

トンネルと地下 12

vol. 45
no. 12
2014

Tunnels and Underground

坑口部の地すべり危険箇所を抑止工と計測管理により突破

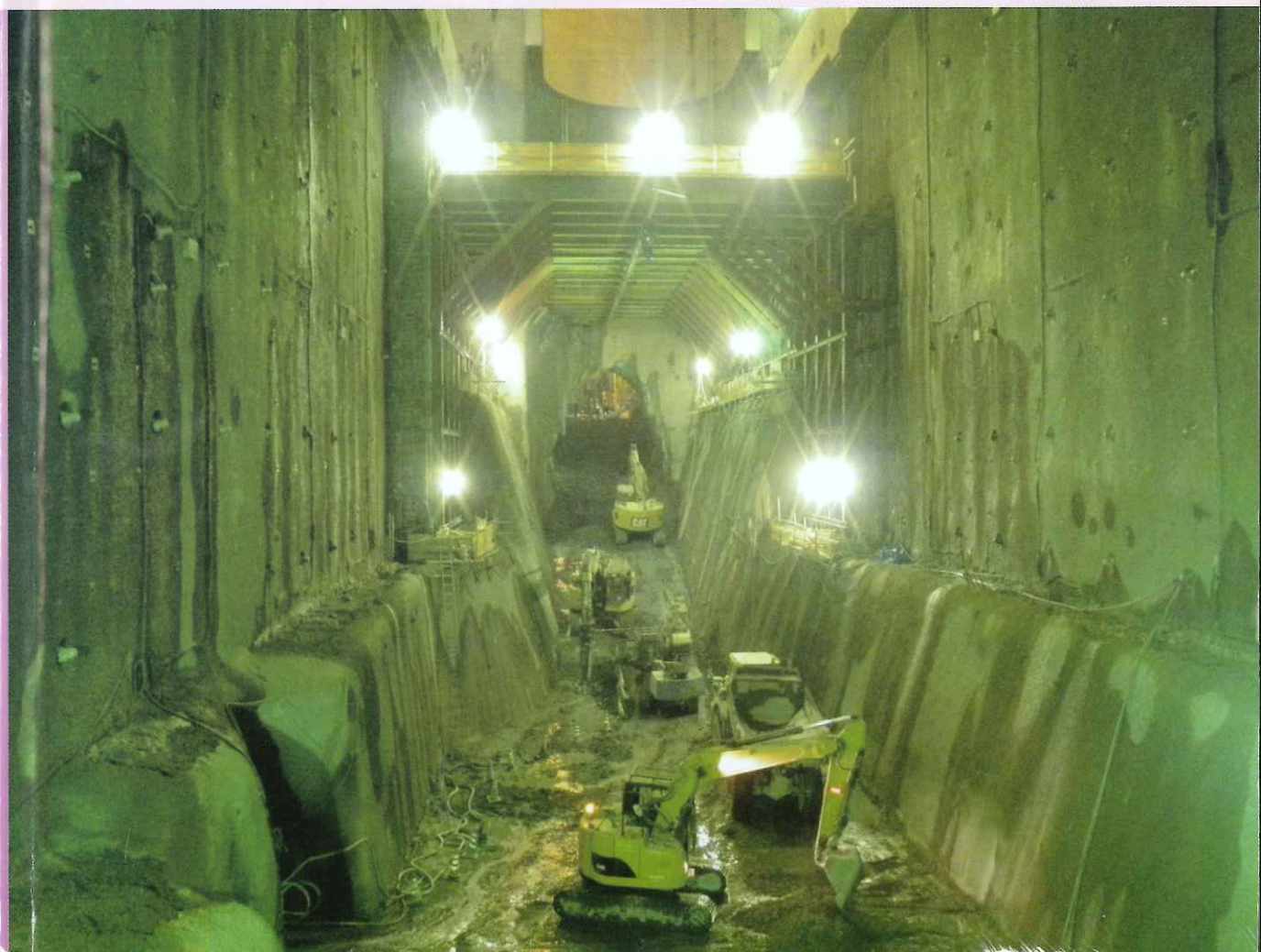
国道16号直下の小土かぶり部をSENSで掘進

巨礫を含む砂礫地盤を泥水から泥土圧への切替え型シールドで長距離施工

運用中のダム直下で地下発電所を建設

可燃性天然ガス貯留層を新たなガス抜き装置で突破

日本トンネル技術協会誌



FRD
FURUKAWA

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

ホイール式ドリルジャンボ

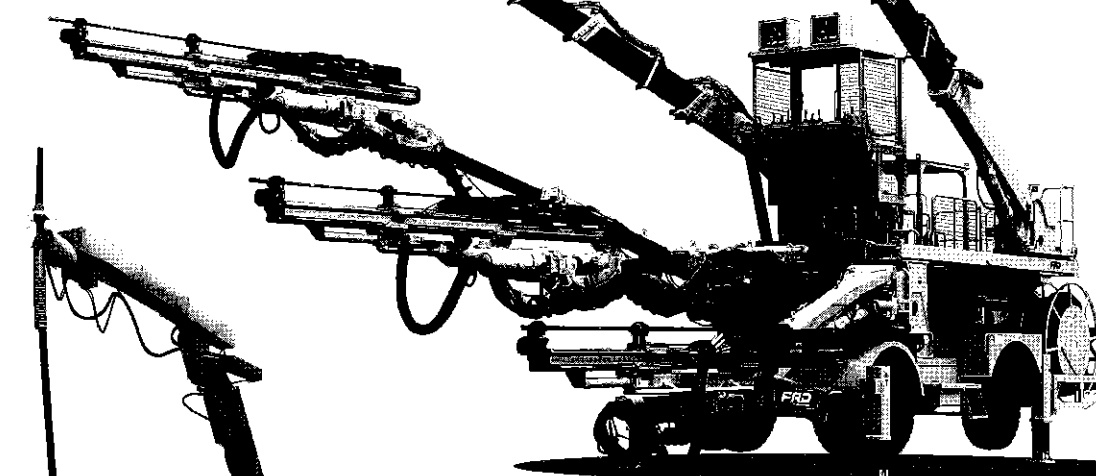
JTH2200R-Ⅲ / JTH3200R-Ⅲ

国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事用建設機械)指定機

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



新型油圧ドリフトHD210Ⅱ搭載



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

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-Ⅲ

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

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

△古河機械金属グループ

FRD 古河ロックドリル株式会社

www.furukawarockdrill.co.jp

本社 〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目5番3号

特機部 ☎03(3231)6966

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

長尺鋼管切羽補強工

高付着型長尺鋼管切羽補強工

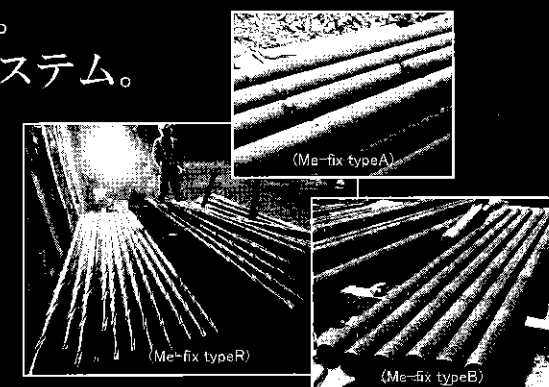
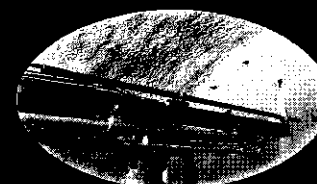
特許第 3882118 号

特許第 4942211 号

Me 工法
Metal eco

Me-fix
Metal eco

エコロジー&地山拘束効果。
新しい長尺鋼管切羽補強システム。



特徴① 分別回収による鋼材のリサイクル化

※特別仕様

NETIS 番号:KT-080027

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

特徴② 接続部補強により鋼管の薄肉化

「Me 工法」、「Me-fix」は接続部拡張・縮径によりネジ部耐力の増強を図り、小口径薄肉鋼管(Φ76.3×4.2~4.5mm)の使用を可能とし、軽量化に伴い経済性、施工性が向上します。

特徴③ 長尺鋼管切羽補強工の付着耐力の向上

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

NEW!

	Me	Me-fix (typeA)	Me-fix (typeB)	Me-fix (typeR)
形状	Φ76.3 (t=4.2)	Φ76.3 (t=4.2)	Φ76.3 (t=4.5)	Φ76.3 (t=4.2)
概要図				
1m当り付着耐力 (kN/m)	50	150	500 以上	150

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

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

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

日本で生まれ、世界へ広がる。 NATMの補助工法

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

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

補助工法ラインナップ

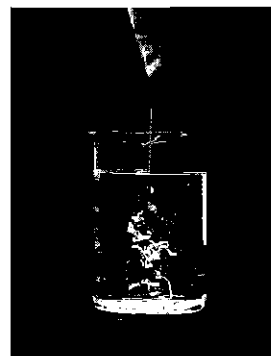
- ⇒ 注入式フォアポーリング
- ⇒ 各種 長尺フォアパリング
- ⇒ 多重式 長尺フォアパリング
- ⇒ エコリムーブ工法
- ⇒ パノラマ工法
(φ60.5MRS, φ76.3, φ89.1)

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

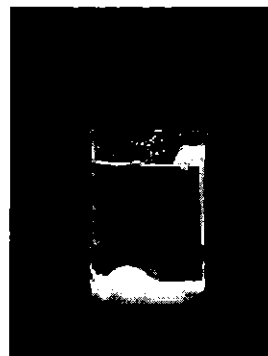
スーパーSRFの優位性

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

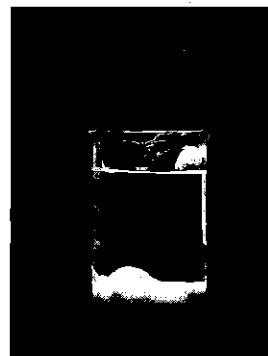
混合直後



3分後



10分後



KATECS

株式会社 カテックス
建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.jp/>

技術部・中部営業部

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

東京支店

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

東京支店(仙台事務所)

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

関西営業所

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

九州営業所

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

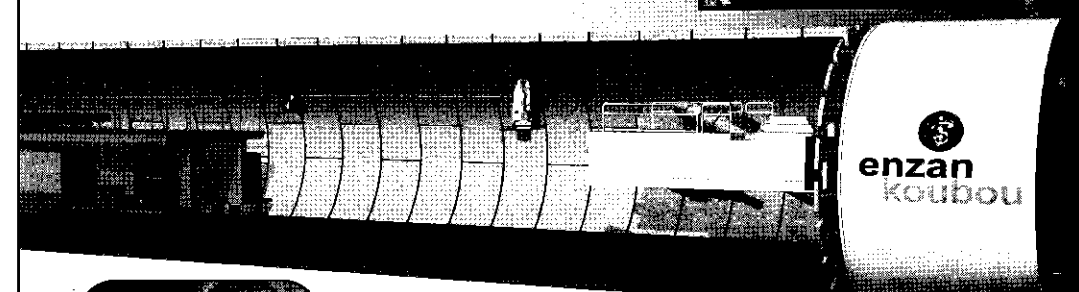
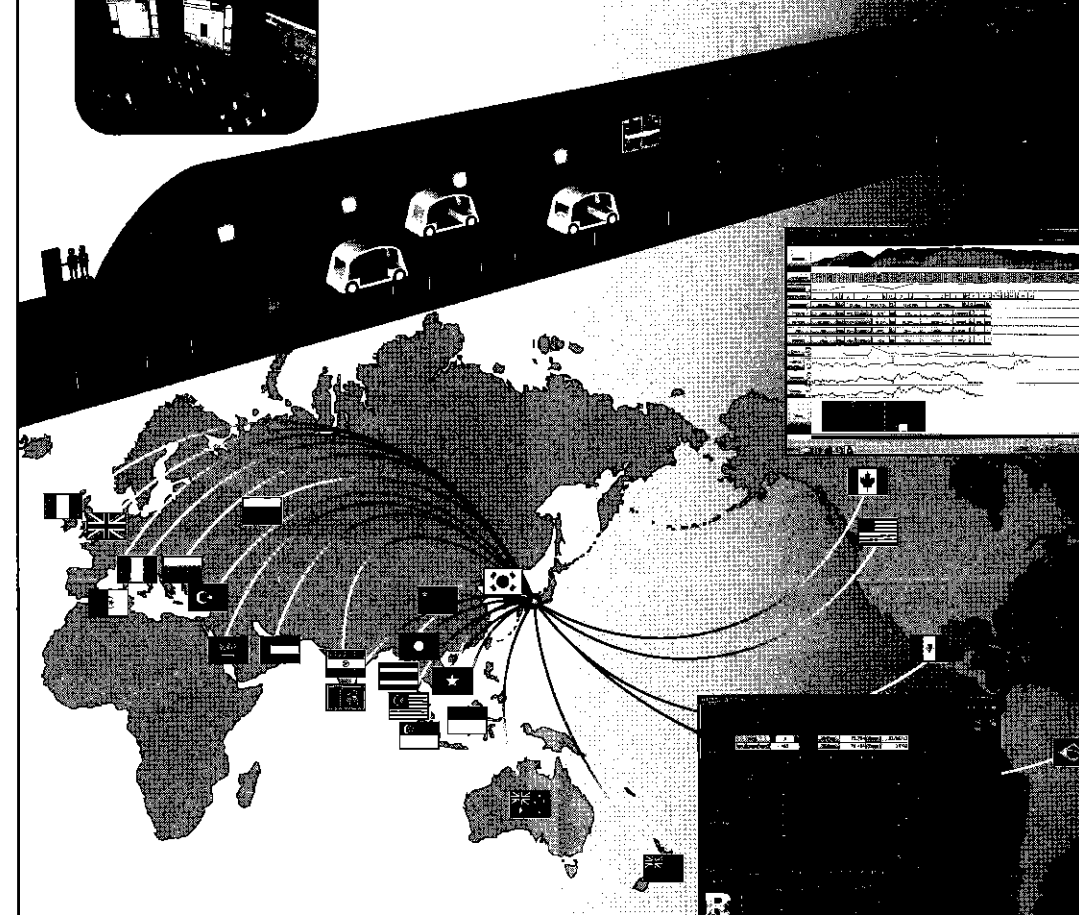
北海道地区(株エイチ・アール・オー)

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

Easy to handle, Difficult to imitate.

GUIDANCE & LOGGING & SURVEY system for TUNNEL

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



from Kyoto/Japan to the world

ENZAN KOUBOU CO., LTD (www.enzan-k.com)



THパイプルーフ工法

NETIS 登録 No.KT-120020-A



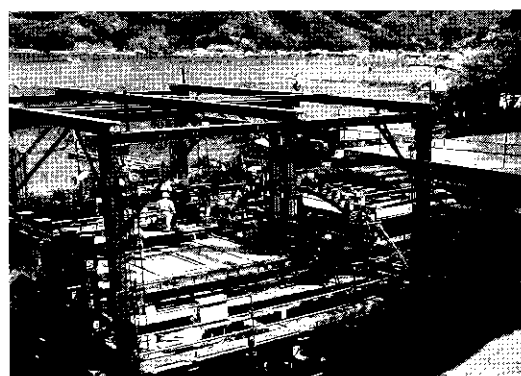
(TH-100型)

確実な空間確保

高精度・全地盤型 水平鋼管圧入システム

★ 特徴 ★

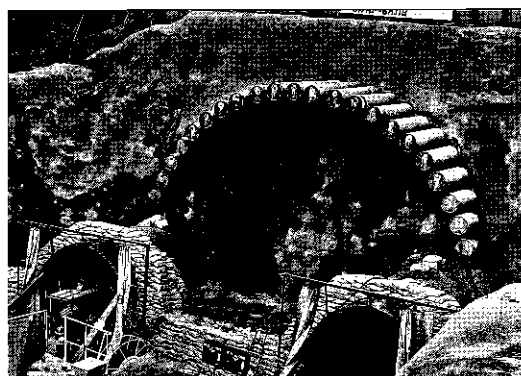
- ・本体掘削時の沈下抑制補助工法です
- ・常時管芯チェックが可能で、方向修正方式を採用
(精度が良いため支保作業が容易)
- ・オーガ中掘り掘削、地山との空隙に同時注入も可能
- ・推進途中でのビットの交換が可能で地層変化に対応
- ・適応管径は、φ200A～φ1200A
- ・最大推進長は、約70～100m
- ・推進機は、推力1000kN(100t)2000kN(200t)3000kN(300t)



パイプルーフ施工状況



都市型地下道トンネル掘削に伴う防護



山岳トンネル坑口防護

【会 員】 ※ 会員 募集中 [お問い合わせは 下記 事務局へ]

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

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



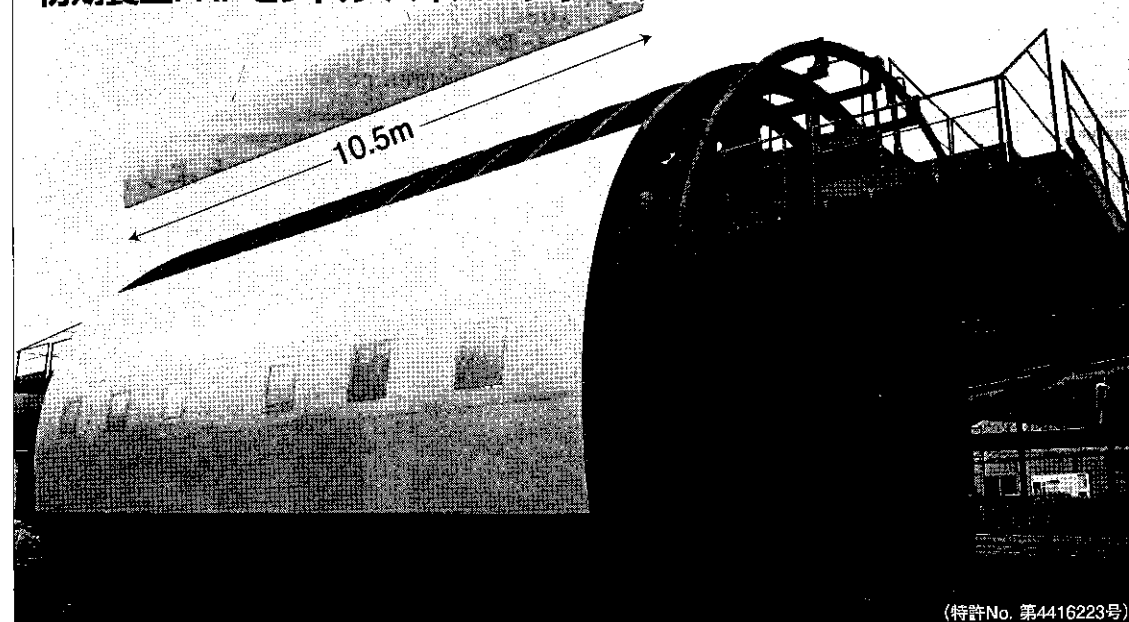
<http://www.piperoof.jp> (ホームページです。ここから資料が取り出せます。)

THパイプルーフ技術協会

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

新着ニュース FRPセントルによる 覆工コンクリートの密実性を検証

初期養生FRPセントル ハイパーフォームG



(特許No. 第4416223号)

■ 透気試験状況



国土交通省東北地方整備局橋道トンネル 鋼フジタ施工

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

特徴

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

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

■ 本 社 〒553-0006 大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル TEL 06-6543-7000
 ■ 九州営業所 〒812-0011 福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号 TEL 092-409-8008
 ■ 指定工場 〒919-0441 福井県坂井市春江町定重(森本工業) TEL 0776-51-2410

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー



東和機電工業株式会社 かい た 瀬田工場

〒820-1111 福岡県飯塚市勢田2594番地の18
 電話：(09496)2-3500(代表)
 F A X：(09496)2-6310
 E-mail：info@towakiden.co.jp
 ホームページ http://www.towakiden.co.jp

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

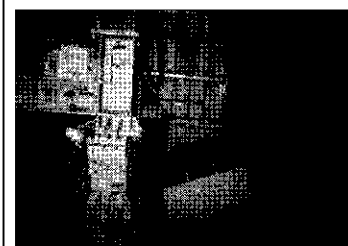
高流動コンクリート対応型
 全断面ステンレスフォーム



ワークステーション架台



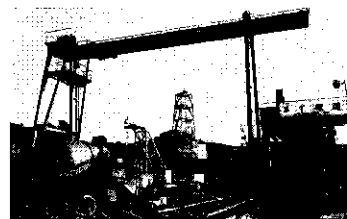
全輪タイヤ式インバート栈橋



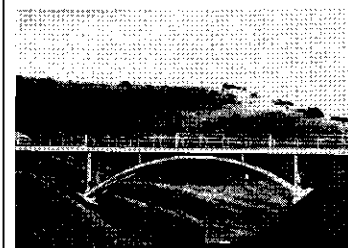
勾配対応全輪駆動式
 トンネル床版撤去架台



立坑ズリ出し設備
 (4.5t×60m)



林道橋



トンネル坑口修景ルーバー



新幹線微気圧伝播緩衝工
 (鋼製、総溶融亜鉛メッキ)



防音シェルター



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

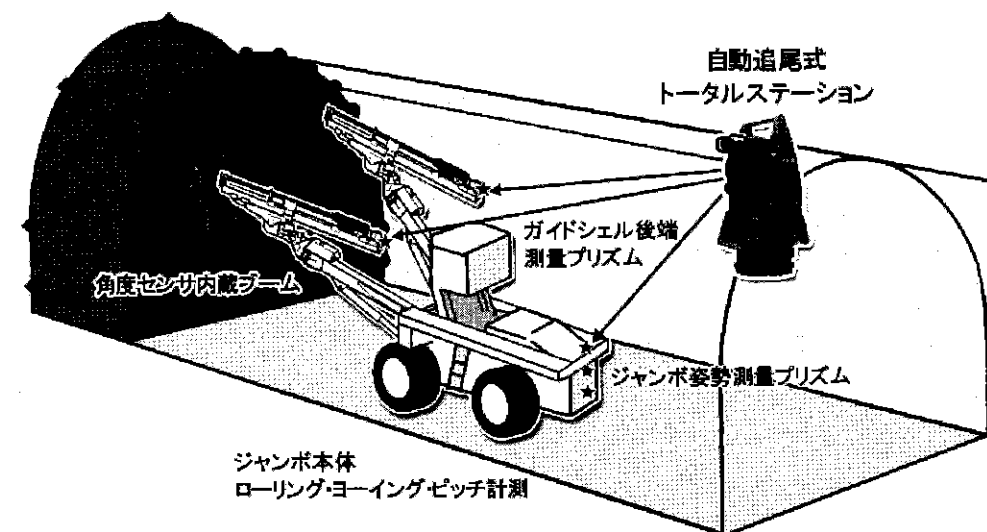
連続ベルコンを通過させるセントルにおいて、ベルコン側の懐を広げるためにガントリー
 を偏芯させ高強度化することは、弊社の所有特許です。

NETIS登録番号:KK-100049-A

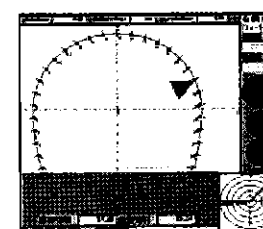
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご利用は

MAC マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市菅谷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

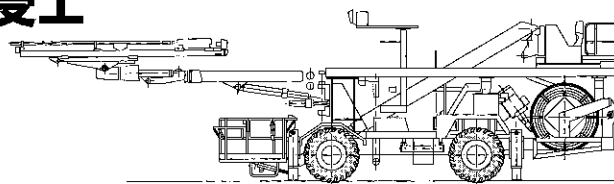
〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3
 特機部

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

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

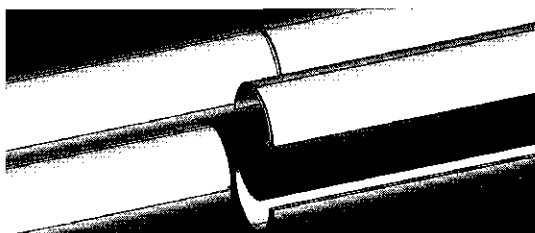
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



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。



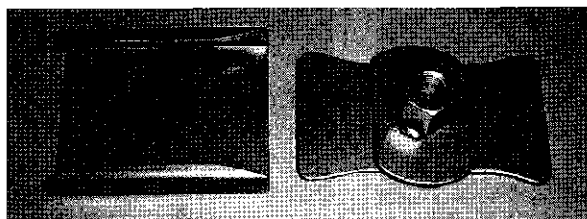
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリップ

- ・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プに防水シートを当てます。
2. 回転プレートを押込みます。
3. ナットを回し、止め位置まで90度右回転します(固定完了)。



東邦金属株式会社 東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD

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

株式会社 トーキンオール

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

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78円送料102円)

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

申込方法

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

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたします。

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

検索



月刊推進技術 編集室

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

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

推進工事技士試験 過去12年間(平成14~25年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編

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

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

平成25年度版発売中!!

1. 内容と特長

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

2. 価格

各年度単位に1set 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

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

これらのことをインターネットでご案内しています。[推進工事技士試験]

検索

株式会社 LSプランニング

http://www2.ocn.ne.jp/~ls_siken/

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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル わかりやすい トンネルの発破技術

監修 山田隆昭 B5判 76頁 定価 1,500円+税(送料別途)

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで！
振動や騒音の環境問題を詳述！！

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

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

〈主要目次〉

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

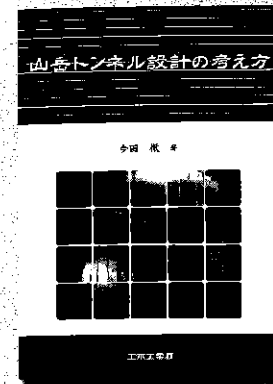
お申し込みは当社へFAX、または、お近くの書店にてお申し込みください。FAX(03-3267-2807)
にてお申し込みの方は、書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記の上、お申し込みください。

株式会社 土木工学社

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

好評発売中

山岳トンネル設計の考え方



東京都立大学名誉教授

今田 徹 著

B5判 183頁 上製本 定価3200円+税

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携書である。

《主要目次》

- 第1章 山岳トンネル技術の要素と変遷
- 第2章 トンネル掘削による周辺地山の挙動
- 第3章 岩石の特性
- 第4章 トンネルと地質
- 第5章 トンネルの線形
- 第6章 断面の設計
- 第7章 支保構造物
- 第8章 吹付けコンクリート
- 第9章 ロックボルト
- 第10章 鋼アーチ支保工
- 第11章 覆工
- 第12章 切羽の安定
- 第13章 掘削工法・掘削方式の選定
- 第14章 併設トンネルの設計
- 第15章 特殊地山
- 第16章 坑口の設計
- 第17章 環境対策

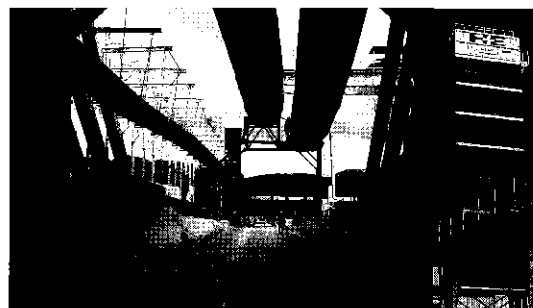
お申し込みは当社へFAX、または、お近くの書店にてお申し込みください。FAX(03-3267-2807)
にてお申し込みの方は、書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記の上、お申し込みください。

株式会社 土木工学社

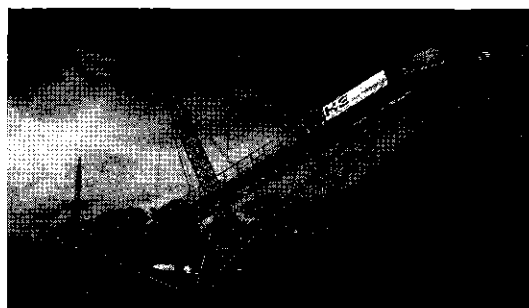
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807



Clever Conveying



Tunnel Diameter: 7.10 m
 Min. Radius: 1,000 m
 Minera l: 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 l: 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

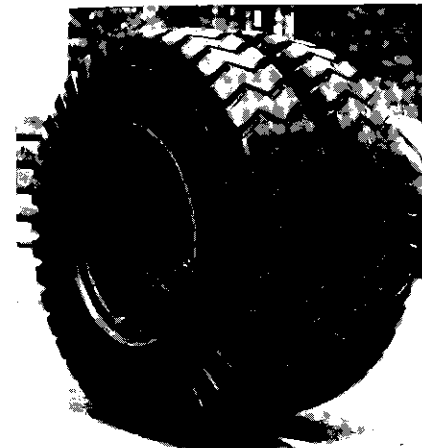
担当: 渡邊

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

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

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

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



中濃産業株式会社

代表取締役 土田 義 弐

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

VOLVO 建設機械

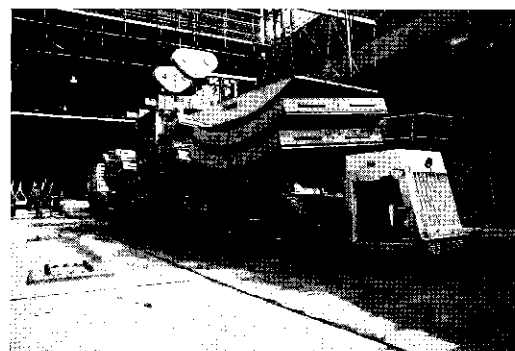


高い作業性とクールなデザインが人気
 年々強化される排ガス規制にも対応



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: 渡邊

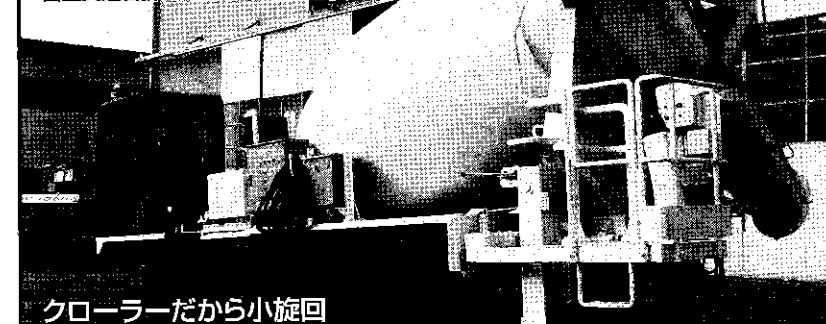


山崎マシーナリー株式会社

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

ゴムクロ・ミキサー車

国土交通省排ガス2次トンネル工事用指定



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

【仕様】	ゴムクロラ式ミキサー車 TGM-MR45T 上部ミキサー(カヤバ製)混合容量4.5m³	
全長	7,500mm	タンブラ中心間距離 3,870mm
全幅	2,690mm	クローラ全長 9,800mm
全高	3,620mm	クローラ幅 700mm
最低地上高	530mm	(100ピッチ×98リンク)
空車質量	11,000kg	セメント積載時質量 22,000kg
形 式	三菱6D-TL E2B	定格出力 165kw/2,700min
排気量	7,545cc	最大トルク 700N・m/1,300min
速度1段	最大 7.6km/h	
速度2段	最大 20.0km/h	
空車時接地圧	20kpa	積載時接地圧 40kpa

【TGM-MR45T II 仕様】

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



Tunnel & Mining

ニシオティードエム株式会社

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

〒569-0836
 大阪府高槻市唐崎西2-26-1

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

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

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

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

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



トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法

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



KOKEN 鉦研工業株式会社

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

お問合せ先: エンジニアリング本部 エンジニアリング部

TEL. 03-6907-7512 FAX. 03-6907-7522

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

北海道支店: (011) 561-4961
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

トンネル進捗率改善の ための最新技術

明かりが見えます

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

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

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

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

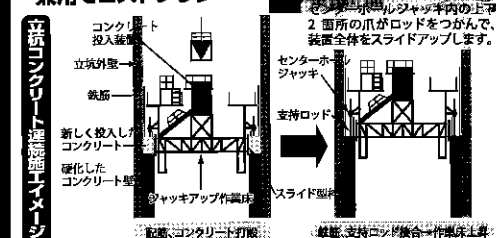
ORICA
MINING
SERVICES

スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献!

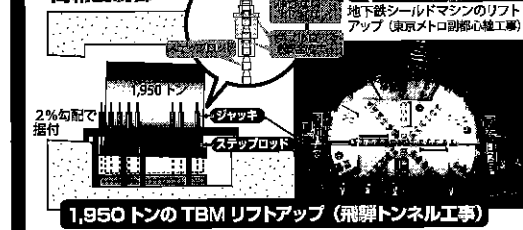
立坑スリップフォーム工法

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



シールドマシン・TBMアップダウン

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



営業品目

■ジャッキリース・オペレータ
■架台・型枠足場 設計・製作・据付工事

JFE シビル 株式会社
都市基盤営業部 特殊工法グループ

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

新刊図書のご案内

地形にも人相がある 地形の性質を知ろう!



トンネル技術者のための 地相入門

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

《主要目次》

- 序編 まえがき 地相は人相 山の性状
- 第I編 地形から読み取れる情報
地形から地相を読む方法 / 地形から得る具体的な情報
- 第II編 地形種とトンネルの施工事例
段丘・台地 / 崖錐・沖積錐 / 扇状地 / 傾斜層 / 地すべり / マスムーブメント / 滑落崖 / 断層(断層変位地形) / 断層(断層剝地形) / 火山地形 / カルスト地形 / 残丘 / 地形改変
- 第III編 路線選定 地相をよく観て路線選定を行う
あとがきにかえて 座談会

図・表・写真
288点収録

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

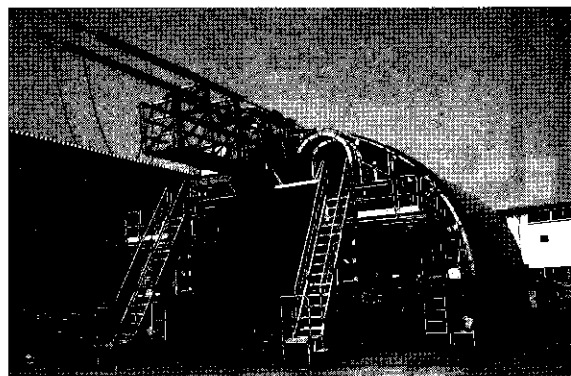
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16-1 メイジャービル5F
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807

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)
- ・覆工表面の縮模様を減らすことが出来る

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-A (製造:株式会社マシノ)



期待される効果・特徴

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

北陸鋼産株式会社

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

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

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

東京支店: TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789 大阪支店: TEL06(4963)3520 FAX06(4963)3521

濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0 m³/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

《汎用車両全般》



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



10T ミキサー



10T ダンプ



4.5 m³ ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車両 取り扱いしております

株式会社 フジテックス

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

■巻頭言

トンネル掘削の将来

西垣 誠 5

■施工

坑口部の地すべり危険箇所を抑止工と計測管理により突破

—能越自動車道 氷見第15トンネル—

餘久保 陽・森本 智・遠藤 毅・池野谷尚史 7

国道16号直下の小土かぶり部をSENSで掘進

—相鉄・JR直通線 西谷トンネル—

中西 孝治・阪田 暁・松尾 知明・和田 幸治 15

巨礫を含む砂礫地盤を泥水から泥土圧への切替え型シールドで長距離施工

—岡山市水道局 中央幹線—

西牧 大雅・石井 恒至・山下 洋平・三好 裕輝 27

運用中のダム直下で地下発電所を建設

—中部電力 徳山水力発電所—

伊藤 隆光・青木 崇・谷 静雄・坂 英昌 43

温泉とは？ 温泉の有効利用は？ この1冊であなたの疑問を解決します!!



続 きみの庭にも温泉が出る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井 康夫・俣野 恭寛 共著

新書判217頁 本体価格1,200円(税込1,296円)

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

お申し込みは当社へFAX, または, お近くの書店にてお申し込みください



株式 会社 土木工学社

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

可燃性天然ガス貯留層を新たなガス抜き装置で突破

—東京ガスパイプライン建設用トンネル工事—

柴田 学・吉迫 和生・酢谷 郁雄・重田 隆弘 53

■連載講座

都市トンネルのための地盤改良工法(7)

—地下水位低下工法—

「都市トンネルのための地盤改良工法」連載講座小委員会 59

■現場だより

「雄大な『木曽川』とともに歩んできたまち」扶桑町より

橋 寛行 14

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

半歩先を見つめて

今田 徹 35

■資料ほか

土木情報

編集部 26

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 71

トンネルジャーナル

編集部 58

海外文献速報

JTA国際委員会 73

工法・技術・製品ニュース

編集部 70

「トンネルと地下」平成26年・年間総目次

編集部 74

■会報

会報

日本トンネル技術協会 78

【表紙説明】

運用中のダム直下で地下発電所を建設

—中部電力 徳山水力発電所—



徳山水力発電所は、発電事業計画の変更により、従来行われる調査横坑での地質などの調査期間が確保できなかったため、掘削段階で原位置試験を行い、支保設計などを再評価した。また取付横坑がないため、盤下げ掘削時にはサイクルタイム短縮のため放水路調圧水槽用の立坑を有効に活用し効率的に施工した。写真は坑内掘削状況である。

〔写真提供：中部電力(株)〕(本文43頁参照)

管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

コンクリートトータル養生システム

セントル型枠

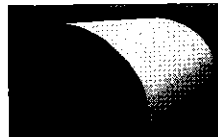
第二養生

第三養生

加温しながら初期強度を上げる
加温養生（型枠）



加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



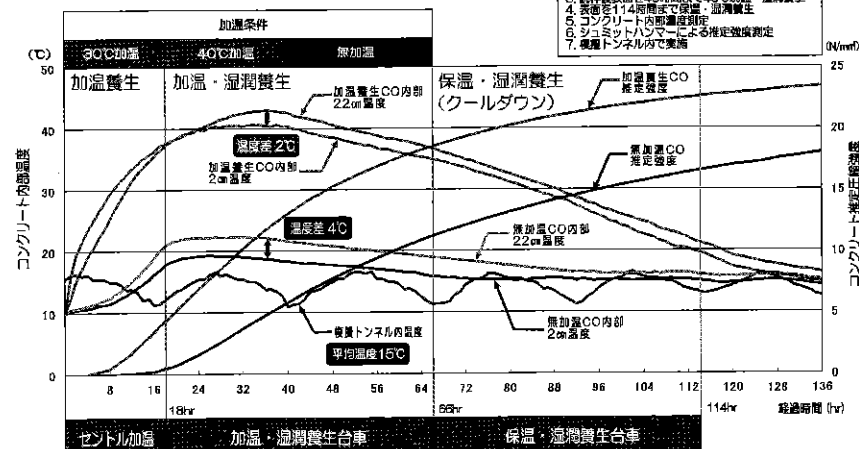
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度（推定）の推移



岐阜工業株式会社

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

【製作・販売協力】
TECHNO
テクノプロ株式会社

株式会社 東 宏

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

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

〔幹 事〕

居 相 好 信 株式会社大林組生産技術本部統括部長	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
伊 藤 聡 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 改良建設企画課長	長谷川 雅 彦 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長
岩 田 美 幸 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	藤 井 義 文 株式会社竹中土木執行役員
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長	松 原 利 之 飛鳥建設株式会社建設事業本部 エンジニアリング事業推進部長
小 松 敏 彦 前田建設工業株式会社土木事業本部土木部 担当部長(トンネル)	八 木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当) 道路研究部トンネル研究担当部長
志 岐 寛 清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部 部長	吉 富 幸 雄 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル室参与

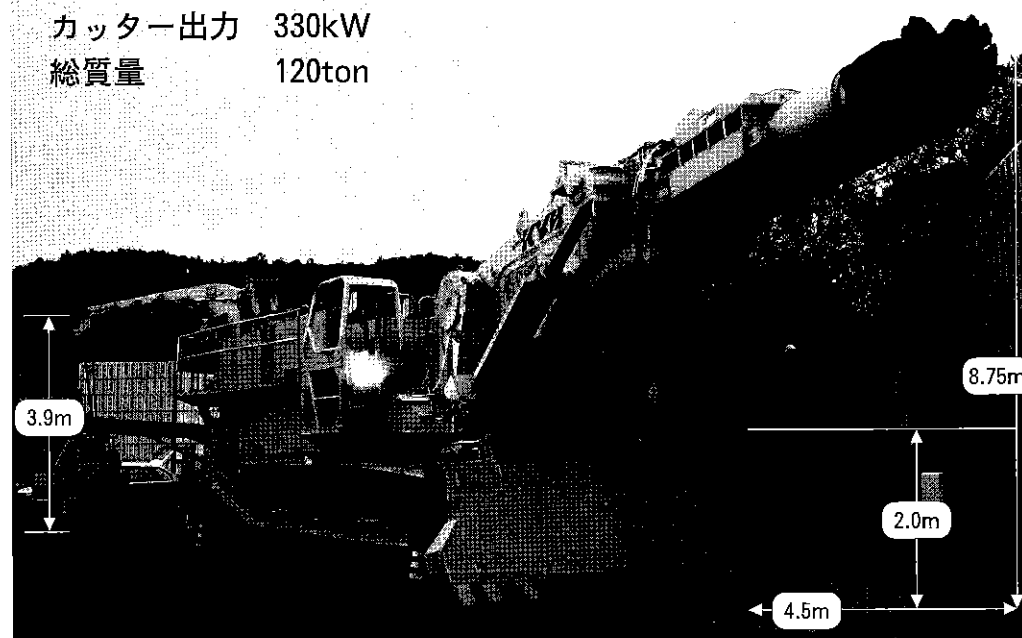
ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS

強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW

総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力と兼持ち、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10.5m（ケーシングランガーを除く）
- ・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 〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586
相模事業所
大阪支店 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号 TEK第二ビル TEL 06-6387-3371
西部支店 〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多 TEL 092-411-4998
三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出長常町1129番地11 TEL 059-234-4111

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

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

〔編集参与〕

木 谷 日出男 国際航業株式会社フェロー技術開発センター 地盤研究室長	今 田 徹 東京都立大学名誉教授
小 山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授	高 橋 良 文 東京都下水道サービス株式会社技術顧問
	松 浦 将 行 地方共同法人日本下水道事業団理事

〔委員〕

岡 田 龍 二 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 技術基準担当課長	真 下 英 人 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部長
佐 原 圭 介 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐	松 田 信 夫 東京都水道局建設部工務課長
清 水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長	八 木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当) 道路研究部トンネル研究担当部長
高 橋 晃 東京電力株式会社パワーグリッド・カンパニー 工務部流通土木グループマネージャー	焼 田 真 司 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室長
谷 内 雅 之 東京都交通局建設工務部計画改良課長	柳 雄 東京都下水道局建設部設計調整課長

トンネル二次覆工型枠総合メーカー

スライダ+打設システム



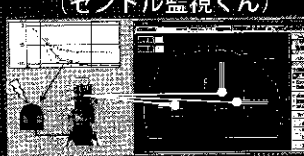
特許 第4083308号
NETIS登録 KT120099-A

**トンネル天端部
懸垂ハイプレータ締固め工法**



NETIS登録 KK-120003-A

**セントル位置・変位
自動測定監視システム
(セントル監視くん)**



特許 第5247491号
NETIS登録 KT-130037-A

**型枠ハイプレータ
集束制御システム DKV-20**



NETIS登録 KK-130066-A

新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



EPS パネル養生工法



EPS 移動台車

EPS パネルの保温性、保湿性が効く

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

平成25年12月1日 現在

実施権許諾第 10396 号
NETIS 登録 (No.CB-090003-A)

一歩前進! ~ 限りない未来への挑戦 ~

大栄工機株式会社

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

トンネルと地下 VOL.45 No.12 掲載概要

坑口部の地すべり危険箇所を抑止工と計測管理により突破

—能越自動車道 氷見第15トンネル—

国土交通省 餘久保 陽

氷見第15トンネル(仮称)は、富山県氷見市に位置する延長596mの2車線道路トンネルである。地質は新第三紀中新世の泥岩が主体であるが、一部の区間では凝灰質泥岩・凝灰質砂岩が切羽に出現する。本トンネルの掘削開始側の坑口付近は、地すべり危険箇所指定されていること、また、坑口直上を市道が横断していることから、トンネル掘削による周辺への影響が課題となった。

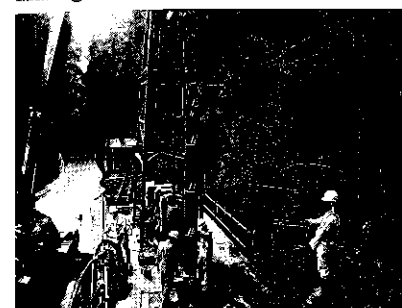
本稿では、坑口部における地すべり対策工の実施内容、および新たに開発した計測管理システムの適用性について報告する。

Build Tunnel Portal in Landslide Hazardous Area with Landslide Prevention Works and Measurement Management—Noetsu Expressway 15th Himi Tunnel—

By Akira Yokubo, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The 15th Himi Tunnel (provisional name) is a 2-lane road tunnel, 596 m long located in Himi City in Toyama Prefecture. It mainly traverses through Miocene mudstone and partly through tuffaceous mudstone and sandstone. The vicinity of the starting portal is designated as landslide hazardous area and a municipal road passes through right over the portal. These conditions show that the effects of tunnel excavation for its periphery were important issue.

This report contains information on the implementations of landslide countermeasures around the portal and on the applicability of a newly developed measurement management system.



写真は鋼管杭工建込み状況

国道16号直下の小土かぶり部をSENSで掘進

—相鉄・JR直通線 西谷トンネル—

鉄道・運輸機構 中西 孝治

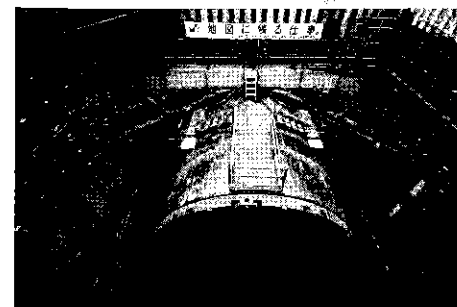
相鉄・JR直通線西谷トンネルは、「シールドを用いた場所打ち支保システム(SENS)」が採用された。SENSの採用は東北新幹線三本木原トンネル、北海道新幹線津軽蓬田トンネルに引き続き3例目である。トンネル掘削対象地質は、N値50以上の更新世前期上総層群砂質土(Ks)、N値35以上の上総層群粘性土(Km)が主体であり、一部区間に相模層群砂質土(Ds)もある。SENSは、これまでの山間部での施工とは異なり、都市部への適用となることから、切羽土圧・コンクリート打設圧を含めた掘進管理方法ならびに小土かぶり部におけるリスクへの対策を検討し、近接構造物に対する変位を抑制することが必要となる。そこで本稿では、都市部の小土かぶり区間となる国道16号部直下におけるSENSの施工管理方法ならびに施工結果について報告する。

Shallow Tunnel under National Route 16 Built with SENS—Sagami Railway/JR Lines Through Train Route Nishiya Tunnel—

By Koji Nakanishi, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

The Nishiya Tunnel on the through train route between Sagami Railway and JR Lines has been constructed with the technique of 'Shield Machine, Extruded Concrete Lining, New Australian Tunnelling Method, System (SENS)'. This is the third example of the adoption of SENS after the Tohoku Shinkansen Sanbongihara Tunnel

and the Hokkaido Shinkansen Tsugaru-Yomogida Tunnel. The geological condition where tunnel traverses is mainly Early Pleistocene Kazusa Group sandy soil (Ks) of N-value over 50 and Kazusa Group cohesive soil (Km) of N-value over 35. Partly Sagami Group sandy soil (Ds) lies. This construction with SENS in an urban area differs from past adoptions in mountainous areas, it is necessary to assess tunnelling management including soil pressure at face / pouring concrete pressure and risks in excavation under small cover and to control displacement that affects structures in the vicinity. This report contains information on construction management techniques and construction results of the section directly under National Route 16 with small cover in an urban area using SENS.



写真は西谷方立坑到達後のシールド

巨礫を含む砂礫地盤を泥水から泥土圧への切替え型シールドで長距離施工 —岡山市水道局 中央幹線—

岡山市水道局 西牧 大雅

本工事は、シールド工法により外径2,000mmのトンネルを2,476m構築後、内部にφ1,200mmおよびφ1,000mmのダクトイ
ル鉄管を配置し既設管へ接続させ、途中の分岐立坑ではφ800mmの立上り管を既設管に接続する水道工事である。

シールド掘進層は、長径600mmクラスの巨礫の存在が推定された砂礫層であり、当初設計では泥水式シールドであ
ったが、実施工では不測の事態に備え泥土圧シールドへ変更可能なシールドを採用した。

掘進開始後、泥水逸水により不安定な掘進となったため、各種調査を行ったうえで、地表面への影響を最小限にし、
かつ溶存メタンガスを含む地下水を坑内で開放することがない泥土圧流体輸送方式に切り替えた。

本稿では、本掘進までの計画から泥土圧シールドへの切替え後の掘進結果について報告する。

**Long-distance Drive of Shield TBM Switching from Slurry type to Muddy Soil Pressure type in Sand and
Gravel Ground with Boulders—Okayama City Waterworks Bureau Central Trunk Line—**

By Daiga Nishimaki, Okayama City Waterworks Bureau

This project was planned to execute as follows: constructing a 2,476 meters tunnel with shield TBM with an
outer diameter of 2,000 mm, installing ductile cast iron pipes 1,200 mm or 1,000mm in diameter within the tunnel
to connect them to existing pipes, connecting an upward pipe 800mm in diameter to existing pipes at halfway
branching shaft.

The TBM excavated sandy gravel layer estimated to include boulders in the 600mm-class in major diameter.
A slurry shield TBM was to use to construct the tunnel in the original plan but this was changed to the shield
TBM which equipped the system switching to the muddy soil pressure shield TBM in exdcution plan to prepare
against any eventualities.



写真はクラッシュ閉
塞時に回収した巨礫

As excavation became unstable due to lost circulation, we carried out various surveys
and the slurry shield TBM was converted into the muddy soil pressure shield TBM
equipped with fluid transport system in order to minimize the effects on the ground surface
and not to allow to expose groundwater, including dissolved methane gas in the tunnel.

This report contains information from the original excavation plan up to the excavation
results after switching to the muddy soil pressure shield TBM.

運用中のダム直下で地下発電所を建設

—中部電力 徳山水力発電所—

中部電力(株) 伊藤 隆光

徳山水力発電所は、(独)水資源機構による多目的ダムである徳山ダム建設事業に、中部電力(株)がのちに発電参加し
て計画されたものである。発電設備の建設は運用中の徳山ダム本体をはじめ貯水池などのダム構造物に対し近接施工と
なる。そのため既設構造物への影響を客観的に評価するため第三者からなる工事検討会(委員長: 國生剛治・中央大学
教授)を設置し、情報化施工とあわせ、工事を進めた。

従来、地下発電所建設においては調査横坑にて地質などの詳細データを収集するが、発電事業計画の変更により調査
期間も確保できなかったことから、地下発電所掘削段階で原位置試験を行い、支保設計などを再評価した。また、取付
け横坑がない地下発電所であり、盤下げ掘削時にはサイクルタイム短縮のため放水路調圧水槽用の立坑を有効に活用し
効率的に施工した。

**Construction of An Underground Power Station Directly underneath An Operating Dam—Chubu Electric
Power Tokuyama Hydro-Electric Power Station—**

By Takamitsu Ito, Chubu Electric Power Co., Inc.

Chubu Electric Power's Tokuyama Hydro-Electric Power Station was planned after Chubu Electric Power
participated in the Tokuyama Dam construction project by the Japan Water Agency in order to operate as
power business. The construction of the power station was executed adjacent to the facilities of Tokuyama Dam
in operation. In order to objectively evaluate the effects on existing structures, a third-party construction
council (the chairman: Takaji Kokusyo, a professor of the Chuo University) was set up and construction was
conducted with ICT system.



写真は坑内掘削状況

Traditionally, detailed data on geological condition, etc. for underground power
station construction is gathered through investigation drifts but in-situ tests were
conducted at the time of excavation for underground power station to re-evaluate
support design because it was not possible to secure a survey period due to changes of
the power business plans. In addition, it is an underground power station works without
working adits so that shaft of decharge channel was effectively utilized digging
downward in order to reduce cycle time for efficient construction.

可燃性天然ガス貯留層を新たなガス抜き装置で突破

—東京ガスパイプライン建設用トンネル工事—

鹿島建設(株) 柴田 学

当シールド工事は、ガスパイプラインのうち、延長約3.8kmを泥水式シールド工法で施工するものである。本工事は
事前の可燃性ガス調査で地下水溶存可燃性ガスが確認されたため、対応としてシールドと切羽付近坑内設備、換気設備
を防爆仕様にして掘進を開始した。しかし、坑口より960m掘進中に地層中の可燃性天然ガスがシールドテール部より
流入したため掘進を急遽中断した。流入したガスの地層の貯留状況の調査をおこなったが、事前調査ではなかった可燃
性ガスの噴出があり、遊離性のガスの存在が確認された。掘進継続のため掘進予定路線でのさらなる追加ガス調査と、
調査でガスを確認した箇所でのガス抜き工を実施した。

**Breakthrough in A Flammable Natural Gas Reservoir with A New Degassing Device—Tokyo Gas Tunnel
Works for Construction of A Gas Pipeline—**

By Manabu Shiba, Kajima Corporation

These shield works are to construct approximately 3.8 km of gas pipeline tunnel with the slurry shield TBM.
In combustible gas survey prior to these works, flammable gas dissolved in underground water was detected
therefore shield TBM, tunnel equipments near the face and ventilation facilities were fitted to explosion-proof
specification. However, excavation was hurriedly suspended when flammable natural gas in ground flowed into
from the shield tail at the 960 m from starting portal. The gas reservoir layer was surveyed for containing
situation but there was belch of flammable gas that was not detected in the pre-survey and the existence of
isolated gas was confirmed. Additional gas surveys were conducted along the planned excavation route and
degassing works were executed in areas in which gas was confirmed in the survey.



写真はガス抜き工全景

巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)

トンネル掘削の将来

岡山大学大学院環境生命科学研究科教授

西垣 誠



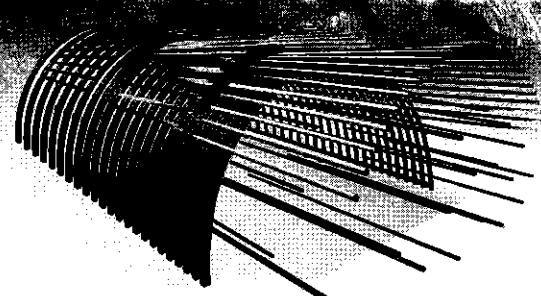
トンネルを掘削することは、高い山の上まで道路や鉄道を造ることなく、山の向こうとこちらが短い距離で簡単に往来できるようになり、きわめて便利な移動空間を創成することである。とくに日本は山の多い国で、トンネルを掘ることは本当に夢であり願望である。「トンネルがあればいいのに」と考えられている所がまだまだ多くあるので、トンネル掘削は必要である。しかし、トンネルを掘ることは本当に難しい。その工事のために、昔は1kmに1人の命が犠牲になっていたと言われていた。また、日本は欧米の山と比較すると脆弱な山が多く、そのような山にトンネルを掘る際には、現在の科学のすべての英知を集中しても難しい。山の中の地層などを探査して、掘削前に地山のすべての状況が既知の状態で行っているわけではない。現在でも、山の中をよく理解しないで掘削することが多い。これは、紀元前より地下水を集めるためにアフリカや中近東で掘削されたカナートという水路トンネルの掘削工事と、あまり変わらない状況のような気がする。

これからは一歩進んで地山の状況を把握した状態で、トンネルを掘削したいものである。また、日本の山は地下水を持っていることが多く、近世のトンネル掘削工事で難工事と言われてきた工事の多くが、地山の水の対策で苦労していたと言っても過言ではない。「黒部の関電トンネル」「青函トンネル」「大清水トンネル」などがその例である。これらの出水、湧水をなんとか事前に処理できないのかとつねづね思っている。

大学生時代に青函トンネルの水圧を考慮したトンネル掘削における覆工への応力を求める課題に取り組ませていただいた。水圧を考慮した粘弾塑性理論解まで検討した。しかし、今から思うと、地下水が流動することによる浸透水圧までは、考慮できていなかった。今なら、浸透と変形を考えたカップリングによる数値解析手法によって、容易に浸透水圧を考慮した覆工への荷重、変形を予測することが可能である。最近、九州のトンネル湧水対策をポストグラウト工法で止水する機会を得て、止水による地山の地下水上昇によって、覆工にどのような荷重が新たに負荷されるかを検討する経験を得た。これからは多くの現場で適用してほしいものである。仮に地山の岩が良いときには、地山にセメントミルクを注入して、地山の強度を強くしながら止水することが可能と考えられる。ここでも「しかし」であるが、掘削する前に地山にどれくらいの水圧があり、この地下水を排水しても山の環境に影響がないかを予測し、また排水の水にはヒ素などの重金属類は含んでいないかどうかなどを事前に予測できないものかと思う。

自然は神が造ったものであり、不均質で、何が起るかがよくわからないと言われて

ユニークな発想でVEを提案

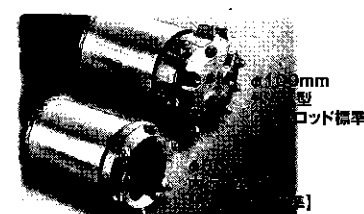
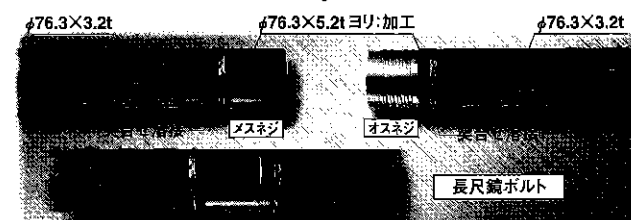


ストロング FIXチューブ(S型)

※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!

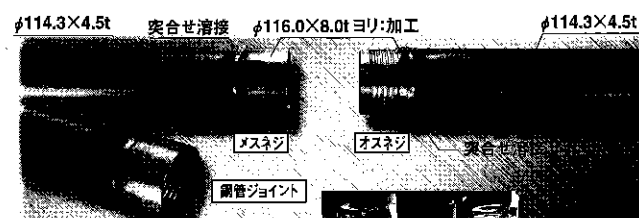
※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



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!

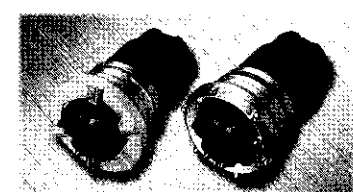
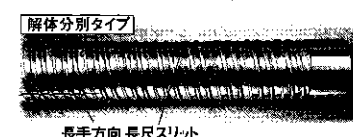
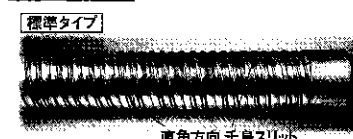


曲げ耐力30%UP!!



(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)

規格	鋼管径	リングピッチ
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

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

STE

エスティーエンジニアリング株式会社

ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2

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

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

いるが、これからはトンネル掘削前にできるだけ地山の内部の構造を理解してトンネルを掘ってもらいたい。したがって、安全に確実にトンネルを掘削するために、今後は以下の技術開発が必要であると考えられる。

- ① 地山全体の三次元での地層構成の把握。
 - ② 地山内の初期応力状態の把握。掘削による応力開放などによる正確な3次元でのトンネル変形量と覆工に作用する応力の変化の予測。
 - ③ トンネル掘削での地下水による水圧とその制御による覆工に作用する応力の50年、100年先までの経時的な変動の推定。
 - ④ 切羽などからの漏水流量と水質変化の経時的な変動と掘削岩による環境への影響の予測技術。
 - ⑤ 排水型トンネル掘削での地表水も含めた環境影響の経時的な変化の予測技術。
 - ⑥ 排水型トンネルでの地下水位低下によるトンネルより上部の地山の圧密沈下や浸透水圧による3次元での沈下量の予測技術。
 - ⑦ トンネル湧水の発電や各種用水としての有効利用技術。
 - ⑧ 信頼のある安価な止水技術と止水性と地山強度を増加させる新しいアクリル系材料や1~2 μ m極超微粒子セメントなどの材料からさらに進んだ注入材料開発。
 - ⑨ 地下水面下の砂質地盤に対してもシールド工法だけでなく、発達立坑から地盤に水面にリング状に到達立坑まで極超微粒子セメントなどを注入して、その中の砂を掃除機などで簡単に吸い出して掘削する工法などの開発。
 - ⑩ グラウトなどによる止水工法によるその効果の範囲などの調査技術。
- また、将来は次のような工法も考えてほしい。
- ① 広域で深部の岩盤内の状況を調査するためにニュートリノなどの宇宙線を用いた地山診断システム。
 - ② 数年単位で地山の止水性や強度がコントロールできる注入技術(これに関してはすでにベントナイトの塩水スラリーが開発されている)。
 - ③ 亀裂性岩盤で湧水の水源調査と地下水脈を移動する水径(水みち)探査用のバイオトレーサとバイオグラウト技術の開発。
 - ④ 老朽トンネルや地下施設の廃棄とリフレッシュ化の技術の開発。
 - ⑤ トンネル内空間での古酒の貯蔵などの新しいエコな再利用方法の開発。
 - ⑥ 銀行金利の低い今日で、トンネル掘削の新しい保証システムの確立。

日本には火山があり、地震があり、山の岩は亀裂が多いというトンネル掘削では最悪の条件の国である。その国で培った建設技術は、世界のどんな国にでも通用すると考えられる。しかし、常にもっと安全でもっと合理的なトンネル掘削技術を次々と編み出していきたい。「念ずれば技あり」であるが、念じなければ技は生まれてこない。人財しか資源のない日本では、常に最先端を進み、その技術を体系化して世界中の人々が学べるようにしていただきたいものである。

「科学は人を幸にするためにある」ので、技術者は常に先人の英知を学び、新しい技術を開発して前進していったほしい。

施工

坑口部の地すべり危険箇所を抑止工と計測管理により突破

—能越自動車道 氷見第15トンネル—

国土交通省北陸地方整備局富山河川国道事務所能越国道出張所長 餘久保 陽
 (独)土木研究所道路技術研究グループ((前)能越国道出張所技術係長) 森 本 智
 東急建設(株)東日本支店土木部((前)能越道氷見第15トンネル工事現場代理人) 遠 藤 毅
 東急建設(株)土木本部土木技術設計部技術グループ 池野谷 尚 史

1 はじめに

氷見第15トンネル(仮称)は、富山県氷見市に位置する延長596mの2車線道路トンネルである。工事概要を表-1に、位置図を図-1に示す。地質は新第三紀中新世の泥岩を主体とし、一部の区間では凝灰質泥岩・凝灰質砂岩が切羽に出現する。本トンネルの掘削開始側の坑口付近は、地すべり危険箇所に指定されていること、また、坑口直上を

表-1 工事概要

工 事 件 名	能越道氷見第15トンネル工事
工 事 場 所	富山県氷見市中田～中波地先
工 期	自 平成24年8月2日 至 平成26年5月30日
発 注 者	国土交通省北陸地方整備局 富山河川国道事務所
施 工 者	東急建設(株)
トンネル延長	596m
内空断面積	64m ²
地 山 岩 種	泥岩、凝灰質砂岩・泥岩
掘 削 方 式	機械掘削(ツインヘッド)
掘 削 工 法	上半先進ベンチカット工法
補 助 工 法	注入式長尺鋼管先受け工 (高岡側坑口部L=13.15m)

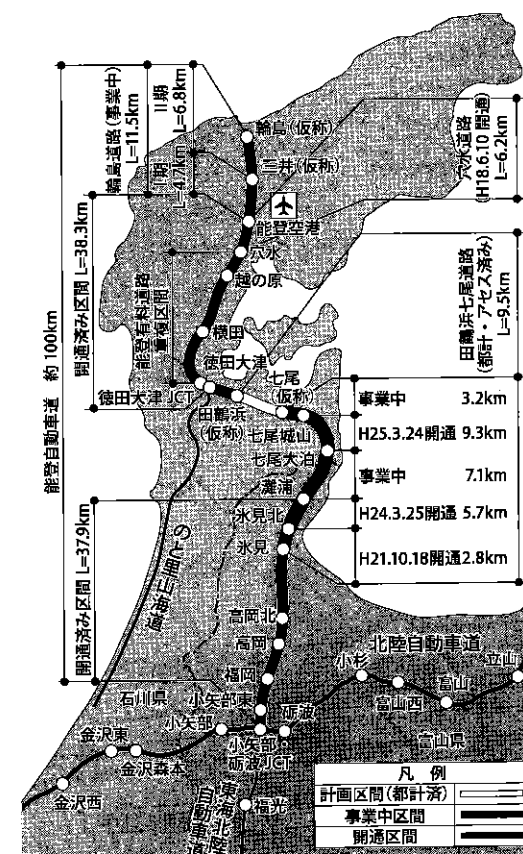


図-1 位置図

土かぶり約11mで市道が横断していることから、トンネル掘削による周辺への影響が課題となった。

本稿では、坑口部における地すべり対策工、および新たに開発した計測管理システムの適用性について報告する。

2 地すべり対策工

2-1 地すべりブロックの設定

本トンネル周辺の地質は、新第三紀中新世の八尾累層中波泥岩層を主体とし、一部の区間では凝灰質泥岩・凝灰質砂岩が切羽に出現する。

掘削開始側となる高岡側坑口部は、富山県が指定する地すべり危険箇所となっており、空中写真判読結果からも明瞭な滑落崖を持つ地すべりブロックが確認された。地表踏査、および地質調査結果から得られた地すべりブロックの概要を記した坑口付近の概要図を図-2に示す。

当地区は、地すべりがくり返し発生している箇所であり、ブロック1の末端部の幅とブロック2の滑落崖がずれていることから、ブロック1が発生したあとにブロック2が発生したと考えられる。また、地すべりブロックのすべり平均深さはブロック1が平均7.5m、ブロック2が平均4.5m程度であることから、地すべり規模の異なる別々のブロックとして発達していると想定される。これらのこ

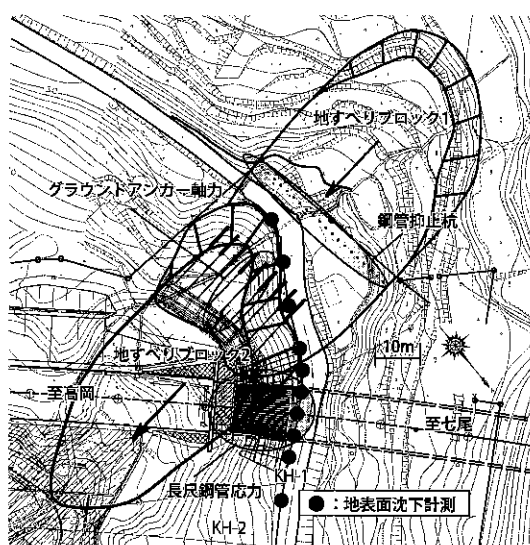


図-2 坑口付近の概要図

とから、地すべり対策はブロック1とブロック2に分割して検討することとした。

2-2 安定解析

地すべり対策工の検討は、地すべりの主測線上で設定したすべり面を対象とし、簡便法¹⁾にもとづき行った。

$$F_s = \frac{\sum \{cl + (W - ub) \cos \alpha \tan \phi\}}{\sum W \sin \alpha} \quad (1)$$

ここに、

F_s : 安全率

c : 粘着力 (kN/m²)

ϕ : 内部摩擦角 (度)

l : 各分割片で切られたすべり面の弧長 (m)

u : 間隙水圧 (kN/m²)

b : 各分割片の幅 (m)

W : 各分割片の重量 (kN/m)

α : 各分割片で切られたすべり面の中点とすべり円の中心を結ぶ直線と鉛直線のなす角 (度)

すべり面のせん断強度は逆算法を用い設定した。すなわち、式(1)を用いて現状の安全率として設定した $F_s=1.05$ とした際の $c-\phi$ の関係図を作成し、地すべり垂直層厚の関係から求まる粘着力 c を仮定²⁾し、他方の内部摩擦角 ϕ を決定した。なお、現状の安全率 F_s は、現地に設置したパイプ歪計観測結果から変動がみられないことから「崩積土地すべりの現状の安全率 $F_s=1.03\sim1.05$ 」の最大値である $F_s=1.05$ を用いた。

また、地すべりブロック1のすべり面末端付近はトンネル掘削による影響を受けると考えられる。そこで、これを考慮するため、掘削影響範囲を図-3に示すように設定し、地すべりブロックと干渉

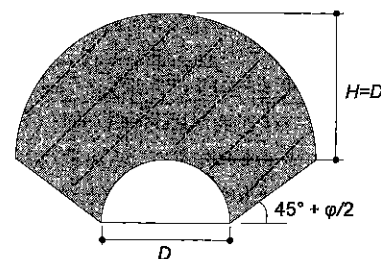


図-3 掘削影響範囲

する範囲のせん断強度について以下のとおり低減³⁾を図った。

・粘着力(低減) $c' = 0.3c(b/B)$

・内部摩擦角(低減) $\phi' = 0.75\phi(b/B)$

これらから算出したせん断強度、および必要抑止力について表-2に示す。地すべり対策工には、地表水排除工や地下水排除工、押さえ盛土工などにより対策する抑制工と、抑止杭工やグラウンドアンカー工により対策する抑止工がある。選定に

表-2 せん断強度、および必要抑止力などの算出結果

ブロック	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (度)	安全率	必要抑止力 (kN/m)
1	8.0	19.28	1.047	318.7
2	5.0	22.76	0.777	294.2

表-4 地すべり対策工仕様

鋼管抑止杭工 (ブロック1)		グラウンドアンカー工 (ブロック2)	
鋼管杭径	318.5mm	極限周面摩擦抵抗	1,000kN/m ²
鋼管肉厚	15mm	定着層	泥岩
材 質	SKK490	設計力	535.7kN/本
設計根入長	5.2m	削 孔 径	90mm
ピ ッ チ	2.0m	定 着 長	4.0m
本 数	20本	アンカー長	上段 29.5m 下段 27.5m

表-3 地すべり対策工比較検討結果

工 法 案	第1案【抑制工】押さえ盛土工	第2案【抑止工】鋼管杭工+グラウンドアンカー工
概 略 図		
工法概要	抑制工として押さえ盛土工を行う案である。盛土材の搬入車両は幅員の都合により4tダンプに限られ運搬コストが掛かる。押さえ盛土によりトンネル延長が長くなる。	抑止工として地すべりブロック1は鋼管杭工(外径318.5, 2mピッチ)、地すべりブロック2はグラウンドアンカー工(3mピッチ, 2段)を行う案である。
経 済 性	202%	100%
判 定	×	○

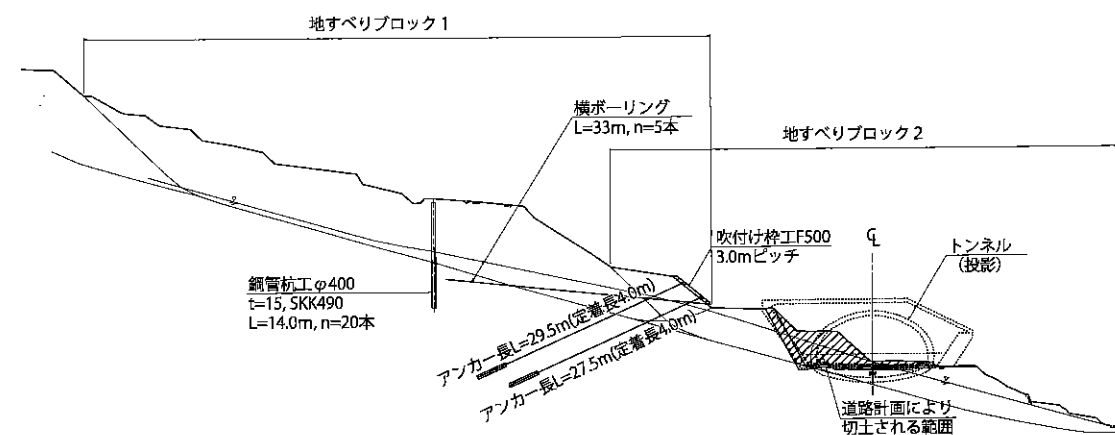
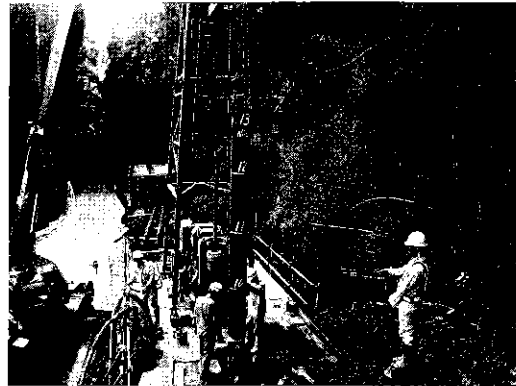


図-4 地すべり対策工施工図



(a) 鋼管杭工建込み状況



(b) グラウンドアンカー工削孔状況

写真-1 施工状況写真

トが掛かること、また、押さえ盛土によりトンネル延長が長くなることから、経済性に優れた抑止工(第2案)を採用した。

なお、抑止工の採用にあたっては、それぞれのブロックについて経済比較したところ、ブロック1は鋼管抑止杭工、ブロック2はグラウンドアンカー工が経済性に優れたため採用することとした。地すべり対策工の仕様を表-4、施工図を図-4、施工状況写真を写真-1に示す。

3 トンネル掘削時の動態観測

トンネルの掘削開始にあたり、地すべり対策工の効果、および掘削中のトンネル安定性を確認するため、以下に記述する計測管理システムを構築したうえで施工を進めた。

3-1 計測項目および計測管理システム

トンネル掘削が地すべりを含めた周辺地山へ及

表-5 内空変位・天端沈下の計測頻度

測定位置と切羽の離れ	頻 度	
	採用	通常(参考)
0 ~ 0.5D未満	4回/1日	2回/1日
0.5 ~ 2.0D未満	2回/1日	1回/1日
2.0 ~ 5.0D未満	1回/1日	1回/2日
5.0D以上	2回/1週	1回/1週

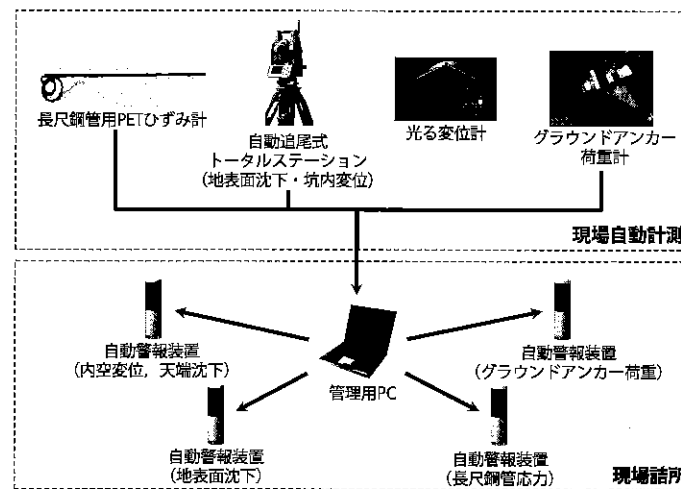


図-5 計測管理システムのイメージ

ばす影響を確認するため、図-2に示すとおり坑口付近での地表面沈下計測を実施した。また、坑口部から39m区間についてトンネル内空変位・天端沈下の計測間隔を通常の10mから5mとし、2倍の頻度で実施した。内空変位および天端沈下の計測頻度は、表-5に示すように通常の2倍とし、その他の計測項目は1回/時間とした。

これらの各計測値は、今回新たに開発した計測管理システムに統一的に収集される。計測管理システムは、各現場に設置した計測機器、計測値と管理基準値を比較し管理する管理用PC、および自動警報装置から構成される。自動警報装置は、管理基準値を超過するなど管理用PCが異常と判断した際に回転灯が起動する仕組みとなっている。

また、坑口付近に設置したことから、本工事に従事するだれもがトンネル掘削による周辺環境への影響を把握することが随時可能となる。計測管理システムのイメージを図-5に示す。

3-2 管理基準値の設定

3-2-1 内空変位・天端沈下

内空変位および天端沈下量の管理限界値は「限界ひずみによる方法」を用いて表-6のとおり設定した。

3-2-2 地表面沈下

地表面沈下量の管理基準値は、地表面沈下量の許容値に関する実績調査³⁾を参考に表-7のとおり設定した。一般的に、道路の沈下量は20~50mmの範囲で許容値が設定されていることから、坑口付近を横断する市道への影響を考慮し、この値の平均値35mmを地表面沈下の管理限界値とした。

表-6 内空変位および天端沈下の管理基準値

	DIIIa-f	DIIIa	備 考
管理限界変位 U_s (mm)	56.6	44.7	天端沈下
天端沈下 S_t (mm)	管理レベルI	18.9	14.9 $U_s \times 1/3$
	管理レベルII	37.7	29.8 $U_s \times 2/3$
	管理レベルIII	56.6	44.7 U_s
内空変位 C_i (mm)	管理レベルI	37.7	29.7 $U_s \times 1/3 \times 2$
	管理レベルII	75.5	59.6 $U_s \times 2/3 \times 2$
	管理レベルIII	113.2	89.4 $U_s \times 2$

表-7 地表面沈下の管理基準値

地表面沈下	管理基準値(mm)	備 考
許 容 値	35	実績の平均値
管理レベルI	11.7	許容値 $\times 1/3$
管理レベルII	23.3	許容値 $\times 2/3$
管理レベルIII	35	許容値

表-8 長尺鋼管応力の管理基準値

長尺鋼管応力	管理基準値(N/mm ²)	備 考
許 容 値	210	鋼管の許容応力度
管理レベルI	133.5	推定最大曲げ応力度
管理レベルII	168	許容値 $\times 75\%$
管理レベルIII	210	許容値

3-2-3 長尺鋼管ひずみ

長尺鋼管ひずみは応力で管理することとし、鋼管の許容応力度を管理限界値として表-8のとおり設定した。また、別途実施した極限すべり解析結果より得られた最大曲げ応力度を管理レベルIとして設定した。

3-2-4 グラウンドアンカー軸力

グラウンドアンカー軸力の管理基準値は参考文献4)に示されている残存引張力とアンカー健全度の目安(表-9)を参考に、表-10のとおり設定した。表-9のうち、「危険な状態になる恐れあり」となる許容アンカー力 T_s の1.1倍を管理限界値とし、「許容値を超えている」となる許容アンカー力 T_s を管理レベルII、「健全」の上限値となる設計アンカー力 T_d を管理レベルIとした。

3-3 トンネル掘削時の計測結果

3-3-1 内空変位・天端沈下

内空変位および天端沈下量の経時変化図を図-6に示す。ここでは、もっとも坑口に近いTD5m位置での計測結果を示す。上半右側の沈下量が天端および上半左側に比較してやや大きいものの、

表-9 残存引張力とアンカー健全度の目安⁴⁾

残存引張力の範囲	健全度	状 態	対 処 例
許容アンカー力(T_s)	0.9 T_{ys}	破断の恐れあり	緊急対策を実施
	1.1 T_s	危険な状態になる恐れあり	対策を実施
	許容値を超えている		
設計アンカー力(T_d)	B		経過観察により対策の必要性を検討
	A	健全	
定着時緊張力(P_t)	0.8 P_t		経過観察により対策の必要性を検討
	B		
	0.5 P_t	機能が大きく低下している	
0.1 P_t		機能していない	対策を実施

表-10 グラウンドアンカー軸力の管理基準値

グラウンドアンカー軸力	管理基準値(kN/本)	備 考
管理レベルI	535.7	設計アンカー力 T_d
管理レベルII	549.0	許容アンカー力 T_s
管理レベルIII	603.9	1.1 T_s

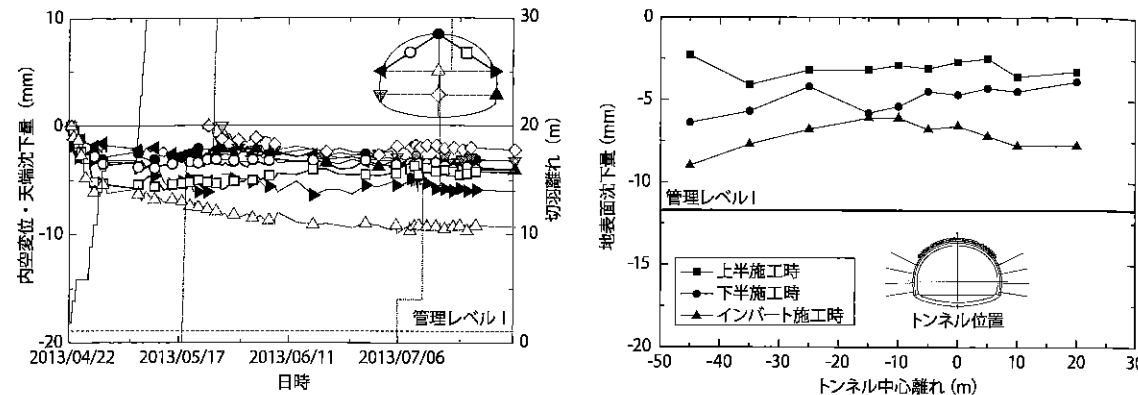


図-6 内空変位・天端沈下量の経時変化

全体的には管理レベル I の 1/3 以内と小さい範囲に収まっている。内空変位については上半水平測線での計測結果が最大で約 10mm であり、収束にも時間を要した。しかし、最終的には管理レベル I の 1/3 ~ 1/4 程度で収束していることから、トンネルの安定性には問題なかったものと考えられる。

3-3-2 地表面沈下

地表面沈下量の分布を図-7に示す。掘削の進行に伴って沈下量が増加しており、下半施工時までは坑口左側の地すべりブロック上での沈下量が大きく、インバート施工時には坑口右側の沈下量も増加を見せているが、いずれも大きさは管理レベル I 以内であるため、市道への影響としては問題ないと判断できる。地すべりブロックへの影響の有無に関して言えば、後述のグラウンドアンカー軸力の測定結果や、別途地すべりブロック 1 に対して実施した傾斜計による測定結果からは、変状は見られなかったことから、地すべりブロックが活動したとは考えにくい。地表面沈下量の相対的な差は 3mm 以下であり、地すべりブロックに影響が生じたとしても、きわめて小さいものであったと考えられる。

3-3-3 長尺鋼管ひずみ(応力)

天端部における測定値の経時変化を図-8に示す。おおむね 5 ~ 6m (0.5D 程度) 手前から鋼管に曲げ応力が生じ始めていることがわかる。極限解析に

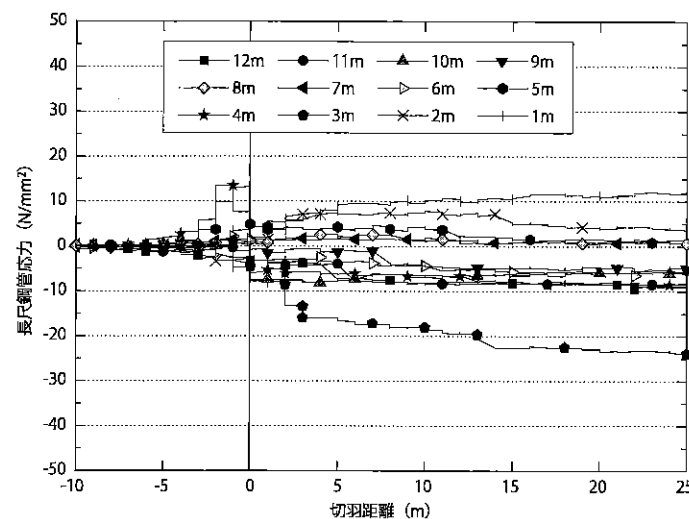


図-8 長尺鋼管応力の経時変化

より推定した曲げ応力に対しては最大で 2 割程度であったが、シリカレジンの注入による地山改良効果やアーチ効果の考慮の有無、3 ~ 4m 前方からは比較的良好な泥岩が主体となったことなどに起因すると推察される。

また、曲げ応力の分布と切羽位置の関係を図-9に示す。図中のハッチング部がトンネル位置である。掘削の進行に伴って応力分布が変化していく様子が観察され、極値が末端から 3m の位置に現れていることがわかる。切羽観察記録からは、脆弱な崖錘層が切羽に出現する区間はこの付近までであり、以降は比較的良好な泥岩を主体とする地山へと変化したため泥岩層が支点となり、図-9のような分布を示したのと考えられる。

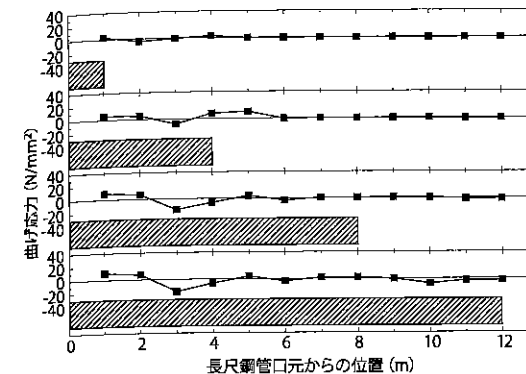


図-9 長尺鋼管曲げ応力の分布

3-3-4 グラウンドアンカー軸力

計測したグラウンドアンカー軸力の経時変化を図-10に示す。軸力は測定開始直後より漸減しており、平均で約 11.3% の低下が見られた。一般的には「グラウンドアンカーの施工後、時間の経過に伴って導入力は減少し、一定の期間後に収束するような挙動を示す」とされている⁹⁾ことから、この結果は妥当であると考えられる。また、トンネル掘削に伴う変動は見られないことから、地すべりブロックに対するトンネル掘削の影響は、きわめて小さいと考えられる。

4 ま と め

本トンネルの掘削にあたっては、掘削開始側の坑口付近が地すべり危険箇所であること、坑口直上を市道が横断していることなどから、トンネル掘削による周辺への影響が課題となった。本工事においては、トンネル掘削に先立ち実施した地す

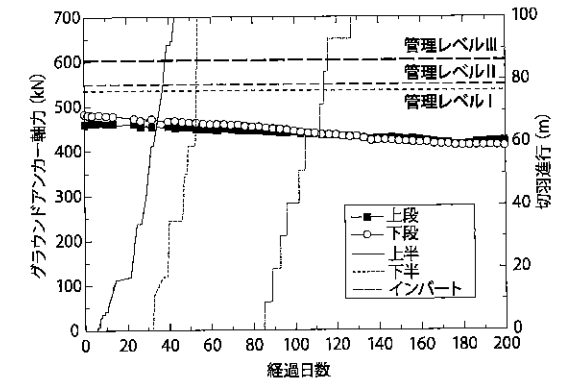


図-10 グラウンドアンカー軸力の経時変化

べり対策工、および今回新たに開発したトンネル掘削時における計測管理システムを活用し、トンネル掘削による影響を「見える化」することにより、本工事に従事する誰もが周辺環境の安定性を確認しながら施工を進めた結果、地すべり近接区間を安全に突破することができた。

今回の工事にあたり、ご指導、ご助言をいただいた関係各位に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：道路土工 切土工・斜面安定工指針。
- 2) 高速道路総合技術研究所：設計要領 第一集。
- 3) 土木学会：実務者のための山岳トンネルにおける地表面沈下の予測評価と合理的対策工の選定，2012。
- 4) 土木研究所・日本アンカー協会：グラウンドアンカー維持管理マニュアル，2008。
- 5) 例えば、地盤工学会：グラウンドアンカーの調査・設計から施工まで，2001。

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350円

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

株式会社 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



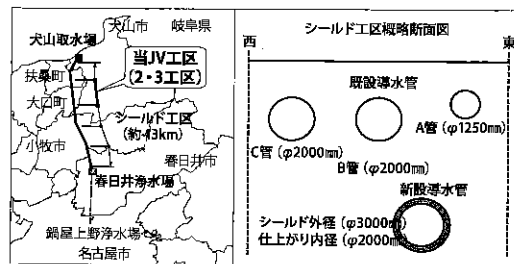
「雄大な『木曽川』とともに歩んできたまち」扶桑町より

橋 寛 行

愛知県丹羽郡扶桑町は、北に木曽川を挟み岐阜県各務原市、東に犬山市、西に江南市、南に大口町と接し、県北西部の犬山扇状地扇頂部に位置している。江戸時代に「御用堤」と呼ばれる木曽川左岸の堤防が築かれるまでは、洪水により大きな被害を受けてきた地域であった。産業では養蚕・生糸で栄え、最盛期の昭和5(1930)年ごろは実に農家の90%が養蚕農家という全国的にも有数の蚕産地であった。町名は「桑によって扶養される」に由来する。現在では木曽川によりもたらされた良質な砂質土を利用した「守口大根」の産地として有名である。

この木曽川の豊かな流れを上水道の水源として着目した名古屋も、明治末期に創設工事に着手、その後、計8次もの拡張整備を重ね、現在の管網を築いてきた。そして今年、名古屋市は、大正3(1914)年の給水開始から100周年を迎えた。木曽川からは2つの系統で導水されており、そのうちの犬山取水場から、ここ扶桑町を経て春日井浄水場および鍋屋上野浄水場へ導水する「犬山系導水路」は立地条件(高低差)を利用した導水が中心で、名古屋市全体の約60%の水量を賄っている主要ルートとして、3本(A管:φ1,250mm、B、C管:φ2,000mm)の導水管により導いている。

一方、犬山取水場から春日井浄水場を結ぶA管は、昭和4(1929)年にはじまる第4期拡張工事の一環として布設された普通鋼鉄管で、80年以上経過して老朽化が進んでいる。名古屋市上下水道局はこのA管の耐震化、導水能力の向上(φ2,000mmへの増径)、およびB、C管更新時のバックアップ機能を目的とした「犬山系導水路A管整備事業」を平成21(2009)年度から着手し



第4期拡張工事、A管布設工事の様子
(写真提供:名古屋市上下水道局)

ている。同事業は3本の既設導水管の直下に新たなA管を新設するものであり、当工事は全体6工区(13.1km)のうち2,3工区の約3.2kmを泥土圧式シールド工法にて施工するものである。

当JV工事事務所は国宝・犬山城近くの犬山市内にあり、当工事起点である発達立坑は扶桑町、到達立坑は大口町と3市町に跨っている。シールド工事の特徴としては、①犬山扇状地は硬質な巨礫を含む砂礫層で礫径1m級の玉石が存在する、②2か所の河川横断が洪水期での施工条件となっている、③中間立坑1か所を含む3.2kmの長距離施工である、などが挙げられる。現在、平成27(2015)年2月の発進を目指して鋭意準備を進めている。

昭和4(1929)年当時のA管布設事業の写真を拝見すると、専用の軌道・機関車での管運搬、管口は藁で養生、掘削箇所は現在の数倍もの材木にて器用に土留めを施工している様子が写っている。今の時代のような機械設備もない80年以上前、先人の土木技術者たちが、このような壮大な事業を困難と闘いながら遂行したことを想像すると、深い感銘と尊敬の念を抱いてしまう。この事業に携わることに、一技術者として責任と誇りを持ち、JV職員一丸となりこのシールド工事を無事にやり遂げる所存である。

(日本国土・桑原組・コムシス特別共同企業体犬山シールドJV作業所所長)

施工

国道16号直下の小土かぶり部をSENSで掘進

—相鉄・JR直通線 西谷トンネル—

鉄道・運輸機構東京支社新横浜鉄道建設所所長 中西 孝 治
 鉄道・運輸機構東京支社新横浜鉄道建設所所員 阪 田 暁
 鉄道・運輸機構東京支社新横浜鉄道建設所所員 松 尾 知 明
 大成・東急・エス・ケイ・ディ特定建設工事共同企業体西谷トンネル工事作業所作業所長 和 田 幸 治

1 はじめに

相鉄・JR直通線西谷トンネルは、都市部で初めてSENSを採用した。

SENSとは、シールドを用いた場所打ち支保システム(以下「SENS」)である。これまで東北新幹線三本木原トンネル、北海道新幹線津軽蓬田トンネルで採用されており、本工事は3例目となる。しかし、この2つのトンネルは山間部の施工であり、近接構造物が多数存在する都市部での施工は前例がなかった。

SENSの特徴は一次覆工をセグメントではなく場所打ちコンクリートとしている点である。

施工の際、コンクリート打設圧によって地表面を変位させることがあり、これまでの山間部の小土かぶり部において、実際に隆起が確認されている。

そのため、都市部でSENSを適用するにあたっては、切羽土圧だけではなくコンクリート打設圧を含めた掘進管理方法ならびに小土かぶり部におけるリスクへの対策を検討し、近接構造物に対する変位を抑制することが必要となる。

本稿では、小土かぶりかつ近接構造物が多数存在する国道16号直下における施工管理方法と施工結果について報告する。

2 相鉄・JR直通線および相鉄・東急直通線の概要

相鉄・JR直通線は、相鉄線西谷駅とJR東海道貨物線横浜羽沢駅付近間に連絡線(約2.7km)を新設し、この連絡線を利用して相鉄線とJR線が相互直通運転を行う事業であり、2009年10月に工事施行認可を受けた。西谷駅から羽沢駅(仮称)との間の2.7kmのうち、ほとんどは地下構造となり、このうち1.4kmが円形トンネルとなる西谷トンネルである。

一方、相鉄・東急直通線は、JR東海道貨物線横浜羽沢駅付近と東急東横線日吉駅間に連絡線(約10.0km)を新設し、この連絡線を利用して相鉄線と東急線が相互直通運転を行う事業であり、2010年10月に工事施行認可を受けた。

この2つの路線は、横浜市西部および神奈川県央部と東京都心部とを直結する広域鉄道ネットワークの形成と機能の高度化を目的とし、開業により所要時分の短縮や乗換え回数の減少など、鉄道の利便性向上や、地域の活性化などの効果が得られる。また、新幹線へのアクセスの向上や、新横浜副都心、二俣川・鶴ヶ峰副都心などのさらなる発展にも貢献する。

図-1に路線図、表-1に相鉄・JR直通線および



図-1 路線図

表-1 相鉄・JR直通線および相鉄・東急直通線の事業概要

路線名	相鉄・JR直通線	相鉄・東急直通線
整備区間	相鉄本線西谷駅～JR東日本東海道貨物線横浜羽沢駅付近	JR東日本東海道貨物線横浜羽沢駅付近～東急東横線日吉駅
建設主体	鉄道・運輸機構	鉄道・運輸機構
営業主	相模鉄道(株)	相模鉄道(株)・東京急行電鉄(株)
鉄道の種類	普通鉄道	普通鉄道
延長	約2.7km	約10.0km
軌間	1,067mm	1,067mm
運行区間	海老名駅・湘南台駅～西谷駅～羽沢駅(仮称)～新宿方面	海老名駅・湘南台駅～羽沢駅(仮称)～日吉駅～渋谷方面・目黒方面
駅の位置	羽沢駅(仮称, 横浜市神奈川区)	羽沢駅(仮称, 横浜市神奈川区) 新横浜駅(仮称, 横浜市港北区) 新綱島駅(仮称, 横浜市港北区)

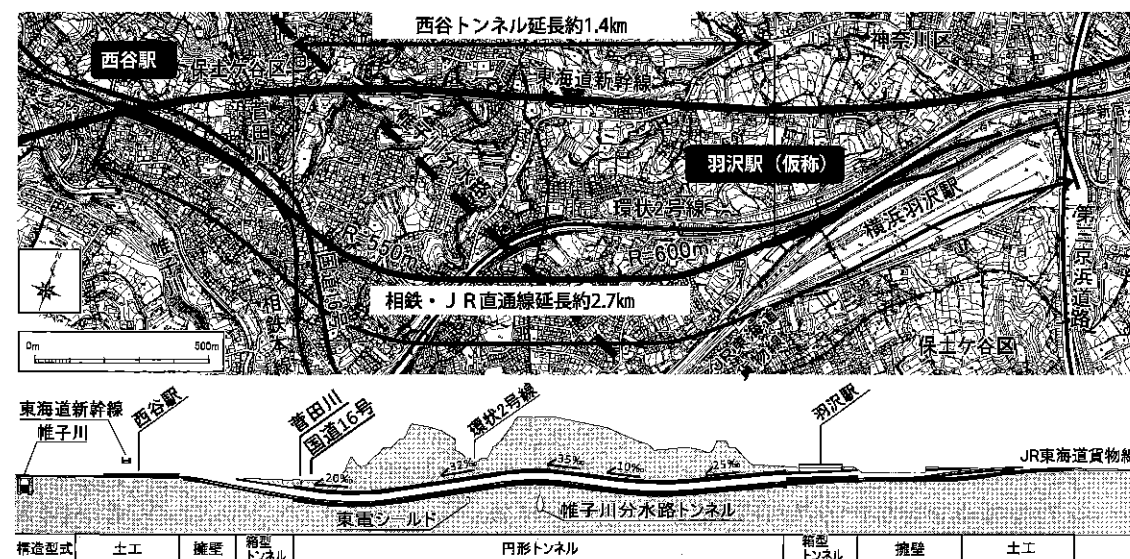


図-2 相鉄・JR直通線の平面図・縦断面図

相鉄・東急直通線の事業概要、図-2に相鉄・JR直通線の平面図・縦断面図を示す。

3 施工概要

3-1 西谷トンネルの概要

西谷トンネルの延長は1,446m、線形は西谷駅を起点として起点側にR550m、終点側にR600mの曲線があり、縦断勾配は最大で35‰、最小で10‰である。また、トンネルの土かぶり厚は6～46mであり、1D以下の小土かぶり区間が起点側では約150m、終点側では約100m存在する。

最大地下水位はトンネル天端+18.7mとなっている。本トンネルの特徴は、表-2に示すように多くの重要施設物と交差・近接し、また地上部には民家が密集している区間に位置することである。

3-2 地質概要

トンネル区間の地質構成は、洪積層である上総層群の上に相模層群が重なり、表層は関東ローム層で覆われている。トンネル通過部の地質はおもに上総層群粘性土(Km, $N \geq 35$)と介在した上総層

砂質土(Ks, $N > 50$)である。上総層群粘性土(Km)層は固結状の砂質泥岩を主体とした硬質地盤であるが、介在した砂質土(Ks)は被圧地下水を保有している。

一方、起点側および終点部側の小土かぶり区間

表-2 交差・近接構造物

近接・交差構造物	位置	交差・近接	トンネルとの離隔
菅田川	地上部	交差	0.8m
国道16号	地上部	交差	6.6m
東京電力シールド(京浜潤道)	トンネル下方	交差	2.0m
横浜市環状2号線	地上部	交差	12.7m
帷子川分水路トンネル(NATM, D=11.2m)	トンネル下方	交差	5.5m
横浜市環状2号線ランプ橋台	トンネル左方	近接	8.0m(水平離隔)

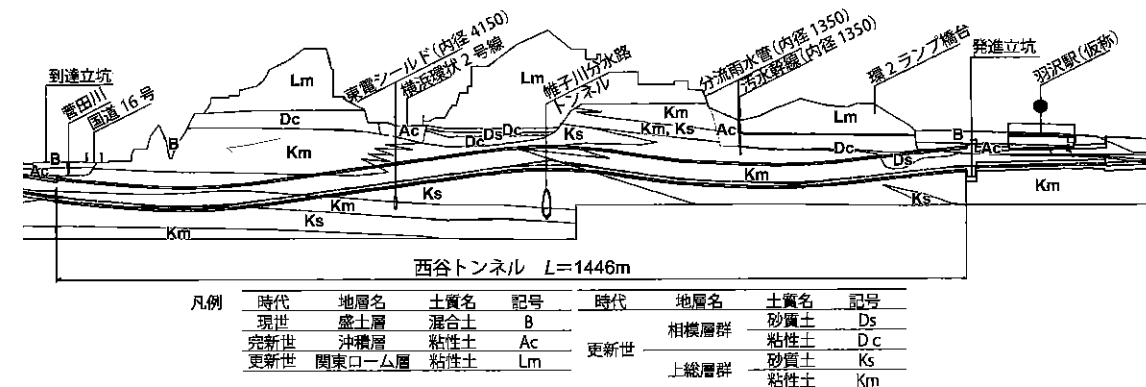


図-3 西谷トンネル地質縦断面図

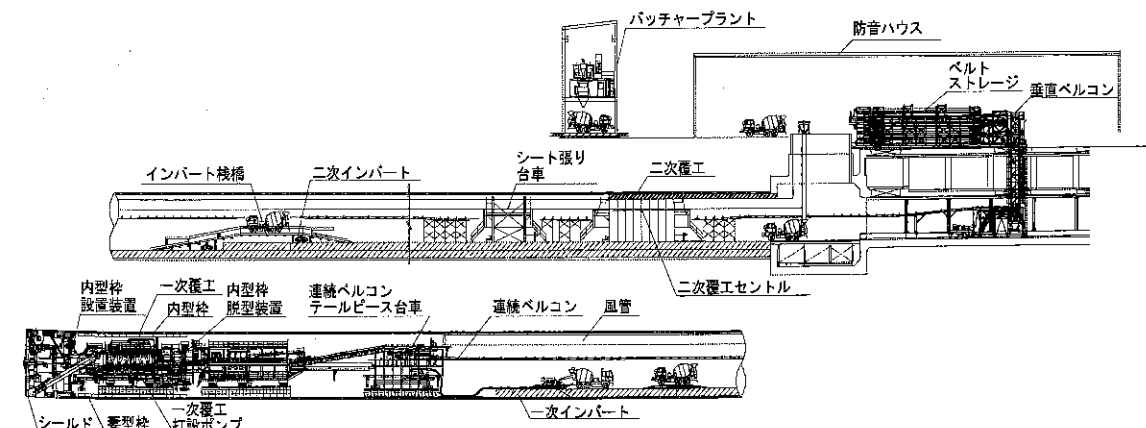


図-4 西谷トンネル施工概念図

次支保工と同様に位置づけしており、最終的には二次覆工を施工することにより品質を確保することである。図-4に西谷トンネルにおけるSENSの施工概念図を示す。

SENSの利点として、掘削をシールドで行うため、安全に掘削ができる点が挙げられる。次に、場所打ちライニングを採用していることからセグメントより安価であり、NATMと比較すると掘進速度が早い点が挙げられる。

また、SENSの適用範囲は主として軟岩～未固結地山であり、沖積層では場所打ちコンクリートが逸走してしまうおそれがある。NATMが適用可能な地山にて薬液注入や長尺先受け工など多くの補助工法が必要とする場合とSENSを比較した場合、SENSを採用することでより安全かつ経済的に、より早くトンネルを施工することが可能となる。

以上を踏まえて西谷トンネルでは、シールドとSENSおよび都市山岳工法(都市NATM)の3工法の比較検討を行い、地下水、周辺地盤および近接構造物への影響、施工性、経済性、工期などの検討の結果、総合的に判断してSENSを採用した。

写真-1に西谷トンネルで使用しているシールドを示す。シールドは泥土圧シールド、外径10.46m、機長11.64mである。

次に一次覆工コンクリート打設サイクル概念図を図-5に示す。一次覆工コンクリートは、妻型枠に配置された打設孔(12ポート)から内型枠と地山の間に打設される。内型枠1R分の掘進・打設が



写真-1 西谷トンネルで使用しているシールド

完了すると、16R後方で脱型された内型枠を前方に運んで再組立てを行い、設置位置の確認を行った後再び1R分の掘進・打設を行う。以上を1サイクルとしてくり返し、順次、施工を行う。

続いて西谷トンネルの標準断面図を図-6に示す。トンネル外径は10,400mmでトンネル構造は一次覆

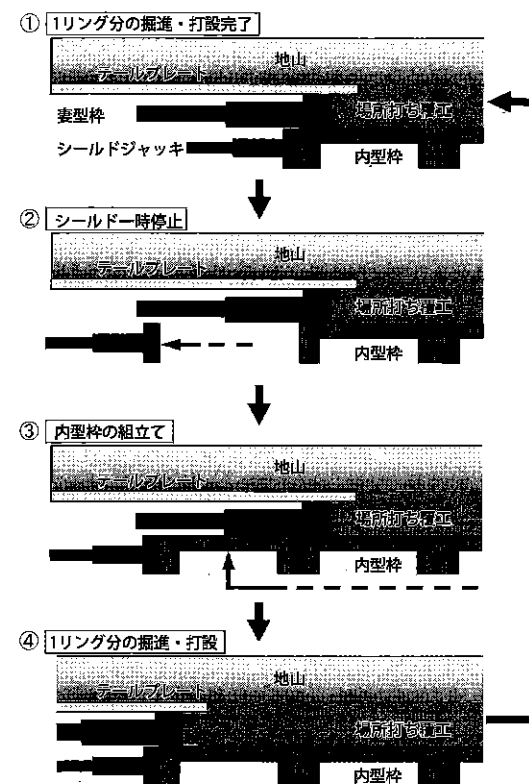


図-5 一次覆工打設サイクル概念図

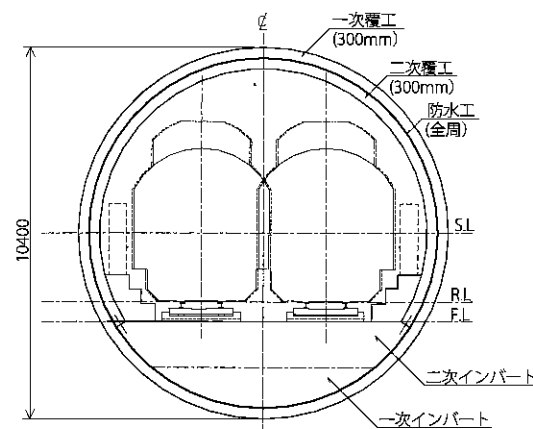


図-6 標準断面図

工(300mm)、二次覆工(300mm)、および一次インバート、二次インバートにより構成され、一次覆工と二次覆工の間には全周防水シートを施工することで、止水性をより向上させることとした防水型トンネル構造としている。

4 都市部の小土かぶり区間におけるリスクと対策

SENSを都市部に適用するにあたっては、これまでの山間部の施工とは異なり、周辺構造物および地表面に影響を及ぼさないよう安全に施工する必要がある。さらに小土かぶり部では、掘進や打設による影響が現れるため、とくに都市部において大きな変位が発生した場合は社会的影響も非常に大きいものになる。

SENSはこれまでのシールドセグメントとは異なり、場所打ちコンクリートを用いるため、シールドの切羽土圧管理に加えてコンクリート打設圧管理を適切に行うことが非常に重要となる。

これまでのSENSのコンクリート打設圧の影響による地表面の変位事例では、約5m程度の小土かぶり部において最大90mmの隆起が確認されている²⁾。そこで、都市部の小土かぶり部にSENSを適用するにあたっては、地表面だけでなく道路下の埋設施設への影響、掘進添加剤のリークも懸念される。

下記にリスクとその対策について記述する。

(1) SENSの切羽土圧・コンクリート打設圧による地表面・近接構造物への影響

地表面・近接構造物への影響を与えないよう、適正な切羽土圧・コンクリート打設圧管理値を設定する必要がある。また、適切な計測管理を行うと同時に、近接構造物の変位抑制のために防護対策を実施する場合もある。

(2) 掘進添加剤の地表面噴出

セグメントを用いたシールドの場合、チャンバ内に充填する掘進添加剤や裏込め材が地表面に噴出することがある。加えて道路下は水道管やガス管などの埋設管が存在しており、埋設管・近接構造物周囲の埋戻し土、残置仮設物周囲の状況によ

て、これら添加剤や裏込め材の抜け道となりやすいことが考えられる。SENSにおいても掘進添加剤を使用するため、状況に応じて埋戻し土・残置仮設物周囲に充填・地盤改良などが必要となる。

(3) 打設配管トラブルなどに伴う掘進の中断

SENSでは連続打設を続けていくと、配管内にコンクリートが付着し、配管閉塞などのトラブルを起こしやすくなって、掘進中断へとつながる。そのため、近接構造物直近で停止することがないよう、連続掘進と配管清掃の工程検討が必要となる。

5 国道16号交差部の施工計画

5-1 国道16号の概要

国道16号の交差平面図および断面図を図-7に示す。西谷トンネルは、国道16号と約30°の角度で交差する。交差箇所の土かぶりは、1D以下の約6.8mである。国道16号は、2車線の幅員12.6m、1日あたり約2.5万台と交通量が多く、日中はよく渋滞する道路である。さらに路面下には、上下水道管やガス、人孔やNTTなど多数埋設されているとともに、周辺には多くの民家が存在している。とくに汚水人孔とトンネルとの離隔は1.54mと非常に近接している。掘削断面の地質は、上総層の粘性土と砂質土の互層となっており、シールド上部の土砂は、地表面から約2.2mは埋土、約3.1mが上総層粘性土、約1.4mが上総層砂質土となっている。よって、国道交差部を安全に施工するためには、

- ・1D以下の小土かぶりであること
- ・ガス・上下水道管などの道路埋設物があること
- ・交通量が多い幹線道路であること

の課題について調査・検討を行い、国道部における適正な施工計画を策定する。

5-2 適正な切羽土圧・打設圧管理方法の設定

国道部の施工においては地表面や周辺構造物へ影響を及ぼさないよう安全に施工するため、適正な切羽土圧・コンクリート打設圧の管理値を設定する必要がある。そのため本掘進に入る前の施工

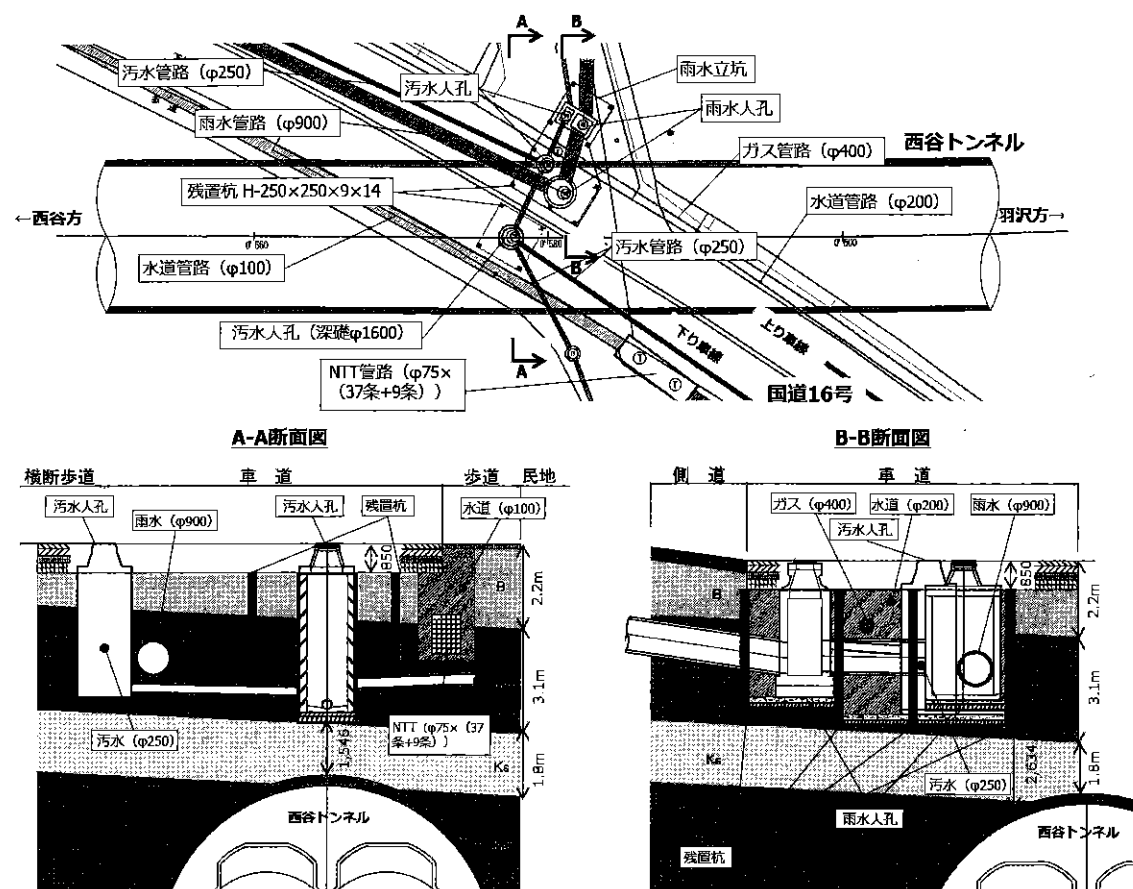


図-7 国道16号交差平面・断面図

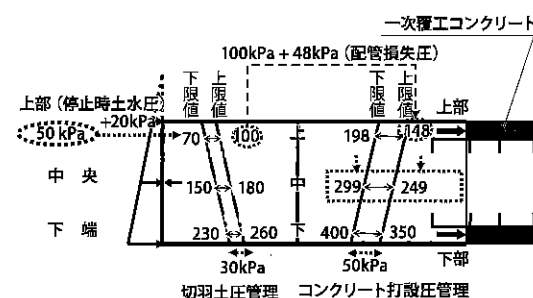


図-8 切羽土圧・コンクリート打設圧管理値算出

ヤード内にてトライアル区間を設け、切羽土圧・一次覆工コンクリート打設圧と地表面変位の結果から本掘進における管理方法を検討した。その結果、切羽土圧管理値および打設圧管理値は、図-8に示すようにシールド停止中におけるシールド上部の土圧計測値をもとに設定した。

具体的には、切羽土圧管理値はシールド上部の

土圧計測値に余裕圧20kPaを加えた値を下限値とし、さらに変動幅30kPaを加えた値を上限値とした。打設圧管理値は、シールド上部における切羽土圧上限値にコンクリート配管損失圧48kPaを加えた値を下限値とし、さらに打設圧変動幅50kPaを加えた値を上限値とした。この管理方法をもとに施工したところ、コンクリートの充填が十分であり、かつ、周辺環境への影響が小さかった³⁾。

さらに、この管理方法で国道における影響解析を行った結果、地表面変位が最大2mm程度と予測された。ならびに、これまでの本掘進の施工による地表変位計測の実績は最大±2mm程度であった。以上より、本管理方法について、これを適正であると判断し、国道部の施工においても、この管理手法を用いて適正に実施していくこととした。

表-3 路面・各埋設物の管理値

	道路	下水管・人孔	ガス管	水道管	NTT
トンネルとの離隔(m)	6.8(土かぶり)	1.5(人孔) 1.9(下水管)	4.7(φ400鉄管)	5.5(ダクタイル鉄管)	3.5
管理値(mm)	一次管理値	±25	±8	±50	±10
	限界値	±40	±20	±75	±20

5-3 近接構造物の防護対策

道路および各埋設物の変位管理値を表-3に示す。これらは道路および各埋設物管理者との協議により決定した。ここで各々の一次管理値を超えた場合、各管理者に連絡し、限界値を超えると掘進停止となり路面や埋設物復旧が必要となる。もっとも厳しい管理値はガス管変位で±8mm(一次管理値)であり、限界値については、ガス管およびNTTの変位がともに±20mmであった。

また、トンネルとの離隔が1.54mと非常に近い汚水人孔について調査を行った結果、当時の施工は深礎工による場所打ち施工であった。また、覆工板用の仮設材として使用された残置杭が確認された。そのため、人孔背面部に空隙があった場合に気泡材の抜け道となるおそれがあるほか、切羽土圧・打設圧による変位が懸念された。

そこで、人孔背面部のライナープレート裏込め箇所へ懸濁型の薬液注入を実施したところ、設計量以上の注入が確認された。さらに汚水人孔頭部と残置杭とをコンクリートで一体化することで掘進・打設の影響による人孔本体の沈下・隆起を抑えることとした。

5-4 計測管理方法

路面計測管理は、道路(上下線)・車道部に約5mおきに測点を設けて手動計測(1回/2H)を行った。また、トータルステーションによる自動計測(1回/5分)を補完的に実施した。

地中部の計測管理として、ガス管については沈下棒による計測(1回/2H)を行った。そしてトンネルとの離隔が非常に小さい汚水・雨水人孔については、人孔頭部に圧力式沈下計を設置して人孔の自動変位計測(1回/5分)を実施した。

5-5 掘進計画

西谷トンネルでは、週2回のコンクリート打設

配管の清掃を行っており、1回の連続掘進が最大24R(1週間で48R)としている。コンクリート打設配管清掃時の配管状況を踏まえると、これ以上の連続掘進は配管閉塞などのトラブルや打設圧のばらつきの原因となりうるため、国道直下の施工においても最大24Rの連続掘進を基本とした。連続掘進範囲については、国道中央に位置している汚水人孔を中心に24Rの連続掘進を設定した。

5-6 施工管理フロー

以上を踏まえて、図-9に示す国道16号の施工管理フローを作成した。変位管理値については、もっとも厳しい一次管理値が±8mmであり、これまでの本掘進の地表面計測結果の実績が最大値±2mmであることを考慮して、地表面およびガス管沈下棒変位±4mmを国道部施工の施工管理の目標値として設定した。この数値を上回る場合は、異常の兆候であると判断し、掘進の途中で切羽土圧・コンクリート打設圧管理値の調整を実施して、それ以上の変位を防ぐ。

切羽土圧管理値については、排土量の管理値(過去30R分の排土量平均値±σ(標準偏差))を超えない範囲で変更し、コンクリート打設圧管理値については、打設率95~120%(95%:設計巻厚300mmを満足できる最低量, 120%:切羽への回込み量に達しない限界量)を超えない範囲で打設量を調整して変更する。なお、打設率については、テールボイドの設計量に対する実打設量の割合を表し、巻厚330mm(マシン外径(10.46m)と内型枠外径(9.8m)から算出)で100%としている。

6 国道16号直下部の施工結果

国道16号直下の掘進は2014年4月21日に1,136R(組立てリング)より開始した。国道前後区間における施工結果について以下に示す。なお、リング

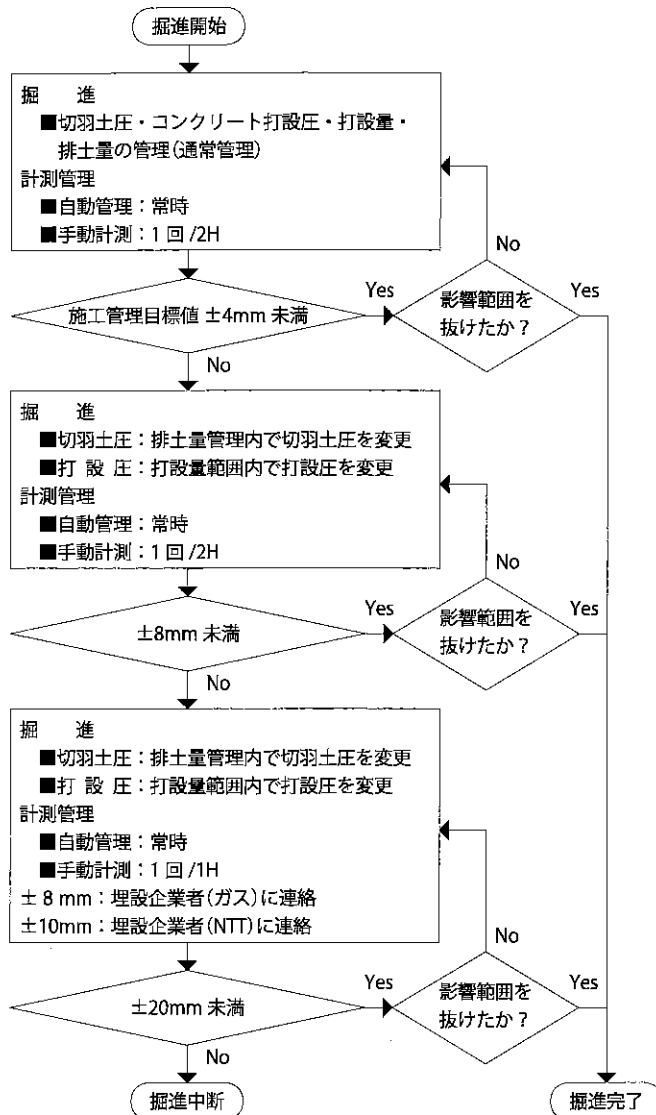


図9 施工管理フロー

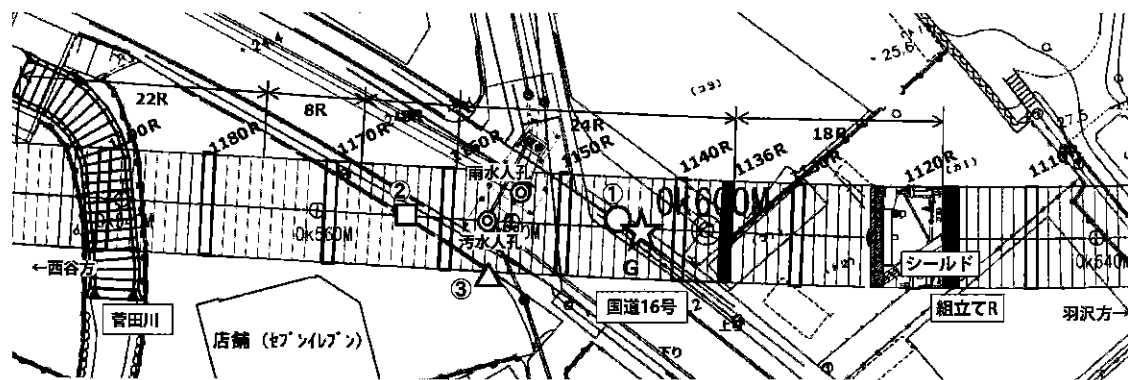


図10 路面・ガス管計測位置(主要箇所)

管理はシールドテール部の組立てリングで行っているため、組立てリングを0Rとすれば、切羽リングは+8R、打設リングは-1Rの位置になる。

6-1 路面・ガス管手動変位計測

ここでは路面・ガス管手動計測結果の中でもっとも変位量の大きかった4測点(路面：3測点①～③、ガス管：1測点G)の施工結果について記述する。図-10に測定位置を表した平面図、図-11に国道前後の区間における路面・ガス管変位計測結果、また、図-12に切羽土圧およびコンクリート打設圧の結果を示す。

1,136R(組立てリング)からの国道直下施工にあたっては、前章で記述した管理方法にもとづいて停止中の土水圧から切羽土圧・コンクリート打設圧を再設定して掘進に入った。まず、国道上り線の①およびガス管Gでは、シールド接近につれて隆起傾向を示した。国道上り線直下にシールドテール部が達した1,144R(組立てリング)の掘進中に、打設圧によってさらに隆起し、施工管理目標値(+4mm)を超えた。さらに国道下り線の②および③についてもシールド切羽の接近による先行隆起が確認されたことから、前述の図-9の施工管理フローに従ってこれまでの管理値から低減調整を行った(コンクリート打設圧管理値：-20kPa、切

羽土圧管理値：-5kPa)。調整の結果、国道上り線においては、打設圧による、さらなる大きな隆起は見られず、最終的な変位量は最大+5mmであった。

また、国道下り線の②および③では、国道直下の1,153～1,157R(組立てリング)の掘進中に切羽土圧による影響によって+4mmの隆起が見られたため、1,159R(組立てリング)からの施工では再度コンクリート打設圧管理値を低減調整(-25kPa)して掘進を行った。その結果、最終的な国道下り線の変位量は最大で+6mmであった。

以上、路面・ガス管の手動変位計測については、施工管理フローにもとづいて適切な管理値の調整を行った結果、一次管理値を超過することなく国道直下を通過できた。

6-2 汚水・雨水人孔自動変位計測

トンネルとの離隔が非常に小さい雨水・汚水人孔の自動変位計測結果について図-13に示す。人孔は、切羽通過前からシールドが近づくにつれて隆起傾向を示したあと、シールドが配管清掃により停止したさいに一時的に沈下が見られた。しかし、再度掘進を開始して切羽通過時には雨水人孔

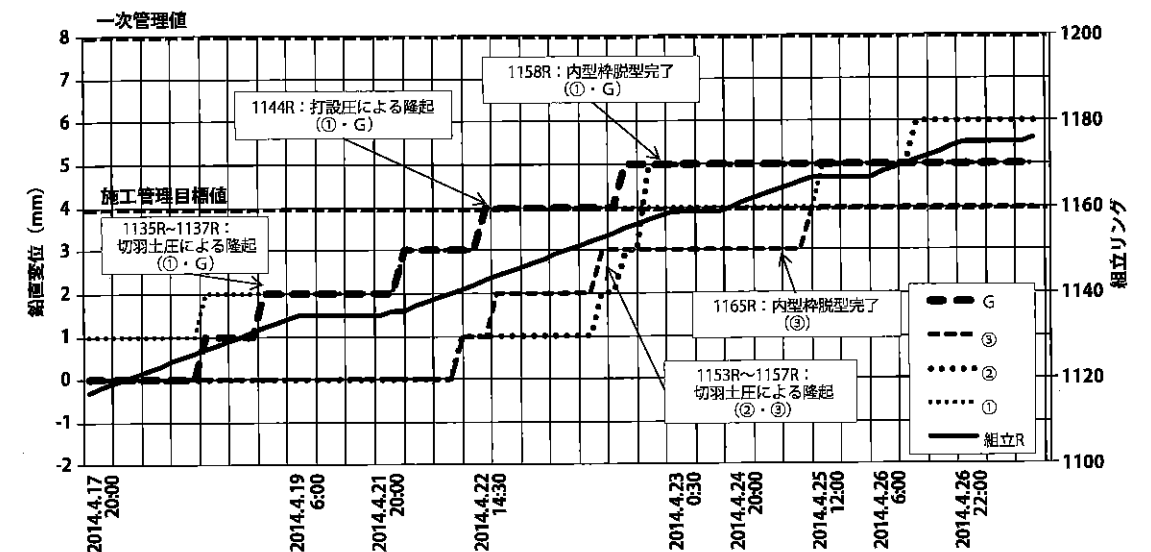


図11 路面・ガス管手動変位計測結果

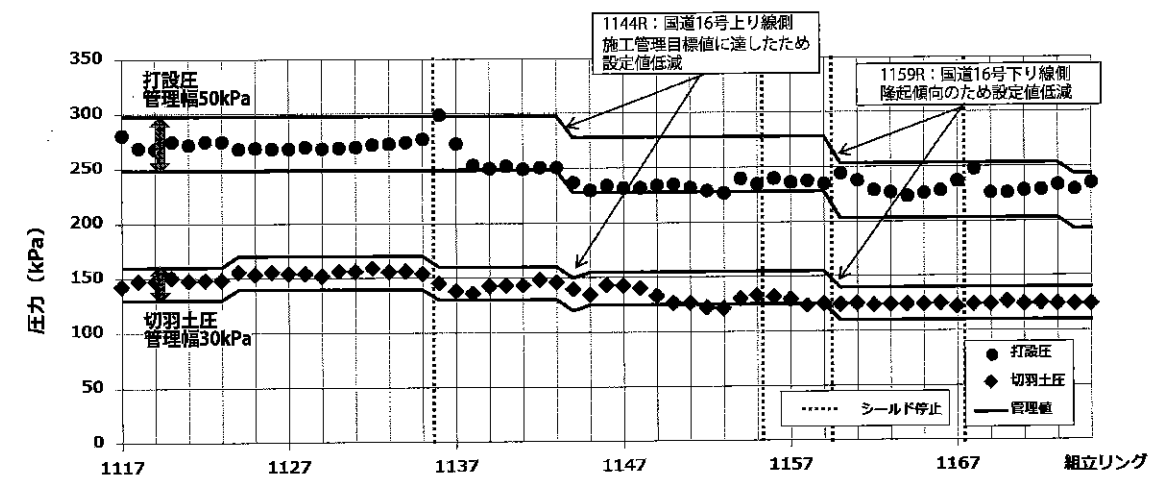


図12 切羽土圧・一次覆工コンクリート打設圧結果

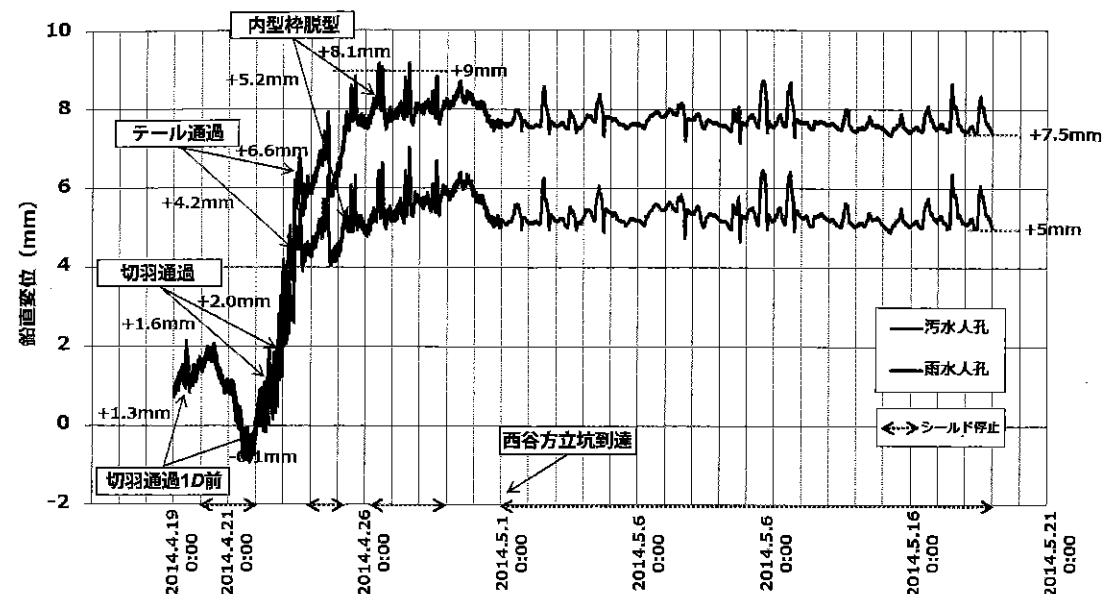


図-13 汚水・雨水人孔自動変位計測結果

が+1.6mm、汚水人孔が+2.0mmの隆起となった。シールド通過中は、シールド掘進・停止に伴って隆起・沈下をくり返ししながらシールドテール接近に伴って隆起量が増大した。シールドテール通過直後の人孔変位については、雨水人孔が+4.2mm、汚水人孔が+6.6mmとなり、コンクリート打設圧による大きな隆起が確認された。その後、内型枠脱型後7日程度まで、ゆるやかな隆起傾向となり、最終変位について雨水人孔は約+5mm、汚水人孔は約+7.5mmとなり、それぞれの人孔について一次管理値(±25mm)内に収まった。その後、直接人孔を目視で確認し、人孔自体にも異常がないことを確認した。人孔背面の薬液注入によって地山と人孔を一体化できたこともあり、離隔が小さい汚水人孔の変位量は最大+9mm程度に抑えることができた。

6-3 一次覆工巻厚測定

国道直下およびその前後区間における一次覆工巻厚および打設率の結果について図-14に示す。また、一次覆工打設後の状況を写真-2に示す。覆工巻厚の測定は、超音波計測器にて上下左右の4点を5Rに1回の頻度で実施し、設計値(300mm)以上であることを確認する。

計測の結果、一次覆工巻厚はすべて設計値以上

であった。また、コンクリートのクラックは少なく、漏水もほとんど見られなかった。

これは、国道部の隆起の進行を抑制するために打設量調整および打設圧管理値を低減させ、一方で打設率95%(設計値を確保できる打設量)以上のコンクリート打設を行えたので、密実な一次覆工ができたことによる。

6-4 まとめ

都市部の小土かぶり部の掘進におけるリスクとその対策を検討し、掘進管理方法および防護対策を実施した。まず、トライアル区間において適正な切羽土圧・コンクリート打設圧管理方法を設定した。次に掘進添加剤の噴出の可能性や離隔の小さい埋設物に対して、防護対策ならびに計測管理を実施した。さらに連続掘進に関しては、配管トラブルが生じて途中でシールドが停止しないよう本掘進実績の24Rを国道直下でも適用した。

以上を踏まえて、国道部の施工管理フローを作成して施工を実施した結果、国道16号部の路面および埋設物の変位量は一次管理値を下回る結果となり、路面・埋設物への影響を最小限に抑えることができた。さらに一次覆工巻厚についても設計値を満足し、コンクリートのクラックは少なく、漏水もほとんど見られなかった。

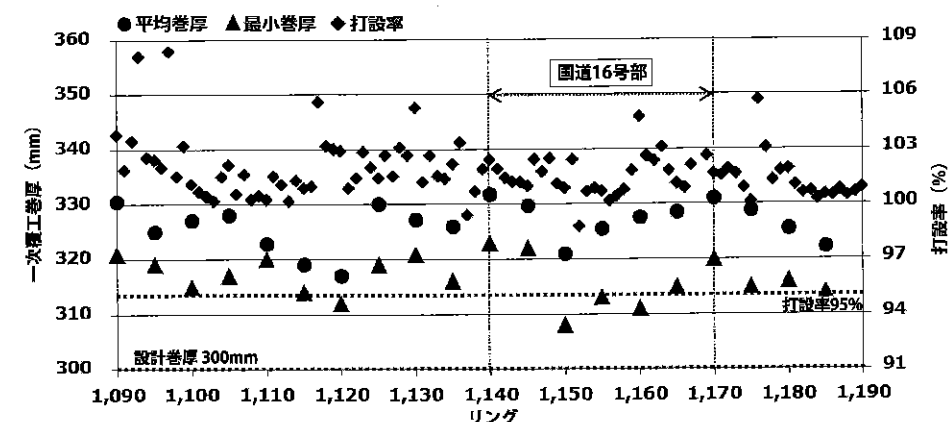


図-14 一次覆工巻厚および打設率結果



写真-2 一次覆工打設後の状況

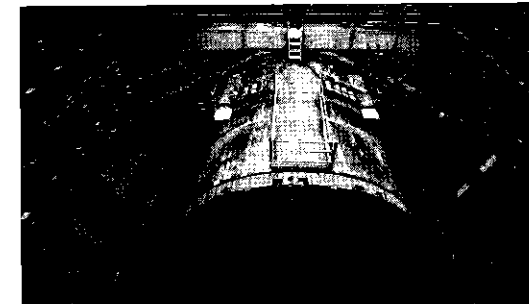


写真-3 西谷方立坑到達後のシールド

7 おわりに

SENSによる施工は、これまで山間部のみであり、都市部の小土かぶり部の厳しい施工条件下での施工は前例がなかった。また、山間部の小土かぶり部の施工では、場所打ちコンクリートの打設圧によって地表面の隆起が発生していた。

これらを踏まえてSENSを都市部に適用するにあたり、路面や周辺構造物への影響を与えないよう適正な切羽土圧・コンクリート打設圧管理方法やリスクに対する検討を行った結果、無事に国道直下を通過した。2013年2月に発進したSENSは2014年5月1日に西谷方立坑に無事到達した(写真-3)。

現在、シールドは解体作業を終了して発進立坑付近に仮置きしており、次の羽沢トンネルの発進に向けて準備を行っている。羽沢トンネルも本トンネルと同様に近接構造物が多く存在する。そのため、本トンネルの解析値と実測値の差分につい

て検討し、羽沢トンネルの影響検討解析に反映する必要がある。

最後に、本トンネルの計画および施工にあたりまして、ご指導をいただいた小山幸則・立命館大学客員教授をはじめ、多くの方々よりご指導・ご協力をいただきました。ここに感謝の意を表し、お礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 飯田廣臣：含水未固結地山におけるシールドを用いた場所打ち支保システムに関する研究，早稲田大学学位論文，p.3，2008.2.
- 2) 宮崎俊彦・三上美輝雄・田中淳寛・西川幸一：SENSで平均月進190mを達成，北海道新幹線 津軽蓬田トンネル，トンネルと地下，Vol.44，No.7，pp.7-14，2013.7.
- 3) 武田一彦・阪田暁・和田幸治・松村英樹：都市におけるSENSの施工管理のためのトライアル施工，相鉄・JR直通線 西谷トンネル，トンネルと地下，Vol.45，No.5，pp.25-33，2014.5.

土木情報 No.498

今月の主な入札結果

(10月10日～11月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単 位 百万円
北海道開発局	函館江差道渡島T木古内工区	大成・田中JV	2,859.5
"	" 北斗工区	大林・宮坂・松本JV	3,333.9
"	R40音威子府村音中T	清水・伊藤・岩倉JV	3,124
"	日高道日高町豊郷T	熊谷・宮坂JV	3,112.7
東北地整	R45津軽石道路	奥村組	3,881
関東地整	北千葉道路大谷津函渠	戸田建設	1,432.7
"	葛西共同溝補強その6	アイサワ工業	964
近畿地整	那智勝浦道路竹向地区T	井筒建設	258
"	大和御所道路新田東佐味T	鉄建建設	3,750.1
四国地整	H26-27せんだん投樋門	小泉組	108
水資源機構	小石原川ダム利水放流T	大林組	1,187
東日本高速道路	館山道天羽	五洋建設	6,500
中日本高速道路	中央道大月管内T補修(H26)	矢作建設工業	292.14
首都高速道路	高速横浜環状北線T避難施設他	青木あすなろ建設	2,390
都・水道局	新座市新堀2丁目地先から同市本多1丁目地内間原水連絡管(2000mm)用T築造及びT内配管並びに外1か所原水連絡管(2000mm)T内配管	東急・日本国土・河本JV	5,465.9
都・下水道局	北区赤羽北1丁目、板橋区小豆沢4丁目付近枝線	大豊建設	2,053.86
神奈川県企業庁	(企水第424号)湘南東送水管第1号改良(第10工区連絡管その1・土工)	入内島土建	119.03
愛知県	日光川下流域下水道事業管きょ敷設(富塚工区)	加藤・山田・大篠JV	830
福井県	原子力災害制御圧送道路等整備(仮称)美浜第2T茶谷工区	塩浜・オタJV	959
"	" 乙見工区	塩浜・嶺南JV	686.5
大阪府	R(新)371道路改良2工区(仮称下天見第2T築造)	森本組	658
"	寝屋川北部地下河川守口調節地築造(松生立坑)	森組	586
"	寝屋川流域下水道萱島直送幹線(第1工区)下水管渠築造	鴻池組	1,147
"	" 枚岡河内南幹線(二)(第3工区)下水管渠築造	森・三大JV	835
"	南大阪湾岸流域下水道和泉泉大津幹線(一)(第15工区)下水管渠築造	銭高組	1,466
熊本県	南小国上津江線広域連携交付金(中原T)	吉永・杉本・八方JV	893
愛知中部水道企業団	三ヶ峯幹線送水管敷設その1	クボタ工建	576.54
仙台市	原町東部雨水幹線2	佐藤・深松・高工JV	2,516.8
さいたま市	芝川第8処理分区分下水(北建-26-85)	日本国土・東鉄・東武谷内田JV	2,280
"	谷田排水区下水道(南建-26-304)	中央建設協組	196.32
江東区	豊洲駅地下自転車駐車場整備(その3)	三井住友・石川徳JV	339
横浜市	南部処理区大岡川右岸雨水幹線下水道整備(その3)	鹿島・五洋・松尾JV	996.69
"	鶴見小学校雨水貯留施設整備	加藤組	115.85
相模原市	市道新戸相武台道路改良(第四工区)	不動テトラ・入江・富士JV	944
横須賀市	横須賀ごみ処理施設建設に伴うT新設	西武・田中石材JV	910
長岡市	浸水対策下水道(雨水管渠)	大石・山崎・西栄JV	337.8
堺市	東雲東町外下水管布設(26-1)	松尾・泉都JV	872.08
熊本市	一般県道砂原四方寄線(池上工区)2号T新設	佐藤・大政・橋口・中山JV	3,740

施工

巨礫を含む砂礫地盤を泥水から泥土圧への切替え型シールドで長距離施工

—岡山市水道局 中央幹線—

岡山市水道局審議監 西 牧 大 雅

岡山市水道局中水道センター所長代理 石 井 恒 至

岡山市水道局中水道センター主任 山 下 洋 平

戸田建設・栄光テクノ・岩水開発特定建設工事共同企業体現場代理人 三 好 裕 輝

1 はじめに

本工事(中央幹線φ1,200mm～φ800mm配水管布設工事)は、昭和初期に布設され老朽化した水道管を、小口径のシールド工法を用いて強度・耐震性に優れるダクタイル鋳鉄管に更新する水道工事である。

シールド路線は、岡山市北区にある三野浄水場内の発進立坑から岡山駅より北東に1km離れた岡山地方裁判所前の到達立坑までの全長2,476mである(図-1)。

シールド掘進層は、長径600mmクラスの巨礫の

存在が推定された砂礫層であり、一部区間では5.93vol%の溶存メタンガスや10⁻¹cm/sオーダの高い透水係数が確認されていた。

当初設計は、ビット交換を3回行う泥水式シールドであったが、シールド面板のスリット幅を広げ、巨礫を割らずに取込み、後方のクラッシャーで破碎する仕様により交換を1回に抑えることとした。

また、泥水式シールドには切羽の安定を保つリアルタイム切羽安定管理システムを装備したが、不測の事態に対応するため泥土圧シールドへの切替えが可能なシールドを採用した。初期掘進時に、泥水逸水により掘進が不安定な状況になったことに伴い、切羽安定方式を切替えた。

本稿では、本掘進までの追加地質調査、掘進前の計画、切羽の安定方式を泥水から泥土圧へ切替えた結果を報告する。

2 工事概要

シールド掘進路線は、県道27号岡山吉井線の道路線形に沿って掘進する計画で、曲線半径は最小80m、最大500mである。

縦断線形は、発進立坑から1,400～1,600m区間



図-1 施工位置平面図

で山陽新幹線、山陽本線の橋脚基礎杭(杭長約10～12m)に近接するため、発進立坑から山陽本線直下までは0.5%の下り勾配、通過後は1.0%の上り勾配となる。

発進立坑から1,288m地点に分岐立坑があり、さらに1,188m地点に到達立坑がある。分岐立坑では、シールドのローラカッターやビットを交換する計画となっている。

シールド外径は $\phi 2,130\text{mm}$ 、トンネルは外径 $\phi 2,000\text{mm}$ の鋼製セグメントで構築され、二次覆工としてダクトイル鉄管($\phi 1,200\text{mm}$, $\phi 1,000\text{mm}$)を配管し、エアモルタルを充填する構造である(図-2)。

また、途中の分岐立坑では、 $\phi 800\text{mm}$ の立上り管を既設管に接続する計画である。

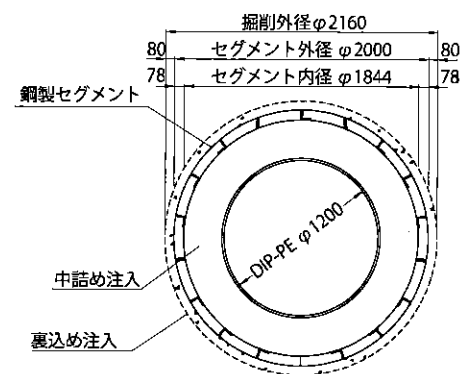


図-2 トンネル断面図

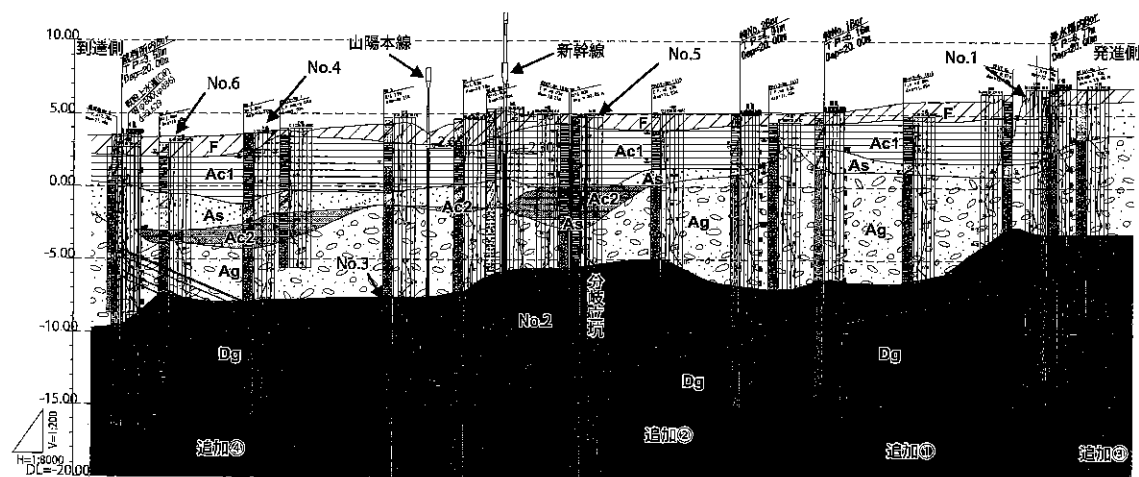


図-3 地質縦断面図

3 地質概要

本工事場所は、発進立坑の三野浄水場から旭川と平行に南下し、標高約6.9～3.4mと緩やかに低くなる瀬戸内海沿岸平野にある。

通過する地層はおもに洪積砂礫層(Dg層)で構成され、到達付近が沖積砂礫層(Ag層)となる(図-3)。

事前の地質調査結果や過去の近接工事の実績から、長径600mm程度の巨石が確認されているが、旭川から離れ下流になるほど石径は小さくなる。

また、溶存メタンガスの存在(空気補正後の値で最大濃度5.93vol%)が確認されているほか、透水係数が $1.27 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ の区間が到達間際のAg層に約300m存在している。

掘進路線上の地質は下記のとおりである。

(1) 掘進部地層構成

シルト・粘土分 15～8%
砂 分 33%
礫(120mm以下) 24～48%
礫(120～280mm) 18～12%
礫(280mm以上) 10～0%

(2) 透水係数

Dg層 $4.70 \times 10^{-3} \sim 1.57 \times 10^{-2} \text{cm/s}$
(Bor.No.1～5)

Ag層 $1.27 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ (Bor.No.6)

(3) 坑口ガス濃度

メタンガス 0.0002～0.0003vol%

(4) 空気補正後地下水溶存ガス濃度

メタンガス 0.0291～5.93vol%

4 追加地質調査

既往の調査資料を補完し、泥水式シールドでの施工計画を検討する材料として、追加ボーリングと直径1.0mの大口径ボーリングにより以下の3項目の調査を行った。

- ① 透水係数の高い地層の分布
- ② 600mm以上の巨礫の分布
- ③ メタンガスの分布

4-1 追加ボーリング

追加ボーリングは図-3に示す4地点で実施した。各ボーリングの調査結果を表-1に示す。

メタンガスは採気、採水とも0.1vol%以下、礫径は50～60mm程度、コア長による巨礫の推定最大サイズは、 $3 \times 80 = 240\text{mm}$ であり、600mm以上の巨礫は推定されなかった。この結果、メタンガス、透水係数は当初計画どおりで検討した。

表-1 調査結果

Bor.No.	地層	透水係数 (cm/s)	メタンガス (vol%)	最大礫径 (mm)	コア長 (mm)
追加①	Dg	—	<0.1	50	—
追加②	Dg	7.94×10^{-3}	<0.1	50	—
追加③	Dg	—	—	50	—
	Ag	2.69×10^{-2}	<0.1	50	80
追加④	Dg	3.15×10^{-4}	<0.1	60	—



写真-1 調査状況

4-2 大口径ボーリング

巨礫の大きさを直接確認するため、発進立坑で全周回転式オールケーシング工法による1.0mの大口径ボーリングを行った。

4-2-1 調査確認方法

調査はAg層(GL-5.0～-10.0m)とDg層(GL-10.0～-20.0m)の粒径75mm以上の粗石(75～300mm)、巨石(300mm以上)を対象とした(表-2)。なお、ここでは75mm以上を「巨礫」と呼ぶこととする。

調査はGL-20.0mまで1.0mごとに以下①～③を実施した(写真-1, 2)。

- ① ハンマグラブでの水中掘削
- ② 掘削土を75mmスクリーンメッシュで振分け
- ③ 巨礫の重量、見かけの体積、最大粒径の測定

4-2-2 調査結果

巨礫の採取状況を写真-3、巨礫確認数を表-3に示す。75mm以上の巨礫の出現数は、Ag層に対しDg層が1.6倍、150mm以上は1.9倍、300mm以上は1.8倍確認されており、Dg層を掘進する際は巨礫の破碎によるビット摩耗が懸念される結果となった。

最大礫径はAg層とDg層の境で確認された480mm×150mm×150mmであり、600mm以上の巨礫は確

表-2 調査対象

土 質 材 料							岩石質 材 料
コロイド	シルト	砂			礫		粗石 巨石
粘土		細砂	中砂	粗砂	細礫	中礫	
	0.001	0.075	0.85		4.75	75	
	0.005	0.25	2.00		19	300	

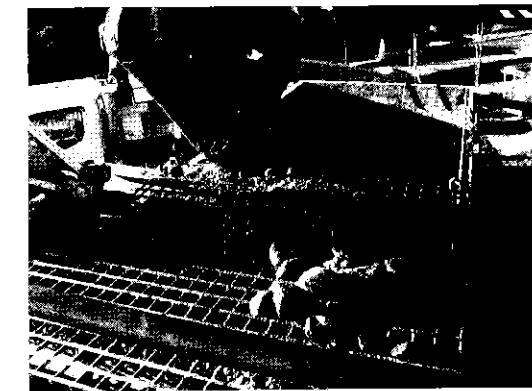


写真-2 巨礫の回収

表-3 大口径ボーリング時に確認した石の個数

層種別	75~ 150mm	150~ 300mm	300mm ~	合計	備考
Ag層	352	92	2	446	
Dg層	1,108	347	7	1,462	
Ag層	70	18	0.4	89	$h=5m$
Dg層	111	35	0.7	146	$h=10m$
Dg/Ag	1.57	1.89	1.75	1.64	

認められなかった。この層境部分には300mm以上の巨石が多く確認され、層境を掘進する場合、シールドのローラカッタによる破碎能力よりも、坑内に装備するクラッシャの破碎能力に日進量が制限される可能性があることがわかった。

今回の結果をもとに、75mm以下の粒径で試験されている土粒子の質量百分率(礫57.8%, 砂30.9%, シルト・粘土11.3%)を、75mm以上の巨礫を含めた質量百分率に修正(礫63.4%, 砂26.8%, シルト・粘土9.8%)し、この数値をシールドのビット摩耗量算出の参考にした。

5 シールド製作

透水係数が高いAg層の掘進に対応するとともに、周辺環境を考慮しビット交換を1回に抑えるため、次の(1)~(9)に示すシステムや材料・機械を追加装備した。

(1) リアルタイム切羽安定管理システムの設置
切羽水圧の変状に対し瞬時に適正な泥水を供給するシステムであり、攪拌装置(スタティックミキサ)、粘度計、調泥材貯蔵タンクなどで構成される。

添加する調泥材には、高分子系増粘剤、吸水性樹脂目詰材を使用する。当システムを後続台車に配備することにより、数秒の操作で適正な泥水が切羽へ供給可能となる。

(2) 切替え可能なシールドの採用

泥水式(図-4)から泥土圧流体輸送方式(図-5)へ



写真-3 巨礫の採取状況 (GL-5.0~20.0m)

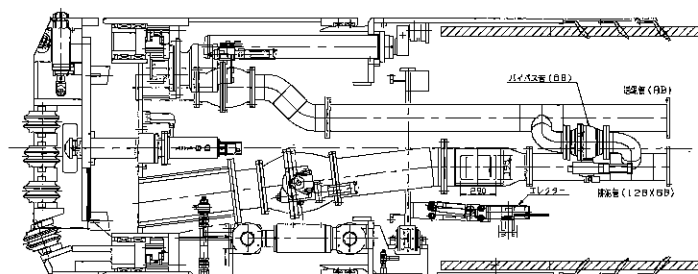


図-4 泥水式シールド構造図

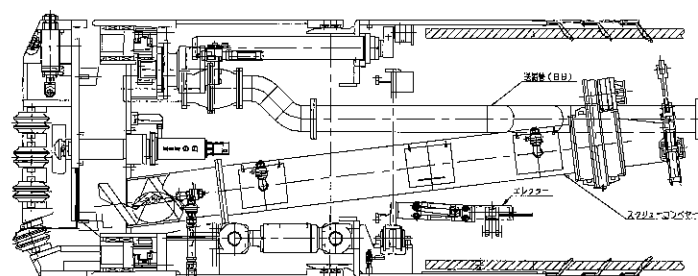


図-5 泥土圧流体輸送方式シールド構造図

切替え可能なシールドを採用する。

(3) 強化型ローラビットの採用

転動距離の大きい外周ローラカッタ (No.1~3) に強化型ビット (超硬チップ, E5 種) を採用し、ビットの摩耗を低減 (摩耗量の少ない No.4~8 のローラカッタは通常型を採用) する。

(4) 開口スリットの拡大

ローラカッタの摩耗を低減し、積極的に巨礫を取込むようスリット幅を250mmに拡大する。

(5) 排泥管の大口径化

取込んだ巨礫が閉塞しないよう排泥管を12Bから15Bに拡大し、排泥流速の不足を補完するためスクリュコンベヤを装備する。

(6) ロータリクラッシャの装備

坑内配管4Bで流体輸送するため、巨礫をロー

表-4 ローラカッタ摩耗量比較 (L=1,288m)

No.	数量	軌跡直径(m)	ローラカッタ種類	
			通常型	強化型
1	2	2.17	19.12	14.34
1'	1	2.17	22.94	17.21
2	1	1.91	20.19	15.15
3	1	1.64	17.36	13.02
4	1	1.36	14.38	10.78
5	1	1.08	11.42	8.56
6	1	0.79	8.35	6.26
7	1	0.50	5.29	3.96
8	1	0.21	2.22	1.67

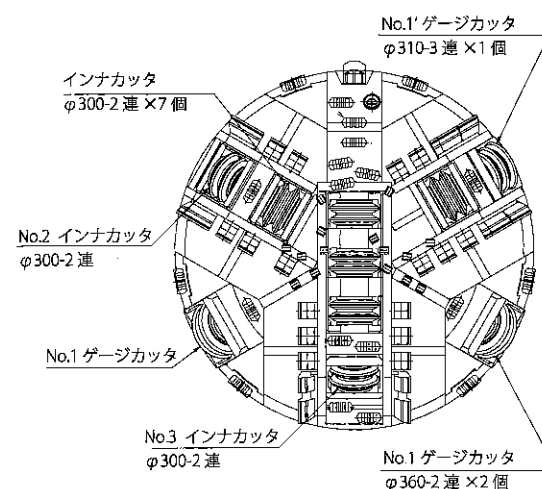


図-6 カッタヘッド形状図

タリクラッシャで15mm程度に破碎する。

(7) No.1 ゲージカッタの大型化

φ310mmからφ360mmへ大型化しチップ数を増加する。

(8) No.1' ゲージカッタを2連から3連化

No.1 とともにチップ数を増加し、外周ローラカッタの摩耗を低減する。

(9) 強化型先行ビット、中心ビットの増設

これらの仕様を装備することにより、高い透水係数地盤の掘進を可能にし、ビット摩耗の低減を図ることとした。

6 掘進結果

平成23(2011)年8月より開始した掘進は、平成

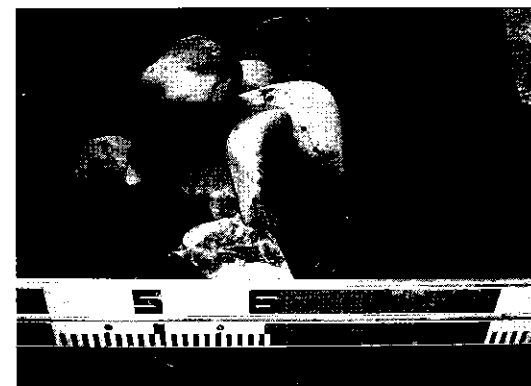


写真-4 クラッシャ閉塞時に回収した巨礫

24(2012)年6月に分岐立坑へ、平成25(2013)年4月に到達立坑への掘進を完了した。

この20か月間の掘進で確認した状況や問題点、対策を以下に示す。

6-1 地質状況

発進から約350m前後の地層はAg層とDg層の層境付近であり、巨礫が多く確認され、掘進中は破碎した巨礫によりクラッシャ内部やポンプ部、排泥管曲線部で閉塞が発生した(写真-4)。

Dg層は旭川から離れ下流に向かうに従い巨礫が少なくなり、砂・粘土分が多くなった。到達立坑付近までの約300mの層境は予想どおり巨礫が多く確認された。

6-2 方式の切替え

平成23(2011)年8月、初期掘進中(図-7)、座主川橋梁の杭基礎直下で泥水逸水により掘進が不安定となったため掘進を中断し、再度の地質調査を実施した。

透水試験はAg層、Dg層の各2か所ずつ実施し、掘進部より上部のAg層(GL-7.0~8.0m)で $2.17 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$ 、シールド掘進深度のDg層(GL-11.0~12.0m)で $6.82 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ の透水係数が確認された(表-5)。数値的には当初の土質報告書を若干上回る程度であった。

泥水が逸水した場所は、座主川の杭基礎橋梁を架け替えた部分であり、地盤が乱されていたものと推測された。そこで、今後掘進する県道部で同様の状態の地盤への遭遇を考慮し、切羽を安定させ、地上への影響を抑制できる泥土圧方式に切替

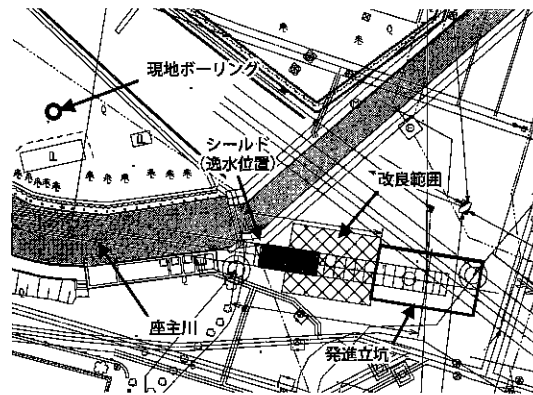


図-7 泥水透水位置

表-5 現地透水試験結果

地層	深度(GL)(m)	透水係数(cm/s)
Ag	-6.0~-7.0	8.93×10^{-2}
	-7.0~-8.0	2.17×10^{-1}
Dg	-11.0~-12.0	6.82×10^{-2}
	-12.0~-13.0	4.26×10^{-3}

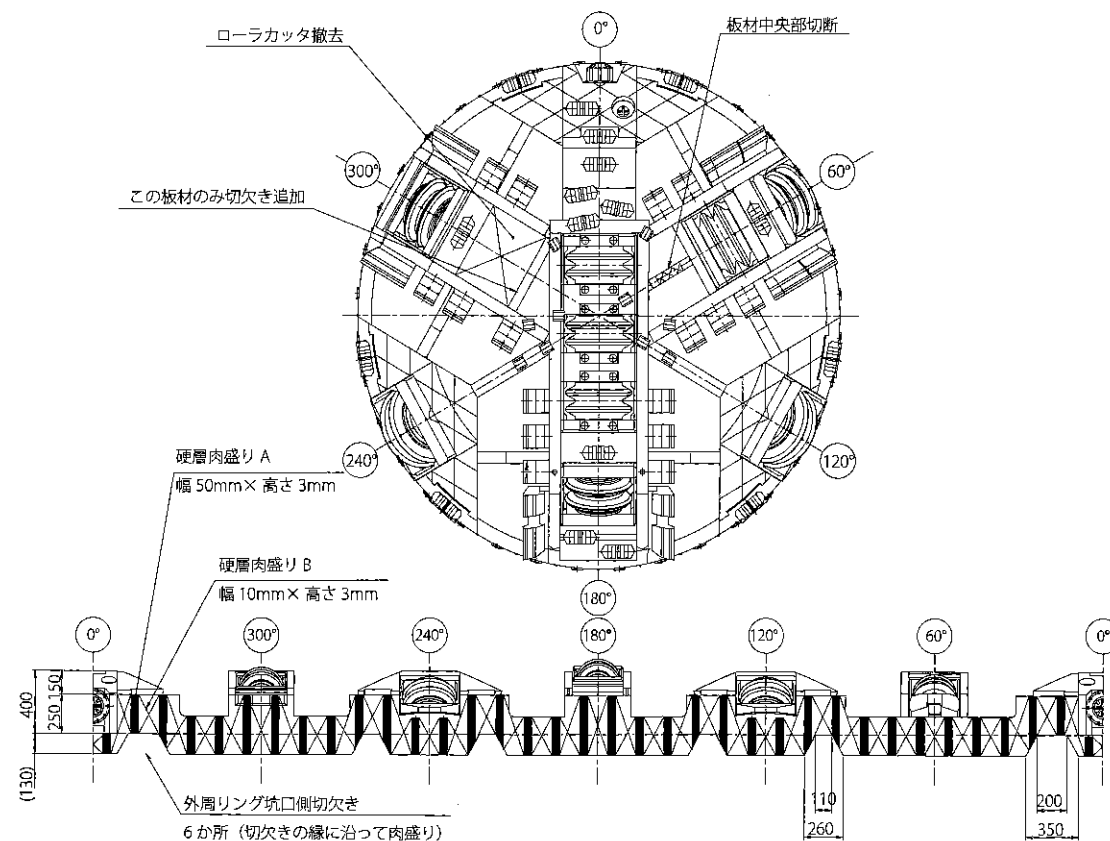


図-8 面板改造図

えた。また、メタンガスの存在を考慮し、溶存メタンガスを含む地下水を坑内で解放することがないよう、土砂搬送は流体輸送方式とした。

6-3 分岐立坑での面板改造

発進から約350m前後の地層は層境であったが、シールドが巨礫対応仕様であることから、巨礫による閉塞がありながらも掘進は順調に進み、平成23(2011)年11月には月進252mと最高を記録した。しかし、掘進深度が深くなりDg層内を掘進するにつれ、巨礫以外に粘性土も多く含まれるようになり、面板や開口部に粘性土が付着し、円滑な取込みが阻害される要因となった。その改善策として、分岐立坑で次に示す改造を実施した(図-8)。

- ① 強化型先行ビット、中央ビットのかさ上げ
- ② ローラカッタ撤去による開口率アップ
- ③ 開口部スリット板の切欠き
- ④ フード外周部の切欠きと硬化肉盛り



写真-5 ロータリクラッシャ内部

これらの改造により、Dg層に含まれる粘性土が閉塞せずに取込まれ、それまでのカットトルク $220\text{kN}\cdot\text{m}$ が $10\sim 20\text{kN}\cdot\text{m}$ 低減し、掘進速度も向上することができた。

6-4 ロータリクラッシャの摩耗

巨礫の多い区間での掘進中、ロータリクラッシャはフル稼働状態であり、内部のビット摩耗や破損が懸念された。当初は1台のクラッシャを見込んでいたが、クラッシャ内部の固定歯の破損により、1度、交換を実施した。

クラッシャは固定歯と回転歯により礫を破碎する構造(写真-5)で、その間隔は15mmに設定していた。しかし、両歯の摩耗により破碎した礫径が大きくなるため、固定歯を回転歯に近づける間隔調整を実施した。1回の調整量は5~10mmとしていたが、2台目のクラッシャでは到達前約600mで調整しろ(15.6mm)を使いきってしまった。この状態では到達近辺の巨礫が多数存在する層境で破碎不能になることが懸念されたが、破碎径が30~40mm程度と大きくなりつつも到達まで掘進した。

6-5 排泥管などの摩耗

巨礫破碎後の礫や砂を流体輸送するため、排泥管は摩耗により穴が開くことが懸念された。

排泥管として使用している配管用炭素鋼管(SGP管)は、摩耗のない一般的な工事では材質 STK400、 $t=3.5\text{mm}$ を使用する事例が多い。当工事では摩耗対策として材質と厚さを検討し、狭い坑内で交換に手間のかかる後続台車区間は、材質 STK400、 $t=6.0\text{mm}$ と肉厚の鋼管を採用した。後続台車以降の坑内は、材質を STK490、 $t=3.5\text{mm}$



写真-6 排泥管摩耗による穴あき



写真-7 インペラの摩耗比較

と硬度を高く肉厚を薄くすることで重量を軽くし取扱いやすいよう計画した。

また、もっとも摩耗が進行する曲がり部は、鋼管の外側に2~3重に鋼板を溶接し、摩耗による穴開きに備えた。このような対策を行い、排泥管内の摩耗を均一にするため管を定期的に回転したにもかかわらず、穴開きは頻発し掘進停滞の要因となった(写真-6)。

加えて、排泥ポンプではインペラが摩耗(写真-7)して流体速度が上がらない状況となり、定期的にインペラの交換が必要となった。

6-6 カッタビットの摩耗

ローラカッタの摩耗量は、推定最大摩耗量12mmに対し、超硬チップで1~2mm、母材で1~9mmの結果であった(写真-8)。また、分岐立坑で改造した「フード外周の切欠き部」は、硬化肉盛りが完全に摩耗し、母材においても激しい摩耗が生じていた。フードは板厚60mmに対し20mmになるまで摩耗が進展し、フードとガード部の隙間は当初50mmに対し70mmになるほど隙間が大きくなっていった(写真-9)。摩耗の原因として、ガード部とフード



写真-8 ローラカッタ摩耗状況

部の隙間に礫が噛込んだことが推察される。

なお、施工後の路面沈下測量や空洞調査でも沈下や空洞は確認されておらず、掘進データ上でも取込み過ぎは確認されなかった。

7 おわりに

一次覆工は摩耗により排泥管や機材の交換などによる停滞があったものの、二次覆工を含み工期内で施工を完了した。また、ローラカッタの摩耗

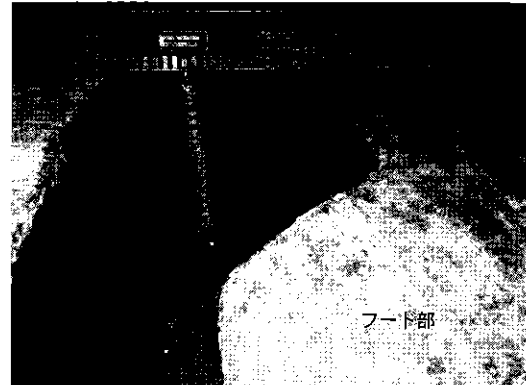


写真-9 フード部摩耗状況

は計画以下であり、ビット交換は無事1回で完了することができた。

今回、巨石が含まれる砂礫層での小口径長距離シールド掘進について、施工対策と施工実績について報告したが、これが同様な条件での施工において少なからず参考になれば幸いである。

本工事の施工にあたり、多くの関係者、協力業者の方からのご指導、ご支援を賜りましたことに深く謝意を表します。

セグメントの新技術

セグメントの新技術

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 円300円

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



株式 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



半歩先を見つめて

今田

東京都立大学名誉教授

徹

はじめに

執筆依頼には「トンネル現場に長く関与された……思いの丈をつづってもらおう」というこのシリーズの趣旨が記載されている。筆者は現場で実際のトンネル工事に従事したことはない。したがって、執筆する資格はない。しかし、多くのトンネルプロジェクトに参画する機会を得ることができ、多くを学んできた。また、支保の挙動などトンネル技術について力学的、基礎的な側面から考えてきた。多少の経験を披露することが参考になるのであればと思い、筆を執ることにした。

筆者が社会に出たのは昭和35(1960)年である。建設省に採用され、土木研究所に配属されることになった。研究室は道路研究室。名前からすれば幾何構造など道路に関する研究と思い込んでいた。しかし、与えられたテーマは道路トンネルの換気に関する研究であった。昭和33(1958)年、わが国初め

ての本格的道路トンネルとして関門トンネルが開通したが、わが国では設計の手法としたアメリカと違い、ディーゼル車の割合が多く、ディーゼル車を考慮した設計法を確立する必要があった。名神高速道路の建設に着手しているなかで問題の解決が急がれていた。これがトンネル人生の始まりである。なお、換気などトンネル設備に関しては、すでに『高速道路と自動車』¹⁾で書いているので割愛することにする。

鋼アーチ支保工、覆工実験

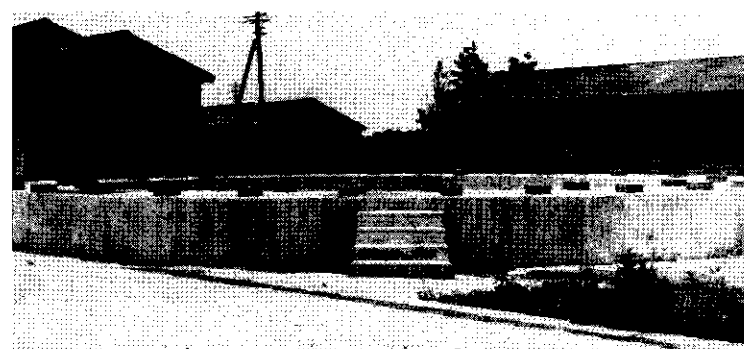
昭和36(1961)年にトンネル研究室が発足することになり、トンネルの構造に関する研究にも取り組むことになった。当時は支保が木製支柱式支保工から鋼アーチ支保工に変わりつつある時期で、建設中であった東海道新幹線では鋼アーチ支保工が全面的に採用されていた。設計はProcter & Whiteの著した『Rock Tunneling with Steel Support』による図式計算によっ



道路公園の現場で

ていた。国鉄では現場で載荷試験が行われていたが、研究室では覆工を含めてトンネル支保の耐力、挙動を求めるため「トンネル支保工載荷試験装置」を造ることになった。道路トンネルの実大の実験ができるよう内径13m、外形16mの反力枠とした。建屋はあとで作ることになり、初めは屋外の施設で、雨風をテントでしのいだ。

実験はすべて直営で行った。おんぼろのトラッククレーンで支保工をつり上げ、実験装置内に据付ける。ストレインゲージを貼り、ダイヤルゲージを取付け、ジャッキをセットし、荷重を加え、スイッチを切替えながらゲージを読み、記録し……など、すべて手作業で行った。結果の整理も同様である。グラフ用紙に1点、1点プロットした。時間はかかるがその時間は無駄ではなかったように思う。考える時間を十分とれた。現在では設備も充実し、計測の自動化も進み、実験と同時にグラフ化できる時代では、このような実験の仕方は考えられないが、手間と時間をかけたことは、支保工の挙動を理



支保工載荷試験装置

解するのに非常に役に立った。自動化された分を考える時間に回せるかどうか疑問ではないだろうか。トンネルの支保の難しさは、支保に作用する荷重は独立ではなく地山との相互作用で決まり、これは支保工の形状が関係することにある。鋼アーチ支保工の載荷実験を行うとこのことがよくわかる。

作用土圧としてみると、様な荷重とか、放物線で分布する荷重とか、いろいろなものが考えられる。しかし、最終的な耐力は荷重の分布にあまり影響されず、支保工の軸力が一定値に達すると、破壊(荷重が上がらなくなる)する。そして、1点に集中するような極端な荷重の場合は除くが、得られ

著者略歴

1960年	建設省土木研究所道路部道路研究室
1961年	建設省土木研究所道路部トンネル研究室
1970年	建設省東北地方建設局酒田工事事務所調査課長
1973年	建設省土木研究所道路部トンネル研究室長
1980年	建設省退職 東京都立大学工学部土木工学科助教授
1984年	東京都立大学工学部土木工学教授
2001年	東京都立大学退職 東京都立大学名誉教授 国土技術研究センター顧問 建設機械化協会施工技術総合研究所顧問
2009年	国土技術センター技術顧問

る受働側の荷重分布は支保工の形状(トンネルの形状)によって決まる。この荷重分布は鋼アーチ支保工のくさび点(ジャッキの載荷点)をヒンジと仮定して力の釣合いから求まる受働反力となる。これはProcter & Whiteの設計の考え方である。

最終耐力になる時点の荷重分布は支保工の形状で決まり、支えることのできる荷重はくさび点に作用する最大のもので決まる。すなわち、支保工は最終段階ではほぼ軸力部材として働き、軸力部材として働くことができるように支保工の形状、すなわちトンネルの形状を選び、地山との相互作用が確実に働くよう、しっかりとくさび

を締めることが大切であることが、実験からよく理解できた。

上半工法において下半掘削に伴う支持力の確保のため支保工脚部に直線を入れることがある。この部分はアーチとして働かず問題の多い構造であるが、鋼アーチ支保工を用いるようになった初期の段階では多く見られた。また、くさびが適切に設けられず、支保工と地山との間に大きな隙間がある現場も多く見られた。爆破方法など掘削技術が伴わなければ確実なくくさび止めを行うことは難しいことであり、一つの技術だけではなく全体の技術の中で考えていかなければならない技術の奥深さを感じた。

また、細部構造の重要さも学んだ。鋼アーチ支保工には頂部の継手にキックアップと呼ばれる部分があり、この部分の突き合わせ継手板は支保工の軸線とは直交させず、組立てたとき継手の上部に若干の隙間が開くように設計するのが普通である。これは荷重が作用したとき隙間が閉じて軸力の偏芯をなくすためのものである。偏芯量を調節することによって局所的な応力をコントロールすることも可能であり、キックアップ部の形状とともに単純な構造でも細心の注意が必要であることを知った。

鋼アーチ支保工の実験をひととおり終了させたあと、覆工の実験を行うことにした。覆工の設計は、経験、実績によって行われていた。煉瓦の時代の煉瓦何枚巻きというような伝統を踏襲していたと考えられる。文献では荷重を仮定して

アーチとして図式計算する方法が示されていたが実用的ではなかった。また、電子計算機が普及し始め、現在シールドの設計で広く普及している地盤をバネで表現して、地盤との相互作用を評価する計算方法が試みられるようになったが、一般的ではなかった。

こんななかで、覆工は荷重に対してどのように挙動し、どのような最終耐力が得られるのかを実験した。実験装置の大きさは、実大の覆工を試験することが可能ではあったが、荷重が大きくなりすぎため、2分の1の縮尺で行った。

実験の結果は鋼アーチ支保工の挙動とほぼ同じで、荷重の分布の影響はあまり受けず、地盤との相互作用によってほぼ軸力部材として挙動すること、破壊の形態は圧縮破壊(正確には曲げ圧縮破壊であるが)であることがわかった。覆工も鋼アーチ支保工と同様に最終的に壊れるときの荷重は、荷重分布の影響はあまり受けず、正確な表現ではないが平均的な荷重。例えば土かぶり高さによる荷重に支配され、その荷重による軸力が部材の断面積で決まるある値に達すると破壊すると見なすことができる。作用する土圧の不確かさを考慮すると、実用的には鋼アーチ支保工、覆工ともに曲げ剛性の影響は小さく、耐力は断面積に比例すると考えることができる。

一方、実験ではコンクリート覆工の場合、載荷の初期の段階で、曲げの影響を受け、クラックがすぐ入ることが示された。受働荷重が発現し荷重のバランスがとられ

る前の段階で、このクラックは発生するものと考えられる。

このことはコンクリート覆工には、最終的な耐力が大きくともクラックが発生する可能性があることを示すものであり、逆にクラックの発生がコンクリート覆工の耐力に対する不健全性の指標には直接的に結びつかないことがあることを示している。

これらの実験によって支保工、覆工の耐力を知ることができたが、肝心の荷重がわからなければ設計のしようがない。崩壊事例を調べ緩み荷重についての調査を行ったが統一的に整理するのは難しい状況であった。作用荷重の問題は現在でも残された問題であり、一步一步近づかなければならない課題である。しかし、支保工、覆工の挙動を知ることができたことによって、トンネルで実際に起きている現象から作用荷重を推定するなど、トンネルで生じる多くの問題の理解に非常に役立った。

月山トンネル

建設省東北地方建設局酒田工事事務所に異動することになり、国道112号の月山トンネルの設計を担当する機会を得ることになった。ルートはほぼ決まっていたが月山トンネルは豪雪地帯にあり、かつ地質が悪く、地滑り地帯が広く分布している。湯殿山、月山第二、月山第一のトンネルからなるが、トンネルそのものの設計は標準的なものでまとめることができた。

問題は地滑りであった。ルート

るだけ手をつけないようにしたが、このようにすると、地滑りが認められていない部分の改変量が大きくなる。その結果、その部分の不安定化をもたらす。地滑りが多い部分はどこでも潜在的に不安定な状況にあり、現状だけで判断するのは問題であることを知らされた。

トンネルの地質調査の結果では大きな問題はないと判断されたが、月山第一トンネルでは覆工の打ち

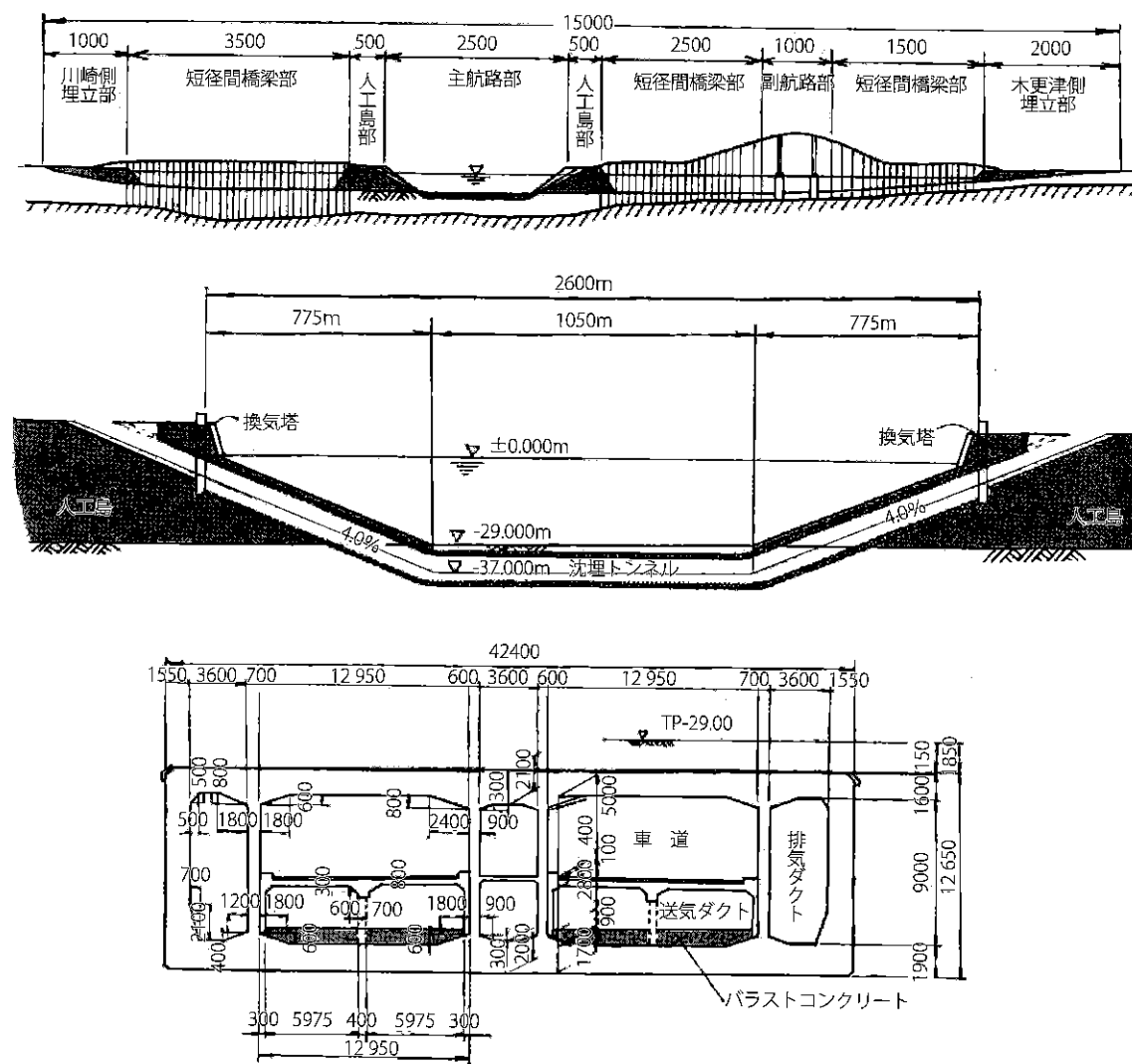
替えが必要になるなど施工に難渋する部分が生じた。維持管理の段階でも苦労している。地滑りが広く分布するところではトンネルの地質的な環境をよりマクロに評価し、用心が必要なことを学んだ。

東京湾横断道路

土木研究所に戻るようになった。東京湾横断道路は昭和36(1961)年7月、産業計画会議が提言した川

崎・木更津横断堤構想が発端となったもので、昭和41(1966)年度から建設省で横断道路として調査が始められた。東京湾岸調査事務所が調査を担当していたが、土木研究所で技術的なバックアップをする体制がとられていた。

東京湾横断道路の初期の案はいろいろ考えられていたが、主航路部はトンネルとする必要があり、似た構造の米国バージニアのチェ



東京湾横断道路パイロットプラン

サピークベイブリッジトンネルをひな形とするものであった。いずれも人工島を設けて、中間部を沈埋トンネルでつなぐものであった。人工島と陸地は橋梁で結ばれる。

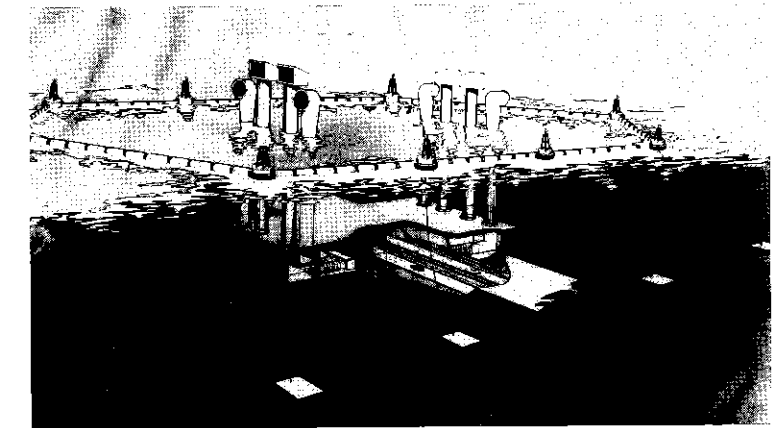
東京湾横断道路技術委員会が設けられ、委員会の下に橋梁、人工島、沈埋トンネルの分科会を設けて検討が進められた。トンネル研究室では沈埋トンネル分科会の事務局を務めた。課題は山積であったが、換気、人工島の不等沈下が沈埋トンネルに与える影響などが主なものであった。

こんななかで研究室では換気の負荷を減らすため、船舶の衝突を考慮した水中換気塔の検討を進めたが採用するまでには至らなかった。この換気塔は、万が一、船が衝突した場合、フューズのような

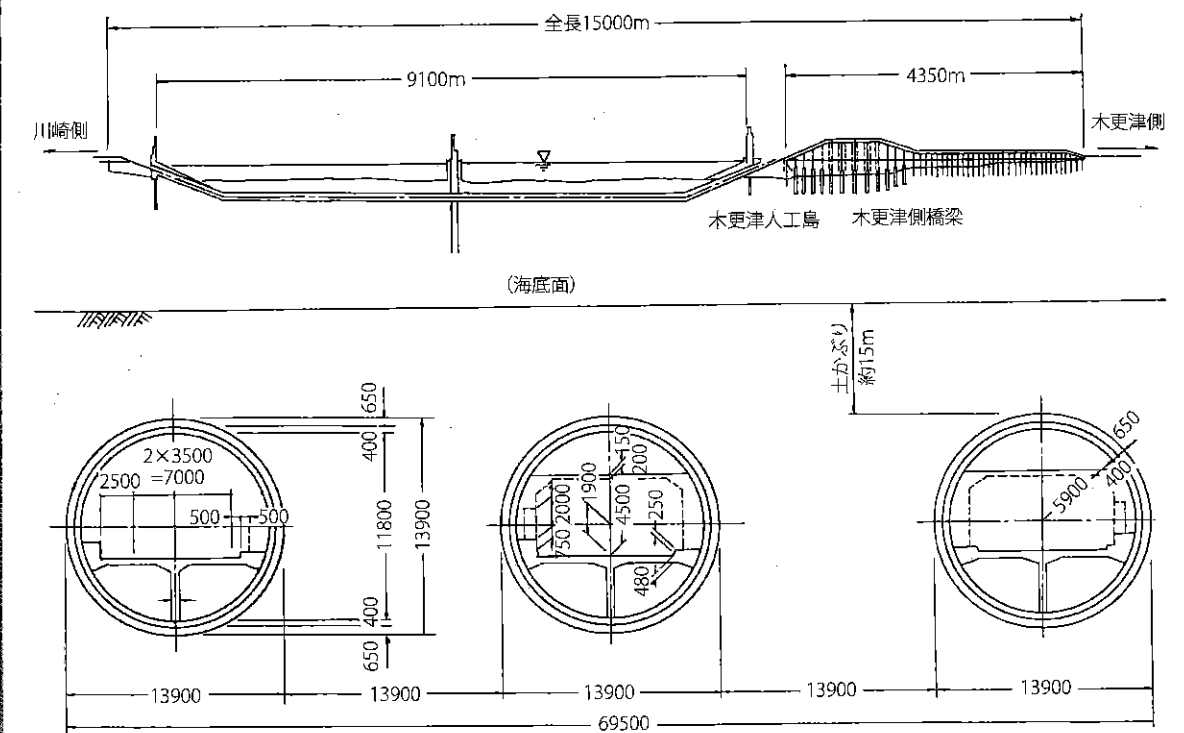
機構が働き沈埋トンネル、船双方に被害が出ないようにするものであったが、委員会の委員の方から、土木構造物はフューズといえども壊れることを前提とした構造物は考えられないと叱られた。もっともな指摘であると今では考えている。しかし、この水中換気塔を

採用すれば全線をトンネルとすることも可能であり、船舶が輻輳する東京湾の船舶への影響を大きく低減できると考えた。

建設省での検討は、「実施までに調査研究すべき課題は残されているものの技術的には可能である」という結論を得て、昭和51(1976)



水中換気塔



東京湾横断道路実施案

年に道路公団に引き継がれることになった。

道路公団ではさらに調査が進められ、委員会が設置された。委員会は建設省時代とほぼ同様の3分科会体制であるが、沈埋トンネル分科会をトンネル構造分科会とし、沈埋トンネルだけではなく、広く他の構造を検討できるようにしていただくことにした。計画案は沈埋トンネルで決定していたものの、当時シールドの技術が著しく進歩し、シールドが適用できればそのメリットは非常に大きいと考えたためである。トンネル構造分科会の下にシールド検討会を設けていただき、シールド工法が沈埋工法の代替案になり得るかを課題に検討を進めた。

検討の当初は従来のものに比べて規模が非常に大きくなることから、ネガティブな意見が多かったが、検討が進むと理解が得られるようになり、シールドトンネルは沈埋トンネルの代替案になり得るとの結論を出すことができた。この間、都立大学に移ることになったが、検討に参画させていただくことができた。

道路公団では海事関係者など関係者との調整を進めるなかで、シールドトンネルとすることによって多くの問題を解決することができることから、トンネル部の構造を沈埋トンネルからシールドトンネルに変更した。現在のアクアラインの計画が固まった。初期ころの主航路の幅は2,500m(トンネル長2,600m)、道路公団での沈埋トンネル案では3,500m(4,800m)、

最終案ではトンネルの長さは9,100mとなり航路の制約は著しく少なくなった。

代替案になり得るといっても確かめるべき課題は多くあった。建設は第三セクターとしての東京湾横断道路(株)が進めることになったが、課題の解決に官民挙げての努力がなされた。東京湾横断道路の建設はシールド技術の発展に大きく貢献した。多くの技術的な課題の解決に尽力された多数の方々に敬意を表したい。

第二東名高速道路

昭和62(1987)年に第二東名の構想が明らかにされた。わが国では道路トンネルは2車線が普通であるが、第二東名は3車線の基本計画であり、断面積は70m²(内空幅10.6m)クラスから、従来の断面形状に近い形を保ったままとすれば、300m²(内空幅19.5m)に達する大きな断面となる。地質が良いところは別として、静岡県で経験した脆弱な地山で、このような大断面のトンネルが掘れるかが問題となった。また、設計速度は140km/hとされていたことから照明などの設備面からの検討も必要であった。第二東名の建設はトンネル技術に大きな課題を与えた。

道路公団では日本トンネル技術協会などに委員会を設けて技術検討に着手した。幸い、多くの関連の委員会に参画する機会を得て大断面トンネルの問題を関係者とともに考えることになった。

課題は合理的な断面形状をどうするか、支保構造、覆工をどうす

るか、設計に用いる荷重はどのように明らかにしていくか、切羽の自立性は得られるか、得られないとすればどのような対策をとれば良いかなど、多岐にわたっていた。経験の少ない分野であるから決め手があるわけではなく、難しい作業であり、第二東名への適用を目指して、試験施工を重ねながら検討が進められた。秋田自動車道湯田第二トンネルでのTBM導坑の採用はこの例である。

支保の設計は、幅広い試算と2車線での実績および東名改築での3車線トンネルの経験をもとに検討が行われた。

緩みの影響の評価は、大断面・扁平化に伴う支保の設計上の難しい課題であった。緩みは、地山条件はもちろん施工法および支保構造の影響を受ける。緩みが、大断面化、扁平化することによってどのように変化するのかについての知見は限られていた。その妥当性については、施工法とともに試験工事で確認することになった。試験工事として位置づけられた、清水第三トンネル、静岡第二トンネル、沼津トンネルでは詳細な計測と評価が行われた。しかし、当然、トンネルごとに条件が異なり、工事ではそれぞれに対応していくことが求められた。工事の進捗に伴って地区ごとに設けられた施工関連の委員会では多くのことを学ぶ機会を得た。

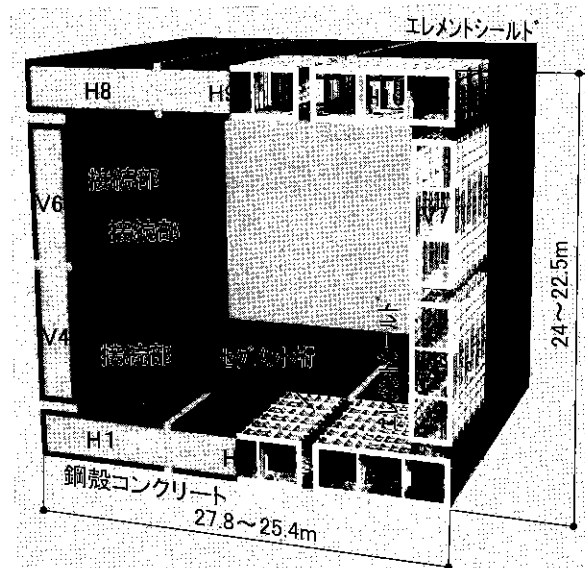
関係者の地道な努力によって、第二東名のトンネルは2車線トンネルとあまり変わらない施工速度と合理的な工事費で完成させるこ

とができた。その基本は、大きな断面で切羽の安定を得て、大型の機械を導入して、施工能率を上げることである。CD工法のように切羽を分割する工法も試用されたが広く適用されるには至らなかった。切羽安定のためのTBMによる導坑先進工法、先受け工を含む各種の切羽安定化工法が検討され、新たな発展をもたらした。また、新たな支保材料を開発し、合理的な支保とするとともに施工数量を少なくし、施工能率の向上を図ることができた。これらは、従来からトンネル技術が歩んできた過程そのものであり、いろいろな局面で問題に遭遇したときの指針になるのではないかと考える。

MMST

—Multi Micro Shield Tunnel—

首都高の施工した川崎縦貫線は地下化が強く要請され、大師ジャンクションでは開削による大断面トンネルが計画されていた。しかし、地元条件は非常に厳しく土留め壁を構築する機械を設置する余裕もないほどであった。首都高速の方と話しているとき、当時開発されたばかりの矩形シールドを使ってみてはという話になった。もちろん大断面で掘るのではなく、外郭部を矩形シールドで構築し、つなぎ合わせて構造体としたあと、内部の掘削を行うというものである。発想の元は山岳トンネルで導坑を積み重ねて埋戻し、外郭を形成したあと内部を掘削する手法である。そもそも建設工事は部材の組立てを基本とする。シールド



MMST (Multi Micro Shield Tunnel)

をトンネル外郭の部材とし、組立てるという考えである。

首都高内で検討されたあと、技術開発のために大師ジャンクションに設けられる換気のためのトンネルを使って試験してみるようになった。その結果をもって長さ500m、断面積600m²を超える大断面かつ変断面の矩形トンネルの施工が進められた。工事は無事完成し、平成22(2010)年に供用された。この工法は平成3(1991)年に特許出願されているが、構想から供用まで長い道のりであった。成功裏に完成したとは言っても、実際の施工を通して多くの改善すべきことを学んだ。技術は現場で育てていくものであることを改めて認識した。

曲面切羽

トンネルは切羽が安定しなければ掘削はできない。これは山岳工法であろうとシールド工法であらうとシールド工法であらうと

うと区別はない。密閉型シールド工法では切羽に圧力を与え、山岳では断面分割や切羽ボルトなどの切羽安定工によって安定を保つようにしている。切羽の安定はトンネル工事の要である。

従来、山岳工法では断面分割が切羽の安定対策の主体であったが、支保技術の進歩によって切羽の安定性を高め、掘削断面を大きくとることができるようになり、そこに大型機械を投入し施工能率を上げ、生産性を上げてきた。切羽面の安定を保つためには切羽ボルトなどの安定化対策にそれなりの費用がかかる。もっと合理的な方法はないか。通常、切羽は平面に仕上げられる。しかし、よく考えてみると、なぜ平面でなければならないのか。切羽が平面であっても、再配分応力は地山の内でもドーム状に流れる。平面にする必要はとくにない。平面の切羽面とドーム状に応力が流れる実質的に切羽を支

えている部分との間の地山は、多くの場合トンネルの安定にあまり寄与していないと考えることができる。矩形のトンネルとアーチ状のトンネル断面を比べてみれば、安定上アーチの方が有利であることは明らかである。切羽でも同じことが言えることになる。地山には力学的な不連続面が多数存在する。緩む可能性の大きい掘削面を平面にして無理やり安定化させようとしているのではないかと考えれば、切羽を曲面切羽としドーム状にする方がいいのではないか。

実験をしてみると注意をしなければならぬ点もあるが曲面切羽の方が安定性は優れていた。そこで、曲面切羽を試してみませんかと多くの人に話を持ちかけた。しかし、耳は傾け趣旨は理解してくれるが、試行されることはなかった。切羽は補助ベンチ式のように切羽の前に地山を残して、切羽を押さえて安定を図るのが常識であり、切羽を掘込むなど施工

が悪い代表のような扱いであるから無理のない話である。安全を考えれば仕方のないことと理解はできる面はあるが、平面切羽より必ずしも安全性が劣るとは言えず、有利な面も多くある。

そうこうするうちに、補助ベンチ付き工法あるいは全断面が広く使われるようになって、最近、数例の実施例が出てきている。その結果によると安定上問題のないこと、施工がやりやすいなどのメリットが明らかにされつつある。取上げていただいた方々に敬意を表したい。考え始めてから三十余年が過ぎてしまった。

おわりに

だらだらと書いているうちに誌幅を使い果たしたようである。ここで触れたほかにも、首都高中央環状新宿線、品川線、横浜環状北線、その他多くのトンネルに関係する機会を得た。それぞれの場面で多くのことを学んだ。トンネル

の現場では予定どおりに工事が進むことは、ほとんどない。問題に直面したとき、従来の実績によって問題解決を図る方向に傾きがちな。時間の限られたなかでは仕方のないことである。しかし、周囲を見渡せばより良い解決策につながるヒントや技術は必ず存在する。現場で経験した問題や課題はしっかりと受け止めて、経験のみに頼るのではなく、半歩先を見つめることによって、技術が発展していくのだと思う。

トンネルの技術に関係することになってから五十年余になる。この間、本当に多くの方々のご指導いただくとともにお世話になった。誌面をかりて心からお礼を申しあげる。

参考文献

- 1) 今田徹：道路トンネルの安全と合理性を求めて、高速道路と自動車，Vol.57，No.2，2014.2.

施工

運用中のダム直下で地下発電所を建設

—中部電力 徳山水力発電所—

中部電力(株)徳山水力建設所土木課課長 伊藤 隆 光

中部電力(株)徳山水力建設所土木課スタッフ副長 青木 崇

(株)熊谷組名古屋支店高山作業所副所長((元)名古屋支店徳山工事所管理技術者兼技術部長) 谷 静 雄

(株)熊谷組北海道支店営業部副部長((元)名古屋支店徳山工事所副所長) 坂 英 昌

1 はじめに

中部電力(株)徳山水力発電所は、木曾川水系揖斐川の最上流部に位置し、(独)水資源機構による多目的ダムである徳山ダム建設事業に発電参加するものである。

徳山における電源開発計画は、当初、電源開発(株)による混合揚水と中部電力(株)による一般水力計画であったものが諸処変遷を経て平成16(2004)年に現在の中部電力(株)における一般水力計画となった。

その徳山水力発電所の計画は、徳山ダム左岸側



写真-1 徳山水力発電所地点

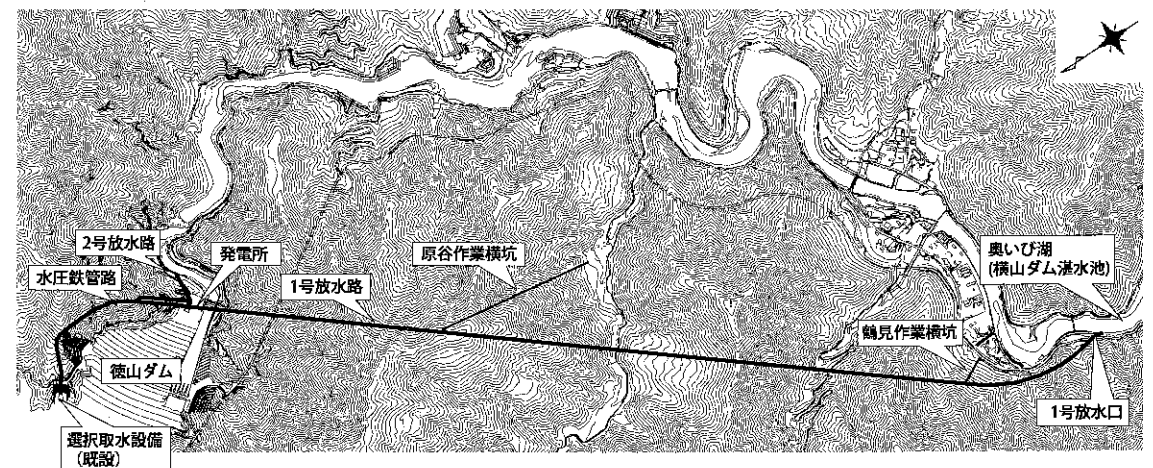


図-1 水路一般平面図

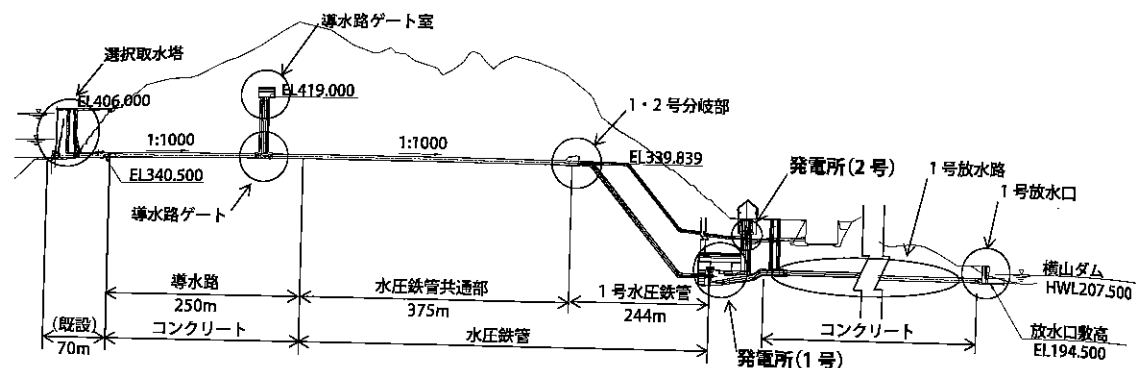


図-2 水路縦断面図

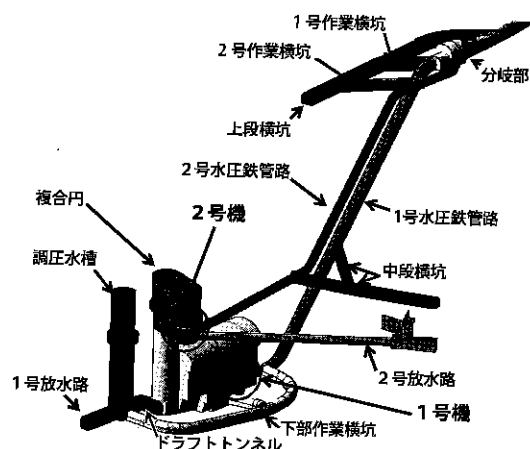


図-3 発電所鳥瞰図

に建設された選択取水設備から、最大100.4m³/sを取水し、最大153,400kW(1号機:131,000kW, 2号機:22,400kW)を発電する。1号機はピーク需要対応で徳山ダム湖から取水し約4.2km下流の奥いび湖内(国土交通省横山ダム貯水池)に、2号機は徳山ダム下流既得水利流量を利用し常時運転する計画で、徳山ダム直下に放流する。徳山ダムおよび選択取水設備は(独)水資源機構により建設されたため、当発電所工事は選択取水塔と導水路との接続部から、水圧鉄管、発電所、放水路そして放水口までがその対象となる。水路一般平面図を図-1に、水路縦断面図を図-2に示す。

当発電所は、1号機は地下式、2号機は半地下式の構造とし、各発電機室へのアクセスは立坑のみというレイアウト上の特徴を持つ。発電所鳥瞰図を図-3に示す。

また、徳山ダムは平成18(2006)年9月に試験湛水を開始し、平成20(2008)年5月に日本一の貯水容量を誇るロックフィルダムとして、すでに運用が開始されている。そのため、平成21(2009)年10月に着手した当発電所工事は、運用されている徳山ダムの近接施工となり、導水路工事は湛水した貯水池近傍にて、地下発電所工事は運用中のダム直下での施工となった。

そこで、当工事では既設構造物への影響を抑制する工法を採用するとともに既設構造物への影響を管理するため各種計測機器を設置し、その測定値を確認しながら工事を実施してきた。このような既設ダム設備での近接例は新設発電所としては例がない。

2 地形・地質調査

2-1 地形・地質概要

当地点は木曾川水系揖斐川の最上流に位置する。揖斐川は福井・岐阜県境をなす冠山(標高1,257m)を源流とし、急激に高度を下げながら活断層である揖斐川断層沿いに南東に流下し、木曾川に合流する。徳山ダムの基部は標高約250mに位置し、河川勾配が比較的緩やかな区間において左岸側に硬質なチャート・玄武岩の岩体が分布し、急峻な尾根に囲まれる地形となっている。また、その地質は美濃帯に属し、石炭紀からジュラ紀の海洋プレート上で形成された堆積岩(チャート)や火山岩(緑色岩)が海溝充填堆積物と混ざり合ってきたジュラ紀の付加体である。

2-2 地質調査

地下発電所の詳細検討に際しては、徳山ダム建設のために実施された(独)水資源機構による調査、徳山水力開発が揚水計画であった時期の事業主体である電源開発(株)により掘削された調査横坑およびボーリングなどの調査資料を参考にしている。しかし、揚水開発から一般水力開発へと計画の見直しが行われ地下発電所の位置は揚水開発計画当時の位置とは異なっていることから、現計画での詳細調査は必要であるものの調査期間は限られており、地下発電所建設のための調査横坑は設けず、地質調査は主に地表踏査およびボーリング調査を実施した。

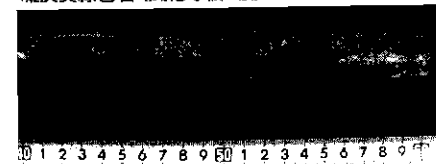
ボーリング調査において、凝灰質緑色岩および溶岩質緑色岩には特徴的な破碎組織と変形構造が発達することが確認された。凝灰質緑色岩には網目状の潜在亀裂や流動的な変形構造(以下「へき開」)が発達していること、溶岩質緑色岩には網目状の潜在亀裂が発達していることが明らかになった(図-4)。

この潜在的な亀裂やへき開には油脂光沢を有するいわゆる油目が発達しており、これらの油目に沿った剝離性が確認された。また、ボーリングコアでは網目状の亀裂は応力開放されると角礫状にコアが分離することが確認された。これら緑色岩に発達する亀裂やへき開が発電所空洞の安定性に影響を与えることが懸念されたことから、緑色岩については潜在亀裂およびへき開の発達状況も調査した。併せて、潜在亀裂やへき開が発達する岩盤の力学特性を評価するために、ボーリングコアを用いた垂直剛性試験、一面剪断試験などを実施している。

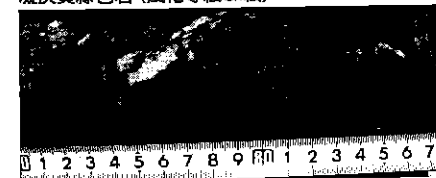
2-3 地質調査結果

発電所地下空洞周辺岩盤は、放水路側から溶岩質緑色岩、凝灰質緑色岩、混在岩が分布し、鉄管路側にはチャートの大規模なブロックが分布して

凝灰質緑色岩(風化等級B級)



凝灰質緑色岩(風化等級C級)



- ・網目状(鱗片状)の潜在亀裂(へき開)
- ・油脂光沢(油目)を有し剝離性がある
- ・風化が進むとより顕在化し応力開放されると角礫状に分離
- ・とくに破碎帯周辺はへき開が発達している

図-4 へき開の発達した岩盤

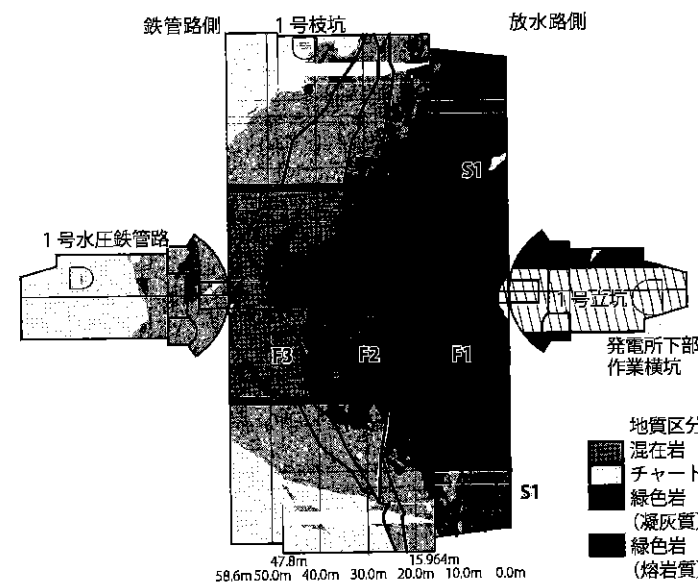


図-5 地下発電所の地質

いる。これらの境界は断層として評価し、F-1 からF-3断層は、混在岩と緑色岩・チャート岩体の境界断層から枝分かれした同系統の断層と考えられる。地下空洞の上部では幅数cm~20cm程度の断層ガウジを伴い下流側に高角度に傾斜している。F-3断層は空洞の上部では2条に分岐しているが空洞下部では1条に収斂し、さらに下部でF-2断層に収斂する。地下空洞で確認された主な破碎帯はこれらの地質境界をなすF-2断層とF-3断層であり、そのほかに複数条のシームが確認されているが破碎の規模は小さい。

地下発電所の地質展開図を図-5に示す。

3 岩盤力学特性の把握

前述した地下空洞の当初設計における、ボーリングデータを活用して岩盤の力学特性の評価を実施した。

空洞掘削解析に必要な岩盤物性値把握のための試験は孔内水平載荷試験およびコアによる三軸圧縮試験の結果を用い、初期地圧については周辺の地形を考慮した3次元および2次元自重解析結果を用いて実施した。これらボーリング調査およびコアサンプルの室内試験から当地点に見られるべき開の発達した岩盤(凝灰質緑色岩)についてその特性を評価すると、多大な支保工が必要になるため、地下発電所地点の岩盤についてより精緻に評価する必要が生じた。加えて、コアサンプリング時の試料の乱れなど岩盤の力学特性を過小評価している可能性も考えられた。

実施設計にあたり原位置試験の実施を検討し、岩盤物性および初期地圧を解析に反映させるため、掘削中に地下発電所空洞内で原位置試験を行うこととした。

詳細な実施設計はアーチ切上げ(④、図-6)前に完了させる必要があるため、頂設導坑(①)を掘削

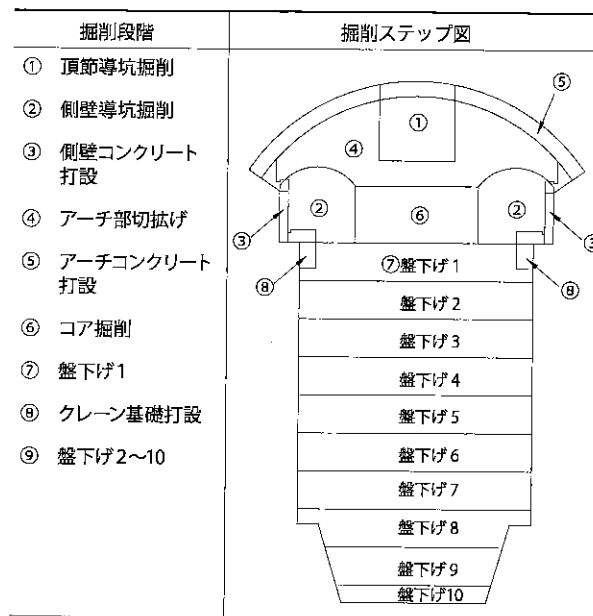


図-6 地下発電所掘削ステップ

後に側壁導坑(②)を掘削しながら頂設導坑内で原位置岩盤試験を実施した。

原位置岩盤試験は、空洞周辺に分布する緑色岩を対象として風化等級に応じたブロックせん断試験



写真-2 ブロックせん断試験(試験面)

表-1 平板載荷試験除荷時接線弾性係数一覧

岩 種	除荷時接線弾性係数(MPa)		
	最大値	最小値	平均
緑色岩B級	19,790	14,670	16,697
緑色岩C _H 級	8,880	5,210	7,211

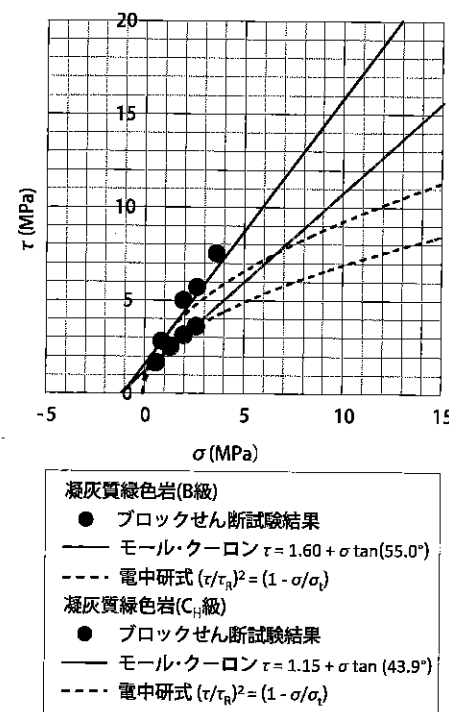


図-7 ブロックせん断試験結果

験(写真-2)、多段階ブロックせん断試験、平板載荷試験および初期地圧測定(円錐孔底ひずみ法)を実施した(表-1、図-7)。

空洞の安定上懸念されていた凝灰質緑色岩の強度特性については、原位置試験の結果、コア試験値よりもモール・クーロンの破壊基準線において、粘着力で0.59から1.15MPa、内部摩擦角で38.7から43.9度と強度を見込める結果を得た。

4 支 保 設 計

地下発電所の形状は、土かぶりが50mと小さいことなどを勘案し、アーチコンクリートにより確実に支保してから盤下げ掘削を行うことができる「きのこ形」を採用している。

地下空洞側壁部の支保設計では、FEM解析によって掘削時の安定性と挙動を評価するため、2次元非線形弾性モデルを用い、各掘削ステップを考慮した逐次掘削解析を行った(図-8、表-2)。その結果を用い、側壁部の設計は解析上のゆるみ領域の強度特性を低下させたうえで、任意に設定した円弧滑り解析を行い、所要の安全率以上になるようアンカー荷重およびピッチを検証した。アーチ部の設計は、ボーリング孔を利用したボアホールカメラの観察結果および頂設導坑内で観察された亀裂情報をもとに、空洞内に抜落ちる岩塊をさまざまな形状で検証し、キーブロック解析とあわ

せ支保パターンを決定した。

その結果、基本設計に比べ、実施設計ではアンカー量を1/4程度まで見直すことができた(図-9)。この支保パターンを標準パターンとし、情報化施工の結果を日々検証し、必要に応じて支保パターンを見直すこととした。

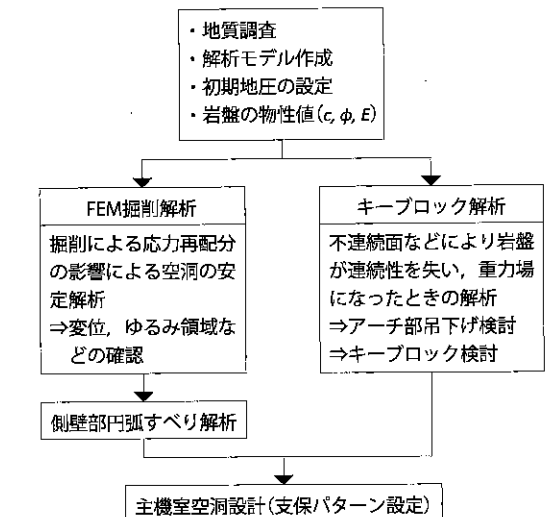


図-8 支保設計フロー

表-2 解析用入力物性値の一例

	初期地圧			E (MPa)	c (kPa)	φ (deg)
	σ _x (kPa)	σ _y (kPa)	τ _{xy} (kPa)			
緑色岩 C _H 級	-4,990	-3,120	-1,120	7,000	1,150	43.9

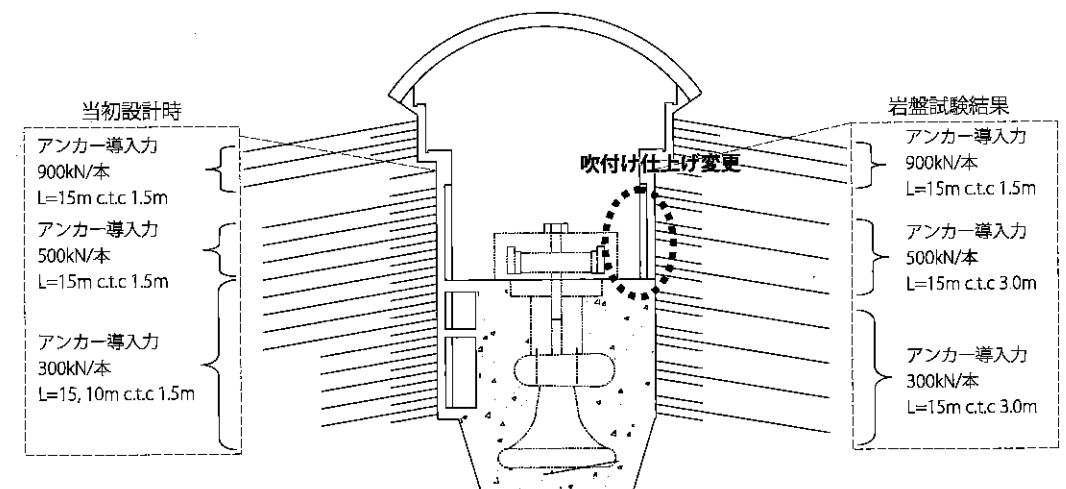


図-9 支保設計の再評価

5 施 工

徳山水力発電所は、平成20(2008)年10月に電源開発(株)から事業継承し、平成21(2009)年9月に国土交通省より水利使用変更許可を得たことから、平成21(2009)年10月より本体工事に着手し、平成26(2014)年5月に2号機は単独で運転を開始した。平成27(2015)年6月の1・2号機同時運転に向け1号機の工事を進めている(図-10)。

5-1 地下発電所の掘削

地下発電所の掘削は平成23(2011)年6月にアー

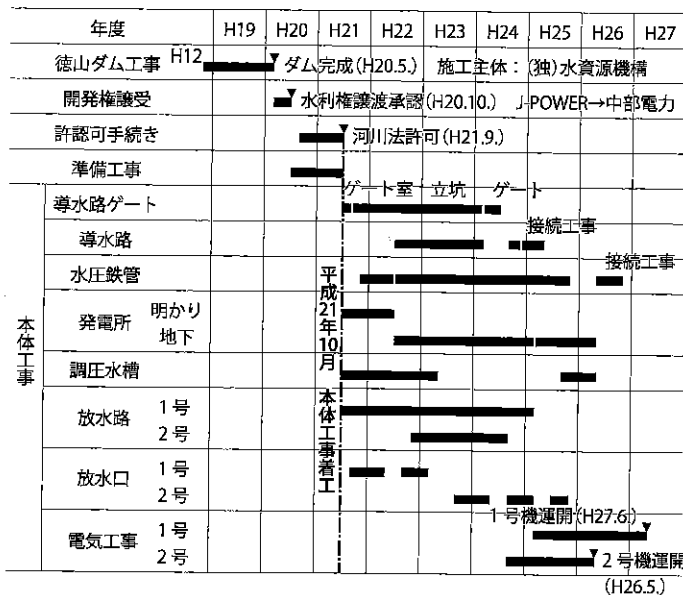


図-10 概略工程

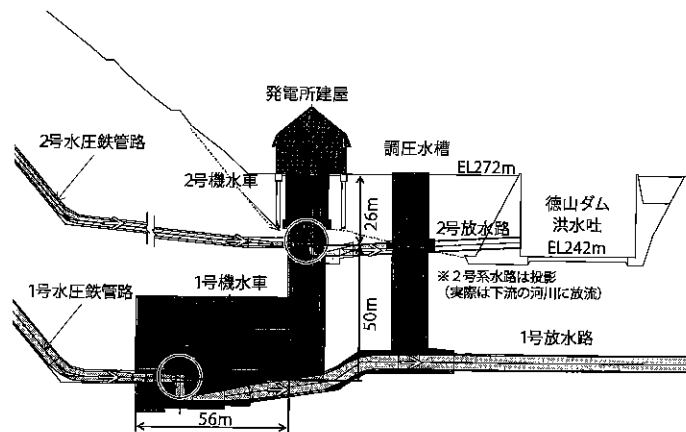


図-11 地下発電所縦断面図

チ部頂設導坑の掘削を開始し、22か月後の平成25(2013)年4月に完了した。掘削土量はアーチ部も含め約5万m³、断面積は最大で900m²となる。施工における特異な点として、発電所の全体レイアウト上、地上から地下空洞へのアクセスとして水平坑がなく、立坑方式を採用していることがあげられる(図-11)。このため資機材、作業員の搬入出は、最大深度約70mの立坑を介して行い、掘削ずりはクレーン・スキップ(ずり搬出設備)で搬出した。

空洞掘削においては、既設ダムの近傍で、かつ岩盤土かぶりが小さく、アーチ部掘削時の安定性確保が最優先であることから、頂設・側壁導坑先進

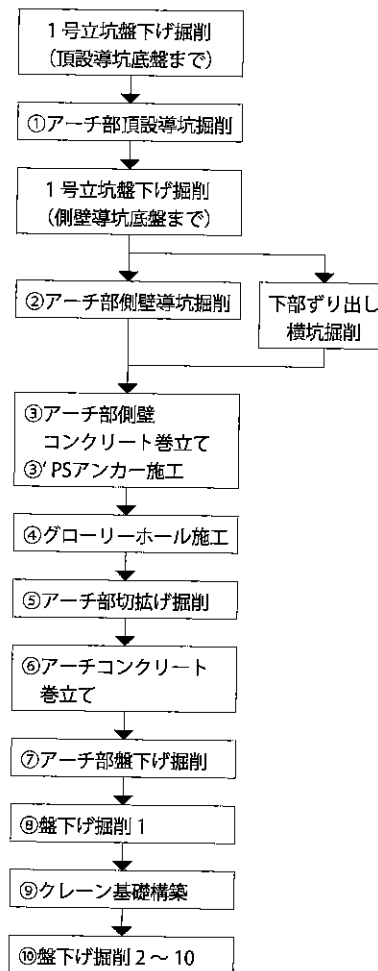


図-12 地下発電所掘削フロー

掘削方式を採用し、施工順序においても掘削掘削とアーチ部の巻立てを交互に施工したのち地下空洞の盤下げ掘削に移った。

地下発電所の掘削フローを図-12に、アーチ部掘削掘削と巻立ての施工方法を図-13に示す。

きのこ形断面の設計思想として、アーチコンクリートに作用する上載荷重はアバット(アーチコンクリート両下端部が接する地山)部に伝達されるものとしている。よって発破・掘削によりアバットの岩盤がゆるむことを極力抑制するため、切



写真-3 アーチ部コンクリート巻立て状況

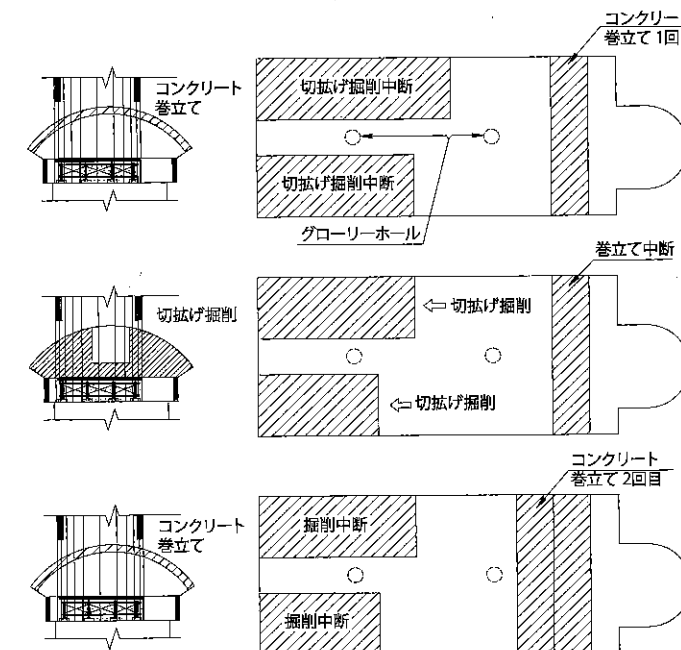


図-13 アーチ部掘削掘削と巻立ての施工方法

PSアンカーで緊張力を与えることによりアバット部をより堅固な状態とするための施工を行っている。

盤下げ掘削は、各ベンチ3mのベンチカット工法により行った。同時に、天井クレーン基礎も施工性を考慮し、盤下げに同調して施工し、発破の離隔が取れる盤下げステップにおいて逆巻きにて構築した。

また、天井クレーン基礎は早強コンクリートを使用することで養生期間の短縮を図り、PSアンカーで岩盤に支持したのち盤下げ掘削に移行した。なお、クレーン基礎補強用のPSアンカーは10度上向きに施工している。

発破によりクレーン基礎などの既設構造物に振動を与えないよう規制値を設け、MSやDS雷管を用いた制御発破を行い、掘削面周辺の岩盤が損傷を受けないようにSB工法(スモースブラスティング工法)を採用している。

前述のとおり、当地下発電所には取付く水平坑がなく、工程上クリティカルとなる盤下げ掘削を効率よく実施する必要があった。頂設・側壁導坑掘削では、ずり出し作業は、1号立坑からずりバケットに積載したずりをクレーンで揚重し坑外へ搬出したが、この揚重方式は非常に効率が悪く、時間も要した。その後のアーチ部切掘掘削からは、グローリーホールにてあらかじめ底部に設けた下部ずり出し横坑にずりを投下し、下部作業横坑と合わせてずり搬出に利用した。

これら横坑は地下発電所掘削面直下とこれを迂回するように施工し、1号調圧水槽用の立坑に通じる。投下されたずりは、これら横坑を1号調圧水槽底部までダンプ運搬されたあと、スキップ(ずり搬出設備)にて坑外搬出することにより掘削サイクルタイムの短縮を図った(図-14)。

5-2 近接施工

当発電所工事は、すでに運用が始まっ

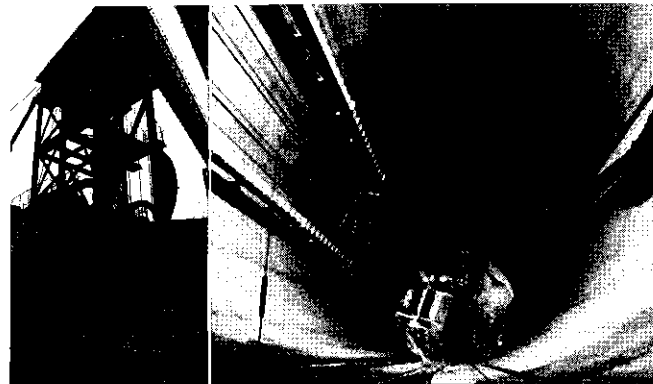


写真-4 スキップとずり搬出に用いた立坑(調圧水槽)

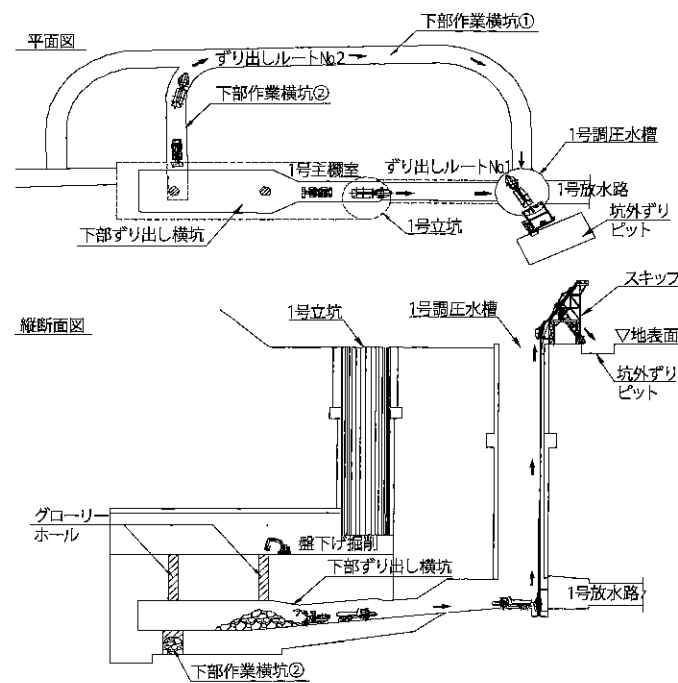


図-14 ずり搬出経路

ている徳山ダムの近接施工という側面を持つ。発電所および導水路が運用中の徳山ダムに近接して施工されることから、施工に伴う徳山ダムへの影響(浸透流・堤体基礎地盤)について事前に検証を行っている。地下発電所掘削は徳山ダム浸透流路内を掘削することから、浸透流の変化によるコア・フィルター部でのパイピングにより細粒分が流出する可能性を検証するため、地下空洞掘削前後での堤体内浸透流速の変化について浸透流解析を行い、最大流速が発生するコアの下流端に関しても



写真-5 地下発電所掘削状況(放水路側から鉄管路側を見る)

十分な安全率が確保され、パイピングが生じないことを確認している。

堤体基礎地盤への影響については、ダム直下の発電所掘削により堤体および基礎地盤の状態が変化して堤体の安定を損なう可能性がある。そのため、弾塑性解析および堤体基礎地盤のゆるみを掘削前後の局所安全率の変化量で評価を行うことで、堤体止水機能をなすコアおよびカーテングラウト周辺まで安全率の低下が及んでいないことを確認している。

施工時においては、発破・掘削によるダム堤体および洪水吐導流壁への影響を管理するため、必要な計測機器を設置し計測管理を実施した(図-15)。地下発電所工事は発破掘削により施工されるため、発破振動による既設構造物への影響抑制として、あらかじめ対象構造物ごとに振動基準値を設定し、事前に実施した発破試験結果から構造物との離隔距離に応じた薬量を設定するとともに、主要箇所に変位速度計を設置し、計測を行いながら掘削を進めた。

各掘削箇所の変位速度(最大値)は管理値よりも低く抑えることができ、既設構造物に影響を与えることなく掘削を完了することができた。岩盤変位(水平変位および傾斜)に関する計測結果では、掘削による岩盤変位は地下発電所内空側よりおおむね20m程度までであり、掘削の影響はダムまで

及んでいない。

そのほかの計測として間隙水圧計、孔内傾斜計、継目計、そして堤体のGPS測量も実施しており、基礎岩盤部の変位や堤体浸透流・遮水機能の確認などを行い、既設構造物への影響の有無について継続的に監視してきたが、これら計測結果からも顕著な影響は見られなかった。

管理基準値は管理対象構造物を徳山ダム堤体(フィルダム)とその他構造物(コンクリート構造物)とに区別し、おののに応じた管理基準値を設定した。

このような近接施工に関する評価など、発電所工事にかかわる技術協議の客観性を担保するため、有識者により構成される工事検討会(委員長: 國生剛治・中央大学教授)を設け、発電所建設工事によるダム構造物への影響評価および施工中の計測管理について年1回程度、工事完了までの計画で開催している。

5-3 掘削結果

掘削時の切羽観察の結果、岩盤はおおむね想定どおりの地質性状であり、破碎帯もほぼ想定された位置で出現した。破碎帯周辺では局所的に亀裂質な岩盤となる破碎帯影響箇所がところどころ見受けられたが空洞内に変状は生じなかった。キーブロックは一部で形成されたが既設支保で安定する規模であった。地下発電所空洞内に設置した計測機器の配置を図-16に示す。

アーチ切掘削が完了した時点の地中変位計の計測結果は、図-16の主B断面に設置したB-(2)の計測器で最大の変位が生じた。その値は8mmで、アーチ部の変位は地下発電所掘削終了までのあいだに、最終的に約10mmの沈下に留まり、アーチコンクリート打設後は盤下げ掘削による変位の増加は見られなかった。また、盤下げ掘削による側壁の内空変位はB-(4)(5)の位置で最大30mm程度(片側約15mm)であった(図-17)。

岩盤変位は地質境界部および破碎部で顕著であっ

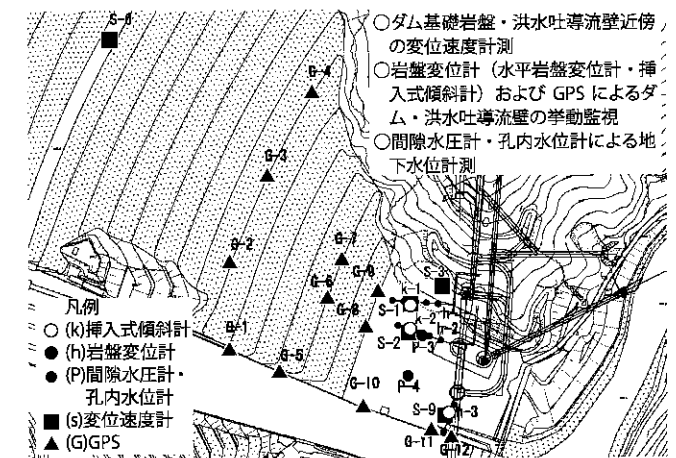


図-15 各計測機器の配置図

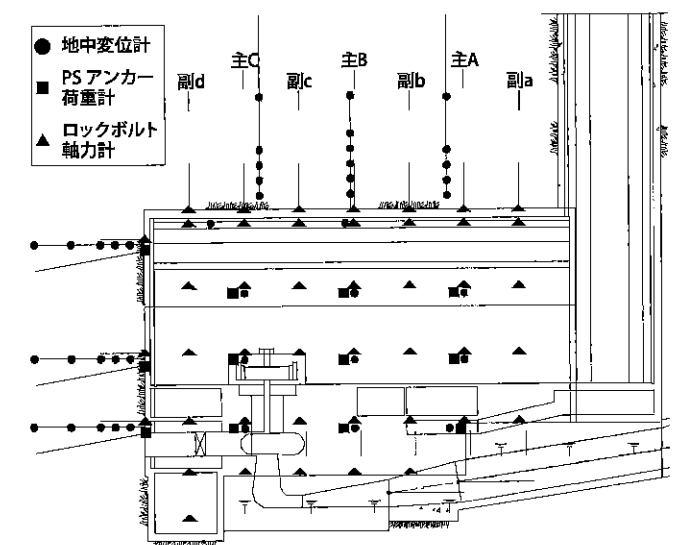


図-16 地下発電所空洞内の計測機器配置図

表-3 管理基準値

	管理基準値Ⅰ	管理基準値Ⅱ	管理基準値Ⅲ
変位	内空幅の0.05%	ⅠとⅢの中間値	解析結果
PSアンカー	変位相当の荷重増分		降伏荷重
ロックボルト	降伏荷重×0.6	降伏荷重×0.8	降伏荷重

表-4 管理体制

管理レベル	計測	施工	追加補強	管理基準値
I	予定どおり	予定どおり	なし	I
II	監視強化	予定どおり	一部実施	II
III	監視強化	予定どおり	一部実施	III
IV	監視強化	一時中止	実施	

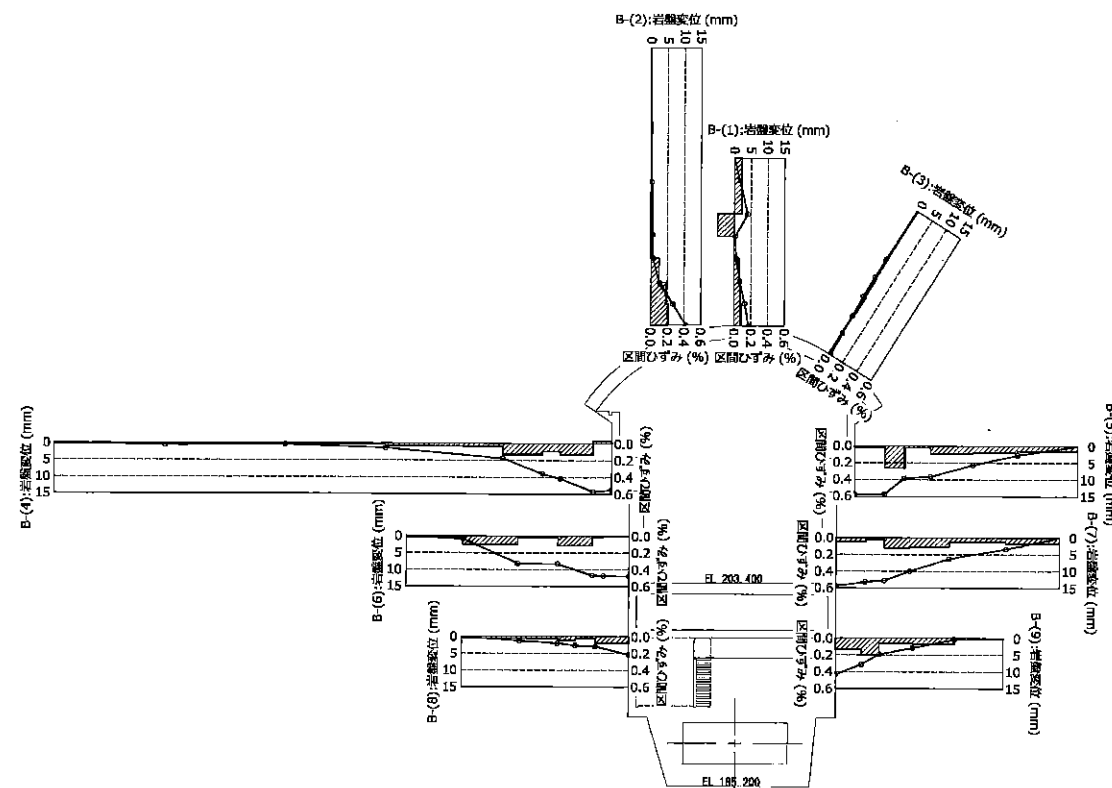


図-17 盤下げ掘削完了後の主B断面地中変位計の計測結果

たが、管理値を超える変位はなく、追加の対策工は実施していない(表-3, 4)。掘削終了後の変位は収束し安定している。

また、支保工の妥当性と空洞の安定性を確認するためFEMを用いた再現解析を実施し、掘削完了時点の変位量の再現を試みている。

6 おわりに

本工事は終盤を迎え、平成27(2015)年6月の1・2号機同時運開に向け、関係者が一丸となり工事を進めている。2号機は平成26(2014)年5月に1号機に先行して運転を開始し、夏の重負荷期の安定供給に少なからず貢献できた。1号機の水車発電機が設置される地下発電所は平成25(2013)年4

月に掘削が完了し、内部の土木関係の構築も平成26年7月に完了している。本工事は、運用中の徳山ダムの近接施工であることなど厳しい条件のもと、これまで行ってきた。既設の徳山ダムに影響を与えることなく無事に地下発電所を施工できたのも工事検討会の委員のみなさまおよび電力中央研究所をはじめ関係各位のご指導の賜物です。文末ではありますが、ここに感謝の意を表し、お礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会岩盤力学委員会編：大規模地下空洞の建設・維持管理事例集(H25年度集約版)、徳山水力発電所、pp.170-201, 2014.1.

施工

可燃性天然ガス貯留層を新たなガス抜き装置で突破

—東京ガスパイプライン建設用トンネル工事—

鹿島建設(株)関東支店土木部担当部長 柴田 学

鹿島建設(株)技術研究所上席研究員 吉迫 和生

東京ガス(株)幹線建設PJ部北関東幹線建設事務所設計課課長 酢谷 郁雄

東京ガス(株)導管企画部供給企画G副課長 重田 隆弘

1 はじめに

本工事は、総延長84kmのガスパイプライン工事のうち、延長約3.8kmを泥水式シールド工法で施工するものである。本工事では事前の可燃性ガス調査で地下水溶存可燃性ガスが確認されていたため、シールドと切羽付近坑内設備、換気設備を防爆仕様にして掘進を開始した。ところが坑口より960m掘進中に可燃性ガスがシールドテール部より流入したため掘進を中断し、ガスの貯留状況を調査することにした。その結果、事前調査では見られなかった遊離可燃性ガスの存在を確認した。そこで掘進を再開するため掘進予定路線でのさらなる追加ガス調査と、調査でガスを確認した箇所でのガス抜き工を実施した。

2 工事概要

工 事 名：東京ガスシールド工事
工 期：2012(平成24)年1月12日～
2015(平成27)年3月31日
工 事 仕 様：シールド延長 $L=3,850\text{m}$
仕上り内径 $\phi 2,000\text{mm}$
シールド外径 $\phi 2,330\text{mm}$

急 曲 線 $R=50\text{m}$ (最小)

縦 断 勾 配 $i=4.80\%$ (最大)

土 か ぶり $h=12\sim 40\text{m}$

セグメント：鋼製セグメント

内径 2,000mm

外径 2,200mm

桁高 100mm

幅 1,000mm

5分割

3 地質と可燃性ガスの起源

図-1に地質縦断面図を示す。本工事は、発達立坑から約1,700m区間は沖積粘性土、洪積粘性土および砂質土地盤で、その後は泥岩層を掘進し、途中、砂層および地層変化点における礫層掘進が予想された。事前の地質調査時に行った可燃性ガス調査で洪積粘性土と砂質土の互層部に地下水に溶存した可燃性ガスが確認されていた。

日本における可燃性天然ガスの賦存状況を示した『日本油田・ガス田分布図』¹⁾、『換気技術指針』²⁾によると、当地域はガス田分布域には入っていないが、本工事範囲は、旧河川の氾濫原、河道、および海進時に浅海域となった部分であるた

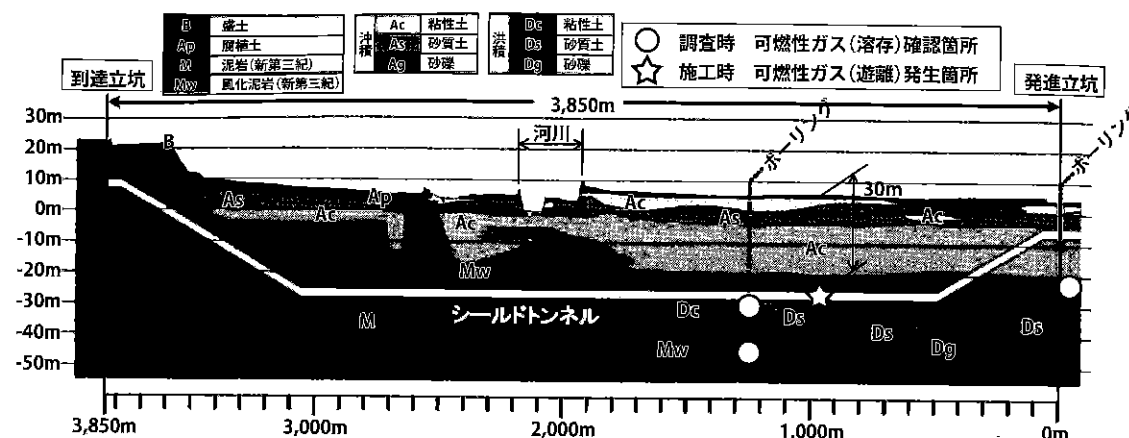


図-1 土質縦断および可燃性ガス確認・発生箇所

め、堆積した落ち葉や生物の死骸が残ったまま、地層が成層し、これらの有機物が、嫌気性条件下での反応を経て分解していく過程で、メタン・硫化水素を主成分とした天然ガスが発生したと考えられる。

発生した天然ガスのうちメタンガスは上方へ抜けようとするが、上方に粘性土がある場合は抜け出せず、砂層の隙間に残存、もしくは隙間水に溶存することで安定した状態を保っていたものと推定される。

4 可燃性ガスへの事前対応

事前の可燃性ガス調査において、地下水に溶存ガスの存在が確認された(図-1中○部、洪積の砂層で13.1~28.5vol%, 礫層で41.0vol%, とともに空気補正後)、地下水に溶存するガスの分圧は1.02atm、飽和度0.25で、「大気圧に解放されると溶存ガスが分離するが遊離状態では散在しない」として可燃性ガスの危険度「ランク2」と判定した。しかし、メタンの濃度は13.1vol%と爆発下限界を超えていたため、安全を考慮し、シールドおよび切羽付近坑内設備については、可燃性ガスの流入時に爆発原因とならないよう防爆仕様にし、換気は排気方式として坑内風速0.5m/sを確保する設備とした。

また、坑内へのガス流入を検知するためのメタンガス検知器を増設し、坑内における設備的対策を施していた。

5 シールド工事中的可燃性ガスの発生状況

発進立坑から960m(図-1の☆部)を掘進中に、切羽に設置した可燃性ガス検知器の警報が作動した(瞬時の最大値60%LEL)。ただちに作業員を地上に退避させ、地上に設置している換気ブロウの風量を最大(95→130m³/min)まで上げた。その結果、約12時間後に可燃性ガス濃度は10%LEL未満に低下した。

その段階でシールド内を点検したところ、テール部などからの地下水の流入および流入の痕跡は確認できなかった。このことから、検出された可燃性ガスは地下水に含まれる溶存ガスが地下水の流入にともなって分離して発生したものではなく、地盤中の遊離可燃性ガスがテール部から漏出したものと考えられた。

シールドから平面位置で約10m前方に離れた位置で追加可燃性ガス調査を開始したところ、可燃性ガスの存在が疑われる砂層から遊離可燃性ガスが検出され、地盤中に遊離可燃性ガスが存在することが事実となった。

6 可燃性ガスに対する追加対策工

6-1 追加対策工の検討

トンネル工事における遊離可燃性ガスに対する代表的な対策工には、①薬液注入による地盤改良を実施して可燃性ガスを排除あるいは封じ込める

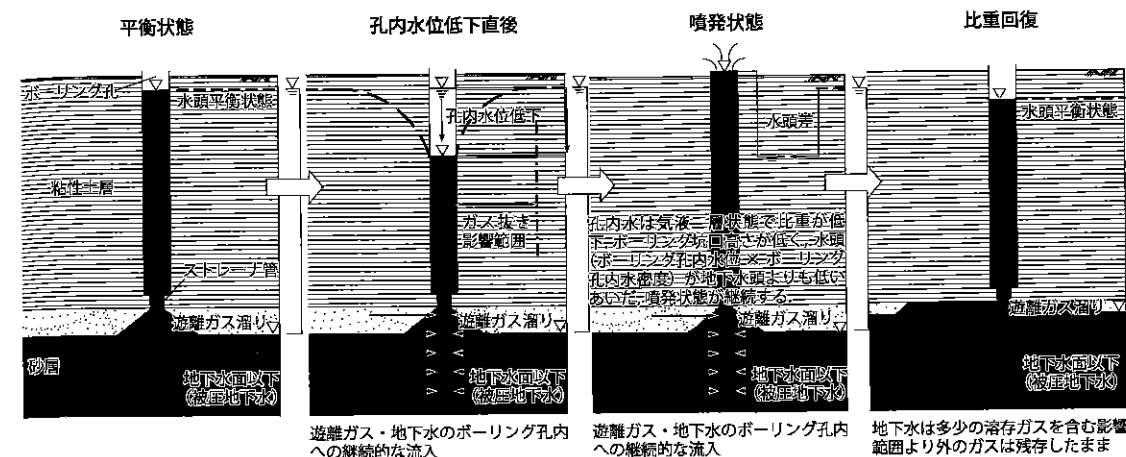


図-2 ガス抜き手法の一連の過程

方法、②ガス抜き孔により可燃性ガスを排除する方法、がある。

①の方法では1本の薬液注入孔から改良できる範囲は限定的(通常直径1m程度)である。②の方法はガス抜き孔の配置に関する設計法が確立されていない、また①、②とも、地上構造物などの制約がある場合には施工できず、ガスの賦存が広範囲におよぶ場合には多数のボーリング孔を施工する必要があり現実的ではない。

そこで今回、1本のガス抜き孔により、ある程度の範囲から遊離可燃性ガスを排除する新たな方法を考案した。

6-2 ガス抜き孔の配置設計に関する考え方

通常は、ガス抜き孔はガス溜りの深度にストレーナを配したボーリング孔を地上から2~3m立ち上げ、出てきた可燃性ガスをそのまま大気中に放出する簡単な構造である。

この方法では、遊離可燃性ガスが存在する場所に直接ガス抜き孔が設置できれば、その孔を通して遊離可燃性ガスが大気中に放出され、対策として効果がある。しかしながら、ガス抜き孔内に地下水が流入し、孔内の水頭と遊離可燃性ガスが存在する層(砂層)の地下水頭(被圧地下水位)が平衡した状態になると、ガス抜き孔へ遊離可燃性ガスが流入する圧力勾配がなく、周囲に遊離可燃性ガスが残存してもそれを集めることができない(図-2平衡状態)。

そこで、ガス抜き孔内の水位を低下させることにより、ガス抜き孔周囲の遊離可燃性ガスを集めて放出する手法を考案した。この方法では、孔内水位の低下量を調整することにより地下水位低下量に応じた影響圏の範囲(ガス抜き影響範囲)での遊離可燃性ガスを集めることが可能で、図-2(孔内水位低下直後)に示すように遊離可燃性ガスが広く存在すると想定される場合でも、1本のガス抜き孔で一定範囲の遊離可燃性ガスの除去を効果的に行うことができる。ただし、ガス抜き孔内水位を下げると遊離可燃性ガスと地下水が噴発状態(図-2噴発状態)となるので、孔口を密閉して圧力を調整する必要がある。

6-3 ガス抜き装置の概要

ガス抜き装置(図-3)はガス抜き孔の口元ケーシング管に設置され、圧力調整バルブ、閉止バルブ、防噴装置(Blow-Out-Preventer: BOP)などから構成されるバルブセット、ガス抜き孔内の地下水位を低下させる手押しポンプ、地中から抜いた遊離可燃性ガス、および地下水から分離した可燃性ガスを大気中に放散する気密槽、放散塔からなる。バルブセットは口元ケーシング管を設置した時点で取付けられ、遊離可燃性ガスの存在が疑われる層を掘削するときにはBOP内を削孔ロッドが通っているので、万一、削孔中にガスが噴出した場合には速やかにBOPを閉じて噴出を抑え、安全を確保できる構造になっている。

トンネルジャーナル

首都高速中央環状線が来年3月に全線開通

首都高速道路と東京都は、共同で整備を進める中央環状線山手トンネル(高速湾岸線～高速3号渋谷線)―中央環状品川線―について、2015年3月に開通すると発表した。この開通により、全長約47kmの中央環状線が全線開通するとともに、圏央道、外環道、中央環状線からなる首都圏3環状道路の最初のリングが完成することになる。

中央環状品川線は、中央環状線の南側部分を形成し、高速湾岸線の大井JCTから分岐したのち、目黒川および山手通りの地下をトンネルで北上し、大井JCTで中央環状新宿線と首都高速3号渋谷線に接続する約9.4kmの区間。開通により山手トンネルの全長は約18.2kmに達し、道路トンネルとして関越自動車道の関越トンネル(約11km)を超えて日本一となる。世界でもノルウェーのLaerdal Tunnel(レアダールトンネル)約24.5kmに次ぐ第2位の長さとなる。

全通により、首都高速道路のネットワーク効果が拡充されることから、慢性的に渋滞が発生する都心環状線の交通の分散のほか、リダンダンシーの向上が見込まれている。時間短縮効果については、新宿・渋谷などの副都心エリアおよび関越道・東北道などから羽田空港へのアクセスが飛躍的に向上し、新宿から首都高速を経由して羽田空港へ向かう交通が現在約40分であるものが約20分へ、東北道美女木JCTから羽田空港へ向かう交通は、約70分から約40分へ



と短縮されると試算されている。

また、湾岸線と都心環状線が接続されることで、1号羽田線の迂回路として機能することから、2014年度に着手が予定されている羽田線の東品川栈橋・鮫洲埋立部の大規模更新による影響が緩和される効果も期待されている。

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

連載講座

都市トンネルのための地盤改良工法(7)

—地下水位低下工法—

「都市トンネルのための地盤改良工法」連載講座小委員会

① はじめに

地盤沈下抑制対策として施行された揚水規制に関する法・条例の効果により、都市域の地下水位はここ数十年の間に大きく上昇してきている。その一方で、地下空間の有効利用の必要性から地下構造物はどんどん深くなっている。図-1は東京都における地下水位の長期変動を示したものであるが、1965年ごろにはTP-30m以深まで地下水位が低下していた。この当時、地下水が工業用水、ビル空調用水として盛んに利用されていたため

ある。その結果として、ところによっては数mというオーダーでの地盤沈下が発生し大きな社会問題となった。地盤沈下抑制対策として揚水規制に関する法・条例が施行され地下水位は上昇に転じ、近年ではTP-10m以浅まで地下水位が回復している。図-2は東京の地下鉄におけるトンネル部最大深度の推移を示したものである²⁾である。昭和9(1934)年に完成した地下鉄銀座線は最大深度GL-16mであるが、この後に建設された各路線はだんだんと深くなり、平成12(2000)年に完成した都営大江戸線は最大深度GL-49mとなっている。輻輳す

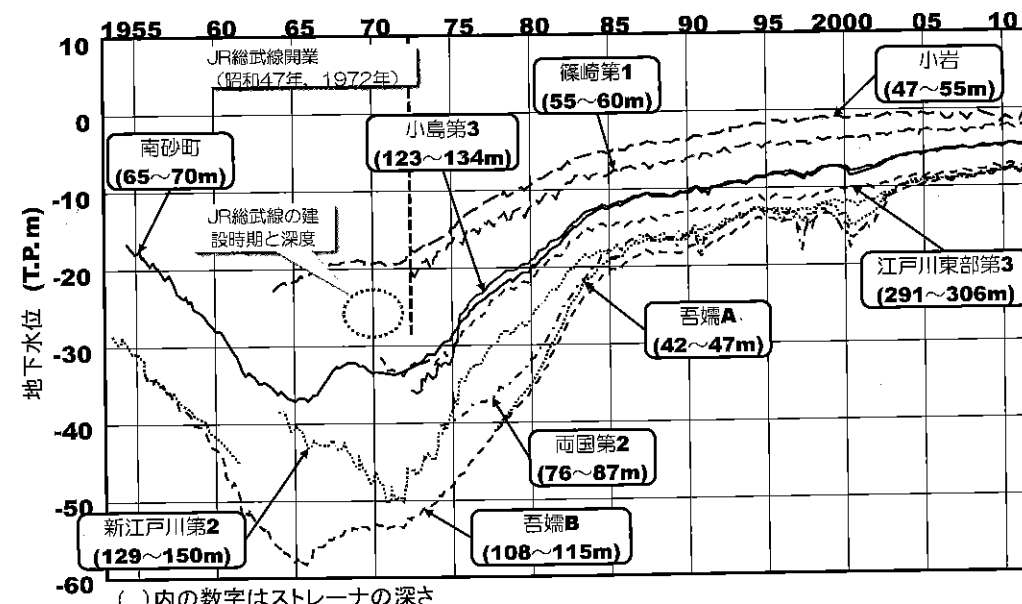
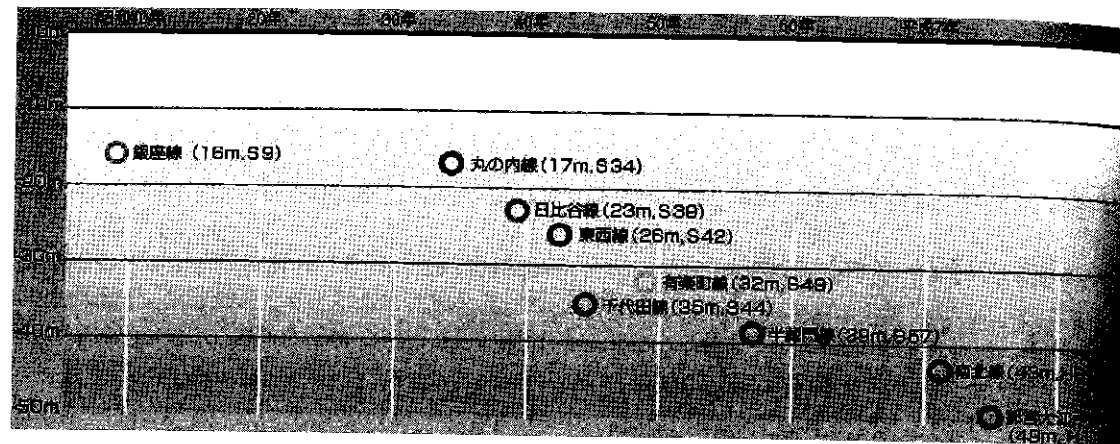


図-1 東京都における地下水位の長期的変動¹⁾に加重・修正

図-2 東京の地下鉄におけるトンネル部最大深度の推移²⁾

各路線およびその他の地下インフラストラクチャを回避するために深部地下の利用が進められていることがわかる。

このような状況・条件のもとトンネル工事を行うと地下水との遭遇は避けられない。地下水がなければトンネル工事はさほど難しいものでないが、地下水位の上昇と地下工事の大深度化により地下工事は困難なものになってきている。地下水の存在により地盤は流動化、泥濘化など不安定な状態となり作業性が低下する。また大きな地下水压下での作業となるため安全性が損なわれる危険をはらんでいる。

トンネル工事の作業性、安全性、さらには工期や工費の適正化、周辺環境への影響抑制という観点から地下水を適切に制御して工事を進めることが求められる。これまで本講座の各回で止水を目的とした地盤改良技術による地下水対策が紹介された。本稿では地下水を排水し地下水位(地下水压)を低下することを目的とした地下水位低下工法について述べる。

なお、対象とする都市トンネルは開削トンネルおよび都市NATMとする。シールドトンネルは発進、到達部あるいは地中接合、切掘り部など特殊部以外は地下水対策を必要としない工法であるため本稿では対象としない。

② 適用の目的

図-3に示すような地下工事時に発生が予想され

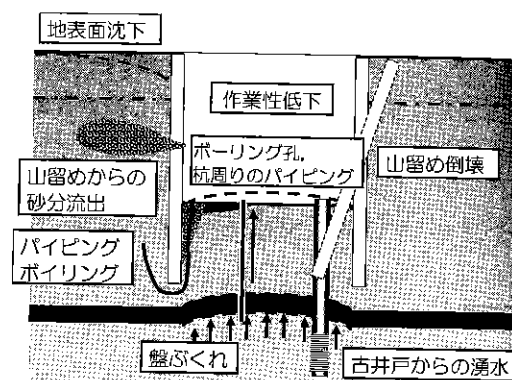
図-3 地下工事時に発生する地下水トラブル³⁾

表-1 地下水位低下工法の目的

原 理	効 果	目 的
地下水位低下	ドライ化	作業性向上
	不飽和化	液状化強度増加
		見掛けの粘着力増加
地下水压低下	浸透水压軽減	ボイリング防止
	揚圧力軽減	盤ぶくれ防止
	側圧軽減	構造物安定化
	浮力軽減	
	有効応力増加	せん断強度の増加
		圧密促進

る安全性・作業性にかかわるトラブル防止を目的に地下水位低下工法が採用される。地下水位低下工法を地盤改良工法のひとつと位置づけ、その適用目的を原理、効果とともに表-1にまとめた。原理としては、地下水そのものをなくす地下水位低下と、水压を軽減する地下水压低下に分けられる。

地下水位の低下により地盤はドライ化、不飽和化される。ドライな状態の地盤は流動化、泥濘化が避けられるため、掘削工事の作業性が大きく改善される。不飽和化された地盤は液状化強度の増加(液状化しなくなる)が期待できる。また、適切な飽和度を維持すると砂地盤が見掛けの粘着力を有し、トンネル切羽の自立性確保など地盤の安定化を図ることができる⁴⁾。

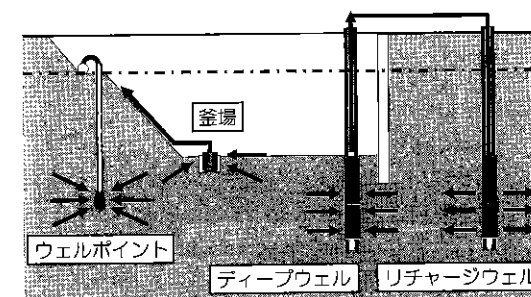
地下水压低下は、地盤にかかる浸透水压の軽減によるボイリング防止、揚圧力の軽減による盤ぶくれ防止など地下工事の安全性確保のために採用されることが多い。仮設・本設構造物にかかる側圧や浮力を軽減して構造物の安定性を確保することも目的の一つである。全応力一定のもとで間隙水压を低下させると有効応力が増加する。有効応力の増加によるせん断強度の増加や圧密促進を目的として地下水位低下工法が採用される場合もある。

③ 工法の概要と特徴

都市トンネル工事において採用される主な地下水位低下工法を図-4および以下に示す。

3-1 釜 場

釜場は掘削底面に直径1m、深さ1m程度のピットを掘り、ここにドラム管などの簡易な集水設備と水中ポンプを設置して掘削底面に湧出してくる地下水を集水・排水するものである(写真-1)。掘削底面には排水用の溝を掘り釜場への導水を確実にする。掘削底面以深の地下水を積極的に排水する工法ではないため、掘削底面をドライな状態に保つことは難しい。施工の邪魔にならないよう掘

図-4 地下水位低下工法の種類⁵⁾

削外周部に設置することが多いが、大きく深い釜場を土留め壁際に設置すると土留め壁の受動抵抗が小さくなり、土留めの変形を助長する可能性があるため注意が必要である。

3-2 ウェルポイント工法

ウェルポイント工法はウェルポイントと呼ばれる長さ700mm、直径50mmのスクリーンを有するパイプをジェットにより地中に打設し、これに真空圧をかけて地下水を吸引、排水する工法である。写真-2にウェルポイントと設置状況を示す。真空圧を用いて地下水を揚水するため、吸引可能高さは理論上、大気圧(0.1MPa程度)相当の約10m、実際には配管途中でのロスや漏気などの影響により6m程度が限界といわれている。ウェルポイント1本あたりの集水量は数~数十L/分程度であり、写真-2に示すように掘削域を取り囲むように

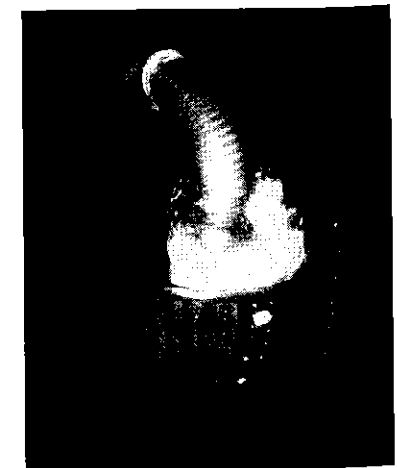


写真-1 釜場設置例

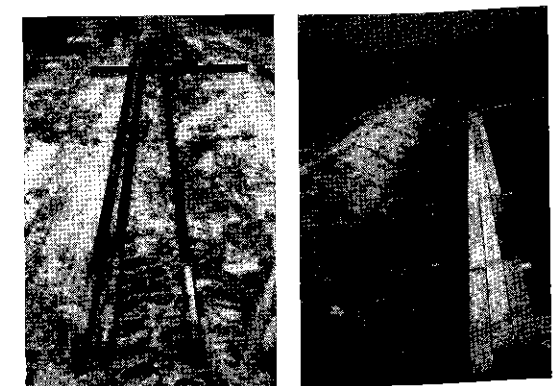


写真-2 ウェルポイント工法

1～2mピッチで多数のウェルポイントを設置する。ウェルポイントはヘッダーパイプと呼ばれる太径のパイプに接続され、このヘッダーパイプに真空圧をかけて地下水を吸引する。比較的透水性の低いシルト層から砂層まで適用可能な工法である。

3-3 ディープウェル工法

ディープウェル工法は、図-5に示すような構造の仮設の井戸を設置し、井戸内の水中ポンプにより地下水を揚水し地下水位を低下させる工法である。比較的透水性の高い砂質地盤、礫質地盤を対象とする。1本の井戸で広範囲の地下水位を大きく低下させることができるため大規模現場向きの工法である。

通常はφ400～1,000mm程度の孔を削孔し、この孔にφ300～600mm程度の井戸管を設置する。井戸管には地下水の流入が可能なスクリーン部が設けられる。孔壁と井戸管の隙間には周辺地盤の土粒子が井戸内に流入しないようフィルター材を投入する。施工が完了したディープウェルは十分な性能が発揮できるよう井戸洗浄を丁寧に行う。

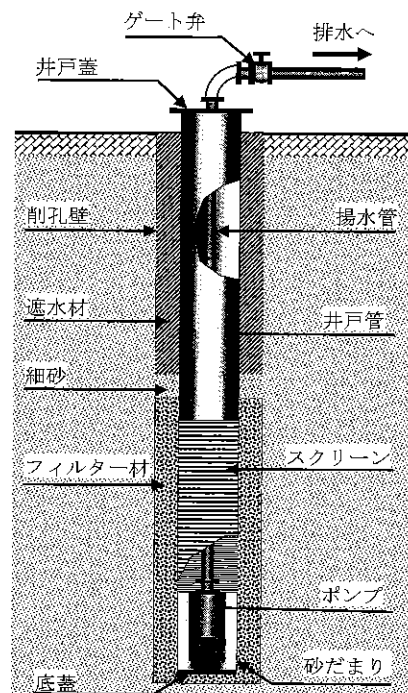


図-5 ディープウェル構造図⁹⁾

3-4 リチャージ工法

リチャージ工法は揚水した地下水をリチャージウェルを介して地盤内に還元する工法である。図-6に示すように地下水位低下工法を採用する際に、リチャージ工法が併用される。リチャージ工法の目的は以下の2つがある。

(1) 周辺環境への影響低減

地下水位低下工法を採用したとき、現場内の地下水位だけでなく現場周辺の地下水位も低下し、これが井戸枯れ、地盤沈下など、さまざまな環境影響をもたらす可能性がある。これを防止するために揚水した地下水を地盤に還元し現場外の地下水位低下を抑制する。

(2) 揚水した地下水の排出先確保

地下水位低下工法により揚水した地下水はどこかへ排出しなければならない。都市部では一般に下水道へ排出することが多いが、揚水量が多い場合は現場周辺の下水道施設の放流能力が十分でなく排出不能となることがある。また、能力的に排出可能な場合でも下水道への放流には下水道使用料金が課せられ、これが工事費の増大につながる。このようなとき、地下水の排出先確保という目的でリチャージ工法が採用されることがある。

リチャージ工法の最大の課題は目詰りである。揚水した地下水に含まれる細粒分などがリチャージウェル周辺に蓄積され、注水能力が徐々に低下する。目詰りが発生しにくいような設備の工夫、目詰りが発生したときに逆洗などにより容易に機能回復ができる構造などが必要となる。

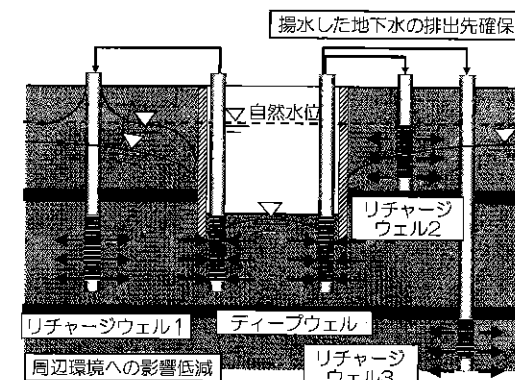


図-6 リチャージ工法の原理と目的⁹⁾

3-5 地下水位低下工法の特徴と課題

地下水位低下工法の課題は周辺環境へ影響を及ぼすことである。現場内の地下水位低下が周辺地下水位の低下、地盤沈下、井戸枯れなどを誘発する可能性がある。現場近傍にとどまらず広範囲へ影響を及ぼし大きな社会問題となることもある。これを抑制するために前述のリチャージ工法を採用したり、止水性土留め壁などの止水工法と併用することが一般的である。

もうひとつの特徴として、地下水位低下工法の設備設置に要するイニシャルコストは止水を目的とした地盤改良工法に比べて安い。ランニングコストが必要となることが挙げられる。ランニングコストとして揚水設備の運転に必要な電力使用料金、揚水した地下水を排水するための下水道使用料金などがある。地下水位低下工法の運転期間が長い場合は工費的に有利にならない場合がある。

④ 計画と設計

4-1 地下水位低下工法のための地盤調査

地下水位低下工法の採用にあたって実施すべき地盤調査を図-7および表-2にまとめる。地盤構成(層序)を把握するためにボーリングを実施し柱状図を作成する。ボーリング時には標準貫入試験によりN値を求める。ボーリング途中で単孔式透水試験を実施し、地下水位の計測、透水性の調査を行う場合がある。

大規模に地下水位低下工法を採用する現場では、標準貫入試験で採取した1mごとの試料に対し粒度試験を実施し粒径から透水係数を推定すること、ボーリング完了時に電気検層を実施し深度方向の比抵抗分布を計測することが有効である。

ボーリング孔は観測井として仕上げて長期的な地下水位が計測できるよう利用すること、揚水井と複数の観測井を設置して揚水試験を実施することなどが現場の状況

に応じて必要になる。

調査結果は図-8のように並べて表示すると深さ方向の透水性分布が定性的に評価できる。また、

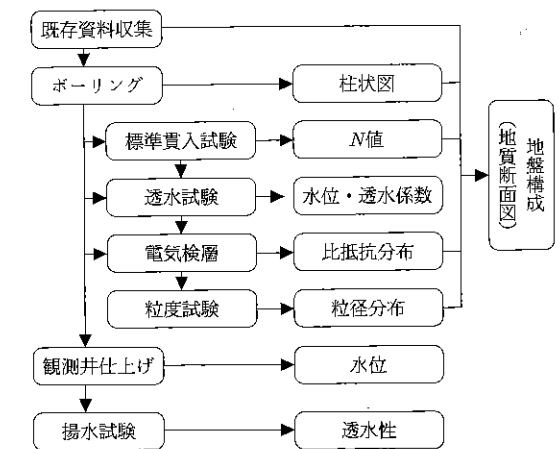


図-7 地下水位低下工法のための地盤調査

表-2 地下水位低下工法のための地盤調査

目的	調査項目	アウトプット
地盤構成(層序)	ボーリング	柱状図
	標準貫入試験	N値
	電気検層	比抵抗深度分布
地下水位	単孔式透水試験	瞬時地下水位
	観測井	長期的地下水位
透水性	粒度試験	透水係数推定値
	単孔式透水試験	透水係数(局所)
	揚水試験	透水性(帯水層全体)

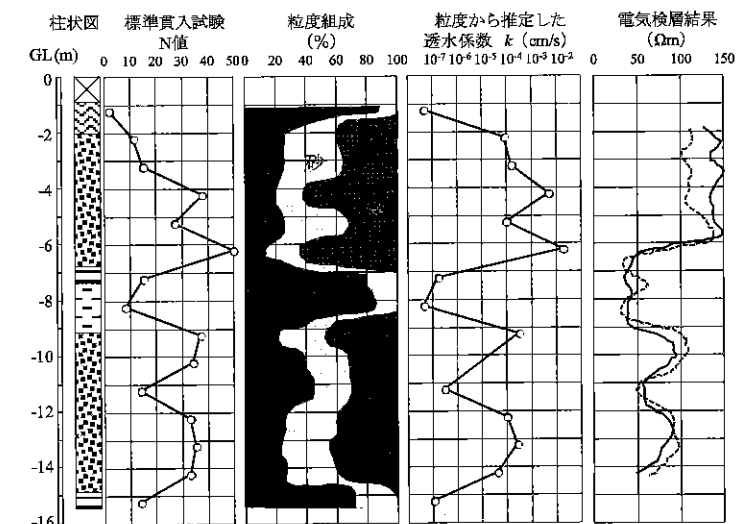


図-8 地盤調査結果の整理の例

ているかを評価し対策に反映することが可能になる。例えば掘削内の水位が上昇傾向を示したとき、揚水量の減少によるのか、周辺水位の上昇によるのか、止水壁の性能(止水性)低下によるのかなど、計測データを総合的に評価し原因を究明する。

⑥ 施 工 事 例

6-1 開削トンネルでの事例

都市土木としては最大クラスである首都高速道路中央環状新宿線代々木換気所における地下水位低下工法の実例⁹⁾を紹介する。本工事は最大掘削深さがGL-39mの大規模開削工事である。とくに本線道路となる2本の大口径シールドトンネルが先行して構築され、その後、開削工事により掘削し、シールドトンネルを露出して切り開くという特殊条件下での工事であった。最終床付け時の状況を写真-3に示す。

地盤と工事の概要を図-13に示す。当該地区は淀橋台と呼ばれる標高30m程度の洪積台地の西北部に位置する。地盤は表層より凝灰質粘土層(Lc)、東京層砂層(Tos)、東京礫層(Tog)、上総層粘性土層(Kc)、上総層砂層(Ks)の順で堆積している。Tos、Togは地下水位がTP+20m程度の不圧帯水層、Ksは地下水位がTP+19m程度の被圧帯水層となっている。Togは透水係数 10^{-1} cm/sオーダーの非常に透水性の高い帯水層、一方、Ksは透水係



写真-3 代々木換気所の最終床付け状況⁹⁾

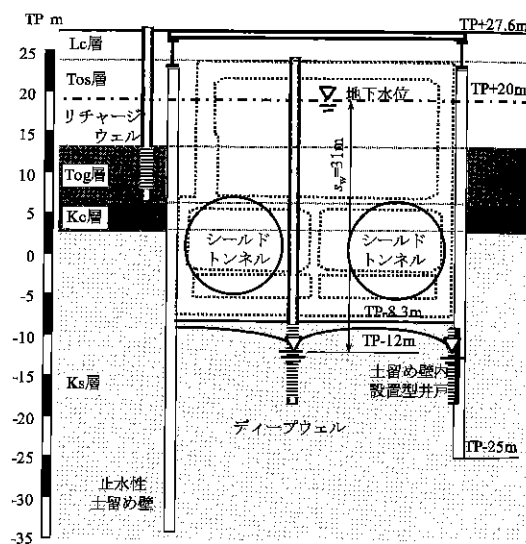


図-13 代々木換気所の地盤と工事の概要⁹⁾を修正

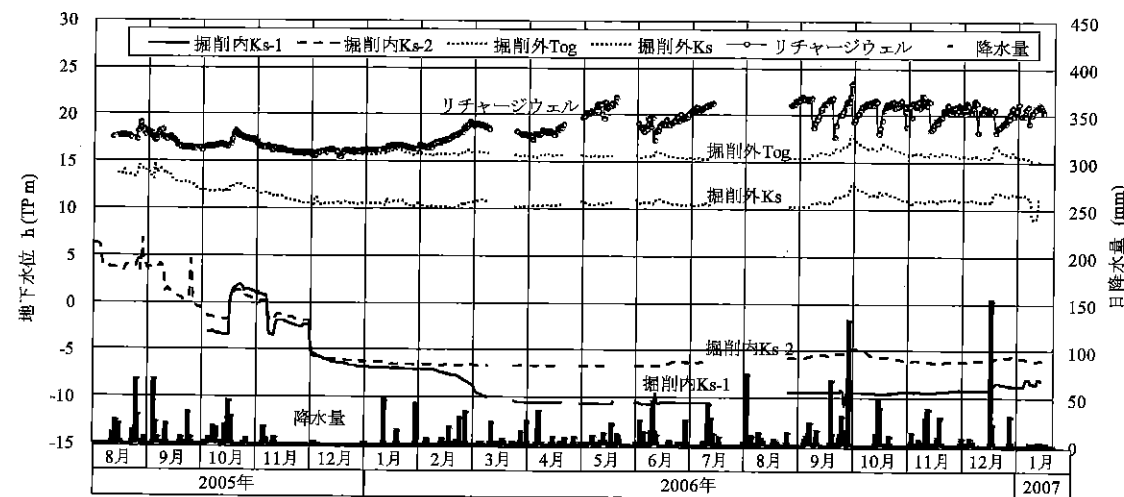


図-14 代々木換気所の地下工事期間中の地下水位計測データ⁹⁾を修正

数 10^{-1} cm/sオーダーと透水性は低いものの、その下端が確認されておらず厚い帯水層となっている。

地下水対策として透水性の高いTos、Togは止水性土留め壁にて止水することとした。Ksは下端が確認されておらず土留め壁により止水することができないため地下水位低下工法を採用することとした。土留め壁はボーリングに対する安定性が確保できる深さまで根入れし、土留め壁で囲まれた掘削部内にディープウェルを設置した。図-13に示すようにシールドトンネルが先行施工されておりディープウェルの設置可能箇所が限られるため、土留め壁の中に井戸装置を組み込む土留め壁内設置型井戸を併用した(7-2節参照)。

掘削時には先行施工されたシールドトンネルの浮上りを防止するために地下水位を事前に低下させた。揚水量の削減と周辺環境への影響低減を目的として土留め壁根入れ長さより短いディープウェル、壁内設置型井戸を採用し、Ksを揚水対象とした。揚水した地下水はTogにリチャージして外部に排出しない計画とした。

施工期間中は浸透流解析結果にもとづきディープウェル、壁内設置型井戸の運転設定を行い、地下水位低下量を予測計算した。これと実測地下水位を比較しながら運転管理を行った。図-14は地下工事期間中の掘削内外地下水位の変動を経時変化グラフとしてまとめたものである。掘削内Ksにおいて所定の水位低下を得るとともに掘削外の地下水位低下を最小限としている。掘削外においてはKsで4m程度の水位低下が認められるが

Togの水位はほとんど変化していない。リチャージウェルは注水の継続により目詰りが発生し水位上昇がみられる。目詰り発生時に逆洗によるメンテナンスを行い注水能力が維持できるよう管理した。

6-2 都市NATMでの事例

都市NATMでの地下水位低下工法事例として東葉高速線習志野台トンネルの事例¹⁰⁾を紹介する。本トンネルはその大部分の区間をNATMで施工した。商店街・住宅団地が近接した交通量の多い市道下の地下水の豊富な洪積砂層を小さい土かぶり(土かぶり5~12m)で掘削した。

地質縦断面図をトンネル施工深度とともに図-15に示す。地表より盛土(Bn)、関東ローム層(Lm)、凝灰質粘土層(Tc)、成田層(Ds1)の順で堆積している。成田層は均等係数が2程度の均質で細粒分含有率が少ない砂層である。この砂層の下部に非常に透水性の高い貝殻層(Dsh)が堆積している箇所がある。地下水位はトンネル肩部付近にあり、トンネル掘削時に流砂現象の発生が想定された。

本工事の特徴として以下が挙げられる。

- ① 市街地直下の土かぶりの小さいトンネル工事
- ② 駅部付近は駅部開削区間と接続するため、未固結砂層としては過去に例のない断面積約140m²の大断面掘削(図-16参照)
- ③ 対象地盤は地下水の豊富な砂層

このような状況から地下水位を低下させ地山の安定性を確保することが本工事最大のポイントと

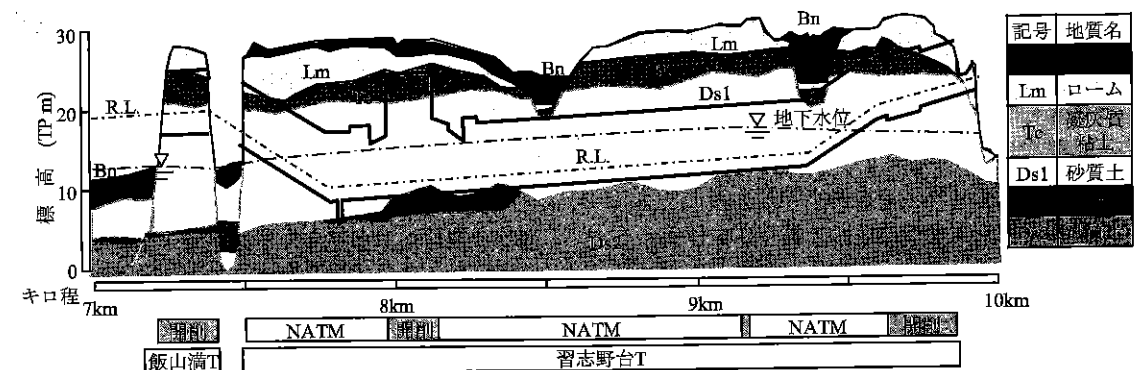
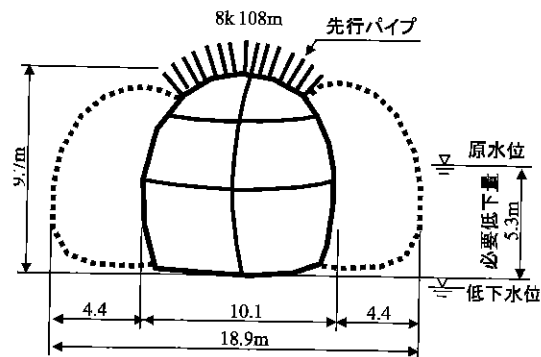


図-15 習志野台トンネルの地質縦断面図と施工法¹⁰⁾を修正

図-16 習志野台トンネルの断面概要⁹⁾を修正

なった。地下水対策としてディープウェルによる地下水位低下工法、薬液注入工法、トンネル内からの圧気併用排水工法などを比較検討した。工法の信頼性、周辺環境への影響などの観点からディープウェルによる地下水位低下工法と薬液注入工法(地山安定を目的)が併用されることになった。

工法の選定・設計にあたって揚水試験が実施された。この結果より約 $4 \text{ m}^3/\text{min}$ の揚水により水位低下が可能であること、周辺地盤に有害な沈下は発生しないことが確認された。

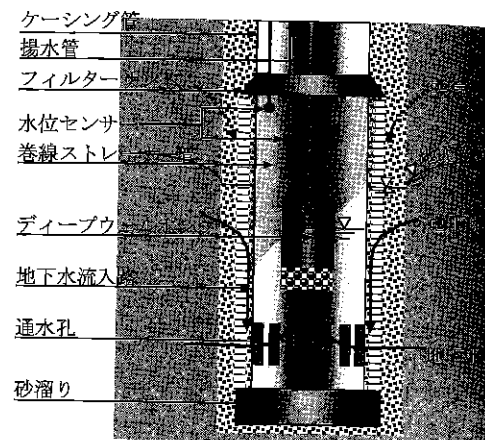
地上部は市街地であり任意の場所にディープウェルを設置することができなかった。設置可能な場所を選定し、深さ30mのディープウェルを13本設置した。ディープウェル1本あたりの可能揚水量は平均 $0.3 \text{ m}^3/\text{min}$ でほぼ設計どおりの揚水を行ったが、トンネル底盤下までは水位が低下せず坑内ウェルポイントを併用して所定の水位低下を得た。

⑦ 新技術紹介

地下水位低下工法は地下水を集めて揚水・排水するという単純な工法であるため、新技術の開発はあまり行われてこなかった。ここでは近年開発された技術を紹介する。

7-1 真空圧併用型地下水位低下工法

従来、ディープウェルの揚水効率を向上するために井戸上部を気密構造として真空圧を併用するバキュームディープウェル工法が適用されることがあった。しかし、井戸周辺の地下水位が低下すると井戸内へエア分が流入し、バキューム効果が低減するためあまり有効な工法とならなかった。

図-17 真空圧併用型井戸の構造¹⁰⁾を修正

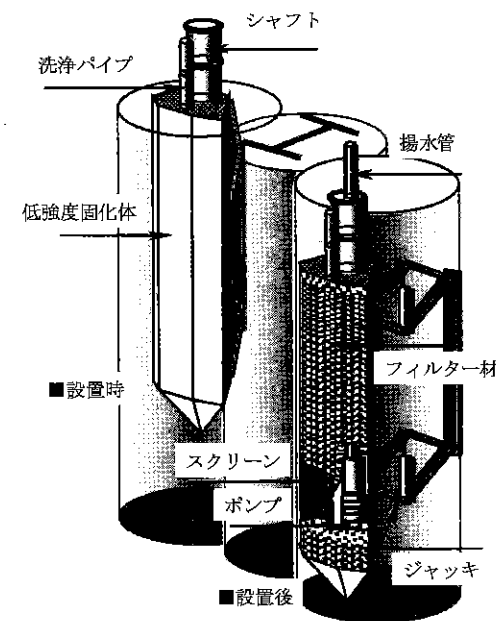
近年、この問題を解決するためにスクリーン部を特殊な二重管構造とすることにより、井戸内を真空に保ちバキューム効果を維持することが可能な工法⁹⁾が開発された。井戸構造の模式図を図-17に示す。二重管になったスクリーン部において空気と水が分離され、地下水のみが下部の通水孔から井戸内に流入する仕組みとなっている。井戸内は真空ポンプにより負圧状態が維持され効果的な排水が可能になる。

この工法により井戸1本あたりの揚水量が多くなるため、通常のディープウェルより少ない本数で所定の地下水位低下を得ることが可能である。この効果は地盤の透水性が低いときほど大きい。

7-2 土留め壁内設置型井戸

通常、ディープウェルは周辺への影響を小さくするために止水性の土留め壁で囲まれた掘削内に設置する。設置したディープウェルは躯体の構築がある程度まで進み、地下水位が回復しても構造物が浮上らない段階まで残置し、運転を継続する。このため設置したディープウェルが掘削工事など施工の邪魔になるとともに躯体構築完了後のディープウェル閉塞作業、躯体開口部の補修作業が必要になる。底盤のディープウェル閉塞箇所は漏水の原因になることも多い。

そこで土留め壁内に設置するタイプの井戸装置が開発された。図-18は土留め壁内設置型井戸の構造概要を示したものである。柱列型ソイルセメント壁への設置例を示したが、ソイルセメントが

図-18 土留め壁内設置型井戸の構造¹⁰⁾を修正

固化する前に井戸装置を土留め壁内に設置する。設置時にソイルセメントが装置内に入り井戸機能が低下するのを防止するため、あらかじめ低強度固化体を装置内に充填しておく。ソイルセメント固化後、地下水集水部をジェット洗浄し、フィルター材と置換することにより通常のディープウェルと同様に、フィルター材、スクリーン、ポンプで構成される井戸構造となる。

この工法は元来、地下高速道路などの線状地下構造物が地下水の流れを遮断して発生する環境影響を防止するための地下水流動保全対策として開発された工法である。土留め壁内設置型井戸として地下水位低下工法に適用することにより、施工の邪魔にならず躯体に開口部をあける必要がなくなるなどメリットが多い。また、完成後も災害時の緊急用井戸として残置することも可能である。

⑧ おわりに

本稿では地下水位低下工法を地盤改良工法のひとつと位置づけ、適用の目的、工法の概要、計画・設計の概要、効果の評価方法、開削トンネルおよびNATMでの施工事例、および新技術を紹介した。

地下水位低下工法は、本講座においてこれまで

に紹介した止水を目的とする地盤改良工法と異なる性質のものである。都市トンネル工事の地下水対策の検討にあたっては止水工法、排水工法(地下水位低下工法)の特徴を理解したうえで適切に使い分けたり、有効に組み合わせたりすることが必要である。

本稿が同種の工事に携わる読者にとって少しでも役に立つことを期待する。なお、『トンネルと地下』ではVol.44, No.8~Vol.45, No.2において7回にわたり「トンネルにおける地下水対策」と題した連載講座を掲載した。こちらも併せて参照いただきたい。

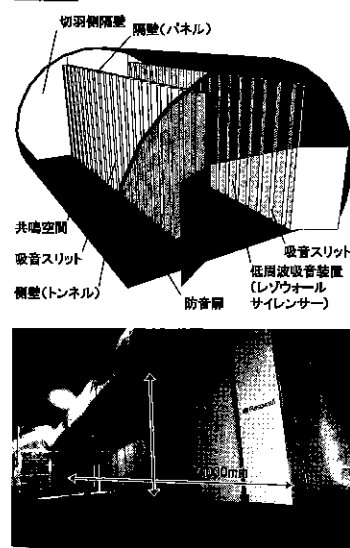
(文責：高坂信章・清水建設(株))

参考文献

- 1) 川合将文・川島眞一・石原成幸・高橋賢一：平成23年の地下水位変動の特徴、平成24年東京都土木技術支援・人材育成センター年報、pp.131-150, 2012。
- 2) 国土交通省：新たな都市づくり空間、大深度地下パンフレット、国土交通省都市・地域整備局、2005。
- 3) 「地下水を知る」編集委員会：地下水を知る、地盤工学会、pp.115-122, 2008。
- 4) 國見宏・河野伊一郎・西垣誠：地下水低下工法による砂質地山におけるトンネル切羽の安定、土木学会論文集、No.421, pp.87-94, 1990。
- 5) 日本建築学会編：建築工事標準仕様書 JASS3・4, pp.119-137, 2009。
- 6) 安達昌史：大断面シールドトンネルを露出して換気所を構築 首都高速中央環状新宿線(山手トンネル)代々木換気所工事、清水建設土木クォーターリー、No.161, pp.37-74, 2009。
- 7) 菊地正・前田昌康・高瀬昭雄：密集市街地でのNATM施工をめざして 東葉高速線習志野台トンネル地下水処理工法選定試験、トンネルと地下、Vol.18, No.7, pp.19-28, 1987.7。
- 8) 古戸幸博：三連式CDR・NATMによる駅部大断面トンネル施工、清水建設土木クォーターリー、No.93, pp.2-32, 1991。
- 9) 太田耕栄・河野悦朗・高橋茂吉：仙台空港アクセス鉄道地下部本体工事における地下水対策、基礎工、Vol.34, No.3, pp.55-59, 2006。
- 10) 石川明・高坂信章・三宅紀治・岡登美紀雄・明石輝男：止水壁内型ディープウェルの現場への適用、土木学会第56回年次学術講演会、III-A247, pp.494-495, 2001。

工法・技術・製品ニュース

工法 トンネル用低周波騒音低減装置を実用化



(上)全体鳥瞰概念図、(下)十国トンネルに設置したレゾウォールサイレンサ
三井住友建設(株)広報室
Tel 03-4582-3015
E-mail: information@smcon.co.jp

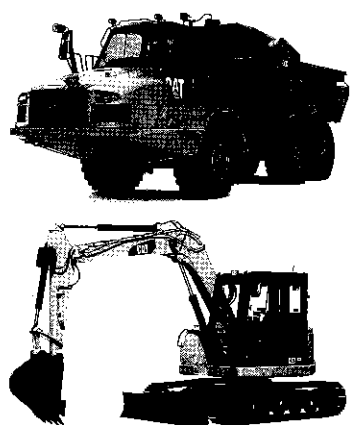
三井住友建設は、トンネル用低周波騒音低減装置レゾウォールサイレンサ(RWS: Resonance Wall Silencer)を、茨城県発注の十国トンネル工事に導入・設置し、その適用性と騒音低減効果を確認したと発表した。

同装置は、スリットを有する吸音隔壁(レゾウォール)を、延長20~30m程度にわたってトンネル形状にあわせて設置し、トンネル断面方向に設けた妻隔壁とレゾウォールで囲まれたトンネル内空部分を共鳴空間として利用することで、スリットから吸収した低周波音を吸音吸収するもの。従来の吸音管や吸音箱では、低周波音を吸収する開口部が小さく、また、共鳴空間の確保が難しいことから、効果的な吸音吸収が難しかったが、開口部をスリットとし、共鳴空間としてトンネル内空そのものを

活用することで、効果的で安定した低周波音低減を可能とした。スリット幅の調整により低減させたい中心周波数をチューニングすることが可能で、要求性能に合わせた対策を実施することが可能としている。

十国トンネル工事では、延長20m、高さ5m、スリット間隔1,180mm、スリット幅150mmのレゾウォールをトンネル片側に設置した。設置前後の発破に伴う低周波音を測定したところ、室内音響実験と同等(5dB程度)の低周波騒音低減効果を確認している。室内実験において、片側設置で5dB程度、同条件で両側に設置した場合は、2倍以上の10dB以上の低減効果がみられたことから、実トンネルにおいても両側設置の場合は、10dB以上の低周波騒音低減効果が期待できるとしている。

製品 CATからアーティキュレートダンプと8tクラス油圧ショベル2機種

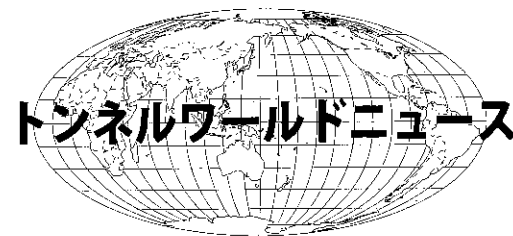


(上)Cat 730C EJ、(下)Cat 308E2 CR
キャタピラー・ジャパン(株)広報室
Tel 03-5717-1122
E-mail: cjl-public@cat.com

キャタピラー・ジャパンは、3軸6輪駆動のアーティキュレートダンプトラックCat 725Cと8tクラスの後方超小旋回型油圧ショベルCat 308E2 CR および超小旋回型油圧ショベルCat 308E2 SRを発売した。

Cat 725C(最大積載量23.6t)は、低燃費なCat ACERTエンジン搭載によりオフロード法2014年基準をクリアする環境性能を備え、エンジン出力の向上やトランスミッションの改良などによりパワフルで粘り強い走りを実現するとともに、燃料消費量の低減に貢献する。また、姉妹機のCat 730C(同28.0t)、Cat 730C EJ(同28.0t)の受注も開始した。

Cat 308E2 CR(バケット容量0.28m³、運転質量7,640kg)、Cat 308E2 SR(同0.28m³、8,090kg)は、エンジンのアップグレードによりクリーンな排出ガスと燃料消費量低減を両立し、オフロード法2011年基準に適合。また、油圧パワーを最適に分配するとともに、抵抗を抑制した新油圧システムにより、スムーズな操作と燃料消費量低燃を実現する。さらに、2種類の操作方式をモニタ上で容易に切替え可能な2wayコントロールパターンクイックチェンジャーや新形状の操作レバーなどの導入により、オペレータ環境・作業効率向上に貢献する。



(一社)日本トンネル技術協会
国際委員会

ブリスベン建設プロジェクト 地盤掘削の開始

ブリスベン川下の地盤掘削が、事業計画の一部として始まった。その事業計画は、ブリスベンのバス、鉄道輸送の建設プロジェクトであるとクイーンズランド州政府が1月中旬に発表した。

地盤掘削調査は、海上7機のバースで始められた。Campbell Newman州知事は、事業計画は最初のステップに入り、少なくとも13か所、60m深に及ぶ川底で試掘が行われていると発表した。

その掘削機は、巨大バースに設置され、Kangaroo Pointのテラスパークからブリスベンシティー植物園の下流域域間を数日かけて移動するとNewman州知事は発表した。

交通道路大臣のLawrence Springborg氏は、そのトンネルはオーストラリアで過去最大で強靱なTBMで切り開かれると付け加えた。

地盤掘削工法は、計画線上に沿った複数の箇所を開始予定であり、トンネルや駅の深さ、位置を確認しながら1月下旬に行われる。

(T&T '14.3 担当: 小出啓明・東京都交通局)

TBMによりムンバイ 水路トンネルが完成

今年初め、Robbins社のメインビーム型TBMにより、ムンバイ水路トンネルの掘削が完了した。Robbins社は、給水トンネルの計画に対し、直径6.25mのTBMとコンベヤシステムの両方を提供した。

「JVのUnity-IVRCL(UIJV)は、このプロジェクトの間、自社の提供する硬岩対応マシンと支援

に満足していたようだ」と、Robbins社は述べた。

「このTBMは硬岩を得意としていたため、われわれは、インドでのTBM掘削の両レコードを更新する月進870m、日進58mもの驚異的な進捗率を達成した」と、UnityのPravin Titareは述べた。

「われわれは、従来の方法に代わる排土輸送コンベヤシステムとマシンの優れた性能により、これを達成することができた。」

以前は都市の水資源が汚染されていたモンスーン季の間でさえ、現在では完成した水路トンネルにより、清潔な飲料水がムンバイの約2,050万もの住民に安定して行き届くだろう。

(T&T '14.4 担当: 法橋 亮・戸田建設(株))

地震地帯における世界最長の トンネル建設計画

中国のエンジニアらにより、2つの大断層を貫く世界最長のトンネル建設が計画されている。

渤海海峡トンネルの全長は76マイル(122.31km)であり、英仏海峡トンネルの2倍の長さとなる。完成すれば、北部の大連市と煙台市の東海岸を結ぶ道程が800マイル短縮される。

1976年に唐山近郊で発生したマグニチュード7.5の地震により、数十万人が犠牲となった。

山東大学のあるトンネル研究者は次のように語っている。「政府は、当プロジェクトについて警告を促しているが、われわれは20年前にこのトンネルのアイデアを提案し、それ以来多くの研究チームが注意を向けて来た。」

この海底トンネルは、総工費367億USドルをかけて、早ければ2015年か2016年に建設に向けた作



業を開始するという。

エンジニアらによって硬岩地山に3本のトンネル(自動車用、電管用、保守用)が100フィートの海底下に掘削される。換気用の立坑は、ルートに沿った島々に施工される予定。

(WT '14.5 担当:岡嶋和義・大成建設(株))

停滞状態のアズハルトンネル

カイロ中心部のアズハルトンネルは、ただちに対策を取らなければ災害が発生する、と当局者は言う。

アズハルトンネルの管理をカイロ行政に譲り渡すことを政府が決定し、その結果トンネルの状態が悪化した、とエジプトの輸送大臣El-Demeryは言った。彼によれば、政府はトンネルを建設中、耐火性材料に2,150万USDを投資しているにもかかわらず、トンネルの状態は定期メンテナンスの欠如のために悪化している。

2月、トンネルが閉鎖し、ヘリオポリス東部に通じるすべての道が混雑して動かなくなった。交通警察官が代わりにアズハル橋を使用するように車両に指示したため、カイロのダウンタウン、オペラ広場周辺の交通が麻痺した。2週間で3度もトンネルは閉鎖された。

長さ2.6km、カイロでもっとも長く重要なアズハルトンネルは、毎日何千台もの車両が通行する。トンネルメンテナンス当局の長官、Waleed Aliは、重要なスペアパーツの確保の遅れ、監視カメラや換気システムの修理のためなど、技術的な問題のためにトンネルは閉鎖され、また3度目は停電によるものだ、と説明した。しかし、カイロ行政

はトンネルに問題がないことを主張してきた。

トンネルには何の問題もない、とカイロ知事Galal El-Saeed言う。朝トンネルが閉鎖した後、アズハルトンネル運用局のトップ、Ibrahim Samahaはその職を辞した。いくつかの技術的な問題がトンネルにはあった、そしてそれらを補修する要請は無視され、もはや待つ余裕がなかった、と彼はメディアに語った。彼はトンネルでの大災害を恐れていた。

メンテナンス部出身のAliは、今起こっている問題は技術的なものではなく、カイロ行政当局の実態がお役所仕事だからだと言う。時間の大切さ、スペアパーツをすぐに用意する大切さを理解していない、と言った。

アズハル大学の交通・運輸工学の教授Ahmed El-Hakimは、アズハルトンネルに問題が起こったのは2009年からで、管理が交通省直轄の国家トンネル機関(NAT)からカイロ行政にシフトしたときからだ、とした。NATは非常に専門的で、カイロの地下鉄も運営している。しかしNATはトンネルにお金をかけたが収入につながらず、政府に手放すことにした。

カイロ行政はトンネルをNATに返還しようと試みたが、NATもトンネルをあまり管理していなかった、と教授は付け加えた。別のオプションとして、交通省の監督の下に入るという選択もある。しかし、誰が担当であろうと早く対応することが大切である。問題を早急に解決しない場合は大惨事になるだろう、とメンテナンスの長官Aliは言った。

(T&T '14.5 担当:村上真一・(株)安藤・間)

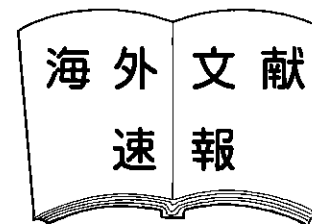
岩盤地下空洞の設計と施工

E. フック・E. T. ブラウン共著/小野寺透・吉中龍之進・齊藤正忠・北川隆 共訳

B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(〒450円)

株式 土木工学社

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

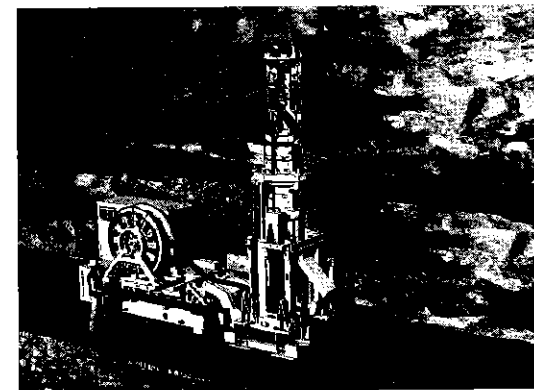


(一社)日本トンネル技術協会 国際委員会

スロットホールを掘削する新技術/New Technology for Creating Slot Holes TUNNEL, August, 2012

地下鉱山では、小口径の鉛直もしくは傾斜したスロットホールをたくさん掘削する必要がある。この目的で、マイクロトンネル掘削のパイプジャッキ法にもとづいて遠隔操作のできる新しいボックスホールボーリングマシン(BBM)が開発された。新しいBBM技術では、より高い安全基準と最小ドリフト長を用いることで高い生産速度を確保し、通常の発破工法と比較して、時間を大きく節約できる。スロットホールを早く、より安全に建設すればするほど実際の鉱山での生産を早く開始、再開できる。今日ではBBMは通常ブロックケーシング法と一緒に主に金属鉱山で用いられ、換気立坑掘削、生産・運搬レベル間の鉱石運搬用の坑道掘削だけでなく、生産過程でドロポイント(鉱石の抽出点)の構築に大きく貢献する。

BBMは、硬岩層で径が最大1.5m、最長60mの鉛直もしくは傾斜したスロットホール(鉛直から±30°の範囲)を素早く安全に構築するために開発された。遠隔操作の機械のため、設計では主に安全性の増強、高い生産性、素早い移動と最小空間での稼働性などが鍵となるファクターである。コンパクトクローラユニットは、閉鎖された地下条件で柔軟に素早く移動できる。またモジュラの設計により、空間的に狭い環境でも操作が可能である。ジャッキフレーム、掘削ユニット、ケーブルドラムと電源箱は別々に置くことができる。



BBMシステム概観

原位試験: BBM1100のプロトタイプを2011年初頭に組み立てた後、ドイツ南部のBlack Forestにある小さな「Ciara 鉱山」で4週間にわたり実証試験を実施した。一軸強度が最大250MPaの岩盤状況下で、鉛直、および傾斜した径1.1mの孔を5時間で9m掘削した(瞬間掘進速度は毎分80~100mm)。

Cadia East 地下プロジェクトへの適用: オーストラリア、シドニーの西260km、ニューサウスウェールズにある「Cadia East」はオーストラリアで最大の地下鉱山であり、使用年数が約30年の世界でもっとも深いブロックケーシング鉱山で、埋蔵原材料の掘削を2005年に開始した。鉱脈は長さ約2.5km、幅600mで、深さは1.9kmにも及ぶ。これらの埋蔵鉱からは約1,900万オンスの金と300万トンの銅を産出すると見積もられている。2011年9月に搬送後、BBMは深度約700mでの試掘削と立上げ中に一軸強度が200MPaに及ぶ亀裂性でブロック状の岩盤で3本の鉛直孔を深さ約18mまで掘るのに成功した。2013年の生産開始をめざし、BBMは現在深度約1,000mでドロポイントの開発に用いられている。2012年6月現在で40本以上のスロットホールが平均長16.5m、平均掘進速度毎時1.5m(週3本ペース)で掘削されている。今後BBMは同鉱山で2基目が、そしてもう1基がチリ市場で運用される予定である。

(文責:小川豊和・大成建設(株))

「トンネルと地下」2014年1～12月号総目次

〈平成26年・年間総目次〉

巻月号頁

巻頭言

年頭のご挨拶	佐藤 信彦	45	1	5
安全と品質	宮本 雅文	45	2	5
東京下水道とトンネル技術	渡辺志津男	45	3	5
施工と管理はつながるのか	望月 常好	45	4	5
「現場力」を鍛えよう	酒井 和広	45	5	5
人を育て、技術を継承していく	濱邊 修一	45	6	5
超電導リニアによる中央新幹線計画	宇野 護	45	7	5
総合評価方式がトンネルにもたらしたもの	村上 哲朗	45	8	5
先輩方の思いを胸に	野焼 計史	45	9	5
将来の建設業のために	足立 宏美	45	10	5
東京五輪2020に向けて	野崎 誠貴	45	11	5
トンネル掘削の将来	西垣 誠	45	12	5

報 告

自然由来の重金属を含むずりの処理対策に関する文献調査	JTA安全環境小委員会	45	2	59
シールド工事における安全・環境にかかわるトラブル調査	JTA安全環境小委員会	45	3	63
供用中のトンネルで未収束の路盤隆起に挑む〈北陸新幹線一ノ瀬トンネルほか〉	久保原猛・若林秀明・鈴木延彰・齋藤貴	45	9	45
「ITA総会および世界トンネル会議(イグアス、ブラジル)」報告	日本トンネル技術協会	45	10	43

研 究

レーザを用いた覆工コンクリート剝離検知装置の開発	御崎哲一・篠田昌弘・島田義則・朝倉俊弘	45	1	33
在来線用高速覆工検査車の開発	浅田章一・内藤孝和・鈴木尊	45	1	41
曲面切羽と全断面早期閉合の適用性に関する実証的研究	佐藤淳・田丸浩行・楠本太・西村和夫	45	1	49
変状トンネルの覆工内面補強設計に用いる解析モデル化手法の提案				

…蔣宇静・東幸宏・谷口硯士・古賀大陸	45	4	69
供用中トンネルにおける中央部を鋼管構造としたインバート設置工法の研究			
岩尾哲也・北村元・西村和夫・安井成豊	45	6	55
全断面早期閉合の施工管理手法についての一提案			
角湯克典・明石健・鬼頭夏樹・大谷達彦	45	7	61
高速道路トンネルの大規模修繕に関する検討			
山田隆昭・中田雅博・殿垣内正人・大津敏郎	45	8	39
小土かぶり未固結地山トンネルにおける事前地山改良による地山安定性の評価			
……………野々村政一・井浦智実・岸田潔	45	8	55
圧密沈下起因するシールドトンネルの変形予測手法			
焼田真司・仲山貴司・津野究・赤木寛一	45	9	55
覆工はく落に対する定量的な安全性評価法の提案			
……………津野究・小島芳之	45	10	53
全周波数帯域に対応したトンネル発破消音システムの開発			
……………本田泰大・伊藤哲・木梨秀雄	45	10	59
飽和度に応じた粘着力の変化と地下水圧を考慮した切羽安定評価法			
小西真治・仲山貴司・豊田浩史・松長剛	45	11	51

計 画

ホーム拡張のためシールドトンネルを解体し箱型トンネル化を計画〈東京メトロ東西線 木場駅〉	福田隆二・山中耕太郎	45	6	47
中央新幹線(東京都・名古屋市間)におけるトンネル計画の概要	二村亨・鈴木一真	45	7	51
酸性水が湧出するトンネル計画の長期耐久性に関する検討〈国道17号 新三国トンネル〉	太田英雄・高橋智洋・加藤勝彦・西園裕一	45	9	35
東京外かく環状道路(関越～東名)のトンネル計画	木村周二・堀圭一・合田聡	45	10	17
福岡市営地下鉄七隈線の延伸計画〈天神南～博多駅間〉	田代徹也・高士修	45	10	23
北陸新幹線(金沢・敦賀間)最長の新北陸トンネルに工事着手	平手知・樋口哲哉・張信一郎	45	11	43

施 工

【鉄道トンネル】

阿蘇外輪山を貫くトンネルが異常豪雨により被災〈JR

豊肥本線 坂の上トンネルの復旧	大澤章吾・野中信一・笠裕一郎・田代信一	45	2	7
側方からの押出しが顕著な泥岩地山を早期閉合で掘削〈九州新幹線西九州ルート 俵坂トンネル(西工区)〉	井浦智実・外山真・高山藤博・北澤剛	45	3	7
2ノズル吹付け機と覆工の自在配管打設システムによる施工〈九州新幹線西九州ルート 彼杵トンネル〉	須田悦次・板屋良人・倉園貢・鹿執耕治	45	5	7
SENSの一次覆工の構造安定性評価法についての現場計測と三次元解析〈北海道新幹線 津軽蓬田トンネル〉	宮寄俊彦・三上美輝雄・津野究・水原勝由	45	6	7

【道路トンネル】

覆工背面を平滑化した新工法を高速道路に適用〈東九州自動車道 落鹿トンネル〉	横尾和彦・立川一彦・濱梶方希・赤木英治	45	1	7
不法に盛土された沢部直下を小土かぶり7mで貫く〈さがみ縦貫道路 葉山島トンネル〉	佐久間博之・高森治・武井桂樹・中原史晴	45	2	17
地下鉄直上3.8mをフロンテジャッキング工法で函体築造〈東京外かく環状道路 都営地下鉄新宿線交差部〉	加藤学・高野周二・上田勲	45	2	29
蛇紋岩を鋼製支保工の降伏を許容した支保構造により掘削〈国道40号 音威子府トンネル〉	掛田浩司・橋本忠幸・山岸隆史・北村義宣	45	4	43
最小土かぶり3.6mで高速道路を横断するトンネルを分割シールドで施工〈東関東自動車道 谷津船橋インターチェンジ〉	加藤哲・江原豊・宮元克洋・丹下俊彦	45	5	15
浮力対策用プレキャスト部材によりシールドトンネルの床版を同時施工〈国道357号 東京港トンネル〉	松澤尚利・畦地拓也・佐藤卓哉・岩端一也	45	6	17
通行止めを回避した新たなトンネル路面隆起対策技術の適用〈長野自動車道 一本松トンネル〉	鈴木雄吾・岩永茂治	45	7	7
小土かぶり未固結地山の扁平大断面トンネルを中央導坑により掘削〈国道1号笹原山中バイパス2号トンネル〉	毛利勇・遠藤拓二・山田勝己・船田哲人	45	8	7
バイブルーフを用いたシールドトンネルの大断面地中拡張〈首都高速横浜環状北線トンネル〉	川田成彦・春日清志・藤井剛・大野了	45	9	7
2組の型枠を用いたツインアーチフォーム工法で覆工養生時間を確保〈新東名高速道路 徳定トンネル〉	間井博行・橋爪智・居川圭太・金子恵一	45	9	17
道路トンネルで初めて超長尺先進コントロールボーリン				

グを採用〈新名神高速道路 箕面トンネル〉	岡浩一・山下午・三隅宏明・加藤宏征	45	11	15
坑口部の地すべり危険箇所を抑止工と計測管理により突破〈能越自動車道 氷見第15トンネル〉	餘久保陽・森本智・遠藤毅・池野谷尚史	45	12	7

【地下鉄トンネル】

都市におけるSENSの施工管理のためのトライアル施工〈相鉄・JR直通線 西谷トンネル〉	武田一彦・阪田暁・和田幸治・松村英樹	45	5	25
国道16号直下の小土かぶり部をSENSで掘進〈相鉄・JR直通線 西谷トンネル〉	中西孝治・阪田暁・松尾知明・和田幸治	45	12	15

【サービストンネル】

地下鉄に近接した分岐立坑を上向きシールドで施工〈国道25号 御堂筋共同溝〉	市場弘美・井上信一・井櫻潤示・小森敏生	45	1	15
内水圧がかかる2分割断面管渠を300kg/m ² の高密度配筋で二次覆工〈東京都下水道 勝島ポンプ所流入管渠〉	田村正明・菅井雅之・北村昌文・加藤卓男	45	2	39
輻輳する既設管直下に新たな導水管の布設空間をNATMで築造〈名古屋市上水道 犬山系導水路分岐工事〉	白坂広史・尾畑志志	45	3	19
12か所・計34枚の残置鋼製板を泥水式シールドで直接切削〈四日市市 東町・吉崎南雨水幹線〉	伊藤恒幸・岩谷理・本田市仁・石川哲	45	3	29
既設放水路トンネル直下に扁平大断面トンネルを構築〈東北電力 豊実発電所改修〉	藁谷正則・多田誠・樋渡康弘・工藤敏邦	45	3	51
1kmにわたる高水压砂礫層をφ10.8mの大断面シールドで掘進〈東京都建設局 白子川地下調節池〉	渡辺修・立澤延泰・土橋功・新井昌一	45	4	53
急勾配V字推進工の施工〈東京電力 地中送電用トンネル〉	梶原誠・稲村常春・大野弘城・森田智	45	5	45
親子シールドによる半径35mの急曲線施工と地盤改良体切削〈東京都下水道 東大島幹線および南大島幹線〉	久本洋二・瀬ノ口正行・伊藤忍・大瀧真道	45	5	53
運河下軟弱地盤をφ8m大口径シールドで6.6mの小土かぶり・R60m急曲線施工〈東京都下水道 砂町水再生センター雨水放流渠〉	久本洋二・菅井雅之・佐藤工・磯崎智史	45	6	25
深度500mまでの施工実績にもとづく立坑掘削技術の評				

価〈瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事〉……………	
佐藤稔紀・見掛信一郎・納多勝・小林伸司 45 7 21	
15m ² の小断面を長孔発破で月進359m達成〈東京大学	
(宇宙線)大型低温重力波望遠鏡施設〉……………	
齋藤修一・大橋正健・花田則昭・川野広道 45 7 31	
水平注工などで国道1号直下を土かぶり1mで函体推	
進〈滋賀県栗東市 葉山川横断函渠〉……………	
…河田真一・中村衛・岩川真一・高木清 45 8 17	
大量湧水や高温岩体を伴う花崗岩大土かぶり部35kmを	
TBMで突破〈マレーシア パハン・セランゴール導	
水トンネル〉……………	
……………河田孝志・仲野義邦・水戸聡 45 8 27	
全国初の大深度法を適用したシールド工事〈神戸市水道	
局 大容量送水管(奥平野工区)〉……………	
出口佳孝・永里忠裕・荒東伸一・三山敬広 45 10 7	
線路下を鋼板で先行防護し小断面地下通路を構築〈JR	
横浜線 矢部駅〉……………	
金木健一・荒木信博・山口高嶺・功刀雅博 45 11 7	
腐植土下の軟弱地盤でシールドを施工〈東京地下水道	
北区赤羽台三丁目付近再構築〉……………	
泉谷信夫・山本成吉・尾口岳史・田中宏典 45 11 25	
巨礫を含む砂礫地盤を泥水から泥土圧への切替え型シ	
ールドで長距離施工〈岡山市水道局 中央幹線〉……………	
西牧大雅・石井恒至・山下洋平・三好裕輝 45 12 27	
運用中のダム直下で地下発電所を建設〈中部電力 徳山	
水力発電所〉……………	
……………伊藤隆光・青木崇・谷静雄・坂英昌 45 12 43	
可燃性天然ガス貯留層を新たなガス抜き装置で突破〈東	
京ガスパイプライン建設用トンネル工事〉……………	
柴田学・吉迫和生・酢谷郁雄・重田隆弘 45 12 53	

小 特 集

アジアとヨーロッパを結ぶ夢のプロジェクト完成

—ボスボラス海峡横断鉄道トンネル(総集編)—

概要編……………土屋正彦・山本平・大塚勇 45 4 7	
沈埋トンネル編……………	
……………小山文男・中塚健司・木村政俊 45 4 13	
TBMトンネル編……………	
……………今石尚・日比谷穰・湯上繁信 45 4 24	
山岳トンネル編……………	
……………岩野政浩・小林伸次・金子哲也 45 4 33	

連載講座

トンネルにおける地下水対策(6)〈地下構造物が地下水	
----------------------------	--

から受ける影響〉……………	
……………「地下水対策」連載講座小委員会 45 1 61	
トンネルにおける地下水対策(最終回)〈地下構造物が地	
下水へ与える影響〉……………	
……………「地下水対策」連載講座小委員会 45 2 65	
トンネルの維持管理における課題とさまざまな取組み	
(1)……………JTA保守管理小委員会 45 3 71	
トンネルの維持管理における課題とさまざまな取組み	
(2)〈具体的な維持管理上の課題と対策事例〉……………	
……………JTA保守管理小委員会 45 4 79	
トンネルの維持管理における課題とさまざまな取組み	
(3)〈具体的な課題に対する取組みと今後の展望〉……………	
……………JTA保守管理小委員会 45 5 61	
都市トンネルのための地盤改良工法(1)〈概要〉……………	
……………「都市トンネルの	
ための地盤改良工法」連載講座小委員会 45 6 65	
都市トンネルのための地盤改良工法(2)〈薬液注入工	
法〉……………「都市トンネルの	
ための地盤改良工法」連載講座小委員会 45 7 69	
都市トンネルのための地盤改良工法(3)〈セメント固化	
改良工法(1)〉……………「都市トンネルの	
ための地盤改良工法」連載講座小委員会 45 8 67	
都市トンネルのための地盤改良工法(4)〈セメント固化	
改良工法(2)〉……………「都市トンネルの	
ための地盤改良工法」連載講座小委員会 45 9 63	
都市トンネルのための地盤改良工法(5)〈凍結工法	
(1)〉……………「都市トンネルの	
ための地盤改良工法」連載講座小委員会 45 10 65	
都市トンネルのための地盤改良工法(6)〈凍結工法	
(2)〉……………「都市トンネルの	
ための地盤改良工法」連載講座小委員会 45 11 61	
都市トンネルのための地盤改良工法(7)〈地下水位低下	
工法〉……………「都市トンネルの	
ための地盤改良工法」連載講座小委員会 45 12 59	

現場だより

「土木遺産“余部鉄橋”のまち」但馬・香美町より……………	
……………市橋勝行 45 1 31	
清流「肱川」の流れる大洲市より……………	
……………本村浩志 45 2 15	
「へその町」北海道富良野市より……………	
……………成田 望 45 3 18	
「海と温泉のリゾート」南紀白浜町から……………	
……………岩本俊一 45 4 42	
「日本仏教の聖地」高野山より……………打田安宏 45 5 14	

ラグビーとヒツジの国から……………玉井昭雄 45 6 16	
「串柿と歴史ロマンの里」かつらぎ町より……………	
……………桑原佑太 45 7 19	
「日本一深くて長いV字峡谷」黒部峡谷より……………	
……………園田広樹 45 7 20	
「北限の海女・あまちゃんの舞台」岩手県久慈市より……………	
……………松戸直人 45 8 16	
「新旧融合のまち」すさみ町より……………	
……………三上英明 45 9 26	
信仰の山「霊山」の麓より～相馬福島道路……………	
……………水口 均 45 10 16	
「森の中の新しい街」箕面森町より……………	
……………入山哲男 45 11 32	
「雄大な『木曽川』とともに歩んできたまち」扶桑町よ	
り……………橋 寛行 45 12 14	

語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

直径2mから17.5mまで〈シールド技術 日本と海外の	
橋渡し〉……………萩原英樹 45 1 23	
いつも元気に朗らかに 互いに仲良く協力し……………	

……………小笠原光雅 45 2 49	
鉾山から土木分野へ 立坑と走った四十年……………	
……………稲毛正昭 45 3 39	
インフラ整備に生きて……………井上博務 45 4 61	
技術開発への飽くなき挑戦!……………石田義昭 45 5 37	
生きている山とともに……………水本節生 45 6 35	
難場に育てられたトンネル屋人生……………	
……………横山正士 45 7 41	
基本の大切さを痛感……………熊井文孝 45 8 49	
シールド技術の変遷とともに、シールドの多様化に向け	
て……………松本龍二 45 9 27	
『黒部の太陽』にあこがれて……………河内汎友 45 10 33	
私のトンネル人生〈挑戦の記録〉……………	
……………氏原完典 45 11 33	
半歩先を見つめて……………今田 徹 45 12 35	

追 悼 文

濱 建介さんに捧げる……………大島洋志 45 3 62	
小野紘一先生に捧げる……………大島義信 45 10 58	

一般社団法人

日本トンネル技術協会

会 報

1. 会員の現状

	10月31日現在
個人会員	854名
団体会員	202名
推薦会員	202名
特別会員	13名
名誉会員	0名
賛助会員	159名
合 計	1,430名

2. 委員会の開催状況(10月1日～31日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

・総務委員会(10/17)

小島治雄委員長ほか6名、活動方針を検討

・広報小委員会

会誌WG(10/8)

大島洋志主査ほか9名、11月号の会誌と3か月計画を検討

・広報小委員会、ホームページWG合同会議(10/3)

秋葉芳明委員長ほか9名、40周年記念事業の広報活動を検討

◎設立40周年記念事業実行委員会

作品展示WG打合せ(10/22)

江戸川修一委員ほか5名、フォトコンテスト作業方針を検討

◎国際委員会

・海外文献小委員会

海外ニュースWG(10/28)

清水健志主査ほか8名、海外文献の査読

計 5回開催 42名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

・都市近接施工ガイドライン編集小委員会

文献調査WG(10/9)

滝本邦彦主査ほか7名、原稿を検討

本文編集WG(10/17)

西田与志雄主査ほか7名、原稿(対策工)を検討

参考資料WG(10/30)

山元寛哲主査ほか9名、原稿を検討

計 3回開催 26名出席

合計 8回開催 68名出席

3. 国際会議の開催予定

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

* 会議に関する詳細は事務局(担当:関)までお問い合わせください。

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

4. 平成26年度催物開催現況

(平成26年10月現在)

催 物 名	開 催 日	人数	場 所	CPD取得単位
(現場研修会)				
東北地区道路トンネル工事現場研修会	2014. 6.27	18	宮 城	2.0
—国道108号花洲山2号トンネル—				
中部横断自動車道トンネル工事現場研修会	2014. 7.24	32	山 梨	2.8
—八之尻トンネル, 宮狩トンネル—				
北海道道路トンネル工事現場研修会	2014. 8.28	23	北海道	3.8
—北海道横断自動車道第二天神トンネル・天狗山トンネル, 国道 5号忍路トンネル—				
近畿地区道路トンネル工事現場研修会	2014. 9.12	20	兵 庫	2.0
—名塩道路・八幡トンネル—				
有楽町線小竹向原・千川間連絡線工事現場研修会	2014. 9.29	21	東 京	2.0
九州新幹線(西九州)トンネル現場研修会	2014.11.28	25	長 崎	3.5
(施工体験発表会)				
第74回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創 意工夫, 周辺環境への配慮—	2014. 6.24	172	東 京	6.3
第75回(都市)「創意工夫・新技術によるトンネル・地下構造物工 事—新設および改良・再構築の施工事例—	2014. 6.25	114	東 京	5.5
(講演・講習会)				
第16回ステップアップ研修会(シールド)	2014.10.1～2	34	東 京	15.5
第17回ステップアップ研修会(山岳)	2014.11.6～7	25	東 京	9.8
(記念事業)				
トンネル保守管理特別講演会	2014.10.29	143	東 京	3.7

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

1月号予告[1月1日発売予定]

- 九州新幹線西九州ルート 武雄トンネル
- 東九州自動車道 猪八重トンネル
- 首都高速中央環状品川線南品川換気所避難連絡路
- 九頭竜川農業水利事業河合春近用水路
- 東京都下水道 千代田区永田町一丁目、港区赤坂一丁目付近再構築
- 【連載講座】
- 都市トンネルにおける地盤改良工法(最終回)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆2014年も今月で終わりです。今年は、消費税率の引き上げ、3名の日本人の方のノーベル物理学賞の受賞、広島での土砂災害をはじめとする台風や大雨による被害、わが国の火山災害で最大の犠牲者をだした御岳山の噴火などさまざまな出来事がありました。また、今まで無関係だと思っていた、 Deng熱やエボラ出血熱などの伝染病からの脅威を感じた1年でもありました。

◆さて、今年も『トンネルと地下』では、多くの方にご多忙な業務の合間を縫ってご執筆いただきました。内訳は、報告(4編)、研究(12編)、計画(6編)、施工(37編、うち鉄道(4編)、道路(12編)、地下鉄(2編)、サービス(19編))です。そのほかに毎号「巻頭言」「現場だより」「連載講座」「語り継ぎ言ひ継ぎ行かむ」をご執筆いただきました。詳しくは、総目次(74p)をご覧ください。

◆来年は、首都高中央環状線が全線開通となり、北陸新幹線の長野ー金沢間が開業します。また、中央新幹線(東京ー名古屋間)の認可が下り、外環道(東名ー関越間)や北陸・九州・北海道の新幹線などともに工事が行われることになります。来年もみなさまのお力をお借りしながらより充実した誌面を提供するとともにみなさまにとって良い1年になることを心よりお祈り申し上げます。

(K.Y)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください。

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

トンネルと地下

第45巻 第12号 [通巻532号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成26年11月20日 印刷

平成26年12月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝彦

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

購読料

1冊 1,620円(送料110円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

TEL: 03-3267-2888

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

お待たせしました!

吸引捕集方式対応

ファン動力30kW
換気電力を格段に低減

48m²の設置例

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO
イダスコ・ニーヨンマル

経済産業省後援
第39回優秀環境装置
日本産業機械工業会 会長賞

クラス最高の集じん効率95%

従来の電気式では達成できなかった95%以上の高集じん率を確保。

微細粉じんも逃さない電気式

電気式だから人体に有害な微細粉じん(0.2~7μm)も捕集できます。

現場メンテナンスは手間いらず

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

大風量と省エネを同時に実現

安定した処理風量で電力負荷低減とCO₂削減を実現するエコ製品です。

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

※1 入口ダクト及び絞りダクトは含まれません。

※2 台車の高さは含まれません。

※3 機種により多少異なります。

※4 JIS Z 8808 並びに換気技術指針(H24.3)に定める試験方法に基づき測定した値です。

注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

古河機械金属グループ

古河産機システムズ株式会社

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

本社

〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3

第三営業部 ☎03-3212-6575

大阪支店 ☎06-6344-2532

東北支店 ☎022-221-3532

名古屋支店 ☎052-561-4580

九州支店 ☎092-741-5193

札幌支店 ☎011-784-1179

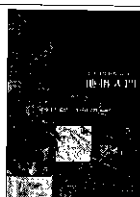
小田原工場 ☎0285-23-8662

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式から導かれる地山挙動の特徴を図表などを用いて手際よく説明した、トンネル掘削における工学的な理解を深化させる一冊。



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修
1,500円＋税 B5判

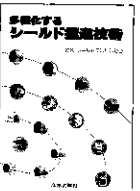
火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げ、また、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく解説。



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修
2,500円＋税 B5判

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



推進工法の理論と実際

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

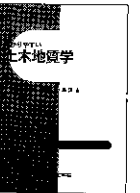
推進工法の理論を、多くの挿図を用い解説した。日本の現在の推進工法の基本となった原著を斯界の権威が翻訳・監修。



わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修
2,500円＋税 B5判

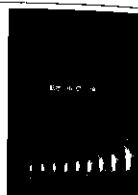
土木工事にかかわりのある地質学の基礎知識を盛り込み、土木工事において問題となる地質事象や、各種地質調査の原理についてわかりやすい解説を与えた。



セグメントの新技术

小泉 淳 監修
2,000円＋税 B5判

1990年代から急速に機能が拡大したシールド用セグメント34種を掲載。セグメントの設計・施工の際に利用しやすいよう各々の特徴を整理して掲載した。



続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著
1,200円＋税 新書判

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



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著
6,000円＋税 A5判

建設技術者に必要な地質・岩石・岩盤などの基礎知識と酸欠・有害ガス・ガス爆発・湧水などの建設災害について、著者の経験を交えながらまとめた。



地質工学概論

菊地宏吉 著
4,757円＋税 B5判

土木構造物や岩盤構造物の計画・調査から設計・施工において必要と地質や岩盤に関する情報を得るために必要な理論および技術を平易に解説した。



地下水の科学 I～III (全3巻)

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

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



- 第I巻 地下水の物理と化学
4,078円＋税 B5判
- 第II巻 地下水環境学
4,272円＋税 B5判
- 第III巻 地下水と地質
3,689円＋税 B5判

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編
4,660円＋税 B5判

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



わかりやすいトンネルの力学

福島啓一 著
5,825円＋税 B5判

トンネルを掘るときに、どのような力学的な問題が生じるかについて、わかりやすく解説した。トンネル工学の理論と実務が統一されることを願って記された一冊。



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 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患や有害環境条件、健康障害、衛生管理、保護具などを解説した。



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200円＋税 A5判

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



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800円＋税 A5判

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



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400円＋税 A5判

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



トンネルと地下

1,500円＋税 B5判 月刊(毎月1日発売)

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

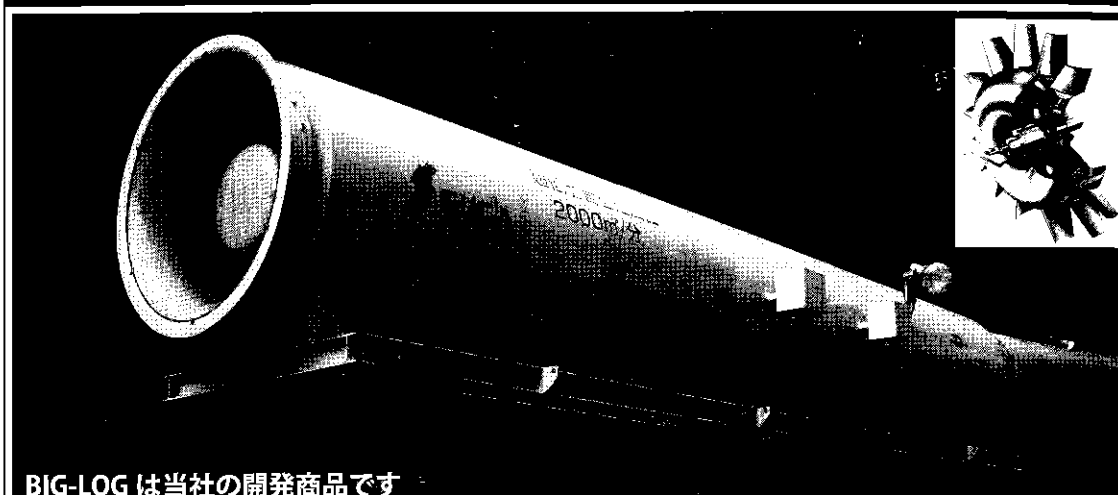


書籍のお申し込み ご注文は当社へ FAX または、書店にてお申し込みください。FAX は、書名、部数、送り先、氏名、電話番号を明記のうえ右記までお送りください。

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

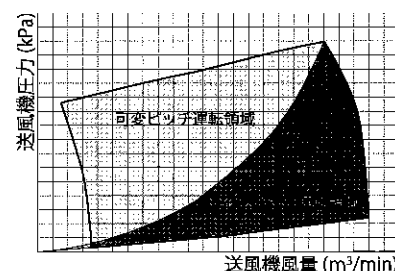
株式会社 土木工学社

トンネル工事の必需品 可変ピッチ軸流送風機 BIG-LOG



BIG-LOG は当社の開発商品です

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



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

※2 段で記載の機種はどちらか選択ができます

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



菅機械工業株式会社

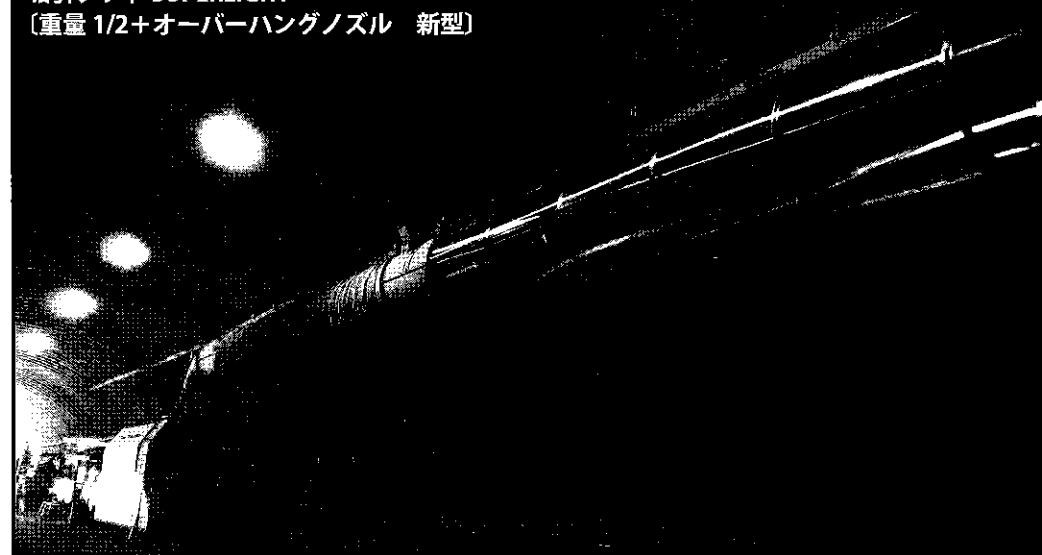
URL <http://www.suga-kikai.co.jp>



本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町12番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市中区九番町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

流機エンジニアリングだから出来ること お客様の「できたらいいな」を実現します

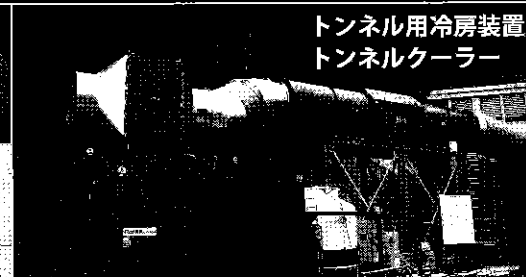
吸引ダクト SUPERLIGHT
〔重量 1/2+オーバーハングノズル 新型〕



超低騒音ファン EZ-Q シリーズ
EZ-3000Q : (3000 m³/min 220kW) Coming soon !
EZ-2000Q : (2000 m³/min 150kW)

74 dB
省エネ
CO2 削減

トンネル用冷房装置
トンネルクーラー



除染事業対応装置のご提案
『除染作業を大幅に省力化できます』



集塵・換気設備 (10 m³/min ~ 3000 m³/min)
バキュームシステム
エジェクターユニット (コンプレッサーエアーによる移送装置)

最適環境を創造する
株式会社 流機 エンジニアリング

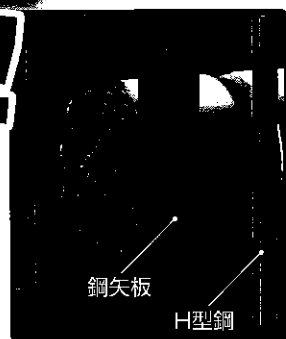
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 いちご聖坂ビル
TEL: 03-3452-7400
URL: <http://www.ryuki.com/>
E-mail: eigyobu@ryuki.com



ビットで斬る! 杭を斬る!

— 支障物用ビット

三菱の支障物切削技術は、シールドのカッターに杭切削用の特殊ビットを取り付けた円錐形状のカッターヘッドで、接触した支障物を中央部から外周部へと徐々に切削するシステムです。地中に残置されたH型钢、鋼矢板、RC杭、PHC杭、松杭の切削が可能です。



特長

切羽に人が出る必要がなく安全性が高い。

泥土圧・泥水式どちらでも適用可能。

切削時の騒音、振動がほとんどなく、
昼夜施工が可能。

周辺地盤の沈下などはほとんどなく、
近接物への影響が小さい。

施工実績



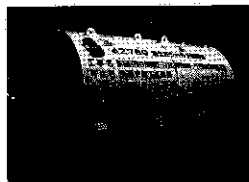
φ2680泥土圧シールド
H型钢(300H)×8本
鋼矢板(Ⅳ型)×2面



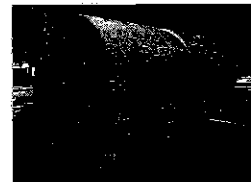
φ4240泥土圧シールド
H型钢(350H)×8本
鋼矢板(Ⅵ型)×2面



φ4680泥土圧シールド
H型钢(250H)×2本
鋼矢板(Ⅲ型)×2面



φ2780泥土圧シールド
RC杭(φ800, φ1000)×6本
PHC杭(φ350)×6本



φ2680泥水式シールド
鋼矢板(Ⅰ、Ⅲ型)×12面

三菱重工メカトロシステムズ(株)の支障物切削技術

三菱重工メカトロシステムズ株式会社 都市開発部

神戸市兵庫区和田宮通五丁目4番22号 TEL.078-672-2872 FAX.078-672-2869

東京都港区港南二丁目16番5号 TEL.03-6716-4092 FAX.03-6716-5833

定価 1,620円

本体価格1,500円

雑誌06619-12



4910066191245
01500