

トンネルと地下

6

vol. 46

no. 6

2015

and Underground

トンネルと地下 盤ぶくれ対策を施工

施工結果を反映した支保パターンによるトンネル施工

考慮した土運搬計画と新型電子雷管の試験発破

対策によりセントラム直下をシールド掘進

圧下でのシールド地中接続(拡幅)工事の設計

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

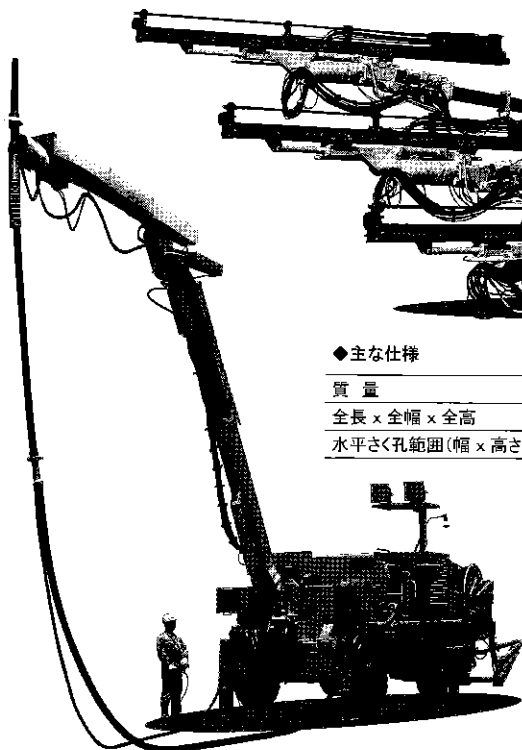
JTH3200R-III PLUS / JTH3200R-III / JTH2200R-III

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。



新型油圧ドリフタHD220搭載



◆主な仕様	JTH3200R-III PLUS 3ブーム、2ケージ	JTH3200R-III 3ブーム、2ケージ	JTH2200R-III 2ブーム、2ケージ
質量	48.5 ton	44 ton	35.5 ton
全長×全幅×全高	15.6m×3.1m×4.2m	14.8m×3.1m×4.2m	14.2m×2.7m×4m
水平さく孔範囲(幅×高さ)	16m×10.5m	13.2m×8.8m	12.8m×8.5m

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-V

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	16m×3m×4m
水平吹付範囲(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 宮古 ☎0193-77-4245 関東 ☎027-326-9611
名古屋 ☎0568-77-7700 関西 ☎06-6475-8221 中四国 ☎082-832-3542 九州 ☎092-948-2010

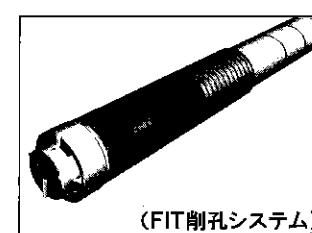
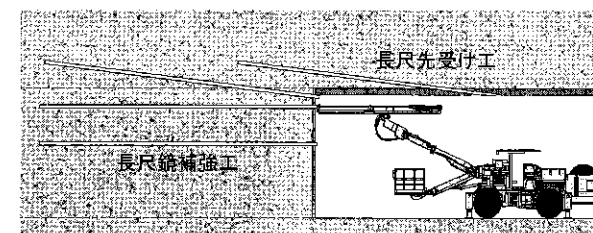
全方位 GFRP 管長尺補強システム

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

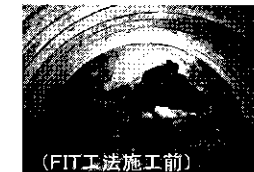
FIT 工法
FRP INJECTION TUBE



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



フォアポーリング



(FIT工法施工前)

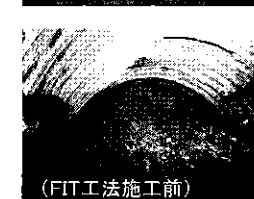


(FIT工法施工後)



FIT工法

(数値解析による効果の検証例)



(FIT工法施工前)



(FIT工法施工後)

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部 TEL(03)6402-8251 FAX(03)6402-8255
大阪土木営業部 TEL(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755
札幌支店 TEL(011)751-4681 FAX(011)751-6482

ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

日本で生まれ、世界へ広がる。 NATMの補助工法

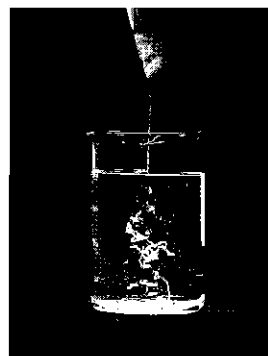
当社は、注入式フォアポーリングや長尺フォアパリング、長尺鏡ボルトなど山岳トンネル工事の補助工法における樹脂系の注入材のパイオニアとして、数多くの実績を築いてきました。

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。

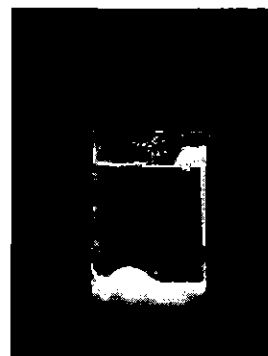
スーパーSRFの優位性

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(機エイチ・アール・オー)

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

補助工法ラインナップ

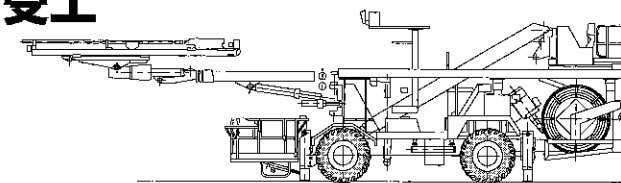
- ⇒ 注入式フォアポーリング
- ⇒ 各種 長尺フォアパイリング
- ⇒ 多重式 長尺フォアパイリング
- ⇒ エコリムーブ工法
- ⇒ パノラマ工法
(φ60.5MRS, φ76.3, φ89.1)

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

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

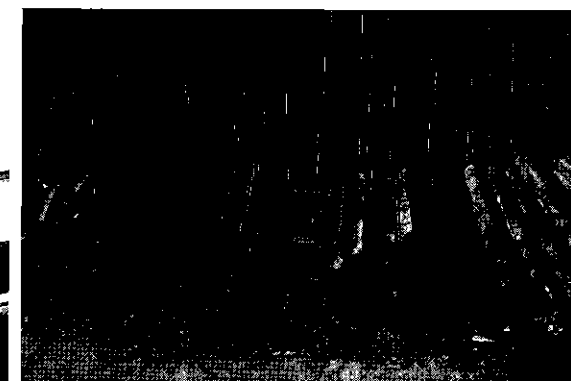
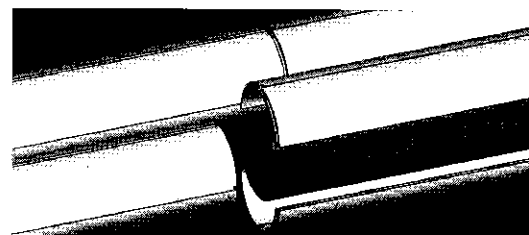
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



AGF-Me工法

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

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



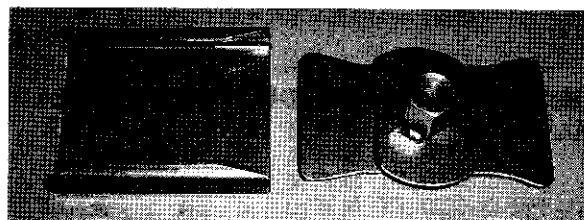
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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



東邦金属株式会社
TOHO KINZOKU Co., LTD

営業部

〒541-0051

大阪府大阪市中央区備後町2-4-9 日本精化ビル2階

Tel: 06-6229-9881 Fax: 06-6229-8150

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

株式会社 トーキンオール

〒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

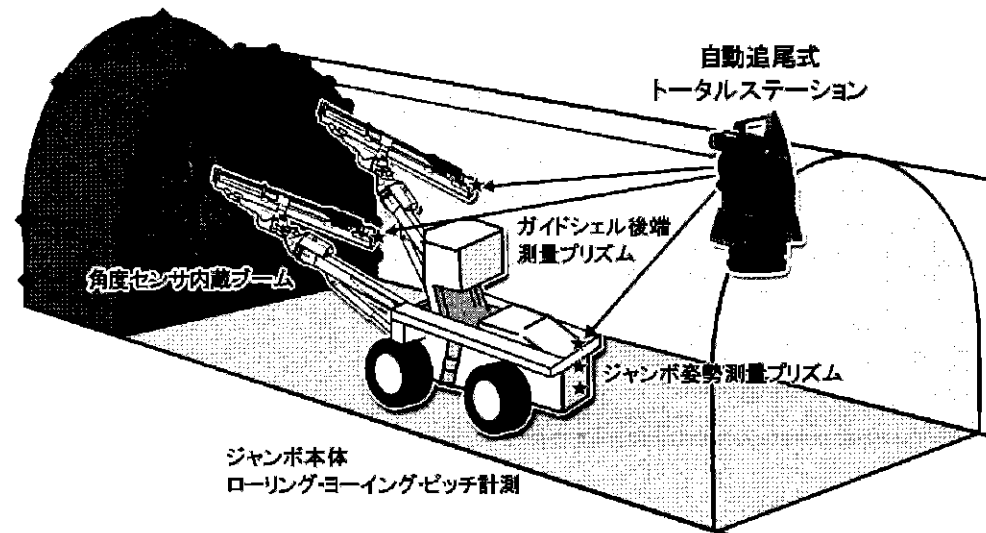
(お問い合わせ先)

NETIS登録番号:KK-100049-A

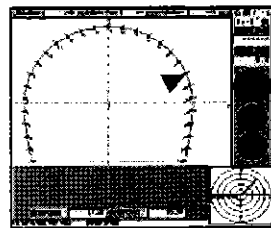
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

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

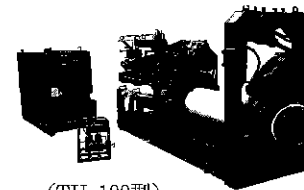
FRD 古河ロッドドリル株式会社

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3
特機部

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

THパイプルーフ工法

NETIS登録 No.KT-120020-A

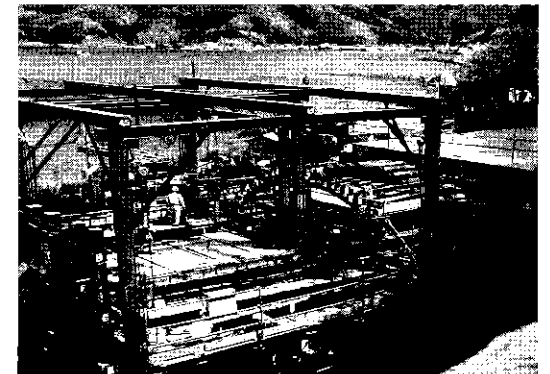


(TH-100型)

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★

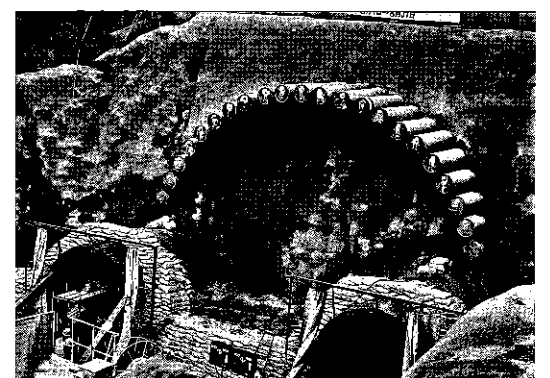
- ・本体掘削時の沈下抑制補助工法です
- ・常時管芯チェックが可能で、方向修正方式を採用(精度が良いため支保作業が容易)
- ・オーガ中掘り掘削、地山との空隙に同時注入も可能
- ・推進途中でのビットの交換が可能で地層変化に対応
- ・適応管径は、φ200A~φ1200A
- ・最大推進長は、約70~100m
- ・推進機は、推力1000kN(100t)2000kN(200t)3000kN(300t)



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
(株)東洋地工 福井県 TEL 0776-53-5335
(株)東特建設 東京都 TEL 03-3542-9120
(株)ケミカルグラウト 東京都 TEL 03-5575-0511
(株)最上機工 山形県 TEL 0233-23-1555
(株)サン開発工事 大阪府 TEL 072-641-4951

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



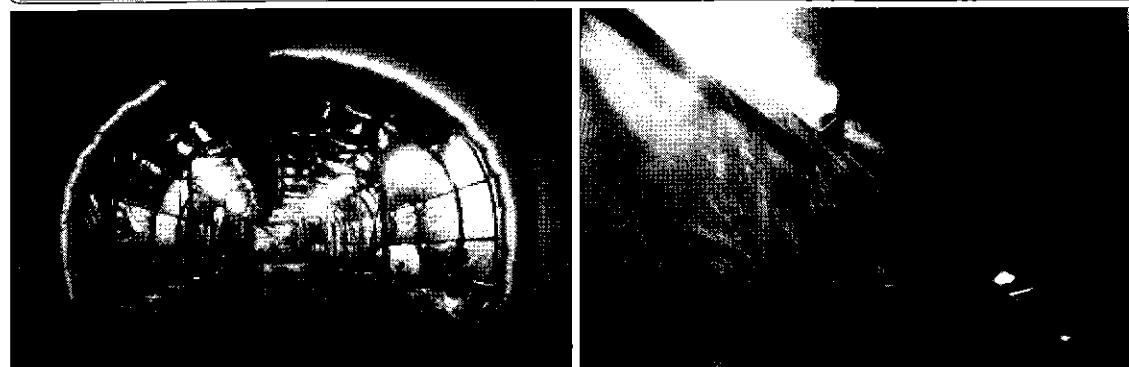
<http://www.piperroof.jp> (ホームページです。ここから資料が取り出せます。)

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@piperroof.jp

トンネル覆工コンクリートの品質革命

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



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

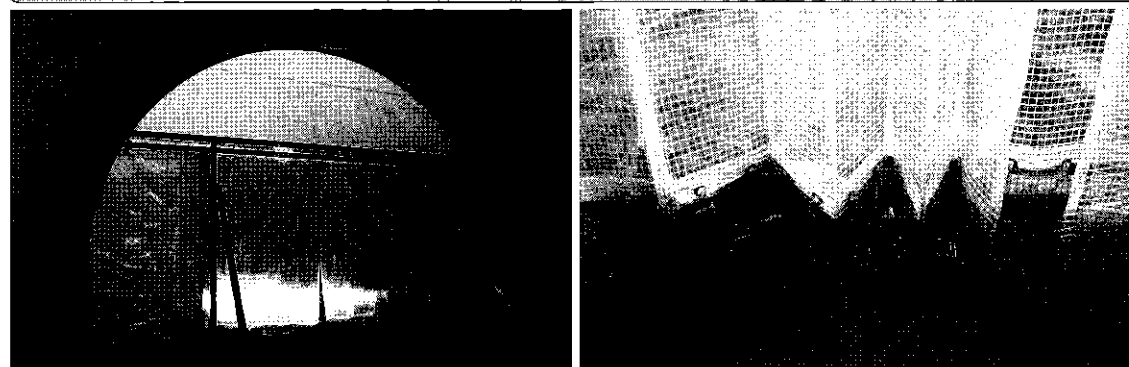
【効果】

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

実績および採用決定
(平成27年2月現在)

施主	実績	計画物件
国土交通省	45件	11件
NEXCO	9件	6件
その他	35件	10件
合 計	89件	27件

貫通後の通風を防止し、ひび割れを抑制します 『トンネルバーデーション』 NETIS登録 CG-110032-A



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

【効果】

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

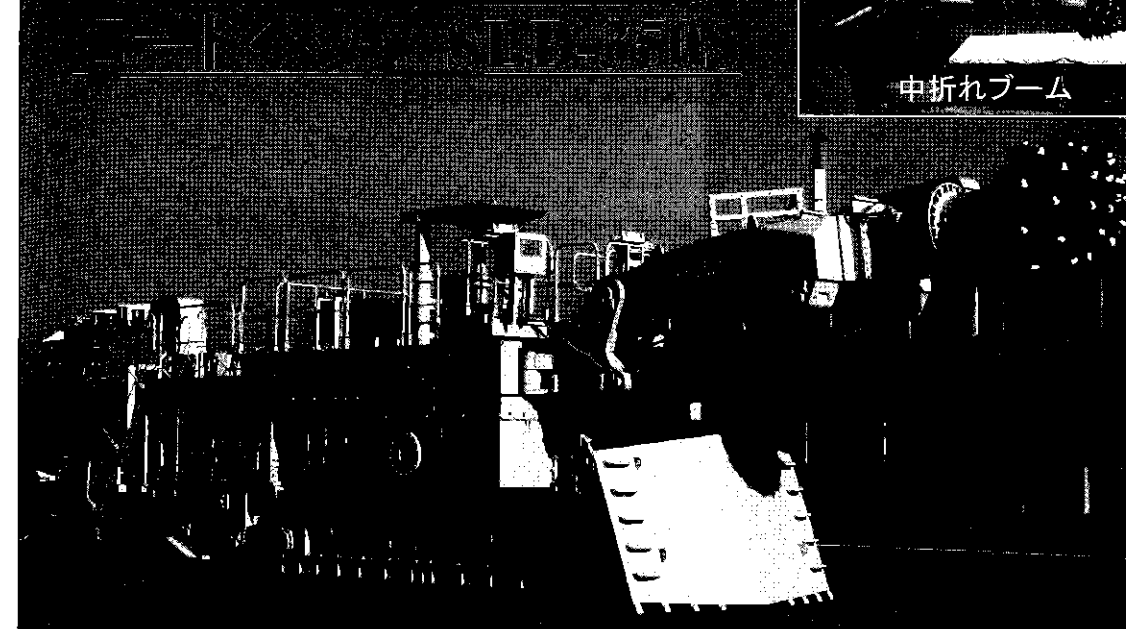
実績および採用決定
(平成27年2月現在)

施主	実績	計画物件
国土交通省	6件	10件
NEXCO	4件	3件
その他	9件	8件
合 計	19件	21件

株式会社 マシノ トンネルグループ

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

全断面对応トンネル高速施工掘進機



中折れブーム

全断面トンネルの高速施工を目指して

特 徴

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



スライドデッキ

製造、販売、レンタル及びメンテナンス **三井三池製作所**

本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館

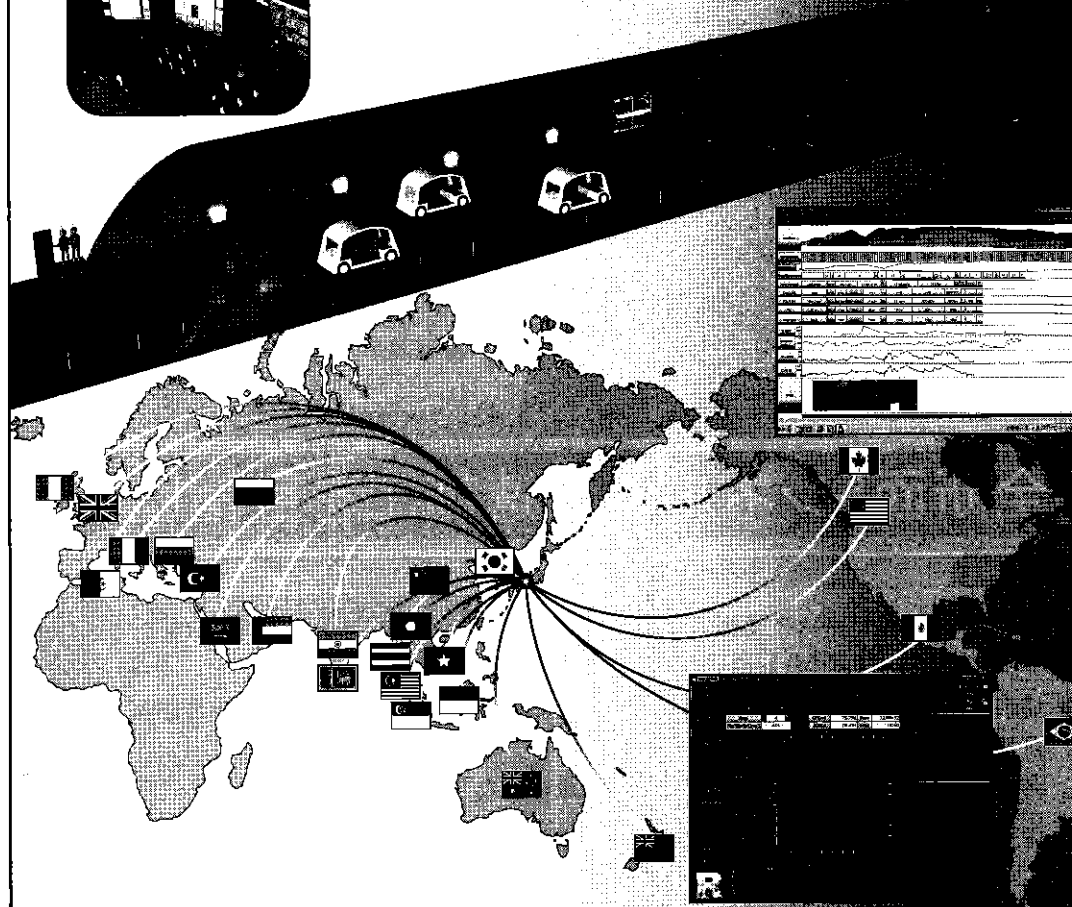
産業機械営業部 TEL. 03-3270-2005 FAX. 03-3245-0203

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

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)



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 送料102円)

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

申込方法

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

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたします。

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

検索



お問い合わせ先

月刊推進技術 編集室

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

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201 株式会社LSプランニング内

電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail akasaka@lswb.co.jp

推進工事技士試験 過去13年間(平成14~26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、推進工法に係る技術、技能を適正に認定することを目的に(公)日本推進技術協会が平成4年度より実施している制度で、管渠施工の安全性と品質を確保する上で有益な制度です。

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

平成26年度版発売中!!

1. 内容と特長

- 過去13年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- 各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出典箇所を明記

2. 価格

各年度単体に1set 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

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

これらのことをインターネットでご案内しています。推進工事技士試験

検索

お問い合わせ先

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@lswb.co.jp

【好評発売中】

セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 送料 290円

いわゆるバブルがはじけたここ数年、コスト削減はすべてに優先する至上命題となっており、シールド工事その例外ではない。シールド工事の直接費に占めるセグメント費の割合は約4割程度と言われているが、シールド工事費の削減のためにはセグメントの製造コストの削減は避けて通ることのできない課題の一つとなってきた。

このような状況を受けてここ10年ほどの間に、急激にいろいろなセグメントが提案され実用化された。

これらのセグメントのうちにはよく似たものも多く、名称もバラエティに富み、その特徴や適用範囲などが明確でないため混乱が起きている例もある。

このため「トンネルと地下」の編集委員会では過去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、「セグメントの新技术」の連載講座を設けてこれらのセグメントを順次紹介した。セグメントの名称、特徴、開発目的、適用範囲などは同じフォーマットで掲載され、また、最終回では、そこで紹介されたセグメントを整理分類し、新しいセグメントの開発の動向や今後の展望を総括した。

本書はこの連載講座をもとに新たに「セグメントの新技术」編集委員会を作り、個々のセグメントに加筆、修正を加え、より充実した内容にまとめたものである。

〈セグメントの新技术〉

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. 薄型化・高強度セグメント | 18. シンプロセグメント |
| 2. サンドイッチ型合成セグメント | 19. WBセグメント |
| 3. 矩形トンネル用合成セグメント | 20. リングロックセグメント |
| 4. NMセグメント | 21. KLセグメント |
| 5. 二次覆工省略型ダクタイルセグメント | 22. コーンコネクターセグメント |
| 6. リングシールド工法用セグメント | 23. FRP-Key継手 |
| 7. コンクリート中詰め鋼製セグメント | 24. ほぞ付きセグメント |
| 8. DNAシールド | 25. HOTセグメント |
| 9. ガイドロックセグメント | 26. インサート継手(その1:アーチ形) |
| 10. ウイングセグメント | 27. インサート継手(その2:NF型) |
| 11. ハニカムセグメント | 28. CPIセグメント |
| 12. CONEX-SYSTEM | 29. PPCセグメント |
| 13. スパイラルセグメント | 30. FBRセグメント |
| 14. コッター・クイックジョイントセグメント | 31. NRTセグメント |
| 15. ワンパスセグメント | 32. タイドアーチセグメント |
| 16. ASセグメント | 33. 遠心力締固めRCセグメント |
| 17. マルチブレード式継手セグメント | 34. 高流動コンクリートセグメント |

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

《ご注文票》

セグメントの新技术 _____ 冊 申込みます。

所在地 〒 ()

事業所名 _____

部 課 名 _____

申込者名 _____

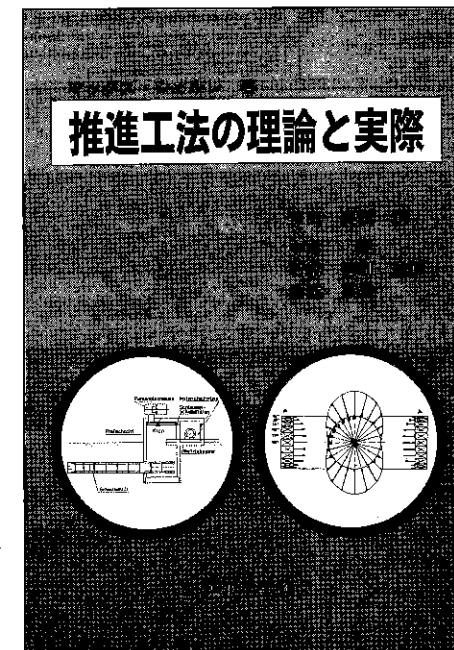
⑧

推進工法の理論と実際

推薦の言葉

中本 至・石橋信利・金成英夫

マニュアルを超えて 推進工法の理解を さらに深める一冊



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

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

本書では、ドイツで推進工法の研究開発で著名なマックス・シェルレ博士が推進工法におけるいろいろな疑問について理論的に解明した古典的な名著である。博士は理論面のみではなく、実際の施工にも従事し、実務にも精通していたので、実務面の良さも持っている。

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

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

株式会社 土木工学社

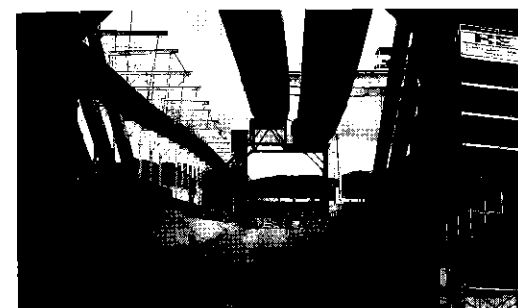
[illegible]

TEL:092-976-6331

CHINA

トナールの最前線お客様のご要望に応じて、より的確に選したエングリットポンプの
販売が可能です。
当国では国内市場で実績のあるシテンゲン製B3-B30と大社とが同様に交付付
が対応はアメリカメーカー製B9A7000を採用致しました。
どなたの場合でもお客様のニーズを正確に、会社の唯一の責任者としてのアドバイスも
付いた工場の安全な品質管理と対応させていただきます。
献付能力(品質)について左記の仕様に御覧下さい。

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



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



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

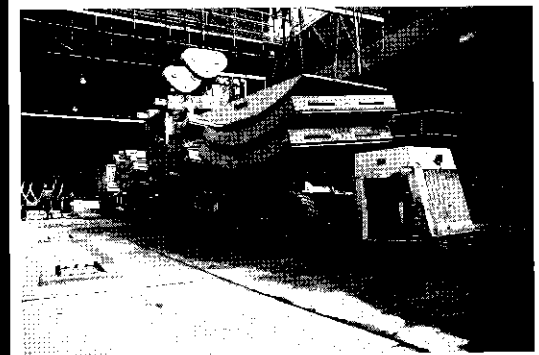
VOLVO 建設機械

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



振動 マネージメント ソリューション

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

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

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

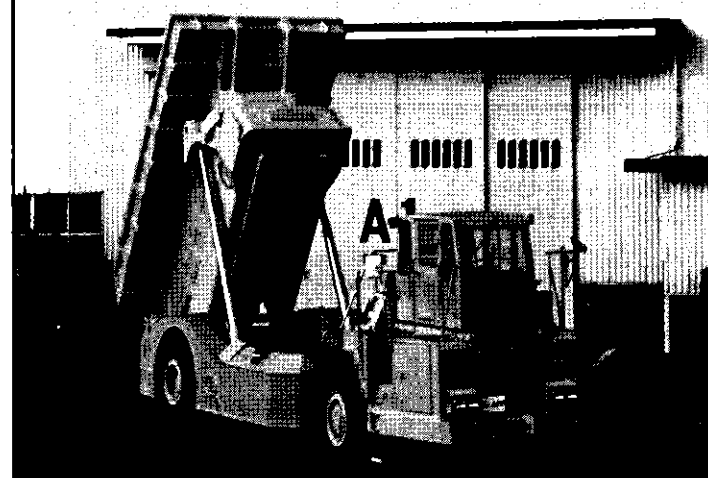
orica.com



MIWA KIRUNA

K-40N トンネルズリ運搬車

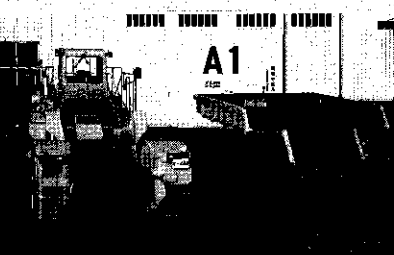
オフロード法 2014 年排出ガス基準適合エンジン搭載車



最新型コンテナ式運搬車

特徴

1. 工期短縮
2. 運搬車両台数の削減
3. 坑内作業環境の向上
4. ズリ搬出制約の対応
5. 多目的使用



流れすみやかに！トランスポート・イノベーション ミワ・システム車両

三輪運輸工業株式会社

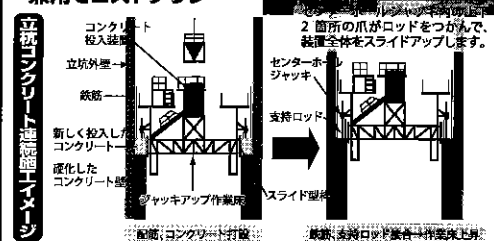
本社 〒651-0072 神戸市中央区脇浜町 2-1-16
TEL:078-251-5001 FAX:078-251-4525
本支店 〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島 39
TEL:079-435-5115 FAX:079-435-1565
<http://www.miwa-gr.co.jp>

スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献！

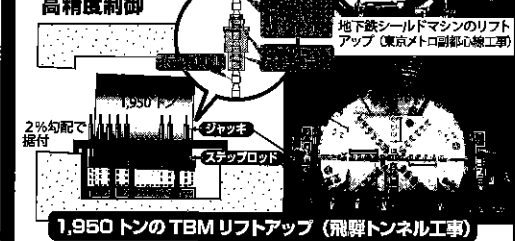
立坑スリッパフォーム工法

- 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



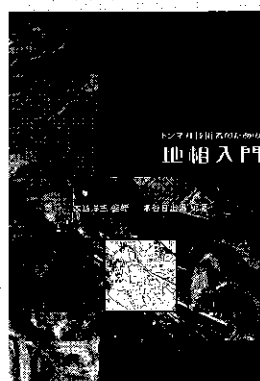
営業品目 ■ジャッキリース・オペレータ ■架台・型枠足場 設計・製作・据付工事

JFE シビル 株式会社
JFE 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

好評発売中

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 /
マスメーブメント・滑落崖 / 断層 (断層変位地形) /
断層 (断層剝削地形) / 火山地形 / カルスト地形・残丘 / 地形改変
- 第III編 路線選定 地相をよく観て路線選定を行う
あとがきにかえて 座談会

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



土木工学社

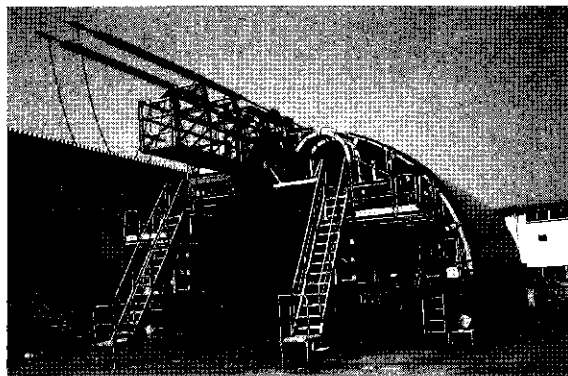
〒162-0832 東京都新宿区岩手町16-2 1F 101号室
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807

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)
- ・覆工表面の縞模様を減らすことが出来る

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-A (製造:株式会社マシノ)



期待される効果・特徴

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

北陸鋼産株式会社

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

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

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

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

濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ 小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0 m³/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

＜汎用車輛全般＞



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



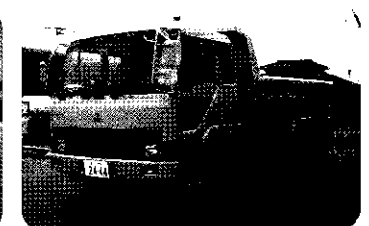
10T ミキサー



4.5 m³ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車輛 取り扱っております

株式会社 フジテックス

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

■巻頭言

■基本に忠実に

田村 壽夫.....5

■計画

■大深度・高水圧下でのシールド地中接続(拡幅)工事の設計

—東京下水道 隅田川幹線—

葛西 孝周・日野 和功・船倉 崇弘.....49

■施工

■開業直前にインバート盤ぶくれ対策を施工

—北陸新幹線 飯山トンネル板倉工区—

三浦 貴幸・柿崎 昌志・湊 敦之・田湯 正孝.....7

■地下水圧測定結果を反映した支保パターンによるトンネル施工

—新名神高速道路 箕面トンネル西工事—

福島 博文・荒木 武雄・瀧先 弘一・北村 義宜.....17

■周辺環境に配慮した土運搬計画と新型電子雷管の試験発破

—新名神高速道路 六石山トンネル—

浜田 文年・岡村 哲司・上野 博務・村山 秀幸.....25

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

■万全な沈下対策によりセントラム直下をシールド掘進

—富山市 松川貯留管—

江上 晴久・河野 雅・宮崎 康生・岩瀬 憲生.....43

■連載講座

■山岳トンネル覆工の長寿命化技術(5)

—覆工コンクリートの品質向上技術(施工②)—

「山岳トンネル覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会.....57

■現場だより

■「びわの産地、房州より」南房総市富浦町から

町永 正樹.....34

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

■誇りに思うトンネル屋時代

吉見 憲一.....35

■資料

■土木情報

編集部.....42

■工法・技術・製品ニュース

編集部.....66

■トンネルジャーナル

編集部.....65

■海外文献速報

JTA国際委員会.....67

■会報

■会報

日本トンネル技術協会.....70

【表紙説明】

周辺環境に配慮した土運搬計画と新型電子雷管の試験発破

—新名神高速道路 六石山トンネル—



新名神高速六石山トンネルは高槻JCT～神戸JCT間のほぼ中央部に位置する延長約580mの双設トンネルである。本トンネルではさまざまな制約条件を踏まえ、双設トンネルのうち1本を先行開通させ本線トンネルを工事用道路として活用する土運搬計画を採用した。また新技術への取組みとして、新型電子雷管を用いた試験発破、双設トンネルの掘削による影響検討として坑壁間弾性波トモグラフィを試行した。

写真は西側(終点側)坑口近傍の状況である。

〔写真提供：西日本高速道路(株)〕(本文25頁参照)

管理しながらコンクリートを育てる

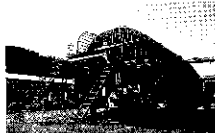
NETIS登録No.CB-120032-A

コンクリートトータル養生システム

セントル型枠

加温しながら初期強度を上げる

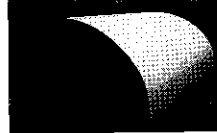
加温養生（型枠）



第二養生

加温と湿潤を同時に行い品質向上

加温・湿潤養生



第三養生

保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ

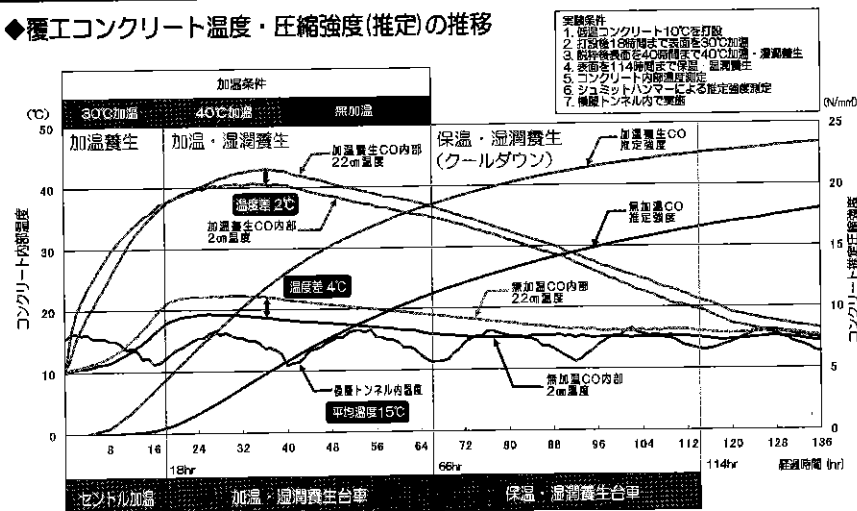
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

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

【製作・販売協力】

TECHNO
テクノプロ株式会社

TOUJOU
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 国際航業株式会社技術本部最高技術顧問
首都大学東京客員教授

〔幹 事〕

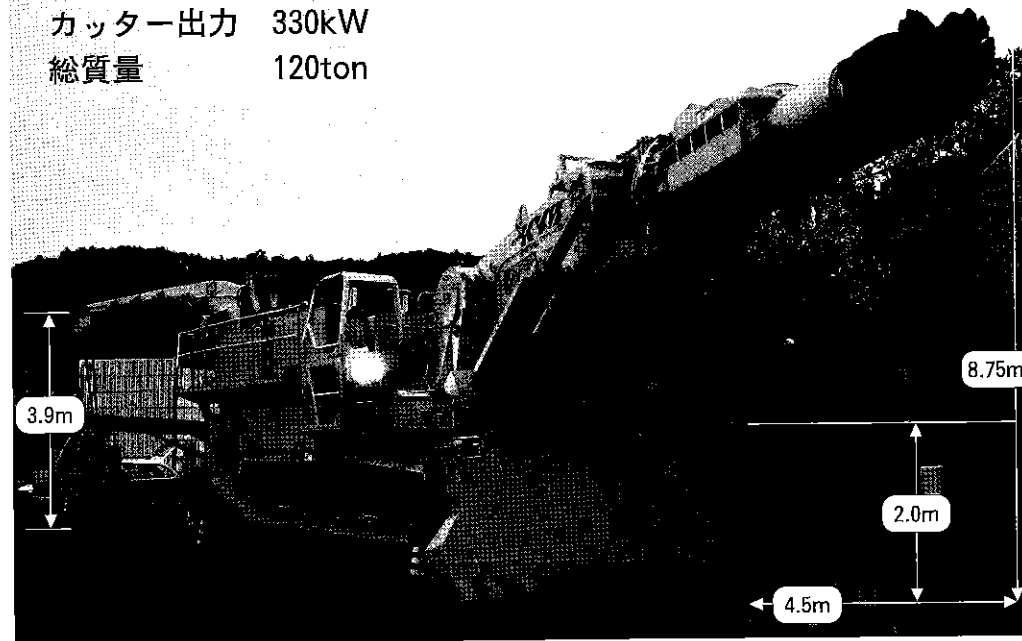
居 相 好 信 株式会社大林組生産技術本部統括部長
伊 藤 聡 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
改良建設企画課長
岩 田 美 幸 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長
小 松 敏 彦 前田建設工業株式会社土木事業本部土木部
担当部長(トンネル)
志 岐 寛 清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部
部長
西 岡 和 則 鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長
(兼)土木管理本部土木工務部トンネルグループ長
藤 井 義 文 株式会社竹中土木常務執行役員
松 原 利 之 飛鳥建設株式会社土木事業本部
エンジニアリング部部長
八 木 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
吉 富 幸 雄 大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル室参与
渡 邊 修 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部計画部計画課長

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS

強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW
総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な掘削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ10.5m（ケーブルハンガーを除く）
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅4.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業	〒105-0012	東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル	TEL 03-5733-9444
カスタマーサービス	〒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	〒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
大阪支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル	TEL 092-411-4998
福岡支店	〒514-0396	三重県津市雲出長常町1129番地11	TEL 059-234-4111
三重工場			

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社技術本部最高技術顧問
首都大学東京客員教

〔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〕

家壽田 昌司 東京都下水道局建設部設計調整課長	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
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長	松田 信夫 東京都水道局建設部工務課長
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	八木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当)
谷内 雅之 東京都交通局建設工務部計画改良課長	道路研究部トンネル研究担当部長
沼田 敦 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	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
	山本 武史 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

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

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

**トンネル天端部
垂直ハイドロプレート締固め工法**

NETIS登録 KK-120003-A

**型枠ハイドロプレート
集塵制御システム 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	0
NEXCO	6	1
地方自治体	20	4
鉄道・運輸機構	1	0

平成27年4月1日 現在

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

一歩前進! ~ 限らない未来への挑戦 ~

大栄工機株式会社

本社 〒526-0842 滋賀県長浜市春近町 90 番地 TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765
URL <http://www.daieikouki.co.jp/> E-Mail: daiei-co@minos.ocn.ne.jp
営業品目 各種鋼製型枠(セントル)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.46 No.6 掲載概要

掲載頁 7 開業直前にインバート盤ぶくれ対策を施工
—北陸新幹線 飯山トンネル板倉工区—

鉄道・運輸機構 三浦 貴幸

北陸新幹線(長野・金沢間)は2015(平成27)年3月14日に開業した。建設期間中、長野県と新潟県の県境に位置する飯山トンネル板倉工区の一部区間において、トンネル完成後に盤ぶくれが発生した。盤ぶくれによる変状が確認された時期が、試験列車走行前の監査・検査実施期間中であり、軌道・電気・通信設備もすでに施工が完了していた。このため、対策工事の施工は、これらの構造物や設備に変状を与えることなく、しかも、開業までの非常にタイトなスケジュールのなか、実車を使用した試験走行終了後の限られた期間しかない状況であった。

このようななかで、盤ぶくれを抑制するためのインバート補強対策を検討し、既設の軌道・電気・通信設備を撤去せずにインバート下部の地山掘削およびコンクリート置換え、下向きのグラウンドアンカーを施工した。本稿は、このインバート補強対策の施工について報告するものである。

Countermeasures Against Ground Heaving Occured Just before Opening—Hokuriku Shinkansen Iiyama Tunnel Itakura Section—

By Takayuki Miura, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

The Hokuriku Shinkansen line (between Nagano and Kanazawa) opened for business on 14th March, 2015. During the construction period, ground heaving occurred in one part of the Itakura section of Iiyama Tunnel located on the border between Nagano Prefecture and Niigata Prefecture after the tunnel was built. Deformation due to ground heaving was noted during the audit and inspection period before test train running after the installation of tracks, electricity and transmission facilities were already completed. For this reason, countermeasure works had to be conducted without deforming these structures and facilities and were given the limited period after test train running using real trains in the very tight schedule before opening.

In this situation, tunnel invert reinforcement works as countermeasures in order to control ground heaving were investigated, the ground under invert concrete was excavated and replaced with concrete without removing existing tracks, electricity and transmission facilities and downward ground anchors were installed. This report contains information on the construction of these tunnel invert reinforcement works.



写真は中央集水管切回し状況

掲載頁 17 地下水圧測定結果を反映した支保パターンによるトンネル施工
—新名神高速道路 箕面トンネル西工区—

西日本高速道路(株) 福島 博文

箕面トンネル西工区は、新名神高速道路の茨木IC～箕面IC間に位置する箕面トンネル(延長約5km)の西側約3kmを掘削する工事である。地質は、古生代の砂岩または砂岩優勢砂岩・頁岩互層が大部分を占め、一部石英斑岩や流紋岩が貫入する。西坑口から370mの掘削地点で湧水を伴う土砂流失が発生したことから、2液性ウレタン系注入材により地山改良対策を行った。さらに、その後の水抜きボーリングによっても地下水位が低下しなかったことから、地下水圧を測定しながら水圧に応じた支保パターンを設定して掘削を行った。

Change Tunnel Support Pattern Depend on Measurements of Groundwater Pressure—Shin-Meishin Expressway Minoh Tunnel West Works

By Hirofumi Fukushima, West Nippon Expressway Company Limited

The Minoh Tunnel West Works are to excavate approximately 3 km on the west side of Mino Tunnel (approx. 5 km in length) located between Ibaraki Interchange and Minoh Interchange on the Shin-Meishin Expressway. The majority of geological condition were Paleozoic era sandstone and alternating beds of predominant sandstone and shale and quartz-porphry and rhyolite partly intrude them. Because runoff of ground accompanied by water inflow occurred at the excavation site 370 m from the western portal, ground improvement works as a countermeasure were conducted using polyurethane grouting with the two liquid. Furthermore, as the groundwater level did not decrease even after drainage boring, excavation was conducted while tunnel support patterns were changed corresponding to measurement of water pressure.



写真はトンネル側壁からの土砂流出状況

新名神高速道路(近畿自動車道名古屋神戸線)は、名古屋を起点として神戸市に至る延長174kmの高速道路であり、六石山トンネルは高槻JCT～神戸JCT間のほぼ中央部に位置する。本トンネルでは周辺の環境条件、地形条件、近隣工事との輻輳などさまざまな制約条件を踏まえ、双設トンネルのうち1本を先行開通させ、本線トンネルを工事用道路として活用する土運搬計画を採用した。また、本トンネルにおける新技術への取り組みとして、周辺環境に配慮した騒音・振動対策として期待されている新型電子雷管を用いた試験発破、双設トンネルの掘削による影響検討として坑壁間弾性波トモグラフィを試行した事例を紹介する。

Green Muck Transportation Plan and Trial Blasting with A New Type of Electronic Detonator—Shin-Meishin Expressway Rokkokuyama Tunnel—

By Fumitoshi Hamada, West Nippon Expressway Company Limited



写真は下り線トンネルの工事用道路としての活用状況

The Shin-Meishin Expressway (Kinki Expressway Nagoya - Kobe Line) is a 174 km expressway that starts in Nagoya City and ends in Kobe City. The Rokkokuyama Tunnel is located almost in the middle between Takatsuki Junction and Kobe Junction. This tunnel site involved various constraints such as the surrounding environment, geographical conditions and congestion of construction works in the vicinity. We adopted a plan to transport muck which were to initially open only one of the tunnel pair and use it as a construction route. In addition, this report introduces new technological initiatives for this tunnel such as trial blasting using a new type of electronic detonator that is environment-friendly and is hoped to be a countermeasure against noise and vibration, and an example of a trial run of seismic tomography between tunnel walls as an investigation of the effects of excavation on the twin tunnels.

富山市中心市街地の下水道は汚水と雨水を同一の下水道管で排除する合流式下水道方式で整備されているため、雨天時に未処理下水の一部が河川に直接放流されるという問題があり、また、近年の異常気象により浸水被害が顕著となっている。この問題の対策として、「一級河川松川の水质保全」「中心市街地の浸水被害軽減」の2つの機能を持った仕上り内径5,000～5,400mmの大口貯留管をシールド工法により築造することとなった。今回の貯留管は市内を環状に運行している路面電車軌道と平行・交差する路線となるため、万全な沈下対策が必要であった。本稿ではその沈下対策、施工実績について報告する。



図は施工位置図

Shield Boring Directly Underneath Toyama Light Rail Centram with Flawless Countermeasures Against Ground Settlement—Toyama City Matsukawa Stormwater Storage Pipe—

By Haruhisa Egami, Toyama City

As the sewerage in the center of Toyama City has been built as the combined sewerage that drains sewage and rainwater with the same pipes, there is a problem such as direct discharge of part of untreated sewage into rivers during rain and inundation damage due to abnormal weather in recent years is remarkable. As a solution to these problems, a large stormwater storage pipe was constructed with a finished inner diameter of 5,000 to 5,400 mm which have the two functions of conserving the water quality of Matsukawa River, a class A river, and reducing inundation damage in the city centre. Construction of the storage pipe was required flawless countermeasures against ground settlement as it runs parallel with and intersect the tracks of the light rail that operates in a ring around the city centre. This report contains information on countermeasure works and construction results.

東京都都区部における下水道施設は、近年の都市化の進展に伴う雨水流出量の増加から雨水排除能力が不足し、浸水被害の大きな原因となっている。

足立区千住地区においても既存施設の能力不足から浸水被害が発生しており、被害の軽減を図るため隅田川幹線($D_1=4,750\sim5,500\text{mm}$, $L=3,389\text{m}$, $D_F=40\text{m}$)と雨水の放流先となる千住関屋ポンプ所の整備を行っている。

このうち、隅田川幹線Ⅰ期工事で施工したシールドトンネル($D_1=4,750\text{mm}$)には、今後、千住関屋ポンプ所からⅢ期工事で発進させる、より口径の大きいシールドトンネル($D_1=5,500\text{mm}$)と地中で接合させる計画であるが、深さ約40mの高水圧下での施工となる。そこで安全に工事を行うためさまざまな検討を行った結果、凍結工法を用いてシールドトンネルの一次覆工($D_1=4,750\text{mm}$)を撤去し、 $D_1=5,500\text{mm}$ のシールドトンネルが到達できるセグメント径に拡幅する工法を採用した。

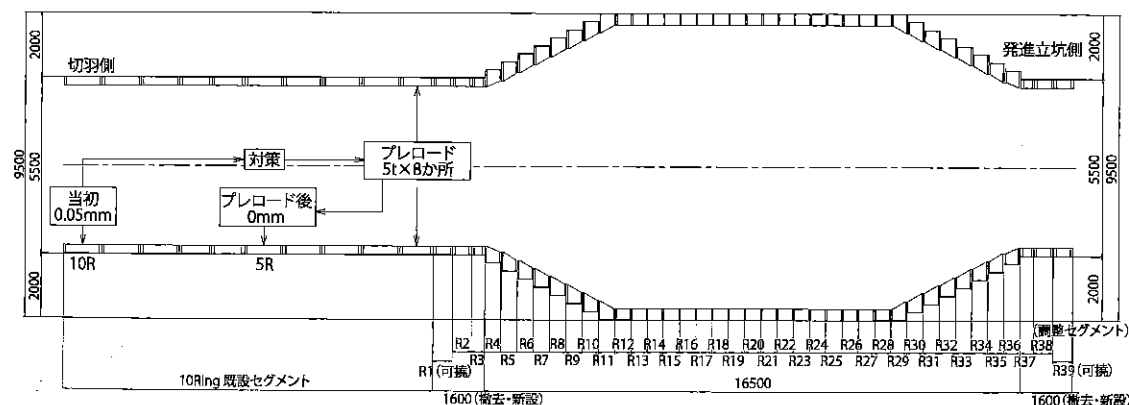
Design for Underground Connection (Widening) Works with a Shield TBM in Deep Under High Pressure—Bureau Of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government Sumidagawa Sewer Main—

By Takanori Kasai, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

Sewerage facilities in the Tokyo Metropolitan Area are a major cause of inundation damage due to the lack of capacity to drain storm water caused by the increase of storm water that urbanization in recent years has affected.

Inundation damage has occurred in the Senju district of Adachi City due to a lack of capacity in existing facilities and construction works of the Sumidagawa Sewer Main ($D_1=4,750\sim5,500\text{mm}$, $L=3,389\text{m}$, $D_F=40\text{m}$) and the Senju Sekiya Pumping Station is being conducted in order to reduce the damage.

Sewer pipe ($D_1=4,750\text{mm}$) built in primary period of the Sumidagawa Sewer main project is planned to connect underground with another sewer pipe ($D_1=5,500\text{mm}$) with an even larger diameter that will be bored from Senju Sekiya Pumping Station in the tertiary period of the project. Connecting works will be at a depth of approximately 40 m under high pressure conditions. Accordingly, as a result of various investigations conducted in order to facilitate safe works, we removed the primary lining ($D_1=4,750\text{mm}$) of the existing sewer pipe using the freezing method and widened segment diameter to the size the shield TBM of 5,500mm in diameter is possible to connect.



図はセグメント撤去時の変位抑制方法

巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)

基本に忠実に

大成建設(株)顧問(本協会評議員)

田村 壽夫

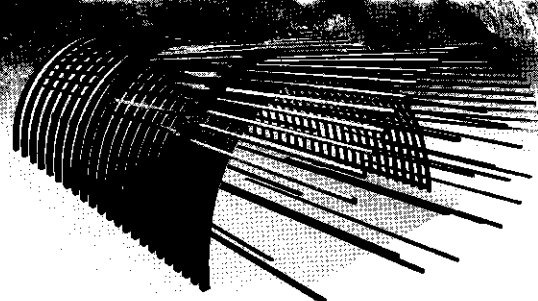


私が最初にトンネル工事に携わったのは、山陽新幹線の六甲トンネル上ヶ原工区である。1964(昭和39)年、東京オリンピック開催と同時に東海道新幹線が開業し、「ひかりは西へ」の合言葉のもと、新大阪・岡山間の新幹線工事がいよいよ最盛期を迎えようとしていたころであった。

六甲トンネルは、延長16.220kmで7工区に分割発注されたと記憶している。当上ヶ原工区は新大阪起点16km020mの六甲トンネルの起点工区であった。地質は大阪層群の砂質地山、高水位で土かぶりは20m程度の市街地。当時は現在のような水位低下工法や地盤改良などの優れた補助工法がなかった。そこで切羽からの土砂流出や小崩落をくり返しながら、地下水位に合わせて在来工法で小断面の水抜き坑を掘り、そこからウェルポイントを打ち、下がった水位を掘削盤として2段目の水抜き坑を掘り、そこからまたウェルポイントを打つというくり返しで、本坑断面を4～5段の水抜き坑とウェルポイントにより掘削した。当工区の延長は1,200m程度であったが、水抜き坑の延長は本坑延長の3倍ほどになった。今から思えば手間暇かけた稚拙な掘削工法だったという見方もできるが、当時の技術や工法を駆使し、水と喧嘩することのない自然の理に合わせた実にうまいやり方だったと大いに評価している。近年はNATMにおける機械の大型化、多様な補助工法の進展により工事費の低減やスピードアップが図られてきているが、先人が難工事を克服してきた自然の理に適う旧来のやり方や考え方に思いを馳せるのも、トンネル技術者として必要ではないだろうか最近考えている。私はこの現場を振り出しに以後33年間、主にトンネル現場16か所に従事し内勤11年を経て現在に至っている。

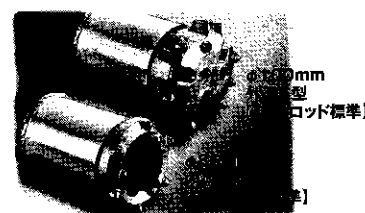
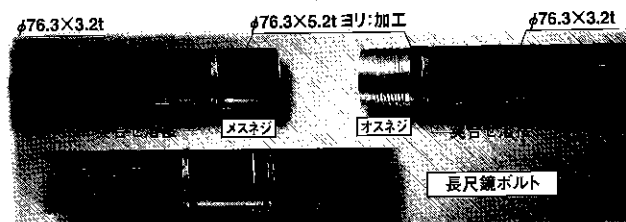
私の33年間のトンネル現場の経験の中では、在来工法(矢板)からNATMへの転換がやはり一番のトピックであった。岩盤力学は土質力学や水理学などと比較すると、歴史

ユニークな発想でVEを提案



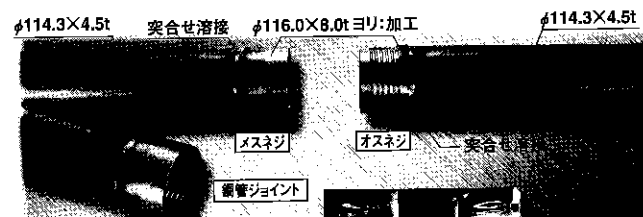
ロストリング FIXチューブ(S型)

- ※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!

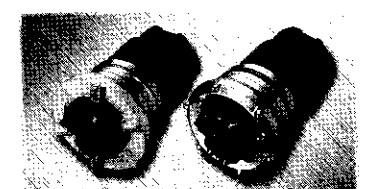
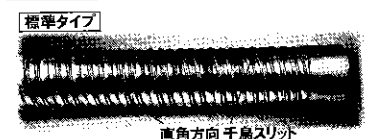


曲げ耐力30%UP!!



(報告書あり)

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

的に研究が浅かった分野で黎明期であったと思われるが、現場における計測やFEMなどの数値解析によって岩盤の挙動の予測が可能となり、岩盤力学理論と多数の施工実績にもとづいた設計手法が確立されて、『昭和61年トンネル標準示方書』改訂版からNATMが日本の山岳トンネルの標準工法となった。この転換は熟練した坑夫の目や経験、勘に頼っていた旧来のやり方から、発破理論にもとづく長孔発破や情報化施工を取り入れるNATMの導入により、トンネル技術者による理論に裏づけられたトンネル施工法への進化であったと考える。

当社で本格的にNATMを採用したトンネルは、1978(昭和53)年国鉄福知山線第二名塩トンネル工事であった。NATMの採用にあたっては全員初めての経験であり、岩盤力学の理論や情報化施工などについて大いに勉強をしたことを懐かしく思い出している。第二名塩トンネルでは掘削から覆工まで、今では考えられないほど基本に忠実に施工を行った。まず発破について、芯抜きはシリンダーカットによる3mの長孔発破。周辺の払い孔はスムーズブラスティング。油圧削岩機の導入などにより、当時としては初めての挑戦ばかりであったが、もろもろの試行錯誤の末、結果的にうまくいったと考えている。発破のあとは次にずり出しというのが今の定番になっているが、当時は発破後すぐに発破ずりを斜路状の盤に均し、そのずり足場上に吹付け機を持ち込んで地山の開放時間を極少にすべく吹付けコンクリートを施工した。また、地山と吹付けコンクリートの付着力を増大させるため、SECコンクリート吹付けを採用、発破後の周辺地山を高圧水で洗浄した。ロックボルトも孔尻までモルタルが密充填されるのを確認してボルトを挿入した。情報化施工もNATMの教科書に倣って忠実にを行った。多少冗長になったが、日本で初めてNATMを導入した現場ではこのように基本に忠実であった。

この歳になると若い社員からどこの現場がもっとも印象深かったかという質問をたびたび受けることがあるが、私は16か所すべての現場が印象的で、それぞれたくさんの教訓をいただいたと答えている。当時を知るトンネル技術者はほとんどが引退の時期を迎えており、国内でのNATM導入期における愚直な技術は論ぜられることもなくなってきた。真の技術の伝承が強く求められているゆえんであると感じるこのごろである。

施工

開業直前にインバート盤ぶくれ対策を施工

—北陸新幹線 飯山トンネル板倉工区—

鉄道・運輸機構新幹線二課課長補佐 三 浦 貴 幸
 鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局上越鉄道建設所所長 柿 崎 昌 志
 鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局上越鉄道建設所副所長 湊 敦 之
 (株)大林組生産技術本部トンネル技術部副部長 田 湯 正 孝

1 はじめに

北陸新幹線(長野・金沢間)は、2015(平成27)年3月14日に開業した。飯山トンネルは、北陸新幹線最長のトンネルで、長野県飯山市から新潟県上越市に至る、延長約22.3kmの長大トンネルである。このうち板倉工区は、もっとも終点方に位置する3.7kmの工区である。

本工事は、2000(平成12)年3月に着手し、2011(平成23)年6月に完工している。2012(平成24)年4月に実施した点検時に、インバートコンクリート中央通路部で、21mにわたり、工事しゅん功時にはなかったひび割れが発見された。インバートコンクリート部は、高速列車通過による活荷重を

直接受ける構造物であり、開業後の補修は難しいことから、開業までに対策工事の施工を実施することとした。

一方で、対策が必要と判断された時点(2013(平成25)年7月)では、すでに軌道・電気・通信設備まで完成しており、地上設備に対する監査・検査を行っていた。さらに、この監査・検査後には、列車を用いて設計最高速度での走行安全性を確認する総合監査が、2013(平成25)年12月～2014(平成26)年3月および2014(平成26)年8～10月に予定されていた。

このような中で、盤ぶくれを抑制するためのインバート補強対策を検討し、既設の軌道・電気・通信設備を撤去せずに、インバート下部の地山掘削およびコンクリート置換え、下向きのグラウンドアンカーを施工した。

本稿は、このインバート補強対策の施工について報告するものである。

2 盤ぶくれ区間の状況

2-1 トンネル掘削時の状況

盤ぶくれの対策を実施した区間は、飯山トンネルの出口から約1km長野方の延長73.5m間(169km178m～169km251.5m)である。この区間の地質は、中新世新第三紀の泥岩(寺泊層)である。ト

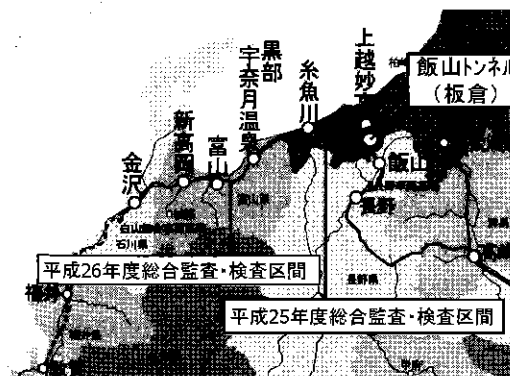


図-1 位置図

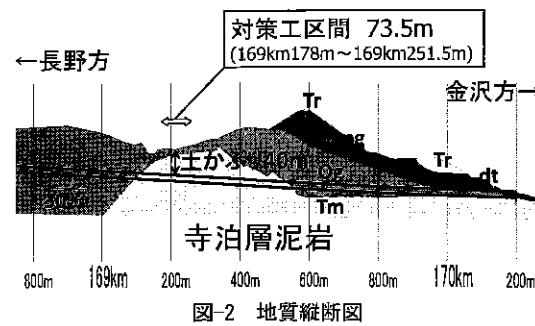


図-2 地質縦断面図

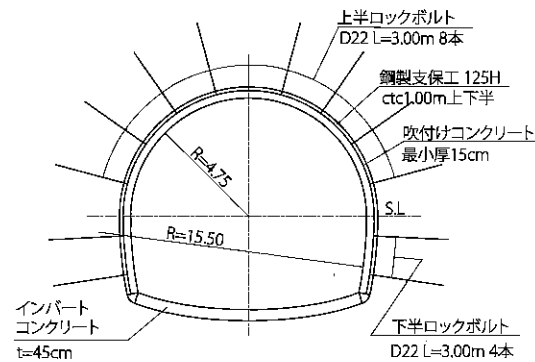


図-3 支保パターン図(標準部)

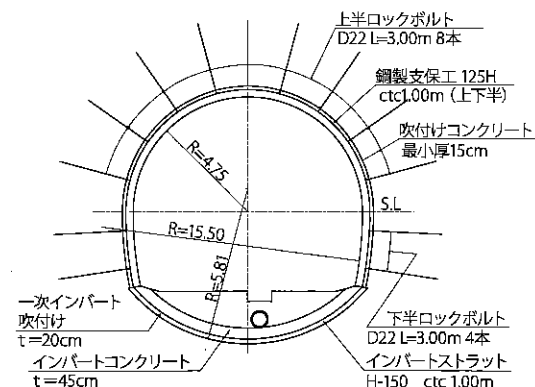


図-4 支保パターン図(抱込み型)

ンネル掘削時の切羽観察では、全般に地山の劣化(多亀裂質、脆弱)が認められていたが、湧水はない。

この区間の地質縦断面図を図-2に示す。対策施工区間の土かぶりは約30~45mである。

掘削は、長野方から金沢方に向かって進めた。図-3に示す支保パターンを基本に施工していたが、内空変位量の増加に伴い、必要に応じ増しロックボルトを施工している。169km230mより終点方

表-1 A計測結果一覧表

測点	支保パターン	最終変位量(mm)		
		天端沈下	内空変位(上半)	内空変位(下半)
169km189m	標準	-41.3	-107.4	-121.5
169km199m	標準	-37.1	-80.5	-80.9
169km211m	標準	-54.2	-89.1	-122.6
169km219m	標準	-59.2	-110.4	-176.5
169km233m	抱込み型	-109.3	-155.8	-243.0
169km251m	抱込み型	-148.2	-303.4	-165.6

では、天端沈下、内空変位ともに増大したため、中央集水管抱込み型インバート(図-4)とし、一次インバート吹付けの施工も行っている。

トンネル掘削時の計測結果を表-1に示す。

掘削時の計測結果では、標準支保パターンで施工した169km189m~169km219mでは、天端沈下量が40~60mm、内空変位量が80~180mmとなっており、インバート打設前の段階で変位がほぼ収束していた。

一次インバート吹付けを施工した169km233m~169km251mでは、天端沈下量が110~150mm、内空変位量が150~300mmとなっており、一次インバート吹付け施工により変位がほぼ収束していたが、設定した計測工管理基準値の管理レベルⅢ(天端沈下90mm、内空変位130mm)を超える値であった。

ただし、インバートコンクリート打設後は、天端沈下・内空変位ともに変位が収束し、覆工コンクリート施工前までに変位の進行もなかったことから、変位は収束していると判断し、2008(平成20)年5月に覆工コンクリートを施工している。

2-2 インバート変状の発見から対策に至る経緯

2012(平成24)年4月の点検時に、169km209.5m~169km230.5mの21m間において、インバートコンクリート中央通路側部に最大3mm幅のクラックが縦断的に発生していることを発見した。盤ぶくれの発生が懸念されたため、下記の調査を開始した。

① インバート下部の地質調査ボーリング(φ

66mm、L=6m×4本、L=14m×1本)

② インバート下部の室内岩石試験4試料

③ 地中変位計の設置(L=14m×1か所)

④ 路盤定点レベル計測(700m区間)

⑤ ひび割れ追跡調査

地質調査ボーリングの結果、169km199m~169km230.5m間の中央集水管付近の3孔では、インバート天端から-2~-2.5mの深さまで亀裂沿いに風化、劣化が確認された。それ以深では新鮮かつ亀裂の少ないコアであった。一方、中央集水管を抱込んだ構造の区間および中央集水管から側壁側に離れた2孔では、コアの劣化は確認されなかった。

室内岩石試験は、中央集水管付近のボーリング4試料を用いて膨張性の判定を実施した。図-5に膨潤性判定レーダーチャートを示す。

レーダーチャートの枠より外側に値が示された場合、膨張性の可能性が高いと判定され、10項目中8項目で判定指標超過が確認された。また、X線回折試験結果においても、全4試料とも膨潤性鉱物であるスメクタイト同定鉱物が含まれることが確認されたことから、当該箇所の泥岩は膨張性の可能性があると判断した。

地中変位計測定は、169km226mにおいて2012(平成24)年7月から開始した。2013(平成25)年6月までの1年間の変位量は、GL-0(インバート上面)で+2.3mmの隆起、GL-3mで+2.6mmの隆起であった(図-6)。

路盤定点レベル計測は、2010(平成22)年8月から2013(平成25)年7月までの3年間に、上り線で+3.5mm、下り線で+6.0mmの隆起量であった。

ひび割れ追跡調査では、表-2のようなひび割れ進行が確認された。

これらの調査結果から、当該区間で盤ぶくれが進行していると判断し、このまま放置すれば、開業後に対策が必要になることも想定されたため、開業前に対策工を実施することとした。

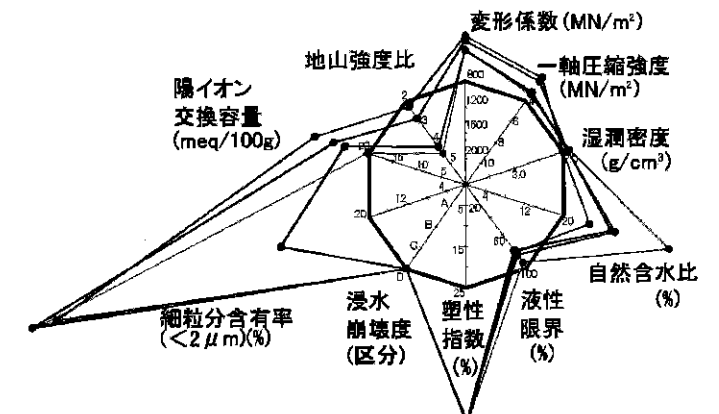


図-5 膨張性判定レーダーチャート

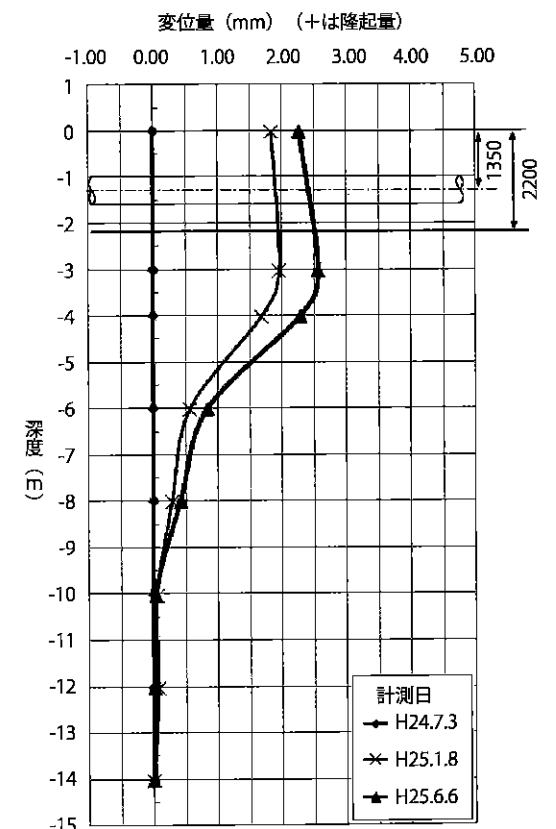


図-6 地中変位計測結果

表-2 ひび割れ進行状況

測定位置	ひび割れ幅(mm)		ひび割れ進行(mm)
	2012年4月	2013年7月	
169km210m	1.6	3.0	1.4
169km225m	3.0	4.0	1.0

3 対策工の検討と施工計画

3-1 盤ぶくれによる変状発生原因の推定

当該区間のトンネル掘削時の変位状況および地質調査結果、変状発生後の変位の進行状況から、変状発生原因について検討を行った。一般に、膨張性地山での変状の発生原因としては、

- ① 岩石強度を大きく超える応力による地山の押出し(スクイーピング)
- ② 膨張性粘土鉱物の吸水膨張(スウェリング)がある。

トンネル掘削時の変位状況は、169km230mより終点側では地山強度が低く、土かぶりが大きくなるに従い変位が増大していることから、スクイーピングがおもな原因と考えられる。

一方、今回変状が発生した160km209.5m～230.5m間では、変位は比較的大きいが、インバート閉合前に変位がほぼ終了している。ボーリング結果から、中央集水管の周囲に亀裂沿いの風化、劣化が確認されたことから、中央集水管からの水の供給による膨張性粘土鉱物の吸水膨張が発生した可能性がある。

以上より、変状発生の原因は、

- ① 変状箇所付近に近接して地山の塑性地圧が作用していること

- ② 中央集水管からの水の影響で地山が吸水膨張していることが複合して発生していることと考えられた。

3-2 対策工の決定

変状区間の補強対策は、施工可能な期間(試験走行、監査・検査スケジュールを除く期間、以下「施工可能期間」)を踏まえた工程の確保、軌道・電気・通信設備が完成済みであることを踏まえた施工可能な方法、施工に伴う覆工コンクリートへの影響を及ぼさないことなどを考慮し、決定する必要があった。

供用中の鉄道トンネルにおける盤ぶくれ対策としては、下向きのロックボルトやグラウンドアンカーが施工されており、その効果が確認されている。

グラウンドアンカーは、施工可能期間での施工が十分に可能と判断されたこと、飯山トンネルの一部区間ですでに施工実績があることから、対策工として採用した。施工範囲は、変状が発生している21m間およびその影響範囲のすりつけ区間として、起点側31.5m、終点側21mの合計73.5mの範囲とした。

地中変位計の計測結果より、双曲線法を用いて隆起の残留変位量を求めた結果、残留変位量が5mmと想定された。この残留変位量を抑制するグラ

表-3 対策工の比較表

対策工	インバート打替え案(抱込み型)	グラウンドアンカー案	立坑・横坑掘削(抱込み型) +グラウンドアンカー案	高圧噴射攪拌による地山改良案
工期 (坑内作業 3.5か月)	5か月以上 (軌道設備の設置・撤去に30日以上)	2.5か月	3.5か月	5か月 (設備搬入搬出が困難)
軌道の安全性 (変位)	×	◎	○	×
軌道の安全性 (変位)	覆工コンクリートおよび 軌道の変状	もっとも安全	施工ブロックを24分割に 細分化する	注入圧力を管理
湧水の影響	△	◎	○	○
湧水の影響	中央集水管の打替え	既設の有孔管からの 湧水が漏水する	中央集水管の打替え	既設の有孔管からの 湧水が漏水、管閉塞
盤ぶくれ 抑制効果	○	△	○	×
盤ぶくれ 抑制効果	もっとも大きい	将来的にアンカー一体が 付着切れの可能性あり	大きい	コンクリート置換えと 比較すると品質に劣る
盤ぶくれ 抑制効果	◎	△	○	△
総合評価	×	△	○	×

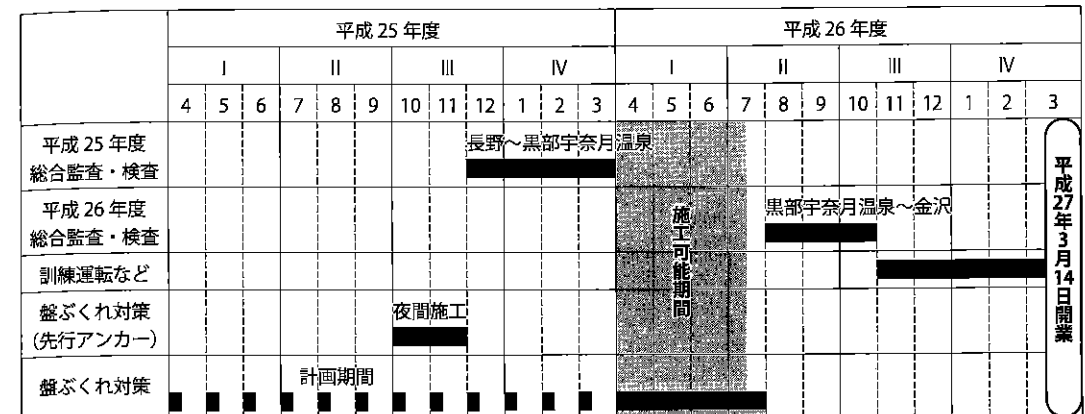


図-7 施工可能期間

ウンドアンカーの仕様を数値解析により求め、長さ $L=12.5\text{m}$ 、設計アンカー力1本あたり525kN、 $n=84$ 本を計画した。すりつけ区間のグラウンドアンカーは、監査・検査期間中の間合いを利用することで施工が可能と判断し、 $n=52$ 本を2013(平成25)年10～11月にかけて先行して施工する計画とした。

変状が発生している21m間については、塑性変形、吸水膨張への対策として、表-3のとおり比較検討を行った。

インバートの打替え、形状変更が有効であるが、検討の結果、インバートを全断面撤去し打替える工法では、覆工コンクリートが沈下、内空縮小することによる変状が予測された。また、レール、枠型スラブなどの軌道設備を一度撤去し、打替え後に復旧するなど、施工可能期間での施工は困難であった。

さらに、工事期間中も工事用モーターカーなどがこの区間を通過する可能性があったため、軌道設備を供用したまま施工する必要があった。したがって、インバート全断面打替えは、この時期の施工には適切ではないと判断した。

軌道設備を存置したまま既設インバート下部を改良する方法として、高圧噴射攪拌による地盤改良についても検討したが、この工法では大量の水を使用することによる膨張性鉱物への悪影響、既設中央集水管の閉塞の懸念、機械設備が大規模であることなどを考慮して、施工可能期間内には

施工できないと判断した。

このように一般的な工法の採用が困難であり、対策を模索する中で、中央通路のインバートを取り壊し、中央通路部から立坑を掘削したうえで、横坑を切り抜ける方法を発案(図-8のインバート部を参照)した。この工法は、ブロック施工であるが、コンクリートを一体化することで、抱込み型インバート打替えと同等の機能を有し、また、横坑掘削は、狭隘な場所での人力掘削となり非効率的ではあるが、既設構造物を存置しながら、変位も最小限にすることが可能となる。

施工可能期間は、2013(平成25)年度総合監査が終了後の4月1日から2014(平成26)年度総合監査に向けた準備が始まる7月15日までの3.5か月とした。

4 対策工の施工

今回の対策工事は、既設の軌道・電気・通信設備を撤去せずに、インバート下部の地山掘削後、コンクリート置換えを実施するという過去に例のない工事であることから、さまざまな技術的課題があったが、以下のように対策を検討し施工した。

4-1 掘削方法

軌道・電気設備に影響のない中央通路部に立坑を設けて置換え下面まで掘下げ、そこから横坑を掘削する方法を採用した。さらに、中央集水管φ600の切回しが必要であったが、水量が毎分8tであったため、上流部2か所のためまずに8インチ

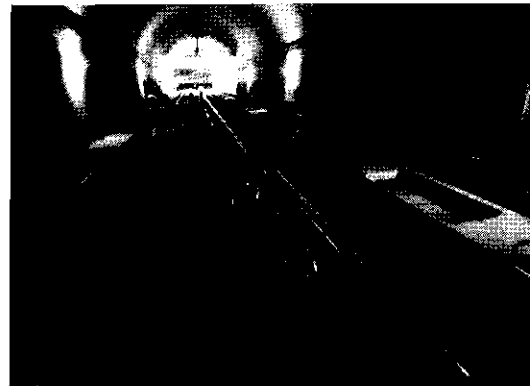


写真-1 中央集水管切回し状況

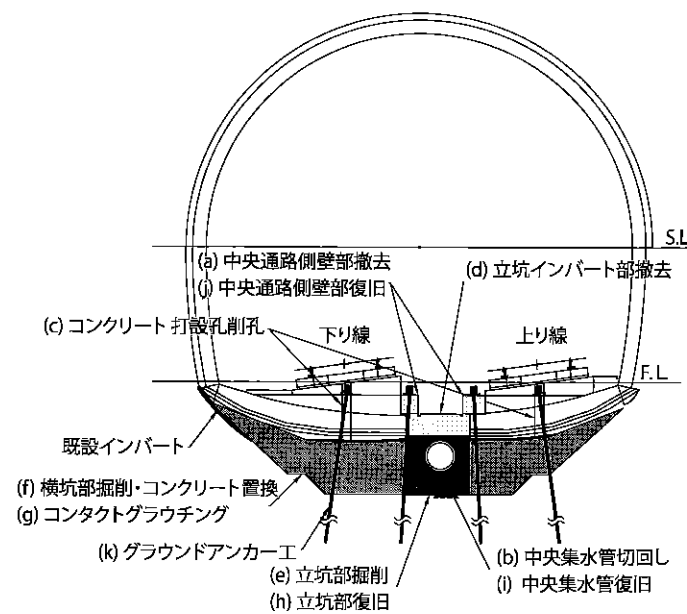


図-8 対策工標準図

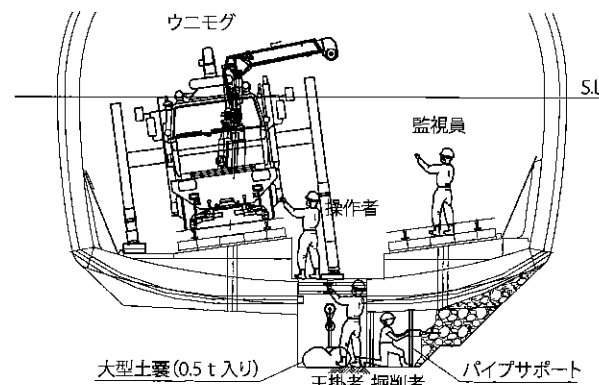


図-10 横坑掘削作業状況

水中ポンプを4台設置し、ポンプアップした水を、施工箇所より下流のためすに切回した(写真-1)。水中ポンプの動力は、坑外で高圧受電して坑内まで配線するとともに、停電時に備え坑外に非常用発電機を準備した。

掘削・ずり出し方法および掘削施工順序の詳細は以下に示すとおりである(図-8, 9)。

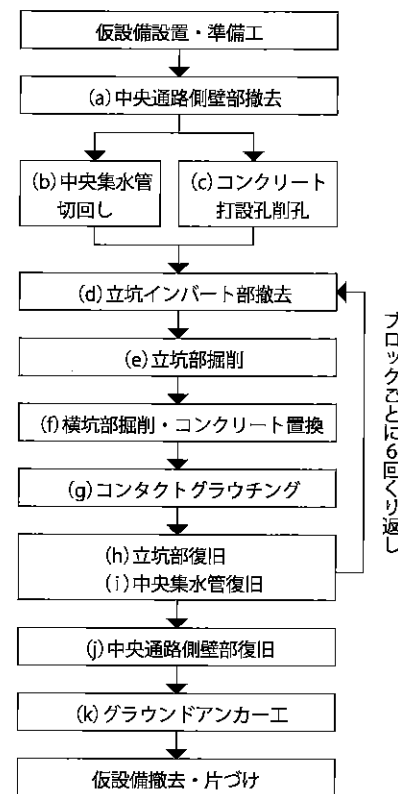


図-9 施工フロー図

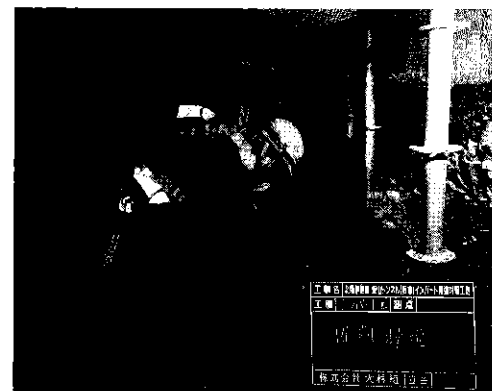


写真-2 横坑掘削状況

(1) 掘削・ずり出し方法

施工箇所への資材の運搬と揚重には、カント機能付き軌陸式ユニック付きウニモグ(以下「ウニモグ」)に10t鋼製トロ台車(以下「トロ台車」)を連結して使用した。横坑掘削は人力掘削とし、発生したずりは立坑内の大型土嚢に集積し、ウニモグで積み込み・搬出を行った(図-10, 写真-2)。

(2) 施工順序

工程を遵守するために、昼夜2か所同時施工を計画した。立坑掘削のブロック割りは、施工区間(L=21m)を6か所(L=3.5m)に分割し、さらに各立坑を上下線ごとの計4か所の横坑(L=1.75m)に分割した。また、以下の条件を考慮し、図-11に示す順序で施工した。

- ・掘削中の横坑直上はウニモグを通過させない。
 - ・各班のウニモグの導線を確保するため、各班別々の軌道を使用する。
- これらの対策により、横坑掘削では、各班が干

渉することなく作業を進めることができた。横坑1か所あたりの作業サイクル(掘削～鉄筋組立て～型枠設置～コンクリート打設)は、上り線(掘削量V=3.7m³)が2.0日(昼夜)、下り線(掘削量V=5.3m³)は2.5日で施工し、計画工程を遵守することができた。

4-2 変位抑制

既設構造物の変位に影響する作業として、中央通路部の既設インバートコンクリートの撤去および立坑・横坑掘削が考えられた。各作業で影響が最小となる施工方法を検討するとともに、計測項目・頻度・変位発生時の緊急対策などを定めた。詳細を以下に示す。

(1) 既設インバートコンクリート撤去

コンクリートはつり作業の振動による既設構造物への影響を考慮し、φ150mmの連続コア抜きボーリングを先行してコンクリートを撤去した。

(2) 立坑・横坑掘削

立坑・横坑1か所あたりの施工単位を小さくすることで、掘削による既設構造物への影響を抑制した。さらに、横坑掘削部にはパイプサポートを設置し既設インバートの沈下防止対策とした(写真-4)。

パイプサポートは、コンクリート内に存置し、パイプサポート内は、グラウトにより充填した。

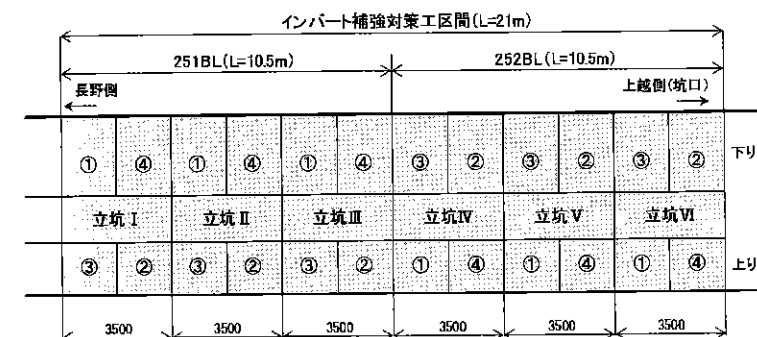


図-11 施工順序および掘削ブロック割り図(横坑は①②③④の順で施工する)



写真-3 連続コアボーリング完了状況

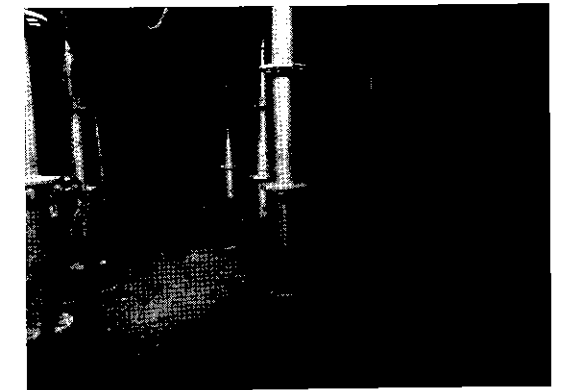


写真-4 パイプサポート設置状況

表-4 変位計測管理基準

管理レベル	測定項目	管理基準値	対応方法
警戒レベル1	(1)内空変位測定	±3mmを超えた場合	・パイプサポートの追加措置による変位抑制
	(2)水準測量	±3mmを超えた場合	
警戒レベル2	(1)内空変位測定	±5mmを超えた場合	・吹付けコンクリートによる変位抑制(緊急用吹付け機を坑内配備) ・掘削箇所の埋戻しによる早期閉合(コンクリートもしくは掘削土を利用)
	(2)水準測量	±5mmを超えた場合	

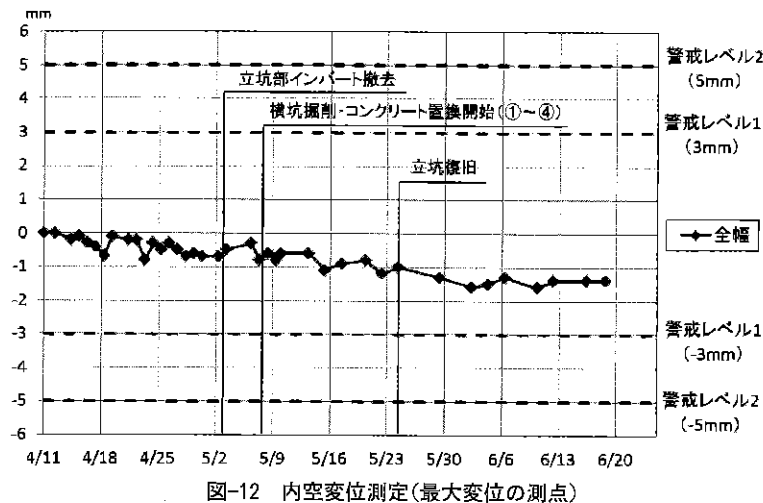


図-12 内空変位測定(最大変位の測点)

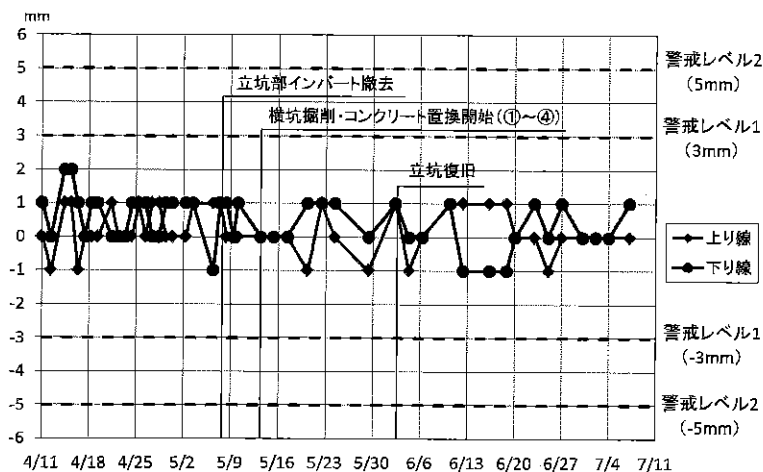


図-13 水準測量(基準器最大変位の測点)

(3) 計測

工事中の既設構造物の挙動を以下の計測により常時観測した。

- ・水準測量
枠型スラブ端部48か所(@1.75m)
突起コンクリート上部10か所(@5m)
- ・内空変位測定

覆工コンクリート側壁6か所(@3.5m)

また、表-4に示すように、変位の管理基準値と緊急時の対応を事前に定め、変位計測の頻度は4回/日(6時間ごと)とした。

計測結果は、図-12, 13に示すとおりであり、施工に起因する大きな変位は認められなかった。

内空変位は最大で1.5mm(内空側)記録されたが、計測誤差の範囲と考える。水準測量では、-1~+2mm間で変動しており、測量誤差と考えられた。

また、立坑・横坑掘削時の切羽観察では、中央集水管周辺の地山の亀裂に沿って、滲水による変色が確認されたが、横坑部では劣化は確認されなかった。さらに、イーストアイ(検査専用車両)による動的軌道検測によるレールの高低の測定結果においても、施工前後で異常のないことを確認した(図-14)。

4-3 置換コンクリートの打設・配合・充填方法

(1) 打設方法

まず、ポンプ車+配管による打設が考えられたが、1回の打設量(5m³)に対して配管延長が長く(約1km)、配管洗浄や閉塞対応など、坑内施設への悪影響が懸念された。また、コンクリートホップと揚重機を使用する方法も検討したが、吊り荷重の制限により非常に効率が悪く、採用を見送った。このため、10t鋼製トロにホップを固定し、

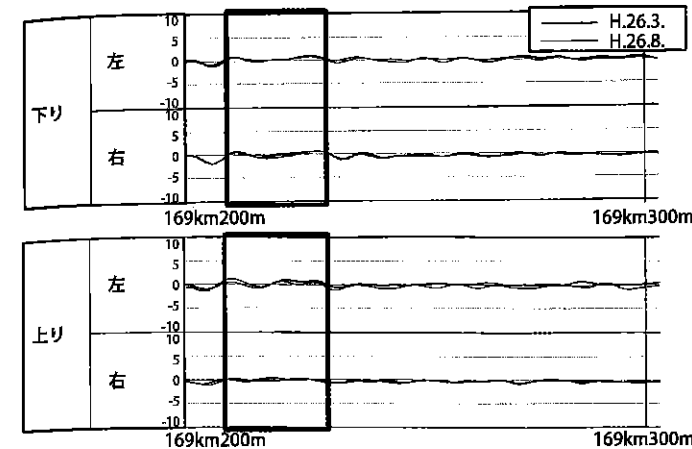


図-14 10m弦高低 動的軌道検測比較図

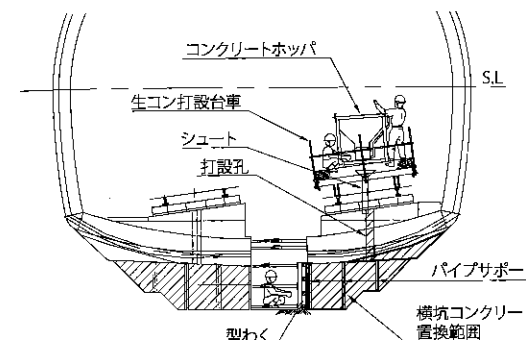


図-15 横坑コンクリート打設図

床面に開口を設けた生コンクリート打設台車を製作し打設する計画とした。坑口に配置したポンプ車でホップ内に生コンクリートを積み込み、掘削した横坑上部まで運搬後、あらかじめ路盤コンクリートに削孔した打設孔(φ200)からコンクリートを打設した(図-15)。

(2) 配合

路盤コンクリートをできるだけ傷めないように、各横坑ごとにφ200mmの打設孔1孔のみを設けることとした。この場合、コンクリートの十分な締固めが困難であるとともに、投入口で閉塞の可能性がある。

そこで、コンクリートを確実に充填し、既設コンクリートとの一体化を図るため、充填性が高く、収縮量が小さいノンブリージング型の高流動コンクリートを使用した。また、打設箇所までのコンクリート積替え運搬が長時間(約90分)になること

表-5 置換コンクリートの配合条件および要求性能

項目	要求性能
設計基準強度(σ_{28})	18N/mm²以上
水セメント比	60%以下
単位水量	175kg/m³以下
粗骨材最大寸法	25mm
自己充填性	ランク2 (コンクリート標準示方書・施工編参照)
スランプフロー	65±7.5cm
スランプフロー保持時間	180分以上
空気量	4.5±1.5%
膨張材添加量	20kg/m³

から、スランプ保持剤を使用して流動性を確保した。

表-5に置換コンクリートの配合条件および要求性能を示す。

(3) 空隙充填方法

既設コンクリートと置換コンクリートの一体化を確実なものとするために、すべての横坑上部にあらかじめ充填・エア抜きホースを設置した。横坑コンクリートを打設後、打継ぎ部に無収縮モルタルを用いたコンタクトグラウチングを行った。

高流動コンクリートおよびスランプ保持剤については、試験練りを行い、流動性を3時間確保できる最適な添加率を設定した。実際のコンクリート打設では、運搬(プラント~坑口)が30分、積み込み・運搬(坑口~坑内施工箇所)が30分、打設で30分の合計1.5時間であり適切な設定時間であった。

高流動コンクリートの充填状況が良好であったため、打継ぎ部のコンタクトグラウチングは、パイプサポート内の充填分程度であった。

5 おわりに

供用中のトンネルインバートの盤ぶくれ対策を実施することは、時間的な制約から困難であることが多い。本対策工は、総合監査・検査による速度向上試験後の限られた期間の中で、既存の設備に影響を与えずに対策を実施するものであった。

開業直前に既存の設備が損傷した場合には、予定している開業が危ぶまれるという緊張感の中での施工であり、変位抑制対策や既存設備の防護対策について綿密な計画を立てて実施した結果、所定の期間内に各設備に影響を与えることなく、無事完了することができた。

本事例などに見られるとおり、トンネル施工完了後、相当程度の時間が経過したあとに、インバートに変状(盤ぶくれ)が発生したことを踏まえ、今後、変状のおそれがある地山に対しては、事前に必要な地質調査などを実施し、変状が発生する懸

念が認められる場合には、インバートの設計を強化するものとしている。

最後に、本インバート補強対策工の実施にあたり、多方面の関係者のご指導・ご協力をいただきました。本誌面を借りて厚くお礼申し上げます。

参考文献

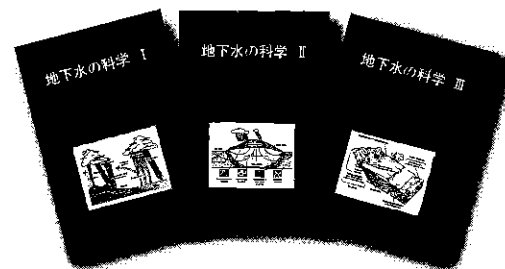
- 1) 鉄道・運輸機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説，2008.4.，2014.5.21. 一部改定，鉄設第140430001号。

図書案内

地下水の科学 — 全3巻 —

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

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



第Ⅰ巻 地下水の物理と化学

4,078円+税 B5判

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

第Ⅱ巻 地下水環境学

4,272円+税 B5判

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

第Ⅲ巻 地下水と地質

3,689円+税 B5判

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

株式会社 土木工学社

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

施工

地下水圧測定結果を反映した支保パターンによるトンネル施工

—新名神高速道路 箕面トンネル西工事—

西日本高速道路(株)新名神大阪西事務所工事長 福島 博文

西日本高速道路(株)新名神大阪西事務所主任 荒木 武雄

鹿島建設(株)関西支店箕面トンネル西工事事務所現場代理人 洲先 弘一

鹿島建設(株)関西支店箕面トンネル西工事事務所工事課長 北村 義宜

1 はじめに

新名神高速道路箕面トンネルは、新名神高速道路(高槻第一JCT～神戸JCT、全長40.5km)のうち、大阪府箕面市北部を東西に横断する全長約5kmの2車線双設道路トンネルである。本工事では西側約3kmの施工を行っている。

下り線トンネルを400m程度掘削した時点で断層破碎帯に遭遇し、左側壁の吹付けコンクリートが崩落するとともに多量の被圧湧水を伴って背面土砂がトンネル内に流出した。

このため、土砂が流出した領域を応急的に吹付けコンクリートで充填したのち、高圧かつ多量の湧水が生じる箇所にも適用可能なウレタン系注入システムを用いて土砂流出領域周辺の地山を改良するとともに、切羽前方の水圧を水抜きボーリングにより制御しながら掘削を継続することで当該断層を突破した。本稿ではこれらの実績について報告する。

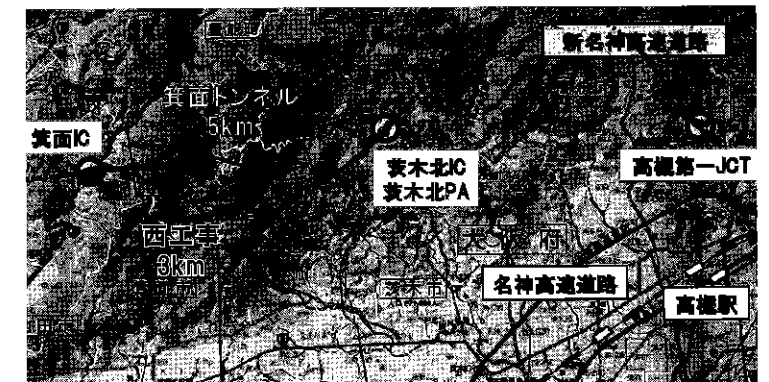


図-1 トンネル位置図



写真-1 トンネル側壁からの土砂流出状況

2 工事概要

2-1 全体工事概要

箕面トンネル西工事の諸元と工事概要を表-1, 2に示す。

2-2 地質概要

箕面トンネル西工事は坑口から貫通点まで古生

表-1 トンネル諸元

道路規格	第1種第2級B規格
平面線形	直線・R=2,500m
縦断勾配	2.0%
掘削断面積	76.2~99.0m ²
内空断面積	73.4m ²

表-2 工事概要

工事名称	新名神高速道路箕面トンネル西工事
工事場所	大阪府箕面市下止々呂美
発注者	西日本高速道路(株)関西支社
施工者	鹿島建設(株)
工期	2012(平成24)年6月5日~2016(平成28)年6月13日
工事内容	トンネル掘削: 上り線2,916m, 下り線2,895m 非常駐車帯: 8か所, 避難連絡坑: 4か所

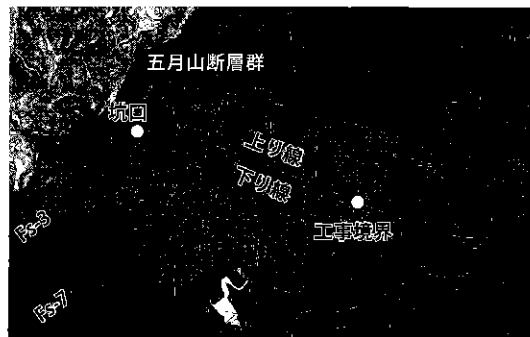


図-2 地質平面図

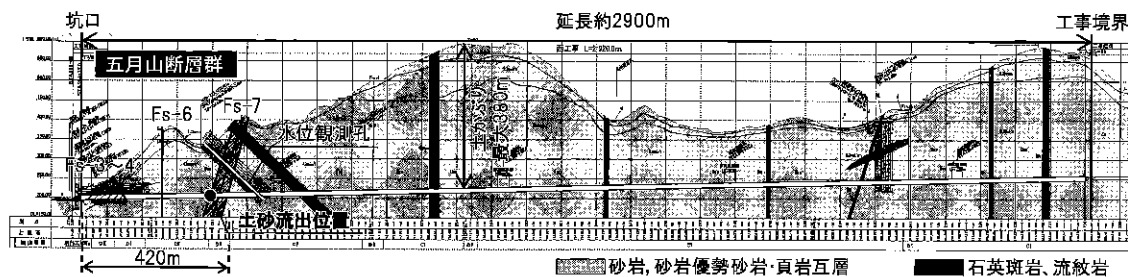


図-3 地質縦断面図

代の砂岩または砂岩優勢砂岩・頁岩互層が大部分を占め、一部で石英斑岩や流紋岩が貫入する。地山の弾性波速度は断層部で3.0~3.8km/s、断層部以外で4.6~5.0km/sと比較的速く、支保パターン比率はCIが70%, CIIが15%, DIが11%となっており、全体的に良好な地質であると想定されていた。土かぶりは最大380mである。

また、トンネル坑口近傍は五月山断層が南西から北東の方向に発達しており、坑口から約420mまでの区間にFs-3からFs-7までの断層が断続的に出現すると予想されていた(図-2)。本トンネルの地質縦断面図を図-3に示す。

3 断層破碎帯の遭遇と応急対策

3-1 断層破碎帯の遭遇状況

下り線トンネルの西側坑口から180m程度の位置にて岩盤性状が良好になり、CII-a-Bパターンで掘削していた。西側坑口から360m付近で卓越する亀裂方向がトンネル横断方向から軸方向に変わり、370m付近で吹付けコンクリートの崩落を伴って約60m³程度の背面土砂が坑内に流出した。崩落後に生じた空洞の奥行きは4m程度であり、トンネル背面からは被圧された湧水が噴出する状況にあった(図-4)。

3-2 崩落直後の応急対策

土砂流出が収束した直後に応急対策として吹付けコンクリートによる充填を行った。このあと、吹付け面の内側に鋼製支保工(HH-100)を建込み、吹付けコンクリート(t=100)を施工することで崩落位置周辺における支保剛性を向上させるとともに、水抜き孔を4か所設置して背面湧水の排出を

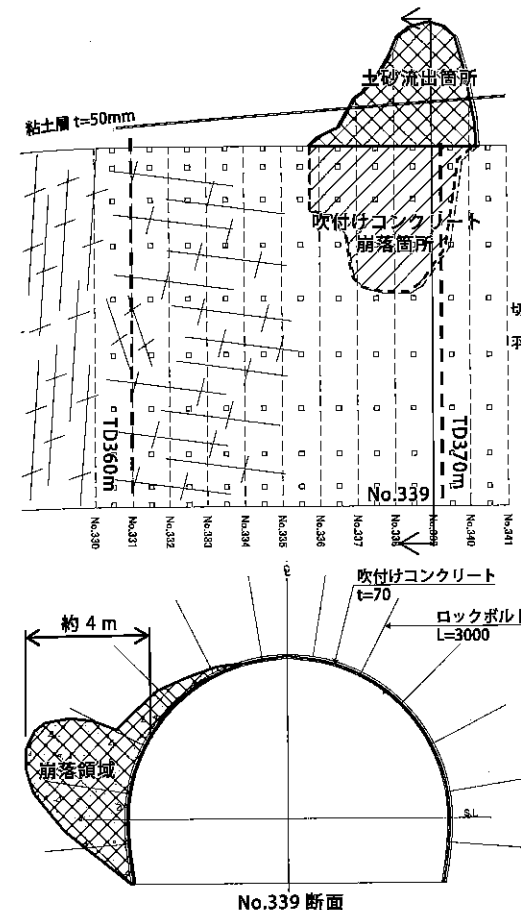


図-4 土砂流出位置の平面・断面図

図った。

3-3 土砂流出および支保変状の原因

3-3-1 土砂流出位置近傍の湧水量と地下水位

土砂流出位置近傍に存在する水位観測孔で観測された地下水位と、Fs-7断層近傍における湧水量の経時変化を図-5に示す。

土砂流出位置の80m手前から実施した地質調査ボーリングから、土砂流出位置付近に多量湧水帯が存在することを確認していた。ボーリング直後に1,200L/minの多量湧水が生じた直後に400L/minまで急減し、水位観測孔の地下水位もなかなか低下しなかった。

土砂流出時には1,000L/min、水抜き孔の施工後は1,300L/min程度まで湧水量が増大し、地下水位の低下速度も上昇したが、水抜き孔の施工後も地下水位がトンネルより45m程度上方にあり、

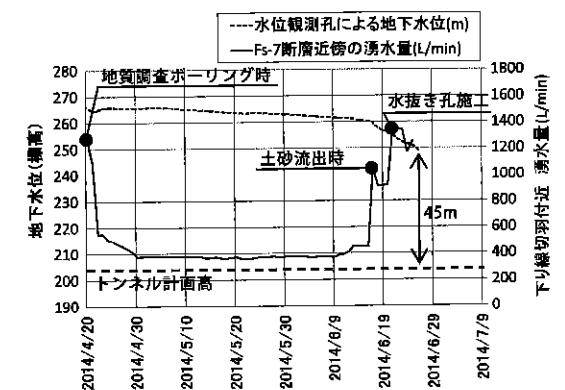


図-5 地下水位と断層からの湧水量(水抜き孔施工時点)

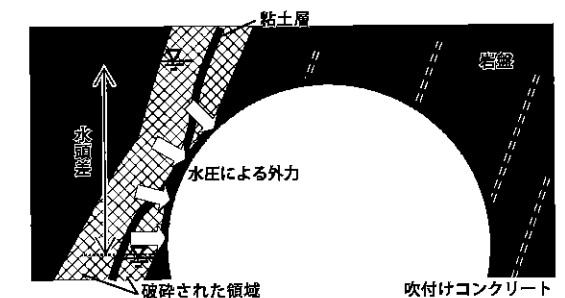


図-6 支保変状のメカニズム

地山内には多量の地下水が帯水していると想定された。

3-3-2 支保変状のメカニズム推定

土砂流出が生じた際、トンネル左側壁の背面に五月山断層群の共役断層と考えられるトンネル軸方向の粘土層を確認した。この粘土層が遮水層となってトンネル背面側の地山とトンネル内に水頭差が生じ、トンネル左側壁に水圧に起因する外力が図-6のように作用したことにより、支保の押出しが生じたものと推定された。

4 土砂流出部における注入改良

4-1 水抜きボーリングによる地下水位の低下

応急対策完了後に掘削を再開したが、No.341から5m掘削したところで、左側壁部の鋼製支保工が150mm程度押し出され、吹付けコンクリートにクラックが生じるなどの支保変状が生じたため、掘削作業を中断した。

水抜き孔を設置したことでトンネル内への湧水量が急増したが、周辺の地下水位が依然として高

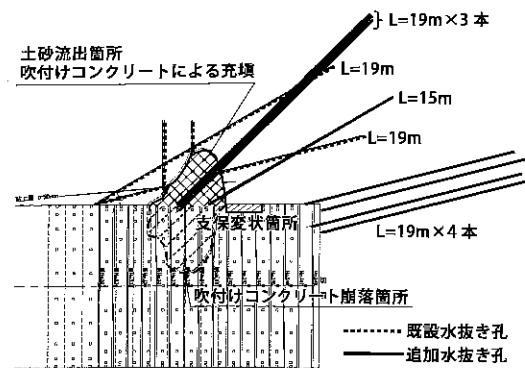


図-7 水抜きボーリング配置平面図

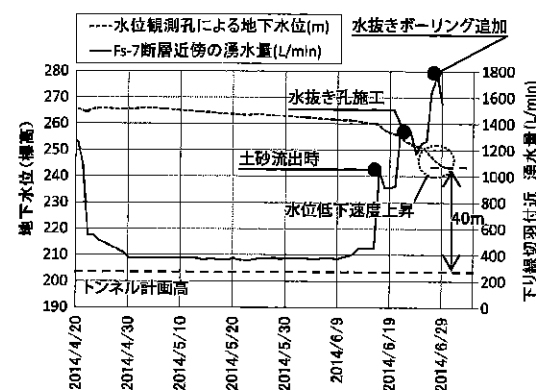


図-8 地下水位と断層からの湧水量(水抜きボーリング追加時点)

い状態にあることから、水抜きボーリングを8本設置して地下水位の低下を図ることとした(図-7)。

これにより1,800L/minまで湧水量が増加し、地下水位の低下速度も上昇したが、地下水面はトンネル計画高より依然として高い状態であった。

4-2 多量湧水帯部における地山の注入改良

4-2-1 注入材料

限られた時間内に地下水位を十分に低下させることが困難なため、トンネル背面のゆるんだ地山を改良したあとに掘削を再開することとした。

地盤改良の際に一般的に用いられている水ガラス系やセメント系の注入材は、多量湧水の地山に対しては流出してしまう可能性が高かった。このため湧水と接触することで発泡固結体を形成する注入材を高圧で連続注入することにより、多量湧水帯に対して高い改良効果が期待できる2液性ウレタン系注入材¹⁾を用いて注入改良を実施した。

表-3 2液性ウレタン系注入材の特徴

概要	長期的な止水、あるいは帯水弱層の補強を目的としたウレタン系注入材 水と接触することで発泡固結体を形成し、水と接触しないところでは発泡せず高強度の固結体を形成する
浸透性	浸透注入および割裂注入の双方に有効
硬化時間	水と接触しない場合30±5秒(20℃)
注入方式	1.5ショット 高圧対応型ボルト使用 ドリルジャンボによる施工が可能
動水への適用性	湧水と接触して発泡固結体を形成し、高圧にて連続的に注入することで、無発泡・高密度防水ゾーンが形成される
材料強度	ホモゲル80(N/mm ²) サンドゲル64(N/mm ²) 薬液：注砂＝1：2
長期耐久性	溶脱がないため長期耐久性に優れる

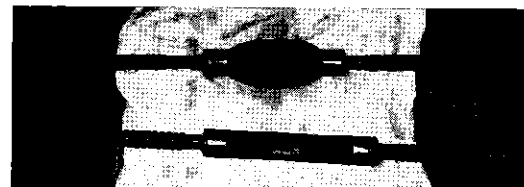


写真-2 高圧対応型特殊ボルト

本工事で使用した注入材の特徴を表-3に示す。

また注入材を高圧注入するため、高圧対応型特殊ボルトを使用した。このボルトの口元には写真-2に示すようにパッカーがついており、注入時に膨張して孔壁と密着することで注入材のリークを防止できるだけでなく、注入圧が5.5MPaに達するとパッカー内のリリース弁が解放されるため、地盤内に高圧で注入することが可能である。

4-2-2 注入範囲

図-9, 10に示す範囲にて長さ6mの注入ボルトを挿し角30~45°で60本打設し、幅15m×奥行き4mの注入改良ゾーンを形成した。

4-2-3 注入管理方法

(1) 注入量の上限值

注入式長尺鋼管先受け工法(AGF工法)の標準積算資料²⁾に準拠し、1本あたりの注入量を算定した。

$$Q = V \times \lambda \times (1 + \beta) \times \rho \times 1 / F \times 1,000$$

$$Q : \text{注入量} (=135\text{kg/本})$$

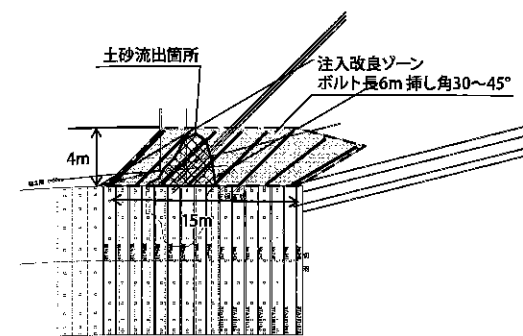


図-9 注入改良ゾーン平面図

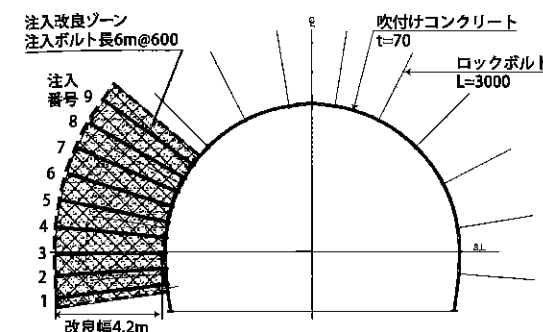


図-10 注入改良ゾーン断面図

V : 注入対象土量(=1.53m³/本)

λ : 注入率(=0.075 : 風化岩, 打設径60cm)

β : ロス率(=5%)

ρ : 比重(=1.13)

F : 発砲倍率(=1)^{※1}

$$\text{注入対象土量 } V = \pi \times 0.06^2 \div 4 \times (6 - 0.6) = 1.53\text{m}^3 \text{ (図-11)}$$

注入量の上限値はAGF工法での基準である200%を準用することとし、以下のように設定した。

$$Q_{\max} = 135\text{kg/本} \times 200\% = 270\text{kg/本}$$

(2) 注入管理フロー

必要注入圧力は湧水量、湧水圧によって変化するが、過去の実績では注入圧が6~10MPa程度に上昇した場合に減水効果が得られている。

このため注入圧力の上限値を中間値の8MPaに設定し、図-12のフローにもとづいて注入管理

※1 水に接触して反応すると約4倍(地山内)に発泡するが、水と接触しない場合は発砲しない。このため、水と接触せずに発砲しないことを想定し、注入倍率を1に設定した。

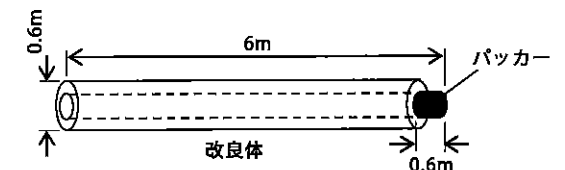


図-11 注入対象土量の計算イメージ

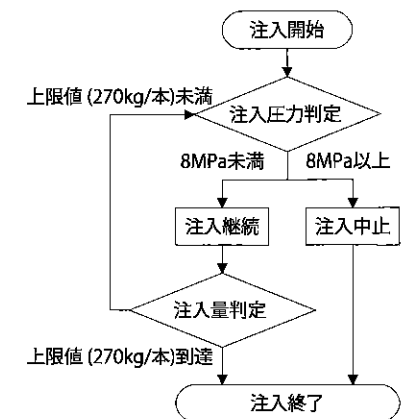


図-12 注入管理フロー

を行った。

4-2-4 注入結果

(1) 注入量

各断面における注入量を集計した結果を図-13に示す。土砂が流出した領域は支保工No.337~341付近であるが、この領域の注入量が他の領域よりも多くなった。これは土砂流出に伴い地山内に空隙が多く生じ、ゆるみ領域が拡大していたためと考えられる。なお、土砂流出領域では注入量の上限值まで注入した割合が6割に達したが、土砂流出領域から離れた位置では注入圧が8MPaに達し、注入圧判定により注入を中止した。

(2) 注入後の湧水量と水抜き孔の追加

水抜き孔が注入により閉塞するのを防ぐため、水抜き孔の内部に塩ビ管を挿入して防護したが、図-14に示す5本の水抜き孔が閉塞した。この結果、閉塞を免れた水抜き孔からの湧水量が急増したため、注入完了後の湧水量は注入前とほぼ同じ1,500L/min程度となった。しかしながら、水抜き孔の閉塞により支保工に水圧が作用するおそれがあったため、閉塞した水抜き孔の近傍に新たに水抜き孔を3本追加した。

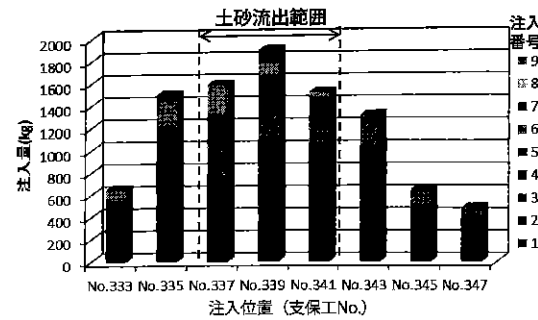


図-13 各断面における注入量の集計結果

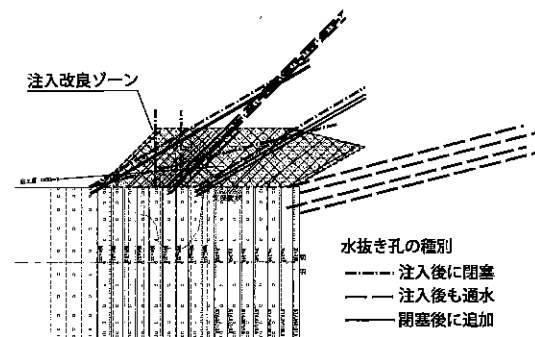


図-14 水抜きボーリング配置平面図(注入改良後)

5 切羽前方の水圧制御による破碎帯の掘削

5-1 断層破碎帯の掘削方法

土砂流出領域における対策工が完了した時点でも掘削位置近傍における水位観測孔の地下水位はトンネル計画高より30m程度上方に位置していた。地下水位が高い状態で掘削を継続すれば、切羽の崩壊や支保工の変状などが生じる懸念があるため、切羽前方の水圧を制御しながら適切な支保パターンを選定することで断層破碎帯を突破した。

5-1-1 水圧測定結果にもとづく支保パターンの選定

土砂流出が生じた位置からFs-7断層を突破するまでは図-15に示すフローに従って水圧測定結果を考慮した支保パターンの選定を行った。

5-1-2 切羽前方における動水勾配の測定

直径76.3mmの鋼管を切羽前方に打設し、先頭管には有孔管、中間から末端管には無孔管を用いることで先端の水圧(h_w)を計測した(写真-3)。

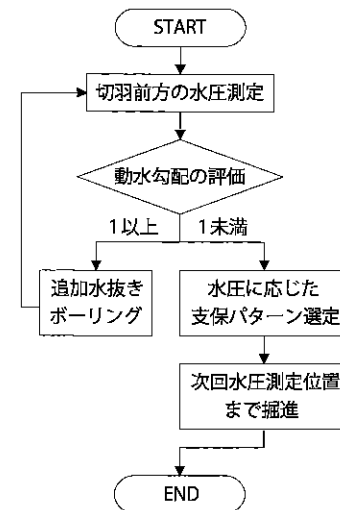


図-15 水圧測定結果を考慮した支保パターン選定フロー



写真-3 水圧測定状況

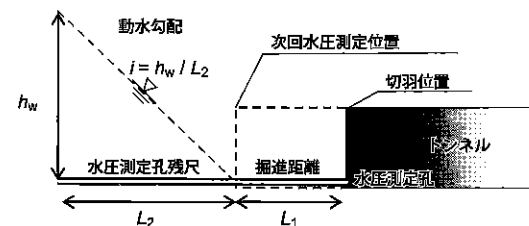


図-16 切羽前方の動水勾配の概念図

次に、次回の水圧測定位置における動水勾配($i=h_w/L_2$)を求め、これが限界動水勾配以下であればこの位置まで掘進してよいものとした(図-16)。

限界動水勾配は、微小土塊に作用する浸透力 P_w と抵抗力 F の関係で表現される。

$$\text{浸透力 } P_w = \gamma_w \times h_w \times a^2$$

$$\text{抵抗力 } F = \gamma' \times (4h_r + 2a) \times \tan \phi \times a \times L + 4 \times a \times L \times c$$

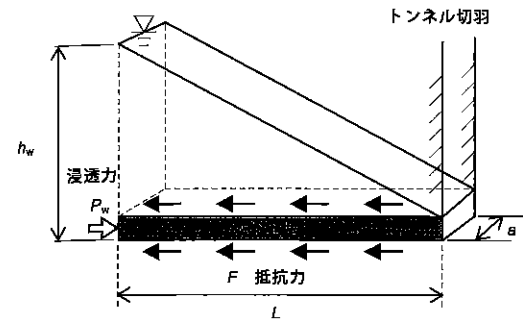


図-17 浸透力と抵抗力の関係

a : 土塊断面辺長(m)

L : 土塊長(m)

h_w : 被圧水頭(m)

h_r : 抵抗力に寄与する土かぶり厚さ(m)

γ_w : 水の単位体積重量(kN/m³)

γ' : 土塊の水中単位体積重量(kN/m³)

c : 土塊の粘着力(kN/m²)

ϕ : 土塊の内部摩擦角(°)

なお、本工事では水抜きボーリング長を19mとした。次回水圧測定位置までの掘進距離を $L_1=9$ m、水圧測定残尺を $L_2=10$ mとすれば、 L_2 は土塊長 L と等しくなる。またトンネル切羽周辺ではゆるみにより応力が緩和されることを考慮して抵抗力に寄与する土かぶり厚さ h_r を0に設定した。ここで $P_w=F$ となる限界動水勾配は以下のように求められる。

$$i = h_w/L = (4c + 2a \times \gamma' \times \tan \phi) / (a \times \gamma_w)$$

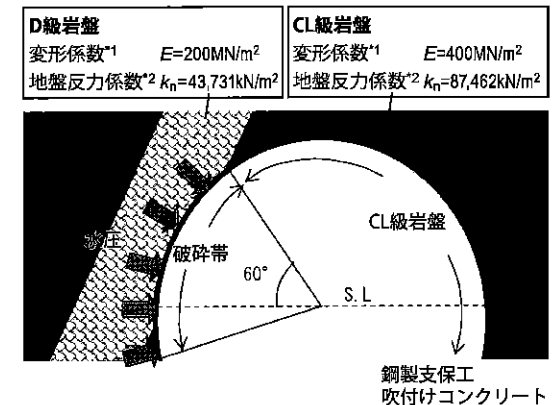
切羽前方地山は土砂化していると想定し、『設計要領第1集』にて規定される密実な砂質土の物性値($\gamma=19$ kN/m³, $\gamma'=9$ kN/m³, $c=0$ kN/m², $\phi=30^\circ$)を適用し、土塊断面辺長を $a=10$ mとして限界動水勾配を計算したところ $i=1.0$ となった。

5-1-3 水圧に応じた支保パターンの選定

切羽位置で計測した水圧に応じた適切な支保パターンを選定するため、3種の支保パターンを設定し、図-18に示す条件で骨組み構造解析を実施した。この結果、各支保パターンが対応できる水圧を表-4のように設定した。

5-2 水圧測定および支保パターンの選定結果

No.348から71mの区間において9mごとに6回



鋼製支保工(HH-100)	吹付けコンクリート($t=100$)
変形係数 $E=2.0 \times 10^5$ MN/m ²	変形係数 $E=6.0 \times 10^4$ MN/m ²
断面積 $A=3.39 \times 10^{-3}$ m ²	断面積 $A=0.10$ m ²
断面二次モーメント $I=6.36 \times 10^{-6}$ m ⁴	

*1: 原設計の設定値

*2: 道路橋示方書・同解説下部構造編地盤ばね算定式より設定

図-18 支保への水圧の作用を考慮した骨組み構造解析イメージ

表-4 支保パターンと対応する水圧

支保パターン	鋼アーチ支保工	吹付けコンクリート($f_{ak}=36$ N/mm ²)	対応水圧(MPa)
D I-a-B (現状)	HH-100 @1.0m	$t=100$ mm	0~0.093
支保剛性増強	HH-100 @0.5m	$t=200$ mm	0.093~0.162
D II-a-B	HH-154 @1.0m	$t=150$ mm	0.162~0.207

の水圧測定を実施した。このときに計測された水圧と追加水抜きボーリングの施工本数、水圧測定時の地下水位および採用した支保パターンを図-19にまとめた。

No.348にて測定した水圧が0.10MPaであったため、この位置から8m前方までは支保パターン「支保剛性増強」を選定したが、これ以降に水圧が高い場合は水抜きボーリングを追加して水圧を0.09MPaまで低下させたため、支保パターン「D I-a-B」にて施工することができた。

水位観測孔における地下水位もトンネルの進行に応じて漸減し、Fs-7断層を突破したNo.421に到達した段階で、トンネル計画高より5m上方まで低下したため、これ以降は通常の掘削体制に戻した。

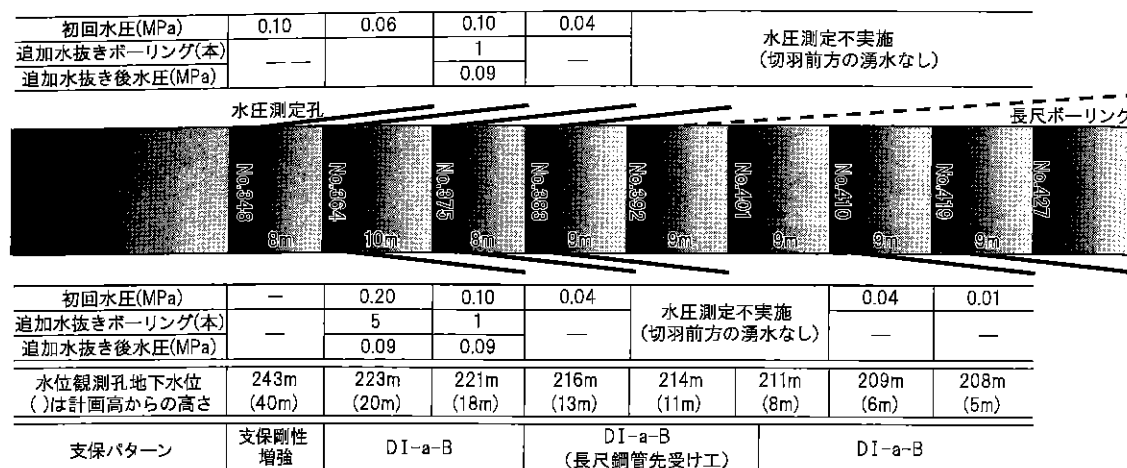


図-19 水圧測定結果と採用した支保パターン

6 今後の課題

6-1 止水・減水材に関する設計手法の確立

2 液性ウレタン系注入材により湧水帯周辺を改良する場合、地下水の供給量を超えて減水すれば地下水位が上昇し、トンネル支保に作用する水圧が高くなると想定される。つまり、止水・減水による環境影響の緩和や施工性向上などのメリットと支保への作用力が増大するなどのデメリットがトレードオフの関係にあるが、現状では改良規模と減水量の関係やどの程度地下水位が上昇するかを簡便に精度よく予測することができないため、妥当な改良範囲を設定するのが困難な状況にある。今後、止水・減水材を使用する際の設計手法の確立が望まれる。

6-2 止水・減水材の注入圧の設定方法

2 液性ウレタン系注入材により湧水帯周辺を改良した際、全注入ボルトの4割が注入圧力の上限值である8MPaに達した。このように高い圧力で注入することでトンネル支保工にも注入圧の一部が作用し、支保工が変状することを懸念したが、注入完了後にトンネルの変状や壁面の変位などは確認されなかった。しかし高い圧力で注入することにより支保工が変状する可能性は否定できないため、注入圧の上限值をどの程度に設定するのが妥当であるかを今後検討する必要がある。

7 おわりに

NATMによるトンネル掘削は周辺の地下水位をトンネル掘削面まで低下させることで支保工に水圧を作用させないことが基本であり、これにより支保構造の合理化が図られている。一方、止水注入などによりトンネル周辺地山を改良すれば地下水位低下を最小限に抑えた掘削が可能となるが、注入改良に多額の費用が必要となるとともに工事が長期化するリスクがある。

当工事では多量湧水下でのウレタン系注入材の高圧注入による地山改良、簡便な測定方法による切羽前方水圧の測定と切羽の安定性を確保するための水圧制御、水圧測定結果を反映した適切な支保パターン選定を通じて、工期を大幅に延伸することなく断層破砕帯を突破することができた。

今後、土かぶりおよび地下水位が高い山岳トンネルを施工する事例が増加すると予想されるが、当工事の事例が参考となれば幸いである。

参考文献

- カテックス：ウレタン系減水・止水材KOD-M（カバードエム）パンフレット，カテックスホームページ。
- ジオフロンテ研究会：注入式長尺先受け工法（AGF工法）「標準積算資料」，2009.12。

施工

周辺環境に配慮した土運搬計画と新型電子雷管の試験発破

—新名神高速道路 六石山トンネル—

西日本高速道路(株)関西支社新名神兵庫事務所川西工事長 浜田 文 年

西日本高速道路(株)関西支社新名神兵庫事務所川西工事区 岡村 哲 司

(株)フジタ・アイサワ工業(株)新名神高速道路六石山トンネル特定建設工事共同企業体所長 上野 博 務

(株)フジタ技術センター土木研究部主席研究員 村山 秀 幸

1 はじめに

新名神高速道路(近畿自動車道名古屋神戸線)は、名古屋を起点として神戸市に至る延長約174kmの高速道路であり、名神高速道路、中国自動車道などの周辺高速道路とともに、近畿圏と中部圏

を結ぶ高速道路のネットワークの多重化を形成する。これにより、円滑な交通を確保するとともに、名神高速道路などの混雑を解消し、災害や事故の際には、名神高速道路と中国自動車道の代替機能を果たし、国民生活と産業のさらなる発展に寄与することを目指して、鋭意事業を進めている。図-1に新名神高速道路路線と工事位置図を示す。

本稿では、双設道路トンネルの同時施工において周辺環境に配慮した工事計画と新技術として新型電子雷管の試験発破と坑壁間トモグラフィ探査に対する取組みについて報告する。

2 工事概要

2-1 工事概要

本トンネルは高槻JCT・神戸JCT間のほぼ中央

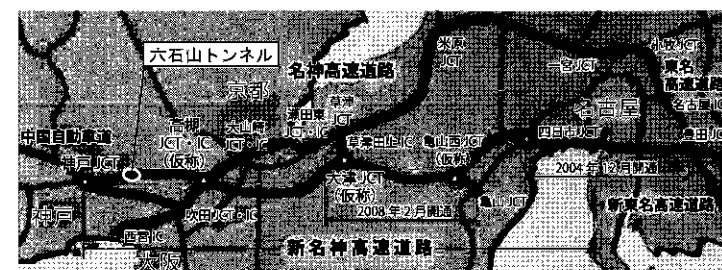


図-1 新名神高速道路路線と工事位置図

表-1 工事概要

工 事 名 称	新名神高速道路六石山トンネル工事
工 事 場 所	兵庫県川西市石道～川辺郡猪名川町広根
工 期	2011(平成23)年10月5日～ 2015(平成27)年9月13日
発 注 者	西日本高速道路(株)関西支社
施 工 者	(株)フジタ・アイサワ工業(株)特定建設工事 共同企業体
トンネル延長	上り線 L=578m, 下り線 L=580m
掘 削 工 法	補助ベンチ付き全断面掘削工法
掘 削 方 式	爆破掘削

部に位置し、標高200m程度の六石山を東西方向に横断する上り線578mと下り線580mからなる2車線の双設道路トンネルである。工事概要を表-1に示す。



図-2 六石山トンネル(上り線、下り線)地質断面図と地質縦断面図

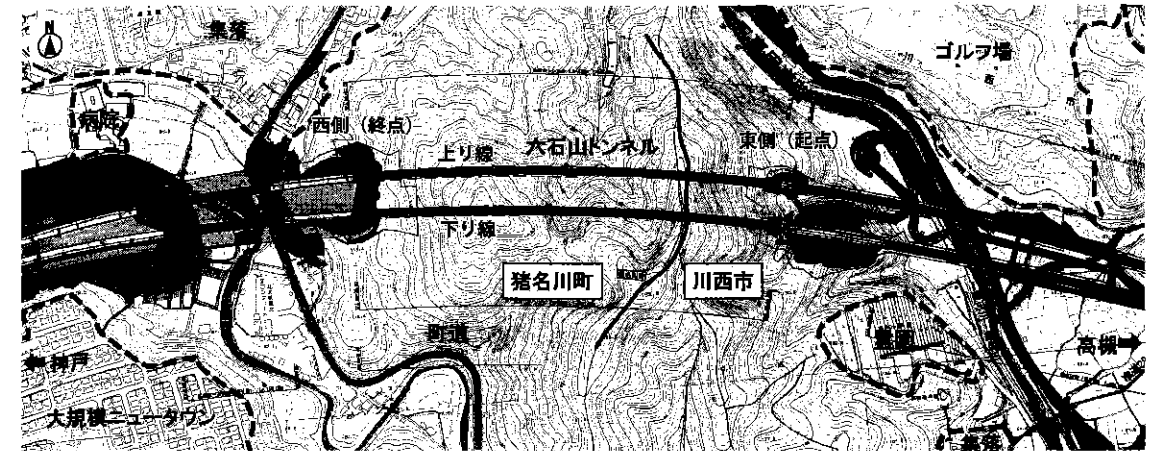


図-3 六石山トンネルにおける周辺環境条件

2-2 地質概要

当該地域の地質は、中生代ジュラ紀～三畳紀の超丹波帯山下層の砂岩優勢層(Ys)、頁岩・砂岩互層(Ym)を主体とし、その後貫入した石英斑岩(Qp)からなる。

上り線STA.56+00～57+00付近の約100m区間では15～20mの小土かぶり区間となる。上り線STA.55+00付近およびSTA.57+60付近には地山弾性波速度が3.6km/s、3.1km/sとなる低速度帯が確認されている。

図-2に、六石山トンネル上下線の地質断面図と縦断面図を示す。

2-3 本工事の特徴

本工事の特徴を以下に列挙する(図-2, 3)。

- ・周辺にゴルフ場、霊園、集落、大規模ニュータウン、病院などが近接する環境条件であること。
- ・小土かぶり(2D以下)区間の延長が100m程度連続する地形条件であること。
- ・近隣工事として橋梁上部工、橋梁下部工、切土・盛土による土工事が幅員して計画されており、ほぼ同時期に着工すること。

以上から、本トンネルでは周辺の環境条件、地形条件、近隣工事との幅員によるさまざまな制約条件を踏まえ、双設トンネルのうち1本を先行開通させ本線トンネルを工事用道路として活用する計画を採用した。これによって、一般道を利用し

た土運搬を最小限にし、周辺環境への負荷を軽減することが可能となる。

3 工事計画における工夫

3-1 施工条件と工事計画

本トンネルは、本線を工事用道路として活用する計画として先行発注された経緯がある。トンネル東側坑口周辺(川西市)にはゴルフ場、霊園、集落が近接し、西側坑口周辺(猪名川町)には大規模ニュータウン、病院、集落が近接する(図-3)。

西側からトンネル掘削を開始する場合には、家屋がとくに近接すること、既存の町道と坑口までの距離が短く工事用道路を取り付ける際に規模の大きな切盛土工事が必要となること、隣接の土工事および橋梁工事と幅員することなどが課題となる。そのため、必要な騒音対策を講じて東側からトンネル掘削を開始する計画を採用した。一方、東側から掘削すれば、本トンネルとともに本線の工事用道路となる橋梁工事の工程とも符号する。

東側には大型車両が通行できる道路がなく、町道と接続するまでの工事用道路と事業用地から坑口へ取り付くための仮設橋を主体とした工事用道路を別途確保してトンネル掘削に着手した。

3-2 土運搬計画に伴う下り線の先行貫通

本トンネルの東側には、約220万m³の土を掘削し、猪名川町域および宝塚市域の高速道路盛土材として運搬する川西インターチェンジ工事が計画

されている。この土は本トンネル西側の盛土区間に運搬する計画であり、本トンネルと西側の橋梁を活用した本線の工事用道路が確保できるまで、一般道を利用する計画となる。よって、土運搬ルートの変更時期が、新名神高速道路の全体工事工程に大きく影響する。一方、周辺環境への影響を考慮すれば、一般道を土運搬ルートとして利用する期間を軽減することが重要となる。



写真-1 下り線トンネルの工事用道路としての活用状況



写真-2 防音壁設置状況（下り線）

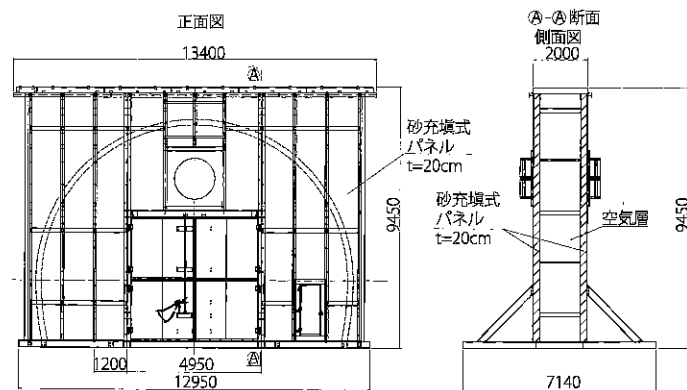


図-4 砂充填二重防音壁（構造図）

以上から、本トンネルでは周辺環境に配慮して東側から下り線を先行掘削・開通させ、本線を工事用道路として活用する計画が最良と判断された。写真-1に東側坑口付近における下り線トンネルの工事用道路としての活用状況を示す。

3-3 東側坑口の騒音対策

前述のように東側坑口周辺には、ゴルフ場と霊園が近接する。よって、周辺への発破騒音対策として砂充填二重式防音壁を設置した（写真-2、図-4）。本壁は、低周波音で34dB、通常騒音で40dBの透過損失効果（性能保証値）が期待できる。

4 新技術への取り組み

4-1 新型電子雷管を用いた試験施工

本トンネルでは、先行掘削した下り線において掘削発破に伴う周囲への振動、騒音の影響はとくに認められなかった。しかしながら、今後、周辺環境に配慮すべきトンネルの発破計画において採用が期待されている新型電子雷管（以下「電子雷管」と称す）を用いた振動、騒音に対する試験施工を実施しその効果を検証した。

4-1-1 電子雷管の概要

今回用いた電子雷管の特徴は以下のとおりである。

- ・雷管ごとに現地で任意の秒時が設定できる。
- ・秒時設定は0～10,000ms（ミリ秒）まで1ms単位で設定可能である。
- ・設定できる秒時の精度は±0.1%である。
- ・静電気や落雷による誘導電流などの高い電圧

に対して雷管内の集積回路を保護する安全装置を有する。

- ・点火用のコンデンサを搭載し、発破器との通信や点火に必要なエネルギーを貯蔵する。

試験施工では、上り線発破の電子雷管秒時差を15ms、30ms、50msとして貫通している下り線坑内において振動レベルを計測した。上り線と下り線の離隔はトンネルセンター間で58mである。

4-1-2 試験発破の概要

試験発破は、上り線東側坑口から150～200mの掘削期間に実施した。地山は砂岩優勢層（Ys）であり、支保パターンはCⅡである。なお、今回比較対象とした電子雷管を用いた試験発破とDS雷管（最少基本秒時差250ms）を用いた普通発破の計測結果は、すべて上下半同時掘削時（上半掘進長1.2m、下半掘進長2.4m）である。爆薬はスラリー、1孔あたりの薬量は上半で300～400g、下半で700～800g程度であり、掘進長の長い下半の方が多い。

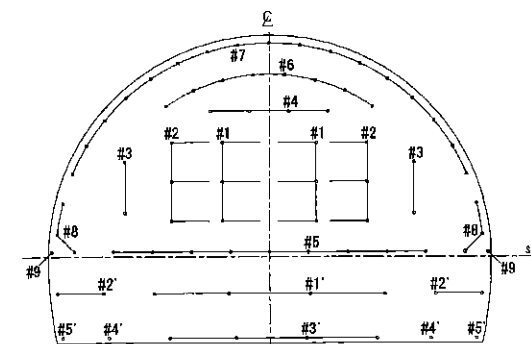
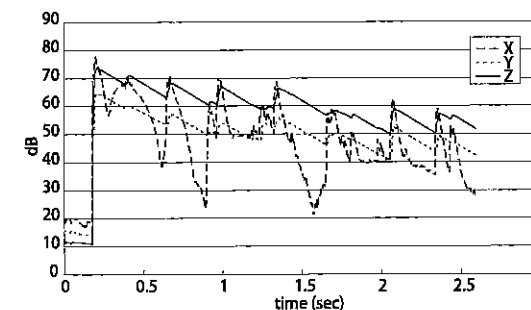
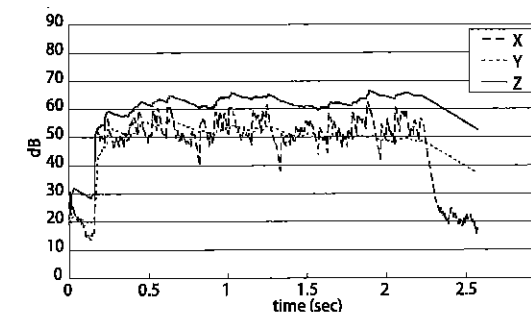


図-5 削孔・装薬パターン図



(1) 普通発破（DS 9段、上下半掘削）



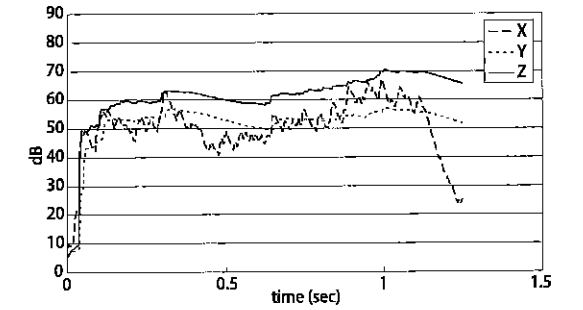
(3) 電子雷管（秒時差30ms、上下半掘削）

図-5に削孔・装薬パターンを示す。図は、試験発破、普通発破に共通するパターン図である。試験発破では上半の#1～#9の複数孔に対して1孔1段として電子雷管を用いて順次起爆し、その次に下半の#1'～#5'孔を同様に起爆した。なお、1孔1段であるが、例えば複数の#1孔に対する電子雷管での起爆順序は区別していないためランダムとなる。普通発破は、DS雷管を用いて上半の#1複数孔と下半の#1'複数孔を同時に#5と#5'まで順次起爆し、その後、上半#6～#9の複数孔を起爆した。心抜きはともに6～8孔でVカットである。

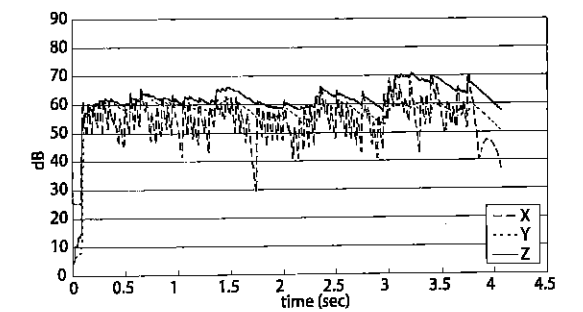
振動計測は、Xがトンネル横断方向、Yが縦断方向、Zが鉛直方向であり、サンプル周波数は6kHzである。坑内における発破の騒音レベルは、測定レンジを大きく超過するため、防音壁直近の坑外で測定した。

4-1-3 試験発破における振動レベル

図-6(1)～(4)に、普通発破、電子雷管で秒時差15ms、30ms、50msとした場合の振動レベル計測結果を示す。普通発破では、1段目における心



(2) 電子雷管（秒時差15ms、上下半掘削）



(4) 電子雷管（秒時差50ms、上下半掘削）

図-6 振動レベルの計測結果

抜きで最大の振動レベル(77.7dB)が計測されている。電子雷管による発破では秒時差にかかわらず振動レベルが低減し、わずかな秒時差であっても振動レベルが収束する傾向が認められる。

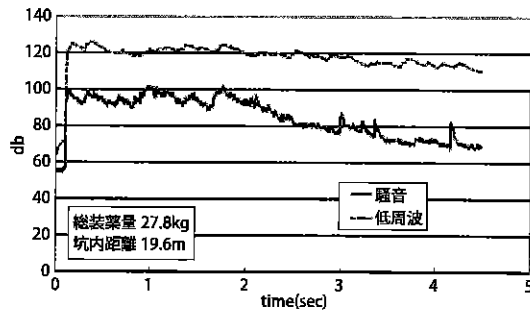
また、電子雷管での発破の振動レベルは心抜き時ではなく発破後半で最大となる傾向を示す。発破後半に発生する振動は下半掘削に相当し、装薬量が上半の約2倍となることが大きな原因と考えられる。よって、1孔1段の電子雷管を用いた発破で発生する振動レベルは、従来と同様に孔あたりの装薬量に大きく依存することが確認できた。

以上から、より秒時差を短くした電子雷管を用いた発破は振動レベルの低減が期待でき、さらに全体の発破時間の短縮が計れることから周辺環境に対する優位性が確認できた。

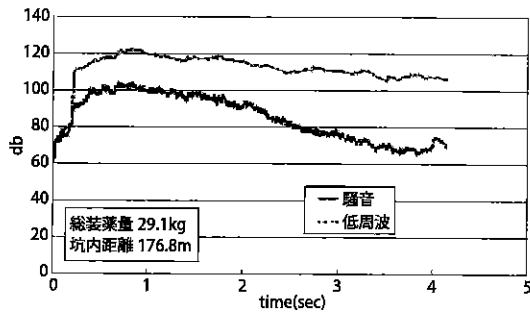
4-1-4 試験発破における騒音・低周波音

図-7(1)~(4)に、騒音・低周波音の計測測定結果を示す。各図には、発破騒音推定式においてパラメータとなる総装薬量と坑内距離を併記した。

一般に騒音推定式²⁾では、DS雷管(最少基本秒時差250ms)と比較してMS雷管(最少基本秒時差



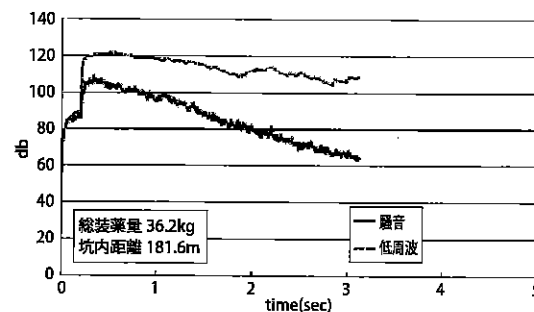
(1) 普通発破(DS 9 段)



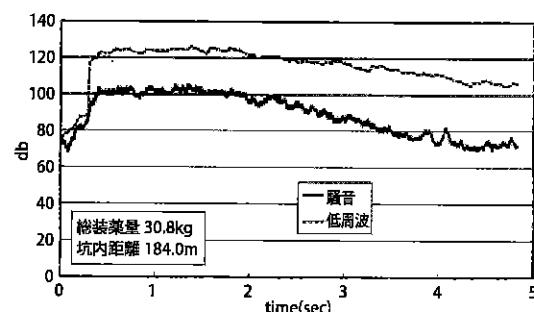
(3) 電子雷管(秒時差30ms)

25ms)を騒音で+6dB、低周波音で+7dBと設定しており、騒音に対してはMS雷管の方が不利となる。すなわち、今回の試験発破における電子雷管の秒時差設定はMS雷管に近く、騒音低減に対してはその効果が期待できない可能性が考えられる。しかしながら、電子雷管は1孔1段で斉発量がMS雷管を用いた発破と異なるため騒音低減効果も従来の考え方とは異なる可能性があり、この違いを把握することを今回の試験目的とした。

各図の発破では総装薬量と坑内距離が異なるため発生する騒音・低周波音の大小を定量的に判断することは難しい。しかしながら、全体的な傾向として、電子雷管の秒時差15msで若干大きな騒音が観測されているものの、騒音・低周波音ともに普通発破と電子雷管を用いた発破で大きな差はないことがわかる。すなわち、電子雷管を用いた発破の騒音レベルは、騒音推定式におけるDS雷管とMS雷管ほど有意な差がないことがわかり、電子雷管を用いた発破計画における騒音レベルの予測においてDS雷管と同等と評価してよいと判断できる。



(2) 電子雷管(秒時差15ms)



(4) 電子雷管(秒時差50ms)

図-7 騒音・低周波音の計測結果

なお、発破騒音はバラツキが大きく、さらに計測データを増やすことが今後も必要となる。

4-2 小土かぶり区間の坑壁間トモグラフィ探索

一般に、小土かぶり区間は地山が軟弱で、双設や近接トンネルにおいて2つのトンネルが干渉して、設計・施工上、課題となる場合がある。本トンネルは下り線を先行貫通させることから、より小土かぶりの上り線が後進坑となる。

下り線掘削時の地質確認からは、上り線掘削時に先行坑の下り線が影響を受けやすい軟質な地山であるとは想定されていない。しかしながら、今後、地山が軟質で近接施工となるトンネルが増えることを考慮して、坑壁間の干渉や緩みを施工時に評価する手法として坑壁間トモグラフィを試行した。適用手法は、掘削発破を弾性波探索の震源に活用する連続SSRT(Shallow Seismic Reflection survey for Tunnels)³⁾である。

連続SSRTは、掘削発破が震源であり、掘削サイクルに影響を与えず連続的に探索すること、観測機器を坑内に常設し発破時刻の記録と記録装置の時計として高精度の原子時計を用いることなどが特徴となる切羽前方探索手法である。今回は本手法の応用として坑壁間トモグラフィを試行した。

4-2-1 探索方法

図-8に探索機器の配置と坑壁間トモグラフィの実施領域を示す。探索測線は、下り線でもっとも

小土かぶりとなるSTA.56+88を中心として受振器12chを4m間隔で設置し、上り線切羽の接近から通過によって坑壁間地山で発生する緩みなどの変化を弾性波速度値として把握する計画とした。

すなわち、トモグラフィ領域として下り線で最小土かぶりとなる真横の上り線STA.57+00の手前50mにおける発破記録を解析に用いる領域①と、真横通過後50mの発破記録を解析に用いる領域②を設定し、最終的に領域①と②の差分を求め、弾性波速度の変化を評価する共通領域を設定した。

下り線坑内に設置した発破振動記録装置(受振器12ch, 1ms間隔計測)は、坑内ではGPS信号が受信できず、内部時計校正用にルビジウム原子時計(精度 10^{-6} 秒以下、野外でGPS時刻に校正後、数箇月坑内に設置しても精度が保証)を併設した。発破の起爆時刻は、上り線の点火小屋に設置した発破信号検出器から坑口の原子時計を用いた記録装置に伝送される。

これらの観測機器はすべて無線LANを装備し、坑口付近に設置したパソコンと通信機器により外部からの遠隔操作が可能となっており、発破ごとに観測データを確認・回収できる。

4-2-2 坑壁間トモグラフィ結果と考察

図-9(1), (2)に坑壁間トモグラフィ領域①と②の結果を示す。図は各々約40発破の初動走時を求めトモグラフィ処理している。切羽通過前の領域①では坑壁間地山の弾性波速度に差はなく、 V_p

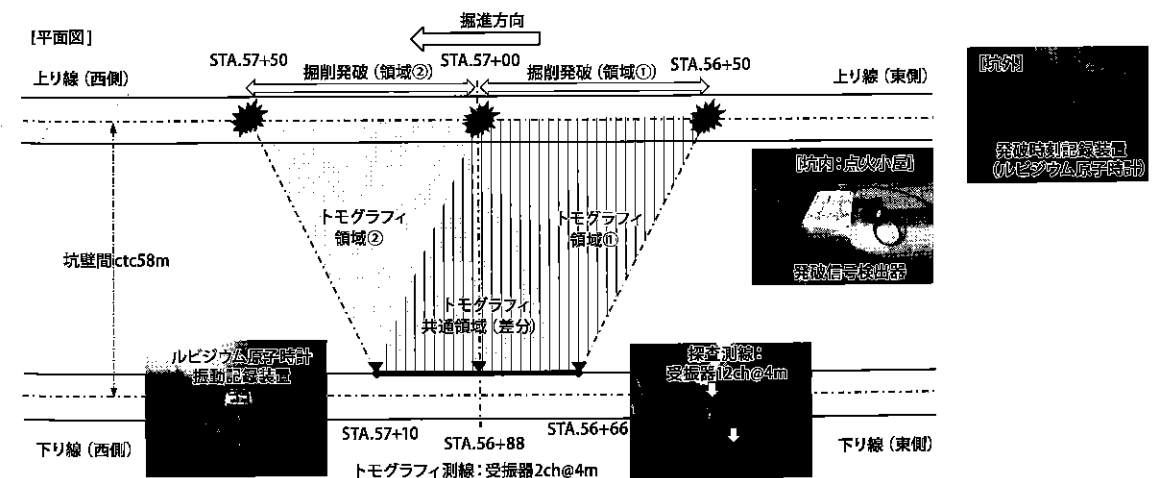


図-8 探索機器の配置と坑壁間トモグラフィ実施領域(①, ②, 共通領域)

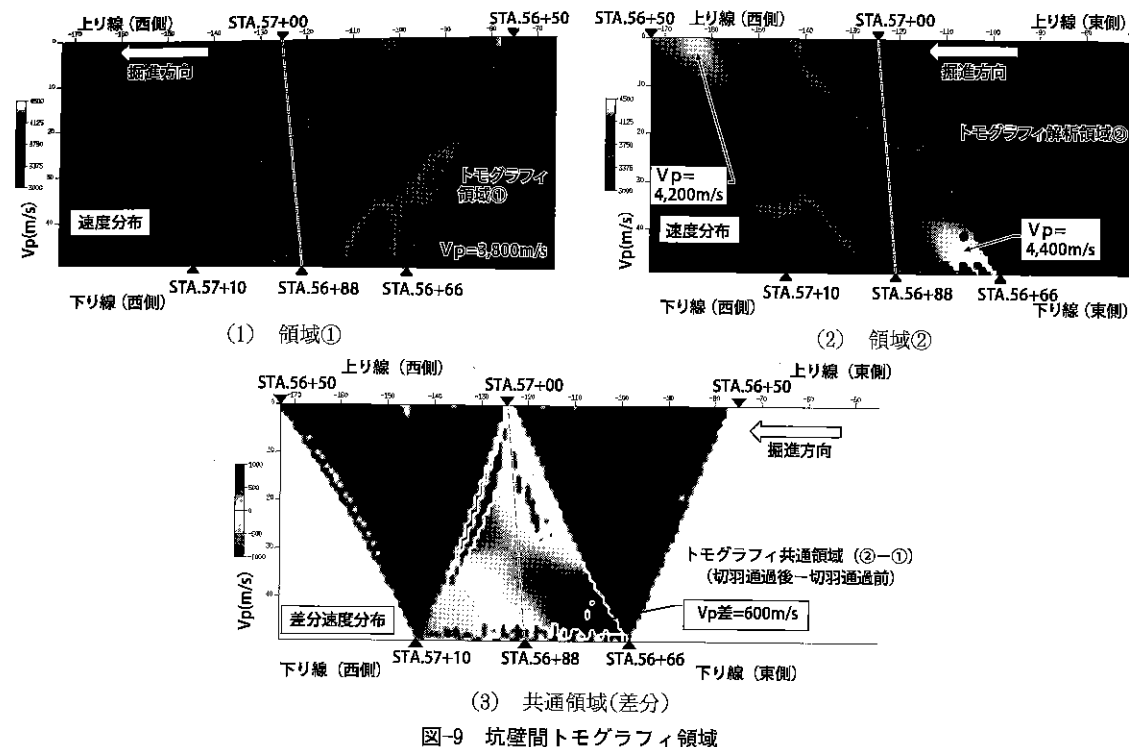


図-9 坑壁間トモグラフィ領域

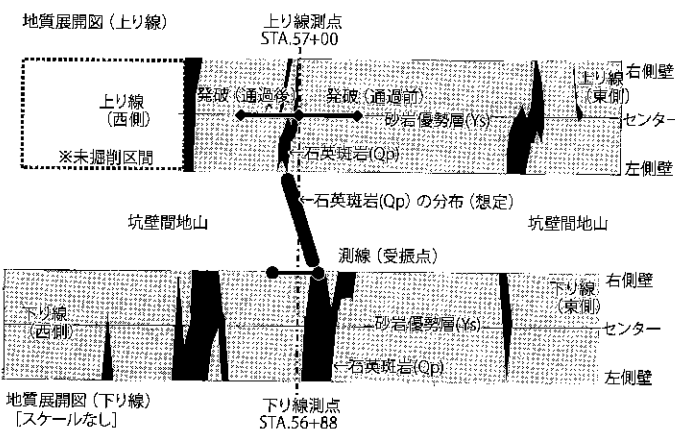


図-10 上下線の地質展開図と地質構造の推定

＝3,800m/s前後であるが、切羽通過後には、上り線西側と下り線東側に斜交する弾性波速度が高い領域(最大 $V_p=4,400\text{m/s}$)が確認できる。

図-9(3)に共通領域(領域①と②の差分速度)の結果を示す。図より下り線東側に速度差600m/s程度の箇所が確認でき図-9(2)の結果と整合する。すなわち、下り線側の坑壁間地山には上り線切羽の通過によって地山弾性速度が一部上昇する区間が存在することを示している。一般に軟質な地山

では、掘削の影響で坑壁間地山の速度が低下することが危惧されるが今回は逆の現象となっている。

図-10に上下線の地質展開図を示す。図より、下り線東側の測線上の受振器は砂岩優勢層(Ys)に貫入した石英斑岩(Qp)に設置されている。この石英斑岩(Qp)は緻密で割れ目が少ないことから、砂岩優勢層(Ys)より弾性波速度が高いと想定される。よって、同図に示したように、石英斑岩(Qp)が坑壁間地山間に斜交構造で分布する状

況をトモグラフィ領域②においてのみ捕らえたため弾性波速度が速くなったと考えられる。

一方、発破波の伝播方向と石英斑岩(Qp)と分布構造(走向傾斜)からトモグラフィ領域①ではこの石英斑岩(Qp)を捕らえきれなかったと考えられる。

以上から、本双設トンネルで試行した坑壁間トモグラフィによって地山構造をある程度把握することが可能であったと判断できる。

5 おわりに

本稿は、双設道路トンネルの同時施工において周辺環境に配慮した工事計画と新技術に対する取組みについて報告した。

まず、環境に配慮した工事計画として、本トンネルの下り線を先行貫通させ工事用道路として活用する計画の有効性について述べた。さらに、新技術への取組みとして新型電子雷管を用いた試験施工を実施し、振動、騒音対策への効果を検証した。最後に、双設トンネルの小土かぶり区間において坑壁間トモグラフィ探査を試行し本手法の有

効性を示した。

本トンネルの上り線は小土かぶり区間を無事通過し順調に掘進している。

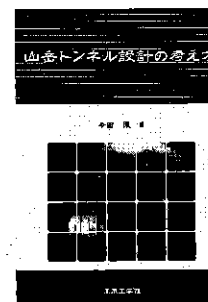
参考文献

- 1) 野間達也・小島秋・井上正広：既往水路の部分拡幅における硬岩トンネル掘削，土木学会トンネル工学報告集，Vol.24，I-31，2014.12.
- 2) 日本火薬工業会：あんな発破こんな発破事例集。
- 3) 村山秀幸・丹羽廣海・大野義範・押村嘉人・渡辺義孝：ルビジウム刻時装置を用いた連続的な切羽前方探査の開発と適用，土木学会トンネル工学報告集，Vol.20，pp.51-58，2010.11.

山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著

B5判 183頁 上製本 本体価格3,200円 千350円



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

主要目次

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

株式会社 土木工学社

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



「びわの産地、房州より」南房総市富浦町から

町 永 正 樹

「房州人はあばら骨が1本少ない」。

冬は温暖で夏は涼しい。自然が豊かで農作物も種類が豊富。海産物もたくさん獲れる。火山もなければ大きな水害もない。冬の西風は猛烈で台風被害は時折あるが、気象と自然環境はバググン。明るい陽射しと恵まれた風土で育った房州人はのんびり屋さんが多いようだ。安房節に唄われるように「房州人だよあばらが足らぬ、あばらどころか気が足らぬ」と明るく楽しい人が多い。

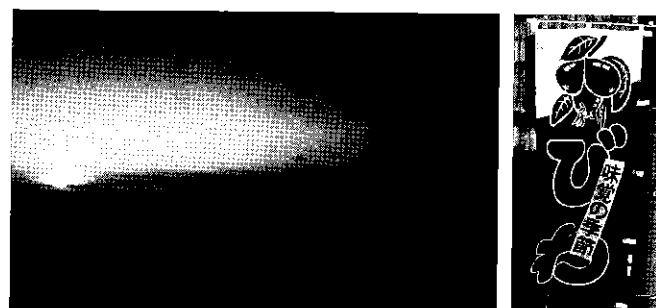
この町の初夏はいたるところに「房州びわ」ののぼりが立てられる。ここ南房総は長崎とともに「びわ」の日本二大産地のひとつで、栽培の歴史は約260年と古く、明治の時代から100年以上にわたって「献上びわ」として天皇・皇后両陛下に贈られている。その味は、というと、これがたまらなくうまい！ みずみずしくて甘い。一度食べたらやめられない。ぜひ、一度ご賞味を。

この町にはもうひとつ、バググンの自然がある。透き通った「海」、オレンジ色に輝く「夕日」、遠くに浮かぶ「富士山」、荒れ狂う冬の「大西(強い西風)」、四季折々の「花」。海と夕日と富士山、さまざまな自然のコラボレーションが素晴らしい。この自然も、ぜひ一度、堪能あれ。今では東京から車で1時間半、バスで2時間移動すればこの自然に出会える。

さて、ここに至るには今でこそ高速道路があるが、



位置図



海と夕日と富士山

房州びわののぼり

それまでは国道127号を利用していた。房総半島の西側に位置するこの国道は、館山市と木更津市を結び、戦時中から軍事国道として建設された。今回施工する久保トンネル(L=25m)と坂下トンネル(L=57m)はそれぞれ1943(昭和18)年と1944(昭和19)年に完成し、建設後70年以上が経過している。

本工事では、この2本のトンネルが、老朽化に加え狭小で、小学生や中学生の通学など歩行者が多いにもかかわらず、歩道がなく危険なため、歩道ができる大きさにする。久保トンネルは切土により既存のトンネルを取壊す。坂下トンネルはNATMにより拡幅する。いずれも既設のトンネル内に鋼製の仮トンネル、プロテクタを設置し、現道を片側交互通行に規制して一般車を通行させながら施工するものである。

昨年に夜間全面通行止めによりプロテクタの設置が完了。現在、久保トンネルは、国道の直上かつ民家が隣接する箇所を高さ約20m掘削するため、多くの防護施設を設置し施工を進めている。坂下トンネルは加背割りを上部と左右の3つとし、現在は上部を65kW級ロードヘッダ、左右はツインヘッダとブレイカを併用して掘削を進めている。

関係者の皆様のご指導、ご協力により現在まで無事故・無災害で進んでいることを感謝したい。

最後に、この土地に暮らす皆さんの悲願である久保トンネルと坂下トンネルの拡幅。ここを通るすべての皆さんが安心して、そしてのんびりと明るく楽しく通行できる道路を完遂したい。

(青木あすなろ建設(株)久保坂下トンネル作業所所長)

トンネル屋時代

吉見 憲一
(元)株間組

第六十六回
語り継ぎ
言ひ継ぎ
はか

はじめに

久しぶりに手にした『トンネルと地下』を見て、「『とんちか』の何月号の記事が参考になるよ。」と言葉を交わした仲間との当時の会話をなつかしく思い出しました。わたしのトンネルとの最初の出会いは、青函トンネルの現場でした。うれしいことに来年の春にはここを新幹線が通ることになり、今から乗車できる日を心待ちにしているところです。

近ごろ、若い技術者の方々に自分の経験をお話する機会が、ときたまあります。ただ、土木全般の内容がほとんどでしたので、トンネルを中心にお話させていただくこのような機会を与えてくださったことは大変ありがたく、また光栄に感じています。

みなさんにとっては少々、古い話となりますが、それが本シリーズの趣旨とのことですので、お付き合いください。少しでも技術者のみなさんのヒントになることが

あれば幸いです。

青函トンネル

1971年に入社したわたしの最初の配属先は、本社の土木設計部だった。そこでは、鉄道、港湾などの、いわゆる明かり土木の設計を6年間担当した。トンネルに関してまったくの門外漢であるわたしに青函トンネルの現場に行けというのだから、今にして思えばずいぶん乱暴な異動である。土木設計部を離れるとき、トンネル現場経験のあった後輩からの「掛け矢板と縫地(かつては一般的な矢板工法による支保の方法)を覚えれば大丈夫ですよ。」という一言を信じて着任したのだが、すぐに勘違いと気づくことになる。

青函トンネルの設備や工法は現在のトンネル施工方法と比べると、ずいぶん異なっている。NATMがわが国に導入されていなかった時期ということもあるが、長大トンネル(総延長53.85km)であること、津軽海峡の下を通過するというこ



出水断層突破の記念祝賀会での集合写真(前から3列目、左から3番目が筆者)



出水断層突破後の貫通式における仲間とのスナップ(後列左端が筆者)

とも設備や工法に影響を与えた。一例をあげれば、レール方式の運搬方法、地盤注入、地山の本来持つ力にあまり期待しない支保構造などである。

間組は北海道方海底部を大成建設と前田建設との3社JVで担当した。

当時、のちほど出水断層と名づ

けられた破碎帯(最大地山圧力2MPa)の本坑突破が大きな課題であった。出水断層は事前の地質調査では判明していなかった断層破碎帯であり、本坑を施工するための運搬路として使われる作業坑を掘削中、大規模な出水事故を起こし、それまでに完成していた本坑トンネルを約400mも水没させて

著者略歴

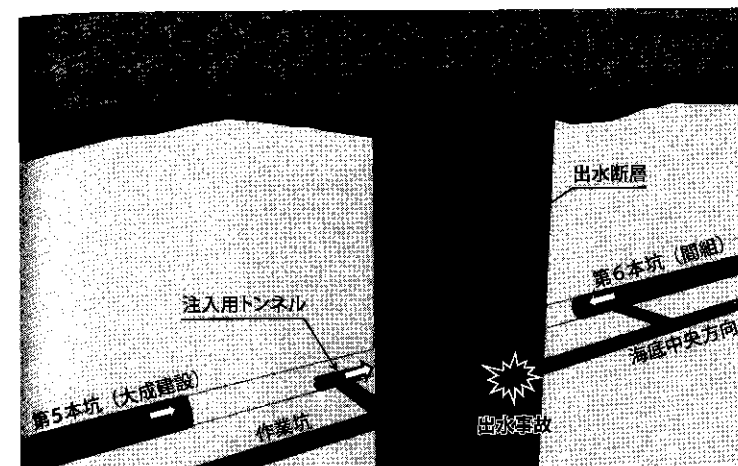
1971年	京都大学工学部交通土木工学
1971年	科卒
	間組入社、土木設計部配属
1977年	青函トンネル
1981年	土木設計部トンネル技術部門
1988年	社長室企画部
1995年	阪神復興対策本部
2001年	技術研究所長
2003年	技術・環境本部長
2010年	取締役常務執行役員退任
現在	吉見技術士事務所代表

しまった断層である。

この出水断層を貫通して本坑を完成させるために行った二つの技術についてお話したい。

■注入用トンネルの設置

青函トンネル海底部では、地盤注入(LW:水ガラスとセメントミルクの1.5ショット方式)で水みちとなる地山中のクラックを塞ぐ工法が採られた。大きな水圧(本坑は津軽海峡水面から240m地点に位置する)に対し、地盤注入で補強された地山と覆工が一体となっ



注入用トンネル図



注入用トンネルからの地盤注入

て対抗するという設計の考え方である。また、トンネルへの流入水量を極力減らすことは、トンネルの健全性を確保できるとともに、湧水処理費用の低減につなげることができるとともに、

ところで、この出水断層は、大部分が破碎された粘土で構成された不透水層である。そこで、出水断層との境界付近を念入りに地盤注入することにより本坑を掘進す

ることになった。しかし、断層の向こう側の境界付近もあらかじめ地盤注入で固めておかなければならない。作業坑のときのように再び出水、崩落の可能性があるからである。ところが、鉱山や石油掘削の機械など、考え得るさまざまなボーリング機を導入しても、この断層を貫通させた注入用の孔を掘ることができず、本坑側からの地盤注入計画は暗礁に乗り上げた。

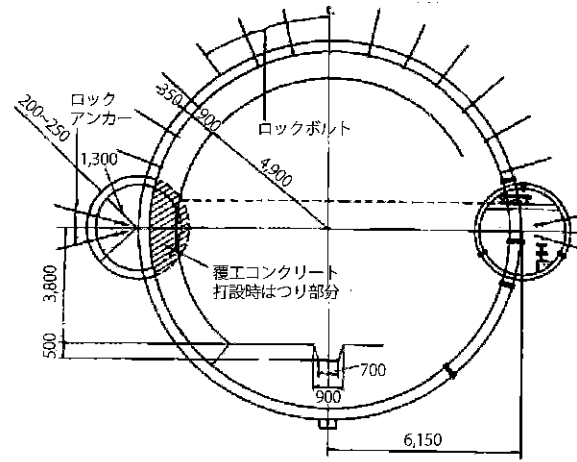
そこで、大きく発想を転換し、次頁の図に示すような地盤注入を行うための基地用のトンネルを反対側に構築することにより、断層を両側から挟み撃ちにする方法を考えた。この注入用トンネルを施工することにより、出水断層の境界を入念に地盤改良できた効果は非常に大きく、本坑の出水断層区間の突破につなげることができた。

ここで少し、本坑施工中のエピソードをお話したい。出水断層区間は、上半先進リングカット方式で慎重に掘り進めていったが、通常どおり日曜は休日とし、断層にさしかかったあたりでは前日に切羽を吹付けたあと、監視員を配置した。しかし、休日中に吹付けコンクリートが剥がれ、切羽が押し出してくるようになったため、断層を突破するまでは休みなしで掘進することにした。この方法により不測の事態を避けることができたが、日の短い真冬の時期であり、入坑するときもまた出坑するときも、外は暗いのである。

2~3週間経ったころであろうか、なんとなくイラついている自分を感じたことがあった。たまたま明るい時間に出坑したことがあり、そのときイライラ感がスーッと消えていたことを今でも鮮明に覚えている。トンネル屋といえども、やっぱりお天道様の下が一番と感じたときだった。

■鋼管支保工のプレキャスト化

出水断層区間は、次頁の図や写真でわかるように、強大な地山圧力に対抗するため、真円の掘削形状のスプリングサイロットという



スプリングサイロット工法



スプリングサイロット工法で施工中の本坑全景



青函トンネル本坑の貫通

工法が採用された。一般区間の鋼アーチ支保工はH形鋼であったが、この区間はφ318mmの鋼管内にフープ鉄筋とモルタルを入れて補強する鋼アーチ支保工が採用された。この工法でとくに問題となったのがモルタル詰めである。鋼管支保工を建て込んだあとにモルタルを充填する方法は、天頂部になるほど材料分離の可能性があるし、ブリージングなどの問題もある。さらに、鋼管支保工全体の強度発現までに時間を要することになる。

そこで、モルタルをあらかじめ

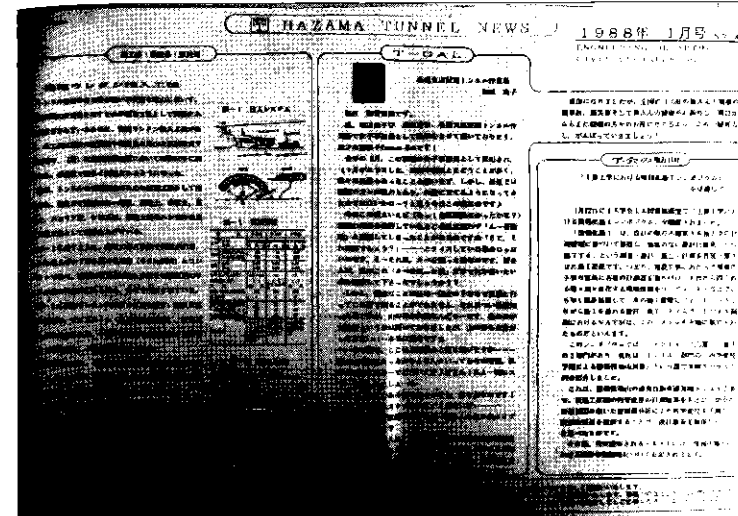
充填した鋼管支保工(プレキャスト化)を建込む方式に変更した。具体的には、トンネル後方に、中詰め作業と養生・保管が可能な大きなステージを構築し対応した。鋼管支保工の重量はモルタル分が増加したが、幸いにも鋼管支保工を建込むエクサ能力に余裕があったのでこの方式が可能となった。これにより、建て込んだ直後から強大な耐荷力のある支保工を構築することができた。

以上、二つの技術的な試みは、企業者(現)鉄道・運輸機構)の方々

のご指導や仲間の力があつたから実現できたことである。プレキャスト化については、土木設計部時代、港湾工事でのプレキャスト化構造の採用により、海水面変動の影響を抑えて施工ができた経験が生きたように思う。みなさんが、なにか難しい局面を迎えられたとき、パードビューの見方など、少し視点を変えて眺めてみられたらいかがであろうか。また、トンネル技術だけではなく、広く土木あるいは、ほかの分野にも、現場視察や技術交流などを通じて関心を持たれば、なにかの場面で役立つことがあるかもしれない。

トンネル技術部門責任者

青函トンネルで約4年間勤務したが、このころから、わが国のトンネルはNATMの導入が始まっていた。当時、間組は日本道路公団(現)NEXCO西日本)初のNATMである和歌山県の海南湯浅自動車道藤白トンネルを施工中であり、この現場を見学してからはどうしてもNATMを勉強したくなった。



ハザマトンネルニュース

青函トンネルでは吹付けコンクリートやロックボルトはいち早く採用されていたが、あくまでNATMではなく矢板工法である。

NATMの現場に転勤したかったが、再び本店土木設計部に戻り、トンネル技術部門の責任者となった。この時期の経験を述べたいと思う。

■矢板工法からNATMへ

長くトンネルを経験された諸先輩のなかには、NATMに拒否反応を起こす方もおられたが、トンネル経験の少ないわたしにとっては、計測データなど数値で評価するNATMは割り合いとつきやすく、経験の少なさを埋めてくれたように思う。

この時期は、われわれの予想を超えるスピードでNATMの発注が増加していった。わが社も前述のように現場見学会を開催するなど、NATMに対応できる技術者の育成を図っていた。技術者ばかりではない、トンネル作業員にとっても吹付けコンクリートとロックボ

ルトが主体の支保形式は、がっちりとした鋼製支保工で受止める方法に比べ、なんとも心もとなく映ったのである。NATMの登場はまさしく、大きなエポックであった。

こういう時期にどういう仕掛けをするか。これも本店技術部門に求められた役割だった。ここではそのうち、二つのことを紹介したい。

一つはトンネル技術研修会の開催である。全国のトンネル技術者に、NATM施工中の現場に2日ばかりで集まってもらい勉強をするのである。その現場の視察に加え、施工体験発表や大学の先生のレクチャーなどがおもな内容であった。この開催で予想していなかった効果が表れた。夜の懇親会の盛り上がり、全国に散らばる技術者同士のその後の交流にそのままつながっていったのである。電話などによる技術的相談は言うに及ばず、若手現場係教育のための短期受入れといったことにまで発展していった。トンネルという比較のまとめ

やすい分野だったこともあったと思うが、有意義な催しであり、今でも続いている。

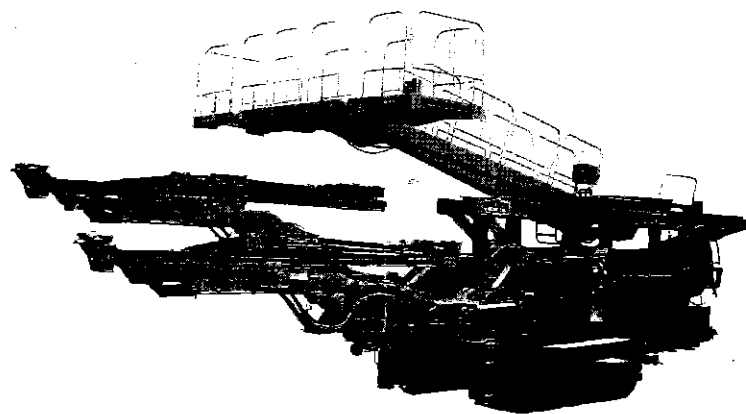
二つ目はトンネルニュースの発行である。A3判裏表1枚といった簡単なもので、毎月1回、トンネル現場に送付した。内容は、新技術の紹介や現場からの便りなどであったが、現場で一緒に働いている事務の女性からのおじさんへのエール欄「T-GAL」という名のコラム)が一番人気であった。

このような試みは、わが社のトンネル技術の向上に相應の効果を発揮したと自負している。

■『トンネルと地下』の話

当時、(株)ロードエンジニアリング代表取締役の田島利男さんが、『トンネルと地下』にシリーズで随想を書かれたことがある。軽妙洒落な文章で、それでいてわれわれ若手技術者へあるべき方向性を示された記憶がある。その中で、今でもときたま使わせていただいている話がある。それは、種類のダシの色と日本の特殊土との関係である。みなさん、ご存知のとおり、関東のダシは濃口醤油、関西は薄口醤油、さらに九州となれば塩味が優勢となる。この色と、関東ローム、マサ土、シラスの色となぜかにも似ているのか。

この関係性が偶然かどうかはひとまず置くとして、あるとき、田島さんにわが社の現場視察に来ていただいたことがある。そこで、現場技術者が田島さんにある質問をしたとき、『トンネルと地下』を持ってくるように指示された。ところが、その現場は購読してい



削孔ロボット(マツダ製)

なかったのである。田島さんからきついお叱りを受けた当時を思い出すと今でも恥ずかしくなる。その後、全国のトンネル現場に、定期購読を強く推奨したのは言うまでもない。

わたしは、その後の業務の関係で、いろんな学術誌、専門誌に接してきたが、『トンネルと地下』の施工経験を主体とした内容は、読者にとって非常に理解しやすい専門誌だと感じている。いま、最新号を手にしているが、当時、わたしが勉強したころの『トンネルと地下』とほとんど変わらない構成には思わずうれしかった。

■新技術の導入

NATMでは、ご承知のとおり地山の損傷をできるだけ抑えることが求められる。スムーズブラスティングにより平滑な掘削面が得られれば、トンネル品質が向上するばかりではなく、吹付け後の覆工コンクリート量の増加につながらないので、コスト面でも寄与できる。

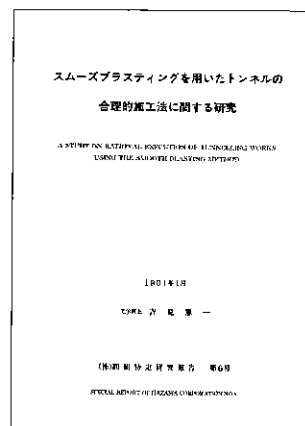
このころ、削孔ロボット(全自動ドリリングジャンボ)が開発され、これを導入すればデータも容

易に入手でき、実務面で有効なスムーズブラスティング手法の開発につながるのではないかと考えた。しかし、機械の導入コストに見合う経済効果が得られるかは懐疑的であった。幸いなことに、山陽自動車道志和トンネル西工区工事の所長は、新技術導入に非常に積極的な技術者であり、社内関係者を説得し、導入できることになった。工事が終わったあと、所長にコスト面の話を尋ねたが、もう1本掘ればお釣りがくると言われたときはたいそううれしかった。

新技術の導入は、リスクやコスト増を伴うことが多いが、わたしは土木技術の進歩のためには欠かせない姿勢だと考えている。十分評価が定まってから導入するやり方も賢明だと思うが、新技術を採用してうまくいったときの気持ちは格別なものである。

このスムーズブラスティングの研究では、当時、山口大学教授の中川浩二先生((現)NPO法人臨床トンネル工学研究所理事長)に熱心なご指導をいただいた。

ちょっと話はそれるが、あると



博士論文(1991年)

き、急に先生から学位を取得するようにと言われ、正直驚いたことを覚えている。当時のわが社では技術研究所の研究員だけが学位を目指すものと思われていた。土木設計部の後輩にも手伝っていたりして、無事、学位を取得できたときの喜びは今でも鮮明に覚えている。

おわりに

1988年に青函トンネルが津軽海峡線の一部として供用開始され、上野～札幌間に寝台特急「北斗星」が登場した。当時、鉄道ファンならずとも憧れだったこの寝台特急も来年の新幹線開通との関係で、今年3月に役割を終えた。歳月の流れを感じてしまうが、かつて、この北斗星に乗車したときのことである。わたしが担当した海底トンネル部区間をなつかしく思い、このラウンジカーの窓に顔をくっつけながら真っ暗な車外に目を凝らしていたとき、若者からいぶかしげに声をかけられた。彼らにしてみれば不思議な挙動だったのだろう。わけを説明すると、「おじ

さん、すごいね。」と予想もしない返事が返り、思わずほほが緩んだ。

トンネルは一般の人からみればほとんど目立たない土木構造物であり、たとえば橋梁やダムと比べると旗色がいいとは言えない。しかし、われわれのくらしを豊かに

するインフラという点では決して負けていない。あまり目立たないちょっとシャイな感じのトンネル屋であることにわたしは美学といったものを感じるのだが、みなさんはいかがでだろうか。

みなさんの活躍する舞台は、海外を含めてますます増えていくと

予想される。なにより、技術者にとって演じる舞台があるということは素晴らしいことである。

みなさんのご活躍が、トンネルや空洞などの地下構造物技術のさらなる発展につながることを期待しながら、この稿を終えたいと思う。

土木情報 No.504

今月の主な入札結果

(4月10日～5月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
関東地整	東京国際空港国際線地区共同溝他築造等	前田・株木JV	1,261.5
"	" 構内道路立体交差部涵渠拡幅及び地盤改良等(その2)	大本組	245
"	新三國トンネル改良その3	万屋建設	161
中国地整	長門俵山道路大寧寺第1T	戸田建設	3,899.3
鉄道・運輸機構	相鉄・東急直通線、新横浜トンネル	奥村・佐藤・青木あすなろ・NB JV	14,333
都市再生機構	立川基地跡地昭島地区H27公下その1	升川建設	210
東日本高速道路	北陸自動車道高の峰トンネルはく落防止対策	ショーボンド建設	677
"	" 柏崎トンネルはく落防止対策	建装工業	225
"	横浜環状南線桂台トンネル	大成・フジタ・銭高JV	48,190
中日本高速道路	中央自動車道小仏トンネル他4TN補修(H26)	ケー・エフ・シー	669
都・財務局	地下トンネル築造(27四環5の1雑司が谷)	東鉄・三共田中JV	1,441.85
大阪府	寝屋川流域下水道中央北増補幹線外立坑築造(H27-1)	国誉	289
横浜市	高速横浜環状北西線シーールドT建設	安藤ハザマ・岩田地崎・土志田・宮本JV	33,345
川崎市	第2導水ずい道(無圧区間)耐震補強	名工建設	170

施工

万全な沈下対策によりセントラム直下をシーールド掘進

—富山市 松川貯留管—

富山市上下水道局下水道課主査 江上 晴久
(地共)日本下水道事業団関東・北陸総合事務所北陸事務所事務所長 河野 雅
佐藤・前田特定建設共同企業体所長 宮崎 康生
佐藤・前田特定建設共同企業体工事課長 岩瀬 憲生

1 はじめに

富山市中心市街地の下水道は、汚水と雨水を同一の下水道管で収集・排除する合流式下水道方式で整備されている。この合流方式は2本の下水道管を敷設する分流方式に比べ、短期間に整備がで

き、建設費用も少なく済むという利点がある反面、雨天時に水量が増加すると未処理下水の一部が公共用水域に直接放流されるという問題がある。また都市化の進展や異常気象による集中豪雨により、中心市街地での浸水被害が顕著となっている。

「松川雨水貯留施設整備事業」は、これらの課題に対処するため、基幹施設となる松川貯留管をはじめ、水質保全対策導水管、浸水対策導水管や貯留水送水管などの施設を複合的に整備し、「一級河川松川の水質保全」「中心市街地の浸水被害軽減」を図るものである。

本稿では、路面電車軌道直下の「松川貯留管」を築造するにあたり、万全な沈下対策を施すことによりシーールド工法を安全に施工した際の取組みについて報告する。施工位置を図-1に示す。

2 工事概要

工事期間：2012(平成24)年10月23日～
2015(平成27)年3月20日
発進立坑：SMW(ECO-MW工法)
幅10.0m×長さ12.2m×深さ
19.1m

シーールド形式：泥土圧シーールド工法



図-1 施工位置図

2015年(平成27年)6月



トンネル発破技術のバイブル!!

わかりやすい

トンネル発破技術

監修 山田隆昭

B5判 76頁 本体価格1,500円 円300円

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



株式会社 土木工学社

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

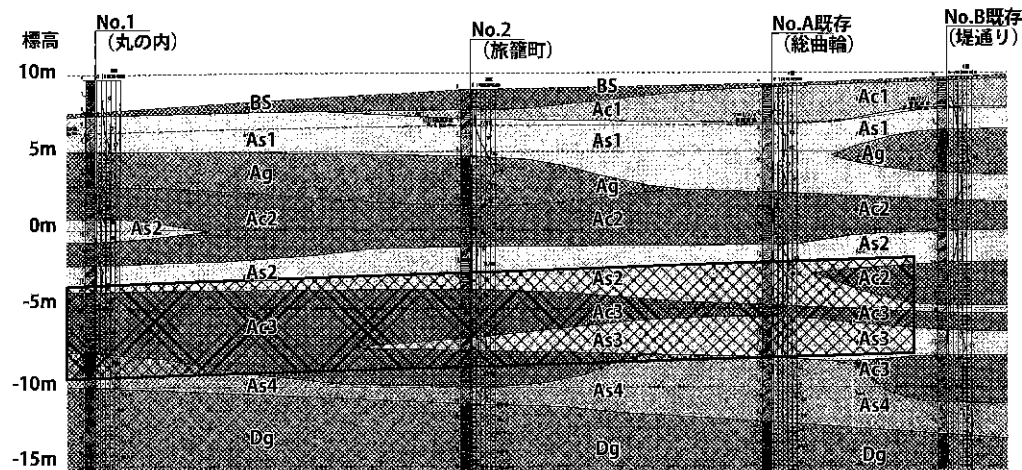


図-2 土質構成図

工事延長: 1,070m

セグメント外径: $\phi 6,000\text{mm}$, 幅1,200mm

セグメント構造:

標準RCセグメント

(延長488m, 将来, 背割り構造の二次覆工施工)

二次覆工一体型RCセグメント

(延長580m)

鋼製セグメント(曲線部, 流入部)

線形: 最小半径 $R=50\text{m}$

発進方法: SEW工法

環境条件: 路面電車直下のシールド掘進

本貯留管は, 区域内の浸水対策と松川への雨天時の初期越流水対策の併用利用となるため, 2種類のセグメントを採用したことが特徴である。

シールド区間の地質状況は, 沖積層のシルト, 砂, 礫の互層となっており, 地下水位はGL-2m程度にあり, 透水係数は 10^{-4}cm/s 程度であった(図-2)。また, 一部区間で溶存メタンガス濃度が20vol%と高い箇所が想定された。シールド区間のうち, 発進部約150mおよび到達部約370mの道路上には路面電車が併走しており, 軌道の沈下対策が必要とされた。

3 施工概要

3-1 本工事の特徴

本工事の特徴は以下のとおりである。

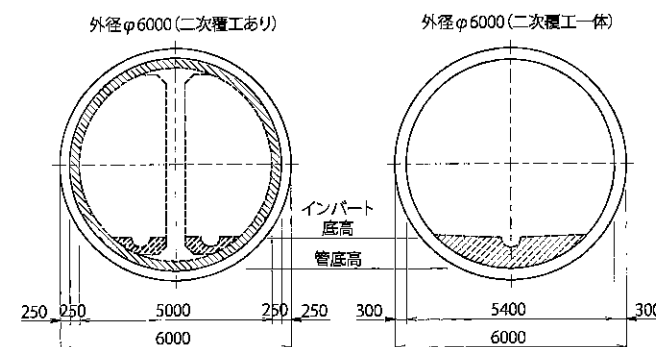


図-3 RCセグメントの構造

- ・2種類の覆工厚の異なるRCセグメントを採用する。
- ・軌道直下の掘進は初期掘進と同時に曲線半径 $R=60\text{m}$ の施工となる。
- ・メタンガスの発生が懸念される。

3-2 セグメントの特徴

2種類のセグメントの仕様を図-3に示す。二次覆工を施す標準セグメントは厚さ250mm, 二次覆工一体型セグメントは厚さ300mmとし, 両セグメントともに長期にわたって磨り減り, 経年劣化, ひび割れなどを防止することが必要となるため繊維補強RCセグメント(SFRCセグメント)を採用した¹⁾。今回は鋼繊維 $\phi 0.6\text{mm}$, 長さ32mmの両端フック型の鋼繊維を0.6体積%(47kg/m^3)混入させた(写真-1)。

通常のRCセグメントと曲げ耐力を比較した実験により, ひび割れ荷重で55%, 破壊荷重で18%

直径 $\phi 0.6\text{mm}$, 長さ30mm, 両端フック型



写真-1 鋼繊維(左), 生コンクリートの状態(右)

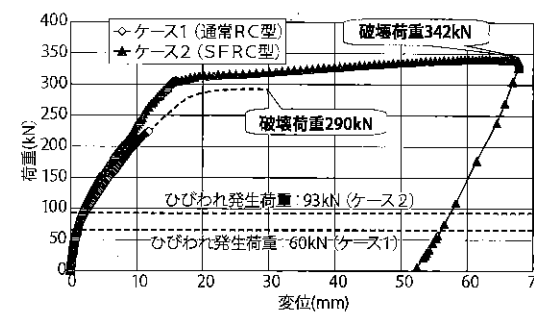


図-4 SFRCセグメントの単体曲げ試験

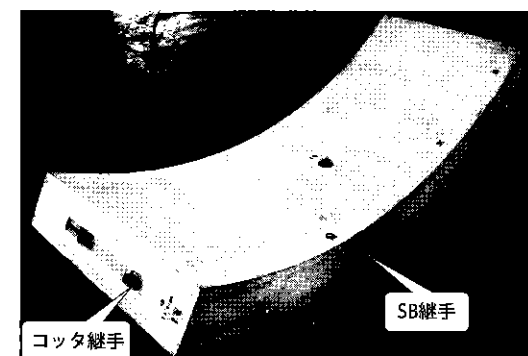


写真-2 セグメント

耐力を向上できることを確認し, 短期的な施工時荷重および長期耐久性を向上させた(図-4)。

3-3 二次覆工一体型セグメント

今回採用した二次覆工一体型セグメント²⁾は, セグメント継手はスライドコッタ継手, リング継手はKセグメントの拔出現象に対して引抜き抵抗が高いSB継手を採用した(写真-2)。また, シールド材は2条配置とし, さらにコーキングは貼り付け型コーキング材(シーコーク)を採用し, セ

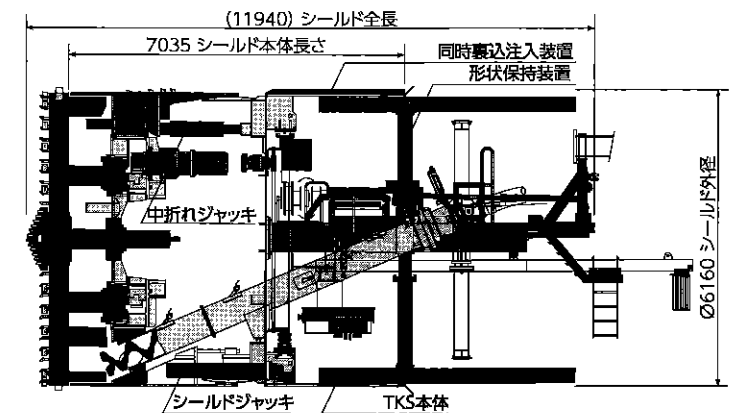


図-5 泥土圧シールド構造図

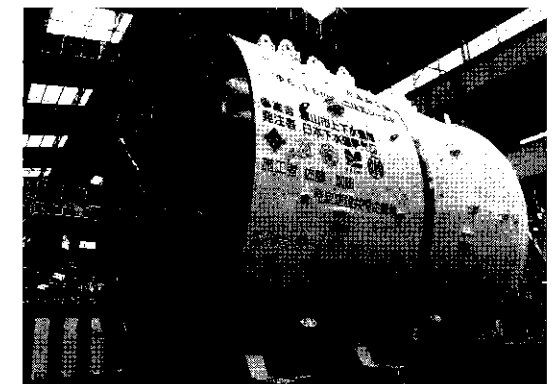


写真-3 シールド

表-1 シールド仕様

項目	仕様
シールド外径	$\phi 6,160\text{mm}$
シールド機長	7,035mm
シールドジャッキ	1,500kN $\times$ 34.3MPa $\times$ 1,750mm $\times$ 20本
中折れジャッキ	1,500kN $\times$ 34.3MPa $\times$ 690mm $\times$ 16本
中折れ角度	左右 5.3° , 上下 1.0°
コビーカッタジャッキ	195kN $\times$ 20.6MPa $\times$ 120mm $\times$ 2本

グメントからの漏水対策に2重の措置を施した。

3-4 シールド仕様

本工事で採用する泥土圧シールドを写真-3に, 仕様を表-1に示す。路面電車の沈下防止対策として, 裏込め注入はシールドからの同時裏込め注入装置を2基装備し, テールグリスは自動給脂方式を採用して, シールド周りのボイドを保持するために充填材注入孔を6か所配置したことが特徴である。

4 路面電車軌道の近接施工対策

4-1 軌道管理者との協議

軌道管理者、事業者、発注者、施工者で管理基準、連絡方法などの協議を行った結果、軌道管理者から管理基準として高低差±20mm、水準差±10mmが示された。

変位が発生した場合、管理基準値に達するまえに変位抑制対策を講じるために表-2に示す一次管理値、二次管理値、三次管理値、整備基準値を定めた。

一次管理値として、軌道横断部の事前解析(応力開放率10%によるFEM解析)では3.8mm沈下が生じる結果であったので、高低差、水準差ともに4mmを一次管理値とした。また、測定頻度は表-3のようにシールド掘進に応じた頻度で行った。

また、季節による軌道の変動を確認するため、シールド掘進前、1年間にわたり、軌道測定を実施した。1年間の測定により、2～3mm程度の変動が発生することが明らかになった。協議の結果、初期値はもっとも本計測に近い時期の初期計測値とした。また、軌道管理者の要望で、シールド掘進開始前に事業者と軌道管理者が協定書を交わし、保安措置の取扱いを決定した。

4-2 沈下対策

軌道の沈下対策として、余掘り部の充填、裏込め材強度、切羽圧管理、軌道上の運行禁止の4点を対策とした。

4-2-1 余掘り部の充填対策

急曲線防護などで使用する充填材(クレーショック)を、シールドのオーバーカット部に全線注入することにより、地盤変位を抑えることとした(図-6)。また、シールド部後部には逆流防止板を設置し、クレーショックと裏込め材が混合しないように配慮した。

4-2-2 早硬性裏込め材の使用

通常の裏込め材は1時間強度で0.1N/mm²であるが、0.5時間強度で同じ強度を発現する早硬性裏込め材を使用することにより、さらに地盤変位の低減を図った。

4-2-3 切羽安定管理システムの採用

切羽土圧管理は土圧計を8か所設置し、チャンパ内の土圧分布により泥土状況を可視化して把握しやすくした。

4-2-4 資材運搬車両による沈下防止

防音ハウス前面道路には路面電車が走行しているため、セグメント運搬トレーラなどをバックで入場させると、頻繁に軌道上を横断し沈下の要因となる。そのため、車両の防音ハウスへの入退場は一方通行とした(図-7)。

4-3 軌道変位の結果

シールドが路面電車下部を横断する付近の軌道変位の一例を示す(図-8)。シールドテール通過による軌道の最大変位は4mmであった。上記のさまざまな対策を実施したにもかかわらず一次管理値と同じとなった理由は、側点付近の軌道は枕木構

表-2 路面電車施工管理値

測定管理項目	一次管理値	二次管理値	三次管理値	整備管理値
計測値(高低差)	0～4mm	5～15mm	16～19mm	20mm
計測値(水準差)	0～4mm	5～7mm	8～9mm	10mm
管理値内の対応	・日常管理体制で施工継続	・監視体制を強化し施工継続 ・沈下防止対策検討	・工事一時中断 ・原因究明、再発防止対策検討	・作業中止 ・軌道整備
計測頻度	1回/日	2回/日	2回/日	

表-3 沈下計測頻度(シールド)

計測期間	計測頻度	備考
事前計測	シールド先端より45°で地表面までのラインに進入する前	1回 シールド掘進前の軌道状態の把握
本計測	測定箇所が45°ラインに進入後1週間	1回/日 シールド掘進時の軌道への影響把握
事後計測	本計測終了後1か月間	1回/週 シールド掘進後の軌道状態の把握

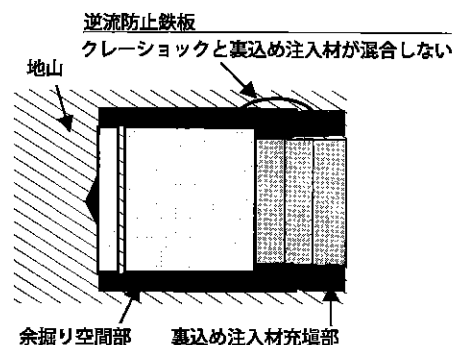


図-6 余掘り部充填

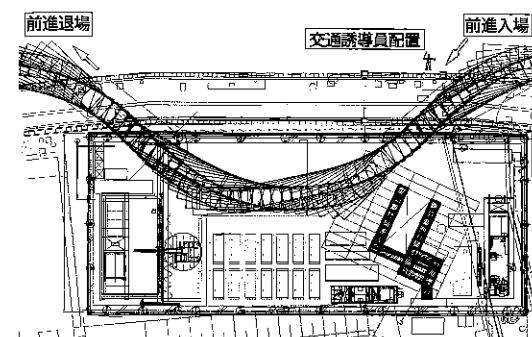


図-7 資機材運搬車の搬入、搬出ルート

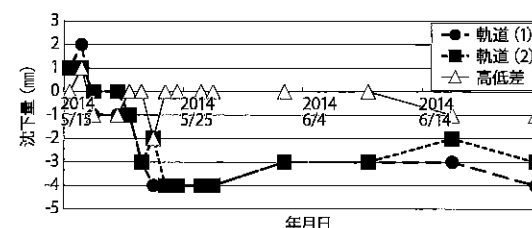


図-8 軌道沈下測量結果(側点S7)

造で、年間計測を通して変動が2～3mm発生することが、要因として考えられる。最終的には路面電車運行への影響や軌道整備実施の必要性はなかった。

5 メタンガス対策

メタンガス対策はシールド坑内にメタンガスを含んだ地下水の漏水を防止することを基本とし、下記の3つの項目を実施した。

- ・坑内の掘削土砂の運搬は、ずり鋼車の運搬方法を全線土砂圧送による排土方式に変更した。
- ・シールドの後胴テールシールド部からの湧水対策は、テールグリス自動給脂の採用とエアカー

テンによる限定防爆方式を採用した。

- ・セグメントからの漏水防止対策としてセグメントシールドを2条貼りとし、シールド材は額縁加工の継目なし加工を行った。さらに、半径方向シールドを追加し、漏水箇所を限定する対策を実施した。

早期のメタンガス発見のため100mごとに自動ガス検知器を設置し、ガスを検知した場合に職員、作業員が携帯している電話に警報が発信されるネットワークも構築して対処した。

対策の結果、掘進中のガスの発生もなく、大雨などの警報発令時の避難誘導に効果を発揮した。

6 施工実績

6-1 掘進実績

2014(平成26)年3月に掘削を開始し、同年10月に到達を迎えた。初期掘進、本掘進ともに昼勤のみの片番作業であったが、標準的な日進量は9.6m(8R)を確保できた。これは、土砂圧送により坑内運搬の資機材を減少させ、さらに12t天井クレーン使用による立坑荷下ろし作業の効率化を図った結果のサイクルタイムの改善によるものである。

6-2 シールド発生土処理

上記のサイクルを確保するためには、掘削土処理、運搬が重要な要素となる。今回は泥土を平ダンプで運搬処理するために、高分子系改質材を使用した泥土改質装置を導入し、添加直後に運搬可能であるテーブルフロー値120mm以下を確保した。改質設備のコンパクト化を目的に、土砂圧送で運搬された掘削土を直接パドルミキサで攪拌改良する設備とし、土砂ピット上部に設置した。平均添加量は1.2kg/m³で改良状態は良好で、改良後すぐに積み込みが可能であった。

残土もダンプトラックで約70台/日の搬出を行った。防音ハウス内の車両通行を一方通行とし、かつ写真-4のようにトレーラ横にダンプ走行路を確保したことにより、最大350m³/日の搬出を掘進期間全体で対応できた。

6-3 一次覆工の品質結果

二次覆工一体型セグメント区間の仕上がり状況を

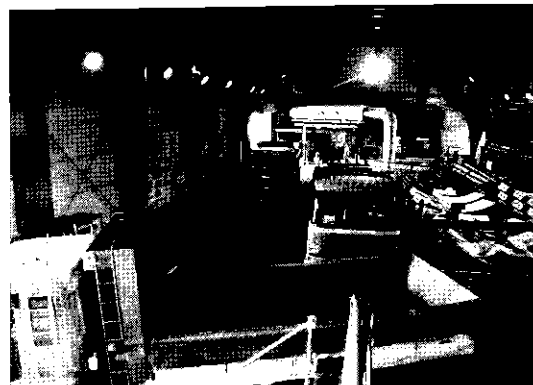


写真-4 発進基地資機材運搬状況

写真-5に示す、ひび割れ、欠けも見られず、漏水も2条シールドおよび貼り付け型コーキングの対策により数箇所だけであった。さらに、曲線施工時の施工時荷重による不具合防止対策として、最小曲線 $R=50m$ の出入口に鋼製セグメント(8R)を配置し、シールドジャッキによる偏荷重やテールブラシの拘束力の影響を極力防止した対策も良好な結果を得た要因である。

7 おわりに

今回の工事は地方都市のシールドとしては大口径シールドである。本報告が、地方都市における沈下対策やメタンガス対策などのシールド工事の参考になれば幸いである。

現在は後続工事において、二次覆工コンクリートの施工を進めており、背割り構造部は高流動コ



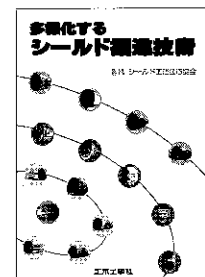
写真-5 一次覆工完了

ンクリートを使用する計画である。二次覆工に高流動コンクリートを使用するケースは少ないと思われるので、今後、機会があれば施工結果を報告したいと考えている。

最後に、誌面を借りて、松川雨水貯留管施設整備事業にご協力いただいている関係各位に心よりお礼申し上げるとともに、今後ともご理解とご協力をお願いする次第である。

参考文献

- 1) 土木学会：「繊維補強鉄筋コンクリート製セグメントの設計・製作技術」に関する技術評価報告書、2010.6.
- 2) 東京都下水道サービス：下水道シールド工事に用二次覆工一体型セグメント設計・施工指針、2009.2.



多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会
B5判 141頁 本体価格2,500円



株式会社 土木工学社

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

計画

大深度・高水圧下でのシールド地中接続(拡幅)工事の設計

—東京下水道 隅田川幹線—

東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所設計課長 葛西孝周
東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所設計課設計第一係長 日野和功
東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所設計課設計第一係 船倉崇弘

1 はじめに

東京区部の下水道は戦前から高度成長期にかけて整備された施設が多く、この間の都市化の進展に伴う雨水流出量の増大から既存施設の能力が不足し、浸水被害が発生する大きな原因となっている。隅田川幹線の整備を行う足立区千住地区においても、既存施設の能力不足から浸水被害が多く発生している。これまで、将来、隅田川幹線に接続する計画の主要枝線を先行的に整備し、隅田川幹線が流下できるようになるまで暫定貯留管として活用するなどの浸水対策を講じてきた。しかし、抜本的な浸水対策を行うためには、幹線やポンプ所などの基幹施設を整備する必要がある。このような経過を踏まえ、2009(平成21)年から本隅田川幹線工事、2010(平成22)年から放流先となる千住関屋ポンプ所工事にそれぞれ着手し、2019(平成31)年までに雨水整備水準を従来の50mm/hr流出係数50%から50mm/hr流出係数80%とすることで約1.6倍に向上させ、浸水被害の大幅な軽減を図ることとしている。

2 隅田川幹線工事の概要

隅田川幹線は、足立区千住桜木1丁目および墨田区墨田5丁目を起点とし、足立区千住関屋町を終点とする流域面積約292.85ha、全長約3.4km、仕上り内径4,750~5,500mm、深さ約40mの雨水幹線(合流式)である。

隅田川幹線の整備にあたっては、都立忍岡高校跡地(墨田区墨田5丁目)に発進立坑を築造し、千



図-1 隅田川幹線位置図

住西ポンプ所の既設特殊人孔(足立区千住桜木1丁目)までの区間を先行的に事業化した。Ⅰ期工事である仕上り内径4,750mm、延長約3.1kmのシールド工事はすでに完了している。

Ⅲ期工事は、仕上り内径5,500mm、延長約0.27kmのシールド工事であり、足立区千住関屋町で建設中の千住関屋ポンプ所のケーソン躯体内からシールドを発進し、墨堤通りの交差点部の土かぶり約40mの路下において、Ⅱ期工事である地中接合(拡幅)部に接合する計画になっている。

図-1は隅田川幹線の位置図である。

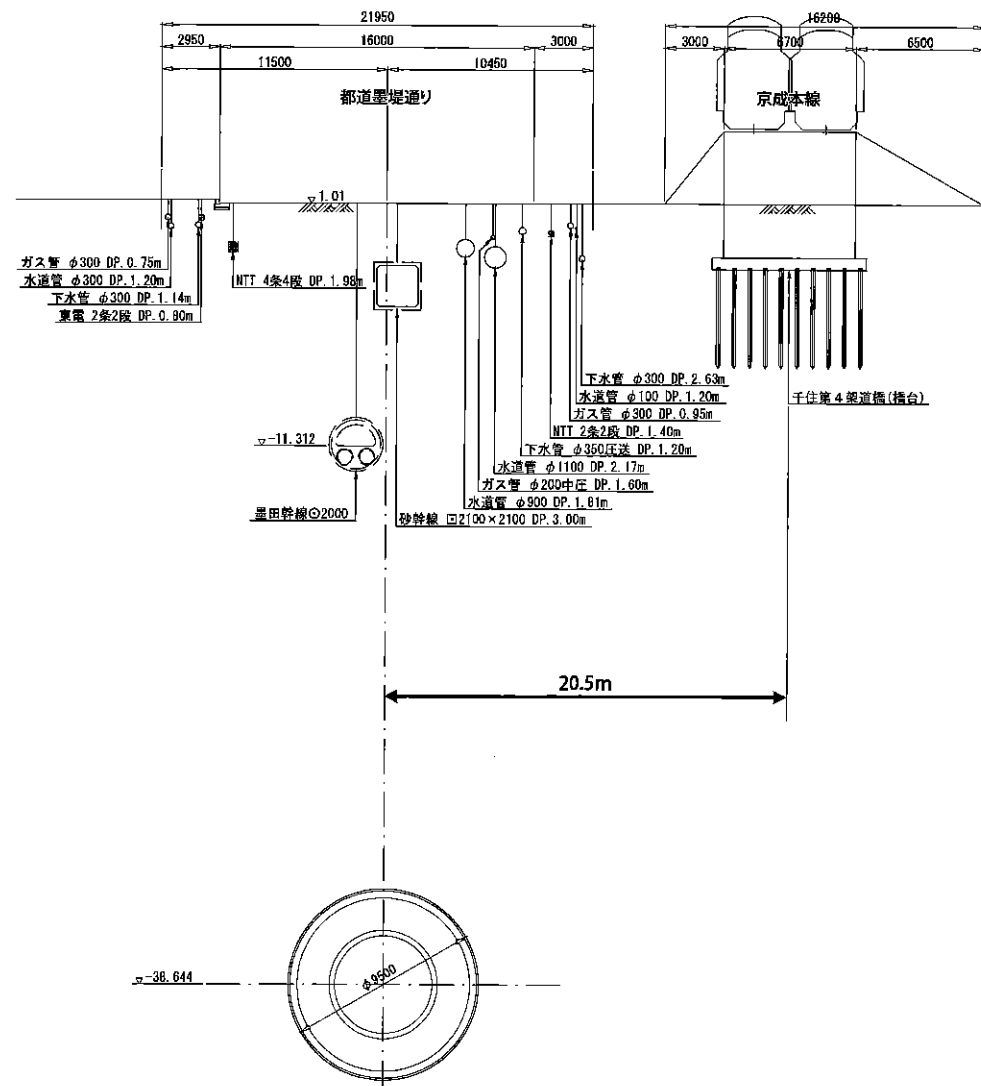


図-2 接続部断面

3 地中接合部の拡幅工事

3-1 接合部の施工環境

Ⅰ期工事で施工した仕上り内径4,750mmとⅢ期工事で施工する仕上り内径5,500mmの管きよとの接合箇所は、主要幹線道路である都道墨堤通りにあり、交通量が非常に多い。また、図-2に示すように、下水道幹線2本(墨田幹線：内径2,000mm、砂幹線：内径2,100mm×2,100mm)に加え、他企業の埋設物(ガス、電力、水道、NTT)が輻輳している。

さらに、地上には接合部の南側約20.5mで京成本線(千住大橋駅～関屋駅区間)と近接している。京成本線は、成田国際空港へのアクセス路線で、年間約300万人の人々が利用しており、今後の国際化の進展により、利用者の増加が見込まれている重要な鉄道路線である。

3-2 地中拡幅工事の検討

下水道管きよの接合は、一般的に施工性と維持管理を考慮して立坑を設置するが、当該箇所では路上からの施工はきわめて困難であり、立坑を築造することはできない。また、大深度の立坑の築造は京成本線への影響も大きく、列車の運行の妨げになる可能性もある。このため、立坑築造は行わずに、Ⅲ期工事のシールドトンネルとⅠ期工事のシールドトンネルとを地中で接合することとした。

しかし、Ⅰ期工事で整備したトンネルの内径は4,750mmであるのに対して、ポンプ所側から発進するⅢ期工事のトンネルの内径は5,500mmであり、これらをどのようにして接合させるかが大きな課題であった。

地中接合方法として、当該箇所を掘進しながら拡大するシールド工法や、内径5,500mmのトンネルを内径4,750mmと同程度の管径に縮径し、千住関屋ポンプ所へ流入させる案も検討したが、拡大シールド工法については、Ⅰ期工事で施工するセグメント径を、本工事で必要な外径9,500mmに拡幅することは技術的に困難であり、また、管径を縮小すれば自由水面を確保できずに管きよが圧力状態となることから、先行して整備している主要枝線の上流部で浸水被害が発生する可能性がある。

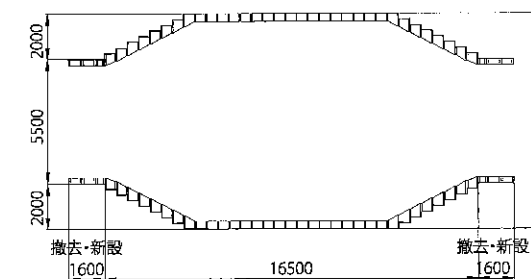


図-3 セグメント構造詳細図

このため、図-3に示すように、補助工法として地盤改良工法を併用し、Ⅰ期工事で施工した内径4,750mmの一次覆工セグメントを撤去し、接合が可能となる大きさのセグメントに置き換える拡幅方法を採用した。

4 地盤改良工法の検討

4-1 凍結工法の採用理由

既設トンネルの一次覆工であるセグメントを拡幅する際に、まず、必要となる補助工法を検討した。

大深度下での地中拡幅となるため、安全で確実な方法を採用する必要がある。しかし、周辺環境や埋設物の状況により地上からの施工は困難であることに加え、既設の内径4,750mmの管きよの下部には未改良部分が残ることが予想された。そのため、地上からの地盤改良工法は除外し、表-1に示すように、既設の管きよから施工できるインナー注入工法と凍結工法とを選択し、これらを比較検討した。

インナー注入工法は、既設管きよ内からの施工が可能であるが、今回のようなシルト質土でN値20以上の地盤では脈状注入となり、安全性や信頼性に問題がある。凍結工法は、インナー注入工法と比べて高価となるが、凍結範囲全体が均一に改良できるため、止水性に加えて必要な地山強度も期待できる。これらのことから、凍結工法を採用することとした。

表-1 地盤改良工法比較表

地盤改良工法	インナー注入工法	凍結工法
改良強度	改良強度は小さい 粘性土：粘着力の向上程度 砂質土：1 kgf/cm ²	改良強度は非常に大きい 粘性土：30～50 kgf/cm ² 砂質土：45～75 kgf/cm ²
	×	○
施工性	施工本数が多いため、既設トンネル外殻に悪影響を及ぼす	均一な改良と、既設トンネルに完全に密着した改良ができる
	△	○
経済性	○	△
評価	×	○

4-2 土質調査

凍結工法を設計するにあたっては、事前に土質性状、塩分濃度、地下水流速などの把握が必要となる。このため本工事では、図-4に示すように、地中接合部の直上に近接した箇所で行った土質調査を実施した。

図-5は土質調査の結果を示したものである。凍結工の対象土質は、粘性土および砂と砂礫の互層で、地下水位はGL-2.19m、地下水の塩分濃度は0%であり、凍土の造成には問題ないものであった。また、地下水の流速は、14.2~25.8cm/日であり、凍土を造成することができる限界流速(200cm/日)¹⁾よりも小さいため、地下水流を低減させる対策は不要であることが判明した。

4-3 凍結工法の設計

凍土の設計基準強度は、これまでの凍結工法の実績を踏まえ、圧縮強度を3,450kN/m²、曲げ強度を2,050kN/m²、せん断強度を1,700kN/m²とし、必要凍土厚を算出した結果、セグメントの拡幅部外側に凍土をリング状に造成するための必要凍土厚は3.249mとなった。凍結の管埋誤差である凍結管の埋設長の1/100をこれに加えて、凍土厚は3.4mとした。

また、構造物と凍土の接着する長さである凍着長は、最低2.5m以上の確保が必要とされているが²⁾、本工事は大深度であることや、過去に当局で行った凍結工法の実績を踏まえ、接着するセグメント3リングを覆う範囲で接着させることとし、図-6に示すように、拡幅部の片

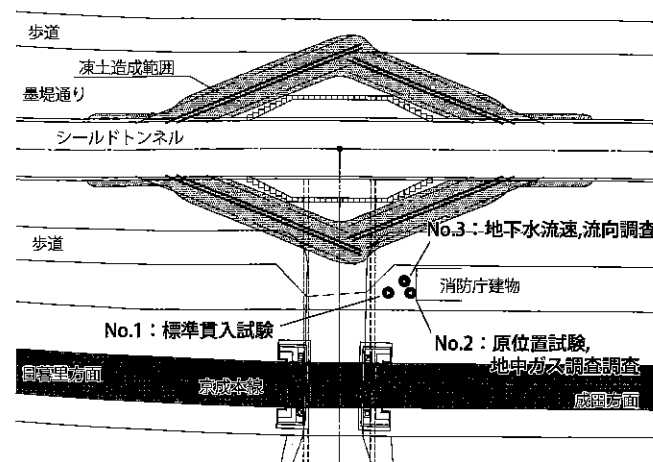


図-4 ボーリング調査位置図

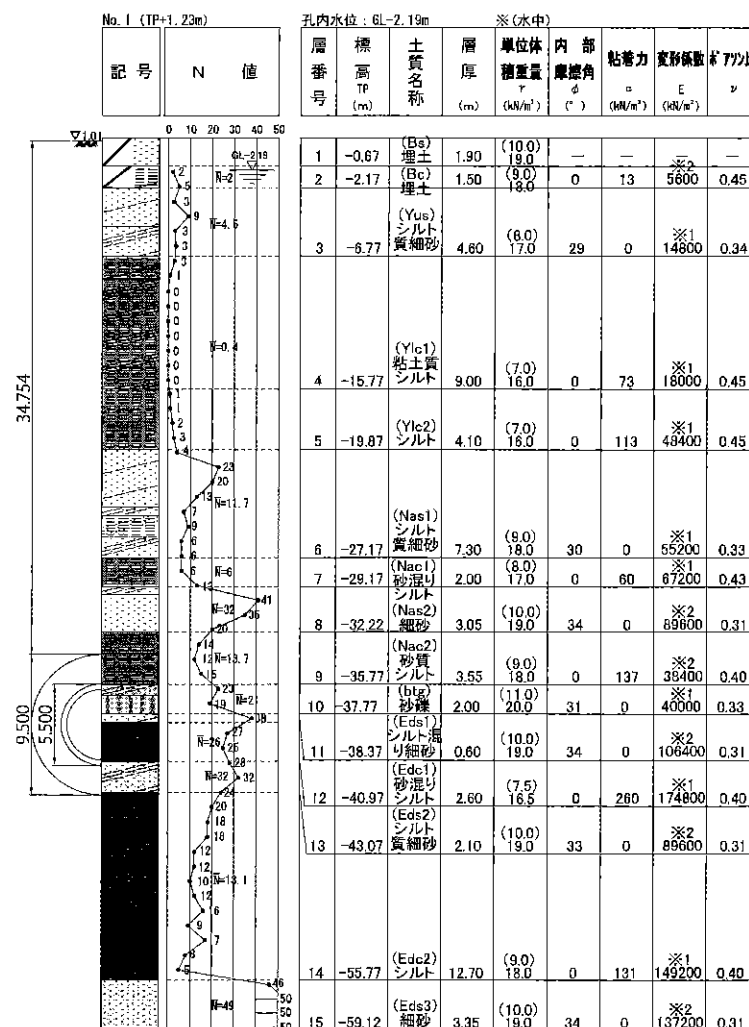


図-5 土質柱状図

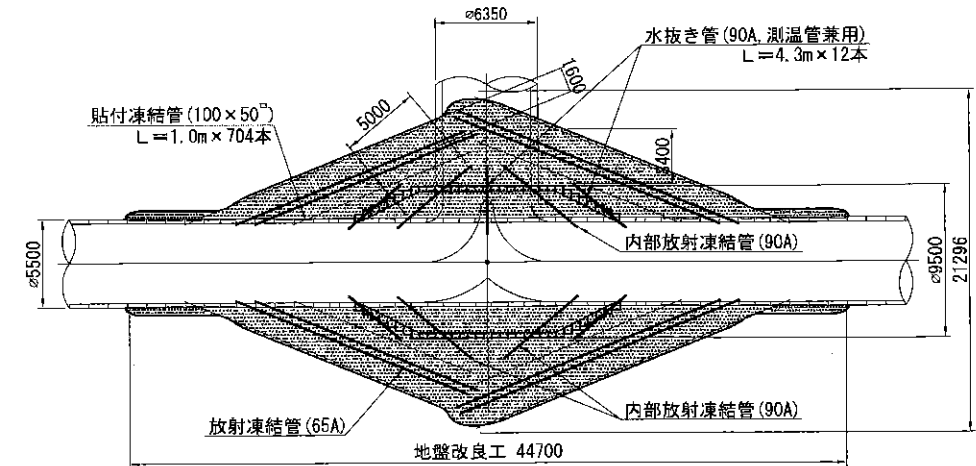
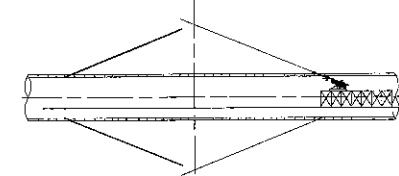


図-6 凍結工法改良範囲

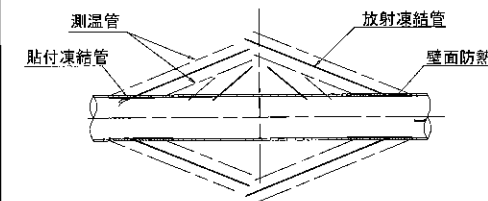
1. 凍結管・測温管埋設工

- トンネル坑内にボーリングプラントを設置
- セグメントにスリーブ管125Aを取付け、止水装置を設置して、凍結管・測温管を埋設



2. 拡幅部配管、防熱、計装設備工

- 凍結管に内管を挿入、頭部を加工して枝配管を施工。
- セグメントに貼付凍結管を設置、壁面防熱を施工。
- 計装設備を施工。



3. 凍結運転(凍土造成)

- 凍結運転を開始し、凍土造成を行う。

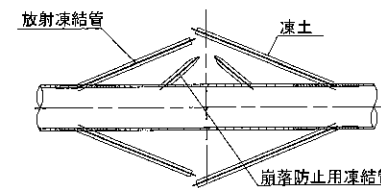


図-7 凍結工法施工手順

側3.0mずつとした。

設計された所定の凍結範囲を確保するため、放射凍結管(65A)128本、測温管(65A)32本を、拡

幅部を包囲するようなかたちに埋設する計画とした。また、拡幅工事の施工中の凍土の崩落を防止するため、内部にも放射凍結管(90A)58本を埋設し、既設トンネルの壁面には貼付凍結管を設置した。凍結管の埋設完了後、冷凍機で冷却したブライン(塩化カルシウム溶液)を凍結管に循環し、凍土を造成するとともに、凍結維持運転期間中の凍土の必要以上の成長を抑制し、凍上による周辺環境への影響を軽減させるため、凍結管の外側に温水管(65A)128本を設置することとした。図-7に凍結工法の施工手順を示す。

5 地中拡幅工事の施工手順と既設セグメントの撤去時の変位抑制方法

5-1 地中拡幅工事の施工手順

図-8は地中接合部の一次覆工であるセグメントの撤去と拡幅部用の鋼製セグメントの組立て手順を示した図である。地中拡幅工事は所定の凍土厚を造成したのち、凍土維持運転期間中に施工する。拡幅工事には重機を使用するため、重機を坑内に搬入する前に枕木材の補強を行い、その後、拡幅部の上半部の既設の鋼製セグメントを切断し、ハンドリング荷重1.6tの鋼材ハンドリング機を使用して解体し搬出する。なお、凍土の掘削には、人力掘削と機械掘削を併用することとした。

上半部の掘削完了後、解体に用いた鋼材ハンドリング機により拡幅用セグメントを組立て、施工

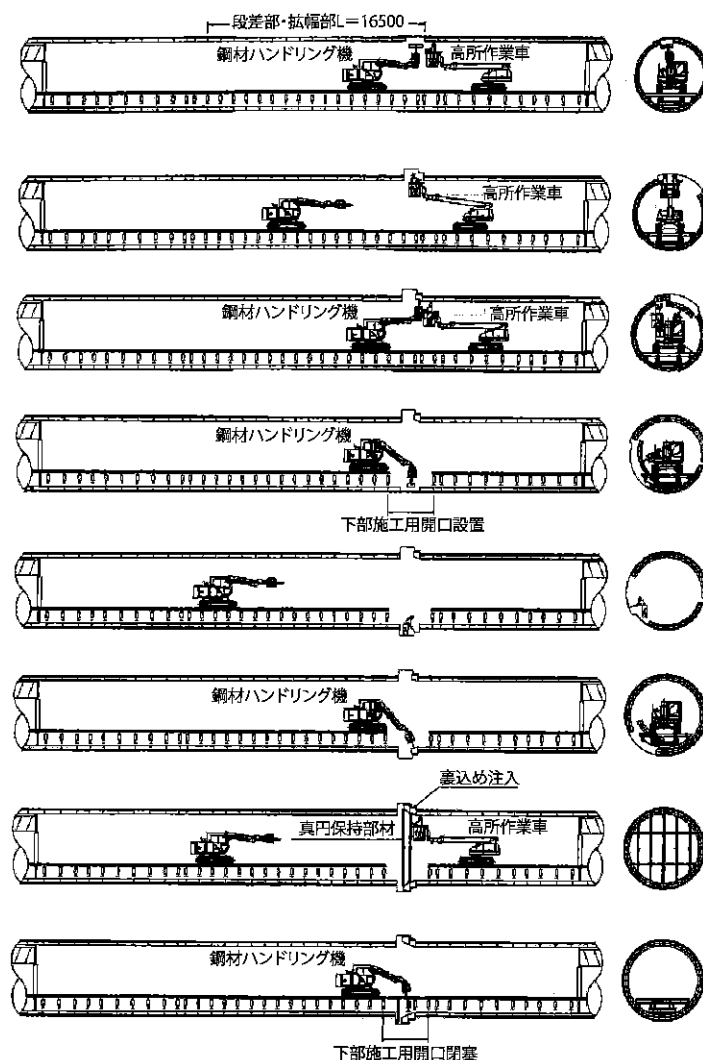


図-8 地中拡幅工の施工手順

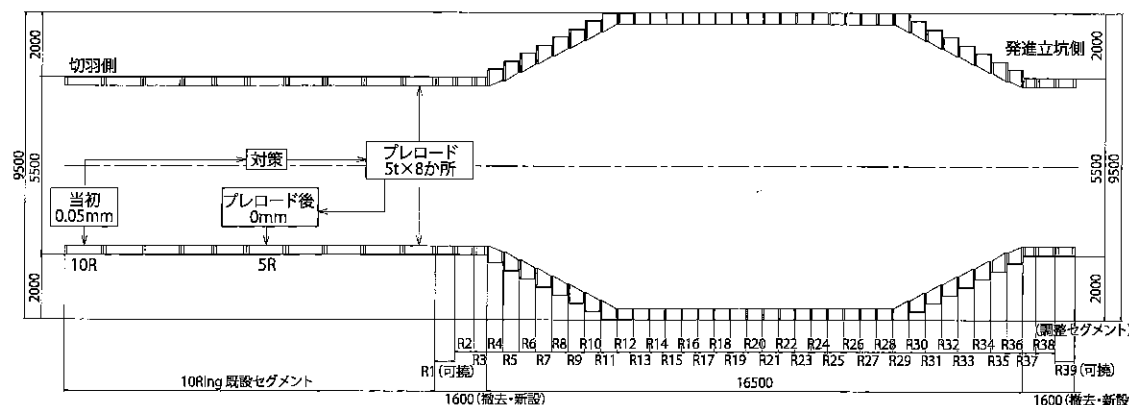


図-9 セグメント撤去時の変位抑制方法

箇所の敷鉄板、枕木を撤去する。次に上半部と同様の手順で下半部の施工を行い、拡幅用セグメントリングが組み立てられたあとに、水平および垂直の出来形の精度を確認し、真円保持部材を設置して裏込め注入を行う。その後、裏込め注入が硬化したことを確認し、真円保持部材の解体、敷鉄板、枕木を復旧する。この手順で2リングずつ施工を行い、拡幅部の全長16.5m分の施工を行うこととした。

5-2 既設一次覆工セグメントの撤去時の変位抑制方法

一次覆工のセグメントを解体する際に、凍結範囲外にあるセグメントリングの変形により地下水が流入する可能性が考えられたため、セグメントリングの変位を算出した。その結果、可撓性セグメントから10リング目までは0.05mmの変位量が発生することが判明した。

大深度下での施工では、水圧が非常に高く、軽微な変位量であっても出水事故につながる懸念がある。変位量は地下水が進入しても直ちに凍結するほど非常に小さい値であったが、地下水の流

入を完全に防止するため、図-9に示すように、セグメント内側にプレロードを作用させ、凍結範囲内にある5リング目以降の変位を0mmに抑える対策を講じることとした。

また、万が一出水した場合の安全対策として、拡幅部の前後に鋼製隔壁を設置し、その中に必要注水量1,520m³を注水できるようにして、地下水や地山の流入を防止することとした。具体的には、発進立坑用地である都立忍岡高校跡地(墨田区墨田五丁目)に約100m³の貯水槽を4基設置するとともに、即時に水を注入できるように、軌条設備の下にも1,150m³を貯水し、迅速に隔壁内に水を充填できるようにした。

また、Ⅲ期工事で施工するシールドトンネル(内径5,500mm、延長約0.27km)との接合は、拡幅部にエントランス装置(充填材(LW材)とソイルセメント、水を充填したソケット)を設け、ここにシールドを到達させる計画とした。この接合部は今回の拡幅部と同様に京成本線と近接するため、今後、京成電鉄と協議を行う予定にしている。

6 近接構造物(京成本線)への影響の検討

地中接合部と京成本線の位置関係は、図-2に示したとおりである。地中接合箇所の南側約20.5mに京成本線(千住大橋駅〜関屋駅区間)が近接している。このため、地中接合箇所における凍結工事、凍土内の拡幅掘削などによる京成電鉄の盛土軌道への影響についての検討を行い、軌道の変位量を確認し、軌道の安全性について検証した。

6-1 FEM解析による京成電鉄の盛土軌道への影響

6-1-1 凍土内の拡幅掘削

凍土内の拡幅掘削の盛土軌道への影響は2次元FEM解析により検討した。解析に使用した土質条件は図-5に示したとおりである。また、解析に用いた土の単位体積重量、内部摩擦角、粘着力、ポアソン比は現地盤でのボーリングデータから得られたものを用い、凍土の変形係数は483,000kN/m²とした。盛土軌道の沈下量の解析結果は、上

り線で5.5mm、下り線で6.4mmであった。

6-1-2 凍結工法による凍上の解析

地中接合部の周辺地盤を凍結することによる京成電鉄盛土軌道への影響は、まず、隅田川幹線直上における凍上量の分布を3次元凍上計算式により算出し、次に、その凍上量の分布を3次元FEM解析の入力変位として与え、地表面における凍上分布を算出した(図-10)。凍結工法による凍上量の解析結果は、上り線8.2mm、下り線11.5mmであった。

6-2 変位吸収溝による凍上対策の検討

凍結工法による凍上対策として、変位吸収溝を検討し、連続した溝(変位吸収溝、幅600mm×延長45m×深さ50m)を設置するとともに、溝壁を長期安定させるため、ベントナイト泥水に高吸収性樹脂を攪拌混合させたものを充填し、凍上変位を吸収する対策を検討した。

6-2-1 凍土内の拡幅掘削(凍上対策時)

変位吸収溝部の要素の物性値を泥水(低弾性係数)に置き換えて、2次元FEM解析を行った。

6-2-2 凍結工法による凍上の解析(凍上対策時)

解析手順は図-10と同様であるが、変位吸収溝部の要素の物性値を泥水(低弾性係数)に置き換えた。ここで、変位吸収溝より盛土側については、変位吸収溝で遮断され、凍上変位はないと判断し、変位吸収溝よりトンネル側のみ強制変位を与えることとした(図-11)。

6-2-3 変位吸収溝による影響解析結果

変位吸収溝を施工することにより、凍結による

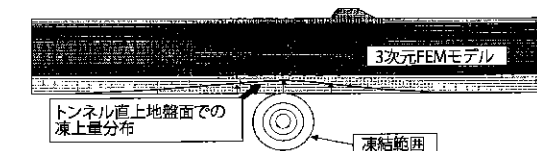


図-10 解析手順

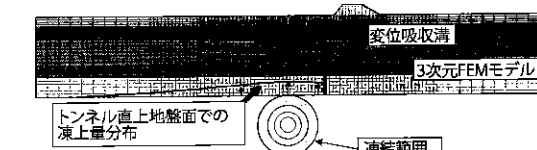


図-11 解析手順(凍上対策時)

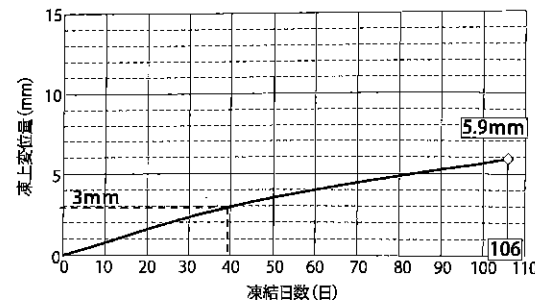


図-12 凍上変位の経日変化

凍上量は0.08mmとなり、抑制効果が非常に高いことが確認できた。しかし、変位吸収溝を施工する際の沈下量が最大20.12mmとなり、対策工を実施することでさらに京成軌道への影響が大きくなる結果となった。

また、変位吸収溝を全線設置することを想定して解析したが、消防庁施設および道路部は管理者との協議の結果、承諾が得られなかったことから、現実的には変位吸収溝の設置は歯抜けとなり、対策工の効果は期待できないことが判明した。

6-3 京成軌道における凍上量の経日変化

本工事の土質は、図-5に示したとおり、粘性土が主体であり、粘性土層を凍土造成した場合、凍土の成長に伴い、粘性土層が体積膨張し、地表面に凍上変位が現れる。

図-12は凍上変位の経日変化を示したものである。本工事における設計凍土厚3.4mに達するまでの期間は、凍土造成から106日であり、設計凍土厚に達したときの凍上変位量は5.9mmとなった。

1日あたりの凍上変位量は、 $5.9\text{mm} \div 106\text{日} = 0.056\text{mm/日}$ であり、非常に緩やかに上昇することが判明した。

このことから、京成電鉄と協議を重ねた結果、施工にあたっては、施工中の計測管理を徹底することとした。

7 おわりに

東京都区部における地中では、電気・ガス・水道などのさまざまな埋設物が輻輳していることに加え、地上部においても鉄道や橋梁などとの近接が避けられない。

このような状況の中、本工事は、さまざまな検討を行った結果、凍結工法による大深度での地中拡幅工を採用した。これは、きわめて施工例の少ない工事であるが、当該地域の浸水対策を推進するうえで必要不可欠な工事である。

本工事は2015(平成27)年度から予定しており、工事に際しては、困難工事となることが予想されるが、安全対策を万全に期し、トンネル施工の発展に寄与することを望む。

参考文献

- 1) 日本建設機械化協会：地盤凍結工法、計画・設計から施工まで、p.10、2006。
- 2) 地盤工学会：地盤改良の調査・設計と施工、戸建住宅から人工島まで、pp.165-166、2013。

『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

山岳トンネル覆工の長寿命化技術(5)

—覆工コンクリートの品質向上技術(施工②)—

「山岳トンネル覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会

① はじめに

今回は、施工における覆工コンクリートの品質向上技術の中から、「防水工」「型枠工」「打込み」「締固め」の4工種について紹介した。

今回は、「脱型」と「養生」の課題と品質向上技術を紹介する。

② 脱型

トンネル覆工では、一般に2日に1回のペースでコンクリート施工を行う関係上、若材齢で型枠を取りはずすことから、コンクリートが所要の強度に達していることを確認したうえで脱型作業を行う必要がある。本章では、コンクリートの強度発現の管理手法や型枠の存置期間を延長することによる品質向上技術について概説する。

脱型については、コンクリートの種類、トンネルの大きさ、形状、覆工巻厚および施工条件などによって異なるが、通常、コンクリート打設後12~20時間程度で脱型している例が多い。また、アーチ状の無筋コンクリートであるという特性を考慮し、自重やその他の荷重によりコンクリートに生ずる応力を推定し、この応力に対して十分な強度の発現を確認したうえで脱型しているのが現状である。

とくに、坑口付近やトンネル貫通後

の施工で外気の影響が大きい場合は、十分な強度発現のために、脱型までの期間を確保する対策が必要となる。

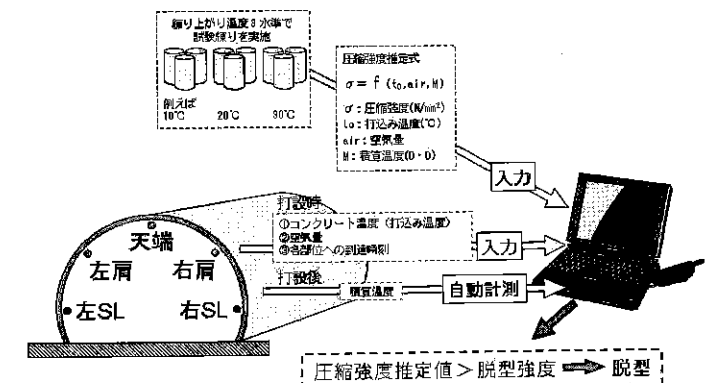
2-1 脱型管理技術

覆工コンクリートは、打込み後からセメントを脱型するまでの期間、硬化に必要な温度および湿度の条件を保ち、有害な作用の影響を受けないように、適切な期間にわたり十分養生しなければならない。そのため、内外温度差を抑制する対策として、セメント全体をシートやバルーンなどで覆い、外気を遮断して養生空間内を保温する対策やセメント自体を加温するシステムが確立している。

また、脱型時期の確認技術や型枠存置期間を延長する技術の開発が行われている。

2-1-1 脱型時期の確認技術

脱型時期の判断基準は、覆工構造の数値解析から必要とされた応力に達するまでの時間を算出し、

図-1 脱型時期判定システムの概念図¹⁾

その算出した材齢を基準にしていることが多く、現場養生したコンクリート供試体による圧縮強度の確認は毎回実施されていないのが現状である。

そこで、コンクリートの積算温度と強度発現とに相関性があることに着目し、打設したコンクリートの積算温度計測により、脱型強度に到達したことを確認して、型枠を脱型する技術が開発されている(図-1)¹⁾。

この技術は積算温度とコンクリートの打込み温度と空気量から覆工コンクリートの圧縮強度を原位置で推定し、必要な脱型強度が得られていることを確認したうえで脱型を可能とした技術である²⁾。

2-1-2 型枠存置期間の延長による初期養生技術

前述のとおり、覆工コンクリートは、部材厚が薄いうえに、トンネル内が遮光、恒温、多湿であり、養生環境が屋外とは異なることから、自重に対する支持強度が十分発現すれば脱型することが許容されている。施工サイクル上、平均すると18時間程度で脱型している。

ある現場で実際に打設した覆工コンクリートの内部温度を測定した結果を図-2に示す。

このグラフによると、コンクリートの内部温度のピーク(つまり、もっともセメントの水和反応が活発な時期)は打設完了後約21時間であり、18時間の時点では、水和反応はピークの手前であることがわかる。すなわち、18時間で脱型すると、覆工表面は水和反応に必要な水分まで蒸発し、コンクリートの強度増進が妨げられ、コンクリート表面の緻密化が進まないことになり、水や気体の

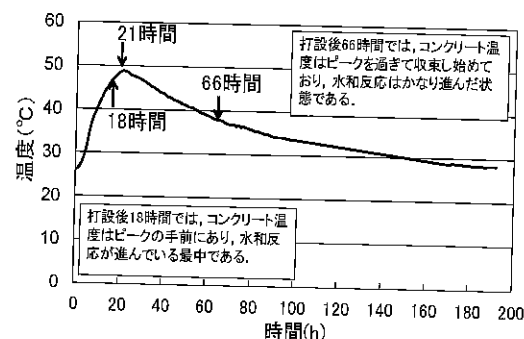


図-2 覆工コンクリート内部温度の経時変化の例

浸透劣化の観点からも、覆工コンクリートの長期耐久性に悪影響を及ぼすと考えられる。したがって、覆工コンクリートの長寿命化を図るためには、打設後から脱型に至るまでの初期養生が重要な要素の一つとなる。

この対応策として開発された新型テレスコピックセメントル工法は、図-3、写真-1に示すように2つのアーチフォームと1台のガントリーからなり、この2つのアーチフォームで交互に打設、養生を行うことで、2日に1回の打設サイクルを変えることなく、従来の18時間+48時間=66時間の型枠存置期間を確保できる工法である³⁾。

今までの検証結果から、66時間の型枠存置による初期養生効果は以下の3点が得られている⁴⁾。

- ① 自重に対する支持効果→脱型時の天端の曲げによる引張ひずみの低減

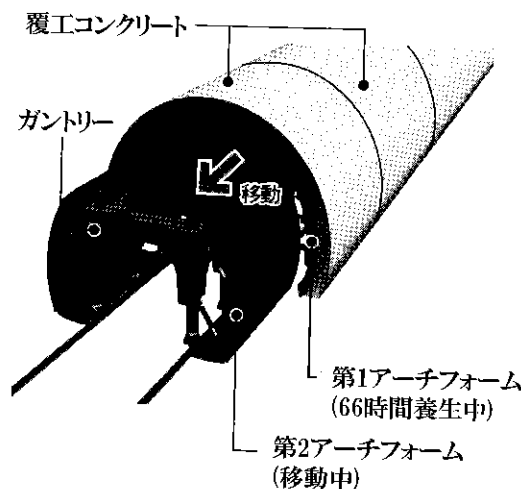


図-3 新型テレスコピックセメントルの概念図

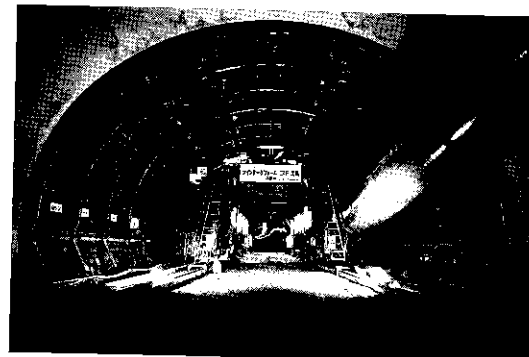


写真-1 新型テレスコピックセメントルによる施工状況

- ② 保温効果→覆工表面の急冷によるコンクリート内部の温度ひずみ差の緩和

- ③ 保湿効果→コンクリート表面の初期乾燥収縮ひずみの低減

これらによって、図-4に示すように竣工時における初期ひび割れの発生率[※]が従来工法と比較して1/5程度となり、図-5に示すようにトレント法による覆工表面の透気係数も、従来工法と比較して1/10となる。

⑧ 養生

3-1 概要

養生は、前章の脱型前の初期養生のほか、脱型後に養生設備を別途設置して行う長期的な養生

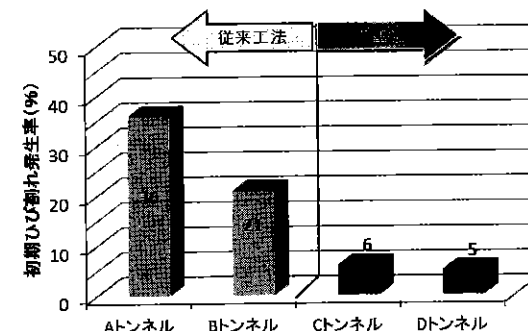


図-4 初期ひび割れ発生率の比較図(施工ブロック数が同程度のトンネルを比較)

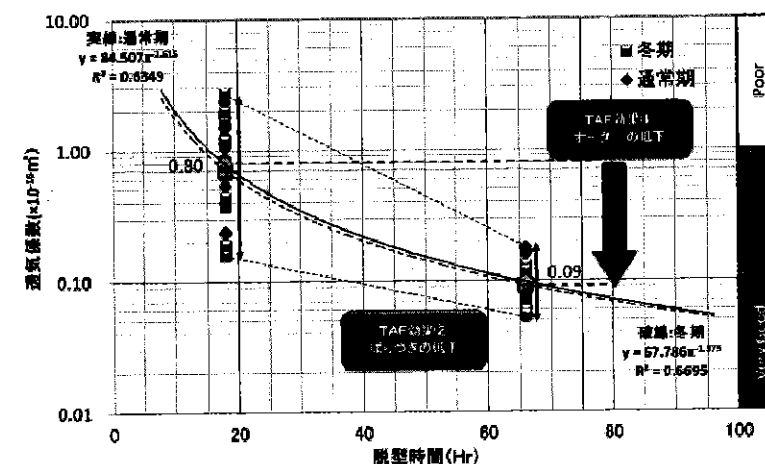


図-5 透気係数測定結果(打設4週後に測定)

※初期ひび割れ発生率=【竣工時に0.05mm幅以上のひび割れが確認されたブロック総数】/【施工ブロック数】×100(%)

があり、主にコンクリート表面の急激な温度変化と乾燥を抑制する目的で行われる。

型枠脱型後に生じるひび割れの発生原因は、さまざまな原因が複合して発生しており、その原因を特定するのは容易ではない。しかし、その中でも打設したコンクリートが収縮することによって発生するひび割れについては、対策を講ずることができる。

そこで、コンクリート表面の急激な温度低下による収縮やコンクリート表面からの水分の逸散による乾燥収縮により発生するひび割れを抑制する対策として、保温材や保湿材を直接コンクリートに密着させて保温・保湿する方法やバルーンなどで密閉空間を設けて空間内の温湿度をコントロールして保温・保湿する方法がとられる。また、これらの保温・保湿養生は、材齢7日までの初期養生段階で用いられており、本養生以降の乾燥対策として、噴霧装置によるコンクリート表面へのミスト散水などの湿潤養生が併用して用いられている。

近年では、前述の脱型前養生技術と脱型後養生技術を組み合わせた養生が行われており、コンクリート打設直後から任意の時期までの保温・保湿を目的として用いられる。

養生システムの種類(タイプ)は各社で異なり、使用材料や保湿機構(散水方法など)もさまざま

あるが、保温・保湿、強度増加、乾燥収縮量の低減、緻密化などに効果が得られ、覆工コンクリートのひび割れ抑制や長期耐久性の向上に寄与する技術であるといえる。

3-2 養生方法の分類

既往の文献および近年の技術開発にもとづいた養生方法を分類した結果を表-1に示す。同表のように、養生は、その目的に応じて、「湿潤状態に保つこと」「温度を制御すること」および「有害な作用に対して保護すること」の3種類に分類される⁵⁾。

表-1 養生方法の分類

目的	対策	具体的な方法
湿潤状態に保つ	給水	散水
		給水・加湿養生システム
	水分逸散抑制	シート・フィルム被覆 膜養生剤など
温度を制御する	給熱	温風による加温 電熱シート
	保湿	保温断熱材
通風に対して保護する	保護	保護シート
	通気遮断	隔壁設置

養生の方法によっては相互に関連し、複数の目的のために行われることが多い。また、耐久性を左右するコンクリート表面の品質やひび割れ抵抗性は養生の影響を受けやすいため、最近では給水養生や水分の逸散を抑制する養生などの新たな手法が開発され、実際の構造物に適用された事例がある。そこで、次節に目的別の具体的な養生方法と、代表的な養生システムについて概説する。

3-2-1 湿潤状態の保持

(1) 給水対策

覆工コンクリート表面の湿潤状態を保つために実施する給水対策の具体的な手段としては、噴霧装置により、覆工コンクリート表面に散水を実施する方法がある(写真-2)。本手法の長所として、設備費が小さく、他の施工への影響を与えずにコンクリート表面の湿度を保つことができる。しかし、覆工面を覆う工法と比較すると、温度、湿度の維持は難しく、湿潤状態を維持させるための運転時間が長くなり、また、過剰な運転は表面温度の降下を招く可能性がある⁹⁾。

近年では、コンクリート表面と養生面の間に空間を設け、その空間に給水して養生する方法が主流になっている。給水する方法は、各社さまざまな技術開発を行っており、ノズルによる散水や霧状にした養生水を噴霧、さらには超音波装置を用いて加湿するものがある。以下に給水養生の代表的なシステムを紹介する。

1) 給水養生システム

土木学会コンクリート標準示方書⁹⁾では、湿潤



写真-2 噴霧装置による散水状況

状態を保つための対策を「給水」と「水分逸散抑制」とに区別し、従来触れていなかったせき板に接する面に対しても給水養生することが望ましいとしている。

コンクリートの養生において、水和反応を有利に進行させるためには、空隙が水で満たされることが理想であるため、自己乾燥しやすいコンクリートの表面に外部から水を供給することで、表層部の水和反応が促進され緻密化し、表層品質が向上する。

型枠を使用しないコンクリートスラブ上面では、打込みの翌日から湛水や水を含んだ養生マットを敷設する給水養生が広く行われるが、覆工コンクリートにおいては、型枠を取りはずした後の給水養生は難しい。そこで、型枠取りはずし後の覆工コンクリートに対して、外部から水を積極的に供給し、コンクリート表面に常に水膜を形成させる給水養生システムが開発された^{7),8)}。

本システムは、給水養生シート、吸引装置、給水装置から構成される(図-6)。給水養生の方法は、まず覆工表面に給水養生シートの端部を密閉させながら設置する。養生シート設置時には、覆工天端中央部に給水チューブを配置し、覆工左右の脚部に吸引口をセットする。その後、吸引装置により吸引口から、コンクリートと給水養生シート間の空気を吸引し、負圧にすることでコンクリート面に給水養生シートを密着させる。

給水は天端の給水チューブから覆工縦断方向全長にわたり均等に給水することで、コンクリート

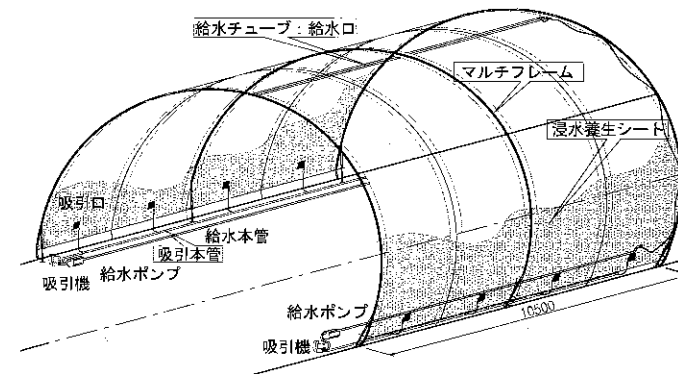


図-6 給水養生システムの構成

表-2 湿潤養生期間に関する基準例⁹⁾

日平均気温	普通 ポルトランド セメント	混合セメント B種	早強 ポルトランド セメント
15℃以上	5日	7日	3日
10℃以上	7日	9日	4日
5℃以上	9日	12日	5日

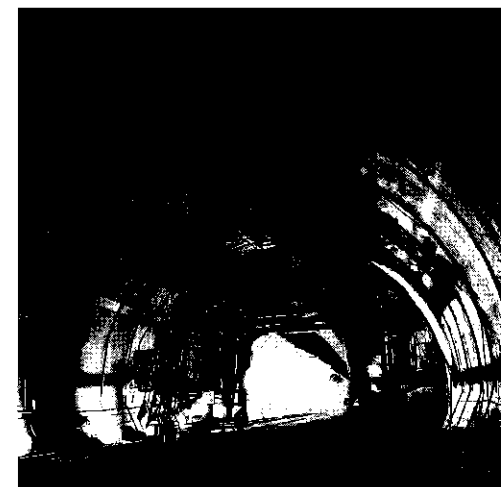


写真-3 給水養生シート展張完了状況

表面全体に水膜を形成することが可能となる。養生水は覆工左右脚部の吸引口から吸引装置により空気とともに吸引され、再利用可能な循環システムとなっている。

給水養生期間は、型枠の存置期間を含めて、表-2⁹⁾に示した湿潤養生期間を満足する期間とするが、型枠取りはずしの後、給水養生を1週間以上実施することを標準としている(写真-3)。

2) 超音波加湿養生システム

超音波加湿養生システムは、移動式型枠を取りはずした後の覆工コンクリート表面に、高断熱性の養生シートによって外気と遮断された密閉空間を構築し、この空間内に超音波加湿器で生成した飽和水蒸気を循環・供給することで、空間内を高湿度な状態に維持するシステムである^{10),11)}。システムの概要図を

図-7に、適用状況を写真-4に示す。

本システムは、風量調整機能を備えた送気口と排気口を多数配置しているため、空間内の各所の湿度を90%以上に保持することができる。また、断熱性の高い養生シートで覆うため、空間内は保温性が高く、コンクリート表面の温度低下を抑制することができるなどの特徴を有する。さらに、超音波加湿器で生成した水蒸気は循環して使用するため、消費水量が60~120L/日と少なく、路盤の泥濘化が生じない、密閉空間内のみで加湿養生を行うためトンネル坑内の視界不良が生じないなど、他の坑内作業への支障を生じにくい。

本システムを適用した覆工コンクリートの品質試験結果例を図-8,9に示す。

本システムを適用した場合、覆工コンクリートの圧縮強度は増加している。とくに、貫通後に坑内環境が低湿度・低温となった場合に効果的である結果が示されている。また、コンクリートの細孔径分布を測定した結果によれば、積算細孔径は低減する一方で、孔径0.01μm以下の微細なゲル空隙量は増加する結果が得られている。

ントルおよび覆工コンクリートの表面を覆うことにより、通風による影響(風、温度、湿度)からコンクリートを保護し適切な初期強度と長期耐久性に優れたコンクリートを施工する養生システムが開発されている。

また、貫通後の通風に対しては、片方の坑口を防風用のシートなどで覆い、風が通らないような対策が講じられる(写真-7)¹⁶⁾。

④ おわりに

今回は「脱型」「養生」について概説した。

各工法についての詳細については参考文献を参照されたい。

(文責：手塚康成/鹿島建設(株)、桜井邦昭/(株)大林組、村上真一/(株)安藤・間)

参考文献

- 1) 京免継彦・宇野洋志城・草信元春・藤原康史：積算温度管理による脱型時期判定(T-JUDG)システムの提案，土木学会第66回年次学術講演会，2011.9.
- 2) 京免継彦・宇野洋志城・桑原嗣・乾川尚隆：脱型時期判定を目的とした積算温度管理に関する考察，土木学会第65回年次学術講演会，2010.9.
- 3) 西岡和則・手塚康成・坂井吾郎・近藤啓二：66時間型枠存置が可能な新型テレスコピックセントルの開発，トンネル工学報告集，Vol.23，I-15，pp.233-238，2013.11.
- 4) 西岡和則・手塚康成・坂井吾郎・松本修治・村上浩次：新型テレスコピックセントル工法を用いて66時間型枠を存置する効果について，トンネル工学報告集，Vol.24，I-5，2014.12.
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書[施工編]，pp.121-123，2012.

- 6) 歌川紀之・藤谷三千男・加藤公章・小泉直人・宇野洋志城：覆工コンクリートの噴霧養生における運転管理と養生効果の検討，トンネル工学報告集，Vol.18，p.46，2008.11.
- 7) 古川幸則・白井孝昌：アクアカーテンを用いた覆工コンクリート養生について，浸水養生システムの開発とその効果，2011トンネル技術研究発表会.
- 8) 古川幸則・塩崎修男・白井孝昌：シート吸引方式による覆工コンクリート浸水養生システムの開発，土木学会第65回年次学術講演会，VI-017，pp.33-34，2010.9.
- 9) 建築学会：建築工事標準仕様書・同解説，JASS5鉄筋コンクリート工事，p.274，2009.
- 10) 平川泰之・松野徹・白旗秀紀・永久和正：超音波加湿養生器を用いた覆工コンクリート養生システムの開発・実用化，土木学会第64回年次学術講演会概要集，VI-275，pp.549-550，2009.9.
- 11) 平川泰之・永久和正：トンネル覆工・最近のひび割れ防止工法 超音波加湿養生システムと膨張材の効果検証，セメント・コンクリート，No.769，pp.34-40，2011.3.
- 12) 藤田豊彦・市川晃央・泉澤洋一・樋口宗司：アルミ蒸着気泡シートを用いたトンネル覆工コンクリート養生方法とその効果確認，土木学会第66回年次学術講演会III-098，pp.195-196，2011.9.
- 13) 椎名貴快・吉永浩二・水越史郎・荻森昇・橋川黎二郎：養生パネルを用いたトンネル覆工コンクリート養生技術の開発，土木学会第64回年次学術講演会VI-277，pp.553-554，2009.9.
- 14) ジョフロント研究会：最近の覆工技術に関する調査報告書，p.111，2013.11.
- 15) 椎名貴快・吉永浩二・佐藤幸三：中空構造の保温断熱板を用いた養生技術，建設の施工企画，pp.31-35，2010.9.
- 16) 高橋和之・厨川弘樹：トンネル坑内の隔壁バルーンの養生効果確認試験，土木学会第64回年次学術講演会VI-278，p.555，2009.9.

トンネルジャーナル

平成26年度地盤工学会賞受賞者が決定

地盤工学会は平成26年度の地盤工学会賞の受賞者を決定したと発表した。同賞は地盤工学分野における学術や技術の進展に顕著に貢献し、社会的貢献度の高い業績や論文を対象に個人、機関、およびそれらのグループに送られる。環境賞部門の地盤環境賞、技術賞部門の技術業績賞、技術開発賞、技術奨励賞、研究・論文賞部門の研究業績賞、論文賞(和文部門・英文部門)、研究奨励賞の3部門7賞で構成される。

応募総数は35件、受賞者数は14件で、受賞者は6月11日の通常総会(地盤工学会大会議室にて開催)で表彰される。

■地盤環境賞(事業)

磯松教彦ほか：道路維持管理における放射性物質で汚染された発生土砂の土壌洗浄技術による処理・減容化に関する取組み。

宮城県ほか：災害廃棄物・津波堆積物の復興資材としての再利用に向けた取組，石巻ブロック災害廃棄物処理業務について。

■技術業績賞(事業)

三陸鉄道ほか：三陸鉄道における地盤構造物による災害復旧工事(耐震・津波抵抗性の向上)。

■技術開発賞

王林ほか：土砂災害の警戒避難支援のための斜面崩壊の予兆検知システム。

正垣孝晴ほか：小径倍圧型水圧ピストンサンプリャー。

■研究業績賞

佐々真志：生態地盤学の創成と展開に関する研究。

■論文賞(和文部門)

大竹雄ほか：震災履歴を有する河川堤防20kmにおける地盤調査地点を考慮した液状化危険度解析とその有効性検証。

神谷浩二ほか：溶存イオンデータの多変量解析に基づいた広域地下水流動系の評価。

稲積真哉ほか：固体系廃棄物の地盤工学的有効利用における遮水性コーティングの可能性。

■論文賞(英文部門)

高橋英紀ほか：Stability of caisson-type breakwater foundation under tsunami-induced seepage.

Konstantinos Georgiadisほか：Lateral bearing capacity of rigid piles near clay slopes.

澤田幸平ほか：Centrifuge model tests on piled raft foundation in sand subjected to lateral and moment loads.

■研究奨励賞

秦吉弥：地盤と構造物の耐震性評価の信頼性向上を目的とした既往の大規模地震において被災地点に作用した地震動の評価。

後藤浩之：2011年東北地方太平洋沖地震における地震動特性。

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メジャー神楽坂
電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072

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

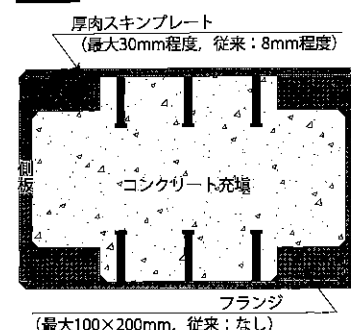
B5判・442頁・上製本 本体価格 9,800円 (円450円)

 株式
会社 土木工学社

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

工法・技術・製品ニュース

製品 大断面・大深度シールドの特殊部に適したセグメント



(上)断面図, (下)コンクリート充填状況

安藤ハザマ CSR 推進部
TEL 03-6234-3606
(株)横河住金ブリッジ
鉄構エンジニアリング技術部
TEL 047-306-5276

安藤ハザマと横河住金ブリッジは共同で、シールドトンネルの特殊部に用いるセグメントに高耐力を有する特殊合成セグメント「TUF セグメント® (Tough United Full sandwich Segment)」を開発したと発表した。

同セグメントは、大きなレベルの断面力に対する十分な耐力とセグメントの薄肉化とを同時に実現したもので、外面を覆った鋼製部材と、その内部に充填したコンクリートとを完全に一体化した合成構造。スキンプレートに最大30mmの厚肉鋼材を使用し、内外面に最大厚さ100mm×幅200mmのフランジを設けることで、高耐力を実現したとしている。

シールドトンネルの地中掘削部や横坑との接続開口など、切掘り施工による特殊部のほか、用地や地中埋設物などの制約により採用された矩形断面では、大きな断面力が発生するため、高い耐力を持つ特殊部用の

セグメント(鋼製セグメント、合成セグメント)が用いられてきた。シールドトンネルの大断面・大断面化の進展とともに、特殊部では荷重や断面力がいっそう増大するため、セグメントの桁高が一般部に比べて大きくなり、外径などの断面が大きくなり、建築限界など必要な内部空間が確保できなかつたりといった問題が生じていた。

両社は同セグメントについて、実物大(幅1.0m×桁高0.6m×弧長5.0m)での試験体製作を行い、厚肉鋼材の曲げ加工精度や組立て精度、組立て手順、溶接性などの製作性を確立するとともに、寸法などの製作精度を確認したほか、現場におけるコンクリートの充填状況を模擬した試験を実施して、充填性を確保できることを確認した。また、実大規模の曲げ載荷試験により、十分な耐力を保有していることを確認した。



(一社)日本トンネル技術協会
国際委員会

エネルギー吸収機構を有する新しいロックボルトの静的室内試験/Quasi-static laboratory testing of a new rock bolt for energy-absorbing Applications

TUNNELING and UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY, January, 2013

地圧がきわめて高い領域にトンネルを掘削すれば、一般的に空洞の安定性を確保するのが困難となる。この場合、トンネル掘削時に一定の変形を許すことで地山の安定に必要な支保内圧も少なく済むことが地山特性曲線にて確認できるため、これまで大変形を許容する吹付けコンクリートとロックボルトが一体となったフレキシブルサポートシステムなどが考案されてきた。しかし、従来のシステムではロックボルトは十分な変形を許容できず、ロックボルトが破断するなど危険な状態となるため、耐力は大きくなくとも大変形を許容できるロックボルトの開発が必要とされていた。そこでエネルギーを吸収する機構により大変形を許容するロックボルトを開発し、この引抜き試験により静的な変形特性を調べたので、この結果について記載する。

図-1に示すように、考案したロックボルトは、両端で直径の異なる鋼棒と鋼棒の径を絞り込む硬質合金により製作されたdrawing die鑄型とで構成される。また、ロックボルト先端のアンカー体は周辺岩盤とセメントグラウトを介して固着しているが、アンカー体より坑壁側の鋼棒と充填したグラウト材との間はおおむね分離されている。このロックボルトに引張力が作用すれば、太い鋼棒

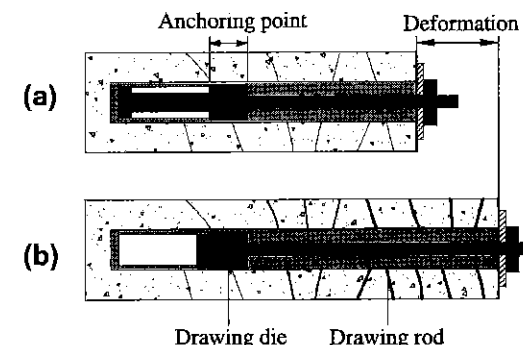


図-1 ロックボルトのエネルギー吸収機構

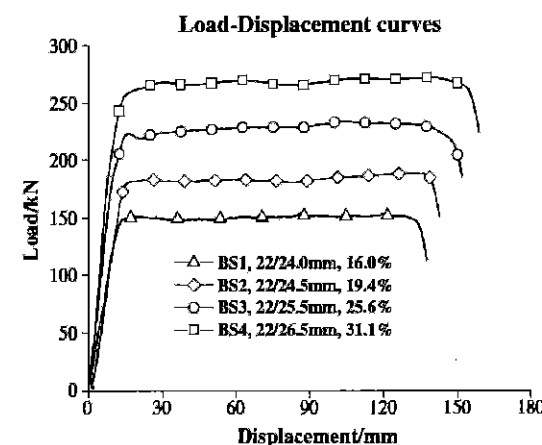


図-2 ロックボルトの引張試験における荷重-変位関係

が鑄型を通過する際にその径が絞られることで塑性変形を起こし、ロックボルトが一定の抵抗力を維持したまま変位のみが増大するので、岩盤の大変形に追従することが可能となる。

今回考案したロックボルトのサンプルを製作して引張試験を実施した。図-2は鑄型通過後における鋼棒の直径を22mmに固定し、鑄型通過前の鋼棒の直径を24mmから26.5mmに変化させた場合の引張試験結果を示している。同図より、初期状態ではボルトの引張荷重とボルトの変位が比例関係にあるが、降伏荷重に達すると引張荷重は一定値を維持したまま変位のみが増大し、鑄型通過前後の断面面積の減少割合が大きいほど引張荷重も大きくなることが確認できる。このため、ロックボルトに期待する引張耐力は断面面積の減少割合を変化させることで調整可能と考えられる。

(文責: 北村義宜・鹿島建設(株))

ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

建設工事の 保安地質学 〔改訂版〕

理学博士 石井康夫 著

A5判 上製本 475頁 本体価格 6,300円 円 350円

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

株式
会社 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

Finneトンネル：革新的なセグメントの継手再防水工/Finne Tunnel: Innovative targeted resealing of Segment Bore Joints - Part 2

By Dieter KIRSCHKE, Hendrik SCHÄLICHE and Dirk FRAAS: TUNNEL, May, 2013

本稿は、ドイツのFinneトンネルにおいて実際に施工された革新的な再防水工を紹介する。

1. Finneトンネルの漏水と止水注入工

Finneトンネルは、双設のシールドトンネルで16か所の連絡横坑がある。本トンネルの中間検査時に約800か所の継手部から漏水があり、止水注入を行った。第一に、事前にセグメントに埋め込んだ注入管を通して止水注入し、約650か所の漏水止水に成功した。第二に、止水が不完全であった約15か所は、漏水箇所の近くのセグメントをドリルで穿孔し貫通する注入孔を設けて止水注入を行った。しかし、その止水成功率は低く完全な止水は不可能であった。このため、第三の再防水工として、漏水箇所のリング継手のガスケット(シール材)を穿孔して、直接止水注入を行うことを計画し、実物大試験を行った後に実際のトンネルで施工した。

2. ガスケット材を貫通する再防水工

リング継手からガスケットを貫通し、直接止水注入を行う再防水工を、図-1の手順で計画した。

3. 実物大試験

実際のFinneトンネルのリング継手とシール溝

を実物大で再現した試験治具を用意した。ガスケットは幅44mm、厚み20mmで、実際と同じように圧縮した。ガスケットを貫通する注入孔をφ5mmでドリル穿孔したが、穿孔部以外のガスケットが損傷しないことを確認した。

また、リング継手の一部が穿孔されるが、その影響は限定的で覆工の健全性に影響がないことも確認した。

4. 再防水工の評価

Finneトンネルで実施された三種類の止水注入工の比較を表-1に示す。

第一に行ったセグメント埋込み管からの止水注入はおおむね成功したが、一部の漏水箇所は止水不十分であった。これは、事前に埋込んだ注入管の間隔が広く、多量の注入を行っても離れた漏水箇所まで止水材が到達しなかったためと判断された。

これより第二の方法として、確実に注入材を漏水箇所に到達させるため、漏水箇所に近い位置に



写真-1 実物大試験におけるガスケット貫通孔

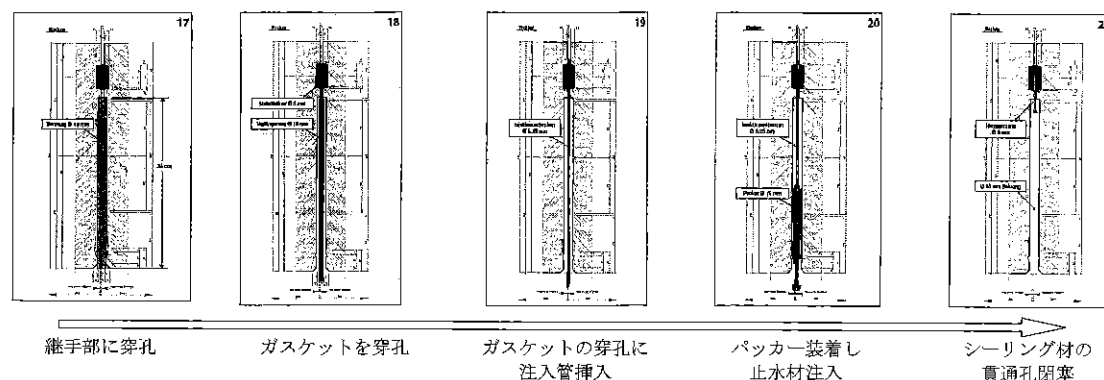


図-1 新しい再防水工の施工手順

表-1 再防水工の比較

	再防水工法	1	2	3
		セグメントに事前埋込みした管から止水注入	セグメント本体をドリル穿孔し止水注入	ガスケットをドリル穿孔し止水注入
a	止水注入実施箇所	約800	約150	96
b	止水注入成功箇所	約650	約50	96
c	止水注入成功率	85%	36%	100%
d	止水注入材使用量 ^(*)	100%	約40%	約10%
e	止水注入1か所あたり平均作業時間 ^(*)	約50%	100%	約30%
f	所要作業人数	2	2	2

(*)：最大値に対する相対比

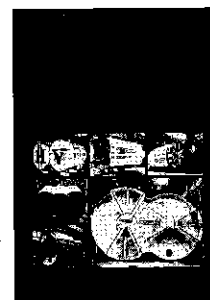
セグメントを貫通する注入孔を設けた。確実な止水効果を得るため注入を高圧で行ったが、注入の成功率は低かった。

第三の工法として、ガスケットを貫通した注入孔から漏水箇所に直接止水注入を行った。当初は、漏水1か所あたり50Lの注入量を予定していたが、止水注入開始後から注入効果を確認できたため、注入量は低減された。

表-1が示すとおり、ガスケットを貫通して直接止水注入する工法は、止水成功率が高く止水材料及び作業時間も少ない。同等の止水効果を第一および第二の工法のみで得るには相当の工期および工費を要すると考えられる。このことから、ガスケットを貫通して直接止水注入する工法は、信頼性も経済性も高い革新的な工法であるといえる。

(文責：今倉和彦・(株)大林組)

シールドトンネルの新技术



シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章

B5判 285頁 本体価格4,660円 円350円

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

株式会社 土木工学社

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

一般社団法人

日本トンネル技術協会

会 報

1. 会員の現状

	4月30日現在
個人会員	874名
団体会員	200名
推薦会員	206名
特別会員	12名
名誉会員	0名
賛助会員	146名
合 計	1,438名

2. 平成27年度第1回理事会, 第1回顧問・評議員会

日 時: 4月27日(月) 12:00~13:00

場 所: 海運クラブ3階「303-304号室」

出席者: 理事12名, 監事3名, 代理等2名, 評議員24名, 計41名

議 事:

(1) 理事, 監事, 評議員の構成

平成27年度定時総会に任期満了等の後任候補者について審議, 了承された。

(2) 委員会委員長を選任

平成27年度の常設委員長について審議, 了承された。

	旧	新
総務委員長	小島 治雄	服部 修一
技術委員長	今田 徹	西村 和夫

(3) 平成27年度定時総会議案(案)

定時総会の議案(案)を了承した。

3. 委員会の開催状況(4月1日~30日)

① 運営広報関係委員会

◎ 総務委員会

・ 広報小委員会

会誌WG(4/8)

大島洋志主査ほか12名, 5月号の会誌と3か月計画を検討

◎ 設立40周年記念事業実行委員会

・ 記念事業実行委員会(4/13)

木村宏委員長ほか19名, 作業状況および成果品案を検討

記念誌サブWG(4/20)

安井啓祐主査ほか8名, あゆみ原稿を検討

◎ 国際委員会

ITA統括WG(4/22)

石田積主査ほか9名, ITAクロアチア総会対応の検討

・ 海外文献小委員会

海外ニュースWG(4/27)

清水健志主査ほか9名, 海外文献の査読

計 5回開催 62名出席

② 調査研究関係委員会

◎ 技術委員会

・ 都市トンネル小委員会

シールド変遷史編集WG第2GサブWG(4/14)

名倉浩主査ほか7名, 原稿を検討

シールド変遷史編集WG第1GサブWG(4/15)

河越勝主査ほか6名, 原稿を検討

シールド変遷史編集WG第3GサブWG(4/21)

守屋洋一主査ほか5名, 原稿を検討

・ 保守管理小委員会(4/15)

藤森伸一委員長ほか14名, 講習会内容を検討

◎ 受託研究特別委員会

・ 長期耐久性特別委員会幹事会(4/3)

松岡茂幹事長ほか9名, 委員会資料を検討

・ 長期耐久性特別委員会(4/7)

西村和夫委員長ほか25名, 中間報告書を検討

計 6回開催 72名出席

合計 11回開催 134名出席

4. 国際会議の開催予定

会 議 名	開 催 日	場 所	主 催 者 等
第42回ITA総会およびコンgres「Uniting the Industry」	2016. 4. 22~28	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 〈論文募集中〉
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

5. 平成27年度催物開催予定

(平成27年5月現在)

催 物 名	開 催 日	人数	場 所	CPD取得単位
(施工体験発表会) 第76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—」	2015. 6.24	200	東 京	申請中
第77回(都市)「市街地におけるトンネル・地下構造物の築造技術」	2015. 6.25	200	東 京	申請中

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

平成27年度定時総会のお知らせ

定款第14条の規定により平成27年度定時総会を下記のとおり開催いたします。会員の皆様には5月上旬にご案内をお送りしております。総会議案の議決には、正会員総数の過半数の出席が必要です。総会には、ご出席または委任状の提出による代理出席をお願いいたします。なお、総会議案は、ホームページに掲載いたしておりますのでご覧いただきますようお願いいたします。

—記—

日 時: 平成27年6月5日(金) 15:00開会

場 所: アーバンネット大手町ビル21F LEVEL 21(スタールーム)

東京都千代田区大手町2-2-2 TEL: 03-5255-1515

議 題: 第1号議案 (報告事項)平成26年度事業報告について
 第2号議案 (審議事項)平成26年度事業収支決算について
 第3号議案 (報告事項)平成27年度事業計画について
 第4号議案 (報告事項)平成27年度事業収支予算について
 第5号議案 (審議事項)役員の選任について

※総会終了後, 16:00から設立40周年記念特別講演会を, 17:00から懇親会を同室にて予定しています。

平成27年度施工体験発表会開催のご案内

恒例の施工体験発表会を下記のとおり開催いたします。第76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—」と題して12件, 第77回(都市)「市街地におけるトンネル・地下構造物の築造技術」と題して10件について発表していただきます。トンネルは経験工学といわれています。多くの方々の経験から得られた技術を自らのものとするたいへんよい機会と考えます。多数ご参加くださいますようお願い申し上げます。なお、掲載のプログラムは必要に応じ変更する場合がありますのでご了承願います。また、詳細はホームページに掲載しておりますのでご参照願います。

—記—

開催場所: 虎ノ門発明会館「地下ホール」(案内図参照)

開催日: 第76回(山岳)施工体験発表会 平成27年6月24日(水)

第77回(都市)施工体験発表会 平成27年6月25日(木)

定員: 各200名(定員になり次第締切いたします。)

参加費: 第76回, 第77回それぞれ個人会員10,000円, 団体会員12,000円, 一般15,000円

申し込み問い合わせ先:

添付の申し込み用紙に記載のうえ、郵送またはFAXをもってお申し込みください。

電話での申し込みは受付けませんので、ご了承願います。

(窓口)一般社団法人日本トンネル技術協会施工体験発表会係

〒104-0045 中央区築地2-11-26築地MKビル6階

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

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

郵便振替口座00160-7-196331 一般社団法人日本トンネル技術協会

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

②テキストをCDで事前に送付いたしますので、住所等は必ずご記入願います。

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

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

第76回(山岳)施工体験発表会プログラム

「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」

開催日: 平成27年6月24日(水)

開催場所: 虎ノ門発明会館「地下ホール」

- | | |
|---|---|
| 司会 | 事業委員会委員((株)安藤・間土木事業本部技術第三部長) 鈴木 雅行 |
| 10:00 開会挨拶 | 事業委員会委員長(日本交通技術(株)社友) 桑原 彌介 |
| 10:05 小土被り未固結砂礫土層を上下線近接で掘る—新名神高速道路 神峰山トンネル— | 大成建設(株)工事主任 勝田つかさ |
| 10:30 魅せる現場“革靴で歩けるトンネルを目指して”—新名神高速道路 箕面トンネル東工事— | 大成建設(株)関西支店新名神高速道路箕面トンネル東工事作業所工事課長 近藤 正隆 |
| 10:55 高性能自在制御発破工法による住宅地の環境影響低減に関する考察 | —新名神高速道路 箕面トンネル西工事— |
| | 鹿島建設(株)箕面トンネル西工事事務所工事課長 北村 義宣 |
| 11:20 硬質地山を機械工法で効率的に掘削—国道11号白鳥バイパス 前山トンネル工事— | (株)奥村組四国支店前山トンネル工事所所長 藤原 良二 |
| 11:45 【昼食】 | |
| 司会 | 事業委員会委員((株)高速道路総合技術研究所道路研究部トンネル研究担当部長) 八木 弘 |
| 12:45 造成盛土地盤における低土被りトンネルの施工—和歌山市 中平井線トンネル— | 竹中土木・久本組・三笠建設特定建設工事共同企業体監理技術者 香川 裕司 |
| 13:10 市街地における周辺環境に配慮したトンネルの施工—街路滝山桜谷線トンネル工事(交付金)— | (株)安藤・間広島支店滝山トンネル作業所工事主任 平方 宏明 |
| 13:35 スコリア区間における大量湧水下でのトンネル掘削について—鹿児島3号 宮里トンネル新設工事— | 三井住友建設(株)九州支店土木部工事主任 辛島 義庸 |
| 14:00 性状変化が激しい泥岩を前方探査にて事前に評価し掘削—九州新幹線(西九州)俵坂トンネル(西)他工事— | 前田建設工業(株)九州支店新幹線俵坂トンネル作業所監理技術者 北澤 剛 |
| 14:25 【休憩】 | |
| 司会 | 事業委員会委員((株)奥村組土木本部土木技術部技術グループ長) 安井 啓祐 |
| 14:35 ノンコア削孔前方探査を活用した多湧水花崗岩風化帯でのトンネル施工—大宮第14トンネル— | (株)大林組大宮第14トンネル工事事務所主任 渡邊 淳 |
| 15:00 土被り4mの府道直下を横断するトンネル施工について—京都縦貫自動車道瑞穂トンネル工事— | 佐藤工業(株)瑞穂トンネル作業所所長 中谷 幸一 |
| 15:25 小土被り区間の施工と自然由来のふっ素を含む掘削のずり対策—平成25-26年度朝倉トンネル工事— | 飛鳥建設(株)土木事業統括部トンネルチーム主任 兼松 亮 |
| 15:50 覆工コンクリート品質向上に関する取組みと表層品質の評価—田老第6トンネル工事— | 五洋建設(株)技術研究所担当部長 本間 宏 |
| 16:15 閉会 | |

7月号予告[7月1日発売予定]

- 球面切羽の全断面工法適用性に関する実証的研究
- 常磐線 戸花山トンネル
- JR新横浜駅における相鉄・東横線交差工事
- 複合推進切羽障害物除去システム
- 幌延深地層研究所地下施設
- 東京下水道 芝浦・森ヶ崎水再生センター間連絡管
- 【連載講座】
- 山岳トンネル覆工の長寿命化技術(6)

*内容等に変更になる場合がございます

編集後記

◆早いもので梅雨の季節がやってきました。6月は雨がたくさん降る時季なのに「水のない月」と書いて「水無月」？誰もが学校で旧暦を習ったときに疑問に思ったことでしょう。そして先生が得意気に『この「無」は「の」にあたる連体助詞なので、「水の月」ということになります。田植えが終わり、田んぼに水を張る必要があることからこのように呼ばれるようになった』と説明してくれたのではないのでしょうか。

◆10年前の小泉内閣のときに「夏場の軽装による冷房の節約」を目的にはじまった「クールビズ」、今ではすっかり定着し、「ノーネクタイ」「ノージャケット」が当たり前になりました。そのため、「父の日」の贈り物の定番だった「ネクタイ」がランク外に押しやられました。私見ですが、この「父の日」は「母の日」に比べるとあまり盛り上がりがないように思います。そもそも「父の日」がいつなのか、「母の日」にはカーネーションを贈るように「父の日」は何を送るのかという問いに答えられる人は、少ないのではないのでしょうか。6月の第3日曜日で「バラ」を贈るのが正解です。祝日がない6月のイベントとしてどうにか盛り上げたいところですが、「勤労感謝の日」や「敬老の日」とどう違うのかわかりづらいところも原因のひとつではないでしょうか。

◆現場のみなさんにとっては、「クールビズ」のないこの時期は1年のうちでもっとも厳しい時期だと思いますが、体調管理に気をつけて頑張ってください。

(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46巻 第6号 [通巻538号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成27年5月20日 印刷

平成27年6月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16

番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工社へ直接お申し込みください。

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

購読料

1冊 1,575円(送料108円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

TEL: 03-3267-2888

本誌掲載記事を無断で複写(コピー)

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

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・ニオンマル

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。

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。

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。

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400V50/60kVA
ファン動力	30kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意 (伸縮風管接続時とも同じ)
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 入口ダクト及び絞リ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 名古屋支店 ☎052-561-4580 札幌支店 ☎011-784-1179
東北支店 ☎022-221-3532 九州支店 ☎092-741-5193 小川橋工場 ☎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、施工事例とともに、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

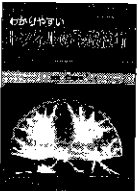
地山の力学状態を表す理論式から導かれる地山挙動の特徴を図表などを用いて手際よく説明した。トンネル掘削における工学的な理解を深化させる一冊。



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

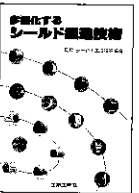
火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げ、また、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく解説。



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・シェレル 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

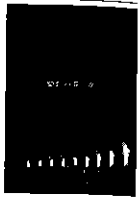
土木工事にかかわりのある地質学の基礎知識を盛り込み、土木工事において問題となる地質事象や、各種地質調査の原理についてわかりやすい解説を与えた。



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、地下水の物理学的特性とその調査方法などをわかりやすく解説した。



第 I 巻 地下水の物理と化学

4,078 円＋税 B5 判

第 II 巻 地下水環境学

4,272 円＋税 B5 判

第 III 巻 地下水と地質

3,689 円＋税 B5 判

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編
4,660 円＋税 B5 判

シールド工法について変遷から将来の開発の動向にいたるまで広範にわたり掲載した。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とまとめた。



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のかについて、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。



ジオテキスタイル設計マニュアル

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

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



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・斎藤正忠・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

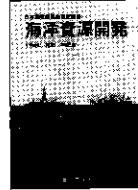
都市の代表的な地下施設である地下鉄、上水道、下水道の各トンネルについて、それぞれの主だった工法ごとに計画から施工まで事例をまじえてわかりやすく解説した。



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400 円＋税 A5 判

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



トンネルと地下

1,500 円＋税 B5 判 月刊(毎月 1 日発売)

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

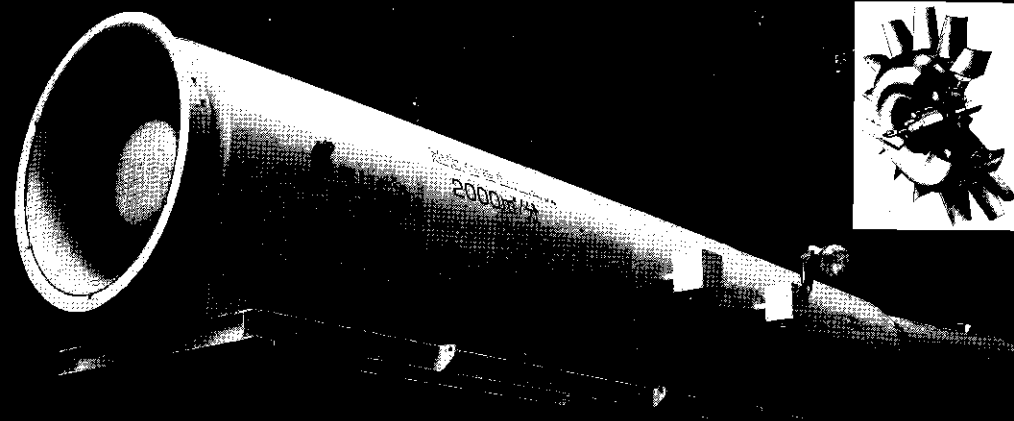


書籍のお申し込み ご注文は当社へ FAX または、書店にてお申し込みください。FAX は、書名、部数、送り先、氏名、電話番号を明記のうえ右記までお送りください。

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

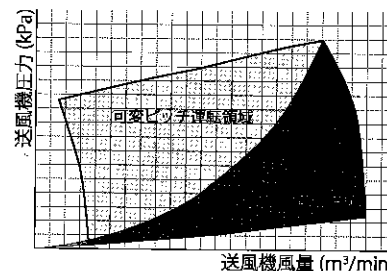
株式会社 土木工学社

トンネル工事の必需品 可変ピッチ軸流送風機 BIG-LOG



BIG-LOG は当社の開発商品です

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



型 式	能 力	電 動 機	騒 音 値 機側 5m
CDH1120-30-60(4)W	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

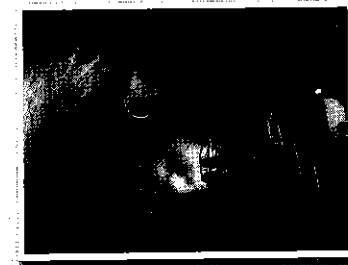
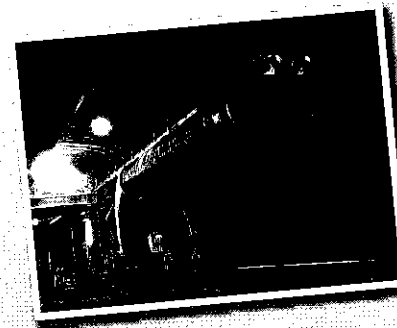


菅機械工業株式会社

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	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京 都 営 業 所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460



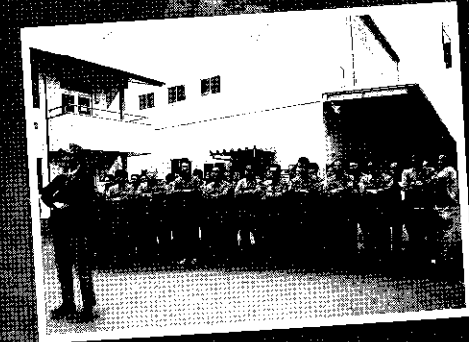
大型集じん機 300 台！
送風機 650 台！
世界最大の換気設備保有メーカー！



いままでにない技術、いままでにない挑戦。

なんとかする力

「トンネル環境」のトータルソリューションは当社へお任せください。



1977年創業から、平素よりお世話になっております。
昨年10月、39期より西村司が代表取締役社長に就任し、新しい「風」とともに全社員一丸で邁進しています。
手に握めない「流」体を「機」械で「エンジニアリング」する会社として、様々な分野の『最適環境の創造』をして参ります。

最適環境を創造する
株式会社 流機 エンジニアリング

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



ビットで斬る! 杭を斬る!

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型鋼、鋼矢板、RC杭、PHC杭、松杭の切削が可能です。

支障物用ビット



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型鋼(300H)×8本
鋼矢板(IV型)×2面



φ4240泥土圧シールド
H型鋼(350H)×6本
鋼矢板(V型)×2面



φ4680泥土圧シールド
H型鋼(250H)×2本
鋼矢板(III型)×2面



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



φ2690泥水式シールド
鋼矢板(II、III型)×12面

三菱重工メカトロシステムズ(株)の支障物切削技術

三菱重工メカトロシステムズ株式会社 都市開発部

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

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

定価 1,620円

本体価格1,500円

雑誌06619-6



4910066190651
01500