

トンネルと地下 **10**

vol. 48
no. 10
2017

Tunnels and Underground

県道と交差し土かぶり1.8mで到達する大断面シールドの施工

動水勾配を管理して高圧湧水帯の地山を掘削

自然環境と調和した流れ込み式小水力発電所の建設

コンクリート打設前に連続繊維シートをセントル両端部に敷設する剥落防止技術

第43回ITA総会および世界トンネル会議(ノルウェー)報告

日本トンネル技術協会誌



FRD
FURUKAWA

新世代型 ホイール式ドリルジャンボ

JTH3200R-III PLUS / JTH3200R-III / JTH2200R-III
3ブーム、2ケーシング / 3ブーム、2ケーシング / 2ブーム、2ケーシング

FIDS II 制御 &
油圧ドリフタHD220搭載

JTH3200R-VHシリーズ登場！
排ガス4次規制エンジン、

高効率75kW電動モータ &
最新型油圧ドリフタHD250搭載

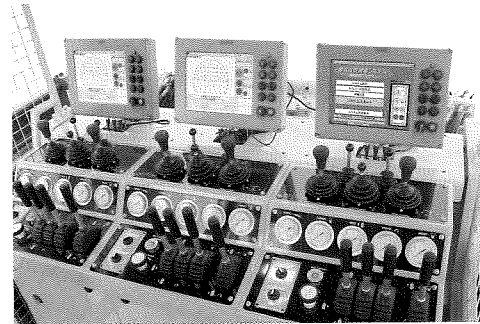
様々なトンネル工事に挑戦し、そして築き上げられた
実績と信頼。
全国に広がる安心のサービス網がお客様をバックアップ。
各種機械の提供を通じて国内外のインフラ整備を支えています。



JTH3200R-III PLUS ▶

国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事用建設機械)指定機

FUJILNAVI



統合せん孔支援システム<ドリルNAVI>

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

ドリルNAVI

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

NETIS
国土交通省 新技術活用システム
登録番号 **KK-100049-A**

△ 古河機械金属グループ

FRD 古河ロックドリル株式会社

www.furukawarockdrill.co.jp

本社 〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目5番3号

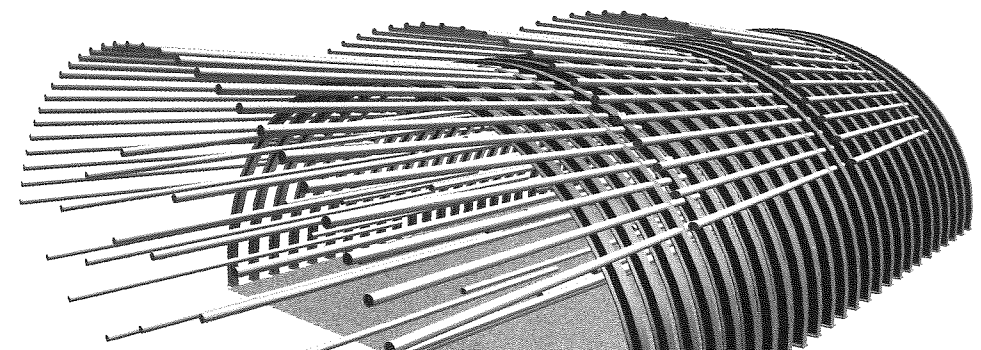
特機部 ☎ 03(3231)6966

札幌 ☎ 011-786-2222 東北 ☎ 022-384-8991 宮古 ☎ 0193-77-4245 関東 ☎ 027-326-9611
名古屋 ☎ 0568-77-7700 関西 ☎ 06-6475-8221 中国 ☎ 082-832-3542 九州 ☎ 092-948-2010

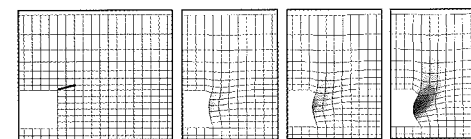
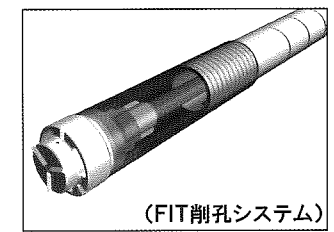
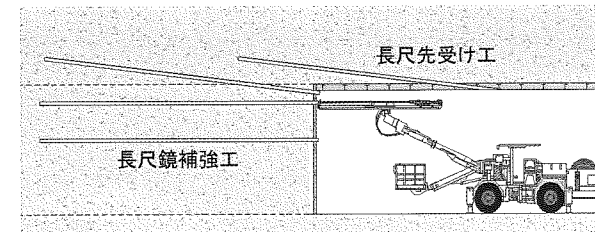
全方位 GFRP 管長尺補強システム

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

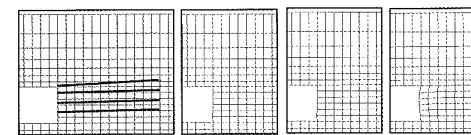
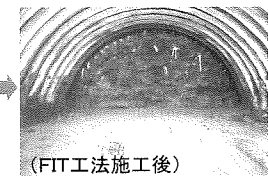
FIT 工法
FRP INJECTION TUBE



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

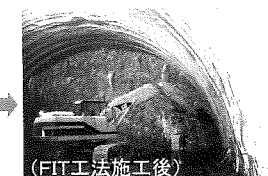
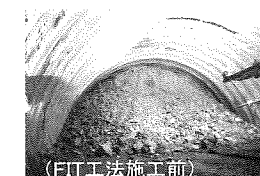


フォアポーリング



FIT工法

(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
大阪土木営業部
札幌支店

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

ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

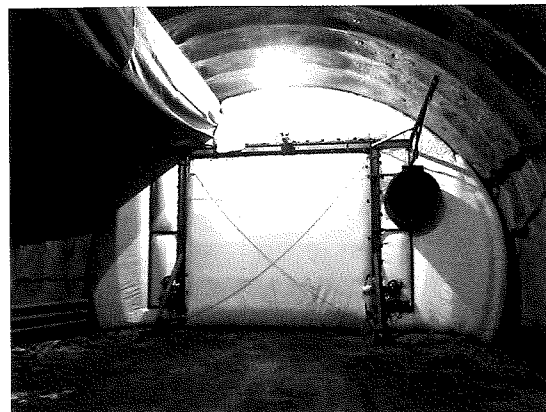
トラベルクリーンカーテン(TCC)

NETIS登録 HK-120040-A 特許5757758号

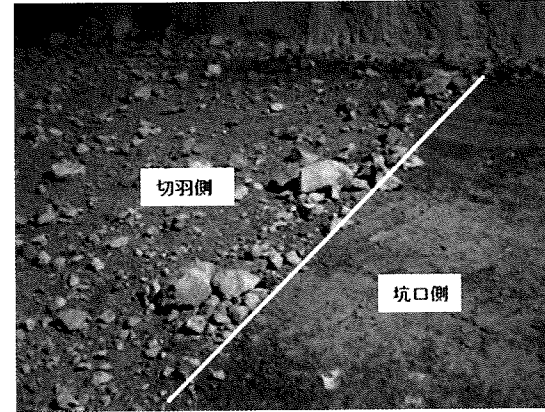
特徴

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

写真

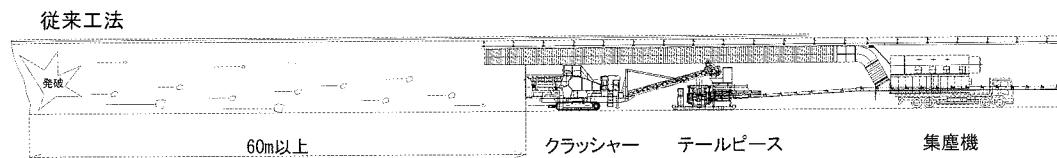


発破時のTCC

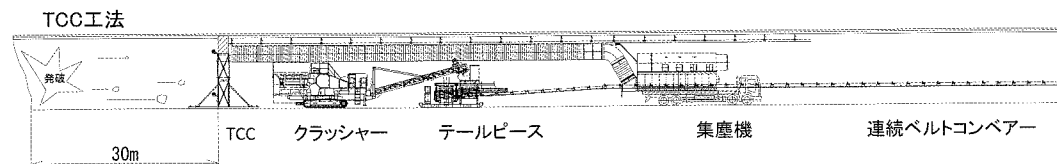


発破後の防護状況

概念図



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



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

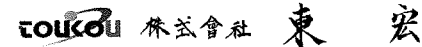
総販売元



伊藤忠建機株式会社

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

製造



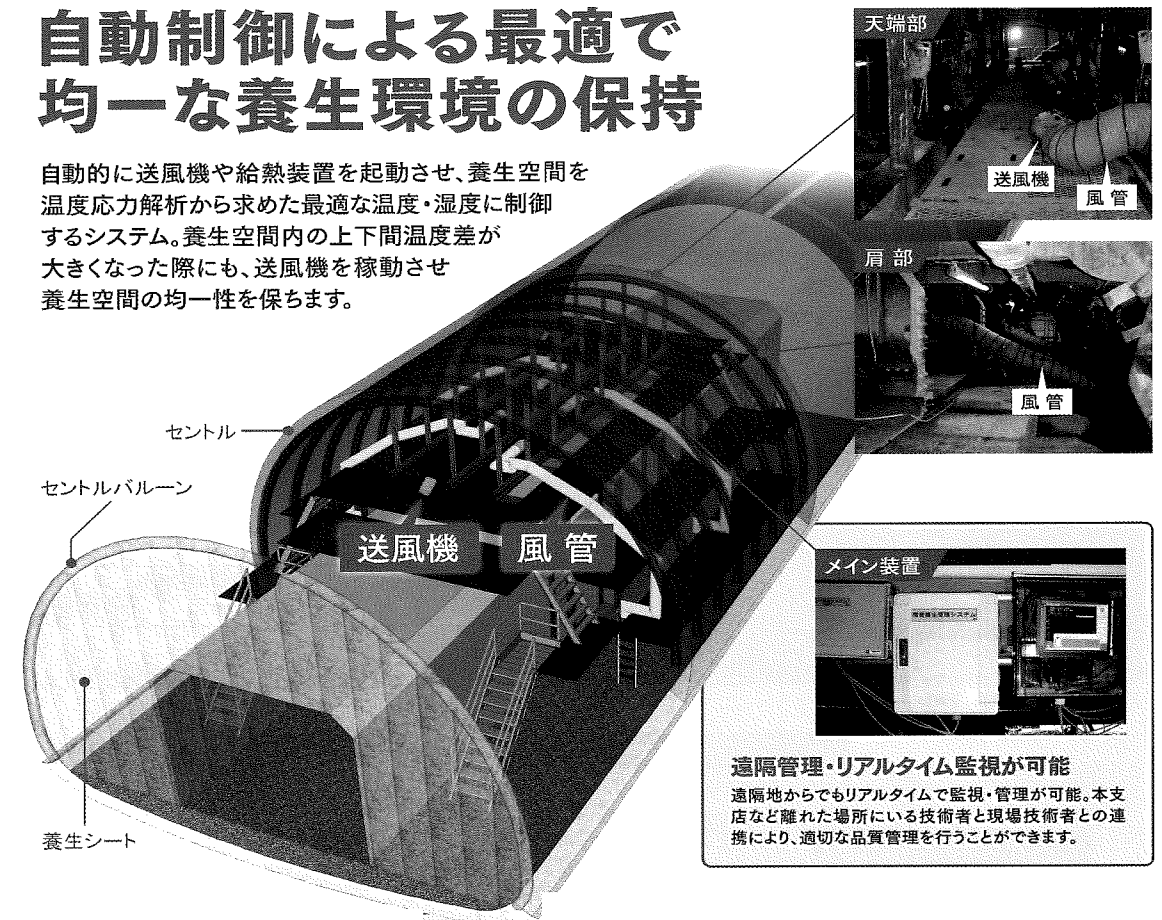
株式会社 東宏
本社 札幌市東区東雁来9条3丁目2番3号
TEL011-792-3000 FAX011-792-3333
東京支店 墨田区両国2丁目18番4号 中尾ビル4F
TEL03-6659-3841 FAX03-6659-3845
URL <http://www.k-toukou.co.jp/>

クラコン養生温度管理システム

NETIS登録 KT-120109-A

自動制御による最適で 均一な養生環境の保持

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

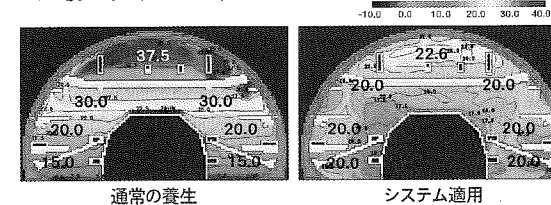


遠隔管理・リアルタイム監視が可能
遠隔地からでもリアルタイムで監視・管理が可能。本支店など離れた場所にいる技術者と現場技術者との連携により、適切な品質管理を行うことができます。

全体イメージ図&写真

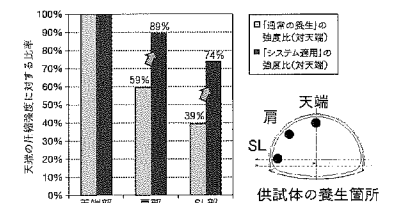
養生空間の温度均一化

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

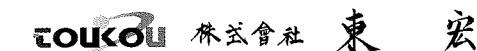


コンクリート圧縮強度の増進

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



製造・販売



株式会社 東宏
本社 札幌市東区東雁来9条3丁目2番3号
TEL011-792-3000 FAX011-792-3333
東京支店 墨田区両国2丁目18番4号 中尾ビル4F
TEL03-3683-8011 FAX03-3683-8028
URL <http://www.k-toukou.co.jp/>

製造



建設コンサルタント
計測技研株式会社

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

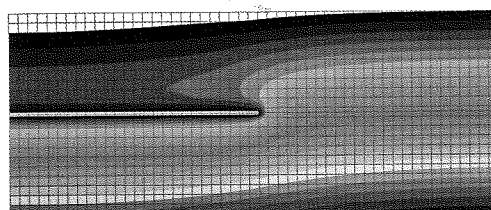
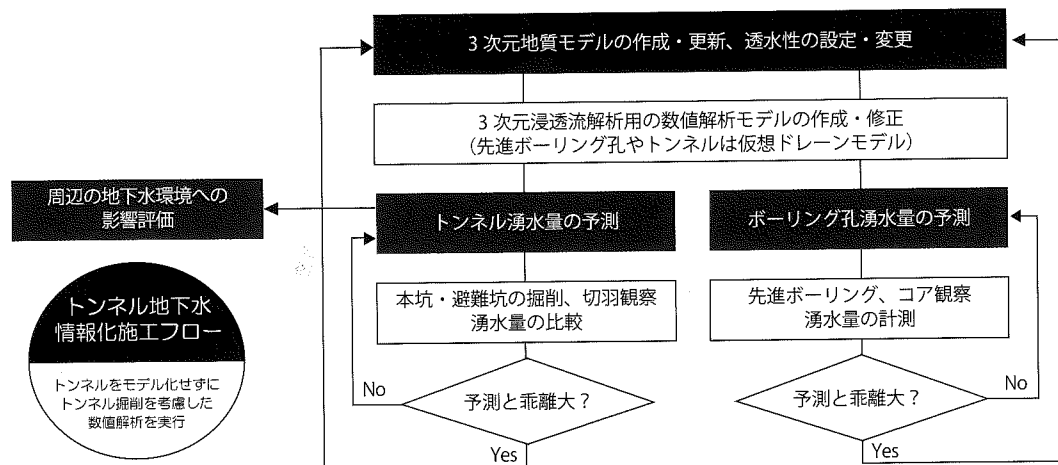
仮想ドレーンモデルによる地下水情報化施工の支援

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

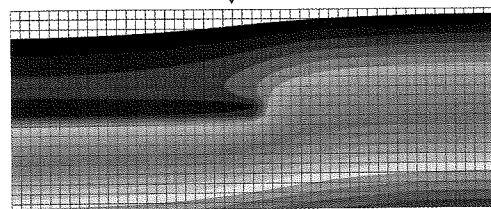
仮想ドレーンモデルを用いた3次元浸透流解析は、このような要望に応える技術です。仮想ドレーンモデルでは、トンネル自体をモデル化せず、また、トンネル掘削を表現するためのモデルや境界条件の変更を行いません。これにより要素分割が単純化され、解析モデル作成や解析に必要な時間を短縮することができます。

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

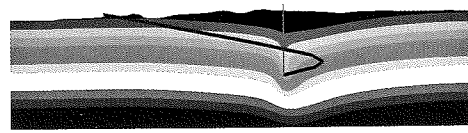
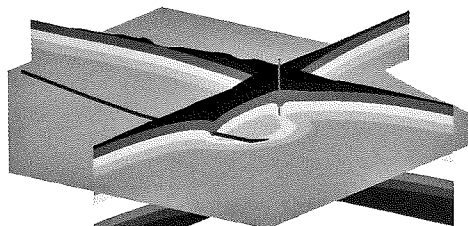
■ **Geo-Graphia®** (ジオグラフィア) の統合環境により、地質モデルや数値解析モデルの作成や解析をより高速に実行できます。



トンネルをモデル化した解析での間隙水圧分布の例



仮想ドレーンモデルによる解析での間隙水圧分布の例



仮想ドレーンモデルによる立坑と斜坑の解析例



株式会社 地層科学研究所

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

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

Geo-Graphia(ジオグラフィア)

無料体験セミナー開催中

地質モデル編・地下水解析編・情報化施工編

chisouken@geolab.jp

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

サイト内

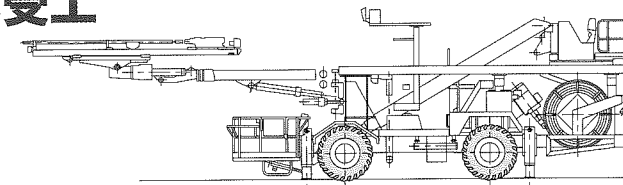
地下水に注目した情報化施工

検索

環境対応型長尺鋼管先受工

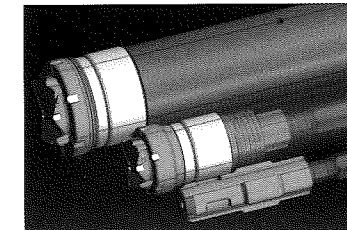
TOHO **AGF** System

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

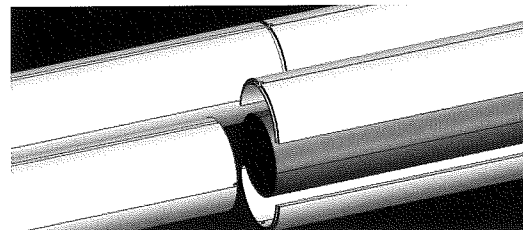


AGF-Me工法

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



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



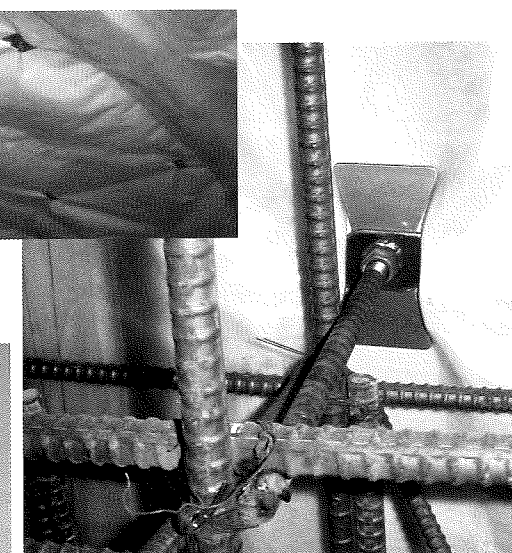
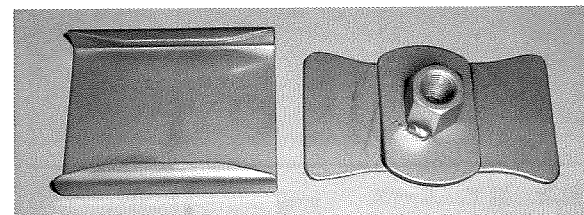
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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



東邦金属株式会社
 TOHO KINZOKU Co., LTD

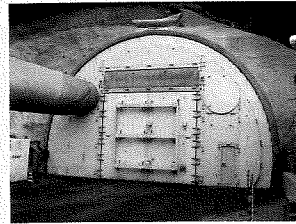
営業部

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

株式会社 トーキソール

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

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



【防音扉】

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



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。

『防音扉マークII』の音響性能

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

『防音扉マークII 10s』の音響性能

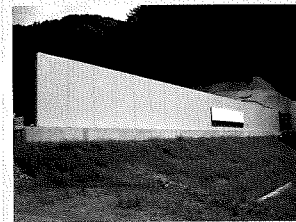
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1 基設置	19 dB(A)	16 dB
2 基設置	29 dB(A)	25 dB

『防音扉マークII 10c』の音響性能

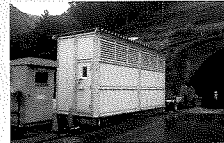
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1 基設置	19 dB(A)	20 dB
2 基設置	29 dB(A)	33 dB

『防音扉マークII 15c』の音響性能

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



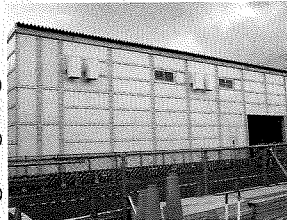
【防音壁】
【防音ハウス】
【防音シェルター】
【防音ボックス】



Sタイプ(スタンダードタイプ)



Dタイプ(デラックスタイプ)



Hタイプ(ハイデラックスタイプ)

『防音パネルSタイプ』の音響性能

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

『防音パネルDタイプ』の音響性能

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

『防音パネルHタイプ』の音響性能

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

防音設備の設計、製造、施工、リース

株式会社フューズ

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

補助工法のさらなるステージへ

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

現在のトンネル工事はさらに安全性、品質の向上が要求されています。

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

環境対策

エコリムーブ工法
AGF-Tk工法
パワースレッド

高強度シリーズ

高耐力ロックボルト
高耐力自穿孔ボルト
高強度シリカレジン

大量湧水

ウレタン減水材KOD-M
HIPREXボルト
RPEロックボルト

脆弱地山

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

品質向上
安全性向上

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

※特許、NETIS登録されているものがありますので、お問い合わせください

KATECS

株式会社カテックス 建設資材事業部

〒460-8331名古屋市中区上前津1丁目3番3号

技術部・中部営業部

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

東京支店

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

東京支店(仙台事務所)

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

関西営業所

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

九州営業所

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

北海道地区(株)エイチ・アール・オー

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

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

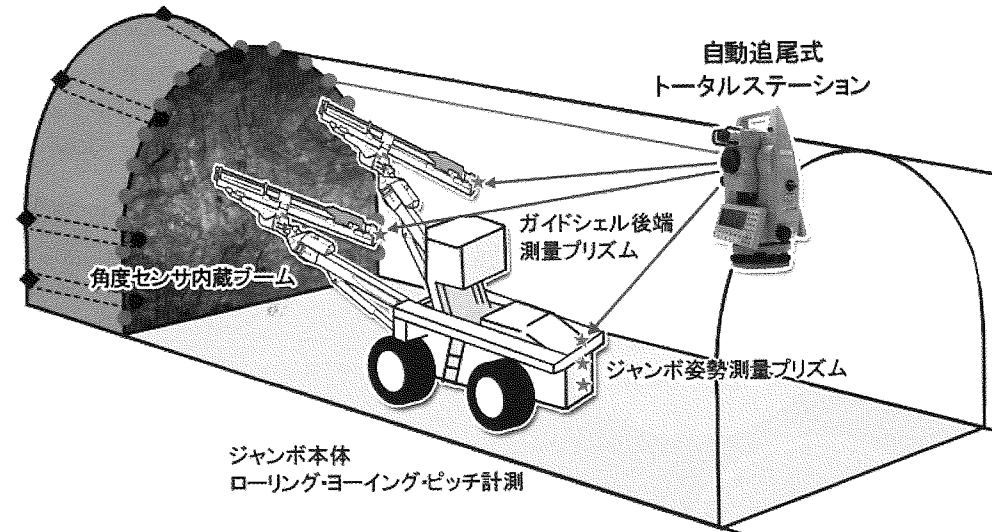
email construction@katecs.co.jp

NETIS登録番号:KK-100049-A

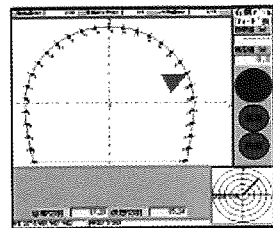
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社

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

FRD 古河機械金属グループ
古河ロックドリル株式会社

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

全断面对応トンネル高速施工掘進機

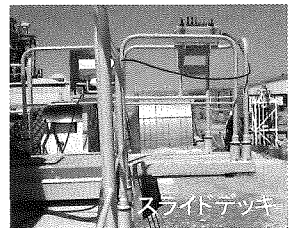
ロードヘッド SLB-350S



全断面トンネルの高速施工を目指して

特徴

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



製造、販売、レンタル及びメンテナンス **三井三池製作所**

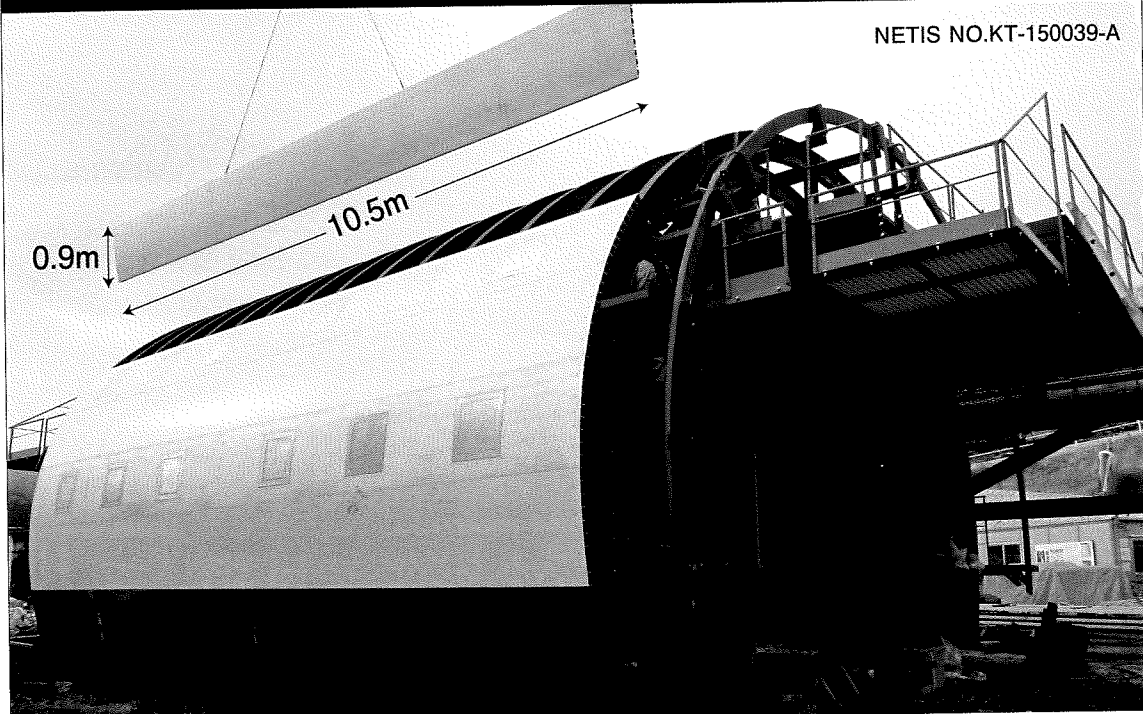
本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
産機流体営業部 TEL. 03-3270-2005 FAX. 03-3245-0203

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

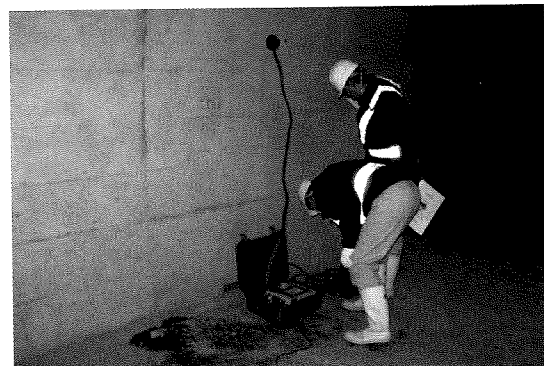
NEW

トンネル覆工初期養生FRP工法 ~ハイブリッドフォーム誕生~

NETIS NO.KT-150039-A



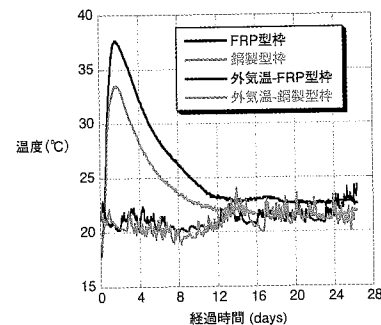
■透気試験実施



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

■覆工コンクリート温度の経時変化

【宮崎大学との共同研究により、熊本県 吉江トンネル南にて測定】



◎3~4°Cの保温効果により、コンクリート強度が15~20%向上

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

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

トンネル工事は新時代へ

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

☆本システムの4大特長

1. パッケージのレンタルで安心

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

2. 高性能破砕機で工期短縮

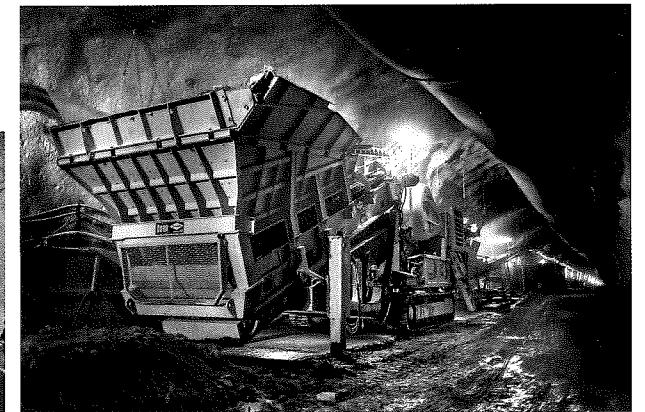
- ・標準グリズリタイプとオプションとしてエプロンタイプ(投入高2.5m)が選択可能
- ・高破砕力のCジョークラッシャーで硬岩(4000kgf/cm²)にも対応可能
- ・簡単油圧セット調整で常に破砕粒度が小さく一定

3. ベルトコンベヤ搬送で安全

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

4. 粉塵・騒音・排気ガスを低減

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



※写真はエプロンタイプです(LT96EUG)

1.5km 延伸ベルトコンベヤシステム概要

・延伸ベルトコンベヤシステム主仕様

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

・主要構成機器

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

*トンネル勾配により変動致します

設置条件によっては専用設計が必要になります

〈問合せ先〉

日建リース工業株式会社

本社 トンネル営業推進部 TEL(03)3295-9111

NC

日本コンベヤ株式会社

本社 コンベヤ営業部 TEL(03)6859-3511

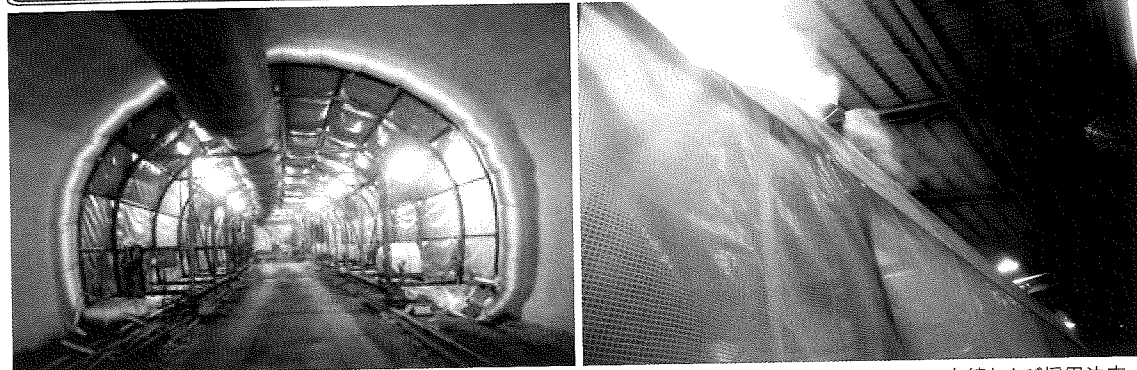
UBE

宇部興産機械株式会社

電力・インフラ営業グループ TEL(03)5419-6293

トンネル覆工コンクリートの品質革命

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



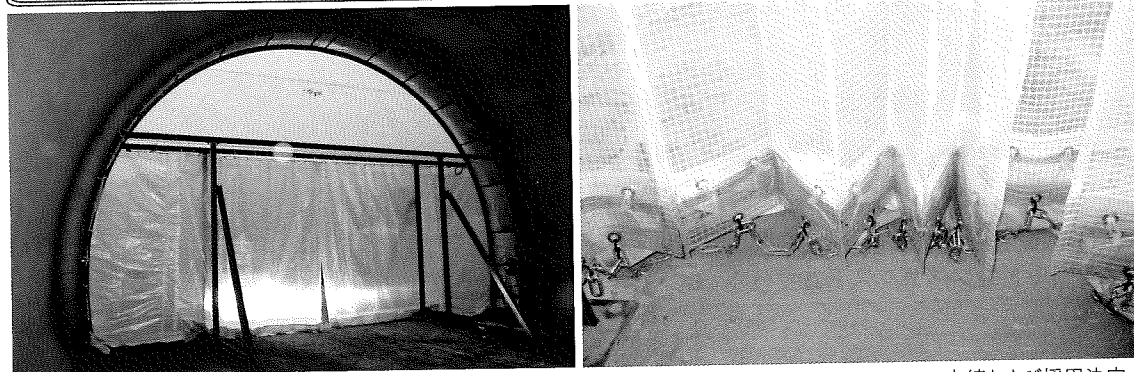
散水式養生台車を使用します。
養生シートと覆工コンクリートの空間に散水を行い、湿潤養生を行います。
気密性が保持され、保湿性・保温性が得られます。

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

実績および採用決定
(平成29年2月現在)

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

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



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

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

実績および採用決定
(平成29年2月現在)

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

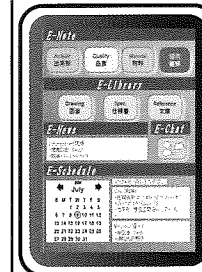
株式会社 マシノ トンネルグループ

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

NEW

究極のトンネル施工管理システム 生産性向上への挑戦!! En-Note

Tunnel i-Construction

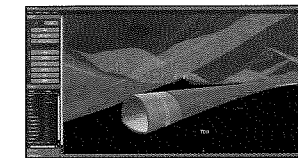
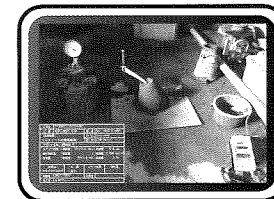


タブレット端末

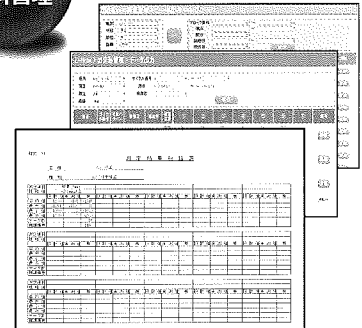
- ・品質
- ・出来形
- ・材料
- ・切羽観察
- ・写真
- ・チャット
- ・遠隔試験



職員パソコン



3D可視化+情報管理(自動)



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



黒板、野帳要らずで、現場の作業のみで各種情報はデータサーバへ保管



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

特許
取得済

表面温度センサ!

NETIS 登録番号 QS-110040-VE

【スマートセンサ型枠システム・セントル仕様】

圧力センサ 完成間近!

『スマートセンサ型枠システム・セントル仕様』との併用で
コンクリートの **温度・強度・圧力** の一元管理 が可能に!

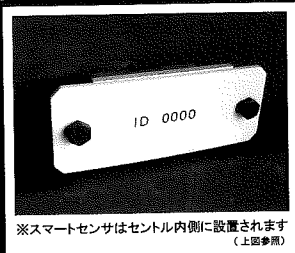
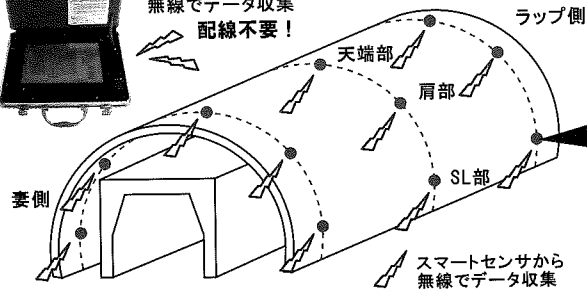
お知らせ

『NETIS登録5周年記念キャンペーン』は平成29年9月末日を以て終了致しました。数多くのお申し込みを頂き、ありがとうございました。



専用のSSリーダー
無線でデータ収集
配線不要!

無線なので打設毎の配線手間が不要!



※スマートセンサはセントル内側に設置されます (上図参照)

スマートセンサから
無線でデータ収集
● スマートセンサ

スマートセンサ型枠システム・セントル仕様の特長

コンクリート表面温度を自動計測! 専用リーダーでデータを読み取り!
コンクリートの表面温度や型枠周辺温度、打設開始・脱型時期を記録します。表面温度や推定強度はグラフやカラーマッピングで解りやすく表示され、躯体の状態を現場でリアルタイムに把握することができます。

児玉株式会社 & 東京大学

大学院工学系研究科
建築材料研究室

児玉株式会社エンジニアリング事業部

〒812-0042 福岡市博多区豊2-4-23 TEL: 092-474-5360

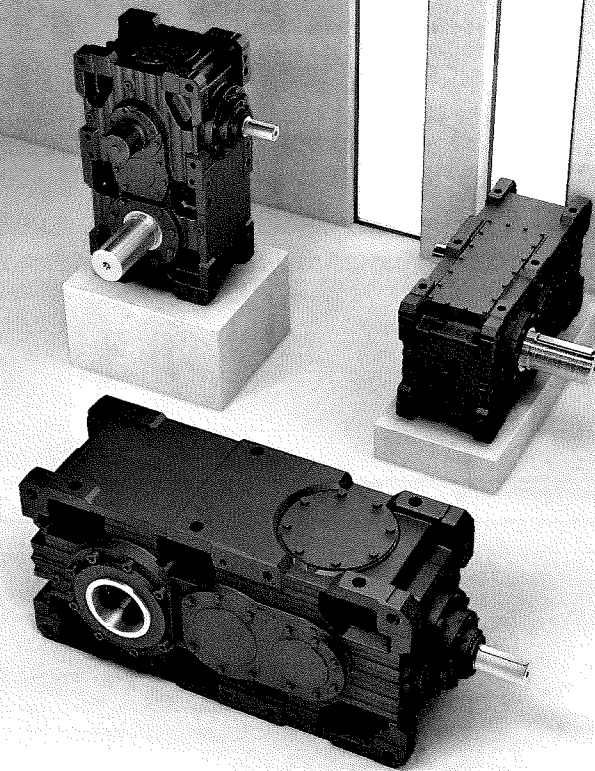
共同研究開発 特許製品

Email: engi.office@kodama-boss.jp

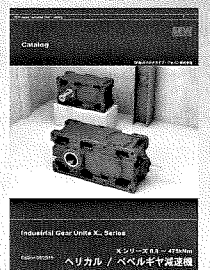
《京都工場組立開始!!》SEWのXシリーズ

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

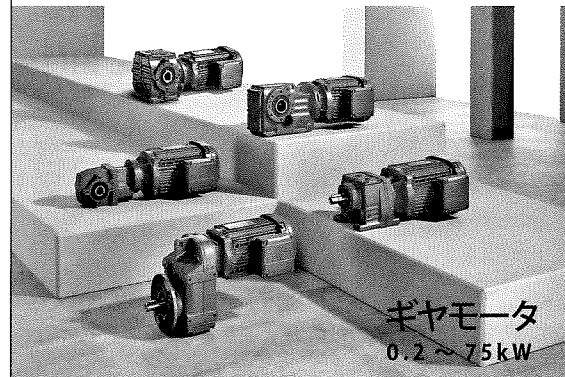
SEW
EURODRIVE



カタログ請求下さい



インダストリアルギヤ
Xシリーズ
23 枠番 ~ 475kNm



ギヤモータ
0.2 ~ 75kW

京都工場

SEW- オイロドライブ・ジャパン株式会社

SEW 検索

本社・磐田工場: 静岡県磐田市 京都工場: 京都府相楽郡精華町

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

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しております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管路敷設に限らず、地下インフラの再構築の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっております。

申込方法

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



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

月刊推進技術 編集室

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

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

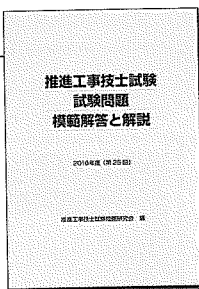
推進工事技士試験 過去6年間(2011~2016年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編

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

是非とも、本誌をご活用いただき合格していただければ幸いです。



2016年度版発売中!!

1. 内容の特長

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

2. 価格

各年度単位 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

本図書のお申込は前金をお願いしています。

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。

購入方法は
こちらから



株式会社 LSプランニング

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

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

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

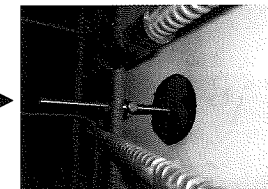
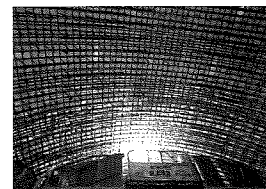
①アーチ鉄筋組立金物(Kリング) 特許出願中(特願 2001-309314号)

トンネル覆工工事におけるアーチ鉄筋組立金物。



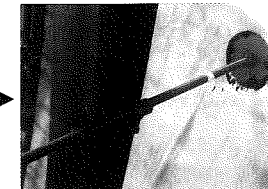
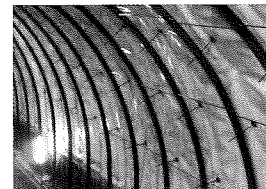
②トンネル覆工鉄筋防水シート接着ジベル筋組立(Kプレート) 特許出願中(特願 2015-037746号)

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。

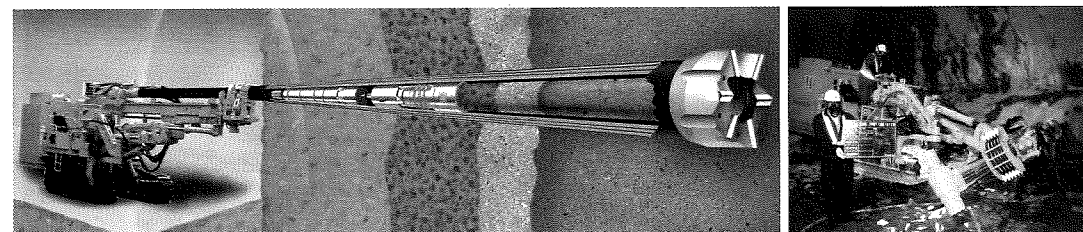


Kプレートで鋼製支保工を固定。架台の鋼製支保工の固定にも使用できます。

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行なえ、施工時間が大幅に短縮できます。
- 2重管ワイヤーラインサンプリングシステムにより、地質条件にかかわらず、コアサンプルの採取率が従来と比べて大幅に向上しました。



地球に
KOKEN 鉦研工業株式会社

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

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

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

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

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

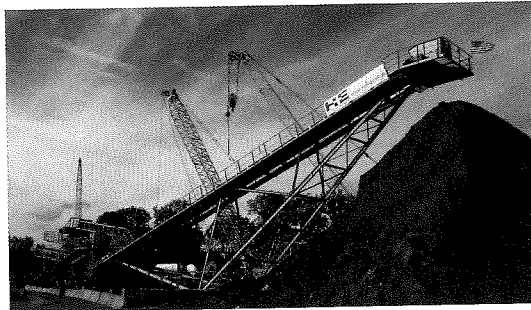
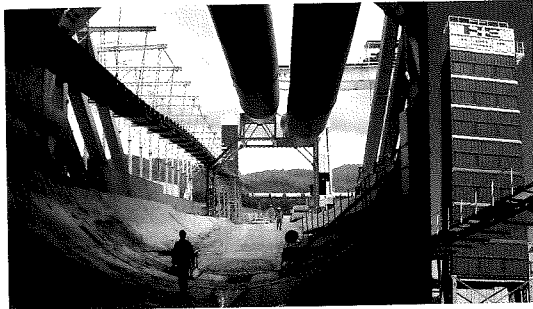
信越支店: (025) 275-6877
九州支店: (092) 924-5001

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



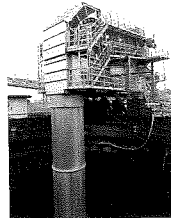
H+E LOGISTIK GMBH

Clever Conveying



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

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



H+E Logistik GmbH
日本代理店



山崎マシーナリー株式会社

担当: 森永

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

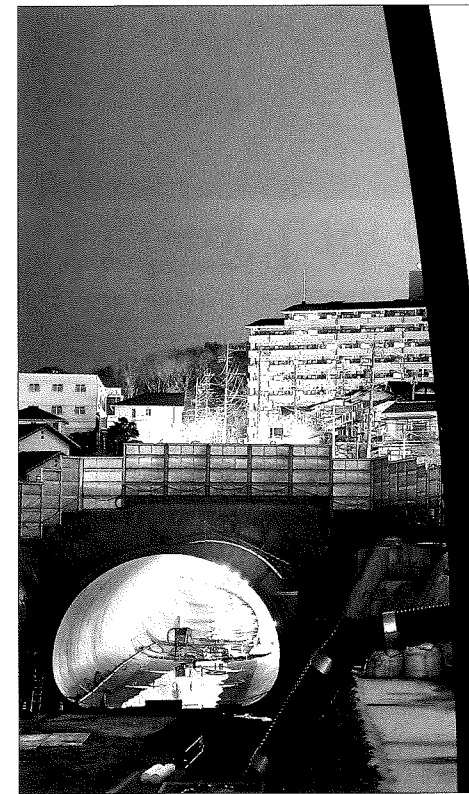
振動 マネージメント ソリューション

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

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

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

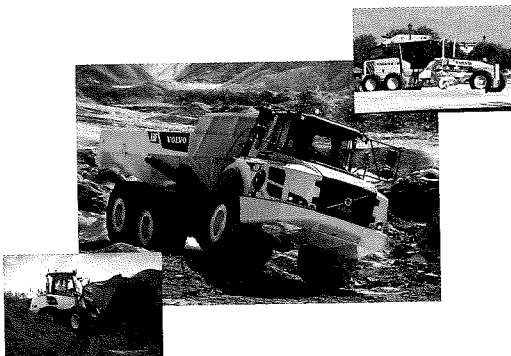
orica.com



VOLVO 建設機械



高い作業性とクールなデザインが人気
年々強化される排ガス規制にも対応



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

多目的運搬台車
4次オフロード法取得 レールからの解放



TMS社 日本代理店
担当: 富樫

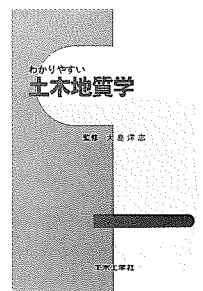


山崎マシーナリー株式会社

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

【好評発売中】

わかりやすい 土木地質学



大島洋志 監修

B5判 209頁 本体価格2,500円 円340円

主要目次

序編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第II編 トンネル工事と地質条件

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

第III編 地質調査法

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

第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

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

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

株式会社 土木工学社

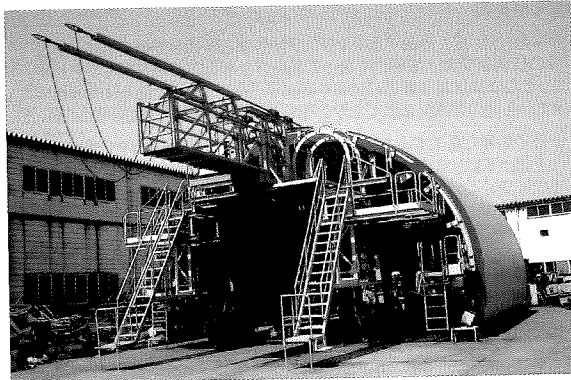
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メジャー神楽坂
電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072

要求性能を満たす 覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレータ装置

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



期待される効果・特徴

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

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-VR (製造:株式会社マシノ)



期待される効果・特徴

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

北陸鋼産株式会社

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

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

滑川工場：TEL076(476)0333 FAX076(475)9121 東北営業所：TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423
東京支店：TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789

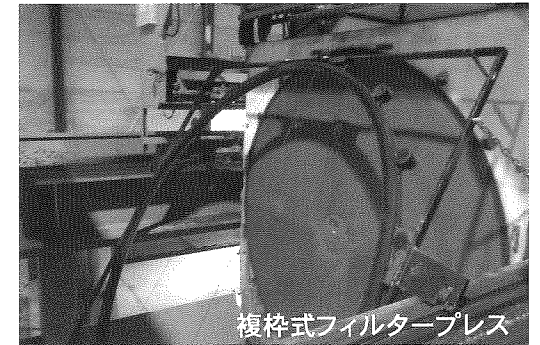
濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0 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



10T ダンプ



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

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻頭言

技術の継承と進化

谷口 博昭 5

■研究

コンクリート打設前に連続繊維シートをセントル両端部に敷設する剥落防止技術

宇野洋志城・京免 継彦・廣川 幸喜・木村 定雄 45

■報告

第43回ITA総会および世界トンネル会議(ノルウェー)報告

JTA国際委員会ITA統括ワーキング 55

■施工

県道と交差し土かぶり1.8mで到達する大断面シールドの施工

—東京外環自動車道 京葉ジャンクションHランプ—
大田 寛・宗像 慎也・菅沼 和好・清水 省吾 7

動水勾配を管理して高圧湧水帯の地山を掘削

—函館江差自動車道 渡島トンネル木古内工区—
亀田 徹也・増岡健太郎・佐々木博一・森本 匡晶 15

自然環境と調和した流れ込み式小水力発電所の建設

—九州発電 船間・大川・一ノ谷発電所—
川畑 雄司・福島 尚之・井上 浩二・吉田 健一 25

■連載講座

トンネル新技術への挑戦(23)

—市街地における最新の制御発破技術—
「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 67

■現場だより

「お茶と源氏物語のふるさと」宇治市

村上 正一 24

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

トンネル一筋40年あまり一人生の大半をトンネル屋として過ごして—
土屋 敏郎 35

■資料

土木情報

編集部 44

トンネルジャーナル

編集部 76

文献紹介

編集部 77

工法・技術・製品ニュース

編集部 78

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 79

■会報

会報

日本トンネル技術協会 81

温泉とは？ 温泉の有効利用は？ この1冊であなたの疑問を解決します!!

続 きみの庭にも温泉が出る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井 康夫・俣野 恭寛 共著

新書判217頁 本体価格1,200円(税込1,260円)

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

お申し込みは当社へFAX, または、お近くの書店にてお申し込みください

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

【表紙説明】

自然環境と調和した流れ込み式小水力発電所の建設
—九州発電 船間・大川・一ノ谷発電所—



鹿児島県に位置する船間・大川・一ノ谷発電所は、一般河川水そのまま発電所まで引き込む「流れ込み式小水力発電所」である。工事は、発電所までの導水用配管を敷設するための小断面トンネル(立坑・横坑)を構築するものである。写真は、一ノ谷発電所の掘削完了後の横坑内に現場打ちとプレキャストによる開水路を構築している状況である。

〔写真提供：九州発電(株)〕(本文25頁参照)

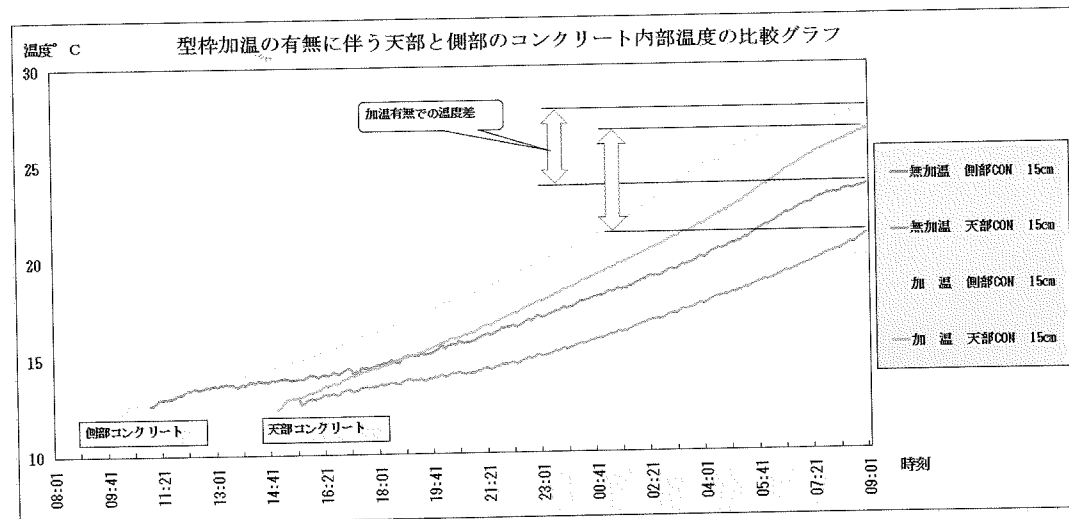
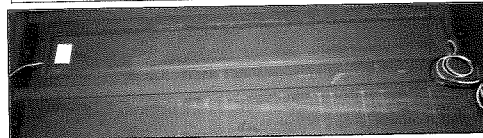
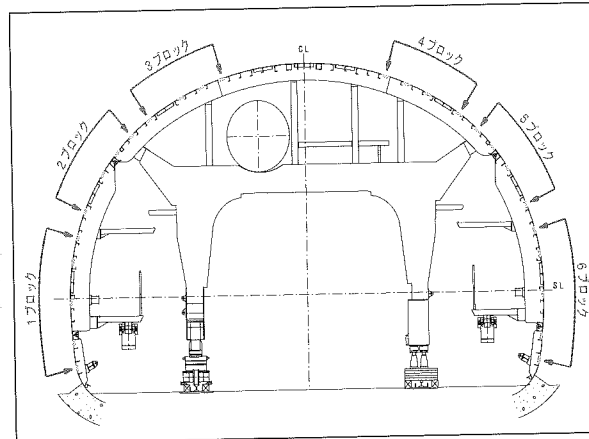
面状発熱体シートによるセントル加温養生システム

NETIS 登録申請中

■ 特長

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

シート当たりの性能	
名称	規格
面状ヒーター	145 × 1,310 mm
抵抗値	494 Ω ± 20% (596 ~ 592 Ω)
電圧	200 V
消費電力	81.0 W
電流	405 mA
漏れ電流	0.10 mA
温度	70℃以上
絶縁耐圧	AC 1,500 V 60 秒
絶縁抵抗	DC 500 V 100 MΩ以上



岐阜工業株式会社

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

東京支店 TEL 03-5836-0531
札幌営業所 TEL 011-374-7027
仙台営業所 TEL 022-259-2239
九州営業所 TEL 092-918-3880

【製造元】

TECHNO

テクノプロ株式会社

AKT/O Group

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

(主 査)

小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

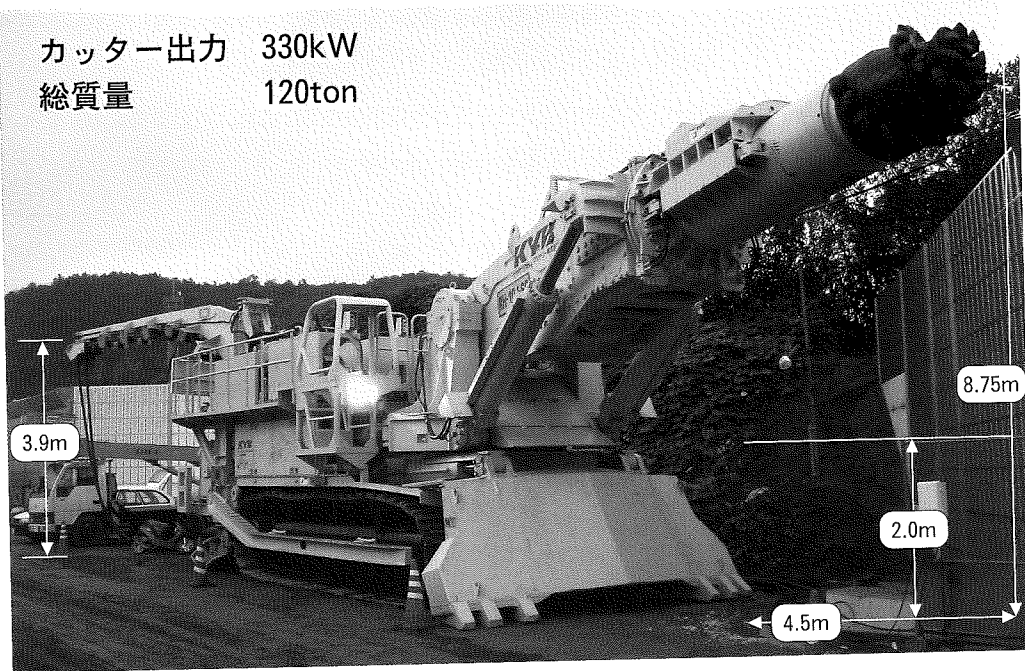
(幹 事)

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

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW
総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅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 相談事業所	〒252-0328	神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号	TEL 042-767-2586
大阪支店	〒564-0063	大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号TEK第二ビル	TEL 06-6387-3371
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル	TEL 092-411-4998
三重工場	〒514-0396	三重県津市雲出長常町1129番地11	TEL 059-234-4111

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

〔編集参与〕

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

〔委員〕

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

トンネル二次覆工型枠総合メーカー

スハコ打設システム
NETIS 登録 KT-120099-A
特許 第 4863308 号

型枠バイブレーションシステム『DKV-20』
NETIS 登録 KT-130066-A

NETIS 登録技術
覆工コンクリートの品質向上

型枠バイブレーション

トンネル天端部懸垂ハイブリッド締め固め工法
NETIS 登録 KK-120003-A

セントロ位置・変位自動測定監視システム (セントロ監視くん)
NETIS 登録 KT-130037-A
特許 第 5247491 号

新しいタイプの覆工コンクリート養生システム

トンネル覆工コンクリート給水養生工法
ウエットフォーム

給水用分配盤
NETIS 登録 KT-160031-A

ウエットフォームと移動台車の概念図

ウエットフォーム移動中

一歩前進! ~限らない未来への挑戦~

大栄工機株式会社

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

掲載頁
7

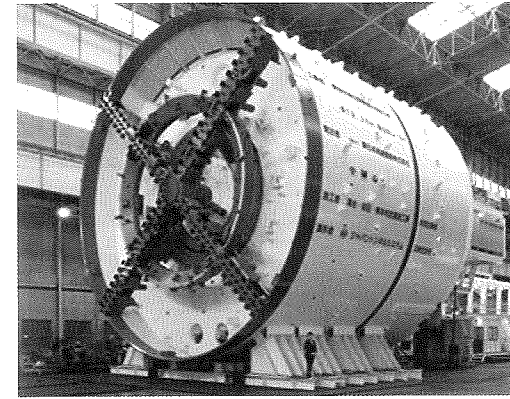
県道と交差し土かぶり1.8mで到達する大断面シールドの施工
—東京外環自動車道 京葉ジャンクションHランプ—

東日本高速道路(株) 大田 寛

東京外環自動車道の三郷南IC~高谷JCTに至る延長約15.5kmの工事区間に、京葉道路と接続する京葉JCTを建設中である。千葉外環の高速道路専用部は主に開削工法によって建設が行われているが、京葉JCTは京葉道路本線と県道市川浦安線直下を接続ランプが幅狭しているため、2本のランプ(Aランプ、Hランプ)は大断面のシールド工法を採用した。Hランプシールドは、県道と交差し超小土かぶりの施工となるため、地表面変状抑制や浮上り防止対策が重要な課題であった。本稿では超小土かぶり施工において行った対策と成果について報告する。

Large Shield TBM Arrives under Overburden of 1.8m after Crosses under a Prefectural Road —the Tokyo-Gaikan Expressway, Keiyo JCT, H Ramp—

By Hiroshi Ota, East Nippon Expressway Company Limited



写真はシールド

The Keiyo JCT on the Tokyo-Gaikan Expressway that connects to the Keiyo Road is under construction in parallel to the construction of approx. 15.5km-long section from the Misatominami Interchange to the Koya JCT on the Expressway. As there are many on/off-Ramps under the Keiyo Road and the Prefectural Road Ichikawa-Urayasu Line, the A Ramp and the H Ramp are built using large shield TBMs. Main lanes of the Expressway are built as a trench type. The TBM for the H Ramp tunnel crosses under the Prefectural Road with extremely small cover, ground surface deformation control and swelling prevention measures were important challenges. This report contains measures implemented in tunneling under extremely small cover and its results.

掲載頁
15

動水勾配を管理して高圧湧水帯の地山を掘削
—函館江差自動車道 渡島トンネル木古内工区—

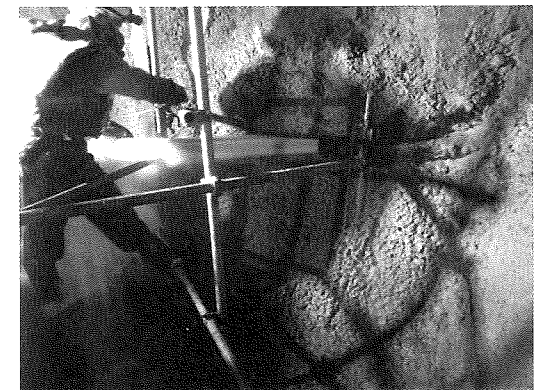
大成建設(株) 亀田 徹也

渡島トンネル木古内工区工事では、坑口より900m付近の地質ボーリングで毎分2.0tの突発湧水が発生し、最大湧水圧が1.2MPaに達する高圧湧水帯に直面した。切羽周辺の水位を低下させるため数本の水抜きボーリングを実施したが湧水量は減少せず、また水圧もなかなか減少せず長期間トンネル掘削を中断した。そのため、掘削再開にあたり切羽の安定を判断する手法として、切羽に作用する浸透力と抵抗力から動水勾配を求めて管理する手法により掘削管理を行った。本稿では高圧湧水帯の地山におけるトンネル掘削の施工管理について報告する。

Managing Hydraulic Gradient to Excavate Aquifer under High Pressure —the Hakodate-Esashi Expressway the Oshima Tunnel, Kikonai Section—

By Tetsuya Kameda, Taisei Corporation

There was groundwater inflow which reached 2.0t per minute when conducting geological boring around 900m from the tunnel entrance in the Oshima Tunnel Kikonai Section Works and we were faced with an aquifer under high pressure of up to 1.2MPa. In order to reduce the groundwater level around the cutting face, we conducted several instances of drainage boring but this did not reduce the amount of groundwater inflow nor did it reduce groundwater pressure much so tunnel excavation was suspended for an extended period. For this reason, as a method for judging stability of a cutting face with a view to recommencing excavation, we conducted excavation management with a management technique that computes hydraulic gradient from osmotic force and resistance force that act on a cutting face. This report contains information on execution management of tunnelling in an aquifer under high pressure.



写真は湧水発生状況

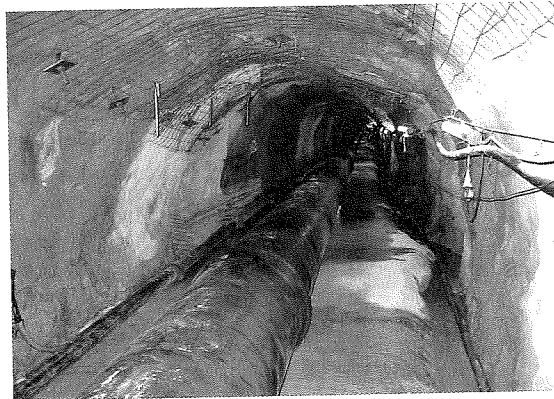
鹿児島県内の3か所に流れ込み式水力発電所を建設した。船間水力発電所は、開削区間(延長722m)、立坑内配管区間(深さ155m、掘削径1.5m)、横坑内配管区間(延長314m、掘削断面積7~16m²)からなる。大川水力発電所は、立坑内配管区間(深さ160m、掘削径1.85m)、横坑内配管区間(延長566m、掘削断面積5~19m²)、開削区間(延長447m)からなる。一ノ谷水力発電所は、横坑開水路区間(延長345m、掘削断面積7m²)、開削区間(延長1.119m)、斜面内配管区間(延長273m)からなる。現地の地理的条件に応じて自然環境との調和を図ることが建設の課題であり、導水ルートの見直しや各トンネルで工夫した施工方法の事例を紹介する。

Build Run-Of-River Low Head Hydro Power Plants in Harmony with the Natural Environment —Kyushu Hatsuden Funama/Okawa/Ichinotani Power Plants—

By Yuji Kawabata, Kyushu-hatsuden Co., Ltd.

Run-of-river low head hydro power plants were constructed in three places in Kagoshima Prefecture. Funama Hydro Power Plant is composed of the trench section (length: 722m), the pipe-laying section within the vertical shaft (depth:

155m, excavation diameter: 1.5m) and the pipe-laying section within the adit (length: 314m, excavation cross-sectional area: 7~16m²). Okawa Hydro Power Plant is composed of the pipe-laying section within the vertical shaft (depth: 160m, excavation diameter: 1.85m), the pipe-laying section within the adit (length: 566m, excavation cross-sectional area: 5~19m²) and the trench section (length: 447m). Ichinotani Hydro Power Plant is composed of the open channel section in tunnel (length: 345m, excavation cross-sectional areas: 7 m²), the trench section (length: 1.119m) and the pipe-laying section on the slope (length: 273m). This report presents reviews of water-conveyance routes and examples of construction methods innovated for each tunnel with the intention to solve challenges which was to create harmony with the natural environment in response to local geographical conditions.



写真は導水用配管敷設状況(大川)

従来まで、覆工コンクリートの剥落防止にはひび割れなどの不具合が発生した時点で連続繊維シートを後貼りする、いわゆる事後保全が一般的であった。

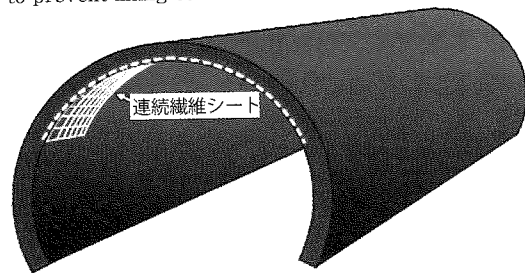
本技術は、覆工コンクリート打設前に繊維シートをセントル妻部に敷設することで地山と覆工コンクリートを一体化させ、脱型時から剥落のリスクを低減させる予防措置(保全予防技術)を施すものである。本稿では、本技術の開発から実用までの経緯を述べるとともに、定量的に評価するための指標と基準を提案し、性能の妥当性と実用性を実験と実施工によって検証した。

Technology to Prevent Exfoliation of Tunnel Lining Concrete: Laying of Fibre Sheet on Both Ends of Tunnel Liner Form before Pouring Concrete

By Yoshiki Uno, Sato Kogyo Co., Ltd.

Up until now it was common to attach continuous fibre sheets after the occurrence of defects such as cracks in order to prevent lining concrete from exfoliation, in other words, corrective maintenance.

Our technology which joins lining concrete to ground by laying fibre sheets on both ends of tunnel liner form before pouring lining concrete applies prevention measures (preventive maintenance) that reduce the risks of exfoliation after removing formwork. This report contains the story of this technology from development to actual use as well as proposing indicators and standards in order to evaluate quantitatively and verification was conducted through experiments and constructions on the validity and serviceability of performance.



図は連続繊維シート適用のイメージ

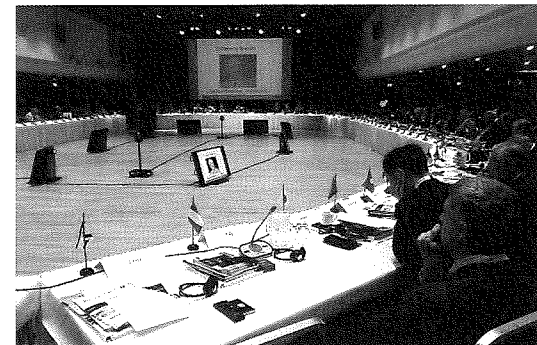
第43回国際トンネル協会(ITA)の総会が、2017年6月9~15日にノルウェーのベルゲンで開催され、加盟74か国中、49か国が参加した。総会に併せて開催された2017年世界トンネル会議(WTC)は、「地表の挑戦-地下の解決(Surface challenges-Underground solution)」のテーマのもとで49か国、2,319名の参加者があった。日本からは、ITA総会および作業部会(WG)の担当者およびWTCの論文発表者などを含め、61名が参加した。

本稿では、ITA総会およびWTCのうち、ITAの全体的な動向およびワーキング(WG)などの技術的側面の活動に関する概要を報告する。

**43rd ITA General Assembly and World Tunnel Congress (Norway) Report
By Japan Tunnelling Association**

The International Tunnelling and Underground Space Association (ITA-AITES) held its the 43nd meeting in Bergen, Norway from 9th to 15th June, 2017 with participants from 49 of the 74 member nations. The World Tunnel Congress (WTC) 2017, which was held in conjunction with the meeting had 2,319 participants from 49 nations with the theme of 'Surface challenges-Underground solution'. There was a total of 61 participants from Japan including ITA General Assembly and Working Group members as well as WTC speakers.

This report outlines overall ITA trends and the technical activities of the Working Groups at the ITA General Assembly and the WTC.



写真は第43回ITA総会会場

技術の継承と進化

(一社)日本トンネル技術協会会長

谷口博昭

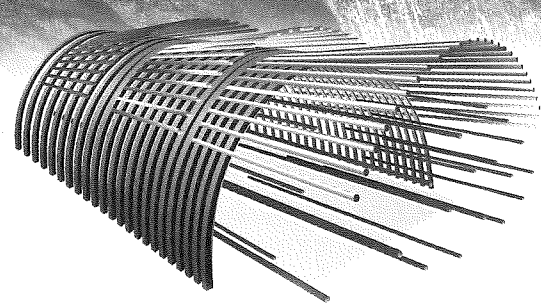


去る6月総会時の理事会で(一社)日本トンネル技術協会会長に選任されました谷口です。今回退任されました佐藤信彦会長はじめ副会長、理事、監事のご尽力に厚く御礼を申し上げますとともに前会長同様引き続きご高配をいただきますようお願い申し上げます。

さて、3K(キツイ、キケン、キタナイ)と揶揄される建設界ではありますが、グローバル化の進展、少子高齢化・人口減少という大きな変化の時代に適応することが肝要です。官民連携のもと、いわゆる担い手三法に則り適正な利益を確保しつつi-Constructionなど生産性の向上と働き方改革を促進し新3K(給与、休暇、希望)の良好な職場・経営環境を構築することが求められます。

(一社)日本トンネル技術協会(JTA)は、1975(昭和50)年設立以来トンネルと地下空間の建設および維持管理に関する調査研究を実施するとともに、技術の研鑽に努め国土の保全と公共福祉の増進に寄与してきています。イノベーションを促進し、暮らしや産業を守り・支える重要なインフラとしてのトンネルが有する多面的な役割と多様な機能を活かすことが肝要です。今後とも時代のニーズに合致した調査研究とともに自己研鑽を積み重ね、これまで培ってきました技術を継承、先導しつつ進化して参りたいと存じます。

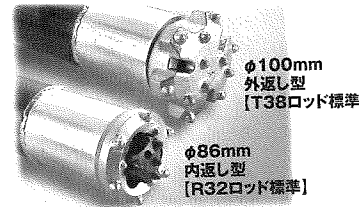
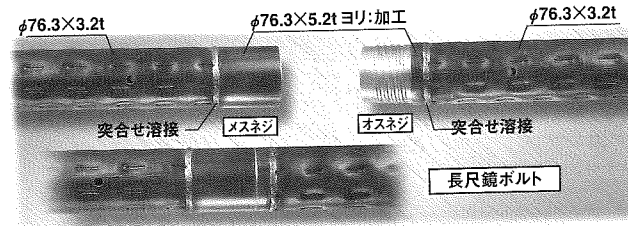
これまでの歴史を私見交え概観しますと、四面環海の国土ゆえ、おおむね物流は舟運、人の移動は街道で、「青の洞門」のようにノミと槌だけの手掘りでは長大トンネルは施工できず山越えの多くは九十九折りに象徴される坂道でした。明治に入り富国強兵、殖産興業を図る全国幹線交通網としての鉄道建設を促進するため西洋技術の導入などにより長大トンネルが施工されるに至りましたが、わが国の地形・地質は厳しく大規模な崩落や湧水など難工事も多く、スイッチバック、ループ式やラック式の採用などによる山越えを強いられた区間もありました。こうした幾多の苦難をイノベーションとともに『黒部の太陽』のごとく並々ならぬ熱き使命感と努力で乗り越え進展してきた結果、津軽海



NETIS登録No.KK-160026-A

ストロング
FIXチューブ(S型)

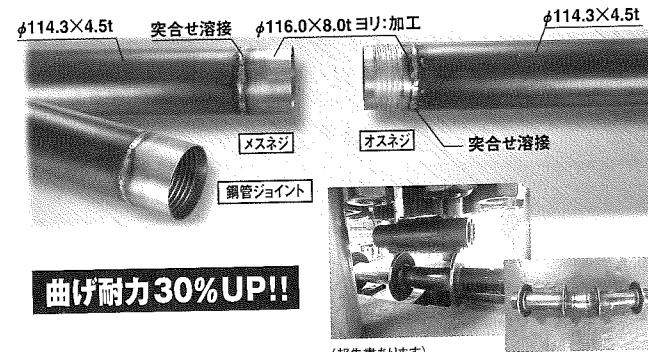
- ※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
- ※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



NETIS登録No.KK-150045-A

AGF-STD工法

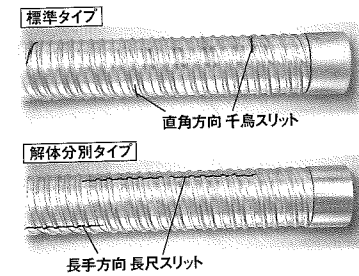
- ※軽量化による作業性とねじ強度の改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



曲げ耐力30%UP!!

(報告書あります) 接続部の抗折力試験

撤去管の選択



STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

NETIS登録No.KK-110040-A

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



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

峡海底100m下53.9kmという世界一の青函トンネルが1988(昭和63)年開通に至りました(なお、現在の交通機関用トンネル世界最長は2016(平成28)年開通のスイスのゴッダルドベーストンネルです)。こうした山岳や海底トンネル施工で標準的だった矢板、支保工方式もロックボルト、吹付けコンクリートなどによる地山自体の保持力を活かした汎用性の高い機械化施工の新オーストリアトンネル工法(NATM)が現在の標準工法となり、トンネル施工方法の最適選択幅が拡大してきています。

また、19世紀前半ブルネル親子がテムズトンネルに採用したシールド工法は、100年前に羽越本線折渡トンネルに採用後、幾多の使用実績を経て、近年東京圏、大阪圏など大都市圏の鉄道に数多く採用されるに至っています。道路トンネルにおいても、当初3~5kmの沈埋案を換気技術の発展とともに10kmのシールド工法へと変更された東京湾アクアラインが1997(平成9)年12月に開通以後、わが国最長18.2kmの道路トンネルである首都高速中央環状線が開通、現在関越道から中央道を経て東名に至る間の東京外環本線3車線大断面に加え未曾有の分合流部に採用など数多く採用されてきています。稠密な大都市における地下空間の利用促進という観点からシールドトンネルのニーズは今後とも高いと推察されます。

JTAとして、トンネルおよび地下利用工事を無事に完成・開通するため、自然に対する畏敬の念を抱く謙虚な姿勢を忘れずに、これまでの知見を活かすとともに異分野との連携を強化しつつ地質調査、測量、材料、施工部材・器具・機械、施工プロセスなどの広範な分野におけるイノベーションを促進することが求められます。併せて、1972(昭和47)年北陸トンネル火災事故、1979(昭和54)年日本坂トンネル火災事故、2012(平成24)年笹子トンネル天井板落下事故などを踏まえ、利用者の安全・安心の確保のため、消火装置、被災時の避難路や侵入停止信号などの設置とともにIT技術活用によるトンネル内の監視の強化等維持管理・更新の更なる進化が求められます。さらに、英仏海峡トンネルやボスボラス海峡沈埋トンネルなどでの海外での経験をも活かすべく、ITA(国際トンネル協会)などの国際技術交流活動も求められます。

私は、JTAには1991(平成3)年度から約3年間事業委員会に参画した経験しかありませんが、JTAのミッションを果たすべく、①官民のパートナーシップ精神や会員相互の「仲間」意識の醸成、②コミュニケーションの向上、③国内外への情報発信の3点に留意しつつ、これまでに蓄積されました高い技術を継承しかつ進化させ、協会の運営に努めて行きたいと想います。

会員各位のご指導、ご鞭撻、ご支援、ご協力をお願いしご挨拶と致します。

施工

県道と交差し土かぶり1.8mで到達する大断面シールドの施工

—東京外環自動車道 京葉ジャンクションHランプ—

東日本高速道路(株)関東支社千葉工事事務所大和田工事長 大田 寛
 東日本高速道路(株)関東支社千葉工事事務所大和田工事区係長 宗像 慎也
 清水・前田・東洋特定建設工事共同企業体監理技術者 菅沼 和好
 清水・前田・東洋特定建設工事共同企業体ブロック長 清水 省吾

1 はじめに

東京外環自動車道は、都心から半径約15kmのエリアを結ぶ延長約85kmの幹線道路である。このうち、東京外環自動車道三郷南IC~高谷JCT(以下「千葉外環」)約15.5kmの工事区間に、京葉

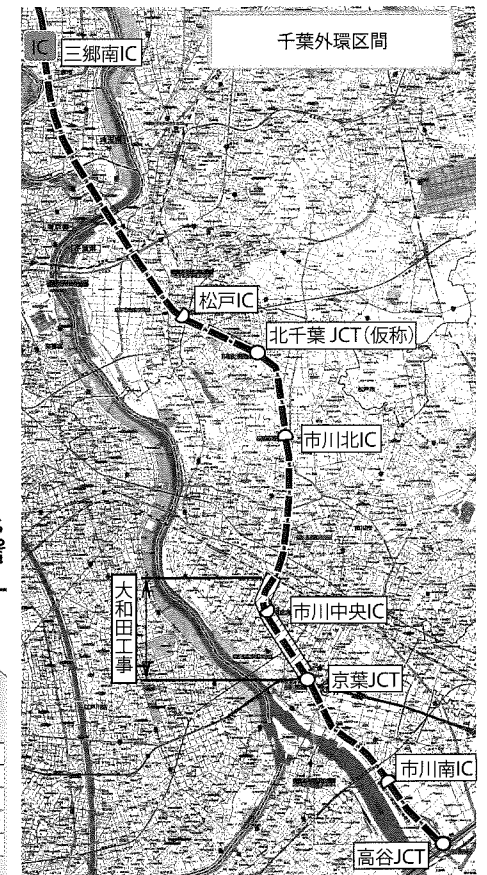
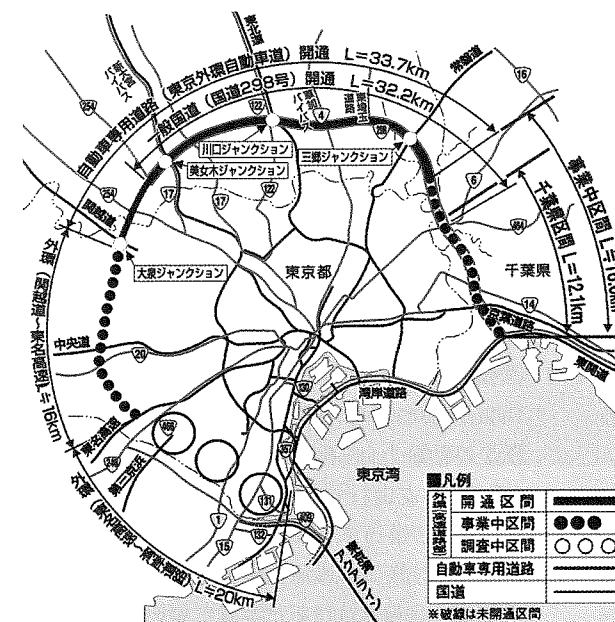


図-1 東京外環自動車道千葉外環区間

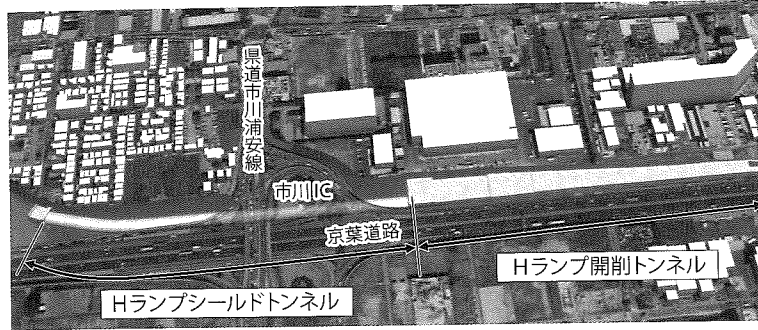


図-2 京葉JCT・Hランプ概要図

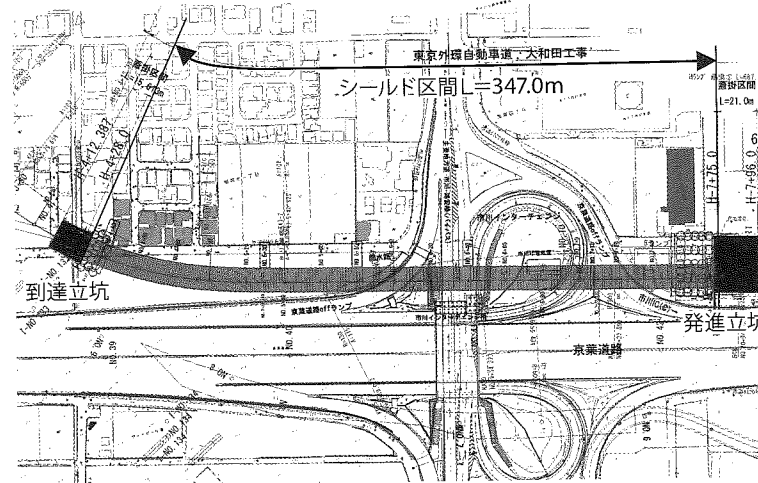


図-3 京葉JCT・Hランプシールド平面図

道路と接続するジャンクション(以下「京葉JCT」)を建設中である(図-1~3)。

千葉外環の高速道路専用部は、主に開削工法によって建設が行われているが、京葉JCTは京葉道路本線と県道市川浦安線直下を接続ランプが輻輳しているため、2本のランプ(Aランプ、Hランプ)は大断面のシールド工法を採用した。本稿では、千葉外環専用部外回りから京葉道路下り線に接続するHランプのシールド工法の特徴と技術的課題の一つである超小土かぶり大断面シールドの施工と対策、およびその成果について報告する。

2 工事概要

2-1 シールド工法の概要

本工事は、県道市川浦安線と京葉道路市川ICの直下を横断する延長347mの区間を泥土圧シールド工法で構築するものである。Hランプは開削

区間を先行して構築し、シールド区間との接続部を発進立坑として掘進を進め、開削で構築された到達立坑に接続する。横断する県道市川浦安線ならびに市川ICは交通量が多く、発進および到達付近ではマンション・民家など住宅地の近傍を通過する。以下にシールド工法の概要を示す。

工 事 件 名：東京外環自動車道大和田工事
 施 工 場 所：市川市鬼高～同市稲荷木
 シールド：φ13.260m
 機長12.110m
 形 式：泥土圧シールド
 施工延長：L=347m
 セグメント：内径φ11.050m(桁高t=535mm)
 耐火仕様RCセグメント277R

掘削土量：約60,000m³

土かぶり：8.8~1.8m

平面線形：最小曲線半径R=200m

縦断勾配：上り2.0%

2-2 地質概要

シールド掘削断面は、上半部が非常に軟弱な沖積層(Ac1, As2)、下半部は洪積層(Dc1, Ds2u)となっている。N値は、沖積層Ac1で0~1, As2で2~10程度であり非常に緩く、掘進時地上部や近接構造物への影響が想定される土層である(図-4)。洪積層Dc1は細砂を混入しN値は2~40程度、Ds2uはおおむね50程度を示し良く締まっている。Dc1の粘着力は51kN/m²、Ds2uの内部摩擦角は37°であり安定している。

全般にシルト系から細粒分主体の細砂層比率が多く、泥土圧シールドと土砂圧送に適した土層であるが、発進立坑付近は非常に緩い沖積地盤の溺れ谷となっている。

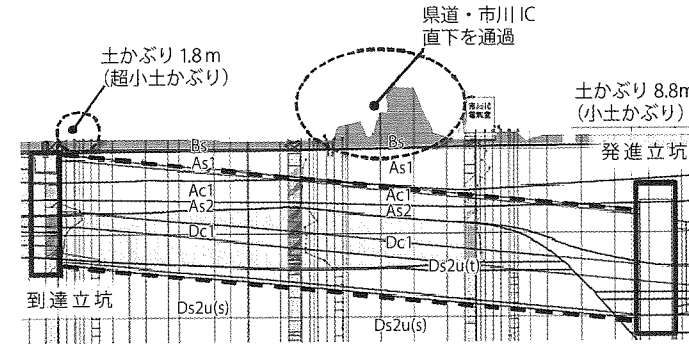


図-4 地質縦断面図

地下水位は、TP+0.0m前後で非常に高く、シールドは密閉型で土水圧に対抗した適切な土圧保持が必要である。

3 工事の課題

市川ICからシールド到達立坑までの土かぶりは、4.5~1.8m(0.33~0.14D)である。対シールド外径比では超小土かぶりとなっている。この区間ではトンネルの浮力がトンネル上部の荷重を上回り、地上またはトンネル内部に追加荷重が必要となるため、現場条件と施工計画に適合した浮上がり対策を実施した。また交通量が多く、重要な道路である県道市川浦安線および市川IC直下の横断部では、影響を最小限とする掘進管理が課題であった。

4 シールド仕様

本工事は、超小土かぶりであること、掘進延長が短いことなどの施工条件を考慮し、泥土圧式シールドを採用した。

シールドの写真を写真-1に、仕様および概要図を表-1、図-5に示す。

また、シールドには以下のような対策を実施した。

- ① 予期できない支障物に遭遇した場合、支障物の撤去時に使用できるように、シールド上部に「可動山留めフード」を装備した。
- ② 掘削時の地山の緩み状況を早期に把握するために、カッタスポークに「地山崩壊探査装置」を装備した。

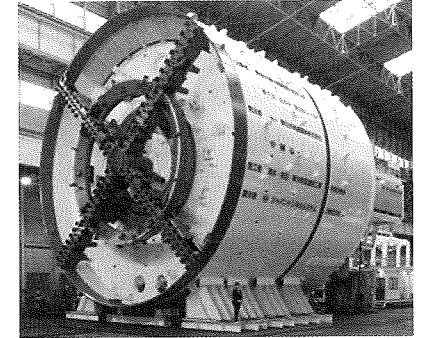


写真-1 シールド

表-1 シールド仕様

項目	詳細	仕様
本体シールド	外径	φ13.260m
	機長	12.110m
	テールブラシ	3段
中折れ装置	中折れ角度	左右：1.9°、上下：0.5°
	中折れジャッキ	3,000kN×32本
推進装置	シールドジャッキ	上半：1,800kN×36本 下半：2,500kN×24本
	総推力	124,800kN
	伸長速度	20mm/min
カッタ装置	スポーク本数	4本
	開口率	84%
	形式	中間支持、電動インバータ駆動
	装備トルク	常用：30,940kNm(α=13.2) 最大：37,128kNm(α=15.9)
	カッタ回転数	0.44rpm
	コピーカッタ	200kN×100mm×2本
裏込め装置	注入方法	同時裏込め注入
	注入箇所	上半：2か所、下半：2か所
排土装置	形式	軸付きスクリュウコンベヤ(φ720×620ピッチ)×2基
	排土能力	最大262m ³ /h(2基分)

- ③ 土圧計は全22か所設置し、土圧の分布・経時変化からチャンバ内土砂の塑性流動性を可視化する「シールド切羽評価システム」を採用した。
- ④ チャンバ内の塑性流動性の向上および計測するため、トルク計付きの「中央アジデータ」を装備した。
- ⑤ セグメントの組立て直後の変位を抑制する

ための「可動式形状保持装置」に加え、盛替え時にも対応する「固定式形状保持装置」を装備した。これらは上下方向だけでなく水平方向の変位も抑制できるようにした。

- ⑥ 曲線施工時に過度な片押しを防ぐ「ジャッキ偏圧防止システム」を採用し、セグメントの損傷を抑制した。

5 セグメント仕様

本工事に使用するセグメントは、長期耐久性、構造安定性(浮上がり)、経済性を考慮し、全線に

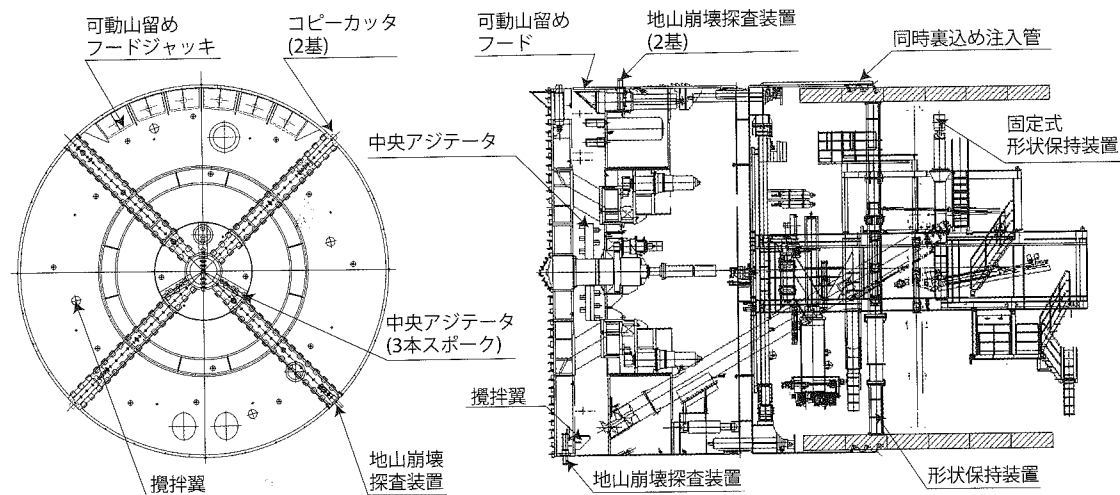


図-5 シールド概要図

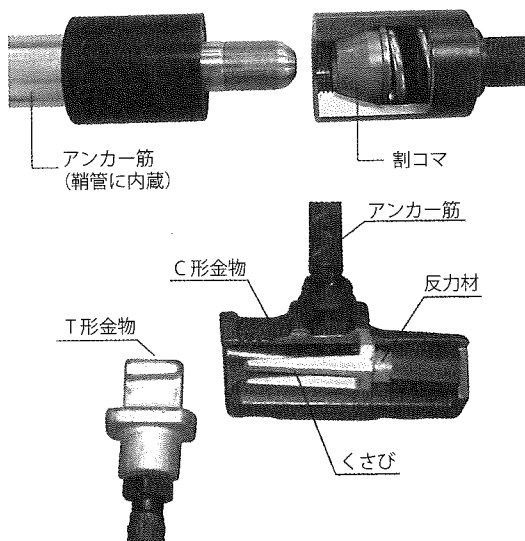


図-6 リング継手およびセグメント継手

わたり耐火一体型RCセグメントを採用した。

継手は内面平滑でメンテナンスフリーが可能であるワンパスタイプとし、セグメント間継手はくさび構造により締結力を維持するスライドコッター継手、リング間継手は柔接合が可能で耐震性に優れたクイックジョイントを採用した(図-6)。

セグメント外径はφ13,050mm、分割数は9分割(8+K型)であり、セグメント幅は、急曲線区間および地震時に縦断方向変位量が大きくなる区間は1.0m、その他区間は施工時重量を考慮して1.5mとした(図-7)。

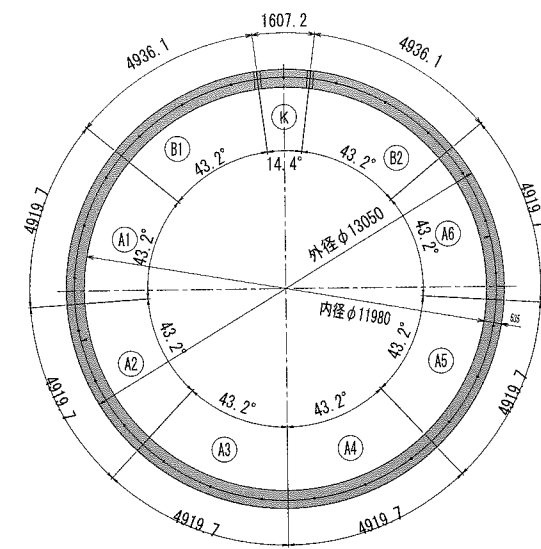


図-7 セグメント分割図

6 仮設備計画

6-1 土砂搬送設備

シールド施工時は、発進立坑より後方の函体構築(開削工事工区)を行っており、地上ヤードは全面覆工、さらに開削工事工区と工事ヤードを共有することから、土砂搬出のサイクルも考慮し、約3,000m³の容積を要する土砂ピットを発進立坑から約500m離れた位置に配置することとした。

土砂搬出の方法は、土砂ピットまでの搬送ルートが、開削工事工区の合間を縫うように配置する必要があり複雑であること、土砂ピット部において分配が容易であること、掘進距離が比較的単距離であることを理由にポンプ圧送を採用した。シールドにはφ780mmのスクリュコンベヤを2基装備し、土砂圧送も2系統(写真-2)とした。土砂圧送ポンプは、1系統に4台、合計8台設置した。

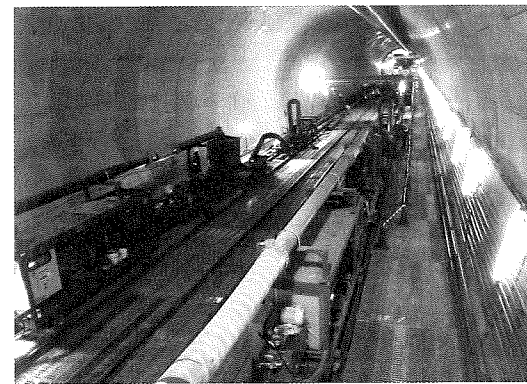


写真-2 土砂圧送ライン(2系統)

6-2 セグメント搬送設備

本シールドは掘進距離が比較的短いことから、セグメントの坑内搬送用設備は、12tサーボロコ1両とセグメント台車2両の編成とした。軌条は単線とし、シールド掘進と同時に早期のインバート埋戻しを行う(後述する浮上がり対策のため)ことから、埋戻し高さを考慮した位置に枕木を設置した。図-8に坑内標準断面図を示す。

発進立坑地上ヤードは、先述のとおり開削工事工区と工事ヤードを共有するために、セグメントの十分なストックヤードの確保が困難であった。したがって、地上ストックヤードと合わせ、構築済みの函体内に20t天井クレーンを設置し、地下ストックヤードとして使用した。地下ストックヤードは一部複線軌条を設置し、坑内搬送用とは別に荷捌き用として12tサーボロコ1両とセグメント台車1両を配した(図-9)。

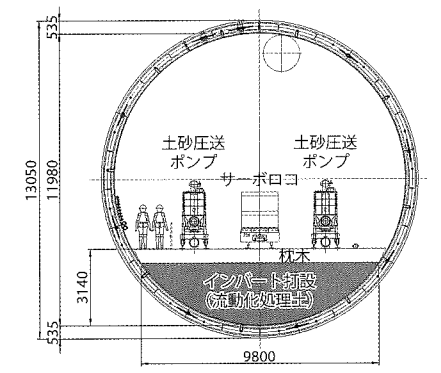
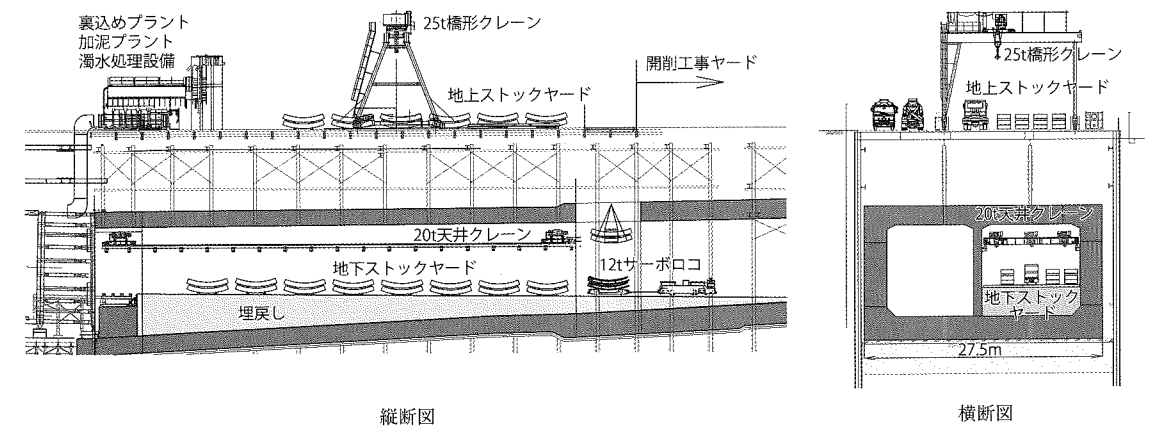


図-8 坑内標準断面図



縦断面 横断面
図-9 セグメントストックヤード縦断面・横断面

7 超小土かぶり施工対策

7-1 地盤改良

市川ICから到達立坑までの地盤は、旧建屋基礎の撤去により大きく乱されており、シールド施工時の陥没や裏込めなどの奮発リスクおよびセグメントの反力の確保などの目的として、地盤改良を実施した。改良工法は、改良深さ、土質などから中層混合処理工法(WILL工法)とした。

地盤改良の範囲は、構造計算でセグメントの上部に反力が発生する左右65°の範囲で設定した。ただし、到達付近の超小土かぶりで民家に近接している地盤においては、沈下など周辺民家への影響を考慮してトンネルスプリングラインまでの範

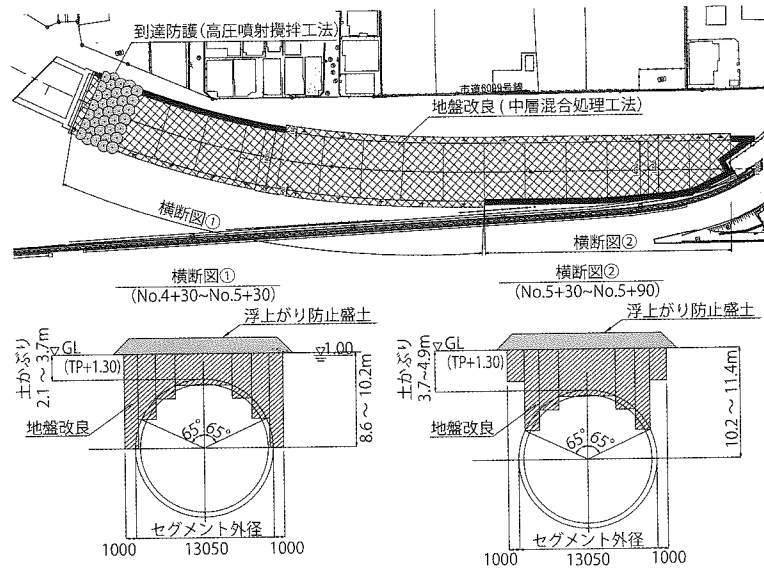


図-10 地盤改良平面図・断面図

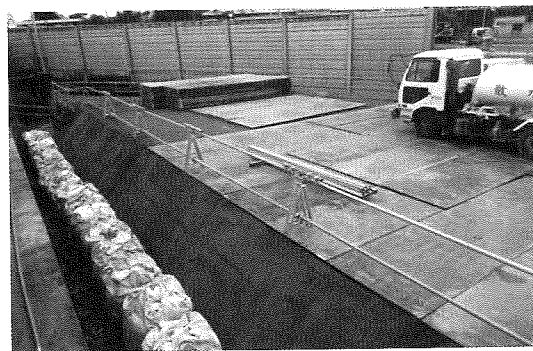


写真-3 盛土による上載荷重

囲とした。

改良強度は、セグメントの設計で考慮している地山強度以上($q_u = 300\text{kN/m}^2$)とした。地盤改良平面図、断面図を図-10に示す。

7-2 浮上がり対策

市川ICから到達立坑までの区間は、土かぶりが0.33~0.14D($h = 4.5\sim 1.8\text{m}$)まで減少する超小土かぶりであり、浮上りに対する安全率が1.0を満足できない状態であった。この区間の地上の立地条件は、トンネルの上部に盛土が可能であった。本工事で発生した砂質土を利用して、トンネル上部に盛土による上載荷重の載荷を行った。ただし、盛土高さは施工スペースの制約条件から1.5mまでに制限する必要がある。そのため、不足する重量は盛土上に敷鉄板を敷設(6層重ね135.0kN/m)し、補うこととした(写真-3)。

また、発進立坑から市川IC直下までの区間は、浮上りに対する安全率は1.0を満足するものの、トンネル頂部の地盤が $N = 0\sim 1$ の軟弱な沖積粘性土層(Ac1層)であり、トンネルに作用する浮力に対する地盤反力が小さく、トンネルが浮き上がる懸念があった。この区間の直上には、県道市川浦安線、および市川ICのON・OFFランプがあり、交通確保のため地上での対策実施が困難である。そこで、

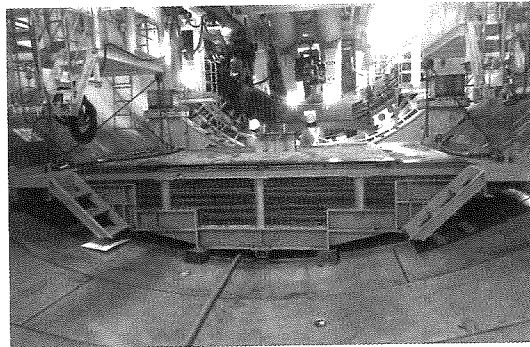


写真-4 カウンターウェイト台車

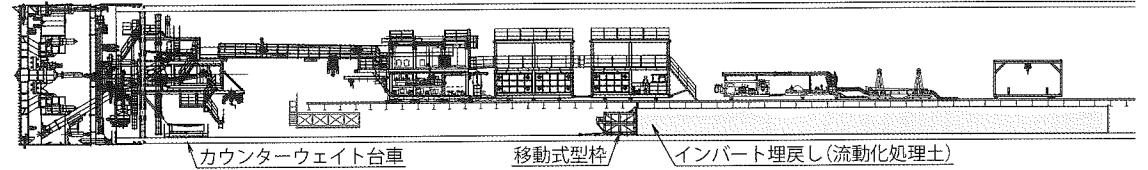


図-11 インバート埋戻し

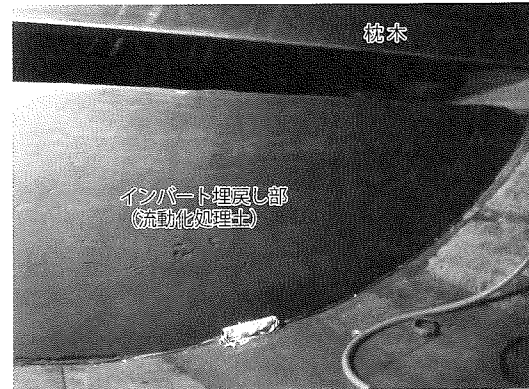


写真-5 インバート埋戻し

トンネル坑内の切羽部に重量約55tのカウンターウェイト台車を設置し、シールド掘進とともに牽引することとした(写真-4)。さらに、後方では流動化処理土による早期のインバート埋戻しを行うことにより、浮上がり抑制対策とした(図-11, 写真-5)。

8 重要道路横断部の施工

8-1 地表面自動計測

県道市川浦安線と市川ICランプ直下を通過する対策として地表面変位量の自動計測を行い、24時間監視を行った。地表面地下量の測定方法として、主に水盛式、水圧式沈下計を採用した。測定箇所は主にシールドセンター、シールド両端および左右の影響範囲(5~10m離れ)の5測点とし、各ランプに沿って9測線設置した。

計測結果はインターネット経由で、リアルタイムに確認できるようにした。道路下掘進中は、シールド運転席のモニターに測定値を表示し、掘進に伴う地表面の動きを監視しながら掘進を行い、状況に応じた掘進管理を行うことができた。

地表面監視は、自動計測だけに頼らず、掘進中は常時監視員を配置して目視観測とレベルを用い

た手動測量による監視を行った。監視員にはタブレット端末(iPad)を携帯させ、自動計測データと掘進データ(掘進管理システム)の閲覧を可能とし、掘進状況、自動計測値、手動測定値、目視により異常を的確に察知できる環境を整えた。

8-2 トライアル計測

道路下掘進に入る前に、変位をできるだけ抑える慎重な施工を行うため、事前に施工条件が地表面変位に与える影響について検討を行った。

まず、トライアル計測を行い地表面沈下量と切羽土圧、裏込め注入圧の計測結果を得た。これらの計測値からトライアル計測区間のFEM解析を実施し、解析諸元の調整(フィッティング)により現況地盤での切羽土圧、裏込め注入圧を決定する補正値を求めた。道路直下横断部でのFEM解析はこの補正値を反映して実施し、解析で得られた地表面変位の結果から掘進管理値(切羽土圧、裏込め注入圧)を決定した。

トライアル計測は3測線で、多段式傾斜計、層別沈下計、間隙水圧計により計測を行った。FEM解析は、より精度の高い3次元FEM解析により実施した。トライアル計測の結果、地表面変位量が基準値内であるが比較的大きく出たことから、3次元FEM解析結果に合わせて切羽土圧、裏込め注入圧の管理値の見直しを行った。見直し後の管理値については、8-3節に記述する。

8-3 掘進管理

8-3-1 切羽土圧管理

本シールドは大断面であることから、シールド上部と下部でチャンパ内の土圧の差が大きくなり、土圧分布も線形を呈さないことが想定された。また、県道市川浦安線および市川IC直下通過時のシールド上部における掘削地盤は軟弱なAc1層であることから、シールド断面最上段の土圧計の

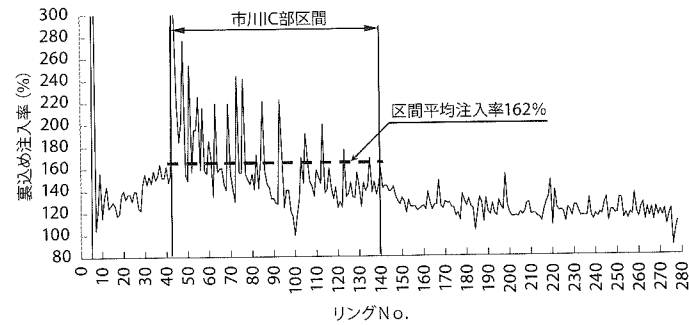


図-13 裏込め注入率実績

値で土圧管理を行うこととした。

管理土圧は、トライアル計測の結果、主働土圧と静止土圧の中間値+地下水圧+予備圧と設定し、掘進中は路面および構造物変位の計測データをリアルタイムで監視・フィードバックして、予備圧(0.03~0.05MPa)を調整して管理した。

8-3-2 裏込め注入管理

裏込め注入管理は、注入圧力をシールド上部土圧+0.2MPa、注入量はテールボイドの130%を目安とし、圧力管理と量管理の両方を併用して行っていた。しかし、後続沈下が進行する傾向がトライアル計測の結果により確認されたことから、シールドテール部が市川ICを通過する43リング目以降、注入圧力に重点を置いた管理に切替えることとした。具体的には、掘進中における注入圧の上昇が顕著でない場合は、掘進を停止して裏込め注入を行い、注入圧が設定値付近まで上昇することが認められたら速やかに掘進を再開するようにした。

この結果、シールド上部に軟弱なAc1層、As2層が存在する、市川IC部区間における平均裏込め注入率は162%であった(図-13)。

市川ICから到達立坑までの超小土かぶり区間においては、地表面に裏込め材が噴出する懸念があったことから、常時監視員を配置し、噴出が確認された場合は直ちに注入圧力を調整し管理した。

9 施工実績

9-1 掘進実績

掘進の進捗は、発進・到達防護を除いた標準掘

進区間において、43R/日程度の実績であった。シールドは高速施工仕様ではないことや初期掘進を含む進捗であることから順調な掘進だったといえる。総推力、シールドジャッキ圧力は30~50%で推移し、カットトルクは15~30%程度であり、地山状況に応じて変動したものの推力やトルクに大幅な変動は見られなかった。

切羽土圧は、土かぶりが小さいことから天端に近い土圧計による管理を行い、トライアル計測区間での地表面変位を受け、やや高めの中切羽土圧(主働土圧と静止土圧の中間+変動圧)で掘進管理を行ったが、全線を通じて排土量も安定していた。

裏込め注入管理は、道路下横断部では圧力管理を行ったため、注入量の変化が大きかった。

線形管理は、土かぶりが小さく、水圧による浮力の影響が懸念されたことから鉛直方向の変位量に細心の注意を払って施工を行った。浮力による浮上がりの影響はほぼ見られず上下左右とも規格値内での施工管理が行えた。

9-2 地表面計測結果

軟弱地盤、小土かぶりという条件下での施工であったため、地表面変位は掘進に合わせてリアルタイムに反応した。沈下を抑制するためには、切羽前沈下(隆起)段階と、テールボイド沈下(隆起)段階で変動量を最小限に抑える必要があると判断し、切羽土圧の設定と裏込め注入の圧力優先管理を実施し、管理値以内の変動量で抑えることができた。

10 おわりに

超小土かぶり・大断面シールドの施工を行った事例について紹介した。超小土かぶり施工のためにシールドや施工手順に工夫を加え、慎重な施工管理を行うとともに、各種詳細計測を実施し、規格値内での管理を行うことができた。

最後に、本工事で多大なるご協力をいただいた関係各位に、この場を借りて深く感謝の意を表す。

施工

動水勾配を管理して高圧湧水帯の地山を掘削

—函館江差自動車道 渡島トンネル木古内工区—

大成建設(株)渡島トンネル工事作業所所長 亀田 徹也

大成建設(株)技術センター社会基盤技術研究部課長代理 増岡 健太郎

国土交通省北海道開発局函館開発建設部函館道路事務所第3工務課課長 佐々木 博一

国土交通省北海道開発局函館開発建設部函館道路事務所第3工務課 森本 匡晶

1 はじめに

函館江差自動車道茂辺地木古内道路は、高速ネットワークの拡充による近隣都市間の連絡機能の強化を図り、地域間交流の活性化および、重要港湾函館港、函館空港などへの物流の効率化などを支援するとともに、函館圏における交通混雑の低減を図り、道路交通の定時性、安全性の向上を目的とした延長16.0kmの一般国道の自動車専用道路である。

渡島トンネルは、北海道上磯郡木古内町と北斗

市を跨ぐ全長L=2,518mの山岳トンネルであり、木古内工区はそのうち延長L=1,087mを施工するものである(図-1)。

本工事は、坑口より900m付近の地質調査ボーリングで毎分2.0tの突発湧水が発生し、最大湧水圧力が1.2MPa(調査ボーリング時)に達する「高圧湧水帯」に直面した。

地下水位が高い地山のトンネル掘削は、突発湧水やそれに伴う切羽崩落の発生リスクが高まるため、トンネルを安全に施工するためには、水抜き工によって切羽周辺の水圧を低減させる必要があ

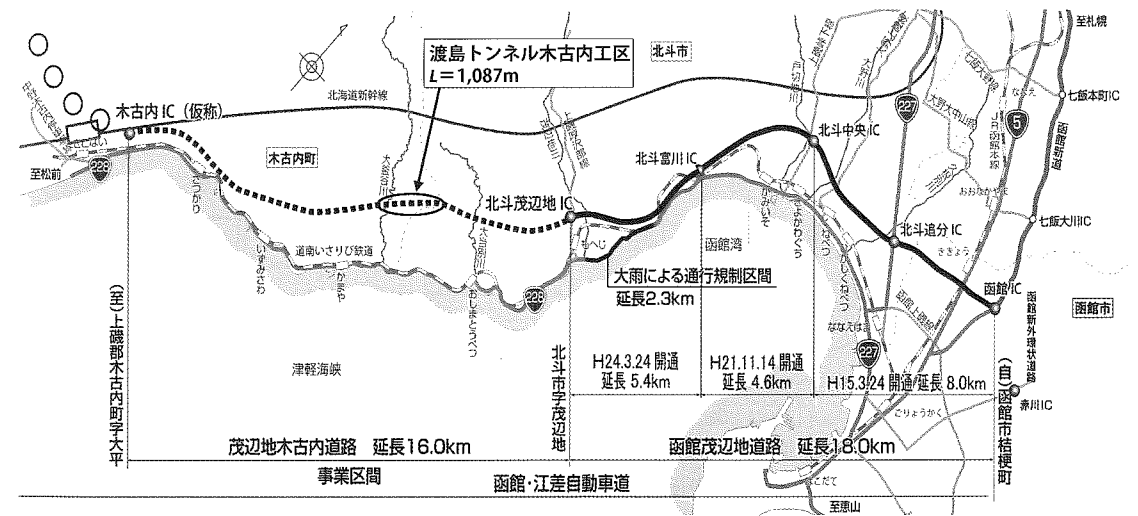


図-1 函館江差自動車道事業概要・工事位置図

る。そのため坑口より900m付近にて3本の水抜きボーリングを実施したが湧水量は減少せず、また水圧もなかなか低下しないため長期間トンネル掘削を約2か月中断した。

掘削再開にあたり切羽の安定を判断する手法として、当初切羽背面の水圧が0.15MPaを基準と定め、切羽に作用する浸透力と抵抗力から動水勾配を求めて管理する手法を採用し掘削管理を行った。本稿では高圧湧水帯の地山におけるトンネル掘削の施工管理について報告する。

2 工事概要

渡島トンネル木古内工区の工事概要を表-1に、標準断面図を図-2、支保パターン図を図-3に示す。

3 地形および地質概要

トンネル周辺の基盤地質は、主に新第三紀中新

世の茂辺地川層で、泥岩、砂岩、凝灰岩などの堆積岩類で構成されている(図-4)。

トンネル中央部は粗粒玄武岩の貫入が確認され、

表-1 工事概要

工事名称	函館江差自動車道 木古内町 渡島トンネル 木古内工区工事
発注者	北海道開発局函館開発建設部
施工者	大成建設(株)・(株)田中組特定建設工事共同企業体
施工場所	北海道上磯郡木古内町大釜谷
工期	2016(平成26)年11月6日～ 2019(平成29)年8月31日(34か月間)
掘削工法	NATM 上半先進ショートベンチカット掘削工法
掘削方式	発破掘削
運搬方式	連続ベルトコンベヤ
トンネル延長	L=1,087m
内空断面積	A=68.5m ² (標準部), 82.7m ² (非常駐車帯部)

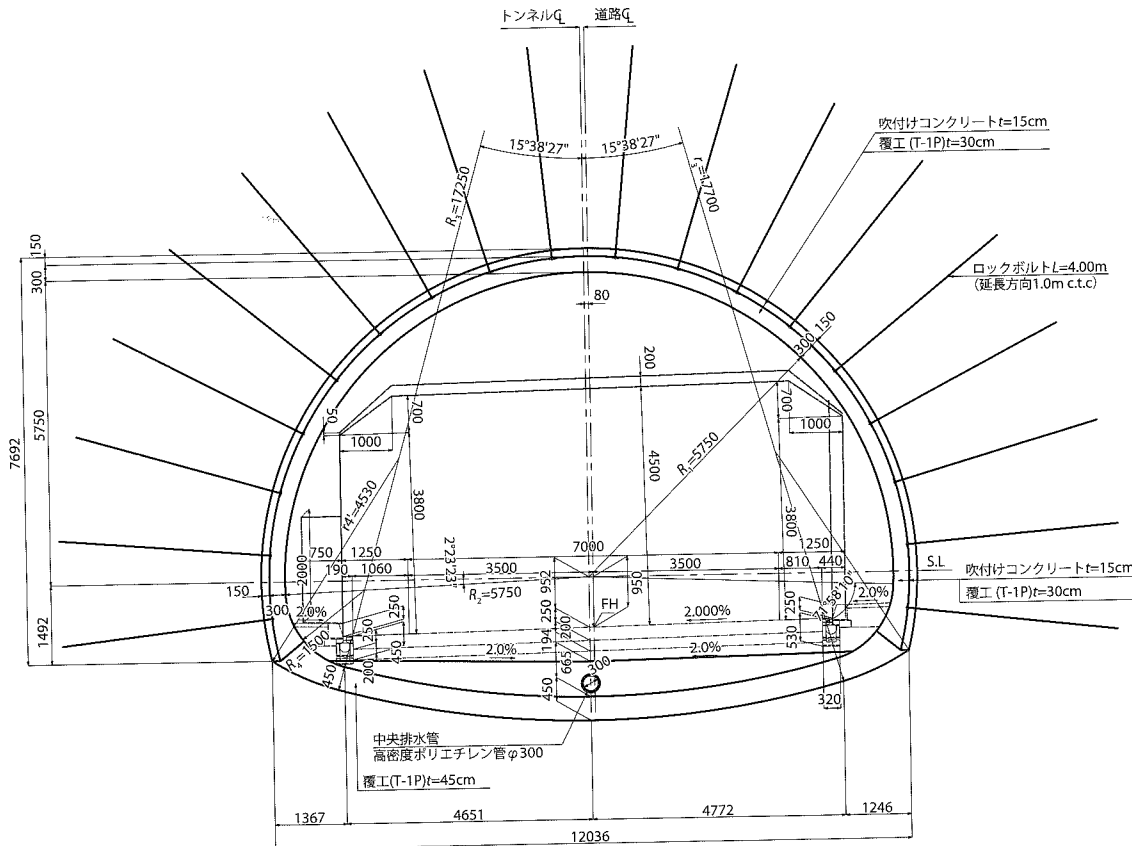


図-2 標準断面図(DI-bパターン、断熱材なし)

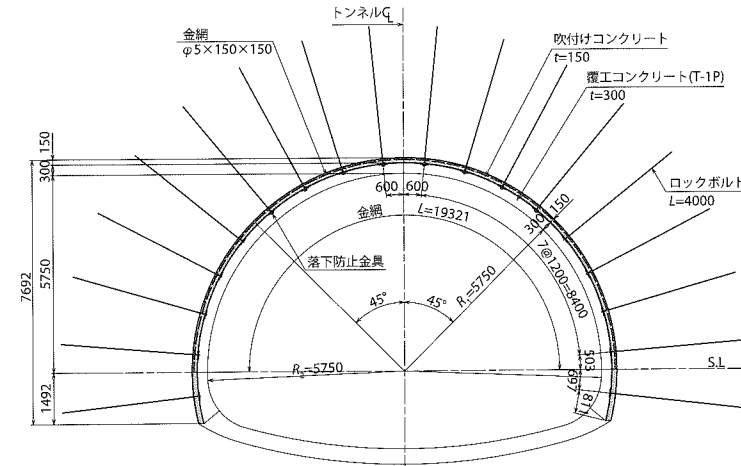
地表地質踏査および弾性波速度から、樹枝状の構造を推定しているが、一部溶岩としての産状も確認されているため、その分布は著しく複雑な構造を呈している。

4 切羽の安定管理について

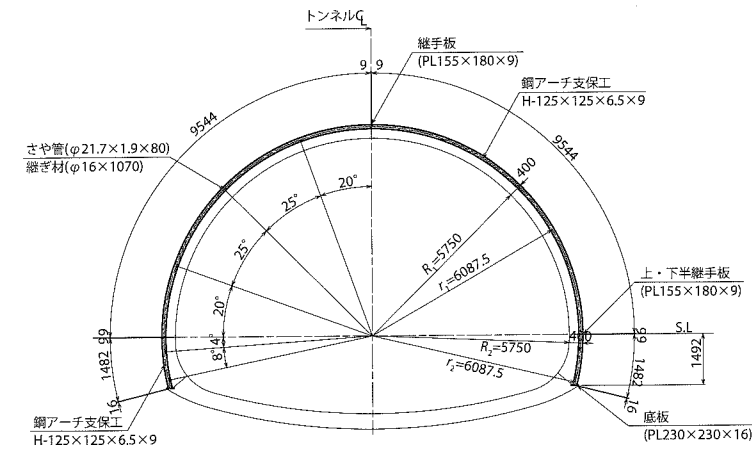
4-1 経緯

切羽に出現する地質状況や湧水状況の事前把握を行う目的で、水平調査ボーリング(φ66mm, 120m程度/回)がトンネル全線で計画されていた。トンネル延長の半分を超えた第5回調査ボーリングから湧水量が急増し、調査ボーリング施工ごとに500L/minを越える湧水が発生するため、清濁分離や濁水処理設備増設などの対策を講じながら掘削を進めた。坑口より900m付近の第9回調査ボーリングで2,200L/minの突発湧水が発生し、最大湧水圧力が1.2MPaに達する「高圧湧水帯」に直面した(写真-1)。

このような高圧湧水下での調査ボーリングは、コアチューブの挿入ならびにロッドの継ぎ足し・切り離しが困難となり危険を伴う。また、突発湧水やそれに伴う切羽崩落の発生リスクが高まるためトンネルを安全に施工するためには、水抜き工によって切羽周辺の水圧を低減させる必要があった。突発湧水の要因としては当該箇所地質は、玄武岩の貫入により生じた、亀



吹付け・ロックボルト工



鋼アーチ支保工

図-3 支保パターン図(DI-bパターン、断熱材なし)

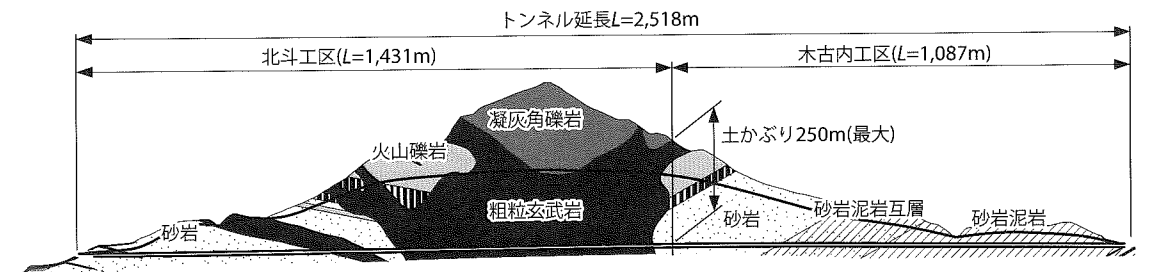


図-4 渡島トンネル地質縦断面図

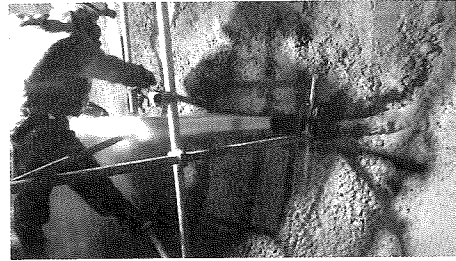


写真-1 湧水発生状況(坑口より930m付近調査ボーリング施工時)

表-2 水抜きボーリング結果一覧

	口元 A(m)	湧水発生 箇所 B(m)	水圧管理 距離 B-A(m)	削孔長 (m)	湧水量 (L/min)	湧水圧 (MPa)
水抜き Br 1	TD907	TD950	43	43	1,340	0.60
水抜き Br 2	TD907	TD992	85	100	310	0.25
水抜き Br 3	TD909	TD966	57	68	2,200	0.46
水抜き Br 4	TD932	TD980	48	50	1,050	0.30
水抜き Br 5	TD955	TD1,003	48	132	1,240	0.24

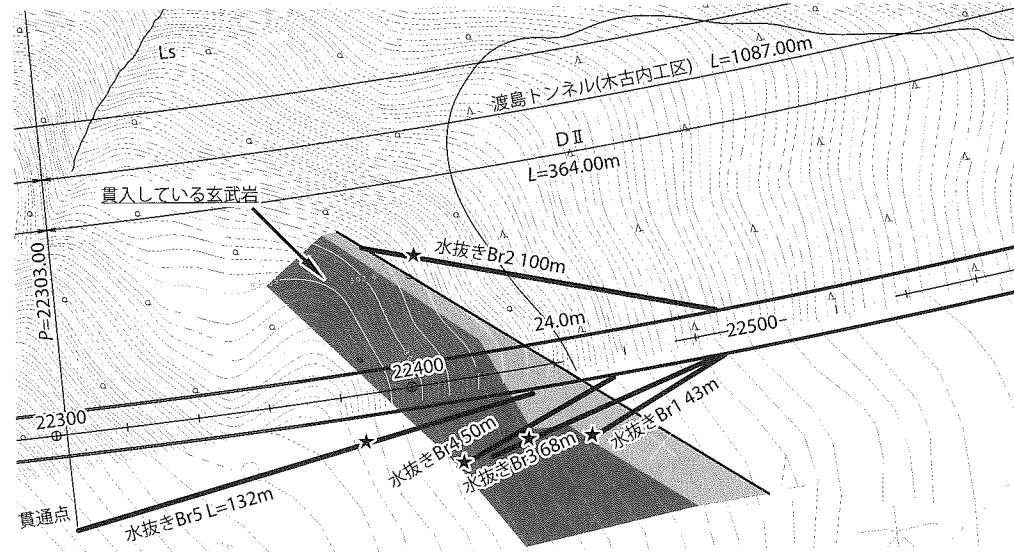


図-5 水抜きボーリングの実施状況平面図

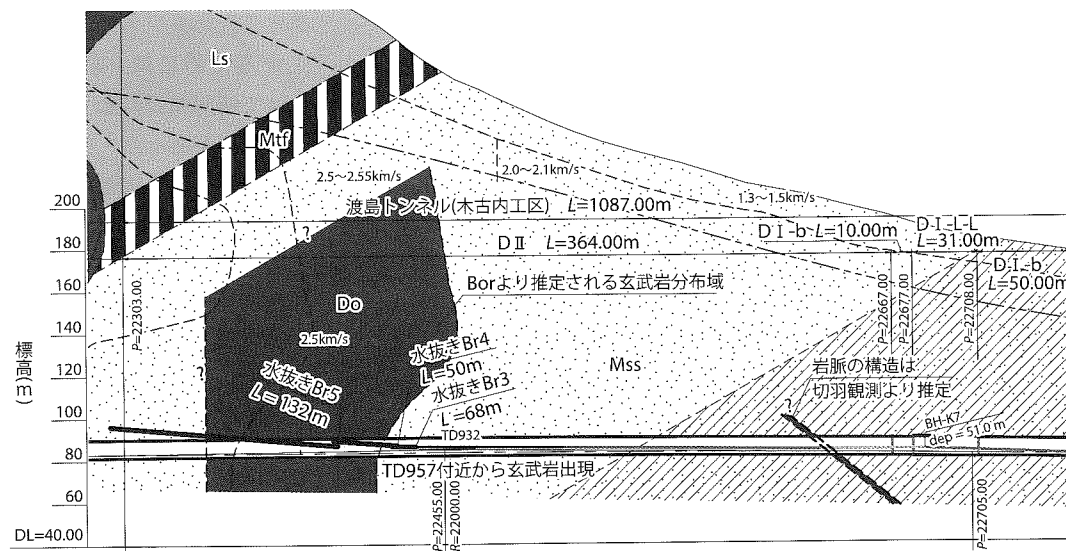


図-6 水抜きボーリングの実施状況縦断面図

裂帯に地下水が胚胎しているものと推定された。

4-2 水抜きボーリング

水抜き孔の削孔は口径86mm, 76mm, 68mmを使用したノンコアボーリングを実施し、調査は湧水量および湧水圧の測定のみ行った。ロータリーボーリングマシンを使用することで、水抜きボーリング施工完了後、高湧水圧でなければ水平調査ボーリングを実施することが可能となった。水抜き

ボーリングは計5回実施した。

水抜きボーリングの結果を表-2に示す。実施状況図を図-5, 6に示す。

4-3 湧水量と湧水圧測定結果

湧水は当初砂岩中の節理などを通じて流れていると考えられていたが、水平調査ボーリングや各種水抜きボーリング結果から判断すると、玄武岩の貫入境界付近に生じた砂岩の亀裂質部(節理)や

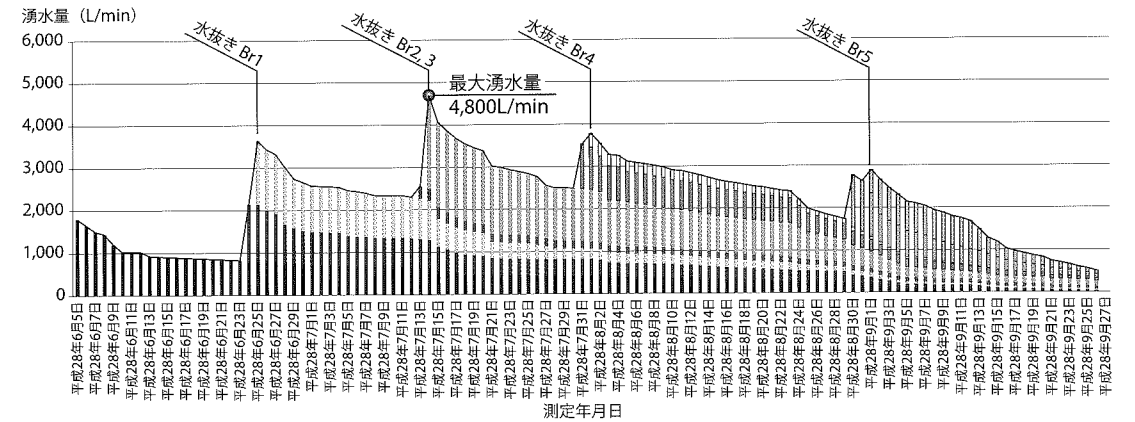


図-7 水抜きボーリング湧水量経時変化図

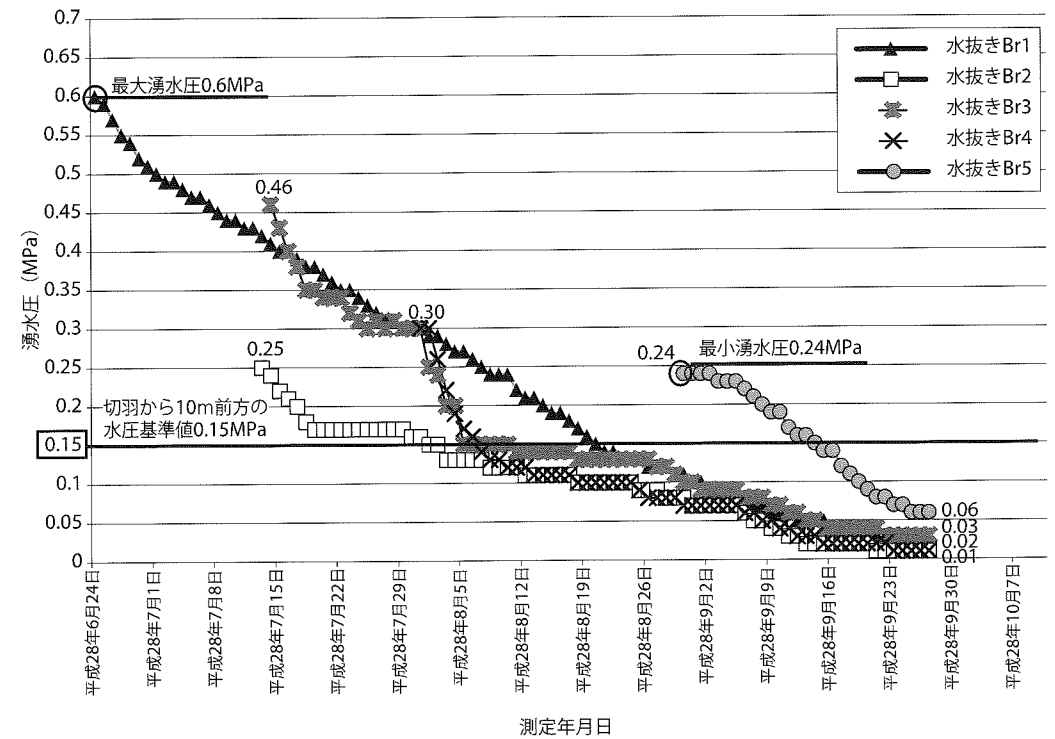


図-8 水抜きボーリング湧水圧経時変化図

表-5 限界動水勾配による水圧管理一覧表(2016(平成28)年9月6~13日)

月/日	9月6日	9月7日	9月8日	9月9日	9月10日	9月11日	9月12日	9月13日
トンネル掘削延長TD(m)	971	974	977	980	981	981	984	987
可判定項目								
切羽から10m以上前方の水圧P(MPa)	0.22	0.21	0.20	0.19	0.19	0.17	0.16	0.16
限界動水勾配基準値	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
切羽から水圧管理位置までの距離L(m)	35.0	32.0	29.0	26.0	23.0	22.0	22.0	19.0
動水勾配結果 <i>i</i> =P×100/L	0.63	0.66	0.69	0.73	0.83	0.77	0.73	0.84
掘削可否判定	○	○	○	○	○	○	○	○

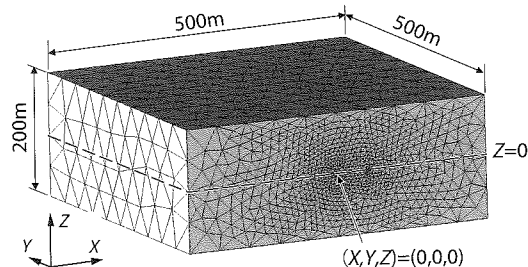


図-12 解析モデル鳥瞰図

ボーリング孔内が満水状態であるとき、ボーリング孔内では圧力損失が生じるため、ボーリング先端部の圧力は、ボーリング口元よりも大きくなる(圧が立った状態)。圧力損失はボーリングの径や孔内流速などによって変化するため、多量湧水帯における水抜きボーリングの評価を数値シミュレーションで行う場合には、ボーリング孔内の圧力損失を考慮したモデルで評価することが望ましい。そこで本稿では、地下水とボーリング孔内の流れの連成解析³⁾を用いて、水抜きボーリングの湧水量の経時変化の再現を試み、本水圧管理手法について考察した。

図-12に本計算で用いた解析モデルの鳥瞰図を示す。モデルは、水抜きボーリングからの湧水を胚胎すると考えられる粗粒玄武岩の分布範囲を参考に、500m×500m×200mの大きさの均質なモデルとした。各ボーリング先端のモデル上の位置を図-13に示す。第9回目の調査ボーリング先端位置より前方を対象に、実工程に合わせた逐次掘削解析を行った。掘削済みの要素はモデルから削除し、切羽およびトンネル壁面は浸潤面境界とした。水抜きボーリングは、ボーリング孔口～先端を結ぶ線要素でモデル化し、孔口の節点のみを圧力0の固定境界とした。ボーリング孔内の圧力は、

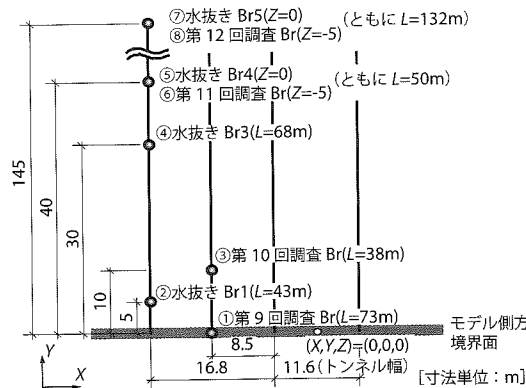


図-13 モデルでのボーリング先端位置(z=0断面)

流れに伴って生じる圧力損失を考慮して計算される。その他、モデル上下面および側面はすべて不透水境界とした。第9回調査ボーリングでの圧力測定値を参考に、初期の全水頭は120m(≒1.2MPa)とした。透水係数と空隙率は、主に水抜きボーリングの湧水量と圧力の減衰時の変化に対して、透水係数または空隙率を有効数字1桁で変化させながら実測結果と解析結果をマッチングして設定した。比貯留係数には $1.0 \times 10^{-6} m^{-1}$ を与えた。

6-2 解析結果による水圧管理手法の考察

マッチングの結果、透水係数に $1.0 \times 10^{-4} m/s$ 、空隙率に0.05とした場合にもっとも実測に近い解析結果が得られた。図-14に、ボーリング湧水量合計ならびに切羽湧水量(濁水処理量)を示す。いまだマッチングに改良の余地があるが、切羽が湧水帯(TD930m)に突入したと考えられる80日ごろに、ボーリング湧水量が減少する。一方、実測値より、同時期から切羽湧水量(濁水処理量)は増加していることがわかる。

これは、切羽湧水量とボーリング湧水量は互いに大きく干渉するため、すなわち水抜きボーリ

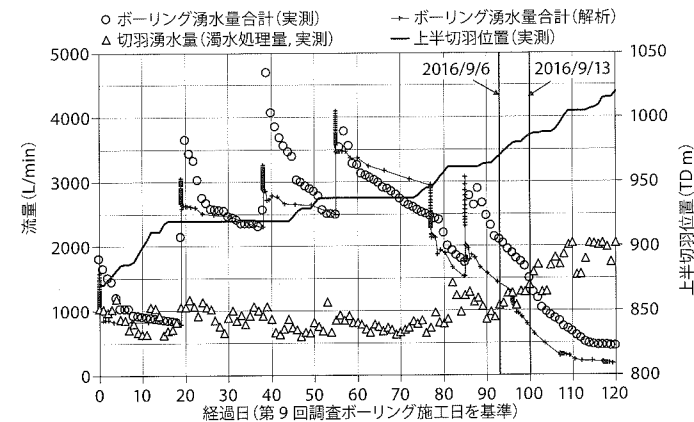


図-14 ボーリング湧水量合計と切羽湧水量

ングへ向かっていた流れの一部が、切羽へ向かう流れに変化したためだと考えられる。例えば図-14の網掛け区間は、表-5で示す2016(平成28)年9月6~13日の期間であるが、掘削が進むにつれて濁水処理量が増加している。一方で、ボーリング湧水量が減衰する勾配は、実測および解析ともに、掘削が停止していた期間よりもやや急となっている。したがって、表-4で示す水圧管理位置の圧力低下は、限界動水勾配にもとづいた掘削可能範囲までの掘削の影響を受けていることが考えられる。以上より、本水圧管理手法は、切羽からの排水効果も期待しつつ、掘削速度を調整(=掘削可能範囲を設定)しながら安全にトンネル掘削を行うことが可能な方法であることが確認できた。

7 おわりに

本稿では、渡島トンネル木古内工区工事が直面した「高圧多量湧水下における水圧管理手法」について取りまとめた。貫通点まで150mの位置での多量湧水で濁水処理設備の再増設、清濁分離配管の追加設置など、トンネル掘削作業も約2か月の中断を余儀なくされたが、動水勾配による切羽安定手法で無事工区境に到達することができた。

切羽周辺の地下水の存在と湧水圧を的確に評価し、地下水位を十分低下させて、より安全に掘削を行うことは、トンネル施工において必須の条件である。今後、本トンネルの実績が高圧多量湧水帯の掘削において、参考になればと考える。

参考文献

- 1) 依田淳一・越川俊幸：火砕岩類の高圧湧水帯を水抜きボーリングで突破、北陸新幹線 高社山トンネル北工区、トンネルと地下、Vol.35, No.2, pp.7-12, 2004.2.
- 2) 小泉悠・川端淳一・升本一彦・渥美博行：高水圧トンネルを安全に施工するための水抜き工の設計法の提案、土木学会第70回年次学術講演会、III-122, 2015.9.
- 3) 熊本創・平塚裕介・山本肇・金子哲也：水抜きボーリングの孔内圧力損失を考慮した地下水流動解析手法の開発、大成建設技術センター報、No.47, 23, 2014.

わかりやすい
トンネルの発破技術

トンネル発破技術のバイブル!!

わかりやすい
トンネル発破技術

監修 山田隆昭

B5判 76頁 本体価格1,500円

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

株式会社 土木工学社

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



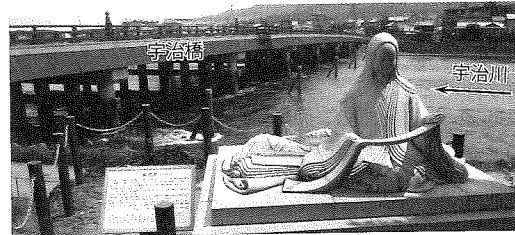
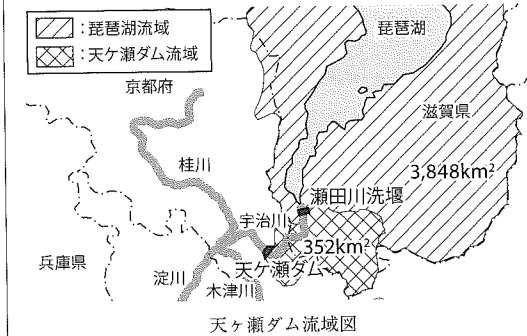
「お茶と源氏物語のふるさと」宇治市

村上正一

日本一大きな湖「琵琶湖」は誰もが知っているところであろうが、流入河川は約120もあるのに流出河川が宇治川(滋賀県内では瀬田川と呼ばれる)1本だけであることをご存じであろうか。その宇治川が平等院付近で京都盆地に顔を出し、その昔には巨椋池に流れ込み、池から流れ出るあたりに木津川、桂川が合流して淀川となっていた。豊臣秀吉が伏見城を築いたときに流路を変更し、以後巨椋池は遊水地の役割を果たしていたが、1933~1941(昭和8~16)年にかけて行われた干拓事業により埋め立てられた。

平安時代、宇治川筋は貴族の別荘地で、源氏物語「宇治十帖」の舞台となった。当時、宇治は宇治川の舟遊びや紅葉狩りなど遊びの地であるとともに、魂の安らぐ宗教的な地でもあった。千年の間、人々に愛されてきた源氏物語はフィクションであるにもかかわらず、その古蹟が宇治に点在している。それから、忘れてはならないのが宇治川にかかる宇治橋で、初めて架けられたのが646年、日本最古の橋と言われており、瀬田の唐橋、山崎橋とともに日本三古橋の一つである。

宇治川は宇治市の中心部を流れており、宇治市は宇治川と深くかかわってきた。まず、恩恵としては、やはりお茶ということになる。お茶は、水はけのよい肥沃な土地を好み、宇治川筋はその適地で、非常に高品質なお茶を産み出してきた。ご存じの「宇治茶」である。宇治茶は鎌倉時代に僧・明恵によって宇治に伝えられたと言われており、織田信長、豊臣秀吉などの庇護を受け、天下一のお茶の産地として名声を獲得してきた。現在では抹茶ブームの先駆けとなっている。



宇治川にかかる宇治橋と紫式部像

一方、苦難としては、水害ということになる。1953(昭和28)年の台風13号の影響で大水害を引き起こしたことにより天ヶ瀬ダムが建設された。しかし、近年では雨の降り方が局所化、集中化、激甚化しており、2013(平成25)年の台風18号でも大きな被害を受けているため、天ヶ瀬ダム再開発事業には下流域住民が期待を寄せている。

その天ヶ瀬ダム再開発事業であるが、天ヶ瀬ダムの左岸側山中にバイパストンネルを築造して洪水調節機能を向上させることで宇治川・淀川の氾濫を防ぎ、琵琶湖沿岸部の浸水被害を軽減することを主目的としている。当該放流設備は、周辺の景観・環境に配慮してすべて地下式となっている。本工事は、主ゲートから吐出された大容量・高水圧の放流水を宇治川に注ぐ前に一気に減勢させるための減勢池部を建設するもので、掘削断面積約650m²、仕上がり内空断面積500m²という超大断面水路トンネルを築造する工事である。断面の大きさに比べて土かぶり小さく、坑口から約80m付近に幅約10mの脆弱な破碎帯が横断しており、さらに周辺に工事ヤードとして有効利用できるスペースがほとんどないという厳しい施工条件を抱えた工事である。現在まだ超大断面掘削の前段階で、今後の難しい大断面掘削を控え、宇治茶を飲んで気持ちを落ち着かせながら事に当たってきたい。

最後に、宇治までは電車で京都駅から20分とかからない。是非宇治へお越しになり、平等院、宇治上神社、源氏物語の古蹟を巡りながら、宇治茶、抹茶スイーツを堪能していただきたい。

(大林・飛鳥特定建設工事共同企業体天ヶ瀬減勢池部JV工事事務所所長)

施工

自然環境と調和した流れ込み式小水力発電所の建設

—九州発電 船間・大川・一ノ谷発電所—

九州発電(株)発電事業部長 川畑雄司
 (株)水力開発コンサルタント設計部部長 福島尚之
 (株)大林組九州支店(元)九州発電船間工事事務所および大川工事事務所所長 井上浩二
 (株)大林組(元)九州支店九州発電船間工事事務所および大川工事事務所土木係 吉田健一

1 はじめに

再生可能エネルギーの一つである小水力発電は、地域・環境問題の起きやすいダムの建設が不要であり、多雨で急峻な気候、地形を持つわが国に適したクリーンエネルギーである。さらに、国内に多数の候補地が見込まれる将来性のある自然エネルギーであり、地域の発展にも寄与するため全国各地で取組みが盛んに行われている。

この小水力発電事業を普及推進するためには、発電施設の建設を現地の地質・地形・地理的条件に応じて、自然環境との調和を取りつつ、最小建設コストで、速やかに発電開始できるかが鍵である。

本稿では、鹿児島県内で現在稼働中の3基の小水力発電所につき、上記の課題を解決するために、現地条件を十分に検討して適切にトンネル(立坑、横坑)を配置し、その施工方法を工夫して建設した事例を紹介する。

2 小水力発電所建設工事の概要

九州発電(株)は、鹿児島県内の豊かな水資源を中山間地域の未利用エネルギーとして有効に活用

し地域の発展に寄与することを目的に、県内を中心に約40か所の可能性調査を行い、小水力発電所の建設計画を進めている。現在まで図-1に示すように、船間発電所(最大出力995kW)、重久発電所(最大出力980kW)、大川発電所(最大出力1,990kW)、一ノ谷発電所(最大出力990kW)、内之浦辺塚発電所(最大出力800kW)の5か所が発電中である。以下に紹介する3基の小水力発電所(船間、大川、一ノ谷)は、いずれも一般河川水をそのまま発電所まで引き込む「流れ込み式水力発電所」であり、写真-1に示すように導水用配管を敷設するための小断面トンネル(立坑、横坑)を建設した。

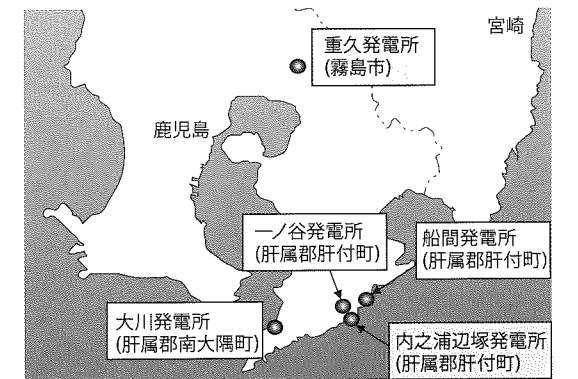


図-1 小水力発電所位置図



写真-1 導水用配管敷設状況(大川)

3 船間水力発電所

3-1 工事の概要と経緯

船間水力発電所は、JAXA内之浦宇宙空間観測所より南西へ12kmに位置し、普通河川である馬口川の水を有効落差205m、流量0.5m³/sの水力にて、最大出力995kW、年間630万kWhで、一般家庭約2,000世帯分の発電を行うものである。

取水堰から発電所までは平面距離で約800mあり、導水用配管は取水堰から国道沿いを開削して配管を設置するが、発電所の上方では高低差155m、勾配45°の急斜面に配管を設置する当初計画であった(図-2)。しかし、この斜面配管については、以下の問題があった。

- ① 斜面の上部に国道が、下部に県道が通っている。その通行量が少ないとはいえ通行止めは不可能なので、施工中の法面安定確保と落石防護措置が必要であった。
- ② 法面の風化が進むと崩壊などが発生し、発

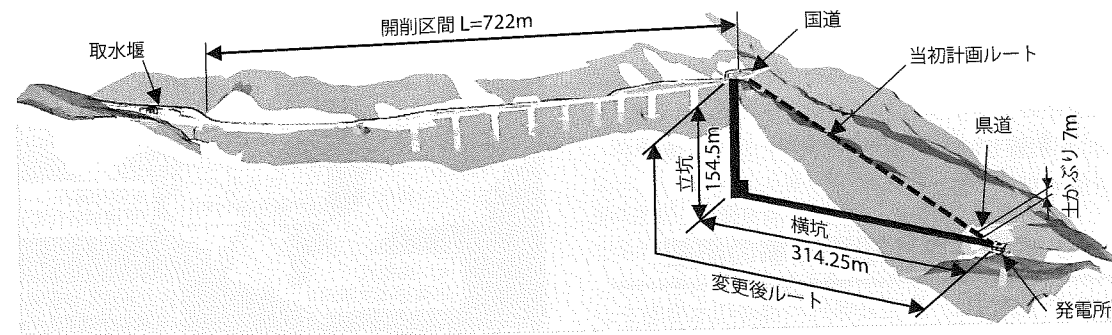


図-2 配管ルート鳥瞰図(船間)

電開始後に多大な維持管理費用と手間がかかる。

そこで、斜面背後に立坑および横坑を施工し、その中に導水用配管を敷設する計画に変更した。具体的には、延長154.5m、直径1,500mmの立坑と、延長314.25m、掘削断面積6.9~16.3m²(幅2.7~4.0m、高さ2.85~4.5m)、勾配0.99%の横坑を全断面矢板工法・発破タイヤ方式で施工し、その中にφ600mmのダクト管または鋼管を通すことにした(図-2)。

トンネル施工上の課題は、立坑の適切な掘削方法の選択と鉛直精度の確保、横坑の効率的な掘削および立坑内の合理的な埋戻しである。なお、工期は2013(平成25)年4月1日~2014(平成26)年7月31日である。

3-2 地質と地形

トンネル区間の地質は、横坑坑口付近が崩積土で自立性が悪かったが、それ以外は中~後期中新世の硬質な花崗岩であった。地形は、立坑上部から横坑坑口にわたり最大勾配45°の急斜面であり、最大土かぶりは161m、横坑坑口部の上方を土かぶり7mで県道が通過する。

3-3 レイズボーラー工法による立坑掘削

立坑の掘削径と鉛直精度によっては、φ600mmの鋼管を立坑内に鉛直配置できなくなるため、堅固な花崗岩に対応可能で、かつ工期、工費、安全性で有利な立坑掘削方法の選択と鉛直精度の確保が課題である。

3-3-1 立坑掘削方法の選択

延長150m余り、直径数mの本立坑掘削に適用

可能なダウンザホール工法とレイズボーラー工法を比較検討した結果を表-1に示す。各工法によって確保できる鉛直精度を考慮すると、立坑管路工に支障のない最小掘削径は、ダウンザホール工法ではφ2,500mm、レイズボーラー工法ではφ1,500mmと想定されるため、工期、工費の面で有利なレイズボーラー工法を選択した。同工法の施工手順を図-3に示す。

3-3-2 鉛直精度の確保

レイズボーラー工法による立坑掘削中の傾斜は、立坑と鋼管の径差を考慮して、自主管理値を0.3%、規格値を0.55%に設定した。横坑の掘削後、パイロット掘削は5mm/min(日進6.6m)の低速で慎重に施工し、写真式を4回とジャイロ式を1回、計5回の孔曲がり測定を行って鉛直精度を管理し

表-1 立坑掘削工法の比較一覧(船間)

工法	ダウンザホール工法	レイズボーラー工法
掘削径(最小)	φ2,500mm	φ1,500mm
工期	△	○
工費	△	○
安全性	○	○
鉛直精度	中	高
総合評価	△	○

た。各測定方式の特徴を表-2に、測定結果を表-3に示す。

一般的に、立坑の鉛直精度はパイロット掘削時にスタビライザが孔内にすべて挿入された時点

表-2 ボーリング孔曲がり測定方式の特徴(船間)

方式	写真式	ジャイロ式
測定原理	ボーリング孔の傾斜方向をフィルムで撮影する	水平・鉛直方向で孔曲がりを連続的かつ高速に計測する
測定方法	コンパス付きのカメラを所定の深度まで降下・静止させ、フィルムにコンパス画像を照射させる	2軸スピンモータージャイロと加速度計を内蔵した計測器をケーシング管に沿ってトレースさせて、角度変化を計測する
測定精度	低い (∵1目盛りが約0.3°=0.52% (20分)で、それ以下は目測で判断のため)	高い (±0.1°=±0.17%)

表-3 立坑パイロット孔曲がり測定結果(船間)

日付	測定深度(m)	傾斜(%)	測定方式
9月23日	6.5	0.0	写真式
9月24日	13.5	0.2	写真式
9月25日	16.7	0.3	写真式
10月1日	0.0~29.5	0.2	ジャイロ式
10月12日	80.0	0.3	写真式

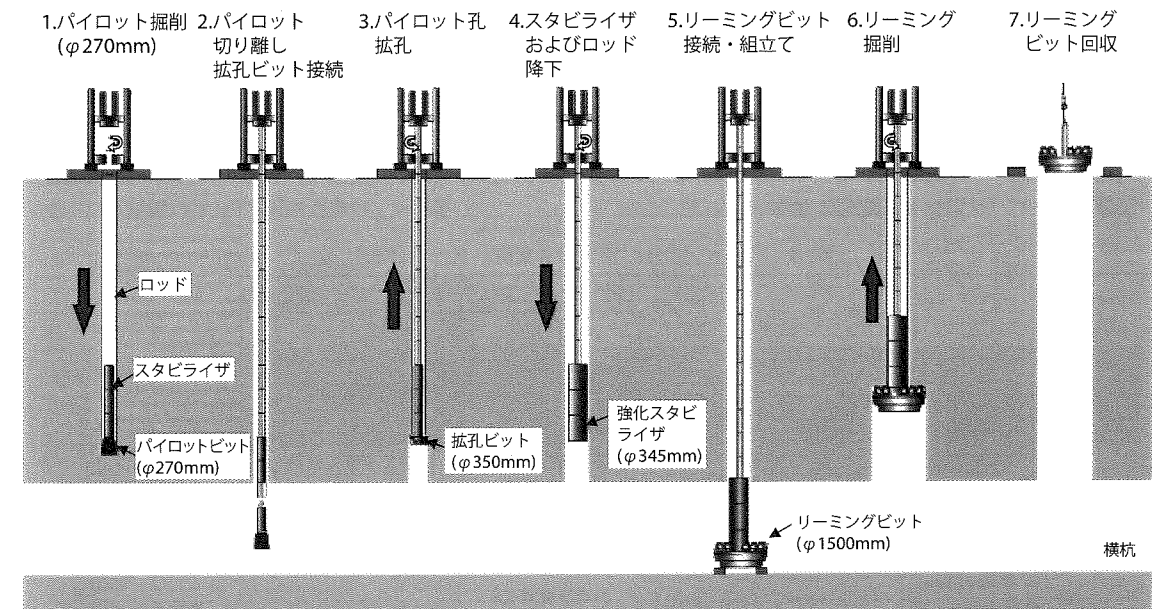


図-3 レイズボーラー工法の施工手順(船間)

(スタビライザ長=1.5m×10本より、深度15m)でほぼ確定する。そこでまず、掘削深度16.7m地点でパイロット孔の傾斜を写真式で測定した結果、自主管理値の0.3%を示した。次に深度29.5m地点で、ジャイロ式により孔口から孔底まで連続的に高精度で測定したところ、0.2%と自主管理値以内であることが確認できた(図-4)。最後に深度80m地点で写真式により確認した結果、傾斜は再び0.3%と自主管理値に収まった。立坑延長の約半分の深度でパイロット掘削は円滑であったことから、最終深度の155mまでは自主管理値を超過しないと判断し、推力を抑えながら低速度で横坑に貫通した。なお、リーミング掘削完了時の最終的な立坑の鉛直精度は0.17%であった。

3-4 ロックボルトと溶接金網の支保による横坑掘削

小断面の横坑は、坑口から当初どおり矢板工法

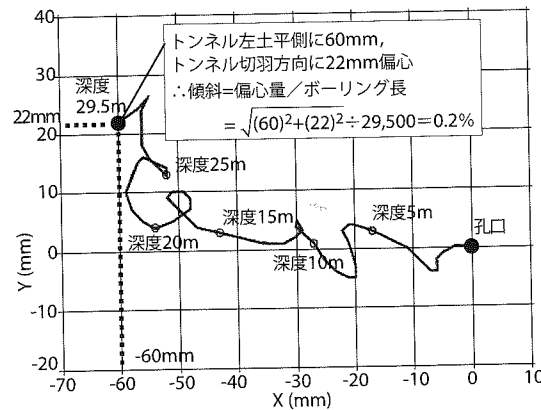


図-4 立坑パイロット孔鉛直精度測定結果(船間)

にて掘削を開始したが、距離程50m以奥で亀裂の少ない硬質花崗岩が連続して出現したため、鋼製支保工(H-100×100@1.5m)と掛け矢板の必要性が低減した。そこで、この地質状況下の支保工は、水路トンネルの標準的な支保パターンにおけるトンネルAタイプを採用した(表-4)。ただし、無普請では発破後に地山が緩み落石事故のおそれがあるため、天端部にロックボルト(D25, L=1m)と溶接金網(φ6×50×50mm, φ2.6×100×100mm)を施工して落石を防止した(写真-2)。

施工の結果、鋼製支保工と掛け矢板がなくなり掘進速度が日進6mから日進8mへ33%向上するとともに、6割余りの材料コスト削減を実現した。

3-5 砂による立坑埋戻し

当初設計では、エアモルタルで立坑内を埋め戻す計画であったが、施工にあたって以下の問題が

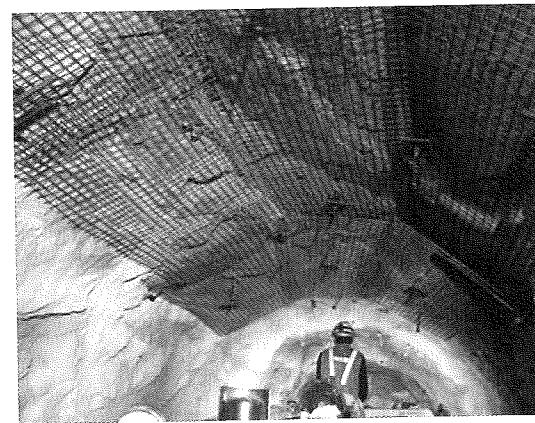


写真-2 横坑天端部支保状況(船間)

表-4 水路トンネルの標準的な支保パターン(船間)¹⁾

トンネルタイプ	地質状況	矢板工法による場合	
		支保工	ライニング
A	亀裂の少ない新鮮な岩	無支保またはロックボルト	無筋コンクリートまたは吹付けコンクリート
B	亀裂のあるやや風化した岩または軟岩	鋼製支保工(アーチ、側壁とも掛矢板)	無筋コンクリート
C	風化岩、破碎帯、硬土	鋼製支保工(アーチ：送り矢板、側壁：掛矢板)	無筋コンクリート
D	著しい風化岩、断層破碎帯、軟質土砂など	切羽が自立する地山	無筋コンクリートまたは鉄筋コンクリート
		切羽が自立しないために鏡止めが必要となったり、支保工が沈下したり、押し出しがあるような地山	

あった。

- ① 立坑内に布設するφ600mm鋼管と坑壁のクリアランスが最小で12cm程度しかないため、トレミー管(φ300mm)を使用できない。
- ② 立坑内に全長150mの打設用ホースを下ろす際に、坑壁との摩擦により途中でホースが切断するおそれがある。
- ③ エアモルタルは打設高さが大きいと気泡が自重で壊れるため、打設速度が2~3m/日と小さい。
- ④ 坑壁からの湧水によりエアモルタルの品質が低下する。

そこで、埋戻し材料の見直しが必要となり、当工事の立坑内配管工に関する設計基準の一つである「土砂による埋戻し方法」の適用性を検討した。鋼管周辺を砂で埋め戻した場合、立坑内への湧水が下方の横坑内へ排水されるため鋼管に外水圧は作用しない。砂による水平土圧は鋼管中心に向けて作用するが、等分布なので鋼管耐力に及ぼす影響はほとんどないと判断し、埋戻し材料として砂を選定した。

実施工では、水締めを行いながら1時間あたり約5m³(10tダンプトラック1台分)のペースで砂を立坑内に投入し、1日の埋戻し高さを約24mに設定した。5日間で砂による埋戻し作業(H=145m)を完了し、立坑上部の10m区間は鋼管の固定やエルボー管にかか

るスラスト力を考慮してコンクリート打設した。施工の結果、約1か月の工期短縮と約80%の施工コスト削減を実現した。

4 大川水力発電所

4-1 工事の概要と経緯

大川水力発電所は、本州最南端の佐多岬より北東へ15kmに位置し、普通河川である大川の水を有効落差201m、流量1.3m³/sの水力にて、最大出力1,990kW、年間1,000万kWhで、一般家庭約3,000世帯分の発電を行うものである。

取水堰から発電所までは平面距離で約1kmあり、その間は急峻な崖となっている。このため、山間部は船間発電所と同じく立坑(レイズボラー工法)および横坑(全断面矢板工法・発破レーン方式)を施工し、その中に導水用配管φ800mmのダクタイル管または鋼管を設置する計画とした(図-5)。

横坑の平面線形は、中間点で大川の直下を通過することと、坑口付近は土かぶりを確保しつつ斜面と直交させるため、中間部に曲率半径140mの曲線を伴い延長565.7mである(図-6)。掘削断面

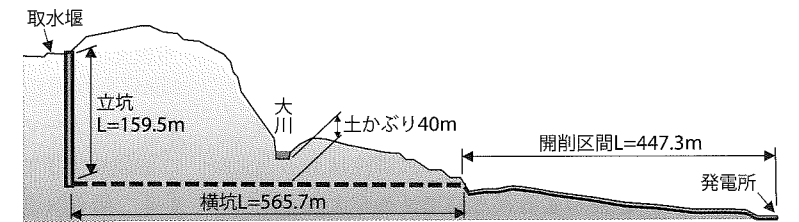


図-5 配管ルート縦断面図(大川)

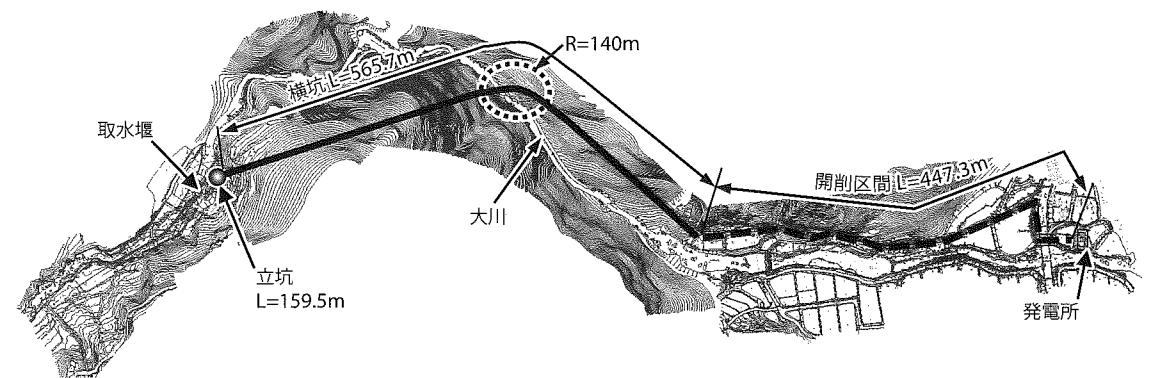


図-6 配管ルート平面図(大川)

積は5.4~18.8m²(幅2.2~4.85m, 高さ2.7~4.4m), 勾配は0.5%である。また、立坑は延長159.5m, 直径1,850mmである。

トンネル施工上の課題は、横坑の安全なずり運搬と効率的な掘削、および横坑内の合理的な鋼管の固定と防護である。なお、工期は2014(平成26)年10月27日~2016(平成28)年8月31日である。

4-2 地質と地形

トンネル区間の地質は、旧崩壊地形に位置する横坑坑口付近が崩積土、それ以外は中~後期中新世の硬質な花崗閃緑岩であった。現場周辺は外輪山地形を呈しており、

山が急峻である。最大土かぶりは190m, 横坑中間部の上方を土かぶり40mで大川が通過する。

4-3 レール方式による横坑ずり処理

ずり処理計画は、トンネルの掘進速度を支配する大きな要素であり、とりわけ施工機械のサイズが制約を受ける小断面の場合は、ずり運搬方式を適切に選定する必要がある。本横坑の施工条件に対して、ずり運搬方式を比較検討した結果を表-5に示す。

前述の船間で採用したロードホールダンプを用いたタイヤ方式は、設備が簡易で経済性ももっとも有利だが、船間の2倍弱と施工延長が大きく、途中で曲線区間のある本横坑では、走行中にダンプが側壁へ衝突するおそれがあり安全性に劣る。また、大川直下では湧水の発生が予想され、ダンプの往来で生じる路盤の不陸箇所やダンプがバウンドし、運転手が坑壁に接触するおそれもある。さらに、排気ガスの発生により換気面でレール方式に劣る。

連続ベルトコンベヤ方式は、設備費用が大きく、硬岩破砕用のクラッシャーが坑内に必要のため、トンネル断面が大きくなり、経済性と工期が不利となる。

一方、レール方式は、設備費用がかかるものの、

表-5 ずり運搬方式の比較一覧(大川)

ずり運搬方式	タイヤ方式	レール方式		ベルトコンベヤ方式
使用機械(積込み)	ロードホールダンプ	シャフローター		サイドダンプなど
使用機械(搬出)	同上	シャトルカー	ずり鋼車	ベルトコンベヤ・クラッシャー
断面	△ (W=3m程度)	○ (W=2.2m)	△ (W=2.2m) (途中拡幅あり)	×
コスト面	◎	△	△	×
安全性	×	○ (運行管理でリスク低減)		△
湧水への対応	×	○ (多量湧水の場合、路盤が傷む)		○
換気面	×	○		△
総合評価	△	◎	○	×

軌道点検保守と運行管理を適切に行うことで災害発生リスクを低減でき、バッテリー機関車の採用により排気ガスが発生せず坑内作業環境が良好となる。

以上より、本横坑のずり運搬方式はレール方式(17m³積みシャトルカー, 12tバッテリー機関車)を採用した。施工の結果、30kgレールとH-150まくら木の軌道設備(軌間762mm, まくら木間隔1.5m)を確実に敷設し十分に保守したことにより、シャトルカーの脱線などによる工程遅延なく安全に掘削を完了できた。

4-4 長孔・制御発破による横坑掘削

比較的大きな断面のトンネルで発破掘削を行う場合、通常はVカット芯抜きが採用されるが、小断面の本横坑では2ブームレールジャンボのドリフターのガイドシェルが坑壁にぶつかるため採用できない。そのため、平行に芯抜きする大孔径バーンカット芯抜き(空孔φ105mm×2孔)を採用した。発破パターンを図-7に示す。

そのメリットは小断面の長孔発破に適していること、デメリットは正確な穿孔精度が要求されること、火薬量が増大することである。また、周辺地山を傷めず坑壁面を平滑に仕上げることを目的に、最外周孔に紙筒スペーサを用いて空隙を設

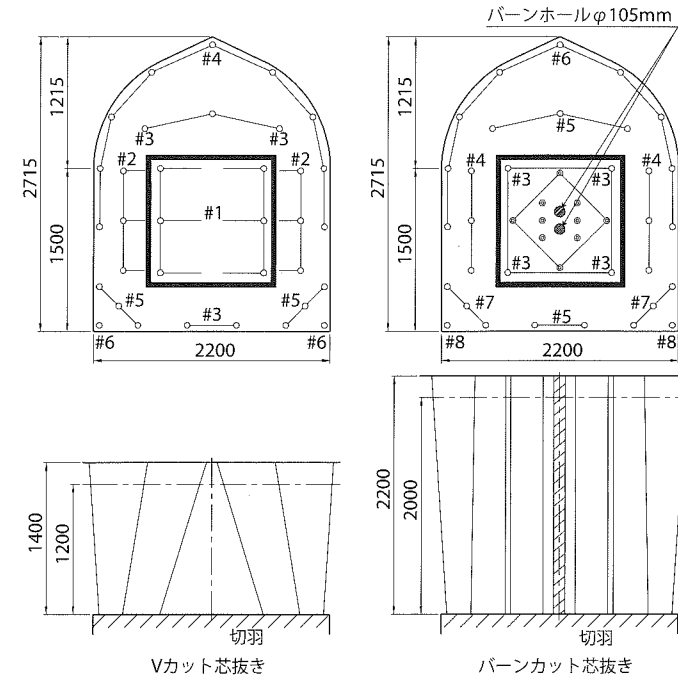


図-7 発破パターン比較図(大川)

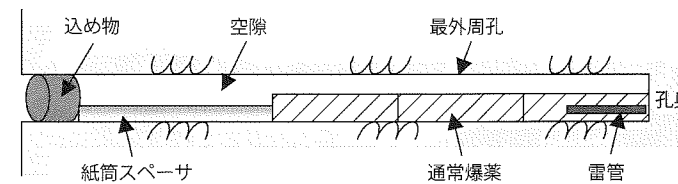


図-8 体積デカップリング法(大川)

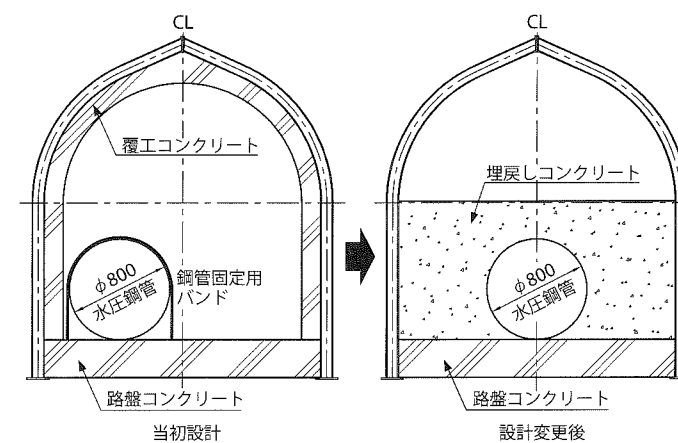


図-9 横坑構造図(大川)

けることで孔体積あたりの装薬量を小さくする、体積デカップリング法によるスムーズプラスティング工法を採用した(図-8)。

この方法は、通常爆薬よりも細長いSB爆薬を用いる孔径デカップリング法とは異なり、通常爆薬のみを使用するので火薬類の管理で煩わしさがなく、材料コストも微増で済む。施工の結果、定規を用いて芯抜き部の平行穿孔精度を向上し、穿孔長と孔間隔を正確に保持し、爆薬を孔口まで密装填することで、最大2mの1発破進行長を安定して実現できた。

なお、バーンカットでは芯抜き部からのずりが小割りされるため、シャフローターによるずり積み込み効率の低下がなかった。

また、スムーズプラスティング工法により、余掘りの低減、掘削面の平滑化、肌落ちの抑制が達成され、無駄なく安全に掘削できた。

4-5 埋戻しコンクリートによる水圧鋼管の固定と防護

当初設計では、横坑掘削完了後に、覆工コンクリートおよび路盤コンクリートを打設し、差し込み式のφ800mm鋼管をバンド固定する計画であった。しかし、地山がA~B級の硬岩地山のため、覆工コンクリートなしでも横坑は長期安定性の確保が十分期待できることから、覆工コンクリートを埋戻しコンクリートに変更して合理化を図った(図-9)。

なお、この変更はR140m曲線区間での遠心力による鋼管の横移動抑制、発電所水車を緊急停止する際に配管へ作用するウォーターハンマー対策、埋戻しによる鋼管腐食抑制の観点で当初設計よりも非常に効果的である。

施工の結果、移動式型枠を用いた覆工作業の省略により約94日(=当初108日-変更14日)の大幅な工期短縮と約15%の施工コスト削減を実現した。

5 一ノ谷水力発電所

5-1 工事の概要と経緯

一ノ谷水力発電所は、船間発電所の南西3kmに位置し、辺塚地区を流れる一ノ谷川の水を有効落差195m、流量0.615m³/sの水力にて、最大出力990kW、年間600万kWhで、一般家庭約2,000世帯分の発電を行うものである。

取水堰からヘッドタンクまでは延長345m、掘削断面積6.7~7.4m²(幅2.9~3.0m、高さ2.7~2.8

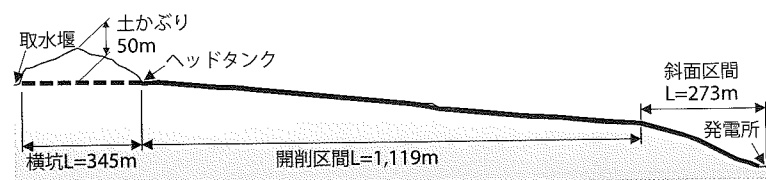


図-10 配管ルート縦断面図(一ノ谷)

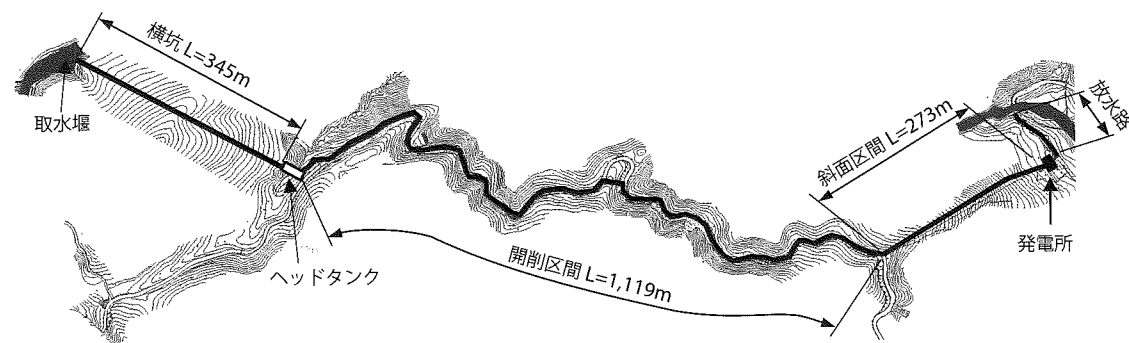


図-11 配管ルート平面図(一ノ谷)

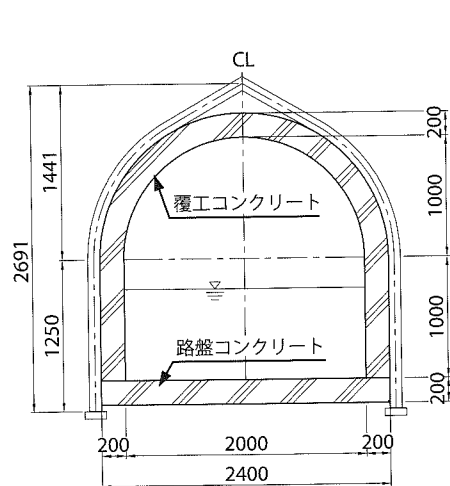


図-12 当初計画の横坑構造図(一ノ谷)

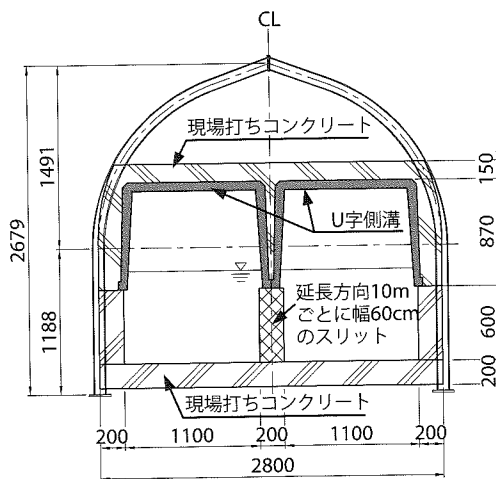


図-13 変更後の横坑構造図(一ノ谷)

m), 勾配0.029%の横坑を全断面矢板工法・発破タイヤ方式で施工する(図-10)。ヘッドタンクから発電所までは水平距離が1km余り、高低差が約200mと大規模のためトンネルは設けず、県道と斜面沿いに導水用配管φ600mmのダクタイト管または鋼管を設置する計画とした(図-11)。

横坑の掘削は船間発電所と同じ発破・タイヤ方式で行ったが、導水方式は船間・大川発電所の水圧管路とは異なり内水圧の作用しない開水路である。横坑は掘削後、セメントを用いた覆工と路盤を現場打ちコンクリートで施工する当初計画であったが(図-12)。

- ① 僻地であるため最寄りの生コン工場からのコンクリート運搬が困難かつ高額

であった。

- ② 人手不足から移動式型枠の扱いに長けた作業員の確保が困難であった。

- ③ 覆工期間中は坑口付近に位置するヘッドタンクの施工ができないため、全体工期の短縮が図れない。

といった問題があり、覆工方法を再検討する必要があった。なお、工期は2015(平成27)年1月5日~2017(平成29)年7月31日である。

5-2 地質と地形

横坑区間の地質は、船間発電所と同じ中期~後期中新世の硬質な花崗岩であった。山の中腹を直線で貫き、最大土かぶりは約50mである。

5-3 現場打ちとプレキャストによる開水路の構築

当初設計では、横坑掘削完了後に、移動式型枠を用いた覆工コンクリートおよび路盤コンクリートが計画されていたが、前述の問題点を考慮して、横坑天端部を吹付けコンクリートで覆い、3面水路を現場打ちコンクリートで構築する方法へいったん変更した。しかし、横坑掘削の結果、ロックボルト・溶接金網による支保区間の余掘りが設計より大きく、坑内湧水が多量であったことから、コンクリート材料と防水処理の費用が増大したため、工事費が予定額を上回る公算が大となった。また、横坑の着工が遅延したため掘削完了後の工期短縮も必要となった。

そこで、コンクリート数量削減と地元作業員で対応可能な開水路の構築方法を検討した結果、図-13に示すとおり、路盤と側壁下部は鉄筋組立て後に合板型枠を用いてコンクリートを現場打ちし、その上部に二次製品のU字側溝を上下逆さまにして敷設し、最後に側溝の周囲を現場打ちコンクリートで被覆する工法を採用した。ロックボルト・溶接金網による支保区間の周辺地山は先行工事と同様にA~B級の硬岩地山であり、十分にコックしているため、供用中に大きな肌落ちが発生する可能性は小さいと判断できる。しかしながら、万一の肌落ちによりU字側溝の片方が破損した場合、残りの側溝が損傷を受けずに水路機能を確

保できるよう、中央壁に延長方向10m間隔でスリット(奥行600mm)を設けた。移動式型枠工や吹付けコンクリート工といった特殊作業が不要な本工法を普通作業員により施工した結果、本工法は当初設計の移動式型枠を用いた覆工に比べて、約1.5か月(=当初4.5か月-変更3か月)の工期短縮を実現できた。

6 CIMの活用

船間および大川発電所では、最近トンネル建設で適用が増えているCIM(Construction Information Modeling/Management)を以下の目的を図るために導入し(図-14)、効果を上げた。

(1) 施工前の設計検討ツール

3Dモデルにより施設全体を可視化することで、土建や設備など関連する複数の業者による必要な設計検討項目の抽出や施工時期の調整、最終収まりを同時に認識できた。その結果、設計と施工とのスムーズな連携に効果があった。

(2) 施工中の作業周知ツール

構造物の最終形状や配置、周辺状況などを可視化できるため、安全かつ効率的な作業計画を行うことができた。その結果、作業性と安全性が向上した。

(3) 施工後の維持管理ツール

発電開始後は発電停止期間をいかに少なくするかが事業としてもっとも重要である。したがって、発電施設にトラブルが発生した場合、その原因特定と対応をできるだけ早く行う必要がある。そこ

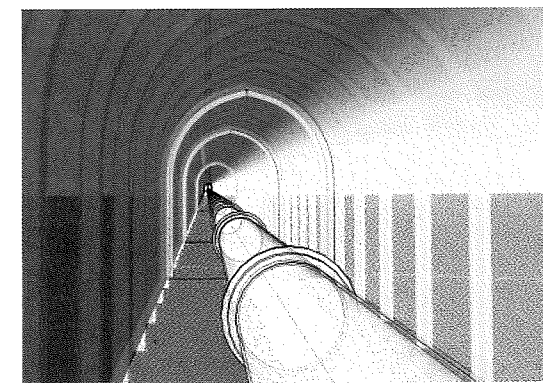


図-14 CIMの3Dモデル(船間の横坑)



図-15 CIMの操作画面の例(船間のヘッドタンク内部)

で、3Dモデルに施工記録、施工写真、設備マニュアルといったインシャルデータに加えて、点検記録、部品交換記録といったメンテナンスデータも追加できるシステムとした(図-15)。

(4) 第三者へのプレゼンツール

3Dモデルにより施設全体を可視化することで、施工中の出資者や地元住民など見学者に対して、理解を深めてもらうことができた。

7 おわりに

九州発電(株)は、合計5基の小水力発電所で現在順調に発電中であり、2017年度中に鹿児島県外にて6か所目を着工予定である。また、2018年度以降に県内外を含めて15か所の候補地で事業化に向けた開発を順次行う予定である。

本稿で紹介した3基の小水力発電所建設工事では、現地条件を十分に検討したうえで適切にトンネル(立坑、横坑)を配置し、硬岩地山の特長を活かして施工方法を工夫した結果、安全性を確保しながら工期短縮とコストダウンを図った。今後の小水力発電の普及発展に向けて参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 農林水産省農村振興局整備部設計課：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」, p.27, 2014.

山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著

B5判 183頁 上製本 本体価格3,200円

山岳トンネルを設計するうえでの考え方は勿論、設計の留意点などを平易にまとめている。山岳トンネル工事に携わる諸兄の必読書である。

主要目次

山岳トンネル技術の要素と変遷/トンネル掘削による周辺地山の挙動/岩石の特性/トンネルと地質/トンネルの線形/断面の設計/支保構造物/吹付けコンクリート/ロックボルト/鋼アーチ支保工/覆工/切羽の安定/掘削工法・掘削方式の選定/併設トンネルの設計/特殊地山/坑口の設計/環境対策

株式会社 **土木工学社**

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

第九十四回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

人生の大半をトンネル屋として過ごして

トンネル一筋40年あまり 土屋 敏郎

(元)株)フジタ

はじめに

私が大学2年当時だからもう45年以上も前のこと、4か月ほど欧州を放浪したことがありました。そのとき、パリの凱旋門の前で、さる大手ゼネコンのダム部長と知り合うことができ、意気投合して近郊のダム現場に招待までしてもらいました。初めてダムの現場に行ったわけですが、現場を見てしびれました。「ダム造りが天職となる!」と、そのとき強く思いました。

「未来をひらくフジタ工業」のキャッチフレーズと土曜休日を真っ先に取り入れた建設会社であるということに魅せられてフジタ工業(株)に入社を決め、大学を卒業して「さあ、ダムを造るぞ」と勇躍上京しました。

新入社員として東北地方に 従事した10年

しかし、世の中は山陽新幹線の建設がほぼ終了し、東北新幹線の

建設が軌道に乗り始め、東北で多くの新幹線トンネルの現場が躍動した時期でした。入社して、東北支店赴任辞令をもらい、支店に行くことや新幹線の福島トンネルへ行けとのこと。ダムに行きたいのにも思いながらも、トンネル現場に赴任しました。

温暖な気候の広島出身の私には、4月の東北は、まだ肌寒く感じました。しかし、5月の連休ごろになると、東北といえども非常に暑かったのが印象的でした。トンネルの現場はほぼ24時間稼働しているため、当時は休日が少なく、月2回の日曜日だけといった状況でした。とくに最初の3か月間は、月2回の日曜日でも測量作業に当てられ、休日が取れませんでした。そのお陰で、安月給の割にはお金を使う暇もないため、1年後には自家用車(中古車ではありませんが)を現金で購入することができました。

2年間ほど新幹線のトンネルに従事しましたが、この期間がフジ



著者近影

タにおけるトンネル屋としての私の人生を決定づけました。もちろん当時のことですから在来工法でしたが、私にとってトンネルの基礎を植えつけてもらった重要な時期になりました。

その後、6年ほどの間にダム現場にも3現場に行きましたが、仮排水路トンネルや、坑門工の設計など、ダム本体の工事ではなく、ほとんどトンネルの仕事でした。東北のダムですから、有数の積雪地の場合もあり、積雪量はなんと6mにも及び、冬季間の3か月は除雪が間に合わず、毎年国道を閉鎖する地域もありました。また、この時期はJVサブの仕事が多く、他社の作業服を着用しての仕事になりましたが、一所懸命仕事をしていれば他社の職員であれ、皆が認めてくれることがわかりました。ちなみに、ここでの仲間との付き合いは現在も続いています。また、



東北新幹線福島トンネルの脚付きコンクリート

この地方の積雪の多さやそこで生活する人間のたくましさには感動を覚えました。

東北地方の最後の2年は津軽トンネル工事に従事しました。これもJVサブの現場であり、青函トンネルへの本州側からのアプローチトンネルで亀飛岬のすぐ手前のトンネル工事でした。非常な極

著者略歴

昭和49年	広島大学工学部土木工学科卒 フジタ工業(株)((現)株)フジタ入社 東北新幹線福島トンネル桑原工区工事
昭和54年	前川治水ダム建設事業導水路工事(第一工区)
昭和55年	下湯ダム本体建設工事
昭和56年	七ヶ宿ダム本体建設工事
昭和57年	津軽本津軽トンネル(二股)其他工事
昭和59年	山陽自動車道五日市トンネル工事
昭和63年	山陽自動車道神村トンネル工事
平成4年	道路改良(新熊居トンネル)工事
平成6年	道路改良(上二河トンネル)工事
平成9年	休山トンネル西工事
平成13年	広島支店土木部主席コンサルタント
平成19年	本社土木本部トンネルシールド部長
平成22年	国道115号橋這トンネル工事
平成24年	(株)フジタ退職 藤友工業(株)代表取締役就任 現在に至る



津軽トンネル貫通時(握手している左側が著者)



五日市トンネルAパターン

ルを、小崩落こそ何度かあったものの、落盤もなく無事掘ることができました。この沿線のほかの4JVがすべて落盤などにより工事中断を余儀なくされていたのに比べ、当JVの技術力の高さを示すことができました。これは、事前

水抜きボーリングの計画や実施の成功、何度も施工検討を重ねたうえでの掘削工法の決定の成功、小崩落時の対策など、配置職員およびスポンサー会社の支援部署の努力の結果であったと考えられます。ここで私は、現場担当者のチーフ

として中心的な大役を果たしました。入社10年間の在来トンネルの集大成がここにあったと言っても過言ではありません。

広島支店への転勤

入社10年を経て、広島支店へ転勤となりました。私にとっては初めて他支店への転勤でした。広島は私の地元でもあり、しかも新設の高速道路トンネル(山陽自動車道五日市トンネル)への配置換えであったため、ようやく念願がかなったと非常に張り切って現地に乗り込みました。ところが同じトンネル工事とはいっても、それまで在来工法一辺倒であったのがNATMの導入時期の少々あと、ということで、当トンネルはフジタ工業では3本目となるNATMで設計されていました。在来工法で培った私の今までの実績が無と化したと感じ、大変なショックを受けました。

NATMという工法は、私にとってはこれまでのトンネルの考え方と180°違った考え方でした。在来工法では、加背をあまり大きく取らず、地山に対して矢板と鋼製支保工を使用して力に対抗するのに対し、NATMは吹付けコンクリートとロックボルトを使用し、変位を許容しながら断面を大きく取ることが大きな違いです。しかし、当初は吹付けコンクリートにより壁面が隠れてしまい、また矢板などなく、大きな空間に放り込まれるという感覚で恐怖さえ感じました。このため、当時の先輩ともども、一から勉強のやり直しが

必要となり、無我夢中で新工法に取り組みました。また、計測しながらトンネルを掘削する、という点には高い合理性を感じ納得しました。

そうはいつても、施工開始後、半年もすれば、考え方や管理手法・施工方法は確かに違うものの、現場の管理自体は共通する部分が多く、これまでの経験は無駄でないことがわかり、それからはマイペースでの管理ができました。東北支店で、在来工法をマスターし、このトンネル施工からNATMの基礎を習い始め、以降のトンネル施工により現在のトンネル屋としての私が完成したと自負しています。

五日市トンネルでの施工上のもっとも印象に残ったのは、今となってはお目にかかることが皆無となったともいえるAパターンを200mほど掘削した点です。当時のAパターンは、支保部材は厚さ5cmの吹付けコンクリートを上半のみ、ロックボルトはもちろんなく、下半に至っては無支保で地山がむき出しでした。また、防水シートも設置せず、覆工コンクリートのアイソレーションとして不織布を貼り付けるだけであり、あまりに簡単な構造のため当初は本当にびっくりしました。

その後、2年間支店にあがってトンネル工事などのサポート業務に従事したあと、念願のトンネル現場に復帰しました。ひとつは単独(神村トンネル)で、もうひとつはJVスポンサー工事(三平山トンネル)であり、両トンネルとも

次席という立場で従事しました。

神村トンネルでは、反社会的勢力に目をつけられ、その対応に苦慮しました。また、濁水プラントの不具合により、希硫酸を芦田川という一級河川の支線に流してしまい、魚を数百匹も浮かせてしまったことがありました。職員、作業員を総動員して対処し、事なきを得、警察など関係官庁への了解も得ていたのですが、新聞に大きく書き込まれ対応に苦慮したことが、苦い思い出となりました。

三平山トンネルでは、何度も発生した切羽崩落の対処、私が担当した中で初めての労災事故(全治3か月の頸椎骨折)の対応が、大きなエポックとして心に残っています。

いずれのトンネルも、当時の広島支店を代表するトンネル工事であり、次席として工事責任者の立場で施工を行ったことで、大いなる自信となりました。

初めての現場所長

40歳を目前にして初めて現場所長(新熊居トンネル)を拝命しま



熊居トンネル湧水状況

した。新入社員時に、当時の大現場の所長が軒並み40歳前後であったため、私も40歳には所長になりたいという夢を抱いていましたが、現実となりました。同年代を見ると、この時期所長になったのは決して早くはありませんでしたが、ほかの皆さんが3~4億の現場所長であったのに対して、工期3年で28億(JV工事でF60%)の現場とまずは大きい現場の所長であったので、張り切って臨みました。

しかし、いざ現場が始まるとこれまでの経験のおかげで大した気負いもなく、淡々と職務をこなすことができました。ここでも、当初は反社会的勢力対応に苦慮し、施工では下り勾配という中で湧水と小崩落が多い地山に苦勞しました。とくに湧水については、切羽から100m坑口よりまで水没したことがあり、150t/hの濁水処理設備を導入しても間に合わず、清濁分離により事なきを得ました。

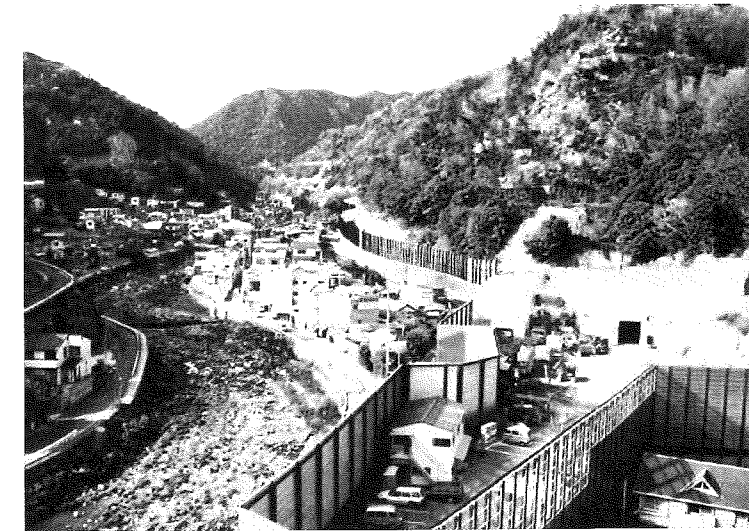
こういう状況でしたが工事自体は非常に順調に進み、優秀な成績でトンネル工事を終えることがで

き、発注者、JVの相手先から高評価をいただくことができました。ただし、トンネル本体工事を終わらせ仕上げ工事を残した段階で、次席に引継ぎをして次の現場へ移動となったのは大変残念でした。というのも、工期を半年以上残して終了させ、のんびりと仕上げ工事を楽しむ予定がパーとなってしまったからです。

呉市における3現場

ここからの7年間は私の人生の中で、会社に一番貢献できた時期と考えています。広島県内でしかも生まれ故郷である呉市内で、3件のトンネル工事を施工させてもらったのですが、上二河トンネルがその皮切りとなりました。

上二河トンネルは呉市の住居部におけるトンネル現場ということで、開始前から地元住民からかなりの苦情があり、当初はかなり苦勞をしましたが、作業開始前後の対応が良かったため、誠意を認め



上二河トンネル坑口

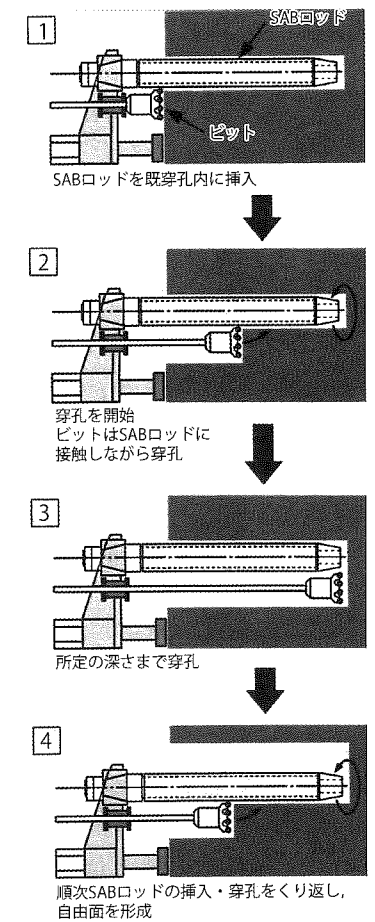
ていただき、なんとか無難にスタートを切ることができました。

この現場は、トンネル直上が法面となっており、その法面に巨岩の転石があり、今にも落ちそうな状況でした。さらにはその法面下には県道と民家が点在していたため、その巨岩の落石防止をしたうえで、設計段階よりトンネルを発破作業なしで掘削するという工事でした。

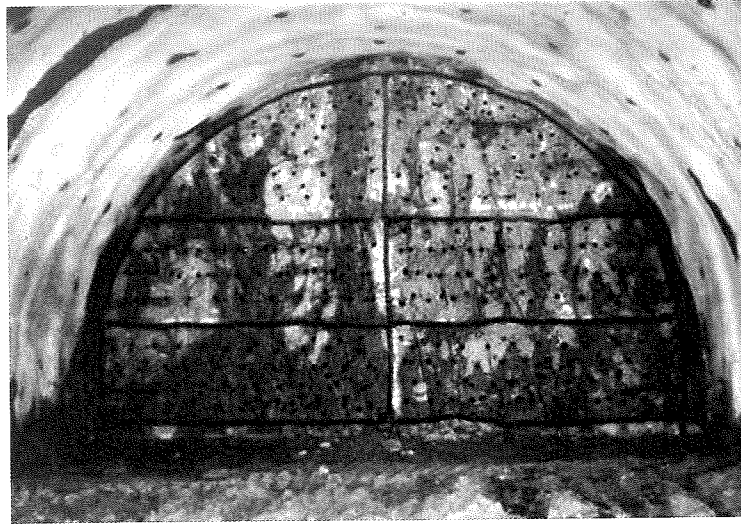
巨岩の防止対策工では、100~400kg/個の材料を350個、計70tの鋼材を山の急斜面に約20か所運搬しましたが、その運搬のためにヘリコプターを1か月おきに3回(3日)飛ばしました。市街地でのヘリコプター飛行のため、谷を挟んだ反対側の山のふもとに地元の人々が集まり、ヘリコプターが近づいてくたび拍手喝采をして、見学していたのが印象的でした。

トンネル作業は、非常に硬い、部分的には圧縮強度200MPaを

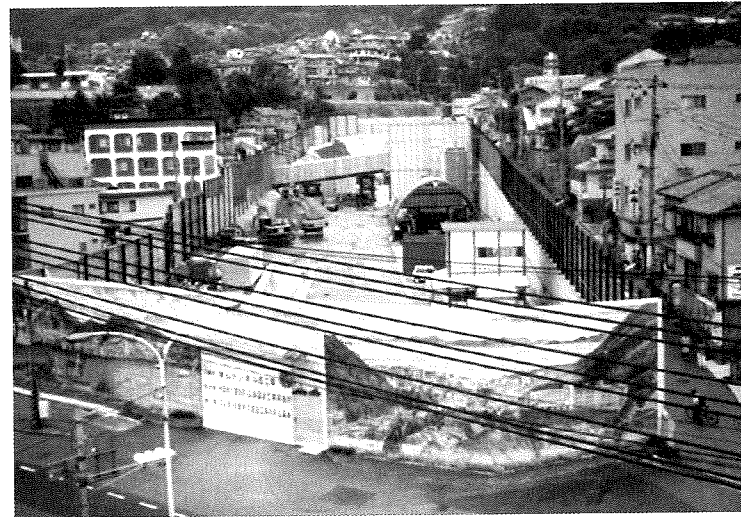
超過するような花崗岩を無発破作業で掘削するというので、困難を極めました。設計では、切羽に自由面を形成後、ブレーカーで掘削する工法になっていました。自由面を形成するために多連ドリルを有したドリルジャンボを使用することになっていましたが、多連ドリルのみでは、ロックボルトの打設やブレーカーで掘削できない場合の割岩孔を穿孔することができないので、汎用のドリルジャンボをもう1台必要になります。このため、なんとか汎用のドリルジャンボで自由面を形成できない



FONドリル工法



FONドリル工法施工後の切羽



休山トンネル作業ヤード

か、ということで施工検討会を幾度となく積み重ね、FONドリル工法という新工法を開発してこの難関に挑みました。

FONドリル工法という発想を得てから施工するまでは約半月という短い時間で可能でしたが、本格的な新工法としての完成までには、試行錯誤をくり返しながらか半年を要しました。その後、掘削完了までの2年間でアップグレード

し、特許申請も12件行いました(そのうち、特許成立は6件)。この開発のおかげで工期を半年以上残して竣工しました。このFONドリル工法は、当現場終了と同時に協会を立ち上げ、普及活動ならびに営業を行っています。ちなみに、FONドリル工法はほぼ毎年どこかの現場で使用されており、現在では20現場以上の実績となっています。

次の赴任地である^{やすみやま}休山トンネルは、延長1,700m(当社JVは1,050m施工)の大断面トンネルで市街地の真っ只中に位置していました。そのため、坑口から500mを超えるまでは、上二河トンネルと同様に無発破工法となりました。ちなみに、トンネル沿線からの離隔が500m以内に3,000件もの民家があるほどの市街地でした。したがって、坑口部の仮設ヤード(約7,000m²)はすべて防音壁で囲ったうえで、騒音、振動、大気汚染、水質汚濁、地盤沈下のすべての公害対策を余儀なくされました。このため、環境問題についての意識に目覚め、坑外についてはこれらの対策を講じるとともに、坑内環境の向上も目指し、送・排気組み合わせ式換気方式を採用するとともに、エアミスト散布による集塵や、坑内騒音対策などにも取り組みました。また、意識向上を目的とし、各種の公害防止管理者資格も取得したものです。

掘削については、無発破掘削の区間の地質が上二河トンネルほど硬くなかったため、250kW級の自由断面掘削機での掘削が可能であり、かなり効率的に施工できました。

技術面では、無発破区間での一部FON工法の採用、新しい制御発破工法の開発、前方地山探査法の実験などを行いながら施工しました。

坑口部の補助工法の設計変更には発注者主催の事前施工検討委員会の7名の先生方と協議を3回行い、当方の提案した方針どおりの

本社の部長として

その後、本社トンネルシールド部に部長として赴任しました。当社では当時技術提案による実績はありませんでしたが、前述したように支店ではそれなりの順位となっていたことより、部の目標として技術提案による受注を第1に掲げ、2番目にはトンネルの技術開発の推進、3番目に学協会関係への積極的な参画を掲げ、それらを強力に推進しました。

技術提案による営業支援では、支店サイドの営業マンおよび技術担当の意識改革から手をつけ、受注に向けての組織風土を改革して受注に結びつけました。

トンネル施工の技術開発について完成品は生まれませんでしたが、トンネル技術屋がそれに向けてがんばる姿勢が見えてきていたので、これまで開発されてきた技術の実現場への適用への指導を実施しました。

学協会への参画も、支店にいたころは土木研究所との共同研究以外はあまり関与しなかったものの、本社の部長職ということで土木学会トンネル工学委員会の職域委員にもなり、この3年間でかなりの顔つなぎができたと自負しています。

これら当初目標をほぼ達成した感もあり、後進に道を譲るべく部長職を辞する決心をし、2010(平成22)年春に了承されました。

最後の現場所長として

本社在籍の最後に受注した工事

施工法に決定し、施工できたことは大きな自信となりました。その後、この先生方とは、いろんな場面で遭遇し、何名かの先生には懇意にいただいています。

次の休山立坑作業所は、前述の休山トンネルの換気立坑工事で、直径5mの竖穴を130m掘削するものでした。レイズボーラー工法という機械掘削工法で、日本最大径の掘削機械を使用しました。ここでも、新工法の開発に取り組み、立坑覆工急速化システムを開発、特許申請を行いました。この工法のおかげで、工期が3か月不足するところを1か月余りて竣工を迎えることができました。

支店勤務の5年間

現場勤務のあとの5年間は主席コンサルタントという役職に就き、トンネル現場全般と山陰地方・四国地方の現場を担当部長の立場として従事しました。仕事内容は、トンネル工事に関しては技術全般における支援、そのほかの工事については発注者との技術対応、近隣の苦情処理などの渉外担当が主でした。渉外の中でも反社会勢力対策がかなり多く占めており、これまでの経験がよく活かされた期間でした。

また、この間には、本社・技術研究所は土木研究所との官民共同研究に参画していました(すい道建設における吹付け作業時の発生粉塵量の削減および局所集塵システムの開発・官民18機関、山岳トンネル工事における機械掘削時の粉塵低減に関する研究・官民10機

関)が、この研究は土木研究所内の模擬トンネルにおいて毎年5~6月にかけて2か月間、吹付けロボットや自由断面掘削機の実機を使用した労務を伴うものでした。幹事会社としてフジタがこの実作業を担当し、協力会社(今の会社ですが)の職員に指示して実験を実施するのですが、技術研究所の職員だけでは心許ないということで施工のプロとしての支援を依頼されました。広島からなので当初は面倒くさいなあとも思いましたが、参加してみると実機を伴うため本格的な実験であり、ここは施工のベテランとして意見せねば、とさまざまな提言を行い、実験は成功裏に終了し、成果を上げることができました。とくに吹付けの実験では、それまでは粉塵対策は施工会社任せであったのに対し、各社の対策を定量的に評価して『トンネル工事における吹付け作業時の発生粉じん技術の手引き(案)』としてまとめたことは、共同研究の大きな成果であったと思います。

なお、この時期から官庁工事の入札において、総合評価方式が盛んになり、技術提案の作成業務が増えてきました。私も現場を見ながら、広島支店、四国支店管内のトンネルに関する技術提案および積算を担当しました。技術提案も積算も良いところまでいき、2位もしくは3位で、後一步というところが失注したのが数件あったのが非常に悔やまれますが、私にとってはこの後につながる良い経験となりました。

である福島県相馬市の楡這^{ならばい}トンネル工事の作業所長を命じられ、最後の奉公として赴任しました。この現場では、発注者対応の役職は若手に任せ、補佐役として作業所の方向づけあるいは指導役として取り組みました。

ここで、避けて通れないのが東日本大震災です。当日は、帰省のため仙台空港に向かっていました。地震の揺れがあったあと、いつも使用している空港近隣の駐車場に向かいましたが利用できず、やむなく空港まで乗り付けたところ「早くあがれ」との声が聞こえ、あわてて2階にあがった30秒後に津波がやってきて、まさに危機一髪の状況でした。

その後現場に戻りましたが、現場は、全く地震の影響はなく、停電もなかったのですが、いかにせん食料が調達できません。また、緊急復興としてトンネルのタイヤショベルほど役に立つものはありません。このため、工事中止命令とともに仙台周辺で作業員・作業機械とともに連休明けまで復興作業に従事しました。

このトンネルを貫通まで動め上げたあと、現在の会社に転籍となりました。

技術開発について

ここで、技術開発についても一言述べさせていただきます。

数多くの技術開発にも取り組み、前述したようにFONドリル工法や、立坑急速覆工システムなど、大きく日の目を見た技術もありますが、技術開発に百発百中はあり

ません。日の目を見なかった技術やいまだ普及に至らない技術にも取り組みましたが、とくに想いが残っている技術開発について記しておきます。

■液圧膨張式割岩工法の開発

これは上二河トンネル施工時に、FONドリル工法とともに取り組んだ技術です。FONドリル工法により自由面を形成後、簡単に岩盤が破碎できないかを目的に、特殊な耐圧性ゴムチューブを主体とし、これにチューブを保護するゴム、周囲に鋼製載荷板を配置した割岩機を導入しました。このゴムチューブに最大70MPaの水圧を加圧し、ゴムチューブの膨張力で岩盤を破碎する機構で、ゴムを主体としたため直径55m、長さ1mとしても重量が8kg程度と軽量で、簡便に岩盤を破碎可能な点に特徴がありました。

実際に使用してみると、転石のような亀裂のない1枚岩の場合、このような軽い装置でも簡単に破碎することが実証されましたが、実際の岩盤には亀裂が点在しています。割りたい部分に亀裂があると、どうしても亀裂手前だけ破碎され、破碎された部分のみゴムチューブが膨れてしまい、奥まで割ることができず、最終的には手前の部分が膨れ上がって破損する、ということがくり返されました。また、特殊品のためコストも高く、残念ながら開発は断念せざるを得ませんでした。

■エアレス吹付けシステムの適用

エアレス吹付けシステムとは、吹付けコンクリートにエア圧送を

使用せず、投射口までポンプで圧送し、投射口ではインペラヘッドとよばれる直交した4枚の羽根を回転させ、この回転に伴う打撃によりコンクリートを投射する技術です。開発自体はフジタではありませんが、いち早く注目し、2000年ごろより現場適用を図りました。コンクリートの投射に圧縮空気を使用しないため、格段の低粉塵性を維持でき、切羽周辺でも1mg/m³程度の粉塵濃度となるのが大きな魅力です。この技術を先駆けたことが、前述の土木研究所との共同研究においてフジタが幹事会社となったことの一因ともなっています。

ただし、この技術も特殊部品を多く使用し、その割にはコンクリートを打撃・投射するために消耗が大きく、どうしてもエア吹付けに対して経済性で有利に立つことが難しい、という側面があり、現実的にはいまだ普及には至っていません。

■ADECO-RS工法の導入

ADECO-RS工法は、イタリアのRocksoil社が開発したトンネルの設計・施工法であり、軟弱な地山において鏡ボルトなどを使用して積極的に地山前方を改良し、掘削時には改良した切羽前方にも支保効果を期待する工法です。日本におけるNATMとの大きな違いは、①軟弱地山においても全断面掘削を基本とする、②切羽直近で本設インパートを打設する、③支保部材としてロックボルトはほとんど使用しない、などといった点です。

います。

おわりに

これまでのトンネル人生をふり返る絶好の機会を与えていただきました。こうしてみると、多岐な発注者のもとでの施工経験を与えていただき、個々のトンネルについても断面については小さなトンネルから大断面トンネルまで各サイズの施工機会を、地質についても軟弱な地山から硬岩までほとんどすべてのケースを、さらに割岩工法含む各掘削方式、在来工法のころの頂設・底設導坑からNATMにおける全断面掘削までの各掘削工法に取り組む機会を与えていただきました。技術開発についても前述のとおりであり、恵まれたトンネル人生であったと思えます。

40年元請け会社で勤務したあと、現在の協力会社に移籍しましたが、後進の指導的立場として現役でまだまだがんばろうと思っています。

また、トンネル作業員を預かる立場として、人手不足の深刻さを身にしみて感じています。このためには、老骨に鞭を打ってでも、人員不足に対しては省力化機械の開発、安全面の向上については自動装填機の推進など、今後も出せる知恵は出し切る所存です。



ADECO-RS的施工(D地山を全断面掘削)

日本への導入にあたり、ロックボルトをほとんど使用しない点に困難さを感じたものの、たまたま本社部長のときに、設計段階よりウォータータイト区間があり、その部分の支保パターンとしてロックボルトがないトンネルを受注しました。これは、ADECO-RS工法導入の絶好のチャンスと考え、イタリアまで行きRocksoil社と交渉し、その区間についてはRocksoil社の技術者を招聘し、完全導入までとは行かないが(どうしても切羽直近での本設インパート打設はむずかしかった)、ADECO-RS的施工を実施することができました。このときには、曲面切羽にも取り組み、切羽前方も積極的に補強することにより変

位も少なく、安定したトンネル掘削を可能としました。

その後もADECO-RS工法的施工を試みようとしたが、日本の設計でロックボルトを抜くことは現実的ではなく、普及には至らないのが心残りです。

技術開発とは技術者の成長の糧であり、必要不可欠な要素です。このように必ずしも成功に至らないケースも多々ありますが、ものごとく真摯に取り組むチャンスであり、必ずしも事業化できない技術でも成功事例を社外に発表することにより最大の自社PRともなったこと、また海外における学会発表の機会を持たせていただいたこともあり、トンネル技術者としてひとつの醍醐味であったと思

土木情報 No. 532

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
関東地整	北長池貯留槽設置 2	中野土建	185
〃	H29圏央道北本地区横断地下道	北野建設	200
〃	東関道四鹿地区函渠その2	日東エンジニアリング	230
〃	〃 その3	新みらい	153.9
〃	〃 その4	細谷建設工業	125.2
〃	H29R127T補修	田中建設	143.54
近畿地整	西脇北BP津万井T	五洋建設	1,379.25
中国地整	静岡仁摩道路五十猛T	大成建設	3,054.55
九州地整	鹿児島3号東西道路(下り線)立坑設置	飛鳥建設	1,695.5
〃	長崎34号新日見T(下り線)新設	前田・西海JV	2,717.66
防衛省	厚木米軍(29)雨水排水(750)整備土木	入江建設	348
首都高速道路	(負)高速横浜環状北西線北八朔立坑・東方立坑内部構築	大成・佐藤・東洋JV	984.44
栃木県	R408宇都宮高根沢BP函渠建設	大幹建設	115.9
都・下水道局	芝浦水再生センター導水渠立坑設置	飛鳥建設	3,098.66
岐阜県	公共防災・安全交付金事業(仮称)宮川2号T	大日本・市川・H・C JV	2,100
鳥取県	R178(岩美道路)T(仮称)岩美1号T(補助)	鴻池・青木あすなろ・美保JV	3,246
秋田市	公下新城川左岸3-1号幹線築造	熊谷・住建・加藤JV	1,899
水戸市	国補公下新荘幹線流下機能改善	株木・昭和JV	294
常総市	29国補浸下第3-1号・29市単浸下第3-1号合併・流域関連公下浸水対策下水道水路整備	新井土木	119
牛久市	29社総交公下第1-1号, 下町第二雨水幹線管渠布設	篠崎・ミヤモトJV	132.5
宇都宮市	公下(雨水)築造第1工区(一般県道雀宮停車場線)	宇都宮・山本JV	167.25
下野市	仁良川地区雨水管渠整備(補29-1工区)	竹葉建設	165.4
上尾市	29-1 公共(補)雨水管渠築造	忠和総合建設業協組	119
銚子市	銚子市公下事業唐子・芦崎幹線(第2工区)管渠改築	今井組	388
練馬区	仮称平和台駅地下自転車駐車場整備(第二工区)	フジタ道路・常陸JV	319.8
横浜市	H29開削T中柱補強	東鉄工業	412

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



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

研究

コンクリート打設前に連続繊維シートをセンター両端部に敷設する剥落防止技術

佐藤工業(株)技術研究所長 宇野 洋志城
佐藤工業(株)土木事業本部ICT推進部長 京免 継彦
佐藤工業(株)大阪支店工務部技術提案課 廣川 幸喜
金沢工業大学地域防災環境科学研究教授 木村 定雄

1 はじめに

わが国の社会資本の整備は、高度急成長期をピークにそれ以降は減少傾向にあり、全体として社会資本ストックの高齢化が急激に進みつつある。例えば、道路トンネルは、1955～1973(昭和30～48)年の高度急成長期に全体の約25%が建設されており、建設後50年以上を経過したトンネル数は10年後に現在の約3倍、20年後には約12倍に達するといわれている¹⁾。

現在、このような社会的背景から社会資本を長寿命化させ、社会資本構造物の建設、維持、修繕、更新を含めてその費用と便益を総合的に評価し、施設構造物を適切に管理していくことが望まれており、社会資本をアセット(資産)とみなしたアセットマネジメントの確立が急務とされている。

アセットマネジメントの研究は徐々に進められており、道路施設構造物を主な対象として国や地方自治体、ならびに民間会社の一部でも点検にもとづいてデータベースが構築されている。土木学会では橋本鋼太郎・(元)土木学会長を委員長とする『社会インフラ健康診断』特別委員会において取組みが進められ、本年度も『社会インフラ健康診断道路部門試行版2016.5』²⁾が公表され、道路トンネルに関するデータが記されている。

このように道路トンネルの老朽化が認められる

一方で、最近では新設のトンネル建設工事には覆工コンクリートの品質確保や耐久性の向上に関する独自の提案が求められるケースが多い。提案の内容は、覆工コンクリートのひび割れ抑制や養生管理に関連した技術に偏重する傾向があり、ひび割れ発生後の保全行為の軽減を見込んだ提案は少ない。多くのコンクリート構造物にとって耐久性に問題のないレベルでのひび割れは避けられないものであり、中には第三者被害をもたらす以前に修繕、補強が必要となる場合もある。とくに、覆工コンクリートにおけるアーチ部分に発生する浮きやひび割れなどの変状に対しては、剥落防止対策として連続繊維シートを後貼りするなどの内面補強を事後保全として行うケースが多く^{3),4)}、必要な直接損失(修繕費用)が膨大となるだけでなく、供用中のトンネルを交通規制あるいは通行止めにする事から間接損失(渋滞による遅延や迂回による損失を換算)が発生する。

これらの経済損失の総和で判断すれば、人身事故につながる場合でも、覆工コンクリート片の剥落は膨大な損失をもたらすリスクがある⁵⁾。保全予防の観点から事前に予防措置(保全予防技術)を施すことは、施工する側にとって覆工コンクリートの付加価値をアピールできる一方で、供用期間中のリスク管理を行う側にとっては初期投資の増分を差し引いてもライフサイクルコストを

語るうえで有益である。

筆者らは、覆工コンクリート片の剥落を未然に防ぐための保全予防技術として、施工段階で連続繊維シートを事前にセントル内面に敷設してからコンクリートを打ち込むことで両者を一体化させ、脱型時から剥落防止性能を発揮することによって剥落リスクの低減を図る特徴を有する技術(以下「T-FREG(Tunnel-Fiber Reinforced EdGing)」)を提案し、併せて定量的に評価するための指標と基準を提案、性能の妥当性と実用性を実験と実施工によって検証した⁶⁾。

本稿では、T-FREGの開発から実用までの経緯を述べる。

2 トンネルにおけるアセットマネジメント

一般に、道路トンネルに求められる重要な機能は地中を安全に走行するための空間を確保することである。道路トンネルの特徴は、舗装と異なり一度構築したら代替がない限りそれを簡単に放棄できないことにある。また、再構築するためには相当なコストが必要となるため、適切な維持管理のもとで半永久的に使い続けるシナリオの構築が求められる。

筆者らは、維持管理段階での管理手法についていくつか例を挙げている⁶⁾。

ここで、設計段階における要求性能レベルは一般に設計性能レベルを指すものと考えられるが、実際に構造物が構築される施工段階の初期性能レベルは安全率を考慮して常に要求性能レベルを上回るのが一般的である。

したがって、保有性能を評価するうえでは初期値の与え方が設計段階と維持管理段階では異なる可能性がある。維持管理段階におけるマネジメントでは、その保有性能の変化に着眼するため安全率を見込んだ初期性能レベルを100%として評価するのが妥当である。

一つは、壊れた、あるいはトンネルとして安全に通行できる空間を確保できない程度にまで機能が低下した段階で補修、補強などの対策を施す管

理手法である(図-1)。これを事後保全と定義する。この管理方法(事後保全)は、建設当初の品質と環境作用の影響を受けて保有性能が要求性能を下回ってから性能回復させるため、大規模な修繕が必要となり、トンネルの規模次第では不経済となる可能性がある。

次は、建設、維持の段階から調査、点検を通じて不具合を発見、または保有性能の低下を予測し、要求性能レベルを下回る前に不具合の補修、補強

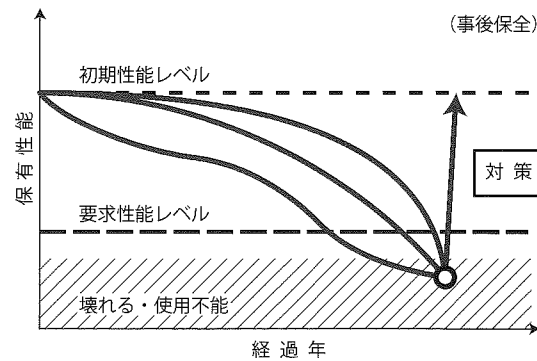


図-1 事後保全の概念

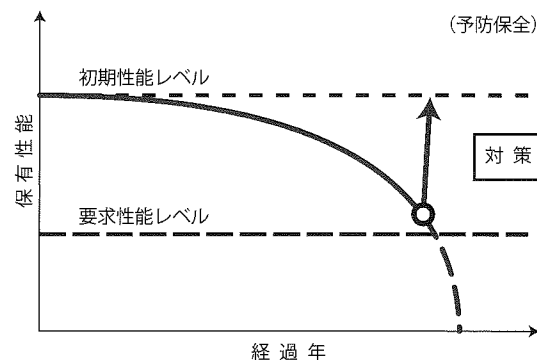


図-2 予防保全の概念

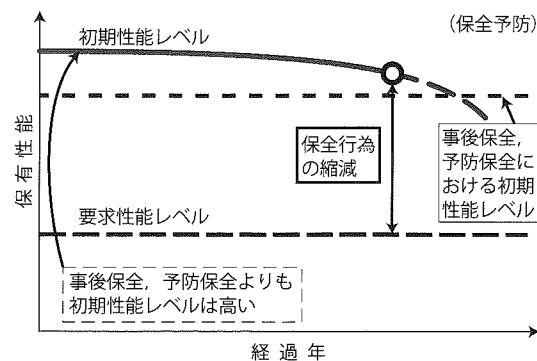


図-3 保全予防の概念

などの対策を施す管理手法である(図-2)。これを予防保全と定義する。この管理手法(予防保全)は、何らかの変状が発見された段階で性能回復させるため、性能低下の予測精度の向上が重要となる。その一方で要求性能を満足しているか否かの技術的判断が困難な場合が多い。

最後は、計画、設計の段階から何らかの劣化現象(例えば、剥落)をリスクとしてとらえ、これを防止するための対策を新設時から実行する管理手法(図-3)である。この場合、剥落リスクが相当に軽減されるため、その後の保全行為そのものが軽減される。これを保全予防と定義する。この管理手法(保全予防)は、建設当初の初期投資を必要とするものの、その後の維持管理に要する予定の調査、点検、修繕費用が大幅に低減できる可能性があり、長期間にわたる運用の経済性は高まる。とくに、新設のトンネル構造物に対してこの管理手法を適用することができるので、従来にはないトンネルにおけるアセットマネジメントの考え方が実現できる。

3 剥落防止に関する研究

3-1 既往の研究

前章で述べた保全予防の概念に沿って、コンクリート施工計画の段階や新設コンクリートを打ち込む、あるいは既設コンクリートに不具合が生じる前段階から何らかの対策を講じる研究には、剥落現象を対象としたものが多い。とくに、剥落防止に連続繊維シートを適用する既往の研究は部材レベルの研究から具体的に橋梁やトンネルなどの構造物を対象に実用したものまで散見される。

例えば、部材レベルを対象とした場合には、事後保全技術である後貼り連続繊維シート工法の剥落防止性能を評価した研究⁷⁾があり、具体的に橋梁上部工を対象とした場合には、保全予防技術として連続繊維シートを事前に敷設、埋設して剥落を防止した実用例⁸⁾がある。

一方、トンネル構造物に目を向けると、覆工コンクリートを対象とした場合には、事後保全技術である後貼り連続繊維シート工法の剥落防止性能

を評価した研究⁹⁾があり、シールドトンネルセグメントを対象とした場合には、保全予防技術として連続繊維シートを事前に敷設、埋設して剥落を防止した開発¹⁰⁾と実用例¹¹⁾がある。

しかし、筆者らが求める覆工コンクリートの剥落防止を目指した保全予防技術に関する研究事例はなく、自らの手で開発することにした。

3-2 トンネル覆工コンクリートの要求性能

これまでトンネルの機能と要求性能に関する研究は数多く行われてきた。筆者が整理した道路トンネルの覆工に求められる代表的な機能を表-1に示す。

例えば、道路トンネルが保有すべき機能は安全に快適かつ円滑に通行できることである。トンネル構造、利用者、管理者それぞれの立場から定性的に表現すれば、NATMによって構築された多くのトンネルにとっては地山に作用する荷重に対して構造上安定していることや覆工コンクリートに有害な変形や変状(ひび割れ、漏水)が生じないことであり、利用者にとっては安全で快適な通行が妨げられないこと、管理者にとっては運用状態を管理しやすく維持管理が適切に行えることなどである。

3-3 評価指標および評価基準

剥落現象に限定すれば、覆工コンクリートの要求性能は、トンネル構造自体を支える地山に対する安定や周辺環境にかかわる性能ではなく、あく

表-1 覆工に求められる代表的な機能

覆工の機能	関連するコンクリート現象	求められる役割
内空断面保持	変形、ひび割れ、剥落、崩落	通行に必要な内空断面の確保
防水	ひび割れ、漏水	水滴落下による視野障害、路面の滑り、寒冷地のつらら、凍結、壁面汚れ、絶縁不良、および腐食の防止
耐火	変形、剥落、発熱、ガス発生、崩落	火災中の避難経路の確保、火災後の崩落の防止
保守管理	平滑、変形、漏水	保守点検の容易さの確保
内装	変形、変色	視認性の確保
その他	変形、剥離、剥落	付帯設備の取り付けやすさの確保

までもトンネル覆工を構成するコンクリートの安全性能である。

また、本研究では覆工コンクリートに対する保全予防技術のうち、コンクリート片の剥落防止を目的として事前に埋設型の連続繊維シートを設置することが前提である(短繊維の補強材を混入する剥落防止技術はすでに実用済である)。

覆工のコンクリート片の剥落防止を目的として埋設型連続繊維シートを適用する技術の安全性を確保するための要求性能と評価指標および評価基準^{12)~14)}を表-2に示す。

従来まで、覆工コンクリートを対象に連続繊維シートを適用する技術はすべて既設の覆工コンクリートへの後貼り工法であり、事後保全技術あるいは予防保全技術の一つであった。新設の覆工コンクリートを対象とした剥落防止に関する技術は見あたらず、それを評価するための指標や基準はない。まず、保全予防技術としての短繊維補強コンクリートや、予防保全技術として既設コンクリート、あるいは既設の覆工コンクリートで適用されている剥落防止技術の評価に対する考え方を整理し、参考とした。

馬場ら¹⁵⁾によれば、トンネル覆工へ適用される短繊維補強コンクリートの性能評価指標として利用実績の多い曲げ靱性係数が $1.40\text{N}/\text{mm}^2$ 以上あれば、トンネル覆工における $\phi 4.0\text{m} \times 0.3\text{m}$ のコンクリート塊の剥落防止に対し有効である。

筆者らは、新設の覆工コンクリートに連続繊維シートを埋設した場合でも、すでに短繊維補強コンクリートにおいて実績がある評価指標とその基準を採用すれば、剥落防止性能の評価に対する信

表-2 剥落防止性能の評価指標および評価基準

評価指標	評価基準
曲げ靱性係数	JHS 730-2003「繊維補強覆工コンクリートの曲げ靱性試験方法」 ¹²⁾ に準拠して行った試験結果が繊維補強覆工コンクリートにおける基準($1.40\text{N}/\text{mm}^2$ 以上)と同等とする。
押抜き耐力	JHS 424-2004「はく落防止の押抜き試験方法」 ¹³⁾ に準拠して行った試験結果が連続繊維シート後貼り工法における基準 ¹⁴⁾ (変位10mm以上における最大荷重が 1.5kN 以上)と同等とする。

頼性が得られると考えた。さらに、伊藤ら¹⁶⁾の調査結果によれば、運用開始から約10~20年以上経過している道路トンネル(7本:総延長約9,109m)における剥落実態(113件)のうち、確認されたものは最長辺100mm未満、厚さ10~20mm程度の薄片状のコンクリート塊が約71%と最も多く、150mm以上のコンクリート塊は約12%、最大コンクリート塊でも $250\text{mm} \times 60\text{mm} \times 50\text{mm}$ である。これより、馬場ら¹⁵⁾の述べる曲げ靱性係数が $\phi 4.0\text{m} \times 0.3\text{m}$ の大きさのコンクリート塊の剥落防止性能を評価すれば十分であることが裏づけられると考えた。

また、橋梁下面やトンネル覆工の補修、補強などへ適用される連続繊維シート後貼り工法の規格として利用実績の多い押抜き耐力は、変位10mm以上における最大荷重が 1.5kN 以上であれば、コンクリート片の剥落防止に対し有効である¹⁴⁾。

そこで、同様に新設の覆工コンクリートに連続繊維シートを埋設した場合でも、すでに連続繊維シート後貼り補強コンクリートにおいて実績がある評価指標とその基準を採用すれば、剥落防止性能の評価に対する信頼性が得られると考えた。

以上より、覆工コンクリート片の剥落防止を目的で事前に埋設型の連続繊維シートを設置する保全予防技術の剥落防止性能を評価するために、評価指標として曲げ靱性係数と押抜き耐力の2つを設定した。評価基準は、曲げ靱性係数では短繊維補強コンクリートと同等に $1.40\text{N}/\text{mm}^2$ 以上を確保すること、押抜き耐力では連続繊維シート後貼り工法と同等に変位10mm以上における最大荷重で 1.5kN 以上を確保することの両方を満足することとした。

4 要求性能の検証

4-1 剥落防止の条件

本研究における覆工コンクリートの剥落防止を目指した保全予防技術の概要は、覆工コンクリート打設前の段階に曲率のあるトンネル用型枠(以降「セントル」と称す)に埋設型の連続繊維シートを設置するものであり、施工計画の段階から覆工

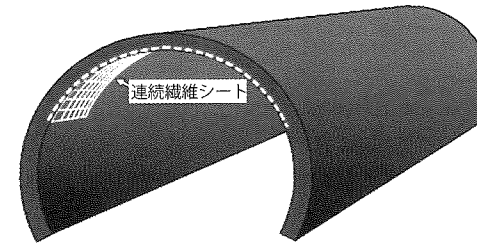


図-4 連続繊維シート適用のイメージ

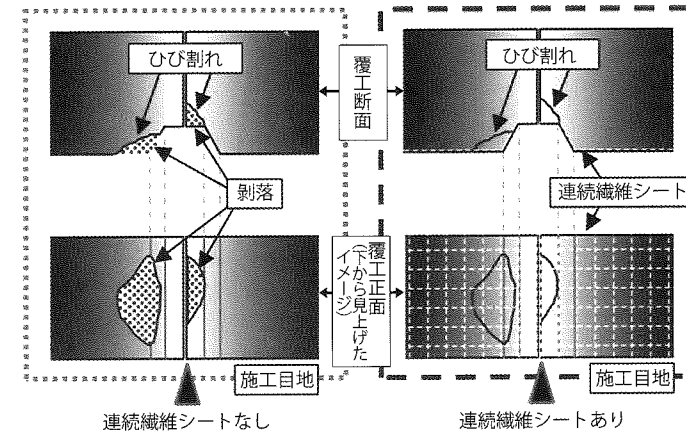


図-5 連続繊維シート設置による剥落防止のイメージ(上:側面から見た図, 下:下から見上げた図, 埋設した連続繊維シートは見えない)

表-3 コンクリート配合

G_{max} (mm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
				W	C	S ₁	S ₂	G ₁	G ₂	Ad
40	59.9	4.5	47.1	166	277	690	173	585	390	2.77

セメント:高炉セメントB種(C):密度 $3.04\text{g}/\text{cm}^3$
 細骨材:砕砂(S₁):大月市初産,表乾密度 $2.63\text{g}/\text{cm}^3$,粗粒率2.80
 陸砂(S₂):君津市久留里産,表乾密度 $2.58\text{g}/\text{cm}^3$,粗粒率1.80
 粗骨材:砕石(G₁:2005):大月市初産,表乾密度 $2.64\text{g}/\text{cm}^3$,実績率60.0%
 砕石(G₂:4005):大月市初産,表乾密度 $2.64\text{g}/\text{cm}^3$,実績率60.0%
 混和剤:AE減水剤:主成分は変性リグニンスルホン酸化合物

コンクリート片の剥落防止,すなわちゼロリスクを実現するものである。

連続繊維シートを適用した覆工コンクリートのイメージを図-4に、連続繊維シート適用による剥落防止のイメージを図-5に示す。

要求性能の評価は、表-2に示す評価指標および評価基準に準拠し、試験体の作製に用いたコンクリートの配合は表-3、埋設した連続繊維シートの諸元は表-4に示すとおりである。曲げ靱性試験用の試験体は縦 $530\text{mm} \times$ 横 $150\text{mm} \times$ 高さ 150mm の直方体とし、すべて底面($530\text{mm} \times 150\text{mm}$)に連続繊

表-4 連続繊維シートの諸元

繊維の種類	耐アルカリガラス	外観
形状	$7\text{mm} \times 5\text{mm}$ の開口	
目付量(g/m ²)	400	
引張耐力(kN/m)	縦60, 横38	
特徴	厚さ 0.85mm	

維シートを敷設、固定は行わない状況でコンクリートを打ち込み作製した。押抜き試験の試験体はプレキャストコンクリート製品を使用せず、縦 $400\text{mm} \times$ 横 $600\text{mm} \times$ 高さ 60mm の平板とし、すべて底面($400\text{mm} \times 600\text{mm}$)に連続繊維シートを敷設、固定は行わない状況でコンクリートを打ち込み作製した。材齢18時間で脱型したあとは 20°C の恒温室内で湿潤養生を行い、硬化後の試験は材齢28日に実施した。

4-2 曲げ靱性係数

曲げ靱性試験方法は基本的にJHS 730-2003「繊維補強覆工コンクリートの曲げ靱性試験方法」¹²⁾に準拠した。ただし、荷重の載荷面は試験体作製時の側面ではなく仕上げ面とし、連続繊維シート埋設面を下側にセットした。曲げ靱性試験の結果を図-6に示す。曲げ靱性係数は平均で $2.02\text{N}/\text{mm}^2$ が得られ、評価基準の曲げ靱性係数 $1.40\text{N}/\text{mm}^2$ を十分に上回る。その数値は非鋼

繊維を容積混入率で0.3%使用した場合の短繊維補強コンクリートが有する曲げ靱性係数よりも大きかった¹⁷⁾。曲げ靱性係数のばらつきが小さいのは連続繊維シート使用による繊維の配列方向が一定であることに関係していると考えられる。その結果、短繊維の分散状況に比べて安定して繊維が並んでいることになり、効率よく安定して靱性を向上させていると推察できる。

なお、試験後も試験体は連続繊維シート部分で一体化が保たれている状況にあり、剥落防止性能は十分に余裕のあることが確認できる。

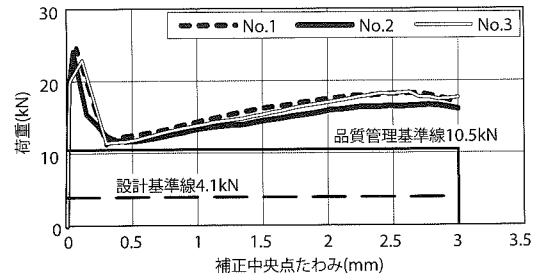


図-6 曲げ靱性試験結果

4-3 押抜き耐力

押抜き試験方法は基本的にJHS 424-2004「はく落防止の押抜き試験方法」¹⁹⁾に準拠した。ただし、通常は試験前に試験体中央部に連続繊維シートを埋設した面とは反対側の打設面にφ100mmの形状で55±0.5mm深さまで切込みを入れるが、山本ら¹⁸⁾は継目部分を跨いで剝落現象が発生することを想定し、図-7に示すように実際の妻部において埋設される連続繊維シートがトンネル縦断方向に連続していない場合の押抜き耐力について切込みを半円状にしたケースで試験を実施した。その試験結果を図-8に示す。半円状の押抜き試験では変位10mm以上における最大荷重は4.50kNと2.70kNが得られ、数値にばらつきは認められるものの、連続繊維シート後貼り工法の基準である1.5kNを十分に上回る。

一方、川崎ら¹⁹⁾は荷重速度を緩めてクリープの影響も加味する厳しい荷重条件で試験を実施した。開始時点で0.2mm/min、以降変位2.0mmから終了までは1.0mm/minとし、2.0mmの変位ごとに2.0分間荷重を停止して荷重面反対側の剝離範囲を目視観察し、剝離範囲をマーキングした。最終変位は23mmと設定し、その時点での最大荷重を記録するが、変位10mmまでに得られた最大荷重データは考慮しない。ただし、試験体作製から養生期間中の不手際により、1試験体が損傷を受けたため、試験は2体のみで実施した。その試験結果を図-9に示す。荷重速度の遅い押抜き試験の場合では変位10mm以上における最大荷重は安定した数値となり、平均で2.62kNが得られている。この場合も連続繊維シート後貼り工法の基準である1.5kNを十分に上回る。

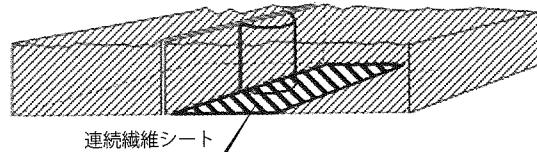


図-7 半円状の押抜きイメージ

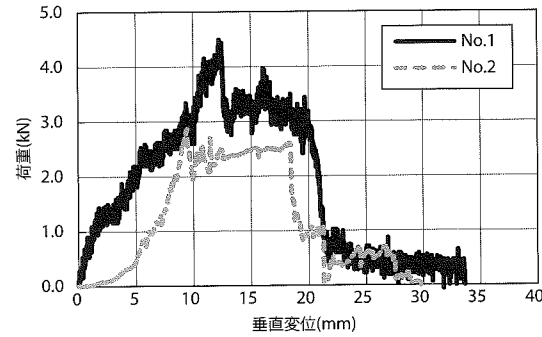


図-8 半円状の押抜き試験結果

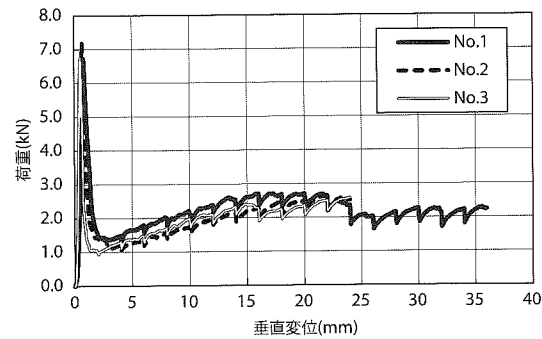


図-9 荷重速度の遅い押抜き試験結果

なお、試験後の試験体はコンクリート塊が貫通することなく連続繊維シートで保持されている状況にあり、剝落防止性能は十分に余裕のあることが確認できる。

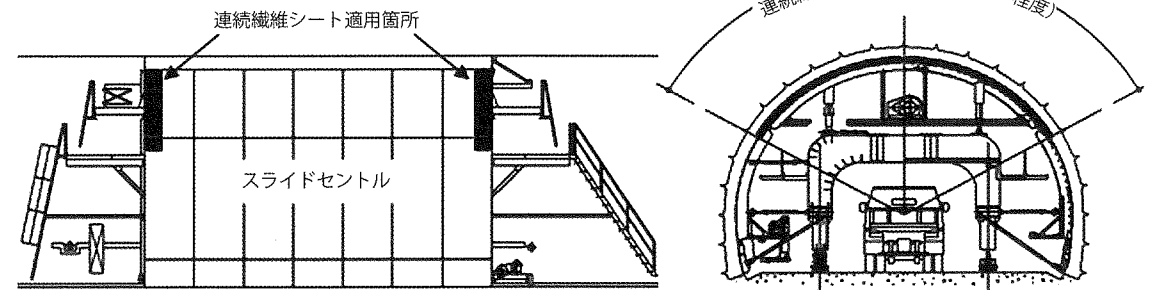
これらの実験結果から、埋設型の連続繊維シートを適用した試験体の剝落防止性能は、表-2に示す評価基準を満足することが明らかとなった。

5 施工性能の検証

5-1 トンネル覆工への適用

本技術を新設の道路トンネル工事へ導入し、施工性能を検証した。

初めて導入した工事は、東九州自動車道中山工事(西日本高速道路(株)九州支店発注：2009年8



従来のスライドセントルを使用し、加工はごくわずか。連続繊維シート適用のための特殊機械は不要

図-10 連続繊維シートの適用範囲(セントルとの位置関係)

月竣工)における中山トンネル(延長243m)と門川トンネル(延長215m)のうち28ブロックである。

覆工コンクリートに使用した配合はすべて粗骨材の最大寸法が20mmであり、対象区間のうち23ブロックでは普通コンクリート、5ブロックでは短繊維補強コンクリートを打設した。山田ら²⁰⁾によれば、供用開始から約5~8年経過している道路トンネル(5本：総延長約3,937m)における剝落実態調査(275件)の結果、覆工コンクリートの浮き、剝落の発生箇所は施工目地からトンネル縦断方向へ1m程度の範囲に約67%、トンネル横断方向におけるクラウン部60°の範囲に約61%が集中している。これを参考にすれば、剝落リスクをゼロリスクとするために、その適用範囲を縦断方向には各ブロックの両端から1mまでを対象とすれば十分であると考えた。しかし、セントルクラウン部にあるコンクリート圧入口やクラウン部と肩部にある打設窓(開口部)の位置が障害となるため、確実に固定できる範囲の約500mmまでとした。同様に、適用範囲を横断方向にはクラウン部(アーチ天端部)とすれば十分であると考えた。つまり、セントルの構造上ジャッキダウンできるクラウン部材は120°程度あり、連続繊維シートでクラウン部60°の範囲を含む120°範囲を対象とすることが効果的であると考えた。

そこで、現場で使用するセントルの形状や吹き上げ口の位置、セントルの分割位置、ジャッキダウンで生じるスペース、使用者の安全、建築限界などを考慮した結果、適用範囲は図-10に示すと

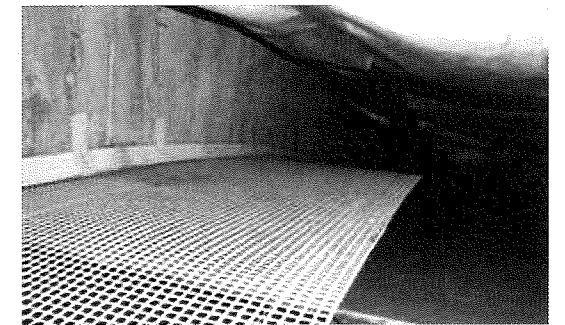


写真-1 連続繊維シート固定完了状況(ラップ側)

おりとした。

なお、かぶりコンクリートの剝落防止の観点から、連続繊維シートはできる限りコンクリート表面近傍に設置した(写真-1)。つまり、連続繊維シートはセントルに押し付けて固定し、セントルとの間にスペースは設けない。モルタルあるいはセメントペーストが連続繊維シートとセントルとの隙間に充填されるのに任せた。脱型後の連続繊維シートまでのコンクリートかぶりは5mm程度以下であった。

連続繊維シートの固定方法には、セントルに開けた孔を利用した。さらに、作業効率と連続繊維シートの固定を確実にできることを優先し、釣り糸を使用した。具体的な固定方法は、連続繊維シートがセントル表面に敷設されている状態でセントル背面側から孔を通して釣り糸を引き込み、連続繊維シートを押さえつけ、別の離れた孔からセントル背面側に引き出し緊結することにした(釣り糸は線状に連続繊維シートを押さえつけて固定)。セントルに開ける孔はφ3mm程度、間隔は

最低でも500mm程度とし、効率よく釣り糸をラップさせて1本で3,000mm程度を固定することにした。固定方法のイメージを図-11に示す。使用する釣り糸には、成人男性が片手で容易にかけることができる張力100N=10kgf程度の力に対して十分な耐久性を有し、一般に流通していて取り扱いやすい太さであることを考慮して、ナイロン製の18号を標準とした(ナイロン製18号の釣り糸の直径は0.7mm、通常360N=36kgf程度の力に耐える)。

5-2 脱型時における連続繊維シートの接着性

トンネル覆工コンクリート打設は2日に1ブロックの頻度でくり返されることが多く、その場合には打設完了後16~18時間程度の型枠内養生期間を経た若材齢で脱型される。つまり、一般的な覆工コンクリートの脱型時における圧縮強度は2.0~3.0N/mm²程度が目安であり²¹⁾、十分な圧縮強度発現が得られる前に脱型が行われる。そのため、連続繊維シートがコンクリートの表層近傍に埋設されている条件下では、コンクリートの強度不足により連続繊維シートが型枠とともに剝離する、あるいは脱型時の接着強度不足が原因で硬化後の剝落防止性能に影響を及ぼすことが懸念された。そこで、筆者らは脱型時の圧縮強度が小さい場合でも連続繊維シートの剝離などの不具合が生じない限界について検討し、美観が良く、かつ接着性および硬化後の剝落防止性能を満足する脱型方法を選定した。

モデル試験体を利用して脱型時の圧縮強度0.20~1.10N/mm²の範囲で検証実験を行った結果、通常の覆工コンクリートならば脱型しない圧縮強度範

連続繊維シートをセントルに開けた孔と釣り糸(18号, 0.7mm)を利用して固定

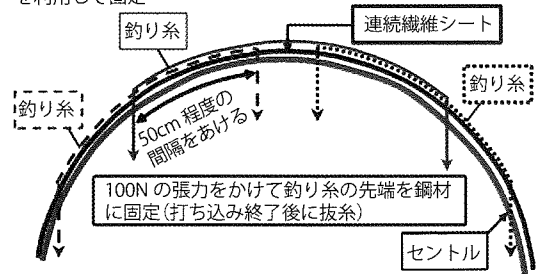


図-11 連続繊維シート固定方法の概要(横断図)

囲(0.20~0.47N/mm²)で脱型した場合、連続繊維シート自体は剝離しなくても表層のモルタルあるいはセメントペーストが型枠とともに剝離する不具合が生じたが、コンクリートの圧縮強度が1.0N/mm²以上となってから脱型した場合には、連続繊維シートと表層のモルタルあるいはセメントペーストはともに剝離せず、美観、接着性および材齢28日時点の剝落防止性能も満足することが確認できた。また、材齢28日時点での接着強度では、脱型材齢の違いによる強度発現不足の影響は認められない²²⁾。

なお、覆工コンクリートのハンマーによる叩き点検を実施した。その後、連続繊維シートを適用していない部位のコンクリートの場合と同じであることを確認した。また、脱型直後から材齢が経過して乾燥すると境界は目立なくなる(写真-2, 3)。

5-3 施工歩掛かり

本技術を実施に初めて適用した中山トンネル

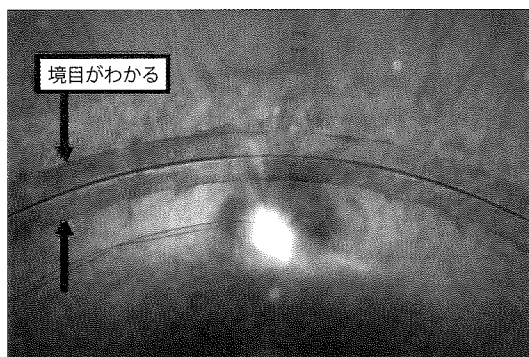


写真-2 脱型1週経過後の見栄え

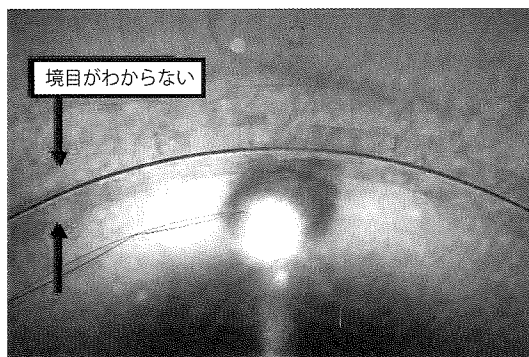


写真-3 脱型4週経過後の見栄え

(延長243m)と門川トンネル(延長215m)のうち28ブロック(無筋区間:目地総延長352.8m)と、2件目にあたる津付ダム付替国道397号1号トンネル築造工事の津付トンネル(延長423m)のうち32ブロック(無筋区間:目地総延長294.4m)、3件目にあたる尾道・松江自動車道野呂谷第一トンネル外北工事の野呂谷第一トンネル(延長772m)のうち非常駐車帯のみ10ブロック(目地総延長172.2m)で作業実績を整理し、施工歩掛かりを求めた²³⁾。

すべて新設トンネル工事である点は共通だが、施工条件としてトンネル断面、使用したコンクリート、セントル寸法および製作メーカーは異なる。さらに、連続繊維シートの固定作業、コンクリートの打込み作業、脱型作業を行った協力会社と作業員も異なり、その技量も同じではない。

一方、連続繊維シートの適用範囲は、縦断方向には施工目地を含め約1m(各スパン端部から約500mm)の範囲、横断方向には天端部分を含む120°を目安とした範囲である点は共通である。各トンネルにおける連続繊維シートの適用面積は、中山トンネルと門川トンネルでは円周長約11.8m(約12.6m²)、津付トンネルでは円周長約8.6m(約9.2m²)、野呂谷第一トンネルでは円周長約14.4m(約15.4m²)である。各トンネル新設工事における施工歩掛かりを表-5に示す。

初施工現場では、連続繊維シートの裁断から固定までの設置作業に要する時間が約12.4分/m²、1回分の連続繊維シート適用面積(約12.6m²)から、

全工程は約156分/回の作業時間であった。

2現場目の施工では、裁断から固定までの設置作業に要する時間が約7.7分/m²、1回分の適用面積が約9.2m²、全工程は約71分/回の作業時間と効率がアップした。

それらに対し、3現場目の施工では他のトンネルよりも1回分の適用面積が広く(約15.4m²)、適用したスパン数も10スパンと少なく作業に慣れるまでの時間と経験が不足した。しかし、連続繊維シートをまとめて裁断するなど作業効率よく準備し、トータルで固定までの設置作業に要する時間は約7.7分/m²、全工程は約119分/回であった。

準備作業に含まれる裁断は事前に段取り可能であり、設置から固定までの作業はセントル移動→ケレン→剝離剤塗布→セットとの並行作業も可能である。そのような工夫を凝らすことで、作業員の増員や時間外作業を必要とせず、従来までの施工サイクルの中ですべての作業を吸収できることが明らかになった。

以上より、連続繊維シートの適用範囲、固定方法などの適合性が実証されると同時に、得られた施工歩掛かりの実績から判断して、剝落予防技術を適用するための全作業は従来までの施工サイクルの中に吸収され、施工サイクルは不変であり、コスト面での不安も解消することが証明された。

6 おわりに

筆者らは、保全予防の概念に沿った剝落防止性能を定量的に評価するための指標と基準を提案し、T-FREGが覆工コンクリート片の剝落防止性能を十分に発揮することを検証した。さらに、実施工に適用しながら、施工性、耐久性などの面でも十分に実用に足る技術であることを証明した。本技術は、自社だけでなく同業他社にも採用されて施工実績は徐々に増えている。

今後も覆工コンクリートの剝落リスク低減を図る技術として社会貢献に寄与することを期待したい。

表-5 歩掛かりの実績

トンネル	項目	部位	時間(分)	施工面積(m ²)	歩掛かり(分/m ²)	合計(分/m ²)
中山トンネル 門川トンネル	繊維シート	妻側	1,385	187.6	7.4	12.4
		ラップ側	1,730	165.2	10.5	
	準備ほか		1,260	—	3.6	
津付トンネル	繊維シート	妻側	668	147.2	4.7	7.7
		ラップ側	702	147.2	4.8	
	準備ほか		878	—	3.0	
野呂谷第一トンネル	繊維シート	妻側	540	83.2	6.5	7.7
		ラップ側	575	83.2	6.9	
	準備ほか		170	—	1.0	

参考文献

- 1) 例えば, 土木学会: コンクリート技術シリーズ No.71 材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能, pp.169-177, 2006.9.
- 2) 土木学会社会インフラ健康診断特別委員会: 社会インフラ健康診断書 道路部門試行版 2016.5, 2016.5.
- 3) 日本コンクリート工学会: コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針2013, 2013.3.
- 4) 小島芳之・吉川和行・六車崇司・小林朗・若菜和之・松岡茂・朝倉智深: 繊維シート接着工法によるトンネル覆工コンクリートの剝離対策設計法, 土木学会論文集, No.756, VI-62, pp.101-116, 2004.3.
- 5) 宇野洋志城・木村定雄: トンネル覆工のつま部コンクリート片のはく落現象のリスク評価, 土木学会論文集 F1(トンネル工学)特集号, Vol.66, No.1, pp.89-97, 2010.11.
- 6) 宇野洋志城・木村定雄: 繊維シートを埋設した覆工コンクリート片のはく落防止に関する研究, 土木学会論文集 F1 特集号, Vol.66, No.1, pp.79-88, 2010.11.
- 7) 藤倉裕介・伊藤祐二・秩父顕美: 無機系材料による剝落防止工法の押し抜き耐力の評価法, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1737-1742, 2004.7.
- 8) 寺田典生・青木圭一・中井裕司: 繊維シートによる剝落防止対策の開発, 橋梁と基礎, pp.27-32, 2003.11.
- 9) 城間博通・伊藤哲男・大嶋健二・倉持秀明・山本秀樹: トンネル覆工目地部におけるはく落対策用繊維シート接着工の実験的研究, 土木学会第58回年次学術講演会概要集, III-021, pp.41-42, 2003.9.
- 10) 玉井攻太・木村定雄・松浪康行・倉木修二・水上博之: コンクリート系セグメントの表面補強材としての繊維シートの適用, トンネル工学報告集, Vol.14, pp.389-394, 2004.11.
- 11) 沼澤憲二郎・藤沼愛・藤木育雄・倉木修二: 特殊セグメントを用いた地下鉄換気塔, 地下鉄13号線雑司ヶ谷駅, トンネルと地下, Vol.37, No.12, pp.905-914, 2006.12.
- 12) 東日本高速道路・中日本高速道路・西日本高速道路: 繊維補強覆工コンクリートの曲げ靱性試験方法, 試験方法 第7編 トンネル関係試験方法, pp.85-89, 2006.10.
- 13) 東日本高速道路・中日本高速道路・西日本高速道路: はく落防止の押抜き試験, 試験方法 第4編 構造関係試験方法, pp.98-100, 2006.10.
- 14) 日本道路公団: コンクリート片はく落防止対策マニュアル, pp.34-36, 2000.11.
- 15) 馬場弘二・伊藤哲男・城間博通: 覆工コンクリートのはく離・はく落抑制を目指した鋼繊維補強仕様の確立に関する研究, 日本道路公団試験研究所報告, Vol.39, pp.91-106, 2002.11.
- 16) 伊藤哲男・馬場弘二・城間博通・吉武勇・中川浩二: トンネル覆工コンクリートのひび割れ形態調査による剝落危険性評価, 土木学会論文集, No.763/VI-63, pp.87-93, 2004.6.
- 17) 宇野洋志城・歌川紀之・小泉直人: 長期耐久性を向上させるための覆工コンクリートの配合検討, トンネル工学報告集, Vol.17, pp.221-226, 2007.11.
- 18) 山本一也・宇野洋志城・木村定雄: 繊維シートを適用したトンネル覆工コンクリートのつま部のはく落現象の防止, トンネル工学報告集, Vol.18, pp.31-36, 2008.11.
- 19) 川崎真史・上野清・馬場弘二・宇野洋志城: 埋設型繊維シートにより補強したコンクリートの押し抜き耐力, 土木学会第64回年次学術講演会概要集, VI-286, pp.571-572, 2009.9.
- 20) 山田隆昭・佐野信夫・馬場弘二・吉武勇・中川浩二・西村和夫: トンネル覆工コンクリートの定量的な健全度評価, 土木学会論文集 F, Vol.63, No.1, pp.86-96, 2007.3.
- 21) 土木学会: 2006年制定トンネル標準示方書 [山岳工法]・同解説, pp.172-173, 2006.7.
- 22) 宇野洋志城・歌川紀之・川崎真史・小泉直人・上野清・田中康一郎: T-FREG工法による二次覆工コンクリートのはく落防止対策, 土木建設技術発表会2009概要集, pp.1-6, 2009.1.
- 23) 宇野洋志城・京免継彦・歌川紀之・木村定雄: T-FREG(繊維シート補強によるトンネルはく落防止)工法の適用事例の拡大, 佐藤工業技術研究所報 2011, No.36, pp.9-14, 2011.12.

建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著 A5判 326頁 本体価格 4,300円



株式会社 土木工学社

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

報告

第43回ITA総会および
世界トンネル会議(ノルウェー)報告

JTA国際委員会ITA統括ワーキング

第43回国際トンネル協会(以下「ITA」¹⁾)の総会が、2017年6月9～15日にノルウェーのベルゲンで開催され、新加入のナイジェリア含む74の加盟国のうち49か国が参加した。

ITA年次総会と併催された2017年世界トンネル会議(以下「WTC」)は、「Surface challenges - Underground solution (地表の挑戦-地下の解決)」のテーマで49か国、2,319名が参加し、日本からは、ITA総会、作業部会(以下「WG」)の担当者とWTCの論文発表者の61名が参加した(参加者数は主催者側発表による²⁾)。

1 I T A 総 会

1-1 ITA総会(代表者会議)

ITA総会は第1部が11日に開催された(写真-1)。理事会活動報告では2016年以降までの活動経過が報告された。会計監査報告、理事選挙の告知と2020年の開催立候補地3か国のプレゼンテーションが行われ、続けて加盟国の活動報告が行われた。日本はITA統括WGの砂金主査が日本の代表的なトンネル事業の活動報告を行った。

14日に開催された第2部では、オープンセッション、部会長による各WG報告、予算案の承認、理事の選挙とともに2020年開催立候補地の投票が行われた。



写真-1 第43回ITA総会会場

1-1-1 会員状況

会員入会の承認が報告された。会員は団体会員が172、個人会員95の合計267、加えて16のプライムスポンサー、49のサポーターが参画している。会員数は昨年度より若干減少している。

1-1-2 決算報告および予算

過年度の決算報告および2016～2017年の事業計画・予算を承認した。ITAの年間の事業規模は支出ベースでおおむね83万ユーロ(1億円)である。

1-1-3 今後のITA総会、WTCの開催予定

今後の開催地は2018年がUAE・ドバイ、2019年がイタリア・ナポリに内定している。2020年の開催地はインド、マレーシア、オーストラリアが立候補し、決選投票の結果、マレーシア・クアラルンプールに決定した。同国での開催は初となる。

1-2 理事会、作業部会などの活動報告

1-2-1 理事会の活動

活動報告では加盟国24か国への訪問と意見交換や、理事会においてタスクフォースが設けられ、加盟国のウェブサイトの調査や、これまでのトンネル大賞に関する実施状況と、今秋、パリで開催するその進捗状況が報告された。また、WGやITA-techで一部の活動が重複しているという議論があったことが報告された。これ以外に加盟国の新規加入、加盟国でのトレーニングコースやワークショップの支援、ITA-YMGの活動状況やPIARCとの連携に関する報告があった。

トンネル大賞は2015年から創設されたものであるが、ITA副会長より日本からの積極的な応募を期待していることが会場にて直接寄せられた。実際の応募にあたっては計画的な準備が必要であり、JTAとしても必要に応じて関係者への更なる情報提供に努めると答えた。

(文責：砂金伸治・(国研)土木研究所/太田義和・太田技術事務所)

1-2-2 作業部会(WG)の活動(写真-2)

現在活動中のWGは、ITAやWTCの会期中に会合を催している。その活動の成果としてのガイドラインや勧告などの成果が提示されている。なお、2017年の本総会においてWG22の設置が認められ、活動中のWGの数は全部で14となった。

各WGの活動状況の概要は以下のとおりである。

(1) WG 2: 研究

部会長：E. Chirioti(フランス)

副部会長：R. Tluczek(南アフリカ)

担当理事：C. Yoo(韓国)

本WGは、地下構造物における調査研究に関する内容を取り扱っている。検討項目はトンネルの計画・設計・施工などにわたり、主に既往の文献を集約し技術者の手助けとなるガイドラインをとりまとめ公開することなどを目標として活動している。今回は約20か国から40名以上の参加があり、日本からは日下((国研)土木研究所)が参加した。

本WGでは主として、①リスクマネジメント、②シールドトンネルの切羽圧、③地山応力計測、

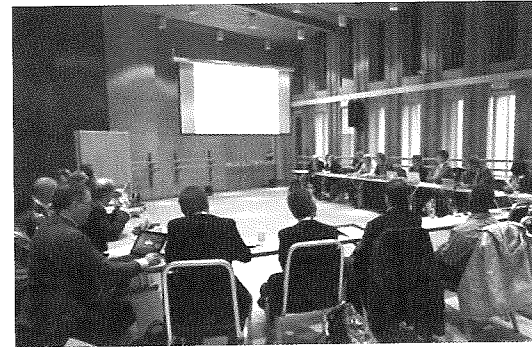


写真-2 WG 2の様子

④近接施工の影響、⑤地質調査、⑥セグメント設計、⑦セグメントの損傷、⑧繊維補強コンクリートによるセグメント覆工の縦断方向の継手、について議論が行われた。

⑥は、若手技術者がセグメントの設計を行う際の教科書的なガイドラインとしてとりまとめの最終段階にあり、今後1年間に公開することを目指している。

①については、世界各国のトンネル技術者へ送付したアンケート回答結果を踏まえて議論が行われたが、受発注者間でリスクに対する認識の相違が大きく、それぞれが負うべきリスクについても議論が継続されることとなった。②については、ドイツのトンネル協会(DAUB)より勧告が出されており、本WGでも参考にすることとなった。

⑤は、地質調査にかけるコスト意識も重要であることや、地質データの解釈には技術力が必要であり自動化が困難であることなどが議論された。

これらの内容は日本国内においても活発な議論が行われているものも含まれており、日本が有する技術的知見の世界への情報発信する検討が必要であるものと考えられる。

(文責：日下敦・(国研)土木研究所)

(2) 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(英国)

担当理事：T. Celestino(ブラジル)

本WGは主に地質情報の不確実性に起因する地下工事における契約上のリスクを合理的に分担する方策を提示することが活動目的としている。現

在、FIDICのタスクグループ10がトンネルや地下空間の建設工事に関する契約形態のあり方について検討しているが、同グループからのメンバーを含め、9か国、15名の参加があり、日本からは北村(鹿島建設(株))が参加した。

ミーティングではFIDICで検討しているドラフトに関する説明とその妥当性が議論され、ドラフト版にとらわれず、地下工事に関する紛争回避や解決に有用となる留意点を実務面から討議することで結論を得た。また、前部会長のITA理事の就任に伴い、新部会長にM. Neueschwander氏(スイス)が選出され、新部会長を中心とした今後の活動方針についても話し合われた。現在WG3が発出している地下工事の契約に関するチェックリストは策定から長期間が経過しており、今日の課題解決にそぐわない可能性があるため、新たにガイダンスを作成するとの方針が示された。これにもとづきプレーストリーミングによる150項目程度の紛争要因を抽出した。

今後は次年度のWGまでに不定期でskypeなどの手段を利用して会議を行う方向を取り決めた。

(文責：北村義宣・鹿島建設(株))

(3) WG 5: 工事中の安全衛生

部会長：D. Lamont(英国)

副部会長：空席

担当理事：R. Haug(ノルウェー)

本WGでは、工事中の安全と衛生の面から多核的な検討を行っている。とくに、ITAのガイドラインの作成とISOやCEN(Comité Européen de Normalisation, 欧州標準化委員会)とのかわり合いを重視している。今回は6か国(英国、インド、オーストラリア、ドイツ、日本、ノルウェー)から6名が参加し、日本からは吉川((独)労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所)が参加した。

担当理事から今後の活動方針について参加者から意見を聞きたいとの発言があり、オーストラリアからトンネル建設に関する安全衛生について、世界的な基準を調査すべきという提案があった。将来的には、建設プロジェクトを安全衛生のレベルに区分けして、工事規模に応じた参考になる建

設プロジェクトを収集すべきという意見もあった。本WGで取り扱う議題や参加者人数拡大の提案があり、それを受けて、総会でも参加を呼びかける動きがあった。

日本は肌落ちの事例を紹介した。各国の状況を情報収集するため、日本の硬岩や中硬岩で主に採用される発破掘削方式の施工について紹介し、とくに、装薬作業、支保工建込み、ロックボルト打設時に作業員が切羽に近づかなければならない状況にあることを説明した。各国から情報提供があり、ヨーロッパでは、作業員が無支保の掘削面に立ち入る場合には、あらかじめ吹付けコンクリートを打設し、地山が悪い場合には、鏡に対しても繊維補強された吹付けコンクリートを採用する場所があるとの報告があった。また、各国の粉塵濃度の基準や測定方法についても情報提供を求めた。その結果、オーストラリア、英国、米国から一定の基準値に関する情報が寄せられた。

本WGへの参加は今回が3回目であり、ようやく顔と名前を憶えてもらった感がある。WG内でも人数が少なかったこともあるが、積極的に議論に参加でき、こちらが収集したい情報を多く得ることができ「継続は力なり」を実感した。今後も本活動を通じて、日本の安全衛生の向上に貢献したいと考えている。

(文責：吉川直孝・(独)労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所)

(4) WG 6: 維持修繕

部会長：H. Russel(米国)

副部会長：R. V. d. Bosch(オランダ)

担当理事：T. Celestino(イタリア)

昨年、日本は参加しなかったが、本年は太田(太田技術事務所)が参加した。本WGでは、赤外線によるトンネル覆工検査および地下水の流出調査の紹介(米国)があり、このシステムの有効性について継続して検討を続けることとなった。また2004年発行の『道路トンネルの耐火対策についての指針』の改訂版の作業は2014年のブラジル大会から取り組み、米NFPA502、PIARCなどとの連携を明確にし、かつ耐火材の組成まで踏み込んだ

記述となっており本年のWGで最終報告書案が提示され、総会でもWGの活動報告として示された。作業は副部長による貢献が大きい内容がメーカー色の強いものとなっている感があった。総会での説明後、ITA指針となる耐火材の採用についてわが国に対して打診があったが、当方からそれに対する準拠は難しい旨を伝えた。

(文責：太田義和(前掲))

(5) WG 9：地震の影響

部会長：G. Piaggio(チリ)

副部長：W. Qiu(中国)

担当理事：D. Peila(イタリア)

本WGは、トンネルの地震被害や地震の影響に対する検討方法について、情報のデータベース化、地震に対する設計、計測、リスクアセスメントなどの考え方をまとめることを目標としている。今回は9か国より12名の参加があり、日本からは若林、植田((独)鉄道・運輸機構)が参加した。本会合では以下を討議した。

1) 地震の被害事例

昨年までの活動により各国の地震被害事例がとりまとめられたことが部会長から報告され、今後は各国の地震に対する設計手法を主なテーマとしてWG活動を進めることが確認された。

2) 地震に対する設計

初めに、スイスからはダム建設における地震に対する設計について、イタリアと中国からトンネルについて、チリからサイフォン式取水設備について、それぞれ地震被害とその復旧と対策の紹介があり、その内容について討議が行われた。部会長から全メンバーに対して、各国の地震に対する設計を事例紹介を交えて、部会長宛に送付するように依頼があった。今後はそれらを受けて地震に対する設計に関して議論することになった。

(文責：若林功起・(独)鉄道・運輸機構)

(6) WG 11：沈埋・浮きトンネル

部会長：J. Babar(英国)

副部長：E. v. Putten(オランダ)

担当理事：D. Kolic(クロアチア)

本WGは、沈埋・浮きトンネルに対する新たな

課題および解決法について検討を行っている。討議内容は非常に実務的で、各国で実施しているプロジェクトを紹介しながら、設計、施工上の問題点や苦労した点について、その解決方法や対処方法について討議した。今回は11か国より26名の参加があり、日本からは白井(日本シビックコンサルタント(株))が参加した。本会合では以下の報告や討議をした。

1) 沈埋トンネル

作成中の『Immersed Tunnels Owner's Guide』について第4稿が完成し、最終レビューの状況について報告があり、最終原稿を2018年のWTCに提出予定であることが確認された。また、データベースの作成状況リストが配布され、各国のプロジェクト概要、写真の提供に関する依頼があった。

2) 浮きトンネル

作成中の『Submerged Floating Tunnels Owner's Guide』については次回までにドラフト版を完成することが確認された。

3) 各国の報告ならびにプロジェクト紹介

WG 11では毎回、プロジェクトの実績と知識や疑問などを共有する討議が行われている。今回は9プロジェクトの紹介があり、国土交通省の協力のもとに、日本における建設中のプロジェクトとして、「東京港臨港道路南北線事業」について概要と特徴の紹介を行った。

(文責：白井孝典・日本シビックコンサルタント(株))

(7) WG 12：吹付けコンクリート

部会長：E. Grov(ノルウェー)

副部長：S. Bernard(オーストラリア)

担当理事：G. Lunaudi(イタリア,今年から変更)

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し、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25名の参加があり、日本からは保利(デンカ(株))が参加した。

1) 繊維補強コンクリート

設定から10年近くが経過するテーマだが、会社間の利害関係が埋まらないため一向に進捗が見え

ない状況が続いている。加えてWGメンバー間の情報共有が機能していない課題もあり、結果的に今回の取り決め事項は骨子の2017年内の作成のみとなった。テーマ責任者とほか2名のWGメンバーにて対応し、WGメンバー全員へ配信する。固有の技術的な議論としては乾式吹付け材料への有機繊維の適用可否が挙げられたが、カナダの鉱山換気坑など実例も多く、報告書からは排除しない内容とする旨、合意された。

2) PSCL(Permanent Sprayed Concrete Layer)

テーマ責任者によって初稿が完成したため、今後WGメンバーにて意見をとりまとめ、次回のWTCまでに発行するスケジュールにて作業を進めることとなった。

1), 2)以外にもQC(品質管理)や吹付けコンクリート耐久性の議題があったが、テーマ責任者の欠席にて協議されなかった。今後新たに設定されるテーマとして、吹付けコンクリートの環境負荷評価および低減、吹付けコンクリートの厚み最適化が提示された。また、吹付けコンクリート作業員に対する教育の必要性が提唱された。

(文責：保利彰宏・デンカ(株))

(8) WG 14：機械化掘削

部会長：B. Fulcher(米国)

副部長：K. Bappler(ドイツ)

担当理事：S. Eskesen(デンマーク)

今回のWGは31人の参加者を得て盛況であり、日本からは杉本(長岡技術科学大学大学院)と今倉((株)大林組)が参加した。

1) プロジェクト紹介

今回のWGは、ノルウェーにおける硬岩TBM工事2件、米国シアトルでの外径17mのシールド工事、およびTBMオペレータの1週間トレーニングプログラム例と全4件のプレゼンテーションがあった。ノルウェーでの工事では、さまざまな手法による進捗予想と実績の比較検証であった。熟練したトンネル技術者と作業員の確保は、国を超えての課題であることを実感した。

2) Webページの管理

WG14が管理するWebページのアクセスを増

やすために、今後は多様な施工事例の紹介を充実するなどの改善を継続的に図ることを確認した。

3) サブWGテーマの選定

新たなサブWG活動のテーマとして、①TBMオペレータのトレーニングに関する指針作成、②TBM仕様決定のための指針作成、③TBMトンネルにおける新技術や技術開発に関する現況のまとめ、および、④トンネル掘削残土と処分に関する指針の作成を選定した。このサブWG活動において、一般的な泥水式と適用事例が増えている泥土圧式のどちらを主体とするかの議論があったが、しばらくは限定せずに活動するとした。

(文責：今倉和彦・(株)大林組/杉本光隆・長岡技術科学大学大学院)

(9) WG 15：地下工事と環境

部会長：J. Rohde(ノルウェー)

副部長：N. Bobylev(ロシア)

担当理事：A. Lewandowska(ポーランド)

本WGは「掘削土砂やずりの再利用」と「騒音と振動」の両テーマについて討議されている。ノルウェー、ポーランド、英国、イタリア、日本から7名の参加があり、日本からは太田(太田技術事務所)、小野(佐藤工業(株))、河田((株)オリエンタルコンサルタンツ)が参加した。

「掘削土砂やずりの再利用」に関しては、2017年1月版の仮報告書に対するITAの審査結果をもとに、今回のWGで提供を求めた各国の適切な事例を盛り込み、12月末までに報告書の完成、理事会承認後の2018年4月ごろに公表を予定している。また、新規の検討課題「騒音と振動」は、部会長が作業計画案を提示し、メンバーは各国の技術情報の収集、ITA加盟国へのアンケート送付と収集、要点整理に取り組んでいくことになった。(文責：太田義和(前掲)/小野知義・佐藤工業(株)/河田皓介・(株)オリエンタルコンサルタンツ)

(10) WG 17：大土かぶり長大トンネル

部会長：G. Seingre(スイス)

副部長：M. Schivre(フランス)

担当理事：J. Yan(中国)

本WGでは、土かぶりが大きく延長の長いトン

ネルをTBMで掘削する際の問題点と対策について議論してきた。本年はその成果を技術レポート(TBM Excavation of Long and Deep Tunnels Under Difficult Rock Conditions)としてまとめ、オープンセッションでこの内容を報告した。技術レポートはITAのホームページで閲覧できる。

本WGは今年13か国から19名の参加があり、うち14名が昨年より連続して参加している。日本からは大塚(大成建設(株))が参加した。

初日は各国の大地かぶり長大トンネルのプロジェクトの紹介と開催国であるノルウェーのFollo Line Projectの報告があった。OsloとSkiを結ぶ延長約22kmの双設鉄道トンネルでそのうち約18.5kmが4本のTBMにより掘削され、約30%の掘削が完了したとのことであった。日本は中央新幹線の施工が始まったことを報告した。

さらに、今後議論するテーマの検討でいくつかの候補のうち最終的には「Logistics in long and deep tunnels」(大地かぶり長大トンネルにおける運搬、輸送)に決まった。

2日目は、決定したテーマの目的と問題点について議論を行った。その結果、いくつかのプロジェクトに対して発注者と施工業者を対象にアンケートを実施することになった。

(文責：大塚勇・大成建設(株))

(11) WG 19：在来工法(NATM)

部会長：N. Munfah(米国)

副部長：R. Galler(オーストリア)

担当理事：A. Gomes(チリ)

本WGは、在来工法(日本でいうNATM)を対象に工法選択や特殊条件下での施工技術に関するガイドラインを発行することを目的に活動を行っている。今回は2日間で延べ41人が参加した。日本からは淡路、アズマン(清水建設(株))、満尾(東急建設(株))、山火(戸田建設(株))が参加した。

昨年WG 14との共同により在来工法と機械化工法の選択に関する指針が完成したことから、今後の活動内容を決定することから始まり、WGでは下記の報告があった。

・ZaB-Zentrum am Berg：オーストリアでは、

調査、計画、契約、施工など各段階を習得するための教育センターを鉱山に開設しており、坑口付けも体験できる大規模施設の事例紹介

- ・Conventional Tunneling in the California High Speed Rail Program：San Francisco-Los Angeles間の高速鉄道整備において、事業費約\$158B(約17兆円)、2029年の完成を目指した大規模トンネルプロジェクトの事例紹介
- ・Conventional Tunneling Experience in the Czecho-Slovakia Countries：チェコからスロバキアを跨ぐNATMを採用した事例紹介
- ・High Speed/High Capacity Italian Railway Milan-Genoa Excavation：イタリアの付加体系の粘板岩における最大内空変位量200mm、天端沈下量140mmの施工記録および事例紹介

本報告を受け、WGでは今年度からの作業として「困難な地質条件下における設計や施工」のガイドライン作成について討議を行った。とくに都市部での山岳トンネル工法の適用という観点からレポートをまとめたことと提案が部会長からなされ、目次を再度見直し、高水圧下などの条件を加えた。章・節ごとに各担当に割り振られ、本年の11月中までに初稿を作成することで同意した。

(文責：淡路動太、アドザム・アズマン・清水建設(株)/満尾淳・東急建設(株)/山火智洋・戸田建設(株))

(12) 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)

副部長：D. McGirr(英国)

担当理事：In-Mo Lee(韓国)

12か国16名の出席があった本WGでは、昨年より続くプロジェクトデータベースの作成方針のレビューと各国からの事例の紹介があった。日本からは小松原(パシフィックコンサルタンツ(株))、岸田(京都大学)が参加した。

会合の大半はプロジェクトデータベースの作成方針について議論が行われた。とくにITAのウェブサイトを利用してプロジェクト紹介を行うのか、データベースを作る目的は一体何かという根本を問うものに議論が集中した。ポーランド代

表からは、ITAとしてプロジェクトを紹介することはプロジェクトの信頼性向上となるため前向きに進めたいとする意見があったのに対し、ITAのデータベースはweb検索しても上位に検出されず、プロジェクト自体を知りたいのであれば直接Googleを活用すれば良いとの厳しい意見も示された。データベース作成については、日本からも事例提示を行って行ければ良いと考えている。

オランダからは、データベースの作成事例の紹介があった。その内容はプロジェクト概要に加え、対象地盤や施工方法など、多くの情報がデータベースとなっている。ただし、作成には本格的な情報収集および整理が必要で、1件あたり100時間程度の時間を要するとのことであった。

イタリアからのプロジェクト紹介は、歴史的建造物が近接する箇所での地下鉄駅の開削工法による事例であった。完成時には多くの歴史的な遺跡が発見されたことから、駅が博物館を併用して運用されていることについて紹介された。

(文責：小松原渉・パシフィックコンサルタンツ(株)/岸田潔・京都大学)

(13) 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)

副部長：L. D'Aloia S.(フランス)

担当理事：F. Amberg(スイス)

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、オーナーのライフサイクルマネジメントを補助するガイドラインの作成を目指している。今年で4回目となるWGの開催は、8か国から参加があり、日本からは砂金((国研)土木研究所)が参加した。

会合ではガイドラインの作成に向けた加盟国に対するアンケート素案の提示があり、内容に関する議論が行われた。またカナダより主としてトンネルの付属施設や設備に着目した道路トンネルのアセットマネジメントの事例の紹介があった。日本は、主に山岳トンネルの点検データの分析結果

を紹介した。アセットマネジメントを実施する場合の長所および短所についても議論が行われた。

今後の検討方針は、提示されたアンケート案の見直しと分析を行っていくことが確認された。新たに承認されたWG 22との連携の可能性についても議論もあった。

(文責：砂金伸治(前掲))

(14) WG 22：トンネルにおける情報モデル

部会長：J. Karlovsek(オーストラリア)

副部長：P. Cusino(イタリア)

担当理事：未定

本WGは、建築の分野で導入が進んでいるBIM(Building Information Modeling)のトンネルの分野での活用を図るために設置されたものであり、主な目標は、①ほかの工学分野も含めた経験、過去の教訓にもとづいた一般的な手法の開発、②地下構造物と明かり部の構造部との根本的な相違点の明確化とBIMの基準とプロセスへのその反映、③プロジェクトにトンネル用BIMのソフトウェアを用いた場合のメリット、価値、データ・ソース、ベストプラクティスが記述された、コンサルタント、請負者、トンネル所有者と運用者向けのオンライン文書と手法の開発、④オンライン文書と手法の採用の決定、助言、促進を支援するワークショップの設置、⑤サービス市場への柔軟で調和したアプローチ確保のための、BIMのプロセスの各パートの連絡窓口の確保およびBIMのソフトウェア開発業者のリスト作成、としている。今年が第1回目の開催となり、13か国から19名の参加があり、日本からは真下((一社)施工技術総合研究所)が参加した。

会議では、BIMに対する理解を深めるために、スロベニア、イタリア、オーストラリアでのトンネルプロジェクトにおけるBIMへの取り組みについて事例紹介を行ったあと、コンサルタントの視点からのトンネルのBIM、GISとBIM、入札と契約、利用者の視点からのBIMの4つのテーマについてグループに分けて、ブレインストーミングと、今後の進め方について討議を行った。

今後の検討方針は、①既存の基準とガイドライ

ンの現状, ②役割と責任, 目標と使い方を明確にした発注者および所有者を対象にしたBIMのマニュアル, ③Building Smart協会との情報交換, ④FIDICおよびWG3との連携を図った入札などの契約上の実践, ⑤成果の普及方法, について検討を行うこととなった。

(文責: 真下英人・(一社)施工技術総合研究所)

1-2-3 ITA YMGの活動

ITA-Young Member Group (ITA-YMG(若手技術者グループ))は, トンネル分野および地下開発分野に属する35歳以下の若手技術者で構成される組織である。各国の同世代間の横のつながりを増やし世代間のギャップを埋めることを目的として活動し, ITAでのイベントの企画や, 各国の活動への支援, 雑誌『breakthrough』の発刊を行っている。日本からは河田皓介((株)オリエンタルコンサルタンツ)と小松原渉(パシフィックコンサルタンツ(株))が参加した。

Receptionではパーティ形式で参加者はヨーロッパを中心に, オーストラリア, 北南米, アジアなどから40~50名程度で, 業種は企業, 技術者, 研究者, 博士課程の学生などであった。アジア圏からは日本とベトナムが参加した。

General Meetingでは新たに, ITA-YMGに登録された2か国の活動状況のプレゼンテーション(ノルウェー, スウェーデン), WG6の委員による勉強会, ITA-YMGの今後の活動内容などについて議論した(写真-3)。活動状況報告では, 他国のYMとの交流や現場見学や勉強会の様子が紹介された。また, グループワークではSNSの活用による交流や情報交換の活性化, 交流会などを行う場合の資金面の補助などの検討がされた。最後に追加の理事投票が行われ, オーストラリア, スウェーデン, ギリシャ, ブラジルの代表が立候補し, オーストラリア, スウェーデンが選ばれた。

開催期間中にニュージーランドのメンバーと意見交換を行い, 日本とニュージーランドとの特徴に共通点が多いことから, 今後, 情報交換を行うことを約束した。さらに, 昨年の活動を受けて, 国内において若手技術者主体でJTAの英文HP改



写真-3 YM-General Meetingの様子

訂WGを組織し, ホームページ改訂を行いながら, 勉強や交流の場を設ける企画などを行っていく予定である。将来的には, JTA-YMGグループとし, ITA-YMGとの交流も行いたいと考えている。

(文責: 河田皓介(前掲)/小松原渉(前掲))

1-2-4 ITA委員会の活動

ITA委員会は, 委員会への登録, 参加ともにITA傘下ではあるが独立して運営されている。成果はITA加盟国も共有でき, 4つの委員会(ITA-COSUF:安全運営委員会, ITA-CET:教育訓練委員会, ITA-CUS:地下利用委員会, ITA-Tech:技術情報委員会)のうち, わが国から出席した委員会の内容を報告する。

(1) ITA-COSUF:安全運営委員会

委員長: R. Leucker(ドイツ)

副委員長: M. Wietek

担当理事: F. Amberg(スイス)

今回の会議では「New Security challenges for design and operation」をテーマとした講演と議論があり, 火災・爆発などの危機管理マネジメント, 地下空間におけるテロ行為に関するリスク管理, サイバー攻撃への対策などを主題とした講演があった。講演者は6名であり, デンマーク, オランダ, ドイツなどの大学関係者, コンサルタントなどであった。

2014年のオランダのHeinenoord Tunnel (Highway A29)の事例をもとに大規模火災が発生したときの道路利用者の避難行動についての講演では, 同トンネル坑内の監視カメラの映像が多く用いられ, 事故の概要も紹介されたが, 適切な

避難をできる人は少ないことが示された。道路利用者に対しても適切な避難方法を周知した方が良いのではという意見があった。

また, トンネル坑内の爆弾テロに対する研究が発表され, 覆工が爆発で損傷を受けた状態から火災を被るため, 模擬実験が紹介された。

(文責: 太田義和(前掲)/吉川直孝(前掲))

(2) 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(アメリカ)

今年度のITA-CUSセッションは, 地下空間に焦点を置き, 都市の地下の未来を築き上げることができるかについて, 8つの発表が行われ, 若手技術者による地下空間に対する基本的概念, そのあり方などに対する意見がなされた。続いて, 都市トンネルにおける利用者の観点からの環境の安全性に関する認識への設計面からのかかわりについての研究報告があった。

日本は, 東京メトロの地下通路の建設について, 輻輳する地下空間を, 矩形断面TBMを用いて施工した事例を紹介した。

スイスからは新しいスキームとしてトンネル技術に関する共同開発, 技術移転などに関する国際展開の組織化が提案された。国際参入などに関心をもちながら単独では実現が困難であった企業体への仲介役などトンネル技術の全般的な調整役をスイスのグループが世界的規模で実行しようとするもので世界中の企業に参画を呼びかけている。この提案に対して米国から強い関心表明があった。

ほかにもスウェーデンから地下鉄の空間構成, 下水処理場, 水耕栽培, 廃坑(防空壕)を利用したIT産業基地などの紹介, フランストンネル協会からライフサイクルアセスメントの取組みが紹介された。なお, 評価時の地下開発のコスト算出方法などについては精査中であった。

(文責: 河田皓介(前掲)/小松原渉(前掲)/太田義和(前掲))

1-3 ITAオープンセッション

今回のオープンセッションは前年度と同様2部

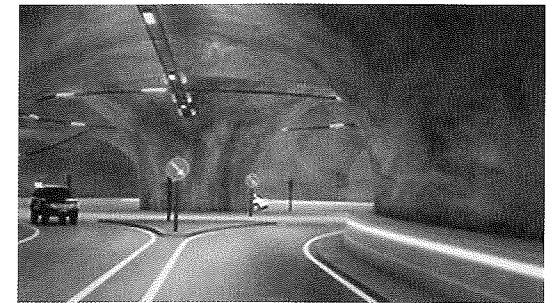


写真-4 トンネル内ラウンドアバウトのプレゼンテーション

構成で行われた。内容は大規模プロジェクトで遭遇した事例について, 6件の報告があった。

- ・イタリアとフランスをつなぐ高速鉄道トンネル
- ・アイスランドの各島をつなぐ海底道路トンネル
- ・ドイツでの鉄道整備計画
- ・オスロ国立劇場駅拡張工事と道路トンネル工事
- ・韓国の地下空間における産業廃棄物施設の整備
- ・米国(ニューヨーク)の地下鉄整備

これらの内容では, 大規模プロジェクトで地元の支援を得ることがむずかしいことも報告された。プロジェクト開始時の案内に対してはまったく無反応であった住民が, 地元説明会を開いた途端に反対行動に出た事例など, 課題は世界共通で, 解決には地道に説明責任を果たすことが一番であることを改めて実感した。

興味深かった報告は, アイスランドの海底トンネル内にラウンドアバウト(交差点)を設置するという事例であった(写真-4)。

(文責: 白井孝典(前掲)/今倉和彦(前掲)/満尾淳(前掲)/山火智洋(前掲))

2 世界トンネル会議(WTC)

世界トンネル会議は6月12日の開会式からスタートした。以下に主な内容を報告する。

2-1 開会式(写真-5)

開会式ではベルゲンフィルオーケストラの演奏から始まり, ノルウェー王, ノルウェートンネル協会会長, ITA会長, ノルウェーの代議士から挨拶があった。ノルウェーにとってトンネルは地形的に分断されていた町をつなぐ非常に重要なインフ



写真-5 開会式におけるノルウェー王の挨拶

ラであるためトンネルの数は多く総延長は約7,000kmで人口1人あたりの延長は世界1位である。現在ノルウェーでは海岸沿いに南北に走る高速道路を建設しており、その一部に延長約27kmの世界最長、世界最深の海底道路トンネルがありNATMで掘削される予定であるとの紹介があった。そのほか4本のTBMにより延長約22kmの鉄道トンネルを掘削中である。現在大規模プロジェクトが多数あるノルウェーにおいて、世界トンネル会議をノルウェーで開催できることに対する謝辞が参加者へ述べられ、最後に再びオーケストラの演奏により歓迎ムードで締めくくられた。

(文責：大塚勇(前掲))

2-2 基調講演など

会議では3つの基調講演などが以下の内容により行われた。

初めにSir Muir Wood LectureとしてH. Stille教授による「トンネル工事における地質の不確かさ」に関する講演が行われた。アイスランドにおける建設事例などを交えて、トンネル工事における地質リスクの軽減には、計画段階におけるリスクの抽出と対応策の策定および地質技術者における建設中の地質評価が重要であることが強調されていた。

また、2編のKeynote Lectureがあり、初めにN. Bilgin教授による「イスタンブールの複雑な地質条件に応じた3つのTBMの性能設計に影響を与える因子」と題する講演で、イスタンブールの地下鉄建設において、複雑な地質条件に応じて設計を実施したTBMスペックの決定方法が紹介さ

れた。

引き続き、N. Barton教授が「トンネルの建設材料としての岩石」と題して、き裂や節理、断層など異なる地質条件に応じた最適なトンネル掘削および支保の採用の重要性を強調した講演を行った。

いずれの講演も、地質条件に応じたトンネル建設をいかに進めるかに主眼が置かれており、良好な地質条件下で無支保のトンネルも多く、岩石が主要な建設材料であるノルウェーでは、トンネル技術者の地質への関心が非常に高いことが印象的であった。

(文責：淡路動太(前掲))

2-3 WTCテクニカルセッション(写真-6)

主催者の発表によると投稿数はアブストラクト760編であったが、実際は口頭発表112編、ポスター発表177編が行われた。昨年に比較してポスター発表の割合が増加した。

小規模な会議室で実施された口頭発表セッションは多くの聴講者で埋め尽くされていたが、大規模のコンサートホールで開催された口頭発表セッションでは聴講者がまばらであった。

論文のタイトルや発表者がセッションごとに整理され、論文概要の確認や聴講のスケジュール管理なども行えるWTC専用のアプリケーションが提供され、多くの参加者が利用していた。

口頭発表とポスターセッションは下記の12のテーマに分類されたが、ポスターセッションは複数のテーマをまとめて同一の時間帯に開催された。後述の論文編数は主催者発表にもとづいているが、実際には未発表のものなどがあったことから、主催者発表の実績値とは異なることを申し添える。

ポスターセッションは開催日程により発表件数が大きく異なっており、セッションにおける発表件数と閲覧者は比例していたように思われる。またWTCが既定するポスターのサイズが特殊で、実際の会場では規定サイズと異なる大きさの掲示も多く見受けられた。日本からは口頭発表5編、ポスター発表13編の合計18編が確認でき、昨年の8編から増加した。



写真-6 テクニカルセッションの状況

〈テーマ区分と口頭発表編数〉

- ① 都市トンネル, 8編
- ② 硬岩地山における機械掘削, 8編
- ③ NATMの技術革新, 8編
- ④ エネルギー施設および核廃棄物貯蔵に利用するトンネル, 8編
- ⑤ 不利な地山条件でのトンネル掘削, 8編
- ⑥ 特殊なトンネルの施工事例と教訓, 12編
- ⑦ 脆弱地山における機械掘削, 12編
- ⑧ トンネルの防水技術, 12編
- ⑨ 地盤調査と地山分類, 12編
- ⑩ 水底トンネル, 8編
- ⑪ 安定性評価とリスク緩和, 8編
- ⑫ 地下構造物の耐震設計, 8編

〈ポスターセッション編数〉

- ①+②+③: 84編
- ④+⑤+⑥: 41編
- ⑦+⑧+⑨: 33編
- ⑩+⑪+⑫: 19編

(文責：北村義宜(前掲)/若林功起(前掲))

2-4 WTC展示会(写真-7)

本年の展示会には世界中から128社以上および1,500人以上(主催者発表)が参加した。建設機械、建設材料、設計コンサルタント、建設会社、各国の協会などから合計298の展示ブースが出展された。また、バーチャルリアリティー技術を使った大型機械の操作を疑似体験できるブースやトンネル機械を展示した会場外のブースは人気を集めた。

全体的には、昨年同様、TBMに関する展示ブースが多い印象を受けた。出展企業の傾向とし



写真-7 トンネル機械の展示状況

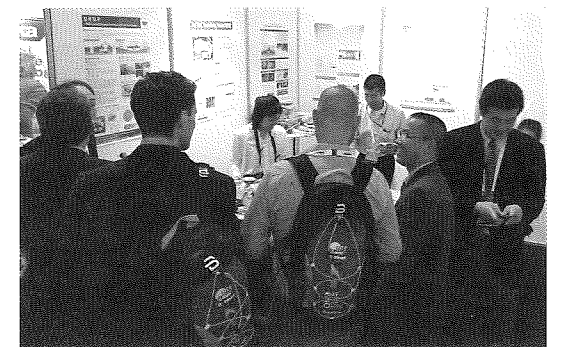


写真-8 JTA展示ブースの状況

てはTBM機械メーカー、重機メーカー、設計会社、各種材料メーカーと例年と大きな変化はなかった。

昨年に引き続き、本年も(一社)日本トンネル技術協会として出展し、10社共同のポスター展示およびリーフレット配布を行った(写真-8)。各国からの来場者には併せてTunnelling Activities in Japan 2016を配布し、日本のプロジェクトを紹介した。来場者は35か国から約400人であった。

(文責：関徳子・日本トンネル技術協会/満尾淳(前掲)/山火智洋(前掲))

世界数十箇国より多種多様な工法の展示があった展示ブースでは各国技術者の関心も高く、多くの訪問者があった。

今回はブースにてプレキャスト部材などを各国で紹介した。また、屋外展示場では吹付けロボットなどの施工機械もあり、実物大の機械を見ることができ、全体を通じて有意義な展示ブースへの出展となった。

(文責：小黑勝之、夏目岳洋(PCL協会))

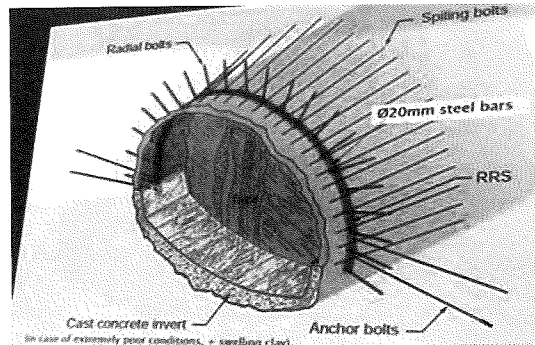


写真-9 弱層に対する対策工のプレゼンテーションの様子

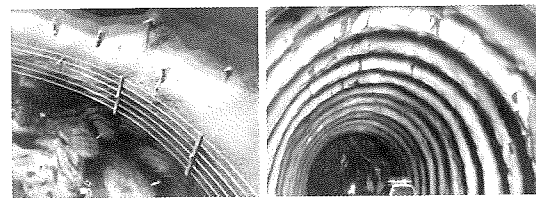


写真-10 Reinforced ribs of sprayed concrete に関するプレゼンテーション(吹付け前と吹付け後)

2-5 現場視察

WTCの期間中、浄水場の地下施設(地下水槽やアクセストンネルなど)、道路トンネル、鉄道新線のトンネル(TBM)の現場視察が企画された。いずれもベルゲン市内で、所要時間は2時間半程度であった。

道路トンネルの現場視察は、ベルゲン市街から南に向かう既存のE39路線の渋滞緩和、安全性向上および利便性向上を目的として建設される現場で2車線は、工事延長17.7kmのうち14.7kmがトンネルで、3区間からなっている。もっとも長いトンネルは9.2kmである。総事業費は約800億円であり、区間の工事費も含むものである。参考までに2車線トンネルの延長で割ってみると、270万円/mである。ノルウェーの岩盤は硬いとはいえ、弱層はあるらしく、GroutingやSpiling(先受け工のこと)などを実施するとのことであった。日本にはない考え方として印象に残ったのがReinforced ribs of sprayed concreteであった(写真-9,10)。Bergen Light Railとの交差点(小土かぶり)においてはコンクリート版を設置するなど



写真-11 意見交換会後の写真

の対策を行うとのことであった。発破に関しては、Nonel雷管とBulk emulsion爆薬を使用しており、薬量は $2.5\text{kg}/\text{m}^3$ とのことであった。

現場での事業説明は大変興味深く聞かせてもらった。しかし、坑内の動画を流して「現場視察」ということになっており、実際の現場を見られなかったのが非常に残念だった。

(文責：小野知義(前掲))

3 あとがき

本報告はITA総会およびWTCにおける内容のうち、ITAの全体的な動向およびWGなどの技術的な活動の概要を記載しており、参加者から寄せられた原稿や情報をもとにITA統括WGで編集を行ったものである。会議などの詳細な情報に関しては、後述のウェブサイトなどを参考にさせていただきたい。

また、現地にてITA統括WG委員およびJTA展示ブース支援者らによる意見交換会を実施した(写真-11)。現地での活動や本報告に対する関係各位の協力に謝意を表し、お礼の言葉といたします。

参考資料

ウェブサイト

- 1) ITA(国際トンネル協会) : <http://www.ita-aites.org/>
- 2) 「WTC 2017」に関するウェブサイト : <http://wtc2017.com/>
- 3) WTCプログラム。
- 4) WTC2017論文概要集。

連載講座

トンネル新技術への挑戦(23)

—市街地における最新の制御発破技術—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会

1 はじめに

近年の山岳トンネル工事は、市街地や民家に近接するケースが増えており、掘削に伴って発生する周辺環境への負荷(振動や騒音など)軽減の観点から、坑口部や市街地通過部においては機械掘削が基本となる。しかしながら、当該部分に中硬岩が出現すると機械掘削では掘進不能に陥ったり、掘進に極端な時間を要し工程をロスする場合があります。振動や騒音を抑えた「周辺環境に優しい発破」が、合理的な施工のための重要な課題の一つとなっている。

2 開発の背景

2-1 それまでの状況

従来の制御発破は、発生する振動値や騒音レベルを低減するため、装薬孔数を増やして1斉発薬量を減じて1孔ごとに起爆する制御発破が広く採用されており、その場合に使用する雷管は、導火管付き雷管や電子遅延式雷管が用いられていた。

一方、市街地での発破に対する苦情は、昨今は防音設備の性能向上により騒音(可聴音)に対する苦情は少なく、主に「揺れる」であり、この場合、
・直接的な地盤振動の大きさに起因する場合
・人の感覚的に「揺れている」と錯覚する場合の2つに区分される。

前者の場合は、さらに1斉発薬量を下げることでも対応できるが、後者の場合は、振動の持続時間

や音(この場合は低周波音)の周波数がかかわってくるため、起爆秒時間間隔が固定されている従来の雷管では対応することが困難であり、物理量としては振動や音の低減が認められたとしても、人の感覚的に受け入れられず、思うような効果が得られていない。

このことが、市街地における積極的な発破掘削の採用に至らない要因となっていると考え、当該地域住民の感覚閾値に合わせて、発破により発生する振動や音の持続時間や周波数を、現場で任意に制御可能な発破工法を開発することとした。

2-2 開発への取組み

2-2-1 振動や音の持続時間に対する人の感覚閾値

人間は、経験したことのない振動や音は過去の体験と照合して知覚するため、発破振動は地震と錯覚しやすい。地震動の場合、通常はP波が先に到達し、S波が後から到達して大きな横揺れが生じるため、発破振動を、このP波と誤認して、必要以上に不安感を与えている可能性がある。

一方、振動の持続時間に対する人の感覚閾値は図-1に示すとおりであり、1~2秒未満の継続時間の短い衝撃正弦振動(パースト信号)に対する振動感覚は、同振幅の連続正弦振動の場合に比べて大きさの感覚量が低下することが知られている。

また、音についても同様であり、図-2はさまざまな長さの歌声と話し声を人間が聴いて判断する場合の識別率であるが、声の長さが1秒より短くなると識別率が低下することがわかっている。

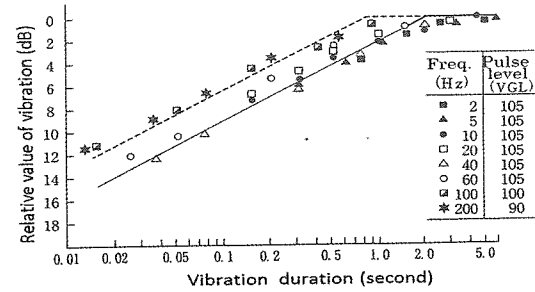


図-1 振動の継続時間と大きさの感じ方との関係¹⁾

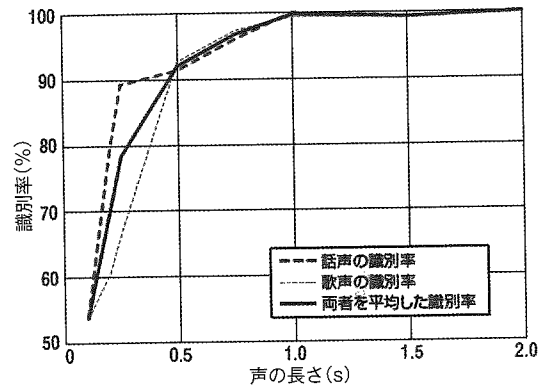


図-2 声の長さとの識別率との関係²⁾

以上より、振動や騒音を人の感覚閾値の観点から低減するためには、発破の持続時間を1秒未満に短くすることが有利であると言える。

この点で、例えば電子遅延式雷管の場合、工場出荷時の標準的な秒時間隔設定は30msに固定されているため、発破孔を100孔とするとトータルの発破継続時間が3~4秒になっており、持続時間が長いがゆえに、かえって心理的な圧迫感を与えているため、感覚的に受け入れられがたいことが予想される。

2-2-2 家屋などの構造物への影響

図-3は気象庁が公表している周期および加速度と地震震度(理論値)との関係図であるが、例えば同じ加速度(8 cm/s²)であったとしても、周期が1秒(周波数が1 Hz)であれば震度3相当になるのに対して、周期が0.05秒未満(周波数が20Hz以上)であれば震度1未満になる。すなわち、同じ加速度であっても、周波数が高ければ地震震度は下がる。

外壁のひび割れなど家屋の変状を来すのは、地

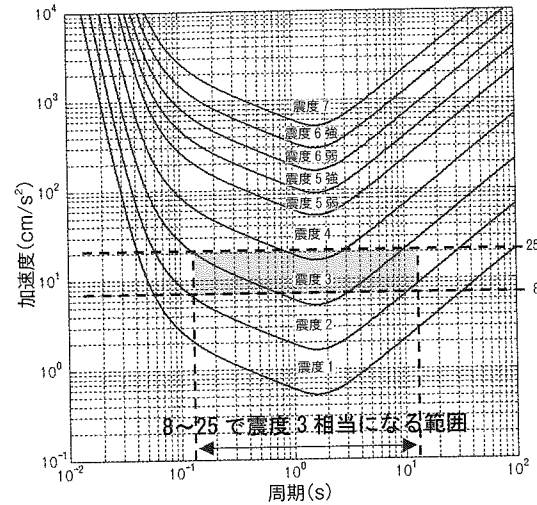


図-3 周期および加速度と震度(理論値)との関係³⁾を加工

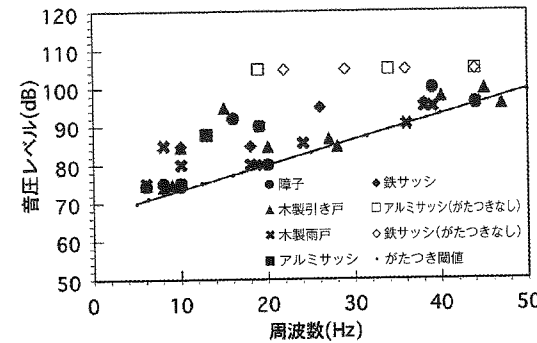


図-4 低周波音による建具のがたつき閾値⁴⁾

震で震度3相当(加速度では8~25cm/s²)と言われており⁴⁾、その観点からも、周波数が高いほど家屋などの構造物への影響は少ないことが予想される。

2-2-3 建具のがたつきを来す低周波音の周波数特性

「揺れている」と誤認するケースの一つとして、発破の低周波音(空気の振動)が窓枠や屋内の棚の扉を揺らし、がたつき音を発生させることで、地震と錯覚することが挙げられる。

この場合、低周波音の周波数成分ごとの音圧レベルが、図-4に示す建具のがたつき閾値を超えているか否かが一つの目安となる。これによると、5 Hzでおよそ70dB、20Hzでおよそ80dB、40Hzでおよそ90dBとなっており、周波数が高ると

がたつき閾値も上がる。つまり発破により発生する低周波音の周波数を全体的に上げることができれば、建具のがたつきを回避することが可能であることを示唆している。

以上より、市街地での制御発破に求められる性能は、

- ・発破の持続時間をできるだけ短く制御できる
 - ・発生する波の周波数が制御できる
- ことであり、これらを現場で任意に設定できることが求められる。

③ 開発の経緯

以上より、発破の持続時間を短くすることで体感振動や体感騒音を低減し、さらに起振周波数を高めることで構造物への影響や低周波音を低減する、市街地での新しい制御発破工法を考案し、図-5に示すプロセスで検証した。

3-1 発破の持続時間と起振周波数の制御性の確認(安永川トンネル)⁶⁾

最初に、高精度秒時電子雷管でどこまで正確に起振周波数が制御できるかについて、波形が比較的明瞭な振動を指標に安永川トンネルで確認した。

安永川トンネルは、愛知県豊田市発注の矢作川バイパス水路トンネルであり、住宅密集地直下を平均土かぶり約20m程度で掘削した工事である。

中硬岩地山が大部分を占めていたが、当初設計は全線機械掘削であった。TBMで先進導坑を掘削した後、拡幅掘削をロードヘッダMT720にて実施していたが、機械掘削は長時間にわたって常時振動が発生し、かえって住民に不快感を与えていたため、発破工法に変更した。代表的な発破パターンを図-6に示すが、孔数は約100孔で総装薬量は80kgとなっており、電子遅延式雷管では発破振動の持続時間が問題となるおそれがあった。

そこで、高精度秒時電子雷管を導入し、現場で任意に秒時設定することにより、発破の持続時間を制御した現場である。

この現場で、図-7に示した上部に民家のない石切り場跡地直下通過時(トンネルとの最小距離10.25m)に試験発破を行い、起爆時間間隔を30ms、

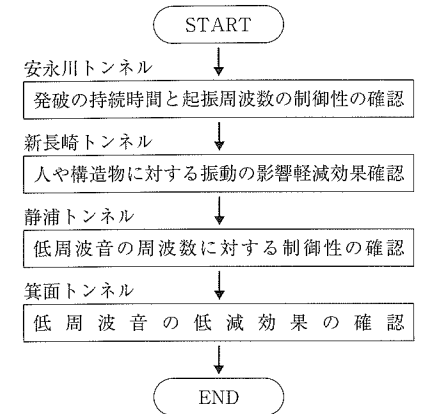


図-5 検証フロー

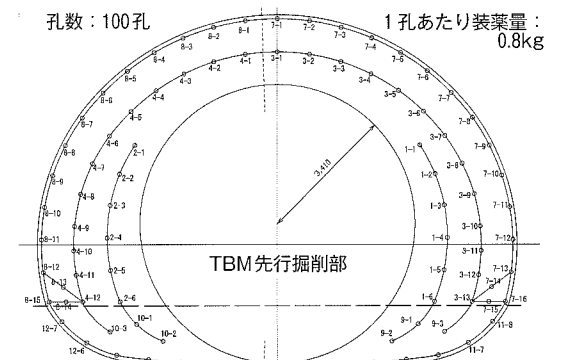


図-6 拡幅掘削の標準発破パターン(安永川)

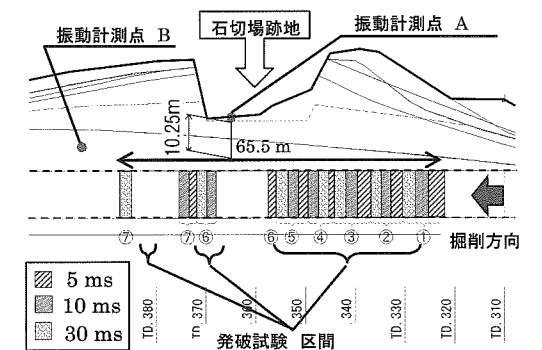


図-7 試験発破位置(縦断面)

10ms、5msに設定し、同図に示した位置に振動速度計を配置して振動波形を取得し、振動持続時間や卓越周波数を比較した。

結果を図-8に示すが、起爆秒時間間隔に応じて発破の振動持続時間は短くなり、起振周波数も起爆秒時間間隔の逆数が卓越しているため、高精度秒時

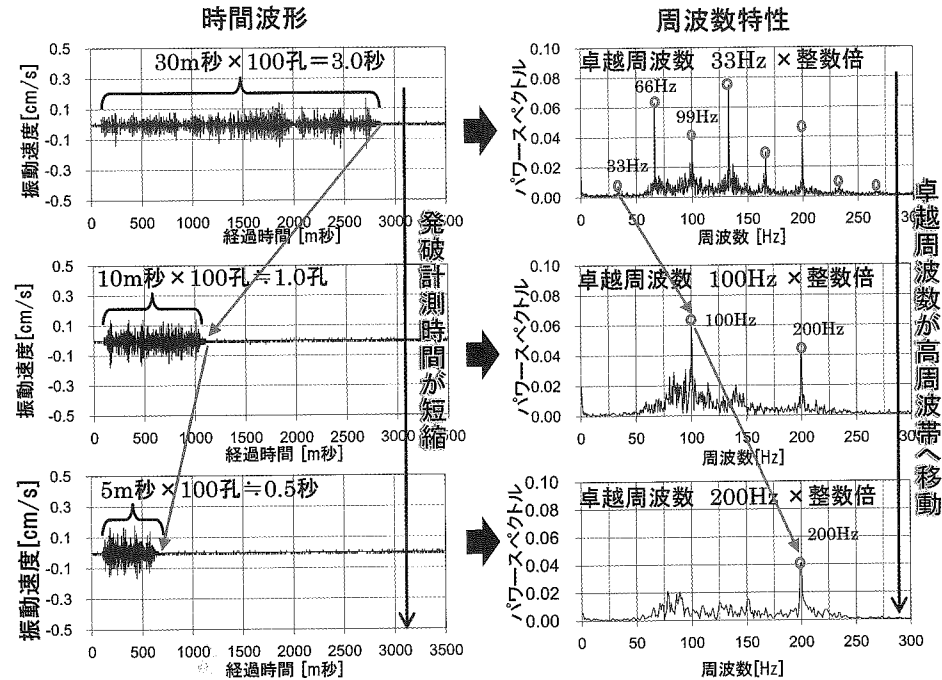


図-8 起爆秒時間隔別の時間波形と周波数特性(安永川)

電子雷管を用いて、現場で任意に秒時設定することにより、発破の持続時間や起振周波数が確実に制御できることが確認された。

なお安永川トンネルでは、この結果を参考に地域住民へのヒアリングを実施したうえで、体感上もっとも有利であった5msを採用のうえ発破掘削を継続実施し、2014(平成26)年9月に無事に拡幅掘削を終え2015(平成27)年2月に竣工した。

3-2 人や構造物に対する振動の影響軽減効果の確認(新長崎トンネル西工区)⁷⁾

前節の安永川トンネルはTBM先進導坑により心抜き部が先行掘削されていたため、全断面を発破掘削した場合の振動の影響軽減効果の確認を、新長崎トンネルで実施した。

新長崎トンネルは九州新幹線西九州ルートの新長崎駅へ接続する最後の山岳トンネル(全長7,460m)である。そのうち西工区は長崎駅側3,590mを掘削するものであり、図-9に示すように、住宅密集地や既設道路トンネルとの近接施工となる区間が多く、斜路トンネル坑口部も住宅地に近接している。

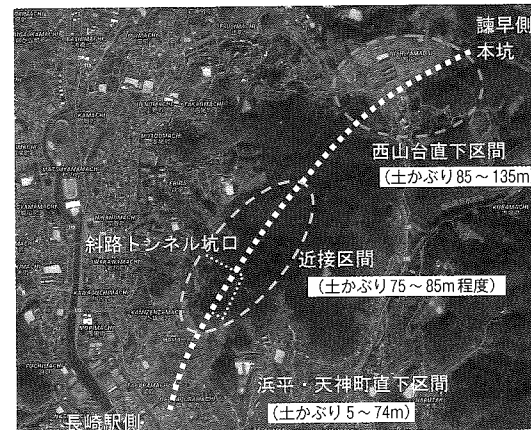


図-9 新長崎トンネル西工区の周辺環境

この中で、近接寺院(写真-1)を対象に、本坑トンネルの距離程64km190m(斜距離で160m)離隔、図-10参照)地点から、起爆秒時間隔を7ms(周期が0.007秒=起振周波数で約143Hz)に固定した発破(図-11)による振動波形測定を行い、得られた波形を処理して、卓越周期と最大振動加速度との関係を整理した。

結果を図-12に示すが、地盤の応答特性のばらつきにより、寺院での卓越周期は0.004~0.04秒

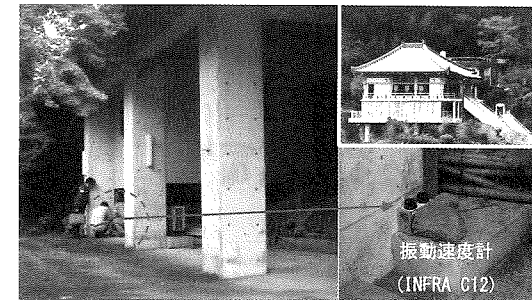


写真-1 近接寺院での測定器設置状況

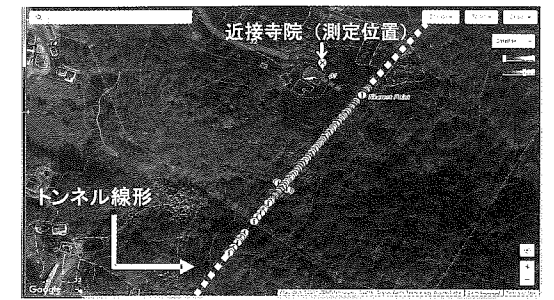
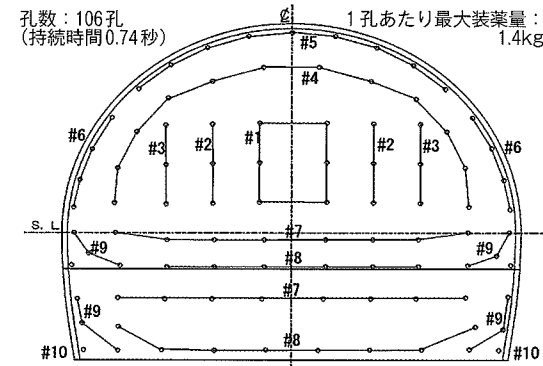


図-10 測定位置と発破位置との関係



段	孔数	装薬量	
		1孔あたり(kg/孔)	段あたり(kg/段)
# 1	6	1.4	8.4
# 2	8	1.4	11.2
# 3	12	1.2	14.4
# 4	8	1.2	9.6
# 5	8	1.2	9.6
# 6	8	1.2	9.6
# 7	6	1.2	7.2
# 8	12	1.2	14.4
# 9	16	1.0	16
#10	12	1.0	12
#11	8	1.2	9.6
#12	2	1.2	2.4
合計	106	-	124.4

図-11 標準発破パターン(新長崎)

(周波数で25~250Hz)、振動加速度は最大で60 cm/s²であったが、地震震度に換算すると、寺院に最接近するまでのすべての発破において、震度1未満となった。

近接寺院にとくに変状はなく、住民の方からも大きな苦情も出なかったため、起振周波数を高めることで、体感振動のみならず、構造物に対する振動の影響も低減できることが確認できた。

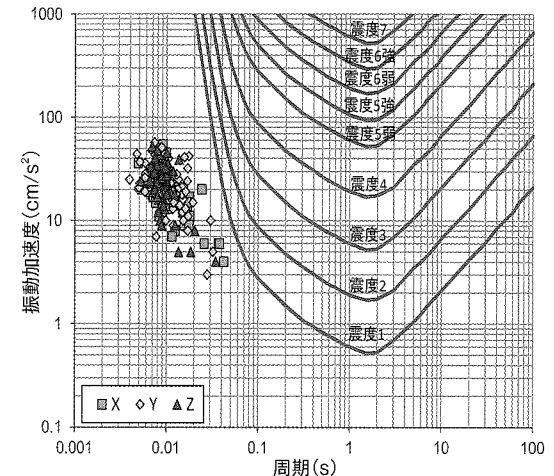


図-12 卓越周期と最大振動加速度(新長崎)

3-3 低周波音の周波数に対する制御性の確認(静浦トンネル)⁸⁾

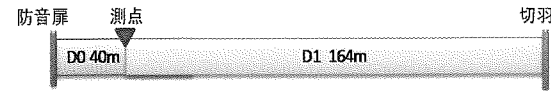
前節までの検証により、振動では起振周波数が制御できることは確認できたが、低周波音の場合、波の伝達媒体が空気になるため、体積圧縮により波形がぼやけてしまうことや、防音扉などの坑内設備による反射波の干渉で複雑になることが予想された。

そこで静浦トンネルにて、図-13に示した条件で単発の音圧波形を取得し、その重ね合わせにより予測した最適秒時間隔の前後で発破した場合の、低周波音の周波数特性を比較することにより、起振周波数による低周波の制御性の確認を実施した。

サンプリングした単発波形を、秒時間隔を7ms, 17ms, 30ms, 42msとずらして20孔重ね合わせた結果を図-14に、それぞれの波形を時間積分してプロットした結果を図-15に示す。これによ

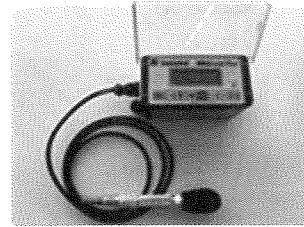
①測定位置

(防音扉から40m前方で切羽まで164mの位置で測定)



測定器(マイクロフォン)の仕様

- 周波数特性: 2~250Hz (FLAT)
- 測定レンジ: 0.5~500Pa
- 分解能: 0.25Pa
- サンプリングレート: 1024Hz



②発破パターン(一度の起爆で遅延を設定)

1孔単発①→(4.25sec)→1孔単発②→(4.25sec)→残り30孔連続@17ms

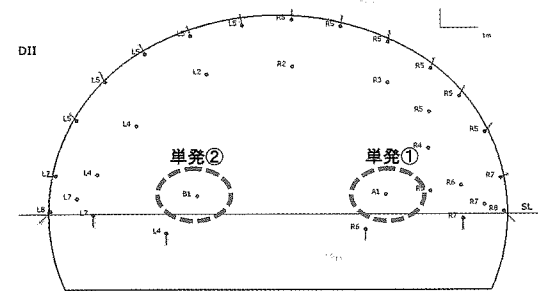


図-13 単発波形の測定条件

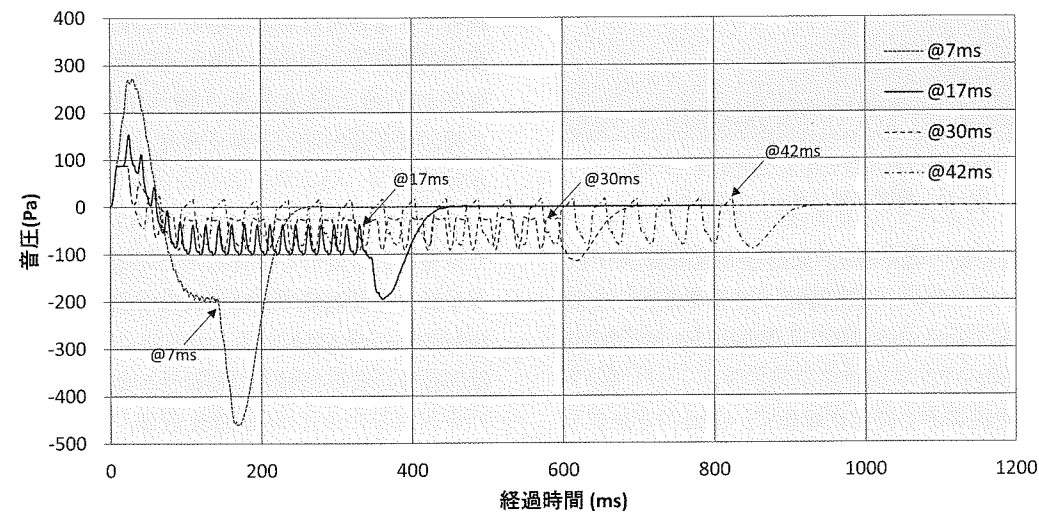


図-14 単発波形の起爆秒時間隔別の重ね合わせ

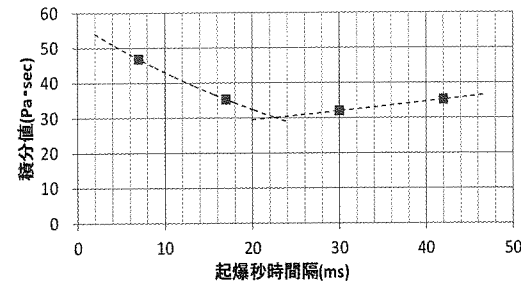


図-15 起爆秒時間隔と音圧の時間積分値

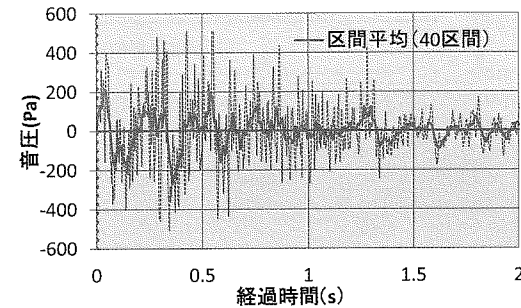
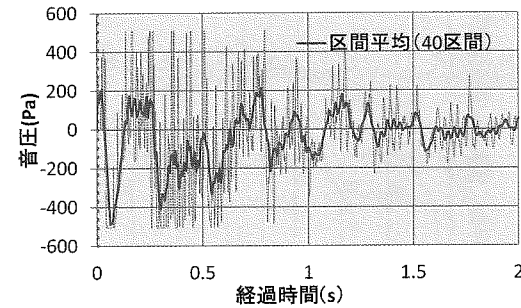


図-16 起爆秒時間隔別の音圧波形

ると、秒時間隔を短く設定しすぎると、波の重なりで音圧はかえって大きくなり、23ms付近に音圧が最小となる最適秒時間隔が存在することがわかった。静浦トンネルにて実際に起爆秒時間隔を17msと23msに設定して、単発波形の測点で音圧を比較した結果を図-16に、両者の波形のスペクトル分析結果を図-17に示す。これによると、音圧の振れ幅は両者とも±200Pa程度で変わらないが、初波の振れは23msの方が小さく、また、スペクトル分析結果でも20Hz以下のきわめて低い低周波音は23msの方が小さくなっており、起振周波数により、低周波音も制御可能であることが確認できた。

3-4 低周波音低減効果の確認(箕面トンネル西)⁹⁾

前節の最適秒時間隔に対する知見と、実際の低

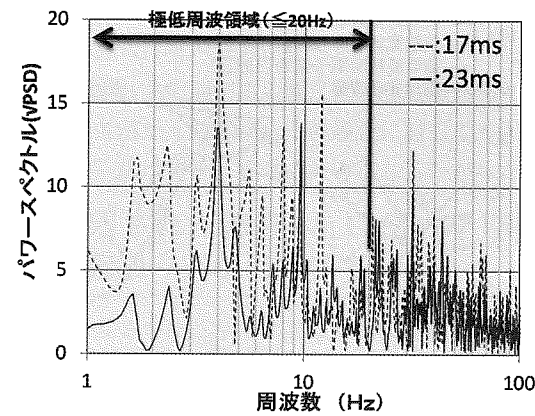


図-17 パワースペクトルの比較

周波音の低減効果を箕面トンネル西にて確認した。箕面トンネルは、新名神高速道路(高槻第一JCT~神戸JCT, 全長40.5km)のうち、大阪府箕面市北部を東西に横断する全長約5kmの2車線双設道路トンネルであり、図-18に示すようにトンネル西坑口と隣接民家との最小離隔が上り線で70m程度、下り線で130m程度と近接していた。さらに下り線では坑口から約125m、上り線では坑口から約210m入ったところで発破が必要となる硬岩が出現し、発破に伴う周辺環境への影響を極力低減する必要があったため、高精度秒時電子雷管による制御発破により、坑口に隣接する住宅地に対する発破振動・発破騒音の抑制を図りながら掘削を進めた。

本トンネルの発破掘削当初に、起爆秒時間隔を30ms, 17ms, 7msに変えた試験発破を行い、起

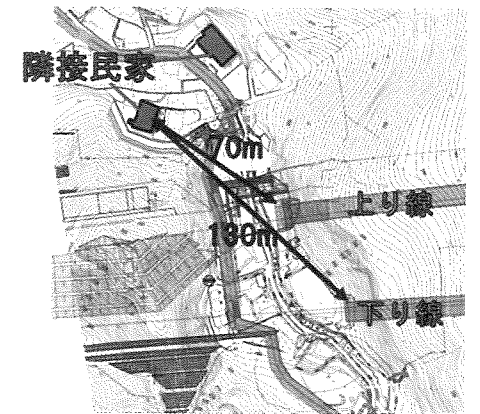


図-18 トンネル西坑口と隣接民家の位置関係

表-1 試験発破諸元(箕面)

試験回数	秒時間隔 (ms)	孔数	最大斉発薬量 (kg)	総装薬量 (kg)	持続時間 (s)
1	一律30	72	0.6	35.0	2.26
2		72	0.6	24.3	2.26
3	孔間7	73	0.6	22.8	0.68
4		段間28	63	0.6	23.4
5	一律17	68	0.6	24.6	1.14
6		64	0.6	14.7	1.07

*奇数回は昼間、偶数回は夜間に試験発破を実施した

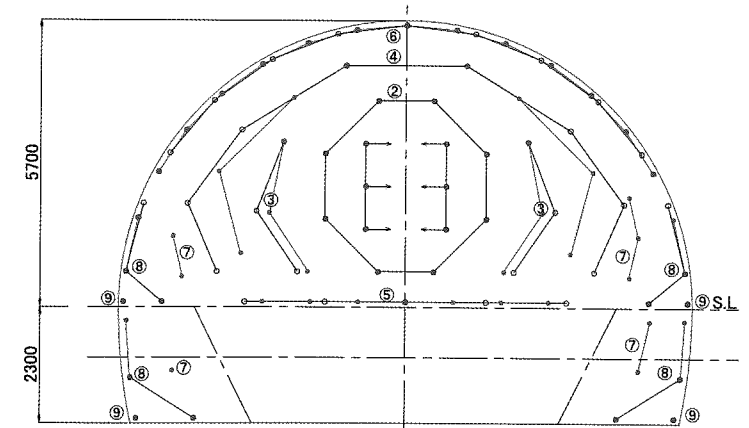


図-19 標準発破パターン(箕面)

爆秒時間隔の違いによる騒音・低周波音の低減効果を確認した。試験発破の諸元を表-1に、標準発破パターンを図-19に示す。また、発破位置と計測点配置を図-20に示す。

試験発破時の測定結果から、坑外距離と騒音レベルおよび低周波音圧レベルの関係を秒時間隔ごとにグラフ化した結果を図-21に示す。住宅地における騒音レベルと低周波音圧レベルは管理目標値(騒音：64dB、低周波音：90dB)をおおむね下回った。

同図には、一般的に騒音・低周波音の予測に用いられる船津式⁹⁾の諸値を、今回の測定結果から求めた予測線も示している。同図からも明らかのように、秒時間隔を変えても騒音レベルに明確な差は生じなかったが、低周波音に関しては、秒時間隔が7ms > 30ms > 17msの順で小さくなっており、図-15の起爆秒時間隔と音圧の時間積分値

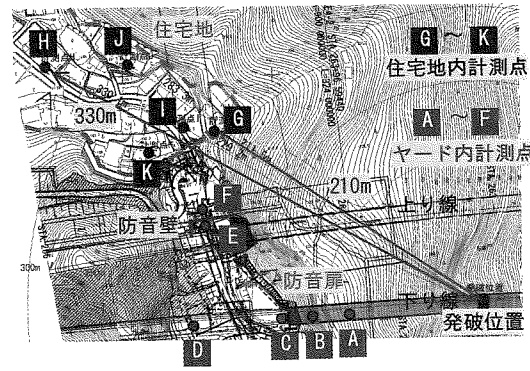
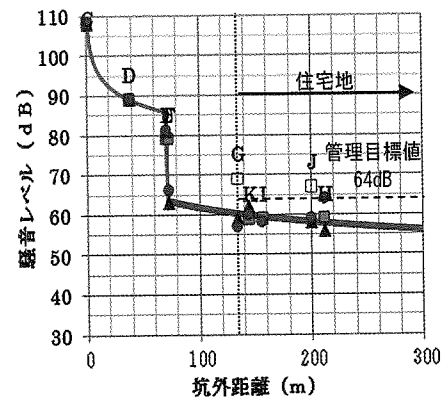
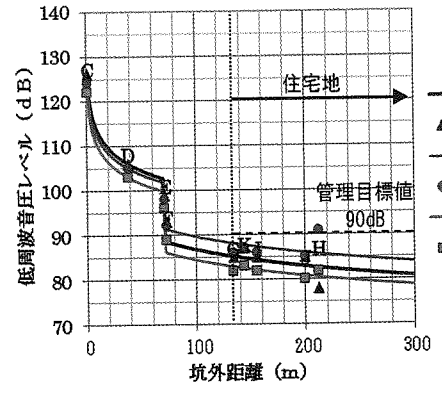


図-20 発破位置と計測点(下り線試験時)



坑外距離と騒音レベルの関係



低周波音圧レベルの関係

図-21 坑外距離と騒音レベルおよび低周波音圧レベルの関係

の傾向と合致しており、17ms前後が低周波音の低減効果が最も高くなったため、以降は17msを標準とした。

その後、上下線ともに約T.D.300mになったところで、坑口の防音設備を表-2の仕様に強化したうえで、いったんは電気雷管に切り替えて掘進を継続していたが、坑口から切羽までの距離が600m程度となった時点で地山が堅硬になり、1回の発破に使用する爆薬量が80kg程度に増加し、また、避難連絡坑の掘削により上下線が一つの空洞

表-2 坑口防音設備(箕面)

Table with 4 columns: Tunnel, Form, Number of Installations, and Installation Location. It details soundproofing equipment for the upper and lower lines.

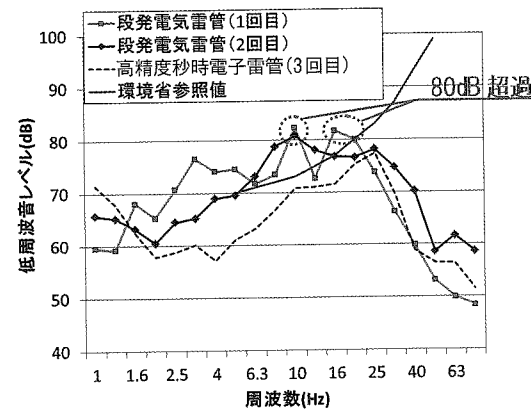


図-22 周波数別の低周波音レベル(箕面)

となり、坑内環境が変化したこと起因して、近隣住宅から屋内の建具ががたつくとの苦情が寄せられた。その際に、苦情がでた民家の軒先で低周波音圧レベルを測定し、1/3オクターブバンド分析した結果を図-22であるが、電気雷管で発破した場合(1, 2回目)では、20Hzより下の周波数帯域で、図-4に示したがたつき閾値(グラフでは環境省参照値として示している)を超えている反面、17msの起爆秒時間隔で発破した場合(3回目)は、すべての帯域でがたつき閾値を下回っており、屋内でのがたつき音も確認されなかった。

箕面トンネルでは、これ以降、節目節目で電気雷管への切り替えを試みたものの、電気雷管に切り替えるとがたつき音が発生する事象が続いたため、結果的には、掘削完了まで17msの起爆秒時間隔による発破を継続し、下り線が2016(平成28)年7月、上り線が同年10月に無事貫通した。

低周波音は坑内減衰が得られがたいため、坑口部のみならず切羽がある程度進行しても問題となるケースが多々あるが、その場合に対しても本制御発破工法は非常に有効であることもわかった。

4 残された課題(坑口部の早期発破掘削の実現に向けて)

以上のように、今回開発した制御発破工法は、発破持続時間や起振周波数を制御することにより、体感振動や構造物への影響を低減し、また低周波音に対しても、周波数を制御することにより建具のガタツキを抑えることができるため、とくに市街地のトンネル坑口部において、非常に効果的である。

振動・騒音・低周波音の各対策は、個々の施工環境に応じて応用する必要があるが、この特徴を最大限に活かせば、従来、環境対策で機械掘削を余儀なくされていた区間の早期発破掘削(昼夜での施工)の実現も可能となる。

今後の課題としては、適用事例を増やしてデータを取り、施工環境に応じた最適な対策を確立することと考えている。

5 おわりに

人口減少時代を迎えた日本において、建設現場の生産性向上は喫緊の課題になっており、制御発破技術を初めとするトンネル掘削技術は、更なる合理化を図っていく必要がある。

今回開発した新しい制御発破工法も、トンネル掘削の生産性向上に対する一つの方策と言える。ただし、まだまだ解決すべき課題は残っている。とくに市街地のトンネル坑口部において、早期の昼夜発破掘削を実現するためには、さまざまな施工環境で広く適用実績を重ねて、さらに知見を深める必要があり、技術の普及が待たれるところである。

(文責：西岡和則・手塚康成/鹿島建設(株))

参考文献

- 1) 国松直・三浦房紀・今村威・中川浩二：速度波形を用いた振動レベルの推定, 土木学会論文集, No.391, 1988.
2) 大石康智・後藤真孝・武田一哉：音楽情報処理最前線! 「歌声」と「話声」はどう違うか? 人間の「声」を理解するコンピュータの実現を目指して, 音楽情報科学研究会, DTM マガジン, 2009.3.
3) 気象庁ホームページ：震度と加速度, http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/comp.htm
4) 伊那潔：建設工事による建物振動被害の判定手法, 日本建築学会環境系論文集, Vol.77, No.676, 2012.6.
5) 環境庁委託業務結果報告書：昭和52年低周波空気振動等実態調査「低周波空気振動の家屋等に及ぼす影響の研究」, 1978.3.
6) 岩野圭太・越川俊幸・栗木欣也・落川崇征・福井勝則：高精度電子雷管を用いた住宅地直下における環境負荷低減発破, 土木学会第24回トンネル工学研究発表会, I-35, 2014.12.
7) 竹井修・扇裕次・手塚康成・上田翔：発破振動速度の遠隔測定システムNCVIBの活用例, 平成29年度第72回土木学会全国大会, 2017.9.
8) 手塚康成・西岡和則・測先弘一・北村義宣：高精度自在制御発破工法の低周波音低減効果について, 土木学会第25回トンネル工学研究発表会, I-1, 2015.11
9) 日本火薬工業会：あんな発破 こんな発破 発破事例集, 2002.

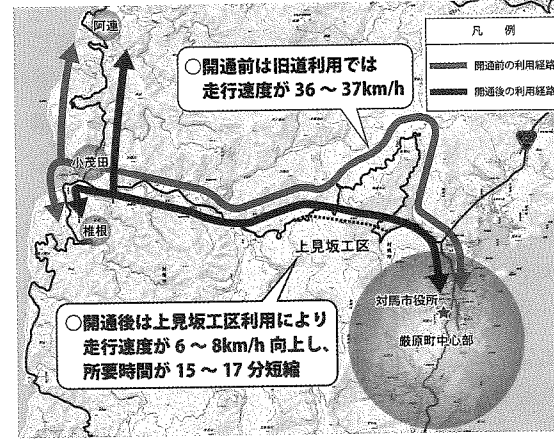
トンネルジャーナル

対馬・佐須坂トンネル開通に伴う整備効果

長崎県は2016年2月14日に開通した主要地方道
 棧原小茂田線上見坂工区の開通1年後の整備効果を
 まとめ、公表した。同工区は対馬最長となる佐須坂
 トンネル(1,867m)を含む2.6kmの区間。険しい山間
 部の道路をバイパスし、対馬東部の行政の中心地
 である厳原町と観光資源が豊富な小茂田地区を結ぶ。
 開通により両区間20kmが12kmに短縮された。

公表された資料によると、直接的な効果として、
 開通した工区を利用する交通は、平均走行速度が6
 ～8 km/h向上し、15～17分の時間短縮が確認され
 たほか、年平均約2件あった交通事故が開通後1年
 では0件と減少した。交通量は250台/12hから
 1,000台/12h超と4倍以上に増加した。

開通に伴うヒアリング調査では、走行性の高い道
 路となったことにより、霧や路面凍結の心配がな
 くなりストレスが減った、タクシー利用者の車酔い
 が減った、救急搬送時の車内での処置が容易にな
 ったなどの声が得られた。鮮魚の搬送時の荷痛も
 減ったという。



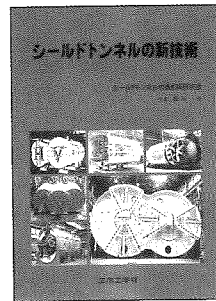
長崎県「上見坂工区開通に伴う整備効果」2017.7.20より

所要時間の短縮により厳原周辺を訪れた観光客が
 小茂田周辺の観光施設へ周遊する機会も増えており、
 小茂田周辺地区の店舗のなかに来訪者数・売上げが
 開通前の2倍近く増えたところもあるなどの整備効
 果もみられた。

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章

B5判 285頁 本体価格4,660円



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

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

文献紹介

解 説

- 特集/多様な線形に対応する測量技術, 月刊推進技術, Vol.31, No.2, 2017.2.
 遠藤太嘉志: トンネル情報化施工のための3次元可視化システムの紹介, 建設機械, Vol.53, No.3, 2017.3.
 服部修一: 青函トンネルの歴史, 特集 歴史と土木, 土木技術, Vol.72, No.3, 2017.3.
 丸茂克美: 7.道路工事やトンネル工事で留意すべき日本の地質特性, 講座 地盤工学と地質学における最新のかかわり, 地盤工学会誌, Vol.65, No.3, 2017.3.
 特集/頼りになります推進工事技士, 月刊推進技術, Vol.31, No.3, 2017.3.
 北川敏樹・飯田雅宜: 鉄道騒音とトンネル微気圧波の低減対策, 特集 音と土木, 土木技術, Vol.72, No.4, 2017.4.
 金澤朗蘭: 音で音を消す技術, 特集 音と土木, 土木技術, Vol.72, No.4, 2017.4.
 特集/最新の構造物(トンネル・橋梁)の検査, 建設機械, Vol.53, No.5, 2017.5.

研 究・開 発

- 白石雅嗣・島中健・澤目俊男: 山岳トンネル工事のエネルギーマネジメントシステム, 建設機械施工, Vol.69, No.3, 2017.3.
 山本達生・岩田将英・増田昌昭: 自然由来ヒ素汚染土壌の分離浄化処理工法の開発, 建設機械施工, Vol.69, No.3, 2017.3.
 角田晋相・石橋知大: トンネル工事の発破に伴う低周波音の低減装置, サイレントチューブ, 建設機械施工, Vol.69, No.3, 2017.3.
 西村晋一: トンネル発破低周波音の制御技術, 「プラストウェイク・イーター(BWE)」の開発, 特集 音と土木, 土木技術, Vol.72, No.4, 2017.4.

調 査・設 計

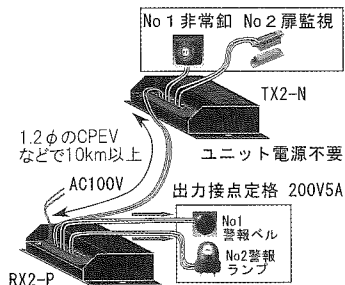
- 青木良純: パイプラインの間接的定量調査, 農業振興, No.807, 2017.3.
 太田啓介・小島文寛・池田直広: 路面覆工設置工事への3次元データの活用, 3次元地形データを使用した覆工設置計画の策定, 建設機械, Vol.53, No.3, 2017.3.
 作井祐介: 水路トンネルにおける掘削タイプの判定事例, 農村振興, No.809, 2017.5.

施 工

- 特集/大深度地下, 地下構造物, 建設機械施工, Vol.69, No.2, 2017.2.
 特集/管更生の付加価値, 月刊下水道, Vol.40, No.3, 2017.3.
 特集/首都高速K7横浜北線(K1横羽線～第三京浜)の開通, 基礎工, Vol.45, No.3, 2017.3.
 曾我力・荒井稔: 既存施設の機能を確保しながら実施した耐震補強対策(武蔵水路改築事業), ダム技術, No.366, 2017.3.
 宮沢一雄: 全断面連続片押し工法によるインバート工事, 磐越自動車道鳥屋山トンネル, 建設機械, Vol.53, No.4, 2017.4.
 特集/既設構造物への直接到達その1, 月刊推進技術, Vol.31, No.4, 2017.4.
 橋田薫・多田博光: 既設営業線直下での圧気併用開放型矩形シールド機による施工, シンガポール地下鉄トムソン線マリーナベイ新駅, 建設機械施工, Vol.69, No.4, 2017.4.
 大久保明: シンガポールMRT, トムソン-イーストコーストラインT207工区, 建設機械施工, Vol.69, No.4, 2017.4.
 石丸裕・巴紀行・大隅充浩: 台北市における大深度圧入ケーソンの施工実績, 台湾・大安電力シールド工事, 建設機械施工, Vol.69, No.4, 2017.4.
 定藤誠一郎: 上町断層を横切るトンネル工事における地盤情報の活用, 基礎工, Vol.45, No.5, 2017.5.
 送水の間隙を突いて裏込め注入房総導水路補強工事(千葉県), ズームアップ, 日経コンストラクション, 2017年5月22日号, 2017.5.
 妻木良憲・大友充・福永義行・井上裕一郎: 中硬岩を含む複合地盤におけるシールド施工, 桜町北湊雨水貯留管築造工事(泥水式シールド工法・複合地盤), 基礎工, Vol.45, No.5, 2017.5.
 宇留島千明: 巨礫(φ2,000)が点在する託麻砂礫層の山留め施工・シールド施工, 基礎工, Vol.45, No.5, 2017.5.
 多宝徹: しらす地盤における大断面トンネルの施工, 基礎工, Vol.45, No.5, 2017.5.
 特集/既設構造物への直接到達その2, 月刊推進技術, Vol.31, No.5, 2017.5.
 山脇慎: 新東名高速道路における建設時の重金属含有土対策, 建設機械施工, Vol.69, No.5, 2017.5.

工法・技術・製品ニュース

製品 2 接点信号伝送器「マルチプレクサー2」



RX2-P
 豊中計装(株)
 TEL. 06-6336-1690
 E-mail: tk@toyonakakeisou.com

豊中計装は2接点信号伝送器「マルチプレクサー2」を発売した。同器は既存の接点信号の配線そのまま利用して、もう1つ別の信号を送ることができるようにする機器。トンネル内や施設の監視システムに1対の電線を用いているところに、さらに1接点追加して信号伝送を行いたい場合、既設の電線を用いて2つの信号伝送が可能となるため、追加するための新たな配線が不要とな

る。そのため、伝送距離が長いほど費用面でのメリットが大きくなるとしている。さまざまなタイプの電線に使用できるほか、ノイズ・雷に強い伝送方式を採用しているため劣悪なノイズ環境でも安定した伝送を可能となっている。最長で30kmまでの伝送に対応する。2接点送信器TX2-N、2接点受信器RX2-Pともに19,000円。

製品 オフロード法2014年基準をクリアする「ホイールローダ982M」



キャタピラー・ジャパン(株)
 GCI Marketing Innovation
 TEL. 03-5717-1122
 http://www.caterpillar.com/

キャタピラー・ジャパンは、オフロード法2014年基準をクリアする環境性能を備えたCat982Mホイールローダの発売を開始した。同機は運転質量35.7t、標準バケット容量6.4m³、定格出力290kWで、中型ホイールローダの最上位モデルであった980Mからエンジン馬力をアップさせた。標準でE&Hレバーステアリングを装備するなど、オペレータの疲労軽減や作業効率の向上を支援する。また、生産量の管理や過積載の防

止に役立つ新型のペイロードシステムも標準装備し、プロダクトリンクなどと併せてCat Connectでより適切な車両管理を行うことが可能となるとしている。大きな傾斜角度のあるアクセスラダーや、地上からのドアの開放を可能にするリモートドア開放スイッチを装備することで安全なキャブアクセスを可能としたほか、リアビューカメラ、警告付きシートベルトなどを標準装備するなど各種安全装備も充実させた。

製品 日立建機 中型ホイールローダー3機種発売



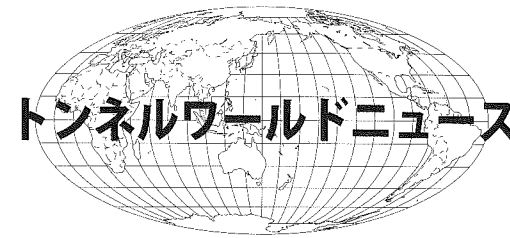
ZW180-6

日立建機(株)ブランド・コミュニケーション本部 広報戦略室 広報IR部 広報グループ
 TEL. 03-5826-8152
 https://japan.hitachi-kenki.co.jp/

日立建機は新型ホイールローダZW-6シリーズとして、ZW140-6(標準バケット容量2.0m³、運転質量10.6t)、ZW150-6(同2.3m³、11.8t)、ZW180-6(同3.0m³、14.8t)の3機種を発売した。同機は、オフロード法2014年基準に適合し、従来機のシンプルなモード選択や、操作性、静粛性などの性能を踏襲しながら、低燃費と作業性能の向上を実現した。また、排出ガスの後処理装置にPM除去フィルタレスの尿素SCRシステムを採用したことで、従来まで必要としていた

定期的な清掃や交換などのメンテナンスが不要となり、長期的なメンテナンスコストやメンテナンス中のダウンタイムの低減を実現するなど、ユーザーニーズに応えた。安全性を向上させるため、ガラス接合部をピラーレス化し、ほぼ全周が見渡せるワイドパノラマキャブを採用したほか、バッテリーを電気系統から遮断できるシステムを標準装備することでメンテナンス中の感電事故のリスクを低減するとともに、長期保管時のバッテリー上がりの可能性も低減させた。

トンネルワールドニュース

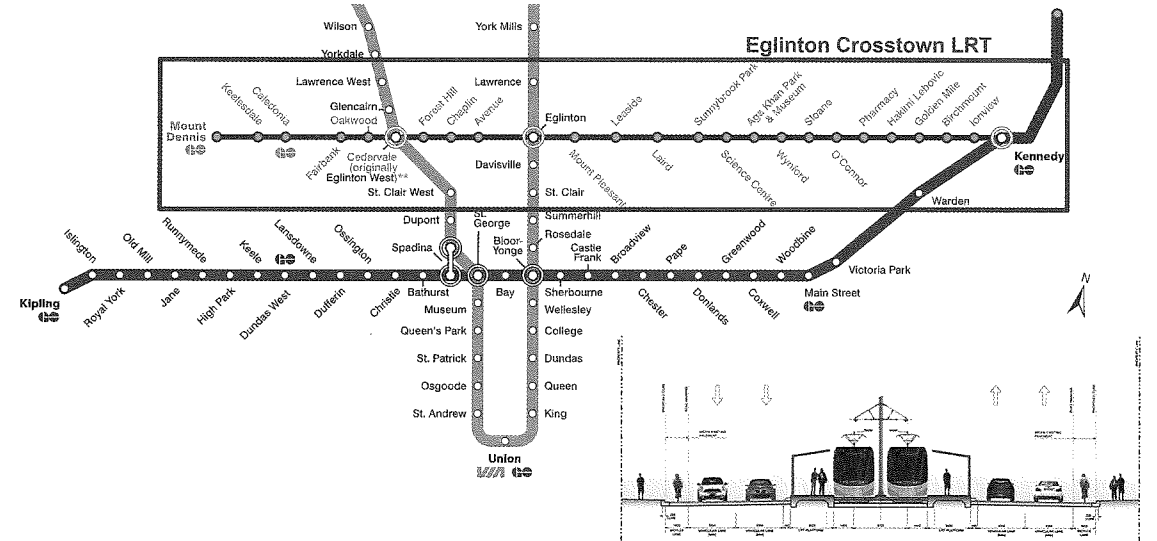


(一社)日本トンネル技術協会
 国際委員会

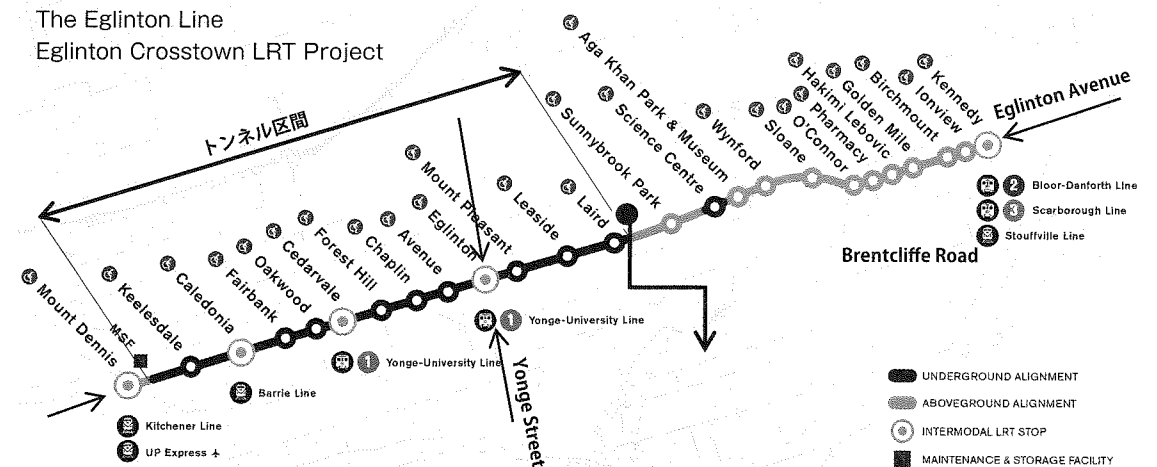
Eglintonにてトンネル掘削が完了

カナダのオンタリオ州交通省は、Eglinton Crosstown LRT線用となる延長10kmのトンネル掘削が完成したと2016年8月17日に発表した。

東側工区のトンネルを掘進する2機のTBMは、2015年9月にBrentcliffe Roadの東側から掘り始め、3,300m掘削したのち、2016年5月にYonge Streetに到達した。Yonge Street到達時に、さらに2機のTBMがCrosstownの西側工区でトンネル掘削を完了させた。新しいLRT線は、Weston Road(Mount Dennis)とKennedy駅間のEglinton Avenue沿いに25の駅と停車所を設け、54のバス路線、トロント交通局運営の3つの地下鉄駅、「GOトランジット」にも接続予定である。Keele, Laird, Avenueを含む3のクロスタウン駅で、目下建設が進行中である。2031年までにこのLRTは、1日の乗車定員16.2万人、年



The Eglinton Line
 Eglinton Crosstown LRT Project



間約5,000万人、ピーク1時間あたり約5,500人の乗客輸送を見込んでいる。

(T&T '16.10 担当：法橋亮・戸田建設(株))

TKトンネル第2セクション設置完了

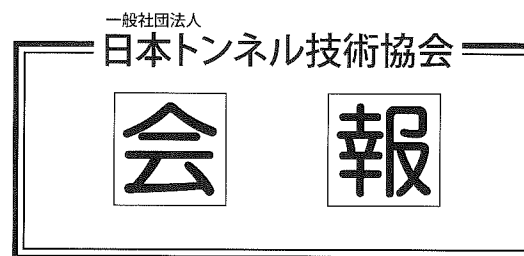
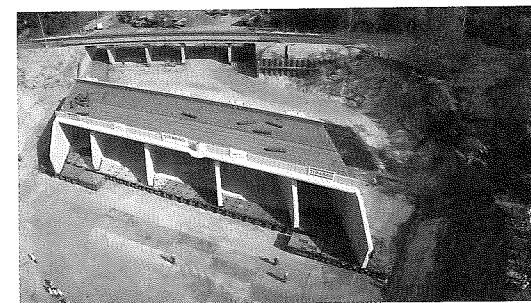
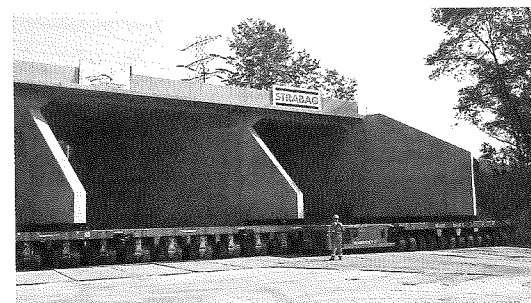
オランダの運送会社Mammoet社は、2016年9月12日、ワルシャワでTKトンネルの第2セクションを急速設置技術により完了したと発表した。

Mammoet社は急速設置作業の期間中、次のように述べた。置換用の橋(5連門形カルバート)は既存の橋の近くで建設され、既存の橋は置換が完了したのちに撤去される。置換作業が完了するとすぐに古い橋を搬出し、新しい橋を設置することで、橋の通行止め期間を最小限に留める。

当プロジェクトでは、鉄道近くにトンネルセクションが建設された。いったん3,200tのトンネルセクションの設置準備が整うと、鉄道の一部が取除かれ、トンネルセクションが104軸の自己推進モジュラートランスポート(SPMT: Self-Propelled Modular Transporter)によって最終目的地まで運搬された。急速設置技術は、Mammoet社、Strabag社および地元の子会社のグループによって実施された。

ポーランド初のこの工法の適用により、トンネルセクションの運搬にわずか2時間、鉄道サービスの停止はわずか18日間でトンネルセクションの設置を可能にした。2番目のトンネルセクションの設置をもって、当プロジェクトは完了する。Mammoet社は、2016年6月に最初のトンネルセクションを設置した。

写真は、Mammoet社ホームページより引用
(T&T '16.10 担当：岡嶋和義・大成建設(株))



1. 会員の現状

	8月31日現在
個人会員	874名
団体会員	204名
推薦会員	209名
特別会員	9名
名誉会員	5名
賛助会員	223名
合計	1,524名

2. 委員会の開催状況(8月1日~31日)

①運営広報委員会関係

◎総務委員会

- ・企画運営幹事会(8/4)

市場一好幹事長ほか8名、ビジョン策定方針を検討

- ・広報小委員会

会誌WG(8/2)

小山幸則主査ほか13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(8/9)

入江健二委員長ほか15名、催物開催結果報告と今後の事業計画を検討

◎国際委員会

- ・英文HP改訂WG(8/23)

河田皓介幹事ほか6名、JTA英文ウェブサイト更新作業内容と作業スケジュールを検討

- ・ITA統括WG(8/23)

砂金伸治主査ほか17名、ITA年次総会・世界トンネル会議2017対応報告ほかを検討

- ・海外文献小委員会

海外ニュースWG(8/24)

篠原慶二幹事ほか6名、海外文献の査読

計 6回開催 71名出席

②調査研究委員会関係

◎技術委員会

- ・安全環境小委員会

山岳アセス検討WG(8/2)

清水健志主査ほか7名、改訂要望箇所を検討

- ・保守管理小委員会

保守管理小委員会打合せ会(8/9)

小瀬喜巳幹事ほか3名、Q&A作成方針を検討

保守管理小委員会打合せ会(8/10)

相沢文也幹事長ほか6名、Q&A作成方針を検討

保守管理小委員会打合せ会(8/25)

小瀬喜巳幹事ほか4名、Q&A作成方針を検討

- ・山岳工法小委員会

地山評価WG(8/25)

木谷日出男主査ほか14名、活動成果の取りまとめ方針および画像データを検討

◎受託研究特別委員会

- ・効率的点検特別委員会幹事会(8/7)

松岡茂幹事長ほか13名、報告書取りまとめ方針を検討

- ・既設・新設接合特別委員会(8/31)

二羽淳一郎委員長ほか27名、大規模改良時の耐震設計手法ほかを検討

計 7回開催 81名出席

合計 13回開催 152名出席

個人会員に加入しよう

技術の習得のために個人会員に加入しましょう。協会ホームページの申込書で簡単に入会手続きができます。

□個人会費：年12,000円(月1,000円)

□特典1：協会の機関紙『トンネルと地下』を毎月、無料でお届けします。

□特典2：協会刊行図書が個人会員価格で購入できます。

□特典3：協会開催の各種催物に個人会員価格で参加できます。

セグメントの新技术

小泉 淳 監修 B5判 132頁 本体定価 2,000円



株式会社 土木工学社

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

3. 国際会議の開催予定

会 議 名	開 催 日	場 所	主 催 者 等
第44回ITA総会および 世界トンネル会議 「Smart Cities : Managing the Use of Underground Space to Enhance the Quality of Life」	2018. 4. 20~26	ドバイ (UAE)	Society of Engineers-UAE, ITA(国際トンネル協会) http://www.uaesocietyofengineers.com
第45回ITA総会および 世界トンネル会議 「Tunnels and Underground Cities : Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art」	2019. 5. 3~ 9	ナポリ (イタリア)	Italian Tunnelling Society, ITA(国際トンネル協会) http://www.societaitalianagallerie.it/ Prj/Hom.asp
第46回ITA総会および 世界トンネル会議 「Innovation and Sustainable Underground Serving Global Connectivity」	2020. 5. 15~21	クアラルンプール (マレーシア)	The Institution of Engineers, Malaysia, ITA(国際トンネル協会)

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

4. 平成29年度催物開催現況

(平成29年8月現在)

催 物 名	開 催 日	人 数	場 所	CPD取得単位
【現場見学会】 東京外かく環状道路トンネル建設工事現場研修会 —中央JCT北側ランプ改良工事—	2017. 6. 20	25	東 京	2.0
北海道新幹線トンネル建設工事現場研修会(後志トンネル)	2017. 8. 25	24	北海道	1.8
相鉄・東急直通線工事現場研修会(新横浜駅, 羽沢トンネル)	2017. 9. 7	25	神奈川	3.5
【施工体験発表会】 第80回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」	2017. 6. 28	167	東 京	6.0
第81回(都市)「市街地における地下構造物の新設および改良工 事—近接, 拡幅, 再構築等の施工事例—」	2017. 6. 29	116	東 京	3.8
【講習会・シンポジウム】 第3回トンネル維持管理業務講習会(基礎編)	2017.11.20	40	東 京	5.5

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

第3回トンネル維持管理業務講習会(基礎編)のご案内

本講習会は、トンネル維持管理業務の基礎となる技術について体系的な講義を行い、現場での点検作業に従事することができるレベルの技術者育成を図ることを目的として実施します。構造の対象は在来工法およびNATMで施工されたトンネルとし、トンネルの維持管理業務(管理, 点検, 補修設計など)経験が浅い方を主な対象とします。トンネル維持管理業務に携わる技術者の皆様にとりまして大変有意義な講習会と存じますので、多数ご参加くださいますようご案内いたします。

—記—

開 催 日: 平成29年11月20日(月) 10:00~17:30

会 場: 中央大学駿河台記念館3階「330」 TEL: 03-3292-3111(代表)

〒101-8324千代田区神田駿河台3-11-5

プログラム:

- 司 会 東日本旅客鉄道(株)構造技術センター地下トンネル構造グループ 小瀬 喜巳
10:00~10:05 開会のあいさつ 事業委員会委員長(メトロ開発(株)代表取締役社長) 入江 健二
10:05~10:30 トンネル維持管理概論 首都大学東京都市環境学部教授 西村 和夫
10:30~11:20 トンネルの施工方法
飛鳥建設(株)土木事業本部土木事業本部リニューアル統括部長 川端 康夫
11:20~11:30 休 憩
11:30~12:20 トンネルの施工方法
飛鳥建設(株)土木事業本部土木事業本部リニューアル統括部長 川端 康夫
12:20~13:00 昼 食
13:00~14:50 トンネル変状概論
(公財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部主管研究員 小島 芳之
14:50~15:00 休 憩
15:00~16:50 トンネル点検概論
(国研)土木研究所道路技術研究グループ(トンネル)主任研究員 日下 敦
16:50~17:25 まとめ(内容:確認試験, アンケート実施)
東日本旅客鉄道(株)構造技術センター地下トンネル構造グループ 小瀬 喜巳
17:25~17:30 閉会のあいさつ
保守管理小委員会委員長(東日本旅客鉄道(株)執行役員建設工事部長) 大西 精治

定 員: 40名

参 加 費: 会員12,000円, 一般15,000円(昼食代, テキスト代, 消費税を含む)

*申し込み方法などの詳細は本会ホームページご参照ください。

<http://www.japan-tunnel.org/files/images/20171120MaintenanceWorkshop.pdf>

11月号予告[11月1日発売予定]

- 九州横断自動車道 田代第二トンネル
- 鳥取西道路 気高青谷トンネル
- 福島第一原子力発電所海水配管トンネル内部閉塞工事
- 東京下水道 千代田幹線
- 【連載講座】
- トンネル新技術への挑戦(最終回)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆先日、北海道新幹線で青函トンネルを通りました。青函トンネルを通ったのはこれが2度目。1度目は夜行の急行「はまなす」で青森から札幌まで行ったときで、もう20年以上前になるでしょうか。旧国鉄らしい青い客車と古い蛍光灯で薄暗く照らされた車内に並ぶ2列シートが記憶にあります。寝付きが良いようにと乗車前にビールを多めに飲んだあと、クッションない狭いシートに体を沈めて札幌に向いました。そういう状況でしたので、実際に青函トンネルを通った記憶はありません。先日は、函館駅前朝食をとったあと列車に乗り、新函館北斗駅へ向かいました。新しいホームに降りると、目の前には広い平野の向こうに駒ヶ岳を囲む山々が見えます。やはり旅の移動は明るい日差しのなかで行うものです。新幹線の車両は新しく、明るい車内のクッションの効いたシート座ると、20年前の夜行急行とはおおきく違いすべてが快適なものでした。青函トンネル突入後には、窓の外は暗闇で車内が快適すぎたためか、間もなく寝てしまいましたが……。今号に函館江差自動車道の渡島トンネルが掲載されました。北海道新幹線の開業により向上した函館のポテンシャルを道南地域ぜんたいに行き渡せるには、函館を結節点とした高規格道路網の整備が必要との指摘もあります。魅力ある道南地域がすべての人にとってアクセスしやすい場所となるよう道の早期の開通を期待しています。

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

トンネルと地下

第48巻 第10号 (通巻566号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成29年9月20日 印刷

平成29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 谷口 博昭

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 株式会社新協

印刷 株式会社新協

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

購読料

1冊 1,620円(送料110円)
(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

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

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

吸引ダクトが無くても全ての断面、全ての延長に対応

たった37kWで2,750m³/min イーダスコ270使用時

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO

イーダスコ240/イーダスコ270

ファン動力30kW ファン動力37kW

NETIS

公共工事における新技術活用システム

登録番号: TH-100024-VE

経済産業省後援

第39回優秀環境装置

日本産業機械工業会 会長賞

全てのトンネルに適用可能!



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

吸引捕集方式にも対応



48m²の設置例

希釈封じ込め方式での計算例

① 粉じん発生量

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

② 所要換気量

$$Q_{4a} = \frac{5,940}{3.0 - 0.07} = 2,027 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

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

③ 集じん機の選定

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

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

注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

*1 入口ダクト及び絞りダクトは含みません。*2 台車および揚重用具の高さは含みません。*3 機種により多少異なります。*4 JIS Z 8808 並びに換気技術指針(H24.3)に定める試験方法に基づき第三者計量機関により測定した値です。*5 任意設定にて最大2,750m³/minまで可能です。

古河機械金属グループ 古河産機システムズ株式会社

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

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

大阪支店 ☎06-6344-2532 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 小田原工場 ☎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、画期的な入門書。



山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著
3,200円+税 B5判

地山の力学状態を表す理論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

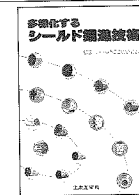
火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げ、また、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく解説。



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

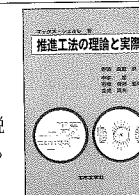
近年に開発、実用化された29工法を整理、体系化するとともに、各工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点などをわかりやすく説明した。



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

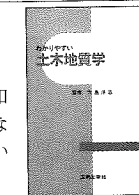
推進工法の理論を、多くの挿図を用い解説した。日本の現在の推進工法の基本となった原著を斯界の権威が翻訳・監修。



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酸欠・有害ガス・ガス爆発・湧水などの建設災害について、著者の経験を交えながらまとめた。



シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編
4,660円+税 B5判

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



地下水の科学 I~III (全3巻)

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

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



第I巻 地下水の物理と化学
4,078円+税 B5判

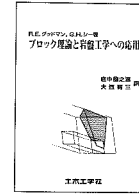
第II巻 地下水環境学
4,272円+税 B5判

第III巻 地下水と地質
3,689円+税 B5判

ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



山岳トンネルの新技术

ジオフロンテ研究会 編
14,573円+税 B5判

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



ジオテクスタイル設計マニュアル

T. A. Haliburton・J. D. Lawmaker・V. C. 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

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
3,200円+税 A5判

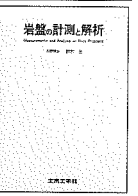
トンネル工事の際の労働衛生と環境保全の検討に有用な項目について、医学分野の知見から職業性疾病や有害環境条件、健康障害、衛生管理、保護具などを解説した。



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200円+税 A5判

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



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800円+税 A5判

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



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400円+税 A5判

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



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)

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



書籍のお申し込み

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

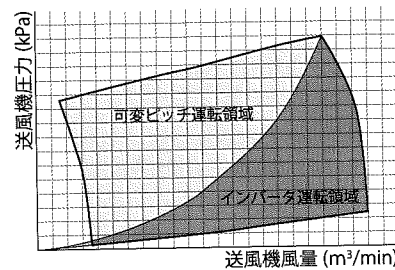
(株)土木工学社
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807

トンネル工事の必需品 可変ピッチ軸流送風機 BIG-LOG



BIG-LOG は当社の開発商品です

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



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

※2段で記載の機種はどちらか選択ができます

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

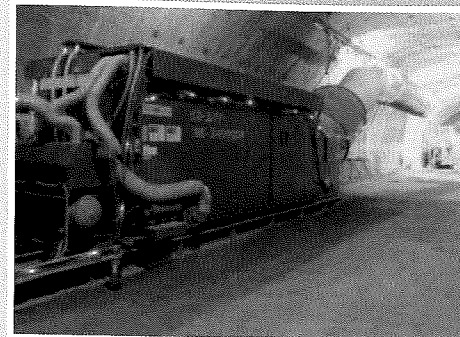


菅機械工業株式会社

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



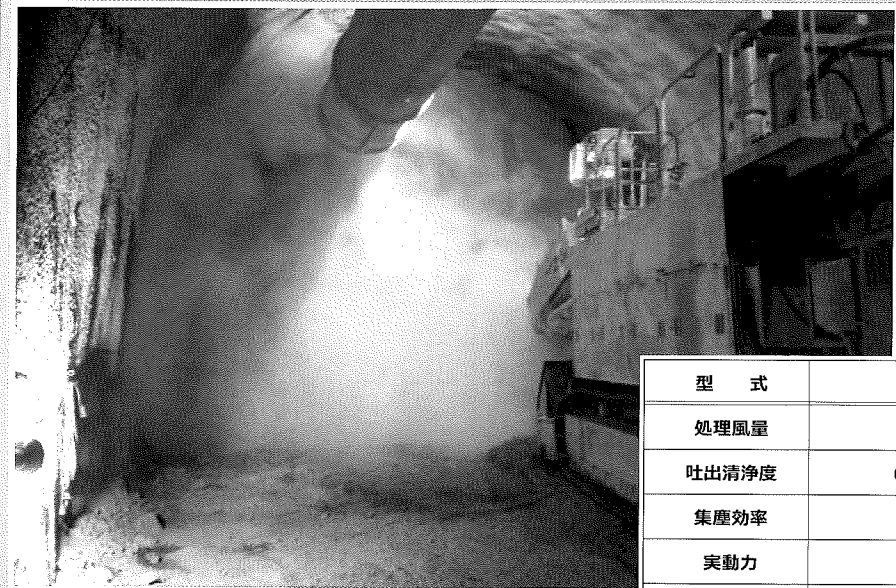
本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町13番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市中区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460



動力60%低減実現! (当社従来比)

吸引捕集換気システム RE-2400QDP 新登場

「コンパクト&低動力&高潔浄度」を一度に実現した孤高のスペック



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

最適環境を創造する
株式会社 流機 エンジニアリング

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

(PC・スマホ専用)



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



Bravo à tous mes amis de T-5 18 décembre 1989
A

1989年12月 英仏海峡トンネルT-5工区貫通式



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



JIMテクノロジー株式会社

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

定価 1,620円
本体価格1,500円

雑誌06619-10



4910066191078
01500