

トンネルと地下

10

vol. 45
no. 10
2014

Tunnels and Underground

全国初の大深度法を適用したシールド工事

東京外かく環状道路(関越～東名)のトンネル計画

福岡市営地下鉄七隈線の延伸計画

「ITA総会および世界トンネル会議(イグアス, ブラジル)」報告

覆工はく落に対する定量的な安全性評価法の提案

全周波数帯域に対応したトンネル発破消音システムの開発

日本トンネル技術協会誌



FRD
FURUKAWA

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

ホイール式ドリルジャンボ

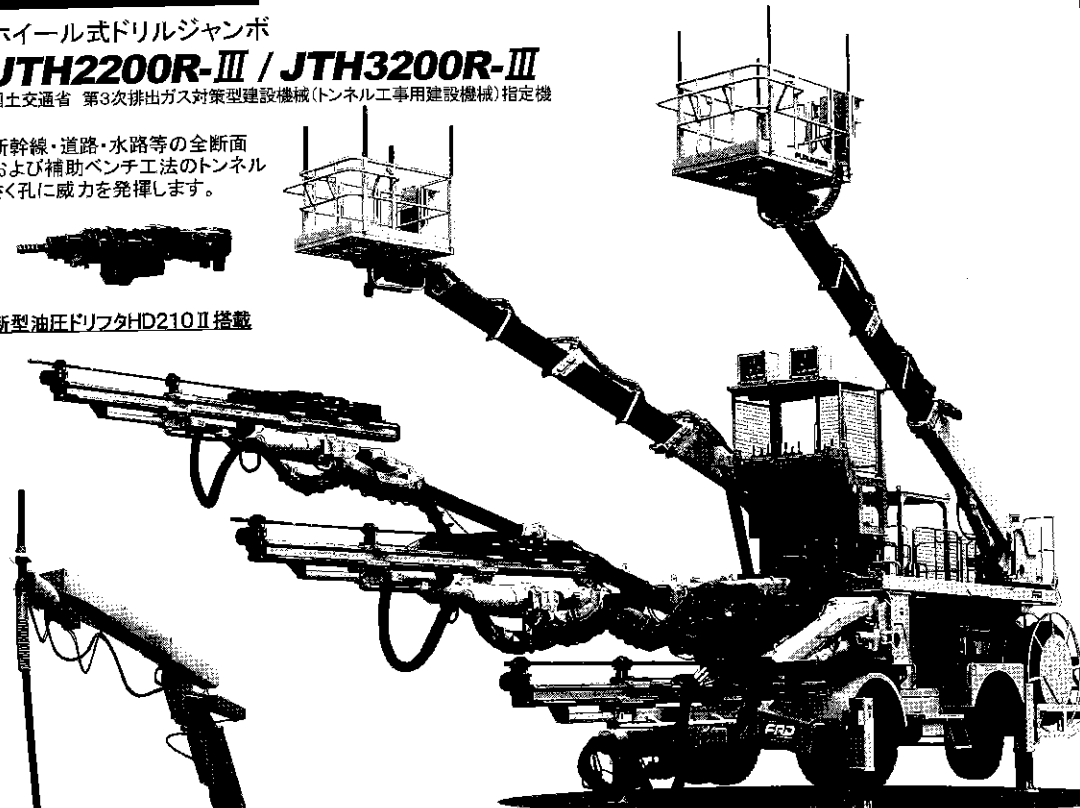
JTH2200R-III / JTH3200R-III

国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工専用建設機械)指定機

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



新型油圧ドリフトHD210 II 搭載



◆主な仕様	JTH2200R-III 2ブーム、2ケーシング	JTH3200R-III 3ブーム、2ケーシング
質量	35.5 ton	44 ton
全長×全幅×全高	14.2m×2.7m×4m	14.8m×3.1m×4.2m
水平さく孔範囲(幅×高さ)	12.8m×8.5m	13.2m×8.8m

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-III

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

質量	24 ton
全長×全幅×全高	15.6m×3m×4m
水平さく孔範囲(幅×高さ)	13.3m×10m

△古河機械金属グループ

FRD 古河ロックドリル株式会社

www.furukawarockdrill.co.jp

本社 〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目5番3号

特機部 ☎03(3231)6966

札幌 ☎011-786-2222 東北 ☎022-384-8991 関東 ☎027-326-9611 名古屋 ☎0568-77-7700
関西 ☎06-6475-8221 広島 ☎082-832-3542 九州 ☎092-948-2010

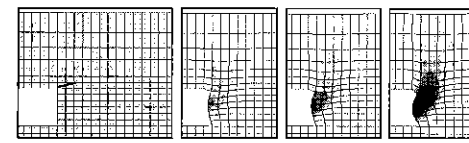
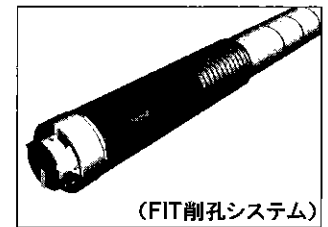
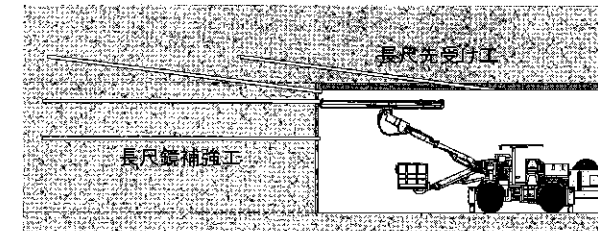
全方位 GFRP 管長尺補強システム

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

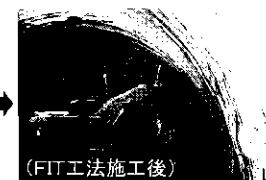
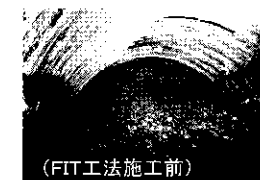
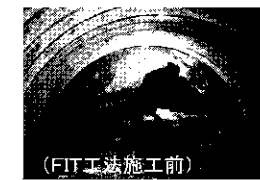
FIT 工法
FRP INJECTION TUBE



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



(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)6402-8251 FAX(03)6402-8255
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)751-6482

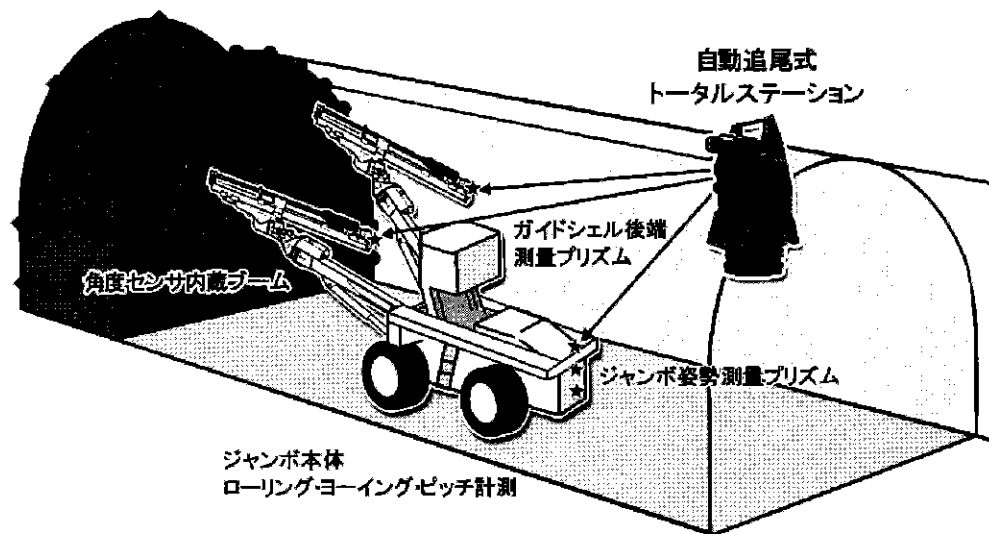
ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

NETIS登録番号:KK-100049-A

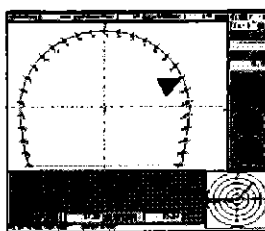
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご利用は

MAC マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

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

FRD 古河機械金属グループ
古河ロッドドリル株式会社

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3
特機部

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

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。

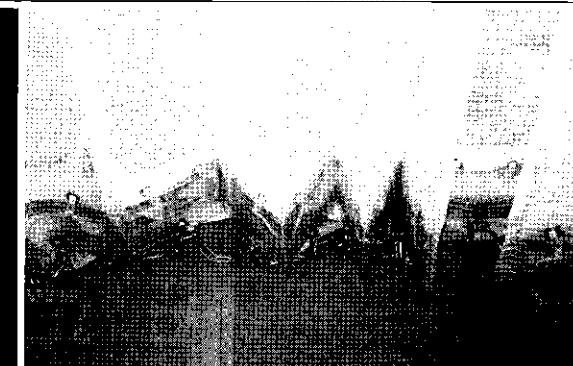
【効果】

- ・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26年2月現在)

施主	実績	計画物件
国土交通省	32件	14件
NEXCO	8件	2件
その他	31件	11件
合計	71件	27件

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



トンネル貫通後の坑口部に設置し、通風を防止します。

トンネル全断面を通風遮断シートで覆います。固定式、移動式と用途に応じて仕様を選定できます。

【効果】

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

実績および採用決定
(平成26年2月現在)

施主	実績	計画物件
国土交通省	4件	8件
NEXCO	3件	2件
その他	6件	9件
合計	12件	19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

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

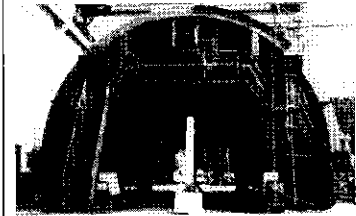


東和機電工業株式会社 かいた 穎田工場

〒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：info@towakiden.co.jp
 ホームページ <http://www.towakiden.co.jp>

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

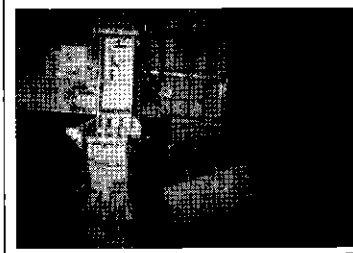
高流動コンクリート対応型
 全断面ステンレスフォーム



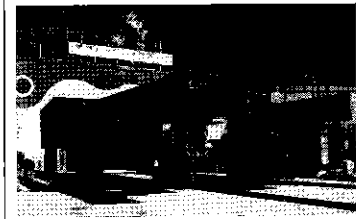
ワークステーション架台



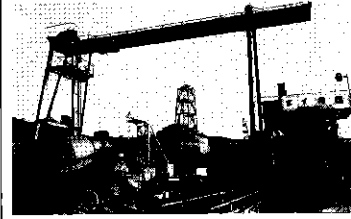
全輪タイヤ式インバート棧橋



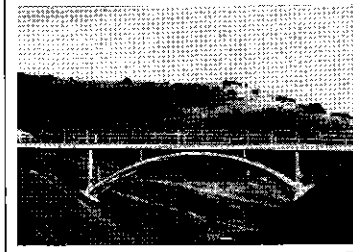
勾配対応全輪駆動式
 トンネル床版撤去架台



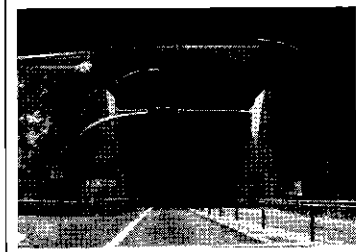
立坑ズリ出し設備
 (4.5t×60m)



林道橋



トンネル坑口修景ルーバー



新幹線微気圧伝播緩衝工
 (鋼製、総溶融亜鉛メッキ)



防音シェルター



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

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

日本で生まれ、世界へ広がる。 NATMの補助工法

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

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

補助工法ラインナップ

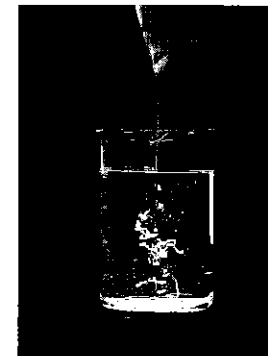
- ⇒ 注入式フォアポーリング
- ⇒ 各種長尺フォアパイリング
- ⇒ 多重式長尺フォアパイリング
- ⇒ エコリムーブ工法
- ⇒ パノラマ工法
 (φ60.5MRS, φ76.3, φ89.1)

※特許取得、NETIS登録されているものがありますので、お問い合わせください。

スーパーSRFの優位性

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

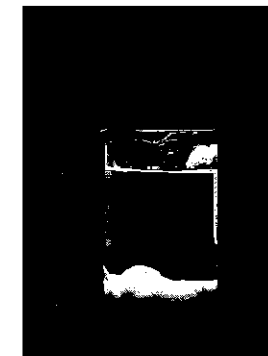
混合直後



3分後



10分後



KATECS

株式会社 カテックス
 建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.jp/>

技術部・中部営業部

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

東京支店

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

東京支店(仙台事務所)

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

関西営業所

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

九州営業所

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

北海道地区(株)エイチ・アール・オー)

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

日本のインフラ維持が注目される今!!

アキレスTn-p工法

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

NETIS登録番号
KT-070035-A

1 超軽量で安全性向上

従来の工法に比べて重量が軽く、覆工コンクリートの厚さを薄くすることができます。

2 注入設備がコンパクト

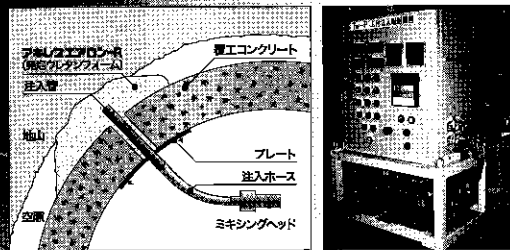
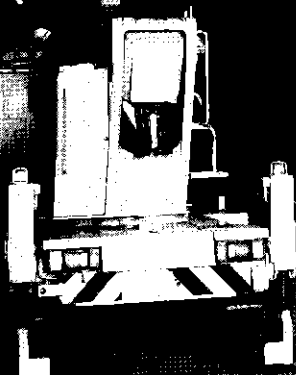
注入機がコンパクトで、4t車1台に全ての機材を積載することが可能です。

3 急速固化でリーク減少

短時間で発泡固化するため、亀裂等からのリークの危険性を低減できます。

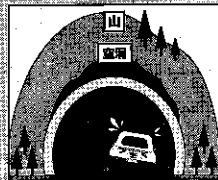
4 環境対応型ノンフロン

ノンフロン類を一切使用せず、地球環境保護に貢献します。



「アキレスTn-p工法」とは?

古いトンネル（鉄骨工法）の覆工コンクリート背面に、空洞が生じていることがあり、崩落の原因になりかねません。その空洞を「発泡ウレタン」で充填補修し、災害を防止するための工法です。



Tn-p工法



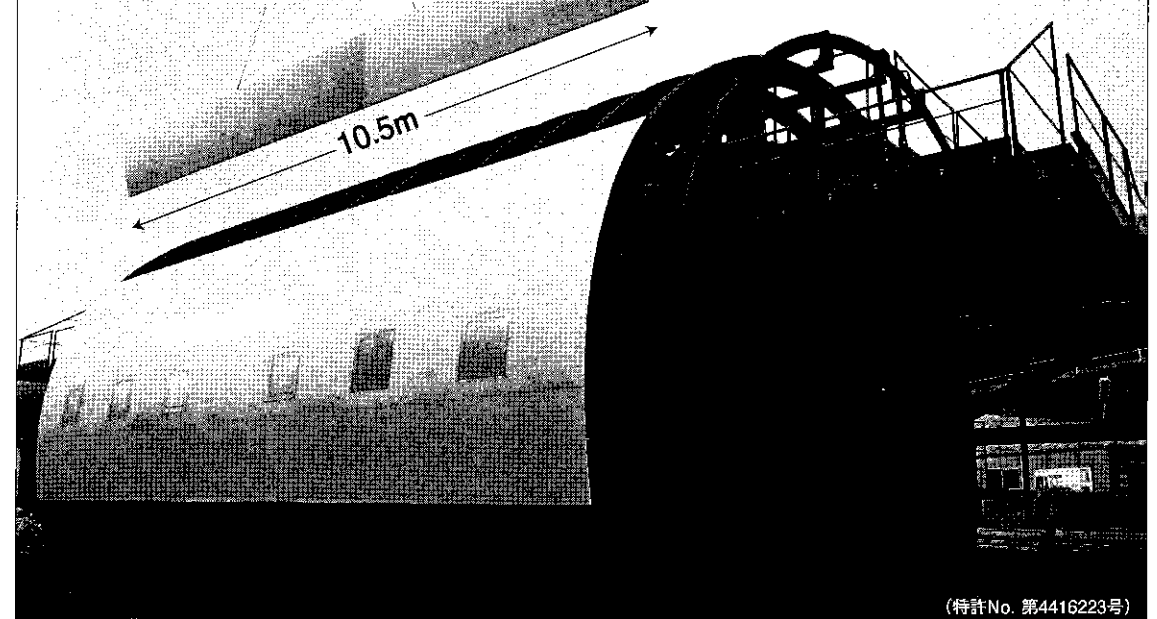
あなたの身近にいつも...
Achilles
アキレス株式会社

断熱資材販売部
本社 〒160-8585 東京都新宿区大京町22-5 03-6379-4528
本西支社 〒630-0005 大阪府大阪市北区中之島2-27 23F 06-4707-2355
北海道営業所 〒061-3241 北海道石狩市新港西1-726-3 0133-73-9581
九州営業所 〒813-6591 福岡県福岡市東区多の津1-1-4 092-622-2871

Tn-p工法
<http://www.achilles-foamsystem.com/>

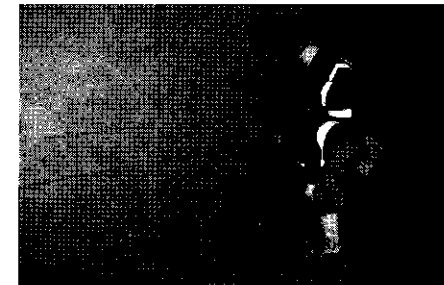
新着ニュース FRPセントルによる 覆工コンクリートの密実性を検証

初期養生FRPセントル ハイパーフォームG



(特許No. 第4416223号)

■透気試験状況



国土交通省東北地方整備局楢沼トンネル ㈱フジタ施工

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

特徴

- 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)
- 外気の温度変化に対する影響が少なく、寒冷地に最適
- 剥離性がよく、ケレン作業が低減

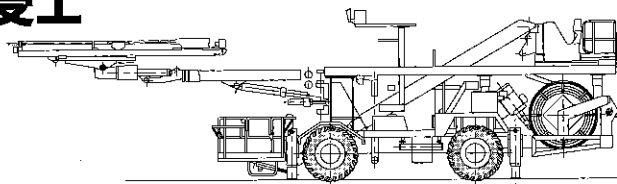
M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

■本社 〒553-0006 大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル 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:092-409-8058
■指定工場 〒919-0441 福井県坂井市春江町定重(森本工業) TEL:0776-81-2410

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

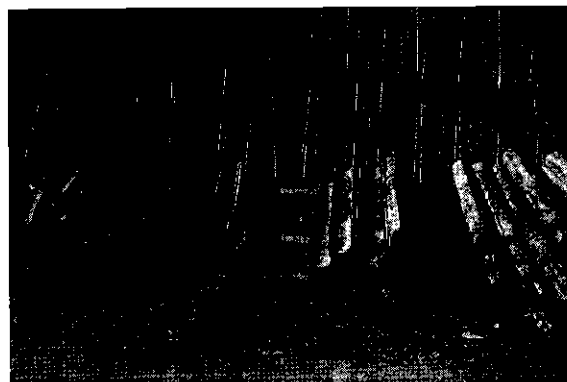
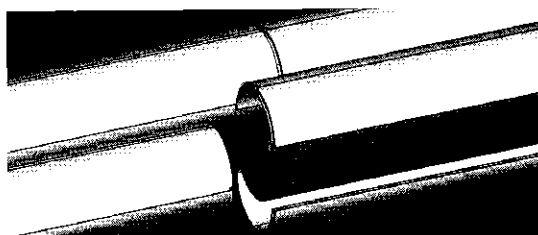
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Piling Method



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。



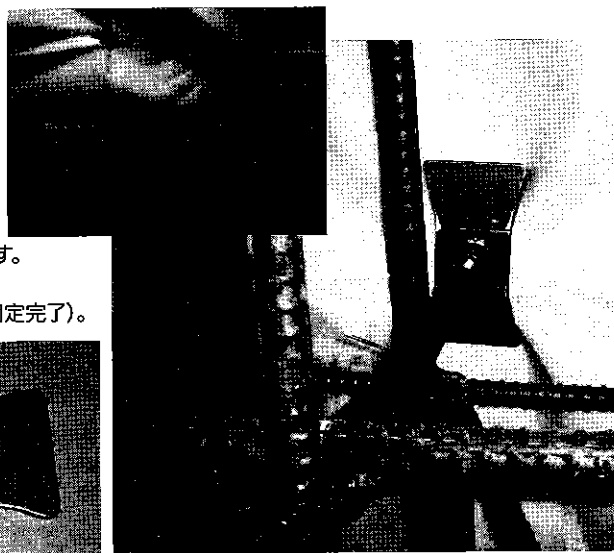
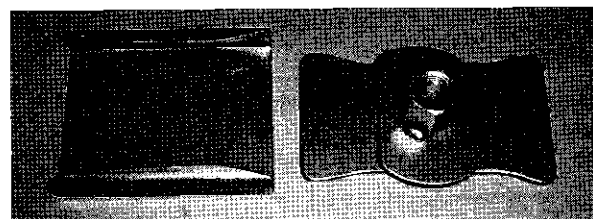
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

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 東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD

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

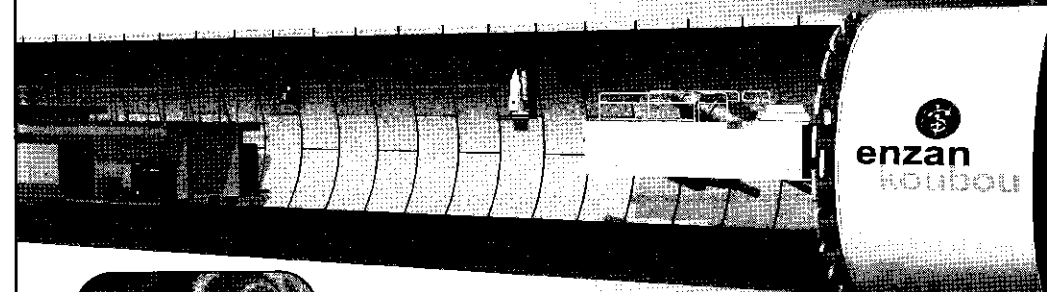
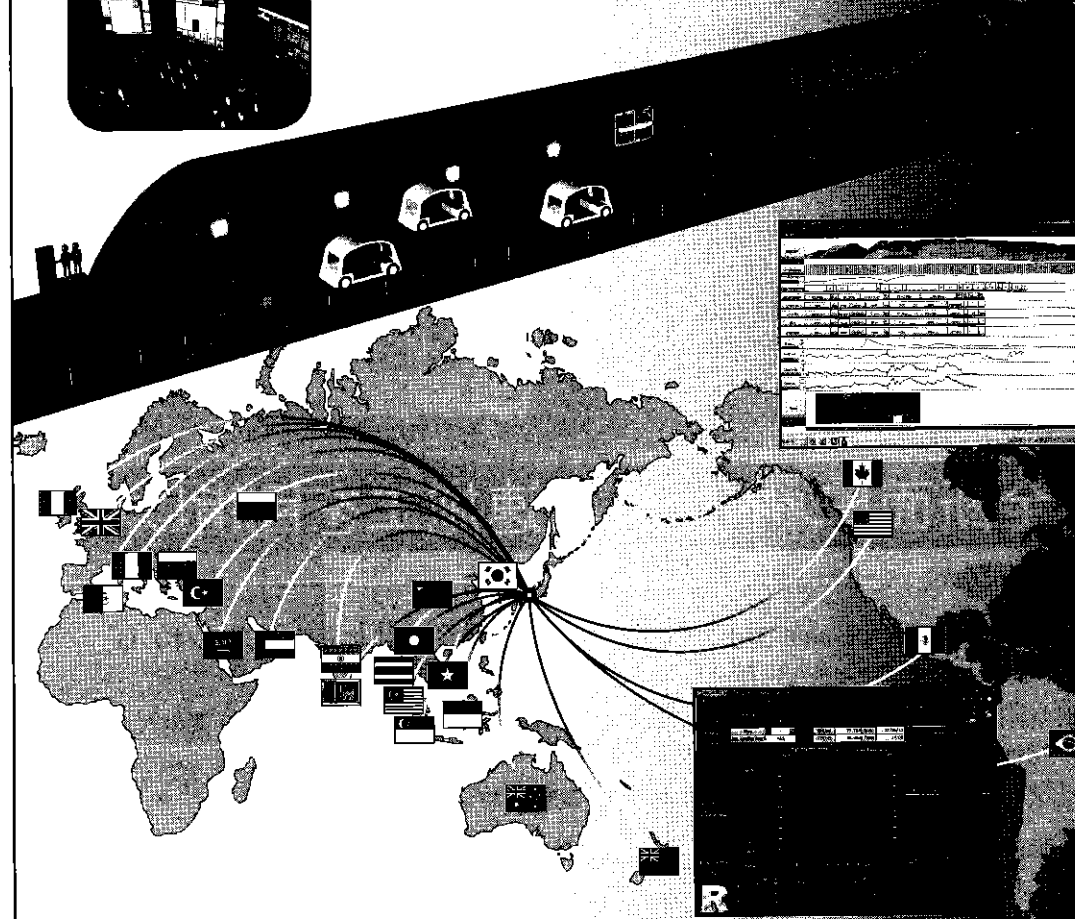
株式会社 トーキョーオール

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

Easy to handle, Difficult to imitate.

GUIDANCE & LOGGING & SURVEY system for TUNNEL

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



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



全断面对応トンネル高速施工掘進機

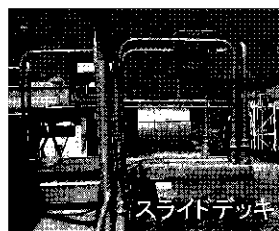


中折れブーム

全断面トンネルの高速施工を目指して

特徴

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

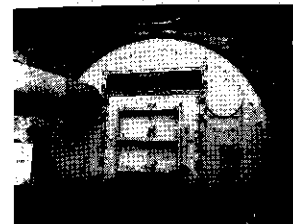


スライドデッキ

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

快適な作業環境を提供する騒音対策システム ～25年の実績が最大級の安心をご提供いたします～



【防音扉】

- HFS型 マークII
- HFS型 マークII 10s
- HFS型 マークII 10c
- HFS型 マークII 15c



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。

『防音扉マークII』の音響性能

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

『防音扉マークII 10s』の音響性能

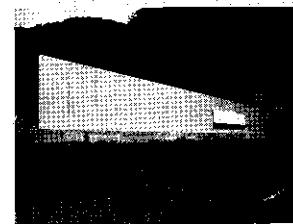
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	16 dB
2基設置	29 dB(A)	25 dB

『防音扉マークII 10c』の音響性能

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

『防音扉マークII 15c』の音響性能

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



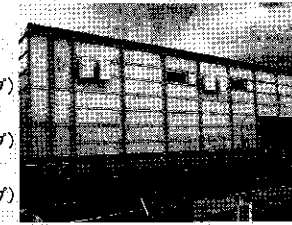
【防音壁】 【防音ハウス】 【防音シェルター】 【防音ボックス】



Sタイプ(スタンダードタイプ)

Dタイプ(デラックスタイプ)

Hタイプ(ハイデラックスタイプ)



『防音パネルSタイプ』の音響性能

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

『防音パネルDタイプ』の音響性能

項目	125	250	500	1k	2k	4k
	透過損失【dB】	22	32	37	38	37
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
吸音率【%】	57	48	61	76	86	91

防音設備の設計、製造、施工、リース

株式会社ヒューズ

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

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

建設業登録：東京都知事許可(般-25)第130153号

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

月刊推進技術

購読のご案内



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

わが国のライフラインなどのインフラ整備またはその再構築や新たな地下空間の築造に、掘削残土量やCO₂排出量を抑制し、なおかつ耐震性の高い推進工法のニーズが高まっています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説をしております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管渠埋設の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっています。

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039 加入者名：株式会社工ルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間定期購読料金12,337円(毎月1冊×12ヶ月 税・送料込)をお支払いください。詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたします。

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

定期購読のお申し込みには、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

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

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

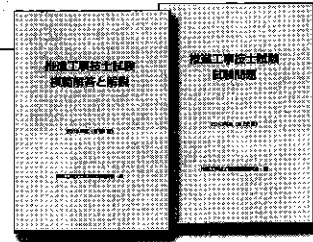
推進工事技士試験 過去12年間(平成14~25年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編

推進工事技士試験は、推進工法に係わる技術、技能を適正に認定することを目的に(社)日本下水道管渠推進技術協会(現(公)社)日本推進技術協会が平成4年度より実施している制度で、管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25年度版発売中!!

1. 内容と特長

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

2. 価格

各年度単体に 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/

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

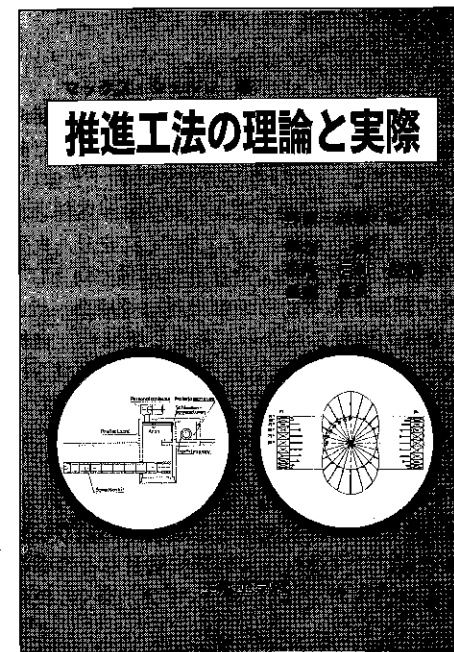
推進工法の理論と実際

推薦の言葉

中本 至・石橋信利・金成英夫

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

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%近くになっている。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。

より理論的に解明した古典的な名著である。博士は理論面のみではなく、実際の施工にも従事し、実務にも精通していたので、実務面の良さも持っている。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

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

トンネルの発破技術

監修 山田隆昭 B5判 76頁 定価1,500円+税(送料別途)

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで!
振動や騒音の環境問題を詳述!!

山岳トンネルといえば、何を思い出すであろうか。「貫通発破」を思い出す方が多いのでは。発破の響きとともに岩が壊れ、外の光が差し込み、風が流れる。この感動は昔も今もトンネル関係者にとって普遍である。しかし、意外にも発破技術について詳しい人は少ないのが現状である。近年、機械の性能の向上に伴い、TBMを含めた機械掘削は増加の傾向にあるが、硬岩掘削は効率の良さから従来と変わらず発破が多用されており、発破技術はトンネル技術者にとって基本事項である。また、発破も時代とともに進歩しており、火薬類はダイナマイトから含水爆薬が主流となり、電気雷管も耐静電気性のもとなり安全性が一段と向上している。また、起爆を高精度に制御できるIC雷管も登場し、振動の軽減を図るための制御発破技術も一段と進歩している。さらに、近年のトンネル作業の効率向上と安全環境の確保の面から、発破の機械化、自動化が進められている。削岩機においては、自動的に位置を決めて穿孔するコンピュータ制御掘削機も開発されている。また、2004年3月には火薬取締法施行規則の改正により、含水爆薬に関して移動式製造設備で火薬類を製造しながら装薬ができるようになり、爆薬の機械装填についても準拠できる基準が示された。これにより、含水爆薬の自動装填技術の取り組みも積極的になされている。

本書は、「トンネルと地下」に連載した「発破技術の現状」に若干の加筆、整理をして書籍化したものである。本書は、若いトンネル技術者にも発破技術が理解できるように、火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げるとともに、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく説明している。これだけまとまった発破技術の書籍が少ないため、ぜひ、多くの技術者に参考書として手元において愛読していただきたい。

〈主要目次〉

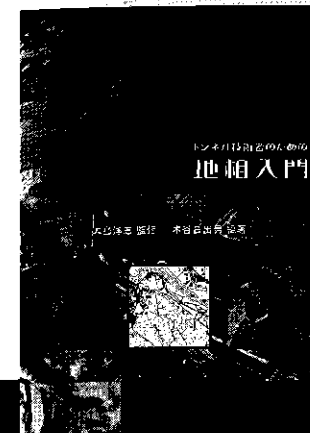
第1章 現状と展望、第2章 火薬類の基礎知識、第3章 発破技術の基本、
第4章 新しい発破技術、第5章 発破と環境問題、資料

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

新刊図書のご案内 地形にも相がある 地形の性質を知ろう!



トンネル技術者のための 地相入門

大島洋志 監修 木谷日出男 編著

B5判 203頁 定価3,200円+税 送料別

図・表・写真 288点収録

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

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

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

《主要目次》

序編 まえがき

地相は人相 山の性状

第I編 地形から読み取れる情報

地形から地相を読む方法 / 地形から得る具体的な情報

第II編 地形種とトンネルの施工事例

段丘・台地 / 崖錐・沖積錐・扇状地 / 傾斜層 / 地すべり /

マスマーブメント・滑落崖 / 断層(断層変位地形) /

断層(断層剝削地形) / 火山地形 / カルスト地形・残丘 / 地形改変

第III編 路線選定

地相をよく観て路線選定を行う

あとがきにかえて

座談会

お申し込みは当社へ FAX、または、お近くの書店にてお申し込みください

株式会社 土木工学社

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

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)

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

1ロット3mのコンクリート打設用ジャッキアップフォーム工法

- 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
- 鋼削・グラウトスカフォード兼用でコストダウン

立坑外壁→
鉄筋
新しく投入したコンクリート
硬化したコンクリート壁
ジャッキアップ作業
スライド型枠

センターホールドジャッキ
支持ロッド

2箇所が爪がロッドをつかんで、装置全体をスライドアップします。

1. 配筋、コンクリート打設
2. 格納、支持ロッド装置・作業体上昇

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
- 複数ジャッキを高精度制御

地下鉄シールドマシンのリフトアップ (東京メトロ副都心線工事)

1,950トンのTBMリフトアップ (飛騨トンネル工事)

2%勾配で据付

ジャッキ
ステップロッド

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

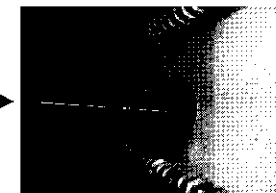
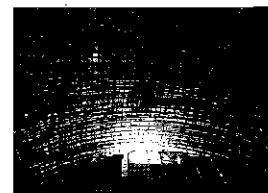
①アーチ鉄筋組立金物 (Kリング) 特許出願中 (特願 2001-309314号)

トンネル覆工工事におけるアーチ鉄筋組立金物。
コストダウン、安全、工期、品質の向上を可能にします。



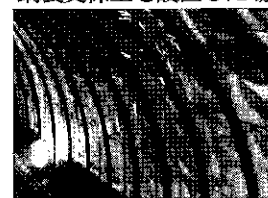
②トンネル覆工鉄筋防水シート接着ジベル筋組立 (Kプレート)

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。

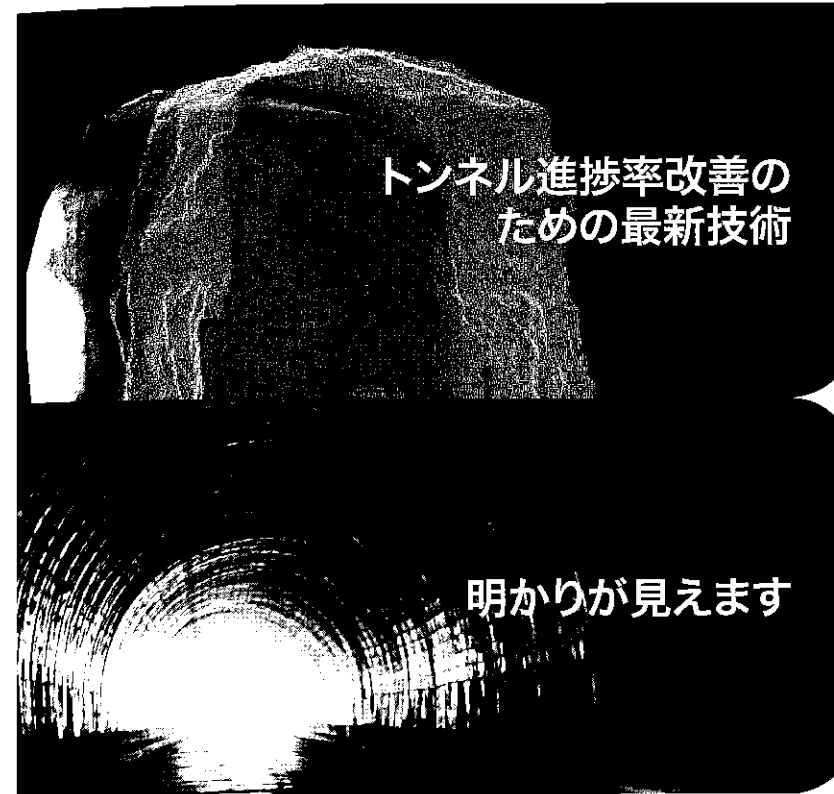


ウォータータイト(全周止水)トンネルにおいて覆工コンクリートの鉄筋を自立させることによって、鉄筋受け架台の鋼製支保工コストの大幅削減を可能にすることができます。

鋼製支保工を設置した場合もKプレートを使用することが可能です。



Kプレートで鋼製支保工を固定。架台の鋼製支保工の固定にも使用できます。



トンネル進捗率改善のための最新技術

明かりが見えます

トンネルが貫通するまでの長い道のりの中で、工事完了までの間に大いなる進捗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可能です。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.oricaminingservices.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。



ゴムクロー・ミキサー車

国土交通省排ガス2次トンネル工事専用指定



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

【仕様】		ゴムクローラ式ミキサー車 TGM-MR45T 上部ミキサー:カヤバ製(混合容量4.6m³)	
全長	7,500mm	タンブラ中心間距離	3,870mm
全幅	2,890mm	クローラ全長	9,600mm
全高	3,630mm	クローラ幅	700mm
最低地上高	830mm	(100ピッチ×98Jシク)	
空車質量	11,000kg	セメント積載時質量	22,000kg
形式	三菱6D-TLE2B	定格出力	165kw/2,700min
排気量	7,545cc	最大トルク	700N・m/1,300min
速度1段	最大 7.6km/h		
速度2段	最大 20.0km/h		
空車時接地圧	20kpa	積載時接地圧	40kpa

【TGM-MR45T II 仕様】

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



Tunnel & Mining

ニシオティールアンドエム株式会社

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

〒569-0836
大阪府高槻市唐崎西2-26-1

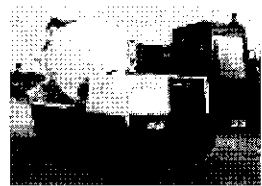
■北海道営業所
tel: 0133-72-3715
fax: 0133-72-3716

■東北営業所
tel: 0197-71-2405
fax: 0197-71-2406

■関東支店
tel: 0268-62-1426
fax: 0268-62-1999

■大阪支店
tel: 072-677-2101
fax: 072-677-2109

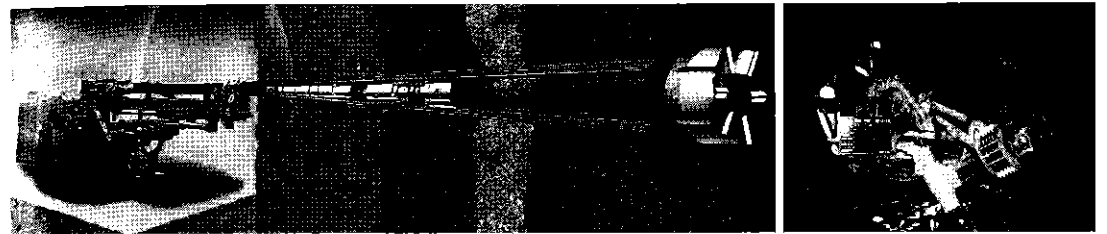
■九州支店
tel: 0982-26-2111
fax: 0982-26-2290



トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法

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



KOKEN 鉦研工業株式会社

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

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

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

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

VOLVO 建設機械

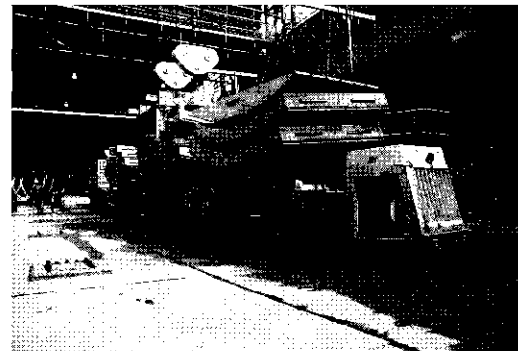


高い作業性とクールなデザインが人気
年々強化される排ガス規制にも対応



ボルボ事業部 担当: 浅野
TEL0538-66-1215 FAX0538-66-6162

多目的運搬台車
4次オフロード法取得 レールからの解放



TMS社 日本総代理店
担当: 渡邊



山崎マシーナリー株式会社

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

【好評発売中】

わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修
B5判 209頁 本体価格2,500円 円340円

主要目次

- 序編 トンネルと地質の関わり
1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質
- 第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学
1. 地球の構造 2. 地層や岩石の分類 3. 地質作用 4. 地質構造 5. 地形と地質との関わり 6. 日本の地質 7. 地下水
- 第II編 トンネル工事と地質条件
1. 路線選定と地質条件 2. トンネル工法・掘削工法と地質条件 3. 掘削方式と地質条件 4. トンネル掘削に伴う地質的現象
- 第III編 地質調査法
1. 地形・地質調査一般 2. 既存資料調査 3. 空中写真判読 4. 地質踏査 5. 弾性波探査 6. 電気探査 7. その他の物理探査法
8. ボーリング調査 9. ボーリング孔を利用して行う調査 10. 室内試験 11. 調査坑調査(施工・維持管理段階の調査含む)
12. 水文調査・地下水調査 13. 立地条件調査
- 第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方
1. 調査の基本 2. 地山条件の調査の流れ 3. トンネル工事のための地山評価法 4. 調査の成果

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

株式会社 土木工学社

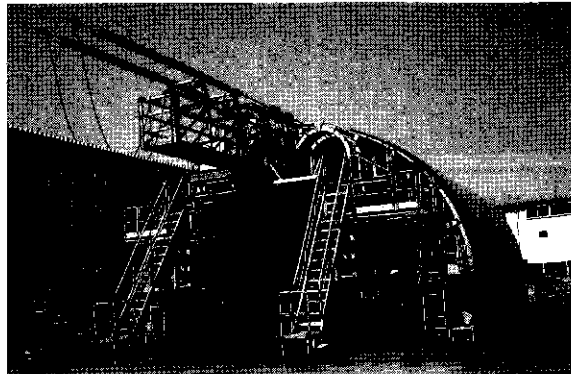
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072

要求性能を満たす 覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレータ装置

NETIS 登録 No.HR-080001-V
(平成 26 年度活用促進技術)

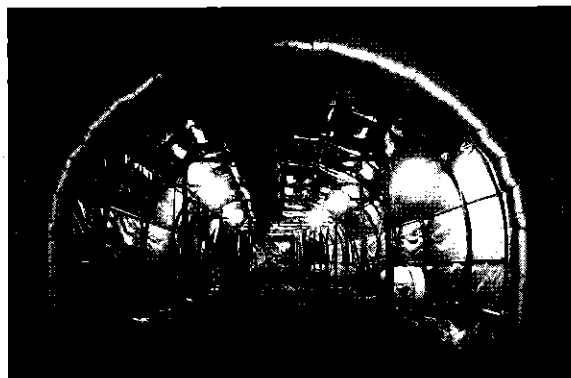


期待される効果・特徴

- ・トンネルクラウン部の締固めと密充填が出来る
- ・高品質な覆工コンクリートが形成出来る
- ・鉄筋区間で一部主筋をずらして使用することが出来る
(但し、カーブ区間はケーブル式を推奨します)
- ・覆工表面の縞模様を減らすことが出来る

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-A (製造:株式会社マシノ)



期待される効果・特徴

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

 **北陸鋼産株式会社**

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

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

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

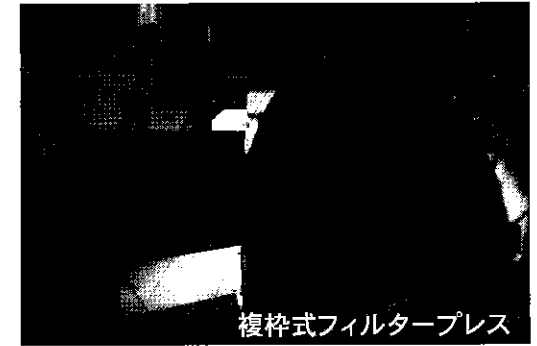
濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0 m³/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

《汎用車両全般》



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



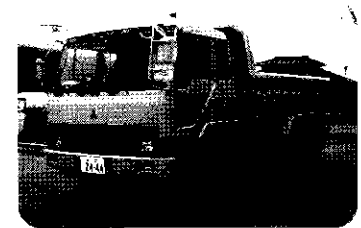
10T ミキサー



4.5m³ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車両 取り扱っております

 **株式会社 フジテックス**

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

■巻頭言

将来の建設業のために

足立 宏美.....5

■研究

覆工はく落に対する定量的な安全性評価法の提案

津野 究・小島 芳之.....53

全周波数帯域に対応したトンネル発破消音システムの開発

本田 泰大・伊藤 哲・木梨 秀雄.....59

■報告

「ITA総会および世界トンネル会議(イグアス, ブラジル)」報告

日本トンネル技術協会.....43

■計画

東京外かく環状道路(関越~東名)のトンネル計画

木村 周二・堀 圭一・合田 聡.....17

福岡市営地下鉄七隈線の延伸計画

—天神南~博多駅間—

田代 徹也・高士 修.....23

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1,296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

■施工

全国初の大深度法を適用したシールド工事

—神戸市水道局 大容量送水管(奥平野工区)—

出口 佳孝・永里 忠裕・荒東 伸一・三山 敬広.....7

■連載講座

都市トンネルのための地盤改良工法(5)

—凍結工法(1)—

「都市トンネルのための地盤改良工法」連載講座小委員会.....65

■現場だより

信仰の山「霊山」の麓より~相馬福島道路

水口 均.....16

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

『黒部の太陽』にあこがれて

河内 汎友.....33

■資料ほか

土木情報

編集部.....32

トンネルジャーナル

編集部.....52

追悼文

大島 義信.....58

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会.....74

海外文献速報

JTA国際委員会.....75

■会報

会報

日本トンネル技術協会.....78

【表紙説明】

全国初の大深度法を適用したシールド工事
—神戸市水道局 大容量送水管(奥平野工区)—



神戸市水道局では、阪神・淡路大震災の教訓を踏まえ、「大容量送水管」の整備を進めている。芦屋市との市境から奥平野浄水場までの延長12.8kmにおいて、災害・事故時の危険を分散し、高い耐震性と大きな貯留能力を備えることにより、応急給水や早期復旧が可能となるほか、既設送水トンネルを更生する際の代替ルートとして利用することができる多機能な水道管を築造するものである。写真は、手前が直径2,400mm(鋼管)の水道管で、奥が立坑に到達したシールドである。〔写真提供：神戸市〕(本文7頁参照)

管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

コンクリートトータル養生システム

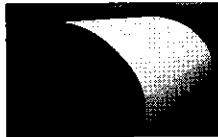
セントル型枠

加温しながら初期強度を上げる
加温養生（型枠）



第二養生

加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



第三養生

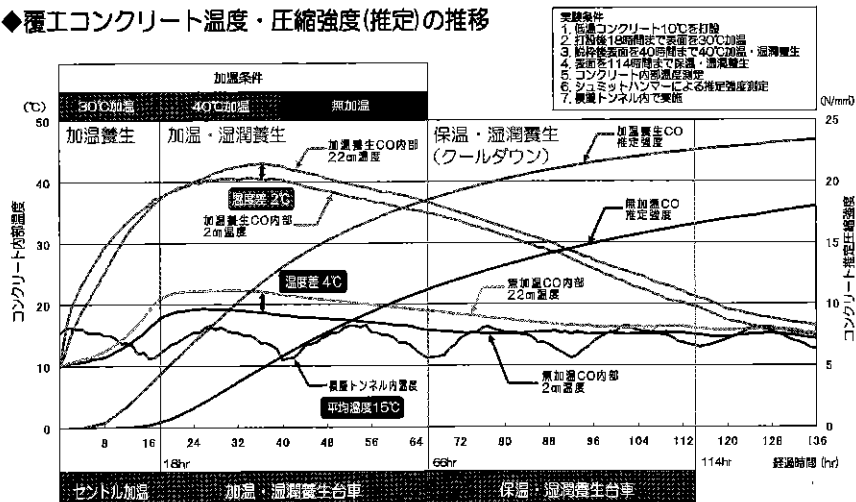
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

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

【製作・販売協力】
TECHNO
テクノプロ株式会社

株式会社 東 宏

総務委員会広報小委員会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

大 島 洋 志 国際航業株式会社上席フェロー技術開発センター最高技術顧問
首都大学東京客員教授

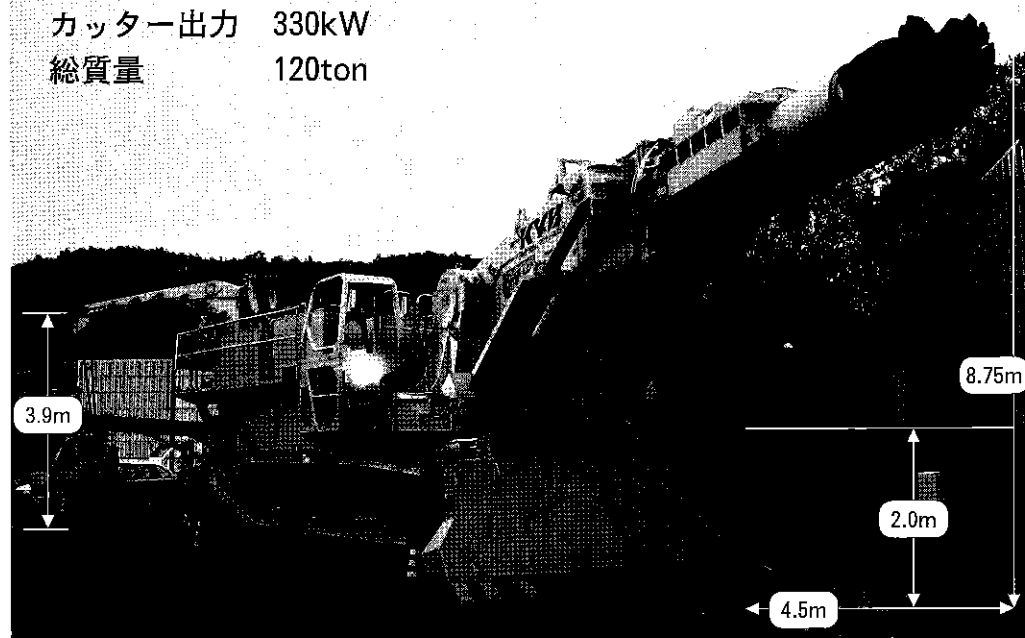
〔幹 事〕

居 相 好 信 株式会社大林組生産技術本部統括部長	志 岐 寛 清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部長
伊 藤 聡 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部改良建設企画課長	西 岡 和 則 鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部トンネルグループ長
岩 田 美 幸 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	長谷川 雅 彦 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構鉄道建設本部計画部計画課長
大 津 敏 郎 株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部トンネル専門主幹	藤 井 義 文 株式会社竹中土木執行役員
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長	松 原 利 之 飛鳥建設株式会社建設事業本部エンジニアリング事業推進部長
小 松 敏 彦 前田建設工業株式会社土木事業本部土木部担当部長(トンネル)	吉 富 幸 雄 大成建設株式会社土木本部土木技術部トンネル室参与

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW
総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.3m（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4.5m
- ・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開発センター最高技術顧問
首都大学東京客員教授

〔編集参与〕

木谷 日出男 国際航業株式会社フェロー技術開発センター
地盤研究室長
小山 幸則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授
今田 徹 東京都立大学名誉教授
高橋 良文 東京都下水道サービス株式会社専務取締役

〔委員〕

大津 敏郎 株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹
岡田 龍二 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
技術基準担当課長
佐原 圭介 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長
高橋 晃 東京電力株式会社パワーグリッド・カンパニー
工務部流通土木グループマネージャー
谷内 雅之 東京都交通局建設工務部計画改良課長
真下 英人 国土交通省国土技術政策総合研究所
道路構造物研究部長
松田 信夫 東京都水道局建設部工務課長
焼田 真司 公益財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部トンネル研究室長
柳 雄 東京都下水道局建設部設計調整課長

トンネル二次覆工型枠総合メーカー

スライダ打設システム

特許 第4083308号
NETIS登録KT120099-A

**トンネル天端部
懸垂ハイブレイタ縮固め工法**

NETIS登録KK-120003-A

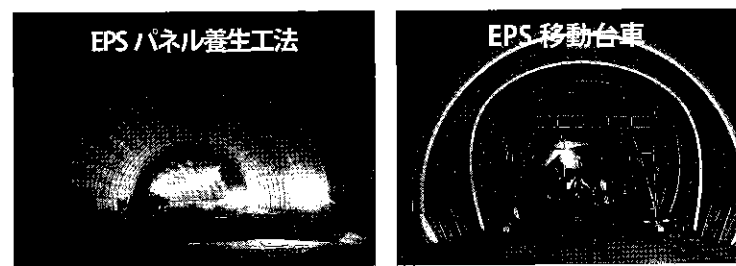
**セントル位置・変位
自動測定監視システム
(セントル監視くん)**

特許 第5247491号
NETIS登録KT-130037-A

**型枠ハイブレイタ
集中制御システム DKV-20**

NETIS登録KK-130066-A

新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



EPSパネルの保温性、保湿性が効く

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

平成25年12月1日 現在
実施権許諾第 10396号
NETIS登録 (No.CB-090003-A)

一歩前進! ~限りない未来への挑戦~



大栄工機株式会社

本社 〒526-0842 滋賀県長浜市春近町90番地 TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765
URL <http://www.daieikouki.co.jp/> E-Mail: daiei-co@minos.ocn.ne.jp
営業品目 各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売 ※詳しくはホームページを御覧ください

トンネルと地下 VOL.45 No.10 掲載概要

掲載頁 7 全国初の大深度法を適用したシールド工事
—神戸市水道局 大容量送水管(奥平野工区)—

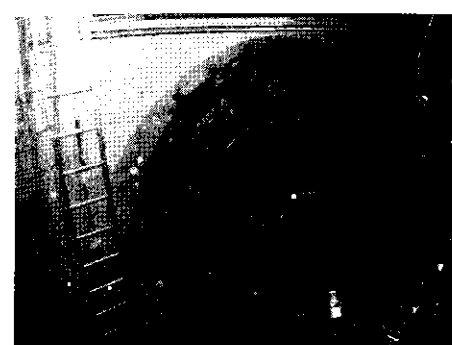
神戸市水道局 出口 佳孝

神戸市水道局が進める大容量送水管整備事業は、芦屋市との市境から奥平野浄水場までの延長12.8kmにおいて、災害・事故時の危険を分散し、高い耐震性と大きな貯留能力を備えることにより、応急給水や早期復旧が可能となるほか、既設送水トンネルを更生する際の代替ルートとして利用することができる多機能な水道管を築造するものである。

このうち、布引立坑から奥平野浄水場までの2.4km区間において、全国で初めて「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」(通称:大深度地下使用法)が適用された。本稿では、大深度地下使用法の適用および施工計画、施工実績を報告する。

First Shield Works Adopting the Deep Underground Law—Kobe City Waterworks Bureau, Okuhirano section By Yoshitaka Deguchi, Kobe City Waterworks Bureau

The high capacity water main project that the Kobe City Waterworks Bureau has put in place is to build 12.8 km stretch of multi-functional underground water main from the boundary with Ashiya City to Okuhirano



写真は立坑にシールドが到達した状況である

Water Purification Plant in order to disperse risk at the time of disasters/accidents, to provide for emergency water supply and early recovery of water supply system through equipping high seismic capacity and to use as an alternative route during restructuring existing water line.

These works were carried out on a 2.4 km stretch of the above project from Nunobiki Shaft to Okuhirano Water Purification Plant and were the nation's first application of the Law on Special Measures for the Public Use of the Deep Underground (commonly known as the Deep Underground Law). This report contains information on the application of the Deep Underground Law, the construction plan and construction results.

掲載頁 17 東京外かく環状道路(関越~東名)のトンネル計画

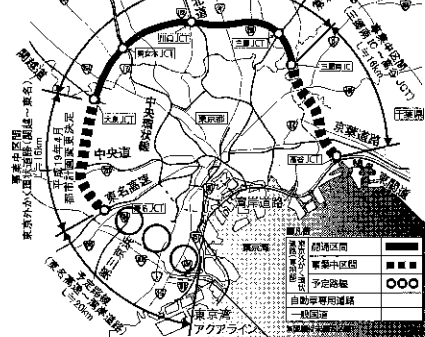
国土交通省 木村 周二

東京外かく環状道路は、首都圏3環状道路を形成し、都心から約15kmの圏域を環状に連絡する延長約85kmの高規格幹線道路である。そのうち、関越自動車道から東名高速道路までの区間は、大部分が地下のトンネル構造で計画されており、本線の大部分は「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」にもとづく「大深度地下」を利用したトンネル構造である。本線トンネルは、片側3車線、直径約16mの国内最大のシールドトンネルの計画となっている。これは、これまで国内最大であった東京湾アクアラインのアクアトンネルの直径約14.2mを上回り、断面積比でも約1.3倍となるものである。

本稿では、これまでの経緯と今後の計画について詳述する。

Plan of Tokyo Outer Ring Road Tunnel (Kan-etsu EXPWY-Tomei EXPWY)

By Shuji Kimura, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism



[JCT・ICは抜粋・開通区間は除く]

図は全体計画と幹線道路網図

The Tokyo Outer Ring Road is a component of three metropolitan ring roads and is a high standard trunk road of approximately 85 km in length connecting circularly the areas approx 15 km away from the centre of Tokyo. Most span of a section between the Kan-etsu Expressway and the Tomei Expressway is planned as a tunnel installed in 'the deep underground' set by the Law on Special Measures for the Public Use of the Deep Underground. The main tunnel is planned as the nation's largest shield tunnel with a diameter of 16 m housing three lanes. This exceeds the previous largest which was the Aqua Tunnel of Tokyo Bay Aqua Line with a diameter of 14.2 m, making it 1.3 times the cross-section area.

This report contains a detailed explanation of background and future plans.

平成17年2月に開業した3路線目の福岡市営地下鉄七隈線は、都心部区間が未整備となっており、新たなルートを加えて総合的な調査・検討を行った結果、平成23年度に福岡市の二大中心部である天神と博多をつなぐ延伸計画の事業化を決定し、平成25年度に工事着手している。

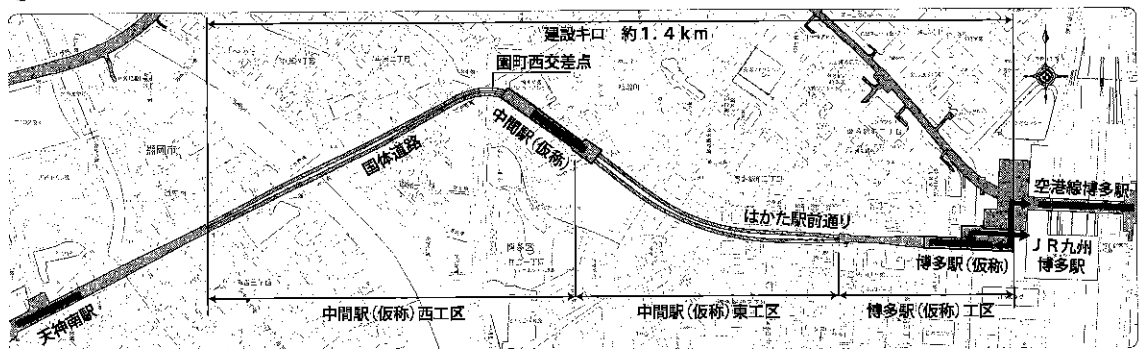
本稿はその計画概要を示したものであり、建設キロ約1.4kmでの全線地下式(開削工法、シールド工法、NATM、アンダーピニング工法)の建設計画において、まず計画区間の地質状況を説明したあと、新設する中間駅(仮称)および博多駅(仮称)や、駅間トンネルの構造形式および工法を示し、その施工計画の要点について述べ、最後に、建築などの施設計画概要について記載するものである。

Fukuoka City Subway Nanakuma Line Extension Plan—Tenjin-Minami Station - Hakata Station—

By Tetsuya Tashiro, Fukuoka City Subway

The city centre section of the Nanakuma Line, the third route on the Fukuoka City Subway opened in February, 2005 has not yet been put in place. As a result of comprehensive surveys / investigations, the decision was made to implement the extension plan linking Tenjin and Hakata, which are two of main areas in Fukuoka City, in 2011 and works began in 2013.

This report shows the outline of this construction plan to built subway lines of 1.4 km underground using cut-and-cover method, shield TBM, NATM, under pinning along with the geological features of the planned section, structural features and construction ways of new station between Tenjin-Minami Station and Hakata Station (provisional names) and tunnels between stations, and the facilities and architectures planning.



図は延伸計画平面図

「ITA総会および世界トンネル会議(イグアス, ブラジル)」報告

日本トンネル技術協会

第40回国際トンネル地下空間協会(ITA)総会は、2014年5月9～14日にブラジルのイグアスで開催し、加盟71か国中、52か国が参加した。また、総会にあわせて開催された2014年世界トンネル会議(WTC)は、ITA、ブラジルトンネル委員会(CBT)の共催により「より良い生活のためのトンネル」のテーマのもとで、約1,500名の参加者があった。

総会では、事業報告などが行われた。2017年の開催地をベルゲン(ノルウェー)に決定した。

世界トンネル会議は、記念講演、基調講演、テクニカルセッション、WTC展示会で構成された。

ITA Annual Meeting and World Tunnel Congress (Iguassu, Brazil) Report

By Japan Tunnelling Association

The International Tunnelling and Underground Space Association (ITA-AITES) held its 40th meeting in Iguassu Falls, Brazil from 9th to 14th May, 2014 with participants from 52 of the 71 member nations. The World Tunnel Congress (WTC) 2014 which was held in conjunction with the meeting had approx. 1,500 participants and jointly held by the ITA, the Brazilian Tunnelling Committee (CBT) with the theme of "Tunnels for Better Future".

Business reports, etc. were given at the meeting. It was decided that the 2017 meeting will be held in Bergen, Norway.

The World Tunnel Congress Program was composed of a commemorative lecture, keynote lectures, technical sessions and WTC exhibitions.



写真は第40回ITA総会会場

覆工はく落に対する定量的な安全性評価法の提案

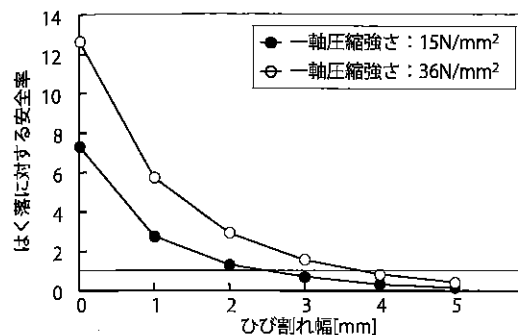
(公財)鉄道総合技術研究所 津野 究

現在、鉄道トンネルにおいては、定期的実施される全般検査の中ではく落に対する健全度を判定している。現行の健全度判定手法は、複数のひび割れが閉じた場合にはく落の危険性が高くなるといった定性的な考え方にもとづいているが、ひび割れ幅などを考慮して定量的にはく落に対する安全性を評価する手法がないのが現状である。本研究では、まず、覆工コンクリート片のひび割れ面に作用するせん断応力とひび割れ面のせん断耐力を比較するモデルを提案した。そして、はく落を模擬した二面せん断試験を実施し、ひび割れ幅やその傾斜角度が大きくなるほどせん断耐力が低下することを確認した。また、ひび割れ面のせん断過程をシミュレーションできる手法の提案および適用性を検証し、実トンネルにおけるはく落安全性の試算を行った。

Quantitative Evaluation for Safety in Falling of Lining Concrete Piece

By Kiwamu Tsuno, Railway Technical Research Institute

Currently, the soundness of tunnel lining is evaluated in general inspections which are regularly implemented. The current soundness evaluation is based on qualitative criteria of judgment in which the risk of falling of lining concrete piece might become higher when multiple cracks connect with each other, and there is currently no method to evaluate the safety of the falling of concrete piece taking quantitative criteria such as crack width into consideration. This paper, first of all, proposed a model for comparing the shear stress acting on crack surfaces with shear capacity. Then, it was confirmed that shear capacity decreases with widening of the crack or inclining crack angle based on a double shear test simulating the falling. In addition, the safety in the falling of lining concrete pieces is estimated based on verified proposed method under the situation assumed at the actual tunnels.



図ははく落に対する安全性の試算例

全周波数帯域に対応したトンネル発破消音システムの開発

(株)大林組 本田 泰大

トンネル発破音は、広い周波数帯域にわたり、衝撃的で非常に大きなエネルギーを発生する特徴がある。とくに低周波音は、建具(窓やサッシなど)がたつく物的苦情や不快感や耳鳴りなどが生じる心身にかかわる苦情の原因となることがある。従来はその対策としてコンクリート充填式や砂充填式の重厚な防音扉が用いられてきたが、低周波音の低減効果は小さかった。そこで、防音扉に替わる新技術として音響管を用いた消音器と平行吸音板を用いた消音器を併用した全周波数帯域に対応する山岳トンネル発破消音システムを開発した。山岳トンネル現場でその効果を検証したところ、16Hz～4kHzオクターブバンドで防音扉を上回る約10～25dBの低減効果が得られた。

Blasting Noise Cancellation System Corresponds to Entire Frequency Bands

By Yasuhiro Honda, Obayashi Corporation

The noise from blasting has the characteristics of generating shocking and extremely large amounts of energy across to entire frequency bands. In particular, low-frequency sounds can cause complaints about fittings (windows or window frames) rattling and health damage such as discomfort and tinnitus. Traditionally, countermeasures such as massive concrete-/sand-filled soundproof doors were used but it react poorly to low frequency sounds. Therefore, we developed a new blasting noise cancellation system for mountain tunnels that corresponds to entire frequency bands. It is composed of silencers using acoustic tubes and silencers using parallel acoustic board. We verified these effects at actual tunnels, and obtained an effect of reducing noise by approx. 10 to 25 dB which exceeds that of sound proof doors at octave-band of 16 Hz-4 kHz.



写真は音響管式消音器の設置状況

将来の建設業のために



前田建設工業(株)取締役常務執行役員土木事業本部長(本協会評議員)

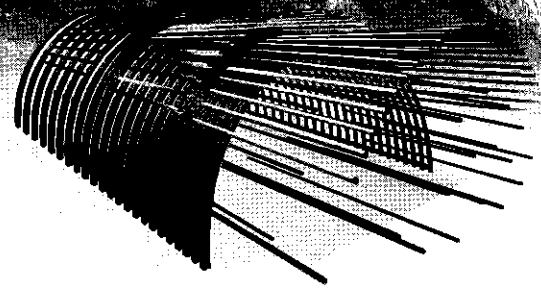
足立 宏美

入社以来25年間、土木技術者として工事現場に携わってきた。その間に整備新幹線や高速道路の長大トンネルを経験させていただいたこともあり、若い頃から「トンネルと地下」からは強い刺激をいただいた。当誌に自分の工事を報告することを目標にしていた当時が懐かしく思い出される。当誌には日本トンネル技術協会の協会誌として、研究から山岳・都市の鉄道、道路やサービスの事業の計画や設計、施工にかかわる貴重な情報が掲載されている。何かと多事多端の中で、工事に携わっている技術者達が、かつての私以上の思いと志をもって仕事にあたっていただくことを切に期待している。

日本文化の魅力が世界に認められてきていると実感することができるようになり、6年後の東京オリンピックが、バブルの崩壊以降漫然と抱き続けてきた閉塞感やデフレ感から抜け出すエポック・メイキングになってくれることを多くの日本国民が期待している。オリンピックに向けた整備やリニア中央新幹線、東京外かく環状道路などのビッグプロジェクトの建設がまさに本格的に始まろうとしているが、建設業においても日本のプレゼンスを世界に高める好機にしなければならない。

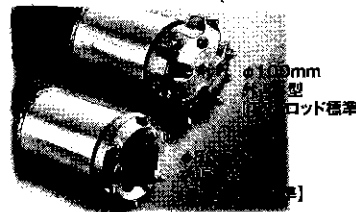
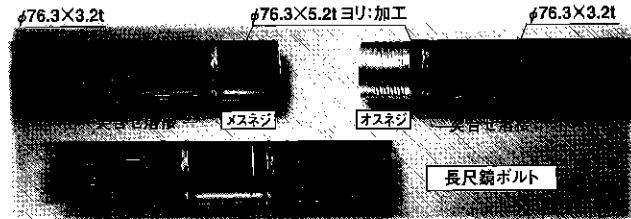
しかし、日本でのインフラの整備の現状をみると、1998年をピークに減少をし続けた公共事業費に必死に順応してきた建設業は「人不足」という問題を抱え、本来であれば強力で推進しなければならない東北の復興事業にも深刻な影を投げかけているとともに、これから本格的に始まるビッグプロジェクトへの影響も懸念されている。「人不足」としてとくに問題があるのが若者の建設業離れであり、建設業の就業者数をもても全産業に比べ、55歳以上の高齢者が33%と増加する一方、29歳以下の若年層の減少が続き今や10%まで落ち込み高齢化が著しく進行している。このような状況の中、活力のある若い人材を継続的に確保することが大変困難になっているという深刻な問題になってきている。確かにわが社の人口ピラミッドをみると、熟練者でも部下を配置してもらえない状

ユニークな発想でVEを提案



ストローク
FIXチューブ(S型)

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

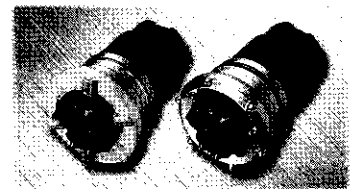
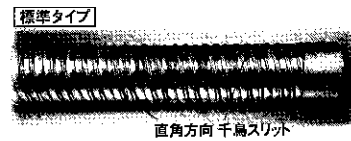


AGF-STD工法

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



撤去管の選択



規格	外径	径間ピッチ
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

- ※ウレタン系注入材: NEW-TSRF, NEW-TBU
- ※セメント系注入材: コロイダルスーパー、デンカES
- ※セメント系充填材: デンカPモル
- ※高速フォアポーリング: SP-IF工法
- ※高速ルートパイル: SPフィックスパイル工法
- ※φ27.2注入管、自穿孔ボルト各種在庫あり

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

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

況になっており、キャリアに伴う成功体験がしづらい環境になってきている。さらに、少子高齢化・人口減少・縮小経済という予測の中で、建設業はまったなしに維持管理の時代に突入することが強調され、若者のゼネコン離れに拍車をかけている。

仕事の環境が厳しいのは何も建設業だけの問題ではないことを考えれば、その魅力を若者や広く国民に対して伝える工夫が必要であり、「世界で活躍できる(日本の)建設業を目指す!」と言うような飛躍感のある将来像を強く打ち出す施策がなくてはならない。そのための施策としては、建設業のイメージアップ、女性技術者の活用、新たなキャリアパスの創生などが挙げられるが、これらの施策を着実に推進することが必要である。また、オリンピック以降の公共投資の減少によるグローバル化や新たな分野への挑戦を見据えれば、若者たちを惹きつけるものづくりの「技術イノベーション」を実現することも必要である。山岳トンネルでのNATMの「日本化」はうまく成功しているが、その技術の発祥はヨーロッパである。近年、入札方式の変革により山岳トンネルにおける覆工技術の開発は著しいが、世界標準となるまで成熟していない。確かに、ヨーロッパのような共有の研究用トンネルがなく、現地単品受注生産型である日本の建設業では、世界に通じる「技術イノベーション」を実現するためのハードルはかなり高い。しかし、現在、若い技術者たちが主体となって取り組んでいるIT化やCIM、ロボット化技術をきっかけにイノベーションが実現されることを期待したい。

いよいよ国内では再生可能エネルギーなどのインフラ事業の推進や、官が所有するインフラの運営を民間が担うというコンセッション事業への取り組みが始まった。世界のインフラに対して工事の請負ばかりでなく建設サービスとのユニットで考えれば、日本人の持っている「おもてなし」などの精神がうまく受け入れられて、良い方向に結びつく可能性もある。なんとしても若者が注目する建設業を実現したい。そのために、東北の復興やビッグプロジェクトでのモノづくりをどのようにするかがとても重要になると感じている。ただ忙しく汗を流して頑張るだけでは、今までと変わらないばかりか、厳しい終焉を待つことになる。建設業の活路を踏み出す最後のチャンスになる。願わくは、工事で物づくりに従事している多くの技術者が、夢のある将来が自分たちの汗の延長線上にあることを感じてもらえるような、世界に評価される「魅力のある技術」が生み出されることを期待する。

施工

全国初の大深度法を適用したシールド工事

—神戸市水道局 大容量送水管(奥平野工区)—

神戸市水道局事業部施設課設計係長 出口 佳 孝

神戸市水道局事業部浄水管理センター工事係係長 永 里 忠 裕

安藤ハザマ・西武・不動テトラ特定建設工事共同企業体奥平野シールド作業所所長 荒 東 伸 一

安藤ハザマ・西武・不動テトラ特定建設工事共同企業体奥平野シールド作業所主任 三 山 敬 広

1 はじめに

神戸市水道局では、阪神・淡路大震災の経験を踏まえ、「神戸市水道施設耐震化基本計画」を策定し、「災害に強い水道づくり」を進めている。

基本計画の主要施策の1つである「大容量送水管」は、災害・事故時の危険を分散し、高い耐震性と大きな貯留能力を備えることにより、応急給水や早期復旧が可能となるほか、既設送水トンネルを更生する際の代替ルートとして利用すること

ができる多機能な水道管である。その全体平面図を図-1に示す。

事業区間は、芦屋市との市境から奥平野浄水場までの本線延長12.8kmで、そのうち市境から住吉川立坑までの3.8km区間は、平成8(1996)年度に着手し、平成15(2003)年6月に供用を開始した。住吉川立坑から布引立坑までの6.6km区間は、平成15(2003)年度に着手し、平成22(2010)年度に工事が完了した。

現在、残る布引立坑から奥平野浄水場までの

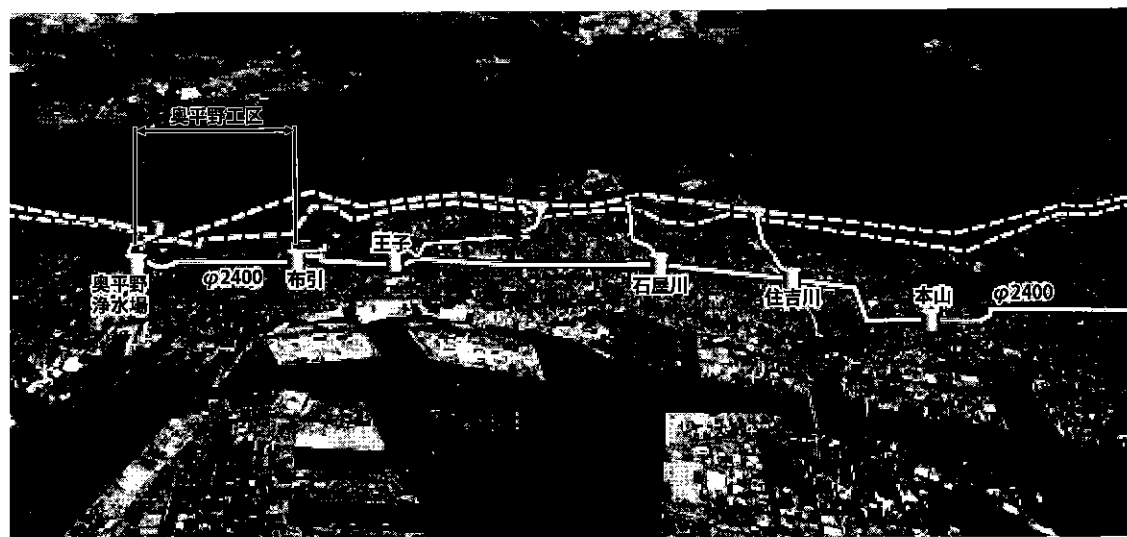


図-1 大容量送水管全体平面図

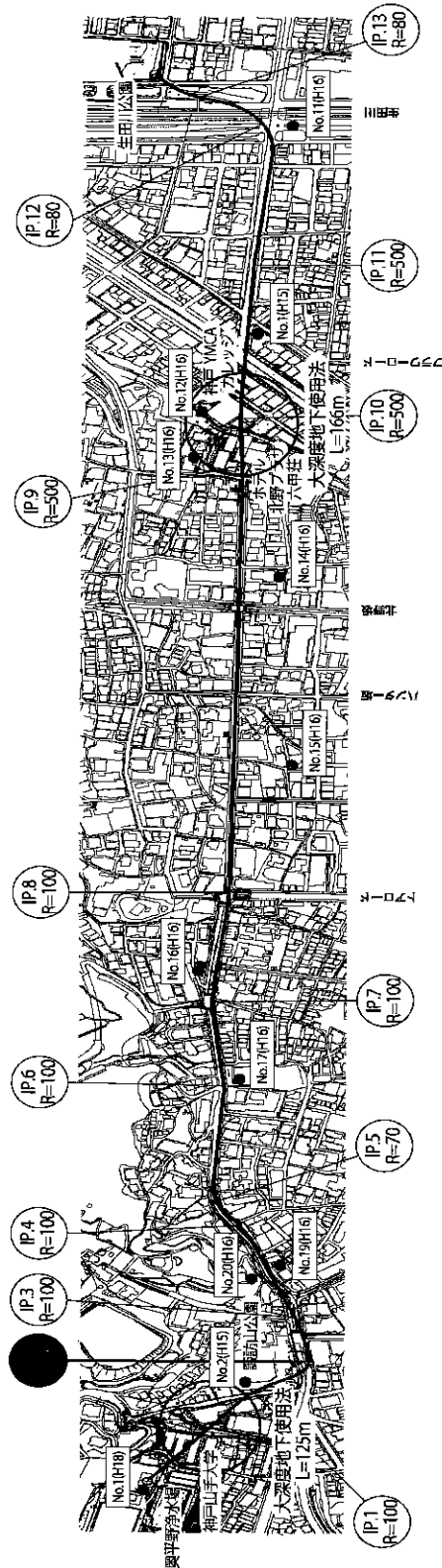


図-2 奥平野工区平面図

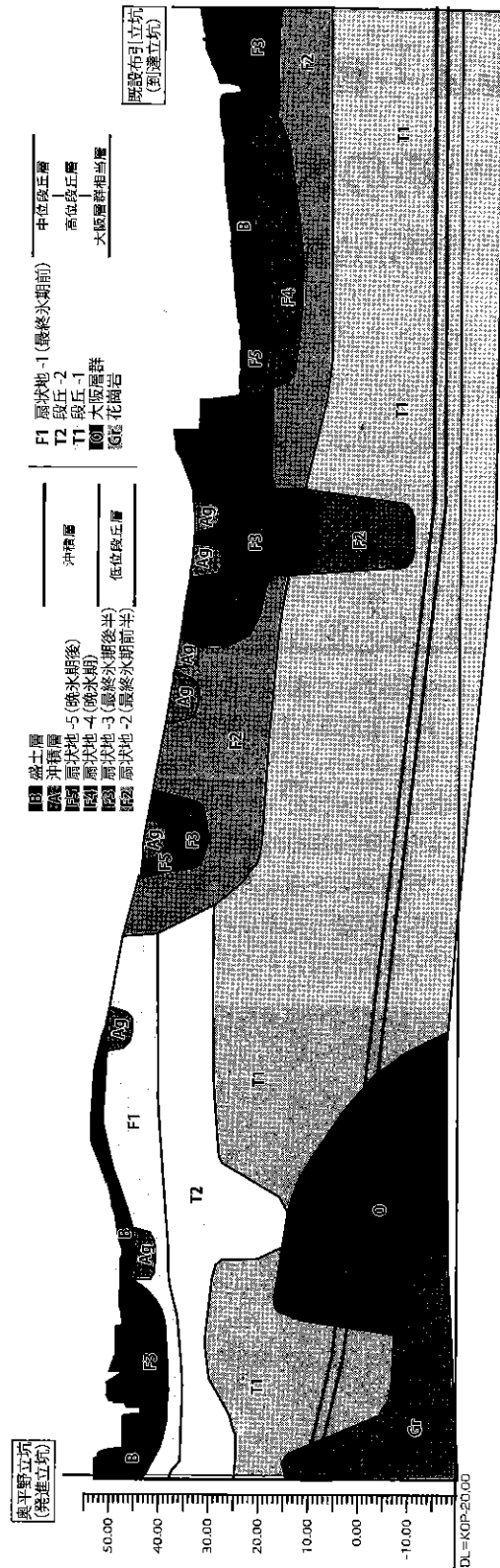


図-3 土質縦断面図

2.4km区間(奥平野工区)の工事を進めており、奥平野浄水場から発進したシールドが平成26(2014)年3月24日に布引立坑に到達した。

本稿では、全国で初めて「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」(通称：大深度地下使用法)が適用された奥平野工区について、大深度地下使用法の適用および施工計画、施工実績を報告する。

2 工事概要

奥平野工区の工事概要は、以下のとおりである。奥平野工区の平面図を図-2、土質縦断面図を図-3に示す。

工 事 名：大容量送水管(奥平野工区)整備工事
 工事期間：平成20(2008)年5月3日～平成27(2015)年5月31日

【奥平野立坑(発進立坑)】

自動化オープンケーソン工法(SOCS)
 ケーソン外径φ12.6m×掘削深さ51.5m

【一次覆工】

泥土圧式シールド工法
 セグメント外径φ3,350mm, 延長L=2,384.6m

【二次覆工】

水道本管径φ2,400mm, 延長L=2,386.1m

3 大深度地下使用法の適用

3-1 法律の概要

平成13(2001)年4月に大深度地下使用法が施行されたことにより、通常使用されることがない地下空間が公共の利益となる事業の実施にかぎり、土地所有者などへ事前に補償を行うことなく使用できるようになった。

この法律において大深度地下とは、建築物の地下室建設のために利用が通常行われない深さ(地下40m以深)、または、建築物の基礎として利用がなされない深さ(支持地盤から10m以深)のうち、いずれか深い方の空間をいう。

3-2 適用のメリット

本法律を適用しない場合、布引立坑と奥平野浄水場間をつなぐ公道下のみを占用するルートでは、

大きく迂回せざるを得なかった。一方、本工区は地下約15mにある神戸市営地下鉄および新神戸トンネルを下越しする必要があることから、深い線形を余儀なくされる区間となっていた。そこで、一部民有地に本法律を適用することでルートが直線的となり、延長を600m(3.0km→2.4km)短縮することができ、合わせてコストの縮減も図ることができた。

4 施工計画

4-1 本工事の特徴

- 本工事の特徴は、以下のようまとめられる。
- ・全国初の大深度地下使用法適用工事
 - ・土かぶり40m以上の大深度でのシールド発進、掘進、到達(最大土かぶり約57m)
 - ・発進立坑直後の新鮮な花崗岩からなる岩盤層、φ600mm以上の巨礫を含む砂礫層、砂礫や固結シルトより構成される粘性の高い層といったさまざまな土質構成

本工事の施工にあたっては、これらの特徴を踏まえて施工計画を立案した。

4-2 泥土圧シールド工法の採用

本工事は、最大土かぶり約57mの大深度であり、高水圧下での長距離掘進となる。また、前節で述べたとおり、掘削対象土もさまざまな土質で構成される。このような難条件に対抗するため、取込み最大礫径を大きくすることによる掘進の効率化とビット摩耗量の軽減、および粘性土掘削時の面板閉塞防止を目的に、開口率の高い泥土圧シールド工法を採用した。

4-3 シールドの仕様

本工事で採用する泥土圧シールド(写真-1)の構造図を図-4に、仕様を表-1に示す。

カッタヘッドは、岩盤層や巨礫、あるいは粘性土の掘削に対応させるため、掘削地山に応じてビットを換装させた。この際、ビット交換はカッタ背面(チャンバ内)から換装可能な機構を有する。岩盤層やφ600mm以上の巨礫を含む砂礫層に対しては、ローラーカッタを装備した破碎型のカッタヘッドとした。また、玉石混じり砂・粘土を主体とし

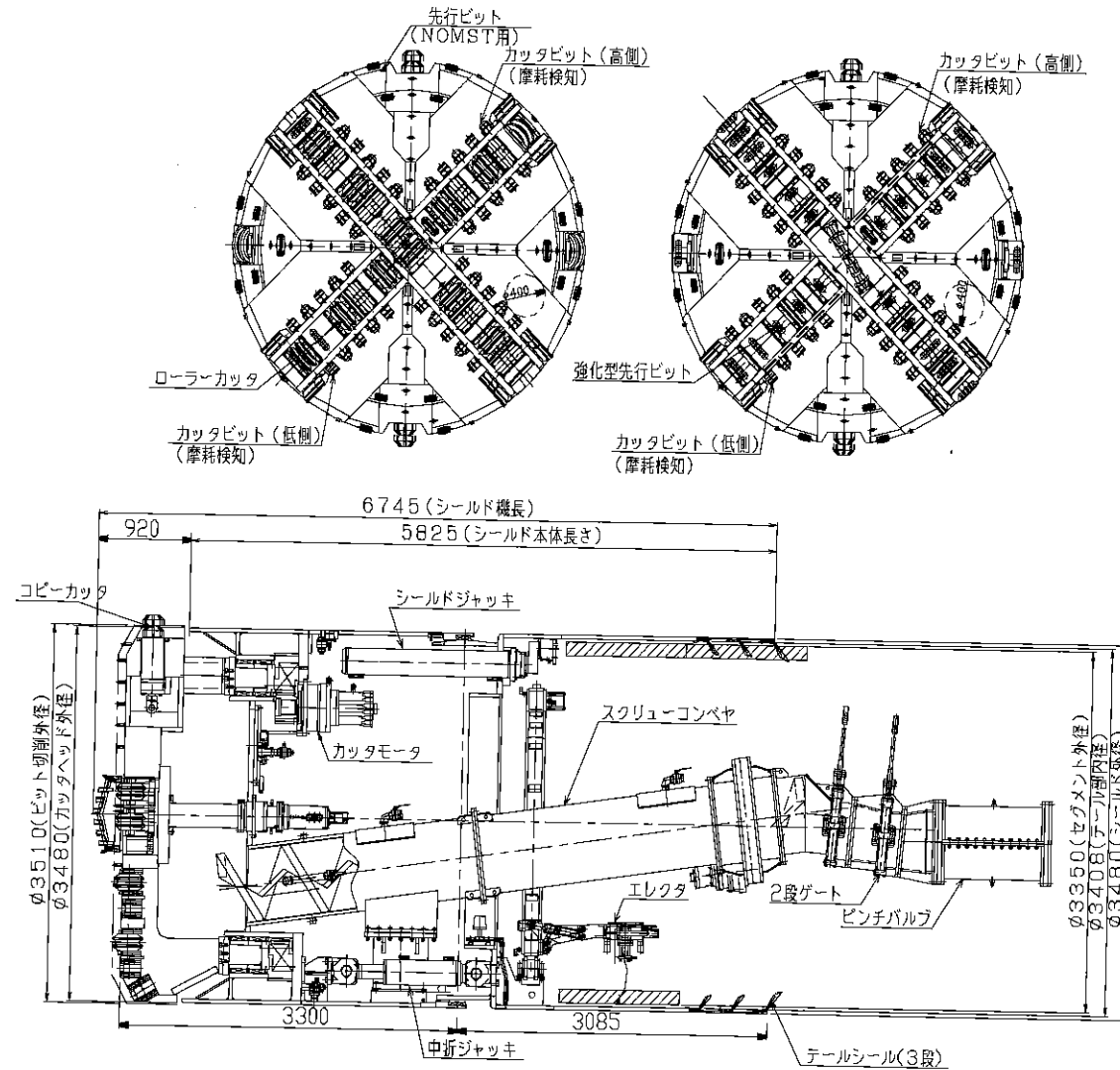


図-4 シールド構造図

表-1 シールド仕様

シールドジャッキ仕様		カッタ装置仕様	
ストローク	1,350mm	形	式 中間支持
推力×本数=総推力	1,000kN×12本=12,000kN	トルク	低トルク時 1,159.3kN・m(16.7MPa)($\alpha=27.5$)
切羽単位面積あたり推力	1,261.6kN/m ²		高トルク時 1,704.8kN・m(24.5MPa)($\alpha=40.5$)
伸長速度	V=6.0cm/min (NOMST切前時0.3~1mm/min)	回転数	低トルク時 ~1.59min ⁻¹
			高トルク時 ~1.09min ⁻¹
パワーユニット	油圧ポンプ	油圧モーター	ME1300AG+MRP1801N-112×6台
			8.07L/rev×32.12kN・m(24.5MPa)
	電動機	油圧ポンプ	K3VG-180×3台
			227.1L/min(高トルク時155.6L/min)
		電動機	75kW×4p×440V×60Hz×3台

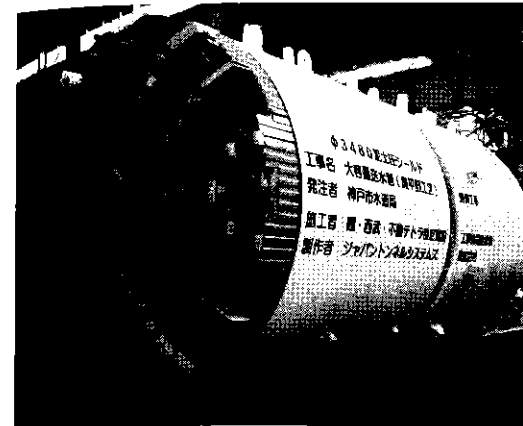


写真-1 シールド



写真-2 垂直搬送機

た掘削地山に対しては、 $\phi 600\text{mm}$ 以下の玉石をそのまま取込む計画とし、強化型先行ビットを装備したカッタヘッドとした(厳密には、カッタヘッド開口率、スクリーコンベヤの仕様から、取込み可能な最大礫径は $\phi 570 \times 400\text{mm}$ となる)。

また、大深度での掘進となるため、スクリーコンベヤ排土ゲートの2段化やピンチバルブの装備といった高水圧対策を行った。この排土ゲートについてはアキュムレータを装備し、停電などの異常時においても全閉できる機構を有する。

その他、急曲線($R=30\text{m}$)に対応するため、中折れ装置、コピーカッタを装備した。

4-4 シールド設備

4-4-1 高水圧対策設備

先に述べた2段ゲートやピンチバルブに加え、チャンバ内およびスクリーコンベヤ内に高吸水性樹脂を注入する設備を別途設けた。これにより地下水をゲル化させ、切羽の安定やスクリーコンベヤプラグ効果の増大を図った。

4-4-2 掘削土砂の搬出設備

スクリーコンベヤより排出された土砂は、ベルトコンベヤで受け、ずり鋼車(2.5m³積み)にて搬送・積み込みを行った。ずり鋼車3台をバッテリー機関車で牽引し、これを2編成とすることで1リング分の掘削土砂を運搬した。

4-4-3 立坑垂直搬送機

ずり鋼車の揚重やセグメントなどの資材投入といった立坑での揚重作業は、掘進量に応じてその

回数が増大するが、本工事の立坑は大深度であるため、揚重作業が施工サイクルに与える影響も大きい。また、揚重作業時における立坑内の昇降、および坑内入出坑の安全確保といった問題も生じる。本工事では、上記の対策として、天井クレーンのほかに、巻上げ・巻下げが半自動である垂直搬送機を設置した(写真-2)。

4-5 覆工構造

本工事の一次覆工には、外径 $\phi 3,350\text{mm}$ の鋼製セグメントを使用した。一般部は1,200mm幅のセグメントを使用し、 $R=30\text{m}$ 区間用として500mm幅、 $R=70\text{m}$ および80m区間用として1,000mm幅のセグメントを使用した。また、セグメントとセグメント内部に設置する水道本管($\phi 2,400\text{mm}$ 鋼管)の間の空隙には、エアモルタルを充填するが、大深度地下使用法適用区間は、コンクリートを充填する構造とした。

5 施工実績

5-1 シールド発進工

発進時の異常出水、地山崩壊防止対策として以下の4点を実施した(図-5)。

5-1-1 直接切削(NOMST)工法の採用

シールド発進部の仮壁を直接切削可能な材料(連続繊維補強材と石灰砕石コンクリート)で構成し、土留めとしての機能を持たせ、切羽(地山)を露出せずに発進が可能な工法を採用した。また、シールドのカッタヘッドには、NOMST切削専用

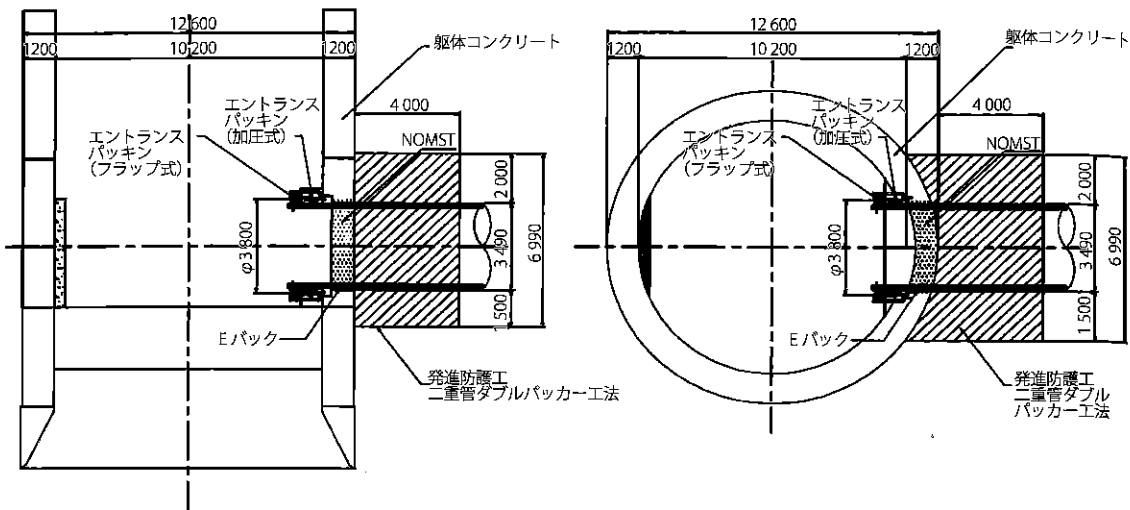


図-5 発進防護図

ビットを配置した。

5-1-2 発進防護工

対象地盤が砂質土(風化花崗岩)の破碎帯であること、施工深度がGL-45mとなることから、浸透性・止水性に優れ、信頼性の高い二重管ダブルパッカー工法を採用した。また、薬剤についても、浸透性に優れ高い固結強度を得られる薬液(ハードライザー・セブン)を選定した。

5-1-3 2段エントランスパッキングの設置

エントランスとシールドおよびセグメントとのクリアランスからの地下水や地山の流入を防止するため、エントランスパッキングを設置した。立坑側(1段目)に一般的なフラップ式のパッキングを設置し、切羽側(2段目)には加圧式のパッキングを設置した。2段パッキングとすることにより、シールド中折れ部やセグメントへの段落ち部などの形状変化部においても、パッキングのどちらかはシールドもしくはセグメントに接している状態となり、安全性と止水性を常時確保した。

5-1-4 Eバック工法の採用

Eバックは、セグメントの背面に設置した充填膨張袋を裏込め注入圧で膨張させることにより、セグメント外周にドーナツ形の袋状リングを形成するものである。この袋が注入圧により地山と密着し、セグメント背面を確実に充填、止水する工法である。通常、急曲線での地盤反力確保などの

補助工法に使用されることが多いが、今回は坑口から2リング目のセグメントに設置し、セグメントとNOMST壁との空隙を充填することで、地山からの地下水などの流入を防止した。

5-2 シールド掘進工

5-2-1 掘進実績

シールド掘進は平成23(2011)年12月に開始し、途中、大規模な面板補修とビット交換を経て、約2年3か月後の平成26(2014)年3月に到達を迎えた。

本工事では、強化型先行ビットを装備したカッタヘッドで最大月進量363m(掘進延長約1,000m時)、ローラーカッタを装備したカッタヘッドで最大月進量303m(掘進延長約2,200m時)を記録した。

5-2-2 大深度地下使用法適用区間

大深度地下使用法の適用区間については、平成24(2012)年3月に最初の区間(125m)を、平成25(2013)年12月に2か所目の区間(166m)を無事通過した。

大深度地下使用法適用区間の施工にあたっては、上部構造物への影響を防止するため、切羽管理や裏込め注入管理を徹底する必要がある。そのほかにも、この区間は必然的に大深度であること、さらに地上部の施工ヤード確保が困難になることから、当該区間で掘進不能(ビット損傷など)に陥らないよう事前にビット摩耗量の確認およびシールド

ド設備の再点検などを行い、万全の体制を整えた。

また、本工事のように岩盤層や玉石混じり砂礫層といった硬質な地盤を掘進する場合は、上部構造物、近接構造物などへの固体音の伝搬にも配慮するため、掘進速度を抑えたり、作業時間帯に気を配った。

5-3 ビット交換

本工事では、シールド掘進途中でのビット交換を合計3回実施した。

5-3-1 第1回ビット交換

計画どおり、発進から約200mの岩盤層および玉石混じり砂礫層の区間は、ローラーカッタを装備したカッタヘッドにて掘進を完了し、このあとに続く粘性の高い大阪層群の掘進に備え、強化型先行ビットを装備したカッタヘッドへの換装を行った。

このビット交換を行う際の補助工法としては、地上公園部を占用し、二重管ダブルパッカー工法による地盤改良を採用した。ビット交換はすべてカッタ背面(チャンバ内)からの作業であり、異常出水などもなく無事完了した。

5-3-2 第2回ビット交換

強化型先行ビットを装備したカッタヘッドにて大阪層群の掘進を完了し、その後も順調に掘進を進めていたが、掘進延長1,200m付近から取込み最大礫径を超える玉石(花崗岩)が断続的に発生し

た。その結果、ローラーカッタを装備していない状況であったため、玉石掘削による衝撃と異常摩耗などで、ビットおよび面板が著しく損傷し、掘進延長1,250m付近(土かぶり50m、水圧450kPa)で掘進が困難な状態となった。

そのため、シールド内からの薬液注入(ミゼットドリル、二重管ストレナー工法)を行ったのちに面板の補修を試みたが、シールド上部の透水層に対して改良体の強度が不足し、補修作業が不可能となった。当該地点においては、地上施工ヤードの確保も難しく、さまざまな補助工法、施工方法を検討した結果、全国初となる機内からの凍結工法によるビット交換を採用した(図-6、写真-3)。大掛かりなシールド解体作業から凍結管の埋設、

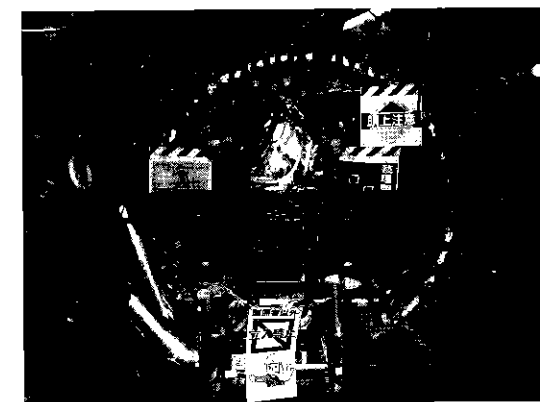


写真-3 シールド構内凍結状況

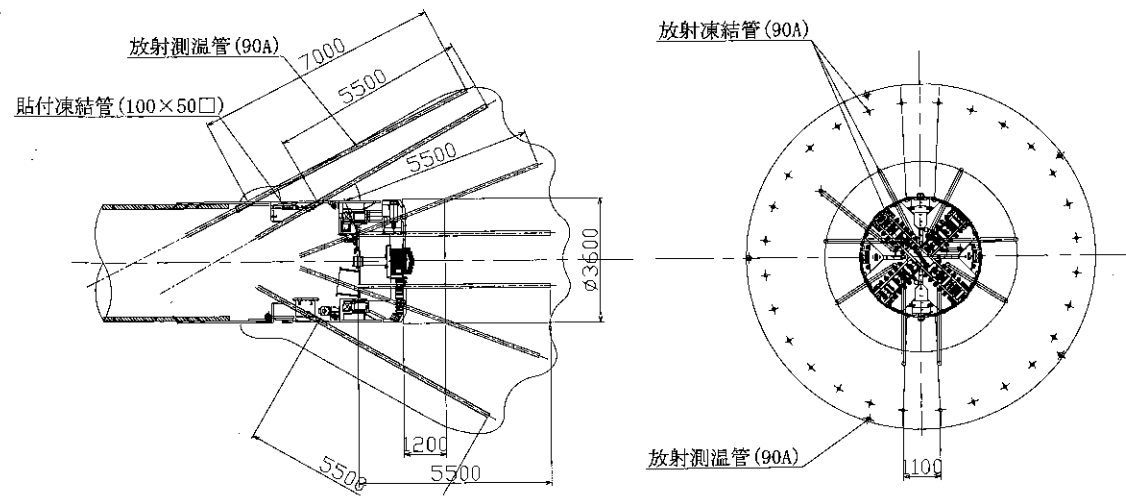


図-6 凍結管配置図

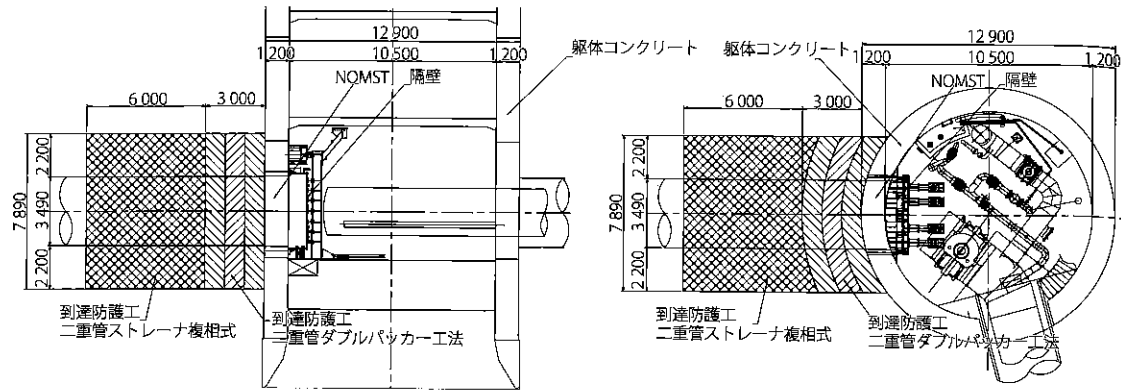


図-7 到達防護図

凍土造成までに約5か月、凍土掘削からビット交換および面板補修、シールド復旧までに約4か月とかなりの期間を要することになったが、地山崩落などもなく作業は無事完了した。カッタヘッドは、後半の掘進に備え、ローラーカッタを装備したものとした。

5-3-3 第3回ビット交換

2か所目の大深度地下使用法適用区間を通過し、掘進延長約1,900m、到達まで約500mを残した地点でのビット交換である。生田川直下での巨礫出現も想定されることから、カッタヘッドはローラーカッタを装備したものであり、ビットの仕様は変更しなかった。

このビット交換を行う際の補助工法としては、地上道路部を占用し、二重管ダブルパッカー工法による地盤改良を採用した。ビット交換はすべてカッタ背面(チャンバ内)からの作業であり、異常出水などもなく無事完了した。

5-4 シールド到達工

到達立坑は設備がすべて供用中であったため、入念な到達計画の策定と異常出水時の対策を万全にする必要があった。到達時の異常出水、地山崩壊防止対策として以下の3点を実施した(図-7)。

5-4-1 到達防護工

地盤改良工としては、ダブルパッカー工法によるハイブリットシリカ(超微粒子複合シリカグラウト)+二重管ストレナー複相式による無機溶液型シリカグラウトを採用した。ハイブリットシリカの浸透固結体は高圧噴射注入工法の固結体と



写真-4 到達坑口

同程度の強度(2.0~2.5MN/m²)を発揮するものであり、ビット交換時、到達時の地山崩壊防止と止水に優れた効果が期待できる。また、二重管ストレナー複相式は注入深度がGL-55mと大深度となり、地上からの施工は削孔精度が確保できないため、立坑内からの水平注入として削孔距離を短縮し注入精度を確保した。

5-4-2 直接切削(NOMST)工法の採用

シールド到達部は前工事でNOMST壁となっていたため、安全性からもこれを直接切削することとした。ただし、到達時のローラーカッタが主体となるカッタヘッドではNOMST壁の切削が不可能なため、NOMST壁手前0.2mの位置、到達防護工の改良体内にて掘進を一時停止し、NOMSTビットへの換装を行った。

5-4-3 到達坑口への隔壁設置

シールドの到達方法が直接切削となったので、到達エントランスは円筒部と蓋により密閉された



写真-5 トンネルウォーク

構造とし、地下水圧にも耐えうる強度を持たせた(写真-4)。

これにより、異常出水時においても、供用中設備側への地下水の流入を防いだ。また、到達立坑内へ地下水が流入した場合に備えて、高揚程サンドポンプ(0.5m³/min)および高揚程水中ポンプ(1.0m³/min)を配置した。

6 おわりに

本工区は平成8(1996)年度に着手した「大容量送水管整備事業」の最終工区であり、シールドが布引立坑へ到達したことにより、大容量送水管のトンネル全区間12.8kmがひとつにつながった。

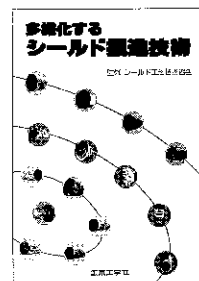


写真-6 応急給水訓練

このトンネル貫通を記念して、4月27、29日に市民を対象にトンネル内を歩くイベント「トンネルウォーク」を開催した(写真-5)。また立坑地上部では、仮設給水栓による応急給水訓練もあわせて実施した(写真-6)。

今後は、トンネル内に水道管を挿入する工事や奥平野立坑の応急給水設備などの整備を引続き行い、平成27(2015)年度完成に向けて工事を進めていく所存である。

最後に、本報告書が今後大深度地下使用法を適用する工事やそのシールド設計の参考となれば幸いです。



多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会
B5判 141頁 本体価格2,500円

株式会社 土木工学社

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



信仰の山「霊山」の麓より～相馬福島道路

水口 均

霊山は福島県の伊達市と相馬市との境にそびえる標高825mの山である。霊山は「リョウゼン」と読む、山を「セン」と読むのは大山や水ノ山、扇ノ山のように中国・山陰地方に多いがここ福島では珍しい。

名前はいかにも厳かな感じがするが、貞観元(859)年、比叡山延暦寺の座主円仁(慈覚大師)によって開山されたといわれ、釈迦が修業したというインドの霊鷲山にちなみ霊山と命名された。山号を南岳山三王院霊山寺と称し、往時は多くの寺領を有し、南奥における宗教・文化の中心地として栄えた。

延元2(1337)年、陸奥守北畠顕家は後醍醐天皇の皇子義良親王を奉じて霊山に抛り、南朝再興を策してここに国府を開いたが、貞和3(1347)年、北朝方の勢力に抗しきれず落城し、山中の堂宇はことごとく焼失した。いま霊山山中には数多くの遺跡群が埋もれており、往時の栄華を今に伝えている。

このような悠久の歴史を秘め、四季折々に山容を変える霊山は、玄武岩質の火山角礫岩によって構成された溶岩台地で、台地の周囲には直立する柱状節理が形成されている。長い年月にわたる風化浸食作用によってできた奇岩・怪岩と、岩間に映える新緑、紅葉は素晴らしく、国の史跡・名勝や日本百景、新百名山にも指定されている。

現在は遊歩道がよく整備されて登りやすい山となっており、弁天岩、天狗の相撲場、蟻の戸渡などと呼ば



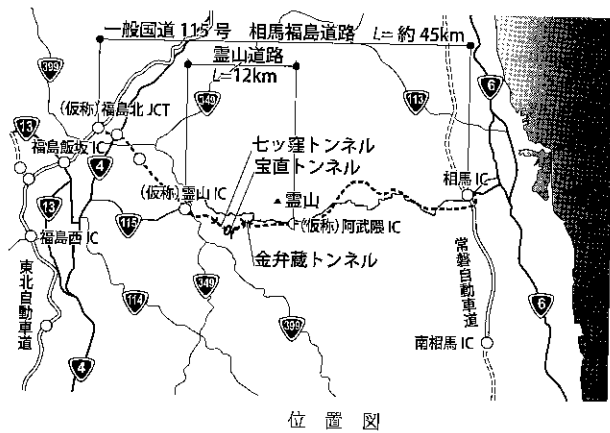
霊山

れる奇岩巡りができる。また福島県の中通りと浜通りの境に位置する分水嶺の一端を成しており、西物見岩からは福島市街地や伊達市、東物見岩からは相馬市街地や太平洋までも望むことができ、とくに10月下旬の紅葉時期には多くの登山客で賑わう。

霊山道路は福島県中通りの福島市と浜通りの相馬を結ぶ国道115号の信頼性・速達性を図って計画された相馬福島道路のうち、伊達市霊山地区を通過する12kmの区間である。東日本大震災からの早期復興を図るリーディングプロジェクトとして位置づけられた高規格幹線道路(自動車専用道路)である。

復興支援道路として本道路の緊急整備が実施されることにより、被災地と内陸部の連携が強化され、被災地の復興を支援することから、早期完成が望まれている。

本工事は霊山道路の中で最も長い七ツ窪トンネル(1,404m)と金弁蔵トンネル(626m)、宝直トンネル(161m)の3本のトンネルを新設する工事である。工期は平成28(2016)年3月7日であるが、現在2本のトンネルの掘削と覆工コンクリートを施工中で、最盛期を迎えており、工事の安全と早期完成に向け、地元の人々も含め皆で力を合わせ鋭意邁進中である。(飛鳥建設(株)霊山道路トンネル作業所所長)



位置図

計画

東京外かく環状道路(関越～東名)のトンネル計画

国土交通省関東地方整備局東京外かく環状国道事務所長 木村 周二

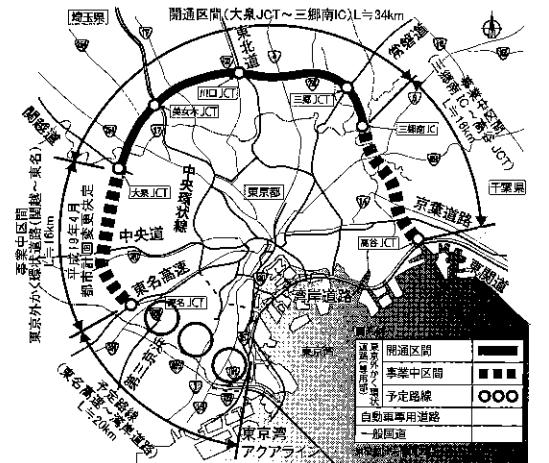
東日本高速道路(株)関東支社東京外環工事事務所長 堀 圭一

中日本高速道路(株)東京支社東京工事事務所長 合田 聡

1 はじめに

1-1 東京外環(関越～東名)の概要

東京外かく環状道路は、首都圏3環状道路を形成し、都心から約15kmの圏域を環状に連絡する延長約85kmの高規格幹線道路である(図-1)。そのうち、関越自動車道から東名高速道路までの区間(以下、「東京外環」または「本事業」と記載)は、大部分が地下のトンネル構造で計画され、平成21(2009)年5月に事業化されている。以降、鋭意事業を進めてきており、その概要を本稿で詳述する。なお、本稿で記載されているJCTおよびICで未開通のもの名称はすべて仮称である。



[JCT・ICは仮称・開通区間は除く]

図-1 全体計画と幹線道路網図

2 東京外環(関越～東名)の諸元など

2-1 東京外環(関越～東名)のおもな構造

東京外環は、大泉JCT(練馬区)において開通している東京外環自動車道と接続し、練馬区から杉並区、武蔵野市、三鷹市、世田谷区、調布市、狛江市を経て世田谷区宇奈根3丁目で東名高速道路に接続する片側3車線、延長は約16.2km、道路構造令上の道路種別は第2種第1級、設計速度80km/hの高速自動車国道である(図-2,3)。詳細は後述するが、本線の大部分は、「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」(以下、「大深度地下使用法」と記載)にもとづく「大深度地下」を使用したトンネル構造であり、本線トンネルは、片側3車線、直径約16mの国内最大のシールドト

ンネルの計画となっている。これは、これまで国内最大であった東京湾アクアラインのアクアトンネルの直径約14.2mを上回り、断面積比では約1.3倍となる。

連絡施設としては、関越自動車道と接続する大泉JCT、中央自動車道と接続する中央JCT、東名高速道路と接続する東名JCT、大泉JCTと併設され目白通りと接続する目白通りIC、中央JCTと併設され東八道路と接続する東八道路IC、単独で青梅街道と接続する青梅街道ICが設置される予定である。なお、青梅街道ICは大泉JCT方向のみ乗り降りできるハーフィンターである。

青梅街道ICは1車線ランプ、中央JCT/東八道路ICは2車線ランプ、東名JCTは3車線ランプで

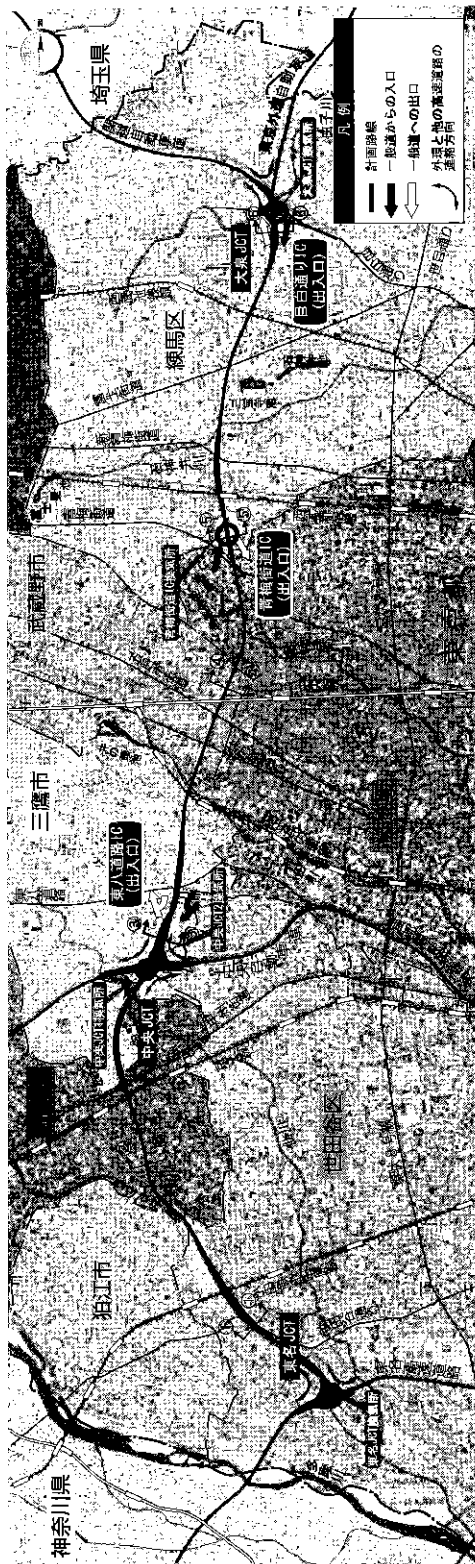


図2 東京外かく環状道路(関越～東名)平面図

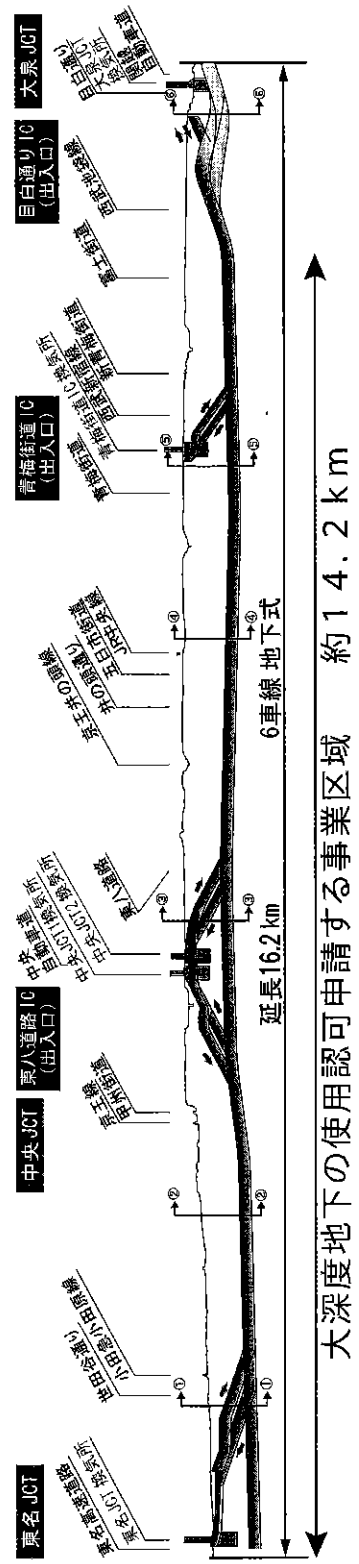


図3 東京外かく環状道路(関越～東名)縦断面図

大深度地下の使用認可申請する事業区域 約14.2km

あり、地下の本線トンネルとの接続のためのランプトンネルは、本線トンネルと同様のシールド工法を予定している。本線シールドトンネルとランプトンネルは、非開削による地中での切開きによる接合が必要となっている。また、大泉JCT/目白通りICのランプは、開削工法での施工を予定している。

本事業の多くは、都市計画において、地下に立体的な範囲を定めており、地下構造の上部空間を市街地として残す計画である。立体的な範囲を都市計画に定める地下構造区間のうち、大深度地下使用法に定める「大深度地下」の区間は、同法にもとづく使用認可を受けており、また、地上部分のJCTやIC構造物と地下の本線トンネルを結ぶランプトンネルなど、「大深度地下」よりも浅い区間については、区分地上権を設定し、地下の利用が制限される分を補償することとしている。なお、接続する東名高速道路および中央自動車道や青梅街道などは地上部にあるため、JCT、IC部では、通常の都市計画範囲が定められ、用地買収が必要となる。

2-2 東京外環(関越～東名)のおもな経緯

本事業は、昭和41(1966)年7月に高架方式で3JCT・5ICの計画として都市計画決定された。しかし、生活環境の悪化や地域分断などの懸念により反対の声も大きく、昭和45(1970)年10月に参議院建設委員会にて根本龍太郎建設大臣(当時)が「地元と話し得る条件の整うまでは強行すべきではない」との答弁(いわゆる凍結発言)を行ったこともあり、事実上、凍結されていた。その後、平成9(1997)年9月に東京都・建設省からなる「東京外かく環状道路懇談会」が開催されるとともに、平成10(1998)年3月には東京都・建設省・関係区市からなる「東京外かく環状道路とまちづくりに関する連絡会」が設置された。

平成11(1999)年10月には石原慎太郎東京都知事(当時)が東京外環(関越～東名)予定地(練馬区、武蔵野市)を視察するとともに、同年12月には「『地下化を基本』として計画の具体化に取り組むこと」を明言した。平成11(1999)年12月以降、パンフレットなどによる広報やアンケート調査が開始されるとともに、地元団体との話し合いが始まった。それらの経緯を踏まえ、国土交通省・東京都が平成13(2001)年4月に、計画を地下構造に変更する「東京外かく環状道路(関越道～東名高速)の計画のたたき台」を公表し、それ以降、計画の初期段階からいわゆるPI方式(PI:市民などの多様な関係者に情報を提供したうえで、広く意見を聴き、政策や計画の立案に反映するプロセス)により検討を進めてきた(図-4)。計画の初期段階からPI方式で検討を進めるにあたり、PIの進め方について有識者からなる委員会の意見も伺いながら、沿線住民と話し合うための「PI外環沿線協議会」「PI外環沿線会議」や沿線地域の方から意見を聴くためのオープンハウスなどを開催してきている。また、本事業が、大深度の大断面トンネル構造となることから、有識者・専門家などからなる「大深度トンネル技術検討委員会」や「東京外環トンネル施工等検討委員会」を開催し、技術的見地から、トンネルの構造や施工、安全性などについて

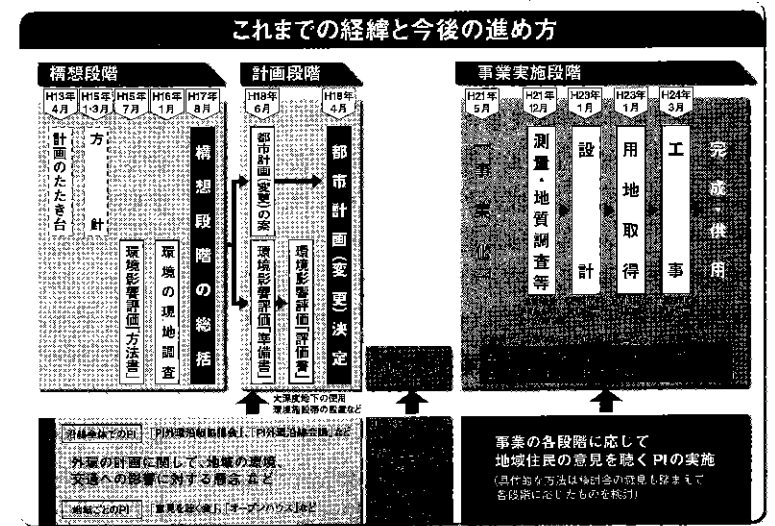


図4 これまでの経緯と今後の進め方

の議論も進めてきている。

平成15(2003)年3月には、「東京外かく環状道路(関越道～東名高速間)に関する方針」を公表し、大深度地下の活用した地下構造であることを明確にするるとともに、「インターチェンジについては、今後、地元の意向などを踏まえながら、設置の有無について検討する」こととされた。平成17(2005)年8月にはPI外環沿線会議における「構想段階の議論の総括」がなされた。

これらを受け、平成18(2006)年には、都市計画変更および環境影響評価手続きに着手し、平成19(2007)年4月に、環境影響評価書が公表され、大深度地下の使用を前提とした都市計画変更が決定された。なお、インターチェンジについては、検討の結果として、当初都市計画ではフルインターであった青梅街道ICはハーフインターとなり、甲州街道(国道20号)および世田谷通りに予定されていたICは計画からなくなり、現在の計画となっている。

平成21(2009)年5月には高速自動車国道法にもとづく整備計画が策定され、平成21(2009)年度補正予算において事業化された。以降、平成22(2010)年度にはJCT部における道路区域を決定し、用地取得に着手し、平成25(2013)年9月には、青梅街道IC部における道路区域および地下トンネル部全線にわたる道路の立体的区域を決定し、現在、事業用地の取得を全面的に展開している。

工事については、平成24(2012)年3月に、東名JCT地域において準備工事に着手し、用地の確保に合わせ、順次、埋蔵文化財調査や工事に着手している段階であり、平成26(2014)年4月には、本線シールドトンネル工事が契約となった。

なお、平成24年(2012)4月には東日本高速道路(株)および中日本高速道路(株)に対し、道路整備特別措置法にもとづく有料道路事業許可がなされたことにより、本事業は3者の共同事業となっている。

施行区分としては、中央JCTから大泉JCTの間が国と東日本高速道路(株)、中央JCTから東名JCTの間が国と中日本高速道路(株)である。

2-3 大深度地下使用法関連

すでに述べたとおり、本事業の本線トンネルの大部分は、大深度地下使用法にもとづく「大深度地下」を使用する。同法は、公共の利益となる事業による大深度地下の使用に関し、その要件、手続きなどについて特別の措置を講ずることにより、当該事業の円滑な遂行と大深度地下の適正かつ合理的な利用を図ることを目的に、平成12(2000)年5月に成立し、平成13(2001)年4月より施行されているものである。

同法令によると、「大深度地下」とは「①地上40m以深」または「②支持地盤上面から10m」のいずれか深い方と規定されている(図-5)。本事業においては、測量精度や地盤の経年変動を考慮し、①については地上41m以深とし、また②のためにボーリング調査や微動アレイ探査といった地盤調査を経て、支持地盤を特定している。これらの結果を踏まえ、事業区間における「大深度地下」の範囲を特定し、本線トンネルの設計などを実施しているところである。なお、東京外環(関越～東名)は全長約16.2kmであるが、そのうち約14.2kmについて同法にもとづく使用認可申請を行った(図-3)。既設の東京外環自動車道との接続の関係で、東京外環(関越～東名)は大泉JCTに向かって徐々に浅くなっており、本線トンネルは、北端の約2kmは大深度地下より浅いものとなっている。平成19(2007)年1～2月には、同法第12条にもとづく事業間調整を実施した。他の事業者から必要な調整の申し出はなく、当該手続きを終了している。同法第16条には大深度地下使用認可の要件が規定されており、当該要件を満たすための各種調査や検討を実施してきた。

また、同法第13条にもとづき、事業区域にかかわる土地や建物の所有者または管理者に対し現地調査などにより井戸などの地下物件調査を実施している。調査の結果、1件の井戸を確認したため、今後、この井戸に対して補償を行う予定である。

平成25(2013)年9月には、本事業の沿線5か所において「大深度地下使用認可申請に向けた東京外かく環状道路(関越～東名)の説明会」を実施し、

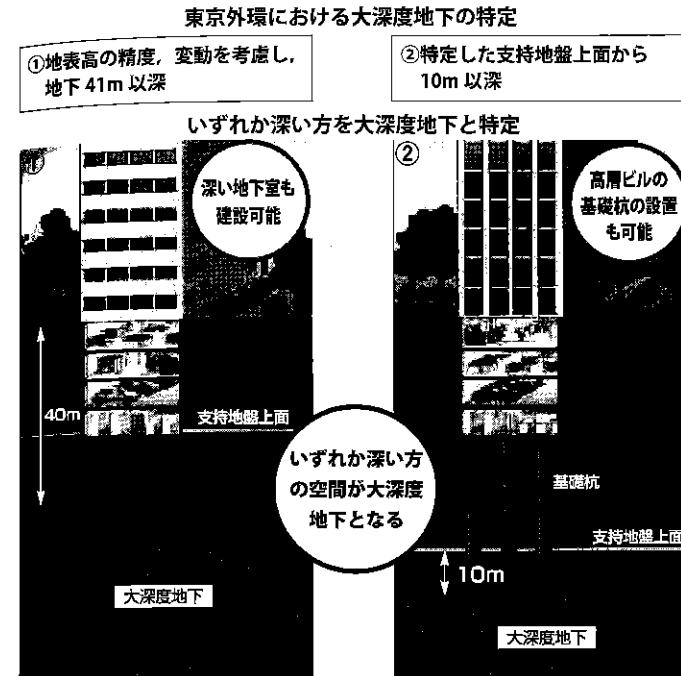


図-5 大深度地下イメージ図

大深度地下の使用認可申請に向けて、事業の目的および内容を地元へ説明した。平成25(2013)年11月8日に、同法第14条にもとづき事業所管大臣(本事業の場合は国土交通大臣)宛に使用認可申請書を提出した。

その後、事業所管大臣から国土交通大臣へ使用認可申請書が提出され、国土交通大臣により、同法第20条にもとづき、利害関係人の意見書の提出や公聴会の開催、学識経験者の意見聴取などがなされるとともに、同法第18条にもとづく関係行政機関の意見の聴取などが行われた。それらを踏まえ、平成26(2014)年3月28日に使用認可をいただき、また同日に認可告示がなされた。

3 具体のトンネル計画など

3-1 技術的見地からの検討

東京外環の地下構造については、PIの段階から技術的見地からの検討を行うため、平成17(2005)年度から19(2007)年度にかけ「大深度トンネル技術検討委員会」、平成24(2012)年度からは「東京外環トンネル施工等検討委員会(以下、「トンネル委員会」と記載)」を設置している。

トンネル委員会は、東京外環が事業化されたことも踏まえ、近年の施工事例や技術開発動向など最新の知見を確認し、トンネルの構造、施工技術などについて検討することを目的として、設置された。

トンネル委員会は、平成24(2012)年7月の設置以降、平成26(2014)年5月までに8回の委員会が開催されており、委員会の議論の結果を、平成25(2013)年4月に「中間とりまとめ」、平成26(2014)年6月に「とりまとめ」として公表している。

「中間とりまとめ」においては、おもにシールドトンネルについて、「東名側および大泉側からの両側掘進が妥当」「リスク管理の観点からセグメントの仕様(厚さ・幅・分割数・継手標準構造・止水標準構造など)を統一する必要がある」などのご指摘をいただいた。

「とりまとめ」においては、おもに地中掘削部について、「民間企業へのアンケートを実施した結果、企業によっては、開発が着実に進められている」ものの「施工時の安全性や長期的な構造物の健全性を満足するよう」「工事の発注に先立ち」「技術の実証などを通じた検証を行う必要がある」と指摘された。また、施工時の安全性を高めるために、高い止水性能や工事中の各段階における荷重に対する十分な耐力の確保が必要であり、また、長期的な構造物の健全性の確保のために、ひび割れの発生抑制、局所的な応力の集中の回避、止水性能の確保が必要であることなどが指摘され、確実な安全性や健全性の確保が可能な構造として、円形形状を基本とし、十分な止水領域を確保した構造が提言されている。

3-2 本線シールドトンネル

平成26(2014)年3月28日に大深度地下の使用認可を得たことを踏まえ、平成26(2014)年4月3日に、東京外かく環状道路本線トンネル(南行)東名北工事、東京外かく環状道路本線トンネル(南行)

大泉南工事、東京外かく環状道路本線トンネル(北行)東名北工事、東京外かく環状道路本線トンネル(北行)大泉南工事の4工事が契約となった。北行きの本線トンネルについては中日本高速道路(株)、南行きの本線トンネルについては東日本高速道路(株)が、それぞれ東名側と大泉側の2工区に分けて発注したものである。これは、前述のトンネル委員会における「東名側および大泉側からの両側掘進が妥当である」との提言も踏まえ、北行き・南行きの2本のトンネルを両側から掘ることとしたものである。

本工事は、片側3車線であり、直径約16mの国内最大のシールド断面となることに加え、掘削距離は、東名側が約9km、大泉側が約7kmと非常に長い。さらに、民地下の大深度地下での高速施工が要求されており、施工にあたってはトラブル発生リスク回避などが強く求められる。こうした課題に対応するため、トンネル委員会から「大断面・長距離・高速施工という条件における技術の確認・検証を行う必要」とされたことも踏まえ、求められる技術が非常に高度であり、民間の優れた技術力を活用する観点から、技術開発・工事一括型調達方式の技術開発・工事一括型(A型)の入札方式を採用している。

なお、工事を発注した東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)において、同方式による発注は初めての試みとなった。技術開発提案テーマは「長距離かつ高速施工となるシールド掘進を安全かつ確実にするためのモニタリングなど(施工関連データの収集、分析、活用など)施工管理技術およびその対処技術の開発」「シールド掘進に干渉する既設杭の対処技術」「既設杭のシールドマシンによる処理技術」であり、今後、技術開発テーマについては、有識者などの意見もいただき、評価を行ったうえで、工事を実施していく。

3-3 地中拡幅部

すでに述べたとおり、本線シールドトンネルとランプシールドトンネルは、非開削による地中での切開きによる接合(以下、当該部分を「地中拡幅部」と記載)が必要となっている。地中拡幅部は、青梅街道IC、中央JCT/東八道路ICの2か所、東名JCT部であり、北行きと南行きの2本あるため、合計で8か所となる。類似の施工事例としては、中央環状品川線大橋連絡路工事などで実績があるものの、このような大断面の施工実績は前例がない。

前述のトンネル委員会「とりまとめ」も踏まえ、施工時の安全性と長期的な構造物の健全性をより確実に確保するために、現在、必要な都市計画範囲の変更を行うこととし、手続きを開始したところである。また、同じく「とりまとめ」でも要請された技術の検証を行うため、技術開発・工事一体型調達方式の技術開発・工事分離型(B型)での入札手続きを活用し、平成26(2014)年7月に技術開発業務の公告を実施したところである。

4 おわりに

本事業は、地下構造を主とする、高度な技術力を要求される事業であるが、大都市部における事業のモデルとなるよう、安全性や周辺環境にも十分に配慮しながら、関係機関、有識者、地元の協力も得ながら、着実に事業を進めていきたい。

なお、本事業は東京オリンピック・パラリンピックの開催される平成32(2020)年までの開通について各方面からの要望をいただいているところである。用地取得、建設発生土の処理および埋蔵文化財調査などの課題があるが、東京オリンピック・パラリンピック開催までの開通の可能性について、関係機関とともに検討し、今後も引き続き、早期の開通に向けて本事業を進めていく所存である。

計画

福岡市営地下鉄七隈線の延伸計画

—天神南～博多駅間—

福岡市交通局建設部建設課設計係長 田代 徹也
福岡市交通局建設部計画課計画第1係長 高士 修

1 はじめに

福岡市営地下鉄は、昭和56(1981)年7月に九州で初めての地下鉄として開業し、順次路線の延長を行い、現在、3路線で営業キロ29.8km、35駅で、1日平均39万人の乗客を輸送している。

路線全体の特徴としては、他の交通機関とのネットワーク化を図っており、空港線は起点・姪浜駅でJR筑肥線と相互直通運転を行い、博多駅では新幹線およびJR鹿児島本線に接続し、福岡空港駅では空港ターミナルビルと直結している。箱崎線は貝塚駅で西鉄貝塚線と接続し、七隈線では薬院駅で西鉄天神大牟田線と接続している。

七隈線は、市西南部地域の慢性的な交通渋滞の緩和、効率的で利便性の高い公共交通体系の確立、均衡あるまちづくりの推進を目的として計画され、

平成17(2005)年2月に橋本～天神南間(12.0km)で開業しているが、都心部区間①天神南～ウォーターフロント(WF)ルート、②薬院～博多駅ルートが未整備となっており、都心部での交通ネットワーク機能を十分に果たすまでには至っていない状況であった(図-1参照)。

そのため、平成19(2007)年度～平成22(2010)年度にかけて既計画の2ルートと、新たな路線として「③天神南～博多駅」ルートを加えた3つのルートで、事業採算性や市民アンケートなど総合的な調査・検討を行った結果、優先して整備すべきルートは、「天神南～博多駅」ルートであるとして、平成23(2011)年度から七隈線延伸計画の事業化に向けた取組みを開始し、鉄道事業許可などの手続きを経て、平成25(2013)年度に工事着手したものである。

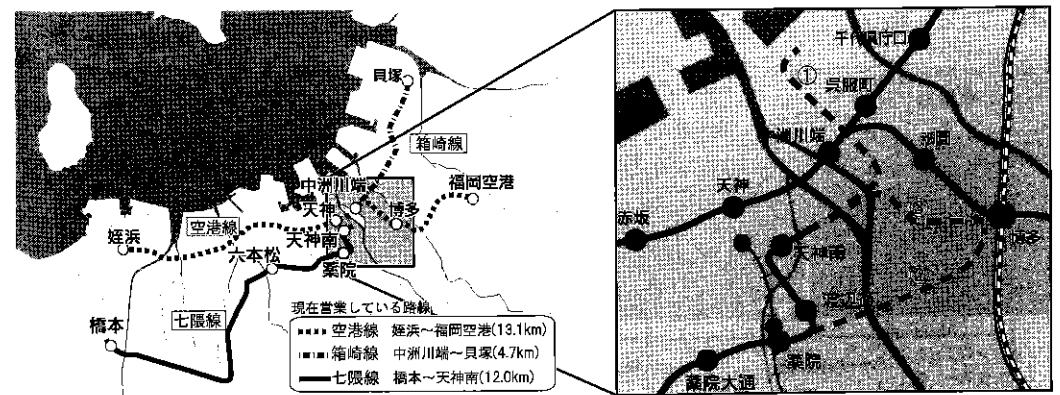


図-1 福岡市営地下鉄路線図

2 建設計画

延伸区間：天神南～博多駅(図-2参照)
 建設キロ：約1.4km(営業キロ約1.6km)
 乗車人員：約6.8万人(うち、新規利用者数は約2.1万人)
 建設費：約450億円
 工法：全線地下式(開削工法、シールド工法、NATM、アンダーピニング工法)
 システム：鉄輪式リニアモーターシステム
 開業予定：平成32(2020)年度
 延伸区間に中間駅(仮称)と博多駅(仮称)の2駅を設置して、博多駅(仮称)では、空港線博多駅とホームtoホームをバリアフリー経路で結節することとし、天神南～博多駅間の整備により都心部の利便性がさらに向上する計画としている。

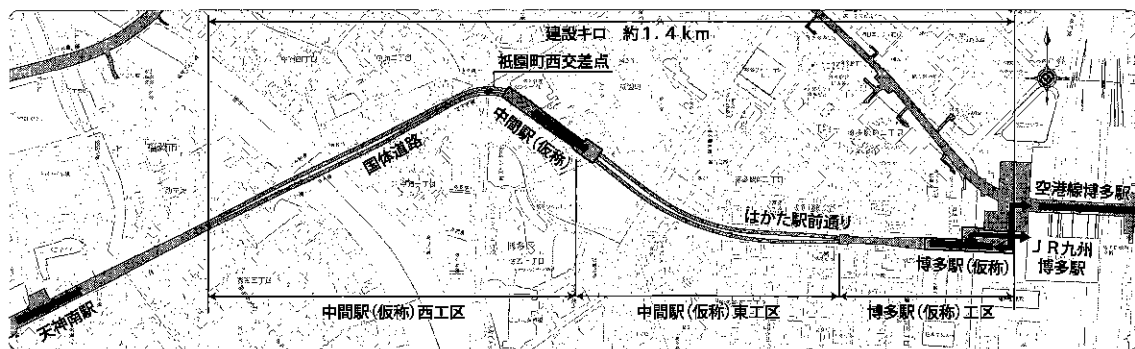


図-2 延伸計画平面図

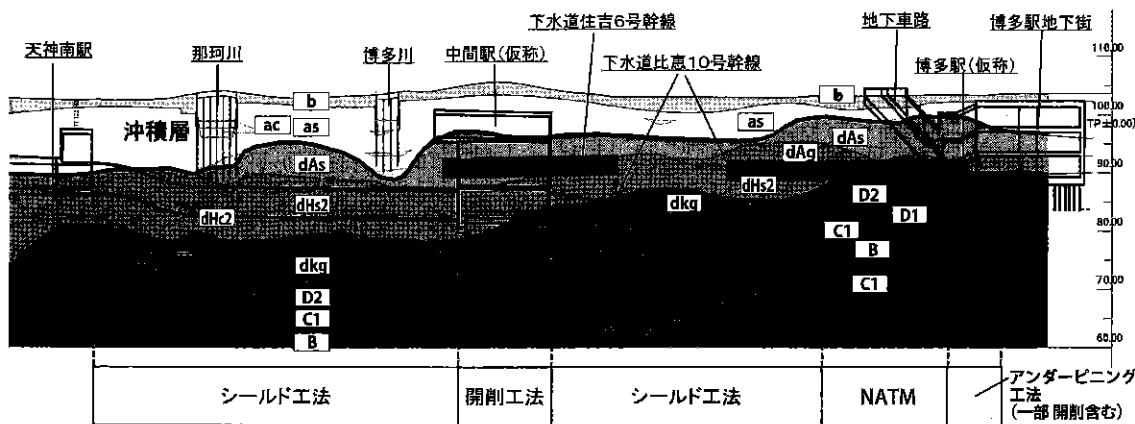


図-3 地質縦断面図

で様な値を示すが、弱～未風化部は2.5～80MN/m²と非常に広範囲の値を示している。

3-2 洪積層

洪積層はおもに細粒分質礫質砂などの砂質土層で構成され、天神南駅側から那珂川までの区間に不連続なレンズ状に粘土層(dHc2)が分布する。天神南駅側から中間駅(仮称)付近までは30m程度と厚く分布するが、終点方は層厚を減じ、博多駅(仮称)付近では10m程度と薄くなる。

天神南駅から中間駅(仮称)までのシールド通過深度に位置する層(dHs2)は、透水層と難透水層・不透水層が混在し、N値はおおむね10～30である。

下層(dkg)は難透水層の性状を示す箇所が多く、N値はおおむね20～30および50以上である。

3-3 沖積層

沖積層は人工表層(b)および、細粒分混じり砂などの砂質土層(as)で構成され、砂質土層内に粘土層(ac)が薄層あるいはレンズ状にて部分的に挟まれて存在する。天神南駅側から那珂川間に10m程度の層厚で分布し、以降はやや層厚を減じて、終点の博多駅(仮称)付近では5m程度と薄くなる。

砂質土層はN値10未満が60%を占めており、全体的には淘汰のよい透水層である。

4 構造形式および工法

4-1 博多駅(仮称)部

博多駅(仮称)は、6両対応としてプラットホーム

ム延長105m、幅員10mで駅延長160mとした。

駅位置はJR博多駅の駅前広場およびその前面道路下で、駅前広場の地下にはすでにJR地下街、空港線博多駅が、道路の一部には地下車路があり、博多駅(仮称)はその直下に計画した。

主な構造形式および工法は、それら既設構造物の直下で離隔が小さくなる地下車路の一部およびJR地下街などの箇所は、アンダーピニング工法による2層4径間および2層6径間の函型ボックスラーメン構造としている。起点方の離隔の大きい箇所はNATMによる3連トンネルおよび複線トンネルとした。

なお、アンダーピニングの発進部となる道路部は、開削工法による5層2径間の函型ボックスラーメン構造とした。

博多駅(仮称)は、地下4階部に改札口を設置す

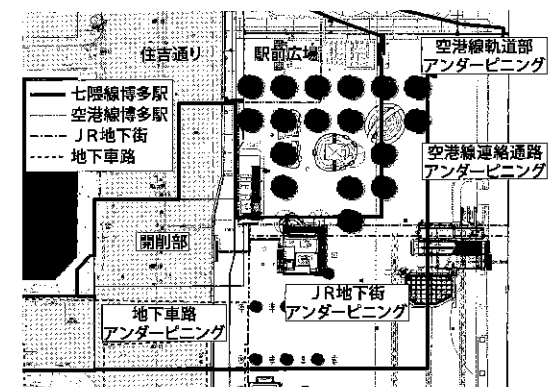


図-5 博多駅平面図

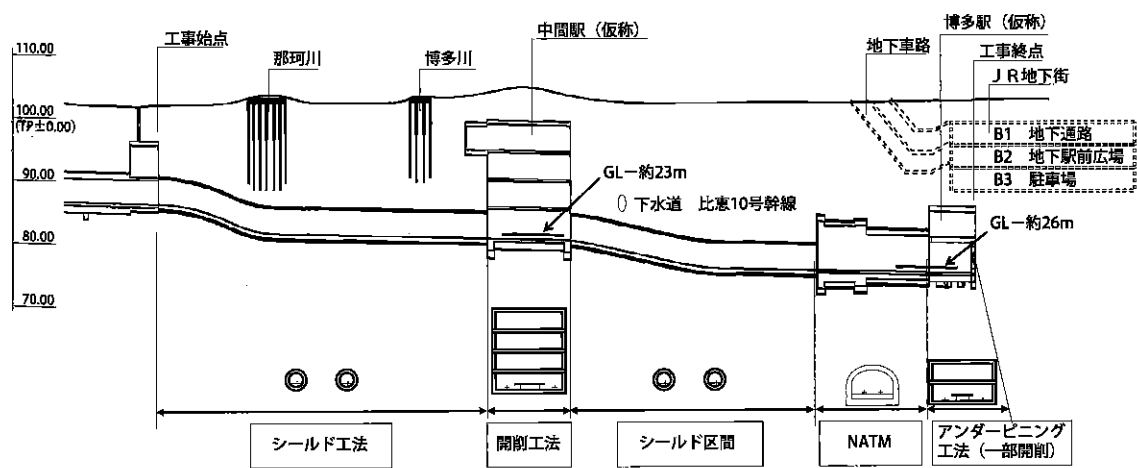


図-4 トンネル構造縦断面図

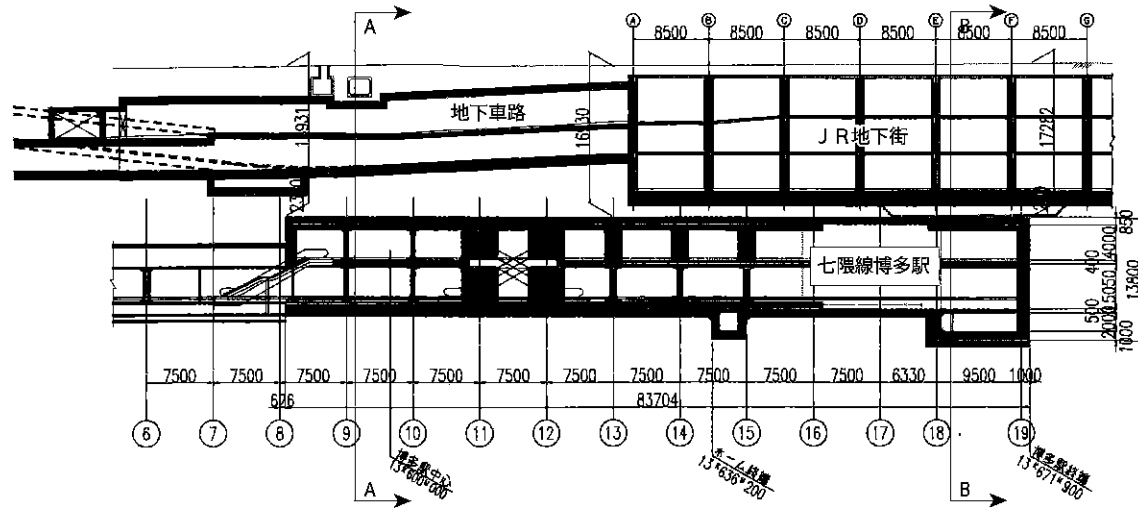


図-6 七隈線博多駅(仮称)構造縦断面図

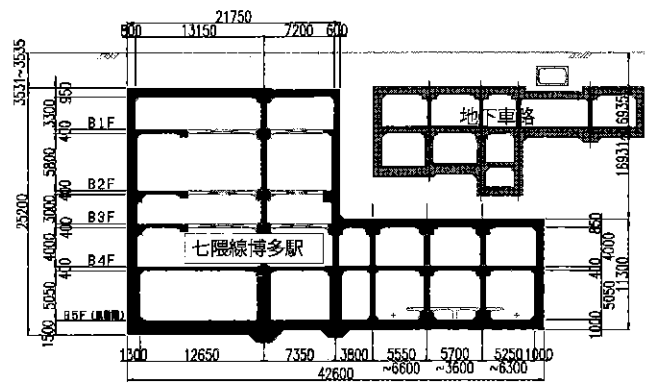


図-7 博多駅(仮称)A-A断面図

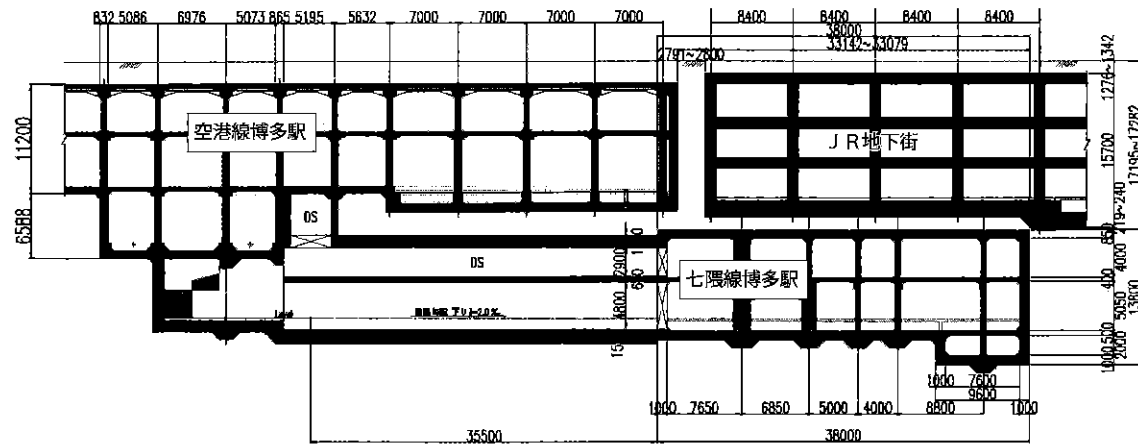


図-8 博多駅(仮称)B-B断面図

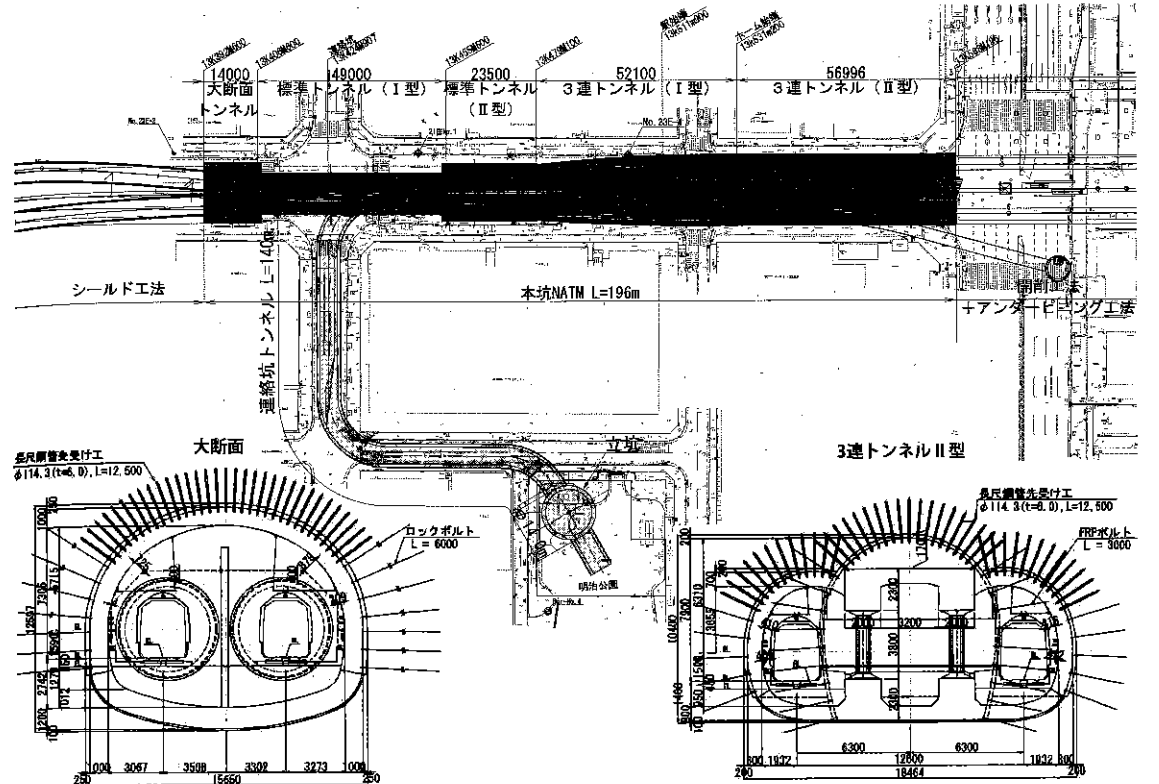


図-9 NATM構造図(大断面, 3連トンネルII型)

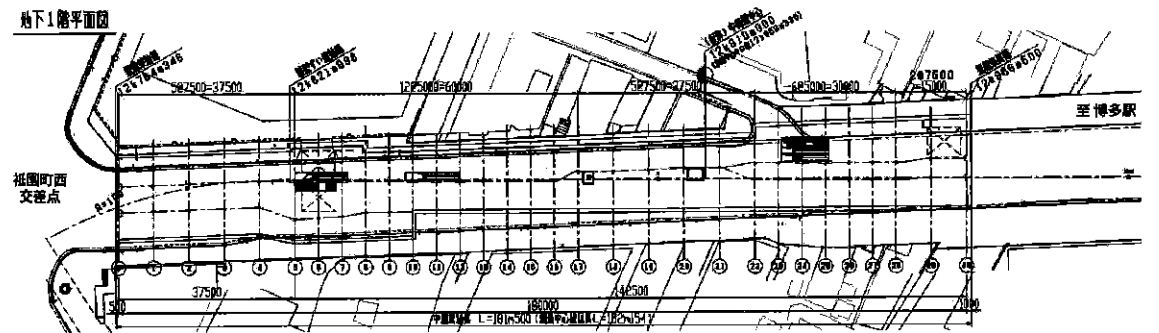


図-10 中間駅(仮称)地下1階平面図

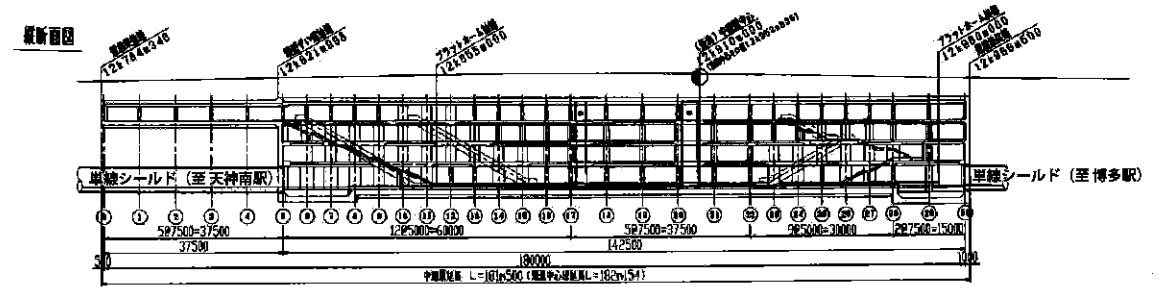


図-11 中間駅(仮称)構造縦断面図

るため、防災上の必要性から地上への出入口は2方向避難用および特別避難階段の2か所を設置する。また、空港線へは乗継ぎ利便性向上のため、アンダーピニング工法による2層1径間函型ボックスラーメン構造の地下連絡通路を設けてホーム間での乗換えを可能とし、そのほかJR鹿児島本線や地下街などとのさまざまなアクセス経路を設けることとしている。(図-4~9参照)

4-2 中間駅(仮称)

中間駅(仮称)は、プラットホーム延長105m、幅員5.0~8.3mで、駅延長182mとした。

主な構造形式および工法は図-10, 11のとおり、開削工法による4層3径間および1層3径間の函型ボックスラーメン構造で、出入口は防災上から3か所を計画している。

4-3 駅間トンネル

駅間トンネルの構造および工法は、シールド(泥土圧式)工法による単線並列シールドトンネルとした。

セグメントは、外径5.3mで厚さ280mm、幅1,400mmのRCセグメントを基本とし、急曲線部は厚さ200mmの鋼製もしくは合成セグメントとした。

4-4 軌道構造

線路線形は図-12のとおりであり、最急曲線半径100m、最急勾配1,000分の40を用いた。

軌道構造については、快適な乗り心地の確保、保守性、および防振など環境への配慮から、50kgNのロングレール、PC枕木を用いたコンクリート直結防振軌道とし、またリアクションプレート

についてはPC枕木に締結する構造とする。

博多駅(仮称)の起点側のNATM部には、折返し運転のための、10#シーサスクロッシング(交差渡り分岐器)を設ける計画とした。なお、軌道構造は基本的には既設線との互換性を重視し、今後さらに詳細検討を進める。

5 施 工

5-1 博多駅(仮称)部

5-1-1 アンダーピニング

アンダーピニングについては、図-13のとおり博多駅開削部を立坑基地として、図中矢印の手順で進め、地下車路部はパイプルーフを併用したアンダーピニングとし、JR地下街は図-14の導坑方

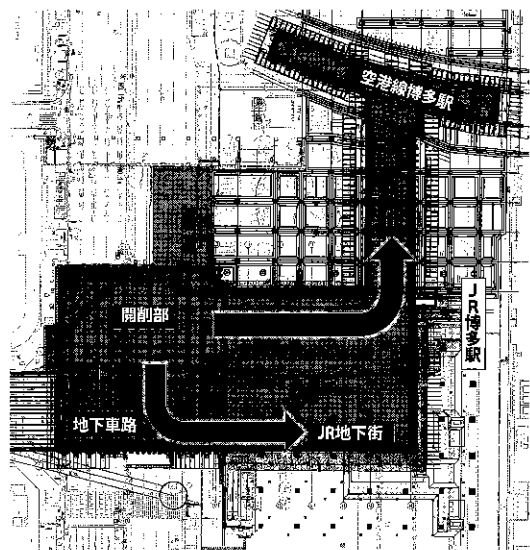


図-13 アンダーピニング平面図

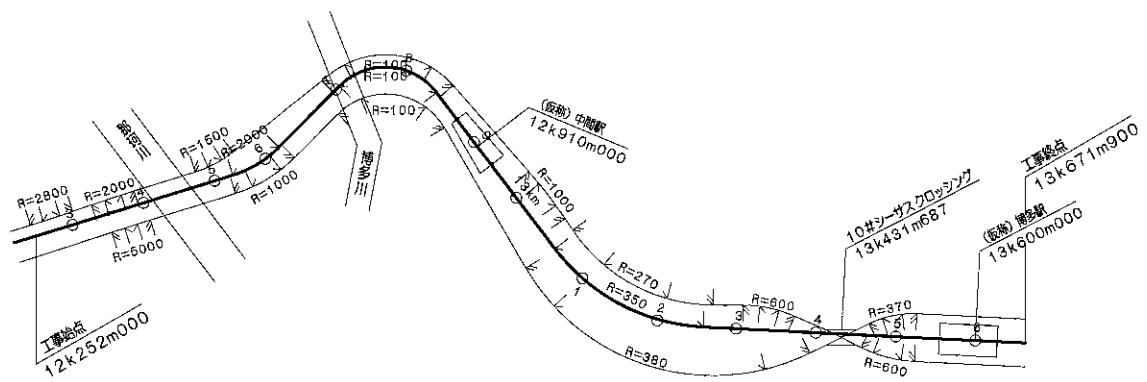


図-12 線形図

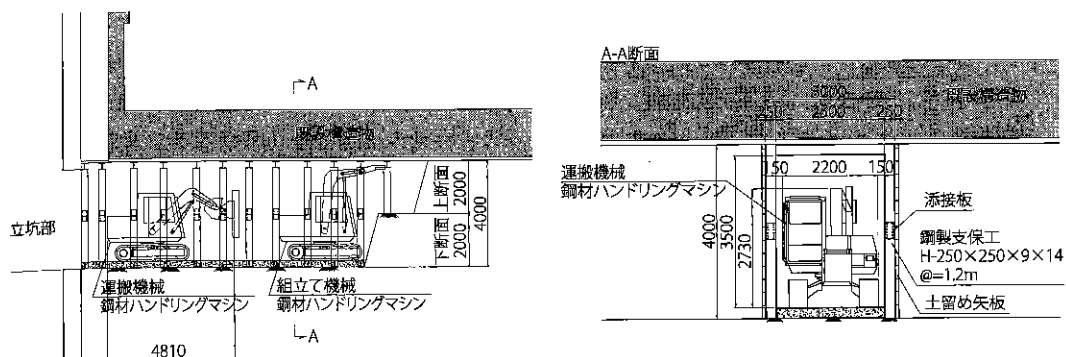


図-14 導坑断面図

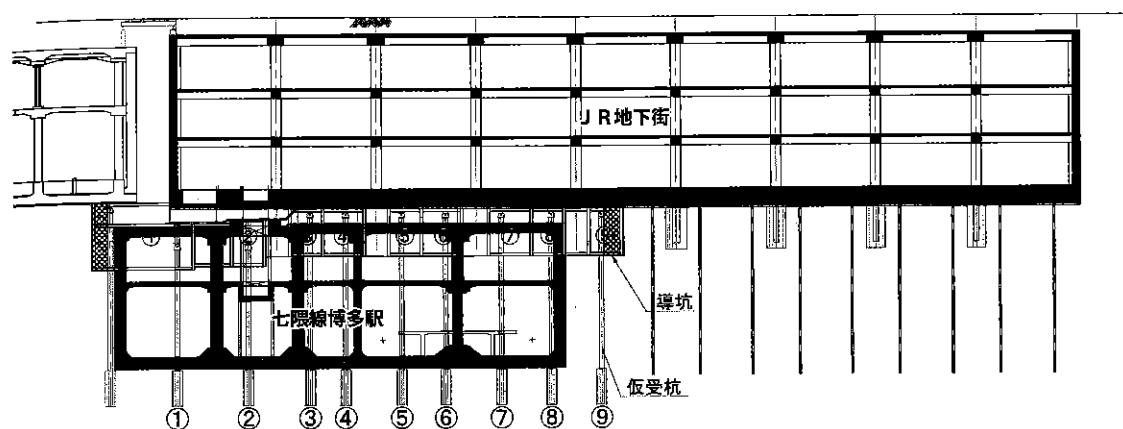


図-15 JR地下街アンダーピニング断面図

式により、既設構造物を図-15のとおり仮受け杭で直受けするアンダーピニングを計画した。連絡通路部、空港線博多駅ホーム接続は、JR地下街と同じ導坑方式によるアンダーピニングとし、既設構造物を受ける全面積が約2,700m²と大規模な計画となった。

なお、アンダーピニング導坑部の地質は古第三紀層の表層部で高地下水下でもあり適切な対応が必要である。

5-1-2 NATM

NATMについては、図-9に示す沿線に位置する公園に立坑を設け、本坑まで連絡坑トンネルを140m掘削してから本坑に接続し、博多駅側に切抜けたのち縫返しを行い、天神南方の大断面まで掘削を完了する。その後、再度、博多駅方へショートベンチカット工法にて複線断面トンネルを掘削する。図-9の3連トンネルは、まず中央坑を掘削後に左右坑を順次掘削する計画とした。

施工においては、岩かぶりはN値50以下を含む古第三紀層が3~5mと小さい状況のトンネル掘削であるとともに、雨水幹線や地下車路など既設構造物の直下を掘削するため、FEM解析による事前解析により地盤沈下などの管理基準値を設定して、地山の挙動に留意し、計測管理のもと慎重に進める必要がある。

5-2 中間駅(仮称)

中間駅(仮称)は、図-16のとおり開削工法で施工する。駅本体工に先立ち雨水幹線(φ2.6m)が支障することから、現在、移設工事を行っている。

既設の雨水幹線は駅本体工事の土留め打設に支障となるため、移設工事完了後に流動化処理土で管内充填を行い、土留めライン部分を地上よりBG工法にて撤去し、土留め工を施工する計画である。

中間駅(仮称)は4層駅で、GL-約25mと深い開削工事となり、土留め工は掘削底盤が透水性の良

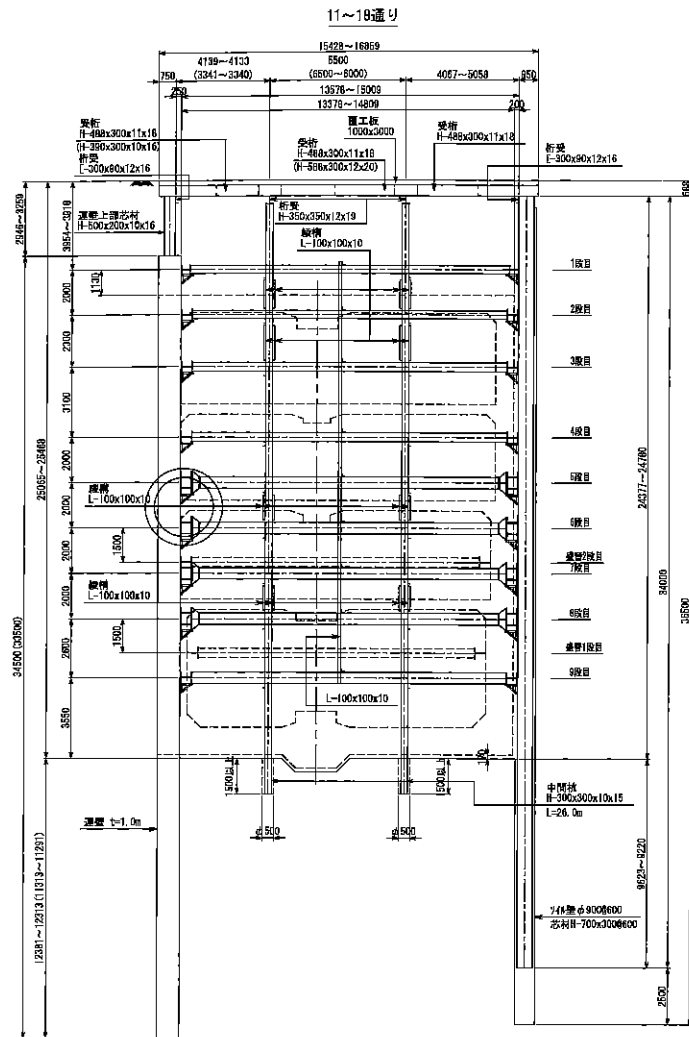


図-16 中間駅(仮称)仮設工断面図

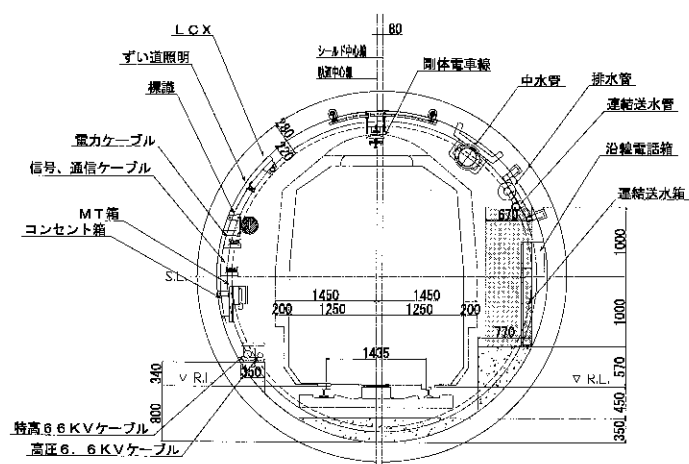


図-17 単線シールド断面図

い洪積の土砂層であるため、ボーリング対策としてGL-約35mに分布する基盤岩の古第三紀層に1m以上根入れすることとした。また、本区間は道路最小幅員が約23mで4車線と狭いため、官民境界に近接する箇所の土留めは本体兼用のRC連壁とした。

5-3 シールドトンネル

5-3-1 天神南～中間駅(仮称)間

シールドトンネル断面は図-17のとおりであり、並列トンネル離隔は最小約1.2mと狭い箇所もある。

天神南駅方シールド掘進は、中間駅(仮称)起点部を発進立坑として、天神南駅引上げ線終端(営業線)へ到達したあと、シールドを解体しスキンプレートのみ残置して中間駅(仮称)から引上げ、いったん、製作工場で再組立てを行ったあと中間駅(仮称)から天神南駅へ再発進させる計画とした。

当区間は、図-4のとおり2つの河川を横断する。とくに那珂川に架かる春吉橋は昭和30年代竣工の老朽橋梁で、基礎杭(木杭)との離隔が約1.3mと近接することもあり、影響を最小限とするためにシールド通過前に橋梁を補強するとともに、事前解析および、トライアル計測により設計の妥当性を検証しながら適切な計測管理のもと橋梁下を通過する計画である。

掘進の対象となる地盤は、洪積砂質土層が主体で、一部にレンズ状の洪積粘土層が介在する。

5-3-2 中間駅(仮称)～博多駅(仮称)間

博多駅(仮称)方のシールド掘進は、中間駅(仮称)終点部を発進および到達立坑として、隣接工区とのNATM大断面まで掘進し、NATM大断面内でUターンさせ中間駅へ再発進する計画である。

当区間では雨水幹線(φ2.4m, φ2.6m)を2か所で下越して交差(最小離隔1.3m)するため、計測管理による適切な施工が必要である。

掘進の対象となる地盤は、土砂層と岩盤層との層境を往復通過するため、シールド設計で配慮するとともに、施工面でも土砂の過剰取込みなどに留意する必要がある。

6 施設計画

6-1 建築計画

七隈線は人にやさしく地域に根ざした公共交通機関「ヒューマンライン」をデザインポリシーとしている。①小断面による狭隘感を和らげ、居心地が良く利用しやすいデザイン、②バリアフリーで思いやりのあるデザイン、③これからの福岡市にふさわしい七隈線全体の個性的なデザイン、④各駅に個性があり、地域の人々に親しまれるデザイン、⑤全体の調和と主張が感じられるトータルデザイン、⑥新しい表現技術を活用した魅力的なデザインを具体的なコンセプトとしている。

6-2 昇降設備

昇降設備は、地上からホームまで基本的には1,000型の上下エスカレーターおよび、20人乗りストレッチャー対応型のエレベーターを1経路設置する。

6-3 換気設備

駅換気は必要最低風量を確保して効率よく換気する方式とし、省エネの観点から排気ファンを無くした第二種換気方式とする。また、空調は放射冷房システムを検討している。

トンネル換気は縦流換気方式を基本とするが、中間駅(仮称)から博多駅(仮称)間は単線並列シールドトンネルと複線トンネルが併存するため、中

間換気方式との併用方式としており、トンネル排煙は風速1m/s程度となる風量で計画している。

6-4 排水設備

トンネル湧水量は一般部が0.07m³/min・km、河川部下などの特殊部が0.21m³/min・kmを想定して、排水槽を流入量の1時間分を貯留できる容量とし、ポンプは2台の自動交互運転とする。

6-5 電気設備

延伸区間に変電設備を1か所設けることとし、電車線は既設線と同様にメンテナンスの簡略化のため導電鋼レールを採用する。

信号設備はATC・ATO方式で設計最短運転時間隔を2分とし、列車無線設備は空間波無線方式による。

6-6 運転設備

運転方式はワンマン運転とし、列車は4両編成(定員378人)で、最混雑区間の混雑率は現在の営業線を含めて150%以内を目標とし、平成32(2020)年度の延伸開業時のピーク時の運転間隔は4分を計画している。

7 おわりに

七隈線延伸は沿線の方々をはじめとする地下鉄利用者などのご期待が大きな事業であり、1日も早い開業を目指して取り組んでいる。施工にあたっては、福岡の二大都会心部における大規模な工事であるため、安全対策、周辺への騒音・振動対策、交通対策などに十分配慮する必要があると考えている。

最後に、誌面をかりて七隈線延伸計画にご協力いただいている関係各位に心よりお礼申し上げますとともに、今後ともご理解とご協力をお願いする次第である。

セグメントの新技术

小泉 淳 監修 B5判 132頁 本体定価 2,000円(〒300円)



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

土木情報 No.496

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
中国四国農政	吉野川下流域農地防災事業北部幹線水路(牛屋島工区)第二大谷川サイホン他	アイサワ工業	232
"	"	竹中土木	348
九州農政	沖永良部農業水利事業地下ダム止水壁(4工区)建設	鴻池組	743.8
東北地整	R283釜石道路	大林組	4,028
関東地整	中部横断一色T(その2)	安藤ハザマ	1,415.98
北陸地整	保明新田地区築堤護岸及び樋門新設	広瀬	243.5
近畿地整	和歌山岬道路孝子T	戸田建設	691.4
中国地整	休山改良休山T東	西松建設	2,234.5
九州地整	福岡201号筑豊鳥尾T(飯塚工区)新設	鴻池組	907.3
日本スポーツ振興センター	下水道千駄ヶ谷幹線敷設	大成建設	900
東日本高速道路	東京外環道人和田地区雨水函渠付替	清水・前田・東洋JV	6,260
中日本高速道路	中部横断道東根熊T他1T	竹中土木	3,470
岩手県	主地岩泉平井賀普代線(仮称)鳥越T	村本・熊谷JV	860
都・下水道局	世田谷区大蔵一丁目、桜丘五丁目付近枝線	青木あすなろ建設	2,214.5
"	杉並区善福寺二丁目、上荻四丁目付近善福寺川流域合流改善貯留施設設置	飛鳥建設	1,963.45
"	第二田柄川幹線	鉄建・東洋JV	3,728.37
山梨県	R140(西関東連絡道路)(仮称)荒神山T建設(一部債務)	昭和・植野・高野JV	852
"	R411大常木2号T(仮称)建設(一部債務)	昭和・天野・田村JV	1,705
兵庫県	R178浜坂道路対田第3・二日市T	熊谷・香山・伊藤JV	1,299
川越市	不老川右岸第1排水区雨水貯留管築造	関東・松本JV	543
越谷市	御料堀第1号雨水幹線公下築造26-8	鈴木組	127

建設工事の 保安地質学

(改訂版)



工学工学社

ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

建設工事の 保安地質学

(改訂版)

理学博士 石井康夫 著

A5判 上製本 475頁 価格6,300円 定価350円

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



株式
会社 工学工学社

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

第五十八回 語り継ぎ 言ひ継ぎ の行か



『黒部の太陽』 にあこがれて

河内 汎友

(元)株 熊谷組

はじめに

京都市の東南に位置する東福寺の門前で生まれ育った私は、中学生のとき、教頭先生の趣味であった鉱物・化石採集に、生徒数名が参加させていただき、京都周辺の化石や鉱物を求めてハイキングに出かけていました。さらに「京都地学同好会」(会長：京都薬科大学・益富先生)に入り、講演会や野外研究会などにも参加し「地学少年」として中学・高校時代を過ごしました。

大学受験のとき、中学生のころ近くで施工されていた東海道新幹線の東山トンネルの掘削ずりの中から煙水晶の結晶を見つけ「露頭を採るよりトンネルを掘る仕事に携わることができれば、もっと素晴らしい鉱物に遭遇する」と思ったことから、迷わず土木工学科を選びました。

大学3年の春、『黒部の太陽』が上映されトンネル屋の仕事に感銘を受けました。土木を選んだの

は間違いなかったと確信し「熊谷組でトンネル屋になりたい」との思いを強くしました。その年の5月、熊谷組の入社試験を受け、面接のときに当時の大塚専務から「映画『黒部の太陽』はフィクションであって現場はもっと厳しいものだよ」と、憧れだけで入社志望をした私は戒められました。

翌年、憧れの熊谷組に入社し東京土木支店に配属されました。研修の最後の日に勤務希望を聞かれ「隧道・地下鉄」と即座に答えました。結果、営団((現)東京地下鉄)地下鉄シールドトンネルの現場に配属となりました。

ここからが私の「都市鉄道トンネル屋」の始まりです。

以降、私の携わった現場での経験、経験を通じて思ったことや、「技術の担い手」となる方々へ「語り継ぎ」たいことを述べます。

手掘り圧気シールドと駅シールド
(千代田線国会議事堂前駅)

最初の赴任先は営団地下鉄9号

線(千代田線)の国会議事堂前駅工事です(工事名:地下鉄9号線永田町工区土木工事)。発進・到達立坑および駅シールド(セグメント外径8.60m)を施工する工事でした。発進立坑およびシールド掘進ルート上には、昭和32~33(1957~58)年に熊谷組の先輩たちが施工された丸ノ内線のルーフシールドが、ほぼ平行に約7~15mの離れで位置しており、同時に配属された新入社員4人で約60mの間隔下受けされた丸ノ内線の構築の沈下測量を毎日行いました。まるでジャングルジムのような下受け桁の狭い間を縫って行うレベル測量は大学時代の測量実習とは全く違うもので、ひと周りして、もとの測量点に戻っても誤差が大きすぎ1日中レベル測量だけをしている日もありました。

シールドは圧気手掘りでした。今では密閉型シールドが主流で、ほとんど採用されていませんが、地山に対する判断や考え方は、今も圧気手掘りでの経験が基本になっているものと思います。

この工事で経験したことを以下に記します。

■切羽崩落

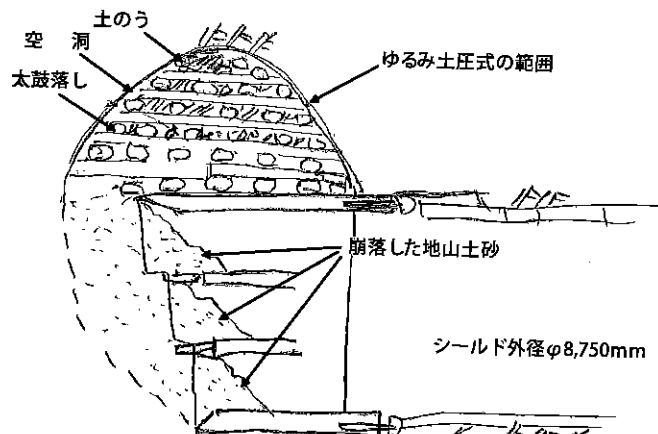
洪積砂層の掘削時に、切羽前面の砂層が崩落をはじめました。シールドデッキがいっぱいになるまで崩落するに任せ、崩落した砂で切羽を抑えるしか手段はありませんでした。崩落で生じた空洞は、太鼓落し(丸太)で井桁に組上げ、隙間を土嚢で埋め、薬液注入で完全に充填されたことを確認したのち、掘削を再開しました。



入社当初の国会議事堂前駅にて(著者(左)と阿部所長(リニューアル工事担当))

著者略歴

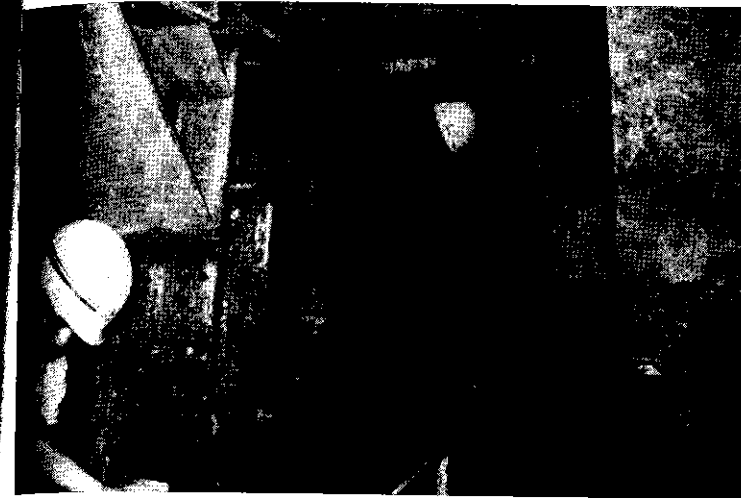
- 昭和45年4月 (株)熊谷組入社 東京土木支店配属 営団地下鉄9号線永田町工区土木工事(開削、駅シールド)
- 昭和48年1月 営団地下鉄8号線永田町一工区土木工事(開削、駅シールド)
- 昭和49年11月 東急新玉川線渋谷シールド工事(開削、シールド)
- 昭和55年3月 東北新幹線上野地下駅工事(開削、山岳トンネル)
- 昭和60年3月 京葉線京橋トンネル工事(MFシールド、NATM)
- 平成3年10月 営団地下鉄7号線牛込濠工区土木工事(開削、シールド)
- 平成8年4月 東京支店土木部勤務
- 平成10年4月 本社勤務(土木本部・技術推進部、土木事業本部・鉄道営業担当)
- 平成19年6月 (株)熊谷組定年退職
- 平成20年1月 汎技術事務所設立 現在に至る



シールド上部崩壊の様子

崩壊した空洞に入って天井を見たとき、まさしく教科書にあった「村山の式」のアーチそのもので

した。地山はアーチ作用によって見事に安定した状態になっていたのです。上部には丸ノ内線が走っ



国会議事堂前駅連絡通路「よきさし」の掘削の様子

ており、電車が通るたびにその振動でばらばらと砂が落ちることはありましたが、それ以上の崩落はありませんでした。見事な地山のアーチ作用を実際に見ることができた貴重な体験でした。

■切羽の土留め

切羽が崩落した際、職員や作業員が空洞に入らず安全に作業するためのアイデアを、作業所長から職員や職長に求められました。

経験豊富な職長やシールドが初めての私たちからいろいろな意見が出ました。軽くて扱いやすいスポンジのようなものを入れたらどうかとか、大きな風船のようなものを置いて空洞に入れ、空気を入れて膨らませて地山を保持すれば良いのではとか、素人のアイデアのようなものでした。しかし所長は、ものは試しと、さっそく貸しふとん屋からトラック1台分のマットレスを取り寄せました。試した結果、スポンジは扱いやすく効果もあるとのことから、1m角の少し硬めのスポンジを特注で作らせ

現場の倉庫に備蓄しました。スポンジは切羽の仮押さえにも使うようになり、切羽の土留め板と地山の密着性が増し、切羽の土留め効果が格段に良くなりました。

このような問題解決方法は、のちに建設業界にTQCが導入されたとき「ブレーンストーミング」という手法であることを、あとになって知りました。

■酸欠空気と切羽の発熱

掘削する切羽には洪積砂層と砂礫層があり、砂礫層に含まれる還元状態の硫化鉄が、圧気で供給される空気により酸化されることで、大量の酸素が消費され、酸欠空気が発生しました。酸欠空気が引き起こす事故を防止するため、われわれは近隣に出かけ、井戸の有無や井戸から漏出する空気の酸素濃度を測って歩きました。同時に切羽では、砂礫層に含まれた酸化第一鉄が酸化第二鉄に変化する際の発熱で40度以上の高温になり、冷凍機を装備しましたが全く効き目がありませんでした。代わりに持

込まれた大きな氷柱のほうがよほど効果的でした。

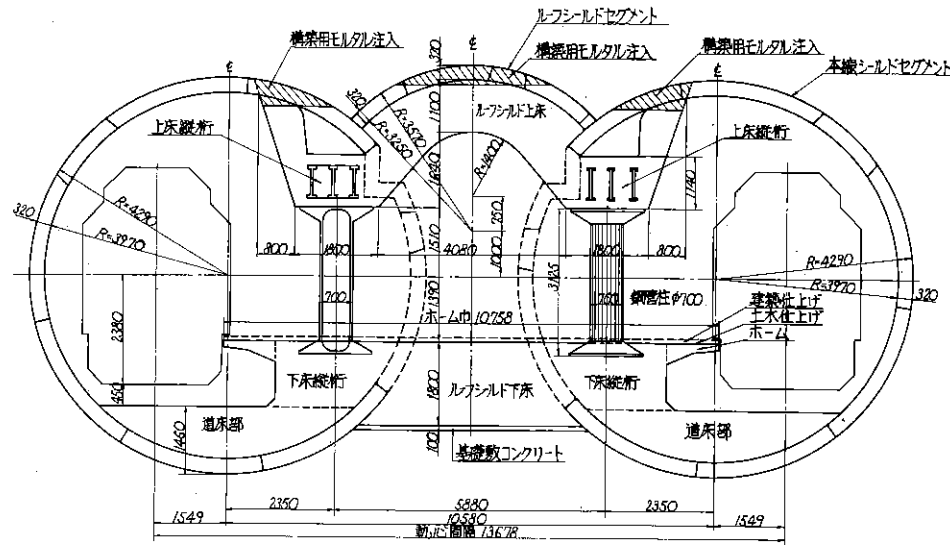
■タヌキ掘り、切掘げ、「よきさし」との語らい

シールド掘削が完了後、2本のトンネルのホームをつなぐ連絡通路の工事が始まりました。大量の地下水があるなか、薬液注入による地山補強のみでセグメントに空けた、人ひとり入れる大きさの開口部から、丸太と矢板で導坑を掘削して、トンネルの間を切掘げる工事です。この工事には黒部のトンネルを掘った「よきさし(斧指)」と呼ばれる坑夫があたりました。よきさしが生材の丸太と矢板をよく手入れされた鋸と自作の斧を使い、手際よく支保工を立て山留めをしていくさまは、まさしく入社前に見た『黒部の太陽』の永田町版を見ているようでした。夜勤のときには「よきさし」から黒部の話やら山トンネルの話を聞くのが楽しみなものでした。

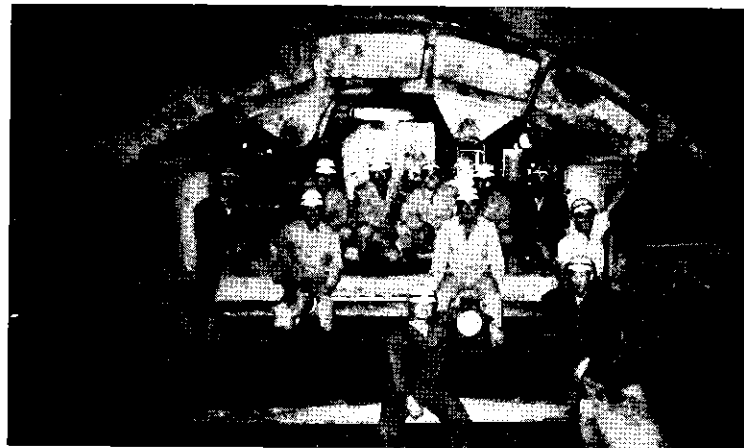
ルーフシールド (有楽町線永田町駅)

営団地下鉄8号線(有楽町線)の永田町駅工事は、2本のシールドの間をルーフシールドで掘削するという日本では初めての「ルーフシールド式めがね型駅」築造工事でした。ここではルーフシールドの掘進やセグメントの組立て方法、本線セグメントとルーフセグメントとの取付け方法など多くの工夫を行いました。

記憶に残る工夫を紹介します。本線シールドの掘削が終わり、ルーフシールドを現場に据付け、



永田町駅構造図



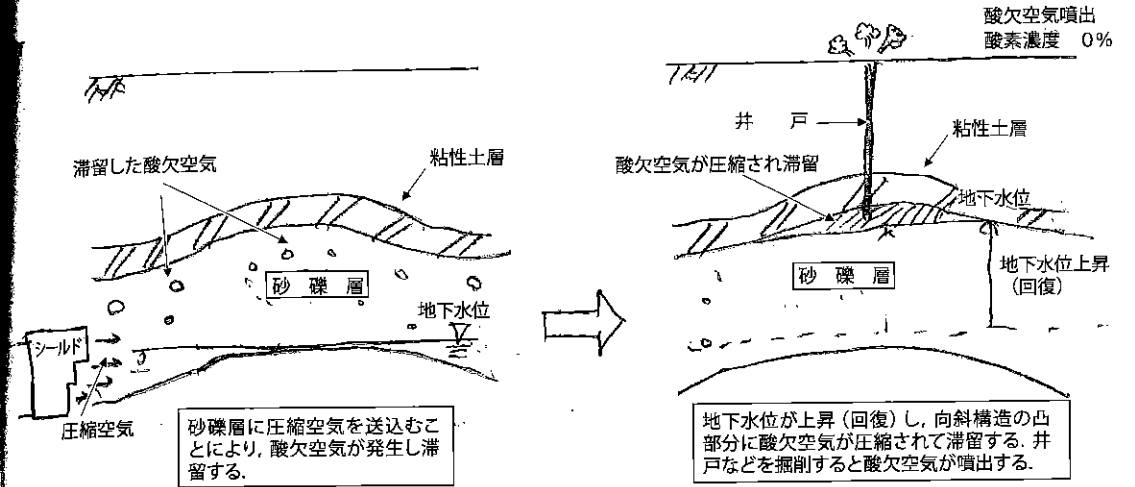
ルーフシールド到達(著者は右から3人目)



永田町駅構築完成

仮壁を壊すまえに、下請けの職長を交えて施工研究会を行いました。ルーフシールドを、本線トンネルのL形特殊セグメント上をスライドベッドとし、2連のコロを設置して推進する計画でした。会議の席上、職長から「重量のあるコロを切羽でうって返して設置するのは危険な作業であり、必ずしも平坦ではないスライドベッドの上を果たしてコロが回ってくれるだろうか？それより平板のソリにして滑らせたほうが良いのではないか？」という意見が出されました。「なるほど」ということで、即刻コロを外し、それをルーフシールドのスライド部分に取付けました。結果、想像した以上にスムーズにシールドを推進することができました。これもいろいろな人の意見を取入れて仕事を進めることの大切さを教えられた貴重な経験でした。

ルーフシールド工事は土木学会賞を受賞しました。このような工



酸欠空気噴出のメカニズム

事の施工者の一員に加われたことは感慨深いものがありました。

手掘り圧気の単線シールド(半蔵門線シールドトンネル)

東急新玉川線渋谷シールド工事は、初めての単線断面シールドで、掘進距離が1,100mの工事でした。渋谷の道玄坂直下を、下り勾配(25/1,000)かつ急曲線(R=250m)で礫層を掘進する際、圧気圧0.7 kg/cm²に加え、到達立坑からのディープウェルや切羽薬注、後方セグメントの注入孔を利用したウェルポイントなどの補助工法を行ったにもかかわらず、切羽からは毎分1tを超える湧水があり、湧水による切羽の崩壊に悩まされました。

切羽崩壊が起きた際、すぐに点呼を取ったところ作業員が1人足りないことがわかりました。幸い残土搬出のベルトコンベヤが回っていたため崩壊した土と一緒に作業員は救出されました。一瞬の間土を被っただけでけがもなかったのですが、翌日には故郷に帰った

ようです。今になって思えばソツとする経験でした。

また、ここでも圧気による酸欠空気が沿道の井戸に悪さをしました。沿道の渋谷道玄坂円山町にはラブホテルが軒を連ね、その多くで井戸が設置されていました。そのうちの1軒から「井戸水で入れたお茶がたちまち真っ黒になった。工事で変な薬でも使っているのではないか？」との苦情がありました。調べた結果、ここの地層も酸化第一鉄を含む地層であったため、井戸水に溶け込んだ鉄分とお茶に含まれるタンニンとが反応し、黒いお茶になったとのことで一件落着、という騒ぎもありました。

開削工事での酸欠空気との遭遇(東北新幹線上野駅)

東北新幹線上野地下駅工事(開削)は私にとっては初めて国鉄の工事を経験するもので、工区を斜めに横切る銀座線構築(延長80m、面積500m²)を仮受けしたのち、その下部を掘削し、駅部を構築する工事でした。

この工事でまた酸欠空気に出会いました。路下基地から銀座線仮受け柱建方のための深礎掘削を始めたところ、すでに都内では圧気工事は施工されなくなっていたにもかかわらず、酸欠空気を含む地層(東京礫層)からぶくぶくと泡が混じった湧水が出ました。すぐに作業員を退避させ酸素濃度を計測したところ、酸素濃度18%を下回る酸欠空気であったため、深礎掘削を中止し、深礎内の換気を行い、安全な濃度になるのを待ち、掘削を再開しました。同時に地下水水位を観測していた観測井からも酸素濃度0%の酸欠空気が噴出しました。過去の圧気工事により発生した酸欠空気が礫層中に滞留し、地下水水位が回復したあと向斜構造部分で圧縮された状態で潜んでいたと思われる。これは後述の牛込濠地下鉄工事のときにも見受けられました。

過去に圧気工事が施工された都市部では、現在でもこのような現象が起こることを認識してください。

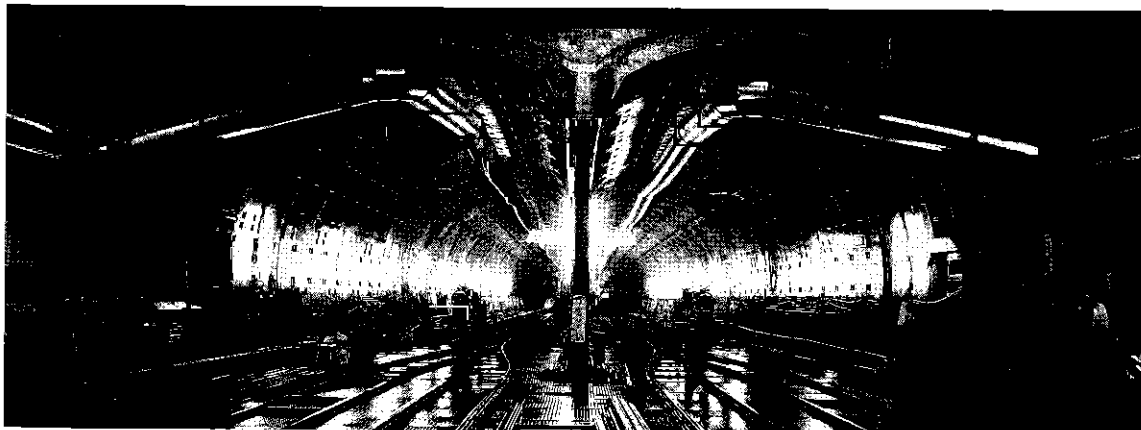
MF(マルチフェイス)シールドの開発 (京葉線京橋トンネル)

昭和60(1985)年の春、国鉄から御徒町トンネルと京葉線京橋トンネルを同時に受注し、私は京橋トンネルの主任技術者として赴任しました。

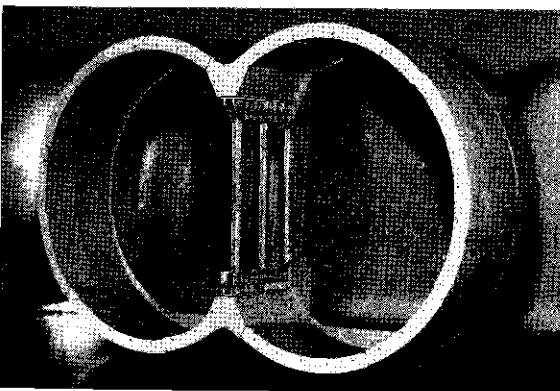
同年9月国鉄の東京第一工事局から、発進立坑の形状を決めるにあたり継続発注されるシールドについて新工法を記した1枚の手書きのスケッチを見せられました。円を2つ重ねた形の断面で、「このような形のシールドは施工できるか?」との喚問でした。のちの

多円形シールド・MFシールドと呼ばれるシールドでした。最初はやんわりと地山保持やシールド操縦性の困難さを説明しましたが、1年半後に迫った国鉄民営化を前に、明治以来100年続いた国鉄の技術の最後の集大成に位置づけたいとの強い意向を受け、当社としても「熊谷組にできないトンネル工事はない。」を合い言葉に、新しいシールドの開発に向け全社一丸となり、取組みを開始しました。「民営化される前、国鉄として新工法のシールド機械製作、セグメントの製作工事を発注したい。」との意向から、新工法を実現させるための技術検討、設計、実験に

よる検証など、開発に与えられた時間は1年足らずという厳しいものでした。まさしく不眠不休で、主任技術者として発注者、社内、シールドマシンメーカー、セグメントメーカーの調整に飛び回りました。発注者にとっても複線断面で計画されていたものを新しい形に変更することは許認可を含め膨大な変更手続きがありましたが、その熱意はたいへんなものでした。やり遂げるといふ目標が掲げられ、発注者、施工者が一体となったことで、時間が少なかったにもかかわらず、このような開発ができたものと思っています。この工法の開発は後の新工法SENSの開発に



京橋トンネル MF(マルチフェイス)シールド



MFセグメント模型(発泡スチロールとボール紙)



MFセグメント(工場組立て)



TBSニュース取材(左から2人目が渡邊東京工事区長、3人目が三雲孝江さん、5人目が著者)

も影響を与えました。

開発を進めるにあたり、工法のイメージをみなが共有しやすくするため、早い段階でネーミングを決定し、模型を作ることにしました。発泡スチロールとボール紙でセグメントの模型を、ボール紙でシールドの模型を徹夜で製作し、検討会やヒヤリングの際もこの模型がテーブルの中央に置かれ、出席者のイメージ作りと議論の集約に役立ちました(今では3DCADや3Dプリンターで簡単に作れるのでしょう)。

発進立坑と開削部との間の60m区間はトンネルから駅への拡幅部であるため、断面変化に対応が可能なNATMで施工することになりました。

東京都心でのNATMトンネルも

非常に珍しい工事です。世界で初めての多円形シールドと東京のど真中でNATMの施工という両工事の主任技術者となった私は、シールドとNATMの世界を行ったり来たり忙しくも充実した毎日となりました。

シールド掘進が始まった昭和63(1988)年ごろはバブル絶頂期で、東京の地下開発が騒がれており、MFシールドも新しいトンネルとしてマスコミにも大々的に取上げられました。多くの見学取材の中で当時TBSの夜のニュース番組でキャスターを務めていた三雲孝江さんが取材で現場へやってきたことです。当時はトンネル現場と言えば女性は厳禁の時代でした。なぜか彼女はその厳禁をすり抜けトンネル内に入り、案内役の

東京工事区長へのインタビューでシールド現場への女性の見学についてのGOサインを取付けました。その一部始終がその夜の番組でオンエアされ、以降は見学者の中に女性が混じるようになりました。最初は嫌がっていた職員、作業員も、この取材を機に、マスコミの取材や見学者の中に女性が入ることへの抵抗はなくなったように思います。彼女の取材は日本のトンネル工事の女性に対する認識を変えさせる一歩であったかと思っています。

施工のアイデアと 沿道の方々との交流 (南北線牛込濠シールド)

地下鉄7号線(南北線)牛込濠工区土木工事は、南北線の市ヶ谷・

飯田橋駅間の複線シールドで、牛込濠と呼ばれる江戸城外堀の中に築造する換気坑と市ヶ谷駅の復旧工事がおもな内容でした。

現場説明会での発注者の本部長の説明どおり、施工者のアイデアをいろいろ提案し、取り入れていただきました。最初の現場の所長の教えを忠実に守り、自分たちの工夫でできるものを探し提案しました。あまり設計変更を行わない発注者であったにもかかわらず、以下のような項目でほとんどすべての工種が設計変更の対象となりました。

■換気坑施工方法の変更

円形圧気ケーソンで計画されていたものを、これまで酸欠空気に何度も遭遇した経験から多角形の連続地下壁(本体利用)に変更しました。

■シールド掘進管理・制御システムの開発(シールドマスター21)

掘進管理・制御システムをすべて地上の中央監視室に集め、シールド運転を含めて掘進管理しました。

結果、システムの有効性のみならず、発進前にシールドが、台風によるお濠の増水のため水没したにもかかわらず、シールド掘進管理・制御の機器は水没を免れることができました。

その後、本社において全社のシールドの知恵を結集し、「シールドマスター21」という掘進管理システムを造り上げました。

■平板型セグメントのインサート継手の開発

セグメントリング間継手(トン

ネル軸方向)の一方をインサートにして、ボルトボックスの欠損をなくしました。その後、セグメント間継手(断面方向)も同様にインサート型を開発し、平板型セグメントのボルトボックス数を従来の半分にまで減らすことができました。

■シールド残土の有効活用

掘削残土を使い、シールドの基地となった市ヶ谷駅の埋戻し材に活用したほか、セメントと混練りしてモルタルを製作し、シールドインバート部の材料として活用しました(これは営団工事として初めての試みであり、ほかの数工区でも施工されました)。

また、お濠の両側の土手に桜並木が続き、毎年花見客で賑わっている場所での施工でしたので、春の夕方、沿道の方々を現場見学会と称して換気坑の現場に案内し、その後、工事用にお濠の中に設置した構台で職員手作りの料理を食べながら交流会ならぬ貸切りの大花見大会を催しました。

出席者の中には製鉄会社の子息がおり、現場で見たH形鋼が父親の会社で作っていることを知り、休日に家でゴロゴロしている父親を見直したと、翌朝、母親から報告があり感激しました。また、われわれの生い立ちを知ってもらうことにより、今まで子供に「勉強をしないとあそこで工事している人のようにしかなれないよ」と言っていた母親が「勉強して工事している人のようになりなさい」と言い換えたというのを聞き、われわれに対する社会の認識の低

さを改めて知らされた一幕もありました。

支店管理部門、本社の技術営業部門、鉄道営業部門

平成8(1996)年からは、支店管理部門や本社技術営業部門、鉄道営業に在籍しました。

東京支店土木部では新入社員および若手社員の教育係として、研修時には私の経験から「人生のほとんどの時間が仕事に費やされてしまう。そのため、仕事がおもしろいと思わないかぎり、人生もおもしろくなる。おもしろいと思え、達成感を得るために、常に新しいことや今の施工法の改良などを考え思いついたら、迷わずチャレンジしましょう」と言い続けました。先日作業所長になった職員に会った際「研修のときの話はよく覚えています。なかなか実践できませんが」と言われ感激いたしました。

技術営業部門では新規事業としてリニューアル事業を推進しました。過去に熊谷組で作った構造物を瑕疵でもないのにあえて見に行き、聞きに行き、調査することで施工後相当の年月の経った構造物の状態を知ることができ、その情報をもとにリニューアルを提案する「提案型営業」のはしりであったと思っています。

鉄道営業部門では、担当する鉄道・運輸機構の多くのトンネル現場を訪れ、現場施工の様子を見させていただきました。とりわけ東北新幹線三本木原トンネルにおいて工法変更(NATM→SENS)の話

が持ち上がり、その工事の発注責任者の方が、20年前、京橋トンネルで同じ苦労を分かち合った方であったことから、SENS技術委員会に、営業部所属であったにもかかわらず、参加させていただき、一緒に勉強させていただきました。

退職後～現在

退職後、平成20(2008)年に技術事務所を立上げ、おもに鉄道工事の発注案件の設計業務の施工計画のアドバイスの仕事を、現在に至るまで行ってきております。

昨年からはバンコクの地下鉄工事を施工している現地のゼネコンのエンジニアリングにも加わり、海外での日本の技術の評価を肌で感じるようになりました。

ま と め

とりとめなく、これまでの経験と、そこで感じたことを述べてきましたが、ここからは次世代の技術者「技術の担い手」へ『語り継ぎ』たいことを述べます。

■土木構造物の寿命の長さを知り、ものづくりを

この原稿を書くにあたり、私が新入社員のときに担当した国会議事堂駅が熊谷組でリニューアル工事をしているとのことで、その現場を訪ねました。作業所長から「当時の品質水準からすれば非常に良い品物ができている。」と褒めていただきました。施工から四十数年経って、建築の化粧をはがされ、防錆工事を施されているセグメントの姿は、自分の通信簿をみんなに見られているような気が

しました。作業所長と当時の話をしながら、そのころにできたことや、できなかったこと、今後どこを直せば銀座線のように100年維持できるのか、また、これから造る地下鉄は、どのように造れば100年補修なしに使えるのか、を考える材料になりました。まだまだ健在な当時の施工経験者にいろいろな話を聞き、今後の技術に活かしてください。

■外の世界に土木を伝えて地位の向上を

ふだん見ることのない現場を外に向かって伝えていくことで、土木を目指す人、次世代の技術の担い手を増やして欲しいものです。二十数年前、地元でかかわっていたボーイスカウトの少年たちに、御徒町のパイロットトンネルを見学させたことがありました。見学したボーイスカウトの少年たちはみなその夜は興奮して眠れなかったそうです。そのときのメンバーの一人が後に土木学会総会で論文賞を受賞しました。私はたまたまその場に立会い、あ那时的体験が土木に進むきっかけになったの

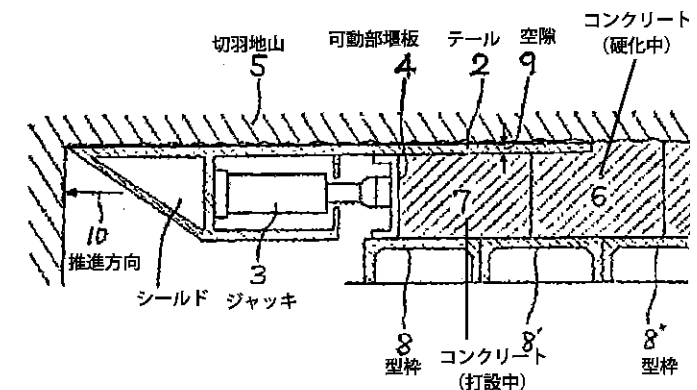
かと感激し、外の世界に土木を伝えて行くことのたいせつさを痛感しました。

■昔のアイデアを今の技術でよみがえらせられないか?

東北新幹線三本木原トンネルで技術開発に携わったSENSは、現状の施工技術(ECL)をもとに、密閉型シールドの要素に24時間流動化しながらもその後は早期に強度が発現するコンクリート技術を加味することで、より安全で精度の高いトンネル技術を開発したものです。

場所打ちライニングのアイデアは(元)熊谷組専務の大塚本夫氏が『シールドによるトンネルの構築方法』という特許を昭和34(1959)年に出願し、昭和37(1962)年に公開されたものです。ただその時代には、まだそのアイデアを実現する技術・ツールが存在しなかっただけで、その考え方はすでに特許の切れた今でも十分生きています。

もしアイデアに行き詰まったら、昔の人のアイデアを探してみると、今の時代だからこそ実現できる技術に出会えるかもしれません。ゼ



ECL・SENSと同様の発案がすでにされていた特許(昭和34年出願、同37年公開・大塚本夫氏(熊谷組))

ひ試してみてください。

■土との対話のたいせつさ

圧気掘りシールドの切羽では、含水量の少ない土は砂時計の砂のようにさらさらと崩れ落ち、逆に多いとだらだらと崩れていきます。切羽の土に触れてみて、最適の含水量を保つ圧気圧を決めていました。切羽の土を直接手で触り、匂いを嗅ぎ、出ている水を舐めて地山の状態を推し量った時代がありました。しかし今では、シールドのほとんどが密閉型になり、切羽地山の様子は技術者の五感ではなく、そこに現れる数値で判断するしかなくなってきています。

MFシールド開発の際、マシンメーカーの技術者は「マシンメーカーは鉄を扱うことが専門です。鉄は人が作ったものだから、どのような力がかかればどのようなかはずべてわかります。しかしマシンが相手をする土は神様が作ったものです。神様が作った土のことは経験を積んだトンネル屋さんにはわかりません。だからマシ

ンの細かい仕様は使う側のトンネル屋さんに決めていただきたい」と言われました。常に土と対話ができるトンネル屋を目指して欲しいと思います。そのために、シールドとトンネルそれぞれの技術者がその境界領域を経験することが新たな技術を生む糧になるのではないのでしょうか。

■日本の技術の見直しは海外から

このシリーズでも「海外にぜひ行きなさい」と語っておられる先輩諸氏がいらっしゃいます。確かに日本だけに通じる技術をいくら振りかざしても「井の中の蛙」。なかなか評価を受けることはありません。

ぜひ海外での工事を経験し、外から見た「日本の技術」をもう一度見直してください。

おわりに

最終目標「夢のトンネル技術は？」と聞かれたとき、すぐに浮かんでくるのは「モグラのトンネル」です。地中を自由自在に掘り進むモ

グラの光景を思い浮かべます。掘削するための電線も配管もなく、掘った土を外へ出すこともなく、掘ったあとの覆工(吹付けコンクリートやセグメント)もなく、トンネル空間ができていくものです。今われわれが持っている技術を、日々改善・改良し、豊かな発想を持って最終目標に向かって努力してもらいたい。

地学少年が、もっと大きくてきれいな水晶の結晶欲しさに土木工学に進み、『黒部の太陽』の映画を見て石原裕次郎のかっこよさに憧れ、トンネル屋を目指し早45年。この仕事に携わることができ、トンネル技術の進歩に少しかわることができた幸せに感謝しています。今まさにトンネル現場の一線で仕事に携わっている方々が「夢のトンネル技術」に向けた歩みを少しでも進めるヒントになれば幸いです。

また、この企画の執筆者の一人としてお選びいただきました関係者の皆様に感謝申し上げます。

報告

「ITA総会および世界トンネル会議 (イグアス、ブラジル)」報告

日本トンネル技術協会

第40回国際トンネル協会(以下「ITA」)の総会が、2014年5月9～14日にブラジルのイグアスで開催され、71の加盟国のうち52か国が参加した¹⁾。併せて開催された2014年世界トンネル会議(以下「WTC」)は、ITAおよびブラジルトンネル委員会(CBT)の共催により、「より良い生活のためのトンネル」のテーマのもとで約1,500名の参加者があった²⁾。

日本からは、佐藤会長をはじめとするITA総会、作業部会(以下「WG」)の担当者およびWTCの論文発表者など三十数名の参加があった。

以下に、その概要を報告する(以下、敬称略)。

1 ITA 総会

1-1 ITA総会(代表者会議)

1-1-1 会員状況

今回、新規加盟国はなかったが、新規会員として法人会員11名、個人会員1名の加入を承認した。その結果、会員は全体として71か国、法人会員192名、個人会員93名となった。

1-1-2 決算報告および予算

過年度の決算報告および2014～2015年の事業計画・予算を承認した。

ITAの年間の事業規模は、おおむね63万ユーロである。



写真-1 第40回ITA総会会場

1-1-3 役員の選任

理事の補欠選挙が行われ、ポーランドの Anna S. Lewandowskaが選任された。任期は、2014～2017年。

1-1-4 ITA YMG(若年技術者グループ)の創設

35歳以下の若いトンネル技術者のためのグループの設立を承認した。委員長はJ. Karlovs(オーストラリア)、副委員長はP. Salak(イギリス)である。

ITA YMGは、若い技術者や学生を対象としITA内の技術的な情報交流のためのプラットフォームを提供し、新世代のトンネルへの意識を高め、世代間の技術の伝承などを目指そうとするものである。提案者であるイギリスやオーストラリアには、すでに同様のグループがあり、その他の加盟

国においても設立が期待されており、準備中の国もある。

1-1-5 ITA会費の改定

前回の会費改定(2011年)以後の物価上昇、活動経費の上昇に鑑み、会費を下記のとおり改定した。

- ・加盟国(I類) 1,100ユーロ→ 1,200ユーロ
- (II類) 775ユーロ→ 850ユーロ
- (III類) 500ユーロ (変更なし)
- ・団体会員 500ユーロ→ 850ユーロ
- ・個人会員 130ユーロ→ 150ユーロ

1-1-6 今後のITA総会、WTCの開催予定

2017年の開催候補地として、パリ(フランス)、ベルゲン(ノルウェー)、アムステルダム(オランダ)が立候補したが、投票の結果、ベルゲンで2017年6月9～16日に開催することが決定された。テーマは「Surface Problem—Underground Solution(地表の課題—地下の解決策)」である。

なお、来年2015年はクロアチアのドゥブロブニクで5月9～15日(テーマ「南東欧州地域におけるトンネル建設の推進」)⁹⁾、2016年は米国サンフランシスコで4月22～28日(テーマ「トンネル業界の団結」)¹⁰⁾に開催の予定である。

1-1-7 次回のMuir Wood記念講演

来年、ITA-WTC 2015ドゥブロブニクの講演者は、Pietro LUNARDI((元)イタリア国土交通大臣)の予定である。

1-2 出版物および情報発信

1-2-1 ITAウェブサイト¹¹⁾

WTC 2013の際に模様替えした最新版のウェブサイトは、PCだけでなくタブレット端末やスマートフォンでも利用可能である。来訪者は、昨年実績で、1月あたり130か国、約4,700名であった。

1-2-2 メール配信「ita@news」

ITAニュースのメールを今年5回配信した。配信先は約8,000名であった。メール配信希望者はITAウェブサイト上で登録が可能であり、ITAも定期購読者からの反応を期待している。

1-2-3 論文集「Tunnelling & Underground Space Technology(TUST)」

TUSTは、印刷物としての出版のほか、ITA会

員は電子版へのアクセスが可能である。

1-2-4 ITA報告書

この1年間に、ITA報告書として以下の4冊を発刊した。

- ・ITA-WG5：(坑内作業員の)避難用チャンバ
- ・ITA-Tech-モニタリングAG：都市トンネルにおけるモニタリング頻度のガイドライン
- ・ITA-Tech-掘削AG：セグメントの裏込め施工に関するガイドライン
- ・ITA-COSUF：地下鉄道の火災安全設計のための技術手法

これらの報告書は、ITAウェブサイト¹²⁾からダウンロードが可能である。

1-2-5 ビデオ

ITA-Techが2013年6月に開催したDeminar『吹付けによる防水膜』のビデオを作製した。これは、ITAウェブサイト¹³⁾やYouTubeにアップロードされている。

1-2-6 SNS(ソーシャルネットワーク)

ITAは、LinkedInを利用して積極的な情報交換などの活動を展開している。ITAウェブサイト¹⁴⁾にあるinからログイン可能である。このグループには、現在約2,600名の会員が登録している。

1-3 理事会、作業部会などの活動報告

1-3-1 理事会の活動

理事会は定例の会議を5回開催した。監査報告で指摘があった、新規加盟国との関係に配慮しつつ、従前と同様の活動を展開した。

特定のトピックを検討するために、今年は5つのタスクフォースを立ち上げた。

- ・ITAの新しい戦略
- ・ITAのワーキンググループおよび委員会
- ・産業界との連携
- ・ITAの若年技術者の会員
- ・ITA-WTC 2014のオープンセッション

ITAの新しい戦略については、ITAの使命、目標および活動を明確にするために、1年間の議論を重ねた結果、新しいビジョンを次のように定めた。

「ITAは、知識を共有し、技術を適用することにより、トンネルおよび地下空間の利用を促進するよう世界を牽引する組織である」

そして、以下の7つの目標を掲げ、今後これらの具体化について理事会で議論を重ねることとしている。

- ・加盟国との連携強化と活性化—とくに新規加入加盟国—
- ・WGおよび委員会の連携と機能の改善
- ・産業界との連携の拡大
- ・教育および訓練による知識の共有の奨励
- ・ITA若年技術者グループの創設と展開
- ・地下空間利用の促進
- ・加盟国、産業界、国民との連携の改善

理事会は、29の加盟国が主催する会議やイベントに訪問し、参加し、認証することを通じて加盟国との関係の発展を追求した。また、ITAの会員となっていない国のさまざまな会議や会合に出向いてITAの紹介をした。

姉妹協会である、PIARC(世界道路協会)、ISRM(国際岩盤力学学会)、ISSMGE(国際土質力学・地質工学学会)、ITIG(情報技術集団)、IFME(国際都市工学連盟)、ISOCARP(地域計画国際学会)、ACUUS(都市地下空間協会)、ICLEI(持続可能性を目指す自治体協議会)、IRF(国際道路連盟)のほか、国連のISDR(国際防災戦略事務局)、HABITAT(国連人間居住計画)との連携を図った。

1-3-2 作業部会(WG)の活動

現在活動している13のWGは、通常はWTCの会期中に会合を催している。また、この1年の中間にも会合を開いているWGがいくつかある。活動の成果としてのガイドラインや勧告などの成果が増えてきている。

先に述べた理事会のタスクフォースでは、各WGや委員会活動のマネジメントやピアレビューの手続き、および達成された成果の広報に関して改善を図ってきている。

各WGの活動状況は以下のとおりである。

(1) WG 3：地下工事の契約

部会長：A. Dix(オーストラリア)

副部会長：M. Smith(イギリス)

担当理事：T. Celestino(ブラジル)

今回は、部会長代行として、A. Hodgkinsonが議長を務めた。日本からは村上浩次(鹿島建設(株))が参加した。

今回の会合では、昨年度結成したタスクグループのうち、①「契約実務上の成功事例の情報収集と要因分析」についての進展があった。トンネルプロジェクトに携わる人(企業者、設計者、請負者など)へのアンケートを行い、その収集状況が披露された。おもな質問内容は、各人の専門、プロジェクトでの立場、経験年数などの個人的な情報から、WGのテーマである契約の仕様(基準)、契約の形態、契約時点で地質などの建設リスクを認識していたかなど、その数は50以上にのぼっている。

ただし、現時点での調査は試験的な位置づけであり、60人程度の匿名の回答者から、一問一答の回答を得るにとどまっている。しかし、このアンケートの手段を継続し、契約にかかわる問題を抽出・分析し、契約トラブルの回避のためのガイドライン作りへとつなげたいという方向性を示すことができた。今回の会合で、現状のデータの分析を行いつつ、新たなデータの収集を各担当で行うことを今年度の目標とした。

昨年度の残る3つのタスクグループの課題：②「地盤工学ベースライン報告書の作成で考慮すべき事項の提言」、③「地下工事において模範とすべき契約の有り方の提言」、④「地下工事に適した紛争解決メカニズムの提案」のうち、③、④については、両方にかかわるかっこうで、FIDIC(International Federation of Consulting Engineers：国際コンサルティング・エンジニア連盟)の仕様書をベースにしたトンネル建設での契約形態などについて議論を行った。

私は前述のタスクグループ①に参加し、こちらには不参加であったため、議事のメモを参考にすると、ITAの同意のもと、FIDICの仕様書から適

用可能なガイドラインを発行することを目標に、そのガイドラインに盛り込むべき課題の抽出を行っていた。

(文責：村上浩次・鹿島建設(株))

(2) WG 9：地震の影響

部会長：G. Piaggio(チリ)

副部会長：未定

担当理事：D. Peila(イタリア)

日本からは赤澤正彦、阪田暁((独)鉄道・運輸機構)が参加した。

今回の会合では、トンネルの地震被害事例のとりまとめ方法が議論の焦点となった。前回の会合で当時の部会長であったW. Qiuがおもに中国で地震の被害を受けたトンネルに関し、トンネルのスペック(延長や土かぶりなど)や施工時の情報(地質や支保パターンなど)、地震の発生状況(規模や震源からの距離など)、トンネルの被害状況などの項目についてとりまとめを行っていた。今回はこのデータ収集項目の内容を吟味したうえで、これらの情報をより多くの国で収集し、来年までを目標にトンネルの地震被害のデータベースを作成することとなった。その際、対象とするのは今回のWG出席者の出身国を含む14の国・地域とすることが申し合わされた。

なお、WG終了後、G. PiaggioからWG出席者宛てに、地震被害データベースの作成に有用な文献の提供の呼び掛けが行われた。

(文責：赤澤正彦・(独)鉄道・運輸機構)

(3) WG 12：吹付けコンクリート

部会長：E. Grov(ノルウェー)

副部会長：S. Bernard(オーストラリア)

担当理事：N. Kazilis(ギリシャ)

日本からは保利彰宏(デンカケミカルズ)が参加した。

本WGは、吹付けコンクリートの新材料や新技術について世界各国から情報を取り入れ、ITAメンバーへ広く配信することで、最新情報を世界規模で共有することを主目的としている。

今回は17の加盟国から27人の参加があった。1989年の活動開始以降、さまざまな情報を発信し

ているWGであるが、近年は成果の進捗が遅く、改善策を探るべくグループのマネジメントに関する協議が行われた。

また、ノルウェーの調査期間COIN(SINTEF：科学産業研究財団の外郭団体)から防水性能の評価に関する発表が行われた。

〈方策1〉テーマの絞込み

現在8種類の個別テーマを、4種類へ統合/削減することを合意。

- ① 繊維補強吹付けコンクリート：レポート案は完成しているため、WG内で回覧のうえ、ITAレポートとして完成させる。
- ② コンクリート配合と耐久性：原案が回覧中であり、各メンバーからのコメントや指摘を反映させる。
- ③ 品質管理：昨年新たにテーマ設定された内容であり、責任者とグループメンバーを選定し、作業に取り掛かる。
- ④ 恒久覆工としての吹付けコンクリート：2001年に発行された文書の見直しを主体業務とする。担当を選定、作業を進める。

〈方策2〉マネジメント

部会長と副部会長の負荷が大きい作業分担構造になっている点、レポートを回覧してもメンバーからの反応が薄く(なく)作業が進まない点、そもそもレポートを回覧する対象が明確に定められていない点など、運営上の課題が多く、下記対策が合意された。

- ① ITA-Tech(1-3-3(4)参照)との協力：類似のテーマをITA-Techで検討しているケースもあり、共同作業とすることで効率向上を図る。部会長および副部会長が共同作業内容を策定し、各WGグループリーダーが実務を進める。
- ② マネジメントルールの策定：参加メンバーに対して最低1つのグループ所属を義務づける、リーダーを中心に限定メンバーで主体作業を進める、回覧は加盟国に限定あるいは全員など、当日の議論では結論が出なかった。部会長および副部会長が改めてルール策定を

行い、必要な情報共有を保ち、効率的な作業進行を行うべく、マネジメントを実施する。

(文責：保利彰宏・デンカケミカルズ)

(4) WG 21：ライフサイクルアセットマネジメント(LCAM)

部会長：M. Muncke(オーストリア)

副部会長：J. Holst(デンマーク)

担当理事：S. Eskesen(デンマーク)

日本からは砂金伸治((独)土木研究所)が参加した。

本WGは、トンネルなどの地下構造物において、ライフサイクルを考慮し、アセットマネジメントの概念の導入の可能性に関する議論を行うために設置されたものであり、技術者の参考となる資料を発行することを目標として活動を行っている。2013年のジュネーブにおける会議で本WG設立の準備に関する議論が行われ、本格的な議論は今回のブラジルの会議から開始された。

今回は、わが国を含め10か国から代表が出席した。初回の公式なWGの開催ということもあり、今後の検討の進め方、および代表的な各国のトンネルなどの維持管理の状況、アセットマネジメントに関連する検討の現況などに関する紹介が行われた。

検討の進め方に関しては、①アセットマネジメントに関する既存文献の調査、②検討にあたっての目標の設定、③ITAにおける他WGとの連携のあり方について議論が行われた。とくに①に関しては、参加各国においてアセットマネジメントを公的に導入している実績がほとんどなく、研究面での報告事例が存在することに止まるといった報告がなされた。また、ライフサイクル、アセットマネジメントの具体的な概念に関して、トンネルなどを対象とした定義がこれまでほとんど明確にされていないことも議論された。そのため、アセットマネジメントに資する要因・パラメータなどといった観点での議論が会議での大半を占める結果となった。その後、各国からの維持管理などのトピックの紹介がなされ、わが国からも道路トンネルの現況および維持管理手法に関する報告を行った。

本WGにおける具体的な検討はこれから実施されていくものと考えられるが、わが国のトンネル技術のいっそうの発展に資することを念頭に置き、わが国における検討状況などの発信を行いつつ、各国の動向を注視していくことを考えている。

(文責：砂金伸治・(独)土木研究所)

日本から参加しなかった以下のWGについては、各部会からの活動報告の概要を紹介する。

(5) WG 2：研究

部会長：C. Yoo(韓国)

副部会長：E. Chiriotti(フランス)

担当理事：E. Leca(フランス)

本WGでは地下構造物における調査研究に関する内容を取上げ、計画・設計・施工などの分野に関して技術者の手助けとなる話題を中心に審議を行い、とりまとめた資料はホームページでの公開や出版物の発行を目標としている。

前回に引き続き、①トンネル計画における現地調査方法、②トンネル工事におけるリスクマネジメント、加えて③繊維補強コンクリート覆工について検討した。

(6) WG 5：工事中の安全衛生

部会長：D. Lamont(イギリス)

副部会長：M. Vogel(スイス)

担当理事：R. Haug(ノルウェー)

今回、報告書『(坑内作業員の)避難用チャンバ』を発刊した(1-2-4項参照)。

『圧気下における作業のガイドライン』をイギリストンネル協会の圧気WGと協働で最終原案をとりまとめ、理事会によるピアレビューののち2014年11月に出版の予定。

『地下工事車両の安全に関するガイドライン』については、次回のWTCのWGで最終案を審議したのち、2016年に出版予定である。

(7) WG 6：維持修繕

部会長：H. Russell(アメリカ)

副部会長：R. Bosch(オランダ)

担当理事：T. Celestino(ブラジル)

2004年に発刊した『道路トンネルの耐火に関する

るガイドライン』をレビューし、2014年7月に改定(案)を作成する。

供用中のトンネルにおける地下水抑制について、点検手法、補修方法、データの管理、管理者の補修の認定、代表的な補修事例、維持管理の軽減のための設計時の配慮事項などの現況を検討した。

耐火に関する新WGの設立についての勧告を検討した。

(8) WG 11: 沈埋・浮きトンネル

部会長: J. Baber(イギリス)

副部会長: E. Putten(オランダ)

担当理事: D. Kolic(クロアチア)

沈埋トンネルについては、『企業者のためのガイド』の付属資料として、最終継手、函体製作、耐震設計、修復、函体の曳航などの11項目について、最終案を理事会に提出し、さらに10項目の付属資料を作成した。

既刊の『沈埋トンネルカタログ』の更新、環境に関する論文について検討した。

『浮きトンネルのガイド』については、次回のWTCまでには第1次案をまとめる予定。

(9) WG 14: 機械化掘削

部会長: L. Babendererde(ドイツ)

副部会長: B. Fulcher(アメリカ)

担当理事: R. Lovat(カナダ)

① チャレンジング・プロジェクト

世界の機械化掘削によるチャレンジング・プロジェクトのリストを整備した。

② 『地下プロジェクトの展開に関するガイドライン』についてWG 19(在来工法)と協働して作成した。

(10) WG 15: 地下工事と環境

部会長: J. Rohde(ノルウェー)

副部会長: N. Bobylev(ロシア)

担当理事: A. Lewandowska(ポーランド)

トンネル掘削残土の処理・処分および工事中の騒音・振動に関するアンケートを実施した。

トンネル掘削残土に関する報告書については、2014年12月に最終案を理事会に提出し、2015年5月には発刊を予定している。

在来工法の振動については、EFEE(爆破技術者欧州連合)との協働のもと、着手を予定。

(11) WG 17: 大土かぶり長大トンネル

部会長: G. Seingre(スイス)

副部会長: M. Schivre(フランス)

担当理事: J. Yan(中国)

今回、プロジェクトの事例紹介や、既存プロジェクトの進捗状況の発表があった。

今後、膨張性地山、剝離性地山、山跳ねなどの困難な地山条件下の大土かぶり長大トンネルにおけるTBMの利用に関する報告書を取りまとめることを合意した。

(12) WG 19: 在来工法(NATM)

部会長: H. Ehrbar(スイス)

副部会長: R. Galler(オーストリア)

担当理事: A. Gomes(チリ)

トンネルに詳しくない企業者などに対する『トンネル掘削工法の選定に関するガイドライン』および『地下プロジェクトの実施に関するガイドライン』について、WG 14(機械化掘削)と協働で議論した。

(13) WG 20: 都市問題と地下化による解決策

部会長: W. Broere(オランダ)

副部会長: V. Ahuja(インドネシア)

担当理事: I. Lee(韓国)

本WGは、都市の諸問題に対して地下利用による解決策に注目し、地下利用を成功に導く鍵を特定することや地下利用の意志決定をするプロセスを改善することについて検討をしている。

今回は、サンパウロ地下鉄における都市環境の積極的な創造の成功例と課題などの事例発表があった。

なお、ITA-CUS(1-3-3項(3)参照)と連携して活動している。

1-3-3 ITA委員会の活動

ITA委員会は、委員会への登録、参加とともにITAとは独立して運営されており、近年、各委員会の活動がとみに活発化している。ITA委員会はITA傘下の組織であり、その成果についてはITA加盟国も共有することができる。

(1) ITA-COSUF: 安全運営委員会

委員長: R. Leucker(ドイツ)

副委員長: M. Wietek(スイス)

担当理事: F. Amberg(スイス)

地下施設の安全と管理運営に関する最新情報の交換と発信を目的としており、PIARCとの連携のもとで活動している。

メンバーは、23か国の公共機関、コンサルタント、研究者、産業界、請負者などにより構成され、次の4つのグループで活動を展開している。

AG 1: 欧州および国際的な情報交換

AG 2: 基準および実施例

AG 3: 研究および新しい知見

AG 4: 欧州の道路トンネル安全担当官の会合

『地下鉄道の火災安全設計のための技術手法』を出版した(1-2-4項参照)。また、既刊報告書『道路トンネルの安全基準に関する調査』の見直しを予定している。

(2) ITA-CET: 教育訓練委員会

委員長: R. Galler(オーストリア)

副委員長: M. Deffayet(フランス)

担当理事: D. Peila(イタリア)

ITA-CETは、29の大学および14の企業で構成される。

ITA-CET基金の支援のもとで、以下の4つのグループで活動を展開している。

AG 1: ITA加盟国を対象とした教育訓練

AG 2: 専門技術者を対象とした教育訓練

AG 3: 大学、教育機関との連携

AG 4: E-ラーニングや教材の開発

現在、17の教育訓練プログラム研修コース(機械化掘削、在来工法、吹付けコンクリート、リスク管理、沈埋トンネル、共同溝、計測管理、数値解析、現地調査、地下空間利用など)を用意しており、ITAは、教材の提供、講師の紹介などによりこれらを支援している。

今回WTCの一環として開催したITA-CET教育訓練コース(2日間)は、「エネルギーの生産、備蓄、輸送のためのトンネル」をテーマとした講義内容であり、約150名の参加があった。

(3) ITA-CUS: 地下利用委員会

委員長: H. Admiraal(オランダ)

副委員長: A. Cornaro(スイス)

担当理事: A. Elioff(USA)

都市部の地下空間の利用促進のため、2011~2013年にわたりWTCのオープンセッションで議論を重ねてきた。その後も、BBC放送の出演、コロンビアの世界都市フォーラムや国連HABITATなどの参加を通して、地下空間の利用に対する意識高揚を図った。地下空間利用に関する世界の考え方は急速に転換してきており、これらを意識したITAの活動が期待される。

今後は、#u2fc(Urban Underground Future Conversation)の場での会話の継続を予定。

(4) ITA-Tech: 技術情報委員会

委員長: A. Henniger(スイス)

担当理事: R. Lovat(カナダ)

本委員会は、地下建設に関する調査、掘削、支保、覆工・防水工、モニタリング、修復、設計などあらゆる分野について最新の技術情報を収集することを目的としている。日本からは、保利彰宏(デンカケミカルズ)が修復AG(リーダー: E. D. Neglo(イタリア))の会合に参加した。

本AGは、トンネルのリハビリテーションに関する情報収集、および好適な事例紹介の発信を主目的に活動している。国や地域ごとに指針やガイドラインの内容が異なり、ある国での好適な事例がほかの国では指針上認められないといった事象が想定されるため、各メンバーが地元の代表的な指針を確認している段階である。本AGにおける「リハビリテーション」の定義は、「損傷を受けたトンネルを、原設計で期待された機能に回復させること」であり、共用可能ながら基本設計以下の機能保持は「メンテナンス」として切り分けていて、設計耐用年数を全うさせるための延命措置的な位置づけで議論されている。

テーマ上、材料メーカーからの参加メンバーが中心であり、議論が材料特性に偏りがちとなる課題がある。発信すべき相手は施主や設計、ゼネコンであり、今後はこれらの団体からも参加者を取り

込むべく、並行して活動している状況である。

(文責：保利彰宏・デンカケミカルズ)

1-4 ITAオープンセッション

「地下空間と天然資源」のテーマのもとでオープンセッションが開催された。

ブラジルでは、現在、鉱石生産量の約80%が露天掘りで行われているが、地表面近くの鉱石の減少、環境保全の必要性などから、今後20~30年の間に、50%が地下からの採掘によるものになると推定されている。

オープンセッションでは、今後、鉱業とトンネル技術の相互協力の必要性が提唱された。

2 世界トンネル会議(WTC)^{2),5)}

2-1 Muir Wood記念講演

故Sir. Muir Woodの功績をたたえる記念講演は、スイスのチューリッヒ工科大学のGeorgios ANAGNOSTOU教授により、「水底トンネルの建設におけるいくつかの重要な側面」について講演があった。

この講演では、水底トンネルに関連する地盤工学的な課題(断層帯における切羽の安定性、軟質の堆積岩におけるオープンモードのTBMの限界、膨脹性地盤における事前排水の効果など)について、ケーススタディを交えて解説した。

講演会のテキストは、ITAウェブサイト³⁾に掲載されている。

2-2 WTC基調講演

WTC開会式のあと、下記の基調講演が行われた。

「より良い生活のためのトンネル—技術の現状、課題および将来—」 A. Assis((元)ITA会長)
「在来トンネル工法の課題と技術開発」

J. Golser(オーストリアLeoben大学教授)
「サンパウロ大都市圏の交通機関のためのトンネル」 J. Fernandes

(サンパウロ州大都市圏輸送局長官)

2-3 WTCテクニカルセッション(論文発表)

以下のテーマのもとで、世界各国から論文を募集した。

- ・現場における調査・計測管理
- ・地下構造物の計画・設計
- ・事例研究
- ・鉱山、水路、地下備蓄のためのトンネル・地下構造物
- ・トンネルの運用、安全、維持管理、修繕、修復
- ・機械掘削、在来工法、開削工法・沈埋工法および資機材における技術開発
- ・立坑の設計・施工
- ・リスクマネジメント、契約と保険の側面
- ・南米における岩盤トンネル建設

応募論文約600編のうち350編の論文が採択され、

5月12~14日の3日間、口頭およびポスター(Agora形式：ロビーで順次口頭発表を行う)による発表がなされた⁴⁾。

日本から採択された発表論文数は30編であった。

2-4 WTC展示会

会議場のロビーおよび隣接の展示会場において、掘削機械関連会社、計測機器メーカー、材料関連会社、エンジニアリングコンサルタント、現地の企業および協会など93社の出展があった(写真-2)。

国際的な企業は、ほぼ常連が出展していたが、MEYCOブランドとして大きなブースを構えていたBASFが今回は一転して1区画に縮小、「MASTER BUILDERS SOLUTIONS」の新ブランドでの展開を始めた。BASFはトンネル事業の収支悪化を理由に同社の施工機械部門であるMEYCOをALTAS COPCO社に売却したが、トンネル工事全般を対象としていた既往の事業形態から、ソリューションビジネスに方向転換することで収益向上を狙っていると推察する。

ローカル企業の出展割合が多い傾向は従前同様であるが、施主であるサンパウロ地下鉄、リオ地下鉄や、ゼネコンが大々的にブースを構える傾向は今回独特で、ゼネコンのブースには責任者クラスも常駐していた。南米の設計会社やコンサルタントもビジターで多数参加していた。

欧米では展示会を単なる情報発信/収集のみではなく、重要な商談の場と位置づけており、WTC展示会にも各業界(各社)の意思決定者が多

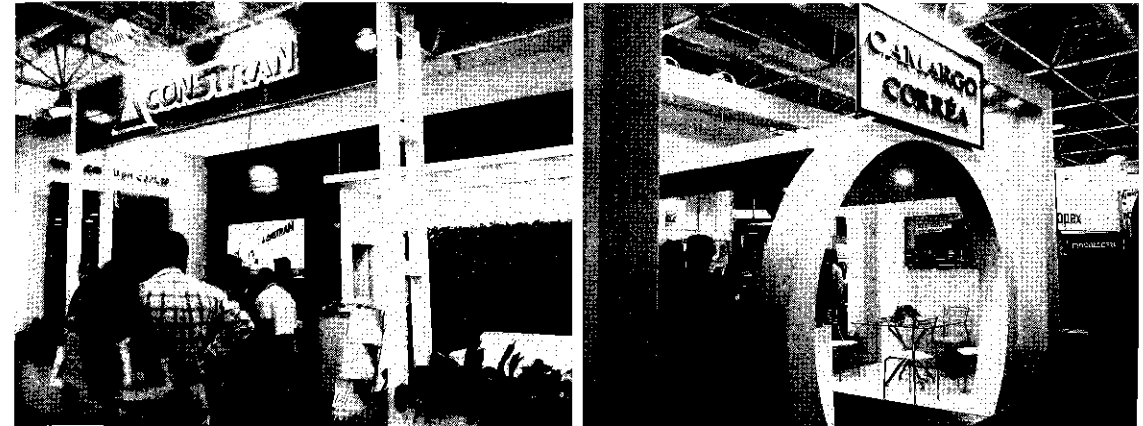


写真-2 地元の大手ゼネコン、注人工事業者のブース

く集っているものと推察する。

各国のトンネル関係社が日本のトンネル技術に強い関心を持つ一方、WTCにおける日系企業および日本の存在感は残念ながらきわめて低い。各社には積極的な参加を検討いただきたい。

(文責：保利彰宏・デンカケミカルズ)

あとがき

本稿は、会議に参加された多くの方々からお寄せいただいた原稿をもとに事務局で編集したことを報告し、お礼の言葉といたします。

参考資料

参考ウェブサイト

- 1) ITA(国際トンネル協会)：www.ita-aites.org

- 2) WTC 2014(イグアス、ブラジル)：

www.wtc2014.com.br

- 3) WTC 2015(ドゥブロブニク、クロアチア)：

wtc15.com

- 4) WTC 2016(サンフランシスコ、アメリカ合衆国)：

www.wtc2016.us

参考資料(JTA図書として保有)

- 5) WTC 2014プログラム、

- 6) WTC 2014論文概要集、391p. WTC 2014全論文集、CD版。

- 7) ブラジルトンネル委員会：Tunnels in Brazil-Past, Present and Future、24p.

- 8) 加盟国の活動報告2013(30か国)。

- 9) 日本トンネル技術協会：Tunnelling Activities in Japan 2014、32p、英語版。

- 10) イタリアトンネル協会：イタリアのトンネル建設技術、2014年版、68p.

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

トンネルジャーナル

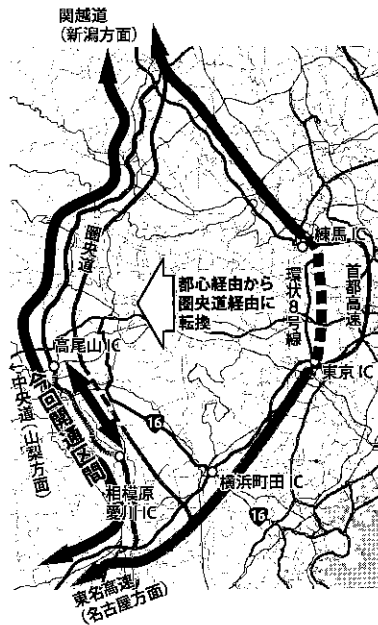
圏央道相模原愛川IC～高尾山ICの開通で大型車が圏央道経由へ転換

国土交通省相武国道事務所と中日本高速道路は、6月28日に開通した国道468号圏央道相模原愛川IC・高尾山IC間の、開通1か月後までに確認された整備効果を発表した。

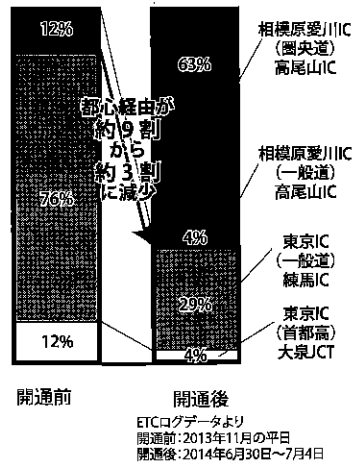
6月に開通した同区間の延長は約14.8kmで、愛川トンネル(約2.7km)、小倉山トンネル(約2.1km)、城山トンネル(約0.4km)、相模原八王子トンネル(3.6km)とトンネルがおよそ6割を占める。この開通で、東名高速と中央道・関越道が、圏央道を経由して結ばれた。

東名高速と関越道を乗継ぐ広域的な移動を行う交通(約2千3百台/日)についてみると、開通前は東名高速東京ICと関越道練馬ICで乗降して一般道を経由する交通が約3/4を占めており、首都高を経由するものも合わせると約9割が都心を経由していた。

開通後は圏央道を経由するものが約6割へと変化し、都心を経由する交通は3割まで減少した。とくに大型車については、東名高速・関越道間の経路



東名高速-関越道間の経路選択(全車)



国土交通省発表資料にもとづく

の選択について、一般道利用が8割を占めていたものが2割弱まで低下している。

一方、開通区間と並行する一般道では、八王子バイパスと国道129号田名赤坂交差点で、1割程度の減少が確認されたが、環状8号線(三木杉陸橋)と国道16号(埼玉県境)はほぼ横ばいだった。

花洲山バイパス2号トンネル貫通

国土交通省仙台河川国道事務所が整備する宮城県大崎市鳴子温泉の国道108号花洲山バイパス2号トンネルが貫通し、8月6日、伊藤康志市長ら約170人が出席して貫通式が開催された。これで同バイパスに位置する5本すべてのトンネルが貫通したことになる。

同トンネルは延長1,194m、仕上り断面50.4m²の2車線トンネル。昨年8月に掘削を開始し、発破掘削を用いて12か月で貫通を迎えた。最大月進は190m。起点側坑口付近にクマタカの営巣が確認されたこと、坑口の近隣に民家があること、また、掘削土運搬に鳴子温泉街を通行することなどから、環境の保全にとくに配慮した施工を行ってきた。

同道は宮城県石巻市と秋田県由利本荘市を東西に



写真提供：(株)安藤・間

結ぶ主要幹線道路で、地域の生活道路であることに加え、沿線の産業経済活動や観光振興など地域間交流を支える重要な路線と位置づけられている。現道は線形が悪く、とくに冬期の安全を確保するため、早期のバイパス整備が望まれている。

研究

覆工はく落に対する定量的な安全性評価法の提案

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

1 はじめに

鉄道トンネルでは、定期的に行われる全般検査時に、はく落に対する健全度を判定し、はく落の危険性がある箇所については適宜対策を実施してトンネルの安全性を確保している。ここでは、目視調査によって複数のひび割れが繋がって閉合している、あるいは交差・平行しているなどのひび割れの形態を把握するとともに、打音調査(覆工をハンマーなどで打撃する調査)の結果と合わせて、はく落に対する健全度 α 、 β 、 γ を判定している。例えば、ひび割れが閉合した箇所を打音して濁音を発するような場合は、要はく落対策に相当する健全度 α と判定している¹⁾。

全般検査では、覆工表面を目視することによりひび割れを認識していることから、ひび割れの形状と幅が把握できる。ここで、覆工表面のひび割れの幅は大小さまざまであるが、ひび割れの閉合が確認された場合でも、ひび割れ幅が大きいほどはく落の危険性が大きくなると類推される。しかし、現行の健全度判定手法は、複数のひび割れが閉合した場合にはく落の危険性が高くなるといった定性的な考え方にもとづいており、ひび割れ幅などを考慮して定量的にはく落に対する安全性を評価する手法がないのが現状である。

このような課題に対して、はく落を模擬した実験や解析的な検討を行い、トンネル覆工片のはく落に対する安全性を定量的に評価することを試み

た^{2),3)}ので報告する。

2 はく落現象のモデル化

トンネル覆工の天端部に図-1に示すようなひび割れが閉合した部分(幅 B 、奥行き D 、厚さ H)があり、この部分のはく落することを想定して、覆工コンクリート片のはく落現象をモデル化した。ここで、単位体積重量を γ 、閉合部分に作用する単位面積あたりの外力を f とすると、覆工片には自重(γHBD)と外力(fBD)が作用することになる。この場合、図中の網掛けしたひび割れ面に作用するせん断応力 τ_s は、網掛け部分の面積が $2H(B+D)$ であることから、次式で表せる。

$$\tau_s = \frac{\gamma HBD + fBD}{2H(B+D)}$$

$$= \frac{\gamma BD}{2(B+D)} + \frac{fBD}{2H(B+D)} \quad (1)$$

もし、ひび割れ面が滑らかで、まったく凹凸がない場合は、図-1の覆工片は落下する。しかし、ひび割れ面には凹凸があるため、せん断抵抗力が発生して覆工片の落下に抵抗する。そこで、式(1)

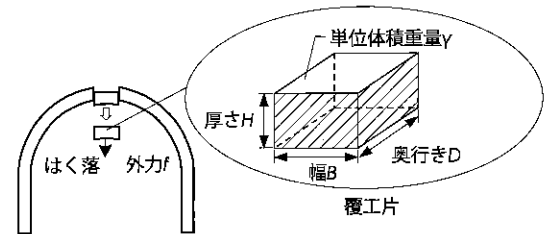


図-1 覆工片はく落現象の模式図

で計算できる「ひび割れ面に作用するせん断応力 τ_a 」が「ひび割れ面のせん断抵抗力」より大きくなると覆工片がはく落すると仮定して、「せん断抵抗力」を「せん断応力 τ_a 」で除した値をはく落に対する安全率として評価する方法を提案した。

例えば、覆工片の幅 B と奥行き D が等しい場合について考える。覆工片の厚さ H が同じ場合、ひび割れが閉合した部分の面積が大きくなるほど、ひび割れ面に発生するせん断応力が大きくなる。また、閉合部分の面積が同じ場合、覆工片が厚くなるほど、せん断応力が小さくなる。

3 はく落を模擬した2面せん断試験

3-1 試験概要

ひび割れ面の凹凸によりどのくらいのせん断抵抗力が得られるかを調べるために、図-2に示すようなはく落を模擬した2面せん断試験を行った。

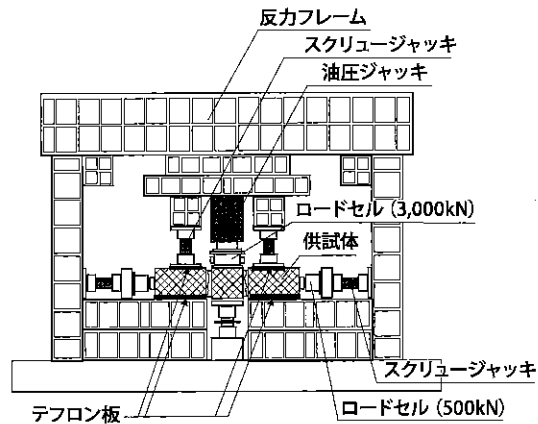


図-2 2面せん断試験の概要

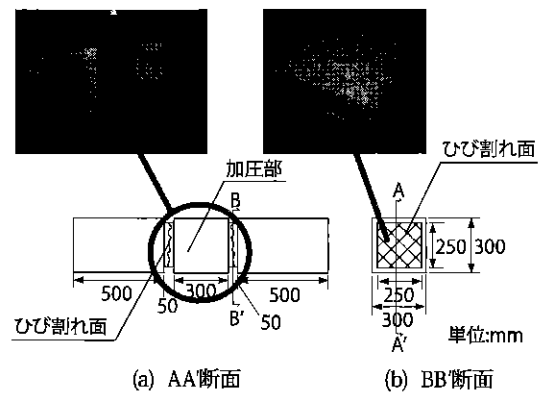


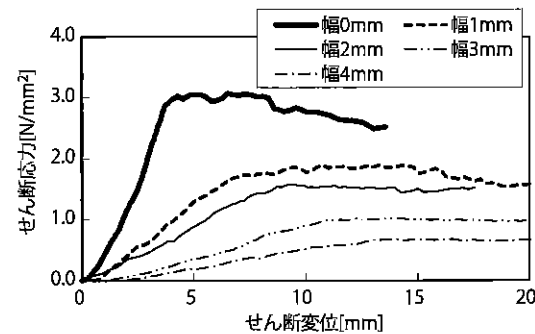
図-3 2面せん断試験の供試体

ここでは、図-3のように2つのひび割れ面をもつ供試体を作製し、はく落片に相当する真ん中のブロックを変位制御(0.015mm/sec)で載荷することにより、はく落現象を模擬している。ひび割れ面の凹凸は1種類とし、粗骨材最大寸法20mmの無筋コンクリート梁(長さ2,000mm、幅250mm、高さ500mm)のせん断試験で得られたせん断ひび割れを型取りし、これを複製した。供試体はモルタルで作成し、試験時の一軸圧縮強さは36N/mm²であった。実験は、ひび割れ幅0, 1, 2, 3および4mmのケースを設定して行った。また、ひび割れ面にテーパがついて、はく落しやすくなった状態を考慮して左右両方のひび割れ面に傾斜(5°および10°)をつけたケースも設定した。

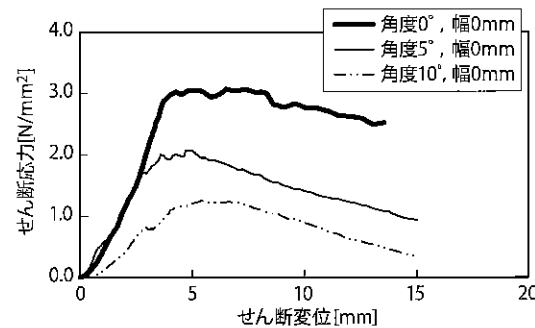
なお、実験前にレーザ変位計を用いてひび割れ面の凹凸を1mm間隔で計測している。

3-2 試験結果

試験結果として、せん断変位に伴う水平拘束力、せん断応力およびダイレーション(せん断過程で発生するせん断方向と直交する方向の変位)が得



(a) ひび割れ幅を変えた場合の結果の比較



(b) ひび割れ面の傾斜角度を変えた場合の結果の比較

図-4 2面せん断試験の結果

られるが、このうちせん断変位とせん断応力の関係を図-4に示す。せん断応力は、せん断変位とともに大きくなり、せん断がある程度進んだ段階で最大値を示し、これ以降は変位が増加しても横ばいになるか低下する傾向を示している。また、ひび割れ幅が大きくなるにつれてせん断応力の最大値が小さくなり、せん断抵抗力が低下することがわかった。さらに、ひび割れ面に角度(テーパ)がついた場合、その傾斜角度が大きくなるほどせん断抵抗力が低下することも把握した。

4 解析手法の開発

4-1 解析手法の概要

せん断抵抗力は、ひび割れ面の凹凸や材料特性などによっても変わると推定される。そこで、これらが異なった場合のせん断抵抗力を把握するため、解析的に検討する手法について検討した。ここでは、岩盤の不連続面がずれるときのせん断挙動を解析する手法⁹⁾を応用し、ひび割れ面の凹凸形状、コンクリートの一軸圧縮強さ、ひび割れ幅がわかれば、せん断抵抗力が計算できる手法を提案した。

本手法は、以下の考え方にもとづいている。

- ① せん断過程において、拘束圧が接触するアスペリティ(計測点間の凹凸)に作用し応力が集中する。
- ② 接触面積はダイレーション角 θ_i (せん断およびダイレーションにより供試体が動く方向とせん断方向とのなす角度)と凹凸形状に依存することから、ダイレーション角を仮定すれば接触する部分に集中する応力が決定できる。
- ③ 接触するアスペリティの応力状態を図-5のように考え、接触するアスペリティに集中する不連続面に直交する方向の応力 P が、一軸圧縮強さと等しくなるように、ダイレーション角の値を決定する。

本研究で実施した2面せん断試験では、ひび割れ面の凹凸を1mm間隔で計測していることから、1ステップにつき1mmずつせん断変位を増加させ

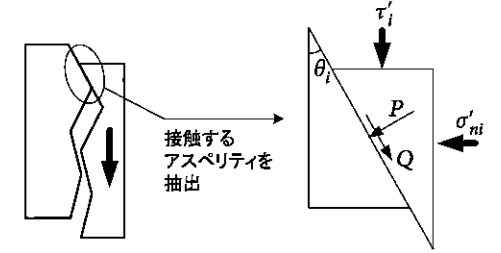


図-5 接触するアスペリティの応力状態

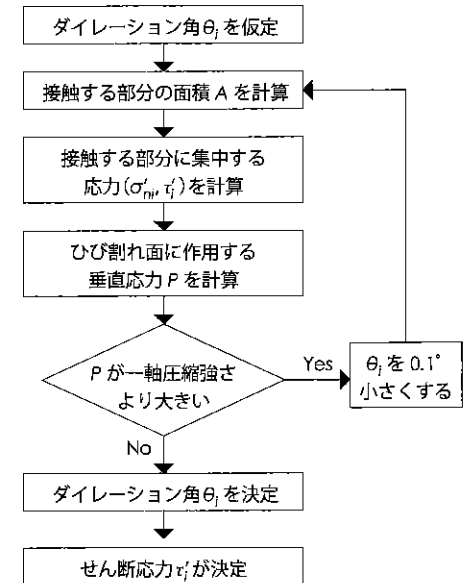


図-6 ステップ i における解析フロー

て、2面せん断試験のシミュレーションを行った。図-6は、解析中の各ステップにおけるフローであるが、計算過程の詳細は既往文献^{2), 3)}を参考にされたい。

4-2 解析結果

図-7は、解析結果と実験結果を比較したものである。解析より得られたせん断応力は、せん断変位とともに大きくなるが、最大せん断応力を示した後は増加せずに横ばいになっており、実験と同傾向を示している。また、ひび割れ幅が大きくなるにつれてせん断応力が小さくなる傾向も実験と整合が取れている。ダイレーションについても、実験結果と同様に、ひび割れ幅が大きくなるにつれて小さくなる傾向を示している。図-7(c)はひび割れ幅とせん断抵抗力の関係を示しているが、解析結果は実験結果とおおむね対応しており、提

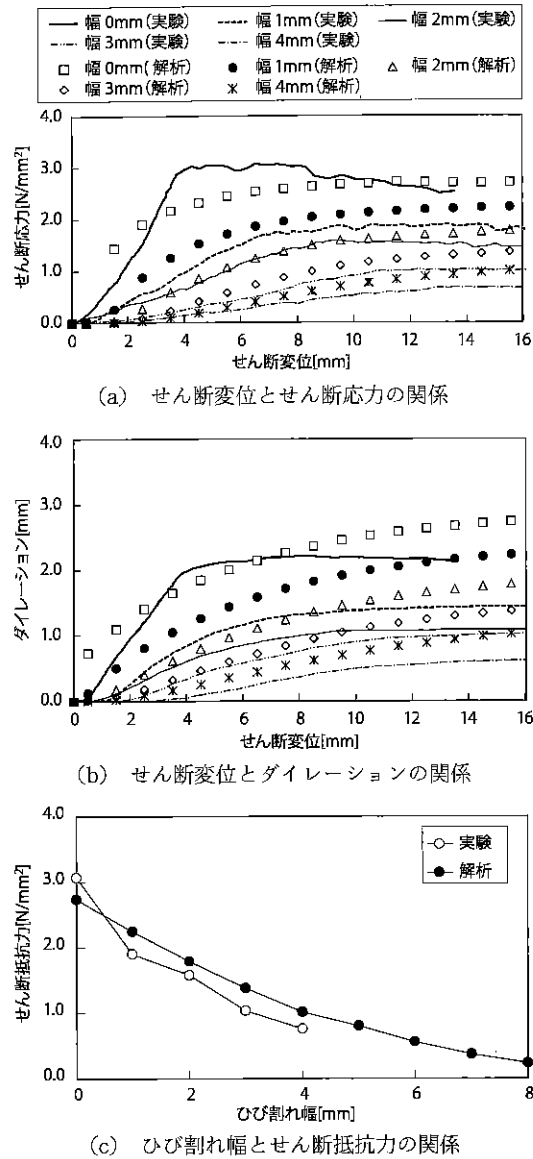


図-7 実験結果と解析結果の比較

案した手法を用いてせん断抵抗力が計算できることが確認できた。

5 実トンネルを対象とした試算例

5-1 実トンネルのひび割れ面の凹凸

鉄道トンネルから採取したひび割れ面の凹凸(写真-1)をレーザ変位計で計測し、岩盤工学で不連続面の凹凸を示す指標として使われるJRC値⁹⁾を計算した結果を図-8に示す。JRC値が大きいほど凹凸面が粗いことを意味するが、ひび割れ面の

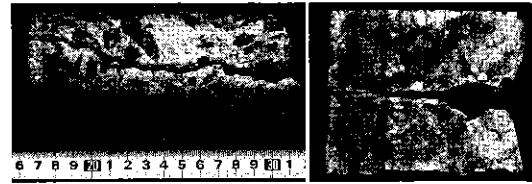


写真-1 コアボーリングにより採取したひび割れ面

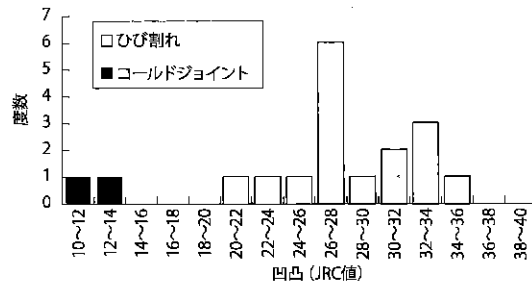


図-8 実トンネルにおけるひび割れ面の凹凸

凹凸のJRC値は20~36の範囲に分布し、平均値は28.1であった。2面せん断試験におけるひび割れ面のJRC値は29.0であり、おおむね一致していることを確認した。一方、コールドジョイント面のJRC値も図中に示しているが、JRC値がひび割れ面より小さく、せん断抵抗力が小さい結果となっている。

5-2 実トンネルを仮定したはく落安全性の試算例

過去に鉄道トンネルにおいて天端部のコンクリート片(幅250cm, 奥行き300cm, 厚さ45cm)がはく落した事例⁹⁾を参考に、同程度の大きさの覆工片が天端部から自重および列車通過に伴う風圧5 kN/m^2 (新幹線トンネルにおいて、新幹線が270 km/h で走行したときの風圧に相当)によりはく落することを想定して、ひび割れ面に作用するせん断応力を試算した。式(1)を用いて試算した結果、せん断応力は、 $0.024N/mm^2$ であった。仮に幅1m, 奥行き1m, 厚さ5cmの非常に薄型のコンクリート片がはく落すると想定しても、ひび割れ面に作用するせん断応力は $0.031N/mm^2$ である。そこで、ひび割れ面に作用するせん断応力を $0.04N/mm^2$ として、はく落に対する安全性を試算した。図-9は、2面せん断試験と同じ凹凸で閉合されたはく落片を想定し、ひび割れ面に 30° のテーパ

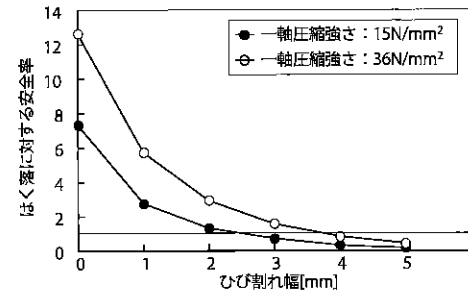


図-9 はく落に対する安全性の試算例

が付いて落下しやすい状態について、はく落に対する安全率を計算したものである。一軸圧縮強さが $36N/mm^2$ の場合ではひび割れ幅が4mm以上、一軸圧縮強さが $15N/mm^2$ の場合では3mm以上になると安全率が1を下回る結果となっている。このように、ひび割れ面の凹凸形状、コンクリートの一軸圧縮強さ、ひび割れ幅およびひび割れ面の角度を入力すれば、トンネル覆工片のはく落に対する安全性が定量的に評価できるようになった。

なお、この試算例は、大雑把な仮定で行った一例であるが、適用にあたっては条件を十分に検討することが重要となる。また、試算例では、自重および列車通過に伴う風圧のみが要因ではく落することを想定しているが、覆工に地圧が作用した場合はひび割れ面に作用するせん断応力が大きくなるため、さらなる注意が必要となる。

6 おわりに

本研究では、トンネル覆工片のはく落に対する安全性を定量的に評価する手法を提案した。今回提案した手法が、覆工片のはく落が発生した場合の原因究明はもとより、覆工に作用する力が大きくなると想定される場合はく落に対する安全性を検討する場合などにも活用できればと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)トンネル, 2007.
- 2) 津野究・吉川和行・西山達也・小島芳之・岸田潔：トンネル覆工コンクリート片のはく落に関する基礎的研究, 土木学会論文集F, Vol.65, No.2, pp.196-208, 2009.
- 3) 津野究・小島芳之・岸田潔：トンネル覆工コンクリート片の剝落の評価手法, 鉄道総研報告, Vol.26, No.4, pp.35-40, 2012.
- 4) 岸田潔・津野究：摩擦とラフネスを考慮した岩盤不連続面の一面せん断挙動のモデル化, 土木学会論文集, No.680/III-55, pp.245-261, 2001.
- 5) Barton, N.: Review of a new shear strength criterion for rock joints, *Engineering Geology*, pp.297-306, 1973.
- 6) 運輸省：トンネル安全問題検討会報告書, pp.1-44, 2000.

岩盤地下空洞の設計と施工

E. フック・E. T. ブラウン共著/小野寺透・吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳
B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(〒450円)

株式会社 土木工学社

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

追悼



小野紘一先生に捧げる

京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻准教授 大島 義 信

日本のトンネル技術の発展にご貢献され、またITA(国際トンネル協会)副会長として国際的にも活躍された小野紘一先生が、本年7月31日に72歳でお亡くなりになりました。

先生は、昭和40(1965)年京都大学工学部土木工学科を卒業後、同大学院工学研究科修士課程に進学され、昭和42(1967)年に修了されました。その後、カナダ・トロント大学の博士課程に進学され、「破壊力学における数学的モデルの構築(英文)」と題する論文により、昭和47(1972)年博士号(PhD)を取得されました。同年、(株)鴻池組に入社され、平成8(1996)年に同社を退社されるまで、土木構造物の設計や施工、また社員教育に従事された一方、数々の実務の研究にも従事されました。山岳トンネルに関しては、NATMが日本に導入され間もないころ、NATMなどの計測管理や逆解析を行うパソコン用プログラムを先駆的に作られています。また、建設省中部地方建設局における初NATMとなった丸子トンネル、日本鉄道建設公団青函トンネル青森側陸上部における小土かぶり土砂地山の太田平トンネルをはじめとして、数多くの実プロジェクトを手掛けられました。一方、シールドトンネルに関しては、大阪瓦斯(株)のガス導管用トンネルである堺航路シールドで、わが国初となる高水圧下海底での地中ドッキングなどを手掛けられたほか、合成セグメントや弾性ワッシャーの開発や東京湾横断道路に向けた実物大セグメント載荷試験など、その後のシールド技術にも大きく貢献されました。また、トンネル分野に限らず、コンクリート分野や環境浄化分野でも、さまざまな成果を残されています。

平成8(1996)年からは、京都大学教授に就任されました。大学では、基礎学問とともに実務的な学問による学生の教育を行い、企業と連携研究を数多く遂行さ

れ、「実学」の教育に注力されました。とくに、海外や社会からの博士課程入学者を積極的に受け入れ、多くの優れた人材を国内外に輩出されています。京都大学在任中には、吹付け技術の高度化やトンネル耐火技術などのご研究を進められたほか、ITA吹付け部会(WG12)の副部会長を務められ、平成16(2004)年にはITA副会長に任命されています(先生のご功績により、以降WG12の副部会長は日本人が歴任しました)。また、平成14(2002)年には、先生を実行委員長とするJTAによる国際会議「Shotcrete For Underground IX」が京都にて開催されました。平成17(2005)年定年によりご退職され後は、京都大学名誉教授の称号を授与され、平成17(2005)年6月から同22(2010)年3月まで国立舞鶴工業高等専門学校校長を務められたほか、同24(2012)年1月より京都大学研究国際部および学術研究支援室の上席専門業務職員を務められていました。

京都大学研究国際部では、ミャンマーにおけるJICAプロジェクトを主導的に立ち上げられ、京都大学とマンダレー工科大学、ヤンゴン工科大学との協定締結にご尽力されました。先生の言葉に、「Do things right」ではなく「Do right things」であれ、というものがありません。先見の明があり、常に本質を見抜き全力で邁進されるお姿が忘れられません。また、研究室で徹夜をして居眠りする学生に向かって「徹夜は美德ではない！」と一喝されていたのを思い出します。これからも、小野先生の精神を忘れることなく、後世に引き継いでいきたいと思います。衷心よりご冥福をお祈りいたします。

研究

全周波数帯域に対応したトンネル発破消音システムの開発

(株)大林組技術研究所環境技術研究部主任 大島 義 信
 (株)大林組生産技術本部トンネル技術部副部長 大島 義 信
 (株)大林組生産技術本部トンネル技術部副部長 大島 義 信

① はじめに

トンネル発破は広い周波数帯域にわたり非常に大きなエネルギーを瞬間的に発生するため、発破音は周辺環境に大きな影響を及ぼす。低周波音(100Hz以下の音)は、数百m離れた民家の建具(窓やサッシ)のがたつきが発生する物的苦情や不快感、耳鳴りなどが発生する心身にかかわる苦情の原因となることがあるが、低周波音は100 Hz超の騒音に比べて坑内での減衰量が小さい傾向にあるため¹⁾、掘削期間中は常時、周辺環境に対する配慮が必要となる。従来の発破音対策は、コンクリート充填式や砂充填式の重厚な防音屏が用いられてきたが、既往の文献²⁾や当社がトンネル現場で実施した測定結果からも防音屏による低周波音の低減効果が小さく、必ずしも有効な対策とは言えなかった。

著者らは従来の防音屏に替わる低周波音を低減する新技術として、音響管を用いた消音器を開発した³⁾。この方式は、自動車のマフラーなどの定常的な騒音に対し利用されるもので、発破音のような衝撃性の音に対しては本技術が初めての適用である。しかし、トンネル発破の低周波音を低減するためには、音響管を非常に大きくする必要があり、その配置や構造を工夫した。それに加え、100Hz超の発破音を低減できる平行吸音板式消音

器を設置して、全周波数帯域に対応した山岳トンネル発破消音システムを開発した。

本稿では、新システムの概要と、縮尺模型実験による消音器の開発および山岳トンネル現場での適用事例について述べる。

② トンネル発破消音器の概要

トンネル発破音は低周波音から100Hz超の騒音まで広範囲に及ぶため、63Hz以下の低周波音を対象とする低周波音用の消音器のみでは発破音を抑制できない。そこで、本発破消音システムは、低周波音に対しては音響管を用いた消音器を、100Hz超の発破音に対しては平行吸音板式消音器を用いた2種類の消音器による構成とした。以下に各消音器の概要を示す。

2-1 低周波音対策(音響管式消音器)

低周波音を低減するために音響管を用いた消音器(以下「音響管式消音器」と記す)を開発した³⁾。その消音原理を図-1に示す。片側を閉じた音響管に音波が入射すると、端部で反射波が生じる。管の長さを波長の1/4とすると、開口部付近の入射

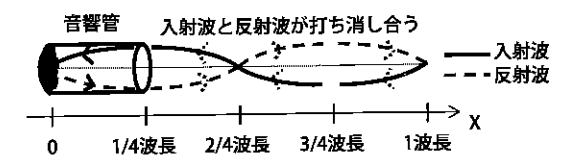


図-1 音響管式消音器の消音原理

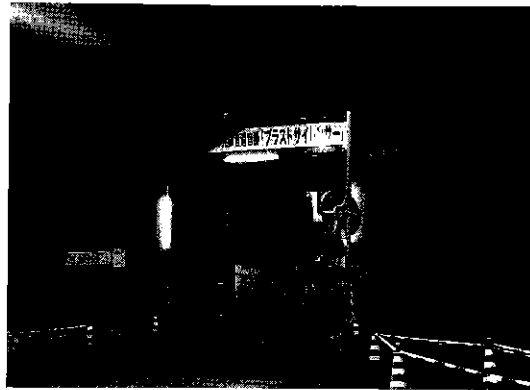


写真-1 音響管式消音器の設置状況

波(図-1の実線)と反射波(図-1の波線)が逆位相となり、相互に打ち消し合うことで低減効果が得られる。一方で、発破の低周波音は100Hz以下の周波数帯域の騒音である。単体の音響管では特定の周波数でしか低減効果が得られないため、長さの異なる複数の音響管を組合せる構成とした。

写真-1、図-2に音響管式消音器の設置状況とその概要を示す。トンネル施工中に重機、車両が走行するトンネル中央部と換気用風管部分は開口しており、発破音はここを通過する。この開口に音響管を設置することで、発破音を低減する。一方、低周波音は波長が長く、音響管の長さは、20Hzで約6mとなるため、図-2のように音響管をトンネル断面に収まるようにトンネル中央部(開口部)から断面内で折曲げた形状として配置した。なお、折曲げても低減効果の損失はない。

音響管1本あたりは幅1m×高さ1mであり、同様の音響管をトンネル縦断方向に6m配置して消音器を構成する。音響管の本数は、20~63Hz帯域で1/3オクターブバンドの各中心周波数で低減効果が得られる本数とし、表-1のように設定した。ここで、オクターブバンドとは、音の周波数帯のことで、ある周波数からその2倍の周波数までの幅である。例えば、40~80Hz、80~160Hzの幅である。1/3オクターブバンドはオクターブバンドをさらに3分割した幅である。なお、低減効果は消音器設置前後の音圧レベル差(挿入損失)で評価する。

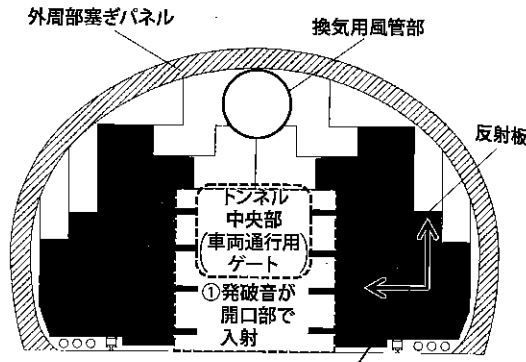


図-2 音響管式消音器の概要

表-1 共鳴周波数と音響管本数

	トンネル中央部							換気用風管部			
	63	40	36	28	25	20	18	63	45	30	18
共鳴周波数(Hz)	63	40	36	28	25	20	18	63	45	30	18
音響管本数(本)	4	2	2	3	5	4	4	2	1	2	1

2-2 100Hz超の発破音対策(平行吸音板式消音器)

100Hz超の発破音の対策として、ダクトの内側に吸音材を貼付けた平行吸音板式消音器を開発した⁹⁾。この消音器は音響管式消音器の坑口側のトンネル中央部に設置し、幅4m×高さ4mと断面積が小さく設置・撤去が容易である。写真-2、3に平行吸音板式消音器の設置状況を示す。幅2m×高さ4m×奥行き1.8mの箱形消音器2つから成る。幅0.3m×高さ0.8m×長さ1.8mのダクトを60本重ねた内側に、厚さ100mmの吸音材を貼付けた構造とした。部材は鋼板(t=2.3mm)とアングル(40mm×40mm×5mm)の組合せである。

図-3に平行吸音板式消音器の消音原理を示す。100Hz超の発破音が消音器を通過する際、壁面の吸音材(グラスウール)に吸音され、騒音が低減する。従来の防音扉はトンネルの全断面を塞いで音を封じ込めるため、爆風が扉をゆらして二次的な騒音が生じる問題があった。しかし、本消音器は爆風を坑外に通しながら騒音を低減できることからこの問題が解消する。また、音響管式消音器の開口部分は全断面の約25%であり、小さい面積の対策で効果が得られる。

なお、現場でのおもな設置作業はクレーンでの

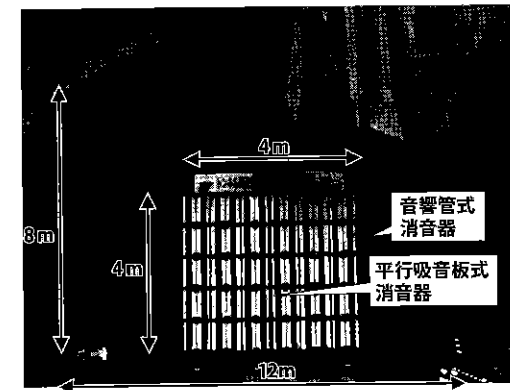


写真-2 平行吸音板式消音器

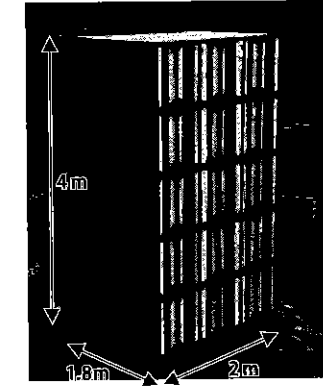


写真-3 平行吸音板式消音器(片側)

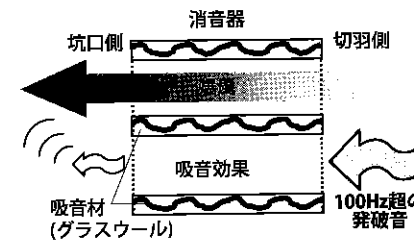


図-3 平行吸音板式消音器の消音原理

揚重作業のみで、短時間で設置が可能である。本消音器は、発破時以外は左右に開放するため掘削作業の妨げとならない。消音器の開閉は人力で行うことができる。

3 音響管式消音器の縮尺模型実験

音響管式消音器の設計に際し、発破音に対する低減効果を確認するため、発破音を模した衝撃性の音源を用いた1/32縮尺の音響模型実験を実施した。設計は以下の3つの手順で行った。

(1) 各音響管の共鳴周波数の確認

トンネル断面内に収まるように折曲げた音響管の縮尺模型とスピーカおよびマイクロフォンを用いて、音響管の長さに対する共鳴周波数を確認した。

(2) 音響管配列の設計

20~63Hz帯域(1/3オクターブ中心周波数)の周波数帯域で低減効果を得るため、共鳴周波数の異なるさまざまな長さの音響管を組合せた配列とした。

写真-4に音響管式消音器の縮尺模型を示す。

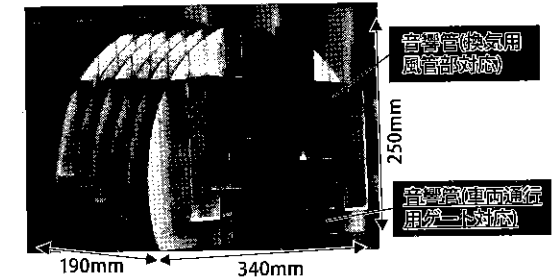


写真-4 音響管式消音器模型写真

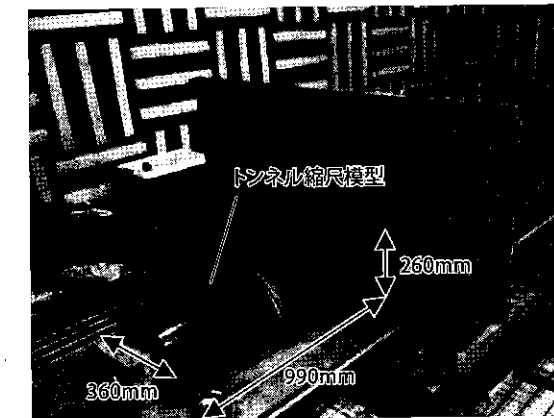


写真-5 トンネルの縮尺模型写真

(3) 縮尺模型による低減効果の確認

写真-5に示すトンネルの縮尺模型に、音響管式消音器の縮尺模型を挿入し、低減効果が最大となる音響管の長さとの最適化を図った。実験には、写真-6に示す発破を模した音響模型用音源⁹⁾を用いた。

図-4に模型実験の低減効果の測定結果を示す。縮尺模型実験では対象周波数である20~63Hz帯

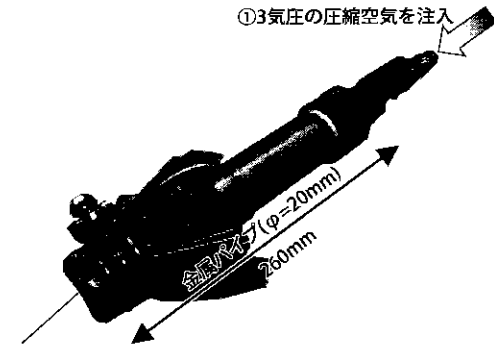


写真-6 音響模型用音源
①3気圧の圧縮空気を注入
②若干膨らんだのち、破裂して衝撃音を発生する

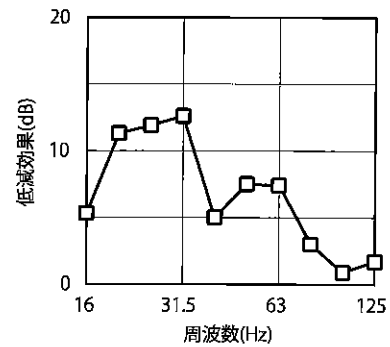


図-4 音響管式消音器の低減効果(縮尺模型)

域で約5~13dBの低減量が得られた。

4 山岳トンネル現場での適用

全周波数帯域消音システムを現場で採用した事例の低減効果の検証結果を示す。消音器はトンネル坑口より8mの地点に設置した。写真-7, 8に消音システムの設置状況を示す。

4-1 測定条件

低減効果は、消音システムの設置前後の騒音測定値を比較することにより検証した。図-5に騒音測定時の切羽と消音システムおよび音源と騒音測定点の位置関係を示す。騒音測定点P1は、坑口から30mの坑外の地点とした。音源は実際の発破音と、発破音を模した広帯域衝撃性音源^{①②}(写真-9)の2種類で行った。

表-2に騒音測定時の発破諸元を示す。切羽の状況により各発破の火薬量、発破条件が異なる。測定結果のばらつきの影響を排除するため、消音システムの設置前後で計4回測定した。

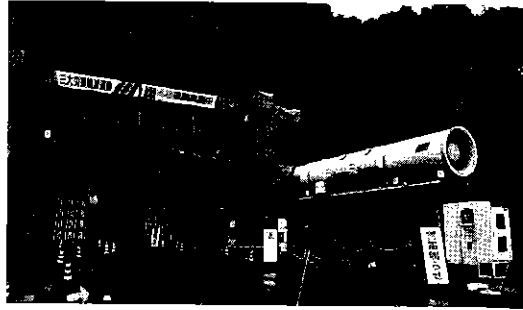


写真-7 坑口部の状況



写真-8 消音システム設置状況

4-2 測定結果

低減効果は、低周波音は実発破の測定結果を、100Hz以上の騒音は暗騒音の影響を受けていたため、広帯域衝撃性音源の測定結果をもとに算出した。全周波数帯域の測定データに対しては一般的な騒音対策などで用いられるオクターブ分析を、低周波音に対しては環境省の低周波音の測定マニュアル^③に準じて、細かい分析の1/3オクターブ分析を行った。図-6に低周波数帯域における消音システムの騒音低減効果を示す。図-7に100Hz超の騒音を含む全周波数帯域の騒音低減効果を示す。

音響管式消音器の低減効果は、対象周波数である20~63Hz帯域(1/3オクターブバンド中心周波数)において、約15~25dBの低周波音の低減効果が得られた。

次に、全帯域の低減効果(オクターブ分析結果)を見ると、音響管式消音器により16~63Hz帯域(オクターブバンド中心周波数)では約10~25dBの低減効果が、平行吸音板式消音器により125~4k Hz帯域では約15~25dBの低減効果が得られていた。比較として一般的な防音扉(ガラスウール

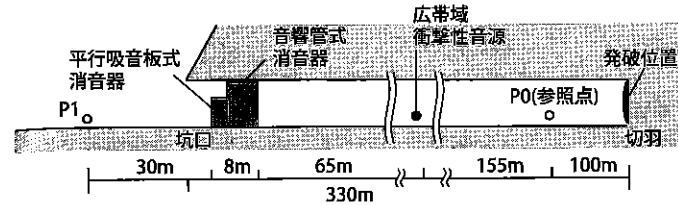


図-5 騒音測定時の切羽、消音システムおよび音源と騒音測定点の位置関係

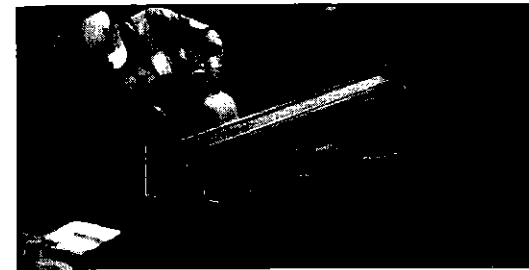


写真-9 広帯域衝撃性音源

表-2 騒音測定時の発破諸元

	切羽位置	岩盤等級	雷管	全装薬量
消音器設置前	坑口~約330m	DI	DS電気雷管	約6kg 約5kg
消音器設置後	坑口~約330m	DI	DS電気雷管	約7kg 約7kg

充填の鋼板 $t=100\text{mm}$ + 吹付けコンクリート $t=100\text{mm}$ の低減効果^④をあわせて示す。防音扉の挿入損失測定結果と比べると、100Hz超の騒音に対する低減効果は同等以上であり、低周波音に対する低減効果は16~63Hz帯域で約5~20dB大きい。

5 まとめ

トンネル発破音対策の新技术として全周波数帯域に対応した山岳トンネル発破消音システムを開発した。発破騒音は広帯域に及ぶため、限定的な周波数のみの対策では不十分であるが、本システムを用いることで発破音を全周波数帯域で抑制することが可能となった。本システムを発破掘削の実施しているトンネル現場に適用し、低周波音で約10~25dB(16~63Hz帯域)、100Hz超の騒音で約15~25dB(125~4k Hz帯域)の低減効果を確認した。

本消音システムでは、低周波音は音響管の共鳴現象により発破音自体のエネルギーを使って消音

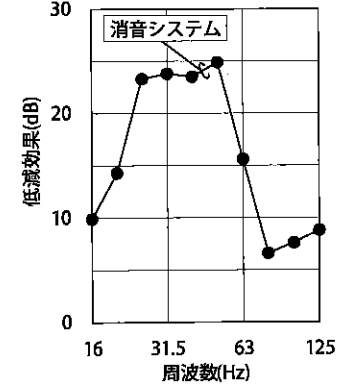


図-6 トンネル発破音消音器による低周波数帯域の低減効果測定結果(1/3オクターブ分析結果)

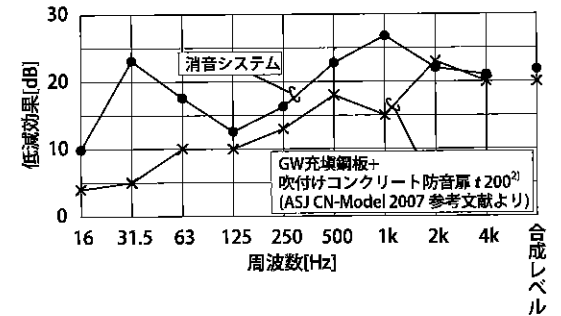


図-7 トンネル発破音消音器による低減効果測定結果(オクターブ分析結果)

され、100Hz超の騒音は吸音材の吸音効果により低減されるため、動力は不要であり、環境負荷が一切ない。また、ブロック構造で設置・撤去が容易かつ転用が可能のため、コストダウンが可能となる。

本消音器は今後も多数実施される山岳トンネル工事における有効な新技术であるので、多くの現場へ普及させて環境負荷の低減に貢献するとともにさらなる技術の発展をしていきたい。

参考文献

- 1) 船津弘一郎・内山恒光：トンネル発破の特性と予測、日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集、pp.57-60、1987.9.
- 2) 日本音響学会建設工事騒音予測調査研究委員会：建設工事騒音の予測モデル“ASJ CN-Model 2007”、音響学会誌、Vol.64、pp.229-260、2008.
- 3) 諏訪蘭和彦・本田泰大・西野俊論・松野徹・伊藤哲・

- 三村聡：音響管を用いた発破消音器の開発と現場適用事例，土木学会全国大会講演論文，pp.123-124，2012.9.
- 4) 山下信一・本田泰大・渡辺充敏・荒川晃士・木梨秀雄・伊藤哲・中村亮：広帯域型トンネル発破消音器の開発と現場適用結果，土木学会全国大会講演論文，pp.825-826，2013.9.
- 5) 渡辺充敏・本田泰大：音響模型実験における仮設防音扉の挿入損失に関する検討，日本建築学会学術講演梗概集，pp.261-262，2012.9.
- 6) 土肥哲也・加来治郎・佐野昌伴・西ヶ谷忠明：模擬発破音発生装置を用いたトンネル発破音の放射指向

- 特性，日本騒音制御工学会講演論文集，pp.185-188，2005.9.
- 7) 横田考俊・土肥哲也・牧野康一・岡田恭明・吉久光：広帯域・高音響エネルギーレベル衝撃性音源の開発と伝搬実験への適用，日本音響学会講演論文集，pp.819-820，2007.3.
- 8) 横田考俊・縄岡好人・橋秀樹：広帯域衝撃性音源を用いたトンネル発破音の音響エネルギーレベル推定，日本音響学会講演論文集，pp.1443-1444，2008.3.
- 9) 環境省大気保全局：低周波音の測定方法に関するマニュアル，p.19，2000.10.



わかりやすいトンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 千350円
福島啓一著

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

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

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

株式会社 土木工学社

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

連載講座

都市トンネルのための地盤改良工法(5)

—凍結工法(1)—

「都市トンネルのための地盤改良工法」連載講座小委員会

① はじめに

凍結工法は，炭鉱立坑掘削の際の透水層の止水のため，1862年にイギリスで誕生した¹⁾。わが国では軟弱地盤かつ建築物や地下埋設物が輻輳する状況で，1962年の初施工から都市土木の補助工法として独自の発展を遂げ，都市の上下水道，地下鉄，電力，通信，共同溝，地下河川，地下高速道路などの建設で用いられてきた²⁾。こんにちまでにすでに六百余件の施工実績がある。

今後も開発が進む都市地下空間は，さらに深く，さらに大断面となるため，掘削防護用の地盤改良体の信頼性はより高いものが求められる。このため，本工法を適用する機会も増えるものと考えられる。

凍結工法は，2回にわたって掲載する。第1回目では，凍結工法の原理，施工方法，留意点，対象，および設計手法を紹介し，次回では施工事例，効果の評価，および新技術を紹介する。

② 凍結工法の原理と施工方法など

2-1 凍結工法の原理

(1) 現地盤の間隙水を氷にする

凍結工法の原理は，地盤を冷却することで，地下水面以下の地盤内に元から存在する間隙水を氷にするという，きわめてシンプルなものである。

氷は高強度であり，例えば -10°C での一軸圧縮強さは約 $3,000\text{kN/m}^2$ である。

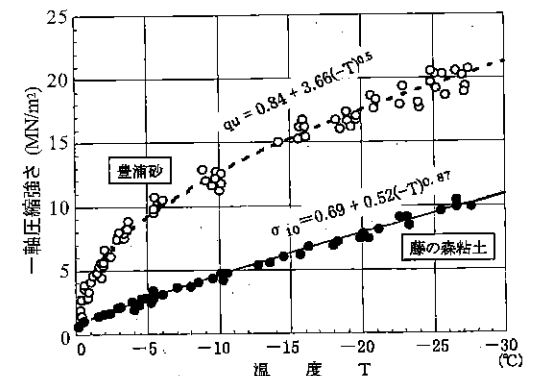


図-1 一軸圧縮強さと温度の関係¹⁾

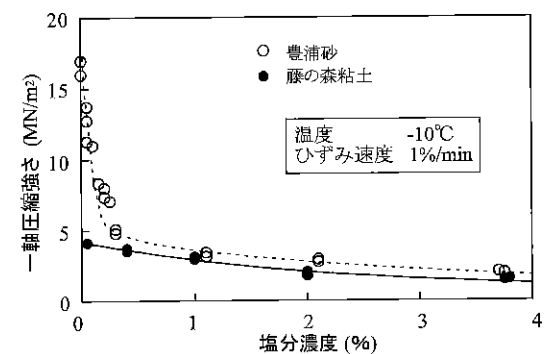


図-2 一軸圧縮強さと塩分濃度の関係³⁾

この氷で強く土粒子同士が結合された凍土の一軸圧縮強さは，同温度の砂質土凍土で $7,000\text{kN/m}^2$ 以上と大きい。粘性土凍土では不凍水がわずかに含まれるため，砂質凍土よりも一軸圧縮強さは小さく， $4,500\text{kN/m}^2$ 前後である(図-1)。

不凍水とは 0°C 以下でも粘土粒子表面に存在す

る水であり、間隙水に塩分が含まれている場合にも凍土内に存在し凍土の強度を低下させる(図-2)。

水のもう一つの特徴は、水を完全に通さないことである。凍土では土粒子間隙のほとんどをこの水で満たしているため、凍土の透水係数は、例えば -1°C の砂質凍土では 10^{-12}m/s という非常に小さい値である(温度低下により不凍水が減り、透水係数はさらに小さくなる)。このため、地下50m以深の大きな地下水圧に対しても、凍土壁は実用的には完全な止水壁となる⁹⁾。

(2) 熱エネルギーを移動し地盤を凍結する

地盤を人工的に凍結するためには、地盤から熱エネルギーを奪い、最終的には大気中にその熱を放出する。ほかの地盤改良工法は化学反応や力学エネルギーによるが、凍結工法は熱エネルギーの移動による。熱は温度の高い箇所から低い箇所に、自然に移動する。盆の中の波打つ水が時間の経過とともに鏡面となるように、時間とともに凍土壁内の温度ムラは均一化する。凍土強度は地盤温度に依存するため、凍土強度も自然に均一化する。

このため、凍結工法では大きな凍土壁内でも、地盤改良品質に差がないという利点がある。また、室内力学試験から得られた強度は、現地盤の設計にも同じ値のままで用いることができるという特徴もある。なお、この均一化は、凍土壁とそれに接するセグメントおよび構築物との間でも起こり、強度や止水性の一体性が確保される。

なお、各種の熱移動を最適に計画するには、熱物性値、熱的境界条件の設定、および熱解析(理論解析、または数値シミュレーション)を適切に行うことが重要となる。

さらに、凍結工法による地盤改良の品質確認は、地盤温度のモニタリングにより現地で行うことができ、この点がほかの地盤改良工法と異なる特徴である。

(3) 解凍すると元の地盤に戻る

水を解凍すれば元の間隙水になるため、役割を終えた凍土壁は凍結工事前の自然地盤に戻る。

このため、地盤内に化学物質を残さず、地下水汚染や公害性もないという特徴がある。また、凍

結工法による地盤改良は、凍結工法後に実施される土木工事(例えば、凍結工法による防護でのシールド修復後の再掘進など)への支障にならない。

2-2 凍結工法の施工方法

(1) 地盤内には凍結管と測温管のみ埋設する

凍結工法で地盤内に設置するものは、冷却液(ブライン)を循環して地盤を凍結させる凍結管と、温度素子を挿入する測温管のみである。凍結管などを埋設するボーリング工事には、基本的に、深度および土質の制限がない。また、地下水圧に対応する止水装置を用いてトンネル内から凍結管を埋設しており、地上作業なしで地盤を改良できる。

このため、凍結工法は、すべての深度、土質、地上作業を省略することも可能である。実績としては、国内では地下70m、海外では地下400mでの適用事例があり¹⁾、土質は軟弱粘土から硬質シルト、砂、礫そして風化花崗岩まで適用可能であり、土質を選ばない。

(2) 凍結管を冷却する設備

凍結管を冷却する設備としては、ほとんどの工事でブライン方式(図-3)を採用しており、ブラインの温度は、 -30°C 前後である。小規模またはより温度が低い冷却を必要とするまれな場合には、液体窒素方式を用いている。

ブライン方式は、冷凍機を置く場所を必要とするが、液体窒素方式よりエネルギーコストは安い。また、冷凍機で冷却したブラインを循環させるため、地盤冷却を計画的・安定的に行うことができるという利点もあり、凍結工事では広く用いられている。

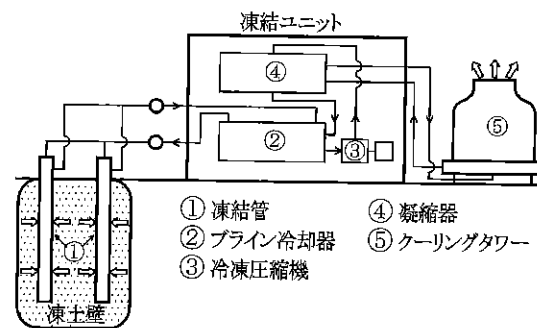


図-3 凍結工法の模式図⁹⁾

2-3 凍結工法の留意点

上記のように、凍結工法は他の地盤改良にはない利点があるが、いくつか留意する点もある。

(1) 凍結により地盤は膨張する場合がある

水は凍結して氷になると、体積は9%膨張する。後述するように土の容積含水率は $0.3\sim 0.7\text{m}^3/\text{m}^3$ であり、土中間隙水が氷になると土の膨張率は3~6%になる。

砂礫地盤では膨張分の余剰水が排水されるため基本的には地盤は凍結膨張しないが、細粒分(粘土分+シルト分)を多く含む地盤では凍結により排水できない分と凍結により周辺地盤から吸水する分により体積膨張し(凍結膨張)、現場条件によっては地下埋設物や地表面を隆起させたり(凍上)、凍土壁が地盤を押しこむことにより立坑やシールドの地中構造物に付加応力(凍結土圧)を与えることがある。

地盤の凍上性の把握と適切な凍結膨張の影響計算により周辺構造物への影響を予測し、必要に応じた最適な対策を計画に盛り込むことが重要である。

(2) 地下水流の影響

地下水流は凍土の造成に支障をきたす場合がある。連続した凍土壁が形成可能な上限流速を、限界地下水流速と呼んでいる。標準的な凍結条件では、経験的に限界地下水流速は1m/日程度を目安にしている。限界地下水流速については近似解析法⁹⁾をもとにした検討を行い、凍結対象地盤の

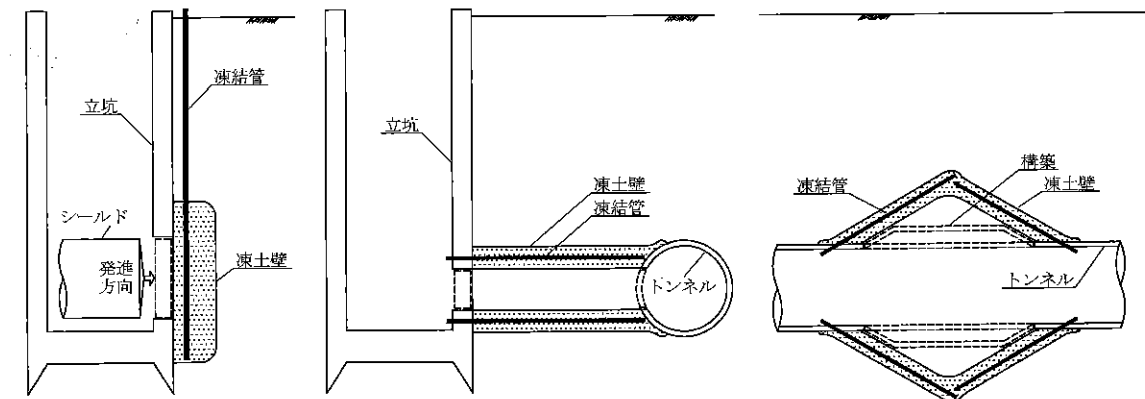


図-4 土留め兼止水凍土壁の適用目的の模式図(左から、適用目的①, ②, ④)

地下水流速が解析値より大きい場合には、地中温度のモニタリングを考慮したうえで、下記の地下水流対策を施工する。

1) 冷却力強化

凍結管ピッチ縮小、管列増、冷却温度低下など。

2) 地盤改良による地下水流速の低減

葉液注入による地下水流速の低減、遮水壁による地下水流の遮断など。

(3) コスト面

凍結工法では、大型の凍結ユニットに電力を供給して凍土壁を造成する。また掘削や止水に必要な凍土壁を造成した後も、凍土壁を維持するために造成時の1/3前後の電力供給を続ける。また、この維持期間には、凍結ユニットやブライン供給システムの管理および凍土壁の温度管理工が必要となる。ほかの地盤改良工法とは異なり地盤改良体を形成した後もランニングコストが発生するため、工期や現場条件によっては他工法より若干コストアップする場合もある。

2-4 凍結工法の対象

(1) 従来の対象

わが国の凍結工法は、地下掘削時の土水圧を受けもつ土留め壁として、適用が開始された。前述のように凍土壁は水を通さないため、止水の機能も併せ持つ。代表的な適用対象は、下記の6種類であった(カッコ内に、(株)精研の1962~2011年における、施工件数の比率を示す)。

- ① シールドの発進防護および到達防護(52%)

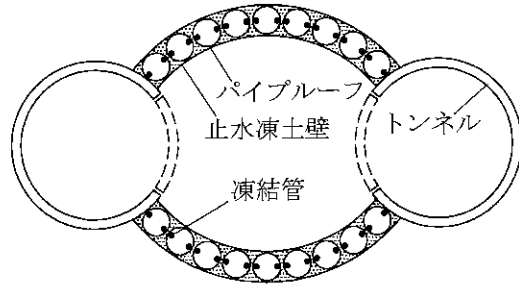


図-5 パイプルーフ間の止水凍土壁

- ② トンネルや立坑間の接続防護(28%)
- ③ シールド間の地中接合防護(7%)
- ④ トンネル拡幅防護(4%)
- ⑤ 河川横断トンネル防護(2%)
- ⑥ その他(7%)

(2) 新たな対象

最近急速に増えつつある対象は、止水である。この傾向は、土木工事での要望が高まっている工期短縮、コストダウン、そして凍結膨張の影響低減などに応えるためである。

⑦ 止水を対象とする凍土造成

- ・パイプルーフ間(図-5)、都市NATM

次いで増加傾向にある対象を、以下に列挙する。

- ⑧ シールドや掘削工事でのトラブルへの対策
 - ・シールド通過部の支障物撤去(次号の事例2)
 - ・シールドのビットやテールの交換
 - ・出水した立坑の復旧
- ⑨ 地下水環境配慮の土留め防護や止水防護
 - ・上水道の水源付近、飲料工場井戸付近
- ⑩ 特殊形状シールド(H&Vなど)の発進防護
- ⑪ 特殊地盤などの冷却
 - ・火山帯地盤(橋脚用コンクリートの打設養生)
 - ・古墳丘(壁画のカビ対策)

また、台湾や香港などの海外の工事においても、凍結工法の需要は高まっている。

③ 凍土の設計

3-1 凍土設計の流れ

凍土壁の設計にあっては、工事全体計画にもとづき施工目的、立地環境条件、地盤条件、工期な

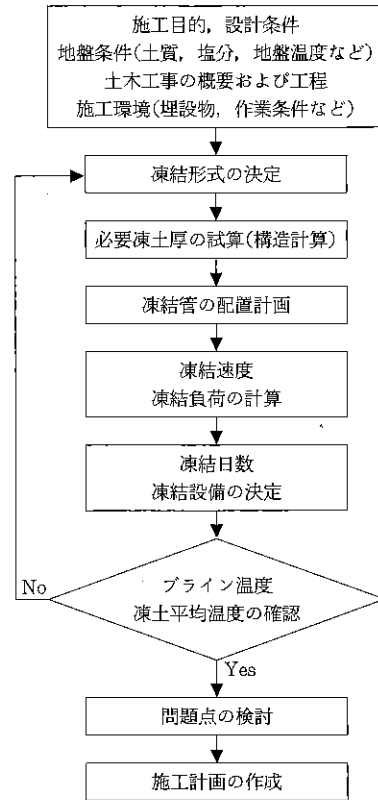


図-6 凍結設計フロー

どを総合的に検討し、安全かつ経済的な計画をたてる必要がある(図-6)。

まず、設計条件から凍結形式(凍土壁形状など)が決定され、当該計画の個々の設定条件(ブライン温度、凍土平均温度など)を仮定し必要凍土厚を試算する。必要凍土厚が決まると、その凍土を造成するのに最適な凍結管の配置を決定する。

その後、凍結速度、凍結負荷などの熱計算を行い、ブライン温度、凍結日数、冷凍機容量を決定し、これにより凍土壁の平均温度を算出する。この凍土平均温度、ブライン温度、凍結日数などが、先に仮定した設定条件に合っているか確認する。設定条件に合致しなかった場合には、設定条件を一部変更し、再度、構造計算や熱計算を行い適切な凍土設計を行う。凍土の基本設計が決定したら、凍上・解凍沈下、凍結膨張圧、地下水流などの問題点の有無をチェックし、必要であればその対策工の検討を行う。

3-2 凍土の設計基準強度

凍土の設計基準強度は、高志ら⁹⁾によって系統的に行われた砂凍土および粘性土凍土の一軸圧縮試験結果をもとに設定している。

凍土の一軸圧縮強さは、一軸圧縮強さと温度の関係(図-1)、一軸圧縮強さと塩分濃度の関係(図-2)が示すように、砂・粘土の土質の違い、凍土温度、塩分の有無により一軸圧縮強さは大きく影響を受ける。また、凍結履歴の影響については、同じ地盤をくり返し凍結しても凍土強度はほとんど影響を受けない⁹⁾。これら凍土の強度特性を踏まえ、設計基準強度の設定にあたっては、飽和土を対象として凍結対象土質を砂質土と粘性土に大別して、凍土温度・塩分濃度により設計基準強度を設定している。また、豊浦標準砂凍土においては細粒分をほとんど含まず、少量の塩分の含有で一軸圧縮強さが著しく低下する(図-2)ため、豊浦標準砂の凍土強度(図-1)は用いず、粘土凍土の強度の1.5倍の値を塩分非含有の砂質土凍土の圧縮設計基準強度としている。一方、塩分含有凍土においては、砂・粘土ともにそれぞれの一軸圧縮強さをもとに設計基準強度を設定している⁹⁾。参考として凍土温度-10℃のときの各設計基準強度の一部を表-1に示す。

3-3 土の熱的性質

都市土木においては、対象地盤の多くが砂質土および粘性土であり、また飽和状態の場合が大部分であるため、特異なケースを除けば、熱的性質は、凍結対象土の容積含水率がわかれば、実用上十分

表-1 凍土の設計基準強度

	塩分 0%		塩分 1%	
	砂凍土	粘土凍土	砂凍土	粘土凍土
圧縮強度 (kN/m ²)	4,500	3,000	2,250	2,000
曲げ引張強度 (kN/m ²)	2,700	1,800	1,000	1,200
せん断強度 (kN/m ²)	1,800	1,500	850	1,000

な精度で地盤の熱定数を想定することが可能である⁹⁾。

飽和状態の自然土の容積含水率は0.3~0.7m³/m³程度であり、粘土・シルトが主成分の場合には容積含水率が低く、砂質土が主成分の場合には容積含水率が高い傾向にある。

3-4 凍土壁の構造計算と凍結管配置

凍結工法の施工目的は大きく分けて止水壁として用いる場合と土留め壁として用いる場合の2種類がある。このうち止水目的では、基本的には強度を必要としないため少なくとも連続性を保った凍土壁が完成されていれば目的が達せられる。施工誤差などを考慮し凍土壁が連続したことが確認できる厚みとして、凍結管埋設間隔の75%以上の値を標準的な管列片側の必要厚みとしている。

一方、凍土を土留め壁として用いる場合には、必要凍土厚は構造計算を行うことにより決定する。凍土の断面力は、まずその構造体モデルの形状と荷重を図った構造的な理論計算式から定める。ここで管列平均温度と間隙水の氷点より計算される凍土平均温度(図-7)に相当する凍土の設計基準強度を用いて必要断面を決定する。そしてこの断面に凍結管の埋設誤差や余掘りなどの施工誤差を考慮して造成凍土厚を決める。このときの荷重は、

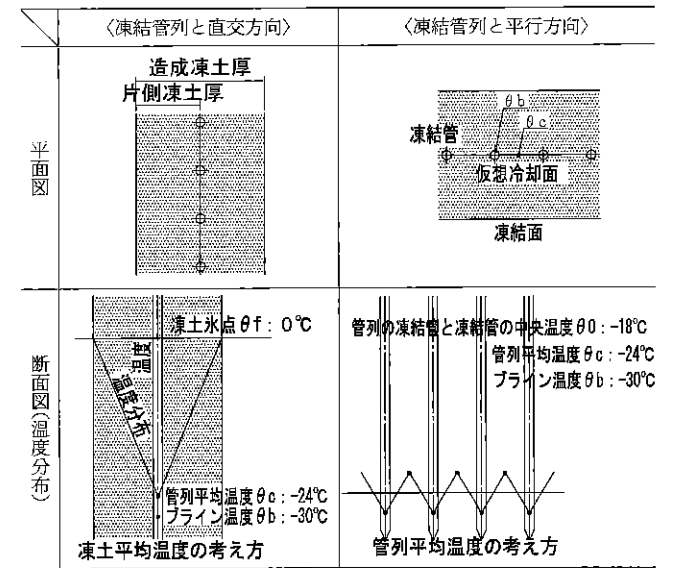


図-7 凍土平均温度の考え方

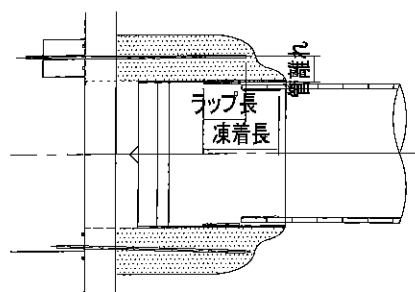


図-8 凍着長とラップ長

通常土水圧分離型とし、作用土圧は、鉛直土圧は全土圧、水平土圧は静止土圧とする。

安全率は、設計基準強度に対する構造計算上の最大応力度の比とし、通常、安全率2.0として設計している。

ただし、管列より造成する片側凍土厚は凍結管埋設ピッチ以上とし凍結管埋設間隔0.8m、片側凍土厚0.8m以上を標準としている。また構造物と凍土の接着する長さを凍着長と呼び、通常必要凍土厚もしくは最低凍着長2.5mのいずれか大きいほうの値を採用している。

凍結管と貼付凍結管で挟み込む場合のラップ長は離れの1.5倍もしくは最低ラップ長1.0mのいずれか大きいほうの値を採用している(図-8)。

一方、凍着部分に何らかの事情で貼付凍結管もしくは埋込み凍結管が設置できない場合には、凍着長を伸ばすことや凍着部の温度を下げるなどの対処が必要となる。

全断面方式の内部掘削に伴う底板部の冷却能力維持のための凍結管根入れ長は、実績および熱解析の結果より原則として以下のように定めている。

1) 矩形配列の場合(図-9)

- ・4周冷却の場合は、短辺間隔の1/2以上
- ・両側2面冷却の場合は、冷却中の管列間隔の2/3以上

2) 円周配列の場合

- ・円周直径の1/2以上

また、門型凍結方式などで中央部を凍結させるのに必要な凍結管長は、管列間隔の1.5倍以上としている。なお上面を完全断熱または補助冷却する場合には、1.0倍としている(図-10)。

(4周冷却の場合)(両面冷却の場合)(円周冷却の場合)

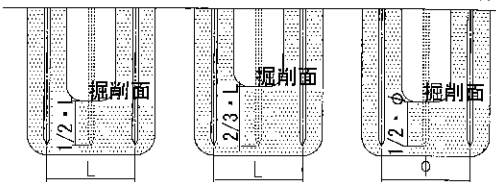


図-9 凍結管根入れ長

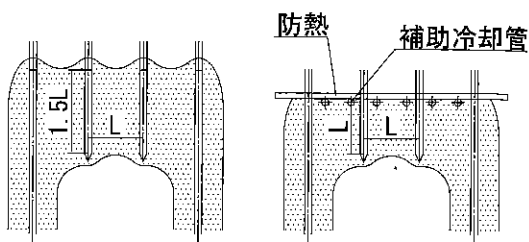


図-10 門型凍結の場合の凍結管長

3-5 凍土造成日数および凍結ユニット容量

凍結速度および負荷を決める主な要素は、対象土の容積含水率、初期地中温度、塩分の有無、冷却(ブライン)温度、凍結管埋設ピッチなどである。

対象土の容積含水率、温度、塩分などは、条件として与えられる。これに対し凍結工法の設計では凍結速度および負荷を決める要因となる冷却温度、凍結管ピッチなどを適切に定め、効率よく凍土を造成できるように凍土造成日数およびユニット容量を設定する。凍結速度および負荷は凍結開始より隣接凍結管の凍土がつながるまでは単管凍結理論⁹⁾を、凍土がつながってからは凍結管列の平均温度を冷却温度とした平板凍結理論^{9),10)}を用いて算出している。凍土造成日数は、造成凍土厚から求まる日数に、ブライン循環の安定化やブラインの冷やし込みにかかる日数として通常3日程度をクールダウン期間として加えたものとしている。

凍結負荷は、負荷長1mあたりの負荷に凍結管冷却負荷長を乗じて計算する。凍結ユニット容量は、凍結負荷・配管負荷・壁面負荷にその他の負荷を加えた総合負荷より決定している。

3-6 地表面および近接構造物に対する影響

前述のように凍上、解凍沈下、凍結膨張圧は、無視できない場合があり、それぞれの予測方法を以下に記す。

3-6-1 凍結膨張・解凍沈下特性

- ① 凍結膨張率は土質により異なるが、一般には細粒分が多いと増加する傾向にある。同じ土では、凍結する面に作用している有効応力 σ が小さいほど、また凍結する速度 U が小さいほど凍土面での吸水量が大きくなり、凍結膨張率は増加する。実務ではこれを表す実験式¹¹⁾を予測で用いている。なお、細粒分をほとんど含まない砂・砂礫地盤では凍結膨張の影響はほとんどない。
- ② 解凍沈下については、砂・砂礫や先行圧密を大きく受けた固結シルトなどは解凍後の体積収縮が少なく、問題とならない場合が多い。しかし一般的には先行圧密応力 σ_c が小さく、また含水比や細粒分含有率が大きい粘性土では、解凍沈下は大きくなる傾向がある。

3-6-2 凍上・沈下の予測

(1) 凍上・沈下の予測手法

凍上・沈下の予測法としては、戸部らの三次元凍上変位計算法¹²⁾を一般的に使用している。これは、後述の凍上率 η (%)と凍土量から決まる凍結

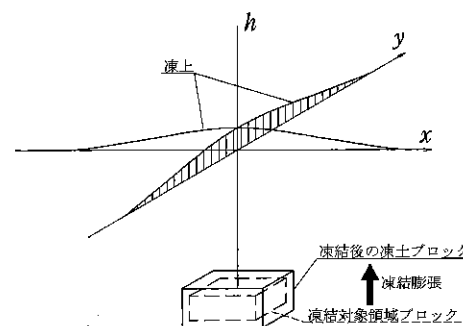


図-11 凍上予測法の模式図

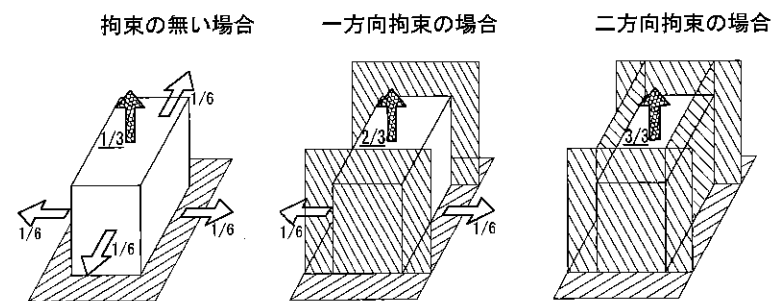


図-12 方向係数の考え方

膨張量が、図-11に模式的に示したように体積保存されて広がるとしたものである、

(2) 凍結膨張の方向性の決定¹³⁾

上記の凍上率 η は、現地盤の凍結膨張率 ξ' に、図-12のように凍土の拘束条件から定めた、変位が出現する方向係数 α を掛けて求めている。

$$\eta = \alpha \cdot \xi'$$

方向係数 α は以下のように定めている。

- ・構造物が凍土壁面から4~5m離れた場合：拘束のない場合は $\alpha=1/3$ 、1方向拘束では $\alpha=2/3$ 、2方向拘束では $\alpha=1$
- ・構造物が凍土に接している場合： $\alpha=1/2$

(3) 凍結膨張圧の影響予測

① 凍結膨張圧の予測手法

凍結膨張圧が凍土周辺構造物に与える影響は、慣用法として高志による無限円筒の式¹⁴⁾を予測に用いている。

凍土壁内面に接する構造物の外表面への影響を推定するには、構造物の外表面 r_0 を仮想冷却面と見なし、造成する凍土壁を図-13のように円筒近似し、運転期間に応じて造成される凍土壁の外側 r_1 での発生応力 $\Delta\sigma$ (凍結膨張圧)を式(1)より算出している。

$$\Delta\sigma = \frac{E}{1+\nu} \cdot \frac{\xi_s}{2} \cdot \left[1 - \frac{r_0^2}{r_1^2} \right] \quad (1)$$

ここで、 ξ_s :構築方向膨張率(%) E :地盤の変形係数(MPa)、 ν :ポアソン比、 r_0 :冷却面半径(m)、 r_1 :凍土外表面半径(m)

② 構築方向膨張率 ξ_s (%)について

凍土形状、造成方法、熱流方向を考慮して、表-2、図-14のように、構造物に作用する方

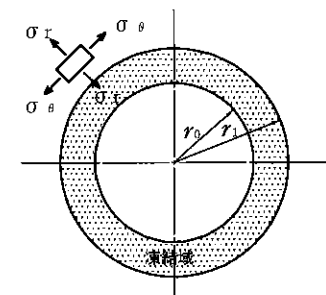


図-13 凍結膨張圧予測モデル図

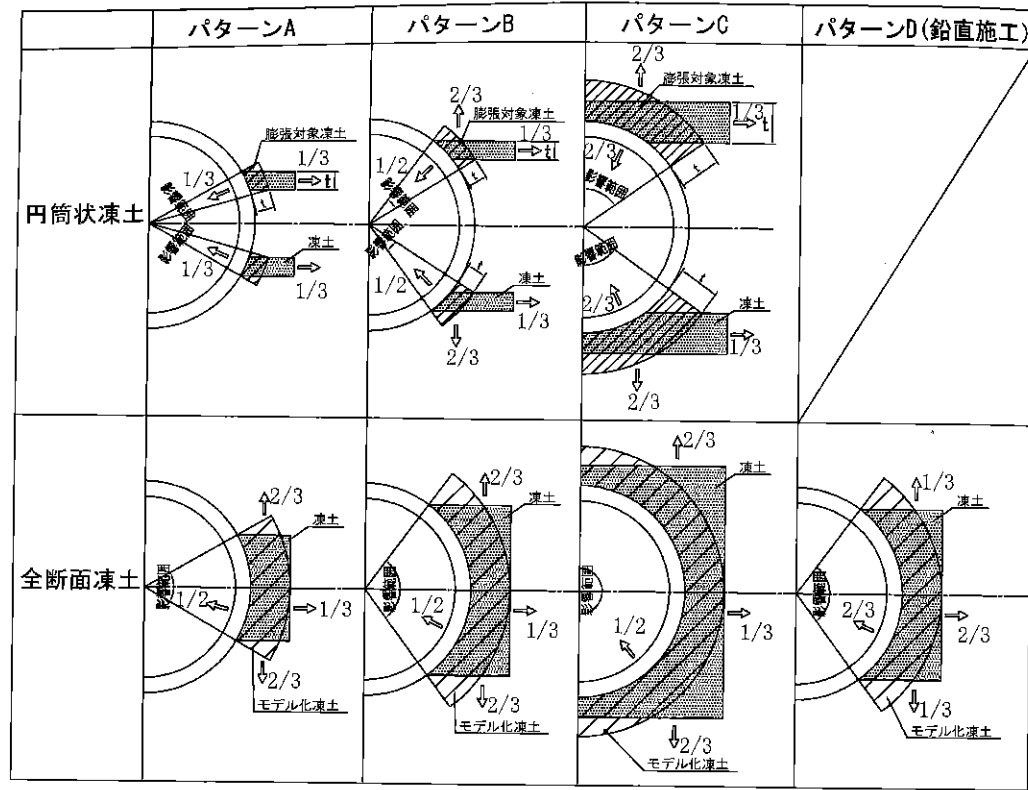


図-14 凍結パターン

表-2 方向係数の考え方

	水平凍結管による凍土造成			鉛直凍結管による凍土造成
	パターンA	パターンB	パターンC	パターンD
円筒状凍土	1/3	1/2	2/3	—
全断面凍土	1/2	1/2	1/2	2/3

向の膨張率 ϵ_r を定めている。

- 凍結管が水平方向の場合：凍土壁が構築物を囲う割合(凍土の中心線からの角度)によってパターンA～Cに区分する。
- 鉛直方向の場合：パターンDとする。

さらに、造成する円筒凍土壁が部分的に構築に造成する場合(図-14上半)と、全断面で構築に造成する場合(図-14下半)とで方向係数を表-2のように定める。この方向係数を、現地盤凍結膨張率 ϵ_f に掛けて構築方向凍結膨張率 ϵ_r を決定して、構築物への凍結膨張圧

を推定している。なお、ここで定める構築方向膨張率は、構築方向への膨張割合を局所的にかつ安全側に捉えたものであり、凍上量予測手法で述べた凍土壁周辺の未凍土での凍上量を予測する際の凍上率とは相違する場合もある。

(文責：小椋浩・伊豆田久雄/(株)精研)

参考文献

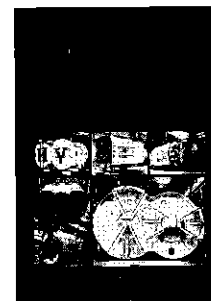
- 土質工学会編：第5章人工凍結の利用と制御，土の凍結—その理論と実際—，土質基礎工学ライブラリー23，pp.249-268，土質工学会，1994。
- 伊豆田久雄・豊田孝宏：土の凍結と地盤工学 9，地盤凍結工法，土と基礎，Vol.51，No.11，pp.63-68，2003。
- 地盤工学会：地盤改良の調査・設計と施工，6.6凍結工法，地盤工学会，p.255，2013。
- 凍土分科会：凍土の知識—人工凍土壁の技術—，雪氷，Vol.76，No.2，pp.179-192，2014。
- 高志勤：凍結管列の凍結結合に対する地下水流の影響について，土木学会論文集，No.161，pp.51-58，

- 高志勤・生頼孝博・山本英夫・岡本純：砂凍土の一軸圧縮強さに関する実験的研究，土木学会論文集，No.302，pp.79-88，1980。
- 高志勤・生頼孝博・山本英夫・岡本純：均質な粘土凍土の一軸圧縮強度に関する実験的研究，土木学会論文集，No.315，pp.83-93，1981。
- 大石雅人・隅谷大作・上田保司：凍結融解履歴が粘土凍土の一軸圧縮強度に与える影響(1)—粘土の硬軟による違い—，雪氷研究大会，2013。
- 高志勤・和田正八郎：土壌凍結工法について [I]，冷凍，Vol.36，No.408，1961。
- 戸部暢・秋元攻：凍土内温度分布計算式とその応用，冷凍，Vol.54，No.622，1979。
- 高志勤・益田稔・山本英夫：土の凍結膨張率に及ぼす凍結速度，有効応力の影響に関する研究，雪氷，Vol.36，No.2，pp.1-20，1974。
- 戸部暢・秋元攻：凍土変位計算法(三次元)，第34回土木学会年次学術講演会概要集Ⅲ，pp.243-249，1979。
- 伊豆田久雄・野木明・上曾山優・加藤哲治：地盤凍結工法における凍上量及び凍結膨張圧の設計手法と事例，土の凍結と室内凍土試験方法に関するシンポジウム，地盤工学会，pp.99-106，2001。
- 高志勤：凍結膨張による未凍結領域内の土圧と変位の経時変化，土木学会論文報告集，No.200，pp.49-62，1972。

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章

B5判 285頁 本体価格4,660円 千340円

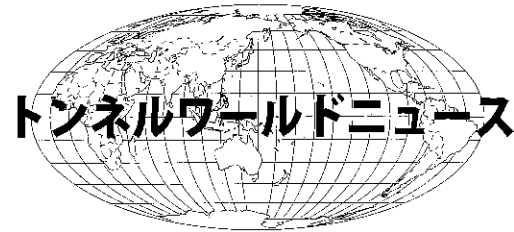


本書は、最近のシールドトンネルの新技术を実務経験者を中心にまとめたものである。本書の特色は、シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性の現況をまとめたうえで、新技术について調査・計画編，設計・施工編とに分けて、その理論と実際についてソフト，ハードにわたり記載している。また、これらのことを実務にすぐさま活用できるように、付録としてセグメントの設計，地盤変位予測解析，施工計画についての計画・設計例も紹介し，実務者をはじめトンネル技術者のニーズに応えた内容となっている。

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

株式会社 土木工学社

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



(一社)日本トンネル技術協会
国際委員会

ブラックリバートンネル プロジェクトでTBMが発進

2013年11月18日、オハイオ州ロレイン郡において1.6kmのブラックリバートンネルに着手したとTBM製造会社のロビンス社が先月発表した。

直径7mのロビンス社のダブルシールドTBMと連続したベルトコンベヤシステムがトンネル掘削のために用いられる。TBMはロビンス社が開発した方法であるOnsite First Time Assembly (OFTA)法*を用いて組み立てられた。

「OFTA法は現場に従事する人々にとって困難な作業であった。」とウィスコンシン州を拠点としている受注者であるSuper Excavators, Inc.のMike Garbethプロジェクトマネージャーは言った。「私たちは数多くの調整をしなければならなかった。それにもかかわらず、私たちのチームは困難を克服するために精出して取り組んだ。そして私たちは比較的予定どおりにTBMを組み立て着手することができた。」

*従来のTBMを工場を組み立てて現地へ輸送する方法ではなく、部品を個々に現地へ輸送し、現地でTBMを組み立てる方法である。掘削開始までの期間の短縮、現地への輸送コストの削減などのメリットがある。

建設工事の地質診断と処方

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



株式
会社

土木工学社

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

掘削するとき、ダブルシールドは独特な方法で用いられる。「頁岩を掘削するとき、私たちは最小のカッターを用いて最適な成果を期待している。」とSuper ExcavatorsのGregg Rehakトンネル工事管理者は言った。「私たちはリング支保工と矢板を施工し、トンネル掘削後、最後に一体的にコンクリートを打設する。」

マシンが通過すると同時に、コンクリートセグメントではなくリング支保工がシールドの後部で組み立てられる。

2013年12月時点で、マシンは孔の中へ約60m前進した。

「私たちがTBMやコンベヤの組立ての最終調整をする間、トンネル掘削はゆっくりと開始したが、掘削速度は増加し、そして私たちは予定どおりの掘削速度に達している。」とGarbethプロジェクトマネージャーは言った。

ブラックリバートンネルの主な諸元は発進立坑、到達立坑が直径約11m、深さ50mであり、完成時のトンネルの直径は5.8m、延長は1.7kmである。

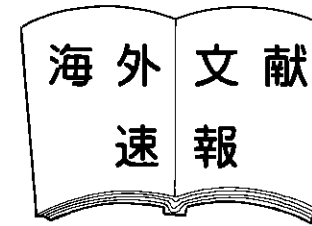
Ric-Man Construction は立坑を掘削する下請け会社である。

事業ルートはブラックリバーとおおむね並行に街の不動産に沿って延びており、ブラックリバー埠頭付近の発進立坑で始まり、ロレインブラックリバー下水処理場付近で終わる。

掘削は春までには完了する予定であり、最終的な事業の完了は2015年に設定されている。

完了したときトンネルは4,200万L/日の貯水量となり、ロレインの街の水質において相当な改善を提供することになる。

(T&T '14.2 担当：山口洋介・鉄道・運輸機構)



(一社)日本トンネル技術協会 国際委員会

ラ・フォンテーヌトンネルの改良/ Fixing La Fontaine

By M. Jones: TUNNELS & TUNNELLING INTERNATIONAL, January, 2012, pp.43-46

1967年3月に完成したセントローレンス川を挟んでモントリオール島に接続するラ・フォンテーヌ高速道路トンネルの交通量は今や1日あたり13万台に達したため、換気設備の見直しが必要となった。同トンネルは片側3車線の2連プレストレスト製コンクリートボックスタイプのトンネルで、水底部の延長が768m、取付け部が1,471mである。

トンネルの換気方式は両坑口に2本の換気塔を持つ半横流換気システムを採用している。出力125HP(93.2kW)から200HP(149kW)の換気ファンが16台設置されており、それぞれ8台ずつが給排気に用いられている。

トンネルの改修にあたっては、2001年のモントリオールでのトンネル火災を受け、カナダ国立研究評議会(NRCC)で人や物の安全な動きをパフォーマンス分析し、検討を行った。

パフォーマンス分析における評価項目は、交通流動性の確保、交通安全性の確保、事故発生時の第三者の保護、構造物の防護、ユーザーとの情報伝達、煙の制御、トンネルの換気、維持管理の最適化、操作性などとした。パフォーマンス分析の結果、避難経路を保護することだけでなく、煙の層化を防止するためには、換気を改善することがもっとも重要であるという結論を得た。しかし、同トンネルは非常に狭く、換気システムをグレードアップするために追加する換気装置設置スペー



Mo-Jetファン

スがほとんどない。

そこで、吹出し効率を向上させたMo-Jetファンを採用するものとした。Mo-Jetファンは必要動力が少ないにもかかわらず、かなり強い風を送ることができるにもかかわらず、従来のジェットファンに比べ重量で20%、設置高さを15%低く抑えることができる。また、機体が小さいので必要な設置空間が狭く、交通の妨げにもならないという特長がある。

(文責：藤原正稔・五洋建設(株))

Nazzano道路トンネルの拡幅/Nazzano method

By P. Lunardi, M. Cangiano, A. Belfiore: TUNNELS & TUNNELLING INTERNATIONAL, June, 2012, pp.54-58

道路を閉鎖せずに拡幅するという世界で初めての双設トンネルの事例。

Nazzano道路トンネルは、延長337mでA1ミラノナポリ自動車道のオルテとフィアーノロマーノ間にあり、拡幅後のトンネルは幅20.5m、高さ9mである。

地質はシルト質海砂粒度は細～中程度である。土かぶりは最大45m、地下水位はトンネル側壁レベルである。

拡幅技術には、プレライニング(プレカット工法)とRCセグメント覆工が採用された。また、車道と工事サイトの分離には、長さ約60mの鋼製プロテクタを用いた。

基本的な掘進サイクルは以下のとおりである(切羽～セグメント覆工間の距離は5m)。

- ① 前方地山プレカットライニング $L=4.5m$,
 $t=300mm$, ラップ $L=1.5m$
- ② セグメントライニング(第1アーチ組立て)



拡幅状況

L=1.0m

③ 第1掘進1m, 同時に既存トンネルの取り壊し

②, ③を2回くり返し①へ戻る

工事は8年9か月を要した(1998年9月~2007年5月)。その期間の内訳は次のとおりである(掘削は2003年1月開始)。

- ・44%：第1回入札での問題への対応, 第2回入札の手順の策定(設計協議)。
- ・25%：北行きトンネルの建設準備, 地盤特性に対応するための調整など。
- ・自動車トンネルの拡幅掘削に費やされた期間の割合はわずか31%である。

(文責：畑生浩司・鉄建建設(株))

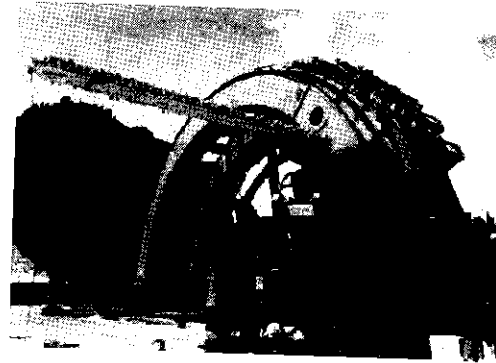
鉄道トンネルのリニューアルに関する報告/Report on Redeveloping Railway Tunnels

By S. Simon : TUNNEL, June, 2012, pp.26-37

STUVAの下で2010年から作業を開始した「トンネルリニューアルWG」の検討成果に関する報告。

1. ワーキンググループの背景と目的

WGが調査・解析に取り組むと決めた主な項目は以下のとおりである。①条件設定(列車の運行中/制限運行中/非運行中, 全線/部分), ②インバート設置も含む断面拡大, ③リニューアル時に再発する問題, ④リニューアルに必



プレカット機

要な最低条件, ⑤リニューアル方法のまとめ, ⑥3か国内の条件調整, ⑦3か国の規則一覧表, ⑧数年後の技術開発, ⑨マニュアル化。

2. トンネルリニューアルの基本条件

(1) 全般

リニューアルの方法は多岐にわたるが, 技術的要件に加え工事中の列車運行条件に見合った適切な方法が採用される。

(2) ドイツ

新設路線やいくつかの拡張工事では軌道中心間隔の拡大(3.5mを4.0mに)が必要となる。この場合は, 既設トンネルの隣に単線トンネルを1本新設したのち, 後述する「トンネル・イン・トンネル法(移動式プロテクターを用いた活線トンネル拡大工法)」により既設トンネルを複線から単線に改築し, 最後に避難坑を500m間隔でつなぐ。

(3) オーストリア

Arlbergトンネルでは覆工のリニューアル工事に軌道構造物を撤収する装置(図-1)を開発し, 適用している。



図-1 Arlbergトンネル改築工事の軌道撤去用機械

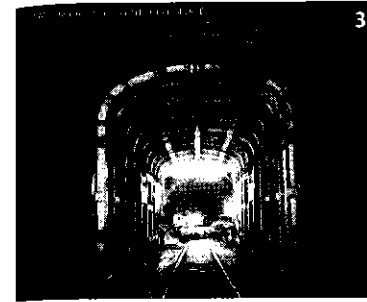


図-2 天端崩落防止用のサポートプレート

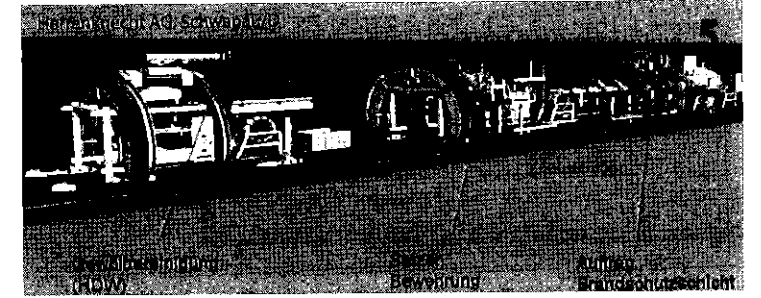


図-3 道路トンネル改築機械の例(左：支保工の清掃, 中央：補強材の設置, 右：防火層の施工)

(4) スイス

排水や盤膨れによるダメージのほか, 将来のピギーバック輸送(トレーラーを貨車に乗せる方式)への対応として路床を下げるのがよく行われる。

3. トンネルリニューアルの方法

(1) トンネル作業

最近では同時に複数の作業を行える機械化システムが開発されている。具体的には, 断面拡幅中に支保と掘削を, 路床作業中に掘削とずり出しを, 同時に行う。

(2) トンネルの安定化

トンネル拡大の場合, 既設トンネル崩落リスクを抑制するため, サポートプレートが用いられる(図-2)。

多くの場合, トンネルを安定化するアンカーシステムに関連して先行掘削(advance cuts)は不要である。

(3) トンネルの改築と部分拡大

防火基準に適合した道路トンネルとするため, Herrenknecht社はトンネルシェルを構築するシステムを開発した(図-3)。このシステムを用いて, 既設トンネルの支保工を清掃し, 一部をウォータージェット(最大水圧1,400bar)で撤去する。補強材の設置後, 吹付けと防火層を新トンネルの内側シェルに施工する。



図-4 LangenauトンネルとHollrichトンネル拡大用の移動式プロテクター

(4) レンガ造りトンネルの撤去

1980年代は, Arlbergトンネルの高強度レンガの撤去到2台のダウンザホールハンマーが使われた。現在は, 切削機やマルチ・リップ・ソーと油圧ビットがトンネル拡大に使われている。将来は, 硬岩地山の拡大に, 移動式作業台車に搭載した切削機やバック切削機が想像できる。

(5) トンネル拡大(トンネル・イン・トンネル法)

TIT法では, マシン側面に固定した油圧ハンマーで掘削と埋戻し材撤去が行われる。マシン側面に装着した可動式の削孔機で岩盤の緩め発破も可能である(図-4)。掘削後, マシン上の作業床からアンカー, 補強材, 吹付けにより支保する。次に, 場所打ちで内側シェルを構築するために, 任意断面の型枠台車が使われる。

(文責：秋好賢治・(株)大林組)

一般社団法人

日本トンネル技術協会

会 報

1. 会員の現状

	8月31日現在
個人会員	848名
団体会員	201名
推薦会員	203名
特別会員	13名
名誉会員	0名
賛助会員	162名
合計	1,427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(8/4)

大島洋志主査ほか10名, 9月号の会誌と3か月計画を検討

◎事業委員会

・事業委員会(8/5)

桑原彌介委員長ほか19名, 催物事業報告および今後の催物事業計画について検討

◎設立40周年記念事業実行委員会

作品展示パネル展示サブWG(8/28)

早川淳一委員ほか4名, 展示スペースを検討

◎国際委員会

・海外文献小委員会

海外文献WG(8/7)

福井勝則委員長ほか13名, 海外文献の査読

計 4回開催 50名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

・都市トンネル小委員会

シールド変遷史編集WG第1サブWG(8/1)

河越勝主査ほか7名, 目次(案)を検討

シールド変遷史編集WG第3サブWG(8/5)

守屋洋一主査ほか7名, 目次(案)を検討

シールド変遷史編集WG調整サブWG(8/27)

中村隆良副主査ほか7名, 目次(案)を検討

・安全環境小委員会(8/20)

豊澤康男委員長ほか17名, 安全標語応募結果の確認および選定方法を検討

安全環境小委員会打合せ会(8/7)

津金昭一委員ほか3名, 安全標語応募結果の確認および選定方法を検討

・都市近接施工ガイドライン編集小委員会

文献調査WG(8/4)

滝本邦彦主査ほか7名, アンケート調査結果データの確認および作業方針を検討

本文編集WG(8/7)

西田与志雄主査ほか9名, 原稿(対策工)を検討

本文編集WG(8/29)

西田与志雄主査ほか11名, 原稿(対策工)を検討

◎受託研究特別委員会

・小田急下北沢地区線増連続立体交差事業技術委員会(8/6)

小山幸則委員長ほか26名, 現地視察, シールド影響解析・検討

・シールドトンネル補修補強対策検討委員会(8/18)

小泉淳委員長ほか29名, 補強対策範囲を検討

計 10回開催 133名出席

合計 14回開催 183名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第41回ITA総会およびコンgres「Promoting Tunnelling in See Region」	2015. 5. 22~28	ドヴロヴニク(クロアチア)	Croatian Tunnelling Association ITA(国際トンネル協会) http://wtc15.com/
第42回ITA総会およびコンgres「Uniting the Industry」	2016. 4. 22~27	サンフランシスコ(アメリカ)	Underground Construction Association of SME ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc.2016.us
第43回ITA総会およびコンgres「Surface problems - Underground solutions」	2017. 6. 9~16	ベルゲン(ノルウェー)	Norwegian Tunnelling Society ITA(国際トンネル協会)

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

4. 平成26年度催物開催現況

(平成26年8月現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(現場研修会) 東北道路トンネル現場研修会	2014. 6.27	18	宮城	2.0
—国道108号花沢山2号トンネル—				
中部横断自動車道トンネル建設工事現場研修会	2014. 7.24	32	山梨	2.8
—八之尻トンネル, 宮狩トンネル—				
北海道道路トンネル現場研修会	2014. 8.28	24	北海道	3.8
—北海道横断自動車道第二天神トンネル・天狗山トンネル, 国道5号忍路トンネル—				
近畿地区道路トンネル現場研修会	2014. 9.12	25	兵庫	2.0
—名塩道路・八幡トンネル—				
有楽町線小竹向原・千川間連絡線工事現場研修会	2014. 9.29	25	東京	2.0
(施工体験発表会) 第74回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—	2014. 6.24	172	東京	6.3
第75回(都市)「創意工夫・新技術によるトンネル・地下構造物工事—新設および改良・再構築の施工事例—	2014. 6.25	114	東京	5.5
(講演・講習会) 第16回ステップアップ研修会(シールド)	2014.10.1~2	25	東京	15.5
第17回ステップアップ研修会(山岳)	2014.11.6~7	30	東京	9.8
トンネル保守管理特別講演会	2014.10.29	150	東京	

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

設立40周年記念事業

詳しくは, 次のwebを参照願います。

http://www.japan-tunnel.org/40th_Anniversary

実施予定項目

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

トンネル保守管理特別講演会 —保守管理の現状と今後の課題—のご案内

本会は来年設立40周年を迎えますが、近年のトンネルの保守管理技術のニーズに対応するため記念事業の一環として、下記のとおり記念講演会を実施することといたしました。

講演会では、保守管理の現状と今後の課題についての京都大学朝倉俊弘教授の基調講演と今年6月に国土交通省が策定した道路定期点検要領の主旨、各機関での保守管理の現状および、これまでの委員会活動報告などについて講演していただく予定です。多数参加いただけますようご案内いたします。

—記—

開催日：平成26年10月29日(水) 13:00~17:00
 会場：発明会館「地下ホール」(東京都港区虎ノ門2-9-14)
 定員：150名(定員になり次第締め切りさせていただきます)
 参加費：講演会無料、意見交換会 3,000円
 申し込み方法：参加するには事前申し込みが必要です。詳しくは協会ホームページご参照ください。

施工体験発表会テキストの紹介

施工体験発表会のテキストは、第68回よりテキストからCD-Rに替わりました。希望者には、各回5,000円(PDF, CD-R)で頒布しています。また、それ以前についても有料コピーサービスをしていますので、ご利用くださいますようご案内します。詳しくは協会ホームページをご覧ください。

図書No	図書(テキスト)名
201404	第75回施工体験発表会(都市)創意工夫・新技術によるトンネル・地下構造物工事—新設および改良・再構築の施工事例—
201403	第74回施工体験発表会(山岳) 課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—
201303	第73回施工体験発表会(都市)—都市における創意工夫・新技術による地下構造物の施工事例—
201302	第72回施工体験発表会(山岳) 課題克服に取り組んだ工事—周辺環境への配慮, 創意工夫, 効率化—
201204	第71回施工体験発表会(都市)—困難な施工条件下での都市トンネル工事事例—
201203	第70回施工体験発表会(山岳)—課題克服に貢献した新技術・創意工夫例—
201103	第69回施工体験発表会(都市)—都市トンネル工事におけるコスト縮減・工期短縮の施工事例—
201102	第68回施工体験発表会(山岳)—様々な課題克服に取り組んだ山岳トンネル工事—

2014施工体験発表会報告および 審査結果



発表会場の風景

施工体験発表会報告

恒例の施工体験発表会は、山岳部門を6月24日(火)、都市部門を6月25日(水)に虎ノ門発明会館地下ホールで開催し、通算75回となりました。

本発表会は、山岳と都市に関するその時々話題をテーマに、若手トンネル技術者の育成とトンネル技術者相互の情報交換の場として企画・開催しているものです。今回、山岳では「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」, 都市では「創意工夫・新技術によるトンネル・地下構造物工事—新設および改良・再構築の施工事例—」をテーマとして募集しました。その結果、発表件数は山岳部門15件、都市部門13件となり、当日の参加者数は、それぞれ172名、114名でした。

事業委員会では、会員の要望に応え「発表論文概要の事前公表」「テキストのCD化と事前配布」「発表者の表彰」「パンフレット設置スペース提供」, 「ベストオーディエンス賞」を設けました。以下に、当日回答いただいたアンケート調査結果(山岳86人(回答率50%), 都市67人(回答率58.8%))の一部を引用し施工体験発表会の報告をします。

参加者の実態を図-1, 2に示します。

山岳と都市とも40歳代が中心となっています。また、建設業の方が多く参加しています。施工から得られる情報はたいへん貴重ですので、他業種の方々にもぜひ参加していただきたいと思っております。

発表会に対する参加者の評価を図-3,

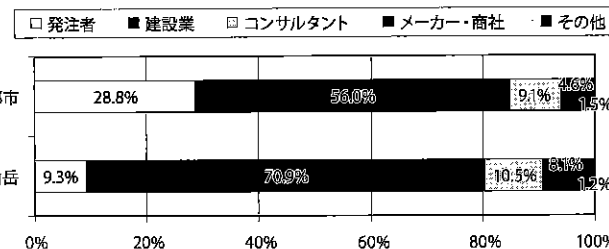


図-1 参加者の年齢構成

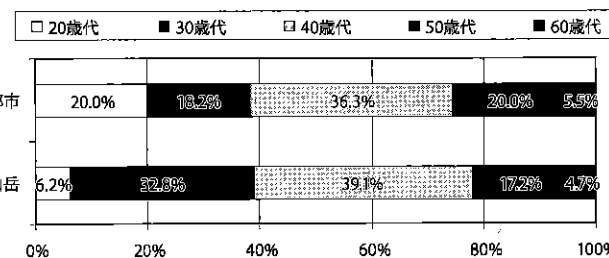


図-2 参加者の業種

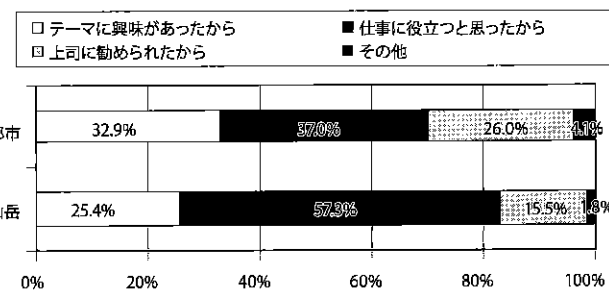


図-3 プログラムの内容に対する意見

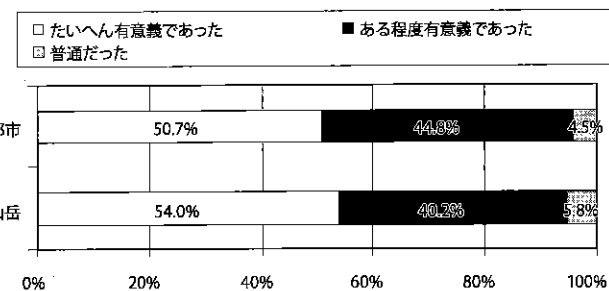


図-4 受講を勧めるか

4に示します。グラフからわかるようにおおむね好評を得ていると自負いたします。

アンケートのご意見欄には、テキストのCD化には「賛成」という意見と「ペーパーと併用してほしい」との意見が2分化していました。コストなどを含め今後検討すべき項目とも感じました。その他施設に関する要望などがございましたが、次回の企画に反映し、有意義な催物としたいと考えています。

施工体験発表会発表者の審査結果報告

第74回(山岳)ならびに第75回(都市)施工体験発表会にかかわる発表者の表彰について審査した結果、下記のとおりとなりましたので報告します。なお、両発表会の最優秀賞を受賞した論文を次頁以降に掲載・紹介いたします。

第74回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—周辺環境への配慮、創意工夫、効率化—」

<最優秀賞>

新型テレスコピックセントル『TAF工法』による覆工コンクリートの施工
—一般国道473号 岩古谷トンネル—
鹿島建設(株) 竹市篤史

<優秀賞>

超長尺大口径鋼管先受け工法(LL-Fp工法)の開発と地すべり跡地を呈した坑口部への適用実績
—国道289号7号トンネル工事—
西松建設(株) 山下雅之
爆薬の遠隔装填システムによる装填作業の完全自動化への取り組み
—国道45号 釜石山田道路工事—
(株)熊谷組 野々村嘉映

第75回(都市)「創意工夫・新技術によるトンネル・地下構造物工事—新設および改良・再構築の施工事例—」

<最優秀賞>

気泡シールド工事の環境負荷を従来の25分の1に低減
—堺石津シールド、平塚貯留シールド—
清水建設(株) 安井克豊

<優秀賞>

24.7%急勾配施工を含む岩盤を対象とした大深度泥水シールドの施工結果
—駿河東清水線新設の内安倍川横断洞道工事—
西松建設(株) 坪井広美
地下鉄営業線改良工事における中床版の受替え施工
—有楽町線小竹向原・千川間連絡線設置工事—
東京地下鉄(株) 塚越力也

施工体験発表会ベストオーディエンス賞の結果報告

今年2年目となる聴講者を対象とした「ベストオーディエンス賞」に多数のご応募をいただきありがとうございました。この賞は、クイズ方式で高得点者をベストな聴衆者として賞するものです。

今回は、不適切な設問を対象外とし、全問正解者が山岳部門応募総数77名中18名、都市部門応募総数43名中9名と高得点者が多数のため、7月9日委員長立ち合いのもと、抽選の結果、下記のとおり3名の方々を受賞者といたしましたので、報告いたします。

ベストオーディエンス賞の詳細および当日配布の問題と回答はwebサイトに掲載しておりますので、ご参照ください。

http://www.japan-tunnel.org/event_kikaku#_BO

<第74回山岳部門ベストオーディエンス賞>

今峰 新平(東海旅客鉄道(株))
高橋 裕之(青木あすなる建設(株))
生悦住賢吾((株)安藤・間)

<第75回都市部門ベストオーディエンス賞>

西田与志雄(大成建設(株))
古賀 善友((株)熊谷組)
益田 光雄((株)近代設計)

第74回(山岳)施工体験発表会最優秀賞

新型テレスコピックセントル『TAF工法』による覆工コンクリートの施工

—一般国道473号 岩古谷トンネル—

鹿島建設(株)東北支店 竹市篤史
鹿島建設(株)中部支店 日野博之
鹿島建設(株)土木管理本部 西岡和則
鹿島建設(株)土木管理本部 手塚康成

キーワード：覆工コンクリート、アーチセントル、テレスコピック、長時間養生、品質向上

1. はじめに

『コンクリート標準示方書』によれば、一般的なコンクリート構造物の脱型時期は発現強度が参考値として示されており、薄い部材の鉛直に近い面、45°より急な傾きの下面、小さいアーチの内面については5.0N/mm²とされている。

一方、トンネルの覆工コンクリートについては、部材厚が薄いうえに、トンネル内が遮光・恒温・多湿であり養生環境が屋外とは異なることから、自重に対する支持強度が十分発現すれば脱型することが許容されており、一般的な2車線道路トンネル断面で厚さ30cmの無筋コンクリートの場合、圧縮強度が2~3N/mm²に達した時期、材齢に換算すると約12~20時間、平均で18時間程度で脱型している。

このため、覆工コンクリートの品質をさらに向上させるためには、打設工程に影響を与えることなく型枠存置期間を長く取ることで、脱型時に発生する部材内部の収縮ひずみを軽減し、さらにコンクリート表面の緻密化を図れる施工法の確立が必要であった。

そこで、今般、2日に1回の打設サイクルを变えることなく、66時間型枠存置が可能な「ツインアーチフォーム(TAF)工法」を開発し、現場に適用してその効果を検証したので、その事例を紹介する。

2. 現状の問題点と開発方針

弊社現場で実際に打設した覆工コンクリートの内部温度を測定した結果を図-1に示す。このグラフによると、コンクリートの内部温度のピーク(つまり、もっともセ

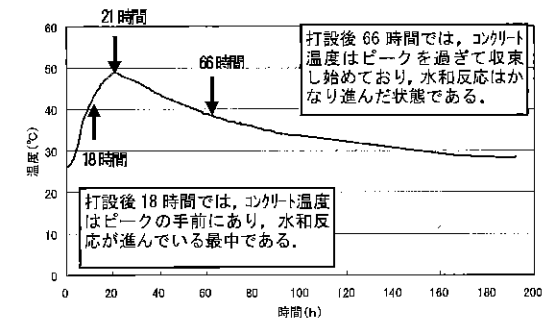


図-1 覆工コンクリート内部温度の経時変化

メントの水和反応が活発な時期)は打設完了後約21時間であり、18時間の時点では、水和反応はピークの手前であることがわかる。通常、型枠の存置期間を延長するためには、

- ① 1台のセントルを長時間存置する
- ② セントルを2台用意して交互に打設することが考えられる。

①の場合、標準的なトンネル覆工の打設サイクルは、打設6時間+養生18時間+脱型・移動セット8時間+夜間休止16時間で計画されており、打設工程の調整は、現実にはできないことがほとんどである。

また②の場合、トンネル全長を2区間に割って2台のセントルで個々に分割施工するケースと、1台を歯抜けで先行させて2台目はその間を打設しながら併進するケースとが考えられるが、前者の場合、比較的施工延長の長いトンネルへの適用に限定され、かつ個々の施工場所が分散されるため、作業管理が非常に煩雑になる。後者の場合、先行部は常に両妻枠となり、天端の充填圧力を十

分に確保することが困難になる一方で、後行部は充填不良の可能性のある両側ラップの打設になり、いずれも天端の充填性確保のうえで問題が大きい。

したがって、打設サイクルを変えずに型枠存置期間を長く取るためには、フォームを2台用意し、1台目のフォームはガントリーで支持された状態でコンクリートを打設し、その間、先行打設した2台目のフォームは存置が可能となるテレスコピック構造を開発の基本とした。これによって、18時間+48時間=66時間の型枠存置期間の確保が可能となる。

施工に先立ち、小規模模擬試験にて18時間脱型と66時間脱型の効果を比較した¹⁾。コンクリート供試体は、21-18-25N、一辺30cmの立方体で5面を発泡スチロールで断熱し、残りの1面に鉄板を被せてセントルを模擬し、

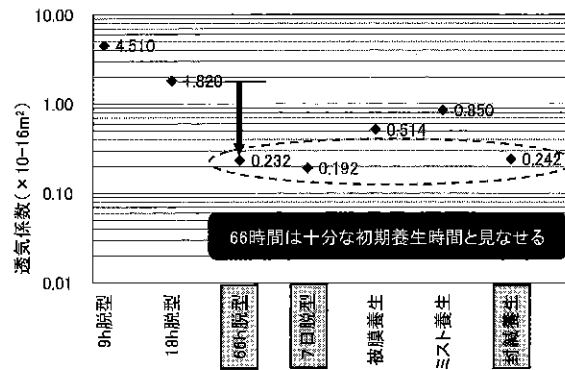


図-2 透気試験結果

所定の時間で脱型した。

図-2に透気係数の比較を示す。

18時間脱型では約 $2.0 \times 10^{-16} \text{m}^2$ に対して、66時間脱型では約 $0.2 \times 10^{-16} \text{m}^2$ と1オーダー緻密化しており、7日間養生とほぼ同等の結果となった。

3. 新規に開発したセントル

今回開発したセントルの概念図を図-3、このセントルを適用した場合の施工手順を図-4に示す。同図のように、1台のガントリーが2台のフォーム間を往来することで、交互に連続した打設が可能である。また、型枠存置による養生完了部のフォームは、ガントリーと接合後に縮径し、存置中フォームの内側を通過できる構造になっている。

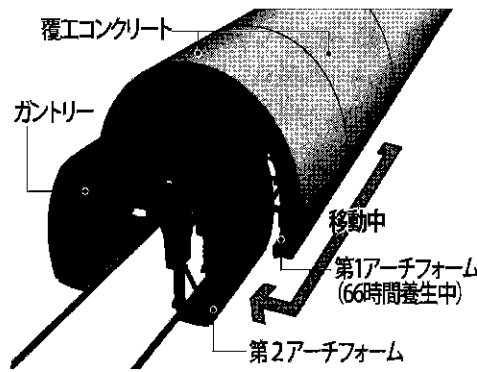


図-3 今回開発したセントルの概念図

【TAF工法の施工手順】

第1日目

第1型枠は養生中。
第2型枠を使用してコンクリートを打設する。

第2日目

第2型枠と運搬装置（ガントリー）を分離し、第2型枠はそのままの状態での養生する。
第1型枠の径を縮小してガントリーに乗せ、第2型枠の下をくぐり抜け、次の打設位置まで前進する。

第3日目

第2型枠は養生中。
第1型枠を使用してコンクリートを打設する。

第4日目

第1型枠と運搬装置（ガントリー）を分離し、第1型枠はそのままの状態での養生する。
第2型枠の径を縮小してガントリーに乗せ、第1型枠の下をくぐり抜け、次の打設位置まで前進する。

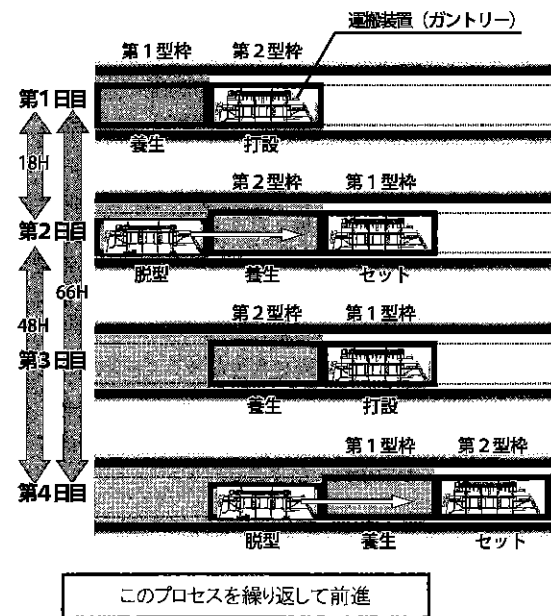


図-4 TAF工法施工手順

4. 現場での適用事例

4-1 適用現場概要(岩古谷トンネル)

岩古谷トンネルは、愛知県が進める設楽町と東栄町を結ぶ国道473号設楽バイパス建設工事のうち、全長1,287mの道路トンネルである。

工事名：平成23年度道路改良事業一般国道473号岩古谷トンネル建設工事

発注者：愛知県新城設楽建設事務所

施工者：鹿島・近藤・神野特定建設工事共同企業体 JV比率(鹿島50：近藤30：神野20)

工事場所：愛知県北設楽郡設楽町和市および平山地区

工期：2011(平成23)年10月14日～

2014(平成26)年3月19日

主要工事数量：

トンネル工(NATM) 1,287m
(発破および機械掘削 内空断面積 62.8m²)
坑門工 2基
残土処分場 1式

岩古谷トンネルは、入札時の技術提案の課題に「覆工コンクリートのひび割れ抑制対策」が与えられ、「今回開発したセントル」を提案し、評価されて入手に至った初めての適用現場である。

図-5にセントル断面図を示す。セントルは重ダンプが通過できるようにガントリーの内空を確保し、くぐり抜けする際の離隔をできるだけ大きくできるようにフォームは極力薄くした。またフォーム自立時については、ジャーナルジャッキで支持する構造とした。

4-2 セントル組立実績

表-1にセントル組立実績を示す。セントル延長は10.5mで合計重量は153tであり、同様の断面の通常のセントルと比較して20t程度重い。

組立てには50t、25tラフタークレーンを使用し11日を

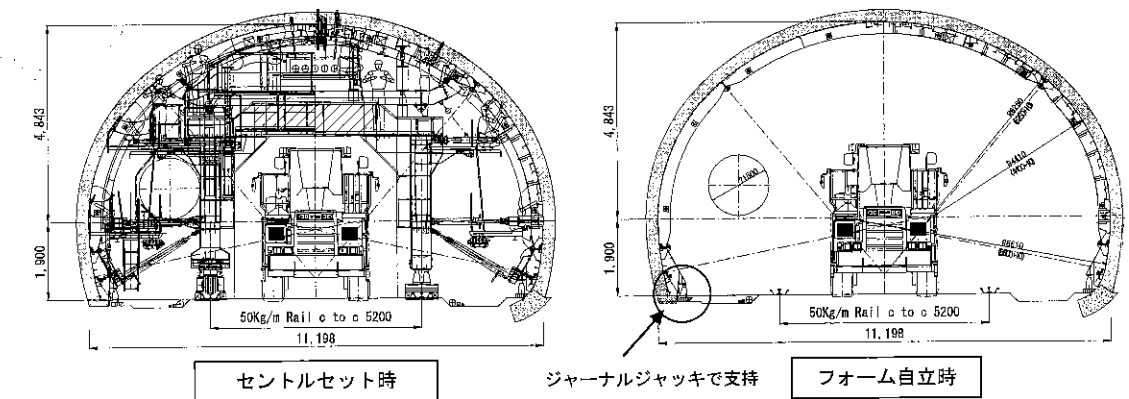


図-5 TAFセントル

要した。レールは50kg/mを使用した。

4-3 セントルくぐり抜け実績

TAF工法の重要な工程となる、セントルくぐり抜けについては、計画では離隔を確保しているものの、実際現場での不確定要素のなかで、接触なく移動することができるか懸念されていた。しかし、セントル間のクリアを確認しながら慎重に移動することで、計画どおり問題なく移動することができた。以降にセントルくぐり抜けの実績を示す。

図-6に計画上でのくぐり抜け時のフォーム離隔を示す。フォームを脱型し、下げ猫フォームと側フォームを縮めた後、ガントリーを600mm下げてフルダウン状態とする。くぐり抜け時の天端部の離隔は250mmとなるが、肩ヒン

表-1 セントル組立実績

	組立重量 (t)	稼働 (日)	延べ人員 (人)
セントル組立 (第1フォーム付き)	153	11	78
第2フォーム組立	35	2	14
計	188	13	92

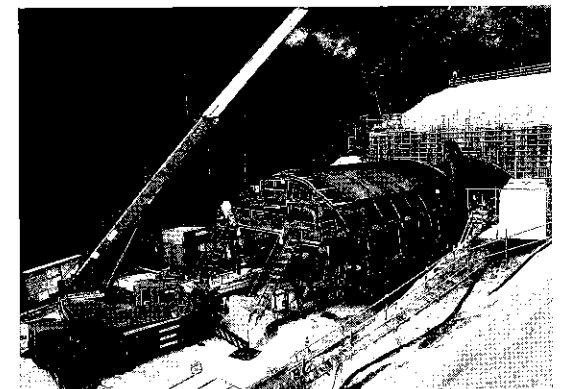


写真-1 セントル組立状況

ジ部、および下げ猫ヒンジ部で最小離隔は143mmとなっている。

足場は写真-2に示すようにスライド張出足場として、フルダウン時は収納することとした。フルダウンした状態は、セントルのステージ内が非常に狭くなるため、資材の置き方に注意が必要であった。

セントル移動時は、上段・下段の両側に4人の監視員

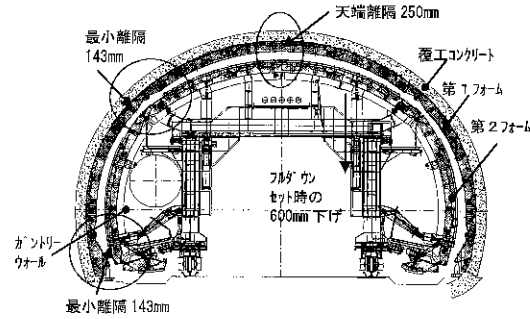


図-6 計画時のくぐり抜け時の離隔

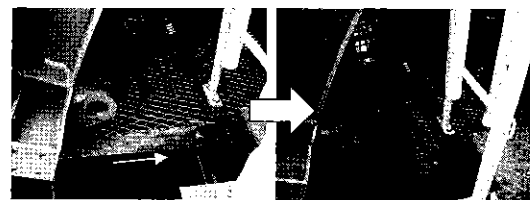


写真-2 スライド張出足場

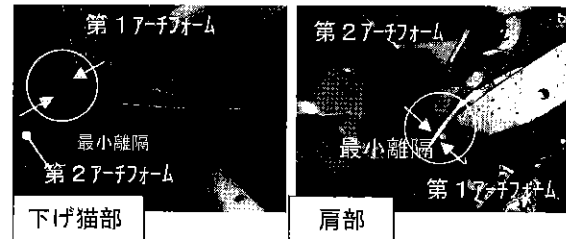
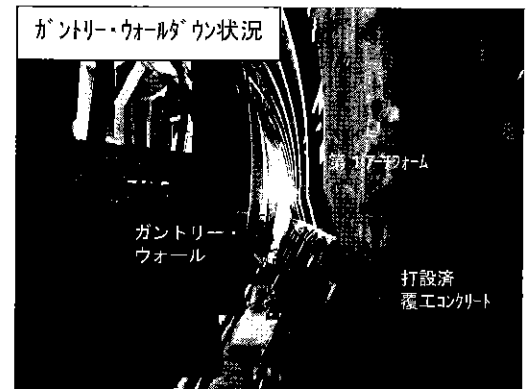


写真-3 ガントリーダウン・くぐり抜け状況

を配置し、接触のないように注意を払った。フォームが接触しそうな場合は、ガントリーを上下左右にスライドすることにより解消できた。

実際に現場では離隔50mm程度でも問題なく移動を行った。移動に要する時間は40分程度である。カーブ区間についても、レールの芯出しを正確に行うことで大きな問題は発生しなかった。

4-4 ラップしないことによる効果

通常、型枠は既設コンクリートにラップさせ、押し当ててセットする。このとき過度に押し上げると、既設コンクリートは若材齢のため三日月状のひび割れが発生しやすく、このひび割れは打継面と閉合して剥落の原因となる。

TAF工法のセントルは、前のフォームを存置して次のブロックのフォームをセットするため、前のブロック

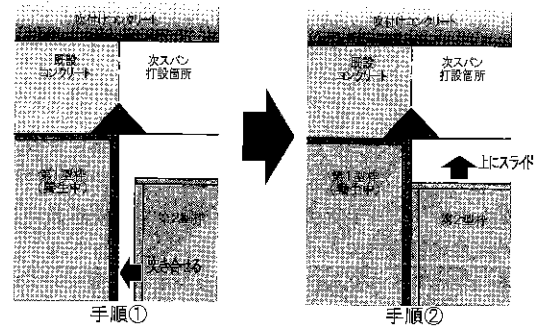


図-7 型枠のセット手順

表-2 施工サイクル

移動・セット日	コンクリート打設日		
6:00		昼勤 5名	
7:00	ジャッキ解体		打設準備
8:00	ガントリーダウン 移動		
9:00	フォームダウン 移動		コンクリート打設
10:00	ケレン		0.1バターン
11:00	セントルセット		10.52m/BL
12:00	昼食		96㎡
13:00	ジャッキ固定		
14:00	襖枠、差板組立		打設片付
15:00	擦込み		シート(引抜配管)台車移動
16:00	路盤整備		路盤整備
17:00	片付		片付
18:00			
19:00	先打ちコンクリート掘削		
20:00	レール盤下、レール盤替	シート張り	
21:00			
22:00	シート張り		
23:00	昼食	昼食	
0:00	シート張り	シート張り	
1:00	シート張り	シート張り	
2:00	シート張り	シート張り	
3:00	シート(引抜配管)台車セット	差板解体	
4:00	ポンプ車セット	襖型枠解体	
5:00	片付	片付	
6:00			

にラップさせない。このため、押し上げによるひび割れは発生しない。すなわち、図-7に示すとおり、養生中の型枠(第1型枠)の下をくぐり抜けてきた型枠(第2型枠)は、第1型枠に突き合わせてから上にスライドする。このため、従来の移動式型枠のように既設コンクリートに型枠を押し当てることのない、また、第2型枠が第1型枠を押し上げることもない。

4-5 作業サイクル・人員

覆工開始時は、慣れないセントルに手間取り、時間を要していたが、10BL施工後からは他の技術提案(打設時間2h延長、シート台車夜勤のみ使用可)もあり、7人の作業員(2名夜勤)で、2日に1回の打設サイクルで66時間脱型を実現できた。現在、2号機を使用している現場では、5名(夜勤なし)で2日に1回の打設を実現している。工夫した点を以下に挙げる。

- ① レール高さを50mm下げて管理することにより、セントルくぐり抜けの際の離隔に余裕ができ、移動をスムーズに行うことができた。
- ② 給排水管、電線を降ろす位置をつぼ掘りすることで、セントル移動をスムーズに行うことができた。
- ③ 夜勤者2名により他の技術提案により昼間施工できない防水シート敷設作業とともに、妻板、差板撤去を行うことで、昼勤はジャッキダウンから行う。
- ④ 66時間経過後のフォーム脱型時、セントルセット時の人員配置と作業手順を見直し、時間短縮を図ることができた。

表-2に標準的な施工サイクルを示す。

5. 適用効果の確認

5-1 覆工コンクリートの内部温度測定結果

熱電対による覆工コンクリートの内部温度測定結果を図-8に示す。この図より、本トンネルではコンクリートの内部温度のピークは打設完了後約36時間であり、打設完了後18時間の時点では、図-1と同様に水和反応はピーク手前であることがわかる。なお、図-1と比較するとコンクリート内部温度のピーク発現が遅くなっているが、これは打設時期が3月で打設時のコンクリート温度が15℃と低かったこと、および高炉セメントを使用していることに起因すると考えられる。また、それぞれの時間に対する現場養生供試体の一軸圧縮強度は、18時間が0.8N/mm²、66時間が5.0N/mm²であった。

同図から66時間で脱型することにより、温度ピーク後まで型枠による養生期間が確保されており、強度も十分発現しているの、コンクリート温度および坑内温度が低下する冬期打設において、今回開発したセントルは、覆工表面の強度発現不足による剥離の抑制にも効果があると考えられる。

5-2 収縮ひずみ(計測)

写真-4のようにコンクリート内部にひずみ計を覆工表面から10cmの位置(外側)と20cm(内側)の位置2か所に埋設した。図-9に18時間脱型した場合(他現場)の脱型後のひずみ増分(計測値を弾性ひずみのみに補正した値)と、66時間脱型(TAF工法)でガントリーダウン後のひずみ増分を示す。これより18時間脱型した場合、脱型直後に発生した収縮ひずみは内側で約44μ、外側で約51μで、ひずみが収束に至るまでに内側で約96μ、外側で約133μの収縮ひずみが発生した。また、66時間脱型した場合、

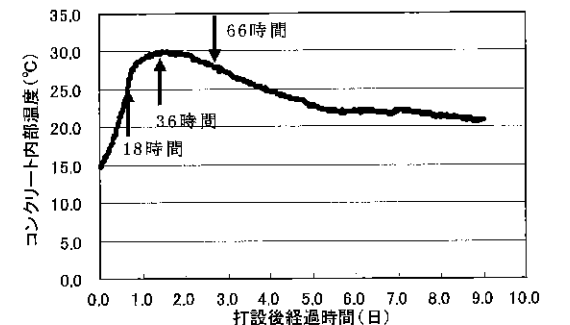
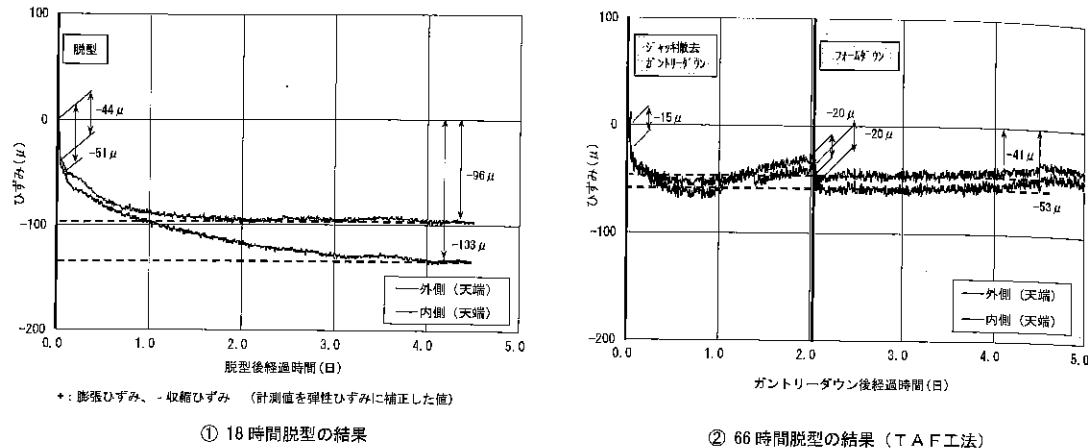


図-8 内部温度測定結果



① 18時間脱型の結果

② 66時間脱型の結果 (TAF工法)

図-9 脱型後のひずみ増分比較図

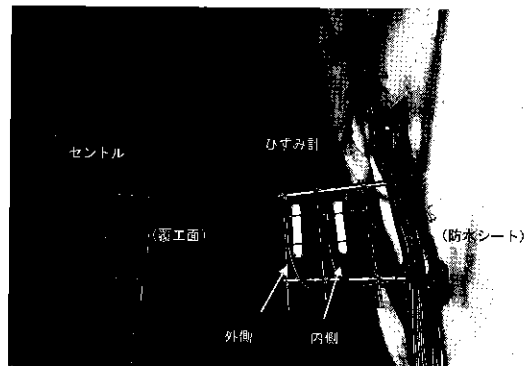


写真-4 ひずみ計設置状況

ガントリーダウン時で両側に約15μ, フォームダウン時で約20μ, 収束時に内側で約41μ, 外側で約53μの収縮ひずみが発生した。この結果から従来の18時間脱型からTAF工法で66時間型枠を存置することにより、収縮ひずみを4割程度に低減でき、また、コンクリート内外のひずみ差も大幅に低減できることから材齢初期の急激な温度変化や乾燥に起因する微小クラックの発生を抑制する効果を確認することができた。

5-3 透気係数および超音波伝搬速度²⁾

現場で実際に脱型する時間を18, 66, 90時間として、コンクリート表層部の透気係数および超音波伝搬速度を比較測定した結果を図-10, 11に示す。これらの図から、型枠の存置期間を18時間から66時間に延長することで、透気係数が大幅に小さくなり、また、超音波伝搬速度も高くなっていることがわかる。このことから、型枠存置期間を延長することによりセメントの水和反応が促進され、コンクリート表層部が緻密化していることが確認できた。とくに、18時間脱型時の透気係数は、測定箇所によるばらつきが大きい結果となっているが、66時間と90

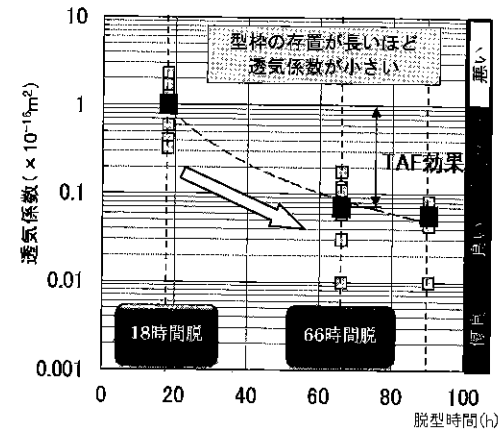


図-10 脱型時間-透気係数増分比較図

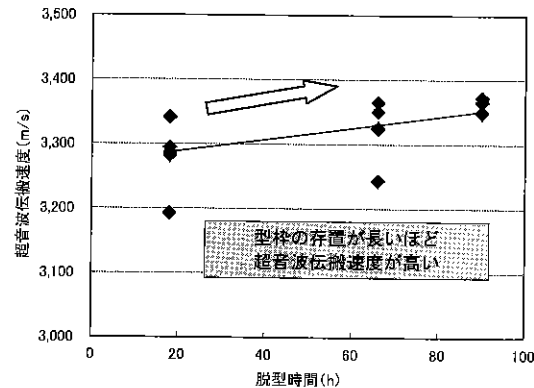


図-11 脱型時間-超音波伝搬速度比較図

時間はばらつきが小さく、また両者に大きな差はないことから、66時間型枠を存置すれば、覆工コンクリート表層全体が、ほぼ均等に緻密化していることが確認できた。

5-4 ひび割れ発生状況

本トンネルにおいて、脱型後のひび割れの発生、進展

状況を継続して確認した結果、表-3のとおりとなった。打設直後のひび割れはなかったが、冬期になると夏期打設したインバート区間に発生し始めた。とくに、隔壁扉を取り外した後にひび割れが多く発生した。ただし、インバート拘束による乾燥収縮ひび割れを除くと発生割合は3.2%程度と非常に少ない結果となった。剝離に関しては、トンネル貫通後の冬季打設時の初期強度低下による剝離は全く見られなかった。

従来のセトルで施工した他トンネルとの竣工時のひび割れ発生状況を比較すると表-4のとおりであった。現場のコンクリートの性状や技術提案内容に差があるため一概には比較できないが、ひび割れの発生割合が、入札時に覆工の技術提案が始まったSトンネルに比べて8割程度、3年前竣工したTトンネルに比べて7割程度低減している。

貫通後に打設した覆工の剝離状況を比較したものを表-5に示す。Tトンネルの剝離は貫通後の冬期にすべて発生しているため、コンクリートの初期強度不足に起因するものと思われる。今回本トンネルは貫通後の11月に10回、12月に7回打設しているが、剝離は発生しなかった。

ひび割れマップ例を図-12、ひび割れ写真例を写真-5に示す。ブロックの中間の延長方向にインバート拘束によるひび割れが発生していることがわかる。また、ひび割れ発生後に再度その近傍でテストハンマー試験により

表-3 岩古谷トンネルひび割れ発生状況

	全線	インバートなし	インバートあり	インバートあり コンクリート温度 26~30℃
全ブロック数	126	77	49	17
打設直後クラック発生 ブロック数	0	0	0	0
貫通前 6/10	0	0	0	0
隔壁扉取り外し前 1/27	3	0	3	3
隔壁扉取り外し後 2/11	7	0	7	7
最終クラック発生割合	5.6%	0.0%	14.3%	41.2%

表-4 他トンネルひび割れ発生状況比較

トンネル名	竣工時期	全ブロック数	ひび割れ発生BL数	発生割合(%)
Sトンネル	2007.3	134	48	36
Tトンネル	2011.3	120	25	21
岩古谷トンネル	2014.3	126	7	6

表-5 他トンネルとの剝離発生状況比較

トンネル名	竣工時期	貫通後ブロック数	剝離発生BL数	発生割合(%)
Tトンネル	2011.3	72	10	14
岩古谷トンネル	2014.3	59	0	0

強度を推定した結果、全ひび割れ近傍で30N/mm²以上の強度であった(図-13)。

今回開発したセトルの効果をまとめると以下になる。

- ① 準サイクルである2日に1回打設を実現できた。
- ② 覆工内部の温度測定結果から、66時間型枠を存置することで、水和反応のピークが過ぎた後まで型枠による養生期間が確保できる。
- ③ 覆工表面の透気係数測定結果から、66時間型枠を存置することで透気係数は大幅に小さくなり、7日間養生とほぼ同等となったため、養生覆工表面の緻密化が図られている。これによって、水や気体の浸透劣化の観点から、覆工コンクリートの耐久性が向

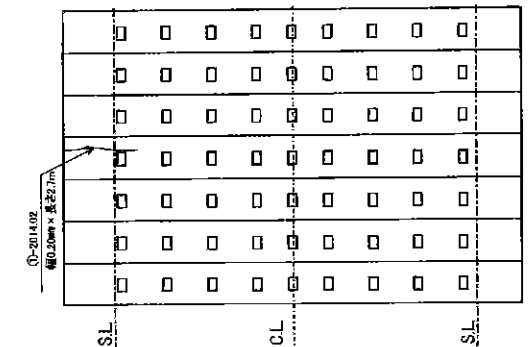


図-12 ひび割れマップ例

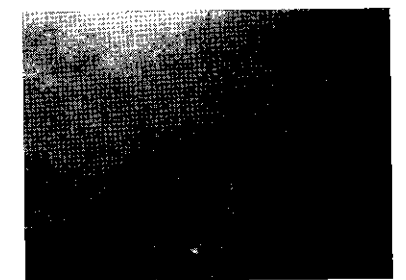


写真-5 ひび割れ写真例

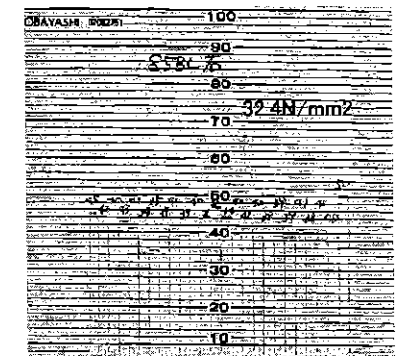


図-13 テストハンマー試験結果例

上するものと考えられる。

- ④ 覆工内部の超音波伝搬速度も、型枠存置期間の長さに応じて速くなっているため、今回開発したセントルを使用することで、従来の工法よりも覆工コンクリートの緻密化を図ることができる。
- ⑤ 脱型時に発生する覆工内部のひずみ測定結果から、今回開発したセントルを使用することで、従来の工法に比べて収縮ひずみが40%に抑制される。さらに、脱型後に漸増する覆工表面の乾燥収縮ひずみも生じないことから、覆工表面の先在的なひび割れが抑制され、その後発生するひび割れの抑制も図ることができるものと考えられる。

6. おわりに

以上から、今回開発したセントルは、工程を変化させずに覆工コンクリートの品質向上に対して絶大な効果があることが確認された。また、現在中流動コンクリートを使用したサイトでも本セントルを適用しており、打設時の作用圧力に対するジャッキやフォームの断面剛性の確認と、中流動コンクリート使用時における本セントルの適用効果の検証を進めている。これらのデータも踏ま



写真-6 覆工仕上り状況

えて、本セントルのさらなる適正化や合理化を図り、積極的な展開を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 近藤啓二・西岡和則・坂井吾郎・安齋勝：土木学会第68回年次学術講演会，VI-424，土木学会，2013。
- 2) 西岡和則・手塚康成・坂井吾郎・近藤啓二：土木学会第23回トンネル工学研究発表会，I-15，土木学会，2013。

第75回(都市)施工体験発表会最優秀賞

気泡シールド工事の環境負荷を従来の25分の1に低減

—堺石津シールド，平塚貯留シールド—

清水建設(株)土木技術本部 シールド統括部課長 安井 克豊
 清水建設(株)土木横浜支店首都高馬場ランプ作業所工事長 松浦 幸彦
 清水建設(株)大阪支店東大阪送水管作業所長 佐藤 研史

キーワード：気泡シールド，特殊起泡剤，環境，掘削土，魚毒性

1. 開発の背景

1-1 気泡シールド工法の採用件数の増加

気泡シールド工法は、シェービングクリーム状の気泡を切羽やチャンパ内に注入しながら掘進する工法である(図-1)。気泡の注入効果により、掘削土の流動性と止水性が向上するとともに、チャンパ内における掘削土の付着を防止できるため、切羽を安定させながらスムーズな掘進が実現できる。また、掘削土がスクリーコンベヤから排出されると、大気圧下に開放されて気泡が消泡し、地山の土砂の性状に近い状態に復元するため、掘削土の運搬や処理が容易になる。

このように優れた特徴を持つ気泡シールド工法は、近

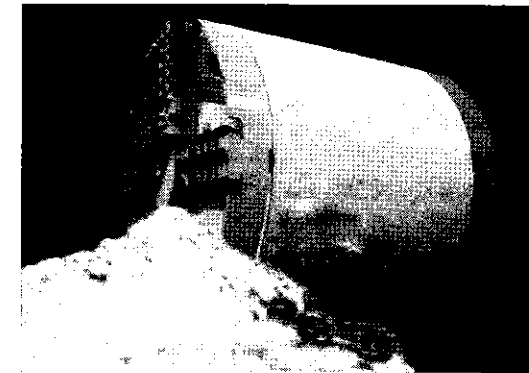


図-1 気泡シールド工法のイメージ

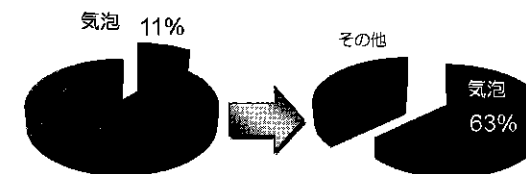


図-2 気泡シールド工法の採用割合(シールド外径10m超)

年にその基本特許の有効期限が切れたこともあり、数多くのシールドトンネル工事で採用されている。

とくにシールドの外径が10mを超える大断面シールドトンネル工事では、図-2に示すとおり、平成22年度までの3年間の採用割合が60%を超えており、気泡シールド工法は現在のシールド工法の主流になりつつある。

1-2 化学物質に対する規制の強化

近年、国民の地球環境に対する関心が高まるなか、化学物質に対する監視が厳しくなっている。一方、都市部のシールドトンネル工事では、掘削土を海面の埋め立てに利用するケースが増えてきており、気泡シールド工法で施工した際の掘削土に含まれる特殊起泡剤による水生生物への影響が懸念される場合がでてきた。

例えば、現在首都圏で建設中のシールドトンネル工事では、建設発生土の受入先において「掘削土中の特殊起泡剤の濃度」が規制されるようになり、掘削土を即日搬出すると従来の特殊起泡剤では受入基準を満足しなくなった。このため、掘削土を3日間仮置きするなどして、土中の微生物に特殊起泡剤を生分解させて受入基準を満足するのを待ってから搬出することになっており、非常に広大な仮置き用地を必要とするとともに、工費や工期に大きな影響を及ぼしている¹⁾。

このような背景のもと、水生環境にやさしい特殊起泡剤の開発が急務となり、筆者らは「エコムース」を開発した²⁾。

2. エコムースの特徴

エコムースの特徴をまとめると、以下に示すとおりである(図-3)。

- ① 特殊起泡剤自体の水生環境負荷が従来のものの5分の1
- ② 特殊起泡剤の使用量が従来のものの5分の1

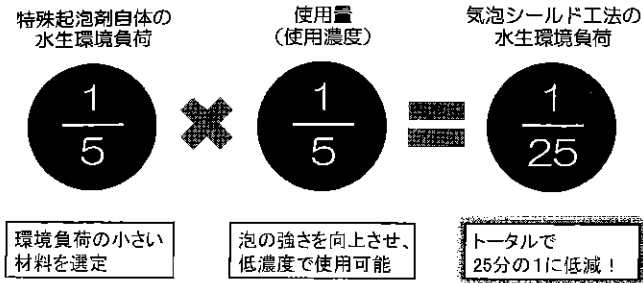


図-3 エコームスの主な特徴

表-1 GHSによる急性水生毒性の評価区分

評価区分	表示	注意喚起語	96時間LC ₅₀	備考
区分1		水生生物に非常に強い毒性	1 mg/L以下	
区分2	—	水生生物に毒性	1~10mg/L	
区分3	—	水生生物に有害	10~100mg/L	従来もの(43mg/L)
区分外	—	—	100mg/L以上	エコームス(240mg/L)

- ③ 気泡シールド工法の水生環境負荷が従来ものの25分の1
- ④ 生分解性に優れ、環境中に蓄積されない。
- ⑤ 汎用性に優れ、従来の気泡シールド工法の設備で使用可能。

以下、それぞれについて詳述する。

2-1 特殊起泡剤自体の水生環境負荷が従来ものの5分の1

気泡の原料である特殊起泡剤の化学成分を見直し、水生環境負荷が小さく、施工性・経済性に優れたものを選択して配合した。水生環境負荷の評価には、化学品の危険有害性の国際的な分類基準と表示方法を定めるGHS (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals)の基準を採用した。この基準では、化学品による水生生物への影響を「急性水生毒性」と称し、水系食物連鎖における高次消費者である魚類(ヒメダカなど)を対象として、化学物質に96時間暴露した際に魚類の半数(50%)が死亡する際の化学物質の濃度「96時間LC₅₀(mg/L)」で評価する。96時間LC₅₀の値が大きいほど水生環境負荷が小さいことを意味する。

公的機関である(財)日本食品分析センターによる評価結果では、従来の特殊起泡剤(製品名OK-1)の96時間LC₅₀が43mg/Lであるのに対し、エコームスでは240mg/Lであり、水生環境負荷が従来ものの5分の1未満(240/43≒5.6)になることを確認した。GHSでは急性水生毒性の評価区分を表-1のように設定しており、従来の

特殊起泡剤が「区分3(水生生物に有害)」に属するのに対し、エコームスはこの区分を大幅に下回る「区分外」の評価であり、このことからエコームスが水生環境にやさしいことがわかる。

2-2 使用量が従来ものの5分の1

2-2-1 気泡の安定性向上のための方策

陰イオン系界面活性剤に適量の非イオン系界面活性剤を添加することで気泡の安定性が大幅に向上する効果(界面活性剤の併用効果)を利用し、少ない使用量で従来ものと同程度の気泡の安定性を確保できるようにした。併用効果による気泡の安定性向上の概要を図-4に示す。

気泡の安定性を評価するために、破膜試験を実施した。破膜試験は、写真-1に示す器具を用いて、図-5に示す手順でフレームに形成された気泡膜が破れるまでの時間(破膜時間)を計測するもので、破膜時間が長いほど気泡の安定性が高いことを意味する。

陰イオン系界面活性剤を主剤とし、非イオン系界面活性剤の添加率を変化させて破膜試験を実施したところ、図-6に示す結果となった。非イオン系界面活性剤の添加率が3%のときに併用効果が最も大きく(破膜時間138分)なり、これをエコームスの配合とした。また、従来の特

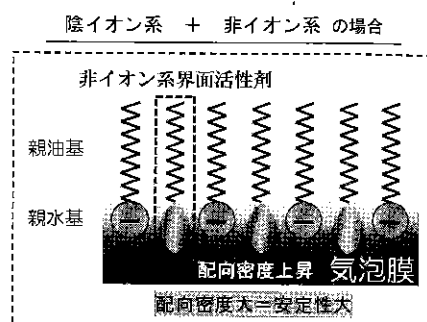
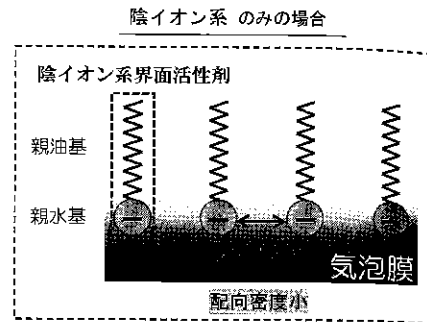


図-4 界面活性剤の併用効果による気泡の安定性向上の概要

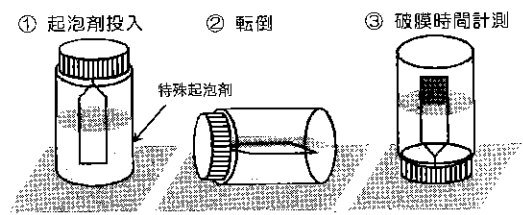


図-5 破膜時間計測手順

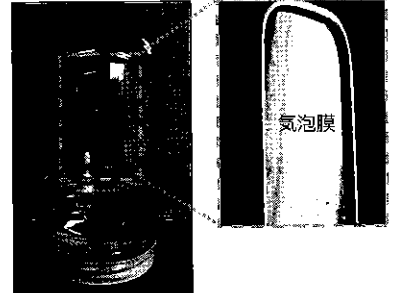


写真-1 破膜試験器具

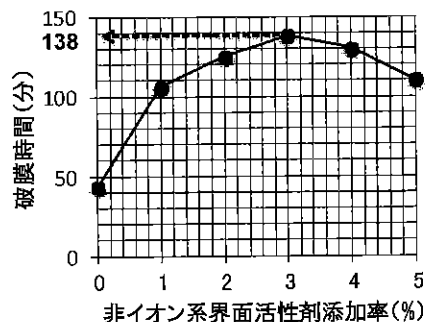
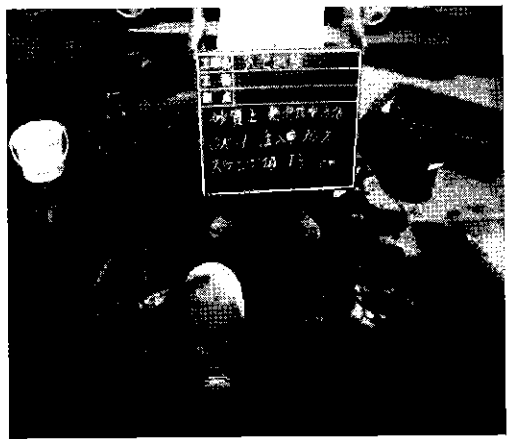


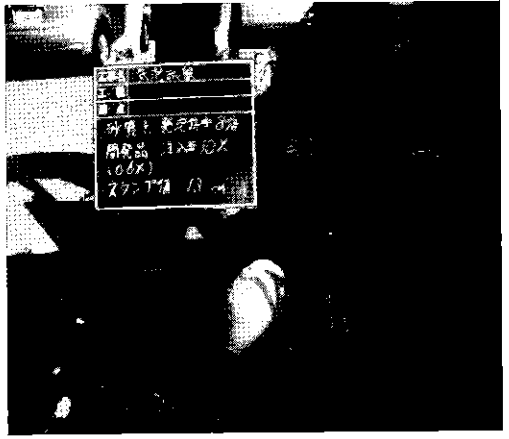
図-6 破膜試験結果

表-2 エコームスの施工性確認試験結果

	試料	注入率(%)	発泡倍率(倍)	濃度(%)	スランプ(cm)	コーン指数(kN/m ²)
エコームス	5号硅砂(含水比15.0%)	10	8	0.6	13.0	19.5
従来のもの				3.0	13.0	13.2

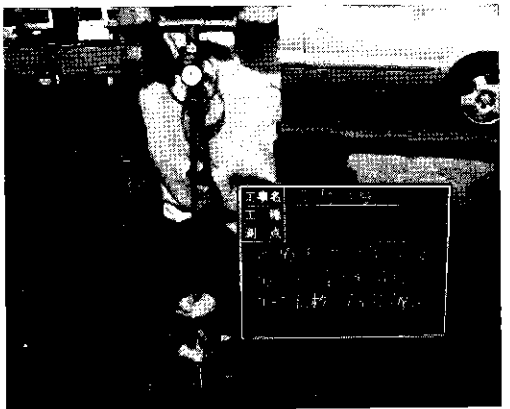


従来のもの



エコームス

写真-2 スランプ試験状況



従来のもの



エコームス

写真-3 コーン貫入試験状況

殊起泡剤の破膜時間が27分であることから、エコムースが従来のものの5倍以上(138/27=5.1)の優れた気泡の安定性を有することを確認した。

2-2-2 室内試験による気泡シールド工法への適用性の検証

エコムースの気泡シールド工法への適用性を検証するために、掘削土の性状管理方法として一般に用いられる気泡混合土のスランプ試験およびコーン貫入試験を実施した。試験結果を表-2に、試験状況を写真-2,3に示す。エコムースは従来のものと比較して5分の1の濃度(使用量)で同等の性状すなわち施工性が得られることを確認した。

2-3 気泡シールド工事の水生環境負荷が従来のものの5分の1

以上より、エコムースを使用すると、「①特殊起泡剤自体の水生環境負荷が従来のものの5分の1」であり、「②使用量が従来のものの5分の1」であることから、トータルで「③気泡シールド工事の水生環境負荷が従来のものの25分の1」となることを確認した。

2-4 生分解性

生分解性とは、自然界の微生物の働きにより有機物が水、酸素、炭酸ガスなどに分解され自然に戻る性質を指す。すなわち、生分解性の悪い物質は環境中に蓄積されやすくなることから、生分解性は環境への影響を評価するための重要な指標の1つである。

公的機関である(財)日本食品分析センターにおいてDOC法による生分解度試験を実施した結果、エコムースの14日後の生分解度は85%であることがわかった。一般に、生分解度が60%以上であれば生分解性が良好な物質と言えることから、エコムースが優れた生分解性を有し、環境中に蓄積されにくいことを確認した。

2-5 汎用性

エコムースは、従来の特殊起泡剤の施工設備をそのまま利用できることや、従来の特殊起泡剤と同様に、掘削対象土の粒度分布に応じて使用配合(A~Cタイプ)や気泡混合率を設定⁹⁾できることから現場への導入が容易である。また、使用量を従来のものよりも大幅に低減できることから工費の削減効果も期待できる。このように、エコムースは優れた汎用性を有する。

3. 現場への適用事例

3-1 洪積粘性土地盤への適用

掘削土がシールドのチャンパ内に付着しやすい洪積粘性土層の施工に適用した事例を紹介する。工事概要を表-3に、施工状況を写真-4~7に示す。写真-4に示すように、チャンパ内における掘削土の付着を防止してスムー

表-3 工事概要

発注者	大阪広域水道企業団
工事名称	配水管布設工事(バイパス・堺市)3工区その2
工事場所	大阪府堺市西区石津西町~堺市堺区大浜西町
工事概要	工業用水バイパス配水管 (ダクタイル鉄管φ1,350mm) 気泡シールド工法:掘削外径φ2,422mm 掘進延長2,367m
施工実績	対象土質:洪積粘性土 施工延長:2,367m 気泡使用タイプ:Aタイプ 施工時期:平成22年11月~平成23年9月



写真-4 排土状況(切羽)

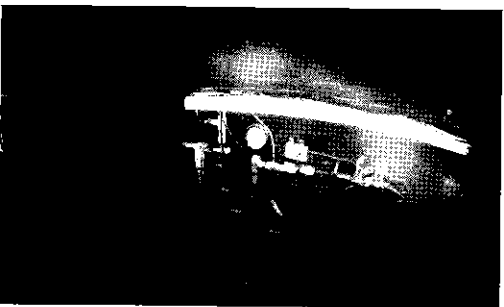


写真-5 坑内気泡設備

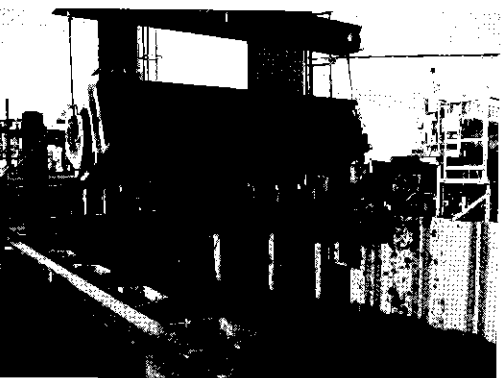


写真-6 排土状況(土砂ビット)



写真-7 消泡後の掘削土

表-4 工事概要

発注者	平塚市
工事名称	松風町・久領堤貯留管築造工事その1
工事場所	神奈川県平塚市松風町, 久領堤, 夕陽ヶ丘地内
工事概要	下水貯留管 気泡シールド工法:掘削外径φ3,290mm 掘進延長1,754m
施工実績	対象土質:沖積砂質土, 沖積礫質土 施工延長:1,754m 気泡使用タイプ:Bタイプ 施工時期:平成23年11月~平成24年7月

ズな排土を実現した。また、写真-7に示すように、消泡後の掘削土は地山の土砂の性状に近い状態に復元しており、エコムースの気泡シールド工法への優れた適用性を確認できた。

3-2 沖積砂質・礫質土層への適用

地下水位が高い沖積砂質・礫質土層に適用した事例を紹介する。工事概要を表-4に示す。沖積砂質土・礫質土を小土かぶり(4.7~7.5m)で掘進するため、地盤変状の抑制が求められた。掘削に先立ち、立坑の掘削土砂を用いて気泡混合土の性状確認試験を実施し、Bタイプの配合を採用することとした。ここで、Bタイプの配合とは、特殊起泡剤に気泡の安定強化を目的とした起泡添加剤(パルプを主原料として得られるセルロース系の水溶性高分子剤)を加えたものである。

写真-8,9に施工状況を示す。掘進中におけるカットルックは小さい値で安定し、気泡のベアリング効果による掘削土の流動性を確認できた。また、写真-9に示すように、スクリュウコンベヤからの噴発は見られず、気泡による止水効果も確認できた。このように、小土かぶりの沖積砂質・礫質土層においても切羽を安定させながらス



写真-8 坑内気泡設備



写真-9 排土状況

ムズな掘進を実現し、地盤変状を最小限に抑制することができた。

4. おわりに

本技術は、従来の気泡シールド工法の設備をそのまま利用できる高い汎用性を確保しつつ、環境負荷の低減ならびに工費や工期の削減を実現させた点が高く評価され、平成23年度土木学会環境賞を受賞した。今後はさらなる現場への展開を図っていく所存である。

参考文献

- 1) 特別レポート「世界屈指のシールド」, 日経コンストラクション, 2011年6月13日号, p.61, 2011.6.
- 2) 安井克豊・迫野涼・渡邊洋輔:水生環境負荷を1/25に低減した特殊起泡剤「エコムース」の開発, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集(平成23年度), VI-020, 2011.9.
- 3) シールド工法技術協会:気泡シールド工法技術資料, 2011.8.

11月号予告[11月1日発売予定]

- 地下水圧および飽和度による粘着力の変化を考慮した切羽安定評価法
- JR横浜線 矢部こ道橋
- 北陸新幹線 新北陸トンネル
- 新名神高速道路 箕面トンネル
- 東京都下水道 北区赤羽台一丁目付近再構築【連載講座】
- 都市トンネルにおける地盤改良工法(6)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆さいきんのニュースで印象に残ったトンネルに、イスラエル・ガザ地区のトンネル群があります。報道によると、標準的なトンネルは高さ約1.8m、幅約0.7m、コンクリートブロックで覆工されたもので、1mあたりの建設費は約1万円とのことです。エジプトにつながる生活物資・武器の密輸用のトンネルとイスラエルにつながる軍事作戦用のトンネルがあるそうです。ある歴史学者は、1世紀にゲルマン人がローマ人に抵抗するために掘ったトンネルから、ベトコンが対米戦に用いたクチトンネルまで、戦争に用いられた数々のトンネルを引き、トンネルが弱者がとる限定的な手段にすぎないこと、しかし、相手には絶大な恐怖を与えることを解説しつつ、イスラエルの執拗な行動を説明していました。翻って日本では、古来より、外敵は少なかったものの災害は多く、地震や火災に対して備えるために、耐震性・耐火性に優れた物入れとして「穴蔵」とよばれた地下室が数多くあったようです。江戸あたりでは、ローム台地では素掘りで、地下水位の高い下町では木枠による覆工に加え、防水のため樹脂・油脂・土などを混ぜた「ちゃん」と呼ばれる裏込めを施して作られていたようです。明治に入り、火事・地震はいっこうに減らなかったものの、穴蔵は急速に廃れました。なぜか？ 銀行と火災保険の登場で必要がなくなったからでしょうか。新しいシステムが古い構造を不要にしたい例かもしれません。パレスチナでの諍いも、トンネルを不要にするような解決方が見つかるといいのですが。

(K.K.)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください。

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

トンネルと地下

第45巻 第10号 [通巻530号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成26年9月20日 印刷

平成26年10月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16

番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

購読料

1冊 1,620円(送料110円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

TEL: 03-3267-2888

本誌掲載記事を無断で複製(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。本誌から複製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。

お待たせしました!

吸引捕集方式対応

ファン動力30kW
換気電力を格段に低減

48m²の設置例

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO
イダスコ・ニーヨナル

経済産業省後援

第39回優秀環境装置

日本産業機械工業会 会長賞

クラス最高の集じん効率95%

従来の電気式では達成できなかった95%以上の高集じん率を確保。

微細粉じんも逃さない電気式

電気式だから人体に有害な微細粉じん(0.2~7μm)も捕集できます。

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

安定した処理風量で電力負荷低減とCO₂削減を実現するエコ製品です。

仕様	
品名	e-DUSCO240
型式	FTE2400-E
集じん装置の容量	1800・2100・2400m ³ /min 任意設定の4モード
全長*1	7411mm (サイレンサ含む)
全幅	2350mm
全高*2	3700mm
本体重量	10t
電源仕様	3相3線400V58kVA
ファン動力	30kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)
洗浄水	2.4m ³ /回*3
捕集ダスト処理	缶式
集じん効率*4	95%以上

*1 入口ダクト及び絞りダクトは含まれません。

*2 台車の高さは含まれません。

*3 機種により多少異なります。

*4 JIS Z 8808 並びに

換気技術指針(H24.3)に定める試験方法に

基づき測定した値です。

注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

△古河機械金属グループ

古河産機システムズ株式会社 URL: http://www.furukawa-sanki.co.jp/

本社
〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3
第三営業部 ☎03-3212-8575

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 小山橋工場 ☎0285-23-8662

図書案内

トンネル技術者のための地相入門

大島洋志 監修, 木谷日出男 編著
3,200円+税 B5判

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



山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著
3,200円+税 B5判

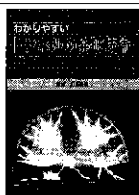
地山の力学状態を表す理論式から導かれる地山挙動の特徴を図表などを用いて手際よく説明した。トンネル掘削における工学的な理解を深化させる一冊。



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修
1,500円+税 B5判

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



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修
2,500円+税 B5判

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



推進工法の理論と実際

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

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



わかりやすい土质地質学

大島洋志 監修
2,500円+税 B5判

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



セグメントの新技术

小泉 淳 監修
2,000円+税 B5判

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



続きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著
1,200円+税 新書判

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



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著
6,000円+税 A5判

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



地質工学概論

菊地宏吉 著
4,757円+税 B5判

土木構造物や岩盤構造物の計画・調査から設計・施工において必要と地質や岩盤に関する情報を得るために必要な理論および技術を平易に解説した。



地下水の科学 I～III (全3巻)

P.A.ドミニコ・E.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科学の立場から取り扱うため、水の物理的・科学的性質、地球の状況、水資源としての地下水の状況、地下水の水理学的特性とその調査方法などをわかりやすく解説した。



第I巻 地下水の物理と化学
4,078円+税 B5判

第II巻 地下水環境学
4,272円+税 B5判

第III巻 地下水と地質
3,689円+税 B5判

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編
4,660円+税 B5判

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



わかりやすいトンネルの力学

福島啓一 著
5,825円+税 B5判

トンネルを掘るときに、どのような力学的な問題が生じるかについて、わかりやすく解説した。トンネル工学の理論と実際が統一されることを願って記された一冊。



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



山岳トンネルの新技术

ジオフロンテ研究会 編
14,573円+税 B5判

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



ジオテクスタイル設計マニュアル

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

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



岩盤地下空洞の設計と施工

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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した。



建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著
4,300円+税 A5判

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



トンネル工事の衛生と環境保全

臼谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
3,200円+税 A5判

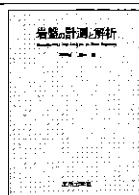
トンネル工事の際の労働衛生と環境保全の検討に有用な項目について、医学分野の知見から職業性疾患や有害環境条件、健康障害、衛生管理、保護具などを解説した。



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200円+税 A5判

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



わかりやすいトンネル技術入門(都市トンネル編)

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800円+税 A5判

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



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400円+税 A5判

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



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)

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

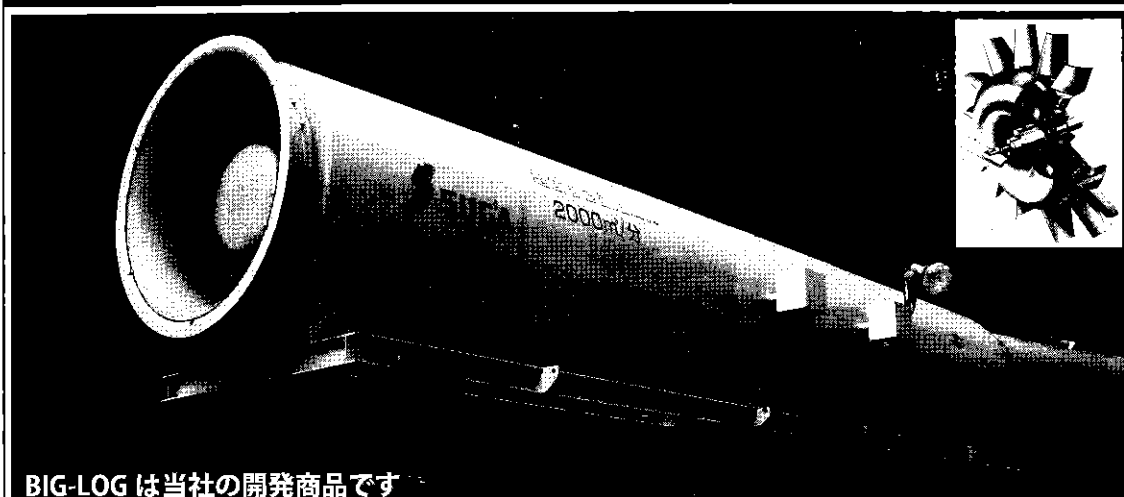


書籍のお申し込み ご注文は当社へ FAX または、書店にてお申し込みください。FAX は、書名、部数、送り先、氏名、電話番号を明記のうえ右記までお送りください。

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

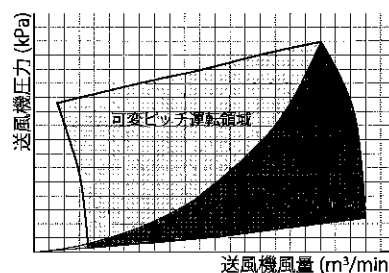
株式会社 土木工学社

トンネル工事の必需品 可変ピッチ軸流送風機 BIG-LOG



BIG-LOG は当社の開発商品です

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



型 式	能 力	電 動 機	騒 音 値 機側 5m
CDH1120-30-60(4)W	1000m ³ /min × 3.92/4.9kPa 1500m ³ /min × 3.5/2.6kPa	60kW×4P×2台 50/60Hz 400/440V	74 dB
CDH1250-26-80(4)W	1500m ³ /min × 3.92/4.9kPa 2000m ³ /min × 1.76/1.76kPa	80kW×4P×2台 50/60Hz 400/440V	74 dB
CDH1250-26-110(4)W	2000m ³ /min × 4.11/4.9kPa 3000m ³ /min × 1.8/2.45kPa	110kW×4P×2台 50/60Hz 400/440V	74 dB
CDH1400-30-175(4)W	3000m ³ /min × 4.6/4.9kPa	175kW×4P×2台 50/60Hz 400/440V	77 dB

※2段で記載の機種はどちらか選択ができます

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



菅機械工業株式会社

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



本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町12番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460

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

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



超低騒音ファン EZ-Q シリーズ
EZ-3000Q : (3000 m³/min 220kW) Coming soon !
EZ-2000Q : (2000 m³/min 150kW)
74 dB
省エネ
CO₂ 削減

トンネル用冷房装置
トンネルクーラー



除染事業対応装置のご提案
『除染作業を大幅に省力化できます』

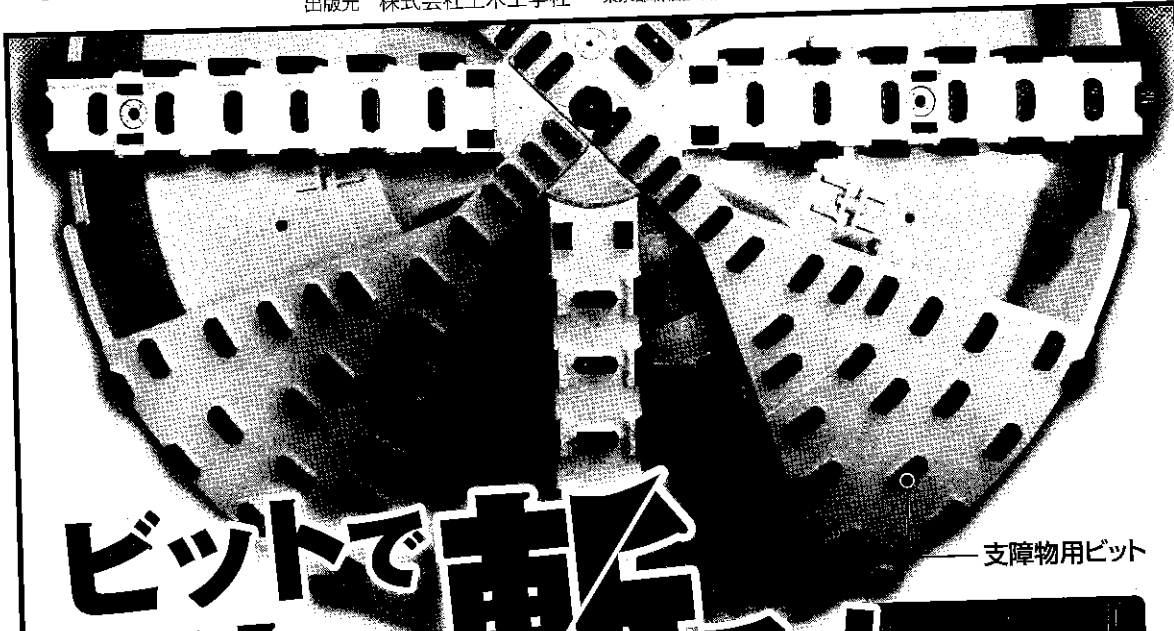


集塵・換気設備 (10 m³/min ~ 3000 m³/min)
バキュームシステム
エジェクターユニット (コンプレッサーエアによる移送装置)

最適環境を創造する
株式会社流機エンジニアリング

〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 いちご聖坂ビル
TEL : 03-3452-7400
URL : <http://www.ryuki.com/>
E-mail : elgyobu@ryuki.com





ビットで斬る! 杭を斬る!

—支障物用ビット

三菱の支障物切削技術は、シールドのカッターに杭切削用の特殊ビットを取り付けた円錐形状のカッターヘッドで、接触した支障物を中央部から外周部へと徐々に切削するシステムです。地中に残置されたH型钢、鋼矢板、RC杭、PHC杭、松杭の切削が可能です。



特長

切羽に人が出る必要がなく安全性が高い。

泥土圧・泥水式どちらでも適用可能。

切削時の騒音、振動がほとんどなく、
昼夜施工が可能。

周辺地盤の沈下などはほとんどなく、
近接物への影響が小さい。

施工実績



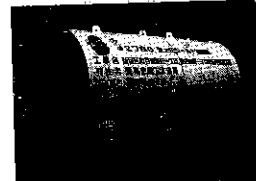
φ2680泥土圧シールド
H型钢(300H)×8本
鋼矢板(Ⅳ型)×2面



φ4240泥土圧シールド
H型钢(350H)×6本
鋼矢板(Ⅴ型)×2面



φ4680泥土圧シールド
H型钢(250H)×2本
鋼矢板(Ⅲ型)×2面



φ2780泥土圧シールド
RC杭(φ800、φ1000)×6本
PHC杭(φ350)×6本



φ2690泥水式シールド
鋼矢板(Ⅱ、Ⅲ型)×12面

三菱重工メカトロシステムズ(株)の支障物切削技術

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.078-672-2872 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 1,620円

雑誌06619-10

本体価格1,500円



4910066191047
01500