

トンネルと地下

vol. 42
no. 2
2011

Tunnels and Underground

強変質地山における支保の変状対策と覆工補強

営業線直下掘削における支保工段数を情報化施工により低減

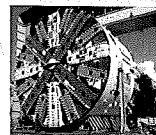
地下鉄駅直下の残置杭をDO-Jet工法で切断撤去

山岳トンネル地質不良区間の地震被害と対策工の効果

日本トンネル技術協会誌

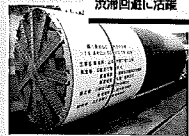


トンネル開発技術に 70年のヒストリー。



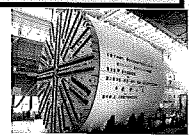
2006

《世界最大径φ15.01m泥土圧シールド》
スペインマドリッド環状道路M30の
渋滞回避に活躍



2004

《大断面SENS工法シールド》
東北新幹線三本木原トンネル
工事の建設で活躍



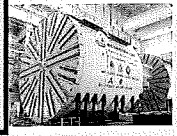
2003

《超大断面・大深度・長距離掘削用シールド》
神田川・環状七号線地下調整池
の建設で活躍



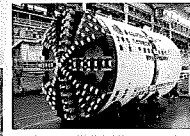
1995

《3心円泥水式駅シールド》
地下鉄12号線環状線飯田橋駅
工区建設工事で活躍



1993

《世界最大径の泥水式シールド》
東京湾横断道路工事で活躍



2008

《支障物切削シールド》
土中のH杭やシートパイルを
シールドマシンで切削



2009

《中国初の大断面φ14.27m泥土圧シールド》
上海外灘地区の交通渋滞解消に貢献
上海万博に合わせ貫通



1939

《日本最初の本格的シールド》
関門トンネル工事で活躍



1989

英仏海峡トンネルT-5区貫通式
完成にわく関係者たち

世界中で
1700台の
実績！

昭和14年(1939年)我が国初の本格的シールド式トンネル掘削機を開発して以来、三菱重工はトンネル開発技術のパイオニアとして70年にわたり国内や海外で数多くの実績を築いてきました。豊かな21世紀を育むために、三菱は最先端のジオテクノロジーでさらに前進しています。

三菱重工メカトロシステムズ(株)のシールド式トンネル掘削技術

三菱重工メカトロシステムズ株式会社 都市開発部

神戸市兵庫区和田宮通五丁目4番22号 TEL.078-672-2873 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 1,575円
本体価格1,500円

雑誌06619-2



4910066190217
01500

FRD
FURUKAWA

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

ホイール式ドリルジャンボ

JTH2200R/JTH3200R

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。

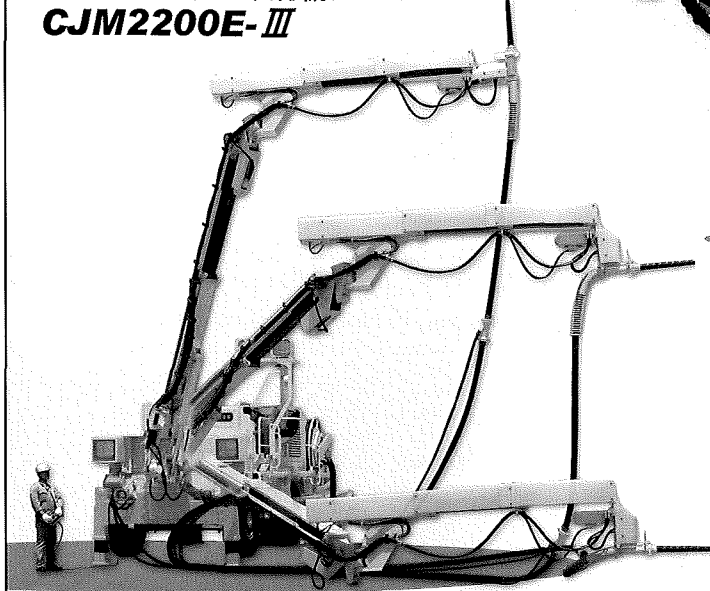
新世代型油圧ドリフタHD210Ⅱ搭載。



◆主な仕様	JTH2200R 2ブーム、2ケージ	JTH3200R 3ブーム、2ケージ
質量	35.5 ton	43 ton
全長	14,270 mm	14,760 mm
全幅	2,690 mm	3,140 mm
全高	4,000 mm	4,190 mm
水平さく孔範囲		
幅	12,770 mm	13,220 mm
高さ	8,490 mm	8,840 mm

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-Ⅲ



◆CJM2200E-Ⅲ 主な仕様

質量	24 ton
全長	15,600 mm
全幅	3,000 mm
全高	4,000 mm
水平さく孔範囲	
幅 × 高さ	13.3m x 10 m

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け機です。

△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

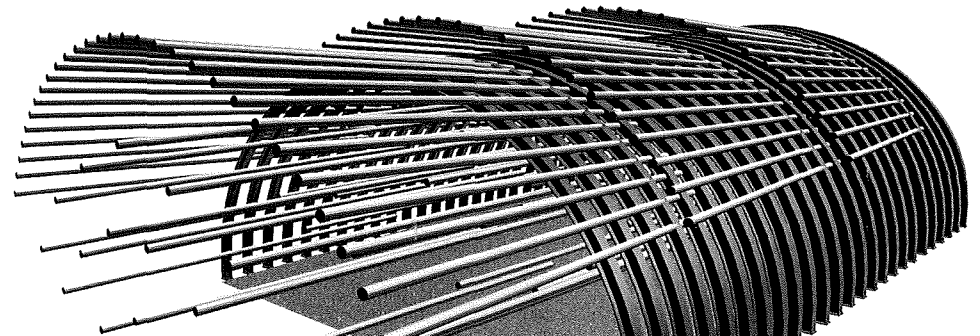
札幌支店 ☎011-861-3261 東北支店 ☎022-384-8991 関東支店 ☎027-326-9611 名古屋支店 ☎0568-77-7700

関西支店 ☎06-6475-8221 広島支店 ☎082-832-3542 九州支店 ☎092-948-2010

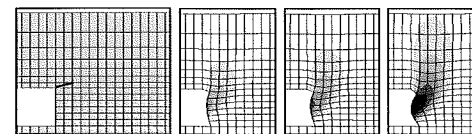
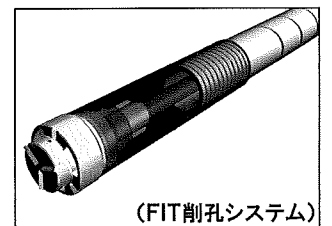
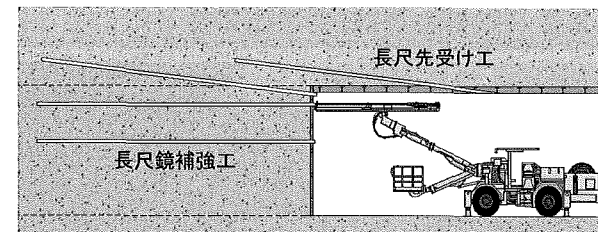
全方位 GFRP 管長尺補強システム

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

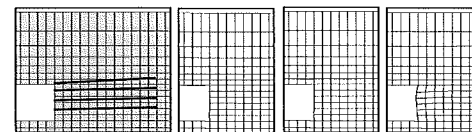
FIT 工法
FRP INJECTION TUBE



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



フォアポーリング

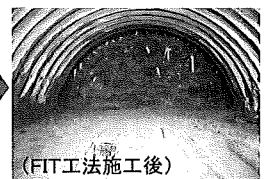


FIT工法

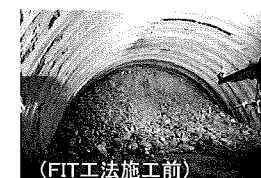
(数値解析による効果の検証例)



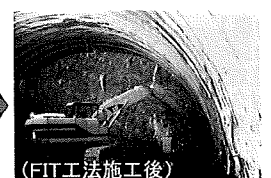
(FIT工法施工前)



(FIT工法施工後)



(FIT工法施工前)



(FIT工法施工後)

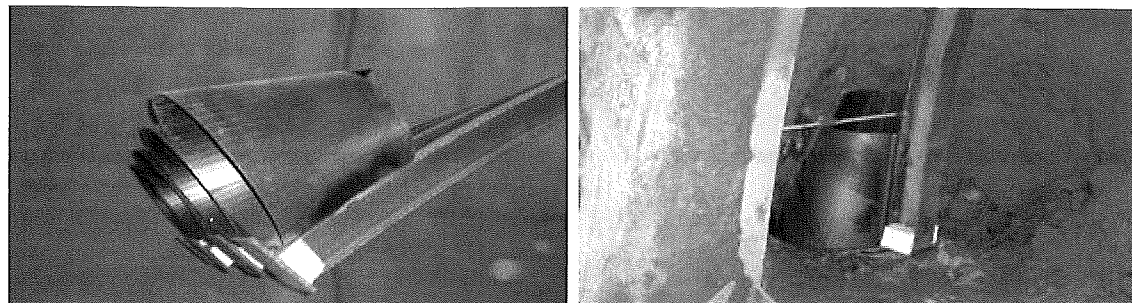
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部 TEL(03) 3570-5223 FAX(03) 3570-5233
大阪土木営業部 TEL(06) 6363-1884 FAX(06) 6313-0755
札幌支店 TEL(011) 751-4681 FAX(011) 751-4682

ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

軟弱地盤に効果を発揮

薄鋼板を用いたウイングリブ
『YM ウイングコーン』 NETIS 登録 :CG-070015-A



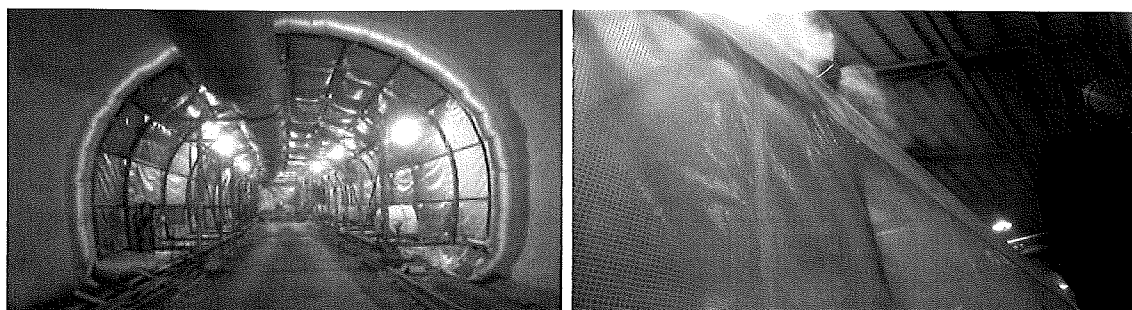
従来の H 形鋼ではなく、薄鋼板を中空の円錐台形に加工したウイングリブです。
現場ストックが可能な、ボルトによる脱着式です。

【効果】

- ・直接コーン内に吹付コンクリートを吹き込み、地山と密着させ一体化させることにより、初期沈下抑制効果を発揮します。
- ・吹付コンクリートで地山密着させるため、危険な切羽近傍での接地面の地山均しが不要です。
- ・現場でのストックが可能なため、事前対策・急な地山変化に効果を発揮します。

トンネル覆工コンクリートの品質革命

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



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

【効果】

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

実績および計画物件
(平成 21 年 12 月現在)

施 主	実績	計画物件
国土交通省	11件	8件
NEXCO	4件	2件
その他	3件	2件
合 計	18件	12件

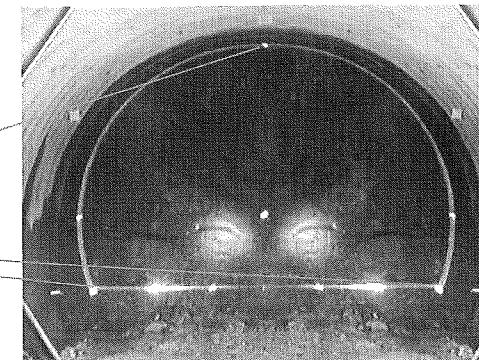
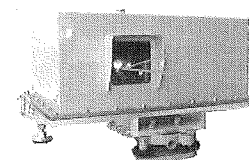
☺ 株式会社 マシノ トンネルグループ

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

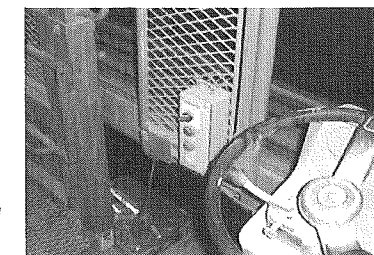
レーザーマーキングシステム

国内、海外特許取得済み

残像効果を使ったペイント不用
の連続高速照射を実現

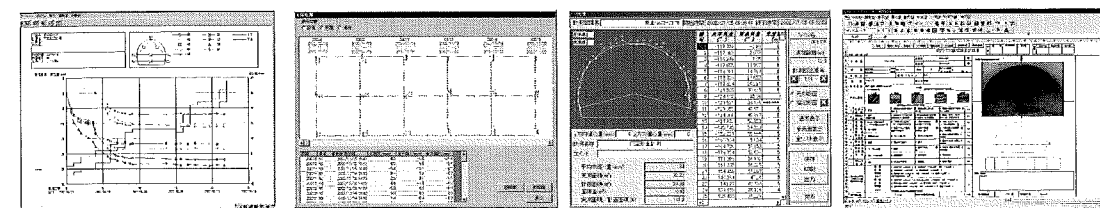


現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー

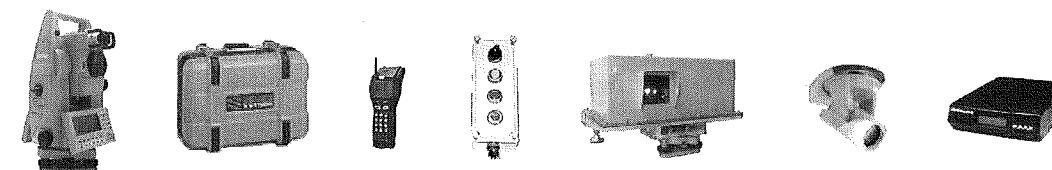


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



A計測データ処理 支保工立込精度、変形量 内空、巻厚検査 切羽観察、etc



豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

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

〔販売元〕

古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社 レント

全断面对应トンネル高速施工掘進機

ロードヘッド SLB-350S



トンネル掘削状況

全断面トンネルの高速施工を目指して

特 徴

- 国内最大の 350kW・4/6P 定出力型 2 速切換式電動機を搭載しており、軟岩トンネルはもとより、中硬岩トンネルにおいても十分な掘削能力を発揮します。
- 切削部には中折れブームを採用しており、ベンチ長は最大 5m まで確保できます。又、中折れブームを取り外しての全断面掘削、及び上半掘削も可能です。
- 中折れブームの取り外し、及び低速掘削を行うことにより、機体安定性と掘削トルクが増加し、中硬岩トンネル掘削時において高い効果を発揮します。（硬岩用ドラム使用）
- 油圧式のスライドデッキを機体両サイドに装備しており、機体幅より各々 1m の張り出しが可能であるため、下部掘削時等におけるオペレータの視界が大幅に改善されます。
- ※1,2 ディーゼルエンジンの搭載により、ロードヘッド単独での走行が可能です。よって、機体移動に際し配線替えや別途発電機の準備が不要となり、作業時間が短縮されます。

※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。
※2 遙寄・コンベヤ仕様の場合、ディーゼルエンジンは搭載されません。



スライドデッキ

製造、販売、レンタル及びメンテナンス **株式会社 三井三池製作所**

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

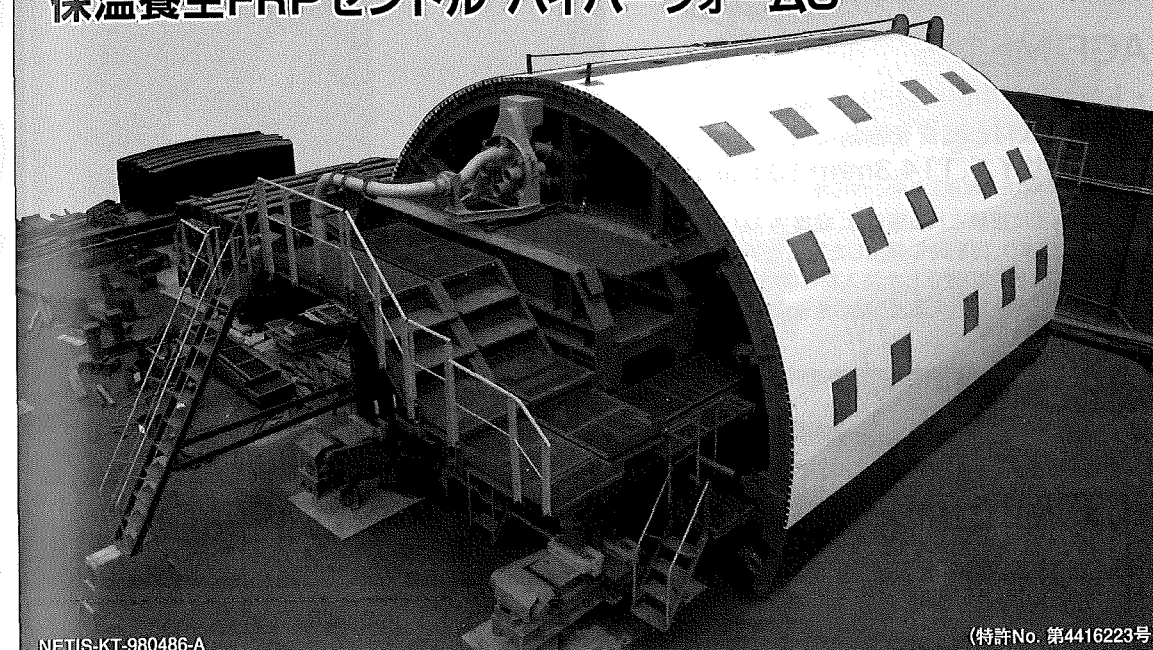
産業機械営業部 TEL.03-3270-2008, 03-3241-4711 FAX.03-3245-0203

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

高品質・高耐久 覆工コンクリートを目指して

保温養生FRPセントル ハイパーフォームG

[実績17件]

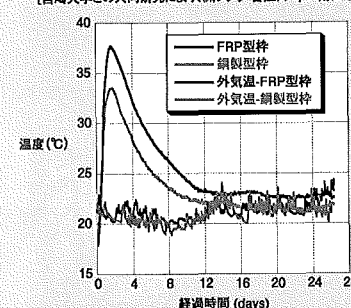


NETIS-KT-980486-A

(特許No. 第4416223号)

■ 覆工コンクリート温度の経時変化

[宮崎大学との共同研究により、例プロジェクト 古江トンネル南にて測定]



◎3～4℃の保温効果により、コンクリート強度が15～20%向上

■ 鋼製型枠との比較

項目	単位	ハイパーフォームG	鋼製型枠
基準サイズ	mm	900×10500×55	300×1500×55
重量	N/m ²	145.1	405
比重		1.8	7.8
曲げ強度	MN/m ²	294.2	333.4
剛性E・I	N・m ²	3.66×10 ⁴	5.39×10 ⁴
熱伝導率	W/(m・k)	0.30	46.5
線膨張率	1/℃	1.0×10 ⁻⁵	1.1×10 ⁻⁵
光線透過率	%	2.2	0

特 徴

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

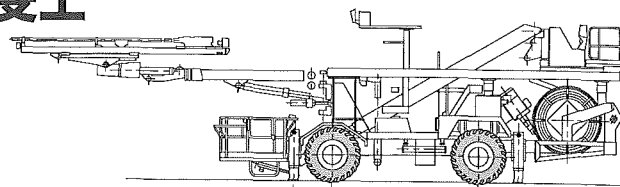
M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

■ 本 社 〒553-0006 大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル TEL:06-6443-7060
■ 九州営業所 〒812-0038 福岡市博多区祇園1-23 アルテハイム祇園905号 TEL:092-263-0125
■ 指定工場 〒919-0441 福井県坂井市春江町定重（森本工業） TEL:0776-51-2410

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

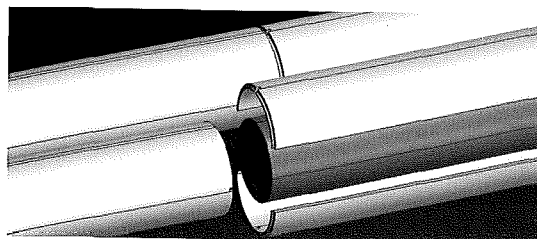
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



AGF-Me工法

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

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



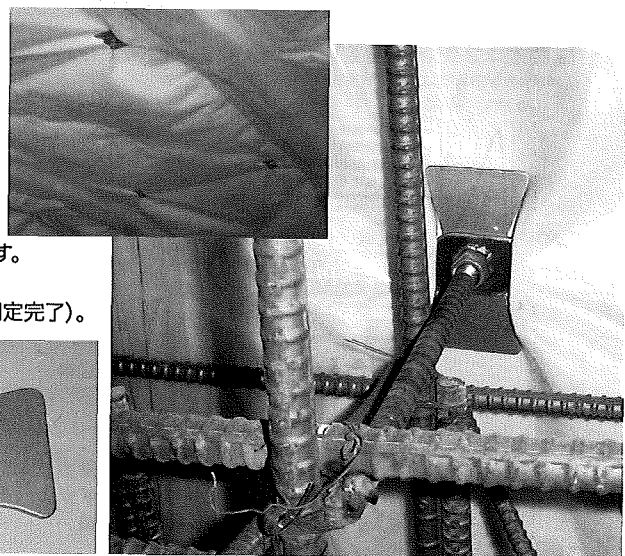
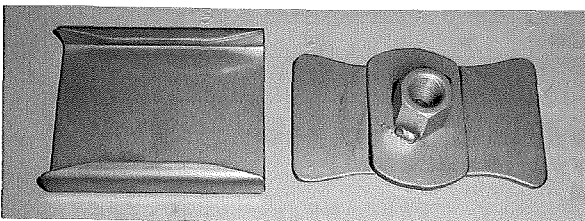
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグripper

- ・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ripper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 東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD

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

株式会社 トーキンオール

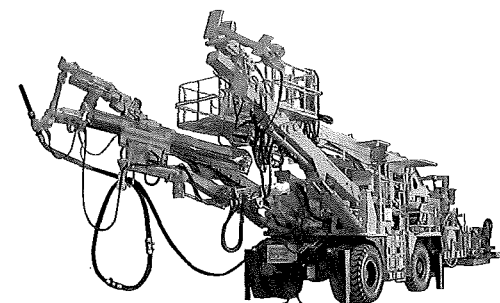
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel: **044-333-0012** Fax: **044-333-0321**
(お問い合わせ先)

山岳トンネル施工機械、鉱山・採石機械の総合レンタル企業

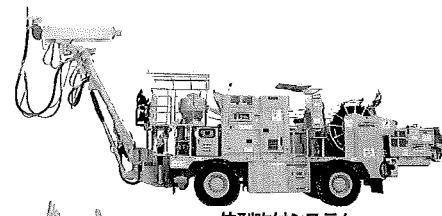


スコピオン

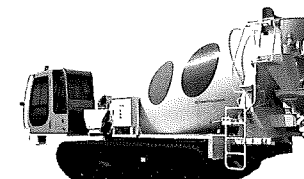
第3次トンネル工事用排出ガス対策型/オフロード法認可



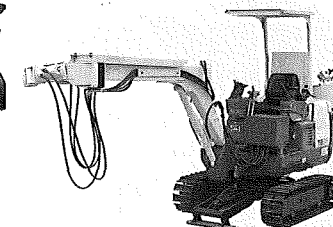
EJS
第3次トンネル工事用排出ガス対策型



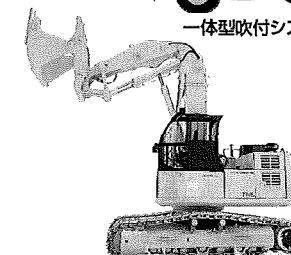
一体型吹付システム



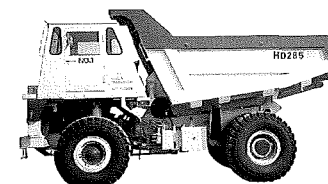
ゴムクローラ式ミキサー車



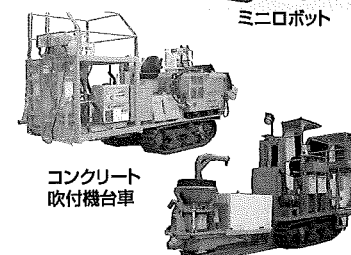
ミニロボット



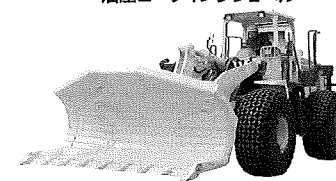
油圧ローディングショベル



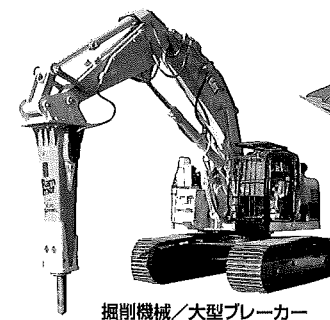
ダンプトラック



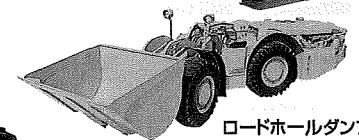
コンクリート
吹付機台車



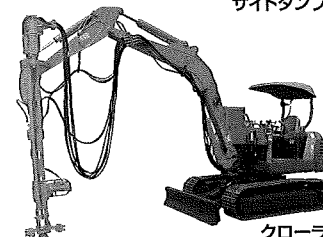
サイドダンプ



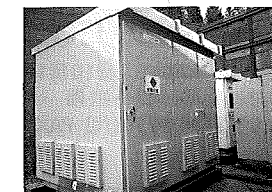
掘削機械/大型ブレーカー



ロードホールドンブ



クローラドリル



フリック対策機(インバータ方式:SVG)

T&M ニシオティーアンドエム株式会社
Tunnel & Mining

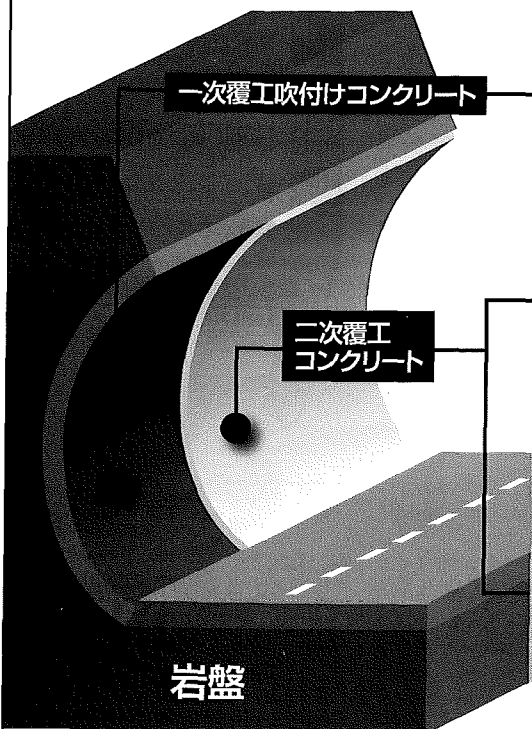
<http://www.nishio-tm.co.jp/>

■ 本社管理本部・技術開発本部 〒567-0853 大阪府茨木市宮島3-2-18 TEL 072-634-3939
■ 営業推進本部 〒141-0022 東京都品川区東五反田4-5-3サコスビル7F TEL 03-3280-3661

■ 北海道支店 〒061-3241 北海道石狩市新港西3-737-16 TEL 0133-72-3715
■ 関東支店 〒389-0508 長野県東御市称津字元会下1080-9 TEL 0268-62-1426
■ 大阪支店 〒569-0836 大阪府高槻市唐崎西2-26-1 TEL 072-677-2101
■ 九州支店 〒882-0024 宮崎県延岡市大武町779-1 TEL 0982-26-2111

トンネル工事を支えるコンクリート・ソリューション

長期耐久性に優れた高品質な覆工コンクリートの施工にお応えします。



湿式吹付けコンクリート用高性能減水剤

NT-1000シリーズ

急結剤と併用することにより、高品質で経済的な吹付けコンクリートを実現。

- 単位水量を減少し、急結性・付着性・強度発現性などの諸性状を改善する
- 急結剤の使用量を低減する

品質向上
対策

高性能AE減水剤 収縮低減タイプ

レオプラス800S/800SR

AE減水剤 高機能・収縮低減タイプ

ポリヒード® 15DS/15DSR

一般強度から高強度コンクリートまでの乾燥収縮ひび割れ対策を可能にする収縮低減タイプの混和剤。

- 収縮ひび割れを5～15%低減できる
- リーズナブルに使用できる

ひび割れ
対策

覆工コンクリート用膜養生剤(水性タイプ)

マスターキュー® 106

セメントの水和反応を最適環境下で進行させることができる養生剤。

- 保湿・保水性が高く養生効果に優れる
- 初期ひび割れ発生を低減する

養生
対策

コンクリートプラント廃棄物の再利用技術

デルボシステム

プラントミキサ・トラックアジテータから発生するスラッジ廃棄物を削減。

- コンクリート廃棄物量を抑制できる
- 廃棄物処理費を低減する
- 環境に対する負荷を軽減できる

廃棄物
削減対策

BASFポズリス

検索

<http://www.pozzolite.basf.co.jp>

BASF ポズリス株式会社

東京都港区六本木6丁目10番1号

六本木ヒルズ森タワー 21 階

TEL 03-3796-9710(代) FAX 03-3796-9980(代)

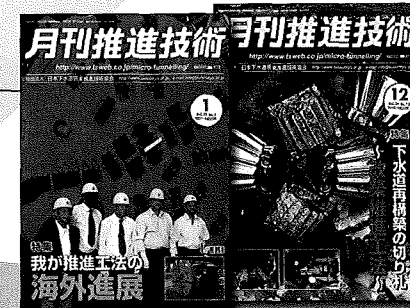


人とコンクリートのいい関係

BASF
The Chemical Company

月刊推進技術

定期購読のご案内



定期購読料金 **12,000円** (@1,000円/月×12ヶ月 税・送料込)

わが国の管渠整備事業においては、社会的ニーズや現場の施工条件等の要因により、推進工法の採用が必要不可欠とされています。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購読料金 12,000円(毎月1冊×12ヶ月 税・送料込)をお支払いください。

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたします。 [月刊推進技術]

月刊推進技術 編集室

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

〒135-0046 東京都江東区社丹2-2-3-105 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

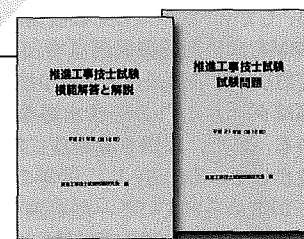
推進工事技士試験 過去8年間(平成14～21年度)

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

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



平成22年度版は、
2月上旬の発売予定

1. 内容と特長

- 過去8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)の出版箇所を明記

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/

〒135-0046 東京都江東区社丹2-2-3-105

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

好評発売中

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

トンネルの発破技術

監修 山田隆昭 B5判 76頁 定価 1,500円+税(送料別途)

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで！
振動や騒音の環境問題を詳述！！

山岳トンネルといえば、何を思い出すであろうか。「貫通発破」を思い出す方が多いのでは。発破の響きとともに岩が壊れ、外の光が差し込み、風が流れる。この感動は昔も今もトンネル関係者にとって普遍である。しかし、意外にも発破技術について詳しい人は少ないのが現状である。近年、機械の性能の向上に伴い、TBMを含めた機械掘削は増加の傾向にあるが、硬岩掘削は効率の良さから従来と変わらず発破が多用されており、発破技術はトンネル技術者にとって基本事項である。また、発破も時代とともに進歩しており、火薬類はダイナマイトから含水爆薬が主流となり、電気雷管も耐静電気性のものとなり安全性は格段に向上している。また、起爆を高精度に制御できるIC雷管も登場し、振動の軽減を図るための制御発破技術も一段と進歩している。さらに、近年のトンネル作業の効率向上と安全環境の確保の面から、発破の機械化、自動化が進められている。削岩機においては、自動的に位置を決めて穿孔するコンピュータジャンボも開発されている。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

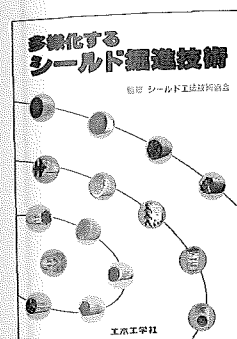
お申し込みは当社へFAX、または、お近くの書店にてお申し込みください。FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は、書名・部数・送料先・氏名・電話番号を明記の上、お申し込みください。

株式 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807多様化する
シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判 141頁 本体価格2,500円



日本のシールド掘進技術は、国際プロジェクトに多くの日本企業が参画していることが示すように、国内はもとより海外でも高い評価を受けている。とりわけ、世界のスタンダード工法の感がある各種の泥土圧式や異形断面の掘進技術は、まさに日本が世界に発信している技術と言える。これらの掘進技術のほかにも、最近の技術開発の成果により実用化に至った掘進技術は数多く、毎年、新しい技術が更新を繰り返している。

このような背景を踏まえて、掘進技術を広くシールド技術者の参考となることを意図し、最近に開発、実用化された技術を中心に日本トンネル技術協会誌「トンネルと地下」に平成16年春より約1年にわたり『多様化するシールド掘進技術』という連載講座を設け紹介した。その結果、読者の方々より、掲載対象とした以外の技術との関係、従来工法との関わりなどの情報が欲しいとの意見が寄せられた。

このため、読者の声に応えるべく、連載講座には掲載しなかった工法、技術などを整理、体系化するとともに、各種工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点が、よりわかりやすいように手を加え再度、同名の図書「多様化するシールド掘進技術」をシールド工法技術協会が監修を行い、発刊することとなった。

〔掲載工法〕

①ラチス式同時施工シールド工法、②F-NAVIシールド工法、③ハニカムセグメントを用いた同時施工法、④ロングジャッキ式同時施工シールド工法、⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法、⑥充填式シールド急曲線工法、⑦地下茎シールド工法、⑧T-BOSS工法、⑨球体シールド工法、⑩上向きシールド工法、⑪MMST工法、⑫拡大シールド工法、⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法、⑭ワギング・カッタ・シールド工法、⑮自由断面シールド工法、⑯OHM工法、⑰H&Vシールド工法、⑱単円～三連型駅シールド工法、⑲MFシールド工法、⑳DOT工法、㉑MSD工法、㉒親子シールド工法、㉓拡張シールド工法、㉔DSR工法、㉕泥土加圧シールド工法、㉖ケミカル・プラグ・シールド工法、㉗気泡シールド工法、㉘コンパクトシールド工法、㉙既設シールド撤去工法

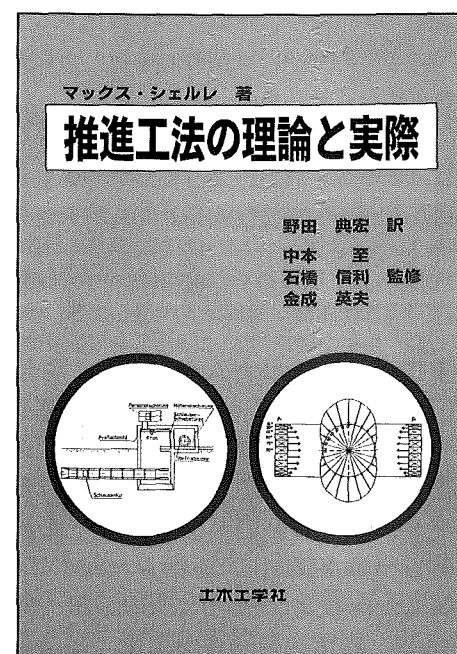
本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先

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

推進工法の理論と実際

マニュアルを超えて
推進工法の理解を
さらに深める一冊



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

推薦の言葉

中本 至・石橋信利・金成英夫

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

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

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

私たちは、野田氏（訳者）の翻訳を監修したわけだが、推進工法の理論面と実務面を実に詳細に解説している点に驚いた。したがって推進工法に従事し、一層活躍しようとする人たちに本書を推薦したいと思う。

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

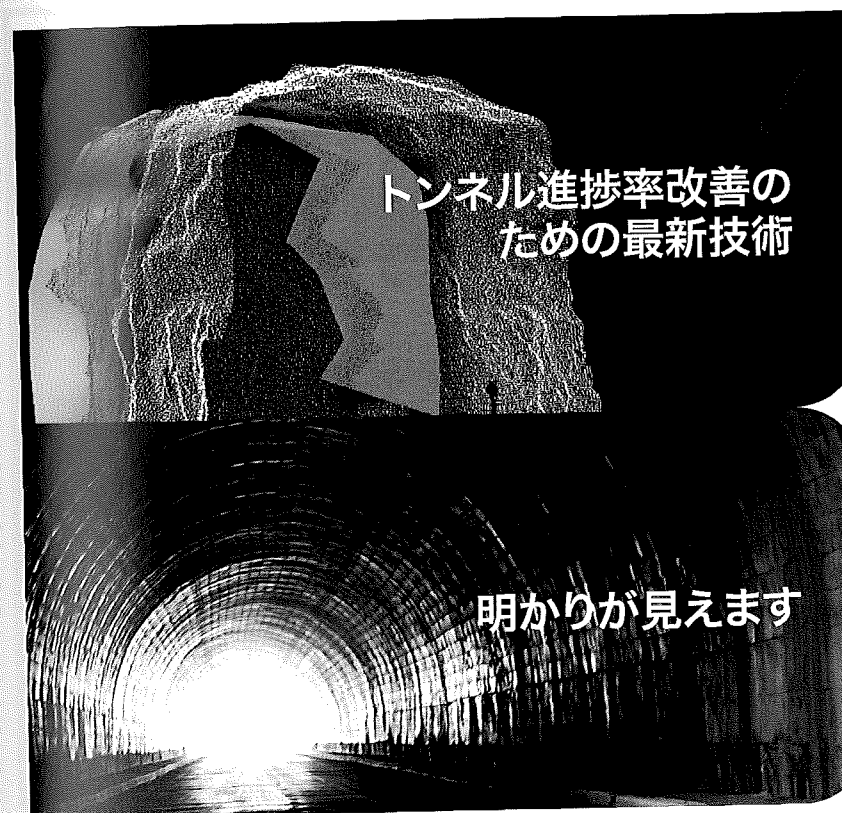
0~20 (約2年) 20~30 (1年6か月)
30~40 (約1年) 40~50 (6か月)

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

中濃産業株式会社
代表取締役 土田 義 式

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

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。

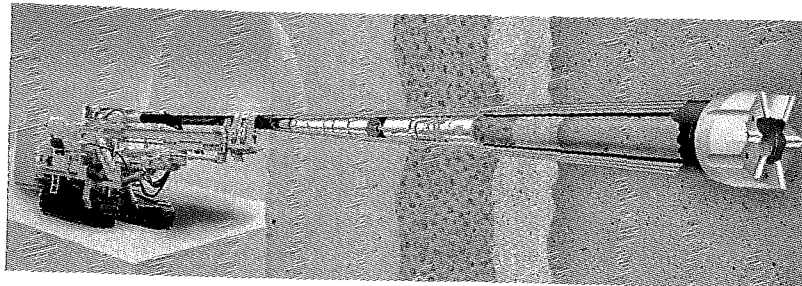
これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership (パートナーシップの力)」です。

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。

ORICA
MINING
SERVICES

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



■ 特長

- ①断層破砕帯や湧水をとまう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に、施工時間が大幅に短縮できます。
- ②2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くらべて大幅に向上しました。

KOKEN 鉤研工業株式会社

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

お問い合わせ先：工事営業本部

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

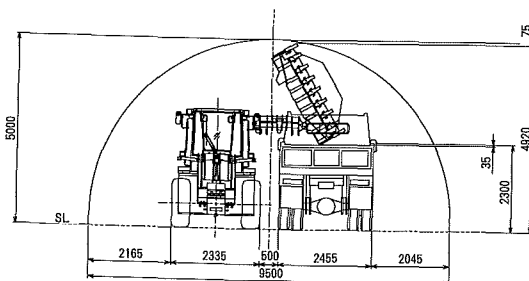
http://www.koken-boring.co.jp



サイドダンプ

CAT 924H

1.5m³



k|lea 株式会社 ケイ・リー

仙 台：TEL.022-359-5331
東 京：TEL.03-3661-5651
大 阪：TEL.06-6838-1372
尾 道：TEL.0848-56-1124
機材センター：TEL.022-359-4951

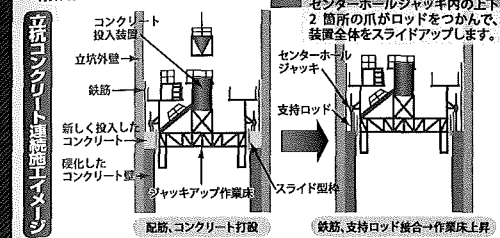
URL http://klea.catrent.com

スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献!

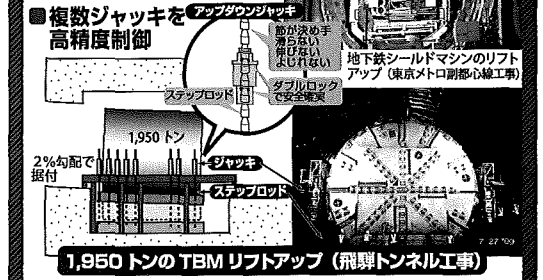
立坑スリップフォーム工法

- 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
- 複数ジャッキをアップダウンジャッキ高精度制御



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

【好評発売中】

わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修

B5判 209頁 本体価格2,500円 円340円

主要目次

序 編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第II編 トンネル工事と地質条件

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

第III編 地質調査法

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

第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

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

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

株式会社 土木工学社

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

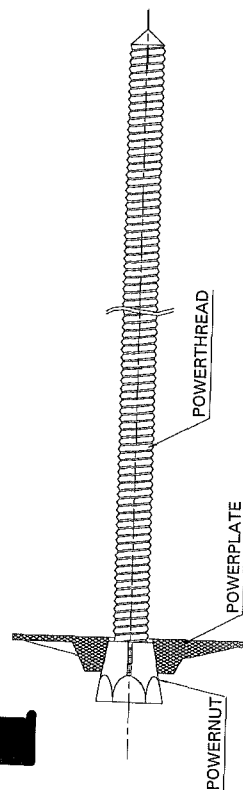
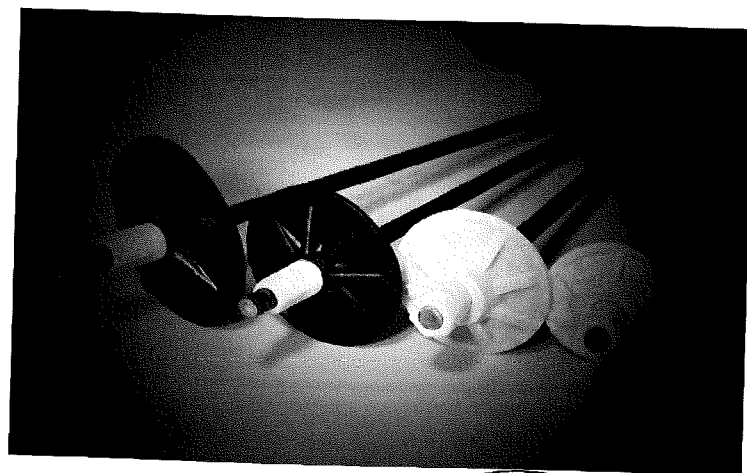
パターンボルトのGRP化

POWERTHREAD

耐食機能に優れるロックボルト

POWERTHREADは、POWERNUT/POWERPLATEを組み合わせることにより、
全てGRP製に！！

※ GRPとは、Glassfiber Reinforced Plastic
(ガラス繊維強化プラスチック)の略。



- ・棒鋼型ロックボルトと同等の耐力を有する。
- ・軽量である。
- ・腐食しない。錆びない。
- ・導電しない。耐電しない。
- ・製造過程でのCO₂排出量が少ない。

環境にやさしいロックボルトシステム

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.co.jp/>

技術営業部

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

東京支店

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

九州営業所

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

中部営業部

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

関西営業所

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

北海道地区(株)エイチ・アール・オー

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

濁水処理からズリ出しまで
トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0 m³/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

＜汎用車両全般＞



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



10T ミキサー



10T ダンプ



4.5 m³ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



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

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻頭言

豊かな国づくりを

加納 光正 5

■研究

山岳トンネル地質不良区間の地震被害と対策工の効果

野城 一栄 49

■施工

強変質地山における支保の変状対策と覆工補強

—東北中央自動車道 大笹生トンネル—

吉田 良勝・檜岡 民幸・寺島 佳宏・熊谷 幸樹 7

営業線直下掘削における支保工段数を情報化施工により低減

—京王電鉄調布駅付近連続立体交差事業第3工区—

岩村 忠之・重岡 剛雄・小倉 拓也 19

地下鉄駅直下の残置杭をDO-Jet工法で切断撤去

—東京都下水道 東大島幹線および南大島幹線—

家壽田昌司・千葉 正孝・高谷 圭吾 41

■連載講座

トンネル保守管理における記録とその活用(最終回)

—施工時の記録—

JTA保守管理小委員会 61

■現場だより

トルコ共和国・三都物語のイスタンブールより

岩野 政浩 30

「花と歴史と技術のまち」大村市より

高田 民夫 40

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

トンネルの基盤づくり

三好 正明 31

■資料

土木情報

編集部 48

トンネルジャーナル

編集部 69

文献紹介

編集部 70

■会報

会報

日本トンネル技術協会 76

工法・技術・製品ニュース

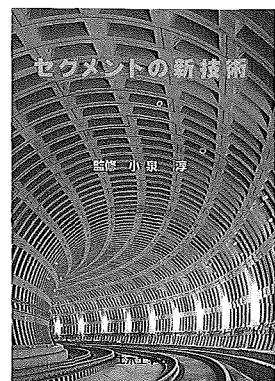
編集部 71

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 72

海外文献速報

JTA国際委員会 73



セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 円290円

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

【表紙説明】

営業線直下掘削における支保工段数を情報化施工により低減

—京王電鉄調布駅付近連続立体交差事業第3工区—



本事業は、東京都・調布市と協力して京王線の柴崎駅～西調布駅間約2.8kmの区間と相模原線の調布駅～京王多摩川駅間約0.9kmの区間を地下化することにより、18か所の踏切道を解消するとともに8か所の都市計画道路を立体化するものである。

本工事は、調布駅付近における営業線軌道直下の大規模掘削において情報化施工により支保工を低減した。写真は、掘削完了状況である。

〔写真提供：京王電鉄(株)〕(本文19頁参照)

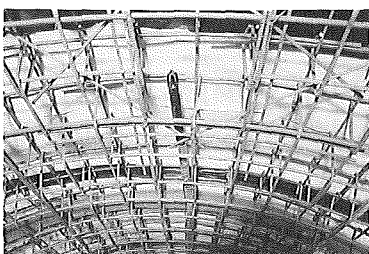
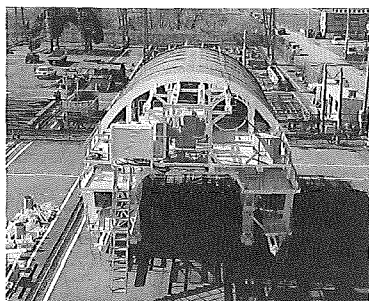
高品質なトンネル覆工に挑む

高品質なトンネル覆工を実現する 引抜バイブレータ締固システム

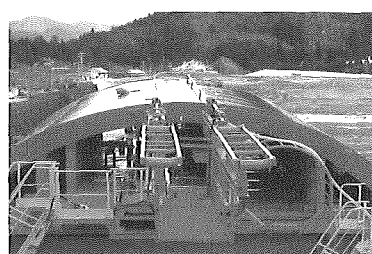
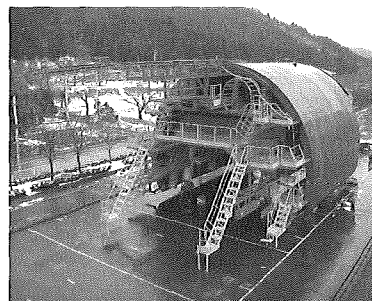
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースパイプ巻取り式



パイプパイプ伸縮式



特願 2000-073694・2002-329301・2004-021814・2004-021817

効果・特徴

1. 覆工コンクリートの品質が向上する。
2. トンネルクラウン部の締固めが省力化できる。
3. 作業環境が改善でき、狭隘なヶ所での作業が無くなります。
4. 鉄筋、無筋区間での共用が可能で、経済性に富んでいます。



岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO., LTD

本社 岐阜県本巣市十四条144番地 〒501-0464
本社工場 TEL (058) 323-2000(代) FAX (058) 323-1176

本社営業部 (058) 323-2001
東京支店 (03) 5836-0531
仙台営業所 (022) 259-2239
九州営業所 (092) 713-5265

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

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センター長

〔幹 事〕

居 相 好 信

株式会社大林組東京本社生産技術本部
トンネル技術部部長

池 田 豊 人

国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

大 石 敬 司

東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
改良建設企画課課長

久多羅木 吉治

東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

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

城 間 博 通

株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

高 瀬 昭 雄

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

濱 建 介

株式会社ANET取締役

福 家 佳 則

鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
トンネルグループ長

松 原 利 之

飛島建設株式会社土木事業本部土木技術部
トンネル技術グループ部長

三 浦 克

株式会社竹中土木常務執行役員

領 家 邦 泰

大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室参与

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10.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とビック消費量低減。
- ・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
カスタマーサービス 〒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

中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出長常町 1129 番地 11 TEL 059-234-4139

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センター長

〔編集参与〕

今田 徹
東京都立大学名誉教授

高橋 良文
東京都下水道サービス(株)管路部長

橋本 定雄
(元)東京都公営企業管理者下水道局長

濱 建介
株式会社ANET取締役

三浦 克
株式会社竹中土木常務執行役員

〔委員〕

葛城 真治
東京電力株式会社電力流通本部工務部
地中送電グループ課長

亀山 勝
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
計画担当課長

木谷 日出男
財団法人鉄道総合技術研究所
企画室長

清水 満
JR東日本研究開発センター
フロンティアサービス研究所次長

城間 博通
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

新谷 康之
東京都下水道局建設部設計調整課長

中本 忠道
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

藤村 和彦
東京都水道局建設部工務課長

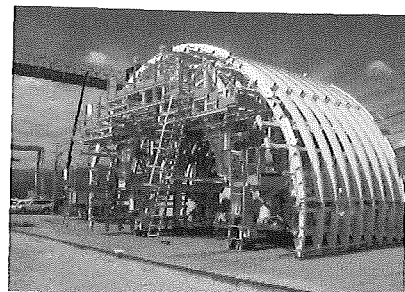
真下 英人
独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ長

両角 幸範
東京都交通局建設工務部計画改良課長

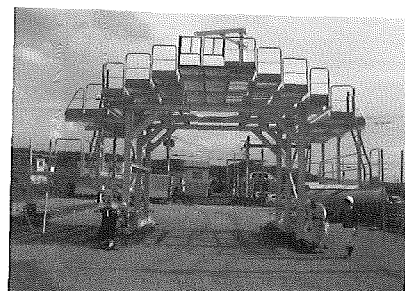
トンネル 二次覆工用型枠 総合メーカー

一歩前進！
～限りない未来への挑戦～

大栄工機株式会社



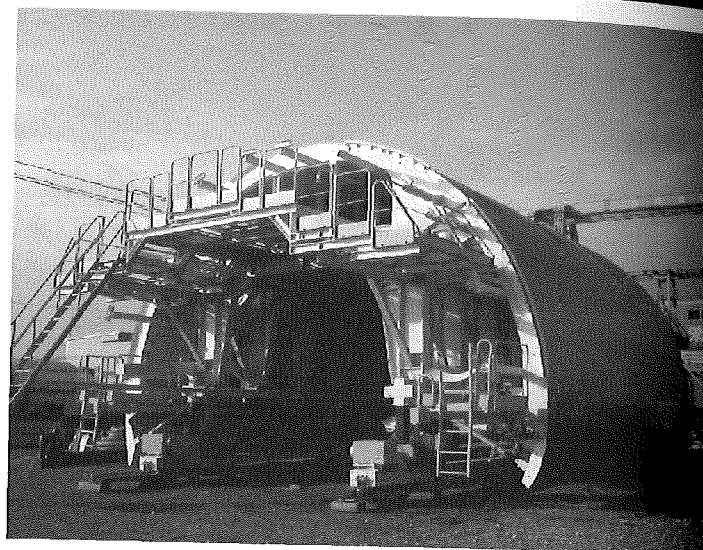
スライドセントル



作業台車



移動栈橋



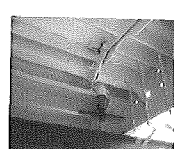
スチールフォーム(中流動コンクリート対応型)



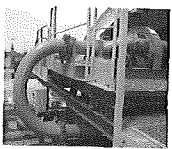
MC矢板



天端引抜パイププレート



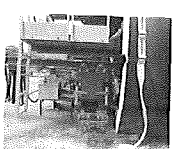
エア抜き金具



配管切替装置



剥離材塗布装置付自動ケレン機



クラック防止センサー



NETIS登録番号 CB-090003-A
EPSパネル養生

ご用命は下記まで

〒526-0842 滋賀県長浜市春近町90番地
TEL: 0749-64-0246 FAX: 0749-63-6765
URL: <http://www.daieikouki.co.jp/>
E-mail: daiei-co@minos.ocn.ne.jp
※詳しくは、弊社ホームページをご覧ください

トンネルと地下 VOL. 42 No. 2 掲載概要

掲載頁
7

強変質地山における支保の変状対策と覆工補強
—東北中央自動車道 大笹生トンネル—

国土交通省 吉田 良勝

東北中央自動車道大笹生トンネル工事は、東北中央自動車道(福島JCT～米沢IC間)のうち、福島県福島市郊外に位置する全長2,089mの山岳トンネルである。

大笹生トンネルではトンネル掘削時に2つの区間において塑性圧を起因とする地山や支保の変状が発生し、覆工打設箇所でも後荷によるひび割れが施工中に複数箇所が発生した。

本稿では、トンネル掘削時の変位・変状状況、覆工の損傷状況を踏まえたうえでの損傷の発生原因、対策工の選定、およびその施工結果について報告する。

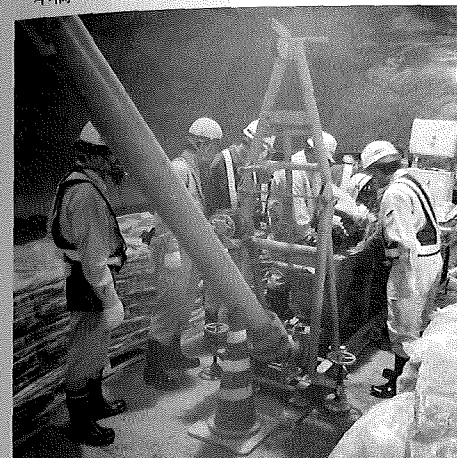
Deformation Measures and Lining Reinforcement in Strongly Altered Ground—Tohoku Chuo Expressway Ozaso Tunnel—

By Yoshikatsu Yoshida, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The Ozaso Tunnel is a mountain tunnel of 2,089 m in length located between Fukushima Junction and Yonezawa Interchange on the Tohoku-Chuo Expressway in the suburban of Fukushima City.

During excavation of the tunnel, deformation of ground and supports occurred in two sections that was caused by plastic ground pressure and the residual load caused cracks at multiple places on lining.

This report gives information on causes of damage, selection of counter/measure works and the results of these countermeasures.



写真は坑内での鋼繊維投入状況

掲載頁
19

営業線直下掘削における支保工段数を情報化施工により低減
—京王電鉄調布駅付近連続立体交差事業第3工区—

京王電鉄(株) 岩村 忠之

本事業は、京王線のほぼ中心に位置し、京王本線と相模原線の分岐点である調布駅付近において、東京都・調布市と協力して連続立体交差を6工区に分けて進めている。事業概要は、京王線の柴崎駅～西調布駅間約2.8kmの区間と相模原線の調布駅～京王多摩川駅間約0.9kmの区間を地下化することにより、18か所の踏切道を解消するとともに8か所の都市計画道路を立体化するものである。

本稿は、調布駅付近の工事(第3工区の施工範囲)における営業線軌道直下の大規模掘削工事の施工実績について報告するものである。

Reduction of Tunnel Support through Observational Design System in Excavation Directly under Operating Track—3rd Section of the Grade Separation Project Reaches of Chofu Station—

By Tadayuki Iwamura, Keio Corporation

This grade separation project is cooperatively implemented by Tokyo Metropolitan Government, Chofu City and Keio Cooperation in the vicinity of Chofu Station which is located in almost the centre of the Keio Line and is a junction of the Keio Line and the Sagami Line. Constructions were ordered in 6 lots. The project is implemented at an approximately 2.8 km section between Shibasaki and Nishi Chofu Stations on the Keio Line and an approximately 0.9 km section between Chofu and Keio Tamagawa Stations on the Sagami Line and is to replace level crossings at 18 points with eight grade separations.

This report gives information on construction results for large-scale excavation works directly under operating tracks in works in the vicinity of Chofu Station (the 3rd lot).



写真は掘削完了状況

東大島幹線は全長約3.5km、流域面積約267haの雨水幹線(合流式)である。また、南大島幹線は、全長約1.4km、流域面積約292haの雨水幹線(合流式)である。

東大島幹線および南大島幹線は、大島ポンプ所の老朽化、旧中川の環境保全、管渠能力の向上などに対応するために計画されたものであり、両幹線の整備後は当該地区の雨水放流先が荒川に変更になるとともに、本幹線流域における枝線管渠の面的な再構築が可能となる。

人口が多く集積する都市部では、大規模な影響が懸念される重要構造物近傍での施工を余儀なくされる場合が多い。このような場合、十分な実績を伴った工法を選択肢に据えて検討を行い、安全かつ確実に施工することが求められる。本工事は、営業中の都営地下鉄新宿線の大島駅および東京電力洞道の直下において、支障物を撤去しながら幹線を新設するという非常に困難をきわめる施工が予想されるが、DO-Jet工法を活用することで無事に竣工するものと期待している。

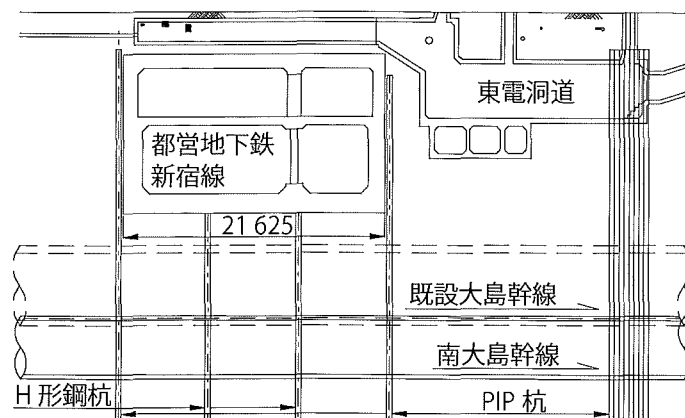
Cutting and Removal of Soldier Piles beneath a Underground Station with the DO-Jet Method—Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government Higashi Ojima Sewer Main and Minami Ojima Sewer Main—

By Masashi Kesuda, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

The Higashi Ojima sewer main is approximately 3.5 km in length and is main storm water drainage (combined system) with a drainage area of 267 ha. The Minami Ojima sewer main is approximately 1.4 km in length and is main storm water drainage (combined system) with a drainage area of 292 ha.

The Higashi and Minami Ojima Sewers were planned to tackle the deterioration of the Ojima pump station, environmental conservation of the Kyu-Naka-Gawa River and improvements in pipe capacity. After the improvement of both sewers, outlet of the storm water drainage from applicable area will change to the Arakawa River, it will be possible to reconstruct branch sewers under each drainage area.

In heavily populated areas, there are many cases that construction site is located in the vicinity of important structures to which the damages are concerned. In such cases, methods that lead to satisfactory results are selected and examined as well as safe and reliable construction is demanded. These works are executed directly under the operating Ojima Station of Toei Subway Shinjuku Line and TEPCO cable tunnels and it is expected that installation of large sewers with removing obstacles will encounter the difficulties but it is hoped that construction will be completed without problems leveraging the DO-Jet Method.



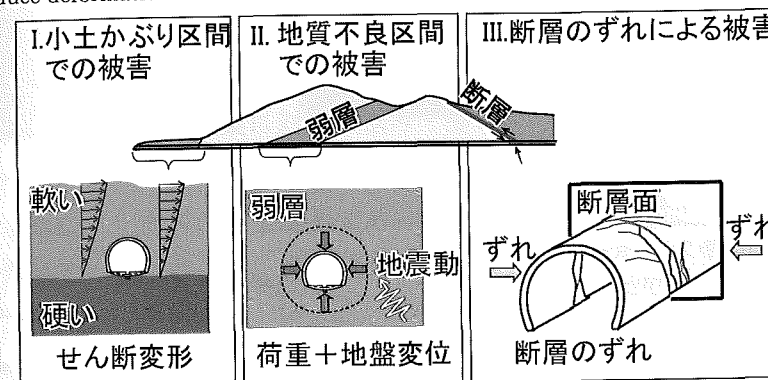
図は都営地下鉄および東電洞道詳細図

地質不良区間での山岳トンネルの地震被害に関して、被害メカニズムや新設トンネルの地震対策工の効果を解明するために研究を行った。載荷方向や構造条件を変化させた模型実験により被害を再現できた。また、背面空洞により変状が生じやすくなること、インバートにより変形や盤膨れを抑制できること、繊維補強コンクリートにより剥落を防止できること、緩衝材により変形を低減しひび割れを抑制できることがわかった。

Seismic Damage and Effectiveness of Countermeasure Works of a Mountain Tunnels in Poor Geological Conditions

By Kazuhide Yashiro, Railway Technical Research Institute

Authors made researches to clarify the mechanisms of seismic damage and effectiveness of seismic countermeasures for newly built tunnels, concerning earthquake damage of mountain tunnels in poor geological conditions. It was revealed that actual seismic damages are able to be reproduced by the model tests, in which loading and structural conditions were modeled. Further, it was found that the void above the lining negatively affects to tunnel deformation, building the invert is able to control the deformation and heaving, fibre reinforced concrete is able to prevent concrete pieces falling from lining and the shock-absorbing member is possible to reduce deformation and cracks.

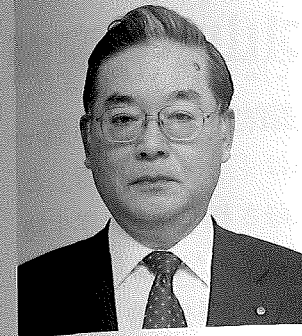


図は地震被害の形態の分類

巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)

豊かな国づくりを



(株)竹中土木取締役専務執行役員営業本部長(本協会理事)

加納光正

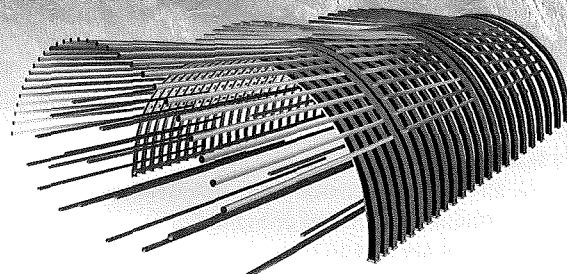
昨今、国民生活の基盤である社会資本整備、とりわけ公共事業に対する評価が正当性に欠落している状況は余りあるものと考え、そこで公共工事の代表格である「トンネル」を通じて、最近の公共事業に対する悩み・憂いを吐露させていただく。

「トンネル」と聞いたときに、まず、自論として口にできることは何かと考えたときに、頭をよぎったフレーズは『雪国』であった。この小説の題名はどなたでもご存知の川端康成の作品である。とくに、書き始めの「国境の長いトンネルを抜けるとそこは雪国であった。」という記憶から、トンネル＝雪国と連想される。この小説は昭和23年に書かれたものであるが、時代背景は昭和初期であった。昭和6年に貫通した清水トンネル(土合～土樽間、全長9,702m)を鉄道で旅する実体験を描写したものと推察される。それまでは新潟に行くには軽井沢経由で長野から直江津を行く方法しかなく、大きく迂回しなければ辿り着かなかった。豪雪で閉ざされて生活苦を強いられた越後国と雪の少ない開かれた上野国とを、単に物理的に風穴を開けただけのトンネルではなく、文化的、経済的にも非常に大きな貢献を果たしたトンネルであった。まさに一国の生活観を大きく変革させたのがトンネル技術であることを強く認識したい。建設技術者の一人として、文学的にも優れた描写であることの感動と勝るに劣らないトンネル技術のすばらしさを実感する。

このように「トンネル」という用語は小説・ドラマなどの描写の中にしばしば登場してくる代表的な土木専門用語でかつ外来語と思われる。それだけ日々の生活に密着し、その恩恵を国民が受け、感謝の念を持って受け入れられてきたことの証左であると感じられる。

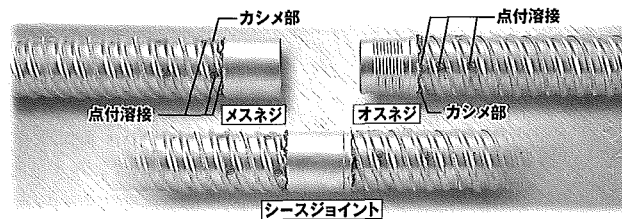
さらに、叙情的に表現されている作品に、三島由紀夫の『金閣寺』がある。主人公である田舎の僧侶の息子が病んだ父親とともに、舞鶴線に乗り永年の夢であった金閣寺を初めて訪れるときの車中での描写に登場する。トンネルの多い保津峡にさしかかったと

ユニークな発想と高品質・自信の価格



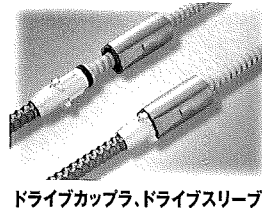
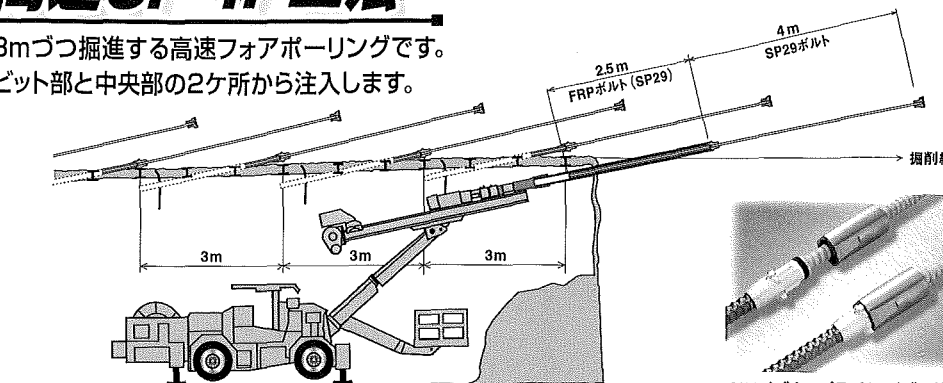
FIXチューブ工法

※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと“FIX”します。



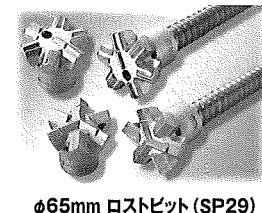
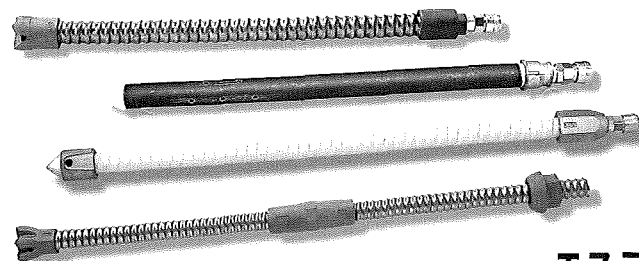
高速SP-IF工法

※3mづつ掘進する高速フォアボーリングです。ビット部と中央部の2ヶ所から注入します。



ドライブカップラ、ドライブスリーブ

自穿孔ボルト&注入管



φ65mm ロストビット (SP29)

※他にも脚部や坑口周りに利用できる各種の補強土工法、マイクロパイル工法を準備しております。

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:0729-90-0250 FAX:0729-90-0251
<http://www.st-eng.co.jp>

きの有様を、トンネルを出るごとに違うその情景を遠近感を持って描写している。また、トンネル内で車内に立ち込める煙から、病んだ父の寿命を予見する表現にも用いている。さらに、驚かされたのは現代詩の中にも引用されている。それは「永遠の漂泊者」と自認している萩原朔太郎の晩年の代表作である詩集『氷島』に収録されている。学生時代の教科書として、第一詩集「月に吠える」の竹の描写に、記憶がよみがえる年代の方も多々おられると思われる。私ごととしては、その描写・背景などの題材が暗くあまり好きな詩人ではないがどんなものかと、書棚の本をばらばらめくるうちに「トンネル」というカタカナが目に入った。その題名は「地下鉄道にて」で、青年期に想いを果たせなかった女性に対して、長年の気持ちを表現したものであった。

誌面の都合上、全文は書くことができないがその一部をご紹介しますと

「なに^{まほろし}幻影の後尾燈(掛ヶ詞で恋人をに通ず)

空洞^{うつろ}に暗きトンネルの壁に映りて消え行けり……」

とあり、古典文章語を否定して文壇に一躍躍り出た歌人であるが、唯一、詩語に文章語を使った詩集であった。このように詩歌の表現語としても使われるほど「トンネル」という単語は国民の生活感の一部となり文化となっている。

ながながと「トンネル」という単語にこだわり、文学に引用された例を記述するのも、このくらいにしておきたい。要は、公共事業を、単なる無機質で反生活的な物と捉えて「公共工事無駄論」、「コンクリートから人に」と短絡的に表現される昨今の風潮に対して、社会資本は地域の文化・生活向上に寄与し、暮らしの一部となり、まさに「コンクリートが人を守り」安全・安心を提供していることを強く訴えたい。

従来、公共事業は雇用・景気の活性化に対する有効な経済対策として、一定の役割を果たしてきたが、近年、その効果が疑問視されると短絡的に公共工事無駄論が闊歩している。しかし、本来の使命は、国民に感謝の念を持って受け入れられる「国づくり」である。

今こそ、現在の生活環境を冷静に振り返り公共事業がなぜ必要か、現在あるインフラがいかに生活基盤に貢献しているか、その価値観を国民と共有できるようにわれわれも努力しなければならない時代となってきた。専門家集団内のコンセンサスだけでなく、個々の立場で広く一般市民にもわかりやすく、具体的に理解を求める地道な広報活動が望まれる。

施工

強変質地山における支保の変状対策と覆工補強

—東北中央自動車道 大笹生トンネル—

国土交通省東北地方整備局福島河川国道事務所工務第二課長 吉田 良 勝
 国土交通省東北地方整備局福島河川国道事務所建設監督官 檜岡 民 幸
 飛島建設(株)東日本土木支社東北事業部大笹生作業所課長 寺 島 佳 宏
 飛島建設(株)土木事業本部土木技術部トンネル技術グループ課長 熊 谷 幸 樹

1 はじめに

東北中央自動車道大笹生^{おおさそう}トンネル工事は、東北中央自動車道(福島JCT～米沢IC間)のうち、福島県福島市郊外に位置する全長2,089mの山岳トンネルである。図-1にトンネルの施工位置図を示す。

大笹生トンネルではトンネル掘削時に大きく2つの区間、すなわち、STA.25+8～STA.26+34.1の126.1m区間(以後、「変状区間A」とSTA.34+63.5～STA.37+53.5の290m区間(以後、「変状区間B」)において塑性圧を起因とする地山や支保の変状が発生し、覆工にも後荷によるひび割れが複数箇所が発生した。

本稿では、トンネル掘削時の変位・変状状況、覆工の損傷状況を踏まえたうえでの損傷の発生原因、対策工の選定、およびその効果の検証について報告する。

2 工事概要および地形・地質

2-1 工事概要

工事概要を表-1に、坑口およびずり搬出状況を写真-1に示す。

2-2 地形・地質概要

大笹生トンネルは、通称「まないた山」と呼ばれる台山を貫くルートとなっている。この台山は

標高462mを有し、350m前後の平坦地ないしは緩斜面を呈する台地形の山であり、西側の栗子峠より延びる山地東縁部に位置する。

地質は新第三紀中新世の凝灰岩類(天王寺層：湖沼堆積)およびそれに貫入した流紋岩類よりなる。当初の想定では流紋岩類がルートの約7割を占め、比較的硬質で良

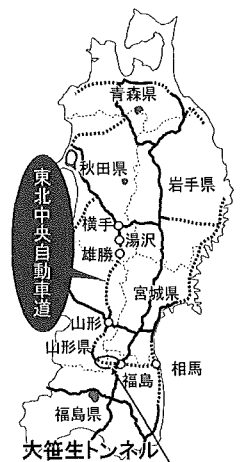
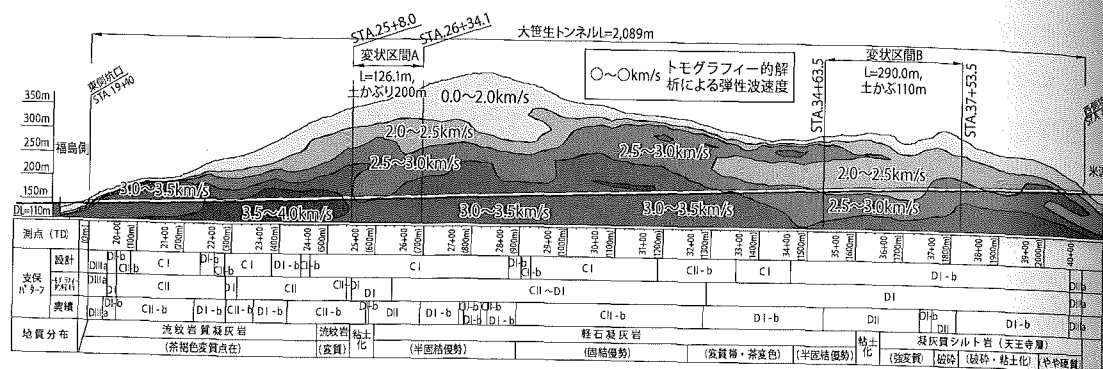
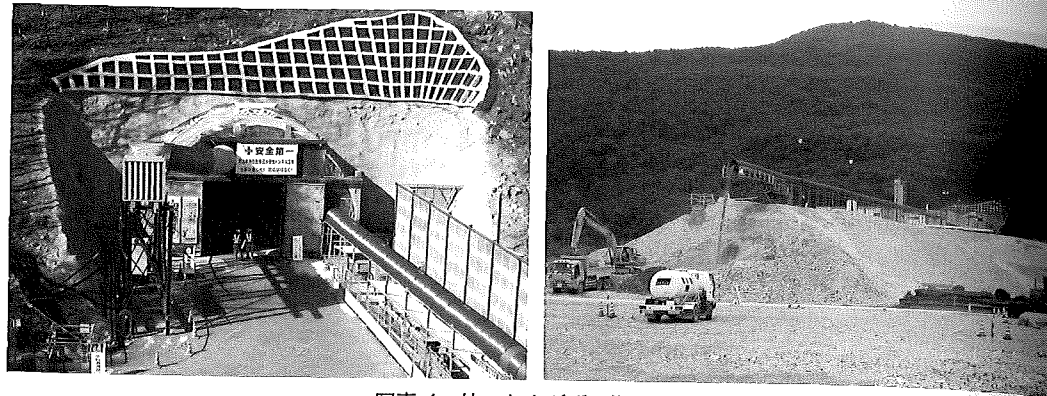


図-1 施工位置図

表-1 工事概要

工 事 名 称	東北中央自動車道大笹生トンネル工事
工 事 場 所	福島県福島市大笹生地内
発 注 者	国土交通省東北地方整備局
工 期	平成19年3月20日～平成23年2月28日
施 工 者	飛島建設(株)
トンネル延長	2,089m
掘削断面積	77m ²
掘削工法	DⅠ-b：上半先進ベンチカット工法 DⅡ：ミニベンチカット工法 CⅡ-b：補助ベンチ付き全断面掘削工法
掘削方式	発破掘削
ずり出し方式	連続ベルトコンベヤ



好な地山が分布するとされていた。しかし、実際は、熱変質を受け粘土化した流紋岩や軽石を含む脆弱な凝灰岩が連続して出現した。とくに変状区間AのSTA.25+0～STA.26+0付近は、流紋岩と軽石凝灰岩の境界部にあたり、ともに脆弱な地質となっていた。STA.34+63.5からは、天王寺層に属する凝灰質シルト岩が出現し、出口側坑口まで分布した。この凝灰質シルト岩も多くは変質などにより粘土化しており、とくに変状区間Bの軽石凝灰岩との境界・混在部では脆弱な地質となっていた。なお、本工事では支保パターンのランクアップ(当初設計：CⅠ→実施工：CⅡ-b, DⅠ-b, DⅡ)が連続したため、掘削途中段階で弾性波探査の再解析(当初：はぎとり法、再解析：トモグラフィ的解析)を実施した。その解析結果は、おおむね実施工で出現した地山に相当する弾性波速度が得られている。

図-2に、地質縦断図とトモグラフィ的解析によって得られた弾性波速度分布を示す。

3 トンネル掘削時の変状と対策

トンネル標準断面図を図-3に、代表的な支保パターン図を図-4に示す。また、変状区間AおよびBの施工実績、地質、支保変状および対策工の一覧を表-2, 3に示す。

3-1 変状区間A掘削時の変状と対策

CII-bパターンで掘削中であつたSTA.25+8付

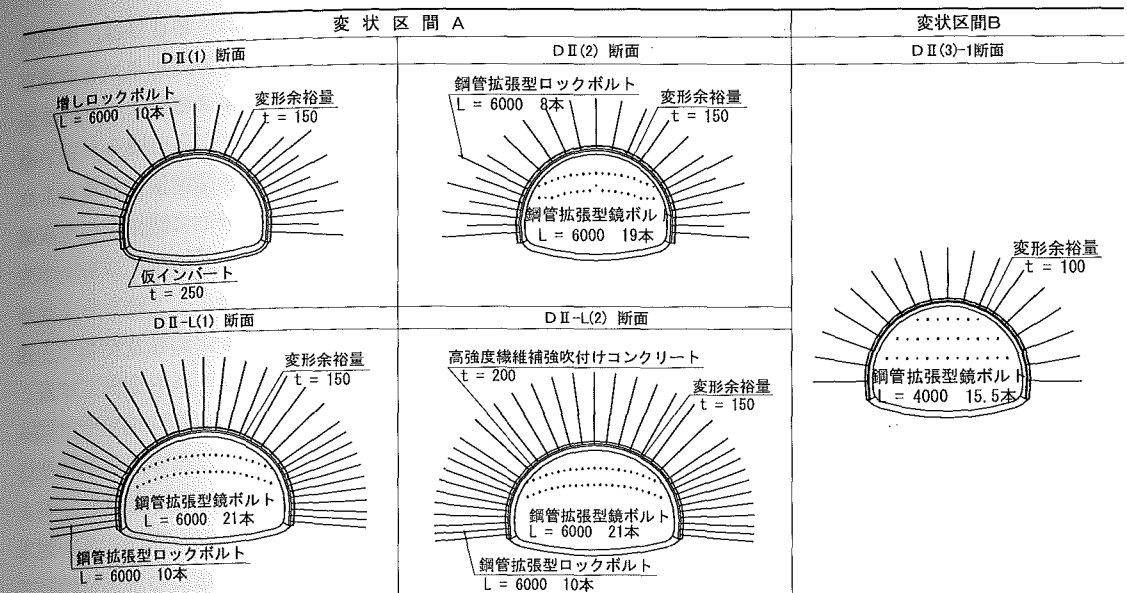
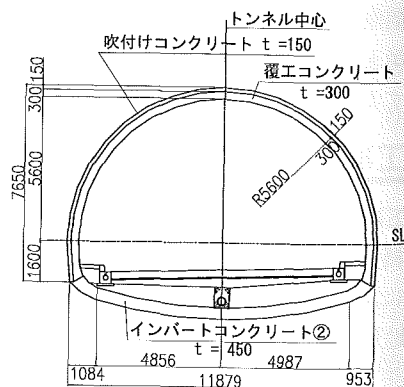


図-4 支保パターン図

表-2 変状区間Aの施工実績、変状および対策工事実績

変 状 区 間		変状区間A : L=126.1m, 土かぶり : 200m						変状なし区間	
地 質		熱変質を受けた流紋岩 白色粘土		軽石凝灰岩(灰白色) 固結度が徐々に増し亀裂が増加 固結度が増し、湧水が多くなる					
湧 水		湧水なし		土砂流出→空洞13.5m³ 標準断面 非常駐車帯断面 標準断面					
トンネル断面掘削工法		補助ベンチ		標準断面		非常駐車帯断面		標準断面	
変形メーター		CII-b(1)		DII-L(1)		DII-L(2)		DII-L	
変形余裕量		なし		なし		15cm		なし	
鋼製支保工		H-125(上)		H-125		H-200		H-150	
吹付けコンクリート		標準 10cm		標準 15cm		標準 25cm		高強度繊維 20cm	
インバート		45cm		50cm		20cm		20cm	
延長		L=15.6m		L=5.0m		L=15.9m		L=26.6m	
変状が大きい		200mm以上(内空変位)		200mm以上(内空変位)		100mm以上(内空変位)		25mm(天端沈下)	
微小変形		未確認		あり(1年)		未確認		あり(1年)	
湧水による強度低下		L=4m, 6m		L=6m		著しい		あり	
補 助 工 法	増しボルト	L=4m, 6m		L=6m		破断ボルト箇所			
	打直しボルト					剝離剝落箇所へ増吹付け実施			
	増し吹付け					剝離剝落箇所へ増吹付け実施			
	上げ越し	実施		→DIIパターン(変形余裕量)へ移行		なし			
	仮インバート吹付け(早期閉合による変位速度抑制)	20cm 25cm		25cm		初期内空変位速度が5~18mm/日と小さく、さらにインバート打設前に収束傾向を示していたため、速やかなインバートによる閉合に切り替えた。			
	鋼管拡張型ボルトL=6m(地山変位抑制対策)	内空変位速度40mm/日、収束傾向が見られず適用→インバート施工前0.4~1.8mm/日に抑制		上半内空の初期変位抑制を目的に速攻性の鋼管拡張型ボルトを採用 内空変位速度1.3~2.9mm/日に抑制(インバート施工前の変位速度)		インバート(L=6m)で収束		剝離剝落対策 支保耐力向上	
	本設インバート	縫返し後、インバートで収束		インバート(L=6m)で収束		インバートで収束		インバート(L=6m)で収束	
	高強度繊維補強								
	吹付けコンクリート								
	縫返し工	DII支保規模に 全面縫返し : 19.4m		押込み 縫返し		DII-L支保規模で 全面縫返し : 14m			
鎮 静 化	鏡吹付けt=5cm					鏡吹付けt=5cm			
	核残し	核残し(斜め切羽)							
	鋼管拡張型ボルトL=6m			L=6m, n=24本		L=6m, n=19本		L=6m, n=24本	
	空溜充填 小口径注入式長尺FP 水抜き孔φ65					ウレタン系注入充填 L=12.5m, 27本3シフト		ドリルジヤンクによる探り孔を兼ねた水抜きボーリング	
調 査	覆工損傷	損傷なし		覆工未施工		ひび割れ発生 65BL		覆工未施工 ひび割れ発生 67BL, 69BL, 70BL, 71BL	
	覆工補強対策			鋼繊維補強		打ち直し→鋼繊維		鋼繊維補強	
	B計測			B計測					
調 査	膨張性地山試験	粘土分 : 60.8% 浸水崩壊度 : D		粘土分 : 26.5% 浸水崩壊度 : D					
	針入試験			新鮮 : 1.8N/mm², Gn=0.43 水劣化 : 0.8N/mm², Gn=0.19		※Gn : 地山強度比			

近より、当初想定よりも脆弱な地山が連続し(写真-2)、切羽崩壊(写真-3)、150mmを超える内空変位、支保工の変状(写真-4)が発生したため、支保

表-3 変状区間Bの施工実績、変状および対策工実績

変 状 区 間		変状区間B:L=290m、土かぶり:110m				
地 質		軽石凝灰岩 半固結優勢		粘土化	潮沼層堆積岩 強変質 破碎	
湧 水		進行後あり			少ない	
トンネル断面		標準断面				
支保パターン		DⅠ-b	DⅡ(3)	DⅠ-b	DⅡ(3)	DⅠ-b
変形余裕量		なし	10cm	なし	10cm	なし
鋼製支保工		H-125	H-150	H-125	H-150	H-125
吹付けコンクリート		15cm	20cm	15cm	20cm	15cm
ロックボルト		4m				
延 長		L=13.4m	L=200.0m	L=25.0m	L=51.0m	L=0.6m
変状が大きい		67mm片側(内空変位)		60～100mm(内空変位)		
微 小 変 形		あり(半年)		あり		
湧水による強度低下		著しい、削孔水により更に低下、鏡面の崩落		著しい、削孔水により更に低下、鏡面の崩落		
安 定 対 策	掘 削 工 法		ミニベンチカット工法			
	変 状	打直しボルト	破断箇所			
		増し吹付	剝離剝落箇所			
		上げ越し/広げ越し	実施			
		→DⅡパターンへ(変形余裕量)移行				
		本設インバート	速やかに本インバート施工(本インバート打設前の内空変位速度は0.4～4.4mm/日)			
	鏡	鏡返し工	押込み鏡返し			
		鏡残し	核残し(斜め切羽)			
		鏡吹付けt=5cm	鏡吹付けt=5cm			
		鋼管地盤型ボルトL=4m	L=4m、n=15.5本			
小口径注入式長尺鏡ボルト		L=12.5m、18本				
天端	小口径注入式長尺FP	L=12.5m、27本				
調 査	インバート損傷	塑性変形によるひび割れ発生				
	→インバート補強対策	鋼繊維補強 L=53.0m		未施工区間		
	覆工損傷	鋼繊維補強				
	→覆工補強対策					
	膨張性地山試験			粘土分:37.3% 浸水崩壊度:D		



写真-2 変状区間Aの切羽



写真-3 変状区間Aの切羽崩壊

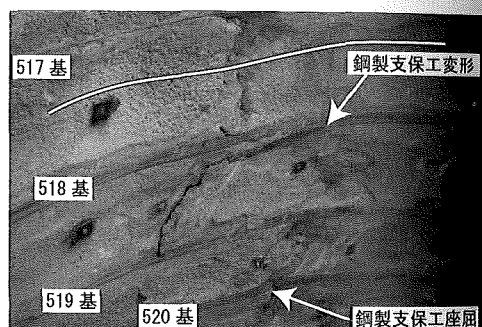


写真-4 変状区間Aの支保変状



写真-5 変状区間Bの切羽崩壊

工のランクアップ(DI-b(1), DII(1)), 即効性のある鋼管拡張型ボルトによる増しボルトや鏡ボルト、吹付けコンクリートによる仮インバート、およびDII支保規模への縫い返しなどの各種対策工を実施した。さらに早期に地山変位を収束させるため、掘削工法を上半先進ベンチカット工法からミニベンチカット工法に変更して、速やかにインバートを施工することでトンネル構造の安定化を図った。しかしながら、掘削の進行に伴い、粘土化した流紋岩および軽石凝灰岩の未固結部が遮水層となり、亀裂の増加に伴って、貯留されていた地下水が、硬軟不規則な切羽から噴き出し、湧水とともに軟質部の土砂が流出したため、空洞充填や小口径鋼管先受け工などの各種補助工法の実施を余儀なくされた。

以上に示した変状区間Aにおける変状は、当該区間の一軸圧縮強度が $q_u=1.8\text{MPa}$ と極度に小さく、土かぶりが200mであったことに起因していると考えられる。すなわち、地山強度比($G_n=0.43<0.5$)の低下による塑性地圧が主因であると推察された。

3-2 変状区間B掘削時の変状と対策

変状区間Bの地質は、STA.34+10以降、軽石凝灰岩が半固結優勢となり、凝灰質シルト岩からなる天王寺層が混在した。これらの地山はどちらも掘削後の強度低下が著しく、DIパターンで施工中のSTA.34+71付近では鏡面が連続的に崩壊し(写真-5)、ロックボルトの破断や吹付けコンクリートの剝離が発生した。また、内空変位がDIパターンからDIIパターンへの変更への管理値である60mmを超えたため、STA.34+71よりDIIパターンに変更した。なお、変状区間Bでは土かぶりが約110mであり、トンネル掘削後の内空変位が変状区間Aほど大きなものではなかったため、変位の早期収束のための手段としてミニベンチカット工法を適用し、切羽の進行に合わせて速やかにインバートを打設することで対応した。

変状区間Bのうち地山が粘土化した区間では、水による劣化が著しく、鏡安定対策として実施していた鋼管拡張型鏡ボルトの削孔水が、地山強度をさらに低下させることとなり、鏡面崩壊を助長する結果となった。

当該区間では、中硬岩程度の地山と、粘土化帯が混在しており、粘土化地山の一軸圧縮強度は $q_u=1.0\text{MPa}$ と極度に小さく、土かぶりが110mであったことから、地山強度比は $G_n=0.56$ と、塑性地圧が発生するとされる $G_n=2$ を大きく下回る値を示した。地山強度の違いにより、強度の低下した箇所に塑性地圧が集中したことが、変状区間Bで発生した変状の主因であると推察される。さらに、変状区間Bの一部区間(STA.34+70.5から延長53mの範囲)では、塑性地圧に起因するインバートのひび割れが発生した(図-5)。インバート施工

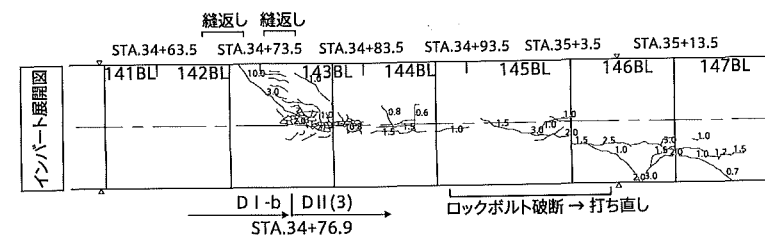


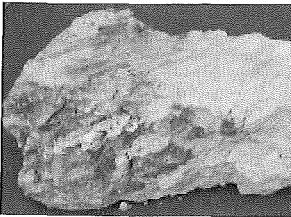
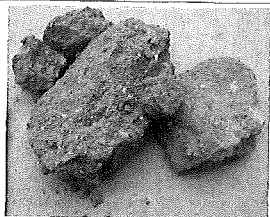
図-5 変状区間Bで発生したインバートひび割れ展開図

前の内空変位は、0.4~4.4mm/日と収束傾向を示しており、吹付けコンクリートによる仮インバートは必要ないものと判断したが、実際は粘土を含む帯状の脆弱部がトンネルの左側に出現し、右側へ向け斜めに横断するかたちで分布しており、その塑性圧により、斜めひび割れや亀甲状ひび割れが発生したと推察される。補強工の検討に際しては、原位置コアによるひび割れの発生状況の確認やオーバーコアリング法による地山応力測定を行って外力を設定し、インバートの設計に反映させることとした。

検討の結果、補強工は所要の曲げ耐力を有し、既設インバート取り壊し後ただちに施工できる繊維補強コンクリートによる再打設とした。対象区間53mを6ブロックに分割し、計測Aおよび計測B(インバート応力測定)により周辺地山の安定性を確認しながら1ブロックごとに既設インバート取り壊しとコンクリート打設を行った。なお、繊維補強コンクリートは、設計基準強度 24N/mm^2 、鋼繊維長40mm、混入率0.5vol%とし、使用した鋼繊維は亜鉛メッキによって防錆処理された鋼繊維(以下、「亜鉛メッキ鋼繊維」)とした。亜鉛メッキ鋼繊維補強コンクリートについては、5-3節で述べる。

変形の大きい地山では、ミニベンチカットで掘削し、仮インバートなどにより早期閉合する方法が採用されることが多い。また、各種対策や切羽離隔により内空変位速度が小さくなる場合、支保規模の妥当性などの判断を含め、速やかな本設のインバートによる閉合を実施することも多い。しかしながら、今回のように地山状況により偏圧が作用する場合には損傷発生リスクを有している。インバートの損傷は、コンクリート打設後、早期

表-4 地山試料試験結果

試験項目	変状区間 A		変状区間 B
	強変質流紋岩	軽石凝灰岩	軽石凝灰岩
サンプル写真			
粘土分含有率	60.8%	26.5%	37.3%
X線回析	膨張性粘土鉱物→ハロサイト その他粘土鉱物→イライト	膨張性粘土鉱物→含まない その他粘土鉱物→イライト、緑泥石	膨張性粘土鉱物→含まない その他粘土鉱物→雲母スメクタイト 混合層鉱物
C E C 試験	21.0mg当量/100g	3.6mg当量/100g	19.5mg当量/100g
浸水崩壊度試験	D (24時間後には原形を留めないもの)	D (24時間後には原形を留めないもの)	D (24時間後には原形を留めないもの)
地山強度	—	新鮮なもの →1.8N/mm ² (地山強度比0.43)	—
水による劣化	—	水による劣化を受けたもの →0.8N/mm ² (地山強度比0.18)	—

に埋め戻されることから、インバートコンクリートが露出している隅角部などで目視、発見できない限り、確認することが困難である。本トンネルでは施工中に、変状区間Bにおいて、インバート隅角部の損傷を確認し、インバート上の埋戻し土を撤去、洗浄処置後、調査を実施することで亀甲状のひび割れを発見し、対策を実施することができた。今後は、トンネル構造の安定において重要なインバートに関し、施工時だけでなく供用時においても、その損傷の発生時期と場所が特定でき、埋戻し後も可視化できるモニタリング技術の開発が待たれるところである。

表-4に、変状区間AおよびBにおける地山試料試験結果およびベネトローメーターによる地山強度の推定値を示す。変状区間の軽石凝灰岩は、膨張性の粘土鉱物を含有していないが、浸水崩壊性試験では、24時間後に原形を留めないDに分類された。これは、凝灰岩を主体とした地山で変状が起る場合の典型的な特徴であり、いわゆる「押し出し性地山」と呼ばれるものである。この凝灰岩は掘削によって、新鮮な岩が空気に触れたり、地下水が緩み領域の亀裂などを浸潤することで、ト

ンネル周辺の地山が徐々に強度低下を起こし、地山自体の支保能力が低下し、さらに緩み範囲が増大する性状を呈する地山と推察された。

4 覆工コンクリートに生じた損傷状況、発生原因と対策

4-1 損傷の発生状況

打設完了区間の覆工で発生した損傷ブロックの施工経緯と損傷形態を表-5に、損傷発生状況の例を写真-6に示す。施工済みの覆工にひび割れの変状が発生したのは、変状区間Aおよび以奥のD I-b区間で、写真-6に示す亀甲状ひび割れが発生したブロックは、掘削時に小口径鋼管先受け工などの補助工法を実施し、湧水の増加に伴って横断排水を追加設置した区間であった。以下では、覆工の損傷状況および損傷箇所の特徴を示す。

- 掘削から覆工コンクリート打設までの期間は5～6か月が経過しており、地山変位の収束規定(変位速度が1～3mm/月以下となったことを2週程度連続して確認できた場合)¹⁾に準拠し、収束を確認したうえで覆工コンクリートを打設した。

表-5 覆工の損傷発生経緯と損傷形態

BL	パターン	掘削時期	打設時期	最終変位(mm)		損傷確認時期	損傷形態
				天端沈下	内空変位		
65	D II	H20. 9.17～24	H21.3.31	-61.1	-67.5	H21.12.15	天端：放射状～亀甲状(複数閉合)、幅0.3mm
67	D I-b	H20.10.20～24	H21.4.23	-17.6	-1.7	H21.12.15	天端：周方向(単独)、幅0.3mm、長さ2.0m
69	D I-b	H20.11.10～12	H21.5.12	-22.8	-3.2	H21.12.15	天端：周方向(単独)、幅0.2mm、長さ1.8m
70	D I-b	H20.11.12～14	H21.5.14	-28.2	-10	H21.12.15	天端：周方向(端部閉合)、幅0.2mm、長さ2.0m
71	D I-b	H20.11.14～18	H21.5.16	-40.9	-16.6	H21.12.15	天端：放射状、幅0.2mm

※覆工の損傷確認時点では、トンネルは未貫通であった。

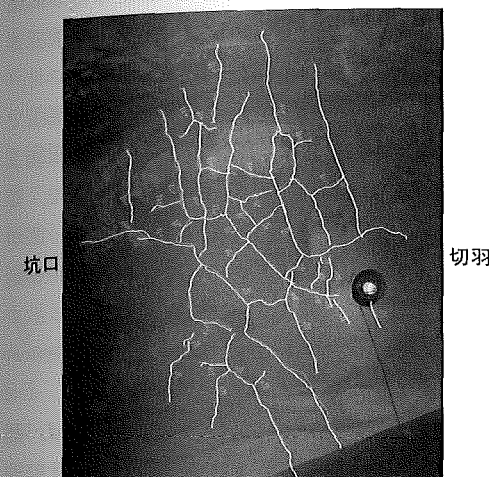


写真-6 変状区間Aの覆工変状(65ブロック)

- 打設は3～5月に行われており、コンクリートの性状や坑内打設環境は比較的安定した時期であった。
- 覆工コンクリート打設後、1か月間で損傷発生は確認されていない。
- 損傷は、損傷が確認された11月までの8か月間で徐々に進行した。
- D IIパターンの65ブロックの損傷がもっとも著しい。ただし、隣接するブロックでは損傷はない。
- 67、69および70ブロックの損傷形態は、材料や施工法、施工環境に起因する初期欠陥でみられる比較的軽度なひび割れである。これに対し、65ブロックおよび71ブロックは、亀甲状、放射状のひび割れとなっており、きわめて特徴的なひび割れ形態を示している。
- 全ブロックのひび割れ幅は、0.2～0.3mmと小さい。

なお、損傷を確認した時点では、覆工は変状区間Bの手前100mまでが完了(非常駐車帯を除く)しており、トンネルは未貫通であった。

4-2 損傷発生原因について

一般に、覆工に発生する変状(損傷)の要因は、内的要因と外的要因に大別される。ここでも、この両面から覆工に発生した損傷の発生要因を推定する。

65ブロックおよび71ブロックで確認された亀甲状および放射状ひび割れは、温度収縮や乾燥収縮などに起因するトンネル軸方向や断面方向のひび割れとまったく形態が異なり、コンクリートの不良(アルカリ骨材反応、セメントの異常収縮)に起因するひび割れに近い形態であった。しかしながら、打設したコンクリートの品質に異常は確認されておらず、これら内的要因に起因する可能性はきわめて低いものと想定された。

一方、外的要因について考察すると、今回の損傷は、トンネル貫通前の打設後、長期間を経過せずに発生していること、および損傷区間は掘削時に大変形が生じていたことから、塑性圧による外力に起因する可能性が高いと判断された。外的要因として、以下の3項目に着目した。

(1) 鉛直方向の塑性圧の作用しやすいトンネル形状

覆工にはいずれの箇所でも、天端において局所的な面、または線荷重が作用したようなひび割れが発生した。この損傷が発生した箇所は、塑性圧によって一次支保工に変状が生じた区間であり、鉛直方向の塑性圧が作用しやすい扁平な掘削形状であることが要因として考えられた。これは、図-6

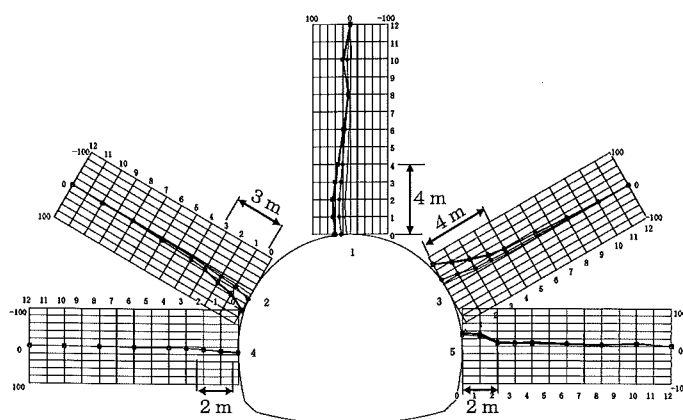


図-6 変状区間Aの地中変位測定結果

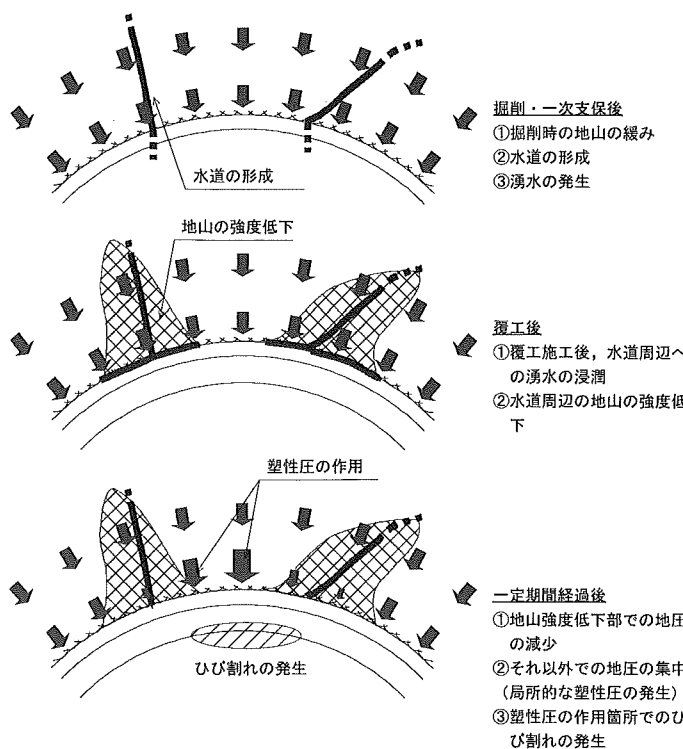


図-7 水による地山劣化と塑性圧発生メカニズム

に示す変状区間Aにおける地中変位計測の結果、鉛直方向の地中変位が最大値を示したことから推察できる。

(2) 地山強度が小さく、収束確認後に微小変形が発生

熱変質を受けた流紋岩や軽石凝灰岩の地山性状として、地山強度が小さく、地山強度比が低下することで、掘削時の塑性変形が大きく、その変形

が継続しやすいと考えられる。

(3) 地下水の浸潤により局部的に塑性化

覆工の損傷区間に分布する軽石凝灰岩は、浸水崩壊試験で「D」と評価され、地下水の影響により極端に強度劣化を起こす可能性を有している。表-4に示すように、ペネトロメーターによる地山強度試験でも、新鮮なものに比べ50%以下まで低下することが確認された。一方、今回の変状区間Aでは、掘削時に天端からの湧水が複数箇所を確認されており、さらに一次支保施工後も広い範囲で湧水が確認された。この湧水の影響によって、地山の一部分が強度劣化し、さらに覆工に作用する鉛直圧が局部的に増大して表-5に示す損傷が発生した。図-7に損傷発生メカニズムを示す。

また、覆工67～71ブロックでは、掘削段階でDⅠ-aパターンとした比較的変位の小さい区間であったが、この区間で損傷が発生しているのは、湧水によって強度劣化を起こす軽石凝灰岩の特性に起因している。このことは、軟化した軽石凝灰岩では、とくに湧水の有無、分布に注意が必要であることを示唆している。

4-3 長期残留荷重について

押し出し性地山における覆工構造の考え方は、『トンネル標準施工方書』²⁾では、以下のように記載されている。

- ① 基本は変位収束後に施工する。
- ② 変位の収束を待てない場合、または覆工に荷重を負担させることが合理的な場合は、荷重に対抗できる覆工構造とする。

これらに準ずれば、本トンネルのように変位収束判断を行ったうえで覆工を打設し、その後、塑性圧による変状が生ずるような特殊な条件に対応することは難しい。過去、押し出し性地山にお

表-6 覆工の最終変位速度とひび割れ発生率

上半内空変位	ひび割れ発生率	考 察
最終変位速度が0.001mm/日(0.03mm/月)未満	20%	ほとんど収束したと判断しても、ひび割れが発生する可能性を示唆している。
最終変位量	60mm程度	最終変位量とひび割れ発生率の間には明確な相関性がある。
	80mm	
	100mm超	

る長期残留荷重とひび割れの発生状況については、東北新幹線岩手トンネル(一戸工区)で検討されており、表-6に示す知見を得ている³⁾。

上記より、大笹生トンネルでは、岩手トンネルと同様の凝灰岩を主体とした押し出し性地山で、覆工に損傷が生じた区間は、掘削時に大きな変状が生じた区間でもあり、長期残留荷重が作用する可能性が高いと推察された。

5 覆工補強の検討

5-1 覆工損傷発生リスクの検討

5-1-1 変状区間Aの非常駐車帯の覆工損傷リスクの検討

本非常駐車帯は変位が150mmを超え、変形余裕量を設けた支保パターンDⅡ-Lで施工しており各種変状対策を実施した箇所である。また、標準断面部とは別途覆工打設することから、いったん収束を確認した後、1年半の間に覆工の施工が行われない状態であった。その後、近傍の覆工で損傷が生じたことから、残置された測点の一部を再計

表-7 各ブロックの損傷状態の評価

BL	損 傷 状 態 の 評 価	判定結果
65	亀甲状のひび割れが密集し、広い範囲で分布している。発生原因は、長期残留荷重の影響。ひび割れの発生量から、今後も増加する可能性が高い。進展が進めば、押し抜きせん断の可能性もある。また、仮に進展が止まっても地震時などに脱落する可能性が高い。何らかの補強対策が必要である。	2A
67	周方向のひび割れのみ。ひびわれ幅も小さい。発生原因は、長期残留荷重の影響。周方向のひび割れであり、直ちに危険な状態になることはない。今後、進展する可能性があるため、当面監視を続ける。	B
69	同 上	B
70	周方向のひび割れ、端部で閉合ひび割れ、ひびわれ幅は小さい。発生原因は、長期残留荷重の影響。今後、進展する可能性があるため、当面監視を続ける。仮に進展がない場合は、端部が閉合しているため、剥落防止対策を施す。進展がある場合、そのときの状態により判断する。	A
71	放射状のひび割れ、ひびわれ幅も小さい。発生原因は、長期残留荷重の影響。今後も進展する可能性があるため、当面監視を続ける。進展がない場合は、剥落防止を施す。ひび割れの進展(複数本発生の場合)がある場合、押し抜きせん断に発展する可能性があるため、何らかの補強が必要。	A

測した結果、2mm/年程度の残留変位が発生していることを確認した。これは、当該箇所の湧水量が多く、軽石凝灰岩の湧水による強度劣化の影響と考えられた。

本区間は、今後とも湧水は継続することが確実であり、長期残留変位が覆工に作用する可能性が高い。さらにトンネル断面が扁平であることから、局部的な塑性圧の作用で、内空側に曲げ応力が発生しやすいことも考慮した。これらのことから、損傷発生リスクを回避するため荷重に対抗できる覆工構造が必要と判断された。

5-1-2 変状区間Aで打設済み区間の覆工損傷リスクの検討

『道路トンネル維持管理便覧』⁴⁾に準拠し、損傷を受けた5ブロックの健全度評価を行った。各ブロックの損傷状態の評価を表-7に示す。対策工の検討では、損傷状態の評価で補強を要する65ブロックを対象とした。

対策工の選定にあたっては、本トンネルの構造、施工条件から、想定される外力に対する耐荷力、長期的にトンネル機能を維持する耐久性および建築限界の許容性が重要と考え、さらに施工性、美観、工程、経済性、実績などを考慮した。今回の微小変位による長期残留荷重の影響の場合は、覆工の耐荷力を向上させる方法が妥当な対策と考えられた。また、施工中のトンネルであり、耐荷力を有する覆工の打ち直し(全面改築工法)がもっとも有利であると判断した。

表-8 損傷発生リスクの検討結果

区間	距離	損傷発生リスクの検討結果	覆工対策工
変状区間A	標準断面区間 STA26+5.6~26+15.8 10m	・内空変位の最終変位量が60mmを超えている ・同区間の凝灰岩の浸水崩壊度はDである ・湧水が多い ・覆工に損傷が生じている	実施する (損傷した覆工を打ち替え)
	非常駐車帯区間 STA25+44.5~25+75.5 31m STA26+25.5~26+56.5 31m	・内空変位の最終変位量が60mmを超えている ・同区間の凝灰岩の浸水崩壊度はDである ・湧水が多い ・隣接する覆工で損傷が生じている ・長期的変状の兆候が見られる	実施する
	標準断面区間 STA34+63.5~37+53.5 290m	・内空変位の最終変位量は60mmを超えている区間が多く、変位が未収束である ・弱耐水性地質(粘土)の浸水崩壊度はDである ・全般的に湧水が確認されている	実施する

5-1-3 変状区間Bの覆工損傷リスクの検討

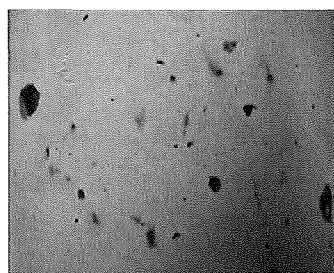
STA.34+10(TD 1,470m)以降は切羽が徐々に不安定化し、DⅠ-b、DⅡパターンで掘削した。また、STA.34+70(TD 1,530m)以降は軽石凝灰岩の半固結優勢区間から弱耐水性の粘土化した地山(浸水崩壊度D)が占めるようになり、切羽も一層不安定化して鏡面の崩落などの変状が多発し、補助工法を使用しながらの掘削となった。

弱耐水性地質(粘土)の分布範囲の多くは、湧水発生位置の分布範囲に収まり、地山の強度低下が高い確率で予想された。さらに、湧水発生以外の箇所でも周辺地下水浸透により今後の湧水発生の可能性は否定できず、掘削時の緩み範囲に地下水が徐々に浸透していく可能性が高いと推察された。また、インバート閉合された施工後も微小変位(1~2mm)が4か月ほど継続している箇所が散見された。

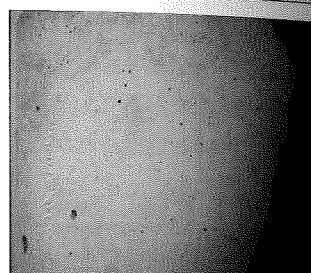
以上より、内空変位の最終変位量が60mmを超えた変状区間Bでは、微小変位が継続した箇所が発生しており、長期残留荷重の発生誘因が揃っているものと考え、覆工を補強する構造が必要と判断された。

5-2 覆工構造の検討

本トンネルは覆工施工後に地山の強度が低下し、それに起因して長期残留荷重が覆工に作用すると



(1) 普通鋼繊維



(2) 亜鉛メッキ鋼繊維

写真-7 コンクリート表面の発錆状況

想定された。作用荷重として、FEM解析により地山強度が低下した場合の長期残留荷重を算出し、これがすべて覆工に作用するものとして設計した³⁾。また、押し出し性地山における覆工補強のほとんどの施工事例では、高い靱性を有する鋼繊維補強コンクリートが採用されている³⁾。

これは、押し出し性地山における覆工の損傷が点、線、面で作用する塑性地圧で覆工内面に生ずる曲げ引張に起因するためである。また、鋼繊維はひび割れの発生を完全に抑制することはできないが、ひび割れ発生後の開口幅の抑制効果が期待でき、ひび割れの発生の遅延効果とともに、ひび割れ発生後のひび割れの進展を抑制する効果も期待できる。

ここでは、補強構造を鋼繊維補強コンクリートとし、発錆のリスクを最小限とするために亜鉛メッキ鋼繊維を適用した。配合において、セメントは中性化抵抗性の観点から高炉セメントから普通ポルトランドセメントに変更した。亜鉛メッキ鋼繊維

表-9 鋼繊維補強覆工コンクリートの配合

コンクリートの種別	骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m³)					
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad	繊維 F
鋼繊維補強コンクリート	25	15	50.0	48.4	170	340	851	942	3.23	40 ^{※1}

※1: 繊維量については、0.5vol%(40kg/m³)で実施した。

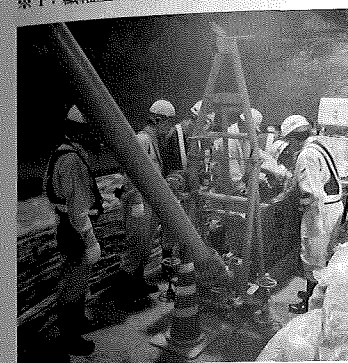


写真-8 坑内での鋼繊維投入状況

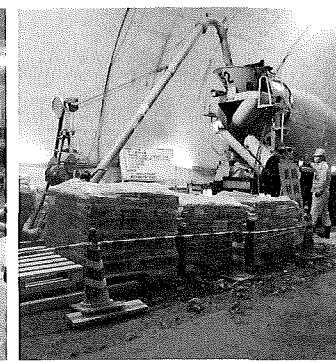


写真-9 FBG埋設型ひずみセンサ

は、国内で初適用であったため、塩水浸漬試験などによって、その防錆効果を検証し、通常の使用環境での発錆リスクは少ないと判断した(写真-7)。

5-3 亜鉛メッキ鋼繊維補強コンクリートによる覆工の施工

亜鉛メッキ鋼繊維補強コンクリートの配合は、試験練りの結果、表-9に示すものとした。

なお、繊維混入率は鋼繊維補強コンクリートの耐力検討から、所定の曲げ靱性が確保できる混入率0.5vol%とした。

繊維の混入方法は生コン工場で製造したベースコンクリートをアジテータ車で現場搬入し、坑内にて毎分32kgで繊維投入した(写真-8)。繊維投入後にアジテータを2分間高速回転して混合攪拌して5分間待機後に練り上がり完了とした。

覆工打設において、鋼繊維の分散状況は良好であり、スランプの低下やワーカビリティの変化もみられなかった。また、打設済みの約3か月経過した覆工表面には、鋼繊維による錆の発生は認められていない。

5-4 FBG光ファイバセンサによる補強工の検証

変状区間Aの65ブロックの覆工には天端付近に

表-10 光測定器の仕様

ひずみ測定範囲	±4,500 μ
分解能	0.8 μ
精度	5 μ
寸法	240×120×97mm
許容動作温度	0~+55℃
消費電力	最大6W

作用した外圧による亀甲状ひび割れが発生しており、これを撤去して鋼繊維補強コンクリートを再打設することとした。この区間では、竣工後も、地下水による地山劣化に伴う塑性圧が作用すると想定されている。そのため、覆工打ち直し時に長期耐久性に優れたFBG光ファイバセンサ³⁾を埋設しておき、施工後、外圧により覆工に発生する覆工コンクリート応力を長期間計測監視することとした。

表-10に光測定器の仕様を、写真-9にFBG埋設型ひずみセンサをそれぞれ示す。打設後に得られる計測結果にもとづき、外圧の有無とその変化を把握し、コンクリート応力の管理基準値に対する評価を行い、補強設計の妥当性検証および覆工の繊維補強効果を確認することとした。

6 ま と め

本トンネルにおけるトンネル変状と覆工補強に関する事項を要約すると以下のとおりである。

- ① 覆工損傷の発生原因は、覆工施工後の長期残留荷重である塑性圧が原因と推察される。
- ② 本トンネルで広く分布した軽石凝灰岩は、浸水崩壊試験がD(24時間以降原形を留めな

い)に分類され、地下水の影響で強度低下を起し、それが塑性圧発生の原因と推察される。

- ③ 長期残留荷重は、地質条件、一次支保施工時の変位および湧水の発生などの要因がすべて揃うことによりその発生確率が高くなる。
- ④ 長期残留荷重は、点、線および面で作用し、覆工内面に引張応力による亀甲状、放射状および線上のひび割れを発生させる。このひび割れでコンクリートがただちに剥落することはないが、今後の損傷の進展や地震の影響により押し抜きせん断破壊に至る可能性を否定できない。
- ⑤ 施工済みの覆工を補強する場合、トンネルが施工中であれば全面改築工法(打ち直し)がもっとも合理的であり、経済性に優れていた。亀甲状ひび割れが発生している65ブロックでは鋼繊維補強による打ち直しを実施し、他の損傷が発生しているブロックでは、損傷の進展状況を確認のうえ、対策工の適用を判断する。
- ⑥ 覆工の補強対策として、鋼繊維補強コンクリートを適用した。発錆対策として亜鉛メッキを施した鋼繊維を採用し、錆の発生リスクを可能な限り低減した。
- ⑦ 覆工補強の設計にあたっては、有限要素法で地山の強度低下に伴う長期残留荷重を算出し、これを覆工コンクリートに作用させ、構造の安全性を検証した。

7 おわりに

今回施工中に確認した覆工のひび割れは、発生箇所が天端アーチ部で幅が0.2~0.3mmと小さく、目視では確認しにくい状況であった。しかしながら、本トンネルの地山が長期残留荷重が発生する可能性がある押し出し性地山であったことから、施工済みの覆工に対し、打設1日後、1週間後、1か月後、6か月後で、計画的なひび割れ変状調査を行い、覆工損傷を早期に発見することができた。

長期残留荷重が作用するトンネルでの損傷の発生ならびにその推移については、報告された事例が少なく、対策工の選定、実施にあたっては、損傷の状況のみの検討で、荷重増加の状況など、その根拠を明確に示すことは困難である。今後は、今回も取り組んでいるような覆工応力のモニタリングなどから、実態を明らかにしていく必要があるものと認識を新たにしている。本トンネルにおける変状、損傷状況ならびに覆工補強事例が、今後の長期残留荷重が発生する可能性のある同種の地山でのトンネル設計・施工における一助になれば幸いである。

最後に、今回の一連の変状・損傷に対する原因の究明、対策の立案・実施を行うにあたり、多大なるご指導をいただいた真下英人・(独)土木研究所道路技術研究グループグループ長、砂金伸治・同主任研究員、さらに新材料の適用、計測などの各種課題解決には神鋼建材工業(株)、(株)東横エルメスをはじめとし、多くの方々にご協力をいただきました。誌面を借りて深く感謝します。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路トンネル観察・計測指針(平成21年改訂版)，p.36，2009。
- 2) 土木学会：2006年制定トンネル標準示方書[山岳工法]・同解説，pp.94-96，2006。
- 3) 岡崎準・小川淳・田村武：膨張性地山におけるトンネル覆工のひび割れ発生状況に関する考察，トンネル工学研究論文・報告集，第13巻，論文(9)，pp.53-60，2003。
- 4) 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧，pp.123-136，1993。
- 5) 日本鉄鋼連盟：2002年改訂鋼繊維補強コンクリート設計施工マニュアルトンネル編一，第2版，技報堂出版，2002。
- 6) 上明戸昇・田村琢之・松元和伸：FBG光ファイバセンシング技術を用いた計測器埋設型(ひずみ計・温度計)の開発，検査技術，Vol.15，No.9，pp.44-48，2010。
- 7) 熊谷幸樹・田村琢之・上明戸昇・森山守：TDM方式FBG光ファイバセンシングによるトンネル吹付け覆工の長期健全性監視，第43回光波センシング技術研究会講演論文集，pp.155-160，2009。

施工

営業線直下掘削における支保工段数を情報化施工により低減

—京王電鉄調布駅付近連続立体交差事業第3工区—

京王電鉄(株)鉄道事業本部工務部調布工事事務所所長 岩村 忠之

京王電鉄(株)鉄道事業本部工務部調布工事事務所区長 重岡 剛雄

鹿島・京王・東亜・林建設共同企業体京王調布JV工事事務所所長 小倉 拓也

1 はじめに

京王電鉄の鉄道事業は、新宿を起点とする京王線と渋谷を起点とする井の頭線からなり、東京都西部地域を中心に神奈川県北部にもまたがる84.7kmの路線において、1日約175万人を輸送している。

京王線は、調布駅を分岐点に、八王子・高尾方面の京王本線と橋本方面の相模原線に分かれ、現

在、その調布駅付近の約3.7kmの区間(図-1, 2)において、2003年度より東京都、調布市と協力し、地下化する連続立体交差事業を施行している。

当事業は、開削トンネル工事区間約2.0kmとシールドトンネル区間約1.7kmからなり、全工事区間にわたり営業線直下で地下化工事を施工する点が大きな特徴であり、全体を6工区に分け、施工している。

本稿では、第3工区の調布駅(ホーム2面、軌

京王線および相模原線

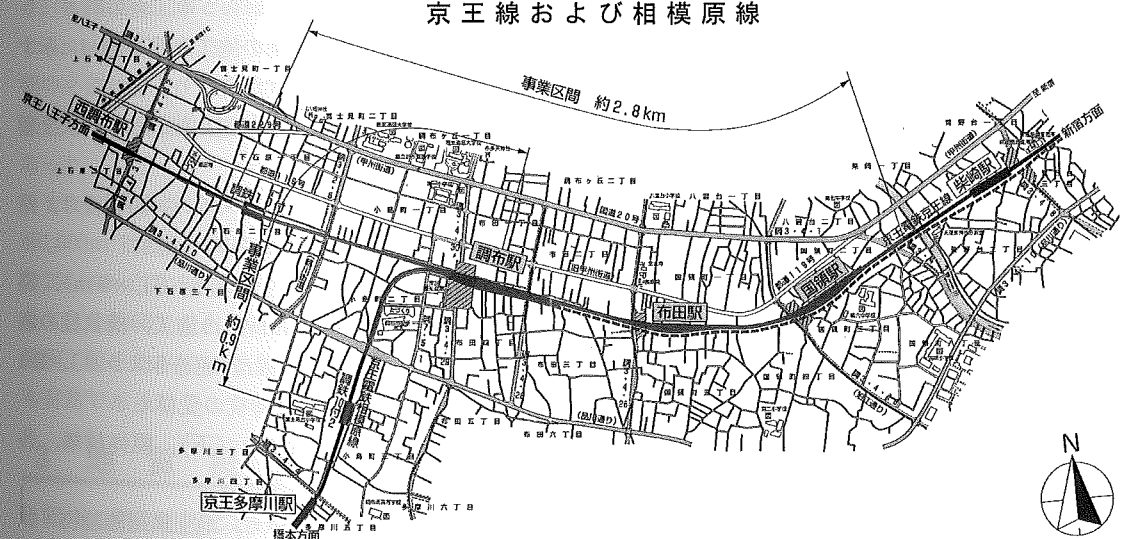


図-1 事業区間(平面図)

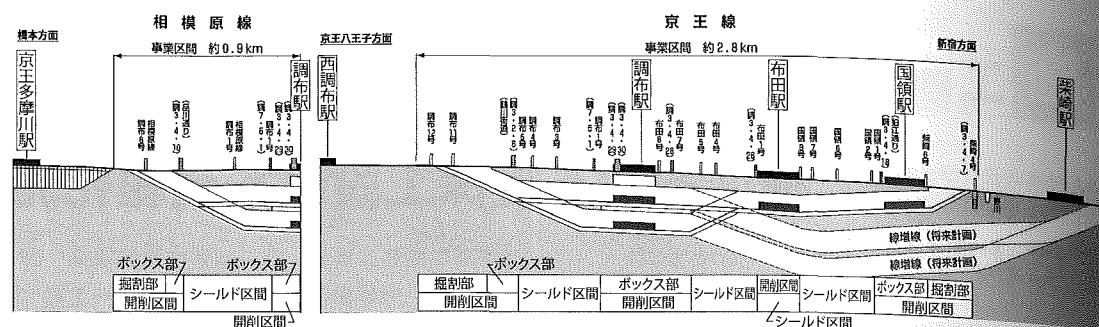


図-2 事業区間(縦断面図)

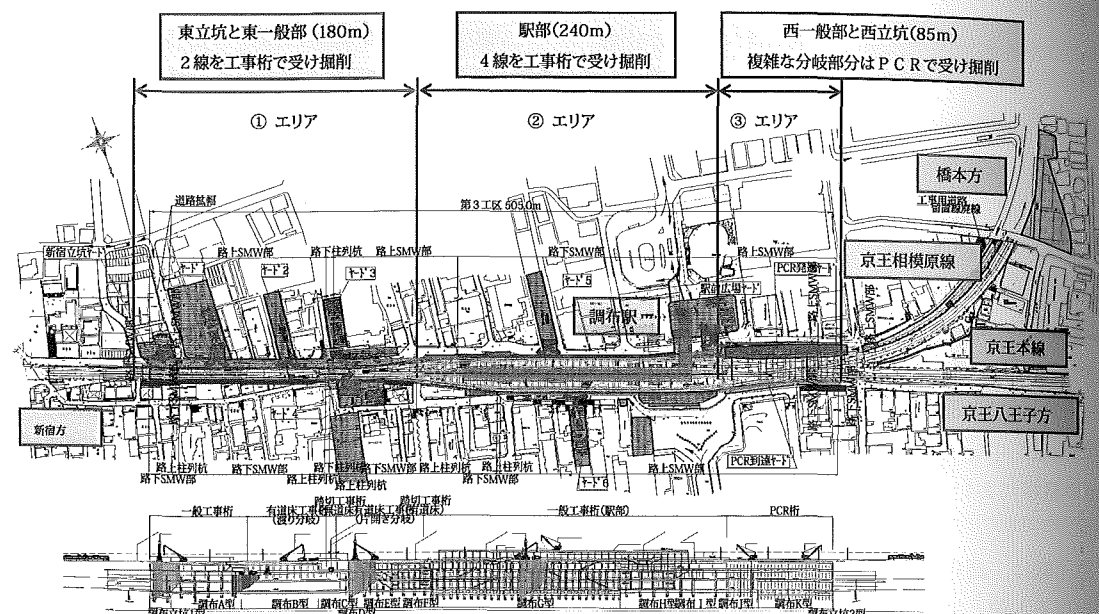


図-3 概要図(平面図・縦断面図)

道4線)付近の大規模開削工事における、軌道直下の狭隘な施工条件での掘削工事の施工実績と、土留め計測を反映した情報化施工による土留め支保工の合理化について報告する。

2 工事概要

第3工区の工事概要は、調布駅とその前後の分岐器を含む全長505mを地下化する工事であり、現在供用している軌道・ホームを仮受けし、開削工法によりその直下に3層(幅15~23m、深度23~25m)の鉄筋コンクリート構造物を築造する工事である。図-3に示すように、新宿方から、東立坑と東一般部、駅部、西一般部と西立坑の3区間、総延長505mが工事範囲である。

代表断面を用い、駅部の施工順序を図-4に示す。施工は大きく6ステップからなり、

- ① ホームの仮設化、軌道内杭打ち、1次土留め杭打設
- ② 作業構台設置、軌道・ホームの仮受け、路上からの土留め杭(SMW)の施工
- ③ 駅舎の橋上化、上半掘削(GL-9m)、路下での土留め杭(SMW)の施工、構真柱の施工、B1Fスラブの築造(逆巻きスラブ)、B1Fスラブへの軌道支持杭の受替え
- ④ 下半掘削(B1Fスラブ下)、躯体構築、各種設備工事
- ⑤ 軌道を地下へ切替え、地上鉄道施設物・仮設物の撤去

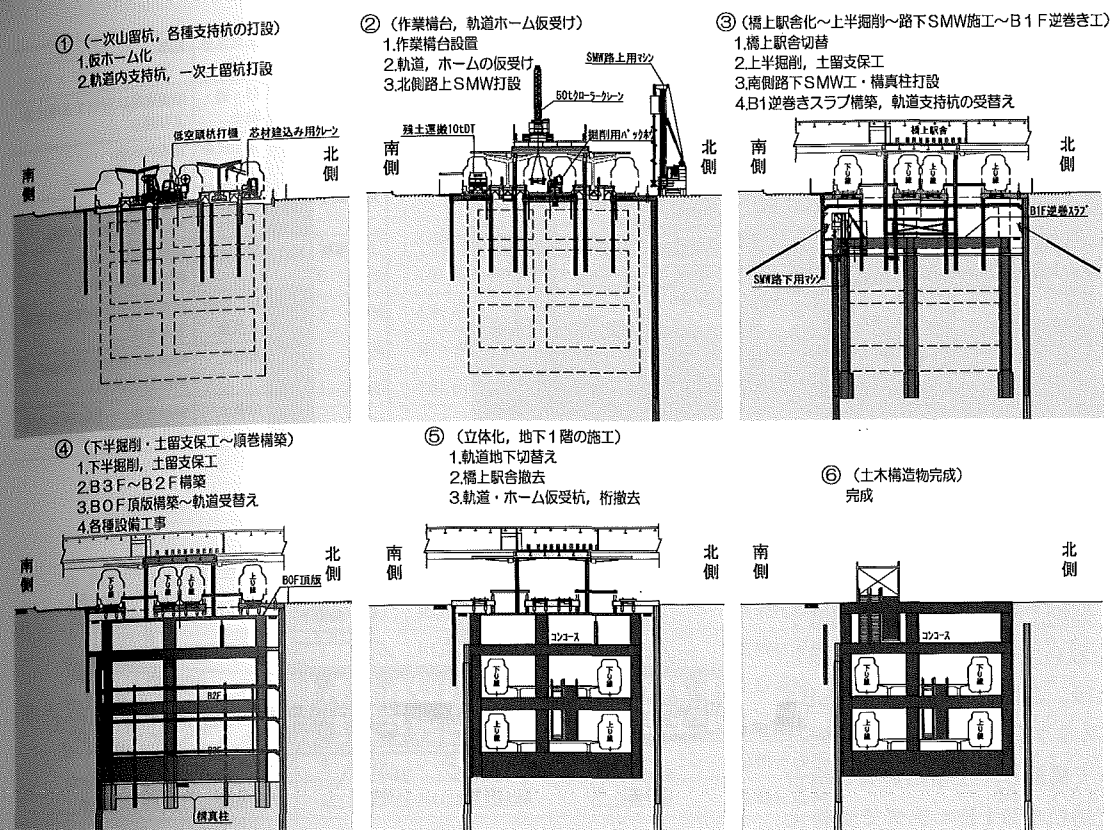


図-4 施工手順図(調布駅部)

⑥ 完成となる。

④の下半掘削(B1Fスラブ下)工事開始にあたり、各種設備工事と詳細な工程調整を実施したところ、土木工事においておおよそ3か月の工期短縮の必要が生じ、当初計画に対し、より合理的な掘削方法で工程進捗を図ることが3工区の命題であった。

また、本事業における掘削数量は全工区で約401,000m³であり、そのうち3工区の掘削数量は、約251,000m³(B1Fスラブ下は約156,000m³)と、全工区の約60%を占める大きな作業量であるため、掘削工程を効率的に行うことが工期短縮にもっとも有効であった。

3 地質概要

図-5に開削範囲における地質縦断面図を示す。3工区区間は、ほぼ平坦な立川段丘上に位置し、表

層の盛土などを除くと、最上部には関東ローム(Lm)が一様に分布する。関東ローム層は、立川段丘面上の表土下に分布する火山灰質土で、比較的均質な粘性土主体の地層である。層厚は1.5~3.0m程度でN値は2~10程度を示す。関東ローム層の下には、礫を主体とする立川礫層(Tag)が存在する。

立川礫層は、5~100mm程度の礫を主体とするほか玉石が点在し、礫含有量はおおむね60~70%に達する。層厚は6~9m程度で、N値は礫径の影響を受けて15~50以上とばらつきが見られる。立川礫層の以深の地層は、硬質な上総層群(Ks, Ksc, Ksg)が分布する。上総層は地表面から約10m以深に存在し、N値は50以上を示す。

3工区区間は、上総層群が掘削範囲の大半を占めるため、地盤が良好であり、実際に土留め壁に作用する側圧は原設計時よりも小さいと予測された。

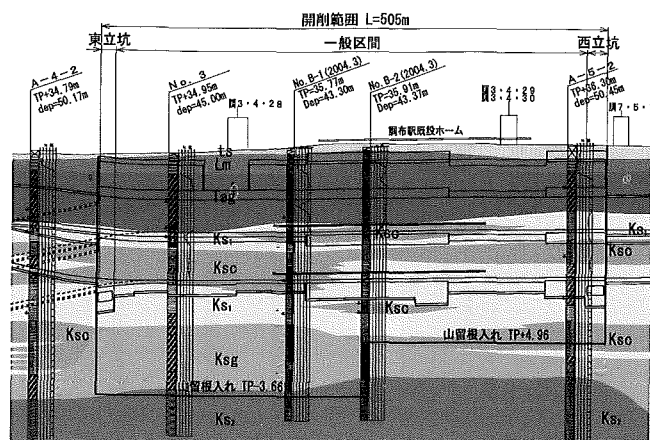


図-5 想定地質縦断面図

4 掘削工

4-1 基本計画概要

掘削工事は、営業線軌道直下においてGL-9mまで掘削した後、3段目支保工となるB1Fスラブ(逆巻きスラブ)を先行して構築し、工事桁および構台支持杭をB1Fスラブで受替えて、引き続き、スラブ下を掘削するものである。現場状況として、掘削部直上には軌道があり、残土搬出や資機材の投入・搬出を直上から行うことができない。そのため、軌道脇に作業ヤードを構え、そこから残土搬出や資機材の投入・搬出を行った。

4-2 設備概要

掘削残土の搬出は、テルハクレーン(4.9t吊り)に取り付けたクラムバケット(1.0m³)でB1Fスラブ上まで揚土し、そこからB1Fスラブ上に設置してある連続ベルトコンベヤおよびずり鋼車にて各作業ヤードまで運搬する計画とした。各作業ヤードからは、パイプクラムによりダンプトラックに積み込み搬出処分することとした。資機材の投入・搬出は、各作業ヤードに橋形クレーンや天井クレーンを設置し、限られたスペースをできるだけ有効に使用するように計画し

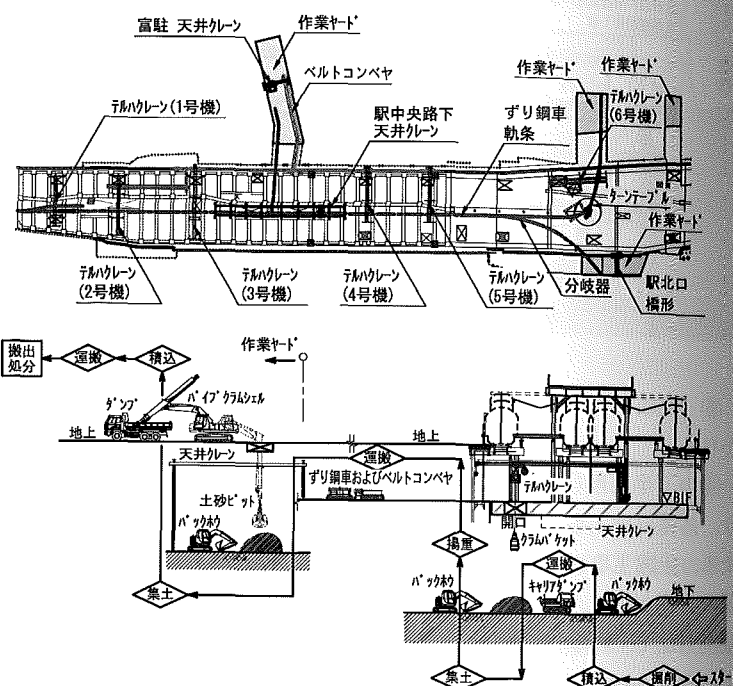


図-6 掘削揚土設備配置概要(平面図・断面図)

た。

また、B1Fスラブ上の資機材の運搬は、軌道・ホーム・作業構台を支える工事桁支持杭や構台支持杭が多数あるため、運搬台車(車両)の運行ルートを確認することが困難であり、狭隘な作業場所を有効に活用するため、B1Fスラブ上に軌道を敷設し、バッテリー台車を走行させる運搬計画を立案した。

また換気に関しては、地下空間全体の空気を1

表-1 掘削揚土仮設備一覧表

設置エリア	名称	単位	数量	仕様	用途	設置場所
東一般部	テルハクレーン	2	基	4.9t吊り, ウインチ式, バケット装着	土砂揚重, 資機材搬入・搬出	B1 スラブ上
	ベルトコンベヤ	2	基	W=600, 100m/min, 240t/min	土砂搬送	B1 スラブ上
	天井クレーン	1	基	4.8t吊り	ずり鋼車転倒, 資機材搬入・搬出	布田7路下
	送風機	1	台	2,000m³/min	換気	FA2000
駅 部	テルハクレーン	6	基	4.9t吊り, ウインチ式, バケット装着	土砂揚重, 資機材搬入・搬出	B1 スラブ上
	テルハクレーン	2	基	4.9t吊り, ホイスト式	資機材搬入・搬出	B1 スラブラ下
	ベルトコンベヤ	6	基	W=600, 100m/min, 240t/min	土砂搬送	B1 スラブラ上
	天井クレーン	1	基	4.8t吊り, ホイスト式	資機材搬入・搬出	富澤駐車場
	天井クレーン	4	基	10.0t吊り, ホイスト式	資機材搬入・搬出	B1 スラブラ下
	天井クレーン	1	基	4.8t吊り, ホイスト式	資機材搬入・搬出	駅北口路下
	橋形クレーン	1	基	4.8t吊り, ホイスト式	資機材搬入・搬出	駅北口
	送風機	3	台	2,000m³/min	換気	FA2000
西一般部	送風機	1	台	2,000m³/min	換気	FA2000
軌条関係	軌条	284	m	RG762	資機材運搬	B1 スラブラ上
	片開き分岐	1	基	RG762, 左	資機材運搬	B1 スラブラ上
	バッテリーロコ	2	台	RG762, 4t	土砂運搬, 資機材運搬	B1 スラブラ上
	ずり鋼車	2	台	2.0m³, 自動転倒式	土砂運搬	B1 スラブラ上
	バッテリー自走台車	4	台	5 t積	資機材運搬	B1 スラブラ上
	自動ターンテーブル	1	基	RG762, 5 t積	資機材運搬	B1 スラブラ上

時間に2回入替え可能な換気能力を有する送風機の仕様および台数とした。

図-6に駅部区間での掘削・揚土設備の配置図、表-1に設備一覧を示す。

4-3 掘削実績

掘削に使用したテルハクレーンは、軌道下の空頭制限があるため、ホイスト方式ではなくウインチ方式を採用した。また、ウインチをインバータ制御することにより、巻上げ・巻下げ速度を24m/minの高速運転可能な設備とし、掘削のサイクルタイムを短縮させることができた。

以下にテルハクレーンの能力を示す。

- ・掘削深度：16m
- ・最深部でのサイクルタイム：120秒
- ・最深部での処理能力：27~30m³/h
- ・1方(8h)あたりの残土搬出量：約180m³

テルハクレーンで揚土した残土は、B1Fスラブラ上でベルトコンベヤおよびずり鋼車にて作業ヤードの残土ピットまで運搬し、ダンプに積み込み搬出

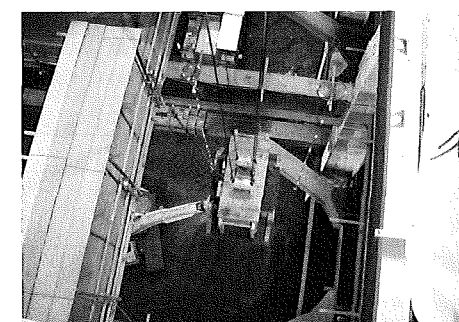


写真-1 テルハクレーンによる残土搬出

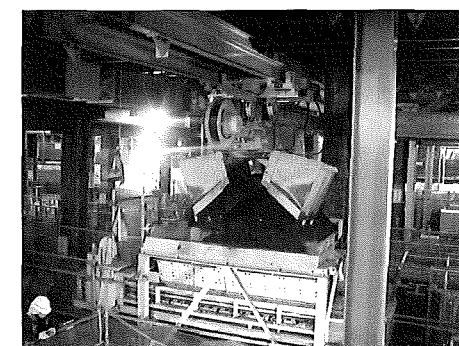


写真-2 ベルトフィーダへの積み込み状況



写真-3 掘削完了状況

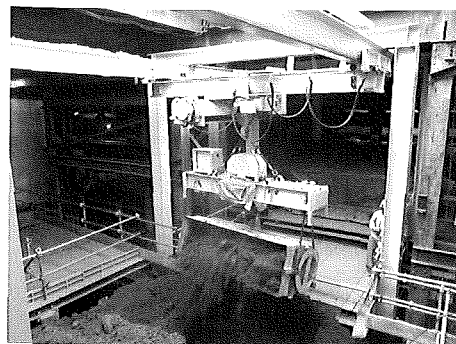


写真-4 ずり鋼車での残土運搬状況

表-2 B1スラブ下の残土搬出実績

		残土 搬出量 (m³/月)	累計 土量 (m³)	進捗 率 (%)	月別 比率 (%)	日あたり 平均搬出量 (m³/日)
2009年	6月	3,487	3,487	2	2	139
	7月	3,256	6,743	4	2	130
	8月	8,729	15,472	10	6	349
	9月	11,539	27,011	17	7	462
	10月	14,036	41,047	26	9	561
	11月	22,083	63,129	40	14	883
2010年	12月	35,332	98,461	63	23	1,413
	1月	27,385	125,846	80	18	1,095
	2月	17,424	143,270	92	11	697
	3月	13,195	156,465	100	8	528
2次掘削合計		156,465	-	-	-	-

した(写真-1~4)。

4-4 残土搬出実績

2009年6月から開始したB1Fスラブ下の2次掘削の月別残土搬出実績を表-2に示す。ベルトコンベヤおよびずり鋼車での運搬以外に、掘削部より直接積込んだ数量も含むが、2009年12月がもつ

とも多く搬出しており、1日平均約1,400m³を搬出した。

5 土留め支保工の合理化

5-1 情報化施工の採用

当初設計では、掘削終了時の土留め壁変位、土留め支保工反力の計測データから現状・予測解析を実施し、土留め支保工の複数段同時撤去などにより撤去ステップを減らすとともに施工空間を拡大することで、一度に構築する躯体量を増やし工期短縮を図る計画としていた。しかし、さらなる工期短縮のため、掘削途中において土留め支保工段数低減の可否を検討した。

このため、先行施工する西立坑(図-3③エリアの工区端部)の計測結果をもとに、現状解析した側圧パラメータを用いて他区間の予測解析を実施し、掘削進捗状況に応じて得られる各種計測データをもとに予測解析の精度を向上させ、以後の掘削方法を見直していく情報化施工を採用することにより、安全性の確保を優先に施工の合理化を図ることとした。

5-2 西立坑の解析

5-2-1 計測結果

掘削完了時の土留め壁変位と支保工反力計測結果より以下のことが確認された(図-7)。なお、土留め壁の仕様は柱列式地下連続壁(SMW φ850@600, 補強鋼材H-588×300×12×20@600)である。

- ① 変位は床付け掘削完了時で最大28mmである。
- ② 支保工反力は6段目支保工で最大522kN/mであり、4～7段目の反力の総和は1,040kN/mであった。

5-2-2 現状解析結果

西立坑南側の床付け掘削完了後の実測変位量をもとに、実際に土留め壁に作用している側圧強度を解析した(図-8)。

土留め壁の変位は主働側の側圧係数を全層0.20とすると、支保工反力の総和が882kN/mとなり、計測値と解析値がほぼ一致することを確認した。以上のことより、側圧係数は0.20とするのが妥当であると判断した。

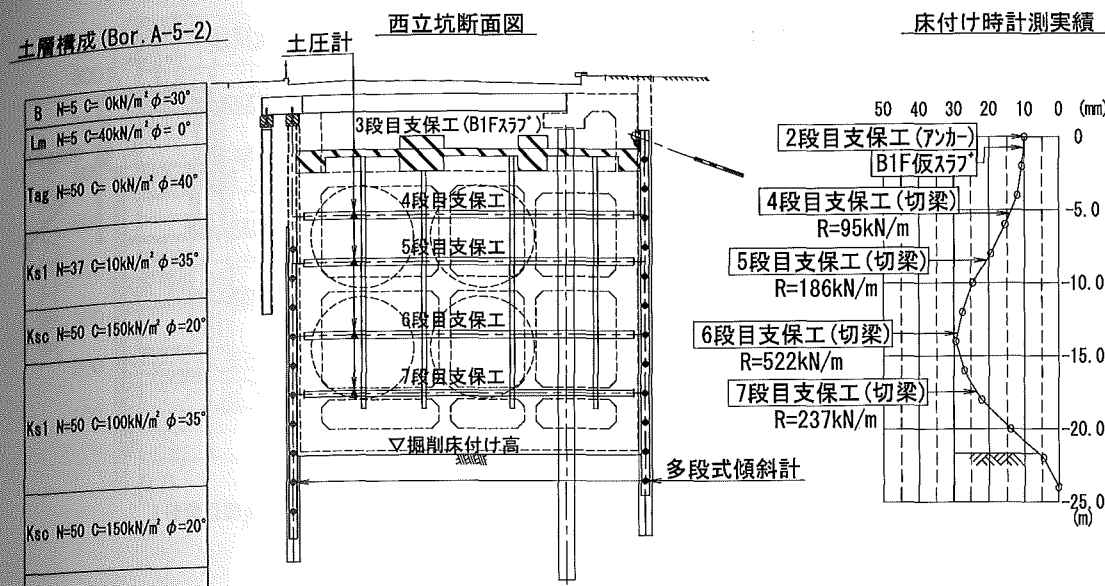


図-7 西立坑計測結果

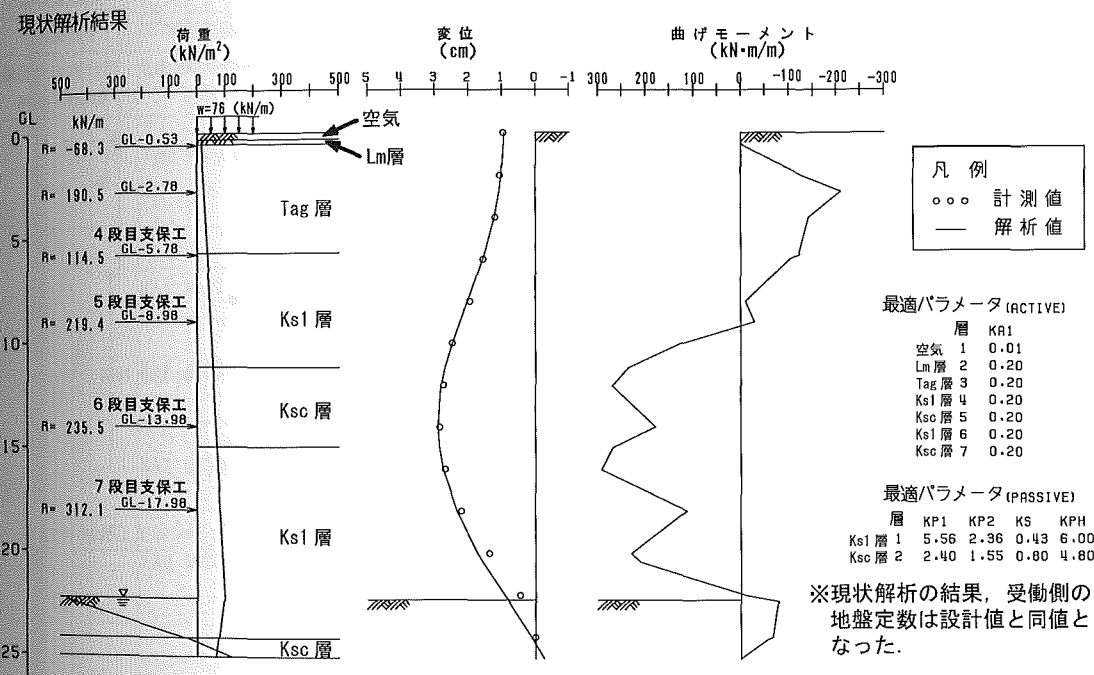


図-8 西立坑現状解析結果

5-3 土留め支保工の合理化と情報化施工

5-3-1 合理化設計

前述のとおり、西立坑で得られた側圧パラメータを用いて、立坑以外の一般部土留め支保工の合理化を図った。原設計の土留め支保工は、3段目

(B1F逆巻きスラブ)から床付け位置まで土留め支保工が3段であり、躯体構築時には盛替え梁を必要とする設計であったが、予測解析を行った結果、B1F逆巻きスラブ以深の支保工段数を3段から2段に変更することと盛替え梁の省略が可能

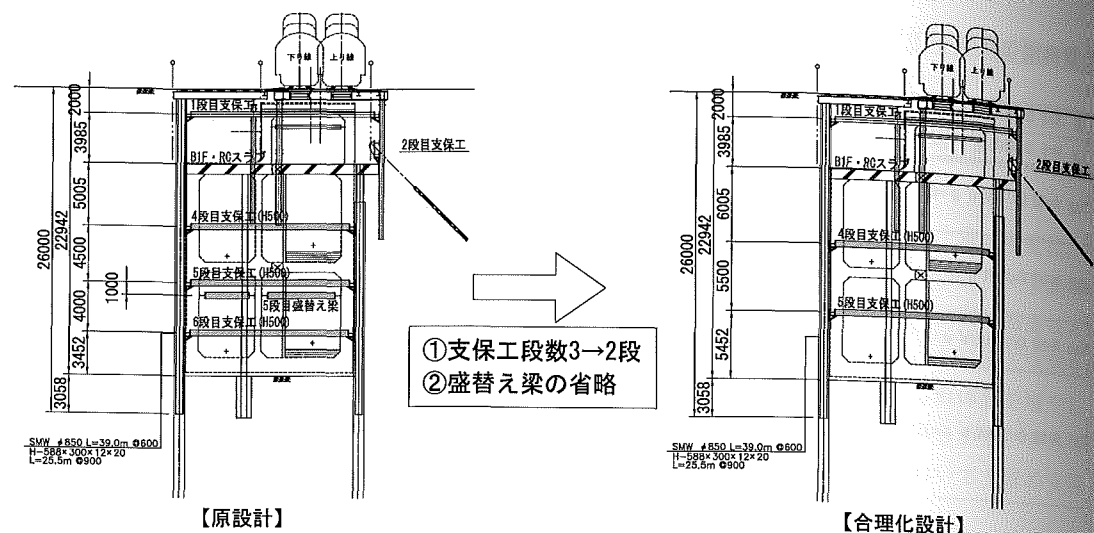


図-9 一般部東区間土留め支保工合理化比較

となった。図-9に原設計と合理化設計の土留め構造比較を示す。

5-3-2 施工管理実績

(1) 情報化施工の管理値

情報化施工にあたり、計測結果の良否を即時に判断するため、土留め壁変位、土留め支保工反力の1次管理値は予測解析値以下、2次管理値は設計許容値の80%以下とし、施工管理の指標とした。1次管理値の設定にあたっては、どの掘削段階でも管理値との比較を確認できるように、1段ごとの切土高さを考慮した予測解析を実施し、その結果をもとに設定した。

施工管理フローを図-10に示す。

(2) 計測実績

情報化施工の基本データとなる支保工反力および土留め壁変位について、代表断面として一般部東区間(図-3①エリア範囲)の柱列式地下連続壁(SMW ϕ 850@600, 補強鋼材H-588 $\times$ 300 $\times$ 12 $\times$ 20@900)での計測結果を図-11, 12に示し、以下に結果の概要をまとめる。

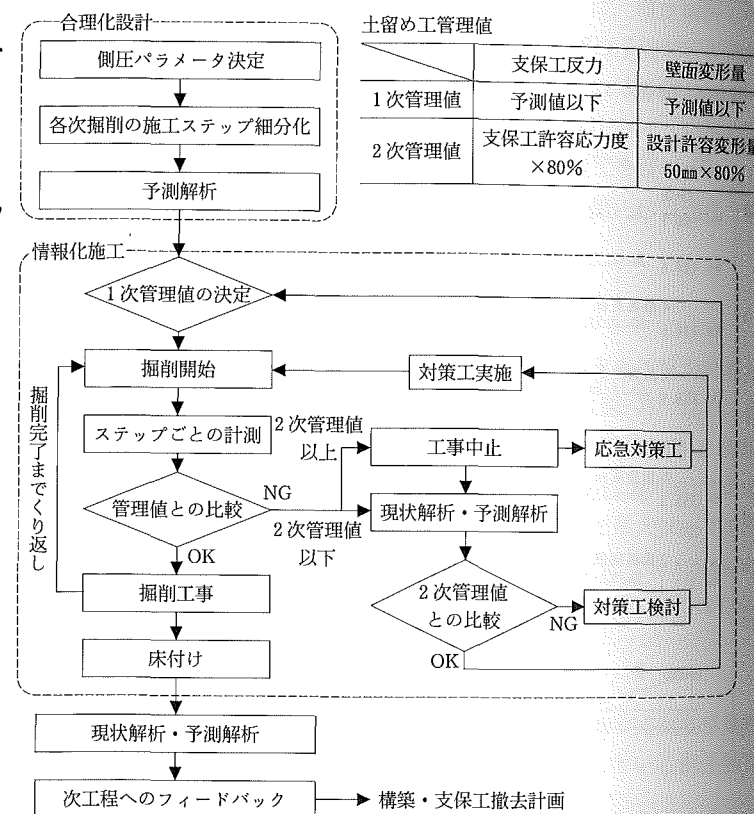


図-10 情報化施工管理フロー

① 土留め支保工反力計測

4段目支保工に関しては、5段目設置時には予測解析値に対し68%、床付け時には予測解析値の99%の反力であった。5段目支保工

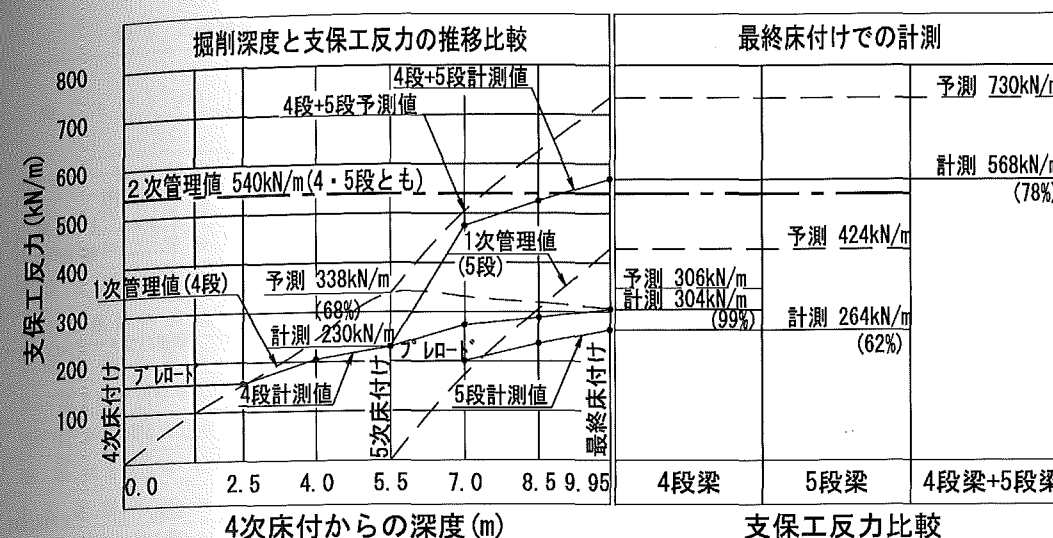


図-11 土留め支保工反力計測結果

土層構成 (Bor. No.3)

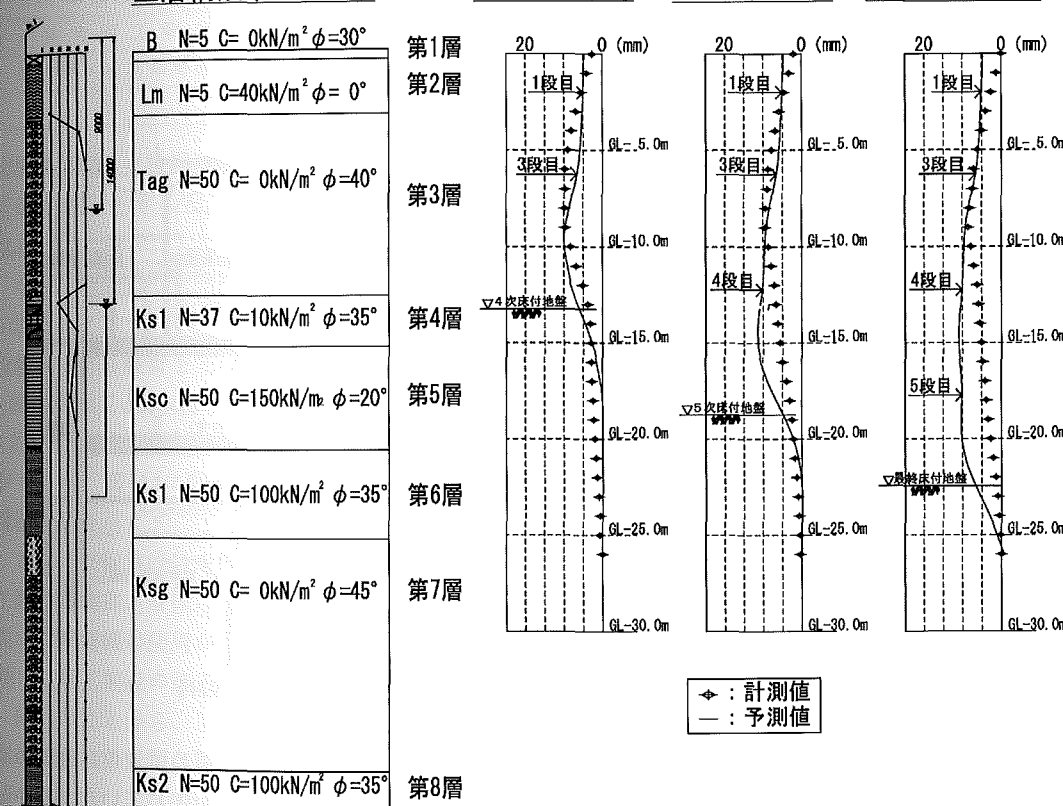


図-12 土留め壁変位計測結果

に関しては、床付け時において予測解析値の62%の反力であった。4段5段の合計値は床付け時で、予測解析値の78%であった。

② 土留め壁変位計測

予測解析値と計測値を比較すると、4～5次床付け時までの変位はほぼ予測解析値に近

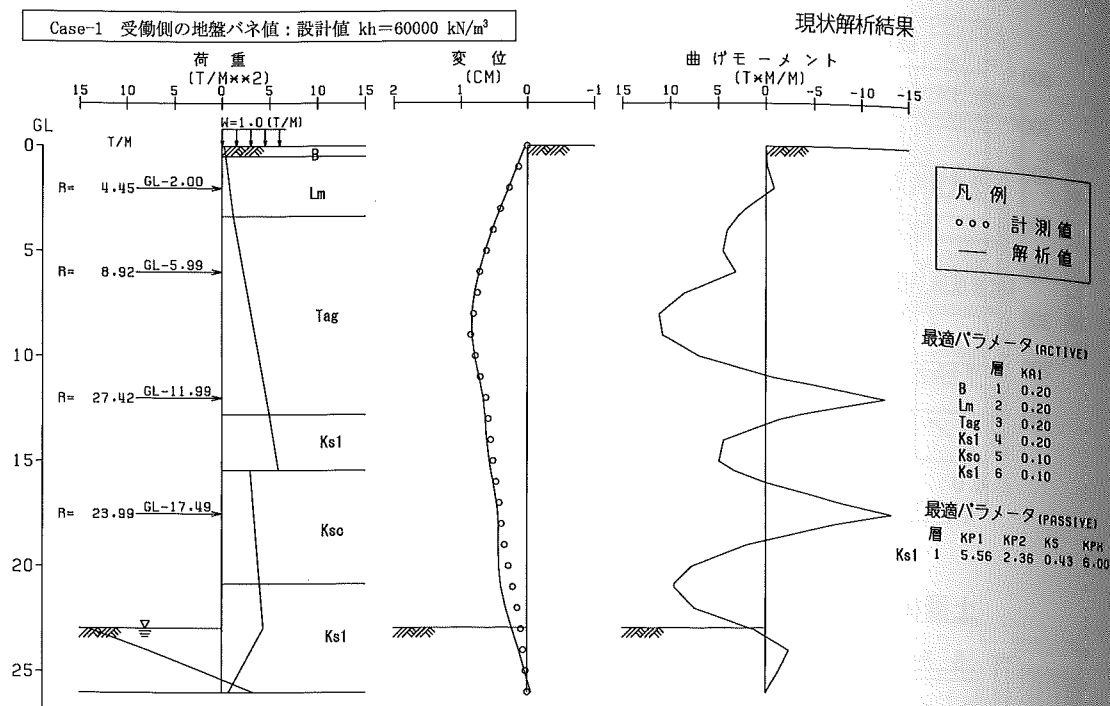


図-13 現状解析結果

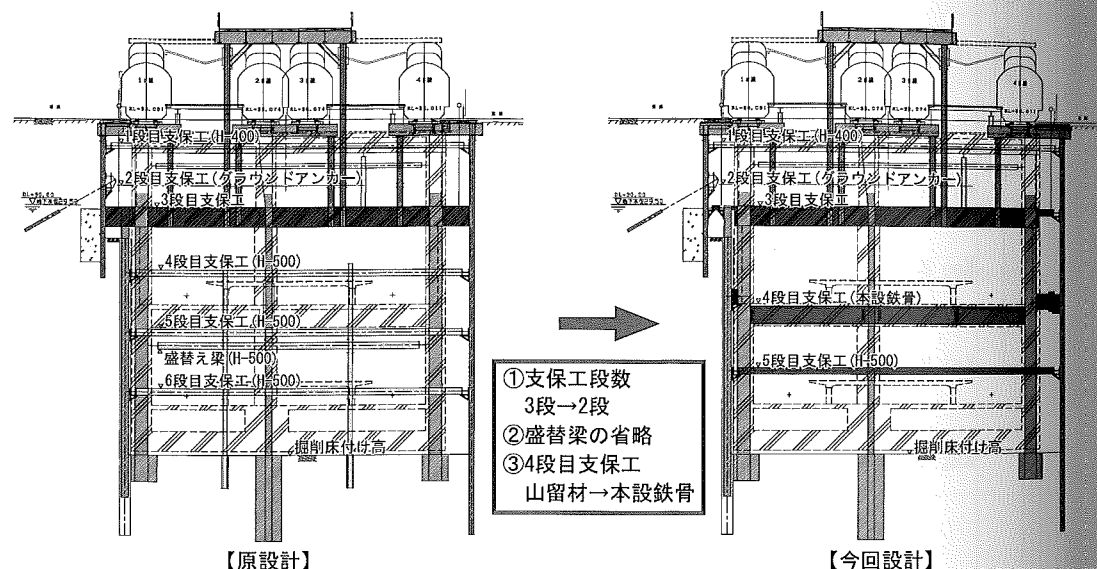


図-14 駅部土留め支保工合理化比較

い変位形状を示している。最終床付け時では、5段支保工以深の予測解析値に対し、50%程度の変位量であった。最大変位量は予測解析値11mmに対し、計測値9mmであった。

5-3-3 情報化施工結果

情報化施工により得られた計測結果と初期予測

解析結果を比較すると、土留め壁変位、土留め支保工反力ともに若干の違いが生じていた。しかし、その差は大きなものではなく、計測値はつねに予測解析値を下回るものであったため、支保工段数の変更などの追加対策を行うことなく施工を実施することができた。最終床付け時点で改めて現状

表-3 工程短縮効果比較表

施工ステップ	原設計		合理化設計	
	施工順序	施工日数(月)	施工順序	施工日数(月)
B2F鉄骨架設	—	—	1	2.0
4段支保工架設	1	0.6	—	—
5段支保工架設	2	0.6	2	0.6
6段支保工架設	3	0.6	—	—
B3F底盤躯体構築	4	1.0	3	1.0
6段支保工撤去	5	0.5	—	—
B3F壁・柱躯体構築①	6	0.7	—	—
B3F壁・柱躯体構築①②	—	—	4	1.0
盛替え梁架設	7	0.4	—	—
5段支保工撤去	8	0.5	5	0.5
B3F壁・柱躯体構築②	9	0.7	—	—
B2F鉄骨架設	10	2.5	—	—
B2F床盤躯体構築	11	1.0	6	1.0
4段支保工解体	12	0.5	7	0.5
B2F壁・柱躯体構築	13	1.0	8	1.0
計		10.6		7.6

解析を実施した結果(図-13)、第5・6層の主働側圧係数を0.1とすると、計測値と解析値がほぼ一致した。

なお、他断面でも同様に施工を行い、駅部(図-3②エリア)ではさらなる合理化施工として、本設躯体である鉄骨を先行して架設し、その鉄骨を4段目支保工とすることを検討のうえで採用し、4段目支保工の組立て・解体作業を省略することができた。図-14に駅部における土留め支保工の構造比較を示す。

さらに支保工段数を低減することにより、支保工間の有効高さを拡げることができ、施工能力の高い大型重機の使用が可能となったことから、掘削・支保工架設の施工サイクル期間を短縮できた。

以上のことから、3段目支保工以深の掘削から躯体構築着手までの工期を約3か月短縮することができた。

表-3に土留め支保工低減による工程短縮の比較を示す。また、土留め支保工の設置状況を写真-5に示す。



写真-5 土留め支保工設置状況

6 おわりに

以上、営業線軌道直下における大規模開削工事の施工実績、および情報化施工による土留め支保工の合理化について述べた。先行して施工した西立坑での土留め計測結果をもとに情報化施工を行うことで、駅部土留め支保工を低減したほか、作業スペースがより大きく確保できることから作業効率の向上に繋がり工期短縮が可能となった。

また、掘削時にリアルタイムで支保工反力や土留め壁の計測・管理を行ったことや、支保工の段数を低減し作業スペースがより広く確保できたことで人と重機の区分が可能となり、安全管理上も非常に有効な手段であった。

現在、工事はほぼ掘削工事を終え、地下躯体建造の最盛期を迎えている。また、躯体工事の完了した箇所から、軌道・設備・建築工事への引渡しを行っており、平成24年度の完成に向け、工事を進めている。

最後に、本工事が今後の同様な条件下での工事に参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 調布駅地下化工事における大規模掘削工事の施工実績(その1)、第65回土木学会年次学術講演会論文集、2010。
- 2) 調布駅地下化工事における大規模掘削工事の施工実績(その2)、第65回土木学会年次学術講演会論文集、2010。



トルコ共和国・三都物語のイスタンブールより

岩野 政浩

トルコ共和国の総人口は7,137万人で、ローマ帝国、ビザンチン帝国、オスマン帝国と1,500年以上もの間、大帝国の首都として栄えたイスタンブールには、現在約20%の1,400万人が居住している。イスタンブールはアジアでは北京、日本では青森と同じ北緯41度に位置し、世界で唯一、2大陸に跨る大都市である。市の大部分はヨーロッパの南東先端に位置し、ボスポラス海峡によってアジア側とヨーロッパ側に二分されている。

西欧世界の東洋への夢と憧れをのせたオリエント急行が、トルコのイスタンブールまで鉄道の直通運転で結ばれたのは1889年6月のことである。フランスのパリからオーストリアのウィーン、ハンガリーのブダペスト、ブルガリアのソフィアを経由して所要時間約68時間で到着した。当時のイスタンブールはヨーロッパではまだ旧名のコンスタンチノープルという名で呼ばれていたらしい。オスマン帝国スルタンの支配する東洋の専制国家の首都であり、西欧人にとってはノスタルジーの漂う異文化圏である「オリエント」の始まる地であった。

イスタンブールにおけるオリエント急行の終着駅がボスポラス海峡に面するシルケシ駅である。駅はオリエント急行開始直後の1890年に本設駅舎が完成し、当時の西欧人が持つ感覚のオリエンタリズムを取り入れたモダンな建物として現在に至っている。年一度季節列車として、フランスのパリから5泊6日の旅にてオリエント急行が、ここシルケシ駅に到着する(2010年は9月2日到着)。

現在、この既存シルケシ駅のすぐ隣に、ボスポラス



位置図



海峡横断路線図

海峡横断鉄道トンネル建設プロジェクトにおいて、新しいシルケシ地下駅を都市NATMにて鋭意建設中である。

プロジェクトはマルマライ計画(マルマライとは、トルコ語で「マルマラ海+鉄道」を表す造語)と名称され、ボスポラス海峡で分断されているイスタンブールのアジア側とヨーロッパ側の既存鉄道路線を海峡下の沈埋トンネルで結び、かつ全路線を近代化するという総事業路線76kmに及ぶ鉄道整備プロジェクトである。全体プロジェクトは海峡横断を含む13.6kmのトンネル区間と既存地上路線を改良する63kmの郊外区間に分けられる。

工事は2004年8月に着工され、当初工程では2009年4月完成予定であったが、駅舎エリアの遺跡調査が長期化した影響で、現在では2013年10月の完成が予定されている。遺跡調査長期化の最大要因は、鉄道路線が世界遺産となっているイスタンブールの歴史保存地区を通っているためである。2010年10月現在、土工事で工事進捗率は78%、沈埋トンネルは全函沈設完了、TBMトンネル85%掘削進捗、アジア側ウスクル駅が構築中、ヨーロッパ側シルケシ地下駅は掘削中である。トルコ150年来の夢のトンネル完成までにはさらに3年近くが予定されている。本工事を進めるにあたり、わが国の多くの関係各位より多大なる協力と暖かい励ましをいただいております。深潭なる謝意を表します。(大成建設(株)ボスポラス海峡横断鉄道トンネル作業所所長)

第十四回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

トンネルの基盤づくり

(元)株フジタ、藤友工業(株)
三好 正明

はじめに

今回の語り部である三好正明さんは88歳とご高齢です。後輩の者(語り部委員：上松瀬(株)フジタ)が話を伺いながら口述筆記することとしました。ご高齢とは言いましたが、下の写真のように矍鑠としておられ、今もゴルフを楽しまれています。ついこの前、といっても82歳のとき82で回るエージシュートを成し遂げられております。

のちほど、トンネルの話とは別に矍鑠たる秘訣もお聞きしたいと

思っております。

なお、下の写真は面白い話が聞けるからということで呼んでいたフジタOBの「広島会」の写真です。一番若い江川さんですら77歳という大先輩の皆さんに面白い話や工事の教訓などを伺いました。これも、のちほどちょっとふれたいと思います。

さて、三好さんの経歴に注目していただきたいのですが、戦後の復興期から高度成長期にわたって当社のトンネルの基盤づくりに携わり、フジタのトンネルの歴史を見てきた方です。



広島会(H.22.10.19)にて、左から平松氏、中光氏、三好氏、片岡氏、近藤氏、江川氏。



藤友工業社長時代の三好氏

そこで思いのままに語っていた
だき、以下のようにまとめました。

- ① はじめてのトンネル工事
- ② 苦勞したトンネル
- ③ 機械化の導入
- ④ 時代の移り変わり
- ⑤ 長大トンネル受注
- ⑥ 四十曲トンネル
- ⑦ トンネル施工直轄会社設立
- ⑧ 先輩たちから一言
- ⑨ 健康の秘訣

はじめてのトンネル工事

ちょうど昨年(2010年)はフジタ
が創業百年になる記念の年でした
ので、改めて、当社のトンネルを
振り返ってみます。

創業当時(明治43(1910)年)は建
築が主体でした。昭和6(1931)年
満州事変が勃発し、日本は軍事費
増大を背景に軍需景気に湧きまし
た。

この時期に会社は満州進出を検
討するなど企業拡大を図ろうと受
注強化を行いました。この結果、
昭和7(1932)年に三呉線(広島県
三原・呉間)で吉名トンネル860m
ほか、3本のトンネル工事を施工
しています。これが当社の最初の

著者略歴

大正11年	広島県黒瀬町生まれ
昭和16年12月	東京高等工学校(現、芝浦工業大学)卒
昭和17年2月	藤田組入社
昭和18年2月	召集中国戦線へ
昭和20年8月	広島原爆投下 終戦 中国正規軍に抑留
昭和21年3月	帰還 藤田組復帰
昭和29年	中国電力玖波発電所第四工区水路隧道工事
昭和31年	国鉄下関工務局岩日線第8第9工区工事所長
昭和34年	電源開発(株)、尾鷲発電所水路隧道工事担当課長
昭和36年	東海道新幹線磐田工区所長
昭和40年	本社トンネル担当課長
昭和43年	技術士取得
昭和48年	トンネル工事の下請け会社[藤友工業(株)]設立 初代社長に就任
昭和61年	退任 現在に至る

トンネル工事です。

いきなり3本のトンネルをやっ
ていますが、事業拡大には建築だ
けではなく、公共工事である土木
が必要だと考えたのではないでしょ
うか。この工事が転機となり、会
社は大きく躍進していきます。そ
の後にも戦前には何本かのトンネル
工事を行ったようです。

ここからは私のトンネル経験に
ついて述べてみます。

まず、学校を卒業したのが昭和
16(1941)年12月です。この月の8
日に真珠湾攻撃とともに太平洋戦
争に突入したわけで、学校も卒業
を早め、12月に卒業、翌年2月に
藤田組に入社しました。それから
召集を受ける昭和18(1943)年2月
までの1年間は軍の燃料基地を作っ
ていました。そして終戦。終戦翌
年の春、抑留されていた中国から
帰ってきました。激動の4年間で
したが、そのときも懸命に生きて
いたし、戦後も食うために一生懸
命だった思いがあります。そんな
なかで、会社に復帰しましたが、

最初は原爆を受けた広島復興で
した。

世界で最初に原爆が投下され
た場所で半径1kmが瓦礫と
化したなか、形を残した建物
の多くが自社の建造物だった
こと。進駐軍がその設計図を
もらいに来たこと。今後70年
は草木も生えず、すべて生き
物は生きられないだろうとい
われた焦土のなか生き残った
社員が懸命に働いていたこと。
資金繰りも立たないなかでの
日赤病院の復旧工事など、原
爆後の復興に対し、当社の果
たした役割について、誇らし
く、また、感慨深げに話され
ましたが、ここでは割愛させ
ていただきます。

やっと落ち着くまでに5~6年
かかりましたが、よく短期で復興
したものだと感心します。

中心部の復興が落ち着くと、鉄
道網を広げる工事と電気を供給す

苦勞したトンネル 岩日線、南桑隧道

岩日線は錦帯橋で有名な錦川を
さかのぼって島根県日原まで線路
を延ばす工事で、川沿いはV字谷
でトンネル・橋梁・擁壁の連続で
した。工区は第1~9工区まであ
り、第8工区の南桑隧道に私は工
事半ばで前任と所長交代してい
きました。

トンネルは曲がりくねった錦川
の突き出した山にトンネルを掘る
工事で、延長は228mでした。

順序としては底設導坑(当時は
第3導坑と呼んでいました)を進
み、地質が安定したところを見計
らって導坑から中割りを切り上が
ります。そして頂設導坑の切り付
けに入り、踊り場を作ってから坑
口側へ頂設導坑を進めます。これ
を約4m掘って天^{てん} 簾^{にない}を吊り、地
質の悪いところは簾柱の足元に袋
簾という下駄をはかせ、地質状況
を把握したあと、第1の丸型を片
側ずつ切り掘り、約4m切り掘り
たところで1の桁を入れ、仮受け
するという具合に第2の丸型、中
背と切り掘ります。それぞれに桁
を入れて仮受けし、第3、第4丸
型部分は大引きを入れるところだ
け切り込み、大引きを敷き込みま
す。そして大^だ 樹^{じゅ}を建て、仮受けを

るための発電所工事が盛んになっ
てきました。

そして会社が戦後初めて受注し
たトンネル工事が、昭和28(1953)
年12月に岩日線(山口県岩国から
島根県日原間)第1工区内のL=
184mのトンネルでした。同時期
に中国電力玖波発電所水路トンネ
ル4.1kmも受注しました。

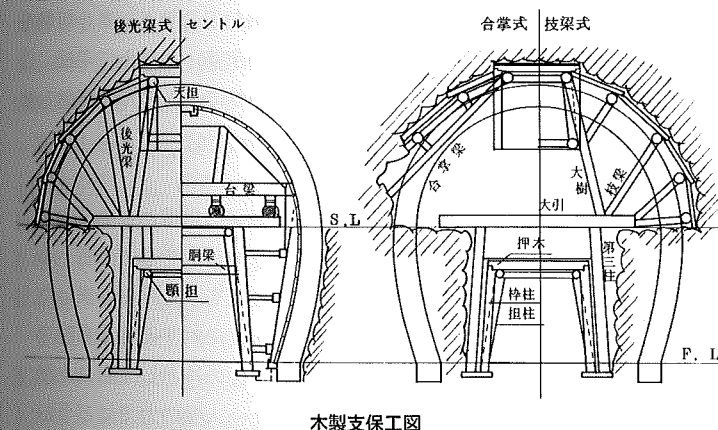
当時のトンネルはという図に
示すような後光ばり式の木製支保
工で、そのころ始めていたレッ
グサポート(TY-24)を宝として、
ずり出しはすべて人力、トロに手
積みし、手押しで坑外に搬出しま
した。コンクリートもすべて人力、
二段ばね、三段ばね、支保工組み、
木はずし(下から桢板をはめなが
らコンクリートを打ちあがり、そ
のつど支保柱などを取り除いて上
がっていく)という作業でした。
危険性が高く、重労働という、精

神・肉体の両方からの責め苦によ
り悲壮感に満ちた坑内でした。

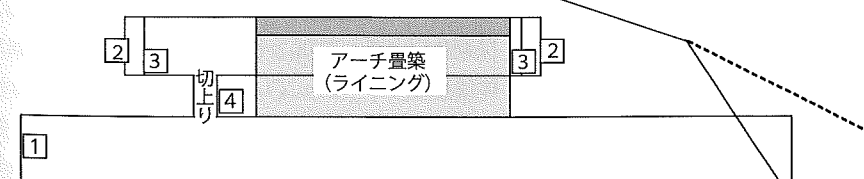
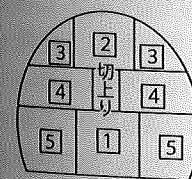
支保工用の木材が細すぎるとか、
生木でないとか、さばの切り方が
雑だ、締め上げがゆるい、もっと
くさびを打てなど、働く者と監督
者との間で言い争いの絶えない毎
日でした。

したがって、憎まれもし、脅さ
れもしました。そしてコンクリー
ト打設になると木外しと裏込め
には目が離せず、また木を外したと
きの荷の動きとその音は何度経験
しても身の毛のよだつ思いでした。
とにかく、つねに命がけといった
気分であっただけに、真剣であり、
気迫がこもっていました。

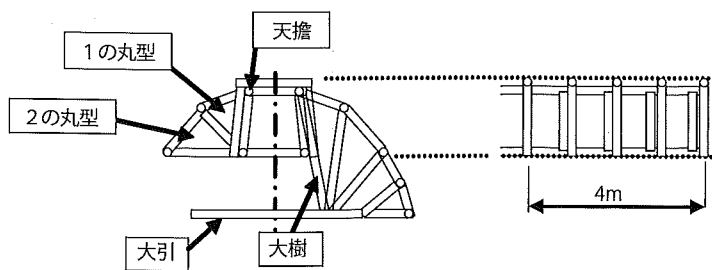
こんなことで知識が皆無のところ
からいきなりスタートし、親方、
世話役の人たちから聞いたり見た
りしてトンネルを覚えていったも
のです。



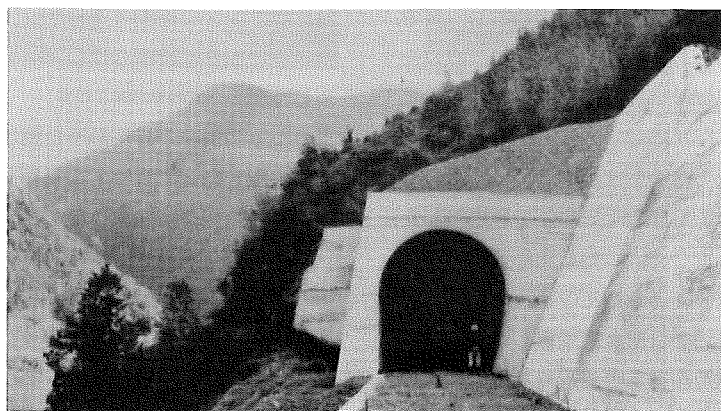
木製支保工図



底設導坑施工順序図



頂設導坑詳細図



南桑隧道

後光梁または枝梁に切り替え鼻梁まで入れると上半部分の切り広げが終わったことになるわけです。

逆巻きの場合はこのようにして坑口付近を切り掘げ、アーチ置築（ライニング）し、進行方向からの土圧に耐えられる固体とし、反転、奥向きに掘進を始めます。

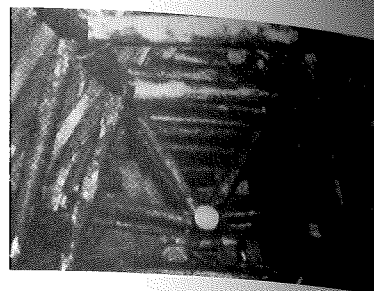
この要領で頂設導坑を100m程度進んだとき、強烈な偏圧がかかり始め、頂設導坑全体が川側に寄せられる現象が生じ始めました。山側の径20cmもある杵柱が、くの字に折れ始め、急遽、頂設導坑230m間に逆合掌を組み、見守るしか手だてがありませんでした。

その後、地表を見てみると深さ1mもある亀裂が20mくらい続いており、山が動き出したと大騒ぎとなりました。国鉄工事区は下関

工事局へ、工事局は本社へと問題は大きくなり、6か月ほどあてもない、こうでもないと、もみにもんだが結論が出ませんでした。

そのうち、変状も落ち着きを見せ、思い切って再開ということになりました。コンクリートの中に古レールを曲げ加工して鉄骨コンクリートとし、コンクリートには膨張材としてアルミの粉末を混入することで決まり、掘削は従来どおりのやり方で慎重に掘り、なんとか無事貫通しました。

当時は問題が発生してから調査するという状態だったので弾性波探査も行いましたが、トンネル自体は崖錘の中を通っていて、川淵付近にある粘板岩の岩盤層で円弧すべりを持ちこたえたのではないかと考えられます。

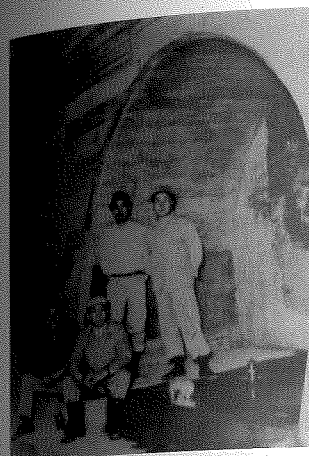


逆合掌式支保工

岩日線はその後、昭和32(1957)年第9工区で高野トンネル750mを施工しました。岩日線第1工区と同時期発注の玖波発電所のほうは、当時としては注目すべき工事でしたので、広島勢だけでなく、東京の土木屋も経験を踏ますために呼びました。

斜坑2本、横坑1本、立坑1本から進入し、施工しましたが、ここは太崎笛美氏(建築主体の当社における土木の先駆者)が担当しました。私も玖波発電所でトンネルのイロハを学びましたし、広島会の片岡もここでトンネル経験を積んでいます。ちなみに平松、江川は岩日線でトンネルを経験しました。

この当時の言葉として「山に聞く」や「山をなだめる」などの表現をよく耳にしました。これは山に対する尊敬表現であり、山の神として恐れ、怒らせたなら人間の力ではどうしようもない、山を怒らせないよう、山をなめないよう、という教訓だと思います。この気持ちは現在でも大事だと思います。科学の進んだ時代でも、山をなめていたら、思わぬところに落とし穴がある、おそ



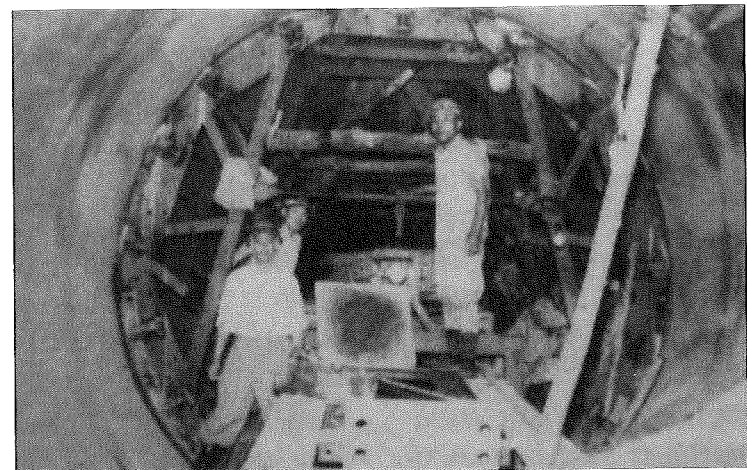
岩日線高野隧道坑口にて。左から2人目が三好氏、3人目が江川氏

らく、そう感じた人は少ないのではないのでしょうか。

機械化の導入

昭和27(1952)年、電源開発(株)が発足し、佐久間ダム建設に取り掛かりました。飯田線佐久間・大嵐間の水没に伴う線路付け替えで大原トンネル5,062mほか11本のトンネルを昭和30(1955)年末までに開通させることとなり、当時としては最先端の近代的な機械化施工を始めました。前述したように当社ではすべて人力で施工していたものですから、飯田線は目をみはる良い手本でした。

それに刺激され、岩日線第9工区高野トンネルのときは、すべて人力のトンネル工事を機械化せねばと、ものに憑かれたように心が躍動し、広島支店に通いつめ、働きかけましたが、どう経済比較しても機械が安くなる計算が出てきません。なかなか、OKとはなりませんでした。3か月通い、根負けしたような感じでやっと了解



尾鷲水路隧道にて。左が三好氏

を取り付けました。

まず、掘ることが先決ですから掘削ずりの積み込み機械と機関車を導入することにしました。機関車は当時ディーゼルエンジンで、電力不足の時代、バッテリー機関車ではどだい無理でした。

そもそも家庭用電力さえ山間僻地では思うようにならない時代で、12km離れたもっとも遠いわれわれの工区が音頭をとり、電力会社とかけ合って工事用電力を特別に引張ることに成功しました。

ちなみに8工区まではディーゼルコンプレッサーを使用していました。

この電力にも限度があり、75kWコンプレッサー2台、コンクリートバッチャー、河川横断資材運搬ケーブル、坑内照明でぎりぎりだったので、機関車はディーゼルに頼らざるを得なくなり、本社機械部に排気処理付きの機関車を開発してもらい、坑内に入れました。この当時は1年ごとに機械化が進み、3～4年するともう前の機械は型が古く使えないというこ

とが頻繁でした。

時代の移り変わり

昭和34(1959)年電源開発(株)尾鷲水力発電所圧力トンネル(L=1,355m)を受注しました。この工事で完全機械化を目論み、穿孔ジャンボ、大型ロッカーショベル、トレンローダ、ディーゼル機関車、コンクリートポンプ、コンクリートブレッサー、全断面型スライドセメントルなどを導入し、また、鋼製支保工を使用しました。

この工事では圧力トンネルにおいて、いかにコンクリートを密着させるかに重点が置かれ、インバートの溜まり水除去に雑巾がけまでするような状況に面食りました。

また当時、生コンは現場練りであり、骨材を傾斜面を使って荷卸しし、貯蔵する方式を使おうと考えましたが、骨材が斜面で分離し、コンクリートにバラツキができるということで、現在と同じ堅型骨材ピン型式になったのを思い出します。

機械化が進み、木製支保工が鋼

製支保工に変わるとともに、従来の^{よきし}斧指という特殊作業員が必要なくなりました。

このころから従来の「隧道」という呼び方が「トンネル」という呼び方になっていったように思います。

私自身は「隧道」に慣れていたから「トンネル」という表現に当初抵抗を感じたものです。実際には木製支保工の悲壮感漂う坑内は「隧道」と呼ぶにふさわしく、人里は離れた山奥で暗く、危険なイメージでした。「トンネル」というと機械化された近代的な工事というイメージになったように思います。

現在では「土木」という言葉が一般的にあまり良いイメージではなくなり、建築家と呼んでも土木家ではなく土木屋だし、最近、大学では「土木工学科」の人气がなくなり、「環境工学科」などに変化してきているようです。しかし、隧道がトンネルに変わったようには、あまり良い言葉は浮かばないようです。ひょっとすると、何年後かには「シビル工学科」とかシビル技術者とか呼んでるかもしれません。

本社での思い出① 複線断面1km以上の 長大トンネル受注

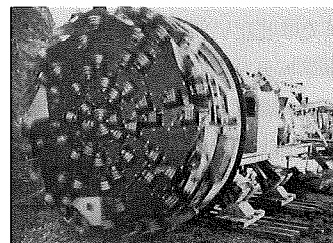
昭和34(1959)年4月東海道新幹線の起工式が行われ、昭和39年の東京オリンピックまでの開業に向

け工事がスタートしました。私は鉄道経験があることから東海道新幹線の名古屋磐田工区の所長をしました。これは明かり工事で、会社としては、東海道新幹線のトンネル工事は行っていません。

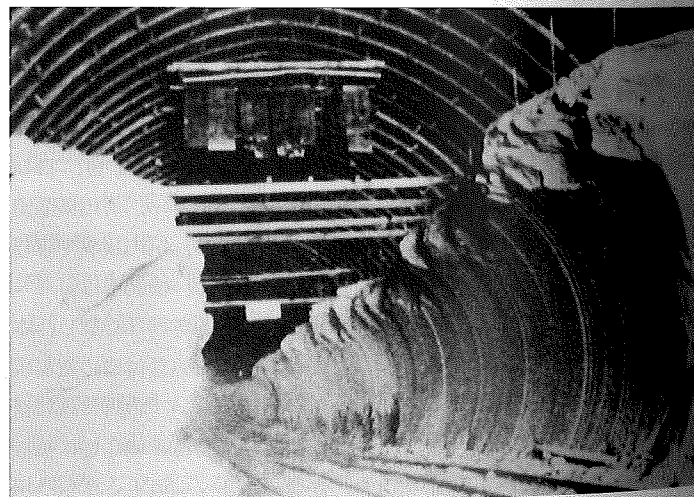
昭和42(1967)年山陽新幹線新大阪～岡山間(トンネル率35%)が着工し、今度はなんとか長大トンネルを施工したいと、会社を上げて取り組みました。

国鉄実績、道路断面実績、また、仮想工区と施工計画を持参し、会社としての能力、会社としての取り組み方を説明しに国鉄本局に伺いました。

説明に対し、国鉄側からは施工計画などにはあまり触れず、下請



フジタロックマシン1号機



ロックマシン掘削後の坑内

け関係についてしつこく質問されました。

その応酬に時間を要しましたが無事パスし、やっと、長大トンネルが施工できる会社であると認識されたと思っています。このとき、直轄のトンネル施工会社がなく、そのために信頼感が欠けることを痛感しました。

そうして、昭和42(1967)年1,712mの相生トンネルの受注につながったのです。

その後の2期山陽新幹線岡山～博多間では府中トンネル3,523m、的場トンネル1,353m、畦倉トンネル1,250mほか約8kmを施工しました。そのあいだレール方式から機械などの転用などを考慮し、底設導坑+レール方式から上半先進タイヤ方式を採用しはじめました。

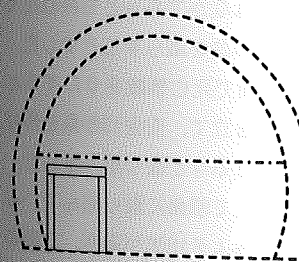
昭和47(1972)年には東北新幹線岡岡トンネルでロックトンネルマシンを導入しましたが、これは時期尚早で変化に富んだ日本の山には適していないようでした。

本社での思い出② 道路トンネル・ 四十曲隧道(建設省)

昭和29(1954)年ごろはやっとトラックが走り始め、国道を走るのに道路端の家屋の軒先をこすりながら走っていました。建設省も当初は直轄工事で施工していました。本格的な道路工事は昭和35、36(1960、1961)年ころより始まった名四道路、名神高速道路ですが、それからはモータリゼーションの発達に道路を作れど作れど追いつかなくなったわけです。

当社としては昭和35(1960)年因島で394mの青影トンネルを施工し、これが道路トンネルの始まりだろうと思います。これは片岡が担当しました。

広島会の片岡さんに伺うと、「このころはトンネル工事自体が町興しの一イベントでどこへ行っても工事の協力体制がすばらしく、開通式のときは神輿も出て、盛大なものだった。トンネル完成を待ち望むという気持ちは工事をやる側にも伝わり、やりがいのある工事だった」ということでした。



四十曲トンネルの導坑位置

昭和41(1966)年になり島根県と岡山県境の四十曲峠を抜く、四十曲トンネル(L=1.853m)が発注になり、下口側からの1,353mを受注しました。これは昭和34(1959)年から国道9号線の明かり工事で信用を得た実績がものを言ったものと思います。このトンネルは当時の道路トンネルとしては全国10番目の延長であり、特筆すべきものでした。

しかし、このトンネルはトラブル続きでした。標高が800mあり、覆工コンクリートのパッチャプラントは凍るため、骨材ビンの中で発破して凍結した骨材を出したり、雪崩で通行止めになったりしました。施工面で起きたトラブルは特殊な偏圧でした。

このトンネルは3%の片勾配であったため、上口の水抜きを目的として導坑を設けました。ここでは水抜きが目的であることから左側壁前に導坑が計画されていました。

導坑が300m程度進んだころから上半に着手し、1か月遅れでアーチコンクリートにかかりました。上半掘削を開始し、2～3か月したころから導坑に強大な偏圧が生じ始めたため、土平を抜き、側壁コンクリートを施工しました。しかし、そのコンクリートにクラックが発生し、再度、側壁コンクリート幅を大きくし、鉄筋を入れるなどしましたが、クラックは発生しつづけました。

当時の有名な教授を招いて研究会を催し、対策を検討しましたが、名案がなく、結局、両側に側壁導

坑を設け、先に側壁コンクリートを打設するサイロット工法に変え、その後、順調に掘進しました。このことについては昭和43(1968)年の技術士試験のテーマにし、面接の際、委員の方と大いに議論になりましたが、委員の方は片サイロットの逆巻きについて問題があることを認識されたようでした。

昭和30～40年代は明かり工事でも、やる工事やる工事が初めての施工法とか、初めての機械とか、想像がつかないトラブルが多かった時代です。ましてやトンネルの場合、対する山がそれぞれ違います。日本の山で同じ地質、同じ地形などめったにありません。「トンネルなら俺に任せろ」というやつは信用ならない。そんな自信を持ったこともない。山だけじゃない、事故も多い。狭く、暗い中で、夜も心配し、いやな仕事だと思うときもある。が、しばらくするとそれをどう克服するか一生懸命考えているんです。それは「山登り」の心境と同じかなと思います。「危険な山に登って何が楽しいだろう」と、普通の人に山登りの気持ちは理解できません。おそらく征服感なのではないでしょうか。トンネルの場合もそれぞれ違う山をどう攻めるか考え、それを成し遂げたときの気持ち、とくに貫通の感動は、忘れられません。トンネル工事から離れて25年以上たちま

すが、今のトンネル屋気質はどう変わったのでしょうか。

トンネル施工直轄会社設立

昭和45(1970)年ごろ、当時の環境は山陽新幹線岡山～博多間はほとんどが発注され、工事も後半に入っていました。また、東北新幹線も発注され始める段階となり、上越新幹線の発注も近々という時期でした。

山陽新幹線に入るところから将来のトンネル工事に対し、どう対処するかトンネル下請け会社の皆さんと何回も会合を持って話し合いました。下請け会社の作業員は九州の者が主体で、「(当時)九州から東北、上越に3回も4回も乗り継いでいくことはどうてい考えられない」という話で、結論も出ないまま山陽新幹線時代に突入してしまいました。

トンネル工事は新幹線だけでなく新線、線増、道路、水路とおこなっており、中国、四国が中心でした。もちろん単発的に全国でもやっていたのですが、定着してやるほどの仕事量はなく、中国、四国にのみ定着したグループがいるような状態でした。そんな状態で、東北新幹線が発注され、それこそケツに火が付いてしまったわけです。

私は昭和41(1966)年から本社に上がり、全国のトンネルをみていました。国鉄に自社実績、施工計画を説明した際も、トンネル直轄部隊を持たないために、計画が良くても、実施工が可能か信頼性を



青函トンネル浜名工区の貫通式にて、左から二人目が三好氏

疑われたり、秋田の鷹角線で片押し5kmのトンネルを受注したと喜んで、その施工部隊をそろえるのに四苦八苦している状況で、直轄のトンネル施工部隊の必要性に迫られていました。

昭和47(1972)年も終わりに近づいたころ、なんとかしっかりした施工体制を作るには、まずは社内のコンセンサスを取りつけねばならないと考えました。そのころトンネル工事のよき理解者であった、大崎専務(玖波発電所所長)に絶大な支援をいただき、各支店土木の協力要請、当時下請けの多くは大崎専務の下で働いたことがあり、この人たちに強力な要請をいただき、ついに昭和48(1963)年春、下請け会社を一本化したトンネル専門の新会社「藤友工業株式会社」を発足させることができました。

一本化ができただけで、強力になるかという決意はそうではありません。ただひとつ良いことは、元請会社が受注した工事はすべて新会社に渡すことになるので、工事のローテーションを組み、工事の終わったところは、次の工事も

で、ほかの工事を応援することができ、熟練工の確保ができることでした。これは大きな武器でした。問題となることも多くありました。工事規模が大型化し、工程は短縮され、工事量増で熟練工が不足し、賃金が高騰しました。高齢化も進み、若年層からはトンネル工事は魅力のないものとなりました。おまけに、工事場所の移動は長距離となってきました。

工事もたんに労務提供のみでは資材原価の首根っこを労務者が握ったままであり、掘り方が悪ければコンクリートは食い込みます。口先やそろばんで原価を管理できるものではありません。資材を責任エリアに入れた施工体制づくりをしなければ、挙げればきりがないくらい問題がありました。

そんななかでもっとも肝心だったのは事故を減らすことでした。

3年間で死亡事故を0にすると目標を立て、安全13か条を作り、浸透させるなど取り組みました。

そうして懸命に取り組んでいるうちにおよそ10年が過ぎ、初期の目標とする体制が固まったのを機

に昭和61(1986)年63歳のときに退任しました。

先輩たちからの一言

(平松氏)会社に入って2年目に岩日線の現場に行ったが、そこにわが社の測量の神様といわれた芳賀六郎さんがいた。芳賀さんについて朝から晩まで標高差300mの山を測量していた。当時もう60歳くらいになっておられたが、そのあとをついていくのがやっとだった。芳賀さんは創成期の当社のトンネル屋には切っても切れない人で、当時のトンネル屋の多くが芳賀さんについて測量を学んだ。

(片岡氏)昭和42年11月に会社のトンネル屋を代表してアメリカトンネル視察団に加わって視察してきた。目的が沈滞したトンネル技術に刺激剤を求めること、また、日本の技術は世界でいかなるものかを確認すること、あとは、契約形態の確認などであった。そのときの皆さんは斉藤徹氏(国鉄新幹線建設部工事課長)ほか、錚々たるメンバーだったが、その後30年間家族ぐるみの付き合いをした。社内だけでなく、広く、社外にも

友人、知人を持ち、いろんな話を聞くことも人生を豊かなものにする。

(江川氏)昭和46年ころエクアドルで水力発電所建設の放水路トンネルを施工中、砂時計のように切羽の砂が抜け出てきて困った。薬注を行うには資機材がすぐに段取りできない海外だし、なにか良い方法はないか、どこに聞いても、だれに聞いても良いアイデアがなかった。現場のみんなで会議しているとき、砂時計のように抜けるんだから水を地表から撒いたら砂時計も止まるのではないかという意見が出た。どうせ安い水だからとやってみたところ、これが効いた。わずかな粘着力が全部に効いたのか、水締めは良くやるが、この効果か、よくわからないがとにかく効いた。

そのほか多くの面白い話を聞きましたがページ数にかぎりがあるため、別の機会とします。

三好さんの健康の秘訣

健康にも気をつけているし、今でもゴルフを楽しんでいます。やっぱり、肝心なのは気持ちの持

ちようだろうと思います。何か社会に役立つことをすればそれが生きがいになると思います。私は家の前、200m間の遊歩道の管理をしており、花をうえたり、雑草を取ったり、水をやったりしています。

人に喜ばれるということは、もっと喜ばれるものにしようとか、もっと役立つものにしようとか、もっと良いものを作ろうとする生きがいになるものだと思います。

これは土木という仕事も同じだろうと思います。シビルに変わろうと、環境工学に変わろうと、紀元前から生活が便利になるように、災害から資産をまもるために、いろんな意味で、人に喜ばれるもの、社会の役に立つものを作っているのが土木ですから、こんなにやりがいのある仕事はないと思います。もっと喜ばれるものを、もっと良いものを作ろうと、自分の仕事にもっとプライドを持ってやって欲しいものだと思います。



「花と歴史と技術のまち」大村市より

高田 民夫

長崎県の中央に位置する大村市は、東は多良岳県立公園、西は大村湾を望む自然豊かな土地でありながら、大村湾に浮かぶ世界初の本格的海上空港があることから、長崎県の玄関口としての面も併せ持っている。

大村市は、古くはキリシタン大名「大村純忠」が統治していた城下町で、大村氏の起源は藤原氏の遠縁にあたる藤原直澄が900年代前後に東彼杵荘大村に入り、久原(大村市久原町)に屋敷を建てて定住したのが始まりとされている。豊臣秀吉以前の大村家は長崎を領有しており、南蛮貿易も盛んであった。18代目領主、大村純忠は日本初のキリシタン大名となりキリスト教信仰は盛んになるが、19代目(初代藩主)大村喜前(の代)で関が原の戦いが起きた。大村家は東軍に付き所領を安堵され2万7千石の城下町として栄えた。

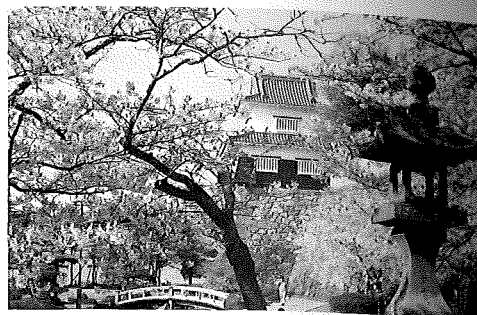
近代大村の転機となったのは、明治時代に入り歩兵第46連隊が駐屯したことで、その後、大正時代に入ると海軍航空隊が開設され、昭和時代には東洋一を誇るといわれた第21海軍航空隊が設置され「軍都」の様相を呈し栄えた。現在は、昭和50年5月の長崎空港の完成をはじめ平成2年には長崎自動車道が開通し、交通アクセスの利便を活かした街づくりが進んでおり、年間千人強の人口増が続いている。

鈴田トンネル起点側坑口付近には、江戸時代に小倉から長崎までの52里を25の宿で結んだ九州随一の幹線道路「長崎街道」が現存し、街道周辺には武家屋敷跡や神社仏閣などの多くの文化財が残っている。諫早市との境の鈴田峠は当時の景観がよく残っている箇所として文化庁の「歴史の道百選」に選ばれている。

ほかにも大村には地域特有の美しい自然が多く残さ



位置図



大村神社のオオムラザクラ



起点側横坑坑口(防音ハウス)

れている。市花は「オオムラザクラ」といい、大村公園内の玖島城の本丸跡にある大村神社の社殿前両側には国指定天然記念物「大村神社のオオムラザクラ」が優美に咲き誇っている。また、大村公園は「さくら名所百選」「日本の歴史公園百選」、さらに「西日本随一の景観を誇る花菖蒲園」を有する、大村市を代表する観光地である。

九州新幹線(西九州ルート)は、九州新幹線鹿児島ルート新鳥栖より分岐して長崎へ至る整備新幹線計画である。新鳥栖～博多間は鹿児島ルートと共用し、長崎～博多間を直通計画であり、全国初のフリーゲージトレインを運用する予定である。

当トンネル工事は、武雄～諫早間の新設ルートの諫早寄りのトンネル延長L=1,740mを主体とした、橋台2基、土工区間を含む工事である。長崎県下最初、県民待望の工事に参画していることを無上の喜びとし、無事故・無災害の竣工を目指し鋭意施工中である。(大林・西武・三基JV鈴田トンネル工事事務所長)

施工

地下鉄駅直下の残置杭をDO-Jet工法で切断撤去

—東京都下水道 東大島幹線および南大島幹線—

東京都下水道局基幹施設再構築事務所設計課長 家壽田 昌 司
東京都下水道局基幹施設再構築事務所設計課設計第二係長 千葉 正 孝
東京都下水道局基幹施設再構築事務所設計第二係主事 高 谷 圭 吾

1 はじめに

東大島幹線は江東区亀戸一丁目を起点とし、小松川第二ポンプ所(江戸川区小松川一丁目)を終点とする全長約3.5km、流域面積約559haの雨水幹線(合流式)である。また、南大島幹線は、大島ポンプ所(江東区大島5丁目)を起点とし、江東区大島8丁目にて東大島幹線と合流する全長約1.4km、流域面積約292haの雨水幹線(合流式)である。図-1に位置図を示す。

現在、江東区大島、亀戸地区の雨水は大島ポンプ所に収容し、雨水放流渠により旧中川に放流している。東大島幹線および南大島幹線は、大島ポンプ所の老朽化、旧中川の環境保全、管渠能力の



図-1 位置図

向上などに対応するために計画されたものであり、両幹線の整備後は当該地区の雨水放流先が荒川に変更になるとともに、本幹線流域における枝線管渠の面的な再構築が可能となる。

2 東大島幹線工事および南大島幹線工事の概要

本工事は、小松川第二ポンプ所の既設ケーソン内より発進し、大島ポンプ所内に築造する立坑に到達する計画である。路線途中の東大島幹線と南大島幹線の合流部付近において、親機シールド(外径7,100mm)から子機シールド(外径5,340mm)を分離・発進させ、断面の縮小を図る。工事概要は以下に示すとおりである。

工事件名：東大島幹線及び南大島幹線工事
延 長：東大島幹線 約0.7km(内径6,000mm)
南大島幹線 約1.4km(内径4,500mm)
使用セグメント：二次覆工一体型RCセグメント(曲線部は鋼製セグメント)
土かぶり：23.8～39.9m

3 都営地下鉄および東電洞道横過

3-1 概要

本幹線は、到達の手前約300m地点で都営地下鉄新宿線大島駅および東電洞道の直下を横断する。両施設横過箇所の状況を図-2に示す。大島駅は1

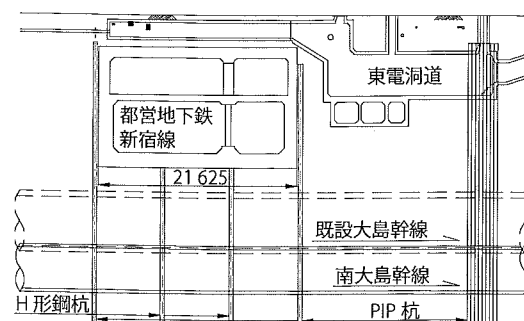


図-2 都営地下鉄および東電洞道詳細図

日平均約15,000人の乗降客が利用しており、シールド通過位置の上部付近にはポイント(分岐器)が位置している。また、東電洞道は大島駅と近接して都道内を占有することから非常に複雑な構造になっており、いずれも細心の注意を払ってシールド施工を行う必要がある。

3-2 支障物撤去について

大島駅下部には、駅舎築造時に使用された土留め壁(φ450, PIP杭:芯材H-300)および中間杭(H-300)が図-3に示す位置に残置されている。また、東電洞道付近においても構築時に使用された土留め杭が同様に残置されているものと想定され、シールド施工時には当該残置物を撤去する必要がある。支障となる土留め壁および中間杭は大島駅下部または近接した位置に残置されており、また都道の交差点にあたる大島駅および東電洞道横過部は非常に交通量が多いため、地上から残置物を撤去することは非常に困難である。

したがって、本工事では地中から超高压ジェットシステムを用いて支障物の切断・撤去が可能なDO-Jet工法での施工を計画している。

3-3 既存施設防護について

重要構造物である大島駅および東電洞道の横断については、各管理者より安全性を高めるための防護対策を要望されている。本工事で採用したDO-Jet工法では、シールド内より245MPaの超高压で地盤改良材を噴射し、改良体を造成することが可能である。これにより、施工時には大島駅および東電洞道下部を横断する際にシールド上部を改良し、また、支障物を撤去する際には支障物の

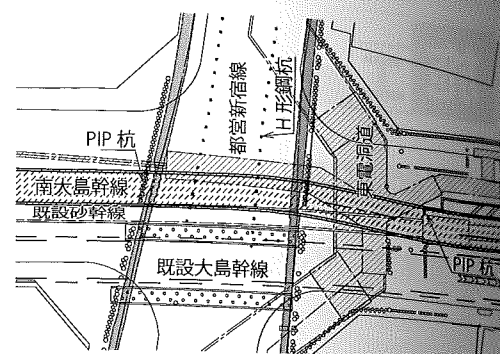


図-3 大島駅付近残置杭図

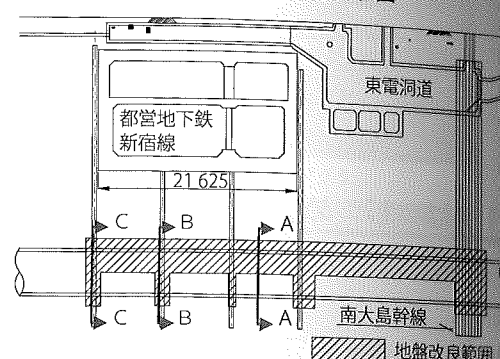


図-4 地盤改良範囲図(縦断面図)

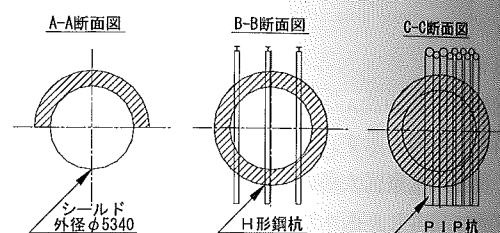


図-5 地盤改良範囲図(横断面図)

背面を先行改良することで既存の施設に対する影響を低減させる。DO-Jet工法によって改良体を造成した状態でシールドが横断する際の既存施設への影響については、2次元弾性FEM解析を行って検討している。図-4, 5に地盤改良範囲図を示す。

3-3-1 大島駅に対する影響検討

(1) 解析モデル

解析モデルの作成にあたっては、以下の点を考慮した。

- ・大島駅は、既設大島幹線を横断施工した際に防護工として直径457.2mmの鋼管杭でアンダーピニングされており、七号地層(粘性土層)で支持されている。

・大島駅完成後も残置されている仮設用中間杭は2~3m間隔で2列設置されており、下部有楽町層まで達している。

以上から解析断面を図-6に示すとおりとし、シールド掘削により残置杭が切除された場合の影響を解析した。地山および大島駅駅体はソリッド要素(面要素)にてモデル化し、鋼管杭、PIP杭および中間杭はビーム要素(梁要素)でモデル化した。また、DO-Jet工法による改良体の変形係数は一軸圧縮強度(12時間養生)をもとに、岩盤の一軸圧縮強度と変形係数の関係式より以下のとおり算出した。

$$\begin{aligned}\sigma_{sg} &= 500.0 \text{ kN/m}^2 \\ &= 5.10 \text{ kgf/cm}^2 \\ \text{地盤改良体の弾性係数} \\ E_s &= 68 \times \sigma_{sg}^{1.267} \\ &= 535.797 \text{ kgf/cm}^2 \\ &= 5.25 \times 10^4 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

(2) 解析結果

影響検討を行った結果を表-1に示す。

検討の結果、鉛直・水平変位ともに許容値内に十分収まる結果となった。

3-3-2 東電洞道に対する影響検討

(1) 解析モデル

解析モデルの作成にあたっては、東電洞道に近接する大島駅と残置されているPIP杭およびH形鋼杭を考慮した。地山および大島駅、東電洞道はソリッド要素にてモデル化し、残置杭はビーム要素でモデル化した。また、DO-Jet工法による改良体の変形係数は大島駅検討と同等の剛性の値を採用した。解析モデルは図-6に示すとおりである。

(2) 解析結果

影響検討を行った結果を表-2に示す。

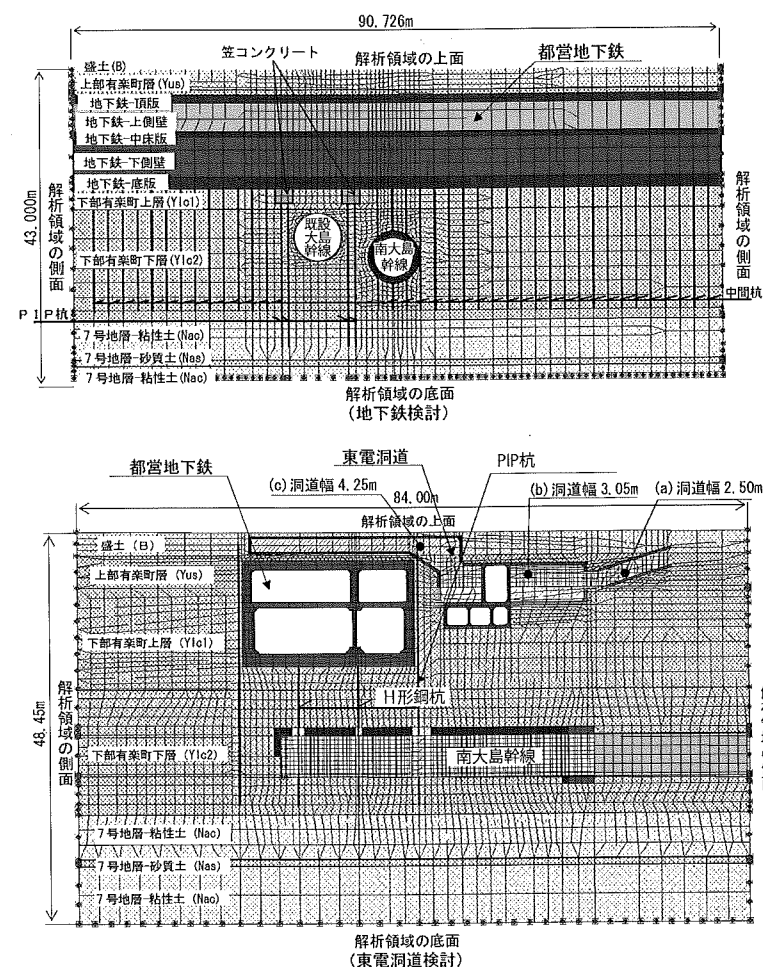


図-6 解析領域モデル図

表-1 大島駅に対する解析検討結果

	鉛直変位量(mm)		判定	水平変位量(mm)		判定
	解析値	許容値		解析値	許容値	
地下鉄	0.725	3.200	OK	0.026	2.300	OK

表-2 東電洞道に対する解析検討結果

	鉛直変位量(mm)		判定	水平変位量(mm)		判定
	解析値	許容値		解析値	許容値	
東電洞道	2.085	10.000	OK	1.037	10.000	OK

4 DO-Jet工法による地盤改良および支障物撤去

4-1 概要

支障物撤去および既存施設防護のために採用したDO-Jet工法は、超高压ジェット水(最大噴射圧

245MPa)とセメントミルクまたはアブレシブスラリー(研磨材とポリマー溶液の混合液)を超高圧噴射ノズルから噴射することにより、非開削・非接触により超高圧地盤改良(以下「地盤改良」という)と地中障害物の切断・除去を行う工法である。

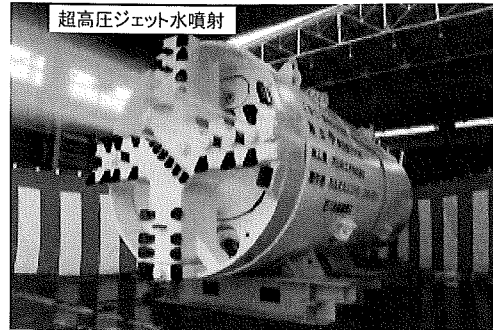


写真-1 DO-Jet掘進機(他工事)

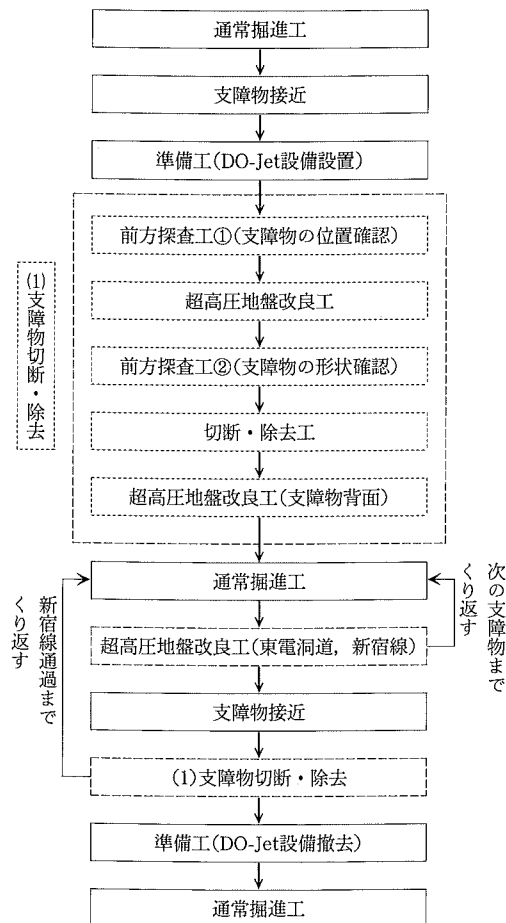


図-7 施工フロー図

4-2 施工フローについて

本工事の施工フローを図-7に示す。

4-3 地盤改良について

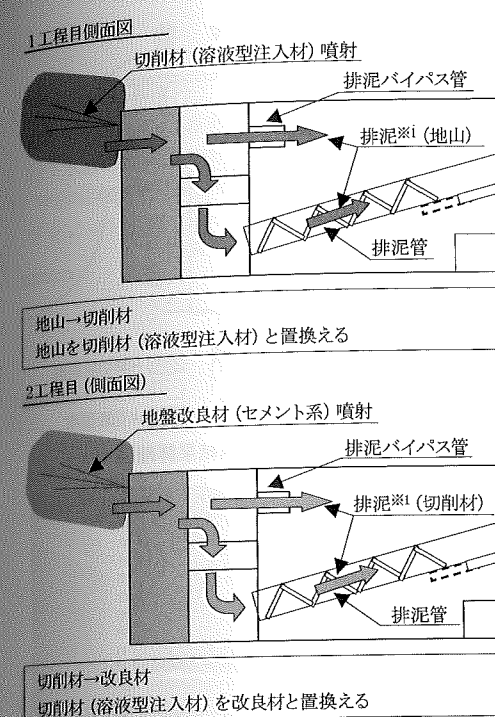
本工事では大島駅防護、東電洞道防護および残置杭切断時の洗掘防止などを目的に地盤改良を行う。地盤改良計画は図-5に示すとおりである。

地盤改良計画において、A-A断面は東電洞道および大島駅防護部を、B-B断面はH形鋼杭切断部を、C-C断面はPIP杭切断部を示す。

本工事対象とする土質は表-3に示すとおり粘性土層である。そのため、施工時にはまず切削材(溶液型注入材)により粘性土を切削材で置換することで改良体の造成範囲を確保し(1工程目)、次に、確保した造成範囲内に地盤改良材を噴射し改良体を造成する(2工程目)という2工程方式を採用した。図-8に2工程方式の概要を、表-4に改良材の配合表を示す。

表-3 土質状況

		施工区間平均	大島駅付近
土 層 区 分		下部有楽町層	有楽町下部粘土層
土 質 区 分		粘性土	粘性土
N	値	1~3	7~9
一 般	土粒子の密度	2.663g/cm ³	2.717g/cm ³
	自然含水比	65.7%	86.4%
	間隙比	1.762	2.420
	飽和度	99.3%	97.0%
	礫分(2~75mm)	0.0%	0.0%
	砂分(0.075~2mm)	5.0%	6.0%
粒 度	シルト分(0.005~0.075mm)	52.2%	48.0%
	粘土分(0.005mm未満)	42.8%	46.0%
	最大粒径	0.609mm	—
コンシ テンシー 特 性	液性限界	70.7%	85.5%
	塑性限界	30.7%	39.8%
	塑性指数	40.0	45.7
地 盤 材 料 の 分 類 名		粘土 (高液性限界)	粘土 (高液性限界)
せん断	試験条件	UU三軸	CU三軸
	全応力	C	53.3kN/m ²
		φ	0
			40.0kN/m ²
			15.3



※1 排泥については、1工程目および2工程目ともに、掘進機下側での施工時には排泥管を用い、掘進機上側での施工時には排泥バイパス管を用いて排泥を行う。

図-8 2工程方式の概要

表-4 改良材の配合表(1m³あたり)

セメント 量	セメントミルク(0.56m ³)			ジェット水(0.44m ³)	
	水 (ℓ)	早強セメ ント(kg)	混和剤(減 水剤)(kg)	水 (ℓ)	珪酸ナトリ ウム(ℓ)
1.6倍	334.2	681.0	10.8	396.0	44.0

4-4 支障物の切断・除去について

支障物の切断・除去の方法としては、まず地盤改良を行ったあとに掘進機を支障物まで前進させ、前方探査システムにより、支障物の位置、形状を確認し切断計画図を作成する。その後、切断計画にもとづき切断用ノズルを回転および移動させて取込み可能な切断ピースに細断する。

4-4-1 切断計画

本工事では、残置杭および中間杭あわせて48本を予定しており、これらの切断が可能となるように、移動可能な外周切断ノズル2個、内周切断ノズル6個、固定切断ノズル7個の計15個をシールドに配置する計画とした。図-9に切断計画参考図

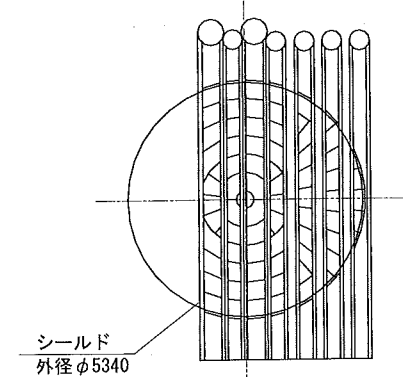


図-9 切断計画参考図

表-5 切断材の配合表(1m³あたり)

珪酸ナトリウム溶液(0.94m ³)			アブレシブスラリー(0.06m ³)		
水(ℓ)	珪酸ナトリ ウム(ℓ)	硬化剤 (ℓ)	水 (ℓ)	研磨材 (kg)	ポリマー 溶液(ℓ)
887.6	47.1	21.2	14.7	73.5	14.7

を示す。

4-4-2 切断材料

残置杭および中間杭を切断するアブレシブ材料は、研磨材にポリマー溶液を添加したアブレシブスラリーに超高圧ジェット水(溶液型注入材)を加えた混合材とし、溶液型注入材を加えた混合材を噴射することにより切断後すぐにゲル化(ホモゲル)させて、地山の乱れを防止する¹⁾。

ホモゲル化した切断材には恒久性が期待できないことから、切断した残置杭の背面を地盤改良し、ホモゲルの範囲内を地盤改良材に置き換える。切断材の配合を表-5に示す。

4-5 土圧管理および排泥管理

土圧管理および排泥管理は、通常のシールド施工と同様にDO-Jet工法の施工においても重要な管理項目である。

地盤改良中および残置杭の切断施工中は、自然土圧+0.01~0.02MPaの範囲で土圧管理を行うことで切羽を安定させ、地山の隆起および崩壊を防止する。

噴射量と排泥量の管理は、超高圧ジェット水と切羽からの排泥量との収支バランスが取れる管理を行うことにより、地山への影響を最小限にする方式とした^{2),3)}。

5 実験について

5-1 実験概要

本工事にて支障となるPIP杭の切断・撤去について、地下鉄管理者の要望を受けたことから、DO-Jet工法による切断実験を行った。

実験対象は、切断予定である芯材H形鋼300mmのPIP杭に加え、切断能力を検証するために芯材がH形鋼350mm、400mmのPIP杭を千鳥状に配置したものとし、切断状況などの確認を行った。表-6に実験における確認項目を、図-10に実験概要図を示す。

5-2 実験結果

切断範囲は、 $\phi 450$ (H-300)のPIP杭ではH形鋼部、モルタル部ともにほぼ計画の範囲を切断できることが確認された。

また、 $\phi 525$ (H-350)、 $\phi 600$ (H-400)のPIP杭においても、ノズルから350mm程度まで切断されていることが確認され、本工事の施工において十分対応可能であると考ええる。

図-11にPIP杭 $\phi 450$ mmの切断結果詳細図を、写真-2にA視からの切断状況を示す。

表-6 実験における確認項目

確認項目	測定箇所	方法
PIP杭切断範囲 (モルタル部) (芯材部) (芯材角度の違い)など	噴射実験槽内PIP杭 切断部	目視および 寸法確認

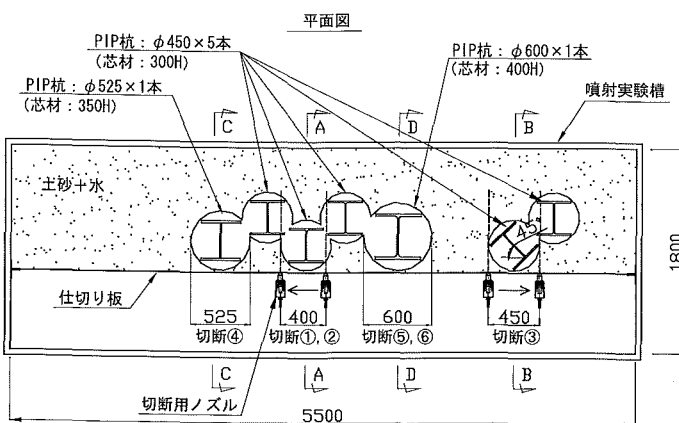


図-10 実験概要図

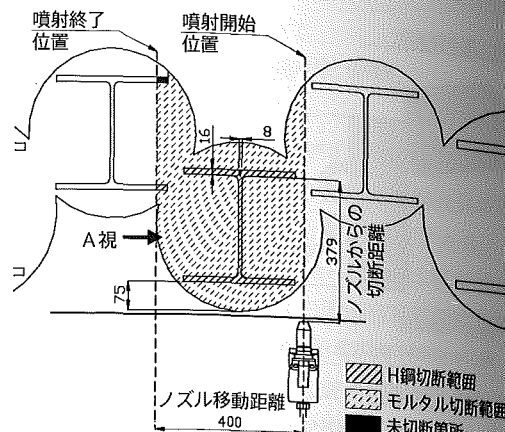


図-11 $\phi 450$ mm切断結果詳細図

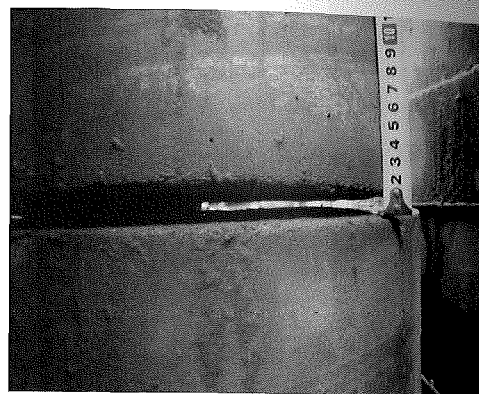


写真-2 A視からの切断状況

6 おわりに

人口が多く集積する都市部では、大規模な影響が懸念される重要構造物近傍での施工を余儀なくされる場合が多い。このような場合、十分な実績

をともなった工法を選択肢に据えて検討を行い、安全かつ確実に施工することが求められる。本工事は、営業中の都営地下鉄新宿線の大島駅および東電洞道の直下において、支障物を撤去しながら幹線の新設するという非常に困難をきわめる施工が予想されるが、DO-Jet工法を活用することで無事に竣工するものと期待している。本工事の実績および得られる知見が今後のトンネル施工の発展に資することになれば幸いである。

参考文献

- 1) 高橋智・船橋信行：「DO-Jet工法」が周辺地盤に与える影響についての実験報告，(社)日本下水道協会46回下水道研究発表会講演集，2009。
- 2) 宇田川孝之・吉川静雄・船越誠・田村憲：アブレーションジェット水流で地中障害物を切断除去し推進，東

京都下水道 第二十二社幹線暫定貯留切替推進工事，トンネルと地下，Vol.37，No.10，pp.29-35，2006.10。
3) 家壽田昌司・千葉正孝・北原淳：既設下水道幹線直下の残置鋼矢板をDO-Jet工法で切断撤去，東京都下水道 王子西一号幹線シールド，トンネルと地下，Vol.41，No.6，pp.41-48，2010.6。

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章

B5判 285頁 本体価格4,660円 円340円

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

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

株式会社 土木工学社

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

土木情報 No.452

今月の主な入札結果
(12月10日～1月9日)

事業主体	工 事 名	請 負 会 社	請負額 単 位 百万円
関東地整	高輪・三田共同溝	奥村組	585
"	R357東京港T	鹿島・大林JV	11,100
"	新4号上三川地区横断函渠設置	増渕組	195
近畿地整	京都第二外環状道路西代T	鹿島建設	767
西日本高速道路	東九州自動車道落鹿T	前田建設工業	2,179
都・財務局	環2地下T(仮称)築造(22—環2汐留工区)	鉄建・福田・日工JV	2,950.8
"	古川地下調節池取水施設	鹿島・明治JV	1,137.7
"	白子川地下調節池(その5)	大成・佐藤・銭高JV	12,850
山梨県	R140西関東連絡道路万力T万力工区	昭和・植野・高野JV	1,570
島根県	R488長沢BP社会資本整備総合交付金(改良)(仮称)長沢2号T	大畑・原・祥洋JV	2,008
"	R375湯抱BP社会資本整備総合交付金(改良)杉ヶ市T	今井・豊洋・堀JV	1,375
"	(主)浜田作本線雪田工区社会資本整備総合交付金(改良)伏谷T	今井・トガノJV	563
広島県	主地矢野安浦線道路改良(仮称・矢野安浦T工区)	森本・鴻治・熊野JV	1,502
高知県	県道春野赤岡線地域活力基盤創造交付金(文庫鼻T)	清水新星・杉本サンコウJV	440
横浜市	港北処理区大豆戸地区下水道整備(その2)	紅梅・センチュリーJV	412.05
"	南部処理区大岡川右岸雨水幹線下水道整備に伴う追加	鹿島・五洋・松尾JV	595
福岡市	田尻宿汚水幹線築造	奥村・青木あすなろ・飯田JV	1,224.39

建設工事の 保安地質学

(改訂版)

理学博士 石井康夫 著



土木工学社

建設工事の 保安地質学

(改訂版)

理学博士 石井康夫 著

A 5判 上製本 475頁 価格 6,300円 円 340円

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

株式
会社 土木工学社

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

研究

山岳トンネル地質不良区間の地震被害と対策工の効果

(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部主任研究員 野 城 一 栄

1 はじめに

山岳トンネルは一般に地震に強い構造物といわれているが、既往の研究^{例えは1),2)}によれば山岳トンネルでも地震の規模や震源からの距離によってはひび割れや圧ぎ(曲げ圧縮破壊による剥落)などの被害を生じることがある。

山岳トンネルの地震時挙動や被害メカニズムは計測などにより次第に明らかにされつつあるが、模型実験により実証的に研究した事例は多くない。また、山岳トンネルの耐震性能(変形性能)自体についても不明な点が残っている。

本稿では、地質不良区間での山岳トンネルの地震被害に関して、地震被害メカニズムや、新設トンネルの地震対策工の効果을明らかにするために、模型実験や数値解析により研究を行った結果^{3),4)}を紹介する。

2 地質不良区間における地震被害事例

山岳トンネルの地震による被害パターンは、過去の研究によれば、図-1に示すように、「I. 小土かぶり区間での被害」「II. 地質不良区間での被害」「III. 断層のずれによる被害」に大別できる²⁾が、このなかで、とくに「II. 地質不良区間での被害」は、被害の程度が大きくなりやすい傾向にある一方で、近年被害事例が多く、被害メカニズムに不明な点が多く残っている。

例えば、2004年新潟県中越地震における妙見ト

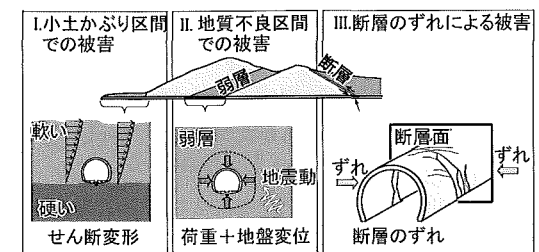
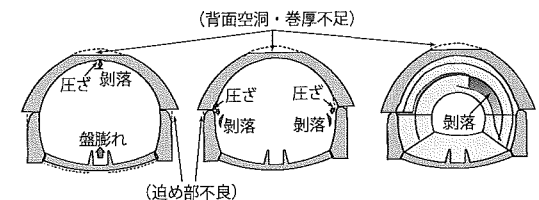


図-1 地震被害の形態の分類



(a) 被害形態A (b) 被害形態B (c) 被害形態C

図-2 地質不良区間での被害パターン(模式図)

ネルの被害⁵⁾や魚沼トンネルの被害^{5),6)}は「II. 地質不良区間での被害」に該当するものとされている⁷⁾。妙見トンネルでは延長約50mにわたり天端部に大規模な圧ぎが発生した。また、この区間の一部で路盤コンクリートの隆起が生じている。魚沼トンネルでは、輪切り状のひび割れにより、ブロック化して最大で約2m³に及ぶ覆工コンクリート塊の崩落が生じた。これらのトンネルは復旧に約2か月を要している。

そのほか、2007年新潟県中越沖地震においてもIIの被害として第二米山トンネルの終点方坑口近くで延長約15mにわたってアーチ側壁間の打ち継ぎ目での圧ぎ・剥落の発生が報告されている⁸⁾。

図-2は「II. 地質不良区間での被害」を、A～

Cの3つの形態に大別して示したものである。被害形態Aは、天端部の圧ざと剥落、盤膨れで、妙見トンネルの事例が該当する。被害形態Bは、アーチ～側壁打ち継ぎ目での剥落で第二米山トンネルの被害が該当する。被害形態Cは、輪切り方向のひび割れにより囲まれて剥落が生じるもので、魚沼トンネルの事例が該当する。

3 模型実験による地震被害の再現

地質不良区間での地震被害に関しては、地震時にどのような荷重や変位が作用したかはともかくとして、それらの作用モードすら不明であるのが現状である。このため、地質不良区間での山岳トンネルの地震被害を再現することにより、荷重や変位の作用モードを明らかにすることを目的として模型実験を実施した。

3-1 実験方法

実験には載荷模型実験装置^{3),4)}(縮尺1/50、図-3)を用いた。本装置は、土槽、ジャッキ、ロードセル、載荷板、模擬地山、トンネル模型などからなっており、ジャッキの載荷による載荷板の変位が、模擬地山を介してトンネル模型に伝わる構造になっている。本実験装置はジャッキ・載荷板それぞれ2個で1段を構成しており、最大3段構成とすることができ、複数段を使用すればトンネル線路方向に載荷条件を変化させた実験が可能となる。図-4に土槽とトンネル模型の寸法を示す。

トンネル模型は、新幹線標準断面を想定したモルタル製の模型で、矢板工法/NATM、インバートなし/ありの4種類を用意した。モルタルの強度は約26MPaである。図-5にトンネル模型の寸法を示す。

模擬地山は低強度モルタルを用いて作成し、断層・破碎帯を想定してその強度は軟岩の強度の下限に近い0.5MPa程度に設定することとした。

載荷は変位制御とし、載荷板変位 $D=18\text{mm}$ (載荷板変位 D を土槽の長さ $L=600\text{mm}$ で除した地山のひずみ $D/L=3\%$)まで載荷した。図-4に示すとおり、実験においては、ジャッキの荷重、載荷板変位、覆工内面の変位を計測したほか、観察窓お

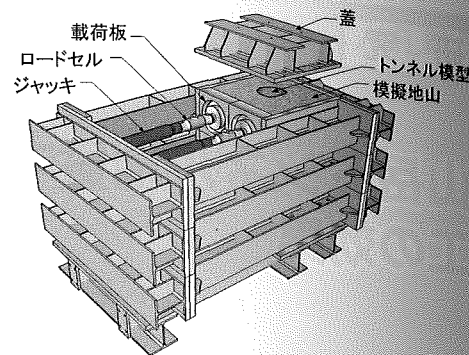


図-3 実験装置(3段構成の場合)

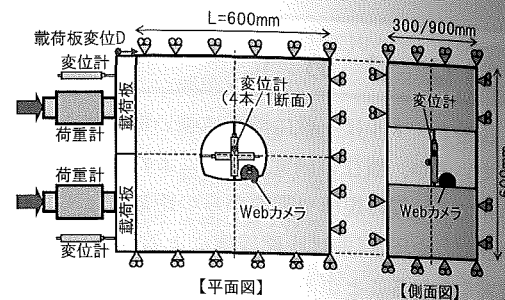


図-4 土槽とトンネル模型の寸法

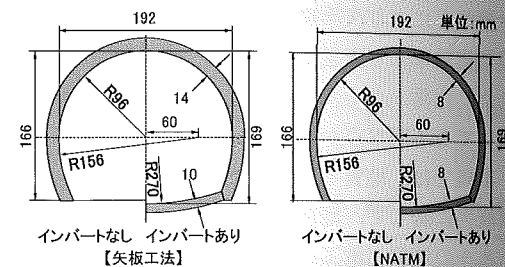


図-5 トンネル模型の寸法

よびWebカメラから覆工内面のひび割れの状況も観測した。

3-2 実験のタイプ

実験のタイプを図-6に示す。基本的な破壊性状を把握するため、2次元平面ひずみ条件を想定した1段構成の実験(図-6(a)一様変位実験)をまず実施した。

この実験では、トンネルの左側から載荷する水平載荷と、トンネルの上側から載荷する鉛直載荷を実施した。そのほか、図-2における被害形態Cを再現するため、土槽を3段構成としてトンネル線路方向の一部の範囲に対して変位を作用させた実験(図-6(b)局所変位実験)も行った。局所変位

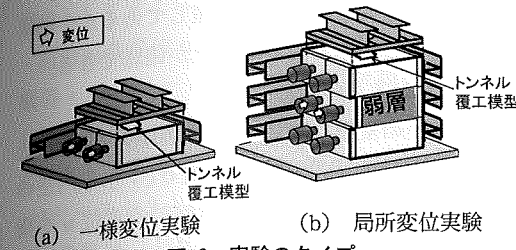


図-6 実験のタイプ

表-1 実験ケース

載荷方式	No.	載荷 方向	インバート	背面 空洞	巻き厚 不足
一様変位	ケース 1	水平	なし	なし	なし
	ケース 2			あり	
	ケース 3	鉛直		なし	
	ケース 4			あり	
	ケース 5	水平	あり	なし	あり
	ケース 6			あり	
局所変位	ケース 7	水平	なし	なし	なし
	ケース 8			あり	

トンネル模型：矢板工法

実験では、トンネル模型を載荷板と千鳥の位置関係となるように設置して、3段構成の土槽の中段のみ載荷を行った。

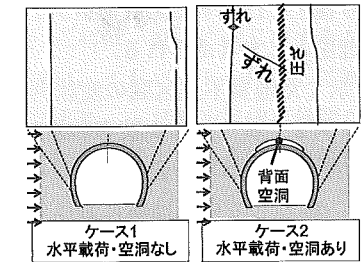
3-3 実験ケース

実験ケースを表-1に示すが、一様変位実験については、変位の載荷方向、インバートの有無、背面空洞の有無、巻き厚不足の有無に着目して計6ケースを実施した。局所変位実験については、水平載荷・インバートなしとし、背面空洞の有無のみ変化させて計2ケースを実施した。ここで、矢板工法により建設されたトンネルにおいては、トンネルの構造欠陥(背面空洞・巻き厚不足)についてもモデル化することとした。ケース2,4,6では、天端120°範囲に背面空洞を設けた。また、ケース6では、背面空洞に加え、天端部で巻き厚不足(設計厚の1/2)を設けた。

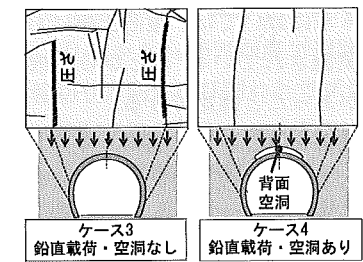
3-4 実験結果

3-4-1 トンネルの変状

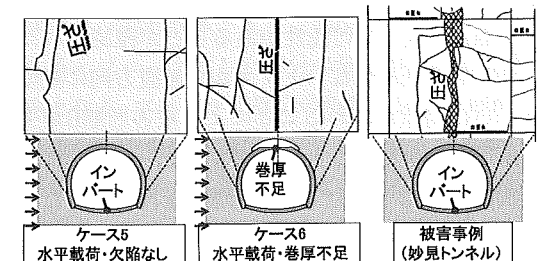
載荷終了時($D/L \approx 3\%$ 時)の覆工の内面側の変状展開図を図-7に示す。載荷方向、載荷範囲、構造欠陥の有無により、覆工の変状の現れ方は大



(a) 水平載荷・インバートなし



(b) 鉛直載荷・インバートなし



(c) 水平載荷・インバートあり

図-7 覆工の内面側の変状展開図の比較(一様変位)

きく異なるものとなった。

図-7(a), (c)に示した一様変位・水平載荷の場合は、すべてのケースで側壁部に引張りひび割れが入る形態の変状となった。しかし、ひび割れ発生後、ケース2,6(空洞あり)では天端に線路方向全長にわたり大きく圧ざが生じたが、ケース1,5(空洞なし)ではケース5でアーチ天端から少しはずれたところに小さい圧ざが見られたのみであった。

一方、図-7(b)に示した一様変位・鉛直載荷の場合は、ケース3(空洞なし)では、天端にひび割れが生じ、スプリングライン(以下、SL)やや上側で圧ざが生じた。ケース4(空洞あり)では肩部に引張りひび割れが生じたのみであった。一般には、背面空洞があると被害が大きくなる傾向があると考えられているが、鉛直載荷の場合は必ずしもそのような傾向とはなかった。これは、空洞の

存在により覆工に作用する鉛直荷重が小さくなったことが理由として考えられる。

図-2で示した地質不良区間の変状例と比較すると、ケース2やケース6が被害形態Aに類似し、ケース3が被害形態Bに類似しているといえる。図-7(c)に、例として中越地震における妙見トンネルの被災箇所の変状展開図も記載したが、ケース6と被害の状況が類似していることがわかる。妙見トンネルにおいては、復旧工事において裏込め注入が実施されている⁷⁾ことから、被災前から背面空洞があったと推定できる。

同様の被害を生じさせる別のメカニズムがある可能性があるため、以下のメカニズムのみによって被害が生じるとは結論できないが、今回行った実験により、背面空洞を持つトンネルに対して水平方向に変位あるいは荷重が加わることで被害形態Aが生じる可能性があることが確認された。また、背面空洞がないトンネルに鉛直方向に変位あるいは荷重が加わることで被害形態Bが生じる可能性があることが確認された。

次に、図-2における被害形態Cを再現するため、局所変位実験を実施した。実験は水平載荷、インバートなしのモデルとして2ケース(ケース7,8)実施しており、うちケース8については全長にわたって覆工背面に空洞を設けた。

載荷終了時の覆工の内面側の変状展開図を図-8に示す。水平方向の載荷であるため、線路方向のひび割れの割合が多いが、局所変位の場合はそれに加えて輪切り方向のひび割れが数多く生じた。地山のひずみ D/L を大きくしていくと、載荷側の肩部で圧が生じ、また、線路方向のひび割れと輪切り方向のひび割れとでブロック化が生じた。

ひび割れの発生形態は背面空洞の有無によらずほぼ同様であるが、ケース8(空洞あり)の方がケース7(空洞なし)と比較してひび割れの幅が大きく、ケース8では $D/L=1.8\%$ でブロック化した部分が明確に剥離した。図-8には

魚沼トンネルの被害事例も掲載してあるが、局所変位の場合と類似していることが確認できる。

3-4-2 トンネルの変形

トンネルの変形については、地山のひずみ D/L とトンネルの水平変形率 δ_h/B (δ_h :水平内空の縮小量、 B :トンネル幅)、路盤鉛直変位 u を指標として整理した。図-9は、ケース1~6について、 $D/L=3\%$ 時の δ_h/B 、 u をケース1を1として比較したものである。 δ_h/B 、 u の定義は図中に示したとおりである。

全体的には、載荷方向の内空が縮小する傾向である。しかし、ケース4(鉛直載荷・空洞あり)のみこの傾向に反する挙動を示した。これは天端に空洞があることからトンネルに働く鉛直方向の荷重が小さくなったこと、空洞の存在により天端からの地山反力がなくトンネルの水平方向の剛性が小さくなり、ポアソン比により発生する載荷直角方向の荷重に対する抵抗力が小さくなったことが

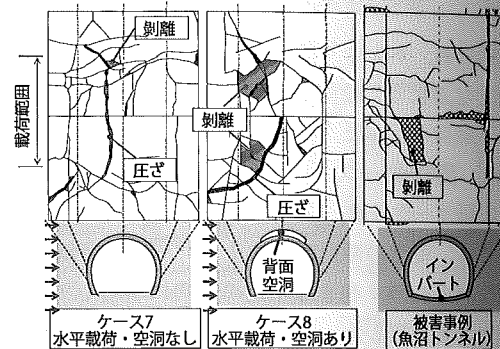


図-8 覆工の内面側の変状展開図の比較(局所変位)

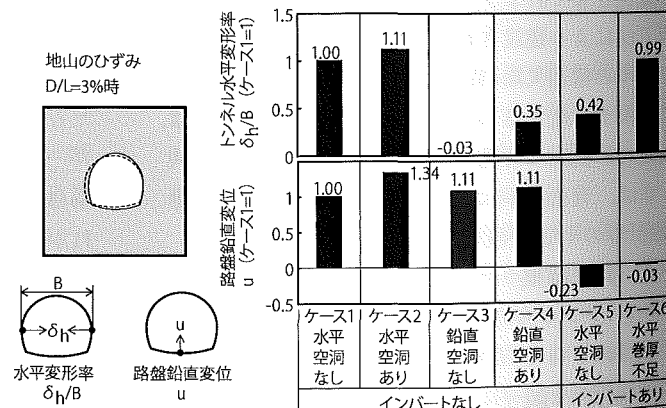


図-9 トンネルの変形率と路盤鉛直変位の比較(一様変位)

理由として考えられる。

路盤鉛直変位 u については、ケース1,2(水平載荷・インバートなし)では、載荷にともない $D/L=0.5\sim 1\%$ 程度で路盤部が破壊し盤膨れした。ケース3,4(鉛直載荷・インバートなし)では、 u はケース1,2と同程度の値となり隆起を示したが、これは、上方からの載荷にともない覆工の脚部が地山中に沈みこむように挙動したためである。ケース5,6(水平載荷・インバートあり)においては路盤鉛直変位はほとんどないか、あるいは路盤部が沈下した。これらは、インバートの設置によりトンネルを閉合してリング構造となり、水平内空が縮小した分鉛直内空が拡大するように挙動したためと考えられる。

3-4-3 変形性能

図-10は、ケースごとに覆工の変状(ひび割れ、圧縮)と盤膨れが初めて生じる地山のひずみ D/L を示したものである。ここで、ケース1については今回行った実験では圧縮は確認できなかったが、文献9)で示す同様の実験の結果においては、 $D/L=2.7\%$ 程度で圧縮が観察されており、参考としてその結果も記載した。

一様変位では、水平載荷の場合、 $D/L=0.2\sim 0.5\%$ 程度で覆工にひび割れが入り、その後、背面空洞や巻厚不足のない健全なものでは $D/L=3\%$ 程度で圧縮が生じた。また、背面空洞や巻厚不足を設けたものでは健全な場合よりも早期に圧縮が生じた。裏込め注入は、覆工の変位の抑制に関しては大きな効果があることがわかる。

インバートの効果については、図-9で示したように変形や路盤の変位は大きく抑制されるもの

の、圧縮発生時の D/L はインバートなしと大きな差はない。これは、地山に同じひずみが与えられた条件下では、インバートを付加して剛な構造とすることにより、トンネル自体に外部からの荷重が集中した結果と考えられる。鉛直載荷の場合は、空洞なしのケースで $D/L=3\%$ 程度でSL部に圧縮が生じた。

局所変位では、ひび割れの発生時期は一様変位とほぼ同様で地山のひずみ $D/L=0.5\sim 1\%$ 程度であるが、 $D/L=1\sim 1.5\%$ 程度で線路方向のひび割れと輪切り方向のひび割れとでブロック化した。また、背面空洞のあるケース8では $D/L=1.8\%$ でブロック化した部分が剥離した。

変位の形態が異なるため一概には比較することはできないが、局所変位の場合は、載荷範囲が限定的なので被害の範囲も限定的といえるが、輪切り状のひび割れが多く入り、地山のひずみが大きくなるとブロック化した部分の剥離が生じる破壊形態となる。ブロック化部分の剥離は圧縮と同様、列車走行の安全性を脅かし、また魚沼トンネルの事例にもあるように落下すれば復旧に多大な時間を要する。このような被害が一様変位の場合に比べて小さな D/L で発生することから、局所変位は一様変位の場合よりも注意を要するものと考えられる。

4 模型実験による地震対策工の効果の評価

次に、地震対策工の効果を明らかにすることを目的として模型実験を実施した。

4-1 対策工

新設時の山岳(NATM)トンネルにおいて、トンネルの力学的性能を向上させる方策として、図-11に示すように、①インバートの採用¹⁰⁾、②覆工への繊維補強コンクリートや鉄筋コンクリートの採用¹⁰⁾などがある。

インバートはトンネルを閉合させてリング構造とし、トンネルとしての剛性を増加させ、トンネルの変形を小さくし盤膨れを抑制するものである。織

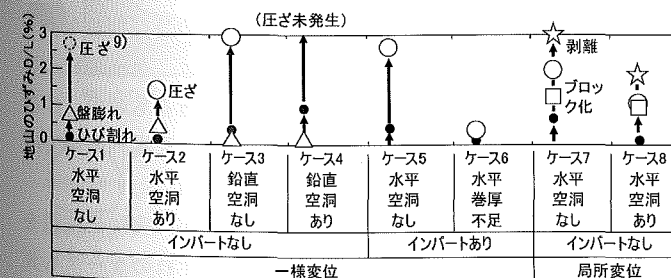


図-10 変位が発生するときの地山のひずみ

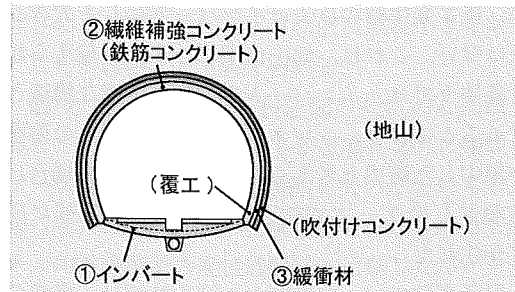


図-11 対策工の模式図

繊維補強コンクリートは、じん性向上の効果や剝離防止の効果を期待するものである。また、上記対策工のほかに、③に示すような緩衝材を今回提案した。緩衝材は覆工と吹付けコンクリートとの間に設置し、地震時の地山からの変位を吸収することを目的としたものである。

以下、これらの対策工について模型実験や数値解析により効果の検証を行った。

4-2 実験条件

実験方法は3章と同様である。基本的な破壊性状を把握するため、一様変位実験をまず実施した。

実験ケースを表-2に示す。まず、構造条件の差を把握するためにインバートの有無に着目した。インバートをモデル化したケース12では、実際にモルタルでインバートを表現した。繊維補強コンクリートを想定したケース13では、ポリプロピレン繊維($\phi=0.06\text{mm}$, $L=6\text{mm}$, $\text{Vol}\%=0.5\%$)をモルタルに添加することによりじん性の向上を模擬した。緩衝材をモデル化したケース14では緩衝材としてEPS($\gamma=0.12\text{kN/m}^3$, $t=3\text{mm}$)を用いた。

4-3 実験結果

4-3-1 トンネルの変状

各ケースについて、載荷終了時の覆工の内面側の変状展開図を図-12に示す。

水平方向の載荷であるため、全ケースに共通して側壁部に引張りひび割れが入った。また、インバートには引張りひび割れは観察されなかった。

インバートの有無に着目すると、ケース11(インバートなし)では側壁部に引張りひび割れが入ったのみであった。ケース12(インバートあり)では側壁部のひび割れの幅が大きくなり、 D/L が大き

表-2 実験ケース

載荷方式	No.	覆工	インバート	緩衝材
一様変位	ケース11	プレーン	なし	なし
	ケース12			
	ケース13	繊維補強	あり	なし
	ケース14			
局所変位	ケース15	プレーン	あり	あり
	ケース16	繊維補強		
	ケース17	プレーン		

トンネル模型：NATM

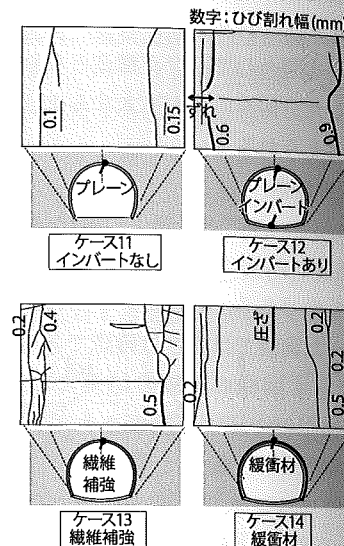


図-12 覆工の内面側の変状展開図の比較(一様変位)

くなると、側壁に生じたひび割れにおいて、ひび割れの下側(側壁～隅角部)の方がひび割れの上側(アーチ～天端)よりも内空に押し出されることにより、ずれを生じた。

そのほかの対策工の効果に着目すると、ケース13(繊維補強)では、ケース12(プレーン)とひび割れの発生位置はほぼ同じであるものの、ケース12におけるひび割れよりも幅の細いひび割れが多く発生した。ケース14(緩衝材)では、ケース12とひび割れの発生位置はほぼ同じであるものの、ひび割れ幅は小さくなった。ただし、天端内面側で圧力を生じた。

なお、図中には示していないが、実験後に蓋を取り外して観察したところ、いずれのケースも天端の外面側にも引張りひび割れが観測された。この

引張りひび割れの幅はケース11がもっとも大きく、ケース11は天端に変状が集中していることが確認された。

次に、局所変位実験を実施した。図-13に、各ケースについて、載荷終了時の覆工の内面側の変状展開図を示す。水平方向の載荷であるため線路方向のひび割れの割合が多いが、図-12に示した一様変位とは異なり、輪切り方向のひび割れも多く生じている。ここで、覆工を貫通したひび割れにより周囲が閉合され明瞭に分離した部分を剝離と称して図中にハッチで示した。

3ケース中、ケース15(プレーン)がもっとも変位の程度が大きく、剝離部分の面積も大きい。一方で、ケース16(繊維補強)では、ひび割れの分布は同様であるものの、ケース15におけるひび割れよりも幅の細いひび割れが多く発生した。これは図-12に示した一様変位と同様の傾向である。ま

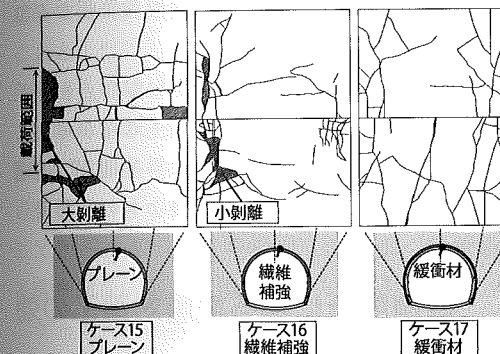


図-13 覆工の内面側の変状展開図の比較(局所変位)

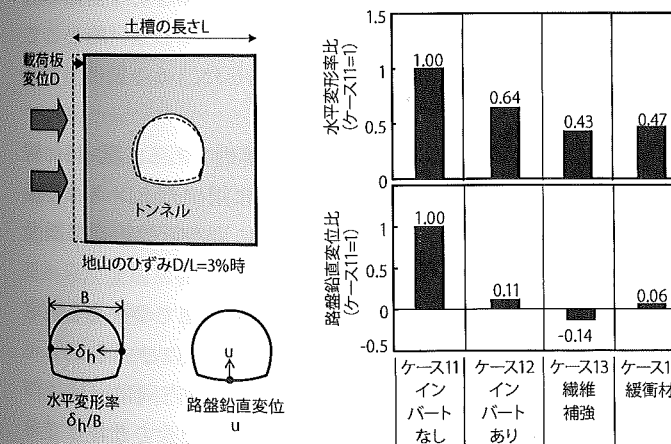


図-14 トンネルの変形率と路盤鉛直変位の比較

た、剝離部分の面積も小さい。ケース17(緩衝材)は、ひび割れの分布はケース15と同様であるものの、ひび割れの本数が少なくなった。そのほか、図-12に示した一様変位(ケース14)とは異なり、天端での圧力は見られなかった。

4-3-2 トンネルの変形

図-14はケース11～14について、地山のひずみ $D/L=3\%$ 時のトンネルの水平変形率 δ_h/B 、路盤鉛直変位 u をケース11を1として比較したものである。

ケース12(インバートあり)はケース11(インバートなし)に比べて δ_h/B が約 $2/3$ となっている。また、 u についても、ケース12ではケース11と比べて明らかに小さく、地盤の破壊にともなう盤膨れは生じていないことがわかる。これより、インバートはトンネルの変形、路盤の変位の抑制に大きな効果を有することが確認できる。また、ケース13(繊維補強)、ケース14(緩衝材)についても、ケース12(プレーン)に比べて若干ではあるが δ_h/B は小さくなっており、インバートほどではないが、トンネルの水平変形の抑制に寄与していることが確認できる。これは、繊維補強の場合は曲げ剛性をひび割れ発生後も維持できること、緩衝材については地山からの変形を緩衝材が吸収していることが理由として考えられる。

4-3-3 変形性能

図-15は、ケースごとに覆工の変状(ひび割れ、ずれ、圧力)と盤膨れが初めて生じる地山のひずみ D/L を示したものである。図より、ひび割れ発生時期はいずれのケースでも同様で、 $D/L=0.5\sim 1.0\%$ であるが、ケース11(インバートなし)では $D/L=0.8\%$ で盤膨れが生じた。ケース12(インバートあり)はケース11より発生するひび割れの幅が大きくなり $D/L=1.5\%$ で顕著なずれが生じた。ケース11では、破壊箇所が天端に集中し、また、インバートがないため側壁の曲げが小さくなり、側壁の変状そのものは小さくなったものと考えられる。

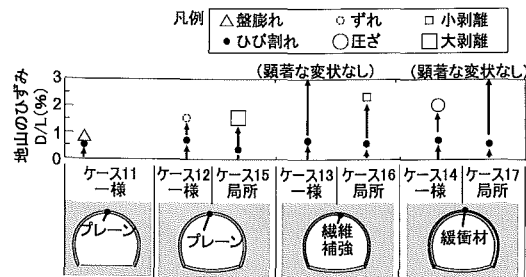


図-15 変状が発生するときの地山のひずみ

反対に、ケース12では、インバートによりトンネルが閉合されて剛性が大きくなり、トンネルに作用する荷重が大きくなった結果、覆工内面に現れる変状がケース11よりも大きくなったと考えられる。

そのほかの対策工の効果に着目すると、ケース13(繊維補強)はひび割れが分散しその幅が小さくなったため顕著な変状を生じなかった。これは、繊維の混入による曲げ変形性能の向上、ひび割れ分散化の効果であると考えられる。

ケース14(緩衝材)は、 $D/L=2\%$ 程度で天端部で圧を生じた。これは、弾性係数が低い材料を覆工外周に巻くことにより図-14で示したように水平変位を吸収する効果が得られひび割れ幅が小さくなったものの、その一方で天端では地山からの反力が減少し、鉛直方向の変形量が増加して、天端で曲げが大きくなったためと考えられる。

これらの結果から、実施工においては地山と覆工との相互作用を考慮して、緩衝材の施工範囲を決定する必要があることがわかる。

局所変位のケース15～17については、ひび割れ発生時期はいずれのケースでも同様で、 $D/L=0.5\sim 1\%$ であるが、ケース15(プレーン)では $D/L=1.7\%$ でブロック化した部分が大きな塊となって剥離した。

ケース16(繊維補強)ではひび割れが分散することによりブロック化したもののその大きさはケース15より小さく、 $D/L=2\%$ で小さな剥離が生じる程度であった。これは、繊維の混入による曲げ変形性能の向上、ひび割れ分散化の効果であると考えられる。

ケース17(緩衝材)では、ひび割れが全体的に少

なくなった結果、実験の範囲では大きな塊が剥離することはなかった。また、圧さも生じていない。これは、局所変位の場合は、載荷範囲が限られているため、応力が3次的に分散することにより天端での横断面方向の曲げが小さくなった結果、天端で地盤反力が減少し曲げが大きくなりやすいという緩衝材の欠点が一様変位ほどは顕在化しなかったためと考えられる。

4-3-4 対策工の効果

インバートは変形抑制に効果的だが剛性の増加により覆工の荷荷が増加するため、 D/L が大きくなるとずれや大剥離が生じた。繊維補強については、インバートの設置により付加が高まった覆工に対し、じん性の向上、ひび割れの分散による剥離抑制の効果を一様変位、局所変位のいずれにおいても確認できており、トンネルが変形したさいの剥落抵抗性の向上に寄与するものと考えられる。緩衝材については、地山からの変形を吸収することができた。

なお、一様変位では天端に小さいながらも圧が生じたが、局所変位では圧が生じなかったことから、対策工としての適用性は、一様変位の場合よりも局所変位の場合の方が良いものと考えられる。

5 数値解析による地震対策工の効果の評価

次に、実大サイズのトンネルに適用した際の対策工の定量的な効果を把握することを目的として数値解析による評価を実施した。

5-1 解析方法

解析方法は2次元FEM解析である。図-16に解析モデルを、図-17に解析に用いたトンネルの断面を示す。対象はNATMによる新幹線標準断面のトンネルとした。

解析においては、地質不良区間での被害を想定して左方の境界に、最大で地山のひずみ $D/L=2.5\%$ 相当までの強制変位を水平方向に一様に作用させた。 D/L の定義は図-16に示すとおりである。

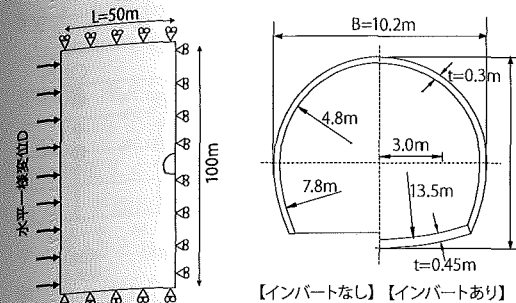


図-16 解析モデル

図-17 トンネルの断面

地山についてはMohr-Coulomb破壊規準による弾完全塑性体としてモデル化し、地質不良区間を想定して、入力物性値については一般的な軟岩の物性の下限に近い剛性、強度として、 $E=30\text{ MPa}$ 、 $\phi=0^\circ$ 、 $c=0.25\text{ MPa}$ 、と仮定した。また、覆工については、実際のトンネルの地震被害で見られたひび割れ、圧さを再現する必要があるため、文献11)に示す、コンクリートの引張破壊後、圧縮破壊後の軟化挙動を考慮したモデルを適用することとした。

解析入力値は、設計基準強度 $f'_{ck}=24\text{ MPa}$ のコンクリートの一般的な値である。

5-2 解析条件

解析ケースを表-3に示す。4章の模型実験に準じてケースA1～A4を設定したほか、繊維補強と緩衝材を同時に適用したケースA5を追加した。

ケースA3(繊維補強コンクリート)では無筋コンクリートと比べて圧縮強度は同じでも圧縮破壊後の軟化が緩やかであるとされている¹²⁾ことから、ここでは、繊維補強の効果を考慮して圧縮破壊後の軟化が緩やか(プレーンの1/2)になるようにしている。

ケースA4(緩衝材)では、覆工～地山間に $t=10\text{ cm}$ のEPS材を配置した。ただし、4章で実施した模型実験の結果から、全周に緩衝材を配置すると、水平変位を受けるときは天端部で地山からの効果的な反力増分が期待できないため天端部で覆工が圧さなどの変状を生じやすくなる。これを防止するため、今回の解析では、EPSは天端90°

表-3 解析ケース

ケースNo.	対策工	備考
ケースA1	なし	無筋コンクリート
ケースA2	インバート	無筋コンクリート
ケースA3	繊維補強コンクリート	SFRC想定
ケースA4	緩衝材	EPS10cm想定(側壁)
ケースA5	繊維補強+緩衝材	両方施工

範囲を施工範囲から除外して側壁部だけに配置した。

5-3 解析結果

5-3-1 覆工のひずみ

図-18に地山のひずみ $D/L=1.5\%$ 時の覆工のひずみの分布を示す。ここで、ひずみについては、von Mises(VM)相当ひずみ(式(1))で示す。

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{2} \{ (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2 \}} \quad (1)$$

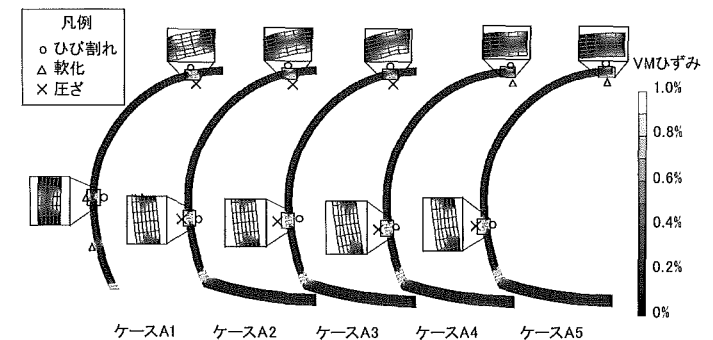
($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$: 最大, 中間, 最小主ひずみ, のび正)

また、解析においては、文献11)に準じ、(2)式で示す相当塑性ひずみ ε_{eq} が1%を超えた箇所について圧さ相当と判定することとし、図中に発生箇所を記載した。

$$\varepsilon_{eq} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1^p - \varepsilon_2^p)^2 + (\varepsilon_2^p - \varepsilon_3^p)^2 + (\varepsilon_3^p - \varepsilon_1^p)^2} \quad (2)$$

($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$: 最大, 中間, 最小主ひずみ, p : 塑性成分, のび正)

ケースによらず、全体的な傾向として、天端部とSL部でひずみが大きくなっている。なお、そのほか隅角部でもひずみが大きくなっているが、

図-18 覆工のひずみの分布($D/L=1.5\%$ 時)

これは応力集中によるものであるため、隅角部のひずみについては以下の議論から除外する。

図-18より、ケースA1では天端内側に圧力が確認できる。ケースA2(インバートあり)では、それに加えてSL外側にも圧力が確認できる。ケースA3(繊維補強)は、ケースA2とほぼ同様のひずみ分布である。ケースA4(緩衝材)、ケースA5(繊維補強+緩衝材)では、天端内側のひずみが小さくなり圧力が発生していない。

5-3-2 トンネルの変形

図-19にケースごとの $D/L=1.5\%$ 時のトンネルの水平変形率 δ_h/B 、路盤鉛直変位 u をケースA1を1として比較したものを示す。

まず、インバートの効果に着目すると、 δ_h/B 、 u とも、ケースA2(インバートあり)はケースA1(インバートなし)と比較して小さくなっており、インバートの変形抑制効果、路盤の変位の抑制効果が確認できる。

次に、繊維補強、緩衝材の効果であるが、緩衝材ありのケースA4、A5では、 δ_h/B 、 u とも、緩衝材なしのケースA2、A3と比較して小さくなり、緩衝材により変形を抑制できていることが確認できる。

一方、繊維補強のケースA3、A5については、 δ_h/B 、 u とも、プレーンのケースA2、A4とそれぞれ値がほぼ同じであった。

繊維補強は、緩衝材のように地山からの変位を直接吸収するものではないため、緩衝材とは異なり水平変形を抑制できなかったものと考えられる。

5-3-3 変形性能

図-20に対策工の効果として、トンネルや覆工に変形が発生するときの D/L を示す。

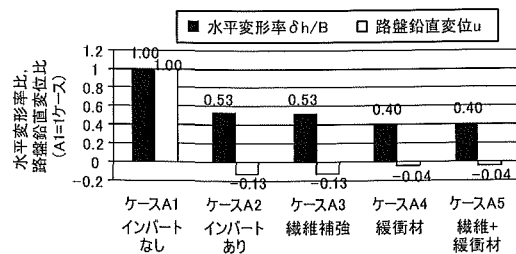


図-19 トンネルの変形率と路盤鉛直変位の比較

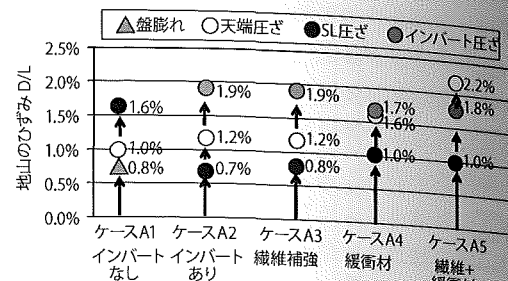


図-20 変形が発生するときの地山のひずみ

インバートの効果に着目すると、まず、大きな効果として、ケースA1(インバートなし)では $D/L=0.8\%$ で地山が破壊して盤膨れが生じたが、ケースA2(インバートあり)では、盤膨れが生じなくなっていることが挙げられる。

そのほか、圧力については、天端での圧が発生時の D/L が大きくなり、天端部で圧が発生しにくくなっている。天端での圧は、これによってコンクリート塊が剥落した場合、列車の安全な運行に大きな影響を与え、さらに、補修にも時間を要することから避けるべきものである。このため、インバートを設置して天端部での圧が生じにくくすることはトンネルの維持管理上非常に有効であると考えられる。

一方、SL部においては、インバートの設置により反対に圧が発生しやすくなっている。これは、インバートなしの場合は、天端部で支持される片持ち梁のような挙動を示し、支持点に相当する天端部で曲げが大きくなり、ここに破壊が集中したのに対し、インバートありの場合は、側壁がインバートと結合されることにより両端固定梁のような挙動を示すようになり、梁中間部に相当するSL部で曲げが大きくなったことによるものと考えられる。

模型実験と同様に、図-19、20の結果は、インバートは変形や路盤の変位の抑制に効果的であるが、全体としての剛性が上がることでトンネルの負荷が増加するため、地震時のように大きな変位が予想される場合は応力集中によりSL部の圧などの別の変状も生じやすくなることを意味している。

5-3-4 対策工の効果

インバートは変形(とくに盤膨れ)の抑制の効果があり、基本的な対策工であるといえる。さらに、インバートの設置により負荷が高まった状態での追加対策工として、繊維補強、緩衝材がある。SL部、天端部での圧力については、プレーンのケースA2と比べて、ケースA3、A4、A5の順で発生する D/L が大きくなることが確認できる。

ケースA3とA4より繊維補強と緩衝材の比較を行うと、今回の解析の範囲では、ケースA4(緩衝材)は、インバートの圧の時期が若干早まるが、変形抑制効果と圧抑制効果の点で、ケースA3(繊維補強)よりも優れている。

今回の解析では、水平変位が作用することを前提とした。水平変位が作用する場合は安全性および復旧性の観点から避けることが望ましい天端内側に圧が発生するモードにはなるが、実際には変位は必ずしも水平方向に作用するとは限らないことから、緩衝材の効果は繊維補強と比べて一般性にやや劣る。また、繊維補強コンクリートは繊維の効果により覆工に同じひずみが発生したとしてもプレーンコンクリートの場合に比べて圧や剥落が生じにくくすると予想されるが、今回の解析では、限界状態(圧発生)の判定用のひずみ値にプレーンの場合と同じ値(1%)を用いており、繊維補強コンクリートの効果を過小評価している。

以上の点から、一般には繊維補強の方が対策工としての適用範囲は広いと考えられる。ただし、緩衝材は、図-19で示したように変形を直接抑制できるので、とくに大きな変位が予想される箇所には繊維補強と併用して用いることが考えられる。また、図-13で示したように局所的な変形を受ける状況下では緩衝材を用いた場合でも圧が生じなかったことから、トンネルが局所的な地山の弱部に遭遇した場合に適用することも考えられる。

6 被害メカニズムと対策工の効果

地質不良区間における山岳トンネルの地震被害メカニズムに関して模型実験を行った結果、以下の知見を得た。

- ① 背面空洞があるトンネルに対して水平方向に変位を加える実験により、天端で圧が生じる被害パターンを再現することができた。
- ② 背面空洞がないトンネルに対して鉛直方向に変位を加える実験により、側壁打ち継ぎ目で圧が生じる被害パターンを再現することができた。
- ③ 局所変位を作用させる実験により輪切り状のひび割れによりブロック化および剥落が生じる被害パターンを再現することができた。
- また、山岳トンネルの地震対策工に関して、模型実験や数値解析を行った結果、以下の知見を得た。
- ④ インバートの設置により、トンネルの変形を低減でき、盤膨れを防止できることが再確認された。ただし、剛性の増加により覆工の負荷が増加するため、大きな変位が予想される場合は応力集中により圧などの変状が生じやすくなることもわかった。
- ⑤ 繊維補強、緩衝材は、インバートの設置により負荷が高まった覆工の対策として有効であることがわかった。
- ⑥ 繊維補強は、じん性向上、ひび割れ分散の効果により、トンネル覆工が変位や荷重を受けたときの剥落抑制に効果的であることがわかった。
- ⑦ 緩衝材は、覆工の変形を低減できることがわかったが、緩衝材設置範囲で地山からの反力が覆工に効果的に作用せず、変形のモードによっては内面に圧が生じやすくなる場合があることもわかった。
- ⑧ 実トンネルを想定した数値解析の結果、インバート、緩衝材についてはおおむね模型実験と同様の効果が確認できたものの、繊維補強については補強効果の解析上の表現に課題があり、実験で見られたような効果は表現できなかった。

7 おわりに

本稿は、筆者がこれまで行ってきた山岳トンネ

ルの地震被害メカニズム、山岳トンネルの変形性能、地震対策工に関する研究の成果をとりまとめたものである。しかし、山岳トンネルの地震被害については不明な点が多く残っており、得られた結論は条件を想定したうえでの限られた模型実験、数値解析にもとづくものである。また、繊維補強の解析上のモデル化にも課題が残っている。今後引き続き研究を深度化していきたい。

なお、本研究は、京都大学、鉄道総研、鉄道・運輸機構により共同で行った一連の「山岳トンネルの地震被害メカニズムと耐震性向上に関する研究」の一部であり、鉄道・運輸機構「運輸分野における基礎的研究推進制度」により実施した部分を含むものである。

また、本研究の実施にあたっては、東京工業大学大学院・竹村次朗教授、京都大学大学院・朝倉俊弘教授、鉄道総研・小島芳之氏、レールウェイエンジニアリング(当時鉄道・運輸機構)・野々村政一氏にご指導を賜った。また、実験・解析の遂行においては、中央復建コンサルタンツ(当時鉄道総研)・橋直毅氏、テス・松本吉雄氏、TATEコンサルタンツ・杜世開氏にご協力をいただいた。ここに深甚なる感謝の意を表す次第である。

参 考 文 献

- 1) 吉川恵也：鉄道トンネルの震災事例調査，鉄道技術研究報告，No.1123，1979。
- 2) 朝倉俊弘・志波由紀夫・松岡茂・大矢敏雄・野城一

- 栄：山岳トンネルの地震被害とそのメカニズム，土木学会論文集，No.659，III-52，pp.27-38，2000。
- 3) 野城一栄・小島芳之・深沢成年・朝倉俊弘・竹村次朗：地質不良区間における山岳トンネルの地震被害メカニズム，土木学会論文集C，Vol.65，No.4，pp.1045-1061，2009。
- 4) 野城一栄・小島芳之・宮林秀次・西藤潤・朝倉俊弘・竹村次朗：地質不良区間における新設山岳トンネル用地震対策工の適用性，土木学会論文集C，Vol.65，No.4，pp.1062-1080，2009。
- 5) 東日本旅客鉄道：新潟県中越地震震災復旧記録誌，p.115，2005。
- 6) 小島芳之・野城一栄：トンネルの地震被害実態と今後の対策のあり方，Railway Research Review，Vol.64，No.1，pp.28-31，2007。
- 7) 鈴木尊・清水満・齋藤貴・末松史朗・鈴木延彰：新潟県中越地震で被災した鉄道トンネルの被害原因と今後の対策，第61回土木学会年次学術講演会，CD-ROM，3-089，2006。
- 8) 齋藤貴・向山路一・田口芳範：新潟県中越沖地震における鉄道トンネルの被害，トンネルと地下，Vol.38，No.12，pp.47-56，2007.12。
- 9) 中西祐介・野城一栄・春日井敦詞：トンネル背面空洞と裏込注入の効果に関する実験，第64回土木学会年次学術講演会，CD-ROM，3-407，2009。
- 10) 土木学会：トンネル標準示方書(山岳工法)・同解説，p.64，2006。
- 11) 野城一栄・小島芳之・新井泰・岡野法之・竹村次朗：圧縮破壊後の軟化を考慮した無筋コンクリート山岳トンネル覆工の数値解析手法に関する研究，土木学会論文集C，Vol.65，No.4，pp.1024-1038，2009。
- 12) 土木学会：鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針(案)，pp.4-5，1999。

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

トンネル保守管理

トンネル保守管理における記録とその活用(最終回)

—施工時の記録—

JTA保守管理小委員会

これまで7回にわたり、データベース化・電子化の取り組み、変状展開図作成の自動化・デジタル化の取り組みなどについて紹介してきた。最終回となる今回は、トンネル構造物を維持管理するうえで最初の履歴となる施工時の記録について、そのデータベース化の取り組み事例を紹介する。

⑦ 施工時記録のデータベース化の取り組み

トンネルは地中にあることから、環境に左右されることが少ないため、適切な維持管理を行えば他の構造物よりも長い期間供用することができる構造物と言える。しかしその反面、トンネル特有の施工法により地中に建設される構造物であることから、施工法や周辺地盤の影響を受けやすい。そのためトンネルの維持管理においては、施工法、使用材料、地形、地盤条件など、トンネル建設時にしかわからない情報を確実に記録・保存しておく必要がある。ここでは、施工時データの記録・保存に対する取り組みについて述べる。

7-1 施工時データの記録・保存の現状

施工時データの記録および保存に関しては、本来、施工を直接担当する施工業者がもっとも正確に行える立場にある。未知の地下空間に建設するトンネルにおいては、その施工時データは、施工業者にとっても今後の同種工事を遂行するうえで非常に貴重な情報である。建設生産性の向上のために、さらには建設技術の継承の面から、各社と

も施工時記録のデータベース化に向けさまざまな努力を傾けている。

この活動の必要性に関してはとくにトンネルに限ったものではなく、全般的に「施工時データの記録・保存方法の標準化による業務の適正化と効率化」は各社にとって重要なテーマとなっている。

その背景の一つとして、建設業法の改正(施行：H20.11.28)に伴い、保存が義務づけられていた工事の名称などを記載した従来の帳簿に加え、新たに①完成図、②発注者との打合せ記録、③施工体系図が加わったこともある。対象業者は元請業者に限定されるが、保存期間は10年間とされている。電子的方法による保存はとくに義務付けられていないが、保存場所の問題、効率化から考えて電子的な方法での保存が望ましい。建設業法で求められているデータは一部であるが、これを契機に本来企業として整理保存すべきデータベース構築が進められていくものと期待される。

しかしながら、主に以下の理由により、統一のとれたかたちでのトンネル施工時データの記録・保存が行われにくい状況にある。

- ① トンネルの掘削方式(山岳、シールド、開削など)や用途(道路、鉄道、水路、ケーブル洞道など)および工事発注機関により、記録・保存すべき重要なデータが微妙に異なり、画一的なデータ記録・保存が難しい。
- ② 工事の制約条件(とくに、気象・地形・地質、社会的条件)によって重要視しなければ

その後、1999年に相次いで発生した鉄道トンネルにおける覆工コンクリート片剥落事故の教訓として、コンクリートに生じる初期のひび割れを確実に捕捉することと、地道に維持管理を続けていくことがいかに重要なことかが確認されたため、鉄道では2000年2月に当時の運輸省により『トンネル保守管理マニュアル』⁷⁾が制定され、初回全般検査、通常全般検査、特別全般検査というルールが決められた。道路では、2002年に国土交通省より策定された『道路トンネル定期点検要領(案)』⁸⁾に、初回定期点検というルールが記載されるとともに、同点検要領(案)の定期点検が『道路トンネル維持管理便覧』における定期点検に位置づけられた。

このような経緯によって、トンネルを永く安全に使用し続けるためには、完成直後の初期点検と供用期間中の定期点検を確実に実施していくことの重要性が改めて認識されるに至ったのである。

ここでは、7章までに述べてきたことのまとめとして、トンネルにおける初期点検およびその後の定期点検を含めた維持管理の在り方とともに、そのために必要不可欠な「記録とその活用」の重要性について述べることにしたい。

8-1 初期点検の導入

初期点検は、構造物の初期状態の把握などを目的に、新設、改築・取替えを行った構造物の供用開始前に実施するものである。供用開始前であるため、時間をかけて入念に実施しなければならない重要な検査である。そのため、本連載の中で紹介した電子化されたトンネル変状展開図の作成をはじめ、多くの調査項目を設定したうえで、さまざまな調査方法を用いて詳細な情報の取得に努めることが望ましい。とくに、供用開始後の定期検査などにおいて進行性のある変状を特定できるように、内空断面形状や路盤高さなどの初期のトンネル寸法の把握や、場所打ちコンクリートのコールドジョイントやジャンカなどの覆工内部欠陥、シールドトンネルの施工時荷重によるひび割れなどの初期欠陥は確実に把握するように、調査項目を設定する必要がある。近年では、電磁波を用い

た非破壊検査により覆工コンクリート内部の状況を把握できるシステムも実用化されているため⁹⁾、これを初期点検に活用していくことも考えられる。また、将来の環境変化を適切に捉えるために、トンネル坑内の点検だけでなく、周辺の環境調査も合わせて実施しておくことが有効である。

なお、初期点検により発見された変状は、その変状内容や変状原因により供用開始前に対策工を実施する必要もあるため、よく確認することが重要である。

これら初期点検の記録は、トンネルの供用期間中に実施される各種検査の基礎資料となることから、長期間の活用には耐えられるよう、適切に保存する必要がある。

8-2 維持管理の重要性

第1回で述べたように、日本国内のトンネル構造物は各種インフラに存在し、その延長は2万kmを優に超えている。その歴史は古く、100年を超えるものも多数存在する。トンネルは容易に取替えができない構造物であるため、定期的に適切な維持管理を行うことで、高齢化した現在も現役で供用されている。

トンネルに限らずすべての構造物は、外力や環境の影響によって経年とともに性能が低下していくが、継続して供用するためには、構造物が要求性能を満足し続けるように維持管理を行っていかねばならない。そのためには、定期的に適切な検査を実施し、性能レベルの把握を確実に行うことがきわめて重要である。

トンネルに発生する変状には、剥離・剥落などの覆工の一部に発生するものから、内空縮小や路盤隆起など、トンネルの構造全体にわたるものまで、その種類と程度、変状原因はさまざまである。変状原因の分類例を図-36に示す。その中でもトンネルの構造全体にわたる変状は、一般的に長期間にわたって緩やかに進行することが多いが、これは地山や地下水などの周辺環境やその変化に影響を受けるためである。このような状況下で将来的な劣化進行や変状を高い精度で予測することは難しく、予測手法は確立されていないのが現状で

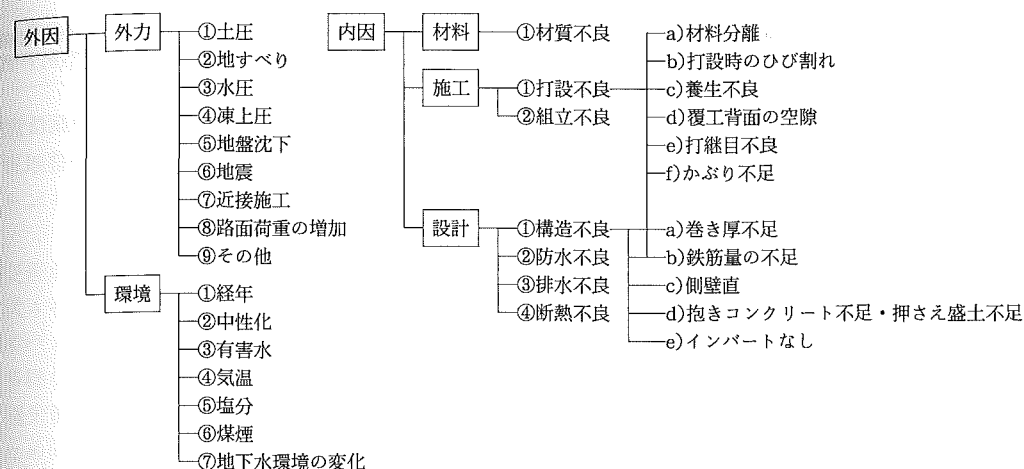


図-36 トンネル変状原因の分類¹⁰⁾

ある。したがって、ひび割れの進展を経時変化で捉えるなど、長期的にトンネルの挙動を把握し、これらの調査結果や既存の知見から可能な限り精度の高い変状の予測に努め、変状原因の推定や対策工の立案を行い、維持管理していかなければならない。

また、トンネルの高齢化はこれからも進むため、さまざまな面で保守管理が困難となる事象も想定される。したがって、維持管理に関する情報は長期にわたり活用していくことが必要不可欠となるため、担当者が替わっても容易に理解できるように客観性を有し、長期の保存に耐えられるような方法で記録されていく必要がある。

9 おわりに

昨年の7月号より8回にわたり、トンネル保守管理における記録とその活用について採り上げ、紹介してきた。各事業者や企業、法人ともさまざまな記録方法とその活用に積極的に取り組んでおり、今後ますます技術の進歩が期待できると感じた。

構造物諸元や検査履歴は、従来は手書きの台帳で管理されていたが、現在は電子データでの管理に移行し、一部事業者では健全度診断の自動化も行われるなど、IT技術の著しい進歩には目を見張るものがある。検査履歴の蓄積によりデータベース量が増え続ける中でのIT化は、検査履歴の効

率的な一元管理と、変状の統計処理や適切な判断を可能にしている。さらには今後の検査方法を抜本的に変革する可能性があり、技術の進歩に大いに期待するものである。

現在各事業体では、ベテラン世代の大量退職期を迎えており、昔から受け継がれてきた維持管理に関する技術を次世代へ継承することが急務となっている。これまでの連載により、検査履歴や変状展開図などの保守管理におけるデータは、機械化・IT化を活用し記録・保存、継承する手段が整備されていることがわかった。これからは、それらのデータベースを有効に活用できる人材を育成していくことが重要であり、急務である。トンネル検査技術が喪失することのないように、継続的な取り組みを切に願うものである。

参考文献

- 1) 土木学会トンネル工学委員会技術小委員会シールドトンネルデータベース構築に関する検討部会：シールドトンネルのデータベースに関する検討部会中間報告，2008.11.27.
- 2) 日本道路公団試験研究所：「トンネル支保選定支援システム」「新NATMデータベースシステム」マニュアル，2000.11.
- 3) 朝倉俊弘・小野田滋：トンネルデータバンクシステムの開発，鉄道技術研究報告，No.1335，1987.1.
- 4) 鉄道総合技術研究所：トンネル補強・補修マニュアル，1990.10.
- 5) 猪熊明：道路トンネルの緊急点検と今後の維持管理，

- トンネルと地下, Vol.21, No.10, pp. 35-40, 1990.10.
 6) 日本道路協会: 道路トンネル維持管理便覧, 1993.11.
 7) 運輸省: トンネル安全問題検討会報告書, 2000.2.28.
 8) 国土交通省道路局国道課: 道路トンネル定期点検要領(案), 2002.4.

- 9) 大澤裕之・赤井司: トンネル覆工検査車の導入, 日本鉄道施設協会誌, Vol.42, No.12, pp.911-913, 2004.12.
 10) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)トンネル, 2007.1.

■ 図書案内

地下水の科学 — 全3巻 —

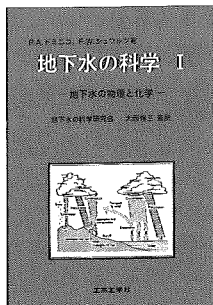
P. A. ドミニコ・F. W. シュワルツ 共著
 地下水の科学研究会・大西有三 監訳

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

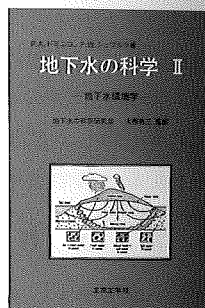
水理地質学を学ぶうえでの基礎的な事項を記載した。水理地質学の理論と人間の社会活動における水理地質学の適用範囲を理解することができる。理論に立脚した水理地質学の使い方を、計算例を用いながら効率よく学ぶことができる。



第Ⅱ巻 地下水環境学

4,272 円+税 B5 判

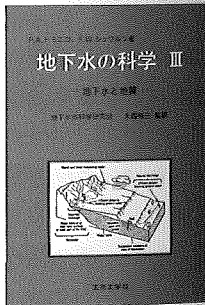
第Ⅱ巻では、さまざまな地質環境の中での汚染物質の地下水による輸送に関する問題を取り扱っている。水理地質学が環境問題とどのような関連性を持っているか、また利用可能かを知ることができる。



第Ⅲ巻 地下水と地質

3,689 円+税 B5 判

第Ⅲ巻は、地下水の地質学的側面について、工学的に取扱うための事項について記述している。さまざまな土木工事で重要な検討事項となる地下水圧の問題や、地層処分における地下水による熱輸送の問題などについて理解できる。



株式
会社 **土木工学社**

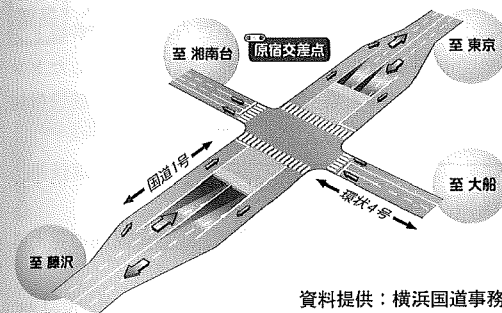
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
 TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807 <http://www.tunnel.ne.jp>

トンネルジャーナル

原宿トンネルが開通

関東地整横浜国道事務所が整備する原宿交差点下り線トンネルが完成し、昨年12月12日に全線が開通した。

同交差点は横浜市戸塚区に位置し、国道1号が市道環状4号線と交差する。前後には横浜新道、新湘南バイパスといった自動車専用道路が整備されており、多様な交通が集中することから渋滞が激しく、その損失額が年間100億円にのぼるとされていた。このため同事務所では、国道1号をアンダーパスとし、国道1号の通過交通と環状4号との出入り交通を分離することにより、交通混雑を解消し、横浜市内の放射・環状円滑な交通を確保することを目的に平成19年から工事を行ってきた。



資料提供: 横浜国道事務所

地下化区間は420mで、アプローチ部の掘削区間がそれぞれ94m、140m、2径間のボックスカルバート区間が186mとなっている。交差点中心を通る73m区間は非開削で施工されハーモニカ工法が採用された。残りのボックスカルバートとアプローチ部のW型擁壁は開削で施工した。

全線開通後の12月14日に行った調査では、同交差点から5km離れた地点を出発し交差点を通過するまでの時間を計測したところ、ほとんどの時間帯で通過時間の大幅な短縮が確認され、最大で17分の短縮がみられた。また、もっとも通過時間が長かった朝の8時台では開通前に29分かかっていたものが、19分に短縮したことが確認された。



写真提供: 横浜国道事務所

旗護山トンネルが貫通

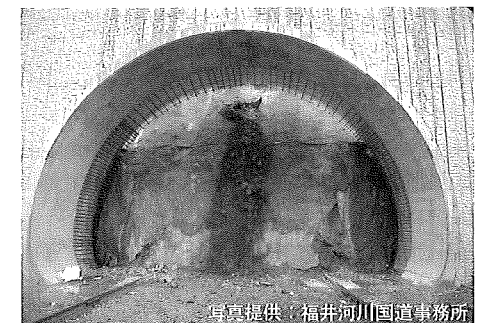
近畿地整福井河川国道事務所が整備する、国道27号金山バイパス旗護山トンネルが12月13日に貫通した。

同工事は、現在暫定2車線で供用している区間の4車線化工事で、全長7.5kmのバイパスのうち3.1kmについて二期線工事を行っている。残りの4.4kmについてはすでに4車線で供用済み。今回貫通したトンネルは幅員10.5m、全長1,832mのNATMトンネルで、2008年2月に工事を開始し、同年10月から掘削に着手、主に砂質粘板岩と花崗岩からなる地山を発破と機械掘削を併用して掘進した。

供用済みの一期線トンネルとの中心間の離隔が2D程度と小さく、施工中の影響が懸念されたため、既設トンネルの挙動計測を行いながらの施工となったほか、最小土かぶり厚が3mの小土かぶり区間が310mと長く連続した区間があり、これをAGFと長

尺鏡ボルトを用いて施工した。最大日進は約7mで、平均日進は3mであった。

同バイパスは交通混雑の緩和や沿線地域の活性化を目的として計画されたもので、美浜東バイパスと一体となって近畿自動車道へのアクセス強化を図る路線。このたびの貫通により、4車線道路の早期供用に向けて弾みがついた。



写真提供: 福井河川国道事務所



研究・開発

文献紹介



2010.8.

猪口敏一・伊藤禎浩：自由断面掘削機自動化掘削システム，ブームヘッダーRH-10J，RH-250-MB-SLの自動掘削，建設の施工企画，No.726，2010.8.

可塑性充填材剤によるトンネル覆工背面空洞の長距離圧送工法の開発，長距離圧送と充填材品質確保の両立について，建設機械，Vol.46，No.8，2010.8.

解説

金谷義之：FSフォーム工法(透水型枠工法)によるトンネルインパート施工，建設の施工企画，No.723，2010.5.

土橋浩：シールド工事のトラブル事例とその対策，東京礫層および土留め壁掘削への対応建設機械，Vol.46，No.6，2010.6.

角湯克典・石村利明・森本智：道路トンネル技術基準(換気編)・同解説改訂によるコスト削減効果について，道路，Vol.831，2010.6.

中村宏・土屋尚登・下垣正宏・岡村直利：大規模機械編成による新幹線鉄道トンネルの耐震対策，最新鋭の施工機械編成，建設機械，Vol.46，No.7，2010.7.

山地宏志・戸村豪治・上西幸司・清水則一・櫻井春輔：小断面トンネルリニューアルシステム工法，小断面トンネルに特化した補修・補強工法の開発とその調査について，建設機械，Vol.46，No.7，2010.7.

寺尾直樹：アンダーパス部の冠水事故防止対策について，道路，Vol.834，2010.9.

施工

高見澤計夫：地下から地上に向けて掘る「上向きシールド工法」による分岐立坑築造，発進部セグメントとシールド機構，建設機械，Vol.46，No.5，2010.5.

安藤武義・小澤隆二・鶴間敏雄・井貝武史：地表に達する天端崩落箇所対策と地すべり坑口部の施工，北海道横断自動車道 下トマムトンネル，建設機械，Vol.46，No.5，2010.5.

野間達也：幹線国道トンネルを交通確保のまま拡幅，国道7号におけるトンネル活線断面拡大工事，建設機械，Vol.46，No.5，2010.5.

段塚隆雄：キーエレメント工法，沈埋トンネルにおける最終継手を省略する工法，建設機械，Vol.46，No.5，2010.5.

中村俊明・上田潤・横井康人：国内初の地上発進，地上到達シールド，URUP工法，土木技術，Vol.65，No.5，2010.5.

特集/岩盤に挑む，推進技術，月刊推進技術，Vol.24，No.5，2010.5

大中武易・上沼博司：小波ダム土砂バイパストンネル発破時のダム本体への影響検討事例，ダム技術，No.284，2010.5.

岡野敏彦：シールド切替型推進工法による下水道の整備“谷川雨水幹線”，建設機械，Vol.46，No.6，2010.6.

渋谷光男：小口径・長距離シールドにおける施工の効率化とビット交換，3kmの小口径シールドをさまざまな技術で効率化，建設機械，Vol.46，No.6，2010.6.

特集/多様な断面ニーズに応える推進技術，月刊推進技術，Vol.24，No.6，2010.6

坂本成良・奥利之・堂藤和雄・中世古敦司：新幹線トンネル一体型盛土による法面防護，坑口を延伸したトンネル一体型の押え盛土で大規模斜面を防護，建設機械，Vol.46，No.7，2010.7.

特集/ここまで進化発展した推進技術，月刊推進技術，Vol.24，No.7，2010.7.

鈴木雅博：「光る変位計」による土留め欠損部の見える化，建設の施工企画，No.725，2010.7.

特集/道路土工要綱と関連指針の改定，基礎工，Vol.38，No.7，2010.7.

特集/礫・玉石地盤に挑む，月刊推進技術，Vol.24，No.8，2010.8.

本堂亮・東優：駅部大断面トンネルを中壁分割工法で施工，仙台東西線，青葉山トンネル工区，建設機械，Vol.46，No.8，2010.8.

特集/下水道トンネル技術の新たな挑戦，月刊下水道，Vol.33，No.9，2010.8.

宇野洋志城・京免継彦・小泉直人：繊維シートによる新設トンネルのはく落防止，東九州自動車道トンネル工事におけるT-FREG工法の適用，建設機械，Vol.46，No.9，2010.9.

山地宏志・中野陽一・清水則一・櫻井春輔：ロックボルトによる極小断面トンネル補修の設計と施工法，簡易設計法の提案と極小断面内からの長尺ロックボルト施工について，建設機械，Vol.46，No.9，2010.9.

特集/発進・到達技術の高度化，月刊推進技術，Vol.24，No.9，2010.9.

特集/トンネル，建設の施工企画，No.727，2010.9.

工法・技術・製品ニュース

製品 3.5トンクラスのミニ油圧ショベルをフルモデルチェンジ



キャタピラージャパン(株)広報課
TEL: 03-3717-1122
http://japan.cat.com/

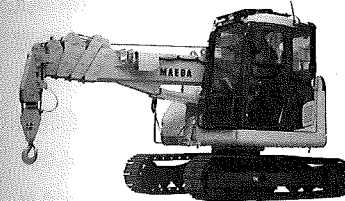
キャタピラージャパンは，上下水道工事などの現場で，掘削・積込み・吊り作業などに優れた能力を発揮するミニ油圧ショベルを新発売した。

発売したのはCAT 303.5D CR (バケット容量0.11m³，機械質量3.2t)で，従来のCシリーズからDシリーズへフルモデルチェンジした。

同機は，油圧システムの変更やレバー位置変更などにより，各種操作性を大幅に改善したほか，エンジン回転数をダイヤルアクセルの設定か

ら下げるエコノミーモードや3秒以上操作を行わない場合，自動的にエンジン回転数を下げ，騒音や燃料消費量を低減する自動デセル機能を標準装備としたことで，燃料消費量の低減に貢献する。さらに，マシンセキュリティシステムのオプション設定により車両盗難の防止を図った。このほか，オフロード法や国土交通省超低騒音型建設機械にも適合(申請中)しており，環境に配慮した製品となっている。

製品 クローラクレーン LC785M-8 国内仕様を新発売



前田製作所(株)産業機械本部産機営業部
TEL: 026-292-2228
http://www.maesei.co.jp

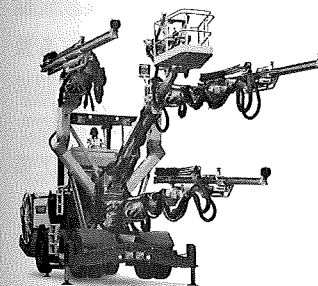
前田製作所は，クローラクレーンLC785M-8を発売した。

同機は従来機のフルモデルチェンジで，機能性・安全性・メンテナンス性を向上させ，後端はみ出し量が履帯幅の10%以下となる後方超小旋回仕様としたほか，安全性については，新型モーメントリミッターにより，緩停止制御(停止位置にクレーンが近づけば近づくほど減速させながら停止させる制御)による高精度な作業範囲規制を可能とした。

また，ワイヤーをドラムから出しきる前にウィンチが自動停止する過巻下げ停止装置(3巻停止装置)を標準装備することで，ドラムからのワイヤー抜けや逆巻きを防止するようにしている。

メンテナンス性では液晶モニタを搭載してメンテナンス情報を画面で確認できるようにしたほか，作動油サクションフィルタとリターンフィルタを変更して交換サイクルを5倍に延長するなど，向上を果たした。

製品 大断面トンネル向け油圧直接制御リグ



アトラスコプコ(株)土木鉱山機械事業部
TEL: 03-5765-7890
www.atlascopco.co.jp

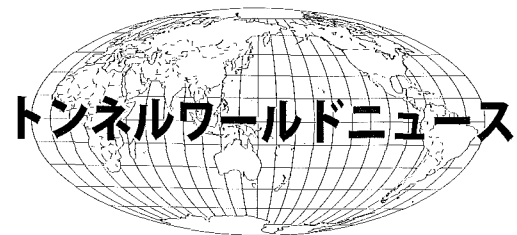
アトラスコプコは，大断面トンネル向け油圧直接制御リグBoomer XL3 Dを発表した。

同機は，オペレーターと機械とのインターフェイスの向上を主眼に開発され，オペレーターの近くにあった高圧ホースを減らし制御システムを改良して作業空間の静粛性を高めたほか，見通しを確保するため上下に1,100mm調整可能なキャノピを採用した。オプションのキャビンでは，内部の騒音レベルが低く抑えられ，

さらに，空調設備により温度管理も可能な快適な作業環境が提供されている。

また，機械作業の停止を避けるための機構を組み入れた油圧制御システムの精度を高め，新コントロールパネルとともに安全性と生産性を向上させた。さまざまな岩盤の状態に合わせて，同社の信頼性の高いロックドリルの装着も可能である。

同機の日本での販売は2011年度以降としている。



(社)日本トンネル技術協会
国際委員会

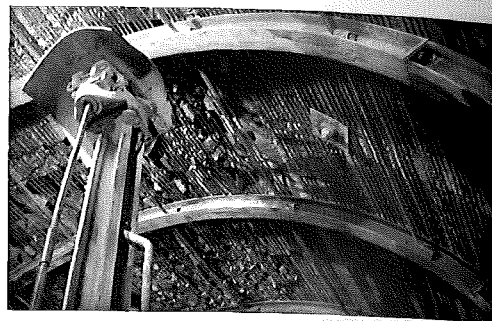
中国で2台のオープン型TBMが発進

中国のGansu(甘粛省)で、この6、7月に2台のRobbins社製のオープン型(メインビームタイプ)で初めて支保工建て込みシステムを導入したTBMが発進した。直径10.2mの2台のTBMはWest Qinling(西泰嶺)で土かぶりの大きい鉄道双設トンネルを16.6km掘進する。

TBMは新たにルーフサポート構造を従来のfinger形状(ピアノの鍵盤のような形状)から格子状に改良することで支保作業時の安全性を向上させている。そのほか支保工建て込み装置やボルト割り込み式のルーフサポート、さらには前方探査ドリルや支保工搬入装置を装備している。

トンネルの地山は圧縮強度30~80MPaクラスの砂岩と1,400m以上に堆積した千枚岩で構成されている。トンネル支保構造は、ルーフボルト打設で金網を固定し鋼製リングを建て込み、さらにリング支保工間を帯鉄部材で補強する。この金網とルーフボルトの打設に帯鉄部材の施工パターンはこのトンネルの地質には効果的であるとRobbins社のBrain Khalighi 副社長は言った。

さらにトンネル地山が悪くなった場合は、従来の金網支保からトロントのエンジニア企業のC&M McNally 社がRobbins社のTBMのため特別に考案したMcNally支保工に変更し対応できるシステムを装備している。このMcNally支保



McNally支保パターンについて

(<http://www.robbinstbm.com/blog/insights-in-the-industry/ground-support-for-high-cover-tunnels-what-is-the-best-method/>)

パターンは木材や鉄材の薄い板で構成されるトンネル天端部分に沿って連続的に敷設される部材で作業員を落石の危険から守る。

Robbins社は2台のTBMをトンネル施工会社、中鉄18局のために中国工場で作製し現場へ搬送した。そして現場の深い渓谷に架けられた栈橋の上で組み立てられ、1台目のTBMはトンネルの左線掘削用で6月末に発進し、トンネル坑口不良地山区間を2km移動させ100m掘進した。2台目のTBMは右線用で7月17日に発進した。

TBMトンネル間の離隔は40mあり、トンネルは海拔1,000mのQinling山(秦嶺山麓)中腹に位置する。この複線鉄道トンネルはGansu(甘粛省)のWainaとLuotang市やFengxiang市を結ぶ貨物専用線となる予定だ。この中国政府による長大鉄道事業はLanzhou(蘭州)のWest Qinling鉄道(西泰嶺鉄道)とChongqing(重慶)鉄道とつなぎ全長820kmとなる。そして人口3,500万人で中国西南部の巨大都市Chongqing(重慶)と結ばれ動脈路線となる。この鉄道総工費は113億USドルにも及び、鉄道運行時間は今までの17.5時間が6.5時間に短縮される。全線開通は2014年を見込んでいる。(T & TI '10.8 担当: 篠原慶二・前田建設工業(株))



(社)日本トンネル技術協会
国際委員会

断層でTBMが立ち往生/Stuck in the mud

By Patrick Reynolds : Tunnels & Tunneling International, December 2009, pp.17-21

エチオピアのGilgel Gibe II計画(水力発電用導水路計画)は、全長26km、内径6.3mの導水路を、上・下流両側から直径6.98mのTBMで施工するもので、工事は2005年に始まり、2008年に終了する予定であった。TBMの外径は6.98m、総推力8,700kN、最大トルクは2,590kN・mであり、ライニングには長さ1.6m、厚さ150mmの4分割の六角形のハニカム構造のセグメントが使用された。

流入側のTBMが発進から14か月経過した2006年10月、掘進距離で4km進んだ地点で、岩盤等級がRMR値で17~19のきわめて不良な風化玄武岩に遭遇した。そこでの土かぶりは670mであった。流出側に比べ、流入側の地

質はもともと悪く、薬注をしながら掘り進んでいたが、4.2km掘進した地点(図-1のEvent19)で4MPaの水圧をもった断層に遭遇した。岩盤は時速40~60mmで動き、TBMは600mm以上押し戻され、横に400mm以上移動した。TBMのフロント部の接続ボルトは切れ、シリンダは曲げられ、セグメントは動かされるか損傷する状態となり、セグメント内には急ぎで支保工が組まれた。

復旧計画が2007年1月に作成され、2007年2月に左側の横坑が支保工と吹付けコンクリートによる施工が始まった。度重なる土砂と水の流出があったが、2007年5月までに何とか断層部まで掘り進め、ボアホールが横坑部とBack chamber部から

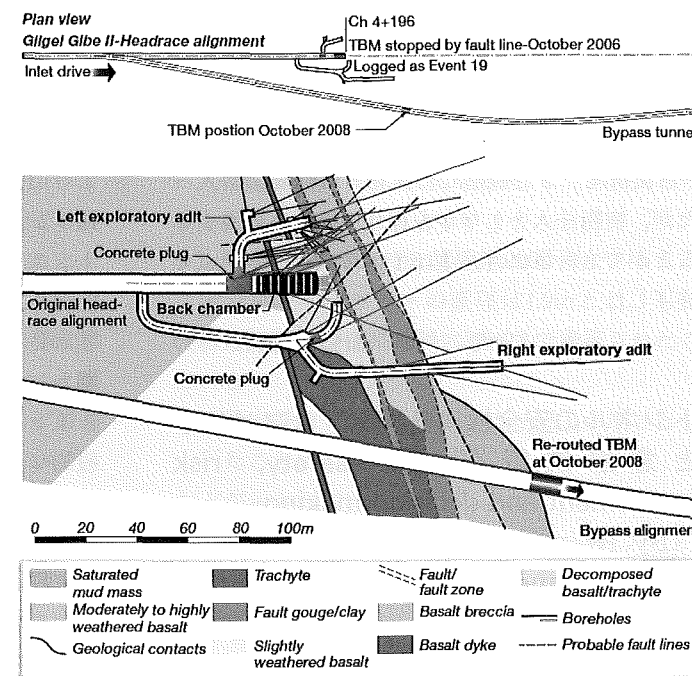


図-2 横坑・ボアホールおよび導水路の変更計画

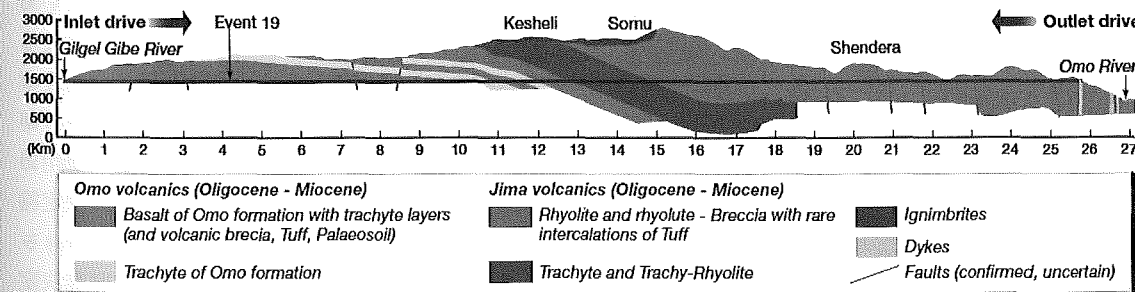


図-1 導水路に沿った地質縦断面図



写真-1 ライニングの損傷状況

約550mあけられた。2007年7月にはトンネル内の土砂の搬出が終了し、左側の横坑入口約40m手前から、右側の横坑の施工も始まり、減圧と排水のためのボアホールは合計で1,600mにも達した。

2008年2月末にはTBMの解体・搬出が終了し、5月までには地上で再度組立てられ、2008年8月1日に新ルートで発進した。10月に断層帯に入っていたが、樹脂注入をしながら掘り進め無事通過することができ、2009年6月6日に約8kmの地点で終了した。

(文責：小林 修・戸田建設(株))

トンネルの安全性、リスクアセスメントと意思決定/Tunnel safety, risk assessment and decision-making

By Alan N. Beard : Tunneling and Underground Technology, January 2010, pp.91-94

1. はじめに

近年リスクアセスメント技術がトンネルに適用される事例が増加しているが、その手法に一貫性がなく、また主要な保険会社からリスクアセスメント技術の一層の利用が求められていることなどを背景として、欧州議会からEU内で統一的に受容できる意思決定システムやリスクアセスメント手法の確立を目的とした研究を実施し、必要な示唆を提言するよう依頼された。研究成果は欧州議会に提出したレポートにまとめられているが、本論文ではこのレポートの記載内容の一部を紹介する。

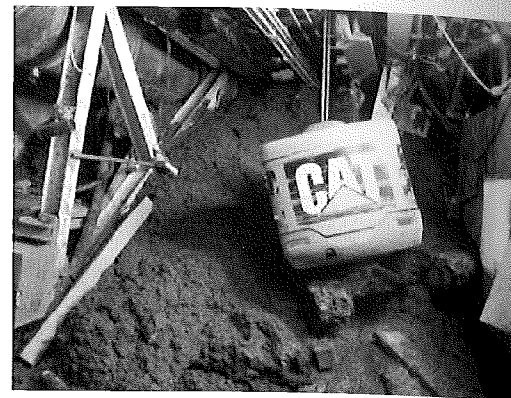


写真-2 左側横坑の土砂流入状況

2. レポートのキーポイント

欧州では建設から長期間経過した鉄道トンネルが数多く存在し、それらのトンネルが火災に対応する十分な設備を具備しておらず、道路トンネルよりもリスクが高いと考えられてきた。しかし近年における道路交通量の増加や走行車種の変化により道路トンネル内での事故が多発するなど、道路トンネルのリスクが高まっている。このようにトンネルのリスクを考えるうえでは、社会情勢の変化を意識し、この変化を汲み取ることが必要と考えられる。

■トンネルのリスクに関する現状

トンネル内の事故による死者数のうち2/3は一般的な交通事故によるものであり、その多くが火災を伴うものである。また道路トンネルで大惨事に至る火災のうち71%は大型貨物車が関連しており、鉄道自動車から鉄道による貨物輸送へのシフトが求められている。

■トンネルの設計とリスクアセスメント

トンネルの安全性にかかわる意思決定に定量的なリスクアセスメント手法が用いられ始めているが、この手法によりすべてが解決できると考えるのは誤りである。これまで、既存の手法にもとづいて定性的または定量的なリスクアセスメントが行われてきたが、近年ではコンピューターを用いた流体動力学モデルやゾーンモデルなどの決定論的な手法、フォルトツリー解析やストキャスティックモデル、あるいはユーロトップのような非決定論的なリスクアセスメント手法なども出てきてお

り、どの手法を用い、どのようにリスクを評価するのが適切か、また一般の人々に受け入れられる基準とは何かなど、新たに考察が必要な問題も生じている。一方で、リスクアセスメントの実施には広範囲にわたる知識が必要となるため、理論的あるいは実験的に得られたデータや研究情報を蓄積、更新することも必要と考えられる。このため、レポートでは情報の収集と提供を一手に担うワンストップショップの設置を提唱している。またこのようなコンピューターの利用を前提としたモデルがトンネルの安全性に関する意思決定を行うツールのひとつとして受け入れられるためには、以下の事項が必要と考えられる。

- ① 意思決定に利用できる新たなモデルを用いる場合は、一つ以上の別のモデルを用いること
 - ② 世間一般に受け入れられ、利用する者にとって明快な方法論を用いること
 - ③ 一般的に認められた方法論に広く精通し、結果を的確に解釈できる者が検証すること
- さらにレポートでは、欧州に存在するすべてのトンネルを評価するためには、規定された要求事項と定性的リスクアセスメント、定量的リスクアセスメントをどのような割合で考慮するのが最適であるかという問題に対しても考察を行っている。

■レポートでの提言

レポートでは、高速鉄道の敷設による新たな危険性を評価する必要性、身障者や高齢者が避難するための効果的な方法を盛り込んだ安全なトンネル構造を確保する必要性、トンネル火災に対応した安全な設計を考慮したモデルの利用方法などに関する提言、またコンピューターの利用を前提としたモデルは、研究者や一般の人々の検証に供するために公開する必要があることなどを含む25の提言を行っている。

3. 結 言

トンネルの安全性確保のための意思決定が改善されることにより、一般利用者からトンネル設計者、法律家まで、ヨーロッパから全世界までのすべての人々が受け入れられるような、より良い方

向に向かうことが期待される。

(文責：北村義宜・鹿島建設(株))

地上からの地盤改良/From the ground down

World Tunneling, March, 2010, pp.10-11

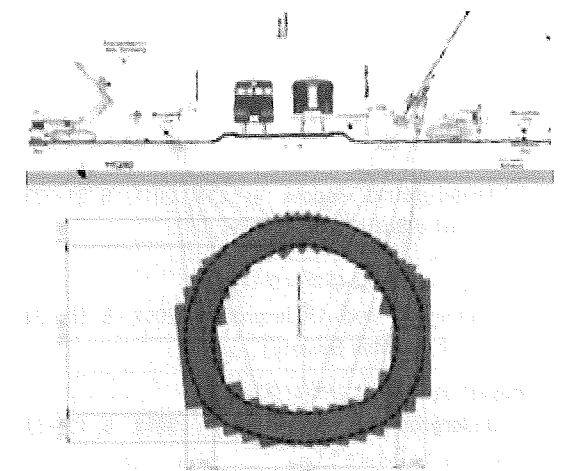
現在建設中のヴェローナ～ミュンヘン間を結ぶ高速鉄道のうち、オーストリア・インスブルックで建設中のSTANSトンネルは、イン川に並列する部分があり、この区間は既存の高速道路高架橋や線路の下をくぐることになる。このため、750mの区間について地表よりジェットグラウトにより地盤改良を実施後、トンネルを掘削した。

本文では、このジェットグラウトによる地盤改良について、

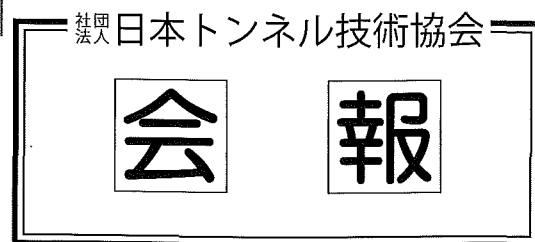
- ・38か所に分け1か所には線路ないし高速道の両脇に機械を配置(図を参照)し、20m長さの区間を改良したこと
- ・対象となった地盤は飽和した砂礫であること
- ・ジェットグラウトの直径は1.9mとし、もっとも深い改良帯は深さ35mまで構築されたこと
- ・改良帯はトンネル外周を2m以上の厚さとしたこと

などが示されている。

(文責：野間達也・(株)フジタ)



地盤改良の概念図(テレビ社HPより)



1. 会員の現状

	12月31日現在
正 会 員	1,687名
団体会員	371名
個人会員	1,316名

2. 委員会の開催状況(12月 1 日～31日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会会誌WG(12/8)

大島洋志主査ほか11名, 1月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会海外ニュースWG(12/16)

早坂治敏主査ほか7名, 海外ニュースを翻訳

海外文献小委員会海外文献WG(12/21)

大久保誠介主査ほか12名, 海外文献を査読

◎事業委員会(12/9)

桑原彌介委員長ほか15名, 催物結果報告と計画を検討

計 4 回開催 49名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

山岳工法小委員会支保WG(12/15)

深沢成年査ほか18名, 海外における支保工および現場における問題点についての調査項目を検討

◎受託研究特別委員会

効率的掘削工法特別委員会中流動コンクリートWG(12/9)

松岡茂主査ほか6名, 技術資料原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会高速施工WG(12/10)

領家邦泰主査ほか9名, 試験計画(案)を検討

効率的掘削工法特別委員会(12/17)

西村和夫委員長ほか20名, 試験計画(案)を検討

青函トンネル計測検討委員会(12/27)

足立紀尚委員長ほか33名, トンネルの健全性, 補修方法, 維持管理方法の検討

計 5 回開催 91名出席

合計 9 回開催 140名出席

3. 国際会議の開催予定

会 議 名	開 催 日	場 所	主 催 者 等
第37回ITA総会およびコンgres* 「Underground spaces in the Service of a Sustainable Society」	2011. 5. 21～25	ヘルシンキ (フィンランド)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Finish Association of Civil Engineers RIL (フィンランド土木学会) http://www.wtc11.org/
第38回ITA総会およびコンgres 「Tunnelling and Underground Space for a Global Society」	2012. 5. 18～24	バンコク(タイ)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Thailand Underground & Tunnelling Group http://www.wtc2012.com/
第39回ITA総会およびコンgres 「Underground - the way to future -」	2013. 5. 10～17	ジュネーブ (スイス)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Swiss Tunnelling Society

* 論文募集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, (社)日本トンネル技術協会 TEL: 03-3553-6174

4. 平成22年度催物開催現況

催 物 名	開 催 日	人数	場 所	CPD取得単位
(見学会)				
津軽蓬田トンネル現場研修会	2010. 6. 4	38	青森県	2.0
調布駅付近連続立体交差現場研修会	2010. 6.18	28	東京都	2.0
京極発電所工事現場研修会	2010. 7.23	25	北海道	4.0
中央環状品川線トンネル工事現場研修会	2010. 7.30	38	東京都	3.3
東九州自動車道トンネル工事現場研修会	2010. 9.29	27	福岡・大分県	3.5
(13号直相)渋谷駅建設工事現場研修会	2010.10. 7	26	東京都	2.5
高瀬トンネル建設工事現場研修会	2010.10.22	21	栃木県	2.0
横浜下水道工事現場研修会	2010.12. 3	27	神奈川県	2.3
津軽蓬田トンネル現場研修会その2	2011. 1.27	30	青森県	2.0
小田急・下北沢地区複々線化工事現場研修会	2011. 2. 3	30	東京都	2.0
(施工体験発表会)				
第66回(山岳)「山岳トンネルにおける創意工夫事例」	2010.11. 1	159	東京都	5.9
第67回(都市)「厳しい施工条件下における都市トンネル工事」	2010.11. 2	119	東京都	5.9
(講演, 講習会)				
第13回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2010.11.11,12	22	愛知県	9.0
第12回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2010.11.18,19	22	東京都	17.3

催物の案内は逐次協会のホームページ(http://www.japan-tunnel.org/event_japan)に掲載いたしますので閲覧くださいますようお願いいたします。一般検索サイトで〈トンネル技術協会 国内催物〉あるいは下記URL入力でたどりつけます。

5. 新刊図書案内

図書No.	図 書 名	頒 布 価 格		
		団体	個人	一般
201004	第67回施工体験発表(都市) — 厳しい条件下における都市トンネル工事 —	1,500	1,500	1,800
201003	第66回施工体験発表(山岳) — 山岳トンネルにおける創意工夫事例 —	1,500	1,500	1,800

2011 トンネル技術研究発表会 プログラム

主催 北海道土木技術会トンネル研究委員会
社団法人日本トンネル技術協会

日 時：平成23年2月18日(金) 10:00~17:10

場 所：北海道大学学術交流会館(大学正門内左側)

(札幌市北区北8条西5丁目 TEL: 011-706-2141)

参 加 費：研究発表会 6,000円(論文集—25周年記念号—を含む)、意見交換会 4,000円

申し込み方法：FAXで申し込み下さい(メールでも結構です)。

申し込み先：トンネル研究委員会講習講演小委員会事務局

(株)開発工営社内 熊木 TEL: 011-207-3666 FAX: 011-200-1377

E-mail: kumaki@kai-koei.co.jp

もしくは、(株)ダイヤコンサルタント内 水島・加藤・佐々木

TEL: 011-729-2701 FAX: 011-729-2689

申し込み締切：平成23年2月10日(木)

定 員：300名

そ の 他：・参加費は、なるべく事前に銀行振込(振込料はご負担願います)でお願い申し上げます。
また、当日会場にて現金もしくは後日銀行振込でも結構ですが、その旨を申し込み書に記載していただきますようお願い申し上げます。

振込先：北洋銀行 北七条支店(312) 普通3518303

トンネル研究委員会講習講演小委員会事務局 杉浦高広

・論文集は当日、ご所属、ご氏名を確認のうえ、会場でお渡し致します。

・発表会場に駐車場がありません。JR、地下鉄、バス等の公共交通機関をご利用下さい。

※なお、本研究発表会は(社)土木学会のCPDプログラムに認定されています(5.5単位)。

プログラム：

10:00~10:15 開会挨拶 北海道土木技術会トンネル研究委員会委員長 三上 隆

10:15~12:00 特別講演「走行型計測技術による健全性評価の実用化」および「簡易型地下水制御解析法の適用性」について 京都大学副学長 大西 有三

12:00~13:00 休憩(昼食)

研究発表(第1部)

13:00~13:25 「脆弱地山におけるトンネルの安定化対策および合理化施工」

東日本高速道路(株)北海道支社千歳工事事務所 高橋 俊長

清水建設(株)北海道支店土木部 ○垣見 康介・雨宮 啓二

13:25~13:50 「蛇紋岩地山における小断面円形支保構造の採用報告」

東日本高速道路(株)北海道支社千歳工事事務所 生方也寸志・関 茂和

三井住友・佐藤特定建設工事共同企業体 浦 文明・高橋 一幸・○荻 雅雄

13:50~14:15 「大規模地すべりにおけるトンネル安定確保と地すべりへの影響低減対策」

東日本高速道路(株)北海道支社 千歳工事事務所占冠西工事区 佐藤 諭一・関 茂和

前田建設工業(株)・日特建設(株)JV占冠トンネル東作業所 本藤 敦・和智真太郎

14:15~14:40 「中流動コンクリートによるトンネル覆工の施工性改善と品質向上」

東日本高速道路(株)北海道支社千歳工事事務所夕張工事区 村崎 慎一・森 俊介

(株)大林組札幌支店大夕張西JV工事事務所 中間 祥二

(株)大林組本社技術本部技術研究所生産技術研究部 ○桜井 邦昭

14:40~15:05 「アクアカーテンを用いた覆工コンクリート養生について」

ハザマ土木事業本部技術第三部トンネルグループ ○古川 幸則・白井 孝昌

ハザマ土木事業本部土木設計部基礎技術グループ 庄野 昭・齋藤 淳

15:05~15:20 休憩

研究発表(第2部)

15:20~15:45 「活線分岐による既設NATMトンネルの延伸」

北海道開発局室蘭開発建設部浦河道路事務所 平森 誠

(株)大林組札幌支店 成田 正憲・小川 弘之・○小林 貴宏

(株)大林組九州支店 松野 徹

15:45~16:10 「京極地下発電所空洞掘削における情報化施工」

北海道電力(株)京極水力発電所建設所 西村 哲治・武田 宣孝・毛馬内 学

大成建設(株)京極地下発電所作業所 ○名合 牧人・高山 正志

16:10~16:35 「空中電磁法による施工中トンネルの地山予測」

大日本コンサルタント(株)防災事業部 ○河戸 克志・千田 敬二

(株)エーティック地質部 内田 秀明

16:35~17:00 「韓国トンネル調査 概要報告」

韓国トンネル技術調査団

岩田地崎建設(株)技術部 ○河村 巧

(株)ダイヤコンサルタント道路部 ○杉浦 高広

17:00~17:10 閉会挨拶

北海道土木技術会トンネル研究委員会副委員長 菊地 隆

17:40~19:00 意見交換会 センチュリーロイヤルホテル 20F 白鳥の間

3月号予告[3月1日発売予定]

- 砂質土地盤での簡易な切羽自立性評価方法の提案
- 九州新幹線 俵坂トンネル
- 福岡県営農道整備事業(京築三期地区)トンネル
- 小田急小田原線 連続立体交差事業
- 東京都建設局 古川調節池
- 【連載講座】
- 山岳トンネルのインバート(1)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆今年に入りいっそう寒い季節になりました。去年の夏の猛暑が嘘のようです。でも今月14日はバレンタインデーです。気持ちだけでもホットになりたいものです。そこで本誌に掲載された「愛」のつくトンネルを調べてみました。調べてわかりましたが「愛」のつくトンネルは意外と掲載されておりませんでした。

◆最初に登場したのは「東北自動車道 愛宕山トンネル」で第34号(昭和48年)に掲載されています。現況を詳しく調べようとWeb検索をしてみました。Hitしません。雑誌に掲載されるトンネル名は工事中の仮称であることが多く「愛宕山トンネル」も竣工後は「福島トンネル」と名称が変わってありました。したがって、このトンネルを掲載第1号の「愛」のつくトンネルとするか複雑な気持ちでした。2番目はかなり近年で、第247号(平成3年)に掲載になりました東京都下水道局の「愛宕幹線」、さらに3番目は第470号(平成21年)のさがみ縦貫道路の「愛川トンネル」です。結局この3件しか掲載はありませんでした。そのほか小さい記事ですが第400号(平成15年)の特集「東京の地下構造物」で載せました「愛宕山トンネル」がありました。東京の「愛宕山トンネル」は約80年経過しておりますが坑門は当時のたたずまいのままでなかなかの雰囲気は今でもかもし出しています。港区愛宕一丁目の愛宕神社の脇にありますので近くにお越しの際はご覧になってみてはいかがでしょうか。

(I.Y)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください。
★(社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(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42巻 第2号 (通巻486号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成23年1月20日 印刷

平成23年2月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0041 東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)

TEL: 03-3553-6174

FAX: 03-3553-6145

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16

番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

購読料

1冊 1,575円(送料108円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

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

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

新刊案内

山岳トンネル設計の考え方



東京都立大学名誉教授

今田 徹 著

B5判 183頁 上製本 定価3200円+税

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

山岳トンネル工事に携わる諸兄の必携書である。



《主要目次》

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

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

株式会社 土木工学社

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

山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著
3,200 円＋税 B5 判

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



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修
1,500 円＋税 B5 判

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



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修
2,500 円＋税 B5 判

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



推進工法の理論と実際

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

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



わかりやすい土质地質学

大島洋志 監修
2,500 円＋税 B5 判

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



セグメントの新技术

小泉 淳 監修
2,000 円＋税 B5 判

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



続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著
1,200 円＋税 新書判

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



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著
6,000 円＋税 A5 判

建設技術者に必要な地質・岩石・岩盤などの基礎知識と酸欠・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。



シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編
4,660 円＋税 B5 判

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



地下水の科学 I～III (全 3 巻)

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

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



第 I 巻 地下水の物理と化学
4,078 円＋税 B5 判

第 II 巻 地下水環境学
4,272 円＋税 B5 判

第 III 巻 地下水と地質
3,689 円＋税 B5 判

わかりやすいトンネルの力学

福島啓一 著
5,825 円＋税 B5 判

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



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 編
14,573 円＋税 B5 判

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



ジオテクスタイル設計マニュアル

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

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



岩盤地下空洞の設計と施工

E. フック・E.T. ブラウン 共著、小野寺透・吉中龍之進・斉藤正忠・北川 隆 共訳
9,800 円＋税 B5 判

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した。



建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著
4,300 円＋税 A5 判

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



トンネル工事の衛生と環境保全

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
3,200 円＋税 A5 判

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



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200 円＋税 A5 判

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



わかりやすいトンネル技術入門 (都市トンネル編)

橋本定雄・松本義崇・松本正敏 共著
2,800 円＋税 A5 判

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



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400 円＋税 A5 判

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



トンネルと地下

1,500 円＋税 B5 判 月刊(毎月 1 日発売)

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



書籍のお申し込み

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

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

覆工コンクリート湿潤養生システム パラソル30ミスト工法

1. 一週間湿潤状態を保ち乾燥収縮によるひび割れを抑制
2. パラソル内でミストを噴出するため坑内の視界が良い
3. 天井部から吊っているためレール敷設が無く移動が簡単
4. 超細霧のため効率的な養生が出来て路盤の泥濘化を防止

NETIS登録: KT-100038-A



NATMトンネル二次覆工コンクリートを最適に仕上げます

特許出願中



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	〒101-0021	東京都千代田区神田司町2-8-4	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-13-9	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

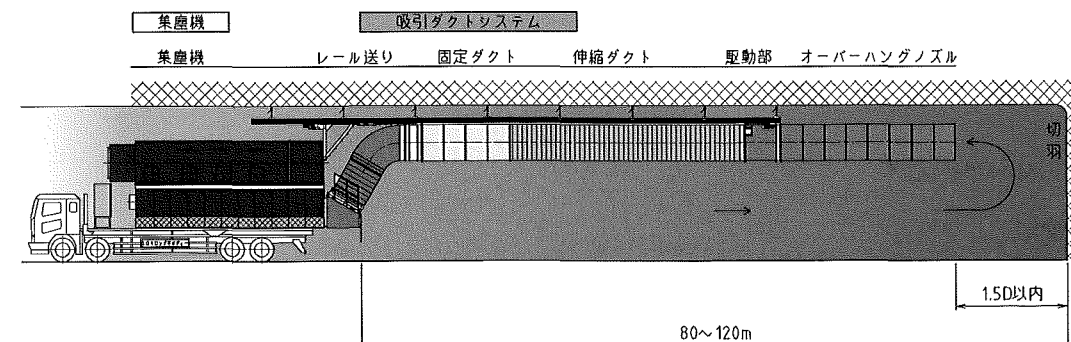
本製品は特許出願中の技術であり、弊社はその特許出願について製品の実施権許諾を受けております

時代は吸引捕集方式へ 換気・環境技術は進化しています



軽量吸引ダクトシステム
SUPER LIGHT
オーバーハング

拡散希釈方式は業界では限界に近づきつつあり、
省エネ・CO₂削減を合わせ持った新しい換気方式
が求められています



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 3-4-2COI 聖坂ビル
TEL 03-3452-7400
URL <http://www.ryuki.com/>
E-mail eigyobu@ryuki.com