

# トンネルと地下

# 6

vol. 48  
no. 6  
2017

Tunnels and Underground

## 特集 海外の地下鉄建設

インドネシア初の地下鉄およびシールドトンネル建設

地下鉄営業線超近接下での駅舎とトンネルの施工の解析と実挙動

泥水式シールドによる土砂から岩盤までの多様な地盤の掘削

耐爆シェルター構造とシンガポール特有条件下での地下鉄建設

礫地盤対応泥土圧シールドの塑性流動状態管理手法を確立し施工効率を大幅に改善

3つの地下駅と6本の地下鉄シールドを並行する共同溝とともに施工

香港の市街地で発破などを駆使して地下鉄を建設

日本トンネル技術協会誌

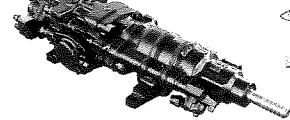


**FRD**  
FURUKAWA

# 新世代型 ホイール式ドリルジャンボ

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

FIDS II 制御 &  
油圧ドリフタHD220搭載

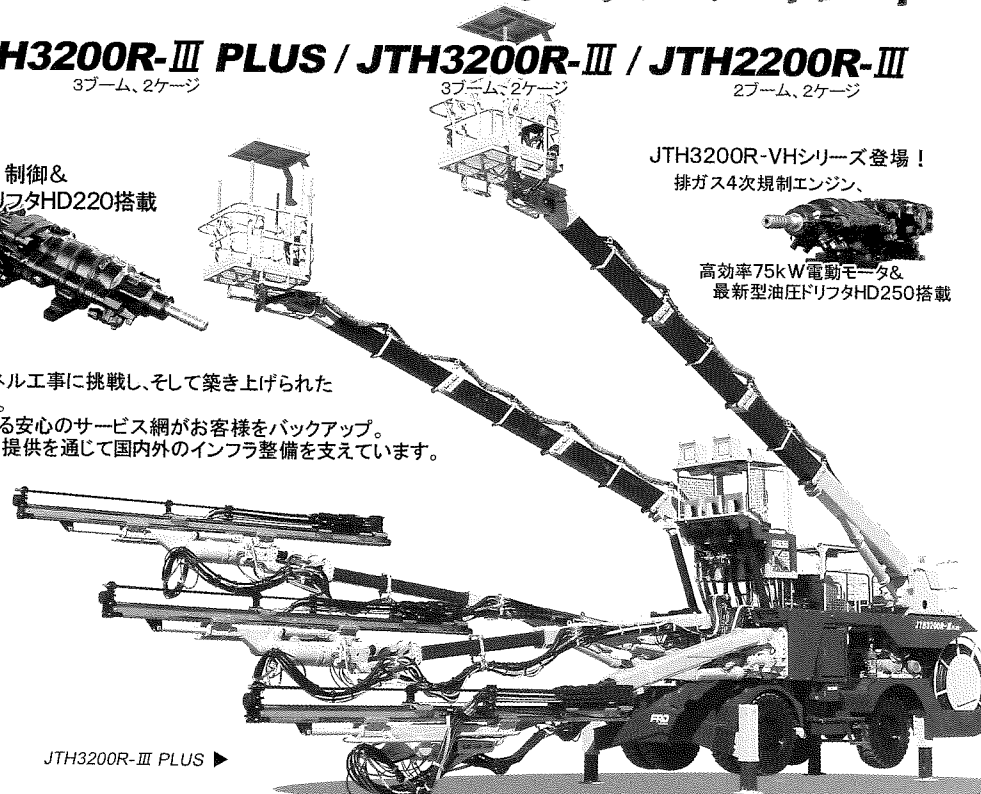


JTH3200R-VHシリーズ登場！  
排ガス4次規制エンジン、



高効率75kW電動モータ &  
最新型油圧ドリフタHD250搭載

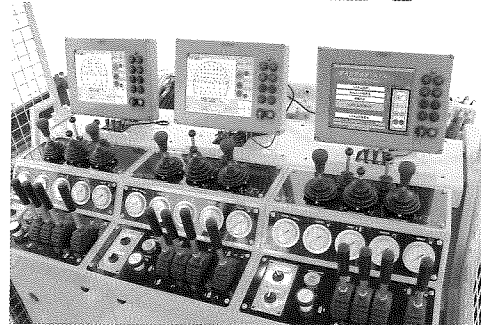
様々なトンネル工事に挑戦し、そして築き上げられた  
実績と信頼。  
全国に広がる安心のサービス網がお客様をバックアップ。  
各種機械の提供を通じて国内外のインフラ整備を支えています。



JTH3200R-III PLUS ▶

国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事に用建設機械)指定機

## DRILLNAVI



### 統合せん孔支援システム<ドリルNAVI>

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

#### ドリルNAVI

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

**NETIS**

国土交通省 新技術活用システム  
登録番号: KK-100049-A

△ 古河機械金属グループ

**FRD 古河ロックドリル株式会社**

www.furukawarockdrill.co.jp

本社 〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目5番3号

特機部 ☎03(3231)6966

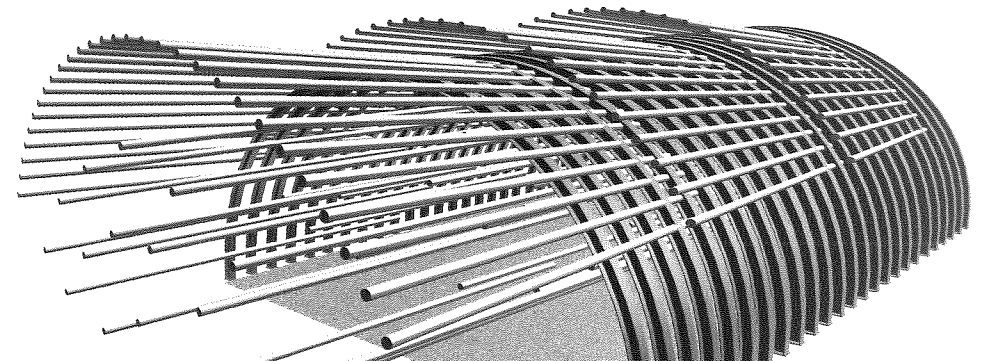
札幌 ☎011-786-2222 東北 ☎022-384-8991 宮古 ☎0193-77-4245 関東 ☎027-326-9611

名古屋 ☎0568-77-7700 関西 ☎06-6475-8221 中四国 ☎082-832-3542 九州 ☎092-948-2010

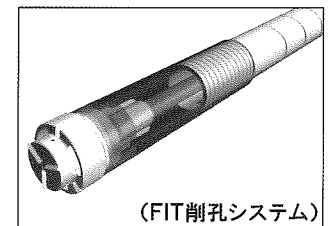
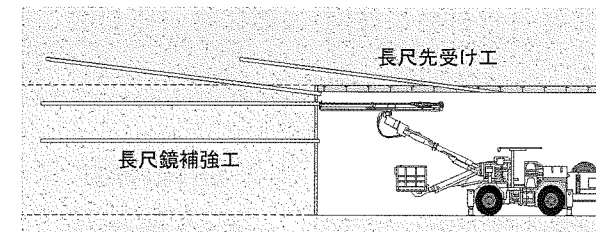
## 全方位 GFRP 管長尺補強システム

特許登録 第 2955279 号  
NETIS登録(No. CB-030065)  
施工実績 300 件以上

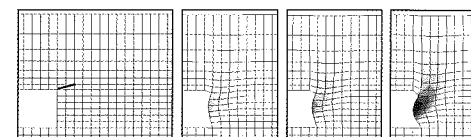
**FIT** 工法  
FRP INJECTION TUBE



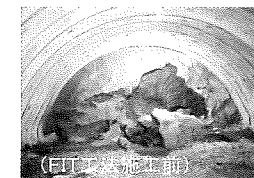
切削可能で掘削の妨げにならないGFRP管を使用し、  
切羽前方地山を確実にホールドできます。



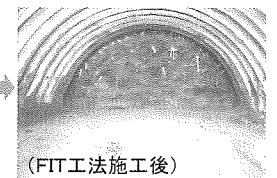
(FIT削孔システム)



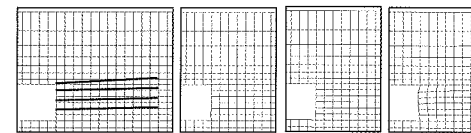
フォアポーリング



(FIT工法施工前)

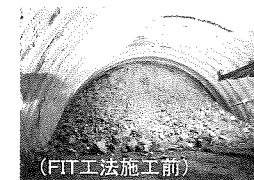


(FIT工法施工後)

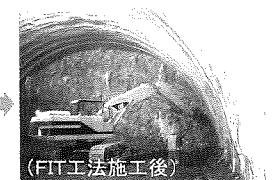


FIT工法

(数値解析による効果の検証例)



(FIT工法施工前)



(FIT工法施工後)

**KFC 株式会社 ケー・エフ・シー**

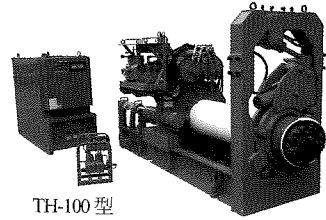
東京土木営業部  
大阪土木営業部  
札幌支店

TEL(03)6402-8251 FAX(03)6402-8255  
TEL(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755  
TEL(011)751-4681 FAX(011)751-6482

ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

# THパイプルーフ工法

NETIS登録 No. KT-120020-A



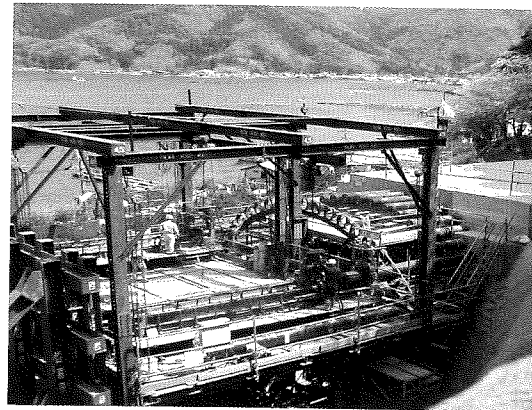
TH-100型

## 確実な空間確保

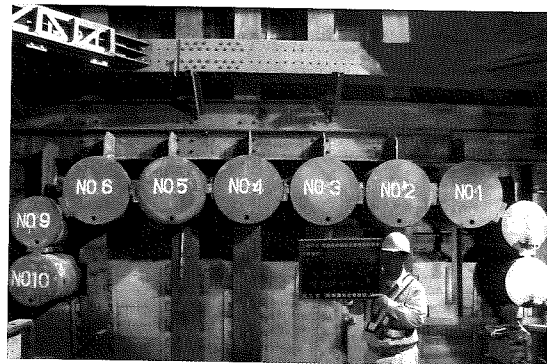
高精度・全地盤型 水平鋼管圧入システム

### ★特徴★

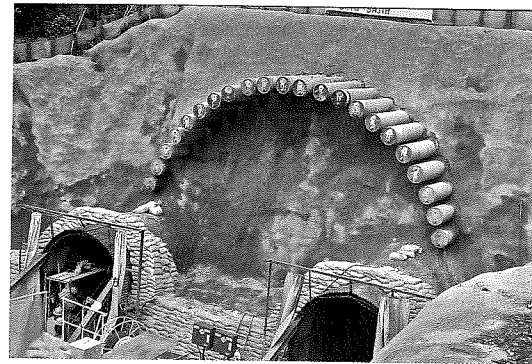
- ・本体掘削時の沈下抑制補助工法です
- ・常時管芯チェックが可能で、方向修正方式を採用(精度が良いため支保作業が容易)
- ・オーガ中掘り掘削、地山との空隙に同時注入も可能
- ・推進途中でのビットの交換が可能で地層変化に対応
- ・適応管径は、φ200A～φ1200A
- ・最大推進長は、約70～100m
- ・推進機は、推力 1000kN(100t) 2000kN(200t) 3000kN(300t)



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 03-5645-5050  
 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: jimukiyoku@piperroof.jp

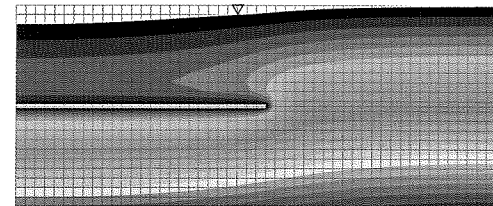
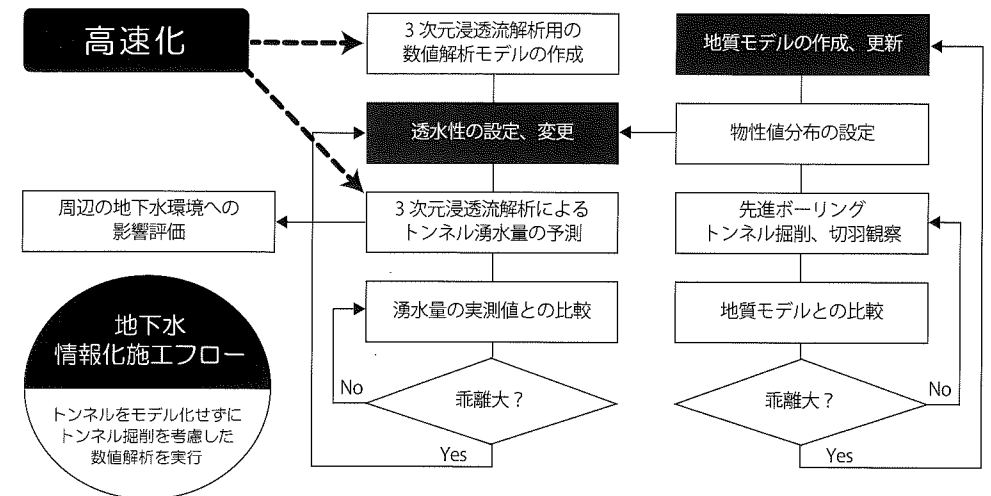


## 仮想ドレーンモデルによる地下水情報化施工の支援

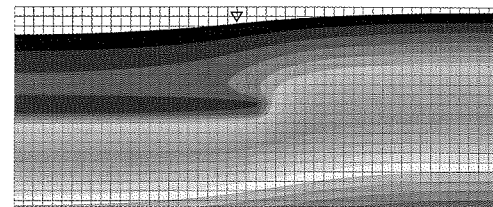
トンネルの情報化施工においては、先進ボーリングや切羽観察の結果に基づき地質モデルが更新されます。これに基づき、迅速に湧水量の予測や周辺地下水環境への影響予測も更新されれば、適切な改良工の選択などにより施工や環境影響を最小化することができます。

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

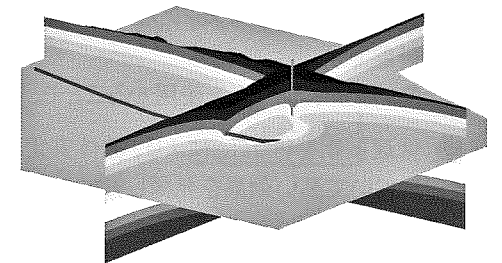
■ 先進ボーリング・調査坑・立坑・斜坑からの湧水量や周辺の水圧変化も求めることができます。



トンネルをモデル化した解析での間隙水圧分布の例



仮想ドレーンモデルによる解析での間隙水圧分布の例



仮想ドレーンモデルによる立坑と斜坑の解析例



### 株式会社 地層科学研究所

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

J Mビル4F TEL.046-200-2281  
 金子ビル6F TEL.03-5842-7677  
 第7新大阪ビル301号 TEL.06-6886-7774

Geo-Graphia(ジオグラフィア)

無料体験セミナー開催中

地質モデル編・地下水解析編・情報化施工編

chisouken@geolab.jp

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

サイト内

地下水に注目した情報化施工

検索

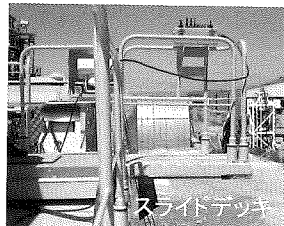
全断面对应トンネル高速施工掘進機  
ロードヘッド SLB-350S



全断面トンネルの高速施工を目指して

特徴

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



製造、販売、レンタル及びメンテナンス 株式会社 **三井三池製作所**

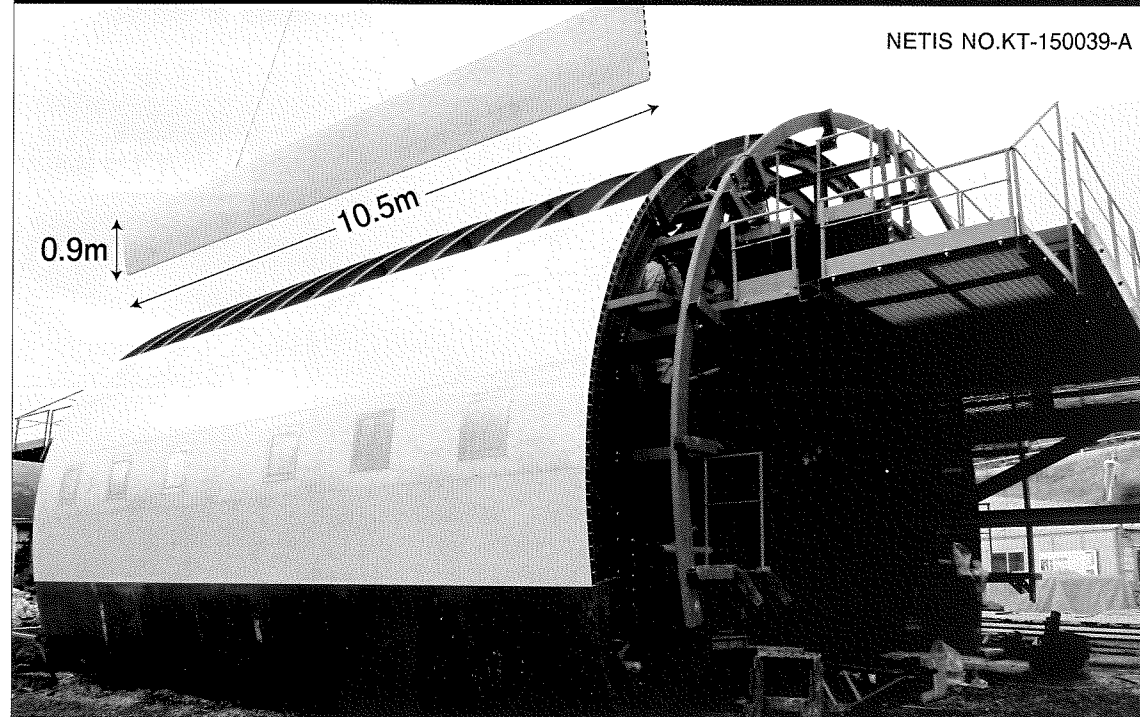
本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館  
産機流体営業部 TEL. 03-3270-2005 FAX. 03-3245-0203

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

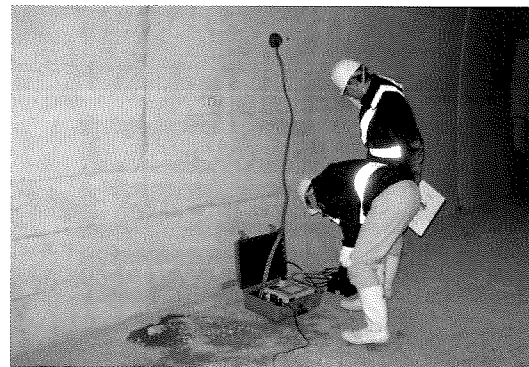
NEW

トンネル覆工初期養生FRP工法  
~ハイブリッドフォーム誕生~

NETIS NO.KT-150039-A



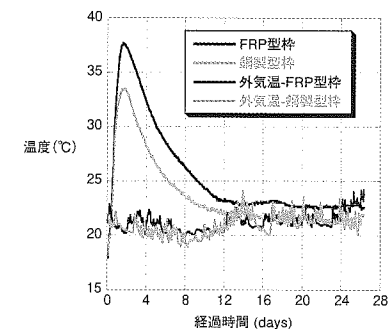
透気試験実施



覆工コンクリートの表層部分を測定した結果、コンクリートの中性化速度係数が30%~50%程度低下し耐久性が大幅に向上することを確認した。

覆工コンクリート温度の経時変化

[宮崎大学との共同研究により、(株)フジタ 古江トンネル南にて測定]



◎3~4°Cの保温効果により、コンクリート強度が15~20%向上

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

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

環境にやさしく、施工性に優れた NETIS「活用促進技術」指定のトンネル補修工法

トンネル裏込補修用  
ウレタン注入工法

# Tn-p工法



ノンフロン  
明日のために、ノンフロン。

NETIS 登録 KT-070035-VR 「活用促進技術」 新技術活用評価会議

- 1 超軽量で覆工への負荷軽減
- 2 注入設備がコンパクト
- 3 急速固化でリークの危険性が減少
- 4 環境対応型ノンフロン

「Tn-p工法」の品質・施工技術向上および業務拡大を目的とし、2016年4月「発泡ウレタン空洞注入協会」を設立いたしました。 会員数全45社 (2017年2月9日現在)

発泡ウレタン空洞注入協会  
<https://tnp-method.com/>



あなたの身近にいつも…アキレス

## Achilles

断熱資材販売部

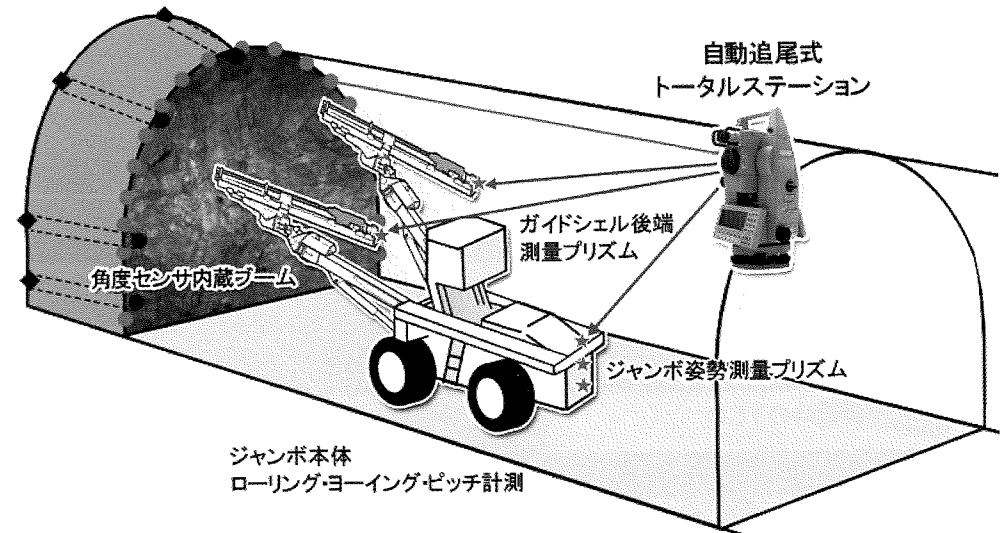
本社	〒169-8885	東京都新宿区北新宿2-21-1 新宿フロントタワー	03-5338-9642
関西支社	〒530-0005	大阪府大阪市北区中之島2-2-7 中之島セントラルタワー	06-4707-2355
北海道営業所	〒061-3241	北海道石狩市新港西1-726-3	0133-73-9591
九州営業所	〒813-6591	福岡県福岡市東区多の津1-1-4	092-622-2871

NETIS登録番号:KK-100049-A

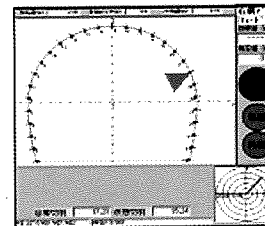
# 自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



## ■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

## MAC マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3  
TEL:047-371-3191 FAX:047-371-3190

## FRD 古河機械金属グループ 古河ロックドリル株式会社

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3  
特機部  
TEL:03-3231-6966 FAX:03-3231-6993

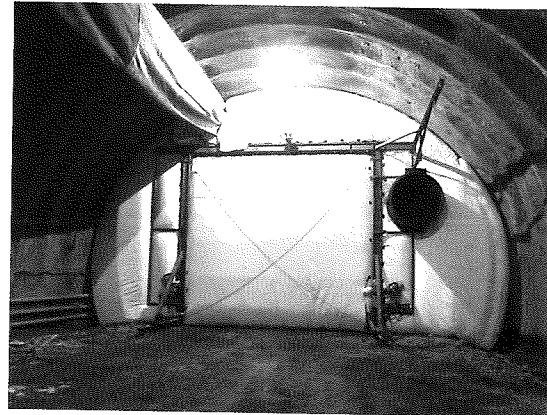
# トラベルクリーンカーテン(TCC)

NETIS登録 HK-120040-A 特許5757758号

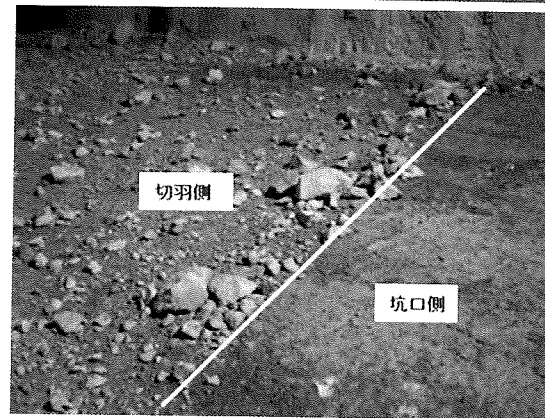
## 特徴

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

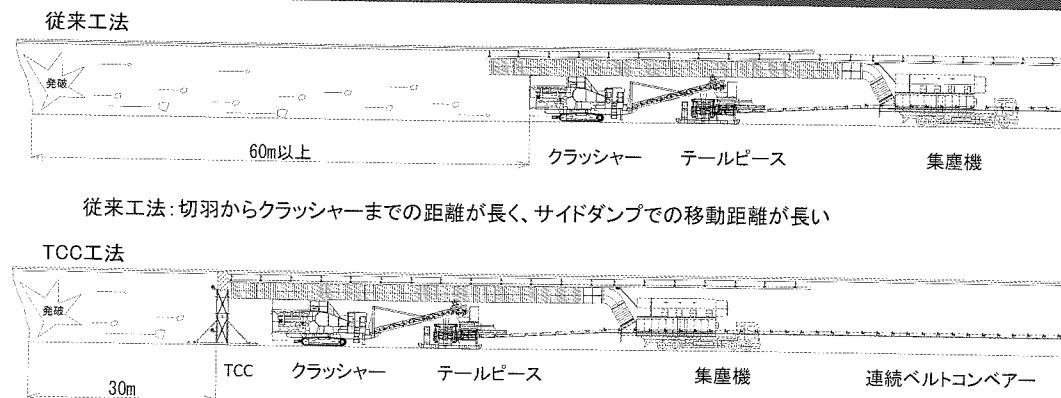


発破時のTCC



発破後の防護状況

## 概念図



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

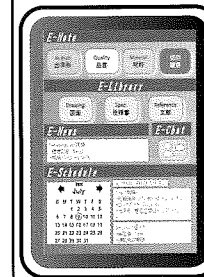
本社 札幌市東区東雁来9条3丁目2番3号  
TEL011-792-3000 FAX011-792-3333  
東京支店 墨田区両国2丁目18番4号 中尾ビル4F  
TEL03-6659-3841 FAX03-6659-3845  
URL <http://www.k-toukou.co.jp/>

NEW

# 究極のトンネル施工管理システム En-Note

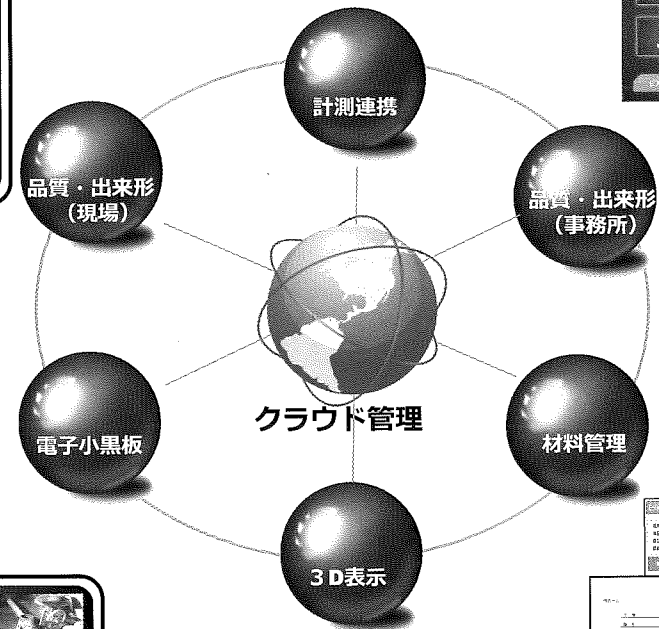
生産性向上への挑戦！！

## Tunnel i-Construction

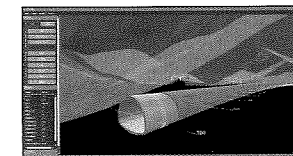
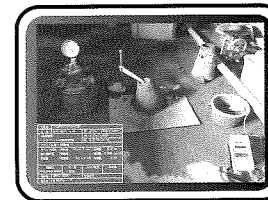


タブレット端末

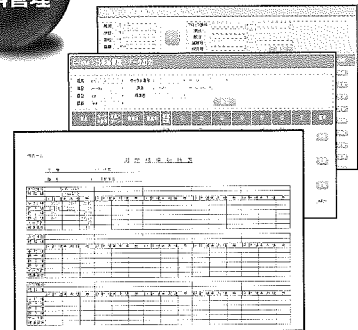
- ・品質
- ・出来形
- ・材料
- ・切羽観察
- ・写真
- ・チャット
- ・遠隔試験



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

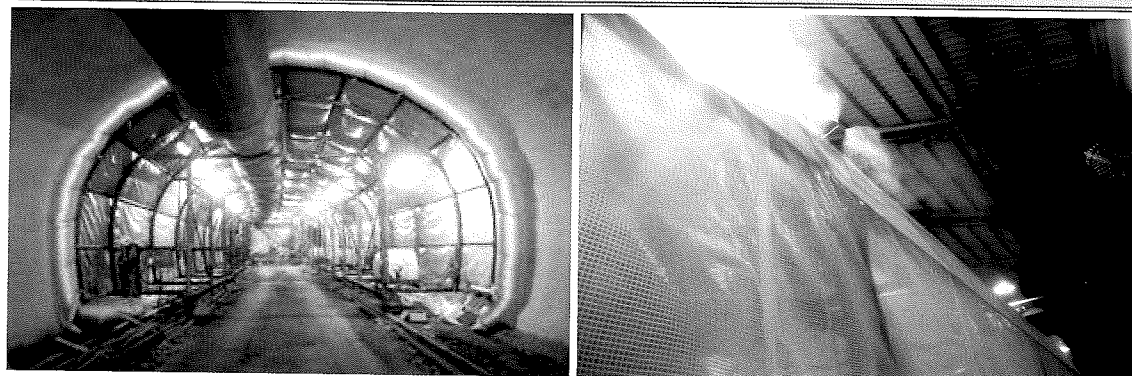
**enzan**

株式会社 演算工房

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

# トンネル覆工コンクリートの品質革命

散水式による覆工コンクリート養生システム  
『トンネルミスト@』 NETIS登録:CG-080012-VR



散水式養生台車を使用します。  
養生シートと覆工コンクリートの空間に散水を行い、湿潤養生を行います。  
気密性が保持され、保湿性・保温性が得られます。

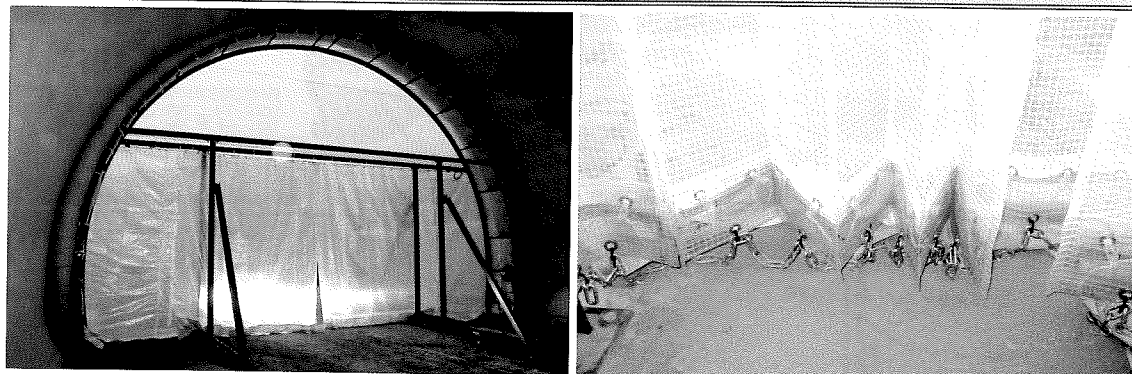
**【効果】**

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

実績および採用決定  
(平成29年2月現在)

施主	実績	計画物件
国土交通省	55件	5件
NEXCO	10件	2件
その他	45件	14件
合計	110件	21件

貫通後の通風を防止し、ひび割れを抑制します  
『トンネルパーテーション』 NETIS登録:CG-110032-A



トンネル貫通後の坑口部に設置し、通風を防止します。  
トンネル全断面を通風遮断シートで覆います。  
固定式、移動式と用途に応じて仕様を選定できます。

**【効果】**

- ・貫通後の通風を防止できます。
- ・坑内温度・湿度を一定にできます。
- ・覆工コンクリートのひび割れが低減できます。

実績および採用決定  
(平成29年2月現在)

施主	実績	計画物件
国土交通省	10件	8件
NEXCO	4件	2件
その他	20件	10件
合計	34件	20件

## 株式会社 マシノ トンネルグループ

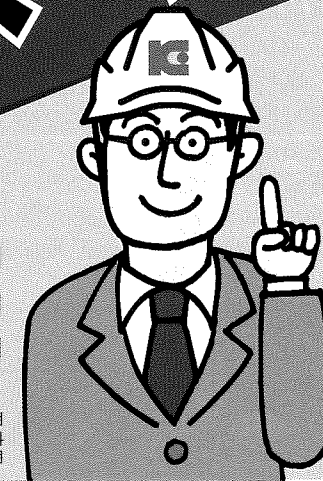
本社 〒733-0822 広島市西区庚午中1丁目19-23  
TEL (082) 507-2737 FAX (082) 507-2721  
大阪支店 〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3丁目16-3  
TEL (06) 6389-6400 FAX (06) 6389-6410

NETIS登録番号 QS-110040-VE

児玉株式会社の  
『スマートセンサ型枠システム』

# NETIS 登録5周年 記念キャンペーン

キャンペーン期間は  
平成29年  
4月~6月  
の3ヶ月間です。



1年レンタル 3,000,000円  
2年レンタル 4,000,000円  
3年レンタル 5,000,000円

※4年目以降は別途見積り

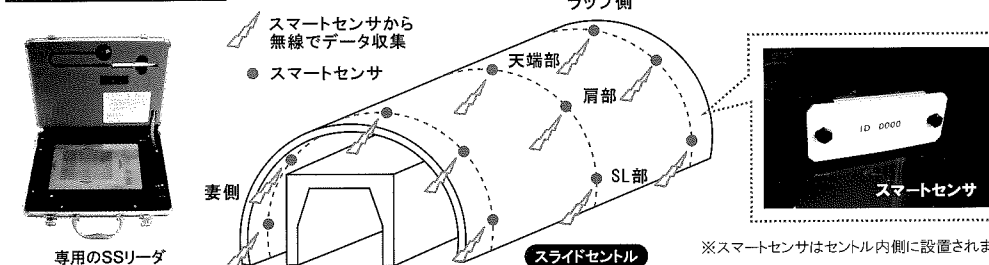
※キャンペーン特別価格は平成29年4月以降の公告工事より適用  
※レンタル料に含まれるもの ⇒ スマートセンサ使用料、SSリーダ使用料、調整料、校正料  
※レンタル料に含まれないもの ⇒ スマートセンサの取付・取外し費用、セントルの穴あけ・穴埋め、加工費用

### スマートセンサ型枠システム・セントル仕様

(1セット=1断面5台×3列=15台) ※セントル本体は別途

配線手間不要!

無線でデータ収集!



コンクリートの表面温度を自動計測!

コンクリートの表面温度や型枠周辺温度、打設開始・脱型時期を記録します。

専用リーダでデータを読み取り!

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

児玉株式会社 エンジニアリング事業部

〒812-0042 福岡市博多区豊2-4-23

TEL : 092(474)5360 / FAX : 092(474)5366

EMAIL engi.office@kodama-boss.jp

児玉株式会社 エンジニアリング事業部 東京事務所

〒104-0031 東京都中央区京橋1-14-6 京橋宏陽ビル 4F

TEL : 03(5524)2069 / FAX : 03(3561)6460

EMAIL syoji.yamada@kodama-boss.jp

# トンネル工事は新時代へ

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

## Mole Stretch Conveyor の4大特長

モール・ストレッチ・コンベヤ

### 1. パッケージのレンタルで安心

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

### 2. 高性能破砕機で工期短縮

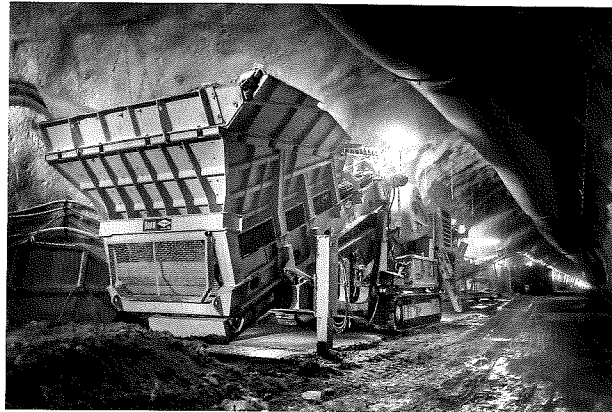
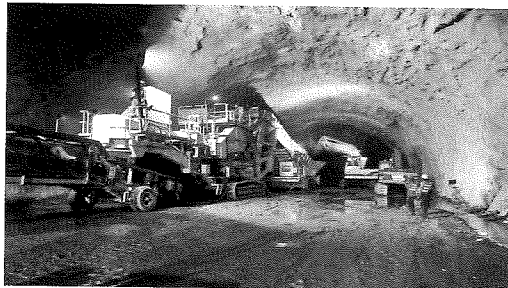
- ・原料投入高さの低いエプロンフィーダ(2.4m)で投入時間短縮
- ・高破砕力のCジョークラッシャで硬岩(4000kgf/cm<sup>2</sup>)にも対応可能
- ・簡単油圧セット調整で常に破砕粒度が小さく一定

### 3. ベルトコンベヤ搬送で安全

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

### 4. 粉塵・騒音・排気ガスを低減

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



## 1.5km 延伸ベルトコンベヤシステム概要

### ・延伸ベルトコンベヤシステム主仕様

項目	仕様
時間当たりの搬送能力	300t/h (最大)
コンベヤ機長	1,000m~2,000m *
コンベヤ総揚程	45m
ベルト速度	150m/min
ベルト幅	600mm
駆動部総出力	150kW
メインドライブ出力	75kW × 2
ベルト継足量	300m × 10ロール
ベルト貯蔵能力	450m

\*トンネル勾配により変動致します

設置条件によっては専用設計が必要になります

### ・主要構成機器

No	名称	主仕様
1	移動式破砕機 LT96EUGJ	300t/h、160kW
2	テールピース台車	自走式クローラ、アウトリガ4ロード
3	ベルトストレージ	ベルト貯蔵能力最大450m
4	ベルト接合架台	300mロール用、レール方式
5	メインドライブ	75kW×4P×2台、インバータ制御

(問合せ先)

**日建リース工業株式会社**

本社 トンネル営業推進部 TEL(03)3295-9111

**日本コンベヤ株式会社**

本社 コンベヤ営業部 TEL(03)6859-3511

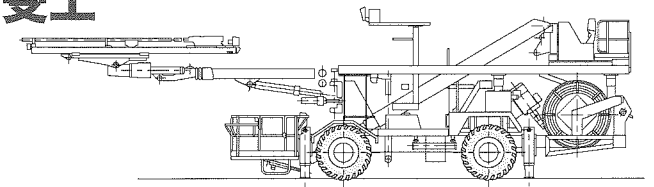
**UBE 宇部興産機械株式会社**

電力・インフラ営業グループ TEL(03)5419-6293

## 環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

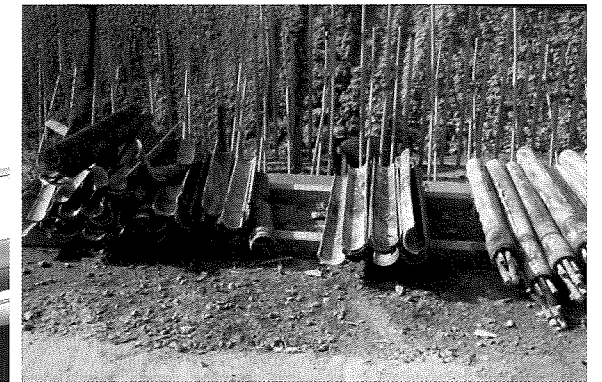
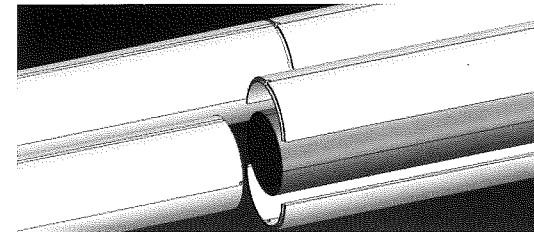
All Ground Fastening;  
Long-Distance, Fore-Pilling Method



## 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。



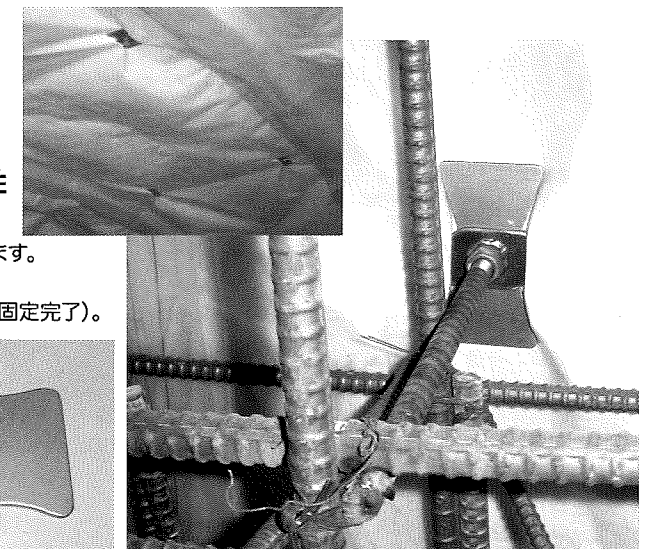
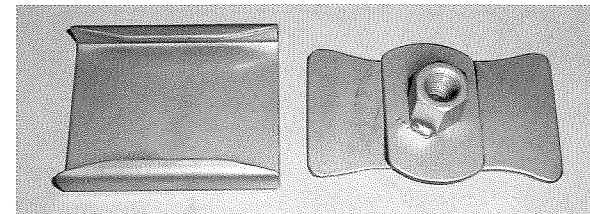
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

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



**東邦金属株式会社**  
TOHO KINZOKU Co., LTD

営業部

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

**株式会社 トーキソール**

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

# 月刊推進技術

## 購読のご案内



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

わが国のライフラインなどのインフラ整備またはその再構築や新たな地下空間の築造に、掘削残土量やCO<sub>2</sub>排出量を抑制し、なおかつ耐震性の高い推進工法のニーズが高まっています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説しております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管路敷設に限らず、地下インフラの再構築の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっています。

### 申込方法

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

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。



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

月刊推進技術 編集室

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

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

## 推進工事技士試験 過去6年間(2011~2016年度)

# 試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編

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

是非とも、本誌をご活用いただき合格していただければ幸いです。

### 1. 内容と特長

- 過去6年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- 各年度の試験問題と模範解答・解説集は実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出典箇所を明記

### 2. 価格

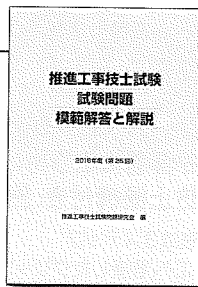
各年度単位 2,000円(消費税・送料込)

### 3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

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

これらのことをインターネットでご案内しています。



新発売!!

購入方法は  
こちらから



株式会社 LSプランニング

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

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



# 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っております。

一日でも早く完工する為に、日々の発破のモデル化、計測そして効率化を図っております。オリカ社がどの様な形で貴社のお手伝い出来るかについて [torica.com/edevill](http://torica.com/edevill) 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](http://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』



安全性・操作性・機動力  
を徹底的に追求した  
次世代型吹付機!!



- ◆シャーシからの開発機種  
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、インパートの  
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

ニシオティーンアンドエム株式会社

山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業

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

〈本社 商品開発部〉

〒567-0817 大阪府茨木市別院町1-21  
丸屋ビルアネックス4階  
TEL:072-665-8715

〈東日本カンパニー〉

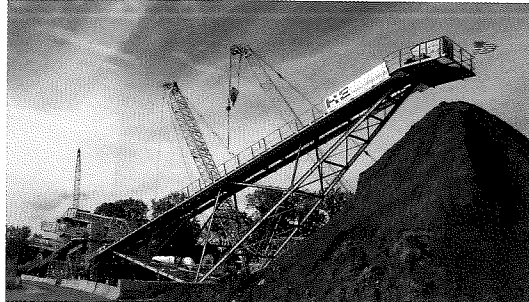
■北海道支店 TEL:0133-72-3715  
■東日本支店 TEL:0268-62-1426  
■東北営業所 TEL:0197-71-2405

〈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

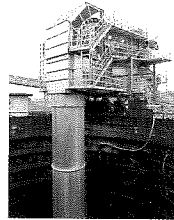
**H+E**  
H+E LOGISTIK GMBH

Clever Conveying



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

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



H+E Logistik GmbH  
日本代理店



**山崎マシーナリー株式会社**

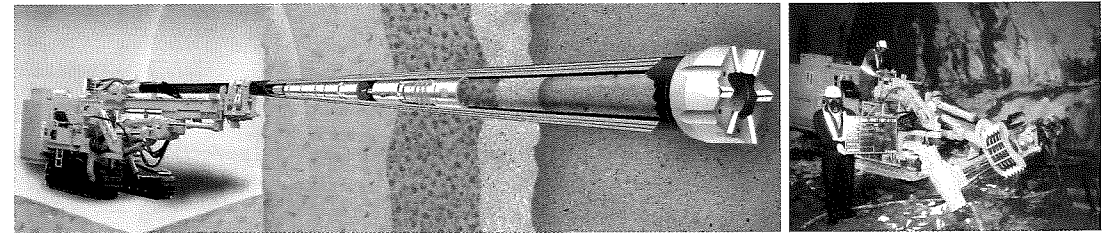
担当：富樫

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

# トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

## パーカッションワイヤーライン サンプリング工法

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



**KOKEN** 鉦研工業株式会社

お問い合わせ先：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

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

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

北海道支店：(011)561-4961  
大阪支店：(06)6385-0350

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

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

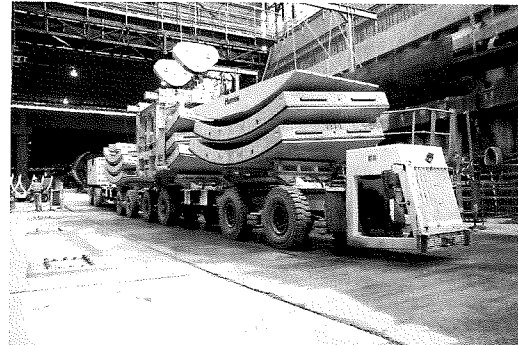
首都圏事業部：(03)-6907-7511  
海外事業部：(03)-6907-7515

**VOLVO 建設機械**

**TMS** Techni-Métal 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

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



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

TMS社 日本代理店  
担当：富樫



**山崎マシーナリー株式会社**

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

〔好評発売中〕

# わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修

B5判 209頁 本体価格2,500円 円340円

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. 地質路査 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**

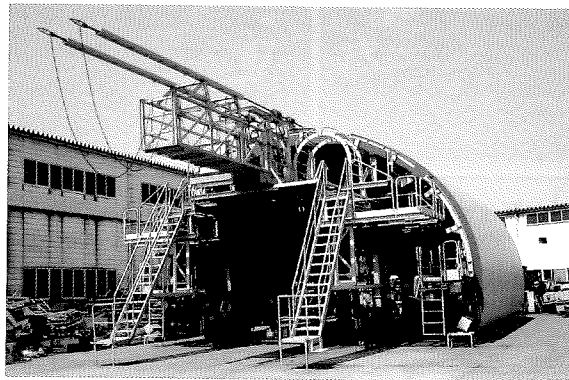
〒162-0832 東京都新宿区戸町16メイジャー神楽坂  
電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072

# 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

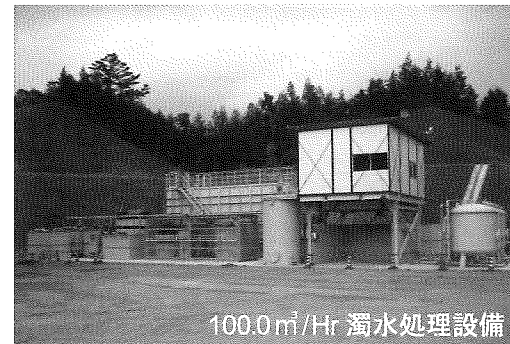
滑川工場：TEL076(476)0333 FAX076(475)9121 東北営業所：TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423

東京支店：TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789

# 濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

## 環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0m<sup>3</sup>/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

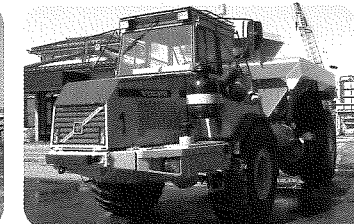
#### 【TWS型濁水処理装置の特徴】

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



4.5m<sup>3</sup>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 富山県飯野 12-1 TEL (076)452-1616(代) FAX(076)452-1617

## ■巻頭言

### グローバル化新時代のトンネル・地下建設事業

山口 悦弘 ..... 5

## ■特集

### インドネシア初の地下鉄およびシールドトンネル建設

—ジャカルタ地下鉄南北線 CP104, 105工区—

大迫 一也・日野 雅夫・坂本 雅信・今中 康貴 ..... 7

### 地下鉄営業線超近接下での駅舎とトンネルの施工の解析と実挙動

—シンガポール地下鉄トムソン線 T226工区—

橋田 薫・多田 博光・竹田 智 ..... 15

### 泥水式シールドによる土砂から岩盤までの多様な地盤の掘削

—シンガポール地下鉄トムソンイーストコースト線 T202工区—

内田 桂司・垣田 直樹・川崎 滋央 ..... 25

### 耐爆シェルター構造とシンガポール特有条件下での地下鉄建設

—ダウンタウン線 ベドック・ノース駅工区, マター駅工区, ベンクーレン駅工区—

関本 昇・大縄 泰平・久連山秀樹 ..... 33

### 礫地盤対応泥土圧シールドの塑性流動状態管理手法を確立し施工効率を大幅に改善

—台北地下鉄環状線 CF640工区, 桃園地下鉄空港線 CU02A工区—

坂田 泰章 ..... 41

### 3つの地下駅と6本の地下鉄シールドを並行する共同溝とともに施工

—台北地下鉄信義線 CR580B工区—

山田 毅・土原 久哉・武田 厚 ..... 51

### 香港の市街地で発破などを駆使して地下鉄を建設

—西港線704工区, 觀塘延伸線1001工区, 南港線(東)902工区—

岩田 修 ..... 58

## ■連載講座

### トンネル新技術への挑戦(19)

—カッタビット交換型全地盤対応シールド「カメレオンカッタ工法」—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 ..... 79

## ■現場だより

### 「日本文学の母なる河」最上川より

森島 伸吾 ..... 67

### 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

地下石油備蓄ひとすじに歩いて

宮下国一郎 ..... 71

## ■資料

編集部おすすめのちかてつ本8選

編集部 ..... 68

土木情報

編集部 ..... 70

トンネルジャーナル

編集部 ..... 78

## ■会報

会報

日本トンネル技術協会 ..... 90

工法・技術・製品ニュース

編集部 ..... 87

トンネルワールドニュース

JTA 国際委員会 ..... 88

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

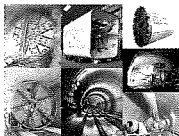
新書判217頁 本体価格1,200円(税込1,260円)

- 【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】



特集 海外の地下鉄建設  
「特集 海外の地下鉄建設」では, 海外で日本企業が携わる地下鉄建設工事のうち, インドネシア, シンガポール, 台湾, 香港から7つの工事を紹介する. 写真は, 本特集で紹介する地下鉄建設の施工状況およびシールドである.

# 管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

## コンクリートトータル養生システム

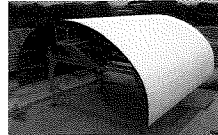
### セントル型枠

加温しながら初期強度を上げる  
加温養生（型枠）



### 第二養生

加温と湿潤を同時に行い品質向上  
加温・湿潤養生



### 第三養生

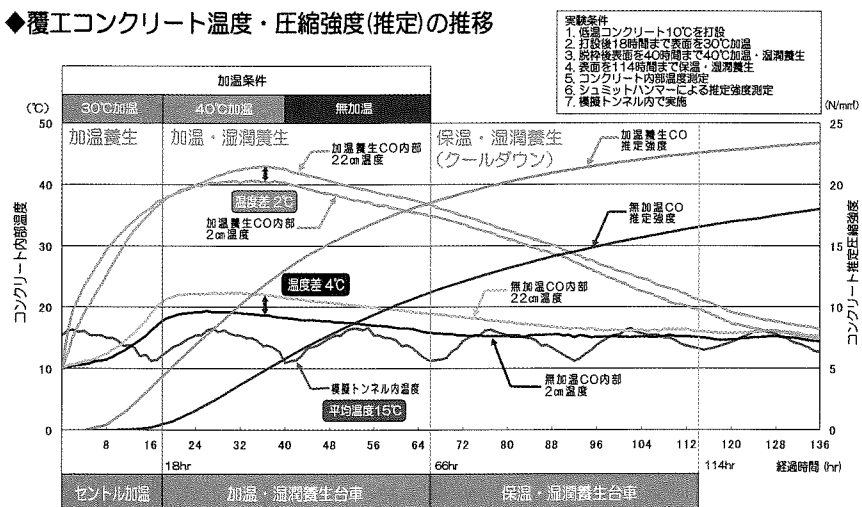
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ  
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理  
養生管理システム

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

#### ◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



**岐阜工業株式会社**

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

【製作・販売協力】

TECHNO  
テクノプロ株式会社

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〕

伊藤 哲 男

株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部  
トンネル研究担当部長

江戸川 修 一

清水建設株式会社土木技術本部副本部長  
地下空間統括部長

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

見坂 茂 範

国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

坂田 聡

東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部  
改良建設企画課長

中間 祥 二

株式会社大林組生産技術本部統括部長

西岡 和 則

鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長  
(兼)土木管理本部土木工務部トンネルグループ長

藤井 義 文

株式会社竹中土木常務執行役員

松原 利 之

飛鳥建設株式会社技術研究所所長

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

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

渡邊 修

独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
事業監理部計画課長

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

# RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW  
総質量 120ton



## 主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.0m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

**KYB** カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444  
カスタマーサービス 相模事業所 〒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  
大阪支店 〒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  
福岡支店 〒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  
三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出長常町 1129 番地 11 TEL 059-234-4111

## 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 土地地盤研究担当	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	中井 宏 東京都下水道局建設部設計調整課長
伊藤 哲 男 株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部 トンネル研究担当部長	中谷 誠 一 東京都水道局建設部工務課長
河村 和 信 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 技術企画部技術企画課総括課長補佐	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	安田 智 東京都交通局建設工務部計画改良課長
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長	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

一歩前進! ~限りない未来への挑戦~

**大栄工機株式会社**

本社 〒526-0842 滋賀県長浜市春近町90番地 TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765  
 URL <http://www.daieikouki.co.jp/> E-Mail: [daiei-co@minos.ocn.ne.jp](mailto: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.48 No.6 掲載概要

掲載頁  
7

インドネシア初の地下鉄およびシールドトンネル建設  
 —ジャカルタ地下鉄南北線 CP104, 105工区—

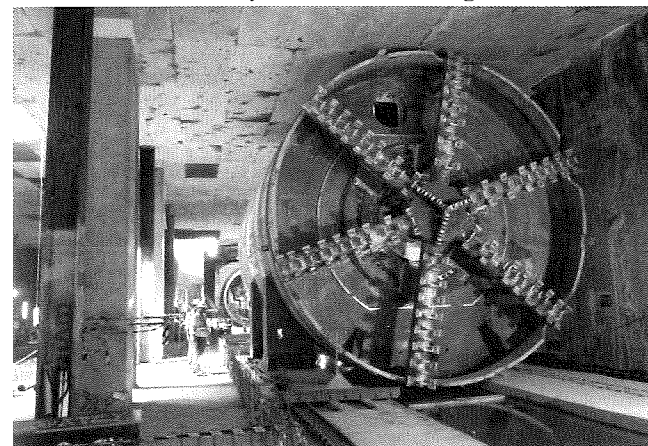
清水建設(株) 大迫 一也

インドネシアの首都であるジャカルタは、近郊を含む都市圏人口が約3千万人に上る大都市であるが、その急激な成長に対応するインフラ整備が追いついていない。とくに交通インフラの整備が遅れ、それに伴う慢性的な交通渋滞が社会のおよび経済的な大問題となっている。こうした状況の中、日本の優れた技術やノウハウを活用して開発途上国への技術移転を通じてわが国の「顔が見える援助」を促進する本邦技術活用条件を適用し、国際協力機構(JICA)を通じた円借款によるジャカルタ都市高速鉄道南北線第一期工事が2013年8月に着工された。本鉄道は2019年3月に開通の予定である。本稿はインドネシアで初めてとなる地下鉄およびシールドトンネル工事について報告する。

Indonesia's First Subway and Shield Tunneling Work—CP104 and 105 of Jakarta MRT North-South Line Project—

By Kazuya Osako, Shimizu Corporation

Jakarta, the capital of Indonesia, is a metropolis with a population of roughly 30 million people, including the suburbs. Its infrastructure has failed to keep up with its explosive growth. Its traffic infrastructure has fallen particularly behind, and the resulting chronic traffic jams have become major social and economic problems. Against this backdrop, the Special Terms for Economic Partnership, with its aim of raising the visibility of Japanese ODA through the transferring of Japan's superb technologies and expertise to developing countries, has been applied to begin the first phase of construction, in August 2013, of the Jakarta MRT north-south line. This project was conducted through a Japanese-government-backed yen loan from the Japan International Cooperation Agency (JICA). The railroad is scheduled to go into operation in March 2019. This paper reports on the construction of Indonesia's first subway and shield tunneling work.



写真はシールド駅内移動状況

掲載頁  
15

地下鉄営業線超近接下での駅舎とトンネルの施工の解析と実挙動  
 —シンガポール地下鉄トムソン線 T226工区—

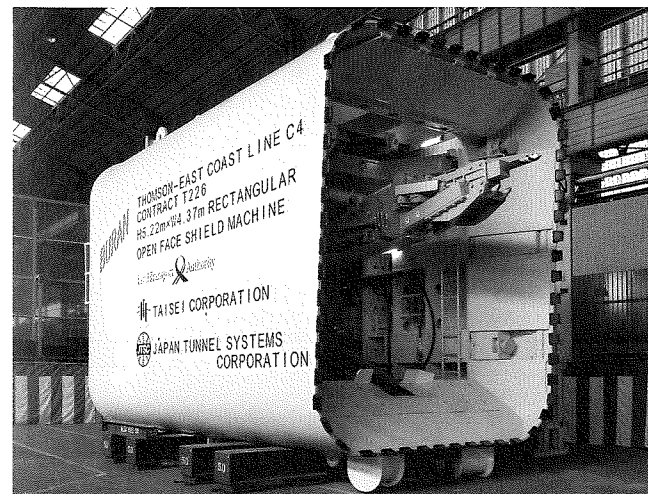
大成建設(株) 橋田 薫

シンガポール地下鉄トムソン線T226工区では、既設の営業線である地下鉄南北線とそれに交差する地下鉄環状線のさらにその下で交差するかたちで、歩行者連絡地下通路(リンクウェイトンネル)、軌道トンネルおよびマリナベイ駅を新設する。新駅は既存の2営業線のマリナベイ駅に隣接するため、多くの規制のもと超近接施工となるため、挙動を解析的に予測しながら施工を行っている。また、シンガポール特有の超軟弱地盤対策として水平ジェットグラウト工法を、既存の基礎杭撤去には切羽前面開放型矩形シールドを採用、被圧帯水層が介在する軌道トンネルでは、補助工法として凍結工法を採用する予定である。本稿では、超近接施工のために採用した種々の工法や事前予測挙動解析について報告する。

Analysis and Actual Behavior of Station and Tunnel Structures Built Critically Close to Subway Lines in Operation—T226 of Singapore MRT Thomson Line Project—

By Kaoru Hashida, Taisei Corporation

T226 of construction for Singapore MRT Thomson Line is to build a linkway tunnel, subway tunnel, and new Marina Bay station which are being built beneath the point where the north-south line and the circle line cross. The construction site of the new station is extremely adjacent to the Marina Bay station for the two lines already in operation, so works are being performed during analyzing and predicting behavior. Horizontal jet grouting will be used for Singapore's ultra-soft ground, and open rectangular tunneling shields will be used to remove existing foundation piles. Ground freezing will be used as an auxiliary method for the subway tunnel which intersect an artesian aquifer. This paper covers the various construction methods used for extremely proximity construction and the preliminary predictive behavior analysis that is being used.



写真は開放型矩形シールド

## 泥水式シールドによる土砂から岩盤までの多様な地盤の掘削

—シンガポール地下鉄トムソンイーストコースト線 T202工区—

五洋建設(株) 内田 桂司



写真は岩盤到達状況

シンガポールを縦断するシンガポール陸上交通省による地下鉄トムソンイーストコースト線T202工区は、最北端のウッドランズ北駅とウッドランズ駅を結ぶ仕上がり内径φ5.8m、延長約1kmの上下線2本を2台の泥水式シールド工法で施工した。本稿では土砂層での泥水管理、岩盤層でのカット部材の損傷、複合地盤層での圧気作業などの施工に伴い発生した問題点とその対応について報告する。

**Excavation of Diverse Ground Types, from Soil to Rock, Using Slurry Shields—T202 of Singapore MRT Thomson-East Coast Line Project—**  
By Keiji Uchida, Penta-Ocean Construction Co., Ltd.

T202 of the Thomson-East Coast line Project is to build two tubes with diameter of 5.8m and length of approx. 1km using two slurry shield TBMs, which connects the northernmost station, the Woodlands North Station, with the Woodland Station. The Singapore Land Transport Authority carries out this project which crosses Singapore longitudinally. This paper reports on various problems encountered during construction, such as slurry management in soil ground, damage of cutters in rock ground, and works in compressed air in composite ground, and how these problems were addressed.

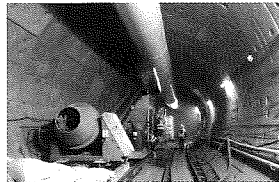
## 耐爆シェルター構造とシンガポール特有条件下での地下鉄建設

—ダウタウン線 ベドック・ノース駅工区, マター駅工区, ベンクーレン駅工区—

佐藤工業(株) 関本 昇

2011年から開始したシンガポール地下鉄の第5の路線(ダウタウン線)の3期工事は、2016年末にほぼ完成しており、現在、地下鉄運行に向けて準備中である。シンガポールは、狭い国土にもかかわらずその地下は、多様な地盤が複雑に入り組んでいるため、地下建設工事では想定外の事象に遭遇することが多い。今回報告する駅工事は、有事を想定したCD(Civil Defense: 耐爆シェルター仕様)構造という日本にはない設計思想と、巨大な転石が介在する土質条件の深さ43mの大深度での施工である。さらに、トンネル工事に関してはシンガポール特有の土質条件のもとでのシールドトンネルを施工した。

**Structure of Civil Defense Shelter and Subway Construction under Singapore's Unique Conditions—Bedok North Station, Matar Station, and Bencoolen Station for Singapore MRT Downtown Line Project—**



写真は連絡坑仮設設備(本線トンネル内)

By Noboru Sekimoto, Sato Kogyo Co., Ltd.

Construction began on the fifth line of the Singapore MRT (the Downtown Line) in 2011. Its stage 3 was mostly completed by the end of 2016, and preparations are currently underway for the launch of subway operation. Singapore is a small but the ground consists of complex mix soil types, so unexpected difficulties are often encountered during underground construction. The station construction covered in this report included civil defense shelter structures for use in the event of an emergency, a design concept which does not exist in Japan, as well as construction at a depth of 43 meters in ground containing massive boulders. Shield tunnel was build under Singapore's unique soil conditions.

## 礫地盤対応泥土圧シールドの塑性流動状態管理手法を確立し施工効率を大幅に改善

—台北地下鉄環状線 CF640工区, 桃園地下鉄空港線 CU02A工区—

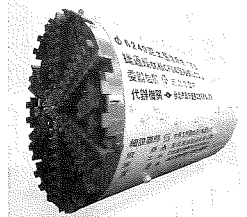
(株)奥村組 坂田 泰章

礫地盤対応のシールド工事においては、カットトルク・推力上昇による掘進速度低下や掘進不能、カットビットやカットヘッドの摩耗、地盤沈下といった問題が数多く報告されている。これらの問題点を解決するために、台湾の機場捷運CU02A工事、および台北地下鉄環状線CF640工事においてシールドの設計(計10台)、および施工(計8.3km)を通して巨礫を含む礫地盤対応シールドの掘進技術を開発し適用した。その結果、泥土の塑性流動状態を適切な水準で維持することでカットトルク、およびカットビット摩耗量を砂シルト層対応シールドの水準にまで引き下げることに成功し、その有効性を確認した。また、本技術は礫地盤対応の土圧式シールドにおいて汎用的に応用可能であり、今後の礫地盤シールド工事の生産性を大幅に改善できるものとする。本稿では、本技術の適用事例とその効果について報告する。

**Dramatic Improvements to Construction Efficiency through Development of Management Method for Plastic Flowability for Shield TBMs Corresponding to Gravel—CF640 of Taipei Metro Circular Line Project, and CU02A of Taoyuan Airport MRT Project—**

By Yasuaki Sakata, Okumura Corporation

Many problems have been reported with tunneling in gravel using TBMs, including reduction of tunneling speed and loss of excavation due to increased cutter torque and jacking force, gall of cutter bit and cutter head, and ground settlement. In order to resolve these problems, operation technology for TBMs corresponding to gravel ground including boulders, was developed and applied through experiences in the design of 10 shield TBMs and 8.3km stretch of tunneling for construction of CU02A Taiwan's airport MRT and CF640 of Taipei Metro Circular Line. This construction technology made it possible to maintain mud plastic flowability at appropriate levels, thereby reducing cutter torque and gall of cutter bit as much as shield tunneling in sand silt ground, demonstrating the effectiveness of the technology. This technology can be versatily applied to EPB shield TBMs corresponding to gravel, and is expected to dramatically improve the productivity of tunneling in gravel using shield TBM. This paper reports on case studies of the application of this technology and the results it achieved.



写真はシールド(台北地下鉄環状線CF640工区)

## 3つの地下駅と6本の地下鉄シールドを並行する共同溝とともに施工

—台北地下鉄信義線 CR580B工区—

(株)大林組 山田 毅

中華民国(台湾)の首都である台北市では、交通集中による渋滞の緩和を目的に、1980年代から地下鉄路線網の建設が進められている。このうち、台北地下鉄信義線は、2004年に工事着手され、2013年11月に営業運転を開始した。

台北地下鉄信義線CR580B工区では、2.4kmの施工区間に地下鉄駅3駅と地下変電所を新設し、計9本のシールドトンネルで構築間を接続した。市内有数の幹線道路下で、軟弱地盤と近接老朽建物、地中障害物への対応に苦慮しながらの工事であった。本稿では、当該工区の施工概要を報告するとともに、工事契約条件の特徴について述べる。

**To Build Three Metro Stations and Six Tubes Together with Utility Tunnel Planned in Parallel—CR580B of Taipei Metro Xinyi Line Project—**

By Takeshi Yamada, Obayashi Corporation

Taipei, the capital of the Republic of China (Taiwan) has been building a metro network since the 1980s in order to alleviate traffic jams. Works on Taipei Metro Xinyi line began in 2004, and the line went into operation in November 2013. CR580B of Taipei Metro Xinyi Line is a construction lot of 2.4km stretch which includes three new metro stations and underground electric power substations connected by nine shield tunnels. It lies below one of the city's main thoroughfares, and construction was beset by problems involving the soft ground, nearby dilapidated buildings, and underground obstacles. This paper provides an overview of the construction work carried out in the construction lot, and discusses the notable features of the construction contracts.



写真は地下鉄トンネル完成

## 香港の市街地で発破などを駆使して地下鉄を建設

—西港線704工区, 觀塘延伸線1001工区, 南港線(東)902工区—

西松建設(株) 岩田 修

公共交通システムが非常に発達した香港では、すでに供用されている鉄道の総延長約230kmに加え、現在中国本土への新幹線を含めて約43kmの鉄道を建設中であり、2031年までには香港の鉄道網の総延長は300kmを超える計画となっている。地表面から浅い部分で風化の少ない堅硬な花崗岩、凝灰岩が出現することから、市街地でありながら多くのトンネル建設工事が発破掘削によって行われている。香港での地下鉄工事は、市街地での施工と言う背景から制約条件が路線ごとに独特で、それぞれの工事ごとに非常に特徴的な施工方法や施工手順を採用している。

本稿では、昨年末までに開通を迎えた路線について、西松建設が施工した工区の特徴的な施工方法を紹介する。  
**Using Techniques Such as Blasting to Build a Subway in an Urban Hong Kong Area—704 of Hong Kong MRT West Island Line Project/1001 of Kwun Tong Line Extension Project/902 of South Island Line(East) Project—**  
By Osamu Iwata, Nishimatsu Construction Co., Ltd.



写真は長孔発破施工状況

Hong Kong has an extremely well-developed public transportation system, and construction is underway to expand the existing rail network by a total of 230 km, as well as building a roughly 43 km high-speed railway to the Chinese mainland. By 2031 Hong Kong's rail network is planned to reach over 300 km in total length. Minimally weathered, hard granite and tuff lie at a shallow depth below the surface, so despite the urban nature of the area, blasting has been used to build tunnels. Because Hong Kong's subway construction work takes place in urban areas, restrictions vary depending on the rail line, and extremely unique construction techniques and procedures are used for each project.

This paper introduces the notable construction methods used by Nishimatsu Construction in the construction section it worked on for the rail line which was opened for operation at the end of last year.

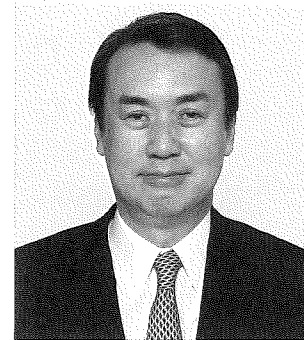
# 巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)

## グローバル化新時代の トンネル・地下建設事業

(一社)海外建設協会専務理事

山口悦弘



経済のグローバル化は、われわれの想像をはるかに超えた複雑な様相をみせはじめています。貿易量の増加とともに、世界レベルでの国境を越えた直接投資活動は一層活発化している。国・地域によっては、自国・自地域を保護する動きは見受けられるものの、現状として、海外投資活動は、経済発展・ビジネス展開にとって不可欠なものである。

建設企業にとっても、このグローバル化は避けて通れない。わが国の建設企業の海外実績は、変動はあるものの戦後からおおむね拡大基調にある。これまでの波は1980年代に始まる。対米経済摩擦の結果、日系企業が対米進出を活発化させた動きに伴い、米国での日系企業からの受注が大きく伸びた時期である。2つ目の波は、アジア経済の急成長に伴う90年代である。3つ目の波は、21世紀リーマンショック以前までで、中東での事業を数多く手掛けてきた。そして、4つ目の波は現在である。これらの動きは、世界レベルでの直接投資活動に応じた建設受注を示すものである。

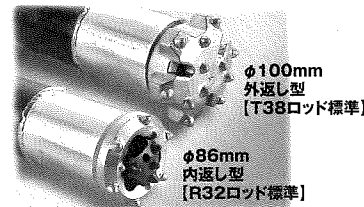
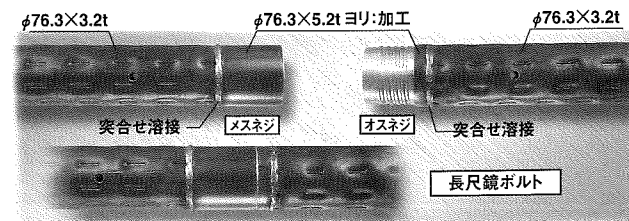
最近の受注状況には、いくつかの特徴がある。日系企業の海外進出に伴い「日系民間企業」の建設受注は安定している。また世界各地での「地元民間企業」からの受注と地元公共機関などからのいわゆる「公共事業受注」が増加している。日本の建設企業の最大の特徴は、「高度な施工技術」「緻密なマネジメント力」適正に施工管理し工期を守る「堅実な施工」である。このわが国建設企業の3大メリットは、世界の発注者からも認められるところであろう。

世界各地で実施される事業の中でも、日本の技術力が大きく評価されている工事の一つが「トンネル・地下建設事業」である。これまでわが国建設企業は、香港、シンガポールなどで数多くのトンネル・地下事業を実施している。とくにシンガポールの「地下鉄MRT・トムソンライン」整備事業では、その事業(当初計画)の約30%に当たる7件22億シンガポールドルの事業を施工している。シンガポールのように経済活動の集中する地域でのトンネル・地下工事を安全にまた確実に施工できる建設企業として、日本の建設企業の評価は高い。

NETIS登録No.KK-160026-A

### ストロング FIXチューブ(S型)

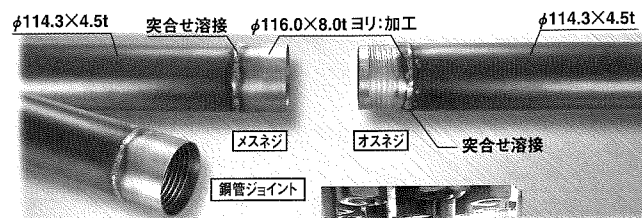
- ※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
- ※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



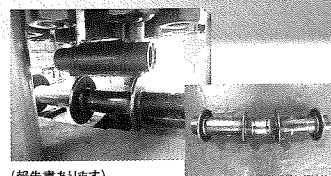
NETIS登録No.KK-150045-A

### 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!

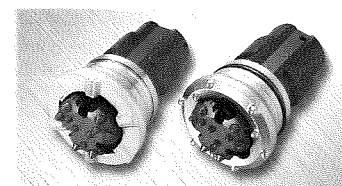
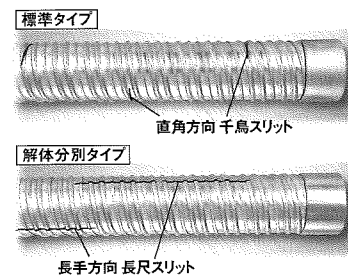


曲げ耐力30%UP!!



(報告書あります)  
接続部の抗折力試験

#### 撤去管の選択



#### STD BITS (ロッドリング方式)

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

また、ニュージーランドでのトンネル・地下工事が注目される。全土27万km<sup>2</sup>でトンネルはわずか9か所にとどまる。同国の人口は約420万人であり、この人口規模ではトンネル建設の必要性はなかったと思われるが、最近ではオークランド市域への人口集中は進み、交通渋滞などの都市問題を数多く抱えている。このため、現在都心部のトンネル整備を含む道路整備事業を進めているが、わが国の建設企業がJVで事業実施している。また、市内にある既存の鉄道をループ状に再編整備し、トンネル建設を含む市内環状線建設事業「シティ・リンク鉄道事業」を進めている。オークランドにおいては、地形的特徴から山岳トンネル建設と都市内地下建設の両方の技術が必要なことが多い。また現地ではトンネル施工実績のある建設企業が少なく、外国企業に大きく依存している。同国において、わが国建設企業が有するトンネル施工技術への期待は大きい。

私は、25年ほど前の夏に、フランス・イタリア国境のアルプスの山々を抜ける「モンブラントンネル」を通過したことがある。当時欧州ではエアコンのない車が多く当然窓を開けて走行していたが、全長12kmのトンネルは十分な換気もなく、猛烈な排気ガスに耐えきれず窓を閉め切って酷暑の車内で我慢しながら運転した記憶がある。換気問題の不安は的中し、その7年後にトンネル内火災事故が発生し多くの犠牲者を出してしまった。日本の建設企業によるトンネル技術は、その施工技術のみならず、管理、防災などあらゆる面において質が高いと確信した。

世界にはいくつかのメガトレンドがある。経済のグローバル化、人口の高齢化などとともに急速なトレンドが「都市化現象」である。とりわけ先進国や新興国においては、この都市化は、ますます加速されるであろう。このようなトレンドから、都市内交通の円滑化、都市内土地利用の効率化、都市地域を支えるインフラの整備推進は急務であり、トンネル・地下建設需要は確実に増加することが見込まれる。とくに人口集中地域では、周辺に影響を及ぼさない高度な「技術力・マネジメント力」への期待は大きい。

今このビジネスチャンスをつかむわが国建設企業の事業として実現していく努力が求められる。わが国建設企業が有するトンネル・地下建設技術は、全世界に大いに貢献できる。また海外で実績を積み、さらに総合能力を上げ、国内に還元することも期待できよう。このような国内・海外の相互循環を構築することにより、世界からさらに信頼される日本の建設技術になりうるのではないだろうか。建設活動グローバル化の流れの中で、わが国建設企業のトンネル・地下建設の「技術力・マネジメント力」が世界に貢献する新時代は、まさにこれから始まろうとしている。

# インドネシア初の地下鉄およびシールドトンネル建設

## —ジャカルタ地下鉄南北線 CP104, 105工区—

清水建設(株)国際支店ジャカルタ地下鉄建設所所長 大 迫 一 也  
 (株)大林組海外支店ジャカルタMRT地下工事事務所所長 日 野 雅 夫  
 清水建設(株)国際支店ジャカルタ地下鉄建設所工事長 坂 本 雅 信  
 (株)大林組海外支店ジャカルタMRT地下工事事務所工事長 今 中 康 貴

### ① ジャカルタ MRT プロジェクトの概要

ジャカルタの深刻な交通渋滞を解消する切札としてのジャカルタ都市高速鉄道(以下「ジャカルタ MRT」)の建設および運営はジャカルタ特別州が設立した「PT. MRT Jakarta (通称「MRTJ」)」社が行う。

建設中の南北線は総延長23.8kmで、現在は南側の15.7

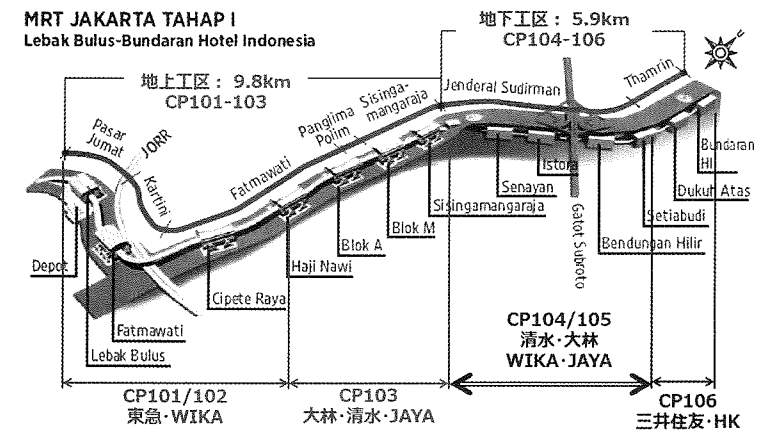


図-3 ジャカルタ MRT 南北線一期工事概要図



図-1 プロジェクト位置図

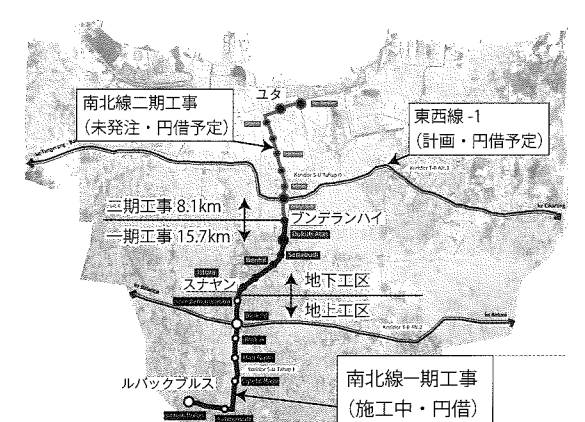


図-2 ジャカルタ MRT 路線図

kmが第一期工事として建設が進められており(図-2)、南側9.8kmは高架区間、北側5.9kmは地下鉄区間である。インドネシアで初の地下鉄区間では駅舎6駅が建設中である(図-3)。地下鉄区間のトンネルは、インドネシアで初採用のシールドトンネル工法で施工された。

## ② ジャカルタ MRT CP104/105工区の概要

清水・大林・WIKA・JAYA JVは図-3に示した地下3工区のうち、図-4に示すCP104とCP105の2工区を施工中で、地下鉄駅舎4駅、地下移行部開削トンネル460m、および駅間の8本のシールドトンネルの総延長は5.2kmになる。

工期：2013年8月26日～2018年12月14日

発注者：PT. MRT Jakarta(MRTJ)

施工管理：オリエンタルコンサルタンツJV

請負業者：清水・大林・WIKA・JAYA JV

(WIKAとJAYAはインドネシアの大手建設会社)

契約方式：設計施工ランプサム契約

契約約款：FIDIC Yellow Book(First Edition 1999)

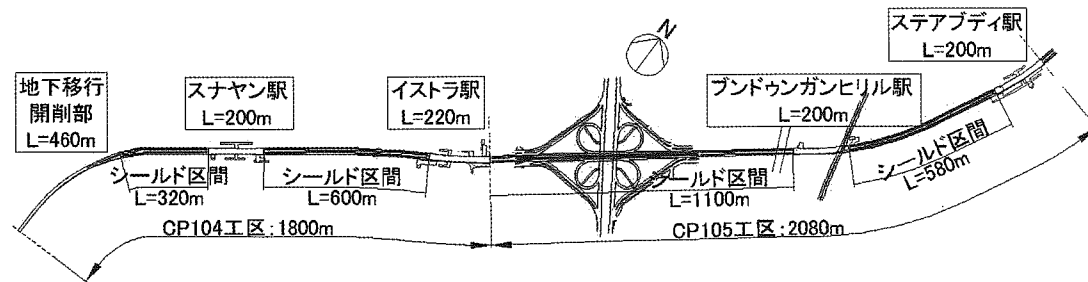


図-4 CP104/105工区概要図

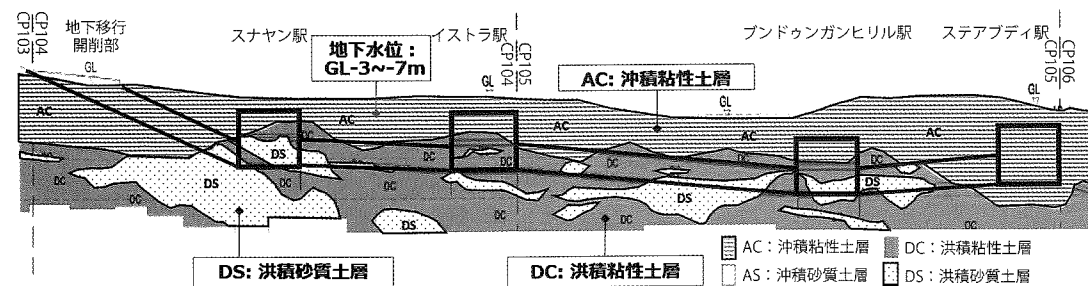


図-5 土質概要図

## ③ 土質条件

当工区の土質条件は図-5のとおりで、表層部がN値5～15の沖積粘性土層(AC層)で、その下層にN値50以上の洪積粘性土層(DC層)と洪積砂質土層(DS層)が存在している。

シールドトンネル通過部については、56%がDC層、23%がDS層、21%がAC層となっている。地下水位については雨季(おおむね11～4月)と乾季で変動し、GL-3～7mとなっている。

なお、スナヤン駅ではプラットフォーム階の掘削を既に完了したが、DS層が想定よりも硬く、バックホウによる掘削ができず、ジャイアントブレーカーにより研って掘削した。このDS層をコア採取して一軸圧縮試験を行った結果、最大で15.6MPaの強度があり、DS層の一部は軟岩～中硬岩であることが確認された。

## ④ 設計

### 4-1 設計体制および設計基準

本工事は設計・施工契約で進められている。当JVでは設計コンサルタントとして英国系のMott MacDonald社(以下「M社」と契約し、土木、建

築および設備の詳細設計を行っている。1社単独ですべての設計が行えることは、土木、建築、設備の設計を担当する各部門の調整を行ううえで有利に働くと考え、国際的な実績や応札時のVE案の提示などの対応からM社に決めた。また、本プロジェクトでは設計結果の第三者照査も要求されており、シンガポールに拠点を置くCPG Consultants社と第三者コンサルタント契約をした。

契約図書では日本の『鉄道構造物等設計標準・同解説』((公財)鉄道総合技術研究所編、以下「鉄道標準」)が設計基準として求められていたが、設計および施工を監理するエンジニアの事前承認を得れば国際的に認められている他の設計基準の使用も許されていた。当JVでは、英国系のM社と契約していたこともあり、鉄道標準と同じ限界状態設計法を採用しているBS(British Standard)の使用を提案し承認を得た。

### 4-2 設計施工の特徴を生かした柔軟な設計対応

設計施工案件では、要求事項を満足する構造物を提供するという最終目的のもと、施工性を考慮した柔軟な設計が重要であると考えられる。

当JVでは材料コストと施工手間のバランスが難しいところであるが、当JVではシンプルな構造を念頭に構造設計を行った。

例えば、基本設計図面には柱間のスラブ下面梁や隅角部ハンチの記述があったが、フラットスラブとすることでこれらを省略した。結果として、施工手間が大幅に軽減され、駅内設備の配置の自由度も増した。基本設計図面は、あくまで参考図面扱いとなっており、設計・施工案件の特徴を生かし、設計者が詳細を決定できる利点を生かした成果である。

### 4-3 受注後の設計変更対応

当JVでは入札時に鉄筋量と部材厚を減らす目的で、降伏強度が490N/mm<sup>2</sup>の鉄筋の使用を提案し、承認されていた。しかし、入札後にインドネシアの鉄筋使用基準(SNI: Standard National Indonesia. 日本のJISに相当するが、BSや米国

の品質管理基準であるASTMと同様に工業製品の規格のほかに、材料の使用条件や設計荷重の規定など多岐にわたるインドネシアの国内標準規格)が変更となり、設計時に塑性化する部材については降伏強度が390N/mm<sup>2</sup>を超える高強度鉄筋の使用が認められなくなった。部材降伏の基準が、地震時だけでなく、終局限界状態にも適用されるとの書面を、建設許認可を管轄する官庁から受領したため、本変更は限界状態設計法にて設計されるすべての構造物に適用されることとなった。

また、耐震設計に用いる地震波についても、入札後、変更となり、新たな基準に従って作成された地震波を使用することとなった。地下構造物では地震波の変更による影響は小さかったが、鉄筋強度の変更によって部材厚の変更と鉄筋量の大幅増を余儀なくされた。契約後に急遽対応せざるを得ないような事態がないように、重要な基準の変更に対し、常に情報収集を行う必要がある。

## ⑤ 開削工事

駅舎は4駅すべて地下2層構造、標準駅長200mで、施工方法としてはRC地中連続壁を本設壁とする逆巻き工法を採用した。4駅ともジャカルタの目抜き通りである幅員約70mのスタイルマン通りに位置している。

### 5-1 作業帯確保

道路中央に常設作業帯を確保するため、中央分離帯および植樹帯を撤去してコンクリート舗装し、また、もともと約6m幅の歩道を施工期間中は幅1.5mに縮め、既設歩道上にコンクリート舗装をオーバーレイして車道とした。

歩道を車道に切替えるための舗装については、「埋設管はジャカルタの法規に則り1.1m以上の土かぶり確保されている」という認識のもと、歩道切下げを計画していたが、試掘の結果、多くの埋設管が土かぶり10cm程度から見つかったため、切下げは断念し、コンクリート舗装をオーバーレイして車道に切り替えた。

また、中央分離帯にあった公共バス「トランスジャカルタ」のバスシェルターについては、作業

帯外に新たなバスシェルターを建設したうえで、既設のバスシェルターを撤去した。

工事着工前はMRT工事の影響による工事期間中の渋滞悪化が懸念されていたが、工事期間中も工事着工前と同じ車線数を基本的には確保しており(図-6)、JICAの交通専門家が、常設作業帯を確保したあとの自動車の通行時間を計測したところ、「予想に反して慢性的な交通渋滞は起きていない」とする結果が出された。

### 5-2 駅舎建設

連壁は厚さ1.0m、深さ21~30mで、標準パネル長を6mとして施工した。掘削は油圧式および機械式のグラブを各駅2台ずつ使用し、各パネルの継手は止水ゴム板付きストップエンド(仮設鋼製妻枠)方式を基本とした。

スナヤン駅とイストラ駅は駅の土かぶりが2.5mと小さいため、天井スラブ施工後にその上部を1m埋戻して作業床コンクリートを打設し、重機を作業床上に据えて施工した。

一方、ブドゥンガン駅とスティアブディ駅は既設の埋設管などのため駅の土かぶりが3.6~7.5mと大きく、連壁上部に切梁が必要となったため、図-7右図に示すように作業構台を西側半分だけ設置して施工した。

### 5-3 スライド式山留め支保工

スティアブディ駅は掘削深度が深く、また、ほかの駅と比較して地盤条件が悪かったため、ブラットフォーム掘削時に最下段切梁を設置する必要があった。しかし、インドネシアでは鋼製支保工(切梁・腹起し)の組み出し専門業者がいなかったため、この最下段切梁の組み出しをいかに効率的に進めるかが施工計画時の大きな課題で

トンネルと地下

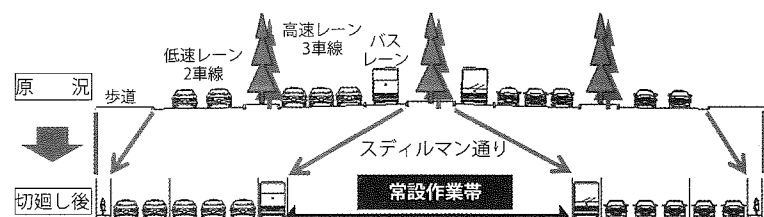


図-6 常設作業帯確保のための道路切廻し

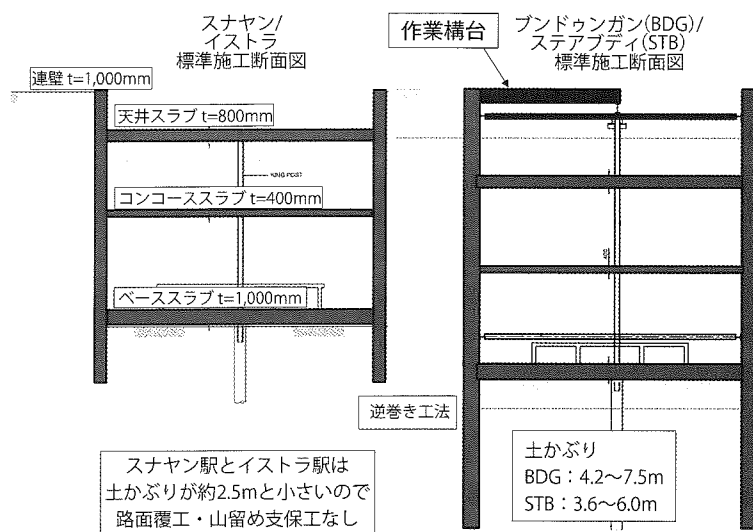


図-7 各駅駅舎の施工断面図

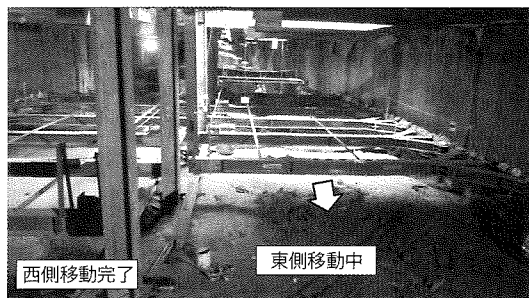


写真-1 スライド式山留め支保工

あった。

実施工では、掘削時の連壁の変位が設計時の予測値と比較して小さかったため、コンコース階掘削までの計測結果により逆解析を実施し、まず最下段支保工の数量を減らした。次に、掘削、均しコンクリート打設、支保工設置、ベーススラブ打設、支保工撤去の一連の作業がブロック施工となることに着目し、全12ブロックのうち駅中央部の2ブロックのみ支保工を架設し、順次隣接するブ

ロックに横移動させる「スライド式山留め支保工」工法を考案し、採用した(写真-1)。山留め支保工を横移動できるように、梁受けおよび受けブラケット上にローラーを設置し、油圧ジャッキを中間杭列上の中央に配置した。横移動時には中央の油圧ジャッキのみ仮撤去し、チルホールで切梁および腹起し端部を引張って片側ずつ移動させた。これにより、最下段切梁架設の省力化を実現することができた。

### 5-4 銅像防護

地下移行開削トンネル北端には、「若者たちがインドネシア国家を創造する」という国家スローガンの象徴としての「青年の像」と呼ばれる40年以上前に築造された高さ17mの銅像があり、この下で2連ボックスカルバートを築造しなければならなかった。この銅像については、施工中に一時移設することも検討したが、3Dスキャンで銅像の体積を測定し、その重量を計算したところ、基礎を含めて400t以上あると推定されたため、一時移設はせずにアンダーピニングで銅像を防護しながらボックスカルバートを築造した。

アンダーピニングにあたっては、まず銅像まわりに場所打ち杭を4本打設し、その杭上にI形鋼を設置し、銅像基礎にケミカルアンカーを打設して固定した(写真-2)。

掘削中は1時間ごとに銅像の沈下・傾斜を計測しながら施工したが、変位はほとんどなく、掘削およびボックスカルバートの築造を終え、ボックスカルパートへの受替えを完了した。

### 5-5 水道管吊受け防護

ブドゥンガン駅には駅を横断する外径2.15mの2本並列の水道管があり、その下に天井スラブを施工しなければならなかった。この水道管は20年以上前に推進工法で施工され、推進管自体が水道本管となっており、推進管内を直接水が流れて下流の浄水場に生水を運ぶものであった。地元水道局によれば、「この2本の水道管でジャカルタ市民が使用する水道量の80%以上を供給しており断水不能」とのことで、その防護については細心の注意を払って設計し、施工を行った。

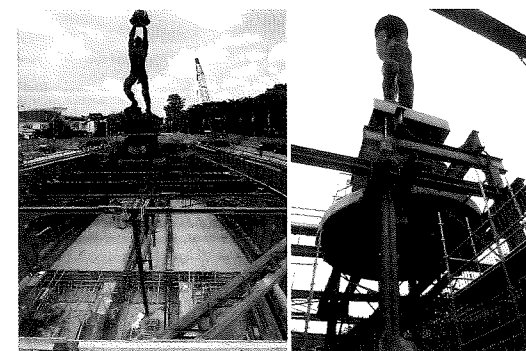


写真-2 銅像のアンダーピニング

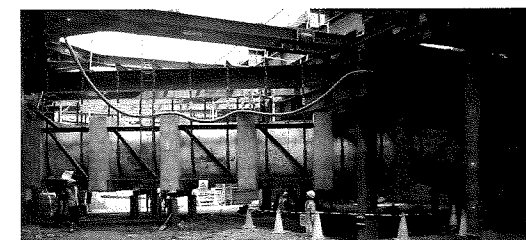


写真-3 水道管吊受け防護

水道管の防護は吊り防護に加えて、補助としての受け防護も行い、また水道管(推進管)の各ジョイントは鉄筋コンクリートで防護し、さらにアングルでトラスを組んで水道管全体を補強した(写真-3)。この防護により、ジョイントからの漏水などの問題もなく、無事、天井スラブへの受替えを完了した。

## ⑥ シールド工事

インドネシアで初となるシールドトンネルは、内径6.05m、外径6.55mの2本並列のトンネル(延長2.6km×2)で、最小土かぶり3.6m、最大土かぶり15.9m、最小曲率半径365mRで、トンネル本数は8本である(図-8)。

### 6-1 シールド

シールド(写真-4)については、泥土圧シールド2台を日本の工場で作成し、胴体を6分割したうえで海上輸送し、現場の発進立坑内にて再度組立て、地下移行開削トンネルの北側端部から発進した。

### 6-2 仮設備

坑内仮設備としては、12m<sup>3</sup>ずり鋼車3台とセグ

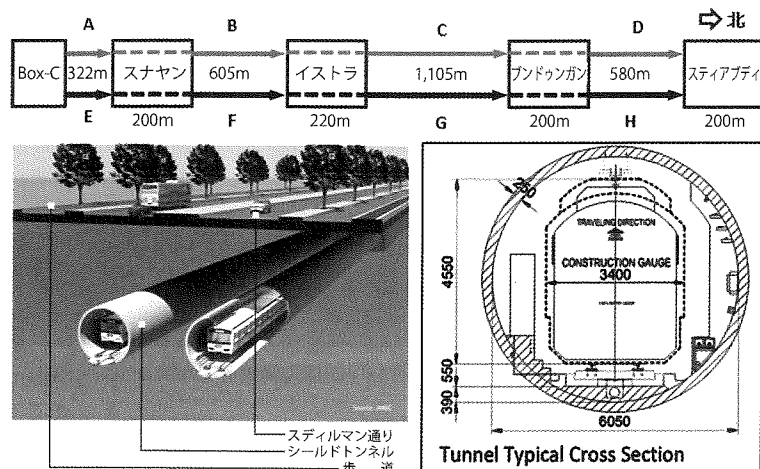


図-8 シールドトンネル概要図

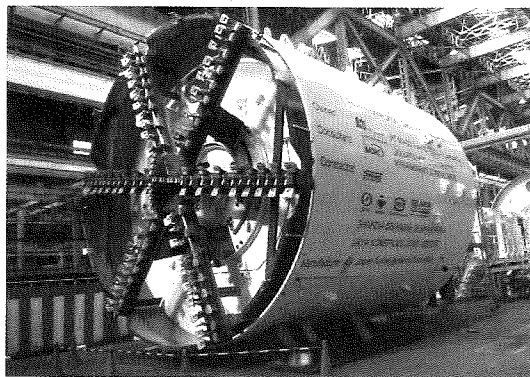


写真-4 泥土圧シールド

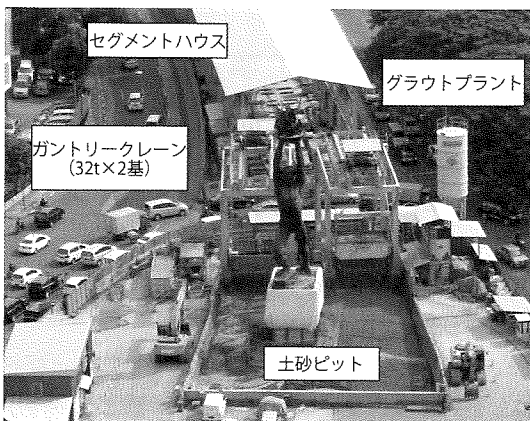


写真-5 発進部仮設備全景

メント用平台車を牽引する27tバッテリーロコを5台使用した。地上設備にはずり鋼車吊上げ用32tガントリークレーンを2台設置し、セグメント吊上げ用15tオーバーヘッドクレーンを2台を装備

したセグメントハウスを設けた。また、昼間は大型車両規制によりダンプによる土砂搬出ができないため、既存の銅像まわりに土砂ピット(1,650m<sup>3</sup>)を設けた(写真-5)。

### 6-3 セグメント

セグメントは厚さ25cm、幅1.5mのRCセグメントとし、ジャカルタ郊外の工場(WIKA-KOBE)で製作し、夜間にトレーラーで現場搬入した。

セグメントの性能試験として、

単体曲げ試験、継手曲げ試験、ジャッキ水力試験、グリッパー吊り金具引抜き試験を500リングごとに実施した。試験はジャカルタから南東に約200km離れたバンドンにある試験場の類似の既設試験機器をセグメント性能試験用に改良して行った。

### 6-4 シールド発進

地下移行開削トンネル部からの発進については、基本的には地盤改良は行わず、エントランス枠に取り付けた止水ゴム板付きフラッパーによる止水方式とした。また、各駅部北端での発進では同じく地盤改良なしで、連壁発進部に設置したGFRPをシールドで直接切削して発進した。

シールド1号機の発進にあたっては、ジョコ・ウィドド大統領や谷崎大使ほかをお招きして2015年9月21日に発進式典を開催した。

### 6-5 シールド掘進

本工事ではシールド工事の経験が全くないインドネシア人をJVスタッフおよび掘進工として採用し、「顔の見える援助」として技術移転に挑戦し、シールドおよびセグメントを初めて見るJVスタッフと作業員に対し、日本人職員が施工管理方法を昼夜24時間体制で教育・指導した。

掘進開始当初は手探りの状態であったが、各JVスタッフ・作業員の役割を明確化し、継続的な指導を推進することにより、2016年8月には1台

あたり月進400mを達成した。

掘進に伴う地盤変状の発生機構は、地盤条件、施工方法、施工管理などの諸要因により変化するが、経時的には、①切羽での先行沈下(または隆起)、②テールボイド沈下、③後続沈下の3段階に分けて発生すると考えられる。

掘進に伴う地盤変状を計測するため、地下移行開削トンネル北端発進部から50mの箇所を層別沈下計を設置し、掘進時の地盤変状を測定した。計測部のトンネル土かぶり厚は4.7mで、掘削対象地盤は沖積粘性土(AC層)であった。計測は複数点で行ったが、トンネル直上1m部での計測結果としては、切羽での先行隆起+0.76mm、最終沈下-0.95mmが計測された。この結果、掘進管理を適正に行えば、変状を小さく抑えられる地盤であることが確認された。

### 6-6 シールド到達

シールド到達部は二重管ストレナー工法複相式薬液注入で地盤改良を行った。改良率は上部粘性土層では10%、下部砂層では31.5%とした。

到達部についてはエントランス枠設置後に、枠内の連壁を人力およびジャイアントブレイカーで研り、バルクヘッドを設置しながらグラウト材で事前に埋め戻した。

シールド1号機が1本目のトンネルを貫通し、スナヤン駅に到達した2015年12月23日には、「インドネシアで初のシールドトンネル貫通」ということで、同年10月8日の掘進視察に引き続き、

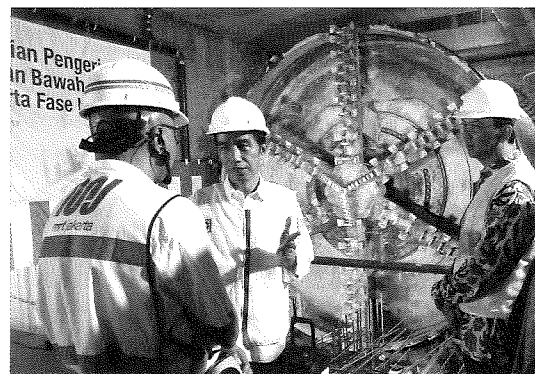


写真-6 シールド2号機最終到達視察(左から2人目がジョコ・ウィドド大統領)

ジョコ・ウィドド大統領に3度目の現場視察をしていただいた。

また、シールド2号機が最後の8本目のトンネルを貫通し、スティアブディ駅に到達した2017年2月23日には、ジョコ・ウィドド大統領が最終到達の状況を視察された(写真-6)。

### 6-7 シールド駅内移動

当工区ではシールドの駅内移動を合計6回行う。手順としては、

- ① 駅南側で到達したシールドを架台上に設置
- ② ジャッキで架台ごと横移動(写真-7)
- ③ シールドをジャッキアップしてベーススラブ高まで上げる(写真-8)
- ④ シールドをベーススラブ上の専用レールに乗せてマシン後方から30tジャッキ2台で押しながら駅内移動(写真-9)

となる。



写真-7 ジャッキによるシールド横移動



写真-8 シールドのジャッキアップ

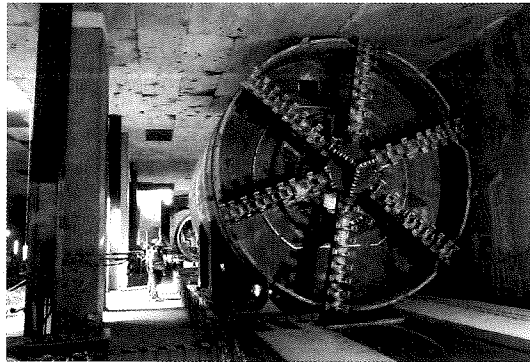


写真-9 シールド駅内移動状況

④の駅内移動方式はスキッピングシステムと呼ばれ、専用レールにはジャッキ反力が取れるリブを設け、後方ジャッキはシールドを30cm押し出したのち、ジャッキを縮めることにより自動的に次のリブに移動する(写真-10).

専用レールは1本2mで、打って返しによる転用が可能で、またカーブにも対応できる利点を持つ。この方法により、1時間あたり約6mのスピードで、シールドを安全に駅内移動させることができた。

### ⑦ おわりに

インドネシアで初の地下鉄、そして初のシールド

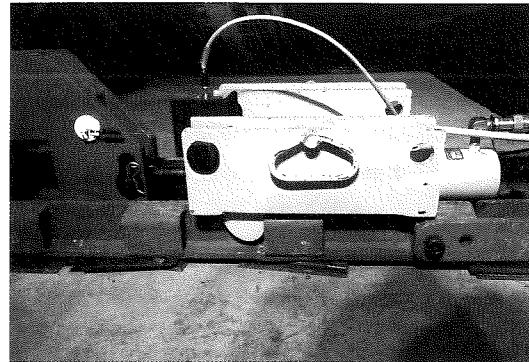


写真-10 リブ付きレールと後方ジャッキ

ドトンネル工事ということでジャカルタ市民に注目され、また渋滞解消の切札として大いに期待されているプロジェクトのため、国内外からの見学者も多く、毎週100人近くの現場見学者を受け入れながら施工を進めている。

シールドトンネル貫通後の現在は、主に各駅舎の出入口および換気塔を施工中であるが、埋設管を防護しながらの工事が続くので、細心の注意を払いながら施工を進め、本プロジェクトの成功により、円借款プロジェクトの信頼度をさらに高めるべく、所員一同竣工に向けて邁進していく所存である。

## 『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

# 地下鉄営業線超近接下での駅舎とトンネルの施工の解析と実挙動

—シンガポール地下鉄トムソン線 T226工区—

大成建設(株)国際支店土木部シンガポール・トムソン線建設工事226工区作業所工事長 橋田 薫  
 大成建設(株)国際支店土木部シンガポール・トムソン線建設工事226工区作業所作業所長 多田 博光  
 大成建設(株)国際支店土木部シンガポール・トムソン線建設工事226工区作業所設計課長 竹田 智

## ① はじめに

都市国家であるシンガポールは、東南アジア・マレー半島の先端に、マレーシアとはジョホール海峡を隔てて位置している島国である(図-1参照)。国土の面積はちょうど東京都23区とほぼ同じ(700km<sup>2</sup>余り)で、人口が2016年現在で約560万人、2030年には約690万人になると予想されている。気候は、ほぼ赤道直下ということもあり、年中を通して高温多湿であり、年間の平均気温は30°Cを超える。

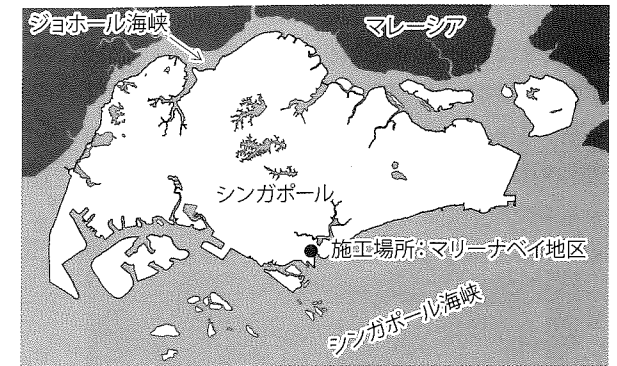


図-1 施工場所位置図

シンガポールの地下鉄の歴史は浅く、1987年に南北線の一部が開通して以来、今年でちょうど30年を迎える。現在営業している路線は、南北線、東西線、環状線、北東線およびダウンタウン線の計5路線となっている(図-2参照)。新線となるトムソン線は、2013年後半から着工されており、全長約30km、22駅から構成され、既存の南北線に沿う形で建設される。南北線の混雑の緩和が期待されている

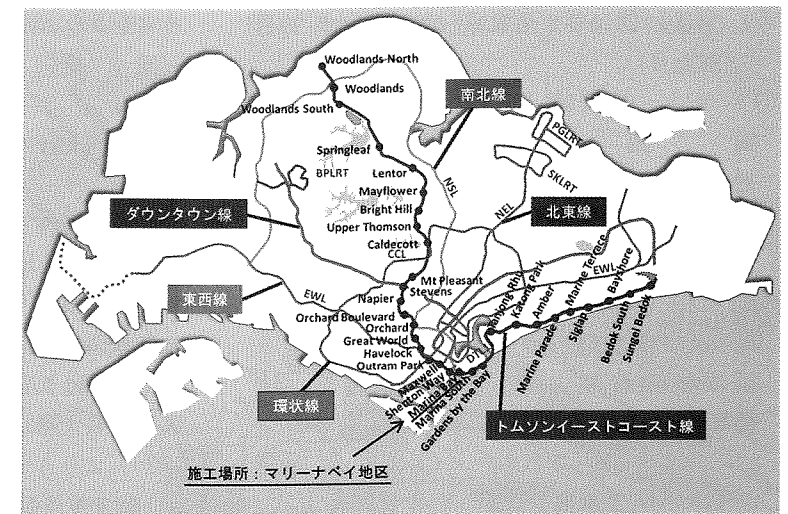


図-2 既設5路線とトムソンイーストコースト線

とともに、近年廃止されたマレーシア鉄道に代わる路線としても位置づけられている。2016年1月にはトムソン線をさらにチャンギ国際空港まで延伸する区間が着工され、トムソンイーストコースト線として全長約43km、31駅からなる路線へと拡大した。

## ② 全体工事概要

当工事の全体平面図を図-3、全体工事工程表を図-4、また全体縦断面図を図-5に示す。

工事名称：シンガポール・トムソン線建設工事226工区  
 工事場所：シンガポール共和国南部・マリーナベイ地区  
 発注者：シンガポール陸上交通庁 (Land Transport Authority of Singapore)  
 設計者：  
 (本設設計)  
 ARUP Singapore Pte. Ltd.  
 (仮設設計)  
 Kiso-Jiban Singapore Pte. Ltd.

契約形態：施工(仮設設計は施工者所掌)  
 工期：2014年2月21日～2020年12月30日 (82か月)

### (1) 駅舎・出入口部工事主要施工数量

- 掘削工：342,500m<sup>3</sup>
- 地盤改良工：147,600m<sup>3</sup>
- 地中連続壁工：89,600m<sup>3</sup>
- コンクリート躯体工：109,700m<sup>3</sup>
- 仮設山留め支保工：22,900t
- 既設道路切り回し工事：一式
- 既設駅舎改修工事：一式
- 建築仕上げ工事(設備工事一部含む)：一式

### (2) 非開削工事(リンクウェイトンネル、軌道トンネル)主要施工数量

水平地盤改良工：φ800mm×8m(平均)×720本

トンネルと地下

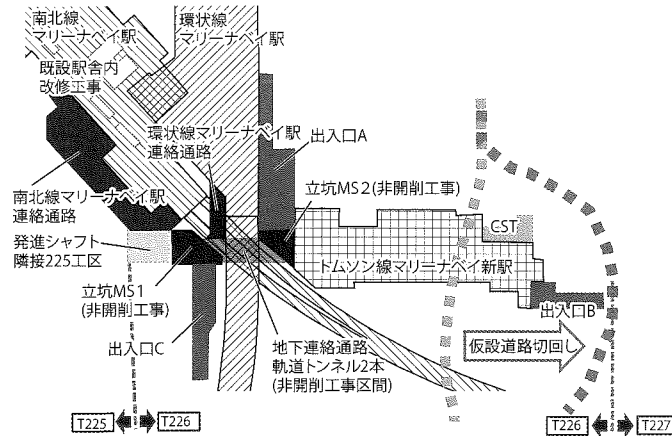


図-3 T226工区全体平面図

項目	2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		
	4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8	12	4	8	12
着工															
駅舎完成															
完工															

図-4 全体工事工程表

鉛直地盤改良工：12,200m<sup>3</sup>  
 開放型矩形シールド(高さ5.22m×幅4.37m)：  
 40m×2本  
 リンクウェイトンネル躯体工：2,000m<sup>3</sup>  
 凍結工：凍結管打設104本、测温管打設20本

SCL (Sprayed Concrete Lining) トンネル工事：  
 掘削外径 7m×40m×2本

図-5に示すように、当工事施工場所であるマリーナベイ地域は埋立地であり、埋土下はシンガポール特有のマリンクレイと呼ばれるN値0～2の超軟弱沖積粘土層が存在している。またその下にOA (Old Alluvium) 層と呼ばれる洪積の固結シルト砂質土層が広がっている。OA層は風化の度合いによりN値によって5段階(A～E)に分類され、駅舎本体の地中連続壁(以下「連壁」)の支持層となるOA(A)層は、N値が100以上、透水係数が

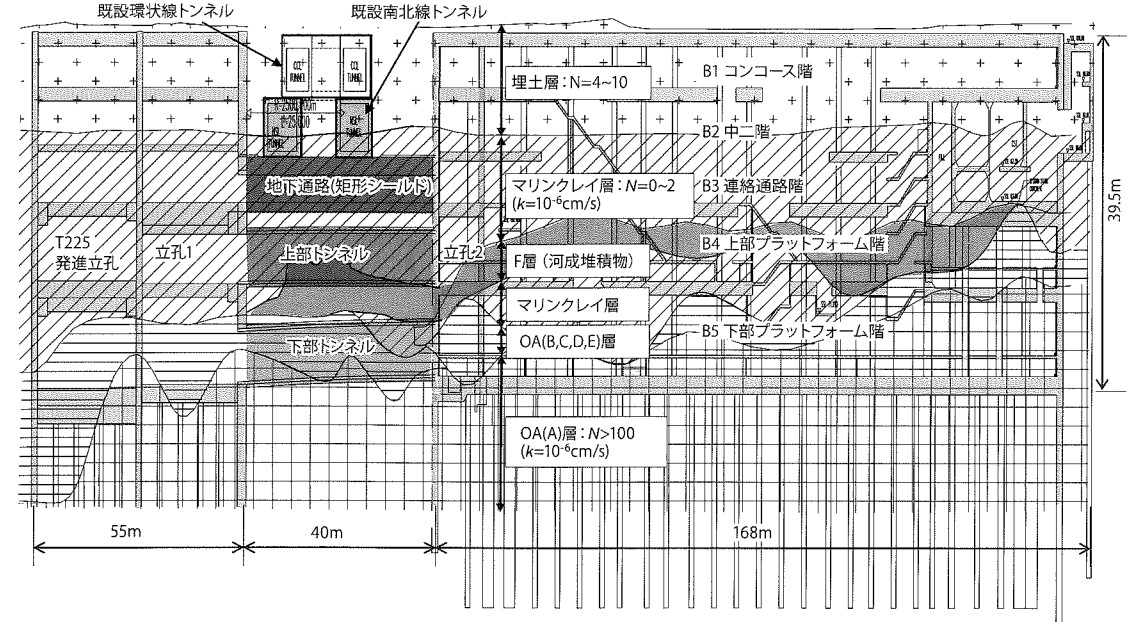


図-5 全体縦断面図

$k=10^{-6}$  cm/s以下の不透水層となる。

駅舎本体工事、非開削工事ともにこのマリンクレイとOA層対策が計画段階から重要なポイントとなった。

2017年2月末現在の工事全体写真を写真-1に示す。

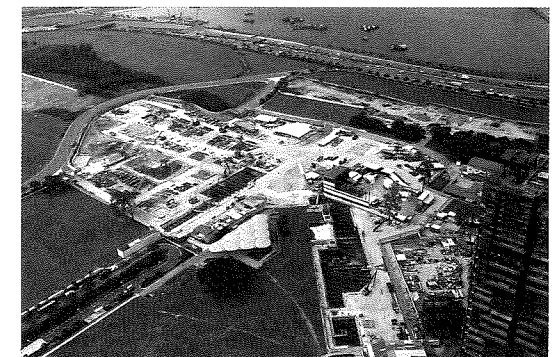


写真-1 工事全体写真(2017年2月末現在)

## ③ 駅舎部における近接工事

当工事は、シンガポールにおいても類を見ない、営業線2駅との接続工事を要する超近接工事である(図-6参照)。

したがって、発注者である陸上交通庁をはじめ、さまざまな関係各署に対して施工承認を得る必要がある。この承認プロセスは非常に複雑かつ時間を要する。また、鉄道近接工事におけるガイドライン(Code of Practice for Railway Protection Oct. 2004 Edition)による規定を厳格に守る必要があるとともに、表-1に示す近接影響範囲の決定手法にもとづいて、各影響範囲

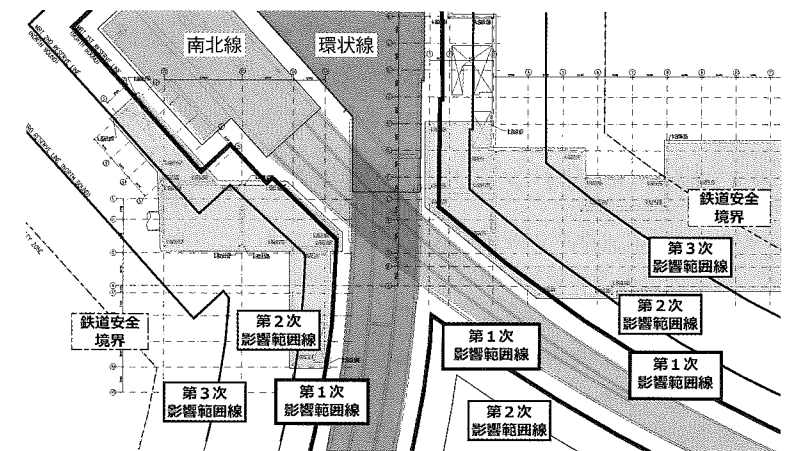


図-6 営業線2駅と影響範囲線

表-1 近接影響範囲の決定手法

項目	影響範囲の決定手法
第1次影響範囲線	構造物から6m離れた点
第2次影響範囲線	構造物最深部から3m離れた点より45°線を引き現地盤線との交点
第3次影響範囲線	構造物から40m離れた点

表-2 鉄道既設構造物の施工管理基準値

構造物	沈下量(mm)		回転量	
	警戒レベル	作業中断レベル	警戒レベル	作業中断レベル
NSL(南北線)	11	15	1/1,500	1/1,000
CCL(環状線)	11	15	1/1,500	1/1,000

線内での工事制限規定を厳守する必要がある。

なお、当工事では2つの営業線が交差しているため、さらに複雑化している。上記に加え、鉄道近接工事におけるガイドラインには、既設営業線構造物に対する施工管理基準値も定められている。表-2に示すように、2つの営業線構造物近傍でのすべての工事に対して、沈下、傾斜(回転量)など厳しい基準値が設けられ、施工者はこの範囲内での設計および施工を行う必要がある。なお、当工事では発注者は表-2に示すAL(Alert Level:警戒レベル)、WSL(Work Suspension Level:作業中断レベル)を発注図書に示しており、沈下量15mmが工事中断基準となっている。

#### ④ 設計(既設トンネルの挙動解析)

3章で述べたように、非開削工法が注目される中、超近接施工の影響は、メインの駅舎部逆巻き工にもあることが、実施工に入ってから、ことさらに認識された。すなわち、既設トンネルは杭支持された構造物であり、これら構造物と駅舎本体部の連壁間は地盤改良が施工されているものの、杭基礎周囲に存在するマリンクレイ層が、既設トン

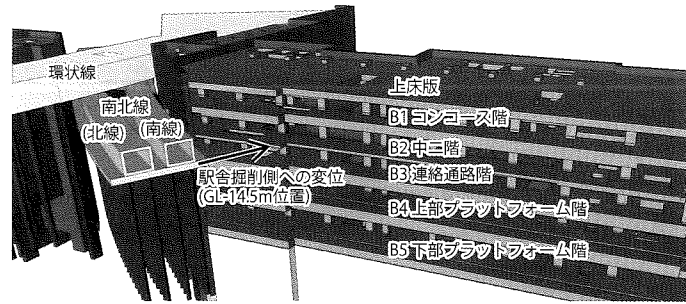


図-7 既設トンネルと駅舎本体の位置関係

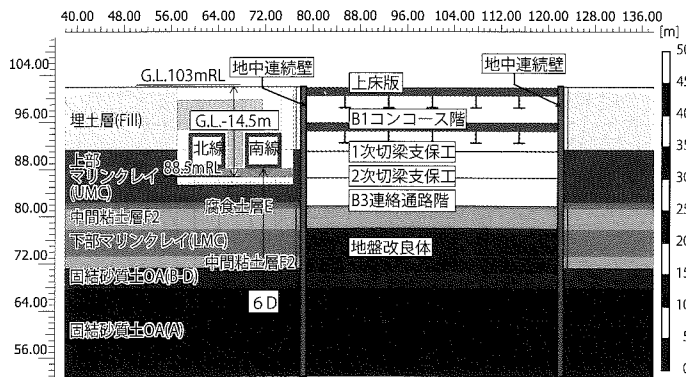


図-8 解析モデル

ネル構造物の水平方向の動きに影響を与える。図-7に示すように、既設南北線の南線が、駅舎本体部の連壁の変位とは少し異なり、駅舎掘削側に動いていることが確認された。

したがって、計測管理業者のデータをもとに、既設トンネル挙動の逆解析と予測解析をFEMソフトにて実施した。

#### 4-1 解析手法

既設トンネルNSL南線の挙動解析は、既設トンネル躯体、RC連壁といった部材を実際に近いモデルで再現でき、施工時逐次ステップ解析が可能な2次元FEM解析(PLAXIS 2D)にて行った(図-8参照)。

#### 4-2 解析条件

挙動解析前に、地盤改良工から1次切梁床付け面までの実施工は既に完了していた。したがって、逆解析を実施することで、ある程度の地盤物性値を特定し、その後の予測解析を実施することとした。

また、既設トンネル南北線南線の駅舎本体掘削

表-3 2次元FEM解析条件とステップ

ステップ	追加地盤改良	
	実施する場合	実施しない場合
1. 地盤改良工		
2. 掘削前		
3. ルーフスラブ階掘削完了		
4. コンコース階掘削完了		
5. 1次切梁床付け掘削完了		
6. 2次切梁床付け掘削完了		
7. 連絡通路階掘削完了		
8. 3次切梁床付け掘削完了		
9. 上部プラットフォーム階掘削完了		

表-5 解析結果

解析ステップとケース	南北線南線水平方向変位(mm)	
	+dy:地盤側	-dy:掘削側
	[実測]	[FEM]
1. 地盤改良工	+2.62	+2.62
2. 掘削前	+/-0.00	+0.20
3. ルーフスラブ階掘削完了	-0.10	-0.07
4. コンコース階掘削完了	-3.80	-3.80
5. 1次切梁床付け掘削完了	-5.00	-5.00
追加地盤改良の有無		実施しない   実施する
6. 2次切梁床付け掘削完了	-6.60	-6.30   -5.85
7. 連絡通路階掘削完了	-8.00	-8.83   -7.56
8. 3次切梁床付け掘削完了	-8.60	-8.90   -7.82
9. 上部プラットフォーム階掘削完了	未施工	-8.02   -7.63

表-4 地盤物性値

土質名	変形係数 E <sub>30</sub> (MPa)	粘着力 c(kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 φ(°)	単位重量 γ(kN/m <sup>3</sup> )
埋土層	8.7	0	30	20
F1層(中間砂質土層)	11.2	0	32	19
上部マリンクレイ層	7.33	-	-	16
下部マリンクレイ層	13.83	-	-	17
腐植土層	7.5	-	-	16
F2層(中間粘土層)	16.7	-	-	19
OA層(固結砂質土)	35	5	32	20
OA層(固結砂質土)	50	5	35	21
OA層(固結砂質土)	60	10	35	21

側への動きを積極的に抑止するため図-6, 8における南北線南線と連壁の間に追加地盤改良工を施工する場合としない場合での効果についても同時に検証を行った。

逆解析、予測解析と各々のステップに関しては表-3のようにまとめられる。

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。解析範囲に関しては、トンネル側方は駅舎掘削範囲まで、鉛直方向の下方は既設トンネル位置から6Dまで、上

方は地表面までとした。また、解析に用いた物性値を表-4に示す。

#### 4-3 解析結果

逆解析では、表-3に示す施工順序1~5にて、トンネルと連壁の挙動にマッチする地盤物性値をくり返しステップ解析にて逆算し、設定した。

そして、決定した物性値をもとに、逐次ステップ解析を実施することで、今後の掘削段階での予測解析を実施した(表-3の施工順序6~9)。

地盤改良を実施した場合としない場合の解析結果は表-5のようになる。ここで、+dyは地盤側、-dyは掘削側である。

結果として、地盤改良を実施した場合、1mm程度の抑止効果となっているが、警戒レベルであるALが10mm、作業中断レベルであるWSLが15mmと非常に繊細な値であることを考えると、1mmの抑止効果は非常に有効といえる。

また、解析結果から、地下4階にあたる上部プラットフォーム階の掘削施工段階から、それより

上方のGL-14.5mでの連壁挙動変位は掘削側から地盤側へ変わるため、南北線南線は、掘削側と反対の地盤側に動くと予測される。

今回、追加地盤改良は実施に至らなかったが、3次切梁床付け掘削完了時点で、ほぼFEM解析値と同等の結果を得ている。したがって、以降のステップにて予測値と実際の挙動に一致が見られない場合には、施工計画の見直しをしていくことになる。

### ⑤ 非開削工事によるリンクウェイおよび軌道トンネルの施工

非開削工事の全体平面図を図-9に示す。また、非開削工事の3Dイメージ図を図-10に示す。既設2営業線(南北線、環状線)トンネルの直下に新駅からそれぞれの既設駅への接続通路となるリンクウェイトンネル、さらにその下に上下線2本の軌道トンネルを構築する。トンネル延長はともに40mである。地上および既設南北線トンネル間で行う鉛直JGP(Jet Grouting Pile)以外の工事はすべて立坑MS1および立坑MS2を使用して行う。

施工断面図および縦断面図を図-11に示す。また表-6に主要工事手順を示す(表中の丸数字(施工手順)は図-11内にも表示)。

#### 5-1 既設トンネル計測管理項目

既設営業線トンネルに超近接しての施工となるため、施工全期間にわたって計測管理が非常に重要となることは言うまでもない。既設トンネル計測管理項目を表-7に示す。シンガポールでの地下鉄工事では、計測管理は別途工事として別発注されるのが一般的である。計測工事請負業者からの計測値の入手と確認は、日々開かれる計測会議およびメール、またウェブサイトを通じてリアルタイムで共有している。計測値がAL、さらに

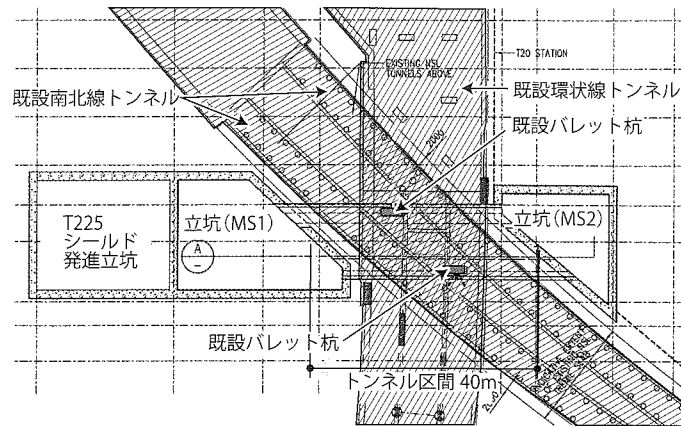


図-9 非開削工事全体平面図

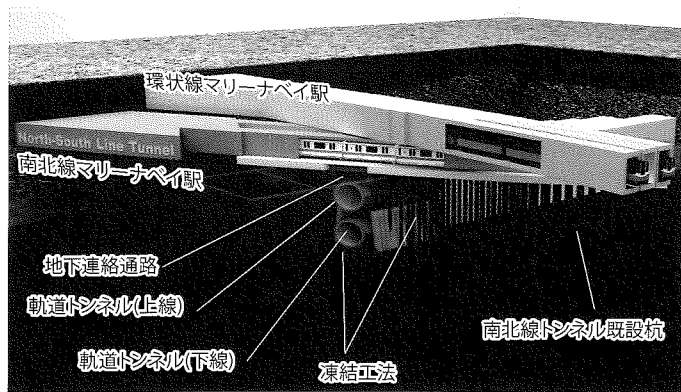


図-10 非開削工事施工完了3Dイメージ

WSLに達した場合は、発注者を含む関係者の携帯電話にSMSが自動送信される仕組みとなっている。

#### 5-2 超軟弱地盤対策工

リンクウェイトンネル施工レベルには、図-5に示したようにマリクレイと呼ばれる超軟弱地盤層がトンネル縦断全体にわたって存在している。この層を、後述する開放型矩形シールドを使用して、いかに安全に掘進するかが大きな課題であった。対策として、マリクレイを事前に地盤改良を行い、強度増加を施すことが計画された。地盤改良平面図を図-12に示す。

両側立坑と既設2営業線トンネル間は、鉛直JGP(Phase1)を地上部から施工した。また、南北線トンネル間は、環状線トンネルに設けられた既設のアクセスシャフトより掘り下げ、鉛直JGP

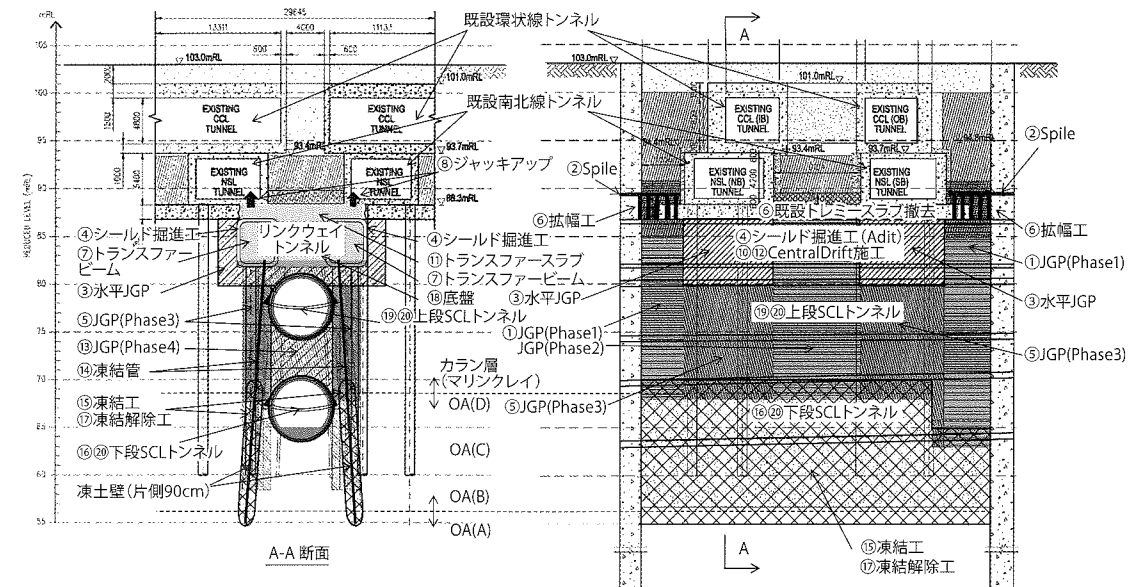


図-11 非開削工事施工断面図および縦断面図

表-6 非開削工事主要工事手順

手順	施工内容	手順	施工内容
①	地盤改良工(鉛直JGP: Phase1, Phase2)	⑪	トランスファースラブ構築工(リンクウェイトンネルの本設上床版)
②	Spile(先受け鋼管)打設工および薬液注入工	⑫	Central Drift下半掘削工および仮設スラブ構築工
③	地盤改良工(水平JGP)	⑬	地盤改良工(鉛直JGP: Phase4)
④	開放型矩形シールド掘進工(Adit1)および既設南北線基礎杭撤去工	⑭	凍結管および测温管打設工
⑤	地盤改良工(鉛直JGP: Phase3)	⑮	凍結工(凍土壁造成)
⑥	Adit上部拡幅工および既設トレミスラブ撤去工	⑯	下段SCLトンネル掘削・1次覆工
⑦	トランスファービーム構築工(リンクウェイトンネルの本設壁)	⑰	凍結解除工
⑧	既設南北線トンネルジャッキアップ工	⑱	上段SCLトンネル掘削・1次覆工
⑨	Adit2施工(④~⑧)	⑳	上・下段トンネル二次覆工
⑩	Central Drift上半掘削工(Adit間)		

表-7 既設トンネル計測管理項目

計測項目	計測方法	管理値
既設トンネル変位	トンネル内設置の反射プリズムをトータルステーションで自動計測	(AL) 11mm (WSL) 15mm
既設トンネル振動	トンネル内設置の振動計で自動計測	(WSL) 15mm/s 上限値のみ規定
既設トンネル軌道傾斜	トンネル内設置の傾斜計で自動計測	(AL) 1/1,500 (WSL) 1/1,000

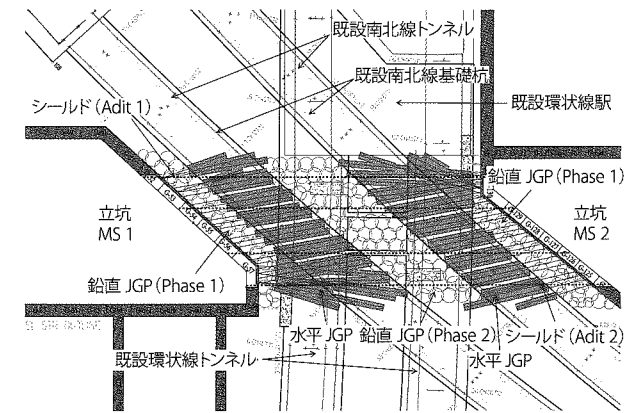


図-12 地盤改良平面図

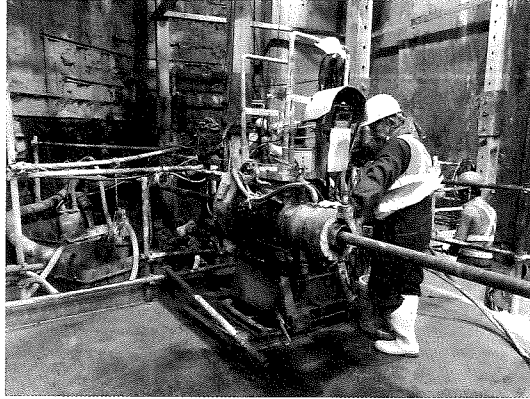


写真-2 水平JGP施工状況

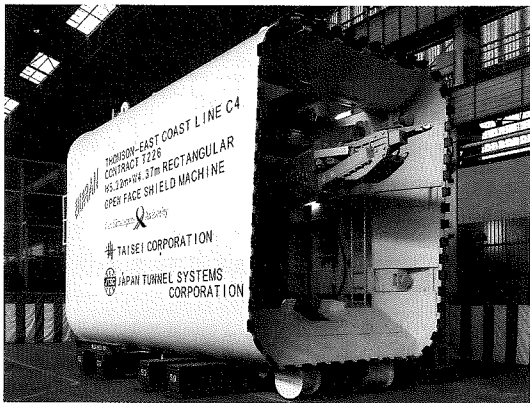


写真-3 開放型矩形シールド

(Phase2)を路下にて施工した。これらの鉛直JGPは、将来のSCLトンネル施工レベルのマリンクレイ改良も兼ねて行われた。鉛直JGP施工が不可能である南北線トンネル直下は両側立坑より水平JGPにより地盤改良を行った。

水平JGPによる改良範囲は、シールド掘進断面の外側2mとした。水平JGPの設計径は800mm、施工間隔は干渉する南北線の既設基礎杭まわりを除き、上下とも600mmを基本配置とした。これらの条件により12段×30本=360本を両側立坑から施工、計720本の水平JGPを施工した。

JGPの設計強度は、鉛直・水平ともに $c_u = 300$  kPaである。

水平JGPの施工状況写真を写真-2に示す。施工中はグラウト圧によるヒービングにより南北線トンネルに影響を与えることのないよう、排泥管理、変位監視を徹底して施工を行った。結果、施

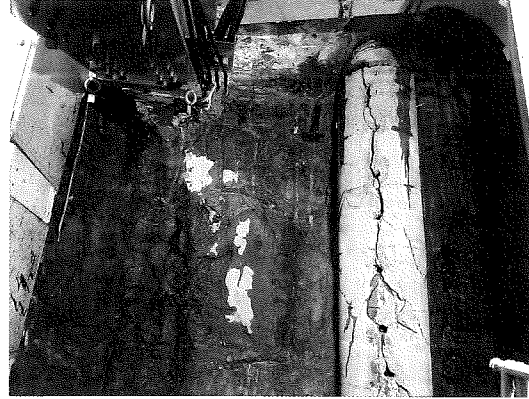


写真-4 掘進切羽および既設基礎杭

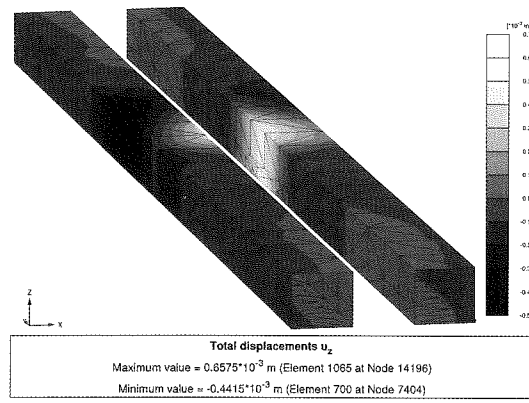


図-13 3D既設トンネル変位解析

工中のトンネル変位は認められなかった。

### 5-3 開放型矩形シールド掘進工

リンクウェイトンネルの掘削においては、南北線トンネル既設基礎杭(直径1mのRC杭)を撤去するため、切羽前面開放型の矩形シールド(高さ5.22m×幅4.37m×長さ7.50m)を採用し2か所で掘削を行った。先述した地盤改良体を掘進するためブレイカーを装備し、スライド式のバケットにて集土、ベルトコンベヤにて後方へ排土するシステムとした。開放型矩形シールドを写真-3に示す。

既設杭切断撤去には、既設営業線トンネルへの影響を最小限とするため、径100mm×13列のコアリングによる切り離しを採用し、振動を極力抑えた。掘進中の切羽、露出した基礎杭の状況を写真-4に示す。営業線トンネルから切り離れた杭は、静的破砕機によりクラックを発生させ、ブレイ

カーにて研り、撤去した。

セグメントは鋼製で1リング9分割、桁高306mm、セグメント幅は1.2mとした。組立て後のリング外寸法は高さ5,020mm×幅4,170mmである。セグメント組立ては半自動式の回転式エレクタを採用し、隅角部のセグメント組立て時にはエレクタ腕部が伸縮して所定の位置まで届く構造とした。シールドジャッキは100tジャッキを20本装備した。

2017年2月末現在、Adit1側のシールド掘進は既に完了しており、Adit2側のシールドが掘進中である。

Adit1側掘進において、事前の3次元FEM解析(PLAXIS 3D)では、図-13に示すように、既設南北線トンネルのADIT1掘削通過範囲における変位は $-0.44$ mmと予測された。

一方で掘削前と掘削後までの実測値は、下記のとおりであった。

- ・北線： $-0.50 \sim -0.70$ mm
- ・南線： $-0.50 \sim -0.60$ mm

したがって、事前解析と現場実測がほぼ一致していることがわかった。

### 5-4 凍結工およびSCLトンネル工

上下2段の軌道トンネルはSCLトンネル工事にて施工する。上段のトンネルは、全線にわたってマリンクレイ地盤改良体(JGP)を掘削する。下段のトンネルは、トンネル掘削天端がちょうどJGP改良体の下端にかかるようになり、JGPと現地地盤であるOA層の境界エリアを掘削していくことになる。この部分は、OA層でもC~Eに分類される比較的風化の進んだ地層であり、透水係数もOA(A)層から1~2オーダー大きくなる。

また、この沖積層と洪積層の境界にはシンガポールで特有のF1(Fluvial Sand)層と呼ばれる被圧帯水層が介在している。このF1層は透水係数が $k = 10^{-4}$ cm/sと大きく、掘削中にボーリングなど予期せぬ事態を引き起こす可能性があり、シンガポールの工事関係者を悩ます地層の一つである。トンネル施工場所の近傍のボーリング調査結果で

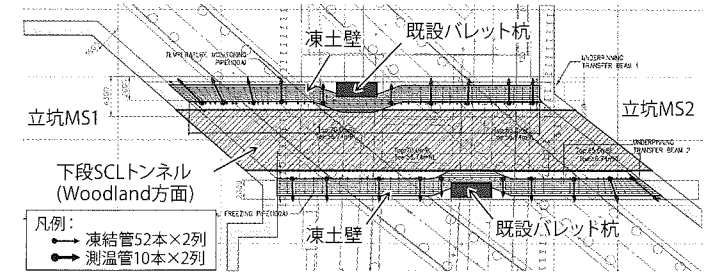


図-14 凍結工平面図

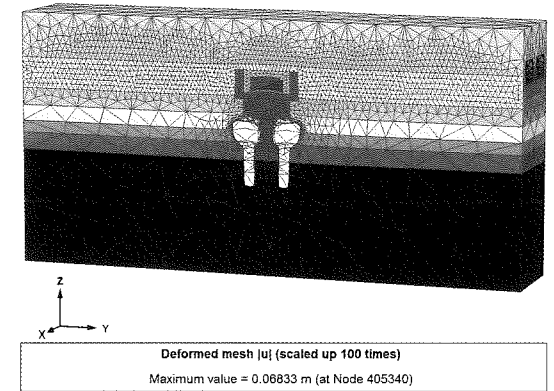


図-15 3D地盤変位解析

もこのF1層の存在が報告されており、上記OA(C)~OA(E)を含め対策が必要となった。

そのため、トンネル側面に補助工法として凍結工法を採用した。凍結工平面図を図-14に示す。掘削するトンネルの両側に長さ25m(平均)の凍結管をリンクウェイトンネルより52本ずつ打設し凍土壁を造成する。凍結管の打設間隔は一般部で90cm、既設基礎杭まわりは120cmとした。計画凍土壁の厚さは、片側90cmである。

また、測温管を両側10本ずつ打設し、地中温度を計測する。測点の計測温度と凍結管までの距離の関係から凍土壁の厚さを管理する。下段トンネルは凍土壁で囲まれた範囲を掘削することで、上記透水層からの浸透水を遮断し、ドライな状態での施工が可能となる。

凍結による既設トンネルの変位および地盤の変位予測を3次元FEM解析で行った(図-15参照)。凍結による下段トンネル直上の地盤の凍上が11mm、解凍による沈下が $-5$ mmと予測されている。地盤変位はリンクウェイから設置した層別沈下計

により計測、予測値との比較を行うことで変状管理を行う予定である。

### ⑥ おわりに

2014年2月に着工して、2017年2月末現在で進捗は50%を超えた。今年中に駅舎本体の逆巻き工事は床付けまで到達する予定である。また非開削工事は、2本のAduit施工のあとにCentral Driftの施工を終え、凍結管の打設工事に着手する予定である。シンガポールでは2030年までの地下鉄整備マスタープランが策定されている。また、さ

らに地下鉄にとどまらずさまざまな用途での大深度地下利用計画が進められている。われわれ日系企業がこれまで経験し培ってきた地下開発の優れた技術力は、ますますここシンガポールで必要とされると考えている。

### 参考文献

1) LTA : THOMSON-EAST COAST LINE, <https://www.lta.gov.sg/content/ltaweb/en/public-transport/projects/tel.html>.



## 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 代表 鈴木 章

B5判 285頁 本体価格4,660円

本書は、最近のシールドトンネルの新技术を実務経験者を中心にまとめたものである。本書の特色は、シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性の現況をまとめたうえで、新技术について調査・計画編、設計・施工編とに分けて、その理論と実際についてソフト、ハードにわたり記載している。また、これらのことを実務にすぐさま活用できるように、付録としてセグメントの設計、地盤変位予測解析、施工計画についての計画・設計例も紹介し、実務者をはじめトンネル技術者のニーズに応えた内容となっている。

【目次】第一章 概説 1. シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性○シールド工法の歴史○シールド工法誕生以前のトンネル工法○シールド工法の登場 2. わが国におけるシールド工法の歴史○シールド工法の導入と発展の経緯○シールド工法の現況 3. 今後の技術開発の方向性 第二章 調査・計画編 1. シールド工法の調査技術 2. 断面および線形計画 3. シールド機種の種類と選定 4. 新しいシールド工法 第三章 設計・施工編 1. 覆工○一次覆工の設計○二次覆工の設計と施工○シールドトンネルの防水技術 2. 立坑の設計と施工設備○立坑の設計と施工○シールド機の構造と装備○仮設備の計画○シールド工事による自動化 3. 掘進と施工管理○シールド掘進と施工管理○シールド発進と到達○裏込め注入工法と注入効果○曲線施工と地中接合○補助工法の種類と選定 4. 近接施工と環境対策○近接施工と対策○アンダーピニングおよび支障物対策○シールド工事と環境対策○新工法の現状と将来展望○ECL工法 5. 切羽の安定と地盤変位防止○切羽安定の理論と実際○泥水式シールド工法の切羽安定○土圧シールド工法の切羽安定 6. 地盤変位の理論と実際 付録 1. セグメントの設計例 2. 地盤変位予測解析手法の例 3. シールド工事の施工計画



〒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

## 泥水式シールドによる土砂から岩盤までの多様な地盤の掘削

—シンガポール地下鉄トムソンイーストコースト線 T202工区—

五洋建設(株)シンガポール営業所地下鉄T202工事事務所工事所長 内田 桂司  
五洋建設(株)シンガポール営業所地下鉄T202工事事務所所長代理 垣田 直樹  
五洋建設(株)シンガポール営業所地下鉄T202工事事務所工事課長 川崎 滋央

### ① はじめに

トムソンイーストコースト線は、シンガポール陸上交通省が計画した北部ウッドランズから南部マリナーベイを結ぶ地下鉄で、当工事T202は最北端のウッドランズ北駅構築と既設のウッドランズ駅をつなぐ約1kmのトンネルを2本構築するものである(図-1,2)。この周辺の土質は起伏に富み、岩盤が複雑に入り組んでおり、また土砂の中にも多くの巨石が存在していた。本稿はこのような変化に富んだ土質をシールド掘削した経緯、発生したさまざまな問題への対応について報告するものである。

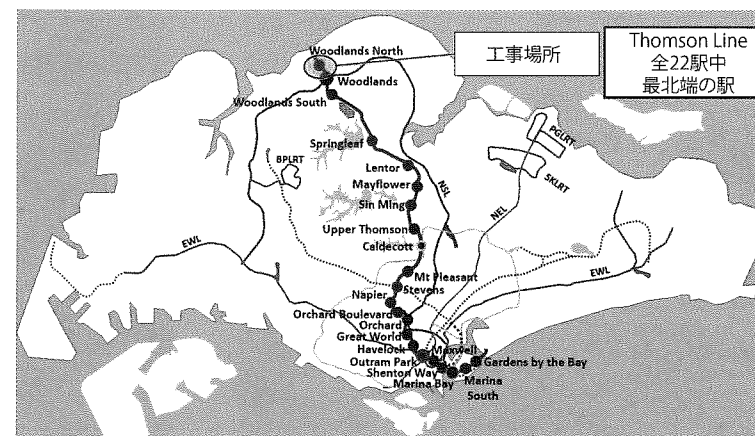


図-1 トムソンイーストコースト線路線図

### ② トンネル概要

トンネルは内径5.8m、延長約1km、土かぶり10~22.5mの上下線2本(南行線、北行線)からなり、川崎重工業製の2台の



図-2 トンネル路線平面図

シールドを使用した。この2本のトンネルは3か所の連絡坑(Cross Passage)で接続される。トンネル路線には複数の学校やシンガポールの公営住宅(以下「HDB」)が混在する地域で、途中2本の大通りと既設鉄道の高架線を横断する。また既設水路のボックスカルバートの基礎杭や旧受電所の基礎杭が障害物として存在した。

### ③ 地盤条件

掘削土質はブキティマグラナイトと呼ばれる花崗岩を起源とする土質で、GI~GVIに分類される。表-1に土質分類定義を示す。

以下に区間ごとの地盤特性を示す。

- ① 発進立坑~130m区間：GIV~GV, N値20~25
- ② 130~240m区間：GV~GVI, N値10~20
- ③ 240~440m区間：GIV~GV, N値20~35
- ④ 440~645m区間：GII~GIII, 一部GI, 完全な岩盤層(全断面), 一軸圧縮強度平均

表-1 土質分類定義

土質分類	定義
GI, GII	非常に硬い。新鮮で節理はよく密着しており、風化の跡も見られない。ハンマーで打診しても壊れず、澄んだ音がする。
GIII	手では壊すことができないが、ハンマーで壊すことができる。ハンマー打音は濁った音か少し澄んだ音がする。
GIV	手で岩片を壊すことができる。水中で緩まない、完全に変色している。
GV	岩片を手で簡単に握りつぶすことができ、水中にて緩む。完全に変色している。
GVI	完全な土に変異しており、岩の特徴を残さない。

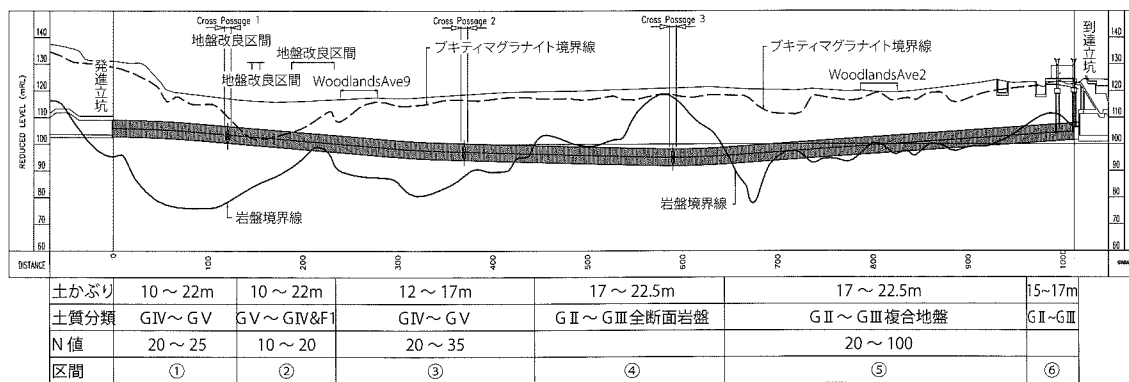


図-3 土質縦断面図

150MPa, 一部200MPa以上が存在

- ⑤ 645~940m区間：GII~GIVの複合地盤層, N値20~100, 一軸圧縮強度50~100MPa
- ⑥ 940m~到達区間：GII~GIIIの岩盤層, 一部複合地盤層, 一軸圧縮強度50~100MPa

### ④ 泥水式シールド工

#### 4-1 シールド

シールド工法は泥水式で、外径6,650mm, 機長10,300mm, カッタヘッド開口率は24%であった。仕様一覧を表-2, カッタフェースを写真-1に示す。

表-2 シールド仕様

項目	数量	仕様
シールド外径	—	φ6,650mm
シールド掘削外径	—	φ6,730mm
シールド機長	—	10,300mm
ツインディスクカッタ	4	17in センター部
ディスクカッタ(フェースカッタ)	33	19in
ディスクカッタ(ゲージカッタ)	4	19in
オーバーカッタ	1	19in 20mm
	1	19in 10mm
ティースビット	112	—
アウトースクレパー	32	—
添加材注入口	3	—
グリッパ	6	フロント4, リア2
マンロック	2	ダブルチャンバ
マテリアルロック	1	—
シールド総推力	—	最大46,400kN
カッタトルク	—	最大5,750kN・m

#### 4-2 泥水輸送・処理システム

シンガポール陸上交通庁の泥水式シールド工事では、泥水の品質基準は地盤によって規定されており、リング掘進ごとに3回ずつ泥水の品質を測定し、表-3に示された泥水管理基準を満たしていない場合は掘進を中止しなければならない。とくに問題になったのがファンネル粘性, 比重, ウォーターロスであった。

ファンネル粘性を保持し、さらにウォーターロスを抑えるためには、常にベントナイトの添加が必要であった。

まず、ベントナイトの消費量を抑える目的で増粘材のCMC(カルボキシメチルセルロース)を使用した。粘性を上げる効果はあったが、ウォーターロスを抑えることはできなかった。その理由として、当工事で使用した泥水処理システムでは遠心分離機(Centrifuge)を使用した。高比重で

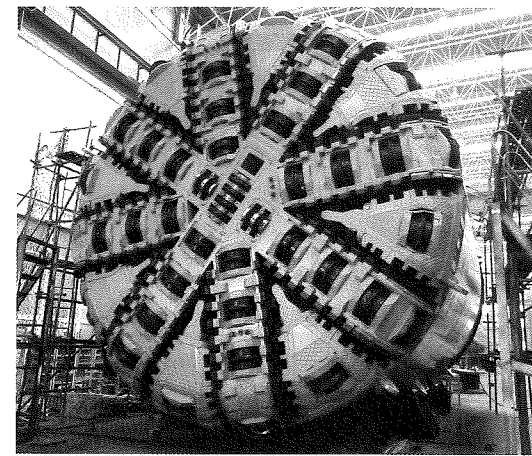


写真-1 カッタフェース

は遠心分離機に負荷がかかり、故障の原因となるため、送泥比重1.15以下にする必要があったこと、この遠心分離機は大量の凝集剤(Flocculant)、電解液(Electrolyte)を溶解しなければならなかったことが挙げられる。

以上の理由により大量の水が必要となったため、遠心分離機から発生する分離水の直接再利用を試みた。しかし、処理過程で添加される凝集剤、電解液が分離水に含まれることから、これを再利用するとベントナイトと水を分離させウォーターロスを悪化させることとなった。したがって、泥水品質基準を確保するために、掘削終了から次の掘削開始まで4時間以上かかることもあった。

そこで、さまざまな試行の結果、排水を濁水処理プラントにて、PAC(ポリ塩化アルミニウム)を添加して処理することで、多少分離作用は残ったものの、泥水処理システムへのリサイクルを容易にし、待機時間を削減することに成功した。

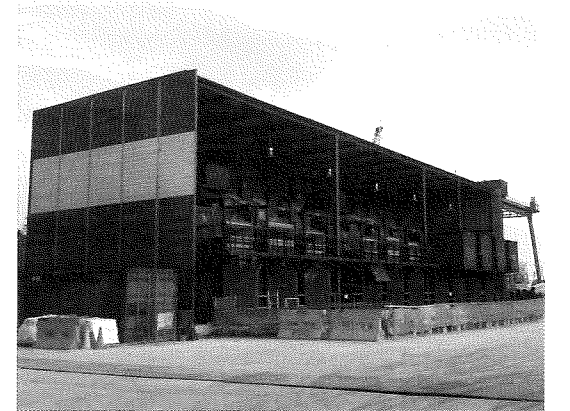


写真-2 泥水処理プラント全景

表-3 泥水管理基準

No.	地盤条件	ファンネル粘性 (s/L)	降伏点 (1 bs/100 ft <sup>2</sup> )	比重 (t/m <sup>3</sup> )	ゲル強度 (1 bs/100 ft <sup>2</sup> )		pH	フィルターケーキ (mm)	ウォーターロス (cc/30min)
					10s	10min			
1	複合地盤層(GI~GIII, GIV~GVIの混在層)	>55	>10	≥1.04	>8	>20	8~10	≤4	≤30
2	ルーズな土砂層(GIV~GVIとカラソフォーメーション)	>40	>6	≥1.02	>6	>15	8~10	≤6	≤40
3	風化岩盤層(GI~GIII節理が存在する)	>35	≥5	≥1.02	>6	>15	8~10	≤6	≤40
4	新鮮岩盤(GI~GII節理がない)	>35	≥5	≥1.02	>5	>12	8~10	≤6	≤40

## ⑤ 圧気作業

当工事で直面した地盤では頻りにディスクカッタ交換をする必要があり、その際はチャンバ内に作業員が入って作業しなければならなかった。この一連の作業はCutter Head Intervention(以下「CHI」と呼ばれる。地盤状況により圧気下での作業が要求されるため、シールドに圧気設備を標準装備する仕様であった。

圧気作業は、まず、BCA(建設庁)から承認された圧気圧を切羽へ作用させ、その後、地盤の状況に応じて圧気圧を変えながらCHIを続けた。BCAに承認された圧気圧は最大で2.5bar、平均2bar程度であった。

2bar圧気下で作業できる時間は3時間程度で、1日(24時間)連続作業を行う場合は8チーム必要となった。チームは通常3人で編成するため最低24人圧気作業員を用意する必要があった。この圧気作業員を適切に準備、配置することがCHIを迅速に実施するうえで重要であった。

また、地盤が安定しているところにおいては減圧表に沿って圧気圧を下げて、1チームの作業時間を長くするように試みた。ただし、作業員に負担がかからないように作業時間は最長4時間とした。

最終的にCHIを実施した回数は南行線で23回、北行線で21回。CHI実施日数は南行線が61日、北行線が54日であった。

## ⑥ シールド掘進

### 6-1 発進～440m区間：①～③区間

この区間は基本的に土砂層で、進捗を図ることができる区間であった。しかし、先述の泥水の品質基準の制約から思うような進捗が得られなかった。

また、発進から240m区間にはセメント系の地盤改良区間が4か所(発進防護、連絡坑1の防護、ボックスカルバート下部の基礎杭防護、地表部にあるF1層といわれる軟弱地盤の防護)存在していた。改良セメントはベントナイトの効果を壊す

作用があり、泥水品質を保持できないため、水のみで掘削することをシンガポール陸上交通庁に提案したが、承認を得ることができなかった。

再検討や実験の結果、ベントナイトを使用しても粘性を確保することができたため、地盤改良区間は粘性と比重のみの管理で掘進を行うことで承認を得た。

### 6-2 440～645m区間：④区間

この区間は全断面岩盤であり、CHIは約30リング、40mごとと計画していたが、カッタの摩耗が大きかったため、約20リング、30mごとにCHIを行った。

掘進速度は4～7mm/minであったが、600mを過ぎたあたりで、ベアリングフォースが上昇しインターロックがかかるため、速度を1～2mm/minしか出すことができなくなった。

ベアリングフォースは次の式で表される。

$$F_b = F_a - f_b A - F_f$$

$F_b$  : ベアリングフォース

$F_a$  : 中折れジャッキ推力

$f_b$  : 切羽圧

$A$  : シールド前胴断面積

$F_f$  : シールド前胴と地盤の摩擦力

$f_b$ は切羽圧力計から常時計測されているが、 $F_f$ は推定値で、常に一定である。また、インターロックの設定はディスクカッタのベアリング耐力から算定される。19inのディスク耐力は320kN、17inは250kNであるので、ベアリング総耐力は、 $320\text{kN} \times 37\text{個} + 250\text{kN} \times 8\text{個} = 13,840\text{kN}$ となる。

これに安全率を考慮し $13,840 \times 0.8 \approx 11,000\text{kN}$ をインターロック値とした。

この区間は、ほとんどが半径300mのカーブで、計算上はゲージカッタの摩耗が許容値以内(15mm)ならカーブを切ることが可能となっていた。しかし、実際はそれでは十分でなく、シールドが岩盤に接して推定以上の摩擦力、抵抗力を生み、ベアリングフォースを上昇させていた。そのため、オーバーカッタ(2種類ありそれぞれカッタヘッドの掘削外径より20mm、10mm大きくカットする)

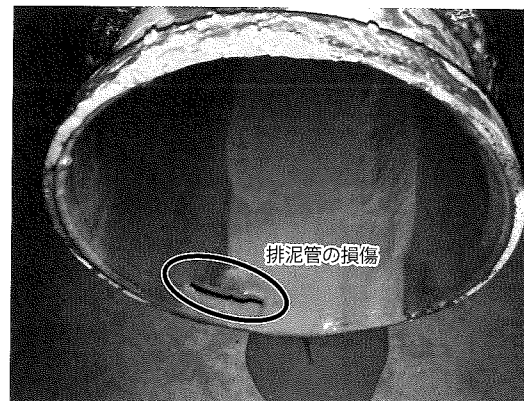


写真-3 排泥管損傷状況

を採用したところ、4リング目あたりから効果が出始め、掘進速度7mm/min以上を確保し、無事に岩盤層を掘り貫くことができた。

さらに、岩盤を掘削するうえで問題となったのは排泥管の損傷であった。ブキティマグラナイトをシールド掘削したことのある技術者や関係者の情報を参考にし、配管の厚みを8mmと5mmで計画したが、曲管やその後の直管のジョイント付近において、掘削した岩片が当たる衝撃で頻りに損傷が生じ、進捗を妨げる要因となった(写真-3)。

また、560～680mの区間においては地上にHDBが密集しており、そのHDBの基礎杭を伝わり掘進中の振動や騒音が発生し、多くの住民から苦情を受けた。住民および発注者と協議の末、夜間23:00～翌朝7:00までの時間帯は作業を中断したため進捗が大きく下がり、月間37リング(約50m)しか進捗できなかった。

### 6-3 645～940m区間：⑤区間

岩盤を抜けると、当初から問題視していた起伏に富んだ複合地盤に直面した。当区間には交通量が非常に多いWoodlands Avenue 2(約50m)の横断箇所があり、そこでは地盤変動のリスクが高いCHIを回避しなければならなかった。その対策として以下の2点を実施した。

- ① Avenue 2通過前にCHIの実施
  - ② 掘削パラメータの規定値を、最大掘削速度15mm/min、カッタ回転数3～4rpmに設定
- 南行線ではAvenue 2を通過開始後、10mを過

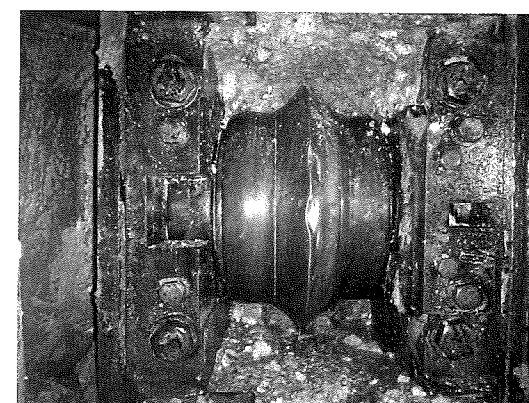


写真-4 ディスクカッタ閉塞状況



写真-5 リングが外れ損傷したディスクカッタ

ぎたあたりで、総推力が25,000kN前後(通常17,000kN前後)、カッタトルクが1,500kN・m前後(通常1,000kN・m)まで上昇した。掘進パラメータ上昇の要因は、直前のCHIにおける切羽地盤の状況、土質縦断面の考察から、粘性土砂による面板閉塞(写真-4)と判断した。

その対策として、①カッタヘッド前面への注水、②泥水輸送システムによるチャンババイパス運転時間の延長(チャンバクリーニング)を実施した。その結果、総推力は15,000kN、カッタトルクは1,000kN・m程度まで下降した。

しかし、Avenue 2通過直後、排泥管の中からディスクカッタのリング片が出てきたためCHIを実施した。リングが完全に損失しているディスクカッタ(写真-5)は計7個あった。また、そのほかのディスクカッタもリングがほとんど残っていない、あるいは偏摩耗、割れ欠けが発生している

など大きな損傷を受けていた。その結果、ここで32個のディスクカッタを交換することとなり、12日間を費やした。

この事例を教訓として、北行線では総推力とカッタトルクに異変があれば、直ちにCHIを行うように計画した。Avenue 2直下の掘削では総推力とカッタトルクに異常も見られず順調に掘進したが、通過後突然、総推力とカッタトルクが上昇したためCHIを実施した。その結果、リングが損失しているディスクカッタはなかったが、偏摩耗しているものが多数あり、南行線と同様に32個の交換で10日間を費やした。

北行線、南行線ともにCHIを行わずにAvenue 2を通過することに成功したが、ディスクカッタの交換に多くの日数を費やし、進捗に大きな影響を与えることとなった。当区間のように複合地盤でCHIを回避させる場合、いかに面板閉塞とディスクカッタ偏摩耗を防ぐかが重要なポイントであるといえる。

また、この複合地盤区間では、ディスクカッタの損傷以外に、ディスクを収納しているハウジングの変形やディスクを留めているボルトの脱落、欠損(写真-6)などの現象も見られた。

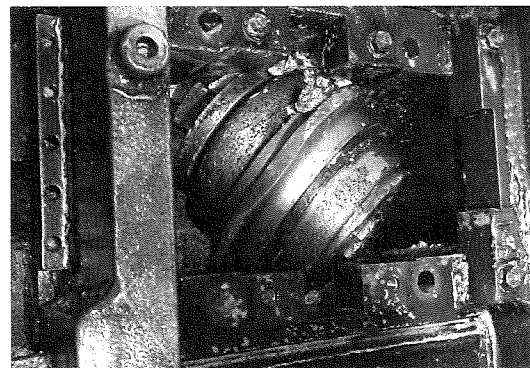


写真-6 ボルトが脱し落ちかかっているディスクカッタ

変形したハウジングではディスクカッタを取り外すことができず、圧気下でも使用できるプライムカットという特殊カット方法を用いて、ディスクカッタを切断して取り外した。またボルトゆるみ防止にノードロックワッシャという特殊ワッシャを使用し、振動防止のためにグリッパを使用した。

その結果、振動は低減できたものの、ボルトの脱落は防ぐことができなかった。とくにボルトの脱落は岩盤層で顕著であり、ハウジングの損傷とディスクカッタの脱落は複合地盤で発生した。岩盤層、複合地盤層の掘削に関しては、シールド設計者と設計段階から詳細な検討を実施することが重要である。

両トンネルの複合地盤でのカッタヘッド回転数とディスクカッタ損傷度の比較を表-4に示す。

南行線で発生したディスクカッタの偏摩耗や大きな損傷を防ぐため、北行線においてはカッタヘッドの回転数をさらに上げ、貫入量(掘進スピード/カッタヘッド回転数)を下げる方針とした。交換したディスクカッタの個数、偏摩耗した個数に大きな違いはなかったが、リングが外れるなどの大きな損傷は、南行線に多く見られたが北行線には見られなかった。

また、CHIの数が1回少ないのもディスクカッタの損傷が少なかった影響と言える。当初この複合地盤は回転数を落とさないと(1.5~2.0rpm)、ディスクカッタが土砂から岩盤へ入るときの衝撃で損傷を負うと考えられたため、③区間以前の短い複合地盤層や転石の存在する地盤層での低回転掘進を試みた。ディスクカッタの偏摩耗が大きかったので、南行線において⑤区間の回転数を3rpmとして掘進し、更なる改善を求めて北行線は回転数を4rpmとした。その結果からブキティマグラナイトの複合地盤層においては、岩盤層と

表-4 ディスクカッタの損傷度合比較表

	平均カッタヘッド回転数 (rpm)	平均貫入量 (mm/rpm)	CHI回数	CHIに要したシフト数	交換ディスク個数	大きな損傷を受けたディスク個数	偏摩耗したディスク個数
SB	3	2.0~3.0	5	48	65	8	27
NB	4	1.5~2.0	4	40	71	0	29

同様に高回転低貫入が適していると考えられる。

しかし、結論としては岩盤と土砂の比率やカッタフェース形状など、そのほかの条件にも左右されるので、必ずしも高回転低貫入が良いとは言えず、現場ごとの特性を早く把握することが、円滑な掘進には重要と考える。

#### 6-4 940m~到達区間：⑥区間

この区間は岩盤層であったが、岩盤の風化度合いが強く、掘進が比較的容易な区間であった。しかし、先述したように旧受電所の基礎杭が通過断面内に存在したため、掘進には詳細な事前検討を行った。既設杭は直径φ600mm、主筋がφ20mm@9本、配力筋がφ10mmで、それぞれのトンネルに4本ずつ存在しており、掘進前にこれらの杭を引き抜く必要があった。

方法として、杭の中心部を削孔しφ65mmの鉄筋を差し込み、グラウトを注入したのち、それを杭ごと引き抜くことを計画した。しかし、南行線の1本の杭で65mmの鉄筋が引抜き中に折れ、トンネル上部に残るといった事態が発生した。

そこで、これを撤去するためオールケーシングで掘削したが、稼働している鉄道の高架橋下での作業であったため、さまざまな規制があり完全に撤去できなかった。そのため、CHIにより撤去することとした。

鉄道の高架橋の下ということもあり、ここでのCHIは細心の注意が必要であったため、30回以上のCHI実施の経験を活かし、CHIの時間を最小限に抑えること、また、地盤沈下などの対策として薬液注入工のできる設備、人員を配備する万全の

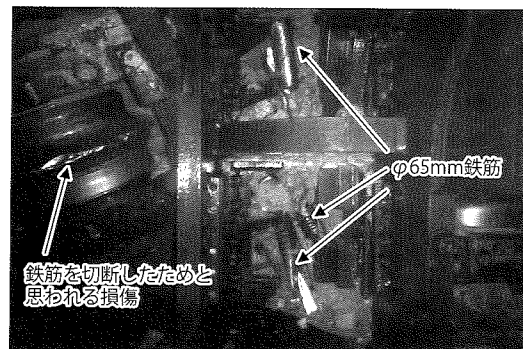


写真-7 φ65mm鉄筋切断状況

体制で作業を実施した。

実際に鉄筋に当たるとカッタトルク、推力とも大幅に上昇したため、予定どおりCHIを実施したところ、カッタフェース前面に65mmの鉄筋が細断された状態となり、切断することなく撤去することができた。

隣接工区に設けられた到達立坑の連壁の鉄筋は、立坑施工業者と交渉し、トンネル断面部にGFRP(ガラス繊維強化プラスチック)の使用を要請した。また、到達立坑部の地盤改良は当工事の施工であり、複合地盤層のためその効果を懸念したが、到達直前に無圧気でCHIを実施し、地下水がチャンバに流入していないことを確認した。GFRPと地盤改良の効果で南行線、北行線とも問題なく無事到達することができた。

## ⑦ ま と め

当工事では、シールド掘削を6か月で実施することを目標としていたが、岩盤および複合地盤掘削の想定以上の難しさ、さらに近隣住民からの苦情などから9か月を費やすこととなった。このような地盤を掘進するための課題点を下記に示す。

- ・カッタディスク摩耗損傷状況把握のためのベアリングフォースの適正な計測

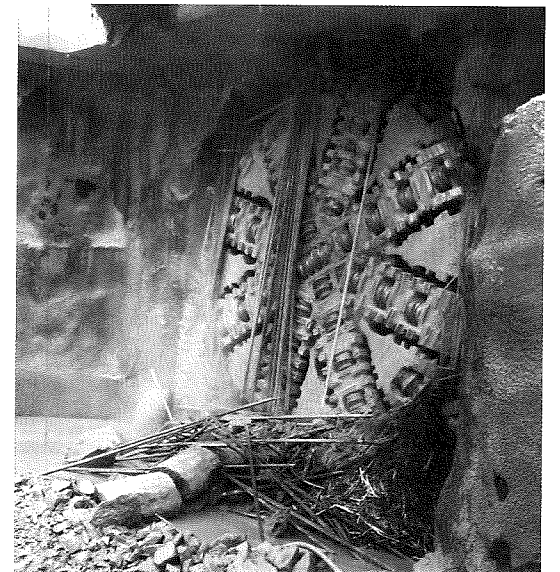


写真-8 岩盤到達状況

- ・ディスクカッタの交換時間の短縮に寄与する  
カッタハウジングの構造検討
- ・ディスクカッタボルトの脱落防止対策
- ・排泥管の損傷・閉塞軽減策として、
  - ① 曲管半径の増大
  - ② S1 カラーなど特殊ジョイントの使用による配管接続部の耐振動および耐摩耗性の向上
  - ③ 肉厚配管の使用による配管交換頻度の低減
  - ④ チャンバからの取込み時における閉塞対策として、フロントクラッシャーの装備
- ・面板閉塞防止対策

## ⑧ おわりに

今回の非常に多様性に富んだ地盤を泥水式シールドで掘削するという貴重な経験は、今後の同様な地盤でのシールド工事で活かすことができると確信している。

日本人だけでなく、多様な国の人間がひとつの目標に向かって力を合わせ、さまざまな問題を解決した結果、無事に貫通することができた。

さまざまな困難にもめげず、あきらめず責務をまっとうした仲間、このトンネル工事に従事したすべての方々に感謝と敬意を表して本報告の結びとしたい。

### 図書紹介



## 土木遺産V ヨーロッパ編2 オリент編 世紀を超えて生きる叢智の結晶

(一社)建設コンサルタンツ協会『Consultant』編集部 編 ダイヤモンド社  
A5判 224頁 本体価格2,200円 2016年12月刊

いにしえより独自の思想で造られた土木建設物や、近隣諸国等から伝播した技術がその土地の風土や文化と融合し、独自の魅力を醸し出す土木遺産。そこには、先人たちの知恵と工夫が織りなす技術と歴史が込められ、今なお、私たちの生活を支え続けている。土木遺産シリーズの第5弾となる本書では、ヨーロッパとオリエンの土木遺産24か所を紹介する。土木遺産とのふれあいから、知的好奇心を満たしてくれるガイドブックでもある。

### 目次

- 鼎談「文明を変遷を支えた人と技術」
- パート1 ヨーロッパ編2 バルカン地域
- パート2 ヨーロッパ編2 北欧地域
- パート3 オリエン編
- 巻末資料

# 耐爆シェルター構造とシンガポール特有条件下での地下鉄建設

—ダウタウン線 ベドック・ノース駅工区、マター駅工区、ベンクーレン駅工区—

佐藤工業(株)シンガポール支店土木部副部長 関本 昇  
佐藤工業(株)シンガポール支店C936ベンクーレン駅所長 大縄 泰平  
佐藤工業(株)シンガポール支店C928ベドック・タウン・パーク駅所長 久連山 秀樹

## ① はじめに

シンガポールでは、MRT(Mass Rapid Transit System:大量高速輸送システム)の整備拡充が、シンガポール経済を支える重要なインフラ事業の一つとして位置づけられている。1987年に運行を開始したMRTは、2013年末で総路線距離約150kmであったが、今後も継続的に路線延伸が計画されており、現在計画されている路線の完成により、360kmとなる予定である。

ダウタウン線は、既存の4線(東西線、南北線、北東線、環状線)に続く第5の幹線であり、図-1に記すようにシンガポール中心部と東側、北西側をつなぐように計画されており、DTL1、DTL2は、現在供用中である。今回報告するプロジェク

トは、延長21km、16駅からなるダウタウン線3期工事(DTL3)の3工区である。工事位置は、図-1にあるベドック・ノース駅(Bedok North)、マター駅(Mattar)、ベンクーレン駅(Benchoolen)である。

## ② プロジェクトの概要

ベドック・ノース駅工区は、地下3階のCD(Civil Defense:耐爆シェルター仕様)構造の駅と西側隣接駅をつなぐトンネル建設工事、マター駅工区は、地下3階駅と西側隣接駅をつなぐトンネル建設工事、ベンクーレン駅工区は、地下6階構造のシンガポールでもっとも深い駅の建設工事である。

それらの3工区の工事概要を表-1に記す。

## ③ プロジェクトの地質概要

シンガポールの地質は、東側にはオールド・アルビウム(Old Alluvium:以後「OA」と記載)と呼ばれる締まった砂と硬い粘性土からなる洪積世堆積層、中央部には花崗岩とその風化岩からなるブキティマ・グラナイト層、それらに挟まれた地域を流れるカラン川に沿って堆積するカラン層(Kallang Formation:以後「KF」と記載)と呼ばれる軟弱沖積層がある。また、西側と南側は、大

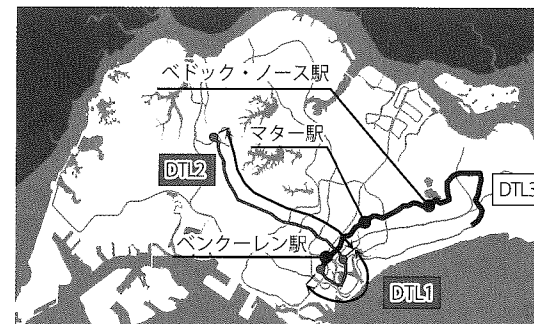


図-1 工事位置図(ダウタウン線)

表-1 工事概要

	ベドック・ノース駅工区	マター駅工区	ベンクーレン駅工区
発注者	Land Transport Authority (陸上交通庁, 略称: LTA)		
着工日	2011年2月25日	2011年4月1日	2011年4月29日
完成日	2016年12月30日	2016年12月30日	2016年12月30日
駅延長(L)・幅(W)・深さ(H)	L:171m・W:57m・H:30m	L:144m・W:33m・H:30m	L:190m・W:23m・H:43m
構築工法	順巻き工法	順巻き工法	逆巻き工法
山留め壁	柱列式地下連続壁	地中連続壁	柱列式地下連続壁
シールド	泥土圧シールド(φ6,630mm)		
セグメント	外径:φ6,350mm, 桁高:275mm, 幅:1,400mm		
トンネル延長	東行:650m, 西行:800m	東行:1,350m, 西行:1,330m	
出入り口	3か所	2か所	3か所
連絡坑	1か所	1か所	

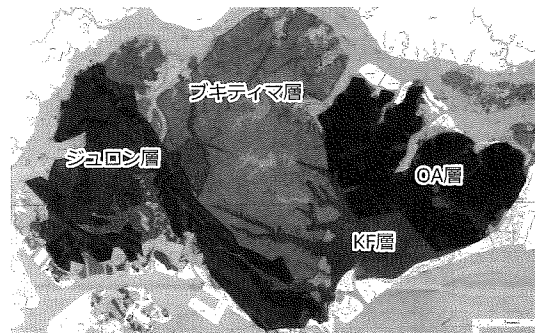


図-2 シンガポール地質図

半がジュロン層と呼ばれる堆積岩とその風化岩が主体の地層である(図-2)。

ベドック・ノース駅は、シンガポール東部に位置しており、施工対象となる地質は、駅部・トンネルともに、OA層である。

マター駅の地質は、地表より5m以下がOA層であり、トンネル部はOA層とKF層の2つの異なる層に遭遇する。

ベンクーレン駅は、フォートカニング近辺に位置しており、対象となる地質は、フォートカニング・ボルダーベッド層(Fort Canning Boulder Bed:以後「FCBB」と記載)と呼ばれるもので、この地域以外ではごく限られたところにだけ存在する。その特徴は、硬く固結した粘性土の中にさまざまな大きさであるが、一様に強度の高い(一軸圧縮強度75MPa程度)転石が存在し、駅部掘削対象地盤の約8割を占めている。

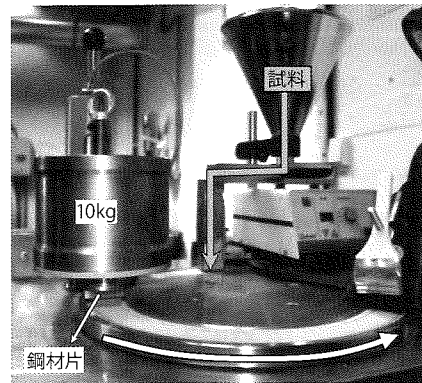


写真-1 SAT(Soil Abrasion Test)試験

#### ④ シールドトンネルの施工

##### 4-1 地質概要

ベドック・ノース駅工区、マター駅工区で掘削対象となるOA層は、N値50~100が主体で、非常に締まった砂と粘性土で、粒度分布の良い安定した地盤である。また、透水係数は $10^{-7}$ ~ $10^{-9}$ m/sと低く、基本的には自立する。構成している粒子には石英も含んでおり、カッタビットの摩耗が懸念された。

また、入札資料には、ノルウェー工科大学で実施されている土砂地盤の摩耗特性を調査する室内試験(SAT試験)により、OA層の摩耗度合いが記載されていた。この試験は、カッタビットに使う鋼材片をサンプリングした土と回転盤上で直接研磨し、試験の前後での鋼材片の重量差を測定し、

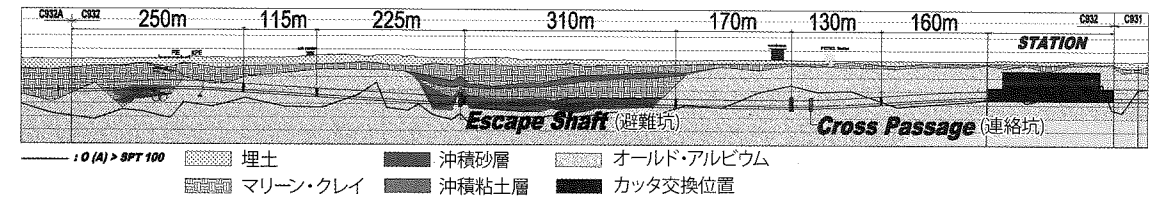


図-3 土質縦断面図(マター駅工区)

表-2 シールドの仕様

	形式	泥土圧シールド
シールド本体	外径	φ6,630mm
	機長	9,850mm
推進装置	テールシール	ワイヤブラシ3段
	シールドジャッキ	1,450kN×32本, st=2,150mm
カッタ装置	総推力	46,400kN
	支持方式	中間支持方式
	開口率	50%
	装備トルク	6,240kN・m
	コピーカッタ	2本(st=125mm)
	摩耗検知ビット	ビット(2個), 面板(4か所)
	土圧計	4か所
排土装置	形式	軸付きスクリーコンベヤ
	形状	φ850mm
その他	排土量	250m <sup>3</sup> /h
	圧気設備	マンロック, マテリアルロック
	同時裏込め注入システム	4か所
	添加材注入装置	11台
	冷却装置(換気装置)	1式(坑内温度28℃仕様)

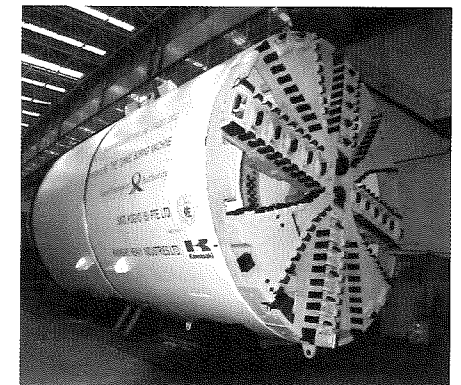


写真-2 シールド



写真-3 OA層の自立した切羽

摩耗度合いを評価するものである(写真-1)。

マター駅のトンネル掘削対象地盤の4割を占める軟弱沖積地盤であるKF層は、約20mの厚さのマリン・クレイ(Marine Clay)と呼ばれる超軟弱海成粘土があり、その下には、沖積粘性土(Fluvial Clay)と非常に緩い沖積砂層(Fluvial Sand), マリン・クレイとの互層で層厚は35m程度である(図-3)。

##### 4-2 シールド

ベドック・ノース駅工区、マター駅工区では同じ仕様のシールドである。ベドック・ノース駅工区では東行きトンネル掘削終了後、スキンプレートとカッタヘッドを残置するが、それ以外の装備

品は回収する。回収した装備品と新しく用意したスキンプレートとカッタヘッドを地上で再組立てし、西行きトンネルの掘削に使用した。シールドの仕様を表-2に記す。

##### 4-3 OA層の掘削

両工区での掘削対象地盤であるOA層は、前述したように、非常に締まっており、透水係数、含水比ともに小さい。一方、地下水位は高く、理論上の管理土圧は高いので、掘削土の塑性流動化が課題であった。

マター駅工区では、シールドの発進・到達時と中間立坑である避難坑通過時に、グラスファイバー棒で補強された連続地中壁を直接切削するた

め、ディスク・ローラカッタ(以後「DRC」と記載)を装備した。発進時に連続地中壁を直接切削後の初期掘進区間でDRCを装備して掘削したところ、初期掘進終了後のカッタ点検では、DRCとそのほかのすべてのカッタビットの想定以上の摩耗を確認した。

連続地中壁切削箇所以外は、DRCの代わりにプレカッタと呼ばれる先行カッタを装備するとともに、塑性流動化と摩耗低減を目的に、気泡材、高分子系(ポリマー)添加材を注入することにより対応した。

OA層の自然含水比は20%以下と小さく、非常に締まっており、気泡材を含めた添加材の注入率は30~45%を基本とし、掘削土の塑性流動性向上、カッタビットの摩耗低減を図った。

約150m掘削ごとに実施するカッタビットの点検・交換は、N値50以上の安定しているOA層で実施することを基本とした。

カッタ点検前には、チャンバ内の掘削土を最小限排土したあと、圧気により地山を安定させ、50kPa減圧するごとに、切羽の安定と湧水の有無を確認し、最終的には大気下での切羽の安定を確認後に、カッタの点検・交換作業となった。OA層でのカッタビットの摩耗は想定以上であり、カッタ点検時には、すべてのプレカッタとそのほかのカッタビットについても大半を交換することになった。

#### 4-4 KF層の掘削

マター駅工区の東行きトンネルは土かぶり30m程度でKF層の下層部を掘削する。下層部には、地下水を多く含んだ非常に緩い砂層Fluvial Sandが介在している。管理土圧は400kN/m<sup>2</sup>と高圧で

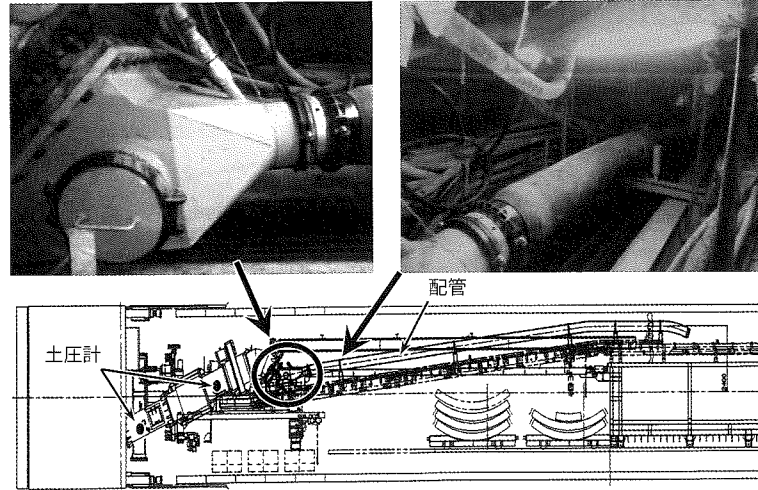


図-4 配管による排土

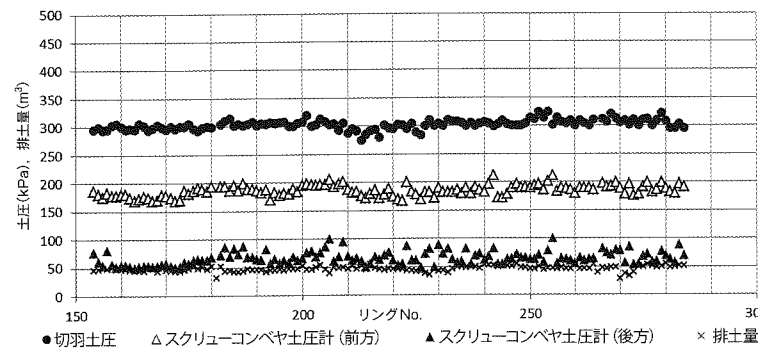


図-5 スクリューコンベヤによる排土管理(OA層)

あることから、排土量の管理と切羽圧の管理が課題であった。

KF層掘削時には、スクリューコンベヤと配管(φ300mm)とをレデューサーを介して直接連結し、シールドチャンバから排出される掘削土を配管にて後方へ圧送した(図-4)。これにより、スクリューコンベヤのゲート部における排土の噴発を抑えることが可能になり、安定した切羽圧と排土量管理が可能になった。

また、2液性の高粘性可塑状添加材を切羽に注入し、地山の止水性を促進させた。

図-5に示すようにOA層では、スクリューコンベヤのシャフト内で適正に土圧が低減されており、スクリューコンベヤにより排土量調節が可能であった。

一方、KF層ではスクリューコンベヤのシャフ

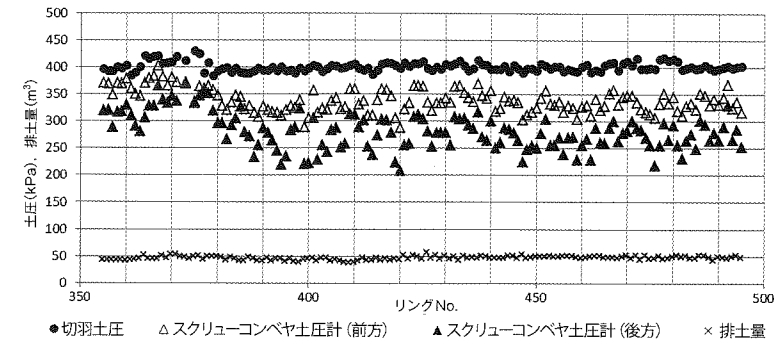


図-6 スクリューコンベヤ+排土管による排土管理(KF層)

ト内では十分土圧が低減されていないにもかかわらず、切羽圧と排土量が安定しており、排土管による効果を確認した(図-6)。排土管は内面特殊加工されたホースを使用しているため、OA層においても適用し、円滑な排土と切羽管理が可能であり、両方の土質にも適用できた。

また、KF層では、度重なる人造の支障物に遭遇したが地表面の最大沈下量は38mmに抑えることができた。

#### 4-5 シールド再組立て

ベドック・ノース駅工区では、掘削終了後、シールドを回収・再組立てを実施した。回収作業は、牽引装置→後続台車→後部作業デッキ→スクリューコンベヤ→ジャッキ類→カッタ駆動部→カッタヘッドの順に搬出した。牽引装置、後続台車、後部作業デッキの解体時には、運搬台車に荷受けする際にセグメントのグラウトホール、セグメントジョイントボルトを使用して行った。1か所の許容吊り荷重(44kN)以下とするように、必要数量分以上の吊り点を確保するとともに、均等に荷重が作用する位置に吊り点を設けた。吊り作業の最大重量はNo.5台車の130kNであった。

スクリューコンベヤおよびカッタ駆動部の重量は450kNあり、坑内運搬時に軌道の耐荷重を考慮し、荷重を分散させるよう専用の運搬台車(4軸構造)を使用した。

地中で解体されたシールドの装備品などは、あらかじめ用意されたスキンプレート(3分割)に組み込み、カッタヘッド(分割なし)を取り付けて、地上で再組立てを行った。

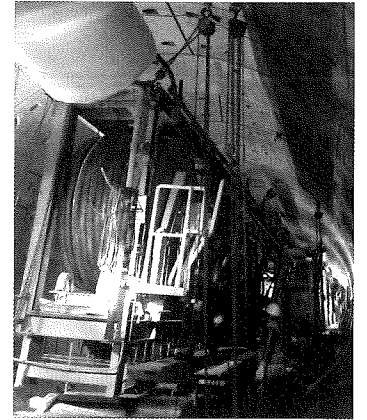


写真-4 後続台車搬出状況

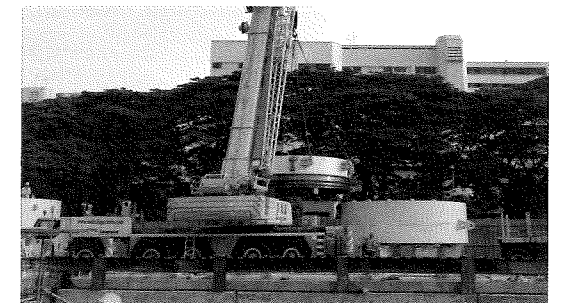


写真-5 シールド再組立て状況

シンガポールでは大型輸送が可能であったこと、当工区では、シールド回収機器の仮置きする用地(約1,000m<sup>2</sup>)や3,500kNクレーンを使用する再組立てに必要な用地(約900m<sup>2</sup>)を確保することができたこともあり、地上の再組立て作業9日、立坑投入・組立て作業24日と短期間で再組立て作業を終了した。地上での再組立て時に行う配線・配管作業は、簡易屋根を設置し、雨養生対策とした。再組立てしたシールドは小さなトラブルもなく、無事掘削終了することができた。

#### 4-6 連絡坑

シンガポールの地下鉄トンネルは単線並列トンネルとして計画されており、災害時に備えて、トンネル区間は、避難坑や連絡坑が計画されているのが一般的である。C932工区では、駅部から約250m地点に上下線トンネル間を通り抜けできる連絡坑が計画されていた。この位置では上下線のトンネル高さが5m以上異なるため、連絡坑は、両トンネルの間に立坑を建設し、立坑を介して両

側のトンネルをつなげる計画であったが、連絡トンネルが位置する地上部の用地は狭く、多数の埋設管が立坑工事に支障するので、発注者および設計者と協議し、連絡坑は非開削のNATMによる施工に変更した(図-7)。

本線トンネル坑内から連絡坑への開口は、幅1.4m、高さ2.2mと小さいので小型の掘削機を使用できず人力施工であった。最初の上側本線トンネルから掘削する横坑(直径約6m)は、先行する上半断面を慎重に施工した(写真-6)。横坑終了後

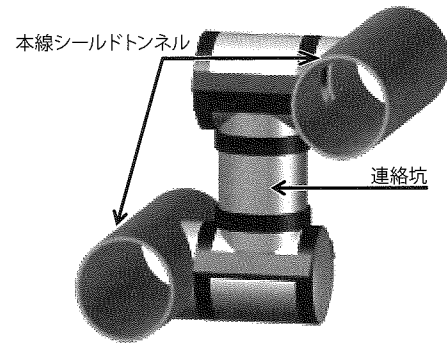


図-7 連絡坑概念図

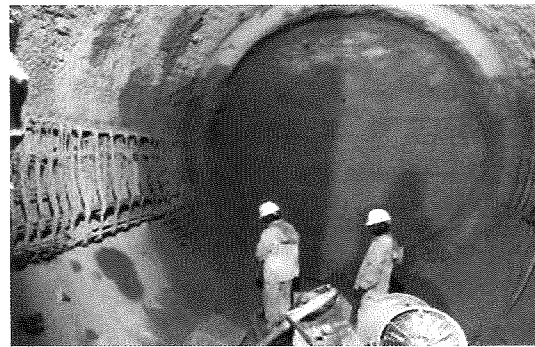


写真-6 連絡坑上側横坑施工状況



写真-7 連絡坑仮設備(本線トンネル内)

に下向きに円形立坑施工終了後、下側の本線トンネルと接続した。

## ⑤ 駅部の施工

### 5-1 ベンクーレン駅の施工

ベンクーレン駅は、都心部の市街中心業務地区の主要幹線道路や16棟の中高層ビルに隣接しており(図-8参照)、近接構造物への影響が懸念された。また、前述した転石を含むFCBB層で地下43mに及ぶ大深度掘削となるので柱列式地下連続壁の施工および掘削の施工が課題であった。

#### 5-1-1 山留め壁の施工および掘削工

駅部の山留め壁は、直径1.2mと0.8m、深さ約60mの場所打ちの鉄筋コンクリート柱を交互に配列しており、隣接する杭を250mmラップさせることで止水性を確保する構造である。FCBB層の転石の想定一軸圧縮強度は100MPaであったが、実際は200MPaを超えるものもあった。転石強度が

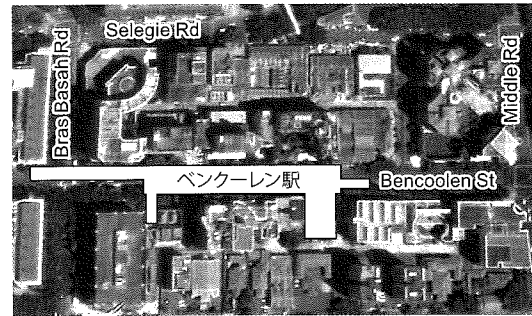


図-8 ベンクーレン駅位置図

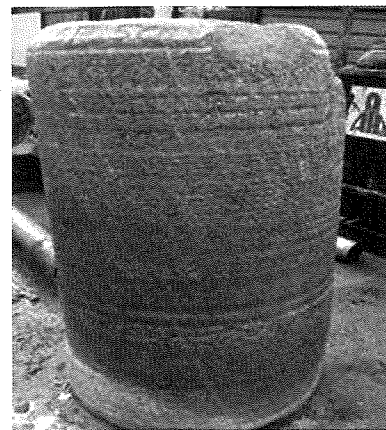


写真-8 転石部削孔時に回収されたコア

高いため小割りすることができず、ケーシングによりコア状で抜き取ることになった(写真-8)。調達可能な最大級のトルクを有する杭打ち機を施工領域最大限(8台)に配置し(写真-9)、杭打ち機ケーシングやオーガーの先端ビットを状況に応じ複数タイプ使用した。また、全旋回式の杭打ち機を併用することで強固な固結粘土と高強度でさまざまな大きさの転石に対応し杭工事を行った。

駅部掘削時には、長辺方向最大15mに及ぶ転石にも遭遇し(写真-10)、静的破碎材や油圧式セリ矢(スプリッター)などで小割りし、搬出した。

#### 5-1-2 近接施工

山留め壁と隣接建物との最少離隔は、0.8mであ

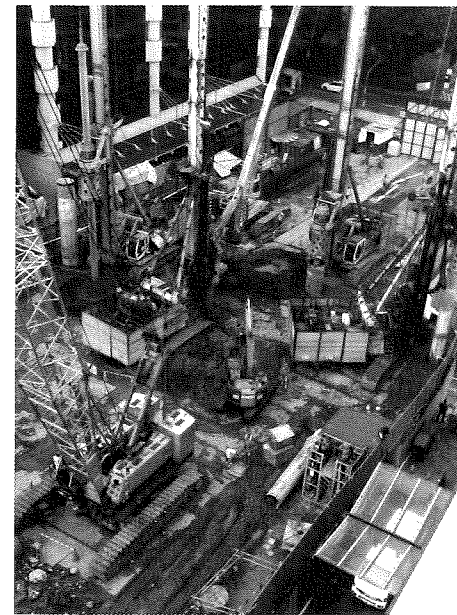


写真-9 山留め壁施工状況



写真-10 駅掘削時の転石

り、山留め壁施工時の上部沖積層中の地下水位低下や振動による周辺地盤や隣接構造物への影響が懸念された。山留め壁施工時に十分なケーシング挿入長と適切な孔壁安定液の管理が必要であるので、追加土質調査により沖積層の深度と詳細な土質性状を把握した。また、振動に関してはケーシングを圧入することで、低減した。

### 5-2 ベドック・ノース駅

ベドック・ノース駅は、有事の際、シェルターとして使用できるCD構造となっており、その概要について紹介する。

#### 5-2-1 CD構造駅の仕様

CD構造の駅は、有事の際、使用するシェルターの収容人数によって、仕様はS10~29の20ランクに分類されている。当駅は、比較的小規模のS14という仕様で、駅内部をシェルターとして使用する際の収容人員は、12時間以内で3,750人、12時間以上では1,500人である。

構造物として以下の外的要因に対する安全性が求められる。

- ① 爆弾の直撃
- ② 間接的な爆撃
- ③ 爆風
- ④ 有害ガス

駅の外壁と天井スラブは、爆弾直撃に耐えうる構造であり、現場打ちの外壁厚2.0m、天井スラブ厚2.3m、鉄筋量は壁部490kg/m<sup>3</sup>、スラブ390kg/m<sup>3</sup>と強靱な構造である。このような過密な鉄筋組立てに際して、重ね継手部はフックを付ける仕様であり、さらに過密な配筋となるため、鉄筋径D32以上には機械式継手に変更した。また、3D

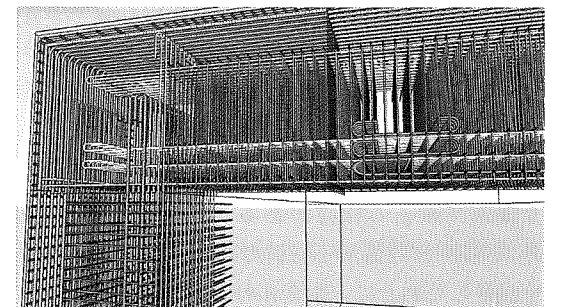


図-9 3Dモデルによる配筋図

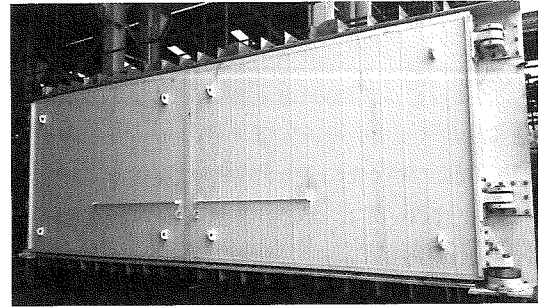


写真-11 出入口ドア (280kN)

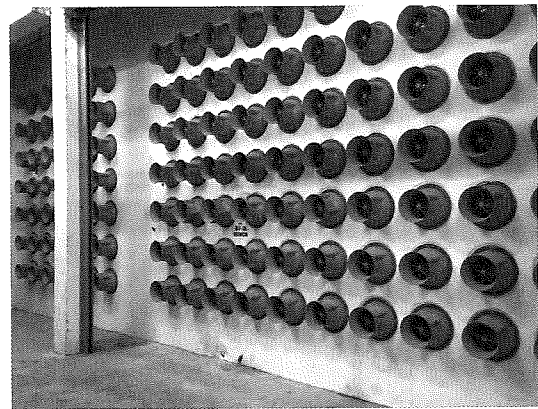


写真-12 Blast valve が設置された壁

モデルによる配筋図を作成し、実施工時の問題点の洗い出しと対策を立案し、組立て精度確保と作業効率の向上を図った(図-9)。

#### 5-2-2 CD 構造駅の設備

駅内部(シェルター)の安全を確保するため、外部との接点となる出入口には特殊なドアを設置する。このドアは、爆風に耐えられる強度と有害ガスの侵入を防ぐ気密性が要求されており、ドアの大きさや設置する位置によって、重量(16~280 kN)や構造が異なっており、合計46か所であった。特殊ドアを支える周囲のRC構造物は外壁や天井スラブ以上に過密な配筋であり、セルフコンパクションコンクリート(高流動コンクリート)の使用により対応した。

そのほかには、外部からの空気を清浄する機能と爆風に耐える機能がある Blast valve (爆風用弁)を各所に設置する設計であり、すべての設備を設置したあとに、駅全体の気密性を確認するテストを実施した。



写真-13 完成したベンクーレン駅中央吹き抜け部 (B3F)

## ⑥ おわりに

シンガポールは、東京23区程度の狭い面積であるにもかかわらず、その地下にはさまざまな地層があることに加えて、それらが細かく入り組んでいることが特徴である。したがって、多くの地質調査結果があっても実際に遭遇する地質が大きく異なることがある。ダウンタウンライン3期工事では、すべての工区でシールドに要求される仕様は詳細に決められており、さまざまな機能を装備することが規定されていた。これは、過去のシンガポールにおけるシールド工事のトラブル経験を反映させるとともに、シールドの能力不足による工事の遅延やトラブルを防止する目的と考えられる。

また、シンガポールは、経済発展とともに、それを支えるインフラ整備や商業建設などの建設市場は巨大となり、開かれた国際競争原理のもとに、更なる高い技術と品質、安全基準が求められてきた。一方で、それに供給される資材や労働力の大半は、海外から賄われているが、シンガポール国内事情が主な理由で、海外からの労働力規制が強まり、生産性向上(省人化)が課題となっている。

今後も、国土面積の小さいシンガポールでは、地下鉄を含めた地下のインフラ整備が多数計画されており、日本の地下施工技術や生産性向上に貢献する技術を生かす機会は多々あると思われる。今回の報告が、シンガポールの地下工事に携わる人々の一助となれば幸いである。

# 礫地盤対応泥土圧シールドの塑性流動状態管理手法を確立し施工効率を大幅に改善

—台北地下鉄環状線 CF640工区, 桃園地下鉄空港線 CU02A工区—

(株)奥村組土木本部土木営業部関連事業企画グループ長 坂田 泰章

## ① ま え が き

土圧式シールド工法は、開発後40年を経過し、現在まで多くの周辺技術が開発され目覚ましい発展を遂げてきた。その一方で、礫地盤におけるシールド工事においては掘進不能や地盤沈下といった問題が数多く報告されている。

土圧式シールド工法は、塑性流動化した泥土により切羽安定を図ると同時に、塑性流動化した泥土を連続的に排出するという基本原理から成り立っている。このため切削土砂に塑性流動性を持たせることが工法成立の前提である<sup>1)</sup>。

泥土の塑性流動状態を適切な水準に管理できずに「塑性流動性の悪化」「面板、チャンバ、スクリーコンベヤ(以下「S/C」と略す)における閉塞や噴発」が発生すると、以下のような問題が発生する。

- ① カッタートルクが増大するため、掘進速度を低下させなくてはならず、最終的には掘進不能に陥る
- ② 切削土砂の滞留によりカッタービットやカッターヘッドの摩耗が著しく進行する
- ③ 土圧管理が困難になり、陥没などの地盤変状が発生する

以上のように、泥土の塑性流動状態は礫地盤において発生する諸問題を解決するために、もっとも重要な管理指標である。しかし、泥土の塑性流

動状態は、スランプ試験による計測、目視や手触りによる性状確認、カッタートルク、推力、スクリートルクなど、複数の指標から管理技術者が経験や主観によって管理している<sup>1)</sup>。このため、泥土の塑性流動状態を、施工条件に応じて適切な水準に管理するための具体的な管理指標や管理基準の作成が課題とされている<sup>1)</sup>。とくに礫地盤では、砂/シルト/粘土地盤に比べると適切な泥土の塑性流動状態を維持することが難しい。

以上のような現状を踏まえ、台湾の桃園地下鉄空港線CU02A工事(以下「CU02A工事」と略す)、および台北地下鉄環状線CF640工事(以下「CF640工事」と略す)において、礫地盤対応シールド掘進技術を開発した。本稿では、これらの技術の実施工への適用事例と、技術の効果について報告する。

## ② 礫地盤対応シールドにおける開発技術と適用事例

CU02A工事、およびCF640工事の概要を図-1に、工事諸元を表-1に、礫の堆積状況、および地質調査で確認した巨礫を写真-1に示す。

また、CU02A工事、およびCF640工事を通して開発し、実施工に適用した開発技術は図-2に示す①~④である。

### 2-1 泥土の塑性流動状態を適切な水準で維持する技術

巨礫を含む礫地盤においては、礫破碎を目的と

表-1 CU02A工事, およびCF640工事の諸元

	CU02A工事	CF640工事
工 事 名	桃園地下鉄空港線CU02A工事	台北地下鉄環状線CF640工事
企 業 主	交通部高速鐵路工程局	台北市政府捷運局
セグメント内径	5.6m	5.6m
シールド外径	6.24m	6.24m
シールド台数	8台	2台
シールド掘進距離うち礫地盤の割合	7,194m 65%	1,058m 56%
礫層の地質特性	礫率	65~92%
	細粒分率	1~3%
	最大礫径	φ1,000mm

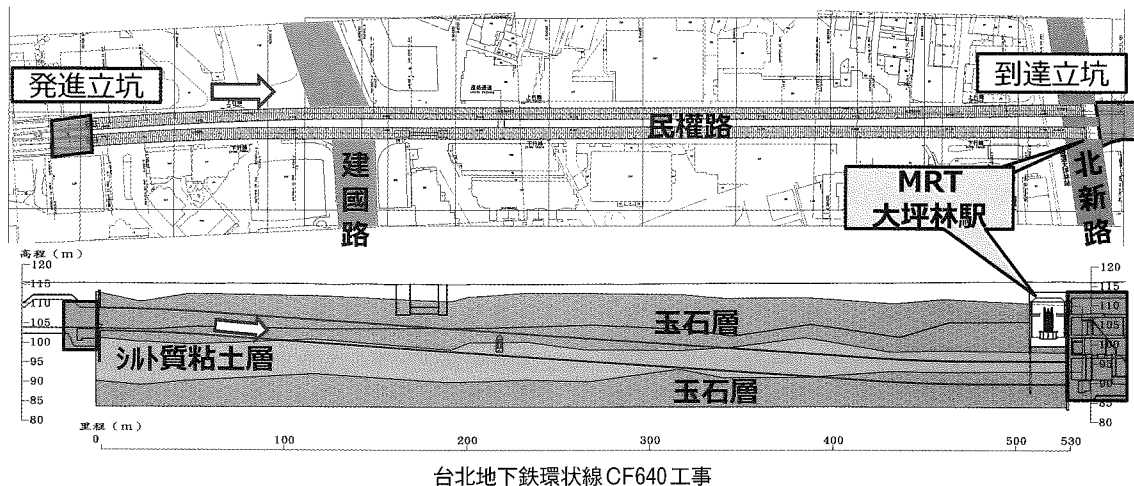
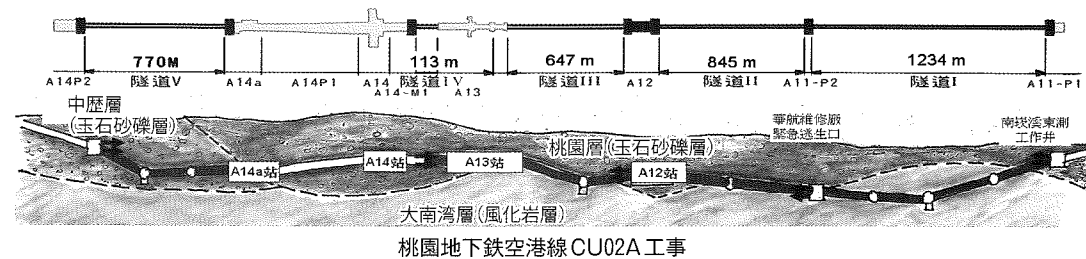
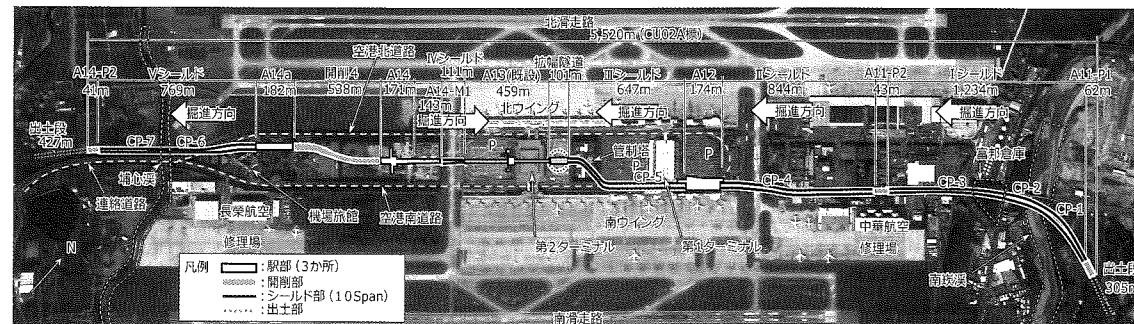
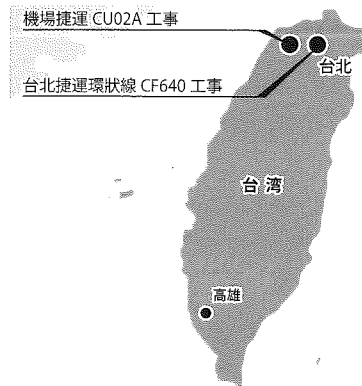


図-1 CU02A工事, およびCF640工事の位置図

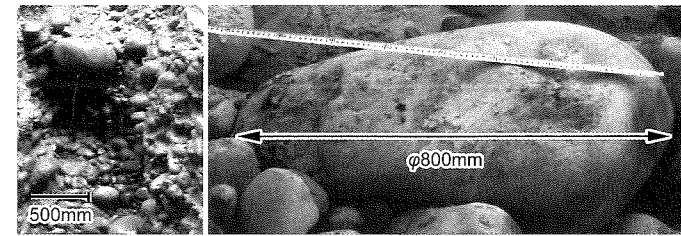
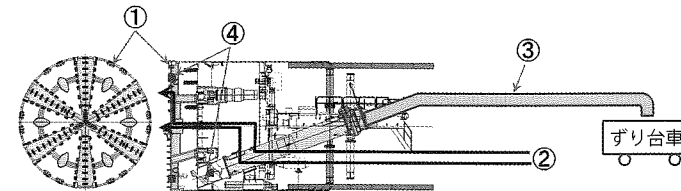


写真-1 礫の堆積状況, および地質調査で確認した巨礫



- |   |   |
|---|---|
| ① | 効率的に巨礫を含む礫層を掘削できる取込み型面板構造の設計方法, および大口径リボン式S/Cの採用          |
| ② | ベントナイトと気泡材を併用し, 泥土の塑性流動性を高める加泥材配合方法                       |
| ③ | S/C後方に泥土圧送配管を装備し, 噴発を抑えることで, 泥土の塑性流動状態を適切な水準に維持する方法       |
| ④ | カッタービット, およびS/Cに温度センサーを設置して, 泥土の塑性流動状態を定量的かつリアルタイムで管理する方法 |

図-2 礫地盤対応シールド掘進技術

してローラーカッターを多数装備し, かつカッターヘッド通過礫径を制限するために開口率の低い面板型のカッターヘッドを採用していた。しかし, この方式では礫破碎により掘進効率が低く, カッタービット, およびカッターヘッドの摩耗が著しく進行する。そこで, CU02A工事においては掘進効率の向上を図るため, シールド面板構造として先行ビット配置のスポーク型面板を採用し, 開口率を高め, 最大φ600mmの巨礫を割岩せずにチャンバ内に取り込める構造とした。また, これに伴いφ600mmの巨礫を排出できる外径850mmの大口径リボン式S/Cを選定した(図-2の①参照)。

しかし, CU02A工事の施工初期段階において, 止水性能が低いリボン式S/Cが原因で土圧保持が困難となり, 基準値を超える地盤変状が発生した。このため, 土圧を安定保持するために, 加泥注入率を絞って泥土の塑性流動性を低下させた結果, カッタートルクが上昇し掘進速度が大幅に低下する問題や, カッタービットの摩耗が異常に進行する問題が発生した。

そこで, 泥土の塑性流動性と切羽土圧安定性を両立させるために, S/C後方に外径600mm, 長さ30mの鋼管(以下「泥土圧送配管」と略す)を設置し, 泥土を配管により圧送することで, 泥土と配管の摩擦抵抗を増加させ, 排土機構の止水性能を強化した(図-2の③参照)。ここで, 切羽土圧に対抗するプラグゾーンを形成するために必要な配管の長さLは, 圧送負荷計算式を用いて次式(1)で表すことができる。

$$L = (P - WH) / k \quad (1)$$

ここで,

- P: 管理土圧 (MPa)
- W: 泥土の単位重量 (kN/m<sup>3</sup>)
- H: 圧送高さ (m)
- k: 管内圧力損失 (MPa/m)

この結果, 泥土圧送配管の設置により, 加泥注入率を上げ, 泥土の塑性流動性を高い水準に維持した状態でも土圧保持が可能になった。図-3は, 配管の設置前と, 設置後の掘進状況を「カッター回転エネルギー」により比較している。なお, 「カッター回転エネルギー」とは, 1mの掘進に必要なカッター回転エネルギーのことで, 具体的には「カッター回転エネルギー」=「所要カッター電力」×「1mあたり掘進時間」で表す。カッター回転エネルギーは, カッタートルクと掘進速度を包括したエネルギー量であり, 掘進効率をよりの確に表現できる。

図-3に示したように, 泥土圧送配管の設置前は, 噴発を抑えるためにベントナイト加泥注入率を5%程度まで絞り, 泥土の塑性流動性を低下させていた。

一方, 配管の設置後は, 注入率を12%程度まで上げ, 泥土の塑性流動性を高めることが可能になった。その結果, カッタートルクの低減と掘進速度の向上が実現し, 配管の設置前に平均2,235 × 10<sup>3</sup>kJだったカッター回転エネルギーを1/2以下の1,040 × 10<sup>3</sup>kJにまで低下させることが可能になった。

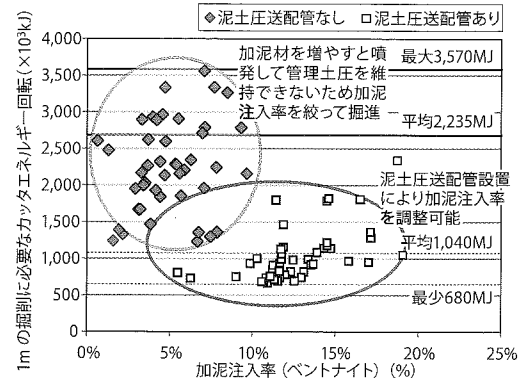


図-3 加泥注入率とカッタ回転エネルギーの相関

### 2-2 排土温度計測による泥土の塑性流動状態管理

泥土圧送配管を設置したのちも、泥土の塑性流動状態の悪化に伴いカッタトルクが上昇し、掘進速度が低下する現象が発生した。このため、泥土の塑性流動状態をリアルタイムで定量的に把握し、適切な塑性流動状態を維持する方法を確立することが課題となった。

そこで、塑性流動状態が悪化した際の排土温度が、正常掘進時の排土温度よりも上昇していたことから、排土温度を指標として泥土の塑性流動状態を定量的に把握することが可能であると考えた。図-4に示すように、掘進速度が設計掘進速度30mm/min以上の正常掘進区間においては、地山温度が23°Cの条件下で、排土温度は約8割の区間で32°C未満に抑えられており、34°C以上に上昇することは、ほとんどなかった。しかし、図-5に示すように、カッタトルクが上昇し、掘進速度が20mm/min以下に低下した掘進不良区間においては、排土温度は約9割の区間で32°C以上に上昇し、約7割の区間で34°C以上に上昇していた。

また、カッタトルクが上昇し掘進速度が20mm/min以下に低下し、排土温度が34°C以上になった掘進不良区間においては、図-6に示すように、泥土の塑性流動状態悪化に直結するような4つの現象のいずれかが発生していた。

次に、排土温度とカッタビット摩耗の因果関係を明らかにするために、図-7に示すように、カッタ累積回転数を、排土温度32°Cを基準として排土

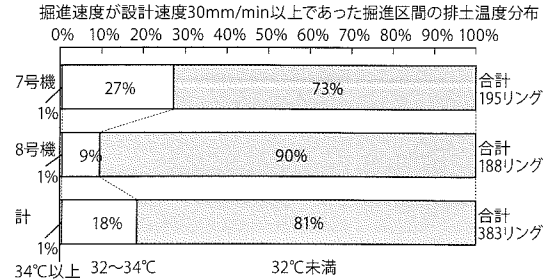


図-4 掘進速度正常時の排土温度分布

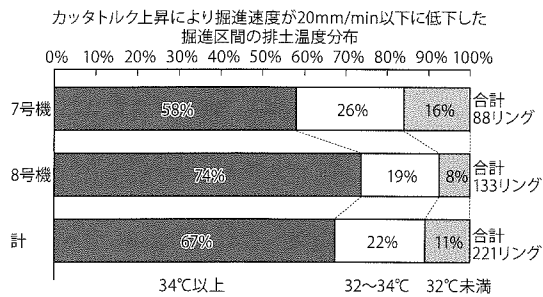


図-5 掘進速度低下時の排土温度分布

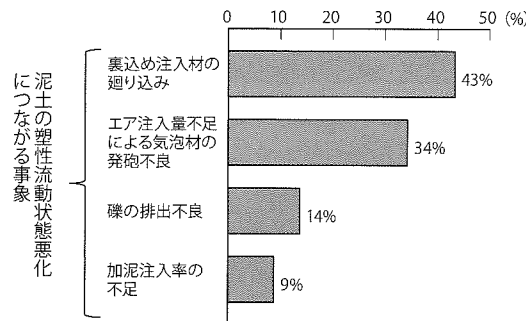


図-6 排土温度が34°C以上になった掘進不良の原因

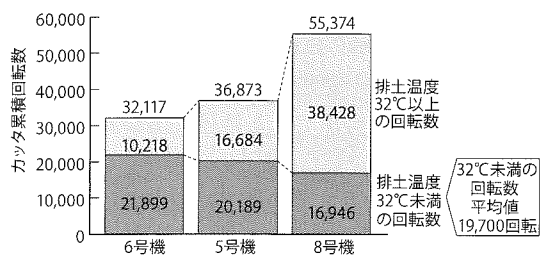


図-7 カッタ累積回転数(排土温度別)

温度別に集計し、このデータを用いて回帰分析を行う。

図-8に、カッタ累積回転数とカッタビット摩耗量との相関関係を示す。回帰分析より、カッタ累積回転数(x)とカッタビット摩耗量(y)の関係は

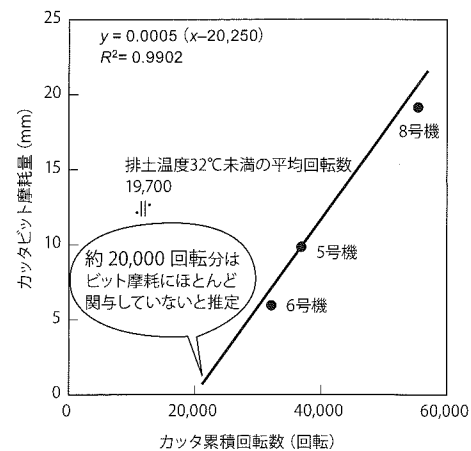


図-8 カッタ累積回転数とカッタビット摩耗量の相関

次式(2)の回帰式で表すことができる(回帰分析の決定係数0.99)。

$$y = 0.0005(x - 20,250) \quad (2)$$

回帰分析より、カッタ累積回転数とカッタビット摩耗量には高い相関関係があることが確認できる。しかし、図-8に示すように、回帰式(2)のx切片が20,250回転となることから、累積回転数のうち約20,000回転分はカッタビット摩耗にほとんど関与していないことが推定できる。また、図-7に示したように、掘進が順調であった排土温度32°C未満のカッタ累積回転数の平均値は19,700回転であり、上記の20,000回転とほぼ同数であることから、排土温度32°C未満の掘進においてはカッタビット摩耗がほとんど発生しなかったと推定できる。

図-9に、排土温度32°C以上のカッタ累積回転数とカッタビット摩耗量との相関関係を示す。回帰分析より、排土温度32°C以上のカッタ累積回転数(x)とカッタビット摩耗量(y)の関係は次式(3)の回帰式で表すことができる(回帰分析の決定係数0.99)。

$$y = 0.0005x + 1.675 \quad (3)$$

回帰式(3)のy切片が1.7mmとなることから、排土温度が32°C未満の掘進時には約2mmしか摩耗しておらず、カッタビット摩耗のほとんどが排土温度32°C以上の掘進時に発生していたと推定できる。

以上の解析結果をもとに、カッタビット摩耗量

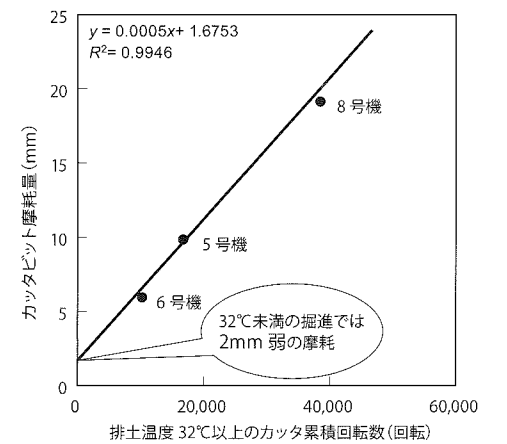


図-9 排土温度32°C以上のカッタ累積回転数とカッタビット摩耗量の相関

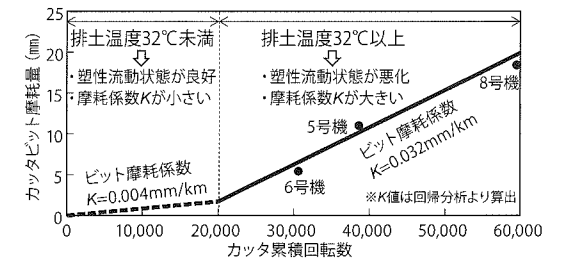


図-10 ビット摩耗係数と排土温度の関係

とカッタ累積回転数(時系列ではなく排土温度順に並び変えた)の関係を図-10に示す。この図に示すように、排土温度32°Cを境界にしてビット摩耗係数が大きく変化していたと推定できる。つまり、泥土の塑性流動状態が悪化すると、カッタビットの摩耗が促進され、排土温度が32°C以上に上昇し、逆に泥土の塑性流動状態が良好であればカッタビットの摩耗が大幅に抑制され、排土温度は32°C未満になっていたと考えられる。このことは、排土温度を計測することで泥土の塑性流動状態を定量的に把握でき、適切な管理基準値を設定できる可能性を示している。

### 2-3 塑性流動状態の管理基準の設定

排土温度を指標とする塑性流動状態の管理基準値について分析を行う。正常掘進時において排土温度が上昇する主な原因は、土とカッタヘッドの摩擦熱である。しかし、泥土の塑性流動状態が悪化した際には、切削土砂の取り込み不良により、

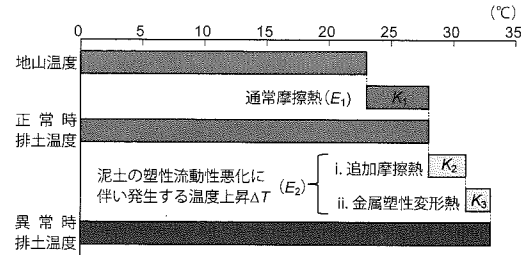


図-11 排土温度上昇要因概念図

表-2 掘進状態による排土温度上昇要因

項目	正常掘進時	異常掘進時
チャンバ土圧	$P_0$	管理土圧
面板前面土圧	$P_1$	$P_0 = P_1$
$P_0$ と $P_1$ の差	$P_1 - P_0$	$0$
掘進時摩擦熱	$K_1$	$K_1$
追加摩擦熱	$K_2$	$0$
金属塑性変形熱	$K_3$	小

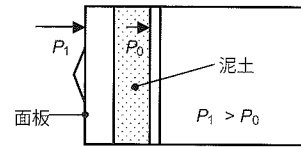
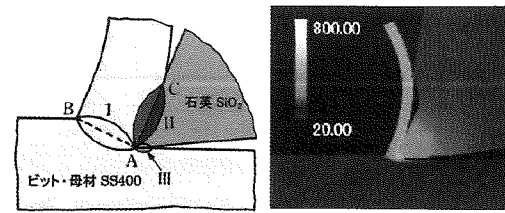


図-12 塑性流動状態悪化時の面板土圧とチャンバ土圧  
以下の熱量が土砂に追加供給され、排土温度が上昇すると考えられる(図-11, 表-2参照)。

- ① 面板前面土砂が圧縮され、面板前面土圧  $P_1$  がチャンバ土圧  $P_0$  より高くなるため増加する摩擦熱
- ② 面板前面に滞留した切削土砂によりカッタビットや面板が摩耗するため発生する金属塑性変形熱

①については、泥土の塑性流動状態が適切に保持されている状態であれば、チャンバ土圧  $P_0$  = 面板前面土圧  $P_1$  の関係にあると考えられるが、泥土の塑性流動状態が悪化すると、面板前面土砂の滞留・圧縮を引き起こし、図-12に示すように、チャンバ土圧  $P_0$  < 面板前面土圧  $P_1$  の状況が発生する。面板前面土圧がチャンバ土圧より0.1MPa以上高くなる事例<sup>1)</sup>も報告されており、この影響は大きいと考えられる。

②については、図-13に示すように、金属摩耗発生時には、摩擦熱のほかに金属塑性変形熱と呼



金属切削時の熱エネルギー	
I	せん断面で切屑が生成されときの塑性変形熱
II	工具すくい面での切屑との摩擦熱
III	仕上げ面の塑性変形熱

図-13 金属切削時の熱エネルギー(「新版精密工作便覧(精密工学会編集)」より抜粋)

ばれる熱が発生することが知られている。また金属摩耗の際に発生するエネルギーの2/3が金属のせん断変形に伴う金属塑性変形熱、1/3が摩擦熱であり、金属塑性変形熱は摩擦熱より大きいとされている<sup>2)</sup>。しかし、切削工学は高速回転の切削現象を扱っており、シールドのような低速回転の切削時に発生する熱量について定量的に評価するためには、実験により発生する熱の割合を把握する必要がある。

カッタ面板回転時に発生する摩擦熱による泥土の上昇温度  $K_1$  は熱容量と比熱の式より次式(4)で算出できる。

$$K_1 = E_1 / (C\gamma V) \quad (4)$$

$$E_1 = (1 - \alpha) \int_0^R \{ \mu P (2\pi r)^2 dr \}$$

$$= \frac{4}{3} (1 - \alpha) \mu \pi^2 R^3 P$$

$$V = \pi R^2 (v/n)$$

ここで、

- $E_1$ : カッタが1回転する間に発生する摩擦熱(J)
- $V$ : カッタが1回転する間に取り込まれる土量( $m^3$ )
- $C$ : 土の比熱(J/kg·K)
- $\gamma$ : 土の密度(kg/ $m^3$ )
- $\alpha$ : 面板開口率
- $R$ : カッタ半径(m)
- $\mu$ : 鋼と土の摩擦係数
- $P$ : チャンバ土圧(MPa)
- $v$ : 掘進速度(m/min)
- $n$ : カッタ回転数(rpm)

CU02A 工事において通常の摩擦熱による排土温度の上昇  $K_1$  は式(4)より5Kとなり、地山温度の実測値が23°Cであることから、この摩擦熱により排土温度は理論上28°Cになる(管理土圧  $P=0.15$  MPa, 掘進速度  $v=0.025$  m/min)。しかし、実際には前述したように、泥土の塑性流動状態が悪化した際に排土温度は32°C以上に上昇している。このことから、泥土の塑性流動状態が悪化した際には通常の摩擦熱以外のエネルギーが発生し、排土温度を上昇させていたと考えられる。排土の温度を28°Cから32°Cに  $\Delta T(32°C - 28°C = 4K)$  上昇させるために必要なエネルギー  $E_2$  は、次式(5)で表すことができる。

$$E_2 = C\gamma V \Delta T \quad (5)$$

この熱エネルギー  $E_2$  が、泥土の塑性流動状態悪化により追加的に土砂に供給される熱量であると考えられる。式(4)、および式(5)より  $E_1 = 12.0 \times 10^3$  kJ,  $E_2 = 14.6 \times 10^3$  kJ となり、塑性流動状態が悪化した際に土砂に供給された熱エネルギー ( $E_1 + E_2$ ) は通常の摩擦熱 ( $E_1$ ) の約2倍であったことがわかる。

以上のことから、泥土の塑性流動状態の悪化により、カッタトルクが上昇し、カッタビットの摩耗が促進されている際に土砂に供給されている熱量 ( $E_1 + E_2$ ) が、通常の摩擦熱 ( $E_1$ ) の2倍以上であると仮定すれば、塑性流動状態の悪化を示す基準温度  $T_2$  は次式(6)で表すことができる。

$$T_2 = T_0 + \beta E_1 / (C\gamma V) \quad (6)$$

ここで、

$\beta$  値: 2(CU02A工事の実績値)

$T_0$ : 地山温度(°C)

式(6)によると、次節で報告するCF640工事における基準温度  $T_2$  は31.8°Cとなる(管理土圧  $P=0.09$  MPa, 設計掘進速度  $v=0.030$  m/min, 地山温度実測値  $T_0=27.8$ °C)。この基準温度は泥土の塑性流動状態が悪化した際に観測された温度とほぼ同じであり、基準値の設定がこのケースにおいては適切であったことが示された。

以上の分析から、排土温度は塑性流動状態の適切な基準を表すことができ、塑性流動状態を評価

する指標となり得ることが判明した。ただし、式(6)で今回採用した  $\beta$  値に関しては、今後掘進データを蓄積することで精度を高めていく必要がある。

### 2-4 泥土の塑性流動状態管理の適用事例

CF640 工事では、泥土の塑性流動状態が悪化した際に発生する熱量を検知するために、S/Cに温度計を設置して排土温度を計測するとともに、図-14に示すようにカッタビットに温度センサーを設置し、リアルタイムでビット温度を計測できるシステムを導入した。

図-15は、1号機の初期掘進データである。縦軸のカッタビット温度は、図-14に示す先行ビット1の温度を表している。とくに20~30リングの掘進では泥土の塑性流動状態が非常に良好で、平均掘進速度は46mm/min, 平均カッタトルクは装備トルクの47% ( $\alpha$  値10.6kN/ $m^2$ )、カッタ回転エネルギーは非常に低い水準であり、排土温度、ビット温度も低い水準で推移していた。しかし、38~50リングの掘進にかけて、泥土の塑性流動状態が悪化した結果、平均掘進速度が38mm/minに

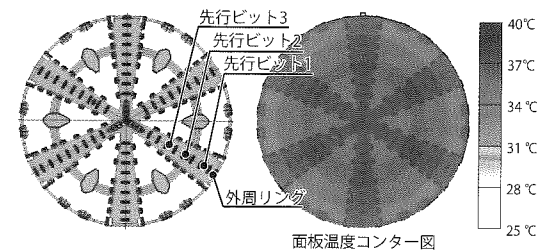


図-14 面板温度監視システム

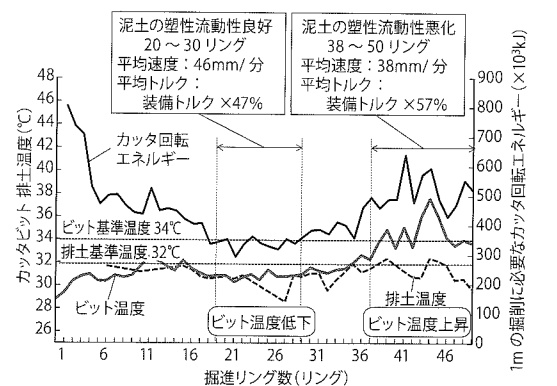


図-15 CF640工事 1号機初期掘進データ

表-3 各種係数の相関係数

	相関係数(上は1号機, 下は2号機)			
	カッタトルク	カッタ回転数	掘進速度	カッタ回転エネルギー
排土温度 (手動計測)	0.06	0.15	0.39	0.30
ビット温度 (自動計測)	0.36	0.40	0.37	0.64
排土温度 (手動計測)	0.59	0.56	0.58	0.79
ビット温度 (自動計測)	0.40	0.67	0.61	0.87

低下, 平均カッタトルクも装備トルクの57% ( $\alpha$  値  $12.8\text{kN/m}^2$ ) に上昇, カッタ回転エネルギーが上昇し, 排土温度, およびビット温度がそれぞれ  $32^\circ\text{C}$ ,  $34^\circ\text{C}$  以上に上昇した。また, この際に観測された排土温度  $32^\circ\text{C}$  という値は, 前節で提示した計算式から算出される理論上の基準温度とおおよそ合致していることが確認できた。

さらに, 表-3に示すように, 排土温度やビット温度は, カッタトルクや掘進速度よりもカッタ回転エネルギーとの相関が高いことがわかった。また, 同じく表-3に示すように, 排土温度やビット温度とカッタ回転エネルギーには相関があり, この相関は排土温度よりビット温度の方が高いこともわかった。以上のことから, カッタトルクや掘進速度よりも掘進状態を精度よく評価できるカッタ回転エネルギーの変動傾向をビット温度計測により, 正確に把握できることが確認できた。

また, 図-16に示すように, 適切な加泥注入率により泥土の塑性流動状態を適切な水準で保持すれば, カッタ回転エネルギーを低い水準で抑えることができ, 適切なベントナイト加泥注入率は11%程度であることがわかった(ベントナイト5%溶液を使用)。

以上のことから, 2号機の初期掘進では, ベントナイト加泥注入率を11%程度で管理した。さらに, 図-17に示すように, 排土温度が  $32^\circ\text{C}$ , ビット温度が  $34^\circ\text{C}$  以上になった際には, 掘進停止中に攪拌棒から気泡材を注入しながらカッタを回転し, チャンパ内の泥土を攪拌する操作を速やかに実施し, 泥土の塑性流動状態を改善するという管理基準を設定した。

この管理基準を2号機の初期掘進に適用し, 実

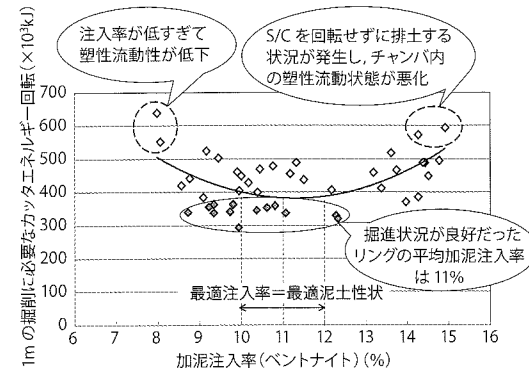


図-16 加泥注入率とカッタ回転エネルギーの相関

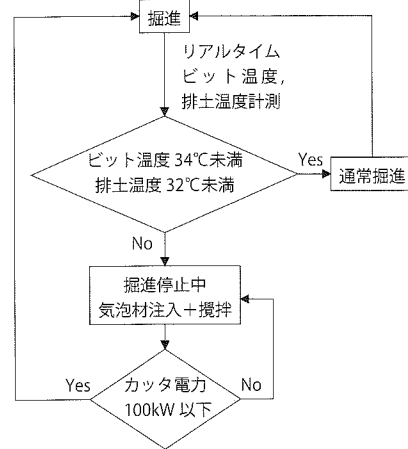


図-17 塑性流動状態リアルタイム管理システムの概要

際に運用した結果を図-18に示す。11リング目の掘進中に泥土の塑性流動状態が悪化した結果, 排土温度が  $32^\circ\text{C}$ , ビット温度が  $34^\circ\text{C}$  以上に上昇した。このため, 管理基準に従い, 掘進停止中に気泡材をチャンパ攪拌棒から注入し, チャンパ内泥土を攪拌する操作を継続的に実施した。この結果, 泥土の塑性流動状態が適切な水準に戻り, カッタ回転エネルギーが大幅に低下し, その後初期掘進が完了するまで排土温度, ビット温度がそれぞれ  $32^\circ\text{C}$ ,  $34^\circ\text{C}$  以上に上昇することはなかった。

このように, 排土温度やビット温度をリアルタイムで監視することで, 従来の管理手法では把握できなかった泥土の塑性流動状態の変化をリアルタイムで検知することができるようになった。このため, わずかな塑性流動状態の悪化に対しても, 加泥注入率の調整や注入位置の変更などの迅速な

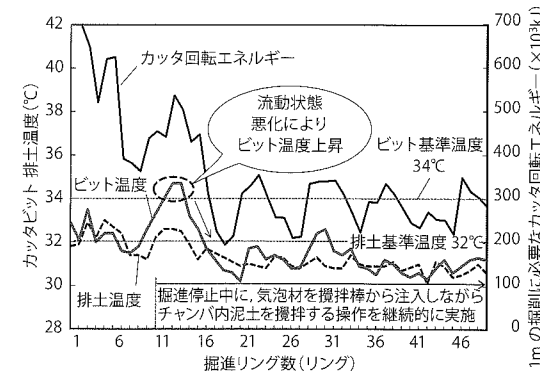


図-18 CF640工事2号機 初期掘進データ

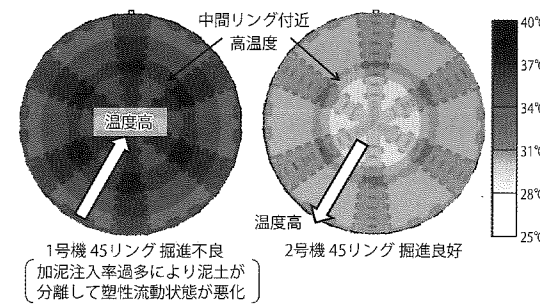


図-19 面板温度コンター図

対応が可能となり, 泥土の塑性流動状態を施工条件に対し, もっとも適切な水準で維持することが可能になった。また, ビット温度計測により切羽面板の温度変化をコンター図により可視化するシステムを開発し装備した。図-19は, 1号機において泥土の塑性流動状態が悪化した45リング掘進時の面板温度コンター図と, 2号機において泥土の塑性流動状態が良好であった45リング掘進時の面板温度コンター図を比較したものである。

図-19の2号機のように, 泥土の塑性流動状態が良好であれば面板温度は低く, 外周にいくほど温度が上昇していることがわかる。一方, 図-19の1号機のように, 泥土の塑性流動状態が悪化した際には面板温度が上昇し, 泥土の塑性流動状態が悪化している内側ほど温度が上昇していることがわかる。また, 左右両図より中間リング付近の塑性流動状態が悪化していることも確認できる。

以上のように, ビット温度は設置付近の泥土の塑性流動状態に敏感に反応するため, 本技術により切羽細部にわたる塑性流動化状況を可視化する

ことができる。このため, 本技術は大断面シールドのようにチャンパの場所により塑性流動状態にバラつきが出やすいシールド工事において, 泥土の塑性流動状態を管理する際に有効である。今後, カッタ面板温度センサーと加泥注入システムを連動させて自動制御化すれば, 切羽全体の流動性を常に良好に維持でき, 大幅な掘進効率の向上につながるかと考えている。

### ③ 開発した礫地盤対応シールド掘進技術の効果確認

図-2に示した①～④の礫地盤対応シールド掘進技術を適用したCF640工事の2号機の初期掘進データを図-20に示す。とくに2号機の掘進においては, 排土温度, およびビット温度を指標とした泥土の塑性流動状態監視を強化し, 設定した管理基準値により, 泥土の塑性流動状態を適切な水準に維持する管理を強化した。この結果, 泥土の塑性流動状態を適切な水準に維持することが可能になり, 設計掘進速度  $30\text{mm/min}$  に対して実績の平均掘進速度は  $46\text{mm/min}$ , 装備カッタトルク  $5,470\text{kNm}$  ( $\alpha$  値  $22.5\text{kN/m}^2$ ) に対して実績トルクは  $1/2$  以下の  $2,511\text{kNm}$  ( $\alpha$  値  $10.3\text{kN/m}^2$ ) と砂シルト層なみに低いカッタトルクで施工することができた。また, 表-4, 写真-2に215m掘進地点における2号機のカッタビット点検結果, および点検状況を示す。図-21に示すとおり, 面板最外周に設置したカッタビットの実績平均摩耗量は, 設計摩耗量  $15.8\text{mm}$  に対して  $1.7\text{mm}$  と, 約10%に抑えることができた。実績から計算されるビット摩耗係数は  $K=0.015\text{mm/km}$  となり, 砂シルト層におけるビット摩耗係数と同水準にまで, カッタビット摩耗を低減できた。また, 泥土圧送配管をS/C後方に設置することで, 泥土の塑性流動状態を適切な水準に維持し, S/Cからの噴発現象を防ぎ切羽土圧を安定維持することができた。

この結果, 礫地盤掘削区間における路線上層別沈下計の沈下量は, 特記仕様書規定値  $11\text{mm}$  に対して, 最大で  $3.5\text{mm}$  となり, 礫地盤掘削において懸念される地盤変状を抑制できた。

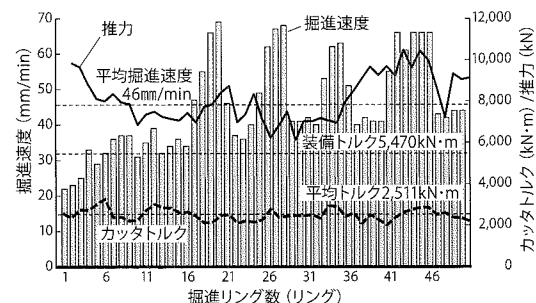


図-20 CF640工事2号機 初期掘進データ

表-4 カッタビット点検結果

No.	摩耗量	No.	摩耗量	No.	摩耗量	No.	摩耗量
1	2 mm	4	1 mm	7	1 mm	10	1 mm
2	2 mm	5	2 mm	8	0.5 mm	11	1 mm
3	2 mm	6	1 mm	9	1 mm	12	1 mm

平均摩耗量 1.7mm



写真-2 ビット点検状況

開発した礫地盤対応シールド掘進技術を、実施工に適用した結果、わかったことを以下に示す。

- ① 排土温度やビット温度を指標として泥土の塑性流動状態を定量的に把握することが可能
- ② 泥土の塑性流動状態の管理基準値を設定することが可能
- ③ 排土温度やビット温度による塑性流動状態管理手法を導入することにより、適切な塑性流動状態を維持することが可能であり、適切な塑性流動状態を維持すれば、礫地盤であってもカッタトルクやカッタビット摩耗量を砂シルト地盤の水準に抑えることが可能
- ④ 適切な塑性流動性を維持することで、切羽土圧を安定維持することができ、地盤変状を

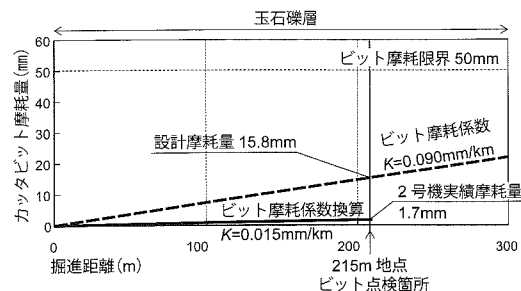


図-21 CF640工事2号機カッタビット摩耗測定結果

抑制することが可能

### ④ おわりに

今回開発した技術を実施工に適用した結果、掘進効率の大幅な改善を実現し、開発技術の有効性を確認することができた。本技術は、礫率が高いうえに巨礫を含む礫地盤という過酷な地質条件において確立した技術である。しかし、泥土の塑性流動状態がカッタトルク、カッタビット摩耗、地盤変状に大きな影響を与えるという点は、どのような礫地盤においても重要な点であり、今回報告した技術は、礫地盤対応シールド工事の生産性改善に大きく寄与できるものと考えている。

今後、開発技術の適用事例を増やすことで掘進データを蓄積し、種々のシールド径、土質条件においても技術を適用できるように、更なる技術の向上と管理基準の精度向上を図っていきたいと考えている。

最後に、本技術を開発し適用する過程において多くの方々のご支援をいただいた。また、本報告の作成にあたっては多くの方々から有益な示唆をいただいた。この場を借りて心より謝意を表する。

### 参考文献

- 1) 足立紀尚・小山幸則・加島豊・須賀武・高田正治・木村宏：土圧式シールド工法 その理論と応用，鹿島出版会，pp.ii, 23, 37-38, 69-71, 86, 2009.
- 2) E. G. Thomsen, J. T. Lapsley and R. C. Grassi：金属切削間工作物によって吸収される変形仕事，日本機械学会誌，Vol.75, No.4, pp.591-603, 1953.

## 3つの地下駅と6本の地下鉄シールドを並行する共同溝とともに施工

### —台北地下鉄信義線 CR580B工区—

(株)大林組海外支店土木第二部担当部長 山田 毅

(株)大林組海外支店土木営業部副部長 土原 久哉

(株)大林組土木本部生産技術本部シールド技術部担当課長 武田 厚

### ① はじめに

#### 1-1 台北地下鉄路線網

台北市は、270万人の人口を有する中華民国(台湾)の首都であり、外郭に位置する新北市とあわせて、人口約670万人の大規模経済圏を形成している。台北市の中心部では、1980年代の初めごろから交通集中による渋滞が顕在化し、この問題を解消する目的で、地下鉄路線網の整備が計画された。

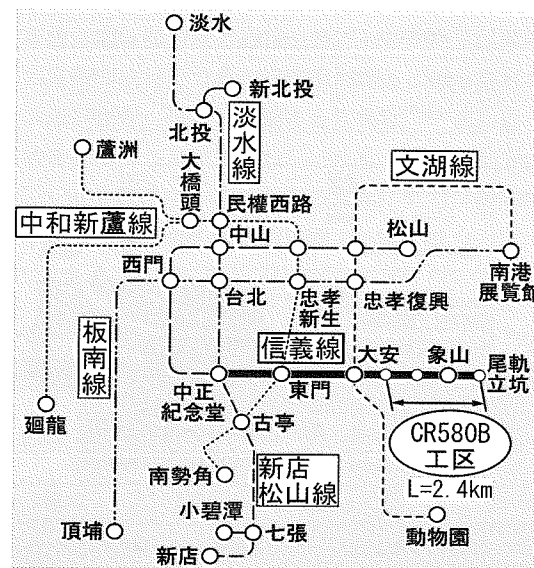


図-1 台北地下鉄路線網

具体的には、1986年に中華民国行政院(台湾中央政府)が初期路線網を決定し、1988年から建設工事が開始された。

1996年、初めに営業運転を開始したのは、台北市のほぼ中央部を南北に縦断する木柵線(現在の文湖線の一部)の10.5km区間である。以来、順次路線が延伸され、2016年7月現在、131.1km区間で営業運転を行っており、1日あたりの利用客数は、延べ200万人である(図-1参照)。これに、現在建設中の66.4km区間と、建設計画中の92.5km区間を加えて、将来は総延長290km、1日あたり延べ360万人の利用客を見込む地下鉄路線網の建設を目指している。

#### 1-2 信義線建設工事

台北地下鉄路線網のうち、信義線は、台北駅南側の既存駅である中正紀念堂駅を起点に、台北市庁舎、世界貿易センタービル、台北101階ビルなどを擁する信義副都心地区までを結ぶ約6.4km区間である。2004年に行政院の承認を受けて建設工事に着手し、2013年11月に営業運転を開始した。区間途中には、計6か所の乗降駅が新設され、既存の淡水線と直通運転を行うことで、台湾新幹線、台湾国鉄、地下鉄各線のターミナル駅となる台北駅と副都心地区との間を約13分で接続する。副都心地区の利便性が格段に向上するとともに、

台北の観光名所でもある中正紀念堂や永康街、建国花市、通化街夜市、台北101階ビルなどを結ぶ路線でもあり、相応の経済効果が期待される路線でもある。

本稿では、信義線建設工事のうち、われわれが工事を担当した「台北地下鉄信義線CR580B工区」について、概要と施工実績を報告する。

## ② CR580B工区の概要

### 2-1 全体概要

台北地下鉄信義線CR580B工区は、区間長6.4kmの信義線のうち、もっとも東側の約2.4km区間である。当該工区の詳細設計は、台湾の設計会社である亞新工程顧問股份有限公司と吉興工程顧問股份有限公司が業務受注しており、われわれ(大林組・互助營造JV)が施工業務を受注した。契約工期は、2005年7月～2012年6月の84か月である。

図-2に、CR580B工区の施工概要図を示す。ここに示すように、工事区間内には、乗降駅となる、信義安和、世界貿易中心(他社施工)、象山の3駅と、車両引込み駅となる尾軌立坑の計4駅があり、これら駅間を上下線あわせて6本のシールドトンネルで接続する。また、象山駅の南側には、地下変電所が構築され、象山駅とパイプルーフトンネルにより接続されて<sup>1)</sup>、地下鉄トンネル内へ電源を供給する。なお、当該工事には、これら地下鉄駅およびトンネルにかかわる土木工事に加え、駅

舎部の建築工事、各種設備工事、信義線全線の軌道工事(軌道距離:6.4km区間×上下線≒12.3km)も含まれる。

さらに、今回の工事においては、これら地下鉄建設工事と同時に共同溝の整備工事も施工される<sup>2)</sup>。共同溝は、基本的に地下鉄駅構造物の端部や上部に各種配線・配管の分岐部となる構造物を構築し、この構造物間を3本のシールドトンネル

表-1 主要工事数量

開削部(地下鉄駅, 共同溝)		
地中連続壁工	施工面積	126,480m <sup>2</sup>
	鉄筋	17,673t
	コンクリート	97,624m <sup>3</sup>
路面覆工		23,044m <sup>2</sup>
土留め支保工		16,751t
掘削工		489,847m <sup>3</sup>
構築工	鉄筋	43,587t
	コンクリート	180,714m <sup>3</sup>
	型枠	154,069m <sup>2</sup>
	防水	121,703m <sup>2</sup>
シールドトンネル部(地下鉄)		
セグメント外径 φ6,100mm	トンネル本数	6本
	延長	2,973m
シールドトンネル部(共同溝)		
セグメント外径 φ6,100mm	トンネル本数	2本
	延長	711m
セグメント外径 φ4,400mm	トンネル本数	1本
	延長	364m

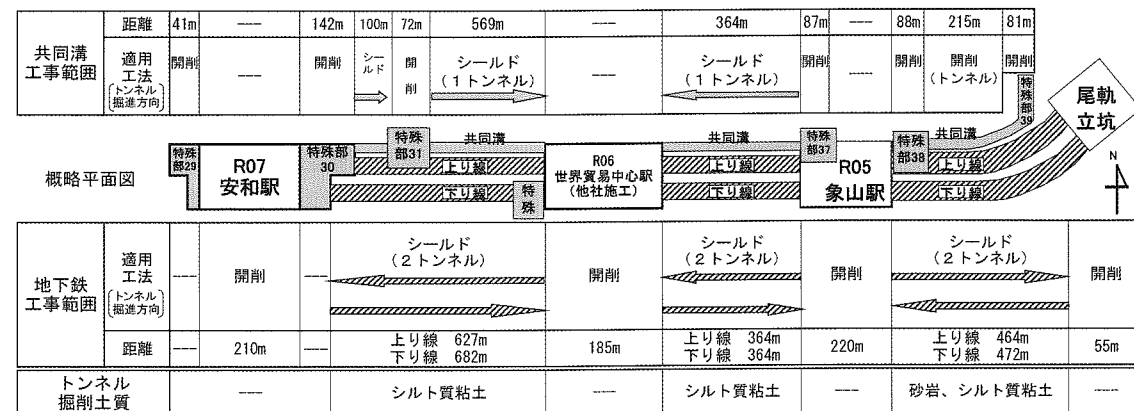


図-2 CR580B工区の施工概要図

と1本のカルバートボックストンネルにて接続する。当該工事の主な工事数量を表-1に示す。

### 2-2 土質条件

台北市は、台湾の北部に位置する台北盆地の東側にあり、西側を淡水河、そのほかの3側面を山地で囲まれている。この台北盆地を形成する土質は、一部に砂層が介在している場合があるものの、比較的均質で、G.L.-30m程度まで、シルト質粘性土が厚く堆積しているのが一般である。なお、上層部のN値は比較的小さく、地表面からG.L.-10m程度まではN値が1~2程度の軟弱粘性土である。

これに対し、当該工事の施工位置は、台北盆地のほぼ東端に位置する丘陵地に近接することから、一部区間(象山駅~尾軌立坑間)において、一軸圧縮強度で3~20N/mm<sup>2</sup>、RQD=60~100の砂岩層がG.L.-10m程度の位置まで上昇している。図-3に、当該工区の特徴的な土層区間として、象山駅~尾軌立坑間の想定土層縦断面図を示す。

### 2-3 施工概要

台北地下鉄信義線は、台北中心部から東側へ直線的に伸びる道路、信義路の直下に建設される。信義路は、日本統治時代に整備計画が立案され、戦後、中華民国政府により整備が実行された幹線道路である。大部分は、バス専用レーンを含む6車線、32m幅の一方通行道路であるが、工区東端の尾軌立坑付近では、道路幅が20mに縮小されている。また、信義路に面する建物は、一部に近代的高層ビルが建設されているものの、大部分は5~10階建程度の店舗兼用の集合住宅で、築後30年以上経過している老朽建物である。

これら老朽建物のほとんどは、軟弱地盤の上に直接基礎構造にて建設されている。また、台風が頻繁に襲来する台湾では、大規模な雨水排水路が整備されており、信義路やそれと交差する道路でも、地表面近くの浅層部に、大規模暗渠が布設されている。こうした環境条件下において、道路交通と地下埋設物の切り回しを行い、近接構造物への影響を抑制しながら、開削工法にて駅舎を構築し、地下鉄2断面と共同溝1断面のトンネルをシールド工法にて布設した。

### 2-3-1 開削工事

#### (1) 地中連続壁工事

市内でももっとも交通量が多い道路のひとつである信義路において、複数箇所を同時期に、壁体面積にして約12万m<sup>2</sup>の大規模な地中連続壁工事を施工する計画である。このため、占用帯の頻繁な移動を伴う地中連続壁工事においては、工区内すべての施工位置での作業調整を行いながら、綿密な車線切り回し計画を立案して施工を開始した。

掘削作業においては、とくに浅層部の軟弱粘性土層において、溝壁の安定性を確保することが重要となる。このため、溝壁崩壊が懸念される土層においては、確実な泥水品質管理を実施するとともに、薬液注入工法を併用するなどして、溝壁の安定を確保した。また、信義安和駅においては、地表面付近に特別高圧(161kVA)電力ダクトが布設されており(図-4)、供用中であることを理由に、いっさいの移設が認められなかった。このため、連壁の掘削作業時には、鋼材を使用して電力ダクト本体の補強を行ったうえで、掘削機バケットに工夫を加えてダクト下部をすかし掘りす

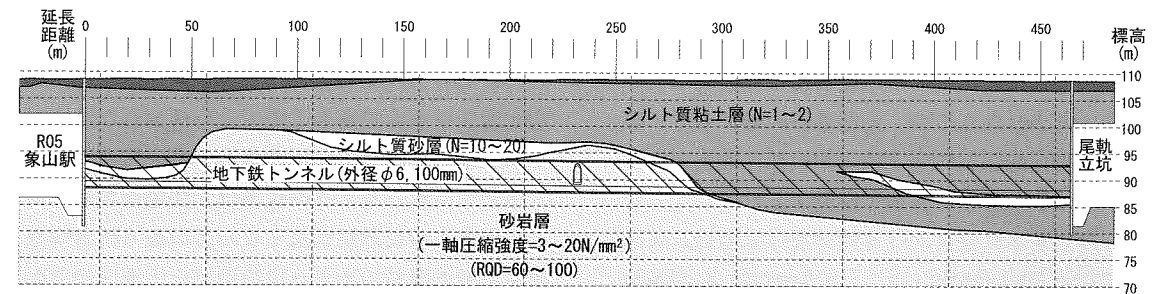


図-3 想定土層縦断面図(象山駅~尾軌立坑間)

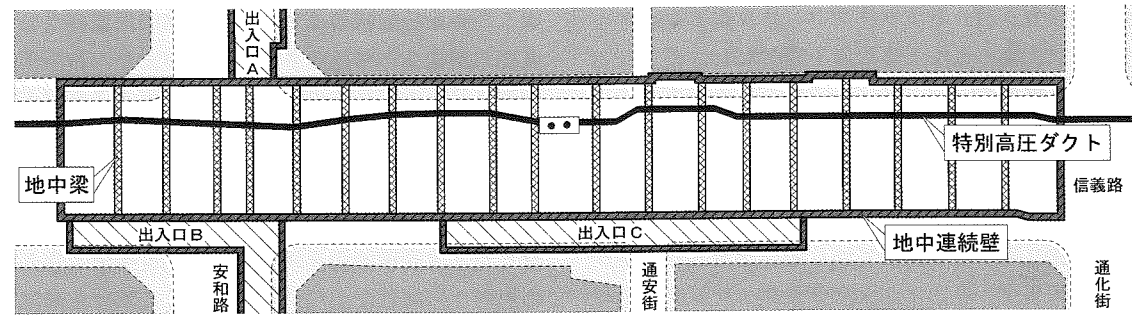


図-4 地中連続壁配置と特別高圧ダクト(信義安和駅)

ることで、地中連続壁を構築した。すかし掘りを実施した箇所は、土留め壁本体と地中梁部分とで合計21か所に及んだものの、電力ダクトの変形計測管理と、泥水品質管理を含めた溝壁安定性管理により、無事に地中連続壁工事を完了することができた。

### (2) 掘削工事

地下鉄駅に加え、共同溝も含めた構造物を同時に築造する必要がある当該工事では、駅舎単独の工事に比べ、掘削範囲が広く、掘削土量も増加する。このため、掘削作業の効率化が課題であった。この対策として、掘削土砂搬出用の開口部をできるだけ多く設置し、道路占用形態にあわせて使用開口を適宜移動することで、1日あたり1,000m<sup>3</sup>の掘削土をコンスタントに排出できるように計画した。

施工当時は、台北市内に大型工事が集中していたことに加え、公的残土処分場が不足していることもあり、残土運搬用ダンプトラックの手配に困難をきわめた。このため、たびたび掘削工事の中断が危ぶまれたものの、発注者の同意により、工区内で先行施工している構造物内部に残土を仮置きするなどの緊急対応策で回避することができた。

一方、基本設計における切梁支保計画は、広い掘削作業空間を確保することを目的に、大型鋼材を多用するものとなっていた。このため、可能な

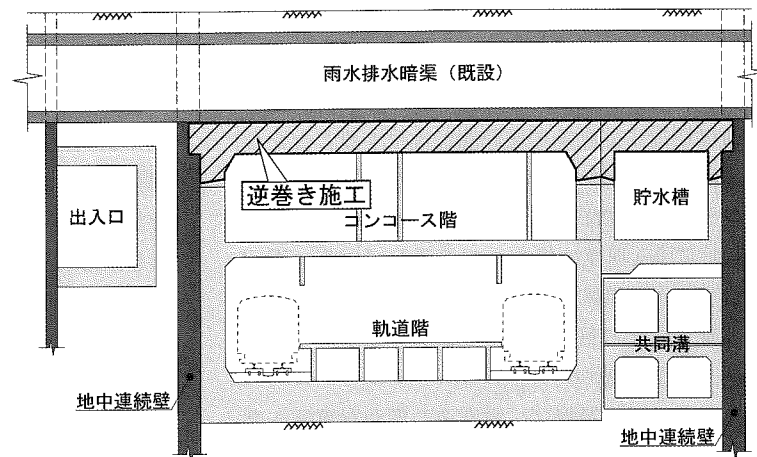


図-5 駅構築と雨水暗渠断面図(信義安和駅)

範囲で作業空間を縮小し、台湾建設市場で汎用性が高いサイズの鋼材を使用する計画に変更するとともに、積極的な工区内転用を実施することで、材料調達費の低減を図った。

### (3) 構築工事

図-5に信義安和駅舎断面図を示す。当該駅舎の上部には、大型の雨水排水暗渠(4.5m×6.2m)が布設されており、渇水期である12～3月を除いての切り回し作業は許可されていない。このため、当該箇所の構築工事においては、雨水暗渠を掘削範囲外に臨時移設したあとに既設暗渠を撤去し、駅舎上床スラブを逆巻き工法で先行構築したうえで、その上部に新設雨水暗渠を復旧する計画とした。

一般に、台北地下鉄の駅舎は、快適な利用空間の確保を目的に無柱構造となっている。信義安和駅も同様の構造であり、このため、上床スラブ厚は1.55mと厚く、主鉄筋もD36の太径鉄筋を150

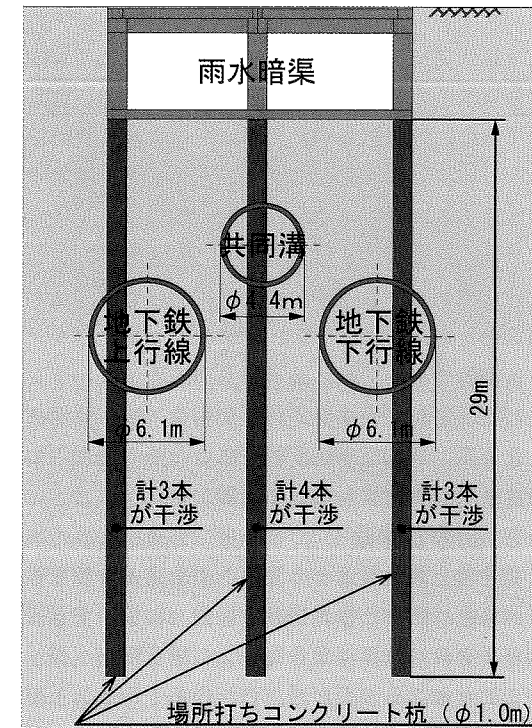


図-6 支障杭(φ1.0m)の断面位置図

mmピッチで密に配置する設計となっている。台湾国内でも事例の少ない大規模スラブの逆巻き施工となるため、事前解析によって構造物の安定性を確保することはもちろんであるが、綿密な作業計画の立案と作業員の教育・指導によって、雨水暗渠の切り回しと復旧を含め、3か月で作業を完了することができた。なお、上床スラブを除く構築作業は、床付け掘削完了後、順巻き工法で施工した。

### 2-3-2 シールドトンネル工事

シールドトンネル工事は、2008年6月に掘進作業を開始し、4回の発進基地設備移動と3回のTBMの解体移動、3回の立坑内でのTBMのUターン作業を経て、2011年5月に全9トンネルの1次覆工作業が完了した。掘進作業自体は、比較的順調であったが、途中、予期せぬ地中障害物に遭遇し、撤去作業に思わぬ時間を要した。

先述したとおり、信義路には、洪水対策用の大規模暗渠が布設されている。発注図面に描かれている暗渠は、全区間においてボックスカルバート構造となっており、支持杭は設置されていない。

しかしながら、工事受注後、暗渠内の入坑調査および当該暗渠の竣工図調査を実施した結果、道路交差点の下部などの暗渠合流箇所において基礎杭が施工されており、トンネル掘削断面に干渉していることが判明した。干渉する基礎杭は、路線上の2か所にあり、φ1,000mmの場所打ちコンクリート杭10本(図-6参照)とφ350mmのPC杭14本である。

対策について発注者と協議を重ねたが、線形変更にて干渉を回避するためには、駅構造物も含めた施工位置の変更が必要であった。また、地上からの事前撤去も検討したが、交通量の多い交差点での大規模な交通規制が必要になることなどから、道路占有許可を取得することが困難であった。このため、φ1,000mmの場所打ち杭については、地表面からの高圧噴射攪伴改良を実施したのち、チャンバ内から人力にて破碎・撤去する方法を採用し、φ350mmのPC杭については、シールドにて直接切削するものとし、切削時の杭変形を防止する目的で、切削面の背面側に高圧噴射攪伴改良を実施した。

いずれの場合も、当初計画を上回る施工時間と費用を要したが、入念な事前計画と施工管理により、無事に施工を完了することができた。台湾に限らず、想定外の地下埋設物は、地下構造物の建設工事に多大な影響を及ぼす結果となる。契約図面の照査に留まらず、施工業者自身が入念な調査を実施することで施工リスクを回避する体制が必要であると感じた事案である。

### 2-3-3 軌道敷設工事

当該工事には、信義線全線の軌道工事(12.33km)も含まれる。当初設計では、計3種類の軌道形式が採用されており、このうち、フローティングスラブ(以下「FST」)については、プレキャスト方式のものが計画されていた。一方で、軌道工事で使用できる材料搬入口は、6.4kmの施工区間で2か所のみであり、使用期間も10か月に制限されていた。加えて、各種設備工事や駅舎内装工事との競合から、材料搬入口の使用にはさまざまな制約条件が付加され、プレキャスト方式のFSTを坑内へ搬入するには、大きな困難が想定された。

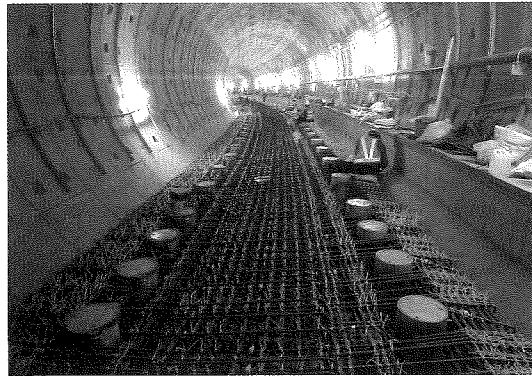


写真-1 コイルバネ方式のFST(コンクリート打設前)

こうした状況の中、材料搬入に関する課題を解決する目的で、大型材料の搬入作業を伴わないFSTとして、場所打ちコンクリートでの施工が可能であるコイルバネ支持方式のFSTの適用を提案し、台北地下鉄で初めて採用されることとなった。写真-1は、場所打ちコンクリート打設直前の状況である。

FSTには、世界で多くの実績を有するGERB社(ドイツ)製のシステムを採用するものとした。本システムは、スペックに合致した振動低減効果を有していることはもちろんであるが、施工性が優れているうえ、コイルバネのメンテナンス作業も容易である。日本国内でも、東京臨海高速鉄道りんかい線などで採用されている。

当該FSTを採用することにより、材料搬入口の競合問題を大きく改善することができたことに加え、スラブコンクリートの長スパン打設も可能となり、軌道敷設工事期間を大きく短縮することができた。

### ③ 工事契約条件の特徴

報告の最後に、台湾公共工事特有の実情を踏まえて、当該工事の契約条件の特徴について述べる。

#### 3-1 入札金額と工事請負形態

台湾の公共工事入札では、技術提案型の総合評価方式による入札も導入されつつあるが、大半の一般競争入札では、数千項目のBQ項目に単価を入れ、計算結果となる工事総額とともに提出する。応札業者が3社以上で、かつ、応札業者の工事総

額が発注者設定価格を下回っていれば入札が成立し、最低価格提示業者が工事を落札することができる。

一方で、工事請負契約形態は、基本的に単価契約となるが、入札時に業者が提出したBQ単価が採用されるわけではない。業者が提出した工事総額に対し、発注者が独自設定した比率でBQ単価が設定される。日本での総額契約単価合意方式と類似した形態ではあるが、工事総額を優先させた単価契約である。請負業者の意図的なアンバランスビッドを防ぐ秀逸な入札・契約システムであるとともに、詳細な単価契約であるため、施工中の設計変更プロセスも簡潔となる。

#### 3-2 調停と仲裁

発注者と請負業者との契約上の争議が合意できない場合、調停を台北市調停委員会に申請できる。調停委員会は、調停案を作成し、甲乙双方へ提示することとなる。ただし、台湾の多くの公共工事では、契約条項の規定により、請負業者のみが調停案に不服であっても仲裁へ進むことは困難であり、発注者が調停結果に不服な場合のみ仲裁へ進むことが可能となる。

#### 3-3 物価調整

台湾の公共工事には物価調整のシステムがある。毎月、台湾政府(行政院主計所)は、前月の消費者物価指数、卸売物価指数などとともに建設物価指数を発表する。鉄筋、コンクリート、碎石、アスファルト、形鋼などの115個の個別項目指数を示すとともに、個別指数の集約としての建設物価総指数も発表している。

台北地下鉄工事では建設物価総指数が物価調整に採用されている。入札時点と施工月の建設物価総指数の比率を計算し、その月の施工高に比率を掛けた物価調整額が次月に支払われる。物価調整のシステムが確立されていない多くの国に比べると、施工業者には安心できるマーケットを提供している。

当該工事施工中の2007年、世界経済の不安定化を背景に鉄筋材料費やガソリン価格が急騰し、工事価格に大きな影響を及ぼした。これに対し、



写真-2 地下鉄トンネル完成写真

2008年3月、台湾營造同業公会(台湾建設業協会)は、物価調整の足切り率2.5%を0.5%に変更すること、各項目に個別指数を適用する選択権を台北市と台湾政府に要求した。折しも台湾は総統選挙期間であり、交渉もなかなか進まず、4月10日、建設業協会は、台湾行政院前で訴えの集会を開き、同日、政府と建設業協会のテレビ討論会なども実施された。その後、新総統の政権下において、総指数足切り率の変更は認められないが、2008年に限り、鉄筋、形鋼を含む9個の個別指数選択権が認められた。ただし、地下鉄施工業者各工区の試算では、個別指数選択が取下げに有利にならず、建設物価総指数の適用が続けられることとなった。

### ④ おわりに

信義線CR580B工区は、繁忙期において、8人



写真-3 地下鉄駅完成写真(象山駅)

の日本人と100人の台湾人でJV事務所を組織して建設工事を遂行した。本稿では報告しきれない多くの困難に遭遇しながらも、安全に施工を完了できた(写真-2,3参照)。工事関係者が一丸となって難題を解決した結果と考える。

最後に、施工方針にご理解とご指導をいただいた、発注者である台北地下鉄局南公務所第九所の皆様に厚くお礼を申し上げるとともに、中華民国の更なる発展を願い、結びとさせていただきます。

### 参考文献

- 1) 川崎隆：台湾地下鉄工事におけるパイプルーフトンネルの施工実績(信義線)，基礎工，Vol.39，No.12，pp.54-56，2011.12.
- 2) 川崎隆：台北地下鉄信義線建設工事における共同溝新設工事，電力土木，No.368，pp.141-142，2013.11.

## 推進工法の理論と実際

B5判 437頁 本体価格8,500円 送料460円

マックス・シェルレ 著

野田典宏 訳 中本 至・石橋信利・金成英夫 監修



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

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

# 香港の市街地で発破などを駆使して地下鉄を建設

—西港線704工区、観塘延伸線1001工区、南港線(東)902工区—

西松建設(株)国際事業本部香港支店課長 岩田 修

## ① はじめに

中国の特別行政府である香港では、英国領の名残を残すダブルデッカーバスや路面電車のほか、鉄道や小型バス、フェリーを含めた公共交通システムが非常に発達しており、中でも鉄道の総延長は約230kmに及んでいる。現在、中国本土への新幹線を含めると約43kmの路線を建設中であるが、建設意欲は旺盛で、さらに29kmの地下鉄路線が計画されており、2031年までに香港の鉄道は総延長が300kmを超え、現在の東京における地下鉄網に匹敵する規模となる予定である(図-1)。

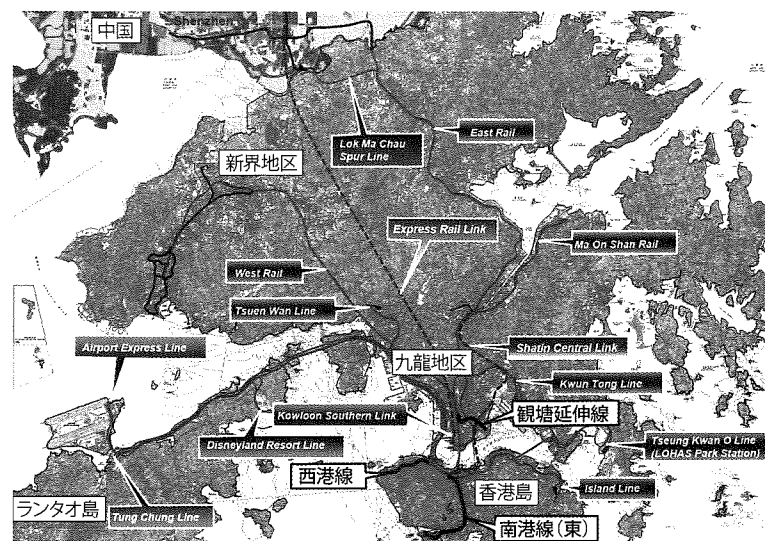


図-1 香港の鉄道網と近年の地下鉄工事

香港が高度に市街地化の進んだ都市であることは広く知られているが、本来は急峻な斜面で形成された地域・島しょであり、沿岸部の埋め立てによって平地が造成され、その狭い地域に都市機能が集中している。したがって、その地勢上、地表面から浅い部分で風化の少ない堅硬な花崗岩、または凝灰岩が出現することとなる。このため、市街地にもかかわらず、多くのトンネル建設工事が発破掘削によって行われている。

香港での地下鉄工事は、市街地での施工という背景から制約条件が路線ごとに独特で、発破に限らず、それぞれの工事ごとに非常に特徴的な施工方法や施工手順を採用している。本稿では、昨年末までに開通を迎えた路線について、西松建設が施工した工区の特徴的な施工方法を紹介する。

## ② 西港線工事(704工区)

### 2-1 工事の概要

西港線工事は、既設の港島線の西側終点駅である上環駅から香港島中西地区の市街地であるケネディタウンまでを結ぶ新設3駅を含む総延長約3.3kmの地下鉄延伸工事である(図-2)。

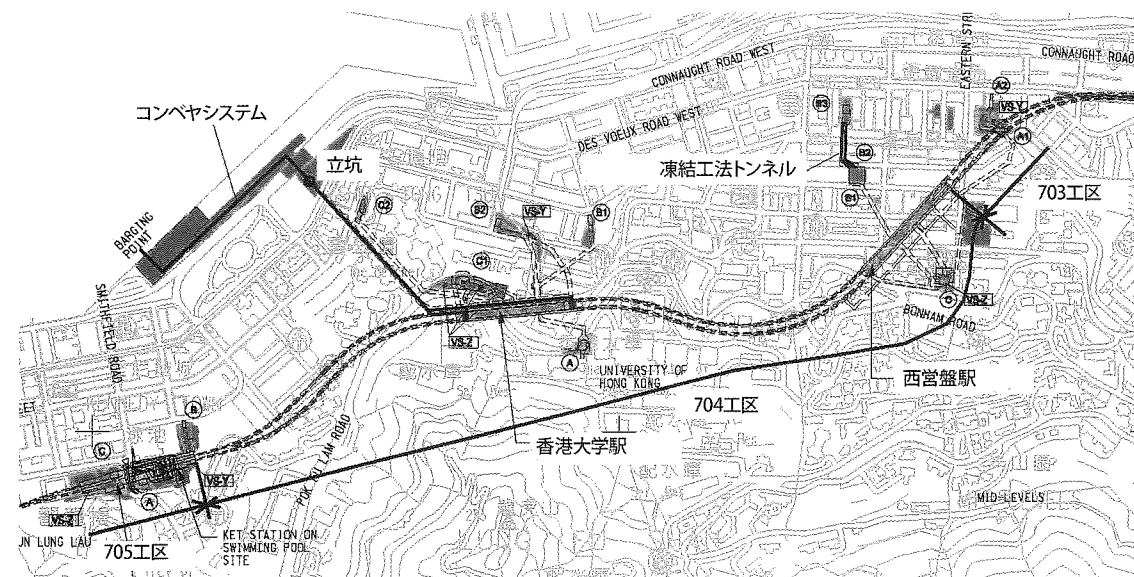


図-2 西港線工事(704工区)平面図

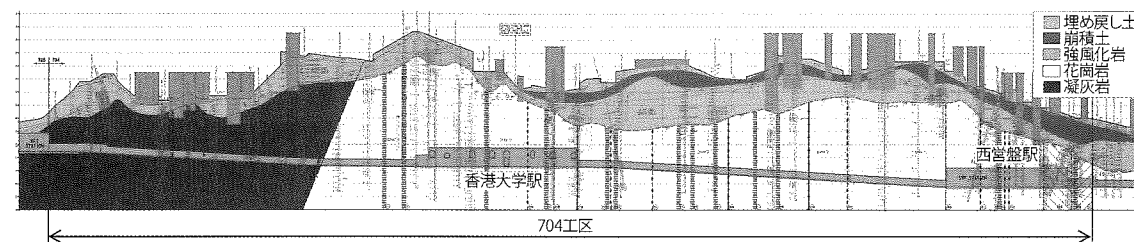


図-3 西港線地質縦断面図

このうち土木工事は主要3工区に分割して発注されており、704工区は中央部の延長1.6kmを施工する最大の工区となっている。当工区には香港大学(HKU)駅と西營盤(SYP)駅の2つの地下空洞駅舎、単線トンネルの地下鉄本線上下線4本のほか、各駅舎へとつながる複数の通路トンネル・立坑、換気横坑・立坑、乗客出入口の新設などが含まれている。契約方式はターゲットコスト契約で、オープンブックにより発注者と請負者の共同で予算を管理する。

工事は2010年3月に開始し、西營盤駅を除く2駅は2014年12月28日に開通、西營盤駅は2015年3月に供用を開始した。

### 2-2 地形・地質概要

西港線は香港島西部に位置し、最大土かぶり80m、地下空洞駅舎の土かぶりは15~60mとなっ

ている。地質は大部分を堅固な花崗岩(一軸圧縮強度100~200MPa)が占めるが、トンネル部分では西側に凝灰岩が出現する。また、乗客出入口付近の小土かぶり箇所には含水比の高い土砂地山が存在している(図-3)。

### 2-3 工事の特徴と施工方法

#### (1) 地下空洞の発破掘削

地下鉄の駅舎部は比較的平坦な場所に開削工法で施工される場合が多いが、当工区に含まれる2駅は海岸線から400m程度離れた斜面の下に位置する高さ15.8m、幅22m、長さがそれぞれ230mと187mの地下空洞駅舎となっており、鉄道トンネルに連結する下階のプラットフォームレベルと通路トンネルに連結する上階のコンコースレベルの2階建て構造である(図-4)。このため、加背割りと掘削手順は、地山状況を考慮しながら同時施工さ

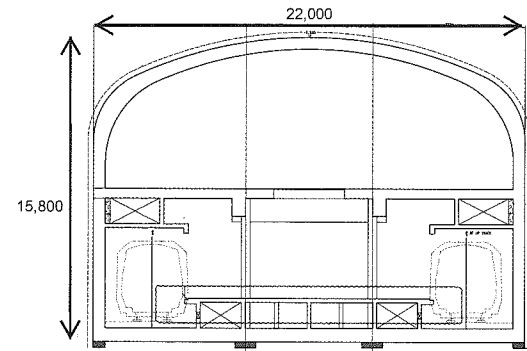


図-4 香港大学駅標準断面図

れる周辺トンネルとのアクセスを重視して決定した。

香港大学駅では、駅舎に並行する鉄道レベルの換気トンネルから駅舎中央部にアクセスし、その接続部から上半盤まで駆け上がる導坑を掘削してから切り抜けを行った。駅舎東側は、地山状況があまり好ましくないと想定されたため、頂設導坑先行の3分割掘削を行っている(写真-1)。

西營盤駅ではコンコースレベルで駅舎に並行し、複数箇所から駅舎に接続する換気トンネルから上半盤に入り、中・下段ベンチは鉄道トンネルからアクセスして上半盤を追いかけ掘削を行うことで、工程の短縮を図った。

(2) 鉛直ベルトコンベヤを使用したずり出し方法

香港における地下鉄建設工事は、山岳トンネルでありながらアクセスは立坑のみという場合が多く、場合によっては立坑から本線までの作業横坑を掘削して、ようやく本線トンネルへ辿り着くことができる。西港線では沿岸部の公共遊休地に設けた深さ46mの立坑から350mの作業横坑を掘削し、これを通じて本線トンネルおよび地下空洞駅舎の掘削を行った。

この限られたアクセスから最大10切羽の発破作業を並行して行うため、ずり出し速度の最大化を図りベルトコンベヤシステムを採用した。各切羽で発生したずりはダンプによりトンネル内に設置した250t/hと200t/hの2台のクラッシャへと運搬し、坑内水平ベルトコンベヤを経由して立坑内に設置した垂直ベルトコンベヤ(写真-2)により立坑上まで搬出、さらに岸壁の荷役港までの水平

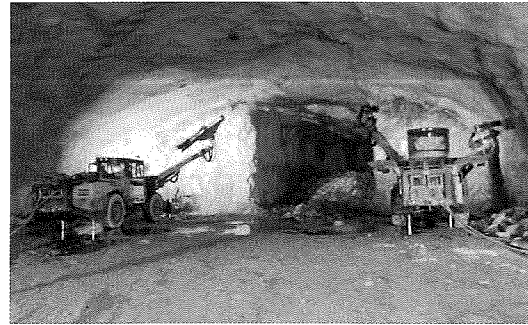


写真-1 香港大学駅掘削状況(西向上半)

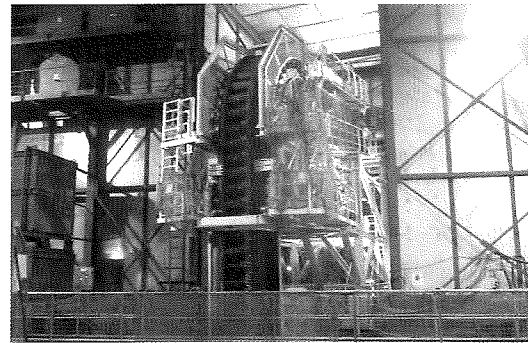


写真-2 垂直ベルトコンベヤ

ベルトコンベヤと、合計1,330mを搬出した。

コンベヤシステムは掘削可能切羽の数と掘削手順から最大ずり処理量を4,700t/dと計画しており、垂直コンベヤについては能力に余裕を持たせ800t/hとした。実施工でもそれを達成したが、各クラッシャの生産能力はそれぞれ約160t/h、200t/hと計画を下回った。主な理由は、花崗岩の破碎ずりが扁平的に成りやすく、ジョープレートは抜けてホッパーの目詰まりやベルトコンベヤの破損を生じさせたことから、計画のプレート幅150mmを115mm程度まで下げたためである。

(3) 凍結工法

西營盤駅の通路トンネルのうち、80m+20mのL字に折れ曲がった土砂地山掘削区間(図-2)では、地上建物の沈下防止のため凍結工法を採用した。ただし、地上部に凍結工法を行うスペースがないことから、トンネル外周に坑口部から水平削孔を行い、凍結管を縦断方向に配置するという、きわめて特殊な条件での施工である(図-5)。

ブライン方式による凍土は-10°Cを想定してお

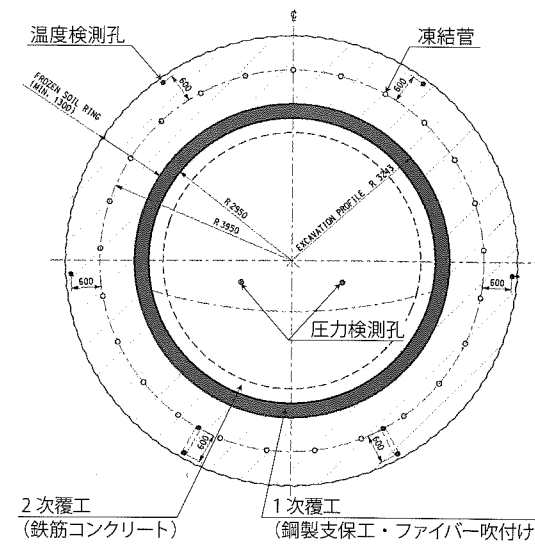


図-5 凍結工法施工図

り、その力学的特性から直径6.5mの円形トンネルの掘削に必要な凍土厚を1.3mと仮定した。凍結期間は掘削面から700mm、孔間隔993mmに凍結管を配置した場合で64日であるが、削孔誤差が100mm大きくなるごとに凍結期間が2週間単位で増加する。転石混じり土砂部への水平削孔であり、通常の工法では数m単位で偏向する可能性が高いことから、方向制御が可能な水平コントロールボーリングを行うこととした。

コントロールボーリングでは、方向制御を可能にするため、ケーシングを使用した孔壁防護ができない。このため、削孔口元には防噴装置を設置し、ベントナイト泥水による加圧削孔を行った。

マッドモーターは、泥水の送水圧によって、ロッドを回転させずにビットのみを回転させる機構で、ビットが取付けられたベントサブに傾斜を与えることで、指向性の削孔ができる。一方、ロッドを回転させた場合は、マッドモーターが振れ回りのような状態で回転し、掘径しながら直線の削孔を行う(図-6)。

今回使用した計測システムでは、方向制御を行わずに削孔したのち、孔曲り計測を行って軌道を確認した孔をガイドホールとして使用する。この孔に強い磁気を発生する装置を挿入し、その信号をマッドモーターに組み込まれた削孔深度・傾斜

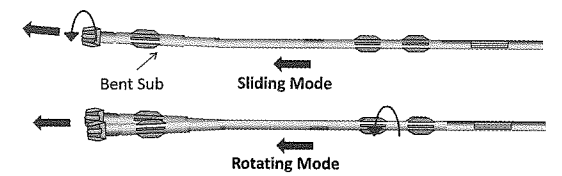


図-6 水平コントロールボーリング概念図

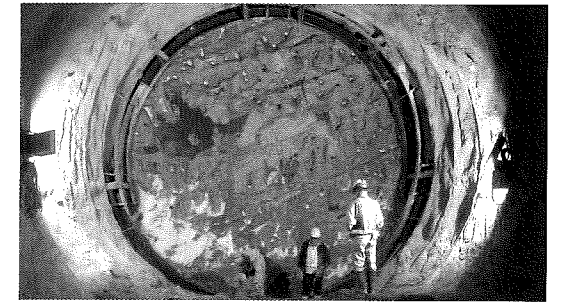


写真-3 凍結したトンネル切羽

角・方位角を計測するセンサーで読み取ることで、削孔の軌跡を確認して方向制御を行った。

転石混じり土砂における水平掘削のため、方向制御は、一定の反力が取れるか、転石があるかによって左右される。おおよそ到達点で300mm(0.4%)程度の精度を達成したが、中途の逸脱を含め十分な精度が確保できなかった孔を補足するため、5本の追加孔を削孔した。

合計30本の水平孔には3重管の凍結管を挿入し、冷却したブラインを循環させて所要厚さの凍土形成を温度検測と圧力上昇で確認したのち、関係官庁の許可を経て掘削を開始した。掘削は平ノミブレーカーとツインヘッダーを併用したマイクロベンチカットで行い、鋼製支保工と吹付けコンクリートで断面を早期閉合した。切羽面は-10°Cには達していないものの全面凍結しており、1m/dの進捗を達成している(写真-3)。

### ③ 観塘延伸線工事(1001工区)

#### 3-1 工事の概要

観塘延伸(KTE)線工事は、香港九龍地区を東西に走る既設の観塘線の西側終点である油麻地(YMT)駅から黄埔(WHA)地区までを結ぶ、総延長2.1kmの地下鉄延伸工事である(図-7)。主要土木工事で最大工区の1001工区には、新規終点とな

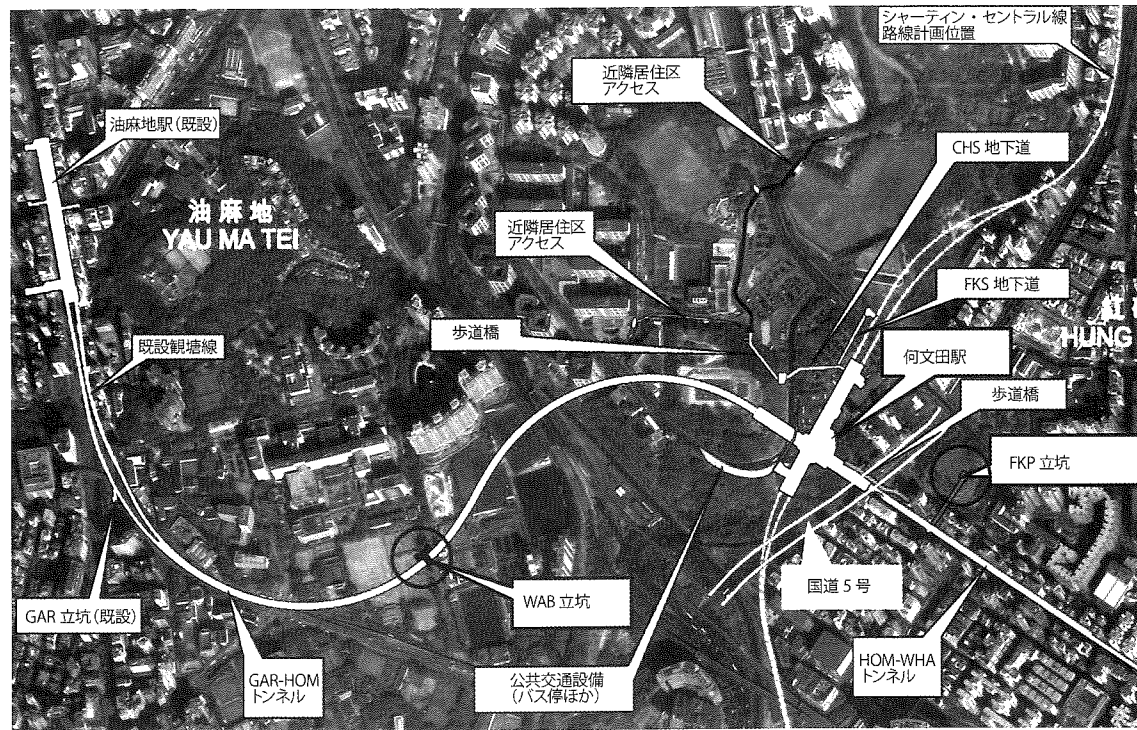


図-7 觀塘延伸線工事(1001工区)平面図

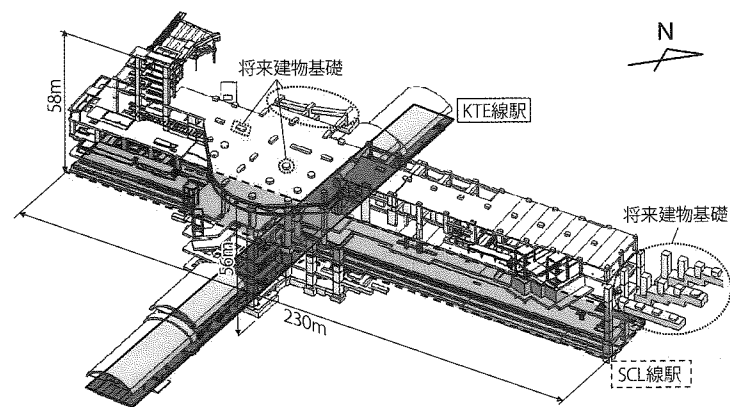


図-8 何文田駅鳥瞰図

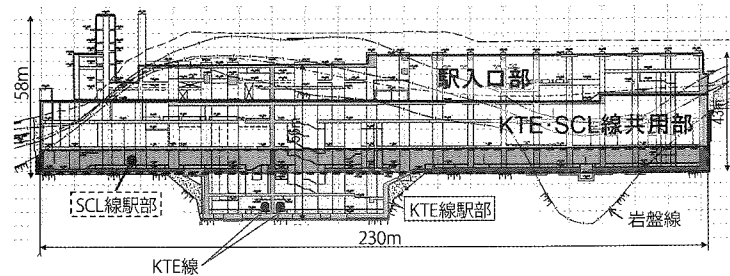


図-9 何文田駅KTE線駅部断面図

る黄埔駅を除くすべてのトンネルと、何文田(HOM)駅の新設のほか、既設油麻地駅の改造、避難および換気立坑の新設、近隣住宅地から何文田駅へのアクセスを提供する屋根付き歩道橋や連絡地下道、バス停留施設などの新設が含まれている。

何文田駅は、現在施工中の沙田・中環(SCL)線との乗換駅になることから、約230mの駅舎が十字に交差する2駅分の施工量を有しており、香港地下鉄で最大の駅であった(図-8,9)。駅直上は将来建物建設用地として活用されるため、駅舎は建物基礎を兼ねており、壁厚が1.5m、スラブ厚が1mと非常に重厚な構造である。

工事は2011年6月に開始し、2016年10月23日に開通した。

### 3-2 地形・地質概要

觀塘延伸線は香港九龍半島西に位置し、全体としては堅硬な花崗岩で覆われた地域であるが、何文田駅南側は沿岸部の埋め立て地となっている(図-10)。

このため、海に注ぎ込んでいた沢状地形が旧来の海岸線に沿って散見され、図-10にも示したとおり、駅舎北側には岩盤線が大きく落ち込んだ谷部が存在する。駅舎は西から東に向かって下る傾斜地に建設され、岩盤線までの土層は、表層盛土、CDG(完全風化花崗岩)、HDG(強風化花崗岩)から構成されている。

何文田駅から黄埔駅までのトンネルは本来の海岸線とほぼ並行に走っており、土かぶりが非常に小さい。油麻地駅から何文田駅においても、トンネル線形に沿って20余りの断層破砕帯が横断しており、90m程度となる最大土かぶり部分においても岩盤線がトンネル天端付近まで落ち込んでいる区間が存在する。

### 3-3 工事の特徴と施工方法

#### (1) 急勾配法面による大規模オープン掘削

何文田駅は、下層駅となるKTE線駅両端部それぞれ約330m<sup>2</sup>×80mを地下空洞で、SCL線駅部とKTE線駅中央部の最深65m、約70万m<sup>3</sup>は開削で掘削した。

駅舎北側には岩盤線が大きく落ち込んだ谷部が存在していることから土留め支保工が必要となるが、掘削時の支保設置、構造物施工時の切梁腹起し・中間杭の撤去・盛替えに時間がかかることから工程上不利となる一方、一般的な法面勾配での開削掘削では土工数量の増大による工程ロスが大きく、工事現場範囲の限りにより事実上実施不可能であった。

このため、グラウト遮水壁を構築したのち、吹付けコンクリートとソイルネイルを法面補強材として使用した、最大勾配75°の急法面勾配で掘削を行った(写真-4)。

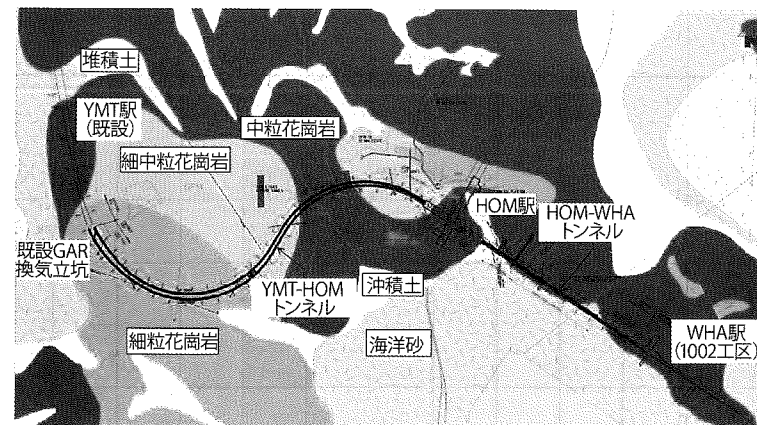


図-10 觀塘延伸線地質断面図



写真-4 急勾配法面による大規模オープン掘削

ソイルネイルの標準的な配置は2.0m×2.0mで、法面安定解析の結果により7~20mの長さを用いている。変動予測との整合性を確認するため、自動計測を含めた観察計測を行うとともに、逆解析により設計パラメータの確認を行いつつ、慎重に掘削を行った。市街地でこのような土留め支保工により掘削を行うことは、きわめてまれであるが、工程短縮とともにコストダウンに大きく寄与することとなった。

#### (2) 明かり発破掘削

駅舎南側は岩盤線が高くなっているため、発破掘削で施工したが、過去、香港における明かり発破の適用は比較的郊外で居住者の少ない地域に限られており、幹線道路に隣接するような市街部では例を見ない。このため、香港で標準的な発破防護工(1次防護:鉄カゴ+2次防護:L字擁壁型ワイヤーメッシュスクリーン)では発破許可が得ら

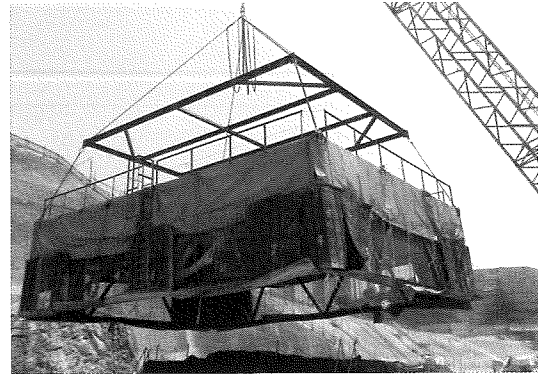


写真-5 ステージ1 発破防護(ダブルケージ)

れず、幹線道路レベルを境に飛石リスクを2ステージに分割し、それぞれ新たな発破防護工を提案することによって関係省庁から合意を得た。

ステージ1では、鉄カゴをさらに大型の鉄カゴで覆ったダブルケージとすることで発破許可を得たが、発破可能範囲はその鉄カゴの大きさにより決まってしまう。300tの大型クレーンを配置したものの、振動規制による1段あたり火薬量の制限もあって1回あたりの発破量は370m<sup>3</sup>程度に限られ、鉄カゴの移動設置にも非常に手間が掛かったことから、発破回数は6回/月程度、最大9回/月に留まった(写真-5)。

ステージ2では、1次防護としてプラストマット(裁断したタイヤをワイヤーで編み込んだもの)を自由面および装薬後のベンチ上面に設置、さらにワイヤーメッシュと防爆シートで覆ったうえで、2次防護として発破エリア全体をワイヤーメッシュで覆うルーフオーバー方式を提案した。これにより1回あたりの発破量はステージ1の2.4倍程度となり、最大で2,240m<sup>3</sup>の発破を行った。発破回数も13回/月程度、最大17回/月と、全体の掘削効率としてステージ1の5倍程度を達成している(写真-6)。

振動制限下での掘削量を最大化するため、いずれのステージも1つの装薬孔に親ダイと込め物を複数配置するデッキ装薬(1孔あたり多段装薬)を行った。装薬面に直接プラスチックマットなどの重量物を設置するステージ2では、脚線/導火管を損傷するリスクをゼロとすることはできない



写真-6 ステージ2 発破防護(ルーフオーバー)

ため、不可視状態でも発破回路の健全性を電氣的に確認できるよう、電子式雷管を採用している。

#### ④ 南港線(東)工事(902工区)

##### 4-1 工事の概要

南港線(東)工事は、香港島北側沿岸を走る港島線の金鐘(ADM)駅から香港島中央部を縦断し、香港の市街地地域で唯一、地下鉄路線が存在しなかった香港島南地区へと新線を設置する工事である。路線は香港島南に近接する島まで延びていることから、山岳トンネルと高架橋で構成されている(図-11)。

主要土木工事は4工区に分かれており、902工区には香港島側の3.3kmの南風トンネル全線のほか、トンネルに接続する高架部0.2km、トンネル北側の香港公園換気立坑と、南側坑口の南風換気塔の構築などが含まれている。南風トンネルは複線断面で、中途に駅を持たない長大トンネルであることから、上下線の隔壁のうえ、トンネル頂部に換気スペースを有する。

工事は2011年5月に開始し、2016年12月28日に供用を開始したところである。

##### 4-2 地形・地質概要

南風トンネルは、香港島中央の山岳部を抜ける最大土かぶり320mのトンネルで、そのほぼ全線が香港島南部を占める凝灰岩で覆われている。中央部より北ではトンネル方向とほぼ直交する2か所の断層が存在し、過去工事で確認されたそれらの断層の性状から湧水の発生が予想されていた

め、掘削時にはトンネル周辺の切羽前方へマイクロファイナセメントによる事前注入を行いながら掘削した(図-12)。

南風坑口部分はマサ化した風化岩、崩積土および埋め戻し土から形成され、透水係数が高く空洞の存在も確認されたことから、トンネル上の法面よりトンネル天端120°範囲に止水グラウトを行ってから坑口掘削を開始している。

##### 4-3 工事の特徴と施工方法

###### (1) 5.5mの長孔発破

南風トンネルは、香港の地下鉄工事には珍しく坑口からほぼ水平にアプローチできるという利点がある一方、反対側の坑口が供用中の金鐘駅地下に接続することからトンネル掘削を行うことができず、3.3kmという長大トンネルを片押しで施工しなければならないという制約下での工事となっている。このため、1発破進行長5.5mという長孔発破を行い、工期の短縮を図った(写真-7)。

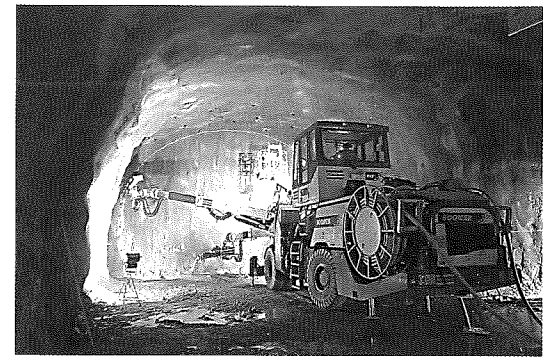


写真-7 長孔発破施工状況

削孔には出力22kW、打撃数7,300bpmという高性能削岩機を搭載する3ブームコンピュータージャンボ機を用い、爆薬には長孔の装填に適したバルクエマルジョンを使用した。

スムーズプラスティングによる余掘り低減を行ったが、ほぼ鉛直・水平に入る節理面の多さからコソク時にブロック状の浮石を発生させる結果となり、想定以下の地山状況・支保の増加や、事前注入の増大と相まって3発破/2日の計画サイクルを継続することはできなかった。しかしながら、そのような地山状況下でも78m<sup>2</sup>の掘削断面で最大約170m/月の月間進行を達成しており、一定の成果を上げることができた。

###### (2) 公館・ホテルに囲まれた大断面立坑の発破

香港公園換気立坑は85mの深さを持つ30m×27m複芯円の大断面立坑であり、地上から10m程度で新鮮な凝灰岩が出現する。香港でも市街地の立坑は一般に機械で掘削されるが、当

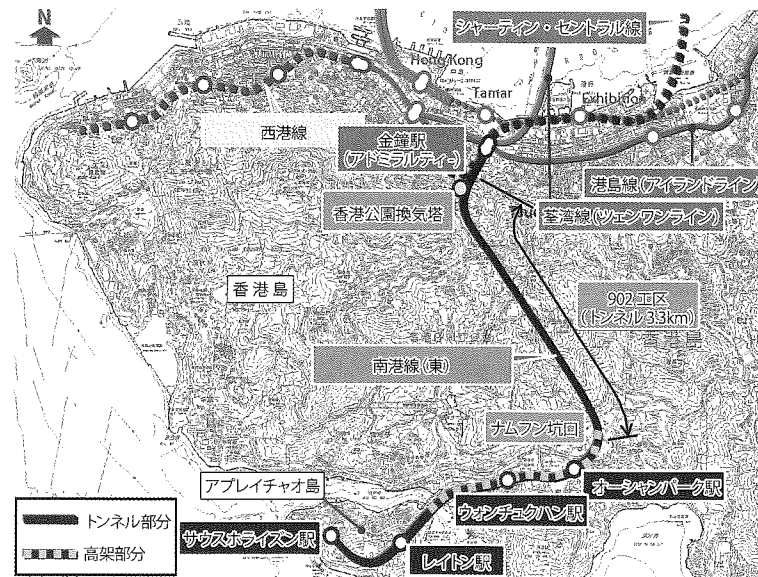


図-11 南港線(東)工事(902工区)平面図

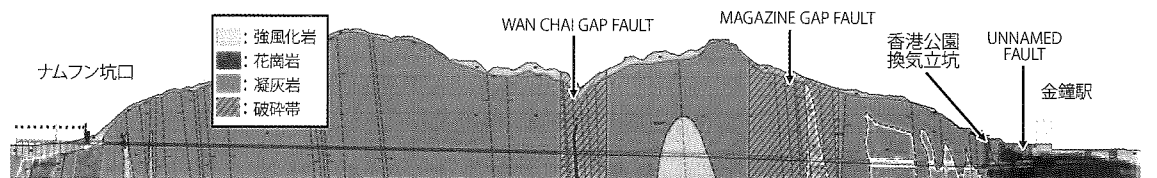


図-12 南港線(東)地質縦断面図

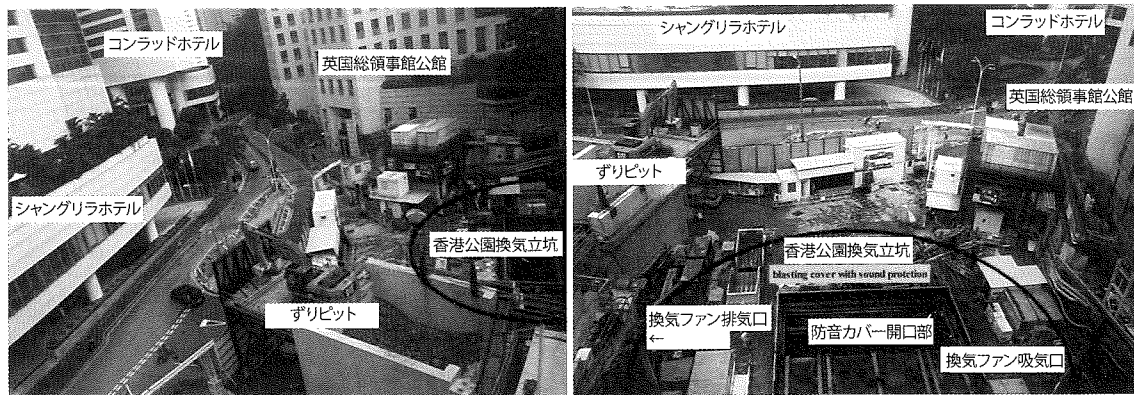


写真-8 香港公園換気立坑掘削状況

立坑はその大きさ、深さから発破で掘削を行っている。施工ヤードは狭隘なうえ、英国総領事館やシャングリラ・コンラッドなど高級ホテル群にも囲まれており、空間的、時間的制約が非常に厳しい中での施工であった(写真-8)。

防音措置として、40dB以上の騒音低減を可能にする高性能防音パネルを鉄板で挟んだもので立坑坑口部全体を覆い、発破防護を兼用した。発破開始直後は振動規制により1段あたり火薬量が小さく、バルクエマルジョンが使用できないことからカートリッジ爆薬を使わざるを得ず、運搬量規制により4分割で発破を行ったが、深度が増してからはバルクエマルジョンにて2分割、削孔長2.0mで発破を行った。発破時間・ずり出し時間帯を調整することにより、最終的に1発破/2日のサイクル、約13m/月の進捗を達成している。この間、近隣との密接な連絡と調整を行い、継続し

た作業で掘削を完了させたことは、特筆に値する。

### ⑤ おわりに

西松建設の香港における歴史は古く、1962年のロアシンマンダム施工を皮切りに、多くのインフラストラクチャー工事にかかわってきた。地下鉄に関してもその整備開始当初より施工に携わっており、香港地下鉄に関して初めて本誌に寄稿したのは40年前の1977年、筆者が小学校に入学したころに遡る。

当社に限らず、香港では日系の建設会社、技術者が、時代に伴う要求事項の変化に適応しながら数々の工事实績を残してきており、それらが今回紹介した近年工事の実績へと結びついている。本稿の工事实績がさらに未来へとつながり、施工技術の発展と香港経済の発展に資することを願って、本稿の結びとする。

## セグメントの新技术

小泉 淳 監修 B5判132頁 本体定価 2,000円



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



## 「日本文学の母なる河」最上川より

森島伸吾

最上川は、山形県を縦横断する流路延長229km、流域面積7,040km<sup>2</sup>を誇る日本最大級の河川である。そして、一つの都府県のみを流域とする河川としては国内最長であるとともに、日本三大急流の一つに挙げられている。

『五月雨を あつめて早し 最上川』

松尾芭蕉が詠んだ俳句であり、最上川が日本三大急流の一つと挙げられる由縁となる歌である。1689(元禄2)年、芭蕉は弟子の曾良とともに山形県新庄市本合海から乗船、急流の最上川下りを体験し、「降り続く五月雨(梅雨の雨)を一つに集めたように、なんとまあ最上川の流れの早く凄まじいことよ」と、最上川の豪壮さ、激しさを表記したものである。

また、最上川を題材にした文学作品も多く、古くは「古今和歌集」「義経記」等々がある。さらに、近代文芸として俳句を成立させた正岡子規、幸田露伴、田山花袋、斎藤茂吉といった名立たる文豪・歌人が芭蕉の足跡を辿り、数多くの文学作品を世に輩出させている。まさに最上川は「日本文学の母なる河」と言える。



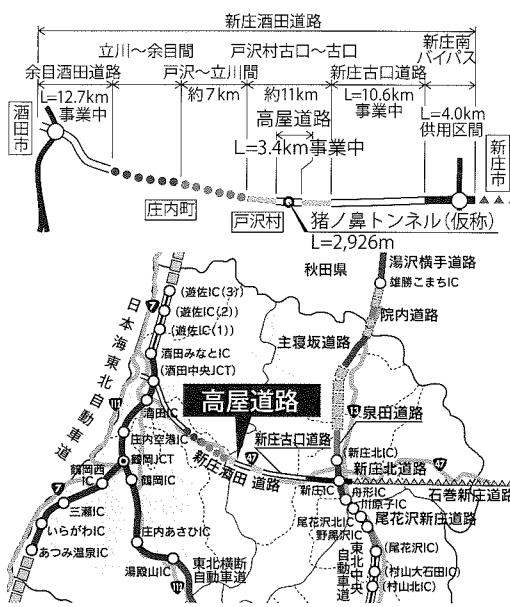
史蹟 芭蕉乗船之地(山形県新庄市本合海)

当工事は、地域高規格道路「新庄酒田道路(約50km)」の一部を構成する「高屋道路(約3.4km)」のうち、延長2,926mの猪ノ鼻トンネル(仮称)を構築するものである。最上川沿いに走る一般国道47号の、降雨による一般通行規制区間(8.0km)の解消と交通安全対策、東北中央自動車道と一体となった高速交通網の確立、および最上地方の緊急輸送ネットワークの確保など、地域活性化を図るための社会基盤として期待されている。

地質は、新第三紀中新世の堆積岩、草薙層硬質泥岩と古口層暗灰色泥岩で構成されており、特筆すべき事象として、可燃性ガスの発生が挙げられる。2015(平成27)年4月に明り工事から施工を開始、10月にトンネル坑口付けを行い、2017(平成29)年4月末現在、L=1,258mのトンネル掘削を完了。今後も可燃性ガス対策とともに品質・安全・環境に配慮しながら施工する所存である。

当地では、芭蕉の乗船から328年の時空を越え、最上川の流に身をまかせ、船上からの景色を楽しむ「最上峡芭蕉ライン舟下り」が観光スポットとして繁栄している。雄大な自然の中を船頭の舟唄を聞きながらゆっくりと下る舟下りは、四季折々の最上川の風景をいつでも楽しむことができます。是非、ご体験ください。

(大成建設(株)猪ノ鼻トンネル作業所作業所長)

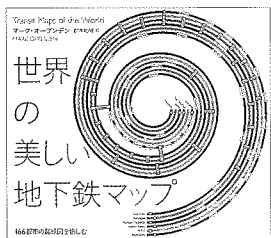


位置図

### 世界の美しい地下鉄マップ

166都市の路線図を愉しむ  
マーク・オープンデン 編著

ロンドン、パリ、北京、ニューヨーク、ヨハネスブルク、メッカー世界166都市で使われている地下鉄マップを網羅した、世界初の路線図「図鑑」！ ●現地で使用されている路線図をそのまま掲載 ●開業当時の珍しい路線図や、試験的なデザインの路線図なども収録、路線図デザインの変遷を解説。究極の機能美である路線図をあらゆる角度から堪能可能 ●都市交通の発達、都市の発展などにも言及 ●巻末には約660都市・地域の都市鉄道データを収録。

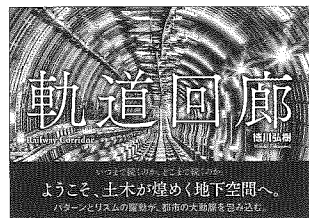


日経ナショナルジオグラフィック社、228×260mm  
176頁、本体3,200円、2016年10月発行

### 軌道回廊

徳川弘樹

その回廊は、いつまで続くのか、どこまで続くのか。並び、別れ、集まる。上へ、下へ、左へ、右へ。パターンとリズムの躍動が都市の大動脈を包み込む。地面の下に張り巡らされた幅10mに満たないチューブ。日々、何十万という人がそれと意識せずに通り返しているその空間にかすかに煌めく光を集めたとき、そこには圧倒的な美しさが浮かび上がってくる。地下の土木構造物を特殊な精細印刷で再現した、圧巻の土木写真集。



実業之日本社、B5判横、104頁  
本体2800円、2016年5月発行

### 公式パンフレットで見る 東京地下鉄 車両のあゆみ

東京地下鉄(株) 編著

1927年12月、わずか10両でスタートを切った東京地下鉄道は、今や東京メトロとして9路線195.1kmの路線網に2,728両を擁するまでに発展している。今年90周年を迎えるその歴史は、首都・東京の輸送を担う、わが国を代表する先見性に溢れた車両技術の歴史でもあった。本書は東京メトロ自らがその歴史を振り返るとともに、これまで市井に出ることのなかった各形式の公式パンフレットを復刻収録した待望の一冊。

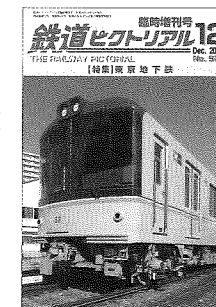


ネコ・パブリッシング、A4判、272頁、  
本体価格2,963円、2016年9月発行

### 鉄道ピクトリアル

2016年12月号増刊 (No.926)  
【特集】東京地下鉄

東京の交通網を支える東京地下鉄の歴史・沿革から現在の路線、輸送・運転、営業体制、車両、施設に至るまで詳細な紹介記事で構成。現況については鉄道事業の状況を主体とした役員インタビューをはじめ、会社総説、輸送・運転動向など東京メトロ各部門の担当者が執筆するとともに、鉄道研究家などによる東京地下鉄道時代の逸話や、路線や車両、施設をテーマとした研究記事を多数収録している。



電気車研究会鉄道図書刊行会、B5判、315頁  
本体2130円、2016年12月発行

### 日本縦断！ 地下鉄の謎

小佐野カゲトシ 監修

都市交通として大都市の重要なインフラである地下鉄。では「地下鉄」とは？「地下を走る電車」というと、JR総武・横須賀線や、りんかい線、JR東西線などは「地下鉄」とは言わないし、53.9kmも地下を走る青函トンネルも「地下鉄」ではない。では「地下鉄」の定義とは？「東京メトロだけ」を探り上げた本はあるが、本書は全国の地下鉄を比較しながら見ることで「日本の」地下鉄の特色を探り、各地域の事情や特徴に迫ってゆく。



実業之日本社、全書判、224頁  
本体850円、2016年12月発行

### 完全保存版 都営地下鉄のすべて

東京都の運営する「都営地下鉄」のすべてを網羅した書籍。都営地下鉄の路線、駅、車両情報、運行システム、整備工場取材、サービス紹介、経営や利用者数などの数字データまで、都営地下鉄のさまざまな情報を網羅。東京都交通局の取材協力を得た「都営地下鉄」書籍の完全保存決定版！

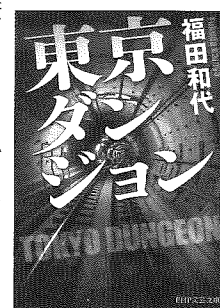


マイナビ出版、B5判、144頁  
本体1,740円、2017年3月発行

### 東京ダンジョン

福田和代

東京の地下鉄や地下街に爆弾を仕掛け、「東京の地下を支配した」と宣言する、テロリストたちの意外な正体と、その目的とは何か？複雑怪奇な地下迷宮（ダンジョン）と化した東京の地下を舞台に練り広げられる攻防。警察や民衆たちは、果たして地下鉄を、そして東京を守るのか。『TOKYO BLACKOUT』『迎撃せよ』『怪物』などが話題の、クライシス小説の旗手が描く、緊迫のサスペンス。

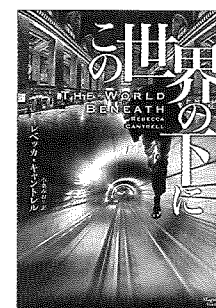


PHP研究所、文庫判、448頁  
本体840円、2016年11月発行

### この世界の下に

レベッカ・キャンترل 著  
小桑みお 訳

ソフトウェア開発で億万長者になったジョーは、前触れもなく広場恐怖症になった。かつては広い空の下を自由に歩き回っていたのに、いまでは彼と広い空のあいだには何トンもの岩盤が広がっている。外に出られず、ニューヨークの地下鉄駅の下の屋敷で暮らすことを余儀なくされる。地下鉄の線路沿いに日課の散歩に出た彼は、ある日、れんがの壁にハンマーを叩きつける男に遭遇する。のちにその男は死体となって発見され――。



オークラ出版、文庫判、386頁  
本体829円、2017年1月発行

# 土木情報 No. 528

今月の主な入札結果  
(4月10日～5月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
関東地整	東京港臨港道路南北線沈埋函(4号函・5号函・6号函)製作・築造等	五洋・東洋・新日鉄住金エンジJV	17,970
〃	H28外郭放水路第3工区T覆工	フジタ	1,355.4
東日本高速道路	圏央道笠森鶴舞T補修	飛鳥建設	130.9
〃	北陸道山王Tはく落防止対策	日特建設	225
群馬県	八ッ場発電所土木	清水・池原・都JV	1,275
都・港湾局	H29南北線中防内側陸上T雨水管移設	清水・鴻池・岩田地崎JV	199
都・水道局	東大和市清原一丁目地内外1か所送水管(200mm)用管理立坑築造並びに仮設立坑及びT保守管理	黒須建設	260
蕨市	錦町雨水管渠築造(29-1工区)	ユーディケー	113.82
横浜市	神奈川処理区保土ヶ谷区今井地区下水道再整備	水村建設	155.87
川崎市	殿町地区下水枝線第2号	加藤土建	156.87
相模原市	公下大野台地区雨水幹線整備(1工区)	富士土建	130

■図書案内

## 地下水の科学 — 全3巻 —

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

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



第I巻 地下水の物理と化学  
4,078円+税 B5判

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

第II巻 地下水環境学  
4,272円+税 B5判

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

第III巻 地下水と地質  
3,689円+税 B5判

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

株式会社 土木工学社

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

# 第九十回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

# 地下石油備蓄 ひとすじに歩んで

(元)清水建設(株)

# 宮下 国一 郎

### はじめに

私は1977(昭和52)年に清水建設(株)に入社しました。入社時の配属先は「技術開発本部ロックオイルタンクエンジニアリング室」というところでした。そこでは、地下の岩盤の中にトンネル形式の大規模な空洞列を構築し、その中に原油などの石油類を貯蔵するというプロジェクトを他社に先駆けて推進していました。

部署の名前がいかにも和製英語という感じで、岩盤・油・タンク・エンジニアリングという単語を並べてつなげ、読んで字のごとしということで、なんとなくイメージはわきましたが、当時は何がどうなるのか、いまいちピンとこないところがありました。

油は水より軽いので、空洞の底盤に水床を張っておけば、貯蔵した油はその水床上に浮かび、また貯蔵する油の内圧以上の水圧が空洞周辺にあれば、油はその水圧に封じ込められて空洞の外へは漏れ

ていかないというのが、このシステムの貯蔵原理でした(次頁図<sup>1)</sup>参照)。言われてみれば「なるほどそうか」という気はしました。

スウェーデン、フィンランド、ノルウェーなどの北欧やアメリカなどでは、当時すでに20年以上も前から、この「水封式岩盤内地下貯蔵方式」が実用化され、多くの貯蔵基地が稼働していました。その部署にいた先輩たちの思いは、わが国においてもこの技術を早く導入し、普及させていきたいというものでした。

折しも、1973(昭和48)年には第4次中東戦争が勃発し、これに端を発した石油危機が起こりました。この影響を受け、石油をほぼ100%輸入にたよっているわが国において、このような緊急時にも石油が不足しないように備蓄を行う必要があるという機運が高まっていたことが、このプロジェクトを推進する追い風となっていました。

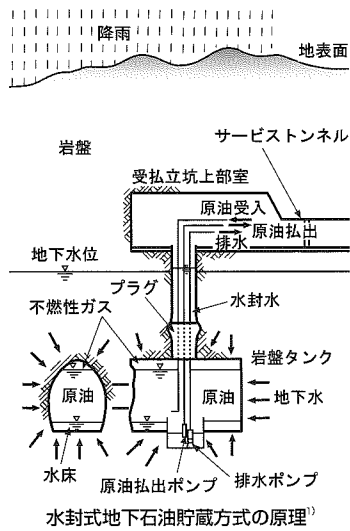
この水封式岩盤内地下貯蔵方式は、以下の大きな特徴を有してい



ストックホルム市内にて(筆者)

著者略歴

昭和52年	清水建設(株)入社 技術開発本部ロックオイルタンクエンジニアリング室
昭和55年	四国支店 石油備蓄技術(地下備蓄)調査菊間実証プラント実証実験工事
昭和62年	九州支店 国家地下石油備蓄串木野基地建設工事
平成20年	広島支店 液化石油ガス国家地下備蓄倉敷基地建設工事
平成24年	清水建設(株)退職 日本地下石油備蓄(株)入社 現在に至る



- ます。
- ① 岩盤タンクは地下水面下にあり、石油類が水圧で封じ込められ、漏洩の心配がない
  - ② 貯蔵空洞がすべて地下の岩盤内にあるため、地上部の改変が少なく環境に優しい
  - ③ 岩盤タンクは火災や爆発、テロなどの破壊工作、自然災害に対しても安全である
  - ④ 地下の岩盤部は地震の影響が地表に比べて小さく安全性が高い
- 国土が狭隘で地震の多いわが国において、このような方式の地下

備蓄が実現すれば、多くのメリットがあるということで、通産省((現)経済産業省)資源エネルギー庁はこの地下石油備蓄システムを国家プロジェクトとして推進することとなりました。

プロジェクトを推進するにあたり、北欧などと違って地質が複雑なわが国で本当にこの方式が実現できるのかということを確認するため、まず、愛媛県菊間町((現)今治市)に実証プラントを建設し実証することとなりました。私はその菊間実証プラントの計画に携わるとともに、建設・実証実験に加わることになりました。

……ということで、私はそれ以来、串木野国家石油備蓄基地、液化石油ガス倉敷国家備蓄基地の建設……と、定年退職するまで地下備蓄ひとすじの会社人生を歩むこととなりました。

菊間実証プラントの建設と実証実験

菊間実証プラントは太陽石油(株)菊間製油所((現)四国事業所)の後背地の丘陵の地下に位置し、次頁図<sup>2)</sup>に示すように、原油を貯

蔵する貯油槽と水封トンネル・水封ボーリング、サービストンネル、設備配管などが通る立坑、ドライポンプルームなどから構成されています。菊間実証プラントが設置された岩盤は、全体的には亀裂の少ない堅硬緻密な花崗岩からなります。貯油槽と水封トンネル、ドライポンプルームは作業トンネルを通して掘削を行いました。

貯油槽は幅15m、高さ20mの食パン形の断面をもった延長112mの大規模空洞で、貯蔵容量は25,000kLです。貯油槽天端の設置深度はEL-42m、設計貯蔵圧力は233~-49kPaGの密閉型加圧貯蔵方式で、設計地下水位(岩盤タンク貯蔵所の設置場所におけるもっとも低い状態にある地下水位)はEL 0mと設定されました。

空洞規模としては、地下発電所には及びませんが、空洞の安定性をロックボルトと吹付けコンクリートのみでもたせるNATMにより掘削することとし、空洞安定解析により支保構造を設計しています。コンクリート巻き立てなどを行わないのは、貯蔵方式が水封式なので、周囲から貯油槽の中に

湧水が自然に浸み出てくる構造とする必要があるということによるものです。このような支保構造が大規模空洞に対して実用上問題ないのか、ということも大きな注目点の一つとなりました。

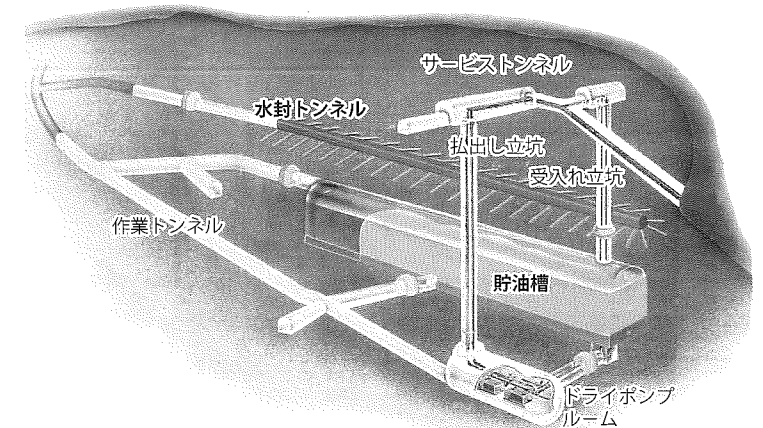
私の担当は実証実験係ということで、水封機能性、空洞の安定性、環境への影響という3つの項目の実証実験を行うことでした。実証実験項目としてはもう一つ作業上の安全性・実用性という項目がありましたが、これは設備係の担当でした。

さて、わが国で初めての水封式地下貯蔵システムの実証ということで、技術的なさまざまな課題に取り組み、確認することがこの実証プラントの使命でした。

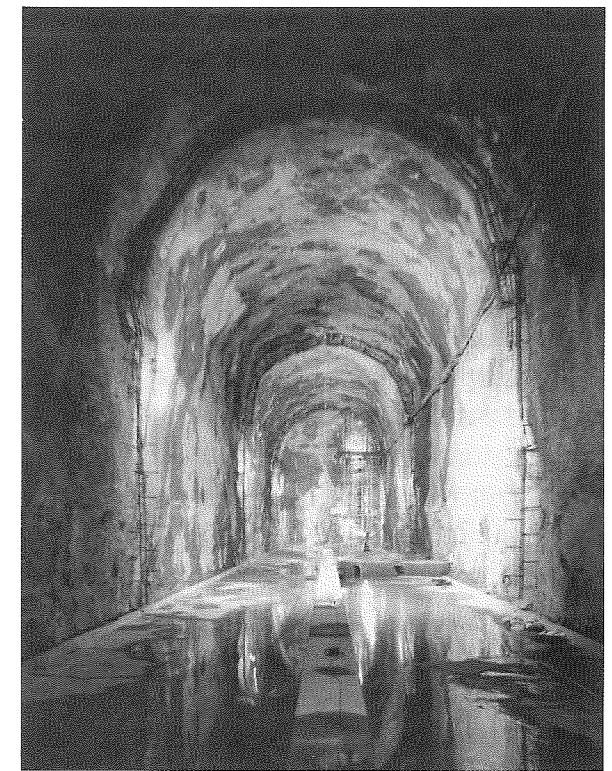
建設に際してもっとも注意すべき点の一つは、地下水位の低下を可能な限り抑えるということでした。そのため、貯油槽は水封トンネルおよび水封ボーリングに給水してから掘るということになっていました。多少フライングすることとなりましたが、ほぼこれに近い状況で掘削が進められました。岩盤の割れ目内の地下水は、いったん抜けると回復が難しいということがそれまでの経験から言われており、そうならないようにと、はかったものです。

また、水封機能を十分に発揮させるため下記の工夫も行っています。

- ① 水封ボーリングは破碎帯や割れ目帯にできるだけ直交する方向に配置する。
- ② 将来的に水没させる作業ト



菊間実証プラント鳥瞰図<sup>2)</sup>



菊間実証プラント貯油槽<sup>2)</sup>

ンネルや水封トンネルの補強は、基本的にはロックボルトのみで行い、吹付けコンクリートは施工しない。安全上の観点から天盤部には溶接金網は施工する。

この2点とも、岩盤内の割れ目に水封水がよく浸透していくようにという考えのもとでの工夫でした。とくに①については、地質調査結果を反映させ、水封ボーリングは卓越する割れ目帯と十分な角

度をもって交差するように水封トンネル軸から斜めに配置しています。

このような工夫を行いながら掘削を進めた結果、貯油槽上部の一部の範囲の地下水位は、いったんはEL 0mを下回りましたが、水封トンネル・水封ボーリングへの給水およびその後の作業トンネルなどの水没により、EL 0m以上の安定した水位を保つことができました。

また、貯油槽の内空変位量は、掘削完了時点で10mm程度以内に収まり、地中変位やロックボルト軸力も許容値以内の小さな値であったことから、空洞の安定性も問題ないことが確認され、貯油槽は完成に至りました(前頁写真<sup>9)</sup>参照)。

完成後は、圧縮空気を用いて最大常用圧力の216kPaGの圧力まで貯油槽内を昇圧し、72時間の気密試験を行いました。気密性に全く問題ないことが確認されました。

その後、原油の受け払いを行う原油運転を実施し、操業上の安全性・実用性を確認しました。原油の受け払いは貯蔵容量の25,000kLの量で計6回くり返し行われました。

原油運転では、原油の受け払いが問題なく行えることを確認するとともに、貯蔵圧力は理想気体が示す圧力と気液平衡圧力との間の理想気体に近い値で変動することなど、ほぼ当初予想どおりの結果を得ることができました。その間の周辺岩盤や立坑などの漏油・漏気観測によっても検知・警報はなく、

原油運転中も気密性に問題ないことが確認されました。

貯油槽周囲には全部で53点の間隙水圧計を設置し、間隙水圧を監視しましたが、岩盤内の間隙水圧は、岩盤の不均質性の影響により場所ごとにばらつきはみられたものの、貯油槽を包むかたちの圧力分布となっていることが示され、水圧としても問題ないことが確認されました。

貯油槽に設置した地中変位計とロックボルト軸力計は、原油運転中も計測できるように、主計測断面の計測ケーブルは建設時から引き続き自動計測できるようにしていましたが、これらの動きは原油の受け払いに呼応した弾性的な動きを示し、貯油槽壁面近傍での値は1mの区間変位としては最大0.2mm程度、軸力は0.1t程度の変動にとどまり、空洞の安定性についても全く問題ないことが示されました。

さらに、実証プラントの建設から原油運転以降の長期の実証実験期間も含めると、約11年の間に菊間では震度4をはじめとする有感地震が十数回発生しましたが、鉛直方向にアレイ状に配置した地震計による観測結果からは、岩盤部は地表の数分の1の加速度を示すことが確認され、貯油槽の地震に対する安全性が高いことが実証されることとなりました。

環境影響に関しても、植生、水質など全く問題ないことが確認されました。

このように、菊間実証プラントではさまざまな観点から貯油機能

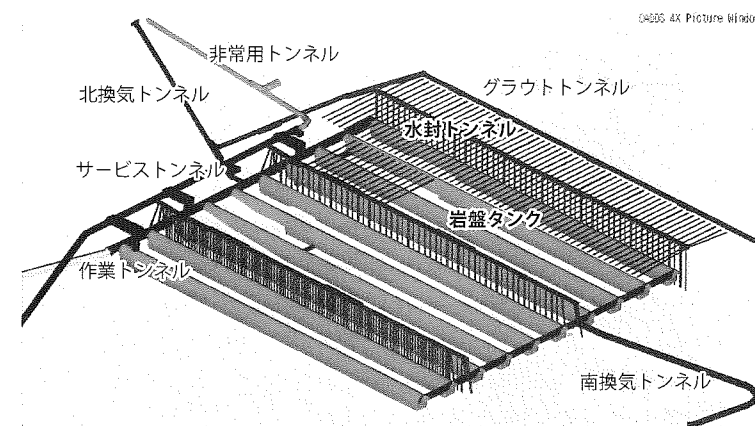
に問題ないことが確認され、この成果を受けて、次に本格的な国家地下石油備蓄基地の建設へと進んでいくことになりました。なお、菊間実証プラントの貯油槽は、貯蔵容量は小さいですが、菊間国家地下石油備蓄基地の全3ユニットのうち1ユニットとして、現在も供用されています。

実証実験の成果は、国内でも幾編か発表することとなりましたが、海外でのシンポジウムでも発表する機会を得ました<sup>9)</sup>。私はこのときに初めて北欧を訪れ、いくつかの地下貯蔵基地の見学も行うことができました。とくにスウェーデンにおいては、硬固な岩盤が市街地にも広く露出していることに感銘を受け、日本との地質の違いを深く認識することとなりました。冒頭の写真はそのときのスウェーデンを訪れた際のものです。

#### 串木野国家地下石油 備蓄基地の建設

国家地下石油備蓄基地は、岩手県久慈市、愛媛県菊間町、鹿児島県串木野市(現)いちき串木野市の3か所で建設されることとなりましたが、私はそのうちの串木野基地の計画から建設に携わることになりました。

串木野基地は、次頁の図<sup>9)</sup>に示すように、岩盤タンク空洞10列と水封トンネル・水封ボーリング、サービストンネル、竖坑などからなりますが、岩盤タンクは3つのユニットに分けられており、それぞれに竖坑が設けられています。建設は、作業トンネル、南北の換



串木野地下石油備蓄基地鳥瞰図<sup>9)</sup>

気トンネルなどの工事用トンネルをまず掘削し、サービストンネルや水封トンネル、岩盤タンク本体などの掘削につなげました。

岩盤タンクは幅18m、高さ22mの卵形断面をもった延長555mの大規模空洞で、これが10列配置されました。貯蔵容量は全体で175万kLと東京ドーム球場124万m<sup>3</sup>の1.4倍強の容量に相当します。設計貯蔵圧力は49～9.8kPaGの常圧貯蔵方式で、限界地下水位(菊間実証プラントにおける設計地下水位に相当しますが、基本的な考えは同様で、岩盤タンクの投影範囲を含め外側5B(Bは岩盤タンクの幅)の範囲において、これ以下に下げなければならない地下水位のことは)はEL 0mと設定されました。

岩盤タンクは菊間実証プラントと同様にロックボルトと吹付けコンクリートのみによるNATMにより掘削されました。断面形状の卵形は、菊間実証プラントの食パン形に比べ、アーチアクション効果がより高まる構造となっています。

私の担当は地質・計測ということで、菊間実証プラントから引き続き、水封機能性、空洞の安定性の検討が主要な任務となりました。串木野基地では下記の2点が設計時の想定と大きく異なることとなりました。

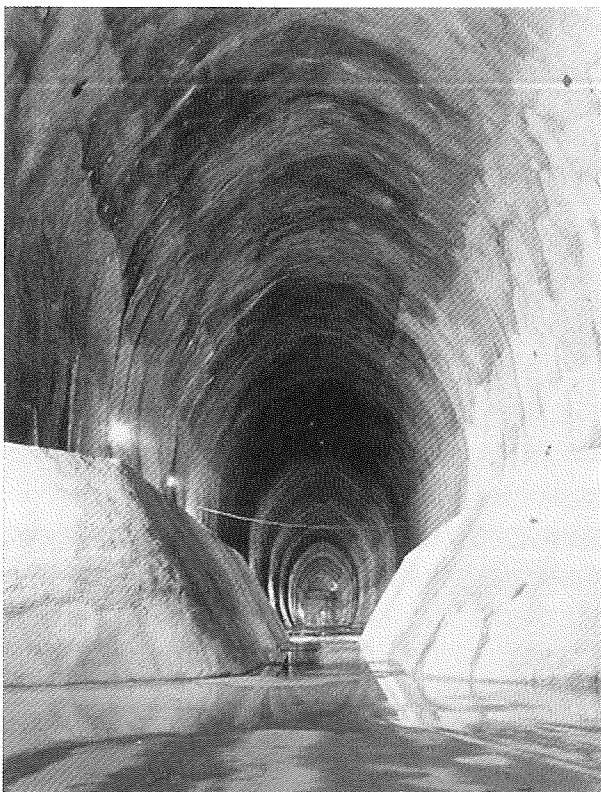
- ① 串木野基地の主要な岩盤は堅硬緻密な自砕状安山岩からなりますが、F9断層群という熱水変質を受けた比較的規模の大きな数条の断層破砕帯が、岩盤タンク北部側において岩盤タンクを横断する方向に分布していました。
  - ② F9断層群は串木野基地の東方へ延びており、その方向への地下水の流れが生じていて、このF9断層群を主として、地下水位は岩盤タンク東部側で大きく下がっていました。
- ①については、F9断層群の劣化が顕著で、また岩盤タンクの変位も大きく生じたため、増しロックボルト、増し吹付けコンクリートの補強工をくり返し施工しましたが、容易には収束しなかったこ

とから、劣化がとくに顕著であった一部の岩盤タンクは、その区間の下方への盤下げを中止し、また、これより状態がやや良かった一部の岩盤タンクは下方部の断面形状を縮小させ、長尺のロックボルトで追加補強する断面形状変更に対応することとなりました<sup>9)</sup>。このような対応の結果、無事に全掘削を完了させることができました。断面形状変更区間を含む岩盤タンクの完成状況の写真<sup>9)</sup>を次頁に示します。

石油貯蔵空洞は最終的には設計貯蔵容量が確保できていなければならないので、空洞の安定性に影響がある範囲の掘削は縮減させて、別の良好なところを掘削すればよいこととなります。したがって、一般のトンネルなどの地下構造物と異なり、施工条件的にはよりフレキシビリティがある、ということができます。

串木野基地においても、岩盤タンク設置域の南部側には良好な岩盤が分布していたことから、盤下げ中止区間や断面形状縮小区間による空洞容量減少分は岩盤タンク南側の妻壁を掘り増すことで対応しています。

②に関しては、串木野基地周辺においては降水量が平均2,000mm/年程度と多く、岩盤タンク設置域の透水性も平均 $1.5 \times 10^{-7}$ cm/sと低透水であったことから、当初は人工水封設備の必要のない自然水封方式としていました。また、掘削前には、F9断層群の存在が予測できていなかったため、自然地下水がこの影響を受けて下がつて



岩盤タンク断面形状変更区間<sup>9)</sup>

いるということも認識していませんでした。

岩盤タンクの掘削が進み、盤下げを順次行っていきましたが、主としてF9断層群周辺の底盤部からは湧水がみられず、岩盤タンク周囲に本当に地下水があるのかという疑念がわいてきました。そこで、底盤部にボーリングを行ったところ、これらの周辺では孔内の水位は岩盤タンク底盤レベルより下方にあることがわかりました。ちなみに、作業トンネルの掘削が進められていた建設の初期段階のあるときに、地表部から設置した地下水水位観測孔口に耳をあてたところ、ゴーという水が流れる音がしていたということがありました。これは基地の東方へと流れる地下

水の音をまさに示していたものと考えられ、今思えばもう少し思慮深ければ対応も早かったと反省するところです。

さて、そのあとは、このF9断層群周辺などの地下水を回復すべく、以下の手を打っています<sup>9)</sup>。

- ・岩盤タンク設置域の東側に、東方へ向かう水の流れを遮断するためグラウトトンネルを掘削し、カーテングラウトを施工する。
- また、岩盤タンク底盤域のF9断層群を主とした高透水路には長尺孔による湧水抑制グラウトを行う。
- ・グラウトトンネルと岩盤タンクの間には水封トンネルを配置し、縦水封ボーリングおよび水平水封ボーリングを設置して、岩盤

タンク東部の水封機能を大幅に強化する。

このような予想外の追加工事などにより、工期は2年程度延びることとなりましたが、この水封強化工事により岩盤タンク周辺の地下水圧は所要の値にまで回復し、無事オイルインを迎えることができました。

#### 言い伝えたいこと

私はその後、液化石油ガス国家地下備蓄倉敷基地の計画、建設に加わることになり、基地完成後にそのまま定年を迎えることとなりました。振り返れば水封式地下備蓄ひとすじにやってきたことになりましたが、とくに水封に関しては、自然の地下水をコントロールしようとするのが、いかに難しいかということに思い至ったことが、大きな収穫となりました。

その集大成となったのが2003年3月に著した「水封式岩盤タンクにおける岩盤を対象とした水封分類法」<sup>7)</sup>です。この論文の主要な論点は下記のとおりであり、また、これが皆さんに言い伝えたいことの骨子でもあるということができると思います。

- ・岩盤内の地下水は、開口性割れ目(破碎帯や弱層部、割れ目帯なども含む、以下「水みち」という)内のみを、その上流と下流のポテンシャル差に応じて流れる。インタクトな岩そのものは事実上水を通さない。
- ・透水試験から得られる透水係数は、この水を通さないインタクトな岩も含め試験区間内の岩盤

内をおしなべて水が流れると仮定して算出したものであり、真の水みちだけの透水係数はそれよりはるかに大きい。

- ・このことから、現行の地下水解析では、マクロな水収支や、砂地盤を想定したような場合の水圧分布などについては精度高いシミュレーションが期待できるが、岩盤における実際の割れ目内の地下水挙動は追えない。
- ・岩盤はポーラスメディアではない。
- ・岩盤内の水みちは上から下まで一様ではなく、不規則に膨縮し、また粘土をかんだり、他の割れ目と交差したりして、透水性は一つの水みちにおいて複雑に変化する。すなわち、きれいな平行平板ではない。これを再認識する必要がある。
- ・岩盤内でこの水みちがどのようになっているかは誰にもわからない。地下空洞壁面での水みちからの水の出方のみが実際に確認できる。これがどう変化するかが、岩盤内の水圧が十分かどうか、不飽和ができたかどうかを推測する重要な情報となる。
- ・水みちでは、上流から入り込む水の量が下流から出ていく量よ

り少ない場合には、その割れ目内の水頭が低下したり、不飽和が生じ、しまいには水みち内の水が枯れてしまう場合がある。逆の場合には水頭は上がり、不飽和は生じない。

#### おわりに

今後、わが国において同様な水封式地下貯蔵施設が建設されるかどうかはわかりませんが、約35年間の実績で培われ、本稿でその一端に触れさせていただきました地下水や岩盤に関する知見を、ぜひとも次に生かしていただければと願っています。

新たな技術に対するチャレンジ精神と、自然に対抗しようとするのではなく、自然と謙虚に向き合い、自然と調和していこうとする姿勢の大切さを皆さんに言い伝えたいというのが私の思いです。

#### 参考文献

- 1) 蒔田敏明：地下石油備蓄基地建設の概要，資源・素材学会誌，Vol.107，No.13，pp.927-938，1991。
- 2) 石油公団：石油備蓄技術(地下備蓄)調査写真集，1987.3。
- 3) Kuniichiro M., Kenji A., Tetsya H. and Nobuo K.: An Investigation of Geomechanics and Hydraulics around an Underground Crude Oil Storage Cavern, *International Symposium on Field Measurements in Geomechanics*, pp.1117-1126, Zurich, 1983.8。
- 4) 日本地下石油備蓄(株)：地下石油備蓄基地建設工事写真集，1994.1。
- 5) 中沢保延・境大学・宮下国一郎：岩盤タンク掘削中に遭遇した弱層部における空洞安定性の検討，第15回西日本岩盤工学シンポジウム論文集，pp.114-119，1994。
- 6) 長谷川誠・宮下国一郎・串木野地下石油備蓄基地における水封設計及び施工管理，岩盤構造物の設計に関するシンポジウム講演論文集，日本学術協力財団・地盤工学会，pp.1-4，1997.12。
- 7) 植出和雄・岡本明夫・宮下国一郎：水封式岩盤タンクにおける岩盤を対象とした水封分類法，土木学会論文集，No.729/Ⅲ-62，pp.185-195，2003.3。

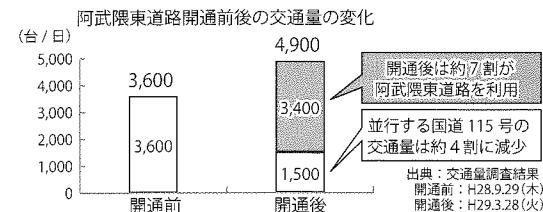
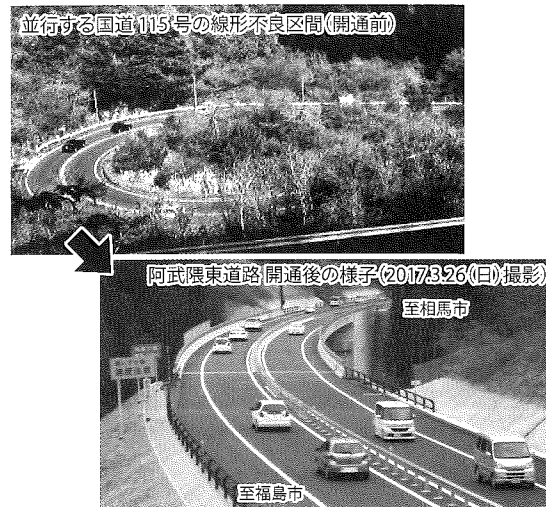
## トンネルジャーナル

### 復興支援道路 東阿武隈道路の開通直後の交通状況

東北地整警城国道事務所は、3月26日に開通した、東北中央自動車道阿武隈東道路の開通直後の利用状況を発表した。これによると、並行する国道115号とあわせた交通量のうち、約7割にあたる約3,400台/日が同道路を利用していった。開通後に所要時間を実測したところ、開通した10.5km区間を走行した場合、現道の115号を利用するのに比べ約6分短縮された。従来、相馬市役所から福島市役所間(50km強)の所要時間が71分程度であったことから、これが65分へと短縮することになる。

同道路は復興支援道路として整備が行われている相馬福島道路(全長約45km)のうち、相馬山上IC～相馬玉野ICの10.5km区間で、福島県内の復興支援道路では初の開通となる。自動車専用道路で通行は無料。現道の国道115号の当該区間は、従来、相馬・福島間で最大の難所とされていた区間で、急勾配・急カーブが連続している。2006年には落石などにより約1か月の全面通行止めが発生して集落が孤立するなどしたほか、過去10年間で14回の全面通行止めが発生していた。

同区間では新玉野トンネル(968m)、松ヶ房トンネル(1,319m)、荻平トンネル(1,023m)、楯這トンネル(1,943m)の4本のトンネルを掘削し、道幅が広くカーブの少ない、安全性や心理的なストレスを大幅に改善する道路を整備した。今年度に霊山IC～阿武隈ICの12km区間と、阿武隈IC～相馬玉野ICの5km区間が順次開通する予定で、来年度には、相馬山上IC～相馬ICが開通し常磐自動車道と接続され



阿武隈東道路開通後の状況(警城国道事務所、平成29年4月24日記者発表資料より)

る予定となっている。開通により、災害時の代替路確保や救急医療施設への速達性や搬送中の安定性の向上といった安全・安心の確保や、相馬港と福島県内陸部との連携の強化や交流人口の増加など、地域を活性化させる効果の発現が期待されている。

### アンダーパス技術協会 第12回定時総会開催

アンダーパス技術協会は去る5月12日にサピアタワー(東京)で定時総会を開催した。

冒頭のあいさつでは、植村誠会長より毎年恒例の「元気で長生きの秘訣」の話があり、今年は「瞑想」について披露された。総会に先立ち、事務局より上海の施工会社1社の入会の報告があった。その後、平成28年度事業報告・決算報告、平成29年度事業計画・予算を審議し、満場一致で承認された。総会終了時には事務局より現在施工中のSFT工法による工事の報告もあった。

さらに、千葉工業大学未来ロボット技術研究センター(fuRo)の古田貴之所長の特別講演があり、ロボット開発の現況や社会や建設工事のかかわりについてスライドを交えながら解説があった。



### 連載講座

## トンネル新技術への挑戦(19)

### 一カッタビット交換型全地盤対応シールド「カメレオンカッタ工法」一

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会

#### ① はじめに

都市部のトンネル構築に用いられるシールド工法は、図-1に示すようにシールドと呼ばれる円筒状の掘削機を推進させて地山を掘削し、推進した空間に分割したセグメントをリング状に組み立ててトンネルを構築する工法であり、都市部の崩壊性地山における非開削工法として広く採用されている。

近年、機械の性能向上などにより粘性土、砂、巨石混じり砂礫、軟岩に至るまで適用地山を拡大しているが、掘削対象の地山が著しく変化する工事においては、最適なカッタビットに取り替えて対応している。

カッタビットの種類の変更は、シールド外の崩壊性地山に作業空間を設けて人力により行っていたため、地盤改良などの周辺環境に与える影響が大きいばかりでなく、水圧の高い大深度では非常

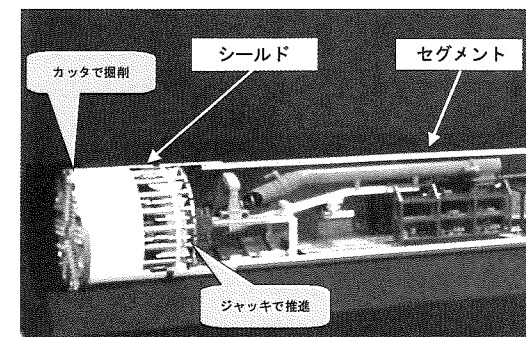


図-1 シールド工法

に危険な作業であった。

そのため、シールド内から安全かつ迅速にカッタビットの種類を変更する機械式の交換技術が求められている。

#### ② 地山ごとのカッタビット交換の必要性

##### 2-1 カッタビットの種類

写真-1にシールドのカッタビットの種類を示す。

カッタビットには、先行して地山をほぐす先行ビット、掘削した土砂を取込むティースビット、巨石や粗石を破碎するローラーカッタがある。粘性土から砂礫層までの比較的軟らかい地山(以下

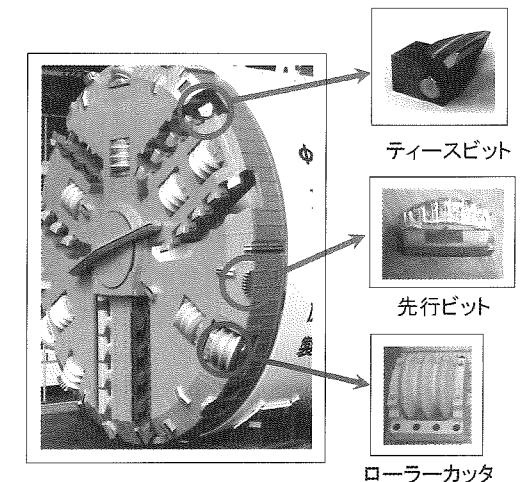


写真-1 カッタビットの種類

「土砂山」と呼ぶ)では、地山を掘削しその土砂を取り込む先行ビットとティースビットを装備する。

巨石や粗石が多く混入する地山(以下「硬質地山」と呼ぶ)では、地山を破碎しその土砂を取り込むローラーカッタとティースビットを装備する。

### 2-2 不適合ビットによるトラブル事例

写真-2に地山に適合しないカッタビットを装備したことによるトラブル事例を示す。

写真-2(a)は巨石や粗石の衝突によりティースビットが欠損し、掘削と土砂の取込み性能が低下した事例である。ビットの欠損により取込み性能が低下し、摩耗が急速に進行する。カッタビットが最外周部の場合、オーバーカット量の不足によりシールドのカッタトルクと推力が上昇し、掘進ができなくなる。

写真-2(b)は突然の未風化花崗岩(硬質地山)の出現により土砂山掘削用の先行ビットが摩耗し、先行ビットに保護されていたティースビットも脱落したため、装備していたすべてのビット交換を余儀なくされた事例である。掘進中には脱落したビットを取り込んだため排土機器にも悪影響を与えた。仮に掘進を継続していた場合はシールドの面板が破損するなどの重大なトラブルに発展する可能性もあった。

写真-2(c)は硬質地山の出現を見込みローラーカッタを装備したが、土砂山区間でローラーの回転不良により摩耗した事例である。ローラーが回転しない土砂山では掘削効果が得られず逆に抵抗となり、シールドの推力上昇や掘進速度低下を招いた。

これらの事例が示すようにカッタビットが地山に適合しないまま掘進を継続した場合には、掘進効率の低下により進捗が遅れるだけでなく、カッタビットの摩耗、欠損、脱落が起り、シールドの面板が破損するなどの重大なトラブルに至る場合もある。

### 2-3 機械式ビット交換工法の必要性

近年の長距離掘進では、1段目のビットが摩耗しても、それより低い位置に取り付けた2段目が働きますことで全体の延命を図る高低差配置方式

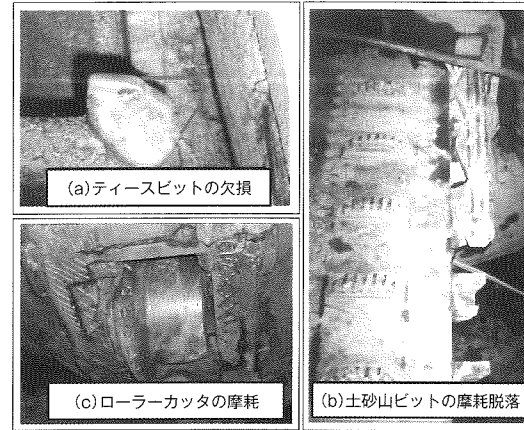


写真-2 不適合ビットによるトラブル事例



写真-3 地中でのビット交換

が定着している。

また、チップ量を増やして耐久性を高めた新たなビットも開発され、土砂山で構成された一般的な地山においては、無交換での長距離掘進が可能になった。

しかし、巨石が出現するような硬質地山では、寿命の短いローラーカッタを装備するため、交換が必要である。また、掘削深度が変化する工事や長距離工事においては地山が広範囲に変化し、カッタビットの種類を取替えて対応せざるを得ない場合もある。

カッタビットの交換は、地中の狭隘な空間で行う苦渋で危険な作業(写真-3)となり、シールド内から安全に作業できる機械式ビット交換工法は有効な技術である。

## ③ スライド式カッタビット交換工法「トレール工法」の開発

カメレオンカッタ工法の説明に先立ち、技術のベースとしたトレール工法について説明する。

### 3-1 開発の背景

シールド工事においては、2000年ごろより、環境保全、コスト削減などの社会的要求や、過密化による作業用地不足を背景に長距離工事のニーズが高まっていた。長距離工事では、シールドの耐久性が問題となり、とくに地山を掘削するカッタビットの摩耗が限界に達すると掘進不能に陥るため、ビット交換が必要となる。従来の人力によるビット交換工法は、前述したように環境保全、安全性において問題が生じるため、それらを解決する機械式ビット交換工法が求められた。

そこで筆者らは、①安全に交換できる、②何回でも交換できる、③高水圧に対応できる、④施工性に影響を与えない、を目標にスライド式ビット交換工法「トレール工法」を開発した。連結したカッタビットを牽引しながらシールド内に引き込む方式から「トレール(引きずる)工法」と命名した。

### 3-2 工法の概要

ローラーカッタの交換を例に、トレール工法の概要図と実施したシールドを図-2、写真-4に示す。カッタスポーク上に配置されたローラーカッタをブロックごとに中央の交換室に引込み、シールド内で交換する。

交換室は円筒の二重構造になっており、内筒側を回転させることで交換対象のカッタスポークを任意に選択できる。これによりすべてのカッタスポークに配置されたローラーカッタの交換が可能である。ロッド把持装置は、ロッドで連結されたローラーカッタのブロックを交換室に引き込む装置である。ブロックの背面には土砂抜きの開口があり、掘削土砂によるローラーカッタの目詰まり

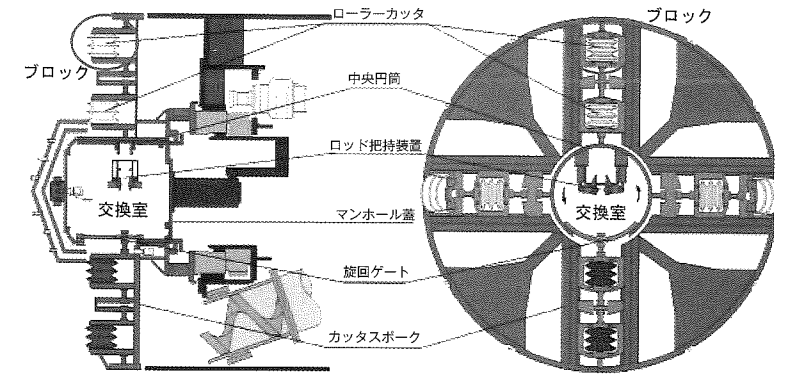


図-2 トレール工法の概要図

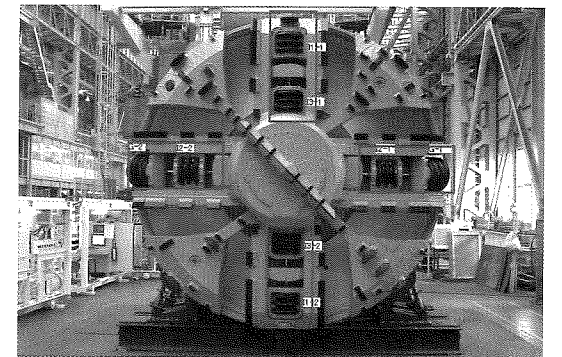


写真-4 実施したシールド

を防止して掘進性能を維持する。また、ブロックごとに交換する方式としているため、ブロック上でビットの種類をティースビットや先行ビットに変更することが可能である。

単純でコンパクトな機構によりカッタヘッド部の重量と大きさを標準シールドとほぼ同等とした。これにより重量バランスの偏りによるノーズダウンや掘削土砂の取込み力の低下など、交換装置を装備したことによる施工性の低下を防止している。

### 3-3 トレール工法の特長

- ・シールド内から安全にビット交換ができる。
- ・カッタスポーク上に配置されたすべてのカッタビットを何回でも交換できる。
- ・カッタビットの種類を変更できる。
- ・1.0MPaの高水圧まで対応できる。
- ・交換機構がコンパクトであるため、シールドのカッタヘッド部が大きくならず、掘進性能に影響を及ぼさない。

### 4 カメレオンカッタ工法の概要

#### 4-1 開発の目的

地山の変化に合わせて、すべての掘削位置に配置されたカッタビットを、いつでも、どこでも、すばやく交換することができれば全地盤対応型のシールドが実現する。そこでカッタビットの種類を自由に変更できる機械式カッタビット交換工法「カメレオンカッタ工法」を開発した。

なお、カメレオンカッタ工法は、地山の変化に合わせてカッタビットの種類を変更するさまを、環境によって体色を変化させるカメレオンにちなんで命名した。

#### 4-2 トレール工法の改良

トレール工法により、カッタスポーク上に配置されたカッタビットについては、種類の異なるものへの交換が可能になった。

しかし、カッタビットを外周部から中心部に向かってシールド内に引込む方式のため、カッタヘッドの中央部に配置されたカッタビットについては交換することができなかった。そのため巨石を含む地山の長距離掘進では、カッタヘッド中央部のフィッシュテール(土砂山掘削用の大型のカッタビット)の摩耗対策が課題として残った。

また、カッタスポーク部のビット交換においても、狭隘な交換室内に装備するビット引込み機構を小型化せざるを得ず、引込み作業時のジャッキ

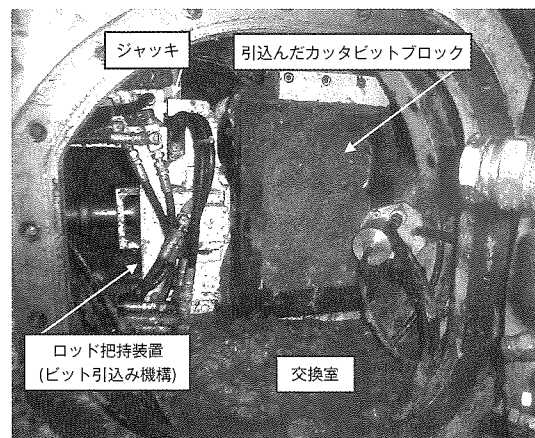


写真-5 トレール工法でのビット引込み状況

盛替え回数の増加やジャッキ能力不足が課題であった(写真-5)。

さらに交換するブロックが小型であったため、カッタビットを取り付けるスペースが限られ、種類ごとに掘削軌跡が異なるビットの取付け位置の変更には対応できなかった。

#### 4-3 中央部の交換機構

カッタヘッドの中央部は、カッタスポーク上に配置されたカッタビットの交換室になっているため、それと干渉しないように交換機構を装備する必要がある。土砂山用のフィッシュテールは巨石や粗石では摩耗が大きくなるため、その区間ではローラーカッタを装備して巨石を破碎しながらフィッシュテールを保護する。中央部はカッタスポーク上のカッタビットに比べて摺動距離が短く摩耗量が小さいため、複数回の交換は不要と考え、フィッシュテールとローラーカッタを適時切替えられる機構とした。

図-3にカッタヘッド中央部の交換機構を示す。

カッタヘッドの中央にフィッシュテールを設置し、それと干渉しない位置に、ローラーカッタを併設する。ローラーカッタは押しジャッキにより掘削高さを変更できる機構になっている。

地山が土砂山の場合はフィッシュテールで掘削し、硬質地山になるとその後方に位置するローラーカッタを押しジャッキにより突き出し、フィッシュテールの掘削高さより高くして掘削す

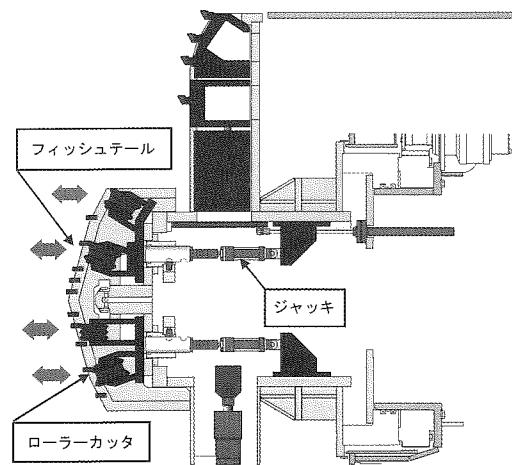


図-3 中央部の交換機構

る。その突出し量は、シールドのカッタ回転速度と掘進速度によって異なるが、フィッシュテールを完全に保護できる量とする。掘削する地山が再び土砂山に戻った場合は、ローラーカッタを下げ、フィッシュテールで地山を掘削する(図-4)。

これによりトレール工法では未対応だった中央部のカッタについても、掘削対象の地山に合わせて最適なものを装備することが可能になった。なお、カッタスポーク部の交換機構との干渉を避けるため、ローラーカッタ突出し用の押しジャッキを脱着方式とした。また、未使用時のローラーカッタと可動部への土砂固着を防止するため、高圧水洗浄装置を装備している。

#### 4-4 カッタスポーク部の交換機構

図-5にカッタスポーク部の交換機構を示す。

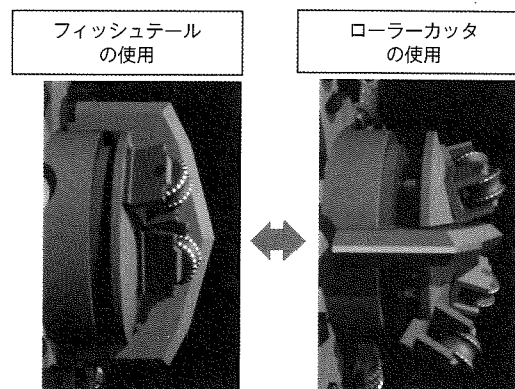


図-4 中央部の交換

複数のカッタビットを装着した大型のカッタブロックを各カッタスポークに配置し、その対角側にジャッキを装備して中央の交換室に引き込む機構である。

ビット引込み機構を交換室の外側に装備することにより、ジャッキ能力不足の問題解決とビット引込み作業の時間短縮を実現した。また、カッタブロックの大型化によりカッタビットの自由な取付けスペースを確保し、種類ごとの適切なビット配置を可能とした。

図-6にカメレオンカッタ工法のカッタヘッドを示す。地山が土砂山から硬質地山に変わった場

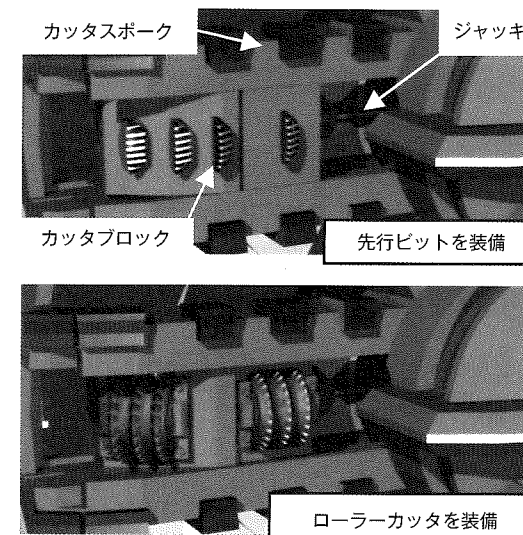


図-5 スポーク部の交換機構

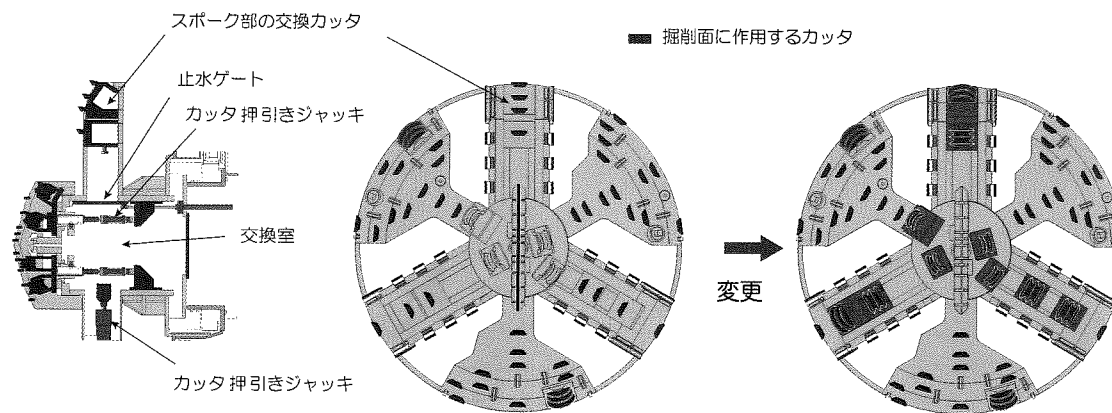


図-6 カメレオンカッタ工法のカッタヘッド

合のカッタビットの交換例を示している。

中央部をフィッシュテールからローラーカッタに切り替え、カッタスポーク部の強化先行ビット(シェルビット)をローラーカッタに交換することで、掘削面のすべての位置に配置されたカッタビットをローラーカッタに変更する。

土砂山では、中央部にフィッシュテール、カッタスポーク部にシェルビットを配置した土砂山型カッタに戻す。

#### 4-5 中央部の交換手順

図-7に中央部の交換手順を示す。

##### STEP-1: ジャッキの装着

ロータリージョイントなどシールド内の一部 機器を取り外し、交換室内にジャッキと反力板を取付け、ローラーカッタの固定ピンを抜く。

##### STEP-2: ローラーカッタの突出し

ジャッキでフィッシュテールの後方に位置するローラーカッタを前方に突き出す。ローラーカッタの移動は、土圧

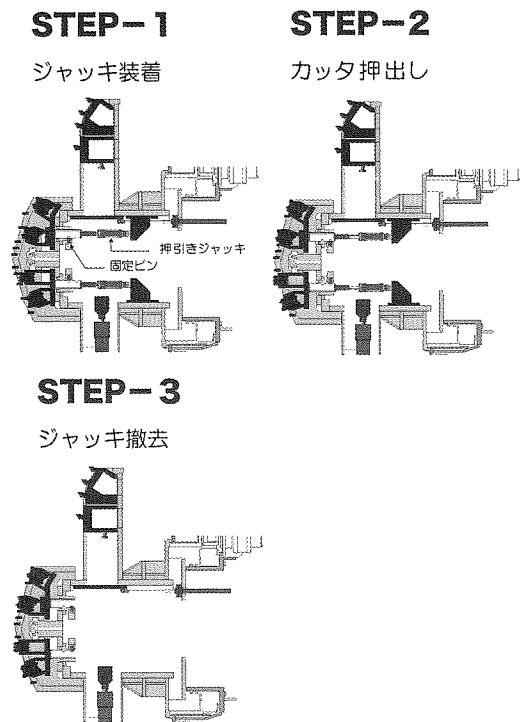


図-7 中央部の交換手順

変化に留意しながら慎重に行う。

##### STEP-3: ジャッキ撤去

固定ピンを取り付けてローラーカッタを固定し、ジャッキと反力板を撤去する。

#### 4-6 カッタスポーク部の交換手順

図-8にカッタスポーク部の交換手順を示す。

##### STEP-1: 注水・加圧

切羽の土水圧に対抗するため、交換室をシールド内扉で密閉し、注水により室内を切羽の土水圧と同等以上に加圧する。

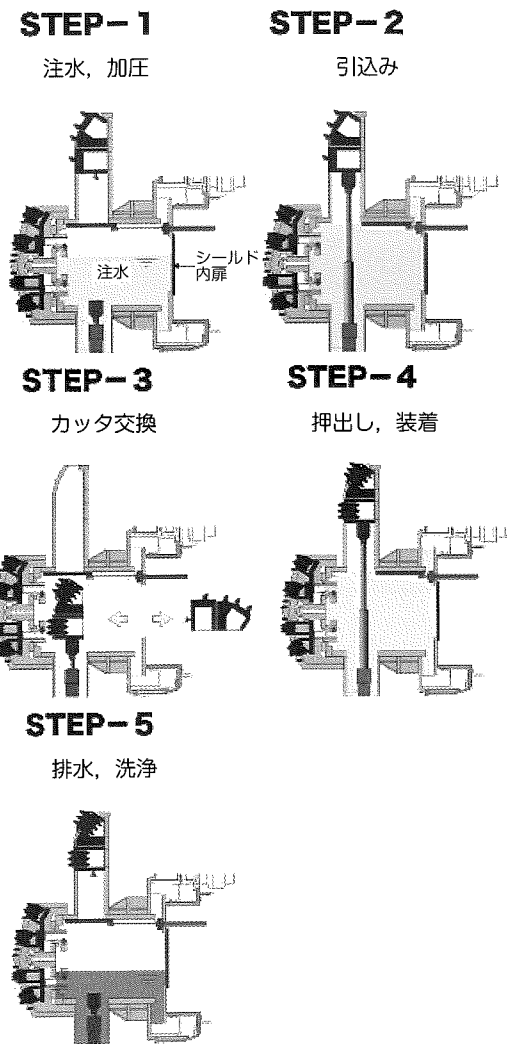


図-8 スポーク部の交換手順

##### STEP-2: 引込み

止水ゲートを開け、ジャッキによりカッタブロックを把持し、交換室に引き込む。その際、引き抜いたカッタスポーク部に土砂が入り込まないように可塑状充填材を充填加圧しながら行う。引込み作業完了後、止水ゲートを閉めて排水する。

##### STEP-3: カッタ交換

シールド内扉を撤去し、カッタブロックをシールド内に取り出して新たなものと交換する。

##### STEP-4: 押し出し・装着

シールド内扉を設置し、交換室内を注水加圧後、止水ゲートを開けてジャッキでカッタブロックを押し出す。

##### STEP-5: 排水・洗浄

止水ゲートを閉め、交換室内を排水したのち、シールド内扉を取り外し、交換室内を洗浄する。

上記の作業をくり返すことで、すべてのカッタブロックを交換する。

#### 4-7 交換日数

φ4.0m級シールドの場合、1回あたりの交換日数は、従来工法ではビット交換工7日、地盤改良などの付帯工については施工深度や水圧などの条件により1~2か月を要する。これに対し、本工法では条件による影響はなく準備1.5日、中央部交換1日、スポーク部交換3日、復旧1.5日の合計7日で行える。

#### 4-8 カッタビットごとの配置例と掘削軌跡

カッタビットごとの配置例と掘削軌跡を以下に示す。図-9はローラーカッタの配置例、図-10は先行ビットの配置例、図-11は立坑壁直接切削ビットの配置例である。カッタビットは、種類ごとに取付け位置と掘削軌跡が異なるが、本工法では交換するカッタビットの種類に応じて適切な配置が可能である。なお、立坑壁直接切削ビットの配置例は、中央部の交換機構にも同様のカッタビットを装備することを前提とする。

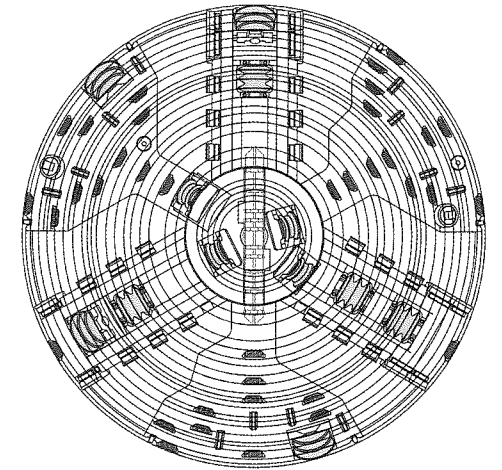


図-9 ローラーカッタ配置例

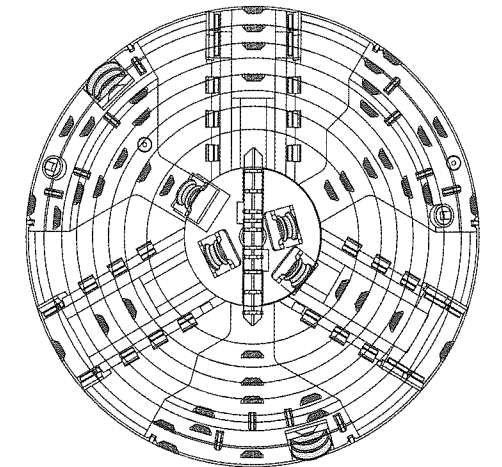


図-10 先行ビット配置例

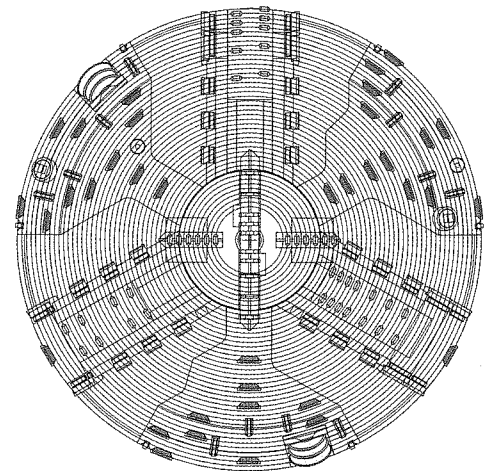


図-11 直接切削ビット配置例

## ⑤ カメレオンカッタ工法のまとめ

### 5-1 技術のまとめ

シールドのカッタビットは地山ごとに種類が異なるため、従来では環境保全や作業の危険性に問題を抱えながらも地中に人が出て交換や変更を行うしかなかった。

これに対し、筆者らが開発した機械式ビット交換「トレール工法」は、掘削性能を低下させずに複数種のカッタビット交換を可能としたが、機構上の制約から中央部の交換やビット配置の変更はできず、地山変化に対応するビットの種類変更には、完全に対応できていなかった。

今回開発した「カメレオンカッタ工法」は、トレール工法を進化させ、全掘削位置のカッタビットの種類と配置を変更できる全地盤対応型の機械式ビット交換工法である。

### 5-2 特長

- ① ビット交換のための作業用立坑や地盤改良が不要なため経済的であり、用地確保や環境汚染の問題を生じない。
- ② シールドの外に人が出ないため高水圧下や可燃性ガスが溶存する地山でも安全に作業できる。
- ③ 交換作業においても、シールド工法の特長である密閉性が確保できるため、上部に帯水層がある地山でも沈下陥没のリスクがない。
- ④ 交換作業を短時間でできるため工程短縮が図れる。
- ⑤ 構造がコンパクトなため掘進性能に影響を及ぼさない。
- ⑥ 複数種のカッタビットの交換がいつでも、どこでも、何回でも可能である。
- ⑦ 最外周を含む全掘削位置で、交換するビットに合わせた最適な配置が可能である。
- ⑧ 地山変化に合わせて常に最適なカッタビットを装着でき、ビットの不適合による掘進効率低下やカッタ装置のトラブルを防止する。

### 5-3 適用範囲

シールド形式：泥水式、泥土圧式  
 カッタ支持方式：中央支持方式、中間支持方式  
 掘削外径：φ3.0m以上  
 適用耐水圧：1.0MPa以下  
 対象地山：粘土、シルト、砂、砂礫、巨石、軟岩  
 施工実績：大容量送水管(王子工区)整備工事(神戸市水道局)

## ⑥ おわりに

本工法により、ローラーカッタの装備が必要な硬質地山を含む変化に富んだ地山の長距離掘進が可能になった。しかし、現状技術では残置杭などの支障物に遭遇した場合には対応することができない。しかし、カッタビットの種類をいつでも、どこでも、すばやく変更できる本工法の特長を活かすことにより、支障物除去への応用が可能になると考える。

代表的な支障物であるH形鋼や鋼矢板、RC杭などの残置杭は、専用のカッタビットを装着した特殊なシールドでなければ切削が不可能であり、遭遇した場合には地上から除去するか、それが不可能な場合には地中作業にて除去する以外にない。

本工法は、全断面に配置されたカッタビットを用途に応じて適時交換することができるため、支障物の切削除去に特化したカッタビットを開発することにより問題を解決することができる。今後はこれらを含めた工法の発展性について検討し、社会のニーズに応えていきたい。

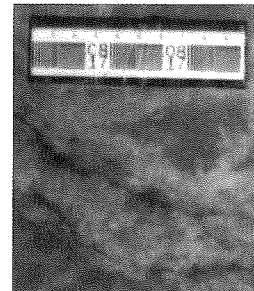
(文責：西明良・佐藤琢磨/飛鳥建設(株))

## 参考文献

- 1) 西明良・佐藤琢磨・藤林民男・早川英一：機械式ローラーカッタ交換「トレール工法」による巨礫を含んだ砂礫層(L=3.454m)の長距離掘進、第52回シールド・トンネル工法施工技術講習会テキスト、日本プロジェクト・リサーチ、pp.56-64、2008.7.

## 工法・技術・製品ニュース

### 技術 時速100km走行で幅0.2mmのひび割れを撮影



100km/hで走行しながら撮影したトンネルの表面

NEXCO中日本お客さまセンター  
 TEL.0120-922-229  
<http://www.c-nexco.co.jp/>

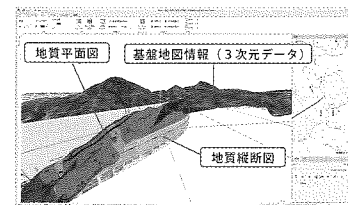
NEXCO中日本と東京大学大学院情報理工学系研究科は共同で、高速画像処理を用いたトンネル内点検技術を開発したと発表した。

同技術は、100km/hで走行しながら幅0.2mmのひび割れの検出を可能とするもので、撮影機器が小型で一般車両に搭載でき、専用車両を必要としない。東京大学が研究開発した「高速画像処理技術と高速小型回転ミラー」を用いることで、高速移動中でも画面の中心に被写体を捉え続けるよう制御でき、ブレのない高

精度な映像の撮影が可能となっただけでなく、従来よりも撮影に必要な照度を抑えることができるため撮影装置の小型化に成功した。

現在、トンネル構造物の点検は5年に1度、交通規制を行い、高所作業車を用いた近接目視や打音、触診により実施される。同技術により、事前にトンネル内を撮影し、精度の高い情報を事前に把握したうえで点検に臨むことで、点検の信頼性の向上や効率化が可能となる。2018年度の導入を目指すとしている。

### 技術 データ作成が簡易で操作が快適な山岳トンネルCIM



準3次元地盤モデルの表示例

(株)奥村組 管理本部 情報システム部  
 Tel.06-6625-3771  
[iwao.miyata@okumuragumi.jp](mailto:iwao.miyata@okumuragumi.jp)

(株)パスコ 広報部  
 Tel.03-3715-1048  
[biz-info@pasco.co.jp](mailto:biz-info@pasco.co.jp)

奥村組とパスコは共同で、山岳トンネル工事における施工情報を一元管理し、3次元データ作成の簡易性と快適な操作性を有するCIM用ソフトウェアを開発し、実工事での運用を開始したと発表した。

同ソフトウェアは大量データの高速度処理と高いレスポンスに強みをもつパスコ保有の3次元基本ソフトウェア「PADMS」をベースとして、山岳トンネルCIM用にカスタマイズすることにより、データ作成の簡易性と快適な操作性を実現した。3次元地盤モデルを、3次元データと2次元図面を組み合わせた「準3次元地盤モデル」として作成することにより、同モデルの作成に要する時間を約1/10に低減する。日常の

掘削管理に使用しているほかのシステムなどで得られる切羽情報、支保工パターン、切羽前方探査情報などの情報を3次元地盤モデルデータに取り込むことで、山岳トンネル工事に関する情報の一元管理を実現したほか、ベースとなる「PADMS」のパフォーマンスにより、現場で汎用されている32bitパソコンでも、3次元地盤モデル上で複数の情報が同時閲覧できるとしている。

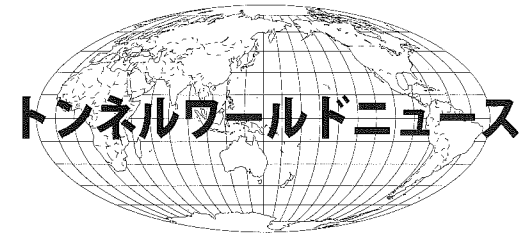
今後、両社は3次元データの活用ノウハウを高めるとともに、現場のニーズに適したシステムへの改良を進め、山岳トンネル工事での活用をはじめ、他の工種へも展開を図るなど、建設事業全体におけるCIMの導入を推進していくとしている。

## 建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著 A5判 326頁 本体価格 4,300円

株式会社 土木工学社

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



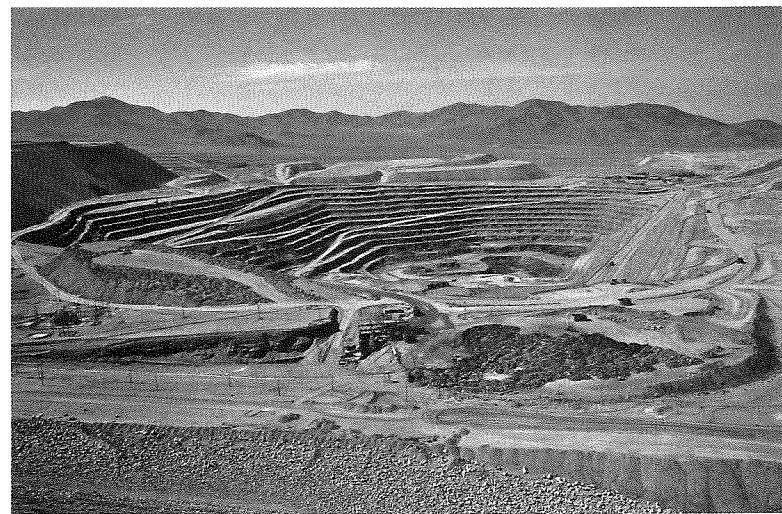
(一社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

## チリの地下鉱山を構築するのは ZUBLIN社

6月13日、Strabag社は、子会社のZublin International Chile社が、世界最大の銅生産者Codelco社(チリ銅公社)発注の4億4,800万USドルの工事契約を受注したと発表した。

工事内容は、チュキカマタ露天掘り銅鉱山を地下操業に切り替えるものであり、トータルでトンネル掘削延長63km、立坑掘削約7km、資材輸送360万tを要する。チュキカマタは、チリ北部Santiagoのおよそ1,650km北に位置する世界最大の露天掘り鉱山である。1910年に最初の操業を開始した歴史深い鉱山における最新の建設工事は、2021年までの工期である。

Strabag社CEOのThomas Birtel氏は以下のように述べた。「本プロジェクトに伴い、Zublin社



チュキカマタ鉱山(wikipediaより)

はCodelco社との関係を強化なものにしてくれるだろう。チュキカマタ鉱山に加えて、同社はEl Teniente鉱山、Andina鉱山にも従事している。チリでの鉱山事業における同社の長年の経験は、顧客にとっても感謝されているはずだ。」

Zublin International Chile社は、2000年に設立されて以来、Santiago de Chileに本社を構えている。同社は、Ed. Zublin社の子会社であり、オーストリアに拠点を置くStrabag社グループの一部を担っている。Zublin International Chile社は、約2,700人の従業員を雇用している。

国有企業であるCodelco社は、世界の銅供給量の約11%を生産するが、近年、同社にとって好ましくない事態が起きている。同社は3月に、2015年度の決算で14億USドルの損失を出したと発表した。「昨年、大手鉱山企業にとって最悪の年だった。銅の価格が20%も下落してしまったのだ。」と、社長のNelson Pizarro氏は述べた。(T&T '16.7 担当:法橋亮・戸田建設(株))

## UKPNトンネルが貫通

延長3kmのUK Power Networks(UKPN:英国の配電会社 <http://www.ukpowernetworks.co.uk/>)トンネルが、タワーハムレッツ(Tower Hamlets, 東ロンドン)で貫通した。建設を請負つ



たJ. Murphy & Sons社は、2,700万ポンド(3,600万USドル)で直径2.85m、深さ23~30mのトンネルを掘削した。

計画路線上の地質は、ロンドン一帯を覆うロンドン青色粘土層、Lambeth層群、Thanet砂層とチョーク層の互層、もっとも深い位置では、flints(チャート様岩)を含んでいる。

Murphy社の広報は以下のように述べている。「Murphy社は狙いどおりに最後のトンネル到達坑への貫通をタワーハムレッツ(東ロンドン)にて行った。トンネルの起点であるサウスウオーク(Southwark, 南東ロンドン)からの掘削誤差は50mm考慮している。Murphy社のチームは、会社が保有するロバート社製のTBM Fionnualaを選定した。91tの機材は、Murphy社の仕様で造られている。2014年8月にFionnualaの機材は3つの主要区間のうち、最初に南東ロンドンの発進坑に降ろされ、2週間で組み立てられた。最高3気圧の水圧下で掘進23m/日という非常に印象的な進捗を記録した」。

トンネルは、ロンドンの電力需要に応えるためテムズ川の南と北の変電所をつなぐ。トンネルを選択することで、ロンドン市民はケーブル敷設や更新作業など数箇月に及ぶ道路工事を避けることができる。

現在、Murphy社のチームは、タワーハムレッツにあるトンネルどうしを接合する縦坑から350tの移動式クレーンを用いてTBM機材を運び出す

ため、2週間を要して、70mあるFionnualaの後続設備台車の移動作業を進めている。

現在、トンネル内には、南西ロンドン(シティ)と西ロンドンの変電所間をつなぐために、132,000Vの電線を運ぶ何百ものケーブル支持ブラケットが並んでいる。トンネルへの電線敷設は、7月に始まり7か月後に完了する。新たなケーブルは、来年7月から供用を開始する。

工事実績の概況:

- ・延べ労働時間は290,000時間以上。Murphy安全教育開発プログラムと「Never Harm」の精神で災害ゼロを達成した。
- ・延長2,965mのトンネルは、17,790ピースのセグメントからなり、1ピースの重さは750kg。
- ・77,000tを超える掘削土を現場から搬出した。
- ・現場から運び出された工事の掘削土の99.7%はリサイクルされている。
- ・2,600t以上のグラウト材をトンネル背面に注入。
- ・営業運転中のJubilee線の交差部を沈下させることなく施工。さらに、テムズ川を地下で渡河した。
- ・TBMのカッターヘッドの点検を4昼夜間で実施。刃とピックの交換作業を最大限効率化の3点を実行した。

(T&T '16.8 担当:佐々木養一・鉄道・運輸機構)

トンネル発破技術のバイブル!!

わかりやすい

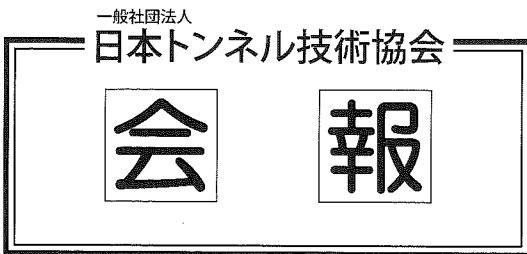
# トンネル発破技術

監修 山田隆昭

B5判 76頁 本体価格1,500円

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



1. 会員の現状

	4月30日現在
個人会員	880名
団体会員	205名
推薦会員	207名
特別会員	8名
名誉会員	5名
賛助会員	188名
合計	1,493名

2. 委員会の開催状況(4月1日~30日)

①運営広報委員会関係

◎総務委員会

- ・総務委員会(4/28)

服部修一委員長ほか12名, 理事会資料を検討

- ・広報小委員会

会誌WG(4/5)

小山幸則主査ほか12名, 5月号の会誌と3か月計画を検討

◎事業委員会

- ・事業委員会(4/12)

入江健二委員長ほか18名, 催物開催結果と今後の催物計画を検討

◎国際委員会

- ・ITA統括WG(4/20)

砂金伸治主査ほか18名, ITA年次総会, WTC 2017対応を検討

- ・海外文献小委員会

海外ニュースWG(4/25)

篠原慶二幹事ほか7名, 海外文献を査読  
計 5回開催 72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

地山評価WG(4/21)

木谷日出男主査ほか11名, 切羽画像を検討

- ・都市トンネル小委員会

セグメント実態調査WG(4/24)

三谷英司主査ほか12名, アンケート調査項目を検討

- ・保守管理小委員会(4/28)

浅見郁樹委員長ほか13名, 講習会およびQ & A 作成方針を検討

◎受託研究特別委員会

- ・数値解析マニュアル検討特別委員会幹事会(4/26)

蔣宇静委員長ほか13名, マニュアルなどを検討  
計 4回開催 53名出席

合計 9回開催 125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総会および世界トンネル会議「Surface problems -Underground solutions」	2017. 6. 9~15	ベルゲン (ノルウェー)	Norwegian Tunnelling Association, ITA(国際トンネル協会) <a href="http://www.wtc2017.no/">http://www.wtc2017.no/</a>
第44回ITA総会および世界トンネル会議「Smart Cities: Managing the Use of Underground Space to Enhance the Quality of Life」	2018. 4. 20~26	ドバイ (UAE)	Society of Engineers-UAE, ITA(国際トンネル協会) <a href="http://www.uaesocietyofengineers.com">http://www.uaesocietyofengineers.com</a> (論文概要募集中) 提出締切日: 8月1日
第45回ITA総会および世界トンネル会議「Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art」	2019. 5. 3~ 9	ナポリ (イタリア)	Italian Tunnelling Society, ITA(国際トンネル協会) <a href="http://www.societaitalianagallerie.it/Prj/Hom.asp">http://www.societaitalianagallerie.it/Prj/Hom.asp</a>

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

4. 平成29年度催物開催現況

(平成29年4月現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
【施工体験発表会】				
第80回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」	2017. 6. 28	200	東京	
第81回(都市)「市街地における地下構造物の新設および改良工事—近接, 拡幅, 再構築等の施工事例—」	2017. 6. 29	200	東京	

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

## 第80回(山岳)および第81回(都市)施工体験発表会開催のご案内

恒例の施工体験発表会を下記により開催いたします。今回は第80回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」14件, 第81回(都市)「市街地におけるトンネル・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—」9件について発表していただきます。プログラムにもありますように, トンネル工事関係者におかれましては, 施工における種々の現場事例を通じ, 技術力の向上を図るよい機会であると存じますので, 多数ご参加くださいますようご案内申し上げます。

### —記—

開催場所: 虎ノ門発明会館「地下ホール」(95頁の案内図参照)

開催日: 第80回(山岳)施工体験発表会 平成29年6月28日(水)

第81回(都市)施工体験発表会 平成29年6月29日(木)

定員: 各200名(定員になり次第締切ります。)

参加費: 第80回(山岳) 個人会員10,000円, 団体会員12,000円, 一般15,000円

第81回(都市) 個人会員7,000円, 団体会員8,000円, 一般10,000円

申し込み問い合わせ先:

申し込み用紙に記載のうえ, 郵送またはFAXをもってお申し込みください。受領後受付番号をご連絡いたします。なお, 電話での申し込みは受付けておりませんので, ご了承ください。

(窓口)一般社団法人日本トンネル技術協会施工体験発表会係

〒104-0045中央区築地2-11-26 築地MKビル6階

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

支払方法: 上記申込ののち, 郵便振替用紙通信欄に行事名と参加者氏名, 受付番号を記入のうえ下記へお振込願います。現金書留でも結構です。

郵便振替口座00160-7-196331 一般社団法人日本トンネル技術協会

その他: ①参加費の払戻しはいたしかねますが, 代理参加は差し支えありません。

②テキストをCDで事前に送付いたしますので, 住所などは必ずご記入願います。

※なお, 当日は印刷されたテキストを配布いたしませんので各自必要箇所コピーのうえご持参願います。また, テキストのCDを受領し, 参加費未納で欠席した場合は, テキスト代として¥5,000を請求させていただきますのでご了解願います。

③申し込みにかかわる個人情報につきましては, 他に利用するものではありません。

④発表会は(公社)土木学会のCPDプログラムとして申請中です。認定後は, ホームページに掲載いたします。

## 第80回(山岳)施工体験発表会プログラム 「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—」

開催日: 平成29年6月28日(水)

開催場所: 虎ノ門発明会館「地下ホール」

	司 会	事業委員会委員((株)安藤・間)	鈴木 雅行
9:30	開 会	事業委員会委員長(メトロ開発(株))	入江 健二
9:35	施工環境の厳しいトンネル工事におけるICT技術の活用—岩井地区トンネル工事—		
		飛鳥建設(株)東北支店岩井トンネル作業所工事係	寺島 巧
10:00	先進導坑によるトンネル貫通と坑口処理—四国横断自動車道 恩山寺第一トンネル工事—		
		鉄建建設(株)大阪支店恩山寺作業所副所長	澤山 健一
10:25	脆弱な地山における神社・鉄塔直下の近接施工と補助工法の施工		
	—中部横断自動車道 楮根第3トンネル工事—	(株)鴻池組東京本店土木部工事事務所長	安田 裕輔
10:50	【休 憩】		
	司 会	事業委員会委員(鹿島建設(株))	西岡 和則
11:00	脆弱な盛土直下でのトンネル施工について—大和御所道路 新田東佐味トンネル南工区工事—		
		前田建設工業(株)土木事業本部営業推進部	八木 基徳
11:25	坑口部に近接する民家の騒音対策—国道115号腰巡トンネル工事—		
		佐藤工業(株)東京支店土木事業部工務部	星野 文夫
11:50	構造物に近接した小土かぶりトンネルにおける変位抑制対策		
	—金沢東部環状道路 神谷内トンネル(Ⅱ期線)工事—	(株)安藤・間北陸支店神谷内トンネル作業所長	栗原 浩彦
12:15	【昼 食】		
	司 会	事業委員会委員(飛鳥建設(株))	築地 功
13:15	大幅な工程短縮を可能にしたパイロットトンネルによる超大断面トンネルの施工		
	—中部横断自動車道一色トンネル工事—	清水建設(株)関東支店土木部工事主任	高波 太郎
13:40	起爆秒時現場設定型電子雷管を用いたゴルフ場直下の制御発破掘削—新名神高速道路 東睦野トンネル—		
		(株)奥村組西日本支社土木第2部東睦野トンネル工事所工事主任	溝畑 陽一
14:05	小断面水路トンネルからの超大断面空洞地中拡幅—小石原川利水放流トンネル工事—		
		(株)大林組九州支店土木工事部工事主任	松尾 孝之
14:30	斜面斜交型坑口で斜め支保工を採用しトンネルを貫通—国道289号 八十里越7号トンネル—		
		西松建設(株)関東土木支社湯船原出張所主任	原島 大
14:55	【休 憩】		
	司 会	事業委員会委員(前田建設工業(株))	森田 篤
15:05	供用中のⅠ期線トンネルに超近接するⅡ期線トンネルの施工について		
	—東海北陸自動車道 上野第一トンネル—		
		大成建設(株)名古屋支店上野トンネル工事作業所監理技術者	篠崎 哲明
15:30	周辺環境に配慮した硬質地山のトンネル掘削—長崎自動車道 中里トンネル工事—		
		鉄建建設(株)九州支店中里トンネル作業所現場代理人	田辺 洋一
15:55	坑口周辺の騒音対策—一般県道砂原四方寄線(池上工区)2号トンネル—		
		佐藤工業(株)九州支店熊本2号トンネル作業所工事主任	清宮 数羽
16:20	大変形を伴う脆弱な泥岩を二重支保工による早期閉合により掘削—中部横断道 城山トンネル他工事—		
		大成建設(株)九州支店課長代理	田端 大人
16:45	閉 会		

### 第81回(都市)施工体験発表会プログラム

「市街地におけるトンネル・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—」

開催日：平成29年6月29日(木)

開催場所：虎ノ門発明会館「地下ホール」

- 司 会 事業委員会委員(東亜建設工業(株)) 久多羅木吉治
- 13:00 開 会 事業委員会委員長(メトロ開発(株)) 入江 健二
- 13:05 地下鉄営業線との近接施工をとまなう共同溝シールド工事の施工事例  
—平成24年度302号鳴海共同溝工事— (株)大林組土木本部生産技術本部設計第一部主任 安藤 嵩久
- 13:30 3連揺動型掘進機による地下通路の施工実績—日比谷連絡通路工事 R-SWING®工法—  
鹿島建設(株)東京土木支店日比谷連絡通路土木工事事務所工事課長代理 工藤 耕一
- 13:55 トンネル掘削を継続しながら、ボックスカルバートを施工する(ボックスカルバートのプレキャスト施工)  
—大和御所道路 新田東佐味トンネル— 鉄建建設(株)大阪支店新田東佐味作業所監理技術者 宇野 淳二
- 14:20 【休 憩】
- 司 会 事業委員会委員(東京都交通局) 吉村 正
- 14:30 急曲線・急勾配・鉄道近接が伴う市街地のシールド掘進管理について  
—第二谷田川幹線その3-2工事— (株)奥村組東日本支社谷田川シールド工事所長 藪ノ 和洋
- 14:55 供用中の地下鉄駅大規模改良工事における既設構造物の取りこわし  
—東西線・日比谷線茅場町駅改良土木工事— 東京地下鉄(株)改良建設部第三工事事務所主任 町田 裕之
- 15:20 既設推進管を地中拡幅(トンネル工事)したシールド発進基地の築造—横浜市獅子ヶ谷雨水幹線—  
戸田建設(株)首都圏土木支店土木工事2部獅子ヶ谷雨水幹線作業所長 竹田 英樹
- 15:45 【休 憩】
- 司 会 事業委員会委員(東京地下鉄(株)) 嶋田 司
- 15:55 アンダーパス工法による国道直下の大型函体けん引工事  
—市道戸塚第420号線戸塚町地内道路改良工事— 東亜建設工業(株)土木事業本部技術部課長 村松 紀夫
- 16:20 長距離・重要構造物横断・急曲線を含む小口径シールドトンネルの施工  
—江戸川第一終末処理場第1放流幹線築造工事—  
(株)熊谷組首都圏支店土木事業部江戸川第1放流幹線作業所 奥川 考透
- 16:45 海底下横断シールドにおける想定外の玉石出現への対処実績—南部処理区新磯子幹線下水道整備工事—  
西松建設(株)関東土木支社磯子シールド出張所副所長 橋本 守
- 17:10 閉 会

### 【施工体験発表会参加申込書】

平成29年 月 日

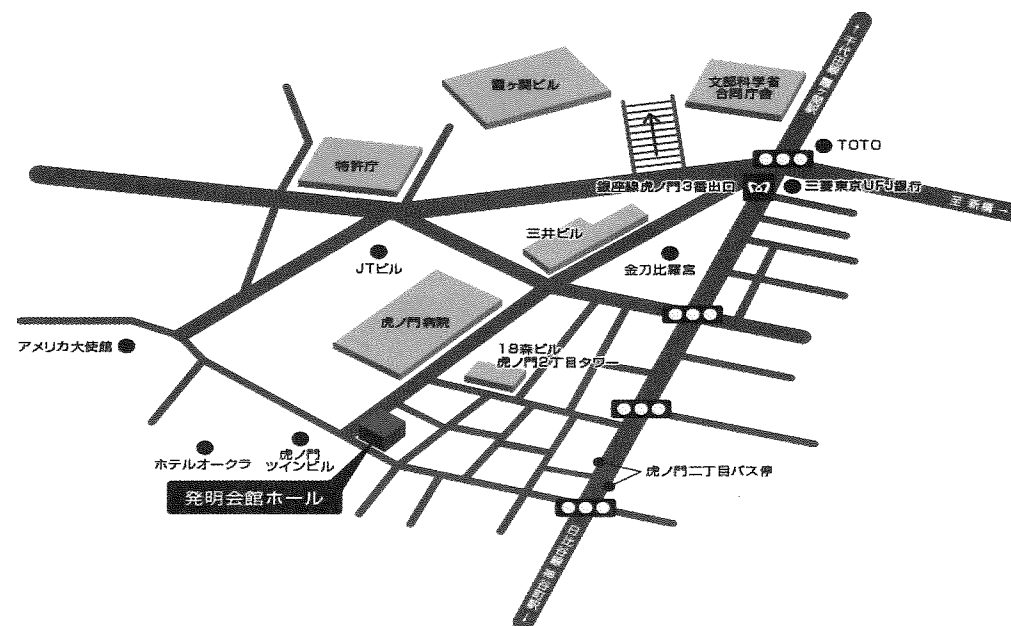
一般社団法人日本トンネル技術協会

施工体験発表会係あて

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

下記のとおり申し込みいたします。

発表会名	<input type="checkbox"/> 第80回(山岳), <input type="checkbox"/> 第81回(都市) ( <input type="checkbox"/> に√印願います)		
参加者氏名		年齢	
電話番号	—	—	
会社名			
住所	〒		
所属役職			
会員種別	<input type="checkbox"/> 個人会員, <input type="checkbox"/> 団体会員, <input type="checkbox"/> 一般(非会員) ( <input type="checkbox"/> に√印願います)		



虎ノ門発明会館「地下ホール」

銀座線「虎ノ門」駅 3番出口より徒歩5分

〒105-0001 東京都港区虎ノ門2丁目9番14号

TEL: 03-3502-5499

## 7月号予告[7月1日発売予定]

- めがねトンネルの施工過程における地表面沈下の進展に関する研究
- 鳥取自動車道 佐瀨トンネル
- 佐久間道路第1トンネル
- 中部横断自動車道 八之尻トンネル
- シンガポール地下鉄ダウンタウン線 [連載講座]
- トンネル新技術への挑戦(20)

\*内容等は変更になる場合がございます

### 編集後記

◆本号は「海外の地下鉄建設」と銘打って特集を組みました。日本の建設会社が海外で活躍する一端を知っていただきたいの思いがありました。掲載した工事は日本の建設会社が施工したほんの一例です。誌面の関係で各社1論文のみの掲載とさせていただきます。今後、機会があれば今回掲載できなかった工事についても掲載したいと思います。

◆特集の企画として68, 69頁に「地下鉄関連図書」の紹介の頁を設けました。出版業界は少し元気がないと言われておりますが、当社を含め各社元気に世の中に書籍を送り出しております。紹介した書籍は2016年から現在までに発行された書籍の中で「地下鉄」をキーワードに含んだものを厳選いたしました。ジャンルは小説からガイドブック的なものまでさまざまなものを選びました。読者の皆様もきっとお気に入りの一冊を見つけることができると思います。

◆地下鉄関連図書に紹介しました「世界の美しい地下鉄マップ」を拝見したところ、世界のかかなりの多くの都市に地下鉄保有都市かとずっと思っていました。営業距離も特記するほど抜きに出た都市ではありませんでした。世界の多くの都市で地下鉄が営業していることを知らずに本特集を企画したことは少し恥ずかしい気持ちになりました。今後は一般号、特集号にかかわらず掲載内容を決める際にはさらに身を引き締めて企画していきたいと思ひます。

(I.Y)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工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48巻 第6号 (通巻562号)

ISSN 0285-631 X

Tonneru to chika

平成29年5月20日 印刷

平成29年6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 勝彦

印刷 株式会社新協

### 本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

### 購読料

1冊 1,620円(送料110円)  
(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

### 本誌広告のお申し込み方法

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

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

## 吸引ダクトが無くても全ての断面、全ての延長に対応

たった37kWで2,750m<sup>3</sup>/min イーダスコ270使用時

### トンネル工事用 電気集じん器

# e-DUSCO

イーダスコ240/イーダスコ270

ファン動力30kW ファン動力37kW

## NETIS

公共工事等における新技術活用システム

登録番号: TH-100024-VE

経済産業省後援

第39回優秀環境装置

日本産業機械工業会 会長賞

## 全てのトンネルに適用可能!



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

### 吸引捕集方式にも対応



48m<sup>2</sup>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 <sup>3</sup> /min 任意設定の4モード	1800・2100・2700m <sup>3</sup> /min 任意設定の4モード <sup>※5</sup>
全長 <sup>※1</sup>	7411mm (サイレンサー含む)	
全幅	2350mm	
全高 <sup>※2</sup>	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 <sup>※3</sup>	2.4~3.2m <sup>3</sup> /回	
捕集ダスト処理	湿式	
集じん効率 <sup>※4</sup>	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2,750m<sup>3</sup>/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 小川橋木工場 ☎0285-23-8662

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

## 図書案内

### トンネル技術者のための地相入門

大島洋志 監修, 木谷日出男 編著  
3,200円+税 B5判

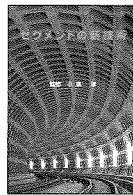
トンネルの計画・設計・施工にあたって留意すべき“地相”について、施工事例をもとに、豊富な図版と地形図を用いて、ていねいに解説した、画期的な入門書。



### 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。



### 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。



### 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。



### 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。



### 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。



### 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。



### 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。



### 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。



### 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。



### ジオテキスタイル設計マニュアル

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

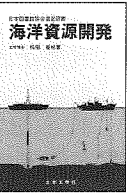
ジオテキスタイルの交通施設への利用について詳述された1981年の報告書を完訳。



### 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。



### 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。



### シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編  
4,660円+税 B5判

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



### 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。



### 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。



### 推進工法の理論と実際

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

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



### 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。



### 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。



### 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。



### 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。



### 書籍のお申し込み

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

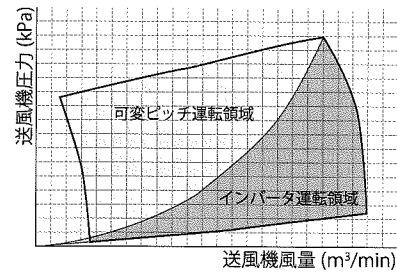
(株)土木工学社  
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807

# 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	60kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V	74 dB
	1500m³/min × 3.5/2.6kPa		
CDH1250-26-80(4)W	1500m³/min × 3.92/4.9kPa	80kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V	74 dB
	2000m³/min × 1.76/1.76kPa		
CDH1250-26-110(4)W	2000m³/min × 4.11/4.9kPa	110kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V	74 dB
	3000m³/min × 1.8/2.45kPa		
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

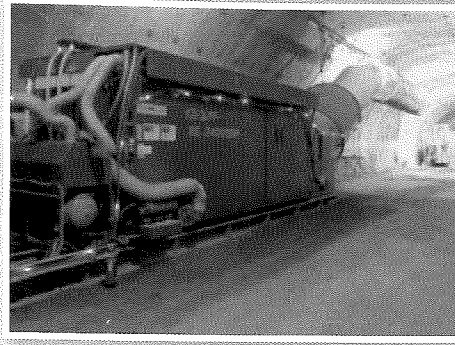


菅機械工業株式会社

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

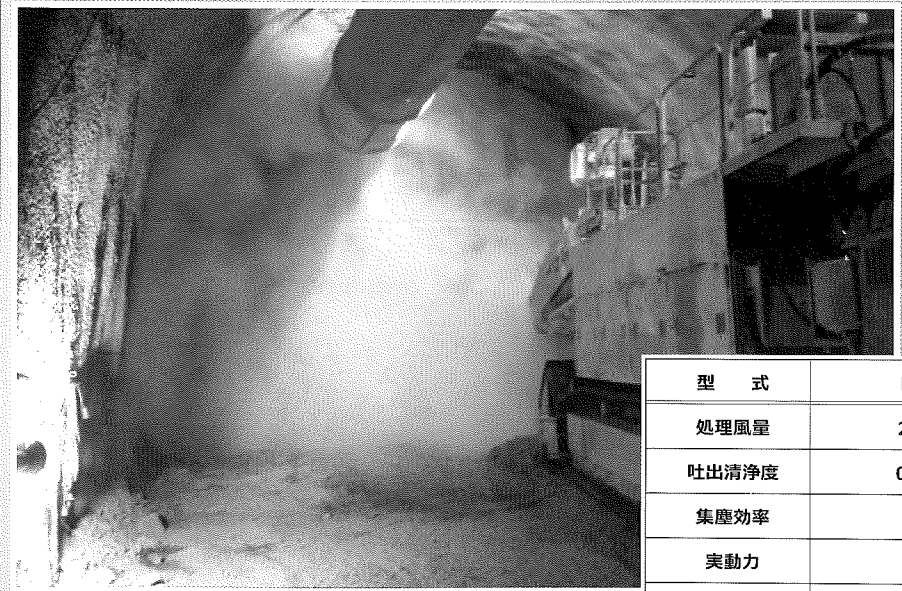


本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町13番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460



## 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
実動力	440V・83kW
寸法 (L×W×H)	2,869×12,963×3,387(mm)
重量	12,600kg

最適環境を創造する  
株式会社 流機 エンジニアリング

〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2  
TEL: 03-3452-7400  
URL: <http://www.ryuki.com/>  
E-mail: [eigyobu@ryuki.com](mailto: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06619-6



4910066190675  
01500