

トンネルと地下 12

vol. 47
no. 12
2016

Tunnels and Underground

覆工前に産業廃棄物盛土が行われる小土かぶりトンネルの支保パターン検討
脆弱泥岩層における切羽後方での大崩落

国内最大シールドの発進立坑を深度70.3mのニューマチックケーソンで構築

日本トンネル技術協会誌



FRD
FURUKAWA

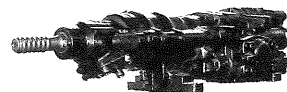
様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

ホイール式ドリルジャンボ

JTH3200R-III PLUS / JTH3200R-III / JTH2200R-III

国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事に用建設機械)指定機

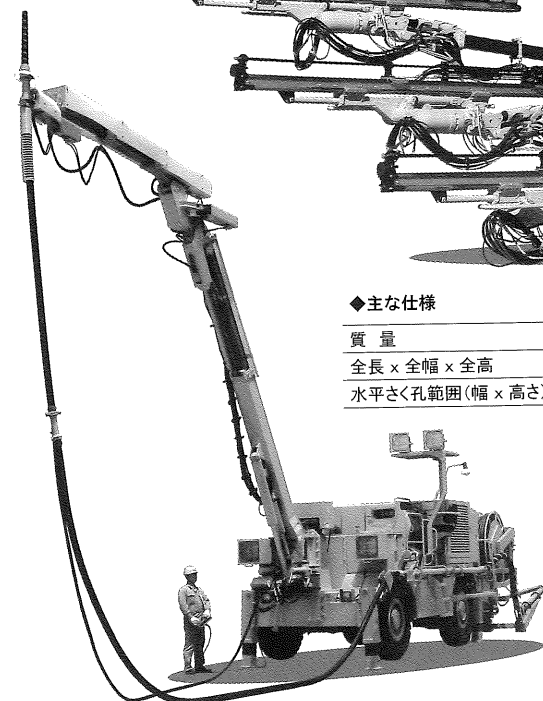
新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。



新型油圧ドリフタHD220搭載



▼JTH3200R-III PLUS



| ◆主な仕様 | JTH3200R-III PLUS 3ブーム、2ケージ | JTH3200R-III 3ブーム、2ケージ | JTH2200R-III 2ブーム、2ケージ |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 質量 | 48.5 ton | 44 ton | 35.5 ton |
| 全長 x 全幅 x 全高 | 15.6m x 3.1m x 4.2m | 14.8m x 3.1m x 4.2m | 14.2m x 2.7m x 4m |
| 水平さく孔範囲(幅 x 高さ) | 16m x 10.5m | 13.2m x 8.8m | 12.8m x 8.5m |

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-V

自走式キャリアに、コンクリートポンプ、急結剤供給装置、コンプレッサ、高圧水ポンプ等、吹付け作業に必要な装置を搭載したコンパクトな一体型コンクリート吹付機です。

| | |
|----------------|------------------|
| 質量 | 24 ton |
| 全長 x 全幅 x 全高 | 16 m x 3 m x 4 m |
| 水平吹付範囲(幅 x 高さ) | 13.3 m x 10 m |

△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

長尺鋼管切羽補強工

高付着型長尺鋼管切羽補強工

特許第3882118号

特許第4942211号

Me 工法
Metal eco

Me-fix
Metal eco

エコロジー&地山拘束効果。
新しい長尺鋼管切羽補強システム。



特徴① 分別回収による鋼材のリサイクル化 ※特別仕様
NETIS 番号:KT-080027

「Me 工法」、「Me-fix」の切除管は、掘削時に鋼管と注入材を分別回収できる構造で、鋼管のリサイクルが図れます。

特徴② 接続部補強により鋼管の薄肉化

「Me 工法」、「Me-fix」は接続部拡張・縮径によりネジ部耐力の増強を図り、小口径薄肉鋼管(φ76.3×4.2~4.5mm)の使用を可能とし、軽量化に伴い経済性、施工性が向上します。

特徴③ 長尺鋼管切羽補強工の付着耐力の向上

「Me-fix」はこれまでの鋼管による切羽補強工の弱点であった付着耐力の向上を図り、確実な地山拘束力が期待できる長尺鋼管切羽補強工です。適用条件によって「type A」、「type B」、「type R」の選択が可能です。

| | Me | Me-fix (typeA) | Me-fix (typeB) | Me-fix (typeR) |
|-----------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
| 形状 | φ76.3 (t=4.2) | φ76.3 (t=4.2) | φ76.3 (t=4.5) | φ76.3 (t=4.2) |
| 概要図 | | | | |
| 1m当り付着耐力 (kN/m) | 50 | 150 | 500 以上 | 150 |

※付着耐力は室内試験結果。プレミックスモルタルは材令 24hr(qu=12N/mm²)

KPC 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部:東京都港区芝公園芝パークビルB館 Tel 03-6402-8251
大阪土木営業部:大阪市北区西天満3丁目2-17 Tel 06-6363-1884
技術部:東京都港区芝公園芝パークビルB館 Tel 03-6402-8257

日本で生まれ、世界へ広がる。 NATMの補助工法

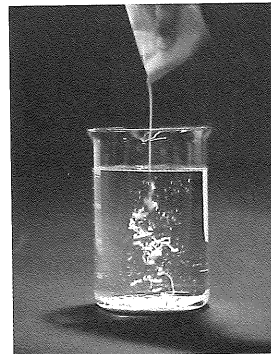
当社は、注入式フォアポーリングや長尺フォアパイリング、長尺鏡ボルトなど山岳トンネル工事の補助工法における樹脂系の注入材のパイオニアとして、数多くの実績を築いてきました。

スーパーSRFは「湧水地山においても水の白濁や泡立ちがなく確実に発泡固結し、湧水に流されることなく効果を発揮する」という他の樹脂系注入材にはない圧倒的な優位性があります。更に、多くの特許を取得しているため、他が追従できない商品です。

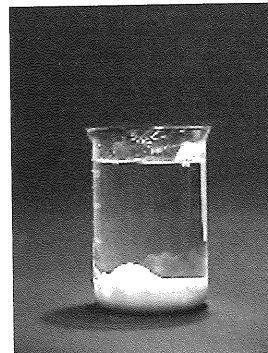
スーパーSRFの優位性

スーパーSRFは、水に溶解、希釈することなく反応して発泡固結体を形成するため、湧水地山においても、水の白濁や泡立ちが発生せず、地山中に沈着し強固に結合するため、湧水に流されることなく卓越した効果を発揮します。これが他の樹脂系注入材には存在しない圧倒的な優位性であり、多くの特許を取得した「唯一無二」の技術です。

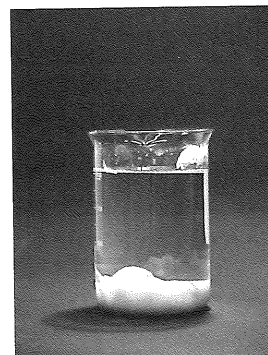
混合直後



3分後



10分後



KATECS

株式会社 カテックス
建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.jp/>

技術部・中部営業部

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

東京支店

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

東京支店(仙台事務所)

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

関西営業所

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

九州営業所

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

北海道地区(株エイチ・アール・オー)

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

補助工法ラインナップ

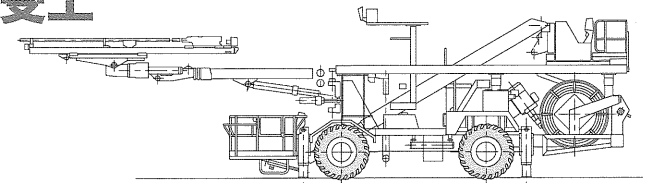
- ⇒ 注入式フォアポーリング
- ⇒ 各種 長尺フォアパイリング
- ⇒ 多重式 長尺フォアパイリング
- ⇒ エコリムーブ工法
- ⇒ パノラマ工法
(φ60.5MRS, φ76.3, φ89.1)

※特許取得, 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。

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

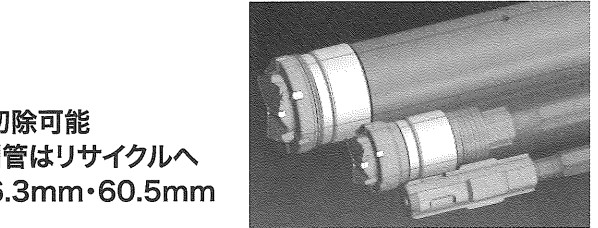
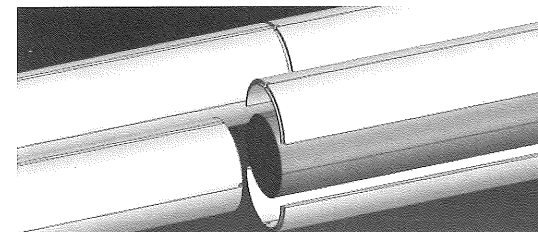
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



AGF-Me工法

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

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



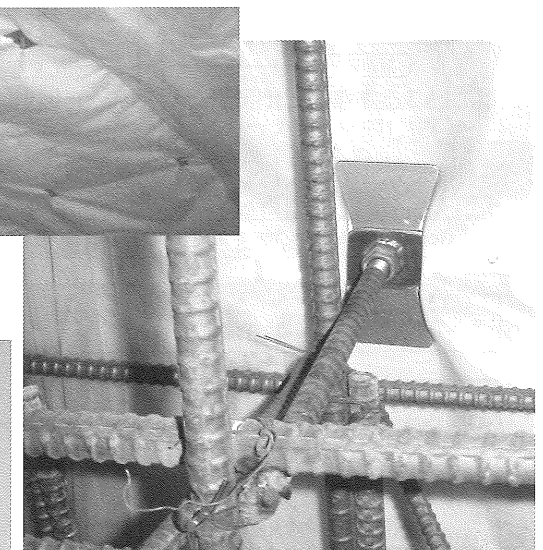
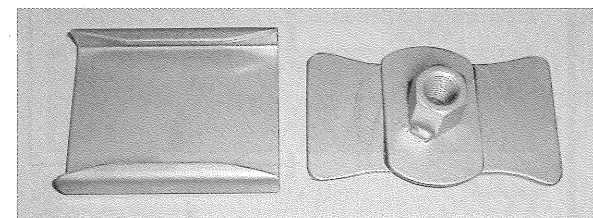
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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



東邦金属株式会社
TOHO KINZOKU Co., LTD

営業部

〒541-0051

大阪府大阪市中央区備後町2-4-9 日本精化ビル2階

Tel: 06-6229-9881 Fax: 06-6229-8150

URL: <http://www.tohokinzoku.co.jp>

株式会社 トーキョーオール

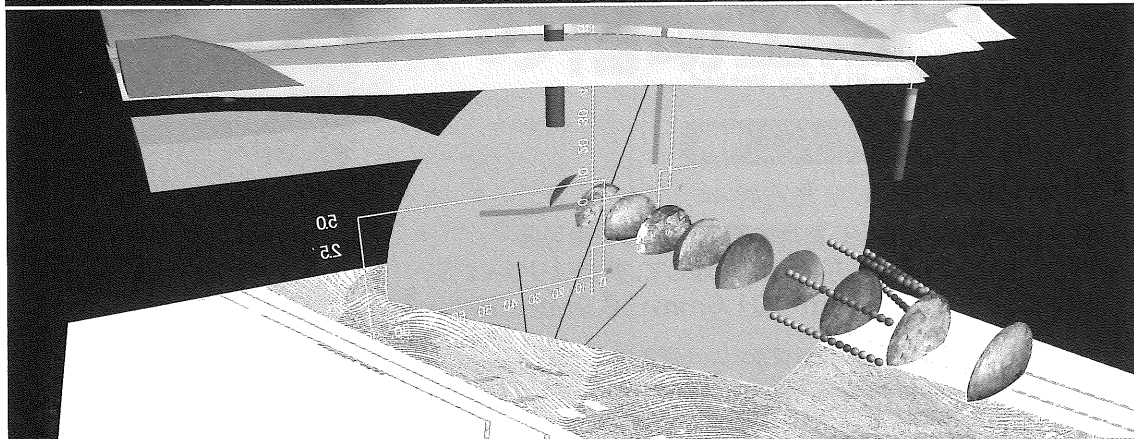
〒210-0854

神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11

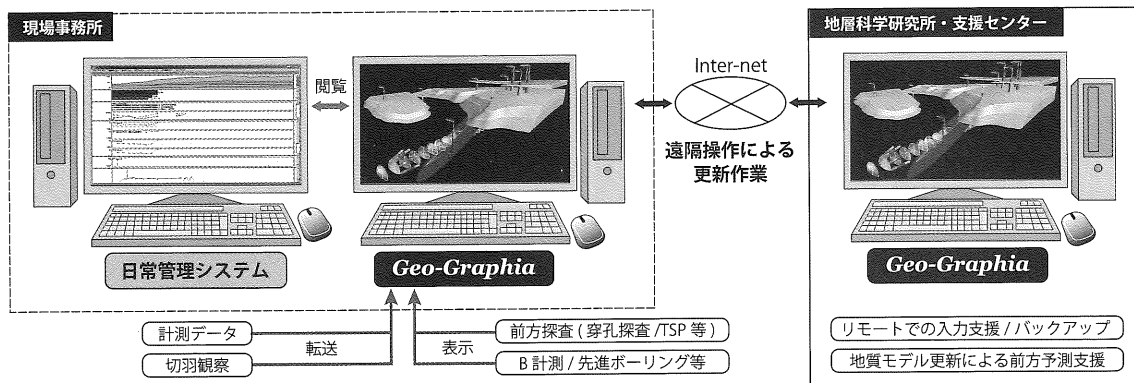
Tel: 044-333-0012 Fax: 044-333-0321

(お問い合わせ先)

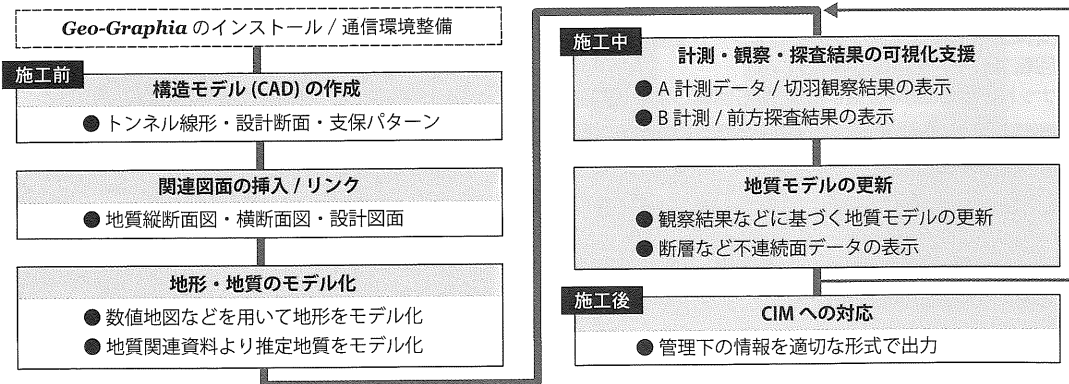
Geo-Graphia® を活用したトンネルの情報化施工支援



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



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



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



株式会社 地層科学研究所

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

Geo-Graphia
特設サイトは
こちらから→

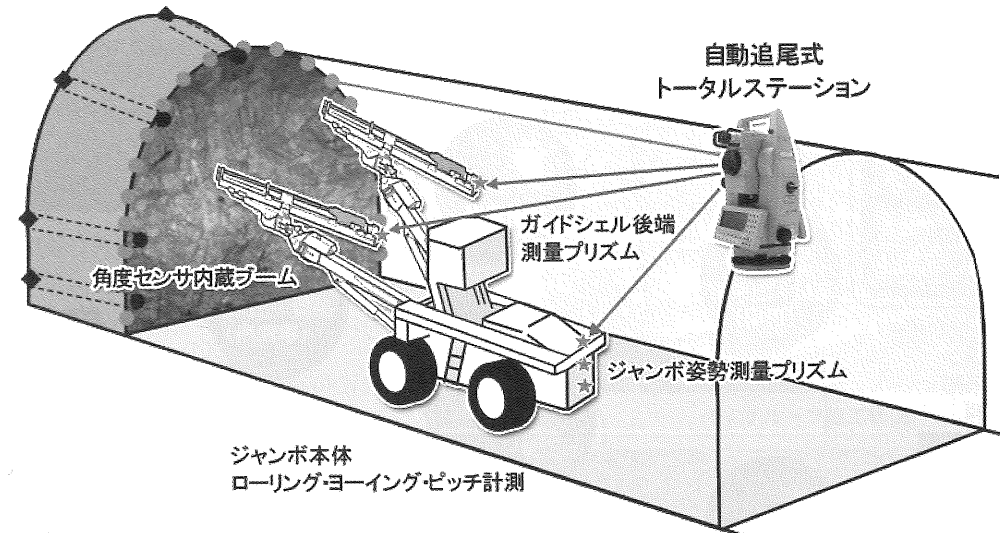


NETIS登録番号:KK-100049-A

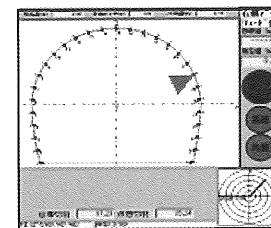
自動追尾式余掘り低減システム

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. ガイドシールの後端のターゲットを自動追尾することにより常に高い精度を得る事ができます。
3. 自動測量により本体セットアップが簡単に行なえます。
4. 操作方法が簡単でオペレータへの特別な教育を必要としません。

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

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

FRD 古河機械金属グループ
古河ロッドドリル株式会社

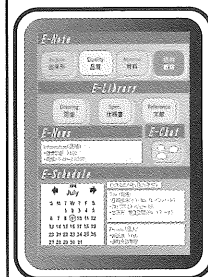
〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3
特機部

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

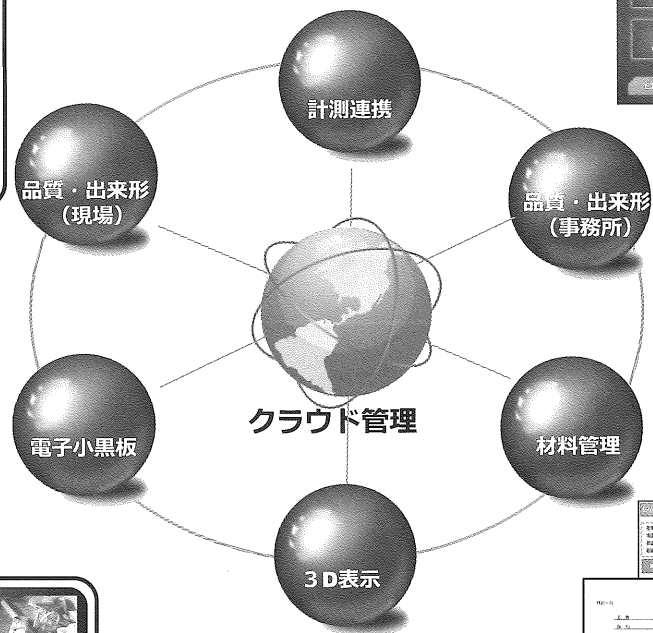
NEW

究極のトンネル施工管理システム 生産性向上への挑戦！！ En-Note

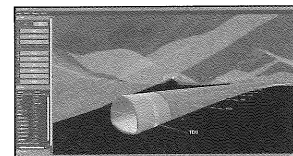
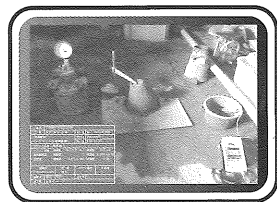
Tunnel i-Construction



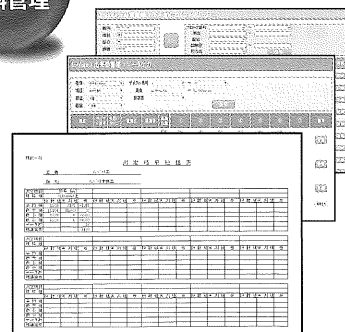
- タブレット端末
- 品質
 - 出来形
 - 材料
 - 切羽観察
 - 写真
 - チャット
 - 遠隔試験



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
- 工事用小黒板で楽々撮影

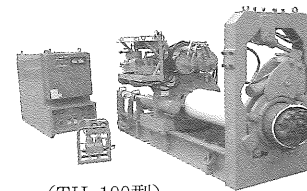
↓
黒板、野帳要らずで、現場の作業のみで各種情報はデータサーバへ保管



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

THパイプルーフ工法

NETIS 登録 No.KT-120020-A

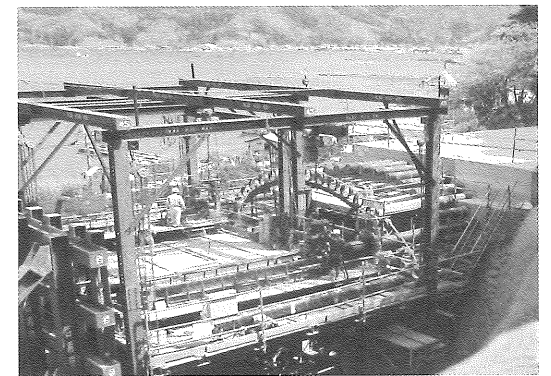


(TH-100型)

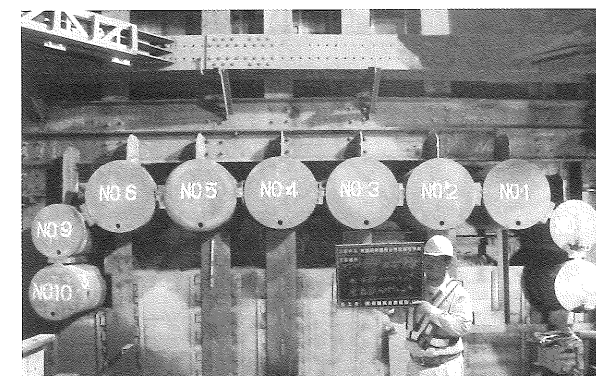
確実な空間確保
 高精度・全地盤型 水平鋼管圧入システム

★特徴★

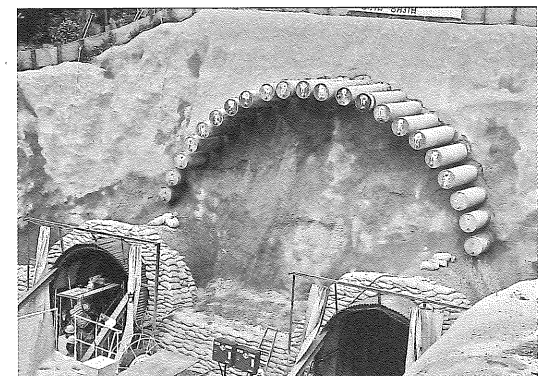
- 本体掘削時の沈下抑制補助工法です
- 常時管芯チェックが可能で、方向修正方式を採用(精度が良いため支保作業が容易)
- オーガ中掘り掘削、地山との空隙に同時注入も可能
- 推進途中でのビットの交換が可能で地層変化に対応
- 適応管径は、φ200A～φ1200A
- 最大推進長は、約70～100m
- 推進機は、推力1000kN(100t)2000kN(200t)3000kN(300t)



パイプルーフ施工状況



都市型地下道トンネル掘削に伴う防護



山岳トンネル坑口防護

〔会 員〕 ※会員 募集中 [お問い合わせは 下記 事務局へ]

- (株)小宮山土木 長野県 TEL 0267-56-1299
- 東洋地工(株) 福井県 TEL 0776-53-5335
- 日特建設(株) 東京都 TEL 03-3542-9120
- ケミカルグラウト(株) 東京都 TEL 03-5575-0511
- (株)最上機工 山形県 TEL 0233-23-1555
- サン開発工事(株) 大阪府 TEL 072-641-4951

- 東邦地下工機(株) 東京都 TEL 03-3474-3143
- 日本基礎技術(株) 東京都 TEL 03-5365-2500
- (株)大阪防水建設社 大阪府 TEL 06-6762-5621
- 多田建設(株) 福島県 TEL 024-535-6161
- 札幌黒澤工業(株) 北海道 TEL 011-215-7500
- (順不同)

<http://www.piperroof.jp> (ホームページです。ここから資料が取り出せます。)



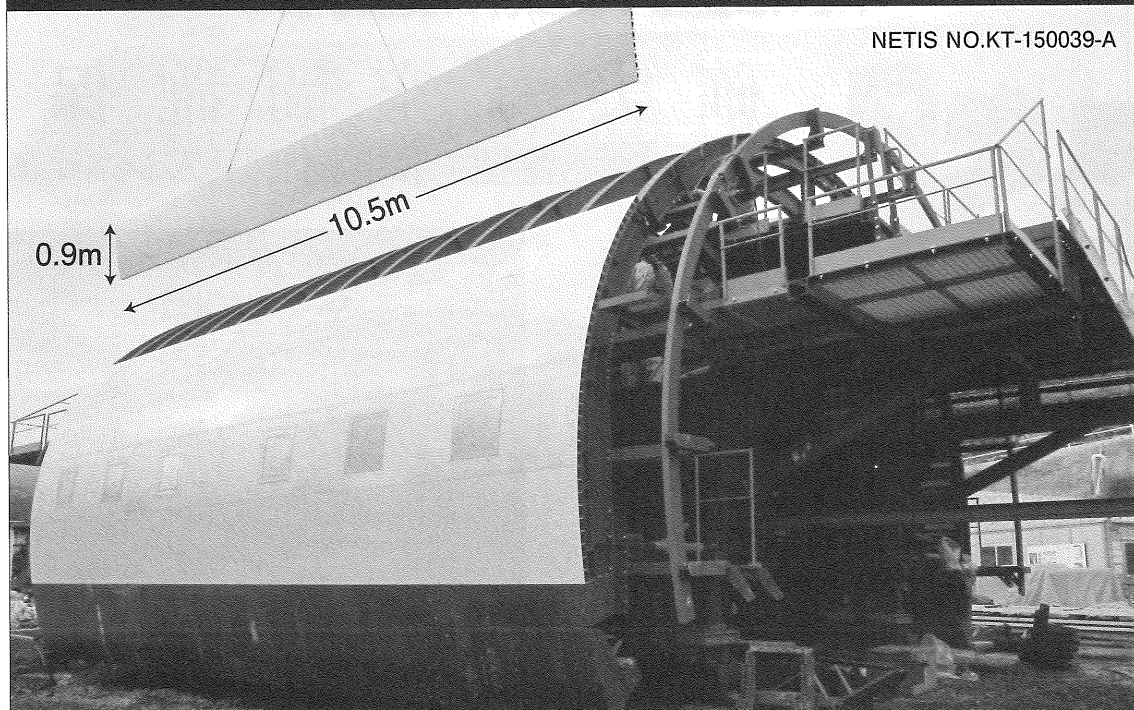
THパイプルーフ技術協会

〒140-0002 東京都品川区東品川4丁目4番7号 東邦地下工機(株)内
 TEL 03-3474-3143 FAX 03-3474-3163 E-mail: jimukyoku@piperroof.jp

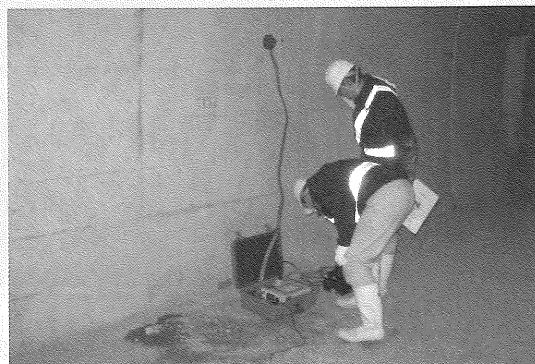
NEW

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



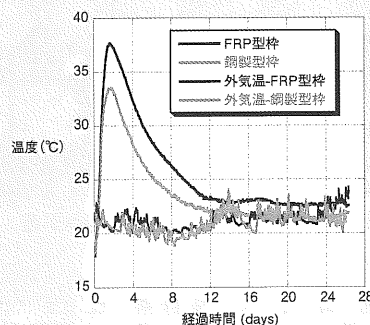
透気試験実施



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

覆工コンクリート温度の経時変化

[宮崎大学との共同研究により、秩父シタ 古江トンネル南にて測定]



◎3～4℃の保温効果により、コンクリート強度が15～20%向上

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

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

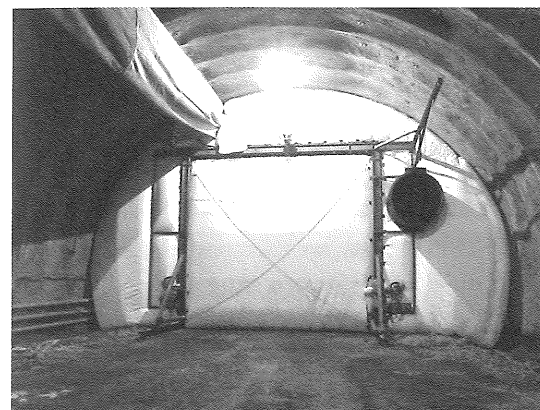
トラベルクリーンカーテン(TCC)

NETIS登録 HK-120040-A 特許5757758号

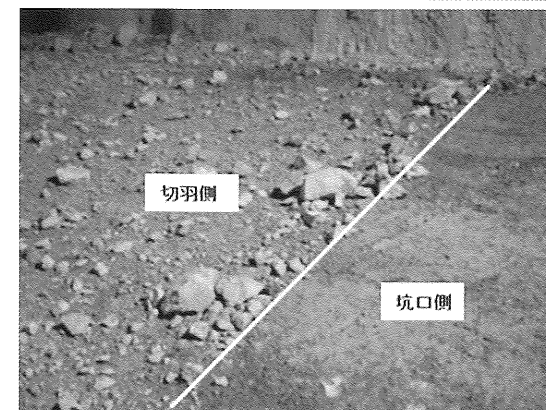
特徴

- 1, 粉塵を完全に封じ込め、粉塵が坑内へ拡散しません
- 2, 発破飛散石を完全に受け止め、重機を飛散石から守ります
- 3, クラッシャーの切羽側へ設置することで、サイドダンプによるズリ運搬距離が短縮可能となります

写真

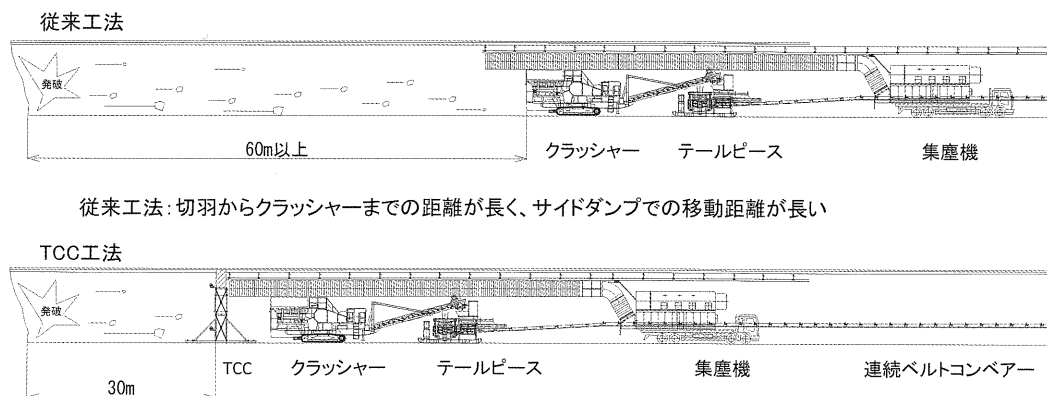


発破時のTCC



発破後の防護状況

概念図



従来工法: 切羽からクラッシャーまでの距離が長く、サイドダンプでの移動距離が長い

TCC工法: 切羽からクラッシャーまでの距離が短く、サイドダンプでの移動時間が短縮される
又、移動距離が短くなることでサイドダンプの負担が減少する(修理費の低減)

総販売元

ITOCHU

伊藤忠建機株式会社

エンジニアリング事業部 山岳土木機械部
 東京都中央区日本橋室町1丁目13番7号
 電話 03(3242)5022 FAX 03(3242)0370

製造

TOUKOU 株式会社 東 宏

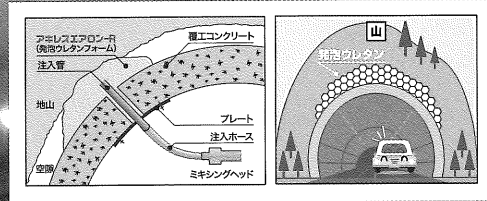
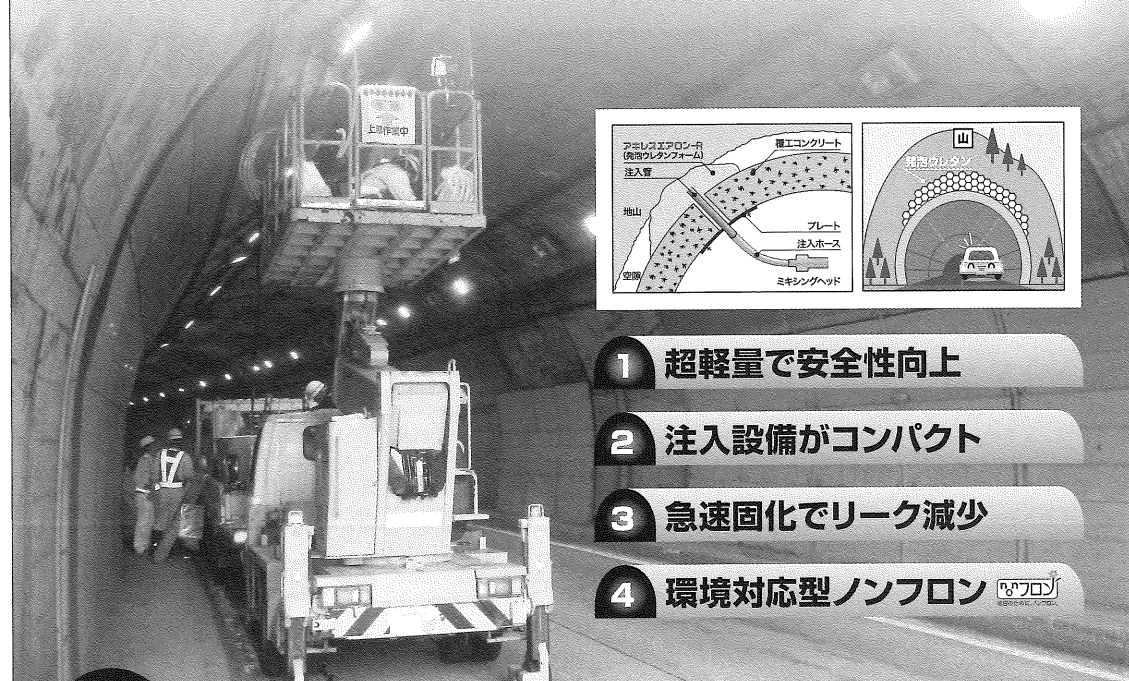
本社 札幌市東区東雁来9条3丁目2番3号
 TEL011-792-3000 FAX011-792-3333
 東京支店 江戸川区平井2丁目5番2号 平井ビル3F
 TEL03-3683-8011 FAX03-3683-8028

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

NETIS登録番号 KT-070035-VR

アキレスTn-p工法

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



- 1 超軽量で安全性向上
- 2 注入設備がコンパクト
- 3 急速固化でリーク減少
- 4 環境対応型ノンフロン

NETIS 平成26年度 活用促進技術(新技術活用評価会議)に指定!

「活用促進技術」とは

- 総合的に活用の効果が優れている技術
- 特定の性能又は機能が著しく優れている技術
- 特定の地域のみで普及しており、全国に普及することが有益と判断される技術に該当する技術から選考されます。

NETISに登録された新技術を活用することにより

- 入札・契約時 総合評価方式での提案で加点対象
- 完成時・完成後 工事成績評価において加点対象

になる場合があります。さまざまな利点があります。

あなたの身近に...



断熱資材販売部

本社 〒169-8885 東京都新宿区北新宿2-21-1 03-5338-9642
 新宿フロントタワー
 関西支社 〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島2-2-7 06-4707-2355
 中之島セントラルタワー
 北海道営業所 〒061-3241 北海道石狩市新港西1-726-3 0133-73-9591
 九州営業所 〒813-6591 福岡県福岡市東区多の津1-1-4 092-622-2871

Tn-p工法 検索
http://www.achilles-foamssystem.com/

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 送料178円)

わが国のライフラインなどのインフラ整備またはその再構築や新たな地下空間の築造に、掘削残土量やCO₂排出量を抑制し、なおかつ耐震性の高い推進工法のニーズが高まっています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説しております。また、推進関連のニュースはどことより早く、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ます。

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



お問い合わせ先

月刊推進技術 編集室

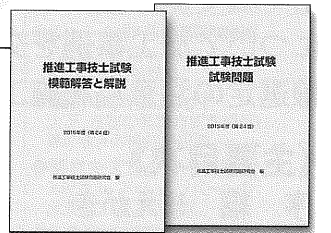
http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/

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

推進工事技士試験 過去6年間(2010~2015年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編



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

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

2015年度版発売中!!

1. 内容の特長

- 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・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出典箇所を明記

2. 価格

各年度単体に1set 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

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

これらのことをインターネットでご案内しています。 推進工事技士試験 検索

お問い合わせ先

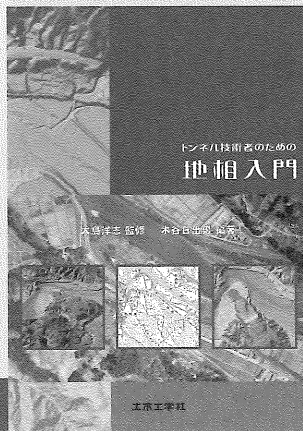
株式会社 LSプランニング

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

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

好評発売中

地形にも相がある 地形の性質を知ろう！



トンネル技術者のための 地相入門

大島洋志 監修 木谷日出男 編著
B5判 203頁 定価3,200円+税 送料別

図・表・写真 288点収録

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

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

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

《主要目次》

序編 まえがき

地相は人相 山の性状

第I編 地形から読み取れる情報

地形から地相を読む方法 / 地形から得る具体的な情報

第II編 地形種とトンネルの施工事例

段丘・台地 / 崖錐・沖積錐・扇状地 / 傾斜層 / 地すべり /

マスマーブメント・滑落崖 / 断層 (断層変位地形) /

断層 (断層削剥地形) / 火山地形 / カルスト地形・残丘 / 地形改変

第III編 路線選定

地相をよく観て路線選定を行う

あとがきにかえて

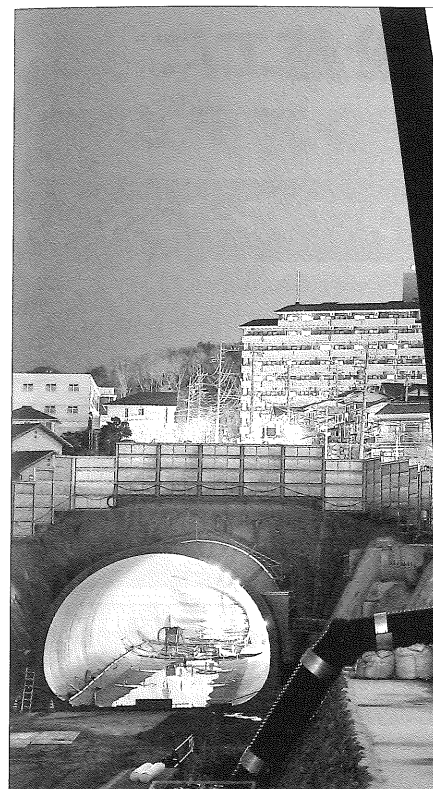
座談会

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



振動 マネージメント ソリューション

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

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

一日でも早く完工する為に、日々の発破のモデル化、計測そして効率化を図っております。オリカ社がどのような形で貴社のお手伝い出来るかについて orica.com/eDevil にアクセスしてeDevil Case Studyのビデオをご覧になって下さい。

orica.com

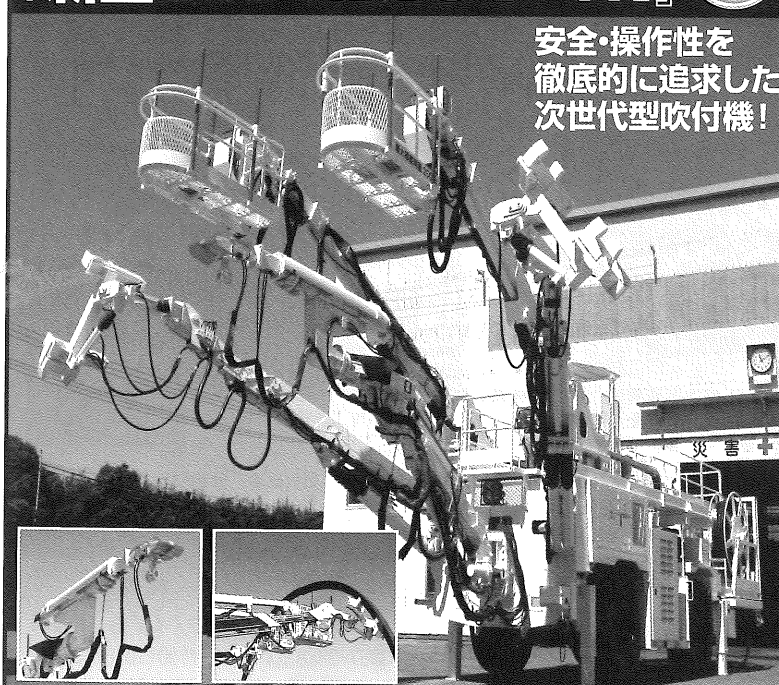


エレクター付 コンクリート吹付システム (ホイール式)

『新型EJS NEJS I-TN』



安全・操作性を
徹底的に追求した
次世代型吹付機!



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



Tunnel & Mining

ニシオティアンドエム株式会社

山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業

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

〒569-0836

大阪府高槻市唐崎西2-26-1

《東日本カンパニー》

■北日本支店

北海道営業所 TEL:0133-72-3715

東北営業所 TEL:0197-71-2405

■東日本支店 TEL:0268-62-1426

浜松支店 TEL:0538-66-0166

《西日本カンパニー》

■大阪支店 TEL:072-677-2101

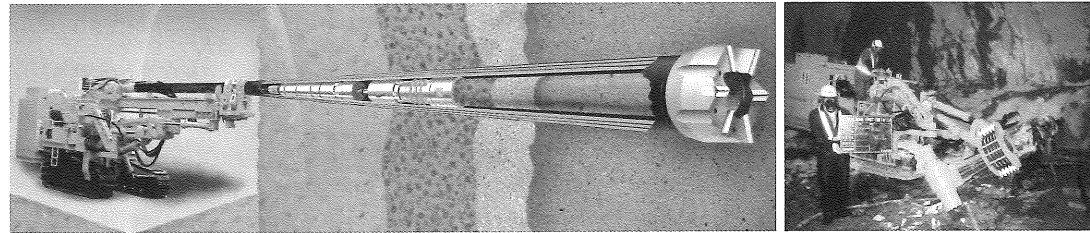
■九州支店 TEL:0982-26-2111

福岡営業所 TEL:092-976-6331

トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法

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



地球に
KOKEN 鉦研工業株式会社

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

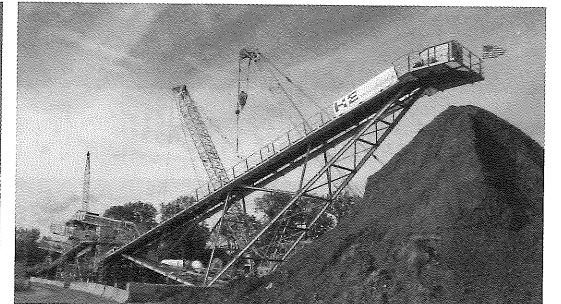
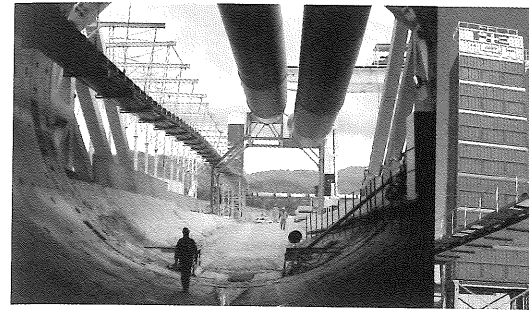
お問合せ先: エンジニアリング本部 エンジニアリング部
TEL. 03-6907-7512 FAX. 03-6907-7522

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

北海道支店: (011)561-4961 東北支店: (022)762-6075 信越支店: (025)275-6877 首都圏事業部: (03)-6907-7511
大阪支店: (06)6385-0350 中国支店: (083)972-8757 九州支店: (092)924-5001 海外事業部: (03)-6907-7515

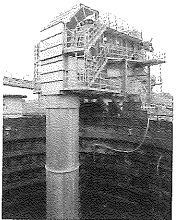
HE
H+E LOGISTIK GMBH

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: 2x355 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: 4x160 kW, 2x90 kW
Belt Storage Capacity: 2x300 m / horizontal



H+E Logistik GmbH
日本代理店



山崎マシーナリー株式会社

担当: 富樫

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

[好評発売中]

わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修

B5判 209頁 本体価格2,500円 税込340円

主要目次

序編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第II編 トンネル工事と地質条件

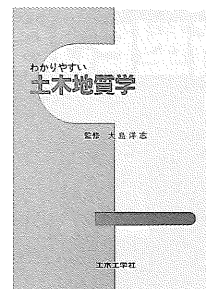
1. 路線選定と地質条件 2. トンネル工法・掘削工法と地質条件 3. 掘削方式と地質条件 4. トンネル掘削に伴う地質的現象

第III編 地質調査法

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

第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

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



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

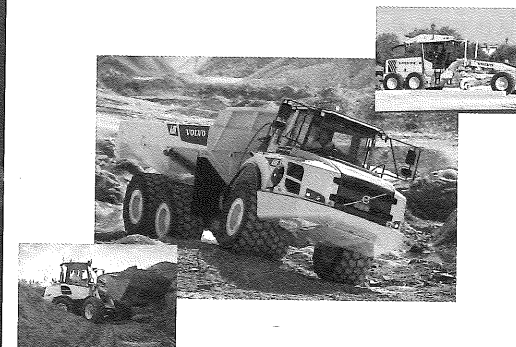
株式
会社 **土木工学社**

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

VOLVO 建設機械

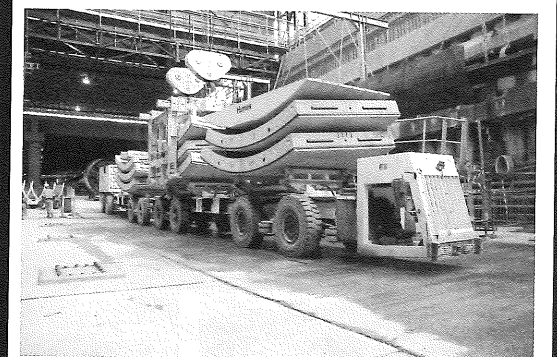
TMS Techni-Metal Systèmes

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

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

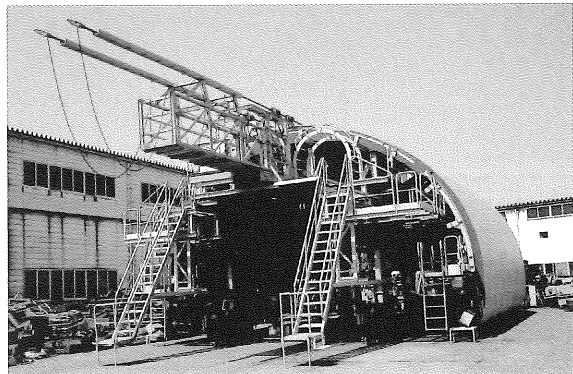
〒438-0216 静岡県磐田市飛平松 216 番地 1
代表 TEL0538-66-1211 FAX0538-66-6410

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-VR (製造:株式会社マシノ)



期待される効果・特徴

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

北陸鋼産株式会社

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

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

滑川工場：TEL076(476)0333 FAX076(475)9121 東北営業所・工場：TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423
東京支店：TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789 大阪支店：TEL06(4963)3520 FAX06(4963)3521

濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0m³/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

《汎用車両全般》



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



10T ミキサー



4.5m³ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車両 取り扱っております

株式会社 フジテックス

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

■巻頭言

人類の未来を切り開くトンネル技術者

芥川 真一 5

■施工

覆工前に産業廃棄物盛土が行われる小土かぶりトンネルの支保パターン検討

—九州新幹線西九州ルート 武雄トンネル—

神田 大輔・江島 武・高橋 和寛 7

脆弱泥岩層における切羽後方での大崩落

—上信越自動車道 金谷山トンネル—

桑原 和夫・日野 秀国・田中 章 15

国内最大シールドの発進立坑を深度70.3mのニューマチックケーソンで構築

—東京外かく環状道路 東名JCT・本線シールド発進立坑—

高松 大輔・合田 聡・大野 裕嗣・遠藤 和雄 25

■連載講座

トンネル新技術への挑戦(13)

—縮径トンネル掘削機(縮径TBM)—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 47

■現場だより

「古事記・日向神話」のまち宮崎より

壹岐 智成 24

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

トンネル建設に携わって思ったこと

下河内 稔 35

■資料

土木情報

編集部 34

工法・技術・製品ニュース

編集部 55

トンネルジャーナル

平山 嘉一 46

「トンネルと地下」平成28年・年間総目次

編集部 56

■会報

会報

日本トンネル技術協会 60

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

【表紙説明】

国内最大シールドの発進立坑を深度70.3mのニューマチックケーソンで構築
—東京外かく環状道路 東名JCT・本線シールド発進立坑—



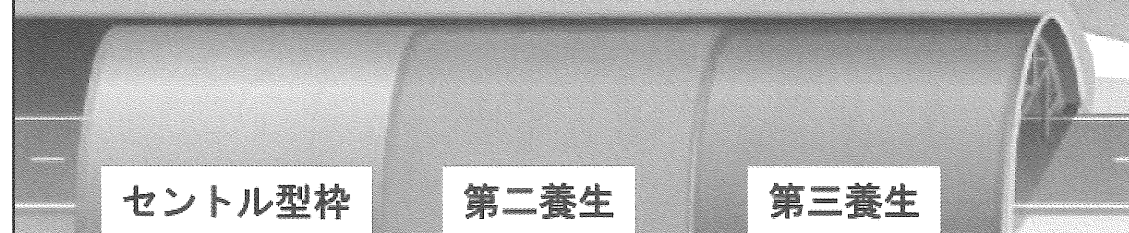
東京外かく環状道路の関越自動車道から東名高速道路区間は, 大深度地下を活用する国内最大の大型シールドトンネル(シールド外径φ16.1m×2本)工事である。本工事では, 本線シールドトンネルの発進基地となる立坑をニューマチックケーソン工法で施工した。その沈設深度GL-70.3mは同工法の国内実績として3番目の深さを誇るものである。写真はケーソン沈設完了後に東名川崎IC側から見た立坑全景である。

〔写真提供：中日本高速道路(株)〕(本文25頁参照)

管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

コンクリートトータル養生システム



セントル型枠

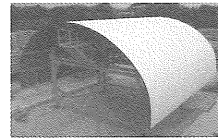
第二養生

第三養生

加温しながら初期強度を上げる
加温養生（型枠）



加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



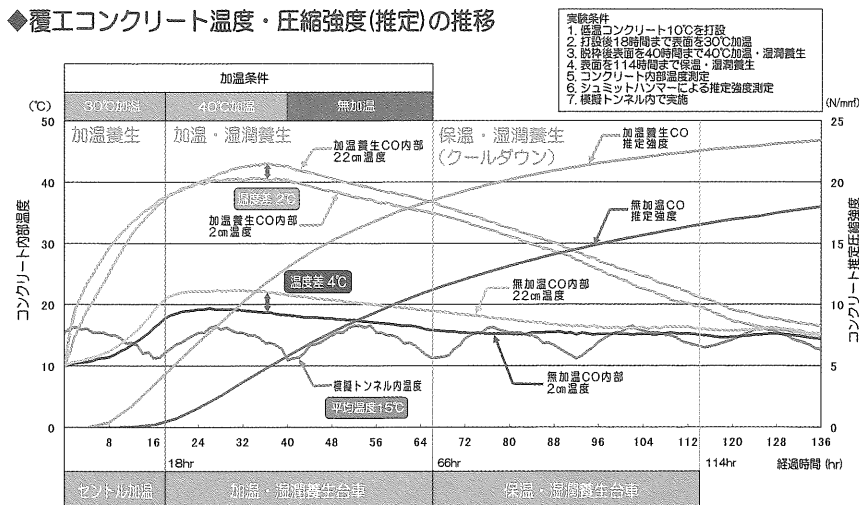
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



実験条件
1. 底層コンクリート10℃を打設
2. 打設後12時間まで表面を30℃加温
3. 脱模後表面を40時間まで40℃加温・湿潤養生
4. 表面を114時間まで保温・湿潤養生
5. コンクリート内部温度測定
6. ジョットハンマーによる推定強度測定
7. 横断トンネル内で実施

岐阜工業株式会社

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

【製作・販売協力】
TECHNO
テクノプロ株式会社

TOUKOU
株式会社 東 宏

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

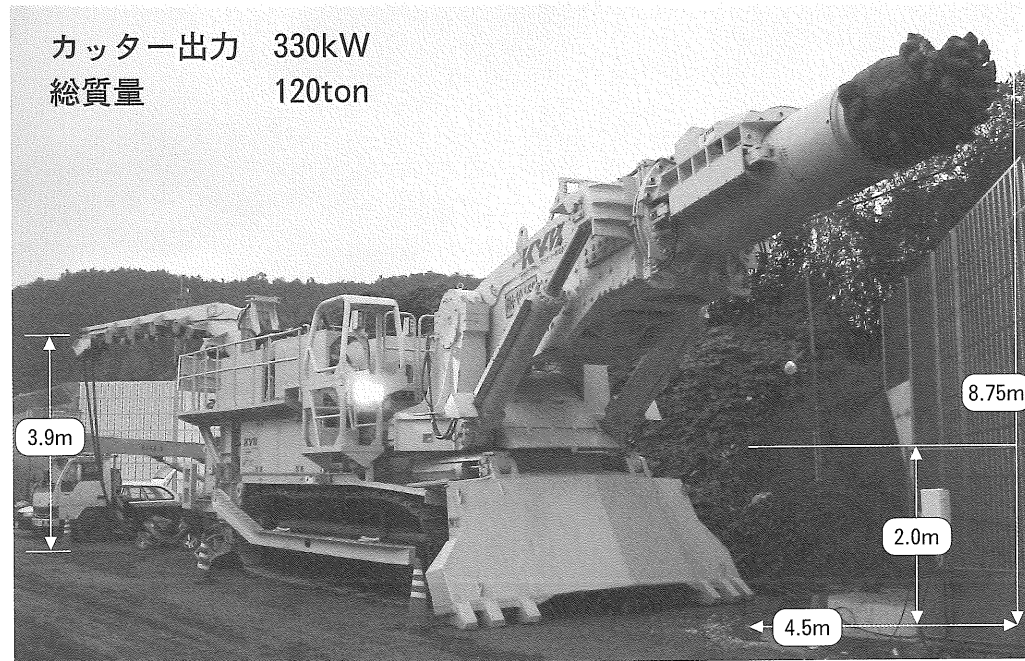
〔幹 事〕

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

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ビック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444
カスタマーサービス 〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586
相模事業所 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号TEK第二ビル TEL 06-6387-3371
大阪支店 〒812-0013 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

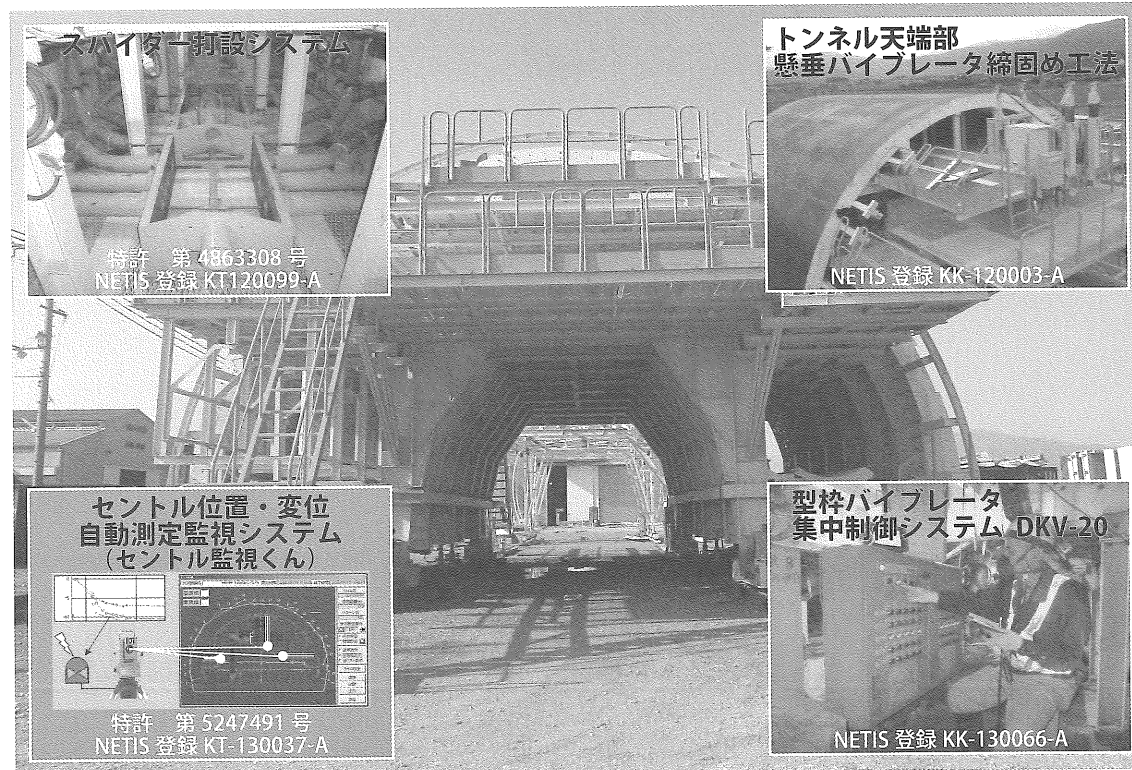
〔編集参与〕

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

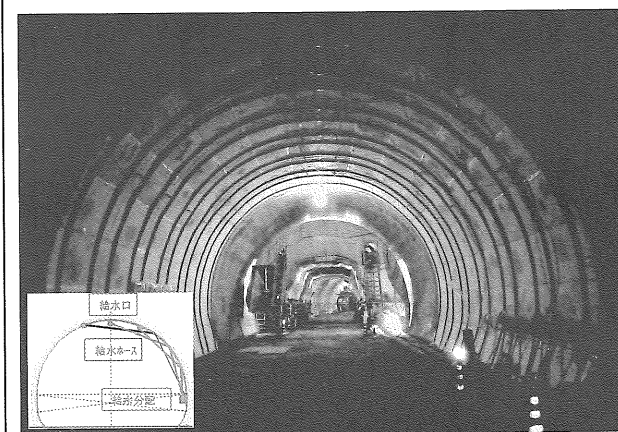
〔委員〕

| | |
|--|---|
| 砂金 伸 治 国立研究開発法人土木研究所つくば中央研究所 道路技術研究グループ(トンネル)上席研究員 | 平野 隆 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 技術基準担当課長 |
| 岡野 法 之 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室室長 | 八木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当) 道路研究部トンネル研究担当部長 |
| 清水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長 | 安田 智 東京都交通局建設工務部計画改良課長 |
| 中井 宏 東京都下水道局建設部設計調整課長 | 山本 武 史 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐 |
| 中谷 誠 一 東京都水道局建設部工務課長 | 吉本 正 浩 東京電力パワーグリッド株式会社 工務部管路土木技術担当 |

トンネル二次覆工型枠総合メーカー



新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



確実な保温・湿潤養生

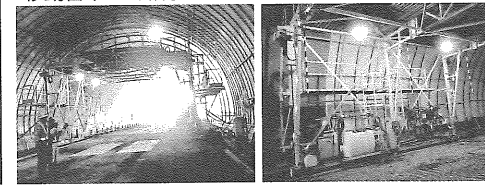
トンネル覆工コンクリート給水養生工法

ウエットフォーム

NETIS 登録 KT-160031-A

移動台車にて給水養生中

給水用分配盤



一步前進! ~限りない未来への挑戦~

 **大栄工機株式会社**

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

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

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

トンネルと地下 VOL.47 No.12 掲載概要

掲載頁
7

覆工前に産業廃棄物盛土が行われる小土かぶりトンネルの支保パターン検討
—九州新幹線西九州ルート 武雄トンネル—

鉄道・運輸機構 神田 大輔

武雄トンネルは、九州新幹線西九州ルート、佐賀県武雄市に位置する延長1,380mの山岳トンネルである。本トンネルは、盛土予定の産業廃棄物処分場直下を、約0.5Dの小土かぶりによって通過する区間が存在している。

当該区間は、最終盛土荷重を想定してRC構造の覆工の設計を行っているが、掘削から覆工完了までの間に産業廃棄物処分場の盛土が進むため、その分の盛土荷重を考慮した支保パターンの検討が必要となり、FEM解析により検討を行った。

本稿では、産業廃棄物処分場直下の小土かぶり区間について、直上の盛土を考慮した支保パターンの検討について報告する。

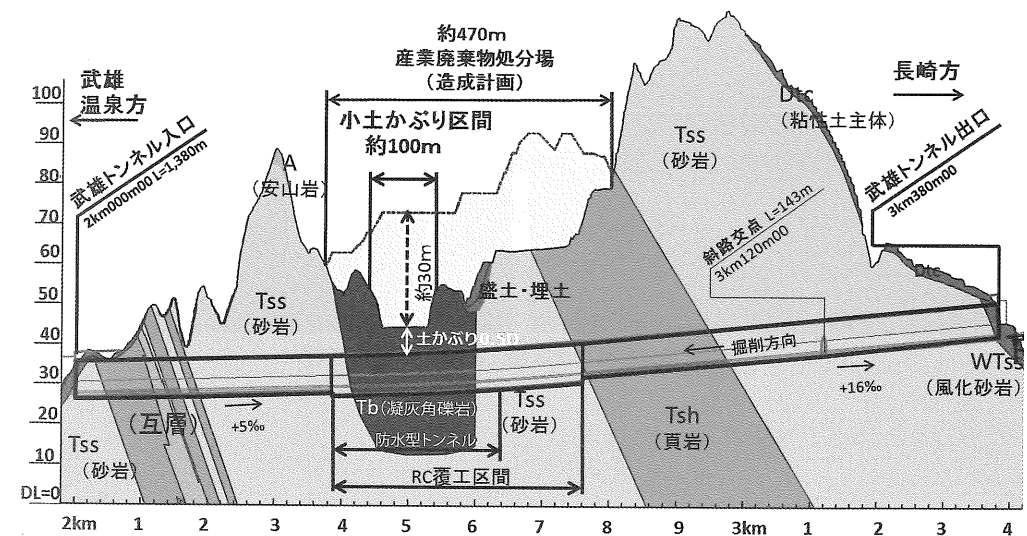
Support Patterns of Tunnel under Small Cover on Which Industrial Waste Will Load before Finishing Lining—the Kyushu Shinkansen West Kyushu Route, the Takeo Tunnel—

By Daisuke Kanda, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

The Takeo Tunnel is a mountain tunnel of 1,380m in length located in Takeo City in Saga Prefecture on the Kyushu Shinkansen West Kyushu Route. This tunnel has a section under small cover of approx. 0.5D in thickness that passes directly underneath an industrial waste disposal site where landfilling is scheduled.

RC lining was designed for this section taking final landfill load into consideration. Investigation of support patterns considering embankment loading using FEM was conducted because landfilling at the industrial waste disposal site will progress from start of excavation until completion of lining.

This report contains information on the design for tunnel support patterns considering the landfilling at an industrial waste disposal site directly above its small cover.



図は武雄トンネル地質縦断面図

脆弱泥岩層における切羽後方での大崩落

—上信越自動車道 金谷山トンネル—

東日本高速道路(株) 桑原 和夫

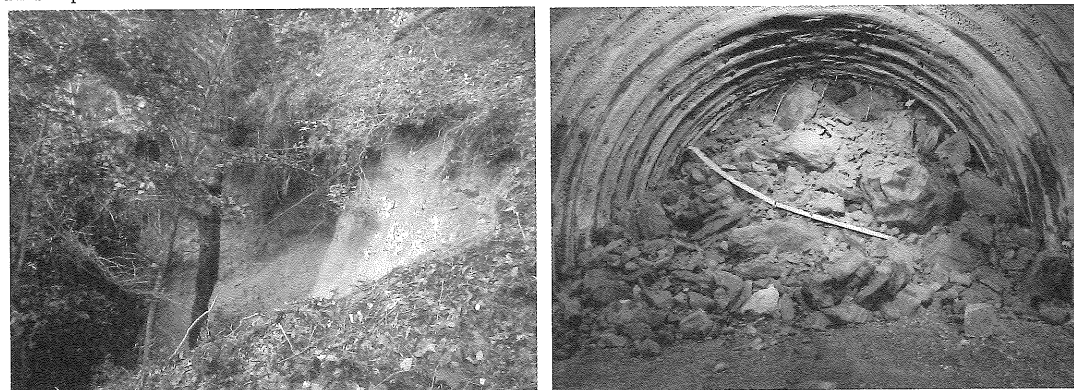
金谷山トンネルは、上信越自動車道(信濃町～上越JCT間)のうち、上越高田IC～上越JCT間に位置する全長355mの山岳トンネルである。Ⅱ期線トンネルの施工は、機械掘削方式による補助ベンチ付き全断面掘削工法(早期閉合工法)および上半先進ベンチカット工法を採用していた。工事は、2014(平成26)年7月に起点側から片押しで掘削を開始し、同9月末には、起点から100m付近まで掘削を行っていた。しかし、9月25日にSTA.654+95(切羽から20m後方付近)において、地表面に達する天端崩落が発生した。その後、各種補助工法を用い、短期間で崩落部の復旧および脆弱泥岩層の施工を完了することができた。

本稿は、崩落発生からその対策工および脆弱な泥岩層でのトンネル施工について報告する。

Large Collapse in Front of the Face in Weak Mudstone—the Joshin-Estu Expressway the Kanaya-San Tunnel— By Kazuo Kuwabara, East Nippon Expressway Company Limited

The Kanaya-san Tunnel is a mountain tunnel of 355m in length located between the Joetsu-Takada Interchange and the Joetsu Junction on the Joshin-Etsu Expressway (between the Shinano-machi Interchange and the Joetsu Junction). The tunnel on the 2nd phase was built with machineries through the method of the full face with auxiliary bench (building invert early) and the method of the top heading and bench cut. Excavation began in July 2014 from the starting point with one-way tunneling and by the end of September of the same year, around 100m from the starting point had been excavated. However, a ceiling collapse reaching the ground surface occurred on 25th September at STA.654+95 (around 20 m away from the face). Following this, we managed to restore the collapsed area in a short period of time and complete excavation in the weak mudstone using all kinds of auxiliary methods.

This report contains information on status of collapse, measures against it and tunneling works in weak mudstone.



写真は地表面陥没状況(左)と坑内崩落状況(右)

国内最大シールドの発進立坑を深度70.3mのニューマチックケーソンで構築

—東京外かく環状道路 東名JCT・本線シールド発進立坑—

中日本高速道路(株) 高松 大輔

本稿は、首都圏の円滑な交通ネットワークとして期待されている東京外かく環状道路のうち、大深度地下を活用する国内最大の大型シールドトンネル(シールド外径φ16.1m×2本)の発進立坑工事を紹介するものである。

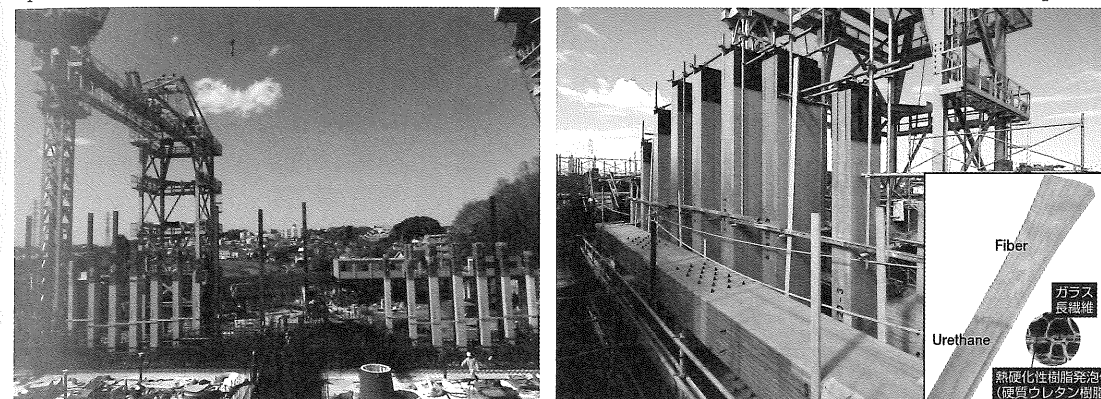
この発進立坑は、ニューマチックケーソン工法で施工され、その沈設深度GL-70.3mは同工法の国内実績として3番目の深さを誇るものであり、本稿では、主として工事の概要、構造上の特徴、施工方法について述べる。

70.3m Deep Launching Shaft for Japan's Largest Shield TBM—the Tokyo Outer Ring Road, TBM Launching Shaft into Tomei JCT / Main Line—

By Daisuke Takamatsu, Central Nippon Expressway Company Limited

This report contains information on the construction of the launching shaft for Japan's largest shield tunnel (outer shield TBM diameter φ16.1m for 2 tubes) to be used deep underground on the Tokyo Outer Ring Road which is anticipated to contribute to a smooth traffic network in the metropolitan area.

This launching shaft was constructed using compressed air and was the 3rd deepest in Japan using this method at depth of GL-70.3m. This report contains an outline of the works, structural features and construction techniques.



写真はシールド発進仮壁部(SEW工法)

巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)

人類の未来を切り開くトンネル技術者

神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻教授

芥川真一



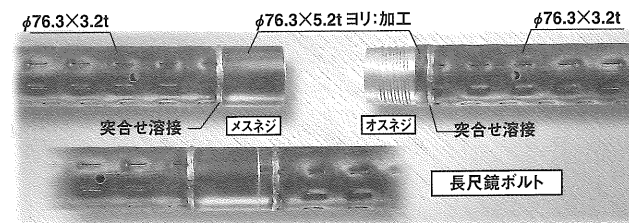
リオデジャネイロでのオリンピック閉会式で人気ゲームキャラに扮装した安倍総理が地球の中心に向かって掘られたトンネルに飛び込み、日本からブラジルに数秒で移動したシーンは皆さんの記憶にも残っていると思います。現在の技術ではそのようなトンネルを構築することは不可能ですが、もし仮にそのトンネルが建設され、中を真空にした状態で飛び込むと、いったいどれくらいの時間でブラジルに着くのでしょうか？ われわれには地表面レベルにおいて 9.8m/s^2 という重力加速度が作用しているため、トンネルに飛び込みさえすれば何もなくてもどんどんスピードが上がります。地球の中心点を通る際のスピードは秒速数km程度になるはずですが、その後は、重力がブレーキとして作用し始めて減速し、ブラジルの地表面に着いたときにちょうど速度が0となり、めでたく日本からブラジルへの一直線の旅が完了します。この移動に要する時間は物理学者の計算によると、およそ44分になるそうです。面白いことに、この夢の直線トンネルは地球の中心を通らなくても「どこでも44分」の旅を保証してくれるというのです。つまり、もし東京からロサンゼルスに向かって完全に直線のトンネル(すなわち、地球の表面に平行ではありません)を構築し、完全断熱を施したうえで摩擦をゼロにする技術さえあれば、トンネルの旅を始めた直後の初速度は小さくなりますが総移動距離も小さくなるため、ロサンゼルスまでの所要時間が44分になるというのです。しかも、重力で加速、減速するシステムなので移動に要するエネルギーはゼロになります。人類が到達したもっとも深い場所がまだに4~5kmのレベルにとどまっている現段階で、このような夢の技術を語るのには無理がありますが、地圧、水圧、摩擦、断熱などの基礎科学技術分野における革新的研究開発が行われることによって夢が現実化する将来が訪れることを誰も否定はできないと思います。リオオリンピック閉会式でのシーンはそれを予言していたのかもしれませんが。

人類の繁栄を支えるために、古来よりトンネル技術者は精進を重ねてきました。今も中東の地に残るカナート(水路トンネル)は数千年前のメソポタミア文明の時代に建設さ

NETIS登録No.KK-160026-A

ストロング FIXチューブ(S型)

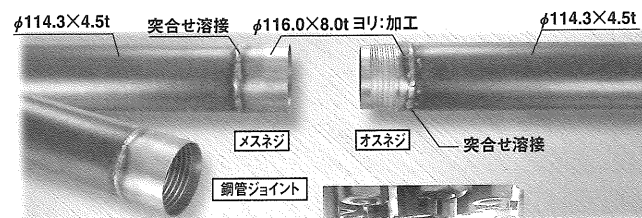
- ※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
- ※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



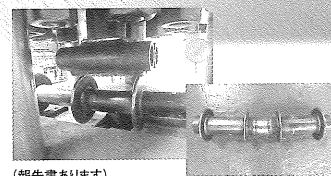
NETIS登録No.KK-150045-A

AGF-STD工法

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

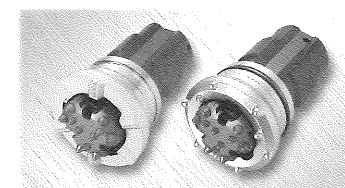
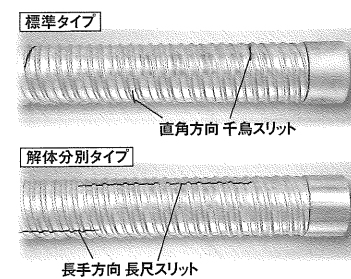


曲げ耐力30%UP!!



(報告書あります)
接続部の抗折力試験

撤去管の選択



STD BITS (ロストリング方式)

| 呼称 | 鋼管径 | リングビット径 |
|------|--------|---------|
| 100A | φ114.3 | φ124 |

注入材・その他工法

NETIS登録No.KK-110040-A

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

STE

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

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL:072-990-0250 FAX:072-990-0251

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

れ、現在でも機能しています。さらに都市部、山岳部に建設されてきた数多くのトンネルはそれぞれの時代の夢を実現化したものでもありました。硬い岩盤の中だけではなく、軟弱な地盤においても安全なトンネルを構築する技術が発展し、都市の交通システムは飛躍的に発展し、さらに長大な山岳トンネルや海底トンネルが建設できるようになってきました。日本からサハリンを経由してロシアへつながるトンネル、あるいは九州から韓国につながるトンネルなどの国際的巨大大トンネルプロジェクトが議論されています。夢が少しずつ現実化されようとしているのです。

トンネル技術者は地下空間開発にも大きく貢献することが期待されています。古来より人類は自然の地下空洞を利用することから始め、戦火から逃れるために地下都市を建設したり、重要なインフラを設置するために地下空間利用を進めてきました。今では、商業地区、住居、交通インフラ、エネルギーインフラ、洪水処理施設、廃棄物処理施設など多くの施設が地下に建設されています。また、地下インフラに要求される機能も多様化し、直接の目的以外の付加機能(熱交換など)を考える時代になってきました。これまでも増して、地下空間を有効利用する意義が注目され、市民の生活をより安全・安心にするためにチャレンジングな技術研究開発が行われることとなるでしょう。

強靱な国家を建設するためには災害に強い街づくりが重要です。通常、災害といえば地震、豪雨、台風など地球上で生じている現象を指すことが多くなります。しかし、頻度は低いものの宇宙からもたらされる災害、とくに太陽フレアと呼ばれる巨力な電磁ストームの来襲に関して、現代の都市は脆弱であるとの指摘があります。高度に発達した現代文明は地上で構築されているエネルギー配信システム、通信システム、インターネット、人工衛星など電力を使用するさまざまな装置やシステムで成立しており、これらのすべてが強力な電磁ストームで未曾有の被害を受ける可能性が指摘されています。これに対抗するためには、できるだけ多くの重要社会基盤を地下に設置して、万一に備えておく必要があります。さら遠い未来においては、太陽の膨張がもたらす劇的環境変化により、地球の表面には住めなくなる時期が来ることが予想されています。それに備えて、人類は惑星移住計画を真剣に検討する一方で、相当な期間において膨張する太陽の熱から逃れるために文明のすべてを地下に再構築せざるを得なくなることが予想されます。想像を絶する規模の地下空間建設&移住プロジェクトが必要になるのです。今、21世紀に地表面に住める幸せを感じながら、現代においても、また将来においても社会に対して重要な役割を担うトンネル技術者、地下空間技術者のますますの精進と健闘が期待されます。

施工

覆工前に産業廃棄物盛土が行われる小土かぶりトンネルの支保パターン検討

—九州新幹線西九州ルート 武雄トンネル—

鉄道・運輸機構九州新幹線建設局武雄鉄道建設所 神田 大輔
 鉄道・運輸機構九州新幹線建設局武雄鉄道建設所 江島 武
 戸田・りんかい日産・黒木特定建設工事共同企業体 高橋 和寛

1 はじめに

九州新幹線西九州ルートは、武雄温泉・長崎間(工事延長約67km)の工事实施計画が2012(平成24)年6月に認可され、整備を進めている(図-1)。

武雄トンネルは、佐賀県武雄市に位置する延長1,380mの山岳トンネルである。本トンネルには盛土予定の産業廃棄物処分場(以下、「処分場」という)の直下(区分地上権設定)を、約0.5D(D:トンネル掘削幅、約10m)の小土かぶりで通過する区間がおおよそ100m存在している。当該区間は、

すでに処分場の最終盛土荷重を想定してRC構造の覆工の設計を行っている¹⁾。その後、掘削から覆工完了までの間に処分場の盛土が進むことが判明したため、その分の盛土荷重を考慮した支保パターンの検討が必要となった。

トンネルの掘削は、2014(平成26)年12月に斜坑の掘削を開始し、2015(平成27)年10~12月にかけて当該区間を通過し、2016(平成28)年7月に起点方坑口に到達した。

本稿では、処分場直下の小土かぶり区間について、直上の盛土を考慮した支保パターンの検討について報告する。

2 地形・地質概要

武雄トンネルの地質縦断面図を図-2に示す。武雄温泉起点2km340m付近~810m付近の約470m間は、地上部に処分場が計画されその一部が人工改変されている。

トンネル全体の掘削対象の地質は、古第三紀漸新世に形成された村島層群が主体で、おもに砂岩および頁岩から構成されている。当該区間には新第三紀の凝灰角礫岩の分布が確認されている。凝灰角礫岩は凝灰質なシルトをおもな基質とし、泥岩・砂岩・軽石質酸性凝灰岩などの角礫が混在し

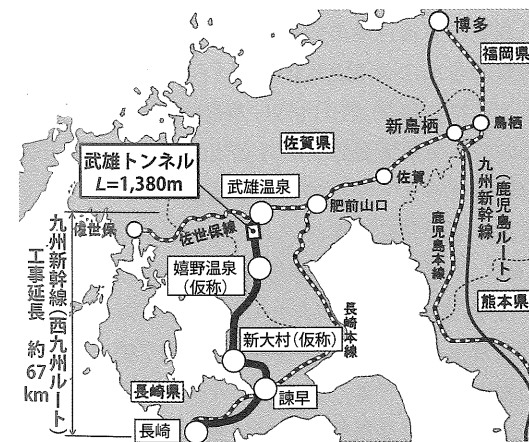


図-1 武雄トンネル位置図

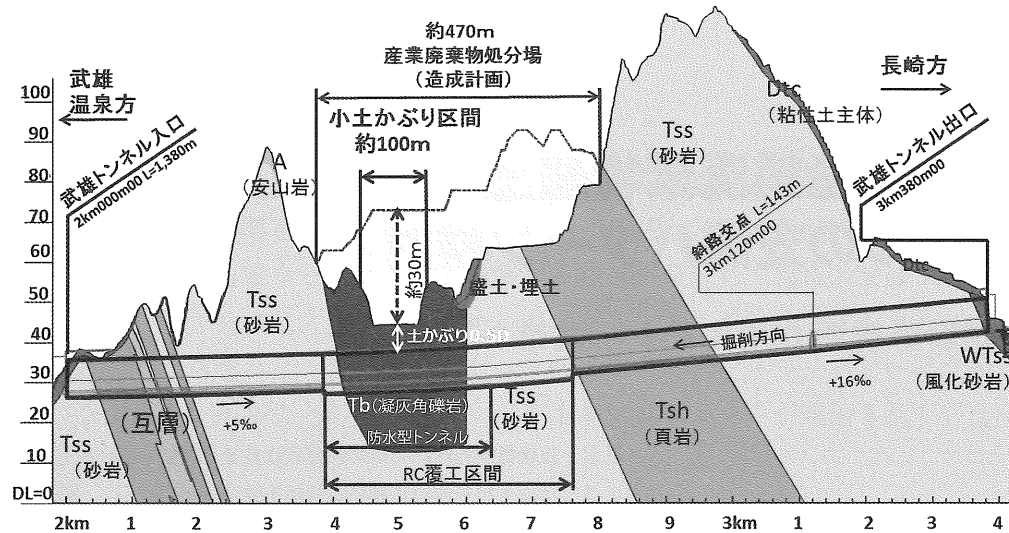


図-2 武雄トンネル地質縦断面図

ている。

本トンネルは全断面発破掘削としているが、当該区間はトンネル上部付近での固結度が低く、発破掘削による地表付近のゆるみが懸念された。

3 工事工程

武雄トンネル工区は2013(平成25)年12月に工事着手したが、ほぼ同時期の2013(平成25)年11月に、処分場は佐賀県から産業廃棄物処理施設の許可を受けている(面積≒60,000m²、処理量≒860,000m³)。そのため、掘削完了から覆工完了までの間に盛土されることが想定された。

処分場の区分地上権設定の交渉は難航し、契約締結はこの区間の掘削着手直前となった。交渉において、処分場操業への影響ならびに水利用への影響について、処分場事業者(以下、「事業者」という)が大きく懸念していることがわかった。

本工区の覆工施工までの工程を図-3に示す。当該区間のトンネル掘削は2015(平成27)年10月、覆工は2017(平成29)年6月に完了する予定としていた。掘削から覆工までに約1年8か月の期間が空くこととなったが、その理由について以下に述べる。

(1) 防水型トンネルの採用

当該区間は沢地形かつ透水性の高い凝灰角礫岩

の層であり、トンネル内に水を引込みやすい地形・地質であった。さらに、処分場が機械や焼却炉の冷却などのために毎日20tの水を沢や井戸から使用しており、この水利用に影響を及ぼさないように、防水型のトンネルとした。

(2) 背面平滑型トンネルライニング工法(FILM)の採用

処分場の水利用に影響を及ぼさないように、一般的な防水工で発生する防水工背面の地下水流動を抑制して、確実なウォーターバリアを形成することを目的に、当該区間の防水工は背面平滑型トンネルライニング工法(FILM)を採用した。

(3) 防水工をインバートより先に施工

当該区間は、県の許可を受けた処分場の盛土の最終形をもとに覆工の設計を行い、RC構造の覆工としている¹⁾。覆工がRC構造の区間において、インバート施工後にFILMで防水工を施工する場合、インバートからの立上り筋に支障するため、防水工施工後にインバートを施工することとした。

(4) インバート掘削をトンネル掘削完了後に施工

防水工施工後にインバートを施工する場合、給排水管を吊る必要があるが、FILMで施工した防水型トンネルでは、シートに穴を空けられないため、給排水管を吊ることができない。したがって、当該区間のインバートの施工は、下西山トンネル

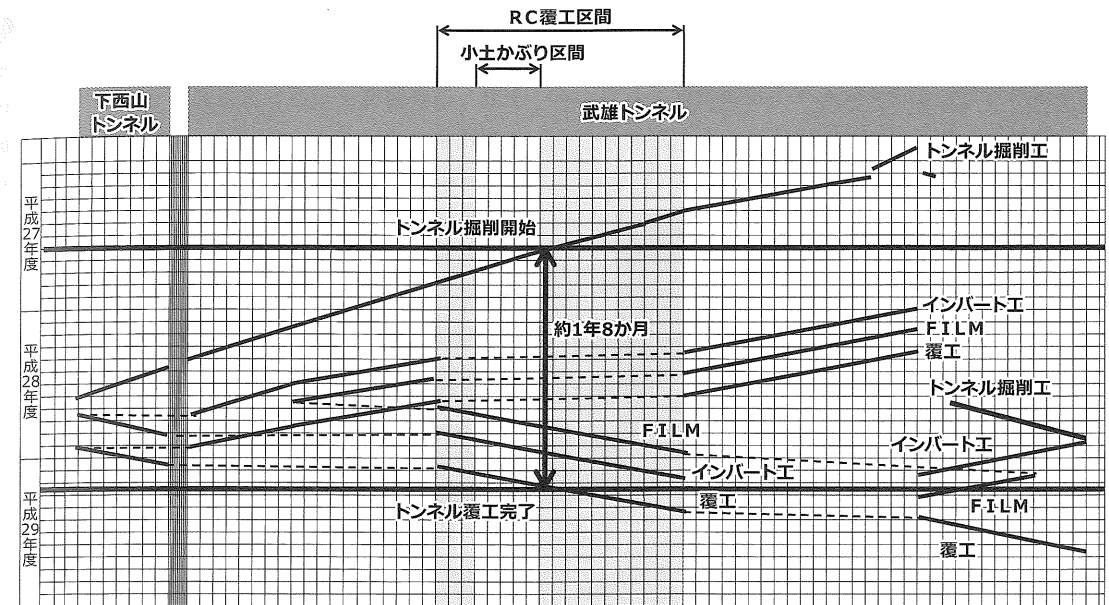


図-3 武雄トンネル工程

の掘削が完了後、給排水管撤去後に行うこととした。

以上のことから当該区間は、掘削から覆工完了までに1年8か月の期間が空くこと、また、ほぼ同時期に処分場の盛土が計画されていることから、盛土荷重を考慮した支保パターンの検討が必要となった。

4 支保パターンの検討

4-1 解析手法

支保パターンの検討は、数値解析を用いて行うこととした。トンネルの設計に用いられる数値解析としては骨組構造解析やFEM解析を用いるのが一般的であるが、当該区間の支保パターンの検討では、ロックボルトや鋼製支保工などの複数の部材を実際に近いモデルで再現でき、かつ施工ステップごとの解析が可能なFEM解析を用いることとした。本解析では2次元FEM解析(非線形弾性モデル)を用いることとした。

また、解析に用いる覆工完了までの盛土高さを確認するため、2015(平成27)年5月に事業者ヒアリングを行ったところ、処分場内での盛土開始

表-1 解析パターン

| | | 支保パターン | | | |
|--------|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | | ① | ② | ③ | ④ |
| ロックボルト | 長さ×本数 | 3m×14本 | 3m×14本 | 3m×14本 | 3m×14本 |
| | 縦断間隔 | 1.0m | 1.0m | 1.0m | 1.0m |
| 吹付け厚 | | 15cm | 15cm | 15cm | 25cm |
| 鋼製支保工 | 上下半 | 上半+インバートストラット | 上半+インバートストラット | 上半+インバートストラット | 上半+インバートストラット |
| | | H-125 | H-125 | H-150 | H-200 |

までに必要な調整池整備などに時間を要しているため、盛土開始はトンネル掘削後となり、以降の盛土計画は検討中とのことであった。当該区間を掘削する時期および解析に要する時間を考慮して、本解析では、あらかじめ複数の支保パターンを想定して各パターンで耐えられる盛土高さを算定し、処分場の盛土計画の策定後、決定した盛土高さにより支保パターンを選定することとした。

4-2 解析条件

本解析においては、吹付け厚、鋼製支保工およびインバートストラットの有無により、表-1に示す4つの支保パターンを想定し、解析を行った。解析モデルを図-4に示す。境界条件は底面を

固定、側面は鉛直可動、水平固定とし、地表面は可動とした。解析範囲については、トンネル側方は盛土幅分まで、鉛直方向の下方はトンネル位置から3Dまで、上方は地表面までとした。解析に用いた地山の物性値を表-2に示す。

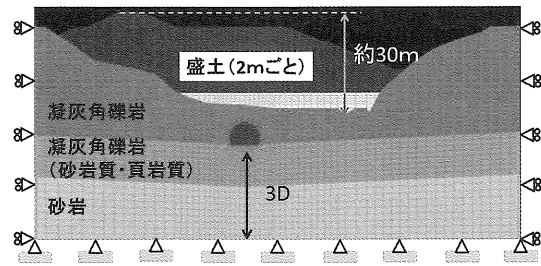


図-4 解析モデル

表-2 地山物性値

| 土質名 | 変形係数 (kN/m ²) | ポアソン比 | 粘着力c (kN/m ²) | 内部摩擦角 φ (°) | 単位重量 γ (kN/m ³) |
|-----------------|---------------------------|-------|---------------------------|-------------|-----------------------------|
| 盛土 | 12,500 | 0.35 | 6 | 40 | 18.0 |
| 凝灰角礫岩 | 20,000 | 0.33 | 300 | 35 | 20.5 |
| 凝灰角礫岩 (砂岩質・頁岩質) | 1,500,000 | 0.25 | 1,000 | 45 | 23.0 |
| 砂岩 | 7,500,000 | 0.25 | 4,000 | 55 | 25.0 |

表-3 解析で使った部材の物性値

| 支保パターン | 支保工 | 弾性係数 E (kN/m ²) | 断面積 A (m ²) | 断面二次モーメント I (m ⁴) | 備考 |
|--------|--|-----------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------|
| ① | 上下半 吹付けコンクリート (t=15cm) + 鋼製支保工 (H-125) の合成部材 | 7.332E+06 | 1.500E-01 | 3.593E-04 | 梁要素 (両端剛結) |
| | 上下半 ロックボルト (D22)@1.0 | 2.000E+08 | 3.870E-04 | 1.100E-08 | 梁要素 (両端ピン) |
| | インバート 吹付けコンクリート (t=15cm) | 3.400E+06 | 1.470E-01 | 2.813E-04 | 梁要素 (両端剛結) |
| ② | 上下半 吹付けコンクリート (t=15cm) + 鋼製支保工 (H-125) の合成部材 | 7.332E+06 | 1.500E-01 | 3.593E-04 | 梁要素 (両端剛結) |
| | 上下半 ロックボルト (D22)@1.0 | 2.000E+08 | 3.870E-04 | 1.100E-08 | 梁要素 (両端ピン) |
| | インバート 吹付けコンクリート (t=15cm) + 鋼製支保工 (H-125) の合成部材 | 7.332E+06 | 1.500E-01 | 3.593E-04 | 梁要素 (両端剛結) |
| ③ | 上下半 吹付けコンクリート (t=15cm) + 鋼製支保工 (H-150) の合成部材 | 8.643E+06 | 1.500E-01 | 4.855E-04 | 梁要素 (両端剛結) |
| | 上下半 ロックボルト (D22)@1.0 | 2.000E+08 | 3.870E-04 | 1.100E-08 | 梁要素 (両端ピン) |
| | インバート 吹付けコンクリート (t=15cm) + 鋼製支保工 (H-150) の合成部材 | 8.643E+06 | 1.500E-01 | 4.855E-04 | 梁要素 (両端剛結) |
| ④ | 上下半 吹付けコンクリート (t=25cm) + 鋼製支保工 (H-200) の合成部材 | 8.395E+06 | 2.500E-01 | 1.652E-03 | 梁要素 (両端剛結) |
| | 上下半 ロックボルト (D22)@1.0 | 2.000E+08 | 3.870E-04 | 1.100E-08 | 梁要素 (両端ピン) |
| | インバート 吹付けコンクリート (t=25cm) + 鋼製支保工 (H-200) の合成部材 | 8.395E+06 | 2.500E-01 | 1.652E-03 | 梁要素 (両端剛結) |

各パターンにおける、解析で使った支保部材の物性値を表-3に示す。本解析では、吹付けコンクリートと鋼製支保工を合成部材とし、合成部材の物性値を表-4のように算出し、解析に使用した。合成部材の物性値の算出で用いた吹付けコンクリートの弾性係数 (3.4 × 10⁶ N/m²) は、クリープ、乾燥収縮を考慮して、設計基準強度の1/3程度の等価弾性係数としている²⁾。

判定は吹付けコンクリート、鋼製支保工、それぞれ許容応力度法で行った。各部材で判定を行うために、合成部材で算出された曲げモーメント、軸力およびせん断力を各部材に分配する必要があるが、本解析では曲げモーメントはすべて鋼製支保工に、軸力およびせん断力については、部材の弾性係数および断面積から算出される分担率を用いて各部材に配分することとした (表-5)。

解析ステップは8段階 (上半掘削、上半支保設置、下半掘削、下半支保設置、インバート掘削、インバート支保設置、インバート埋戻し、上部

盛土 (高さ2mごと) とし、掘削による応力解放率は40%とした。盛土は高さ2mごとに载荷することとし、各部材に作用する応力が許容応力度を超過するまで計算を行った。

4-3 解析結果

支保パターン別の解析結果を表-6に示す。ま

表-6 解析結果

| 盛土高さ | 2m | 4m | 6m | 8m | 10m | 12m | 14m | 16m |
|--------|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 支保パターン | ① | OK | OK | NG | — | — | — | — |
| | ② | OK | OK | OK | NG | — | — | — |
| | ③ | OK | OK | OK | OK | NG | — | — |
| | ④ | OK | OK | OK | OK | OK | OK | NG |

表-4 合成部材の物性値

| 支保パターン | 支保工名称 | 支保工ピッチ (m) | 弾性係数 E (N/m ²) | 断面積 A (m ²) | 断面二次モーメント I (m ⁴) | 断面積* A* (m ² /m) | 断面二次モーメント* I* (m ⁴ /m) |
|--------|----------------------|------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| ① | 吹付けコンクリート (t=15.0cm) | — | 3.400E+06 | 1.470E-01 | 2.813E-04 | — | — |
| | 鋼製支保工 (H-125) | 1.0 | 2.000E+08 | 3.000E-03 | 8.390E-06 | — | — |
| | 合成部材 | — | 7.332E+06 | 1.500E-01 | 3.593E-04 | 1.500E-01 | 3.593E-04 |
| ② | 吹付けコンクリート (t=15.0cm) | — | 3.400E+06 | 1.470E-01 | 2.813E-04 | — | — |
| | 鋼製支保工 (H-125) | 1.0 | 2.000E+08 | 3.000E-03 | 8.390E-06 | — | — |
| | 合成部材 | — | 7.332E+06 | 1.500E-01 | 3.593E-04 | 1.500E-01 | 3.593E-04 |
| ③ | 吹付けコンクリート (t=15.0cm) | — | 3.400E+06 | 1.460E-01 | 2.813E-04 | — | — |
| | 鋼製支保工 (H-150) | 1.0 | 2.000E+08 | 4.000E-03 | 1.620E-05 | — | — |
| | 合成部材 | — | 8.643E+06 | 1.500E-01 | 4.855E-04 | 1.500E-01 | 4.855E-04 |
| ④ | 吹付けコンクリート (t=25.0cm) | — | 3.400E+06 | 2.436E-01 | 1.302E-03 | — | — |
| | 鋼製支保工 (H-200) | 1.0 | 2.000E+08 | 6.350E-03 | 4.720E-05 | — | — |
| | 合成部材 | — | 8.395E+06 | 2.500E-01 | 1.652E-03 | 2.500E-01 | 1.652E-03 |

注) 吹付けコンクリートと鋼材支保工は、等価剛性としてモデル化した。 * 奥行き1mあたりの値

$$E = (A_c E_c + A_s E_s) / A, I = (I_c E_c + I_s E_s) / E$$

E: 合成部材 (吹付けと鋼製支保工) の弾性係数 (kN/m²), A: 合成部材 (吹付けと鋼製支保工) の断面積 (m²), E_c: 吹付けコンクリートの弾性係数 (kN/m²), A_c: 吹付けコンクリートの断面積 (m²), E_s: 鋼製支保工の弾性係数 (kN/m²), A_s: 鋼製支保工の断面積 (m²)

表-5 軸力・せん断力分担率

| 支保パターン | 支保工名称 | 支保工ピッチ (m) | 弾性係数 E (N/m ²) | 断面積 A (m ²) | 軸力・せん断力分担率 |
|--------|----------------------|------------|----------------------------|-------------------------|------------|
| ① | 吹付けコンクリート (t=15.0cm) | — | 3.400E+06 | 1.470E-01 | 0.45 |
| | 鋼製支保工 (H-125) | 1.0 | 2.000E+08 | 3.000E-03 | 0.55 |
| | 合成部材 | — | 7.332E+06 | 1.500E-01 | 1.00 |
| ② | 吹付けコンクリート (t=15.0cm) | — | 3.400E+06 | 1.470E-01 | 0.45 |
| | 鋼製支保工 (H-125) | 1.0 | 2.000E+08 | 3.000E-03 | 0.55 |
| | 合成部材 | — | 7.332E+06 | 1.500E-01 | 1.00 |
| ③ | 吹付けコンクリート (t=15.0cm) | — | 3.400E+06 | 1.460E-01 | 0.38 |
| | 鋼製支保工 (H-150) | 1.0 | 2.000E+08 | 4.000E-03 | 0.62 |
| | 合成部材 | — | 8.643E+06 | 1.500E-01 | 1.00 |
| ④ | 吹付けコンクリート (t=25.0cm) | — | 3.400E+06 | 2.436E-01 | 0.39 |
| | 鋼製支保工 (H-200) | 1.0 | 2.000E+08 | 6.350E-03 | 0.61 |
| | 合成部材 | — | 8.395E+06 | 2.500E-01 | 1.00 |

$$\alpha_c = (A_c E_c) / E A, \alpha_s = (A_s E_s) / E A$$

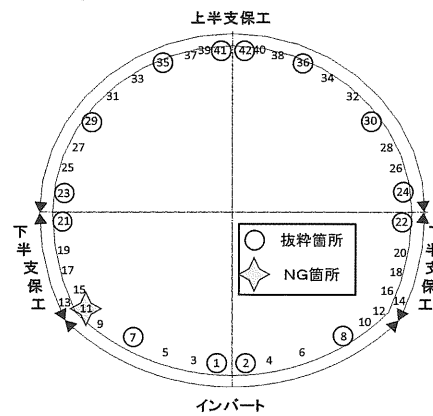
E: 合成部材 (吹付けと鋼製支保工) の弾性係数 (kN/m²), A: 合成部材 (吹付けと鋼製支保工) の断面積 (m²), E_c: 吹付けコンクリートの弾性係数 (kN/m²), A_c: 吹付けコンクリートの断面積 (m²), E_s: 鋼製支保工の弾性係数 (kN/m²), A_s: 鋼製支保工の断面積 (m²)

表-7 吹付けコンクリート応力(③パターン・盛土高さ10m)(一部部材抜粋)

| | 部材番号 | 曲げモーメント M(kNm) | 軸力 N(kN) | せん断力 S(kN) | 断面積 A(mm ²) | 軸応力度 σ_c (N/mm ²) | せん断応力度 τ (N/mm ²) | 許容応力度(軸方向) σ_{ca} (N/mm ²) | 許容せん断応力度 τ_a (N/mm ²) | 判定 | |
|-------|------|----------------|----------|------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---|--|------|----|
| 上半支保工 | 23 | 0.000 | 391.313 | -4.388 | 146,000 | 2.68 | 0.03 | 3.00 | 0.40 | OK | |
| | 29 | 0.000 | 416.969 | 0.222 | 146,000 | 2.86 | 0.00 | 3.00 | 0.40 | OK | |
| | 35 | 0.000 | 325.857 | 0.442 | 146,000 | 2.23 | 0.00 | 3.00 | 0.40 | OK | |
| | 左天端 | 41 | 0.000 | 249.063 | 0.062 | 146,000 | 1.71 | 0.00 | 3.00 | 0.40 | OK |
| | 右天端 | 42 | 0.000 | 246.532 | 0.035 | 146,000 | 1.69 | 0.00 | 3.00 | 0.40 | OK |
| | | 36 | 0.000 | 315.507 | -0.433 | 146,000 | 2.16 | 0.00 | 3.00 | 0.40 | OK |
| | | 30 | 0.000 | 419.128 | -0.061 | 146,000 | 2.87 | 0.00 | 3.00 | 0.40 | OK |
| 下半支保工 | 24 | 0.000 | 429.185 | 2.889 | 146,000 | 2.94 | 0.02 | 3.00 | 0.40 | OK | |
| | 21 | 0.000 | 317.560 | 1.847 | 146,000 | 2.18 | 0.01 | 3.00 | 0.40 | OK | |
| | 左脚部 | 13 | 0.000 | 428.421 | 40.959 | 146,000 | 2.93 | 0.28 | 3.00 | 0.40 | OK |
| | 右脚部 | 14 | 0.000 | 352.344 | -10.548 | 146,000 | 2.41 | 0.07 | 3.00 | 0.40 | OK |
| インバート | 22 | 0.000 | 368.665 | -1.200 | 146,000 | 2.53 | 0.01 | 3.00 | 0.40 | OK | |
| | 11 | 0.000 | 475.638 | -7.784 | 146,000 | 3.26 | 0.05 | 3.00 | 0.40 | NG | |
| | 7 | 0.000 | 222.548 | 0.300 | 146,000 | 1.52 | 0.00 | 3.00 | 0.40 | OK | |
| | 左底部 | 1 | 0.000 | 98.294 | -0.252 | 146,000 | 0.67 | 0.00 | 3.00 | 0.40 | OK |
| | 右底部 | 2 | 0.000 | 90.597 | 0.168 | 146,000 | 0.62 | 0.00 | 3.00 | 0.40 | OK |
| | 8 | 0.000 | 165.700 | -0.381 | 146,000 | 1.13 | 0.00 | 3.00 | 0.40 | OK | |
| | 12 | 0.000 | 368.106 | 4.595 | 146,000 | 2.52 | 0.03 | 3.00 | 0.40 | OK | |

た、支保パターン③において、許容応力度を超過したケース(盛土高さ10m)の吹付けコンクリートおよび鋼製支保工の応力を表-7,8に示す。吹付けコンクリート・鋼製支保工ともに、左脚部の応力が許容応力度を超過する結果となった。また、他の支保パターンにおいても同様の傾向であった。これは、断面右側の盛土高が大きいために偏圧がかかり、弱点となりやすい左側の接合部で許容応力度を超過したものと考えられる。

解析後、処分場の盛土計画について、再度、事業者ヒアリングを行った。それによると、年間約1万m³の盛土を行う計画にしているとのことであった。掘削から覆工完了までの盛土量は、最大約1.7万m³と想定されたが、余裕を考慮して2万m³とし、これを現地地形に盛土した場合、当該区間で最大13mの盛土高さとなると想定されたため、14mまで盛土可能な支保パターン④を採用することとした。採用したトンネル断面図を図-5に示す。



5 掘削

5-1 掘削

当該区間は、区分地上権設定を行っているが、区分地上権設定の契約条件には、通常の操業に制限を与えるものではなく、トンネル施工中も処分場が稼働し、作業員やダンプトラックなどの通行が行われていることから、事業者より処分場の操業に対する安全対策を求められた。そこで、以下の

表-8 鋼製支保工応力(③パターン・盛土高さ10m)(一部部材抜粋)

| | 部材番号 | 曲げモーメント M(kNm) | 軸力 N _c (kN) | せん断力 S _c (kN) | 断面積 A _c (mm ²) | 断面係数 Z _c (mm ³) | 曲げ応力度 M/Z _c (N/mm ²) | 軸応力度 N/A _c (N/mm ²) | (軸方向) 組合せ応力度 σ_c (N/mm ²) | せん断応力度 τ (N/mm ²) | (軸方向) 許容応力度 σ_{ca} (N/mm ²) | 許容せん断力 τ_a (N/mm ²) | 判定 | |
|-------|------|----------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--|---|--|--|------------------------------------|--|--------------------------------------|-------|----|
| 上半支保工 | 23 | 5.068 | 638.459 | -7.159 | 4,000 | 216,000 | 23.5 | 159.6 | 183.1 | 1.8 | 210.0 | 120.0 | OK | |
| | 29 | -2.395 | 680.319 | 0.363 | 4,000 | 216,000 | 11.1 | 170.1 | 181.2 | 0.1 | 210.0 | 120.0 | OK | |
| | 35 | -0.236 | 531.662 | 0.722 | 4,000 | 216,000 | 1.1 | 132.9 | 134.0 | 0.2 | 210.0 | 120.0 | OK | |
| | 左天端 | 41 | 2.378 | 406.367 | 0.102 | 4,000 | 216,000 | 11.0 | 101.6 | 112.6 | 0.0 | 210.0 | 120.0 | OK |
| | 右天端 | 42 | 2.519 | 402.237 | 0.056 | 4,000 | 216,000 | 11.7 | 100.6 | 112.2 | 0.0 | 210.0 | 120.0 | OK |
| | | 36 | 1.245 | 514.775 | -0.706 | 4,000 | 216,000 | 5.8 | 128.7 | 134.5 | 0.2 | 210.0 | 120.0 | OK |
| | | 30 | -1.587 | 683.841 | -0.099 | 4,000 | 216,000 | 7.3 | 171.0 | 178.3 | 0.0 | 210.0 | 120.0 | OK |
| 下半支保工 | 24 | -4.134 | 700.248 | 4.713 | 4,000 | 216,000 | 19.1 | 175.1 | 194.2 | 1.2 | 210.0 | 120.0 | OK | |
| | 21 | -5.068 | 518.125 | 3.014 | 4,000 | 216,000 | 23.5 | 129.5 | 153.0 | 0.8 | 210.0 | 120.0 | OK | |
| | 左脚部 | 13 | -24.203 | 699.002 | 66.828 | 4,000 | 216,000 | 112.1 | 174.8 | 286.8 | 16.7 | 210.0 | 120.0 | NG |
| | 右脚部 | 14 | 6.314 | 574.876 | -17.209 | 4,000 | 216,000 | 29.2 | 143.7 | 173.0 | 4.3 | 210.0 | 120.0 | OK |
| インバート | 22 | 0.295 | 601.505 | -1.957 | 4,000 | 216,000 | 1.4 | 150.4 | 151.7 | 0.5 | 210.0 | 120.0 | OK | |
| | 11 | 11.068 | 776.041 | -12.699 | 4,000 | 216,000 | 51.2 | 194.0 | 245.3 | 3.2 | 210.0 | 120.0 | NG | |
| | 7 | -0.324 | 363.104 | 0.489 | 4,000 | 216,000 | 1.5 | 90.8 | 92.3 | 0.1 | 210.0 | 120.0 | OK | |
| | 左底部 | 1 | -0.629 | 160.375 | -0.411 | 4,000 | 216,000 | 2.9 | 40.1 | 43.0 | 0.1 | 210.0 | 120.0 | OK |
| | 右底部 | 2 | -1.277 | 147.815 | 0.275 | 4,000 | 216,000 | 5.9 | 37.0 | 42.9 | 0.1 | 210.0 | 120.0 | OK |
| | 8 | 0.559 | 270.353 | -0.622 | 4,000 | 216,000 | 2.6 | 67.6 | 70.2 | 0.2 | 210.0 | 120.0 | OK | |
| | 12 | 2.839 | 600.594 | 7.496 | 4,000 | 216,000 | 13.1 | 150.1 | 163.3 | 1.9 | 210.0 | 120.0 | OK | |

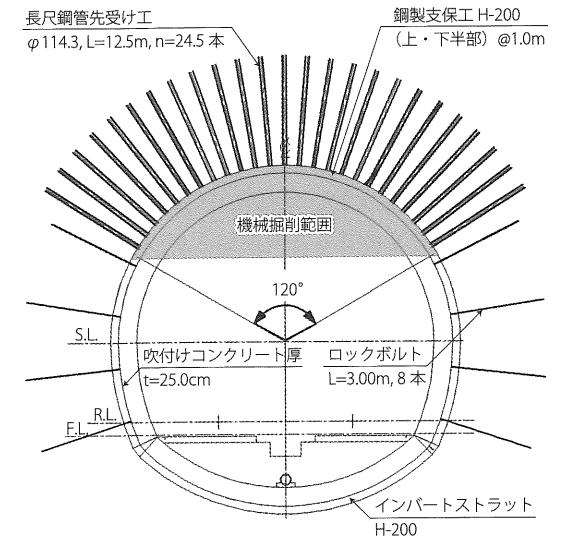
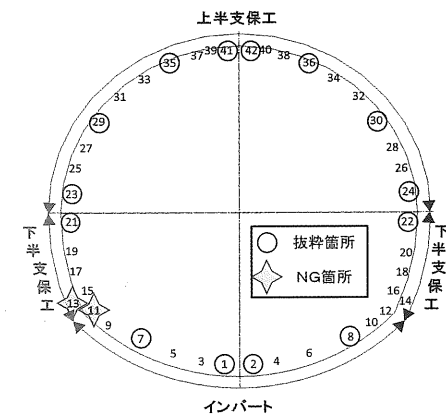


図-5 トンネル断面図

ショートベンチカット工法に変更した。
③ 長尺鋼管先受け工(鋼管径φ114.3mm, 延長L=12.5m)を行った。

対策を行い、掘削を行った。

- ① 当該区間はトンネル上部の固結度が低く、地山のゆるみを抑制する必要があるため、それまでの全断面発破掘削から、トンネル上部は機械掘削、下部は発破掘削に切替えた。
- ② 補助ベンチ付き全断面工法から上半先進

当該区間の切羽状況写真を写真-1に示す。切羽全体が凝灰角礫岩で占められており、左は砂岩質と頁岩質の互層からなっていた。亀裂が密に発達し、剝離しやすい状況であったが、岩質自体は固く自立しており、切羽は安定していた。

5-2 計測

当該区間の施工にあたっては、地表面沈下測定、内空変位測定および天端沈下測定を行い、管理基準値を設けて管理した。地表面沈下測定はトンネル中心について5mごとに、内空変位測定および天端沈下測定は10mごとに実施した。管理基準値は、当該区間のボーリングコアの試験で得られた一軸圧縮強度から限界ひずみを求めて設定した。

設定した管理基準値を表-9に示す。管理基準値はレベルⅠ～Ⅲの3段階で設定した。変位がレベルⅠに達した場合は上半をすべて機械掘削とすることとし、地表面沈下がレベルⅡに達した際は、鋼管先受け工のシフトを9mから6mに変更、内空変位および天端沈下がレベルⅡに達した際は、ミニベンチカット工法に変更し早期閉合を行うこととした。

当該区間における地表面沈下の最大沈下量は10.2mmであった。また、内空変位は最大18.3mm、天端沈下量は最大10.4mmであった。地表面沈下、内空変位、天端沈下のいずれも管理基準値レベルⅠ以内であった。また、内空変位および天端沈下について、掘削が完了した現時点におけるFEM解析値と計測値の比較を表-10に示す。今後、覆工完了まで変位を抑える必要があるが、現時点においては、管理基準値や解析値に対して変位が小さく、選定した支保パターンは適正であると考えている。今後の盛土を踏まえ、計測管理を引続き行っていく。

6 おわりに

当該区間は、掘削から覆工完了までに処分場の盛土がされるため、その盛土荷重を考慮して支保パターンの検討を行った。本検討により、トンネ

表-9 管理基準値

| 管理基準値 | 天端沈下(mm) | 内空変位(mm) | 地表面沈下(mm) |
|-------|----------|----------|-----------|
| レベルⅠ | 12.0 | 24.0 | 17.1 |
| レベルⅡ | 23.9 | 47.8 | 34.2 |
| レベルⅢ | 35.9 | 71.8 | 51.3 |

表-10 解析値と計測値

| | 天端沈下 T(mm) | 内空変位 H(mm) |
|-----|---------------|---------------|
| 解析値 | -6.8 | -21.0 |
| 計測値 | -2.0 | -16.0 |

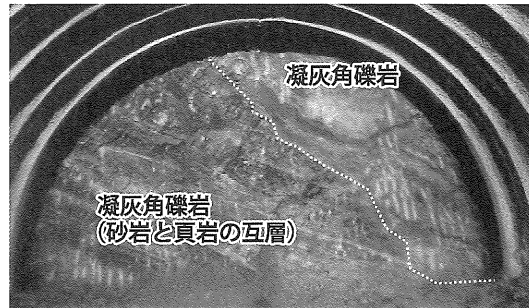
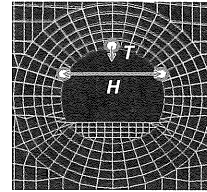


写真-1 切羽写真(武雄温泉起点2km498m)

ル施工と同時期に策定される直上の盛土計画などに対する設計施工法を整理できたと考える。掘削完了時点では大きな変位は出ていないが、直上での処分場の盛土はまだ行われていない状況であり、これから盛土されることとなる。今後も引続き計測管理および経過観察を行っていく。

最後に、日ごろより多くの課題に対して貴重なご意見とご指導を賜っている「九州新幹線(西九州)トンネルの設計施工に関する検討委員会」の委員各位に厚く感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 上垣誠・権藤稔・清水茂男：産業廃棄物処分場で40m盛土する小土かぶりトンネルの設計，九州新幹線西九州ルート 武雄トンネル，トンネルと地下，Vol.46，No.1，pp.41-47，2015.1.
- 2) 鉄道・運輸機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説，2008.4.

施工

脆弱泥岩層における切羽後方での大崩落

—上信越自動車道 金谷山トンネル—

東日本高速道路(株)信越工事事務所上越工事長 桑原和夫
 (株)森組金谷山トンネル工事作業所現場代理人 日野秀国
 (株)森組土木事業本部技術部担当部長 田中章

1 はじめに

上信越自動車道(信濃町～上越JCT間)4車線化事業は「安全・安心・快適・便利な高速道路」をコンセプトに、①交通集中による渋滞の緩和、②暫定2車線による対向車線への飛出し事故防止、③冬期における登坂不能対策(通行帯の確保)をおもな目的に、早期完成を目指して現在事業を進めている(図-1)。本稿は、4車線化事業のうち、金谷山トンネル工事で発生したトンネル崩落の概要、調査、対策工について報告する。

2 工事概要

金谷山トンネルは上越高田IC～上越JCT間に

位置する全長355mのトンネルで、機械掘削方式により起点側より片押しにて施工を始めた。

起点側坑口部には北陸新幹線高田トンネルが約17.2m直下に交差していることより、Ⅱ期線トンネル施工に伴う新幹線トンネルへの影響についてFEM解析を行い、影響範囲および掘削工法の検討を実施した結果、「早期閉合法(インバートストラット付き)」により施工を行う計画となっていた。

3 地形・地質概要およびⅡ期線の計画支保パターン

当該地域の地質は^{のうだに}能生谷層と呼ばれる第三紀中新世に乱泥流により海底に堆積した砂岩泥岩互層

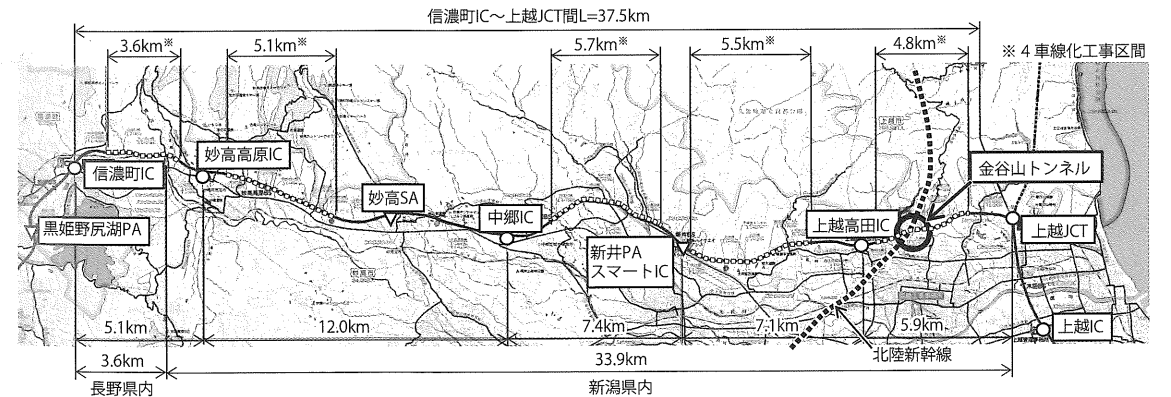


図-1 位置図

より構成されている。

地質構造は郷津海岸から難波山へと連なる難波山背斜(褶曲構造)に支配され、その東翼に位置するため走向北西-南東、北東方向へ約30°弱傾斜した同斜構造を呈している。

こうした地形・地質の成因およびI期線の施工記録(切羽観察、内空変位、補助工法、支保パターン)をもとにII期線の支保パターン、施工方法が計画された。

I期線施工時の最大変位は46mmとされており、増しボルトにより対応した記録があり、隣接するII期線トンネルにおいても同程度の変位が発生すると想定していた。図-2に地質縦断面図および支

保工パターン(当初計画)、図-3に既設の新幹線トンネル位置関係を示す。

施工にあたっては既設構造物に与える影響をリアルタイムに把握するために、I期線、新幹線トンネル内に変位計、応力計などを設置し、観測施工をすることとした。

4 崩落経緯と状況

4-1 経緯(施工状況、変位状況)

掘削は起点側より片押しで2014(平成26)年7月より開始した。I期線と同様に坑口から土かぶり2Dまでの範囲は、DIIIパターン(インバートストラット付き早期閉合方式)で施工を行った。切

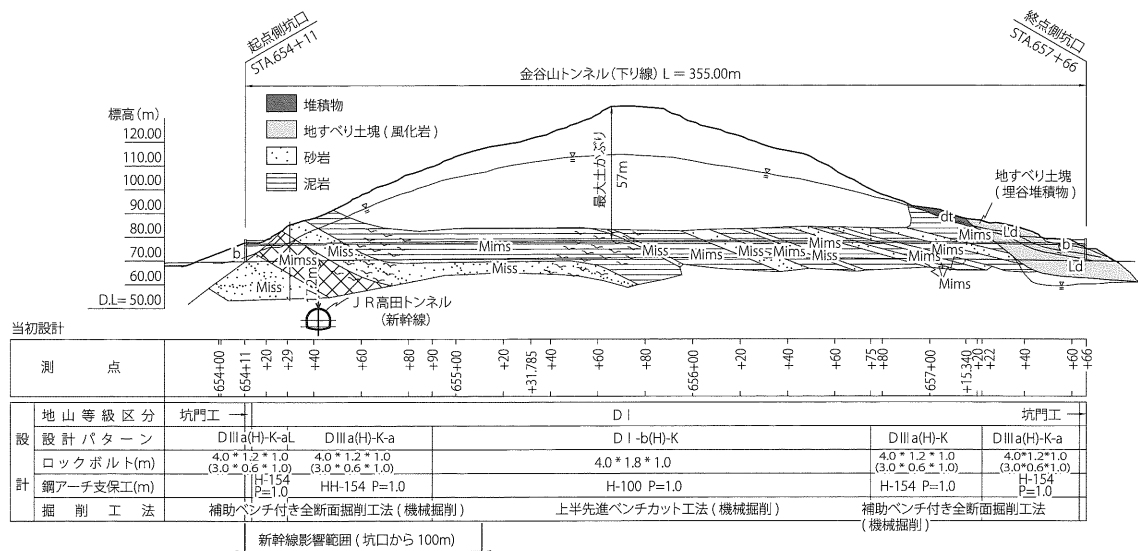


図-2 地層縦断面図

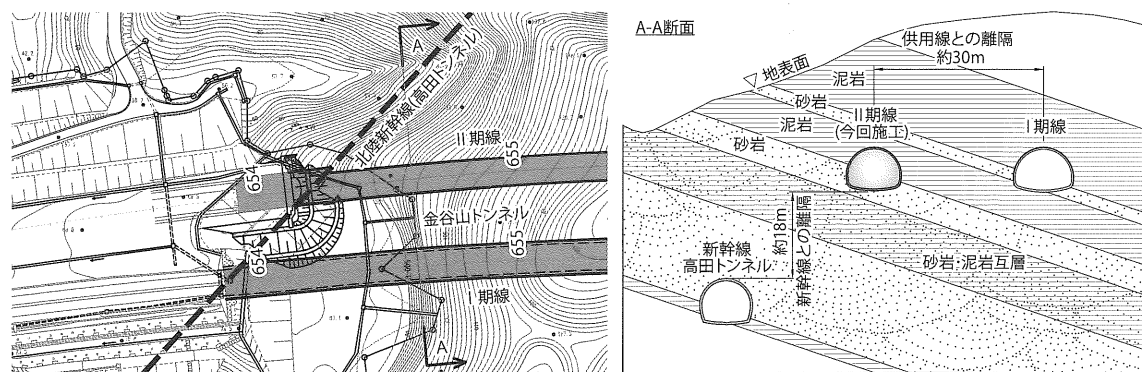


図-3 新幹線トンネル位置図

羽は想定どおり泥岩および泥岩優勢の砂岩泥岩互層が出現した。掘削直後の切羽は自立し、湧水も滴水程度であったことより天端沈下、内空変位量も最大10mm程度で、早期閉合工法の効果もあり、当初設定した管理レベルIの範囲(20mm)で収束していた。

DIII区間を通過し、トンネル支保パターンを上半先進工法によるDIパターンに変更して27mの掘削を進めた。この間、今までと同様な地質で、一部、天端の抜落ちはあったもののフォアボーリングで対応できる状況であった(最大変位量15mm)。

9月25日から上半切羽後方22mの83基支保工脚部において58mm(累計98mm)の急激な変位が発生したことより、切羽作業を中止し、83基支保工における吹付けコンクリートによる脚部補強作業を実施していた。しかし、25日13:36に上半右脚部より部分的な崩落が始まり、その後、天端の大崩落が発生した。

崩落直後にはI期線の目視確認を行うとともに、I期線および新幹線トンネルに設置した変位計測機器のデータを確認したが異常はなかった。

4-2 崩落状況

崩落後の調査より、地表面部に直径約15m×深さ4.5mの陥没が確認された(写真-1)。崩落の発生位置および切羽の崩落規模から判断して、今回の崩落土量は当初約800m³程度であると想定した(のちほどの調査結果より、今回の崩落規模は約1,400m³の大崩落であることが判明)。写真-2に坑



写真-1 地表面陥没状況

内崩落状況、図-4に崩落位置図を示す。

4-3 応急対応

崩落後の応急対策としては、切羽内の崩落土の滑動防止対策として吹付けコンクリート(t=70cm)を実施した。また、地表面陥没箇所の雨水などの浸水対策が喫緊であると判断し、一時対応としてブルーシートと土嚢および素掘り側溝を施工した。

その後の地表面陥没箇所の対策としては、陥没箇所と坑口部地上との高低差が約35mあり、斜面勾配も約35°あることを考慮し、圧送するための配管を行い、軽量コンクリートを打設することにより雨水などの浸水対策を行った。また、今後の地表面上の作業における安全性を確認するために陥没箇所周辺の簡易貫入試験を行い、地表面から6mまでは地山の緩みがないことを確認した。



写真-2 坑内崩落状況

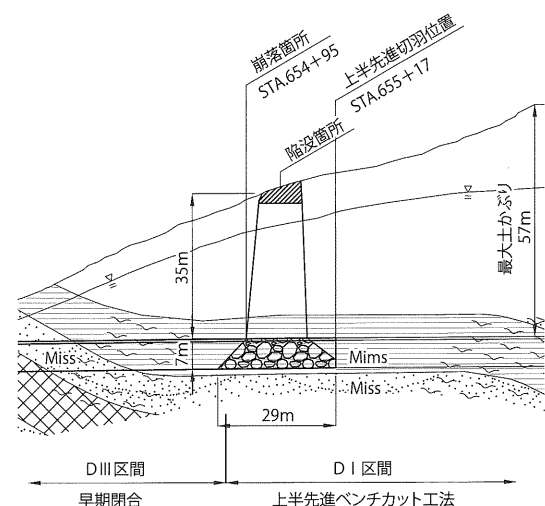


図-4 崩落位置図

その後、坑内からの対策として、切羽と崩落土との間に水が溜まり水圧による影響も懸念されたことより、切羽の両脚部に2本の水抜きボーリングを施工するとともに、崩落土のさらなる安定を図ることを目的に、現場で至急用意できるグラスファイバボルト(L=8.0m, 20本)による鏡補強を実施した。

また、切羽先端部と崩落土の間には空洞があることが坑内からの水平ボーリングで判明していることより、今後行う縫返し時の切羽の自立や崩落土全体の地山改良を目的に、セメントベントナイトによる注入を実施した。

5 トンネル崩落規模および緩み範囲の推定

5-1 坑内からの水平ボーリング

崩落規模を推定するにあたり、今回の崩落は切羽後方部約22m部より崩落が発生していることより、トンネル縦断方向のどの範囲が崩落しているか把握する必要があることから、切羽上部に水平ボーリング(L=24.0m, 2本)を行い、崩落範囲を把握した(図-5)。

5-2 調査ボーリングなど

崩落後の対策を検討する中でもっと

も重要となったのが、崩落範囲および崩落に伴う緩み範囲を把握することであった。このために地表面より斜めボーリング(L=45.0, 55.0m, 2本)を行うこととした。

また、今後の対応を検討していくうえで必要となる地質状況、層向、地山物性値(一軸圧縮強度、透水係数など)を把握するための鉛直ボーリング(L=52.0m, 1本)も同時に行った(図-6)。この鉛直ボーリング坑は今後縫返し作業を行っていくうえで、I期線への影響を把握するための坑内傾斜計として使用することとした。

5-3 弾性波探査

緩み範囲の特定およびI期線トンネル、新幹線トンネルへの影響度を把握するために、地表面より弾性波探査を行い、弾性波速度の違いによる状況の推定を行った(図-7)。

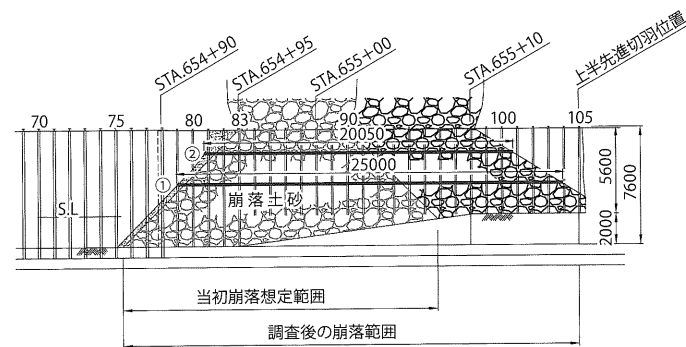
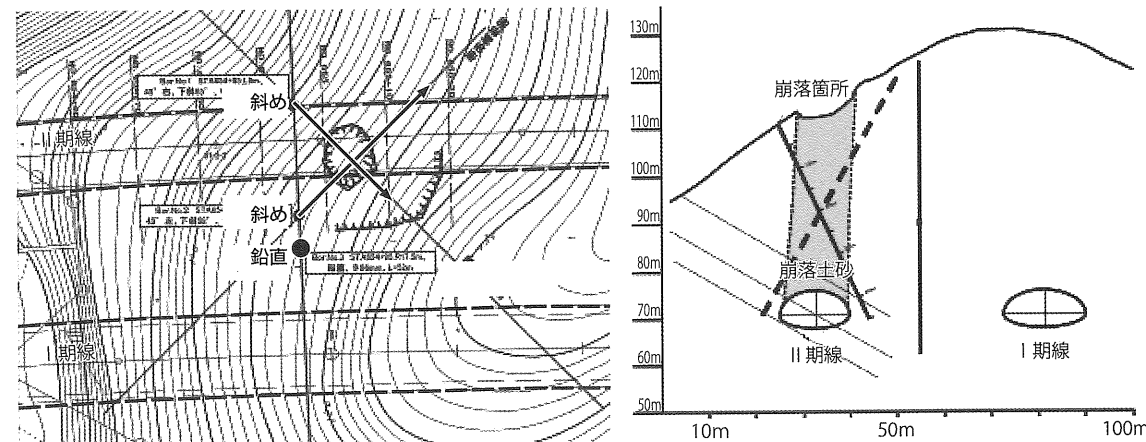


図-5 水平調査ボーリング



推定ゆるみ範囲を貫く2本の斜めボーリングをクロスで配置して行う。II期線の崩落箇所とI期線との間に1本鉛直ボーリングを行う。

図-6 調査ボーリング位置図

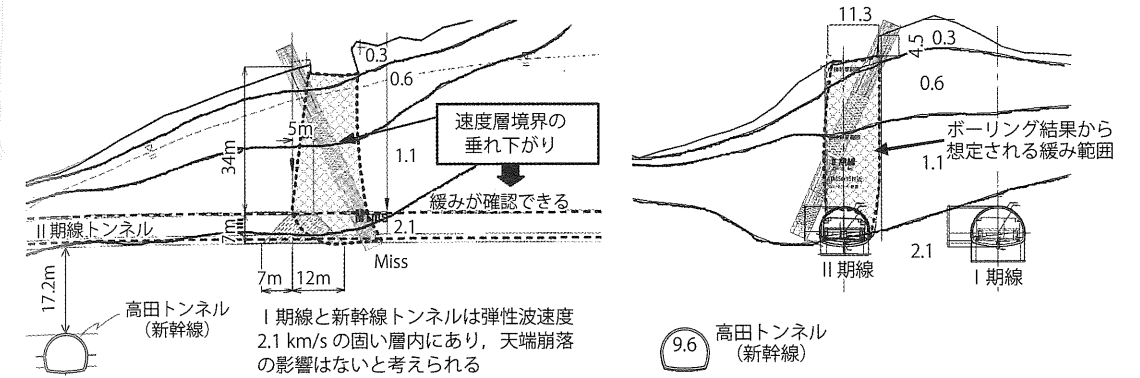


図-7 弾性波探査縦断・横断面

5-4 DRISS削孔探査

調査ボーリングでは崩落範囲の全体像が把握しきれないため、坑内より切羽斜め前方にDRISS削孔探査を実施した。この探査法はクロラジャンボを使用して削孔できるため、機械の入替えに時間を要しないことから状況を早期に把握できると考え実施した。

DRISS探査により削孔速度、エネルギーより緩み範囲を特定できると推定した。結果、削孔エネルギーの違いにより地山箇所および緩み範囲が確認できた(図-8)。

上記の各種調査結果を総合的に判断し、緩み範囲を想定した結果、当初想定した崩落土量(約800m³)をはるかに上回る約1,400m³の大崩落であることが判明した。

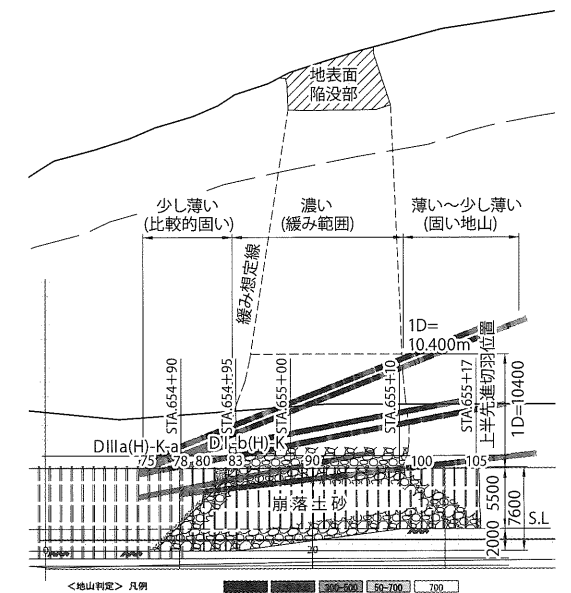


図-8 DRISS削孔探査結果

6 原因推定(スランプ層の存在)

ボーリング調査の結果より砂岩泥岩の互層部には海底地すべりにより未固結な砂岩・泥岩が不規則に堆積した「スランプ構造」が発達していることが判明した。このスランプ層は、その成因より、掘削時の切羽は自立するものの、時間の経過とともに応力解放を起こし、節理が発達し、強度が著しく低下するとともに浸水劣化を非常に起こしやすい特徴を持っている。

また、このスランプ層が褶曲構造形成時の際にひずみが集中する褶曲軸部にあることによる、強度劣化や翼部は堆積膨張や吸水により、劣化帯となっている可能性があることから、今回の崩落部

においては、こうした地質や構造帯に位置していることが判明した(図-9)。

以上より、今回の崩落に至った原因は、

- ① 地質的に応力解放および浸水により強度低下・スレーキングしやすい「スランプ層」が切羽の左肩から右脚部にかけて出現
- ② 掘削当初は上半掘削工法により自立したものの、とくに強度低下の著しい部分の地山が応力解放および降雨などの浸水により急激に強度低下し、応力のかかりやすい右脚部より崩壊と推定される。

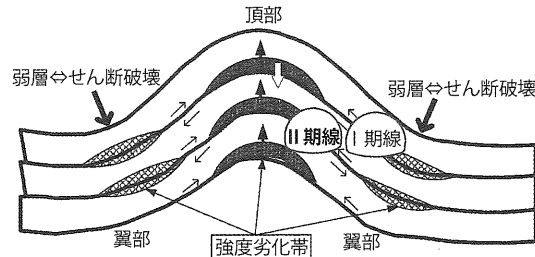


図-9 強度劣化帯の形成模式図

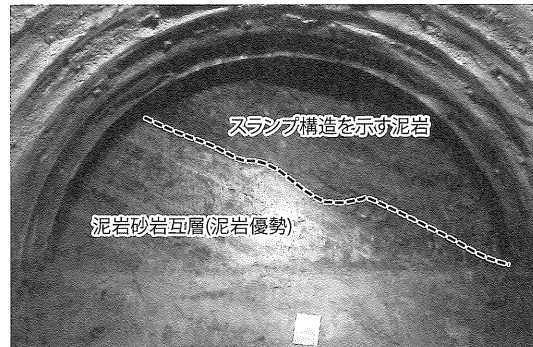


写真-3 STA.654+96切羽(上半に褶曲した泥岩)

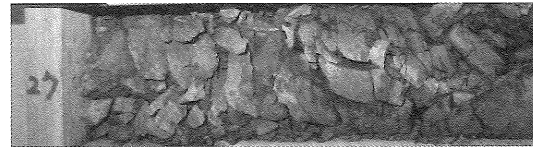


写真-4 応力解放により強度低下しやすい泥岩(27.10 m付近)

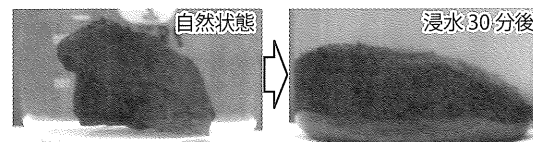


写真-5 泥岩浸水試験

7 対策工の設計・施工

7-1 基本方針の決定

対策工の基本方針としては、崩落による緩み範囲内にある空洞部の充填を行ってから掘削を再開することとした。空洞充填に関しては、

- ① 地上部からの注入
- ② トンネル坑内からの注入

の2案について、施工日数、注入の確実性、コストなどを総合的に比較検討した結果、今回の施工

条件では地上からの注入が最適であると判断した(表-1)。

7-2 空洞注入範囲および注入材料

空洞注入範囲は、以下を総合的に検討した結果、1Dとした。

- ① 崩落対策実施現場における実績
- ② 小土かぶり部におけるグラウンドアーチ形成のために必要な最小土かぶり(1D)
- ③ 厚肉円筒理論における土かぶり、土質定数より算出したトンネル掘削時に発生する塑性領域(この現場の条件より約10m)

空洞注入の基本的考え方としては、1次注入でセメントベントナイトを荒詰め材として注入し、2次注入で浸透性に優れた特殊スラッグ系材料(デンカ製品「MXグラウト」)を使用し、亀裂部細部まで充填させることとした。

施工を行っていく中で、多くの空洞も想定されることからセメントベントナイトが逸走することも想定された。こうした場合はゲルタイムが調整できる急結性グラウト材を使用することとした。

また、1Dより上部の緩み範囲については、今回の土質調査結果より将来にわたる周辺への影響(緩み範囲の拡大)も懸念されることから、セメントベントナイトにより空洞をなくすことを目的に注入を実施した(図-10)。

7-3 注入範囲・ピッチ・順序

注入範囲は調査結果から判明した緩み範囲を改良することとし、とくに崩落の原因となった切羽右脚部については注入ピッチを密にすることにより重点的な補強を行うこととした(図-11)。

実施工においては、注入施工順序は、まず右脚部を先行し、壁をつくることにより、その後の注入材がほかに回らないようにするとともに、注入箇所を離しながら定量管理で施工し、全体に注入材を充填してから圧注入を行うことで、効果的な充填ができるよう工夫した。

7-4 注入効果の確認

今回の注入の目的は、崩落により緩んだ地山にある空洞を密に充填することにより、地山が一体化し見かけの強度を上げることにあった。

表-1 対策工比較検討表

| 仕様 | 1案 崩落箇所上部からの鉛直施工 | | 2案 トンネル坑内からの斜め上向き施工 | |
|--------|--|--|---|---|
| | 凡例 | 断面配置図 | 凡例 | 断面配置図 |
| 利点と問題点 | <p>◆利点</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) 坑内からの斜め施工と比較して、本数が少なく工期が短い。 2) 鉛直施工であるため、確実な改良体を構築できる。 3) 緩み範囲①、②の注入が完了した段階で、トンネルの施工が早期に再開できる。 4) 施工範囲のアロケーションが容易で、削孔作業と注入作業のラップが可能である。 5) 坑外からの注入作業であるため、当作業時に新幹線交差部のインバートの施工が可能である(新幹線に対する補強対策)。 <p>◆問題点</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) 削孔機の移動が多くなる。 2) 坑上部までモノレールで資機材を運搬する必要がある。 3) 注入範囲(平面)をカバーする足場仮設が必要となる。 | <p>◆利点</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) 坑内の4か所からの施工となるため、削孔機の移動が少なくなる。また、仮設足場が小規模で対応可能である。 <p>◆問題点</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) 削孔ロッドが埋没した支保工に当たり、削孔不可能になる可能性がある。この場合、角度を変えて再施工となるため、工程が延びる(工程予測が困難)ことになる。 2) 注入が完了するまでトンネルの掘削を再開できないため、1案と比較して工程が長くなる(17日程度)。 3) 斜め配置のため注入孔配置の効率が悪く施工本数が多くなる。 4) 鉛直と比較して、削孔の施工性能が劣る。 | <p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> 緩み範囲①(崩落箇所トンネル付近) 1次注入:セメントベントナイト 2次注入:懸濁型凝結剤(MXグラウト) 緩み範囲②(崩落箇所〜切羽まで) 1次注入:セメントベントナイト 2次注入:懸濁型凝結剤(MXグラウト) 削孔箇所(切羽+5m) 削孔箇所(崩落箇所トンネル上部) 1次注入:セメントベントナイト | <p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> 緩み範囲③(崩落箇所トンネル付近) 1次注入:セメントベントナイト 2次注入:懸濁型凝結剤(MXグラウト) 緩み範囲④(崩落箇所〜切羽まで) 1次注入:セメントベントナイト 2次注入:懸濁型凝結剤(MXグラウト) |
| | <p>数</p> <p>総削孔長</p> <p>1次注入量</p> <p>2次注入量</p> <p>概算工期</p> <p>概算工事費(直)</p> <p>総合評価</p> | <p>48本</p> <p>2,037.6m(42.5m/本・平均)</p> <p>131,780L(緩み範囲⑤406,340L)</p> <p>527,145L</p> <p>67日</p> <p>1.00</p> <p>○</p> | <p>76本+α</p> <p>2,012.6m+α(26.5m/本・平均)</p> <p>131,780L(緩み範囲⑤406,340L)</p> <p>527,145L</p> <p>84日</p> <p>1.11</p> <p>×</p> | <p>76本+α</p> <p>2,012.6m+α(26.5m/本・平均)</p> <p>131,780L(緩み範囲⑤406,340L)</p> <p>527,145L</p> <p>84日</p> <p>1.11</p> <p>×</p> |

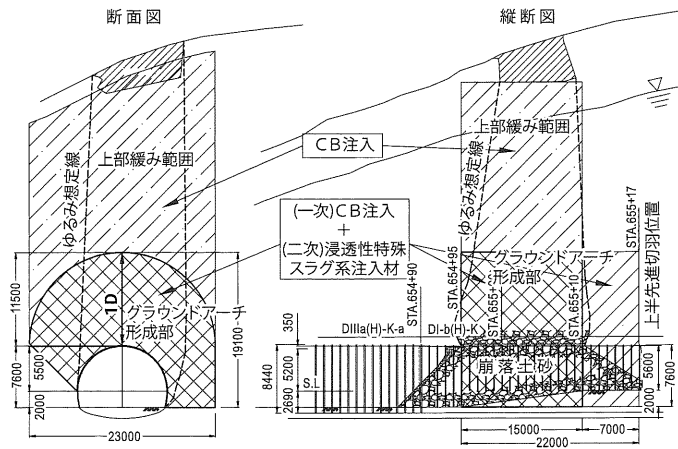


図-10 注入計画図

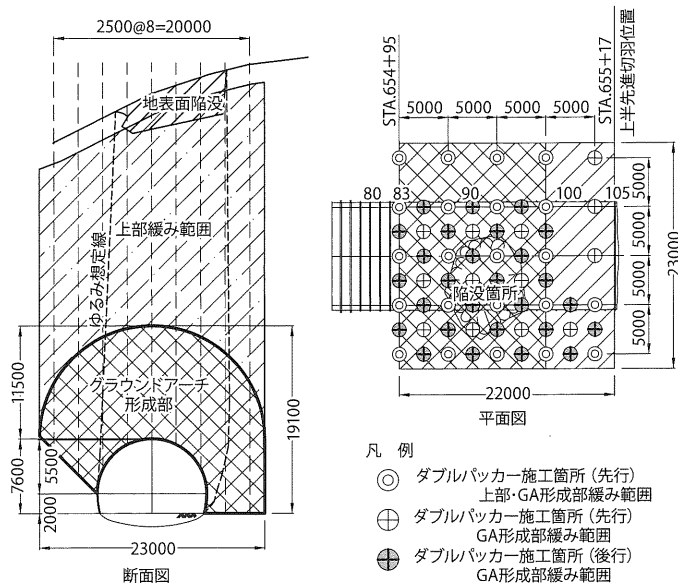


図-11 注入詳細計画図

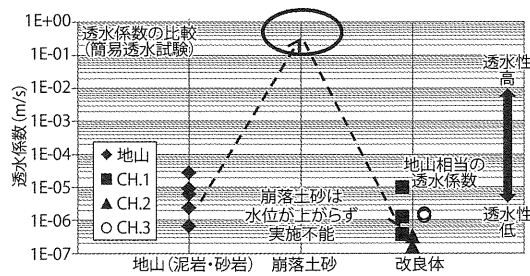


図-12 現場透水試験結果(改良前後の変化)

て、密になった地山は水の浸入がしづらくなることより、透水係数により注入効果の判断をすることとした。

崩落部における斜めボーリング施工時に簡易透水試験を行った結果、水位が上がらず実施不能の状態となったが、注入完了後に試験を行った結果、透水係数は $1.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ と、地山の透水係数 $2.0 \times 10^{-5} \sim 8.0 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ とほぼ同等以上の結果となり、この数値からも改良の効果があったと判断できた(図-12)。

7-5 縫返し区間における掘削方法

今回崩落した区間の縫返しについては、地上からの注入完了後、補助工法として長尺鋼管($\phi 114.3 \text{ mm}$, $L = 15.5 \sim 12.5 \text{ m}$, 4シフト, 120° 範囲)の先受け効果を期待し、地山前方からの緩みを防止することとした。切羽右脚部については通常使用する $\phi 114.3 \text{ mm}$ とすると改良範囲が広がってしまうことより、前方改良範囲を限定し効果を高めるために小口径先受け鋼管($\phi 76.3 \text{ mm}$, $L = 12.5 \sim 9.5 \text{ m}$, 4シフト)を施工することとした。

また、掘削開始に先立ち、現在の切羽位置後方約5m程度は今回の崩落により地山が緩んでいる可能性も考えられることより、注入式フォアポーリング($L = 6.0 \text{ m}$, 6断面, 204本, 4シフト)を実施するとともに、鏡面については長尺鏡ボルト($\phi 76.3 \text{ mm}$, $L = 12.5 \sim 9.5 \text{ m}$, 25~19本)により前方改良を実施した。

縫返し区間は掘削に伴う変位を早期に抑制する必要があることから「早期閉合工法」を採用することとした(図-13, 14)。

7-6 施工時の変位

実施工においては地上からの注入、補助工法による変位抑制効果により、内空変位も最大で5.9mm(SL付近)、天端沈下で6.4mm程度で収束した。また、切羽の改良効果を確認するためフェノールフタレン溶液による反応を見たところ、切羽全面

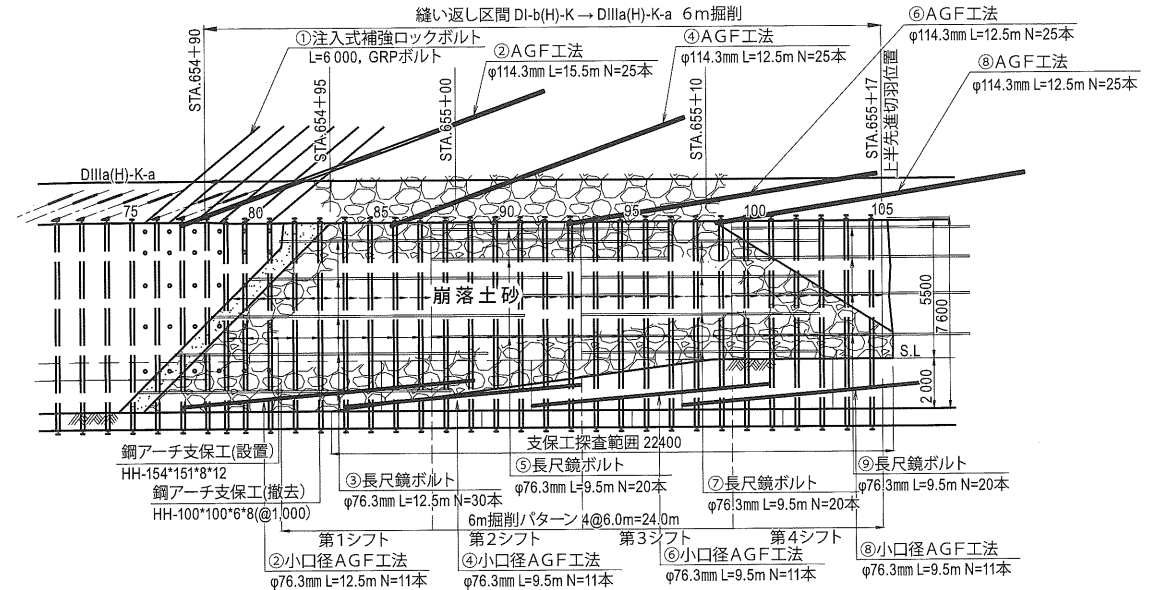


図-13 縫返し縦断面図

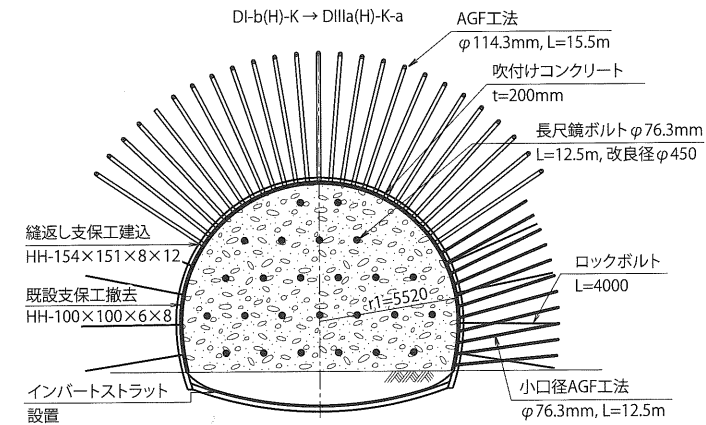


図-14 縫返し標準断面図

にわたり紫色に変化したことから改良効果を確認することができた。

縫返し区間の施工は2014(平成26)年12月17日より開始し、2015(平成27)年2月17日に完了した。

8 おわりに

II期線トンネルの施工にあたっては、I期線時の施工記録が非常に重要な情報源となるが、今回の崩落の要因となった「スランプ層」の存在は、I期線施工記録からの地質状況、変位、補助工法からは想定が難しい状況であった。今回の崩落により得られた教訓は今後同様な地質を施工するトンネル工事において非常に重要な情報となり、事前の準備、施工方法、管理基準の決定にフィードバックしていく所存である。

最後に、本工事にあたり、関係各位に多大なご協力をいただいたことを、この誌面をお借りして感謝申し上げます。

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



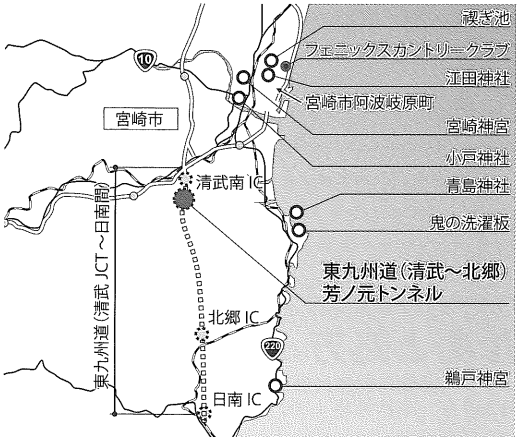
「古事記・日向神話」のまち宮崎より

壹岐 智成

建設業に携わるわれわれにとって非常に縁の深い神事に地鎮祭や安全祈願祭がある。この祭事では、はじめに神職が御饗物と参列者を清める祓詞を奉ずる。これは「掛まくも畏き 伊邪那岐大神 筑紫の日向の橘の小戸の阿波岐原に 禊祓へ給ひし時に 成りませる 祓戸大神等 諸諸の禍事罪穢 有らむをば 祓へ給ひ清め給へと 白す事聞食せと 恐み恐みも白す」と申し上げている。聞き慣れた言葉だと思いが、この意味をご存じだろうか？

「伊邪那岐神が筑紫の日向の橘の小戸の阿波岐原で禊ぎをしたときに生まれた神々を祓い清めください」という意味で、黄泉国から帰還した伊邪那岐が小戸の阿波岐原で禊ぎを行ったという古事記の逸話に由来している。実は、この禊ぎを行ったと伝わる「禊ぎ池」が宮崎市阿波岐原町にある。ここはフェニックスゴルフクラブ日南コース5番ホール隣の美しい松林の一角にあたる。さらに近くの日田神社は、その禊の際に生まれた天照大神ら三貴子などの誕生地と伝えられている。

古事記で語られる宮崎に関する神話は日向神話と呼ばれ、宮崎は神話と大和朝廷をつなぐ舞台となっている。日向神話では天孫降臨を果たしたニギノミコト、その息子で山幸彦として有名なホヲリノミコト、さらにはその息子で初代天皇とされる神武天皇の父にあたる



位置図



鬼の洗濯岩と青島

るウガヤフキアヘズノミコトの日向三代が宮崎の地で活躍する。この日向三代に縁の深い場所としては、ニギノミコトを祀る木花神社、ホヲリノミコトの宮跡の青島神社や海神国から帰った青島海岸(鬼の洗濯岩)、神武天皇が東征以前に宮を営んだ宮崎神社などがある。

芳ノ元トンネルは東九州自動車道(清武JCT~日南間)整備事業の一環として、神々が活躍した宮崎に計画された延長1,880mの2車線道路トンネルである。本トンネルは日南層群と呼ばれる軟弱な地層帯を通り抜けるため、施工は非常に難しい4つの問題を抱えている。①切羽の不安定化や大きな地山荷重の原因となる軟弱な地山、②地すべり、③可燃性ガス、④特定有害物質(ヒ素など)を含有する掘削土がそれにあたる。2008年4月からトンネル掘削を開始したものの2009年6月に工事中止、再調査・検討・設計期間を経て、2016年8月末現在でようやくトンネル延長の2/3にあたる1,270mに達した。われわれの担当する北工区は2016年9月に到達を迎える予定である。2017年の秋には反対工区からの迎掘りによって、ようやく貫通することになっている。

当工事は今後、工区境のインパートコンクリートと覆工コンクリートを施工して、2017年4月からは地すべりなどによって大きな変形が生じた起点側320m区間の縫直し施工を実施する予定である。芳ノ元トンネルに携わった10年間の集大成が2018年3月末を迎えられるよう所員一丸となって日々邁進していく所存である。

(五洋建設(株)芳ノ元トンネル工事事務所監理技術者)

施工

国内最大シールドの発進立坑を深度70.3mのニューマチックケーソンで構築

—東京外かく環状道路 東名JCT・本線シールド発進立坑—

中日本高速道路(株)東京支社東京工事事務所外環東名ジャンクション工事長 高松 大輔
 中日本高速道路(株)保全企画本部保全企画チームチームリーダー 合田 聡
 清水建設(株)土木東京支店土木第二部工事長 大野 裕嗣
 清水建設(株)土木技術本部設計部グループ長 遠藤 和雄

1 はじめに

東京外かく環状道路(以下、「本事業」)は、都心から約15kmの圏域を環状に連絡する延長約85kmの道路であり、首都圏の渋滞を緩和し、環境改善や円滑な交通ネットワークを実現するうえで重要な道路として位置づけられている(図-1)。

東京外かく環状道路東名JCT・本線シールドトンネル立坑工事(以下、「本事業」)は、このうち関

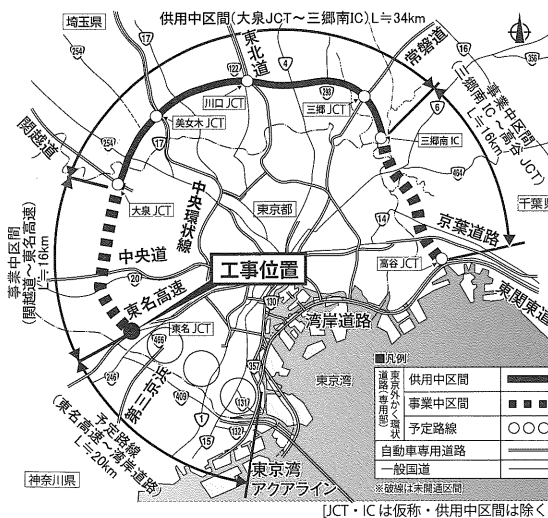


図-1 東京外かく環状道路事業

越自動車道から東名高速区間の大深度地下を活用した本線シールドトンネルの発進基地となる立坑工事であり、ニューマチックケーソン工法にて構築した。本稿では、おもに本工事の概要、構造上の特徴、施工方法について述べる。

2 立坑概要

立坑の形状を図-2に示す。立坑はニューマチックケーソン工法で施工され、平面寸法48.2m×28.1m(A=1,354m²)、深さGL-70.3mであり、内部は、シールドが発進する空間として利用するため、隔壁が1枚だけのシンプルな形状である。

なお、ここから発進するシールドの外径φ16.1mは国内最大である。

3 地形・地質概要

掘削地盤は表層地質として関東ローム層、沖積層、立川礫層により構成され、その下に更新世中期~後期の上総層群である「北多摩層」と呼ばれる固結シルト層(N値=50~150)が厚く堆積している。この北多摩層は、所々に細砂の薄層を挟在しつつも、おもに塊状の固結シルトで構成され、土質定数は一軸圧縮強度 $q_u=1,370\sim3,700\text{kN/m}^2$

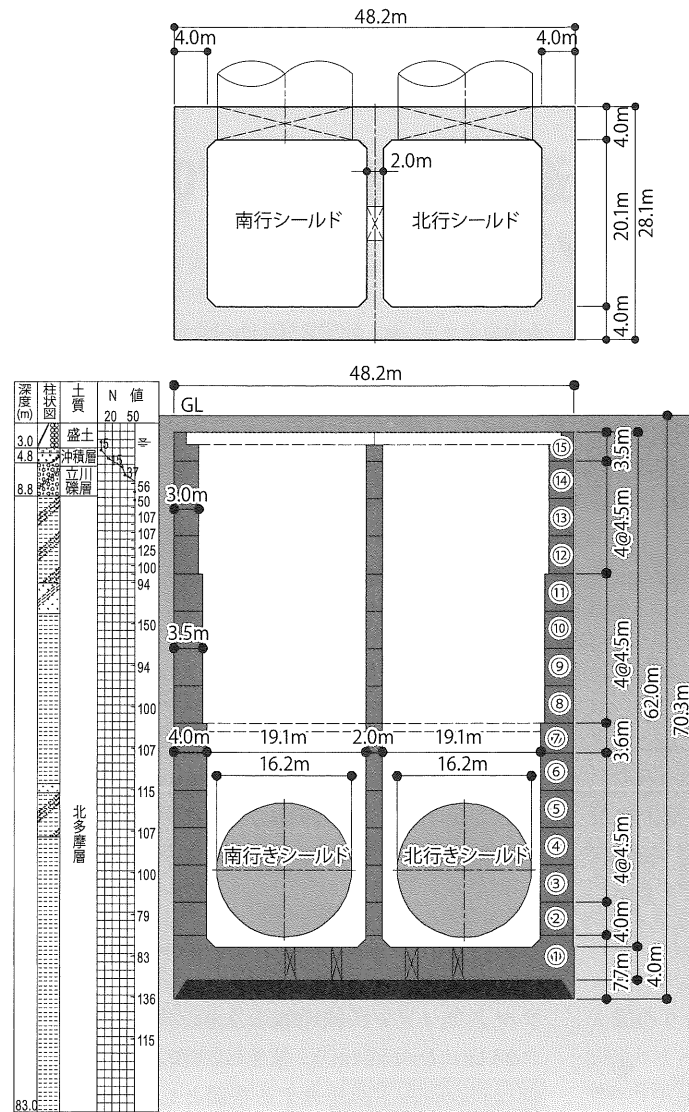


図-2 立坑の全体構造図

粘着力 $c = 681 \sim 1,700 \text{ kN/m}^2$, 変形係数 $E = 117 \sim 464 \text{ MN/m}^2$ である。

4 立坑の構造

下記に、立坑の構造的な特徴を4点紹介する。

(1) 特徴①：ニューマチックケーソン工法として国内3番目の深さ (GL-70.3m)

近年の道路、鉄道などの交通網は、「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法 (平成13年4月施行)」を受け、大深度化が進んでいる。本事業に

おいても、これを適用することで合理的なルートの設定と事業期間の短縮、供用後の騒音・振動の低減が見込まれた。これを受けて、立坑の深度はGL-70.3mとなり、これはニューマチックケーソン工法の施工実績として国内3番目となるものである。

(2) 特徴②：重たいケーソン自重

一般的に地下構造物は、地下水による浮力に対する安定性を確保するため、大きな浮力が作用する大深度、大面積ほど、これに抵抗できる大きな重量が必要となる。この立坑についても大深度・大面積であり、大きな重量が必要となったが、沈設完了後にシールドの発進による大開口 (シールド開口径 $\phi 16.2 \text{ m}$ (国内最大級) \times 4本 (予定路線である東名JCTより南側のトンネル2本を含む)) が重量として損失されてしまうことを考慮し、ケーソン沈設期間中は浮力に抵抗する重量だけでなく、この損失分の重量が加わることとなり、ケーソン構築完了時の重量は $947,000 \text{ kN}$ (底版厚 4.0 m , 最大壁厚 4.0 m) にもなる。

なお、 $1,000 \text{ m}^2$ を超えるような大面積ケーソンでは、高気圧作業室天井スラブのたわみ変形を抑制するため、吊桁と呼ばれる格子状の梁で補強する構造が多く採用されているが、重量の必要

なこのケーソンでは、吊桁を採用せず厚さで構造を確保する設計とした。

(3) 特徴③：シールド発進部の新構造の採用

シールドが発進する仮壁部には、シールドの切削施工性に配慮してSEW工法 (Shield Earth Retaining Wall System) を採用した。SEW工法は、シールドが通過する壁に、熱硬化性樹脂発泡体をガラス長繊維で強化したFFU材 (Fiber Reinforced Foamed Urethane) を接着積層して矩形の梁部材として形成したものを設置し、シールドに

よる仮壁の直接切削を可能とする工法である。図-3に仮壁の構造を、写真-1に仮壁の施工状況を示す。

従来のSEW工法は1方向のFFU材が単独で土水圧に抵抗する構造であったが、本立坑ではシールド開口径が 16.2 m と大きいうえ、土かぶり 60 m の大深度であるため、FFU材を単独で使用した場合、過大な仕様となった。そこでFFU材を格子形状に配置し、コンクリートとの合成構造として2方向版として設計を行った。さらに外周部はせん断力が支配的であるため、せん断補強用としてFFU材を追加し2段配置とし、発生断面の分布に合わせた合理的なFFUの仕様とした。

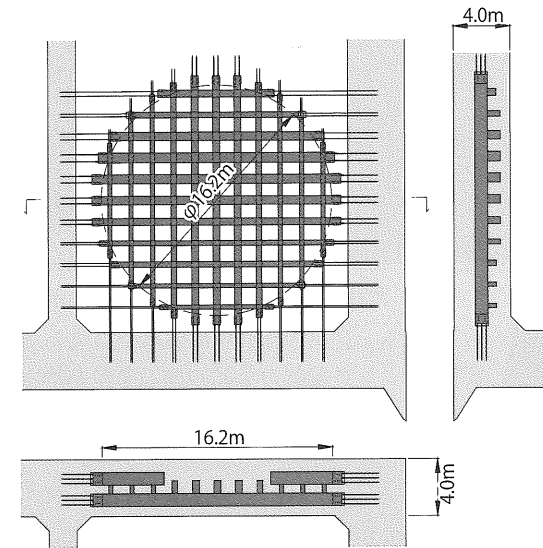


図-3 シールド発進仮壁部の構造 (SEW工法)

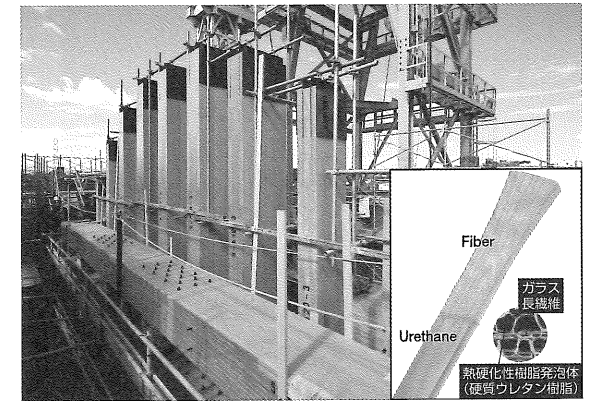


写真-1 シールド発進仮壁部 (SEW工法)

格子形状のFFU材とコンクリートの合成構造は本立坑で初めて採用されたものであり、計測管理を適切に行い設計の妥当性と安全性を確認しながら施工を実施した。

(4) 特徴④：3次元FEMによる躯体の構造設計
シールド工事用立坑はシールド開口上部にかまち梁を設置して、開口補強を行う構造が一般的であるが、本立坑ではシールドの施工性に配慮して有効内空をできる限り大きくするために、かまち梁を省略した設計を行った。

このかまち梁を省略した構造では、シールド開口周りの力の流れが複雑となることから、設計は、この力の流れを正確に再現できる3次元FEM解析を実施した。

検討ケースは完成後と施工時 (ケーソンに偏心を生じた状態として偏荷重を作用) の各ケースについて行った。

図-4にFEMモデルの概要を示す。FEMモデルでは、側壁部材が厚く、部材交差部の剛域の影響が無視できないことを考慮して、立坑躯体にソリッド要素を採用し、構造物の形状を忠実に反映した。また、地盤は非線形のばね要素でモデル化した。地盤ばねは、せん断方向を考慮すると発生断面力が小さくなり危険側の設計となることから、法線方向のみに設置することを基本とした。ただし施工時の検討ケースでは、作業室内に圧気が作用した状態で天井スラブと地盤が背接していないため、底面に地盤ばねを設けることが適切でない

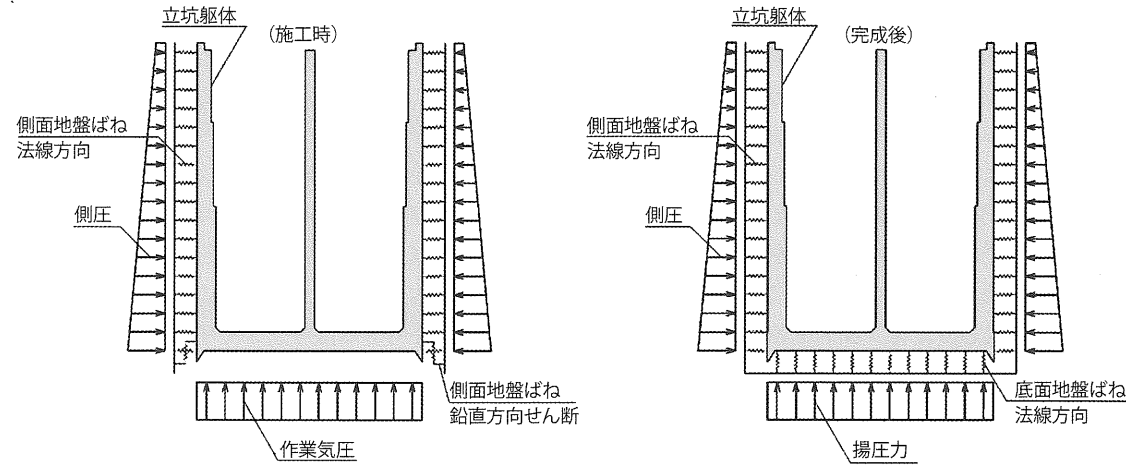


図-4 FEMモデルの概要

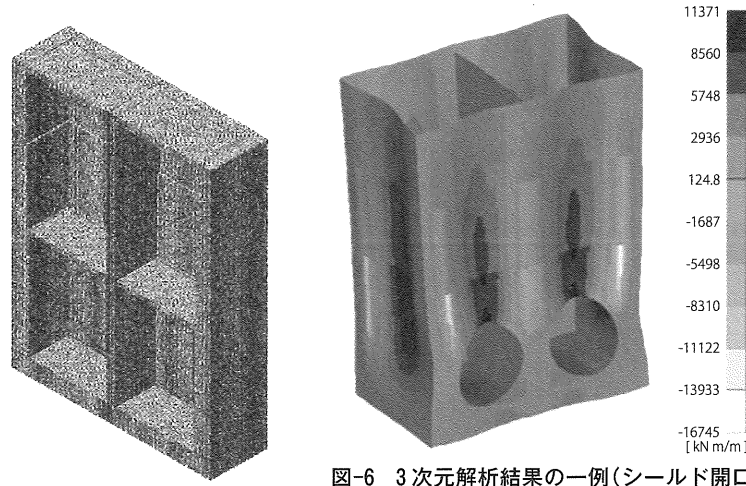


図-5 3次元FEMモデル

ことから、フリクションカットのない天井スラブの側面に鉛直方向のせん断ばねを設置した。図-5に3次元FEMモデルを示す。

FEM解析で得られた応力度や断面力を用いて、部材の照査を行い、配筋を決定した。図-6にFEM解析結果にもとづいて算出した水平方向の曲げモーメントのコンターを示す。この結果より、開口上部にかまち梁を設置しなくても、顕著な応力集中はみられずに滑らに応力が流れていることを確認し、開口部の大規模な補強を不要とすることができた。これにより、構造の単純化が可能となるとともに、施工性の向上にも寄与するものと考えた。

図-6 3次元解析結果の一例(シールド開口後の水平方向の曲げモーメント図)

するため温度応力解析を実施し、低熱セメントを使用することで、ひび割れ指数は目標とする1.75以上を満足できた。

また、底版はケーソン沈設中の圧気作業室の天井を兼ねているが、いったん、ひび割れが発生すると沈設中の漏気の原因となるばかりでなく、完成後も地下水の浸透経路となって構造物としての耐久性を低下させる要因となる。そのため、刃口斜め部および底版下面部には鋼板(写真-2)を設置した。底版のコンクリートの打設状況を写真-3に示す。

5-1-2 側壁の構築

側壁は底版と同様に厚さが4.0mあり、1ロット

5 立坑の施工

5-1 躯体構築工

5-1-1 底版の構築

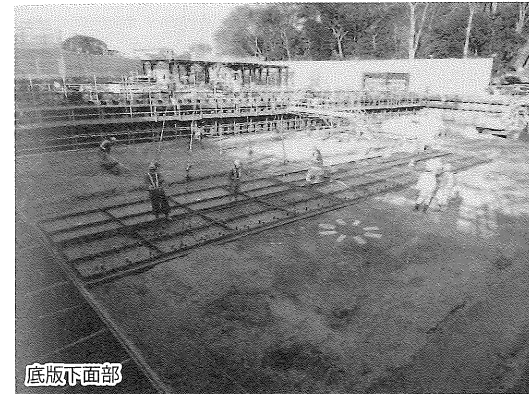
底版は厚さ4.0m、コンクリートの打設数量は約5,400m³に及ぶ。

コンクリートの打設は、ポンプ車の配置可能台数やプラント供給能力などの施工条件を踏まえ、厚さ2.0m×2回(2,700m³/1回)とした。

また、この条件でマスコンクリートとしてのひび割れを抑制



刃口斜め部



底版下面部

写真-2 鋼板設置状況

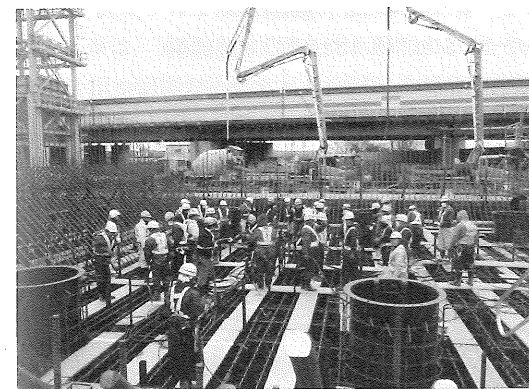


写真-3 コンクリート打設状況(底版)

の打設高さは4.5mの大断面である。立坑はこれを15ロット分くり返して立ち上げていくが、全体工程でこの側壁の構築がクリティカルとなった。

そこで、鉄筋は、あらかじめ工場でユニット化した足場兼用の組立架台(写真-4)を利用して高さ1.5m×3層の手順で組み立てるとともに、型枠はノンセパの大型ユニット型枠(写真-5)を使用し、

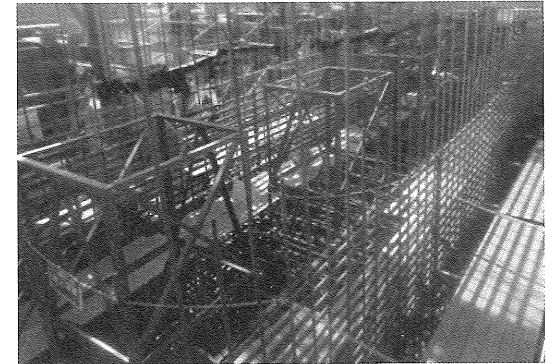


写真-4 足場兼用鉄筋組立架台設置状況

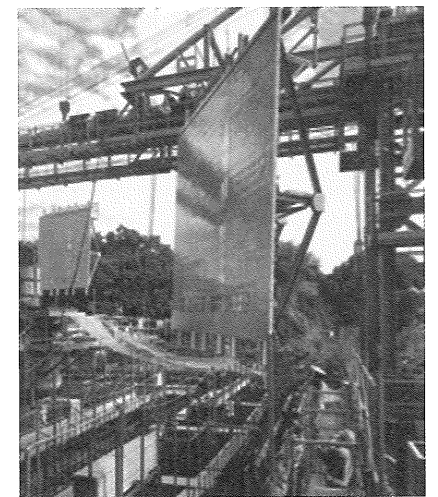


写真-5 大型ユニット型枠設置状況

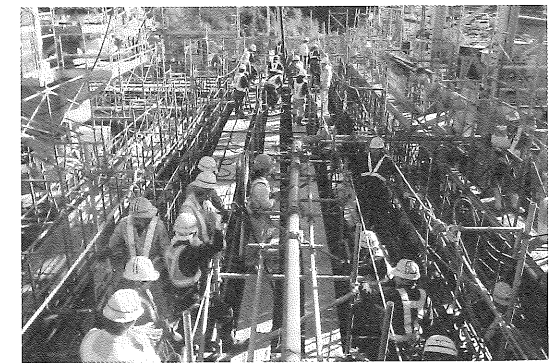


写真-6 コンクリート打設状況(側壁)

据付け回数を低減した。

これらの工夫により、1ロットあたりのサイクルタイムを3週間とし、構築工程を計画どおり実現することができた。側壁のコンクリートの打設

状況を写真-6に示す。

5-1-3 コンクリートの大量打設

底版、側壁とも、1回のコンクリート打設量は2,700m³にも及ぶうえ、周辺は住宅地という制約から打設時間は7:00~19:00までと限られていた。

そのため、同時に5つの生コン工場を使用することとし、異なる工場で練られた生コンが打込みにより混合されるのを極力避けるため、ポンプ車ごとに工場を分けて打設し、トレーサビリティが図れるようにした。もちろん、混合した場合でもその性能が確保されることを施工前試験にて確認を行った。

また、狭隘な施工ヤード内に生コン車の走行ルートを確認したうえで、ケーソンの外周にポンプ車9台を配置し、ブーム打設と配管打設を班ごとに使い分けて打設した。

コンクリート打設中は、ケーソン自重増加による傾斜や自沈の可能性があるので、レベルや刃口反力計、函内圧計などの各計測を継続的に実施することで、不測の沈下が発生しないように監視を行った。

5-1-4 温度ひび割れの抑制

底版、側壁とも厚さ4.0mのマスコンクリートであるため、低発熱型のセメントの使用とパイプクーリングにより、温度ひび割れの抑制を図った。

コンクリートの配合、打設時期、構築ロットにもとづき事前の温度応力解析を行い、最小ひび割れ指数が1.75以上となるようにクーリングパイプの配置間隔、通水量、通水期間などを計画した。冷却設備の設置状況を写真-7に、クーリングパイプの配管状態を写真-8に示す。

また、コンクリート内部および表面には温度計測のための熱電対を設置し、さらにひび割れ指数の実測のために応力計も設置した。

なお、施工は計画時の通水入口温度(25℃)よりも低めの温度で通水でき、全ロットで実測の最大温度が管理温度を下回るものとなった。ひび割れ指数も目標とする1.75以上を満足でき、躯体に有害な温度ひび割れは発生しなかった。

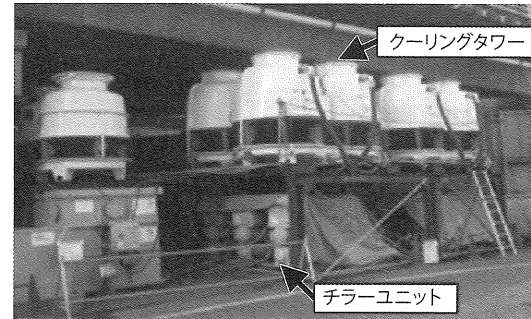


写真-7 冷却設備の設置状況(チラーユニットおよびクーリングタワー)

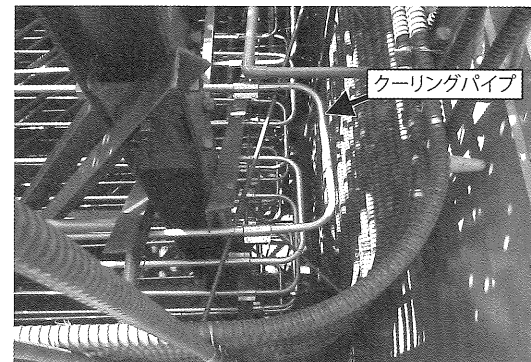


写真-8 クーリングパイプ配管の状況

5-2 ケーソン沈下掘削工

5-2-1 ショベル15台での急速掘削

沈下掘削は、ケーソンでは一般的に使用される天井走行ショベル(0.15m³)を使用し、早期に有人掘削から無人掘削へと切り替えた(写真-9, 10)。有人掘削作業は、所定の減圧・休憩時間および掘削・排土時間を最大限に確保できるように変則3交代制で施工した。通常、無人掘削は作業気圧0.18MPaから実施するが、本工事では安全性確保のため0.10MPaから無人掘削を併用し、高気圧環境下での人力作業を低減した。さらに掘削が進み作業気圧が0.4MPaを超えた時点から、函内作業にはヘリウム混合ガスを使用した(写真-11, 12)。

なお、ケーソンの沈下が進み掘削が深くなるにつれ、構築よりも掘削が工程上のクリティカルとなることがわかっていたことから、この面積で標準的に使用されるショベル台数10台に対し15台のショベルを計画的に使用し、平均して3日に2回程度の頻度でケーソンを沈下させた。



写真-9 無人掘削(ショベルの遠隔操作)状況



写真-10 沈下掘削状況



写真-11 ヘリウム混合ガスを吸引しながらの函内作業

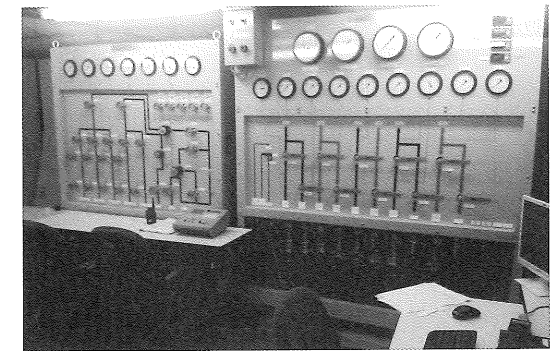


写真-12 ヘリウム混合ガス供給設備

5-2-2 固結シルト層の掘削手法と振動対策

当工事は、固結シルト層を沈下掘削するケーソンであり、躯体の急激沈下を抑制するための対策が必要であった。

一般に、ケーソン沈設時の振動を低下するためには、

対策①：ケーソンの沈下力を低減する

対策②：ケーソン作業室に緩衝材を設け沈設時の衝撃を緩和する

対策③：1回の沈設量を小さくする
の3つの対策が考えられる。

このうち、対策③については、既往の事例からも現実的な対策が困難であることに加え、沈設回数が多くなり工程遅延の要因にもなるため、主として、対策①と②を実施した。

(1) 対策①：気圧調整による沈下力の制御

ケーソンの沈下力(主として自重)は外壁の躯体コンクリート量で決まってしまうため、低減は不可能であるが、気圧はケーソンに上向きに作用す

ることから、これを大きくすることで沈下力を低減することができる。この効果を利用し、ケーソン作業室内に大きめの気圧を与えて沈下力の低減を図ることを実施した。

なお、固結シルト層の透水性係数は小さいため地下水の静水圧(理論気圧)とは大きく異なることも考慮し、与えた気圧が刃先下から漏気することのないように地下水面を露出させ直接確認しながら慎重に行った。

ただし、前述のように重量の大きなケーソンは、計画上最大の気圧を与えた場合でも、残りの沈下力は最大で280,000kNが残っており、気圧のみで振動を抑制するまでには至らなかった。

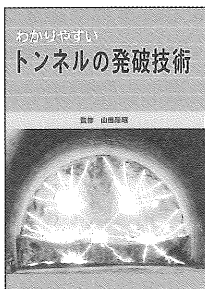
(2) 対策②：土砂クッションによる沈下時の衝撃緩和

作業室内で掘削地盤をあえて山形状に掘り残り、ケーソンが急激沈下した瞬間に、この掘り残した土砂の頂部が作業室の天井に衝突する瞬間のクッション効果に期待して、衝撃を吸収させる対

土木情報 No. 522

今月の主な入札結果 (10月10日～11月9日)

| 事業主体 | 工事名 | 請負会社 | 請負額 単位 百万円 |
|----------|---|-----------------|------------------|
| 東北地整 | R399十文字T | 安藤ハザマ | 5,832 |
| 関東地整 | 虎ノ門地下歩道その2 | 西松建設 | 2,080 |
| 近畿地整 | R25難波元町立坑復旧 | 大成建設 | 221 |
| 〃 | 大野油坂道路荒島第1T下唯野地区 | 安藤ハザマ | 3,238 |
| 鉄道・運輸機構 | 相鉄・JR直通線, 羽沢駅新築他 | 鉄建・NB・紅梅JV | 1,402 |
| 中日本高速道路 | 東京外かく環状道路中央JCT南 | 西松建設 | 14,032 |
| 西日本高速道路 | 湯浅御坊道路井関T | 戸田建設 | 3,226.3 |
| 日本下水道事業団 | 寝屋川市秦高宮雨水幹線建設 | 戸田・ハクシンJV | 2,675.9 |
| 都・水道局 | 練馬区大泉学園町4丁目地内から同区石神井台1丁目地内間送水管(2600mm)用T築造 | 東急・協和エクシオ・植木JV | 3,414.96 |
| 愛知県 | 地盤沈下対策事業木曾川用水地区管水路 | 加藤建設 | 1,380 |
| 〃 | 日光川下流域下水道事業管きょ敷設(大井工区) | 名工・河村・ワシノJV | 675.5 |
| 三重県 | 内径800mm配水管シールド(1期・末広) | 山野・中村JV | 702.73 |
| 〃 | 内径1200mm配水管シールド(4期・羽津) | 安藤ハザマ・高砂・矢野JV | 2,387.49 |
| 奈良県 | R169高取BP(仮称)清水谷T | 戸田・高崎JV | 1,533.16 |
| 山口県 | 県道岩国大竹線道路改良(森ヶ原第2T) | 井森・ミヤベ・ナルキJV | 1,410.79 |
| 福岡県 | 高尾川地下河川築造 | 安藤ハザマ・大豊・環境施設JV | 4,848 |
| 常総市 | 28国補浸下第3-1号・28市単浸下第3-1号合併, 流域関連公共下水道浸水対策下水道水路整備 | 新井土木 | 125 |
| つくば市 | 28国補公下第1号, 葛城第1汚水幹線管布設 | 高塚建設工業 | 101 |
| 足利市 | 地方創生道整備推進交付金事業市道鹿島山下通り道路改良 | 岩沢・増淵JV | 407 |
| 行田市 | 市道6・1-1号線流域貯留浸透事業貯留函渠設置(西新町地区) | 小川工業 | 109 |
| 長岡市 | 28浸水補東2号浸水対策下水道(雨水管渠) | 越後交通・白井・北沢JV | 422.49 |
| 呉市 | 隠渡汚水幹線築造 | 飛鳥・長門大和JV | 1,397.58 |



トンネル発破技術のバイブル!!

わかりやすい

トンネル発破技術

監修 山田隆昭

B5判 76頁 本体価格1,500円 円300円

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



株式会社 土木工学社

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

第八十四回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

トンネル建設に 携わって思ったこと

下河内 稔

(元)日本鉄道建設公団

まえがき

私は就職してから多くをトンネル建設に携わることになり、今もトンネルの維持管理にかかわっています。このことの始まりとしての「トンネル建設の入門」みたいなことを述べたいと思います。

コンクリートで巻かれたトンネルを見ることはあったが、掘削したあとのコンクリート覆工ができるまでの間に崩れることはないのかなと単純な疑問くらいしか持っていなかった。そんな私の就職の最初の配属先は青函トンネル調査事務所であった。入社した1967年7月に何かの図面を早急に本社の海峡線部に届けに行けということがあった。どういう図面かは知らないが、連絡船と夜行急行列車の車中泊(寝台車ではない)での東京泊なしのキツイ往復ピンタをしなければならぬのかと恨めしく思った。届けたあとは帰りの晩まで暇なので、海峡線部の本棚にあったトンネルに関するたくさん

の本をパラパラと見ていた。

その一つに『Practical Tunnel Driving』(H.W. Richardson and R.S. Mayo, McGRAW-Hill, 1941.)¹⁾があったので、借りて帰り、読むことにした。これにはトンネル建設の手順と方法ばかりでなく機械や設備についても豊富な写真と図で示されていた。

配属されたときに持田豊計画課長から「これを読んどけ」と言われて渡された『トンネル標準示方書解説, 昭和39年土木学会制定。]²⁾は、何のことだかチンプンカンプンであったが、上述のことでなんとか理解できるようにはなった。しかし、支保工の意味とその設定の仕方の細部までも記されていたが、それへの荷重とそれに対する設計についての条件的・数値的な記述とは思えなかった。しかも、「責任技術者が判定しなければならない」と記されていたから、これは大変なことだとの感を強くしたただけであった。ただそれについて



川島副総裁(中央)に説明する著者(左端)(大清水トンネル)

著者略歴

| | |
|----------|-----------------------------|
| 1967年 3月 | 京都大学院工学研究科土木工学専攻修士課程修了 |
| 1967年 4月 | 日本鉄道建設公団入社, 青函トンネル調査事務所計画課 |
| 1970年 1月 | 吉岡鉄道建設所 |
| 1971年 7月 | 青函建設局計画課 |
| 1972年 7月 | 新潟新幹線建設局工事第二課 |
| 1974年 7月 | 湯沢鉄道建設所長 |
| 1977年 3月 | 本社工務部工務第一課総括補佐 |
| 1978年 7月 | 青函建設局技術課長 |
| 1979年 7月 | 計画課長 |
| 1983年 4月 | 吉岡鉄道建設所長 |
| 1985年 3月 | 東京支社工事第一部長 |
| 1987年 4月 | 青函建設局次長 |
| 1989年 7月 | 高崎新幹線建設局次長 |
| 1991年 4月 | 本社工務部工務第一課長 |
| 1995年 6月 | 日本鉄道建設公団退職 |
| 1995年 7月 | 応用地質(株)入社, 技術本部 |
| 1996年 4月 | 技師長 |
| 2002年10月 | 技術参与 |
| 2011年 9月 | 応用地質(株)退職 |
| 2012年 4月 | (株)レールウェイエンジニアリング顧問(トンネル技術) |

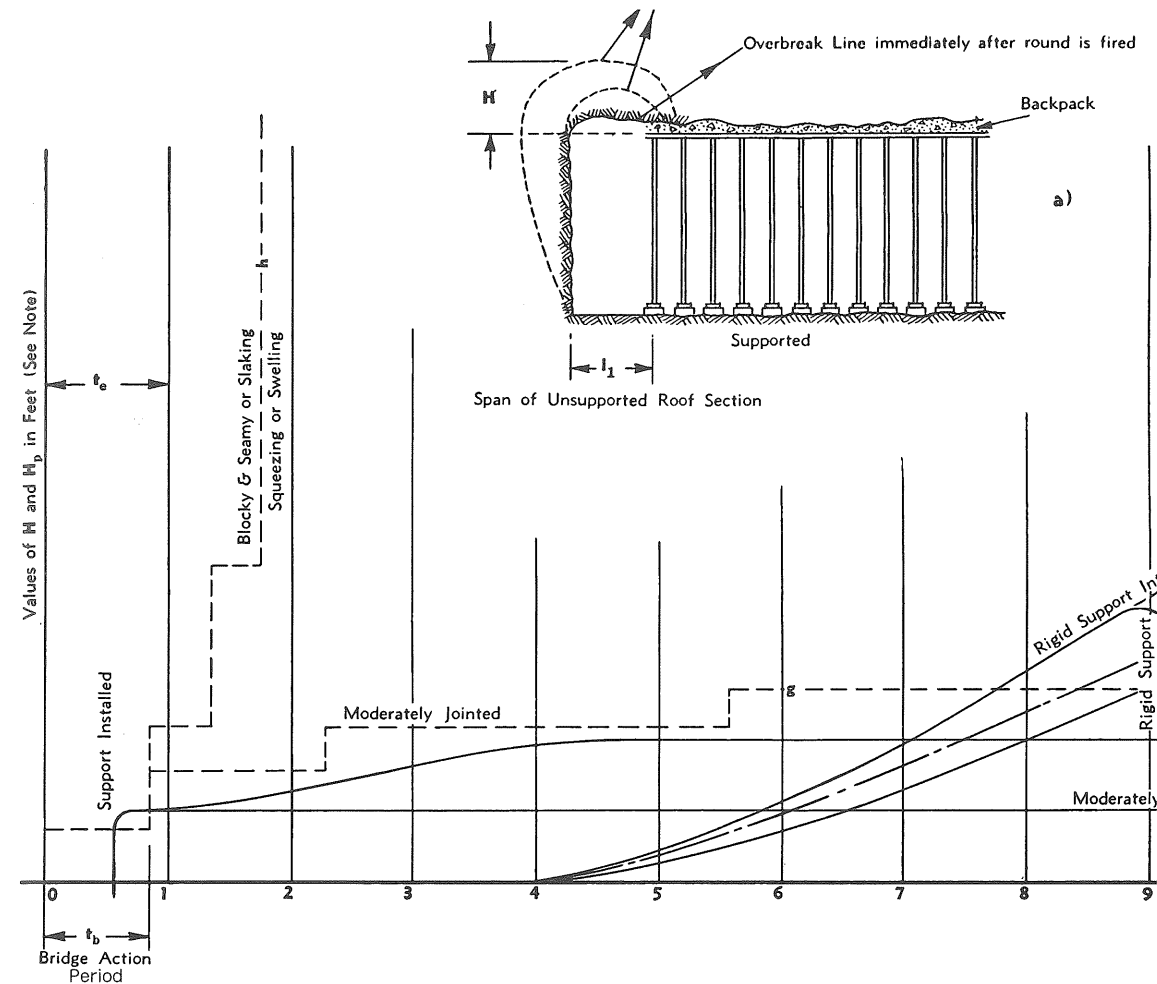
ての参考として『Rock Tunneling with Steel Supports』(R.V. Proctor& T.L. White, Commercial Shearing & Stamping, 1946.)の中に「Introduction to Tunnel Geology: Rock Defects and Loads on Tunnel Supports by K. Terzaghi.」³⁾が記されていた。これを読まなければならないなと思ったが、探すことは難しかった。約2年後に本社の海峡線部の本棚の中にそれを見つけて読むことができた。これはあくまで支保工に生じる荷重について地質学的観察をもとにして述べたものであった(次頁図参照)。

文献2)では、文献3)の荷重が覆工の設計荷重の参考になると記されているが、どうしてそうなのかは記されていない。むしろ、それまでの施工実績を参考として覆工コンクリートの設計(巻厚)をするように記されていた。覆工コンクリートの設計(巻厚)について文献1)でも同様で、「The rule of thumbとして、 $T(\text{inch}) = D$ (feet), T : thickness of lining, D : diameter of tunnel が多くとられている」としか記されていない。この式によれば、直径約6mのトンネルでは覆工コンクリートの巻厚は50cmとなり、アメリカでも日本でも同じような状

況にあるのだなあとと思った。

固結した軟弱岩のトンネル

青函トンネルの海底部の中央の約5kmにわたり、新第三紀末の鮮新世の堆積岩からなる黒松内層がある。これは空隙率が大きく(乾燥比重: 0.75~1.5, 湿潤比重: 1.4~1.8), 弱く(一軸圧縮強度: 3~5MPa)そして軟らかい(ヤング率: $1.7 \sim 2.7 \times 10^8 \text{MPa}$)シルト岩を主体とした地層である。これがトンネル建設でどのような状態となるのか予備的に調べておこうということで、津軽半島の竜飛^{たつひ}から15kmばかり南にある日本海側^{こどもり}の小泊という僻地で試験すること



になった。竜飛から直接つながる道路もなく、竜飛建設所は斜坑掘進に奮闘中であつたからなのかも知れないが、この試験は計画課が担当していた。このことで、1967年の夏から約2年、私は初めてトンネルに直接に携わるようになった。

最初は透水性の試験であつた。試験地点に15mほどの水平ボーリング孔を穿ち、その中にパッカーを設置し、注水するのである。1MPaまでの注水圧ではわずしかし注水できなかったのが、それ

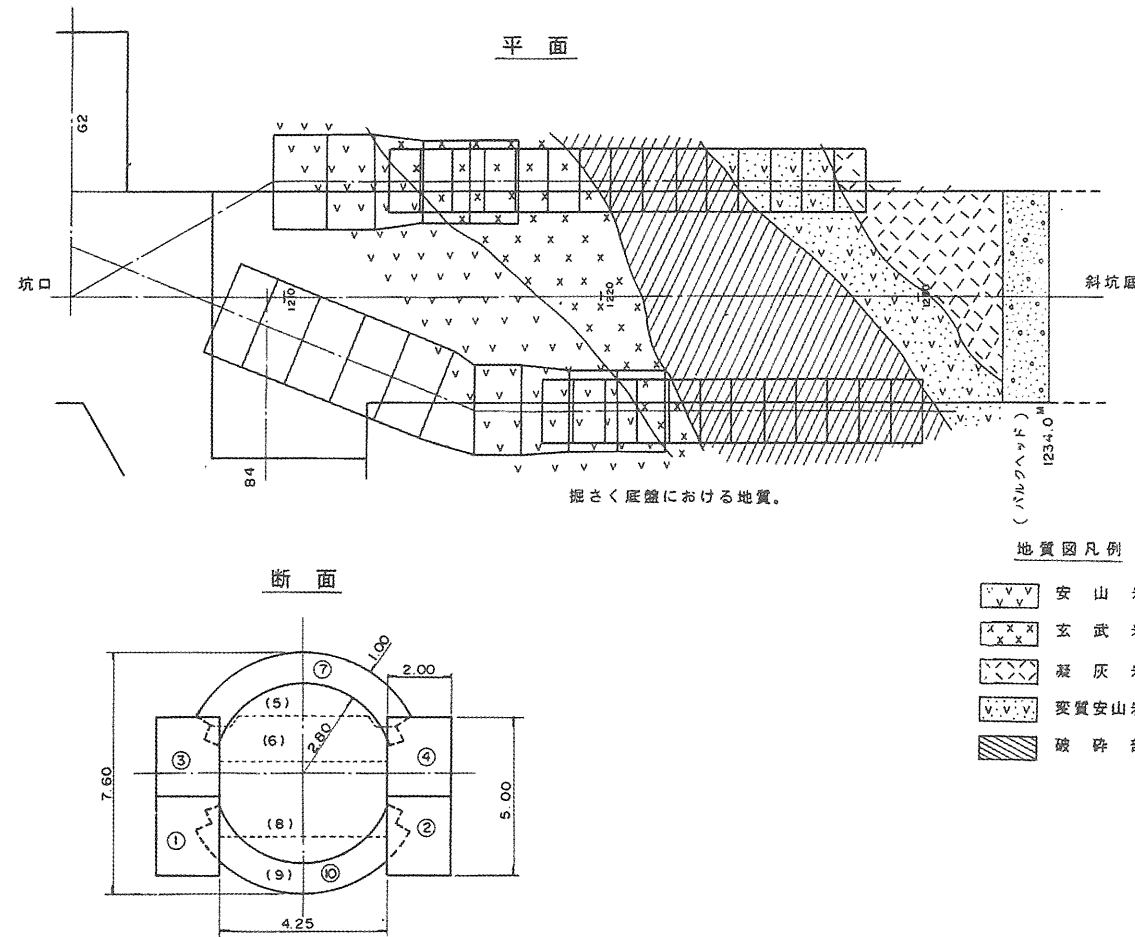
Terzaghiによる支保工にかかる荷重の説明

を超えるると注水量が急に増えることになった。このことは注水圧によって地盤に亀裂が生じたかあるいは潜在亀裂が拡大されたためかと思えた。

次にトンネル掘削での状態の試験であつた。幅3m×高さ3.5mほどの馬蹄形断面で長さ35mほどの試験トンネルを作ることになった。100H形鋼製支保工を1.5mピッチで建込み、掛板と吹付けコンクリートで掘削周縁を覆うことにし、それぞれの区間における支保工の歪と直上の地盤の鉛

直方向の変位とを測定するものであつた。

掘削は発破とピック掘りによつたが、いずれも掘削周縁には目立った亀裂もなく滑らかな仕上げであつた。こういう状態で掘削されたら、支保工にかかる荷重は、ほとんどないのではないかと考えられた。掘削後の1年ほどの計測においても、少し増減変動が見られただけであつた。土かぶり^{どまり}が15mほどで地下水位も小さい場合に限られたことではあるが、岩石が弱くても亀裂などの弱点がない



電飛斜坑1220m付近破碎帯と突破工の計画

いならば、それほど大きな支保工でなくても、しっかり押さえておけば、トンネルというものはできるんだなと思えた。

カガミが立てば
トンネルはなんとかなる

電飛斜坑は1/4勾配で1,315mの長さで、新第三紀中新世の堆積岩からなる訓縫層にある。しかし、この地域には断層が見られるだけでなく安山岩や玄武岩の貫入岩があり、破碎・変質を受けた、いわゆる破碎帯が多い。1969年2月に斜坑底までもう少しという

1,220m地点の掘進中のカガミ(当時は切羽のことをカガミと称していた)が迫出し、湧水の増加とともに土砂状に崩落流入した岩屑は約300m³となった。湧水勢は約11m³/minになったが、そこから約150mのところまで水没をくい止めることができた。ここは海面下約250mにあったが、斜坑内の滞留水高が増えることと崩壊岩屑の堆積によって水勢を抑制したことにもよると考えられた。

私は、この崩落箇所を含む破碎帯の突破工に伴う力学や水理学の計算をさせられるということに

なった。しかし、当時はトンネルに関する力学や水理学の計算式はほとんどなく、既存の公式となんらかの仮定とを組み合わせで対処することにした。突破工は、地盤注入し、注入領域の外縁にボーリング孔を配置して水抜きで注入領域の外縁の水圧を減らしてから、多段周壁導坑を掘削してそれをコンクリートで埋戻し、その内部を掘削して仕上げるという案になった。さらに、当時の国鉄のトンネルの第一人者たちを加えての大検討会(隧道会議と称していた)が電飛建設所でもたれた(上図参照)。

私も勉強のためというか会議後の酒盛り要員としてか、会議の席から外れた椅子で聞かされることになった。支保工がかなり重い設計となっていたので、多量の注入工や水抜き工がそこまで必要かどうかという話もあった。何人かで雑談的に話しているときに、「支保が大丈夫でも、カガミが崩れてくるようでは、トンネルは掘れない。カガミが立てばトンネルはなんとかなる。」との言があった。そう言われてみると文献3)の支保工にかかる荷重の説明では、カガミが立っていることを前提にしていた。また、支保工のことは別のこととして、カガミが崩落するような地質条件ではトンネル災害(Tunnel Hazards)が生じるとしており、その世界的な例として丹那トンネルを挙げたこと(土質力学で有名なK. Terzaghi. がこんなことも研究していたとは驚きでもあった。)を思い出した。私は濱建介調査事務所長が言ったのだと思っていたが、だいぶあとで横山章電飛建設所長が言ったものであった。

この言葉は山岳工法での基本を教えてくださいましたと思われた。その後の難しいと言われるトンネル建設に際しては、どんな工法あるいは補助工法を用いる場合でも、「カガミが立てばトンネルはなんとかなる。逆に、カガミを立てるにはどうすればよいか。」との見方をするようになった。

TBM

青函トンネルは調査試験掘削と

して直轄体制で始められた。本工事となってからも、先進坑が調査試験の役割をもっていたので、直轄体制が継続された。直轄体制というのは、作業員(掘進、坑内軌道、機械、電気および修理工場、発電所から坑外土木、木工所、試験室、輸送や作業員のための購買部や宿舍までを含む広範囲)を直接雇用して、職員が直接管理・監督する体制である。直轄体制は長年にわたって国鉄・岐阜工事が執っていたもので、北陸線の線増改良工事として行っていた親不知トンネルを最後とした。ここからの移籍者を中心にして青函トンネルの直轄体制が組立てられた。

電飛斜坑の1,220m地点の大破碎帯が無事に突破された翌年の1970年1月に、私は吉岡建設所に配属され、調査水平坑(本工事が始まってからは先進坑と名称を変更)の掘進管理(3交替で坑内勤務)に就いた。

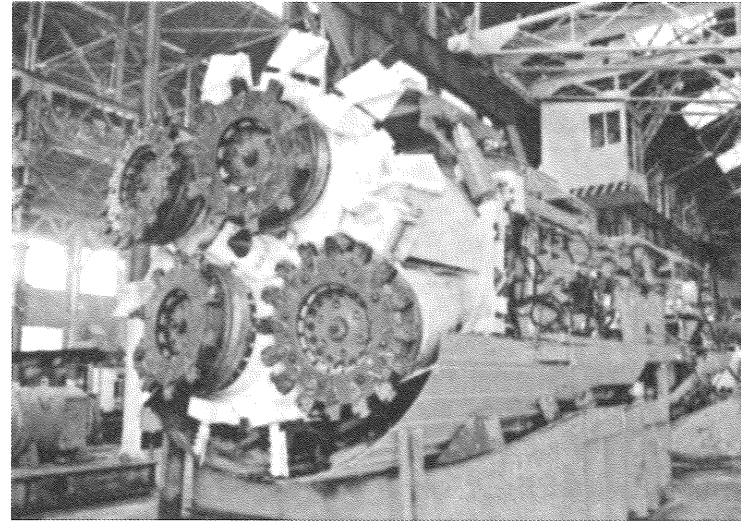
吉岡調査水平坑は斜坑底から掘削径3.6mのWholmeyer式TBMで掘進していた。現在、ほとんどで使用されているRobbins式TBMはカタディスクを取り付けた回転推進面盤による圧碎式の掘削機であり、どちらかということWholmeyer式はカタチップの付いた回転カタヘッド4個を取り付けた回転推進ドラムによる切削・圧碎式の掘削機で軟・中硬岩に適するという事で青函トンネルに導入された(軟岩、中硬岩、硬岩というのははっきりした表現ではないようだ。1軸圧縮強度で

概括すれば、「軟岩≦20MPa<中硬岩≦60MPa<硬岩」となる(次頁写真(上)参照)。

1号機(736)はSwissのHabegger社から輸入され、約550m掘進で性能試験や改良調査を行った。それをもとに改良された2号機(836)がIHI社で制作され、1969年3月に掘進を開始した。間もなくF50断層破碎帯に当たり、湧水もあり、カガミからTBM本体の間での掘削周縁の崩落が多く難渋した。そこをやっと突破したのが12月で、私が交替長(坑内工事管理者)についたときには、亀裂の少ない硬くもない火山礫凝灰岩となっていた。

100H形鋼製アーチ支保工をTBM本体の後方で1.5mピッチに建込み、緩み防止のために周縁の1/3程度に掛板を設置するだけだったので、1月から4月にかけて約700m掘進することができた(次頁写真(下)参照)。

しかし、このあとはF10断層の影響圏に入り、大量・高圧の湧水を止めるための切羽前方地盤注入をしながらの掘進となった。切羽前方地盤注入は、切羽前方に向けて穿孔し、孔内にパッカーを設置し、注入管を接続し、注入材液をポンプで圧入する。この作業と機材の配置のために、切羽から後方へ15mほどの空間を必要とする。このため、約100mあるTBMの本体と後続台車を後退させるばかりでなく、その間の非常に狭い空間を通しての機材の運搬をしなければならないという、やっかいなことがある。注入・掘削のくり



TBM836本体の全姿、IHI 播磨工場内での仮組立て、1968年



TBM836の切羽付近の自立、点検整備のため本体を後退した切羽、(左から)下河内、吉田号令補、IHIの点検整備員、吉岡先進坑内、1970年4月3日

返しを9回経て年末までにやっと約200mを掘進するだけとなった。

1970年12月には、それまでとは一変して湧水はないが、軟弱で強膨圧性地盤に入った。全断面掘削だとカガミが崩れてくるので、上半をピック掘削し、150H形鋼製アーチ支保工を建込み、吹付けコンクリートで掘削周縁を覆ってか

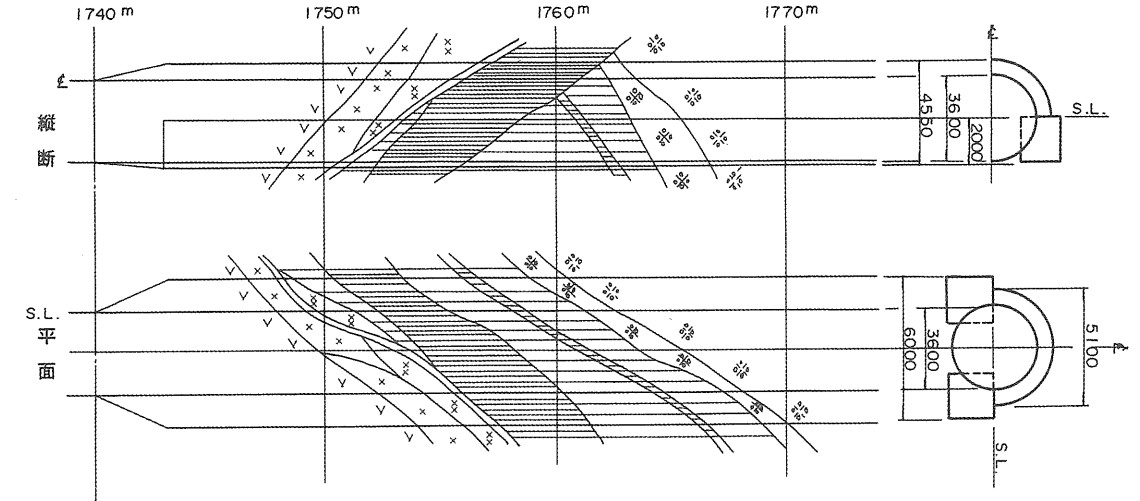
ら、下半をTBM掘削とする方法が執られた。しかし、これも上述の注入と同じようなことが生じるばかりでなく、膨圧性への対策工が必要となり、進捗率は極端に落ちた。高速掘進を標榜するTBMであるが、切羽でのなんらかの処置が必要な場合には、総体的な進捗は著しく悪くなるので、TBM

掘進を止めざるを得なくなった。結局、吉岡先進坑のTBM掘進は1,790mで終わった。

膨圧性地質

前述の吉岡先進坑の膨圧性地質は私の初めての現場経験であった。これはF10断層の副断層にあたるが、湧水帯と膨圧性地質の間には変朽安山岩の貫入岩脈があり、それに沿って青白色や褐色の粘土が厚くあった。これらのことから、断層と貫入岩脈による破碎・変質と考えられた(次頁図参照)。

膨圧というのは、掘削周縁が内空側に大きく変位し、それを支保工で抑制しようとするとき大きな圧力が生じる現象であるが、周辺地盤の湿潤膨張説が多かった。たしかに試験してみると、ここの泥岩や火山礫凝灰岩にはMontmorilloniteが多量に含まれているし、大きな吸水膨張が見られた。それで文献(3)をよく読んでみると、掘削周縁が押し出してくるには湿潤膨張(Swelling)と塑性圧出(Squeezing)とがあり、理由ははっきりしないが石膏山でも凄い膨圧があると記されていた(丹那トンネルで遭遇した強膨圧性の温泉余土というのは、硫酸カルシウム(石膏)と硫酸礬土とからなる熱水変質鉱物である)。そして、通説されている気中の水分を吸って膨潤するのではなく、緩みにより近くの地下水の吸水によるのではないかと記されていた。しかし、もともと相当の軟弱岩であるから、水の供給がなくても塑性圧出で生じるのではないかと



| 凡例 | 色彩 | 明暗 | 硬軟 | 割目 | 岩石名 |
|-----|----|----|----|----------|--------|
| ∨ ∨ | 緑 | 中 | 硬硬 | 無 | 凝灰質安山岩 |
| x x | 緑 | 暗 | 軟軟 | 多 | 変質安山岩 |
| × × | 緑 | 暗 | 軟軟 | 多 | 変質安山岩 |
| 茶 | 暗 | 硬 | 少 | シルト | 岩 |
| 水 | 明白 | 軟 | 多 | 変質泥岩 | 岩 |
| 水 | 中 | 軟 | 多 | 変質火山礫凝灰岩 | 岩 |
| 水 | 中 | 軟 | 少 | " | |
| 茶 | 暗 | 軟 | 無 | 粘 | 土 |

吉岡先進坑1,750m付近地質と掘進計画

も考えられた。もう一つは、エア掘りボーリング(循環水を使うとコアが吸水して崩れるので、圧搾空気を逆循環して行うボーリングを「エア掘り」と称していた)で得たコアをコア箱に収納して湿気のないところにおいていても、1週間ほどでコア箱から取り出せなくなるほどコアが膨張したばかりでなく、さらに時間が経つと細かなモザイク状に亀裂が生じてコア箱の上に盛上がる状態になった。このことが材料力学的にどうしたことなのかという疑問は残ったままであった。

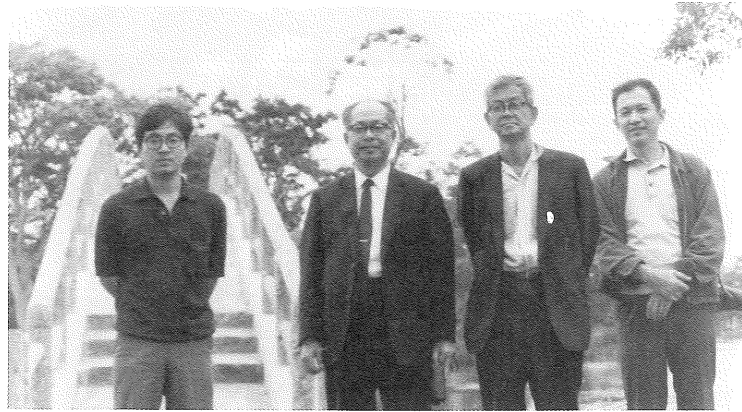
青函トンネル土工研究委員会

青函トンネルでの技術上の問題・課題を審議・検討するために

ス界の学識経験者からなる青函トンネル技術調査委員会が1967年から設置されていた(本坑の全貫通の1985年度まで)。1970年には竜飛斜坑におけるF15断層破碎帯の崩落・出水事故とその突破の報告がされた。そのとき出席されていた岡本舜三東京大学教授が「通常のトンネルでも力学的態様が未解明のことが多い中、海底の高水圧のところを地盤注入してから掘進するとなるともっとわからない。これについては土木学会をあげて支援・協力すべきことで、専門の委員会を設置してはかがか」と提案された。これには技術調査委員会も大いに賛成だということで、「高圧湧水を伴う海底トンネルにおける地盤注入帯の効果を適正に

評価し、トンネルの設計と施工に適用できる方策の研究」として青函トンネル土工研究委員会が土木学会に1971年から設けられた(先進坑の貫通の1983年度まで)。

私は青函建設局(1971年4月に青函トンネルの建設認可により、調査事務所は建設局となった)の計画課に配転となり、青函トンネル土工研究委員会の立上げと運営に携わることになった。当時、トンネル工学を専攻にしている学識・研究者はいなかったため、土木工学、鉱山工学および地質学から委員が選任された。そして翌年には、構造力学、水理学、材料力学、地盤工学および応用地質学の若手研究者で構成された小委員会が組織された(次頁写真参照)。



青函トンネル土質研究委員会の設立時のうちの3委員、(左から)下河内稔、村山朔郎京都大学教授(地盤工学)、岡本舜三東京大学教授(構造力学)、関陽太郎埼玉大学教授(応用地質学)、津軽海峡東北北海道側視察、尻岸内町日浦海岸、1971年8月26日

この第1番目の仕事は、竜飛先進坑から破砕帯に向かって試験坑道を掘進し、地盤の態様(力学的性質、湧水圧、変位および応力など)を計測することであった。1972年初めからこの試験坑道の計画を立てることになった。しかし、青函トンネルと同時期に本工事となった上越新幹線の建設のために1972年の7月に新潟新幹線建設局に転勤となって、この試験に携わることはできず、非常に残念な思いであった。

この試験は1975年にまとめられ、土木学会から公表された。さらに吉岡先進坑の膨圧性区間にある通水坑内において鋼製支保工、吹付けコンクリートおよびロックボルトの支保力の試験が実施され、これも1977年にまとめられた。この翌年に私は青函建設局に転勤となり、再び土質研究委員会に携わるようになった。このあとの委員会は上述の成果を現場に活用することを課題とした。

トンネル建設に携わる者は施工技术に偏りがちになりやすい。も

ちろん、それは必要にして欠くべからざることであるが、構造力学、水理学、材料力学、地盤工学および応用地質学の見識をも深めて臨むことが非常に重要なことであると強く感じた。

さし目とながれ目

転勤した新潟新幹線建設局工事二課では川口・堀之内・大和町の担当であったが、当面は魚沼・堀之内・浦佐トンネルの工事の着手と管理となった。これらのトンネルは当時の標準の底設導坑先進上半切掘(逆巻き)工法で掘進することとしていた。魚沼トンネル(L=8.6km)の地質はシルトや砂質の固結度のある堆積岩類から成る新第三紀鮮新世の西山・灰爪層である。断層破砕帯の所では、膨圧や湧水の問題が生じたが、それなりの対処ができた。

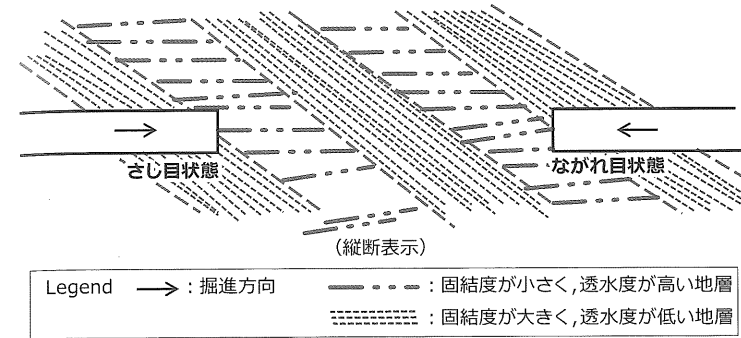
堀之内トンネル(L=3.3km)は新第三紀鮮新世から第四紀洪積世にかけてのシルトと砂礫の互層の魚沼層の中にある。(北)工区は北坑口から南に向かって掘進してい

た。土かぶりが増して100mになると、底設導坑のカガミから固結度の低い砂礫層の崩落・出水が生じるようになってきた。底設導坑は、上半切掘前には地質確認と水抜きを目的の一つとしているのであるが、それ自体が湧水とカガミ崩落で掘進できなくなってきつあった。

前方の地質確認と水抜き工の検討を始めたやさきに、3m³/minの湧水と累計1,250m³の砂礫流入を生じた。地質精査では互層をさし目で掘進していることになっており、両側に底設導坑より一回り小さな迂回・水抜き坑を先行することにした。これも固結度の低い砂礫層の崩落・出水が生じ、300m区間の掘進に約1年を要するという難工事となった。一方の(南)工区は南坑口から北に掘進した。(北)工区と同じ軟弱な魚沼層にあった。しかし、層厚が厚く略水平であったせい、出水・崩落なく掘進することができた。

浦佐トンネル(L=6.1km)の地質は灰爪層と魚沼層であった。浦佐トンネル(中)工区は横坑から本坑内に入って北に掘進を始めたところ、土かぶり100m足らずで大きな膨圧を生じた。このために、底設導坑から側壁導坑に変更して、やや掘進した所の切羽で出水・崩落事故を生じた。先方水抜きや注入を試みたがうまく行かなくなった。地質精査によれば、衝上断層に安山岩の岩脈があることが判明した。

衝上断層の下部は灰爪層で粘土化破砕・変質されて透水性が低く、



トンネル掘進におけるさし目とながれ目の模式

また膨圧性を示した。衝上断層の上部は魚沼層の砂礫で、固結度が低く、透水性が高い。この衝上断層にさし目で掘進していることがわかった。このことから、迂回・水抜き坑道で突破し、逆方向から本坑を掘進する方策を執ることにした。しかし、迂回・水抜き坑道の掘進にいろんな手だてが試みられたが難航し、約300m間を突破するのに、約3年を要することとなった。浦佐(中)工区に向かって南に掘進した(北)工区は、難航している堀之内(北)工区と同じシルトと砂礫の互層からなる魚沼層にあった。しかし、この層は掘進方向に緩いながれ目の状態にあったためか、たいした問題もなく掘進できた(上図参照)。

私はこれらの迂回・水抜き坑の検討中に湯沢鉄道建設所に配転になって手を離れたのであるが、こういう地質構造ではさし目で掘進するのは大変な難儀(Tunnel Hazards)を負うことがあるが、それをながれ目で掘進することにより軽減され得ると思われた。

山はね

湯沢鉄道建設所では大清水トン

ネルの新潟側の工事監督があった。それまでドシャヤマ(土砂山：新第三紀鮮新世から第四紀洪積世の堆積層をこう称していた。)を対象としていたのであるが、ガンヤマ(岩山：中硬岩・硬岩の地盤をこう称していた。)を相手とすることになった。この中の一つの問題に山はねということがあった。大清水トンネル中央部の万太郎工区は1軸圧縮強度が150~200MPaの石英閃緑岩の所を土かぶり1,300mの県境に向かって南に掘進することになっていた。全断面掘削し、掘削周縁の上半部にロックボルトを打ち落石防止ロックネットを張るという方法を執っていた。

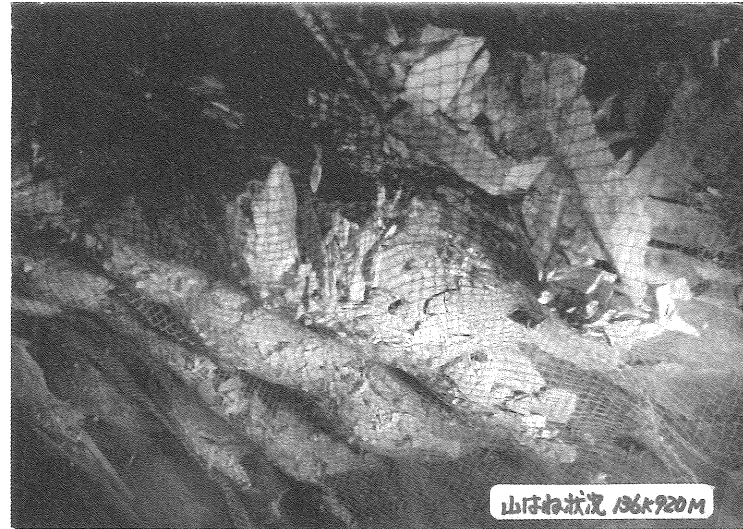
「山はね」とは「石刳ね(sparing)」「岩跳ね(popping)」および「山撥ね(burst)」までを総称しているようで、ニューヨークの土かぶり20mのところの地下工事や露天の石切り場でも生じた記録がある。大清水トンネルでは土かぶり1,000m以上のところで生じるとされていたが、最初に土かぶり約400mのところでカガミの後方で発生した。それから1kmほどはなかったが、再び土か

ぶり約400mのところでカガミからも発生した。大清水トンネルでは石刳ねに相当する菱形柱状や岩跳ねに相当する楕あるいは薄板状がほとんどであった(次写真参照)。

土かぶりが1,000m以上になると発生頻度が急増したのだが、どうも土かぶり荷重が直接的な原因ではないと考えられた(1,000mの土かぶり荷重は26MPaで、応力集中係数を6にしないと岩の破壊が生じないことになる)。ただし、山はね箇所では約55MPaの最大主応力の潜在地圧が測定されたし、内部破壊音(acoustic emission)も計測されたし、測定孔には瘡蓋状の孔壁破壊も観察された。また、水中養生しておいた平滑に仕上げられた試験片の表面がザラザラになってしまうとか、気中におかれた山はね片の表面から粗めの石粉が放出されるという現象も見られた。これらのことから、造岩のときとその後の地殻構造力学的作用(褶曲や断層を含む)により、岩に生じた大きな残留歪の箇所では山はねが生じるのではないかと考えられた。この残留歪は土かぶりが小さいと解放されやすく、土かぶりが大きいと温存されやすいのであろうと思えた。

さらに、山はね現象と膨圧現象とは、岩材の力学的性質が極端に異なることによる違いはあるが、発生状況から見ての類似性も感じられた。ひょっとしたら、膨圧性地盤でも上述と同じようなことを原因としているものもあるのではないかと考えられた。

さらに、山はね現象と膨圧現象とは、岩材の力学的性質が極端に異なることによる違いはあるが、発生状況から見ての類似性も感じられた。ひょっとしたら、膨圧性地盤でも上述と同じようなことを原因としているものもあるのではないかと考えられた。



山はね状況，掘削周縁からはねでた岩片で蛇籠状になったロックネット

カガミ後方の周壁で生じる山はね対策としては，ロックボルトの打設密度を増やしロックネットを二重に緊結することとした。1ないし2枚程度の跳片が生じても，それらが抑えとなって，それ以降の発生を抑止することができた。カガミから生じる山はねについては，いろんな対策が検討されたが，カガミと近傍にファイバー混入吹付けコンクリート案を執ることにした。しかし，その後はカガミからの山はねはなく，実証はされなかった。

これらの試験・研究は，青函トンネル土工研究委員会の委員であった丹羽義次と小林昭一京都大学教授ならびに退職され，建設会社の技術研究所におられた鈴木光東京大学名誉教授に負うものであり，今さらながらその卓技と識見に感謝する次第である。

青函トンネルの構成と技術

大清水トンネルの新潟側の掘進

を完了した1977年3月に本社工務部工務一課に転勤となった。本社には，粕谷逸男博士(1968年12月，計画部長在職中に病没)が研究・参考のため蒐集されていた「粕谷文庫」と称される膨大な図書類があった。それが，10年も経つうちにあちこちの部所に貸出されたままのものもあって，雑然となっていた。それらを集め，整理し，管理しなおすことを横山章計画部長から申し付けられた。

整理するには，これらの図書類の中身を見なければならなかった。図書類はトンネル，橋梁や鉄道ばかりでなく，道路や都市計画に関するものなど広範囲に及んでいた。また，自身が担当したトンネル現場の調査資料とそれに対する研究ノートもあった。多くはトンネルに関するものであったから，「お前はまだまだトンネルについての勉強が足りない。」ということで整理を申し付けられたのかも知れないと思われた。



山はねの岩片，板状岩片の説明，(左から)下河内，川島副総裁，本間建設局長，大清水トンネル(万太郎谷工区)坑内切羽付近，1976年7月23日

その中に青函トンネルに関する古い資料もたくさんあり，粕谷さんは戦後すぐからずっと青函トンネルについて調査・研究に携わっていたばかりでなく，「青函トンネルの構成：本坑と水平調査坑(先進坑)と補助調査坑(作業坑)，および技術：先進ボーリングと前方地盤注入と吹付けコンクリート」の基本を組み立てた方であったということがわかった。それまでの私はこれらのことについて，そういうものなんだろうとぼんやりと思っていただけであった。しかし，いまだかつてない長大海底トンネルを建設するには，熟慮された工事計画があったことを初めて知ることができた。

話は変わるが，青函トンネルの竣工・開業(1988年3月)から10年を経過したとき，「粕谷さんを偲ぶ会」というのが往時の青函トンネルの建設に関与した人たちが持たれた。このとき，「青函トンネルは粕谷さんが居たからこそでき



粕谷逸男氏を偲ぶ会に集まった青函トンネル建設にかかわった鉄道建設公団OB(後列左から)中原昭夫，松尾昭吾，池原武一郎，辻秀紀，土居則夫，石川正夫，三芳裕(中列左から)玉木稔，柴田陽一，下河内稔，原島龍一，濱建介，桜沢昇，横山章，井上俊隆(前列左から)浅香正賢，平岡治郎，粕谷忠則，粕谷フミ，田中倫治，浅間敏雄，持田豊，(粕谷さんは長男と夫人)東京都千代田区星稜会館，1999年11月8日

たようなもんだ。もし，彼の工事の基本計画がなければ，工期はもっと延びただろう。やっぱり偉大な方だった。」というような話であった(上写真参照)。

私は再び青函建設局に転勤となり，本坑の全貫通(1985年3月)まで青函トンネルの建設に携わることになった。そしてさらに，津軽海峡線として開業する青函トンネ

ルのために，3度目の青函建設局の勤務となった。

おわりに

私がトンネル建設に携わり始めてからの約10年での経験の中で疑問に思ったことや気付いたことをいくつか記しただけだし，その後のトンネルの建設の方法や技術が大きく変わった今，標題の「語り

継ぎ 言ひ継ぎ行かむ」にあまりそぐわないものとの感になってしまいました。しかし，トンネルの建設の基本的な方法と手順が掘削・岩屑出し・支保・覆工である限り，地質と地盤状態が完全なほどに調査・確定されない限り，ここで述べたようなことは多かれ少なかれあるものだとのことで，ご容赦願いたい。

トンネルジャーナル

土木学会 2016年度選奨土木遺産を発表

土木学会は2016年度の選奨土木遺産を発表した。これは、同学会の選奨土木遺産選考委員会が、社会や土木技術者へのアピール、地域づくりへの活用などを促すことを目的に、幕末～昭和20年代に建造された近代土木遺産を対象として認定するもの。将来的には、この対象を、近世以前および昭和20年代以降も含める予定。身近にある土木構造物が、文化財・地域資源として親しまれることなどが期待される。今年度、選定された土木構造物は22で、認定書と青銅製の銘板が授与される。

おもな選奨遺産と授賞理由は以下のとおり。(構造物名、所在地、竣工年、「授賞理由」の順に記載。いずれも土木学会による)。

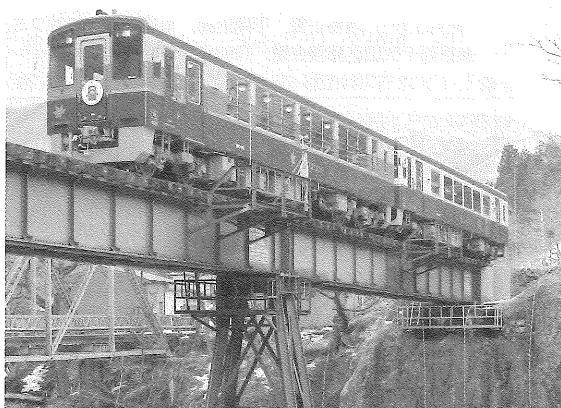
磐越西線鉄道施設群、福島県・新潟県、1904～1922年、明治・大正期の多様な橋梁群、隧道、駅舎、

転車台群を有し、さらに震災時の石油製品輸送などライフラインとして東北と関東を繋いだ貴重な土木遺産である。

わたらせ渓谷鉄道関連施設群、群馬県みどり市・桐生市・栃木県日光市、1912～1930年、近代日本の産銅輸送の根幹を担った足尾鉄道草創期の息吹と情趣を伝える施設群で、地域コミュニティの要として継承される土木遺産である。

信濃川千手水力発電所施設群、新潟県十日町市、1938～1954年、鉄道網の電化を目的として昭和初期に建造され、現在も鉄道輸送を支える施設群である。

旧国鉄五新線(未成線)鉄道構造物群、奈良県五条市、1959年(五条～城戸間)、紀伊山地を鉄道で貫く大構想に駆けた先人の志を未来に語り継ぎ、沿線住民にも親しまれている貴重な土木遺産である。



(左上) 磐越西線鉄道施設群、(右上) わたらせ渓谷鉄道関連施設群、(左下) 信濃川千手水力発電所施設群、(右下) 旧国鉄五新線(未成線)鉄道構造物群

連載講座

トンネル新技術への挑戦(13)

—縮径トンネル掘削機(縮径TBM)—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会

① はじめに

山岳トンネルの掘削方式は、大別すると発破方式と機械掘削方式がある。その中で機械掘削方式には自由断面掘削(ブーム式、アーム式)、ブレイカ掘削、円形断面のTBMなどがある。

トンネル掘削は、地山の崩落や大量の湧水などの自然条件によって過酷な作業をきわめてきた。トンネル掘削の安全性の向上や効率化、省力化を図るためには危険作業の機械化の必要性が高まっている。このような状況の中で多種多様の技術の改善を踏まえて現在のTBMが開発されてきた。しかしながら、TBMは他の従来の山岳トンネル掘削工法と比較し、高速施工は可能であるが掘削対象地山の崩落や硬岩切削時の岩ずり付着などにより、マシン本体が拘束され掘削不能となるリスクがある。今回、掘進中に地山に拘束されても、TBMの径を機械的に小さくする機能を付加することで地山拘束状態から脱出することが可能となる掘削機(縮径TBM)を開発したので、ここに紹介する。

② 開発の背景

2-1 TBM工法の長所と短所

TBMは機械のメイングリッパにより推進反力を確保し、カッターヘッドを回転させながらディスクカッターを岩盤に押し付けて、岩盤を圧砕しながら掘削を行う。

TBM工法は、道路トンネル、鉄道トンネル、水路トンネルおよび大断面トンネル用の先進導坑などに用いられ、発破掘削と比較して高速掘削が要求される場合に適している。

TBM工法の長所と短所について発破工法と比較する。

2-1-1 長所

- ① 掘削作業を連続して行うことができるので施工速度が速く、安定した地山を長距離掘削する場合には優位性が高い。
- ② 衝撃を与えずに地山掘削ができるため、岩盤への緩みがほとんど発生せず、崩落や肌落ちの危険性が少ない。
- ③ 振動、騒音が少ないので周辺への影響が少ない。
- ④ 半密閉式の機械を使用するため、安全性と作業環境が良い。
- ⑤ 発破工法と比較して熟練作業員への依存度は低く、切羽での直接作業が少ないため施工の安全性が高い。

2-1-2 短所

- ① 不良地山ではマシン本体が地山に拘束され、工期・工費が増大する。その場合には、拘束解除作業に長時間を要し、危険を伴う。
- ② 機械製作費、運搬組立費、設備費が高く施工延長の短いトンネルには適用しにくい。
- ③ 機械設計およびTBM製作に日数がかかる。
- ④ 施工途中での掘削径の変更ができない。

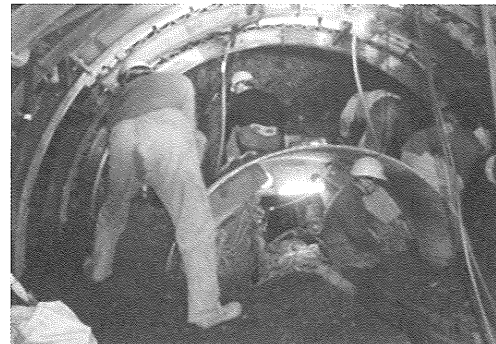


写真-1 TBM周囲人力拡幅掘削状況



写真-2 支保工建込み状況



写真-3 鉄矢木溶接状況

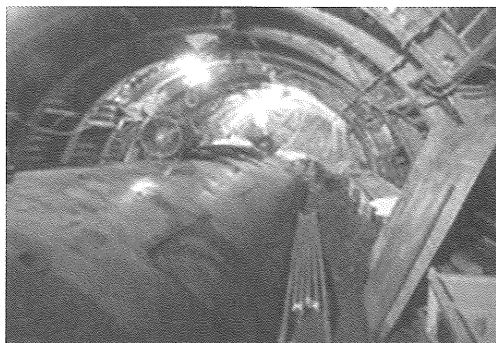


写真-4 拡幅掘削完了状況

⑤ 発破工法と比較して可能な補助工法が少ないため適用土質に制限がある。

2-2 従来の拘束解除方法

マシン本体が拘束された場合、TBM本体への地山の締付けを解除するため、拘束されている地山の拡幅掘削を行わなければならない。施工はすべて人力作業となり、一般的には半機械掘削の在来工法で行う。拡幅掘削は、片状に破碎された地山掘削となることから切羽および本体周りの安全性、安定確保のため補助工法や先受け工として注入式フォアポーリング、鏡面の安定には注入式鏡ボルト工などが必要となる。

その手順は、

- ① 崩壊などを防止するため、掘削後方からマシン本体を覆う地盤に、また、切羽面に地山浸透性があり、固結体強度、強度発現の優れたシリカレジンなどの地盤改良注入を行う。
- ② 人力によりマシン周囲の拘束状態の原因となっている土砂を取り除くために横坑を設置する。
- ③ 人力にて横坑から順次マシン周囲の掘削を行い、支保工・矢板などでマシンを覆い、土砂を取り除く(一般的にはマシン周長の上部2/3程度)。
- ④ 拘束の原因となる土砂を取り除いたのち、マシンの動きを確認してから支保工などを撤去し再掘進を行う。拡幅部は充填をする。

以上のようにTBM本体が地山に拘束されたときには掘進再開まで危険性を伴う多大な労力を要することになる(写真-1~4)。

③ 開発の経緯

3-1 開発への取り組み

TBM工法は過去の事例から断層・破碎帯、高透水性、崩落性地山、膨張性地山ではマシン本体が拘束され掘進が不可能になる場合もある。そのため、TBM工法の高速掘進を確保するには不良地山に起因する施工上のトラブルを回避することが重要である。

そこで、掘進中に地山に拘束されても、トンネ

ル掘削機(TBM)の径を機械的に小さくする機能を付加することで地山拘束状態から脱出することが可能となる縮径TBMを開発した。

3-2 基本構造

TBMの型式には、掘削部にシェル状のルーフのみを装備したオープン型と、本体構造を完全にシェルで覆ったシールド型に大別される。

基本構造として、長距離を掘進するTBMでは掘削対象地山が変化するためシールド型TBMとした。

シールド型TBMの構造は、前胴および後胴部での伸縮可能なスラストジャッキを装備し、グリッパで推進反力を確保し、掘進する。グリッパ反力が取れない崩落性地山などではシールドジャッキも装備し、セグメント類により推進反力を確保し、シールド掘進も可能とする。

TBMで施工するトンネルはさまざまな用途があるが、今回の縮径TBMは拘束状態になったときに狭い機内、坑内での対応策が困難な中小口径マシン(φ3.9m)を検討した。

機械的に径を縮小する構造上の基本課題と対策を下記に示す。

3-2-1 基本仕様

マシン本体は駆動部主体の前胴部、スラストジャッキ主体の中胴部、グリッパジャッキ主体の後胴部とする。

3-2-2 縮径構造

- ① マシン本体に内胴と外胴を装備し、内胴を基準に外胴に摺動構造を構成した2重構造とする。
- ② 外胴の摺動構造として、外胴を小分割してスライドさせる構造とする。
- ③ マシン径の縮径・復元構造として小分割した外胴をグリッパ構造のジャッキにてサポートし摺動させる。

3-2-3 土砂侵入防止構造

- ① 摺動部の構造は分割鋼板をオーバーラップさせることで土砂の侵入を防止する。
- ② 外胴と内胴の隙間への土砂侵入シールを設ける。

縮径に追随するシール構造としてチューブ型シールなどがあるが、ワイヤブラシ型シール2段とグリス自動給脂構造とする。

3-2-4 その他基本構造

- ① 本体が拘束される前に状態を判断するため、外胴部に土圧計を複数設置する。
- ② 前胴部グリッパの構造は、駆動装置などで機内が狭いので縮径・復元ジャッキは2段ジャッキとして1段目で縮径・復元、2段目にグリッパ機能を持たせる。
- ③ メイングリッパで推進反力が取れないことを想定し、シールドジャッキ、セグメント組立部、エレクタなどを必要に応じて装備できる構造とする。
- ④ 掘進速度は、マシン本体の縮径時にも所定の速度が確保できるようにカットトルクを装備する。

掘削対象地盤の一軸圧縮強度と目標掘進速度を表-1に、全体組立図を図-1示す。

3-3 縮径TBMの特徴

全体構造図、推進に必要な内部のスラストジャッキ構造を図-2,3に示す。

マシン径を縮小・復元する構造上の特長は、

- ① 縮径TBMの本体は内胴と外胴の2重構造で構成されている。さらに外胴は分割された鋼殻で構成され、各鋼殻に縮径・復元ジャッキを装備することで所定の縮径量を確保する(図-4)。
- ② 機内から縮径・復元ジャッキを操作することですべての鋼殻が連動して作動する。

表-1 一軸圧縮強度と目標掘進速度

| 掘削径(mm) | 3,900 |
|-----------------------------|-------------------|
| ローラカッタ径(インチ) | 15.5 |
| 駆 動 動 力 | 150kW × 5 = 750kW |
| 一軸圧縮強度(kg/cm ²) | 目標掘進速度(mm/min) |
| 400 | 60 |
| 800 | 51 |
| 1,200 | 27 |
| 1,600 | 14 |
| 2,000 | 8 |

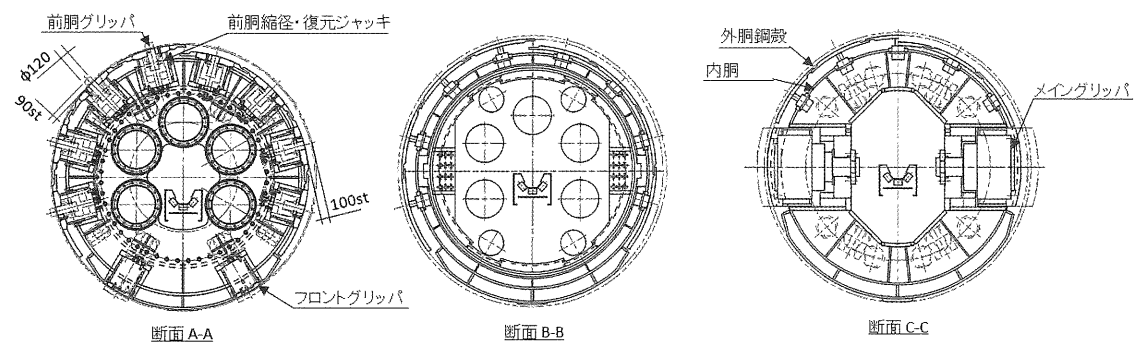
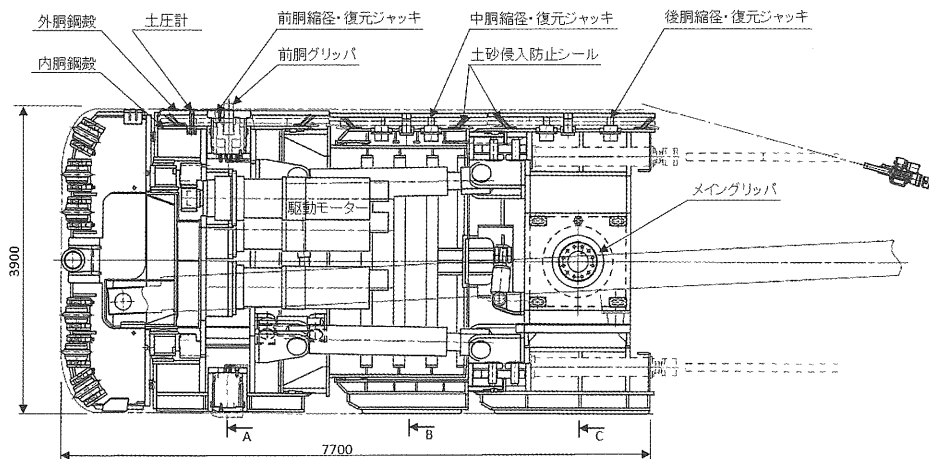


図-1 縮径TBM全体組立図

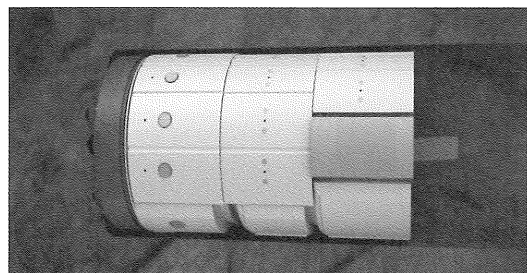


図-2 縮径TBM全体構造図

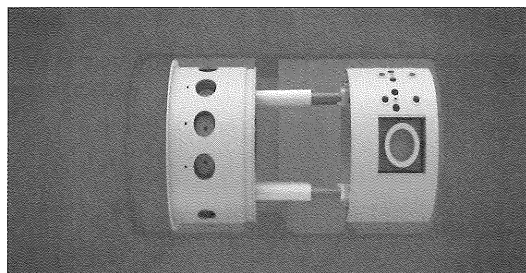


図-3 内部スラストジャッキ構造図

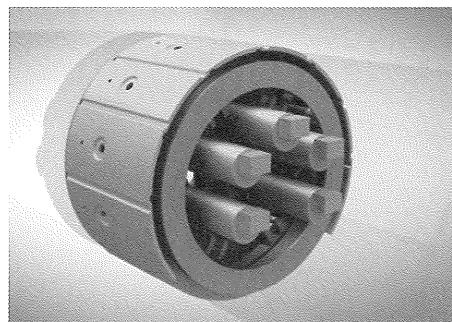


図-4 縮径TBM前胴部構造概要

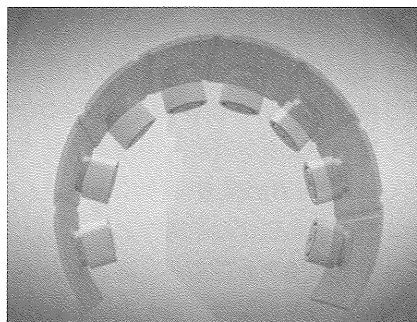


図-5 外胴鋼殻と縮径・復元ジャッキ位置

③ 外鋼殻部を8分割とし、オーバーラップさせる構造で縮径・復元用ジャッキを1分割に1台装備し、100mmの縮径量を確保した(図-5).

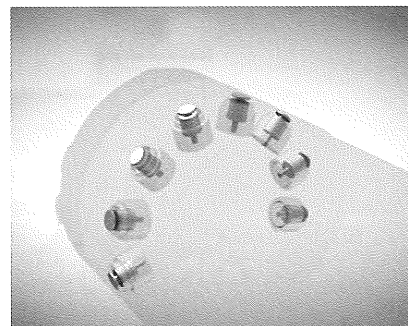


図-6 前胴部2段ジャッキ(グリッパ)位置

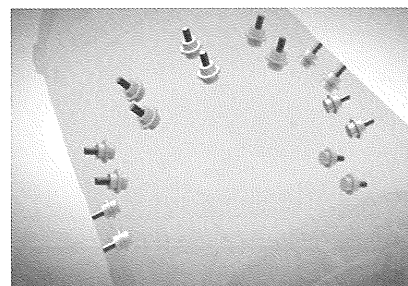


図-7 中胴部2段ジャッキ(グリッパ)位置

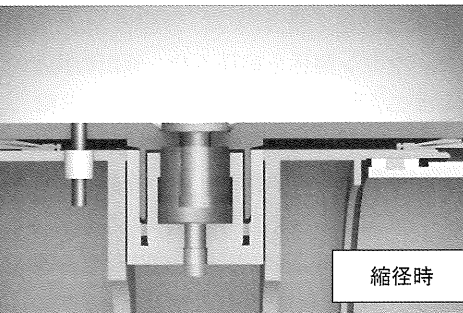
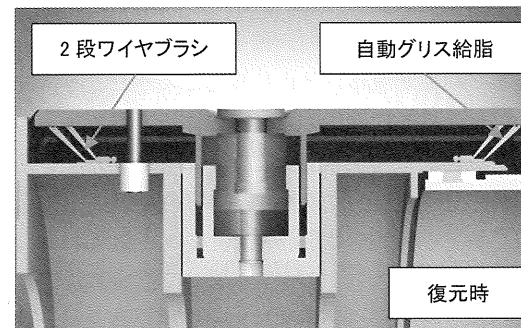


図-8 外鋼殻と内鋼殻の土砂侵入防止構造

④ 掘進速度を砂岩部(一軸圧縮強度100~150MPa)で15~40mm/min, 泥岩部(一軸圧縮強度40~80MPa)で50~60mm/min確保するために, カッターモータ(150kW)を5台装備し, トルクを確保した.

⑤ 前胴部グリッパとして縮径・復元ジャッキを2段ジャッキ(32t×90st×8本:φ120)とし, 2段目にグリッパ機能を持たせた(図-6).

⑥ 中胴部はスラストジャッキが配置され, 後胴部にはメイングリッパが装備されているため, 小型の縮径・復元ジャッキを16台とした

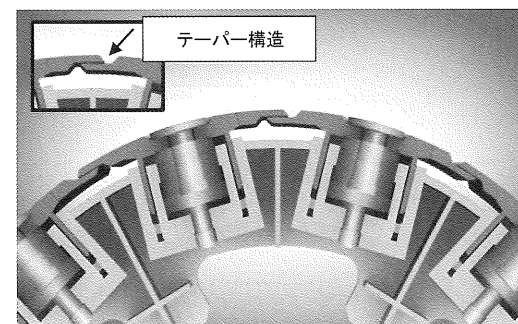


図-9 外鋼殻継ぎ目部構造

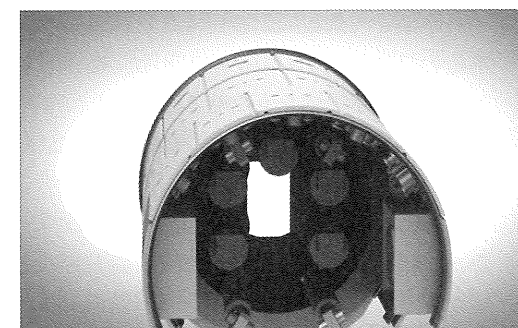


図-10 後胴部メイングリッパジャッキ

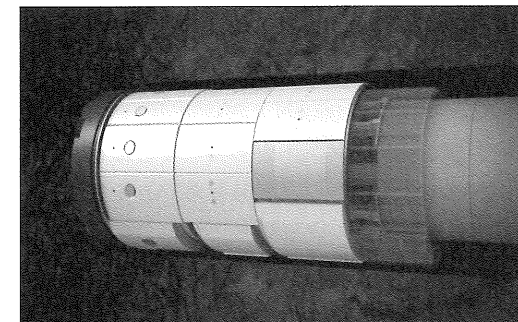


図-11 シールドジャッキ装着時概要図

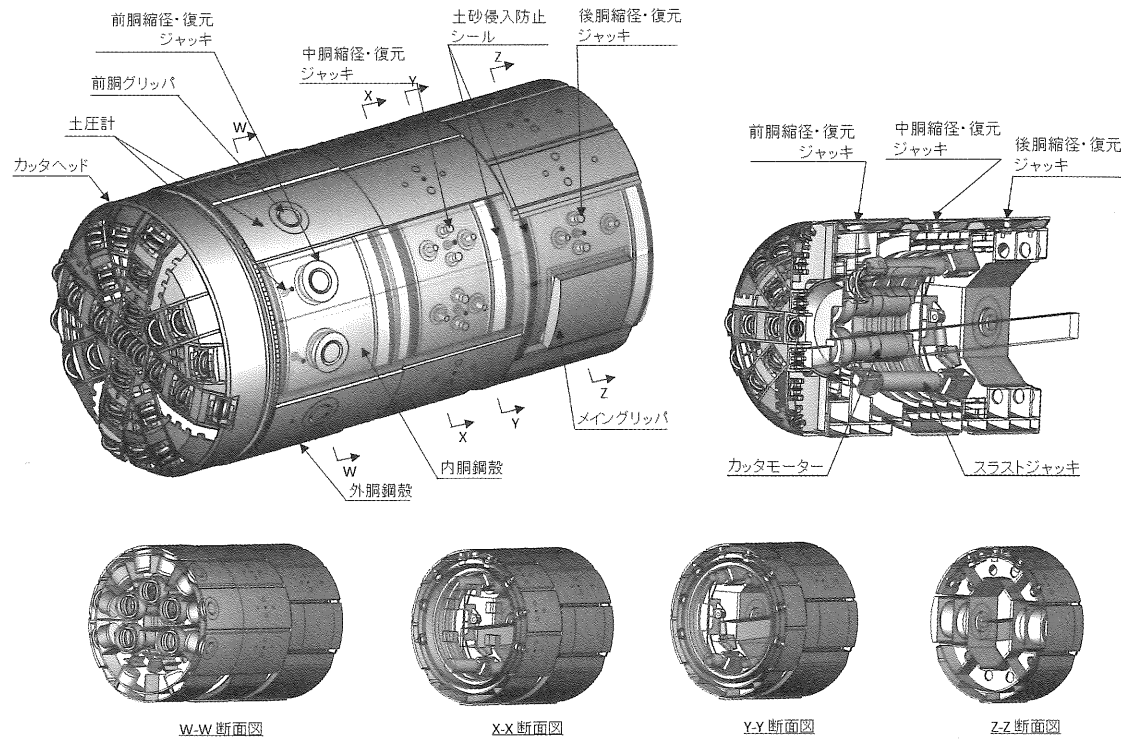


図-12 縮径TBM全体概要図

(図-7).

- ⑦ 外鋼殻と内鋼殻の土砂侵入防止構造は2段構造のワイヤブラシ型シールとし、縮径および復元時に追随性をもたせる構造とし、ワイヤブラシ間は自動グリス注入機構とした(図-8).
- ⑧ 分割した外鋼殻の継ぎ目止水はオーバーラップ構造とし、縮径時、外鋼殻継ぎ目の土砂を押し出すよう端面をテーパー構造とした(図-9).
- ⑨ メイングリッパジャッキは後胴部に7,200 kN×200stのジャッキを2台装備した(図-10). また、TBMの姿勢を制御する方向制御ジャッキ(1,000kN×80st×4s)を装備した.
- ⑩ 覆工にセグメントが必要な場合はシールドジャッキを後胴に必要時装着できる構造とした(図-11, エレクタは後方台車に搭載).
- ⑪ 前胴外鋼殻部に8個、中胴外鋼殻部に8個、後胴外鋼殻部に8個の土圧計を装備し、地山締め付け状況を検知する構造とした.

④ 拘束状態解除方法

崩落性地山により縮径TBMが拘束された場合の拘束状態解除方法の一例を紹介する.

- ① 切羽が崩落性地山に接近してきたときにマシン外殻に設備した複数の土圧計変位経過の監視から拘束状態を把握する(図-13).
- ② 坑内のボーリングマシンで切羽前方の地山状況を調査する(図-14).
- ③ 掘削機後方からマシン全体を覆う地盤に地盤改良注入を行い、地山の崩壊などを防止する(図-15).
- ④ マシン胴体を縮径させ、地山の拘束を解除する.
- ⑤ マシンを縮径したまま掘進する. 1回の地盤改良よりも崩落性地山の距離が長い場合は、再度地盤改良を行う. マシンを進めるための反力がメイングリッパで取れない場合は、シールドジャッキを装備し、セグメント覆工を利用して反力を確保して掘進する.

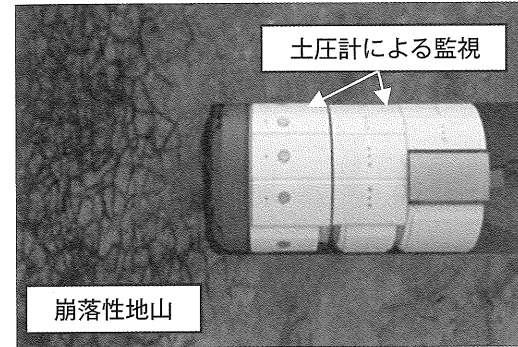


図-13 崩落性地山遭遇概要図

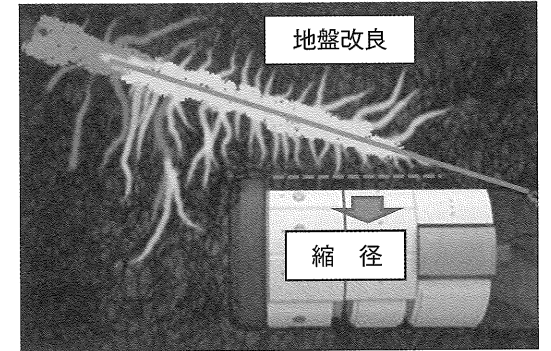


図-15 地盤改良概要図

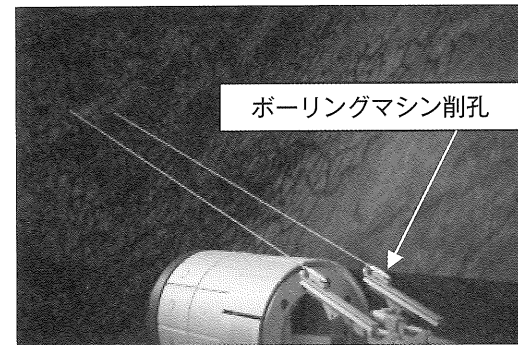


図-14 ボーリング地山調査概要図

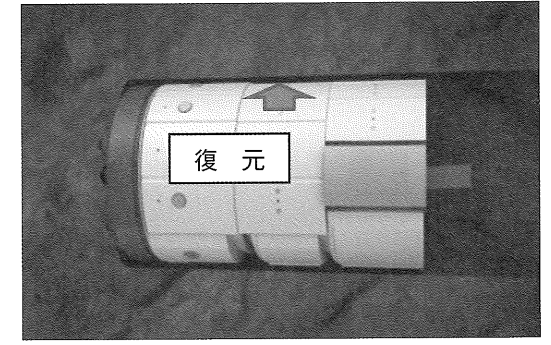


図-16 縮径TBM復元図

- ⑥ マシン外殻に設備した土圧計の変位を監視しながら拘束状態が発生しない位置で縮径した胴体を復元し、掘進する(図-16).

⑤ 拘束原因別縮径TBMの拘束状態解除方法

マシンの拘束原因は地山状態により軽微なものから重大なものまでである. 下記にそれぞれの想定した拘束状態の対応策を記す.

5-1 切削粉が地山と外殻の間に入り込んで拘束された場合(拘束頻度:多)

- (1) 施工手順
 - ① 鋼殻部を切削粉による拘束が解除される程度まで縮径する.
 - ② 切削粉をエア・水などにより洗い流しながら、通常のTBM掘進方法により当該区間を脱出する.
- (2) 脱出後の縮径掘削部の対処方法
地山の押し出しなどにより拘束されたわけでは

なく、縮径掘削部は内空断面を確保できているので拘束区間は吹付けコンクリートによる支保を行う.

5-2 幅10m程度の断層破碎帯などでの崩落性地山などにより、外殻が拘束された場合(拘束頻度:中)

- (1) 施工手順
 - ① 坑内より前方地質探査を実施し、前方の破碎帯区間長・地質性状などを把握する.
 - ② 把握した区間長や地質性状を考慮して、坑内より拘束部およびTBM前方の破碎帯区間を地盤改良する.
 - ③ 外殻部を縮径し、拘束を解除する. 拘束部地山が安定していることをマシンに装備した土圧計などにより確認する.
 - ④ 通常の掘進方法により当該区間を脱出する.
 - ⑤ 崩落性地山区間が長い場合は、縮径を段階的に行って、上記の①~④を数回繰り返して良好地山区間まで掘進する.

(2) 脱出後の縮径掘削部の対処方法

縮径により、内空断面が確保されていない箇所は対象区間を順次、「縫い返し：NATMにおける既存工法」により、適正断面に修正して吹付けコンクリートによる支保を行う。

5-3 比較的長距離での押し出し性地山や崩壊性地山などにより、初期掘削段階で外殻が拘束された場合(拘束頻度：小/φ6.0m以上の場合)

(1) 施工手順

- ① 坑内より前方地質探査を実施し、前方の破砕帯区間長・地質性状などを把握する。
- ② 地質性状を考慮して、坑内より外殻および面盤全面を地盤改良する。
- ③ マシン外殻を残し、面盤およびマシン駆動部などを取り外す。
- ④ 面盤を撤去したあとの開放された鏡面からNATMにより良好地山区間まで掘進する。この際、掘削断面はTBMの外径より一回り大きい断面とする。
- ⑤ 良好地山区間まで到達した段階で、安全性を確保したのち、面盤およびマシン駆動部などを再設置する。
- ⑥ 外殻部を縮径して拘束を解除し、拘束部地山が安定していることを装備した土圧計により確認後、拘束状態から脱出する。
- ⑦ NATM施工区間を、開放されたマシンを移動させ、良好地山区間から、通常の掘進方法によるTBM掘削を再開する。

(2) 脱出後の縮径掘削部の対処方法

拘束された区間は縮径により、内空断面が確保されていないため、対象区間を順次、「縫い返し」により、適正断面に修正する。

⑥ 今後の課題

わが国における山岳トンネル工法でのTBM実績は少ない。一つの課題として挙げられるのは掘削対象地盤が複雑で、すべての起こりうる事象に対応しなければならない機械を製作することは困難であり、費用も増大する。しかしながら、TBMの高速掘削は魅力であるため、永続的に開発を重ね技術的発展をしていけばどのような地盤に対しても安価で機械的対応が可能な掘進機ができるであろう。

今後は、超長距離施工や途中で径が変化するような用途に対応できるような掘進機にも取り組んでいきたい。本稿がこれからのTBMを考えるにあたり、その一助になれば幸いである。

最後に、これらの開発、設計、検討にあたりTBMに深識を有する川崎重工業(株)の関係者各位にご協力をいただきました。誌面を借りて、厚くお礼を申し上げます。

(文責：市川政美/戸田建設(株))

参考文献

- 1) 土木学会：2016年制定トンネル標準示方書[共通編]・同解説/[山岳工法編]・同解説，pp.355-360。
- 2) 日本トンネル技術協会：TBMハンドブック，pp.39-54，2000.2。

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・齊藤正忠・北川隆 共訳

B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(〒450円)

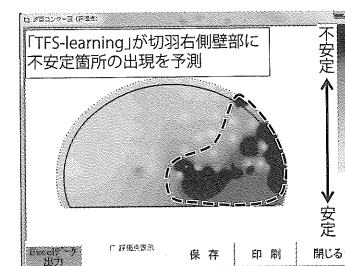


株式
会社 土木工学社

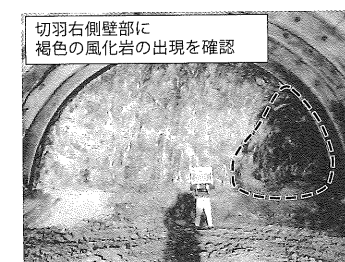
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

工法・技術・製品ニュース

工法 AIが切羽安定度を自動で予測



【発破前の予測結果】



【発破後の切羽状況】

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

安藤ハザマ、古河ロックドリル、マックの3社は共同で、進士正人・山口大学大学院創成科学研究科教授の指導のもと、AI(人工知能)を用いて、山岳トンネルの施工データを機械学習することにより、切羽の安定度を自動的に予測できるトンネル切羽安定度予測システム「TFS-learning (Tunnel Face Stability calculate system by machine learning)」を開発し、実現場での運用を開始したと発表した。

同システムは、発破孔の穿孔データ(穿孔速度、フィード圧、打撃圧、回転圧の4つ)を用いて、発破後に露出する切羽の安定度を、切羽評価点を指標に自動的に予測するもの。

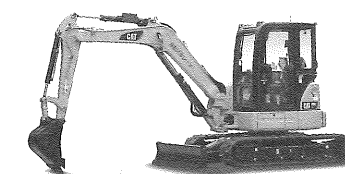
はじめに、掘削済み区間で得られた発破孔の穿孔データと切羽評価点の相関関係について、遺伝的プログラミングを用いて機械学習を行い、発破孔の穿孔データから切羽評価点を導き出す数理モデルを構築する。

次に、この数理モデルを用いて、新たな発破孔の穿孔データから発破後の切羽評価点を算出し、発破後に露出する切羽の安定度を予測する。予測結果は、カラーコンター図を用いて切羽の不安定箇所を可視化させる。システムは、施工データが蓄積されるたびに、くり返し機械学習を行い、数理モデルを更新してゆく。

同システムは、国土交通省東北地方整備局発注の国道106号新箱石地区道路工事(新箱石トンネル)において適用されており、つぎの効果が確認されている。

- ・切羽全面の発破孔の穿孔データを用いるため、切羽全面を網羅的に評価することができ、切羽の不安定箇所の確実な把握が可能。
- ・発破孔穿孔時に、リアルタイムに切羽の不安定箇所が把握可能。
- ・得られた切羽の不安定箇所に対して、切羽安定対策を実施することで、切羽作業の安全性が向上。

製品 CATからオプション装備品が充実のミニ油圧ショベル4機種



Cat® 305E2 CR

キャタピラー・ジャパンは、さまざまな現場で、掘削・積み込み・吊り作業などに高い作業性能を発揮する後方超小旋回型ミニ油圧ショベル4機種を新発売した。

新発売のCat® 303.5E2 CR/Cat® 304E2 CR/Cat® 305E2 CR/Cat® 305.5E2 CR後方超小旋回型ミニ油圧ショベルは、それぞれ2015年9月発売の303.5E2 CR、304E2 CR、305E2 CR、305.5E2 CR後方超小旋回型ミニ油圧ショベルの各種特長、仕様値はそのままにオプション装備品を充実させたマイナーチェンジ機となっている。

オプションの共用配管コントロールにジョイスティックレバー上のス

ライドスイッチによる手操作に加え、新たに左ペダルでの足操作を追加した。足ペダル操作は、スライドスイッチとの操作切替えも可能で、オペレータの好みやアタッチメントごとに操作方式を選択でき、作業の効率化を図る。

携帯電話回線を使って、車両の位置、稼働時間、燃料消費量などの車両情報を入力できるプロダクトリンクをオプションで設定し、効率的な車両管理が可能となるほか、バケットとワークツールアタッチメントとの交換が容易になる油圧式クイックカブラをオプションで設定、ロックピンの接続、解除は運転席に座ったままモニタ操作が可能となる。

キャタピラー・ジャパン
小型製品販売促進グループ
TEL. 03-5717-1156
<http://www.caterpillar.com/>

「トンネルと地下」2016年1～12月号総目次

〈平成28年・年間総目次〉

巻 月号 頁

巻 頭 言

如砥如矢……………斎藤 浩司 47 1 5
 世界に誇れる非開削技術……………古川 和義 47 2 5
 首都圏のシームレスな料金の導入と環状道路整備……………遠藤 元一 47 3 5
 現場で培われる組織力と決断力……………乗京 正弘 47 4 5
 水路トンネルの耐震化……………甲村 謙友 47 5 5
 シールド万感……………久保田政宏 47 6 5
 先人の水路トンネルと継往開来……………嶋田 善多 47 7 5
 地下空間およびトンネル技術に想う……………秋場 俊一 47 8 5
 人生すべからく夢なくしてはかないません……………金崎 智樹 47 9 5
 経験工学に理を加える……………土屋幸三郎 47 10 5
 NATMとイチロー……………服部 修一 47 11 5
 人類の未来を切り開くトンネル技術者……………芥川 真一 47 12 5

座 談 会

設立40周年記念若手技術者座談会(1)〈暮らしを支え、夢を叶えるトンネル・地下空間—若手技術者ものづくりを語る〉……………JTA設立40周年記念事業実行委員会催物企画等ワーキング 47 2 57
 設立40周年記念若手技術者座談会(2)〈暮らしを支え、夢を叶えるトンネル・地下空間—若手技術者トンネルの未来を語る〉……………JTA設立40周年記念事業実行委員会催物企画等ワーキング 47 3 53

研 究

側方からの押出しが顕著な泥岩地山トンネルの掘削挙動評価……………井浦智実・蔭宇静 47 2 33
 覆工材料の違いによる変形破壊挙動に関する実験的研究……………野城一栄 47 7 53
 ICTによる地下鉄トンネル維持管理システムの構築……………榎谷祐輝・三浦孝智・川上幸一・豊田貞光 47 10 41
 地下鉄トンネル覆工の浮き・剝離の可視化による検出システムの検討……………

三浦孝智・川上幸一・小西真治・篠原秀明 47 11 41
 DO-Jet工法における超高圧2液混合ジェット噴流の影響範囲に関する実験的研究……………
 ……神山守・磯部隆寿・岩佐行利・小泉淳 47 11 47

計 画

路面隆起が徐々に進行するトンネルの変状調査と再現解析〈磐越自動車道 鳥屋山トンネル〉……………
 ……宮沢一雄・安田賢哉・菊池慎司・鶴原敬久 47 3 33
 地下空間を利用した国際リニアコライダー研究施設を日本国内に建設予定……………
 ……宮原正信・山本明・秋田勝次・近久博志 47 5 57

解 説

さく岩機の技術的変遷……………
 ……小泉匡弘・福井勝則・羽柴公博 47 1 39
 最近の水害想定にもとづく東京メトロの浸水対策……………
 ……大塚努・保栖重夫・佐々木孝太 47 6 59

報 告

地圧を受けた在来線トンネルの内空変位対策(旧北陸本線 倶利伽羅トンネル)……………
 ……岩橋寛臣・塩谷敦・鈴木秀門 47 1 45
 事例調査にもとづく鋼製支保工の機能と効果に関する考察(1)……………JTA技術委員会山岳工法小委員会支保ワーキング 47 1 53
 事例調査にもとづく鋼製支保工の機能と効果に関する考察(2)……………JTA技術委員会山岳工法小委員会支保ワーキング 47 2 45
 繊維補強吹付けコンクリートの現状と課題(1)……………JTA技術委員会山岳工法小委員会支保ワーキング 47 3 45
 繊維補強吹付けコンクリートの現状と課題(2)……………JTA技術委員会山岳工法小委員会支保ワーキング 47 4 53
 山岳トンネルの設計と現場との乖離(1)〈アンケート結果〉……………JTA技術委員会山岳工法小委員会支保ワーキング 47 9 41
 第42回ITA総会および世界トンネル会議(米国)報告……………JTA国際委員会ITA統括ワーキング 47 9 53
 山岳トンネルの設計と現場との乖離(2)〈パネルディス

カッション)……………JTA技術委員会山岳工法小委員会支保ワーキング 47 10 59
 供用中のトンネルにおける路盤隆起対策効率化の取組み〈北陸新幹線 碓氷峠トンネルほか〉……………
 ……北川一希・細井麻里・久保原猛・若林秀明 47 11 53

施 工

【鉄道トンネル】

史跡保護のため火山砕屑岩地山をV字形縦断線形で掘削〈九州新幹線西九州ルート 木場トンネル〉……………
 ……福山拓郎・窪田崇斗・藤野晃 47 4 7
 開業を迎えた北海道新幹線(新青森・新函館北斗間)のトンネル群……………深沢成年・種田昇・橋本浩市 47 5 7
 多量湧水区間をさまざまな対策で施工〈北海道新幹線(新函館北斗・札幌間) 村山トンネル〉……………
 ……永利将太郎・長川善彦・中田暁之・大畑雅義 47 6 7
 覆工前に産業廃棄物盛土が行われる小土かぶりトンネルの支保パターン検討〈九州新幹線西九州ルート 武雄トンネル〉……………
 ……神田大輔・江島武・高橋和寛 47 12 7

【道路トンネル】

含軽石火山礫凝灰岩地山における計測管理手法の提案〈北海道横断自動車道 天狗山トンネル〉……………
 ……林稔・村上和行・佐藤正・日野道雄 47 1 7
 造成盛土地盤中および直下のトンネル掘削〈和歌山市道 中平井線 ふじとトンネル〉……………
 ……牧野和之・市川晃央・香川裕司・川崎邦男 47 1 13
 双設トンネルの相互影響を考慮して未固結地山を掘削〈新名神高速道路 神峰山トンネル〉……………
 ……小柳公治・藤川幸雄・大島基義・勝田つかさ 47 2 7
 発破振動に起因する固体伝搬音の発生と対策〈名護東道路 3号トンネル〉……………
 ……永山盛久・寺西淳次・福山新二・高村浩彰 47 2 13
 先進導坑を用いた小土かぶり未固結地山における扁平大断面トンネル〈国道1号笹原山中バイパス1号トンネル〉……………
 ……若林宏彰・佐溝健治・山本雅広・野田佳彦 47 3 7
 大規模な破碎帯と熱水変質地山における双設道路トンネルの施工〈新名神高速道路 野登トンネル〉……………
 ……伊原泰之・谷本泰雄・野田正利・狭間稔司 47 4 17
 既設水路トンネル直下に超長尺大口径鋼管先受け工を坑内から打設〈大洲・八幡浜自動車道 千丈トンネル〉
 ……板橋弘和・吉田正樹・吉平安生・諏訪至 47 4 27

河川・都市施設と都市高速道路トンネルの一体整備〈阪神高速道路2号淀川左岸線 正蓮寺川トンネル〉……………
 ……藤田哲夫・佐々木一則 47 5 19
 トンネル覆工の施工性の改善および耐久性向上に関する取組み〈国道45号吉浜釜石道路 荒川・唐丹第1トンネル〉……………
 ……手間本康一・泉水大輔・赤間友哉・桜井邦昭 47 6 17
 新東名高速道路豊田東JCT～浜松いなさJCT間のトンネル群……………河東頼男・立松和憲・橋爪智 47 7 7
 ずり出しにカーブベルトコンベヤと堅シュートを用いて周辺環境への影響を低減〈中部横断自動車道 城山トンネル〉……………
 ……竹淵俊和・石丸智実・吉野兼央・三好新 47 7 17
 長大山岳トンネルにおける生産性向上への取組み〈急速ずり処理システムとロングブーム吹付け機の開発……………
 ……小島英郷・藤内隆・藤井攻 47 7 25
 昼夜連続通行止めによる全断面連続片押し工法でインバートを新設〈磐越自動車道 鳥屋山トンネル〉……………
 ……宮沢一雄・安田賢哉・須山恭三・渡辺淳 47 8 7
 覆工表層部の品質向上のために透水性シートを適用〈国道45号南三陸道路4号トンネル〉……………
 ……小林正和・伏見友宏・山中健大・小枝保彦 47 8 19
 高精度秒時電子雷管を用いて地盤振動と低周波音を低減〈新名神高速道路 箕面トンネル〉……………
 ……勘定茂・前田佳克・淵先弘一・北村義宣 47 9 7
 分岐部大断面のトンネル掘削と覆工コンクリートへの取組み〈国道178号浜坂道路 余部トンネル〉……………
 ……長央貴晴・芝本芳生・市橋勝行・畑山昌之 47 9 17
 線路下の道路函体71mをHEP&JES工法で施工〈名古屋都市計画道路椿町線〉……………
 ……中根修・讃岐賢太・岡田英倫・水野元 47 10 7
 補助工法による国道の沈下対策と坑外ベルコンで工事用道路の制約を回避〈新東名高速道路 白子トンネル・稲木トンネル〉……………
 ……間井博行・藤井研介・木梨秀雄・秋山幸一 47 10 19
 小土かぶりの切羽安定対策と坑口地すべり対策で脆弱な頁岩を掘削〈九州横断道 高木トンネル〉……………
 ……峰潔毅・中山泰起・金子和己・羽根田隆 47 10 29
 覆工高品質化の取組みと施工合理化に向けた切羽探査・計測技術〈新名神高速道路 野登トンネル〉……………
 ……伊原泰之・塩梅崇・白旗秀紀・加藤健治 47 11 7
 トンネル内の避難通路用ボックスカルバートを特殊台車で搬送・敷設〈都市計画道路大和川線避難通路〉……………
 ……岸秀樹・陣野員久・天野宏 47 11 17
 中央構造線に平行する本線トンネルの調査坑を全断面早

期閉合で試みる〈三遠南信自動車道 青崩峠トンネル (池島調査坑)〉……………

渡部達宏・桑原良輝・八木田茂生・楠本太 47 11 23

脆弱泥岩層における切羽後方での大崩落〈上信越自動車道 金谷山トンネル〉……………

……………桑原和夫・日野秀国・田中章 47 12 15

国内最大シールドの発進立坑を深度70.3mのニューマチックケーソンで構築〈東京外かく環状道路 東名JCT・本線シールド発進立坑〉……………

……………高松大輔・合田聡・大野裕嗣・遠藤和雄 47 12 25

【地下鉄トンネル】

掘進管理の難しい複合地盤で大断面シールドを施工〈広深港高速鉄道 XRL825トンネル〉……………

……………山口英・坂本式隆 47 6 29

中国における扁平大断面矩形形状シールドの開発と試験施工〈寧波市地下鉄3号線引込み線〉……………

……………橋本正・朱瑤宏・朱雁飛・早川清 47 6 49

【サービストンネル】

海底横断ガス導管シールドをURUP工法により地上発進〈東邦ガス 緑浜第二吐出線〉……………

……………北川夏樹・中村篤史・広尾俊幸・東野弘幸 47 1 25

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

……………武山信幸・中條明彦・川元克哉 47 3 19

泥水・泥土併用シールドによる無水砂礫層の長距離掘進〈東京都水道局 第二朝霞東村山線〉……………

……………藤川和久・永田亮・安部春樹・堀昭 47 4 35

地下鉄直上の残置仮受け杭を特殊泥濃推進工法で切削・除去〈東京下水道 千代田区永田町一丁目, 霞が関二丁目付近再構築〉……………

……………毛利光夫・山崎貴裕・先崎和範・富田昌晴 47 5 29

名古屋港海底下を横断する長距離シールドの設計と施工〈西名古屋火力発電所ガス導管トンネル〉……………

……………滝川真太郎・河村晋平・亀井達司・小坂琢郎 47 5 39

小口径シールドで複合地盤を長距離掘進〈堺市下水道 百舌鳥深井汚水線(処理場ネットワーク管)〉……………

……………櫻本浩・佐藤幸夫・工内由香・原昌広 47 7 45

想定外巨礫に遭遇した小断面シールドの進捗低下と対策工〈東京都水道局 第二淀橋線〉……………

……………田原功・石綿利光・迫田忍・榎本文一 47 8 27

ダム湖内に立坑と大断面ウォータータイト圧力トンネルを構築〈鹿野川ダムトンネル洪水吐〉……………

壬生恵庫・上岡真也・芳岡良一・本村浩志 47 8 37

地中支障物対策を駆使したシールド施工〈東京下水道 王子西一幹線〉……………

……………岡本順・神山守・坂本久之 47 8 59

φ3,000mmシールドで巨礫対策を駆使して帯水砂礫層を長距離掘進〈名古屋市上水道 犬山系導水路〉……………

……………白坂広史・橋寛行 47 9 27

連載講座

トンネル新技術への挑戦(2)〈MC-TBM工法〉…「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 47 1 59

トンネル新技術への挑戦(3)〈FILM(背面平滑型トンネルライニング工法)〉……………「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 47 2 67

トンネル新技術への挑戦(4)〈超長尺コントロールボーリングFSC-100〉……………「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 47 3 63

トンネル新技術への挑戦(5)〈大断面省エネシールド工法〉……………「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 47 4 65

トンネル新技術への挑戦(6)〈ツインアーチフォーム(TAF)工法〉……………「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 47 5 69

トンネル新技術への挑戦(7)〈硬岩トンネル掘削機TM-100〉……………「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 47 6 69

トンネル新技術への挑戦(8)〈曲線函体推進「まがる一ふ工法」〉……………「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 47 7 65

トンネル新技術への挑戦(9)〈NEW TULIP工法〉……………「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 47 8 69

トンネル新技術への挑戦(10)〈密閉型矩形シールド(パドル・シールド)工法〉……………「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 47 9 65

トンネル新技術への挑戦(11)〈WJ(Wing Joint)セグメント工法〉……………「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 47 10 67

トンネル新技術への挑戦(12)〈通行止めを要しないインバート設置工法〉……………「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 47 11 61

トンネル新技術への挑戦(13)〈縮径トンネル掘削機(縮径TBM)〉……………「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 47 12 47

現場だより

「もみじの色づくまち」箕面市と「源氏発祥の地」川西市より……………安井義則 47 1 12

仙台市太平洋沿岸にて……………松永伝吉 47 2 22

「奇岩と紅葉が彩る絶景」中津市耶馬溪より……………平野啓一 47 3 18

「神話とスポーツの町」宮崎市より……………後藤隆之 47 4 26

「世界遺産の登録をめざす」長崎県新上五島町より……………西尾泰三 47 5 18

「味覚と化石の宿るまち」篠山市より……………西嶋宏文 47 6 28

「ふかひれ」と「ホヤ」のまち気仙沼より……………衣笠晃司 47 7 23

「八十里越」三条市下田地区より……………三宅拓也 47 7 24

「歴史めぐりを満喫」上越妙高より……………高村忠勝 47 8 36

「トンネル技術者の注目の地」鳥取県鳥取市……………富田陽一 47 8 48

長州の古刹「大寧寺」より 長門・俵山道路……………渡邊 博 47 9 15

「神々の降る里」御所市より……………遠田喜一 47 10 28

伝説「静御前と鈴ヶ神社」岩手県宮古より……………佐々木照夫 47 11 15

「古事記・日向神話」のまち宮崎より……………壹岐智成 47 12 24

語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

トンネル屋として一丁前に能書きを言えるまで10年かかる……………海野 修 47 1 33

技術の進化は夢への挑戦から……………草野邦雄 47 2 23

シールド技術の進展とともに歩んだ土木屋の道……………吉成寿男 47 3 25

技術の変遷……………高津荘太 47 4 43

わが「トンネルと地下大空洞」の40年……………福岡 孝 47 5 49

「アリマックのHORIBA」始末記……………堀場秀享 47 6 39

「トンネル屋として楽しんだ40年」徒然にふりかかって……………千葉 隆 47 7 35

関係者全員の意思統一で難工事を完成……………岡村慶治 47 8 49

自然との共生……………岩井勝彦 47 9 33

人との出会いを造ってくれたシールドトンネル……………三浦政美 47 10 49

これからのシールド工事を担う諸君へ……………佐伯 博 47 11 33

トンネル建設に携わって思ったこと……………下河内稔 47 12 35

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

1. 原稿は弊社ホームページ(<http://www.tunnel.ne.jp>)に掲載されている投稿規定により執筆して頂きます。
 2. 原稿のボリュームは、原則として刷上がりで8頁以内とします(図・表・写真含む)。
 3. 原稿掲載の採否は、本誌編集委員会で審査のうえ決定します。
 4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
 5. 原稿は、原則として返却いたしません。
(注:「現場だより」の投稿は受付けておりません)
- 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)

一般社団法人

日本トンネル技術協会

会報

1. 会員の現状

| | 10月31日現在 |
|------|----------|
| 個人会員 | 910名 |
| 団体会員 | 204名 |
| 推薦会員 | 205名 |
| 特別会員 | 8名 |
| 名誉会員 | 4名 |
| 賛助会員 | 226名 |
| 合計 | 1,557名 |

2. 委員会の開催状況(10月1日~31日)

①運営広報委員会関係

◎総務委員会

・広報小委員会

会誌WG(10/6)

小山幸則主査ほか12名, 11月号の会誌と3か月計画を検討

トンネル関係技術者資格制度準備会(10/7)

玉井真一委員ほか10名, 資格制度の検討

◎事業委員会

・事業委員会打合せ会(10/18)

八木弘委員ほか6名, 山岳ステップアップ研修会実施方針を検討

◎国際委員会

・国際委員会(10/28)

中村武夫委員長ほか9名, ITA GA/WTC2016報告会の検討

・ITA統括WG(10/7)

福本勝司顧問ほか17名, ITA GA/WTC2016報告会の検討

・海外文献小委員会

海外ニュースWG(10/25)

佐々木養一主査ほか6名, 海外文献の査読

計 6回開催 66名出席

②調査研究委員会関係

◎技術委員会

・山岳工法小委員会

支保WG(10/7)

丸山修主査ほか14名, 小土かぶり施工事例を検討

・安全環境小委員会

山岳アセスメント検討WG(10/6)

中川宏主査ほか9名, 改訂要望箇所を検討

シールドアセスメント検討WG(10/12)

中川宏主査ほか10名, 改訂要望箇所を検討

・保守管理小委員会(10/27)

浅見郁樹委員長ほか13名, 維持管理業務講習会応用編の企画検討

要望対応WG(10/19)

佐溝時彦主査ほか4名, 現場への要望と対応

・都市トンネル小委員会

セグメント実態調査WG(10/31)

五十嵐俊夫主査ほか7名, 作業方針を検討

◎受託研究特別委員会

・相鉄・JR・東急線直通線検討委員会開削駅検討WG(10/24)

館山勝委員長ほか25名, 課題の検討

・効率的点検特別委員会幹事会(10/3)

松岡茂幹事長ほか21名, 作業計画および作業方針を検討

・効率的点検特別委員会打合せ会(10/24)

平間昭信委員ほか7名, データ分析を検討

・数値解析マニュアル検討特別委員会幹事会(10/20)

蔣宇静幹事長ほか18名, 業務内容および作業方針を検討

計 10回開催 138名出席

合計 16回開催 204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43回ITA総会およびコンgres「Surface problems -Underground solutions」 | 2017. 6. 9~15 | ベルゲン (ノルウェー) | Norwegian Tunnelling Society, ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc2017.no/ |
| 第44回ITA総会およびコンgres「Smart Cities: Managing the Use of Underground Space to Enhance the Quality of Life」 | 2018. 4.20~26 | ドバイ (UAE) | Society of Engineers-UAE, ITA(国際トンネル協会) http://www.uaesocietyofengineers.com |
| 第45回ITA総会およびコンgres「Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art」 | 2019. 5. 3~ 9 | ナポリ (イタリア) | Italian Tunnelling Society, ITA(国際トンネル協会) http://www.societaitalianagallerie.it/Prj/Hom.asp |

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

4. 平成28年度催物開催現況

(平成28年10月現在)

| 催物名 | 開催日 | 人数 | 場所 | CPD取得単位 |
|---|---------------|-----|-----|---------|
| 【現場見学会】 | | | | |
| 横浜市下水道トンネル現場研修会(磯子トンネル) | 2016. 5.20 | 21 | 神奈川 | 2.0 |
| 新東名高速道路トンネル建設工事現場研修会(羽根トンネル) | 2016. 6.28 | 22 | 神奈川 | 2.5 |
| 北海道トンネル建設工事現場研修会 | 2016. 7.28 | 18 | 北海道 | 4.8 |
| 新北陸トンネル建設工事現場研修会(葉原・大桐・奥野々工事) | 2016. 8.26 | 24 | 福井 | 4.0 |
| 福岡地下鉄建設工事現場研修会 | 2016. 9.29 | 30 | 福岡 | 2.0 |
| 東北中央自動車道トンネル建設工事現場研修会(山形蔵王トンネル, 三吉山トンネル) | 2016.11.11 | 25 | 山形 | 3.0 |
| 環状5の1号線地下道路建設工事現場研修会(雑司ヶ谷工区・南池袋工区) | 2016.11.18 | 20 | 東京 | 1.5 |
| 東京外かく環状道路トンネル建設工事現場研修会(大和田工事Hランプ) | 2016.12. 8 | 25 | 千葉 | 1.5 |
| 【施工体験発表会】 | | | | |
| 第78回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事一新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮」 | 2016. 6.22 | 169 | 東京 | 5.9 |
| 第79回(都市)「市街地における地下構造物の新設および改良工事—近接, 拡張, 再構築等の施工事例—」 | 2016. 6.23 | 111 | 東京 | 4.3 |
| 【講習会・シンポジウム】 | | | | |
| 都市トンネルのための地盤改良講習会 | 2016. 5.18 | 44 | 東京 | 5.7 |
| 第2回トンネル維持管理業務講習会(基礎編) | 2016. 9. 2 | 40 | 東京 | 6.3 |
| 第3回トンネル技術者のための地相入門講習会 | 2016.10.31 | 36 | 東京 | 6.3 |
| 第18回ステップアップ研修会「シールド部門」 | 2016.11.29,30 | 30 | 東京 | 14.2 |

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

2016 施工体験発表会報告 および審査結果

◆施工体験発表会報告◆

恒例の施工体験発表会は、山岳部門を6月22日(水)、都市部門を6月23日(木)に虎ノ門発明会館地下ホールで開催し、通算79回となりました。本発表会は、山岳と都市に関するその時々話題をテーマに、若手トンネル技術者の育成とトンネル技術者相互の情報交換の場として企画・開催しているものです。今回、山岳では「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—」、都市では「市街地における地下構造物の新設および改良工事—近接、拡幅、再構築等の施工事例—」をテーマとして募集しました。その結果、発表件数は山岳部門14件、都市部門10件となりました。事業委員会では、前年に引き続き「発表論文概要の事前公表」「テキストのCD化と事前配布」「発表者の表彰」「パンフレット設置スペース提供」「ベストオーディエンス賞」を設け、会員の要望に応え、企画・実施しました。

結果、当日の参加者数は、それぞれ169名、111名で昨年とほぼ同数でした。特徴的だったのは、女性の参加者が山岳1名、都市13名と増えたことです。

以下に、当日回答いただいたアンケート調査結果(山岳83人(回答率49.1%)、都市66人(回答率60.4%))の一部を引用し、施工体験発表会の報告

をします。参加者の実態を図-1に示します。

山岳は30、40歳代が、都市では20歳代と40歳代が中心となっています。また、図-2の「今日と同様のプログラムが今後開催されるとしたら、同僚や部下に受講を勧めますか?」については、90%の方々から勧めるという意見をいただきました。

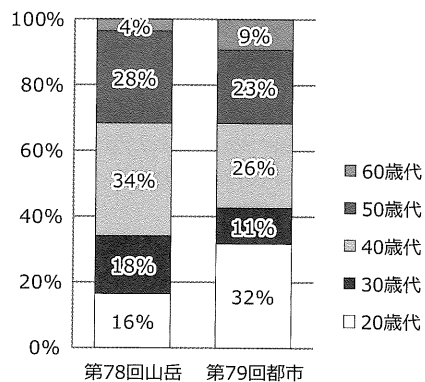


図-1 年代別参加者比率(アンケート回答者)

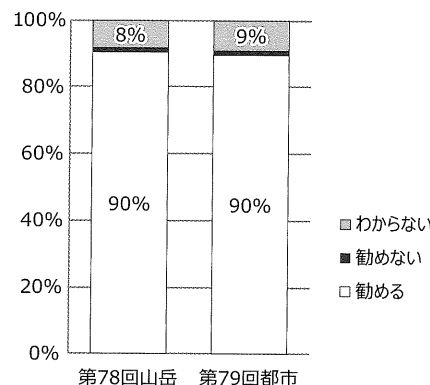


図-2 勧めるか(アンケート回答者)



写真-1 会場の風景

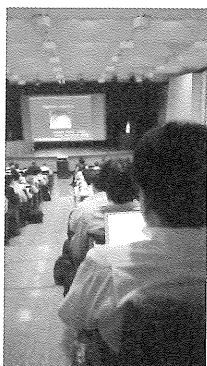


写真-2 入江事業委員長の挨拶

アンケートでは、いろいろなお意見をいただきましたが、今回とくに動画が再生できなかったことに対するご指摘や備品に対する意見が目立ったので、次回は、講師と事務局で事前チェックは入念にしなければいけないと反省しています。

◆パンフレット設置スペース◆

パンフレット設置スペースの提供を実施し、今年(株)ケー・エフ・シー、デンカ(株)、オリカジャパン(株)、青木あすなる建設(株)の4社から申し出があり活用していただきました。次年度も継続して実施予定ですので、その際にご活用いただきたいものです。

最後に、体験者が自らの思いを語る発表会での情報は、教科書や印刷物を見る以上に大変貴重ですので、設計・施工に携わる技術者の皆様には積極的に参加していただきたいと思ひます。

また、今後とも参加者からのアンケートのご意見を反映した催物を企画・実施していきますので、忌憚のないご意見よろしくお願ひします。

◆発表者の審査結果報告◆

第78回(山岳)ならびに第79回(都市)施工体験発表会にかかわる発表者の表彰について審査した結果、下記のとおりとなりましたので報告します。なお、両発表会の最優秀賞を受賞した論文は、後掲します。

第78回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術、創意工夫、周辺環境への配慮—」
〈最優秀賞〉

伊藤憲男(大林・奥村・西武横浜環状北線シールドトンネル工事JV主任)「住宅地直下における大断面地中拡幅工事—横浜環状線シールドトンネル—」
〈優秀賞〉

町永正樹(青木あすなる建設(株)京土木本店工務部久保坂下トンネル作業所)「NATMおよび開削工法による国道トンネルの活線拡幅工事—国道127号久保坂下トンネル改良工事—」

秀島賢保(鹿島・荒井特定工事共同企業体工務課

長代理)「蛇紋岩を含む脆弱性地山の施工実績—一般国道音威子府村音威子府トンネル—」

〈佳作〉

尾崎 健(大成建設(株)関西支店新名神川西トンネル工事作業所課長代理)「住宅近接トンネルにおけるチャレンジ—新型硬岩掘削機TM-100の適用—新名神高速道路川西トンネル工事—」

賀川昌純(前田建設工業(株)東北支店新鉄台トンネル作業所副所長)「最先端技術を駆使した大断面トンネル高速施工(最大月進232.5m)—国道45号新鉄台トンネル工事—」

第79回(都市)「市街地における地下構造物の新設および改良工事—近接、拡幅、再構築等の施工事例—」

〈最優秀賞〉

中川雅由(鹿島建設(株)土木管理本部土木工務部シールドグループ長)「大規模道路シールドトンネルのランプ分合流部における切開き施工事例—五反田出入口におけるパイプルーファーチ工法・シールド上部開削・下部先進導坑の適用—」

〈優秀賞〉

神保誠二(清水建設(株)土木東京支店工務所)「内部補強を併用した供用中の地下鉄トンネルに対する補強工事—みなとみらい線高島トンネル—」

飯島知哉(大成建設(株)土木本部土木技術部都市土木技術室課長)「ハーモニカ工法マルチタイプを採用したアンダーパスの築造—圏央道桶川北本地区函渠その1工事—」

◆ベストオーディエンス賞結果報告◆

今年4年目となる聴講者を対象とした「ベストオーディエンス賞」に多数のご応募をいただきありがとうございました。

この賞は、クイズ方式で高得点者をベストな聴衆者として賞するものです。今回は、応募総数が山岳部門では参加者169名中68名、都市部門では

参加者111名中50名あり、全問正解者がそれぞれ14名、11名でした。そのため7月20日委員長立会いのもと、抽選の結果、下記のとおりそれぞれ3名の方々を受賞者とし、図書カード(3,000円分)を贈呈しましたので、報告いたします。

〈第78回山岳部門ベストオーディエンス賞〉

- 山田宏行(奥村組土木興業(株))
- 鈴木雄太(鉄建建設(株))
- 兼子尚也(セントラルコンサルタント(株))

〈第79回都市部門ベストオーディエンス賞〉

- 樋口賢一郎(佐藤工業(株))
- 安田梨花(東京都水道局)
- 徳永浩之(ジェイアール東海コンサルタンツ(株))

なお、本文の詳細はホームページ「事業委員会」をご参照願います。

第78回(山岳)施工体験発表会最優秀賞

都市部における大断面地中拡幅工事

—横浜環状北線シールドトンネル—

首都高速道路(株)横浜工事事務所工事長 **神崎正美**
 大林・奥村・西武首都高新横浜JV工事事務所工事主任 **伊藤憲男**
 大林・奥村・西武首都高新横浜JV工事事務所副所長 **藤井剛**
 大林・奥村・西武首都高新横浜JV工事事務所工事長 **高浜達矢**

キーワード：非開削、地中拡幅、切開き、分合流

1. はじめに

現在、建設が進められている高速横浜環状北線(以下、「北線」)は、第三京浜道路「港北インターチェンジ」と首都高速道路横浜羽田空港線「生麦ジャンクション」をつなぐ延長約8.2kmの自動車専用道路である(図-1)。

北線の整備により横羽線、第三京浜道路の連携が強化され、羽田空港やアクアライン方面への交通利便性の向上と各イベント施設、商業施設へのアクセス向上が期待されている。

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

2. 工事概要

2-1 工事概要

当工事は、延長約5.5kmの区間において、シールドトンネル2本(内回り、外回り)とほぼその中央に位置する馬場出入口とつながる分合流拡幅部を4か所構築する。分合流拡幅工事は非開削によりシールド坑内から施工を行い、1か所約150~200mの区間において内径11.5mの本線トンネルを12~22mに変化する楕円形状に拡幅する(図-2~4)。

2-2 地質概要

分合流拡幅部の土かぶり厚は28~54mである。拡幅掘削区間の地層は上総層群を主体とした泥岩(Km)、砂質泥岩(Kms)、砂・砂岩(Ks)の互層で、N値はいずれも50以上と硬質である(図-5)。また、砂層は最大で0.5MPaで被圧され、均等係数は6程度と比較的小さい粒形がそろっている。

3. 分合流部の地中拡幅方法

3-1 当工事の課題

分合流拡幅部の4か所すべての区間の砂層は高水圧下で、かつ均等係数が比較的小さいことから、地下水の流出に伴う流砂現象が生じる可能性が考えられた。これらのことから、より安全でかつ確実な施工方法を立案する必要がある。

3-2 施工の基本方針

- (1) 地盤変状抑制
 - ・地山を支保する部材の剛性を高くして拡幅掘削による地山の変形量を抑制する。
 - ・地山を支保するまでの施工過程においても地山の応

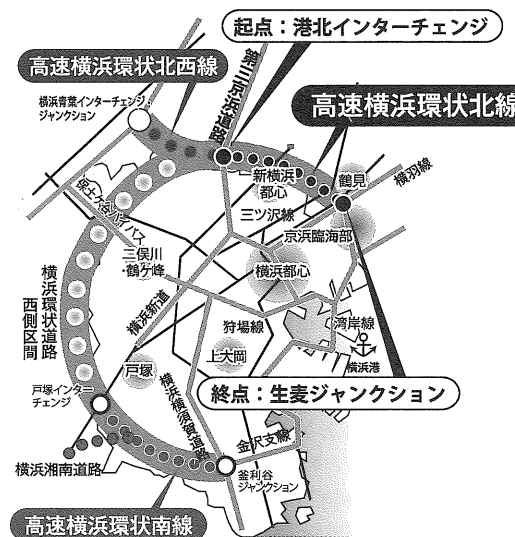


図-1 横浜環状北線の概要

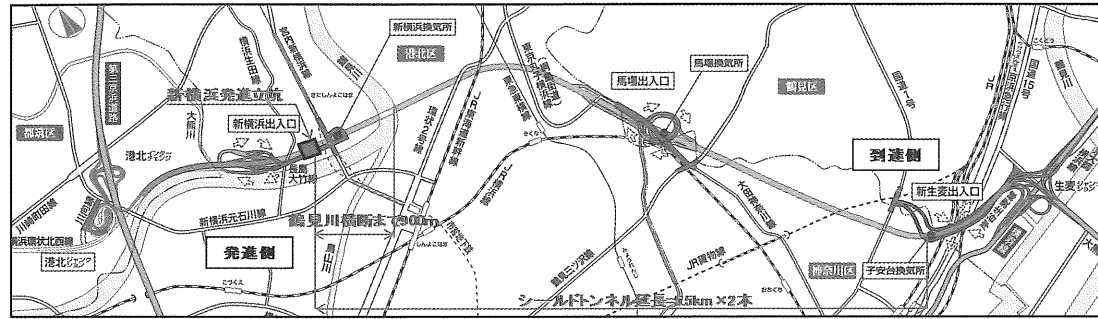


図-2 全体平面図

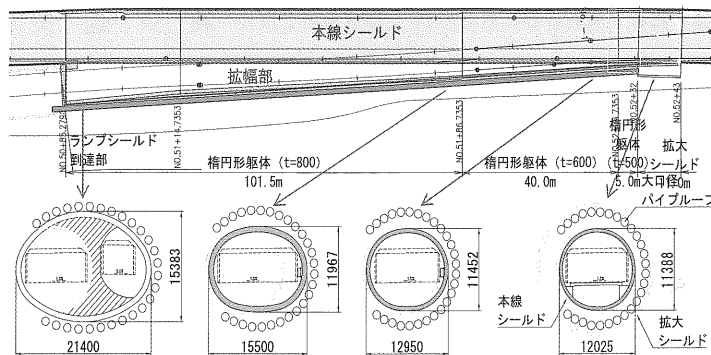


図-3 分合流掘削部平面図断面図

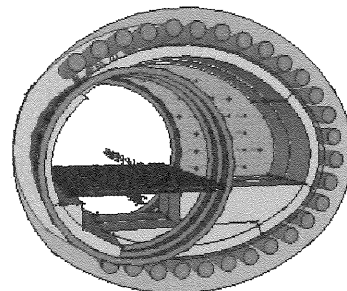


図-4 分合流掘削部概要図

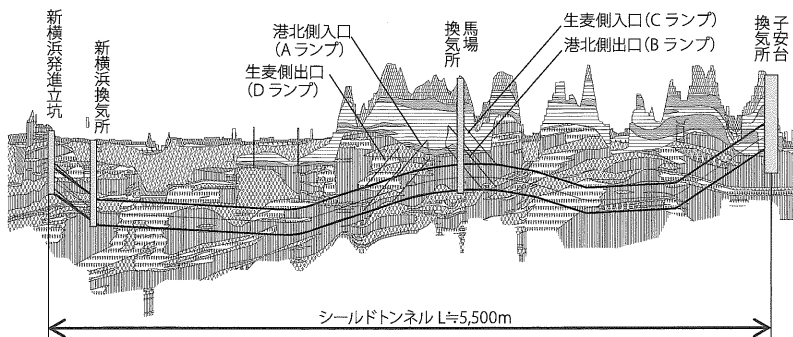


図-5 トンネル地質縦断面図

| T.P.(m) | 地質時代 | 地層名 | 地質名 | 記号 |
|---------|------|------|-------|------|
| 40.00 | 第四紀 | 人工地盤 | 盛土・埋土 | B |
| 30.00 | | | 有機質土 | Ap |
| 20.00 | | | 粘性土 | Ac |
| 10.00 | | | 砂質土 | As |
| 0.00 | 沖積層 | 砂礫 | Ag | |
| -10.00 | | 砂質土 | As | |
| -20.00 | ローム層 | ローム | Lm | |
| -30.00 | | 粘性土 | Dc | |
| -40.00 | | 砂質土 | Ds | |
| -50.00 | 更新世 | 相模層群 | 泥岩 | Km |
| -60.00 | | | 砂・砂岩 | Ks |
| -70.00 | | | 砂泥互層 | Kalt |
| -80.00 | | | 砂質泥岩 | Kms |

力解放を低減させる。

(2) 施工時の止水性確保

- ・地盤改良による止水効果を確実に得る。
- ・万一の出水に対しても速やかな対応を可能とする。

3-3 施工フロー

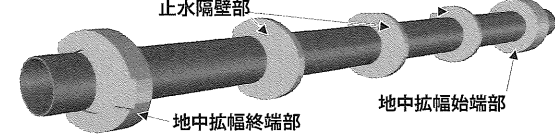
これらの基本方針にもとづいた、施工ステップを図-6に示す。

- ① 遮水壁造成：トンネル坑内から薬液注入で遮水壁（トンネル軸方向の止水）を造成。
- ② パイプルーフ発進基地構築：拡大シールドにて本線シールドトンネルを拡張（内径11.5→17.5m）し

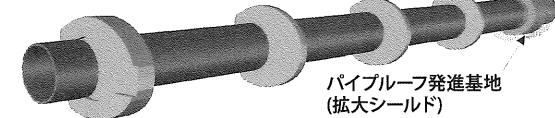
パイプルーフ発進基地を構築

- ③ パイプルーフ工：φ1,200mmの鋼管を推進工法により施工（27列/ランプ）
- ④ パイプルーフ間地山の遮水ゾーン造成：パイプルーフ鋼管内から薬液注入を施工し、パイプルーフ間の地山に遮水ゾーンを造成
- ⑤ 掘削掘削工：トンネル断面方向に4m幅で本線シールドセグメントを撤去し掘削
- ⑥ 躯体構築：掘削完了箇所躯体構築
- ⑦ 隣接部の掘削・構築：躯体強度発現後、隣接部の掘削・躯体構築

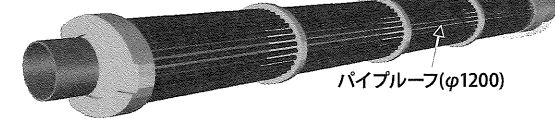
Step1 地中掘削始端部、止水隔壁部、地中掘削終端部薬液注入工（本線シールド内からの薬液注入）



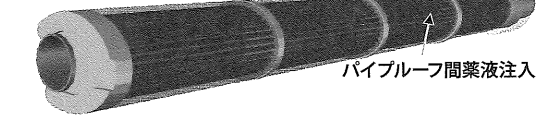
Step2 地中掘削始端部パイプルーフ発進基地構築（拡大シールド）施工



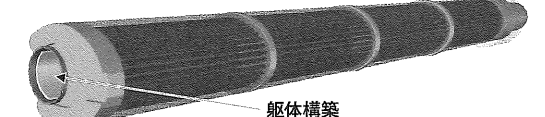
Step3 パイプルーフ（φ1200）施工



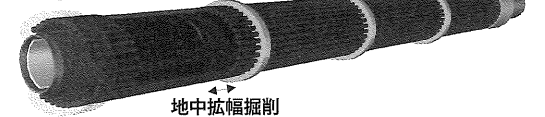
Step4 パイプルーフ間薬液注入工（パイプルーフ内からの削孔注入）



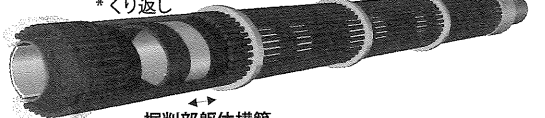
Step5 本線シールド内躯体構築



Step6 地中掘削掘削（幅4.0m）



Step7 地中掘削掘削部躯体構築（3.0m）【次ブロック掘削（3.5m）、掘削部躯体構築（3.5m）】* くり返し



Step8 完成

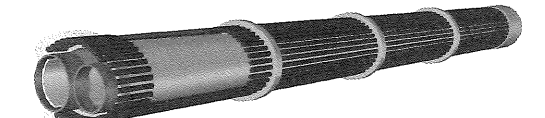


図-6 分合流部施工フロー

⑤⑥⑦のステップをくり返し、分合流掘削部を構築

上記フローのとおり、常に地山と躯体に支保された剛性の高いパイプルーフと薬液注入により止水された地山で囲まれた空間を切り開き掘削・躯体構築を行う。

4. 掘削掘削前までの概要・施工実績

4-1 遮水壁造成（薬液注入工）

高水圧下にある介在砂層（Ks）および土丹（Km）中の亀裂をターゲットに薬液注入を行った。ホモゲルの強度が高く、浸透性に有利な有機系の溶液を採用し、改良体の流出防止のため坑内からステップダウン工法で施工した。注入率は31.5%、目標の透水係数は $3.0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ とした。

注入完了後、チェックボーリングにより透水係数を確認し、満足しなかった場合は再削孔・再注入を行い、目標の透水係数を満足させた（写真-1）。

4-2 パイプルーフ発進基地構築（拡大シールド工）

掘削始端部において拡大シールドにより、本線シールド周りにパイプルーフ発進基地となる空間を構築した。拡大シールド施工部には事前に薬液注入工を行って施工時の止水性を確保しているが、土丹の亀裂からの突発

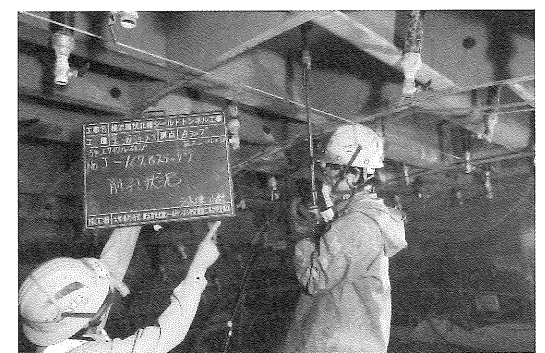


写真-1 薬液注入状況写真

出水や亀裂に伴う地山崩落対策として、密閉型の泥土圧シールドを採用した（写真-2、図-7）。拡大セグメントは円周方向10°分割36リングとし、元押しジャッキにより推進した。4ランプ施工の結果、拡大シールド掘削による地中変位および地表面への影響はなかった。

4-3 パイプルーフ工

拡大シールドにより構築された発進基地から、トンネル軸方向に1ランプあたり27列の大口径パイプルーフ（φ1,200）を施工した。推進工法で施工し、長さ6.5mの鋼管を溶接で接続し掘削終端部まで打設した（図-8）。



写真-2 拡大シールド全景

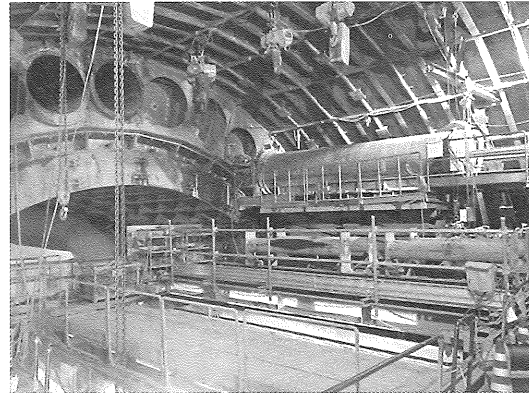


写真-3 バイブルーフ施工状況

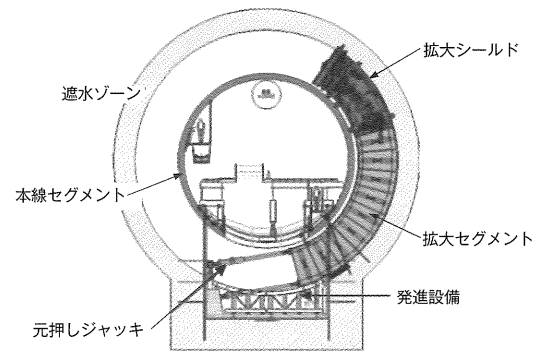


図-7 拡大シールド施工概要図

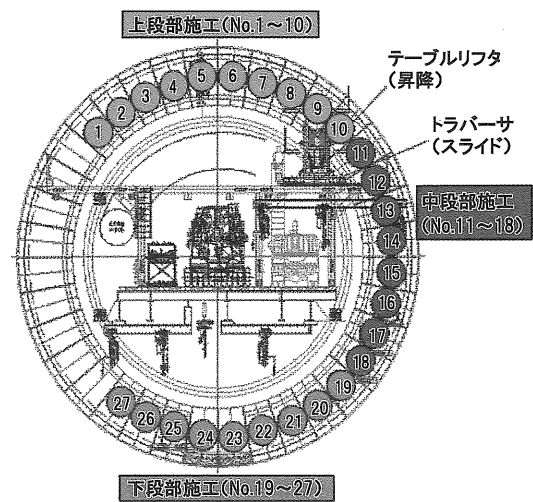


図-8 バイブルーフ配置図

推進工法は、高水圧・長距離・地盤などを考慮し、外回りトンネルでは泥濃式推進工法とし、内回りトンネルでは泥水式推進工法を選定した(写真-3)。

泥濃式、泥水式推進工法ともに、排土管理と切羽圧管理により、切羽の崩壊や土砂の取込みすぎもなく、周辺地山や地表面への影響はなかった。

4-4 バイブルーフ間遮水ゾーン造成

バイブルーフ間および外周の止水を目的にバイブルーフ(φ1,200)管内から薬液注入を実施した。注入材、注入率は前述4-1節と同様で、注入完了後は、バイブルーフ内からチェックボーリングにより、目標透水係数に達しているかを確認した。

5. 拡幅掘削工

5-1 拡幅掘削時における課題

(1) 狭隘空間での効率的な施工

シールドトンネル坑内からのセグメント切開きであり、作業スペースが限られていたため、効率的な掘削方法と機械選定が必要であった。

(2) 他作業の作業動線確保

分合流拡幅工事施工中は本線シールドトンネル掘進作業・床版工・内装工もトンネル内各所で施工しているため作業動線を確保する必要があった。

(3) 安全に施工するための切羽安定対策

拡幅掘削部の外荷重(地山荷重+水圧)は、未掘削部の地山と構築された躯体に支持された剛性の高いバイブルーフにより支保されているが、土丹層には亀裂が多く、拡幅掘削時に、亀裂に伴う地山の剝落・肌落ち、亀裂に沿った地山のすべりが発生するおそれがあった。

5-2 課題への対応策

5-2-1 掘削機械の選定

掘削機械は狭隘な坑内で稼働するため、0.45m³級のショートリーチ仕様の重機を使用した。さらに掘削作業は、セグメント撤去、掘削、ずり出しなどの作業を順次くり返し行うため、1台の重機でバケット、ツインヘッド、ブレーカ、ハンドリングマシン、ブーム延長エクステンションなどのさまざまなアタッチメントを容易に交換できるよう改造した。段取り替え作業に要する時間の短縮、各作業に必要な使用重機の数減らすことで、安

全性と施工性の向上を図った(写真-4)。

5-2-2 動線の確保

掘削中、車両が通行できるように掘削箇所にてプロテクター架台を製作・設置した(図-9)。プロテクター架台の



写真-4 0.45m³級掘削機械

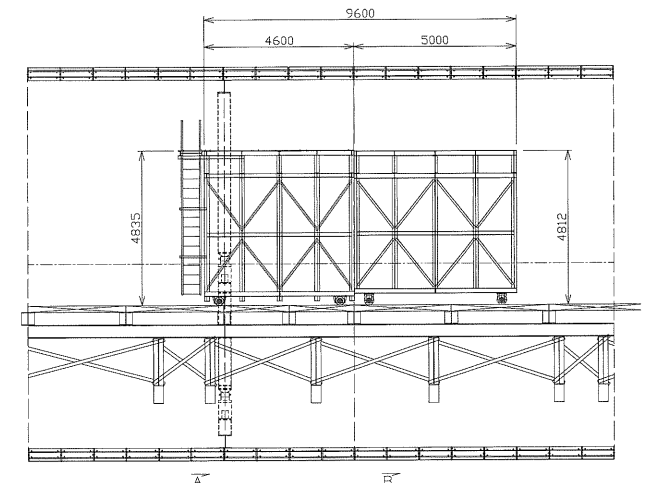
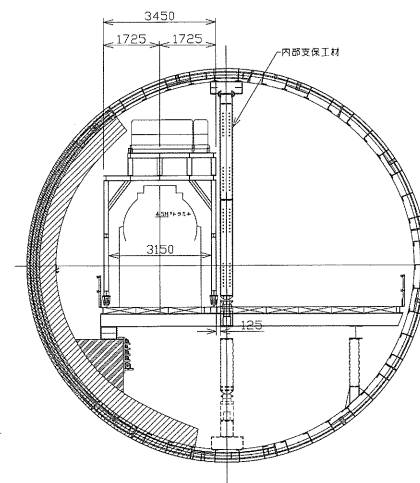


図-9 プロテクター架台



写真-5 ドライミックスコンクリート搬入

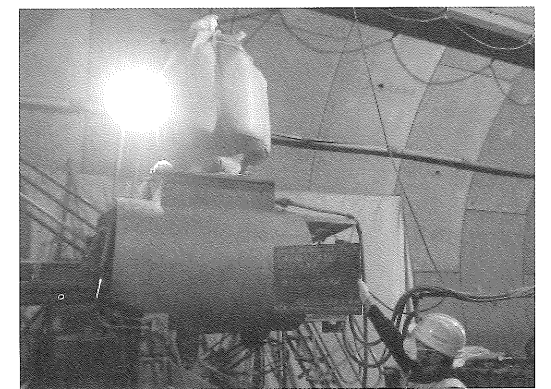


写真-6 吹付けコンクリート練混ぜ状況

車にて現地まで運搬して吹付けを行った(写真-5, 6).

側面の壁にはD25-2.5mのアンカーボルトを打設し、吹付けコンクリートと定着させることにより、地山崩落、吹付けコンクリートの剝落防止措置を行った。

(2) 縫地ボルト

掘削外周面はパイプルーフ内空側に掘削地山が残ることから、とくに天端パイプルーフ下では土丹の亀裂による地山の剝落・肌落ちのおそれがあった。そこで、掘削に先立ちパイプルーフ管内から縫地ボルトの打設を行った(図-10)。二次吹付けコンクリート施工後、速やかに縫地ボルトと吹付けコンクリートをベアリングプレートで定着させることで地山の剝落を抑制した。打設長はφ25mmの鋼棒を本設躯体外周面から100mm外側を目標に打設し、縫地ボルトを掘削深さの目印として活用できるような位置に施工した。

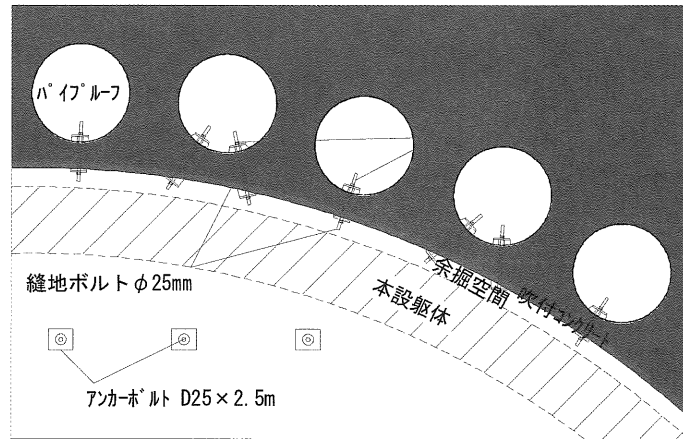


図-10 縫地ボルト詳細図

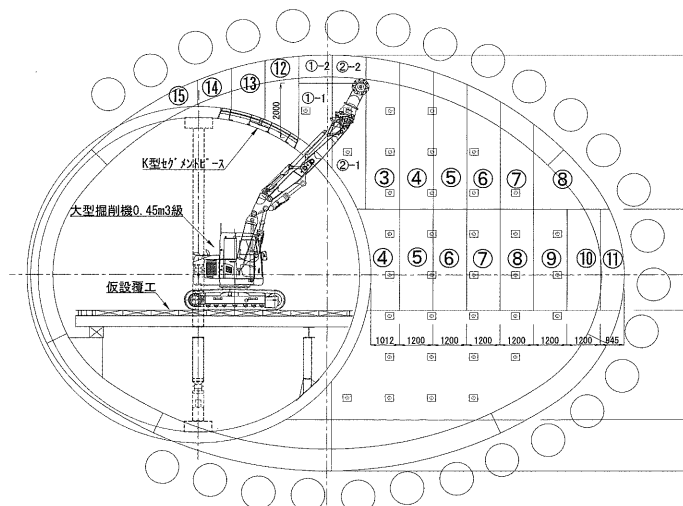


図-11 チェックボーリング位置図

5-2-4 施工時の湧水対策

セグメント撤去に際しては、事前に水抜き確認チェックボーリングを行い、地山性状と湧水量の確認を行ったから掘削作業を開始した(図-11)。

5-2-5 計測計画

掘削に伴う地盤変状や安定性管理を目的に、各分合流掘幅部に計測断面を選定し、トンネル坑内と地上に計測器を設置し常時計測を行った。計測項目を表-1に示す。

5-3 掘削掘削フロー

掘削手順は、内部支保工設置→セグメント撤去→掘削→一次吹付けコンクリート→溶接金網設置→二次吹付けコンクリート→縫地ボルト定着→アンカーボルト打設の順番で行い、人が素掘り面直下に入る作業を極力少なくし、地山崩落災害に備えた。施工ステップ長は1.2m、撤去セグメントの1ピース重量は使用重機の能力から2t

未満とした。掘削完了後、躯体構築を行いコンクリート強度発現後、隣接部を掘削するための内部支保工を設置し掘削作業を行う。掘削ステップを図-12に示す。

5-4 施工へのフィードバック

5-4-1 掘削幅の拡大

4m幅での掘削完了時、各種計測値は、設計時の解析値を大きく下回ったため、計測値から逆解析を行い、施工時外荷重の見直しを行った。見直し後の外荷重を用いた解析では、掘削幅を8mとした場合でも構築後の躯体、地山を受けるパイプルーフの応力度と変位には余裕があったため、8m幅での掘削(2BL同時施工)に変更した(写真-7)。

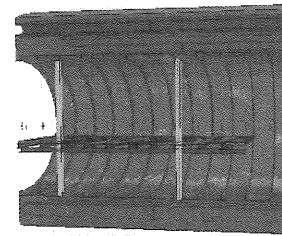
5-4-2 躯体用内部支保工の撤去

各掘削ステップでの躯体応力度の計測値を図-13に示す。8m幅での掘削完了時でも、各種応力度、変位計測データは解析値を下回った。そこで、図-12に示した躯体用内部支保工の設置を省略することとし、作業ヤードの確保、施工ステップの低減を行い、施工の効率化を図った。

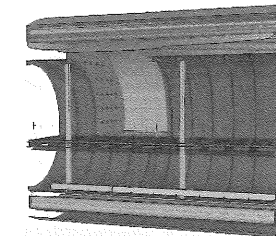
表-1 計測項目

| 地上計測 | 坑内計測 |
|--------|-----------|
| ・地表面沈下 | ・躯体応力 |
| ・地表面傾斜 | ・内部支保工応力 |
| ・地下水位 | ・パイプルーフ応力 |
| | ・パイプルーフ変位 |

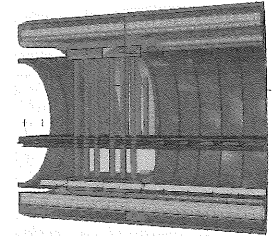
Step 1 掘削用内部支保工設置



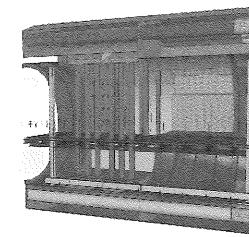
Step 2 セグメント撤去・掘削掘削



Step 3 躯体構築+躯体内部支保工設置



Step 4 掘削用内部支保工設置+隣接部掘削掘削



Step 5 隣接部躯体構築+躯体内部支保工設置

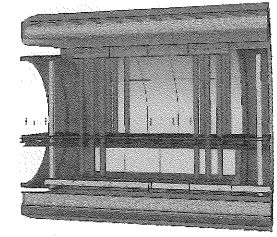


図-12 掘削ステップ(縦断面図)



写真-7 掘削状況(8m幅)



写真-8 分合流部施工完了

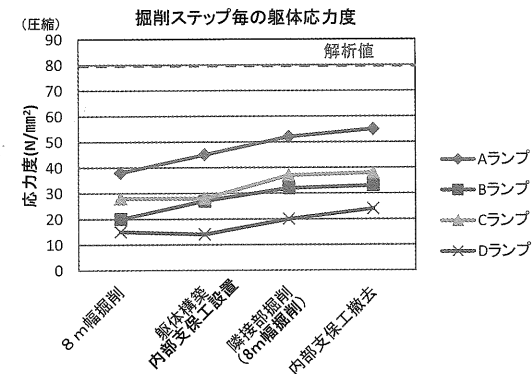


図-13 計測結果

6. おわりに

8m幅での掘削、内部支保工の省略後の掘削完了時の地上計測(地表面沈下・傾斜計・地下水位計)でも、すべての計測において管理値内に収まり、安全に施工することができた。坑内計測においても、各種応力度、変位計測データは解析値を下回った。

また、吹付けコンクリートとアンカーボルト・縫地ボルトを併用した土留め方法を行ったことにより、土丹層の亀裂や介在砂層の緩みを抑え、切羽の安定と施工の安全性を確保し施工できた(写真-8)。

本事例が、今後の都市部における地中掘削工事の一助となれば幸いである。

大規模道路シールドトンネルのランプ分合流部における切開き施工事例

一五反田出入口におけるパイプルーファーチ工法・シールド上部開削・下部先進導坑の適用一

鹿島建設(株)土木管理本部土木工務部シールドグループ長 中川 雅 由
 鹿島建設(株)東京土木支店土木部次長 山下 善 幸
 鹿島建設(株)土木設計本部地盤基礎設計部都市グループ設計主査 森田 大 介
 首都高速道路(株)プロジェクト部プロジェクト企画課担当課長 深山 大 介

キーワード：パイプルーファーチ工法, シールドトンネル切開き

1. はじめに

首都高速中央環状品川線(延長9.4km：図-1参照)のほぼ中央に位置する五反田出入口(施工延長約960m)では、地上交通や地下埋設物などの周辺環境への影響を考慮し、3か所で非開削工法による施工方法を採用した(図-2参照)。非開削工法により地下構造物を構築する場合、従来はパイプルーフ鋼管などのルーフ(屋根)を形成する部材を支持杭や受桁などの仮設支保部材で支持していた。しかし、支持杭などにより作業空間が狭隘となり、掘削や躯体構築などの施工制約条件が厳しくなるため、多大な労力と工程を要する。また、仮設支保部材が構造物躯体に埋設されるため、当該箇所は品質確保や止水性確保の観点から弱部となっていた。

これらの課題を解決する工法として、「直線パイプルーフのアーチ状配置+パイプルーフ鋼管内・鋼管間モルタル充填+止水凍土造成」による新たな非開削工法である「パイプルーファーチ工法」を開発し、実施工に適用した(図-3~5参照)。

パイプルーファーチ工法は、パイプルーフ鋼管と鋼管間モルタルにより形成されたアーチシェル構造体により、上部の荷重をアーチ脚部の堅固な地盤に伝達することで、支持杭や受桁などの仮設支保部材を省略し、広い施工空間を確保することができる。そのため、掘削工や躯体構築工での作業性が向上し、工程短縮効果および作業安全性の向上が見込めるほか、躯体を貫通する支持杭などの支保工がないため躯体品質の向上にも寄与する。

2. パイプルーファーチ工法によるトンネル上部の無支保掘削工

2-1 実工事適用に向けた技術課題と対応策

新工法であるパイプルーファーチ工法を採用するにあたり、五反田出入口工事における適用に向けて抽出した技術課題と実施した対応策および検証結果を表-1に示す。

2-2 パイプルーファーチ工法の施工計画

パイプルーファーチ工法は、まず立坑などの発進基地内からφ1,016mmのパイプルーフをアーチ状に配置してルーフ(屋根)を構築し、鋼管内に配置した貼付け凍結管にてアーチ背面(上部)に止水凍土を造成する。次にアーチ下部を1スパン(3.0m/スパン)ずつ全断面掘削し、パイプルーフ鋼管間の凍土および土砂を自動移動装置に取り付けられた超高压洗浄機にて除去する。その後、パイプルーフ鋼管間に寒冷地仕様超速硬無収縮モルタルを充填することで、当該スパンのアーチシェル構造体が形成される。

この施工サイクルをくり返すことでアーチ構造が連続して形成され、パイプルーファーチ構造が完成する(図-6参照)。砂礫層であるパイプルーフ施工地盤でのパイプルーフ鋼管間とシールド界面との止水は凍結工法を採用した。

2-3 パイプルーファーチ工法の施工実績

技術課題を踏まえた五反田出入口工事での実績を以下に示す。



図-1 首都高速中央環状品川線路線概要図

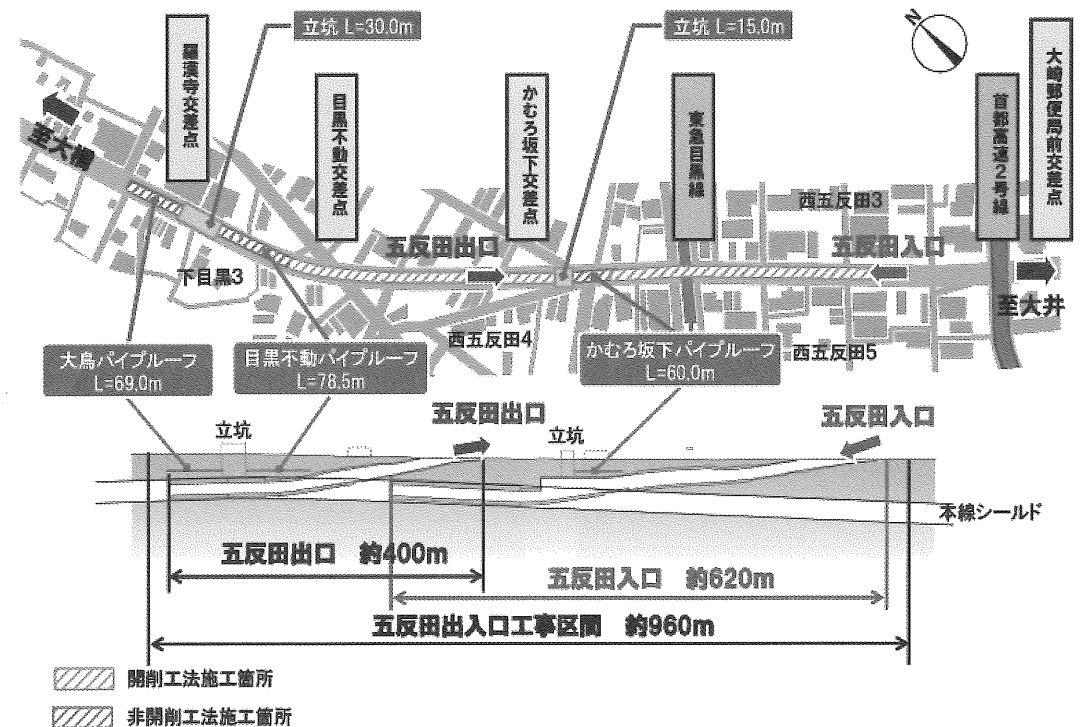


図-2 五反田出入口工事平面図・縦断面

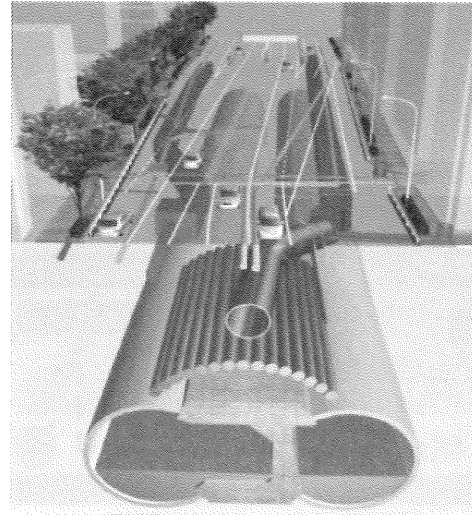


図-3 パイプアーチ工法イメージ

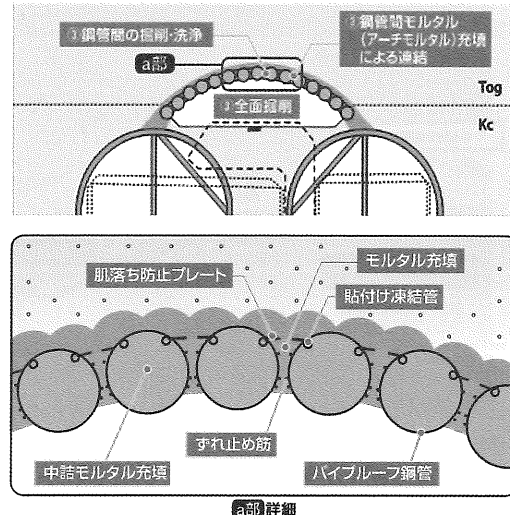


図-4 パイプアーチ構造体の概要

パイプアーチ工法【従来】

直線パイプアーチを門型に配置し、トンネル間に躯体を構築します。交差点部など常設作業帯が設置できない箇所への適用実績がありますが、躯体構築時の作業空間が狭く支持杭等仮設部材を躯体に埋設するため、コンクリートの充填等品質確保や止水のための対策が重要です。

パイプアーチ工法

直線パイプアーチをアーチ状に配置し、鋼管内・鋼管間にモルタルを充填して一体型アーチを形成します。パイプアーチ下を支保工・支持杭なしで掘削し、トンネル間に躯体を構築するため、施工性と施工品質が向上します。

図-5 パイプアーチ工法の特徴

(1) 直線パイプアーチの施工(アーチ状配置)

直線パイプアーチは CCD カメラを使用した計測システム(ジャット工法)で掘進機の位置計測を行い、その値をもとに掘進機の揺動機構を用いて姿勢制御を行った。その結果、54本すべてが目標掘進精度である±30mm以内を確保できた(掘進延長60~78.5m)。

(2) パイプアーチ鋼管の継手

パイプアーチ鋼管の継手には強度・剛性・止水性を実験にて確認した機械式継手(止水機能付きピン継手)を採用した。実施工では継手からの漏水もなく、継手施工サイクルを溶接継手に比べて大幅に短縮(15分/1か所)をすることができた。

(3) パイプアーチ鋼管間の土砂掘削工

パイプアーチ鋼管間の土砂掘削は、200MPaの超高压ポンプによる洗浄装置を用いた。現場では、超高压ポンプのノズル先端を取り付けた鋼管内土砂掘削装置を平均3往復することで所定の深さ(必要モルタル高さ550mm)

までの掘削が完了した(写真-5参照)。なお、掘削洗浄による凍土への影響はなかった(写真-6参照)。

(4) 鋼管間モルタルの凍土への影響と施工性および強度発現

パイプアーチ鋼管間の土砂を掘削後、背面に凍土がある状態で鋼管間モルタルが所定の強度を発現可能なのか、モルタル硬化熱によって背面凍土に悪影響を与えないかについて確認するため、模擬土槽を用いた鋼管間モルタルの実証実験を実施し、品質および安全性について問題がないことをあらかじめ確認した。これにもとづいて、鋼管間モルタルは現場で供試体採取して低温恒温水槽により低養生を行い、圧縮試験機にて強度試験で目標強度25.1N/mm²を超えているか毎スパン確認を行うことで施工時の安全性を確保した。なお、施工サイクルは1スパン3mあたり3日であった。

(5) パイプアーチ下の掘削工

パイプアーチ部の掘削状況を写真-10,11に示す

表-1 パイプアーチ工法の実工事適用に向けた技術課題と対応策

| No. | 技術課題(要確認事項) | | 対応策および検証結果 | 評価 |
|-----|------------------------|---|---|----|
| | 大項目 | 小項目 | | |
| 1-1 | 五反田出入口におけるパイプアーチ構造の成立性 | アーチ脚部の支持地盤が堅固か | ボーリング調査により施工範囲区間のアーチ脚部地盤の健全性と連続性を確認した。 | ○ |
| 1-2 | | アーチ鋼製部材(鋼管内および鋼管間のモルタル等)の強度は問題ないか | 各種バラツキを考慮した安全側の解析により、部材強度は $f_{ck}=5.1\text{N/mm}^2$ で問題ないことを確認した。ただし、凍土に接する部材の強度発現は実物大模擬地盤での実証実験を行い、施工管理に反映すべきと判断した。 | ○ |
| 1-3 | | パイプアーチ相互の施工精度を考慮してアーチ構造体が成立するか | パイプアーチ鋼管の施工精度を±30mm以内と規定して成立する構造とした。なお、施工精度はリアルタイム計測の精度検証を事前試験で確認し、施工管理に反映することで対応可能と判断した(写真-1)。 | ○ |
| 2-1 | 五反田出入口におけるパイプアーチ工法の適用性 | パイプアーチ間の土砂を確実に掘削・除去できるか | パイプアーチ間(離隔)の土砂を確実に切削・除去するために高圧洗浄による掘削装置を考案・適用し、実物大模擬地盤を用いた実証実験を行って施工実現性を検証した(写真-2)。 | ○ |
| 2-2 | | パイプアーチ間の土砂を掘削してモルタル充填する際の止水方法は | 豊富な地下水がある砂礫層の止水を確実にするため、パイプアーチ鋼管内に貼付凍結管を設置する地盤凍結工法を併用することで対応可能と判断した。 | ○ |
| 2-3 | 五反田出入口におけるパイプアーチ工法の適用性 | パイプアーチ下を無支保で掘削する際に地表面や地中埋設物に悪影響を与えないか | FEMによる逐次掘削ステップ解析を実施し、沈下量は最大でも10mm以下に抑えられることを確認した(後述の上下同時掘削ステップも考慮)。また、施工時は地盤変状の計測管理を徹底することとした。 | ○ |
| 2-4 | | パイプアーチ下(トンネル間)を掘削する際にシールドトンネルに悪影響を与えないか | FEMによる逐次掘削ステップ解析にてトンネル覆工部材の変形や応力度も照査し、全ての部材が許容値を満足することを確認した(後述の上下同時掘削ステップも考慮)。また、施工時は計測断面による部材の安全管理を実施することとした。 | ○ |
| 2-5 | | 溶接に替わるスピーディーな鋼管継手の施工方法を適用できないか | 溶接継手(90分/箇所)に替わる機械式ピン継手を考案・適用し、強度や止水性、施工性について実証実験で確認し、実施工で「15分/箇所」と施工サイクル短縮を達成した(写真-3)。 | ○ |

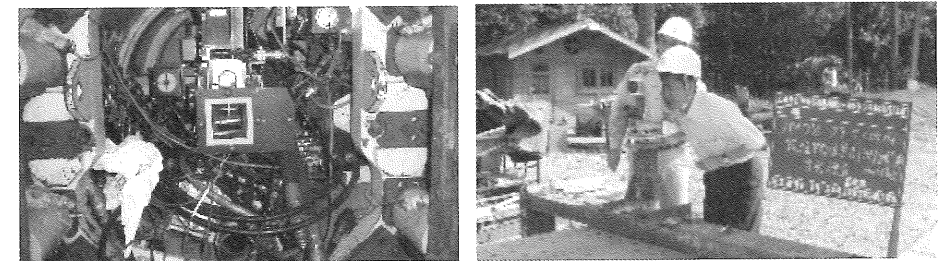


写真-1 計測システム実証試験

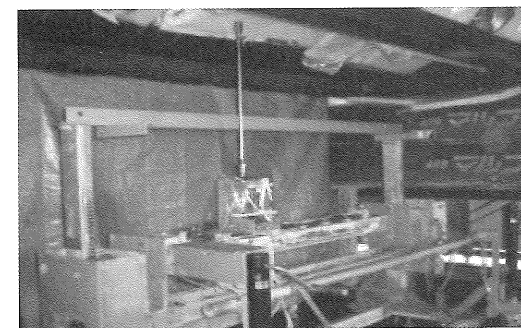


写真-2 高圧洗浄掘削実験

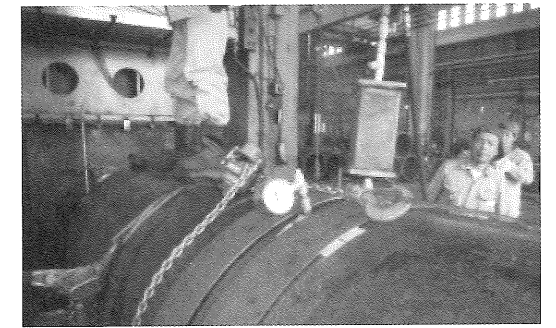


写真-3 鋼管の把持式継手実証実験

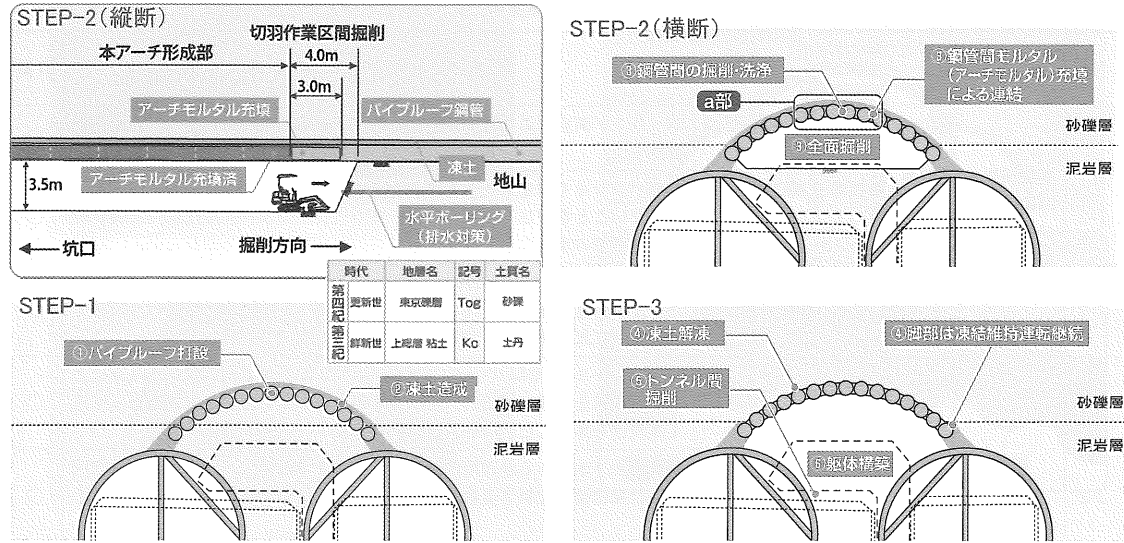


図-6 パイプアーチ工法の施工ステップ

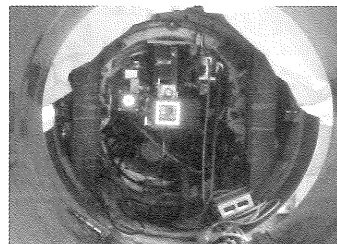


写真-4 CCDカメラ取付状況

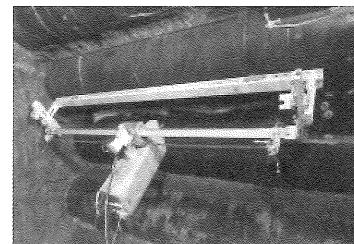


写真-5 鋼管内土砂掘削装置

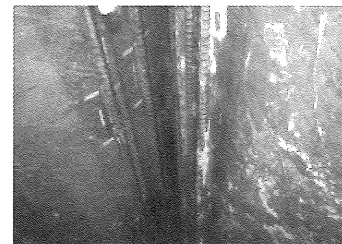


写真-6 鋼管間土砂掘削後

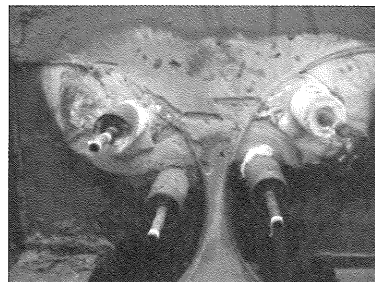


写真-7 鋼管間モルタルの実証実験



写真-8 低温恒温水槽

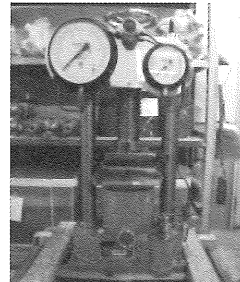


写真-9 圧縮試験機



写真-10 パイプアーチ下の掘削状況(STEP-2)

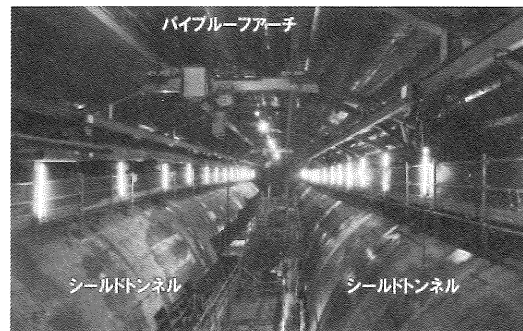


写真-11 パイプアーチ下の掘削状況(STEP-3)

(図-6参照)。アーチ部の掘削は3mを1スパンとして無支保にてバックホウによる掘削を行った。

3. トンネル間下部の導坑掘削併用によるトンネル間上下同時掘削

3-1 実工事適用に向けた技術課題と対応策

五反田出入口では工程短縮を目的とし、パイプアーチ部の施工と併行してトンネル間下部を導坑掘削することでトンネル間の上下部を同時に掘削する工法を適用した。

本工法を実現するうえでの技術的課題として、①導坑掘削時の部材安全性とトンネル安全性、②トンネル間地盤掘削時の安定性確保、③同時施工時の物流(ずり搬出)ルート確保が考えられた。これらの課題に対する対応について以降に述べる。

(1) 導坑掘削時の湧水対応および導坑の支保構築

上下同時掘削、構築の施工ステップを考慮した2次元FEM逐次ステップ解析により、本線シールドトンネル覆工、トンネル内部支保工、トンネル間支保工の部材が健全であることを確認した。なお、実施工にあたっては本線シールドトンネル覆工の部材ひずみや変形、仮設部材のひずみを計測管理することで施工の安全性について確認する計画とした。

(2) トンネル間地盤掘削時の上部掘削時の中間地山の安定性確保

図-7のStep3(変更計画)に示すとおり、上部パイプアーチと下部導坑の掘削・構築が完了したのちは、

上部のパイプアーチ掘削部を順次掘削する計画である。このとき、トンネル間の地盤掘削が進行するに従って、掘削重機の作業時荷重により下部導坑が崩落する可能性があると判断した(写真-12)。

そこで、図-7のStep3(変更計画)に示すように下部導坑内には底盤構築後に導坑内に導坑アーチ支持材を設置することで、上部の全土塊重量と重機荷重を支え得る構造とした。

(3) 同時施工時の物流(ずり搬出)ルート確保

施工箇所の平面図を図-8に示す。上部施工(パイプアーチ打設・上部掘削)はNo.2立坑から施工を行い、下部施工(導坑掘削・底盤構築)は本線シールドから施工を行う。

この際、本線シールド内は別工種の物流ルートとなっていることから、本線シールドを利用して下部施工のずり搬出を行う。



写真-12 トンネル間地盤掘削状況

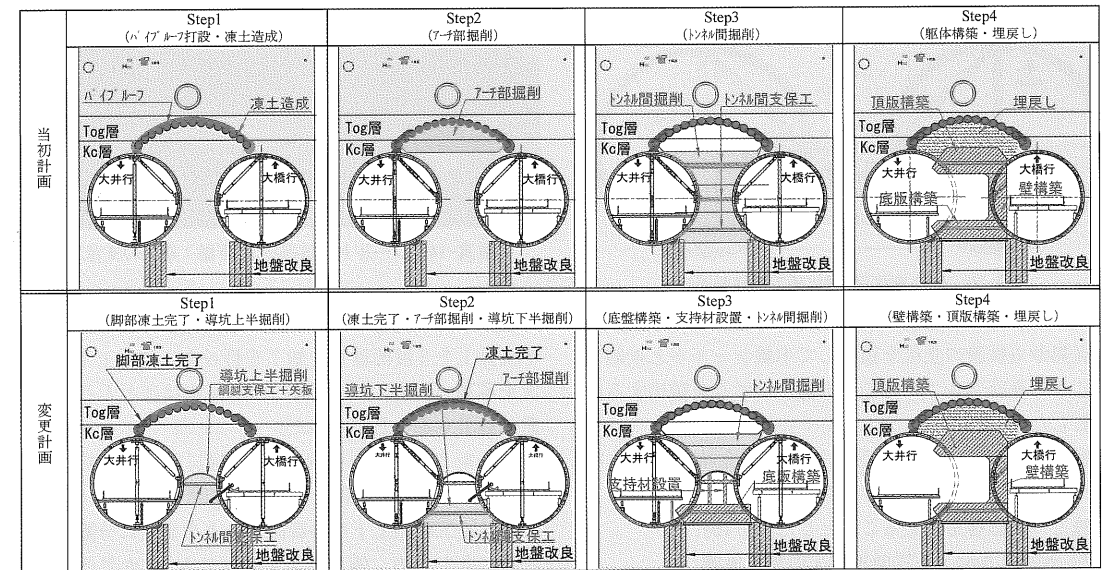


図-7 トンネル間導坑掘削による上下同時掘削

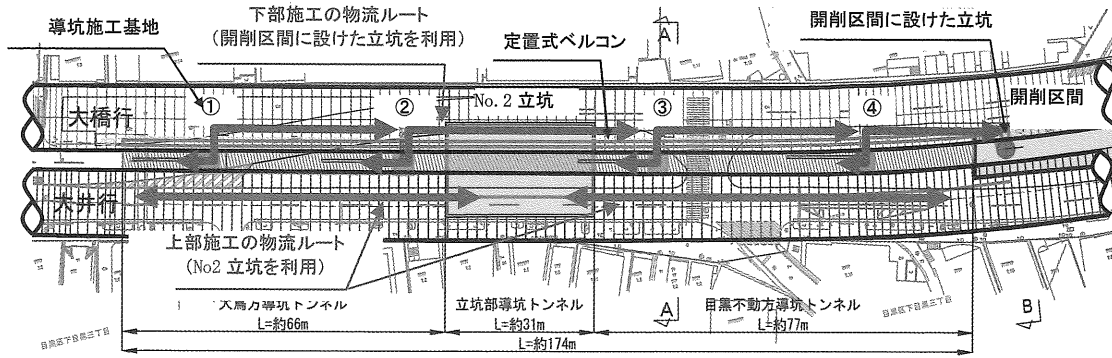


図-8 平面図(上下施工物流ルート)

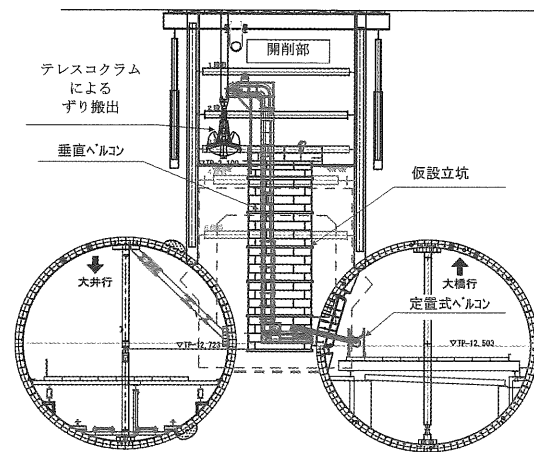


図-9 B-B断面図(開削区間立坑断面)

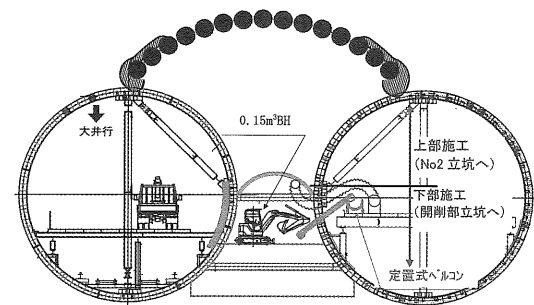


図-10 A-A断面図(導坑施工基地断面)

りをダンプ運搬することが不可能であった。そこで、開削区間から仮設の立坑を施工して本線シールドと接続し、そこから垂直バルコンにて下部施工のずりを搬出する計画とした(図-9)。

掘削箇所からずり開削区間に設けた立坑までは本線シールド内に定置式のバルコンにて搬出し、本線シールド施工への影響を抑えることとした(図-10)。

3-2 トンネル間上下同時掘削工の施工実績

導坑掘削は上下半に分割して掘削し、導坑支保は鋼製



写真-13 導坑上半掘削状況

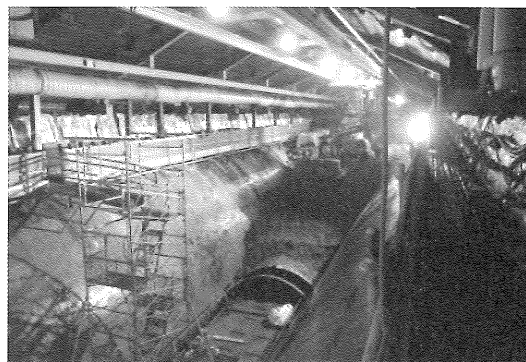


写真-14 シールド間掘削状況(下部：導坑の支保工)

支保工(H-150@1.0m)と矢板とし、本線シールド間の水平支保工を2段配置し、施工を行った。導坑上半掘削状況を写真-13に示す。導坑内への湧水はほとんどない状態で施工することができた。

シールド間掘削の状況を写真-14に示す。導坑支保が損傷することなく掘削を完了することができた。

同時施工時の上下部の物流ルートを完全に分離することができたため、施工効率を向上でき、3か月の工程短縮を達成した。

4. おわりに

五反田出入口では、3か所の非開削部に新たに開発したパイプルーファーチ工法を適用した。支持杭や支保工を省略したパイプルーファーチ工法を適用し、帯水砂礫層という厳しい施工条件下においてトンネル間の地下大空間の掘削と躯体構築を無事完了した。また、トンネル間下部の導坑掘削併用によるトンネル間上下同時掘削工により、当初の目的である工程短縮も実現した。本工法は、地下の大空間を安全かつ合理的に短期間で掘削・構築できる技術として、地下道路トンネルの分岐合流部などの構築に広く活用されるものと期待される。本稿が同様な工種の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 深山大介・石橋正博・島越貴之：首都高中央環状線五反田出入口トンネル構造の概要，第21回地下空間シンポジウム，2016.1.
- 2) 平野秀一・松崎久倫・須田久美子・中川雅由：中央環

状品川線五反田出入口非開削仮設構造の設計施工概要，第21回トンネル工学研究発表会，2011.11.

- 3) 西嶋宏介・石橋正博・須田久美子・中川雅由：中央環状品川線五反田出入口非開削仮設構造の施工実績報告，第23回トンネル工学研究発表会，2013.11.

- 4) 橋本勇・中川雅由・石橋正博：仮設支保工部材を省略する非開削工法(パイプルーファーチ工法)の開発，第50回地盤工学研究発表会，2015.9.

- 5) 三室恵史・岩下善一郎・野網孝之：パイプルーファーチ工法の計画と実績—中央環状品川線五反田出入口工事—，第50回地盤工学研究発表会，2015.9.

- 6) 石橋正博・松田満・森田大介・橋本勇：五反田出入口(分合流部)の設計施工，基礎工，Vol.43，No.3，2015.3.

- 7) 三室恵史・森田大介：仮設支保工部材を省略する新たな非開削工法，道路，Vol.888，2015.3.

- 8) 松田満・畝田篤志・肌勢弘章：トンネル間導坑掘削による上下同時掘削の計画と実績，第50回地盤工学研究発表会，2015.9.

1月号予告[1月1日発売予定]

- 東海道支線地下化事業
- 北陸新幹線 新北陸トンネル
- ニュージーランド ウォーターピュートンネル
- 欧州TBMトンネル見学記
- 東京下水道 第二溜池幹線
【連載講座】
- トンネル新技術への挑戦(14)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆早いもので2016年も今月で終わりです。今年もいろいろなことがありました。中でも、熊本や鳥取での大きな地震、台風に伴う大雨による浸水被害など各地で大きな被害が発生しました。被災した方々にお見舞い申し上げますとともに、一日も早い復興を祈念いたします。ほかに、リオ五輪、マイナス金利、消費税率の引き上げ延期、英国EU離脱派が国民投票で勝利、伊勢志摩サミット後にオバマ大統領が広島を訪問、小池百合子東京都知事誕生、豊洲市場問題、スキーバスの事故、SMAP解散、イチロー大リーグで3000本安打達成、日本ハムが日本シリーズを制す、アメリカ次期大統領にドナルド・トランプ氏を選出などがありました。

◆さて、今年も『トンネルと地下』では、多くの方にご多忙な業務の間を縫ってご執筆いただきました。その内訳は、座談会2編、研究5編、計画2編、解説、2編、報告9編、施工では、鉄道4編、道路24編、地下鉄2編、サービストンネル10編となっています。そのほかに、「連載講座」「語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ」「現場だより」をご執筆いただきました。詳しくは総目次(p.56)をご覧ください。

◆本年に引き続き来年も、皆さまのお力をかりながらより充実した誌面を提供したいと思います。また、皆様にとって良い1年になりますようにお祈り申し上げます。

(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47巻 第12号(通巻556号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成28年11月20日 印刷

平成28年12月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

購読料

1冊 1,620円(送料110円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

TEL: 03-3267-2888

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

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・2400m ³ /min 任意設定の4モード | 1800・2100・2700m ³ /min 任意設定の4モード ^{※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} | 2.4~3.2m ³ /回 | |
| 捕集ダスト処理 | 湿式 | |
| 集じん効率 ^{※4} | 95%以上 | 93%以上 |
| 吸引捕集方式 | 対応可 | |

注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

※1 入口ダクト及び絞リ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

本社
〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3
第三営業部 ☎03-3212-6575

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

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

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・シュルレ 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

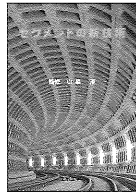
土木工事にかかわりのある地質学の基礎知識を盛り込み、土木工事において問題となる地質事象や、各種地質調査の原理についてわかりやすい解説を与えた。



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

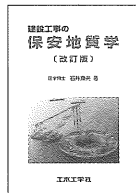
温泉開発における一般論から探査技術についてまとめ、今後の温泉開発の考え方を、外国の事例も交えながらわかりやすくまとめた。



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囲にわたり掲載した。シールドトンネルの計画・設計・施工に用いるときに参照しやすくまとめた。



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

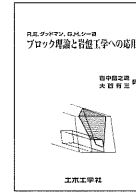
第II巻 地下水環境学
4,272円+税 B5判

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. McGuffe 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・齊藤正忠・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的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

臼谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
3,200円+税 A5判

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



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200円+税 A5判

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



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800円+税 A5判

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



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400円+税 A5判

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



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)

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



書籍のお申し込み

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

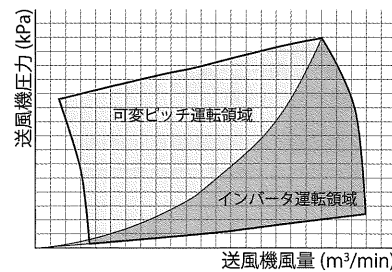
(株)土木工学社
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807

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 dB |
| 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 dB |
| 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 dB |
| CDH1400-30-175(4)W | 3000m³/min × 4.6/4.9kPa | 175kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V | 77 dB |

※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

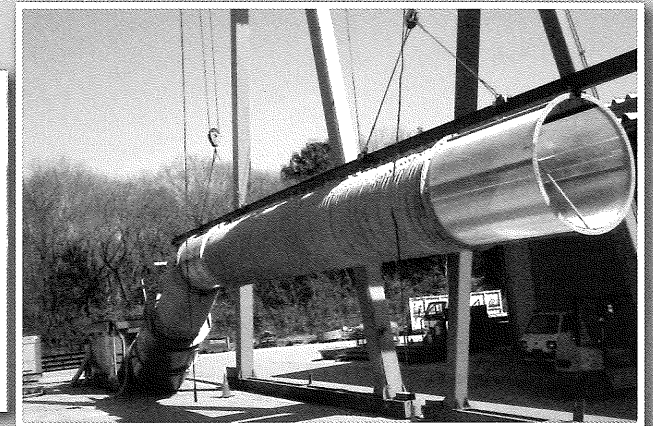
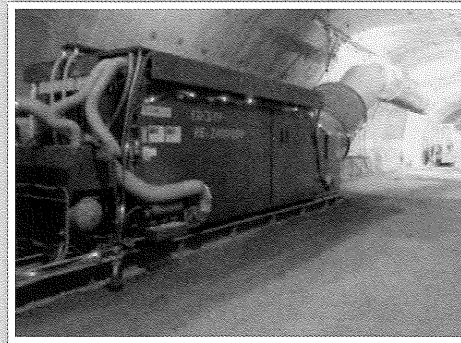


菅機械工業株式会社

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



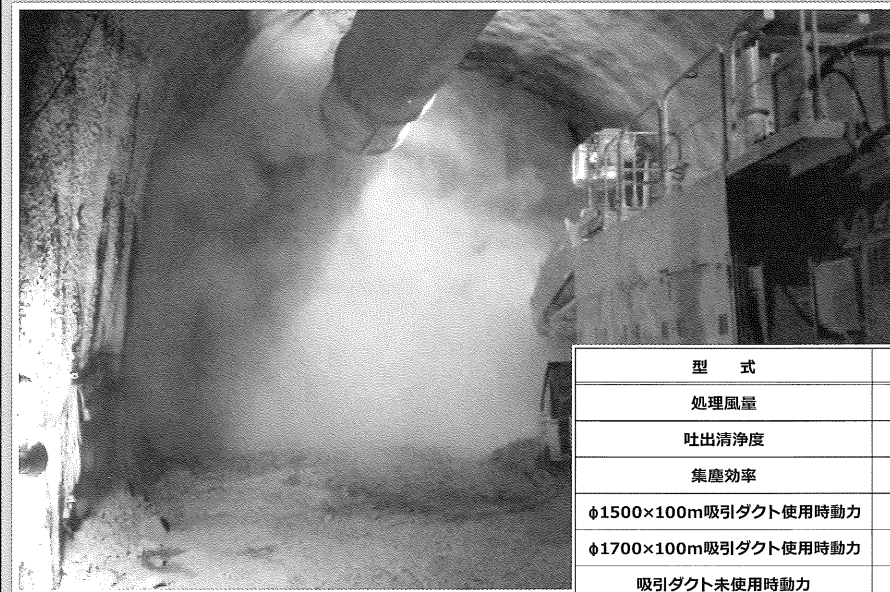
| | | | |
|---------|-----------|---------------------|------------------|
| 本社・大阪支店 | 〒550-0015 | 大阪府大阪市西区南堀江3-9-27 | TEL 06(6541)7931 |
| 東京支店 | 〒101-0042 | 東京都千代田区神田東松下町13番地 | TEL 03(5296)0551 |
| 福岡支店 | 〒812-0013 | 福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8 | TEL 092(431)7181 |
| 名古屋営業所 | 〒455-0008 | 愛知県名古屋市港区九番町3-37 | TEL 052(653)2491 |
| 京都営業所 | 〒615-0022 | 京都府京都市右京区西院平町25 | 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 新登場 RE-2400QDP

「コンパクト&低動力&高浄度」を一度に実現した孤高のスペック



| 型 式 | RE-2400QDP |
|----------------------|------------------------|
| 処理風量 | 2,400m³/min |
| 吐出浄度 | 0.1mg/m³以下 |
| 集塵効率 | 99%以上 |
| φ1500×100m吸引ダクト使用時動力 | 440V・83kW |
| φ1700×100m吸引ダクト使用時動力 | 440V・64kW |
| 吸引ダクト未使用時動力 | 440V・58kW |
| 寸法 (L×W×H) | 2,869×12,963×3,387(mm) |
| 重量 | 12,600kg |

最適環境を創造する
株式会社 流機 エンジニアリング

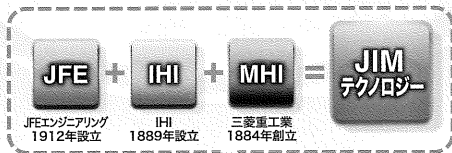
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2
TEL: 03-3452-7400
URL: <http://www.ryuki.com/>
E-mail: eigyobu@ryuki.com



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06619-12



4910066191269
01500