業前のラジオ体操をする光景が見られました。私は東京土木本部に配属され、おもにシールドトンネル、開削トンネル現場に従事しました。都市土木の工事が切れ目なく発注され、現場のピークを過ぎると間を置くことなく次の現場に異動になりました。週休2日も祝日もなし、休みは毎月2回で作業員給料日の翌日に決まっているという具合でした。

今ではWEBや工事カタログで「シールドトンネル工法」を調べると密閉型シールドの図面や説明が出てきますが、そのころのシールドは開放型人力掘削かセミメカ式掘削が主流でした。当時、鹿島

建設では1963年以来29本のシールド工事を行っていましたが、機種は手掘り式が多く、ほかに機械式、ブラインド式がありました。

人力掘削シールドの上段デッキ付近はサウナにいうようで、5分もしないうちに汗が吹き出てきます。掘削担当員がムーバブルフード下でびしょり汗をかいてツルハシとスコップで懸命に掘削し、作業場所の脇には塩を山のように入れた弁当箱や、水を入れたやかんまで汗をかいている光景を懐かしく思い出します。ここでは担当したシールドトンネル工事につ



開放型シールド



前列左から3人目が筆者

いて、とくに記憶に残る経験を想いだすまに記述してみます。

山王工事

最初の職場は営団地下鉄9号線(千代田線)山王下工区シールド工事でした。山王下工区はヒルトンホテル(現)ザ・キャピトルホテル東急)の玄関前の発進立坑から丸ノ内線、山王ホテルの下を通過し、さらに銀座線、溜池幹線下水渠、外濠通りの下を抜けて山王通りの到達立坑(現赤坂駅)に至るとい、重要構造物が多い路線設定でした。全長339mのうち283mが複線断面(シールド外径9,904mm)のシールドトンネル区間、56mが立坑および開削区間となっていました。

シールド通過部の地質は締まった砂層・砂礫層が主体であり、路線中央部の山王ホテル付近からは上部の腐食土・シルト層が下ってきてシールドクラウン部にまで達していました。地質資料では発進側の砂層には地下水がないのですが、到達側では水位がシールド天端まで達する豊富な地下水が存

在すると推定され、到達部に隣接した開削工事ではクイックサンド現象も観察されていました。

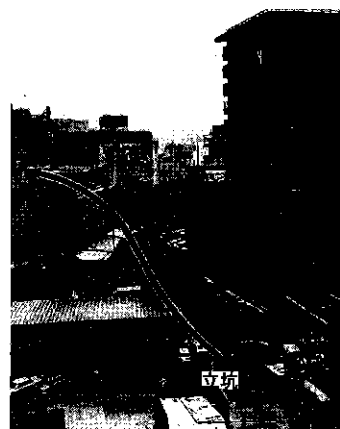
このように路線長283mの比較的短い区間ですが、上部構造物のために路線直近位置での精度の高い地質調査が困難で、路線全体の土層構成、地下水位が正確に把握できていない状況にありました。現在なら密閉型シールドを選定し、土層の多少の変化はチャンバ内への充填材を適切に選定して対応することが可能ですが、当時の切羽状態を目視確認しながらの開放型シールドでは補助工法に頼らざるを得ない状況でした。

そこで、パイロットシールドを本線シールドに先行することにより本線通過部の地質・地下水状況をより正確に把握するとともに、本線掘進に向けた補助工法としてパイロットトンネルより薬液注入工、ウェルポイントによる水位低下を図る工法を採用しました。パイロットシールド(φ3m機械式)は9号線第1期工事の神田川工区で使用した面盤を備えたマシンを改造したもので、エレクトラがなく、

著者略歴

昭和44年	鹿島建設(株)入社東京土木本部 営団地下鉄山王下工区工事*
昭和46年	建設省東京国道事務所赤坂共同 溝工事
昭和49年	営団地下鉄赤坂見附工区工事
昭和52年	営団地下鉄平和台工区工事*
昭和55年	都下水道局中新井幹線工事*
昭和58年	シンガポールMRT地下鉄工事*
昭和62年	土木管理本部工事管理部
平成元年	都下水道局森ヶ崎処理場送水管 工事*
平成4年	東京湾横断道路川崎トンネル川 入北工事*
平成10年	東京土木本部
平成15年	本社土木管理本部
平成18年	鹿島建設(株)退職 ジオスター(株)顧問契約
平成22年	ネクスコ東日本エンジニアリン グ嘱託社員

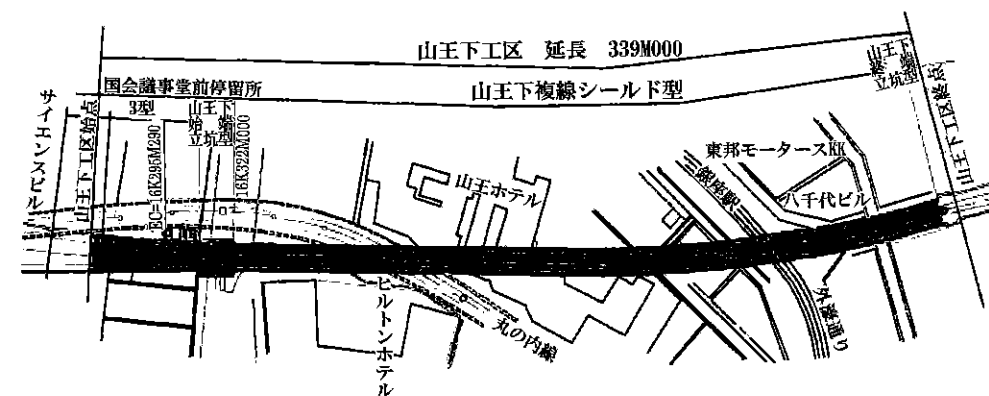
*: シールド工事



ヒルトンホテルと工区ルート

幅40cm、1リングあたり約500kgの鋼製セグメントを人力組立てするものでした。

パイロットシールドが山王ホテルの下を通過した時点で80L/min程度の湧水があり、切羽崩壊が発生しました。この付近の砂層はシルト分が1%程度の崩壊性細砂で、山王ホテル庭園部には古井戸があ

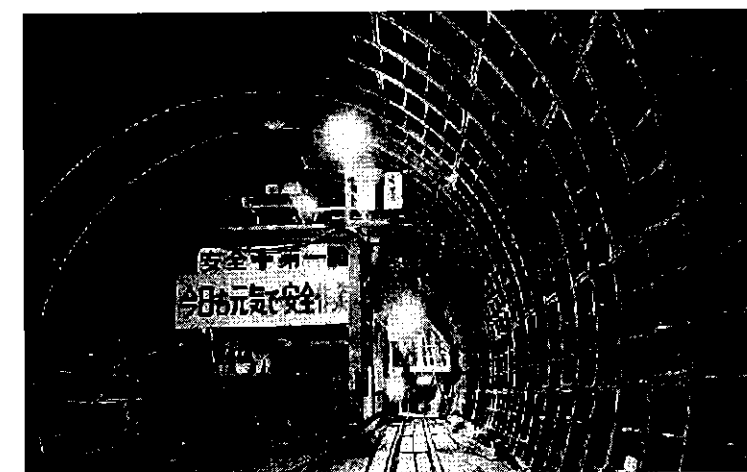


山王下工区路線図

り、永年にわたり周辺地山の粘性土分が古井戸で洗い流された地盤と推定されました。到達まで残り100mの地点で湧水量が300L/minに達しました。それまでは周辺への影響を考慮して圧気工法をなるべく使用しない方針でしたが、この時点でやむを得ず隔壁を設置し、その後は圧気掘進を行ってなんとか到達することができました。ただ、断気の際にはスチールセグメントの継ぎ目から酸素濃度が10%に満たない酸欠空気が戻り、緊張して換気状況の把握と酸素濃度の測定にあたりました。

先行するパイロットシールドと約100mの離間で本線シールドを掘進しました。本線シールド通過地盤も緩みやすい砂層でしたが、掘削地山は比較的ドライな状態で、地盤改良された地山は硬く、先行したパイロットシールドからの補助工法が十分威力を発揮していました。

本線掘進では、ムーバブルフード、ハーフムーンジャッキ、フェースジャッキ、デッキジャッキなどにより逐次山留めを行いながら1リング(80cm)を2ステップに分



ダクタイルセグメント

けて掘進し、掘削土砂はグランピートロと土砂巻上げ機(2m³)により搬出しました。日進量はほぼ2~3R/日、最高4.5R/日でした。

本線シールドのセグメントは既設地下鉄に近接し、重要構造物下を通過するため、全線にわたってダクタイル鉄製を採用し、裏込め注入は営団地下鉄の砂モルタル系標準配合としました。

まだワイヤブラシ型テールシールドが開発されておらず、シールドのテールシールドは合成ゴムを板バネで抑えた方式が一般的でした。このタイプのテールシールドはモルタルが漏れ出し、セグメント組立

て部に流入し固化する傾向がありました。

パイロットシールドが到達した後の1971年7月18日、都心部は集中豪雨(降雨量30分で41mm)に見舞われ、山王通りの下水渠がのみきれなくなり、雨水が到達側の駅部工事中構内に流入しました。溢れた雨水はパイロットシールドを通過して本線シールドに流入し、坑内が瞬く間に冠水しました。幸い水位はシールド断面の1/3程度で止まり、本線トンネル工に致命的な被害を受けませんでした。その後は順調に進捗して1971年10月15日に到達しました。

シンガポールMRT工事

1983年よりシンガポールのSMRT (Singapore Mass Rapid Transit) 107工区工事に従事しました。

当時シンガポール政府は、市街地の交通手段をバスやタクシーから地下鉄に切替えるSMRT工事を発注することで国内経済への波及効果を図ったのでした。日本国内の建設業者は盛んにSMRT工事受注を目指しており、熾烈な受注競争の結果、第一期工事(20km、1987年開通)では15土木工区のうち8工区を日本業者が受注し、残りの工区をフランス4工区、ベルギー2工区、香港1工区がそれぞれ受注しました。

このようにきわめて厳しい国際入札により獲得した107工区は仕上り内径5.4m、延長600m、4線のシールドトンネル区間とシンガポール川横断延長180mの開削区間が含まれており、シールドトンネル区間は両側の駅において同一

ホームでの乗換えを可能とするため、工区内で東西線、南北線の位置が左右に入替わり、同時に東西線は上下が逆転する線形でした。このためトンネルの離隔が1D以下の区間がトンネル延長の半分を占め、最近接区間は0.9mとなっていました。

当時はシンガポールの地質資料が蓄積されておらず、シールド施工計画での地質リスクはきわめて大きいものでした。107工区はシンガポール川に近く、地下水位は地表面付近にありました。シールド通過土層は軟弱な沖積層とボルダー・クレー層でした。ボルダーとは未風化の100N/mm²を超える硬い堆積岩で、発達立坑となる駅部開削部のボルダー・クレー層掘削ではコンテナ大の未風化ボルダーが出現し、シールド区間でのボルダーの出現が心配されました。また、工区中間部の浸食谷沖積層には軟弱で高圧縮性の海成粘土(Marine Clay)が深く堆積していました。

シールド選定では、通過土層に

切羽が自立する区間とともに軟弱地盤、未風化岩など変化に富んだ土層への対応を配慮し、オープンセメカを選定しました。シールドの鋼殻部分を現地製作とし、内部部品は日本製としました。シンガポール初の国産シールド製作ということもあり、いくつかのマシントラブルが発生しました。

1機目のトラブルは、仮壁に進入し切羽にわずかに入った時点でムーバブルフードが不調になったことでした。

2機目のトラブルは組立て後の寸法検査でテール部の内空不足が判明(−5mm程度)したことです。内空確保のために外殻の一部を加熱してジャッキで押出すなどの修正作業を行い、テール部にダメージを与えたこと、一部切込みなどを行ったこともあり、内空はなんとか確保したものの、真円度が低下したことによる施工性の低下を懸念しながらの掘進となりました。

セグメントは通しボルト継手型のRCセグメントで、外径5,850mm、

厚さ225mm、幅1,000mm、7分割としました。型枠、付属金物、ボルト類は日本製、本体は現地業者が製作しましたが、現地のメーカーが慣れるまでは日本人技術者が工場に張り付きました。

裏込め注入は入札時に「周辺地盤と同等以上の強度を有するモルタル」とする当時の営団地下鉄標準配合(砂モルタル系w/o=2.8)を提案し、使用していました。これに対し発注者であるSMRTC (Singapore Mass Rapid Transit Corporation)は「裏込め注入材には強度もさることながら、止水性が重要であり、営団標準配合ではSMRTCの要求性能を満足しない」として、水セメント比0.7以下の配合を主張してきました。議論の中で他工区の実績などを勘案し、最終的に通過土層によって当初提案配合とセメント富配合とを使い分けました。ロンドン地下鉄工事に従事した英国人エンジニアによると、ロンドン地下鉄ではチョーク層(未固結石灰岩・白堊)の掘進が多く、裏込め注入はセメントペーストに近い配合で止水を保持するのが一般的と話してくれました。

シールド掘進では、4線のトンネルのうち比較的良好な土質である南線・東線は順調に掘進し、両シールドともに約6か月で貫通することができました。一方、軟弱層を掘進した西線は圧気(5N/cm²)で砂層の地下水を抑えるとともに、フェースジャッキに鋼製格子枠を取付け、必死に切羽を抑えながらの掘進を続けました。

そんななか、旧河川下のマリン

クレイ層を掘進していた1985年12月24日の夜11時ごろ、切羽上方が突然崩れて道路陥没を招きました。マリンクレイ上方に存在したルーズな砂層が切羽に流入したものと考えました。このため、残った軟弱地層区間の地盤改良を行い、掘削は約2か月半ストップしました。改良部は発注者と協議の結果、ティンバーキャリングで掘進を行いました。ティンバーキャリングとは、英国規格(BS)の付帯資料にも記述がある軟弱砂層を対象に英国で古くから行われた工法で、切羽を土留め板で鏡張りし、ムーバブルフード、山留めジャッキ、鋼材などにより切羽を抑えながら手掘り掘進する板張り式ブラインドです。これによりその後の崩壊は起きませんでした。しかし、進捗度が落ち、西線掘進では貫通までに1年2か月を要することになりました。北線も地盤改良部、ティンバーキャ

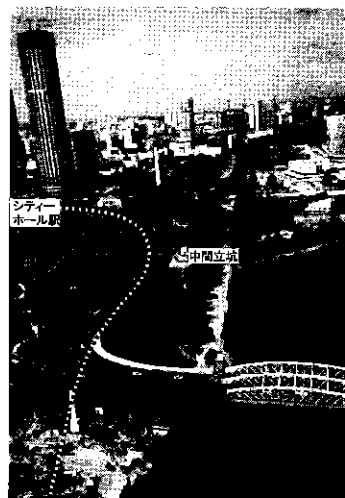
リングに加えて圧気工法を併用し、貫通までに8か月を要しました。

掘進体制を構成するにあたって、シンガポールが多国籍国家であるうえ、作業員は外国から得る必要があることから、複数国籍のシールド掘進体制を敷くこととなりました。当初は日本人スーパーバイザーの指導のもとで地元業者に下請けさせた外国人作業員による請負方式で行いましたが、最終的には、技術力、経済性、使用言語などを考慮した直営に近い体制で掘進を進めました。

軟弱層の圧気手掘り(ティンバーキャリング)となった西線や北線では英国人のピットボスを雇用しました。英国人ピットボスは、出来形やセグメントの品質面において結果的に日本人工長と差はありませんでしたが、軟弱層通過時のティンバーキャリングなど、難局面の通過に有効であったと考えま

MRT107工事JV構成員表

	日	英	シンガポール・中国系	シンガポール・インド系	シンガポール・マレー系	台	韓	タ	ス	マ	イ	フ	オ	香	ア
	本	国	系	系	系	系	系	系	系	系	系	系	系	系	系
シフトエンジニア	◎														
シニア・スーパーバイザー	◎														
ピット・ボス		◎													
スーパーバイザー			◎	◎	◎					◎					
オペレーター				◎	◎					◎					
作業員			◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
測量工				◎	◎				◎	◎					
MRTCエンジニア		●	●											●	●
MRTCインスペクター		●												●	●



MRT107工事路線全景



ボルダー・クレー

す。ただし、単価的には日本人工長と比較して割高でした。

SMRTCは監督員を配置し、セグメントの割れ・欠け・ひび割れなどの覆工品質について常時監視する体制を取っており、セグメントがマシンテール内にある間はクラックが発生するとピースの交換を要求してきました。

また、3線のトンネルが同時期に掘進となって日本人技術者が手薄となる一方、線形管理についてもSMRTCが厳しい管理を要求してきました。線形管理については、海外支店シンガポール事務所で実績のある現地測量会社の協力を得て、複雑な緩和曲線を含めた線形情報処理プログラムを作成するとともに、測量部隊編成についても支援を受けました。彼らは日本人技術者と長年の信頼関係ができており、海外工事を初めて経験する日本人技術者とも早くから良好なコミュニケーションを図ることができて助かりました。

フランス業者の工区は曲線部が多く、異形セグメントだけを全路線にわたって採用しており、その線形管理に興味がありました。現場見学をお願いして目にしたのは、パソコンを持った女性のエンジニアが蛇行状況やテールクリアランス量を把握しながら異形のKセグメントの位置を示して線形とテールクリアランスを管理している姿でした。これからのシールドの施工管理を予想させる、印象に残る光景でした。

1985年3月4日に南線が発進してから順次西線、東線の掘進を行

い、最終的に北線が到達したのは1986年7月27日でした。

東京湾横断道路工事(TTB工事： Trans Tokyo Bay High Way)

東京湾横断道路工事では川崎トンネル北線シールド工事(シールド外径14.14m、延長1,800m)を担当しました。工事の特徴は、海上の川崎人工島を発進立坑とする大断面(φ14m)、高水圧(0.6MPa)下の海底掘進であること、海底で地中接合工を行うこと、一次覆工と二次覆工を並行作業で行うことなどです。また、川崎人工島では人工島を発進基地とするシールドトンネル4JVと人工島構築工事2JV、あわせて6つの共同企業体が同時に施工を行いました。

シールドは泥水加圧式とし、高水圧海底下での長距離掘進のため軸受けシール性能とカッタービットの耐久性を確保するとともに、テールシールドを4段とし緊急止水装置を装備し、あわせて到達時の海底下地中接合に対する装備を持たせました。シールドは神戸で製作して川崎人工島まで海上運搬し、大型クレーン船(4,100t吊)で設置しました。泥水処理設備などの仮設備類も大分割プレファブ化したことで、陸上の場合と比較して、輸送組立て工期を大幅に短縮しました。

発進防護は凍結工法とし、連壁外側地盤内に凍結管を配置して、厚さ5.2mの凍土壁を造成しました。凍結膨張圧対策として変位吸収孔を設置しました。発進時の仮壁撤去工では、厚さ2.8mの地中

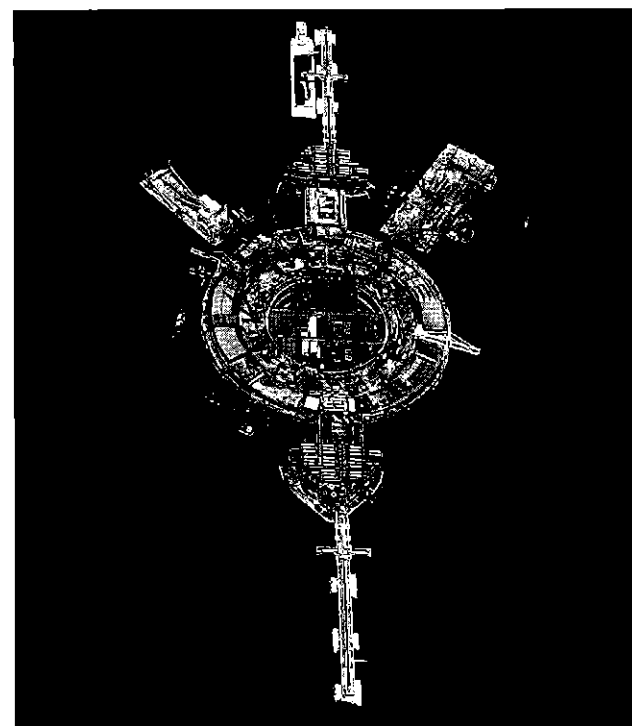
連続壁のコンクリート強度が、設計強度35N/mm²に対し、実際には100N/mm²に達しており、試験的に同強度のコンクリートをジャイアントブレイカで破碎してみると、計画に沿った仮壁撤去の進捗を得るのは不可能なことが判明しました。そのため破碎工法を比較検討し、原子炉解体工事で実績のある動的破碎(制御発破工法)を有力な案として絞り込みました。しかし、海上立坑のリスクを背負っていることから、「発破による連壁残存部のクラック発生」および「凍結部と連壁間の剝離」が心配されました。そこで、厚さ2.8mの連壁を一次(2.6m)と二次(0.2m)に分け、一次ハツリ撤去時に連壁残存部と凍結地盤に影響しない施工方案を立案して確認試験を行いました。確認試験では事前に破壊挙動の動的解析を行い、解析結果を試験発破後の計測結果および破碎状況と照合することによって残壁部と凍土の健全性を確認しました。

実施工では撤去範囲外周の連壁をコアボーリングにより残存部と縁切りし、発破の影響を低減させました。こうして仮壁撤去工はトラブルなく、また工程への影響もなく完了しました。

一次覆工は11等分割RCセグメントを標準として、組立ては供給から締結まで全工程を自動で行うシステムを採用しました。初期掘進を経て1995年9月より本掘進を開始しました。本掘進は平均月進135mと順調に掘り進み、1996年5月に先着している浮島発進シールドから離間50mの、TTB工事最初



発進立坑連壁のコア削孔状況



川崎人工島。写真中央が川崎人工島。上下施設が土砂搬出およびセグメント搬入用の栈橋、左斜上がコンクリートプラント船

の地中接合となる地点に到達しました。海底下での地中接合は測量用観測孔の設置が難しいため、双方のシールド内部から非破壊で相対位置を探查できる「相対位置探查システム」で双方のマシン位置を探查しました。先着シールドと

の離隔50mと、30m地点、2回の相対位置探查を経て、位置修正掘進により最終的に3mmの精度で接合しました。

シールドトンネル工事では、掘進工と二次覆工の並行作業を行いました。前述のように川崎人工島

工事では6JVが地上基地より資機材を海上輸送しており、これにかかわる仮設備類を共用するという複雑さがありました。JV間の物資輸送に関する調整は円滑な工程進捗には重要であり、各JVとも海上工事経験者を交え、人工島構築JVとトンネルJVの6JV調整、さらにトンネル4JV間の調整が行われました。

二次覆工のコンクリートは人工島北西に係留したプラント船が6JVのコンクリート製造を担い、担当工事の二次覆工では平均500~600m³の供給を毎日昼夜で行いました。コンクリートは製造から打設までの時間が30分以上かかるため、固化時間は品質上重要です。とくに夏場の固化時間を遅くすることは必要不可欠な事項であり、混練水に氷を混ぜて製造温度を下げる、温度別に遅延効果の高い遅延剤を選定するなどの対策を行いました。

その結果、心配された配管閉塞や落下による材料分離などもなく順調に進捗し、計画以上の月進量を確保して二次覆工を行うことができました。とくに平成8年の春ごろからは、坑内運搬距離が長くなっていくにもかかわらず進捗を維持し、打設条件の悪化する夏場もほぼ同ペースで打設を継続することができ、1997年6月接合部を含めた二次覆工を完了しました。

こうして東京湾横断道路建設工事は、川崎トンネル北線が1997年5月に掘進を終了したのを皮切りに、8月までに4トンネルすべて掘進が終了しました。



川崎トンネル北線到達時集合写真

おわりに

私の入社当時と比べると、シールドの課題とそれに応える技術はおおいに進歩しています。初期のシールド工事は、「軟弱地盤にトンネルを通す」という課題に開放型シールドと地盤改良・圧気に対応していました。現在は「多岐・多様にわたる地盤に対して崩壊性リスクを低減し、作業環境も大気圧下にする」という課題に密閉型シールドで対応しており、それが主流となっています。

東京湾横断道路のシールド工事では「高水圧、大口径、長距離、地中接合」という大きな課題がありました。それまでのシールド工事技術の延長線上というよりは、実績のない未知の世界に踏み込む工事でした。これに対して、発注者・請負業者・専門業者が一体と

なって取組み、それぞれの立場で解決を図り、さらに工夫と改善を重ねてシールド技術のレベルアップを図ってきました。

近ごろのシールドでは、「分岐、特殊断面、立坑の省略、小土かぶり、覆工の耐火構造、耐久性……」などが新たな課題となっており、取組みが行われています。そして請負側のシールド担当者にとっては、施工を専門に従事したわれわれのころとは異なり、「優れた技術提案による設計・施工とコストとの調和」が新たな課題となっています。

ここで忘れてならないのは、シールド工事は自然相手の工事であることです。これからもシールドの課題については、解決の過程において自然相手であることを念頭に取組むことが非常に重要です。厳しい競争に打ち勝つためには十分

な余裕を持った計画の立案はもちろんのこと、コスト力も重要なポイントになると思います。さらなる合理的かつ経済的なシールドの施工が求められているのです。昨今、長距離掘進、高速掘進が競争における一つのキーワードになっています。ますますこの方面の技術革新が進み、シールド技術の向上が図られ、併せて適正なコストで施工されることを期待しています。

シンガポールのMRT工事では日本人を主体として10か国の多国籍の人員でJVを編成しました。現場運営の基本は人の和と意思の疎通が基本と考えます。ここでの共通の会話は英語でした。私は、辞書やJVスタッフのサポートを受けながら業務にあたりましたが、結局最後まで語学で苦労しました。これからのシールド工事はさらに国際化すると思いますし、日本のシールド技術が世界に展開していくことになるでしょう。そこで重要なのは語学力とコミュニケーション能力だと思います。若手シールド技術者の語学力とチームをまとめる現場運営能力のレベルアップにも期待しています。

シールドトンネルに取組みみなさまのご奮闘を祈ります。

計画

酸性水が湧出するトンネル計画の長期耐久性に関する検討

—国道17号 新三国トンネル—

国土交通省関東地方整備局高崎河川国道事務所調査課長 太田 英雄
 国土交通省関東地方整備局高崎河川国道事務所調査課専門官 高橋 智洋
 (株)建設技術センター技術本部技師長 加藤 勝彦
 (元)(株)建設技術センター技術本部技術部長 西園 裕一

1 はじめに

三国トンネルは首都圏と北陸を結ぶ一般国道17号の群馬、新潟県の県境にある三国峠の標高1,100mに位置する延長1,218mの道路トンネルであり、関越自動車道路の通行規制時における唯一の代替路線である。この三国トンネルは昭和32(1957)年に建設が完了、昭和34(1959)年に供用を開始したが、地山からの強酸性水の湧出による覆工コンクリートの劣化が顕著となり、供用後15年間に、覆工コンクリートの増厚などの補修・補強工事が実施されてきた¹⁾。そのためトンネルの内空は縮小断面となり、大型車同士のすれ違いが困難な状況となっている。そこで、この問題を解決すべく平成22(2010)年度に「三国トンネル整備検討委員会」を設立し、「2車線の新たなトンネルを建設する」という基本方針が策定された。平成24(2012)年度には新設トンネルを計画するうえで課題について検討を行うため「三国トンネル技術検討委員会」を設立した。

本稿は強酸性水が湧出するトンネルを計画するうえで、長期的健全性を確保するための課題とその検討結果について報告を行う。

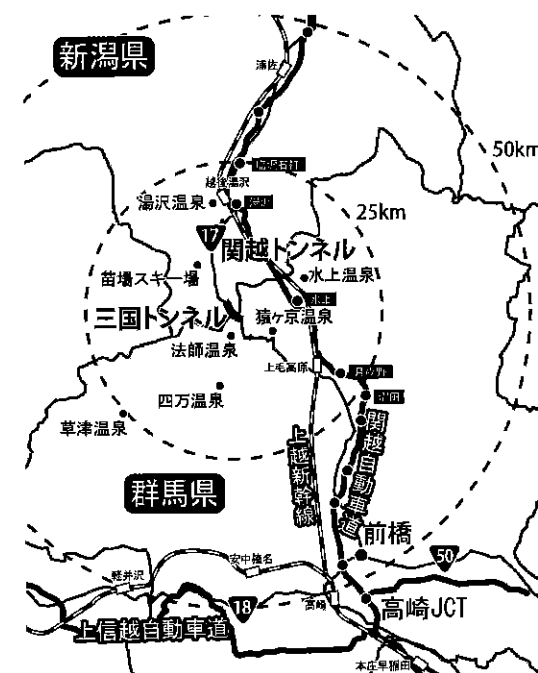


図-1 三国トンネル位置図

2 三国トンネルの現況

三国トンネルは酸性水湧出による支保部材と覆工コンクリートの劣化により補修・補強工事が実施されてきた。主な工事は補強コンクリート工事、

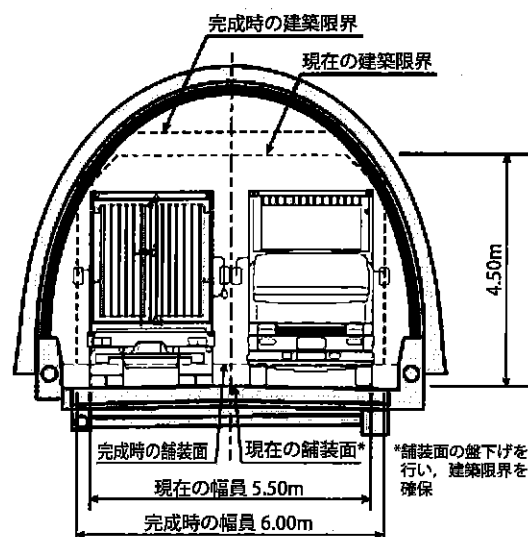


図-2 三国トンネル断面図

路面の盤下げ工事、漏水防止工事、舗装打ち替え工事、排水管の清掃工事などである。また、現状のトンネル内の交通状況は覆工コンクリートの増厚による内空断面の縮小により大型車がセンターラインをはみ出して走行するなど交通の安全性の向上が求められている。

3 新三国トンネルの計画概要

3-1 計画の概要

新三国トンネルの位置は周辺環境への影響を極力減らすために三国トンネルの近傍とし、坑口の地形条件と施工性を考慮して三国トンネル下り線側(群馬県側から見て左側)にはほぼ平行な線形で計画した。図-3,4に計画平面図と計画断面図を、表-1にトンネルの計画諸元を示す。

3-2 地形・地質概要

三国トンネルは三国山の南西約1kmにある鞍部のほぼ直下に位置し、この鞍部は上越自然歩道(旧三国街道)が国境稜線を超える三国峠と呼ばれる地点である。この三国峠から北西方向の新潟県側に流下するのが浅貝川で、南東～南方向の群馬県側には、法師ノ沢が流下し、約4km地点でムタコ沢、赤沢と合流したのち、西川と名前を変え、流下方向をほぼ東側へ変えたあと、相俣ダム貯水池へ流れこんでいる。この法師ノ沢および西川と

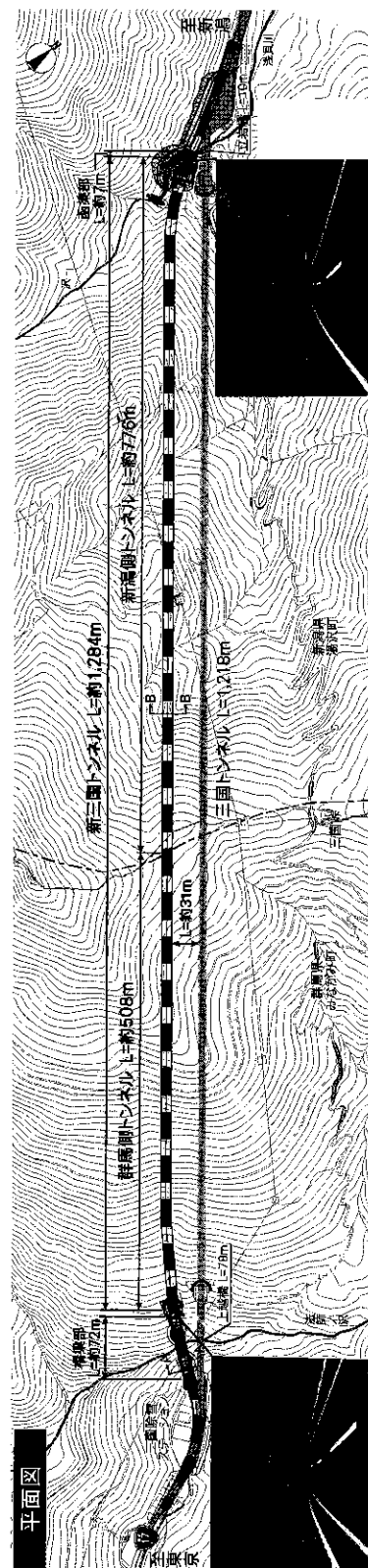


図-3 新三国トンネル位置図

ほぼ並行するように、三国山から南東方向→南方向→東方向へ方向を変えつつ高度を下げながら山稜が続いている。

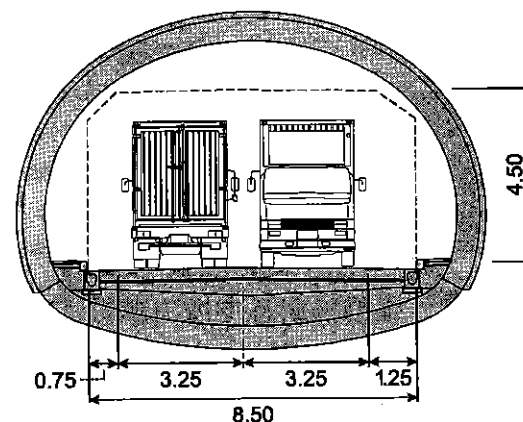


図-4 新三国トンネル断面図

表-1 新三国トンネル計画諸元

項目	計画諸元
トンネル延長	L=1,284m
道路規格	第3種第2級
車線数	2車線
設計速度	40km/h
防災等級	B等級
幅員構成	0.75m+3.25m×2+1.25m=8.50m

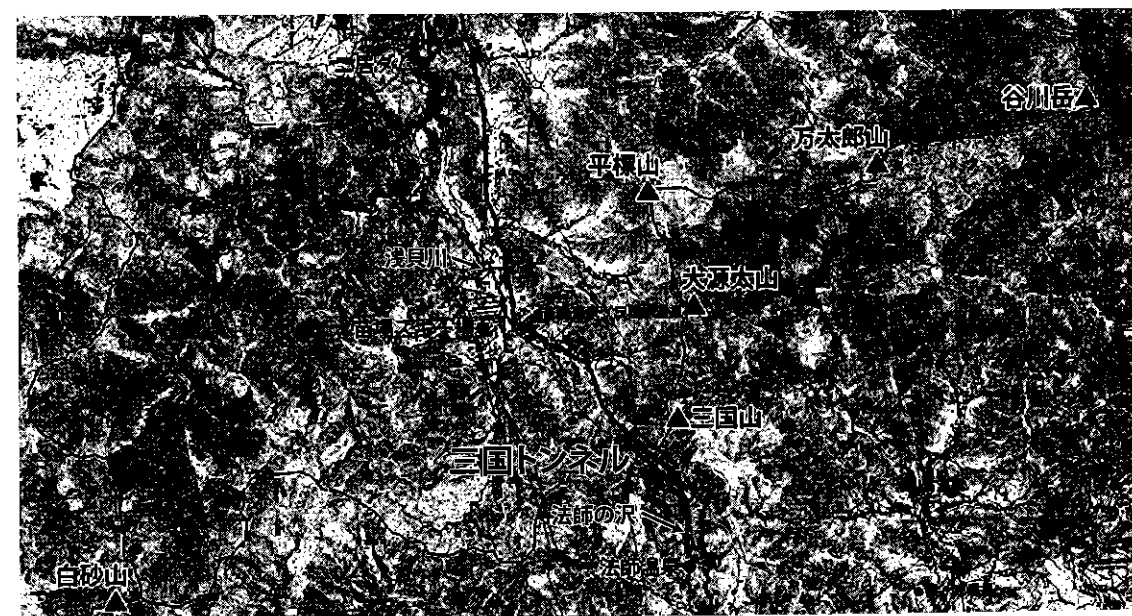


図-5 三国トンネル付近地形図(2万5千分1地形図, 国土地理院)

計画位置の地形は、三国峠を挟んで北西側の浅貝川流域に比較的緩やかな勾配を持つ。また、群馬県側も山稜部分は滑らかな緩斜面からなる地形を呈しているが、法師ノ沢流域の山腹斜面は、対照的に谷底まで切れ落ちる非常に急峻な深い谷地形を形成している。

『20万分の1 地質図幅「高田」』によると、群馬県みなみ町月夜野～新潟県湯沢町にかけての地質は、群馬県側では新第三紀の堆積岩、および新第三紀堆積岩を基盤としてそれに貫入する新第三紀の火山岩類・貫入岩類でおもに構成される。新潟県側では新第三紀の火山岩類・貫入岩類、および新第三紀火山岩類・貫入岩類を基盤としてそれを覆う第四紀火山岩類でおもに構成されている。

三国トンネル周辺には、新第三紀堆積岩の赤谷層、および赤谷層に貫入する新第三紀貫入岩類が広く分布する。赤谷層は主に黒色頁岩からなり、堆積構造は、主に北西-南東方向の走行で西に10～30°の傾斜を示す。分布は三国山からみなみ町永井にかけての高標高域およびムタコ沢沿いに広範囲に分布する。

図-5に三国トンネル周辺の地形図を示す。地質調査結果によると、新三国トンネルに分布する地

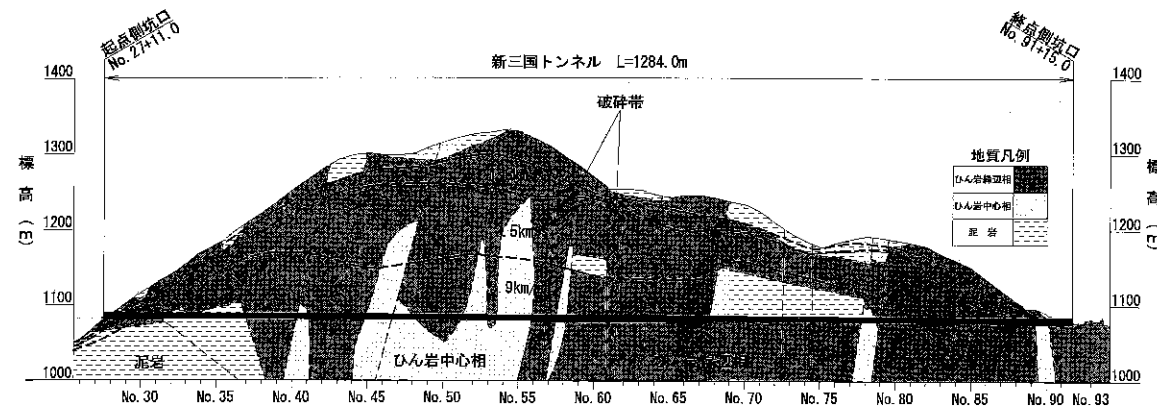


図-6 新三国トンネル地質縦断図

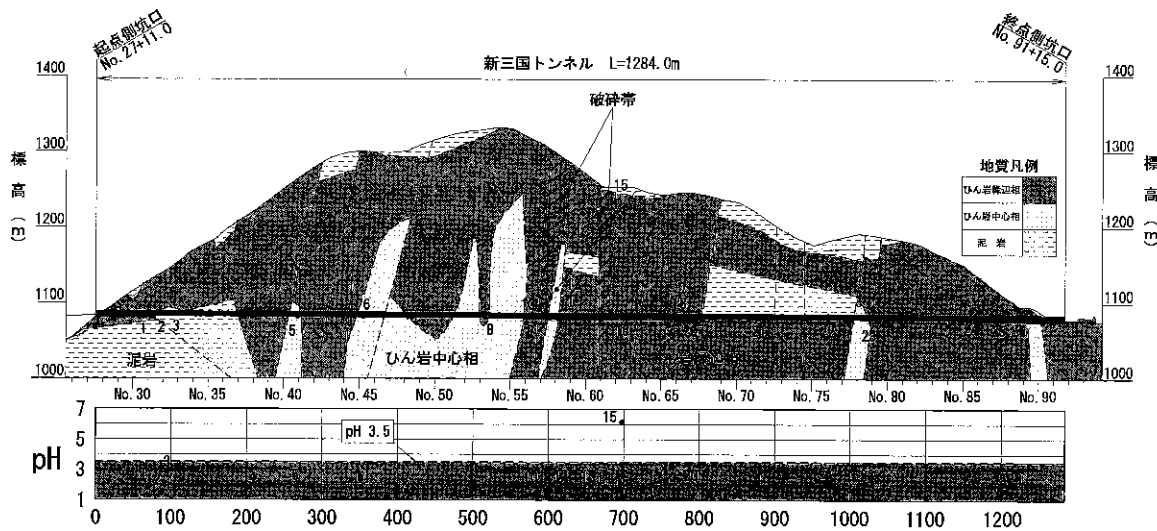


図-7 三国トンネル過酸化水素水によるpH試験結果

質は、「ヒン岩中心相(Po)」「ヒン岩縁辺相(Pe)」「赤谷層泥岩(Ams)」に大きく分けられる。トンネル区間は、「ヒン岩縁辺相(Pe)」が主体に分布し、「ヒン岩中心相(Po)」および「赤谷層泥岩(Ams)」が一部区間に挟在している。図-6にトンネル区間の地質縦断図を示す。

4 新三国トンネル計画における課題

4-1 酸性水の発生予測

三国トンネルから排出される水量は約1,700m³/日であり、そのpH値は平成23(2011)年において年平均pH3.8であった(坑口にて排水溝の水を測定した値)。また、平成21(2009)年度に三国トンネルにおいてボーリングコアを利用し、過酸化水

素水を用いたpH試験を実施した。その試験結果の値はトンネル全線にわたってpH3.5以下となり、最低値はpH1.3であった。一方、新三国トンネルの予想される湧水量は2次元浸透流解析より850m³/日程度と想定され、酸性水が湧出すると予想される。以上の試験結果および解析結果を総合的に判断し、新三国トンネルの湧水は以下の事項が予想される。

- ① 継続的に酸性水が湧出する
- ② 最低pH3.0の湧水がトンネル全線にわたって湧出する
- ③ pH1.3程度の湧水が出現する可能性がある

図-7に過酸化水素水を用いたpH試験結果を示す。

4-2 新三国トンネル計画における課題

新三国トンネルの予想される酸性水の湧出と三国トンネルの劣化程度から湧出する酸性水がトンネル構造物へ与える影響は大きく、その対策工が必要であると判断した。対策工を検討するうえでの具体的な課題としては以下の3点とした。

- 課題1：酸性水によるNATM支保部材の劣化
- 課題2：酸性水による覆工コンクリートの劣化
- 課題3：酸性水により発生する沈殿物による排水機能の劣化

5 課題に対する検討結果

課題に対する検討方法としては、以下の手順にて実施した。まず、酸性水によるNATM主要支保部材の劣化予測を行い、類似事例を参考とし支保部材の長期健全性が確保できるか、検討を行った。次に支保部材の長期健全性が確保できない場合は支保機能が損失すると仮定し、覆工コンクリートの構造検討を実施した。

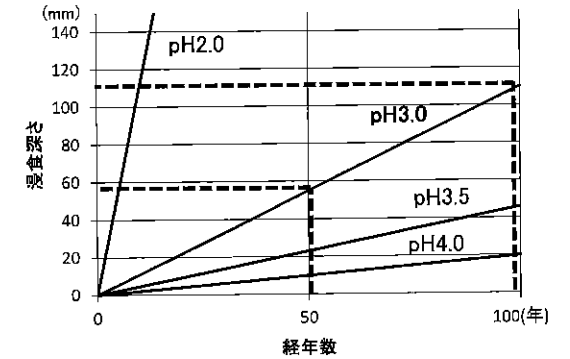
また、長期にわたって覆工コンクリートに極力酸性水を接触させないために防水構造の検討を実施したほか、トンネルの中央排水管の機能維持を確保するための排水構造の検討を行った。

5-1 NATM支保部材の検討

NATM支保部材の検討は吹付けコンクリート、ロックボルト、ロックボルト定着材に着目した。鋼製支保工、フォアパイリングは他の支保の効果が発揮するまでの短期間の安全を確保することが目的であることから、今回の検討から除外した。

「酸性水の作用を受けたコンクリートの特性および劣化予測」²⁾にもとづき、普通ポルトランドセメント($\sigma_{sk}=24.0\text{N/mm}^2$)を使用したコンクリートの酸性水による浸食深さを予想すると酸性水pH3.0の場合は、50年経過で55mm、100年経過で110mmの浸食と推定された(図-8)。また、pH3.0の以下の場合はその浸食度は著しく大きくなることが判明した。

鋼材は軟鋼の腐食と水のpHの影響のグラフ(図-9)³⁾からpH4.0を下回ると腐食度は増加し、pH3.0を下回るとその進行は著しく増大すると予測



pH 値	100 年間の浸食深さ (mm)
pH2.0	1,100
pH3.0	110
pH3.5	46
pH4.0	20

浸食深さ予測式

$$d_B = 1 / \beta K_{st} (10^{-(pH-3)})^m t_s^n$$

d_B : 浸食深さ n : 酸との接触時間のべき乗数

β : 緻密度指数 K_{st} : 標準配合における反応速度の比例定数

m : 酸濃度のべき乗数 t_s : 酸性水とのべ接触時間

図-8 酸性水によるコンクリート浸食深さの予測

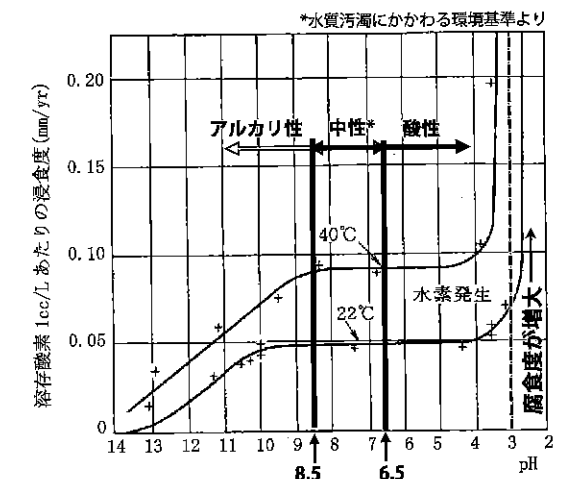


図-9 鋼材の腐食と水のpHの影響

された。過酸化水素水によるpH試験結果からpH3.5の湧水が出現すると予想されることから、鋼材が腐食する可能性はあると判断した。一方、類似事例の調査の結果(表-2)、支保部材の対策は原則として仮設扱いとしている事例が多く、長期的耐久性を確保する対策は実施されていない。

これより、支保部材の対策工の基本方針としては、次のとおりとした。①支保部材は仮設扱いと

表-2 酸性水対策の施工事例

トンネル名 竣工年	場所	地質概要	採用pH値	一次支保工(仮設扱い・対策)		
				吹付けコンクリート	ロックボルト	ロックボルト定着材
オロフレトンネル 1988年竣工	北海道	第三紀火山類	湧水のpH値 2.0	防水シートを施工する ために採用した	矢板工法のため対象外	
乙原トンネル 1992年竣工	大分県	火山岩類	湧水のpH値 3.0以上	普通セメント	ねじり棒鋼	普通セメント
三豊トンネル 1994年竣工	北海道	安山岩 凝灰角礫岩	pH(H ₂ O ₂)値 2.0	高炉Bセメント	エポキシ 樹脂塗装	高炉Bセメント
唐八景トンネル 2000年竣工	長崎県	片岩 凝灰角礫岩	pH(H ₂ O ₂)値 2.0~6.4	高炉Bセメント	エポキシ 樹脂塗装	高炉Bセメント
羽衣トンネル 2001年竣工	北海道	変質安山岩, 流紋岩, 溶結凝灰岩	pH(H ₂ O ₂)値 1.9~3.5	普通セメント	ねじり棒鋼	普通セメント
神岬トンネル 2004年竣工	北海道	第三紀凝灰岩, 泥岩, ヒン岩	溶出試験pH値 4	高品質吹付け	ねじり棒鋼	普通セメント

表-3 吹付けコンクリートの比較検討

材料名	①吹付けコンクリート (普通ポルトランド)【標準】	②吹付けコンクリート (高炉B種)	③高強度吹付けコンクリート
設計基準強度	$\sigma_{28}=18\text{N/mm}^2$	$\sigma_{28}=18\text{N/mm}^2$	$\sigma_{28}=36\text{N/mm}^2$
耐酸性	普通ポルトランドセメントを使用しているため、酸性水環境では長期的健全性は望めない。	高炉B種セメントを使用しているため、①より耐久性はある。ただし、長期的健全性は確認ができていない。	セメント量が多いため、密実なコンクリートが形成でき、①②より耐久性がある。ただし、長期的健全性は確認ができていない。
初期強度	標準	①より若干発現が遅い	もっとも初期強度の発現が早い
施工実績	× 実績はあるが、酸性水対策ではない	○ 実績あり	○ 実績あり
施工性	○	○	○
経済性(材料費)	○	○	△
評価	×	○	△

して長期的耐酸性は考慮しない。②ただし、湧水pH3.0以下と予想されるトンネル区間については、施工中の安全性の確保を目的とし、短期的な耐酸性を考慮した材料を選択する。

5-1-1 吹付けコンクリート

吹付けコンクリートの短期的な耐酸性を考慮した対策については以下の2つの対策工を検討した。

- ① 硫酸塩と反応し、脆弱物質である二水石膏やエトリンガイトを生成する水酸化カルシウムの量を減少させる対策
- ② 単位セメント量を増やし、コンクリートの密実性を上昇させる対策

上記①の対策は高炉B種のセメントの使用、②の対策は高強度コンクリートを選択し、比較検討を行った。表-3に比較検討表を示す。比較検討の結果、短期的であることから経済性より吹付けコンクリート(高炉B種)が妥当であると判断した。

5-1-2 ロックボルトと定着材

ロックボルトについては比較検討の結果(表-4)、ねじり棒鋼エポキシ樹脂塗装とFRPロックボルトが優位である結果となったが、もっとも実績があり、経済性に優れるねじり棒鋼エポキシ樹脂塗装が最適であると判断した。また、ロックボルトの定着材は市場性と経済性より耐硫酸モルタル

表-4 ロックボルトの比較検討

	ねじり棒鋼 【標準】	ねじり棒鋼 亜鉛メッキ加工	ねじり棒鋼 エポキシ樹脂塗装	鋼管膨張型ボルト (亜鉛メッキ)	FRPロックボルト
耐酸性	×	△	○	△	○
施工実績	実績はあるが、酸性水対策ではない	実績あり	実績がもっともある	実績あり	実績はない
経済性	○	○	○	×	○
評価	×	△	◎	×	○
備考	〈ねじり棒鋼エポキシ樹脂塗装〉 ・酸性水対策で一般的に使用されており、実績が多いが、長期的健全性は確認ができていない。 〈FRPロックボルト〉 ・FRPロックボルトは促進試験において耐酸性に問題はないが、長期的健全性は確認ができていない。				

(充填式)を選定した。

5-2 覆工コンクリートの構造検討

覆工コンクリートの構造の検討は、覆工コンクリートの本体構造と防水構造の2つに着目して実施した。覆工コンクリートの本体構造は支保部材が酸性水により劣化し、その機能が減少することにより、ゆるみ荷重が発生すると想定し、その荷重に耐える構造について検討を行った。

防水構造は、覆工コンクリートに極力酸性水を接触させないことを目的とし、①防水シートの設置範囲、②防水シートの材料、③防水シート破損の場合の対策の3点について検討を行った。

5-2-1 覆工コンクリートの構造検討

覆工コンクリートの構造検討は、酸性水による支保部材の劣化により、ゆるみ荷重が覆工コンクリートに作用すると仮定して、骨組み構造解析により検討を行った。

構造は酸性水の影響を排除することから、無筋コンクリートを基本とし、その設計覆工厚は矢板工法の構造を参考として設定し解析を実施した。解析は地山等級のCII、DIの2ケースとした。

CII区間のゆるみ高さは地質調査結果より、「Terzaghiの支保工に作用する土荷重」における「大塊状で普通程度の摂理のあるもの」と判断し、 $H=3\text{m}$ とした。DI区間のゆるみ高さは地質調査結果より亀裂頻度が高いことから、「Terzaghiの支保工に作用する土荷重」における「普通程度に塊状で割れ目のあるもの」と判断し、 $H=7\text{m}$ とした。

骨組み構造計算の概念図を図-10に示す。

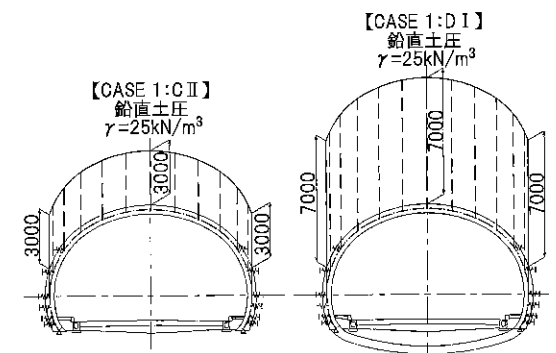


図-10 骨組み構造解析

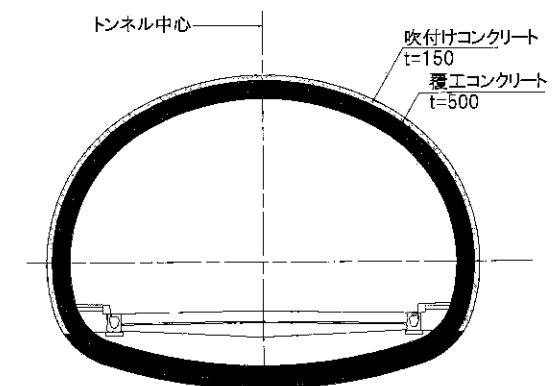


図-11 解析結果による覆工断面図

トライアル計算により無筋コンクリート(設計基準強度 18N/mm^2)の場合、設計覆工厚60cmで許容応力を満足する結果となった。ただし、経済性の追求から掘削断面の減少を目的として、設計覆工厚の減少を追加検討した。その結果、設計基準強度 24N/mm^2 とした場合には設計覆工厚は50cmで、60cmと同程度の耐荷力を有する結果となった(図-11)。

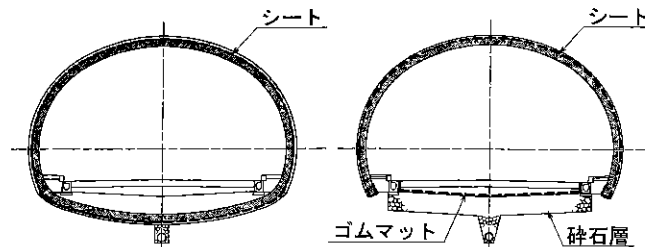


図-12 排水構造図(インバート区間とインバートなし区間)

表-5 防水シート劣化促進試験一覧

	防水シート $t=0.8\text{mm}$						防水シート $t=2.0\text{mm}$					
温度	40±2℃			60±2℃			40±2℃			60±2℃		
pH	1.5	3.0	蒸留水	1.5	3.0	蒸留水	1.5	3.0	蒸留水	1.5	3.0	蒸留水
A社	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
B社	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

5-2-2 防水構造の検討

防水構造の検討は、酸性水の浸入を防止することを目的とし、防水シートの設置範囲についての検討を行った。現段階の新三国トンネルの支保パターンは坑口部を除くと、CI、CII、CII-b、DI-bと計画されている。これより、断面形状としては、「インバート区間」と「インバートなし区間」が存在する。インバート区間についてはトンネルの全外周に防水シートを設置する構造とした。

インバートなし区間においては、断面下部に遮水層(ゴムマット+碎石層)を設けることにより、舗装コンクリートへの酸性水の浸入を防止する構造とした。また、覆工コンクリートに水圧が作用すると覆工厚が増加すると想定されることから、排水型とし、中央排水管を設置する構造(図-12)とした。

5-2-3 防水シートの検討

防水シートについては、酸性水下における長期的耐久性について言及している文献などが無いことから、劣化促進試験を実施した。

劣化促進試験は「廃棄物最終処分場で使用される遮水シートの耐薬品性試験」(JIS K 6251)を参考とし、浸せき試験(浸せき処理時間240時間)を実施した。材料は標準で使用するEVAシートとし、試験片は $t=0.8\text{mm}$ と 2.0mm の2種類とした。

試験方法はpHの変動範囲を勘案して、pH1.5、pH3.0および蒸留水の溶液に浸せき処理したのち引張試験を行い、引張強さ、引張ひずみ、質量の変化の測定を行うこととした。浸せき処理の温度は、EVAシートの溶融点が70℃であることを考慮し、40℃と60℃の2種類とした。表-5に試験内容を示す。

試験結果は、外観に異常はなく、質量の減少もみられなかった。また引張強さについてはすべての試験片で規定値(16 N/mm²)以上であり、今回の劣化促進試験においては防水シート(EVAシート)の酸性水による劣化は認められなかった。また、防水シートの厚さについては、 $t=$

0.8mm、2.0mmとも試験結果は同程度であったが、施工時の損傷のリスク軽減を考慮し $t=2.0\text{mm}$ が妥当と判断した。図-13に試験結果の一覧を示す。

防水シートの長期的安定性を担保するという観点では、今回の劣化促進試験は浸せき時間が短く、その確実な長期耐久性の検証まで踏み込めなかったことから、今後長期的な浸せき試験が必要と考える。

5-2-4 防水シート破損の場合の対策工

トンネルの構造物の全周に防水シートを設置し、極度酸性水をコンクリートに接触させないことを目的として種々の対策を検討してきた。しかし、NATMで建設された現存のトンネルにおいて防水シートの損傷などによる漏水の発生が散見される。今回の検討結果では覆工コンクリートに耐荷性能を持たせることから、コンクリートの劣化が構造体の安定性に大きく影響する。

したがって、なんらかの原因により防水シートが破損し、漏水が発生した場合は速やかに効果的な補修工を実施する必要があると考える。

これより効果的な補修工を実施する準備工として防水シートのブロック化という概念の検討を行った。これは、非排水型トンネルで実績があるウォーターバリア工法を参考として、あらかじめ突起物を装着した防水シートを設置し、シートを5m程度

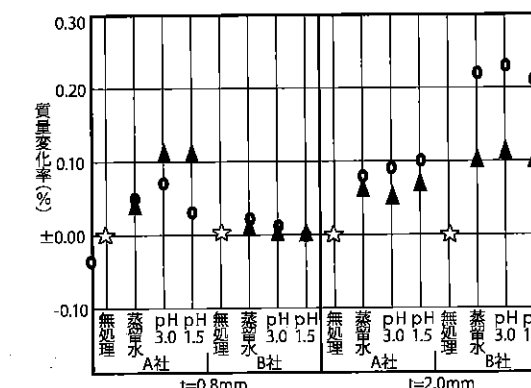
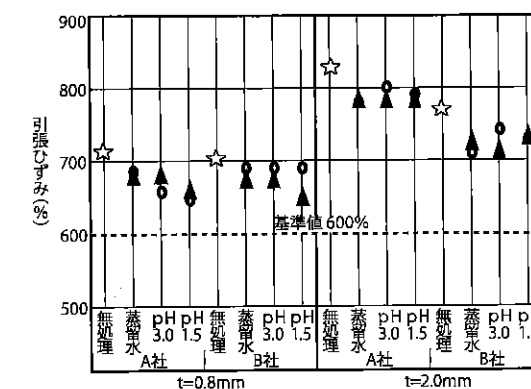
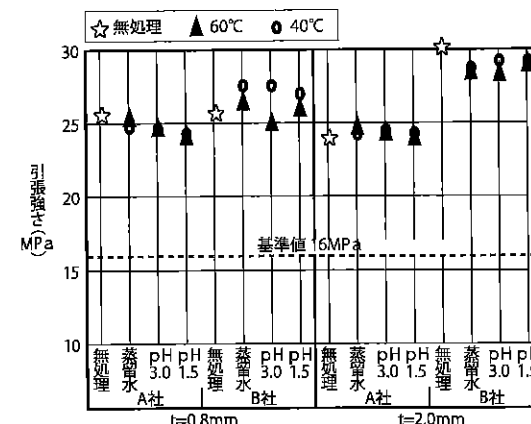


図-13 防水シート劣化促進試験結果(引張・引張ひずみ・質量変化率)

にブロック化する。これにより補修工で使用する注入材の逸走を防ぎ、限定的な注入工を可能にする考え方である。

ただし、この考え方はトンネルにおいては実績がないことから、突起物の形状、材質およびその設置範囲などについては予備実験などを行い、その適用性を検証する必要がある。また、この概念

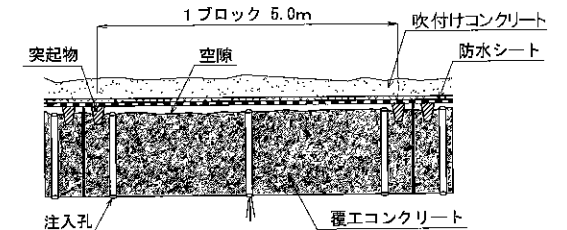


図-14 ブロック化概念図(全体)

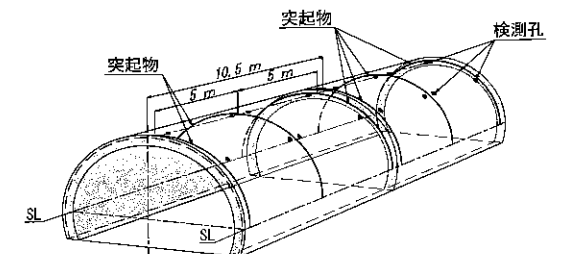


図-15 ブロック化概念図(詳細)

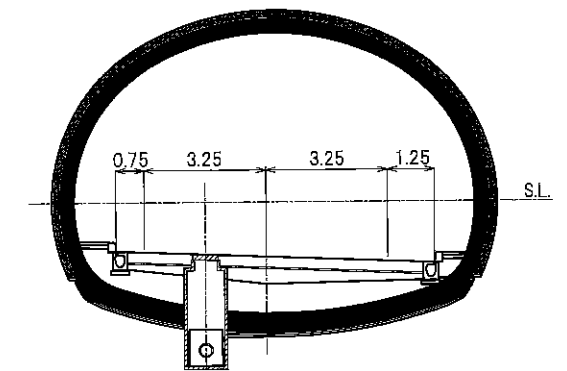


図-16 排水構造物の位置図

では防水シート面ができる限り平滑であることが前提条件となることから、吹付けコンクリート表面の平滑化も合わせて検討する必要がある。図-14、15にブロック化の概念図を示す。

5-3 排水構造の検討

三国トンネルの排水溝が沈殿物などの付着により、その機能が損なわれていることを鑑み、とくに中央排水管の構造について検討を実施した。材質の検討を行ったが、解消可能な材質はなく、最終的には維持管理の容易さに焦点を当て、検討を実施した。

中央排水管の位置については、清掃時の片側交互通行規制を考慮し、道路中心ではなく下り線中心(車道内)に設置するとした。また、全周防水シ-

トを設置することから中央排水管はインバートの下方に設置し、定期的に点検・清掃が可能な構造とするため、マンホールを設置することとした。その設置間隔は高圧洗浄車などの能力を鑑み、200m間隔とした(図-16)。ただし、車道内にマンホールを設置することから、その構造およびマンホール蓋の材質などについて今後詳細に検討する必要がある。

6 おわりに

本稿では、酸性水が湧出するトンネルを計画するうえでの課題とその対策について報告を行った。酸性水が湧出するトンネルの事例が少ないことから、

ら、本検討が今後の同種トンネル計画の参考となれば幸いである。

最後に、この検討において貴重なお意見とご指導を賜った「三国トンネル技術検討委員会」の委員長および委員各位に厚く感謝の意を表したい。

参考文献

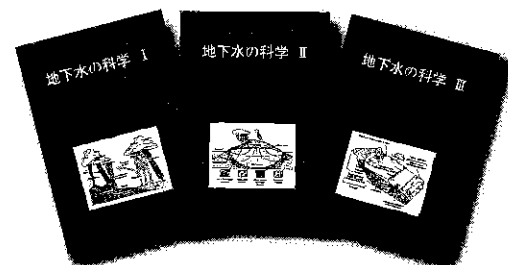
- 1) 須藤政二：三国トンネル修繕工事，土木施工，Vol. 20，No.12，1979.11.
- 2) 上田洋・牛島栄・出頭主三：酸性水の作用を受けたコンクリートの特性および劣化予測，土木学会論文集E，Vol.63，No.1，pp.27-41，2007.1.
- 3) 日本学術振興会編：金属防触技術便覧，1972.4.

図書案内

地下水の科学 — 全3巻 —

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

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



第Ⅰ巻 地下水の物理と化学

4,078 円＋税 B5 判

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

第Ⅱ巻 地下水環境学

4,272 円＋税 B5 判

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

第Ⅲ巻 地下水と地質

3,689 円＋税 B5 判

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

株式会社 土木工学社

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

報告

供用中のトンネルで未収束の路盤隆起に挑む —北陸新幹線—ノ瀬トンネルほか—

東日本旅客鉄道(株)高崎支社高崎土木技術センター施設技術主任 久保原 猛
東鉄工業(株)高崎支店軽井沢工務所所長 若林 秀明
東日本旅客鉄道(株)設備部構造物管理グループ課長 鈴木 延彰
東日本旅客鉄道(株)構造技術センター地下・トンネルグループ課長 齋藤 貴

1 はじめに

北陸新幹線高崎～長野間は、1997年10月に整備新幹線として開業した延長約117kmの路線である。このうち、群馬県と長野県の県境に位置する安中榛名・軽井沢間では、図-1に示すように秋間トンネル(L=8,295m)、一ノ瀬トンネル(L=6,165m)、碓氷峠トンネル(L=6,092m)の山岳トンネルが延長の約9割を占めている。

一ノ瀬トンネルでは、1997年の開業以来、一部の区間において、1mm/年程度の軌道隆起が確認されたため、軌道整備による対応を行ってきた。

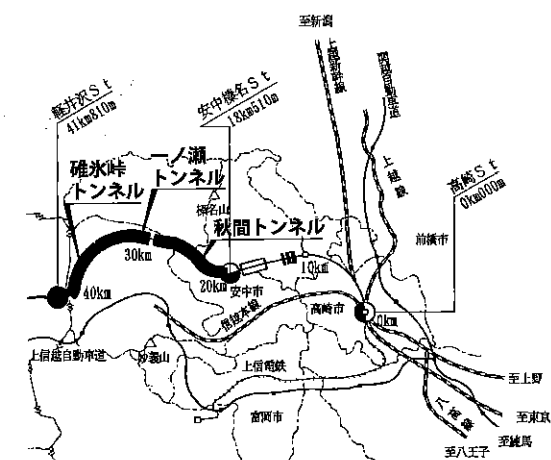


図-1 北陸新幹線高崎～軽井沢間の位置平面

しかし、2004年3月には隆起速度が1mm/月と急進し、再度の軌道整備が必要となった。開業時からの累積隆起量は20mmを超え、隆起が継続する場合には、徐行を余儀なくされるおそれがあった。トンネル自体にも中央通路部の線路方向に連続するひび割れ(幅約15mm)、中央通路側部および路盤コンクリートに横断方向の多数のひび割れなどの変状が確認され、トンネル構造としての安定性も懸念された¹⁾。このため、2005年1月に供用中の新幹線トンネルにおいて施工可能な路盤隆起対策として、インバート部への下向きロックボルトを施工した。また、隣接する碓氷峠トンネルのインバートを施工していない区間においても、3mm/年の軌道隆起が確認された。このため、一ノ瀬トンネル同様に、下向きロックボルトによる対策工を2006年に実施した。

なお、一ノ瀬、碓氷峠トンネルにおいては、上記の2か所以外でも軌道隆起が確認されたため、軌道の隆起速度や軌道整備基準値に対する累積隆起量をもとに対策の必要性を判断し、2014年現在も順次対策工を実施している。対策実施箇所では、路盤の隆起速度は小さくなってきたものの、完全な収束には至っていない。そのため、対策工とあわせて、対策実施箇所の長期的な計測監視を続けている状態である。

本稿では、一ノ瀬トンネルおよび碓氷峠トンネルにおいて発生している路盤隆起に対し、約10年にわたり実施してきた対策工の内容、付随して実施した調査、計測監視結果について報告する。

2 一ノ瀬トンネルの事例

2-1 対策箇所の地質および変状概要

一ノ瀬トンネルの諸元を表-1に示す。工事誌²⁾によれば、トンネル周辺の地質は、新第三紀の秋間層の凝灰岩・凝灰角礫岩・火山角礫岩や霧積層の安山岩質凝灰角礫岩が分布している。

軌道計測や現地調査の結果、4か所において軌道隆起が確認されており、建設当時の地質図³⁾によれば、熱水変質を受けた凝灰岩が分布し、大量の湧水区間に位置している。

2-2 一次対策

2004年3月から1mm/月という急激な路盤隆起が確認された32k029m付近では、トンネル本体にもひび割れなどの変状が発生した。

対策工としては、インバートと地山の一体化、インバート下からの地圧に対するアーチ形成効果を期待するとともに、供用中の新幹線トンネルにおいて、終電から初電までの夜間の保守作業時間帯で施工可能な下向きロックボルトを採用した。

当該箇所が枠型スラブ軌道区間であることから、トンネル断面方向のロックボルトの打設位置は、図-2に示すようにボルト径がD25のロックボルト

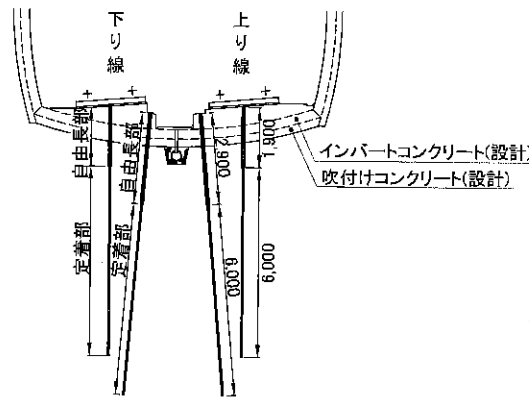
表-1 一ノ瀬トンネル諸元

位置	北陸新幹線安中榛名・軽井沢間
延長	6,165m
竣工	1995年11月
施工方法	NATM
土かぶり	最大300m程度 (路盤隆起箇所は200m程度)
地質	凝灰岩・凝灰角礫岩・火山角礫岩・安山岩質貫入岩
支保パターン	I _s ・I _N ・II _N (路盤隆起箇所はI _s)
設計覆工厚	30cm
インバート	全線にインバートあり(設計巻厚45cm) 路盤隆起箇所は設計吹付け厚さ25cm インバート設計巻厚30cm

を枠型スラブ内に1本(L=8.0m)、中央通路側に1本(L=9.0m)とし、トンネル断面あたり4本とした。線路方向の打設範囲は、図-3に示すように、路盤隆起の最大箇所を中心として、起終点方にそれぞれスラブ2枚分(延長約10m)の範囲について、約1m間隔に千鳥配置とした。一次対策工として、28本の下向きロックボルト打設を2005年3月に完了した。

2-3 二次対策

一次対策実施以降、隆起速度は1mm/月から2mm/年と抑制されたものの、隆起が継続していた。また、隆起範囲が線路方向に伸展しており、そのため、図-3に示す一次対策範囲のさらに外側の起終点方スラブ1枚分の範囲について、一次対策と



ロックボルトの仕様
材質: AS345 メッキボルト (D25N)
ボルト長:
中央部 L=9.0m (余長 0.1m, 自由長 2.9m, 定着長 6.0m)
線間部 L=8.0m (余長 0.1m, 自由長 1.9m, 定着長 6.0m)

図-2 一ノ瀬トンネル(一次・二次対策)のトンネル断面方向のロックボルトの配置

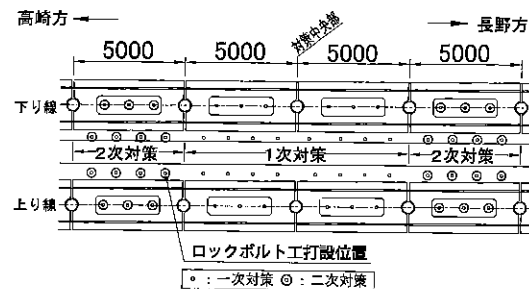


図-3 一ノ瀬トンネル(一次・二次対策)の線路方向のロックボルトの配置

同様な仕様の下向きロックボルト打設を二次対策として実施し、2009年2月に完了した。

2-4 計測監視

営業線を対象とした計測監視であるため、軌道変位検測(軌道検測車による高低40m弦の変位量)を第一として実施した。なお、継続して路盤隆起傾向が確認される箇所については、トンネル内空断面測定(テープ式内空変位計)、路盤の水準測量(電子レベル)を実施している。

32k027m付近における供用開始後からの軌道検測結果を図-4に示す。

計測結果より、一次対策、二次対策を経て急激

な隆起は抑制されているものの、0.7mm/年程度の隆起が継続していることがわかる。なお、一時的に変位が低下するデータについては、軌道検測車による動的な検測に起因するものである。

図-5に32k027mの内空断面測定の変位経時変化を示す。計測結果より、当該断面では季節変動の傾向を示すとともに、1mm/年程度の速度でトンネル断面の縮小が進行していることがわかる。

図-6に31k952m~32k077mにおける5mごとに設置された突起コンクリートの水準測量の結果を示す。計測値は、隆起が確認されていない31k952mを基準とし、相対的な鉛直変位量を示す。

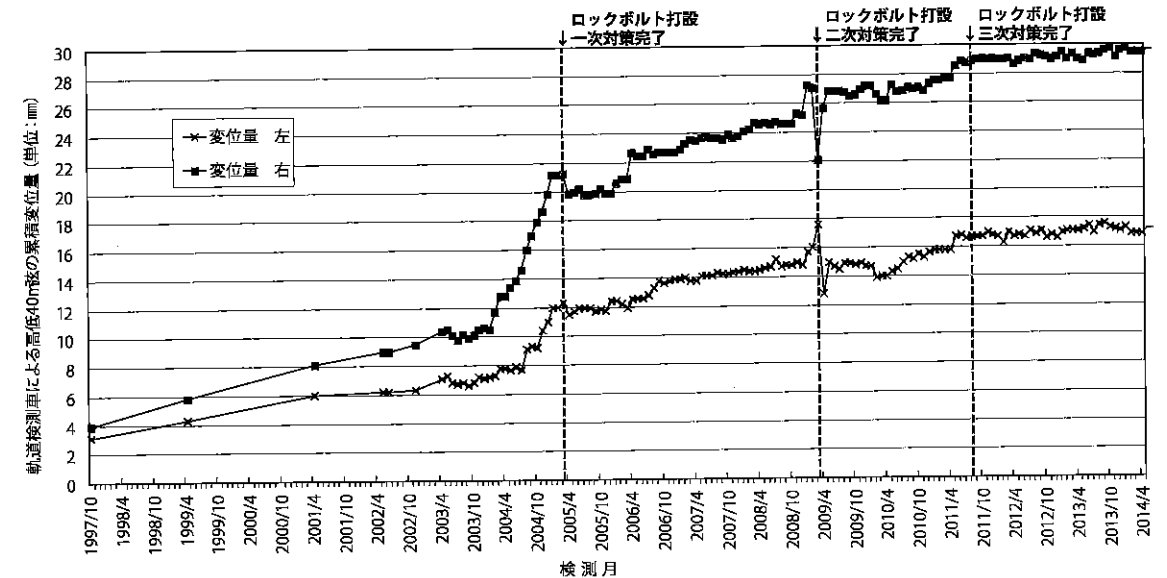


図-4 一ノ瀬トンネル32k029m付近の軌道変位の累積量

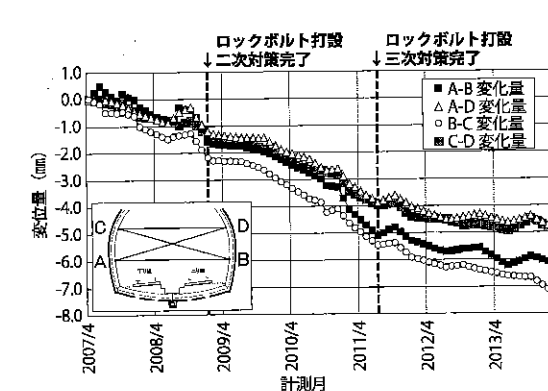


図-5 一ノ瀬トンネル32k027m付近の内空変位の経時変化

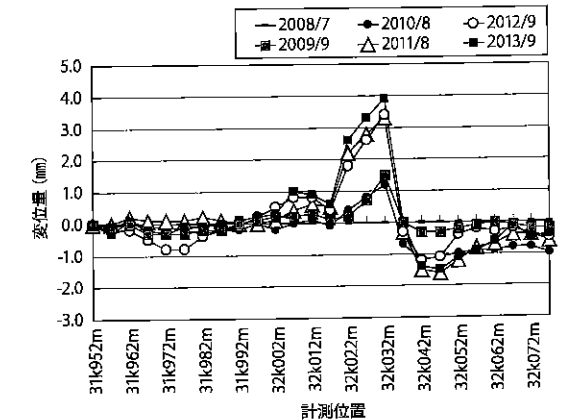


図-6 一ノ瀬トンネル32k027m付近の水準測量結果

計測結果より、二次対策以降も路盤隆起が継続し、とくに32k017m～32k037mにおいて隆起が顕著であることがわかる。

以上の計測結果より、これまで実施してきた下向きロックボルト対策により急激な軌道隆起は抑えられているものの、完全な収束には至っていないことが確認された。

2-5 三次対策に向けた調査

二次対策以降も軌道隆起が収束しないことから、さらなる追加対策として三次対策の必要性が考えられた。しかし、これまで実施してきた一次、二次対策により、三次対策を行う際の路盤部のスペースが限られていた。そのようななか、より効果的な対策が求められた。そこで、緩み領域の確認や地山特性を把握するため、32k029m付近の路盤下へのボーリング調査を1か所実施した。また、インバート自体の状況を確認するため、32k026m付近にてインバート部のコアボーリングを実施した。地質調査のボーリング深度は、路盤面から15m

表-2 地質調査項目

性 質	調査項目	主な確認内容
物理的・力学的	ボーリング調査	地質全般
	PS検層	緩み範囲
	一軸圧縮試験	地山強度比
鉱物化学的	超音波速度試験	緩み範囲
	浸水崩壊度試験	スレーキング特性
	吸水膨張率試験	スレーキング特性
	X線回析分析	膨張性粘土鉱物
	CEC試験	粘土鉱物の容量



写真-1 調査ボーリングの実施状況

とし、表-2に示す調査および試験項目を実施した。調査ボーリングの施工は、対策工と同様に夜間の保守作業時間帯での施工となり、保守基地からの往復時間を含めた作業時間は約3時間半と限られていた。またボーリングに際しては、電力設備との離隔やトンネル側壁付近の空頭により制限を受けながら、写真-1に示すようにボーリングマシンを台車に積載し、台車から掘削した。

2-6 調査結果

写真-2に地質調査ボーリングにより得られたコアを、表-3に地質調査結果一覧を示す。岩種は、浅部と深部が火山礫凝灰岩、中央部で軟質凝灰岩であり、採取されたコアには、割れ目が多く見られ、コアの大部分は角礫状もしくは短柱状を呈していた。また、深部はドスメクタイト含有量が多く、膨張性が高い地山であることが推定された。

また、図-7にインバート部のコアボーリングにもとづく、インバートコンクリートの厚さの分布を示す。インバートコンクリートと地山の境界部

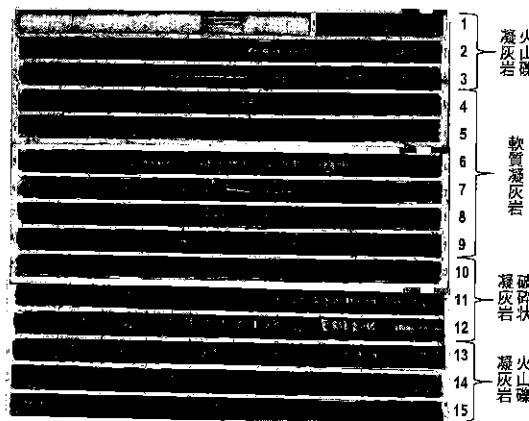


写真-2 ボーリングコア写真

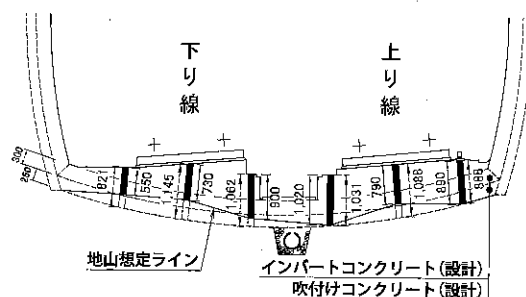


図-7 ノー瀬トンネル32k026付近のインバートの想定図

表-3 地質調査の結果

深 度(m)		岩 種	湿潤密度(g/cm³)	超音波伝播速度測定				一軸圧縮試験			地 山 強 度 比	浸 水 崩 壊 度 試 験	最 大 吸 水 膨 張 率 試 験	X 線 回 析 分 析	C E C 試 験 (3001/100g)
				S 波 (km/s)	P 波 (km/s)	動弾性係数 (kN/m²)	動ポアソン比	圧縮強度 (kN/m²)	静弾性係数 (kN/m²)	ポアソン比					
路 盤 直 下*	0.70～1.30	砂礫状凝灰岩	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	少量～微量	30.4
浅 部	1.60～3.00	軟質火山礫凝灰岩	2.16	0.77	2.03	3.59E+06	0.42	10.7	2.36E+06	0.35	1.8	C(3)	0.15	少量	29.6
中央部	6.00～9.50	軟質凝灰岩	2.18	0.92	2.3	5.40E+06	0.41	8.77	3.39E+06	0.36	1.5	C(3)	0.22	少量	30.3
深 部	12.30～14.50	火山礫凝灰岩	2.18	1.07	2.48	6.92E+06	0.39	15.7	5.42E+06	0.32	2.5	C(3)	0.18	中量	42.3

※埋戻し土と考えられコア採取できなかったため、各種試験は未実施。

の位置関係から、設計値に対してインバートの厚さが不足していることが確認された。

以上の調査結果より、路盤隆起が継続している箇所では、膨張性を示す地山が深部まで続いていること、インバート厚が不足していることなどが確認された。

2-7 三次対策に対する検討

本来、路盤隆起に対してもっとも効果が高い対策工は、インバートの打替えである。また、隆起に対して下向きの力を導入する観点から、グラウンドアンカーも効果が大きいと考えられる。下向きロックボルトによる対策施工後も、路盤隆起が継続する状況下ではあるものの、いずれの対策工も夜間の保守作業時間帯での施工は困難である。

地質調査結果から、インバート下15mの深部においても地山が膨張するおそれが確認されている。これまでのロックボルト長よりさらに長くした場合、施工に伴い地山を乱し膨張を促進する可能性や、時間的な制約から施工自体が困難なことが想定された。このため、二次対策までに実施したロックボルトをベースに仕様を再検討することとした。

ここで、図-8に三次対策のトンネル断面方向の配置箇所を示す。

模型実験による下向きロックボルトの作用メカニズムを確認した結果によれば、ボルト径を太く

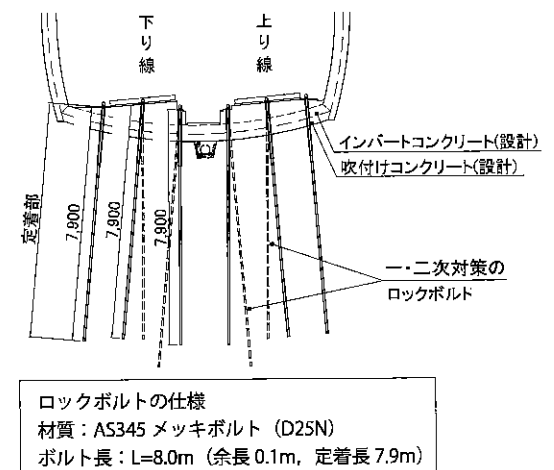


図-8 ノー瀬トンネル(三次対策)のトンネル断面方向のロックボルトの配置

して付着面積を増やすことでより効果が高いことが確認されている。そのため、二次対策までに使用した施工機械で可能な限り太径とし、ボルト径をD25からD29に変更した。さらに、二次対策までは、インバート下に設置された中央排水管内を流れる湧水の水質への影響に配慮し、路盤直下は自由長部としてセメントミルク充填は行わなかった。三次対策に際し、セメントミルク充填に伴う水質への影響がないことが確認できたため、路盤面までセメントミルク充填することとした。なお、三次対策におけるロックボルト配置は、図

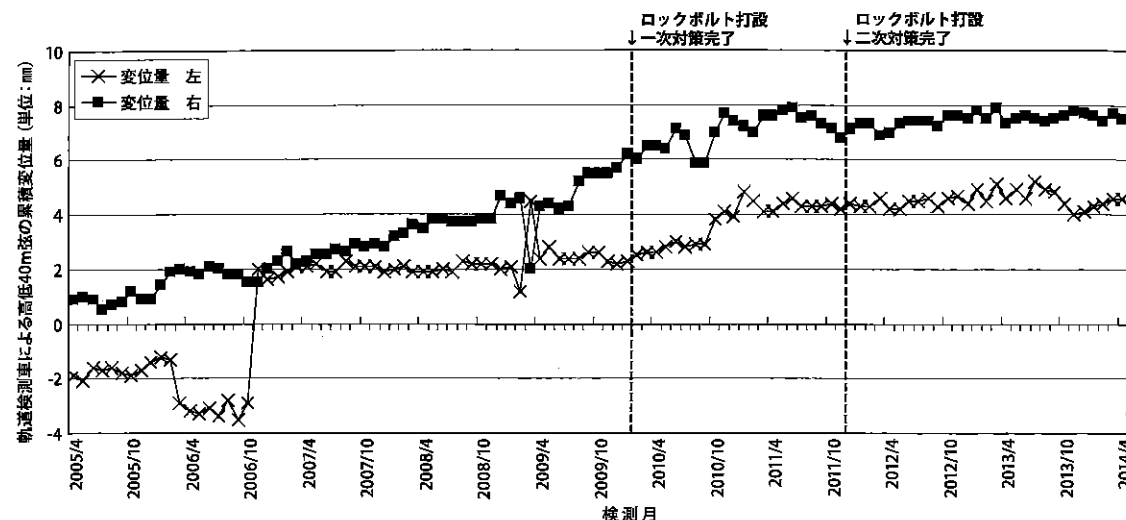


図-13 碓氷峠トンネル36k728m付近の軌道変位の累積量

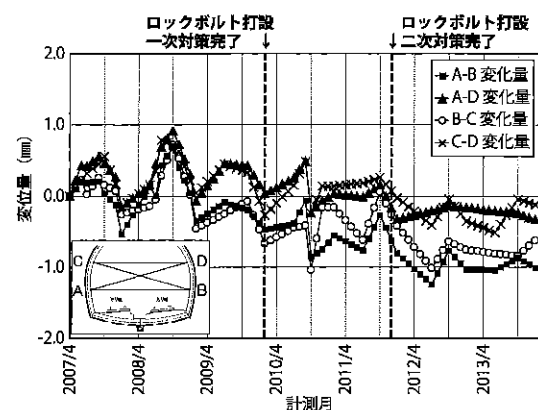


図-14 碓氷峠トンネル36k728m付近の内空変位の経時変化

と同様に、完全な収束には至らず、隆起が継続していることが確認された。

このような状況から、今後も計測監視を継続し、二次対策実施済み箇所も含め、計測監視結果に応じた追加対策の実施も必要と考えている。

4 今後の対応

一ノ瀬トンネルにおいて、三次対策を実施した箇所については、内空断面の縮小傾向が続いている。そのため、今後の計測監視結果に応じて、四次対策として側壁部へのロックボルト打設を検討している。

路盤隆起箇所が点在する碓氷峠トンネルについ

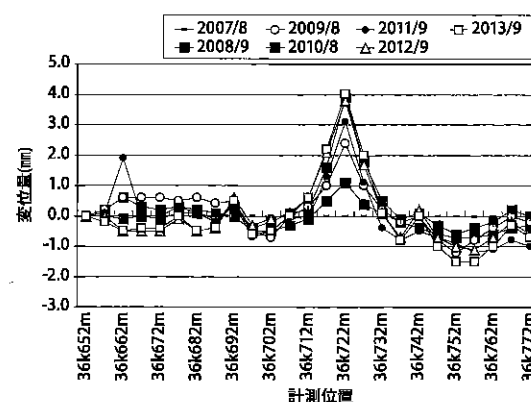


図-15 碓氷峠トンネル36k728m付近の水準測量結果

ても同様に計測監視を継続し、優先順位を決定し下向きロックボルトによる対策工の実施を検討している。

供用中の新幹線トンネルでの対策工となり、夜間の保守作業時間帯での下向きロックボルトの施工は、最大2本/日となっている。このため、2014年度から、施工速度の向上および対策工の早期の効果発現を目的として、下向きロックボルト用の施工機械の増設を計画している。

5 おわりに

2005年に一ノ瀬トンネルにおいて、路盤隆起対策工を開始してから2014年3月までの約8年間で、一ノ瀬および碓氷峠の両トンネルでは、合計約

980本の下向きロックボルトを施工してきた。とくに、りょう盤コンクリート構造であり、路盤隆起箇所が点在する碓氷峠トンネルにおいては、約870本のロックボルトを施工してきた。

対策実施箇所での継続した計測監視により、下向きロックボルトが路盤隆起に対し抑制効果があることが確認された。しかしながら、隆起速度の低減は図られるものの、完全な収束は困難であることも確認された。

トンネルの路盤隆起については、供用中の道路トンネルにおいても確認されており、山岳トンネルにおけるインバートの重要性が認識されつつある。しかし、インバートの必要性や、設計および施工方法は、近年になって徐々に確立されてきているものの^{5),6)}、十分とはいえない。

とくに供用開始後に路盤隆起が生じた場合、道路トンネルでは、迂回ルートの設定や片側通行止めなどにより、インバートの打替えによる構造的な対応や、グラウンドアンカーなどのより効果的な対策工の施工が可能である。一方、鉄道トンネルでは、とくに新幹線トンネルにおいては、迂回ルートの設定は不可能であり、また、供用開始後においては限られた保守作業時間での施工となり、対策工自体も限定される。

安全安定輸送の確保という社会からの要請に対し、列車運行を担う鉄道事業者として、供用開始後に多大な費用、時間、労力を要して、できうる

かぎりの対策工を実施しているのが現状である。

一ノ瀬および碓氷峠トンネルが設計・施工された当時の技術基準では、インバートの設置基準自体も明確ではなかったことなども考えられ、本稿の知見が、今後の山岳トンネルの設計・施工へフィードバックされることが重要であると考えられる。

今後、北陸新幹線の延伸を控えているなか、一ノ瀬および碓氷峠トンネルにおいても、計測監視の継続、必要により対策工を実施などの維持管理の継続により、列車の安全安定輸送を確保していく所存である。

参考文献

- 1) 渡邊康夫・藍郷一博・鈴木尊：供用中の新幹線トンネルで発生した路盤隆起の原因とその対策，トンネルと地下，Vol.38，No.9，pp.595-604，2007.9.
- 2) 日本鉄道建設公団北陸新幹線建設局：北陸新幹線工事誌(高崎・長野間)，1998.3.
- 3) 日本鉄道建設公団北陸新幹線建設局：北陸新幹線工事誌(高崎・長野間)，地質図，1998.9.
- 4) 嶋本敬介・野城一栄・小島芳之・中西祐介・塚田和彦・朝倉俊弘：地山の塑性化に伴う山岳トンネルの路盤隆起現象とその対策工に関する研究，土木学会論文集F1(トンネル工学)，Vol.69，No.1，pp.54-72，2013.3.
- 5) 土木学会：トンネル標準示方書[山岳工法]・同解説・2006年制定，2006.7.
- 6) 土木学会：山岳トンネルのインバート，設計・施工から維持管理まで，2013.11.

わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格 2,500円 千350円

本書は、「トンネルと地下」に17回にわたって連載した「トンネル技術者のための応用地質学入門」をベースに、加筆および整理してまとめたものである。本書では、最新のトンネル技術、地質学、ならびに、地質調査法などを挙げ、学生から実務者まで広範に満足させる内容となっている。

株式会社 土木工学社

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

土木情報 No.495

今月の主な入札結果

(7月10日～8月9日)

事業主体	工 事 名	請 負 会 社	請負額 単 位 百万円
九州農政局	沖永良部農業水利事業地下ダム止水壁(5工区)建設	奥村組	713.47
"	" (7工区) "	フジタ	1,197.9
北海道開発局	篠津中央二期農業水利事業旧石狩川頭首工樋門撤去建設	伊藤組土建	693.42
関東地整	新三国T改良その2	河本工業	270
"	京浜島地区共同溝補強その4	共立建設	235
鉄道・運輸機構	九州新幹線(西九州), 第1平山T外3カ所他	佐藤・村本・なかはらJV	2,490
東日本高速道路	東北中央道にしごうT	鉄建	3,995
"	東京外環道大泉JCT立坑	清水・熊谷JV	6,195
中日本高速道路	新東名道谷ヶ山T西	三井住友建設	9,340
西日本高速道路	高松道南唱谷T他1T	熊谷組	3,610
"	長崎道中尾T	フジタ	3,798
都・交通局	大江戸線木場車庫及び高松車庫耐震補強	化工建設	142.2
都・水道局	美住給水所から東大和市清原一丁目地内間送水管(2000mm)用T築造及びT内配管	前田・京急・常盤JV	2,674.8
都・下水道局	京島幹線	東急建設	2,264.90
"	王子第二ポンプ所建設その2	大豊建設	3,827.5
"	豊島区東池袋四丁目付近再構築	アイサワ工業	270
新潟県	補防交隧401-10-1号R459如月・師走隧道補修	第一建設工業	188.3
岡山県	R429公共道路(江与味第二T工)	アイサワ・梶岡JV	1,486.7
茨城県取手地方広域下水道組合	26国補第63-112号, 雨水枝線	大竹建設	114.9
札幌市	施設整備事業の内送水施設国庫補助事業白川第3送水管新設(山岳部)	銭高・日栄JV	6,224.18
水戸市	国補公下渡里第1雨水幹線(1工区)	秋山・上水戸関JV	101.7
小山市	雨ヶ谷処理区分新設第1工区	青木組	109.8
高崎市	烏川左岸雨水8号幹線築造(第2工区)	カワナベ・岩井・山富士JV	375
川口市	並木元町雨水調整池築造	銭高・邦栄JV	844.6
船橋市	二重川2号幹線管渠築造	協和エクシオ・松丸JV	1,144.41
横浜市	西部処理区上飯田地区下水道整備(その70)	奈良建設	212.46

岩盤地下空洞の設計と施工

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

B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(〒450円)



株式
会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メジャー神楽坂

電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

研究

圧密沈下起因するシールドトンネルの変形予測手法

(公財)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 松田 昌一

(公財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部トンネル研究室副主任研究員 仲田 昌一

(公財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員 佐藤 昌一

早稲田大学理工学術院 佐藤 昌一

① はじめに

シールド工法は、その優れた施工性から軟弱地盤中にトンネルを建設する場合にも多く適用されてきた。シールドトンネルは、一般的に力学的に有利な円形断面であり、土圧、水圧といった作用荷重を考慮して設計されていることから、構造安定性に影響するような変状が発生することはほとんどない。しかし、軟弱地盤中のシールドトンネルで、周辺地盤の広域的な圧密沈下が原因と想定される変形や覆工のひび割れが見られる場合があり、変状事例も報告されている^{1)~4)}。このような圧密沈下に起因するシールドトンネルの変状は、緩慢ながらも長期間にわたって進行することから、長期的な変形挙動を予測することが維持管理上重要であり、そのための予測手法の確立が求められている。

設計時に用いられる圧密付加荷重の考え方には、有限要素法を用いた土水連成解析で地下水位の低下に伴う付加荷重を算定する方法⁵⁾やトンネルの内空変位量から、はりばねモデルで付加荷重を逆算する方法⁶⁾などが提案されている。

以上を踏まえて、著者らは、圧密沈下に起因するシールドトンネルの変形挙動や変状の進行を、維持管理の実務で把握されているトンネル内空変位量の経時変化をもとに、土水連成解析を用いて

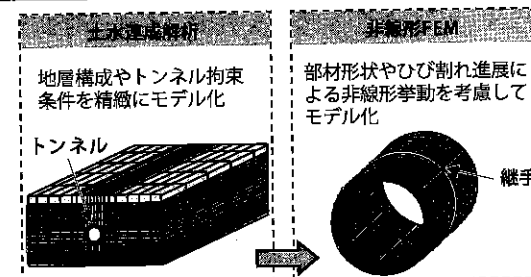


図-1 土水連成解析と非線形FEMを組合せた手法の概要

予測する方法について検討を行ってきた^{7)~9)}。ここでは、地盤を広域にモデル化した土水連成解析とトンネルをモデル化した非線形FEMを組合せて検討する方法(図-1)と、ひび割れによるリング剛性低下を簡便に評価する手法を構築し、これを土水連成解析に組込んだ予測手法を提案したので紹介する。

② 土水連成解析と非線形FEMを組合せた変状解析

圧密沈下に起因するシールドトンネルの変形挙動を予測するためには、地下水の動きと地盤の挙動を考慮できる土水連成解析を用いるのが有効と考えられる。ここで、土水連成解析で広域的な解析モデルを作成する場合、計算コストなどの制約から、トンネル部分を地盤のメッシュサイズに合わせるとともに、線形弾性体で表現するのが一般

的である。一方、変形に伴うひび割れの進展を把握するためには、コンクリートの非線形性を考慮する必要がある。そこで、土水連成解析でトンネルの内空変位を求めたうえで、これを入力値として非線形FEMで覆工の詳細なひび割れの進展過程を求める方法について検討した。

2-1 土水連成解析による長期変形挙動の算定

2-1-1 検証対象トンネル

対象としたシールドトンネルは、延長1,470m、外径6,900mm、覆工は、おもに中子形のRCセグメントが使用されており、1987年に竣工している。トンネルが存在する箇所の地質は図-2の縦断面図に示すとおり、層厚9.8mの透水層の下に層厚20～30mの軟弱な沖積粘性土層があり、この沖積層にトンネルは位置する。また、トンネル周辺地域は、1965年ごろまで地下水位の低下に伴う地表面の圧密沈下が生じ、その後、地下水位の回復により地表面沈下はほぼ収束しているが、トンネルが位置する沖積層は依然として収縮傾向にあることが報告されている⁹⁾。このことから、対象トンネルは、供用後に沖積粘性土層の圧密沈下の影響を受けているものと想定される。

一方、供用後から定期的に実施された内空変位測定結果から、トンネルは、鉛直方向に縮小し、水平方向に拡大する傾向にあることが確認されている。

2-1-2 解析モデルと解析方法

解析に用いた有限要素法モデルを図-3に示す。トンネルは剛性一様の線形弾性体とし、地盤の物性値は、近傍で実施された試験値と設計値にもとづき設定した。また、維持管理の実務で必要となるトンネル内空変位量の経時変化を求めることに主眼を置き、トンネルが位置する沖積粘性土層のみを経時的な挙動をする圧密層とし、土かぶりは内空変位計測断面位置における26.4mで一定とした。

縦断方向の解析範囲は、発進および到達立坑間の1,470mとし、横断方向は、側方境界における過剰間隙水圧の変動がトンネルの影響を受けないように十分大きな100mの範囲をモデル化した。

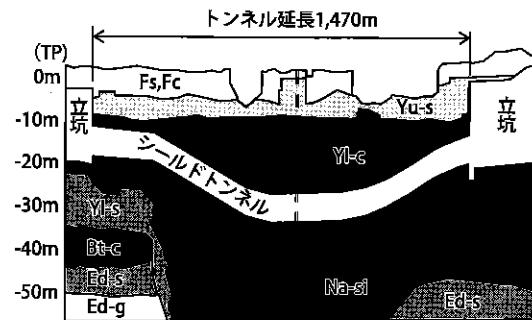


図-2 地質縦断面図

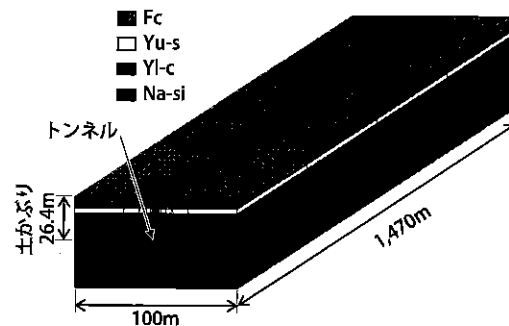


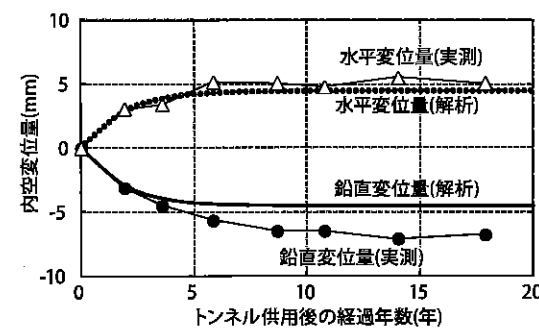
図-3 解析モデル(土水連成解析)

境界における変位拘束条件は、地盤は、底面の鉛直方向、側面の水平方向を固定とし、トンネルは、両端の立坑部で鉛直、水平方向を固定とした。また、境界における排水条件は、地表面と底面を排水、側方境界とトンネル外周面を非排水とした。

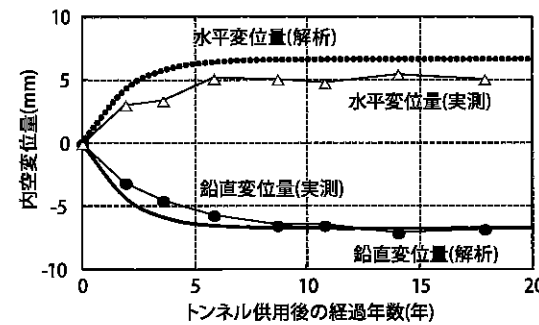
対象トンネルが位置する沖積粘性土層は、前述のように地下水位の変動に起因する圧密現象が発生している。そこで、解析モデルの地表面に等分布荷重を載荷することで過剰間隙水圧を発生させ、その消散による圧密沈下と内空変位を求めた。なお、この等分布荷重の大きさは、内空変位量の経時変化とフィッティングさせて求めた。

2-1-3 実測の内空変位量と解析結果の比較

図-4は、等分布荷重を100kPa、150kPaとしたときの内空変位量の解析結果と実測値を比較したものである。圧密沈下は鉛直方向の地盤変形であることから、この影響は内空変位のうち鉛直変位量に顕著に反映されると考えると、150kPaとして得られた鉛直変位量の収束値が約7mmで、実測値とよく適合していることがわかる。



(a) 等分布荷重100kPa



(b) 等分布荷重150kPa

図-4 内空変位量の経時変化

しかし、透水係数が大きく地下水位変動に追従する層は沖積粘性土層で浅い9.8mであることから、圧密沈下に起因する等分布荷重として想定できるのは、最大でも100kPa程度である。解析モデルでは、セグメント継手における剛性低下を考慮しているものの、土水連成解析では、地下水位変動以外の影響が、少なくとも1/3 (50kPa)程度見られる結果となった。

2-2 非線形FEMによるひび割れ進展過程の算定

2-2-1 解析モデルと解析方法

前述の土水連成解析で得られたトンネル内空変位量を利用して、セグメント1リングのひび割れ進展過程を求めた。非線形FEMの解析モデルを図-5に示す。コンクリートを8節点立体要素、鉄筋を2節点棒要素でモデル化し、両者の間に付着を考慮したばねを設置することにより、コンクリートと鉄筋の付着を考慮した⁹⁾。隣接するセグメント同士の接触や継手ボルトもばね要素を用いてモデル化した。セグメント外周の境界には、沖積粘性土層の弾性係数にもとづき設定した地盤ばねを

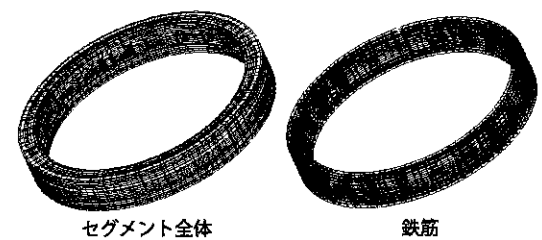


図-5 解析モデル(非線形FEM)

配置した。

解析に用いたコンクリート、鉄筋のヤング係数およびポアソン比は、セグメントの設計値をもとに設定した。コンクリートについては、引張側は、引張軟化特性¹⁰⁾を導入して非線形性を考慮し、圧縮側は降伏基準にモール・クーロン則を用いる完全弾塑性を考慮した構成式を用いた。ひび割れは、最大主応力が引張強度より大きくなる位置で最大主応力作用方向の直角方向に発生するものとし、引張強度を超過したあとに応力はすぐにゼロとせず、式(1)で定義する指数関数に従うものとした。

$$E_s = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = -c\sigma_{cr} \exp\{-c(\varepsilon - \varepsilon_{cr})\} \quad (1)$$

ここに、 E_s : 引張軟化係数、 c : 残留特性係数、 σ_{cr} : ひび割れ発生応力、 ε : ひずみ、 ε_{cr} : ひび割れ発生ひずみ

また、隣接するセグメント間のコンクリートどうしが接触しないように法線方向のばねを設け、ばね定数はコンクリートのヤング係数を考慮したノンテンションばねを、継手ボルトのばね値は線形ばねを設定した。

なお、式(1)中の残留特性係数 c 、 σ_{cr} 、 ε_{cr} 、コンクリートと鉄筋間のばね値は、既往の研究⁹⁾と設計値をもとに設定した。

2-2-2 解析結果

土水連成解析で求めた等分布荷重150kPa時のトンネル全周の内空変位分布の鉛直成分を入力値として、トンネル供用後に発生した覆工のひび割れ進展過程を求めた。

この解析で得られたひび割れを生じるひずみ量からの増分(式(1)中の $(\varepsilon - \varepsilon_{cr})$)で定義されるクラッキングひずみの分布図を図-6に示す。このクラッキングひずみが発生している箇所が、覆工のひび

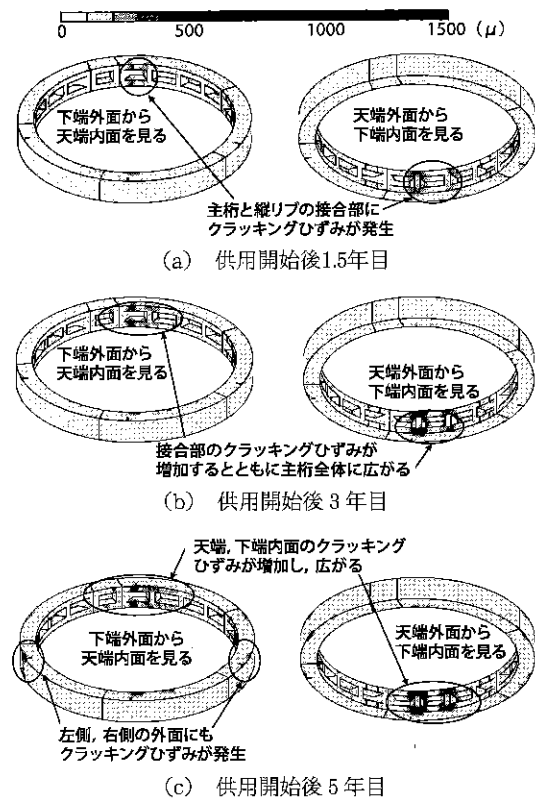


図-6 クラッキングひずみ

割れ発生箇所に対応している。クラッキングひずみは、供用後1.5年目に天端、下端内面側の主桁と縦リブの接合部で発生し、以降は同じ位置のひずみ量が増加するとともに主桁全体に広がった。また、5年目には左右の外面にも発生した。現場との比較が可能な天端内面側の最終的なクラッキングひずみの分布は、対象トンネルで観察された発生状況とほぼ一致している。

2-2-3 考察

土水連成解析と非線形FEMを組み合わせた解析を実施した結果、実測結果にほぼ対応した覆工のひび割れ発生状況を得ることができた。一方、土水連成解析については、地層構成や地下水位変動から想定される以上の等分布荷重を作用させる必要があった。これについては、覆工の剛性低下が土水連成解析で考慮されていないことも要因と考えられ、ひび割れ発生後の剛性低下を土水連成解析で考慮できれば、より実測値に近い解析結果が得られる可能性もあると考えた。

3 ひび割れによる剛性低下モデルの検討

土水連成解析で広域的なモデル化を行った場合、覆工の局所的なモデル化を必要とする非線形FEMの材料非線形の理論をそのまま適用すると計算時間やコストに問題がある。

そこで、セグメント継手における剛性低下をリング全体の曲げ剛性の低下で表現する修正慣用計算法にならって、覆工のひび割れ発生、進展による剛性低下の影響をリング様の剛性低下で評価することを目的として、下記に示すリング外圧試験を実施して実験的に検討した。

3-1 リング外圧試験

3-1-1 試験方法

リング外圧試験は、図-7に示すように、コンクリートリング供試体の天端部外面側に鉛直集中荷重を載荷し、荷重と載荷点-支持点間の内空変位(鉛直変位量)の関係を測定した。

使用したリング供試体は、外径360mm、肉厚30mmの下水道用鉄筋コンクリート管で、この管から幅100mm程度で切り出したものである。このコンクリート管3本からそれぞれ6本の供試体を切り出し、3本はそのまま(以下、「未載荷供試体」)、残りの3本は別途載荷試験を行い、ひび割れを発生させてから(以下、「載荷供試体」)リング外圧試験を実施した。

3-1-2 試験結果

表-1にリング外圧試験結果を示す。

ここでは、荷重-変位関係がほぼ直線とみなしうる範囲の上限であるピーク荷重の1/3相当の荷重強度を変位量で除した値をリング剛性とし、未載荷供試体と載荷供試体のリング剛性の比率を剛性低下率 α とした。また、載荷供試体に発生しているひび割れのうち、内外面の幅方向にほぼ貫通しているひび割れを軸方向ひび割れとして整理した。載荷供試体のうち、軸方向ひび割れに分類されるひび割れがない供試体の剛性低下率 α は最小で0.80、軸方向ひび割れが4本発生している供試体は0.38であった。

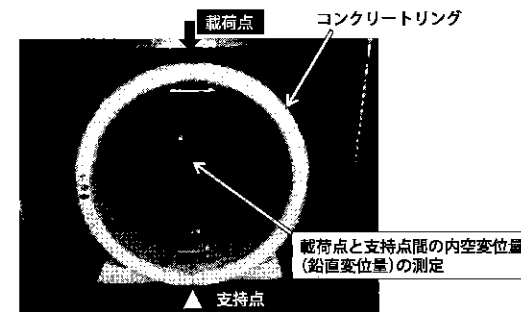


図-7 リング外圧試験

表-1 リング外圧試験結果

コンクリート 管番号	リング剛性(N/mm)		剛 性 低下率 α	軸 方 向 ひび割れ 数	
	未載荷* 供試体	載荷供試体			
		Case	値		
1	17,400	1-1	13,900	0.80	0
		1-2	11,900	0.68	1
		1-3	8,900	0.51	2
2	10,800	2-1	10,400	0.96	0
		2-2	10,000	0.93	0
		2-3	4,100	0.38	4
3	11,700	3-1	8,800	0.75	1
		3-2	7,400	0.63	1
		3-3	6,800	0.58	2

*3本の平均値

この試験結果より、軸方向ひび割れ数の増加に伴ってリング剛性は単調に低下することが確認できる。

3-2 ひび割れによる剛性低下モデルの誘導

リング外圧試験の結果から、ひび割れの発生、進展による影響をリング様の剛性低下で表現できる可能性が確認された。そこで、既往のシールドトンネルで見られる変形モードを考慮し、載荷方向に対してリング外面側および内面側における応力の引張、圧縮の分布が異なる4つの領域(上下左右の90°)を設定した。また、リング内外面で軸方向ひび割れが発生している領域の数をひび割れ発生密度 n ($0 \leq n \leq 4$)とし、ひび割れ発生密度 n と剛性低下率の関係を整理した。この結果を図-8に示す。

ここで、回帰式は、式(2)に示すように、ひび割れ発生密度 n の指数関数で定めることとし、

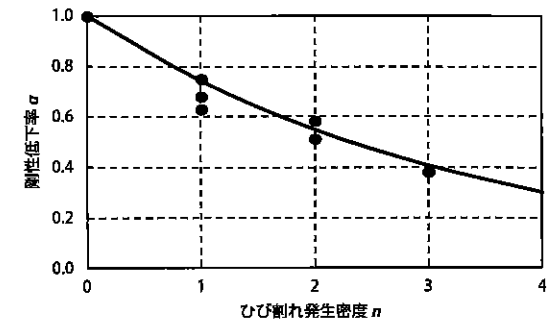


図-8 ひび割れ発生密度-剛性低下率の関係

ひび割れ発生密度 $n=0$ のとき剛性低下率1.0を通るように最小二乗法で定数 a を決定した。

$$\alpha = e^{an} \quad (2)$$

ここに、 α : 剛性低下率、 n : ひび割れ発生密度、 a : -0.3

また、式(2)を用い土水連成解析においてひび割れが発生したリングの応力-ひずみ関係を式(3)で表すこととし、ひび割れ発生と進展による剛性低下モデルとした。

$$\sigma = \alpha E_0 \epsilon \quad (3)$$

ここに、 σ : 応力、 α : 剛性低下率、 E_0 : 弾性係数、 ϵ : ひずみ

なお、ひび割れの発生はコンクリートや地盤材料のような粘着力と内部摩擦角を有する材料の破壊現象でモデル化するものとし、Drucker-Pragerの破壊基準を用いて判定するものとした。

3-3 剛性低下モデルと非線形FEMとの比較

3-3-1 解析方法

検証対象トンネルに、考案した剛性低下モデルと非線形FEMのモデルを利用して、鉛直集中荷重を載荷した解析を行い、両手法で得られたひび割れの発生、進展状況を比較した。剛性低下モデルでは、式(3)にもとづき、ひび割れ発生密度に応じて弾性係数を一様に低下させた。

3-3-2 解析結果および考察

両手法で得られたひび割れ発生と進展状況を図-9に示す。剛性低下モデルでは、鉛直変位量3mmの時点で、天端、下端の内面側にひび割れ発生と判定される要素が生じ($n=2$)、変位量が6mmになると左右の外面側にもひび割れ要素が生じて、ひび割れ発生密度 n が4となった。非線形FEM

と比較すると、定性的であるものの、ひび割れ発生密度は同様の結果を示しており、進展傾向についてもおおむね同様の結果が得られた。

また、剛性低下モデルと非線形FEMで得られた荷重-鉛直変位量の関係を図-10に示す。同図には、ひび割れによる剛性低下を考慮しない場合(以下、「線形モデル」)もあわせて図示している。この結果、ひび割れを考慮しない線形モデルの場合には、非線形FEMの結果と乖離しているが、ひび割れの発生と進展を考慮した剛性低下モデルを用いた場合には、非線形FEMとほぼ同等の値

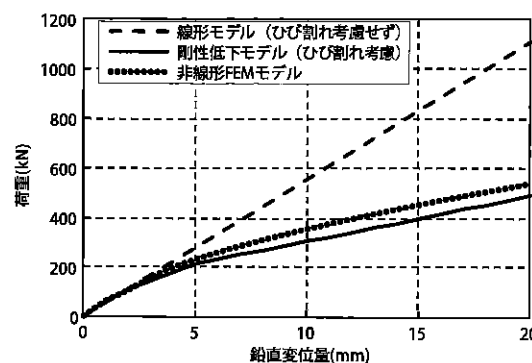
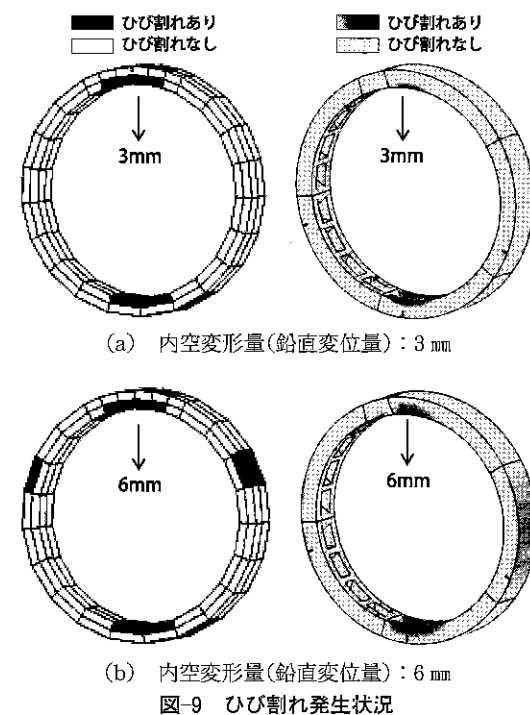


図-10 解析結果(荷重-鉛直変位量)

が得られていることがわかる。

以上の結果から、提案した剛性低下モデルを用いた解析手法は、ひび割れの発生と進展については概略的な把握となるものの、荷重と内空変位量の関係から決まる覆工のリング剛性は非線形FEMとほぼ同等の値が得られることが確認できた。

4 剛性低下モデルを用いた土水連成解析

4-1 解析方法および解析結果

この剛性低下モデルを組み込んだ土水連成解析を検証対象のシールドトンネルに適用し、ひび割れ発生状況と内空変位量を算定した。ここでは、解析モデルの地表面に作用させた等分布荷重は、地層構成や地下水位変動から想定される値の100 kPaとした。

図-11は、対象トンネルのひび割れ発生状況を示したものである。まず、供用開始後2年目にトンネル縦断方向中央部で天端、下端の内面側にひび割れが生じ、ひび割れ発生密度 n が2となった。その後、ひび割れが進展して、6年目にはひび割れ発生密度 n がすべて4となった。観察が可能な内面側については、概略的な把握であるも

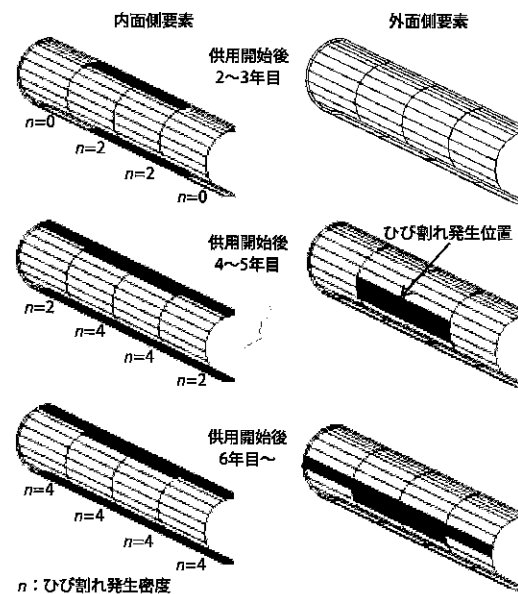


図-11 ひび割れ発生位置およびひび割れ発生密度

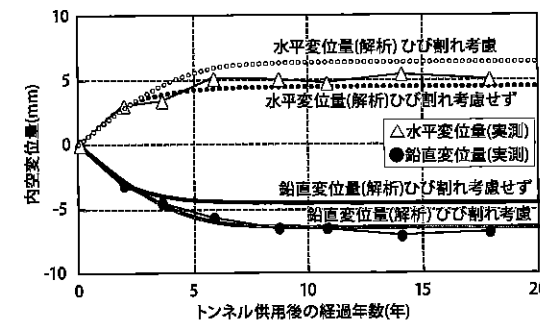


図-12 内空変位経時変化の実測値と解析値の比較
の、現場で確認されたひび割れと同様に天端面に発生しており発生位置は一致している。

一方、図-12は、図-4の内空変位量と比較したものである。ひび割れによるリング剛性低下を考慮する場合と考慮しない場合を示している。ひび割れの発生と進展によるリング剛性低下を考慮することにより、とくに、圧密の影響が顕著に表れる鉛直方向変位については、収束値のみならずひび割れ進展に相当する経時的な内空変位量の変化についても解析値と実測結果がおおむね合致していることがわかる。

4-2 まとめ

検証対象のシールドトンネルに、ひび割れに伴う剛性低下モデルを組み込んだ土水連成解析を適用した結果、地層構成や地下水位変動から想定される100kPaの等分布荷重の載荷で生じるトンネルの鉛直方向変位量の解析結果は、実測値に適切に対応するものであった。また、トンネルのひび割れの発生位置についても概略的には実測値と対応する結果が得られた。

5 おわりに

圧密沈下起因するシールドトンネルの変形を予測する手法として、土水連成解析と非線形FEMを組み合わせた方法と、ひび割れに伴う剛性低下モデルを組み込んだ土水連成解析による方法の2つを提案し、軟弱粘性土地盤中に建設されたシールドトンネルを対象に行った検討例を紹介した。

本手法が、維持管理の実務で既設シールドトンネルの長期挙動を予測するツールとして活用され

たら幸いである。また、剛性低下モデルについては、継手とひび割れの相互効果による複合的な影響などがあると考えられるが、それを分析できるデータが本研究では得ることができなかった。今後、データを蓄積して本手法を検証し、精度を高めていきたいと考える。

最後に、本研究の実施にあたり、ご協力いただいた方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 齊藤正幸・古田勝・山本稔：沖積層地盤に構築したシールドトンネルの変形に関する考察，トンネル工学研究発表会論文・報告集，Vol.4，pp.55-62，1994。
- 2) 古田勝・野邑敏行：地下鉄シールドトンネルの長期間における断面変形に関する考察，地下空間シンポジウム論文・報告集，Vol.12，pp.207-212，2007。
- 3) 津野究・三浦孝智・石川幸宏・山本努・河畑充弘：内空断面測定および変状展開図より把握したシールドトンネルの変形傾向，トンネル工学報告集，Vol.17，pp.257-261，2007。
- 4) 有泉毅・五十嵐寛昌・金子俊輔・永谷英基・山崎剛・日下部治：周辺地盤の圧密沈下に伴う既設シールドトンネル作用荷重の変化メカニズム，土木学会論文集，No.750/3-65，pp.115-134，2003。
- 5) 国土交通省鉄道局・鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説，シールドトンネル，丸善，2002。
- 6) 焼田真司・仲山貴司・小西真治・赤木寛一：シールドトンネルのひび割れ進展過程に関する一考察，土木学会論文集F1(トンネル工学)特集号，Vol.67，No.3，pp.109-116，2011。
- 7) 焼田真司・仲山貴司・津野究・高橋博樹・小宮一仁・赤木寛一：地盤沈下起因するシールドトンネルの長期変形挙動に関する解析的検討，土木学会論文集C(地圏工学)，Vol.69，No.4，pp.457-468，2013。
- 8) 東京都環境局：東京都の地盤沈下と地下水の再検証について，2011。
- 9) 新井泰・杜世開・山本努・渡辺忠朋：非線形挙動を考慮した開削トンネルのひび割れ調査結果シミュレーション，トンネル工学論文集，Vol.15，pp.173-181，2005。
- 10) 吉川弘道・西藤厚・金刀督純：引張強度の空間的変動を考慮したコンクリートのFEM破壊シミュレーション，コンクリート工学論文集，Vol.7，pp.103-117，1996。

トンネルジャーナル

一般社団法人STTG工法協会設立

東京電設サービスとSTTG工法(Super Two Top Grout Technology)に関係した15社が一般社団法人STTG工法協会を設立し、6月23日に第1回の総会を開催した。同協会は、同工法を標準化、改善するとともに、広く周知幅広い分野で工法を普及させることを目的とする。第1回目となる臨時社員総会では、入会した15社などが参集して、第1期の事業計画や役員選任などの議案を承認した。

同工法は、東京電設サービスと東京電力ほかが共同開発し、昨年6月に特許取得したもので、漏水箇所に薬剤を注入し、止水する工法のひとつ。従来のウレタン系止水材などに比べ、硬化後の柔軟性や付着性に優れた石油樹脂・アクリル系注入材のアルファ・ゾルSTTGを主材とするため、隙間の動きに追随し、止水性能を維持することを特徴とする。

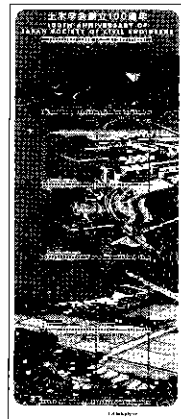
アルファ・ゾルSTTGは、硬化後の伸びや付着性能、耐久性に優れた反面、初期の硬化時間(ゲルタイム)が2～4時間と長いため、施工中に材料が水に流されやすく、多量の漏水部では適用困難とさ



STTG工法の施工状況

れていた。同工法では、アルファ・ゾルにウレタンプレポリマーを硬化促進剤として混合することによりアルファ・ゾルのゲルタイムを要求性能の範囲(5～20分程度)となるように早めている。施工は、両液をそれぞれの専用ポンプで圧送し、混合割合を制御しながら注入直前に攪拌混合し、あらかじめ設置した注入ピンを介して補修部位に注入する。

土木学会創立100周年記念切手を発売



日本郵便は、土木学会が11月に創立100周年を迎えることを記念して、「土木学会創立100周年記念切手」を発行する。

記念切手は、日本郵便の切手デザイナーと土木学会会員の協働によりのデザインされたもので、人々が文明的な暮らしをするために、人間らしい環境を整える仕事が土木であり、海から山に至る風景の中にさまざまな土木の仕事があり、人々の暮らしを支えていることを、郵便切手シート全体で表現しているという。切手に描かれた風景画の中には30種類以上の土木の仕事が配置されている。原画の作者を大日本コンサルタント景観デザイン室の松崎喬氏、切手デザイナーを日本郵便の玉木明氏、助言・監修を福井恒明・法政大学教授が務めた。

切手の発行は平成26年9月1日(月)を予定し、1シートに82円切手が10枚配置され、価格は820円。日本郵便銀座郵便局で通信販売を行っているほか、インターネットでも通信販売を行っている。

建設工事の地質診断と処方

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



株式 土木工学社

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

連載講座

都市トンネルのための地盤改良工法(4)

—セメント固化改良工法(2)—

「都市トンネルのための地盤改良工法」連載講座小委員会

① はじめに

本講座では、都市トンネルのための地盤改良工法として、セメント固化改良工法を適用した事例を紹介する。都市トンネルを構築するために実施する地盤改良は、時間的な制約や、敷地上的な制約など、施工的な制約が多いことが特徴である。今回は、各工法の特徴を活かし、施工的な制約や経済性を考慮した4事例を紹介する。

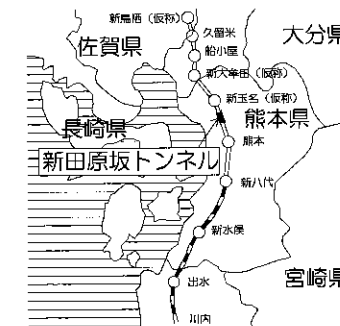


図-1 位置図

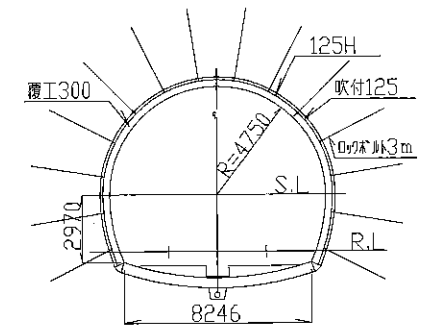


図-2 トンネル断面図

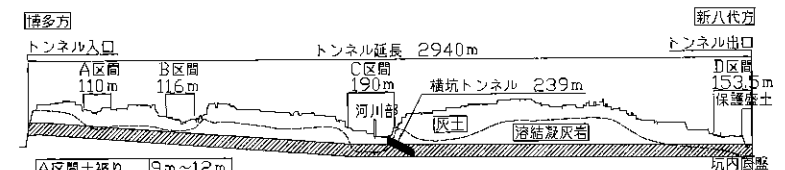


図-3 小土かぶり区間

② 事例1：トンネル防護への機械攪拌工法の適用

都市トンネルでの地盤改良工法の適用事例として、トンネルの防護工に機械攪拌工法を用いた事例を紹介する。九州新幹線・新田原坂トンネルは、博多・新八代間(約130km)のうち、熊本市北部の新玉名駅～熊本駅間に位置する全長2,940mのトンネルである(図-1, 2)。トンネル土かぶりが全体に小さく(最大29m, 最小4.5m)、表層の灰土は変形係数、強度が低いこと($E=4.1\text{MPa}$, $q_u=0.06\text{N/mm}^2$)に加えて、鋭敏比が高く施工中の強度低下が懸念されたため、地上より地盤改良施工後にNATMでトンネル掘削を実施した事例である。

2-1 工事概要

工事名称：九州新幹線、新田原坂トンネル
施工場所：熊本県鹿本郡植木町地内～熊本市地内
工期：平成16年3月25日～平成21年3月24日
発注者：鉄道・運輸機構九州新幹線建設局
施工者：鹿島・大日本土木・丸昭・橋口特定建設工事共同企業体
工事内容：トンネル延長 本坑 2,940m 横坑 239m

表-1 補助工法一覧

区 間	延長(m)	工 法	工 法 名	最大改良深さ(m)	改良厚の決定方法
A区間	110	機械攪拌+高圧噴射併用	ジャックスマン	16	ゆるみ土圧式
B区間	116	トレンチャー式機械攪拌	パワーブレンダー	8	全層改良
C区間	178	機械攪拌+高圧噴射併用	ジャックスマン	16	ゆるみ土圧式
C区間(河川)	12	高圧噴射	スーパージェットミディ	16	全層改良
D区間	116.5	機械攪拌+高圧噴射併用	ジャックスマン	14	ゆるみ土圧式

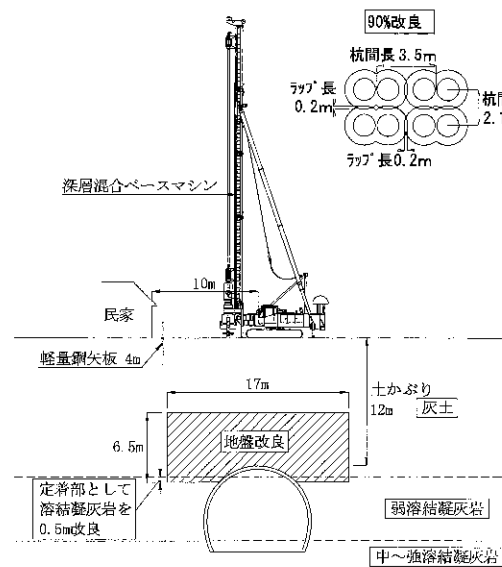


図-4 深層混合処理工法適用断面

地盤改良工 569.5m(A区間110m,
B区間116m, C区間190m, D区間
153.5m)(図-3)

2-2 小土かぶり区間地盤改良工法の施工概要

小土かぶりの灰土区間(A~D区間)(図-3)に対して、採用した地盤改良工法の一覧を表-1に示す。

2-3 地盤改良工法の選定

A, C, D区間は、最大改良深さが14~16mであり、中層混合では対応が不可能であったため、深層混合処理工法(ジャックスマン工法)を採用した(図-4)。ジャックスマン工法は、機械攪拌+高圧噴射併用工法であり、大口径攪拌翼の先端から高圧硬化材を噴射することにより、杭状改良体の一体化が図れるオーバーラップ改良を可能にした工法である。深層混合処理工法機がベースとなるため、施工機械は大型であるが、高圧噴射攪拌工法と同様に改良体の一体化が図れるため、最近では都

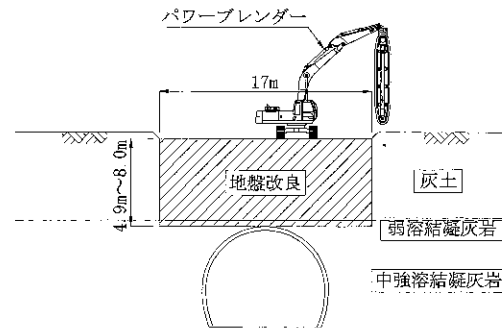


図-5 中層混合処理工法適用断面

市トンネルで多くの実績がある工法である。機械攪拌+高圧噴射併用工法の特徴を以下に示す。

- ① 通常の機械攪拌工法が、改良体同士の一体化が難しいのに対し、高圧噴射併用によって改良体どうしの一体化が可能
- ② 通常の二軸型の機械攪拌に比べて改良径が大きい(従来改良体平面積 $1.5\text{m}^2 \rightarrow 7.2\text{m}^2$)
- ③ 高圧噴射併用によって礫や硬質粘土に対する適用性が高い。

今回の改良範囲はトンネル掘削に伴うゆるみ域とし、FEM解析による事前検討を実施し定めた。なお、B区間は改良深さが浅いため(最大8m)、パワーブレンダーによる全層改良を実施している(図-5)。

2-4 施工結果

表-2にトンネル掘削における計測結果を示す。各区間において天端沈下・内空変位・地表面沈下は10mm以下となっており、地盤改良による地盤変形抑制効果が確認できた。A区間を対象に事前に行ったFEM解析の結果(地表面沈下19mm、天端沈下10mm、内空変位20mm)と比較しても小さな値となっており、トンネル掘削時の肌落ちなどのトラブルもなく良好な改良体が構築確認できている。

表-2 トンネル掘削時の計測結果

区 間	測 点	土かぶり(m)	工 法	地表面沈下(mm)	天端沈下(mm)	内空変位(mm)
A区間	86km760m	10.9	機械攪拌+高圧噴射併用	-9	-7	-2
B区間	87km140m	5.5	トレンチャー式機械攪拌	-10	-5	-4
C区間	87km840m	8.7	機械攪拌+高圧噴射併用	-3	-4	-3
C区間(河川)	87km930m	6.0	高圧噴射	-2	-5	-2
D区間	89km305m	6.2	機械攪拌+高圧噴射併用	-10	-8	+3

※-がトンネル内側方向への変位

③ 事例2：開削トンネルへの機械攪拌工法の適用

3-1 概要

超軟弱な埋立地盤での道路建設において深さ10m程度の開削工事の土留めの安定、側方変位の抑止を目的として機械攪拌工法が採用された東京湾岸道路(羽田地区)^{1),2)}の事例を紹介する。本事例では改良目的が箇所ごとに異なり、それに対応するよう改良配置、改良強度が設定している。以下、詳細に説明する。

3-2 地盤状況

当地区の土質を図-6に示す。洪積砂質土層 D_s と砂泥層 D_{sc} を基盤とし、洪積粘性土層 D_c 、砂質土層 D_s 、沖積砂質土 A_s および粘性土 A_c が分布し、最上部を浚渫土で盛土された埋土層 $B_s(A_{c1}, A_{c0}, \text{建設発生土}B_s)$ で構成されている。

B_s 層は自然含水比 W_n が10~140%、湿潤密度 ρ_t が $1.30 \sim 1.80\text{g/cm}^3$ といずれもばらつきが著しい。また N 値は0~1であり、 $N=0$ のところが多い。とくに A_{c0} 層は試料自体が自立しないほど軟弱な地盤である。 A_{c1} 層は、所々に砂分が混入しており、沖積層と浚渫土が混ざり合った状態となっている。また瓦礫、プラスチック、木片、ビニール、布なども混入しており、きわめて不均質である。AP-10m以深の N 値は0~5程度で深度方向に漸増する傾向がみられる。

3-3 地盤改良工の目的

本工事における大規模な掘削について、主に以下の6つが課題として挙げられた。

- ① 掘削幅が広いので、土質性状の相違や掘削部周辺地盤の荷重状況に起因する偏土圧によ

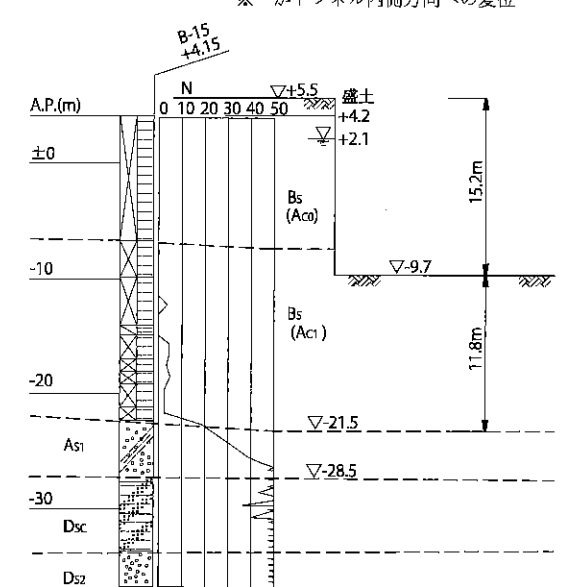


図-6 土質柱状図と検討断面

- ② 山留め壁への作用荷重が不均一となり、山留め架構を含め地盤全体の安全性に欠ける。
- ③ 埋土層は、液性指数が高く自然含水状態で相対的に軟弱であり、また山留め壁の変形などで乱されると強度低下が起りやすいため、山留め壁に発生する断面力が増大する。
- ④ 超軟弱地盤で幅70m、深さ10mの掘削を行うと山留め壁根入れ部分の地盤が全塑性となり、山留め壁の変形とともに発生する断面力も大きくなるため、掘削時の安定性に欠ける。
- ⑤ 掘削に伴う掘削底面の変形量が大きくなると、底面に根入れしている中間杭が上方に持ち上がり、切梁に曲げ応力が作用し、支保工さらには山留め架構全体が不安定になる。
- ⑥ 掘削対象土が超軟弱で掘削時の建設機械のトラフィカビリティが確保できない。
- ⑦ 躯体の施工は平面的に分割施工となり、施

工段階において、トンネル躯体および埋戻し土の重量に対し地盤の変形(沈下)が発生し、施工ブロックごとの不等沈下が生じる。

上記の対策として地盤改良が計画された。詳細検討の結果、強度増加、沈下低減、改良地盤の均一性および工期の観点から、機械攪拌工法(ここではDJM工法)を採用することとなった。

3-4 地盤改良工の設計

本事例の地盤改良仕様を表-3と図-7, 8に示す。

(1) 掘削部(図-8中①), 床付面直下5mの範囲(図-8中②)

改良体自体は強度をもつが、未改良部の強度増加がないため、改良率を下げると地盤強度が不均一となり山留め壁の安定性、掘削の施工性が著しく悪化する。そのため、改良率を78.5%と高にした。

(2) 床付面直下5m以深(図-8中③)

支持力の増強および沈下低減を目的として、地中応力に応じた改良率52.3%の地盤改良として施工本数を低減しコスト抑制を図った。

(3) 山留め背面(図-8中④)

山留め背面の地盤改良範囲は内部摩擦角 $\phi=0^\circ$ とし、主働崩壊角で含まれる範囲とした。

3-5 地盤改良工の施工管理および概況

地盤改良工の施工管理は、出来上がり直接目視で観察しながら施工できないため、計器による管理が主体となる。打設前には「打設位置の確認」、攪拌軸の鉛直性の確認が必要となる。打設中は改良材の安定供給と均一混合攪拌の確認が重要となる。

DJM工法の計測項目は、空気圧力、流量、攪拌軸の回転速度、トルク、貫入・引抜き速度および深度、改良材吐出量である。改良材の吐出量、貫入・引抜き速度、深度はオシログラフで記録され確認できる。

当工事での機械攪拌工法の採用は、トンネル部とU形擁壁部で延長で976m、面積で約11.5万 m^2 であった。改良体の規模は、本数で約9万本、延べ長さ約1,800km(1本あたり平均改良柱長さ約20m)という大規模工事で、地盤改良は22か月で完了した。

④ 事例3：シールドトンネル発進到達防護への高圧噴射攪拌工法の適用

大深度シールドトンネルの発進到達防護工として高圧噴射攪拌工法(SUPERJET工法)が用いられた事例を報告する。

4-1 工事概要

本工事は、中部電力(株)川越火力発電所と東邦ガス(株)四日市工場および両社が共同運用する知多地区LNG基地間を天然ガスのパイプラインで

結ぶものである。

工事は、川越立坑、知多立坑の双方向からシールドで掘進し、海底下で地中接合する1工区と、四日市立坑からシールドで掘進し、川越立坑へ到達する2工区からなり、その掘進深度は、それぞれ

表-4 工事概要(1工区)

工事名称	伊勢湾横断ガスパイプライン設置工事のうち土木工事
発注者	中部電力(株)
工期	2008年4月～2011年1月
工事場所	三重県三重郡川越町～愛知県知多市南浜町
規模	泥水シールド工法 延長13.3km 仕上り内径3.0m

表-5 工事概要(2工区)

工事名称	伊勢湾横断ガスパイプライン設置工事(シールド土木工事)
発注者	東邦ガス(株)
工期	2008年4月～2011年1月
工事場所	三重県四日市市霞ヶ浦地区～三重県三重郡川越町
規模	泥水シールド工法 延長3.99km 仕上り内径2.0m

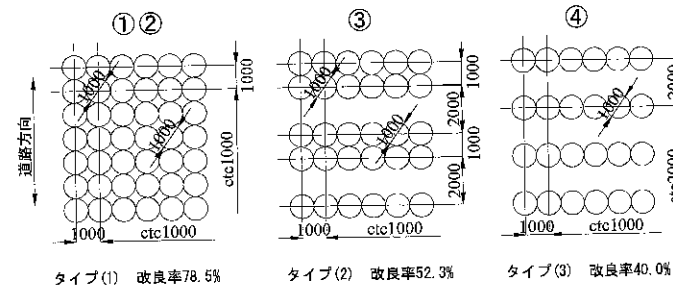


図-7 改良体の配置詳細

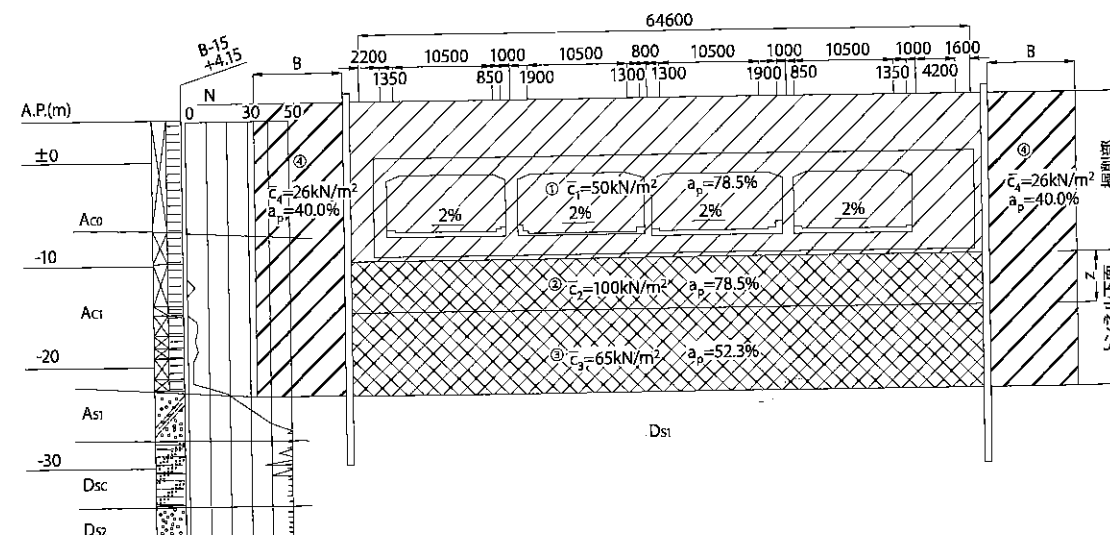


図-8 土質柱状図と地盤改良仕様

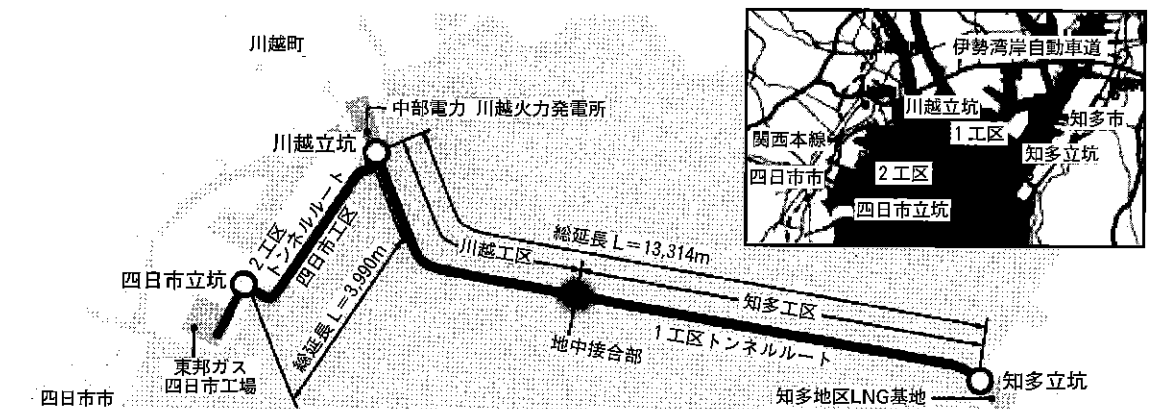


図-9 平面図^③

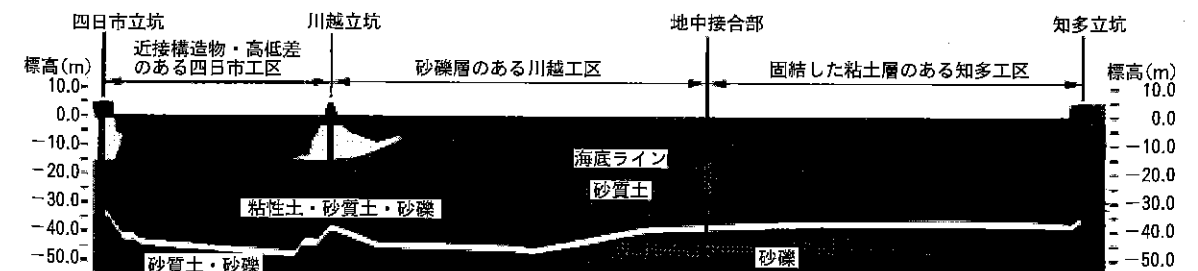
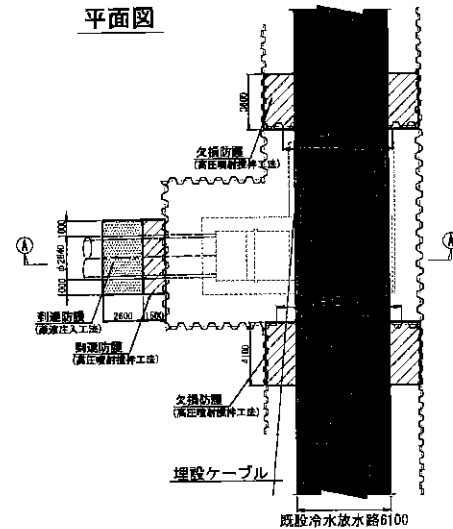


図-10 縦断面図^③

平面図



A-A 断面図

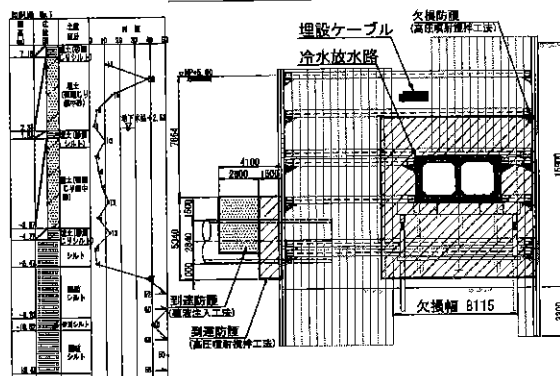


図-14 平断面図

の改良径は $\phi 4.5\text{m}$ のため、改良目的を達成できない。また、②貫通施工案は、放水路内の流量が3t/秒と多いため施工は不可能である。

そこで、従来工法から更に大口径化と高速化を図った新技術のJETCRETE工法による改良径8.5mを計画した(③案)。本工法を採用するにあたっては、同立坑内で計画されている推進工法の到達防護を兼ねて、改良径8.5mの試験施工を実施し、その結果を欠損防護の施工に反映する計画とした。

5-2-3 地盤改良の試験施工

過去の施工実績にもとづき施工仕様(噴射圧力・流量・時間など)を設定し、試験施工を実施した。

7日間の養生後に、図-15に示す位置にてコアボーリングによる試料採取を行い、改良径の確認を実施した。その結果を表-9に示す。

試験施工の結果、シルト層では改良径8.5mを確認することができたが、埋土層は、所定の改良径を確認することができなかった。その原因として以下の2点が想定された。

- ① 施工時に数多くの木片などが、地上にスライムとともに排出されていたことから、埋土内の支障物がジェット噴流の妨げとなり改良径が減少した。
- ② 埋土の粒度分布が悪いため、施工中に埋土が改良体内へ崩落し、出来形へ影響を与えた。

表-8 対策案

対策案	①大口径地盤改良工法(SUPERJET)	②貫通施工案	③新技術(JETCRETE)
配置図			
数量	—	SUPERJET $\phi 4.5\text{m}$, 3本 SUPERJET-MIDI $\phi 3.2\text{m}$, 4本	JETCRETE $\phi 8.5\text{m}$, 2本
評価	× 放水路際からのみの施工では、改良体がラップしない。	× 放水路を貫通しての施工は、水路内の流量が多いため施工ができない。	○ $\phi 7.0\text{m}$ の実績があるが、試験施工が必要。

表-9 コア採取の結果

土層	コア採取位置		
	①改良径6.5m	②改良径7.5m	③改良径8.5m
シルト層	○	○	○
埋土層	○	×	×

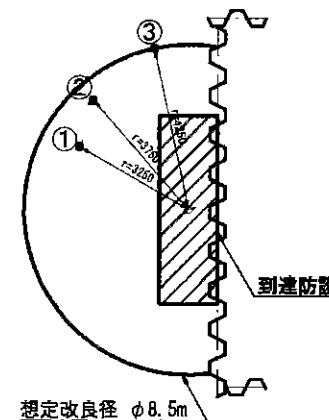


図-15 改良径確認位置図

5-2-4 欠損防護の施工

試験施工の結果を踏まえ、改良径(8.5m)を確保するために必要となる切削エネルギーを逆算し、施工仕様(噴射圧力・流量・時間など)を見直すとともに、地山崩壊による改良体への悪影響を防ぐため、一度目の造成終了後に再度、ロッドを挿入し、二度目の攪拌混合を行った。

5-2-5 結果

前述した対策を講じることにより、写真-2に示すとおり掘削面に未改良部は見られず、出水などのトラブルもなく、無事床付けが完了した。

⑥ おわりに

都市トンネルのための地盤改良として、セメント固化改良工法について2回にわたって掲載した。本講座では、いわゆる「機械攪拌工法」「高圧噴射攪拌工法」という代表的なセメント固化改良工法について、その特徴と設計法、施工方法、品質管理および事例について紹介した。セメント固化改良工法は、工事期間中の「仮設」としての役割に加えて、「本設」として震災復旧や耐震補強な

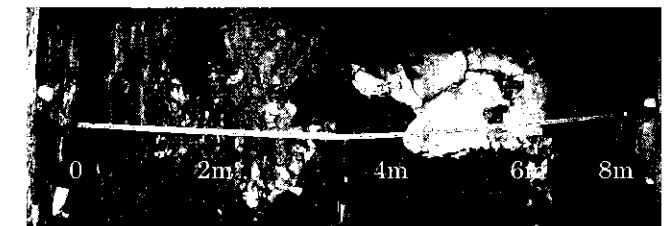


写真-2

ど活用事例が多いのも特徴である。現在も高品質化、施工能力の向上、周辺への影響低減など新たな技術開発、工法開発が進んでいる。本講座が、地盤改良の目的と工法の特徴を理解し、適切な設計・施工・品質管理を通じて有益な地盤改良適用の一助になることを期待する。

(文責：坂梨利男・藤崎勝利/鹿島建設(株)、田中博之/ケミカルグラウト(株)、竹内秀克/不動テトラ(株))

参考文献

- 1) 山川・飯田：東京湾岸道路(羽田地区)におけるDJM工法の設計と施工，土木技術，Vol.43，No.10，pp.50-63，1988.10.
- 2) 武山・中條：羽田道路における地盤改良—超軟弱地盤の大規模改良—，土木技術，Vol.46，No.12，pp.70-78，1991.12.
- 3) 鹿島建設：KAJIMA MONTHLY REPORT DIGEST，2010.11.
http://www.kajima.co.jp/news/digest/nov_2010/site/index-j.html
- 4) SUPERJET研究会：SUPERJET工法 技術資料，2010.11.

セグメントの新技術

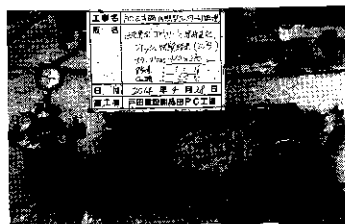
小泉 淳 監修 B5判 132頁 本体定価 2,000円(¥300円)

株式会社 土木工学社

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

工法・技術・製品ニュース

技術 低炭素型コンクリート「スラグリート」を開発



低炭素型コンクリートの経時性状確認結果(製造から90分経過)

西松建設(株)技術研究所
TEL 03-3502-0249
http://www.nishimatsu.co.jp
戸田建設(株)価値創造推進開発センター
TEL 03-3535-6299
http://www.toda.co.jp

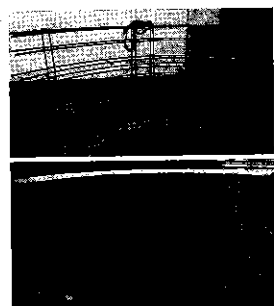
西松建設と戸田建設は共同で、製鉄所の副産物である高炉スラグ微粉末をセメント代替材として積極的に活用した低炭素型コンクリート「スラグリート」を開発し、実機プラントでの製造や施工性などの性能検証を終え、実用化に目途をつけたと発表した。

スラグリートは、セメント質量の最大90%を製鉄副産物である高炉スラグ微粉末のみで置換したセメント使用量のきわめて少ないコンクリート。高炉スラグ微粉末を多く含んだ配合に適した特殊混和剤を開発した

ことで、コンクリートのフレッシュ性状に適度な流動性と所要の経時保持性を維持させたまま、普通コンクリートと同等レベルの強度や耐久性を確保した。

コンクリート製造時の二酸化炭素排出量を、試算上、一般的な普通コンクリート(W/C=55%)と比較すると約80%削減できるほか、セメント使用量の大幅な削減により、コンクリート温度の上昇が抑制され、マスコンクリート構造物における温度ひび割れの発生リスクを低減できるとしている。

技術 アラミド繊維を混入したRCセグメントの構造性能を確認



AFRCセグメントの配筋と破壊状況

西松建設(株)技術研究所
TEL 03-3502-0247
http://www.nishimatsu.co.jp

西松建設は、シールドトンネルの覆工に用いるセグメントに、構造材としてアラミド繊維を混入したRCセグメント「AFRCセグメント」を開発したと発表した。

一般的なRCセグメント供試体をベースに、配筋筋量(せん断補強筋)を1/4まで減らし、アラミド繊維を0.5vol%混入したAFRCセグメント供試体を作成し、その構造性能をRCセグメント供試体と比較した。その結果、同等以上の耐力を有することが認められたほか、変形性能が

向上することも確認され、同セグメントのじん性の高さが確認できたとしている。

シールドトンネルは近年、大深度や小土かぶり、長距離高速掘進など厳しい荷重条件下での施工が増えており、剝落防止や変形への追従性を期待して、鋼繊維を混入したRCセグメントの適用は始まっていたが、鋼繊維による錆の発生が課題だった。アラミド繊維は強度特性に優れ、錆が発生せず、美観に優れるなどの利点がある。

製品 燃料消費量を飛躍的に低減した11tクラス油圧ショベル



キャタピラー・ジャパン(株)
コーポレートパブリック・アフェアーズ・ジャパン
Tel 03-5717-1122
E-mail: cjl-public@cat.com

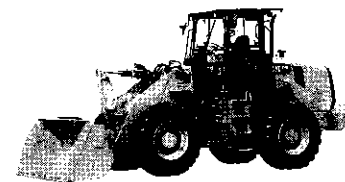
キャタピラー・ジャパンは、燃費性能の飛躍的な向上により燃料コストを大幅に低減するとともに、オフロード法2014年基準をクリア(届出準備中)する環境性能を備えた11tクラスの油圧ショベルを、新たに「Fシリーズ」として発売した。Caterpillarでは、国内初のオフロード法2014年基準をクリアする製品。

今回発売したCat 311F L RR 汎用小旋回型油圧ショベル(バケット容

量0.5m³、運転質量12.0t)は、Cat 311D RR 汎用小旋回型油圧ショベルのフルモデルチェンジ機。

従来機に比べ、燃料消費量を約20%低減したほか、標準バケットの容量アップなどにより燃料生産性も向上している。さらに、先進の排出ガスクリーン化技術により、尿素SCRシステムを採用することなく、オフロード法2014年基準をクリアする環境性能を備えている。

製品 オフロード法2011年基準適合のホイールローダを新発売



CAT914K

キャタピラー・ジャパン(株)
コーポレートパブリック・アフェアーズ・ジャパン
Tel 03-5717-1122
E-mail: cjl-public@cat.com

キャタピラー・ジャパンはホイールローダ2機種を発売した。

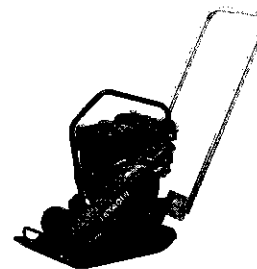
今回発売したのは、Cat 910Kホイールローダ(バケット容量1.3m³、運転質量6.9t)とCat 914Kホイールローダ(同1.5m³、7.9t)で、それぞれCat 910H、Cat 914Gのフルモデルチェンジ機。

環境性能と燃費効率をさらに向上させた新エンジンを搭載し、オフロード法2011年基準に適合する。また、

クラストップの常用荷重と小回り性を持ち、電子制御HST(ハイドロスタティックトランスミッション)を搭載して得られるスムーズでパワフルな走行性能などにより、高い生産性を実現した。

広い作業視界を確保したROPS/FOPS規格対応の新型キャブや、左右・後方の3方向に大きく開くサービスドアを装備するなど、運転環境やサービス性も向上した。

製品 小型締固め機械ZV-Pシリーズに軽量化仕様をラインアップ



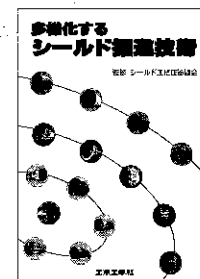
(株)日立建機カミーノ営業本部
Tel 048-931-2411
www.hitachi-kenki.co.jp/oamino/

日立建機カミーノは、ZV60PFLプレートコンパクタを発売した。

プレートコンパクタZV-Pシリーズ(2011年発売)に、利用者の声を反映させ「軽量化(Light)」仕様の同機を追加した。

クラス最軽量化、および大型取っ手の採用により、運搬作業性を向上させ、エンジン防振ゴム、ハンドル防振ゴム、ハンドルストップゴムによる3重防振設計により、手元振

動を低減したことで、作業性を向上させた。また、エンジンオイルドレン部の清掃性を考慮し、フラットでコンパクトなフレーム構造を採用したほか、キャブレター整備作業に配慮したハンドル配置など、整備性に配慮をした。さらに、耐久性を持たせるため、早期摩耗しやすい底板後部を二重構造とし、セーフティクッションの採用により輸送時の不意の落下などによる機械損傷を防止した。



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



解説

文献紹介



- 塩谷智弘・上新原公治：2.シールド工事におけるトラブル事例とその対応，地下建設工事においてトラブルが発生しやすい地盤の特性と対応技術，地盤工学会誌，Vol.62，No.4，2014.4.
- 小暮敏昭：東京メトロにおける水害対策の取組み，特集/異常気象と激甚化する災害を考える，土木学会誌，Vol.99，No.4，2014.4.
- 特集/直す，土木技術，Vol.69，No.5，2014.5.
- 奥野正富・井上雅人・木下聖司：3.推進工事におけるトラブル事例とその対応，地下建設工事においてトラブルが発生しやすい地盤の特性と対応技術，地盤工学会誌，Vol.62，No.5，2014.5.
- 特集/知っておくと得する(知らないとしくじる)推進工事のポイント<計画編>，月刊推進技術，Vol.28，No.5，2014.5.
- 長山喜則・水嶋浩治・高橋祐吏：4.開削工事におけるトラブル事例とその対応，地下建設工事においてトラブルが発生しやすい地盤の特性と対応技術，地盤工学会誌，Vol.62，No.6，2014.6.
- 特集/知っておくと得する(知らないとしくじる)推進工事のポイント<施工管理編>，月刊推進技術，Vol.28，No.6，2014.6.
- 中野正明：管路を押す，管路構造物を押して地中に埋設する推進工法の技術と海外展開，特集/押す，土木技術，Vol.69，No.7，2014.7.
- 川合洋二：切羽のないボックス推進工法(SFT工法)，最新のアンダーパス技術の紹介，特集/押す，土木技術，Vol.69，No.7，2014.7.
- 特集/地中インフラストラクチャーの維持管理，基礎工，Vol.42，No.7，2014.7.
- 水嶋浩治・勘定茂：5.山岳トンネル(NATM)工事におけるトラブル事例とその対応，地下建設工事においてトラブルが発生しやすい地盤の特性と対応技術，地盤工学会誌，Vol.62，No.7，2014.7.
- 響田孝宏・橋本正：6.海外工事におけるトラブル事例とその対応，地下建設工事においてトラブルが発生しやすい地盤の特性と対応技術，地盤工学会誌，Vol.62，No.7，2014.7.
- 本條忠應・植田昌宏・小郷嘉礼：孕みだし変状を有する

小断面水路トンネルの機能診断調査，水土の知，Vol.82，No.7，2014.7.

特集/日本の推進技術・最前線，月刊推進技術，Vol.28，No.7，2014.7.

研究・開発

舩添和久・安部正道：時速50km走行で道路トンネルの効率的点検・調査，走行型計測車両「MIMM」によるトンネル点検の新技術，建設機械，Vol.50，No.6，2014.6.

久保昌史：画像診断によるコンクリート点検調査および表層品質評価システム，建設機械，Vol.50，No.6，2014.6.

計画・設計

吉田久・岩淵伸哉：津軽ダム水質保全計画，清水パイプ管の渡河部の工法検討，ダム技術，No.334，2014.7.

施工

特集/施工と管材のコラボで難工事を克服，高規格・高性能推進管の実態，月刊推進技術，Vol.28，No.4，2014.4.

伊達健介・山本拓治・竹内仁哉・金沢智彦：極超微粒子セメントを利用したグラウト注入，特集/固める，土木技術，Vol.69，No.4，2014.4.

水谷正史・柴田勝央：都市河川下の接続トンネルをNATMで構築，特集/固める，土木技術，Vol.69，No.4，2014.4.

特集/プレキャスト化技術の活用と適用上の留意点，基礎工，Vol.42，No.4，2014.4.

藤原鉄朗：水路トンネルの診断技術の高度化によるライフサイクルコストの改善，水土の知，Vol.82，No.4，2014.4.

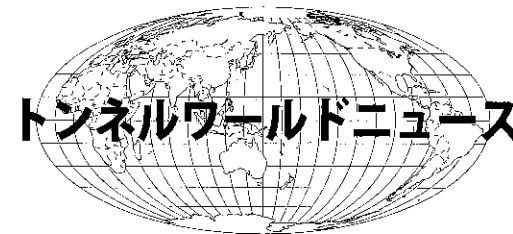
長束勇・青山成康・松藤展和・大川栄二：トンネル空洞への現場発泡硬質ウレタンフォーム充填による機能回復技術，水土の知，Vol.82，No.4，2014.4.

浦部克人・丸山明紀・金井孝行：東急東横線代官山駅付近における地下化工事，線路直下地下切替工法「STRUM」の施工報告，建設機械，Vol.50，No.5，2014.5.

村居拓道・佐藤浩：隧道改修工事にともなうコウモリ保護施設の施工事例，水土の知，Vol.82，No.5，2014.5.

安里司：沖縄の北部ダム群を連携する調整水路トンネルの維持補修，ダム技術，No.332，2014.5.

門口達彦・吉田英典：シールド工法を併用したハイブリッド推進工法，特集/押す，土木技術，Vol.69，No.7，2014.7.



(一社)日本トンネル技術協会
国際委員会

Evergreen線掘削のTMBが準備完了

カナダバンクーバーのLRT，Evergreen線で掘削するTBMが2013年11月7日にオンタリオのキャタピラ社工場から海上輸送されてきた。トンネルは外径9.86mの泥土圧式シールドで，Port MoodyのBarnet Highway西方からKemsley Avenue南方へ2km掘削される。施工者はSNC-Lavalin社が率いるEGRT Constructionのコンソーシアムで，請負形態はファイナンスを含む設計施工契約である。

このTBMはオンタリオから海上輸送され，Port Moodyの発進基地で組立てられ，2月に掘進開始予定である。

TBMと後続設備を合わせた全長は85mでMix Ground(岩盤と土砂の複合地質)仕様のマシンでカット本体の重量は130tある。この地域の地質は氷河期に流出した海底堆積物や氷河に含まれる岩塊で構成され一軸圧縮強度は350MPaと硬い。掘進速度は平均8m/dayを予想しており，マシン

は地下水圧6barで設計され6%の勾配を1年で掘進完了する予定だとCAT社は言う。

このEvergreen線は地域の新たな交通手段となつてBritish Columbians市民に利便性を与えるだろうと局長は語った。プロジェクトには多くのコミュニケーションエリアを構築し，2016年の夏に開通すると公共交通事情が刷新されていると考える。事業資金はカナダ政府，British Columbia州，Trans Linkが出資し金額は14億3000万CA\$と見積もる。

(WT '13.9 担当：篠原慶二・前田建設工業(株))

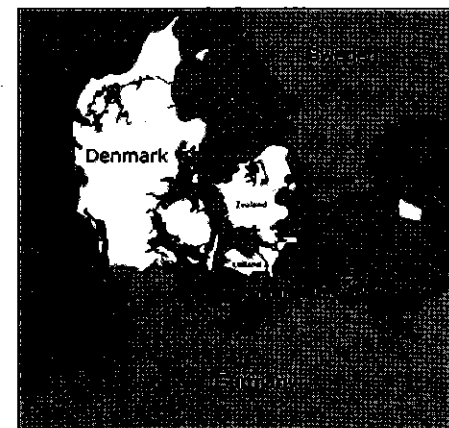
入札者がFehmarn beltリンクを 現地訪問

9つの請負業者からの代表団125名が，Fehmarn belt Fixed Linkトンネルの入札前に地形や土質を研究するため，LolandとFehmarnを訪問している。

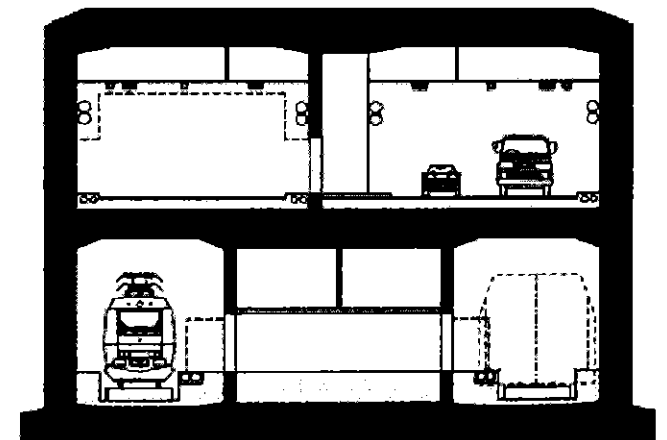
ベルギー，デンマーク，フランス，ドイツ，イタリア，オランダ，韓国，スペインの企業が事前入札会議に参加する。この会議は請負業者に技術的側面と契約条件を最大限に理解させるものである。

来訪者たちは2グループに分かれ，順に2つの異なったツアーに参加する。

一つのグループはこの目的のために設定されたFaergevej 23の大きな試掘現場で地形，地質条件を検証する。彼らは粘土やその他の地質性状を



Fehmarn belt Fixed Link 位置図



トンネル主要縦断面

検討することができる。もう一つのグループは将来のトンネル建設地をバスで調査し、考古学の発掘現場を訪問して土質構成を確認し、地下水位低下方法について見学する。

また、参加者はFehmarnを訪問し、数mmの精度で面積測定ができるように設定された4か所の衛星中継局の一つを視察する。

11月にはドイツ政府への公式計画の承認申請書が提出され、Fehmarnはすべての出願書類をWEB上で公開した。

計画の承認手続きと印刷文書を公開する前に、当局は正式な検討を行っている。

2015年までに計画が認可されることが期待されている。デンマーク、ドイツ両国で承認されれば、同年に工事を開始することができる。同トンネルは2021年の開業を目指している。

(WT '13.12 担当：岡村光政・戸田建設(株))

ウィンザー-デトロイト間のトンネルが2014年に建設開始

ウィンザー港湾局のDavid Cree局長は「ウィンザーとデトロイト間に、数百万ドル規模の新しい鉄道トンネルの建設が今年後半に開始される。」と発表した。

コンチネンタルレールゲートウェイ(CRG)は、カナダのウィンザーと米国のデトロイト間のデトロイト川の下に計画された主要な鉄道トンネルプロジェクトである。このトンネルはダブルスタックコンテナや車高が高い鉄道車両にも対応できるよう設計されている。

計画された河川横断は、河川下15m、内径8.4m、延長2,845mの長大トンネルを含むことになる。今年半ばに、Cree氏は「米国とカナダの両方からの環境アセスメントや許可が予想される。」と地元メディアに語った。資金の最終決定が最後のステップとなる。

CRGは2010年にできた官民連合であり、ウィンザー港湾局、BIT(Borealis Infrastructure Trust)、Canadian Pacific鉄道を含んでいる。プロジェクトの推定費用は400百万米ドルである。

上記の民間会社が資金の50%を供給し、残りの半分を政府筋が供給する。

(T&T '13.12 担当：山下高俊・三井住友建設(株))

カトマンズ・プロジェクトの環境アセスに関する混乱

Nepal Purwadhhar Bikash(NPBCL)社は、カトマンズのKulekhani Hetaudaトンネル道路建設について、環境アセス(EIA)を完了しないまま工事開始を発表した。1997年の環境保護法により、大規模プロジェクトの開発者は、工事着工前に強制的に環境アセスの調査完了を義務づけられた。

2013年11月11日にタライとカトマンズを結ぶ58kmの高速道路が起工する。

ただし、政府機関によると、同社はこのプロジェクトについて環境アセスの調査を実施していなかった。同社は1月に付託条項(TOR)の承認と方法書を環境・科学・技術省(MoSTE)より受領し、環境アセスの調査開始の許可を受けたが、着工前に公共事業・運輸省(MoPIT)へ環境アセス報告書を提出し、承認まで得るのは不可能である。

既存のルールに従って、NPBCL社は最初に公共事業・運輸省に環境アセス報告書を提出しなければならない。今後同省は、最終承認のための適切な緩和措置を盛り込んだレポートを環境・科学・技術省に提出する予定だ。公共事業・運輸省当局によると、環境アセス報告書を専門家と調査するのに約2〜3か月かかると言う。同様に環境・科学・技術省の関係者は、プロジェクトの影響を受ける場所で35日間、地域レベルで当報告書を開示し、専門家の意見を取り入れながら評価するまで4〜5か月かかると発表した。NPBCL社によると、当プロジェクトにかかる費用は345億ネパールルピー(3億4300万USドル)と見積もられている。公共事業・運輸省の関係者は、適切な環境対策をとらなかった場合、当プロジェクトは環境へ重大な影響を及ぼすと主張した。プロジェクトは70mまでの3トンネルと15の橋からなる複合インフラプロジェクトである。NPBCL社は、すでに環境・

科学・技術省や森林土壌保全省(MoFSC)から認可された環境アセス報告書を持っていたと主張した。

Joshi氏は「環境アセスに関する業務がいくつか残っているが、土地取得の際に実施することができる。」という立場を堅持している。

森林土壌保全省のスポークスマンYagyanath Dahal氏によると、同省はNPBCL社に環境アセスの承認は発行していないと述べており、加えて「われわれは、同社に対しては環境アセス調査の実施のみを許可している。」と述べた。

環境・科学・技術省の事務局長Hari Kumar Shrestha氏は、環境アセス報告書の承認はいずれの高速道路建設においても絶対に事前に必要であると述べた。

環境保護法の第18条によると、権限を与えられた当局は、開発者が環境・科学・技術省から環境アセスの承認なしに建設を開始した場合、建設の即時中止を宣言することができる。

同条項ではさらに、「当局または関係会社は、違法行為の程度に応じ最高100,000ネパールルピー(1,000USドル)の罰金を課せられる」との規定も

ある。

公共事業・運輸省の次官であるTulasi Prasad Sitaula氏はこの問題に関するコメントを差し控えた。

(T&T '13.12 担当：岡嶋和義・大成建設(株))

ログファストトンネル調査発注

ノルウェー道路局はE39号線改良事業に関する調査を1,000万米ドルでVTT社に発注した。同調査は海底トンネル付近の海底図の作成や弾性波探査、地質調査を含んでいる。E39号線はノルウェー西岸の1,100kmの幹線道路で、起伏の多い地形で8つのフィヨルドをフェリーで横断しなくてはならない。改良計画ではこれらをすべて海底トンネルや橋梁とし、全線の総所要時間を21時間から13時間に短縮するものである。2つのフィヨルドを渡るRogfastトンネルは最深部が海面下385mで延長は25.5kmとなり、道路用海底トンネルとしては世界でもっとも長く、また深いトンネルとなり、総工費は21.5億米ドル、2023年の完成を予定している。

(T&T '14.2 担当：清水健志・鉄道・運輸機構)

お詫び

7月号「語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ(第55回)」内(42頁)において誤りがありましたので、訂正してお詫び申し上げます。

《誤》 著者略歴

平成1年 山陽自動車道竜ヶ岳トンネル西工事
平成3年 〃 〃 飯室トンネル工事
平成5年 中国横断自動車道北房ジャンクション工事
平成8年 〃 〃 日和トンネル工事
平成9年 山陽自動車道植生インターチェンジ工事
平成14年 作木大和道路両国トンネル工事
平成20年 〃 〃 香春大任バイパス3号トンネル工事

《正》 著者略歴

平成1年 山陽自動車道竜ヶ岳トンネル西工事
平成3年 広島県飯室トンネル工事
平成5年 中国横断自動車道北房ジャンクション工事
平成8年 鳥根県日和トンネル工事
平成9年 山陽自動車道植生インターチェンジ工事
平成14年 作木大和道路両国トンネル工事
平成20年 福岡県香春大任バイパス3号トンネル工事

一般社団法人

日本トンネル技術協会

会 報

1. 会員の現状

	7月31日現在
個人会員	848名
団体会員	201名
推薦会員	203名
特別会員	13名
名誉会員	0名
賛助会員	160名
合 計	1,425名

2. 委員会の開催状況(7月1日～31日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会

会誌WG(7/4)

大島洋志主査ほか11名, 8月号の会誌と3か月計画を検討

広報小委員会ホームページWG(7/18)

須藤敏明主査ほか12名, 記念事業の広報対策を検討

◎設立40周年記念事業実行委員会

実行委員会(7/3)

木村宏委員長ほか16名, 進捗状況の確認と課題を検討

映像記念誌WG(7/25)

西岡和則主査ほか13名, 作業状況確認および方針を検討

催物企画WG(7/28)

中間祥二主査ほか5名, 作業方針を検討

◎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(7/11)

猪熊康夫委員長ほか16名, ITAブラジル総会報告と平成26年度活動方針を検討

海外文献小委員会

海外ニュースWG(7/31)

清水健志主査ほか8名, 英文原稿を査読
計 7回開催 88名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

山岳トンネル小委員会

支保WG(7/30)

丸山修主査ほか16名, 報告原稿を検討

都市トンネル小委員会

シールド変遷史編集WG第2グループWG(7/14)

名倉浩主査ほか6名, 目次案を検討

保守管理小委員会(7/16)

藤森伸一委員長ほか17名, 維持管理講演会および次期テーマほかを検討

都市近接施工ガイドライン編集小委員会

編集小委員会(7/23)

小山幸則委員長ほか20名, WG作業報告および課題を検討

本文編集WG(7/30)

西田与志雄主査ほか10名, 原稿を検討

◎受託研究特別委員会

北陸新幹線金沢・敦賀間トンネル施工技術委員会(7/7～8)

朝倉俊弘委員長ほか42名, ルート視察および各トンネル施工計画ほかを検討

長期耐久性特別委員会幹事会(7/17)

松岡茂幹事長ほか12名, 試験結果データの確認と作業方針を検討

中央新幹線大深度地下シールドトンネル特別技術委員会(7/31)

今田徹委員長ほか74名, 委員会報告書ほかを検討
計 8回開催 205名出席

合計 15回開催 293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. 22～27	サンフランシスコ (アメリカ)	Underground Construction Association of SME ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc.2016.us
第43回ITA総会およびコンgres「Surface problems - Underground solutions」	2017. 6. 9～16	ベルゲン (ノルウェー)	Norwegian Tunnelling Society ITA(国際トンネル協会)

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

4. 平成26年度催物開催現況

(平成26年7月現在)

催 物 名	開 催 日	人数	場 所	CPD取得単位
(現場研修会) 東北道路トンネル現場研修会	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建設工事現場研修会	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現場研修会	2014. 8.28	25	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現場研修会	2014. 9.12	25	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 (施工体験発表会)	2014. 9.29	25	東 京	2.0
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— (講演・講習会)	2014. 6.25	114	東 京	5.5
第16回ステップアップ研修会(シールド)	2014.10.1～2	25	東 京	
第17回ステップアップ研修会(山岳)	2014.11.	25	東 京	
(仮称)トンネル維持管理講演会	2014.10.29	150	東 京	

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

設立40周年記念事業

詳しくは, 次のwebを参照願います。
http://www.japan-tunnel.org/40th_Anniversary

実施予定項目

☐ 記念特別講演会	☐ 一般向けのパンフレット作成	☐ 安全標語募集(締め切り)
☐ 座談会	☐ 記念出版(JTA歩み)	☐ 安全シール作成
☐ 見学会	☐ 映像資料ライブラリーの設置	☐ 安全教育用資料作成
☐ パネル展示	☐ シールド技術変遷史記念出版	☐ パネル作成
☐ フォトコンテスト	☐ 理論と実際の乖離シンポジウム	☐ 補修補強講演会実施

10月号予告[10月1日発売予定]

- トンネル覆工片はく落を定量的に評価する手法の提案
- 全周波数帯域に対応した山岳トンネル発破消音システムの開発
- 東京外かく環状道路(関越～東名)のトンネル計画
- 福岡市営地下鉄七隈線の延伸計画
- 神戸市水道局 奥平野工区
- 「ITA総会および世界トンネル会議」報告【連載講座】
- 都市トンネルにおける地盤改良工法(5)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆夏の夕方のにわか雨を「夕立」と言います。夕方、突然空が暗くなり、やがて雷とともに激しい雨が数十分降り続き、雨がやんだあとには涼風が暑さをやわらげてくれたものでした。最近、ニュースや天気予報で、この「夕立」が「ゲリラ豪雨」とか「局地的な大雨」などと呼ばれ、ほとんど聞かれなくなりました。いつからこのように変わったのでしょうか。「夕立」は、夏を表す季語としても使われていたとても風情のある言葉です。両者ともメカニズムはほとんど同じですが、雨の降り続く時間や量が、風情を楽しむレベルではなく、どちらかと言えば脅威を伴う雨となったからでしょう。

◆日本には、ほかに雨を表す言葉はたくさんあります。それぞれに季節や降り方などを表現し、とても風情があります。それが気候の変動とともに使われなくなり、代わって新しい言葉が生まれます。例えば、「今までに経験したことのない……」「〇年に一度の……」など、これらの言葉にはインパクトがありますが、先人たちが表現したような風情は感じられません。逆にいうと風情を楽しむような気候ではなくなりつつあるのでしょう。「夕立」という言葉が使われなくなったところ、「地球温暖化」が騒がれてきました。その影響が徐々に現れてきています。一人ひとりの小さな努力が地球温暖化の軽減につながります。近い将来、古き良き日本の風情が楽しめる気候を取り戻すことを期待しています。

(K.Y.)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工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45巻 第9号 [通巻529号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成26年8月20日 印刷

平成26年9月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目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 1,620円(送料110円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

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

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

トンネル二次覆工型枠総合メーカー

スライダ打設システム

特許 第4083308号
NETIS登録 KT120099-A

トンネル天端部
懸垂ハイドレータ締固め工法

NETIS登録 KK-120003-A

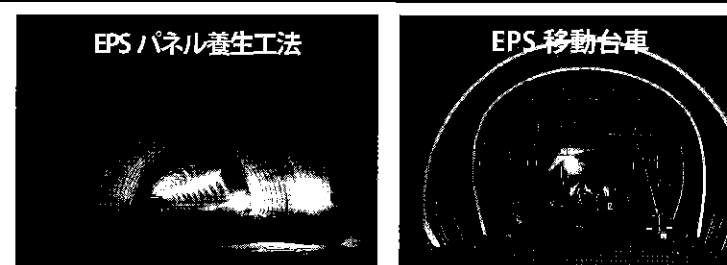
セントル位置・変位
自動測定監視システム
(セントル監視くん)

特許 第5247491号
NETIS登録 KT-130037-A

型枠ハイドレータ
集中制御システム DKV-20

NETIS登録 KK-130066-A

新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



EPSパネルの保温性、保湿性が効く

実績および計画		
施主	実績	計画中
国土交通省	27	1
NEXCO	6	1
地方自治体	14	3
鉄道・運輸機構	1	0

平成25年12月1日 現在

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

一歩前進! ~限らない未来への挑戦~



大栄工機株式会社

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

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

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

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

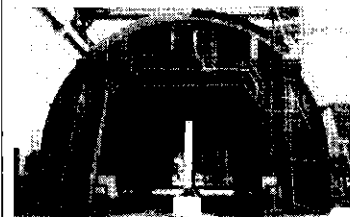


東和機電工業株式会社 かい た 瀬田工場

〒820-1111 福岡県飯塚市勢田2594番地の18
 電話：(09496)2-3500(代表)
 F A X：(09496)2-6310
 E-mail：info@towakiden.co.jp
 ホームページ <http://www.towakiden.co.jp>

道路・鉄道・水路トンネル用コンクリート型枠はもとより、
 各種鋼構造物の設計・製造をおこなっております。

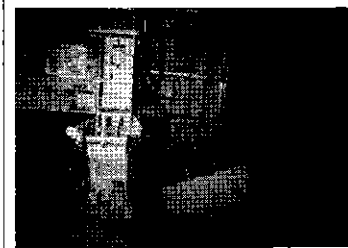
高流動コンクリート対応型
 全断面ステンレスフォーム



ワークステーション架台



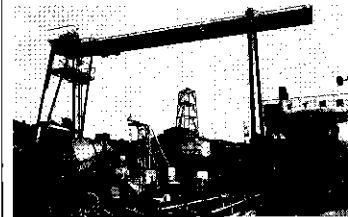
全輪タイヤ式インバート栈橋



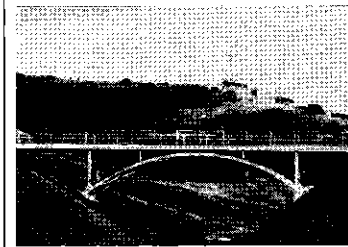
勾配対応全輪駆動式
 トンネル床版撤去架台



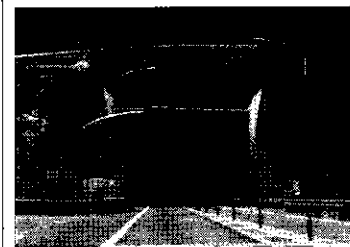
立坑ズリ出し設備
 (4.5t×60m)



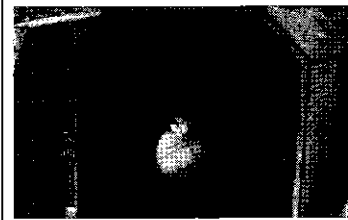
林道橋



トンネル坑口修景ルーバー



新幹線微気圧伝播緩衝工
 (鋼製、総溶融亜鉛メッキ)



防音シェルター



離島を含む九州一円中国四国圏内におきましては、
 地の利を生かした営業・打合せ・納品・対応を行ってまいります。

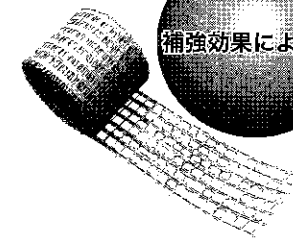
連続ベルコンを通過させるセントルにおいて、ベルコン側の懐を拡げるためにガントリー
 を偏芯させ高強度化することは、弊社の所有特許です。

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

コンクリート打設前設・耐アルカリ性ガラス繊維ネット

ハイパーネット60

NETIS登録番号 SK-080009-V



補強効果によるひび割れ幅低減

コンクリート混入・コンクリート用膨張材

ハイパーエクспан

NETIS登録番号 QS-020033-V



コンクリート収縮抑制

養生効果

硬化後塗布・塗布型高性能収縮低減剤

クラックセイバー

NETIS登録番号 SK-080001-V



様々な現場で力を発揮する
 注入材、裏込材
 “最適な選択をご提供”

注入材

超微粒子注入材

太平洋アロフィクスMC

瞬結工法用無機懸濁型
 土質安定材、下水道止水材

太平洋アロフィクスMC2号

注入式長尺先受工法用注入材

太平洋スーパーハード

注入式長尺先受工法用注入材

太平洋スーパーファスナー



太平洋マテリアル株式会社

営業本部

〒135-0064東京都江東区青海 2-4-24 青海フロンティアビル 15F
<http://www.taiheiyo-m.co.jp>

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

信頼の品質

技術提案に好適!!

デンカの特種混和材

《デンカクリアショット》

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

《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

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

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06619-9

本体価格1,500円

4910066190941
01500