

未踏の領域に挑み、
夢を叶えてきた先駆者たち。
JIMTはその志を受け継ぎ、
地下開発の未来を築きます。



1989年12月 英仏海峡トンネルT-5工区貫通式



JIMテクノロジー(JIMT)は、株式会社IHI(IHI)、
JFEエンジニアリング(JFE)、三菱重工業株式会社(MHI)の
トンネル掘削機事業を統合した会社です。



JIMテクノロジー株式会社

本社・川崎事業所……〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14 TEL.044-201-8268/FAX.044-201-8636
神戸事業所……〒652-0864 兵庫県神戸市兵庫区笠松通7丁目2番25号 TEL.078-381-5100/FAX.078-381-6990

定価 1,620円
本体価格1,500円

雑誌06619-2



4910066190286
01500

トンネルと地下 2

vol. 49
no. 2
2018

Tunnels and Underground

最大226m²の大断面を含む拡幅区間のトンネル施工
高速道路ランプ部における矩形シールド工法の計画と施工
防潮堤基礎杭直下を35cmの離隔でシールド掘進
2016年熊本地震による南阿蘇鉄道のトンネル被害
2016年熊本地震による道路トンネルの被害と今後の耐震対策

日本トンネル技術協会誌

●防潮堤基礎杭直下を35cmの離隔でシールド掘進 vol. 49 no. 2 2018



FRD
FURUKAWA

新世代型 ホイール式ドリルジャンボ

JTH3200R-III PLUS / JTH3200R-III / JTH2200R-III
3ブーム、2ケージ 3ブーム、2ケージ 2ブーム、2ケージ

FIDS II 制御&
油圧ドリフトHD220搭載

JTH3200R-VHシリーズ登場！
排ガス4次規制エンジン、

高効率75kW電動モータ&
最新型油圧ドリフトHD250搭載

様々なトンネル工事に挑戦し、そして築上げられた
実績と信頼。
全国に広がる安心のサービス網がお客様をバックアップ。
各種機械の提供を通じて国内外のインフラ整備を支えています。



JTH3200R-III PLUS ▶

国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事用建設機械)指定機

DRILLNAVI



統合せん孔支援システム<ドリルNAVI>

オートドリリング機能、せん孔ナビゲーションシステムがトンネル
工事の急速施行を強力にサポート。
大断面での急速施行を「安心して、早くて確実、安全に」実施でき
る統合せん孔支援システムです。

ドリルNAVI

- ドリルNavigation <せん孔ナビゲーションシステム>
- ドリルExplora <全断面穿孔実績・前方探査記録装置>
- ドリルNet <技術支援システム>

NETIS

国土交通省 新技術活用システム
登録番号 **KK-100049-A**

△ 古河機械金属グループ

FRD 古河ロックドリル株式会社

www.furukawarockdrill.co.jp

本 社 〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目5番3号

特 機 部 ☎ 03(3231)6966

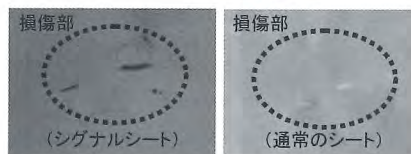
札 幌 ☎ 011-786-2222 東 北 ☎ 022-384-8991 宮 古 ☎ 0193-77-4245 関 東 ☎ 027-326-9611
名 古 屋 ☎ 0568-77-7700 関 西 ☎ 06-6475-8221 中 四 国 ☎ 082-832-3542 九 州 ☎ 092-948-2010

損傷を目視で確認できる防水シート

①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。



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。

(シグナルシート施工状況)



「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。

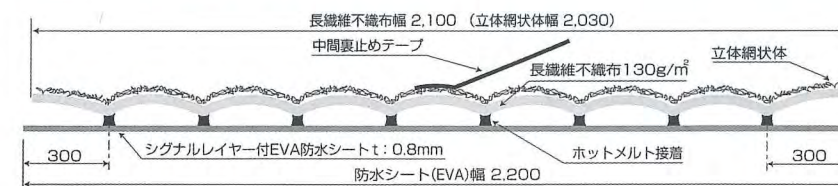


「立体網状体付き長繊維不織布」は通常の厚さ3mmの不織布に比較し
て約40倍の排水性能を有します。

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
載荷重 0.05MPa	0.0354L/10分	1.3670L/10分
0.10MPa	0.0180L/10分	0.8030L/10分

■ 「シグナルシート」と「立体網状体長繊維不織布」の組み合わせ



KEC 株式会社 ケー・エフ・シー

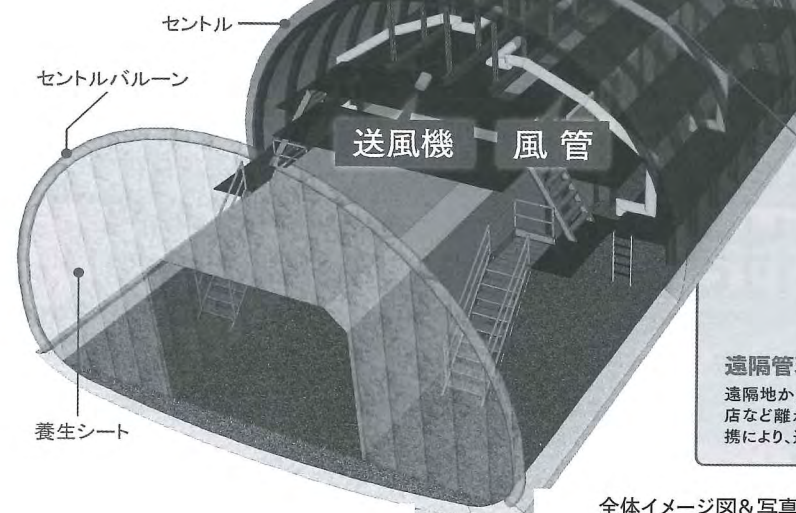
東京土木営業部: 東京都港区芝公園2丁目4番1号 TEL 03-6402-8251
大阪土木営業部: 大阪府北区西天満3丁目2-17 TEL 06-6363-1884
技術部: 東京都港区芝公園2丁目4番1号 TEL 03-6402-8256

加 温 セ ン ト ル

『クラコン養生管理システム』 NETIS登録 KT-120109-A

自動制御による最適で 均一な養生環境の保持

自動的に送風機や給熱装置を起動させ、養生空間を温度応力解析から求めた最適な温度・湿度に制御するシステム。養生空間内の上下間温度差が大きくなった際にも、送風機を稼働させ養生空間の均一性を保ちます。

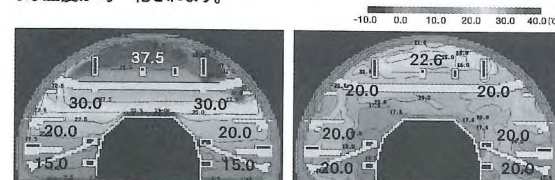


遠隔管理・リアルタイム監視が可能
遠隔地からでもリアルタイムで監視・管理が可能。本支店など離れた場所にいる技術者と現場技術者との連携により、適切な品質管理を行うことができます。

全体イメージ図&写真

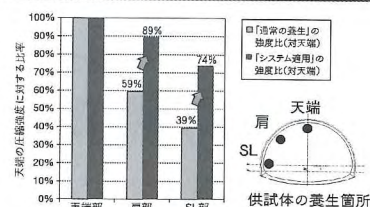
養生空間の温度均一化

通常の養生では、約20℃の上下間温度差が発生します。システムの適用により温度が均一化されます。



コンクリート圧縮強度の増進

天端、肩、SL部の脱型時強度が均一化され、養生低温部の強度が増進。安全性の高い脱型強度管理が可能となります。



バルーンの東宏です



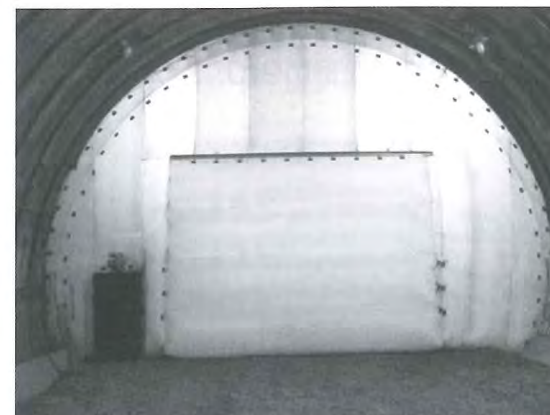
加湿セントル(KT-120109-A)



モイストキュア(HK-09005-VR)



アクアカーテン(HR-110011-VE)



隔壁バルーン(HK-100007-VR)



トラベルクリーンカーテン(HK-120040 A)



肌落防護マット

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

TOUKOU 株式会社 東 宏

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

東京支店 墨田区両国2丁目18番4号 中尾ビル4F
TEL03-6659-3841 FAX03-6659-3845
URL <http://www.k-toukou.co.jp/>

製造・販売

TOUKOU 株式会社 東 宏

本社 札幌市東区東雁来9条3丁目2番3号
TEL011-792-3000 FAX011-792-3333
東京支店 墨田区両国2丁目18番4号 中尾ビル4F
TEL03-6683-8011 FAX03-6683-8028
URL <http://www.k-toukou.co.jp/>

製造

kg

建設コンサルタント

計測技研株式会社

本社 尼崎市長洲本通1丁目14番1号
TEL06-6401-2288 FAX06-6401-2488
東京事務所 港区浜松町2丁目9番3号 NBC浜松町ビル3F
TEL03-5408-1915 FAX03-5408-1913
URL <http://www.keisokugiken.co.jp/>

貴社の「やりたい」を叶えます

大断面用新機種

超余裕の積込能力266m³/h!

《PC450LC-11》
3.5m³ローディングショベル



多彩な輸送パターンを演出!



MIWA KIRUNA

《K-40NDT》
40t20m³積コンテナ
着脱式ズリ運搬車

驚異の吹付範囲 (幅24m/高さ15m) を実現!



Atlas Copco

《MEYCO ME5》
大断面用吹付機

小～中断面用新機種

連続積込が躍動する“ヘグローダー”

《10HR-B》
4.0m³/min連続積込機

Atlas Copco



小～中断面に特化した“マイントラック”

《MT2010》
20t9m³積低床ダンプ

Atlas Copco



堅牢で小回りが利く“スクープトラム”

《ST7》
3.1m³ロードホールダンプ

Atlas Copco



T&M
Tunnel & Mining

ニシオティーアンドエム株式会社

山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業 <http://www.nishio-tm.co.jp>

《本 社》

■技術開発本部

■営業推進部

TEL:03-6432-0898

《東日本カンパニー》

■北海道東北支店

TEL:0133-72-3715

■東北営業所

TEL:0197-71-2405

■関東支店

TEL:0268-62-1426

《西日本カンパニー》

■関西支店

TEL:072-677-2101

■九州支店

TEL:0982-26-2111

■福岡営業所

TEL:092-976-6331

Wバリアシート

～二重溶着式防水シート～

NETIS:KT-150067-A



【防水機能の確保】

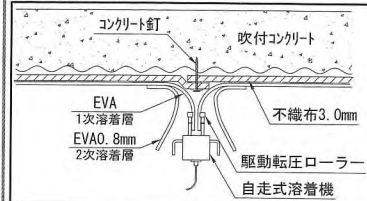
従来のリスクポイントであった溶着部からの漏水を二重にガード！

【破損部の傷発見機能】

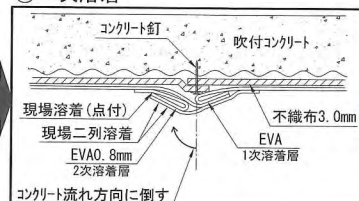
本体部は傷発見型の白黒構造(SGシート)でヒレ部を透明にすることでシート表面の損傷が目視で発見！

【従来と同様の施工機械で対応可能】

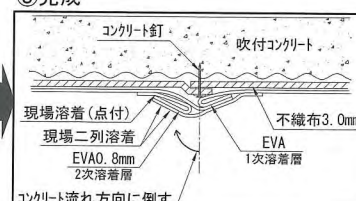
①一次溶着



②二次溶着

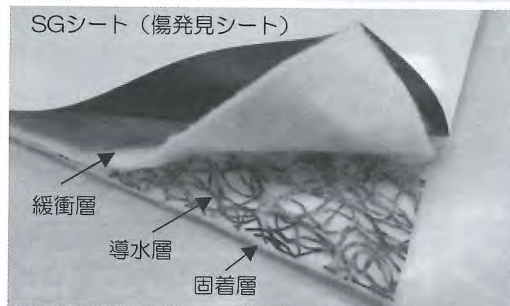


③完成



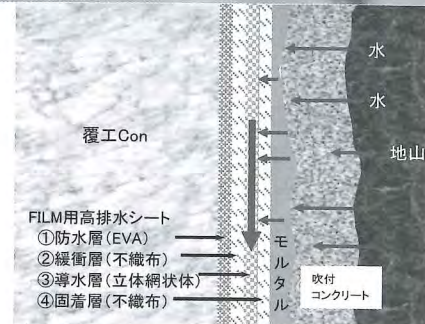
FILM工法用 高排水シート

NETIS:KT-150067-A



防水シートを4層構造(防水・緩衝・導水・固着)とすることで、従来品に比べて約50倍(当社比)の導水性能を確保！

FILM工法(背面平滑型トンネルライニング工法)にて湧水量が多く、長期的に安定した導水が要求される場合に有効！



fujimori



Stronger

～水発泡ウレタン系
湧水抑制材～

「Stronger」による地山改良は湧水による様々な不具合を解消するリスクマネジメントです。



「Stronger」は、水と接触せずに反応した場合は気泡のない高強度な固結体を形成し、水と接触し反応した場合は発泡固結。

「土被りの薄い河川直下、や「破碎帯」などの異常出水帯や帯水弱層では、「Stronger」を連続注入することにより、トンネル外周に湧水抑制を目的とした減水ゾーンを形成し、掘削に与える影響を軽減させることが可能。

- 1 減水効果に優れる
- 2 地山改良効果に優れる
- 3 湧水抵抗性に優れる
- 4 施工性に優れる

<<施工例>>

プレインジェクション (切羽前方の地盤改良)	ポストインジェクション (切羽後方の地盤改良)
対象区間 トンネル内への湧水の引き込みにより、切羽の不安定化等が懸念される区間 注入範囲 掘削前の切羽前方のトンネル周囲 目的 切羽前方のトンネル周囲地盤の透水性を低下させ、掘削に伴う地下水の引き込みを抑制させる。	対象区間 トンネル内への湧水の引き込みにより、周辺環境への影響等が懸念される区間 注入範囲 掘削後の切羽後方のトンネル周囲 目的 トンネル周囲地盤の微細な水みちを充填し、恒久的に続く地下水の引き込みを抑制させる。

<お問合せ先>

fujimori フジモリ産業株式会社 <http://www.fujimori.co.jp>

本社 東京都品川区東五反田2-17-1 オーバルコート大崎マークウエスト

東日本土木資材課 TEL:03-5789-2205 FAX:03-5447-2073

大阪支店 大阪市中央区道修町4-4-10 KDX小林道修町ビル

西日本土木資材課 TEL:06-6228-3864 FAX:06-6228-3886

トンネル覆工コンクリートの品質革命

散水式による覆工コンクリート養生システム

『トンネルミスト®』

NETIS登録: CG-080012-VR



散水式養生台車を使用します。

養生シートと覆工コンクリートの空間に散水を行い、湿润養生を行います。気密性が保持され、保湿性・保温性が得られます。

【効果】

- ・コンクリートは密実になり、初期・長期強度を確保できます。
- ・乾燥収縮・温度応力によるひび割れが低減できます。
- ・耐久性に優れたコンクリートが得られ剥離剥落を防止できます。
- ・従来のひび割れ補修に比べて工期が短縮でき、コストダウンが可能となります。

実績および採用決定
(平成30年2月現在)

施主	実績	計画物件
国土交通省	63件	12件
NEXCO	15件	4件
その他	58件	15件
合計	136件	31件

ひび割れ対策に効果あり 『トンネルパーテーション』



貫通後、坑口部に設置し通風を防止します。通風遮断シートで全断面覆います。

【効果】

- ・貫通後の通風を防止できます。
- ・坑内温度・湿度を一定にできます。
- ・通風によるひび割れが抑制できます。

軟弱地盤に効果を発揮 『YMウィングコーン』



早期密着性と沈下抑制が可能。脱着式のため、急な地山変化に対応可能。

【効果】

- ・初期沈下抑制に効果あり。
- ・危険な切羽近傍での地山均し不要。
- ・現場でのストックが可能なため、事前対策・急な地山変化に効果を発揮。

株式会社 マシノ トンネルグループ

本社 〒733-0822 広島市西区庚午中1丁目19-23
TEL (082) 507-2737 FAX (082) 507-2721
大阪支店 〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3丁目16-3
TEL (06) 6389-6400 FAX (06) 6389-6410

快適な作業環境を提供する騒音対策システム

～25年の実績が最大級の安心をご提供いたします～



【防音扉】

HFS型 マークII

HFS型 マークII 10s

HFS型 マークII 10c

HFS型 マークII 15c



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。

『防音扉マークII』の音響性能

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

『防音扉マークII 10s』の音響性能

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

『防音扉マークII 10c』の音響性能

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

『防音扉マークII 15c』の音響性能

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



【防音壁】 【防音ハウス】 【防音シェルター】 【防音ボックス】



Sタイプ(スタンダードタイプ)

Dタイプ(デラックスタイプ)

Hタイプ(ハイデラックスタイプ)

『防音パネルSタイプ』の音響性能

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

『防音パネルDタイプ』の音響性能

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

『防音パネルHタイプ』の音響性能

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

防音設備の設計、製造、施工、リース

株式会社 ヒューズ

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

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

建設業登録: 東京都知事許可(般-25) 第130153号

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

トンネル工事は新時代へ

1000~2000mトンネルに1.5km 延伸コンベヤシステムを
パッケージでレンタルをスタート

☆本システムの4大特長

1. パッケージのレンタルで安心

- ・レンタルシステムによる初期費用の軽減
- ・資産計上の必要無し(損金処理)
- ・ユニット、パーツの共通化で休転期間短縮

2. 高性能破碎機で工期短縮

- ・標準グリズリタイプとオプションとしてエプロンタイプ(投入高 2.5m)が選択可能
- ・高破碎力のCジョークラッシャで硬岩(4000kgf/cm²)にも対応可能
- ・簡単油圧セット調整で常に破碎粒度が小さく一定



3. ベルトコンベヤ搬送で安全

- ・ダンプ輸送の事故リスクを低減
- ・搬出ズリの滞積・横持ち・再処理が簡単
- ・覆工、インバート作業に対して安全

4. 粉塵・騒音・排気ガスを低減

- ・ベルトコンベヤにより坑内作業環境が改善
- ・路盤補修の削減によるコスト削減



※写真はエプロンタイプです (LT96EUGJ)

1.5km 延伸ベルトコンベヤシステム概要

・延伸ベルトコンベヤシステム主仕様

項 目	仕 様
時間当たりの搬送能力	300t/h (最大)
コンベヤ機長	1,000m~2,000m *
コンベヤ総揚程	45m
ベルト速度	150m/min
ベルト幅	600mm
駆動部総出力	150kW
ベルト継足量	300m × 10ロール
ベルト貯蔵能力	450m

*トンネル勾配により変動致します

設置条件によっては専用設計が必要になります

・主要構成機器

No	名 称	主 仕 様
1	移動式破碎機 LT96E	300t/h、160kW
2	テールピース台車	自走式クローラ、アウトリガ4ロード
3	ベルトストレージ	ベルト貯蔵能力最大450m
4	ベルト接合架台	300mロール用、レール方式
5	メインドライブ	150kW×4P×1台、インバータ制御


東建リース工業株式会社
 本社 トンネル営業推進部 TEL(03)3295-9111

日本コンベヤ株式会社
 本社 コンベヤ営業部 TEL(03)6859-3511

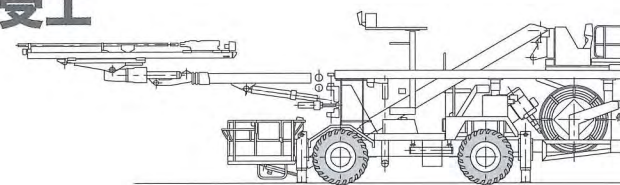
宇部興産機械株式会社
 電力・インフラ営業グループ TEL(03)5419-6293

(問合せ先)

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

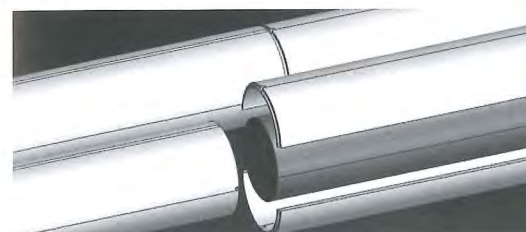
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



AGF-Me工法

- ・トンネル掘削時に露出した端末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。



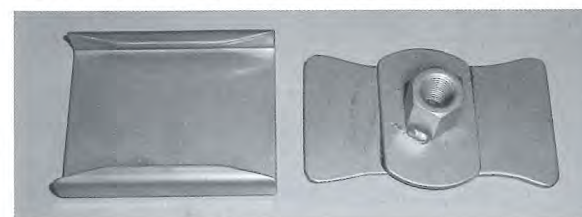
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリップ

- ・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. 回転プレートを押込みます。
3. ナットを回し、止め位置まで90度右回転します(固定完了)。




東邦金属株式会社
 TOHO KINZOKU Co., LTD

営業部

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

株式会社 トーキソール

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

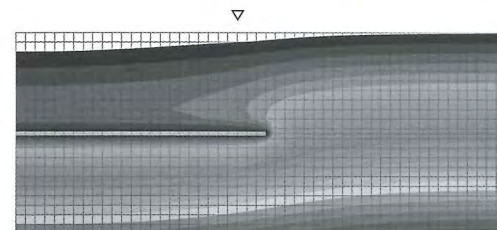
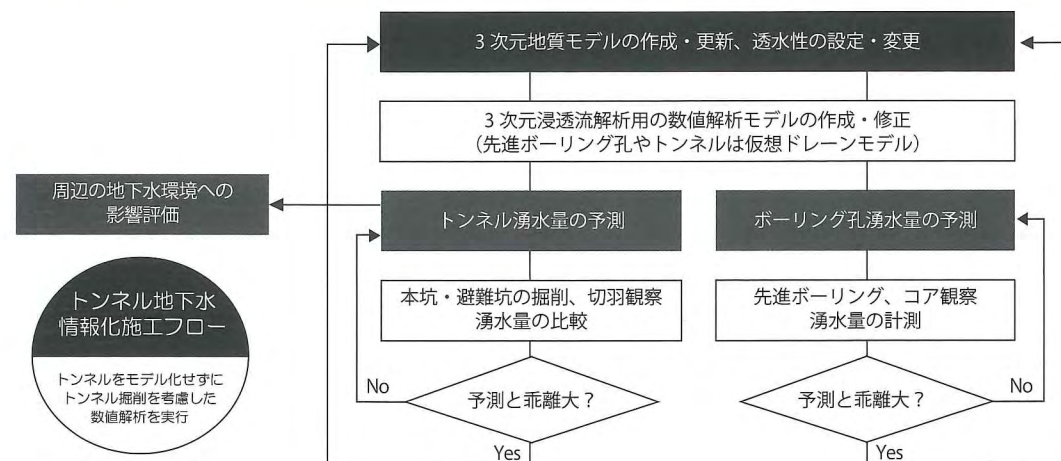
仮想ドレーンモデルによる地下水情報化施工の支援

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

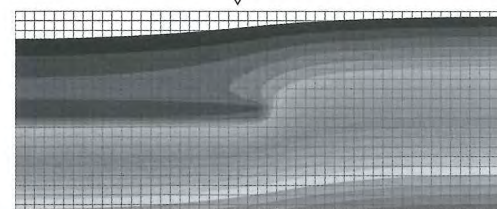
仮想ドレーンモデルを用いた3次元浸透流解析は、このような要望に応える技術です。仮想ドレーンモデルでは、トンネル自体をモデル化せず、また、トンネル掘削を表現するためのモデルや境界条件の変更を行いません。これにより要素分割が単純化され、解析モデル作成や解析に必要な時間を短縮することができます。

先進ボーリング・調査坑・立坑・斜坑からの湧水量や周辺の水圧変化も求めることができます。

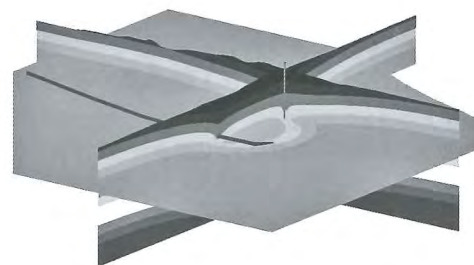
Geo-Graphia® (ジオグラフィア) の統合環境により、地質モデルや数値解析モデルの作成や解析をより高速に実行できます。



トンネルをモデル化した解析での間隙水圧分布の例



仮想ドレーンモデルによる解析での間隙水圧分布の例



仮想ドレーンモデルによる立坑と斜坑の解析例



株式会社 地層科学研究所

本社 〒242-0017 神奈川県大和市大和東 3-1-6
東京事務所 〒112-0004 東京都文京区後楽 2-3-25
大阪事務所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-7-9

JMビル 4F TEL.046-200-2281
金子ビル 6F TEL.03-5842-7677

第7新大阪ビル 301号 TEL.06-6886-7774

Geo-Graphia(ジオグラフィア)

無料体験セミナー開催中

地質モデル編・地下水解析編・情報化施工編

chisouken@geolab.jp

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

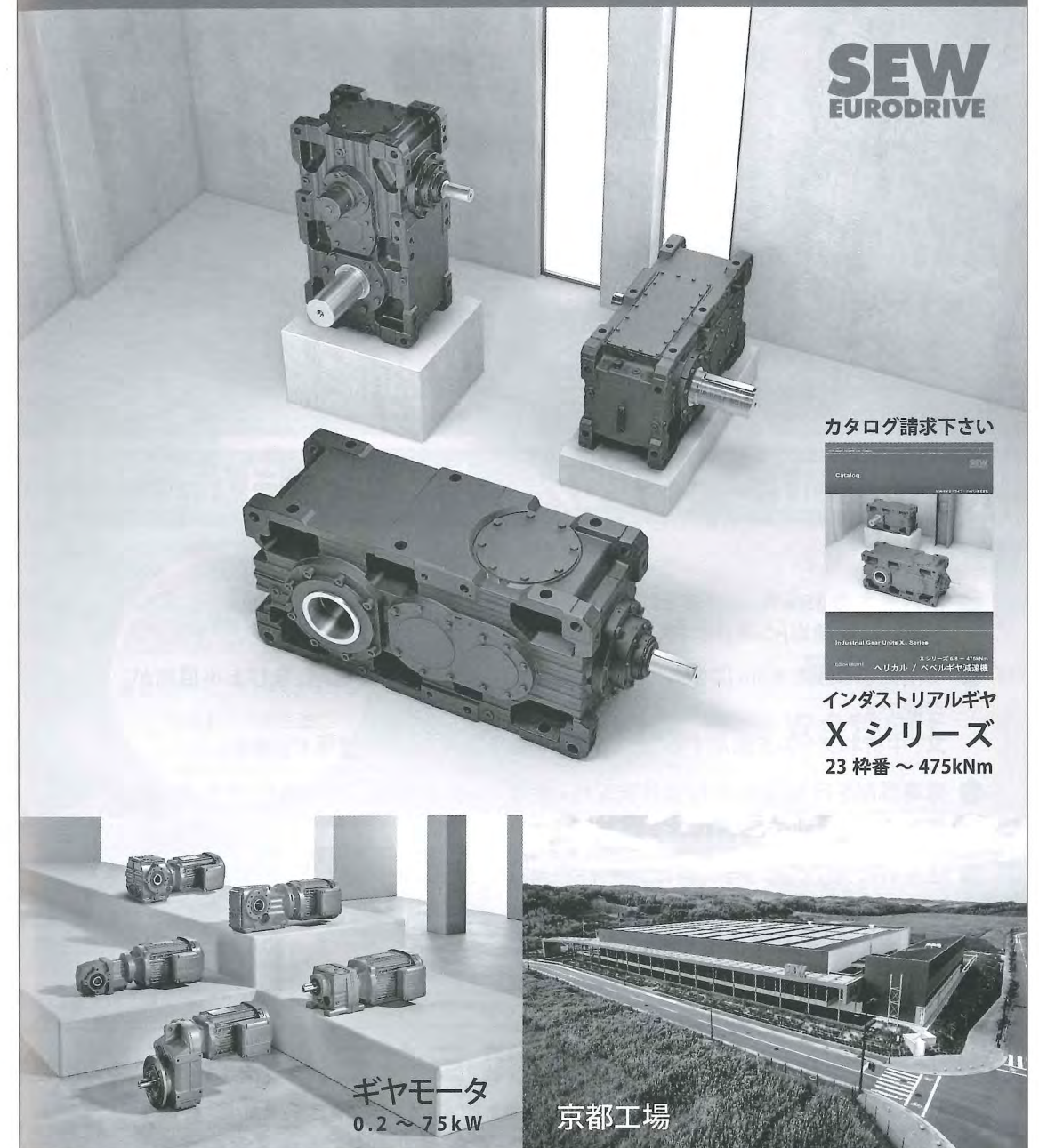
サイト内

地下水に注目した情報化施工

検索

《京都工場組立開始!!》SEW のXシリーズ

- ・減速機の世界トップブランド SEW がお届けするヘリカル/ベベル・ヘリカルギヤユニットです。
- ・ドイツ製高品質部品(ギヤ、シャフト、ケーシング等)を標準在庫して組立てる made in Japan 品です。ギヤモータ同様に、Xシリーズも短納期でカスタマイズして納入致します。



SEW- オイロドライブ・ジャパン株式会社

SEW 検索

本社・磐田工場：静岡県磐田市 京都工場：京都府相楽郡精華町

東京(営)03-5408-0521 名古屋(営)052-228-8608 大阪(営)06-6444-8330 福岡(営)092-291-3600

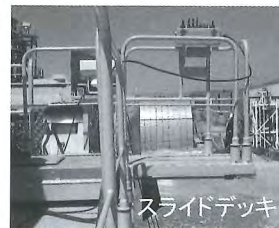
全断面对应トンネル高速施工掘進機 ロードヘッド SLB-350S



全断面トンネルの高速施工を目指して

特徴

- 国内最大の 350kW-4/6P 定出力型 2 速切換式電動機を搭載しており、軟岩トンネルはもとより、中硬岩トンネルにおいても十分な掘削能力を発揮します。
- 切削高さは最大 8.8m になり、大断面トンネルにおける全断面掘削、及び上半掘削が可能です。
又、中折れブームを使用することで、ベンチ長を最大 5m まで確保できます。
- 低速掘削を行うことにより、機体安定性と掘削トルクが増加し、中硬岩トンネル掘削時において高い効果を発揮します。
- 油圧式のスライドデッキを機体両サイドに装備しており、機体幅より各々 1m の張り出しが可能であるため、下部掘削等におけるオペレータの視界が大幅に改善されます。



製造、販売、レンタル及びメンテナンス **三井三池製作所**

本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
産機流体営業部 TEL. 03-3270-2005 FAX. 03-3245-0203

http://www.mitsuimiike.co.jp E-mail: sanki@mitsuimiike.co.jp

補助工法のさらなるステージへ

当社はトンネルの補助工法資機材のパイオニアとして数多くの実績を築いてきました。

現在のトンネル工事はさらに安全性、品質の向上が要求されています。

複雑な地山条件、多岐にわたる要求性能にお応えするべくラインナップを拡充しています。

環境対策

エコリムーブ工法
AGF-Tk工法
パワースレッド

高強度シリーズ

高耐力ロックボルト
高耐力自穿孔ボルト
高強度シリカレジン

大量湧水

ウレタン減水材KOD-M
HIPREXボルト
RPEロックボルト

脆弱地山

多重式長尺フォアパイリング
AGF-Tk工法
パノラマ工法
全方位マルチパターン
地山補強工法

品質向上
安全性向上

▶ 営業品目

各種注入材 / 各種長尺鋼管フォアパイリング / 全方位マルチパターン地山補強工法
切羽対策工全般 / 各種ロックボルト / ロックボルト定着材 / 防水シート
コンクリート皮膜養生剤クラテキュア / 建設資材全般

※特許、NETIS登録されているものがありますので、お問い合わせください

KATECS

株式会社カテックス 建設資材事業部

〒460-8331名古屋市中区上前津1丁目3番3号

技術部・中部営業部

TEL 052-331-8821

FAX 052-332-0164

東京支店

TEL 03-3260-8321

FAX 03-3266-1648

東京支店(仙台事務所)

TEL 022-344-6041

FAX 022-344-6042

関西営業所

TEL 06-6578-3235

FAX 06-6578-3237

九州営業所

TEL 092-574-0856

FAX 092-574-0846

北海道地区 ㈱エイチ・アール・オー

TEL 011-821-5868

FAX 011-821-6644

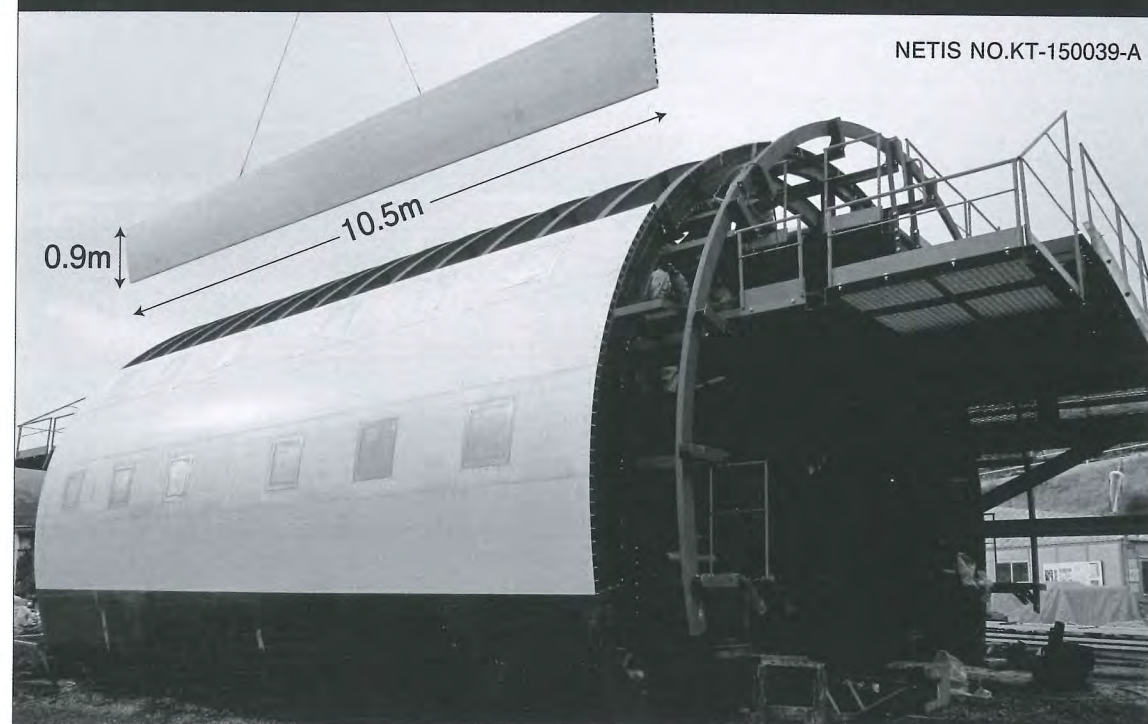
URL <http://www.katecs.jp/>

email construction@katecs.co.jp

NEW

トンネル覆工初期養生FRP工法 ～ハイブリッドフォーム誕生～

NETIS NO.KT-150039-A



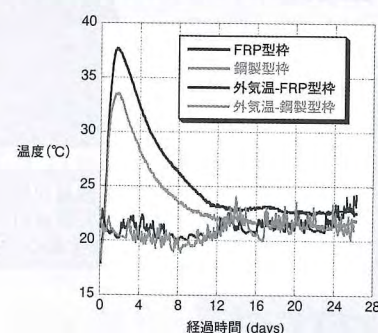
■透気試験実施



覆工コンクリートの表層部分を測定した結果、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ことを確認した。

■覆工コンクリート温度の経時変化

【宮崎大学との共同研究により、藤江トンネル南にて測定】



◎3～4℃の保温効果により、コンクリート強度が15～20%向上

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

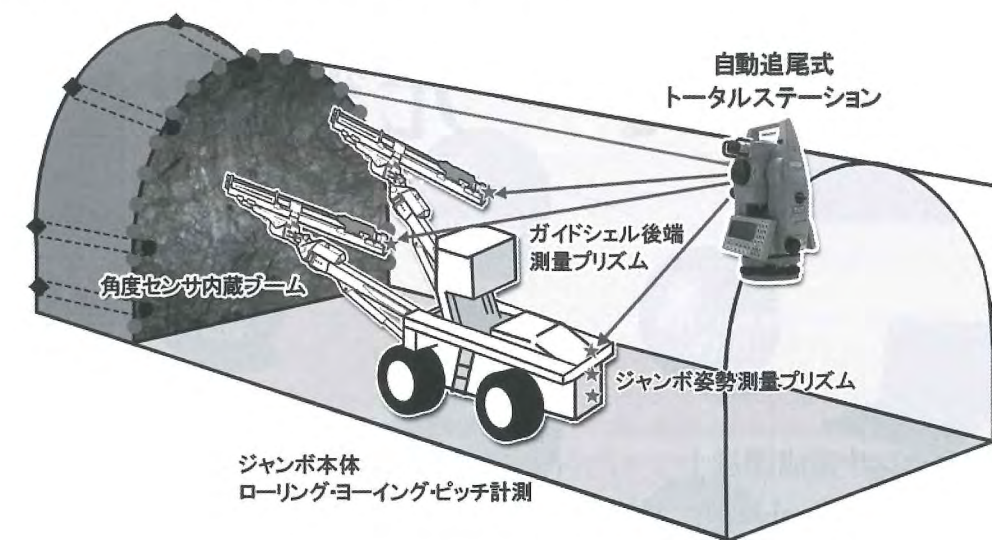
■ 本社	〒553-0006	大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル	TEL:06-6443-7060
■ 東京営業所	〒103-0022	東京都中央区日本橋室町1-12-12 水島ビル3	TEL:03-6860-7796
■ 九州営業所	〒812-0011	福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号	TEL:092-409-8008
■ 分校工場	〒922-0304	石川県加賀市分校町ヌ1-1	TEL:0761-74-3070

NETIS登録番号:KK-100049-A

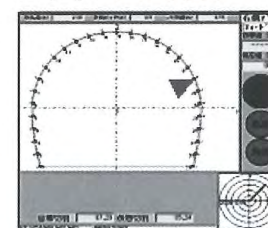
自動追尾式余掘り低減システム

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 千葉県市川市菅谷8-16-3

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

FRD 古河機械金属グループ 古河ロックドリル株式会社

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3 特機部

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

もうすぐ 温度・強度・圧力 まとめて一元管理

圧力センサ完成間近！

児玉の「スマートセンサ型枠システム・セントル仕様」

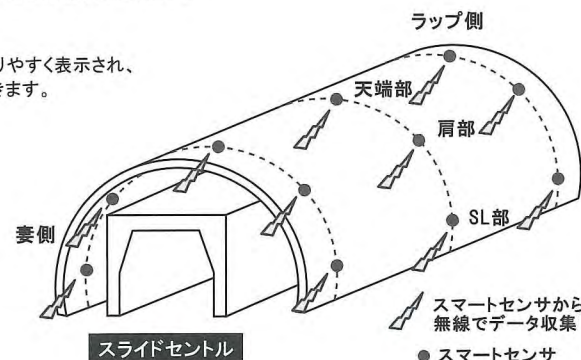
コンクリート表面温度を自動計測

コンクリートの表面温度や型枠周辺温度、打設開始・脱型時期を記録します。

専用リーダーでデータを読み取り

表面温度や推定強度はグラフやカラーマッピングで解りやすく表示され、躯体の状態を現場でリアルタイムに把握することができます。

NETIS登録番号 QS-110040-VE



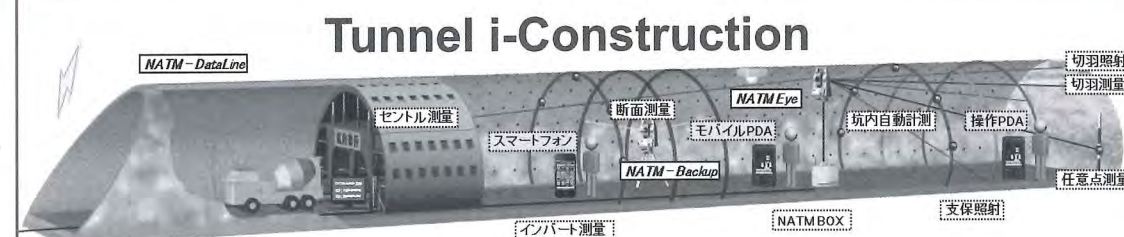
児玉株式会社 & 東京大学 大学院工学系研究科 建築材料研究室 共同研究開発 特許製品

児玉株式会社エンジニアリング事業部
〒812-0042 福岡市博多区豊 2-4-23

TEL : 092-474-5360
EMAIL : engi.office@kodama-boss.jp

NEW

究極のトンネル施工管理システム 生産性向上への挑戦！！ En-Note



タブレット端末

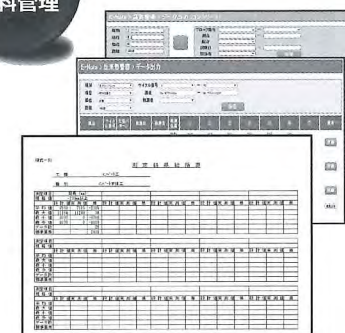
- ・品質
- ・出来形
- ・材料
- ・切羽観察
- ・写真
- ・チャット
- ・遠隔試験



職員パソコン



3D可視化+情報管理 (自動)



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

↓
黒板、野帳要らずで、現場の作業のみで各種情報はデータサーバへ保管

enzan

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

月刊推進技術

購読のご案内

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

わが国のライフラインなどのインフラ整備またはその再構築や新たな地下空間の築造に、掘削残土量や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、管路敷設に限らず、地下インフラの再構築の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっています。

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定期購読料金12,337円をお支払いください。

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

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



月刊推進技術 編集室

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

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

推進工事技士試験 過去6年間(2011~2016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「合格への近道」は、過去問題を「実際に解いてみることで」と多くの合格者からの声が寄せられています。本書では模範解答はもちろん、その問題が工法体系のどこから出典されたかが記載されています。出典箇所がわかるので、学習するポイントが明確化され「効率的な学習ができ合格できた」との声も多く寄せられています。

是非とも、本誌をご活用いただき合格していただければ幸いです。

1. 内容と特長

- 過去6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 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](#)

2016年度版発売中!!

購入方法は
こちらから



株式会社 LSプランニング

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

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

【好評発売中】

セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円

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

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

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

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

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

〈セグメントの新技术〉

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

株式会社 **土木工学社**

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

きーりーとーりー線

《ご注文票》

セグメントの新技术 _____ 冊 申込みます。

所在地 〒 ()

事業所名

部 課 名

☎

申込者名

㊞

HE
H+E LOGISTIK GMBH

Clever Conveying



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



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



H+E Logistik GmbH
日本代理店



山崎マシーナリー株式会社

担当: 森永

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

VOLVO 建設機械

高い作業性とクールなデザインが人気
年々強化される排ガス規制にも対応



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

TMS Techni-Métal Systèmes

多目的運搬台車
4次オフロード法取得 レールからの解放



TMS 社 日本代理店
担当: 富樫



山崎マシーナリー株式会社

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

振動・騒音マネジメント ソリューション

オリカおよびオリカグループでは、世界中で直面するトンネル掘削に関する多種多様なニーズや課題に対して、日々技術開発に取り組んでおります。

電子雷管eDevIIや発破設計ソフトSHOTPlus-T、遠隔自動環境計測システムNCVIBはその主な成果であり、様々な形で振動や騒音に関するソリューションをご提供いたします。

 Nitro Consult

 ORICA

オリカジャパン株式会社

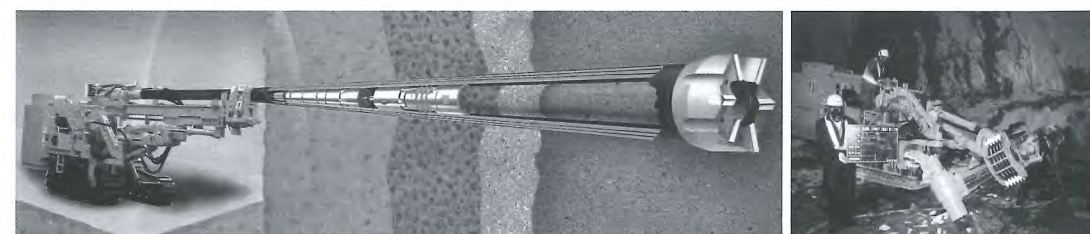
〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-7-11 虎ノ門三須ビル7F
Tel 03-5777-4681

nitroconsult.se | orica.com

トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法

- 断層破砕帯や湧水をとも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、コアサンプル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
大阪支店: (06) 6385-0350

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

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

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

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-V R (製造: 株式会社マシノ)



期待される効果・特徴

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

北 陸 鋼 産 株 式 会 社

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

北 野 工 場 : 〒936-0806 富山県滑川市北野新 888 番地 TEL076(476)2155 FAX076(476)2177

滑 川 工 場 : TEL076(476)0333 FAX076(475)9121 東北営業所 : TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423

東 京 支 店 : TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789

濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0 m³/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

《汎用車両全般》



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



10T ミキサー



4.5 m³ ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車両 取り扱っております

株式会社 フジテックス

〒930-0821 富山市飯野 12-1 TEL (076)452-1616(代) FAX(076)452-1617

■巻頭言

トンネル技術を振り返って

高嶋 正彦 5

■報告

2016年熊本地震による南阿蘇鉄道のトンネル被害

岡野 法之・川越 健・小島 芳之・津留 恒誉 47

2016年熊本地震による道路トンネルの被害と今後の耐震対策

砂金 伸治・日下 敦 55

■施工

最大226m²の大断面を含む拡幅区間のトンネル施工

—中部横断自動車道 上八木沢トンネル—

向井 隆彦・湯北記代彦・永野 翔平・渡邊 行朗 7

高速道路ランプ部における矩形シールド工法の計画と施工

—阪神高速道路大和川線 常磐工区—

真鍋 智・渡辺 幹広・馬目 広幸・大嶋 昇 17

防潮堤基礎杭直下を35cmの離隔でシールド掘進

—堺市下水道 出島バイパス線—

櫻本 浩・松浦 将行・中島 秀和・星野 壮一 29

温泉とは？ 温泉の有効利用は？ この1冊であなたの疑問を解決します！！



続 きみの庭にも温泉が出る

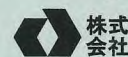
その後の温泉開発と建設の考え方

石井 康夫・俣野 恭寛 共著

新書判217頁 本体価格1,200円(税込1,260円)

【主要目次】 1. バブル景気と『ふるさと創生一億円』 2. バブル崩壊後の温泉景気 3. 温泉とは
4. 温泉の分布と特徴 5. 温泉の成因と寿命 6. 温泉の探査技術 7. 温泉談義アラカルト
8. 外国の温泉 9. 日本の地熱開発 10. 将来の温泉開発と建設の考え方

お申し込みは当社へFAX, または, お近くの書店にてお申し込みください



株式会社 土木工学社

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

■連載講座

セグメントの新技术Ⅱ(3)

—RC・新素材セグメント(2)—

「セグメントの新技术Ⅱ」連載講座小委員会 67

■現場だより

霊峰富士を望む身延より

大藤 茂也 15

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

経験を重ね, 現場力を育み, 危機を乗り切る

山道 哲二 37

■資料

土木情報

編集部 16

工法・技術・製品ニュース

編集部 66

トンネルジャーナル

編集部 46

トンネルワールドニュース

JTA 国際委員会 76

■会報

会報

日本トンネル技術協会 77

【表紙説明】

防潮堤基礎杭直下を35cmの離隔でシールド掘進

—堺市下水道 出島バイパス線—



出島バイパス線は堺市の浸水重点地区における浸水対策として, 1.9kmの下水道幹線を構築するものである。

シールド路線は港湾施設の重要構造物に多数近接し, 旧堺港に沿った市道の直下を急曲線を多用しながら掘進を行った。とくに古川防潮堤横断部では, 基礎杭の直下を35cmの離隔で無事通過することができた。写真は急曲線部の坑内状況である

〔写真提供：堺市〕(本文29頁参照)

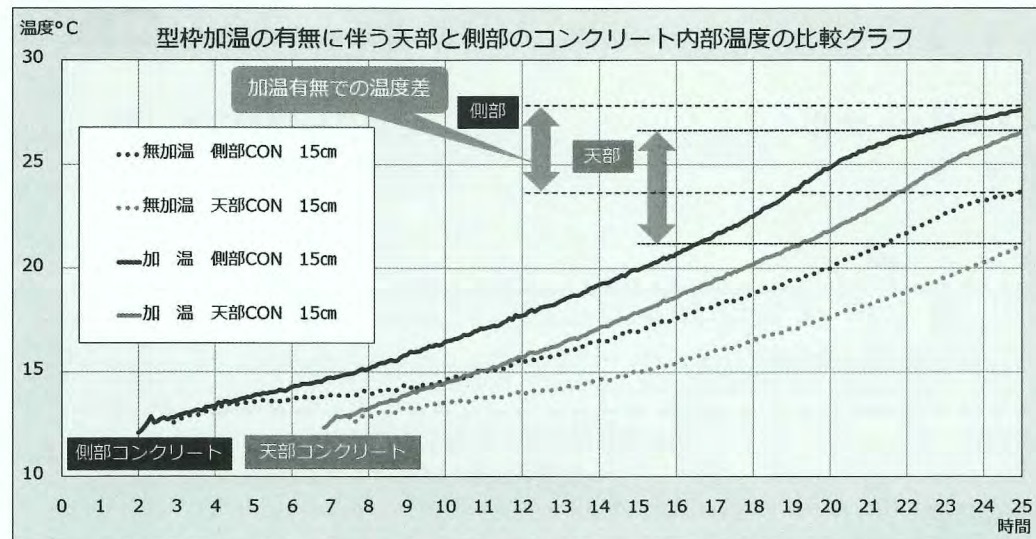
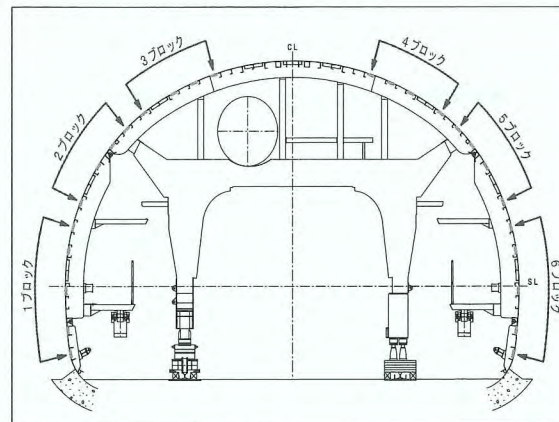
面状発熱体シートによるセントル加温養生システム

NETIS登録申請中

■ 特 長

- ・加温する事でコンクリートの硬化温度を20% (約5℃) 上げる事ができる
- ・コンクリートの水和反応を促進し脱枠時の必要強度が確保できる
- ・表面と内部の温度上昇差を小さくし応力によるひび割れが防止できる
- ・表面の硬化を促進し表面強度と透気係数などの表層品質が向上し表面剥離が防止できる
- ・安全性 (引火防止)、省人化 (作業削減)、環境改善 (CO₂減少)に優れている

シート1枚当たりの性能	
名称	規格
面状ヒーター	145×1,310 mm
抵抗値	494Ω ±20% (396 ~ 592Ω)
電圧	200 V
消費電力	81.0 W
電流	405 mA
漏れ電流	0.10 mA
温度	70℃以上
絶縁耐圧	AC 1,500 V 60 秒
絶縁抵抗	DC 500V 100 MΩ以上



岐阜工業株式会社

営業部本部 岐阜県瑞穂市宮田三舞越199番地
TEL 058-257-1001 FAX 058-257-1011
URL <http://www.gifukogyo.co.jp/>

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

【製造元】

TECHNO
テクノプロ株式会社

AKT/O Group

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

小 山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

〔幹 事〕

伊 藤 哲 男 株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部 トンネル研究担当部長	藤 井 義 文 株式会社竹中土木常務執行役員
江戸川 修 一 清水建設株式会社土木技術本部副本部長 地下空間統括部長	松 原 利 之 飛鳥建設株式会社技術研究所所長
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長	森 正 彦 前田建設工業株式会社土木事業本部 トンネル担当部長
坂 田 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	吉 岡 大 蔵 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官
中 間 祥 二 株式会社大林組生産技術本部統括部長	吉 富 幸 雄 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル室参与
西 岡 和 則 鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長	渡 邊 修 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 事業監理部計画課長

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS

強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW
総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m（ケーブルハンガーを除く）
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

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

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

〔編集参与〕

大 島 洋 志	真 下 英 人
国際航業株式会社技術本部最高技術顧問	一般社団法人日本建設機械施工協会
首都大学東京客員教授	施工技術総合研究所所長
木 谷 日出男	松 浦 将 行
国際航業株式会社フェロー技術本部	地方共同法人日本下水道事業団理事
土木地盤研究担当	山 田 隆 昭
今 田 徹	東日本高速道路株式会社参与
東京都立大学名誉教授	(シニアエキスパート)

〔委員〕

砂 金 伸 治	中 井 宏
国立研究開発法人土木研究所つくば中央研究所	東京都下水道局建設部設計調整課長
道路技術研究グループ(トンネル)上席研究員	中 谷 誠 一
伊 藤 哲 男	東京都水道局建設部工務課長
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部	平 野 隆
トンネル研究担当部長	東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
河 村 和 信	技術基準担当課長
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構	安 田 智
技術企画部技術企画課総括課長補佐	東京都交通局建設工務部計画改良課長
岡 野 法 之	吉 本 正 浩
公益財団法人鉄道総合技術研究所	東京電力パワーグリッド株式会社
構造物技術研究部トンネル研究室室長	工務部管路土木技術担当
清 水 満	
東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長	

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

NETIS 登録 KT-120099-A
特許 第 4863308 号

型枠バイブレータ
集中制御システム『DKV-20』

NETIS 登録 KT-130066-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)

NETIS 登録 KT-130037-A
特許 第 5247491 号

トンネル天端部
懸垂バイブレータ締め固め工法

NETIS 登録 KK-120003-A

NETIS登録技術
覆工コンクリートの品質向上

新しいタイプの覆工コンクリート養生システム

給水用
分配盤

NETIS 登録 KT-160031-A

トンネル覆工コンクリート給水養生工法
ウエットフォーム

ウエットフォームと移動台車の概念図

ウエットフォーム移動中

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

トンネルと地下 VOL.49 No.2 掲載概要

掲載頁
7

最大226m²の大断面を含む拡幅区間のトンネル施工
—中部横断自動車道 上八木沢トンネル—

戸田建設(株) 向井 隆彦

中部横断自動車のうち、国土交通省直轄の山梨県区間の上八木沢トンネル終点側坑口部(トンネル延長678m)は、インターチェンジのランプ部がトンネル区間に入るため拡幅断面区間(130.5m)が存在する。拡幅断面は5段階で拡幅する計画となっており、最大断面で設計掘削断面積226m²の国内最大規模の断面を有する。

本稿では拡幅断面区間の施工にあたり実施した事前調査や補助工法について報告する。

Tunnel Large Section up to 226m² Including Ramp Lane — the Chubu Odan Expressway the Kamiyagisawa Tunnel —
By Takahiko Mukai, Toda Corporation

The Kamiyagisawa Tunnel, 678m in length is located on the Chubu Odan Expressway in the Yamanashi Prefecture which has been constructed under direct control of the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. Its cross-section near the portal in the side of the end point is wide because of including a ramp lane for 130.5m. The wide section is planned to enlarge in five stages with the country's largest-scale cross-section of a design excavation area of 226m².

This report contains information on prior investigations and auxiliary methods implemented in the enlarging works.



写真は最大断面(DⅢ-L5 断面: 掘削断面積226m²)

掲載頁
17

高速道路ランプ部における矩形シールド工法の計画と施工
—阪神高速道路大和川線 常磐工区—

鹿島建設(株) 真鍋 智

地下に高速道路を構築する阪神高速道路大和川線建設事業のうち、出入口ランプと本線トンネルの分岐合流部を建設する常磐工区開削トンネル工事では、ランプ拡幅部の施工にあたり、地上の工事占用幅縮小による近隣住民への負担軽減を目的として出口ランプ側を開削工法から矩形シールド工法に変更した。

矩形シールド工事は、小土かぶり発進、本線開削土留め壁近接併走掘進、下り8%急勾配掘進といった厳しい施工条件となり、これに対し厳格な切羽土圧管理による地表面沈下抑止対策やシールドの姿勢制御、合成セグメントの採用による断面精度の向上などの各種対策を行った。今般、延長225mの矩形シールドの掘進を無事終えたのでその対策と成果について報告する。

Plan and Construction of Expressway Ramp Using Rectangular Shield TBM — the Hanshin Expressway Yamatogawa Line Tokiwa Lot —

By Satoshi Manabe, Kajima Corporation

At planning phase, tunnelling works of the Tokiwa Lot is to build an exit/entrance ramp and main line tunnel using cut-and-cover as a part of the Hanshin Expressway Yamatogawa Line Project of construction of an underground

expressway. the construction method of Exit ramp was changed from cut-and-cover to rectangular shield TBM with the aim of relieving the burden on local residents by reducing the width of the works.

The rectangular shield works were conducted under difficult construction conditions such as launching shallow underground, driving TBM closed to wall of box tunnel and excavation in a steep downward gradient of 8%. Various measures such as ground surface settlement control through monitoring earth pressure at face, TBM posture control and improvement of cross-section accuracy through using composite segments were implemented. This report contains information on these measures and results as the excavation of 225m with a rectangular shield TBM was completed without incident.



写真はシールド到達状況

出島バイパス線は堺市の浸水重点地区における浸水対策として、1.9kmの下水道幹線をシールド外径5.28m(内径4.5m)、土かぶり約20mで構築するものである。

シールド路線は港湾施設の重要構造物に多数近接し、旧堺港に沿った市道の直下を、急曲線多用しながら掘進を行った。とくに古川防潮堤横断部では、基礎杭の直下15cmの離隔に対して、障害物の取込みを考慮したシールド機構とし薬液注入による防護工を実施するとともに、路線全体を20cm下げ基礎杭直下35cmの離隔を確保することで万全の対策をもって無事通過することができた。

本稿では、港湾施設重要構造物の近接施工と急曲線の設計・施工について報告する。

Shield TBM Passes 35cm below Seawall Piles Bottom — Sakai City Sewerage, Dejima Bypass Sewer —

By Hiroshi Sakuramoto, Sakai City



写真は坑内状況(R=20m)

The Dejima Bypass sewer is sewerage tunnel of 1.9km in length installed 20m underground using a shield TBM with an outer diameter of 5.28m (inner diameter of 4.5m) as a measure against inundation in Sakai City.

The sewer is installed adjacent to several important port facilities under a city road along the old Port of Sakai frequently using sharp curves. At the planning phase TBM was planned to pass 15cm under piles of the Furukawa seawall, we have lowered the whole alignment to keep 35cm separation, executed chemical grouting for soil stabilization and equipped the function which take the obstacles with the TBM in order to pass without incident.

This report contains information on construction close to major port facilities and design and construction of the sharp curves.

2016年4月14日に前震(マグニチュード6.5)が、続く16日に本震(マグニチュード7.3)が発生した2016年熊本地震により、南阿蘇鉄道高森線のトンネルや渓谷に架かる橋梁が移動・変形するなど、鉄道施設に甚大な被害が発生した。さらに、熊本地震以降に生じた降雨が原因と考えられる変状(被害の拡大)も確認された。これに伴い国土交通省鉄道局より(公財)鉄道総合技術研究所が委託を受け、被害の詳細と損傷程度の評価ならびに概略の復旧計画を作成するための調査を実施した。

1928年に供用を開始した高森線は犀角山トンネルおよび戸下トンネルの2トンネルを有するがともに被災した。本稿では、今回の調査により明らかとなった2トンネルの被災状況について報告する。

Tunnel Damage on the Minami-Aso Railway Caused by the 2016 Kumamoto Earthquake

By Noriyuki Okano, Railway Technical Research Institute

The 2016 Kumamoto Earthquake comprising a foreshock (magnitude 6.5) on April 14th and the principal earthquake (magnitude 7.3) on the 16th caused severe damage to railway facilities such as the movement / deformation tunnels and bridges over ravines on of Minami-Aso Railway Takamori Line. Furthermore, displacement (exacerbation of damage) that is thought to have been caused by rainfall since the earthquake has been confirmed. In keeping with this, the Railway Technical Research Institute was commissioned by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Railway Bureau to implement a survey in order to evaluate the details and degree of the damage as well as to create a rough restoration plan.

The Takamori Line which went into service in 1928 has two tunnels (Saikaku Tunnel and Toshita Tunnel), both of which were damaged. This report contains information on the status of the damage on the two tunnels that was discovered through this survey.



写真は戸下トンネル起点方坑口部右側アーチのひび割れおよびずれ

2016年4月に発生した熊本地震では、山岳トンネルに関しても甚大な被害が発生した。本稿では道路トンネルの被害として、当該地域全体の道路トンネルの被害状況を概括するとともに、とくに甚大な被害を受けた俵山トンネル、それ以外のトンネルに関して調査結果をもとにした被害と復旧方法の紹介を行うとともに、既往の地震の被害状況や知見などをもとに検討を行い、国土交通省によって発出された道路トンネルに関する耐震対策の考え方、および具体の検討の一例について紹介する。

Road Tunnel Damage Caused by the 2016 Kumamoto Earthquake and Future Aseismic Measures

By Nobuharu Isago, Public Works Research Institute

Mountain tunnels also sustained severe damage in the Kumamoto Earthquake on April 14th. This report present as follows: summary of the status of damage of all road tunnels in the stricken area, restoration methods and damages based on survey results for the Tawarayama Tunnel that was particularly badly damaged and other tunnels, concepts for aseismic measures for road tunnels obtained through studies based on the status and knowledge of damage caused by previous earthquakes published by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, an example how to examine a measure.



写真は盤ぶくれの状況



トンネル技術を振り返って

(株)熊谷組執行役員副社長(本協会評議員)

高嶋正彦

トンネルが公的機関からの発注で数多く施工されるようになったのは、明治期の水路トンネルや鉄道トンネルからです。当時のストックは、いまだに現役で発電に用いられ、輸送手段のルートとして大切に使用されています。道路トンネルの建設が本格的に行われ始めたのは昭和に入ってからであり、昭和40年代からは水路や鉄道トンネルよりも道路トンネルの建設本数が増加してきます。わが国は現在、水路トンネル約4,700km、鉄道トンネル約3,900km、道路トンネル約4,400kmを有しています。社会資本のストックとしてのトンネルは、形状は似ているものの相手とする地山は複雑で、唯一無二の構造物となる非常に貴重な社会的な財産であるといえます。

熊谷組は創立120周年を迎えました。この機会にこれまでの当社のトンネル事業の総括を行ってみました。山岳トンネルの施工総延長は1,000kmを超え、その内訳は水路トンネル525km、鉄道トンネル210km、道路トンネル280kmとなっています。また、シールドトンネルの施工延長は上下水道490km、鉄道105km、道路20km、共同溝・ガス・電気ほか100kmであり、合計715kmを掘削したこととなります。

技術の変遷の観点からみると、山岳トンネルでは、昭和30年代には木製支保工から鋼製支保工を使用した矢板工法へ、人力施工から空気圧を使用した機械化施工へと変化しました。さらにサイロット工法を使用して不良地山までトンネル工法の適用範囲を広げることができました。昭和50年代にはこれまでのトンネル工法から大きな変換期を迎えます。上越新幹線中山トンネルにNATM(現在の標準工法)を導入し、膨張性地山を克服しました。飯山トンネルでは多重支保工法を導入し、大変形を伴う膨張性地山を合理的に施工しました。施工機械も大型油圧機械が導入され大断面トンネルの施工や急速施工も可能となってきています。また、注入式長尺先受け工や鏡補強工をはじめとする補助工法が発達し、山岳工法が軟弱地盤である都市部にも広がっています。箕面トンネルでは未固結地山において300m²を超える大断面トンネルに補助工法を適用して掘削す

NETIS登録No.KK-160026-A

FIXチューブ(S型)

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



NETIS登録No.KK-150045-A

AGF-STD工法

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



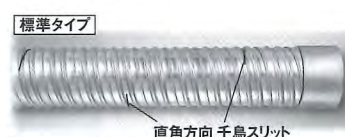
曲げ耐力30%UP!!



(報告書あります)

接続部の抗折力試験

撤去管の選択



STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

NETIS登録No.KK-110040-A

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

STE

エスティーエンジニアリング株式会社

ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2

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

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

ることができました。

一方、シールドトンネルでは、昭和20年代後半に関門国道トンネルで開放型手掘りシールドを導入し、その後ルーフシールドを経て、昭和35年には名古屋市地下鉄覚王山トンネルでRCセグメントを採用しました。高度成長期の昭和40年代より徐々に掘削方法は開放型機械掘りシールドへ移行していききました。昭和50年代には現在主流となっている泥水式や泥土圧式に代表される密閉型シールドが開発され、シールド技術は飛躍的に進歩しました。昭和60年代には円形という概念を一変した2連MFシールドを京葉線京橋トンネルで実用化しました。その後、都営大江戸線飯田橋駅などに採用された3連シールドや矩形シールド、複合円形シールド、東京湾横断道路などにみられる大断面シールドへとシールド技術は進歩を続けているとともに、長距離化も進んでいます。

また、山岳工法とシールド工法を融合した新しいトンネル工法であるSENSが東北新幹線三本木原トンネルで導入され、採用実績も増加しています。

最近の動向では、リニア中央新幹線などに見られるように大土かぶり長大トンネルの施工や、都市部における東京外かく環状道路に代表される大断面・長距離シールドおよび分岐合流部の地中拡幅工事が施工されています。このように、日本のトンネル技術は古くから日進月歩していますが、初期に構築されたトンネルの老朽化や大規模地震の頻発による設計基準の見直しなども重なり、大規模更新時期にも突入しています。今後は既存トンネルの延命化や再構築も視野に入れた技術開発の必要性も急務であると考えています。

その時代の最新技術は必ずしも万能ではなく限界があり、無理をすれば大きな事故につながることを肝に銘じて施工を行わなければならないと思います。また、同時にその限界を克服するために、絶え間なく技術開発を進めていく必要があると考えます。今後の課題として、建設業界の高齢化に伴う人材不足に対応するためにICT技術を活用した山岳工法における切羽作業の遠隔化や省力化、シールド工法における更なる機械化や自動化などの開発が望まれます。

担い手確保が社会問題化している中、魅力ある建設業を目指し、若手技術者が夢を抱ける未来へ向けて挑戦する必要があります。熊谷組も次の120年に向け、「世界で1番のトンネル技術を有する日本」にする気概を持って課題克服に取り組むとともに、私も微力ながら貢献してまいります。

施工

最大226m²の大断面を含む拡幅区間のトンネル施工

—中部横断自動車道 上八木沢トンネル—

戸田建設(株)首都圏土木支店上八木沢トンネル工事作業所長 向 井 隆 彦
戸田建設(株)首都圏土木支店上八木沢トンネル工事主任 湯 北 記代彦
戸田建設(株)首都圏土木支店上八木沢トンネル工事係員 永 野 翔 平
国土交通省関東地方整備局甲府河川国道事務所建設監督官 渡 邊 行 朗

1 はじめに

中部横断自動車道は、静岡県静岡市を起点に、山梨県甲斐市を經由して長野県小諸市に至る延長約132kmの高速自動車国道である。中部横断自動車道の開通により、新東名高速道路、中央自動

車道および上信越自動車道が接続され、周辺地域における生活、産業、観光面の活性化、異常気象時における代替道路の確保、地震災害時の緊急輸送路の機能向上、高次医療施設への迅速な移動が可能となるなど、さまざまな効果が期待されている。上八木沢トンネルは、国土交通省直轄の山梨県



図-1 工事位置図

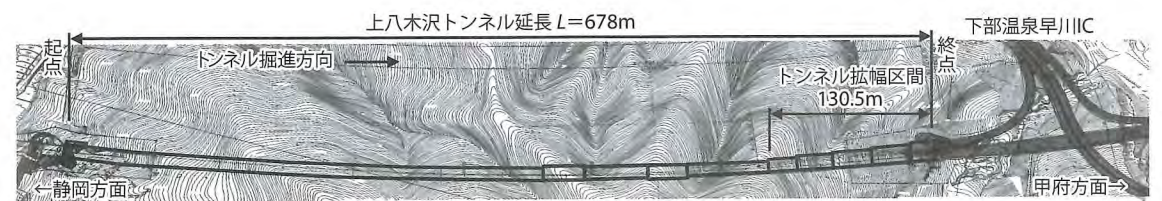


図-2 トンネル平面図

区間(富沢IC～六郷IC)の延長約28kmのうち、山梨県南巨摩郡身延町上八木沢に位置する延長678mの山岳トンネルである(図-1)。

トンネルの終点坑口部においては、下部温泉早川ICのランプ部がトンネル区間に入るため、トンネル拡幅断面区間(130.5m)がある(図-2)。トンネル拡幅区間は、5段階で拡幅する計画となっており、最大断面で設計掘削断面積 226m^2 (仕上がり内空 182m^2)と国内最大規模の大断面となっている。本稿では、この国内最大規模を有する拡幅断面区間の施工実績について報告する。

2 工事概要

2-1 地形・地質概要

トンネルを掘削する地形は、甲府盆地から太平洋に至る富士川左岸(東側)の丘陵部(標高360m)を計画標高240～250m程度で丘陵斜面を貫くもので、起終点側の両坑口部の地形は、斜面直交型であり、終点側坑口部は、集水地形となっている。

トンネルの地質は新第三紀中新世の富士川層群身延累層の泥岩が大半を占めており、トンネル中央部では、礫岩、凝灰岩、砂岩の薄層が介在する。また、トンネル終点側坑口付近には、貫入岩(ドレライト)のシート状岩脈が挟在する(図-3)。

2-2 工事概要・施工概要

本トンネル工事の工事概要を表-1に示す。トンネル掘削は、起点側から終点側に行った。起点から終点へのトンネルの縦断勾配は下り勾配であ

表-1 工事概要

工事名称	中部横断上八木沢トンネル工事
工事場所	山梨県南巨摩郡身延町上八木沢地先
工期	当初：2014(平成26)年2月～ 2015(平成27)年7月 変更：2014(平成26)年2月～ 2018(平成30)年3月
発注者	国土交通省関東地方整備局
施工者	戸田建設(株)
延長	678m
断面	標準部(DI-b) 設計掘削断面積 103m^2 (盤下げ含む) 2車線道路トンネル 拡幅部最大(DIII-L5) 設計掘削断面積 226m^2 (盤下げ含む) 3車線道路トンネル
工法	NATM
掘削方式	機械掘削(ロードヘッダ)
掘削工法	ショートベンチカット工法
掘削支保	672m
掘削補助工	長尺鋼管フォアパイルリング 長尺鏡ボルト 鏡吹付けコンクリート など1式
インバート工	678m
覆工・防水工	676.2m
坑門工	2か所
区間内訳	標準断面区間 485.5m 非常駐車帯 31.0m、2か所 拡幅断面区間 130.5m(DI-L1～DIII-L5) ※DIII-L4、DIII-L5 46.5m 高強度吹付けコンクリート 高規格鋼製支保工 高耐力ロックボルト

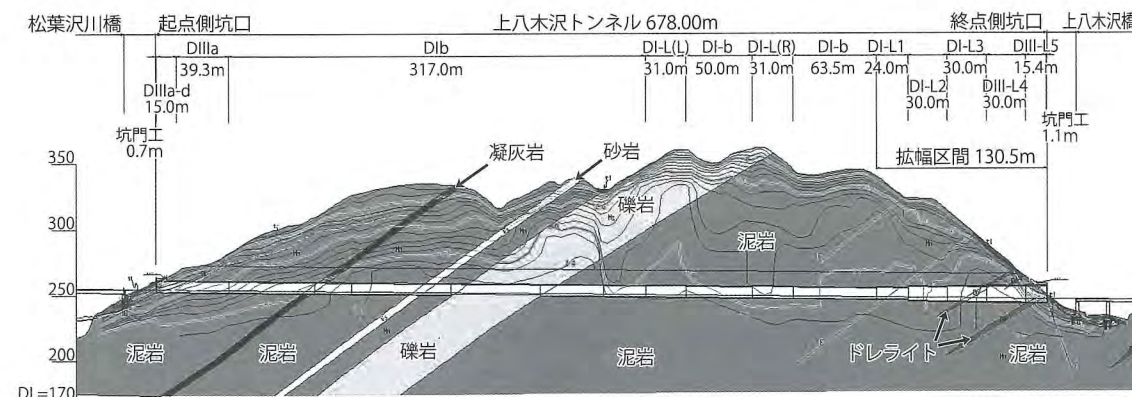


図-3 地質縦断図



写真-1 湧水による帯水状況(上半盤)



写真-2 切羽鏡面の崩落(鋼製支保工建込み直後)

るため、切羽からの湧水による路盤の泥濘化や帯水などの掘削環境の負荷を低減する施工を心掛け、排水処理や路盤整備を実施しながら施工を実施してきたが、掘削進捗120m付近で事前調査では捉えられなかった 1t/min の多量の湧水が発生し、坑内帯水や坑内路盤の泥濘化により掘削機械の重機足場を確保するための処理などで進捗に多大な影響を及ぼした(写真-1)。掘削土である泥岩は湧水に触れた箇所を掘削機械が往来すると簡単に泥濘化・泥水化するため、坑内路盤の泥土や泥水の処理に苦勞しながら掘削を行ってきた経緯がある。また、切羽状況についても鏡面の崩落が所々で発生するなど、切羽崩壊災害に留意しながら掘削を行ってきたため、大断面となる拡幅断面区間の施工については、とくに慎重な施工を行う必要があった(写真-2)。

3 拡幅断面区間の施工方法

3-1 拡幅区間の概要

標準断面区間のトンネル設計掘削断面積は103

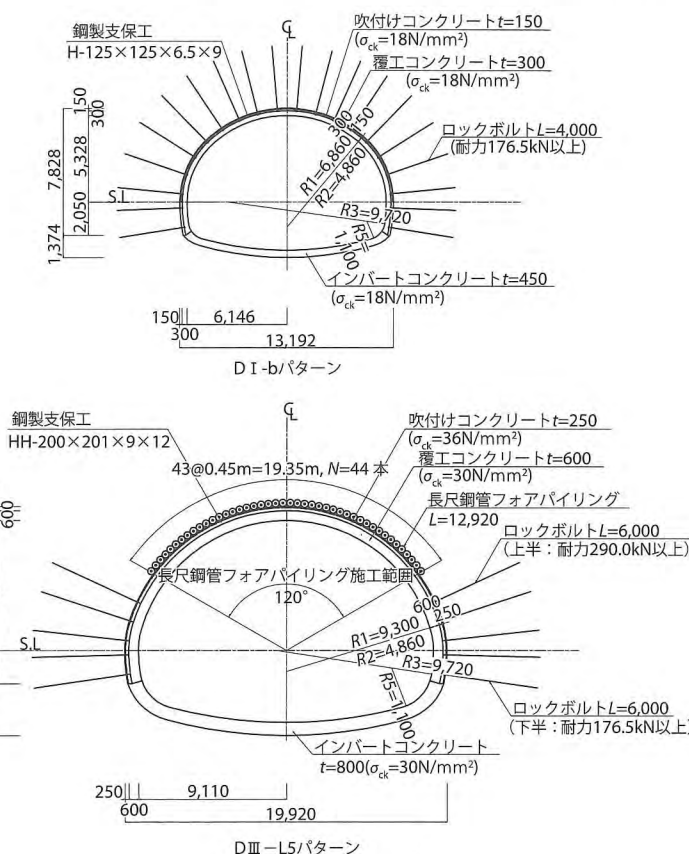


図-4 支保パターン図

m^2 である。下部温泉早川ICのランプ部がトンネル区間に入るトンネル拡幅区間130.5mは、5段階で拡幅する計画となっており、最大断面部の設計掘削断面積は 226m^2 で標準断面の2.2倍を要する(仕上がり内空断面では、標準部 76m^2 、最大部182

表-2 拡幅区間の詳細

支保パターン	DI-b	拡幅区間130.5m				
		DI-L1	DI-L2	DI-L3	DIII-L4	DIII-L5
設計掘削断面積 (m^2 , 盤下げ含む)	103	123	155	173	207	226
区 間 長(m)	標準断面	24.0	30.0	30.0	30.0	16.5 (坑門工1.1m含む)
掘 削 工 法	ショートベンチカット					
掘削 支保	吹付け	15cm, 18N/mm ²	20cm, 18N/mm ²	20cm, 18N/mm ²	20cm, 18N/mm ²	25cm, 36N/mm ²
	鋼製支保工	H-125	H-150	H-200	H-200	HH-200
	ロックボルト	4.0m, 耐力176.5kN	6.0m, 耐力176.5kN	6.0m, 耐力176.5kN	6.0m, 耐力176.5kN	上半: 6.0m, 耐力290.0kN 下半: 6.0m, 耐力176.5kN
補 助 工 法	—	—	—	—	充填式フォアボーリング 長尺鏡ボルト	長尺鋼管フォアパイ リング
掘削工法(追加)	—	—	—	—	先進導坑	
補助工法(追加)	鏡吹付けコン クリート (5cm@1.0m)	鏡吹付けコン クリート (5cm@1.0m) 長尺鏡ボルト	鏡吹付けコン クリート (5cm@1.0m) 長尺鏡ボルト	鏡吹付けコン クリート (5cm@1.0m)	鏡吹付けコンクリ ート(5cm@1.0m) 長尺鋼管フォアパイ リング	鏡吹付けコンクリ ート(5cm@1.0m)
加 背 割 り	2分割 (上下半)	2分割 (上下半)		3分割 (上中下半)		

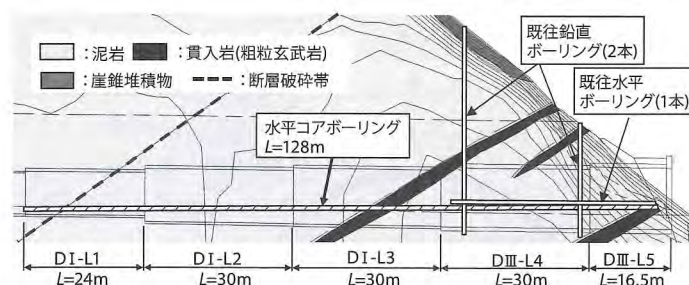


図-5 水平コアボーリング縦断面図

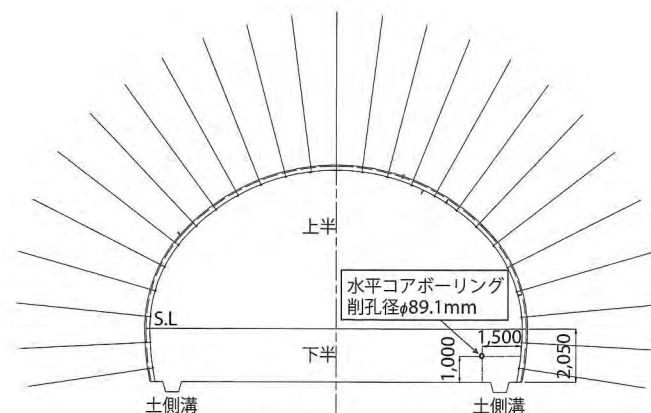


図-6 水平コアボーリング断面図

m^2 で標準断面の2.4倍である)。

標準部の断面と拡幅断面最大部の支保パターン図を図-4に、拡幅区間の概要を表-2に示す。

3-2 拡幅区間における施工上の対策

3-2-1 拡幅区間全体の地質性状の事前把握と地下水の低減

拡幅区間終点のDIII区間では既往ボーリングにより薄層の破砕帯やドレライトの貫入が確認され、その他の断面区間にも同様の脆弱地質や帯水帯の存在が懸念されたことから、水抜きを兼ねた水平コアボーリングを拡幅区間の施工前に拡幅区間全線分をトンネル坑内から拡幅終点DIII-L5方向に実施した(図-5, 6)。水抜きについては、坑内帯水や坑内路盤の泥濘化により掘削機械の重機足場を確保するための処理などで進捗に多大な影響を及ぼした経

験から、作業環境の確保と安全性の向上およびトンネルの沈下・変形を防止することを目的とした。

採取されたコアは短棒状～片状のコアが大半で一部に棒状新鮮なコアも見られたが、前後が岩片・粘土状に破砕劣化したコアが随所に見られた。また、坑口部は風化により角礫状、片状、風化粘土が見られ、拡幅区間の起点側は、DI地山と判断された。また、DIII区間の小土かぶりの坑口区間は、DI以下の地山と判断され、あらゆる面で慎重な施工が必要であることが確認された。ボーリング時の湧水は、82m地点(DI-L3区間の28m地点)で52L/minの湧水が確認されたが、ボーリング開始箇所の口元処理を鋼管にて行い、湧水の排水処理を実施したところ2週間程度で湧水がなくなり、地下水位を低減してから施工ができたため、湧水による路盤の泥濘化を防止することができた。

3-2-2 鏡面安定化対策

拡幅断面区間は、地山等級D区分の脆弱な地質条件に加え、断層破砕帯が存在する。拡幅区間の掘削切羽は、大断面の鏡面となり、肌落ちや剝離崩壊が生じやすく、これに起因した緩み領域が切羽前方やトンネル周方向へ拡大し、鏡面が不安定化することが懸念されるため、緩み範囲を抑制し早期に鏡面を安定化させることが重要となる。そのため、鏡面安定対策として、拡幅区間(DI-L1, DI-L2)の掘削前に長尺鋼管鏡ボルト($\phi 76.3\text{mm}$, $L=12.8\text{m}$, ラップ長3.5m, 12本/断面, 6シフト, 注入材シリカレジン70kg/本)を採用した(図-7)。

長尺鋼管鏡ボルトの採用は、鏡面のせん断抵抗力を1.3倍向上させることにより、鏡面の押出し

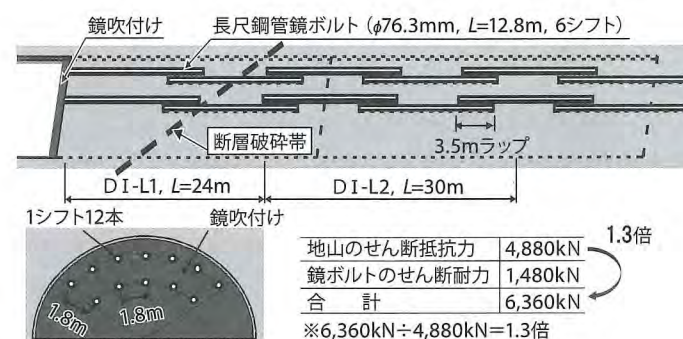


図-7 長尺鋼管鏡ボルト縦断面図

抵抗性の向上と前方地山の縫付け効果により、先行変位と岩塊の抜落ちを抑制し、周辺地山の緩みの拡大を防止することを目的とした。また、上半掘削は、上半天端部分からの抜落ちや緩みの拡大を防止するため、上半断面を上部と下部に分割し、上半上部断面の掘削完了後、直ちに1次吹付けと鏡吹付けを実施し、その後、上半下部断面を掘削し、直ちに1次吹付けと鏡吹付けを実施することで鏡面の安定化を図った。

3-2-3 加背割りの変更

DI-L3パターンは、当初CII-L3パターンであったが岩判定の結果DI相当と判定されたが、DI-L1, DI-L2パターン区間に比べ、棒状のコアが比較的多いことから上半の鏡面安定対策は、鏡吹付けコンクリートによる補助工法で対応した。また、この区間からは、上半先進多段ベンチカット工法(加背割の変更)に変更した。

設計で使用している自由断面掘削機(MRH-S200: カッターヘッド出力200~240kW)の最大掘削高さが6.0mで、当初設計(CII-L3~DI-L5パターン)の2分割の加背では、上半の掘削高さが6.0m以上となり、天端付近の掘削ができないので、機械掘削高さ以内に上半盤の高さを変更した。加背を小さくすることで、掘削時の応力解放が小さくなり、安定性が向上する。下半部についても、上半盤の高さ変更により下半部が高くなるため、中下半に分割し、施工性と安全性を高めることにした。

当初設計断面のCI-L3と変更断面のDI-L3パターンを図-8に示す。

3-2-4 先進導坑を採用したDIIIパターン区間の掘削

DIII-L4, DIII-L5パターン区間は貫通側へ進むに従い、断面が不安定な拡大方向になる構造条件(DIII-L5断面で標準断面の2.2倍に拡大)に加えて、土かぶりが順次小さくなり、薄層破砕部の介在や風化した泥岩が掘削断面に出現するなど地山条件が悪くなる。そのため、安全な掘削方法の採用および

終点側坑口の施工条件を考慮して掘削方法を決定した。

貫通点となる終点側坑口部には坑口から約20mの位置から橋梁となるが、別途工事により上部工事を施工中で橋梁が完成していなかったため、

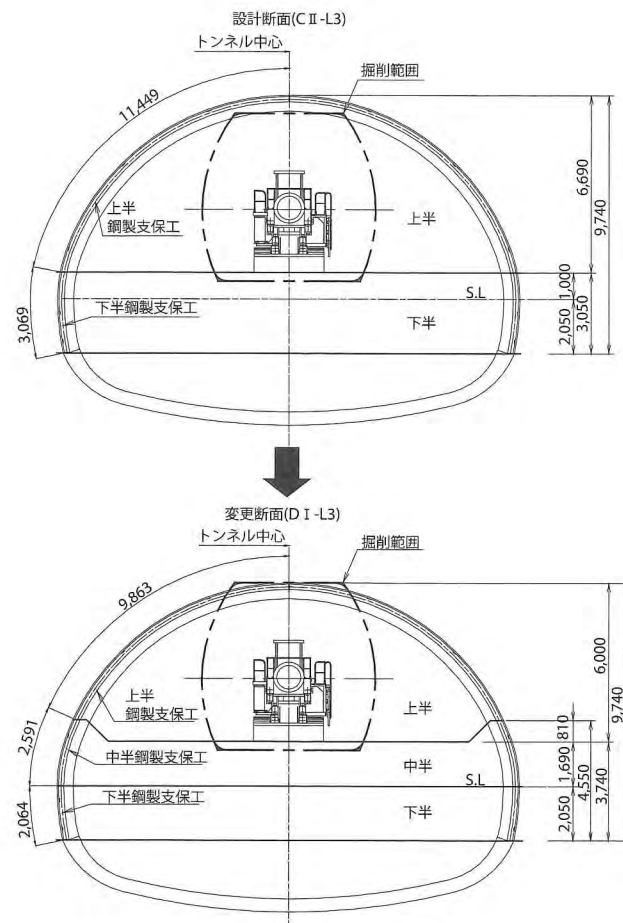


図-8 加背割りの変更

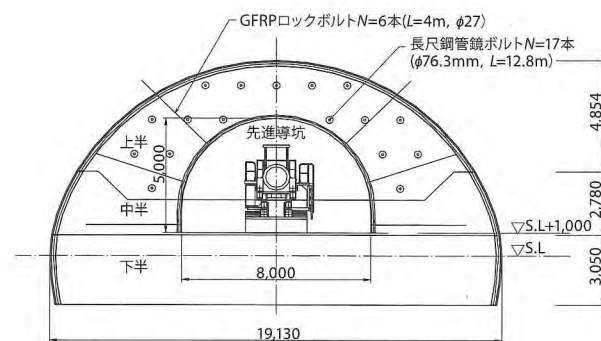


図-9 DIII-L4 断面図(先進導坑の採用)

橋梁を使用してのアクセスができず、終点側から施工する坑口付け、長尺鋼管フォアパイリングの施工ができない状況であったがバックホウなどの重機が自走できる急勾配の工事用進入路を橋梁下部から確保することができたため、坑口切土などの坑口付けを事前に終点側からすることができた。しかし、貫通前に事前に施工しておくべき長尺鋼管フォアパイリングの施工のためのホイールジャンボや電源設備などは、大型の機械・設備であるため、急勾配の工事用進入路から終点側に持ち込めない状況であった。

このような終点側坑口部の条件から、DIII-L4パターンから先進導坑(図-9, 10)を採用し、先進導坑を先行貫通させたあとに導坑断面を使用して終点側から長尺鋼管フォアパイリングを施工することにした(図-11)。また、坑内からは、設計の終点側坑口部の長尺鋼管フォアパイリングに加え1シフト追加施工し、風化泥岩部と貫入岩層(ドレライト)を一体化させて天端の安定化を図ることとした(図-12)。

先進導坑は、掘削機械(自由断面掘削機、吹付けロボット、ホイールジャンボなど)で施工が可能で最終的にホイールジャンボが通過可能な断面とした。先進導坑の掘削支保は、上半断面中心の核となる部分であるため、鋼製支保工H-150×150@1m、吹付けコンクリート20cmとし、堅固な構造体に置き換え、GFRPロックボルト(L=4m、φ27、耐力343

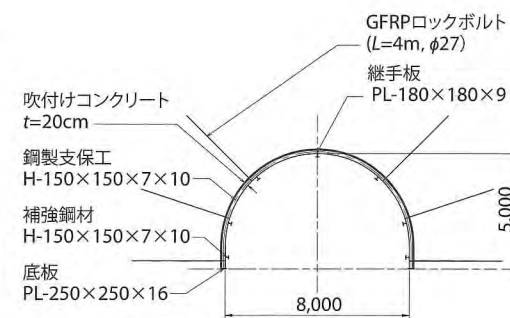


図-10 先進導坑詳細図

kN、6本/間)を導坑内から打設することにより地山を縫い付け、後施工の上半断面施工時の地山崩落を防止し、安定化を図ることとした。また、先進導坑の採用により後掘削となる上半断面施工時の

掘削土量の縮小により切羽解放時間が縮小するため安定した上半掘削および緩みの拡大による切羽崩壊災害の防止を図った施工とした。DIII-L4、DIII-L5区間の施工状況を写真-3~7に示す。

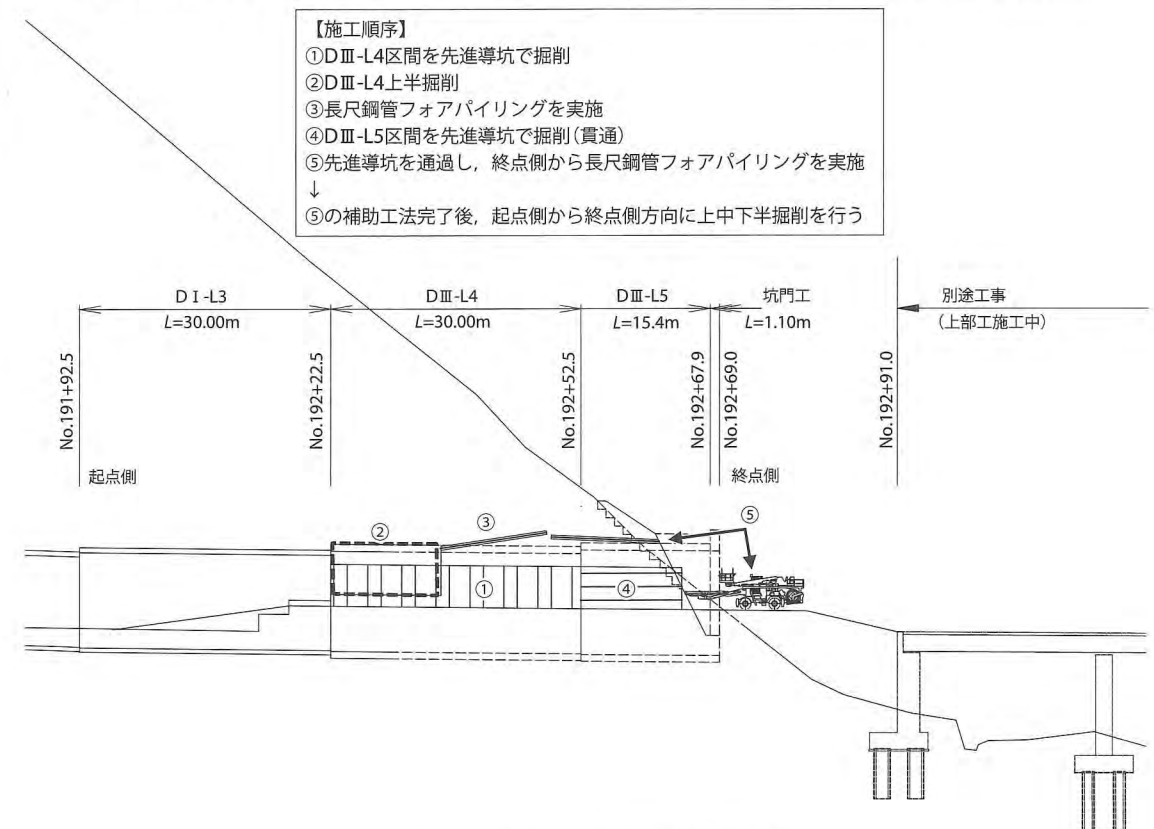


図-11 DIII-L4、DIII-L5 区間の施工順序

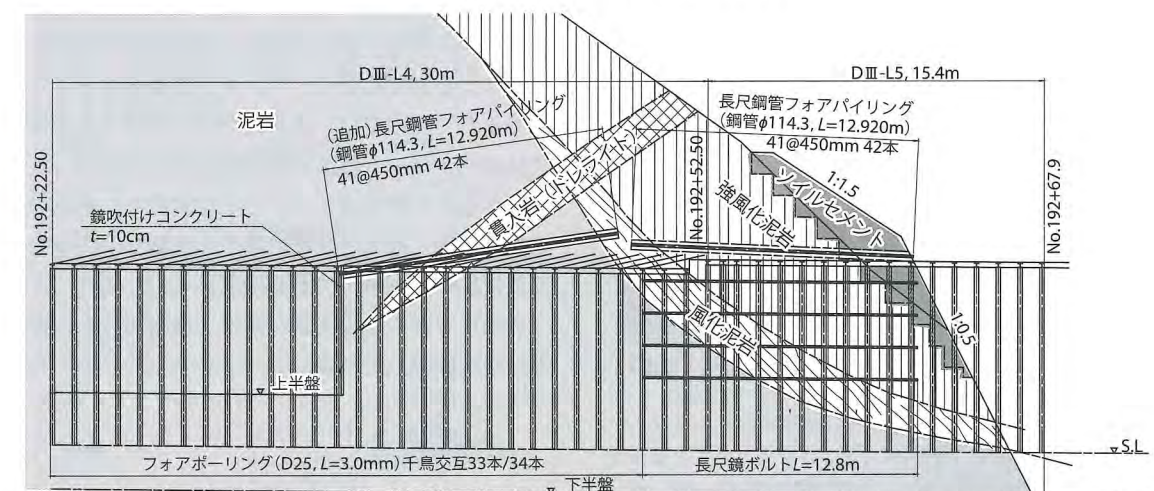


図-12 補助工法縦断面図(DIII-L4、DIII-L5 区間)



写真-3 先進導坑掘削状況 (DⅢ-L4 断面)



写真-4 終点側坑口長尺鋼管フォアバイリング施工状況 (先進導坑貫通後)

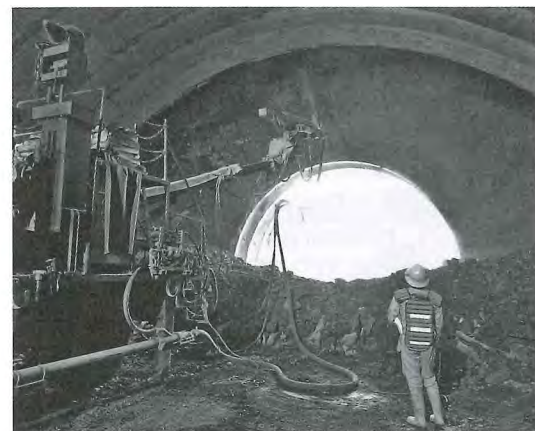


写真-5 上半吹付けコンクリート施工状況 (DⅢ-L5 断面)



写真-6 上半掘削状況 (DⅢ-L5 断面)



写真-7 最大断面 (DⅢ-L5 断面：掘削断面積226㎡)

4 おわりに

国内最大規模の大断面を有する拡幅断面区間の掘削にあたり、緩み範囲の早期抑制、鏡面の安定化を重点に掘削を進めた結果、懸念していた切羽崩落による災害もなく、トンネルを貫通することができた。文中では、紹介しなかったが、上半仮吹付けインパートおよび現在施工中のインパート下面へも下半吹付けインパートを実施し、緩みの発生を抑制・拡大させない施工を実施し、内空変位量は20～40mm程度で推移している。

最後に今回の施工実績が同種工種の何らかの参考になれば幸いである。



霊峰富士を望む身延より

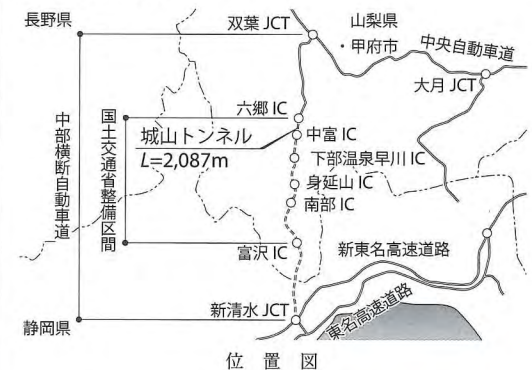
大 藤 茂 也

身延町は山梨県南西部の南巨摩郡に位置し、日蓮宗総本山である身延山久遠寺の門前町として数多くの観光名所があり、訪れる人々に感動と癒しを与えてくれる。

身延山では四季折々の絶景が楽しめ、中でも久遠寺境内にある樹齢400年を誇る2本の巨大なしだれ桜は、高さ15m、幹の太さ5mにもなり、春にはその見事な姿と花色で、見る者を楽しませてくれる。また、ロープウェイで登る3つの展望台からは、東に富士山、南に駿河湾、北に南アルプス・八ヶ岳連峰・甲府盆地といった大パノラマの絶景が楽しめ、とくに富士山頂中央部から朝日が昇り、ダイヤモンドリングのように輝く自然現象「ダイヤモンド富士」は、春と秋の数日間だけみられる大変珍しい自然現象として、全国に知られている。

富士山世界遺産構成資産(2013(平成25)年6月登録)である本栖湖は、富士五湖の中でもっとも深く透明度も抜群で、湖面に映る「逆さ富士」は千円札や五千円札の図様として使用されているが、身延町の中ノ倉峠から撮影された写真がモデルといわれている。

このほかにも、「信玄公の癒しの湯」で知られる下部温泉や、東京ドーム約11個分の広さを誇る富士川クラフトパークは、家族で楽しめる場所として有名である。また山梨県と言えば日本を代表する有名な果物の産地で、春にはサクランボや桃、夏にはブドウと季節の移ろいを感じながら、美味しく食べることができるのはとても最高である。

身延山から見たダイヤモンド富士
(写真提供：身延登山鉄道(株))本栖湖からの逆さ富士
(写真提供：(公社)やまなし観光推進機構)

中部横断自動車道は静岡県静岡市を起点に、山梨県甲斐市を經由して長野県小諸市に至る、延長約132kmの高速自動車国道である。中部横断自動車道が整備されることにより、現在整備が進められている第2東名、中央自動車道、上信越自動車道が接続され、日本海および太平洋の臨海地域と長野県・山梨県との連携・交流を促進するとともに、沿線の方々が安心して暮らせるネットワークの構築が期待されている。

本工事は六郷～中富IC間に位置する延長2,087mのトンネル工事で、終点側(甲府側)で他社施工部を引継ぎ、起終点両方向から掘削を進めていたが、両切羽ともに地山が脆弱で、日進量は約1m程度。二重支保工やさまざまな掘削補助工法を併用しながら11月中旬、無事貫通を迎えることができた。現在はインパート、覆工、坑門工に加え、非常駐車帯部の覆工と施工を進めている。日ごろから工事にご協力してくださっている沿線の方々に感謝しつつ、早期完成を目指している。(株)竹中土木中部横断城山トンネルその2作業所長)

土木情報 No. 536

今月の主な入札結果
(12月10日～1月10日)

事業主体	工 事 名	請 負 会 社	請負額 単 位 百万円
中部地整	H29東海環状広見T	熊谷組	783
〃	〃 岐阜山県第一T	西松建設	6,576
四国地整	H29-31新猪ノ鼻T(徳島工区)	大本組	2,155
〃	H29-31五台山T	前田建設工業	2,076.95
九州地整	立野ダム右岸下段リムT	梅林建設	506.5
鉄道・運輸機構	北海道新幹線、札幌T(石倉)他	大林・岩倉・菱中・福津JV	10,534.44
日本下水道事業団	石巻市渡波幹線管渠復興建設	飛鳥・本間JV	3,860.7
〃	〃 石巻中央幹線管渠復興建設その2	前田・大日本・若生JV	4,475.8
〃	〃 北北上運河右岸第二幹線管渠復興建設	飛鳥・日本製紙石巻テクノJV	2,734.5
東日本高速道路	上信越道蓬平	フジタ・エムエムブリッジJV	5,880
都・財務局	境川金森調節池	鹿島・大林JV	15,029
都・下水道局	千川増強幹線	大豊建設	3,967.4
神奈川県	矢上川地下調節池発進立坑本体(矢上川)	フジタ・馬淵・入江JV	1,234.5
長野県	H29社会資本整備総合交付金(広域連携)・R148	戸田・岡谷・鷺沢JV	2,205
島根県	波積ダム建設事業仮排水路T	フクダ・原JV	570
福岡県	高尾川到達立坑築造	オリエンタル白石・陽光JV	404.07
宮崎県	H29交建防安第26-11-1号R327尾平工区(仮称)尾平T(1工区)	坂下・山崎・河野JV	1,607.25
品川区	第二戸越幹線整備(下水道本管立坑整備)	不動テトラ・浅川JV	1,015
横浜市	栄処理区大面川第二雨水幹線下水道整備(その3)	宮内・水村JV	461.49
〃	中部処理区本牧第二幹線下水道整備(その5)	宮本・長野JV	732.15
下諏訪町	H29社会資本整備総合交付金事業公下雨水渠布設・R20	庫昌土建	205.8
名古屋市中	春日井市鷹来町地内東名送水幹線1500mm連絡	ノバック・ヒメノJV	520.7
〃	北区安井一丁目付近下水道築造	竹中土木	208
四日市市	吉崎ポンプ場沈砂池築造	大豊・日進JV	988
神戸市	(仮称)有馬口T築造	奥村・安西JV	1,678
佐世保市	山の田水系配水本管布設(φ700mmシールド工区)	青木あすなる・西部・谷村JV	1,824.13
名古屋高速道路公社	高速2号東山線T天井板撤去	熊谷組	2,335

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

- 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。
- 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)。
- 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。
- 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。
- 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

高速道路ランプ部における矩形シールド工法の計画と施工

一阪神高速道路大和川線 常磐工区一

鹿島建設(株)機械部企画グループ次長 真 鍋 智
鹿島建設(株)関西支店常磐工区JV工事事務所所長 渡 辺 幹 広
鹿島建設(株)関西支店常磐工区JV工事事務所工事課長 馬 目 広 幸
阪神高速道路(株)堺建設部大和川線建設事務所工事長代理 大 嶋 昇

1 はじめに

本工事は、大阪府堺市内の住宅地において堺市が事業を行う府道高速大和川線^{ときわ}西出入口付近の本線トンネル350mとランプ376mを開削工法で構築する工事である。本線から出口ランプに分岐する区間では、近隣住民への負担軽減策として地上の工事占用幅を縮小し、生活道路を確保することを目的に開削工法から矩形シールド工法に変更した。シールド線形は、延長225m、発進立坑から8%の下り勾配となり、土かぶり発進部約1.5m、到達部約17mである。セグメントと本線開削部の土留め壁芯材との離隔は500mm、約150mにわたって近接併走掘進となる。トンネル覆工は、断面が大きいうえに用地条件などの制約から覆工厚を極力小さくする必要があり、六面鋼殻合成セグメントを採用した。

本稿では、計画段階での矩形シールド工法への変更に際して

の構造検討と、施工における小土かぶり発進、本線開削部の土留め壁近接の併走掘進から到達までの各種対策と実績、評価を報告する。

2 工事概要

2-1 事業概要

府道高速大和川線は、大阪府、堺市、阪神高速道路(株)の3者共同事業による延長9.9kmの路線であり、その大部分は地下構造となっている(図-

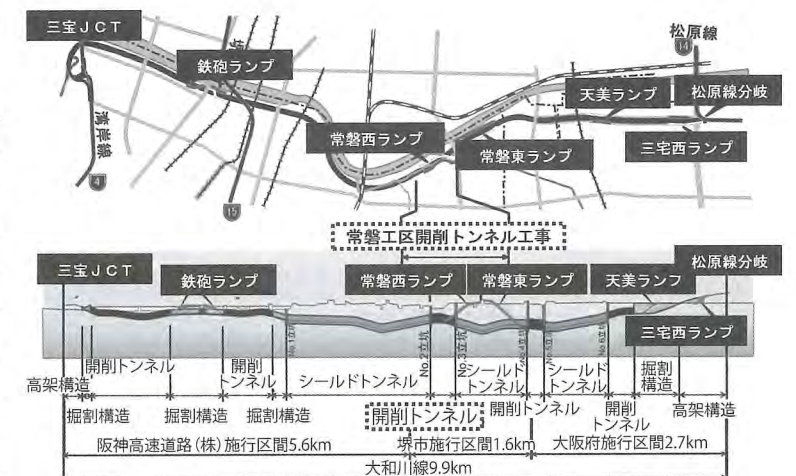


図-1 トンネル構造と事業区分(ランプ名称は仮称)

表-3 トンネル断面形状の比較検討

		矩 形 案	低ライズ案(上下)	高ライズ案(上下)
断面形状 (六面鋼殻合成セグメント)				
	断面積	60.1m²(100%)	61.1m²(102%)	66.0m²(110%)
特 徴		・必要最小限の内空を確保	・ライズを設けることで発生応力を抑制した断面	
構 造 性	発生断面力 (曲げモーメント)			
		B=1,000 h=400 t=9	B=1,000 h=350 t=7	B=1,000 h=350 t=6
浮上がりに対する安定性		・安全率Fs=1.11 ○	・安全率Fs=1.07 △	・安全率Fs=1.05 △
施 工 性		下部が水平であり作業性に優れる ○	下部が湾曲しているため施工性と組立て精度確保に時間を要する △	△
評 価		○(採用)	△	△

B: 幅(mm), h: 桁高(mm), t: スキンプレート板厚(mm)

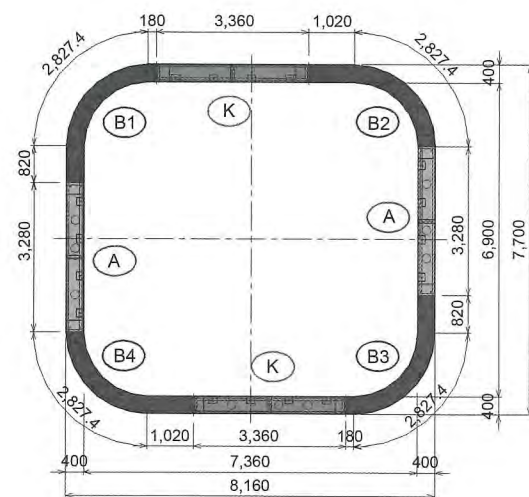


図-9 セグメント分割計画図

ことにした(上下反転することで甲乙を兼用)。これにより、セグメントのピースごとの製作種別を半数程度に減らすことができる。

Kセグメントは軸方向挿入としており、挿入角度は類似の実績と組立て作業性を考慮して3.5°とした。継手角度は、断面力の伝達を考慮すると角度を有する場合には軸力作用時の分力によるせん断力で滑動するおそれや、製作精度確保が難しいことから0°とした。

4-2 小土かぶり発進の各種対策

発進に際しては、近隣民家にも接近しており、以下に挙げる要件から沈下抑止対策と地盤崩壊防止策を施した。

- ・小土かぶり(押え盛土造成前の最小土かぶり1.5m)
- ・矩形断面の上部が平坦

表-4の内容で、押え盛土と影響遮断壁(無芯ソイルモルタル壁)を配置し、水平傾斜計を利用した地表面沈下の自動計測を押え盛土造成時に設置した。また、シールド前胴からは掘進中に沈下抑

表-4 小土かぶり発進対策

対 策	内 容
押 え 盛 土	・ 範 囲：発進直後L=16.5m(機長程度), h=2.5m ・ 盛土材：セメント改良土(50kg/m³添加) ・ 目 的：①切羽圧への上載圧30kN/m²付加 ②加泥材、裏込め材の噴出防止
影 響 遮 断 壁	・ 範囲：発進直後L=30m区間(深さ15m) ・ 立坑土留めTRD施工時に無芯ソイルモルタル壁施工(南北2面) ・ 目的：周辺道路・家屋への沈下影響防止
浅 層 改 良	・ 範囲：土かぶり1D相当(深さ8m)程度までの区間 ・ 表層：セメント混合改良(2m以深は薬液注入) ・ 目的：①地表面沈下の抑止, ②加泥材・裏込め材の噴出防止
地表面沈下計測	・ 範囲：発進直後L=22m(押え盛土区間含む), 2mピッチで水平挿入式傾斜計設置(沈下量演算) ・ 目的：①掘進時のリアルタイム計測 ②掘進時の設定切羽土圧の妥当性検証
沈 下 抑 止 特 殊 充 填 材	・ 範囲：掘進中のシールド周囲のカッタ余掘り部分に充填(シールド前胴から掘進中に充填) ・ 材料：流動性(充填性)を有し, 1か月で地盤強度相当に硬化



写真-2 シールド発進状況

止特殊充填材を注入した。裏込め注入もシールドからの掘進同時裏込め注入方式を採用した。写真-2に発進状況を示す。各種の小土かぶり発進対策を述べる。

4-2-1 押え盛土

シールド発進時の小土かぶり部分に対し、加圧注入する添加材や裏込め注入材が地上に噴出するのを防ぐために、シールド長(約9m)、幅(約8.5m)を考慮し、長さ16.5m、幅10m、高さ2.5mの盛土を設置した。これにより、上載圧30kN/m²を付加することができた。盛土材は、セメント添加量50kg/m³の改良土を用いた。

4-2-2 影響遮断壁

発進直後の小土かぶり区間約30m(シールド高さ約8m(1.0D)の半分相当の0.5Dの区間)の範囲で、シールドの両側に、無芯ソイルモルタル壁を築造した。これにより、シールド周辺の道路や家屋への沈下影響を抑止した。

4-2-3 浅層改良

土かぶり約8m(1.0D)までの区間に対し、地表面沈下の影響を極力小さくする目的で、セメント混合改良を施した。また、深さ2m以深からシールド直上までの範囲は、薬液注入を行った。

4-2-4 地表面沈下計測

シールド掘進中は進捗に応じて、シールド直上(中心線上)と左右端部で地表面沈下計測を実施した。とくに発進直後の22mの掘進区間では、自動計測を行うこととした。自動計測方法は、上述の押え盛土造成時に地表面に分割したさや管を設置し、中に2mピッチの水平傾斜計を挿入する方式であり、各点の傾斜測定値から始端の固定点を基準に変位量を演算する。自動計測の精度確認と補間の目的でレベル測量による監視も行った。

4-2-5 沈下抑止特殊充填材

シールド掘進では、掘進に伴ってシールド後端(テール)通過後のセグメントと地山の空隙への裏込め注入を行う工程が沈下抑制に重要である。シールド掘進時のカッタの余掘りがシールド前面の切羽で発生し、掘進中のシールド外周に空隙が残る。今回の矩形シールド工法では、シールド上部が平坦であることから、シールド外周部に発生する空隙20mmも地表面沈下の要因となると考え、掘進中のシールド前面から外周部に沈下抑止特殊充填材(ボイドキーパー)を注入することにした(図-10参照)。なお、テールからのシールド内蔵の注入管による同時裏込め注入も併せて行った。

沈下抑止特殊充填材は、シールドの通過と外周

部への充填に必要な流動性を1週間程度保ち、その後2～3か月程度かけて強度が漸増し地山相当の一軸圧縮強さ600～900kN/m²となる材料である。図-11に強度発現状況を示す。

4-3 土留め壁近接併走掘進の切羽土圧管理値

掘進時の切羽土圧管理は、今回の掘進に伴い深度が連続的に増えることから、掘進10mごとに切

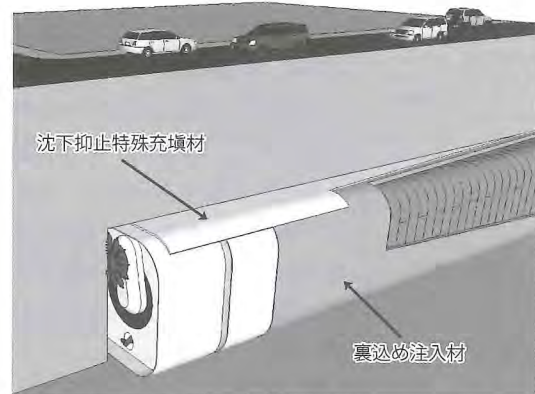


図-10 シールド余掘り部への充填注入概念図

羽土圧管理値を地下水位も勘案し段階的に設定した。掘進距離、深度に応じた静止土圧、主働土圧、静水圧を図-12に示す。

掘進管理に際しては開削側の土留め計測管理データも同時に取込み監視する計画とした。図-13に開削部の計測配置図を示す。掘進時は、実測の地下水位にもとづく土水圧を再計算し、矩形

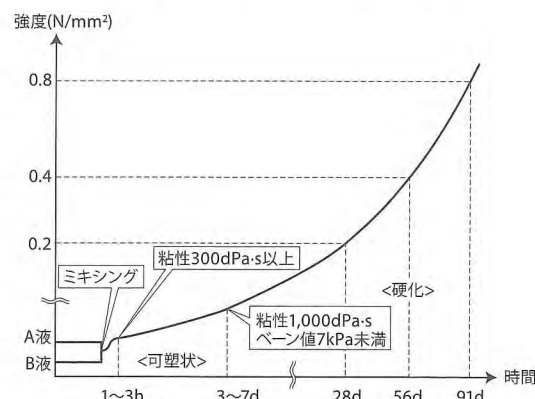


図-11 沈下抑止特殊充填材の強度発現曲線

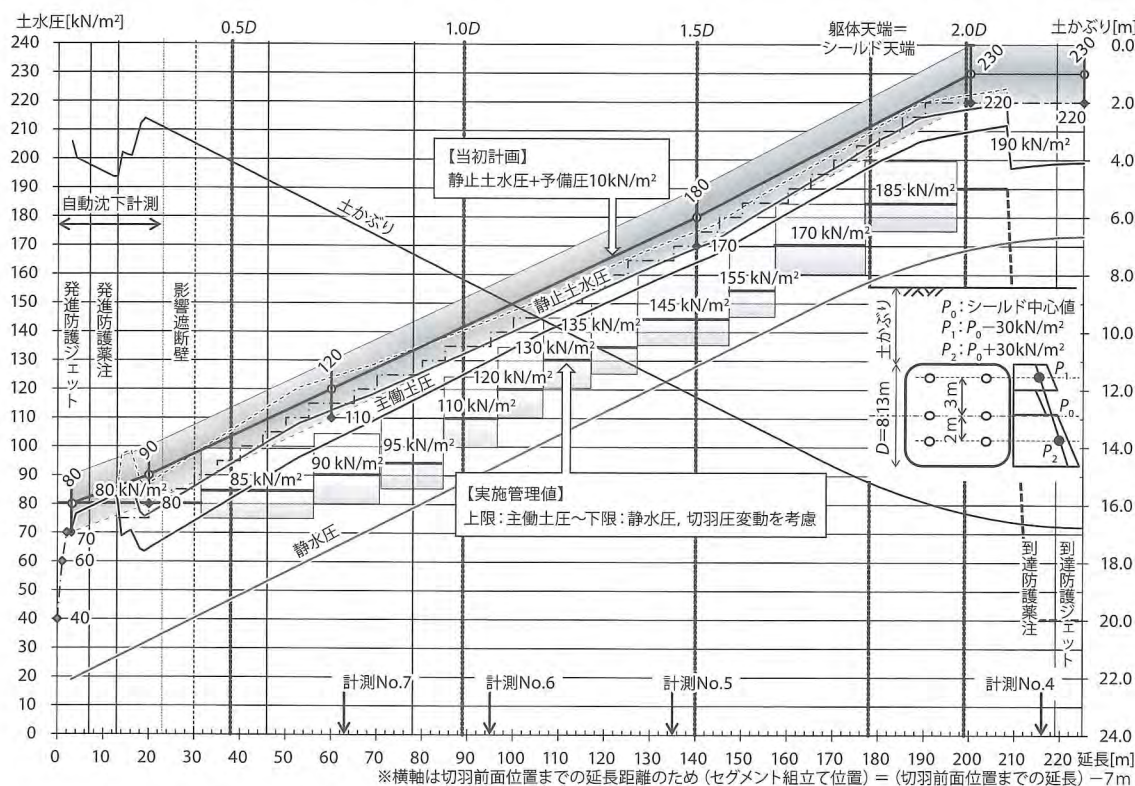


図-12 掘進深度に応じた切羽土圧管理値の設定

シールド通過時の土留め変位と切梁軸力を計測しながら早い段階で最適な管理値を決定し掘進管理に反映した。

アポロカッター工法における切羽土圧管理は、泥土圧式シールド工法と同様の考え方にもとづいて、噴発や閉塞を防ぎ切羽土圧を安定させるために、添加材調整によるチャンバ内での掘削土砂の均質な混合攪拌と流動性確保が求められる。本工法では、カッターヘッドが小径でシールドフードから露出しているため、とくに慎重な切羽安定確保が必要である。そこで、チャンバには上下3段、左右対称に合計6点の土圧計を配置し、カッター回転に伴う土圧分布を運転室内の土圧分布監視モニター(写真-3参照)にコンター図として可視化しながら切羽土圧管理を行うこととした。

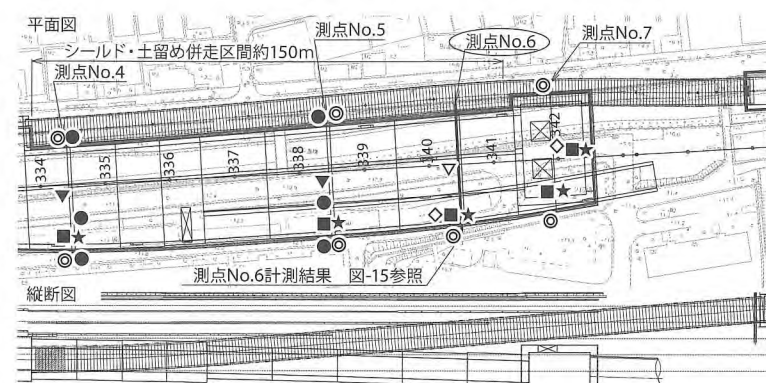
土留め支保工は静止土圧に耐える設計であるが、土留め壁ソイルモルタル部分のひび割れや抜け出しによる出水防止のための補強鋼板を本線開削側の土留め壁内面に設置した。

掘進は15mm/min程度の速度で平均日進量2m(昼方のみ)である。以上の対策を表-5に整理する。

4-4 姿勢制御システムの導入(線形・姿勢管理)

本線開削土留め壁との小離隔の掘進に際し、カッター余掘り制御によるローリング修正対策も施すこととした。

アポロカッター工法のシールドは、カッターの切削精度(カッター回転軌跡)±3mmで掘進する。シールドがローリングする場合は、写真-4のカッター操作画面に示すように目標軌跡をある座標軸で回転



記号	計測項目	記号	計測項目
○	山留め壁変形(自動傾斜計)	●	地下水位(間隙水圧計)
○	山留め壁変形(鞘管のみ)	▽	層別沈下(掘削孔内)
■	切梁軸力	▽	層別沈下
★	切梁温度	◇	光る計測器

図-13 シールド併走部の土留め計測断面配置図

表-5 土留め壁併走掘進の対策

対策	内容
計測関係	・本線開削部土留め計測との連携 土留め変位、土留め支保工軸力、間隙水圧など ・掘進データと同じ時系列でデータ監視、整理
切羽圧管理	・本線開削部土留め壁の監視(目視、カメラ設置) ・地表面への影響と合わせ、切羽管理土圧設定を事前に検討 静止土圧+予備圧(10kN/m ²)を基準に最適な管理値を設定 →発進時の沈下計測実績から、主働土圧+予備圧での設定に変更
姿勢制御	・土留め壁併走区間では土留め壁側の緩みでシールド左右不均衡のおそれ シールド姿勢制御、ローリング制御の影響が想定されるため、カッター余掘り制御、中折れ、シールドジャッキパターンで調整
線形管理	・シールド掘削外径と土留め壁離隔 最小250mm→慎重な線形管理が必要セグメント幅を1.0mとし、蛇行修正セグメントを計画的に準備

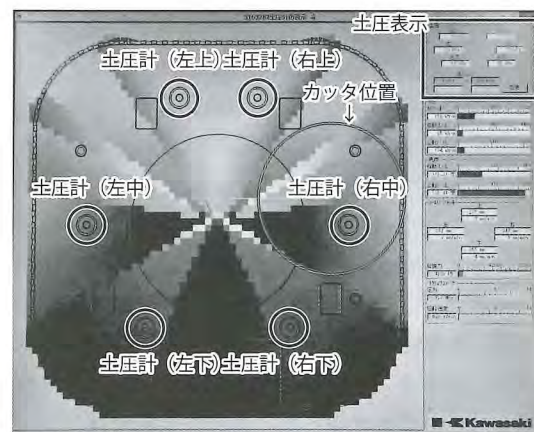


写真-3 土圧分布監視モニターにおけるコンター図

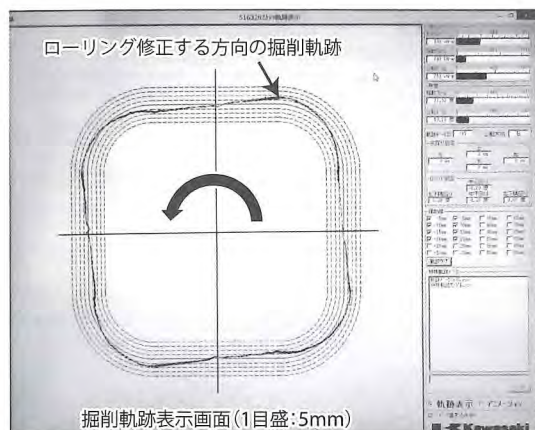


写真-4 ローリング修正掘削システム(操作画面)



写真-5 坑内全景

させたような軌跡として、余掘り修正掘削する制御が可能である。

なお、シールドには曲線施工時の余掘り量低減と、到達付近での掘進勾配変化(シールドの引起し)に対応するために中折れ装置を装備した。

5 掘進実績と評価

これまでに述べた4項目の課題と対策に対する施工実績と評価を以下にまとめる。

5-1 六面鋼殻合成セグメントの組立て・線形精度

今回工事で採用した六面鋼殻合成セグメントは、継手剛性が他種のセグメントに比べて大きく取れ、桁高を小さくするのに有効なセグメントである。今回の施工でのセグメントの組立て精度に関する実績を表-6、掘進中の坑内状況を写真-5に示す。

組立て精度は、内空変位の最大量が管理値 $\pm 50\text{mm}$ に対し、土かぶりの小さい軽荷重設計セグメントの範囲では、水平変位 -12mm 、鉛直変位 -10mm であった。全土かぶり圧で設計した重荷重設計セグメントの範囲では、水平変位 $+8\text{mm}$ 、鉛直変位 -15mm であった。扁平な矩形セグメントで懸念された内空変位の発生は、シールドに装備

表-6 セグメント組立て精度・線形精度(実績)

	管理値	発進部 (土かぶり4m) 軽荷重仕様 セグメント	到達部 (土かぶり17m) 重荷重仕様 セグメント
組立て精度 (最大値)	内空変位(水平)[mm]	± 50	-12
	内空変位(鉛直)[mm]	± 50	-10
	目開き[mm]	2	0
	目違い[mm]	4	1
線形精度 (最大値)	左右方向[mm]	± 50	-25
	上下方向[mm]	± 50	-15
	ローリング[°]	± 0.50	0.3

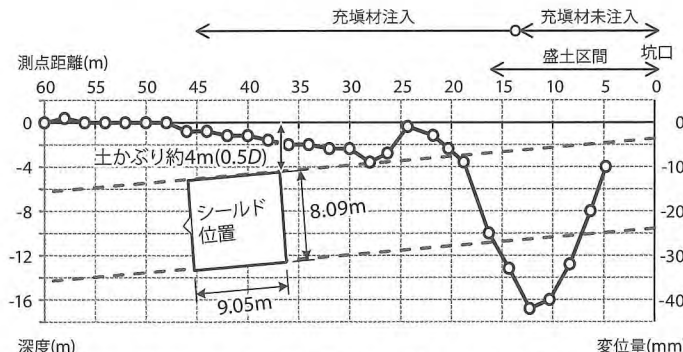


図-14 発進時の地表面沈下測量結果(土かぶり0.5D掘進時)

の上下左右拡張式の形状保持装置の効果もあり、管理値以内に収まった。また、セグメントピース間の目開きの発生もなく、目違い量も最大1.5mmと微量であった。

線形精度も、左右方向、上下方向ともに最大変位量、到達精度ともに $\pm 30\text{mm}$ であり、管理値 ± 50

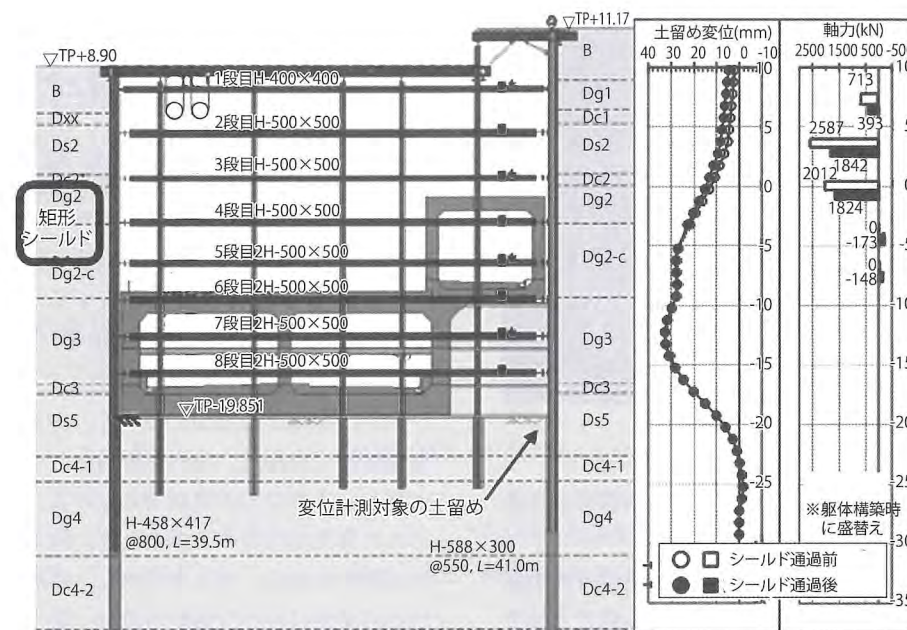


図-15 掘進前後の土留め計測結果(測点No.6)

mm以内を満足した。

5-2 小土かぶり発進の評価

図-14に地表面沈下計測結果(シールドが図中の位置まで来た時点でのシールド中心線上での地表面沈下量)を示す。裏込め材と沈下抑止特殊充填材は、シールド全長(9.05m)が発進立坑エントランス内(地盤内)に入って坑口止水注入が完了してから充填した。

発進直後の未充填区間(工事占有帯の発進基地内)では、カット余掘り分に相当する沈下が最大40mm発生した。しかし、充填開始後の沈下量は10mm以下に抑制され、沈下抑止特殊充填材の効果が発揮されたと考える。また、発進後の押え盛土の効果により、切羽土圧を作用させた際の添加材の地表面への噴出もなく安定した設定土圧を保つこともできた。シールド周辺地盤への沈下影響、緩み影響の抑止のために築造した影響遮断壁の効果も発揮され、遮断壁外側の官民境界(歩道縁石)での地表面沈下量は、1mm以下に抑えられた。

5-3 土留め壁近接併走掘進の評価

掘進時は地表面沈下を抑制すると同時に、土留め壁に過剰な影響を与えないよう切羽土圧管理値を極力低く設定した。当初は静止土水圧(予備

圧)で設定したが、発進時の実績で沈下が抑えられたことから、主働土圧+予備圧(10kN/m^2)まで抑えた設定に変更した。初期掘進から本掘進まで延長225mを本線開削土留め壁からの漏水、出水を誘発することなく無事終了した。

計測断面4か所のうち、土留め壁への作用土圧が大きい深度をシールドが通過するため、掘進前後の影響がもっとも現れた測点No.6での土留め計測結果を図-15に示す。シールド通過前後で軸力がやや減少傾向にあったが、土留め壁変位はほとんど変化なく影響を抑えられた。

5-4 姿勢制御の実績

矩形シールドの姿勢制御では、到達付近での下り8%から+1.37%まで引き起こす線形であったが、中折れ装置を上方向に効かせることにより、セグメントに過剰な推力をかけることなく、目標の方位に掘進できた。

ローリング修正に対しては、掘進中のローリング角度やテールクリアランスを監視しながら、発生に応じて下記の対策を順次施した。

・カット公転方向による修正

ローリング発生方向とカット公転方向を逆転させ地盤切削反力を利用した修正を行った。



写真-6 シールド到達状況

・中折れ装置によるシールド方位角変更による修正

中折れ装置によりシールド前胴の方向を傾け、重心を移動させることによる修正方法を用いた。

・余掘り修正掘削システムによる修正

前述のローリング修正掘削による余掘り掘削軌跡を捻ることによって角度修正を行った。

ローリング修正実績として、セグメント組立てに必要なテールクリアランス確保のための施工上の限界値と、トンネル構造物の建築限界確保のための品質上の限界値から、許容値を0.5°に設定し

た。これに対し、施工中は最大0.3°までローリングが発生したが、上述の余掘り修正掘削システムによる修正掘進により、1機長相当の約9mの修正掘進を継続して実施し、基準の0°までローリング修正に成功した。今回工事で採用したアポロカッター工法の掘削機構が、矩形シールドの姿勢制御にも有効であることが確認できた。写真-6に到達後の鏡切り終了時の状況を示す。

6 おわりに

近年、狭隘な都市部において、小土かぶり施工や構造物近接掘進、非円形断面トンネルの計画など厳しい条件での工事が増えている。本工事で得られた知見が今後の工事の計画、施工に活用されれば幸いである。本工事に際し、矩形シールド工法への変更に伴う計画から設計、施工まで、ご尽力いただいた関係者に謝意を表する。

参考文献

- 1) 奥平守幸・原田大・吉田潔・真鍋智・永森邦博・小田誠：地下通路工事における矩形シールド工法(アポロカッター工法)について，土木学会第63回年次学術講演会，2008.9.
- 2) 鈴木隆文・山崎仁：東急東横線渋谷～代官山駅間地下化工事(シールド工事)，土木学会第64回年次学術講演会，2009.9.

推進工法の理論と実際

B5判 437頁 本体価格8,500円

マックス・シェルレ 著

野田典宏 訳 中本 至・石橋信利・金成英夫 監修

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



土木工学社

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

施工

防潮堤基礎杭直下を35cmの離隔でシールド掘進

一堺市下水道 出島バイパス線一

大阪府堺市上下水道局下水道部下水道建設課課長 櫻 本 浩
日本下水道事業団理事 松 浦 将 行
日本下水道事業団大阪湾事務所所長 中 島 秀 和
清水・大豊・泉都特定建設共同企業体監理技術者 星 野 壮 一

1 はじめに

大阪府堺市上下水道局では、過去の浸水実績から重点地区を24地区選定し、1時間50mm降雨に対する施設整備を重点化して進めている。

出島バイパス線は、24か所の重点地区のうち、



図-1 全体平面図

えびすじま 戎島町周辺、かん な べ 神南辺町周辺、出島・西湊町周辺の3地区の浸水被害を解消する目的で建設を進めている下水道幹線である(図-1)。

これらの地区には、広域避難交通路である国道26号、地域緊急交通路である出島海岸通西湊1号線、堺市消防局本庁舎などの市の重要なインフラや、観光資源である旧堺港があり、市民の安全・安心を確保する観点から緊急の整備が求められている。加えて、大幅なコスト削減を図れることから、処理場間のネットワーク管をシールドに内挿する計画である。

本稿では、当該地区を仕上がり内径4,500mm、延長約1.9kmの泥土圧式シールドで構築する出島バイパス線建設工事において課題となった港湾施設の重要構造物近接施工と、12か所の急曲線の設計・施工について報告する。

2 工事概要と土質概要

2-1 工事概要

今回の対象範囲は、出島バイパス線のシールド工事および出島雨水線、戎島線と古川線取込み推進管を建設する工事である。

工事件名：堺市出島バイパス線建設工事

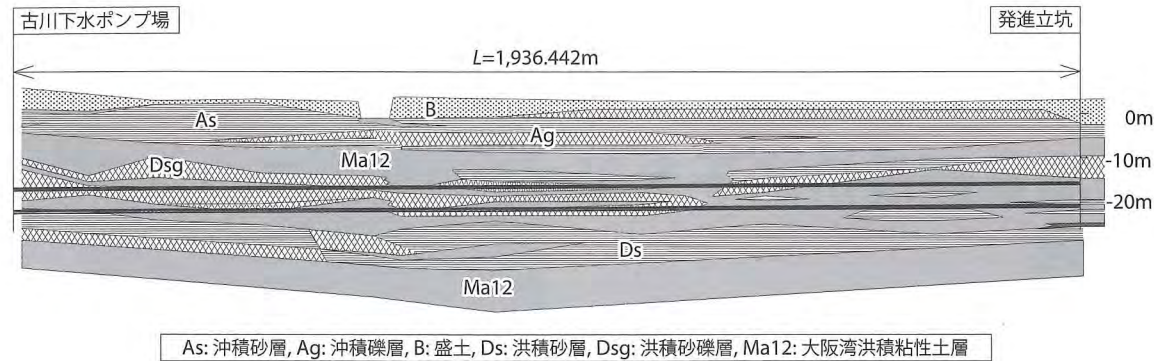


図-2 地質縦断面図

工事場所：大阪府堺市堺区出島浜通地内～
堺市堺区神南辺町地内

工 期：2015(平成27)年1月9日～
2018(平成30)年3月26日

工事内容：泥土圧式シールド工
仕上がり内径4,500mm

$L=1,936.4\text{m}$

泥濃式推進工

出島雨水線 $\phi 2,600$, $L=49.7\text{m}$

古川線 $\phi 2,200$, $L=185.9\text{m}$

〃 $\phi 1,800$, $L=317.1\text{m}$

鋼管さや管推進工

戎島線 $\phi 1,350$, $L=0.8\text{m}$

立坑築造, 人孔構築 4か所

2-2 地質概要

シールド路線の土質としては、沖積層と洪積層の砂質土と粘性土が主体であるが、砂礫層も部分的に分布している(図-2)。

基盤層は大阪層群で、シールド下端から約10m下方である。

沖積層は砂質土が主体でN値10前後の細砂が多い。部分的に礫や粘性土も分布している。

段丘層は粘性土層(Ma12)を主体として、砂質土層や礫質土層が挟在し、その連続性はやや乏しい。

Ma12のN値は12程度を示すが、挟在するDs層やDg層は50以上を示すところも見られる。上記の地質条件に対する実績・施工性の観点から泥土圧式シールドを選定した。

3 シールド工事の概要

シールドは出島ポンプ場に隣接した立坑から発進し、府道および国道の直下を通り、縦川を横断したのち、旧堺港に沿った幅員約6mの市道の直下を、急曲線を多用しながら進む。到達部手前で古川を横断し、新設される古川下水ポンプ場に設置された立坑に到達する。諸元は以下のとおりである。

1次覆工延長：1,936.4m
土 か ぶり：18～21m
勾 配：0.7‰の下り勾配
曲 線： $R=200\text{m}$ 4か所
 $R=100\text{m}$ 1か所
急 曲 線： $R=50\text{m}$ 3か所
 $R=40\text{m}$ 4か所
 $R=20\text{m}$ 5か所

3-1 シールドの仕様

本工事において採用したシールドの構造を図-3に示す。

また、シールドの仕様を表-1、全景を写真-1に示す。

本機の設計においては、高位な地下水圧(0.2MPa)や延長1.9kmを臨海部で施工する観点からテールブラシを3段とし、止水性・耐久性の向上を目的として最後段はシリコンシールブラシとした。また、臨海部掘進時の国道26号縦川橋や防潮堤への影響抑制を考慮し、同時裏込め注入装置を2か所装備した。

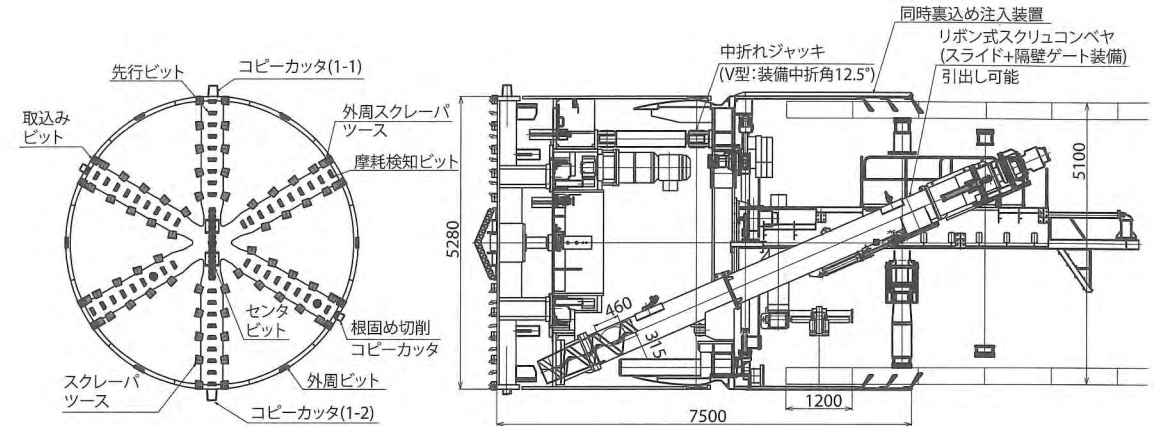


図-3 シールド構造図

表-1 シールドの仕様

項 目	仕 様
シールド外径	5,280mm
シールド長	7,500mm
シールドジャッキ	1,250kN×1,650st×35MPa×21本 総推力 26,250kN
カッタ	電動機45kW×10台 トルク(常用)3,279kN・m (最大)3,934kN・m
中折れジャッキ	1,500kN×810st×35MPa×16本
中折れ角度	12.5°
コピーカッタ	200kN×200st×21MPa×2本
コピーカッタ(根固め切削用)	200kN×90st×21MPa×2本



写真-1 シールド全景

3-2 セグメントの概要

工期の短縮と経済性の観点から、2次覆工一体型のセグメントを採用した。直線区間はRCセグ



写真-2 SSPCセグメント

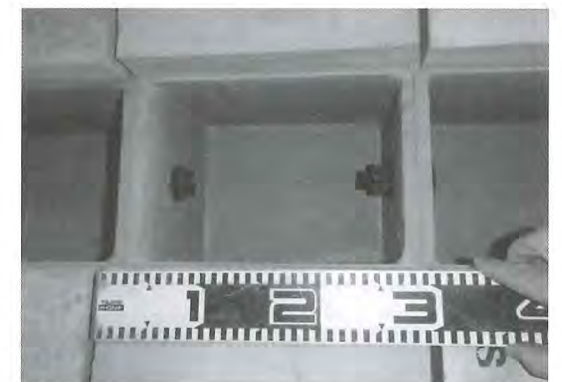


写真-3 SSPCセグメントボルトボックス

メントとし、急曲線部や推進接続部はコンクリート中詰め鋼製セグメント(SSPCセグメント)とした。

主な諸元は以下のとおりである。
セグメント外径：5,100mm

仕上がり内径：4,500mm
セグメント幅：直線部・曲線部 $R=200\text{m}$

1,200mm

曲線部 $R=100\text{m}$

600mm

急曲線部 ($R=20\sim50\text{m}$)

300mm

桁 高：300mm

RCセグメントには内面側に50mmの防食層を設け70mmの純かぶりを確保するとともに、港湾部に隣接していることを考慮し、塩害対策として外面側純かぶりも35mm確保した。

急曲線部のコンクリート中詰め鋼製セグメント(SSPC)は、桁高を25mm小さくした縮径型とした(写真-2)。 $R=20\text{m}$ の急曲線に対応するため、テーパ量を100mmとしたことから、テーパセグメントの最小幅は250mmとなりセグメント幅よりも桁高の方が大きい形状となった。

また、幅が300mmと小さいことからリング間のボルトボックスを独立させることができず、ボルトボックス切羽側と坑口側が連続する形状となり、非常に大きなものになった(写真-3)。このボルトボックスについては、セグメント組立て後に人力によるモルタル仕上げを行う。

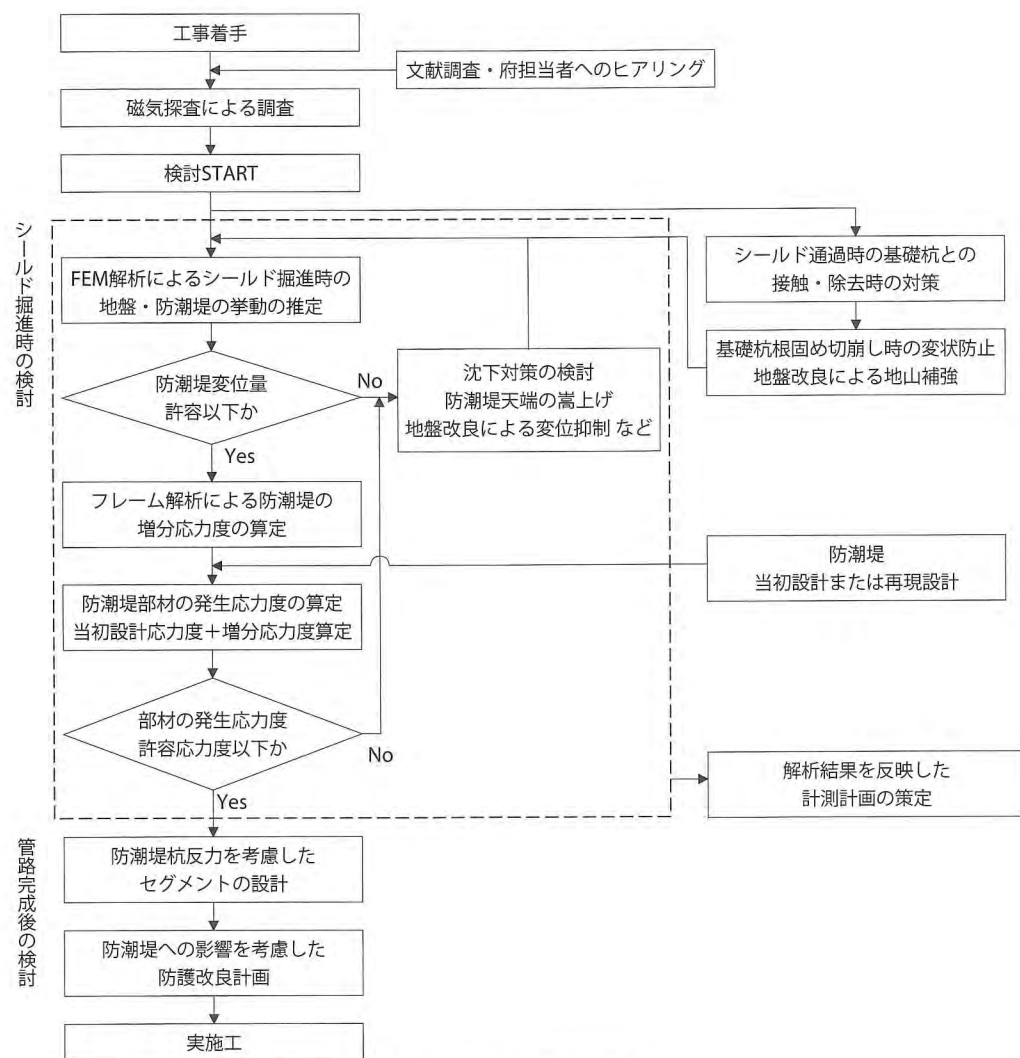


図-4 防潮堤影響検討フロー

4 古川防潮堤基礎杭近接施工

発進より1,800m付近で、既設防潮堤の直下を通過する。シールド掘進による影響を図-4のフローに従い検討した。

4-1 予備調査

発注段階では防潮堤の基礎杭の存在が示唆され、干渉する可能性があると考えられていた。設計図面や施工記録などがなく、基礎杭の材質や長さといった詳細はもとより、基礎杭自体の有無が判然としていなかったことから、工事着手後に調査を実施した。

文献調査や関係者へのヒアリングを行い、基礎杭は中掘り工法のφ800鋼管杭であることが判明したため、磁気探査による基礎杭調査を実施した。

4-2 磁気探査による調査

防潮堤に隣接した府道高架橋の橋脚基礎杭は、シールド路線より下方の支持層に根入れされていることから、防潮堤についても同様の長さがあると想定し、磁気探査を実施した(写真-4、図-5)。

磁気探査の結果、基礎杭先端は想定よりも浅く、シールドよりも上部までであることが判明した。



写真-4 古川防潮堤

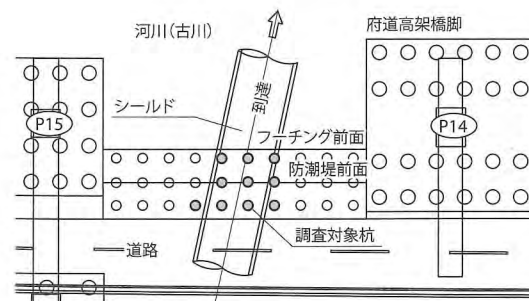


図-5 調査位置平面図

しかしシールド掘削外径との離隔が最小で154mmとなることが確認されたため、先端に杭径と同程度の長さの根固めモルタルが施工されていると想定すると、シールドが干渉する可能性があった。また、磁気探査の精度が±200mm程度あると考えられることから、古川下水ポンプ場計画と調整した結果、シールド路線を全線にわたり20cm下げて基礎杭直下35cmの離隔を確保することで、シールドと基礎杭(鋼管)先端との接触を回避することとした(図-6)。

4-3 シールド掘進時の対策(1)

シールド掘進時には基礎杭の支持地盤を掘削することから、防潮堤に対し沈下などの影響が発生することが懸念された。そこで、シールド掘進時の影響解析をFEMによって実施した(図-7)。以下にその結果を示す。

解析の結果は、基礎杭先端の沈下量は最大で

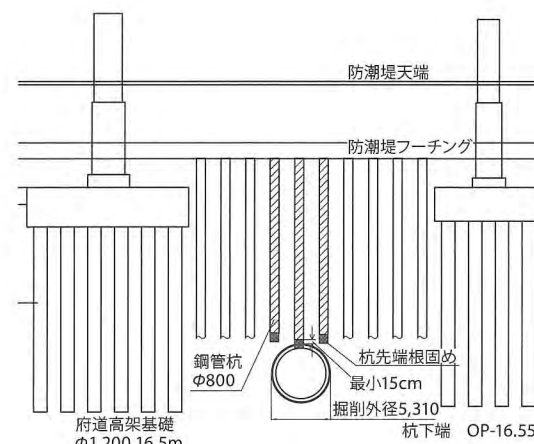


図-6 調査結果断面図

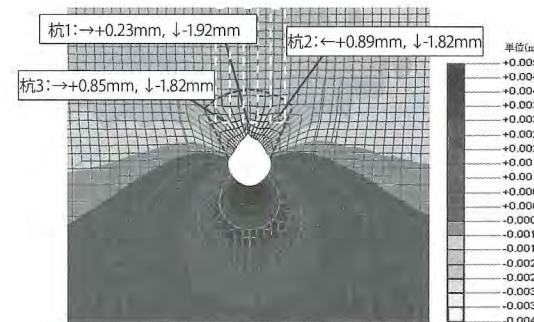


図-7 FEM解析結果コンタ図

1.9mm程度で、防潮堤コンクリートに発生する応力度も $7.5 \times 10^{-4} \text{N/mm}^2$ と微小である。しかしながら掘進による杭先端地盤の緩みを防止するとともに、根固めモルタルをシールドで切削する際の杭体および防潮堤への影響を低減させることを目的として、防護工(地盤改良)を行うことを検討した。地盤改良は、以下の条件を満たすものを検討した。

- ① シールド掘進時の地盤の緩みを抑制できる
- ② 基礎杭の荷重を負担できる
- ③ 根固めモルタル切削時に杭体を保持できる
- ④ 施工時に防潮堤に与える影響が少ない
- ⑤ 地盤改良時に排泥などが河川に漏出するリスクが少ない

以上の条件を満たす工法として、注入材料に特殊スラグ系のシラクソルを使用した二重管ダブルパッカー工法を使用した。シラクソルは恒久グラウトの一種で、砂地盤への浸透注入で基礎杭の荷重を負担可能な 1MN/m^2 程度の改良強度の発現

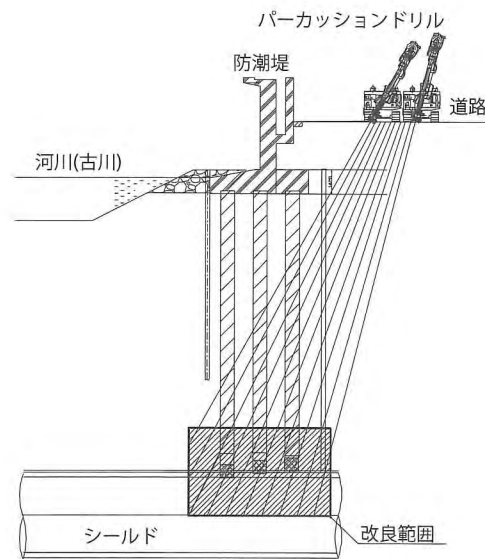


図-8 ダブルパッカー注入概要図

表-2 改良体圧縮強度試験結果

採取位置	一軸圧縮強度(MN/m^2)
上	1.65
中	1.38
下	1.29
平均	1.44

が期待できる。改良範囲は杭の支持地盤の砂質土層を対象として、厚さ、幅はシールド発進防護工の考え方をもとに決定し、シールドで掘削する部分は、掘削効率の低下を防止するため改良範囲から除外した。また、防潮堤の躯体に干渉しないよう、道路側から斜施工($20 \sim 36^\circ$)で注入孔を削孔した(図-8)。

注入後はコアを採取し、一軸圧縮強度試験を行い改良の効果確認を行い、所定の強度の発現を確認した(表-2)。

4-4 シールド掘進時の対策(2)

シールド路線を200cm下げたことにより、杭体へのシールドの接触は回避できた。しかし前述のとおり根固めモルタルを切削する可能性が高いため、大割れすることを想定し、シールドのスクリーコンベヤはより大きな障害物の取込みが可能となるリボンタイプのものを採用した(写真-5)。また、万が一の閉塞に備えスクリーを後退させ、隔壁のゲートを閉鎖することで安全に障害物の除去ができる機構を搭載した(写真-6)。

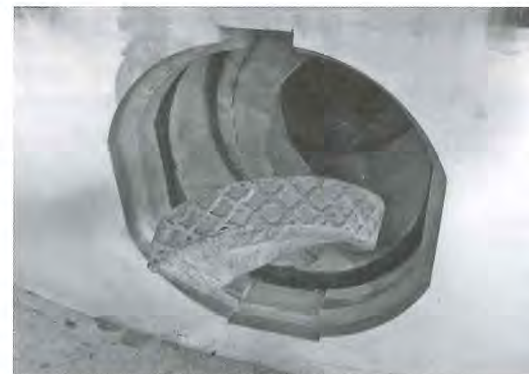


写真-5 リボンタイプスクリーコンベヤ



写真-6 スクリュー引抜き・ゲート閉鎖状況

また、裏込めの同時注入管がシールドから75mm突出していることから、根固めと接触した際の抵抗を低減するため、根固め切削専用のコピーカタ(ストローク90mm)を2基装備した(写真-7)。

4-5 シールド通過時の防潮堤の変位

防潮堤の変位については、防潮堤の頂部にターゲットプリズムを設置し、対岸のトータルステーションにて自動計測による監視を行った。



写真-7 根固め切削用コピーカタ

表-3 防潮堤変位量まとめ

1次管理値	2次管理値	許容値	予測値(沈下)	実測値(最大)
$\pm 5 \text{mm}$	$\pm 8 \text{mm}$	$\pm 10 \text{mm}$	-1.1mm	-1.7mm



写真-8 ひずみゲージ設置状況

表-4 セグメント応力測定値(常時)

	上		右		左	
	測定	解析	測定	解析	測定	解析
外縁	-39.2	-190.0	-18.5	45.9	-37.5	45.9
内縁	-32.5	102.8	-17.7	-167.2	-40.6	-167.2

単位: N/mm^2

シールド通過時の沈下量は、地盤改良を考慮したFEMによる予測値1.1mmに対し実測値で1.7mmと若干上回ったものの、1次管理値を下回り問題なく通過できた(表-3)。

4-6 シールド完成後の対策

完成時には基礎杭反力の影響をセグメントが受けることになる。基礎杭の反力が作用した際にセグメントが健全性を保つことが防潮堤の安全性を確保するうえでも重要と考え、当該部分のセグメントの検討を、基礎杭反力を考慮して行った。なお、基礎杭反力は常時、地震時(L1, L2)について防潮堤の再現設計を行い想定した。

当該部分は当初RCセグメントで計画されていたが、主桁厚 $t=25\text{mm}$ のSSPCセグメントに変更した。SSPCセグメントの主桁には、セグメント組立て前にあらかじめひずみゲージを設置し(写真-8)、発生する応力を測定することでセグメントの健全性を確認することとした。

測定の結果を表-4に示す。設計段階の解析値よりも小さな値となっており、問題がないことを確認できた。

5 急曲線施工

本工事のシールド路線は、最小曲率半径 $R=20 \sim 50\text{m}$ の急曲線12か所を有する。急曲線施工時の対策について以下に述べる。

5-1 FLEXシステム

急曲線施工時はシールドジャッキが片押し状態となり、セグメントに過大な偏圧が作用してセグメントの変形や目開きを生じる懸念がある。SSPCセグメントは中詰めコンクリートがあるため、曲線内側の増しボルトなどの対策を取ることが困難であった。そこで、シールドジャッキ21本を8ブロックに分割してブロックごとに圧力を制御することで推力を緩やかに配分設定できるFLEXシステムを採用した。

これにより急曲線内で起こりがちな片押し状態を抑制できるとともに、隣合うジャッキの圧力差を低減させることができ、セグメントの変形や目開を発生させることなく施工することができた。

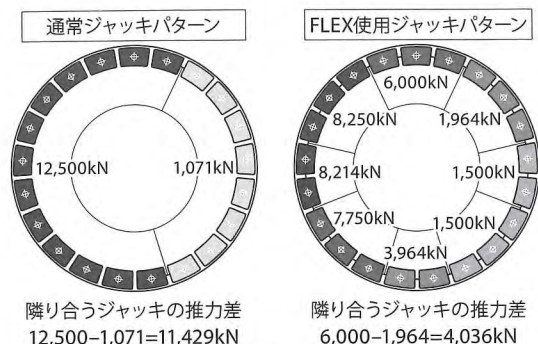


図-9 急曲線掘進時のジャッキ推力差



写真-9 π形ゲージ設置状況



写真-10 急曲線(R=20m)掘進状況

(図-9)。また、急曲線の開始部前後10リングのセグメントの目地部にπ形ゲージを設置し(写真-9)、目開き量を測定することで、ジャッキ圧力の調整を実施した。目開き量は最大で0.7mmに抑制することができた。

5-2 自動測量システム

シールドにジャイロコンパスと水盛り式レベル計を装備し、自動追尾式トータルステーションを加えた自動測量システムにより、シールドの位置と掘進方向をリアルタイムに測定し、掘進制御に反映した。結果として、全線規格値内(±50mm)で



写真-11 坑内状況(R=20m)

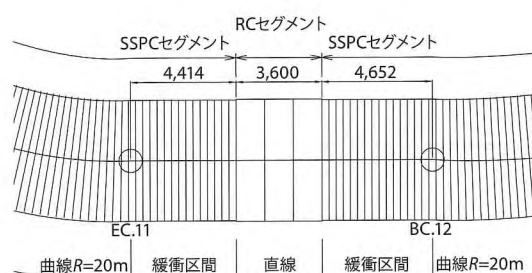


図-10 IP.11~12間セグメント割付け

の掘進を行うことができた(写真-10)。

5-3 セグメント割付け

急曲線の前後の直線におけるRCセグメントの変形、目開きを防止するため、前後約4.5mを緩衝区間としSSPCセグメントを組み立てることとした。しかしながら急曲線が連続した場合、緩衝区間と緩衝区間との間に3~4RのRCセグメントが配置される部分も発生した(図-10)。施工時荷重のセグメントへの影響を考慮し、今後はこういった区間もSSPCセグメントを配置することが望ましいと考えられる。

6 おわりに

シールドは2016(平成28)年6月に発進し、2017(平成29)年7月末に無事到達した。現在はSSPCセグメントのボルトボックス充填および3本の推進工事の地中接合を行っており、2018年3月の竣工に向けて急ピッチで作業を進めている。

本稿の内容が、「近接施工」および「連続した急曲線」を有するシールドトンネルの設計・施工に携わる関係者各位の参考になれば幸いである。

第九十八回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

経験を重ね、 現場力を育み、 危機を乗り越切る

山道 哲一

(元)株大林組

はじめに

私は1951(昭和26)年7月に九州長崎市郊外の片田舎で生まれた。長崎の高校、大学を卒業して1975(昭和50)年に(株)大林組に就職した。第1次オイルショックの時代であった。職業としてこの分野を選んだのは、同年代の土木技術者の共通項であろう『黒部の太陽』が大きな影響力を持つ。「山が突いている」の言葉は忘れられない言葉となった。就職して40年あまり、ほとんどが山岳トンネル工事にかかわってきたが、切羽の大崩落も何回か経験してきた。

今回、私の経験したことが「語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ」に掲載されることとなり、若いトンネル技術者の皆さんにいくらかでも参考になれば幸いです。

私の経歴は以下のとおりです。

- ・1975~1977(昭和50~52)年: 電源開発(株)奥津清発電所工事。苗場山の山奥で土木技術者の基本を学ぶ。立坑覆工でスリップ

フォーム工法を経験。月2回の休暇下山が楽しかった。

- ・1977~1978(昭和52~53)年: 北陸地方整備局大川ダム建設。左岸本体掘削担当、ダム屋になろうとしたが...
- ・1978~1982(昭和53~57)年: 電源開発(株)下郷発電所工事。大断面の地下空間建設。NATMを導入。ストッキングを被った坑夫の姿に思わず吹き出した。
- ・1982~1984(昭和57~59)年: 東京都下水道局江戸川幹線。初めてのシールド工法。R=11m急曲線。到達直前に突発湧水で延長1,400mの坑内が水没。
- ・1984~1985(昭和59~60)年: シンガポールウルパンダン下水工事。テレスコピックセントル採用。月進540mを記録。
- ・1985~1986(昭和60~61)年: 緊急地滑り対策工事。縦型シールドで60mの抑止杭設置。深度30m付近の滑り面でシールドが拘束されるが、予備ジャッキを増設して脱出。



著者近影(2016(平成28)年1月)

著者略歴

昭和50年 4月	(株)大林組入社
昭和50年 5月	電源開発(株)奥津津発電所
昭和53年 6月	電源開発(株)下郷発電所
昭和57年 5月	東京都下水道局江戸川幹線
昭和59年 5月	シンガポールウルバンダン下水管渠
昭和62年11月	東京都財務局岡田トンネル
平成元年 6月	北陸地方整備局小岩トンネル
平成2年 8月	北陸新幹線碓氷峠トンネル
平成6年 3月	東京電力(株)湯川発電所
平成10年10月	東海北陸自動車道真木トンネル
平成12年10月	台湾新幹線林口トンネルほか
平成16年 4月	土木本部ほか
平成26年 7月	(株)大林組退職

- ・1986～1987(昭和61～62)年：長野県銚子口トンネル工事。アトラスの油圧ジャンボ採用。伝説の里、鬼無里。古武士の金縛りに毎晩苦しむ。
- ・1987～1988(昭和62～63)年：東京都大島岡田トンネル工事。前年三原山噴火。スコリア層での吹付けコンクリートに泣く。
- ・1989～1990(平成1～2)年：北陸地方整備局小岩トンネル工事。新潟県の道路整備の素晴らしさに驚く。
- ・1990～1994(平成2～6)年：北陸新幹線碓氷峠トンネル工事。初めての現場所長を拝命。凝灰岩の膨張性地山に苦しむ。硬い岩が1週間経つと指でほぐせるくらいに風化が早かった。
- ・1994～1997(平成6～9)年：東京電力(株)湯川発電所工事。上高地の近くで氷点下20℃厳寒の中での工事。重大事故経験。
- ・1997～2000(平成9～12)年：東海北陸自動車道真木トンネル工事。富山平家落人の里、五箇山

での工事。掘削完了後、工期途中で台湾へ。

- ・2000～2004(平成12～16)年：台湾新幹線建設工事。詳細は後述。
- ・2004(平成16)年：上越新幹線魚沼トンネル災害復旧工事。詳細は後述。
- ・2004～2016(平成16～28)年：常設で主に山岳トンネル関連部門。上記の経験した工事の中で、海外プロジェクトと地震災害復旧工事についてお話ししたい。

海外プロジェクトの話

■台湾新幹線工事の概略

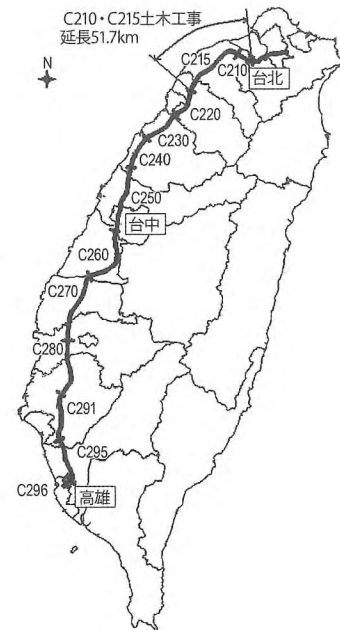
就職して25年、経歴のとおりいろんな工事を経験し、3現場の所長を経験したあと、2000(平成12)年12月に「台湾高速鉄道プロジェクト」に着任した。

台湾高速鉄道プロジェクトは台湾北部中心地の首都台北と南部中心地の高雄間343kmを営業速度300km/hの高速鉄道で結ぶものである。BOTプロジェクトとして発注され、大林組は2000(平成

12)年4月に210、215工区の連続する2工区を受注した。延長51.7kmのうち約15kmを占める山岳トンネル工事区間、そのほかの区間は高架橋、駅アプローチのカルバートボックス、桃園駅の区間になっている。

私は当初210工区のトンネル工事統括のコンストラクションマネージャーとして山岳トンネル工事である延長6.5kmの林口トンネルおよび延長2.6kmの廻龍トンネルの施工、安全、工程、品質、原価など全般の管理を担当し、2004(平成16)年6月の約定工期内の竣工を目指した。

2002(平成14)年11月から215工区のトンネル工事統括も兼務して延長4.3kmの湖口トンネルにおいて発生した2回のトンネル崩落事故処理のため従事した。厳しい工期の中、事故処理と、工期内の竣工を目指して突貫工事の現場指揮を執った。210、215工区の主な山岳トンネルの概要を以下に示す。



台湾高速鉄道土木工区(トンネルと地下、2006年1月号、7頁、図-1)

林口トンネル：

延長6,503m、立坑2か所、掘削断面120～140m²

廻龍トンネル：

延長2,597m、掘削断面110m²

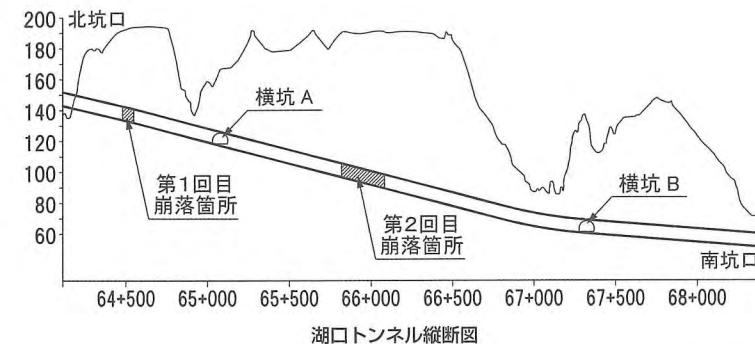
湖口トンネル：

延長4,275m、横坑2か所、掘削断面140～180m²

契約は設計・施工契約であり工期が非常に厳しかった。設計および施工に関する基本的な責任、他業種との調整責任、品質管理はISOにもとづく自主品質証明が基本であった。建設作業員は台湾、タイ、イタリア、日本など多国籍になった。また、トンネルの地質は第四紀の砂礫層が主体で未固結の砂層が介在するなどいろいろな要素の課題があった。

■切羽崩落で窮地に

2002(平成14)年8月に215工区の延長4.3kmの湖口トンネルに



湖口トンネル縦断面図



切羽崩落状況

おいて横坑、北坑口間の延長800m区間の上半掘削を完了し、下半、インバート掘削中にトンネル延長160mに及び大崩落が発生した。さらに10月には横坑から南向き1,000m地点の掘削中に延長270mに及び2回目の大崩落が発生し、約定工期内の工事完成が厳しいものとなった。復旧工事の工事費増大、工期延伸による遅延損害賠償金(1,400～7,000万円/日、上限あり)が大きな課題となった。

掘削が完了したトンネルが崩壊する。切羽崩落の報を聞き、210工区から現場に急行したが、坑口に着いたとき、必死で逃げかえってきた、担当職員のY君をつかま

え、「そんなに急激に崩落するわけがないから、もう一度、中を見に行くぞ」と同行させ、崩落箇所まで行ってみると、ゆっくりだが、坑口側に向かってトンネルが崩壊してくる。ラチスガータが火花を散らしながら、トンネルの肩部から吹付けコンクリートともに崩れ落ちる。そのとき、咄嗟に「上部地山のゆるみが広がるとトンネルが全線やられる」と、急ぎ外へ出て、トンネル上部に行ってみると、土かぶり100mの地表(台湾陸軍湖口基地の野外演習場)に大きな穴が開き、トンネル延長方向に拡大していた。間髪いれず、協力会社(イタリアの専門業者)の所長に



地表の陥没状況



「ぼうず」建込み状況

指示し、現場にある材料で練るだけのコンクリートを練り、至急運搬させ直接、穴に流し込ませた。

話は遡^{さかのぼ}って、入社して4年目に地下発電所の工事に従事していたとき、JV相手のK所長からお酒を飲んでいた席でトンネル切羽崩落の話をお聞きしたことがあった。どこのトンネルの話だったか記憶が定かでない。「地上まで穴が開くような切羽大崩落では地山にくさびを打って、ゆるみを止め

なければならない。地上からコンクリートを打てれば硬化するとくさびになる。」そのことをふと思い出し、迷うことなくコンクリートを打った次第であった。

トンネル坑内では崩落箇所より手前側のトンネル内に「ぼうず」を建てさせた。イタリア人の所長に「ぼうず」を掘^{つた}い英語でどのように説明したか、今は思い出せない。当時の写真を見ると見事な「ぼうず」が林立している。短時

間でよくもこのような立派な丸太を集めたものだと感心したものだ。

復旧工事はイタリア発祥の「ADECO工法」を採用し、水平ジェットグラウトで前方を改良しながら復旧した。幸いにも彼らは「ADECO工法」の経験者であり、専用機械を持っていたのである。

■ラチスガータでは支えられない

ここで当時、崩落の一因になったと思われる支保工についてのやり取りを思い出してみる。

台湾新幹線でのトンネル工事を通して、発注者側コンサルタントの欧州の技術者と喧々^{けんけん}々々の議論をしたのは、「ラチスガータ支保工」が台湾西海岸の土砂地山トンネルの鋼製支保工として、適切であるかどうか？

土砂地山トンネルの経験が少ない欧州の技術者にとっては、NATMとラチスガータ支保工は切っても切れないものとなっていた。

また、彼らはラチスガータ支保工をアジアに展開する技術営業の任も担っていたところもあった。

「H形鋼製支保工は剛性があり、地山と一体となって、フレキシブルな変形ができない。また、吹付けコンクリートの連続性を支保工で阻害している。」というのが彼らの主張であった。それに対し、私は「土砂山のように自立性が弱い地山では、初期変位が大きいのに対して、吹付けコンクリートが強度を発揮するまでの間、ラチスガータでは支保工の役目は果たせず、地山を緩めてしまう。吹付け

コンクリートが強度を発現するまでは、剛性の高い、H形鋼製支保工を使って地山の初期のゆるみを極力少なくすべき」とかたくなに主張した。今、思い出しても熱の入った議論であった。

感心したのは、その後、発注者側のコンサルタントの担当者が吹付けコンクリートの剝離箇所を研ってラチスガータの変形を確認していたことだった。最終の調査結果と見解は聞かせてもらえなかった。

現在の台湾ではラチスガータ支保工が標準となったそうであるが、土砂地山トンネルの崩落も頻繁に起こっていると聞く。

■約定工期の厳守

トンネル崩落の影響は約定工期（軌道設備業者への引き渡し）が2004（平成16）年4月）確保に暗雲をもたらした。復旧期間を2003（平成15）年8月末に設定し実施した。この復旧期間終了までにほかの林口トンネル、廻龍トンネルの工事を2次覆工まで完了させることで作業員、掘削機械、セントル、インバート栈橋を来るべき突貫工事に転用すべく、各トンネル現場で奮励努力した。

予定どおり復旧工事を完了し、トンネルの掘削再開にこぎつけた。イタリアの専門協力会社が2回も大崩落を起こしたため、林口トンネルを完了させた、日本人坑夫10名を切羽に入れようとしたら、イタリアの業者から自分たちの契約したトンネル工事に勝手に日本人坑夫を入れるとは何事だと裁判をも辞さない勢いで抗議がきた。技



掘削再開状況



湖口トンネル貫通

術的にいってもこの突貫工事を実施できるのは日本人坑夫しかいないと強く信じていたので、イタリア人社長を根気よく説得し、彼らの下請けとして従事してもらうことで、収まった。

日本人坑夫の皆さんはおもしろくなかったかもしれないが、我慢して無事に2004（平成16）年1月末に工期内の貫通を達成してくれたのだった。

狭いトンネルの約500m区間に4セットのセントル、鉄筋台車、

インバート栈橋が並んだ壮観な景色は今でも思い出すと緊張が走る。なんとか、無事に工期内に軌道設備業者への引き渡しができる。このとき、遅延損害賠償金支払いからの緊張から解放されたのだった。

崩落の原因は不可抗力となり、復旧工事と工期順守のために増設した設備（セントルほか）、作業員の追加増員などの費用は協議対象となり、協議の結果は満足のいくものであった。



4 セットのセントル、鉄筋台車、インバート栈橋



発注者との安全表彰時の記念写真

■発注者と施工業者は対等な立場？

大林組にとって初めての設計・施工による海外大型プロジェクトであった。設計・施工契約のプロジェクでは設計条件を明確にすることはもちろんではあるが、トンネルの場合は長い線状構造物であり、地山条件が変化するため、正確な条件設定は困難である。しかし、与えられた資料、情報をもとに設計条件を設定するわけであるからリスクは非常に大きい。大きく条件が変わった場合はクレ

ームすることになる。クレームを有利に進めるためにも設計条件が明確でなければならない。

例えば、「自立しない切羽ならそもそもNATMは成り立たない。設計・施工契約とはいえ、大前提がNATMによるプロジェクトであるから自立させるための補助工法は契約外である。」くらいの勢いでクレームすべし！と大林組が雇用していた、地質担当の欧州人技術者は私を叱咤激励したものだ。

また、これはイタリア業者の契

約担当者から聞いた話であるが、「契約の中に裁判はどこで開けるようにしておくべきだ。」ということだった。

今回、発注者サイトは欧州、米国人がトップとしてプロジェクトを仕切っていたので、非常にフェアな関係でプロジェクトを遂行できたと感じている。しかし、東南アジアでの工事においてはこのようなケースは稀で、発注者の権限が強くでるケースが多いと聞く。

■適切な品質規定

品質管理に関しては林口トンネルが非排水トンネルの仕様であり、許容漏水量の規定でドイツ鉄道の仕様を採用したが、許容漏水量の値が厳しすぎたため、竣工時の補修工事が生じた。そもそも山岳トンネルで非排水のトンネルを作ることの困難さをよくよく検討のうえ、許容漏水量の規定を決めるべきだったと大いに反省した次第であった。必死の努力で漏水を抑え込み、完成してしばらくしたら、トンネルに近接していた大きな病院がやぐらを建てて深井戸を3か所も掘り始めたときには驚きとともに、滑稽でさえあった。

■今後の展開

今後の展開として、海外プロジェクトでは現地の状況、契約条件を十分分析して検討しないと、大きなリスクを負うことになる。今までに経験のある地域を選別することもリスクの軽減であり、初めての地域では小型のプロジェクトから経験することが良策ではなかろうか。国内需要の縮減の反動で海外へ進出という図式では大

なりリスクを負うことを認識しなければならない。

海外プロジェクトはシンガポールの下水シールドと台湾新幹線の工事を経験した。幸いにも2つのプロジェクトは利益も上がり、満足できる達成感で竣工した。

海外プロジェクト、とくに東南アジアでのプロジェクトについて、どのような考えで対処していけば良いのか、山岳トンネル工事について私の考えを述べてみたい。

日本の山岳トンネルの技術は東南アジアではもっとも進んでいることは疑いの余地もない。しかし、その技術は日本の坑夫の優秀な技能があつてこそ、現場で実践できるのである。そのことを肝に銘じて取り組まなければ、大失敗する。

日本の坑夫の単価は現地の坑夫より数倍高いため、現地の坑夫を採用することで計画し、進行は日本人並みの進行を期待して受注するケースが多々ある。

現地の坑夫は分業制で、掘削する人、吹付けする人、すり出しする人、別々である。日本のように多能工ではない。それぞれの作業で上手く引き継ぎができないため、進行が伸びない。掘削が完了しても何時間も吹付けが始まらないまま、切羽が放置されることもある。また、発破ほかの個々の技術も未熟なため、プロジェクトの結果は散々ことになる。

今後、東南アジアでのプロジェクトに参加していくのなら、長期計画で現地対応の多能工の坑夫を育成すべきと思う。現在、中国奥モンゴル自治区やベトナムから、

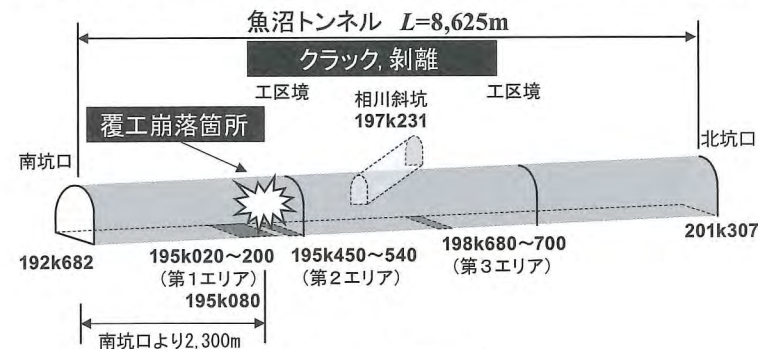
日本へ3年間の期限(法律)で現地の若者を受け入れ、坑夫の研修を実施している専門業者がある。現場で実施工を経験させている。研修作業員の資質は熱心で真面目、日本の若者に比較しても優秀と聞く。しかし、3年経過すれば、帰国するのである。彼らを受け入れるトンネル専門業者が現地にないので尻切れトンボになっている。彼らを取りまとめる組織を現地に作れば、東南アジアで山岳トンネル工事での日本の技術を実践できるとともに長期にわたって継続育成が可能である。もしかすると、彼らが日本でトンネルを掘るときが来るかもしれない。ほかにも方策はあるだろうが、まずは坑夫の育成が第一ではないだろうか？

災害復旧工事の話

台湾から帰国し、約半年後の2004(平成16)年10月23日に新潟県中越地方で発生したマグニチュード6.8(震度7)の地震により、上越新幹線魚沼トンネルは2次覆工コンクリート崩落など被害を受けた。魚沼トンネルは新潟県北魚沼郡川口町および小千谷市地内を通る全長8,625mのトンネル

で1972~1979(昭和47~54)年の間に建設されている。建設当時は3工区に分けて施工され、大林組は南工区を担当していた。このトンネルは魚沼丘陵地帯を通り、地質は第三紀層上部のシルト岩、泥岩などの軟岩からなっている。掘削工法は側壁導坑先進、底設導坑先進、上半先進で機械掘削のレール方式であった。支保形式は矢板方式であった。鋼製支保工はH-175、H-200を使用しコンクリート巻き厚は50~90cmであった。トンネルで大きな被害を受けたのは3か所で2次覆工コンクリートの崩落、路盤隆起が累計延長300mに及んだ。

地震翌日から現地に着任し、工事全体の監督管理と他業種との作業調整の責を負い、年内の運転再開に向け、突貫工事の指揮をとった。現地は地震直後の混乱の中で作業事務所の確保、全国から召集した職員、作業員の宿舍の確保から始めた。大混乱の中で突貫工事を進めるためには、職員、作業員が十分睡眠が取れる宿舍の確保が第一である。また、食事そのほかの問題で仕事に集中できなくなる事態だけは避けなければならない。



魚沼トンネル被災状況



崩落箇所修復状況(①崩落状況→②修復状況→③修復完了)(土木学会「新潟県中越地震」報告会, 2005(平成17)年3月)

トンネルは線状構造物であり、狭い作業空間の中で土木、電気、軌道の作業が輻輳するため、作業時間の調整、使用機械の調整など厳密に行わなければならなかった。各業種とも限られた時間に工程を消化しなければならず、自己中心に陥りやすく、調整は困難をきわめた。最初はギクシャクしたものがあったが作業が進むに従ってお互いの信頼関係が生まれ、同じ目的に向かって工事を完成させる一体感が生まれていった。

地震発生から2か月間の復旧工事であったが、12月27日に運転再開となった。その後も新幹線の営業終了後の夜間4時間ほどの間を利用して補強工事を継続し、2005(平成17)年4月に完了した。

最近、地震ばかりでなく集中豪雨や台風など災害が多発している。異常気象の影響もあるだろうが、常日ごろより、災害を想定した組織の体制を整え、訓練しておく必要がある。建設業に携わる者として国民生活に直結している社会資本の維持管理について常に対応する技術を持ち、責任感を持って対応できるようにしておいてほしい。

翁の独り言

2014(平成26)年7月で第一線を退いたあと、2年間は会社からの委託でトンネル現場を訪れて、所長の悩み、懸案事項を聞きながら、経験したことを踏まえて、私の考えを述べたりした。どれだけお役に立ったかは定かではないが、緊張の中、現場運営をやられている所長のストレスがいくらかでも



営業再開の一番列車(土木学会「新潟県中越地震」報告会, 2005(平成17)年3月)

軽減できたならば、幸いと思っています。

トンネル工事関係から退いた今でも、一つだけ、未だに私の胸に突き刺さったままの棘^{とげ}があります。翁の独り言として聞いてもらえば良いと思います。

それは支保パターンCⅡのミニベンチ掘削方式のことである。

このパターンは上半のみの鋼製支保工と吹付けコンクリート、ロックボルトからなっている。

朝、上半に設置した鋼製支保工がその日の夜には下半を掘削するサイクルになるため、吹付けコンクリートとロックボルトが所定の強度を発現する前に、鋼製支保工の足元がなくなり、非常に不安定

なものとなる。地山の荷が掛かっている場合を考えると、背筋が凍る思いである。鋼製支保工の役割や、地山の変位の収束などを考えると、早い段階で鋼製支保工の足元を掘削してはならない。トンネル掘削を担当している技術者の方は今一度考えてもらいたい。ミニベンチ方式ではなく、ショートベンチ方式なら問題ないのではと考える。1日でも早く、棘が抜けることを願うばかりである。

最後になりますが、今後も山岳トンネル工事は継続していくと思います。山とよく会話(計測結果の分析、先進ボーリングの分析など)して山の状態を把握しながら、無事の工事を遂行していただきたい。また、若い坑夫の皆さんが誇りを持って仕事に取り組める、魅力ある業界になるように願っています。ご健闘を祈ります。

トンネルジャーナル

宮古箱石道路 新箱石トンネルが貫通

東北地方整備局三陸国道事務所が整備する宮古箱石道路の(仮称)新箱石トンネルが貫通し、2017年12月10日、同トンネル内で、施工者である安藤ハザマの主催により、工事・地元関係者ら約200名が参加して貫通式が催された。式典では箱石地区に伝わる「箱石鹿踊り」を、地元保存会が披露するなどして貫通を祝った。

同トンネルは、岩手県宮古市川井と同市箱石地区を結ぶ1,493mのNATMトンネル。付加体堆積物の粘板岩・砂岩・チャートおよびその互層からなる地山を発破掘削により掘進した。断層破砕帯で発生した崩落に対してはAGF工法で対処したほか、ナビゲーション付きドリルジャンボを導入して、進行方向を的確に把握しながら貫通に至った。掘削期間は21か月(平均月進71m)、最大月進は123m。同道の川井箱石工区では初めての貫通となる。

宮古盛岡横断道路は、宮古市と盛岡市を結ぶ全長約100kmの地域高規格道路で、そのうち「宮古箱石道路(宮古～箱石)」は宮古市藤原から箱石間の約33kmにおいて、岩手県から権限代行で同事務所が整備する。現道の線形不良区間を回避し、走行性が向上するとともに、所要時間の短縮により県都・盛岡



写真提供：安藤ハザマ

市と宮古市間のアクセス性の向上、救急医療施設への速達性の向上などの効果が期待される。

また、今年6月に新たに開設される宮古港-室蘭港間のフェリー航路は、北海道と東北、首都圏間の交流・物流を活性化させるとともに、東北の復興に寄与することが期待されており、宮古港と接続する同道の開通は、結節点となる宮古市の発展を後押しするものとして関心が高い。

2019年度に宮古市下川井地区、2020年度に宮古市藤原～松山IC(仮)、碕目～腹帯地区、川井～箱石地区の開通を目指している。

報告

2016年熊本地震による 南阿蘇鉄道のトンネル被害

(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研究員 岡野 法之

(公財)鉄道総合技術研究所防災技術研究部地質研究室研究員 川越 健

(公財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部主管研究員 小島 芳之

南阿蘇鉄道(株)専務取締役 津留 恒 誉

1 はじめに

2016(平成28)年4月14日に前震、16日に本震が発生した「平成28年(2016年)熊本地震」(以下「熊本地震」)により、南阿蘇鉄道高森線のトンネルや渓谷に架かる橋梁が移動・変形するなど鉄道施設に甚大な被害が発生した^{1)~3)}。さらに、熊本地震以降に生じた降雨が原因と考えられる変状(主に斜面被害の拡大)も確認された。これに伴い、国土交通省鉄道局より鉄道総合技術研究所が委託を受け、被害の詳細と損傷程度の評価ならびに概略の復旧計画を作成するための調査を実施した。

南阿蘇鉄道高森線は犀角山トンネルおよび戸下トンネルの2トンネルを有するが、ともに被災した。本稿では、その調査により明らかとなった2トンネルの被災状況について報告する。

2 南阿蘇鉄道の概要と地震発生後の経緯

南阿蘇鉄道は、熊本県の立野駅(起点)から高森駅(終点)までの第三セクター路線であり、延長17.7km、10駅を有する(図-1)。その歴史は、1928

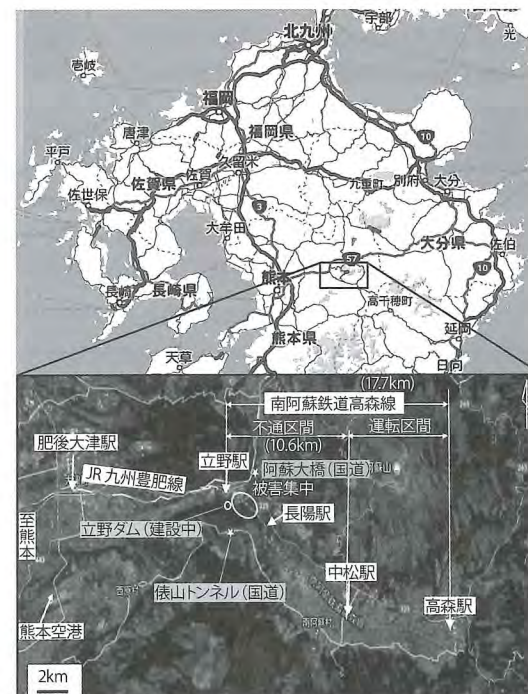


図-1 南阿蘇鉄道高森線の位置および不通区間(上図はGoogle mapより)

(昭和3)年2月に立野～高森間が国鉄宮地線として開業し、1928(昭和3)年12月に高森線への名称変更を経て、1986(昭和61)年4月に南阿蘇鉄道高

ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

建設工事の 保安地質学

[改訂版]

理学博士 石井康夫 著

A5判 上製本 475頁 本体価格6,300円

建設工事の
保安地質学
[改訂版]

理学博士 石井康夫 著



土木工学社

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

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

森線に転換され、現在に至る。

2016(平成28)年4月14日の熊本地震の前震発生により全線にわたり被害が発生し、全線運休となる。その後、同年6月20日から21日にかけて発生した豪雨により被害が拡大したが、同年7月31日に、被害が比較的軽微だった中松～高森駅間(7.1km)が運転を再開した。

3 2016(平成28)年熊本地震の概要

熊本県熊本地方において、2016(平成28)年4月14日21時26分にマグニチュード(M_j)6.5の前震が、さらに2日後の16日1時25分にマグニチュード(M_j)7.3の本震が発生し、熊本県益城町、西原村で震度7を観測した。

本震の発生場所は北緯32度45.3分、東経130度45.8分、深さ12kmで南北方向に張力軸を持つ横ずれ断層型である⁴⁾。本震時の推計震度分布を図-2に示す⁵⁾。震源の北西部で震度7を記録しており、被災したトンネルは、震度6弱から6強の揺れを受けたものと推定される。

4 被災したトンネル周辺の地形・地質⁶⁾

両トンネルは、阿蘇火山の西麓で外輪山を切る立野火口瀬に位置し、阿蘇山から有明海に注ぐ白川の両岸に存在する。立野火口瀬周辺には更新世中期～後期の先阿蘇火山岩類、阿蘇火砕流堆積物、阿蘇火山岩類が分布する^{7),8)}。白川右岸の犀角山周辺には、下位から外輪山を形成する先阿蘇火山岩類、それを覆い立野火口瀬の溶岩台地を形成する立野溶岩と赤瀬溶岩が分布する。犀角山では周辺露頭の観察から立野溶岩が主に分布すると考えられ、一方の犀角山の対岸、すなわち白川左岸の北向山には主に先阿蘇火山岩類の安山岩溶岩、凝灰角礫岩が分布する。

犀角山トンネルが位置する白川の右岸側は、河床からの比高が100～150m程度の溶岩台地上に位置し、周辺の大地面から約50mの高さの北東-南西方向に延びるやせ尾根状を呈する山地である。一方の戸下トンネルが位置する左岸側は、阿蘇外

輪山の一部をなす北東-南西方向の尾根を有する山地である(図-3)。

犀角山付近には布田川断層帯の一部である右横ずれ断層の北向山断層が分布しており⁹⁾、その方向はおおむね付近の白川の流路と調和する方向である。

また、犀角山周辺には図-3に示すように北北東-南南西に伸長する断層が各研究機関などによって推定、確認されている^{7),9)~12)}。今回の地震においては、国土地理院の航空写真の判読¹³⁾により、布田川断層帯の周辺では地表に亀裂が多く発生していることがわかっていて、今回の調査でも、図-4に示すとおり犀角山周辺の道路において、右横ずれ成分の変位が大きいクラックが多数、確認されている。

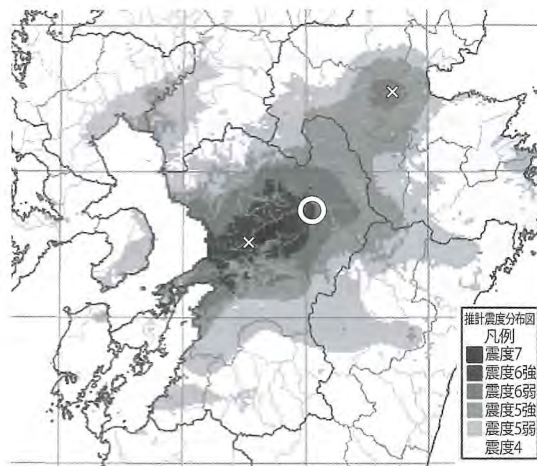


図-2 本震時の推計震度分布⁵⁾にトンネル位置を加算



図-3 犀角山トンネルおよび戸下トンネル周辺の地形と断層⁶⁾

5 トンネルの被害

5-1 犀角山トンネル⁶⁾

5-1-1 トンネルの概要

犀角山トンネルは延長約125m、単線非電化断面のトンネルである。犀角山トンネルの諸元を表-1に示す。

犀角山トンネルの覆工はコンクリートブロック積みであるが、過去に、トンネル上部の地山を掘削し、立野ダム建設用の工事用道路を建設する計画があったため、コンクリートブロック積みの既

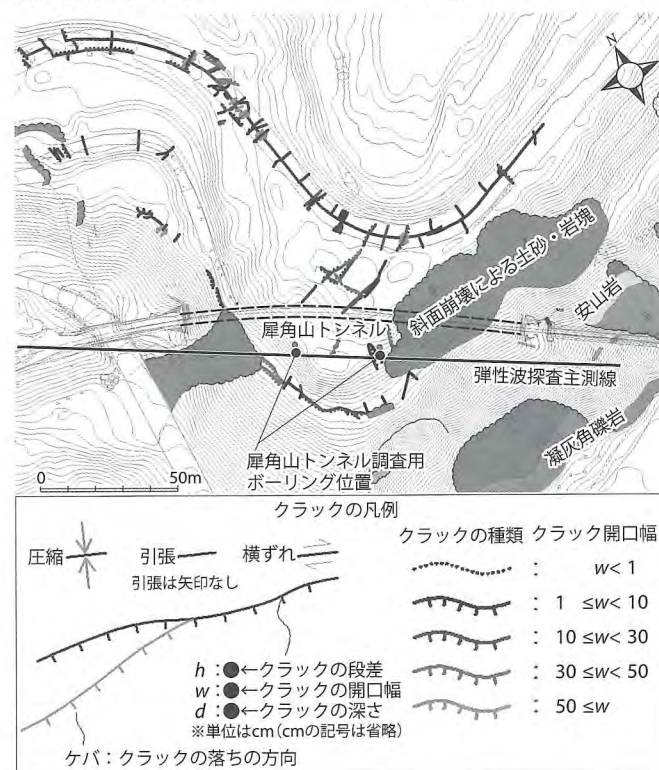


図-4 犀角山トンネル周辺の地表踏査結果⁶⁾
(弾性波探査主測線、ボーリング位置を含む)

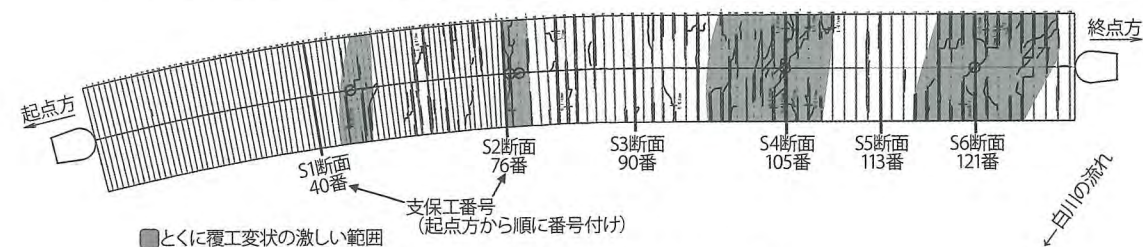


図-5 犀角山トンネルの変状展開図⁶⁾

存覆工(覆工厚47cm)の内側に、H形鋼支保工(H-125×125×6.5/9、H-100×100×6/8)およびモルタル吹付け($t=13\text{cm}$)による補強が行われている。なお、実際には、トンネルの補強工事は行われたものの、工事用道路の計画は変更となっている。

5-1-2 被災状況

地震後の変状展開図を図-5に示す(S1～S6は内空断面計測位置)。これより、終点方に被害が集中していることがわかる。ひび割れの方法は支保工に沿った輪切り開口ひび割れとともに、白川

の方向に平行な(トンネルを斜めに横切る)ひび割れが多く発生している。S4付近の天端部の変状を写真-1に示す。非常に幅の大きなひび割れ(150mm程度)が多数、同じ方向に発生しており、支保工のずれ、径間材の座屈などが見られる。S6付近の右側壁部の変状を写真-2に示す。鋼製支保工と吹付けコンクリートとの境界で、大きな開口が見られ、支

表-1 犀角山トンネルの諸元

トンネル名	犀角山トンネル
竣工	1928(昭和3)年2月
キロ程	1 K391.72m～1 K516.46m
トンネル延長	124.74m
構造	構造：馬蹄形アーチ 避難所：左側、40.24m間隔 覆工：コンクリートブロック覆工厚47cm、H形鋼支保工・モルタル吹付け
内空断面	最大幅4.27m、レール面上高さ4.87m(補強により縮小)
平面線形	$R=290\text{m}(TCL=38\text{m})\sim R=\infty$
縦断線形	レベル

写真-1 S4付近の天端部の変状⁶⁾

写真-2 S6付近の右側壁部の変状

写真-3 出口方坑口部の変位状況⁶⁾

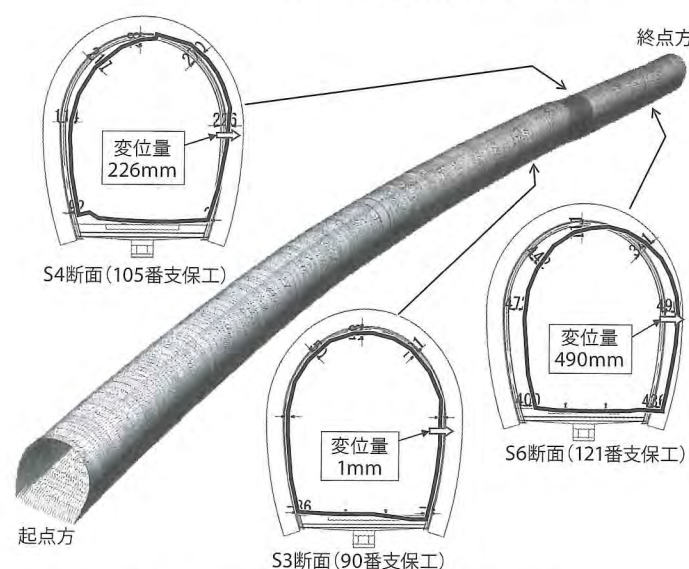
保工間隔が設計より40mm程度長くなっている。

以上のような変状は、S4およびS6付近で顕著であり、トンネルが線路方向に引張られたことを示唆している。

出口方坑口部から坑外の第一白川橋梁を臨む写真を写真-3に示す。橋梁に対して橋台背面地盤およびトンネル坑口部が白川側(写真右斜め前側)に変位しているため、レールが曲がっている。また、橋台背面地盤が沈下しているため、まくらぎがトンネル-橋梁間で浮いている。

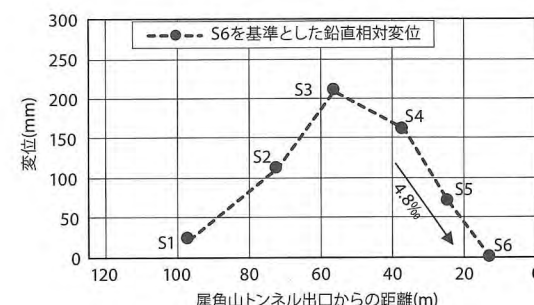
3Dスキャナにより得られたトンネル内面の座標点群データと図-4中のS3、S4およびS6における内空断面の変形を図-6に示す。

図-6の断面図で、太線は3Dスキャナにより得られた地震後のトンネル内空断面形状である。ここでの中心線はおおむね地震前の線形に近いので、側方変位に関しては、図中に記載した数値がおお

図-6 3Dスキャナによる内空断面計測結果⁶⁾

よその地震による変位となる。側方変位に着目すると、S3では小さいがS4からS6にかけて、出口に近づくにつれ、変位量が大きくなっていることがわかる。変形モードは、トンネルが全体として右側に移動するとともに、水平内空は拡大しており、トンネルが川側に引張られて内空が拡大するような変位が発生したことがわかる。

地震によるトンネルの鉛直方向の変位を評価するために、S1～S6断面の天端の鉛直(z)座標を整理した。横軸にトンネル出口からの距離、縦軸にS6を基準とした天端高さの相対値をとり整理したグラフを図-7に示す。なお、犀角山トンネルの当初の縦断勾配は全線にわたりレベルである。

図-7 犀角山トンネルの水準測量結果(天端の鉛直相対変位)⁶⁾

同図から入口付近のS1断面、出口付近のS6断面の天端はトンネル中央部であるS3断面の天端よりも相対的に鉛直座標値が200mm程度低い。トンネル中央部のS3付近から両坑口に向かって沈下している傾向が見られる。トンネルの変形や吹付けモルタルの不陸が大きいことなどから、鉛直座標が必ずしもトンネルの鉛直変位を正確に表していない可能性もあるが、地震により両坑口側が沈下したものと考えられる。

5-1-3 地質調査

原因推定および変状の進行性把握のため、地表踏査をはじめ、ボーリング調査、トンネル底盤のトレンチ調査、弾性波探査を実施した。それらの結果を以下に概説する⁶⁾。

・犀角山周辺の地表踏査結果、坑口付近の斜面は崩壊が生じており、崩落した岩塊が方形のブロックを呈している。また、犀角山トンネルのほぼ直上に位置する道路には右横ずれ、相対的に東側が下がるクラックが多く認められる。

・犀角山トンネル直上で2本のボーリング(トンネル底盤より5m程度深い深度まで)とコア観察、岩石試験、PS検層を実施した結果、全層で立野層の安山岩質溶岩が分布していること、割れ目が発達し細片を呈する区間があり、RQDは総じて50を下回っていることを確認した。一部区間ではビットの落ち込みがあり、掘削水の戻りがほとんどないことから割れ目の多くは開口し、それらは連続していると考えられる。PS検層では深度依存性は

認められず、P波速度でおおむね1～3 km/sと非常に低い速度であった。

・終点方約50m区間で実施した、路盤を掘削してのトレンチ調査では、開口した割れ目が多く認められる立野層の安山岩質溶岩が分布していた。ただし、断層運動に伴うと考えられる明瞭な変位や鏡肌を呈する割れ目は確認できなかった。

5-1-4 被災原因の推定

被害状況および地質調査の結果より被災原因を推定する。

犀角山トンネル坑内の被害は終点方側に集中しており、覆工のひび割れの方法は支保工に沿った輪切り開口ひび割れとともに、白川の方に平行なひび割れが目立っている。

また、トンネル底盤の割れ目の方向についても白川の流下方向と同様な走向を示す割れ目が目立つ。このことから、犀角山トンネル出口方が斜面傾斜方向である右斜め下方に引張られるように変位し、同時に大きな地震動を受けたためと考えられる。

なお、犀角山トンネル終点方に被害が集中したのは、断層変位によるものと考えられるが、今回の調査では明瞭な断層面は確認できなかった。

5-2 戸下トンネル

5-2-1 トンネルの概要

戸下トンネルは延長約900mの単線非電化断面で、覆工はコンクリートブロック積みである。戸下トンネルの諸元を表-2に示す。

戸下トンネルの覆工は、コンクリートブロック

表-2 戸下トンネル諸元

トンネル名	戸下トンネル
竣工	1928(昭和3)年2月
キロ程	1 K 703.29m～2 K 606.98m
トンネル延長	903.69m
構造	構造:馬蹄形アーチ 避難所:左側, 40.23m間隔 覆工:コンクリートブロック $t=23\sim62\text{cm}$
内空断面	最大幅4.57m, レール面上高さ5.51m
平面線形	$R=\infty\sim302\text{m}$ ($TCL=37\text{m}$)
縦断線形	レベール(1k755.84m)～25%(長陽駅側に上り)

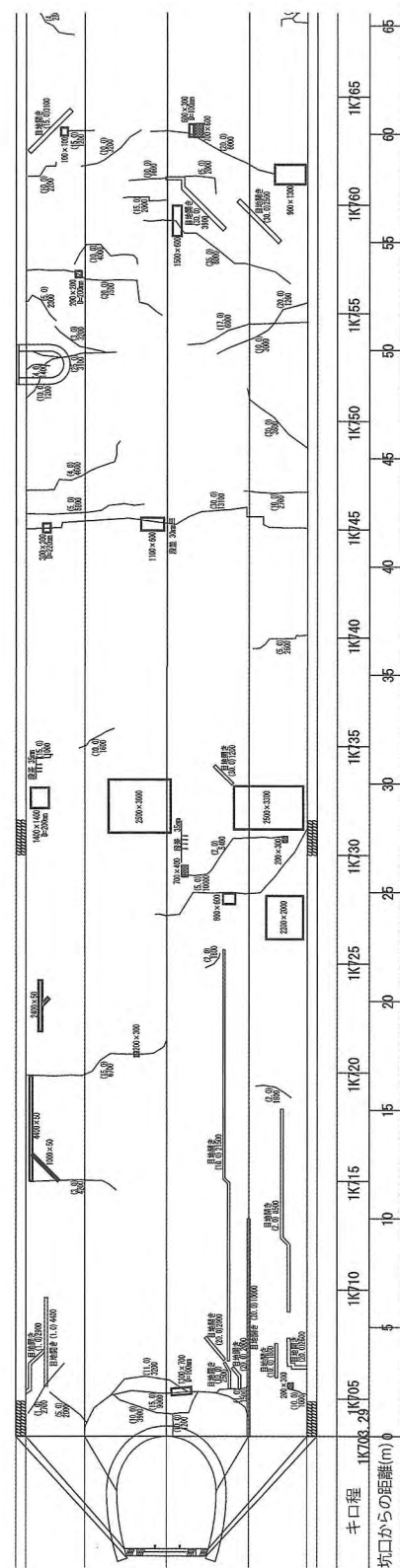


図-8 戸下トンネルの変状展開図(入口から65m区間)



(a) 坑門クラウン部に発生したひび割れ



(b) 右側アーチのひび割れおよびずれ

写真-4 戸下トンネル起点方坑口部の被害

積み(覆工厚23, 47, 62cm)により構築されている。

5-2-2 被災状況

変状の激しかった起点方坑口(入口)から65mまでの変状展開図を図-8に示す。とくに入口から60mの範囲でひび割れ、剝離・剝落が多く発生している。

写真-4に起点方坑口部において発生した被害を示す。坑門クラウン部に開口幅約15mmのひび割れが発生しているほか(写真-4(a)), 坑口部にひび割れやずれが発生している(写真-4(b))。

坑内では、入口から60mの中でもとくに30m前後(28~32m付近)の被害が激しく、ひび割れ、コンクリートブロックの剝落が発生している(写真-5)。なお、トンネル深部においても所々でひび割れなどの変状が見られる。

一方、路盤の変状も発生している。集中豪雨後の2017(平成29)年7月の調査では、トンネル入口



(a) 左側壁のコンクリートブロックの剝落



(b) 剝落箇所の拡大

写真-5 入口から30m手前の被害状況

から50m付近にかけて軌道が温度の高い湧水により冠水しており、とくに、20~30m付近で冠水高さが10~15cm程度と大きかった(写真-6)。ただし、翌8月の調査時には、冠水はごく一部にみられる程度に減少していた。

地震によるトンネルの鉛直方向の変位を評価するため、入口から60mまでの5点(T1~6)の天端鉛直座標を整理した。その結果を図-9に示す。なお、戸下トンネルの当初縦断線形勾配は、入口から52.5mまではレベル、52.5mから出口までは25‰である。

トンネル入口より58m入ったT5断面の天端は、トンネル入口付近のT1断面の天端よりも、相対的に300mm程度高いことがわかる。トンネル表面の不陸やトンネル建設時の施工誤差もあり、鉛直座標が必ずしもトンネルの鉛直変位を正確に表していないと思われるが、地震により入口側が沈下



写真-6 戸下トンネル50m付近より入口方を臨む

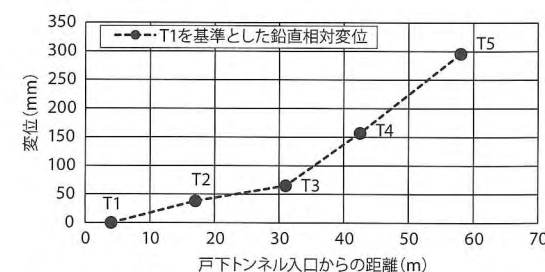


図-9 戸下トンネルの水準測量結果(天端の鉛直相対変位)

したものと考えられる。

5-2-3 被災原因の推定

戸下トンネル坑内の被害は入口から60m付近までの区間に集中しており、覆工のひび割れの方法は輪切り方向の開口ひび割れが多くみられる。集中豪雨後に実施した調査では、入口から約50m区間で路盤冠水が確認され、水準測量の結果、レベルの設計である入口から50m区間が入口に向かって落ち込んでいる。

したがって、断層変位に伴い、トンネルが白川側に引張られるような挙動を示し、かつ、大きな地震動が作用したため、ひび割れや剝離・剝落、路盤面の沈下が発生したものと推定される。

6 おわりに

犀角山トンネルでは両坑口で石積み擁壁の変状、斜面崩壊が発生しているが、被害は終点方側に集中していた。とくに、1 k477m(支保工番号103)付近より終点方はトンネルが右斜め下方にずれ、最大50cm弱の残留変位が発生しており、復旧には抜本的な改築が必要であると考えられる。しかしながら、トンネルが崩落に至ることはなく、内空を保持していたことは特筆すべきであろう。

一方の戸下トンネルでは、起点方、とくに入口から50m程度までの区間に比較的大きな被害が発生しているが、犀角山トンネルの終点方にみられるようなレベルではない。

地表の被害状況に鑑みると、熊本地震における犀角山トンネルおよび戸下トンネルの被害は、震源断層もしくはその直近で顕著であり、トンネル周辺地山、とくに犀角山トンネルの出口付近の右横ずれに伴いトンネル出口方が斜面傾斜方向である右斜め下方に引張られると同時に、大きな地震動を受けたために発生したものと推察されることを示した。

最後に、国土交通省鉄道局施設課には、被害調査業務において終始ご指導をいただいた。国土交通省九州地方整備局立野ダム工事事務所ならびに関係する工事施工会社の皆様には用地内の通行などで多大なるご協力をいただいた。熊本県企画振興部交通政策・情報局交通政策課には諸手続きを進めるうえでご助言を頂戴し、円滑な調査着手にご協力をいただいた。また、南阿蘇鉄道の関係市町村にはさまざまな場面でご協力をいただいた。未筆ながら、関係各所、関係各位に深甚なる謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局：南阿蘇鉄道の鉄道施設災害復旧調査報告概要，<http://www.mlit.go.jp/common/001181697.pdf>，2017.4.
- 2) 国土交通省鉄道局：南阿蘇鉄道の災害復旧調査結果について，<http://www.mlit.go.jp/common/001181698.pdf>(2017.8.31閲覧)，2017.
- 3) 国土交通省鉄道局：南阿蘇鉄道の鉄道施設災害復旧調査参考資料，<http://www.mlit.go.jp/common/001181852.pdf>(2017.8.31閲覧)，2017.
- 4) 気象庁：http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2016_04_14_kumamoto/index.html(2017.8.31閲覧)，2016.
- 5) 気象庁：http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/2016_04_14_kumamoto/suikai2.pdf(2017.8.31閲覧)，2016.
- 6) 川越健・岡野法之・嶋本敬介・津留恒誉・石坂岳士・飯島康夫：平成28年(2016年)熊本地震における南阿蘇鉄道犀角山トンネルの被害について，第44回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp.167-172，2018.
- 7) 小野晃司・渡辺一徳：火山地質図4 阿蘇火山地質図，地質調査所，1985.
- 8) 星住英夫・尾崎正紀・宮崎一博・松浦浩久・利光誠一・宇都浩三・内海茂・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久：20万分の1地質図幅「熊本」，産業技術総合研究所地質調査総合センター，2004.
- 9) 活断層研究会：新編 日本の活断層，分布と資料，東京大学出版会，1991.
- 10) 九州活構造研究会：九州の活構造，東京大学出版会，1989.
- 11) 熊本県地質図編集委員会：熊本県地質図，熊本県地質調査業協会，2007.
- 12) 公開資料「九州地方整備局：立野ダム建設に係る技術委員会報告書，2016.
- 13) 国土交通省国土地理院，平成28年熊本地震に関する情報(平成28年10月3日17時00分更新版)，<http://www.gsi.go.jp/common/000145493.pdf>(2017.2.13閲覧)，2016.
- 14) 鉄道省熊本建設事務所：高森線建設概要，1928.

建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著 A5判 326頁 本体価格 4,300円



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

報告

2016年熊本地震による 道路トンネルの被害と今後の耐震対策

(国研)土木研究所道路技術研究グループ(トンネル)上席研究員 砂金伸治
(国研)土木研究所道路技術研究グループ(トンネル)主任研究員 日下敦

1 はじめに

2016(平成28)年4月14日21時26分に熊本県熊本地方の深さ約10kmでマグニチュードが6.5の地震が発生した。また、図-1に示すように約28時間後の4月16日1時25分に同地方の深さ約10kmでマグニチュードが7.3の地震が発生した(なお、ほぼ同時刻に大分県を震源とする地震が発生

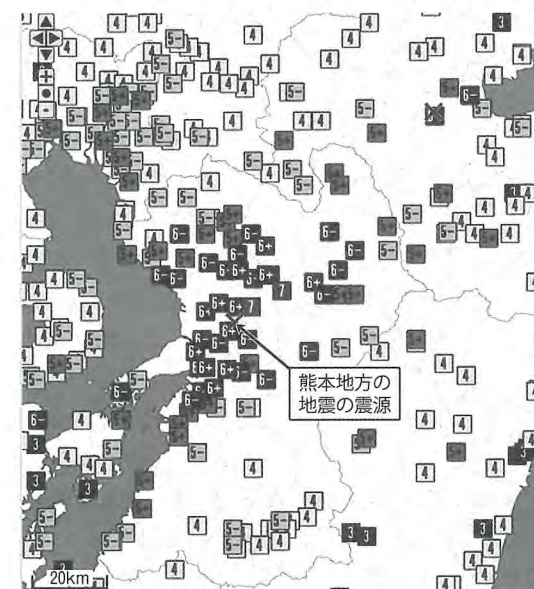


図-1 震度分布図(4月16日1時25分ごろの地震)

しており、その震源も図-1に記載されている)。これらの地震では熊本地方で最大震度7を観測し、これ以外にも4月14日以降、同地方で最大震度6弱以上を観測する地震が5回発生した。前者は日奈久断層帯の高野-白旗区間の活動、後者は主に布田川断層帯の布田川区間の活動によって生じた地震であると考察されており¹⁾、これらにより熊本地方に存在する道路トンネルにおいても被害を生じた。

本稿では、今回の地震(以降「熊本地震」と称する)における道路トンネルの被害状況を概括するとともに、甚大な被害を生じた「俵山トンネル」の被災状況およびその復旧方法の紹介を通じて、これまでの道路トンネルの地震被害状況や得られた知見などをもとに検討した道路トンネルに関して耐震対策を行う場合の考え方について述べる。

2 道路トンネルの被害状況

今回の熊本地震において、熊本・大分県内の市町村の最大震度で震度6弱以上を観測した地域では、図-2に示すように総本数234本、総延長約84kmの道路トンネルが存在した。

被害の報告があったうち、もっとも被害が大きかったのが、県道28号熊本高森線に位置した俵山

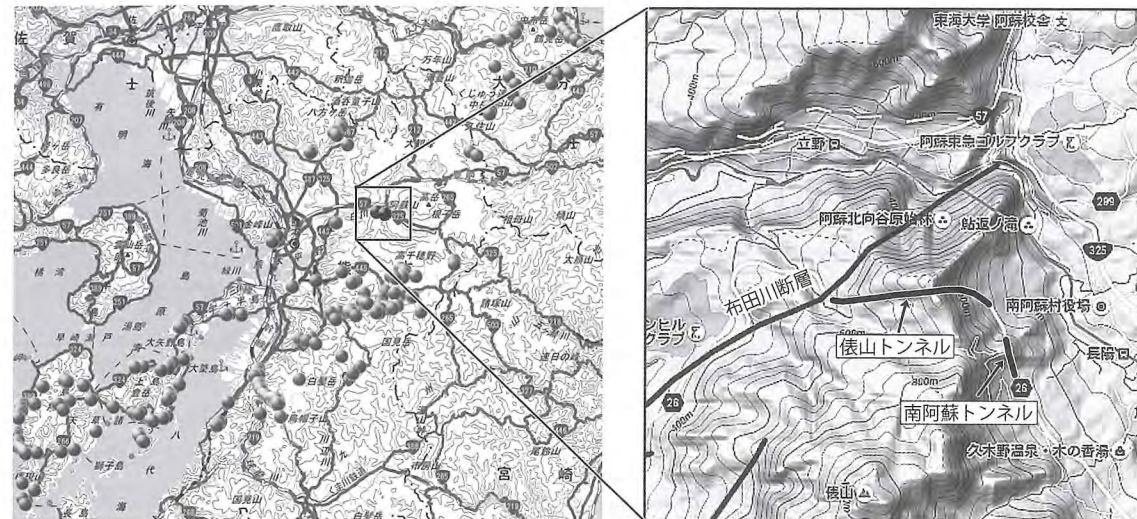


図-2 熊本・大分県内の道路トンネル(震度6弱以上を観測した市町村)

トンネル(延長2,057m)であった。トンネルの空間自体が閉塞するといった致命的な崩壊は見られなかったものの、覆工の崩落、盤ぶくれ、せん断ひび割れなどが多数の断面において発生した。また、俵山トンネルに隣接した南阿蘇トンネル(延長757m)では、1断面で輪切り状のひび割れとわずかなはく落が発生した。なお、これら2トンネルはNATMによる施工であった。

熊本地震において活動したとされる布田川断層と俵山トンネルと南阿蘇トンネルの位置関係は図-2に示すとおりである。平面図上は、これらのトンネルと布田川断層の距離は非常に近接しているといえるが、断層は地下に存在することや、走向・傾斜を有していることなどから、トンネルと活断層の正確な距離を算定するには、より詳細な検討を行ったうえでの判断が必要であると考えられる。また、今回の地震で活動したと推定されている布田川断層帯、日奈久断層帯に近接する道路トンネルとして延長400mの矢板工法により施工された2車線道路トンネルが存在したが、監査歩廊に若干のひび割れがあったものの、覆工や路面において今回の地震に起因すると考えられる変状は確認されなかったなど、俵山トンネルと南阿蘇トンネル以外のトンネルではおおむね被害がなかったと評価してよい状況であった。

次章では俵山トンネルの被害と復旧方法について述べる。

3 俵山トンネルの被害

俵山トンネルは、NATMにより建設された延長2,057mの2車線道路トンネルで、2002年に竣工した。図-3、4に俵山トンネルの地質縦断面図および断面図の例を示す。

図-2に示したように俵山トンネルの熊本側の坑口と布田川断層が近接し、トンネルが存在する俵山は阿蘇山噴火により形成された阿蘇外輪山の一部である。図-3に示したように、熊本側の坑口部には崖錐性堆積物が分布し、未固結シルト混じり砂礫のN値は20以下であり、一部には阿蘇火砕流堆積物の火山灰も分布していた。また、本トンネルの区間は安山岩溶岩の自破砕部、多孔質部、緻密部がくり返し出現したと報告されている。各層の分布厚は10~20m程度であり、西に緩やかに傾斜している。緻密部は新鮮堅固な岩盤からなり、自破砕部では硬質~軟質な安山岩と同質の砂礫あるいは凝灰岩からなる。一方、南阿蘇トンネル側の坑口付近にも、崖錐性堆積物および第三紀鮮新世の凝灰角礫岩が分布している。工学的には、堅固な岩盤と脆弱な自破砕部や未固結の土砂が積み重なった複雑な地質で、層ごとに強度差のある特

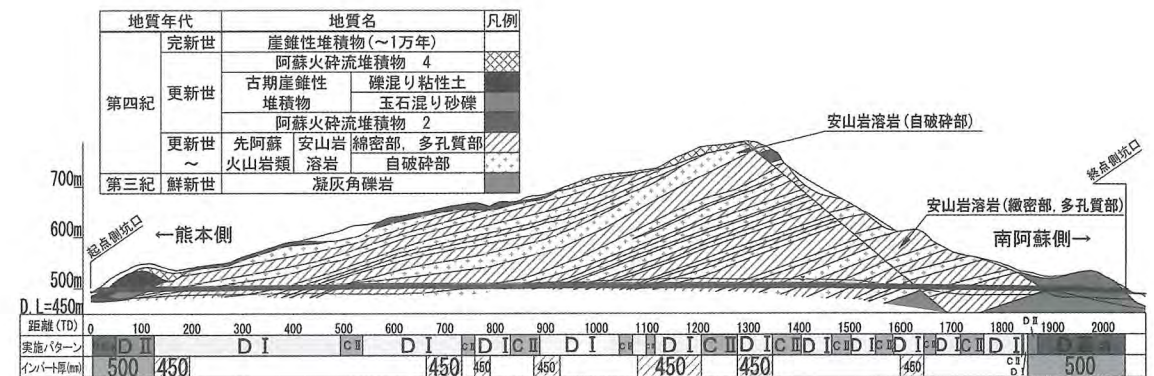


図-3 俵山トンネルの地質縦断面図

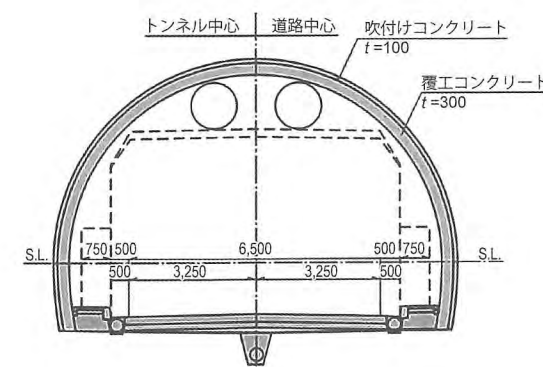


図-4 俵山トンネルの断面図の例

殊な地質である。

なお、阿蘇火山地質図にもトンネルを切る位置でリニアメント(断層)の記載があった。そのため、事前調査ボーリングは実施していなかったにもかかわらず、図-3に示す当初の地質図にはTD1,650m付近(後述するスパン165~167付近)に断層としての記録があった。

(1) スパン165~167(TD1,650m付近)における覆工の崩落

スパン165~167においては、覆工1スパンの半断面(1/2~1/3)程度が崩落した。写真-1にその状況を示すとともに、図-5に当該スパンの変状展開図を示す。

この区間の地山状況に関しては、建設時の資料より覆工崩落箇所付近に断層があることが確認されていた。この付近の地質縦断面図を拡大して示したものを図-6に示す。部分的に脆弱部が存在し、支保パターンを変更する必要があったが、切羽や天端崩落などは発生したという記録は確認されて

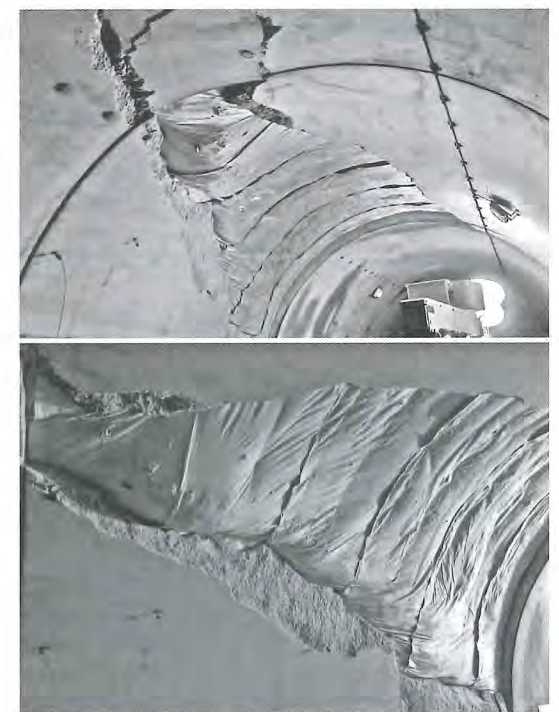


写真-1 スパン165~167の被害状況

いない。地山は安山岩が分布しており断層と思われる弱層が確認され、詳細な性状は不明であるが、天端部にシルト質粘性土が占めていて湿り気を帯び緩みが生じやすい状態となっていた。また、スパン167では、地震発生後に周辺地山状況を把握することを目的として調査ボーリングを実施しており、劣化した安山岩が分布していることが確認されている。

復旧のため覆工を撤去した際に支保工の変状を観察したところ、写真-2に示すように、覆工の破

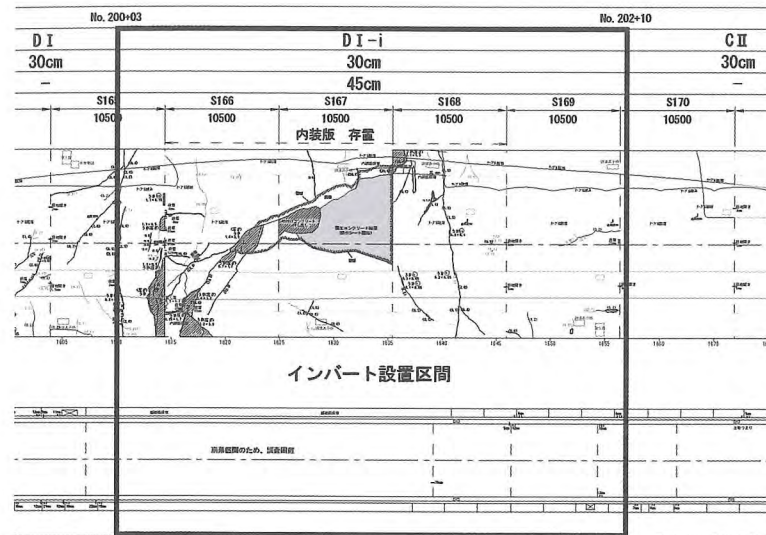


図-5 スパン165～167付近の変状展開図

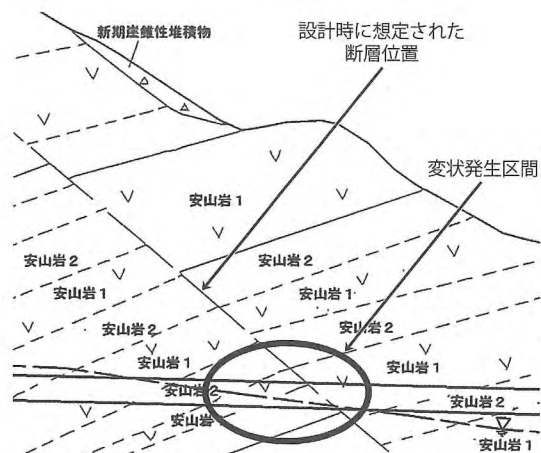


図-6 スパン165～167付近の地質縦断面図



写真-2 支保工の変状状況



写真-3 支保工の背面の状況

断箇所近傍の支保工にも変状が発生し、縦断方向・横断方向に10cm程度のずれが生じていることがわかった。この変状箇所付近の吹付けコンクリートを撤去し、背面の地山を確認したところ、写真-3に示すように変状に沿って褐色に変色した地山が出現し、地山に弱層が存在したことが示唆された。また、インパートにはひび割れや30～40cm程度の盤ぶくれ、5～10cm程度の段差が発生した。

変状箇所近傍のトンネル建設時の切羽観察記録との照合を行ったところ、付近の切羽面に幅の小さい断層が認められ、粘性土を挟んだ部分で滴水程度の湧水が確認されていた。前後の切羽観察記録においては断層と推定される記録が残っておらず、断層の走向・傾斜は定かではないものの、当該区間ではこの断層と天端部の粘性土部分が地震による影響を受けて、変状を発生させる要因となった可能性が考えられる。

(2) スパン12～13(TD115m付近)における盤ぶくれなど

スパン12～13においては、写真-4に示すようにトンネル全周、幅1m程度にわたり圧縮破壊が生じ、覆工が崩落するとともに盤ぶくれが発生した。また、路面では舗装部が鉛直方向に20cm程度浮き上がり、覆工では水平方向に10cm程度の



写真-4 盤ぶくれの状況(スパン12～13)



写真-5 インパートの状況(スパン12～13)

ずれが生じた。図-7に示すトンネル建設時の地質縦断面図より、当該区間は安山岩で構成されていたが、流れ目と差し目が相互に分布する地山の変化部であった。また、流れ目の層は非常に細片状となっていることが確認された。当該区間内ではインパートが設置されていたものの、写真-5に示すように全周でせん断ひび割れが発生した。監査歩廊の路盤も浮き上がっており、当該区間では地震の影響によりトンネルが軸方向に圧縮され、破壊に至ったと想定される。

(3) スパン4～5(TD40m付近)におけるせん断ひび割れ

スパン4～5においては、写真-6に示すように覆工の斜め方向にひび割れが発生した。ひび割れに沿って覆工コンクリート片のはく落は見られたが、大規模なコンクリートの落下は見られなかった。当該区間は坑口部に用いられるDIIIaパターンで施工されており、インパートを有するとともに覆工は単鉄筋補強が行われている区間である。本区間においても地層境界が存在していることを確認し、古期崖錐性堆積物の地層境界付近で変状が発生していることがわかったが、前述のように鉄筋による補強が行われており、前述の変状箇所と比較して被害規模が小さく、覆工の崩落には至らなかったものと考えられる。

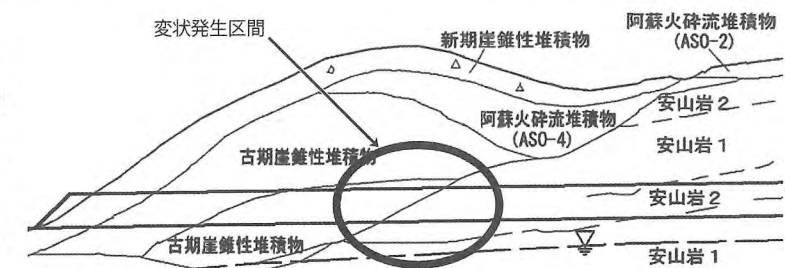


図-7 スパン12～13付近の地質縦断面図



写真-6 せん断ひび割れの状況(スパン4～5)

(4) その他の変状

上述の(1)～(3)のほか、天端から肩部付近の圧縮(スパン37, 写真-7)、輪切り状のひび割れ(スパン96, 写真-8)などが複数箇所発生した。トンネル建設時の地質縦断面図からは、当該区間において断層や地層境界のような変状の発生要因となる可能性のある性状は確認されていない。

(5) 既往の点検結果との比較

俵山トンネルでは2012年に定期点検が実施さ



写真-7 圧さの状況(スパン37)

れていたが、(1)～(4)で示した地震による変状が発生したスパンについては、地震前は変状がほとんど見られなかったことを確認した。また、地震の影響により圧さやひび割れが発生したスパンについて地震前後の点検結果を比較したところ、漏水や幅が0.5mm程度までの縦断方向のひび割れが確認できるスパンもあるが、全体的に変状の生じている箇所は多くない。漏水や縦断方向のひび割れは、トンネルにおいて一般的に発生する変状であり、地震によってあまり変状が生じていないスパンでも同様の変状が見られ、地震前後の変状の関連性については確認できなかった。

4 俵山トンネルの復旧対策

俵山トンネルでは異常時点検を実施し、便覧³⁾に則った健全性の診断を行った結果、トンネルスパンごとで見た場合は、209スパン中、健全性の診断結果がⅠの区間は54スパン、Ⅱの区間は66スパン、Ⅲの区間は31スパン、Ⅳの区間は58スパンとなった。本トンネルでは健全性の診断結果がⅡ～Ⅳの場合に対して措置を行うことを原則とし、補修・補強設計を実施した。しかし、実際に補修・補強を実施しようとした場合、変状が発生した供用中のトンネルに対する補修・補強の選定の考え方は記載されている³⁾ものの、地震による外力による判定基準や覆工やインバートの打替え基準は当時はほとんど見当たらなかった。

今回の復旧工事においては、地震活動が収束した以降には、大きな変状の進行は認められなかつ



写真-8 輪切り状のひび割れ状況(スパン96)

たことや、これまでの既往の知見や火山活動により被災したトンネルなどに対する復旧工事⁴⁾を参考としつつ、調査結果にもとづき、国土交通省で組織された熊本地震道路検討復旧会議により、その基本方針を議論し、その結果を受けて現場に合うかたちで詳細を定めて検討を進めた。

例えば、今回覆工コンクリートが大規模に落下した箇所は、すべて鉄筋のない区間であり、スパン4～5の被害で見られたような坑口部の鉄筋が配置された区間は、大きな地震動を受けたと考えられるにもかかわらず、大規模な覆工コンクリートの落下は見られなかった。加えて、既往の研究結果で、一般部の覆工を対象として示されてきた結果⁵⁾においても同様の知見が示されていたことから、将来の同程度の地震に対して、変状は発生しても覆工コンクリートが大規模に落下しないことを念頭に、落下した箇所には鉄筋を配置することを原則として設計した。

また、覆工コンクリートが大規模に落下あるいは、覆工に大きなせん断ひび割れや圧さが生じ落下のおそれのある箇所については、覆工を取り壊し、支保工(吹付けコンクリートや鋼アーチ支保工、ロックボルト)の健全性を確認したあと、これらの支保工に変状が確認された場合には、支保工の縫返しを行うこととし、支保工に変状のない部分に対しては、覆工だけを打ち直すことを考えた。さらに、支保工に変状が発見された箇所については、舗装版を取り壊しインバートの点検を行い、インバートの補修・補強も行った。

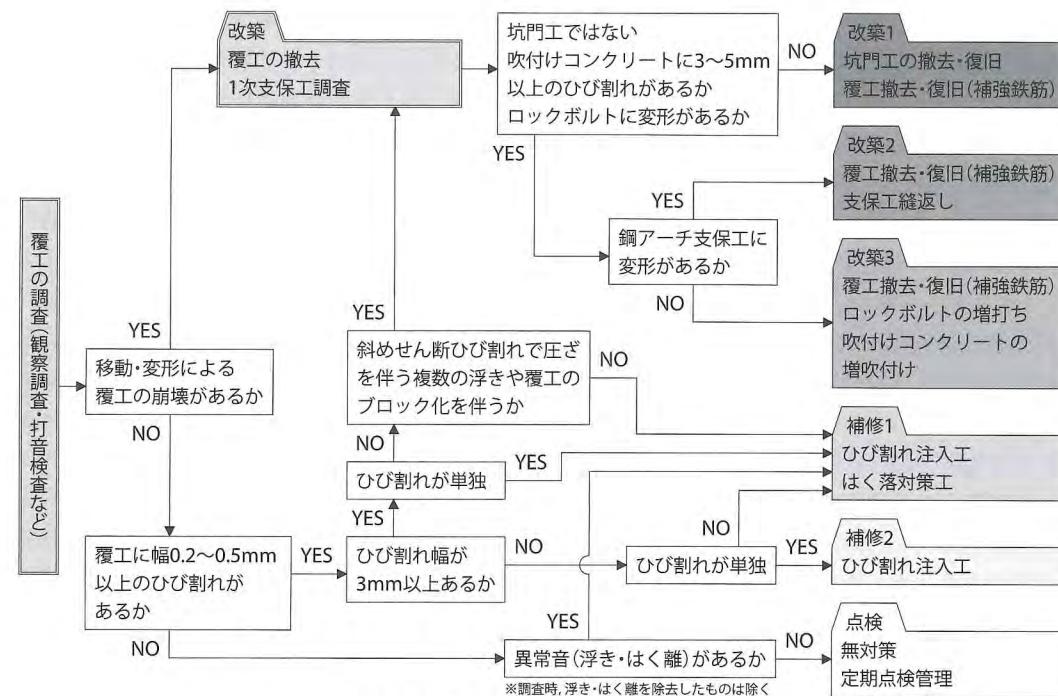


図-8 復旧工法選定のフロー

図-8に熊本地震道路検討復旧会議により検討を行った工法選定の選定フローを示す。このフローに従い、覆工の各スパンを「改築1～3」「補修1～2」「点検」のそれぞれに分類した。このうち、熊本側の坑門を除く「改築1～3」に該当する15スパンは、覆工コンクリートを撤去し、支保工などの目視調査・確認を行い、復旧方法を計画した。このうちインバートが存在する11スパンについては、舗装などの撤去を行い、目視調査・確認を行った。

例えば、もっとも被害が大きかったスパン165の一部からスパン167は、「改築2」とし、新設時の支保パターンDIをDIIIaに変更して縫返しを行った。また、写真-2にも示したように鋼アーチ支保工の座屈が激しく、掘削時に抜け落ちの懸念があったことから、鋼アーチ支保工を取り外す前に座屈した支保工の周辺に注入式フォアボーリングを実施した。それ以外のスパンのうち鋼アーチ支保工の変形が確認されなかった13スパンは、「改築3」とし、鋼アーチ支保工はそのまま存置し、吹付けコンクリートの撤去と増吹き、ロックボ

ルトの増打ちを行った。なお、「改築2」「改築3」の覆工コンクリートは、すべて補強鉄筋(主筋としてD19@200mm、配力筋としてD16@300mm)を配置した。なお、「改築2」の最小覆工厚は、350mmであるが、「改築3」の最小覆工厚は当初設計の300mmとした。

インバートコンクリートに圧壊による段差(50mm～130mm)が生じていた6スパン(スパン12～13、165～168)は、計測を行いながら撤去および打替えを行った。打替えコンクリートにも補強鉄筋を配置した。これは構造体をリングとして剛性を確保するといった考えにもとづくものである。

5 道路トンネルにおける耐震対策の考え方

これまで述べてきたように、熊本地震においては、俵山トンネルにおいて、さまざまな被害が発生したものの、トンネルの空間自体が閉塞するといった致命的な崩壊はなかった。また、崩落については、極端な地山の不良箇所であったことが過去の記録などで確認もされた。加えて、南阿蘇ト

ンネルなどの被害も軽微であったが、断層・破碎帯の兆候があったことが過去の記録などから確認された。

以上の被害の状況を踏まえ、道路トンネルの耐震対策の考え方としては覆工の補強などにより利用者被害発生の可能性を低減させる対応が必要であり、この場合の対応としては以下が考えられた⁶⁾。

① 山岳トンネルの計画・調査・設計・施工・維持管理における耐震の観点からの配慮事項を明確にする。

② トンネルにおける耐震の観点としては、地山条件などの特殊条件の存在を考慮する。

これらの具体的な対応としては、以下の点に留意すべきであると考えられる。

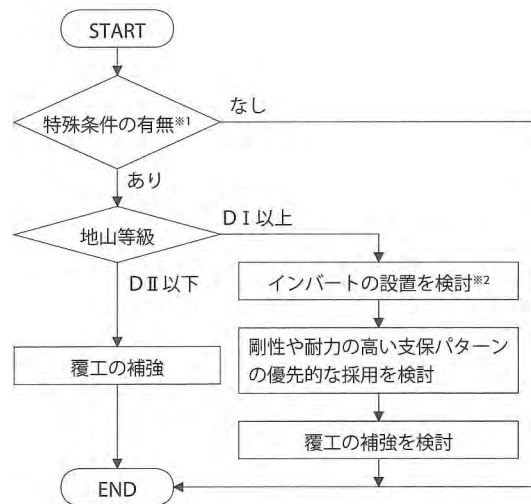
① 計画・調査段階において、活断層の位置の把握に努める。

② 設計段階や施工段階において、断層・破碎帯や地山の剛性が急変する箇所などで極端な地山の不良箇所や偏圧を受ける地形などの特殊条件を有する区間は、インバートの設置、覆工の鉄筋などによる補強を行うなど十分な支保構造を構築する。

③ 維持管理段階においては、上記の特殊条件が存在し、定期点検などで覆工などに主として外力を要因とした変状が見られた場合、変状の原因および進行状況などを踏まえ、覆工背面空洞の裏込め注入、インバートの設置、ロックボルトの打設、内巻き工の実施などの補強などを含めた措置を検討する。

これらを考慮して、具体的補強の対象を考えた場合、図-9のフローに示すような検討の考え方(案)があると考えられる。図内に示すように、地震による影響を受けやすいと考えられるトンネルの特殊条件の存在が考えられ、対策などを事前に行うことが望まれる。ただし、これらについては定量的な判断を行うことが現時点では困難な点もあることから、知見の蓄積を踏まえ、検討を継続していくことが必要である。

なお、図-9中の①～⑦のいずれかに該当する区



※1 地震による影響を受けやすいと考えられる特殊条件とは、以下のいずれかに該当する区間を示す。

- ① 突発的な大量の湧水により施工を長期間中断した箇所、またはこれに準ずる箇所
- ② 切羽の著しい崩落により施工を長期間中断した箇所
- ③ 地山の不安定性に起因して大規模な補助工法を使用した箇所
- ④ 地質が急変して2パターン以上の支保パターンの変更を伴った箇所(ただし、坑口部支保パターンとの接続部を除く)
- ⑤ 縦断的・横断的に地質の剛性が大きく変化する箇所
- ⑥ 極端な偏圧を受ける箇所
- ⑦ 極端に土かぶり小さい箇所
- ⑧ 地山等級DⅡおよびそれよりも不良と評価される箇所(断層・破碎帯などを含む)

※2 地山等級DⅠにおいては原則としてインバートを設置する⁷⁾

図-9 新設の山岳トンネルにおいて耐震対策を行う場合の検討の考え方(案)¹⁰⁾

間においては、新設トンネルにおける耐震対策の実施の考え方としては、既にある一定の方向性は示されているが⁷⁾、地山等級がDⅡあるいはそれよりも不良と評価される場合が多いと考えられる。地山等級がDⅠあるいはそれよりも良好な区間においては、①～⑦のいずれかに該当する場合においては、耐震対策の実施について必要に応じて検討を行うことが望ましいと考えられる。

また、検討にあたっては、特殊条件を有する区間におけるトンネルの支保構造の考え方として、以下の項目に留意することが重要であると考えられる。

- ① インバートを設置してトンネルをリング構造とし、力学的により安定な構造とする
- ② 吹付けコンクリート、鋼アーチ支保工、ロックボルトに代表される支保工を十分な構造とする

③ 地震により覆工に破壊が生じたとしても、大規模に覆工コンクリートが落下することのないよう、覆工に単鉄筋補強などの措置を講じる

耐震対策の観点から鑑みた場合、地震により覆工に作用した外力のモードや大きさを精度良く算定するのは、現在の技術水準では困難を伴う。また、仮に精度良く外力が算定できたとしても、将来的に地震により、どの程度の外力が作用するのかが推定するのは更に困難である。加えて、ある程度の仮定のもと外力の大きさを推算したとしても、例えば大規模な覆工コンクリートの落下を伴うような変状を想定すると、通常のトンネルの覆工設計では用いられることが少ない大きな荷重を設定しなければならず⁸⁾、必ずしも合理的な設計条件とは言えない可能性が生じる。

また、地震発生後に、覆工コンクリートを模擬した部材に鉄筋補強の配置や繊維シートの貼付を施した模型実験を実施した。その結果、両者の場合で覆工の圧縮破壊を抑制することは困難であり、繊維シートを貼付した場合は大規模な覆工コンクリートの落下を抑制する効果までは期待しがたい場合がある結果を得た。さらに、覆工に繊維補強コンクリートを採用したとしても、小規模なコンクリート片のはく落抑制には効果が期待できるものの、覆工に破壊が生じて大きな変形が発生した場合は繊維が追随できず大規模な覆工コンクリートの落下の抑制効果を期待するのは難しい場合があるといった結果も得られた⁹⁾。以上より、鉄筋を配置すること以外の採用にあたっては更なる検討を要することがわかっている。

以上を考慮し、これまでの通常の山岳トンネルの設計・施工事例を参考にしてまとめられた標準的な支保構造の組合せの目安(いわゆる「標準支保パターン」)において、特殊条件が存在すると考えることが合理的な場合が多い地山等級DⅡの場合に単鉄筋補強を行うことが望ましいと考えられる。なお、この場合は、構造的に不均一な箇所をなるべく解消するという観点から、インバートにも原則として同様の単鉄筋補強を行うのが望まし

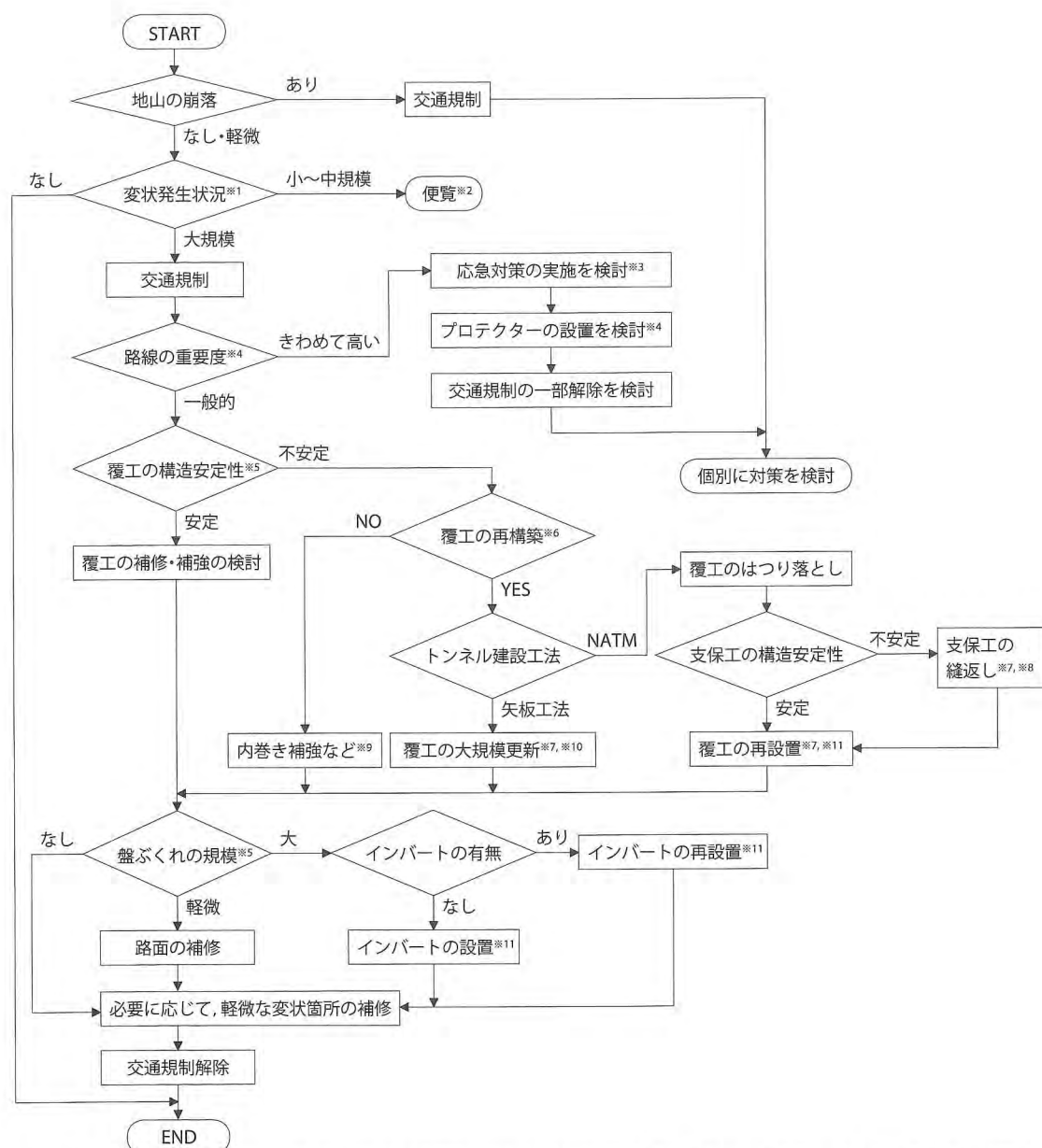
いと考えられる。

加えて、維持管理段階においても耐震対策における考え方が必要である一方、とくに建設年代の古いトンネルについては設計・施工段階の記録が十分に残されていない場合もあり、地震による影響を受けやすいと考えられるトンネルの特殊条件に該当するか否かの判断がむずかしい場合もある。これらのことを踏まえ、既設トンネルにおいて耐震対策を実施する場合は、維持管理の充実を図ることが重要である。すなわち、地震による影響を受けやすいと考えられる地山の特殊条件に該当すると維持管理を通じて特定できた場合は、既に変状が発生している区間においては、優先的に対策を講じることが耐震対策のうえでも有効であると考えられる。

地震による被害を受けたトンネルにおける対策の考え方については、熊本地震における対策方針は決定されたが、基本的にはトンネル周辺の地山が地震により崩壊していないことが前提となっている。山岳トンネルの地震被害が周辺地山の変状を伴う場合は、トンネルの支保工や覆工の縫返しだけではなく、周辺地山の安定性を確保するための大規模な対策を併せて行うことが必要となる場合が多いと想定され、現場の状況に応じた個別の対応が必要になると考えられる。

一方、地震によりトンネルに変状が発生した場合でも、周辺地山の安定性は大きくは損なわれていないと判断される場合は、トンネル坑内からの対策が中心になると考えられる。トンネルの変状が比較的大規模である場合は、交通規制などの応急措置を講じたうえで、対策を検討する必要がある。

覆工の変状が著しく、既往の外力対策工やしくは落対策工では構造の安定性や利用者の安全性が確保できないと判断される場合は、覆工をはつり落とし、覆工を打設し直す必要がある。その際、支保工の変状状況も併せて確認し、支保工の変状も著しい場合や地山からの押し出しにより所定の覆工厚を確保しようとする建築限界を侵してしまう場合などでは、縫返しを行うことも検討する必



※1 定量的な評価は困難であるが、『道路トンネル定期点検要領』における健全性の診断結果Ⅰが「なし」、Ⅱ～Ⅲが「小～中規模」、Ⅳが「大規模」におおむね相当と考えられる。

※2 『道路トンネル維持管理便覧【本体工編】』³⁾などを参考に対策を実施する。

※3 内空断面の縮小を容認できる場合は、補強セメント工を実施したうえで吹付け工を実施するなどがある。

※4 トンネルの重要度を含めて現地の状況などを踏まえ、総合的に判断する。

※5 原則として覆工スパンごとに判定する。

※6 地震により覆工の構造安定性が損なわれている場合は、覆工の再構築を行うのが望ましいと考えられるが、内空断面の余裕、復旧までの時間、代替ルートの有無、現地の状況などにより、総合的に判断する。

※7 復旧工事においてインバートの設置・再設置をともなう場合は、アーチ部の覆工や支保工との施工順序も含めて検討する必要がある。

※8 地山の变形の程度によっては地山の縫返しや地山の補強を含む。

※9 内巻き工、ひび割れ注入、断面修復、内面補強工、ロックボルトなどを適用・併用することにより復旧を行う場合がある。

※10 1掘進長ごとに覆工撤去、支保工（吹付けコンクリート、鋼アーチ支保工、ロックボルトなど）の設置をくり返したあと、防水シートを施工したうえで覆工を打設するなどが考えられる。側壁部が健全な場合は、側壁部を残すことも考えられる。打設する覆工は単鉄筋による補強を行うことも含めて検討する。

※11 単鉄筋による補強を行うことも含めて検討する。

図-10 山岳トンネルの震災復旧における対策工選定の検討の考え方(案)¹⁰⁾

要がある。

以上のような観点を踏まえ、図-10に地震による被害を受けた山岳トンネルの震災復旧における対策工選定を検討する場合の考え方(案)に示す。なお、本案の適用にあたってはこれらの検討に必要な知見の蓄積が未だ限定的であるとも言えることから、今後も同様の知見が得られた場合には、都度、見直しなどを図っていく必要があると考えている。

6 おわりに

本稿では、熊本地震における道路トンネルにおける被害の全体像を概括するとともに、とくに大きく被害を受けた山岳トンネルの被害と復旧方法を主に紹介するとともに、これまでの地震の被害状況や知見などをもとに検討した道路トンネルに関する耐震対策の考え方について述べてきた。

これまでの山岳道路トンネルの地震被害を概括すると、覆工コンクリートの大規模な落下をともなうような比較的規模の大きな被害は、地震により活動した活断層の近傍の狭い範囲に限定的に発生している。加えて、被害の程度は地山条件が大きく関係し、被害の大きい箇所においては、地山がとくに不良であるなどの特殊な地山条件が内在していたと考えられる。

以上のような観点から、トンネルに耐震対策を行う場合の考え方として、新設トンネルにおいては、地震による影響を受けやすいと考えられる地山の特殊条件に該当する場合は、十分な支保構造によりトンネルの力学的な安定性を確保するとともに、利用者への被害を極力抑制する取り組みが重要と考えられる。また、既設トンネルにおいては、維持管理の充実を図ることで地震の影響を極力減少させることが重要であると考えられる。

山岳トンネルにおける地震による被害の事例は他の構造物と比較して少なく、被害発生メカニズムも十分に解明されているとはいえない面もあり、耐震設計の体系も十分に確立されていないの

が現状であり、今後も山岳トンネルの耐震対策に関して引き続き知見の蓄積を図っていく必要がある。

最後に、本稿をとりまとめるにあたり、(一社)日本建設機械施工協会施工技術総合研究所の真下英人所长には多大なるご指導をいただいた。併せて、国土交通省九州地方整備局、熊本県および鹿児島建設からデータの提供をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会：平成28年(2016年)熊本地震の評価，2016.5.13.
- 2) 山本拓治・福原茂・松尾仙彦・中原和彦・亀山好秀・井上祐一郎：熊本地震で被災したトンネルの被災状況と復旧対策，第45回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp.179-184，2018.1.
- 3) 日本道路協会，道路トンネル維持管理便覧【本体工編】，2015.
- 4) 林康啓・今井淳次郎・志賀正延・鈴木雅行：有珠山噴火に伴うトンネル災害復旧，道央自動車道 洞爺トンネル，トンネルと地下，Vol.32，No.11，pp.15-24，2001.11.
- 5) 真下英人・日下敦・砂金伸治・木谷努・海瀬忍：トンネル覆工の破壊メカニズムと補強材の効果に関する実験的研究，土木学会論文集F，Vol.64，No.3，pp.311-326，2008.
- 6) 国土交通省：資料4-3「課題・論点に対する今後の対応(トンネル分野)」，社会資本整備審議会道路分科会第5回道路技術小委員会配布資料，http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01_sg_000303.html (2017.11閲覧)。
- 7) 日本道路協会：道路トンネル技術基準(構造編)・同解説，2003.11.
- 8) 日下敦・河田皓介・砂金伸治・真下英人：地震による地山の变形を想定した山岳トンネル覆工の耐荷力評価に関する数値解析的考察，トンネル工学報告集，Vol.24，No.1-14，pp.1-8，2014.12.
- 9) 小出孝明・砂金伸治・日下敦：覆工コンクリートの破壊過程に関する実験的考察，トンネル工学報告集，Vol.27，No.1-14，pp.1-8，2017.11.
- 10) 砂金伸治・小出孝明・日下敦・吉岡知哉・岸田展明：山岳トンネルの地震時挙動と耐震対策に関する研究報告書，土木研究所資料，No.4358，2017.3.

工法・技術・製品ニュース

工法 長距離切羽前方探査を省力化



安藤ハザマは、自社開発した切羽前方の探査技術「トンネルフェイステスター(TFT探査)」のケーブルレス化を実現し、省力化を図るとともに、効率的なデータ取得を可能にしたと発表した。

既存のシステムは2013年に同社が開発したもの。山岳トンネル坑内における切羽前方の探査技術が大がかりで複雑な設備構成であり、狭いトンネル坑内では切羽を占有するため、探査中は掘削作業が中断されるなど工程に影響があったことから、これらの課題を解決するために開発された。しかしながら有線のシステムであったことから、ケーブルに発

破の飛石防護用の養生をする必要があり、受振器の増設も困難だった。

そこで、無線システムを導入し、設置作業を軽減しただけでなく受振器の増設も容易にした。探査データはタブレットPCの無線通信で取得できるため、トンネル施工管理技術者が現場から移動することなく1時間程度でデータを解析できるとしている。また既設の設備を利用すれば、機材費用も従来技術の3分の1以下となる。

すでに従来型を含め同社施工の山岳トンネル17現場へ展開しており、今後は3次元化などにも対応していく方針としている。

安藤ハザマ CSR推進部
TEL. 03-6234-3606
<http://www.ad-hzm.co.jp/>

製品 超高压力対応の水・グラウトホース



GT420

横浜ゴムは、地盤改良に用いられる水・グラウトホース「GTシリーズ」に最高使用圧力42MPaの「GT420」を追加し発売した。

同品は主に高圧噴射攪拌工法向けで、ホース補強層構造に超高压性に優れたスパイラル構造を採用。また、施工現場でのホース外傷による寿命低下への対策として、同社の汎用ホースに比べ耐摩耗性の高いホースカバーを使用している。口径は19、25、32、38、50mmの5サイズで、0～+60℃の流体温度で利用できる。

地盤改良には、地中の細かい隙間にグラウトを注入して地盤の改良や強化を図るグラウト工法と、高圧の固化材を直接地盤に噴射攪拌して改良体を造成する高圧噴射攪拌工法がある。これらの注入剤・固化材には薬剤やセメントなどさまざまな種類があり、地盤改良の目的に沿って使い分けられている。近年、高圧噴射攪拌工法では工期短縮を図るためグラウトポンプの高圧化が進んでおり、超高压力対応のホースが求められていた。

横浜ゴム 広報部
TEL. 03-5400-4531
<http://www.y-yokohama.com/>

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



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

連載講座

セグメントの新技术Ⅱ(3)

—RC・新素材セグメント(2)—

「セグメントの新技术Ⅱ」連載講座小委員会

① はじめに

今回は、RCセグメントや新素材を使用したセグメントについての第2回目として、鉄筋の代替として炭素繊維やガラス繊維などを使用したセグメントであるFFUセグメント、GFRCセグメントおよび切削セグメントについて紹介する。

② FFUセグメント

2-1 開発目的

シールドトンネルの分岐合流部では地上から地盤改良を行いセグメントを開口して接続するのが一般的であるが、工事用地の確保の困難さや安全性向上などから直接切削技術が望まれており、その技術の一つとしてFFUセグメントを開発した。FFUセグメントとは、先行シールドトンネルの分岐合流部に高強度で切削性に優れたFFU(Fiber reinforced Foamed Urethane)で構成したセグメントを設置し、後行シールドでFFUを直接切削して分岐合流する技術である(図-1)。

2-2 セグメントの概要

2-2-1 概要

FFUセグメントは、図-2に示すようにシールドで切削可能なFFU部材の部分と、他のセグメントとつなぐ接合部の部分から構成されるセグメントである。

FFUセグメントの接合部は、FFU部材とボックス状の端部鋼材より構成されている。

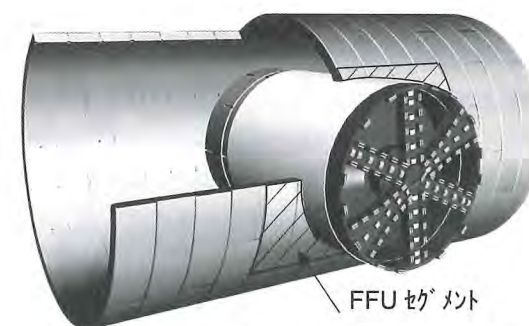


図-1 FFUセグメントのシールド発進イメージ

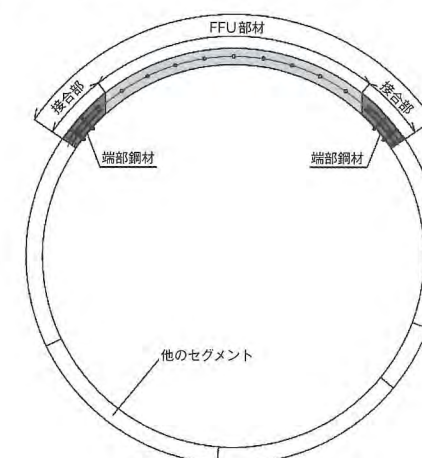


図-2 FFUセグメントの構成

2-2-2 本体部

本体部のFFUは、硬質発泡ウレタン樹脂をガラス長繊維で強化した軽量耐食構造材である。FFUに適用される硬質発泡ウレタン樹脂は気泡がそれぞれ独立しており、これにより素材として

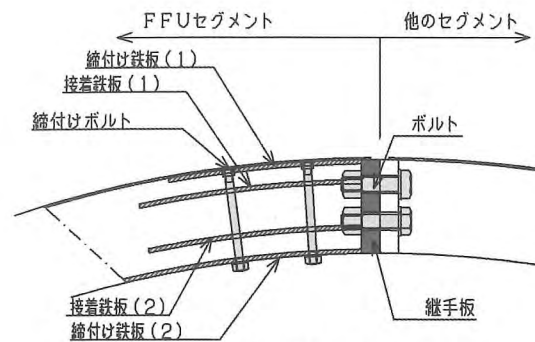


図-3 FFUセグメントの接合部

の高い耐水性、耐薬品性、耐腐蝕性が確保されている。

2-2-3 接合部

FFUセグメントと他のセグメントをつなぐFFUセグメントの接合部は、FFU部材と端部鋼材から構成され、端部鋼材は図-3に示すように接着鉄板、締付け鉄板、締付けボルト、および継手板から構成され、FFU部材と一体化して外力に抵抗する。

2-3 セグメントの特徴

FFUセグメントの特徴として、①シールドでの切削性に優れる、②土水圧に抵抗できる高強度で施工性に優れた構造部材、③切羽を解放することなく発進・到達できるので安全、などが挙げられる。

2-4 セグメントの実験

2-4-1 切削実験

FFUセグメントは、写真-1に示す道路トンネルの分岐合流を想定した切削実験や施工実績などから切削性能を確認している。

FFUセグメントを切削するカッタビットは、土質条件や掘進距離などの施工条件により選定されたビットにて切削可能であり、特殊なビットを必要としない。また、カッタビットによるFFUセグメント切削時の騒音や振動はほとんど発生せず、周辺環境に与える影響も小さい。

FFUセグメント切削時の施工実績から、発進部では地盤改良を併用する例は少ないが、到達部では出水防止とFFU部材の反力確保としてFFU内側への充填や地盤改良の検討が必要となる。

2-4-2 構造実験

FFUセグメントは写真-2に示す単体曲げ試験の結果から、同じ高さの鋼製セグメントと比較して耐力は大きいことを確認している。FFUセグメントは厚さ10～15mmのFFUを曲げながら接着積層して製造するので、FFU部材の曲げ耐力は製造段階の曲げ加工による残留応力を考慮する必要がある。

FFUセグメントの接合部は、鋼製セグメントとFFU部材の接合部の実モデルの構造試験を実施し、接合部はFFU部材と同等の耐力を有することを確認している。またFFUセグメントのリング間にはシール溝加工したFRP部材を貼り付けることでシール材を設置でき、止水性を確保している。

2-5 セグメントの施工例

FFUセグメントは、シールドトンネルのセグメントの分岐合流部に使用するタイプと、セグメント式オープンケーソン立坑に使用しシールドが発進到達するタイプの2通りがある。以下に施工

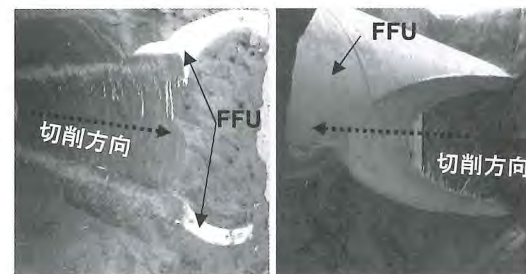


写真-1 FFUセグメントの切削試験

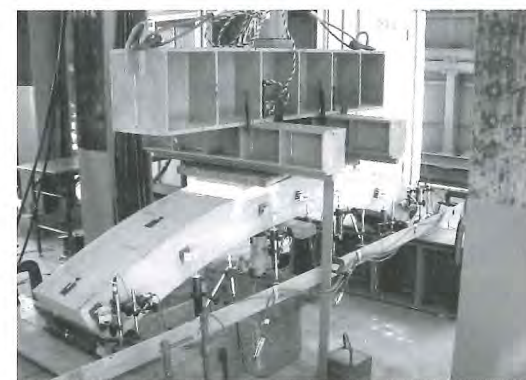


写真-2 FFUセグメントの単体曲げ試験

事例を述べる。

2-5-1 シールド用セグメント

(1) 工事概要

工事件名：名駅南雨水幹線下水道築造工事(その2、3)²⁾

工期：2004(平成16)年2月～

2007(平成19)年3月

工事内容：シールド掘進距離 1,296m

セグメント外径 $\phi 5,100\text{mm}$

セグメント切削径 $\phi 3,110\text{mm}$

(2) FFUセグメントの採用理由

本工事は、本線シールドトンネル内から上向きシールド工法にて立坑を築造する工事である。開口用セグメントはGL-30m付近に位置していたことから、施工性や安全性を考慮し、地盤改良ではなく直接切削可能なFFUセグメントを採用した。

(3) 施工

FFUセグメントは、写真-3に示すように掘進時、土水圧作用時や裏込め注入時に大きな変形や出水は見られず、FFUセグメントが構造的に成立することを確認した。シールド用のFFUセグメントは、ジャッキ推力をFFU内に配置したFRP部材に負担するが、弾性変形内でFFUセグメント同士が軸力を伝達できることを確認した。シールドによるFFUセグメントの切削は、FFUの大割れや閉塞もなく切削完了した。

(4) 現在までの実績

シールド用のFFUセグメントは、2017(平成29)年9月までに下水道工事で8件、共同溝工事



写真-3 シールド用のFFUセグメントの配置例

で1件採用されており、発進側で20面、到達側で1面の施工実績を収めている。

2-5-2 立坑用セグメント

(1) 工法概要

シールドや推進機の発進や到達用立坑に鋼製セグメントをリング壁体としたアーバンリング工法がある。本工法は、内部をバケット掘削機により掘削し、アンカーを反力にして壁体を沈設させる都市型圧入ケーソン工法である。アーバンリング工法の開口部は深い位置となることが多く、施工性や安全性から写真-4に示すような直接切削可能なFFUセグメントを組み込んでいる。

(2) 施工

シールド用と立坑用のFFUセグメントの形状はほぼ同じであるが、立坑用では写真-5のようにFFU内面に鋼製棒をセットし施工時の圧入力に抵抗させる。



写真-4 立坑用のFFUセグメントの配置例

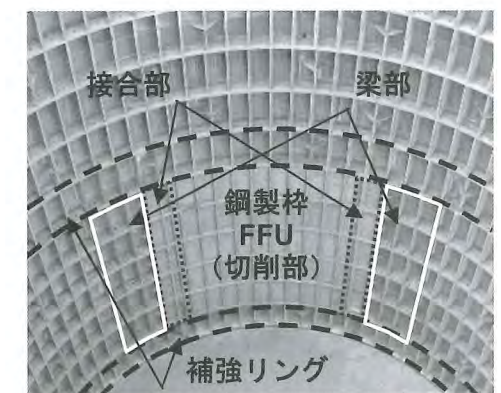


写真-5 FFUセグメント内面の鋼製棒

また、発進時のシールド切削時に端部が切削されたFFU部材の回り止めとして外周面にFFU部材による突起を設けている。

(3) 現在までの実績

立坑用のFFUセグメントは、2017(平成29)年9月までに下水道工事で12件、共同溝工事で1件、電力工事で1件採用されており、発進側で9面、到達側で7面の施工実績を収めている。

2-6 適用範囲

FFUセグメントの施工実績の最大は、設置深度でGL-46m、セグメント外径は14.4m、切削シールド外径は5.8mであり、FFUセグメントは大深度で大口径シールドにおいて適用可能である。

FFUセグメントは、工事の省力化や安全性の確保に貢献できるため、実績件数は増加傾向にあり、今後も社会のニーズや施工の要望に合わせて本技術を改良・改善していく所存である。

(文責：西田与志雄・竹中計行/大成建設(株)、坂本博明/積水化学工業(株)、松岡馨/JFE建材(株))

③ GFRCセグメント

3-1 開発目的

近年、都市部では、道路分岐合流部など地中切り抜け工事が大深度で計画されているが、市街地では種々の制約条件があるため、非開削での施工が求められている。このうち、とくに、高水圧下の未固結地盤を対象とする工事では、切り抜け時に絶対に出水させない、安全・確実な施工が求められている。そこで、このニーズに応えるため、切り抜け時に地山露出を抑制することで、安全・確実に施工できる切削可能なGFRC(Glass Fiber Reinforced Concrete)セグメントを開発した(図-4)^{3), 4)}。

3-2 セグメントの概要

- ① トンネル横断面の形状：とくに制限なし
- ② セグメントの平面形状：とくに制限なし
- ③ セグメントの材質：次章で詳述

3-3 セグメントの特徴

セグメントの材料は、筋材を鉄筋に代えてガラス繊維製異形ロッドとし、粗骨材を人工軽量骨材とした。さらに、施工時荷重に対してひび割れを抑制し止水性を向上させるため、コンクリートにアラミド繊維を混入することとした(表-1)。

これにより、シールド発進部に適用する仮壁切削部材に比べて切削距離が長い切り抜け工事においても、以下に示す性能の確保を実現した。

- ① RCセグメントと同等の強度、止水性を有する
- ② シールドの切削負荷が小さい

3-4 実験概要

3-4-1 構造実験

構造実験の供試体は、当社施工の下水道工事の型枠を用いて、外径3,350mm、幅1,000mm、桁高200mmとした。また、比較のため、RCセグメントの構造実験を併せて行うこととした(表-2、写真-6)。

試験終了後の状況を写真-7に、試験結果を表-3に示す。両ケースとも、設計ひび割れ発生荷重および設計終局荷重を上回った。また、GFRCセグメントのひび割れは分散しており、ひび割れが集中することもなく破壊に至った。

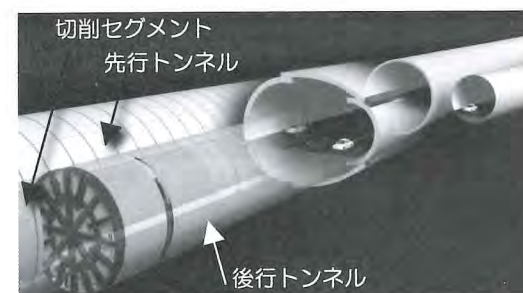


図-4 切削セグメント施工概念図

表-1 材料の一覧

筋材 (ガラス繊維製異形ロッド)	粗骨材 (人工軽量骨材)	ひび割れ防止材 (アラミド繊維)

構造実験により得られた知見を以下にまとめる。

- ① ガラス繊維製異形ロッドを配置した切削セグメントもRC理論で終局荷重を算定できる。
- ② 軽量骨材を使用したセグメントにアラミド

表-2 実験ケースとセグメント仕様

ケース	骨材	筋材		ひび割れ防止材
		主筋	フープ筋	
No.1	普通	鉄筋：6-D13+2-D16(0.70%)	16-D10	—
No.2	軽量	ガラス繊維製異形ロッド：8-S12(0.55%)	10-S10	アラミド繊維0.50vol%

ケース1 RCセグメント



ケース2 GFRCセグメント



写真-6 配筋概要



写真-7 単体曲げ試験後のGFRCセグメント

表-3 単体曲げ試験結果

	ケース	設計値①	実験値②	②/①
ひび割れ	RC	84.5kN	95.7kN	113%
	GFRC	54.7kN*	94.5kN	173%
破壊	RC	191kN	279kN	146%
	GFRC	191kN	295kN	154%

※：示方書に準拠して、軽量骨材コンクリートの曲げ強度を普通骨材コンクリートの70%と設定

繊維0.5vol%を混入したGFRCセグメントは、普通骨材を使用したRCセグメントと同等のひび割れ発生荷重となった。

3-4-2 切削実験

切削方向、ビットの摩耗の影響を検証するため、実験ケースを表-4に示す3ケースとした。写真-8に斜め(10°)方向の切削実験状況を示す。先行トンネルは切削する箇所を切削セグメント、その他を鋼製セグメントとしてボルトで締結した。先行トンネルは鋼製架台で拘束し、切削時のセグメントリングの変形抑制を目的に支柱を2本/リング設置した。また、切削箇所の内側に切削部を固定する目的にモルタルを充填した。切削実験の概要を表-4に、切削機の仕様を表-5に示す。

表-5に示すように、 α 値($\alpha = T/D^3$, T :切削トルク, D :切削機外径)が約30, 最外周カット回転

表-4 切削実験の概要

	No.1	No.2	No.3
方 向	直進	斜め(10°)	
ビット摩耗*	なし		あり
GFRCセグメント仕様	外径φ3,350mm、幅1,000mm、桁高200mm コンクリート・補強筋仕様：表-2参照		

※：ビット摩耗ありの摩耗量は、シルト層0.5km + 砂礫層1.0kmのシールド掘進後を想定し、11mmと設定した。



写真-8 切削実験状況

表-5 切削機(推進機)仕様

切削機外径	2,150mm
カットトルク	291kN・m
α 値*	29.3
カット回転数	2.2rpm

※：装備トルクを掘削機外径の3乗で除した値である(土圧式で10~25、泥水式で8~20程度)。

速度が約15mm/minと一般的な推進機を用いて実験を行った。切削実験の結果を以下に示す。

- ① 切削トルク： α 値と掘進速度の関係を図-5に示す。いずれのケースも、 α 値は掘進速度の増加に対して6～8と若干増加傾向にはあるが、装備値29.3に対して20～27%と小さい。ビットの摩耗ありでも、切削回転負荷が十分小さいことが確認できた。

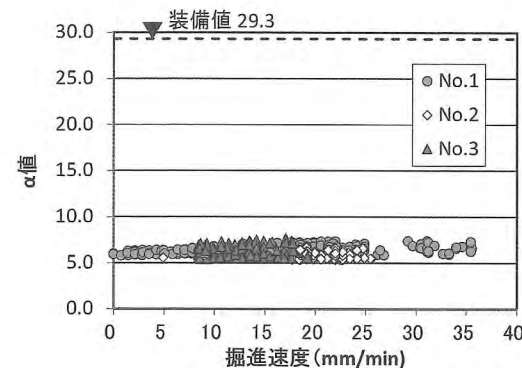


図-5 掘進速度とトルク (α 値)

表-6 推力のまとめ

ケース	方向	ビット 摩耗	N^{*1}	備 考
No.1	直進	なし	37kN	$\approx \rho^{*2} \times \text{切削面積} \times 10\%$
No.2	斜め (10°)	なし	84kN	$\approx \rho^{*2} \times \text{切削面積} \times 20\%$
No.3	斜め (10°)	あり	126kN	$\approx \rho^{*2} \times \text{切削面積} \times 30\%$

※1：セグメントのトンネル軸方向発生軸力計測値

※2：通常の土圧式シールドの掘削面積あたりの装備推力
($\rho = 1,200\text{kN/m}^2$)

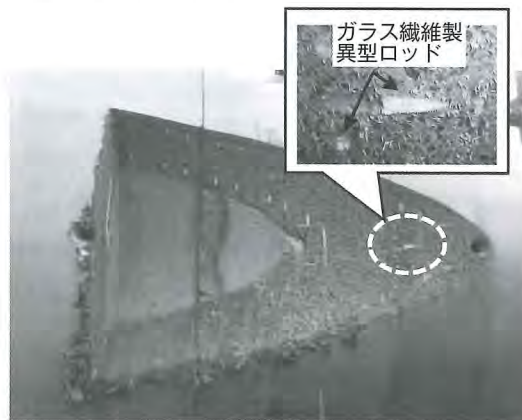


写真-9 切削状況

- ② 推力：表-6に示すように、進行方向、ビットの摩耗の有無で若干異なるが、切削面積に対して装備推力の10～30%程度の推進抵抗であった。ビットの摩耗ありでも、切削推進負荷が十分小さいことが確認できた。

- ③ 切削速度：地山掘進と同程度の20～30mm/minで施工可能であることが確認できた(図-5)。

- ④ 切削面の状況：どのケースでもGFRCセグメントは大割れすることなく、細かく切削できた(写真-9)。

以上より、一般的なシールドで容易に切削が可能であることを実証できた。

3-5 今後の展開

前述の各種基礎実験に加え、大型土槽中のシールド掘進実験(幅9.0m×高さ4.3m×長さ20.0m、2本の先行シールド $\phi 2.55\text{m}$ 間を $\phi 2.68\text{m}$ の泥土圧シールドで掘進)を行い、施工の確実性を実証した。これにより、地山と同等の掘進速度20～30mm/minで、通常のシールド装備値の10%程度の低推力、17～23%の低トルクで掘進可能なこと、ジャッキ操作およびコピーカットによる余掘り管理により自在に蛇行修正が可能なこと、大割れせず細かな切削片で排出されること、先行トンネルに影響を与えることなくシールド掘進が可能なこと、ビット摩耗は砂礫地盤と同程度であったことを確認した。さらに、セグメント継手とリング継手やその他の細目構造などについても検討・実験が終了したことから、本セグメントは構造面、施工面で十分に実施工対応が可能な段階に至っていると考えている。

今後、道路トンネル切り抜け工事など実プロジェクトで提案し、安全・安心・確実な工事の実現に寄与したいと考えている。

(文責：大江郁夫/西松建設(株))

4 切削セグメント

4-1 開発目的

用地条件が厳しい都市部では、地上では民家が密集しており、地下も構造物が輻輳していること

から、地下のトンネル同士を分岐合流する際に開削ではなく地中作業のみで施工されることが望まれている。とくに道路や鉄道トンネルのように緩いすりつけ角度を保ちながら分岐合流する場合は、地中での施工領域が数十m～それ以上の長さに及ぶ特徴がある。この場合、後行するシールドが先行トンネルを直接切削して貫入できれば地山の露出を極力抑えられることから、透水性が高い土質でも安全に施工できる(図-6)。これを実現するため、切削できるRCセグメント、切削セグメントを開発した。

4-2 セグメントの概要

- ① トンネル横断面の形状：とくに制限なし
- ② セグメントの平面形状：とくに制限なし
- ③ セグメントの材質：次章で詳述

4-3 セグメントの特徴

切削セグメントは1リングの中で切られる部分にだけに使用し、それ以外の部分には通常のRCセグメントを用いる。物性や構造が大きく異なる

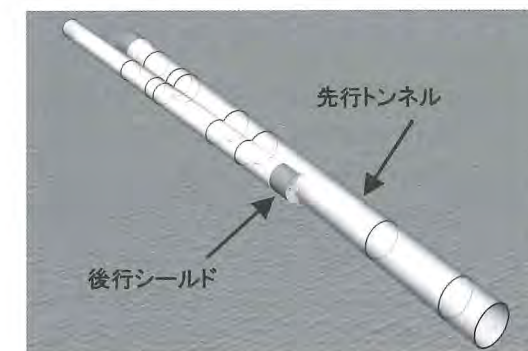
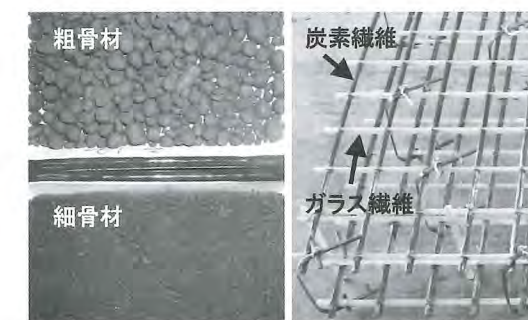


図-6 直接切削によるトンネルの分岐合流の施工イメージ



(1) 軽量骨材

(2) 格子筋

写真-10 切削セグメントの主材料

ものをつなぎ合わせることを避けるため、RCセグメントの材料で切削できないものを切削できるものに置き換えることで切削セグメントとした。すなわち、骨材(硬質な砂利や砂)に代わる材料として軽量骨材を、鉄筋に代わるものとして炭素繊維を採用した(写真-10)。

4-3-1 軽量骨材

軽量骨材はその多孔質な内部構造から、カットビットによって比較的小さい力で破碎できる。事前にコンクリートの平板をカットビットで切削する要素試験を行った結果⁹⁾、滑らかな断面で削れることがわかった。また摩耗を模擬した先端が丸まったカットビットでも問題なく切削できた。圧縮強度については、通常のコンクリートと同様である。引張強度、付着強度は通常のコンクリートより小さく、コンクリート標準示方書⁹⁾では70%としている。ヤング係数も通常のコンクリートよりも小さく、同書では設計基準強度が 40N/mm^2 の場合で $1.9 \times 10^4\text{N/mm}^2$ としている。詳細は割愛するが、後述の単体曲げ試験に伴ってテストピースで実測したヤング係数は $1.96 \times 10^4\text{N/mm}^2$ (圧縮強度 57.7N/mm^2)であり、示方書と同程度の値だった。

4-3-2 炭素繊維

炭素繊維はシールドの分野ではNOMST工法の部材として、立坑の直接切削による発進・到達で多くの実績を有している。炭素繊維を樹脂で形状固定したコンポジット材料である。引張方向に対しては強い抵抗力を持つ一方で、カットビットで容易に表面を削り落とすことができる。引張強度は $1,200\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数は $1.0 \times 10^5\text{N/mm}^2$ である。本セグメントでは主筋と配力筋が一体化され格子状に成形された材料(以下、「格子筋」と呼ぶ)を採用した。主筋と配力筋の交差点で厚みが増さない特徴があり、それにより切削が容易であると考えた。写真-10に示すように、主筋が炭素繊維(黒)で配力筋がガラス繊維(白)など、縦・横で違う材料を組み合わせて製作することが可能である。

このようにして軽量骨材と炭素繊維で造られた切削セグメントは、比重の大きい材料を使わないため単位体積重量は 20kN/m^3 程度となった。



写真-11 先行トンネル切削実証試験の状況

4-4 実験概要

4-4-1 切削性の検証

(1) 先行トンネル切削実証試験の概要

道路トンネルを想定した場合、先行トンネルに対して後行シールドは3～5°の小さい角度で交差する。このような状況下で後行シールドが切削セグメントにスムーズに切り込めること、先行トンネルが力を受けて動かないこと、および後行シールドの姿勢制御について、スケールダウンした試験により検証した。

先行トンネルは外径φ1,800mm、後行シールドは外径φ1,120mm、交差角5°とした。先行トンネルは幅500mm、厚さ125mmのセグメントを使用し、切削される部分にのみ切削セグメントを配置した。後行シールドは推進機を用いて元押しジャッキで推進した。回転数は10.2rpm、掘進速度は切込み始めで15mm/min、その後、徐々に速度を上げて30～40mm/minとした(写真-11)。

(2) 試験結果

切断面から、軽量骨材や炭素繊維を容易に切削できたことが確認された(写真-12)。また大割れも生じなかった。先行トンネルは架台の上に載せただけでとくに横から支えることはしていなかったが、切込み始めや切込み中に後行シールドに押されて動く挙動や、回転力によるとも回りは見られなかった。後行シールドも同様に横振れやローリングを起さずに切削しながら掘進できた。

4-4-2 RC部材としての性能確認試験

(1) 単体曲げ試験の概要

本設のRCセグメントと同様に、作用する曲げ



写真-12 先行トンネルの切削断面



写真-13 切削セグメントの単体曲げ試験の状況

モーメントに対して圧縮をコンクリートが負担し、引張を補強筋が負担するRC部材として切削セグメントが設計できることを確認した。大口径セグメントによる単体曲げ試験を行い、載荷中の挙動をひずみ計により計測した。

外径φ11,900mm、桁高300mm、幅1,500mm、9等分割(40°)のA型セグメントを作製した(写真-13)。軽量骨材コンクリートは設計基準強度42N/mm²とした。格子筋はRCセグメントと同様に内径側と外径側に配置し、炭素繊維で製作したコの字形のスターラップで籠状に組み上げた。鉄筋より許容応力度が高いことから(引張強度の30%として360N/mm²)、鉄筋比0.4%程度に相当する量として筋材比を0.26%とした。

(2) 試験結果

水平2点載荷両端可動方式により単体曲げ試験を行った。試験体の中央部で計測した内径側の格子筋の引張ひずみと、外径側のコンクリートの圧縮ひずみの結果を図-7に示す。

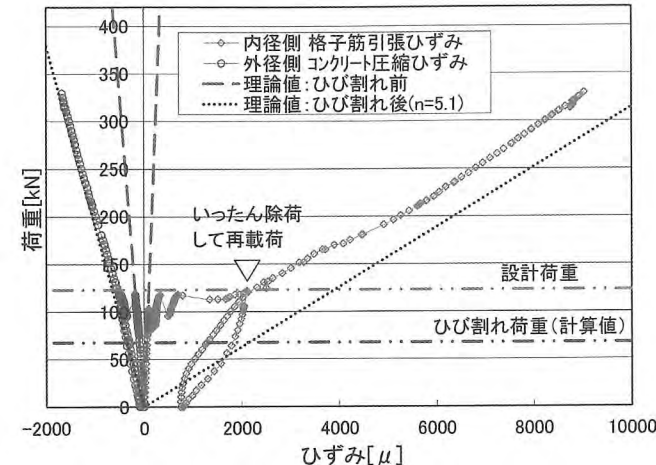


図-7 切削セグメント単体曲げ試験による荷重とひずみの関係

ひび割れ発生前は全断面有効とした理論値とほぼ一致した。その後、ひび割れが断続的に発生したため、荷重が瞬間的に下がるギザギザの挙動をくり返しながらひずみが増大した。いったん除荷して再載荷した後は、荷重とひずみの関係はほぼ直線的に推移した。このときの勾配は炭素繊維と軽量骨材コンクリートの実ヤング係数比 $n=5.1$ ($= (1.0 \times 10^5) / (1.96 \times 10^4)$)によるRC理論の勾配とよく整合した。また設計荷重の約2.5倍まで載荷し、その範囲でこの関係が成立することを確認した。これらのことから、切削セグメントの設計にRC理論を用いることが可能であることが確認できた。

4-5 適用範囲

そのほか、実施工に向けて大規模な模擬地盤を作製し、土中で延長20mの切削試験も行っている。

これにより、セグメント切削による後行シールドの掘進負荷(推力、トルク)が小さいこと、後行シールドがセグメントを切削しながらジャッキ制御で方向修正できること、切削される先行トンネルには切削の影響による挙動がほとんどないこと、切削による周辺への振動がほとんどないこと、切削による後行シールドのカッタービットの摩耗が小さいことなどを総合的に確認した。

今後は道路トンネルの切掘げなど、切削セグメントを使ったシールド工事のバリエーションを拡大し、実工事に向けて積極的な展開を図る所存である。

(文責：安光立也・野本康介/前田建設工業(株))

参考文献

- 1) 竹中計行・角田晋相・西田与志雄・土屋彰・伊藤義一：FFUセグメントの開発、概要と切削試験、土木学会第60回年次学術講演会、6-084、2005.9.
- 2) 中村隆良・杉藤哲也・原信行：都市部に適応した上向きシールド工法と発達部セグメント、名古屋市 名駅南雨水幹線、トンネルと地下、Vol.40、No.9、2009.9.
- 3) 村上賢治・大江郁夫・小林正典・鈴木康之：シールドで切削可能なセグメントの開発(その1)、土木学会第69回年次学術講演会、pp.1187-1188、2014.9.
- 4) 小林正典・大江郁夫・村上賢治・鈴木康之：シールドで切削可能なセグメントの開発(その2)、土木学会第69回年次学術講演会、pp.1189-1190、2014.9.
- 5) 宮澤昌弘・松井芳彦・林田道弥・藤野豊：セグメントの切削による分岐合流工法の開発における実験的研究、トンネル工学論文集、Vol.17、pp.31-41、2007.11.
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書(設計編)、2012.

多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修 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メジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072



(一社)日本トンネル技術協会
国際委員会

稼働中のポートマン給水トンネル

工期約6年、240Mカナダドル(182.62M米ドル)をかけたMetro VancouverのPort Mann給水トンネルが稼働を始めた。2月20日当局は発表した。

Port Mannの接続は、Metro-Vancouverの分水点とFraser川の南に位置する地域に給水システムをつなぐ「キー・リンク」である。地域を接続する水輸送システムの設置は、一連の主要水輸送システムの改善工事では初めてであり、地域全体を通して初めてである。

新しいトンネルはFraser川の川底から下方30mを超える位置にあり、かつての給水量の倍以上の輸送が可能である。また、耐震性や河川浸食に対し強化され、Metro Vancouverの住民の飲料水を継続的かつ確実に供給できる。「このプロジェクトはわれわれが経験したことのないもっとも困難で、しかしやりがいのある仕事だった」、とMetro VancouverのUtilities委員会のDarrell Mussatto議長は語っている。

トンネルの掘削にあたり、困難な地勢、例のない深さ、極端な水圧の強さに対応するため、当社の技術および建設チームは革新的な解決策に至った。Port Mann給水トンネルは深さ60mの立坑2本で構成されている。1本はCoquitlamにあり、もう1本はSurreyにある。2本は距離1km、径3.5mのトンネルで接続され、径2.1mの本鋼管は保護されている。新しいバルブ室は両立坑の頂部に建てられ、河川の両側にある既存の地上本管を新たなトンネルにつなぐことができる。

2011年春、建設は開始されたが、南の立坑の地面が崩れた。2014年2月に掘削を始め、2015年6月に開通した。2016年7月、立坑とトンネルの中に水道本管の設置が完了し、バルブ室は2017年1月に完工した。

最大限の耐震性を持たせるため、トンネルは地中深く掘削しなければならなかった。川底から30m下方にトンネルを掘るのはきわめて大きな挑戦であった。カナダの軟弱地盤掘削で、技術者は見たことのない難しい地質の問題や、もっとも高い地下水圧の問題を克服しなければならなかった。

Fraser川の下に土壌堆積物は、いくつかの異なる地質層で構成されている。砂、砂利、粘土がある場所もあれば、巨大な花崗岩の岩が散らばった氷河時代の地質がある場所もある。これらの地質条件は、高い地下水圧と相まって、川の下にトンネルを完成させるために高度な特別に設計されたTBMが必要であった。あるときは、エンジニアは、修復できるように川沿いの作業台から液体窒素を注入して、TBMの前面にある土を凍結して硬化させなければならなかった。「これは多くのスキルと創造性を要した非常に複雑なプロジェクトであった」と、Metro VancouverのGreg Moore理事長は述べている。

「得られた知見と経験は、Metro Vancouver、カナダ、そして海外の将来のトンネル掘削プロジェクトに利益をもたらすだろう」。プロジェクトチームは、Metro VancouverとMcNally Construction Inc.-Aecon Constructors Joint Ventureで構成されている。建設マネジメントサービスは、Hatch Infrastructureによって行われた。デザインとエンジニアリングサービスは、Ausenco Engineering Canada、McMillen Jacobs Associates、Golder Associatesで構成されたFraser River Tunnel Groupによって行われた。Metro Vancouver Port Mann水供給トンネルプロジェクトは、カナダトンネル協会から、「2016カナダ革新的プロジェクトオブザイヤー」を受賞した。

(T&T '17.3 担当：尾崎健・大成建設(株))

一般社団法人

日本トンネル技術協会

会 報

1. 会員の現状

	12月31日現在
個人会員	880名
団体会員	204名
推薦会員	209名
特別会員	9名
名誉会員	5名
賛助会員	226名
合 計	1,533名

2. 委員会の開催状況(12月1日～31日)

◎総務委員会

・企画運営幹事会(12/8)

市場一好幹事長ほか5名、ビジョンを検討

・広報小委員会

ホームページWG(12/4)

須藤敏明主査ほか8名、ホームページリニューアル方針を検討

会誌WG(12/5)

小山幸則主査ほか12名、1月号の会誌と3か月計画を検討

◎事業委員会

・事業委員会(12/14)

入江健二委員長ほか16名、催物開催結果報告と計画を検討

◎国際委員会

・海外文献小委員会

海外ニュースWG(12/19)

篠原慶二幹事ほか8名、海外文献の査読

◎技術委員会

・保守管理小委員会

幹事会(12/4)

相沢文也幹事長ほか6名、Q&A編集方針を検討

打合せ会(12/7)

大津敏郎委員ほか6名、山岳Q&Aを検討

・山岳工法小委員会

地山評価WG(12/8)

木谷日出男主査ほか10名、成果のとりまとめ方針を検討

支保WG(12/15)

佐原圭介主査ほか15名、事例報告および成果のとりまとめ方針を検討

・都市トンネル小委員会

セグメント実態調査WG(12/19)

三谷英司主査ほか9名、アンケートとりまとめ方針を検討

◎受託研究特別委員会

・異高型トンネル耐震性能検討委員会(12/6)

前川宏一委員長ほか21名、地盤変位および検討優先順位ほかを検討

・数値解析マニュアル検討特別委員会

幹事会(12/22)

蔣宇静幹事長ほか16名、原稿作成方針を検討

・効率的点検特別委員会

点検WG(12/5)

松岡茂幹事長ほか13名、実施計画(案)を検討

特別委員会(12/18)

西村和夫委員長ほか30名、作業方針を検討

中流動WG(12/22)

松岡茂幹事長ほか21名、試験立合いおよびとりまとめ方針を検討

・中央アルプス施工技術委員会(12/20)

朝倉俊弘委員長ほか31名、ワーキング報告および調査計画を検討

・北鎌倉隧道安全性対策検討委員会(12/16)

澤田正昭委員長ほか27名、事前調査および対策工を検討

・北海道新幹線施工技術委員会

機械化施工小委員会(12/17)

小山幸則委員長ほか44名、羊蹄トンネル、札函トンネルの施工法を検討

非常時対応小委員会(12/18)

小山幸則委員長ほか25名、検討結果の中間報告および検討

合計 19回開催 342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44回ITA総会および 世界トンネル会議 「Smart Cities : Managing the Use of Underground Space to Enhance the Quality of Life」	2018. 4.20~26	ドバイ (UAE)	Society of Engineers-UAE, ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc2018.ae/
第45回ITA総会および 世界トンネル会議 「Tunnels and Underground Cities : Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art」	2019. 5. 3~ 9	ナポリ (イタリア)	Italian Tunnelling Society, ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc2019.com/
第46回ITA総会および 世界トンネル会議 「Innovation and Sustainable Underground Serving Global Connectivity」	2020. 5.15~21	クアラルンプール (マレーシア)	The Institution of Engineers, Malaysia, 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29年度催物開催現況

(平成29年12月現在)

催 物 名	開 催 日	人数	場 所	CPD取得単位
【現場見学会】				
東京外かく環状道路トンネル建設工事現場研修会 —中央JCT北側ランプ改良工事—	2017. 6.20	25	東 京	2.0
北海道新幹線トンネル建設工事現場研修会(後志トンネル)	2017. 8.25	24	北海道	1.8
相鉄・東急直通線工事現場研修会(新横浜駅, 羽沢トンネル)	2017. 9. 7	24	神奈川	3.5
北陸新幹線トンネル現場研修会(加賀トンネル)	2017.12. 7	23	福 井	2.8
【施工体験発表会】				
第80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—」	2017. 6.28	167	東 京	6.0
第81回(都市)「市街地における地下構造物の新設および改良工 事—近接, 拡張, 再構築等の施工事例—」	2017. 6.29	116	東 京	3.8
【講習会・シンポジウム】				
第3回トンネル維持管理業務講習会(基礎編)	2017.11.20	38	東 京	5.5
第19回ステップアップ研修会「シールド部門」	2017.11.28, 29	36	東 京	16.0
第2回トンネル維持管理業務講習会(応用編)	2018. 2. 6	50	東 京	6.3

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

2018施工体験発表会テーマの決定

恒例のトンネル工事に携わっている現場技術者による施工体験発表会は、下記のとおりテーマが決まりましたのでお知らせします。開催日などの詳細は、後日ホームページに掲載いたします。

■第82回施工体験発表会(山岳)

開催日:平成30年6月

テーマ:「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」

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

■第83回施工体験発表会(都市)

開催日:平成30年6月

テーマ:「市街地における地下構造物の新設および改良工事—近接, 拡張, 再構築等の施工事例—」

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

2018トンネル技術研究発表会ご案内

主催:北海道土木技術会トンネル研究委員会

後援:(一社)日本トンネル技術協会

日 時:平成30年2月23日(金) 10:00~17:00

場 所:北海道大学学術交流会館(大学正門内左側, 札幌市北区北8条西5)

参 加 費:研究発表会 6,000円(論文集を含む)

(学生の方は, 研究発表会の聴講のみであれば無料です)

意見交換会 4,000円

申し込み方法:FAXあるいはE-mail(kumaki@a-tic.co.jp)にてお申し込みください。

申し込み用紙は, 北海道土木技術会トンネル研究委員会のホームページ(<http://tunnel-ceth.jp/>)よりダウンロード可能です。

申 し 込 み 先:トンネル研究委員会講習講演小委員会事務局

(株)エーティック内 熊木・斎藤 TEL:011-644-2814 FAX:011-644-2892

(株)ダイヤコンサルタント内 水島・天羽 TEL:011-729-2701 FAX:011-729-2688

申し込み締切り:平成30年2月16日(金)

定 員:250名

※参加費の振込方法などの詳細は, 北海道土木技術会トンネル研究委員会のホームページ(<http://tunnel-ceth.jp/>)を参照ください。

3月号予告[3月1日発売予定]

- 国道445号 瀬目トンネル
 - 国道56号片坂バイパス 拳ノ川トンネルほか
 - 宮古盛岡横断道路 手代森トンネル
 - 東京下水道 千住関屋ポンプ所
 - 石狩湾新港発電所1号機放水トンネル
- 【連載講座】

●セグメントの新技术Ⅱ(4)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆今月9日に韓国の平昌で冬季オリンピックが開幕します。ご存知のようにオリンピックを誘致するのには、なかなかハードルが高く、2年後の2020年の東京オリンピックも2016年(リオデジャネイロ・ブラジル)に敗れ、2度目にしてようやく勝ち取りました。今大会も2010年(バンクーバー・カナダ)、2014年(ソチ・ロシア)の2度誘致に失敗し、3度目にしてようやく勝ち取った大会です。2年後の夏季オリンピックの開催に向け準備を進めているわが国にとって、冬と夏の違いがありますが、いろいろと参考になると思います。

◆冬季オリンピックと言えば1998年に開催された長野オリンピックが印象に残っております。つい最近の出来事と思っておりましたが、20年も経過していました。今年、そのころ(1997年4月2日～1998年4月1日)生まれた子供が成人式を迎えました。その当時、長野オリンピック向け北陸新幹線軽井沢～長野間の工事が行われておりました。同区間には、五里ヶ峯、丸子、八重原、御牧原、借宿などの大小11のトンネルがあり、主なものは本誌に掲載されておりますので、この機会に読み返してみたいかたがたでしょうか。長野オリンピックの感動がよみがえってくるかもしれません。

◆冬季大会の日本のメダル数は長野大会の10個を最高に、前回(2014年)の8個、前々回(2010年)の5個となっております。平昌は日本との時差がなく9:00～23:00ごろまで行われる大会を比較的楽に視聴することができますので、みなさんもできる限り日本選手団を応援してください。ぜひ、長野を超える2桁のメダルを期待します。

(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)土木工学社までご連絡ください。

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

トンネルと地下

第49巻 第2号(通巻570号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成30年1月20日 印刷

平成30年2月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 谷口 博昭

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 株式会社新協

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

購読料

1冊 1,620円(送料110円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

TEL: 03-3267-2888

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

吸引ダクトが無くても全ての断面、全ての延長に対応

たった37kWで2,750m³/min イーダスコ270使用時

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO

イーダスコ240/イーダスコ270

ファン動力30kW

ファン動力37kW

NETIS

公共工事等における新技術活用システム

登録番号: TH-100024-VE

経済産業省後援

第39回優秀環境装置

日本産業機械工業会 会長賞

全てのトンネルに適用可能!



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

吸引捕集方式にも対応



48m²の設置例

希釈封じ込め方式での計算例

① 粉じん発生量

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

② 所要換気量

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

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

③ 集じん機の選定

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

品名	e-DUSCO240	e-DUSCO270
型式	FTE2400/FTE2400-E	FTE2700-E
集じん装置の容量	1800・2100・2400m³/min 任意設定の4モード	1800・2100・2700m³/min 任意設定の4モード※5
全長※1	7411mm(サイレンサー含む)	
全幅	2350mm	
全高※2	3700mm	
本体重量	10t	11t
電源仕様	3相3線400V58kVA	3相3線400V107kVA
ファン動力	30kW	37kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)	23kW・28kW・40kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)
洗浄水※3	2.4~3.2m³/回	
捕集ダスト処理	湿式	
集じん効率※4	95%以上	93%以上
吸引捕集方式	対応可	

(注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

※1 入口ダクト及び絞りダクトは含みません。※2 台車および揚重用治具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第三者計量機関により測定した値です。※5 任意設定にて最大2,750m³/minまで可能です。

古河機械金属グループ
古河産機システムズ株式会社

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

本社

〒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

東北支店 ☎022-221-3532

名古屋支店 ☎052-561-4580

九州支店 ☎092-741-5193

札幌支店 ☎011-784-1179

小山栃木工場 ☎0285-23-8662

トンネル技術者のための地相入門

大島洋志 監修, 木谷日出男 編著
3,200 円＋税 B5 判

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



山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著
3,200 円＋税 B5 判

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



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修
1,500 円＋税 B5 判

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



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修
2,500 円＋税 B5 判

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



推進工法の理論と実際

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

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



わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修
2,500 円＋税 B5 判

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



セグメントの新技术

小泉 淳 監修
2,000 円＋税 B5 判

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



続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著
1,200 円＋税 新書判

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



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著
6,000 円＋税 A5 判

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



シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編
4,660 円＋税 B5 判

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



地下水の科学 I～III (全 3 巻)

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

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



第 I 巻 地下水の物理と化学
4,078 円＋税 B5 判

第 II 巻 地下水環境学
4,272 円＋税 B5 判

第 III 巻 地下水と地質
3,689 円＋税 B5 判

ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 編
14,573 円＋税 B5 判

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



ジオテクスタイル設計マニュアル

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

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



岩盤地下空洞の設計と施工

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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本事項について詳述した。



建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著
4,300 円＋税 A5 判

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



トンネル工事の衛生と環境保全

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
3,200 円＋税 A5 判

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



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200 円＋税 A5 判

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



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800 円＋税 A5 判

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



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400 円＋税 A5 判

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



トンネルと地下

1,500 円＋税 B5 判 月刊(毎月 1 日発売)

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



書籍のお申し込み

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

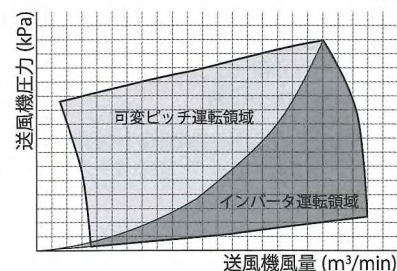
(株)土木工學社
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町 16 メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807

トンネル工事の必需品 可変ピッチ軸流送風機 BIG-LOG



BIG-LOG は当社の開発商品です

- 可変ピッチとは……必要に応じ羽根の角度を変えて風量調整をおこなう方式（右上図）
- 風量を減らした場合でも圧力変動が少なくインバーター制御には無い幅広い運転領域を確保できます（右図）
- 風管抵抗に合わせて自動可変をおこない圧損調整をするため無駄な電力を消費しません
- 風量設定が数値で出来るため一定風量で運転が可能（風量の見える化）



型 式	能 力	電 動 機	騒 音 値 機側 5m
CDH1120-30-60(4)W	1000m³/min × 3.92/4.9kPa 1500m³/min × 3.5/2.6kPa	60kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V	74 d B
CDH1250-26-80(4)W	1500m³/min × 3.92/4.9kPa 2000m³/min × 1.76/1.76kPa	80kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V	74 d B
CDH1250-26-110(4)W	2000m³/min × 4.11/4.9kPa 3000m³/min × 1.8/2.45kPa	110kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V	74 d B
CDH1400-30-175(4)W	3000m³/min × 4.6/4.9kPa	175kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V	77 d B

※2 段で記載の機種はどちらか選択ができます

長距離でも無駄な風量を自動制御できるという可変式の特性を活かした
省電力システム「i-Res」を開発しました



菅機械工業株式会社

URL <http://www.suga-kikai.co.jp>



本 社 ・ 大 阪 支 店 〒550-0015 大阪府大阪市西区南堀江3-9-27
東 京 支 店 〒101-0042 東京都千代田区神田東松下町13番地
福 岡 支 店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8
名 古 屋 営 業 所 〒455-0008 愛知県名古屋市港区九番町3-37
京 都 営 業 所 〒615-0022 京都府京都市右京区西院平町25

TEL 06(6541)7931
TEL 03(5296)0551
TEL 092(431)7181
TEL 052(653)2491
TEL 075(314)4460



動力60%低減実現！（当社従来比）

吸引捕集換気システム RE-2400QDP 新登場

「コンパクト＆低動力＆高清浄度」を一度に実現した孤高のスペック



型 式	RE-2400QDP
処理風量	2,400m³/min
吐出清浄度	0.1mg/m³以下
集塵効率	99%以上
実動力	440V・83kW
寸法 (L×W×H)	2,869×12,963×3,387(mm)
重量	12,600kg

最適環境を創造する
株式会社 流機 エンジニアリング

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

