

# トンネルと地下 10

vol. 42  
no. 10  
2011

Tunnels and Underground

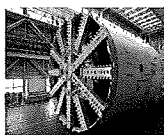
蛇紋岩脆弱地山を早期閉合と二重支保工で掘る  
大断面長距離シールドにおける月進400m高速施工への挑戦  
三波川帯低強度地山を早期閉合などの工夫で効率的に施工  
内水圧対応合成セグメントを採用し地下40mで洪水を調節

日本トンネル技術協会誌

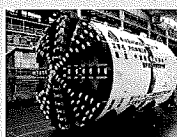
10  
494号  
トンネルと地下  
JTA  
35  
KR  
蛇紋岩脆弱地山を早期閉合と二重支保工で掘る VOL.42 no.10 2011

## トンネル開発技術に

## 70年のヒストリー。



**2007**  
(DバイルT用シールド)  
Dバイルの交通網の発展に貢献



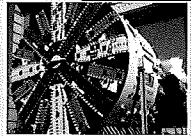
**2008**  
(支障物切削シールド)  
土中のト杭やシートパイルを  
シールドマシンで切削



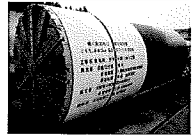
**2009**  
(中国初の断面φ14.27m泥土圧  
シールド)  
上海外灘地区の交通渋滞解消に貢献  
上海万博に合わせ貫通



**2010**  
(長距離・大断面φ12.5m泥土圧  
シールド)  
横浜市の交通ネットワークを形成する  
横浜環状北線トンネル工事が駆進開始



**2006**  
(世界最大径φ15.01m泥土圧  
シールド)  
スペインマドリッド環状道路M30の  
渋滞回避に活躍



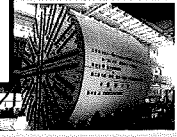
**2004**  
(大断面SENS工法シールド)  
東北新幹線三本木原トンネル  
工事の建設で活躍



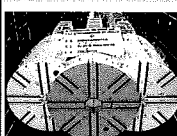
**1939**  
(日本最初の本格的シールド)  
関門トンネル工事で活躍



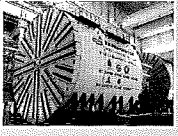
**1989**  
英仏海峡トンネルT-5区貫通式  
完成にわく関係者たち



**2003**  
(超大断面・大深度・長距離  
掘削用シールド)  
神田川・環状七号線地下調整池  
の建設で活躍



**1995**  
(3心円泥水式駅シールド)  
地下鉄12号線環状部飯田橋駅  
工区建設工事で活躍



**1993**  
(世界最大級の泥水式シールド)  
東京湾横断道路工事で活躍

世界中で  
1700台の  
実績！

昭和14年(1939年)我が国初の本格的シールド式トンネル掘削機を開発して以来、三菱重工はトンネル開発技術のパイオニアとして70年にわたり国内や海外で数多くの実績を築いてきました。豊かな21世紀を育むために、三菱は最先端のジオテクノロジーでさらに前進しています。

### 三菱重工メカトロシステムズ(株)のシールド式トンネル掘削技術

三菱重工メカトロシステムズ株式会社 都市開発部  
神戸市兵庫区和田宮通五丁目4番22号 TEL.078-672-2873 FAX.078-672-2869  
東京都港区港南二丁目16番5号 TEL.03-6716-4092 FAX.03-6716-5833

定価 1,575円  
本体価格1,500円

雑誌06619-10



4910066191016  
01500

**FRD**  
FURUKAWA

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

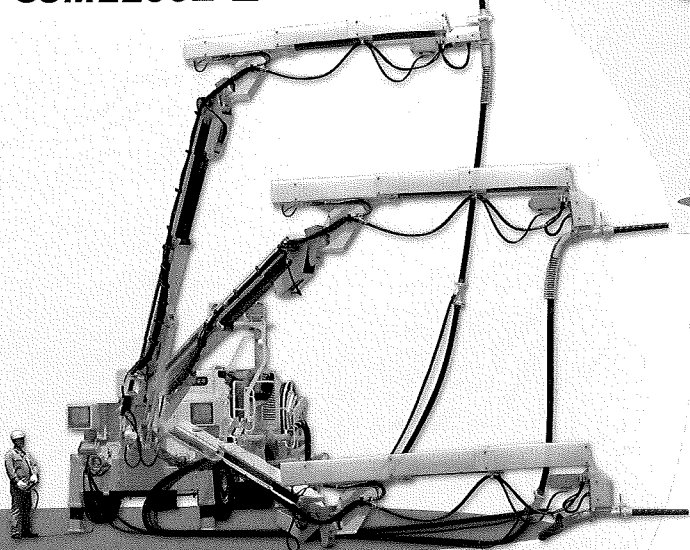
ホイール式ドリルジャンボ  
**JTH2200R/JTH3200R**

新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。  
新世代型油圧ドリフタHD210 II 搭載。



◆主な仕様	JTH2200R 2ブーム、2ケージ	JTH3200R 3ブーム、2ケージ
質量	35.5 ton	43 ton
全長	14,270 mm	14,760 mm
全幅	2,890 mm	3,140 mm
全高	4,000 mm	4,190 mm
水平さく孔範囲		
幅	12,770 mm	13,220 mm
高さ	8,490 mm	8,840 mm

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)  
**CJM2200E-III**



◆CJM2200E-III 主な仕様

質量	24 ton
全長	15,600 mm
全幅	3,000 mm
全高	4,000 mm
水平さく孔範囲	
幅 x 高さ	13.3m x 10 m

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

△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](http://www.furukawarockdrill.co.jp)

本社 〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目5番3号

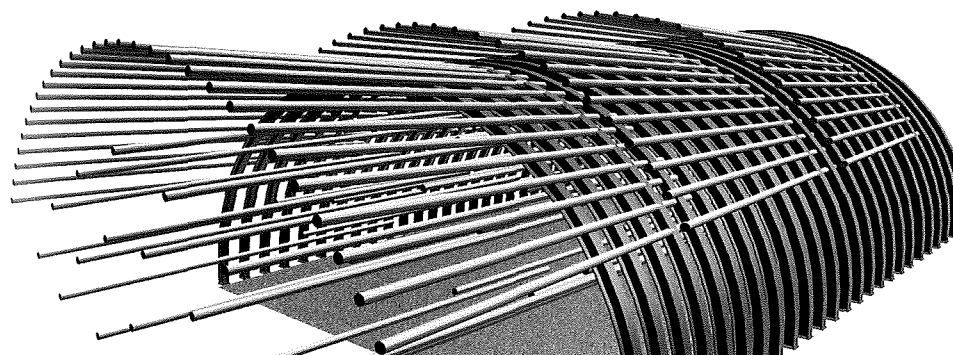
特機部 ☎03(3231)6966

札幌支店 ☎011-861-3261 東北支店 ☎022-384-8991 関東支店 ☎027-326-9611 名古屋支店 ☎0568-77-7700  
関西支店 ☎06-6475-8221 広島支店 ☎082-832-3542 九州支店 ☎092-948-2010

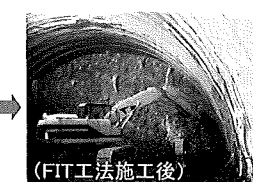
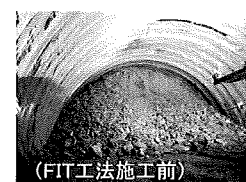
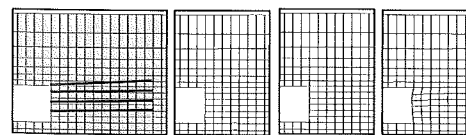
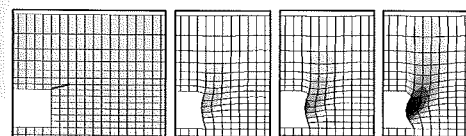
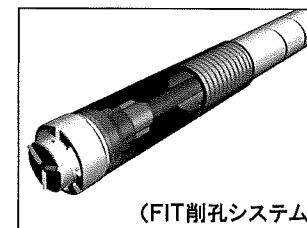
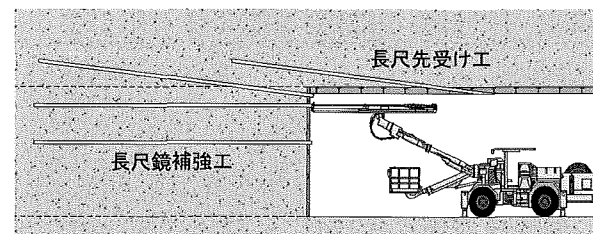
全方位 GFRP 管長尺補強システム

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。



(数値解析による効果の検証例)

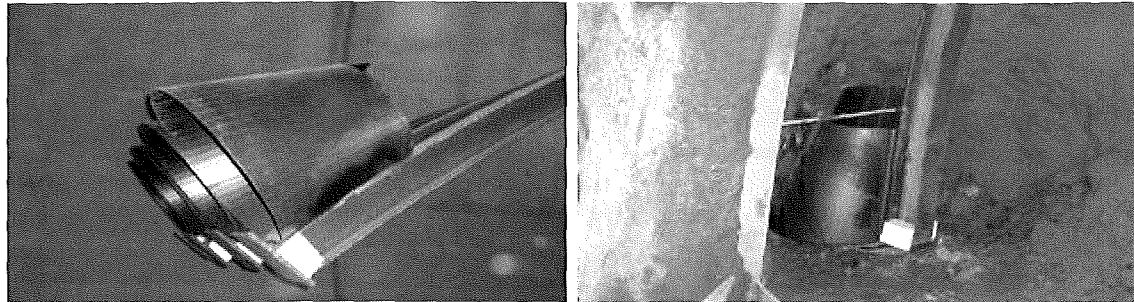
**KFC 株式会社 ケー・エフ・シー**

東京土木営業部 TEL(03) 3570-5223 FAX(03) 3570-5233  
大阪土木営業部 TEL(06) 6363-1884 FAX(06) 6313-0755  
札幌支店 TEL(011) 751-4681 FAX(011) 751-4682

ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

# 軟弱地盤に効果を発揮

薄鋼板を用いたウイングリブ  
『YM ウィングコーン』 NETIS 登録 :CG-070015-A



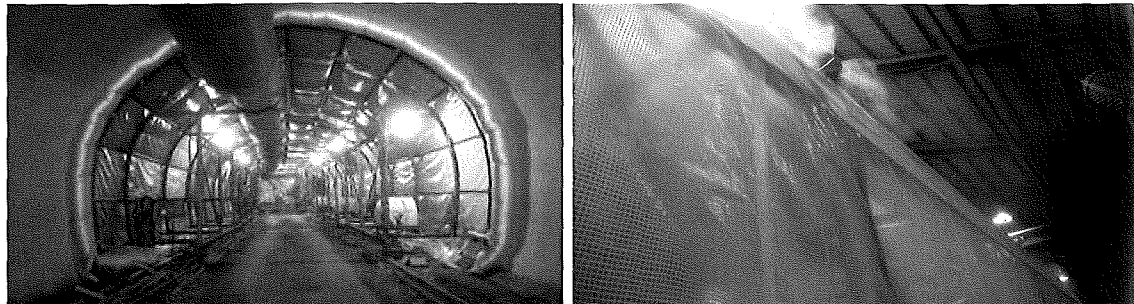
従来の H 形鋼ではなく、薄鋼板を中空の円錐台形に加工したウイングリブです。現場ストックが可能な、ボルトによる脱着式です。

### 【効果】

- ・直接コーン内に吹付コンクリートを吹き込み、地山と密着させ一体化させることにより、初期沈下抑制効果を発揮します。
- ・吹付コンクリートで地山密着させるため、危険な切羽近傍での接地面の地山均しが不要です。
- ・現場でのストックが可能のため、事前対策・急な地山変化に効果を発揮します。

# 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-A



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23年4月現在)

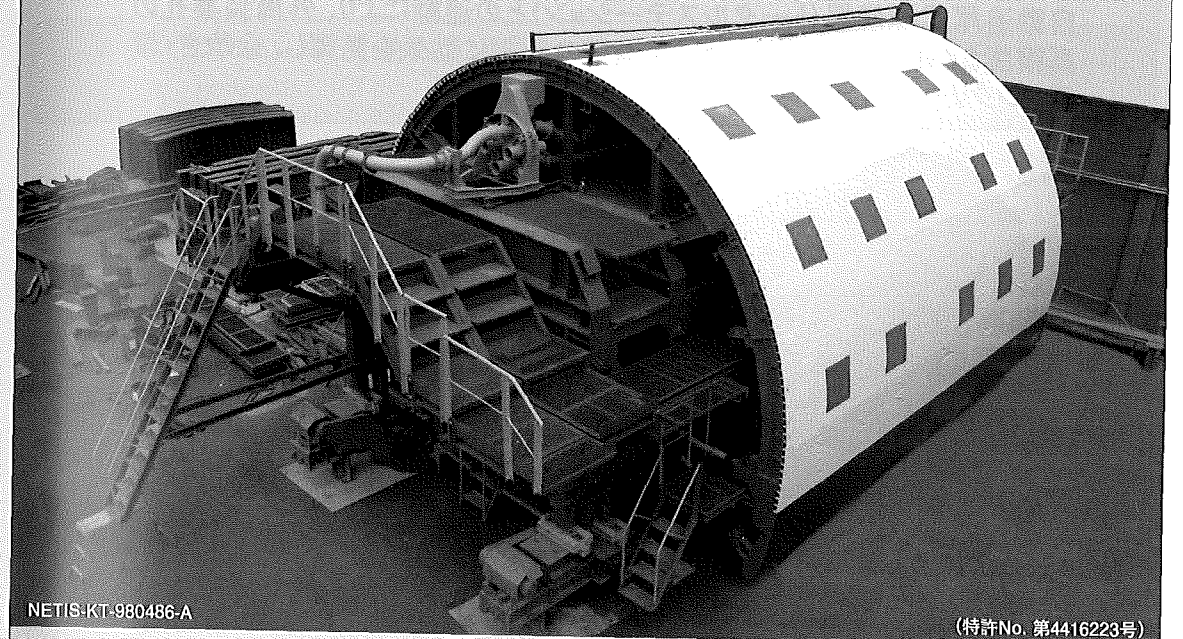
施主	実績	計画物件
国土交通省	16件	7件
NEXCO	8件	3件
地方自治体	7件	11件
合計	31件	21件

## 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

# 高品質・高耐久 覆工コンクリートを目指して

保温養生FRPセントル ハイパーフォームG

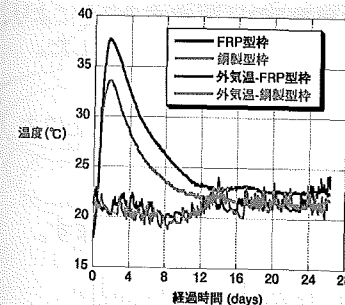


NETIS-KT-980486-A

(特許No. 第4416223号)

### ■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、脚フジタ 古江トンネルにて測定】



◎3~4℃の保温効果により、コンクリート強度が15~20%向上

### ■鋼製型枠との比較

項目	単位	ハイパーフォームG	鋼製型枠
基準サイズ	mm	900×10500×55	300×1500×55
重量	N/m <sup>2</sup>	145.1	405
比重		1.8	7.8
曲げ強度	MN/m <sup>2</sup>	294.2	333.4
剛性E・I	N・m <sup>4</sup>	3.66×10 <sup>4</sup>	5.39×10 <sup>4</sup>
熱伝導率	W/(m・k)	0.30	46.5
線膨張率	1/℃	1.0×10 <sup>-6</sup>	1.1×10 <sup>-5</sup>
光線透過率	%	2.2	0

### 特徴

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

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

※九州営業所は下記の住所に移転しました。

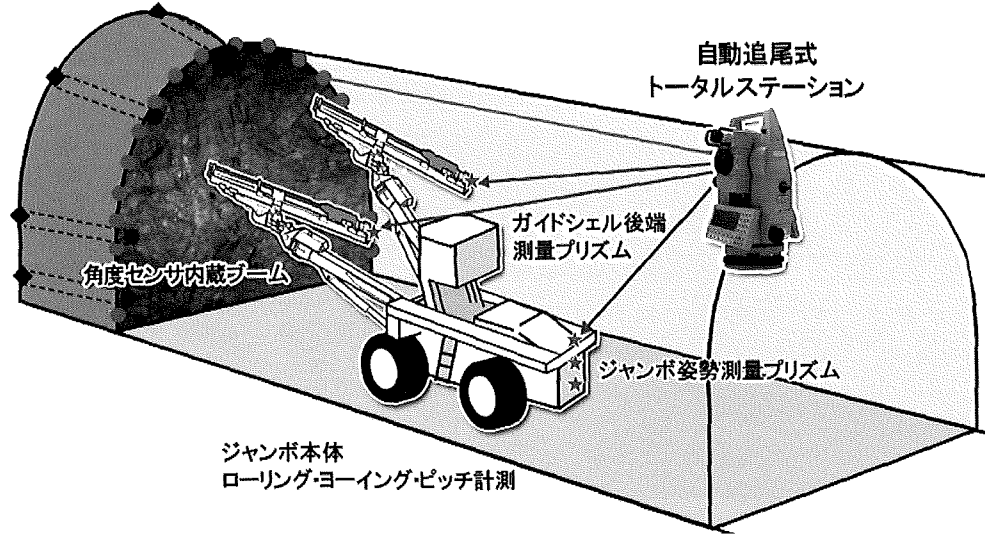
■ 本社 〒553-0006 大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル TEL:06-6443-7060  
■ 九州営業所 〒812-0011 福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号 TEL:092-409-8008  
■ 指定工場 〒919-0441 福井県坂井市春江町定重(森本工業) TEL:0776-51-2410

NETIS登録番号:KK-100049-A

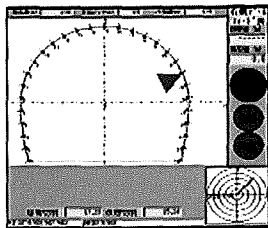
# 自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



## ■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

**MAC** マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

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

**FRD** 古河機械金属グループ  
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

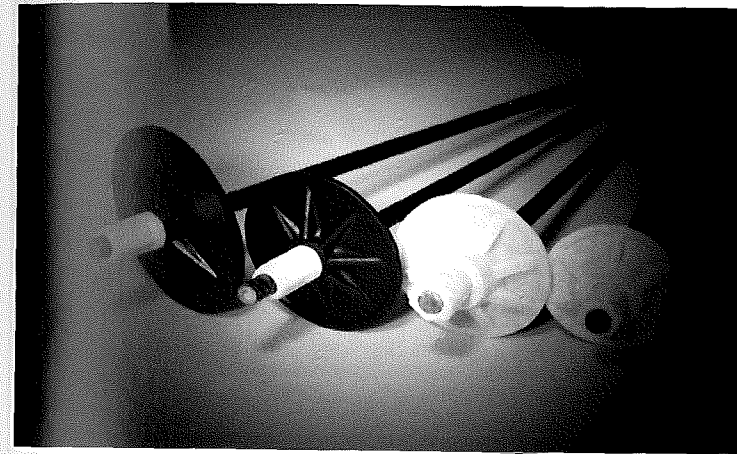
パターンボルトのGRP化

# POWERTHREAD

耐食機能に優れたロックボルト

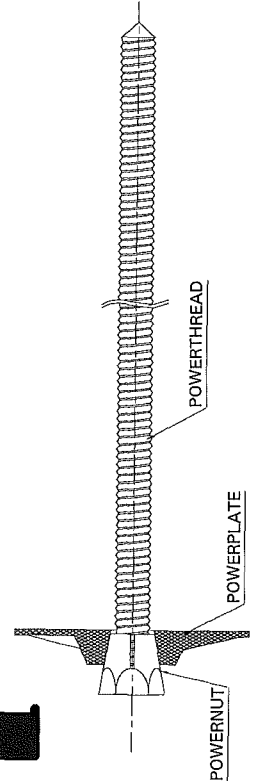
POWERTHREADは、POWERNUT/POWERPLATEを組み合わせることにより、  
全てGRP製に！！

※ GRPとは、Glassfiber Reinforced Plastic  
(ガラス繊維強化プラスチック)の略。



- ・棒鋼型ロックボルトと同等の耐力を有する。
- ・軽量である。
- ・腐食しない、錆びない。
- ・導電しない、耐電しない。
- ・製造過程でのCO<sub>2</sub>排出量が少ない。

環境にやさしいロックボルトシステム



**KATECS**

株式会社 カテックス  
建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.co.jp/>

技術営業部

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

東京支店

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

九州営業所

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

中部営業部

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

関西営業所

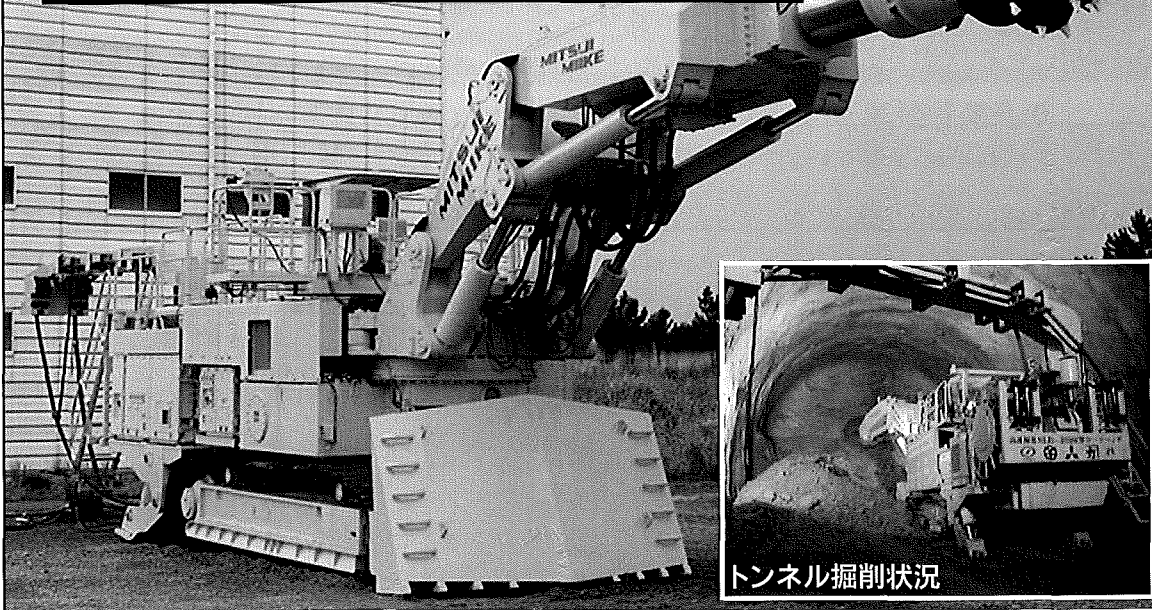
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237

北海道地区(株)エイチ・アール・オー

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

## 全断面对応トンネル高速施工掘進機

# ロードヘッド SLB-350S



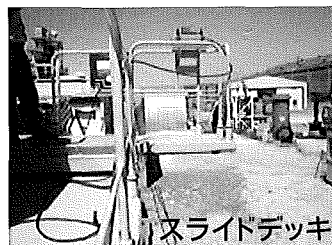
トンネル掘削状況

## 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。
- 切削部には中折れブームを採用しており、ベンチ長は最大 5m まで確保できます。又、中折れブームを取り外しての全断面掘削、及び上半掘削も可能です。
- 中折れブームの取り外し、及び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。(硬岩用ドラム使用)
- 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、下部掘削時等におけるオペレータの視界が大幅に改善されます。
- ディーゼルエンジンの搭載により、ロードヘッド単独での走行が可能です。よって、機体移動に際し配線替えや別途発電機の準備が不要となり、作業時間が短縮されます。

※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。  
 ※2 掻寄・コンベヤ仕様の場合、ディーゼルエンジンは搭載されません。



スライドデッキ

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

産業機械営業部 TEL.03-3270-2005 FAX.03-3245-0203

<http://www.mitsumiike.co.jp> E-mail sanki@mitsumiike.co.jp

## 各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー



**東和機電工業株式会社** かいた 穎田工場

〒820-1111 福岡県飯塚市勢田 2594 番地の 18

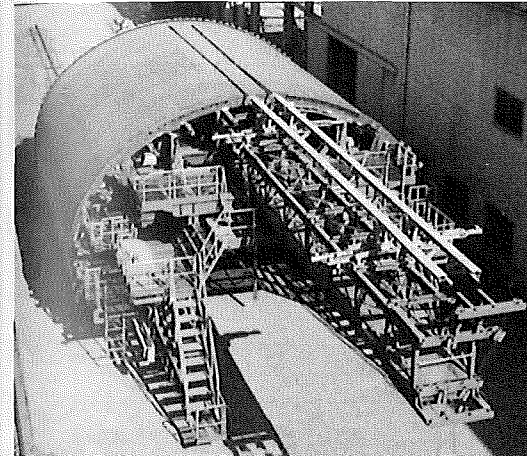
電話：(09496)2-3500 (代表)

F A X：(09496)2-6310

E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

創業昭和 29 年、設立昭和 39 年、昭和 42 年にセトル業界へ参入して、44 年の歳月の中、努力して今日まで参りました。九州一円離島に至るまで真心こめて納めさせて頂いた実績が、四国・関西・関東までの実績を伸ばしております。

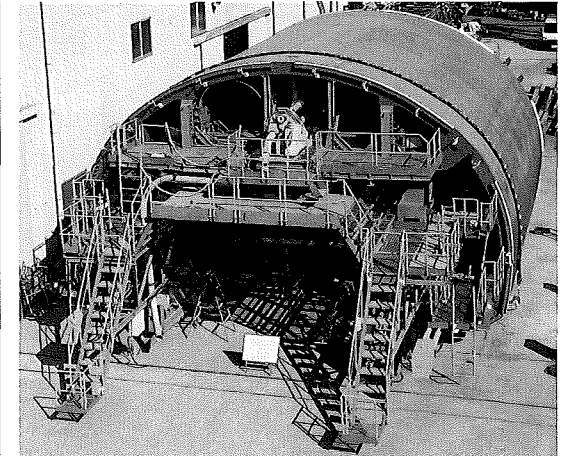
- クラウン部締め固めバイブレーター(特願)
- 中流動コンクリート用ステンレスフォーム



◎ 強靱なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは、前進後進同一の力で抜き差し出来ます。

◎ 円周方向にスライドするガイドセルは、クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます。

◎ ガイドセルの上昇・下降により、任意の高さを締め固める事が出来ます。



● 自動ケレン装置



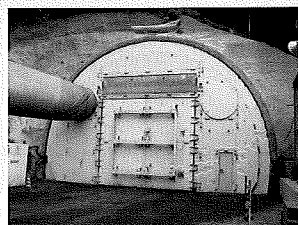
- ローター式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサーおよび警鳴装置
- クラック防止用弾性体式ラップアングル
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充填センサー

- 2 段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セトル
- 横移動式栈橋
- 自走式シート張り作業台車
- 橋型走行クレーン
- コンクリート養生設備

常に顧客のニーズに応えるため、安全性と施工効率を追求し、高品質な製品を納めさせていただきます。

## 快適な作業環境を提供する騒音対策システム

～25年の実績が最大級の安心をご提供いたします～



### 【防音扉】

- HFS型 マークII
- HFS型 ロック式
- HFS型 マークII 10c
- HFS型 マークII 15c



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。

『防音扉マークII』の音響性能

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

『防音扉ロック式』の音響性能

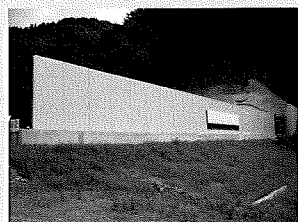
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	17 dB
2基設置	28 dB(A)	26 dB

『防音扉マークII 10c』の音響性能

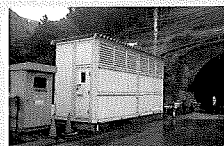
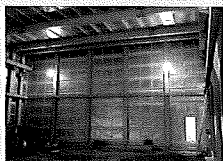
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	20 dB
2基設置	29 dB(A)	33 dB

『防音扉マークII 15c』の音響性能

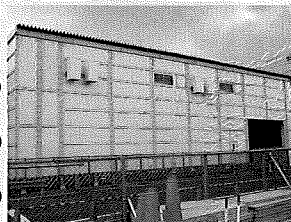
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	21 dB(A)	23 dB
2基設置	30 dB(A)	36 dB



### 【防音壁】 【防音ハウス】 【防音シェルター】 【防音ボックス】



- Sタイプ(スタンダードタイプ)
- Dタイプ(デラックスタイプ)
- Hタイプ(ハイデラックスタイプ)



『防音パネルSタイプ』の音響性能

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

『防音パネルDタイプ』の音響性能

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

『防音パネルHタイプ』の音響性能

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

### 【建設騒音対策協会】

- 株式会社 牛尾商店
  - 株式会社 カテックス
  - 株式会社 ティーエムシー
  - 日豊 株式会社
  - 株式会社 野佐和商会
  - 株式会社 ビーエスアイ
  - 古河ロックドリル 株式会社
- E-mail : souon@fuse-ind.co.jp

- ◆防音設備の設計、製造、施工、リース
- ◆建設業登録 東京都知事 許可 般-20 第130153号

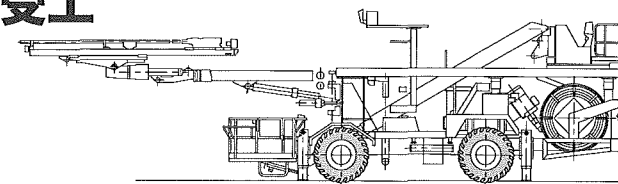
## 株式会社ヒューズ

- 本社 〒132-0035 東京都江戸川区平井 6-35-5 TEL. 03-3617-8111 FAX. 03-3617-7565
  - 大阪営業所 〒531-0072 大阪府大阪市北区豊崎 3-4-14 ショーレイビル TEL. 06-6359-2611 FAX. 06-6359-2288
- E-mail : info@fuse-ind.co.jp http://www.fuse-ind.co.jp

## 環境対応型長尺鋼管先受工

### TOHO AGF System

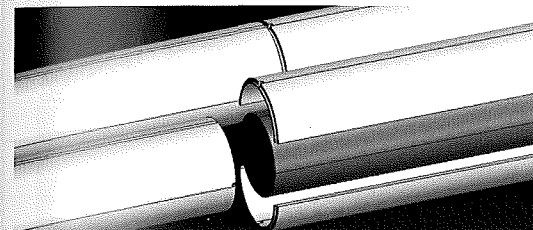
All Ground Fastening;  
Long-Distance, Fore-Pilling Method



### AGF-Me工法

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

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

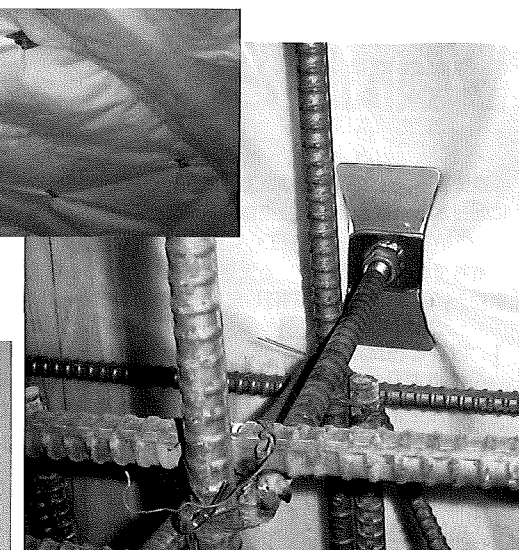
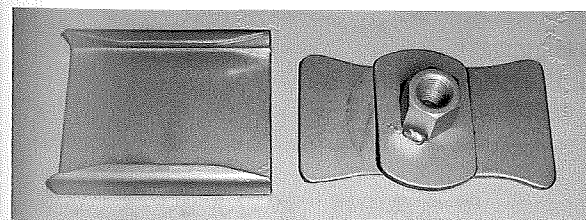


### 防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

### TKグリッパー

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

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



### 東邦金属株式会社 TOHO KINZOKU Co., LTD

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

### 株式会社 トーキソール

〒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

## 定期購読のご案内

定期購読料金 **12,000円** (@1,000円/月×12ヶ月 税・送料込)

わが国のライフラインなどのインフラ整備またはその再構築や新たな地下空間の築造に、掘削残土量や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をしております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管渠埋設の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっております。

### 申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039 加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間購読料金12,000円(毎月1冊×12ヶ月 税・送料込)をお支払いください。  
詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

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

定期購読のお申し込みは  
右のQRコード  
または本誌ホームページから



月刊推進技術 編集室

〒135-0046 東京都江東区牡丹2-2-3-105 株式会社LSプランニング内  
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail akasaka@lisweb.co.jp

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

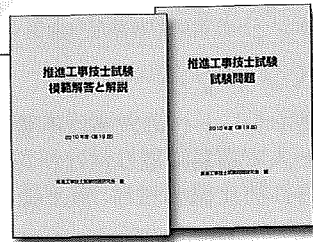
## 推進工事技士試験 過去9年間(平成14~22年度)

# 試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編

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

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



平成22年度版発売中!!

### 1. 内容と特長

- 過去9年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- 各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出典箇所を明記

### 2. 価格

各年度単体に1set 2,000円(消費税・送料込)

### 3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。  
ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社(団体)名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。  
これらのことをインターネットでご案内しています。

株式会社LSプランニング  
[http://www2.ocn.ne.jp/~ls\\_siken/](http://www2.ocn.ne.jp/~ls_siken/)

〒135-0046 東京都江東区牡丹2-2-3-105  
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail oca@lisweb.co.jp

# 推進工法の理論と実際

## 推薦の言葉

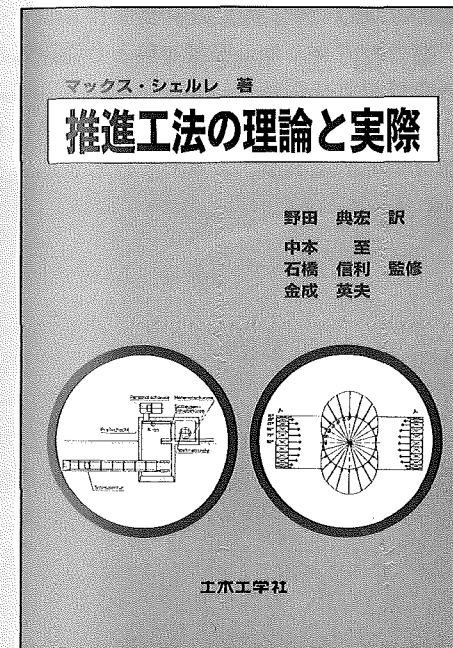
中本 至・石橋信利・金成英夫

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

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

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

## マニュアルを超えて 推進工法の理解を さらに深める一冊



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

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
tel: 03-3567-2888 fax: 03-3267-2807 <http://www.tunnel.ne.jp>

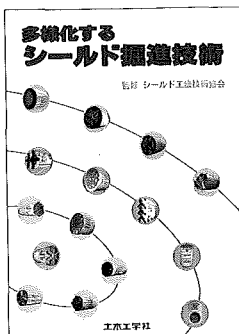
株式会社 **土木工学社**

好評発売中

# 多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判 141頁 本体価格2,500円



日本のシールド掘進技術は、国際プロジェクトに多くの日本企業が参画していることが示すように、国内はもとより海外でも高い評価を受けている。とりわけ、世界のスタンダード工法の感がある各種の泥土圧式や異形断面の掘進技術は、まさに日本が世界に発信している技術と言える。これらの掘進技術のほかにも、最近の技術開発の成果により実用化に至った掘進技術は数多く、毎年、新しい技術が更新を繰り返している。

このような背景を踏まえて、掘進技術を広くシールド技術者の参考となることを意図し、最近に開発、実用化された技術を中心に日本トンネル技術協会誌「トンネルと地下」に平成16年春より約1年にわたり『多様化するシールド掘進技術』という連載講座を設け紹介した。その結果、読者の方々より、掲載対象とした以外の技術との関係、従来工法との関わりなどの情報が欲しいとの意見が寄せられた。

このため、読者の声に応えるべく、連載講座には掲載しなかった工法、技術などを整理、体系化するとともに、各種工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点が、よりわかりやすいように手を加え再度、同名の図書「多様化するシールド掘進技術」をシールド工法技術協会が監修を行い、発行することとなった。

## 【掲載工法】

- ①ラチス式同時施工シールド工法、②F-NAVIシールド工法、③ハニカムセグメントを用いた同時施工法、④ロングジャッキ式同時施工シールド工法、⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法、⑥充填式シールド急曲線工法、⑦地下莖シールド工法、⑧T-BOSS工法、⑨球体シールド工法、⑩上向きシールド工法、⑪MMST工法、⑫拡大シールド工法、⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法、⑭ワギング・カッタ・シールド工法、⑮自由断面シールド工法、⑯OHM工法、⑰H&Vシールド工法、⑱単円～三連型駅シールド工法、⑲MFシールド工法、⑳DOT工法、㉑MSD工法、㉒親子シールド工法、㉓拡径シールド工法、㉔DSR工法、㉕泥土加圧シールド工法、㉖ケミカル・プラグ・シールド工法、㉗気泡シールド工法、㉘コンバクトシールド工法、㉙既設シールド撤去工法

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先

(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

トンネル工事からパンクを追放

## 坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

0~20 (約2年) 20~30 (1年6か月)  
30~40 (約1年) 40~50 (6か月)

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



中濃産業株式会社

代表取締役 土田義式

本社 〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1  
TEL(0581)38-2241(代) FAX(0581)38-3383  
営業所 〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387  
TEL(0581)34-3990(代)



トンネル進捗率改善のための最新技術

明かりが見えます

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

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

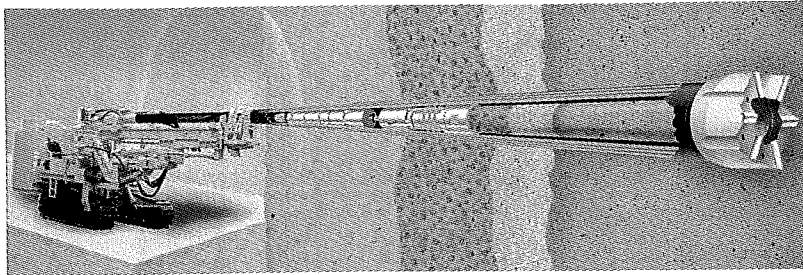
これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership (パートナーシップの力)」です。

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



# 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



### ■ 特長

- ①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、施工時間が大幅に短縮できます。
- ②2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くらべて大幅に向上しました。

**KOKEN 鉦研工業株式会社**  
 本社 〒171-8672 東京都豊島区高田2-17-22 目白中野ビル1F  
 TEL (03)6907-7888(大代表) FAX (03)6907-7527

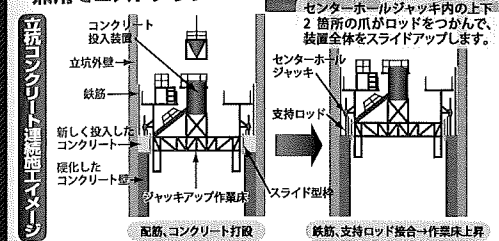
お問い合わせ先：工事営業本部  
 TEL. (03)6907-7512 FAX. (03)6907-7522  
<http://www.koken-boring.co.jp>

# スーパージャッキシステム

## トンネル・地下工事に貢献!

### 立坑スリップフォーム工法

- コンクリート連続打設で工期短縮
- 型枠・足場組ばらし不要
- 掘削・グラウトスカフォード兼用でコストダウン



### シールドマシン・TBMアップダウン

- 安全確実で経済的なステップロッド方式
- イコライザー機構で荷重・変位のバラ付きを解消
- 複数ジャッキをステップロッドで高精度制御

1,950トンのTBMリフトアップ (飛騨トンネル工事)

**営業品目** ■ジャッキリース・オペレータ  
 ■架台・型枠足場 設計・製作・据付工事

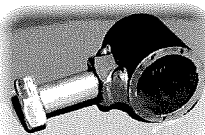
**JFE シビル 株式会社**  
 都市基盤営業部 特殊工法グループ

〒111-0051 東京都台東区蔵前2丁目17番4号 (JFE蔵前ビル)  
 TEL.03-3864-5293 FAX:03-3864-7319  
 URL <http://www.jfe-civil.com/> E-mail jack@jfe-civil.com

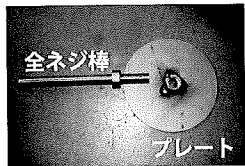
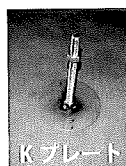
# コストダウンを可能にする Kリング・Kプレート

施工方法等詳細については下記までご連絡ください  
**製造・販売元 静岡スチール**  
 〒436-0342 静岡県掛川市上西郷 765-1  
 TEL : 0537-24-3886 FAX : 0537-24-3859  
 Mail : ktk@r5.dion.ne.jp

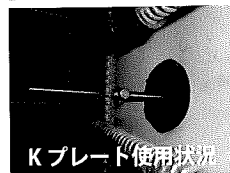
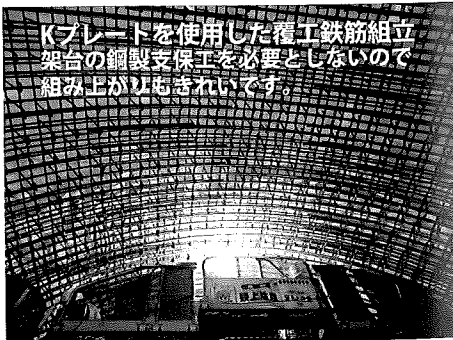
①アーチ鉄筋組立金物 (Kリング) 特許出願中 (特願 2001-309314 号)  
 トンネル施工時の覆工工事におけるアンカー筋に段取り筋を設置する際のコスト、安全、工期、品質の向上を可能にすることができます。



②防水シート接着ジベル筋 (Kプレート) 組立  
 ウォータータイト (全周止水) トンネルにおいて覆工コンクリートの鉄筋を自立させることによって、鉄筋受け架台の鋼製支保工コストの大幅削減を可能にすることができます。



**コンパクトサイズ**  
 Kプレートは分割方式により現場での組立が可能です。ナット付きのプレートと全ネジ棒

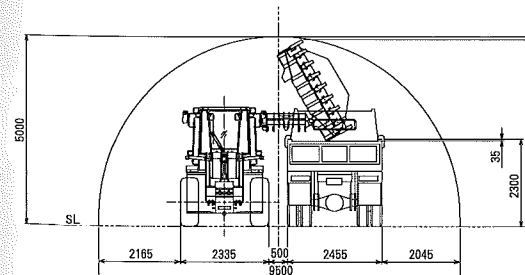


**設置は簡単**  
 円型プレートを直接支保工下地防水シートに接着して使用します。Kリングと併用します。



**サイドダンプ**  
**CAT 924H**

1.5m<sup>3</sup>



**klea 株式会社 ケイ・リー**  
 仙台 台: TEL.022-359-5331  
 東京 京: TEL.03-3661-5651  
 大阪 阪: TEL.06-6838-1372  
 尾道 道: TEL.0848-56-1124  
 機材センター: TEL.022-359-4951

URL <http://klea.catrent.com>

# 要求性能を満たす 覆工コンクリートの品質向上技術

## 天端引抜バイブレータ装置

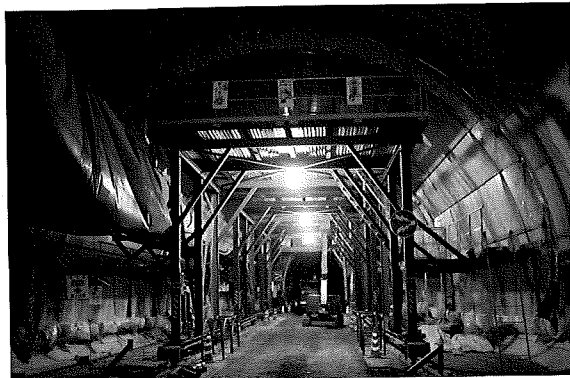
NETIS 登録 No.HR-080001-A



人力での締固め作業が充分とはいえなかった覆工天端部に、油圧式天端バイブレータを採用して締固めと密充填を行います。打設中のコンクリート内に棒状バイブレータを妻側から挿入し、油圧装置を用いて押し・引き動作を与えて使用します。天端部断面方向に2～4箇所設置することにより、天端部の締固めが容易に行え、合わせてブリージング水を排水し、覆工表面の縞模様を防止します。

## コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.HR-080002-A



打設直後のセントルとセントル連結式養生台車で脱型直後の覆工コンクリートを連続してシートで覆い坑内通気を遮断、保温・加湿養生を行うことで覆工コンクリートの初期強度を向上させるとともに、乾燥収縮によるクラックを防止します。更にこの後方に養生台車を2台連結することにより、コンクリート打設後7日間の連続養生が可能となります。

## 北陸鋼産株式会社

(旧社名 株式会社 佐賀)

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

射水工場：〒934-0056 富山県射水市寺塚原 720 番 1 TEL0766(82)1500 FAX0766(82)1501

滑川工場：TEL076(476)0333 FAX076(475)9121 東北工場：TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423  
東京営業所：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. 砂る過装置、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》



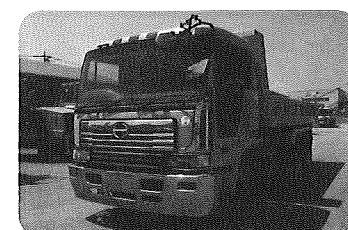
VOLVO ダンプトラック (A25CTS,A25CTR,A20/30CT)



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

### ■巻頭言

#### 震災と土木技術者の想い

土谷 誠 .....5

### ■施工

#### 蛇紋岩脆弱地山を早期閉合と二重支保工で掘る

—北海道横断自動車道 占冠トンネル西工事—

生方也寸志・関 茂和・三浦 文明・荻 雅雄 .....7

#### 大断面長距離シールドにおける月進400m高速施工への挑戦

—首都高速道路 中央環状品川線—

住吉 英勝・青木 敬幸・米沢 実・柴田 佳彦 .....19

#### 三波川帯低強度地山を早期閉合などの工夫で効率的に施工

—新東名高速道路 鳳来トンネル—

桐山 昭吾・大嶋 健二・神澤 幸治・浅野 彰夫 .....29

#### 内水圧対応合成セグメントを採用し地下40mで洪水を調節

—東京都建設局 白子川地下調節池—

内野 祐彰・立澤 延泰・織田 隆志・新井 昌一 .....47

### ■連載講座

#### 最新推進工法技術(5)

—小口径管推進工法(2)—

「最新推進工法技術」連載講座小委員会 .....55

### ■現場だより

#### 「杜の都」仙台市太白区八木山より

岡 幸平 .....28

### ■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

#### 海外プロジェクトに向かう技術者へ

松本 良夫 .....39

### ■資料

#### 土木情報

編集部 .....64

#### 工法・技術・製品ニュース

編集部 .....66

#### トンネルジャーナル

編集部 .....65

#### 海外文献速報

JTA国際委員会 .....68

### ■会報

#### 会報

日本トンネル技術協会 .....70

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)

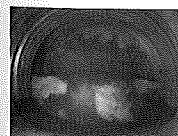
- 【主要目次】 1. バブル景気と『ふるさと創生一億円』 2. バブル崩壊後の温泉景気 3. 温泉とは  
 4. 温泉の分布と特徴 5. 温泉の成因と寿命 6. 温泉の探査技術 7. 温泉談義アラカルト  
 8. 外国の温泉 9. 日本の地熱開発 10. 将来の温泉開発と建設の考え方

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】

蛇紋岩脆弱地山を早期閉合と二重支保工で掘る  
 —北海道横断自動車道 占冠トンネル西工事—



占冠トンネルは、延長3,825mの避難坑を併設する2車線長大トンネルである。このうち、西工事(本坑3,100m、避難坑3,098m)は、粘板岩と蛇紋岩からなる破碎帯区間で施工が著しく難渋したJR石勝線鬼峠トンネルと地質状況が酷似していることから蛇紋岩脆弱地山での施工が課題であった。先行する避難坑の計測結果や近隣の穂別トンネル施工を参考に、本坑の支保や施工法を検討した結果、早期閉合と二重支保工による施工を採用した。写真は二重支保工の状況である。

(写真提供：東日本高速道路(株)) (本文7頁参照)

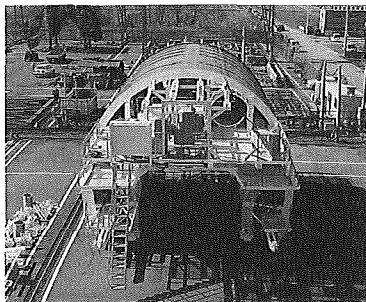
# 高品質なトンネル覆工に挑む

## 高品質なトンネル覆工を実現する 引抜バイブレータ締固システム

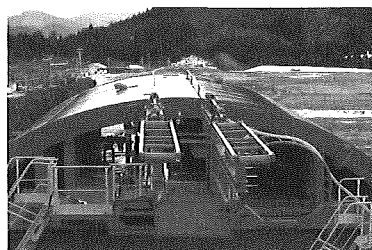
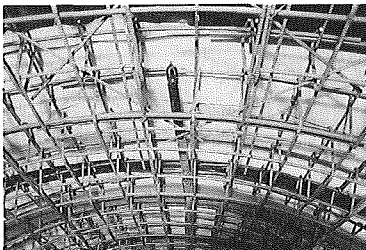
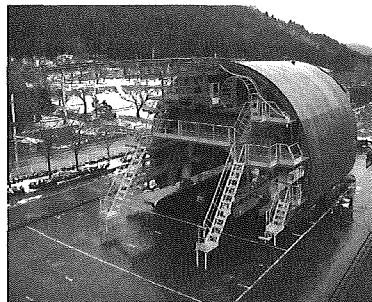
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

### ホースパイプ巻取り式



### パイプパイプ伸縮式



特願 2000-073694・2002-329301・2004-021814・2004-021817

### 効果・特徴

1. 覆工コンクリートの品質が向上する。
2. トンネルクラウン部の締固めが省力化できる。
3. 作業環境が改善でき、狭隘なヶ所での作業が無くなります。
4. 鉄筋、無筋区間での共用が可能で、経済性に富んでいます。



**岐阜工業株式会社**  
GIFU KOGYO CO.,LTD

本社 岐阜県本巣市十四条144番地 〒501-0464  
本社工場 TEL (058)323-2000(代) FAX (058)323-1176

本社営業部 (058)323-2001  
東京支店 (03)5836-0531  
仙台営業所 (022)259-2239  
九州営業所 (092)713-5265

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

## 総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

### 〔主 査〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

### 〔幹 事〕

居 相 好 信 株式会社大林組東京本社生産技術本部 トンネル技術部部长	城 間 博 通 西日本高速道路メンテナンス九州株式会社 保全事業本部保全計画部長
池 田 豊 人 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	濱 建 介 株式会社ANET取締役
大 石 敬 司 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 改良建設企画課課長	福 家 佳 則 鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部 トンネルグループ長
金 山 洋 一 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長	松 原 利 之 飛島建設株式会社建設事業本部 エンジニアリング事業推進部長
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	三 浦 克 株式会社竹中土木常務執行役員
志 岐 寛 清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部 部長	領 家 邦 泰 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル技術室参与

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13.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

**KYB** カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444  
カスタマーサービス 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  
西部支店 〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多 TEL 092-411-4998  
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〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

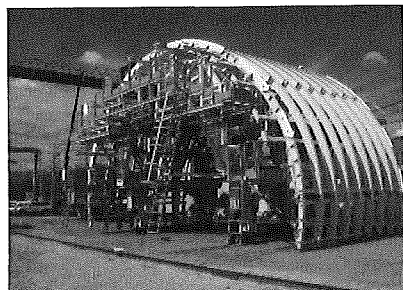
木谷 日出男 国際航業株式会社技術センター 地盤研究室長  
今田 徹 東京都立大学名誉教授  
高橋 良文 東京都下水道サービス株式会社管路部長  
橋本 定雄 (元)東京都公営企業管理者下水道局長  
濱 建介 株式会社ANET取締役  
三浦 克 株式会社竹中土木常務執行役員

〔委員〕

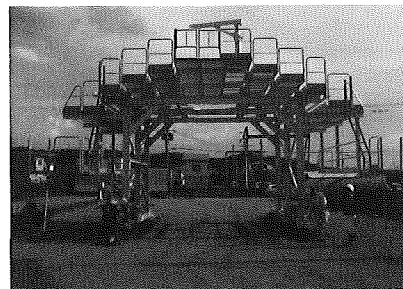
亀山 勝 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 計画担当課長  
坂口 淳一 東京都交通局建設工務部計画改良課長  
佐原 圭介 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐  
清水 満 JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所次長  
城間 博通 西日本高速道路メンテナンス九州株式会社 保全事業本部保全計画部長  
新谷 康之 東京都下水道局建設部設計調整課長  
高橋 晃 東京電力株式会社電力流通本部工務部 地中送電グループ課長  
藤村 和彦 東京都水道局建設部工務課長  
真下 英人 独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ長  
焼田 真司 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員

# トンネル 二次覆工用型枠 総合メーカー

一歩前進！  
～限りない未来への挑戦～  
大栄工機株式会社



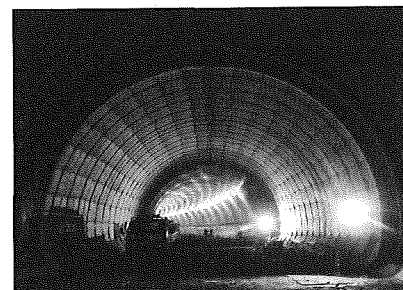
スライドセントル



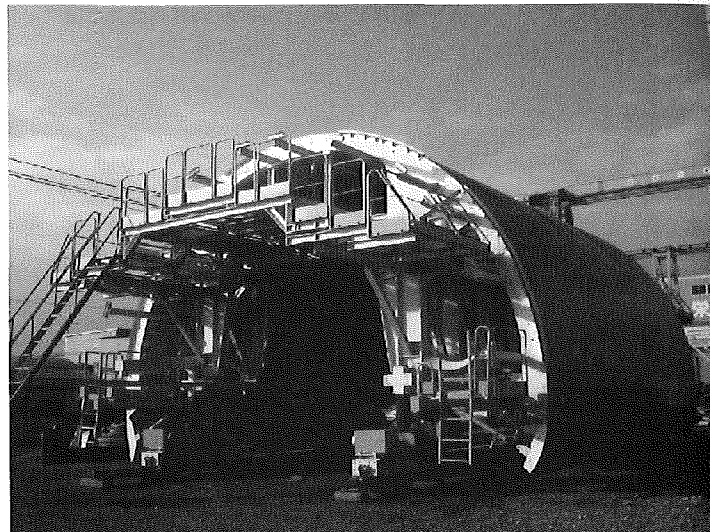
作業台車



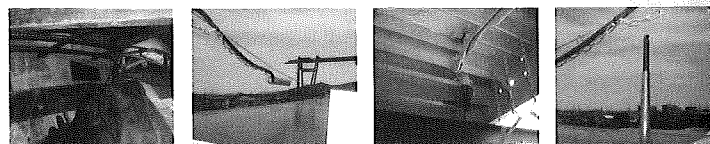
移動栈橋



NETIS登録番号 CB-090003-A  
EPSパネル養生



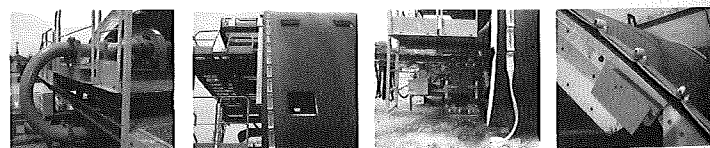
スチールフォーム(中流動コンクリート対応型)



MC矢板

天端引抜パイププレート

エア抜き金具



配管切替装置

剥離材塗布装置付自動ケレン機

クラック防止センサー

ご用命は下記まで

〒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)  
※詳しくは、弊社ホームページをご覧ください

掲載頁  
7

## 蛇紋岩脆弱地山を早期閉合と二重支保工で掘る —北海道横断自動車道 占冠トンネル西工事—

東日本高速道路(株) 生方也寸志

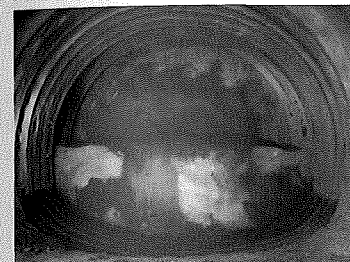
占冠トンネルは、北海道横断自動車道(夕張～占冠間)のうち占冠ICから西に約3kmに位置する延長3,825mの避難坑を併設する2車線長大トンネルである。このうち、西工事(本坑3,100m、避難坑3,098m)は、粘板岩と蛇紋岩の破碎帯区間で施工が著しく難渋したJR石勝線鬼峠トンネルと地質状況が酷似していることから蛇紋岩脆弱地山での施工が課題であった。先行する避難坑の計測結果や近隣の穂別トンネル施工を参考に、本坑の支保や施工法を検討した結果、早期閉合と二重支保工による施工を採用した。

本稿では、これらの支保検討(設計)や施工経緯と計測結果について報告するものである。

### Excavate Weak Serpentine Ground with Early Casting Invert and Double Support—Hokkaido Odan Expressway Shimukappu Tunnel West Side Section—

By Yasushi Ubukata, East Nippon Expressway Company Limited

Shimukappu Tunnel is a long 2-lane tunnel approximately 3 km west of the Shimukappu Interchange on the Hokkaido Odan Expressway (between Yubari and Shimukappu) which has a 3,825 m evacuation tunnel. The west side section works (main tunnel: 3,100 m, evacuation tunnel: 3,098 m) is drilling in a Hattomanai



写真は二重支保設置状況

Formation that presents with melange including serpentine of Kamukotan belt. The construction report of The JR Sekisho Line Onitoge Tunnel in neighborhood which had similar geological conditions showed construction in weak serpentine ground is difficult. Using the measurement results for the evacuation tunnel and the construction report of the nearby Hobetsu Tunnel as references, in consequence of investigations into the support and construction methods for main tunnel, early casting invert concrete and double support was adopted.

This report gives information on these investigations (designs) for support structure, construction events and measurement results.

掲載頁  
19

## 大断面長距離シールドにおける月進400m高速施工への挑戦 —首都高速道路 中央環状品川線—

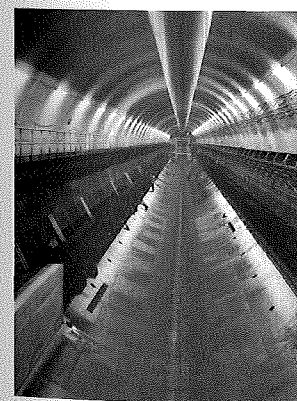
首都高速道路(株) 住吉 英勝

首都高速中央環状品川線の工事のうち、大橋行きシールドトンネル工事は、品川区八潮に位置する大井北発進立坑から中央環状線接続地点までを外径12.3mの大断面泥土圧式シールドで施工するものである。周辺地域の開発状況から中間立坑を設けずに約8kmの長距離掘進での計画であり、大井行きシールド(東京都施工)が併設して施工される。土かぶりには、南品川換気所付近で最大約46m、五反田出入口付近で最小約14mとなっている。また、トンネルの最小曲線半径は目黒川河口付近で245mである。掘進区間には、国道1号線や東急池上線などの多くの交差物件が存在している。

本稿では、現在施工中の大断面長距離シールドの施工状況を報告するものである。

### Challenge to High Speed Excavation of 400 m per Month with a Large Shield—Metropolitan Expressway Central Circular Route Shinagawa Line—

By Hidekatsu Sumiyoshi, Metropolitan Expressway Co., Ltd.



写真はシールドと道路床版側壁 shield for long tunnel.

The works of shield tunnel bound for Ohashi in the Metropolitan Expressway Central Circular Route Shinagawa Line Project are to construct the tunnel from the Oi Kita starting shaft located in Yashio, Shinagawa City to the connection point on the Central Circular Route using a large EPB shield with an outer diameter of 12.3m. This is a plan for long-distance excavation of approximately 8 km without installing intermediate shafts due to the surface condition along the tunnel. And the shield tunnel bound for Oi is to construct in parallel to it (Tokyo Metropolitan Gov. project). Overburden depth is maximum of approximately 46 m in the vicinity of the Minami-shinagawa ventilation station and minimum of approximately 14 m in the vicinity of the Gotanda exit. In addition, the minimum curve radius of the tunnel is 245 m in the vicinity of the Meguro River mouth. There are many intersecting structures such as National Highway No.1 or the Tokyu Ikegami Line over this tunnel.

This report gives information on the current construction status with a large

新東名高速道路鳳来トンネル工事は、第二東海自動車道横浜名古屋線の愛知県新城市乗本～下吉田間の工事総延長2,909.0m(うちトンネル上り線2,513.0m, 下り線2,464.0m)の道路トンネル工事で、新東名高速道路の工事としては愛知県下で最長のトンネルである。トンネル北側約1.5kmにある中央構造線とほぼ併行しており、断層破碎帯などの地質不良区間が予想されている。地質不良区間では押出し性の変位を示しており、変位の抑制、支保の安定確保のため、トンネル施工方法として補助ベンチ付き全断面掘削の早期閉合を採用した。

その結果、支保の安定確保と安全・確実な施工を行うことができ、この施工方法の有効性が示された。また、押出し性地山と早期閉合トンネルの力学挙動特性が明らかになった。

**Efficient Tunnelling in Weak Ground of Sanbagawa Belt with Devising the Techniques—New Tomei Expressway Horai Tunnel—**

By Shogo Kiriya, Central Nippon Expressway Company Limited

The works of the Horai Tunnel on the New Tomei Expressway are to construct road tunnels of 2,909.0 m in length (eastbound: 2,513.0 m, westbound: 2,464.0 m) between Norimoto and Shimoyoshida in Shinshiro City in Aichi Prefecture. It is the longest tunnel of New Tomei Expy. in Aichi Prefecture. The tunnel alignment is almost parallel to the Median Tectonic Line which runs around 1.5 km north of the tunnel. It is expected encounters with ground in poor geological conditions such as fault fracture zone during tunnelling. At the site in poor ground, squeezing deformation arose, we had tunneled by use of full face method with short bench to cast invert concrete promptly in order to control the deformation and stabilize the tunnel support structures.

As a result, it was possible to secure support stability and conduct construction safely and reliably and the effectiveness of this construction method was demonstrated. In addition, the characteristics of the dynamic behaviour of squeezing ground with early casting invert concrete method were discovered.



写真は早期閉合状況

白子川地下調節池は、白子川における1時間あたり50mmの降雨に対応する基幹的な施設であり、延長約3.2km、内径10m、貯留容量212,000m<sup>3</sup>のトンネル式の地下調節池である。

本工事は、練馬区大泉町二丁目地内に存する東京外環道路大泉ジャンクション内に設置済みの発進立坑(内径21.0m, 深さ47.3m)を起点とした延長3.2kmのシールドトンネルの構築と、その終点となる石神井川と都道環状八号線の交差部付近、同区高松三丁目に到達立坑(内径19.5m, 深さ46.5m)の構築を行う工事である。

また、本工事は、技術提案型総合評価方式により、工期が大幅に短縮され、シールドトンネルに使用するセグメントについては、内水圧が作用する地下河川トンネルに初めて適用されるタイプの合成セグメントを採用することとなった。

本稿では、採用した技術提案の概要と、セグメントが内水圧に対応できることを検証するために実施した実構造系載荷実験の概要および結果について報告する。

**40 m Underground Flood-control Reservoir lined with Steel-Concrete Composite Segments Corresponding to Inner Water Pressure—Tokyo Metropolitan Government Bureau of Construction Shirakogawa Underground Flood-control Reservoir—**

By Hiroaki Uchino, Tokyo Metropolitan Government Bureau of Construction

The Shirakogawa underground flood-control reservoir is one of core facilities that deals with rainfall of 50 mm per hour in the Shirakogawa basin and is a tunnel of 3.2 km in length, 10 m in diameter with a storage capacity of 212,000 m<sup>3</sup>.

These works are to construct 3.2 km long shield tunnel and an arrival shaft. The shield will be driven from starting shaft (inner diameter: 21.0 m, depth: 47.3 m) already installed within the Tokyo Gaikan Expressway Oizumi Junction at Oizumicho 2-chome, Nerima City to the arrival shaft (inner diameter: 19.5 m, depth: 46.5 m) at Takamatsu 3-chome, Nerima City where the Shakuji River and the Metropolitan Circular Route No.8 cross.

In addition, the schedule for these works are to be reduced and the steel-concrete composite segments are to be first used for underground river tunnels under inner water pressure based on technical proposal on the bidding.

This report gives an outline of the technical proposals employed in the works and an outline and results of loading tests on half-scale structural system which were carried out in order to verify the durability of for the composite segments against inner water pressure.



写真はSEW工法施工例

## 震災と土木技術者の想い

(株)奥村組取締役常務執行役員土木本部長(本協会理事)

### 土谷 誠



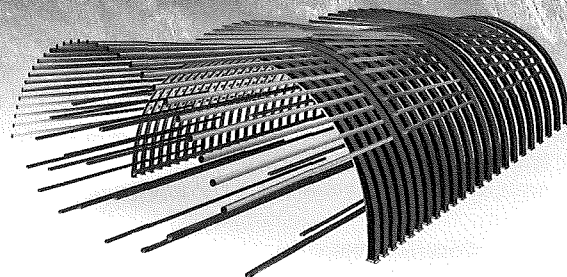
このたびの東日本大震災は、近代化したわが国が未だ経験したことの無い巨大地震の発生と、その後の大津波や原子力発電施設の事故などの複合により、東日本沿岸地域を中心に壊滅的な被害を発生させることとなった。被災された皆様方には心よりお見舞いを申し上げるとともに、いち早く震災復旧に携り、筆舌に尽くしがたい心労と肉体的なストレスの中で、献身的な支援を続けている多くの方々に、心からの敬意を表したい。

わが国の社会基盤整備は、その時点ごとに科学的に設定された基準値をもとに防災対策を立案し、国民が安全で安心して生活できるよう進められ、建設会社もそのなかで大きな役割を果たしてきた。近年では阪神淡路大震災や、台風に伴う東海豪雨(平成12年9月)をはじめとする風水害などの自然災害を教訓として、地震対策や治山・治水事業が各所で進められてきたところである。こうした努力にもかかわらず、20,000人を越える死者・行方不明者を出し、東日本全域と言えほどの広範囲に及ぶ大災害の発生を目前にすると、これまでの数々の教訓を十分に生かしきれず、また、発生する自然現象の規模や脅威を正しく想定することや、評価ができなかったために、多くの被災者を出したことに對して土木技術者の一人として忸怩たる思いがある。

震災後、直ちに土木学会をはじめ各団体・企業体などによる被害調査が行われた。その結果が徐々に明らかになるにつれ、大津波の驚異的な破壊力や液状化などにより沿岸域から内陸部にかけての広域に発生した住居地・農地・防潮堤施設などの損傷は予想外に甚大であることが判明し、従来の概念を超越した“想定外”の事象として多くの場で語られるようになった。しかしながら、土木技術者にとって、“想定外”という表現は何の慰めにもならないばかりか、むしろむなしい弁解であり言い訳でしかないことを、あらためて認識させられた。同時に想定外という言葉は、今後の取り組みへの警鐘であり、大自然の底知れぬ破壊力に対して土木技術者が更なる挑戦を開始する合図と捉えたい。

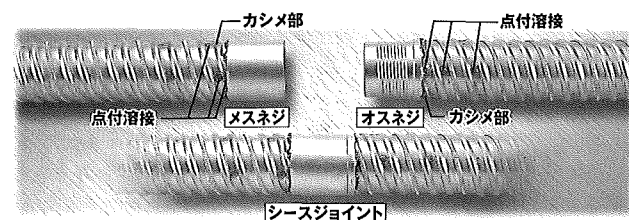
今後、震災にかかわる種々の調査結果や分析により、“想定外”を“想定内”とするための基準類の見直しや、次世代へつなぐ安全性を確保するための設計・施工法の改善

## ユニークな発想と高品質・自信の価格



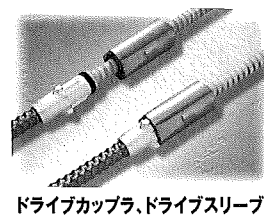
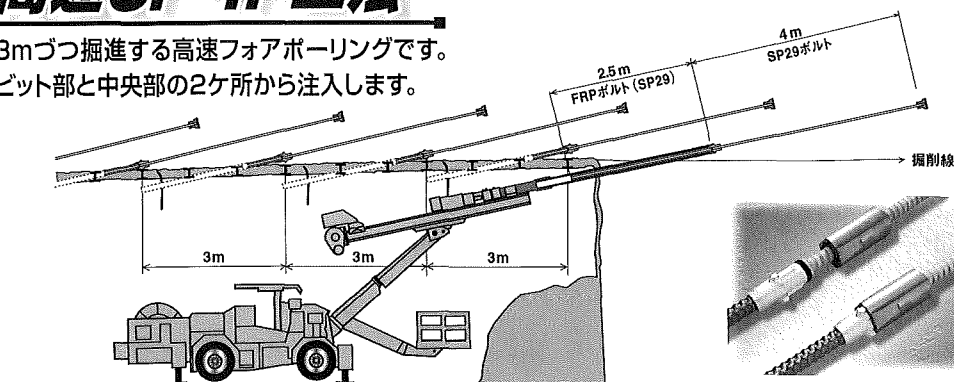
### FIXチューブ工法

※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと“FIX”します。



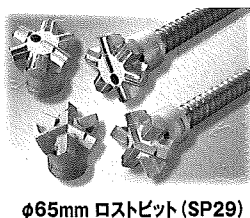
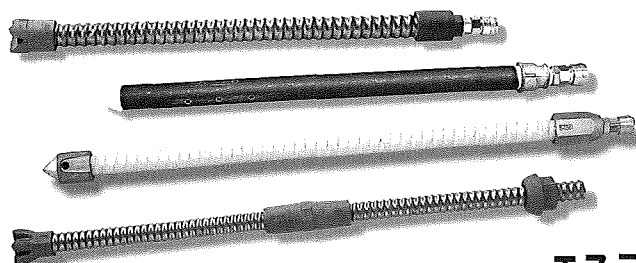
### 高速SP-IF工法

※3mづつ掘進する高速フォアポーリングです。ビット部と中央部の2ヶ所から注入します。



ドライブカップラ、ドライブスリーブ

### 自穿孔ボルト&注入管



φ65mm ロストビット (SP29)

※他にも脚部や坑口周りに利用できる各種の補強土工法、マイクロパイル工法を準備しております。

**STE**  
**エステ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:0729-90-0250 FAX:0729-90-0251  
<http://www.st-eng.co.jp>

が営々と進むことになるであろう。今回の地震では、トンネルや地下構造物が比較的健全であったこと、高架橋をはじめとするコンクリート構造物などへの直接的な被害が地震動の巨大さに比べ、意外に小さかったことなどは、阪神淡路大震災の経験を活かした耐震補強などの成果とも考えられ、貴重なデータとなりえよう。また、支援物資ルート の複数確保なども今後の都市計画や街づくりの重要な課題となる。巨視的にみれば、日本の将来のあるべき姿を見定め、単に経済活動の効率化を目指すのではなく、交通アクセスの充実や低エネルギー社会の実現を重要な視点として、より安全で安心して暮らすことができる新しい街づくりがこれからの社会資本構築の原点となろう。

わが国では、少子高齢化や成熟社会の到来に加え、世界的な景気の後退もあって国内市場が縮小傾向にあるため、建設会社は保有する高度な技術力を背景に生き残りをかけて、海外市場への進出を企図するようになっている。わが国の土木技術は、今日まで国内市場を主体に成長してきたため、海外の建設市場において、その高い信頼性と付加価値を受注や事業遂行に十分活かしかれていない側面がある。また、国内においても、欧米諸外国と比較すれば、わが国の建設業がこれまで高い社会的評価を受けたとは決して思えないが、近年の「コンクリートから人へ」のスローガンによって、産業・経済活動における建設業の存在感は一層希薄となりつつある。しかし、土木技術は社会生活を支え、将来にわたりわが国の経済活動を維持発展させる根幹の一つであることは間違いない。そして、永年培ってきた技術を活用し、これを確実に伝承していくためにはフィールドの存在が欠かせないが、その範囲が国内・海外を問わず徐々に減少しつつあることは残念である。こうした現状に土木技術者としての責任感や自負心を持ちながらも漠然とした危機感を募らせているのは私独りだけではないように思える。

土木技術者は、公共工事不要論をはじめとする現在の風潮を真摯に捉え、まず震災復旧復興へ向けた社会的な要請に対して技術的な貢献を目に見える形で早期に具現化することが求められている。同時に今回の震災を教訓とし、長期の視野に立脚した土木技術の研鑽が求められる。この過程では、有能な若者が土木技術者を目指すことができる魅力ある職場環境を整え、技術伝承のためのフィールドを確保して、世界に誇れる技術の持続的な継承と発展に努める必要がある。

その道程はいかにも厳しく、遠く険しいように感じられる。しかし、われわれはこれを土木技術者に課せられた責任と義務として認識すべきである。“想定外”という表現を技術者の逃げ道ではなく、安全・安心な社会を築くための貴重な体験を指し示すものと捉え、この言葉を悲嘆とともに再び繰り返すことのないよう、土木技術者の一人として弛まず研鑽を積みみたいと思う。

## 施工

# 蛇紋岩脆弱地山を早期閉合と二重支保工で掘る

## —北海道横断自動車道 占冠トンネル西工事—

東日本高速道路(株)北海道支社千歳工事事務所占冠トンネル西工事長 生 方 也 寸 志  
 (株)高速道路総合研究所道路研究部主任 関 茂 和  
 三井住友建設(株)・佐藤工業(株)特定建設工事共同企業体所長 三 浦 文 明  
 三井住友建設(株)・佐藤工業(株)特定建設工事共同企業体工事課長 荻 雅 雄

### 1 はじめに

北海道横断自動車道は、現在建設中の夕張IC～占冠IC間の供用開始に向けて順次整備が進んでいる。占冠トンネルは占冠ICから西に約3kmに位置する全長3,825mの2車線道路トンネルで、本坑とはほぼ並行に30～50m離隔をとって避難坑を併設している(図-1)。そのうち、西工事は西側の本坑3,100mおよび避難坑3,098mの新設工事である。

本トンネルの北側約400～1,200mを並行するJR石勝線<sup>北に</sup>鬼峠トンネル(L=3,765m)は、建設時(昭和41～47年)に粘板岩と蛇紋岩からなる破碎帯区

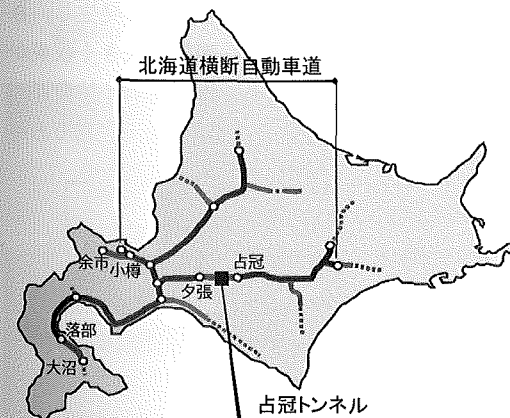


図-1 位置図

間で強大な地圧が発生し、施工が著しく難渋したことが報告されていた<sup>1)</sup>。当トンネルにおいても、地形・地質状況がJR鬼峠トンネルと酷似していることから、同様の現象が発生すると危惧されていた。そこで、パイロット坑としての避難坑と近くのトンネル(JR鬼峠トンネル、NEXCO穂別ト

表-1 工事概要

工事名称	北海道横断自動車道占冠トンネル西工事
工事場所	北海道勇払郡占冠村ニニウ
工期	平成16年7月～平成23年6月(その1～3)
発注者	東日本高速道路(株)北海道支社
施工者	三井住友建設(株)・佐藤工業(株)特定建設工事共同企業体
延長	トンネル本坑 3,100m
	トンネル避難坑 3,098m
断面	本坑 80.3～142.3m <sup>2</sup>
	避難坑 18.7～26.4m <sup>2</sup>
施工方法	本坑、避難坑ともNATM
	掘削方式 本坑、避難坑とも爆破掘削
掘削工法	本坑 補助ベンチ付き全断面
	避難坑 全断面
運搬方式	本坑 タイヤ方式
	避難坑 レール方式
補助工法	天端安定対策：AGF、フォアポーリング
	切羽安定対策：鏡ボルト
	脚部安定対策：上半仮閉合、脚部補強ボルト

ンネル)の施工実績を踏まえ、FEM解析などを用いて本坑の支保構造、補助工法、加背割りについて検討し、二重支保構造による早期断面閉合を採用了した。

本稿では、占冠トンネルにおける蛇紋岩脆弱地山でのトンネルの設計の考え方(二重支保構造)と施工結果について報告する。

## 2 地形・地質の概要

### 2-1 地形地質概要

占冠トンネルの地質縦断図を図-2に示す。占冠トンネル周辺に分布するおもな地層は、神居古譚帯のハッタオマナイ層、新第三紀中新世のニニウ層群滝の上層、第四紀の地すべり崩積土である。西工事に分布する地層は、西側坑口付近では滝の上層泥岩・砂岩・礫岩、トンネル西側区間ではハッタオマナイ層砂岩が主体である。トンネル中央部ではハッタオマナイ層粘板岩が主体で、蛇紋岩を伴うメラングジュ(切羽断面程度の規模では混在岩と呼ぶ)を挟在する。

土かぶりは坑口より徐々に増加し、西側坑口から1,500mで最大土かぶり400mとなる。STA.723~726の蛇紋岩脆弱地山の土かぶりは200~150mである。この区間の地質的な特徴は次のとおりである。

- ① 地山は破碎質の混在岩からなり、粘板岩が主体で蛇紋岩や凝灰岩などを伴う複雑かつ不均質な地質である。南北方向の断層・破碎帯が数多く分布し、褶曲構造も伴うため、地山には低強度区間や潜在応力が蓄積している区間が、トンネルルートを横断するように断片的に分布する。

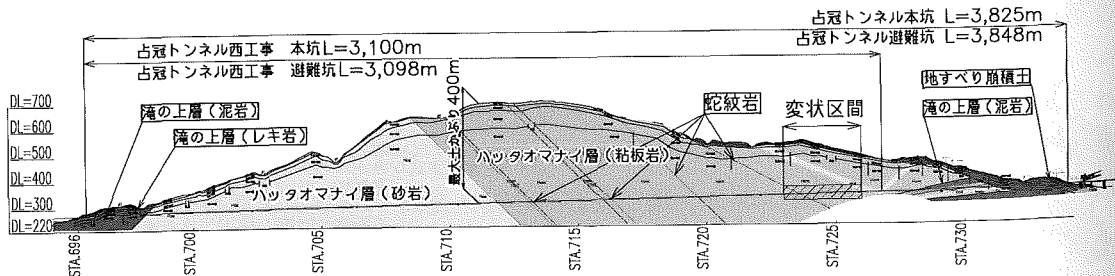


図-2 占冠トンネル地質縦断図

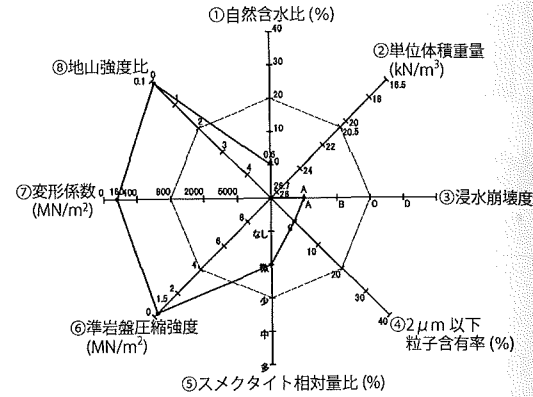


図-3 膨張性地山の指標と当トンネルにおける試験値

- ② STA.723~731間では、地山弾性波速度( $V_p$ ) 3.2~4.2km/secのなかに1.9~2.0km/secの低速度区間が複数存在する。
- ③ JR鬼峠トンネルで変状を発生させた破碎帯と類似した地山が分布する。

### 2-2 地山試料試験結果

避難坑で実施した地山試料試験結果から、以下が判明した(図-3)。

- ・亀裂の非常に多い破碎帯であり、蛇紋岩・凝灰岩を多く伴う
- ・地山強度比が非常に小さい(0.1)
- ・蛇紋岩や凝灰岩は水に劣化しやすい
- ・スメクタイトは微量である
- ・変形係数は150~190N/mm<sup>2</sup>である

## 3 避難坑施工経緯

### 3-1 STA.723+13~726+30区間の概要

当区間の掘削では、小崩落が頻繁に発生し、きわめて不安定な切羽状態で、変位が大きく収束できず遅いのが特徴であった。切羽は粘板岩、チャート、緑色岩と蛇紋岩が混在する混在岩であっ

た。蛇紋岩は、葉片状~粘土状を呈し、切羽では湧水も確認された。地質は、JR鬼峠トンネルで施工に難渋した破碎帯の分布区間に相当すると考えられた。

また、STA.723+13で天端崩落が発生し、これ以降は、切羽安定対策としてフォアポーリング、鏡ボルトを採用し、支保パターンはDII-3-B-Pに変更したが、掘削後数日~数週間経過したのち、吹付けコンクリートのひび割れ、鋼製支保工の座屈などの変状が生じたため、支保剛性を増し、インバートの曲率を大きくしたDII-7-B-Pパターンに変更した(表-2)。

しかし、本坑掘削の接近・通過に伴い、再び盤膨れ・支保工に座屈・破断などの変状が発生し、

表-2 支保パターン(避難坑)

項目	DII-3-B-P	DII-7-B-P
鋼製支保工	H100(SS400)	H150(SS400)
吹付けコンクリート	吹付け厚12cm 18N/mm <sup>2</sup>	吹付け厚15cm 36N/mm <sup>2</sup>
上下半		
ロックボルト	2.0m×11本	3.0m×7本 (アーチ部, 110kN) 3.0m×6本 (側壁部, 170kN)
金網	全周	全周
インバート		
鋼製ストラット	H100(SS400)	H150(SS400)
インバート径	R17,308	R5,590
断面形状	馬蹄形	馬蹄形



写真-1 盤膨れ・支保工破壊(DII-7-B-P)

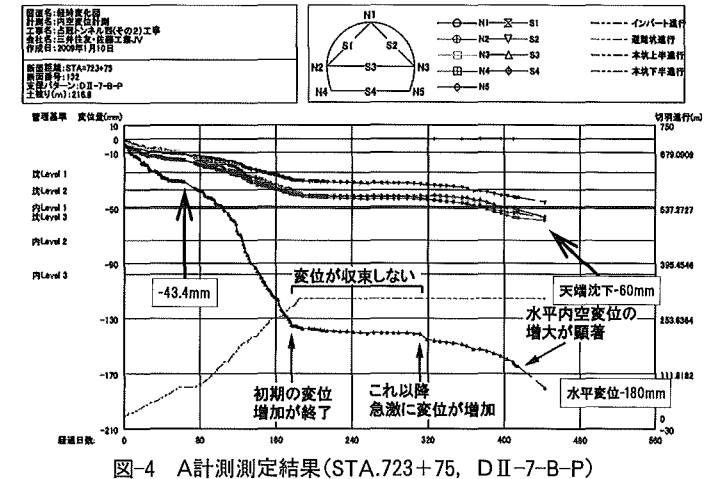


図-4 A計測測定結果(STA.723+75, DII-7-B-P)

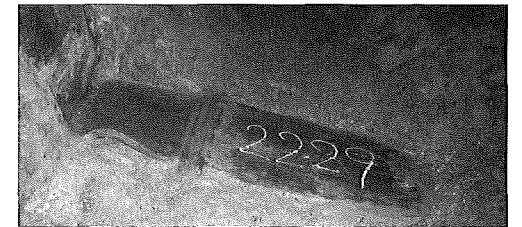


写真-2 インバートストラット変状状況(DII-7-B-P)

支保構造の破壊に至った(写真-1)。

### 3-2 計測工

この区間の代表的なA計測結果を図-4に示す。特徴として、側方変位の卓越した挙動を示す。30~50mm程度で、いったん収束した後、再び変位が発生し、最終的に180mm以上の変位が発生している。

これはインバートストラットの剛性不足により外周支保工とインバートストラットの接合部付近が降伏し、断面閉合効果が損なわれたことによると考えられた(写真-2)。

## 4 本坑支保構造の検討

### 4-1 検討の流れ

この脆弱な地山は本坑でも出現することが確実であり、当初設計の支保パターンでは本坑の安定性を保つことができないと予想されたため、避難坑の施工実績にもとづいてFEM解析により本坑支保パターンを設定することとした。検討は図-5に示すフローにしたがって実施した。

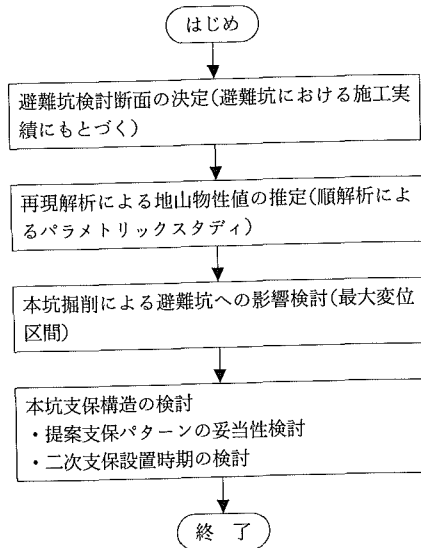


図-5 支保パターン検討フロー

4-2 避難坑検討断面の決定

避難坑検討断面は、変状発生区間(避難坑STA. 723+40~724+00)で最大の変位を計測したSTA. 723+80断面とした。

4-3 再現解析

再現解析については、避難坑のストラットの剛性不足を改善することを前提に考え、変位がいったん収束した43.4mmを用いて検討した。その結果、表-3に示す地山物性値と初期地圧を得た。

計測結果と解析結果を比較すると、変位量は解析結果が若干小さいものの、変形モードはよく一致しており、再現解析結果は妥当であると判断した。

4-4 本坑掘削による避難坑への影響検討

本坑と避難坑は中心距離で50mの離隔があるが、脆弱地山であることから、本坑掘削による避難坑支保構造への影響が懸念されたため、再現解析により得られた諸条件を用い、影響の有無を検討した。その結果、本坑掘削による避難坑の変位増加は数mm程度であり、避難坑の支保構造が健全であれば本坑の掘削による避難坑への影響は微細であると判断した(図-6, 7)。

4-5 本坑支保構造の検討

再現解析で得られた地山物性を用いて、二重支保を含めた各種支保パターンが適用可能かを、

表-3 再現解析で得られた地山物性値と初期地圧

変形係数 (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{des}$	初期ポアソン比	最終ポアソン比	弾性パラメータ	非線形指数	粘着力 (N/mm <sup>2</sup> )	内部摩擦角	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )
150	0.01	0.35	0.48	4.0	2.0	0.2	30	0.04	25
$\sigma_v$ (N/mm <sup>2</sup> )				$\sigma_H$ (N/mm <sup>2</sup> )					
5.395				6.258					

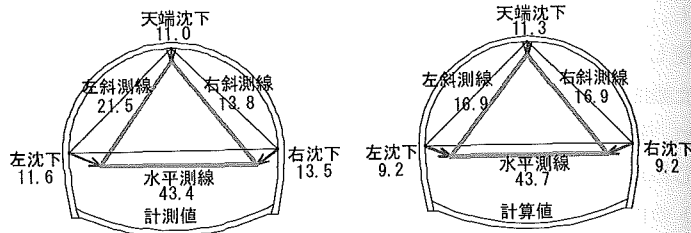


図-6 再現解析における計測値と計算値の比較

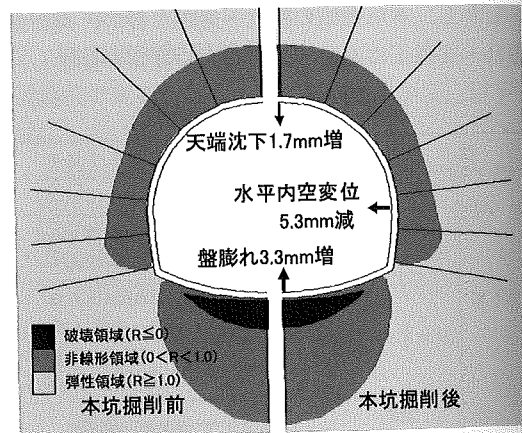


図-7 影響検討解析の結果(避難坑緩み係数Rの分布と変位量の変化)

STA.723+80以外にも、FEM解析にて検討した。対象支保パターンは表-4のとおり3つを設定した。本検討における着目点は次の2点である。

- ・支保応力
- ・二重支保工を用いた場合の「いなし」の効果(本稿では、「いなし」を「一次支保で『ある程度の内圧を与えながら』地圧の開放および変位の発生を促すことで、二次支保の部材発生応力と変位が軽減する効果」と定義する。)

発生応力の評価方法として、鋼アーチ支保工応力と吹付けコンクリート応力に着目し、支保応力評価基準により支保構造の健全性を照査した(表-

表-4 本坑支保パターン諸元

支保	
DII-a2	アーチ・側壁 ・吹付けコンクリート: 250mm(36N/mm <sup>2</sup> ) ・鋼製支保工: H-200(SS400) ・ロックボルト: L=4.0m(TD24) ・溶接金網: φ5×150×150 インバート ・吹付けコンクリート: 250mm(36N/mm <sup>2</sup> ) ・鋼製支保工: H-200(SS400) 変形余裕量: (全周)150mm
	覆工 ・覆工厚: 300mm(インバートも同一厚) ・非鋼繊維補強(アーチのみ) ・インバート内R: 11,200mm(上半内空R×2.0)
DII-a3	一次支保 アーチ・側壁 ・吹付けコンクリート: 300mm(36N/mm <sup>2</sup> ) ・鋼製支保工: H-200(SS400) ・ロックボルト: L=4.0m(TD24) ・溶接金網: φ5×150×150 インバート ・吹付けコンクリート: 300mm(36N/mm <sup>2</sup> ) ・鋼製支保工: H-200(SS400) 変形余裕量: (全周)200mm
	覆工 ・覆工厚: 400mm(インバートも同一厚) ・非鋼繊維補強(アーチのみ) ・インバート内R: 11,200mm(上半内空R×2.0)
EI	一次支保 DII-a3の一次支保と同一 二次支保 アーチ・側壁 ・吹付けコンクリート: 250mm(36N/mm <sup>2</sup> ) ・鋼製支保工: H-150(SS400) インバート ・吹付けコンクリート: 250mm(36N/mm <sup>2</sup> ) ・鋼製支保工: H-150(SS400)
	覆工 DII-a3の覆工と同一

※DII-a3は、変位が増大したときは二次支保を設置し、EIに変更することができる。

表-5 支保応力評価基準

	設計値	終局値	備考
鋼アーチ支保工応力(降伏応力)	240N/mm <sup>2</sup>	400N/mm <sup>2</sup> (圧縮強度)	
吹付けコンクリート応力(高強度)	13.5N/mm <sup>2</sup>	36.0N/mm <sup>2</sup>	13.5=36×1.5(仮設割増)÷4(安全率)

5). 具体的には、鋼アーチ支保工応力が評価基準(設計値または終局値)を超過した場合、鋼アーチ支保工がそこまでの荷重を担い、超過分を吹付けコンクリートが負担すると考えてモデル化し、その際の合計吹付けコンクリート応力と評価基準(設計値または終局値)を比較して支保構造を照査した。解析ステップを表-6に示す。

解析結果から、二重支保構造を採用したEIパターンでのみ、最終状態において終局値以内に収まる結果となった。また、一次支保の断面閉合を

表-6 解析ステップ一覧

ステップ	内容	応力解放率
DII-a2, DII-a3 (二重支保なし, 下半インバート同時施工による早期閉合)		
1	初期応力解析(全要素同一値入力)	
2	切羽掘削(全断面掘削)	40%
3	支保施工(全周)	60%
EI(二重支保あり, 下半インバート同時施工による早期閉合)		
1	初期応力解析(全要素同一値入力)	
2	切羽掘削(全断面掘削)	40%
3	一次支保施工(全周)	40%(50%)
4	二次支保施工(全周)	20%(10%)

( )内は二次支保設置を遅らせたケース

優先させ、かつ二次支保設置を適度に遅らせることで最終状態の合成支保応力を終局値以下に収めることが可能であることがわかった(表-8)。

本稿では合成支保応力を次のとおり定義する。

表-7 変位量一覧(解析結果)

		天端沈下	脚部沈下	水平測線	斜測線	盤膨れ	
DII-a2	最終状態	-49.3	-23.1	-96.4	-54.2	186.1	
DII-a3	最終状態	-49.1	-17.8	-105.5	-60.5	187.5	
EI	一次二次同時施工	最終状態	-24.1	-18	-66.8	-29.3	125
	解放率40/40/20% (掘削/一次/二次)	一次支保施工後	-26.8	-13.3	-64.9	-33.5	80.5
		最終状態	-38	-18.1	-85.8	-45.6	148
	解放率40/50/10% (掘削/一次/二次)	一次支保施工後	-36.7	-16	-85.2	-45.8	117.2
最終状態		-42.5	-18.3	-95.6	-52.1	156	

単位: mm

表-8 合成支保応力量(最終状態)

		合成支保応力(降伏値使用)			
		天端	脚部	インバート	
DII-a2	最終状態	56.2	81.3	57.5	
DII-a3	最終状態	51.3	64	52.8	
EI	一次二次同時施工	最終状態の一次・二次支保	30.7	37.5	28.2
	解放率40/40/20% (掘削/一次/二次)	一次支保施工後の一次支保	32.7	38.6	28.8
		最終状態の一次・二次支保	26.9	34.5	27.4
	解放率40/50/10% (掘削/一次/二次)	一次支保施工後の一次支保	42.2	52.1	38.9
最終状態の一次・二次支保		27.5	34.1	27.2	

		合成支保応力(終局値使用)			
		天端	脚部	インバート	
DII-a2	最終状態	52.3	77.4	53.6	
DII-a3	最終状態	48.1	60.7	49.5	
EI	一次二次同時施工	最終状態の一次・二次支保	27.7	34.5	25.1
	解放率40/40/20% (掘削/一次/二次)	一次支保施工後の一次支保	29.4	35.4	25.5
		最終状態の一次・二次支保	25.1	31.4	25.6
	解放率40/50/10% (掘削/一次/二次)	一次支保施工後の一次支保	39	48.8	35.6
最終状態の一次・二次支保		25.7	32.4	25.4	

単位: N/mm<sup>2</sup>, ◻: 設計値を超え終局値以下, ◻: 終局値を超える

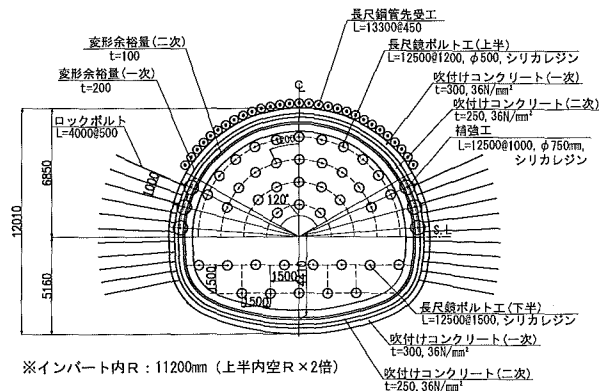


図-8 支保パターン図(EI)

$$\sigma_A = \frac{(\sigma_s - \hat{\sigma}) A_s}{A_c} + \sigma_c$$

ここに,

$\sigma_A$ : 合成支保応力(N/m<sup>2</sup>)

$\hat{\sigma}$ : 鋼アーチ支保工応力の設計値また終局値(N/m<sup>2</sup>)

$\sigma_c$ : 吹付けコンクリート応力(N/m<sup>2</sup>)

$A_c$ : 吹付けコンクリートの断面積(m<sup>2</sup>)

4-6 本坑支保パターンの決定

変位および変状に対して、支保構造および補助工法を検討した結果、支保工パターンは二重支保パターン、補助工法は地山補強を主として長尺鋼管先受工および長尺鏡ボルト工を採用した(図-8)。

支保構造の特長として、次の2点が挙げられる。

① 支保構造の弱点をなくした下半・インバート一体型鋼アーチ支保工(一次支保)

② 二次支保設置代を設けた一重支保パターン(DII-a3)

①については、避難坑において下半とインバートストラットの接合部が座屈した実績(写真-2)や解析結果を踏まえ、軸力を伝達しやすくするために、一次鋼アーチ支保工の形状を滑らかな下半・インバートストラット一体型(写真-3)とし、二次鋼アーチ支保工は3分割とした。②のDII-a3パターンは、変位が増大したときに速やかに二次支保を設置して二重支保構造を構築できる、フレキシブルな支保パターンであることが特徴である。

これは、変位が少ない場合には、そのままパターンとして成り立つことに加え、変位が増大しDII-a3のままの構造では耐えられないと判断した場合、二次支保(H-150(SS

400), 吹付け厚  $t=25\text{cm}$ ) を追加することによって、EIパターン(二重支保)に変更できる利点を持つ。

施工方法は、補助ベンチ付き全断面掘削工法+下半・インバートストラット一体型支保工を採用

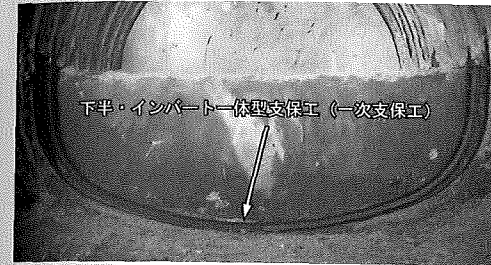


写真-3 下半・インバート一体型支保工

表-9 二次支保設置時期

二次支保の施工時期	変位状況
上半切羽後方10m以内	初期変位速度 $\geq 30\text{mm}$ または 一次支保閉合までの変位量 $\geq 70\text{mm}$
上半切羽後方30~50m	初期変位速度 $< 30\text{mm}$ かつ 一次支保閉合までの変位量 $< 70\text{mm}$

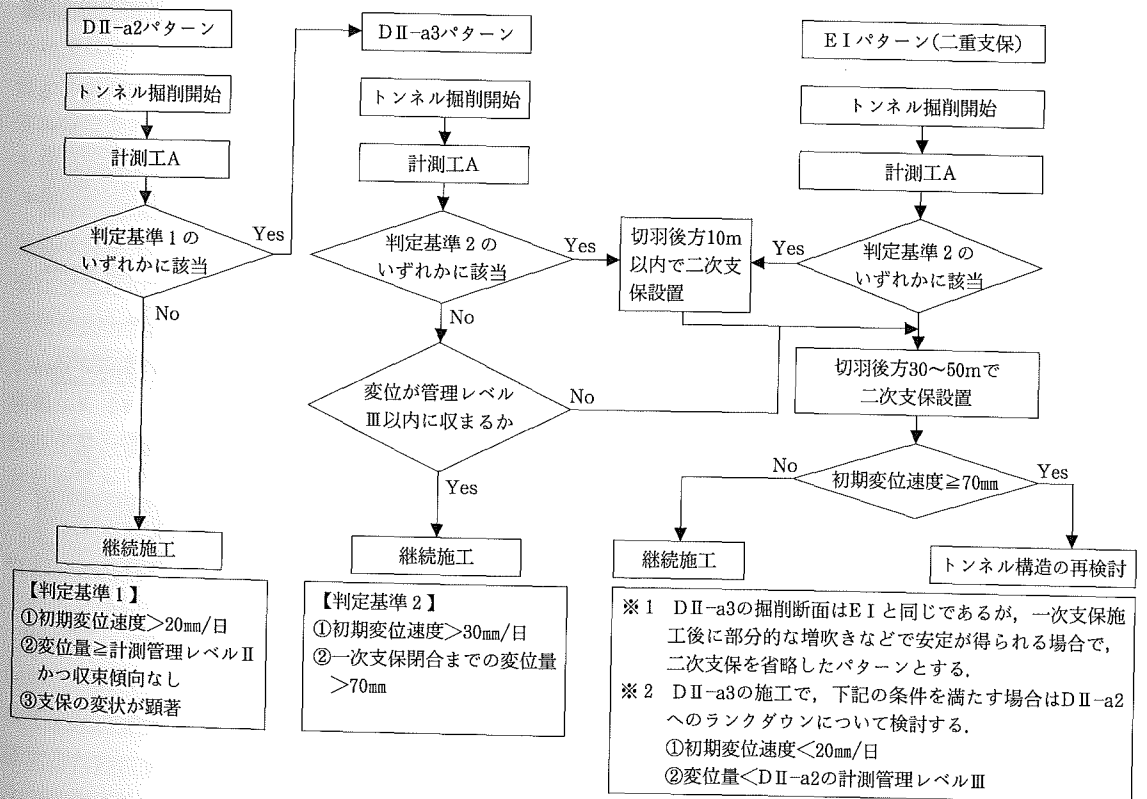
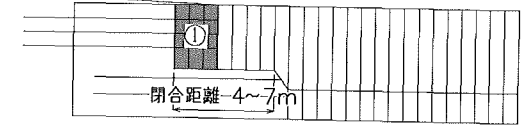
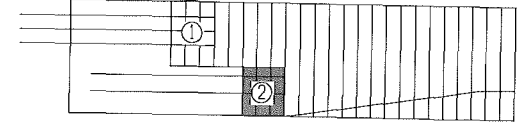


図-10 蛇紋岩脆弱区間の支保パターン施工管理フロー

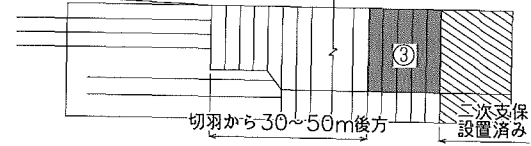
STEP-0 上半3基連続掘削(一次支保)



STEP-1 下半インバート3基連続掘削(一次支保)



STEP-2 上半下半建て込み・吹付け(二次支保)



STEP-3 インバートストラット建て込み・吹付け(二次支保)

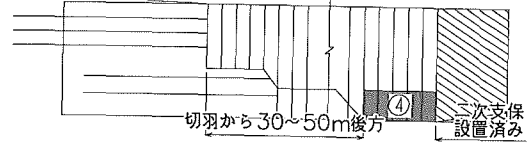


図-9 EIパターン施工次第図

した。これは図-9に示すとおり、切羽から5~6mで断面閉合し、一次支保工のリング構造で変形をいなし、変位や変状状況により二次支保工の施工時期を選定し、残応力を負担する工法である(表-9)。また、蛇紋岩脆弱区間の支保パターン施工管理フローを図-10に示す。

## 5 本坑施工実績

### 5-1 切羽状況

切羽状況は大局的には避難坑とほぼ同じであり、避難坑に対し10~40m先行して地質の変化が現れた。STA.722+97までは硬質な粘板岩が主体であったが、これ以降、滑石、葉片状~粘土状蛇紋岩、粘板岩の破碎質混在岩に変化し、STA.723+45付近まできわめて脆弱な蛇紋岩質の混在岩が分布した(写真-4)。その後、滑石、蛇紋岩の含有量は減少するものの、粘板岩、凝灰岩、緑色岩を含有する破碎質の混在岩が続いた(図-11)。

### 5-2 施工状況

支保パターンは、図-11に示すとおりSTA.722+97以降DII-a2パターンに、STA.723+28以降EIパターンに変更した。掘削サイクルは図-10に示すが、以下のとおりである。

- ① 上半3基連続掘削
- ② 下半・インバート3基連続掘削

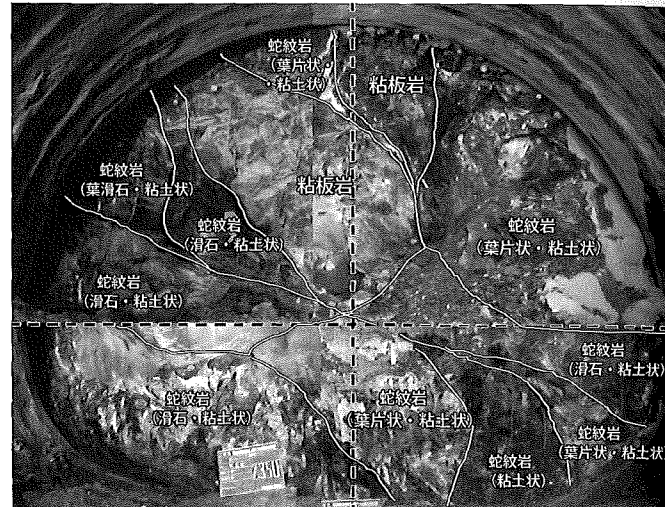


写真-4 蛇紋岩・粘板岩破碎質混在岩

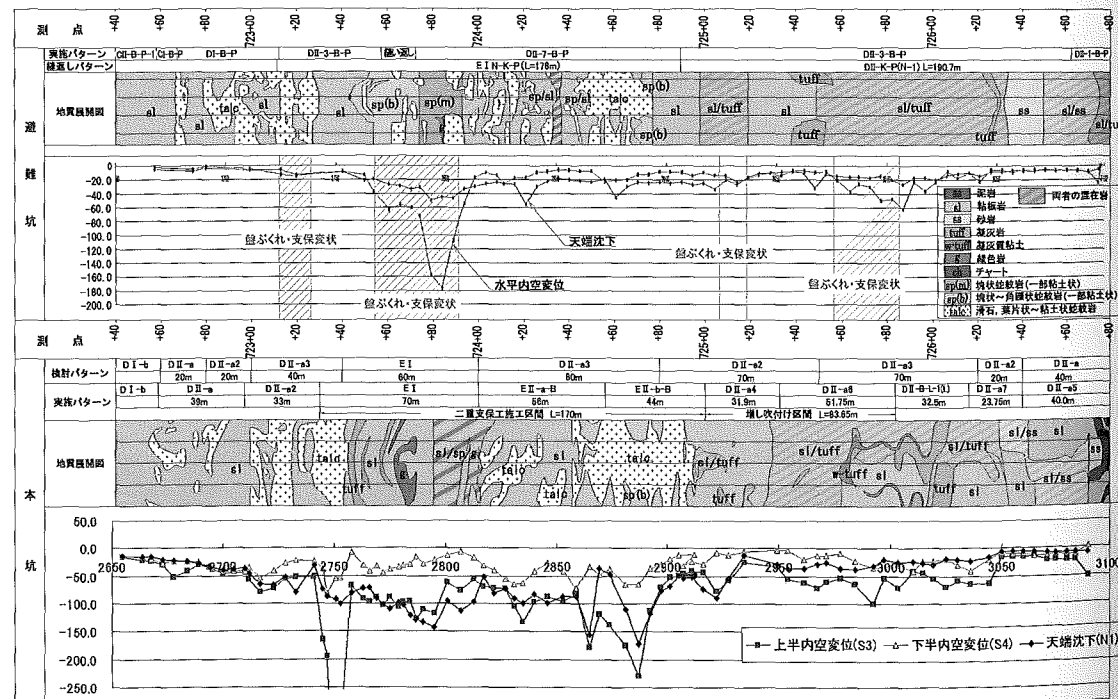


図-11 本坑・避難坑施工実績

重支保構造の検証を行った。  
6-1 変位と周辺地山の状況

計測工Aでは、切羽から50m以上後方で、ステップ状に3~5mm程度の変位増加はあったが、変位は収束に達している(図-12)。地中変位分布を見ると、上半側壁では3~4m、天端では6~8m奥から、変位が不連続に急増しており、これより内側がゆるみ領域であると考えられる(図-13)。

### 6-2 支保の状況

#### 6-2-1 ロックボルト軸力

図-14に示すようにロックボルト軸力は圧縮が卓越しており、壁面近傍で最大220kNに達した。4mのロックボルトは緩み領域内にはほぼ含まれ、圧縮部材として、緩み領域内の圧縮破壊(せん断破

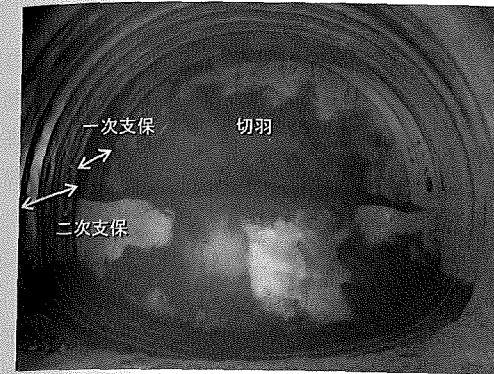


写真-5 二重支保設置

- ①、②をくり返した後、一次支保工の変位状況により、下記③もしくは④で対応した。
- ③ 上半切羽後方30~50mで二次支保工施工
- ④ 上半切羽後方10mで二次支保工施工

この区間は、補助工法(AGF、鏡ボルト)を併用したが、切羽の安定性に欠け、数度の切羽崩落および天端崩落を経験した。変位については、天端沈下および内空変位ともに、おおむね150mm程度以下に変位を制御でき、支保構造は十分なものであった。

なお、STA.723+30~40間では、当初はDII-a2パターンでの施工を行ったものの、一次支保閉合完了時に500mmを超える変位が発生し、EIパターンでの縫い返しを余儀なくされている。EI区間70mのうち、③を60m、④を10mほど実施した。

## 6 二重支保構造の検証

一次支保の早期閉合とその後の二次支保の効果により、蛇紋岩脆弱地山区間はトンネルの安定性を確保できた。トンネルの安定性を確認するために実施した計測工Aおよび計測工Bの結果をもとに、二

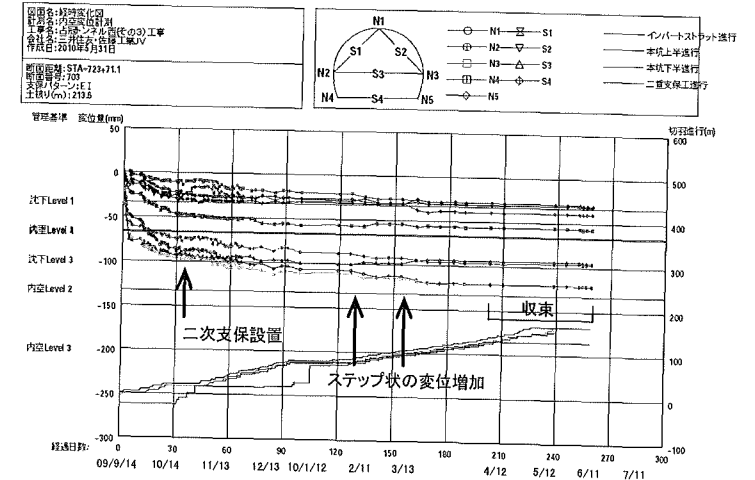


図-12 A計測(STA.723+71.1)

【地中相対変位分布】  
STA.723+71.1

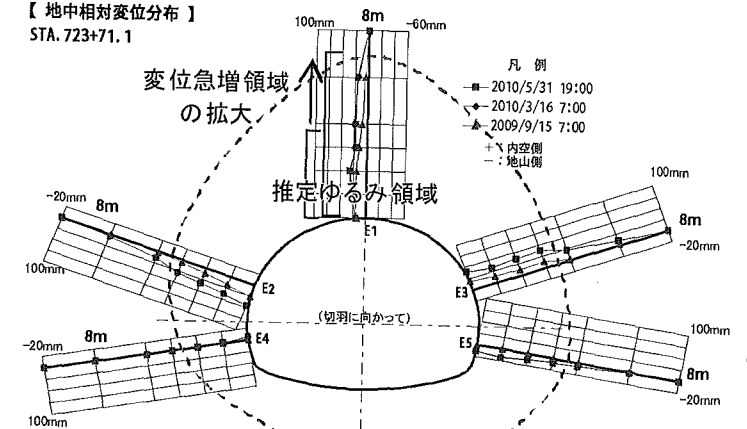


図-13 地中変位(STA.723+71.1)

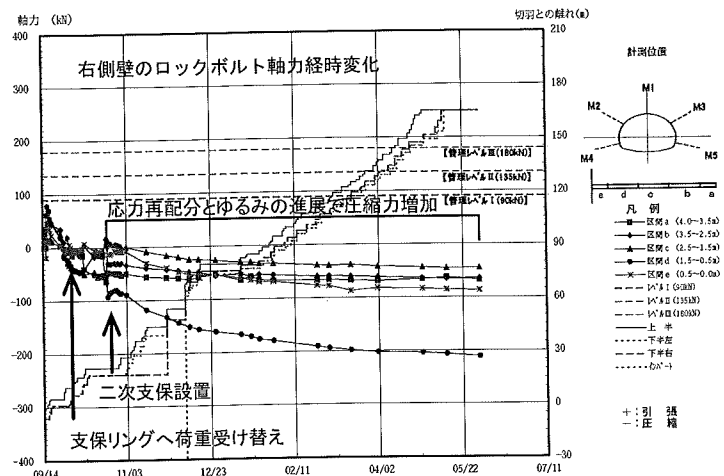


図-14 ロックボルト軸力(STA.723+71.1)

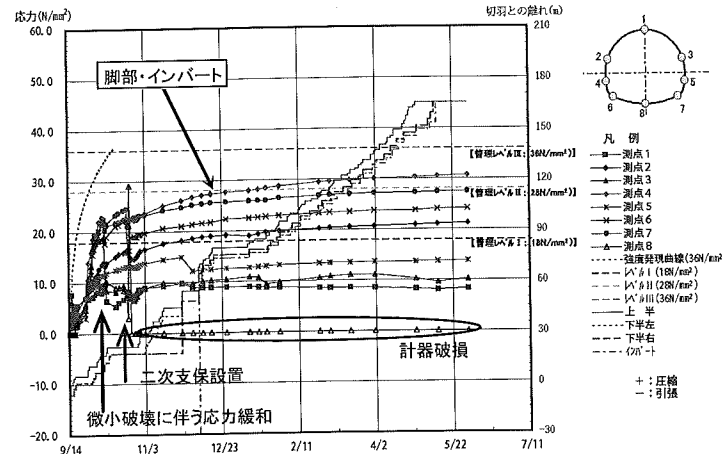


図-15 吹付けコンクリート応力(一次)(STA.723+71.1)

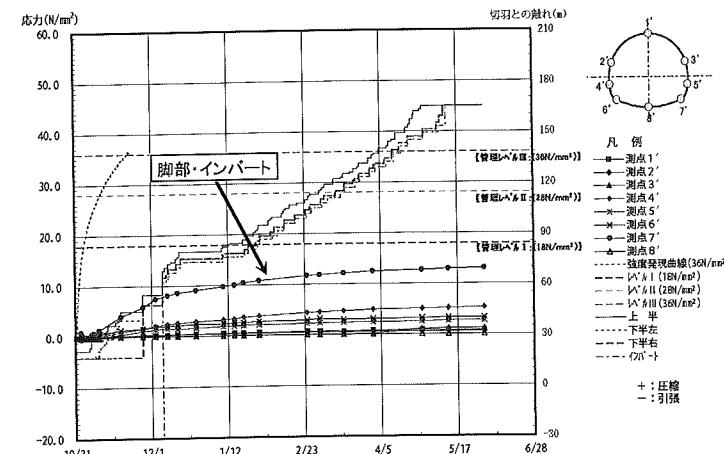


図-16 吹付けコンクリート応力(二次)(STA.723+71.1)

壊)を抑制していたと判断できる。

上半ロックボルト設置後に軸力は引張方向に急増したが、下半掘削後に低下した。これは一時、支保閉合によりロックボルト負担荷重が支保リングに受け替えられたものと見られ、閉合まで効果的に作用していた証拠と考えられる。また、閉合前後の変状はほとんど見られなかった。その後、長期にわたる地山応力再配分によって圧縮力が増加したものの、収束に達している。

6-2-2 吹付けコンクリート応力

図-15, 16より一次支保, 二次支保ともに全体に圧縮力が生じており、脚部～インバートで応力が大きく、事前解析の傾向と一致した。応力値は一次支保左側壁で管理レベルⅡを超過したが、二次支保では全測点で管理レベルⅠ以下であった。二次支保設置後は増加速度が減少し、一次・二次支保が一体の挙動を示した。

6-2-3 鋼アーチ支保応力

図-17, 18より全体に圧縮が卓越し、曲げの影響は小さいため、軸力と縁応力について述べる。

一次支保では天端とインバート中央で軸力が大きく、全体的に鋼材の圧縮強度を超過しているが、二次支保の発生軸力はおおむね均等で管理レベルⅡ以下であった。縁応力も二次支保設置時点までに一次支保応力が急速に増大して管理レベルⅢを超過したが、二次支保設置後は一次・二次支保で同一の動きを示していることから、両支保が一体となって荷重に対抗しているものと判断した。

一次支保では天端とインバート中央で軸力が大きく、全体的に鋼材の圧縮強度を超過しているが、二次支保の発生軸力はおおむね均等で管理レベルⅡ以下であった。縁応力も二次支保設置時点までに一次支保応力が急速に増大して管理レベルⅢを超過したが、二次支保設置後は一次・二次支保で同一の動きを示していることから、両支保が一体となって荷重に対抗しているものと判断した。

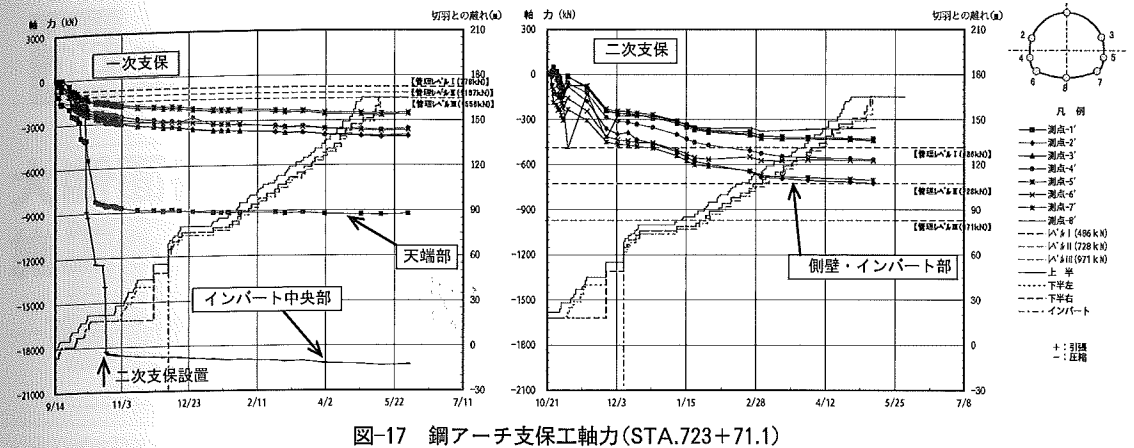


図-17 鋼アーチ支保工軸力(STA.723+71.1)

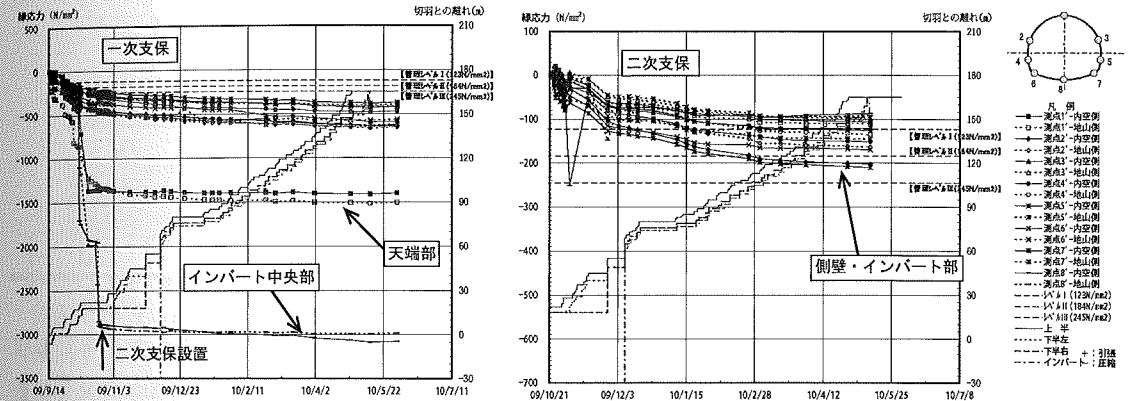


図-18 鋼アーチ支保工縁応力(STA.723+71.1)

6-2-4 合成支保応力

(1) 解析値と計測値との比較

合成支保応力の解析値と計測値との比較を表-10に示す。計測値はすべて終局値以内にある。アーチとインバートの応力差が小さい全断面一括掘削を模したケースと類似し、早期断面閉合の効果が現れているものと考えられる。また応力値は全断面一括掘削を模したケースの解析値の2/3程度であるが、解析値は図-5に示した大変位断面を想定したものであることから、地山が異なることが考えられる。

(合成支保応力：二重支保は、一次・二次支保が一体となって外力に対して抵抗すると考える。二重支保の合成支保応力は、一次ならびに二次鋼アーチ支保工応力が鋼材の設計値または終局値を超過する場合、超過分を一次・二次吹付けコンクリート全体が負担すると考えた場合の応力値。)

(2) 支保構造の評価

一次鋼アーチ支保工応力は局部的に降伏状態に達したが、合成支保応力はいずれも終局値未満であった。また一次・二次支保が一体となった挙動を示し最終的に収束したことから、変位を含む他の計測値も収束したことから、局部的に鋼アーチ支保工が降伏しても、支保構造全体の健全性は損なわれていないと評価できる。

STA.724+00以降については、進捗を図るために、計測結果も問題ないので、二重支保構造を基本として、一時支保を下半インバートストラット一体型から分割した二重支保パターン(EⅡ)に変更した。

今回採用した二重支保構造とその施工方法は、変位状況および計測結果と事前解析の整合性が取れており、占冠トンネルの蛇紋岩脆弱地山に対して有効であったと評価できる。

表-10 合成支保応力の解析値と計測値との比較

高い応力の生じた支保部材が設計値まで応力を負担すると考えた場合		合成支保応力							
		天端	肩部		側壁		脚部		インバート
			左	右	左	右	左	右	
計測	2010/5/31 (平均)	19.6	16.5	10.6	23.9	10.8	18.7	23.0	—*
			(13.5)		(17.3)		(20.9)		
ショートベンチ掘削を模したケース	二次支保早期設置	33.9	18.2		13.4		21.8		16.7
	二次支保遅れて設置	34.2	17.3		10.7		19.3		15.3
全断面一括掘削を模したケース	二次支保早期設置	26.9					34.5		27.4
	二次支保遅れて設置	27.5					34.1		27.2
高い応力の生じた支保部材が終局値まで応力を負担すると考えた場合		合成支保応力							
		天端	肩部		側壁		脚部		インバート
			左	右	左	右	左	右	
計測	2010/5/31 (平均)	17.7	14.7	8.7	22.1	8.9	16.8	21.2	—*
			(11.7)		(15.5)		(19.0)		
ショートベンチ掘削を模したケース	二次支保早期設置	31.9	16.3		11.4		19.3		14.9
	二次支保遅れて設置	32.4	15.4		8.8		17.5		13.5
全断面一括掘削を模したケース	二次支保早期設置	25.1					31.4		25.6
	二次支保遅れて設置	25.7					32.4		25.4

※一次支保計測器破損のため計測値なし  
着色部分は設計基準強度以上で終局値以下。合成支保応力は、一次支保、二次支保が一体で効果を発揮すると考える。

## 7 ま と め

占冠トンネルでは、蛇紋岩脆弱地山において二重支保構造を採用し、以下の知見を得た。

- ① 一次支保工が降伏に至っても、二次支保工を設けることにより、一次二次支保が一体となった支保構造全体の健全性は損なわれないことが確認できた。
- ② 一次支保により地圧を開放および変位の発生を促すことで、二次支保の部材発生応力と変位が軽減する効果を実施により確認することができた。
- ③ 初期変位速度が極端に大きくない本トンネルの地山では、今回のいなし概念と施工方法は有効であった。

最後に本工事の施工にあたっては、東日本高速道路(株)北海道支社管内トンネル施工技術検討委員会(委員長：三上 隆・北海道大学教授)委員の皆様および発注者の皆様ならびに関係各位の皆様からのご指導を賜り、無事竣工することができま

したことをこの場をお借りして厚くお礼申し上げます。また、本報告が今後の類似地山でのトンネル工事の施工に多少なりとも参考になれば幸いです。

## 参 考 文 献

- 1) 日本鉄道建設公団札幌支社：石勝線建設工事誌，1982.3.
- 2) 山田浩之・佐々木正博・大村修一・高田篤：土被りの大きい脆弱地山(蛇紋岩)におけるトンネル設計と施工に関する一考察，トンネル技術研究発表会論文集，2009.2.
- 3) 竹津英二・小川淳・神谷信毅・石松辰博：膨張性地山における多重支保工法の支保効果に関する検証，トンネル工学報告集，Vol.14，pp.267-272，2004.11.
- 4) 中村敦・玉井達毅・松井外喜雄・森田隆三郎：異常な膨張現象が発生する擾乱帯を多重支保方式で突破，北陸新幹線 飯山トンネル(木成工区，板倉工区)，トンネルと地下，Vol.36，No.7，pp.7-17，2005.7.
- 5) 佐藤諭一・関茂和・三浦文明・高橋一幸・荻雅雄：蛇紋岩膨圧区間を二重支保構造で掘る，トンネル工学報告集，Vol.20，pp.27-35，2010.11.

# 施工

## 大断面長距離シールドにおける月進400m高速施工への挑戦

—首都高速道路 中央環状品川線—

首都高速道路(株)東京建設局設計グループ課長 住 吉 英 勝  
首都高速道路(株)東京建設局品川線工事グループ所長 青 木 敬 幸  
鹿島・熊谷・五洋特定建設工事共同企業体監理技術者 米 沢 実 彦  
鹿島・熊谷・五洋特定建設工事共同企業体工事課長 柴 田 佳 彦

### 1 はじめに

首都で建設される高速道路ネットワークは、図-1に示すように9つの放射道路と3つの環状道路で構成される。3環状道路のもっとも内側に計画されている首都高速中央環状線は、都心から約8kmに位置する総延長約47kmの自動車専用道路

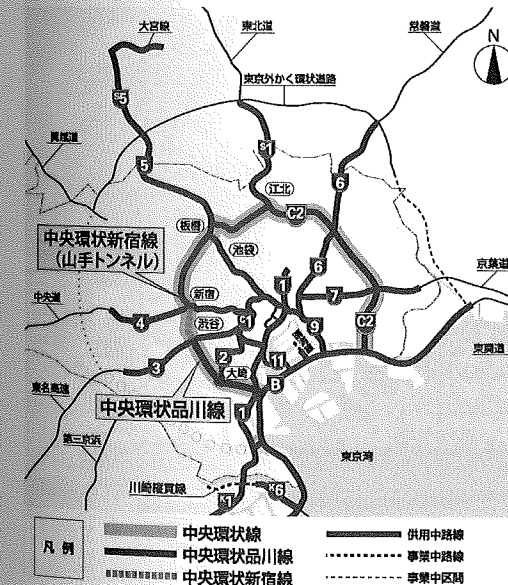


図-1 首都圏高速道路ネットワーク図

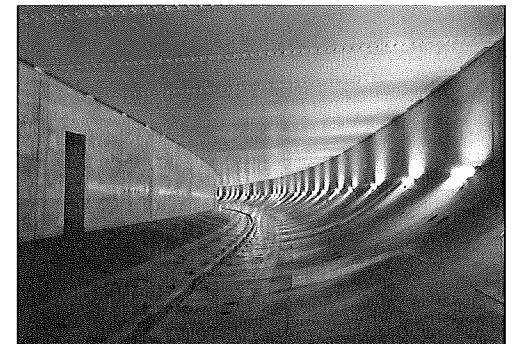


写真-1 道路床版下部

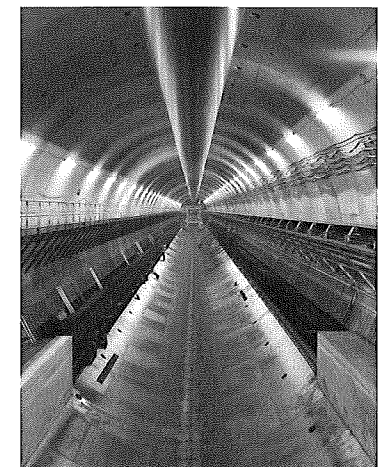


写真-2 シールドと道路床版側壁

であり、中央環状線の東側・北側区間は約26kmで、主に高架構造で建設され、2002年度までに順次開通している。

西側区間の首都高5号池袋線から湾岸線までは、ほぼ全線がトンネル構造となっている。5号池袋線～4号新宿線間(6.7km)は2007年12月に、4号新宿線～3号渋谷線間(4.3km)は2010年3月にそれぞれ開通し、現在、3号渋谷線から湾岸線までの区間(9.4km)の中央環状品川線(以下、「品川線」)を建設中であり、品川線の完成により中央環状線が完成することとなる。

本稿では、品川線の工事のうち、大橋行きシールドトンネル工事(外径12m、総延長約8.0km)について平均月進400mの高速施工を目標とした設計・施工計画および現況を報告する(写真-1, 2)。

## 2 品川線の概要

品川線は、起点の品川区八潮三丁目で湾岸線から分岐したのち、目黒川および都道環状第6号線(山手通り)の地下を通過し、目黒区青葉台四丁目まで現在供用中の3号渋谷線と中央環状線(山手ト

ンネル)に接続する路線である。シールド工事は、図-2に示すように品川区八潮に位置する大井北発進立坑から中央環状線接続地点までを泥土圧式シールドでトンネルを構築するものである。シールドは大井北立坑を発進し、京浜運河を横断、目黒川に沿って北上し、大崎駅付近から山手通りに沿って国道246号線大橋付近まで掘進する。周辺地域の開発状況から中間立坑を設けずに約8kmの長距離掘進での計画であり、大井行きシールド(東

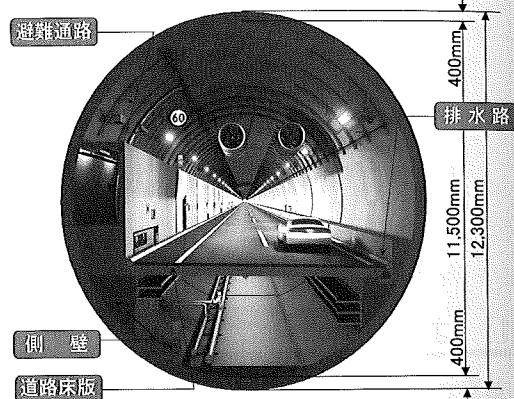


図-2 道路トンネル概要図

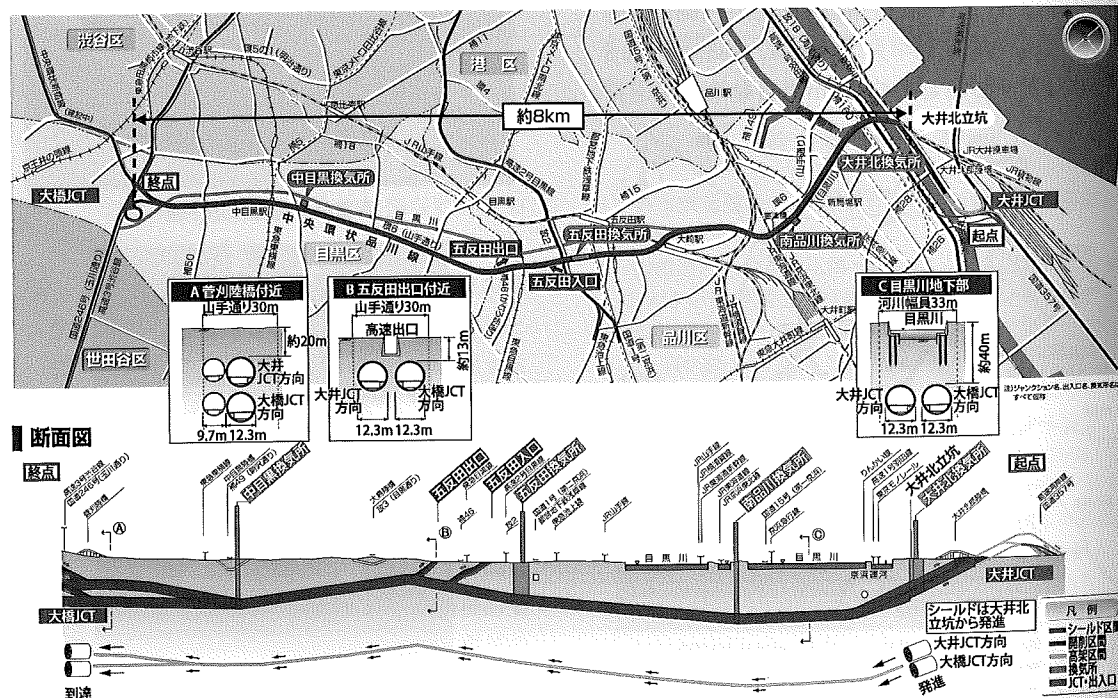


図-3 中央環状品川線概要図

京都施工)が併設して施工される。

シールドトンネルの土かぶり、南品川換気所付近で最大約46m、五反田出入口付近で最小約14mとなっている。また、トンネルの最小曲線半径は目黒川河口付近で245mであり、約8kmの長距離掘進区間に国道1号線や東急池上線など、多くの交差物件が存在している。

道路トンネル構造は、図-3に示すようにセグメント外径12.3m、内径11.5mのシールドと床版により構成され、片側2車線の自動車専用道路となる。また、道路トンネル内の換気のための南品川換気所、五反田換気所、中目黒換気所、大井北換気所の4つの換気所が配置され、本線トンネルには東名方向アクセスランプとなる五反田出入口、併設トンネルとの横連絡坑、緊急車両Uターン路を建設することとなっている。

## 3 沿線地盤の概要

地盤は、図-4に示すように上層から有楽町層、東京層、東京礫層、江戸川層、上総層で構成され、本線トンネル部はN値50を超える硬質上総層群泥岩層(以下、「土丹層」)である。

当初、シールドトンネルを構築する地層は、既存の地質調査結果から、大井北立坑付近で掘進する東京礫層以外、一部に介在砂層を確認していた

が、基本的には全線にわたって安定した土丹層であると想定していた。しかし、東京礫層の通過後、土丹層の掘進を進めていくうちに、地山の含水率が予想以上に高く、シールド掘進においてスクリーコンベヤからの掘削土砂の噴発防止対策が必要な地盤も存在することがわかった。

## 4 耐火型トンネル覆工構造

一次覆工は、耐火機能を備えた内面平滑型の二次覆工・耐火被覆省略型のRCセグメントを全体の約8割で採用している。また、南品川換気所や五反田出入口などシールド切開き箇所にも鋼製セグメントを、偏荷重および重荷重が作用する箇所に合成セグメント(SBL: Steel Beam Liningセグメント)をそれぞれ採用した。

RCセグメントは、トンネル断面の縮小のために覆工厚を400mmと極力小さくし、曲線半径が600m以上の区間についてはセグメント幅が国内最大となる2.0mを採用、1リング9分割(8+K型)としている。また、ワンパス締結式の継手を採用して施工の高速化を図っている。

### 4-1 継手構造

RC(図-5)とSBL(図-6)セグメントには、水平スライド式継手(ピース間)と新たに開発したピン式継手であるSP継手(リング間)を使用してワン

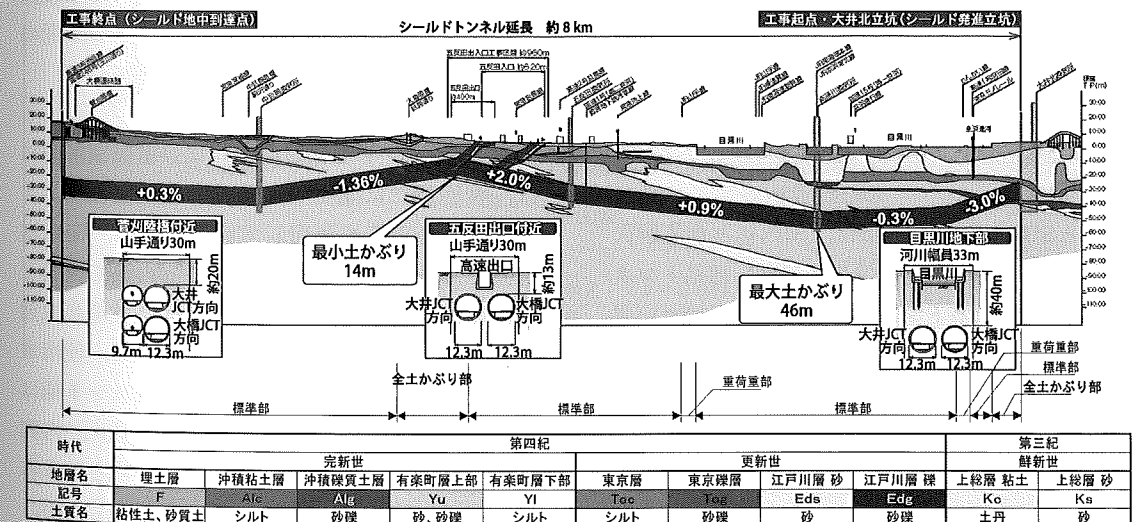


図-4 中央環状品川線縦断面図

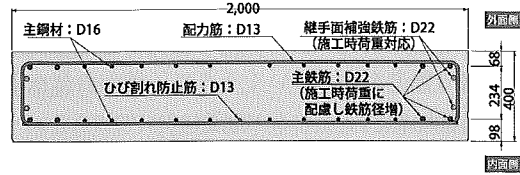


図-5 RCセグメント構造概要図

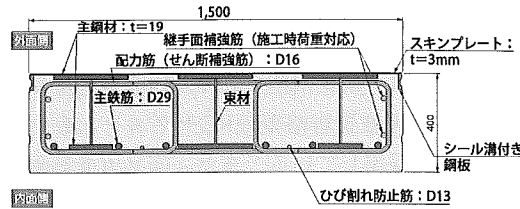


図-6 SBLセグメント構造概要図

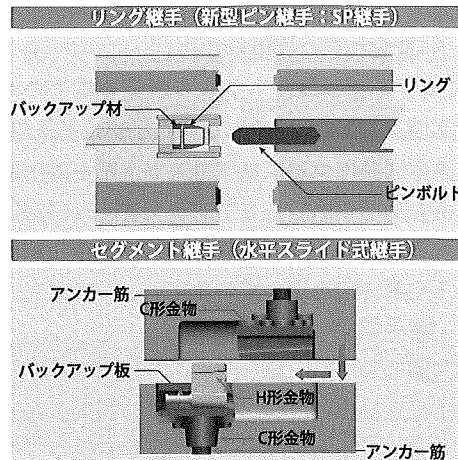


図-7 ワンパス継手構造概要図

ワンパス継手としている(図-7)。この継手は、従来のものに比べて小さな力で挿入締結できるだけでなく、ピンの挿入後には大きな締結力を確保できることが特徴となっている。

4-2 耐火性

RCとSBLセグメントには、国内初となる耐火一体型セグメントを全線で導入した。道路トンネルで必要とされるトンネルの耐火性確保については、従来、トンネルの完成後にセグメント内面に耐火吹付けを行っていたが、この工事による施工期間の省略およびコスト削減を図れるため、セグメント製作時にあらかじめ有機繊維(ポリプロピレン)をフレッシュコンクリートに混入させて、セグメント本体に耐火機能を確保している。トン

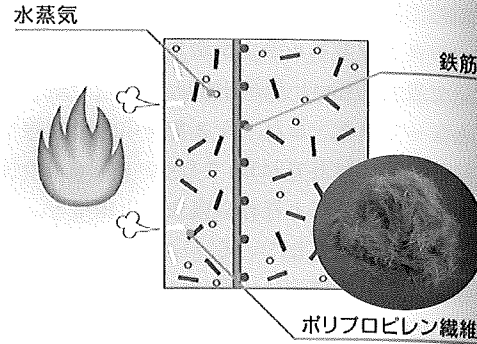


図-8 耐火概念図とポリプロピレン

ネル火災時は、ポリプロピレン繊維がセグメント表面付近で溶け、そこからコンクリート内の水蒸気を逃がすことで、セグメントコンクリートの爆裂を抑制できるものである(図-8)。

4-3 耐久性

大井北立坑付近で近傍の塩化物イオン濃度の調査を実施し、RCセグメントでは、コンクリートの塩害や中性化および鉄筋・継手部などの腐食性環境を、また、鋼製セグメントではスキンプレートなどの腐食性環境をそれぞれ評価して、セグメント本体の耐用年数、100年を確保する仕様としている。

4-4 止水性

シールドトンネルの耐久性向上のために必要なセグメント間の止水性確保については、水膨張性シールをセグメント側面の内側と外側の2条設置に加えて、額縁加工を施すことでセグメント間の連続的な止水性を確保できるようにしている。

4-5 SBLセグメント

RCセグメントでは対応できない重荷重区間には、今回新たに開発したSRC構造の合成セグメントであるSBLを使用している(図-9)。SBLは外面をスキンプレートで覆い、内面はRC構造となることが特徴であり、止水性と耐久性を高次元でバランスさせた合成セグメントである。使用する重荷重区間が曲線主体のため、セグメント幅は1.5mである。止水は、外側はガスケット、内側は水膨張性シールとなっている。国内初となる本格的なガスケットによる止水構造を採用したが、良好な止水性が確保されている。

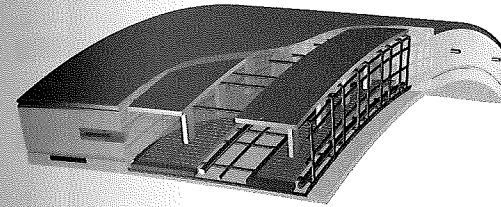


図-9 SBLセグメント構造概要図

5 シールド

5-1 概要

本工事では、掘削残土を建設発生土として処理が可能な泥土圧式(気泡)シールドを採用した。気泡シールドとは、界面活性剤をシェービングクリーム状に泡立て、切羽面やチャンバ内に注入攪拌し、掘削土砂を塑性流動化させて、切羽の安定と円滑な排土確保を可能としたシールドである。

5-2 主な特徴

カット部分は、土丹層での掘削土砂の取込み性能向上やチャンバ内の閉塞防止を目的として、外周リングをなくしたスポークタイプとし、開口率を大きく確保している。また、シールド施工線形

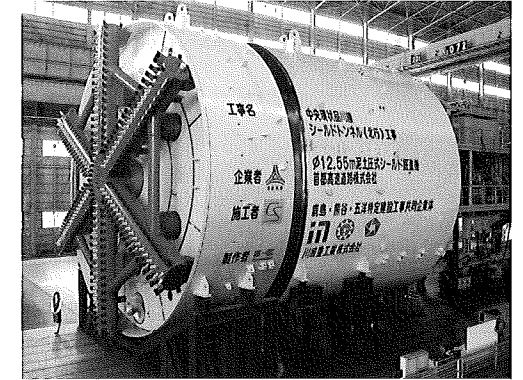


写真-3 シールド

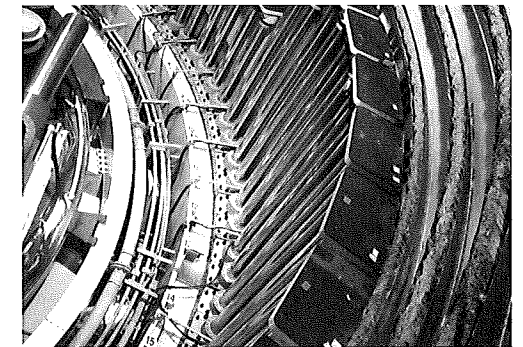


写真-4 ダブルジャッキ

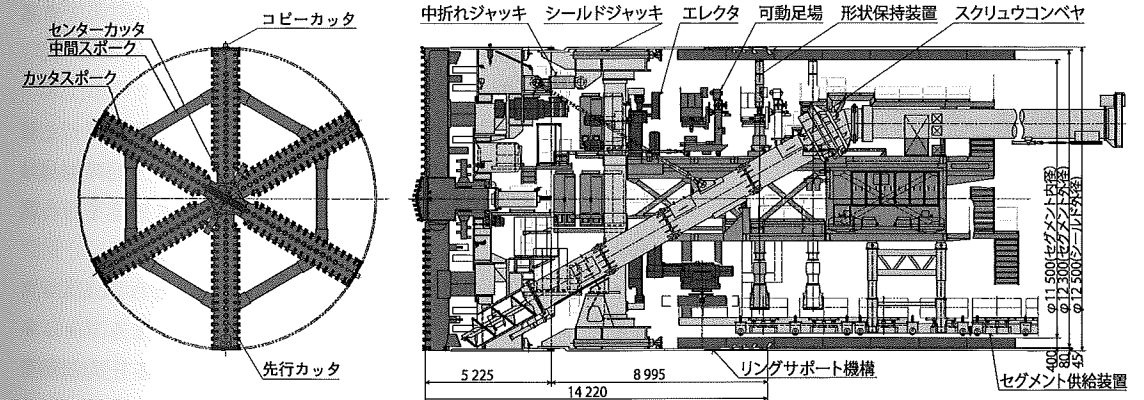


図-10 シールド構造図

シールド仕様(泥土圧式シールド)	
外 径	φ12,550
全 長	14,220mm(中折れ式)
伸 長 速 度	60mm/min(全数作動時)
シールドジャッキ	1,550kN×2,700mm×100本
中折れジャッキ	4,900kN×480mm×26本
カッタトルク	42,213kN・mm(α=21.4)
カッタ回転数	0~0.95rpm
カッタ駆動用電動機	180kN×14台(可変速)
加 泥 系 統	気泡(13), 加水(2)

スクリュウコンベヤ仕様	
型式・スクリュウ径	軸付きスクリュウ径φ1,200mm
排 土 能 力	969m <sup>3</sup> /H
ゲート機構	先端, 中間, 排土口ゲートジャッキエレクタ仕様
型式・取扱重量	リングドラム方式10.4t
回 転 数	0.03rpm(低速)~1.33rpm(高速)
把 持 機 構	パキューム/機械切替式
	可動足場仕様
型 式	2ボックスタイプ可動型

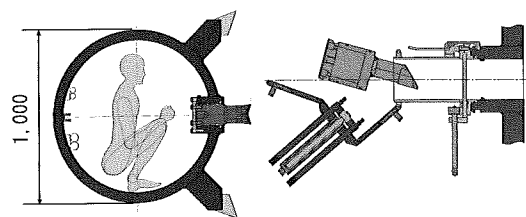


図-11 リレービット概要図

である曲線半径約230mの急曲線対策として中折れ機構を装備した(写真-3, 図-10)。

掘進時のセグメントリング組立ての施工時荷重軽減のために、セグメント覆工厚の中心とシールドジャッキの中心を合わせることに配慮して、小径ジャッキをスプレッダー部分で2本連結したダブルジャッキ方式を採用した。これにより、スプレッダー50個に対してジャッキ総本数が100本となっている(写真-4)。

### 5-3 長距離掘進への対応

シールドカッタービットの摩耗対策では、スポーク上に配置された先行カッターおよびセンターカッター上のビットをスポーク内から交換可能なリレービット方式とした(図-11)。

リレービットは、必要に応じて何度も交換が可能であり、発進部のNOMST壁および砂礫層ではNOMST用先行ビットで掘進し、砂礫層を通過した初期掘進終了後に、土丹層掘進用のビットに交換して掘進することとした。

ビットの摩耗については、掘進途中におけるリレービットの点検結果により、当初想定した摩耗量より大きい摩耗が確認されているが、土丹層に介在した砂層による摩耗などが要因の1つであると考えている。また、約8kmという長距離掘進の中で曲線区間が多いことから、コピーカッターについても使用頻度が高いと考えられるため、スポーク内から交換可能な構造としており、約3km掘進終了時に1回交換した。

## 6 本線トンネル施工状況

### 6-1 高速施工への対応

本工事では、高速施工へのさまざまな工夫を施すことにより、平均月進400mを目標としている。

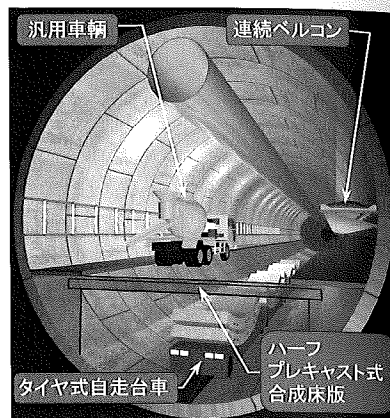


図-12 坑内搬送設備概要図

シールドの高速掘進施工と側壁・床版の施工を同時に行うこととし、坑内の物流を上半部と下半部に区分している。

上半部は汎用車両による生コンクリートその他資材の運搬と連続ベルコンによる土砂運搬、下半部はタイヤ式搬送台車によるセグメントおよび鉄筋、床版パネルなどの運搬としている(図-12)。

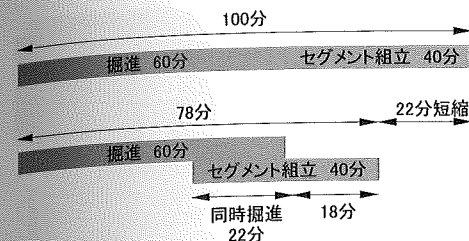
また、シールド後方のセグメント搬送設備は、最大日進量30m/日に対応できる計画とし、土砂搬出設備は最大掘進速度40mm/minに対応できる設備とした。

#### 6-1-1 同時掘進システム

本工事では、大断面トンネルとして世界初となる本格的な同時掘進を採用している。同時掘進はセグメントリングの組立てと同時に掘進を行う高速施工に効果的なシステムである。

シールドジャッキの圧力制御を行うFLEXシステムを採用し、曲線部の掘進においてもジャッキの引抜きは行わず、全ジャッキによる圧力制御を行っている。また、軸方向挿入式のセグメントに対応するため、ロングジャッキを採用し、その挿入代とFLEXシステムによる圧力制御を組合せ、掘進中にセグメントの一部組立てを行っている。基本的には、1リング9ピースのうち5ピースを掘進中に組立てる。

当初、2m幅のRCセグメントを使用した直線区間での適用を考えていたが、短縮効果が非常に大きく、さらに姿勢変化が少ないためにスムー



- セグメント幅：2,000mm
- 掘進速度：35mm(平均)
- Kセグメント挿入代：650mm
- セグメント全組立時間：40分

図-13 同時掘進サイクルタイム

ズな同時組立てが可能であることから、曲線区間への適用システムを新たに追加で開発し、現在、すべての施工線形に対して同時掘進が可能なシステムとなっている。同時掘進によって、2m幅のRCセグメントにおいては、1リングの掘進・組立て時間を100分から78分に大幅に短縮できている(図-13)。

#### 6-1-2 セグメント搬送設備

高速施工に対応した搬送能力確保のため、1リング分を一括で高速運搬できるタイヤ式搬送台車も開発している。坑内への枕木設置を省略するため、搬送台車をタイヤ式にし、センター部のみに軌条を敷設するセンターレール方式を採用した(写真-5)。

本工事のタイヤ式搬送台車は、上り勾配区間を除き、76tのセグメントを積載した状態で、時速15kmで走行することが可能であり、掘進3.5km地点までは1編成、それ以降は坑内に離合箇所を設置して2編成でセグメント運搬を行っている。立坑部にはセグメントリフトを設置し、地上部および坑口に設置するセグメントセッタとそれらの間を運搬するセグメントドーリにより、地上～立坑内～坑口間は、全自動でセグメント搬送を行っている(写真-6, 7)。

また、大型資材リフトは10t車を積載することが可能であり、同時施工を行っている床版上に直接工事車両を搬入させて、坑内物流の合理化に大いに貢献している。

#### 6-1-3 土砂搬送設備

日最大掘進時には約4,500m<sup>3</sup>の土砂を搬出して、それに対応可能な土砂搬出設備となってい



写真-5 タイヤ式搬送台車

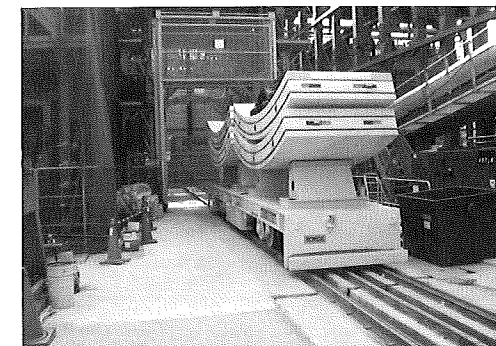


写真-6 セグメントドーリ

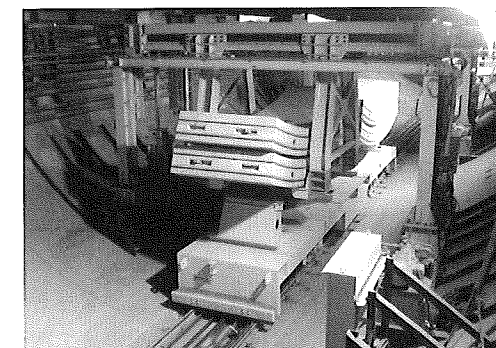


写真-7 セグメントセッタ



写真-8 連続ベルコン

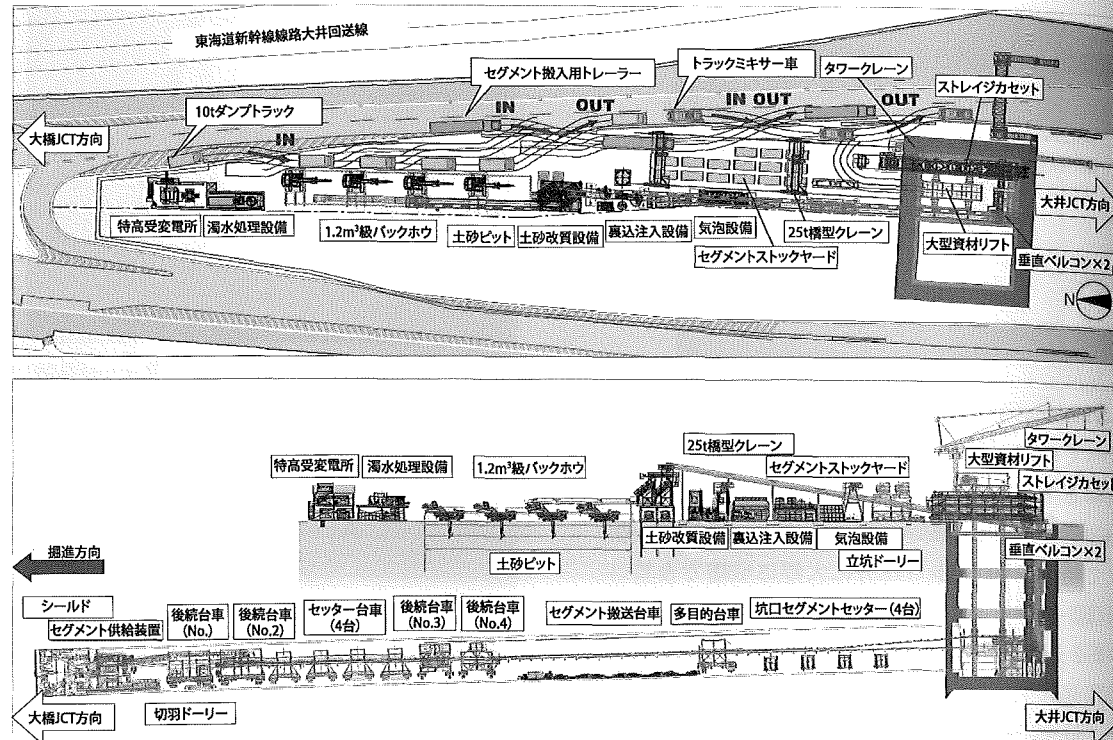


図-14 後方設備全体平面図・断面図

る。坑内運搬には連続ベルコンを採用した(写真-8)。ベルト幅は900mmであり、ベルトの延伸をくり返しながら、8 kmの土砂搬送を行う。

大井北立坑発進後は非常に曲線の長い区間であり、最小半径が245mとなっているため、曲線対応のキャリヤローラを使用している。

立坑部は垂直ベルコンを2機使用して、地上部まで搬送し、地上部ベルコンにより土砂ピットまで搬送した後、ダンプに積載して搬出先まで陸上輸送を行っている。土砂ピット容量は約2,500m³であり、急な渋滞や交通障害によるダンプサイクルの乱れに対するバッファとして機能している(図-14)。また、大きな土丹塊による垂直ベルコンなどの設備損傷を防止するため、連続ベルコン中間部に土丹破砕機を設置している。これによって大きな土丹塊が排土された場合には、確実に破砕することが可能となり、後方の設備損傷リスクを軽減している。

## 6-2 高品質確保への対応

本工事のRCセグメントは、覆工厚が小さく幅

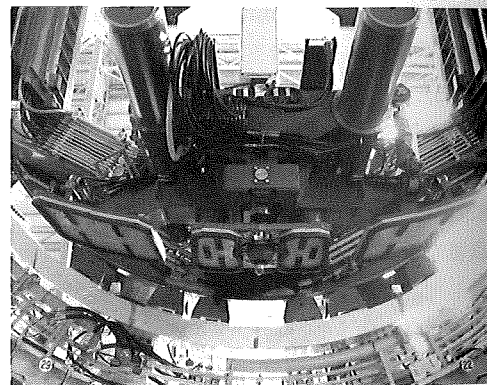


写真-9 バキューム式エレクタ

広で、弧長も大きいことから、ひび割れや欠けなどのセグメント損傷対策を実施している。エレクタによるセグメント把持時のひび割れ防止対策として、バキューム式エレクタ装置を導入した(写真-9)。

また、組立て中のジャッキ押込みおよび掘進中の損傷防止対策として、セグメントに偏心荷重を発生させないように、小径ダブルジャッキ方式を採用した。さらに、曲線施工時においてセグメント

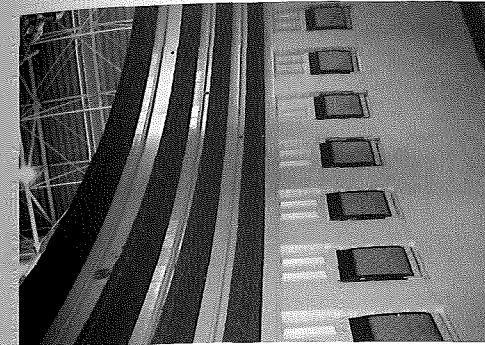


写真-10 テール内エアバック

リングに大きな偏荷重を作用させないように、FLEXシステムによる高精度な掘進の制御により、従来施工で生じやすかった曲線区間掘進中のクラック発生を抑制している。

セグメントの真円度の確保は、従来の曲線施工時に不向きな内部支持方式でなく、シールドテール内にエアバックを装備して外側から締め付ける方式を採用し、補助的に設置した内部支持方式の真円保持装置を使用することなく、良好な真円度を確保しながらセグメントを組立てている(写真-10)。また、テールクリアランスをジャッキスプレッドに取付けたセグメントクリアランス測定器によってリアルタイム監視できるようにし、テールクリアランス予測システムを活用してテールクリアランスを適切に管理し、テールとの「せり」によるセグメント損傷発生を予防している。

## 6-3 側壁・床版の同時施工

シールド掘進を行いながら、後方より側壁・床版の同時施工を行っており、側壁・床版の計画月進量を300m/月としている。

側壁はセントルを使用した現場打ちコンクリートとし、床版は鋼製スラブに現場でコンクリートを打設するハーフプレキャスト方式としている。床版の坑内運搬にはセグメント搬送設備を使用し、専用の床版設置台車により、側壁上に架設している。現在、順調にシールド掘進と同時施工を行っている。

## 6-4 マシントラブルとその対応

本工事では、発進時のNOMST壁切削時および掘進距離約3 km付近で2度にわたり、センター

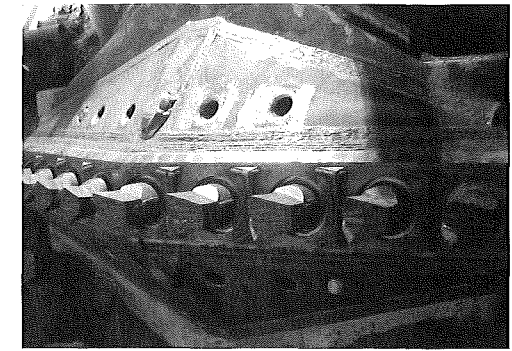


写真-11 リレービット構造のセンターカッタ

カッタ部にトラブルが生じたため、掘進を停止して補修工事を行っている。補修箇所は、ともにセンターカッタ部であるが、原因はそれぞれ異なっており、2回目の補修時には、センターカッタも交換可能なりレービット構造とし、万が一のリスクへの対応を図っている(写真-11)。

## 7 掘進実績

平成23年6月末現在、シールド掘進は5,000m完成している。掘進量については、最大日進量38m(2.0m幅RCセグメントの連続区間)、最大月進量549m(平成23年4月度：実稼動22日)を達成している。

## 8 おわりに

品川線大橋行きシールドは、前例のない大断面・長距離・高速施工のシールドであり、計画の段階からさまざまな工夫を検討し、対策を施してきている。実績に示したとおり、高速施工に対して、事前および掘進途中での対策・工夫が一定の成果につながっている。また、長距離施工に対しては、これから到達まで計画的なメンテナンスや各部の計測、設備の損耗状態の把握が重要な課題と考えている。

現在、シールドは五反田出入口区間を通過して、順調に掘進中である。長距離掘進・高速施工シールドの実績として、将来的にも、本工事において開発した技術が活用されるよう、掘進完了まで、これまで以上に細心の注意を払いながら、安全な施工に取り組んでいく。



# 「杜の都」仙台市太白区八木山より

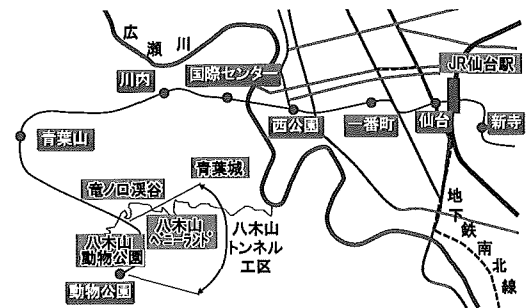
岡 幸 平

伊達政宗が徳川家康の許しを得て、青葉山に仙台城を築いたのは慶長5(1601)年のことである。青葉城と言ったほうがなじみ深いだろうか。城が建つ青葉山は市街地から非常に近いにもかかわらず、多彩で豊かな自然が保たれており、森林の一部は史跡名勝として国の天然記念物に指定されている。

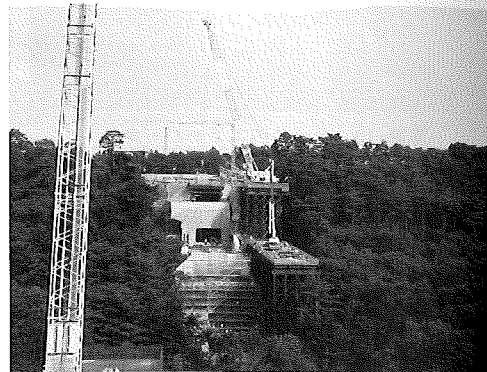
城は標高132mの高台に建てられ、前を流れる広瀬川を外堀に見立てた山城で、南側は深さ70mの竜ノ口溪谷を挟んで八木山に面していた。八木山は仙台城の防衛線として、仙台藩によって立ち入りが禁止されていたため豊かな自然が残されていたが、明治以降、樹木の乱伐で荒廃が進んだ。

大正の頃までは「越路山」と呼ばれていたが、荒廃した山を仙台市民憩いの場所にしようと、私財を投じて開発に尽力した五代目八木久兵衛氏にちなみ、その後「八木山」と呼ばれるようになった。八木家は江戸時代から続く仙台の商家で、五代目も仙台財界の重鎮であった。

八木山への幹線道路づくり(大正15年から昭和2年にかけて)から始まった開発は、その後、当時神宮球場をしのいで東洋一といわれた八木山球場(昭和4年6月完成)の建設や、青葉山と結ぶ竜ノ口溪谷への吊り橋の架橋(昭和6年9月竣工)へと進んでいった。ちなみに昭和9年11月に全日本チームと対戦した大リーグ選抜チームの一員で、来日以来ホームランが出なかったベーブ・ルースが、初めてホームランを打ったのがこの球場である。球場の隣には遊園地や公園が造られ、後に仙台市に寄付されている。八木山は格好のハイキ



位置図



青葉山から竜ノ口溪谷越しにのぞむ八木山トンネル工区

ングコースとなり市民に広く親しまれるようになった。この場所に八木山動物公園として動物園が移転してきたのは昭和40年である。昭和43年に、隣接して東北有数の遊園地「八木山ベニーランド」が開園し、市内県内はもとより、東北各地から多くの人々が訪れる憩いの場となっている。東日本大震災で動物公園も遊園地も被災したが、懸命の努力により短期間で復旧し、多くの人々が明るい気持ちを取り戻す大きな力となっている。われわれもほんの一端ではあるが、協力させていただいたことをうれしく思っている。

「仙台地下鉄東西線、八木山トンネル他」工事は、竜ノ口橋梁の八木山側下部工(橋台、橋脚各1基)と、開削トンネル(75.8m)、NATMトンネル(648.5m)を施工するものである。NATMトンネルは動物園直下の礫混じり粘土層(青葉山層)、軟岩層(向山層)を10m以下の小土かぶり、動物公園駅まで掘削するウォータータイトトンネルである。先の震災による3か月あまりの中断のちに、発注者ならびに関係官庁のご尽力により無事再開することができた。

7月末時点での掘削延長は155mで、これから佳境を迎えるが、安全に品質の良いものを完成させるべく現場一丸となって日夜努力している。

工事を進めることが復興への一助となることを信じ、被災した皆さんに明るい気持ちを届けられることを願います。

(青木あすなる・みらい・丸本JV作業所総合所長)

# 施工

## 三波川帯低強度地山を早期閉合などの工夫で効率的に施工

—新東名高速道路 鳳来トンネル—

中日本高速道路(株)豊川工事事務所長 桐山 昭吾  
中日本高速道路(株)豊川工事事務所工事長 大嶋 健二  
清水建設(株)鳳来トンネル作業所長 神澤 幸治  
清水建設(株)鳳来トンネル作業所工事課長 浅野 彰夫

### 1 はじめに

鳳来トンネルは、壁面間の離隔が19mの双設トンネルである。東坑口から約650m位置に、地山強度比が1を下まわる脆弱で粘土質の大規模な地質不良地山が出現し、標準施工によるDIIパターンで掘削を開始したところ、トンネル支保構造体は不安定になり、過大な変位が発生した。また、消火栓などの非常用施設箱抜工の箱抜き掘削箇所などに双設トンネルの影響が現われ、支保工の変状、破壊などが発生し、縫い返しを余儀なくされた。

この対応として、地山強度比から作用土圧 $P_0$ を推定し、これの支持を可能とする高耐力支保構造体を設計し、補助ベンチ付き全断面の早期閉合を採用して、トンネルの力学的安定を確保した。

非常用施設の箱抜き部は、掘削幅が最大5mの箱抜き掘削であり、これがトンネルの安定に及ぶ影響は不明で、挙動予測は不確かであることなどから、計測工A、Bによる動態計測を行いながら鋼アーチ支保工を補強固定後に切

断し箱抜き掘削を施工した。

その結果、地山強度比が1を下まわる強度不足地山における早期閉合トンネルの設計、施工法の有効性と早期閉合後に施工する箱抜き掘削箇所の挙動特性とトンネル双設の影響が明らかになった。

### 2 工事概要

新東名高速道路鳳来トンネルは、新東名高速道路の引佐JCTと豊田東JCT間の引佐側に位置し、掘削断面積約110m<sup>2</sup>、上り線2,513m、下り線2,464mの双設トンネルである(図-1)。

なお、愛知県下の新東名高速道路では、最長のトンネルである。

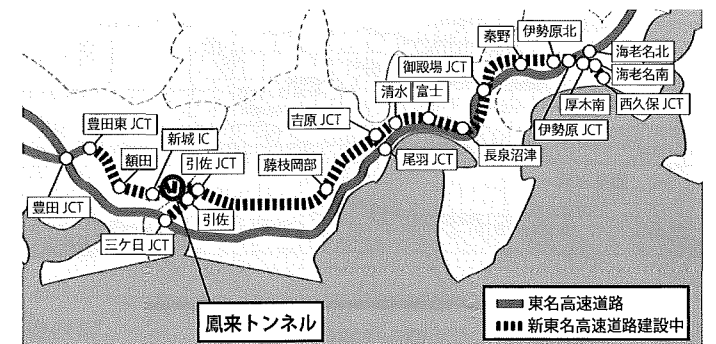


図-1 工事位置図

トンネル工事は、平成21年9月より東坑口側から掘削を開始し、先行した上り線は、6月末時点で、東坑口から1,560m地点を掘削中である。下り線は、平成22年1月より掘削を開始し、東坑口から1,066m地点を掘削中である。

### 3 地質概要

鳳来トンネル上り線の地質縦断図を図-2に示す。鳳来トンネルは、中央構造線の南側1.5kmに位置している。

本工事の掘削対象となった地質は中生代白亜紀前期の三波川帯に属し、泥質の黒色片岩、塩基性の緑色片岩が主体である。この中に、地山強度比が1を下まわり、押し出し性を有する脆弱で自立度の低い粘土質の断層破碎帯や大規模な地質不良部が、STA.491+20付近からトンネル軸方向約730mにわたり出現した。ここでの土かぶり高は150mと大きく、地山強度比は1以下である。

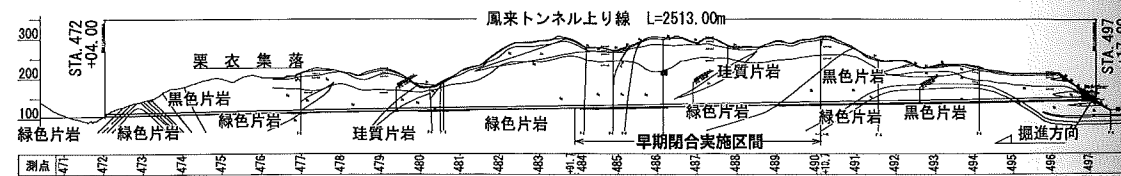


図-2 地質縦断図(鳳来トンネル上り線)

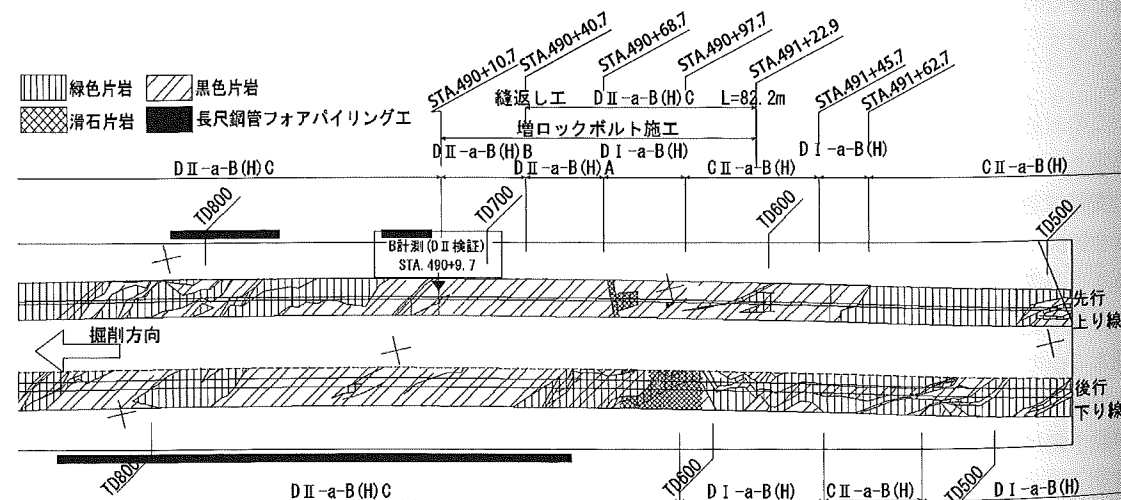


図-3 支保パターン実施平面図

### 4 標準施工パターンによる施工

#### 4-1 施工状況

上り線と下り線の離隔は、図-4に示すように、19mである。トンネル掘削は、東坑口側から西側に向かって上り線を先行し、4か月後に下り線の掘削を開始した。上り線測点STA.486+90位置のトンネル断面は、下り線測点STA.486+82と同一断面に位置する。

先行した上り線において、泥質の黒色片岩が占めるSTA.491+40(TD587)付近を、高規格標準支

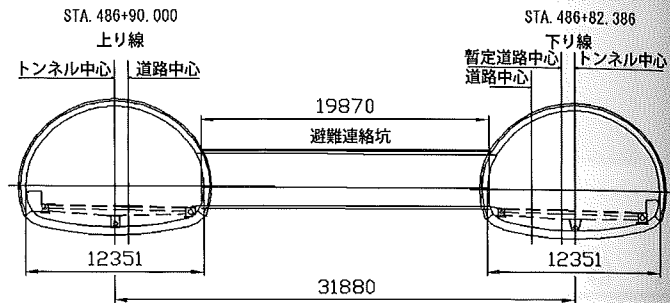


図-4 上り線下り線トンネル位置関係

表-1 高規格標準支保パターン支保構造仕様

支保パターン名	CII-a-B(H)	DI-a-B(H)
掘進長	1.20m	1.00m
変形余裕量	—	—
吹付け厚	10cm	15cm
圧縮強度( $\sigma_{28}$ )	36N/mm <sup>2</sup>	
鋼アーチ支保工	H-125	H-150
ロックボルト工	L=4m 290kN, 14本	L=6m 290kN, 17本

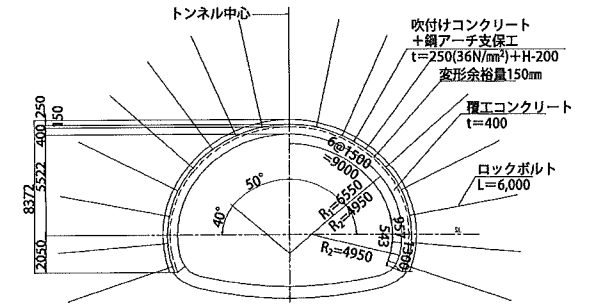


図-5 支保パターン(DII-a-B(H)B)

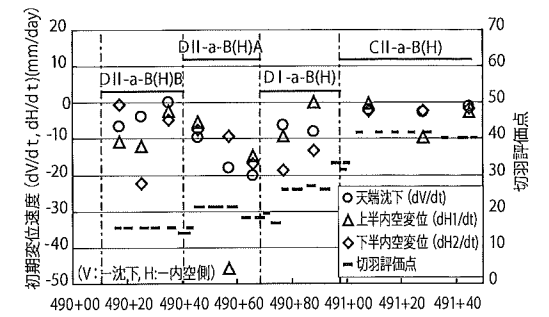


写真-1 STA.490+74切羽状況

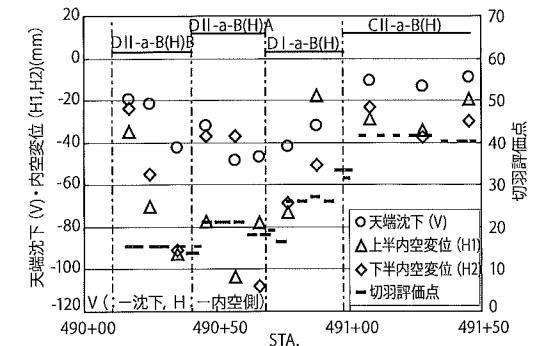
表-2 標準支保パターンDII支保構造仕様

支保パターン名	DII-a-B(H)A	DII-a-B(H)B
地山強度比	0.3 << 1.0	
掘進長	1.00m	1.00m
変形余裕量	10cm	15cm
吹付け厚	20cm	25cm
圧縮強度(28d)	36N/mm <sup>2</sup>	
鋼アーチ支保工	H-150	H-200
ロックボルト工	L=6m, 290kN, 17本	

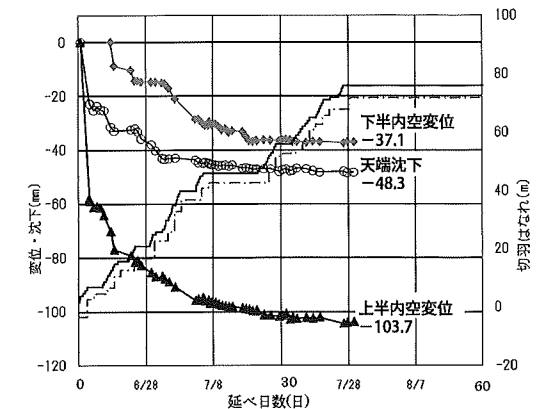
保パターンのCII-a-B(H), DI-a-B(H)(表-1)で補助ベンチ付き全断面爆破掘削工法で施工していると、STA.490+80付近より滑石(粘土)を伴う変質帯が出現し(写真-1)、初期変位速度は-10mm/day(—:沈下, 内空変位方向)を超えるようになり、トンネル支保構造体は不安定に推移した。このため、ロックボルトの増打ちによる補強を行った。さらに、表-2、図-5に示すように、変形余裕量を10cmと15cmとする標準施工パターンDIIパターンを設計し、補助ベンチ付き全断面爆破掘削の標準施工で再開した。



(1) 初期変位速度(CII, DI, DII)



(2) トンネル変位(早期閉合実施前)



(3) トンネル内空変位径時変化図  
図-6 DII-a-B(H)区間の変位状況

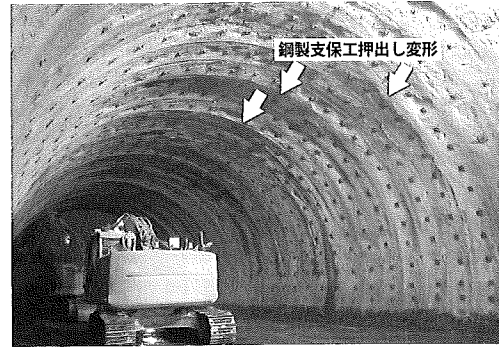


写真-2 支保変状状況

表-3 DII地山の力学特性

項目	仕様	備考
切羽評価点	20点以下	—
初期変位速度	10mm/day以上	D Iの標準施工
一軸圧縮強度 $q_u$	0.8N/mm <sup>2</sup>	0.4~0.8N/mm <sup>2</sup>
単位体積重量 $\gamma$	20kN/m <sup>3</sup>	代表値
土かぶり高 $h$	150m	平均値
地山強度比	0.3	$=q_u/\gamma h$

( $q_u$ : 針貫試験からの換算値)

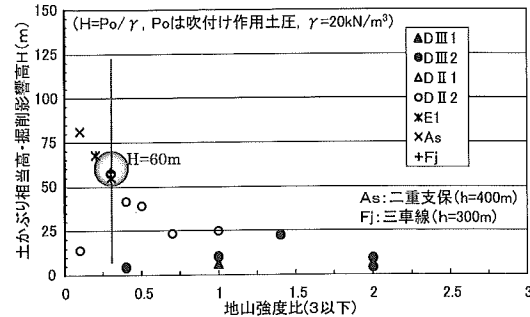


図-7 吹付けコンクリート作用土圧の土かぶり相当高H推定

表-4 早期閉合パターン支保構造仕様

支保パターン名	DII-a-B(H)C	
地山強度比	0.3<<1.0	
1掘進長	1.00m	
変形余裕量	10cm	
支保部材	吹付け厚	25cm
	圧縮強度(28d)	36N/mm <sup>2</sup>
	鋼アーチ支保工	H-200
	ロックボルト工	$L=6\text{m}^2, 290\text{kN}, 17\text{本}$
閉合部材	構造部材	上・下半と同様
	半径比 $R_2/R_1$	2.00
	閉合時期	9~12m

このDII-a-B(H)AとDII-a-B(H)Bによる施工延長は、それぞれ約20mと約30mである。

ここでの初期変位速度とトンネル変位を、図-6に示す。初期変位速度は-20mm/dayを超え、トンネル変位は-100mmを超えるようになった。さらに、収束傾向は見られず、内空断面確保が困難になり、トンネル支保工の一部は変状して、縫い返し施工を余儀なくされた(写真-2)。

#### 4-2 押し出し性土圧の推定

トンネル支保工が変状し、過大な変位が発生した地山等級DIIの力学的特性は、代表物性値として、表-3のように表すことができる。また、早期閉合トンネル施工事例から、地山強度比と吹付けコンクリート作用土圧 $P_c$ の土かぶり相当高 $H$ の関係 $\rho$ は、図-7のようである。

この図から、地山強度比が0.3で代表される粘土質の断層破碎帯や大規模な地質不良部における早期閉合トンネル支保工の吹付けコンクリートには、土かぶり高で $H=60\text{m}$ 相当の土圧作用が推定される。

### 5 早期閉合パターンによる施工

#### 5-1 早期閉合支保構造の概要

地山強度比が0.3の押し出し性地山のトンネル支保工には、土かぶり60m相当の土圧の作用を想定し、厚肉円筒理論を用いて必要支保耐力を算出<sup>2)</sup>し、これを参考にして、高耐力の早期閉合の支保を設計した(表-4、図-8)。

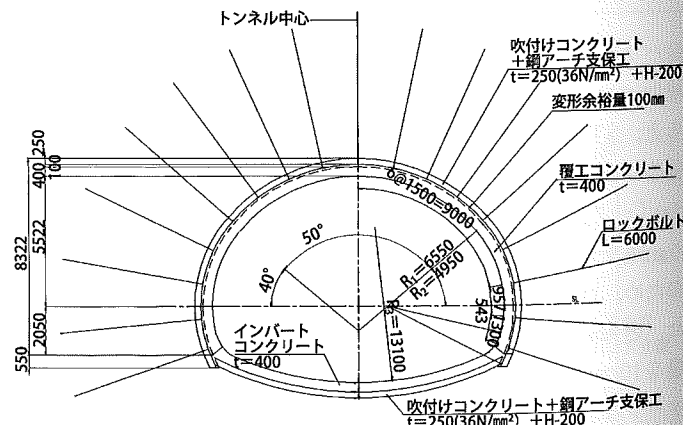


図-8 高耐力支保構造概要(DII-a-B(H)C)

早期閉合の支保構造部材は、上・下半と同様である。構造半径比 $R_2/R_1$ は、地山強度比が1以下であることから2.0を採用した。また、変位速度が速いので、早期閉合までの間の変形余裕として10cmを考慮する。

#### 5-2 補助工法

地山強度比 $<0.5$ で $q_u < 2\text{N/mm}^2$ の脆弱地山では、天端付近の崩落や切羽崩壊が生じやすいので、表-5に示すように補助工法は鏡吹付けを基本に地山性状に応じて選定し、支保施工までの間の掘削面の自立を確保する。

#### 5-3 早期閉合トンネルの施工方法

早期閉合距離 $L_i$ は、上半切羽から1D(Dは掘削幅)以内の $L_i=9\sim 12\text{m}$ とする。早期閉合施工単位 $L_c$ は、施工性と施工速度を考慮し、 $L_c=3\text{m}$ を基本にする。早期閉合施工順序を、表-6に示す。上・下半掘削は、補助ベンチ付き全断面工法の爆破掘削とし、1掘進長1mで、続けて3サイクル進行する。その後、インバートを1度に3m掘削・整形、インバート支保工3基設置、吹付けコンクリート3間吹付け、掘削ずりでインバート部3mの仮埋戻しを行い、早期閉合を完了する。早期閉合と上・下半掘削は、交互施工である。

早期閉合施工範囲の選択は、初期変位速度で判断する。初期変位速度が-20mm/dayを超え、トンネル変位が不安定に微増する場合は、早期閉合を採用する。初期変位速度が-10mm/dayを下まわり、早期閉合距離を $L_i > 12\text{m}$ に遅らせてもトンネル変位が収束傾向を示す場合は、標準パターンに移行する。

非常用施設箱抜き工の箱抜き掘削は、表-7の大型箱抜き工概要に示すように、トンネル軸方向に最大5mの箱抜き掘削となる。これが早期閉合トンネルの安定に及ぼす影響は不明、挙動予測は不確かであることなどから、箱抜き掘削は、早期閉合後に掘削の影響を受けない位置で支保工を補強後に掘削を行う、標準的な施工方法を採用した。

主要施工機械は、機械の大型化、吹付けコンクリート作業時間の短縮を考慮した機械編成とし、表-8に示すとおりである。主な機械の概要は、以

表-5 補助工法仕様

補助工法	仕様
長尺先受け工	$\phi 114.3, t=6, L=12.5\text{m}$ 上半120°, $p=600$ , シリカレジン
鏡吹付け	$t=5\text{cm}$

表-6 早期閉合施工順序

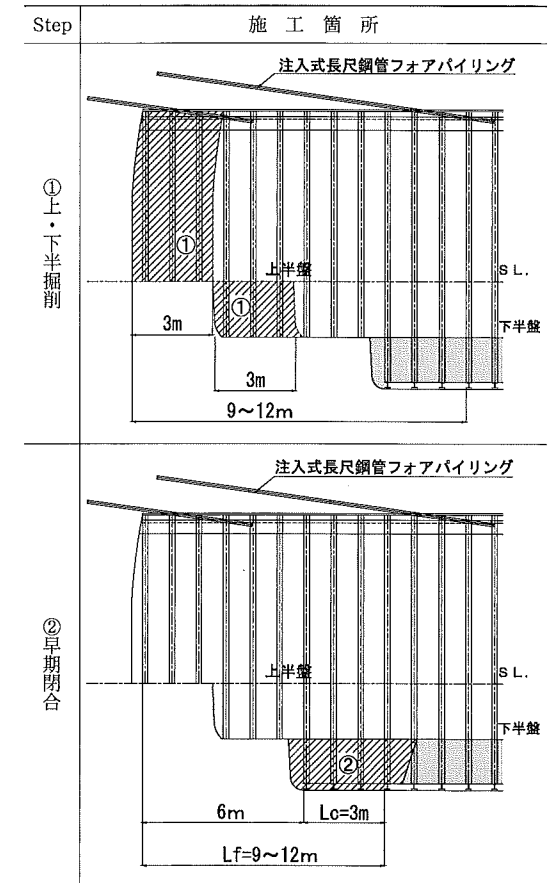
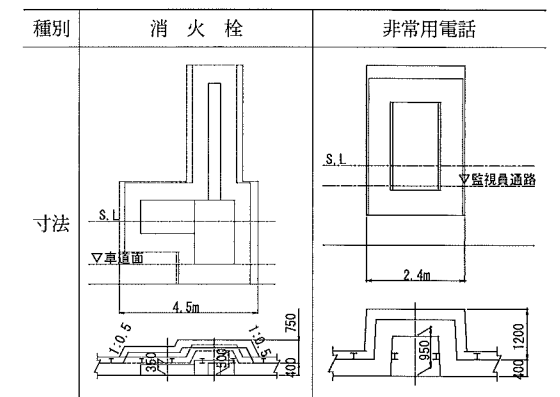


表-7 大型箱抜き工概要



下のとおりである。

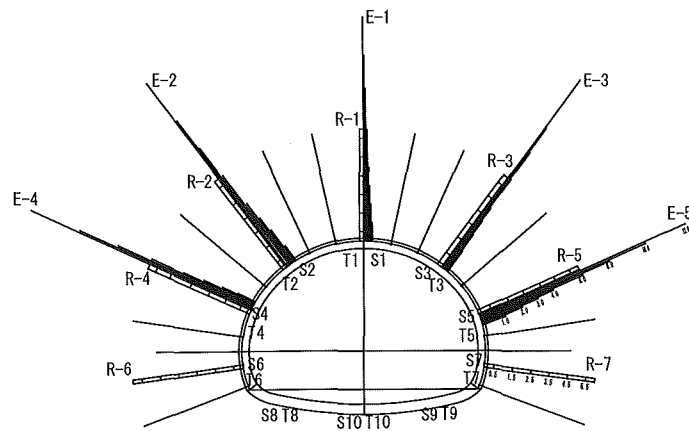
- ・吹付け機は、鋼アーチ支保工建て込みと吹付け作業が同一機械で行えるエレクトラ一体型とし、機械の入換え時間を削減している。
- ・ホイールローダ(3.1m<sup>3</sup>)を2台配置し、ずり積み込み作業の短縮を図っている。
- ・ドリルジャンボには、自動ロッド継ぎ機を搭載し、作業を省力化している。

5-4 計測工概要

高耐力支保構造仕様の照査と早期閉合トンネルの力学挙動特性の把握を目的に、計測工A, Bを実施した。計測工A断面は、トンネル進行方向へ

表-8 主要施工機械

用途	機械名称	能力, 出力	台数
掘削, 補助	油圧ブレーカ	1.3 t級	1
	油圧ショベル	0.7m <sup>3</sup> 級	1
鋼アーチ支保工建て込み	支保工エレクトラ+吹付け機一体型	1 t級	1
ずり搬出	ホイールローダ	3.1m <sup>3</sup>	2
	ダンプトラック	30t	3~4
吹付けコンクリート工	コンクリート吹付け機	30m <sup>3</sup> /h	1
	トラックミキサ車	4.5m <sup>3</sup>	2
ロックボルト工 長尺先受け工	油圧ホイールジャンボ	3ブーム, HD190kg級	1



項目	記号	単位	数量	概要
地中変位測定	E-1 ~ E-5	箇所	5	12m
ロックボルト軸力測定	R-1 ~ R-7	箇所	7	6m, 290kN
吹付けコンクリート応力測定	T1 ~ T10	箇所	10	36N/mm <sup>2</sup>
鋼アーチ支保工応力測定	S1 ~ S10	箇所	10	

図-9 計測工B計器配置概要

約10m間隔に設け、1断面あたり測点数は5点とし、三次元自動測量・計測システムを用いて、吹付けコンクリート表面に取り付けた測点の鉛直・水平方向変位を12~24時間ごとに測定する。計測工Bは、図-9に示すように、支保部材応力測定を基本とする計器配置とする。上り線計測工B断面は、先行上り線の早期閉合施工開始直後STA.490+9.7(TD720)とF断層のSTA.485+66.7(TD1150)の2断面を設ける。計測工B断面位置の現切羽からの離れは、表-9に示すとおりである。

5-5 施工状況

早期閉合パターンDII-a-B(H)Cの施工は、早期閉合施工単位はL<sub>c</sub>=3mとし、上半切羽からL<sub>i</sub>=9~12mで早期閉合を行っている(写真-3)。この区間では、掘削面の自立度に応じて、掘削補助工に注入式長尺先受け工を採用し、支保施工までの間の掘削面の自立を確保し、確実な施工を可能としている。先行する上り線の早期閉合は、延長約620m実施し、そのうち注入式長尺先受け工を総延長で144m実施した。掘削進行は、早期閉合区間において月進行で約80m、注入式長尺先受け工併用区間で月進行約60mであった。

後行する下り線は、先行する上り線での施工状況をもとに地質状況を把握しながら早期閉合パター

表-9 現切羽からの計測工B断面の離れ

計測工B位置ルート	STA.490+9.7 (TD717)	STA.485+66.7 (TD1160)
先行上り線側	842m	399m
後行下り線側	367m	-65m

(平成23年6月末現在)



写真-3 早期閉合状況(早期閉合距離9m)

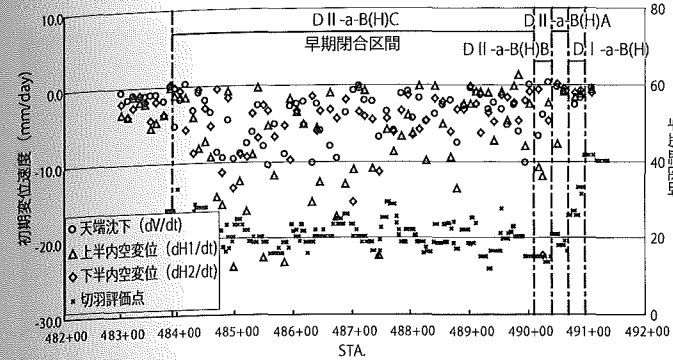


図-10 上り線初期変位速度

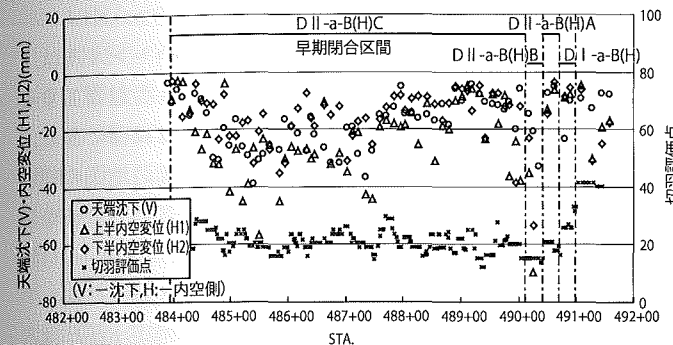


図-11 上り線トンネル変位(下り線通過前)

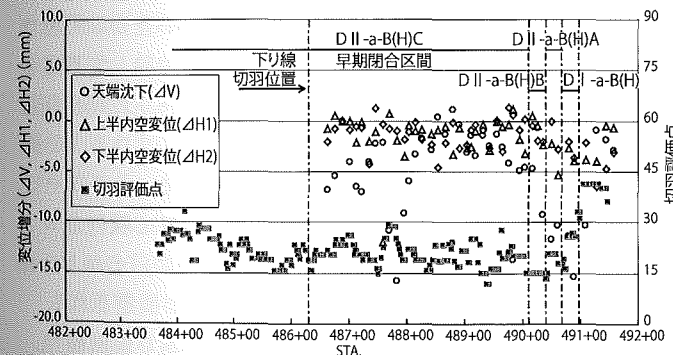


図-12 先行上り線トンネル変位増分(後行下り線の掘削影響)

NDII-a-B(H)Cにより掘削中である。地質状況は、上り線より脆弱な地質で切羽面の崩落などが多く発生している。

5-6 早期閉合トンネル挙動特性

上り線掘削時の初期変位速度と掘削後のトンネル変位を、それぞれ図-10, 11に示す。後行下り線切羽がSTA.486+82における上り線トンネルへの双設影響は、上り線トンネルの変位増分として表すと、図-12のようになる。

これらから以下のことがいえる。

- ① 早期閉合距離をL<sub>i</sub>=9mとする上り線掘削時天端沈下の初期変位速度dV/dtは、最大約-11mm/dayである。上半測線の初期内空変位速度dH<sub>1</sub>/dtは、最大約-24mm/dayとなり、下半測線dH<sub>2</sub>/dtの-15mm/dayに比べて大きい。
- ② 上り線掘削後の天端沈下Vは、最大約-40mmである。上半内空変位H<sub>1</sub>は、最大約-60mmである。
- ③ 下り線掘削による上り線の変位増分は、天端沈下ΔVは、最大約-15mmである。下半内空変位ΔH<sub>2</sub>は、最大約-12mmである。
- ④ 天端沈下V、内空変位H<sub>1</sub>、H<sub>2</sub>の初期変位速度が連続して-10mm/dayを下まわったSTA.483+80以奥では、早期閉合を遅らせ収束性を確認した後に、STA.483+28から標準パターンDI-a-B(H)による掘削に切り替えた。

以上から、先行上り線の早期閉合トンネルは、下り線の掘削影響を受けトンネル変位は増加するが、変形余裕量10cm内で収束した。

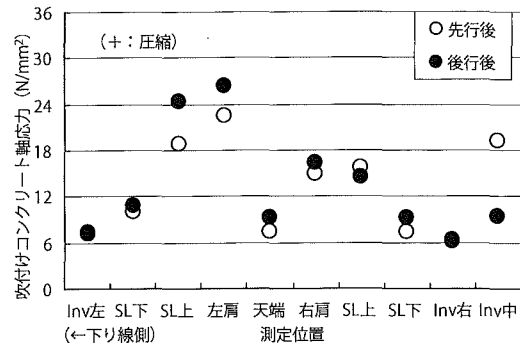
5-7 早期閉合トンネルの力学的安定性

早期閉合箇所の上り線吹付けコンクリート軸応力を図-13、鋼アーチ支保工縁応力を図-14に示す。それぞれ早期閉合開始直後(STA.490+9.7(TD717))および

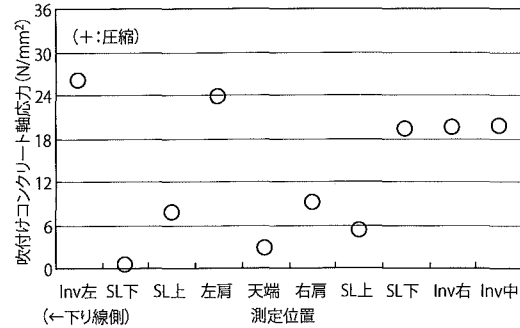
双設影響を受けていない上り線F断層(STA.485+66.7(TD1160))について示している。

これらから、以下のことがいえる。

- ① 上り線掘削後の吹付けコンクリート軸応力の最大値は、早期閉合開始位置で約23N/mm<sup>2</sup>の圧縮である。F断層では、この横を下り線が通過していないが、27N/mm<sup>2</sup>の圧縮であり、設計基準強度36N/mm<sup>2</sup>の75%の軸応力で安定する。

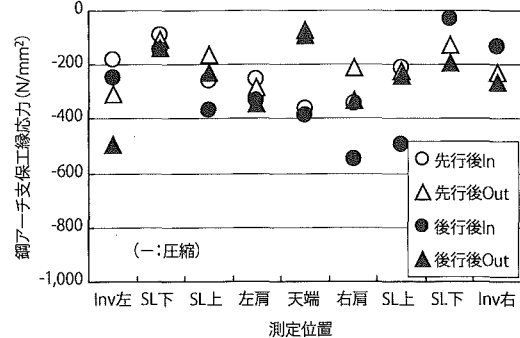


(1) 上り線, 早期閉合開始

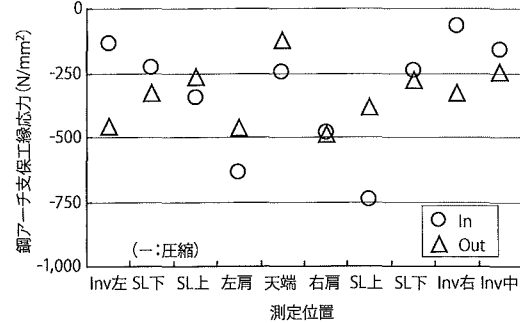


(2) 上り線, F断層

図-13 吹付けコンクリート軸応力



(1) 上り線, 早期閉合開始



(2) 上り線, F断層

図-14 鋼アーチ支保工縁応力

② 吹付けコンクリート軸応力への下り線の掘削影響は、下り線側のSLから肩部にかけて大きく現れ、最大約1.2倍増加する(18.8→24.3N/mm<sup>2</sup>)。インバート中心では、約1/2(19.3→9.5N/mm<sup>2</sup>)に低下する。

③ 鋼アーチ支保工縁応力は、双設影響の有無にかかわらず、内空側、地山側ともに、降伏強度を超える曲げ圧縮応力が発生する。しかしながら、吹付けコンクリートによる変位拘束を受け、支保部材としての健全性は確保できている。

以上から、先行上り線の早期閉合トンネルは、下り線の掘削影響を受け支保部材応力は増加するが、トンネル構造体の力学的安定は確保できた。また、支保部材応力は、トンネル周辺地山の物性分布の影響を大きく受け、不均一な応力分布を示す。

5-8 吹付けコンクリート作用土圧

吹付けコンクリートに作用する推定土圧 $P_0$ は、吹付けコンクリート軸力 $N_c$ の最大値を支保構造体半径 $r$ で除して概算する。これの土かぶり相当高 $H$ は、土圧 $P_0$ を単位体積重量 $\gamma$ で除して算定する。この結果は、吹付けコンクリート作用土圧とともに図-15に示す。

これらから、以下のことがいえる。

- 地山強度比が0.3のDII-a-B(H)C吹付けコンクリートには、上り線掘削時に、土かぶり40m相当、0.8N/mm<sup>2</sup>の土圧作用が推定される。
- 下り線の掘削により、土かぶり55m相当、

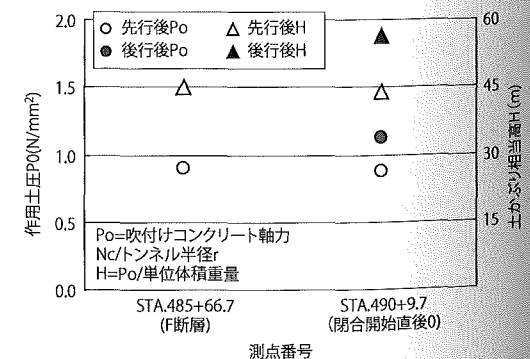


図-15 吹付けコンクリート作用土圧と土かぶり相当高(上り線)



写真-4 消火栓箱抜き部周辺の変状(後行下り線)

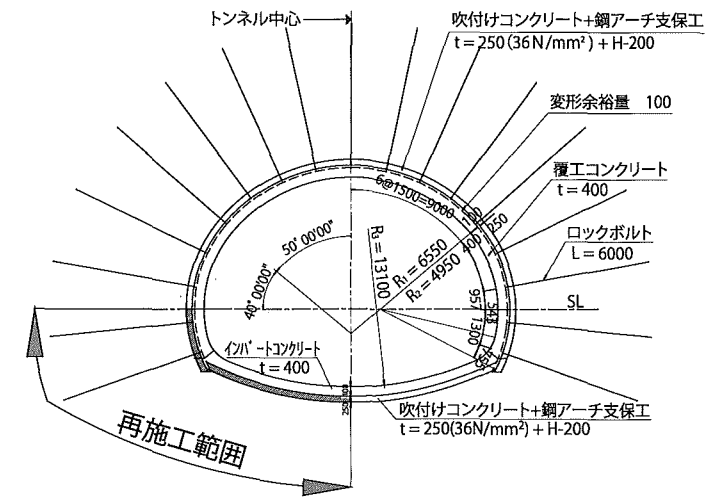
1.1N/mm<sup>2</sup>の土圧作用が推定され、約1.2倍の双設影響を受ける。

5-9 箱抜き部変状対策

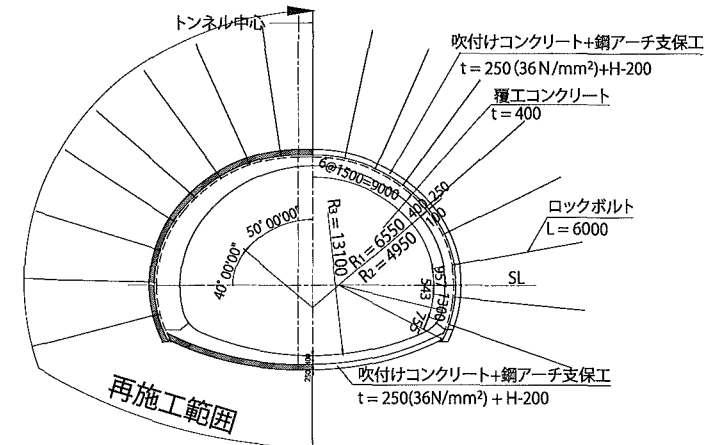
下り線 STA.490+34.2(TD663.8)～STA.490+15.2(TD682.8)の約19m間において、早期閉合パターンDII-a-B(H)Cに箱抜き掘削の影響が現れ、下半との接合部の早期閉合部材端に、最大約20cmの鉛直上向き変位を伴う変状が現われた(写真-4)。これの先行上り線側は、標準施工パターンDIIによる施工で、黒色片岩主体で脆弱地山の地山強度比0.3であり、縫い返しを余儀なくされた。変状状況は、以下のとおりである。

- 上り線と反対側にある延長方向約4mの箱抜き掘削を行った消火栓位置周辺で下半部材と早期閉合部材端の接合部周辺に集中して生じた。
- 先行上り線側に双設影響が現われ、上り線の箱抜き部吹付けコンクリートにクラックが生じた。

以上のことから、地山強度比が1.0を下回る早期閉合トンネル箱抜き部で、トンネル支保構造体の一部を切断し、箱抜き掘削すると、早期閉合支保構造体は不安定になり、過大な変位が発生、支保部材の一部は大きく変状、破壊することが示された。これらの対策として変状区間では、内空断面測定で上・下半の覆工巻き厚が確保されていることを確認し、左半断面を縫い返し施工した



(1) 箱抜き部周辺



(2) 箱抜き部

図-16 下り線縫い返し範囲

(図-16)。以降の箱抜き施工箇所では、箱抜き掘削断面を包含したトンネル断面を設計し、早期閉合施工でトンネルの力学的安定を確保する。

6 まとめ

非常用の施設箱抜き部の拡幅掘削を行いながら、地山強度比が1を下回る地質不良地山を、高耐力支保構造の早期閉合で双設トンネルを施工した。計測工A, Bの結果から、早期閉合トンネルの挙動特性および双設影響が明らかになり、これの設計パラメータに関する基礎データと以下の知見を得た。

- ① 吹付けコンクリート軸応力の最大は、27N

/mm<sup>2</sup>の圧縮であり、設計強度36N/mm<sup>2</sup>の75%で安定が確保でき、この設計・施工法の有効性が実証された。

- ② 鋼アーチ支保工縁応力は、降伏強度290N/mm<sup>2</sup>を超えて発生するが、吹付けコンクリートの変位拘束を受け、変状、破壊は見られず、支保部材としての健全性は確保できた。
- ③ 地山強度比が0.3の押し出し性地山では、双設影響が現れるが、吹付けコンクリートには、土かぶり55m相当の押し出し土圧の作用が推定された。
- ④ 早期閉合施工単位をL<sub>c</sub>=3~4mとし、上・下半掘削と早期閉合を交互施工とする施工方法は、施工機械の編成を工夫することで平均月進行約80mが確保できた。
- ⑤ 地山強度比が0.5を下まわる押し出し性地山において、構造半径比R<sub>0</sub>/R<sub>1</sub>=2とする早期閉合トンネルの箱抜き部の拡張掘削は、支保工を補強後に掘削を行う、標準的な施工方法で実施すると、箱抜き部の早期閉合部材は上方向に変位し、不安定に内空変位が微増する。この周辺の早期閉合部材は、先行、後行トンネルともに変状する。よって、対策としては、箱抜き掘削断面を包含したトンネル断面を設計し、早期閉合により施工を実施する。

⑥ 初期変位速度を判定指標として、早期閉合パターンと標準パターンの切替えを試行した。この方法により、早期閉合を必要とする区間の特定を可能にし、施工を確実にできた。

今後は、後行下り線トンネル施工後の計測工データを用いて、地山等級DIIにおける箱抜き掘削を行いながら早期閉合の双設トンネル安定のメカニズムを調べるとともに、早期閉合トンネルの設計・施工技術の高精度化を進める予定である。

また、脆弱地山における変状対策としてインバートコンクリートの早期施工による断面閉合で克服でき、力学的安定確保をめざした結果、安全・確実な施工を行うことができています。新東名高速道路建設にあたり同等地質・構造のトンネル構築に反映し、確実な施工を実施していきたい。

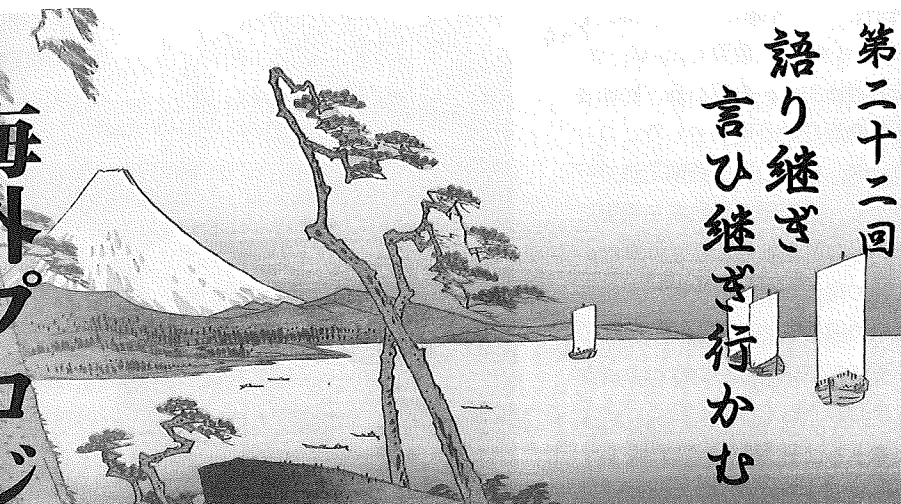
最後に、貴重なご意見をいただいた関係各位に感謝する次第である。

### 参考文献

- 1) 西村和夫・城間博通・楠本太：早期閉合トンネル力学パラメータに関する考察，土木学会第66回年次学術講演会，第VI部門，2011。
- 2) 楠本太・恩田雅也・上岡真也：押し出し性地山における大断面トンネルの力学パラメータに関する考察，土木学会第60回年次学術講演会，第III部門，2005。

# 海外プロジェクトに向かう技術者へ

（元）株熊谷組  
**松本 良夫**



第二十二回  
語り継ぎ  
言ひ継ぎ行かむ

### トンネル技術者に憧れて

トンネル技術者に憧れ、昭和41年、熊谷組に入社しました。爾来、国内外で、最先端の施工技術を必要とする、多くのトンネルプロジェクトにかかわり、まさに技術屋冥利に尽きる半生でした。トンネルプロジェクトは、さまざまな社会的条件と自然条件を斟酌し最適な工法が選択されますが、想定どおりにプロジェクトが終わることは、ほとんどありません。過去の経験技術だけでは解決できない。その現場特有な新たな課題に遭遇します。想定していなかった地質・地下水・工程・安全・費用・環境など、さまざまな課題を克服するために、現場技術者には英知と不屈の挑戦力が必要とされ、それによって、技術者には技術と経験的テクニックが蓄積され、新たなプロジェクト挑戦の糧となります。不可能と思われることを可能にする現場技術者の醍醐味と言えましょう。しかしその渦中にいるときは、醍

醐味どころか自信を失いそうな苦しみに近い心境を経験します。

### 最初の現場 —都営地下鉄1号線—

私は、入社して10年、国内で都市土木としてのトンネル工事に従事しました。昭和41年、新入社員で配属されたのが、東京都交通局が最初に手がけた都営地下鉄1号線の二本榎工区でした。高輪プリンスホテル裏から五反田駅までの圧気シールドトンネル工区で、中間に高輪台駅が建設されました。現場は主任以下30歳以下の職員で編成され、熱気溢れる現場で、休日・昼夜なく、社員が競争するかのよう貪欲に仕事に熱中していました。私のトンネル技術者の原点となった現場でした。技術的に日本でも初めての試みで、上下線の圧気シールドトンネル施工後、セグメントを外し、山岳工法で高輪駅のプラットフォーム階を構築する工事を担当しました。

現場は都電が走る、放射1号線

## わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格 2,500円 千340円

本書は、平成11年3月号より17回にわたって「トンネルと地下」に連載した「トンネル技術者のための応用地質学入門」をベースに、加筆および整理してまとめたものである。本書では、最新のトンネル技術、地質学、ならびに、地質調査法などを挙げ、学生から実務者まで広範に満足させる内容となっている。

株式 土木工学社

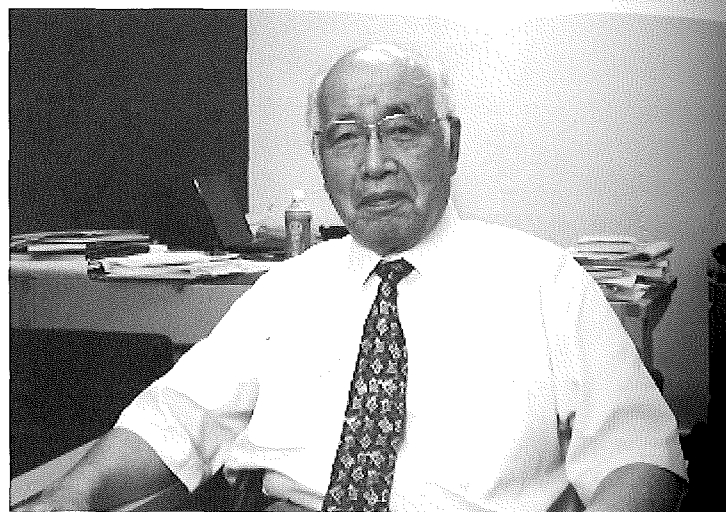
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072

直下のトンネル工事で、「陥没事故あるいは路面電車を止めたら、指名停止」と、先輩から、毎朝注意を喚起される現場でした。コンコース、出入口は、開削工法で行うため、路面電車の軌条を深夜に仮受けし路面を覆工する作業は、架線の電源が切れる夜中から始発電車の通電までの、4時間程度の中ですべてを終わらせなければなりませんでした。

地下トンネルは、(黒部大町ルート破砕帯突破で有名となった)笹島建設が請負い、黒部経験者の斧差が担当しました。圧気内で、細心の注意でシルト・粘土層を、支保工枠で、左右に切り抜け、延長200m近くを、下部から上部に数段にわたって、10m近く掘り上げる工法でした。都市トンネルの施工では、沿道や道路を利用している人々は、地下で行われているトンネル作業の詳細を知りません。「社会に対し安全・安心を確約しなければならぬ。一命をかけても社会の安全・安心を守ること」が、その後、現場技術者としての私の信条となりました。

### 3番目のプロジェクト —首都高速 湾岸線—

3番目のプロジェクトは、首都高速道路公団湾岸線の大井の埋立地から現在のお台場間を結ぶ沈埋工事で、建設会社5社の共同企業体でした。工事は大井側の埋立地にドライドックを建設し、幅39.9m×高さ10m×長さ128.5mの沈埋函を9函製作し、大井側から順次、浚渫した海底面に沈設し、往復各



著者近影

著者略歴

昭和41年4月	(株)熊谷組入社、地下鉄二本榎シールド工区建設工事
昭和44年2月	城南新浜松町線新設工事(六本木の橋)第一工区
昭和45年7月	ドライドック新設工事
昭和46年4月	沈埋函制作工事
昭和47年5月	13号地陸上トンネル及び開削部(その1)新設工事
昭和49年10月	葛飾区水元猿町～足立区佐野町地先間排水本管新設工事 主任
昭和50年6月	江戸川左岸流域下水道江戸川横断管渠建設工事 主任
昭和51年4月	香港地下鉄工事103工区 主任
昭和53年11月	香港地下鉄工事302工区 主任
昭和57年1月	香港地下鉄工事405工区 所長
昭和61年1月	New Hong Kong Tunnel Company (海外現地法人) 社長
昭和62年8月	Eastern Harbour (海外現地法人) 工事所 所長
平成3年10月	ロンドン統括営業所 統括所長
平成5年7月	本社海外事業部 部長
平成6年4月	本社海外本部 副本部長
平成7年4月	本社経営企画本部 副本部長
平成9年4月	本社経営企画本部 本部長
平成9年11月～ 平成12年12月	社長
平成21年3月	退職
現在	アイピーエム・サービス(株)取締役会長

2車線の道路トンネルを建設するプロジェクトでした。当時沈埋工法は国内では実施経験も少なく、鉄筋コンクリートによる躯体の建設は、ヨーロッパで盛んに行われ

ていましたが、国内では初めてであり、海外プロジェクトを参考に計画されました。

プロジェクトの初期段階から共同企業体勤務となり、ドライドック

建設、沈埋函製作、陸上部取付立坑、アプローチ開削工事と、沈埋プロジェクトのほぼ全工程に従事し、諸問題の解決に接することができたことは、その後、海外で多くの沈埋プロジェクトを担当するうえで貴重な経験となりました。

近代的大物流施設である現在の大井埠頭は、当時埋立地であり、私たちは大井砂漠と呼んでいましたが、鋼矢板の二重堰堤で締め切り、内部を浚渫・掘削し、およそ縦600m×横180m×深さ10mのドライドックを建設しました。地質は、軟弱シルト地盤であり、ドライドックの排水時に法面が自立せず、また軟弱な底面の整形にも多大な費用と時間が費やされました。

東京のホットスポットになっているお台場も、当時は13号地と呼ばれたゴミ捨場で、大井側と同じく、建造物が一切ない、砂漠のような場所でした。大きくそびえる換気立坑とアプローチ建設も、N値0に近い軟弱シルト地質との戦いでした。当時はまだ連続壁工法は一般的でなく、立坑は径1,200mmの鋼管矢板で締め切られ、ケミコパイルで地盤改良後、深さ28.2mまで切梁支保工で掘削する計画でした。

しかし掘削途中で、周辺土圧が増大し、支保工および締め切りが座屈崩壊しました。原因は締め切り外側の軟弱シルト層が内部掘削に伴い変動し、掘削底面の受働土圧が耐えられず、ヒービングを起こし、締め切り全体が動き、崩壊したと想定されました。その後、主働土圧を低減するため、地盤を

切り下げ、再度1,400mmの鋼管矢板で締め切り、設計深度まで掘削し、立坑を構築しました。

立坑から東側のアプローチ部も、今は、周辺に船の博物館を始め高層ビルに囲まれ、青い草木に覆われていますが、軟弱シルト部を掘削すると、側方流動を起こすために法面の確保に苦勞をしました。一部矢板締め切りの開削工法箇所もありましたが、立坑の経験を生かし、締め切りの外側の軟弱シルトの変動を押さえるため地盤改良を行い、支障なく工事を終えました。

軟弱地盤をコントロールする困難さを経験し、後の海外における2つの沈埋工事プロジェクトにおいて、ドライドック、あるいは兩岸の立坑建設の地盤と工法選定におおいに参考となりました。

### 6番目のプロジェクト —MTRC 1期工事—

6番目のプロジェクトは、香港地下鉄公団(Mass Transit Railway Co.)の1期工事の103工区である



香港地下鉄103工区ドライドックの全景

海峡横断沈埋工事でした。沈埋工事経験者ということで入札時から参加し、落札にともない香港に赴任しました。当時現地サブコントラクターの能力は低く、工事工程は遅れ、発注者からは厳しく工事のアクセラレーションが要求されました。とくに海峡横断トンネルの完成は大陸側路線と香港島側路線を結ぶボトルネックにあたる工区であることから、発注者も工期の遅れには神経質でした。

ドライドック建設、沈埋函築造、沈埋函沈設のクリティカルパスの遅延リスクの高い工程に、日本の協力業者の雇用、日本人職員の増員を行いました。最終的には当初工程を確保できました。この実績はその後の、香港東部道路・鉄道トンネル、西部海底道路・鉄道トンネル、台湾の高雄道路トンネル、シドニーハーバートンネルへと発展しました。

工事採算も、一部アクセラレーションコストが認められ、請負金の為替メリットもあり、当初の利益を確保することができました。



香港地下鉄103工区  
最終函沈設前の式典状況

とくに為替利益についてはビギナーズラックと言えますが、香港の炎天下、現地作業員とともに、休日もなく働いた日本人職員への天のご褒美と理解しています。

個人的に苦労したことは、アングロサクソン流の契約とプロジェクトマネジメントへの対応でした。予備知識なしで、日本での沈埋工事経験だけで、未知の土地で、英語も話せない書けない状態で、徹底して工程管理を大事にするMTRCプロジェクトに挑んだことは、無知とはいえ蛮勇に近いものでした。しかしこの経験は、その後続く2期、3期工事、BOT事業そして私の海外事業取り組みの基本になりました。

### 7番目のプロジェクト —MTRC 2期工事—

7番目のプロジェクトは、MTRCの2期工事で、連続壁、逆巻き工法の2駅、3kgの圧気シールドトンネル3本、圧気山岳トン

ネル1本、開削トンネル1本の大型工区でした。3kgの圧気内作業は、あらゆる面で過酷な環境であり、工事は難航しました。

職員・作業員ともトンネル内作業時間は限定され、数時間トンネル内で作業すると、ベンズ(潜函病)を防ぐために坑外に出なければなりません。減圧ロック内で数時間を過ごさなければならず、またベンズにかかる時、しばらくはトンネル内への入坑が禁止されました。トンネル内で技術的問題が発生しても、トンネル内出入りが不自由なため、発注者も含め関係者が迅速な対応が取れませんでした。トンネル内の酸素量も大気の3倍あるため、ガス切断機などの火が引火しやすい状況でした。

実際に、トンネル内火災が発生しましたが、直ちに断気して職員が消火し、30分程度でトンネルを再圧し、大事に至りませんでした。翌日発注者から許可を得ずに断気を行ったことで嚴重注意があ

りました。

隣接工区で発生した火事では、発注者の指示でトンネルを断気できず、迅速な消火活動が行えず、火災が数日間にわたりました。トンネル内にあるシールド資機材の燃焼と圧気内での不自由な消火活動という悪条件の中で、消防士の殉職もありました。

「危険が予知されても、発注者の指示どおりにしなければならぬか」、「現場を把握している現場技術者が迅速な行動で事故の拡大を防げるならば、ルールを無視しても行動すべきか」、契約主義の海外工事では問題となる事故でした。

シールドトンネルの地質は風化花崗岩層でしたが、層の中に未風化の固い巨大な玉石があり、発破による破砕が必要でした。とくにシールドの切羽スキン部に花崗岩がかかるとその撤去作業は困難でした。1m進むのに昼夜数日を要することもありました。

英国タイプのコンクリートセグメント(発注者設計)は、シールドの推進圧に脆弱で、推進時にクラックが発生し、MTRCの指示により(組立てた)セグメントの取り換えが命じられました。取り換えは全セグメント量の30%近くにもなり、トンネルの進行に大きな影響を与えました。その責任とコスト負担が大きなクレームとなりました。それ以降(3期工事以降)は、日本企業は日本のタイプの曲がりボルトセグメントや肉厚なセグメントを提案するようになりました。

日本からシールドトンネル工事

のベテランが多く配属されましたが、日本的施工法と英国式施工法の違いが現場で激しく対立することも多くありました。一例として裏込め注入については考え方が大きく異なっていました。日本では掘削断面とセグメント間の空隙注入が主であり、止水効果は限定的で、シールあるいはコーキングで二次止水します。

裏込め材(モルタル)をトンネル内に、漏水がなくなるまで注入し、不十分な場合は、更にセメントミルクを注入することが要求されました。確かに漏水は止まるものの、セグメントの裏はモルタルとセメントミルクが大量に注入され、周辺地山を圧密する地盤改良状態になっていました。裏込め注入の材料費・手間費は相当な額になりましたが、工事仕様書では明確であり、その負担は業者持ちとなりました。

当時、日本ではシールド工事が全盛時代で、自分たちの常識が世界でも通じると思っていた技術者には、見積りの際の大きな落とし穴でした。

### 8番目のプロジェクト —MTRC 3期工事—

8番目のプロジェクトでは、MTRCの3期工事の405工区で香港島の最大の繁華街であるトンローワン地区の路面電車が走る道路下を4本の圧気シールドおよび3本の駅トンネル・連絡用トンネルを圧気NATMで施工しました。前回のシールド工事で、花崗岩の玉石混じりの地質をシールド工法で施

工する困難さから、大断面の駅トンネル部、および線形の複雑な連絡通路部は、MTRCではもとより、香港では初めてのNATMを業者の代案として入札しました。繁華街の地下であること、周辺ビルの地下に近接していることから、安全上の面から、当初、発注者は反対意見が多かったのですが、日本のNATM現場での見学会などを行い採用が認められました。

シールド区間の掘削は、3kgの圧気作業と玉石発破で難工しましたが、NATM区間では、切羽における作業の自由度が高く、玉石処理も容易で当初の計画工程を確保できました。地質は風化花崗岩と花崗岩のため、計測管理(コンバージョンメジャー)の必要がなく、NATMというよりはロックボルト・モルタル吹付け・セグメント巻立て工法でした。しかし、3kgの圧気下でのモルタル吹付け・粉塵処理など国内でも例がなく、試行錯誤の連続でした。

### 9番目のプロジェクト —香港東部海底トンネル—

9番目のプロジェクトは、香港東部海底トンネル事業で、それまでの経験と異なり、発注者としての役割と請負者の役割を兼任しました。

「香港東部海底トンネル事業」(EHC: Eastern Harbor Crossing)は1984年、熊谷組がスポンサーとして、コンソーシアムを組成し、香港政庁に企画提案した民活事業が、国際入札を経て、独立採算BOTプロジェクトとして実施され

ました。私は Managing Director として事業会社の経営そして Project Director として企画・建設・運営の責任者を務めました。

EHCプロジェクトはBOT事業としても官民の事業参加者に、相応な利益をもたらすと同時に、公共インフラとして、香港の発展に大いなる貢献をしてきました。BOT事業が成功するためには、その事業を取り巻くさまざまな環境要素(政治・経済・社会の仕組みと将来の発展性)と事業のビジネスモデルが合致し、それを実現させる官民の事業参加者の努力が必要です。道路・鉄道の利用者収入に頼る独立採算事業では、計画から運営まで失敗は許されません。とくに、投資資金の70~80%を費やす建設請負を担う事業参加者の役割は重いです。

ここでは、リスクがもっとも大きい建設関係について述べます。

事業の特徴としては、

- ① 日本の企業がスポンサーとして企画・建設・運営を行った最初の独立採算PFI事業
- ② 日本・中国・香港・英国のコンソーシアム、日本、香港、英国の建設業者による共同企業体、国際金融団によるプロジェクトファイナンス
- ③ 世界で初めての、鉄道・道路併用の沈埋トンネル

が挙げられます。

工事の特徴としては、

- ① 工期が42か月と短く、運営開始遅延の場合、営業損失を補う多額なペナルティが課せられる

- ② 工事契約は設計施工一括定額契約
- ③ 性能保証：長期な瑕疵保証
- ④ 日本・香港・英国の3建設業者による共同企業体
- ⑤ 工期短縮のため設計と施工が同時並行して行われることが挙げられます。

工事環境としては、

- ① 沈設地点は世界でも航空機

の離着回数が多いカイク空港の滑走路前

- ② 貨物船の往航が激しく、流速の速いビクトリア港内

- ③ 発破による海底岩掘削の浚渫

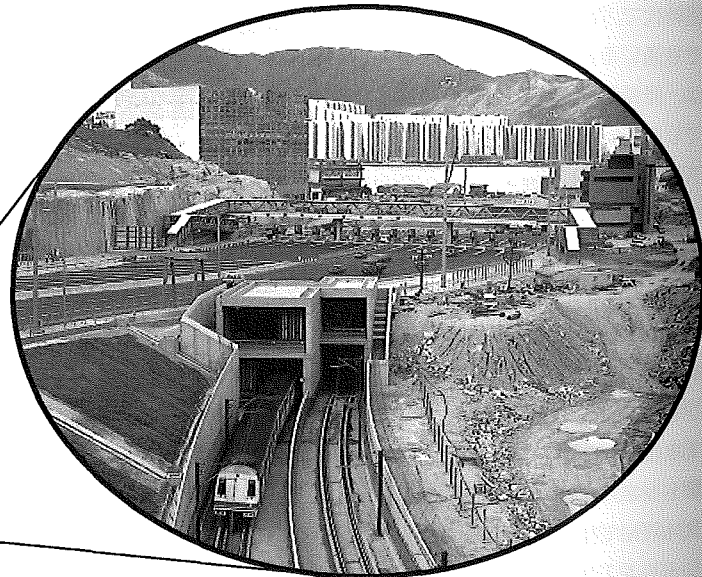
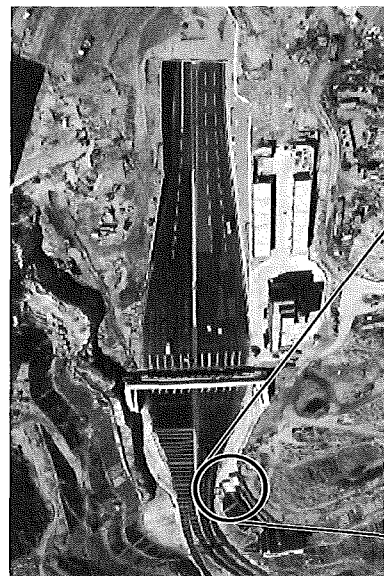
- ④ 大型ドライドック用地の選定

が挙げられます。

- 工事条件・工事環境・契約条件



香港東部海底トンネル事業 カウロン側工区全景



香港東部海底トンネル事業 料金所周辺の完成状況

とも厳しい条件ばかりでしたが、民活工事であるがゆえに、熊谷組がスポンサーとしてイニシアティブを取れる工事であり、地下鉄103工区以来10年間の、香港における経験を、設計・施工計画・プロジェクトマネジメント・下請管理などプロジェクトの川上から川下まで採用することによって、42か月の工期を、鉄道部が6か月、道路部が4か月、短縮し、開通を早めることができました。

現場技術者としての総決算とも言えるべき工事でした。

工期短縮・工費削減施策として、

- ① 大型のドライドックの新規建設には、さまざまなリスクが介在することから、既存の碎石掘削場を利用し、最小限の切り払げと切り下げを行いました。ドライドックの側面・底面が岩盤であるため、維持管理が容易でした。沈埋函引出水路を設け、両端に閘門式

ゲートを設置し、ドライドック底面を上げることにより岩掘削量を減らし、費用の削減と工期の短縮施策となりました。

- ② 大陸側の換気口立坑は、沈埋函の最終函沈設までに建設する時間がないため、最終函の上面に水平バルクヘッドとガスケットを設け、あらかじめ構築しておいたケーソンを曳航・沈設する工法を採用しました。工費削減・工期短縮の施策となりました。

- ③ 香港は台風が多いこと、港では大型船舶の航行が激しいこと、滑走路前が沈設地点で、管制上の制約が多いことから、工程上に予測できないリスクが多く、海上作業を最小限にするべく、新技術の採用や施工技術開発を行いました。沈埋函の海底支承としてバックジャッキの採用、テレスコピック測量塔、沈埋函内部工事がクリティカルパスにあるため、トンネル内作業の軽減化のために、沈埋函底面には外部から砂を吹込むシステムを開発しました。

- ④ 香港は亜熱帯地域であり、夏は猛暑でした。沈埋函の一回のコンクリート打設量は1,500m<sup>3</sup>程度あり、クラック防止のため中庸熱のセメントと練上げ温度を下げるために大規模な冷却水装置が必要でした。セメントを国外から輸入すると高額なため、香港産のポルトランドセメントにフ

ライアッシュを添加し、砕氷を使用しました。

- ⑤ 地下鉄、普通部のトンネルは、圧気ロックボルト・吹付け工法を採用しました。

- ⑥ 設計を事前に検討し、完成させ、それにあった施工計画をたてる従来の工事方法では、時間がかかるため、基本設計と施工方法を定め、詳細設計は施工と並行して行うFast Track方式を採用しました。設計者と施工者との密接な連携が必要であり、リスクは大きいので、施工者が設計コンサルタントを雇用し管理しました。

- ⑦ プロジェクトマネジメントチームは共同企業体のスポンサー会社(熊谷組)が雇用し、全体工事のマネジメントを行いました。

難関は、私たちが全く経験のない鉄道および道路の電気・機械施設の見積り・発注・建設でした。

予算の関係上、国際入札で価格競争をして、業者決定をせざるを得ませんでした。欧州の業者が主でしたが、香港に初めて進出する企業には現地におけるプロジェクトマネジメント力が不足していました。開業に大きな支障となる遅れが生じましたが、多くの事業参加者の協力のおかげで、克服が可能となりました。日本のトンネル技術とそれを「やりぬく」トンネル技術者そして欧米プロフェッショナルのプロジェクトマネジメント力が、融合して実現したプロジェクトでした。事業会社は、現在も

香港の優良インフラ会社として運営されています。

熊谷組の海外沈埋の歴史は、その後シドニーハーバートンネル、西部海底道路トンネル、鉄道トンネルへと続き、さらにOB技術者の活躍は中国における技術指導、ボスボラス海峡のプロジェクトマネジメントと発展しています。

### 転ばぬ先の杖

ここまで、私の工事経験をお話させていただきました。

古来日本のトンネル技術と経験は、複雑な地層と厳しい自然環境の中で、幾多の先輩から(語り部として)今でも綿々として受け継がれ、私のような若輩が出るまでもないと思います。しかし、海外における日本のトンネル技術者あるいは企業の「転ばぬ先の杖」として、「語り部」として私の思いをここに残します。

### ■海外工事のプロジェクトマネジメント

国内の工事は、施主と請負者が信頼関係のもと、総価契約で工事を行うことが昔からの慣習であり、施主と請負者が、現場お互いの意思を確認し、問題があるときは、お互いの英知をあわせ、協力して解決方法を見出します。施主の要求があれば、阿吽の呼吸で対応するのが一つのビジネスモデルとなっています。現場で請負者が日々の業務で、契約内容を云々することはほとんどありません。おそらく、ゼネコンの現場代理人の多くは、契約書を、受注したとき読む程度で、あとは読むこともなく、大事

に保存しているのではと思います。

海外工事では、工事は常に契約書の条項にもとづいて行われます。請負者は、発注者の契約にもとづいた要求がないかぎり、契約書に定められた義務以外のことは行いません。現場で義務以外のことが発生すれば、追加工事、あるいは発注者に対するクレームとなり、工期延長と金銭的保証を要求します。

発注者側も請負者側も常に手元に契約書をおき、契約内容にもとづき議論し、工事を進めます。

発注者のプロジェクトマネジメントは、性悪説的に言えば、契約書の条文から、請負者の義務を最大限に、権利を最小限に、解釈し、請負者に仕事をさせ、工事完了後、請負者の金銭的要求を最小限に抑え、工期内で工事を完成させる方策です。

請負者はそれに対抗し、契約上の義務と権利の正当性を主張し、その是非を、議論(多くは文書で確認を取りながら)しながら、工事を進めなければなりません。国内工事の習慣が身についた日本人および日本企業がもっとも不得意とするシステムです。契約上の議論をしていても仕事は進まず、工事は進まない。右手で握手しながら左手で密かなファイティングポーズも必要です(企業として法的対処の準備を考える)。

日本人で、契約内容も理解せず、日本の習慣だけで蛮勇を発揮し、発注者、下請からも相手にされず、所長交代を要求されたケースも多々見られました。

### ■実りのないプロジェクト受注 「一将ならんとして万骨枯る」

日本のゼネコンは永年、入れ替わり、立ち代わり、海外進出を図ってきました。結果は、トータルとして成果を上げていません。

ゼネコンの海外進出の歴史を見ても、ODAあるいは日系企業の建築プロジェクトを除き、大型の土木国際入札プロジェクトでの収益面での成功率は小さいと思います。各社の海外戦略の中で、経営者あるいはその意思を代行する海外部門担当者が、根本的に誤った考えで受注しているのではないかと思います。

国際競争入札で受注するプロジェクトの多くは日本企業にとって、ハイリスクローリターン、あるいはハイリスクマイナスリターンが過去の実績でしょう。原因は企業経営の原則、業務への対価である利益の確保を忘れ、安易に受注量の確保や市場獲得、あるいは社員の勉強のためと理由をつけて、安値受注するからではないかと思えます。各社優秀なプロフェッショナルが、経験と過去のデータで作り上げた積算価格を「ればたら」で安易に値引きしていないでしょうか。工事契約書は発注者有利に十分検討された条件で、落札価格で請負者に工事を完成させるためにつくられています。そして、その条件を請負者に守らせる、その道のプロが現場に配置されます。一方、請負者の現場責任者は、値引き予算にあう無理な施工計画をたて、安値の外注業者、サブコンを求めざるをえません。

悪夢の始まりです。ないものねだりをしているうちに、工事は進まず、発注者との関係は悪化していきます。現場技術者は本来の、価値ある仕事を行い、対価を求めるプロの技術者としての役割から、契約違反と工事遅れを発注者から追及される立場におかれ、不可能に近い予算回復と、工程回復の工事努力を日夜、続けなければなりません。まさに人災です。受注を決定した経営の責任は重いと思います。

日本では難工事の場合、話し合いの中で、発注者が企業努力に見合う評価をし、設計変更をする場合があります。その成功体験を海外に適用しようとする人がいますが、契約主義で行われる海外公共工事では、どんなに請負者が努力し、費用をかけても、契約条項で認められないかぎり、変更はありません。発注者の担当者には契約条項変更の裁量権がありません。また、設計変更・クレーム受理には常に、法的な説明責任が求められます。

海外工事は、契約書と熟練のプロジェクトマネージャーを駆使する発注者との戦いとも言えます。十分な兵糧がなければ、経験と技術と不抜な挑戦力を持った日本の技術者も戦えません。プロの世界に玉手箱を期待してはなりません。

国内で受注に苦しむ企業にとって、安値にすれば、必ず受注できる海外工事は、美味しく見える毒餌ともいえます。「行きはよいよい、帰りは怖い」ということのないよう、切に願っております。

## 施工

# 内水圧対応合成セグメントを採用し地下40mで洪水を調節

## —東京都建設局 白子川地下調節池—

東京都第四建設事務所工事第二課長(現)東京都江東治水事務所内部河川工事課長 内野 祐彰  
東京都第四建設事務所工事第二課白子川地下調節池工事係長 立澤 延泰  
大成建設(株)土木本部土木設計部陸上第二設計室課長 織田 隆志  
大成・佐藤・銭高建設共同企業体白子川地下調節池工事業所監理技術者 新井 昌一

### 1 はじめに

#### 1-1 白子川の現状

白子川は練馬区の大泉井頭公園を源とし、埼玉県和光市と板橋区の都県境を経て、新河岸川へと注ぐ、河川延長約10km、流域面積約25km<sup>2</sup>の一級河川である(図-1)。

白子川流域は、昭和30年代頃から急速に都市化した。そのため、雨水が地下に浸透せず、地表面を流れて一気に河川に流入する「都市型水害」が頻発している。水害による被害軽減を確実に図るため、河道の拡幅や調節池の整備を推進していく必要がある。

白子川では、現在、1時間50mmの降雨に対応する整備を進めている。しかし、中流域の埼玉県施工区間(東埼玉橋～芝屋橋区間の約1.4km)については、当面の間、整備の見込みがない状況である。このことから、その上流の比丘尼橋付近に白子川調節池群を整備し、下流の洪水に対して安全を確保すると

ともに、調節池から上流に向けて護岸の整備を行っている。白子川調節池群は、図-2に示す3つの施設から構成される。このうち、比丘尼橋上流、下

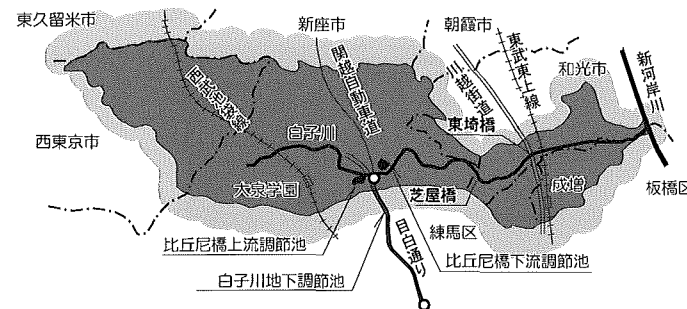


図-1 白子川流域図



図-2 白子川調節池群平面図



図-3 地下調節池ルート図

流調節池については、平成14年度までに完成している。

### 1-2 白子川地下調節池の概要

白子川地下調節池は、白子川における1時間50mmの降雨に対応する基幹的な施設であり、延長約3.2km、内径10m、貯留容量212,000m<sup>3</sup>のトンネル式の地下調節池である。

シールドトンネルは、都道目白通りの地下約35mの深さを掘進した後、石神井川と都道環状八号線の交差点付近に設置する立坑に到達する。なお、発進立坑については平成10年に完成している(図-3)。

## 2 白子川地下調節池工事(その5)の概要

本工事は、練馬区大泉町二丁目地内に存する東京外環道路大泉ジャンクション内に既に設置済の発進立坑(内径21.0m、深さ47.3m)を起点とした延長3.2kmのシールドトンネルの構築と、その終点となる石神井川と都道環状八号線の交差点付近、同区高松三丁目到達立坑(内径19.5m、深さ46.5m)の構築を行う工事である。

また、本工事は、材料や施工方法などについて提案を受け付け、入札価格と提案内容を総合的に評価する「技術提案型総合評価方式」により受注業者の選定を行った。その技術提案により、工期が大幅に短縮されるとともに、シールドトンネルに使用するセグメントについては、内水圧が作用する地下河川トンネルに初めて適用されるタイプの合成セグメントを採用することとなった。

本稿では、技術提案により採用したセグメントが内水圧に対応できることを検証するために実施した実構造系載荷実験の概要および結果などにつ

いて報告する。

### 2-1 工事概要

工事の概要は以下のとおりである。  
工事件名：白子川地下調節池工事(その5)  
工事期間：平成23年2月24日～平成24年9月11日

#### 【到達立坑】

立坑内径：19.5m  
立坑外径：25.1m  
立坑深さ：GL-54.0m(ケーソン刃口先端)  
工 法：ニューマチックケーソン工法

#### 【シールドトンネル】

内 径：10.0m  
外 径：10.6m  
延 長：3,185.3m  
平面線形：直線および曲線(R=130m, 140m, 300m, 318.5m)  
土かぶり：約34~47m  
工 法：泥水式シールド工法  
覆 工：合成および鋼製セグメント

### 2-2 地質概要

土質縦断面図を図-4に示す。

シールド掘削対象地盤は、全線にわたり江戸川層であり、粘性土、砂質土、砂礫土の互層となっている。

土質については非常に硬く、あるいは非常によく締まった地層からなっている。江戸川層第1粘性土層は、硬質固結シルトで、N値は11~50以上である。

また、江戸川層第1砂質土層は、均一な細砂で、N値は16~50以上である。江戸川層第1砂礫層は、礫径は2~50mmだが、ところどころ100mm程度の玉石が混じり、N値は50以上である。江戸川層第

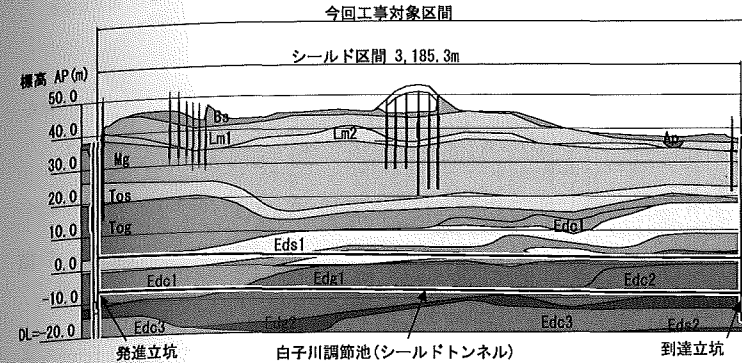


図-4 土質縦断面図

時代	地層区分	地層名	記号
完新世	二次堆積土層	埋土層	Bs
	廣植土層	廣植土層	Ad
更新世	関東ローム層	ローム層	Lm1
		凝灰質粘土層	Lm2
	武蔵野レキ層	砂レキ層	Mg
	東京層	砂質土層	Tos
	東京レキ層	砂レキ層	Tog
江戸川層		第1粘性土層	Ede1
		第1砂質土層	Ede1
		第1砂レキ層	Ede1
		第2粘性土層	Ede2
		第2砂質土層	Ede2
		第2砂レキ層	Ede2

2粘性土層は、砂質固結シルトでN値は50以上と堅固である。

## 3 到達立坑

### 3-1 構造概要

本工事の到達立坑構造を図-5に示す。施工方法は、ニューマチックケーソン工法である。

本到達立坑計画位置は、地下水位が高く、躯体形状も外径25.1m・深さGL-54mと大断面・大深度であり、浮き上がりによる安定を確保するため側壁部材厚が2.8mとなり、マスコンクリート対策を行う必要が生じた。このため、温度応力解析を実施し、低発熱・収縮抑制型高炉セメント(MKC-Ⅲ)を用いることでひび割れ抑制を図ることとした。

また、本立坑の躯体ロット数は、上記の温度応力解析結果にもとづき、10ロットと設定した。

本立坑に設けるシールド到達開口は、大断面(φ11.14m)、大深度(土かぶり約35m)であり、開口の影響を適切に評価する必要があるため、3次元シェルモデルによる構造解析を実施して、配筋仕様を決定した。

### 3-2 仮壁構造

到達開口部における仮壁構造には、大断面・大深度下では初めての適用となる、シールドによる直接切削が可能なSEW工法(Shield Earth Retaining Wall System: FFU (Fiber Reinforced Foamed Urethane)をシールド通過部に組込んだ工法)を用いる計画とした。

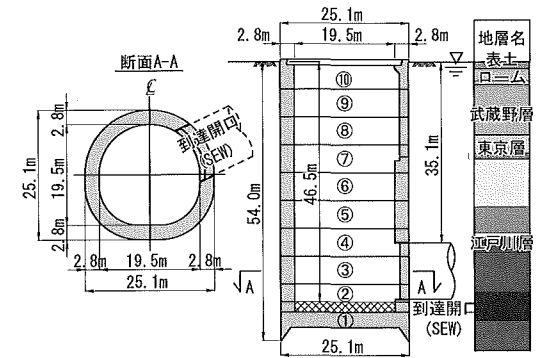


図-5 到達立坑構造図

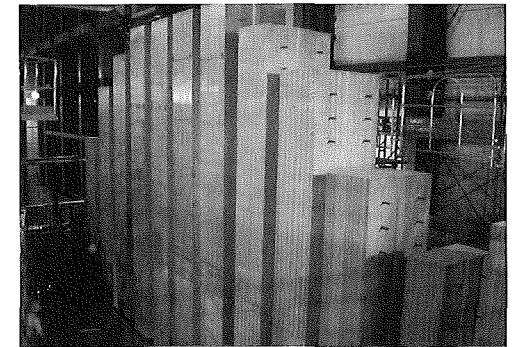


写真-1 SEW工法施工例

## 4 シールドトンネル

本工事のシールド掘削断面はN値50以上の硬質地盤であり、土質は粘性土、砂質土、砂礫とさまざまな土層を掘削する。また、全線にわたり土かぶり約35mの高水圧下での長距離掘削となることから、さまざまな土質に適合し、高水圧下でも切羽の安定性が優れている泥水式シールド工法を採用した。

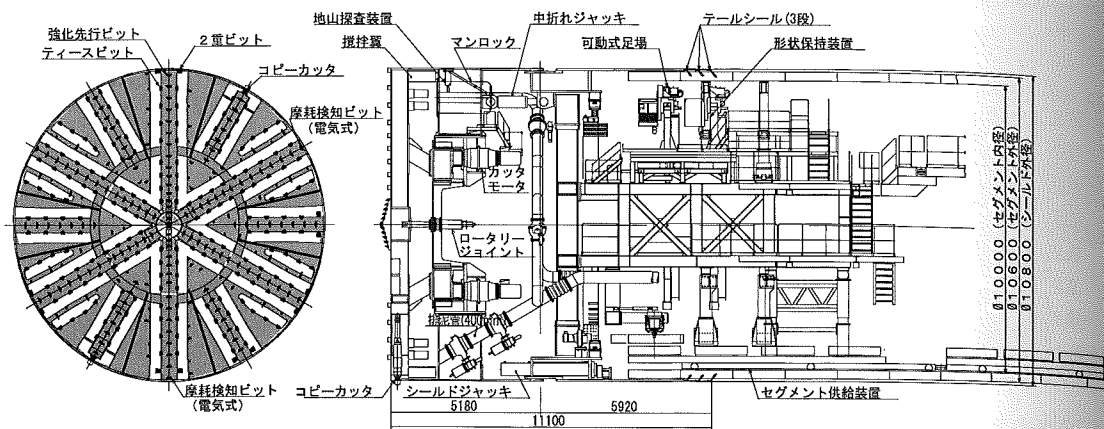


図-6 シールド構造図

表-1 シールド仕様

項目	詳細項目	仕様
シールド本体	外径	φ10,800mm
	機長	11,100mm
	テールシール	ワイヤブラシ3段
推進装置	シールドジャッキ	3,500kN×36本 総推力126,000kN
中折れ装置	機構	X型(球面中折れ)
	中折れジャッキ	3,000kN×30本
掘削装置	装備トルク	16,500kN-m
	カット回転速度	0.6min <sup>-1</sup>
	カット支持方式	中間支持方式
	カットモータ	75kW×40P×14台
	カットヘッド	スポーク主6, 副6 開口率37.5%
	余掘り装置	コピーカッタ 2基
	攪拌装置	攪拌翼10本

4-1 シールドの仕様

本工事で使用する泥水式シールドの構造図を図-6に、仕様を表-1に示す。カットヘッドは粘性土層掘削時の面板閉塞が発生しないように開口率を37.5%と大きくして取り込みを良くするが、一方で、巨礫による配管閉塞が発生しないようにスリット幅を350mm以下とした。また、カットビットのチップは礫層掘削時の破損を抑制するため、耐衝撃性に優れているE5種を使用することとした。

硬質地盤を長距離掘削することから、強化先行ビットを内周2パス、外周3パス配置するとともに、カットトルクは計算による所要トルクの2.7

倍(α値13)とし、装備推力についても、計算による所要推力の2.2倍とした。

4-2 シールド設備

4-2-1 流体輸送設備

流体輸送設備は礫層卓越区間での高速施工に対応するため、国内最大級の泥水ポンプを使用し、送排泥管は送泥16B、排泥14Bを使用することとした。また、クラッシャーは効率的な破砕が可能な直列2台方式とし、礫の破砕量を向上させることにより、礫による閉塞を防止することとした。

4-2-2 泥水処理設備

泥水処理設備は、一次処理土、二次処理土がそれぞれ卓越する断面で高速施工に対応できる一次処理機、二次処理機(フィルタープレス)およびタンク類を配置する必要があることから、地上ヤードに2階建てで効率的に配置した。

4-2-3 資機材運搬設備

資機材運搬設備は、高速施工に対応するには地上から切羽へ短時間に多くの資機材を運搬しなければならないため、地上に門型クレーンを2台配置し、坑内搬送についてもサーボロコ(高速仕様)を2台配置した。

5 覆工構造

5-1 覆工構造

本工事に用いるセグメントは、地下調節池トンネルのため内水圧に対応する必要がある。このため、高い耐荷性を有する嵌合方式合成セグメント、

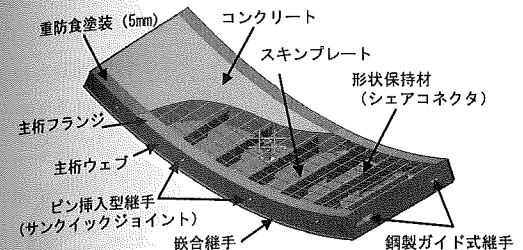


図-7 嵌合方式コンクリート一体型鋼製セグメント概要図

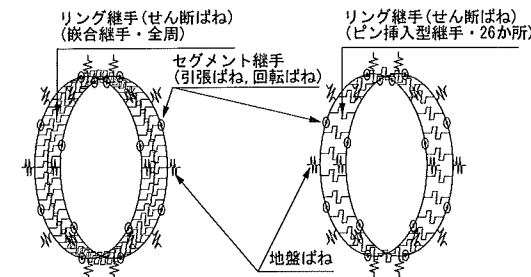


図-9 解析モデル概要図  
(a) 嵌合継手のみ (b) ピン挿入型継手のみ

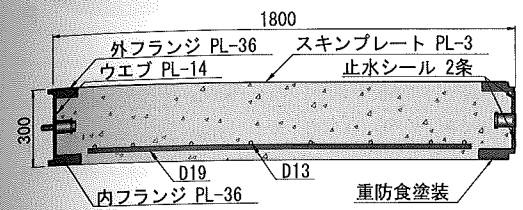


図-8 嵌合方式コンクリート一体型鋼製セグメント断面図

表-2 覆工仕様

	標準部	
	一般部 (R=300m以上)	急曲線部 (R=130m, 140m)
内径	10,000mm	
外径	10,600mm	
幅	1,800mm	1,200mm
桁高	300mm	
セグメント分割	7分割(K縮小)	
継手形式	鋼製ガイド式継手	
	M金物, F金物	
リング継手	嵌合継手	ピン挿入型継手

粗度係数を抑えるための内面平滑性、シール材の膨張圧による割れ欠けを防止するため継手面にコンクリートが露出しない構造とする必要がある。これらの条件を満足する覆工構造として、嵌合方式コンクリート一体型鋼製セグメントを採用した(図-7, 8, 表-2)。

本セグメントの止水性は、内水圧および外水圧に対して、内外2条のシール材を配置することに

より確保することとした。

本セグメントの耐久性は、地山側は鋼材(スキンプレート)に1mmの腐食代を考慮することとし、内面側は鋼材(内フランジ)に1mmの腐食代を考慮し、さらに重防食塗装(5mm)を行うこととした。

5-2 設計条件

5-2-1 解析モデル

本セグメントの設計に用いる解析モデルは、2リング梁-ばねモデルとする。

ここで、セグメント継手のモデル化については、内水圧により軸引張力が作用する場合、回転ばねに加えて軸引張ばねも考慮した。

本セグメントは、リング継手に嵌合継手とピン挿入型継手を有している。しかし、セグメント設計においては、嵌合継手のみ、ピン挿入型継手のみをモデル化した各々のケースで構造成立することを確認して安全性を確保している(図-9)。

5-2-2 設計断面の設定

セグメント設計断面の選定は、地下水位の分布、シールドトンネル通過層の土層構成に加えて、本調節池完成後に構築される可能性のある開削トンネル施工の影響を考慮して行った。

5-2-3 荷重条件

本セグメントの設計に考慮する荷重は、土圧、外水圧、内水圧、自重および地盤反力とし、荷重の組合せは、空水時、平常時内水位<sup>1)</sup>および異常時内水位<sup>2)</sup>について、土圧の大小や外水圧の高低を考慮して決定した(表-3, 図-10)。

さらに本工事に用いるのは、将来、本トンネル上部に開削トンネルが施工される可能性も考慮し、以下の3つの状態を考慮することとした。

表-3 荷重の組合せ

荷重ケース	管内の状態	土圧		外水圧		内水圧		自重	地盤反力
		大	小	高	低	平常	異常		
Case 1	空水時	○	○	○	○			○	○
Case 2		○	○	○	○			○	○
Case 3	平常時	○	○	○	○	○	○	○	○
Case 4	内水位 <sup>1)</sup>	○	○	○	○	○	○	○	○
Case 5	異常時	○	○	○	○			○	○
Case 6	内水位 <sup>1)</sup>	○	○	○	○	○	○	○	○

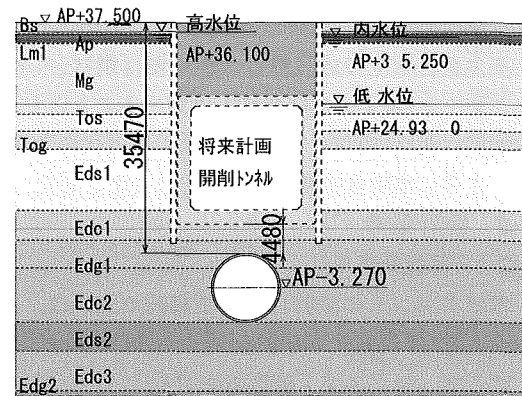


図-10 設計断面図例

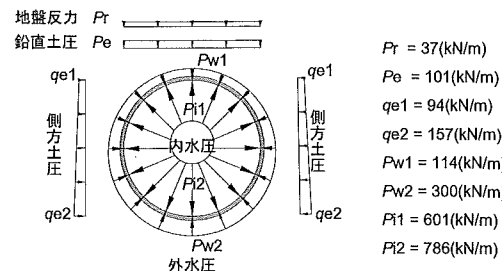


図-11 荷重図(開削トンネル施工時の例)

- ① 白子川地下調節池完成時
- ② 開削トンネル施工時
- ③ 開削トンネル完成時

上記3つの荷重状態のうち、②開削トンネル施工時(内水圧作用時)の荷重図を図-11に示す。このように、外水圧に比較して内水圧がきわめて大きく軸引張力が卓越するため、とくにセグメント継手に厳しい荷重条件となる。

### 5-3 覆工構造性能確認試験<sup>1)</sup>

コンクリート一体型鋼製セグメントは、道路トンネルおよび共同溝への採用事例はあるが、内水圧が作用するトンネルには初めて採用した。よっ

表-4 覆工構造性能確認試験概要

	実物大継手試験	実構造系載荷実験
目的	軸引張力作用時の引張および回転ばね値確認	長期および短期内水圧作用時の覆工構造成立性確認
概要図		

表-5 供試体寸法

セグメント幅(中央リング)	900mm	実物大の1/2	
セグメント厚さ	150mm		
外径	5,300mm	実物大の1/2	
セグメント継手	—		
継手	リング継手	嵌合	流通資材最小
		ピン	
分割数	7分割	実構造と同じ	

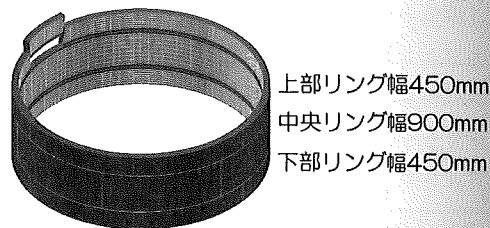


図-12 供試体組立図

て、実物大継手試験および実構造系載荷実験(表-4)を実施し、内水圧に対応できることを検証した。以下に、実構造系載荷実験の結果について報告する。

#### 5-3-1 実構造系載荷実験

##### (1) 目的

本実験は、実構造を模擬した3リング平組供試体への載荷により、本セグメントが内水圧に対応できる覆工構造であることを確認する。

##### (2) 試験体形状・寸法

実験供試体は、実構造を1/2に縮小した形状・寸法とし、添接効果を表現するため、3リングからなる供試体とした(表-5、図-12)。

##### (3) 実験ケース

実験ケースは、軸引張力が卓越してセグメント継手に厳しい荷重条件となる、長期内水圧作用時

(①白子川地下調節池完成時)および短期内水圧作用時(②開削トンネル施工時)を選定した(表-6)。

#### (4) 事前解析

実験荷重および実験結果の予測値を算定する事前解析は、供試体の境界条件(下部リング下端鉛

表-6 実験ケース一覧

実験ケース	内水圧荷重 $P_w$ (kN/m/R)	曲げ荷重 $P$ (kN)	断面力状態
1	44.6	0.0	—
2	44.6	57.4	長期内水圧作用時相当
3	180.0	0.0	短期内水圧作用時相当

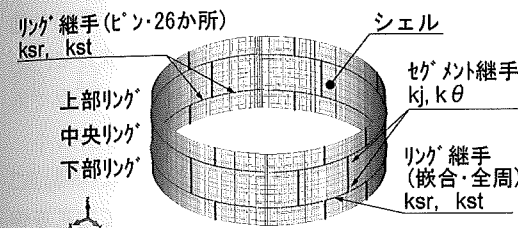


図-13 シェルばねモデル図

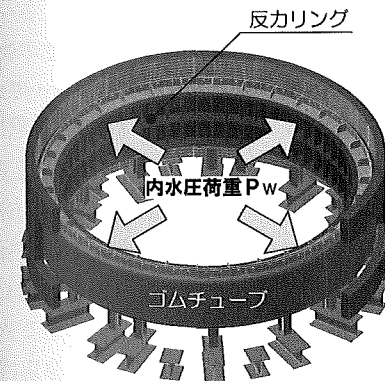


図-14 内水圧載荷模式図

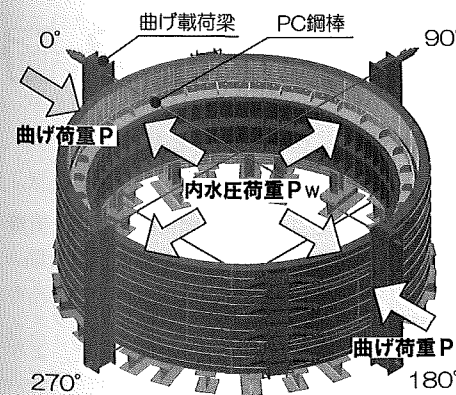


図-15 曲げ荷重載荷模式図

直方向固定、上部リング上端自由)を忠実にモデル化するため、3次元シェルばねモデルにて行った(図-13)。

#### (5) 実験方法

内水圧荷重  $P_w$  は、リングの内側にドーナツ状のゴムチューブを設置し、チューブ内へ注水、加圧する方法で中央リングにのみ載荷した(図-14)。曲げ荷重  $P$  は、PC鋼棒をタイロッドとした0°~180°方向の載荷梁を用いて、中央リングにのみ集中荷重として載荷した(図-15)。実験状況を写真-2に示す。

#### (6) 実験結果

実験結果を図-16, 17に示す。

グラフには、リング継手を「ピン挿入型継手のみ」「嵌合継手のみ」としてモデル化した解析結果も併記する。

直径変化量およびセグメント継手ひずみの実験値は、全ケースにおいて解析値を下回った。よっ

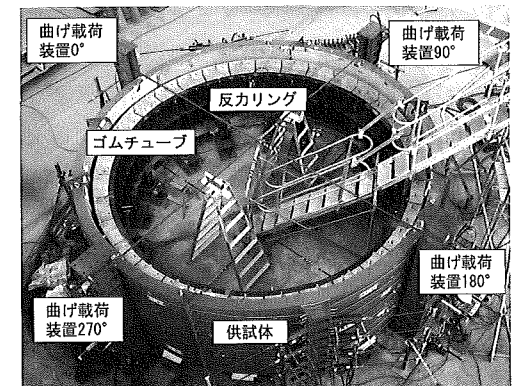


写真-2 実験状況

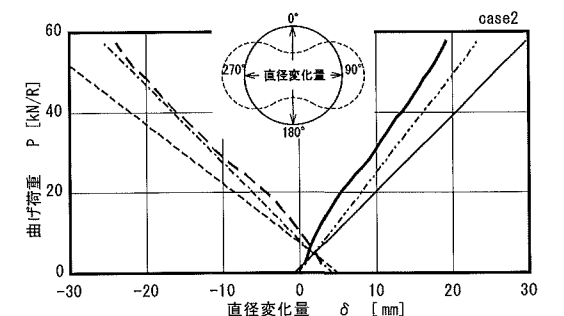


図-16 直径変化量

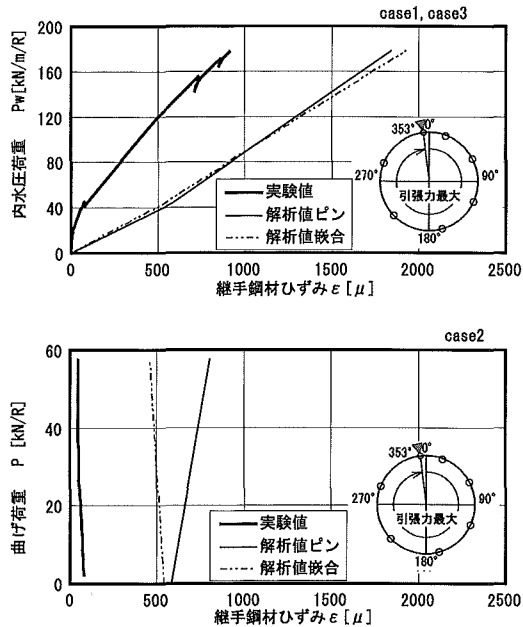


図-17 セグメント継手ひずみ(353°継手)

て、本覆工の設計手法が安全側であることと、本覆工構造が内水圧に対応できることを確認した。

今後は、実験値をより忠実に再現できる解析モデルや、嵌合継手の有効性について精査することで、嵌合方式コンクリート一体型鋼製セグメントの合理的な設計手法を探究していく。

## 6 おわりに

本工事で使用するセグメントは、実構造系載荷実験と実物大継手試験により、内水圧に対して十分に対応できることを確認したため、今年の7月からセグメント製作を開始している。また、3月からシールド製作を進めているとともに、現地ではシールド発進に向けての準備工を行っている。

本シールド工事は大断面・大深度・長距離という条件の中、難しい工事ではあるが、発注者・請負者・各専門工業者が一体となった協力体制のもと、品質確保に万全を期すとともに、適切な施工管理により安全かつ早期に工事を完成させ、白子川の治水効果の早期発現に努めていく所存である。

最後に、今回の実験を行うにあたりご指導、ご協力をいただいた関係者の皆様に改めてお礼を申し上げます。

### 参考文献

- 1) 先端建設技術センター：地下河川(シールドトンネル)内水圧が作用するトンネル覆工構造設計の手引き, 1999.3.

## 最新推進工法

### 最新推進工法技術(5)

#### —小口径管推進工法(2)—

「最新推進工法技術」連載講座小委員会

### ① はじめに

小口径管推進工は、使用する管の種類により「高耐荷力方式」「低耐荷力方式」および「鋼製さや管方式」の3種類に大別され、さらに「掘削および排土方式」「管の推進工程」により細分化されている。

2009年度における小口径管推進工法の施工実績は436.7kmで、そのうち低耐荷力方式が249.9kmと約57%を占めている。シールド工法を含めた非開削工法の中でもっとも施工実績が多いのが低耐荷力方式である。

低耐荷力方式の推進工法で用いる硬質塩化ビニル管は、鉄筋コンクリート管に比べた耐酸性、耐アルカリ性に優れ、また軽量で取り扱いが容易という利点を有している。昭和40年代に初めて下水道用管として規格化されたが、昭和60年ごろには布設された延長距離がヒューム管の布設延長を逆転し、それ以降、年々施工実績を伸ばしている。2009年度には全管路の年間施工延長7,858kmのうち約86%にあたる6,740kmが硬質塩化ビニル管で施工されており、これまでの日本の下水道管きよの総延長の6割は硬質塩化ビニル管が占めている。

硬質塩化ビニル管を初めて推

進工法に用いた当時、硬質塩化ビニル管に直接推進力をかける方法がとられていたこともあり、短い距離の施工が対象とされていた。その後、硬質塩化ビニル管には周面抵抗力だけを負担させる方式が開発され、施工延長の増大が可能となった。

### ② 各工法の基本概念

#### 2-1 低耐荷力方式の概念

低耐荷力方式において、総推進力( $F$ )は、図-1のように先導体にかかる先端抵抗力( $F_0$ )と推進管にかかる周面抵抗力( $F_p$ )の和からなる。総推進力のうち、先端抵抗力は推進力伝達ロッド(ケーシング、スクリュコンベヤなど)に負担させ、推進管には土との周面抵抗力のみを負担させる。

#### 2-2 低耐荷力方式の種類

低耐荷力方式の種類は圧入方式二工程式、オーガ方式一工程式、泥水方式一工程式、泥土圧方式

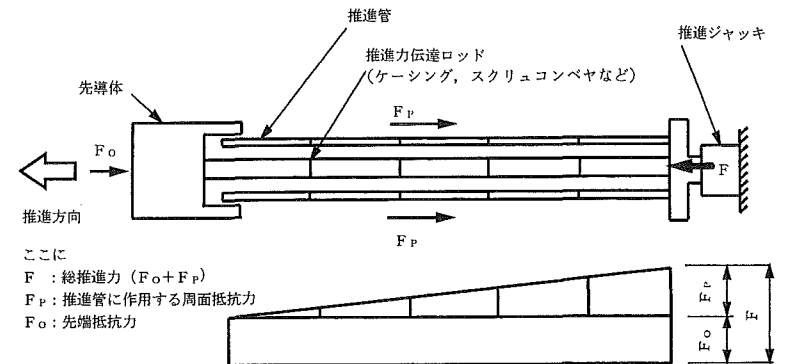


図-1 低耐荷力方式の推進力概念



## セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B 5 判 132頁 本体価格 2,000円 千290円

本書は「トンネルと地下」の連載講座として、過去10年間に開発され、実用化されたセグメントを中心に開発中のもも含めてアンケート調査を実施し、また、土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し、同じフォーマットで紹介したものをもとに、新たに「セグメントの新技术」編集委員会を作り、個々のセグメントに加筆、修正を加え、より充実した内容にまとめたものである。

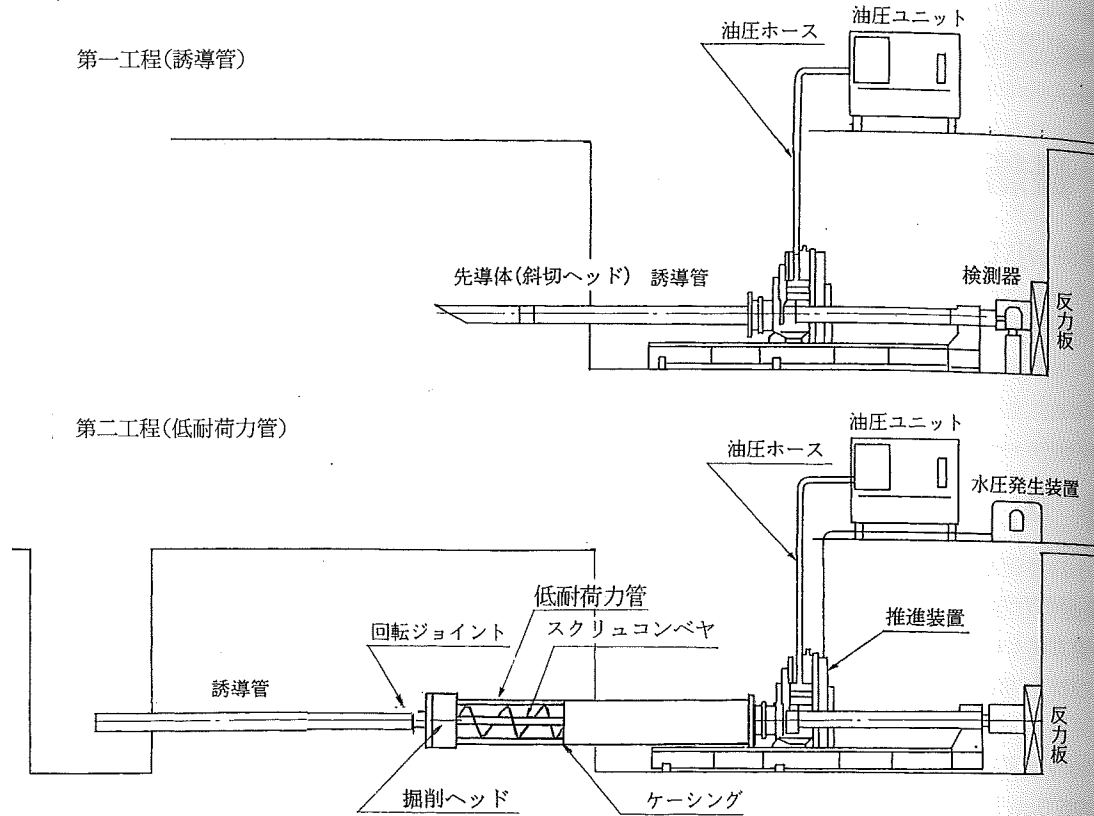


図-2 圧入二工程方式の概要

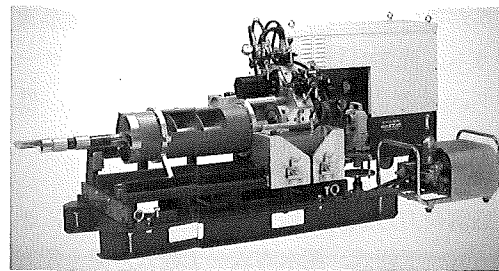


写真-1 圧入二工程方式方式スクリュー工法

一工程式の4種類である。以下に、それぞれの方式について解説を行う。

2-2-1 圧入方式二工程式

本方式は、第一工程で誘導管の先端に取り付けた先導体を方向修正しながら到達立坑まで圧入推進させ、第二工程は、誘導管後部に回転ジョイント、掘削ヘッドおよび推進管を接続し、掘削ヘッドにより地山を掘削し、推進管内のスクリュコンベヤにより発進立坑側に排土しながら推進管を推進する。

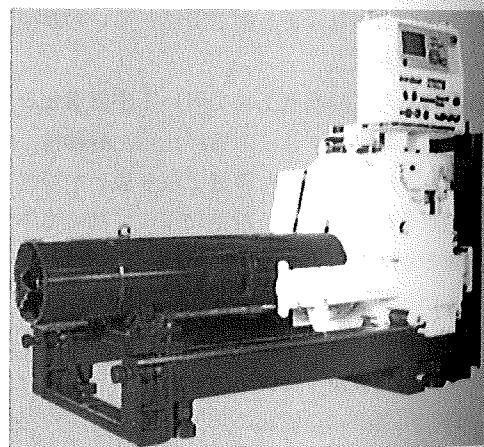


写真-2 オーガ方式一工程式エンブライナー工法

2-2-2 オーガ方式一工程式

本方式は、先導体内にオーガヘッドおよび先端スクリュコンベヤを装備し、その回転により掘削排土を行いながら推進する方式である。先導体に、スクリュコンベヤを組み入れた推進管を直接接続

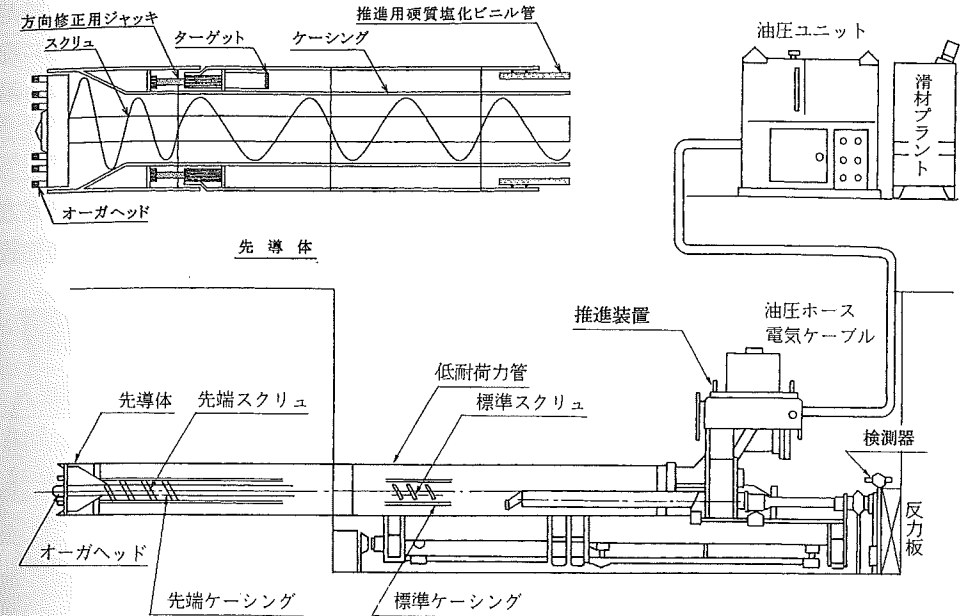


図-3 オーガ方式一工程式の概要

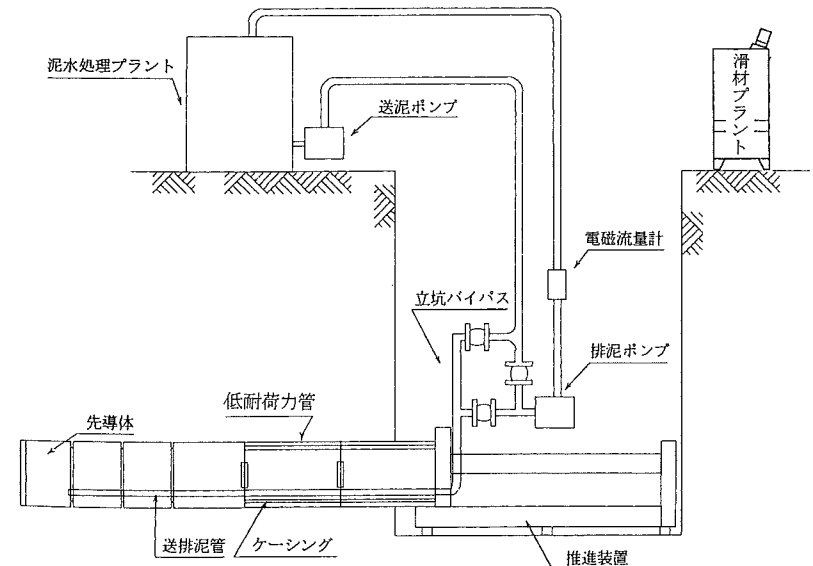
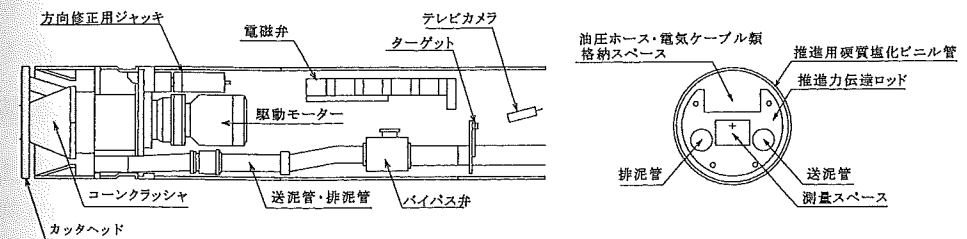


図-4 泥水方式一工程式の概要

して推進する一工式である。オーガヘッドにより掘削された土砂は推進管内のスクリュおよびケーシングにより発進立坑まで排土される。

2-2-3 泥水方式一工式

本方式は、先導体と送排泥管を内蔵した推進力伝達ロッド(ケーシングなど)を接続し、泥水を圧送して切羽と隔壁の間のカッタチャンパ内に満たし、切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に保持することで切羽の安定を図る。カッタヘッ

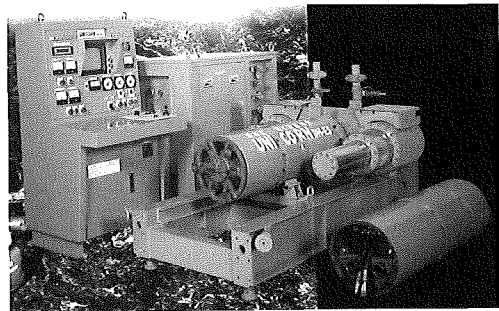


写真-3 泥水方式一工式ユニコン工法

ドで掘削した土砂は、泥水と混合して排泥水として坑外へ流体輸送され、排泥水は坑外に設けた泥水処理設備により土砂と泥水に分離し、泥水は送泥水として再び切羽に送られる。

2-2-4 泥土圧方式一工式

本方式の先導体の基本構成は、オーガ方式と同じであるが、先導体内にピンチ弁を追加装備して

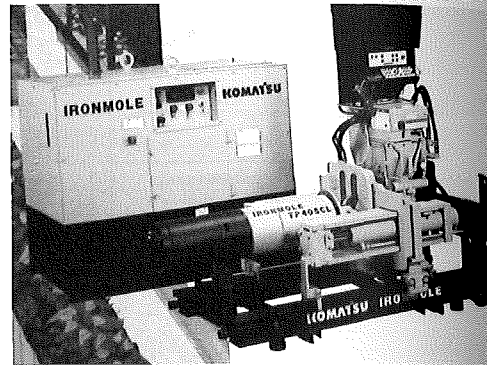


写真-4 泥土圧方式一工式アイアンモール工法の概要

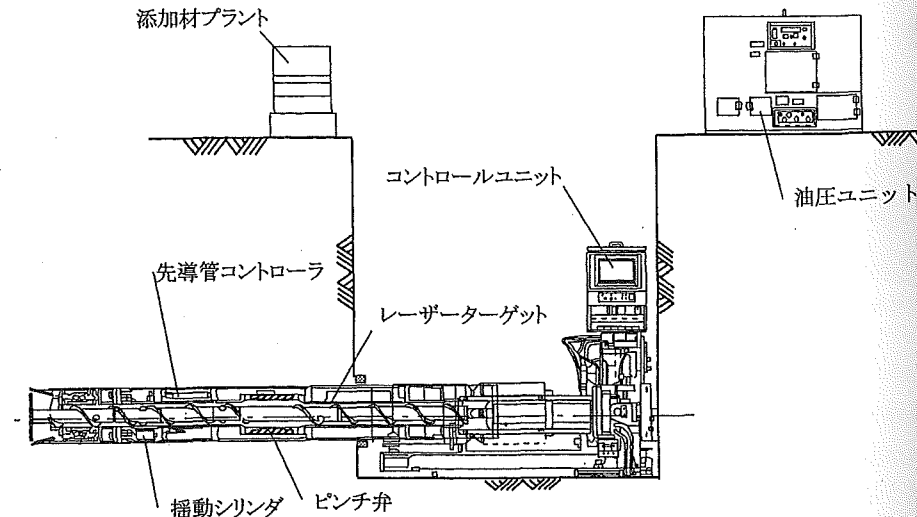
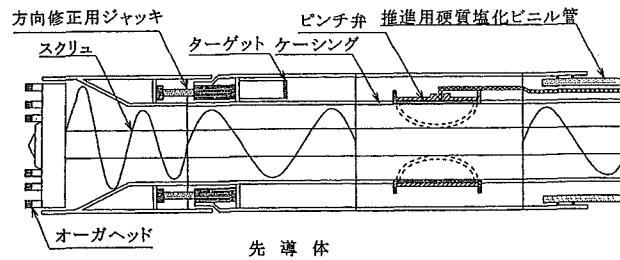


図-5 泥土圧方式一工式の概要

表-1 方式別適用土質

Table with 3 columns: Soil Type (土質), Clay (粘性土), Sand (砂質土). Rows list methods like Pressurized Air Method, Auger Method, Slurry Method, and Earth Pressure Method with their applicable soil ranges.

表-2 施工可能最大礫径および礫混入率

Table with 3 columns: Method (方式), Maximum Gravel Diameter (最大礫径), Gravel Content (礫混入率). Lists methods like Pressurized Air, Auger, Earth Pressure, and Slurry methods.

いるのが特徴である。切羽と隔壁の間のカッタチャンパ内を、掘削土砂あるいは掘削土砂と添加材を攪拌混練りすることで塑性流動化した泥土で満たす。そして、ピンチ弁の開閉によって、泥土の圧力を切羽面に作用する土圧および水圧に見合う圧力に保持し、切羽の安定を図りながらカッタヘッドで掘削を行う。掘削土砂はスクリュコンベヤにより立坑内に排土される。

表-3 方式別適用可能1スパン推進延長

Table with 5 columns: Classification (分類方式・呼び径), Advancement Length (推進延長), and soil types. Shows applicable advancement lengths for various methods and soil conditions.

③ 基本的な適用土質

3-1 土質とN値

低耐荷力方式における基本的な適用土質は、粘性土と砂質土であり砂礫・粗石、軟岩・中硬岩は適用外である。

3-2 地下水圧

地下水の有無、あるいは推進位置における地下水圧によって、施工可能な方式が限定される。一般的に圧入方式では20kN/m<sup>2</sup>、オーガ方式では10kN/m<sup>2</sup>、泥土圧方式では60kN/m<sup>2</sup>、泥水方式では100kN/m<sup>2</sup>程度の地下水圧まで適用可能であり、これを超える水圧については別途検討しなければならない。

3-3 最大礫径と混入率

礫混じり土(粘性土の中に粒径75μm未満が50%以上および砂質土の中に粒径75μm以上が50%以上かつ粒径2mm以上が15%未満)では、予想される最大礫径および混入率を正確に把握し、適用

性について検討する必要がある。施工可能な最大礫径と混入率については表-2にもとづく。

④ 適用推進延長

適用推進延長は、方式、呼び径、土質、推進力、管の耐荷力および施工精度などを考慮して決定する。

一般的な適用可能推進延長を表-3に示す。表-3では、泥水方式の推進延長がもっとも長くなっているが、これはテレビカメラを先導体後方に設置し、ターゲットを確認しながら精度管理するという、他方式と異なった特徴による大きい。

### ⑤ 適用管種および管径

#### 5-1 K-6規格について

低耐荷力方式で使用する管は、1995年1月1日に下水道推進工法用硬質塩化ビニル管(日本下水道協会規格JSWAS K-6)として初めて規格化された。当時の管種はリブカラー、SUSカラーおよびスパイラルの3管種であり、管径は3種類(呼び径200, 250, 300)、長さは2種類(2.0m, 1.0m+スパイラル0.8m)であった。2回目の改訂は、1998年に行われ、ここでは塩化ビニル管・継手協会規格AS46規格を取り込み、7管径(呼び径150~450)に拡大した。現在の規格(JSWAS K-6-2009)は、リブカラーが削除されてSUSカラーとスパイラル継手の2管種となった。表-4に諸元を示す。

#### 5-2 管材の需要動向の変化

2002(平成14)年7月、低耐荷力方式のうち圧入方式二工程式とオーガ方式一工程式の2方式が「国土交通省都市・地域整備局監修『下水道工事

表-4 JSWAS K-6 規格諸元

種類	略号	呼び径範囲	接合方式	参考(管厚区分)
SUSカラー付き直管	SUSR	150~450	シール材	VPまたはVM
スパイラル継手付き直管	SSPS		接着	VPまたはVM

備考1. SUSカラー付き直管の接合は、シール材およびカラー内面に滑剤を塗布して、挿入接合する。  
2. スパイラル継手付き直管の接合は、継手部に専用接合剤を塗布して、ねじ込み接合する。

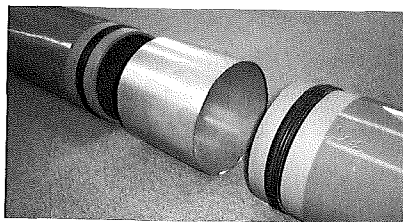


写真-5 SUSカラー付直管

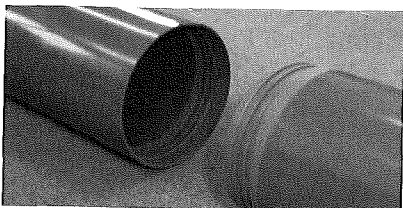


写真-6 スパイラル継手付直管

積算基準(平成14年度版)』に初めて国の歩掛として示された。この平成14年に、全国の施工実績において低耐荷力方式が高耐荷力方式を追い越すこととなった。この当時、低耐荷力方式の年間施工実績は300km程度であったが、高耐荷力方式の実績は前年度より20~50km程度減少した。低耐荷力方式が国土交通省の『下水道工事積算基準』に取り込まれ、計画設計において採用しやすくなったこと、さらに全国的に幹線の整備が完了し、面整備に移行したことで、敷設される呼び径が200~300と小さくなったのがその大きな理由である。

### ⑥ 設計・施工にあたっての留意点

#### 6-1 工法選定

工法を選定する際の主要条件は管種・管径・推進距離・土質条件(土質分類, N値, 最大礫径および礫率, 地下水圧), 特殊条件(施工環境, 立坑条件, 地下埋設物, 法規制, 環境)などである。これら工法の選定の際に必要な調査すべき内容としては、推進を行う地盤の土質状態、地層の構成、地下水の有無、礫の有無を確実に把握する必要がある。調査は、踏査、ボーリングなどにより行うが、調査すべきボーリング箇所数は1スパンに1か所以上かつ最低でも50mごとに1か所以上を必要とする。ボーリング調査においては以下の①~⑤の項目を実施

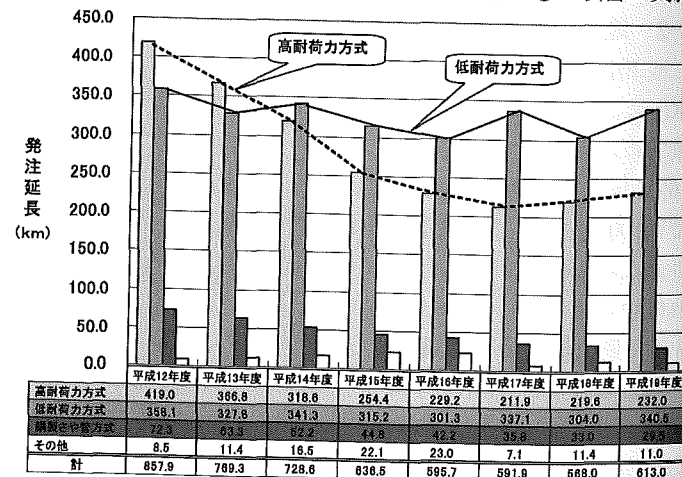


図-6 方式別小口径管推進工法の実績推移

する。

- ① 標準貫入試験(目的: N値を求める, N値は工法の適否および日進量を決めるために不可欠なものである)
- ② サンプリング(土質定数などを求めるための室内土質試験に必要な「乱さない資料」を採取する)
- ③ 室内土質試験
- ④ 透水試験
- ⑤ その他

#### 6-2 工法選定のポイント

低耐荷力方式の工法選定に際しては、圧入方式、オーガ方式、泥水方式、泥土圧方式から経済性を考慮しながら現場条件にもっとも合致した適切な方式を選択する必要がある。図-7の選定フローおよび表-5の選定比較表から選定する場合、工法選定条件

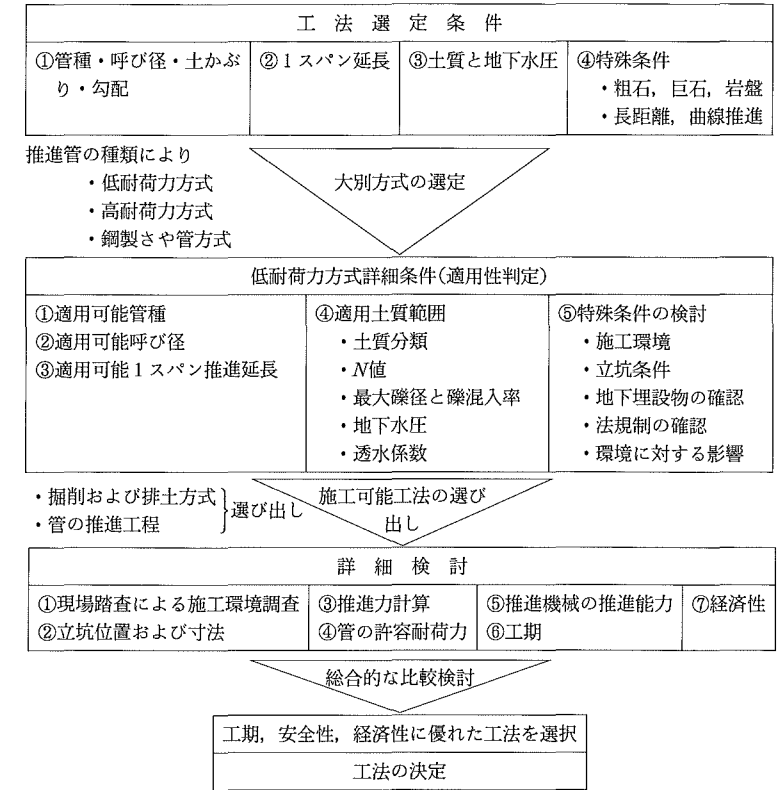


図-7 低耐荷力方式工法選定フロー

表-5 低耐荷力方式工法選定比較

方式	呼び径	推進延長(m)								地下水圧(kN/m <sup>2</sup> )				土質				
		30	40	50	60	65	70	80	90	≤10	≤20	≤60	≤100	粘性土		砂質土		
		0 ≤ N < 1	1 ≤ N ≤ 15	15 < N ≤ 40	1 ≤ N ≤ 30	30 < N ≤ 50	礫混じり土 (礫混入率15%未満)		最大礫径 (呼び径に対する比率)									
圧入方式	二工程式	150	○	○	△	△	×	×	×	○	○	×	×	○	○	×	○	×
		200	○	○	○	△	△	×	×	○	○	×	×	○	○	×	○	×
		250~450	○	○	○	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	○	×
オーガ方式	一工程式	150	○	○	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×	○	○	○	×
		200	○	○	○	△	△	×	×	○	×	×	×	×	○	○	○	×
		250~450	○	○	○	○	○	×	×	○	×	×	×	×	○	○	○	×
泥水方式	二工程式	200	○	○	○	○	△	△	×	○	○	○	○	×	○	○	○	○
		250~400	○	○	○	○	○	△	△	○	○	○	○	×	○	○	○	○
泥土圧方式	一工程式	200	○	○	○	○	△	△	×	×	○	○	×	×	○	○	○	×
		250~450	○	○	○	○	○	×	×	○	○	○	×	×	○	○	○	×

注)上記の選定表は、補助工法をしない場合である。

(凡例)○:一般的に適用できる。 △:適用にあたっては検討を要する。 ×:一般的に適用できない。

として、管種、呼び径、土かぶりおよび勾配が決定されると、1スパンの延長、土質と地下水圧から方式を大別し、施工可能な工法の選び出しを行う。工法選定のポイントとしては以下の項目が重要である。

- ① 土質に適合した工法選定(正確な土質調査の実施)
- ② 推進距離に適合した工法選定(長距離推進の場合のリスク、施工精度の確保)
- ③ 経済性、施工性、安全性を含んだ総合比較による選定(経済性だけを優先するのではなく、機械メーカ、施工業者からの情報をもとに公正に判断することが必要)

いずれにしても、調査によって得られた資料から各工法の適用範囲を把握することがきわめて重要で、該当する工法に対して適用範囲外の項目が1か所でもあれば他の工法の採用の可否を検討し、トラブルの減少を図る必要がある。

### 7 低耐荷力方式のトラブル発生要因

小口径管推進工法の低耐荷力方式の最近の施工実績によると、平均1スパン距離は37m、年間のスパン数は6,810程度で、高耐荷力方式の2倍以上施工されている。しかし、同時に数々のトラブルが報告されている。

以下の内容は、(公社)日本推進技術協会(調査当時は(社)日本下水道管渠推進技術協会)が小口径管推進工法におけるトラブル事例の原因究明を目的として行った調査結果にもとづいている。それによると、全トラブルの40%が地質の相違によるものとなっている。推進工法、とくに小口径管推進工法の場合には、推進対象地盤の土質性状が計画時と異なった場合がもっともトラブルに陥りやすいことを示している。低耐荷力方式圧入二工程式の場合には、礫地盤において、一工程目の誘導管推進の時点で、精度管理不能や適正推進距離確保が困難といったトラブルに見舞われやすく、推進中に想定外の礫の出現がトラブル原因となる場合があるが、ほとんどは、礫の出現が事前に予

想されたにもかかわらず、土質に対する適用性の評価を得ないまま、経済性で有利というだけで採用され、前記の理由でトラブルに陥る例が多くなっている。低耐荷力方式はこの圧入二工程式を含め全体的に施工単価が安く、比較的施工が簡単という理由から、調査そのものが疎かになりやすく、トラブルの発生につながりやすいとも言える。

また、地質の相違については、その24%が推進前に判明しているにもかかわらず、工法変更などの対応がなされず、推進時にトラブルを発生させている。工事開始直後の工法変更は、発注者および施工者にとって困難を伴うものであるが、推進開始後のトラブル発生は対応策も大規模となり、工程の遅れや経済的負担の増大へとつながり、さらに大きな問題へとつながることになる。

次に、地質の違いのほか、存置された杭基礎、矢板などの障害物によるトラブルが、トラブル要

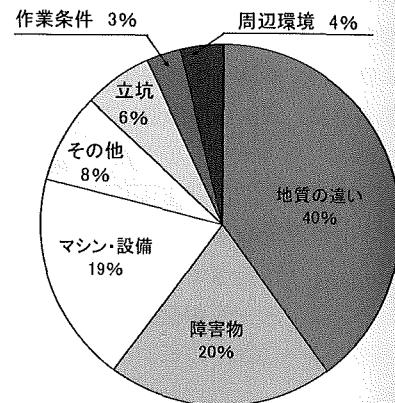


図-8 低耐荷力方式のトラブル要因

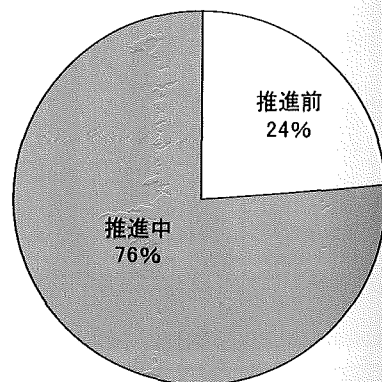


図-9 地質の相違判明時期

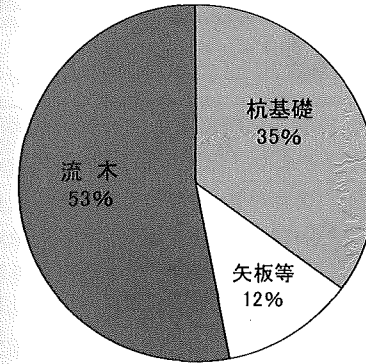


図-10 トラブルを生じさせた障害物の種類

因の20%を占めている。そのうち47%が杭基礎、12%が矢板などによるものとなっている。とくに、護岸や橋台の基礎杭などが存置されていることが判明しているにもかかわらず、その長さが不明であったために推進時に遭遇し、トラブルに陥る場合がある。事前調査が完全なトラブル防止策になるとは言い切れないが、調査を確実に行うことで、相当数のトラブルが回避できると思える。

なお、本調査の事例では何らかの理由によって推進が停止したというトラブルがほとんどであり、礫による管破損事例の報告はなかった。

### 8 おわりに

低耐荷力方式の推進工法は、わが国で誕生し、世界が認めている推進技術である。それは、低耐

荷力方式の推進管である硬質塩化ビニル管を「推進する」という発想が高く評価されているとも言える。硬質塩化ビニル管は、下水道管きょとしての流下能力や耐酸・耐アルカリ性に優れていること、軽量で取り扱いが容易という特徴もある。しかし、最近では、より小規模立坑から短い管(1.0, 0.8m)が推進管として使用され、2.0m管による推進はほとんど見られなくなった。立坑を構築する用地確保の困難さがより立坑を小さくしたことは否めないが、下水管としての機能から見たとき、接合部の多い管きょが最善であるはずはない。極小立坑も将来の補修や改築にとっては不利となるであろう。これはある意味では非開削工法である推進技術の利点を低下させることにもつながるものである。将来への高品質な遺産の継承のためには、低耐荷力方式で再び長尺の推進管を推進させる技術の浮上を強く期待したい。

(文責：川相 章/(公社)日本推進技術協会)

### 参考文献

- 1) 日本推進技術協会：推進工法体系 I, 技術編。
- 2) 日本推進技術協会：推進工法用設計積算要領, 小口径管推進工法低耐荷力編, 2010年改訂版。
- 3) 日本推進技術協会：平成19年度技術講習会テキスト。
- 4) 日本下水道協会：下水道工法用硬質塩化ビニル管 JS WASK-6 2009。

### 『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、本誌編集委員会が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16 メイジャー神楽坂  
電話 (03) 3267-2888(代)

# 土木情報 No.460

今月の主な入札結果  
(8月10日～9月9日)

事業主体	工 事 名	請 負 会 社	請負額 単 位 百万円
北陸農政局	庄川左岸農地防災事業庄川放水路(春日工区)建設	大成建設	967.3
東北地整	東北中央自動車道栗子T(山形側 2期)	三井住友建設	3,890
"	R45志津川T(西工区)	東洋建設	1,315
"	" (東工区)	前田建設工業	1,711.7
関東地整	R50号下館BP神分改良(4)	河本工業	167.4
近畿地整	美浜東BP佐田T	鴻池組	991.1
中国地整	鳥取西道路古海T	日本国土開発	1,038.83
"	尾道・松江自動車道吉田南T	五洋建設	959.08
中日本高速道路	新東名高速道路徳定T	鹿島建設	2,280
千葉県	千葉市稲毛区園生町地先φ900mm配水管整備	市原組	135
都・財務局	黒目川黒目橋調節池(その10)	大林・前田・大本JV	2,943
都・水道局	中央区日本橋堀留町一丁目地先から同区日本橋久松町地先間配水本管(800mm・500mm)布設替	ピーエス三菱	510.5
都・下水道局	中央区日本橋人形町一丁目、日本橋小網町付近再構築	新井組	181.44
"	江東区福住二丁目付近再構築	中越興業	118.8
岐阜県	公共社会資本整備総合交付金事業岐阜美濃線(仮称)小島山T	市川・岐建・青協JV	1,177
愛知県	道路改良事業R473本宿T(仮称)建設	名工建設	350.1
三重県	主地一志美杉線(矢頭峠BP)道路改良(矢頭峠T・仮称)	鹿島・日本・勢和JV	3,184
滋賀県	間田長浜線補助道路整備	奥村・橋本JV	1,661.5
高知県	R439活力創出基盤整備総合交付金(東石原T)	轟・ミタニ・入交・関西JV	1,700
"	" (大殖1号T)	田邊・晃立・上岡JV	565
水戸市	国補公下常磐第1・第2排水区貯留施設設置	戸田・岡部・高橋・東洋・市毛JV	608.53
牛久市	22国補公下第9号、下町第三雨水幹線管渠布設	増川・常信企業JV	101.5
宇都宮市	合流改善貯留施設築造第1工区(中部第3地区市道889号線)	野沢・菊地・岩原JV	555
小山市	横倉第1排水区駅東分区分雨水管新設	板橋組	119
さいたま市	荒川第4処理分区分下水道	斎藤工業	137.54
川越市	新河岸第8-3号合流幹線貯留施設築造工	初雁興業	171.49
川島町	飯島3号雨水幹線11-1工区	島村工業	182.5
千葉市	南部浄化センターC系管廊建設その1	浅沼・YAMAテックJV	128.2
"	" その2	白川土建・丸善JV	162.6
流山市	野々下1号雨水幹線	中村組	197.5
藤沢市	鶴沼東部1号貯留管築造	飛島・エノモト・新都JV	1,151.64
伊勢原市	H23公共下水道事業第1工区	小島組	106.2
"	" 第2工区	坂本組	126.91
新潟市	下管8号中部下水処理場汚泥貯留槽建設	丸運建設	212.8
長岡市	下管移1号下水道管渠移設	河田・サンケンJV	101.92
神戸市	小野浜ポンプ場築造(土木)	奥村・窪田JV	1,173.5

## トンネルジャーナル

### 尾道松江線 川平トンネル(仮称) 貫通

中国地整三次河川国道事務所が整備する中国横断自動車道尾道松江線「川平トンネル(仮称)」が、8月12日、貫通した。これにあわせて、同事務所では貫通見学会を開催し、集まった周辺住民らが貫通の瞬間を見守った。

同トンネルは、三次JCT・IC(仮称)と口和IC(仮称)間に位置する全長1,030mの暫定2車線トンネル。

花崗斑岩、流紋岩質凝灰岩からなる地山を、補助ベンチ付き全断面工法または上半先進ベンチカット工法を用い、発破掘削で掘進した。上部に弱層が認められる区間では、天端崩落を確実に抑える必要から、注入式フォアポーリングおよびAGF工法を用いている。昨年9月に掘削を開始し、最大月進120m、平均月進85mで、貫通を迎えた。

坑口周辺には民家があることから、騒音や低周波の抑制には注力した。超低騒音機械・設備を採用したのを始め、昼夜施工の対策として防音扉を2重に設置したほか、坑口から仮設備ヤードまでの約370m区間は橋梁部を含め防音シートで覆うなどして、

騒音抑制を図った。

同道は、瀬戸内海と日本海を結ぶ幹線道路として、備北地域を含めた山陽・山陰間の移動時間を短縮し、一般道の混雑緩和や沿線地域の経済・文化活動の活性化に重要な役割を果たすほか、充実した救急医療体制の構築や、災害時の代替路としての役割が期待されている。同トンネルを含む三次JCT・IC(仮称)～三刀屋木次IC(仮称)では、平成24年度末までの開通を目指し、工事を進めている。



写真提供：三次河川国道事務所

### 鉄建建設 山岳トンネルの長孔発破で国内最長を記録

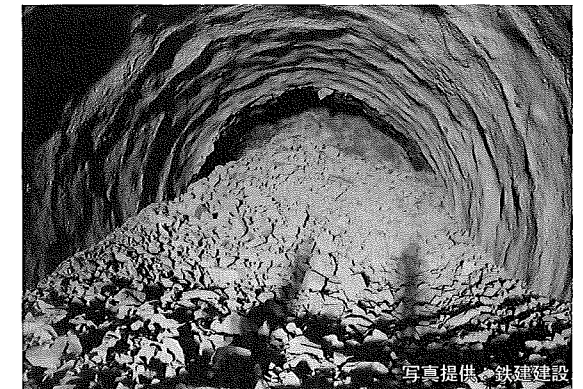
鉄建建設は、山岳トンネルでの長孔発破の国内最長記録となる7.2mを達成した。

同社が施工する国土交通省紀勢国道事務所発注の「熊野尾鷲道路亥谷山トンネル賀田工区工事」において、この記録を達成した。地山は熊野酸性岩類花崗斑岩からなり、坑口から約1,160m地点で出現したBパターンにおいて、13.9mにわたって長孔発破を2回実施、最大掘進長7.2mを記録した。これは通常の1回の発破掘進長である最大2mに比べ、3倍以上の長さとなるもので、1回の発破掘進長として、日本最長記録となった。

同社では、長孔発破に備えて、亥谷山トンネル技術委員会(座長：中川浩二・NPO法人臨床トンネル工学研究所理事長)を設置、検討会を重ねた。課題とされた装薬孔の直進性の確保に対しては、国内に3台しかないコンピューター制御搭載油圧ドリルジャンボ(スウェーデン製)を用いることで、削孔スピードを地山状況に応じて自動制御し、解決した。一方、発破効果を向上させるため、含水爆薬ではなく

ANFO爆薬を充填し、効率を上げたほか、もっとも重要とした心抜きでは、通常の発破孔の2倍となる口径127mmの空孔を2孔採用し、その効果を向上させた。

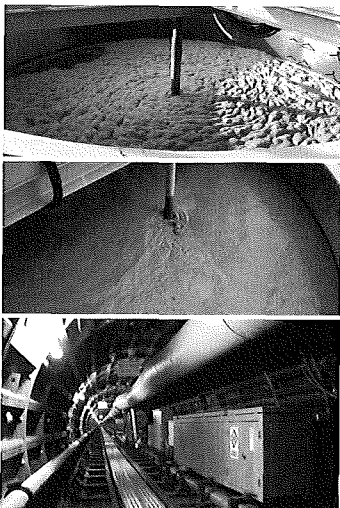
同トンネルは全長3,197mで、同社はこのうち、賀田工区1,511mを施工、本坑と避難坑を並行して施工し、避難坑は7月に貫通した。本坑の貫通は10月中を予定している。



写真提供：鉄建建設

## 工法・技術・製品ニュース

### 工法 新開発消泡剤で気泡シールド工法の掘削土流体輸送を実現



上から、FT-01無添加の循環泥水、FT-01添加後の循環泥水、掘削土流体輸送の坑内

フジタ広報室

TEL : 03-3402-1911

<http://www.fujita.co.jp>

フジタは、京浜ソイルと共同開発した消泡剤を用い、国内で初めて、気泡シールド工法での掘削土流体輸送を実現したと発表した。

従来、気泡シールド工法の掘削土搬送は、鋼車やベルトコンベヤ方式で行われていたが、坑内の作業環境や掘削土の処理に課題があった。また、パイプラインによる掘削土の流体輸送方式には、気泡によるポンプ類の性能低下の問題があった。

今回開発された消泡材「FT-01」は、水質汚濁に関する環境基準を満足し、液中でも消泡作用の強いシリコーン系の消泡剤。この消泡効果によってポンプ類の性能低下を防止する。

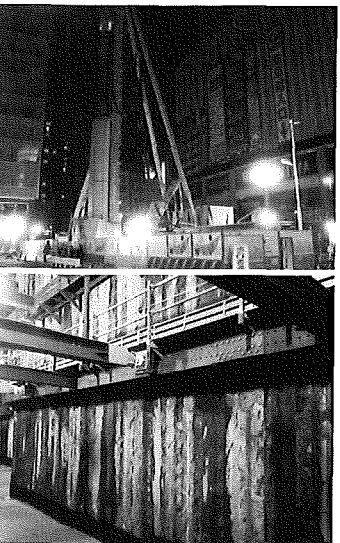
同社は、徳島県鳴門市内の「吉野川下流域農地防災事業北部幹線水路(板東・萩原工区)建設工事」で、環

境にやさしい工法としてこれを適用、広範囲な掘削土質(粘性土・砂礫・砂層)に対して、気泡シールド工法での掘削土流体輸送を実施した。

その結果、掘削土を積込んだ鋼車の荷揚げなどの危険作業がなくなり、騒音・振動防止などの安全性と作業環境が向上したこと、砂礫・砂層から発生する掘削土を振動篩を通し、建設発生土として処理が可能となったこと、鋼車でピストン輸送する掘削土搬送に比べ、ロスタイムが少なく日進量が向上したことなどが、効果として得られたとしている。

近年、気泡シールド工法は長距離・大断面シールド工事を中心に増加傾向にあることから、同社では、消泡剤FT-01の気泡シールド工法への普及を図って行きたいとしている。

### 工法 気泡ソイルセメント柱列壁工法を都市部開削工事に初適用



上から、施工状況、気泡ソイルセメント柱列壁(深度-18m付近)(写真提供:鉄道・運輸機構)

三井住友建設(株)広報室

TEL : 03-4582-3015

<http://www.smcon.co.jp/>

三井住友建設は、環境負荷低減効果の高い土留め壁工法である「気泡ソイルセメント柱列壁工法」を、都市部の開削工事にはじめて適用し、その効果を確認したと発表した。

同工法は、セメントミルク注入量と発生泥土量を低減する効果のある気泡を加えながら、地盤をオーガで連続掘削し、その溝内にソイルセメント壁を構築する工法で、三井住友建設、竹中土木、早稲田大学、マグマ、太平洋基礎工業が共同開発したもの。

従来工法では、オーガによる削孔・攪拌時において地盤の流動性を高めるために多量のセメントミルクを注入する必要があったが、このセメントミルクの一部を気泡に置き換えることにより、注入するセメントミルクの量を少なくできる。また、気泡のベアリング効果で流動性が高まる

ため、トータルの注入量も減り、削孔時における泥土発生量が削減できる。さらに、オーガの引上げ時には、気泡を消し体積を減少させることで泥土発生量を少なくし、環境負荷と産廃処分費を大幅に削減することが可能としている。

同社ではこれを、鉄道・運輸機構の「つくばエクスプレス線秋葉原駅出入口等増設他工事」で採用し、従来工法に対して泥土発生量が44%低減され、また、構造体の強度および遮水性も要求性能を満たすことが確認できたことから、今後、道路・地下鉄・処理場や建築構造物などの構築にともなう柱列式中連続壁工事のほか、高い遮水性を活かして遮水壁工事などへ展開を行い、建設工事の環境負荷低減に貢献していく方針としている。

### 製品 パワーディガー 2D 発売開始



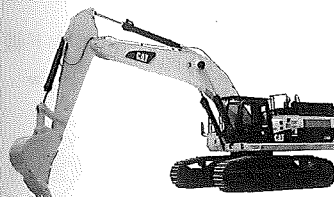
ライカジオシステムズ(株)マーケティング本部マシンコントロール担当  
TEL : 03-5940-3061  
<http://www.leica-geosystems.co.jp/>

ライカ ジオシステムズは、パワーディガー 2Dの発売を開始した。

同機は、バックホウの2Dマシンガイダンスシステムで、均し作業や勾配掘削などの設計値をディスプレイに入力すると、基準面とバケット刃先の高さの差をオペレータにガイドするもの。ディスプレイにLED表示される設計値との高低差に従ってバケットを操作するだけで、従来に比べ30%以上も効率的に作業を行うことができる。

今回のモデルチェンジでは、特許取得した PowerSnapコンセプトにより重機の操作パネルや設定を重機同士で自由に変更することが可能になった。導入してすぐ精度の高い掘削作業が可能のため、重機の高い稼働率と投資回収率が期待でき、また、余掘りがなく、簡単かつ正確に掘削できることで、材料費と燃料費の節約ができるほか、パワードリラー機能を使用するとシートパイルの垂直位置も決めることができる。

### 製品 大型油圧ショベル 2機種をフルモデルチェンジ



Cat 374D L

キャタピラー・ジャパン(株)広報課  
TEL : 03-3717-1122  
<http://japan.cat.com/>

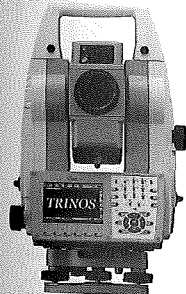
キャタピラー・ジャパンは、碎石、鉱山、大規模造成工事などにおいて高い能力を発揮するCat 374D L 油圧ショベル(バケット容量3.0m<sup>3</sup>、運転質量70.5t)、および、Cat 390D 油圧ショベル(同3.5m<sup>3</sup>、83.3t)を発売した。

両機はそれぞれ、Cat 365C LおよびCat 385Cのモデルチェンジ機。374D Lはエンジン出力アップを中心とした改良により、時間あたり作業量を最大で約13%向上、また、

390Dは掘削力アップなどによる改良により、時間あたり作業量を最大で約6%向上させた。

安全性やメンテナンス性の向上も図るなどして、製品全般にわたり顧客価値を大幅に高めているほか、エンジン回転数を抑える運転モードを備え、特定特殊自動車排出ガス2006年基準に適合するとともに、国土交通省低騒音型建設機械の基準値をクリア(申請中)しており、環境にも配慮した製品となっている。

### 製品 離れた場所から素早く計測 世界初の画期的測量システム



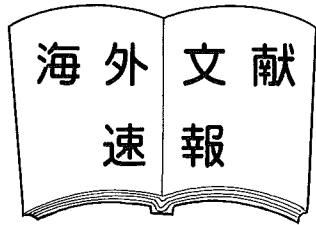
関西工事測量(株)技術営業部  
Tel : 072-749-1188  
<http://www.kankou.co.jp/>

関西工事測量は、人が近づけない場所の角・円柱構造物や危険な設備の測量を正確、簡単にできる技術「TRINOS」を開発したと発表した。

同技術は、測定者が目視で確認するための焦点鏡にサークルの目盛りを加えた「バーム」という新たな焦点鏡を用い、構造物の角部や尖った部分、円柱の中心を測定することを可能にしたもの。「バーム」は、サークルの両端を合わせることで計測対象物(円柱形)の中心を確定すること

ができ、サークルの上下左右すべてを合わせることができれば計測対象物の中心を知ることができる。焦点鏡にサークルをつけただけの構造でコストも小さい。

TRINOSは、ライカジオシステムズのトータルステーションVivaシリーズに融合して商品化され、また、システムのソフト開発を行ったアイサントテクノロジーはライカジオシステムズから技術供給を受け自社ブランド「ATStation」として販売する。



(社)日本トンネル技術協会 国際委員会

押し出し性地山におけるトンネルボーリングマシン/Tunnel boring machines under squeezing conditions

By M. Ramoni, G. Anagnostou: Tunnelling and Underground Space Technology, Nos.2, March, 2010, pp.139-157

TBMの掘進性能は、硬岩地山における掘進速度の問題、多層地山、亀裂性地山における振動や

方向制御の問題などさまざまな地山条件の影響を受けるが、押し出し性地山もまた掘進性能に影響を与える因子である。とくに押し出し性地山では掘り終わった後の区間で変位により断面を侵す、支保がダメージを受けるなどの現象を引き起こす。

本稿では、まず押し出し性地山におけるTBM掘進上の問題点について述べ、次にN<sup>2</sup>-チャートというシステム因子の相関性分析に用いられる手法により、地山条件、トンネル設備、支保構造の相関性分析を行った結果について述べている。また、最後に押し出し性地山におけるトンネル掘進の際に適用される技術についてのレビューを行っている。

相関性分析は、グリッパー付きTBMとセグメント方式TBM(いわゆるシールド工法)に分けて行われた。図-1にグリッパー付きTBMのケースにおけるN<sup>2</sup>-チャートを示す。

例えば、いわゆるシールド工法ではシールド機

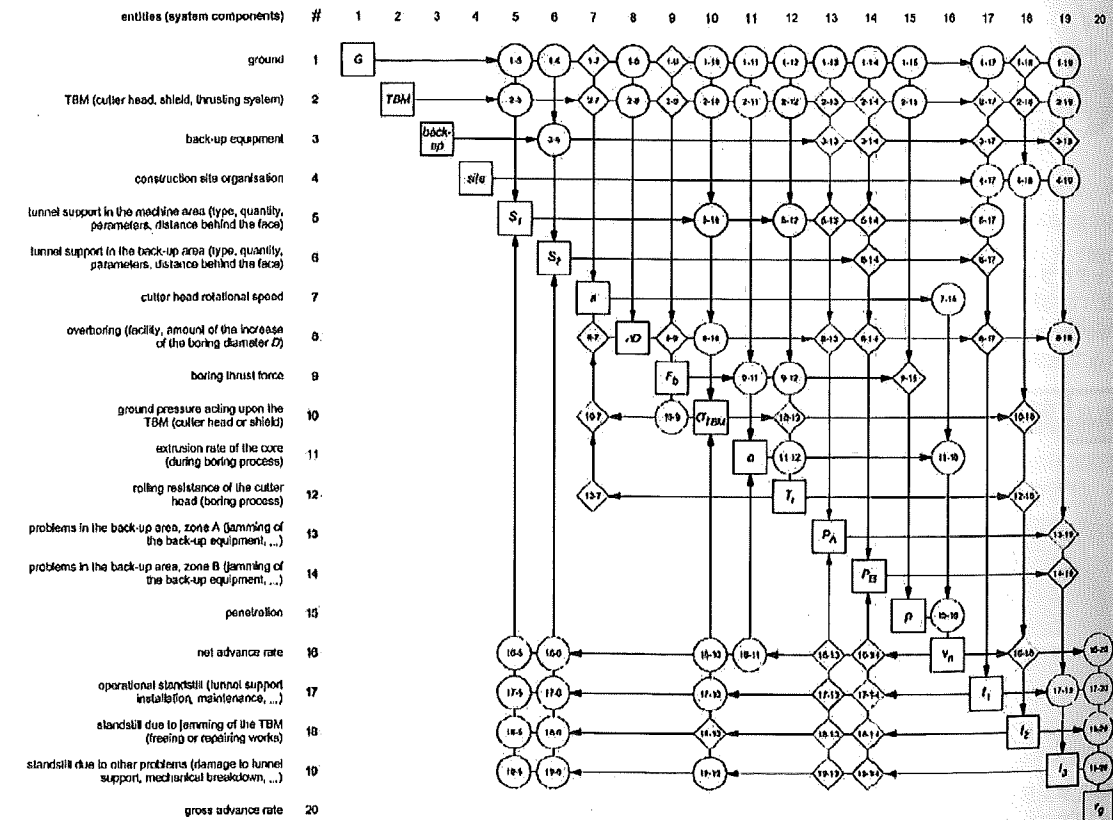


図-1 グリッパー-TBMに対するN<sup>2</sup>チャート

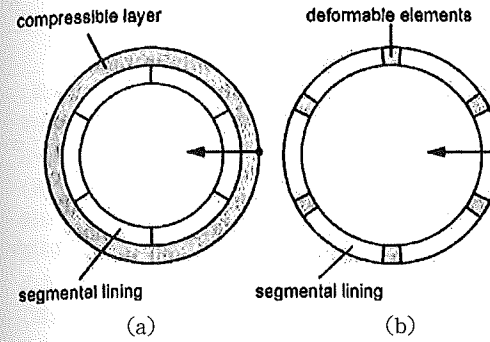


図-2 可縮支保工の概念

長が長くなるほどジャーミング発生のリスクが大きくなるが、それは地盤条件だけの単一的な原因で生じるのではない。また、グリッパー付きTBMについても低スラストや低掘進速度のリスクを持つが、これも地盤条件だけでなく、変位収束速度、支保規模などに左右されることになる。

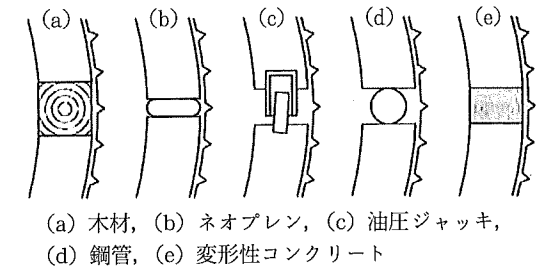


図-3 可縮部を持つセグメント

これらの考察は、上記の分析手法なしでは得ることができなかった。

また、対策工としては、1)掘削断面を大きくして変形余裕を設ける、2)カッタヘッド面を円錐形状とする、3)カッタヘッドの突出長を短くする、4)シールド機長を極力短くする、5)可縮セグメント(図-2,3)を用いる、その他が挙げられている。

(文責：満尾 淳・東急建設(株))

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

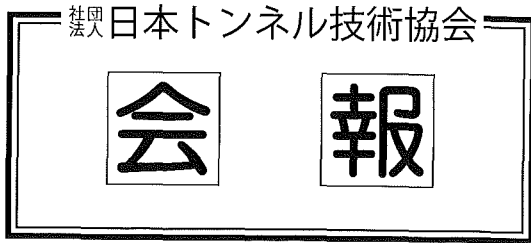
4,272円+税 B5判
■地下水の化学 ■化学反応 ■物質輸送の数学理論 ■地下水による物質輸送(水質編) ■地下水による物質輸送(地質編) ■物質の輸送のモデル ■輸送プロセスとパラメータ同定 ■水質浄化対策

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



1. 会員の現状

	8月31日現在
正会員	1,624名
団体会員	371名
個人会員	1,253名

2. 委員会の開催状況(8月1日~31日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会会誌WG(8/3)

大島洋志主査ほか12名, 9月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献WG(8/23)

大久保誠介主査ほか13名, 海外文献を抄訳

対外広報WG(8/26)

早坂治敏主査ほか10名, 現況2012年度版の制作スケジュールを検討

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第38回ITA総会およびコンgres「Tunnelling and Underground Space for a Global Society」	2012. 5. 18~24	バンコク(タイ)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Thailand Underground & Tunnelling Group http://www.wtc2012.com/
第39回ITA総会およびコンgres「Underground - the way to future -」	2013. 5. 10~17	ジュネーブ(スイス)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Swiss Tunnelling Society http://www.wtc2013.ch/
第40回ITA総会およびコンgres「Tunnels for Better Living」	2014. 5. 9~15	サンパウロ(ブラジル)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Brazilian Tunnelling Committie

\*論文募集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。

(社)日本トンネル技術協会 TEL:03-3524-1755

海外文献小委員会海外ニュースWG(8/26)

早坂治敏主査ほか8名, 海外ニュースを翻訳

◎事業委員会

事業委員会打合せ会(8/25)

久多羅木吉治主査ほか3名, 施工体験発表会プログラムの作成

事業委員会(8/30)

桑原彌介委員長ほか15名, 催物結果報告および今後の催物計画を検討

計 6回開催 67名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

保守管理小委員会

伊藤泰司委員長ほか14名, 保守困難なトンネル事例を検討

◎受託研究特別委員会

掘削土砂処理特別委員会(8/10)

後藤徹委員長ほか18名, 作業方針を検討

掘削土砂処理特別委員会土砂改質処理WG(8/23)

河本武士主査ほか7名, 作業方針を検討

掘削土砂処理特別委員会土砂改質運搬処理WG(8/29)

滝本邦彦主査ほか8名, 作業方針を検討

計 4回開催 51名出席

合計 10回開催 118名出席

4. 平成23年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(見学会)				
舞鶴若狭自動車道トンネル建設工事現場研修会	2011. 7.29	26	福井県	2.8
小田急下北沢地区複々線化工事建設現場研修会(施工体験発表会)	2011.10. 7	30	東京都	2.0
第68回(山岳)「様々な課題克服に取り組んだ山岳トンネル工事」	2011.10.13	150	東京都	5.1
第69回(都市)「都市トンネル工事におけるコスト削減・工期短縮の施工事例」(講演, 講習会)	2011.10.14	150	東京都	4.6
山岳トンネルのインバートに関する講習会	2011. 6.15	86	東京都	3.5
第13回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2011. 9.29,30	20	東京都	17.3
第14回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2011.12.14,15	20	東京都	
山岳トンネルの地質に関する講演会	2012. 1.24	100	東京都	

催物の案内は逐次協会のホームページに掲載いたしますので閲覧ください。一般検索サイトで「トンネル技術協会 国内催物」あるいは下記URL入力で辿りつけます。

http://www.japan-tunnel.org/event\_japan

事務所移転のお知らせ

このたび、当協会事務所は、下記のとおり移転しました。今後とも会員のニーズを反映した諸活動を実施していきますので、ご支援ご協力を賜りますようお願い申し上げます。

—記—

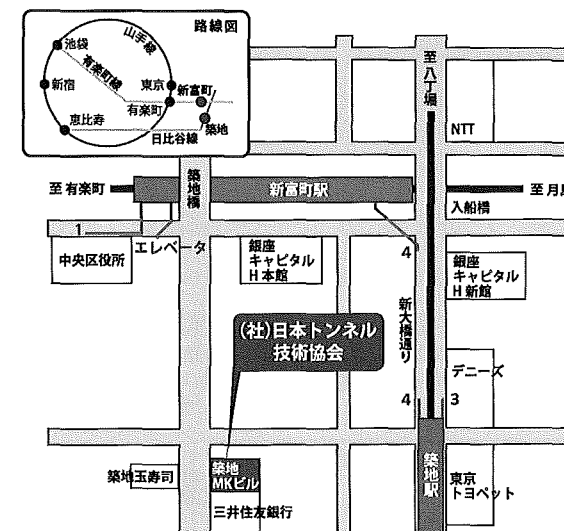
移転先住所: 〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号築地MKビル(6階)

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

業務開始日: 平成23年9月20日(火)

【案内図】

(最寄駅 日比谷線築地駅3分, 有楽町線新富町駅5分)



## 11月号予告[11月1日発売予定]

- フラッシュ写真を用いた簡易粉じん測定法
- JR横浜線 打越こ道橋
- 金沢東部環状道路 卯辰トンネル
- 阪和自動車道 藤白トンネル
- 東京都下水道 北区赤羽台三丁目付近再構築  
【連載講座】
- 最新推進工法技術(6)

\*内容等は変更になる場合がございます

## 編集後記

◆8月末から9月にかけて日本を襲った台風12号は、紀伊半島を中心とする各地に、大きな災害をもたらしました。被害にあわれた方々に慎んでお見舞いを申し上げます。

◆これを書いているのは9月の半ばですが、9、10月は過去にも大きな被害をもたらした台風が多くあり、さらなる被害が警戒される場所なので、心配が募ります。自然の猛威は、3月からつづく緊張からの解放を、なかなか許してくれませんが、なでしこジャパンによる世界制覇など、スポーツでの明るい話題は、さわやかな喜びを与えてくれています。

◆現在、ラグビーW杯がニュージーランド(NZ)で開催されています。2月22日に同国を襲った地震は、邦人を含めた大きな犠牲を出しました。日本は、災害救助隊を翌日組織して派遣、約2週間にわたる現地での活動を終了し、撤収を進めていた3月11日、巨大地震が東日本を襲いました。その翌日、NZ首相は、「今度は私たちが必要なあらゆる支援を提供する用意がある」として、自国の困難が続くさなか、日本へ救助隊を派遣しました。

◆同じ環太平洋の地震国として、被害にあい、ともに復興を目指すなか、日本は一足先に、「なでしこジャパン」をつうじて、過酷な状況にありながらも、規律と尊厳をもって戦いつづける姿を世界に披露できる機会を得ました。このW杯では、NZが、地震に打ち勝ち、無事ホストを果たして、24年ぶりの栄冠を勝ち取る力強い姿が見られることを(日本の健闘とともに)、期待しています。

★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。

★(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(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42巻 第10号 [通巻494号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成23年9月20日 印刷

平成23年10月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

<http://www.japan-tunnel.org>

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

<http://www.tunnel.ne.jp>

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

## 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 1,575円(送料108円)  
(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

## 本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

TEL: 03-3267-2888

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

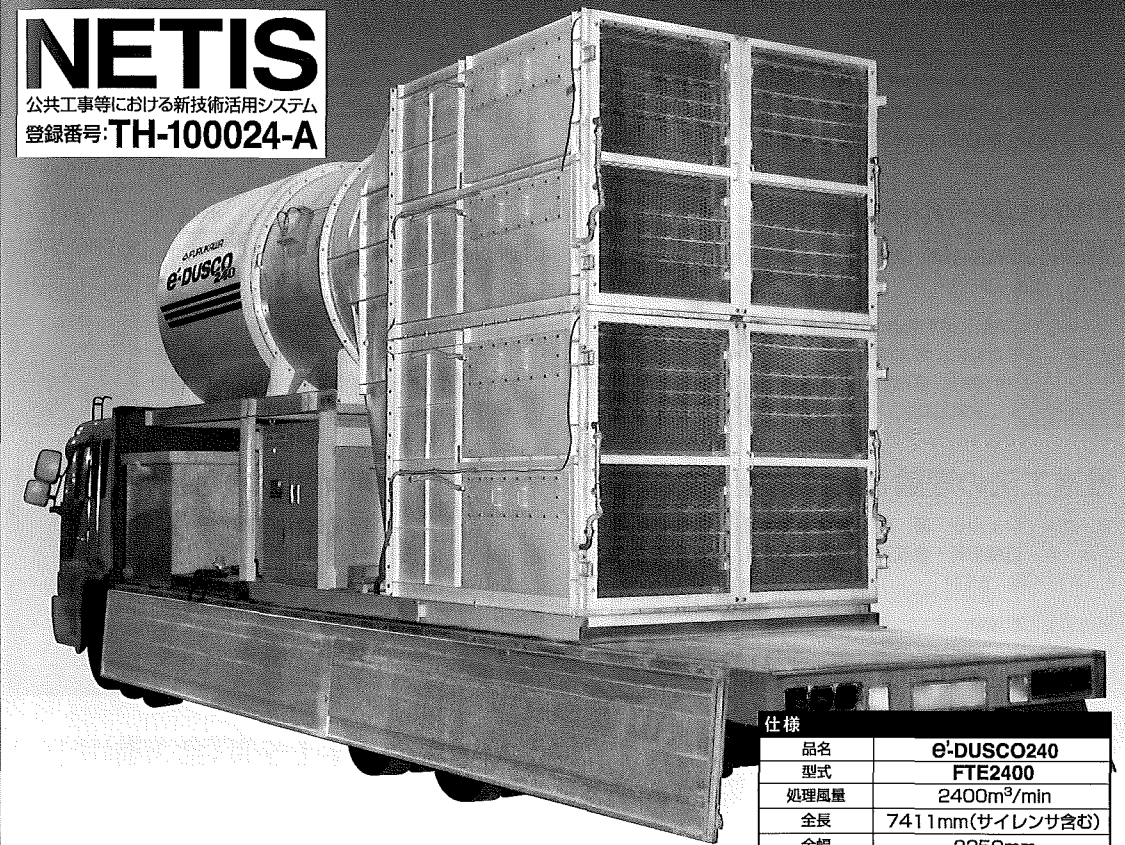
トンネル工事用 電気集じん器

**e-DUSCO**  
イーダスコ・ニーオンマル

究極の省エネ

70%も節電

**NETIS**  
公共工事における新技術活用システム  
登録番号: TH-100024-A



仕様	
品名	e-DUSCO240
型式	FTE2400
処理風量	2400m <sup>3</sup> /min
全長	7411mm(サイレンサ含む)
全幅	2350mm
全高 <sup>*1</sup>	3700mm
本体重量	10t
電源仕様	3相3線400V58kVA
ファン動力	30kW
消費電力	33kW
洗浄水	2.4m <sup>3</sup> /回
捕集ダストの処理	湿式
集じん効率 <sup>*2</sup>	95%以上

\*1 車両高さは含まれていません。  
\*2 JIS Z 8808により測定した値です。

## クラス最高の集じん効率95%

従来の電気式では達成できなかった95%以上の高集じん率を確保。

## 微細粉じんも逃さない電気式

電気式だから人体に有害な微細粉じん(0.2~5μm)も捕集できます。

## 現場メンテナンスは手間いらず

放電電極は丈夫で長持ちするブレード式により断線故障無く安心して御使用頂けます。捕集した粉じんもラクラク処理。

## 大風量と省エネを同時に実現

処理風量は20%増えたのにいっそう省エネ。安定した処理風量でCO<sub>2</sub>削減を実現する工コ製品です。

## 古河機械金属グループ

古河産機システムズ株式会社

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

本社  
〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3  
営業第3グループ ☎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 小山工場 ☎0285-23-8662