

トンネルと地下 **4**

vol. 46
no. 4
2015

Tunnels and Underground

止水注入による減水対策で周辺地下水への影響を低減
上半先進工法の低強度地山区間を全断面早期閉合で克服
パドルスクリーを装備した矩形断面シールドによる送水管整備
トライアル施工による重要構造物への影響解析の検証
トンネル建設が地すべり安全率に及ぼす影響に関する解析的研究

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

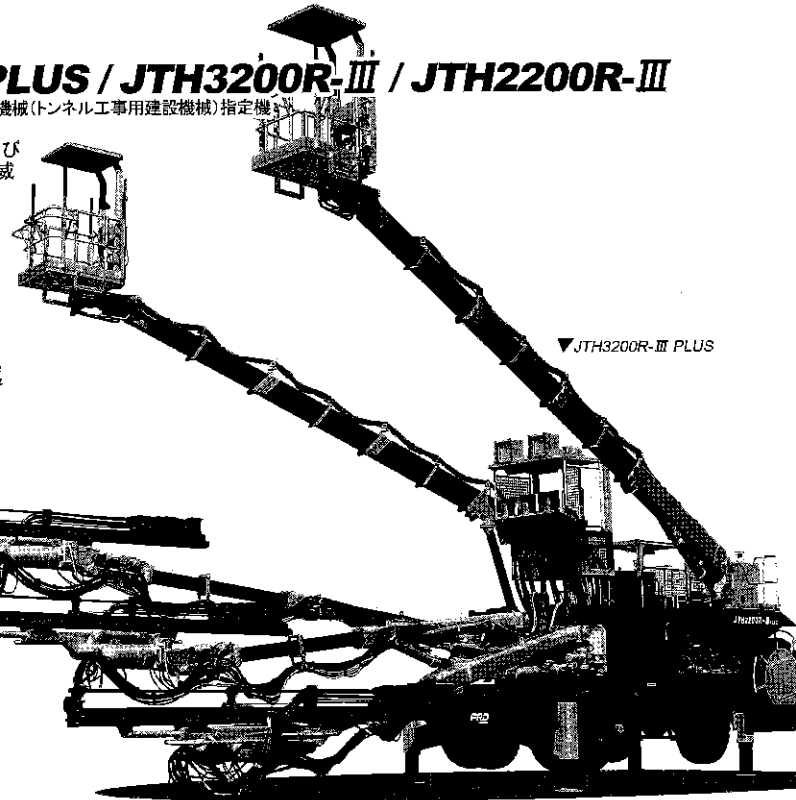
JTH3200R-III PLUS / JTH3200R-III / JTH2200R-III

国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事に用建設機械)指定機

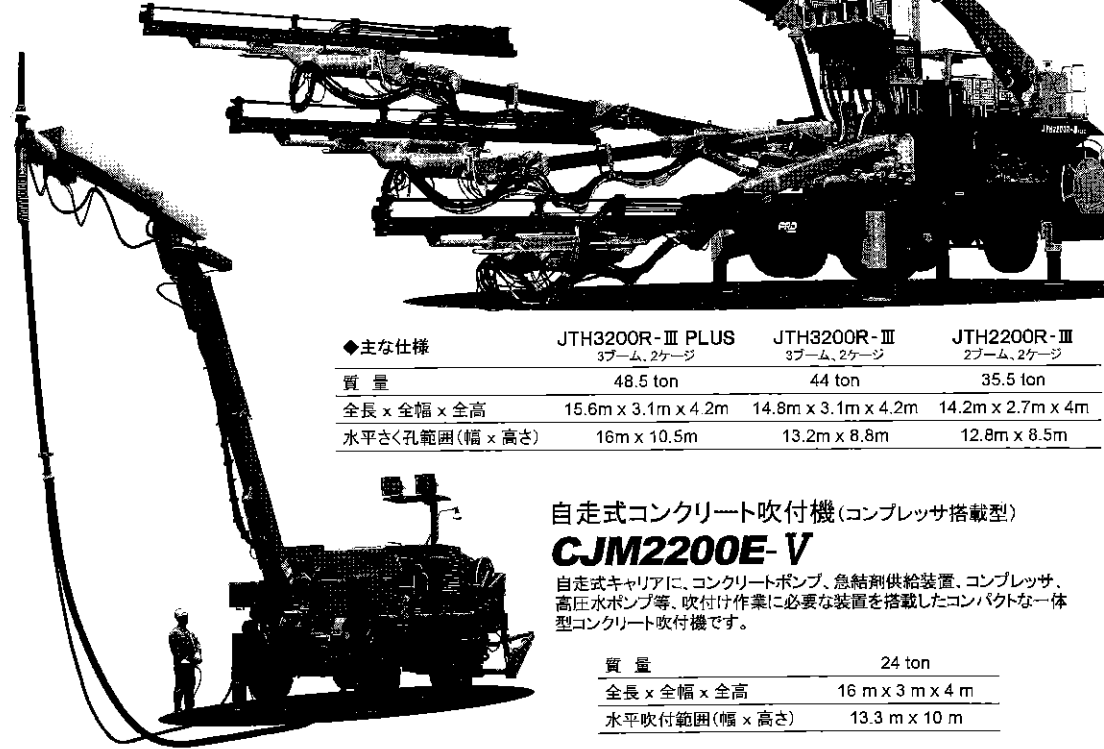
新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。



新型油圧ドリフトHD220搭載



▼JTH3200R-III PLUS



◆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 x 全幅 x 全高	15.6m x 3.1m x 4.2m	14.8m x 3.1m x 4.2m	14.2m x 2.7m x 4m
水平さく孔範囲(幅 x 高さ)	16m x 10.5m	13.2m x 8.8m	12.8m x 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 x 全幅 x 全高	16 m x 3 m x 4 m
水平吹付範囲(幅 x 高さ)	13.3 m x 10 m

△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

長尺鋼管切羽補強工

高付着型長尺鋼管切羽補強工

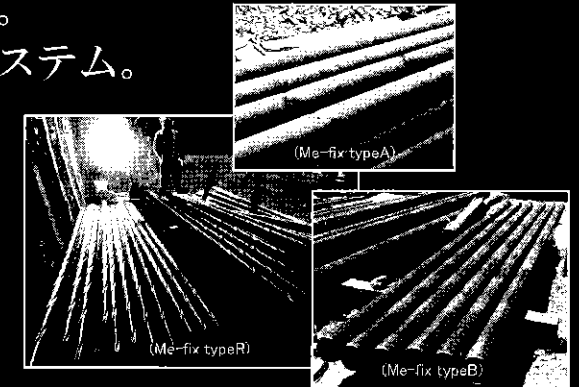
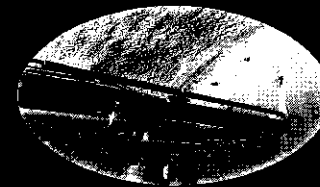
特許第 3882118 号

特許第 4942211 号

Me 工法
Metal eco

Me-fix
Metal eco

エコロジー & 地山拘束効果。
新しい長尺鋼管切羽補強システム。



特徴① 分別回収による鋼材のリサイクル化

※特別仕様
NETIS 番号:KT-080027

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

特徴② 接続部補強により鋼管の薄肉化

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

特徴③ 長尺鋼管切羽補強工の付着耐力の向上

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

NEW!

	Me	Me-fix (typeA)	Me-fix (typeB)	Me-fix (typeR)
形状	φ76.3 (t=4.2)	φ76.3 (t=4.2)	φ76.3 (t=4.5)	φ76.3 (t=4.2)
概要図				
1m当り付着耐力 (kN/m)	50	150	500 以上	150

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

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

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

KUMONOS

クラックスケール内蔵型光波測量器を用いた「ひび割れ」計測システム

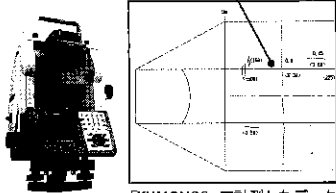
「ひび割れ」の幅と形状を計測し、2D / 3D の図面を自動描画します。

メリット

- ・足場や高所作業車が必要無いため、時間と経費の削減、安全性の向上が図れます。
- ・ひび割れなどの変状を、再現性の高いデジタルデータとして記録し、経年変化を把握できるため、適切な補修計画を立案することが可能になります。

受賞など

- 2008年 土木学会技術開発賞
- 2009年 第11回国土技術開発賞
- 2010年 文部科学大臣表彰 科学技術賞
- 2012年 準推奨技術(新技術活用システム検討会議(国土交通省))に選定
- 2013年 内閣総理大臣表彰 第5回ものづくり日本大賞優秀賞(製品・技術開発部門)



「KUMONOS」で計測したデータ

MMS

MMS (Mobile Mapping System) 移動体計測システム

走行しながら高精度な3次元空間位置データを効率的に取得できます。

メリット

- ・3次元空間位置データと周囲の映像を、車載レーザースキャナーにより高精度で効率的に取得できます。
- ・交通規制を行わずに、3次元地図の作成、路面性状調査(わだち掘れ計測)が可能。

【レーザ点群データベース】

道路の維持管理に必要な道路台帳付図作成業務をはじめとした公共測量・調査にも採用されており、路面性状調査、トンネルの調査点検などに活用できます。

【画像データベース】

天空までを含めたパノラマ動画撮影用の全方位パノラマデジタルカメラをMMSに搭載。ご要望の地域の3D景観画像を記録できます。



Laser Scanner

設置型レーザースキャニングシステム

離れた所から高精細な3次元空間位置データを短時間で取得できます。

メリット

- ・コンパクトで軽量のレーザースキャナーは運搬性に優れ、バックパックでも運ぶことができます。(重量:5.2kg サイズ:240×200×100mm 最大測定可能距離:330m)
- ・複雑な構造物でも簡単に点群データを取得することができ、計測後すぐにデータを確認することができます。



計測風景

レーザースキャナーで取得した点群データ



カンタン維持管理

システム概要

本システムは、スムーズかつ効率的なトンネルの維持管理を支援するシステムです。「KUMONOS」/MMS/レーザースキャナー等の技術を用いて計測したトンネルの形状や変状、写真、設計等のデータをパソコン上で一元管理し、そのデータベースから必要な情報を専用タブレットへエクスポート。現地で情報を閲覧できるほか、メモや写真、位置情報を簡単に追加することができます。

各種計測データ
KUMONOS データ
MMS データ
レーザースキャナーデータ
etc.

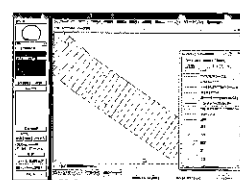


データベース

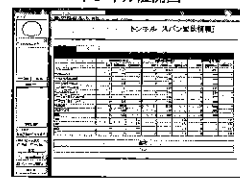


タブレット画面はイメージです

システム画面イメージ



トンネル展開図



スパン別データ

メリット

- ・データベースから過去の点検データを専用タブレットにエクスポートして表示できます。
- ・検証結果を現地で専用タブレットに記録できます。
- ・データベースへ現地で記録したデータをインポートできるため、トンネル管理情報の更新が容易になり、管理者の負担を軽減します。
- ・情報を一元管理することで、経年変化の把握に役立ちます。
- ・現地での検証にかかる時間と経費を削減できます。

▶ 詳細は <http://www.kankou.co.jp/> を御覧ください!

関西工事測量株式会社

大阪府箕面市船場東2丁目1番15号
TEL: 072-749-1188 (代)
機器の販売・レンタルも行っております。

日本で生まれ、世界へ広がる。 NATMの補助工法

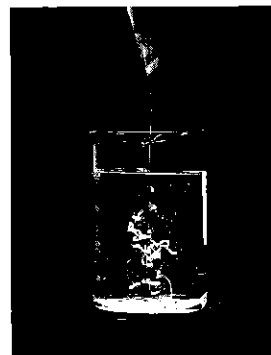
当社は、注入式フォアポーリングや長尺フォアパリング、長尺鏡ボルトなど山岳トンネル工事の補助工法における樹脂系の注入材のパイオニアとして、数多くの実績を築いてきました。

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。

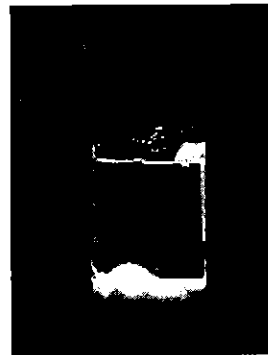
スーパーSRFの優位性

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。

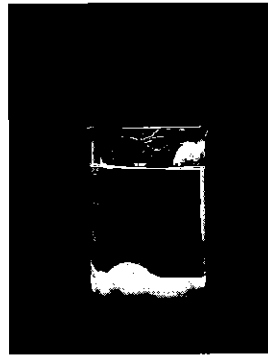
混合直後



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(株)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

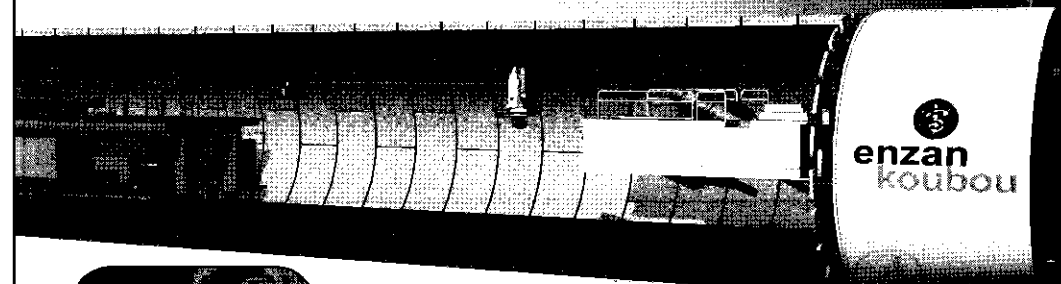
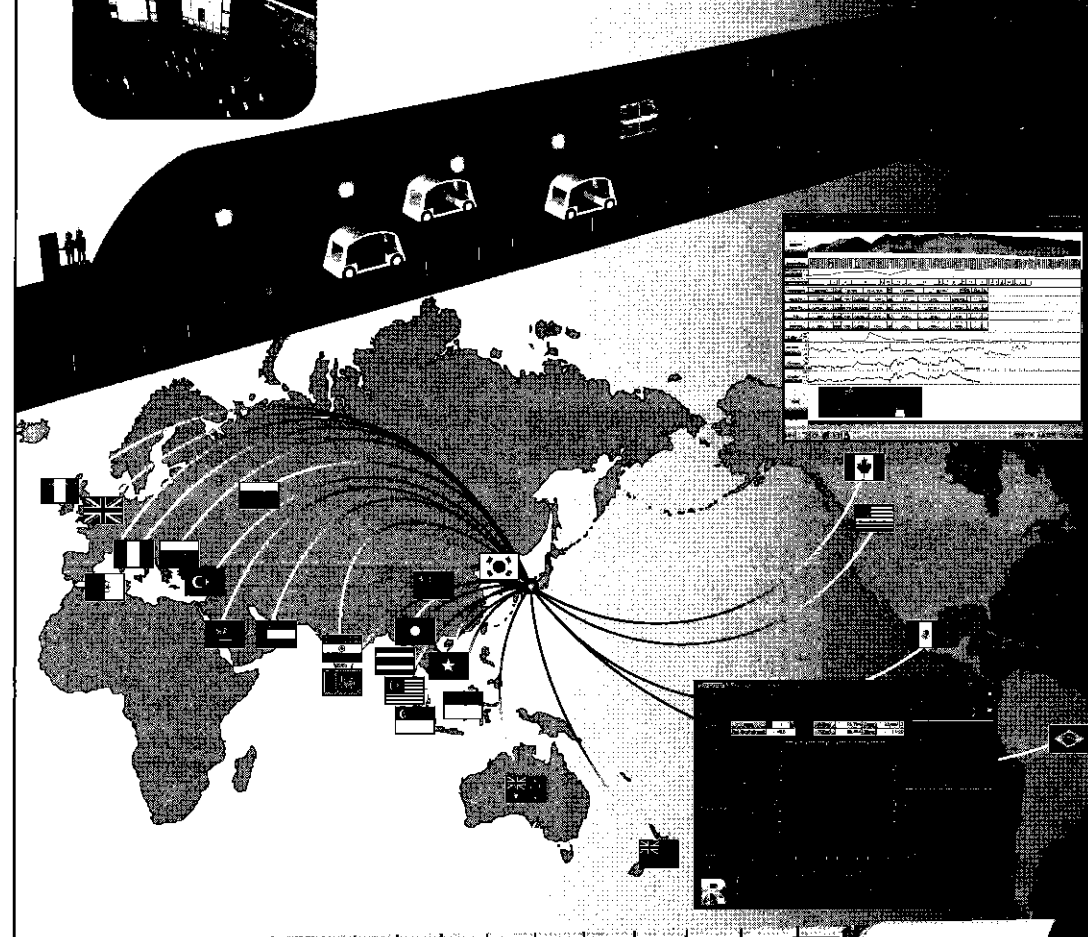
- ⇒ 注入式フォアポーリング
- ⇒ 各種長尺フォアパリング
- ⇒ 多重式長尺フォアパリング
- ⇒ エコリムーブ工法
- ⇒ パノラマ工法
(φ60.5MRS, φ76.3, φ89.1)

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

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)

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

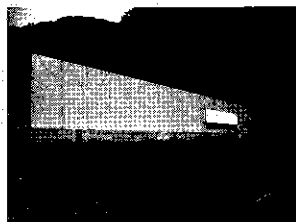


【防音扉】

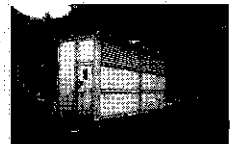
HFS型 マークII
HFS型 マークII 10s
HFS型 マークII 10c
HFS型 マークII 15c



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。



【防音壁】
【防音ハウス】
【防音シェルター】
【防音ボックス】



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



『防音扉マークII』の音響性能

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

『防音扉マークII 10s』の音響性能

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

『防音扉マークII 10c』の音響性能

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

『防音扉マークII 15c』の音響性能

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

『防音パネルSタイプ』の音響性能

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

『防音パネルDタイプ』の音響性能

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

『防音パネルHタイプ』の音響性能

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

防音設備の設計、製造、施工、リース

株式会社ヒューズ

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

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

建設業登録: 東京都知事許可(般-25)第130153号

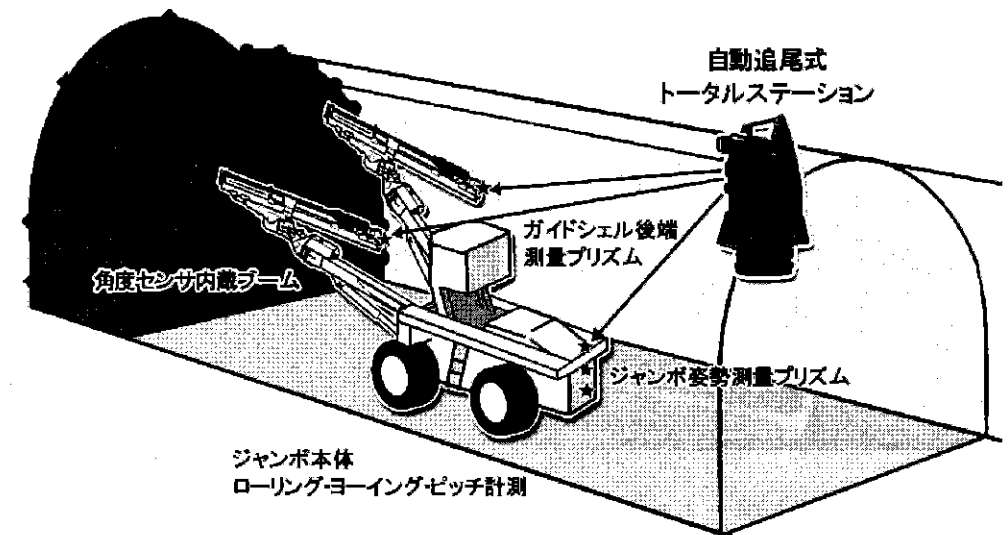
【建設騒音対策協会】E-mail: souon@fuse-ind.co.jp

NETIS登録番号:KK-100049-A

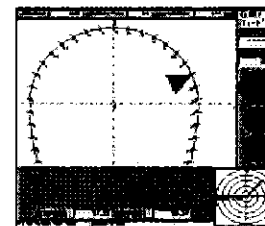
自動追尾式余掘り低減システム

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。余掘り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. ガイドシールの後端のターゲットを自動追尾することにより常に高い精度を得る事ができます。
3. 自動測量により本体セットアップが簡単に行なえます。
4. 操作方法が簡単でオペレータへの特別な教育を必要としません。

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

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

FRD 古河機械金属グループ
古河ロッドドリル株式会社

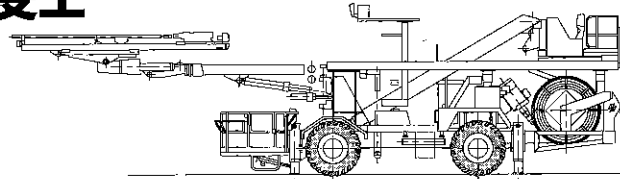
〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3

特機部
TEL:03-3231-6966 FAX:03-3231-6993

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

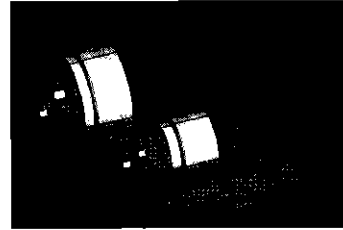
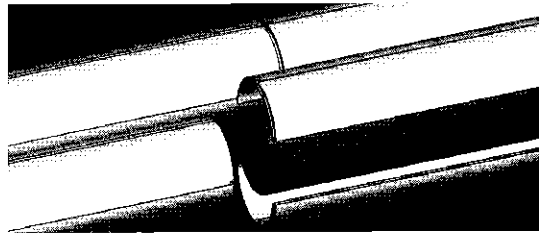
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



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。



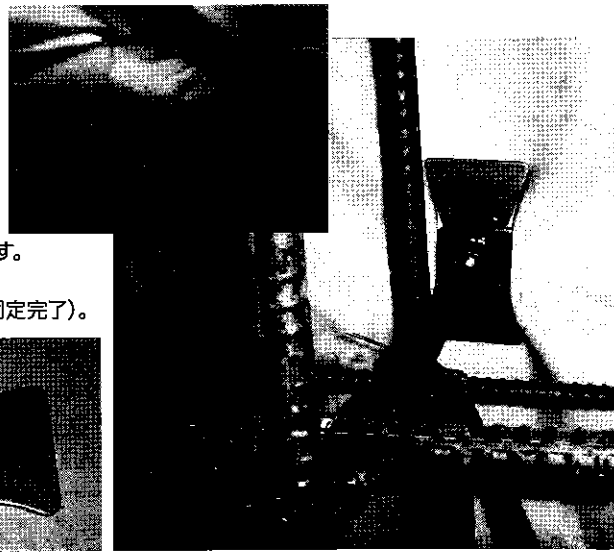
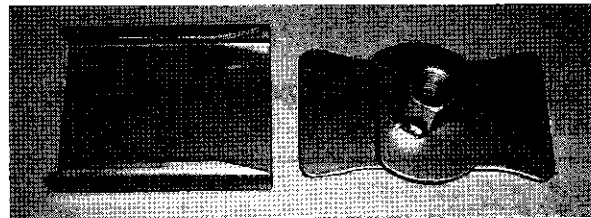
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

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. 回転プレート押し込みます。
3. ナットを回し、止め位置まで90度右回転します(固定完了)。



東邦金属株式会社
TOHO KINZOKU Co., LTD

営業部

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

株式会社 トーキョーオール

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

月刊推進技術

購読のご案内



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

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

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039 加入者名：株式会社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



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

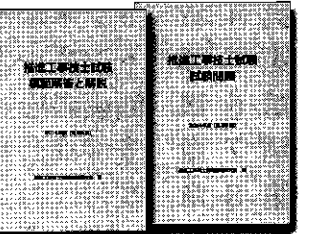
推進工事技士試験 過去13年間(平成14~26年度)

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(公社)日本推進技術協会が平成4年度より実施している制度で、管渠施工の安全性と品質を確保する上で有益な制度です。

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



平成26年度版発売中!!

1. 内容の特長

- 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

各年度単位に1set 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

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

これらのことをインターネットでご案内しています。 [推進工事技士試験](#)

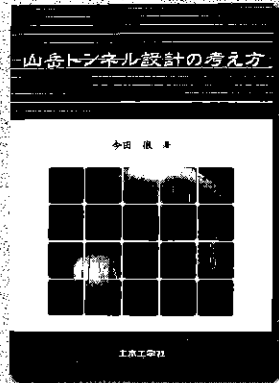
株式会社 LSプランニング

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

山岳トンネル設計の考え方



東京都立大学名誉教授

今田 徹 著



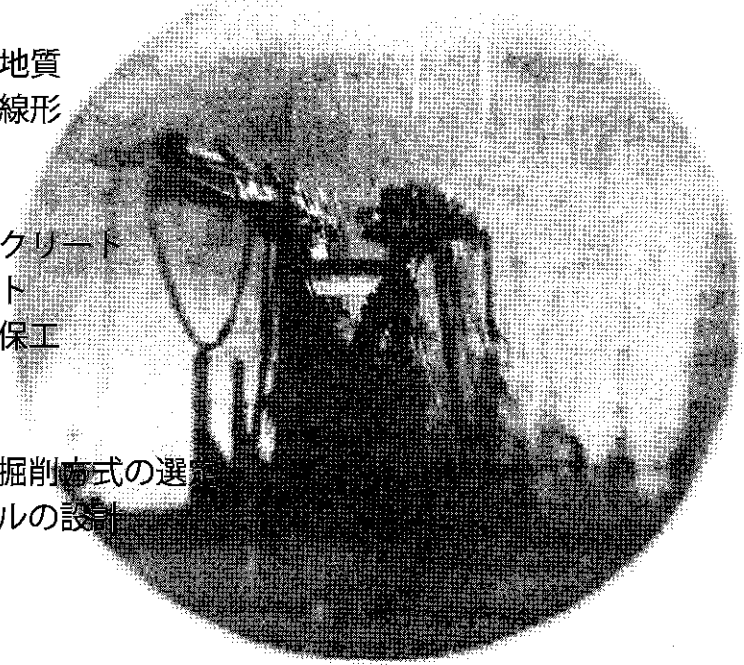
B5判 183頁 上製本 定価3200円+税

山岳トンネルを設計するうえでの考え方は勿論、設計の留意点などを平易にまとめている。

山岳トンネル工事に携わる諸兄の必携書である。

《主要目次》

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



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

 株式会社 土木工学社

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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

トンネルの発破技術

監修 山田隆昭 B5判 76頁 定価1,500円+税(送料別途)

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで！
振動や騒音の環境問題を詳述！！

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

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

《主要目次》

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

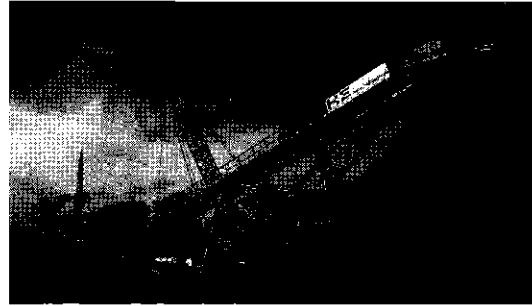
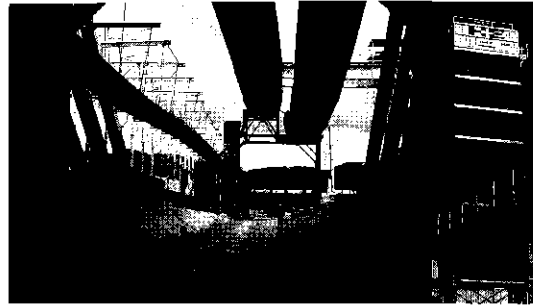
お申し込みは当社へFAX、または、お近くの書店にてお申し込みください。FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は、書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記の上、お申し込みください。

 株式会社 土木工学社

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



Clever Conveying



Tunnel Diameter: 7.10 m
 Min. Radius: 1,000 m
 Miner: EPB
 TBM Supplier: Herrenknecht
 Conveyor Length: 2,500 m
 Belt Width: 1,200 mm
 Capacity: 2,000 t/h
 Installed Power: 2x355 kW
 Belt Storage Capacity: 400 m / vertical

Tunnel Diameter: 11.30 m
 Min. Radius: > 457 m
 Miner: 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: 4x160 kW, 2x90 kW
 Belt Storage Capacity: 2x300 m / horizontal



H+E Logistik GmbH
日本代理店



山崎マシーナリー株式会社

担当: 渡邊

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



Tunnel & Mining
ニシオティアンドエム株式会社
山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業
<http://www.nishio-tm.co.jp>

〒569-0836
大阪府高槻市唐崎西2-26-1

- 北海道営業所 TEL:0133-72-3715
- 東北営業所 TEL:0197-71-2405
- 東日本支店 TEL:0268-62-1426
- 浜松営業所 TEL:0538-66-0166
- 西日本支店 TEL:072-677-2101
- 九州支店 TEL:0982-26-2111
- 福岡営業所 TEL:092-976-6331

ゴムクローラ式エレクター付 コンクリート吹付システム
『新型スコピオン NSCPI-TN』



安全・操作性を徹底的に追求した次世代型吹付機！
状況に応じキャッチャーやポンプの選択が可能！

項目	仕様	単位	標準	選定	標準	選定	単位	標準	選定
1 仕様	全長	m	12.450	12.450	12.450	12.450	m	12.450	12.450
	全幅	m	3.200	3.200	3.200	3.200	m	3.200	3.200
	全高	m	4.200	4.200	4.200	4.200	m	4.200	4.200
2 仕様	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付角度	°	0	0	0	0	°	0	0
	最大吹付速度	m³/h	120	120	120	120	m³/h	120	120
	最大吹付圧力	MPa	0.1	0.1	0.1	0.1	MPa	0.1	0.1
	最大吹付距離	m	400	400	400	400	m	400	400
	最大吹付								

トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法

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



KOKEN 鉦研工業株式会社

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

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

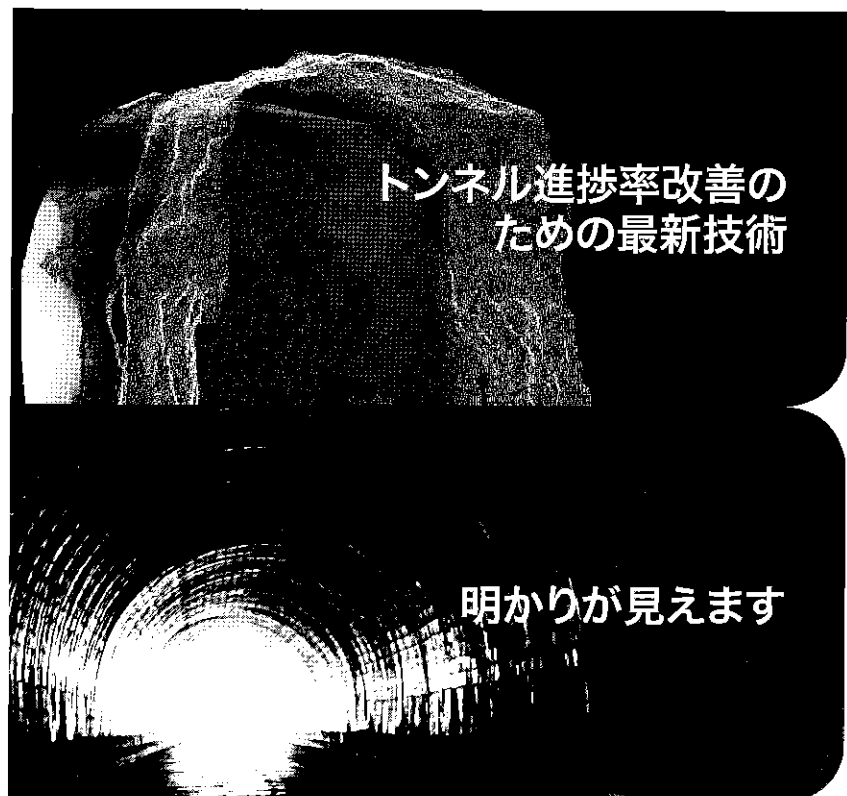
<http://www.koken-boring.co.jp>

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

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

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

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



トンネル進捗率改善の
ための最新技術

明かりが見えます

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

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

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

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

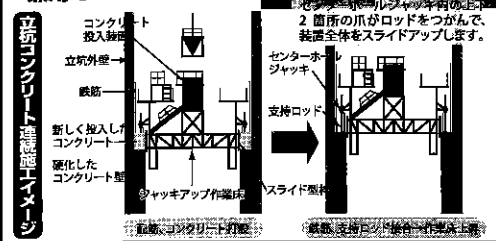


スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献!

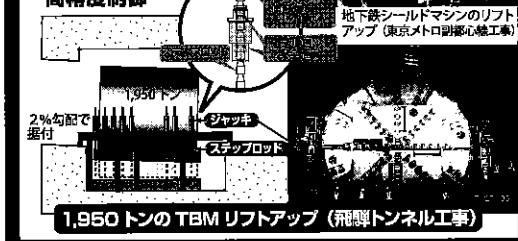
立坑スリップフォーム工法

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



シールドマシンTBMアップダウン

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



営業品目

- ジャッキリース・オペレータ
- 架台・型枠足場 設計・製作・据付工事

JFE シビル 株式会社
都市基盤営業部 特殊工法グループ

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

新刊図書のご案内

地形にも人相がある 地形の性質を知ろう!



トンネル技術者のための 地相入門

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

《主要目次》

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

図・表・写真
288点収録

お申し込みは当社へ FAX または、お近くの書店にてお申し込みください

株式会社 土木工学社

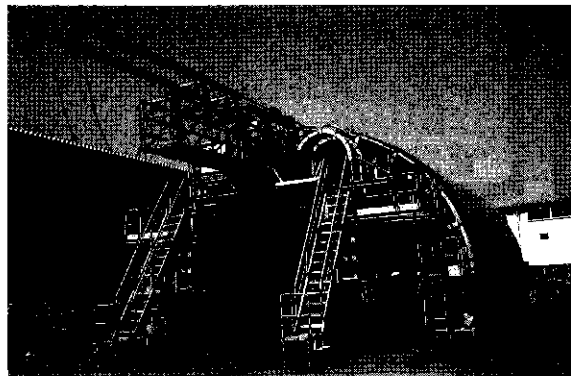
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16-1
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807

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ション装置

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



100.0m³/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

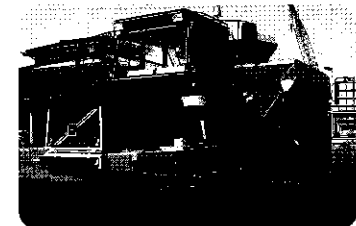
【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

《汎用車両全般》



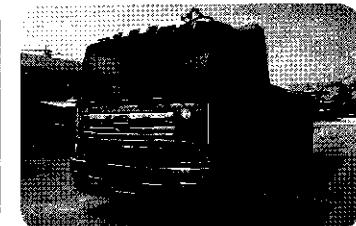
VOLVO ダンプトラック (A25CTS,A25CTR,A20/30CT)



10T ミキサー



4.5m³バケツ搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車両 取り扱っております

 **株式会社 フジテックス**

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

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻頭言

プロ意識と英断

奥田 庸5

■研究

トンネル建設が地すべり安全率に及ぼす影響に関する解析的研究

久武 勝保・廣瀬 憲司・野村 俊明49

■施工

止水注入による減水対策で周辺地下水への影響を低減

—国道400号 下塩原第二トンネル—

西村 玲・築瀬 和裕・藤本 克郎・坂本 秀夫7

上半先進工法の低強度地山区間を全断面早期閉合で克服

—県道東三河環状線 乗小路トンネル—

浅井 仁司・井上 浩志・岡山 徹・寺尾 創15

パドルスクリーを装備した矩形断面シールドによる送水管整備

齋藤 裕二・立花 博令・中谷 武彦・金丸 清人23

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

トライアル施工による重要構造物への影響解析の検証

—東京下水道 江東幹線—

久本 洋二・鈴木 高広・松田 幹生31

■連載講座

山岳トンネル覆工の長寿命化技術(3)

—覆工コンクリートの品質向上技術(材料)—

「山岳トンネル覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会59

■現場だより

「カツオの一本釣り 日本一の町」黒潮町より

小松 孝志14

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

すべての問題は時間が解決してくれた!

渡邊 和憲41

■資料

土木情報

編集部30

工法・技術・製品ニュース

編集部58

トンネルジャーナル

編集部40

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

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16-1 メイジャー神楽坂
 TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807

【表紙説明】 パドルスクリーを装備した矩形断面シールドによる送水管整備

本工事は、千葉県長生村～茂原市付近を流れる一宮川に架かる既設水道橋を河川下を横断するトンネルに変更するものである。本工事で採用したシールドは、多段式軸付き横配置カッタとチャンバ内の強制攪拌用のパドルスクリーを装備し、通常の密閉型シールドと同等の掘削性能を有している。写真はパドルスクリーを装備した矩形断面シールドの到達状況である。 (写真提供：(株)合同資源) (本文 23 頁参照)



管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

コンクリートトータル養生システム

セントル型枠

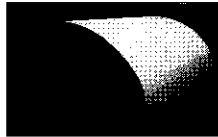
第二養生

第三養生

加温しながら初期強度を上げる
加温養生（型枠）



加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



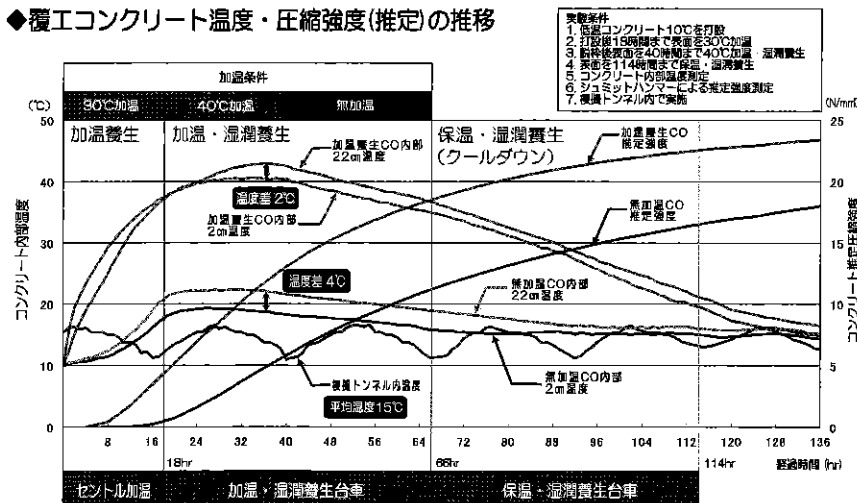
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

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

【製作・販売協力】
TECHNO
テクノプロ株式会社

東 宏
株式会社

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

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

〔幹 事〕

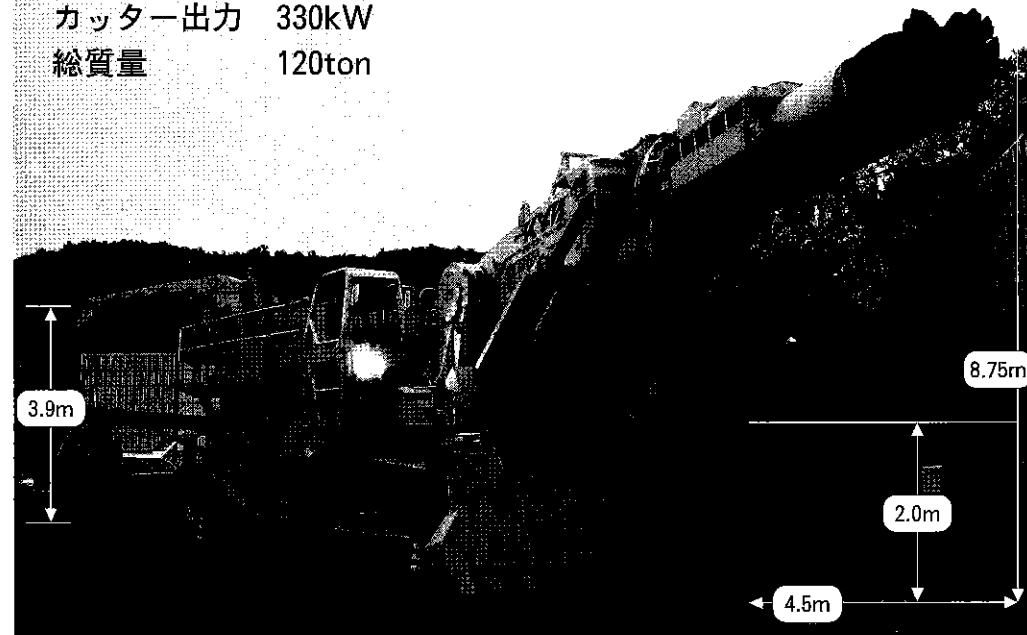
居 相 好 信 株式会社大林組生産技術本部統括部長	西 岡 和 則 鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長 (兼)土木管理本部土木工務部トンネルグループ長
伊 藤 聡 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 改良建設企画課長	長谷川 雅 彦 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長
岩 田 美 幸 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	藤 井 義 文 株式会社竹中土木執行役員
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長	松 原 利 之 飛鳥建設株式会社建設事業本部 エンジニアリング事業推進部長
小 松 敏 彦 前田建設工業株式会社土木事業本部土木部 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

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW

総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅5.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444
カスタマーサービス 相模事業所 〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586
大阪支店 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号 TEK第二ビル TEL 06-6387-3371
西部支店 〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多 TEL 092-411-4998
三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出長常町 1129 番地 11 TEL 059-234-4111

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

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

〔編集参与〕

木谷 日出男 国際航業株式会社フェロー技術開発センター 地盤研究室長	今田 徹 東京都立大学名誉教授
小山 幸則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授	高橋 良文 東京都下水道サービス株式会社技術顧問
	松浦 将行 地方共同法人日本下水道事業団理事

〔委員〕

岡田 龍二 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 技術基準担当課長	真下 英人 国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部長
佐原 圭介 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐	松田 信夫 東京都水道局建設部工務課長
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長	八木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当) 道路研究部トンネル研究担当部長
高橋 晃 東京電力株式会社パワーグリッド・カンパニー 工務部流通土木グループマネージャー	焼田 真司 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室長
谷内 雅之 東京都交通局建設工務部計画改良課長	柳 雄 東京都下水道局建設部設計調整課長

トンネル二次覆工型枠総合メーカー

スライダ打設システム



特許 第 4083308 号
NETIS 登録 KT120099-A

**トンネル天端部
懸垂パイプレータ締め固め工法**



NETIS 登録 KK-120003-A

**セントル位置・変位
自動測定監視システム
(セントル監視くん)**



特許 第 5247491 号
NETIS 登録 KT-130037-A

**型枠ハイフレック
集積制御システム 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	18	7
鉄道・運輸機構	1	0

平成27年1月31日 現在

実施権許諾第 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.daienkouki.co.jp/> E-Mail: dai-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.4 掲載概要

止水注入による減水対策で周辺地下水への影響を低減
—国道400号 下塩原第二トンネル—

栃木県 西村 玲

国道400号下塩原第二トンネルは、栃木県那須塩原市関谷～塩原間に位置する延長1,458mの2車線バイパストンネルである。本トンネルでは、大量湧水の発生と同時に、坑口から200～300mの温泉施設で温泉湯量が減少する事態が発生し、その原因究明と対策を行う必要が生じた。

本稿では、温泉水減少の原因となった地下水位低下のメカニズムと、坑内湧水量の低減および温泉湯量の維持を目的として行った、トンネル内から地下水脈に向けての限定止水注入について報告する。

Reduce Impact on Surrounding Underground Water with Water Sealing Injection—National Route 400, Shimo-shiobara 2nd Tunnel—

Akira Nishimura, Tochigi Prefecture

The Shimo-shiobara 2nd Tunnel on National route 400 is a two-lane by-pass tunnel of 1,458 m long located between Sekiya and Shiobara in Nasu-Shiobara City, Tochigi Prefecture. Around the same time as the

occurrence of a high volume of water inflow into the tunnel during excavation, there is a decrease in the amount of hot spring water discharge at hot spring facilities 200–300 m away from the portal. It became necessary to investigate to determine the cause and to take measures.

This report contains information on the mechanism of groundwater drawdown that caused the decrease in amount of hot spring water and the works of the limited water sealing injection to underground water vein which was conducted from the tunnel with the aim of reducing the quantity of the water inflow into the tunnel and maintaining the quantity of hot spring water.

写真は注入施工状況

上半先進工法の低強度地山区間を全断面早期閉合で克服

—県道東三河環状線 乗小路トンネル—

愛知県 浅井 仁司

県道東三河環状線乗小路トンネルは、愛知県豊橋市多米町に位置し、延長630mで歩道と中央分離帯付きの対面通行道路トンネルである。トンネル延長の約60%は、破碎帯を介在し、地山等級がD IIとされる塑性地山の出現が予想され、トンネル支保構造の変状や破壊、過大変位の発生などが懸念された。このため、上半先進ベンチカット工法の機械掘削を基本として、切羽観察で地山性状に応じた最適な支保パターンと掘削補助工を選択し、全断面早期閉合の考え方を採用して当初設計を修正し、トンネルの安定を確保することにした。

その結果、上半先進ベンチカット工法機械掘削における早期下半掘削と早期閉合によるトンネル安定確保の方法の有効性が示されたので、これによる挙動特性、力学的安定性などとともに報告する。

Excavate Weak Ground with Full-face Cutting And Early Construction of Invert—Prefectural Higashi Mikawa Ring Road, Norikoji Tunnel—

By Hitoshi Asai, Aichi Prefecture

The Norikoji Tunnel on the Prefectural Higashi Mikawa Ring Road is 630 m in length and two-lane road tunnel with a median strip and footpaths located in Tamecho, Toyohashi City in Aichi Prefecture. Fractured zone and plastic ground which is classed as D II in the ground classification were predicted to account for approximately 60 % of the length of the ground to excavate and there was concern about the deformation and fracture of tunnel support structures and the occurrence of excessive displacement. For this reason, we had



写真は上半掘削状況

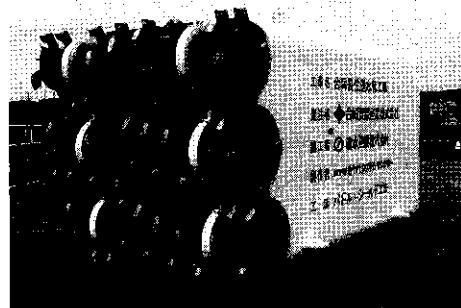
secured the stability of the tunnelling by selecting optimum support patterns and auxiliary methods and remediating the basic design applying the concept of early construction of invert in response to ground conditions from face observation on the basis of machine excavation with the top heading and bench cut method.

As a result, it showed that the effectiveness of the methods to ensure tunnel stability through early bench cutting and early invert casting in machine excavation using the top heading and bench cut method. This report includes information about behavioural characteristics and dynamic stability.

道路アンダーパスの築造などにおいて、非開削で矩形断面トンネルを構築する新たなシールド工法を開発し、実証実験などを経て実工事に採用した。シールドの特徴としては、多段式軸付き横配置カッタとチャンパ内の強制攪拌用のパドルスクリーを装備し、通常の密閉型シールドと同等の掘削性能を有している。実証実験では、小土かぶりでの軟弱地盤において、地盤変状を抑制しながらの掘進性能を確認した。実工事では、河川下に位置する N 値50以上の泥岩層を掘進し、本工法の幅広い土質への適応性を実証することができた。本稿では、開発時の経緯とともに、送水管用のトンネル構築までの施工状況を報告する。

Construct Water Pipe with A Rectangular Cross-section Shield TBM Equipped with Paddle Screws By Yuji Saito, Godo Shigen Co., Ltd.

We developed a new shield TBM for road underpasses, etc. that build rectangular cross-section tunnels with trenchless technology. We also adopted this in actual construction after demonstration experiment, etc. The characteristics of the TBM are that it is equipped with horizontally-arranged axis rotation cutters in multi-step and paddle screws for mandatory agitation in the chamber. It has the comparable excavation ability of a normal closed type shield TBM. In demonstration experiment, excavation ability was confirmed in soft ground with small cover while controlling ground displacement. In actual construction, the TBM excavated mudstone with strength of more than 50 in N value located under a river and it was possible to verify the adaptability of this machine to a wide range of ground condition. This report contains information on background of development of this machine and the state of construction of water pipe tunnel with it.



写真はパドル・シールド外観

本工事は、江東区のほぼ中央に位置する木場公園内の発進立坑より流末となる江東ポンプ所手前までの約4.3kmに内径6.0mの雨水管を建設するものである。

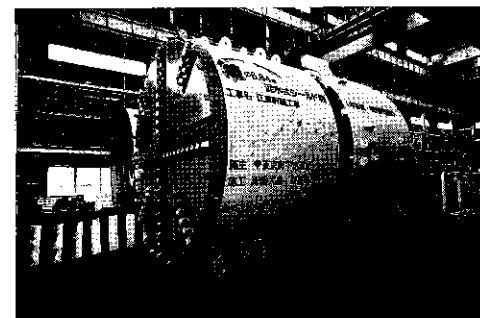
本工事の特徴は、重要構造物との多数の近接施工、軟弱地盤での長距離施工、多数の急曲線施工(最小曲率半径30m)、可燃性ガス賦存層の掘進などがある。また、工事を円滑かつ安全に進めるためには、近接する重要構造物への影響低減が重要な課題である。

本稿では、重要構造物との近接施工の影響解析の妥当性を検証し、最適な掘進管理の確立を目的としたトライアル施工の計画と経過について報告する。

Verification of Impact Analysis on Important Structures through Trial Construction—Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, Koto Sewer Main—

By Yoji Hisamoto, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

This project is to construct stormwater drainage with an inner diameter of 6.0 m for the approx. 4.3 km from the starting shaft in Kiba Park which is located almost in the centre of Koto city to short of the Koto Pump Station which is the end of the sewerage system.



写真はシールド外観

The characteristics of this project are construction adjacent to a number of important structures, long-distance construction in weak ground, construction of a number of sharp curves (minimum radius of curvature: 30 m), excavation in flammable gas zone and so on. In addition, the reduction of impacts on adjacent important structures was a challenge in order to progress with works safely and smoothly.

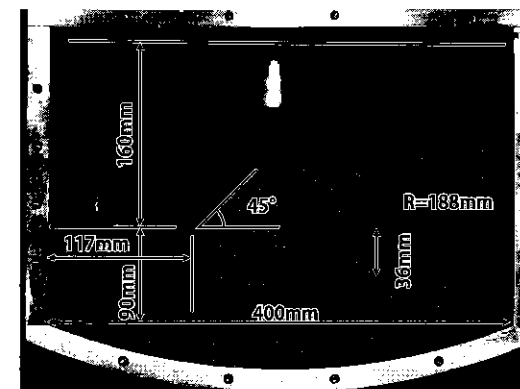
This report contains verification of the validity of the impact analysis on important adjacent structures and information on the planning and progress of trial construction with the aim of establishing optimum excavation management.

本研究は、既存すべり層の近辺にトンネルを建設する場合の地すべり安全率を有限要素法で算定する手法を提案することを目的としている。提案手法では弾塑性解析変位から安全率が算出される。すべり層やトンネルが存在しない斜面の従来手法による解析結果と提案手法の結果を比較することにより、またトンネルがすべり層の下方または上方に建設される斜面の遠心力載荷模型実験の結果と提案手法の結果を比較することにより、提案手法の妥当性を確認した。

Analytical Study of Tunnelling Effects on Safety Factor against Landslide

By Masayasu Hisatake, Kinki University

This study aims to propose a method to estimate safety factor against landslide with the finite element method when tunnelling works in nearby existing sliding surface. Our method derives Safety factor from displacement by elasto-plastic analysis. We confirmed the validity of the method we proposed by comparing the safety factors against landslide based on the proposed method and traditional methods under condition of slope without sliding surface or a tunnel, and by comparing the safety factors against landslide based on the our method and experiment results from centrifugal model tests under condition of tunnel on the upper or lower side of sliding surface.



写真は地盤幾何形状

プロ意識と英断



東亜建設工業(株)執行役員常務(本協会評議員)

奥田 庸

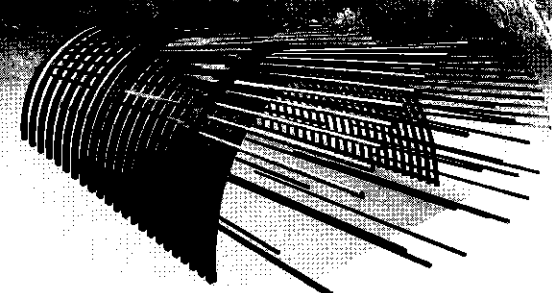
トンネルの一線を離れ十二分な年月が過ぎた今、「巻頭言」を書くように言われ、「読者に読んでいただけるものを果たして書けるだろうか」と困惑しているが、比較的担当する機会が多かった山岳工法トンネルを通じて、自らを省みながら4題に絞って以下に記すこととした。

1. 「プロの土木屋としてメシを食う」ことをトンネルの検測を通じて意識した思い出
 最初の赴任現場、北海道の占冠村では橋脚の配筋検測をしても線路方向と線路直角方向さえ取り違えてしまうような、いわゆる「ずぶの素人」からスタートした。方向を間違えようもない覆工コンクリートの巻厚検測に「ホッ」としたものの、スチールフォームの背面に潜り込みケレン油にまみれながらの検測の日々だった。今では信じられないほどの痩身だったものの、コンベックス片手にこのような姿でよく検測をしたものだ。型枠の背面空間で「これからプロの土木屋としてメシを食って行くんだな」と感慨も深く意識をしたことを思い出す。
2. 樽沢トンネルが鉄道トンネルの使命を終え「日本一」の座を譲ったことに因んで
 昨年9月、吾妻線、樽沢トンネル(L=7.2m)が鉄道トンネルとしての役目を終え、日本一短い山岳トンネルの座を五能線、仙北岩トンネル(L=9.5m)に譲った。樽沢トンネルは第二次大戦中の施工でなぜ地山を切り飛ばさなかったのか現場を見ても不思議に思う人が多い。

しかし、私は吾妻川沿いの素晴らしい景観を保ちたかったからに違いないと信じている。担当した主任技師は入省ほんの数年しか経っていない「五味 信」さんであったと聞き、戦時中の物資不足の中であり、また若年であるにもかかわらず、素晴らしい英断を下されたことに心から敬意を表する。この思いは五能線、十二湖・陸奥岩崎間にある「仙北岩トンネル」を昨年訪ねてみてほとんど確信に変わった。というのも、この仙北岩トンネルも海と小島に面した素晴らしい景観の地にあるトンネルであったから。

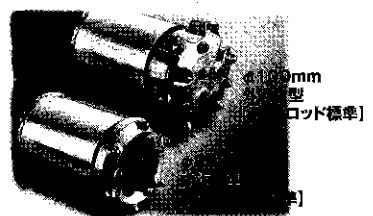
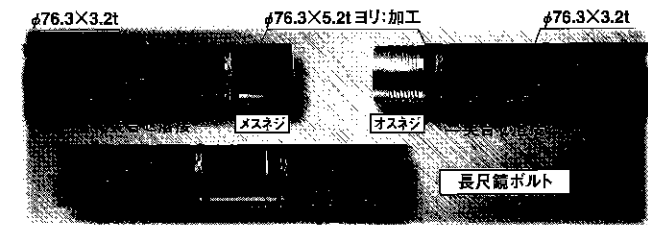
世界一短いトンネルはスイスのマウティアトンネルで長さは6.8mだそうだ。以前ス

ユニークな発想でVEを提案



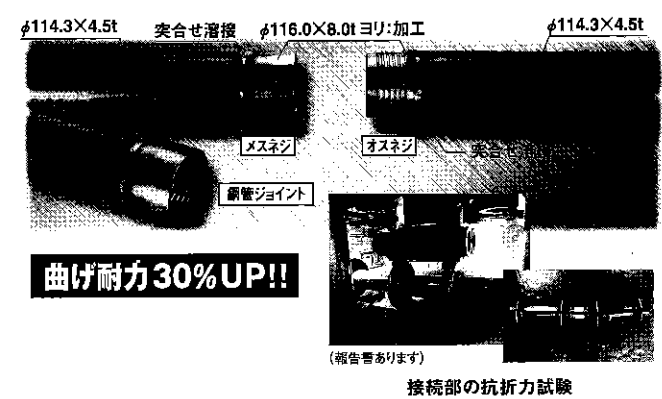
スローク FIXチューブ(S型)

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



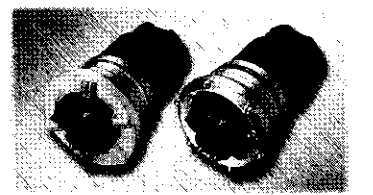
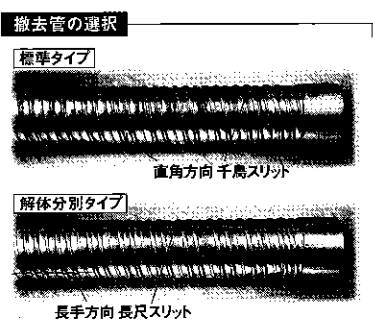
AGF-STD工法

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



曲げ耐力30%UP!!

接続部の抗折力試験



STD BITS (ロストリング方式)

型番	巻径	リフト高
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

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

STE
エステ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>

イスを訪れたとき、どこにあるか観光案内所で聞いたが全くわからなかった。たぶん日本のこれらのトンネルと同じような理由ではないかと思い、今さらながらにぜひ訪れてみたいと夢見ている。

3. 現場単位で適切な対応を即断しなければならないことを今さらながらに思うこと

前述の五味さんのようにまさしく「英断」と言えるような決断をしたことはないが、トンネル工事は切羽を主とする地山特性や環境特性を把握し、現場で実施可能な対策工から適切と思われるものを選び出し、現場責任者のもとに必要な判断と決定を行うというルーティンによって進捗するものと思っている。この過程には発注者も施工者もなく、混然一体としたいいわゆる「オール現場」で進めるところがトンネル屋独自の素晴らしいところでないかと思う。

近年地山の各種の情報を数値情報として得ることがそれほど困難なことではなくなってきたことから、本来現場組に決断を任せるべき範囲の事柄まで、遠く離れた背広組が過剰に意見を挟みがちになっていることは非常に残念に思え、「日常的な事柄の判断さえ下さないくらいなら現場なんて存在意義がないな」とまで思うことさえある。トンネルは事前に十分な地山の情報が無い条件下で施工を求められることが一般的であるという環境下にあることからすれば、本来は「いかに小まめに地山状況に即応した設計変更ができるか」を競うのが本当の「プロ」ではないだろうか。

4. 掘削だけに精力を注ぎ込むことがトンネル屋ではないことを思い知らされたこと

掘削開始から貫通までの間「支保のこと」「湧水対策のこと」「補助工法のこと」「加背割りの変更のこと」などにばかり議論を集中させ精力を傾けがちであった自らの姿勢に、近年恥ずかしさを覚えることが多い。1999年に続発して大きな社会問題となった覆工コンクリート片の落下や剥落はトンネルの機能そのものを失う重大なトラブルであり、二度と起こしてはならないことであることを当時、今さらながらに痛感したが、その後も覆工の背面にあるべき防水シートをコンクリート内に巻き込んで打設してしまっている事例が発見されたりするなど、「まさか」と思うようなことを現実に見せつけられショックを感じたことも一度ならずあった。

私自身とくに反省すべきは「底盤を十分な厚さのインバートにしたのだから地山変位には十分追随可能」と自信を持って施工をした区間でも、時間依存性のある、いわゆる「盤膨れ」について行けず、開業後に補強工事を余儀なくされるという事例を何箇所かで発生させていることである。この問題で対応に迷ったとき、インバート部分だけは積極的に「オーバーストロング」な部材としておくことがまさに「プロの英断」であると思う。

施工

止水注入による減水対策で周辺地下水への影響を低減

—国道400号 下塩原第二トンネル—

栃木県大田原土木事務所整備部部长 西村 玲
 栃木県大田原土木事務所整備部整備第二課副主幹 築瀬 和裕
 飛島建設(株)下塩原トンネル作業所現場代理人 藤本 克郎
 飛島建設(株)下塩原トンネル作業所監理技術者 坂本 秀夫

1 はじめに

国道400号は、栃木県有数の観光地である塩原温泉郷へアクセスする主要な道路であり、当地域の生命線となる重要な道路となっている。しかし現状は、急カーブが多く大型車のすれ違いが困難な場所や土砂くずれの発生、連続雨量200mm超過で全面通行止めとなるなど、住民や観光客の通行に支障を来していた。このため、災害に強く、高度医療施設までのアクセス改善や地域活性化などの効果を期待して下塩原バイパス事業が進められている。

国道400号下塩原第二トンネルは、那須塩原市関谷～塩原間に計画された下塩原バイパス事業

(全長L=4,600m)の3本のトンネルのうち、中間に位置する延長1,458mのトンネル工事である(図-1)。本工事では、坑口から350m地点の水平ボーリングで2,800L/minの大量湧水が発生し、それに伴い現場に近接する温泉施設で、湯量が減少する事態が発生した。

本稿では、トンネルの大量湧水と温泉湯量の減少についての調査結果と、坑内湧水量の低減および温泉湯量への影響低減を目的としたトンネル湧水の減水対策について報告する。

2 工事概要および地形・地質の特徴

2-1 工事概要

本工事の工事概要を表-1に示す。掘削は、終点

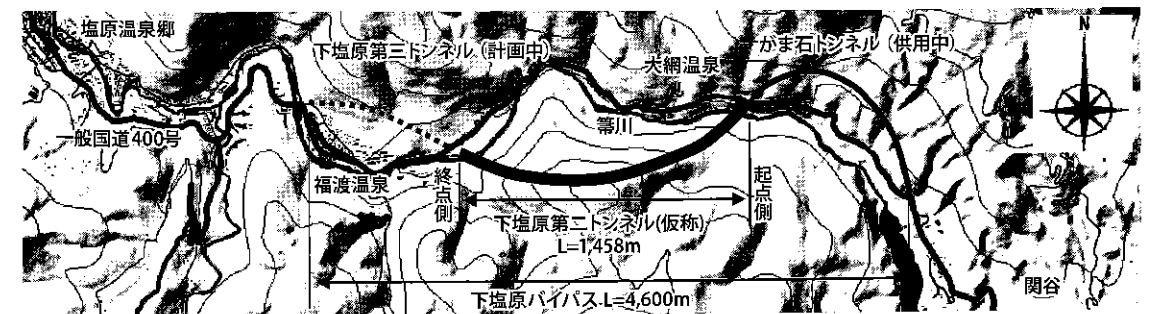


図-1 トンネル位置図

表-1 工事概要

工事名称	一般国道400号下塩原第二トンネル(仮称) 本体建設工事	
工事場所	栃木県那須塩原市塩原地内	
工期	平成24年6月15日～平成27年12月18日	
発注者	栃木県大田原土木事務所	
施工者	飛島・天野・岩澤特定建設工事共同企業体	
工事内容	トンネル延長	1,458m
	掘削断面積	55.8～74.6m ²
	掘削工法	上半先進ベンチカット工法
	掘削方式	発破工法
運搬方式	タイヤ方式	

側(塩原側)から起点側(関谷側)への片押し施工とした。施工箇所周辺は、日光国立公園内の国有保安林に位置する静寂な箇所であり、猛禽類の営巣箇所や一般家屋が隣接することから、騒音・振動対策や猛禽類の視覚に配慮した仮設備や施工方法を計画した。

2-2 地形・地質の特徴

本トンネルは、那珂川の支流にあたる^{ほうきがわ}常川沿いのルートとなっている。常川の両岸には急峻な斜面が形成されており、河川沿いに複数の滝や奇岩などの景勝地が点在している。また、常川沿いには塩原温泉郷をはじめとした複数の温泉が存在する。トンネルは塩原温泉郷の中心から数km^{ふくわた}下流に位置するものの、周辺には2つの温泉(福渡温泉, 大網温泉)が存在している。

本トンネルの地質は、当地域一帯に広く分布する新第三紀の凝灰岩質堆積岩類(グリーンタフ)が主体となり、一部区間に流紋岩が貫入している

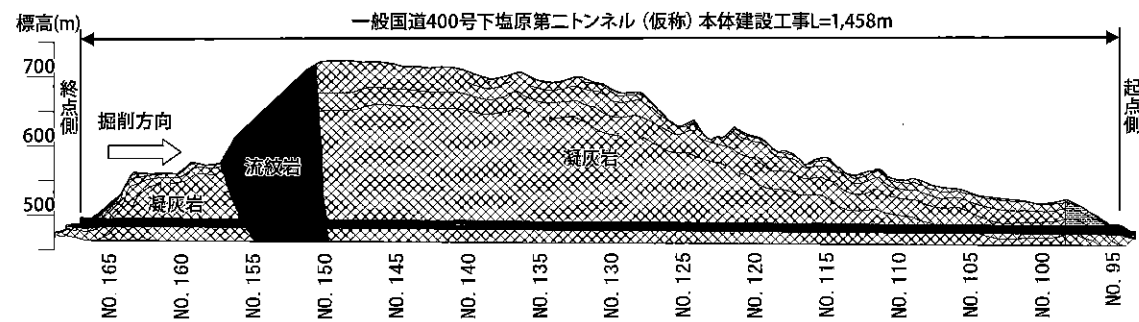


図-2 地質縦断面図

(図-2)。貫入した流紋岩周辺の岩盤は、割目の発達により大量の地下水が蓄えられていることが予想され、計画段階において大量湧水の発生が懸念されていた。また、事前調査により、掘削ずりからの重金属類(ヒ素)溶出が懸念されていたこともあり、水平ボーリングを行いながら掘削する計画とした。水平ボーリングは延長100～150m/回を目標とし、工程に影響のない週末に実施する計画とした。

3 湧水の発生と温泉施設の湯量減少

3-1 湧水発生までの地山状況

2012(平成24)年12月より終点側から掘削を開始した。崖錐堆積物が分布する坑口区間以降は凝灰岩が分布し、その多くは中硬岩レベルの強度を有する硬質な塊状岩盤であった。凝灰岩には数m間隔で高角度の平滑な割目が存在し、その割目のほとんどは茶褐色に変色しており、割目に沿って岩塊の抜落ちなどが発生しやすい切羽状態が連続した。なお、事前調査の水平ボーリングでは60L/minの湧水しか発生しておらず、その区間の掘削

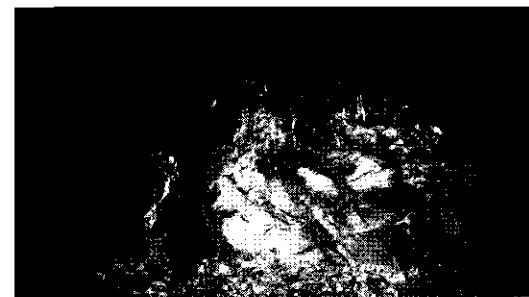


写真-1 切羽状況(No.159+9.6)

においても、切羽からの湧水はほとんど発生しなかった(写真-1)。

3-2 ボーリングによる湧水の発生

事前調査で実施した水平ボーリングの施工区間を掘削したあと、当初より計画していた水平ボーリングを実施した(第1回水平ボーリング, L=80m)。ボーリングの結果、地質に大きな変化はなかったが、300L/minの湧水が発生し、坑内湧水量の増加が懸念された。



写真-2 第3回水平ボーリングの湧水状況

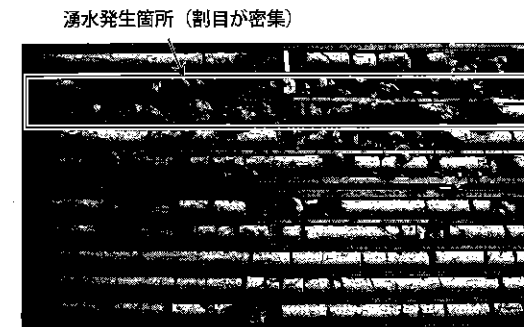


写真-3 第3回水平ボーリングのコア

TD275m地点から第2回の水平ボーリング(L=43.5m)を実施したところ、2,700L/minの大量湧水が発生した(写真-2)。水平ボーリングのコア(写真-3)により、湧水発生箇所周辺には割目が密集しているものの、それ以外の区間はおおむね良好な地山状況が期待できたことから、第2回水平ボーリング以降は、切羽前方の地下水排除を目的にドリルジャンボによる水抜き孔の施工を行いながら掘削を継続した。

切羽を19.2m掘削し、第3回の水平ボーリング(L=90.5m)を実施した結果、2,800L/minの湧水が発生し、坑内湧水量は最大で3,500L/minに達した。坑内水平調査ボーリングと水抜きボーリングの位置および湧水発生箇所を図-3に示す。

なお、第1～3回水平ボーリングでは、当初予想された貫入岩は確認されなかった。

3-3 温泉施設の湯量減少と掘削の中断

第3回水平ボーリング終了後、湧水増加に伴う

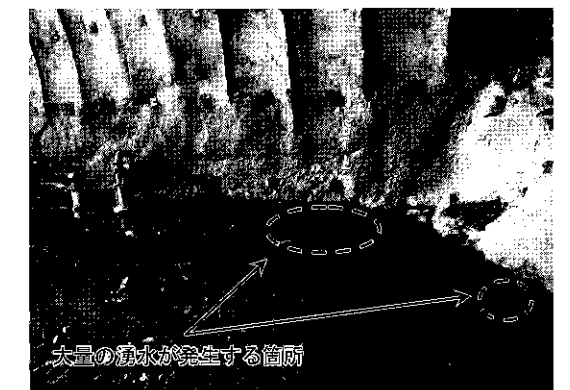


写真-4 湧水状況(路盤)

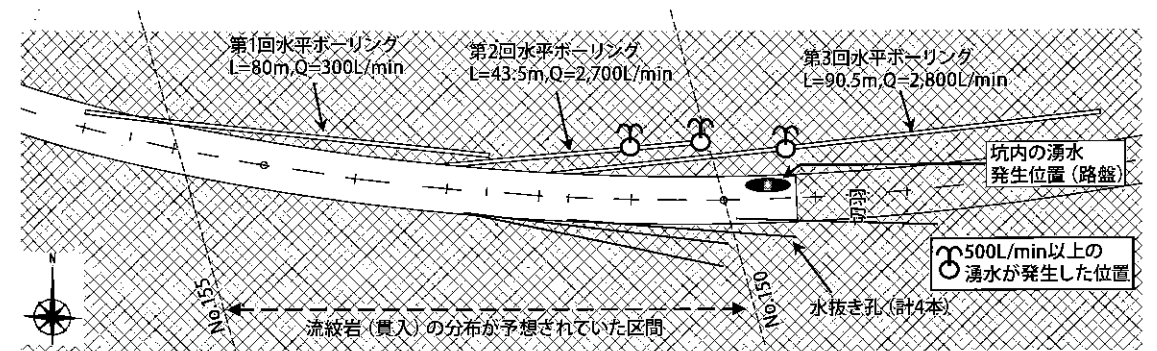


図-3 ボーリング位置図

排水システムの補強・増設を行い、掘削を再開した。掘削再開後、切羽がTD347mに達したときに、切羽から約700m離れた温泉井戸の湯量が減少しているとの報告を受けた(2013(平成25)年5月20日)。これにより、トンネル掘削を一時中断し、トンネル湧水の増加と温泉湯量の低下の関連について調査を行うとともに、湧水増加に伴う濁水処理設備の増設(60t/h→150t/h)を行った。

掘削中断時点では、湧水の発生位置がボーリング孔から切羽周辺路盤に変化し、坑内湧水量の多くを濁水として処理する必要があった(写真-4)。

4 温泉湯量減少の原因究明

4-1 温泉湯量減少の原因調査

温泉湯量の減少について原因を究明するために、各種調査を約3か月にわたり実施した。調査はトンネル湧水量や周辺温泉施設の湯量計測など(図-4)を中心に、湧水発生箇所から半径約3km圏内の温泉施設にまでその対象を広げた。

各種調査結果と湧水発生箇所における地山性状から、温泉、トンネル湧水に関する以下の特徴が明らかとなった。

- トンネル工事開始後に湯量(水位)の減少(低下)が確認された温泉井戸は、湧水位置から半径1km圏内に限定されている。
- 湯量減少が確認された温泉井戸①、②の口元

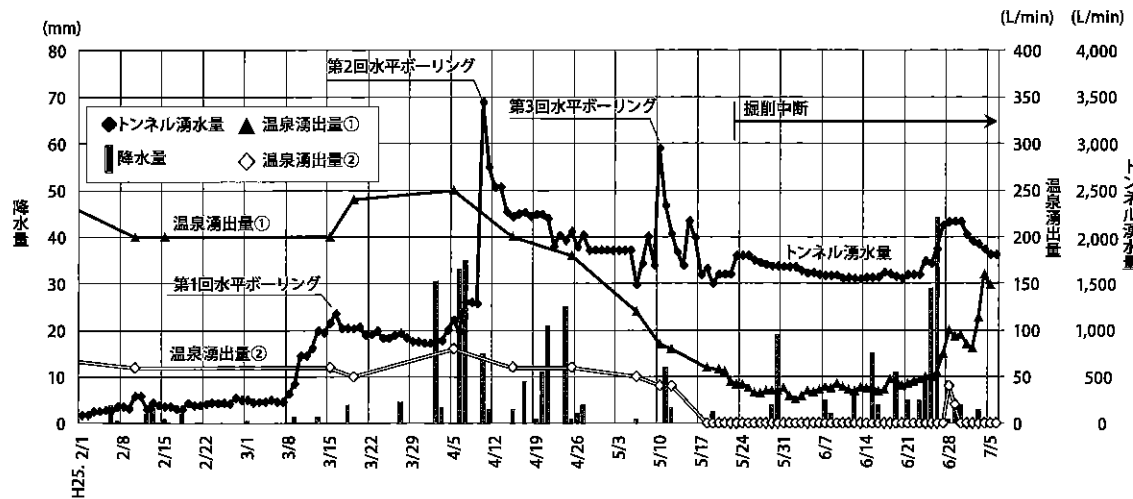


図-4 湧水・温泉湯量経時変化グラフ

位置は、トンネル湧水箇所から14mおよび10m上方に位置している(図-5)。

- 温泉井戸の温度や水質には、大きな変化は認められない。
- 今回発生したトンネル湧水の温度は約19度であり、その他の湧水に比べ明らかに温度が高い。
- 各温泉の湯量(水位)は降雨量や季節により大きく変動し、降雨から1、2日経過したのちに湯量(水位)は増加傾向を示す。トンネル湧水も同様な変動を示す。
- 温泉の多くは深さ100m以上の温泉井戸であるが、そのほとんどが地表面から数十~100m位置の岩盤亀裂から温泉が湧出している。200L/min以上自噴する温泉も存在する[※](自噴しない温泉はポンプによる揚水)。

4-2 湯量減少の原因推定

温泉・トンネル湧水の調査結果から、温泉湯量減少の原因について以下のように推定した(図-5)。

- 対象エリア帯の地下数十m下には、被圧した地下水が割目に帯水している。
- 被圧した地下水で満たされた割目(地下水脈)がトンネル内に出現し地下水湧出が発生。これにより、地下水の圧力が低下し、数百m離れた温泉施設までその影響が波及したことで温泉湯量減少につながった。

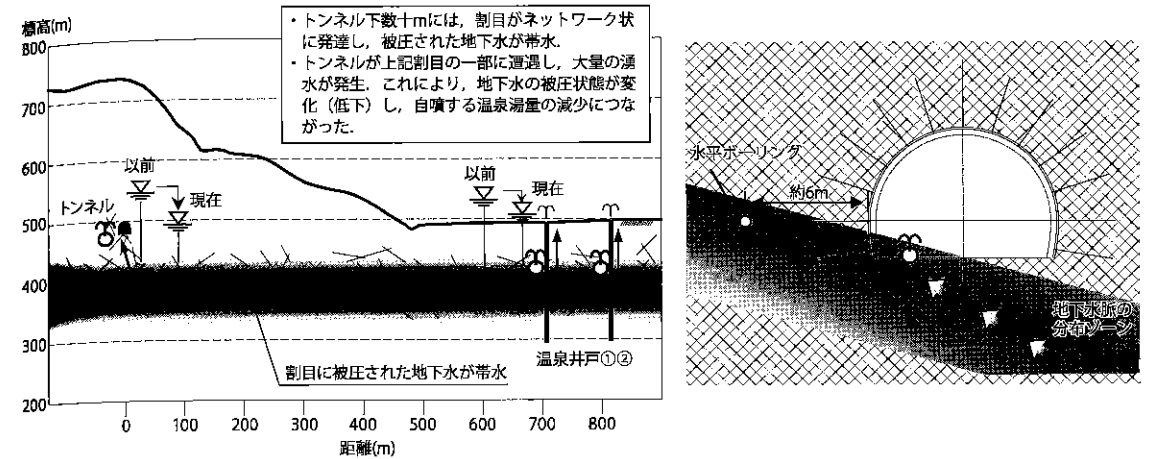


図-5 温泉湯量減少のイメージ図(左:トンネル・温泉間の縦断イメージ, 右:トンネル断面)

- トンネル湧水(1,000L/min以上)と同レベルの水量を自噴し続ける温泉施設が周辺に存在しないことから、湧水箇所の地下水脈は透水性がきわめて高く、またその水脈は湧水箇所周辺に卓越して分布している可能性が高い。
- 以上の見解から、トンネルの大量湧水が被圧された地下水の圧力低下を引起こしたことで、温泉湯量が減少したものと判断した。

5 減水対策工の検討と施工

5-1 減水対策工の方針

温泉湯量減少に対する原因究明調査の結果から、路盤から湧出している地下水を減水させることが、坑内濁水処理量の低減だけでなく、温泉湯量の維持・回復につながると考え、トンネル湧水の減水対策工を検討した。

トンネルの止水・減水対策工としては、薬液注入によりトンネル外周地山に止水ゾーンを形成する方法が一般的である。本工事では、湧水の多くが路盤の限定した区間の数箇所から集中して湧出していることから、その周辺に限定して注入する方法を対策工として採用することとした。その後、効果などを評価したうえで、必要であれば注入範囲を拡げ、止水ゾーン形成について検討することとした(図-6)。

また、被圧している湧水への効果的な注入を図るため、割目への高圧注入が可能な注入材(止水

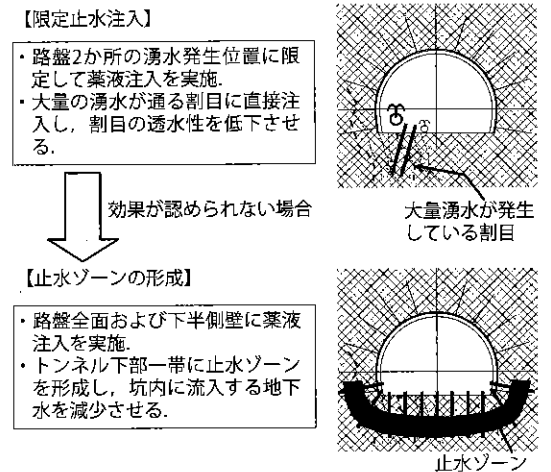


図-6 施工方針の概念図

表-2 注入材諸元

		A 液	B 液
成分		ポリオール添加剤	ポリイソシアネート
一般性状	外観	淡黄色液体	褐色液体
	粘度(MPa・S/25℃)	250±50	200±50
	粘度(MPa・S/150℃)	550±80	500±100
	比重(25℃)	1.03±0.03	1.23±0.03
	引火点(℃)	>200	>200
配合		A/B=1/1(体積比)	
反応時間(秒/25℃)		約60(水なし)	—
		約120(水あり)(発泡倍率約3倍)	
引張強度(MPa)		45(水なし)	
圧縮強度(MPa)		80±10(水なし)	

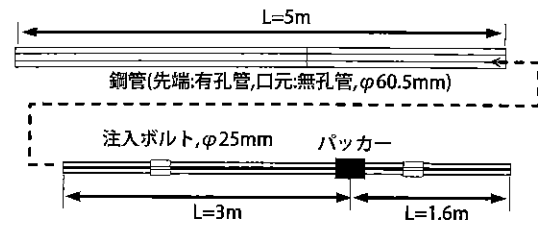


図-7 注入システム(上:鋼管,下:注入ボルト)

用ウレタン)と注入システムを選定した(表-2, 図-7)。

5-2 施工状況と減水効果

今回採用した注入材・注入システムは施工実績が少なかったため、試験施工を兼ねた1次施工と、その施工結果を反映させた2次施工を計画した。1次施工では、注入状況・減水効果を確認したうえで、注入管理方法・打設箇所を選定方法を決定することとした。注入による減水効果の確認は、坑内湧水量、温泉湯量に加えて、湧水発生箇所周辺の地下水位を計測した。地下水位の観測孔は、施工区間の4か所(トンネル側壁下部)に設置し、地下水位の変化を計測した。なお、注入開始前の地下水位は、トンネル底盤から0.4m上方に位置していた。

5-2-1 1次施工の状況(写真-5)

打設位置は湧水発生箇所の周囲に21か所設定した(図-8)。当初の計画として、注入エリアを68.8

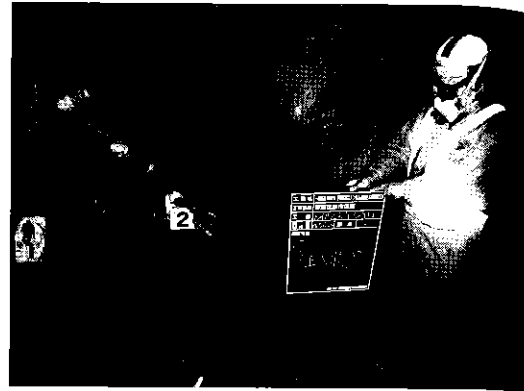


写真-5 注入施工状況

m²、間隙率を15%、充填率を95%、注入材の発泡率を2倍に設定して設計注入量(5,540kg、比重0.885)を算出した。

水みちとなる割目への注入を目的としているため、注入は圧力管理(初期圧+10MPa:注入ポンプ口元の圧力管理)を基本とし、1本あたりの注入量の上限を設計の2倍(520kg:5,540kg÷21本×2倍)に設定した。実際の施工では、25か所(追加4か所)、5,459kgの注入を実施した。注入による止水・減水効果により湧水発生箇所が変化したため、注入位置は、効果的な注入箇所を現地を選定しながら注入した。

25か所の注入のうち、圧力上昇に達したものは7か所であった。周辺の割目から注入材が逸走し

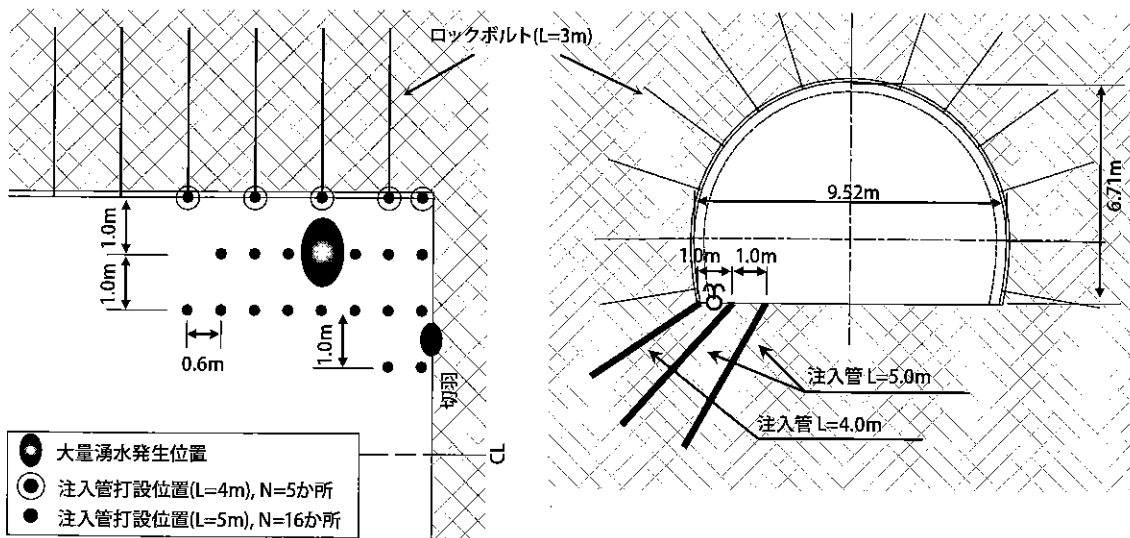


図-8 施工位置(左:平面図,右:断面図)

表-3 注入量および湧水量増減実績表

種別	施工年月日	施工本数(本)	注入量(kg)	トンネル坑内湧水増減数量(L/min)	観測孔水位変化量(m)(+上昇, -低下)
1次施工	8月28日	4	863.8	-120	+0.01
	8月29日	5	676.7	-84	+0.15
	8月30日	2	574.2	-40	+0.14
	9月2日	1	246.4	+39	+0.08
	9月6日	3	686.3	-79	+0.02
2次施工	9月9日	5	1,006.1	-132	+0.21
	9月10日	5	1,401.4	-92	+0.11
	計	25	6,454.9	-508	+0.73
	9月30日	3	858.0	-91	+0.80
	10月1日	4	1,040.6	-52	+0.30
計	10月2日	3	502.3	-78	+0.20
	10月3日	4	813.1	-83	+0.15
	10月4日	3	387.4	-72	+0.10
計	17	3,601.4	-376	+1.55	

坑内湧水量・観測孔水位変化量は、注入工施工前後の変化を記録

ため終了となるケースが多く発生したため、注入材の発泡促進剤を施工途中から使用し、ライズタイムを標準の2分から最短1分まで短縮させ、注入材の逸走を抑制した。

なお、対策工の効果として、施工前後の坑内湧水量の減少(-508L/min)および観測孔の水位上昇(+0.73m)が確認でき(表-3)、温泉施設の湯量も現状維持、もしくは微増していることが認められた。

5-2-2 2次施工の状況

1次施工で確認した施工方法をもとに、2次施工を実施した。2次施工では、17か所、3,601kgの注入を実施した。1次施工同様に、注入材の逸走は発生したものの、湧水が発生している割目を確実に閉塞し、坑内湧水量が減少(-376L/min)している状況が確認できた。とくに顕著であったのが観測孔の水位上昇で、1.55mの上昇が認められた。温泉施設の湯量については、現状維持、もしくは上昇傾向にあることを確認した。

2次施工終了後、減水対策が湧水量の減少と温泉湯量に対して一定の効果があったと判断し、対策工を終了した。止水ゾーン形成については、掘削再開後、大量の湧水発生や温泉湯量の急激な減少が生じた際に再度検討することとし、掘削を再開した。

5-3 掘削再開とその後の湧水状況

掘削再開(2013(平成25)年10月10日)から50m間は湧水の発生状況や周辺の地下水位、湯量の変化を確認するため、昼間のみの作業で行った。その結果、坑内湧水量の増加が認められなかったため、通常の昼夜作業に戻し、2014(平成26)年11月5日に無事貫通することができた。

その後のモニタリングでは、降雨による変動はあるものの、坑内湧水量の増加傾向や温泉湯量の減少傾向は確認されていない。以上のことから、今回実施した「止水用ウレタンを使用した限定止水注入」は、トンネル湧水の減水および温泉湯量の維持に対して、有効な対策工であったと判断している。

6 おわりに

現在、本工事は覆工作業を行っており、2015(平成27)年12月までの工事竣工を目指し、関係者一同、工事を進めている。本稿では、トンネル内に出現した地下水脈への限定止水注入について、その対策と結果を報告したが、これが今後のトンネル工事において参考になれば幸いである。

最後に、本工事の施工にあたり、多くの関係者からのご指導、ご支援を受け賜りましたことに深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 坂本秀夫: 止水ウレタン注入による減水対策の採用と評価、一般国道400号下塩原第二トンネル(仮称)本体建設工事、第74回(山岳)施工体験発表会、pp.67-75, 2014.
- 2) 栃木県: 栃木県の温泉地質、上巻、栃木県業務課、pp.61-118, 1971.



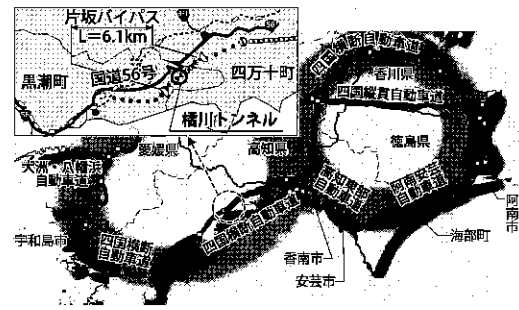
「カツオの一本釣り」 日本一の町」黒潮町より

小松 孝志

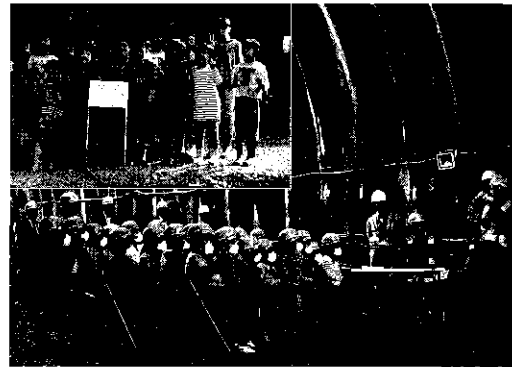
黒潮町は、高知県の西南地域に位置し、人口約1万2千人の町である。「カツオの一本釣り」で知られるように、日本一の漁獲量を誇るカツオ漁を中心とした漁業が盛んで、黒潮によって北上するカツオとともに春の訪れが早いことから、町全体を総称して「黒潮一番地」と呼ばれている。「カツオふれあいセンター」ではカツオのタキ作りを体験でき、漁師町ならではの薫焼きのタキは香りも良く絶品だ。土佐湾沖ではホエールウォッチングができるなど豊かな自然に恵まれている。ほかにも、南国特有の温暖な気候を活かした園芸ハウスによるキュウリ、メロン、スイカをはじめとして、黒砂糖、葉タバコ、水稲など農業も盛んな土地柄だ。

一方で、内閣府の南海トラフ巨大地震の被害想定で、黒潮町における津波高は日本一高い34.4mと想定されており、住民一体となって集団高台移転などの対策を模索している。そのような社会情勢のもとで、地域の重要な路線である国道56号片坂バイパス・窪川佐賀道路の一部となる橋川トンネルは、東南海・南海地震の発生時に、落石や法面崩壊などの災害が発生する可能性の高い現道を回避し、災害時に機能する緊急輸送道路を確保するとともに、第3次医療施設までの速達性の向上や地域活性化に寄与する道路として計画された。将来的には、「四国8の字ネットワーク」として四国横断自動車道と接続し、高知西南地域の高速交通ネットワークの一翼を担う道路となる。

本工事は、延長936mのトンネルをNATM発破工法で新設する。地質は黒灰色頁岩主体の岩相に砂岩を挟



位置図



現場見学会

み、部分的に砂岩・頁岩の互層をなしており、亀裂の発達が予想されるため、掘削時における地山の安定性を確保する必要がある。そのため、低速度帯では、水抜きを兼ねた切羽前方探査を実施し、事前に切羽前方地山の状況を推定しながら掘削を進めている。しかし、地山の透水性は高く、昨年(2014(平成26)年)夏に高知県を襲った大雨・台風では、突発的に時間あたり100m³を超える湧水量となった。

また、地山の安定性向上を図るために高強度や繊維補強の吹付けコンクリートを採用したり、湧水が多いことからロックボルトに鋼管膨張型ボルトを採用するなど、さまざまな工夫を行っている。そして、工事の最終成果物となる覆工コンクリートについては、28日間潤滑養生システムを導入してひび割れ発生を抑制し、高品質化に努めている。

地元との交流も積極的に行っている。2013(平成25)年10月には地元の拳ノ川小学校の児童を招いたトンネル見学会を開催し、用地の一角に10年後に開封するタイムカプセルを埋設してもらうことで交流を深めた。今後も、両坑口の地元の方のトンネル見学会を予定している。

トンネル掘削は2014(平成26)年12月末現在で745mが完了し、残り200mを切った。新年を迎え、地元の方々に喜ばれる道を残すべく、そして無事故・無災害での貫通と竣工を目指し、職員一同奮闘中である。

((株)鴻池組橋川トンネル工事事務所副所長)

施工

上半先進工法の低強度地山区間を全断面早期閉合で克服

— 県道東三河環状線 乗小路トンネル —

愛知県東三河建設事務所道路整備課課長 浅井 仁 司

愛知県東三河建設事務所道路整備課主査 井上 浩 志

清水・名工・日立テクノス特定建設工事共同企業体所長 岡山 徹 創

清水・名工・日立テクノス特定建設工事共同企業体工事課長 寺尾 創

1 はじめに

県道東三河環状線乗小路トンネルは、地山全体の軸圧縮強度を50N/mm²以下と想定し、上半先進ベンチカット工法の機械掘削で計画した。トンネル全延長の約60%は破碎帯を介在し、地山等級はDIIで、地山強度比が2を下まわる低強度の塑性地山の出現が予想され、トンネル支保構造の変状や破壊、過大変位の発生などによる縫返し懸念された。このため、早期下半掘削によるトンネル安定形状の早期形成、側部ロックボルト密配置パターンによる塑性地山の強度保持、さらに早期閉合を採用して、強度不足地山のトンネルの安定を確保し、施工を確実にする施工方法を計画、計測管理のもと施工した。

本稿は、ここで採用した上半先進ベンチカット工法における低強度地山の安定確保方法について述べるとともに、施工状況、トンネルの挙動特性、力学的安定性などについて、得られた知見を報告する。

2 工事概要

乗小路トンネルは、愛知県豊橋市多米町に位置

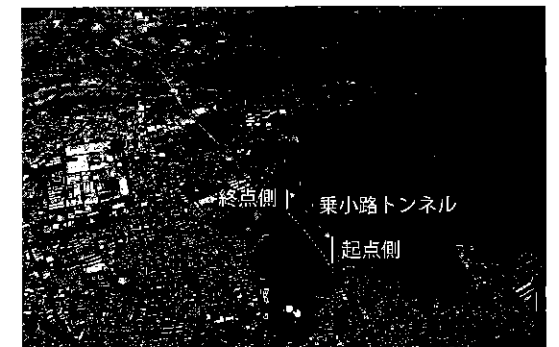


写真-1 県道東三河環状線乗小路トンネル位置

し、歩道と中央分離帯付きの対面通行道路トンネルである。トンネル内空断面積は73m²、トンネル延長は630mであり、坑口部に民家が密集する市街地の山岳トンネルである(写真-1)。最大土かぶりはh=65m、全延長の約60%は、土かぶりが2D(Dは掘削幅)以下である。施工は、上半先進ベンチカット工法機械掘削の標準的な施工法である。工事着手は2012(平成24)年10月13日、工事完了は2015(平成27)年3月19日を予定している。

3 地質概要

トンネル付近の地質は、秩父帯に属する中生代から古生代の粘板岩、砂岩、チャートであり、粘

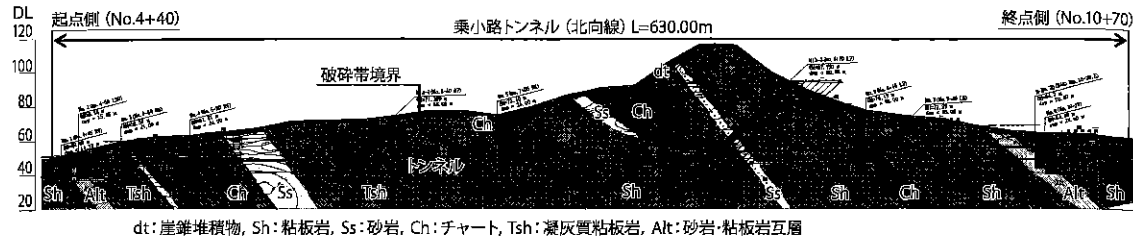


図-1 地質縦断面図

表-1 トンネル支保パターン諸元

支保パターン	DIIIa-S4, S5	DI-L (非駐)	DII	DI-L (非駐)	DI	DIIIa-S3~S1
地山等級	DII	DII	DII	DI	DI	DI
一掘進長(m)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
変形余裕量(cm)	0	0	0	0	0	0
吹付け厚(cm)	25	25	20	20	15	25
鋼アーチ支保工サイズ	H-200	H-200	H-150	H-150	H-125	H-200
ロックボルト(周方向間隔)	L=4m (1.2m)	L=6m (1.0m)	L=4m (1.2m)	L=4m (1.2m)	L=4m (1.2m)	L=4m (1.2m)
インバート吹付け	早期閉合 25cm	早期閉合 25cm	早期閉合 20cm	-	-	-

板岩が大半を占めている(図-1)。この地質は、メランジュの付加体堆積物と呼ばれるもので、断層により破碎されたものが多く、全延長の約60%が地山等級DIIと推定された。断面閉合なしでのトンネルの安定確保は困難と考えられ、支保構造部材の変状や破壊、過大変位の発生などが懸念された。

また、地下水位が高く、切羽の安定確保から、切羽からの先進ボーリングによる水抜きが計画されている。坑口付近粘板岩破碎帯の一軸圧縮強度は $q_u = 0.03N/mm^2$ であり、地山強度比は0.2を下まわる低強度地山である。

4 トンネル構造概要

当初設計は、地山等級に対応させた一般的な標準支保パターンによるトンネル設計である。施工時に、切羽観察で地山等級を判定、地山性状に応じた最適な支保パターンと掘削補助工を選択し、当初設計を修正することにした。

実施したトンネル支保パターンを表-1に示す。

DIIIa-S4, S5は、起点側坑口パターンである。DIIIa-S4は、双設トンネル近接影響を考慮したインバート構造が設計されている。この早期閉合は、吹付けコンクリートによる一次閉合としている。

地山等級DIと終点側DIIIa-S3~S1は、標準支保パターンを採用している。上半先進ベンチカット工法の地山等級DIIでは、表-2に示すように施工方法を比較し、早期下半掘削と早期閉合でトンネルの安定を確保することにしており、変形余裕量を考慮しないパターンとした。早期閉合構造は、

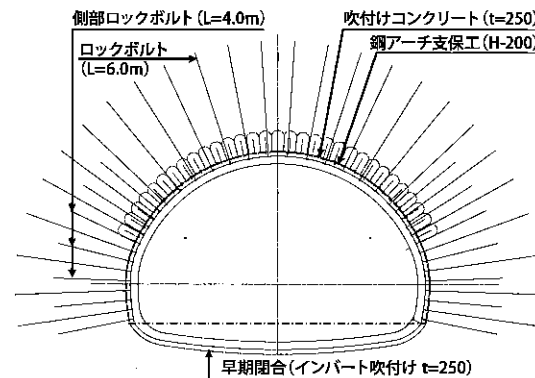


図-2 早期閉合構造(DII-L)と側部ロックボルト密配置概要

土かぶり量が3D以下の作用土圧であるので、吹付けコンクリートのみによる一次インバートとし、インバートコンクリート厚は覆工コンクリート厚と同様とした。グラウンドアーチ域の塑性地山の強度保持¹⁾として、システムロックボルト間に長さ4mのロックボルトを配置する側部ロックボルト密配置パターンを採用して、トンネルの安定性を高めた(図-2)。

表-2 DII地山のトンネル安定確保方法

方法	早期閉合トンネル内圧力で土圧保持	補助工法で土圧支持
安定確保の考え方	上半先進ベンチカット工法では、地山強度が小さいと、上半掘削時にトンネル支保構造は不安定になり、過大な脚部沈下などが発生する。初期変位速度やトンネル変位に応じて早期下半掘削でトンネルの安定形状を形成、早期閉合でトンネルの力学的安定を確保し、過大変位の発生を抑制する。	土荷重はトンネル支保構造で支持する。支持力不足分は、脚部補強工で確保する。この補強構造はウイングリブ付き鋼アーチ支保工を採用し、支持面積を増やして支持力を増加させる。低強度部では、切羽前方の上半支保工脚部地山を注入ボルトで注入改良し、支持力を向上させ、トンネル安定性を高める。
概要図		
土圧の保持・支持構造仕様	<ul style="list-style-type: none"> 土かぶり量が小さいので、早期閉合構造は、トンネル支保構造部材と同様な仕様の吹付けコンクリート構造を基本とする。 早期閉合構造形状は、インバートと同様な安定形状の採用を基本とし、施工性を考慮して定める。 	<ul style="list-style-type: none"> ウイングリブ付き鋼アーチ支保工は、接地面積が0.9 m²/mとなり、支持力が約4倍増える。 切羽前方ウイングリブ部支持地山に、断面あたり4本の注入ボルト(D₁=1.0mとD₂=1.4m)を施工、注入改良体を作成する。 注入材はシリカレジンである。
地山変化への対応・確実性	<ul style="list-style-type: none"> 標準施工機械の標準施工で、トンネルの安定が確保できる。 上半掘削後に、初期変位速度に応じて早期下半掘削を行うので、トンネル挙動への対応性に優れる。 早期閉合を基本とするが、支持力が期待できる岩盤が早期下半掘削で出現した場合は、標準施工が可能である。 	<ul style="list-style-type: none"> 特殊なウイングリブ付き鋼アーチ支保工を使用するので、トンネル挙動への対応性に劣る。 鋼アーチ支保工ウイングリブ端からの荷重を支持する領域は、切羽前方への事前注入改良で改良体を作成するが、改良体強度は地山性状の影響を受け、不確かである。 前方斜め下方への注入ボルト施工は、作業性が悪い。
工事費	◎	○
総合評価	◎	○

5 計測管理方法

5-1 切羽の自立安定性評価

切羽の安定性は、天端素掘り面の自立性、切羽鏡の安定性を評価項目とし、切羽観察データシートに表-3を追加、記録し、掘削補助工採用の判定に用いている。

地山等級評価は、NEXCO方式の切羽評価点法²⁾を採用した。切羽観察は、1日1回を基本とし、支保(設計)パターンや地質が変化する切羽では、そのつど実施することとした。

5-2 掘削補助工の選択

採用した掘削補助工を図-3に示す。天端では、注入式フォアポーリングによる岩盤固結を基本とし、「H.天端素掘り面の状態」が2以上で採用している。地質不良部の規模と性状に応じて長尺先受け工を検討し、支保施工までの間の掘削素掘り面の自立を確保することとした。

切羽鏡の安定対策では、鏡吹付けコンクリートと鏡ボルトによる方法が一般的であるので、「I.切羽鏡の状態」が評価区分2以上は鏡吹付けコンクリートを採用する。「I.切羽鏡の状態」が4以

表-3 切羽の自立安定性評価項目と評価区分

評価項目	評価区分			
	H. 天端素掘り面の状態	1. 自立	2. 時間がたつと剥落する	3. 自立困難で、先抜け、崩壊する
I. 切羽鏡の状態	1. 安定	2. 鏡面から岩塊が抜落ちる	3. 鏡面の押し出しが生じる	4. 鏡面は自立せず崩壊する

上は長尺鏡ボルトを採用することとした。なお、地山等級DI, DIIでは、毎切羽で鏡吹付け(t=3~5cm)を実施し、切羽作業の安全性を担保した。水抜きボーリングは、当初設計どおり、ほぼ全延長で実施している。

5-3 トンネル変位測定

トンネルの変形挙動特性や安定性の把握、評価を目的に、計測工Aを実施している。計測工A断面は、トンネル進行方向10m間隔を基本とし、必要に応じて5m間隔に設けている。計測点は、切羽通過時に設け、初期値をとり、3次元自動測量・計測システムを用いた6~24時間ごとの自動測定とした。トンネル変位の沈下Vと内空変位Hの測点配置と表示を図-4に示す。

5-4 次施工の判断

上半先進ベンチカット工法では、上半ベンチ長を30m程度とする上下半同時併進で施工した。低強度の不安定地山では、補助ベンチ程度の上半ベンチ長とする早期下半掘削によるトンネル安定形状の早期形成を基本とし、側部ロックボルト密配置パターン併用で周辺塑性地山の強度を保持することでトンネルの不安定化を抑制する。それでもトンネルが不安定に推移する場合は、早期閉合を実施することとした。

トンネル施工時の計測値などによる次施工の判断は、以下の計測管理の考え方で実施した。

- ① 計測管理は、一般的な管理レベルの考え方⁹⁾にもとづいて行う。
- ② 標準支保(設計)パターンによる施工では、鋼アーチ支保工は半径方向に5cmふかして製作し、地山性状に応じて3~8cmの上げ越しや抜け越しを行い、鋼アーチ支保工を建込む。このことから、トンネル変位の管理レベルIIIは、 $\delta_{max}=50mm$ とする。

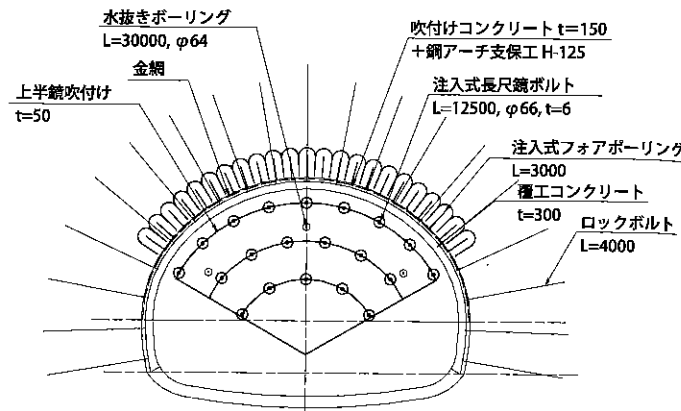


図-3 掘削補助工概要

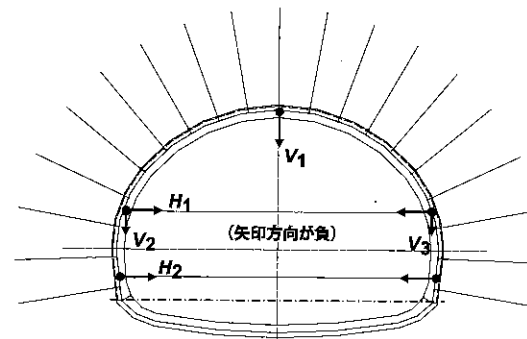


図-4 計測工A測線配置

表-4 不安定トンネルの安定化方法

判定基準	安定化方法
初期変位速度 > 10mm/日	・早期下半掘削 (側部ロックボルト密配置パターン) ・早期閉合(インバート吹付け)
沈下 V ≥ -25mm	
内空変位 H ≥ -50mm	

- ③ 上半掘削時の初期変位速度 $d\delta/dt$ が10mm/日を超えると管理レベルIIIの変位量50mmを超えやすいので初期変位速度とトンネル変位でトンネルの安定性を評価し、地山等級評価とともに早期閉合などの実施を判定する(表-4)。

6 施工結果と考察

6-1 施工状況

トンネル掘削は、200kW自由断面掘進機を用

いた上半先進ベンチカット工法の機械掘削である。地山等級DIでは、自由断面掘進機による上半掘削とブレイカによる下半掘削の同時併進標準施工とし、上半切羽の近くで早期下半掘削や早期閉合を行う自立安定が困難な地山等級DIIの場合は、ブレイカとバックホウが主要掘削機械である(写真-2, 3)。

パーカッションドリルによる切羽からの水抜きボーリングは、切羽周辺地山の水抜きに有効である。この機械データは穿孔エネルギーとして指標化し、切羽前方地山の硬軟変化の把握、地質不良部の特定、次施工の判断などに活用した⁹⁾。主要施工機械一覧を表-5に示す。

6-2 トンネルの安定性

天端素掘り面と切羽鏡面の状態を現す評価点の推移と補助工法の位置について図-5(1)に示す。トンネル変位の天端沈下V1、上半脚部沈下のV2、V3、上半内空変位H1と早期下半掘削、側部ロックボルト密配置、早期閉合の実施位置の関係を図-5(2)に示す。早期下半掘削例DIIIa-S3(No.9+25.5)の沈下の経時変化を図-6に示す。過大变位が発生し、早期下半掘削と早期閉合で力学的安定を確保したDII-L(No.6+62.9)の内空変位経時変化を図-7に示す。この計測断面9m奥側で地山条件が同等であり、側部ロックボルト密配置パターンと早期下半掘削でトンネルの安定を確保したDII-L(No.6+71.9)のものを図-8に示す。

これらから、以下のことがわかる。

- ① 天端素掘り面は、注入式フォアボーリングの岩盤固結の効果により、部分的な小剥落は生じたものの、掘削素掘り面の自立性はおおむね確保できた。No.7+40付近では、先抜けなどが頻繁に発生し(写真-4)、切羽崩壊が予想されたので、注入式長尺先受け工を採用して、天端の自立性を確保した。
- ② 切羽鏡は、鏡吹付けにより、岩塊、岩片などの抜落ちや剥落

を防止でき、切羽作業の安全を確保できた。切羽評価点が連続して10を下まわる不安定期間では、注入式長尺鏡ボルトを施工して、切羽の安定性を確保した。

- ③ 全延長の44%の約280m間は、トンネル変位の管理値を超えたので、早期閉合を実施し

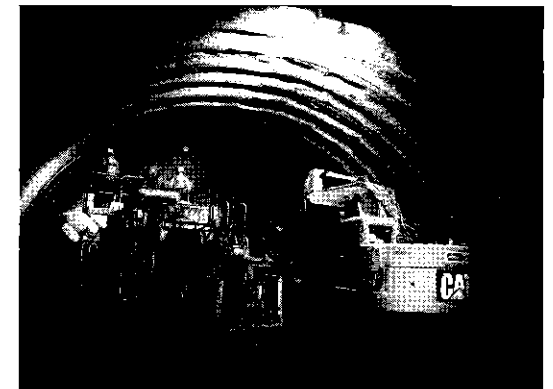


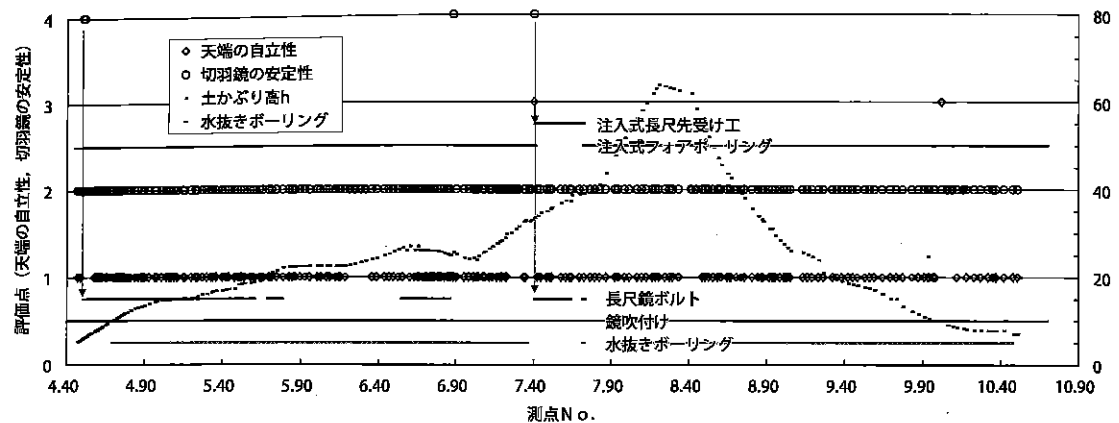
写真-2 上半掘削状況(200kWブームヘッド)



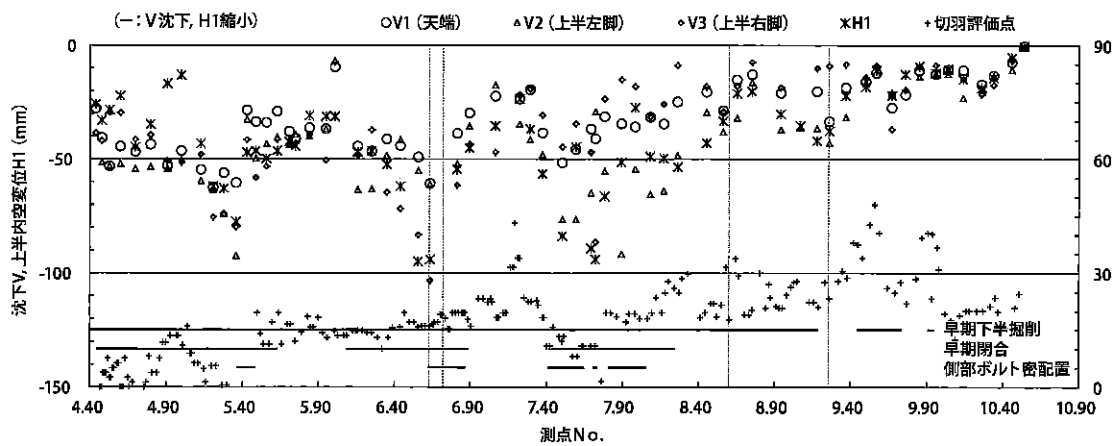
写真-3 早期下半掘削後の早期閉合状況

表-5 主要施工機械一覧

用途	機械名称	能力、出力	台数
上・下半掘削	自由断面掘進機	200kW級	1
インバート掘削、掘削補助	大型油圧ブレイカ	1,300kg級、バックホウ0.8m ³ 級	1
	バックホウ	0.5m ³ 級	1
ずり積み	トラクターショベル	サイドダンプ2.3m ³ 級	1
ずり搬出	ダンプトラック	25t	2
鋼アーチ支保工建込み	油圧ホイールジャンボ	2ブーム, HD150kg級	(1)
	コンクリート吹付け機	20m ³ /h	1
吹付けコンクリート工	トラックミキサ車	45m ³	2
	油圧ホイールジャンボ	2ブーム, HD150kg級	1



(1) 評価点と掘削補助工位置



(2) トンネル変位と安定化方法

図-5 掘削補助工と安定化方法の実施状況

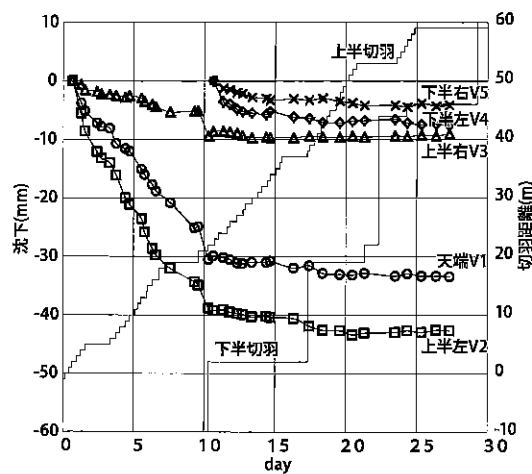


図-6 沈下経時変化(早期下半掘削, DIII a-S3)

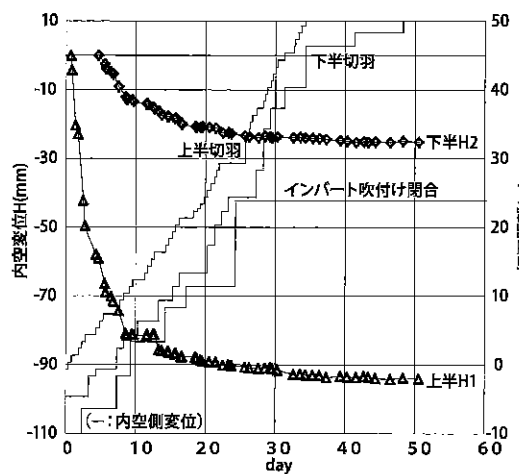


図-7 内空変位経時変化(DII-L, No.6+62.9)

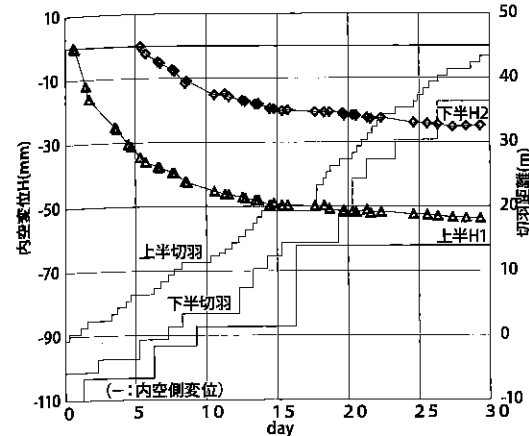


図-8 内空変位経時変化(DII-L, No.6+71.9)

た。このうちの約80m間は、早期下半掘削、早期閉合に側部ロックボルト密配置パターンを併用して、トンネルの安定を確保し、施工を確実にした。

④ DIII a-S3のNo.9+25.5の例では、上半を約2D掘削したが沈下の収束傾向は見られないので、早期下半掘削を行った。その後、上半掘削を再開した、すると沈下量は大きく抑制され、トンネルは安定した(図-6)。

⑤ DII-LのNo.6+62.9の例から、初期変位速度が管理値を超えたので、早期下半掘削と早期閉合を行った。これにより、トンネルの安定が確保でき、内空変位は収束した(図-7)。

⑥ DII-LのNo.6+71.9の例では、低強度DII地山を側部ロックボルト密配置パターンで上半を掘削した。これにより、早期閉合直前の上半内空変位 H_1 は、標準ロックボルトパターンDII-LのNo.6+62.9に比べて、約1/2に抑制され、トンネルの安定確保に有効に機能することが示された(図-8)。

7 ま と め

全延長の60%以上が破砕帯を介在するDII地山と予想された低強度地山のトンネル工事に、上半先進ベンチカット工法機械掘削に全断面早期閉合の考え方を採用して、トンネルの安定を確保し、施工を確実にした。この方法で得られた知見は、以下のとおりである。



写真-4 注入式フォアボーリング補強された天端の先抜け(強風化粘板岩)

① 天端素掘り面の自立性、切羽鏡の安定性を評価項目とする切羽の安定性評価方法は、掘削補助工の選択に有効であった。

② 土かぶり高が3D以下の作用土圧であるので、変形余裕量がない吹付けコンクリートのみによる早期閉合でトンネルの安定が確保できた。

③ 早期下半掘削によるトンネル安定形状の早期形成、側部ロックボルト密配置パターンによる塑性地山の強度保持は、トンネルの不安定化が抑制でき、上半先進ベンチカット工法における全断面早期閉合を可能にできた。

④ 上半掘削時の初期変位速度とトンネル変位の管理レベルによる計測管理は、トンネルの安定性の評価、早期閉合実施の判断を可能にし、合理的なトンネル施工ができた。

⑤ 早期下半掘削、側部ロックボルト密配置パターン、全断面早期閉合は、トンネルの安定確保と内空変位の抑制に有効であることが示された。

現在、覆工吹上げコンクリート圧力と脱型砕時コンクリート強度を圧力・温度センサを用いて2秒間隔で測定、可視化し、これの性能値による施工管理を行っており、その結果などは別の機会に報告する予定である。

最後に、トンネル工事にあたり、施工検討委員会委員長の八嶋厚・岐阜大学教授をはじめ関係各位にご指導、ご助言をいただき、ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 今田徹：トンネル支保構造物の設計思想，土木学会論文集，No.672，VI-50，pp.1-12，2001.
- 2) 高速道路総合技術研究所：トンネル施工管理要領（計測工編），pp.52-56，2013.7.
- 3) 中野清人・小川澄・楠本太・樽井稔：早期閉合トン

ネルの現状と挙動特性，トンネル工学報告集，土木学会，pp.151-162，2010.

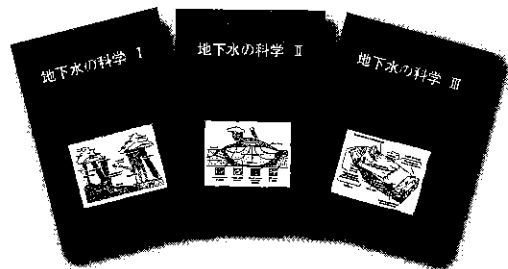
- 4) 日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針，平成21年度改訂版，pp.127-129，2009.2.
- 5) 井上浩志・山本将・楠本太：低強度帯水地山トンネルにおける先進ボーリング効果，土木学会第69回年次学術講演会，第VI部門，2014.

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

パドルスクリーを装備した矩形断面シールドによる送水管整備

(株)合同資源千葉事業所鉱業部工務課課長 齋藤裕二
清水建設(株)合同資源作業所所長 立花博令
清水建設(株)土木技術本部シールド統括部課長 中谷武彦
清水建設(株)土木技術本部技術開発部部長 金丸清人

1 はじめに

都市部でニーズが高まる矩形断面トンネルに対して、パドルスクリーを装備した密閉型のシールド工法(以下「パドル・シールド工法」, 写真-1)の研究開発を進めてきた。

本稿では、本工法の開発経緯と、実工事への初めての適用に関して報告する。適用工事は、千葉県長生村～茂原市付近を流れる一宮川に架かる既設水管橋を、河川下を横断するトンネル形式に更新するものである。

2 パドル・シールド工法

2-1 矩形断面のシールドについて

都市部での矩形断面トンネルの技術に関して、



写真-1 パドル・シールド

図-1のように、

- ① 自立性が高い地山に対応するエアロブロック工法
- ② 軟弱地盤や小土かぶり部を対象とする密閉型の本工法

という適用土質に応じた2つの位置づけを持たせて技術開発と実工事への展開を行ってきた。

2-2 パドル・シールド工法の特徴

パドル・シールド(以下「パドル機」)は、カット面上で独立に回転する複数のカットを配列し、チャンパ内にはこの工法名の由来となっているパドルスクリーを装備している。前者が地山の切削と掘削土のチャンパ内への取込みを、後者がチャンパ内土砂の攪拌をそれぞれ担当し、掘削土の塑

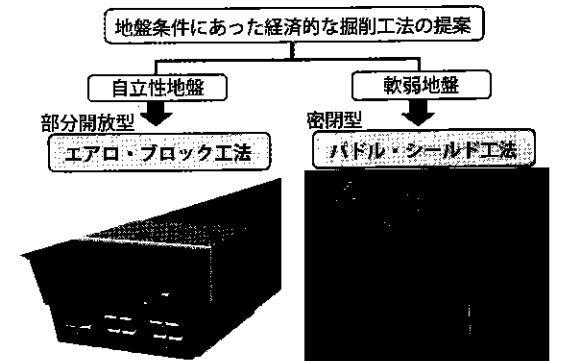


図-1 矩形断面シールド技術

性流動化を確実にかつ効率的に促進する。そのおもな特徴を下記に整理する。

- ① シンプルな軸付きの横配置カッタの採用による掘削機の製造コストの低減
- ② カッタの前方スライド機構を使用した上部カッタの先受け効果
- ③ カッタとパドルスクリーンの強制攪拌によるチャンバ内土砂の塑性流動化
- ④ 上下に独立した土砂チャンバによる緻密な土圧管理
- ⑤ モータ、ベアリングへの汎用品使用による製造工期の短縮

工法の開発を2005年に開始し、2007年からは掘削機構に関する4回の実験を行ってきた。地山の切削性や掘削土砂の攪拌性の観点から、カッタおよびパドルスクリーンの配置・回転方向などについて検討を重ね(図-2)、これらのもっとも効果的な回転方法の組合せを設定した。

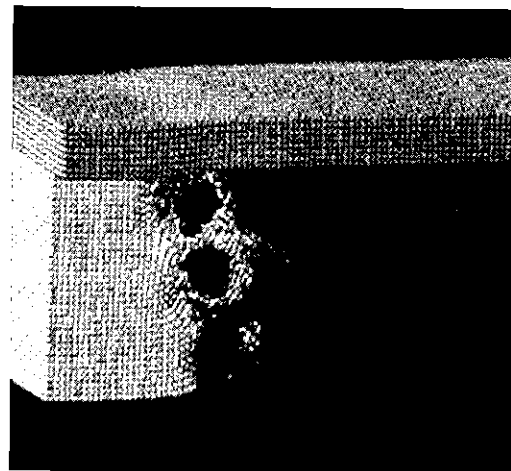


図-2 粒子法による掘削土砂流動解析

3 実証実験

3-1 概要

2010年には、実機を製作して下記を目的とする実証試験を行った(写真-2)。

- ・従来の土圧式シールドと同等の掘削性能の確認
- ・小土かぶり掘削時の周辺地盤への影響抑制性能の確認

都市内のアンダーパスを想定し、縦断では立坑から5%の下り勾配での発進とし、縦断曲線R=150mを経て水平勾配となる線形とした(平面線形は直線)。また5%下り勾配部分は現地盤を1,200mmすき取り、発進部分の小土かぶり(かぶり150mm)状態での掘削性能を確認した(図-3)。

周辺地盤への影響を確認するため、地表面には計測ポイントを設置、トータルステーションで変状を計測した。

実験地は周囲を畑に囲まれた地域に立地し、掘削範囲にはN値=1程度の軟弱な粘土質シルトが分布、GL-1.3mには地下水位が認められた。



図-3 実証実験での縦断線形図

写真-2 実証実験全景

3-2 仮設備

仮設備には、裏込め注入設備、作泥材注入設備、滑材注入設備などを装備し、実施工と同等とした。作泥材には気泡材を用いて掘削土砂の塑性流動化を図った。掘削延長が短いためシールドの排土は簡便なベルトコンベヤの乗継ぎで発進立坑まで搬送し、バケットで地上の土砂タンクへ搬出した。セグメントは軽量の鋼製で人力による坑内搬送および組立てとした。

3-3 掘進管理

- 土圧管理は、
- 上限値：全土かぶり圧
- 目標値：静止土圧
- 下限値：主働土圧

の範囲とし、隔壁に複数設置した各土圧計深度での管理土圧を事前に計算して施工にあたった。結果として、通常の土圧式シールドと同様な土圧管理が可能であることが確認できた。

3-4 掘削状況

発進坑口には矩形エントランスを設置した。5%の下り勾配で、傾斜した3段のカッタ部分をすべて格納するために、L=1.65mと奥行き長い発進坑口となった。小土かぶりでの発進であるため、作泥材や裏込め注入材、滑材が地上に噴発しないように厚さt=100mmの押えコンクリートを地表面上にシールド方向2mの長さで設置した。

パドル・シールドは重心が前方にあり、また5%の下り勾配であるため鋼殻後上部にウェイトを設置し前拌み防止を図った。

掘進管理は、とくに地盤変状抑制の観点から次のように行った。裏込め注入は、発進直後には注入率120%での注入量管理としたが、土かぶりが大きくなるにつれ最大注入圧0.1MPaでの圧力管理へと推移させた。気泡は比重が小さいため地上への噴発が懸念されたが、カッタで掘削した土砂と気泡がパドルスクリーンの攪拌により十分攪拌され、

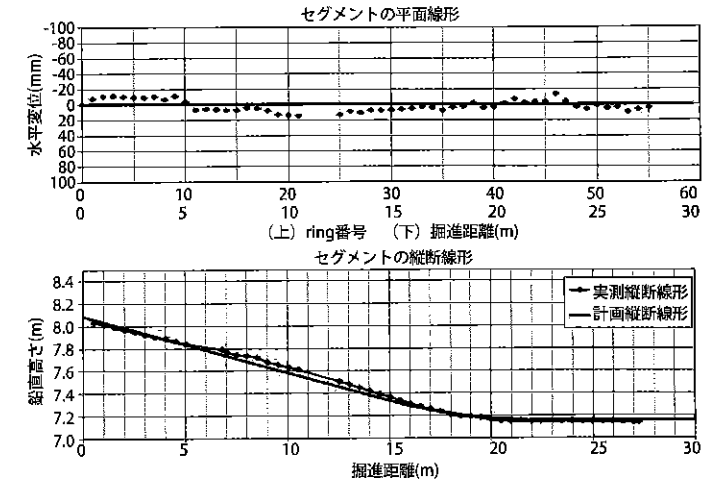


図-4 掘進精度の記録

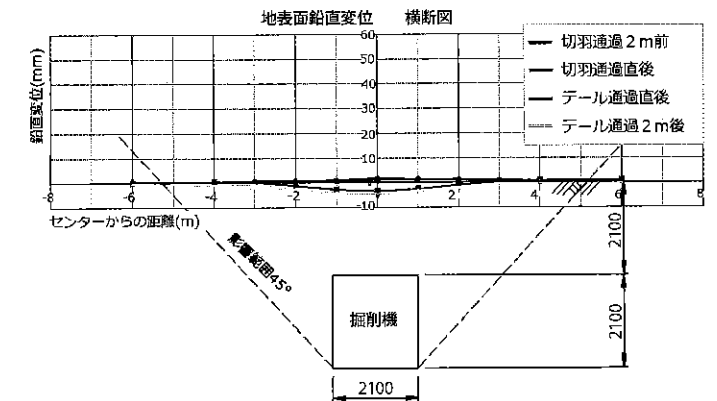


図-5 地表面鉛直変位(土かぶり1.0D)

土砂性状は良好であった。シールド鋼殻上面の摩擦低減を図るため、シールドの注入孔より滑材を均等に注入した。線形管理においても、従来の泥土圧式シールドと同様な管理が可能であることが確認できた(図-4)。

3-5 変状計測

地表面に計測ポイントを設置し変状計測を行った。土かぶり：0.4D(D：シールド高さ)=約0.8mでは、地表面鉛直変位は、ほぼシールド下方から45°の影響範囲内に発生し、中心線直上で最大10mm程度の隆起が見られた。土かぶり：1.0D=約2.1mでの変位は図-5のように、同じく影響範囲内であり微小に収まっている。これより小土かぶり掘進時における周辺地盤への影響抑制効果が確認できた。

4 実工事報告

4-1 工事概要および施工条件

- ・工事件名：長生送水管工事
- ・工事場所：千葉県長生村～茂原市(写真-3)
- ・施工時期：2013年2月～2013年9月

本工事では、元押しジャッキによって函体(幅2.0mのボックスカルバート)を押し進める「推進式パドル機」として施工した。図-6に現場状況を、表-1に施工条件を示す。

4-2 採用に至る経緯

発注者のニーズ、前述の本工法の特徴とともに、矩形断面適用の優位性についての下記の点を考慮した総合的な評価により本工法の採用に至った。

(1) 内空断面の有効活用

図-7のように、円形断面と比較した場合に、以下の点で内空断面が有効に活用できる。

- ① 点検通路の確保が容易
- ② 将来の配管の増設にも対応が容易
- ③ 修繕時の切廻し配管の施工が容易
- ④ 管径のサイズアップに対応可能

(2) 既設杭との離隔の確保

図-8のとおり、既設水管橋の基礎杭との離隔は、



写真-3 工事場所風景

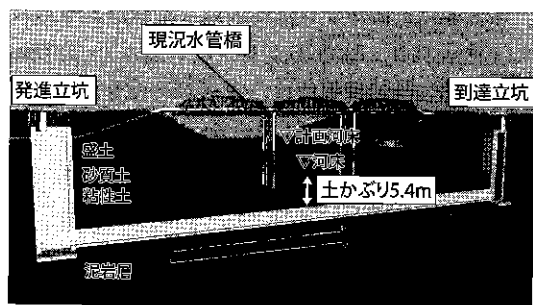


図-6 現場状況概要

円形断面では30cm程度となるのに対して、矩形断面では50cm以上確保できる。諸々の施工誤差なども考慮し矩形断面ではより安全となる。

4-3 施工報告

4-3-1 パドル・シールド

本工事に適用したパドル機の全体図および仕様をそれぞれ図-9および表-2に示す。なお本件のトンネルでは十分な土かぶり(土かぶり)が確保されているため2-2節で述べた②の機能は装備していない。

表-1 施工条件

項目	単位	仕様
掘進延長	m	70
平面線形	—	直線
縦断線形	%	+0.2(直線)
掘削対象地盤	—	土丹
覆工	外寸	m □2.1×2.1
	内寸	m □1.7×1.7
	幅	m 2
土かぶり	最大	m 14
	最小(河床部)	m 5.4

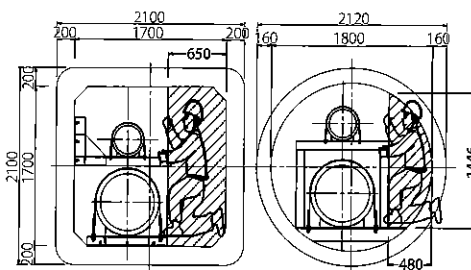


図-7 管路断面比較

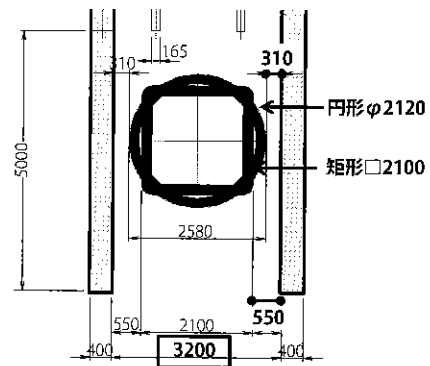


図-8 既設杭との離隔

4-3-2 発進～初期掘進

管路施工高さの地盤(図-10)はN値50以上の安定した土丹層であるが、発進立坑の土留め壁(シートパイルIV型)をオーガ先行削孔にて貫入しているため、オーガ削孔によって緩めたシートパイル周りを薬液注入によって充填し、止水性を確認してから発進準備を開始した。

発進坑口にエントランスを取付け、シートパイ

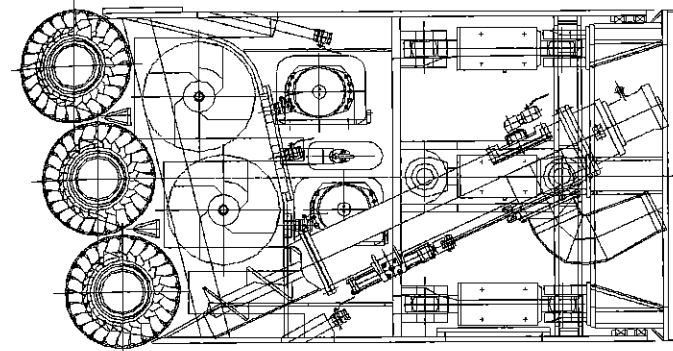


図-9 パドル機全体図

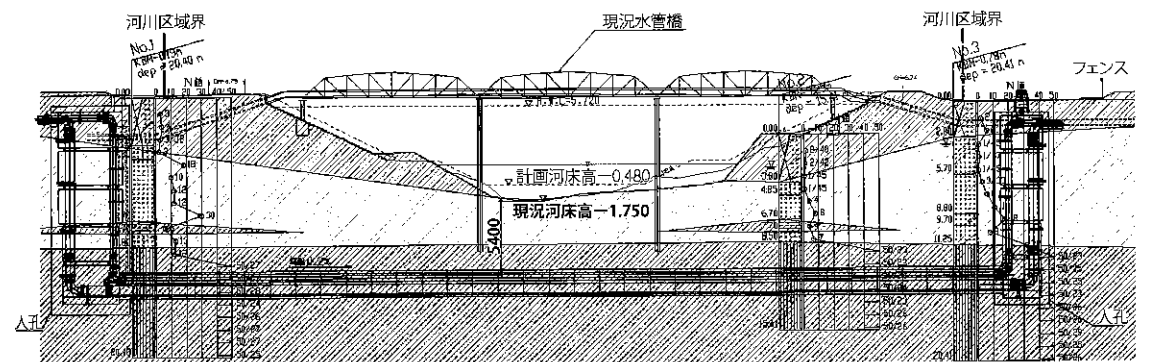


図-10 路線縦断面

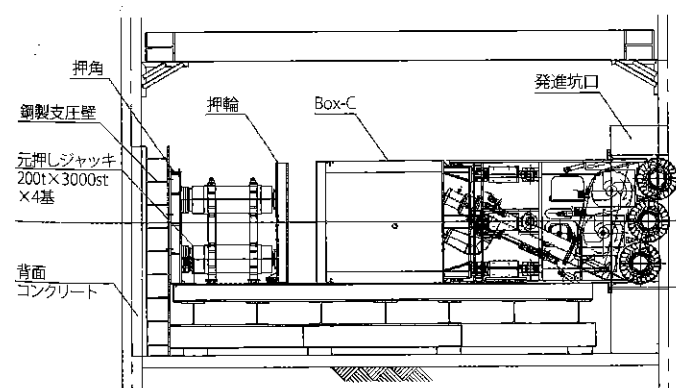


図-11 発進時配置

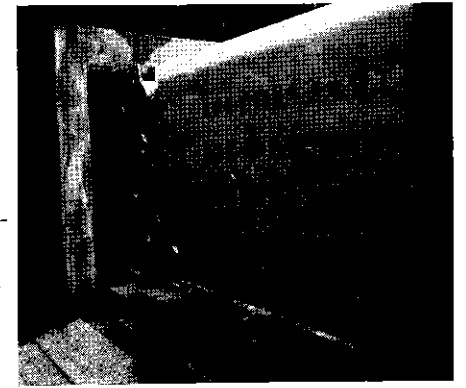


写真-4 発進時状況(1)

表-2 パドル機の仕様

項目	単位	仕様		
シールド外径	m	縦2.1×横2.1		
掘削断面積	m ²	4.41		
掘進速度	mm/min	15		
カッタ		センタ	サイド	
	最大回転数	rpm	10	10
	装備数	台	3	6
スクラップ	最大トルク	kNm	17.5	8.7
	最大回転数	rpm	20	
スクリー	装備数	台	2	
	最大トルク	kNm	208	
スクリー	最大回転数	rpm	20	
	装備数	台	1	
	方向修正装置	推力	kN	1,188
	装備数	本	6	
	ストローク	mm	150	

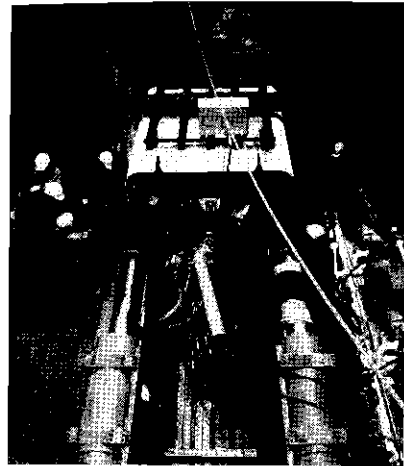


写真-5 発進時状況(2)

ルの鏡を切断撤去してパドル機を発進した。発進時の設備配置および状況を図-11および写真-4, 5に示す。

4-3-3 土丹層の掘削

N値50以上で強い粘性をもつ土丹層の掘削に対して、切削抵抗と粘性土の付着抵抗によるカット回転およびパドルスクリー回転のトルク上昇が懸念された。高い粘性への対策として、事前に当該地盤の試料に対して添加材の適正試験を行い、濃度(1.0%)と添加量(地山比30%)を設定した。また添加材の注入孔が閉塞することにより添加不足が発生し、チャンバ内が粘性土で閉塞することを防止するため、注入孔をこまめに切り替える自動切替えシステムを採用し、30秒ごとの切替え注入を実施した。

4-3-4 本掘進

4台の後続台車がすべて坑内に納まったあとの本掘進(写真-6)では、1函体(函体長2.0m)あたりの作業時間は、掘進時間:2.5時間(掘進速度15mm/分前後)、函体(ボックスカルバート(写真-7))の設置および排土管などの捌き作業:1.0時間、合計3.5時間というサイクルタイムであった。

ただし、粘性土の付着や土丹強度のバラつきによりカットトルクが管理値を超えるような状態がたびたび発生した。これにより掘進が停止したことや、チャンバ内の付着解除を目的とした添加材の洗浄注入の実施などに時間を要して進捗を圧迫

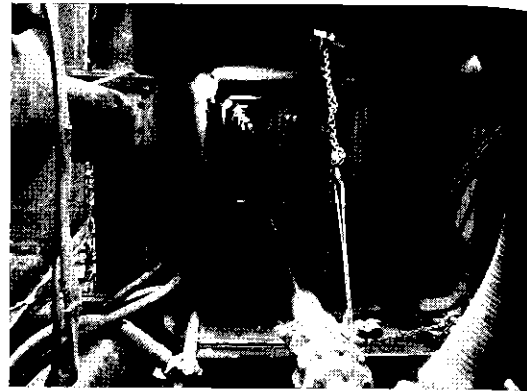


写真-6 本掘進時状況

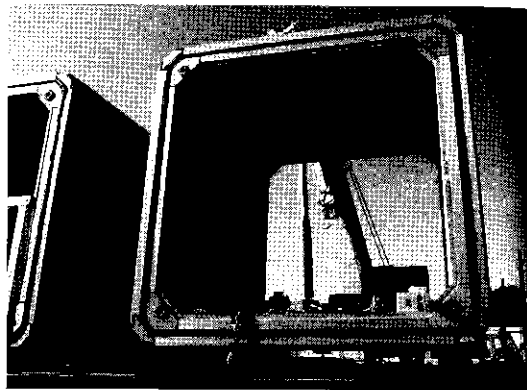


写真-7 ボックスカルバート

した。また、このような状況から、実施工時には添加材を事前の設定よりも多く注入したため、実績注入率は地山体積比70~80%であった。

4-3-5 線形管理と姿勢制御

管路の計画線形は、縦断・平面ともに直線で0.2%の上り勾配であった。この線形管理とそのためピッチングの制御は、パドル機に装備した方向修正ジャッキによって困難なく実施できた。敷設後の管路中心の出来形は水辺鉛直ともに±15mm程度以内であった。

4-3-6 掘進推力

掘進推力の計画値と実績値の推移を図-12に示す。計画値は一般に密閉型の推進工で適用される計算方法にもとづいたが、まず初期推力について両者間に大きな差があった。次にその後の推力上昇に関しては、滑材を注入しなくてもおおむね計算値以下であった。

掘削土砂は前述のとおり流動性の高い状態とし

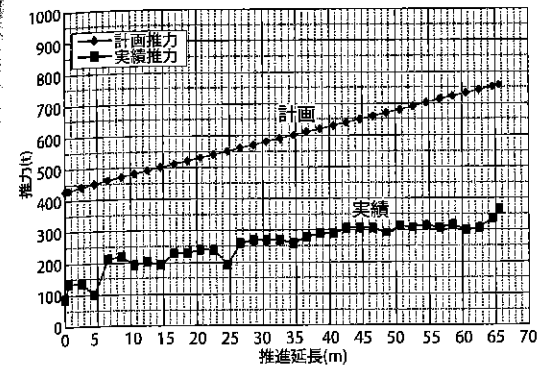


図-12 推力の計画と推移実績

ていたため、これが余掘り部に廻り込んでパドル機およびボックスカルバートの周辺摩擦が低減されていたと想像される。

4-3-7 到達~パドル機引出し

発進側と同様の地盤改良を施した到達立坑にパドル機を到達させ、到達立坑土留め壁(シートパイル)に探り孔を設けて、パドル機到達位置と地盤改良の止水効果の確認を行った。止水効果は良好であったため、確認した位置に合わせて到達坑口(アウトランス)を設置して鏡切断を行った。カット面に傾斜があるため、土留め壁に到達したのはカット上部部であり、中段から下段にかけてはカット前面に未掘削の地山が残っている状態であった。この部分の土砂を手掘り作業によって除去し(写真-8)、アウトランスパッキンの準備などパドル機を迎え入れる準備を整えた。

迎え入れの推進時には、万一の事態に備えて薬注設備を地上に待機し、パドル機と函体の周辺を通じて後方から地下水(あるいは河川水)を引込むことのないように細心の注意で作業を行った。矩形断面では、アウトランスパッキンをワイヤで絞ってもパッキンを押付ける方向への力が得られにくい。三角形に加工した木材を挟むことでワイヤからの押付け力発生を図った(写真-9破線囲い部分)。このような諸策により、上方地盤の崩壊、河川水の引込みなどを発生させることなく、安全



写真-8 到達時状況(1)

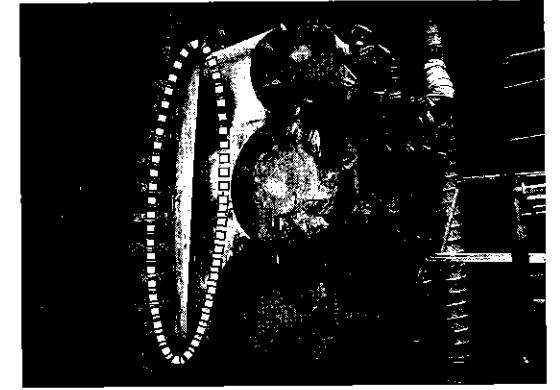


写真-9 到達時状況(2)

にパドル機を引出し回収した。

5 おわりに

本稿で紹介した軟弱地盤における実証実験と、泥岩層での実工事への適用実績により、本工法が幅広い土質に対応可能であることが確認できた。

矩形シールドは従来、回転駆動部の機構が複雑となるなどの課題があった。本工法は、その駆動部を簡素化することで掘削機のコスト低減につながっている。そのような本工法の優位性に加えて、本事例のように構造物の使用目的に応じた矩形断面の優位性を引出すことにより、矩形シールドのさらなる活用が期待される。矩形シールドのニーズに応えるべく、本工法のさらなる改善を図りながら工事への適用を重ねていく所存である。

土木情報 No.502

今月の主な入札結果
(2月10日～3月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
東北地整	宮古盛岡横断道路岩井地区T	飛島建設	4,214
"	" 築川T	三井住友・岩田地崎JV	4,073
関東地整	鶴見地下道改良	小雀建設	102.5
"	H26東京外環準備他(その2)	馬淵建設	209
"	圏央道弓田地区函渠その2他	大坂建鋼	109
北陸地整	大石西山排水T	福田組	484
"	H26-28金沢東環神谷内T(2期線)	安藤ハザマ	1,962
"	H26-27国道8号柏崎T(函渠部)	福田組	661.7
"	栗ノ木道路共同横断管	福田組	326
"	" 雨水幹線付替	広瀬	243.8
中部地整	23号蒲郡BP五井T	鴻池組	814.5
中国地整	鳥取道智頭用瀬T北	大林組	3,533.1
四国地整	H26-29新橋T	安藤ハザマ	4,406
九州地整	九州横断道(嘉島～山都)田代第2T新設	大林組	1,910
"	東九州道(清武～北郷)芳ノ元T南新設	大林組	4,967
水資源機構	大規模地震対策東部幹線水路芦ヶ池サイホン外改築	東急建設	956
鉄道・運輸機構	北海道新幹線, 昆布T(宮田)他	鹿島・五洋・宮坂・荒井JV	12,275
"	九州新幹線(西九州), 平間T他	安藤ハザマ・大豊・梅村JV	2,600
"	" 大山路高架橋他	佐藤・三軌・日本建設技術JV	6,220
日本下水道事業団	堺市古川下水ポンプ場建設	大林・大本・国営JV	12,610.9
都・財務局	古川地下調節池(その2-4)	港シビル	345
"	H26中防外1号線雨水管布設	アイサワ・新日本JV	666.4
都・下水道局	三之橋雨水調整池建設その3	フジタ	1,488
"	千住関屋ポンプ所建設その4	大林・大本JV	5,048
"	第二谷田川幹線その3-2	奥村組	346.2
"	白鬚西ポンプ所耐震補強その1	奥村組	680
"	千代田区永田町一丁目, 霞が関二丁目付近再構築その3	前田・大日本JV	1,939
"	新宿区弁天町, 櫻町付近再構築	あおみ建設	315.8
"	新宿区市谷本村町, 千代田区五番町付近外濠流域合流改善貯留施設立坑設置	鉄建建設	660
都・水道局	中央区日本橋室町三丁目地先から同区日本橋本町三丁目地先間配水管(800mm)新設	新日本工業	485.7
都・交通局	三田線新板橋駅～板橋本町駅間T止水	化工建設	152.85
新潟県	一級河川福島潟流域治水対策河川事業(大規模)吹切川樋門	小林組	178.82
福岡県	直方幹線(3工区)下水管築造	アイサワ・有田JV	231.8
川崎市	大師河原6号幹線その7	前田・岡村JV	412
名古屋市	米野雨水幹線下水道築造(その2)	森本組	117.39
呉市	広東地区雨水貯留施設整備	大之木・大貴JV	647.5
福岡市	住吉(住吉2丁目3外)地区下水道築造	西松・株木・日光JV	1,282.41

施工

トライアル施工による重要構造物への影響解析の検証

—東京下水道 江東幹線—

東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所工事第一課長 久本洋二
大豊・銭高建設共同企業体江東幹線シールド作業所監理技術者 鈴木高広
大豊・銭高建設共同企業体江東幹線シールド作業所工事課長 松田幹生

1 はじめに

東京都区部の江東区木場, 東陽, 古石場, 越中島, 塩浜地区などは, 都市化の進展により雨水流出量が増加し, 集中豪雨などにより浸水被害が発生している。東京都では地域の安全を守り, 都民の安心で快適な生活を支えるため, 降雨強度50mm/hr, 流出係数80%相当に対応する雨水幹線やポンプ所などの整備を進めている。江東幹線工事は, 江東区のほぼ中央に位置する木場公園内の発進立坑から流末となる江東ポンプ所手前までの約4.3kmに内径6.0mの雨水管を建設するものである。

本稿では, 江東幹線を施工する際の重要構造物との近接施工の影響解析の妥当性を検証し, 最適

な掘進管理の確立を目的としたトライアル施工の計画と経過について報告する。

2 工事の概要

2-1 工事概要

江東幹線の概要を表-1に, 路線平面図を図-1, 標準断面図を図-2に示す。

本工事の特徴として, 重要構造物との多数の近接施工, 軟弱地盤での長距離施工, 多数の急曲線施工(最小曲率半径30m), 可燃性ガス賦存層の掘進などがある。なかでも重要構造物との近接施工には, 地下鉄線の約5m下の横断や首都高9号線橋脚基礎杭と離隔4mでの側方通過をはじめ, 布設ルートには水道・ガス・電気などのライフライ

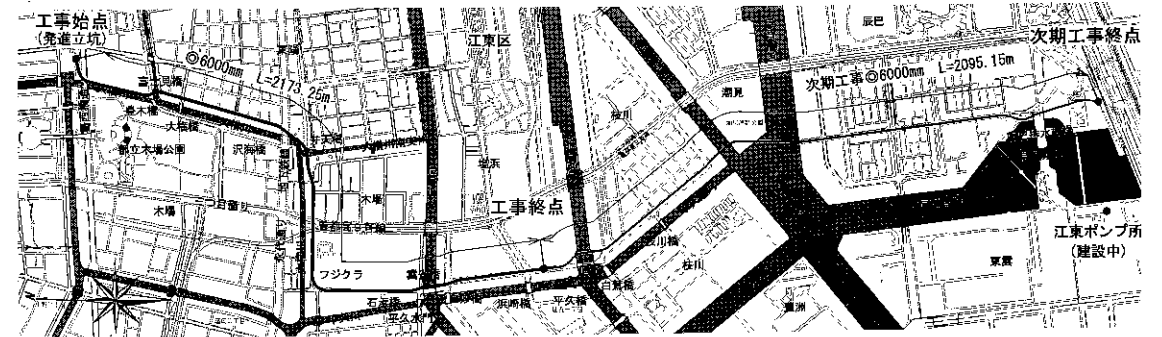


図-1 路線平面図標準断面図

ンや橋梁などがあり、工事を円滑かつ安全に進めるためには、これらの重要構造物への影響低減が重要な課題である。

2-2 地形・地質概要

江東幹線のルートは江東区内のおもに東京湾に

表-1 工事概要

施工延長	今回工事 L=2,173.25m	総延長 L=4,268.40m
	次期工事 L=2,095.15m	
セグメント (今回工事)	内径φ6,000mm	鋼製セグメント(開口部, 30R) L=81.50m
	二次覆工一体型合成セグメント L=2,091.75m	
シールド	泥水式シールド: 外径6.84m	同時裏込め注入方式, 防爆仕様
	最大中折れ角(左右)10.5度	
線形	平面	最小曲率半径 R=30m
	縦断	勾配: 下り0.5, 9.0%(次期工事: 下り0.5%)
土かぶり	25.28~31.24m(次期工事: 28.77~37.98m)	

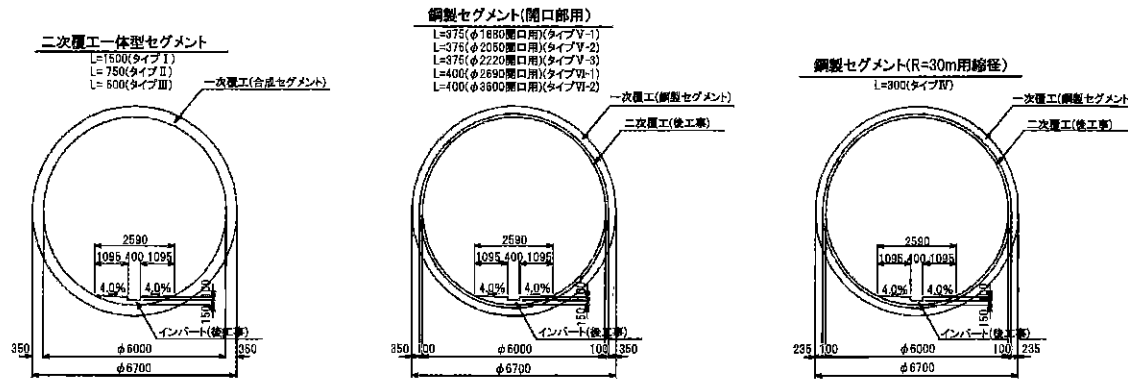
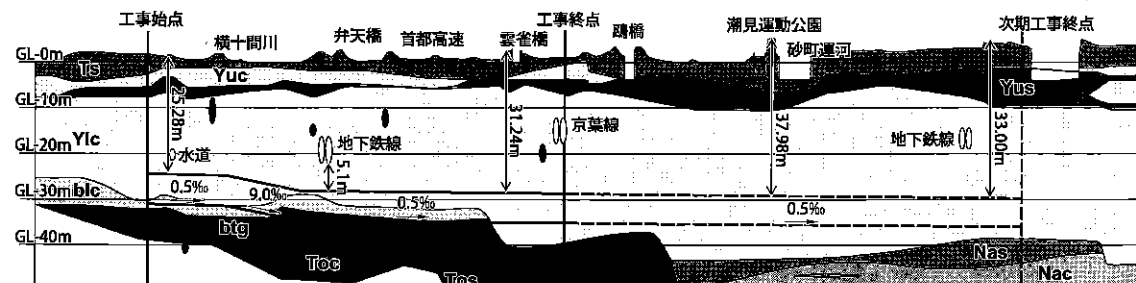


図-2 トンネル標準断面図



地質時代	土層区分	土質名	平均N値	記号		
第四紀	更新世	盛土・埋土	砂礫	15	Nas	
			粘性土	14	Nac	
		有楽町層	上部	粘性土	2	Yuc
			下部	粘性土	1	Yic
			埋没ローム層	砂礫	36	btg
	埋没段丘層	粘性土	14	Toc		
	東京層	砂質土	50	Tos		

図-3 地質縦断面図

タンガスが大量に賦存している可能性が高いとされ、設計段階で地中ガス調査を実施したところ溶存メタンガスが確認された。

3 工事の課題とその対策

3-1 近接構造物管理者との協議

近接施工となるおもな重要構造物およびその管理者は表-2に示すとおりである。掘進に先立ち、各管理者と近接施工協議を行った。その一部を以下に示す。

- ① 都道葛西橋通り付近における、水道管(シールド外径φ3,000mm)の下部通過(離隔約2.2m)。
- ② 都道永代通り地下鉄線(シールド外径φ6,750mm×2連)の下部通過(離隔約5.1m)。
- ③ 工事始点より610m地点から2,400m付近まで経年化した工業用水道管φ700mmと約1,790mにわたり並走。各管理者との協議の結果、対象構造物の許容変位量を遵守するとともに、計測管理の実施をすることとなった。とくに営業線である地下鉄線および供用開始後40年が経過した工業用水道管の管理者からは、シールド通過に伴う地表面沈下による影響抑制を強く求められた。

3-2 課題と対策

本工事において、近接構造物への影響低減を図るための課題としては以下のとおりである。

- ① 地下鉄線は土かぶりが大きく、また多数の埋設物が輻輳している永代通り下に敷設されているため、地上からの地盤改良などの防護工は困難である。また、防護工事自体による影響も懸念される。
- ② 地下鉄線シールドトンネル内は建築限界を考慮すると、このトンネルへの補強部材の設置は不可能である。
- ③ 工業用水道管は約1.8kmの長距離にわたり本幹線と併走していることから、全線の防護

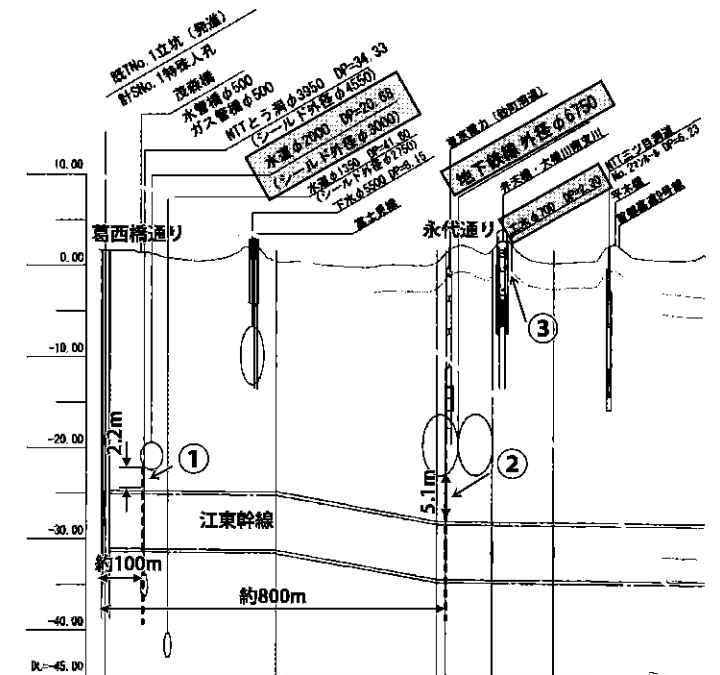


図-4 おもな近接構造物断面図

表-2 おもな近接協議管理者と対象構造物

管理者	対象構造物
東京都建設局	河川護岸(大横川)ほか 橋梁(茂森橋)ほか
東京都港湾局	運河護岸(汐浜運河)ほか
東京都水道局	配水本管φ2,000mmほか 水管橋φ1,000mmほか 工業用水道管φ700mm
東京都下水道局	永代幹線ほか
江東区	橋梁(弁天橋)ほか
JR東日本(株)	京葉線
東京地下鉄(株)	地下鉄線
首都高速(株)	9号深川線
NTTインフラネット(株)	葛西とう道, 三ツ目とう道
東京電力(株)	砂町洞道, 人孔
東京ガス(株)	ガス管橋φ750mmほか

は現実的でない。さらに、老朽化の状態も不明で、開削工事などにより荷重変化は与えないように管理者から要望された。

以上から、重要構造物への影響低減対策として、ハード対策(シールド設備の工夫)とソフト対策(トライアル施工をもとにした情報化施工)を計画・実施した(4-2節参照)。

4 シールドの特徴

4-1 シールドの仕様

本工事のシールドは、以下の要求性能を満足するものとしている。

- ① 高水圧下(最大0.35MPa)対応
- ② 可燃性ガス対応
- ③ 直接発進(SEW壁, 壁厚1.0m)対応
- ④ 長距離掘進対応
- ⑤ 急曲線(最小曲率半径 R=30m)対応

①, ②について、高水圧地下水および溶存メタンガスのシールド内への侵入防止のためテールブランチは3段とし、最後段にはウレコンシールを採用した。また、シールドは防爆仕様とし、エアカーテンを後続台車前方に設置して、危険区域(防爆区域)と安全区域(非防爆区域)に区分した。

③, ④について、カッタビットは強化先行ビット

表-3 シールド(泥水圧式)のおもな仕様

外 径	φ6,840mm
全 長	9,090mm
伸 長 速 度	57mm/min
総 推 力	47,250kN
シールドジャッキ	2,250kN×2,200ST×31.5MPa×21本
中折れジャッキ	2,250kN×1,000ST×35.0MPa×16本
カッタトルク	4,529(常用)/6,793(瞬間最大)kNm
カッタ回転速度	0.76min ⁻¹
テールブランチ	3段(最後段ウレコンシール) テールグリリス自動注入

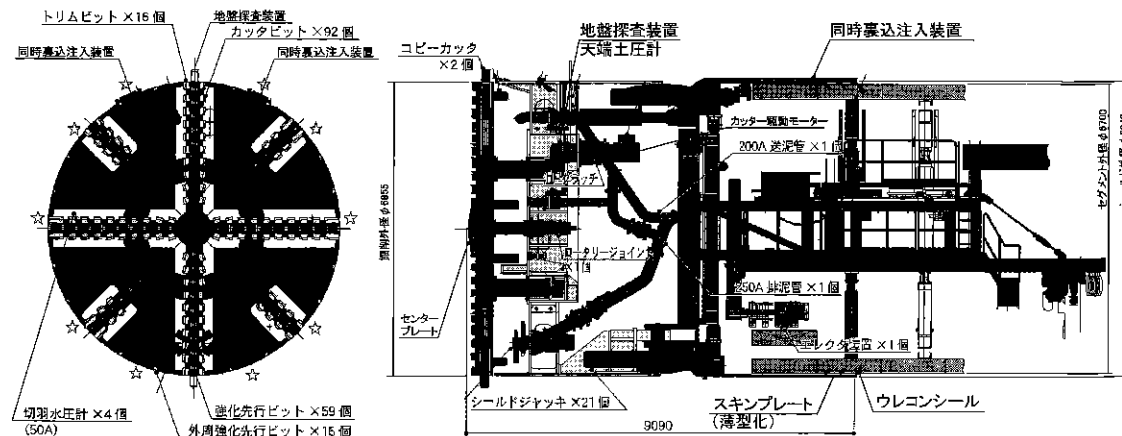


図-5 φ6.84m泥水式シールド

トを段差配置して、SEW壁の直接切削発進および長距離掘進に対する切削性能を確保した。

⑤について、シールドは球面中折れタイプを採用し、曲線部の余掘り量の縮小と止水性能の向上を図った。

おもな仕様とシールドを表-3、写真-1に示す。

4-2 近接施工対策

4-2-1 ハード対策

シールドのハード対策として以下の内容を実施した。

(1) シールド周辺地盤探査装置

シールド頂部に周辺地盤探査装置(3成分コーン試験機)を装備した。切羽通過後の周辺地盤の乱れ範囲を計測し、その範囲に合理的な裏込め注入を行うことにより地盤変位を抑制する。

(2) 同時裏込め注入装置

同時裏込め注入装置をシールドに装備した。シ-

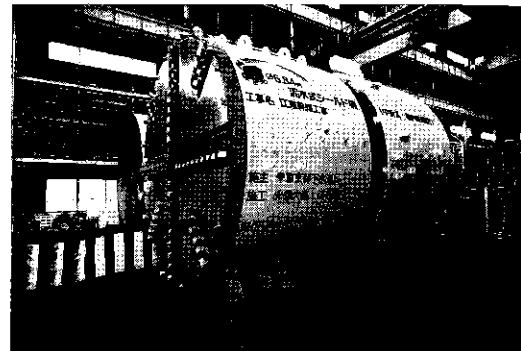


写真-1 シールド外観(外径φ6.84m)

ルド掘進に合わせてテールボイドへの裏込め注入を行うことで地山の応力開放を抑制する。

(3) テールボイドの縮小

シールドのテールスキンプレート仕様をSM490からSM490Yにして強度を上げ、部材厚を薄くすることで30R用鋼製セグメントの縮径により、沈下要因となるテールボイド量を30mm(片側15mm)縮小した。

4-2-2 情報化施工(ソフト対策)

情報化施工システムは、総合掘進管理システムと計測管理システムからなる。

本システムは、近接構造物の計測データとシー-

ルド掘進データをディスプレイ上に表示するとともに、同一パソコン内のデータファイルとして統合管理・保存するので、掘進データと計測データをリアルタイムで明示・対比できる。重要構造物との近接施工時は測定した構造物変位量から、トライアル施工の結果にもとづきリアルタイムで掘進管理へ反映させる。

(1) 総合掘進管理システム

掘進時間、掘進距離におけるシールド掘進データ、泥水流体輸送管理、泥水プラント管理などをリアルタイムにて表示、保存する。

(2) 計測管理システム

近接構造物に設置した計測器により、シールドの掘進時間、掘進距離における変位量を常時計測し、データを表示、保存する。

5 近接施工計画

5-1 トライアル施工の概要

本工事においては、シールド掘進による地盤の変位量と事前に行った影響解析の検証と最適な掘進管理の確立を目的としてトライアル施工を計画・実施した。

トライアル施工実施位置は、初期掘進中に発進基地内にて2断面(事前計

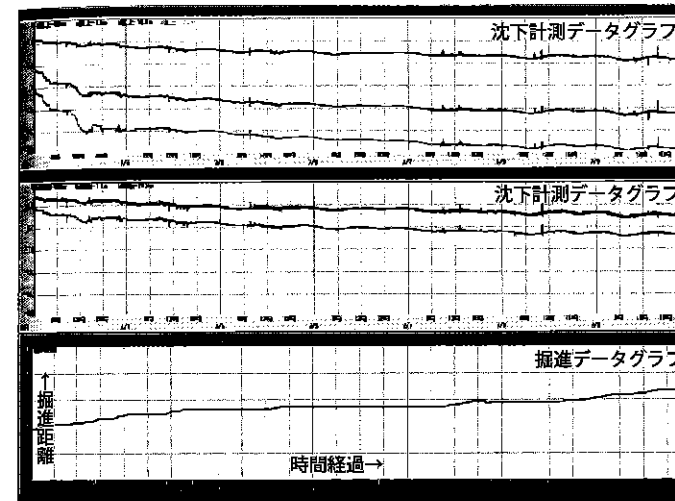


図-6 掘進データおよび計測データ統合表示

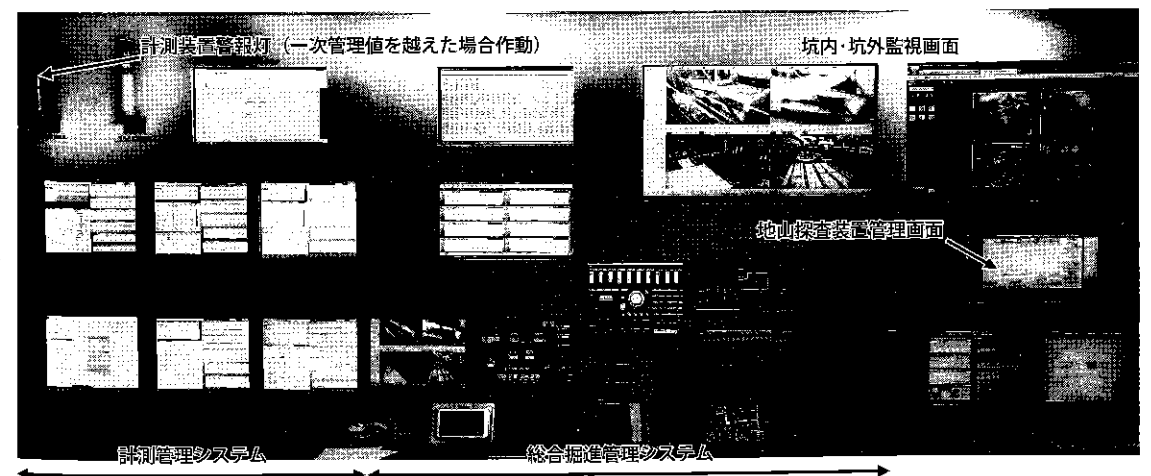


写真-2 情報化施工システム

測A)と本掘進後の最初の直線区間で3断面(事前計測B)とし、各位置で管理切羽圧および裏込め注入率を変化させ、シールド掘進に伴う沈下傾向や影響値を確認した。

計測器設置位置は対象構造物とシールドの離隔に合わせて配置した。計測器設置後、計測器の校正および車両の振動や温度変化の影響などの確認のため、1か月間の事前計測(自動計測)を行った。

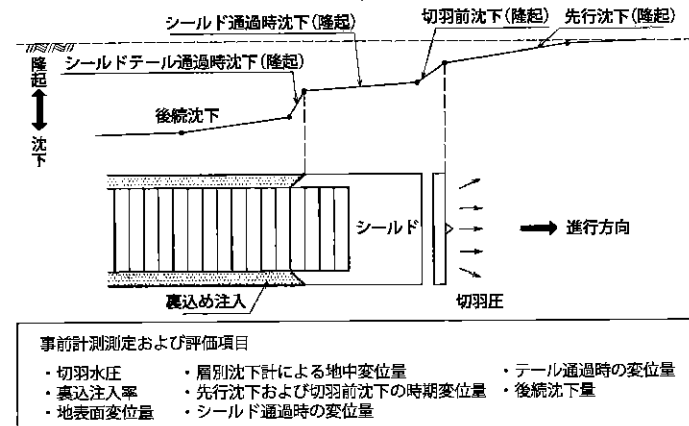


図-7 シールド掘進に伴う変位模式図

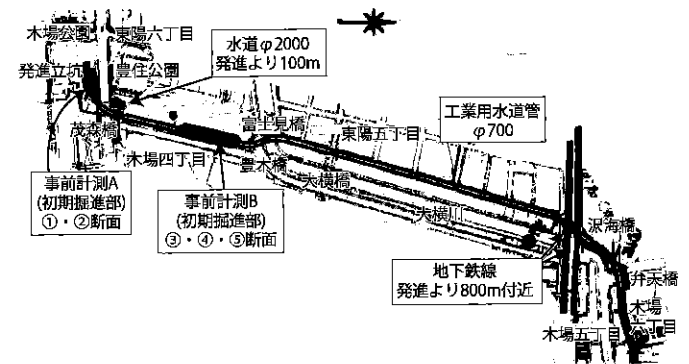


図-8 計測器位置図

●: 圧力式沈下計およびワイヤ式沈下計

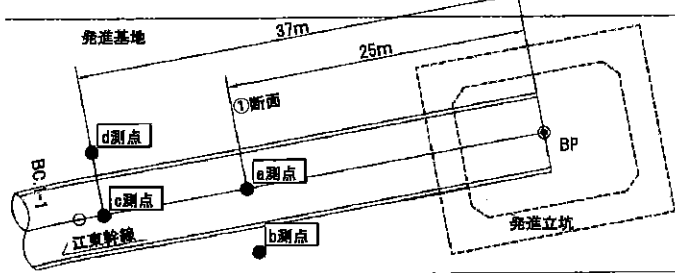


図-9 事前計測A計測器配置図

5-2 トライアル施工

5-2-1 事前計測A(初期掘進区間)

(1) 計測位置

初期掘進計測区間は、坑口発進防護の影響範囲外となるよう、工事始点より25mおよび37mの2計測断面で実施した。

(2) 計測内容

表-4に計測内容を示す。

(3) 掘進管理値

管理切羽圧は主動土圧・静止土圧の計算式と過去の実績より対象構造物管理者と協議し決定した(表-5)。

(4) 計測結果

切羽通過からテール通過直前までは、地表面で約3mm、地中計測点で約10mmの沈下量であり、各測点で明瞭な差はないが、テール通過に伴いa-測点の

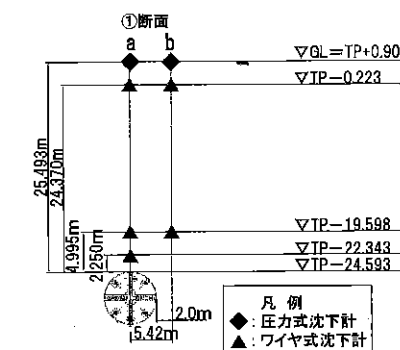


図-10 事前計測A計測器位置図

表-4 事前計測A計測項目一覧表

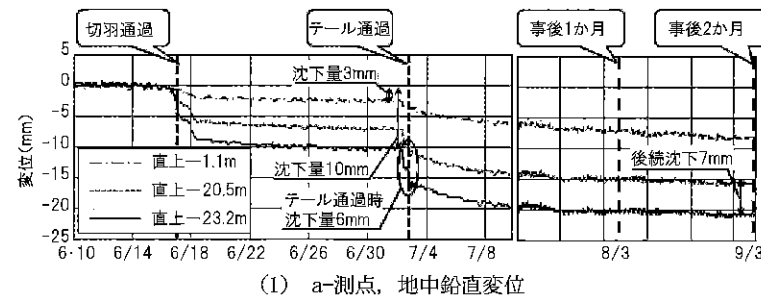
対象	計測項目	計測器名称	目的
地中埋設物	地中沈下量	ワイヤ式沈下計 10台	掘進に伴う切羽前方から後方までと横断方向の変位状況の把握 裏込め注入に伴う変位状況と後続変位量の把握
	地表面	圧力式沈下計 4台	地表面沈下量とワイヤ式沈下計の変位状況の把握
温度	温度計 1台		外気温による影響の把握
地下水位	水位計 1台		地下水位の変位状況の把握

地中計測点では急激な沈下がみられる(図-11)。早期にテールボイドに裏込めを充填することが沈下抑制につながるため、裏込め注入方式は同時裏込め注入方式とすることとした。

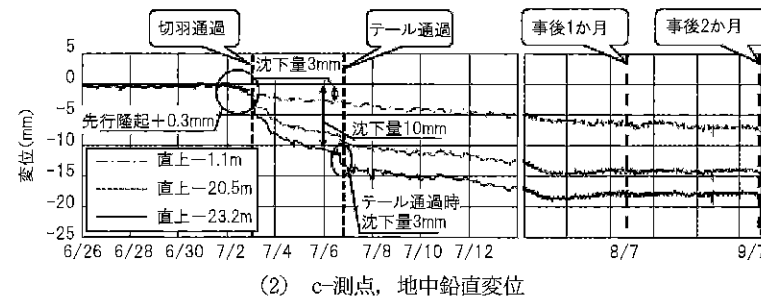
高めの管理切羽圧は、c-測点にみられるように一時先行隆起傾向を示している(図-11)、これ以上の切羽圧の増加は地山を乱し沈下を増加させる原因となる。したがって本工事では、地盤を

表-5 管理切羽圧と裏込め注入率(事前計測A)

測点	土かぶり(m)	管理切羽圧(kN/m ²)	裏込め注入率(%)	裏込め注入方式
a	26	切羽水圧+20	130	即時注入
c	26	切羽水圧+50	130	同時注入



(1) a-測点, 地中鉛直変位



(2) c-測点, 地中鉛直変位

図-11 事前計測A計測結果

(3) 掘進管理値

管理切羽圧は対象構造物管理者と協議し、事前計測Aの結果をもとに地盤を乱さない切羽水圧+35kN/m²と過去の事例より切羽水圧+80kN/m²に決定した(表-7)。

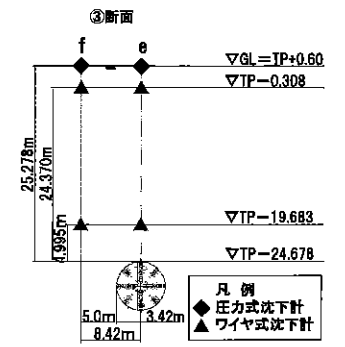


図-13 事前計測B計測器位置図

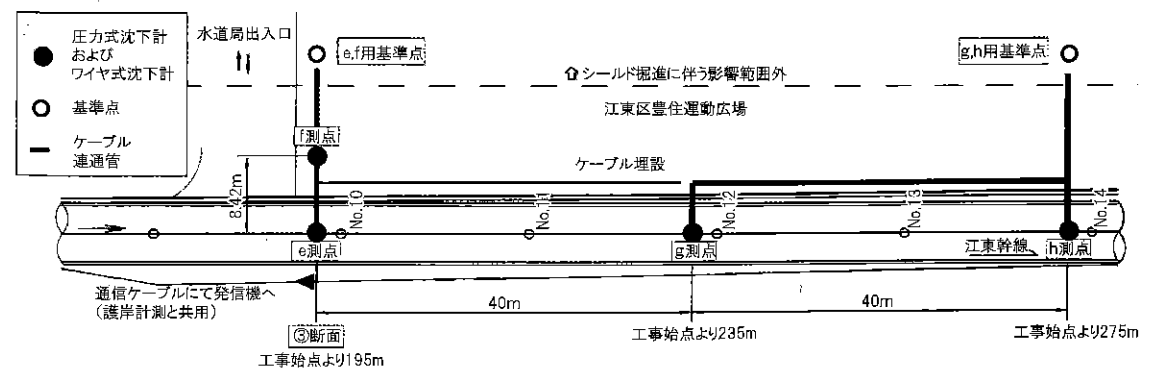


図-12 事前計測B計測器配置図

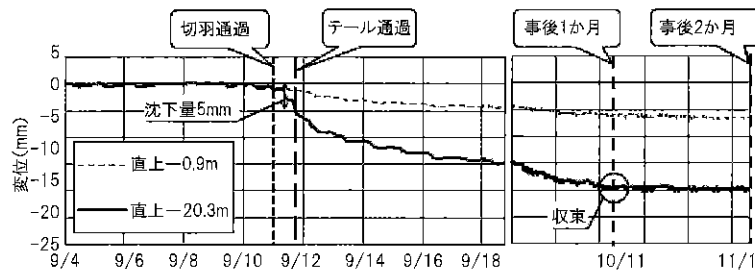
表-6 事前計測B計測項目一覧表

対象	計測項目	計測器名称	目的
地中埋設物	地中沈下量	ワイヤ式沈下計 8台	掘進に伴う切羽前方から後方までと横断方向の変位状況の把握 裏込め注入に伴う変位状況と後続変位量の把握
	地表面沈下量	圧力式沈下計 4台	地表面沈下量とワイヤ式沈下計の変位状況の把握
地下水位	温度	温度計 2台	外気温による影響の把握
	水位	水位計 1台	地下水位の変位状況の把握

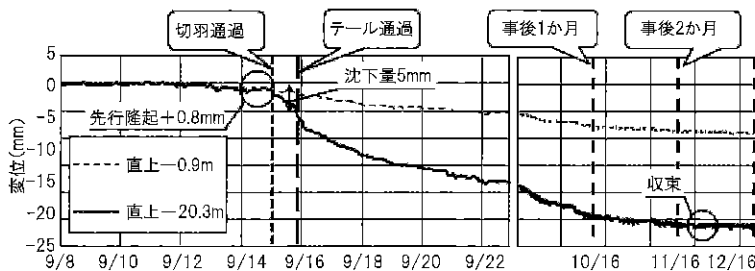
表-7 管理切羽圧と裏込め注入率(事前計測B)

測点	土かぶり(m)	管理切羽圧(kN/m ²)	裏込め注入率(%)	裏込め注入方式
e	26	切羽水圧+35	150(140) [※]	同時注入
g	26	切羽水圧+80	130	同時注入
h	26	切羽水圧+35	130	同時注入

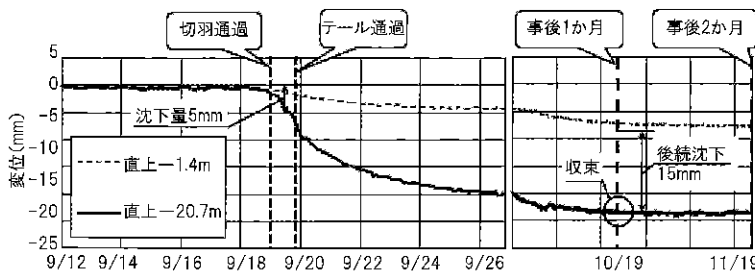
※注 カッコ内は実注入率の値を示す



(1) e-測点, 地中鉛直変位



(2) g-測点, 地中鉛直変位



(3) h-測点, 地中鉛直変位

図-14 事前計測B計測結果

(4) 計測結果

沈下傾向は初期掘進と同様であるが、沈下量は本掘進の方が相対的に大きくなっている。ただし、経時変化をみるとテール通過時の沈下量は5mm前後で、初期掘進時の半分であるが、テール通過後の後続沈下が2倍前後となっていることがわかる(図-14)。これは、初期掘進の掘削断面下部土質が、比較的良質な埋設ローム層(b1c)(平均N値=6)であったためシールド通過に伴う変位量が小さかったことによると思われる。

本掘進各測点の沈下量は、テール通過前までは明瞭な差はないが、テール通過後の後続沈下は、e-測点、h-測点は通過後約1か月ではほぼ収束しているのに対し、g-測点では2か月後も収束傾向がみられない。総沈下量を比較すると、裏込め注入率が大きいe-測点をもっとも小さい(図-14)。以上の結果より、以下のとおり管理基準を設定した。

- ① 管理切羽圧は切羽水圧+35kN/m²に対し、切羽水圧+80kN/m²(g-測点)に上げた場合は、先行隆起傾向がみられ、地山を乱し沈下を増大させ後続沈下の原因となったものと思われる。したがって、管理切羽圧は、切羽水圧+35kN/m²とすることとした。
- ② 裏込めは、注入率を150%に設定したケースがもっとも沈下抑制効果が高い結果となった。ただし、注入

率を150%に設定した場合には、シールド周囲に裏込め材が流出したため実注入率は140%であった。シールド鋼殻に裏込めが付着すると、掘進時に周辺地盤との摩擦が増大して地盤を乱し、より沈下量を増大させる可能性も考えられる。したがって、裏込め注入率は、140%とすることとした。

5-3 掘進施工管理

(1) 掘進管理

トライアル施工の結果をもとに前項で述べたとおり、掘進管理値を以下のように設定した。

- ① 管理切羽圧：切羽水圧+35kN/m²
- ② 裏込め注入率：140%

(2) 計測管理計画

主要近接構造物(前掲、表-2)の近接施工に先立ち、それぞれの管理者に近接施工計画書を提出し、動態観測などを含めた管理・確認方法を協議した。一例として、以下に地下鉄線との近接施工の概要を記述する。

(3) 地下鉄線横断面管理計画

地下鉄線の影響範囲通過時については、トライアル施工の計測結果にもとづく基本掘進管理に加え以下の対策を実施し、影響の把握と極力低減を図る。

- ① 影響範囲でのトラブルを含めたシールドの停止は、沈下を促進させる危険性があるため、影響範囲でのシールド掘進については24時間連続施工とする。このため、影響範囲前でシールドの整備点検を確実に実施する(図-15)。
- ② 地下鉄線の挙動の動態観測を実施する。計測内容は下記のとおりとする(図-16, 17)。

- 1) トンネル沈下量
- 2) トンネル内空変位量
- 3) 軌道変位量

③ 緊急対策(過大な変形が生じた場合の対策)
事前解析およびトライアル施工結果より、重大な支障が発生する可能性は低いと考えられるが、動態観測の沈下傾向から、後続沈下が進み対策が必要となる可能性があるため、具体的な対策を立案し、今後も管理者と協議を行っていく。

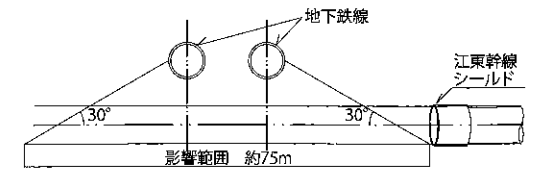


図-15 地下鉄線影響範囲

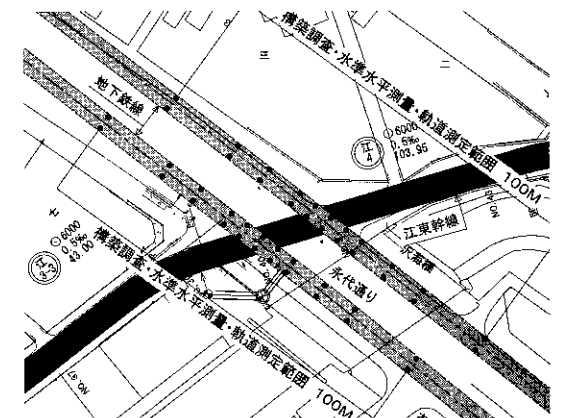


図-16 地下鉄線計測位置平面図

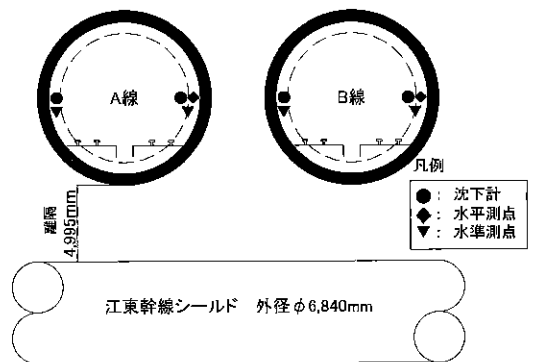


図-17 地下鉄線断面図

6 おわりに

現在、トライアル施工区間を終え、今後は地下鉄線をはじめとして、各重要構造物との近接施工を迎える。そのさいには、トライアル施工の結果を活かすとともに、リアルタイムに掘進データおよび計測データを解析し、課題の迅速な把握に努め、対策を迅速に講じることが肝要と考える。

近接施工の結果については機会があれば報告させていただきたいと考えている。

トンネルジャーナル

首都高速中央環状線が全線開通

首都高速道路と東京都が共同で整備を進める中央環状線山手トンネル(高速湾岸線～高速3号渋谷線)―中央環状品川線―が、3月7日、開通した。開通にあたって式典が執り行われ、東京都知事と首都高速道路社長のあいさつのあと、国土交通大臣らが祝辞を述べ、開通を祝った。

このたび開通したのは、大井JCT～大橋JCT間の往復4車線の約9.4kmで、トンネル部は約8.4km。事業費は約3,100億円。この開通により、全長約47kmの中央環状線が全線開通するとともに、圏央道、外環道、中央環状線からなる首都圏3環状道路の最初のリングが完成することになる。

中央環状品川線は、中央環状線の南側部分を形成し、高速湾岸線の大井JCT(品川区八潮3丁目)から分岐したのち、目黒川および山手通りの地下をトンネルで北上して、大橋JCT(目黒区青葉台4丁目)で中央環状新宿線と首都高速3号渋谷線に接続する。この開通で山手トンネルの全長は約18.2kmに達し、道路トンネルとして関越自動車道の関越トンネル(約11km)を超えて日本一となる。

全通により、首都高速道路のネットワーク効果が拡充されることから、慢性的に渋滞が発生する都心



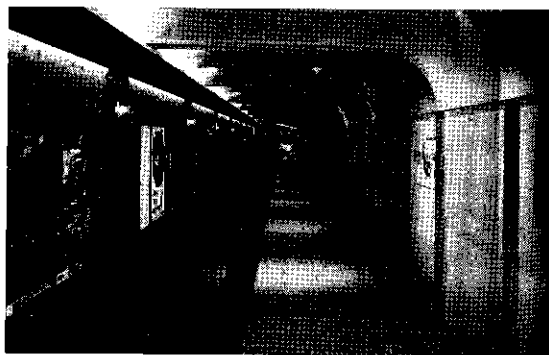
環状線の交通の分散され、定時性の向上すると期待される。中央環状線の内側を走る都心環状線の交通量が約5%減少すると推計されている。これにより放射路線の上り線を中心として、都心環状線の合流部を先頭とした渋滞・混雑が緩和され、中央環状線の内側の区間では、1日あたりの渋滞・混雑量は開通前に比べると約4割減少するとされる。同時に、渋滞の発生箇所が、都心環状線から中央環状線周辺に移行し、上り坂などによるボトルネックの影響が顕在化することも予想されている。

首都高速道路では、今後、ハード・ソフトを組合せた渋滞対策を、新たなビジョンとして、公表するとしている。

東京メトロ銀座線 下町エリアのデザインが決定

東京メトロは、銀座線全駅のリニューアルにともなう下町エリア(浅草～神田間)のデザインを発表した。同社は、銀座線開業90年(2017年)と2020年の東京オリンピック・パラリンピックを見据え、同線全駅をリニューアルし、魅力を向上させるアイデアを公募したデザインコンペを実施している。今回デザイン決定された下町エリア7駅について、2015年から順次工事着手し、2020年までにバリアフリー化を含めたりニューアルを完了するとしている。

下町エリアのデザインコンセプトは「土地の記憶―親しみと愛着が増すほっこり感―」。1927年に東洋初の地下鉄として開業した貴重な歴史を生かし、当時の雰囲気から親しみを感じることができるデザインとする。開業当時から残るリベット接合の鉄鋼枠や壁面タイルを生かすほか、木や織物など下町の特徴を表現する素材を用いていく。



壁面のタイルで下町のほっこり感を表現した神田駅のデザイン

各駅のデザインコンセプトは、浅草駅が「祭りの街」、田原町駅が「道具の街」、稲荷町駅が「佇む街並み」、上野駅が「美術館のある街」、上野広小路駅が「上品な横丁」、末広町駅が「電気の街」、神田駅が「昭和のオフィス街」としている。

第六十四回 語り継ぎ 言ひ継ぎ はるか

時間が解決してくれた！

(元)株 大林組
渡邊

和憲

はじめに

1969(昭和44)年に大林組に入社して2年間は明かり現場を担当していたのですが、入社前に思い描いていた土木技術者と、現実の自分の姿の乖離に失望感を感じていました。そんな私が39年にわたって大林組で技術者を続けられたのは、その大半を山岳トンネルの現場担当として働けたからだと思います。なかでも「蔵王トンネル」は山岳トンネル工事に心ひかれるきっかけとなった仕事、「生駒トンネル」はNATMでの最初の仕事、そして「阪奈トンネル」は初めて現場所長となった仕事で、それぞれ節目となった仕事です。その3つの工事を中心に私の思い出話を始めます。

東北新幹線蔵王トンネル
1972(昭和47)年3月～
1975(昭和50)年9月

■工事の概要
蔵王トンネルは蔵王山の南東に

位置する、福島・宮城の県境を貫く延長11,215mの新幹線トンネルです。4つの工区に分けて発注され、大林組は宮城県側の坑口から2,875mの区間を受注しました。火山岩主体の地質でしたが、坑口付近は土かぶり小さく、未固結層が分布していました。

そのため坑口から425m間は沈下抑制を目的として側壁導坑先進工法で掘削しました。坑口部以外の2,450m区間は底設導坑先進工法による施工で、延長200mの横坑から福島方面に向かって掘削しました。

■技術の伝承の二本
私がトンネル工事に心ひかれるようになったのは、蔵王トンネルでの大友昭所長との出会いがあったからです。所長はニッカポッカに特製の杖という独特のいでたちで、毎朝だれよりも早く、ひとり歩いて切羽へ行かれていました。遅れて私が切羽に行くと大友所長は私に野帳を出させ、それに注意すべき事柄や、協力会社への指示



2012(平成24)年7月木曾御嶽山にて



蔵王トンネル側壁導坑(木矢板縫地工法)

などを書かれたのです。時には絵入りです。毎日です。このことがとても勉強になりました。事務所だけでなく切羽や現場で話を聞くので、とても臨場感を持って感じることができました。

「現場で起きている問題は、現場を見ることで気づき、また、そ

の解決策も現場を見ることで感じとることができる」

私が現場の所長になってから、このような思いで現場を指揮しましたが、大友所長の毎日の野帳のメモから自然に身についたことです。まさに大友所長が私にしてくださいったことは、技術伝承のお手本でした。

■技術者としての原点

ある程度の規模で標準的な施工法の工事に、着工準備の段階から参加できたことが、とてもよい機会になりました。参考書に書いてある内容を理解しようと何度読んでも、なかなか自分のものにはなりにくいものですが、それを実践の場で、自ら考えて計画すると、スッと自分のものになるものです。蔵王トンネルで私は、そんなことを実感できるよい機会に恵まれました。

当時はまだNATMという言葉はなく、矢板工法のH形鋼支保工が一般的になってきたというような時代でした。そのような時代のな

著者略歴

昭和44年4月	(株)大林組入社
昭和46年4月	東北電力仙台中央幹線新設管路トンネル
昭和47年3月	東北新幹線蔵王トンネル
昭和50年9月	郡山市水道局導水路トンネル
昭和52年9月	北陸電力有峰発電所導水路トンネル
昭和55年4月	国道161号西大津バイパス長等トンネル
昭和57年1月	東大阪生駒電鉄(現、近鉄東大阪線)生駒トンネル
昭和62年12月	第二阪奈有料道路阪奈トンネル
平成9年12月	京都縦貫自動車道大江山トンネル
平成12年9月	第二東名高速道路掛川第三トンネル
平成17年3月	圏央道高尾山トンネル
平成20年3月	(株)大林組退職
平成26年7月	近畿建設協会トンネル岩判定担当技術者として勤務現在に至る

かで丸太支保工のことを本で読んで勉強したり、縫地矢板と掛け矢板の使い分けを教えてもらったりしました。

坑内外の仮設備の構造を考え、必要な機械の能力を求めるのに簡単な計算の組合せで計画の裏づけをしていくことが、とても面白い作業のように思えました。その計算するための条件設定が重要なのだということを理解できたことで、現場技術者に必要な技術の手がかりをつかんだのではないかと思います。

「条件設定するためには、その状況を想像することが必要であり、状況を想像するには経験が必要だ」ということ、「じっくり現場を見ることの意味は、今の仕事だけでなく、将来の仕事に対しても、大切なものなのだ」と思うようになりました。

そんなことを実感できた蔵王トンネルの現場で施工計画を皆と作っていたころの日々が、私にとって技術者としての原点だと思います。

■立場が人を作る

もうひとつ蔵王トンネルで私がトンネル技術者として幸運な経験ができたのは、現場で特別な仕事を、いろいろさせてもらえたことです。その重要な経験のひとつが側壁導坑区間の責任担当者として仕事をしました。入社4年目の私と新入職員の2人で担当することになりました。すべてのことを自分で計画して、それを現場で実現できるという立場で仕事できました。掘削覆工の施工計画、仮設備の計画、坑門の施工手順、作業員の手配、材料の注文、機械の選定、セントルの計画など。すべて入社4年目の自分が計画して実行できました。これほどやりがいを感じたことはそれまでありませんでした。所長の例の野帳のアドバイスもあるので、不安を感じることなく仕事に向かえました。

「立場が人を作る」。できないかもしれないと思っても、それをしなければならぬ立場に立つと、人は努力をして困難な仕事も成し遂げられるものです。これは、この蔵王トンネルでの自分自身の経験から学んだことです。

近鉄東大阪線生駒トンネル 1982(昭和57)年1月～ 1985(昭和60)年3月

■工事の概要

近鉄東大阪線生駒トンネルは、大阪・奈良間の府県境に位置し、生駒山の下を東西に貫く延長4,737.4mの鉄道複線トンネルです。工事は大阪側から西・中・東の3つの工区で発注され、大林組は中

工区を受注しました。

付近には1964(昭和39)年に供用開始された奈良線生駒トンネルとそのときに廃線となった旧生駒トンネルが平行して通っています。2本のトンネルとも大林組はその建設にかかわっていて、会社としても3本目の生駒トンネル工事でした。旧生駒トンネルは1914(大正3)年完成といわれ、レンガ覆工のトンネルです。本坑へのアプローチは旧生駒トンネルからループ状に斜坑を掘削し、大阪方へ800m(当初600m)、奈良方へ1,000m掘削しました。NATMで上半先進ベンチカット工法、発破掘削、タイヤ方式で施工を行いました。私にとって初めてのNATMです。

■水抜き斜坑の施工

府県境付近では事前調査で大量の湧水が確認されていたので、旧トンネルから小断面の斜坑を掘削して、そこから大阪・奈良両方向にそれぞれ250mずつ水抜きボーリングを行いました。

ボーリングからは当初1,200L/minの湧水でしたが、本坑切羽が到達するころにはその湧水もほとんどない状態まで減水しました。ボーリング区間には、変成作用を受けた破砕帯がかなり長い区間ありましたが、本坑掘削は問題なくできました。事前の水抜きをしなければ、難しい掘削になっていたと思います。

■断面閉合の有効性

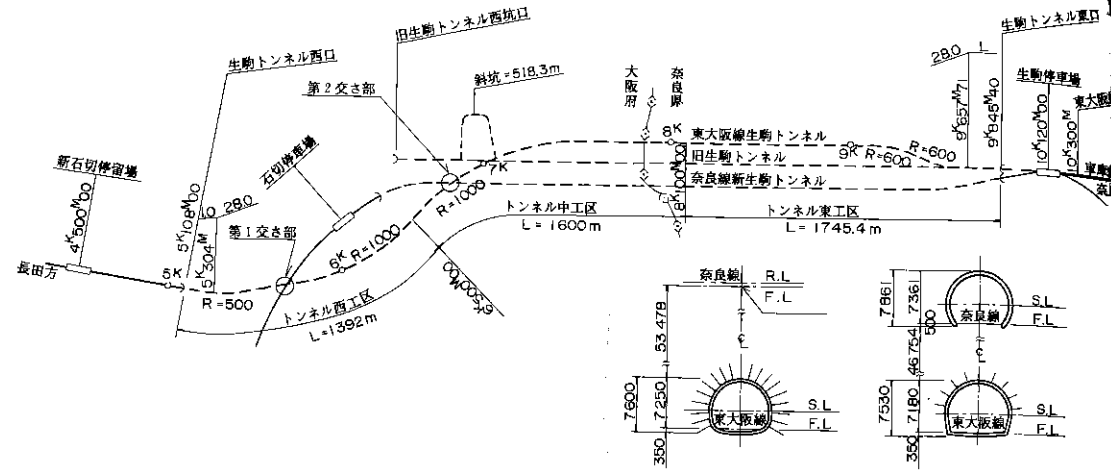
斜坑から生駒方へ300mほど掘削した付近では、花崗岩で亀裂はあるものの締まった状態で安定した状況が続いていました。ところ

が付近での内空変位の計測では24時間で30mm程度の大きな変位を示しました。変位の原因がわからないまま増しロックボルトや、長尺のロックボルトで対応しました。切羽後方で吹付けコンクリートにクラックの発生も認められ、修正の吹付けも実施しました。切羽では吹付け厚を厚くし、パターンボルトも長尺に変更しました。

これらの対策で、内空変位の抑制に2,3日間は効果があったものの、それ以降はまた変位が大きくなりました。そうしているうちに、切羽では薄い緑色の粘土層が厚さ50cmほどで左踏まえから現れました。そして、粘土層の奥には花崗岩の破砕帯が続いているという状況でした。この粘土層は10mほど進むと切羽から消え、花崗岩の破砕帯へ変化しました。これがこれまでの大きな変位の原因であると判明しました。目に見える切羽の状態は良くても、見えない周辺地山の一部分が破砕帯であり、そのため大きな偏圧を受けていたのです。

原因が明確になったことで、まず掘削した箇所の変位を抑えるため、上半掘削完了区間に仮インバートをコンクリートで打設して仮閉合しました。仮閉合するとすぐに変位は収束し、断面閉合の効果を実感しました。さらに全断面掘削完了区間で設計断面を侵しているところは薬液注入後、縫返しをし、引続きインバート打設まで行い断面閉合しました。

その後は、この破砕帯区間ではショートベンチ工法で早期断面閉



近鉄東大阪線生駒トンネル平面図・断面図

合を行い、問題なく掘削ができました。

NATMにおいて断面閉合がいかに重要なことか実感しました。

トンネルの挙動への影響を目で見える切羽の状況だけで想定しているはだめな場合もあることを学びました。切羽を見た感覚とトンネルの挙動が違う場合に、目に見えない周辺地山の状況を想像する感覚が必要です。

異常が出始めたころ、目で見える切羽の状況だけを信じ、計測の結果を疑った自分を恥じたものです。

■岩盤固結工法の選択

石切方の切羽で貫通点を前にして、湧水が増えて吹付けが付きにくい状態になりました。湧水量がそれまでより増え、湧水箇所が切羽全体に散在している状態でした。このままでは、品質上および安全上の問題が大きいと判断しました。それで、切羽の作業をいったん中断して、前方の地山探査と切羽の湧水を集めることを目的にして水

抜きボーリングをすることにしました。

これを発注者から承諾を得る前に実施したことで発注者から叱責を受けました。しかし、数日後この切羽から250m離れた隣工区で地表陥没事故が発生しました。

承諾を得る前に行ったことは反省しなければいけません、結果的には正しい判断だったのではないかと考えています。

この地表陥没事故のため、私たちの工区も、工事が3か月半にわたって中断し、再開後、追加延長も含めて200mあまりの区間を掘削しました。

そこで、工期に影響を与えないで安全に掘削するため、当時まだ試験施工の段階だった「岩盤固結工法」を提案しました。

提案理由は、

- ① 岩盤亀裂などにウレタンの発泡圧で浸透し固結する
- ② 湧水があっても効果がある
- ③ 注入パイプはフォアパイリングの機能をする

④ 切羽の掘削作業員で施工可能

⑤ 掘削サイクルのなかで実施可能

です。まったく初めての工法にもかかわらず、関係者の多大な努力で、「岩盤固結工法」のNATM補助工法としての道筋をつけることも困難な残りの区間を無事に掘削できました。

その後「岩盤固結工法」はいろいろななかたちで進化し、NATMにおける補助工法の大きな礎になったと自負しています。

■新技術の開発

生駒トンネルの工事が始まったころから山岳トンネルはNATMが主流になり始めたことで、新技術の開発をめざす機運が高まってきました。私たちも生駒トンネルにおいて全自動ロボットジャンボ、覆工セントルのロープ式ケレン機、防水シート張り用作業足場をはじめとして、多くの新技術開発に取り組みました。

生駒トンネル工事の最盛期から30年近い歳月が流れ、これの中で、さらに進化して主要技

技術実用化に向けて情熱を傾けたころの日々を思い出すと、「NATM革命」といえる新しい時代の熱気がよみがえってきます。

阪奈有料道路阪奈トンネル 1987(昭和62)年12月～ 1997(平成9)年3月

工事概要

第二阪奈有料道路は、大阪と奈良を結ぶ一般国道308号のバイパスとして事業化された道路です。大阪側は近鉄東大阪線の両側を大坂行き線、奈良行き線の開削トンネルが並行し、奈良行き線が開削トンネル区間で鉄道下を通過したところから2本のトンネルともに山岳トンネル構造で奈良に向かって続いています。そのため近鉄東大阪線生駒トンネルと奈良行き線の山岳トンネル起点付近は近接した線形となっています。

阪奈トンネルは開削部と山岳部あわせて全長約5,580mです。そのうち大林組JVは大阪側の山岳トンネル約1,900m区間2本を施工しました。

山岳トンネル大阪側坑口付近から600mにわたり一般民家や公共施設などが林立し、大阪層群(洪積層)と花崗岩層の間にある断層付近で近鉄奈良線(地上軌道)の直下を直交するかたち(土かぶり50m)で通過しています。花崗岩層

に入っても、まだ一般民家やホテルなどが立ち並んでいる状況です。工事の着手当初、周辺地域の方々から工事着工に対する同意が得られず、1年半施工中止が発令されることになりました。

■頂設導坑先進工法の選択

発注時は大阪層群区間では、地表沈下に対する抑制効果が高いということで側壁導坑先進工法になっていました。しかし、側壁導坑先進工法は、導坑断面形状が特殊で狭くなります。導坑以外の加背も狭小断面となり、機械の選択に制約を生じ、掘削の施工性が悪く、結果、断面閉合の時期が遅くなります。20m区間の試行区間において側壁導坑先進工法の施工をし、これらのことを実証して、FEM解析での地表沈下が約20%少なくなるという結果も踏まえて、代替案として頂設導坑先進工法を提案し承認されました。

当初導坑は80～100m先進する計画でしたが、掘削してみると導

坑内の路盤の維持が大きな障害となったため、先進距離を10～15mと短縮しました。

その結果、導坑内の路盤維持作業は必要がなくなりました。導坑断面から早期に上半断面へ切掛け掘削をし、仮閉合できたので、沈下抑制の面でも大きな効果がありました。

途中、砂質土優勢地山のため注入式フォアパイリングのみでは切羽の自立が困難な箇所も数か所ありました。そこでは、薬液注入工を行いました。導坑先行距離を短く掘削していたので、注入用の基地としても広く利用でき、円滑に進めることができました。

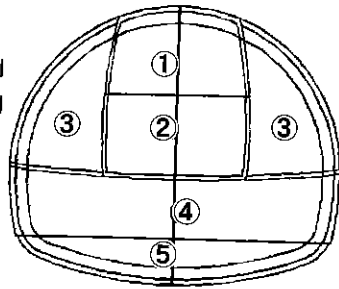
頂設導坑先進工法への変更は、発注時の考え方を根本的に変えるということで、発注者からの承諾を得るのに困難なところもありました。しかし、手順を踏み変更に必要な資料をそろえ、利点をわかりやすく説明して理解していただけたと思います。



阪奈トンネル大阪側坑口付近

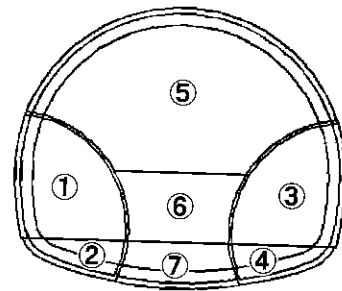
頂設導坑先進工法

- ①頂設導坑上半掘削
- ②頂設導坑下半掘削
- ③上半切詰め掘削
- ④下半掘削
- ⑤インパート掘削

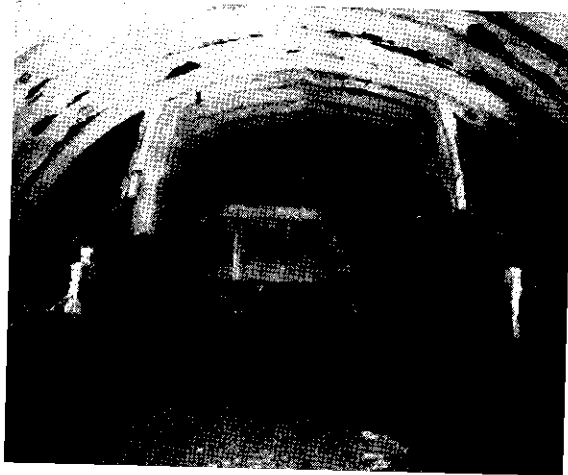


側壁導坑先進工法

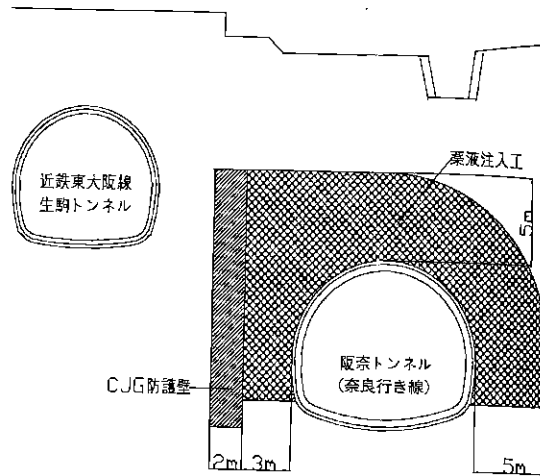
- ①③側壁導坑掘削
- ②④側壁導坑インパート掘削
- ⑤上半掘削
- ⑥下半掘削
- ⑦インパート掘削



阪奈トンネル掘削工法比較



阪奈トンネル頂設導坑掘削



阪奈トンネル・生駒トンネル近接部

■奈良行き線坑口部の施工

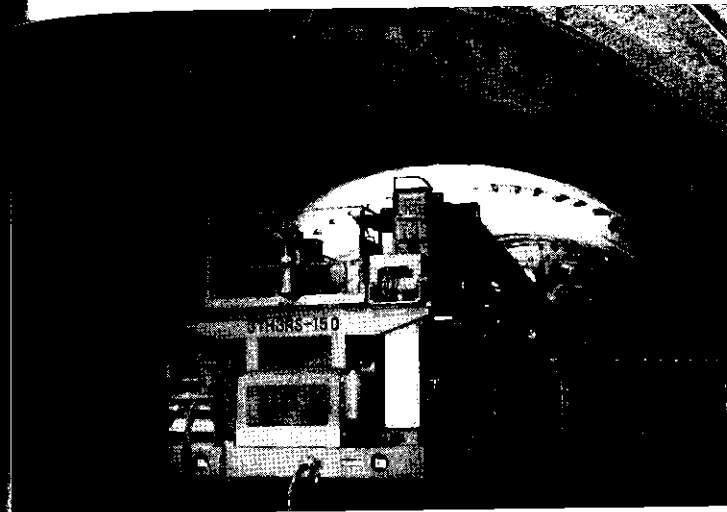
鉄道トンネルと阪奈トンネル奈良行き線の超近接部では、鉄道トンネル側にC/JG(コラムジェットグラウト)工法で幅2mの防護壁を設け、また、掘削トンネル周りを薬液注入で地盤改良をし、トンネル掘削の鉄道トンネルへの影響を遮断しました。鉄道トンネル内では軌道および鉄道トンネル構造物の沈下測定を主体とした計測を行いました。計測は自動計測と手動計測を組み合わせ、自動計測による常時監視体制としました。

この区間のトンネル掘削は上半先進工法で行いました。この間、

鉄道トンネル近接区間(100m間)の中央付近で、計測管理限界値に近い値が出た測点もありました。これは薬液注入工の穿孔および注水による地盤の攪乱に起因する地下水脈の変動の結果と推測されました。鉄道の運行への影響や、構造物に変状を与えたりする程度のもではありませんでした。対策工として鋼製支保工の連結、増しボルト、上半脚部の改良補強などを実施しました。この変位もトンネル全断面の閉合完了時点で収束しました。

1995(平成7)年1月17日の阪神淡路大震災の発生した朝一番に坑

内に入っていききました、もっとも心配だった鉄道トンネル近接区間も、全断面一次覆工の状態が断面閉合まで完了して被害はありませんでした。私はそれで安心していました。鉄道トンネルの担当者の方から、近接区間の二次覆工までの完了を最優先にするよう強く求められました。立場の違いによる安全に対する見方、考え方が異なることを改めて感じました。自らの考えの甘かったことを反省しながら、かなり遠い箇所まで覆工を進めているセントルを急遽移動して、近接区間の二次覆工を終わらせました。



阪奈トンネル長尺先受け工

■大阪層群・花崗岩境界断層付近の施工

大阪層群から花崗岩へ移行する区間は、土かぶり約50mで鉄道営業線の軌道の下を直交するかたちで通過し、その付近に断層破砕帯があることがわかっていました。ここでの補助工法として新たに開発したトンネル先受け工法を採用しました。当時アンブレラ工法を海外から取り入れ実施している現場もありましたが、阪奈トンネルでは独自に新しい工法を開発し、それを提案することにしました。

開発するにあたり、

- ① 汎用機で施工可能
- ② 軟弱地山から岩盤まで対応
- ③ 鋼管打込み精度の改善
- ④ 確実多様な注入

の4つの基本方針を掲げ、本社の技術開発部門と協力して取り組みました。その結果、パイロットビット、偏心リーマビット、ガイドデバイス、ウィングカップリングで構成されたOFFビットシステムを開発しました。これは、先端ビット

部で鋼管先端部を引張るように鋼管を挿入していくシステムで、鋼管を直接たく従来の方式と比較して鋼管に与える負担は格段に軽くなりました。ビットとしてボタンビットを使用することで硬岩に対しての穿孔も可能となりました。注入については従来の先受け工法では、口元注入方式がおもに実施されていましたが、阪奈トンネルにおいてはストレナーナ注入方式で超微粒子セメントと水ガラスの混合材料の注入も行いました。

このシステムの開発を契機として、長尺先受け工法が、その後、シリカレジンなどの注入技術の進化により、NATM補助工法のなかで重要な役割を今も担っていると思います。

■何よりも工程のための決断

岩盤区間に入ると道路供用開始時期決定への機運が一気に高まりました。その点で私たちにとって最大の問題は吹付けコンクリートでした。吹付けコンクリートについては、市街地である作業坑坑口

にバッチプラントを設置できず、コンクリート混練り設備と、5m³分の材料を2台のトラックに搭載して、坑内に持込み、切羽でコンクリートを製造するトラックマウント型のSEC方式を選択しました。このシステムの欠点は材料の補給の点で、切羽で材料がなくなると、2台の台車とも坑外へ補給に出なくてはならないことでした。

大阪層群区間では掘削進行もそれほど速くはなかったし、坑外までそれほど遠くなく、途中で材料補給が必要になっても対応できました。しかし、岩盤区間に入ると坑外まで遠くなり、掘進速度も速く、また多切羽(最大5切羽)になれば対応できないことが明確になってきました。

そのころ現場近くで閉鎖を考えている生コンプラントがあり、そのプラントから吹付けコンクリートを購入することにしました。ほぼ阪奈トンネル工事専用で、夜間も稼働でき、現場から専用のトラックミキサ車を出し現場に運搬しました。これで、吹付けに関する工程上の制約はなくなりました。おそらく、当初のままSEC方式で継続していれば工程上の重大なネックになっていたと思います。

SEC吹付けコンクリートシステムはこのトンネルで償却しなければならなかったもので、その点がかつとも大きな課題でした。しかし、このままでは機械償却の費用以上のコストが他面で発生すると確信し決断しました。決断したときは、少し無謀な気持ちもありましたが、職員たちの後押しも



阪奈トンネル貫通式

あり、自信が深くなりました。何よりも工程のための決断でした。よく決断したと今でも自賛しています。

当然、最終的には二次覆工が工程上のクリティカルパスになりますが、後工程との関連を検討しながら、セントルを長距離移動させて打設順序を変更するなどして、覆工に続く後工程優先の工程管理をして供用開始の目標達成ができました。

あ と が き

3つの工事の経験の一端をお話

してきましたが、このほかにも有峰発電所の水路トンネル工事で架設したケーブルクレーンや通動用ロープウェイ、大江山トンネルでのベルマウス型坑門の施工、掛川第三トンネルの坑口での地すべり対策やベルト式吹付け工法の開発など多くの興味深い経験をしました。どの現場でもいろいろな問題で、どうしたものか悩みぬいていました。しかし結果的には、そのすべてが解決しました。私はどちらかということ、問題から逃げようとするほうで、酒を飲んだりして問題を忘れようとしていました。

あるとき、生駒トンネル工事発注者の部長さんが「なべちゃん、問題は必ず時間が解決してくれるよ」と言われたのです。そうか、「自分ではもしかしたらこの問題は解決しないのではないか」と思って悩んでいたのだ。「必ず解決するのなら、こんなに悩む必要はない。自分ができること、自分がしなければならないことに今は最善を尽くして、時間が解決してくれるのを待とう」。こう思えるようになりました。管理者になり、間もない時期に本当に神様からの贈り物のような言葉でした。「解決しない問題はありません。時間が必ず解決してくれます。そのときまで、自分ができることに最善を尽くしてください」。

この拙文をお読みいただいている方々にもこの言葉をお贈りして、長い私の思い出話を終わります。

今、私は近畿建設協会でトンネル岩判定の担当として第三の人生を初めています。皆さんとどこかのトンネル現場でお会いすることがあるかもしれません。その機会が訪れることを楽しみにしています。

研究

トンネル建設が地すべり安全率に及ぼす影響に関する解析的研究

近畿大学理工学部社会環境工学科教授 久保 久
 (株)奥村組西日本支社土木第2部 主任 奥村 隆
 大阪府茨木市後地 4-1-1

① はじめに

本研究は既存すべり層の近辺にトンネルを建設する場合について、地すべり安全率を有限要素法(FEM)で算定する手法を提案することを目的とし、双曲線せん断強度低減法HSSRM(Hyperbolic Shear Strength Reduction Method)を考察したので紹介する。

弾塑性解析において解が収束しなくなる状況から地すべり発生を判断し安全率を算定する従来手法に対して、提案手法では安定的に得られる弾塑性解析変位から安全率が算出される。すべり層やトンネルが存在しない斜面に対して行った従来手法による解析結果と提案手法の結果を比較することにより、またトンネルがすべり層の下方または上方に建設される斜面に対して行った遠心力載荷模型実験の結果と提案手法の結果を比較することにより、提案手法の妥当性を確認した。

② 従来の地すべり安全率算定手法とその課題

従来、地すべり安全率を算定する手法として、弾塑性FEMによるせん断強度低減法^{1)~5)}SSRM(Shear Strength Reduction Method)が知られている。そこでは、地盤の破壊が粘着力 c 、摩擦角 ϕ を有するMohr-Coulombの破壊基準式

$$\tau = c + \tan \phi \quad (1)$$

に従う場合、この強度定数を強度低減パラメータ F で除して次式のように表現しておき、

$$c^* = c/F \quad (2)$$

$$\phi^* = \tan^{-1}(\tan \phi / F) \quad (3)$$

これらの値を用いて解析した場合に地すべりが発生するときの F の値が、この地盤の地すべり安全率であるとしている。

まず、地盤が弾性状態を保つように小さい F の値を与えて解析する。すなわち、この場合には c^* 、 ϕ^* は大きな値となるので塑性領域は発生しないことになる。次に、 F の値を徐々に大きくしていけば c^* 、 ϕ^* の値は小さくなるので地盤に塑性領域が発生するようになり、ある F の値で地すべりが発生することになる。このときの F の値がこの地盤の地すべり安全率である。

ただしこの場合、地すべりが発生する現象を解析結果から判断する必要があるが、それを達成するために例えば以下の3つの考え方がある。

- ① 解が収束しなくなる状況から地すべり発生を判断する方法
- ② 変位急増時を地すべり発生と判断する方法
- ③ 塑性領域がすべり層全域に発達したときを地すべり発生と判断する方法

①の方法では以下の3点の課題がある。すなわち、

- a) 解析プログラムのアルゴリズム、収束判定条件、くり返し制限回数などの違いによっ

て、得られる結果が影響を受ける点

- b) F の値が真の安全率に近づくにつれて収束に要するくり返し回数が格段に増加し、収束を成し遂げるのがより困難になってくる⁹⁾点
- c) 複雑なモデルでは計算時間が長時間になる⁹⁾点が指摘される。

②の方法は解が収束しなくなる状況に由来することから、①と同様の課題が生じるとともに、地すべり発生を判断する変位の値そのものが解析者によって異なるという点が指摘される。

③については、すべり層全域に塑性領域が発達する状況は地すべり発生の必要条件ではあるが十分条件ではない⁹⁾という点が指摘される。

解が収束しなくなる状況から地すべり発生を判断し安全率を算定する従来手法に比較して、安定的に得られる変位から地すべりの発生を判断し安全率が算定できれば、解析がきわめて容易になるという長所が認められる。そこで、次章においてはこのような地すべり安全率算定手法を提案することにする。

3 地すべり安全率算定手法の提案

提案手法では強度低減パラメータと通常の弾塑性FEM解析で求められる変位の関係を双曲線関数でいったん表現しておき、次に地すべり発生時に変位が無限大になるという数学的条件をこの関数に適用して安全率が算定される。以下にその手順を示す。

3-1 強度低減パラメータ F と変位 u の関係

図-1の地盤モデルの点Aの位置において、地盤に重力を作用させることにより発生する水平変位と鉛直変位の合成変位 u を算出することを考える。まず、小さな F の値を式(2), (3)に代入して求めた c^* と ϕ^* を用いて解析を行い、点Aの変位 u を算出する。その後、 F を少しずつ増加させて解析を行い、同じように点Aの u を算出する。このように求められた結果を表記すると図-2のような結果が得られる。

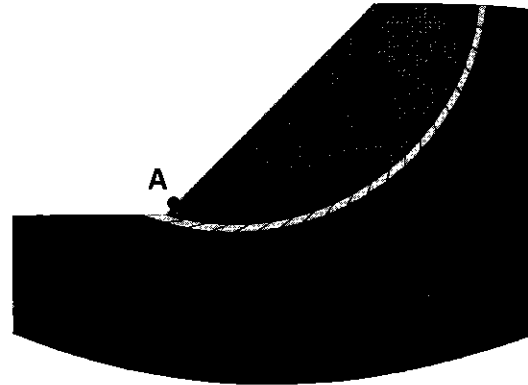


図-1 地盤モデルと変位計測点A

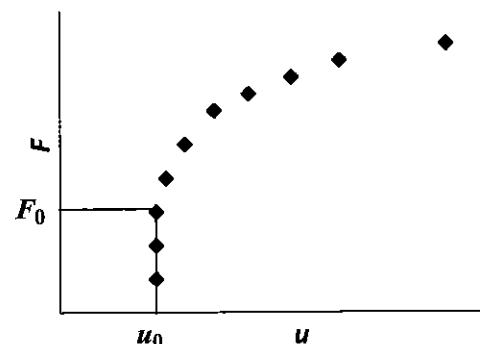


図-2 変位 u と F の関係

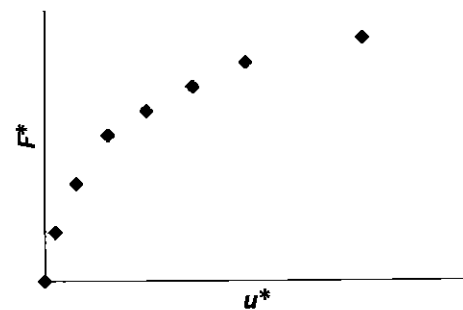


図-3 u^* と F^* の関係

F がある F_0 の値(図-2参照)を超過するとすべり層に塑性領域が発生し始めることから、 u が非線形的に増加し始める。ここで、 F_0 に対応する変位を u_0 とすれば次式の座標変換により図-3のような結果が得られる。

$$F^* = F - F_0 \quad (4)$$

$$u^* = u - u_0 \quad (5)$$

3-2 双曲線関数による近似

図-3のプロットを次式に示す双曲線関数によって近似することを考える。

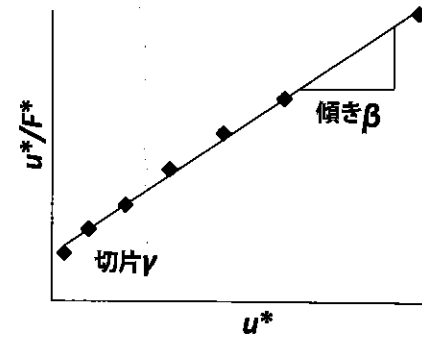


図-4 u^* と u^*/F^* の関係

$$F^* = \frac{u^*}{\gamma + \beta u^*} \quad (6)$$

ここに、 γ , β はのちほど決定される定数である。式(6)を変形して次式を得る。

$$\frac{u^*}{F^*} = \gamma + \beta u^* \quad (7)$$

式(7)の関係を考慮して、横軸 u^* 、縦軸 u^*/F^* の座標上に解析結果をプロットすると図-4が得られる。このプロットを直線近似することより切片 γ 、傾き β を求めることができる。

地すべりが発生する場合には変位 u^* の値は無限大になる、という条件を式(6)に適用して次式を得る。

$$F^* = \frac{1}{\beta} \quad (8)$$

これより、地すべり安全率 F_s の値は式(4), (8)から次式のように決定される。

$$F_s = F_0 + \frac{1}{\beta} \quad (9)$$

4 斜面安全率の従来手法による解析結果と提案手法の結果の比較

Zienkiewiczら¹⁰⁾はすべり層やトンネルの存在しない図-5に示す斜面の安全率をせん断強度低減法により求めている。

ここでは解が収束しなくなる状況から安全率が算定されている。そこで、本提案手法により図-5の斜面の安全率を求めてZienkiewiczらの結果と比較することとする。

なお、使用した地盤の入力定数はZienkiewicz

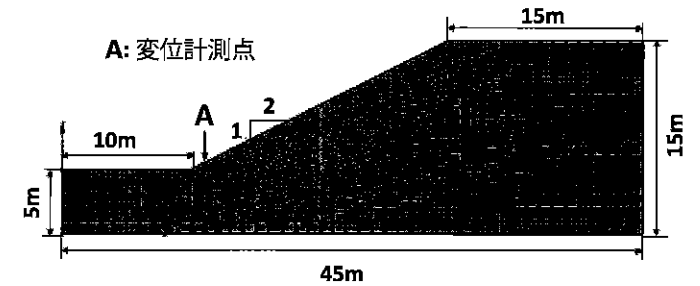


図-5 斜面の幾何関係

表-1 解析における入力パラメータの値

E (kN/m ²)	ν	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
2×10^8	0.25	20	10	20

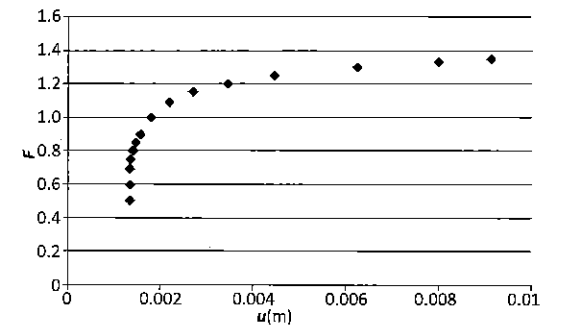


図-6 u と F の関係

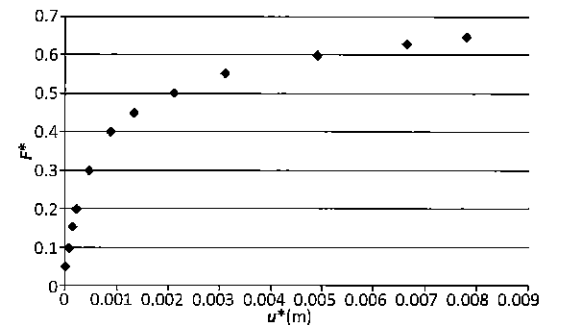


図-7 u^* と F^* の関係

らが使用した表-1の値と同一である。ここに、 E , ν , γ はそれぞれ地盤の弾性係数、ポアソン比、単位体積重量である。

まず、図-6は図-5に示す変位計測点Aの変位 u と強度低減パラメータ F の関係である。図-6から、 $F_0=0.70$ を超過すると変位が非線形的に増加するので、 $F_0=0.70$ のプロット値を基準にして座標変換し、 u^* と F^* の関係を示せば図-7が得られる。

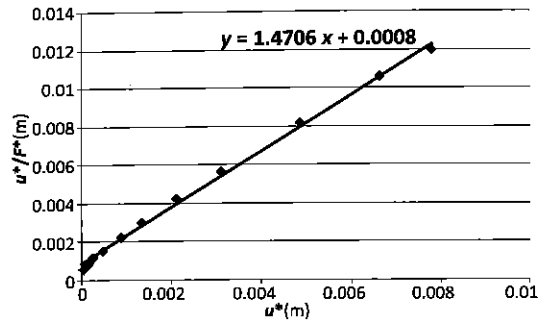


図-8 u^* と u^*/F^* の関係

次に、この関係を u^* と u^*/F^* の関係でプロットし直し、この関係を直線近似して図-8が得られる。ここに、プロット値の相関係数 R は0.99であり、 u^* と u^*/F^* の間には強い線形性が認められる。この結果から直線の勾配 $\beta=1.47$ が得られ、安全率 $F_s = F_0 + 1/\beta = 1.3803$ となる。

一方、Zienkiewiczらが得た安全率は1.38~1.39の間にあるとしており、本解析結果はこれに一致する。このことから、すべり層の存在しない斜面の安全率を提案手法で算定できることが理解できる。

5 遠心力载荷模型実験による提案手法の検証

すでに行った遠心力载荷模型実験の結果⁹⁾とその実験に対する提案手法による解析結果とを比較することにより、提案手法の妥当性を検証する。すなわち、遠心力载荷模型実験による地すべり発生時の加速度の値とそのときの安全率の値を用いて、提案手法の精度を明らかにする。

なお、検討対象地盤の斜面下方にはすべり層が設けられており、トンネルが存在しない場合、トンネルがすべり層の下方(2ケース)または上方に存在する場合の合計4ケースの実験に対して、提案手法による解析を実施する。

5-1 実験概要

本実験⁹⁾では模型地盤に作用させる遠心加速度の値を徐々に増加させることにより地盤に地すべりを発生させており、地すべり発生時の加速度、および地すべり発生前後の地盤の変位ベクトルと

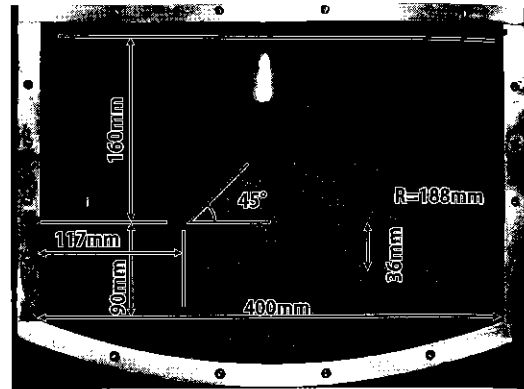


写真-1 地盤幾何形状

せん断ひずみが測定されている。

5-1-1 模型地盤

作成した地盤の一例を写真-1に示す。本実験では厚さ6mm、半径 $R=188$ mmの円弧状のすべり層を設けている。すべり層の地盤材料はベントナイト、すべり層を挟んで存在する上下部の地盤の材料は珪砂5号である。使用地盤の強度特性は一面せん断試験で求められている。

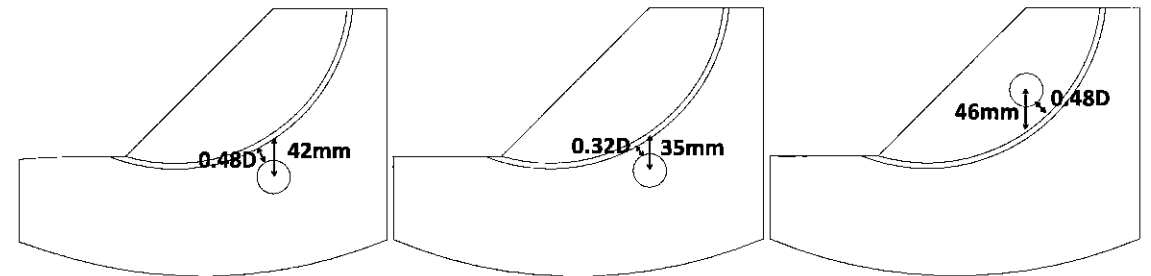
実験中に地盤材料の含水比が低下し、その強度が変化するのを避けるために、トンネルには厚さ0.09mmのポリエステルシートを2重にしてトンネル内壁に設置している。

5-1-2 地すべり発生時の加速度の測定方法

ビデオカメラで撮影した画像を粒子画像流速測定法(PIV)に適用して地盤の変位ベクトル、およびせん断ひずみを算出している。これらの実験結果によれば、ある特定の遠心加速度の値に達するとすべり層全域にせん断ひずみが大きく発達するとともに、すべり層を境にしてこれより上部の地盤全体に変位ベクトルが発達することから、この時点で地すべりが発生したと判断されている。また、このときの加速度を地すべり発生時の加速度と定義している。

5-1-3 実験条件

トンネルが存在しない場合をケース1、トンネルがすべり層の下方に離れて存在する場合をケース2、接近して存在する場合をケース3、トンネルがすべり層の上方に存在する場合をケース4とする。トンネル中心は斜面上端のコーナー下方に



(a) ケース2のトンネル位置 (b) ケース3のトンネル位置 (c) ケース4のトンネル位置

図-9 すべり層とトンネルとの位置関係

表-2 実験条件

ケース	1	2	3	4
トンネル	なし	あり	あり	あり
Y(mm)	—	42	35	46
Y/D	—	1.17	0.97	1.28
土かぶり(mm)	—	165	157	71
地盤密度(g/cm ³)	1.46	1.46	1.46	1.46
地盤の相対密度	0.64	0.64	0.64	0.64

Y: トンネル中心からすべり層までの鉛直距離
D: トンネル直径(36mm)

表-3 解析で使用するパラメータの値

	地盤	すべり層
ポアソン比 ν	0.38	0.45
弾性係数 E (kPa)	7,887	844
単位体積重量 γ (kN/m ³)	20.0	16.0
粘着力 c (kPa)	19.8	3.5
摩擦角 ϕ (°)	34.4	7.9

ここに、 $\sigma_c = (2c \cos \phi) / (1 - \sin \phi)$ であり、 c 、 ϕ は一面せん断試験で測定された値を用いる。

以上で決定した解析入力データをまとめて表-3に示す。トンネル内壁に設置しているポリエステルシートの弾性係数は8,530MPa、ポアソン比は0.26である。ポリエステルシートの存在が安全率に及ぼす影響については、のちほど考察する。

5-2-2 解析で作用させる加速度の値の決定手法

実験では、供試地盤に与える遠心加速度の値を徐々に増加させることにより、最終的に地すべりを発生させている。そこで、実験において地すべりが発生したときの加速度の値を解析地盤に作用させることとし、その条件下で提案手法により地すべり安全率を算定する。この値と実験での地すべり安全率とを比較することとする。

ところで、遠心力载荷模型実験では、地盤に発生する加速度の値はドラム中心から着目する任意地盤位置までの距離の違いによって変化することになる。一方、解析では地盤に一定の加速度を与えることになる。そこで模型地盤の代表的な位置として地盤重心位置を選定し、そこにおける地すべり発生時の遠心加速度の値を実験から求めておき、その値を解析地盤に適用して安全率を算出することとする。

位置しており、各ケースのトンネル位置を図-9に、4ケースの実験条件を表-2に示す。

5-2 解析条件

斜面安定問題を弾塑性FEMで解析する際において、ダイレイタンシー角の値は安全率の算定においてあまり影響せず^{9), 10)}、関連流れ則を適用する場合と非関連流れ則を適用する場合で安全率の差は小さい^{9), 10)}ことから、以下では地盤材料は関連流れ則に従う弾完全塑性体であると仮定して解析する。本解析は表-2に示す4ケースの実験に対して実行する。

なお、すべり層を境にして地すべりの発生が想定されるので、すべり層の地盤のみに対して強度を変化させ、本手法を適用する。

5-2-1 入力データ

弾性パラメータの値は地すべり発生前の変形に強い影響を及ぼすが、安全率の算定にはあまり影響を与えない⁹⁾ことが知られている。ここでは地盤の弾性係数 E は一軸圧縮強度 σ_c から次式によって決定した^{10), 11)}。

$$E = 105 \sigma_c \quad (10)$$

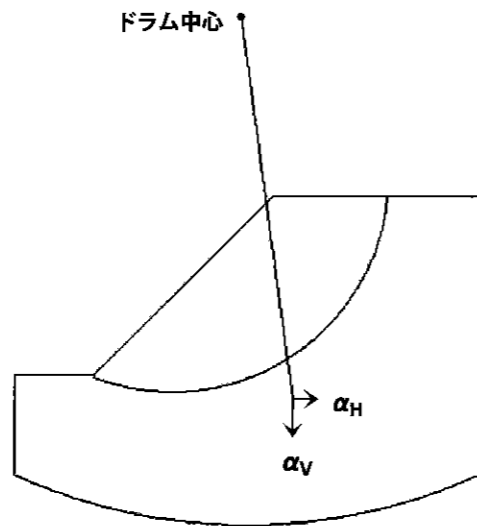


図-10 解析で作用させる加速度の方向

表-4 地盤重心位置における地すべり発生時の加速度の値(G:重力加速度)

ケース	ドラムの放射方向 加速度(G)	水平成分加速度 α_H (G)	垂直成分加速度 α_V (G)
1	15.28	1.32	15.22
2	13.01	1.08	12.97
3	11.48	0.94	11.44
4	13.34	1.05	13.30

なお、重心位置における遠心加速度はドラムの中心から放射方向に作用するので、この加速度の値を図-10に示すように地盤上部の水平地面上に平行な成分(α_H)と垂直な成分(α_V)に分解しておく、これらを解析地盤の同方向にそれぞれ作用させている。

ケース1~4の各実験で測定された地すべり発生時の地盤重心位置における放射方向加速度、およびその水平成分加速度(α_H)、垂直成分加速度(α_V)をまとめて表-4に示す。これによれば、トンネルがすべり層に接近しているケース3の地すべり発生時の放射方向加速度の値はトンネルがないケース1の場合の75%であり、地すべり発生時の加速度の値がトンネルの存在の影響を強く受けていることが理解できる。

5-3 解析結果と実験結果の比較

模型実験において地すべりが発生したときの安

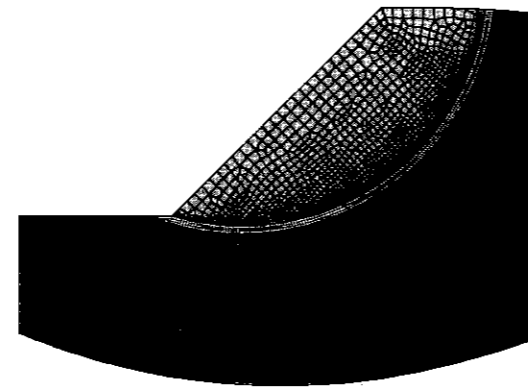


図-11 ケース1のFEM地盤モデル

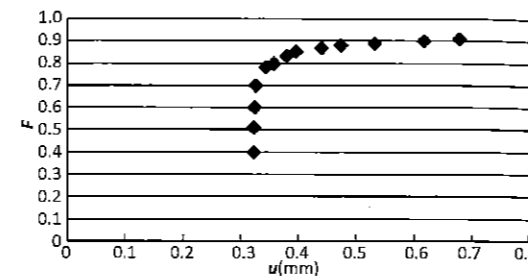


図-12 ケース1の変位uとFの関係

全率は1.0を少し下回る値と考えられるので、ここではこの値を0.99と定義する。実験で地すべりが発生したときの加速度の値(表-4)を解析地盤に適用しているので、この条件下で求められる解析安全率が0.99になれば解析安全率は実験安全率に一致したと判断できる。

以下では、実験と解析の安全率を比較して、解析手法の精度を明らかにする。なお、変位計測点はいずれの解析においても斜面下端付近地表点(例えば図-1のA点)としている。

5-3-1 各ケースの解析安全率の値

(1) ケース1の場合

ケース1の実験地盤のFEM要素分割図を図-11に示す。図-12にuとFの関係を、図-13にu*とF*の関係を示す。

これより $F_0=0.51$ が得られる。実規模サイズの図-5の地盤の場合には、図-6に示すようにu*の値はF*の増加とともに明瞭に増加するのが見て取れるが、本模型実験に対する図-13の解析結果では、F*の値が当初増加してもu*の増加は非常に少ないという特徴が確認できる。この現象はほ

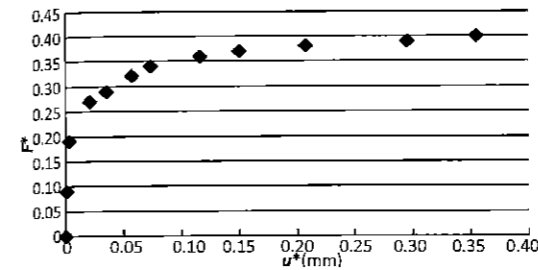


図-13 ケース1の変位u*とF*の関係

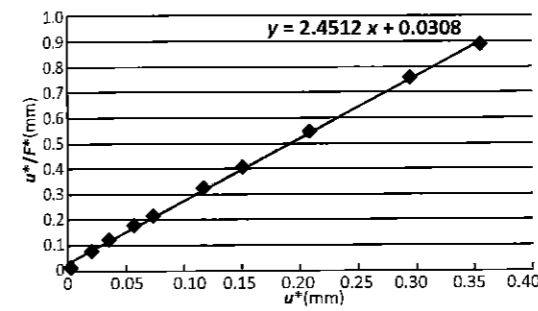


図-14 ケース1のu*とu*/F*の関係

かの模型実験に対する解析でも同様であった。

図-14はu*とu*/F*の関係であり、これより直線の傾き $\beta=2.45$ が得られるので、式(9)より安全率 $F_0=0.92$ となる。

(2) ケース2の場合

ケース2の実験地盤のFEM要素分割図を図-15に示す。図-16にuとFの関係を、図-17にu*とF*の関係を示す。これより $F_0=0.54$ が得られる。図-18より $\beta=2.33$ が得られるので、式(9)より $F_0=0.97$ となる。

(3) ケース3の場合

ケース3の解析結果を図-19, 20に示す。図-19より $F_0=0.61$ 、図-20より $\beta=2.52$ が得られるので、 $F_0=1.01$ となる。

(4) ケース4の場合

ケース4の解析結果を図-21, 22に示す。図-21より $F_0=0.60$ 、図-22より $\beta=2.55$ が得られるので、 $F_0=0.99$ となる。

5-3-2 解析安全率の精度の検討

解析結果と実験結果から解析安全率の誤差 E_r を求め、その結果を表-5に示す。なお、 E_r は次式で定義している。

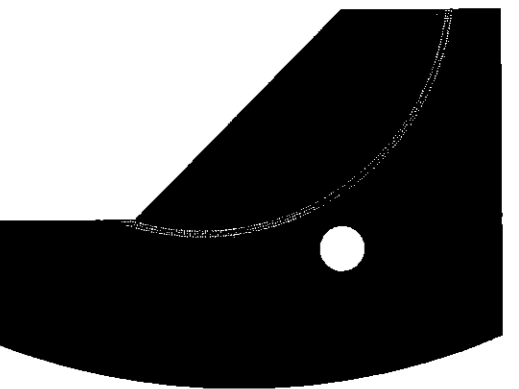


図-15 ケース2のFEM地盤モデル

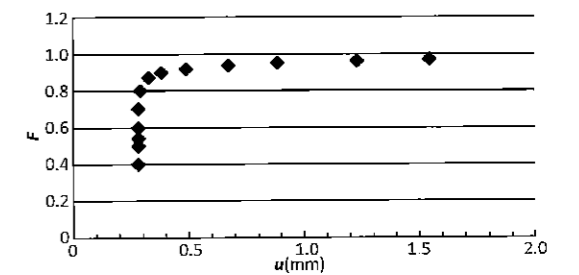


図-16 ケース2の変位uとFの関係

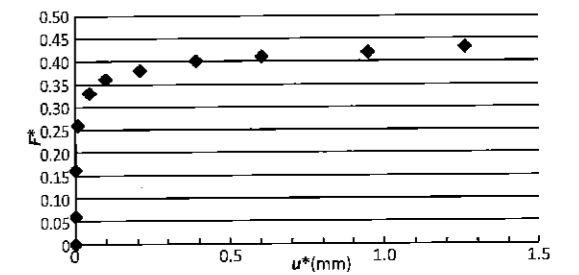


図-17 ケース2の変位u*とF*の関係

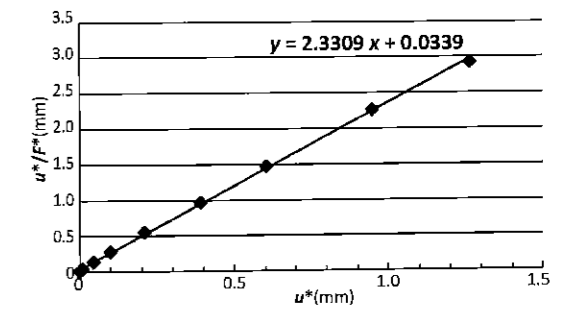


図-18 ケース2のu*とu*/F*の関係

$$E_r = \frac{|F_{sa} - F_{sa}|}{F_{sa}} \times 100(\%) \quad (11)$$

ここに、

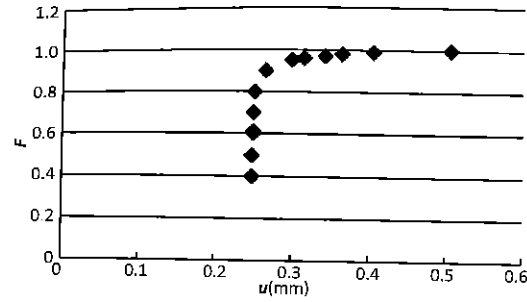


図-19 ケース3の変位 u と F の関係

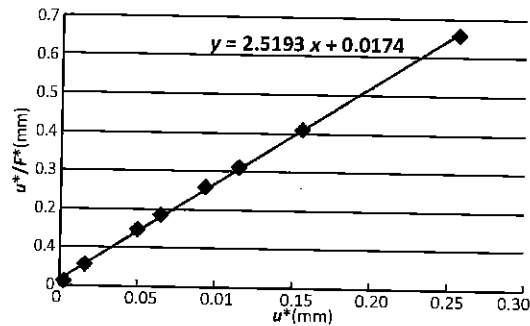


図-20 ケース3の u^* と u^*/F^* の関係

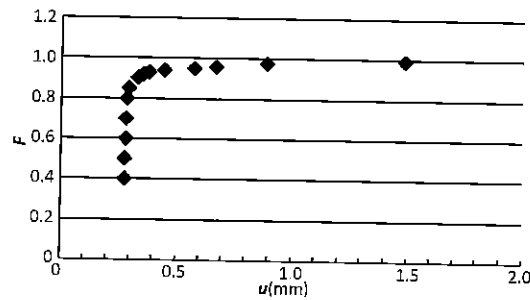


図-21 ケース4の変位 u と F の関係

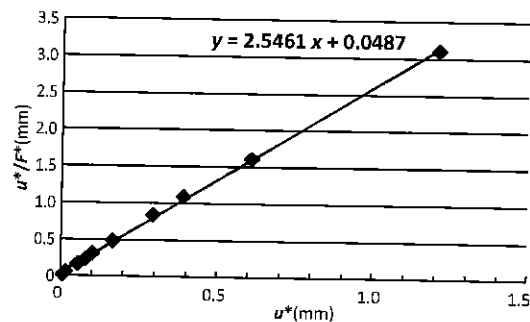


図-22 ケース4の u^* と u^*/F^* の関係

F_{sc} = 実験において地すべりが発生したときの安全率(すべて0.99)

F_{sa} = 解析安全率

表-5 解析誤差一覧表

	安全率		解析誤差 E , (%)
	解析	実験	
ケース 1	0.92	0.99	7.1
ケース 2	0.97	0.99	2.0
ケース 3	1.01	0.99	2.0
ケース 4	0.99	0.99	0.0
平均値	—	—	2.78

表-5を見れば4ケースの解析安全率の平均誤差は2.78%であり、本提案手法は工学的に十分な精度で地すべり安全率を算定できることが理解できる。

解析安全率が高い精度で算定できた理由は、 u^* と F^* の関係を双曲線関数により適正に表現できた点にあるといえる。すなわち、4ケースの u^* と u^*/F^* の関係から相関係数 R を求めれば、いずれのケースにおいても $R=0.99$ が得られた。この結果からして、 u^* と u^*/F^* は強い線形関係が認められ、したがって式(6)の双曲線関数は u^* と F^* の関係をかなり正確に表現していると言える。このことから、変位が無限大になるときの F の値として求められる安全率が適正に算定されたものと思われる。

ケース2の解析においてポリエチレンシートが存在を無視し、トンネルが素掘りの状態にあるとして解析安全率を求めると $F_{sc}=0.96$ となった。ここでポリエチレンシートがある場合の $F_{sc}=0.97$ の値から、これがない場合の F_{sc} の値を差し引いた値 ΔF は0.01となる。また ΔF の値はケース3で0.01、ケース4で0.00であった。このことから、本実験で使用したポリエチレンシートの存在は解析安全率算定においてほとんど影響を与えていないことが理解できる。

6 解析安全率に及ぼす変位計測点の位置の影響

変位計測点の選択位置が本解析安全率に及ぼす影響について以下に検討する。

トンネルとすべり層の存在しない図-5の斜面について、斜面中央地表点を計測点に選択した場合

の安全率を求めれば1.41が得られた。4章で求めた斜面下端付近地表点(図-5のA点)での安全率が1.38であり、この結果がZienkiewiczらの結果に一致するので、この値を基準にして求めた上記の誤差は2.2%である。変位計測点の選択位置により解析結果が若干影響を受けているのが理解できる。

次に、模型実験のケース4において、斜面中央地表点を変位計測点として算出した安全率は1.01であった。斜面下端付近地表点で求められた安全率は0.99であり、この結果は実験結果に一致している。この値を基準にして上記の安全率の誤差を求めれば2.0%が得られる。

以上の結果から、本提案手法で求められる安全率は変位計測点の位置の影響を若干受けるが、この誤差の程度は実務においては問題ないと思われる。また、本解析結果からすれば斜面下端付近地表点を変位計測点に選択した場合で良好な結果が得られることがわかる。

7 結論

トンネルが既存すべり層の近辺に建設される場合について、地すべり安全率を弾塑性解析により算定する手法を提案した。本手法では、従来提案されているせん断強度低減法で用いられる強度低減パラメータと発生変位との関係を双曲線関数でいったん表現しておき、次にこの関数に地すべり発生条件、すなわち地すべりブロックの変位が無限大になるという数学的条件を適用して安全率が算定されている。安定的に得られる解析変位から安全率が得られる点、および安全率算定手法がきわめて容易である点が本手法の特徴といえる。

提案手法の妥当性については、すべり層やトンネルの存在しない斜面に対して行った従来手法の解析結果と提案手法の結果を比較することにより、またすべり層およびトンネルが存在する斜面に対して行った遠心力荷重模型実験の結果と提案手法の結果を比較することにより、本手法が工学的に

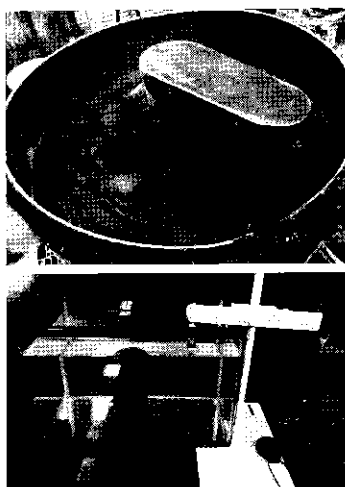
満足できる精度で地すべり安全率を算定できることを確認した。

参考文献

- 1) Zienkiewicz, O. C., Humpheson, C. and Lewis, R. W.: Associated and non-associated visco-plasticity and plasticity in soil mechanics, *Geotechnique*, Vol.25, No.4, pp.671-689, 1975.
- 2) 鶴飼恵三: 弾塑性FEMによる斜面の全体安全率の計算法, 土質工学会論文報告集, Vol.29, No.2, pp.190-195, 1989.
- 3) Matui, T. and San, K-C.: Finite element slope stability analysis by shear strength reduction technique, *Soils and Foundations*, Vol.32, No.1, pp.59-70, 1992.
- 4) Dawson, E. M., Roth, W. H. and Drescher, A.: Slope stability analysis by strength reduction, *Geotechnique*, Vol.49, No.6, pp.835-840, 1999.
- 5) Griffiths D. V. and Lane, P. A.: Slope stability analysis by finite elements, *Geotechnique*, Vol.49, No.3, pp.387-403, 1999.
- 6) Cala, M., Flisiak, J. and Tajdus, A.: Slope stability analysis with modified shear strength reduction technique, 9th Int. Symp. on Landslides, Landslides; Evaluation and Stabilization, pp.1085-1090, 2004.
- 7) Zheng Y., Tang X., Zhao S., Deng C. and Lei W.: Strength reduction and step-loading finite element approaches in geotechnical engineering, *Journal of rock mechanics and geotechnical engineering*, Vol.1, No.1, pp.21-30, 2009.
- 8) 久武勝保・大野司郎・鈴木啓介・小林高: トンネル建設が地すべり挙動に及ぼす影響に関する実験的研究, トンネルと地下, Vol.44, No.9, pp.47-54, 2013.
- 9) Hammah R., Yacoub T., Corkum B. and Curran J.: A comparison of finite element slope stability analysis with conventional limit-equilibrium investigation, In Proc. 58th Canadian Geotechnical Conference, Saskatoon, Canada, 2005.
- 10) 久武勝保・竹山喬・伊藤富雄: 双設シールドトンネルによる地表面沈下の算定手法とその現場への適用, 土木学会論文報告集, No.332, pp.75-83, 1983.
- 11) 土木学会: 実務者のための山岳トンネルにおける地表面沈下の予測評価と合理的対策工の選定, 土木学会トンネルライブラリー, No.24, p.112, 2012.

工法・技術・製品ニュース

製品 エコマックス Type Pを開発



材料製造状況(上)
水中分離抵抗性試験(下)

■技術
(株)熊谷組
土木事業本部インフラ再生事業部
Tel 03-3235-8646
■製品
(株)ファテック開発営業部
Tel 03-3235-6268

熊谷組は、ファテックと共同で、可塑性注入材をプレミックス化した「エコマックスType P」を製品化したと発表した。

同品は、トンネルの覆工背面や各種構造物の基礎の下部などの空洞に充填する材料として使用される可塑性注入材。2007年に同社で開発された可塑性注入材「エコマックス」の混和剤を粉体化し、小規模施工用に袋詰め(25kg/袋)したもの、フライアッシュを大量に使用しており、現場で所定の水を加えてミキサ(100または200L)で混合、攪拌するだけで利用できる。材料はモルタルポンプで圧送し、空洞に充填する。20m程度の圧送が可能。

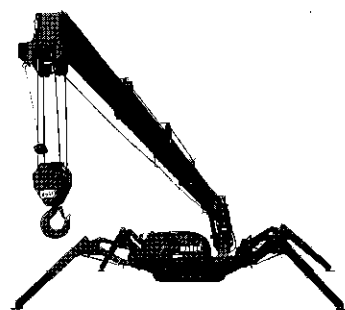
これまで、小規模な空洞充填工事に使用されてきた発泡ウレタンよりも品質が安定し、耐久性に優れた材料となっている。また、可塑性、水中分離抵抗性を有するため、限定注入が可能であり、水の豊富な環境で

も施工が可能。プレミックス材料は工場で製造されるため品質は安定しており、現場での計量は水だけであるため施工性が良い。圧縮強度(材齢28日)は3~4N/mm²で、セメント系の材料であるため耐久性もある。

圧縮強度が同程度である発泡ウレタン(12倍発泡)と比較すると、エコマックスType Pは材料費で2~3割、施工費も含めた施工単価(材工)は1割程度安価になるとしている。

今後は、さらなる改良を加えて水中での施工性を向上させ、施工中に劣化した構造物への負荷を少なくするために軽量化を図るほか、鉄道の営業線における夜間作業などでも適用できるよう早強性を有する材料や、トンネル覆工の背面や構造物基礎の下部の空間充填材としてだけでなく構造物の補強材料として併用できるよう高強度の材料をラインアップする予定としている。同品の製造・販売は(株)ファテックが行う。

製品 クラス最強かにクレーン



かにクレーンMC295C

(株)前田製作所産業機械本部
産機事業部営業部販売促進課
Tel 026-292-2228
e-mail: maedasp@maesai.co.jp

前田製作所は主力商品の「かにクレーン」MC285Cのモデルチェンジ機、MC295Cの発売を開始したと発表した。

仕様は、クレーン容量が2.98t×1.4m、最大作業半径が8.425m、地上揚程が8.9mと国内の同クラスでは最強のマシンとなっている。

負荷時もエンジン回転数が変動しない電子ガバナ付きのV型2気筒エンジンを搭載し、電波状況のわかる双方向ラジコンを標準装備したほか、走行2速モータを搭載した。機体幅も従来機に比べて60mm小さい。

価格は630万円(税別・希望小売価

格)となっている。

【おもな仕様】

全長 2750mm
全幅 690mm
全高 1400mm
機械質量 1770kg
巻上げ速度 9m/min
(4層4本掛け)

走行速度 1速 0~1.6km/h
2速 0~2.6km/h

安全装置 巻過警報装置、油圧安全弁、転倒警報装置、油圧自動ロック装置、水準器、玉掛けワイヤ外れ止め、警報ブザー

連載講座

山岳トンネル覆工の長寿命化技術(3)

—覆工コンクリートの品質向上技術(材料)—

「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、覆工コンクリートの品質を向上させ、ひいては覆工の長寿命化に資する材料面からのアプローチによる品質向上技術について紹介する。

NATM導入以降、覆工コンクリートの施工は、トンネルの全断面に型枠をセットして、コンクリートポンプによりコンクリートを圧送して打込む方式が主流となっている。側壁から肩部までは、型枠側部に設けられた作業窓からコンクリートを打込み、肩部から天端までのトンネルアーチ部は吹上げ方式(図-1)により打込む。

覆工コンクリートは、コンクリートの打込み箇所や締固め作業を行う箇所が限定されるとともに、狭小空間(一般的に覆工厚さ30cm程度)内で作業を行う必要がある(写真-1)ことから、他の構造物に比べ施工時の不具合が生じやすい構造物である。とくにアーチ部では、締固め不足によるコンクリートの密実性の低下や背面空洞の発生(写真-2)、ブリーディング水の巻込みやコンクリートの流動距離が長くなることによる材料分離の発生などが懸念されている。

また、これらの施工初期段階に生じる不具合は、供用後において、材料劣化や剝離・剝落事象などを生じさせる要因ともなっている(図-2)。

施工段階に生じる不具合への対策として、コンクリートの流動性を高くし、施工性を向上させる方法が挙げられる。現在、NEXCOが施工する高

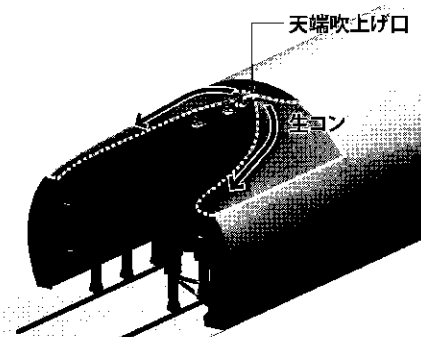


図-1 トンネルアーチ部吹上げ方式¹⁾



写真-1 側壁部・アーチ部の締固め状況²⁾



写真-2 端部充填不足²⁾

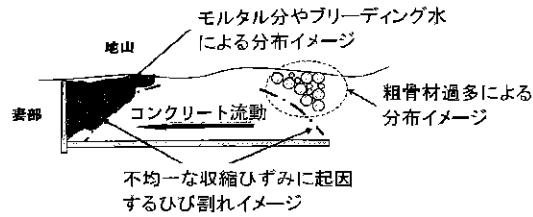


図-2 剥落事象のイメージ

速道路の覆工コンクリートでは、従来の覆工に用いられていたスランプ15cmのコンクリートに代わり、流動性を高めた中流動覆工コンクリートが標準仕様として適用されている^{3),4)}。

また、整備新幹線においても、充填性を高めたコンクリート「高充填コンクリート」の開発が進められており、トンネル覆工の品質向上に寄与するものと期待されている⁵⁾。

剥落防止対策としては、繊維補強コンクリートを使用する方法、綿状の繊維を混入する方法、型枠面に連続繊維シートを設置しておき覆工コンクリートを施工する方法などが挙げられる。繊維補強コンクリートに用いられる繊維には鋼繊維と非鋼繊維がある。鋼繊維は覆工に力学的機能を付加する際に多く用いられ、供用後のコンクリートの剥離・剥落の防止には非鋼繊維が用いられることが多い。

なお、シールドトンネルを中心として、耐火性を付与するために非鋼繊維を混入する手法も広く用いられている。

本稿では、高速道路で適用されている中流動覆工コンクリートと非鋼繊維を用いた繊維補強覆工コンクリートについて詳述する。

② 中流動覆工コンクリート

2-1 開発コンセプト

施工性に優れたコンクリートとしては、自己充填性を有した高流動コンクリート⁶⁾があるが、高い流動性を確保しつつ、材料分離抵抗性を確保するために粉体量を多くする必要があり、通常の覆工コンクリートに比べ製造コストが高くなり、また、コンクリートが液圧で型枠に作用するため、従来に比べ型枠の補強が必要となるなどの課題が

あった。

そこで、以下のコンセプトのもと、従来の覆工コンクリートと高流動コンクリートの中間的な性状を有する中流動覆工コンクリートが開発された。

- ① 一般のコンクリートプラント設備で製造できること
- ② 従前の施工機械・設備で施工でき、大規模な型枠補強を必要としないこと
- ③ 材料分離抵抗性と適当な流動性を有すること
- ④ 著しい(大幅な)高コストとならないこと
- ⑤ 型枠各所に設置した型枠バイブレータにより、コンクリートの締固めが行えること

2-2 配合決定のための基準

中流動覆工コンクリートの配合決定のための基準を表-1に示す。

中流動覆工コンクリートには、混和材として石粉や石炭灰を用いたもの(以下「粉体系」という)と高性能AE減水剤などの混和剤を用いたもの(以下「増粘剤系」という)がある。

中流動覆工コンクリートのフレッシュ時の性能を評価する試験項目には、スランプフロー試験、加振変形試験およびU形充填高さが定められている。

スランプフロー試験では、コンクリート自体の流動性を評価する。流動停止後に補助的に振動作用を加えることで、広範囲に流動できるように、スランプの範囲は21±2.5cmに設定され、そのスランプ範囲に対応したスランプフローの範囲が35~50cmに設定されている。

実際の覆工施工では、打込み・締固め作業において、コンクリートにはバイブレータによる振動が作用する。充填不良を防止するには、少ない振動エネルギーで充填できる性能が求められる一方で、振動作用に伴いブリーディング水の浮き上がりなどの材料分離が生じない性能も求められる。

そこで、配合を選定する段階において、実際にコンクリート試料に振動エネルギーを作用させて、コンクリートの広がりや材料分離の有無を評価できる加振変形試験を設けている。

表-1 中流動覆工コンクリートの配合決定のための基準⁷⁾の一部修正

種別	材齢28日における圧縮強度(N/mm ²)	粗骨材の最大寸法(mm)	スランプおよびスランプフロー(cm)	加振変形試験(cm)	U形充填性高さ(障害なし)(mm)	空気量(%)	セメントの種類	最低単位セメント量(kg/m ³)	単位水量(kg/m ³)	最大塩化物含有量(g/m ³)
粉体系	24	20 25	21±2.5 35~50	10秒加振後のスランプフローの広がり 10±3 加振後の広がったコンクリートにおいて、中央部に粗骨材が露出した状態を呈することなく周辺部に2cm以上のペーストや遊離した水の帯がないこと	280以上	4.5 ±1.5	普通ポルトランドセメント(ただし、石炭灰を用いた配合の場合は、高炉セメントは不可)	270	LS: 175 以下 FA: 180 以下	300
増粘剤系							普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種	320	175以下	300

加振変形試験は、図-3に示す装置において、スランプフロー試験を行ったあと、底版下面に設置したバイブレータにより、硬化後の中流動覆工コンクリートがもっとも密実に充填する状態となる最適振動エネルギー(3.7J/L)で10秒間加振し、加振後のスランプフローを測定する(写真-3)。本試験の基準範囲の選定の際に、さまざまな材料を用いたコンクリートでの試験方法の検討が行われ、加振変形試験後のスランプフローの変形量(加振による広がり)の基準が10±3cmに設定された。

また、「広がったコンクリートにおいて、中央部に粗骨材が露出した状態を呈することなく、周辺部に2cm以上のペーストや遊離した水の帯がないこと」を材料分離抵抗性の判定基準に設定している。

覆工施工における充填不良の発生を防止するには、コンクリート自体が高い充填性を有することが望ましい。そこで、中流動覆工コンクリートでは、土木学会の高流動コンクリート指針⁸⁾を参考に、障害鉄筋のない(無筋構造物)を想定した自己充填性のランクであるランク3の試

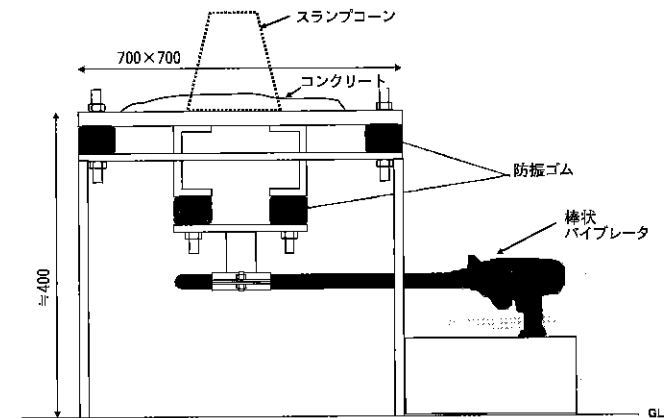


図-3 加振変形試験機概略図

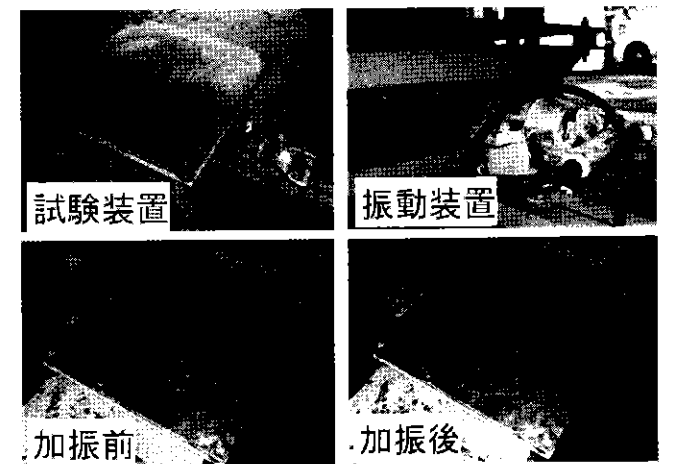


写真-3 加振変形試験状況

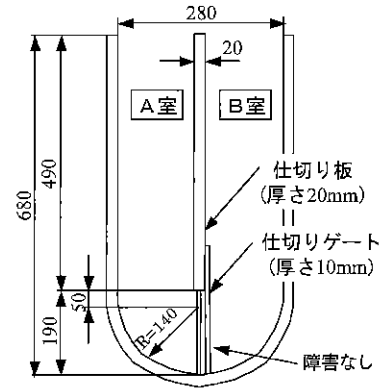


図-4 U形充填性高さ試験器概略図²⁾

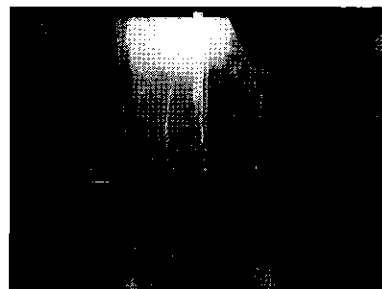


写真-4 U形充填性高さ試験状況

験条件で、充填高さが280mm以上であることを基準に加えている。試験装置の概要を図-4、写真-4に示す。

2-3 中流動覆工コンクリートの設計基準強度

中流動覆工コンクリートの仕様を決定する多くの試験の結果、適度な流動性を有しつつ、材料分離抵抗性を確保するには、従来の覆工コンクリートよりも単位粉体量を多くする必要があることが明らかとなった。

一方で、長期健全性の確保を目指し、単位水量は従来の覆工コンクリートの単位水量の限度推奨値のままとした。その結果、中流動覆工コンクリートの水セメント比は、従来の覆工コンクリートに比べて大幅に低減できることになり、実用上、材齢28日で30N/mm²以上の圧縮強度を確保できることになった。

水セメント比の低減は、覆工の品質を向上させ、トンネル構造物の耐久性向上に寄与するものである。そこで、中流動覆工コンクリートの設計基準強度(材齢28日の圧縮強度)は、事前の検証実験デー

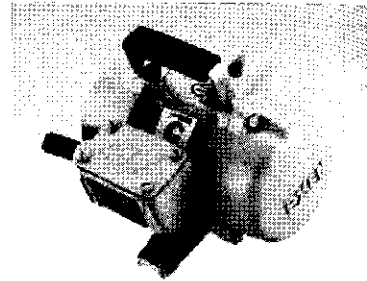


写真-5 型枠バイブレータ

タをもとに、施工条件などのばらつきを考慮して、従来の覆工コンクリートの18N/mm²から24N/mm²に引き上げることとした。

2-4 施工

中流動覆工コンクリートの特性を最大限引出すには、コンクリート自体の充填性を補助する程度に振動を与えることが重要である。また、前述のように、狭小区間内という厳しい作業環境を改善するには、型枠の外側から締め作業を行う方式に変更することが有効である。そこで、施工管理要領⁴⁾では、中流動覆工コンクリートの締めは、型枠各所に配置した型枠バイブレータ(写真-5)により行うことを基本としている。なお、セントルの構造上、スキンプレートやガントリーを介すると、型枠バイブレータによる振動エネルギーが変化・減少する場合もあるため、型枠に作用する振動エネルギーが最適締め振動エネルギーとなるように型枠バイブレータの設置間隔や設置台数を増減させ、振動数や振動時間を調整することが重要である⁷⁾。

2-5 効果

密実性を評価する透気係数と強度を評価するテストハンマーの反発度によりコンクリートの表層品質を確認した結果を図-5に示す。

中流動覆工コンクリートは、透気係数と反発度のバラツキが少なく、品質が高い領域内に測定結果が集中している。これは型枠バイブレータをシステムチックに使用できるため、作業員の技量や熟練度に左右されることなく、覆工全体にわたり安定した品質を確保できることも一因となっている。

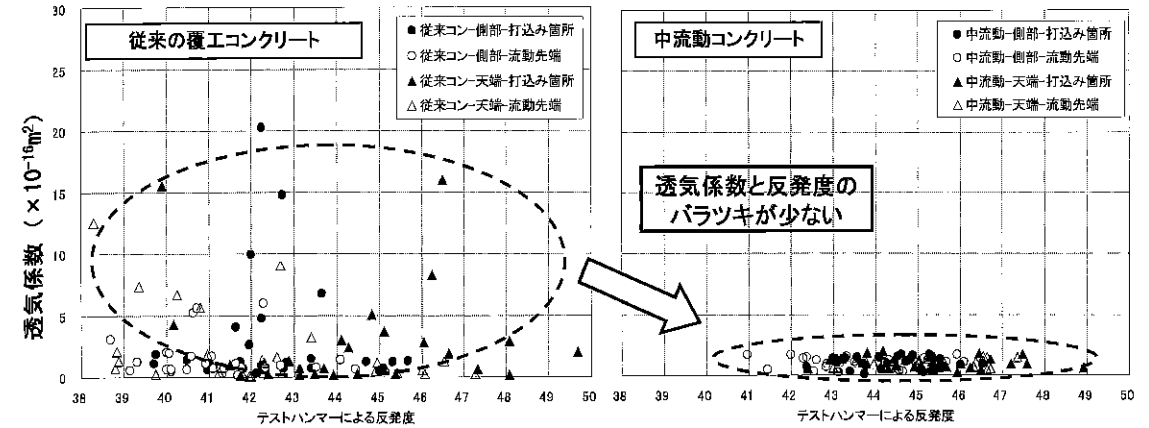
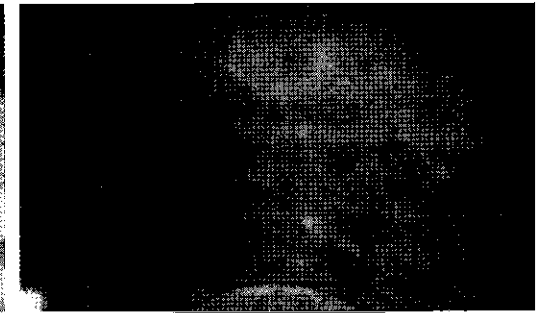


図-5 従来覆工コンクリートと中流動覆工コンクリートの密実性の比較²⁾



従来コンクリート



中流動コンクリート

写真-6 覆工表面の見栄え・美観²⁾

また、中流動覆工コンクリートは流動性が高く、アーチ部分においても型枠内を容易に、かつ広範囲に流動できるため、従来の覆工コンクリートに比べて天端部の縞模様がなく見栄えが良好となり、覆工の美観が向上する(写真-6)。この結果、点検時に縞模様をひび割れと見間違えることがなくなり、点検精度の向上も期待される。

③ 繊維補強覆工コンクリート

3-1 適用目的

覆工コンクリートにおけるひび割れの発生および進展は、覆工の構造的な耐力を低下させる要因であるとともに、コンクリートの剝離・剝落による走行車両への安全性の確保を大きく低下させる直接的要因となる。

このことからNEXCOでは、地山等級などに応じて適用箇所を限定したうえで、剝離・剝落対策

として非鋼繊維(以下、「繊維」という)を混入した繊維補強覆工コンクリートを採用している。以下に、施工管理要領⁴⁾に示される繊維補強コンクリートの仕様などについて概説する。

3-2 繊維の品質規格

施工管理要領に示される繊維の種別を表-2に示す。覆工コンクリートに使用できる繊維自体の品質は、次の6項目の規格を満足するものと定めている。

- ① 寸法・質量および許容差
- ② 引張強度
- ③ 外観
- ④ アルカリに対する耐久性
- ⑤ 耐熱性
- ⑥ 発生ガスの安全性

また、繊維を混入したコンクリートの打込みおよび締め作業に伴い、コンクリート中に含まれ

る繊維に偏りが生じないことなどを検証するため、「繊維均一性確認試験」と「繊維補強覆工コンクリート模擬型枠打設試験」を実施している。

繊維均一性確認試験は、繊維補強覆工コンクリートを締めるために振動エネルギーを作用させた場合に、繊維とコンクリートとの密度差により均一性が損なわれないことを検証する試験で、「A法 垂直方向の繊維均一性試験」、「B法 水平方向の繊維均一性試験」が定められている。

繊維補強覆工コンクリート模擬型枠打設試験では、トンネル覆工を模擬した実規模の模擬型枠(高さ1.5m、長さ4.0m、幅0.3m)に繊維補強覆工コンクリートを実際に打設して、流動状況を確認するとともに、硬化後にコア供試体を切り出して曲げ靱性試験を行うことで、繊維の仕様可否を判断するものである。

なお、これら繊維の品質基準試験は、製造工場または材料の変更があるごとに1回実施することとなっている。

3-3 繊維混入率の決定方法

トンネル施工管理要領では、剝離・剝落を防止するための繊維の混入率について、表-3に示す2つの算定式を記載しており、両者をともに満足する繊維の混入率を設定している。

以下に、算定式Aおよび算定式Bで設定している条件の考え方について詳述する。

(1) 算定式A：付着有効長の考え方

文献8)によれば、繊維の付着力を解析する場合の有効な平均付着長は、繊維長の1/4以上であるとされている(図-6)。これは、繊維の埋込み長の最大値は、繊維長の1/2(ひび割れが繊維中央で生じた場合)であり、最小値は0(繊維端部でひび割れが生じた場合)となることから、平均付着

表-2 繊維の種類および記号⁰

素材による種別		断面による種別			表面形状加工による種別	
		1種	2種	3種	A	B
GR	ガラス	断面が矩形のもの	断面が円形のもの	断面が矩形・円以外のもの	あり	なし
C	炭素					
BR	ボロン					
PE	ポリエチレン					
PET	ポリエチレンテレフタレート					
PET(R)	再生ポリエチレンテレフタレート					
PP	ポリプロピレン					
PVA	ビニロン(ポリビニルアルコール)					
AR	アラミド					
AK	アクリル					
PA	ポリアミド					
PS	ポリエステル					
SR	セルロース					
OT	その他					

表記例：PP-1種-A、PVA-2種-Bなど

表-3 繊維1本あたりの容積規模による最低混入率の算定⁰

項目	繊維の種類	算定式	
		算定式A	算定式B
最低混入率の算定	非鋼繊維	$V_{st} \geq 592.4 \frac{A_{st}}{L_{st}^2} + 0.02$ 付着有効長が25%以上確保されるために必要な最低混入率	$V_{st} \geq 9.26 \cdot A_{st} \cdot L_{st} + 0.02$ 最大寸法が30mmのコンクリート小片をつなぎ止めるに必要な最低混入率
算出された混入率のうち大きい方を繊維1本あたりのコンクリート容積規模より求まる最低混入率とする。			

注1) V_{st} : 繊維混入率(%), A_{st} : 繊維断面積(cm^2), L_{st} : 繊維長(cm)
 注2) 混入率は百分率表示における小数点第2位を0.05%刻みで切上げる(0.33%は0.35%とする)

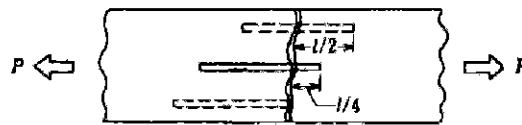


図-6 繊維の平均付着長の考え方⁰

長は、両者の中央値である1/4と考えるためである。そのため、施工管理要領では、平均的な繊維の付着長として、繊維長の1/4以上を確保するために、繊維の付着有効長(=繊維長-小片(落下塊)の一辺)を繊維長の25%以上としている。

(2) 算定式B：最大寸法の考え方

ここでは、落下する最小のコンクリート小片を、

通常用いられているコンクリート用粗骨材の最大寸法の1.5倍と想定している。具体的には、粗骨材の最大寸法が20mmであることから、コンクリート小片の最小寸法が30mmであることを意味しているが、あくまでも計算上での設定であり、30mm以下のコンクリート小片を担保しないというものではない。一般的には、アルカリ骨材反応や凍害といった材料劣化を除いて、モルタル分の付着がない骨材単独の落下はあり得ないものと考えられ、標準的な覆工コンクリートの施工が施されていれば、粗骨材の最大寸法の1.5倍程度と想定することは妥当である。また、繊維はモルタル分を介してもコンクリート小片の落下を防止することを踏まえると、30mm以下のコンクリート小片落下の発生確率は低く、合理的な範囲として30mmに設定している。

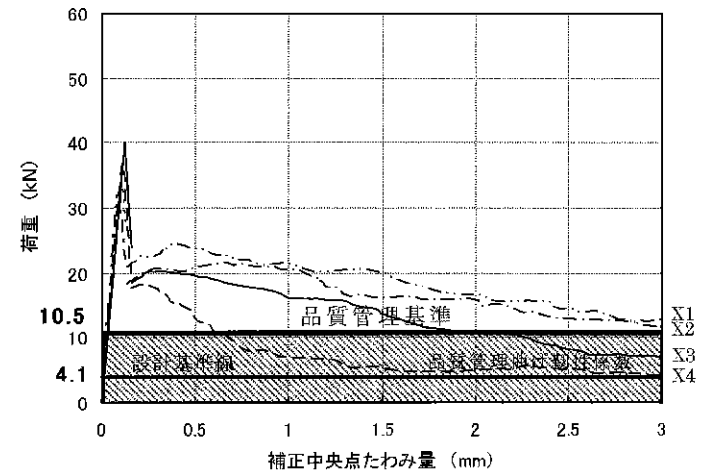
3-4 曲げ靱性試験

繊維補強覆工コンクリートの曲げ靱性試験は、大規模なコンクリート塊の落下を防止することを想定して規準を定めている。具体的には、覆工厚さ全断面に貫通ひび割れが生じ、円筒形コンクリート塊($\phi 4.0m \times 0.3m$)が剝落する場合を想定している。

剝落に対しては地山からの外力は考慮せず、剝落部分のコンクリートの自重のみとし、健全部の覆工コンクリートと剝落したコンクリート塊は完全に分離しており、両者をつなぎ止める繊維がコンクリート塊の自重落下を拘束して、剝落を防止するものと考えている(繊維のアンカー効果)。

施工管理要領では、曲げ靱性試験の判定基準として以下の2条件を設定しており、両者を満足することが求められる。

- ① 品質管理供試体4本おのおのの曲げ靱性曲線をX1~X4として、 $X1 \sim X4 \geq m_0 = 4.1kN$ (すべての供試体で設計基準線を下回らないこと、図-7参照)。
- ② 品質管理供試体4本1組の曲げ靱性係数の



※品質管理基準線の荷重10.5kNとは、品質管理曲げ靱性係数(1.40N/mm²)を荷重に換算した場合の数値

図-7 繊維補強コンクリートの3等分点曲げ靱性試験による性能⁰

平均値をX(平均)として、 $X(\text{平均}) \geq m_{ok} = 1.40N/mm^2$ (品質管理曲げ靱性係数を下回らないこと)

3-5 施工時の留意点

コンクリートに繊維を混入すると流動性が低下するが、その低下量は使用するコンクリートや繊維によって異なる。また、一般に繊維を混入したコンクリートは、時間経過に伴う流動性の低下が大きくなる傾向がある。

このため、施工管理要領では、施工前の実機試験やモデル施工において、繊維投入に伴う流動性の低下の程度を把握し、実施工時の出荷時の目標スランプの設定に反映するように定めているとともに、繊維投入後は30分以内に打込みを完了するように定めている。

④ おわりに

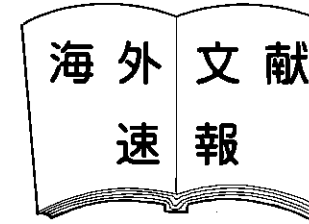
今回は、「覆工コンクリートの品質向上技術」として、覆工施工の課題解決に対して材料面から改善を図った事例について紹介した。

次回も、同じ「覆工コンクリートの品質向上技術」として、施工法の観点から詳述していきたい。(文責：水野希典・(株)高速道路総合技術研究所/桜井邦昭・(株)大林組/渡辺和之・(独)鉄道・運輸機構)

参考文献

- 1) 水野希典・大津敏郎・岩尾哲也・増田弘明：覆工コンクリートの長期耐久性に関する検討，トンネル工学報告集，Vol.24，2014.12.
- 2) 高速道路総合技術研究所：NEXCO中流動覆工コンクリート技術のまとめ，2011.12.
- 3) 東・中・西日本高速道路：NEXCO試験方法 第7編 トンネル関係試験方法，2014.7.
- 4) 東・中・西日本高速道路：トンネル施工管理要領，2014.7.
- 5) 佐藤貴史・萩原秀樹・秋田勝次・桜井邦昭：フライ

- アッシュを用いた覆工用高充填コンクリートの開発，トンネルと地下，Vol.44，No.10，pp.43-52，2013.10.
- 6) 土木学会：高流動コンクリートの配合設計・施工指針[2012年版]，コンクリートライブラリー，No.136，2012.6.
- 7) 村崎慎一・森俊介・中間祥二・桜井邦昭：トンネル全線に中流動覆工コンクリートを適用し高品質覆工に挑戦，トンネルと地下，Vol.41，No.12，pp.7-16，2010.12.
- 8) 小林一輔：繊維補強コンクリート，特性と応用，ホーム社，p.35，1981.



(一社)日本トンネル技術協会
国際委員会

湿式か乾式か？それが問題だ/Wet or dry? That is the question

By Ed Brady: WORLD TUNNELING, October, 2012, pp.22-24

吹付けコンクリートでもっとも頭を悩ます点は、湿式と乾式のどちらを採用するかにある。湿式と乾式はどの点が異なり、どのような長所短所を持つかを本報ではまとめている。

湿式と乾式との違いは、練混ぜ水の添加過程の違いにある。湿式では、ポンプ投入前に練混ぜ水は混入されており、圧縮空気は投射用にノズルにおいて添加される。乾式の場合練混ぜ水は、圧縮空気によりマテリアルホース内を圧送されたコンクリート材料にノズルで添加される。吹付けられたコンクリートの役割は両者とも変わらない。

吹付けコンクリートは、1900年代初頭製師であるCarl Akeleyが標本の中身を充填させる方法として開発し、後に古い建物の修繕方法として“ガナイト(gunite, 乾式ではこのように称される場合が多い)”が誕生した。1950年代まではポンプの性能が未発達であったため、湿式は登場してこない。

1960年代に入り、ロータリー式コンクリートポンプが開発されたことにより、乾式において連続的に大量の材料を圧送可能となった。その後の技術開発に伴い、1970年代には湿式コンクリートの圧送が可能となった。

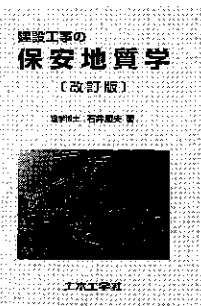
乾式吹付けの短所としては、①コンクリート材料がマテリアルホースを介して圧送されるため、材の最大径は6mm以下となる場合が多い、②湿式と比較すると圧送量は少なくなる、③湿式と比較

して粉じんの発生や余吹きを招く、④吹付け作業はノズルマンの技量に依存する、点がある。長所としては、①練混ぜ水をノズルで添加するため、作業終了時の清掃はノズルのみであり短時間で終了する、②乾式の吹付け装置は湿式と比較して小型で移動が簡単であり、セットに要する時間が短くまた残コンも少ない、③コンクリート材料を含むマテリアルホース全体の重量が湿式と比較して軽量となるため、ノズルマンへの肉体的負担が少ない、といった点にある。このため、1か所あたりの施工は小規模ながら施工箇所が複数となる補修工事に使用するなど少量のコンクリートをいろいろな場所で吹き付けるような作業には最適である。また、機動性に優れるため狭所の作業にも適している。

湿式吹付けの短所としては、①乾式と比較して吹付け装置が大掛かりで高価となり、作業準備に時間とスペースを要す、②コンクリート圧送前にマテリアルホースにノロ付けが必要であり(注：日本の場合は吹付けロボットにほぐしエアを添加するため不要)、また最初に圧送されるコンクリートは使用できない、③終了時、あるいはトラブル発生時には、配管内をすべて清掃する必要がある、④吹付け装置自体が大掛かりで重いため、自走装置またはクリーンなどが必要となる、⑤マテリアルホースの重量が乾式と比較して2~3倍となるため、ノズルマンへの負担が大きくなる(注：手吹きの場合)などの点がある。

長所としては、①圧送前に練混ぜ水が混和されているため、粉じん・リバウンドおよび余吹きが少ない、②乾式と比較して単位時間あたりの吹付け量にすぐれ、手吹きでも9.25~11.5m³/hを可能としている、③種々混和剤の添加が容易である、④9mm以上の粗骨材を使用できるため、コンクリート単価が乾式より経済的になる、⑤ノズルマンの熟練度に依存しないといった点にある。これらをまとめた結果を表-1に示す。

湿式吹付けと乾式吹付けにはこのように利点・欠点を持ち合わせている。概して、乾式吹付けは1回の吹付け量は少量だが施工箇所が多い修繕



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、多くの人々が『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メイジャー神楽坂
電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072

表-1 吹付けコンクリートの湿式と乾式の比較

乾 式	湿 式
骨材は比較的小さく、セメントペーストに富む	骨材は比較的大きく、ペースト分は少ない
吹付け機は小さいため、移動が簡単	吹付け機は大きくなり、移動は専用機などが必要
吹付け量の能力は低い	大容量の吹付けが可能
発生粉じん・リバウンドが多く、余吹きとなることが多い	発生粉じん・リバウンドは少なく、余吹きも少ない
ノズルマンの経験・技能が重要	ノズルマンの経験はあまり問われない
吹付け機の掃除が簡単であり、残コンは少ない	吹付け機の掃除が大変であり、残コンが多い
ノズルマンへの負担が少ない	ノズルマンへの負担が多い
マテリアルホースへのノロ付けは不要	マテリアルホースへのノロ付けが必要
添加剤はアレバックとしておく必要がある	添加剤の扱いは簡単

プロジェクトに最適であり、湿式は施工箇所は少ないが1回に多量の吹付けをするような工種に適しているものの、現在では、ノズルマンの熟練度に依存しない湿式の方が好まれる傾向にある。
(文責：野間達也・(株)フジタ)

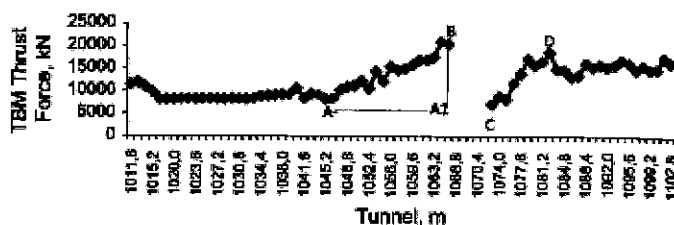


図-1 押し出し区間における推進力の変化

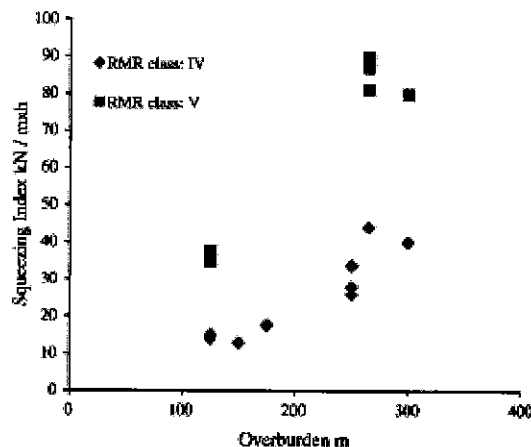


図-2 押し出し指標(SI)と土かぶりの関係

出し区間におけるジャーミング発生距離(d), ジャーミング時間(t)およびその間の推進力の変化値(ΔFT)から次の式で求まる押し出し指標(SI)を18の押し出し区間において求めた結果を図-2に示す。これからSIと地山応力とは強い相関があることがわかる。

$$SI = \Delta FT / (d \cdot t)$$

また論文では、ジャーミング時の対策としてスキンプレート-地山間でのベントナイト注入が摩擦を低減させるために有効であったと述べている。

(文責：満尾 淳・東急建設(株))

トルコ, Uluabatにおける押し出し性地山でのTBM掘進性能/The performance of a TBM in a squeezing ground at Uluabat, Turkey

By N. Bilgin, M. Algan: TUNNELLING and UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY Vol.32, November, 2012, pp.58-65

トルコのUluabatプロジェクトには、標高差328mのダム、延長11.465kmのトンネル構築などが含まれる。2002年に始まったトンネル工事は、NATMにより掘りすすめられたが、天端や底盤の大変形により2003年の11月に掘進を停止した。停止期間は2年半に及び、その間のクリープを含む最大変位は約1mまで達した。ここでNATMは不適と判断し、EPB-TBM($\phi 5.05m$)を採用し、掘進を再開した。地質は三疊紀Karakaya層の粘土岩、シルト岩、砂岩からなるが、地殻変動により変質を受けている。

TBMはトンネル掘進中、とくに押し出し性の強い区間において18回に及ぶジャーミングが発生した。典型的な推進力の変化図を図-1に示す。図-1はA⇒A1区間において徐々に推力がBまで上昇し、掘進不能となっていることを示している。押

浅いトンネルにおける断層の影響—トルコイズミル地下鉄トンネルを題材として—/Influence of the fault zone in shallow tunneling: A case study of Izmir Metro Tunnel

Tunneling and Underground Technology, January, 2013

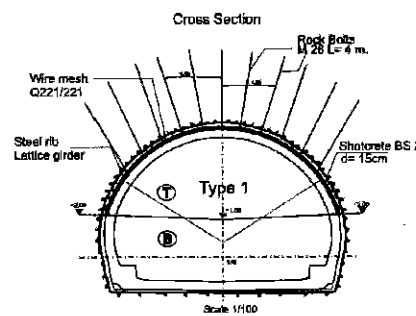
トルコのイズミル地下鉄トンネルプロジェクトにて、土かぶり18~25mの浅い領域に、断層を介在する岩盤が出現することが判明した。この断層はGoztepe駅およびその近傍に出現するが、このエリアには地表面に多数のビルが存在するため、NATMトンネルの掘削によりこれらの構造物に被害を与えるリスクが高いと考えられた。そこでトンネル施工時に各種試験を実施して岩盤物性値を特定し、これを反映したトンネル掘削解析を行うことで、断層が地表面構造物に与える影響を評価した。

当該領域では一般部(タイプI)と扁平な駅部(タイプII)の2種類の断面形状が存在する。そこで断層を考慮したトンネル掘削解析をそれぞれの断面形状にて実施し、天端沈下・内空変位量と地表面沈下量を算定した。またトンネル掘削後の実測値と解析値を比較したが、タイプIIにて地表面沈下量の実測値が解析値を大きく上回る結果となった。

脆弱な地盤内に地下鉄トンネルを建設する際に、

【タイプI (64m²)】

- ・地表面沈下：(実測値)19mm (解析値)18mm
- ・天端沈下：(実測値)10~11mm (解析値)19mm
- ・内空変位：(実測値)12mm (解析値)3~7mm

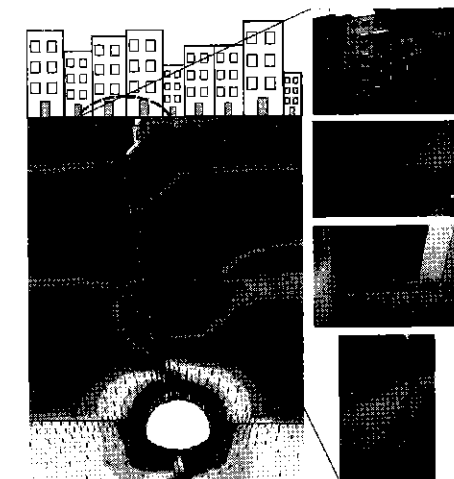


断面形状 タイプI(一般部)

適切なタイミングで支保工が設置されなければ、顕著な地表面地下により地表面の構造物に被害を与える。このため、地盤状況を詳細に調査したうえで、トンネル直上の構造物に被害を与えないような掘削工法や支保の設置タイミングが計画されるべきである。

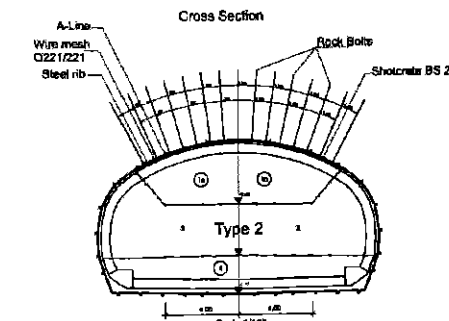
既往文献に示される類似事例から、地表面沈下量を10mm程度に抑制すればビルに対する被害は防げたと考えられる。本事例では地表面沈下量が最大27mmとなり、ビルにクラックが発生するなどの被害が生じたが、これらの被害を防止するためには、先受け工や鏡ボルトの設置が必要であったと思われる。

(文責：北村義直・鹿島建設(株))



【タイプII (113m²)】

- ・地表面沈下：(実測値)27mm (解析値)13mm
- ・天端沈下：(実測値)10~11mm (解析値)12mm
- ・内空変位：(実測値)12mm (解析値)12mm



断面形状 タイプII(駅部)

一般社団法人

日本トンネル技術協会

会 報

1. 会員の現状

	2月28日現在
個人会員	864名
団体会員	202名
推薦会員	202名
特別会員	12名
名誉会員	0名
賛助会員	170名
合 計	1,450名

2. 委員会の開催状況(2月1日~28日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

総務委員会(2/25)

小島治雄委員長ほか8名, 決算見込・予算および名誉会員の検討

・広報小委員会

会誌WG(2/4)

大島洋志主査ほか11名, 3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

作品展示WG(2/5)

吉富幸雄主査ほか11名, 作業進捗状況を確認

◎国際委員会

・海外文献小委員会

海外ニュースWG(2/24)

清水健志主査ほか8名, 海外文献の査読

計 4回開催 42名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

技術委員会(2/25)

今田徹委員長ほか15名, 平成26年度活動報告および27年度活動計画を検討

・都市近接施工ガイドライン編集小委員会

本文編集WG(2/3)

西田与志雄主査ほか12名, 原稿を検討

本文編集WG(2/19)

西田与志雄主査ほか7名, 原稿を検討

文献調査WG(2/20)

滝本邦彦主査ほか7名, 原稿を検討

参考資料WG(2/26)

山元寛哲主査ほか8名, 原稿を検討

・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(2/18)

名倉浩主査ほか7名, 原稿を検討

シールド変遷史編集WG調整サブWG(2/18)

中村隆良主査ほか7名, 各グループの作業状況を確認

◎受託研究特別委員会

・相直・JR直通線検討委員会開削駅検討WG(2/19)

館山勝座長ほか24名, 非開削区間の検討

・長期耐久性特別委員会幹事会(2/12)

松田敦夫幹事ほか7名, 試験立ち合い

・北海道新幹線函館北斗-札幌間トンネル施工技術委員会機械化施工小委員会(2/12)

小山幸則委員長ほか28名, 施工法の検討

計 10回開催 132名出席

合計 14回開催 174名出席

2. 国際会議の開催予定

会 議 名	開 催 日	場 所	主 催 者 等
第41回ITA総会およびコンgres「Promoting Tunnelling in See Region」	2015. 5. 22~28	ドヴロヴニク (クロアチア)	Croatian Tunnelling Association ITA(国際トンネル協会) http://wtc15.com/
第42回ITA総会およびコンgres「Uniting the Industry」	2016. 4. 22~28	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
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

3. 平成26年度催物開催現況

(平成27年3月現在)

催 物 名	開 催 日	人数	場 所	CPD取得単位
(現場研修会)				
東北地区道路トンネル工事現場研修会	2014. 6.27	18	宮 城	2.0
—国道108号花洲山2号トンネル—				
中部横断自動車道トンネル工事現場研修会	2014. 7.24	32	山 梨	2.8
—八之尻トンネル, 宮狩トンネル—				
北海道道路トンネル工事現場研修会	2014. 8.28	23	北海道	3.8
—北海道横断自動車道第二天神トンネル・天狗山トンネル, 国道5号忍路トンネル—				
近畿地区道路トンネル工事現場研修会	2014. 9.12	20	兵 庫	2.0
—名塩道路・八幡トンネル—				
有楽町線小竹向原・千川間連絡線工事現場研修会	2014. 9.29	21	東 京	2.0
九州新幹線(西九州)トンネル現場研修会	2014.11.28	16	長 崎	3.5
—第一本明トンネル, 新長崎トンネル(東)—				
東北地区道路トンネル見学会	2014.12.17	10	福 島	2.0
—八木沢トンネル—				
(施工体験発表会)				
第74回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」	2014. 6.24	172	東 京	6.3
第75回(都市)「創意工夫・新技術によるトンネル・地下構造物工事—新設および改良・再構築の施工事例—」	2014. 6.25	114	東 京	5.5
(講演・講習会)				
第16回ステップアップ研修会(シールド)	2014.10. 1~2	34	東 京	15.5
第17回ステップアップ研修会(山岳)	2014.11. 6~7	19	東 京	9.8
「トンネル技術者のための地相入門」講習会	2015. 3. 6	43	東 京	6.0
(記念事業)				
トンネル保守管理特別講演会	2014.10.29	143	東 京	3.7

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

5月号予告[5月1日発売予定]

- 山陽新幹線トンネルの路盤対策
- 北陸新幹線(長野・金沢間)のトンネル群
- 旭川十勝道路 北の峰トンネル
- 東京メトロ東西線 門前仲町駅
- 東京下水道 第二溜池幹線

【連載講座】

- 山岳トンネル覆工の長寿命化技術(4)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆今月号に掲載された江東幹線のルートが東京低地の土木のが凝縮されているようで印象的でした。地質縦断面に見える埋土層は、江戸のころから続く東京湾の埋立てによるものだと思います。家康入府当時の海岸線は、隅田川左岸では、発進立坑のある木場公園の北に位置する小名木川回りだったといわれています。江戸幕府は、小名木川(堀)の開削を手始めに、堀を開削したずりや町のごみを用いて小名木川の南へ埋立てを進めました。江戸の終わりには、今回の到達立坑の北の塩浜運河回りまで達したようです。明治に入ってから、ごみや港の浚渫土を用いた埋立ては続き、次期工事の終点である辰巳地区は1936年までには埋立てが完了しています。辰巳地区は七号地とよばれたところで、地質縦断面にもある七号地層にその名を残しています。平面図に目を転じると、発進立坑わきに木場公園が広がります。この公園は地下に都営地下鉄大江戸線の車両基地を抱え、地表では、小ざっぱりした外観の2面吊りのPC斜張橋もみることが出来ます。下水道の路線と平行する大横川・平久川(運河)に多く現存する、震災復興橋梁も見どころです。大横川と平久川が交差するあたりは周囲の下町風情と合わせて、よい雰囲気があります。大横川は桜の名所でもあります。この春は大横川にうかべた船から、桜を眺めながら、土地の歴史に思いをはせるのも良さそうです。

(K.K.)

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

★(一社)日本トンネル技術協会会員の住所(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4号 [通巻536号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成27年3月20日 印刷

平成27年4月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁

目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

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

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16

番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

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

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

■お申し込みの際は、誌名、購読期間、住所、所属、氏名などを明記のうえ、FAX(03-3267-2807)にてお申し込みください。後日、本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本社「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、本社(03-3267-2888)までご連絡ください。

お待たせしました!

吸引捕集方式対応

ファン動力30kW
換気電力を格段に低減

48m²の設置例

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO
イダスコ・ニーヨナル

経済産業省後援

第39回優秀環境装置

日本産業機械工業会 会長賞

クラス最高の集じん効率95%*

従来の電気式では達成できなかった95%以上の高集じん率を確保。

微細粉じんも逃さない電気式

電気式だから人体に有害な微細粉じん(0.2~7μm)も捕集できます。

現場メンテナンスは手間いらず

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

大風量と省エネを同時に実現

安定した処理風量で電力負荷低減とCO₂削減を実現するエコ製品です。

△古河機械金属グループ

古河産機システムズ株式会社

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

本社

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

大阪支店 ☎06-6344-2532

東北支店 ☎022-221-3532

名古屋支店 ☎052-561-4580

九州支店 ☎092-741-5193

札幌支店 ☎011-784-1179

山形支店 ☎0285-23-8662

NETIS

公共工事等における新技術活用システム

登録番号: TH-100024-A

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

*1 入口ダクト及び絞りダクトは含みません。
*2 台車の高さは含みません。
*3 機種により多少異なります。
*4 JIS Z 8808 並びに換気技術指針(H24.3)に定める試験方法に基づき測定した値です。
注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

トンネル技術者のための地相入門

大島洋志 監修, 木谷日出男 編著, 3,200円+税 B5判

トンネルの計画・設計・施工にあたって留意すべき"地相"について、施工事例をもとに、豊富な図版と地形図を用いて、ていねいに解説した、画期的な入門書。



山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著, 3,200円+税 B5判

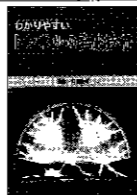
地山の力学状態を表す理論式から導かれる地山挙動の特徴を図表などを用いて手際よく説明した。トンネル掘削における工学的な理解を深化させる一冊。



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修, 1,500円+税 B5判

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



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修, 2,500円+税 B5判

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



推進工法の理論と実際

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

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



わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修, 2,500円+税 B5判

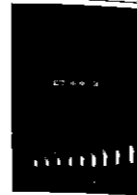
土木工事にかかわりのある地質学の基礎知識を盛り込み、土木工事において問題となる地質事象や、各種地質調査の原理についてわかりやすい解説を与えた。



セグメントの新技术

小泉 淳 監修, 2,000円+税 B5判

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



続きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著, 1,200円+税 新書判

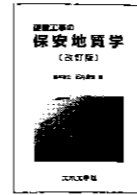
温泉開発における一般論から探査技術についてまとめ、今後の温泉開発の考え方を、外国の事例も交えながらわかりやすくまとめた。



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著, 6,000円+税 A5判

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



地質工学概論

菊地宏吉 著, 4,757円+税 B5判

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



地下水の科学 I~III(全3巻)

R.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化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、地下水の水利学的特性とその調査方法などをわかりやすく解説した。



第I巻 地下水の物理と化学

4,078円+税 B5判

第II巻 地下水環境学

4,272円+税 B5判

第III巻 地下水と地質

3,689円+税 B5判

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編, 4,660円+税 B5判

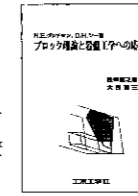
シールド工法について変遷から将来の開発の動向にいたるまで広範囲にわたり掲載した。シールドトンネルの計画・設計・施工に用いるときに参照しやすくまとめた。



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

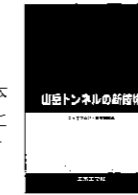
岩盤内に分布する不連続面と、掘削面など自由面の間の三次元的幾何学的関係から安定に影響する岩塊を見出す新手法を解説。



山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 編, 14,573円+税 B5判

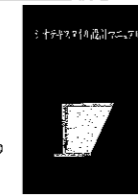
NATMによるトンネルを施工する際の基本事項を概説するとともに、1990年頃までに実用化された各種工法・補助工法について理論から施工のポイントを掲載した。



ジオテクスタイル設計マニュアル

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

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



岩盤地下空洞の設計と施工

E.フック・E.T.ブラウン 共著, 小野寺透・吉中龍之進・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的事項について詳述した。



建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著, 4,300円+税 A5判

地質の基礎知識を説明して、調査・試験方法とその判断と評価について解説を加え、地すべり・斜面崩壊・山岳・都市トンネル・ダムなどの地質診断の要点を解説。



トンネル工事の衛生と環境保全

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著, 3,200円+税 A5判

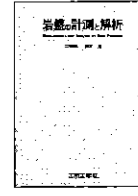
トンネル工事の際の労働衛生と環境保全の検討に有用な項目について、医学分野の知見から職業性疾患や有害環境条件、健康障害、衛生管理、保護具などを解説した。



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著, 4,200円+税 A5判

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



わかりやすいトンネル技術入門(都市トンネル編)

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著, 2,800円+税 A5判

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



海洋資源開発

稲田善紀 著, 3,400円+税 A5判

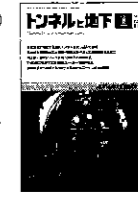
海洋の石油・天然ガス・石炭などのエネルギー資源と、マンガンノジュールの鉱物資源、また、海洋エネルギーなどの開発と利用についてまとめた。



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)

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



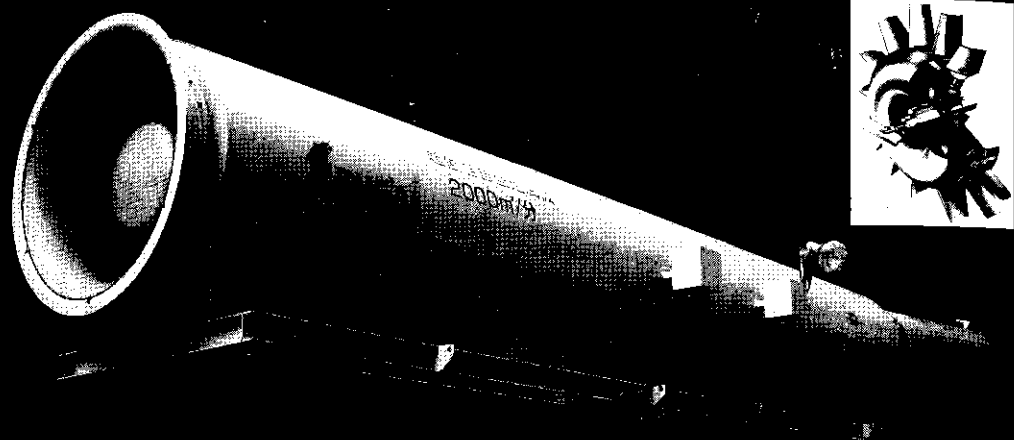
書籍のお申し込み

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

(株)工本工学社

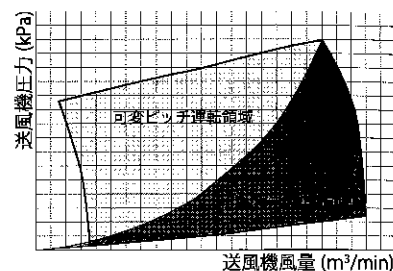
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807

トンネル工事の必需品 可変ピッチ軸流送風機 BIG-LOG



BIG-LOG は当社の開発商品です

- 可変ピッチとは……必要に応じ羽根の角度を変えて風量調整をおこなう方式（右上図）
- 風量を減らした場合でも圧力変動が少なくインバータ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「E-Res」を開発しました

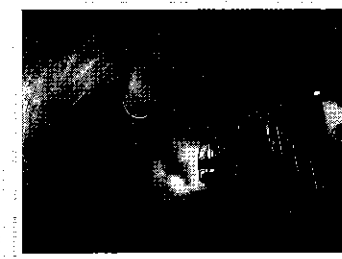
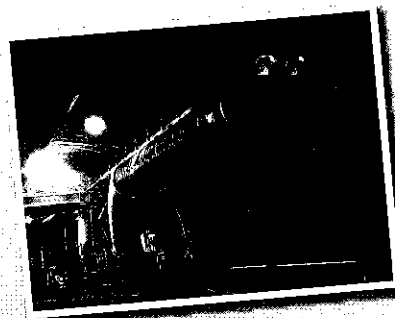


菅機械工業株式会社

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



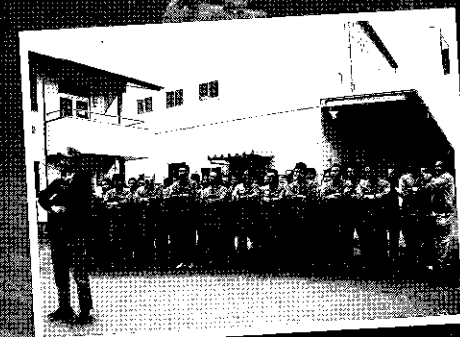
大型集じん機 300 台！
送風機 650 台！
世界最大の換気設備保有メーカー！



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。

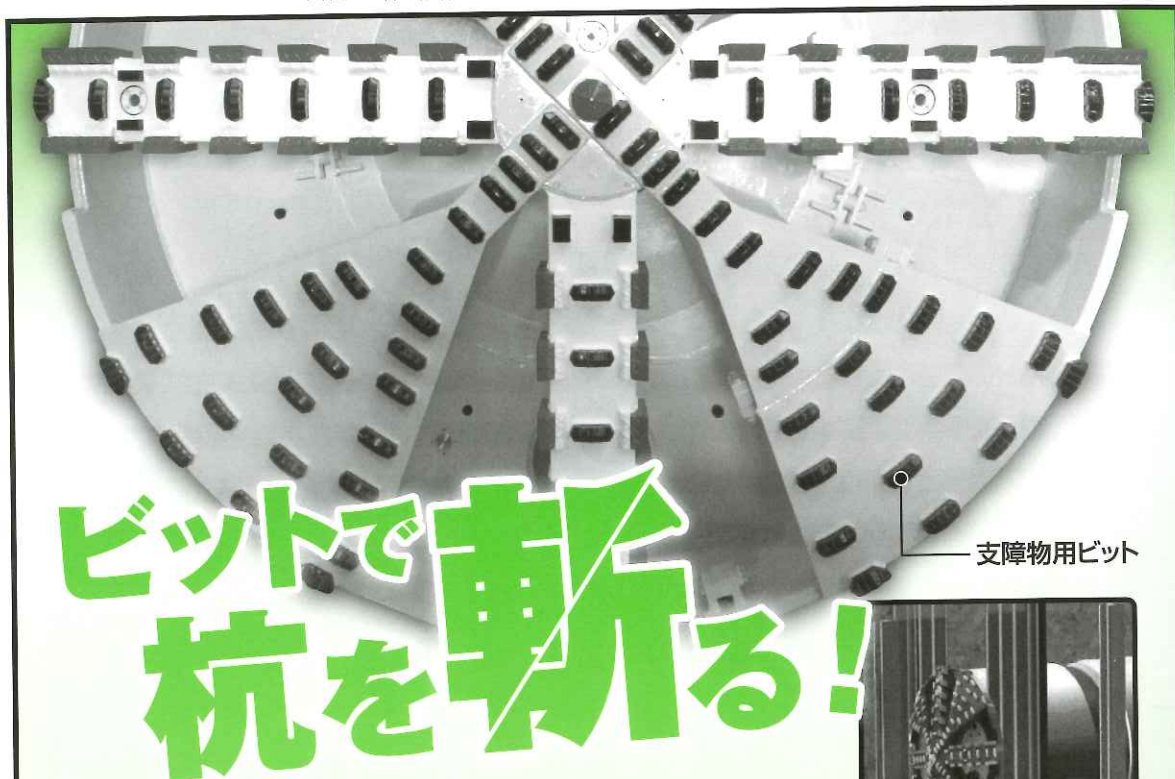


1977年創業から、平素よりお世話になっております。
昨年10月、39期より西村司が代表取締役社長に就任し、新しい「風」とともに全社員一丸で邁進しています。
手に握めない「流」体を「機」械で「エンジニアリング」する会社として、様々な分野の『最適環境の創出』をして参ります。

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!

支障物用ビット

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



鋼矢板

H型鋼

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

神戸市兵庫区和田高通五丁目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06619-4



4910066190453
01500