

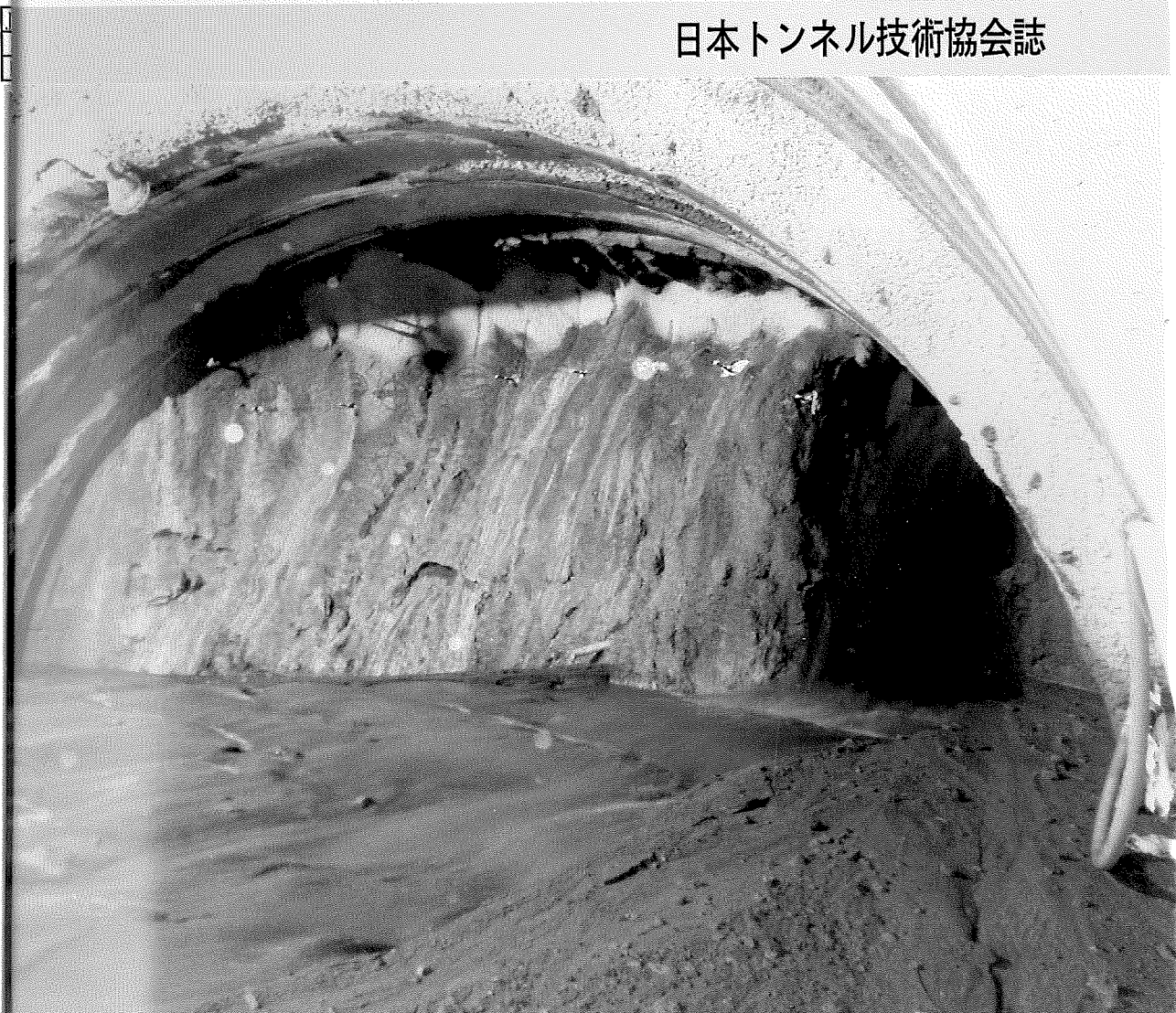
トンネルと地下

vol. 43
no. 2
2012

Tunnels and Underground

傾斜地盤の安定性を監視しながらトンネルを掘削
進導坑から上部帯水砂層を水抜きで切羽安定化
隣道路下における14.5Rの急曲線を泥濃式推進工法で施工
工期閉合の効果を施工事例および数値解析より検討

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!

2010
〈長距離・大断面φ12.5m泥土圧シールド〉
横浜市の交通ネットワークを形成する横浜環状北線トンネル工事が掘進開始

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

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

2007
〈D/LAT用シールド〉
D/LATの交通網の発展に貢献

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号線環状部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

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

1939
〈日本最初の本格的シールド〉
関門トンネル工事で活躍

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 雑誌06619-2
本体価格1,500円



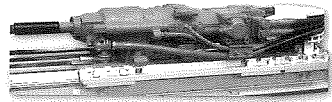
4910066190224
01500

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。

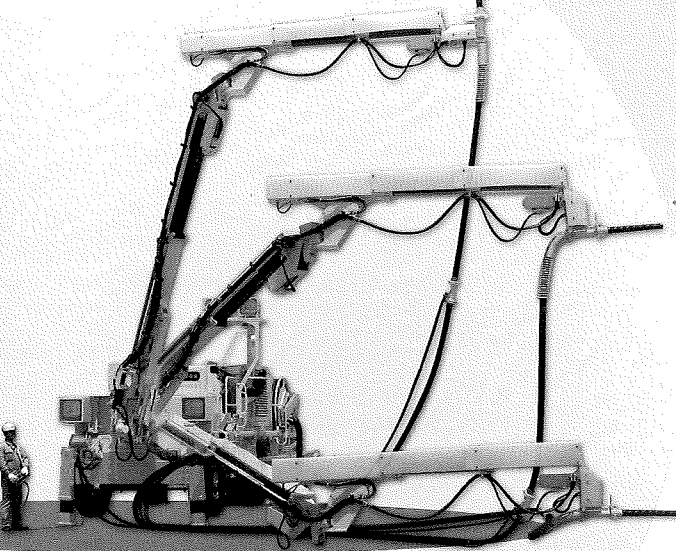
ホイール式ドリルジャンボ
JTH2200R/JTH3200R

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HD210 II 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 x 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

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

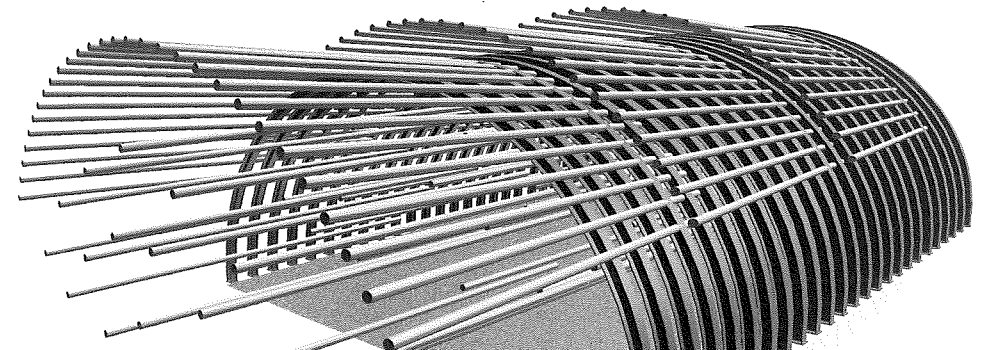
札幌支店 ☎011-861-3261 東北支店 ☎022-384-8991 関東支店 ☎027-326-9611 名古屋支店 ☎0568-77-7700
関西支店 ☎06-6475-8221 広島 ☎082-832-3542 九州 ☎092-948-2010

www.furukawarockdrill.co.jp

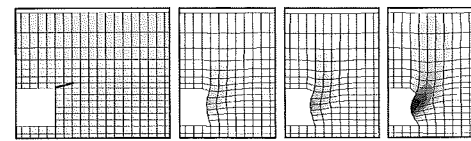
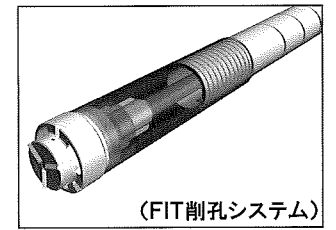
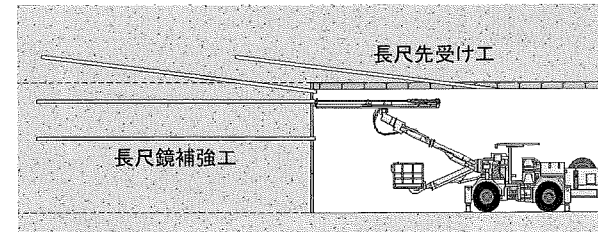
全方位 GFRP 管長尺補強システム

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

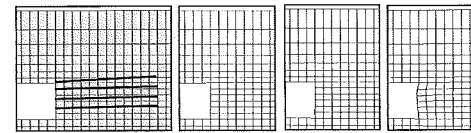
FIT 工法
FRP INJECTION TUBE



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

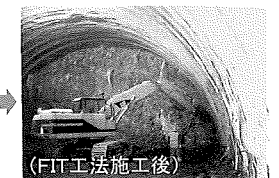
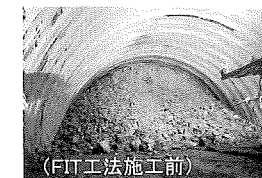
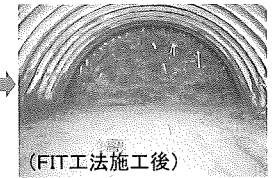
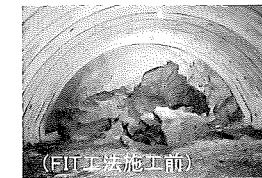


フォアポーリング



FIT 工法

(数値解析による効果の検証例)



KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部 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/>

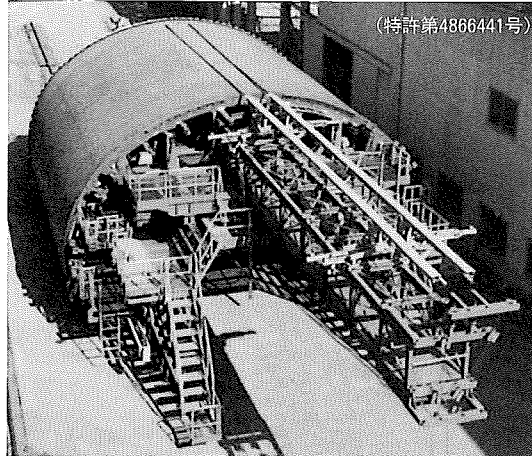
各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー



東和機電工業株式会社 かいた 穎田工場

〒820-1111 福岡県飯塚市勢田2594番地の18
 電話：(09496)2-3500(代表)
 F A X：(09496)2-6310
 E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

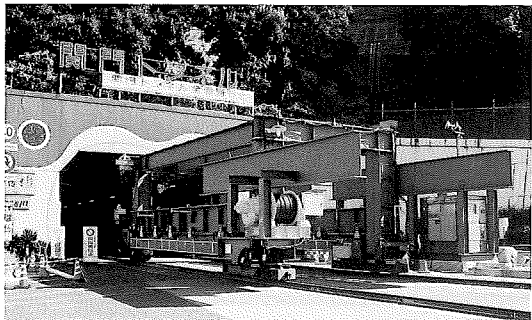
- 中流動コンクリート用ステンレスフォームクラウン部締め固めバイブレーター(特許)



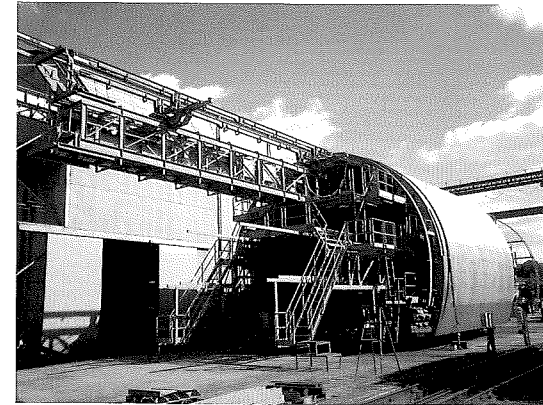
(特許第4866441号)

- ◎ 強靱なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは、前進後進同一の力で抜き差し出来ます。
- ◎ 円周方向にスライドするガイドセルは、クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます。
- ◎ ガイドセルの上昇・下降により、任意の高さを締め固める事が出来ます。

- トンネル床版撤去架台
 勾配対応四駆型(関門トンネル)



- 新幹線用ステンレスフォーム



- 自動ケレン装置

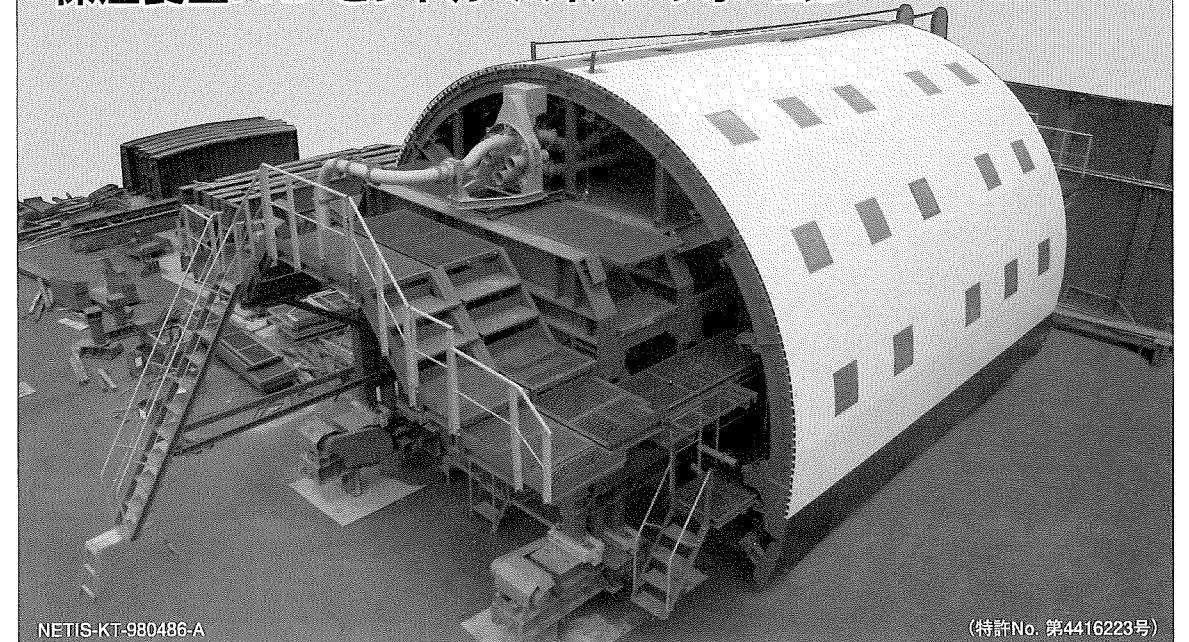


- ベルコン通過型スライドフォーム(特許)
- ロータリー式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサー及び警鳴装置
- クラック防止用ラップウレタンゴム
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充填センサー
- 2段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セントル
- 横移動式棧橋

常に顧客のニーズに応えるため、安全性と施工効率を追求し、
 高品質な製品を納めさせていただきます。

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

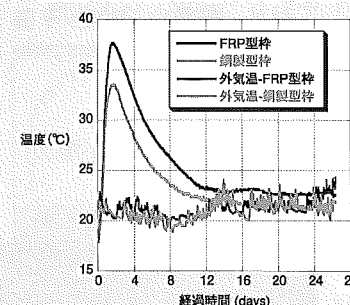


NETIS-KT-980486-A

(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、横フジタ 古江トンネルにて測定]



◎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/°C	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

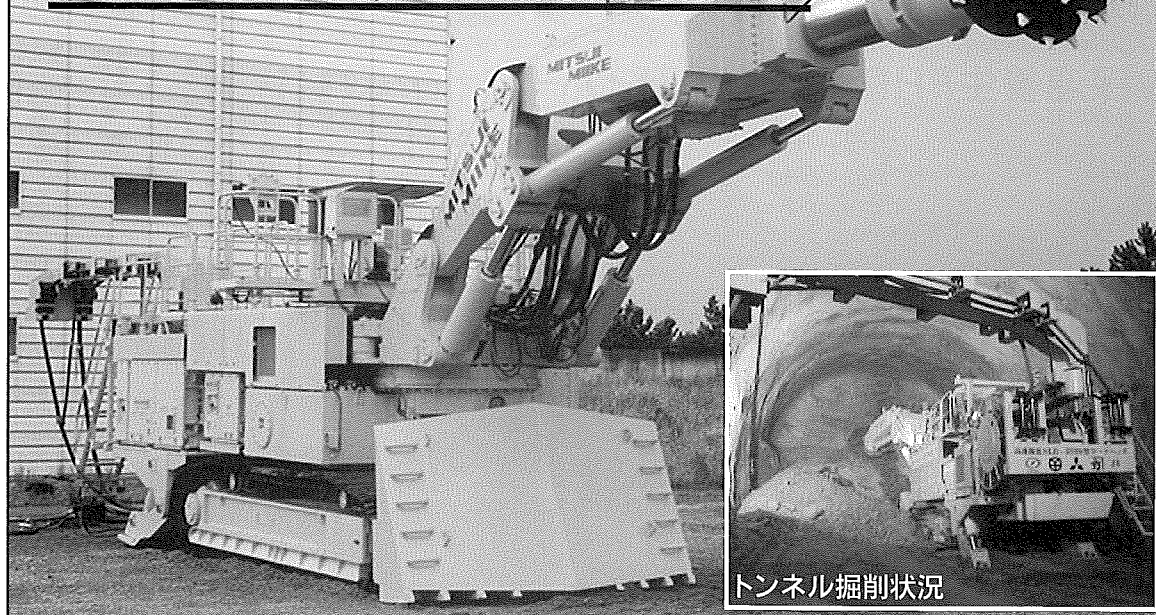
M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

※九州営業所は下記の住所に移転しました。

■ 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	〒812-0011	福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号		TEL:092-409-8008
■ 指定工場	〒919-0441	福井県坂井市春江町定重(森本工業)		TEL:0776-51-2410

全断面对应トンネル高速施工掘進機

ロードヘッド SLB-350S



全断面トンネルの高速施工を目指して

特徴

- 国内最大の350kW-4/6P定出力型2速切換式電動機を搭載しており、軟岩トンネルはもとより、中硬岩トンネルにおいても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 揺寄・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。

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**

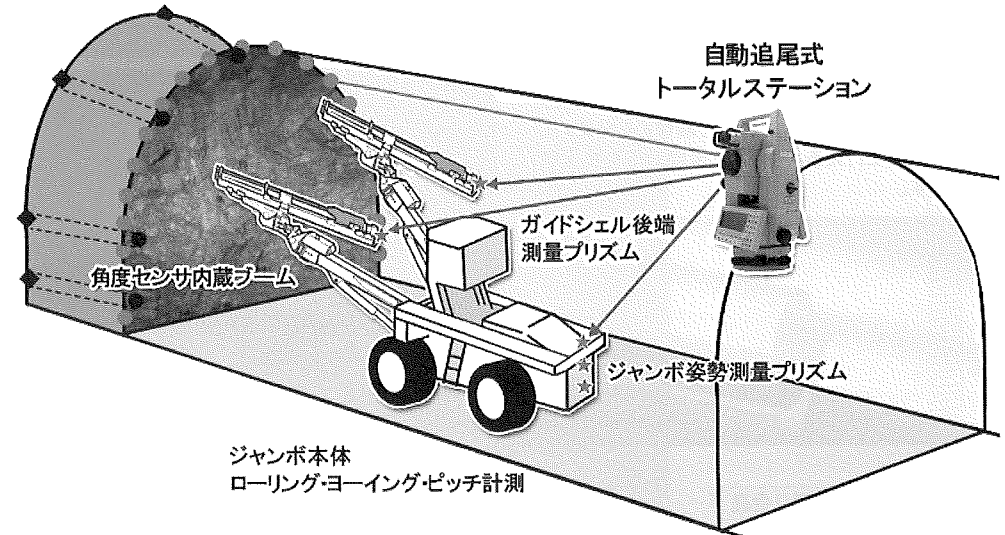
本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
 産業機械営業部 TEL.03-3270-2005 FAX.03-3245-0203
<http://www.mitsumiike.co.jp> E-mail sanki@mitsumiike.co.jp

NETIS登録番号:KK-100049-A

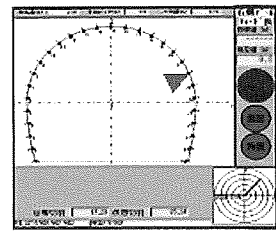
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社

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

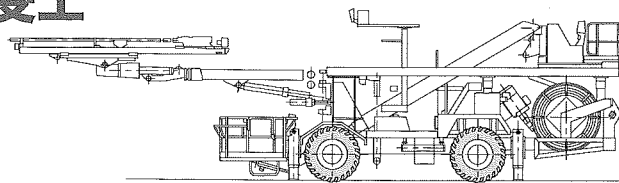
FRD 古河機械金属グループ
 古河ロックドリル株式会社

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

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

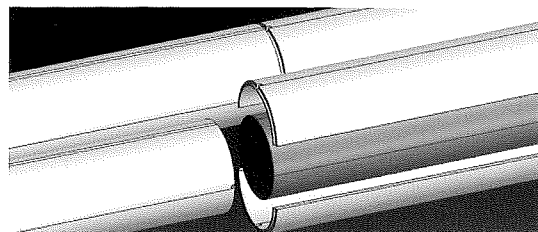
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Piling Method



AGF-Me工法

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

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



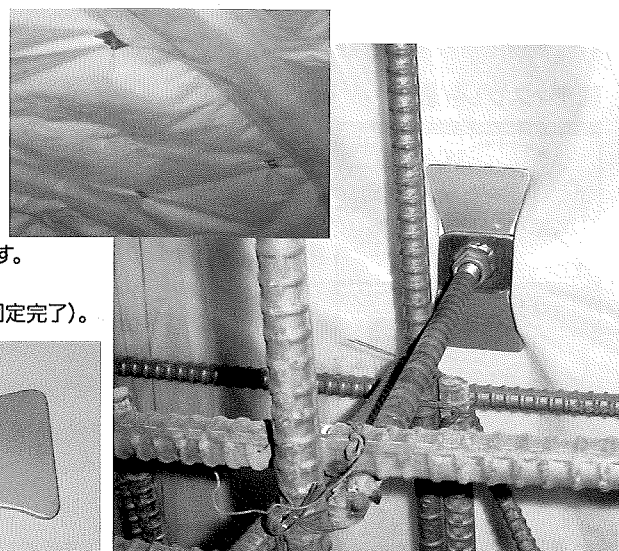
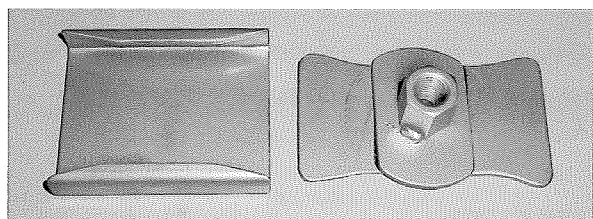
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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



東邦金属株式会社 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 トーキョーオール

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

パターンボルトのGRP化

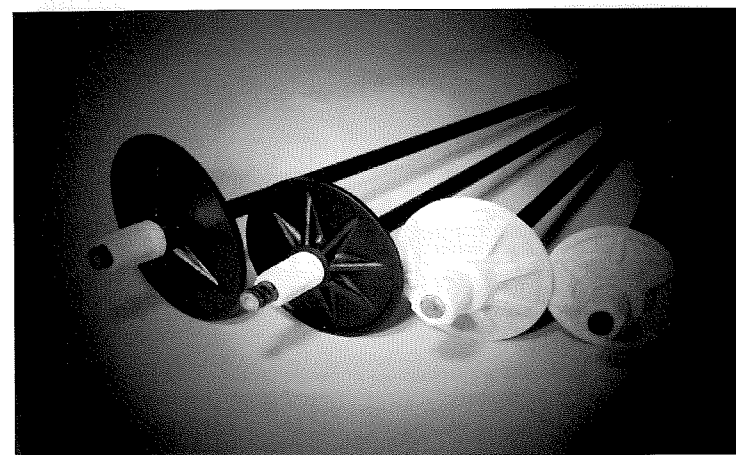
POWERTHREAD **FiReP**[®]

Fiber Reinforced Polymer

耐食機能に優れたロックボルト

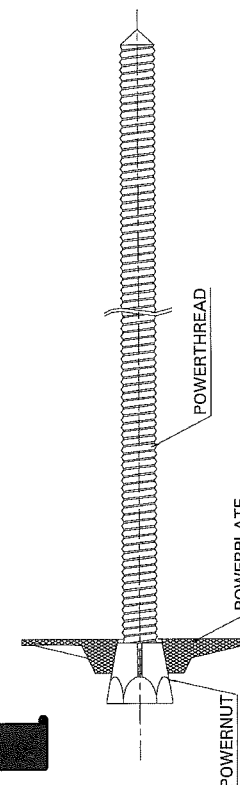
POWERTHREADは、POWERNUT/POWERPLATEを組み合わせることにより、
全てGRP製に！！

※ 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

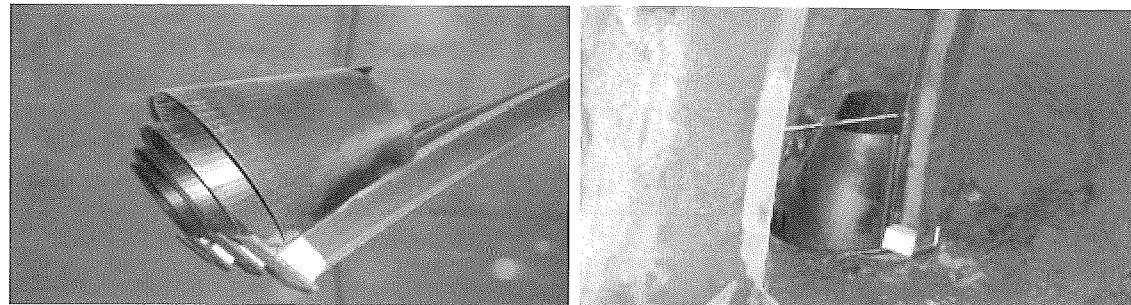
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237

北海道地区(株)エイチ・オール・オー

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

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



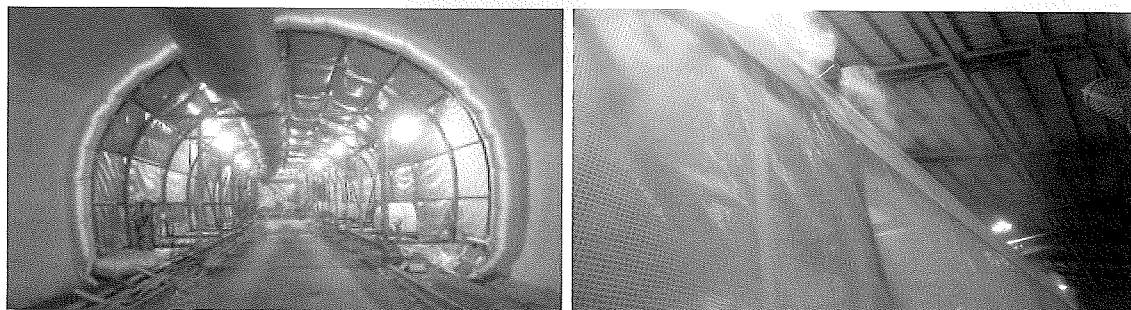
従来のH形鋼ではなく、薄鋼板を中空の円錐台形に加工したウイングリブです。現場ストックが可能な、ボルトによる脱着式です。

【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。

実績および採用決定
(平成28年4月現在)

施主	実績	計画物件
国土交通省	16件	7件
NEXCO	8件	3件
地方自治体	7件	11件
合計	31件	21件

株式会社 マシノ トンネルグループ

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

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)

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

1
月号
(2012)

特集/我が推進技術
海外進出に向けて

(Vol.26 No.1 通巻295号)

特別寄稿

水ビジネスの海外進出に向けた取り組み

国土交通省 本田 康秀

新春座談会

推進技術の海外進出に向けて

～公共団体編～

東京都 巖谷滋之 横浜市 奥野修平 神戸市 山地健二
日本下水道事業団 中沢均 (公社)日本推進技術協会 石川和秀

～コンサルタント編～

日本水工設計(株) 金井重夫 日本工営(株) 井上弥九郎
(株)日水コン 田中郁夫 オリックス(株) 山本賢一
(公社)日本推進技術協会 石川和秀

～推進関連企業編～

機動建設工業(株) 中野正明 ヤスタエンジニアリング(株) 安田一成
奥村機械製作(株) 小野潤治 (株)イセキ開発工機 松崎彰義
日本ヒューム(株) 宮野川繁男 日本ゼニスパイプ(株) 塩見昌紀 (公社)日本推進技術協会 石川和秀

事例報告

世界30カ国以上をグローバルに活躍するアングルモールシリーズ

メインフラ構築に今なお貢献中!!
(株)イセキ開発工機 脇田 智晴

・難条件を克服した推進工法 **台湾で初**の縦断急曲線推進を採用

前田建設工業(株) 正岡 顕宏
台湾機動建設 刈谷 光男

・日本の技術支援を待つ **台湾市場** 台湾の下水道事情

恩田管路技術事務所 恩田 實

・**台湾に第一歩**を踏み出したエースモールDL工法
—台湾下水道整備への貢献のために—

アイレック技建(株) 日野 英則

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ております。

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

検索

定期購読のお申し込み
は右のQRコード
または本誌ホームページから



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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

トンネルの発破技術

監修 山田隆昭 B5判 76頁 定価 1,500円+税(送料別途)

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで!
振動や騒音の環境問題を詳述!!

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

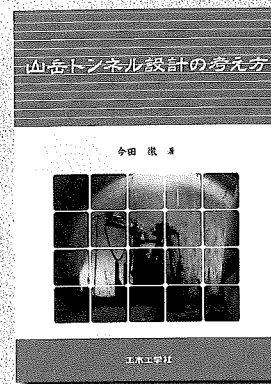
お申し込みは当社へ FAX、または、お近くの書店にてお申し込みください。FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は、書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記の上、お申し込みください。

 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

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

【好評発売中】

セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 送料 290円

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

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

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

このため「トンネルと地下」の編集委員会では過去10年間に開発され、実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し、また、土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し、「セグメントの新技术」の連載講座を設けてこれらのセグメントを順次紹介した。セグメントの名称、特徴、開発目的、適用範囲などは同じフォーマットで掲載され、また、最終回では、そこで紹介されたセグメントを整理分類し、新しいセグメントの開発の動向や今後の展望を総括した。

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

〈セグメントの新技术〉

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

株式会社 土木工学社

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

きりりとーり線

《ご注文票》

セグメントの新技术 _____ 冊 申込みます。

所在地 〒 ()

事業所名 _____

部 課 名 _____

申込者名 _____



トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号




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

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

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

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

 中濃産業株式会社
代表取締役 土田 義 弐

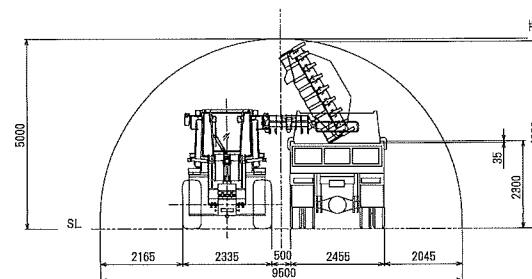
本 社 〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241(代) FAX(0581)38-3383
営業所 〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990(代)



サイドダンプ

CAT 924H

1.5m³



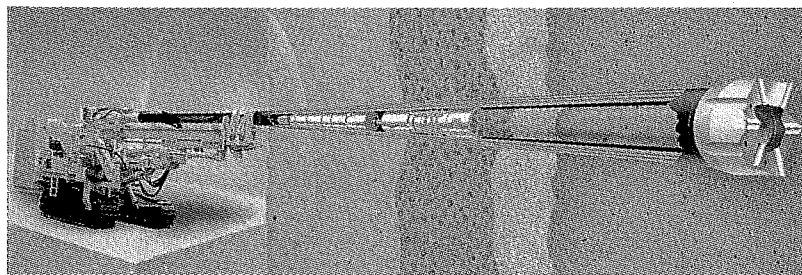
k/lea 株式会社 ケイリー

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>

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 鉦研工業株式会社

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



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可能です。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-TM、高エネルギーエマルジョン爆薬の結果をご覧になることができます。これらはすべて、お客様のご要望に沿って全てのプロジェクトに最適な技術サービスとサポートをご提供した結果です。

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

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



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

1. 1.0m x 3.0m のコンクリート打設用スリップフォーム設置

2. センターホールジャッキ内の上下2箇所が爪がロッドをつかんで、装置全体をスライドアップします。

3. ジャッキアップ作業床

4. スライド型枠

5. 鉄筋、支持ロッド接合→作業床上昇

シールドマシン・TBMアップダウン

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

1. 1,950トンのTBMリフトアップ (飛騨トンネル工事)

2. 2%勾配で掘削

3. ジャッキ

4. ステップロッド

5. ステップロッド

6. ダブルロックで安全搬送

7. 地下鉄シールドマシンのリフトアップ (東京メトロ副都心線工事)

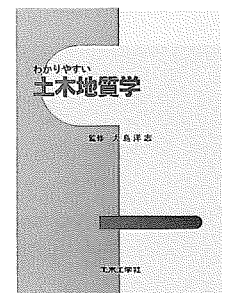
営業品目 ■ジャッキリース・オペレータ ■架台・型枠足場 設計・製作・据付工事

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. 地質踏査 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 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

要求性能を満たす 覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレータ装置

NETIS 登録 No.HR-080001-A



期待される効果・特徴

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

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.HR-080002-A



期待される効果・特徴

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

北陸鋼産株式会社

(旧社名 株式会社 佐賀)

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

射水工場：〒934-0056 富山県射水市寺塚原 720 番 1 TEL0766(82)1500 FAX0766(82)1501

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

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

濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0m³/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

《汎用車両全般》



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



10T ミキサー



4.5m³ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車両 取り扱っております

株式会社 フジテックス

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

■巻頭言

自然災害と土木構造物

菅野 幸裕.....5

■研究

早期閉合の効果を施工事例および数値解析より検討

小川 澄・楠本 太.....51

■施工

急傾斜地盤の安定性を監視しながらトンネルを掘削

—国道156号岐阜東バイパス 岩田山トンネル—

中舎 明正・大野 毅・青木 哲男・加藤 公章.....7

先進導坑から上部帯水砂層を水抜きで切羽安定化

—圏央道 笠森トンネル—

窪田 達也・小川 渉・藤本 克郎・濱西 将之.....17

狭隘道路下における14.5Rの急曲線を泥濃式推進工法で施工

—東京都下水道 世田谷区等々力三丁目付近枝線—

萩原 清志・鈴木 淳一・松本 文彦.....43

■連載講座

最新推進工法技術(9)

—推進工法の計画設計(1)—

「最新推進工法技術」連載講座小委員会.....61

■現場だより

古都「京都」の西方より

藤内 昭.....15

「自然豊かな海のまち」鳥羽より

伊藤 省二.....16

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

我がトンネル人生の記憶

齋藤 憲司.....29

■資料

Tunnel Wall

大島 洋志.....40

文献紹介

編集部.....68

土木情報

編集部.....50

工法・技術・製品ニュース

編集部.....69

トンネルジャーナル

編集部.....60

海外文献速報

JTA国際委員会.....70

■会報

会報

日本トンネル技術協会.....72

【表紙説明】

先進導坑から上部帯水砂層を水抜きで切羽安定化

—圏央道 笠森トンネル—



笠森トンネルは、圏央道の千葉県内に位置し、木更津JCT～(仮称)茂原長南IC間に計画された全長2,420mの山岳トンネルである。

トンネル周辺の地質は砂質泥岩である笠森層の上部に砂層主体の万田野層が分布している。この地層下における掘削では、補助工法と水抜きを駆使して対処していたが、掘削中に突如として最大8t/minに達する大量出水とともに土砂流出が生じ、その影響は18m上部の地表面まで及んだ。写真は、土砂流入状況である。

〔写真提供：国土交通省〕(本文17頁参照)

温泉とは？ 温泉の有効利用は？ この1冊であなたの疑問を解決します!!

続 きみの庭にも温泉が出る
その後の温泉開発と建設の考え方
 石井 康夫・俣野 恭寛 共著
 新書判217頁 本体価格1,200円(税込1,260円)

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

お申し込みは当社へFAX, または、お近くの書店にてお申し込みください

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

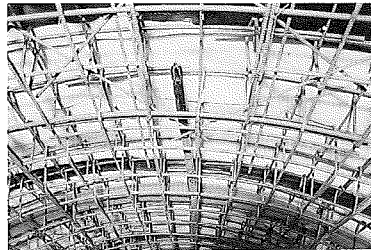
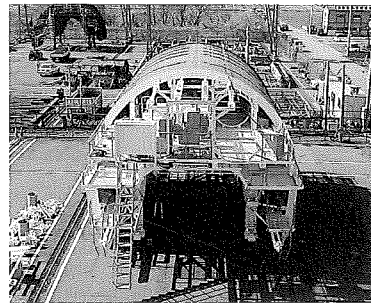
高品質なトンネル覆工に挑む

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

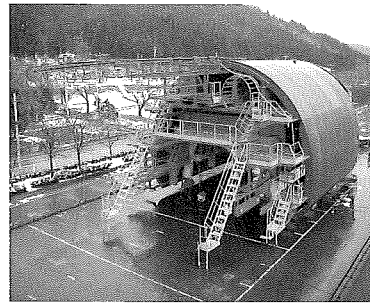
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【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

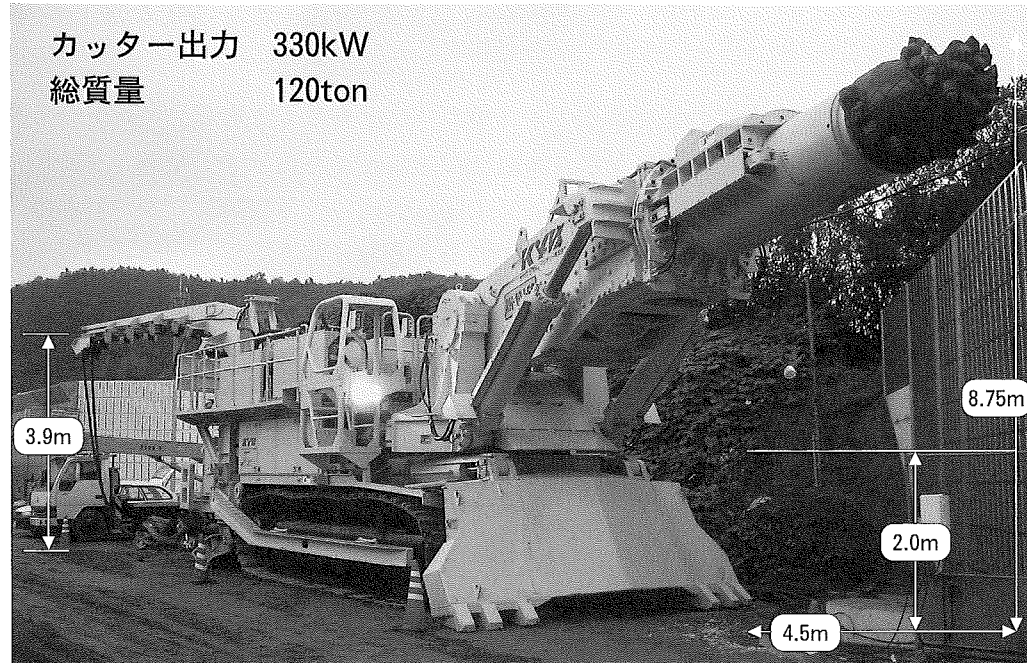
〔幹 事〕

居 相 好 信 株式会社大林組生産技術本部統括部長	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
岩 田 美 幸 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	濱 建 介 株式会社ANET取締役
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	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
大 津 敏 郎 株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部 トンネル専門主幹	松 原 利 之 飛島建設株式会社建設事業本部 エンジニアリング事業推進部長
金 山 洋 一 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	三 浦 克 株式会社竹中土木常務執行役員
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長	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16.5m(ゲーフルハンガーを除く)
- ・定格置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

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

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

木谷 日出男 国際航業株式会社技術センター 地盤研究室長	橋本 定雄 (元)東京都公営企業管理者下水道局長
今田 徹 東京都立大学名誉教授	濱 建介 株式会社ANET取締役
高橋 良文 東京都下水道サービス株式会社専務取締役	三浦 克 株式会社竹中土木常務執行役員

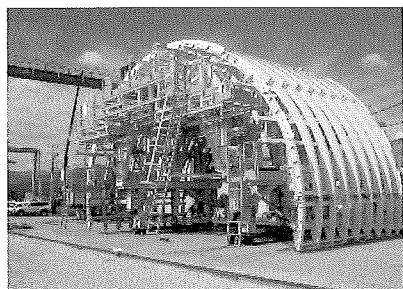
〔委員〕

大津 敏郎 株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部 トンネル専門主幹	新谷 康之 東京都下水道局建設部設計調整課長
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	高橋 晃 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
坂口 淳一 東京都交通局建設工務部計画改良課長	藤村 和彦 東京都水道局建設部工務課長
佐原 圭介 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐	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
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	焼田 真司 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員

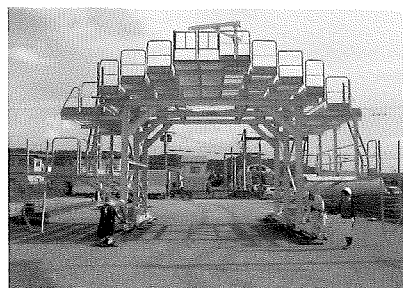
トンネル 二次覆工用型枠 総合メーカー

一歩前進！
～限りない未来への挑戦～

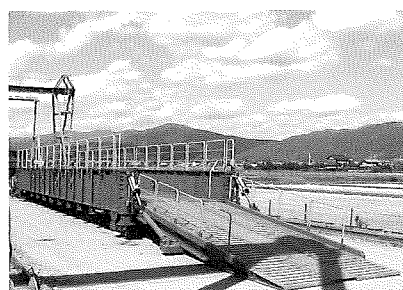
 大栄工機株式会社



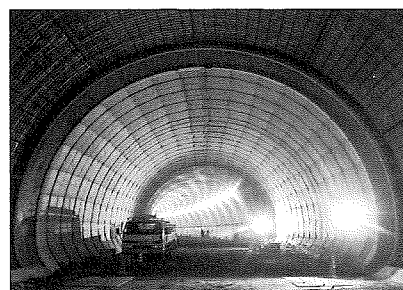
スライドセントル



作業台車



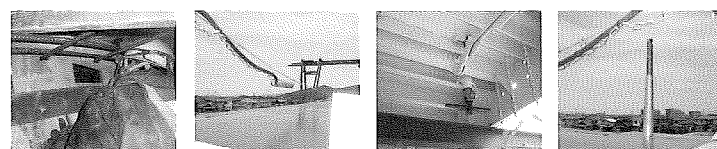
移動栈橋



NETIS登録番号 CB-09003-A
EPSパネル養生



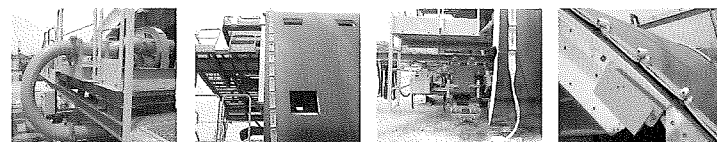
スチールフォーム(中流動コンクリート対応型)



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

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.43 No.2 掲載概要

掲載頁
7

急傾斜地盤の安定性を監視しながらトンネルを掘削
—国道156号岐阜東バイパス 岩田山トンネル—

国土交通省 中舎 明正

国道156号岐阜東バイパス岩田山トンネルは、斜面下に民家が存在する急傾斜地崩壊危険区域直下でトンネルを掘削するものである。

急傾斜地崩壊危険区域では、平成11年9月の台風による降雨で斜面崩壊が発生し、住宅の一部に被害が発生しており、また近年においても年に数回、斜面からの崩壊が自然発生している。このような環境下、急傾斜地に対して振動管理値を定め、振動計・雨量計によるモニタリングを実施し、斜面に近接するトンネル区間(L=232m)について、制御発破および機械掘削を段階的に採用し施工を行った。

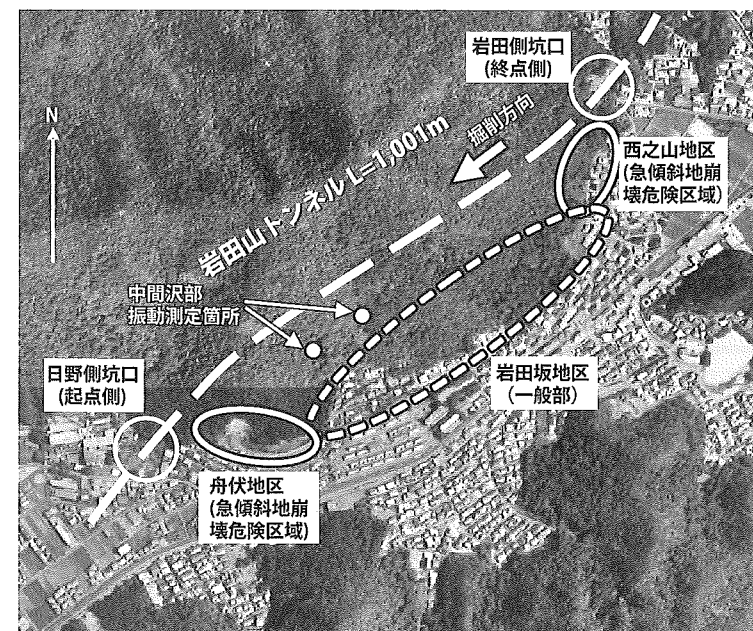
本稿では、急傾斜地斜面に配慮したトンネル掘削について述べる。

Excavation while Monitoring the Stability of Steep Slope—National Route 156 Gifu Higashi By-pass Iwatayama Tunnel—

By Akimasa Nakasha, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

This report gives information on Iwatayama Tunnel Project on National Route 156 Gifu Higashi By-pass to excavate directly beneath steep slope failure risk area under which private residences stand.

In the steep slope failure risk area, a slope failure occurred due to rainfall during a typhoon in September, 2011 which caused damage to some houses. There have also been natural occurrences of rock fall a year in recent years. In such a condition, oscillation criterion was determined for tunneling under steep slopes, monitoring was conducted with vibroscopes and a rain gauge. Construction phased in controlled explosions and machine excavation for approximate section to the risk area.



写真はトンネルと民家および急傾斜地崩壊危険区域との位置関係

笠森トンネルは、圏央道の千葉県内に位置し、木更津JCT～(仮称)茂原長南IC間に計画された全長2,420mの山岳トンネルである。

トンネル周辺の地質は砂質泥岩である笠森層の上部に砂層主体の万田野層が分布している。これらの地層境界はトンネル断面内に位置し、地下水が帯水しているため、切羽を不安定化させる要因となっていた。この地層下における掘削では、補助工法と水抜きを駆使して対処していたが、掘削中に突如として最大8 t/minに達する大量出水とともに土砂流出が生じ、その影響は18m上部の地表面まで及んだ。

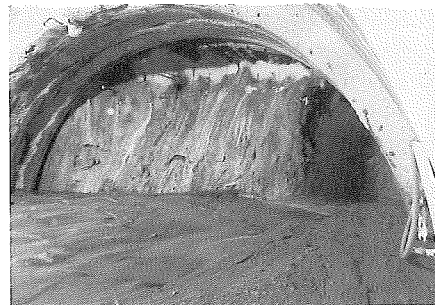
本稿では、技術検討委員会を設置して大量出水の発生原因とその後の対策工について検討し、施工結果からその有効性について評価するとともに、本件から学んだ教訓について報告するものである。

Face Stabilization with Draining Water from Sand Aquifer through Pilot Tunnel—Ken-O Expressway Kasamori Tunnel—

By Tatsuya Kubota, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

Kasamori Tunnel is a mountain tunnel of 2,420 m in length located between the Kisarazu Junction and Mobarra Chonan Interchange (temporary name) of the Ken-O Expressway in Chiba Prefecture.

The geological conditions surrounding the tunnel are composed of Mandano Formation of mostly sandy soil and Kasamori Formation of sandy mudstone which lies below. This geological formation boundary was



写真は土砂流入状況

appeared on the cutting face and caused destabilization of the face because of groundwater on boundary. Tunnelling auxiliary methods and drainage were freely used to deal with the excavation of this ground but huge mine water and ground collapse in the face suddenly occurred. Mine water volume reached a maximum of 8 t/min and an effect extended to up to 18 m on the ground surface.

This reports that investigation of the causes of large volume flooding and countermeasures for this by a technological investigation committee that set up after accident, evaluation of validity based on construction results and lessons learned during this construction.

等々力三丁目付近枝線工事は、周辺地域の浸水被害の低減および汚水排水能力の向上を図るため、施工するものである。

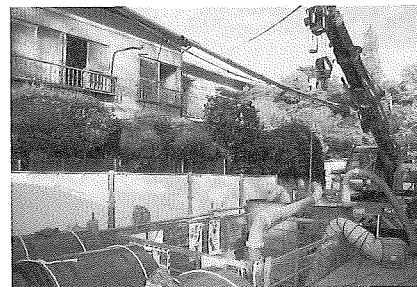
本工事は閑静な住宅街にあり、使用可能なヤードスペースが限られていることから、省スペースで作業が可能な「泥濃式推進工法」を採用した。狭小スペースに対応した省力化された車上プラント化により夜間の交通を確保することで、住民生活への影響を最小限に抑制し、また、掘進機回収用の到達立坑を不要とした既設人孔への直接到達、および住宅街の限られた道路線形に応じた超急曲線(14.5R)推進を行う非常に難易度の高い工事である。

Slurry Microtunnelling a Curve of 14.5 m in Radius using Narrow Road as Facility Yard—Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government Branch sewer near Todoroki 3-chome, Setagaya-ku—

By Kiyoshi Hagiwara, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

The branch sewer works in the vicinity of Todoroki 3-chome are construction in order to reduce inundation in the surrounding area and to improve sewage drainage capacity.

These works were conducted in a quiet residential area and due to the fact that usable construction yard space is limited, employed technique of the Slurry Microtunnelling makes it possible to save space while working. These were extremely difficult works: ensuring traffic flow at night with labour-saving facilities on vehicle that responded to small spaces. The excavation machine had to be pulled back to starting shaft from an existing manhole as arrival point of the branch sewer. And Tunnelling machine was driven on a very acute curve (14.5 m in radius) along under roads in the residential area.



写真は現場施工状況

山岳トンネルの安定は、グラウンドアーチの形成による自立を基本にしている。脆弱で粘土質の断層破砕帯や強度不足の押し出し性地山などでは、トンネルは不安定になりやすく、大変位や支保工の変形、破壊などが発生し、縫返しを余儀なくされる場合がある。近年、このような不良地山などにおいて、上半切羽から吹付けコンクリートや鋼インバート支保工などにより早期にインバートを施工し全断面を一気に閉合する工法(早期閉合)が多く採用されている。しかし、これら早期閉合に関する具体的な設計方法や施工方法などに明確なものはなく各現場により対応されているのが現状である。

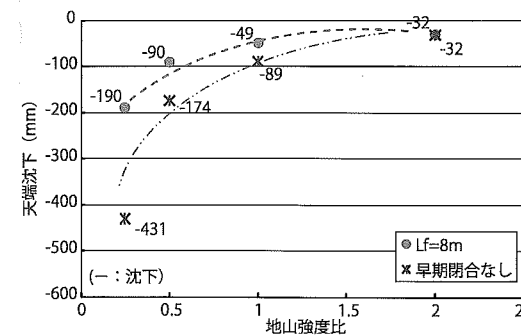
本稿では、早期閉合の効果や挙動特性について、早期閉合を採用し大変位を克服した道路トンネル22事例からその施工実績を整理・分析し、さらに、数値解析によりその有効性を検証して、今後の早期閉合の設計や施工方法確立に向けての一助とするものである。

Evaluation of Effects of Early Completion of Primal Lining with Construction Records Survey and Numerical Analysis

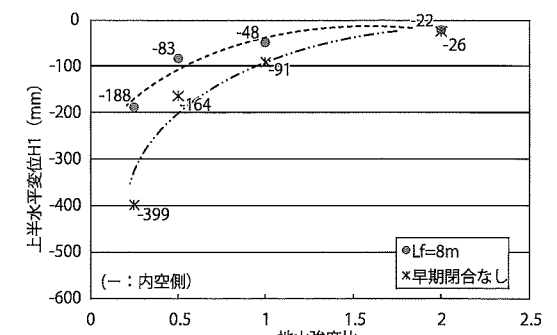
By Kiyoshi Ogawa, Nippon Expressway Research Institute Company Limited

The stability of mountain tunnels has its foundations in stability due to the formation of ground arch. In soft clayey fault fracture zones and weak squeezing ground, it is easy for ground to become unstable and there are cases that rebuilding of supports is unavoidable because of large displacement, deformation or failure of support structures. In recent years, against this kind of undesirable ground, inverts have been built early with shotcreting or building invert strut etc. from on the bench to complete primal lining around whole cross-section early on. However, there was no clear design or construction code for this technique and it is the current situation that the technique has been implemented on project's own accord.

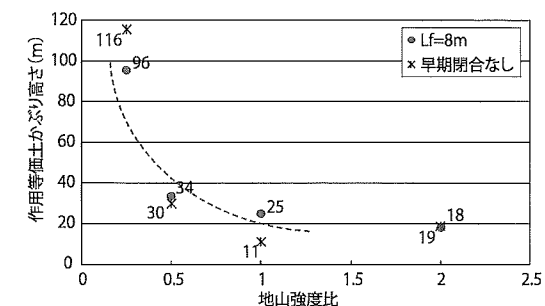
This report organizes construction records from 22 examples of road tunnels that overcame large displacement by employing this technique and analyses its structural effectiveness and characteristics. Further, it verifies validity with numerical analysis to help to establish the code of design and construction for this early completing lining technique.



地山強度比と天端沈下



地山強度比と上半水平変位

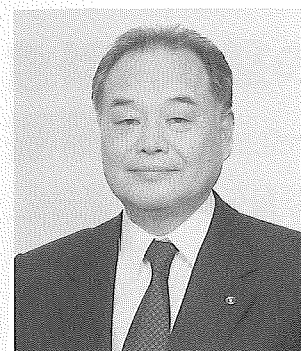


地山強度比と作用等価土かぶり高さ
図は数値解析結果による地山強度比との関係

自然災害と土木構造物

若築建設(株)代表取締役社長(本協会評議員)

菅野 孝裕



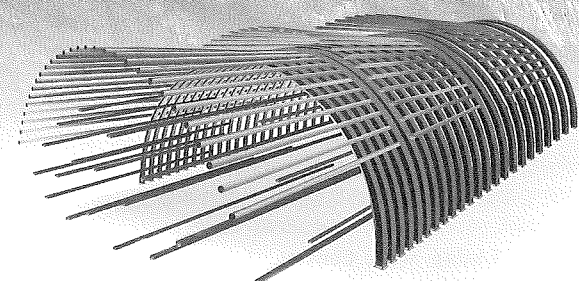
まず始めに東日本大震災で被災され亡くなられた方々のご冥福をお祈りするとともに、現在なお不自由な生活を余儀なくされている方々に改めてお見舞い申し上げます。

地震後、状況把握のため私も被災地に足を運びましたが、われわれの手がけた防波堤は津波によって押し流され転倒、岸壁は地盤沈下により荷揚げ施設など機能しない状態、海岸付近の市街地はガレキの山と化し、技術者として暗澹たる心持ちとなりました。

今回の震災でこれほどまでの大きな被害をもたらした原因の第1は津波です。各地で設計基準を超えた高さの津波が防潮堤を容易に乗り越え、あらゆる物を飲み込み甚大な被害となりました。福島第1原発でも設計基準を超える津波により被災を受け原子力災害を起こし現在に至っています。設計基準を設定した時点で津波に対する備えはできしており、津波による災害はないという前提での防災計画、安全管理計画であったため、自然災害ではなく人災であるという方もおられますが、その判断は読者の方それぞれの判断にゆだねたいと思います。第2はプレート移動による地盤沈下です。東北地方は地震で太平洋側へ移動し、かつ沈み込んでいます。現在も塩水につかっている田畑は広大であり、その復旧を考えると農業への影響は計りしれません。第3は地盤液状化の問題です。東北地方ばかりでなく東京湾周辺でも広範囲にわたり大きな被害を受けています。地震動では問題視されているものに長周期地震動があります。数秒以上の周期でゆっくりと揺れ、継続時間の長い地震動のことであり、2003年の十勝沖地震で苫小牧の石油タンクが火災を起こしたことでクローズアップされました。長周期地震動の影響範囲は広く、今回の地震では東京都内の高層ビルの多くに細かなひび割れが発生したばかりでなく、震源地から遠く離れた新潟県の石油タンクでスロッシングにより屋根上に液体の流出がありましたし、大阪の高層ビルで構造的な被害はないものの大きな揺れがあったことが確認されています。耐震基準の強化、見直しが急がれるところです。

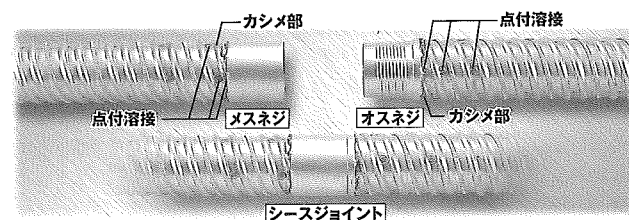
トンネルなどの地下構造物に触れておきますと、従来から地震動に対して比較的安全

ユニークな発想と高品質・自信の価格



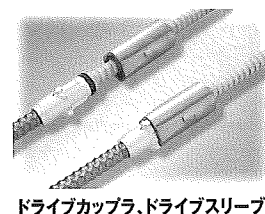
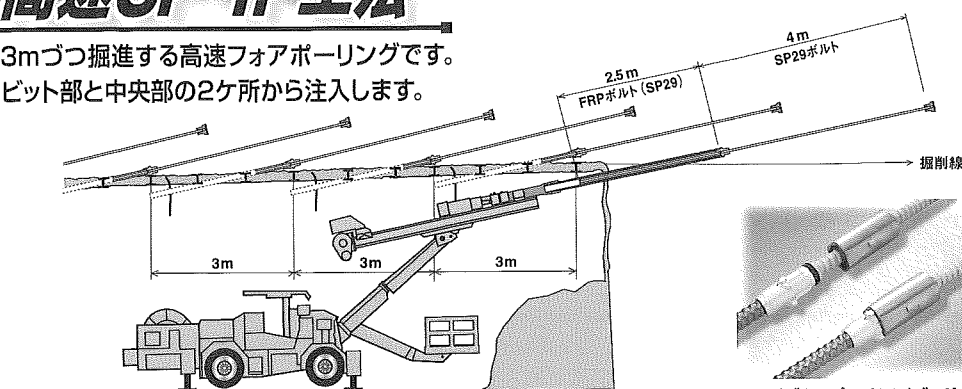
FIXチューブ工法

※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。



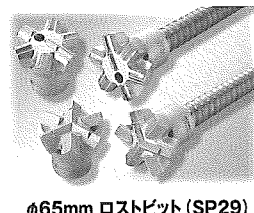
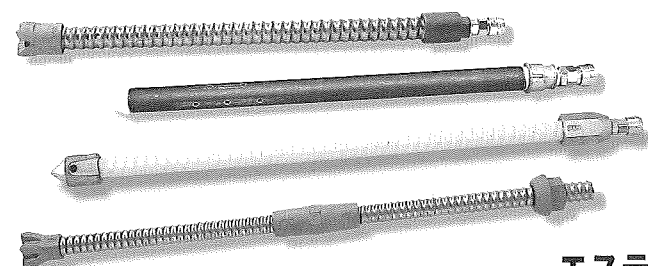
高速SP-IF工法

※3mづつ掘進する高速フォアポーリングです。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

であるとされていましたが、今回も大きな災害事例はありませんでした。しかしながらM9、震度7という過去に例のない地震を経験した構造物は長期にわたる経過観察が必要と思われる。

地震以外の自然災害においても、地球温暖化の影響から各地で過去に経験のない現象が起こっています。最近の例を申し上げますと、9月の台風12号では上北山村で総雨量2,400ミリ超を観測するなど、記録的な大雨で紀伊半島の洪水、土砂災害が発生しました。11月の台風15号では東海地方に上陸、日本列島を縦断し前線を刺激したことにより大雨となり一時140万人以上に避難勧告が出されました。羽田空港では最大瞬間風速40mと過去最大を記録しています。徳之島で11月に起こった竜巻は3名の死者を出していますが、原因は現在の観測技術では捉えられないような小さな積乱雲であったようです。

設計基準はその時々科学的根拠にもとづいて設定されるものです。われわれ技術者は経験した悲惨な災害、事故を教訓にその都度基準を見直し、信頼できる構造物構築に努力してまいりました。今回の地震で地震動、津波に対しての基準が見直されることは当然ですが、前述しましたそのほかの自然災害については気候変動のスピードが速く近い将来、設計基準を超える現象が生じ災害が起きるのではないかと憂慮してやみません。つまり、100%安全な構造物はないといっても過言ではないと思われます。かといって土木技術者にとって、過度の安全・安心のために過度の費用を費やすことは許されません。

最近、「防災から減災へ」という考え方が徐々に浸透しつつあります。災害を完全に防ぐのではなく、災害が起こったときにいかに被害を小さくするかという考え方です。福島第1原発の事故を教訓に100%安全な構造物はないといった発想で第1歩を踏み出し、災害を予測したうえでの構造物の緊急供用停止、防災設備受益者への連絡、誘導、避難などに加え、その情報ネットワークを確立することにより減災の程度は高まるのではないのでしょうか。少なくとも尊い人命の損失は避けなければなりません。

3.11震災ではさまざまな科学分野のさまざまな機関が検証を行っているところです。新技術、新工法で構築された構造物も多々ありますので、今後公表される検証結果を土木技術者として注視し、安全度のより高い土木構造物の提供に寄与したいと思います。

施工

急傾斜地盤の安定性を監視しながらトンネルを掘削

—国道156号岐阜東バイパス 岩田山トンネル—

国土交通省中部地方整備局岐阜国道事務所工務課工務第二係長 中 舎 明 正
 国土交通省中部地方整備局岐阜国道事務所工務課 大 野 毅
 佐藤工業(株)名古屋支店岩田山トンネル作業所作業所長 青 木 哲 男
 佐藤工業(株)名古屋支店岩田山トンネル作業所監理技術者 加 藤 公 章

1 工事概要

国道156号は、岐阜市街(羽島郡岐南町)を起点に、北へ富山県高岡市まで伸びる約200kmの国道で、古くから交通の要衝とされる岐阜において主要な路線である。

このうち(仮称)岩田山トンネルは、長良川鶴飼や織田信長の居城として有名な岐阜城(金華山)から東へ約3.5kmに位置し、岐阜東バイパス3工区に計画された延長約1kmの2車線トンネルである。

岐阜東バイパスは岐阜市市街地の慢性的な交通渋滞を解消するため計画され、岐阜の市街部を迂回する岐阜環状線の一部を構成し、南側の1工区から順次工事を開始し、昭和62(1987)年に1工区完成、平成19(2007)年に2工区完成、現在工事中の3工区は平成25年度中の部分供用を目指し工事が進められている。

本トンネルは民家や急傾斜地崩壊危険区域に近接して計画されていることから、トンネル建設工事に伴う周辺環境への影響を考慮したトンネルの施工法が求められた(写真-1)。

標準断面図を図-1、工事概要を表-1に示す。

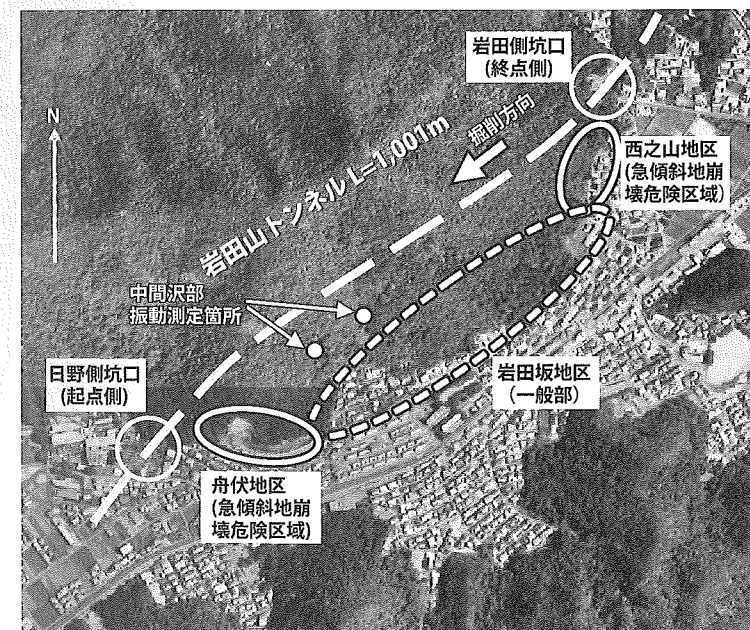


写真-1 トンネルと民家および急傾斜地崩壊危険区域との位置関係

3-1 自然災害による岩盤崩落対策

3-1-1 斜面の現況把握

対象となる斜面の現況把握(転石の有無、亀裂の有無、不安定と想定される岩塊の抽出)のため緩斜面部に対しては現地踏査、急斜面部に対してはロッククライミング調査(専門技術者によるロッククライミング技術を利用した高所急斜面近接観察)を実施した(写真-3)。

また、既存防護対策設備のうち落石防護ネットについて吊りアンカーの引張試験などを実施し、ネットの健全度を確認した。結果、アンカー引張強度は問題なかったが、一部ネットの変形などがみられたため、斜面管理者により平成21年3月までに補修が行われている。

調査により一部不安定と想定される岩塊ブロックが確認されたが、総合的にみてトンネル工事に先行した自然災害に対する新規の対策は必要ないと斜面管理者により判断された。

3-1-2 異常降雨、地震発生時の対応

トンネル掘削期間中は、基準値を設定し、異常降雨・地震発生時の巡視を行った。とくに降雨量については転倒ます型雨量計を設置し、自動計測により現地のリアルタイムな降雨量を把握した。



写真-3 ロッククライミング調査

斜面管理者と協議し運用した降雨時の対応方針および基準値を表-2に示す(平成22年6月1日より運用開始)。

また地震に関しては、震度3以上(於 気象庁、岐阜市加納二の丸観測点)が記録された場合に、表-2のうち③の対応を行うこととした。

目視巡回時においてはロッククライミング調査をもとに監視ポイントを定め巡視を行った。

施工中の気象は、降雨に関してはトンネル貫通時点までで連続雨量80mm超が6回、このうち100mm超が2回記録されたが、いずれも斜面異常はみられず、順調に工事を進めることができた。

地震に関しては、運用開始後、震度3以上の地震は2011年3月11日の東日本大震災時の1回のみであったが、斜面異常はみられなかった。

3-2 発破振動による岩盤崩落対策

発破振動による岩盤崩落対策として振動管理基準値を設定し、振動計を斜面に設置しオンライン管理することとした。

以下に対策工の詳細を記載する。

3-2-1 振動管理基準値の設定

地震による斜面への影響を考えた場合、震度3を影響の有無の境界と仮定すると、このときの振

表-2 岐阜東BP・舟伏地区急傾斜地斜面对応方針(連続雨量)

《対应手順》	
①	テレメータで忠節橋および岐阜土木の連続降雨量を確認 → 確認者：事務所工務課 ・連続降雨量60mmを超えたら体制を確保 ・斜面管理者と連携 ※現地に雨量計を設置した後は、その雨量計により判断
②	注意報が発令され、連続降雨量80mm超えて、斜面管理者がパトロール開始 → パトロール結果は岐阜国道に情報提供あり(2時間に1回程度) ・注意報解除まで実施 ・異常などが発見された場合は、受注者に掘削中止連絡。斜面管理者の対応が決まるまで掘削中止
③	連続降雨量100mm超えて、受注者がパトロール実施 → 3時間に1回実施 ・異常などが発見された場合は、斜面管理者に連絡。斜面管理者の対応が決まるまで掘削中止 ・日没まで実施
リセット：雨量0mm→3時間	

表-3 岩盤斜面に対する振動速度の影響(Oriardによる)

振動速度：in/s【cm/s】	岩盤斜面に対する影響
2~4【5.1~10.2】	斜面の浮石が落下
5~15【12.7~38.1】	ゆるんだ岩石の崩落
25以上【63.5以上】	弱い斜面に損傷が起こる

動速度は気象庁の示す震度階級と振動加速度の関係から換算すると1.26~4.0cm/sとなる¹⁾。

一方、発破振動による岩盤斜面に対する影響は、既存の研究の報告によると²⁾、振動速度5cm/s以上で影響があると言われている(表-3)。

本工事における振動管理基準値は、他工事での設定例なども考慮し、表-3の振動速度5.0cm/sに対し10倍の安全率を見込んだ0.5cm/sと定めた³⁾。

3-2-2 掘削工法の区間設定

一般に使用されるトンネル心抜き発破に対する地盤伝播係数K値(450~900)⁴⁾をD I(採用K値=563)→C II(K値=675)→C I(K値=788)→B(K値=900)の4つの掘削支保パターンごとに段階的に振り分け、当初設計支保パターンにおける振動値を予測した。これより、振動管理基準値0.5cm/sを満たす制御発破掘削、機械掘削など、各掘削工法の区間を設定した。

以下に、計画に使用した振動速度予測式⁵⁾を示す。

$$\text{算出式： } V = K \times W^{0.75} \times D^{-2}$$

V：振動速度(cm/s)

K：地盤伝播係数(発破条件や岩盤特性によって変化する係数)。一般にトンネル発破の心抜きでK=450~900

W：斉発量(1段あたりの薬量)(kg)

D：発破場所からの距離(m)

3-2-3 実施工における事前振動測定

(1) 岩田側坑口での振動測定

トンネル掘削は岩田側坑口より開始した。岩田側坑口も西之山地区急傾斜地崩壊危険区域に近接しているが、斜面状況は舟伏地区急傾斜地崩壊危険区域に比べ緩斜面であり安定していた。

ただし、トンネルとの離隔は最短部で70mほどと近いと、斜面上岩盤部および民家部の計5か所に振動計を設置し、舟伏地区と同じ振動管理基

準値0.5cm/sを採用し、振動管理を行い掘削した。また、こちらで得られる振動値からK値を把握し、日野側舟伏地区の発破パターンへ反映することを目的とした。

しかし結果は、坑口近辺であり地山状況が不良だったことから、振動基準値以下で発破掘削はできたものの、算出したK値のバラツキが大きく、地質の特性を推定するに至らなかった。

(2) 中間沢部での振動測定

上記の岩田側坑口での結果を受け、なるべく舟伏地区急傾斜地崩壊危険区域に近く、ほぼ同様の岩盤状態が期待できる地点での事前振動測定を試みた。

その条件に適合する箇所として、トンネル切羽からの離隔が小さく、地盤状況の比較的良好な中間沢部2か所を選定し(写真-1)、トンネル掘進長TD420~728m区間で、通常発破時における振動測定を行った。結果は、振動速度測定値0.0143~0.0381cm/sと非常に小さな値であり、K値も測定平均値165と前述の一般的な数値をかなり下回る結果であった。

3-2-4 制御発破パターンの決定

岩田側坑口で明確にK値が把握できなかったことから、沢部で得られたK値も非常に小さな値だったことから、事前計画時に用いたK値を使用し発破パターンを作成した(図-3)。

爆薬は含水爆薬を、雷管は1/1,000秒単位で秒時差を制御できるIC雷管を使用した。掘削断面積(全断面)約80m²に対しD Iパターンで全98孔を計画し1孔1段の制御発破とした。

本パターンにもとづいて制御発破区間に着手した。

3-2-5 舟伏急傾斜地における発破振動管理

ロッククライミング調査をもとに選定した位置に振動計を設定した。最終的な振動計設置数は10か所、測定データは自動計測、集中管理とした(写真-2)。

図-4に発破振動の管理フローを示す。発破ごとの振動測定値からK値を逆算し、これを用いた発破の振動値を予測し、振動管理基準値を遵守する

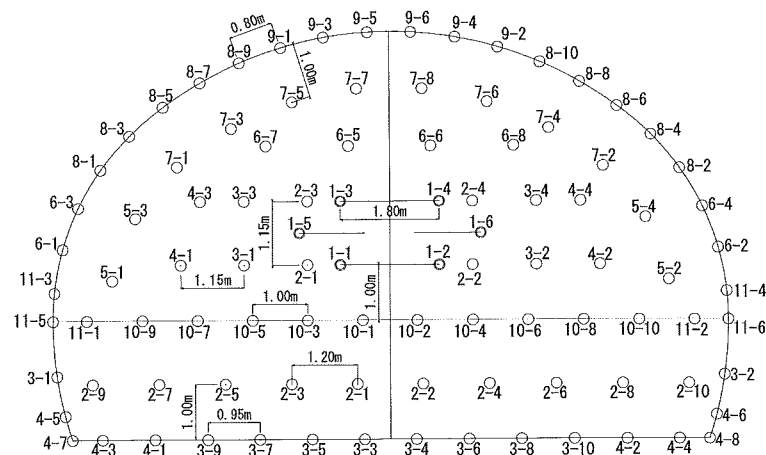


図-3 発破パターン図(DI-b-s)

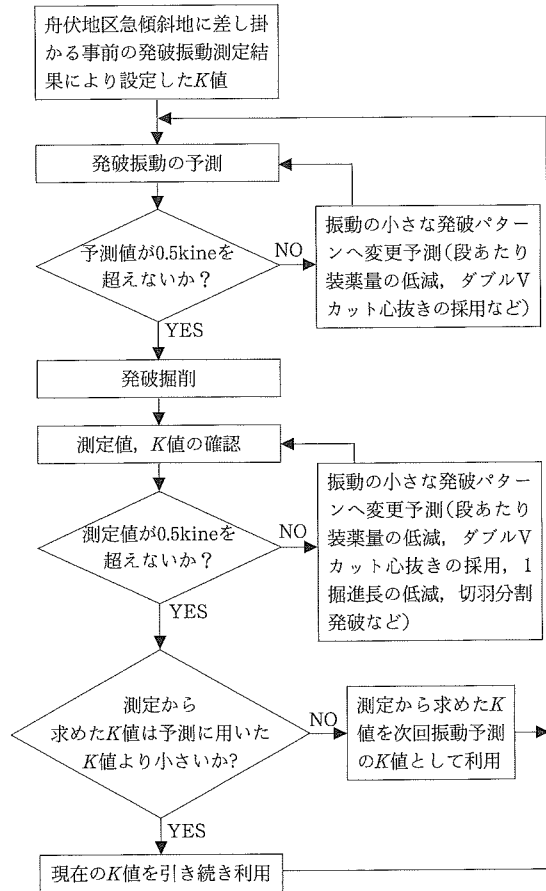


図-4 発破振動管理フロー

ことで、舟伏地区の急傾斜地および周辺民家の安全を確保し、掘削を進めるものとした。

しかしながら、実施工においてはモニタリング箇所と切羽位置が近づくにつれ、大きくK値がば

らつき出し、次発破の振動値予測が難しくなった。

この傾向はとくに測点P5において顕著であった。その他の9測点においては想定より振動値が小さく管理基準値をかなり下回るものであった(図-5)。

測点P5は崖上自然斜面の土砂上に設置されており、岩盤に設置された他の9点と比べ、バラツキが発生していると考えられた。振動値は最大で振動管理基準値ギリギリの0.47cm/sを

記録した。1発破ごとに測定値が上下し、振動管理基準値予測を非常に難しくさせた。

このため代替の参考指標として、振動速度値とスケールディスタンス値(薬量平方根換算距離)の相関性を近似化し、次発破の発破パターン計画に生かすこととした⁹⁾。これは振動値予測の際、海外において多く用いられる指標である。

スケールディスタンス値は下式による。

$$\text{スケールディスタンス値} = D/W^{1/2} (\text{m/kg}^{1/2})$$

D: 発破地点と計測箇所の離隔距離(m)

W: 斉発量(1段あたりの薬量)(kg)

図-6が今回施工で得られた測点P5における上記相関図である。プロットデータは図-5と同じく制御発破を実施したTD722~917m区間のものである。

各発破ごとに得られたスケールディスタンス値と振動速度値の相関近似式より、次発破で使用する火薬量(斉発量)を求め、次回の発破パターンを策定した。

これにもとづき、現場切羽地山状況に応じ堅固な部分に対しては最小抵抗線を小さくするため孔数を増やすなどの対応を行い、策定斉発量の確保を図った。

結果、いずれの発破においても振動管理基準値0.5cm/s内に収めることができ、予定位置まで制御発破を実施し当初計画どおりに機械掘削区間へ切り替えることができた。

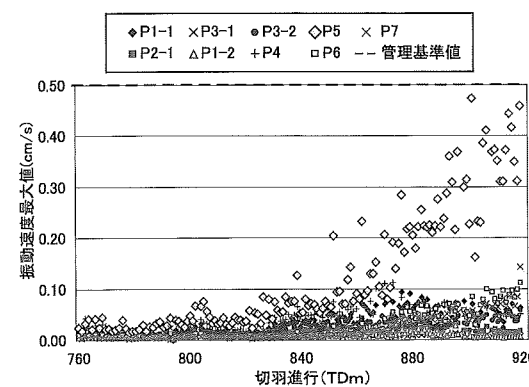


図-5 発破振動推移

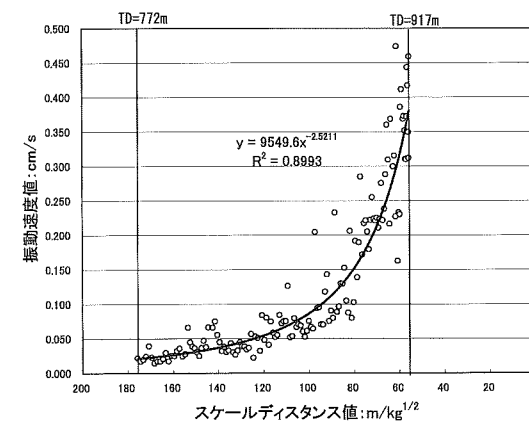


図-6 振動-スケールディスタンスの関係

3-3 因果関係の確認手法の試行

施工において振動管理基準値を用い管理を行ったが、仮に斜面崩壊が発生してしまった場合、工事に起因するものか、降雨など自然条件によるものかの因果関係の把握が課題となる。

これに対する確認として、発破振動データを利用し、岐阜大学の協力のもとトンネル施工法検討委員会で提案されたRMS解析⁹⁾を試行した。

RMS解析は、振動による転石などの危険度調査手法として、上部不安定度の高い岩塊ブロックと下部基盤部の振動特性の相違を解析することにより危険度判定を行うものであり、国土交通省土木研究所および旧日本道路公団の試験所で研究・提案されている。

解析による危険度指標値が、発破施工前と発破施工後も変化がないことがわかれば、工事完了後においても工事による斜面への影響はなかったと

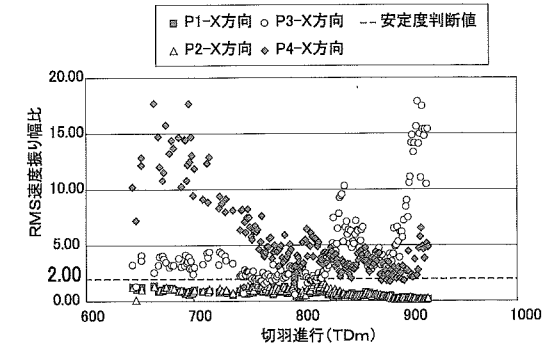


図-7 RMS速度振り幅比推移図

いえる。

RMS解析の指標の1つに、斜面浮石部の危険度を判定するRMS速度振り幅比がある。

$$R = \sqrt{\sum Y_i^2/n} / \sqrt{\sum X_i^2/n}$$

ここで、

R: RMS速度振り幅比

X: 基盤部での時系列の振動速度振り幅

Y: 浮石部での時系列の振動速度振り幅

n: サンプル個数

安定度の判定として、RMS速度振り幅比R(浮石部振動速度/基盤部振動速度)に対して、

R < 2.0: 浮石部は安定していると想定される

R ≥ 2.0: 浮石部は不安定であると想定される

あわせて、浮石部の揺れの速さを示す卓越周波数、および揺れの収まりやすさを示す減衰定数とを解析により求め、それぞれRMS速度振り幅比と比較することで最終判定が行われる。

本工事における発破時のRMS速度振り幅比の測定結果を図-7に示す。

P1およびP2については比較的安定していると判断されるが、P3およびP4についてはR > 2.0と不安定な状態であることが想定される。

ただし、不安定岩盤と推定された測点P3-2(RMS速度振り幅比: P3=((P3-2)/(P3-1))の振動速度は最大で0.05cm/s、同P4(RMS速度振り幅比: P4=P4/(P2-1))の振動速度は最大で0.08cm/sと非常に小さい値であった。

なお、振動計測器の仕様は以下のとおりである。
振動計: 3方向振動速度計HSJ-3D
ジオスペース社製

表-4 計測器設定事項

振動種別	サンプリング 周波数	備 考
常時振動 (雑振動)	100Hz	連続記録
発破振動 (強制振動)	1,000Hz	トリガー記録(トリガー値0.01 cm/s), プリトリガー1秒

固有共振周波数：14Hz

最小分解能：0.0013cm/s

設定事項：表-4

最終判定に関しては現在も解析中であり、ここでの詳細な記載は見送るが、RMS解析の急崖斜面への適用、発破振動の継続的な記録は過去にほとんど事例がなく、今後の有効活用が期待される。

4 考 察

急傾斜地におけるトンネル掘削対策として採用された各種対策結果について以下に述べる。

- ・ロックライミング調査により、詳細な地形・地質状態を把握できたことで、適切な箇所への測定機器の設置が可能となり良好な測定結果が得られた。
- ・発破振動予測値を時系列変化から予測することにより、振動管理基準値を遵守することができた。
- ・振動管理基準値0.5cm/sは、不安定と想定される岩塊を含む急傾斜地斜面におけるトンネル発破掘削の管理値として妥当であった(斜面崩落なく掘削を完了できた)。

今後の同種の施工においても、対象となる急傾斜地の状態によるが、0.5cm/sを管理下限値として設定すれば、斜面の崩壊は起こらないものと考えられ、この管理下限値を参考としながら、地山状況や民家接近状況に応じて管理値を大きくしていく設定をしていけば良いと考える。

またRMS解析についても、本工事の振動データが生かされ今後の類似工事の参考になれば幸いである。

これら対策の結果、工事は滞ることなく順調に発破区間の施工を終えることができた。これにより無駄のない対策工体制が確立・維持され適切な人員・資機材の手配が可能となり、より円滑な施工ができた。

その後の機械掘削も順調に終え、平成23年5月17日無事貫通の運びとなった。

参 考 文 献

- 1) ジェオフロンテ研究会：気象庁震度階級と対応する振動速度、現場技術者のための制御発破工法の実際(第2刷)、p.8, 2005.12.
- 2) 下村弥太郎：露天掘における斜面安定(その3)、pp.30-38, 石灰石, No.178, 1979.
- 3) 日本建設機械化協会施工技術総合研究所編：第1回岩田山トンネル施工法検討委員会資料1-4.
- 4) 日本火薬工業会：発破振動推定式、あんな発破こんな発破発破事例集, p.3, 2002.3.
- 5) チャールズ H. ダウディング著・佐々宏一監訳：発破振動の測定と対策, 山海堂, 1995.12.
- 6) 日本道路公団試験研究所土工研究室：落石危険度振動調査法調査マニュアル(案), 2002.2.

E. フック・E. T. ブラウン共著

岩盤地下空洞の設計と施工

理学博士 小野寺透・工学博士 吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳

B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(¥450円)

株式会社 **土木工学社**

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

古都「京都」の西方より

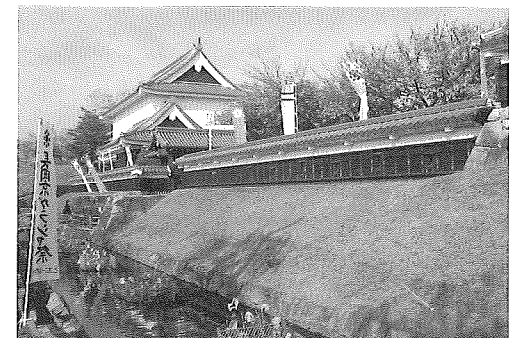
藤内 昭



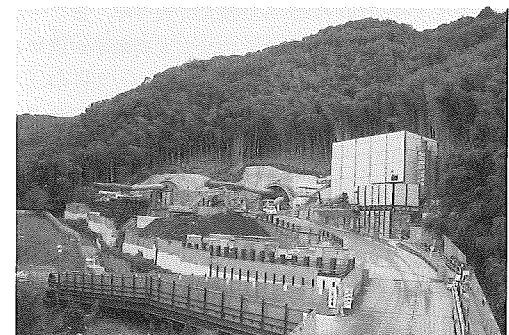
長岡京市は、古くは都が平安京に遷都される前の784年から10年間に長岡京として栄えた町である。京都東寺から兵庫西宮までの西国街道の宿場町で、桂川、宇治川、木津川の合流地でもあり、交通の要衝として賑わった。また、京都の西方極楽浄土の世界への入り口とされ、西山に広がる豊かな土地、美しい自然、貴重な文化財、交通の至便さに恵まれた地である。現在はJR、阪急電車が走り、京都と大阪の中間に位置する双方の衛星都市となっている。

時は天正10(1582)年6月13日。織田信長を本能寺で討ち果たしてから11日が経つというのに、いっこうに援軍は現れず、頼りとする細川藤孝・忠興親子には裏切られ、明智光秀は一人長岡京の勝龍寺城に陣取っていた。この城は、光秀の三女・玉(のちの細川ガラシャ)が細川忠興のもとに興入れし、2年間に夫婦で過ごした所である。片や豊臣秀吉は中国遠征から大返し、山崎の天王山に陣を構えた。昼過ぎに戦いは始まった。戦闘開始から3時間、多勢に無勢、圧倒的な戦力差に明智軍は敗れ、津坂本城を目指して退却中、伏見で土民に……(ああ、哀れ)。

京都第二外環状道路は、東名高速大山崎ICで分岐し日本海側宮津に至る京都縦貫自動車道のうち、大枝IC〜久御山ICをつなぐ総延長15.7kmの片側2車線、上下4車線の自動車専用道路である。西山トンネルは長岡京市奥海印寺から京都市灰方までの2.2kmの上下線2本のトンネルで、当社は長岡京市側約1.6kmを担当している。地質は丹波帯で、泥質混在岩中に破碎帯が連続し非常に軟質で湧水が多いため、小口径長尺鋼



勝龍寺城



西山トンネル奥海印寺工区坑口

管先受けを採用する一方、切羽に大きな砂岩やチャートの転石が出現するため、部分発破も行っている。

平成23年2月より上り線の掘削を開始し、1か月遅れて下り線がスタートした。平成23年11月末現在、上り線570m、下り線480mまで進捗している。

住宅団地や老人ホームなどがトンネル坑口近くにあるため、騒音・振動抑制対策も実施している。また、坑口前を清流・小泉川が流れ、絶好のハイキングコースとなっている。例年6月にはゲンジボタル祭りが現場内で開催され、ホタルの舞う西山里山の環境保全にも積極的に取り組んでいる。

平成24年度完成を目標に、地元の方々のご理解と発注者のご支援を賜りながら、現場職員・作業員一丸となり「危険視える化運動」を推進し、安全施工で工事を遂行する所存である。

(三井住友建設(株)西山トンネル奥海印寺工区工事所長)



位置図



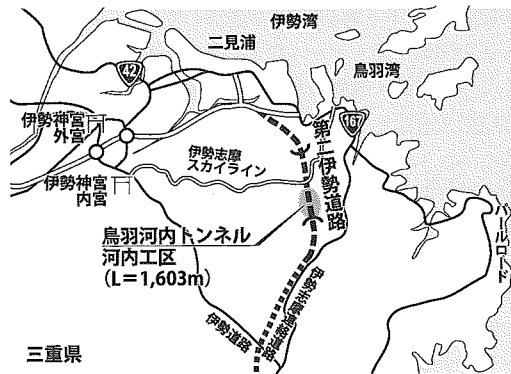
「自然豊かな海のまち」鳥羽より

伊藤 省二

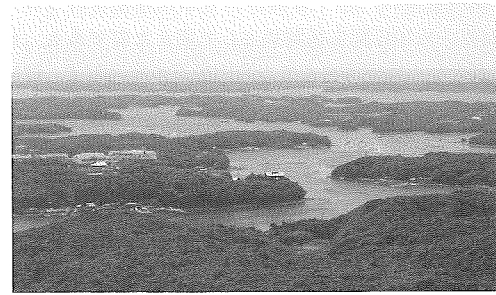
美しい景観に彩られた伊勢志摩国立公園の「海の玄関口」である鳥羽。鳥羽という地名は、この地域が戦国時代、海上交通の要衝であり、船の泊まり場であったことから「泊場」と呼ばれていたことに由来する。現在は鳥羽水族館やミキモト真珠島など魅力的なスポットがたくさんある人気の観光エリアとなっている。また小説家・三島由紀夫の代表作『潮騒』など多くの文学作品のモチーフとなった風光明媚な土地であり、観光船や定期船で鳥羽湾の美しい景色を眺めながら、離島巡りを楽しむのもお勧めである。また地元の名店で味わう新鮮な海の幸、海沿いを走るパールロードの爽快ドライブや道路沿いからは雄大な太平洋、また一歩足を延ばせば日本有数の美しいリアス式海岸が望めるなど鳥羽の魅力は尽きることがない。

第二伊勢道路は、三重県志摩市を起点とし伊勢市に至る延長約20kmの新たな幹線道路である「伊勢志摩連絡道路」の一部として、鳥羽市白木町から伊勢市二見町松下に至る7.6kmについて整備が進められている。現在の一般国道167号ならびに伊勢道路は、地域の幹線交通を担う道路として産業・観光・生活に非常に貢献している。しかし、狭隘・急峻な斜面を切土して整備した箇所も多く、落石や土砂流出などの災害時や交通事故などにより通行止めを余儀なくされる事態が発生しており、そのつど地域の孤立化が危惧されている。

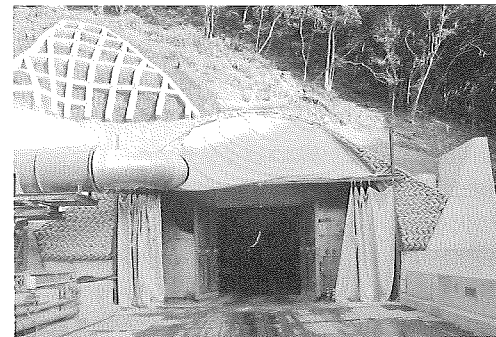
また近年の自動車交通の増大により、鳥羽市街部では慢性的な交通混雑をきたし、伊勢道路では観光シー



位置図



リアス式海岸



坑口全景

ズンには渋滞が激しく、円滑な通行に支障をきたしている。第二伊勢道路の開通により、道路網機能の改善による交通混雑の緩和、社会生活圏の拡大、産業経済や観光地としての発展また災害時の避難道路としての利用など効果が期待されている。

第二伊勢道路のうち「鳥羽河内トンネル(仮称)」は、鳥羽市河内と市堅神を結ぶ延長3,260mの事業4トンネル中もっとも長い山岳トンネル工事である。当企業は河内側より1,603mの施工を担当している。工事の進捗は、平成23年1月から掘削を開始し、11月末現在、掘削930m、覆工395mの施工が完了している。工事はこれから佳境を迎えるが、平成25年1月の完成に向け、発注者をはじめ関係各位のご指導と地域住民のご理解・ご協力を賜りながら、安全に品質の良いものをつくるよう現場一丸となって鋭意努力する所存である。

(熊谷・徳倉・中島建設工事共同企業体所長)

施工

先進導坑から上部帯水砂層を水抜きで切羽安定化

—圏央道 笠森トンネル—

国土交通省関東地方整備局千葉国道事務所副所長 窪田 達也
 国土交通省関東地方整備局千葉国道事務所建設監督官 小川 渉
 飛島建設(株)圏央道笠森トンネル作業所監理技術者 藤本 克郎
 飛島建設(株)圏央道笠森トンネル作業所工事主任 濱西 将之

1 はじめに

笠森トンネルは、首都圏中央連絡自動車道(圏央道)の千葉県内に位置し、房総半島中央部を東西に走る木更津JCT～(仮称)茂原長南IC間に計画された、全長2,420mの山岳トンネルである(図-1)。

本工事では、掘削時に市原側坑口より881m地点において、最大8t/minにも達する突発的な大量出水とともに土砂流出が生じ、その影響は18m上部の地表面まで及んだ。

本稿では、技術検討委員会を設立して大量出水の発生原因とその後の対策工について検討し、施工結果からその有効性について評価するとともに、本件から学んだ教訓について報告する。

2 工事概要および地形・地質

2-1 工事概要

笠森トンネルその4工事は、全長2,420mの笠森トンネルのうち、先行工事に引続きトンネル掘削L=690m、インバートL=1,087m、覆工コンクリートL=1,354mの施工を行う工事である(表-1)。なお、本トンネル中の620m間についてはウォータータイト区間として設計され

表-1 工事概要

表-1 工事概要		
工事名称	圏央道笠森トンネルその4工事	
工事場所	千葉県長生郡長南町岩撫～市原市田尾	
工期	平成22年2月26日～平成24年2月29日	
発注者	国土交通省関東地方整備局	
施工者	飛島建設(株)	
工事内容	トンネル延長	2,420m
	掘削断面積	90.1～144.9m ²
	掘削工法	上下半同時併進工法
	掘削方式	機械掘削
運搬方式	タイヤ方式	

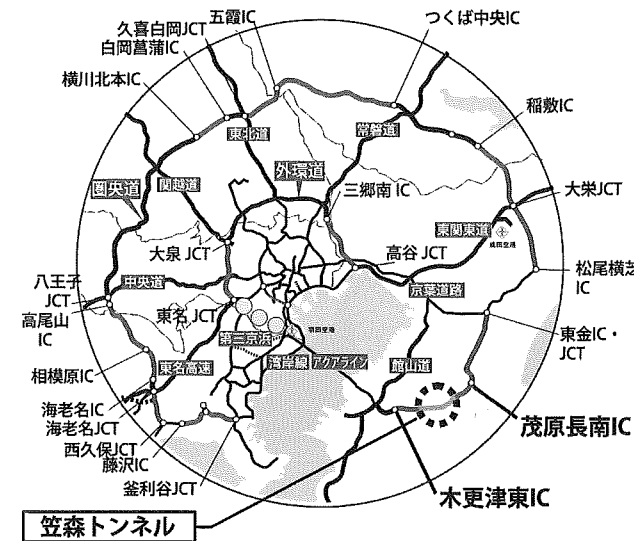


図-1 位置図

ている。

2-2 地形・地質概要

トンネル周辺の地質は、上位より、表土層(dt)、第四紀更新世の万田野層(Md11, Md12)、同笠森層(Ks, Km)が分布している。

最大厚さ70mの砂礫層からなる万田野層は、粗粒な砂層が主体で、透水係数は 1×10^{-2} cm/secオーダーであり、高い透水性を有している。

その下位の笠森層は無層理で塊状の半固結砂質泥岩からなり、N値は50以上を示すが、地山弾性波速度は1.7~1.9km/sで軟岩相当である。また透水係数は 1×10^{-4} cm/secオーダーであり、難透水性を呈している。

両層は、おおむね北東-南西(N30~35°E)の走向で3°前後で西へ(東京湾へ)向かって傾斜している。

図-2はトンネル沿いの地質縦断図である。

両層の境界付近では下部に位置する笠森層の透水係数が小さいために、地下水が帯水している。さらにこの地層境界面(図-2中の破線)は、本トンネルルート中央部を底部とした凹型形状を呈している(トンネルは、両坑口を結んだ線(以下、「弦」と呼ぶ)に対し左側(西側=東京湾側)に円弧をもった平面形となっている。両坑口は不透水性の笠森層中にすっぽり収まっているが、弦の方向が走向方向におおむね一致しているので、トンネルの中心部へ向かうほど(弦から離れるほど)万田野層がトンネル断面上部に接近し、次には断面内に現れ

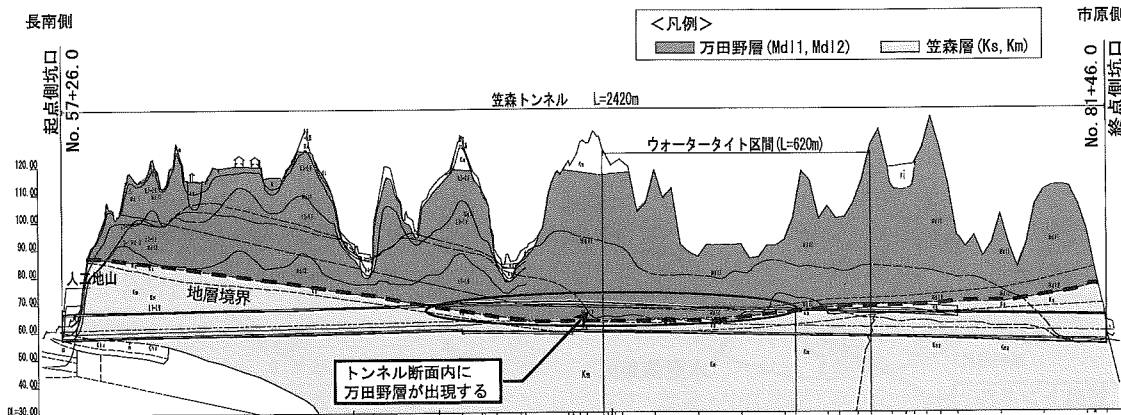


図-2 地質縦断図

るようになり、最終的には断面の上1/4程度までを占めるようになる)ため、地下水はトンネル中央部付近でもっとも深い位置に存在しトンネル断面内に出現する。

また、トンネルルートは小高い丘陵地を貫く線形となっており、所々に土かぶり1~2D程度の小土かぶり区間が連続するため、大部分の区間で坑口パターンに準ずる支保パターンで施工している。

3 大量出水および地表面陥没の発生

3-1 大量出水発生までの施工状況

トンネル掘削が終点側(市原側)坑口から約670m(No.74+20付近)に差しかかった切羽では、帯水層である万田野層の境界面がトンネル天端付近に接近し始め、長尺先受け工(GFRP管、φ76mm、L=12.5m)の削孔時に湧水が噴出するなどの不安



写真-1 先受け工削孔時の湧水状況

表-2 掘削補助工の変更

	当初	変更
補助工法	FIT(非拡幅型)	拡幅型AGF
ボルト材	GFRP φ76.3mm	STK400(鋼管) φ114.3mm
打設延長	16.65m	10.8m
打設本数	27本	42本
打設間隔	45cm	30cm
シフト長	11m	6m
注入材	IBOモルタル	シリカレジン
注入量	772/本	393kg/本

定化を示す現象が生じた(写真-1)。

当初の長尺先受け工の施工では、トンネル天端部の不安定化が増加する懸念から、切羽前方のトンネルアーチゾーンに連続した改良体が形成可能である拡幅型の注入鋼管式長尺先受け工(鋼管、φ114mm、L=10.8m、以下、「拡幅型AGF」と記す)に変更し、長尺先受け工における剛性の向上や打設間隔の緻密化を図った。

また、長尺先受け工の改良アーチゾーンにより、地下水位が堰上げられ上昇する可能性も懸念されたため、切羽前方での湧水をより効率的に排水し、地下水位の低下を図る目的で、水抜きボーリング(L=19.75m)を実施した。

掘削補助工の仕様および支保パターン図を表-2、図-3にそれぞれ示す。

3-2 大量出水と切羽崩壊の発生

拡幅型AGFと水抜きボーリングを併用しつつ掘削を継続し、小土かぶり区間(18m)を通過していたが、終点側(市原側)坑口より811m掘進した地点(No.73+35)の施工中に、切羽右肩部から最大8t/minに達する大量出水が突発的に発生し、切羽崩壊とともにトンネル断面内に土砂を伴った濁水が流入し、18m上部の地表面までその影響が及んだ(写真-2)。

なお、大量出水発生前の水抜きボーリングからの排水量や拡幅型AGFの注入量も目立った変化を示しておらず、切羽面からの湧水量も100l/min程度であったため、大量出水に至るような予兆は観測されていない。

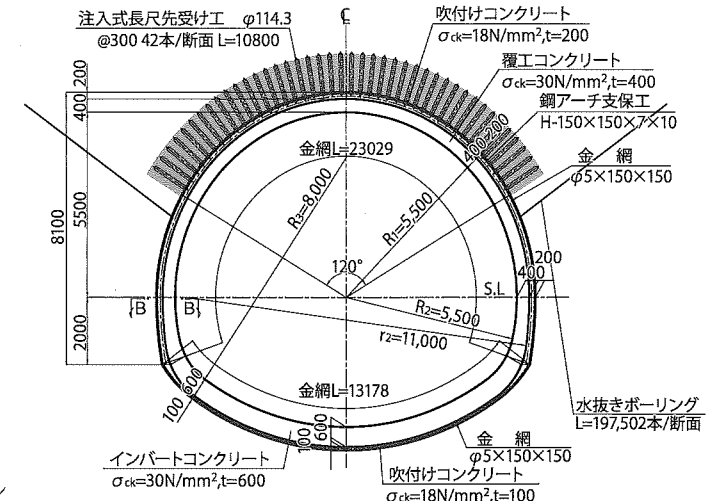


図-3 支保パターン図(補助工法変更後)

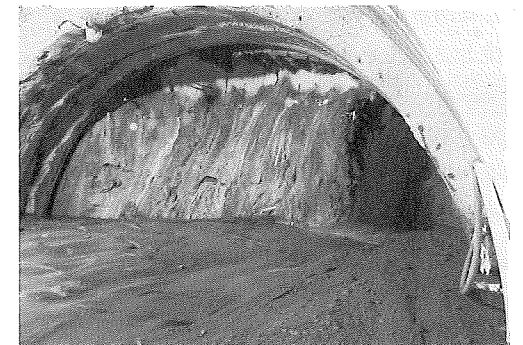


写真-2 土砂流入状況(上)と地表面陥没箇所全景(下)

4 発生原因の調査とその推定

4-1 調査内容

大量出水の発生原因推定と、地質条件の再精査、地表陥没の応急復旧方法の検討のため、陥没発生直後に設置した笠森トンネル技術検討委員会の指導のもと、調査を実施することとした。

まず、大量出水の発生箇所が沢地形の上流部に位置し、現在は平坦に整備された耕作地となっていることから、地域住民への聞き取りや古地図の調査を実施した。

その結果、昭和40年ごろから山砂採取や造成などにより地形改変が行われていたことや、過去に土砂採取した土採り場跡地がなんらかの発生土で埋戻されたことが判明した。

また、航空写真や地形図(図-4)の判読から大量出水の発生箇所付近の旧地形は沢部が合流する上流部に位置することから、流下した地下水が滞留しやすい条件などが想定された。

したがって、地形改変履歴や今後トンネルを掘削する区間の地質状況、さらには大量出水した地下水が及ぼす影響、陥没箇所を含めたトンネル周辺の地山のゆるみなどの把握を目的とし

て、トンネル周辺や旧地形の沢部沿いなどを中心に地表面から10本(鉛直, 斜め)の調査ボーリングを実施することとした。

また、地形改変やトンネル掘削に伴う周辺地山のゆるみ範囲などを明確にするため、早期に結果を得ることができる表面波探査を9測線で実施することとした。

表-3に調査内容とその目的をまとめて示す。

表-3 調査内容と目的

No.	調査内容	数量	調査箇所	調査目的
1	調査ボーリング(地表面)	10本	地表面(鉛直, 斜め)	地下水状況, 陥没規模の把握, 周辺のゆるみ範囲観測, 地山試料採取
2	調査ボーリング(坑内)	1本	トンネル切羽(水平)	陥没規模の把握, 未掘削区間の状況把握, トンネル周辺のゆるみ範囲把握
3	地下水モニタリング	11か所	ボーリング孔, 周辺の井戸	地下水位変動の把握, 水質チェック, 切羽湧水との水収支検証
4	表面波探査	9測線	地表面からトンネル深度まで	ゆるみ範囲把握, 地形改変の影響把握, 陥没周辺状況の把握
5	地表面変位計測	16測線	陥没箇所周辺	陥没箇所の安定評価, 陥没規模の進展状況把握
6	坑内変位挙動観測	3断面	トンネル内空変位切羽面	トンネル構造への影響評価

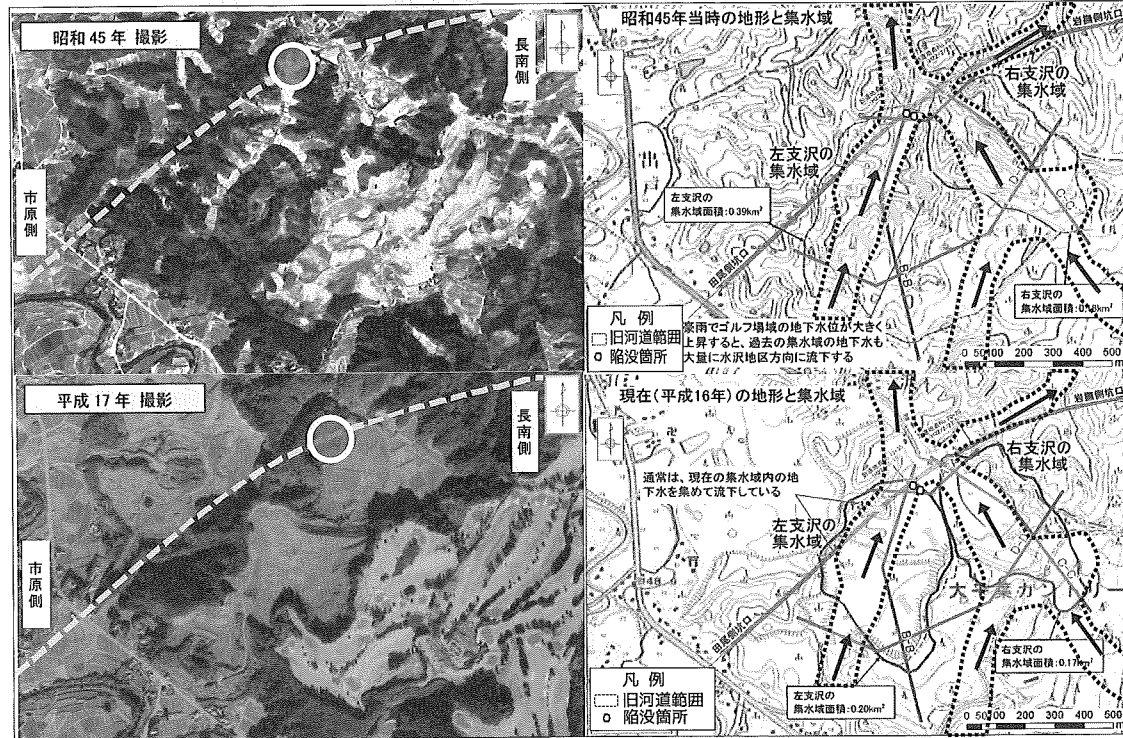


図-4 大量出水発生箇所付近の航空写真および地形図

4-2 調査結果

4-2-1 調査ボーリング

調査ボーリングでは、標準貫入試験もあわせて実施した。得られたボーリング柱状図から作成した地質想定図を図-5に示す。調査結果から堆積している盛土層はトンネルルート付近で層厚8~14m程度、N値5以下~20程度であることが判明した。また、No.72+60~80付近を中心に盛土底部が窪んでいることから、浸透した地下水が集水されやすい地形であることも明らかになった。

さらに流砂を引き起こしたとされる砂層の粒度性状を把握するため、コア採取した万田野層砂, 笠森層砂質泥岩の地山試料から粒度試験を行った。

砂質地山の切羽の安定性を表す指標としては、細粒分含有率と均等係数がよく知られており、細粒分含有率10%未満, 均等係数5未満は自立困難と分類されている。これらをもとにトンネル上部の地

山を再評価したところ、図-6に示すとおり、笠森層砂質泥岩は細粒分含有率12~75%, 均等係数6~8で推移しているのに対し、万田野層砂ではト

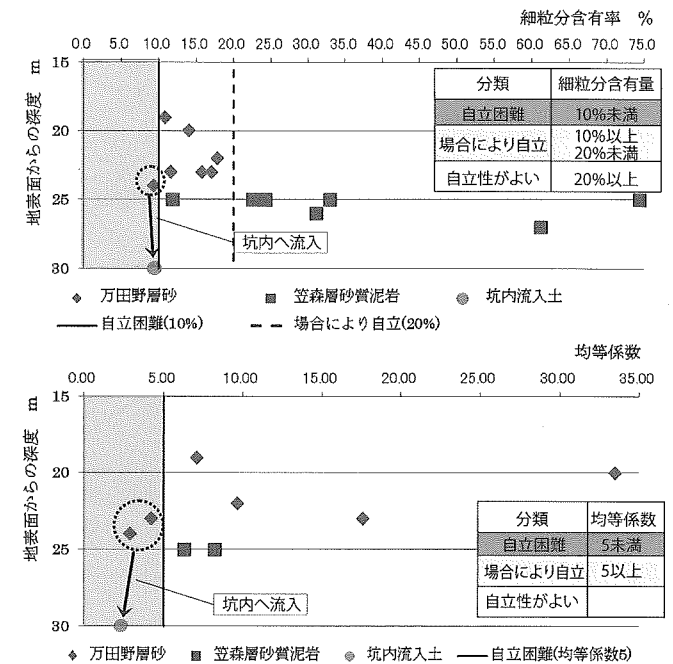


図-6 コア採取した試料の細粒分含有率と均等係数

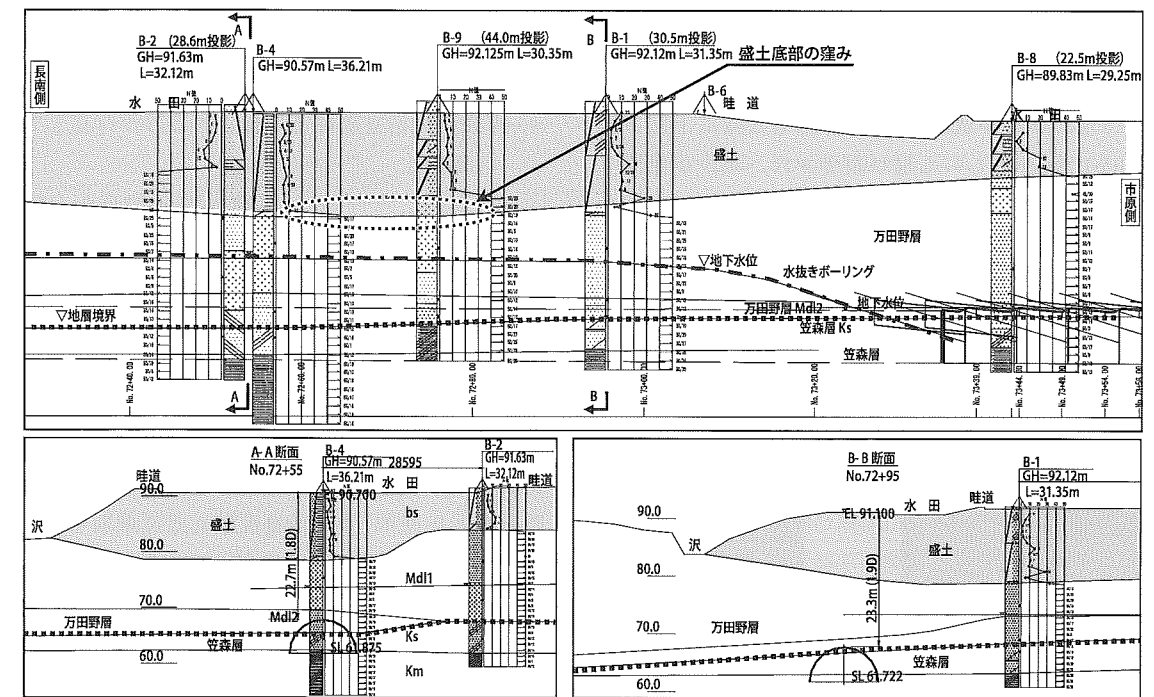


図-5 ボーリング結果による地質想定図

ンネル天端付近に自立困難と分類される細粒分含有量9.3%，均等係数2.8を示す砂の存在が確認された。

これは大量出水に伴い、トンネル坑内へ流入した土砂とほぼ同値(細粒分含有量9.4%，均等係数2.31)を示すことから、この砂が流砂を引き起こしたのと考えられる。施工前の地質調査でも自立困難と分類される砂は、一部のボーリング試料では地表に近い深度で確認されていたが、今回の調査で初めてトンネル天端付近の深度でも存在していることが判明した。

4-2-2 表面波探査

トンネル周辺地山のゆるみ範囲を把握することを目的に表面波探査を実施した結果、図-7に示すとおり調査ボーリングによる地質想定図と整合しており、弾性波速度値が0.5km/s以下を示す低速度部(図-7中の破線部)がトンネル周辺に存在することも明らかになった。また、この低速度部は旧地形の沢部とおおむね一致した。

4-2-3 気象、水文調査

これらの現地調査に加えて、地下水に影響する要因と想定される降水量も調査した。

2010年6～8月は平年値140～155mm/月に対し20～130mm/月と少雨傾向であったが、一転して9～10月には平年値200～230mm/月を大幅に上回る360～370mm/月もの雨量が観測され、陥没が発生

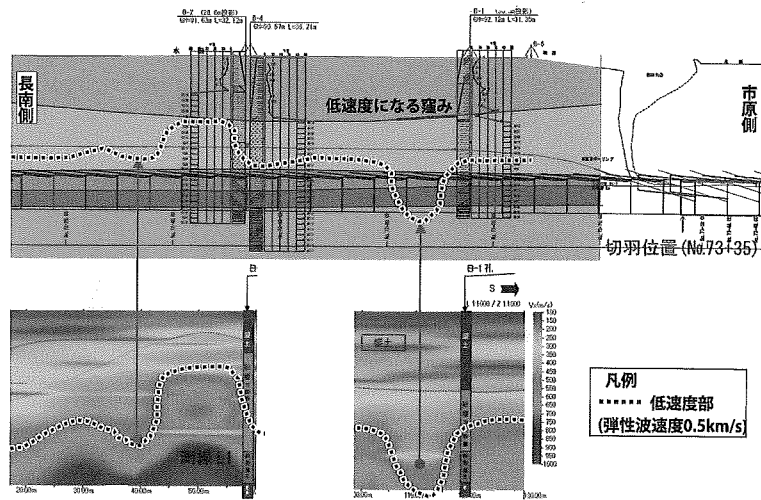


図-7 表面波探査結果と地質想定図

した10月19日には観測井戸の地下水位が前年の同時期と比較して6m(1.5倍程度)上昇していたことが判明した。

4-3 原因の推定

得られた調査結果から判明した事象は以下のとおりである。

- ① 地形図や航空写真から地表面の耕作地は旧地形の沢部に挟まれた山体を山砂採取してできた平坦地であること。
- ② 旧地形の沢部はトンネル切羽右前方に接近しており、調査ボーリングや表面波探査から、この沢部を反映した「水みち」が存在した可能性があること。
- ③ 大量出水発生から1か月経過後も、調査ボーリングの水位観測やトンネル内の湧水量が300～400 l/min以下に減少しないことなどから、前述の「水みち」へは地下水の集水域から継続的な地下水の供給があると考えられること(図-8)。
- ④ 調査ボーリングや表面波探査から、山砂採取場跡の埋土(N値5～20未満の盛土)がトンネル上部に堆積していたこと。
- ⑤ 粒度試験から、トンネル右上方部付近(万田野層)に細粒分含有量10%未満、均等係数5未満の自立困難と分類される砂が存在していたこと。

- ⑥ 気象、水文調査から秋(9～10月)の降水で地下水位が前年比+6m(1.5倍程度)に上昇していたこと。

これらの事象から考察すると以下のような原因の推定ができる。

- ・トンネル掘削時に旧地形の沢を反映した「水みち」に切羽が接近した。
- ・この「水みち」は集水域から継続的な地下水供給があり、秋期の降水量増、旧沢の合流箇所の上流部、山砂

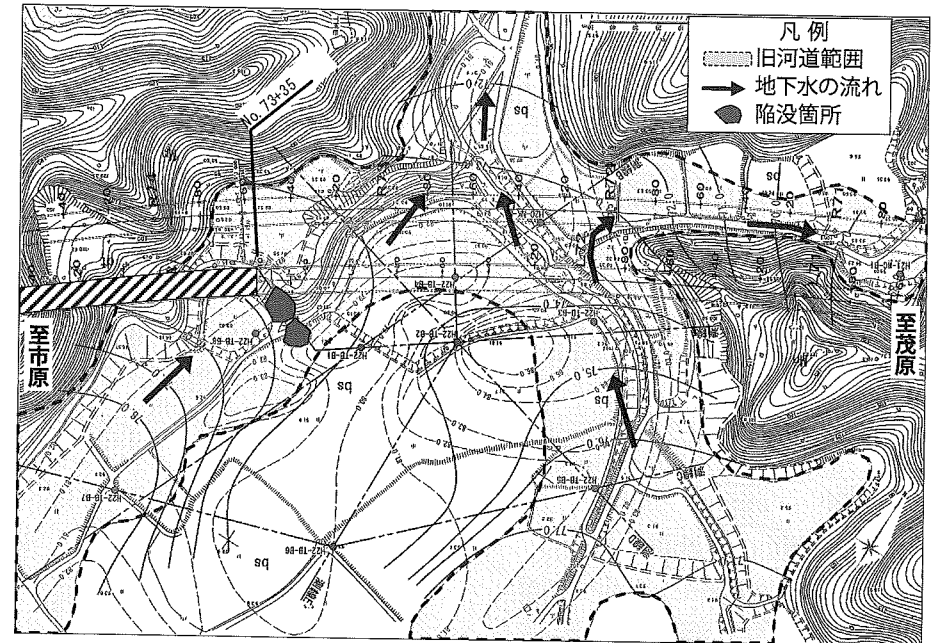


図-8 地下水シミュレーションにより再現した旧地形を反映した地下水等高線と流れ

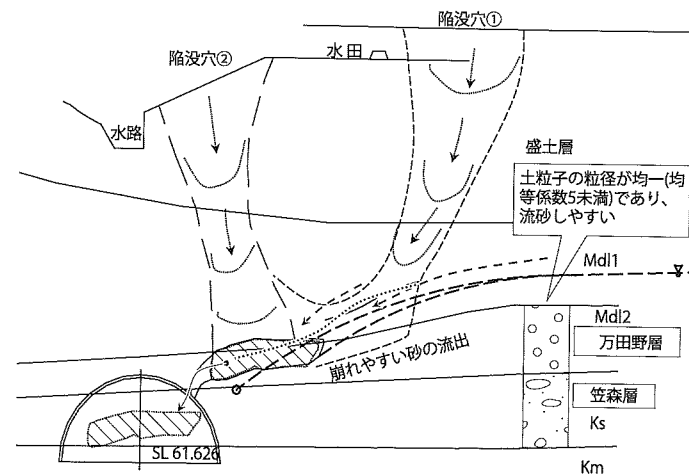


図-9 大量出水発生メカニズム

採取跡の凹みなどの影響で、部分的に地下水位が高い状況であった。

- ・トンネル上部に自立困難と分類される砂が存在しており、地下水位の影響と切羽の接近で万田野層砂の限界動水勾配(事前の地質調査結果から1:1.0程度とされる)を超過した。
- ・これにより切羽面への流砂現象が発生し、いったん形成された「水みち」を通じて大量出水に至った。

なお、技術検討委員会から今回の事象は事前調

査で予見しにくい諸条件が複合して発生したものと報告された(図-9)。

5 対策工法の検討

5-1 応急対策工

まず応急対策として地表陥没穴を早期に埋戻す必要があり、陥没穴の形状、発生箇所を考慮し穴底部にセメントベントナイトを流し込んで固化させたのちに、現地発生土で埋戻した。その後、トンネル周辺地山の防護と掘削再開時の不安定化を防止するために陥没穴を包含する矩形ゾーンをセメント系薬液注入により補強した。

5-2 対策工法の検討

調査結果から大量出水した切羽以奥の未掘削区間は、同じ地形地質条件下での掘削となることから、トンネル掘削の再開にあたり、再発防止のための対策工の検討が不可欠である。

4-2節の原因の推定から、トンネル切羽前方の地下水位をより確実な方法で切羽到達前に低下させることを本格的な対策工の基本方針とした。

そこで、地下水対策工の中から、トンネル天端

表-4 対策工の比較検討表

工法	1. 本坑上半からの水抜きボーリング	2. 水抜き坑からの水抜きボーリング	3. ディープウェル工	4. 注入改良による止水・地山補強
施工概念図				
施工概要	<ul style="list-style-type: none"> 上半掘削と並行し、側壁から斜め前方へ打設(打設延長19.7m/本、左右各1本)。 	<ul style="list-style-type: none"> 笠森層中に水抜き導坑(A=14m²)を構築し、導坑内から水抜きボーリングを打設(打設延長14~21m/本、3本/断面)。 	<ul style="list-style-type: none"> トンネル中心から10m離れた位置に深井戸を前孔し、真空ポンプで揚水して地下水位を低下させる。 	<ul style="list-style-type: none"> トンネル内からの注入改良により、周辺地山への止水および補強を行う。 専用機械を用い、坑内にはアプラントを設置。
利点	<ul style="list-style-type: none"> トンネル施工機械での施工が可能。 湧水量に応じて追加ボーリングの施工が可能 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水状況に合わせて、水抜きボーリングの増設が可能。 本坑トンネル掘削に先行する水抜きにより、確実な地下水位低下が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> トンネルの掘削工程に与える影響が少ない。 揚水量の調整が容易に可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 本坑掘削時の先受け工が省略できる可能性がある。 流砂対策にも効果がある。
問題点	<ul style="list-style-type: none"> 先受け工との併用となるため、打設角度、位置などの制約を受ける。 流砂対策は別途必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 不透水層である笠森層の土かぶり確保されていることを確認しながらの施工が必要。 流砂対策は別途必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 地表面からの施工となるため、営農地への影響が大。 農繁期も継続揚水が必要。 深井戸の設置位置、増設に制約をうける。 	<ul style="list-style-type: none"> 土壌へ影響しない注入材料の選定が必要。 トンネルの施工機械で対応できないため、施工サイクルに大きく影響する。
地下水低下効果	<ul style="list-style-type: none"> 水抜き位置が切羽面に近いいため、地下水低下が不十分になる可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 切羽面から先行した水抜きを長期間施工できるため、地下水低下効果は高い。 	<ul style="list-style-type: none"> 層境界が天端部に位置するため揚水効率が劣る(地下水位2~4mは笠森層上部に残る)。 	<ul style="list-style-type: none"> 確実な改良効果が得られれば、トンネル周辺の補強・止水により地下水位に抵抗できる。
工期(工事完了まで)	6.8か月	10.6か月	9.3か月	25.0か月
総合評価	△	○	×	×

の安定と地下水位低下に有効とされ²⁾、かつ実績の多い4案について比較検討を行った(表-4)。

本トンネルの場合、天端付近の地層境界面に帯水する地下水を効率よく短期間で排水(地下水位の低下)するかが重要であり、そのために、以下の要求要件を満たす対策工を選定する必要がある。

- ① トンネル坑内からの効果の高い水抜きが可能であること。
- ② 地下水位を切羽到達前に地層境界付近まで低下させることが可能であること。
- ③ 水抜き効果が得にくい場合は容易に増設が可能であること。
- ④ 地下水位の低下により周辺地山(とくに万田野層砂層)を不安定化させないこと。

検討の結果、これらを満足し、地表面のボーリング孔からのモニタリングより切羽前方の地下水位低下の検証を行いながら施工が可能な「水抜き導坑からの水抜きボーリング工法」を採用した。

対策工の実施範囲は、地表面の盛土および旧地形の沢部を包括し、かつ、土かぶりが2D程度である185m区間(No.71+50~No.73+35)とした。

なお、地形条件は異なるがトンネル断面内に地層境界が出現し、境界面で地下水が帯水している起点側(長南側)区間(L=60m(No.70+70~No.71+30))については、水抜きボーリングによる水位低下を強化するとともに、水抜きのさらなる効率化を目的に、坑内からのウェルポイントによる強制排水も一部で試行した。

6 終点側(市原側)からの施工

6-1 水抜き導坑の施工

水抜き導坑は、粒度試験で良好な自立性が確認され、難透水層である笠森層中に掘削することとした。

導坑掘削により地質境界付近の遮水ゾーンとなる笠森層を緩衝しないように、層境までの土かぶりを1m以上確保し、かつ本坑断面への切掘げ時を考慮して、下半盤に導坑の底盤を合わせた位置とした。なお、導坑断面は小断面NATMの機械施工が可能な最小断面とした(図-10)。

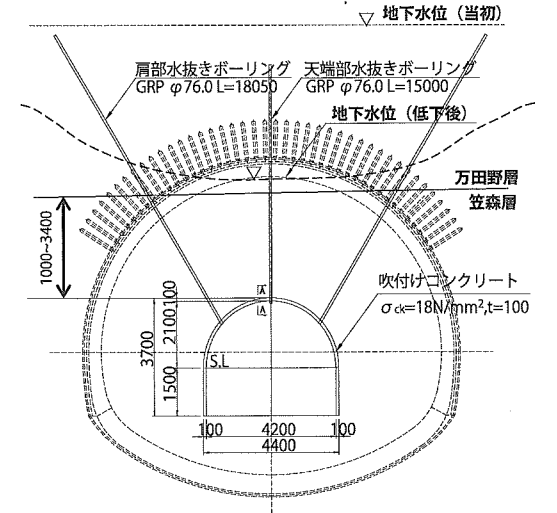


図-10 水抜き導坑断面図



写真-3 水抜き導坑掘削状況

掘削は小断面NATMに適用可能な自由断面掘削機(カッターロード:CL9E-1)を使用し、小断面トンネルの標準支保パターンを準用した(写真-3)。また、地層境界面の変化に対応して導坑の縦断勾配を調整できるように導坑の天端部に探り削孔を実施し、導坑天端と地質境界面との笠森層のかぶり厚さを把握しながら掘削を行った。

6-2 水抜きボーリングの施工

導坑内からの水抜きボーリングは、施工延長(20~30m)と小断面トンネル内での水抜き管継ぎ足し作業の安全性を考慮して、ドリルジャンボ(2ブーム1バスケット)による小口径鋼管削孔により施工した。

水抜き鋼管の径から算出される排水能力と水位観測孔から測定した地下水頭を勘案し、水抜きボーリングは導坑延長5mごとに3か所/断面として、

全37シフト、合計111本を施工した。

水抜きボーリング施工中はボーリング口元での排水量と水圧、さらに地表面での観測孔の水位を

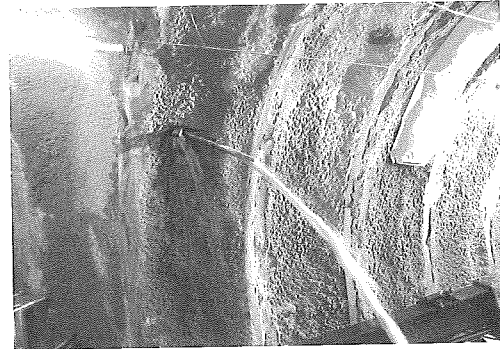


写真-4 水抜きボーリング排水状況

モニタリングし、本坑断面のトンネル天端付近まで地下水位の低下を確認した後に本坑掘削に着手した。

導坑内の水抜きボーリングの排水量はおおむね1本あたり30~80 l/min程度であったが、導坑坑口から80m(No.72+60)付近で1本あたり最大400~500 l/minを観測した(写真-4)。

6-3 対策工の評価

水抜き効果を確認する地下水位モニタリングは、トンネル地表部の導坑周辺に位置する5孔の観測孔による水位観測を基本とした。地下水位の観測位置および経時変化を図-11に示す。

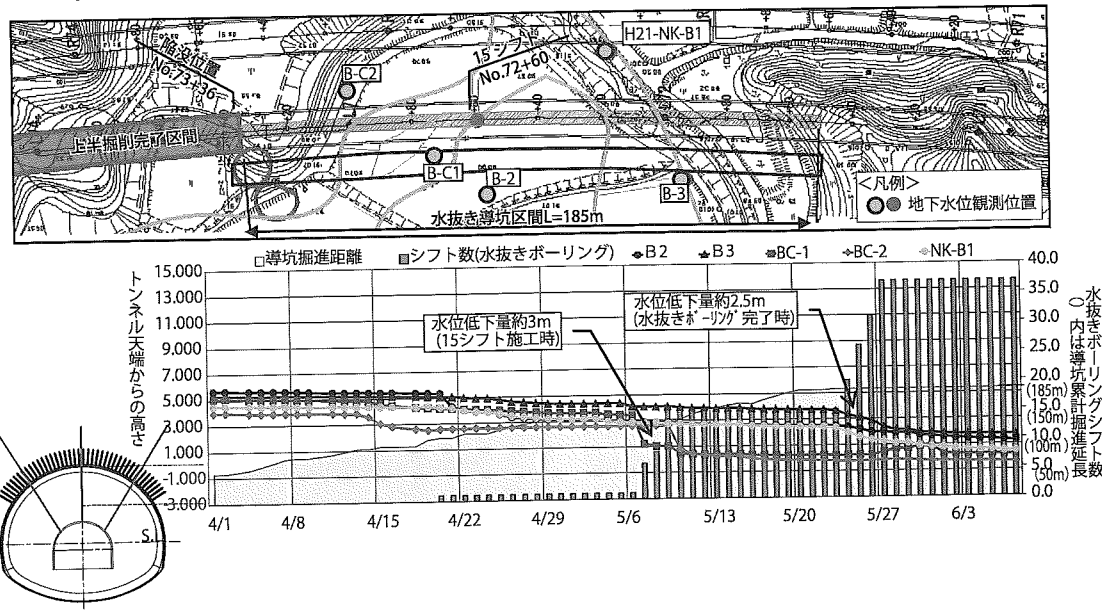


図-11 地下水位観測位置および経時変化

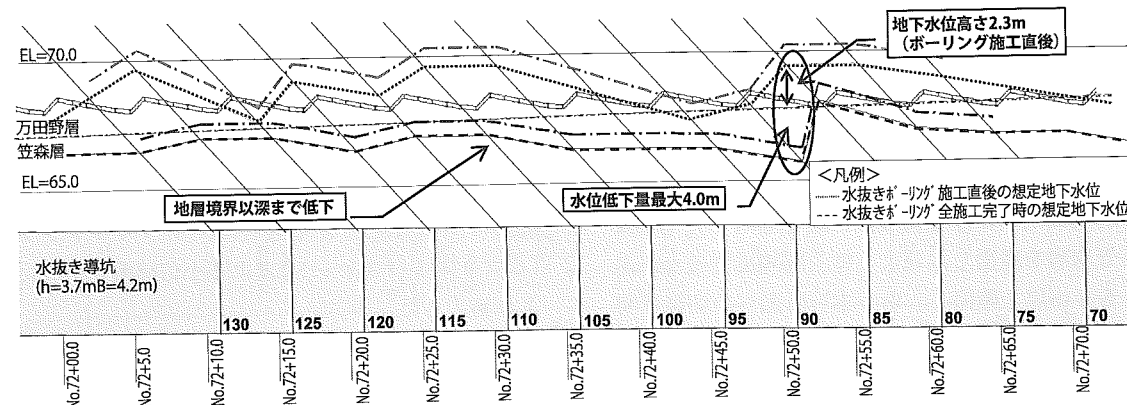


図-12 想定地下水位ラインの推移

観測孔B-C1、B-C2の水位が15シフト(45本)完了時に約3.0m低下し、地下水位は本坑天端高さ近傍まで低下した。さらにすべての水抜きボーリング完了時(37シフト)には、観測孔B-2、B-3、H21-NK-B1の水位も約2.5m低下し、すべての観測孔において地層境界面であるトンネル天端高さまで地下水位の低下を確認した。

また、ボーリング口元の水圧から換算した地下水位ラインを図-12に示すが、水抜きボーリングによって、ほとんどの区間において、地層境界面から最大2.3m上にあった地下水位は、全ボーリング施工完了時には一様に水頭の低下が見られ、地層境界が深まで低下したことを確認した。

6-4 本坑の施工

地表面および坑内から地層境界面付近までの水位低下を確認したため、引続き本坑断面への切掘り掘削を開始した。切掘り掘削では水抜き導坑からの水抜きボーリングが一時的に切断され、その機能が低下することから、本坑掘削においても側壁部から水抜きボーリングを継続して実施し、地下水の排水を代替した。

なお、上半掘削時においてもボーリング口元での排水量と水圧をモニタリングするとともに、これまでの本坑掘削実績をもとに設定した切羽湧水量と、限界動水勾配を考慮した水抜きボーリング先端での地下水位を指標とする管理レベルを表-5に示すように設定し、区分に応じた対策工を施工することとした。

その結果、本坑切掘り掘削時における湧水は滲水程度であり、土砂流出が生じることもなく、本坑天端部のゆるみ拡大を防止するために密な間隔で打設した鋼管先受け工の効果もあり、すべての区間において管理レベルIでの安定した掘削を実現した。

7 起点側(長南側)からの施工

本トンネルの起点側(長南側)の未掘削区間L=

表-5 上半掘削時の管理レベル

管理項目	管理レベルI(通常)	管理レベルII(注意)	管理レベルIII(警戒)
地下水位高さ(孔口ゲージ圧からの換算値)	地層境界から1m以内 通常施工	地層境界から2m以内 通常施工 排水量の経時変化に注意しながら施工	地層境界から2m以上 掘削中止 短尺水抜きボーリングの追加
切羽湧水量	30 l/min未満 通常施工 吹付けコンクリートでシール	100 l/min未満 掘削中止 短尺水抜きボーリングの追加	100 l/min以上 掘削中止 別途、止水対策を検討

60m(No.70+70~No.71+30)においても地層境界面がトンネル断面内に出現し、地下水が帯水している。地形条件は終点側(市原側)とは異なるが、対策工の基本方針は同様に先受け工の剛性を強化するとともに、地下水の効率的な事前低下について検討した。

起点側の地表面は山林や原野が占め、地表から地下水位測定管理や対策工を施工することが不可能であったため、終点側施工で地下水位との関連が確認され有効性のあったボーリング口元の圧力による推定地下水位ラインなどを用いて、表-5にもとづく管理を実施した。

また、一部で自然排水による水抜きボーリングに加え、トンネル断面内からウェルポイント(以下、「坑内WP」)による強制排水を試み、さらなる水位低下を図った(図-13、写真-5)。

坑内WPは帯水層である万田野層を狙って上向き5~8°程度の仰角で施工したが、同断面で施工した自然排水による水抜きボーリングの排水量が1本あたり平均95 l/minであったのに対し、

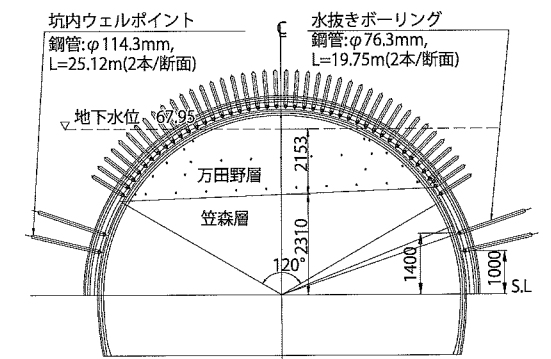


図-13 坑内ウェルポイント施工断面図

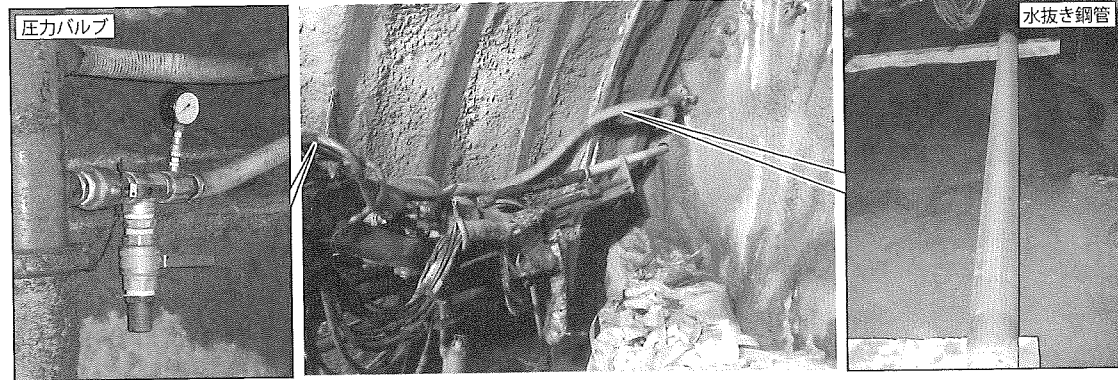


写真-5 坑内ウェルポイント施工状況

坑内WPは平均124 ℓ/minと、1.3倍程度の向上が見られ、本数や削孔位置の適切な選定と自然排水ボーリングなどと組み合わせることにより、より積極的な地下水位低下工法としての可能性があることを確認した。

8 ま と め

地表面の山砂採取後の地形改変地の存在など、特殊な地形、地質、地下水条件下にあった本トンネルの施工において、以下の成果を得た。

- ・切羽で発生した大量出水に対して、地形地質条件を再精査して現地地形に潜んでいるリスクを整理し、対策工を検討できた。
- ・検討した対策工について、施工段階では地下水位のモニタリングなどで効果を確認しつつ安定した掘削を実現できた。

9 お わ り に

本件から学んだ事象やそれを踏まえた教訓を本稿のおわりに記載する。

笠森トンネルの施工にあたっては、帯水砂質地山の掘削において、切羽前方の地下水位状況を適切に把握し、先見性をもって合理的な施工方法を選定することの重要性について身をもって体験することとなった。

改めて大量出水の原因を振り返ると、地形、地質、地下水、水文などの諸条件が複合して発生してお

り、この経験を次の現場で活かすことがわれわれトンネル技術者に求められている使命と考える。

本件で学んだ教訓として、トンネル計画、設計段階においては、時間的、経済的な制約を受けるのはやむを得ないものの、トンネルルート選定に際しては、補助工法の効果を過信せず、地形、地質、水文や地域情報などを十分に考慮した調査や学識者への意見聴取などにより広範な検討が望まれる。

また、施工段階においては、現場での些細な変状から発せられるシグナルを見落とすことなく施工へフィードバックさせる体制を整えることが肝要である。

最後に、本件の応急復旧、調査、施工再開にあたっては大島洋志・首都大学東京客員教授をはじめとする笠森トンネル技術検討委員ならびに関係各位の皆様方からのご指導を賜り、先日無事に貫通することができました。この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

なお、本報告が今後の類似トンネル工事の施工に多少なりとも参考になれば幸甚であります。

参 考 文 献

- 1) 鉄道・運輸機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説、p.57, 2008.4.
- 2) 土木学会：山岳トンネルの補助工法、トンネルライブラリー第20号、p.2, 2009.

第二十六回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

我がトンネル人生の記憶

(元)株 鴻池組
齋藤

憲司

はじめに

私が初めてトンネルとかかわりを持ったのは学生時代の昭和31年7月、学外実習で行った北海道旭川開発建設局層雲峡道路改良事務所の国道39号武華山隧道の現場であった。戦後10年が過ぎ、食糧事情や世情も落ち着き、国土復興のインフラ整備もこれからという時代であった。

本現場の掘削工法は新奥式工法であった。毎朝晩、坑夫が坑内に入るまえにカーバイド倉庫でトーチランプを作り、底設・頂設導坑のセンターと枠線をランプの煤で描き、坑夫に引き渡す毎日であった。主要材料の木材は、前年の洞爺丸台風で発生した大量の風倒木を現地で製材し、ずり出しは手積み・手押しの箱トロだった。コンクリートはドラムミキサーで現場練り、坑内照明はトーチランプ、動力源はすべてディーゼル内燃機関であった。

2か月にわたる現場体験であっ

たが、コンクリート打設時の「木外し」の怖さ、作業合間の測量時に静かになった坑内での「木鳴り」の無気味な音、現場から事務所までの真っ暗な夜道の怖さなどなど、今でも強烈な印象として残っている。

鴻池組に就職し、橋梁・地下鉄の現場を経て、再びトンネルに携わったのは昭和40年初め、神戸市発注の六甲トンネルであった。以後二十数年間に新幹線を主として13本のトンネル現場を直接担当し、その後平成12年まで35年間トンネル工事に関係した。

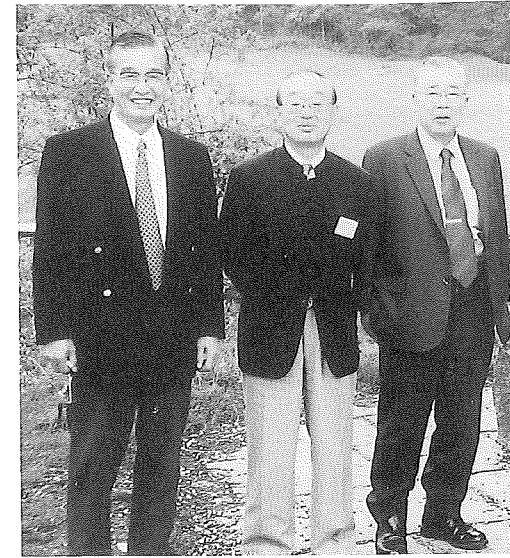
本稿では、自分で施工を担当した工事の中でとくに印象深い6本のトンネル工事を取り上げ、施工の概要、施工上の問題点、そしてそれらへの対応・工夫を中心に筆を進めたいと思います。

神戸市・六甲山トンネル

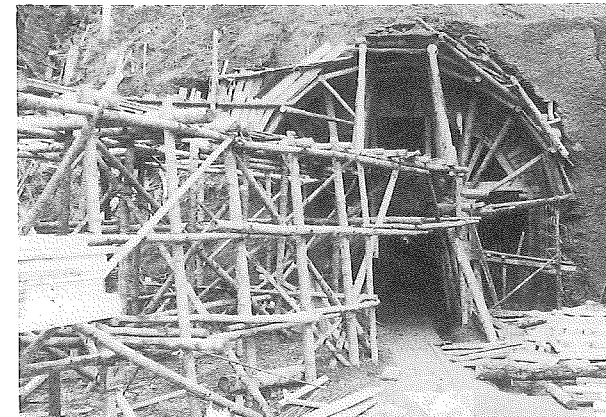
六甲山トンネルは神戸市灘区より北区唐櫃へ抜ける延長2,843mの道路トンネルで、受注した昭和

著者略歴

昭和34年 3月	徳島大学工学部土木工学科卒業
昭和34年 4月	(株)鴻池組入社
昭和40年 4月まで	橋梁・地下鉄・道路改良工事
昭和40年 4月より	神戸市・六甲山トンネル 山陽新幹線・京見山トンネル所長 北九州市・板櫃主要幹線トンネル所長 山陽新幹線・第二高山トンネル副所長 山陽新幹線・勝山トンネル所長 東北新幹線・志賀トンネル(南工区)所長 東京都・日原トンネル所長 常磐自動車道・鞍掛トンネル(B線)所長 神戸市・第二新神戸トンネル(第5工区JV)所長
昭和61年10月	本社工務管理部長・特殊工務部長
平成2年12月	取締役土木本部副本部長
平成5年12月	専務取締役土木本部部長
平成12年12月	退任
平成13年1月	鳳工業代表取締役社長
平成18年12月	退任

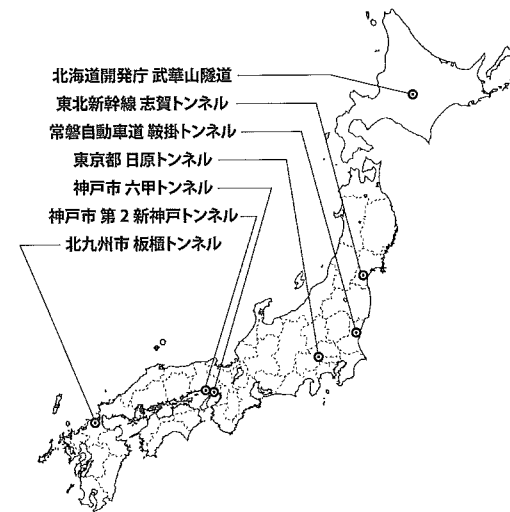


ハーゲルバッハ試験坑道(スイス)にて
(左から筆者, 中垣圭介氏, 長友成樹氏)



国道39号武華隧道

40年当時、日本で3番目に長い道路トンネルであった。当社は北工区より1,283mの区間を担当した。地質は六甲花崗岩を主体とし、安山岩岩脈が貫入した地獄谷断層とその派生断層で生じた破碎帯がところどころにあった。掘削工法は上半先進トラック工法で、150~250Hの鋼製アーチ支保工を使用し矢板工法で掘削した。ずり積込



本稿で紹介したトンネルの位置

みにはクローラ式トラクタショベルを使用したため、湧水のある場合や核残しが必要なほどに地山が悪い場合には路盤が泥濁化して、支保の足元が緩み、苦勞した。破碎帯領域に入り、縫地矢板で施工したが、核残しでも切羽が立たなかった。そのため上半盤の位置を上げ、矢板で鏡止めをしながら核を残して掘削し、重い250Hの鋼

製アーチ支保工を分割、仮受けして建込み、リング状に縫い下がった。その後、残りの鋼製アーチ支保工を接続して支保を固めていった。縫地矢板工法は、地山の悪いところほど支保工ピッチを狭くするため矢先が立ち、掘削断面が大きくなるので、時間経過とともに緩み領域が増大して地山が不安定になる不合理な点がある。そのた

め、破碎帯での施工は苦勞した。

六甲花崗岩には深層風化部が多数あり、さらに宙水層からの突発湧水があった。そのため切羽の岩質が良くて、上半冠や肩部の奥にそれらが存在した場合、時間経過とともに、湧水が発生し、さらに後荷がかかり、根巻きコンクリートや仮巻きの施工を余儀なくされることがたびたびあった。後荷の発生は、切羽の岩質を見た目でだけで「硬岩で良い」と判断し、地山と支保工の「当たり」をしっかりとっていなかったことも一因とも言える。まさに「石硬くとも山硬からず」を実感させられた。「山の緩みは気の緩み」である。

北九州市・板櫃下水道

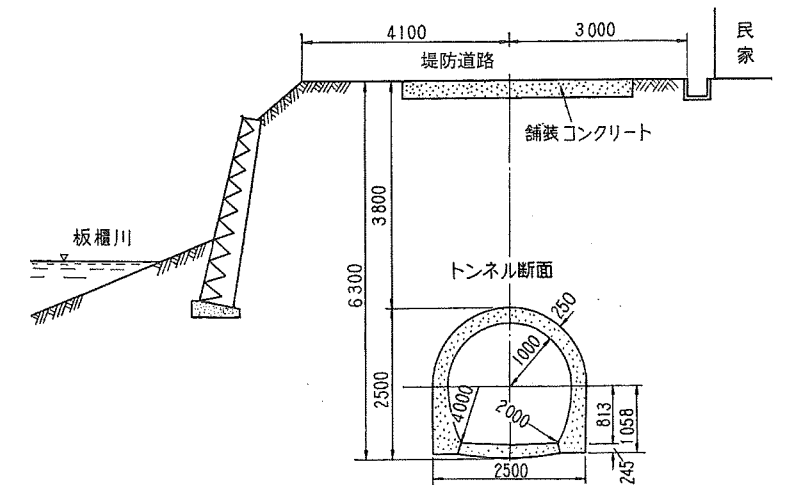
昭和42年に赴任した北九州市板櫃主要幹線下水道工事は、小倉区板櫃川右岸の堤防道路の下を貫く延長748m、断面積6.4m²の山岳トンネルであった。発進基地として工事ルート上の堤防道路と接する位置に、深さ15mの堅坑を設置した。

堅坑から起点側の78m区間は堤防道路直下に位置し、土かぶり

3.8mしかなく、上半断面の地質は堤体の盛土土砂、下半断面が風化砂岩・頁岩であった。立坑から終点側の387m区間は風化砂岩頁岩で、その奥に続く273m区間は固結した砂岩であった。

当初計画では、不良地山部は縫地矢板工法、良好部は発破掛け矢板工法であった。前述の堤防道路直下の78m区間は、上半の地山が悪いため支保工ピッチが短くなり、縫地矢板工法では矢先が上がる。このため、将来、道路の沈下や本坑に沿って建ち並ぶ民家の地盤沈下が懸念された。そこで、薬注や

開削に加えて当時発表されたばかりのメッセル工法を検討し、工期と安全性に優れた同工法を選択・計画、変更申請により採用された。当時、メッセル矢板は他社の特許であったが、当社独自のセクションと矢板形状を工夫し製作した。メッセルは立坑内から発進した。また、到達立坑は径が小さくメッセル矢板が回収できないので、矢板を埋殺しとした。メッセルの施工では、鏡崩落防止のためジャッキでメッセル矢板を地山に先行圧入した後に鏡を返すが、返すときに上部緩み土圧で矢板のノーズダ



板櫃トンネル位置断面図



板櫃下水道堅坑付近

ウンが発生した。そこで、ノーズダウン防止用の返しパッキンの設置や鏡止めを行った。また、踏前部の当たり発破時に地山と矢板間の空隙によって矢板のセクションアウトが生じたので、セクションのずれ止め治具を開発し対応した。これらの対応・工夫と、さらにテールボイドの厚さが小さく地山との空隙が発生しないメッセル工法の効果とで、当初心配していた地盤沈下はほとんど観測されず、順調に掘削を完了した。

一方、発破を使用する掛け矢板区間では、小断面水路トンネル共通の悩みとして、掘削幅が狭く芯抜き「抱き幅」がとれなくて、芯抜き効果が得られにくいことがあげられる。そこで、2重芯抜き、踏前芯抜き、バーンホールのあるスパイラルカット、コロマントカットなどを試験発破したが、バーンホールやパラレルホールの穿孔が孔曲がりのため成功せず、結局、非効率ながら2重芯抜きで対応した。

到達部は特別高圧ガス管φ1,500mmの直下2mを通過する設計であった。岩質は硬質砂岩であっ

たが、ガス管に近接して発破を使用できず、さらにコールピックやブレーカでは能力不足で掘削できなかったため、静的破碎剤を使用した。この対応で、時間はかかったが無事到達することができた。

東北新幹線・志賀トンネル

昭和48年に着工した東北新幹線志賀トンネル南工区は岩沼市の西北端に位置し、志賀山(標高172m)および志賀沢川と川内沢川に挟まれたなだらかな丘陵地帯にある。当社は志賀トンネル約3,500mのうち1,000mと中井トンネル230m、および高さ10mの跨道橋含む高架橋延長510mの工事を担当した。志賀トンネルと中井トンネルの間に計画されている長さ160m高架橋の脇に、ずり搬出を兼ねる仮設栈橋を設置した。地質は、志賀トンネルが第三紀層の頁岩・シルト質泥岩、中井トンネルがシルト質泥岩と一部未固結の崖錐層であり、基本工法は底設導坑先進上部半断面レール工法で施工した。しかし、安山岩の貫入による熱変成により著しく粘土化・油目化し

て自立性が乏しくなり、時間経過とともに膨張する地質区間や湧水区間では2段サイロットで施工した。

現場付近は農家が点在する静かな山村で、工事開始とともに、発破騒音、栈橋から発生するずり搬出音、骨材や資材搬入などともなる工事騒音に対して地元から強力な抗議があり、一時、夜間作業を中止せざるを得なくなった。発破時間の調整、月一度の工事説明会、現場見学会、懇親会などで徐々に地元の理解が得られ、半年後ようやく昼夜施工に漕ぎつけた。

志賀トンネルでは不良地山部の施工中に、盤膨れによる線路の持ち上がりや、地盤沈下によるバッテリー口コヤト口の脱線が生じ、さらに底設導坑の変形が大きくなり、根固め、仮インバート打設、縫直しなどで対応したため再々工程が遅延した。

とくに昭和49年4月29日には、坑口から636m地点の底設導坑切羽より泥水を伴った突発湧水が発生し、導坑が30mにわたりロッカーショベル、トレンローダとともに埋没した。坑口は膝下まで没



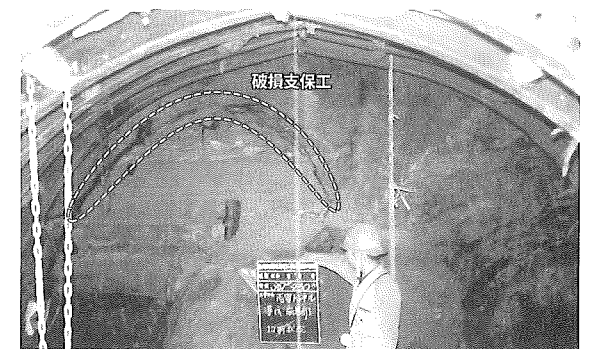
志賀トンネル南坑口(中井トンネル北坑口より望む)



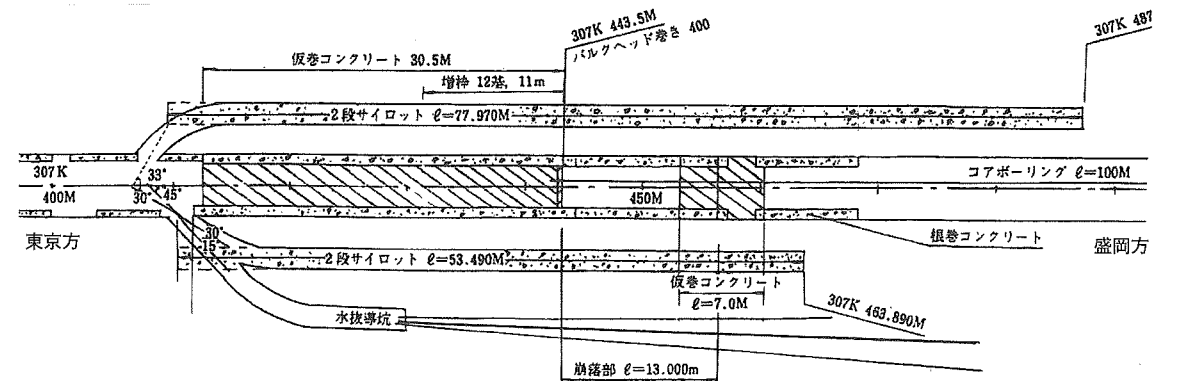
中井トンネル北坑口(志賀トンネル南坑口より望む)



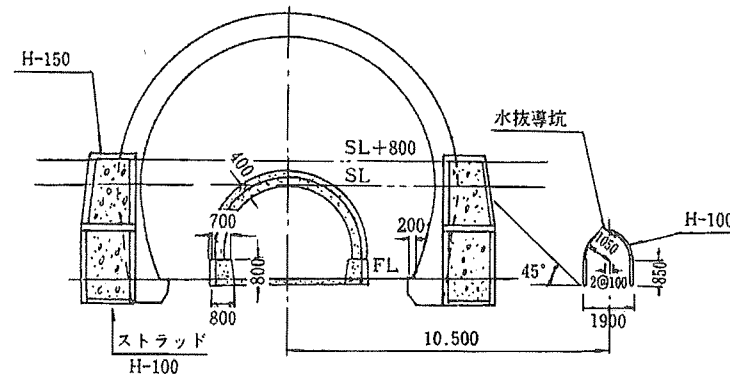
底設導坑湧水状況(志賀トンネル)



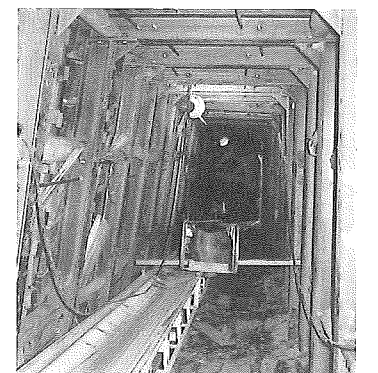
底設導坑破損状況(志賀トンネル)



崩落部復旧施工図(志賀トンネル)



2段サイロット断面図(志賀トンネル)



2段サイロット上部支保工状況(志賀トンネル)

する水量(計測不能)で溢れ、濁水処理プラントからオーバーフローした泥水が周辺のたんぼや水路に流入した。しかし幸いにも田植え時期の前であったため、流入土砂の撤去だけで済んだ。

坑内では直ちに、埋没箇所手前

り逆さ合掌を組み、根巻きコンクリートで鋼製支保工を補強した。水量が減らないため(写真)、底設導坑側壁から水抜き導坑を掘り、バルクヘッドを構築してφ100mmの水抜きボーリングを放射状に打設した結果、どうにか湧水量を低減できた。

その後、ゲルタイムの調節を行いながらエアミルクとエアモルタルを注入し、崩壊部の地山を改良した。さらに、それまでの2交代作業体制を3交代制にし、まず2段サイロットで下半を固め、次に上半を縫地矢板で施工し、4か月を要してようやく破碎帯を通過で

きた。

2段サイロット区間以外の擾乱地帯(不良地山帯)の下半施工時には、底設導坑掘削時と上半掘削時に下半地山がすでに緩んでおり、通常の大背掘削や土平返しの施工方法では下半を掘削できなかった。そこで、上半覆工ジョイントの足付け部と中間部を、上半盤より小型油圧ショベルと人力で1スパン(3m)ずつ山留めをしながら切下げ、側壁組立セントルを設置し、コンクリートを打設した。このように、不良地山部での下半施工にも時間を要した。

また、冬期は、坑内では温度が26~30℃、湿度が90~95%で蒸し暑いのにに対し、坑外では-10~5℃、30~50%と寒さが厳しく、その差が大きいため、職員や労務者に体調を崩す者が多く、健康管理に苦慮した。

東京都・日原トンネル

東京都で、昭和51年に着工した日原トンネルは、西多摩郡奥多摩町氷川より日原町を経て日原鍾乳洞に至る日原街道の途中にある延長1,107m、加背71m²の道路トンネルである。掘削工法は矢板工法の発破方式で、ずり運搬はタイヤ方式であった。岩質は石灰岩(30%)と凝灰岩(70%)であり、石灰採掘・販売を行う奥多摩工業の鉱区内に位置するため、トンネル内で掘削した石灰岩は同社に返却した。

道路が山間部で狭隘なため残りの凝灰岩のずりは、現場外部に搬出しないことが必要であった。そ

こで、クラッシャープラントとバッチャプラントを設置し、トンネル覆工や明かり構造物のコンクリート骨材に使用した。骨材として使用できないずりは、坑口付近の道路より約60m下の溪谷に沿って土留め擁壁を作ってずり捨場とし、そこに投入した。

クラッシャープラントでは、グリズリーで選別したあと、ジョークラッシャーとインパクトクラッシャーを通し、3層振動篩で40~25mm、25~5mm、5~0mmに分類し、骨材ストックヤードに分別貯留した。その骨材をベルコンでバッチャプラントに送り、コンクリートを製造した。当時、トンネル工事としてはあまり事例のない、合理的な仮設計であった。

しかし、地山が不良のときには骨材の生産ができず、一方では覆工の施工を急ぐので、ストックヤードの設置できない山間部では、一時的に骨材の一部購入を余儀なくされた。さらに、骨材の洗浄設備とクラッシャーから発生する粉塵対策に予想外の仮設費が掛かった。また、25~5mm、5mmアンダーはストックピンの排出口でドーム状となり、それらが冬期に氷結し、排出困難となったため、プレートフィーダーを取り付け、ドーム状態を崩す必要があった。

地山は約30%が石灰岩で、上半・下半掘削時には掘削盤の下にドリーネ(石灰岩空洞)の出現が予想された。そこで、重機陥没や湧水への安全対策として、発破ごとにジャンボで長尺ロットを使用した前方下方への探査により、ドリーネの

有無などを確認した。上半は6連装の空圧トラックジャンボで穿孔し、爆薬には当時開発されたばかりの含水爆薬を使用した。大背は上半からのワゴンドリルによる落とし繰りで穿孔し、爆薬はアンホ爆薬を使用した。上半を掘進しながら、同時に後方の上半盤から大背箇所に向けて落とし繰り穿孔だけを行っておき、坑夫の昼夜班を入替える週末日に上半掘削を止め、1日で1週間分の大背を落とした。

通常、上半掘削と大背掘削を並行掘削すると下半より上半への作業通路を確保することが困難となり、作業が制約されてしまうが、上記の工夫した方法は作業性確保の点で能率的であった。

当時の上半アーチコンクリート施工は、手元引抜き式の打設管の天端配管で打設することを標準としていたが、この方法では先端部にコンクリートを十分に充填できない。そこで、セントル頂端部にシャッター付きの打設孔を設置し、さらに充填度チェックのため引抜き検査棒を取り付けた。打設後に検査棒を引抜き、巻き厚不足のときにはそこから再注入できるようにして、完全な充填を目指した。

常磐自動車道・鞍掛トンネル

昭和56年から施工した鞍掛トンネルは、常磐線日立駅より約10km内陸側にある鞍掛山(標高247m)を貫く1,845mの高速自動車道路トンネルである。

施工は鋼アーチ支保工を使用する上半先進の矢板工法で行い、いわき市側より片押しでタイヤ工法

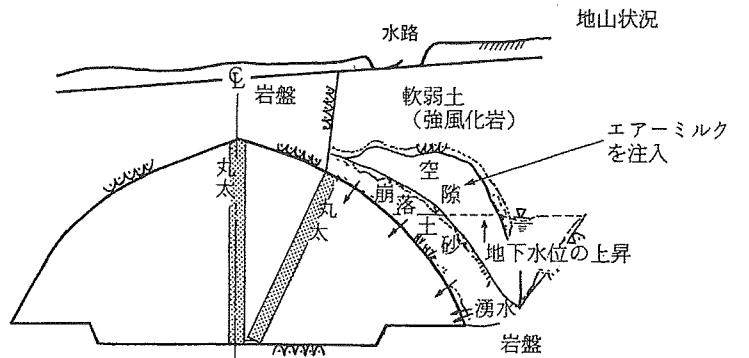
により掘削した。地質は日立古生層の緑色片岩であり、一部に石灰岩が介在しており、土かぶり小さいところでは風化が進み粘土化していた。地表水が豊富なため、土かぶりの小さい部分や破碎帯ではかなりの湧水が観測された。

坑口より330m付近からは膨張性地山となり、支保工の変形が収束しなかった。そこで、エキスパンドメタルによる1次巻きコンクリートと全面接着型のレジタイトの3mロックボルトを施工した結果、変形を収束させることがで

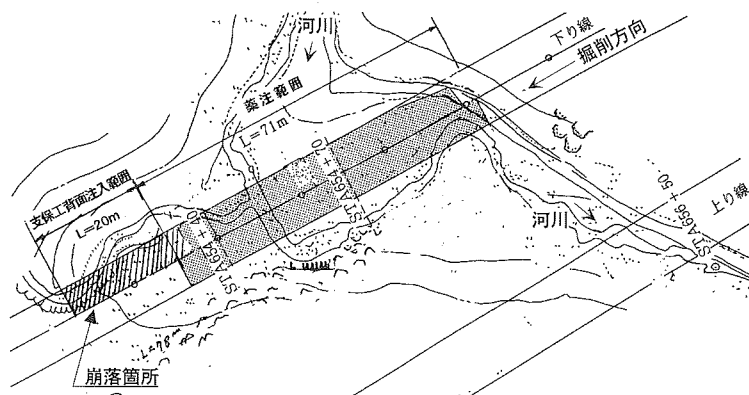
きた。坑口より430~550mの120m間の地質は強風化石灰岩・緑色片岩・河川堆積物で構成され、トンネルセンターに並行して土かぶり4~10mの直上の位置に河川(幅3m、深さ1.5m)があった。河川の流量を測定したところ、通常で30m³/分、最大960m³/分と多く、通常の工法での河川区間通過は困難であると判断された。そこで、河川をコンクリート3面水路で補強し、さらに4通りの補助工法を提案し、最終的に薬注案が採用された。

薬剤は付近の樹木に影響を与えない中性薬液で、かつ地下流水に希釈されない瞬結性のクリーンファームを使用し、トンネル掘削前に地上から先行施工した。切羽では油圧ジャンボで6mの水平ボーリングによりドリーネの有無と薬注効果の確認を行い、その結果をもとに、地山強度が不足する箇所には補足注入を行いながら切羽を進めることで、河川直下部を無事通過できた。

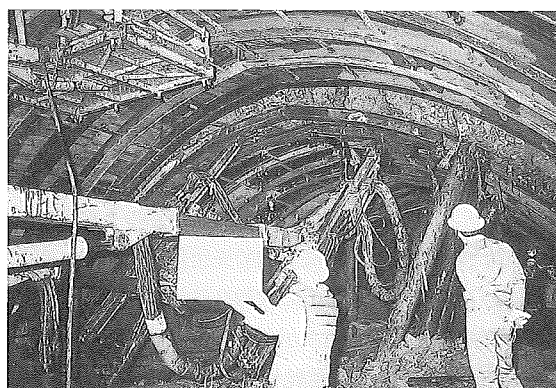
しかし、河川直下部通過して40m掘進したところに台風15号が接近し2日間にわたり豪雨が続いた。



崩落および応急処置図(鞍掛トンネル)



薬液注入工法による地盤改良範囲(鞍掛トンネル)



支保工変形状況(鞍掛トンネル)



鞍掛トンネルB線貫通(右から2人目が筆者)

上部の河川がかなり増水したので、坑内の異常の有無を点検するとともに緊急資材を手配していたところ、切羽手前3基目付近(石灰岩と緑色片岩の地層境界付近)の右踏前より、大量の水とともに土砂が噴出し、同時に20m後方まで矢板が折れ200Hの鋼製支保工の変形が始まった。直ちに坑夫を避難させ、次に油圧ジャンボ、ショベル、電源台車などの設備を後方へ退避させたのち、トンネル変形を防ぐためヤラスを鋼製支保工と上半盤の間に建て、鏡止めと1次仮巻きを行った。その結果、ようやく支保工の変形は収束した。さらに縫返しを安全に行うために、①切羽に吹付けモルタルでパルクヘッドを作る。②鋼製支保工に仮巻きをする。③チェックボーリングで土砂流出跡の空洞を確認し、エアミルクを充填する。④エアミルク充填箇所の止水効果と地山強度をチェックし補足注入を行うなどの対策を行い、トンネルと地山を補強した。これらの効果を確認後、縫返しを行った。

さらに、坑口より1,000m付近の破碎帯で、再度、最大5t/分の出水があり、付近の田畑に泥水が流入し地主には迷惑をおかけした。ここも水抜きボーリング、縫地、増し支保工、ウォールビーム、仮巻き、仮インパートなどの対策を行うことで、幅30mの破碎帯を切り抜けた。

不良地山区間の下半掘削を標準的な上半盤からの壺掘り工法で行うと、施工が困難なうえに工期が間に合わなかった。そこで、上半

掘削時の地質や施工の記録をもとに下半掘削部の調査ボーリングを行って地質不良区間を特定し、対策を検討した。

その対応として、下半掘削時の上半コンクリート背面にある不良地山の滑り崩落および土平鏡面の崩落を防ぐために、上半盤から土平へ下向き30~45°で3mの全面接着型のロックボルト(φ25mm)を縦断方向に50cm間隔で打設した。それでも土平掘削部が崩落する場合は、当時採用され始めていた吹付けコンクリート(乾式、トルクレット)、および吹付けコンクリート後の側壁切羽面への鏡ボルトを施工しながら何とか下半掘削を終えた。矢板工法におけるこの吹付けコンクリート、鏡ボルトの併用は非常に効果的であった。

明かり部分も含めて29か月の工期のうちトンネル掘削は15か月で完了した。しかも平均月進120m、最大月進206mの高速施工を記録しながら、労災事故もなく無事竣工した。

神戸市・第2新神戸トンネル

昭和59年から施工した第2新神戸トンネルは、山陽新幹線新神戸駅付近より北区山田町下谷上までの六甲山脈を横断する6,782mの道路トンネルである。著者が担当した第5工区は、斜坑544m(勾配12%、掘削断面40m²)、本坑2,245m(掘削断面標準65m²、最大90m²)、電気室、および新神戸トンネルとの連絡坑を建設する工事であった。

地質は大部分が六甲花崗岩で、その中間部に石楠花断層とその派

生断層があり、さらに出口付近は凝灰岩・泥岩の堆積岩が占める神戸層群が主体で、途中に山田断層や崖錐帯があった。施工方法はNATMで、掘削工法は地山の硬軟、岩質に応じて多段ベンチ、マイクロベンチ、ミニベンチを採用した。

本トンネルでは、多くの施工上の課題があり、当時、最先端であった技術を数多く取り入れることで、対応した。

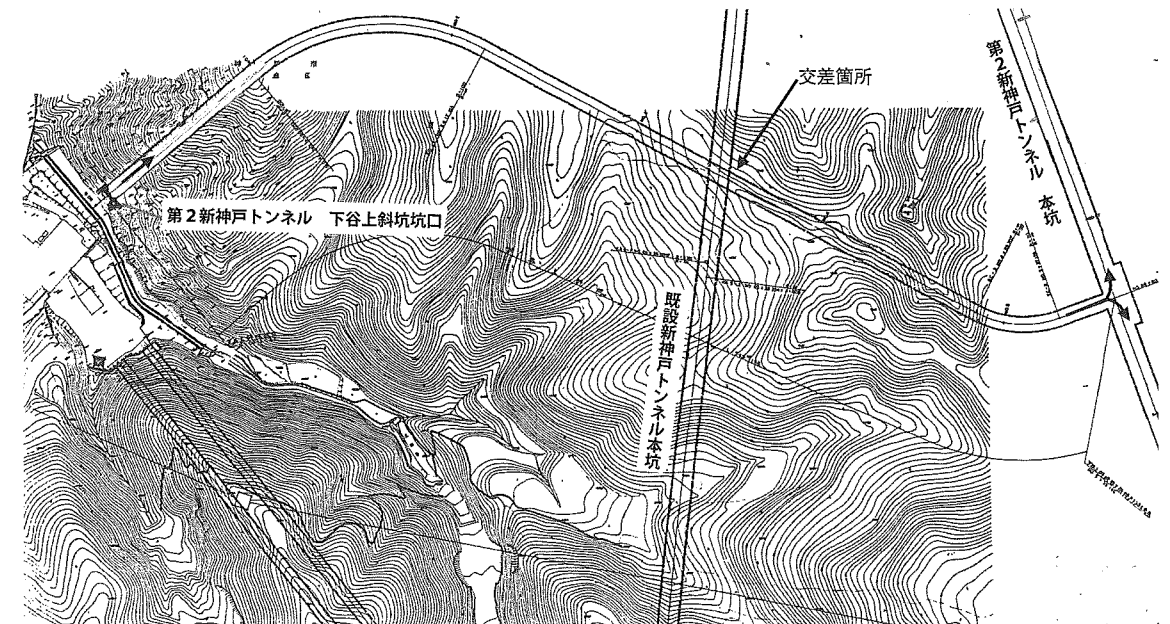
■施工上課題とその解決策

大断面部・不良地山部の施工

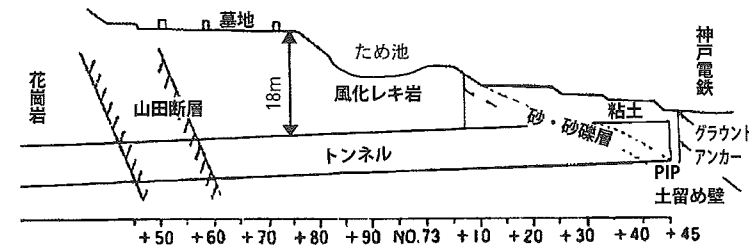
大断面部となる斜坑底本坑交差部や非常駐車帯および不良地山部には鋼繊維補強吹付けコンクリートを使用し支保剛性の向上を図った。当時、鋼繊維補強吹付けコンクリートはまだ導入初期段階にあり、練り混ぜ時のファイバーボール発生が課題であったため、大がかりな分散装置を使用した。さらに、吹付けコンクリートを鋼製支保工背面に充填することが困難なため、充填性の向上を期待して鉄筋支保工(シホダック)を試験的に施工したが、当時の製品は組立てに時間が掛かりすぎたため、本格的には採用しなかった。

石楠花断層の施工

石楠花断層は、隣接する供用中の新神戸トンネルの施工時に苦労している。そのため今回は破碎帯の手前30mより、見目で切羽岩質がよくても長尺ロットを使用して毎切羽で先行削孔を行い、前方地山の状態を確認した。破碎帯は湧水があり、湿潤状態の切羽面には当時の標準的な吹付けコンクリートでは付着しなかった。そのため



下谷上斜坑平面図(第2新神戸トンネル)



ツインヘッダーによる機械掘削	
補助工法	SFRC吹付け
	先打ちボルト
	スエックスボルト
	ウレタン注入工法

終点側坑口部(第2新神戸トンネル)

より凝結硬化が早い配合で対応した。

さらに、水抜き穿孔で切羽の水を逃がしながら、吹付け面の流水をなくして、吹付けコンクリートの付着性を確保した。加えて、多段ベンチで小さくした加背断面に鏡ボルトを打設し、切掛けながら上部半断面を確保した。

ロックボルト施工時には穿孔穴が自立しないため自穿孔式ボルト

を使用し、定着剤としてレジンを採用した。施工中に数度集中湧水があったが、追加の水抜きボーリング、フォアボーリング、鏡吹付け、鏡ボルトなどの対策を駆使することで切り抜けることができた。斜坑と新神戸トンネルとの交差箇所

斜坑が、供用中の新神戸トンネルと10.6m上で交差していた。既設トンネルの覆工の既存クラック

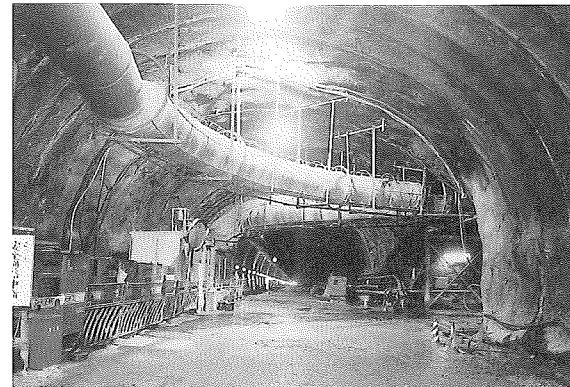
調査およびその追跡調査を行うとともに、事前に試験発破を行い、既設トンネル内で振動測定し、その結果からK値を求め、制御発破を計画・実施した。自由面が少なく振動負荷の大きい芯抜き・踏前部には斉発薬量を減らすためMS多段雷管を使用し、芯助・払い・払い助部には逆に遅延時間の大きいDS多段雷管を使用した。

大規模住宅団地・小学校・高圧鉄塔直下での発破掘削

土かぶり120mの直上にトンネル延長1.3kmにわたり大規模住宅団地、小学校、および高圧鉄塔があったが、発破掘削方式で計画されていた。地元説明会をたびたび開き、工事内容の理解と協力をお願いした。昼間発破時は住宅団地の暗騒音、暗振動が大きいため苦情が少なかったが、深夜発破時は発破振動が問題となった。そこで深夜発破を避け作業時間を変更し、



下谷上斜坑入口(第2新神戸トンネル)



斜坑底と本坑(第2新神戸トンネル)

早出・早終いで対応した。高圧鉄塔に対しても試験発破と測定を行い、発破の影響がないことを確認しながら対応し、通過することができた。

山田断層での小土かぶり・供用中トンネル近接施工

終点側坑口では、神戸層群の中にルーズな山田断層が確認されていた。その直上には土かぶり18mでトンネル延長30mにわたり古い墓地があり、土かぶり10mで農業用ため池があった。さらに、供用中の新神戸トンネルとはトンネル外壁離隔で10mと近接していた。

地質は含水量の多い礫・砂・粘土の互層であったため、薬注、メッセル、パイプルーフなどを検討した。最終的には、ウレタン注入剤を使用したPUIFボルトを採用し、上半仮インパートで早期閉合しながら掘削した。湧水の多い区間では膨張型ロックボルト(スエリックスボルト)を採用した結果、引抜き耐力が向上し、地山安定効果を確認できた。下半施工時には、PUIFボルトを下半盤から下向きに打設し、沈下抑制を図った。そのほかにグラスファイバーボルト、

鋼繊維補強吹付けコンクリートなども併用した。

これら新技術を積極的に導入することで、地表面沈下による被害や隣接トンネルへの影響は発生せず、無事掘削できた。

神戸電鉄有馬線との交差

トンネル出口側では、土かぶり60cmで神戸電鉄有馬線と交差した。最初に、終電から始発までの短い線路閉鎖時間に軌道内からBH杭(桁受け支持杭、山留め親杭兼用)を打設した。次に軌条桁を敷設したあとに、開削によりトンネル構造物を施工し、坑門と接続した。

■仮設備でとくに留意した点

(1) 坑内配線が2,000mを超える場合、電圧降下が大きいため、これを防止するため幹線を3,000Vで配線した。さらに、休日や作業休止時の換気・照明の電力節電や貫通後の排水の節電を図るため、デマンドメーターを設け、事務所を設置した制御盤で管理した。

(2) 急カーブや急勾配の坑口仮設ヤード、斜坑および斜坑底を全面舗装した。

(3) 坑内は路盤排水に留意し、

グレーダーを投入し、走行路の不陸整正に努めた。

(4) 突込み施工のため、斜坑底に予備ポンプ室を設け異常出水に対応した。

(5) 騒音対策として、とくに低周波騒音の低減効果を期待して、コンクリートを充填したギロチン式防音防振シャッター(重量約15t)を設置した。

おわりに

48年間にわたり土木工事に携わってきたが、今日までの経験から、若いトンネル技術者にとって参考になるであろうことをまとめてみました。

(1) 今まで、現場ごとに当時最先端のトンネル技術を取り入れ、改良工夫をしてきた。中には失敗したことや多大な費用が掛かることもあったが、多くの場合、施工困難さを乗り越えることができ、施工性や品質が飛躍的に向上し、結果として原価性の向上にもつながってきた。トンネル技術は日進月歩であり、そのスピードは速い。常に新しい技術、材料、工法に関心を持ち、現場に積極的に取り入れ

て行く努力が大切である。

(2) 土木工事は、大部分の仕事が現場ごとに条件の異なる自然が相手である。それゆえ、想定外の事象や事故が起こり、その対処に失敗や成功を経験する。これらの経験を身につけ、次のリスク管理に生かすことが重要である。とくに経験工学と言われるトンネル工事では、その面が強い。

(3) 工事原価のなかには、工期に関係する人件費、借地費、仮設建物損料、機械損料、電気料金などが含まれる。工程の長短により生産原価が大幅に変わることを認識し、工程管理をすべきである。

(4) 木製支保工の時代とは異なり、最近は人力よりも機械力が重要視され、段取り7分と言われるように仮設工事が大事なポイントを占める。「機械故障で100人遊ぶ」のたとえのように、1つの機械が故障するとすべての作業が止まる山岳トンネルでは、修理の時間が短縮できるよう人員や部品の準備が肝要である。

(5) 最近の傾向として、現場配属職員が以前に比べて少なくなり、さらに地元対応や提出書類に追われ、現場は協力会社まかせであることが増えている。しかし、技術者は、現場をよく見、よく知り、

協力会社に技術面で指導的立場に立てるよう日ごろから研鑽すべきである。切羽に常時いる世話役や坑夫は山をよく知っている。地山の傾向、緊急時の対応などは、彼らの意見も良いものは取り入れる必要がある。そのため、日ごろから職人たちとコミュニケーションをとっておくことも重要である。

(6) 災害は思わぬときにやってくる。とくにトンネル工事では重大災害になる可能性が大きい。ことを起こさないためにはどうすればいいのか。ことが起こればどのように対応をするかは、常日頃の心構えと準備が肝要である。

Tunnel Wall

日本坂はトンネル銀座？

国際航業(株) 大島 洋志

東海道の大井川を過ぎて静岡へ行こうとすると、駿河湾に断崖絶壁で落ち込む山塊が行く手を遮る。断崖の裾、大崩海岸沿いの踏破はとても困難な障壁となっている。図-1は国土地理院の20万分の1地形図をカシミールで編集した静岡・焼津付近を示したものである(図中の四角枠の部分を地理院の5万分の1地形図を同様に編集したものが図-2である)が、その障壁をイメージすることができるであろう。

この難所を、古人はどのように越えていたのだろうか。調べてみると、次のようなことがわかった。

- ① 奈良・平安期は焼津の花沢から日本坂の峠(302m、図-2の楕円で囲った付近)を越えていた。万葉集の「坂越えて阿倍の田の面に居る鶴のとこしき君は明日さえもがも」という歌の坂は日本坂だといわれる。
- ② 平安中期以降は日本坂の急峻さを嫌い、その西の、大崩海岸から約5km内陸側の宇津ノ谷の鳶の細道(峠標高約195m)を越えるようになった。伊勢物語の中で在原業平が「駿河なる字つの山辺のうつつにも夢にも人に逢わぬなりけり」とうたったのはこの道と思われる。
- ③ 豊臣秀吉が小田原攻めの行軍の際、鳶の細道では不便なため現宇津ノ谷峠(約170m)付近に新たに道を造った。江戸期にはそれが東海道筋となった。安藤広重が描く東海道五十三次時代の街道は丸子から峠を経て岡部に至るこの道になる(図-3)。さらに明治以降はそのまま東海道(国道1号)として拡幅、さらには一部トンネル化(現宇津ノ谷トンネルは延長約840m)を伴う数度にわたる路線変更がな

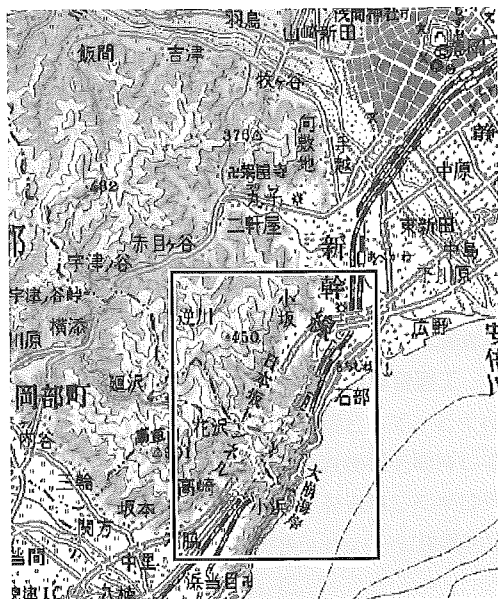


図-1 静岡・焼津付近1/20万地形図



図-2 日本坂・大崩海岸付近1/5万地形図(楕円部分が日本坂)

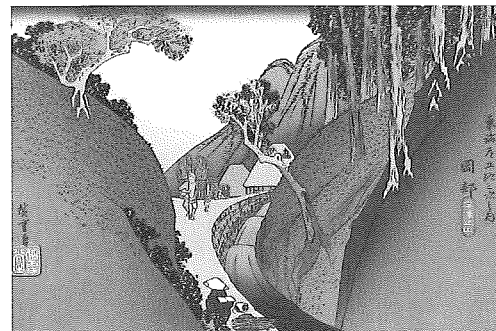


図-3 東海道五十三次 岡部(宇津之山), 安藤広重

されるなどして受け継がれ、今日に至っている(明治9年開通, 明治29年火災で焼失, 明治37年再開通, 昭和5年宇津ノ谷隧道, 昭和34年新宇津ノ谷隧道, 平成10年平成宇津ノ谷トンネル開通)。

明治以降建設が始まった鉄道に関しては、静岡～焼津間は海岸近くをトンネルで通過せざるをえないとの判断が働いたようで、明治22年に石部(970m)、磯浜(910m)の2トンネルからなる路線として開通している。両トンネルの間の大崩海岸の明かり区間は東海道本線の名勝として人気があったらしい。

しかし、2トンネルに挟まれた海岸沿いの区間は海岸侵食や斜面崩壊にさらされるなど、防災上の問題区間であり、別線で路線を改良する必要に迫られていた。そのため、東京～下関間の弾丸鉄道計画の一環として施工済みであった日本坂トンネル(現東海道新幹線のトンネル、写真-1は静岡方坑口)が、弾丸鉄道計画の断念により、そのまま放棄となり、勿体ないということでこのトンネルを走る路線に移設(昭和19年10月)された。移設後の2トンネルを含む鉄道線路敷は国道150号として昭和30年代半ばまで使われていた、という信じられないような話もあるらしい。

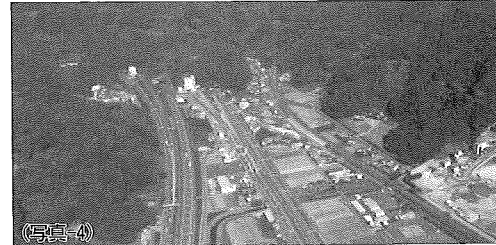
昭和32年に始まった東海道新幹線計画の推進(弾丸鉄道計画の復活)に伴い、日本坂トンネルは在来線として継続使用不可となり、道路トンネル



として使用されていた石部トンネルの途中から山側に分岐させ、磯浜トンネルの中間部にドッキングさせるトンネル改良工事に着手し、昭和37年に竣工、現在の東海道本線の姿になった。

大崩海岸沿いに走る県道(旧国道)は、斜面崩壊に対処して海上に橋梁で逃げている部分がある(図-2、写真-2)。この海上橋の300m以上南の海岸部には、古い石部トンネルの坑口残骸を遠望することができる。国道として使われていた旧石部トンネルの南坑口が、昭和23年当地域を襲ったアイオン台風によって一部崩壊し、その後もしばらく手直しをしながら使われていたが、現在の東海道本線の姿に再切り替えされ、道路トンネルとして使われなくなって以降は荒れるにまかされてしまった結果ということになるようだ。産業廃棄物で埋め立てられた谷間は、昔の石部トンネルから磯浜トンネル坑口に到る東海道線の明かり区間だったところである(写真-3)。

その後、道路交通量の増加に対応すべく、当区間を通行する道路は、鉄道が通る日本坂付近に集中するようになり、旧道トンネル、東名高速の3トンネル(昭和44, 昭和54, 平成10年開通)と国道バイパスの2トンネル(昭和53, 平成15年開通)も



この地を通過しており、トンネル集中地帯(トンネル銀座)となった。写真-4は焼津方から見た眺めである。右から東海道本線の石部トンネル(単線並列)、東海道新幹線日本坂トンネル、国道バイパスの新日本坂、日本坂両トンネル、東名高速道路日本坂Ⅱ期線の3車線断面とⅠ期線の2車線断面2本の3トンネルであり、計8本のトンネルが見えるのである。

東名高速道路の日本坂トンネルⅠ期線は、日本のトンネル建設史上類を見ない毎分180m³の突発湧水やタンクローリーの追突事故による火災事故があったトンネルとして有名である(異常湧水のあった断層を図-2に破線で表示した)。先に施工済みの新幹線トンネルもこの谷部で大量湧水があっ

たが、地下水の上流側の道路トンネルに対する先行水抜き効果はなかったようだ。

さて、日本坂という地名の謂われは? と思われる方が多いと思う。自身ネットで調べて得たそれらしき伝聞を示して終わりとする。

- ① 日本武尊^{ヤマトノミコ}が東方征伐の折当坂を通り、絶景を遠望した(焼津の焼津神社は皇子を祀る社)。
- ② 徳川家康公が放鷹の折、当坂からの眺めを日本一であると絶唱した。

いずれにしても、駿河に縁の深い二英雄の事跡と絡み合わせて語られているのが面白い。それほど絶景の峠なら、急峻さを嫌う必要なんかないのでは、と思うが、いかが思われますか。

「Tunnel Wall」投稿原稿募集

「Tunnel Wall」は読者の方からの投稿を受付けております。

「本の書評」、「雑談」などトンネルにかかわるものでしたら内容は問いません。ただし、宣伝色の強いものや人を誹謗中傷するものは掲載をお断りしています。

掲載につきましては、編集委員会で審査を行い、掲載をお断りすることがありますので予めご了承ください。

ボリューム：3,000字程度(図・写真を挿入する場合は、それらを掲載する大きさを文字数を換算して全体のボリュームを調整してください)

原稿送付先：〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
(株)土木工学社 編集部

提出書類：電子データ(Word, 22字詰め, CDに保存)および打ち出し原稿

施工

狭隘道路下における14.5Rの急曲線を泥濃式推進工法で施工

—東京都下水道 世田谷区等々力三丁目付近枝線—

東京都下水道局南都下水道事務所管路施設課長 萩原清志
日本国土開発(株)東京本店等々力推進作業所現場代理人 鈴木淳一
(株)アルファシビルエンジニアリング技術開発部技術部計画課長 松本文彦

1 はじめに

東京都世田谷区は、全域が低地と微高地で形成された住宅市街地であり、近年、局所的な集中豪雨の頻発により浸水被害が多発している。

また、区内の面積の4割を占めている多摩川沿いの分流地区では高度成長期以降の急激な都市化の進展にあわせ污水管の整備を先行した結果、雨水管の整備率は未だ25%に留まっている。

このため、雨水の排除は排水能力の低い側溝や柵渠に頼っており、平坦地や窪地などで浸水の危険性が高い地域が存在している。さらに、污水管、雨水管双方が整備された地域でも、污水管内に不明水が流れ込むことにより、污水排水に支障をきたしている地域が存在している。

今回紹介する等々力三丁目付近枝線工事は、周辺地域の浸水被害の低減および污水排水能力の向上を図るため、施工したものである。

2 工事概要

工事件名：世田谷区等々力三丁目付近枝線工事
管 径：φ900mm

推進延長：(上流路線) $L_1=215.60\text{m}$

(下流路線) $L_2=472.69\text{m}$

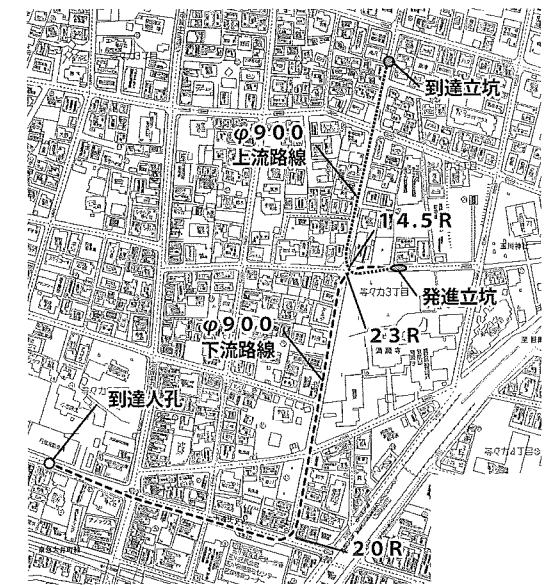


図-1 施工全体図

曲線条件：14.5R+500R, 23R+20R+100R+100R

土質条件：粘土層～泥岩層

工 法：超流バランスセミシールド工法

本工事場所は、閑静な住宅街であり、立坑用地の確保や推進設備用地の確保が困難なため、推進ヤードは一般道路を使用することとした。

推進設備は交通への支障が比較的小さい場所と

し、移動が容易な車上プラント化により、夜間の交通を確保することで、住民生活への影響を最小限に抑制することとした。

発進立坑は、図-1に示す「発進立坑」の位置としたため、狭隘道路の十字路を鋭角に管を布設することとなり、14.5Rの超急曲線を推進する非常に難易度の高い工事となった。

また、下流路線においては、23Rと20Rのクランク状の急曲線に加えて、既設人孔へ直接接続するため、到達後に掘進機を発進部まで戻して引き上げる工法とした。

施工対象土質は、本地域特有の土丹層と軟弱な粘土層の互層部となることから、掘進機の選定には十分な検討を必要とした。

以上の課題をまとめると以下ようになる。

- 課題①：狭隘道路での推進施工
- 課題②：超急曲線施工
- 課題③：到達後、掘進機を引き戻す工法の選定
- 課題④：軟弱～硬質土に対応可能な掘進機の選定

以上の課題に対し、検討を行った内容について、次章に示す。

3 採用工法およびその特徴

3-1 推進プラント

推進工事においては、切羽に注入する作泥材作成や排土作業のための地上プラントが必要となる。夜間に道路を開放するため、すべてのプラントを

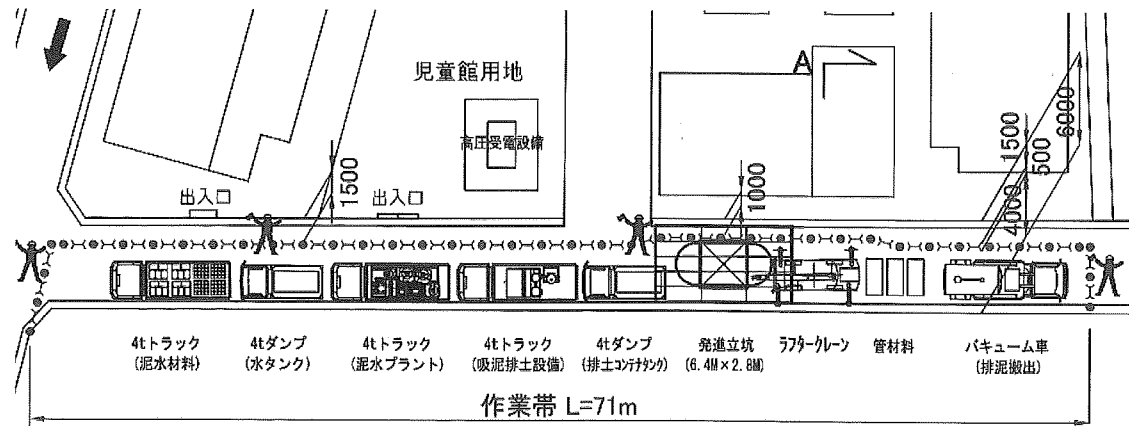


図-2 車上プラント配置図

トラック上に配置し、作業終了後にトラックごと搬出する方法を採用した。使用可能なヤードスペースが限られていることから、他工法(シールド工法や泥水式工法)よりも省スペースで作業が可能な「泥濃式推進工法」を採用するものとした。

3-2 超急曲線対応

急曲線推進施工に求められる掘進機の条件として路線条件以上の曲線造成能力を有することは必須であるが、それ以外では、多段中折れであることが挙げられる。これは後述する曲線側方への張り出し力を極力小さくすることで、推進管の曲線への追従性を向上させる必要があるためである。さらに、その中折れ間隔を一定とすることで、余掘り量を一定とし、テールボイドの乱れを防止、管外周面抵抗値を軽減することが重要である。

以上のことから、本工事においては泥濃式推進工法の中でも、これらの条件を満たし、急曲線推進実績を多数有している超流バランス式超急曲線

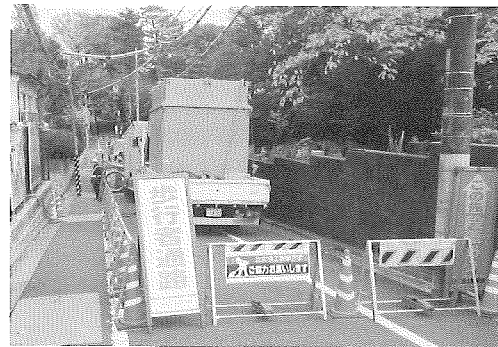


写真-1 発進立坑周辺状況(推進作業中)



写真-2 超急曲線掘進機



写真-3 破砕型急曲線掘進機(リターン回収型)

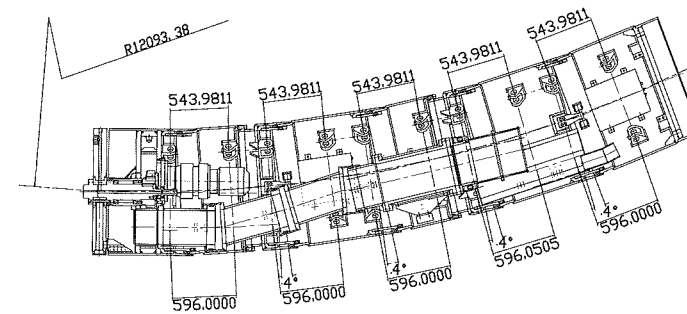


図-3 超急曲線掘進機シミュレーション

掘進機を採用するものとした。本掘進機の全景を写真-2, 3に、曲線造成状況シミュレーション図を図-3にそれぞれ示す。また、掘進機長の違いによる管列の曲線通過状況の模式図を図-4, 5にそれぞれ示す。

3-3 推進力検討

推進工法においては、シールド工法とは異なり、掘進機に追従する推進管を発進立坑から順次押し込み、管路とするため、施工延長が長くなるにつれて、推進管の移動距離も長くなるため、周面摩擦力が上昇することとなる。また、曲線推進の場合には、元押し推進力の方向モーメントのズレから競りだし力が発生し、曲線開始地点が発進側に近いほどその現象が顕著に表れる。

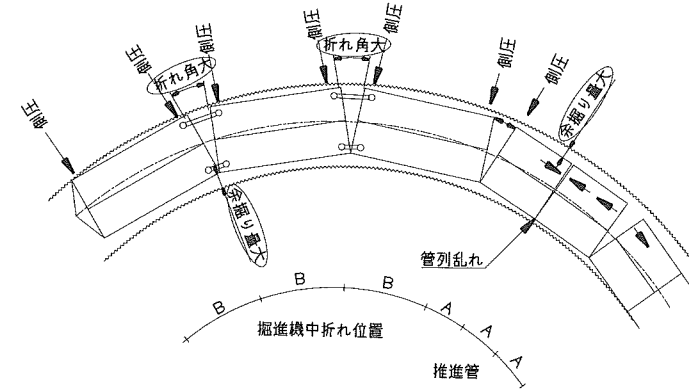


図-4 2段中折れ掘進機の場合の曲線通過模式図

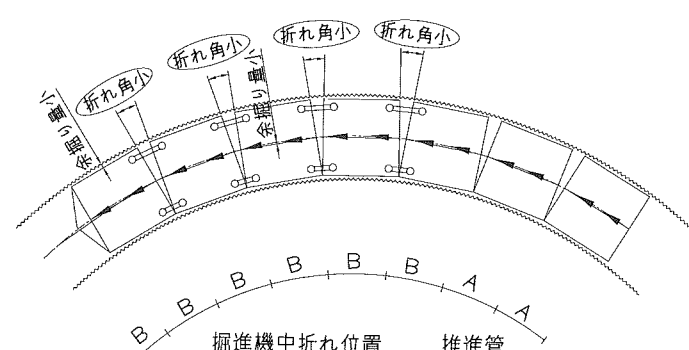


図-5 4段中折れ掘進機の場合の曲線通過模式図

図-6に曲線通過時の管列の模式図を示す。この図に示すとおり、曲線を通する際には、後方からの推進力に対して、 $\cos \alpha$ 分の推進力の増加が必要となる。あわせて曲線外側に対して競りだし力が発生するため、テールボイド(掘進機による掘削外径と推進管外径とのクリアランス)に乱れが発生しやすく、推進力の上昇が懸念される。

一般的な泥濃式推進工法では、切羽へ高濃度泥水(粉末粘土、繊維目詰材を主材とした高比重・高粘性の性状)を注入し、掘進機カッタで攪拌・混合

することにより、切羽性状を半塑性・半液性の性状とし、切羽圧力を作用させることで、切羽の安定を図る。排土管理は地下水圧+20~40kPaの範

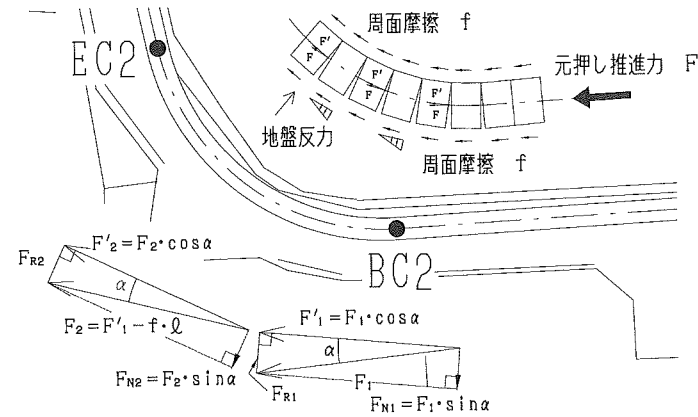


図-6 曲線通過時の管列の模式図

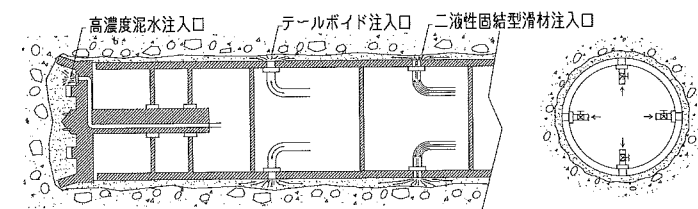


図-7 一次テールボイド形成システム

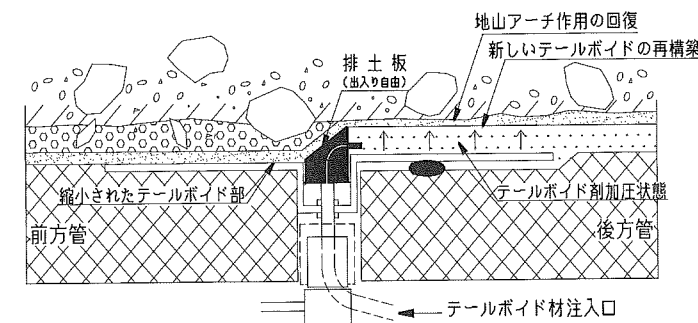


図-8 TRS(テールボイド拡幅再構築)装置概念図



写真-4 TRS(テールボイド拡幅再構築)装置

围で切羽圧力を管理しながら排土バルブを調圧することで、間欠的に行われるため、複合地盤においても瞬時の対応が可能となることから、土質への適用性に優れており、昨今の中小口径管路構築技術の中心となっている。

その中でも超流バランスセミシールド工法は、上記に加えて掘進機の外周方向に掘進機外周テールボイド材を注入し、二液性固結型滑材と相まってテールボイド部(推進管外径+片側30mm)を不透水性の高い性状とすることで、地盤の安定と外周面抵抗力の低減を図り、長距離推進・急曲線推進を安定した状況で施工可能なシステムとなっている。

図-7に超流バランスセミシールド工法における一次テールボイド形成システム概要図を示す。
また、今回のような長距離・急曲線施工においては、テールボイドの置き換えりやテールボイドの脱水現象により、管外周面抵抗力が上昇することで、推進力が増大する場合がある。そのため、推進力低減システム(二次テールボイド安定システム)として、TRS装置を採用した。図-8および写真-4にTRS装置(テールボイド拡幅再構築装置)の概念図および写真をそれぞれ示す。

本システムは一般的な推進管のカラー部を加工し、排土板およびそれを押し

表-1 計画推進力など一覧表(超流バランス式)

	上流スパン (L=215.60m)	下流スパン (L=472.69m)
前面抵抗値(F ₀)	77.369 kN	246.908 kN
前面抵抗値を除く推進力(F')	532.104 kN	1,289.058 kN
総推進力(F)	609.473 kN	1,535.966 kN
平均管外周面抵抗値(R)	0.728 kN/m ²	0.804kN/m ²
BC1地点の最大推進力(F _{BC1})	542.127 kN	1,470.020 kN
目地開口長 (φ900mm, L=800mm)	61.9mm (R=14.5m)	44.4mm (R=20m)

出すための排土板ジャッキを装備しており、排土板により5~10mm程度拡幅し、そこに滑材効果の高い粒状滑材を注入することにより、置き換わったテールボイドが再度構築されることで推進力の低減(管外周面摩擦力の低減)を図るシステムである。本システムの採用により、従来の30~40%程度、管外周面抵抗値を低減することが可能である。
以上のような対応により、当現場における推進力を算出した結果を表-1に示す。

3-4 管種検討

推進工法において布設される推進管の管長は、路線に含まれる曲線の曲率半径に依存し、曲線通過時に生じる目地開口差が推進管の持つ許容抜け出し長を満たすように設定される。式(1)に目地開口差の算出式を示す。

$$目地開口差 S = (L \times D) \div (R - D/2) \quad (1)$$

ここで、L:管長(m)

D:管外径(m)

R:曲線半径(m)

今回の路線においては、表-1に示す目地開口長の検討結果にもとづき、上流工区(最小曲線半径14.5R)、下流工区(最小曲線半径20R)のいずれも800mmの管長の推進管が必要となった。そのような短尺管を使用した場合、推進力伝達時に引張応力が発生することで、低い推進力にもかかわらず推進管が破損するケースがあることから、せん断力の強い鋼管巻きの推進管を採用する事例が多くなってきている。今回の施工においても、写真-5に示す鋼コンクリート合成管を採用した。



写真-5 鋼コンクリート合成管(φ900mm, L=800mm, 3種管)

4 施工結果

4-1 車上プラント工について

写真-6に現場施工状況(車上プラント設置状況)を示す。狭隘道路に歩行者通路を確保すると立坑および設備プラントは非常に狭小なスペースとなる。この中で、日々車上プラントの設置撤去、覆工板開閉、配線配管の接続作業に時間を費やし、1日あたりの掘進作業時間は5時間程しか確保できず日進量に大きな影響を与えた。

こうした現場では、配線配管などの段取りが迅速にできるシステムの構築が今後の課題としてあげられる。今回採用した車上プラント工は、施工ヤードの確保が困難な都市部では有効な対応方法であるため、施工前後の準備工の効率化の必要性を痛感させられた。

4-2 上流スパン(L=215.60m, 14.5R+500R)

本スパンは、今回の施工条件でもっとも小さな14.5Rの曲線を含んでおり、当初計画で特殊推力伝達装置を1か所設置したが、最大推進力は441

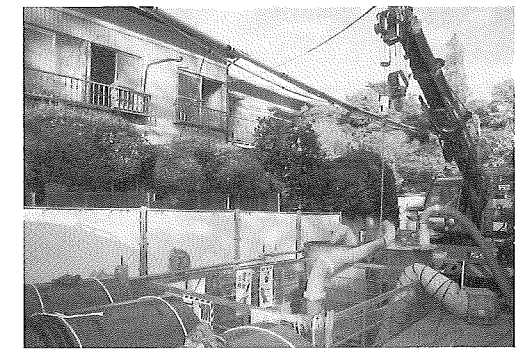


写真-6 現場施工状況

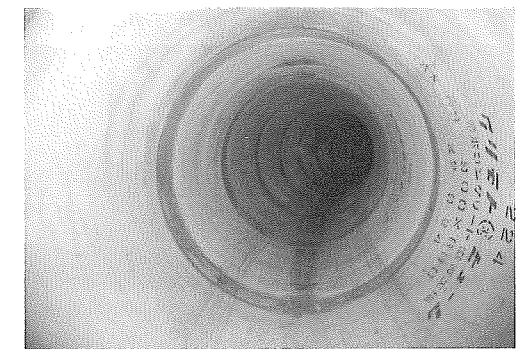


写真-7 急曲線(14.5R)管内状況

kNと計画の72%で推移したため、結果的に使用することはなかった。軟弱地盤ゆえに精度不良が懸念されたが、急曲線14.5R内では鋼コンクリート合成管を1本ごとに管内測量を行う厳しい施工管理を行ったことにより、測量に費やす時間も多大であったが、その結果として管理値以内に収まり無事到達立坑に到達し完了した。

写真-7に急曲線14.5Rの推進管内状況を示す。

4-3 下流スパン(L=472.69m, 23R+20R+100R+100R)

本スパンは、急曲線のクランクカーブを含む長距離推進であり、軟弱地盤から硬質土地盤へと変化する複合地盤であった。さらに内径1,500mmの既設人孔に到達させる必要があるため、高精度での施工が要求される非常に難易度の高い推進であった。

クランク状の急曲線(23R, 20R)を有するため、不測の推進力上昇に伴う推進管への影響が懸念されたこと、また、先に述べた車上プラント工により所定の日進量が確保できず、施工期間が長期化することに伴い周囲の地山の摩擦力により推進力の上昇が懸念されたことから、特殊推力伝達装置を3か所設置して施工に臨んだ。

施工途中、硬質土の掘進時には前面抵抗力の上昇により、曲線区間での外側方向への張り出し力が大きくなることで、推進力が高めに推移したものの、ほぼ計画どおりの推進力で到達し、特殊推力伝達装置を使用することなく、到達することができた。

下流スパンは、23R, 20Rの急曲線のクランクカーブを押して既設人孔に到達させるため、地上

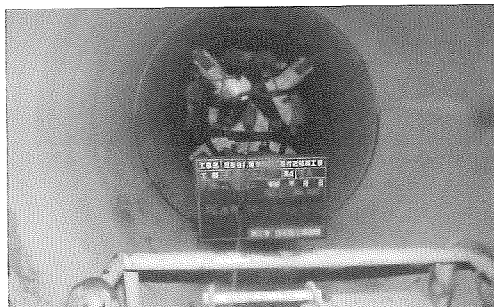


写真-8 掘進機リターン回収状況

部測量と推進管内測量を随時行い、測量誤差を修正し施工した。既設到達人孔(内径1,500mm)に推進機(外径1,120mm)を到達させるべく、管呼び径×5%以内の施工精度を求めた結果、20mm程度の誤差で到達し、無事既設人孔への接続を完了した。写真-8に掘進機リターン回収状況を示す。

5 おわりに

今日、推進工法は地下インフラ整備事業として欠かすことができない施工技術となっている。そのため、都市部の密集化した地域においては、さらなる要求事項を求められている。今回紹介した事例は、狭小スペースに対応した省力化された車上プラントや、掘進機回収用の到達立坑を不要とした既設人孔への直接到達、および住宅街の限られた道路線形に応じた超急曲線推進事例は、まさにそれに該当すると言える。

本工事において得られた知見を以下にまとめる。

- ① 超急曲線推進の場合、多段中折れの一定した折れ角を有する掘進機がテールボイドの安定に有効である。
- ② 切羽・テールボイドの安定形成のためには、十分な余掘り量とそこに充填される材料の選定が重要である。
- ③ 軟弱層であっても造成能力が優れ、折れ角の少ない掘進機を使用することで、地盤改良をせず、施工可能である。
- ④ 推進力低減装置は、急曲線推進に必要不可欠である。
- ⑤ 車上プラントは都心部での推進施工の適用性を拡大する手段として有効である。
- ⑥ 測量頻度、測定精度を高め、推進管理を行うことで、超急曲線でも、十分な施工精度の確保が可能である。

最後に、本工事は2年8か月に及ぶ長期間、住宅地の直近道路で行った困難な施工であったが、徹底した安全管理と周辺環境への特段の配慮の結果、事故や苦情もなかったことが最大の成果であった。本工事にかかわった多くの方々に感謝申し上げたい。

参考文献

- 1) 超流セミシールド協会：泥濃式推進工法「超流パランスセミシールド工法：設計積算要領」, 2010.7.
- 2) 鶴岡裕・寺内保男・鹿野聡：地盤改良なしで急曲線・

急勾配を連続推進, 東京電力・水元4丁目付近管路新設工事, トンネルと地下, Vol.32, No.3, pp.43-51, 2001.3.

- 3) 時枝直人：長距離・曲線推進用滑材注入システムの解説, 月刊推進技術, pp.10-23, 2002.2.

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位防止○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メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

土木情報 No.464

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
中四国農政	吉野川下流域農地防災事業北部幹線水路(大寺工区)建設	竹中土木	1,294
関東地整	矢切函渠その9	前田建設工業	1,664.99
〃	田尻地区函渠その4	大成・京成JV	4,581.2
〃	〃 その5	熊谷組	5,797.6
四国地整	H23-25岩松T	大成建設	1,014
都市再生機構	田町駅東口北地区下水道その他整備	清水建設	658
東日本高速道路	常磐自動車道小島新田地区横断ボックス	鉄建建設	297.9
北海道	上幌内早来(停)線交付金(改築)(2号T)外	鉄建・福津JV	707.1
埼玉県	南部流域芝中継バイパス管築造	三ツ和総合建設業協組	117.92
山梨県	一般県道遅沢静川線宮窪T改良	砂田・小林JV	252
長野県	H23社会資本整備総合交付金(活力創出基盤整備)R152飯田市小道木BP(小道木2号T)	戸田・吉川・池端JV	1,954.43
〃	H23社会資本整備総合交付金活力創出基盤整備・418号	木下建設	441
三重県	H23宮川流域下水道(宮川処理区)明和幹線(第2工区)管渠	熊谷・西邦JV	319.5
滋賀県	琵琶湖流域下水道東部湖東幹線栗田工区管渠	昭建	304.7
大阪府	都計道大和川線常磐東開削T(躯体工)	清水・東亜・東急・太田JV	7,220.3
〃	〃 避難通路布設	久本・大起JV	889.7
和歌山県	有田湯浅線(仮称新田坂T)道路改良外合併	小池・伊藤JV	707.9
島根県	一般県道浅利渡津線渡津工区社会資本整備総合交付金(改良)(仮称)江の川T	鴻池組	2,523.15
さいたま市	西口第2排水区下水道	江田組	114.66
八潮市	流域関連公下事業23-中央・雨水管渠築造その2	織田	118.1
千葉市	下水道施設移設(幸23-1工区)	東急・小柳JV	111.55
横浜市	南部処理区滝頭地区下水道再整備(その13)	石田建設	218.79
川崎市	大師河原貯留管建設土木その1	大成・大豊・渡辺JV	479
敦賀市	市道西浦1号線手ノ浦T(仮称)	石原・辻広・森口JV	1,350
静岡市	H23静岡処理区興津幹線下水道築造その3	三井住友・静鉄JV	507
四日市市	橋北滞水池築造	大豊・日進JV	317.84
福岡市	八田第15雨水幹線築造	大林・宮本・日光JV	1,329.43
〃	雑餉隈第6雨水幹線築造	フジタ・村本・九州総合JV	1,201.12

研究

早期閉合の効果を施工事例および数値解析より検討

(株)高速道路総合技術研究所トンネル研究室主任研究員 小川 澄
清水建設(株)地下空間統括部担当部長 楠 本 太

1 はじめに

山岳トンネルの安定は、グラウンドアーチの形成による自立を基本にしている。脆弱で粘土質の断層破碎帯や強度不足の押し出し性地山などでは、トンネルは不安定になりやすく、大変位や支保工の変形、破壊などが発生し、縫い返しを余儀なくされる場合がある。このため、これらの不良地山や坑口部などで変形抑制が必要なトンネル施工では、小断面での掘削や補助工法を駆使して、トンネル支保の安定を確保する方法が採用されてきた。これら、不良地山などにおけるトンネル支保の安定の確保、大変位の克服はトンネル掘削の技術的課題であった。

近年、このような不良地山などにおいて、上半切羽から1D(Dは掘削幅)程度で吹付けコンクリートや鋼インバート支保工などにより早期にインバートを施工し、全断面を一気に閉合する工法(以下、「早期閉合」という)が多く採用されている。しかし、これら早期閉合に関する具体的な設計方法や施工方法などに明確なものはなく、各現場により対応されているのが現状である。

本稿では、早期閉合の効果や挙動特性について、早期閉合を採用し大変位を克服した道路トンネル22事例からその施工実績を整理・分析し、さらに、数値解析によりその有効性を検証して、今後の早期閉合の設計や施工方法確立に向けての一助とするものである。

2 施工事例の整理・分析

地山等級がDⅡ、Eなどに区分される不良地山と坑口部のDⅢにおいて、早期閉合で大変位を抑制できた代表的なトンネルを選定し、これらの施工データを収集、整理した。このデータをもとにして、早期閉合トンネルの設計、施工計画のための基本パラメータを抽出し、早期閉合支保の仕様や施工方法および力学特性や挙動特性など早期閉合を採用したトンネルの施工実態を分析した。

なお、本文中で使用する早期閉合トンネルに関する用語は、吹付けコンクリートへの作用土圧 P_0 や作用等価土かぶり高さ H_0 、内圧力や耐荷力 P_1 などの計算式とともに、表-1にまとめて示す。

2-1 施工事例の選定

今回抽出するトンネルの条件を以下に示す。

- ・トンネル変位を300mm以下に抑制できた2車線道路トンネルとする。
- ・掘削工法は、全断面工法、補助ベンチ付き全断面工法とする。
- ・早期閉合距離は、上半切羽から約1D程度とし、インバート吹付けコンクリートや鋼インバート支保工などの早期閉合支保部材で断面を閉合している。

なお、早期閉合の採用条件となる周辺地山の性質、地山強度比、早期閉合の目的・効果をパラメータとして、表-2のように5タイプの早期閉合パターン(以下、「閉合パターン」という)に区分して選

表-1 早期閉合トンネル用語と計算式

用語・呼称	概要と計算式	
①部 位(m)		
②インバート半径比	$=r_2/r_1$	r_1 : トンネル支保半径(覆工コンクリート背面位置) r_2 : 早期閉合支保半径(インバートコンクリート背面位置)
③地山強度比	$=1,000 \times q_u / (\gamma h)$	地山の軸圧縮強度 q_u に対する土かぶり圧 γh の比率。 q_u : 地山の軸圧縮強度 (N/mm ²) γ : 単位体積重量 (kN/m ³) h : 土かぶり高 (m)
④作用土圧 P_0 (N/mm ²)	$=\sigma_c \cdot t / r_1$	吹付けコンクリート最大軸応力 σ_c (N/mm ²) と厚さ t (m) の積で最大軸力を計算し、これをトンネル支保半径 r_1 (m) で除して算出。
⑤作用等価土かぶり高さ H_c (m)	$=1,000 \times P_0 / \gamma$	吹付けコンクリートへの作用土圧 P_0 (N/mm ²) を周辺地山の単位体積重量 γ (kN/m ³) で除して計算し、作用等価土かぶり高 H_c (m) として定義。
⑥作用等価土圧 P_e (N/mm ²)	$=\gamma \cdot H_c / 1,000$	作用等価土かぶり高 H_c (m) に周辺地山の単位体積重量 γ (kN/m ³) を掛けて計算する。
⑦吹付けコンクリート軸圧縮耐力 N_c (kN)	$=1,000 \times A_c \cdot f'_{ck}$	A_c : 吹付けコンクリート断面積 (m ²) f'_{ck} : 設計基準強度 (N/mm ²)
⑧内圧力, 耐荷力 P_1 (N/mm ²)	$=\{N_c / r_1, N_c / r_2\} / 1,000$	トンネル支保と早期閉合支保に対して、吹付けコンクリート軸圧縮耐力 N_c (kN) をトンネル支保半径 r_1 (m), 早期閉合支保半径 r_2 (m) で除して算出。
⑨耐荷力の余裕	$=P_1 / P_0$	P_1 : 内圧力, 耐荷力 (N/mm ²) P_0 : 作用土圧 (N/mm ²)
⑩早期閉合施工方法		

表-2 早期閉合トンネル区分

閉合パターン	周辺地山の性質	地山強度比 F_c	早期閉合の目的・効果
DIII1	未固結, 強度不足地山	-	早期閉合により, トンネル支保構造体の安定場を形成し, 過大な変位発生を抑制する。主に坑口部に採用されている。
DIII2	環境保全, 掘削影響の抑制	-	早期閉合により, 塑性変形の深部伸展を抑制し, トンネル掘削影響域の拡がりなどを抑える。主に坑口部に採用されている。
DII1	変形余裕を必要とする強度不足地山	$1 < F_c \leq 2$	塑性土圧の作用は小さいが, 早期閉合なしでの支保構造体の安定確保は困難である。
DII2	変形余裕を必要とする押し出し性地山	$0.5 < F_c \leq 1$	塑性土圧作用が予想され, 早期閉合なしでの支保構造体の安定確保と大変位の抑制は困難である。
E1	大変形余裕を必要とする押し出し性地山	$F_c \leq 0.5$	変位速度が速く, 高土圧の作用が予想され, 作用土圧に見合う高耐力, 高剛性仕様の支保構造体で力学的安定を確保する。

表-3 地山性状(事例数)

地山性状	閉合パターン					計
	DIII1	DIII2	DII1	DII2	E1	
押し出し性, 膨張性				8	1	9
未固結	2	3	1		1	7
地すべり		1	1		1	3
高水圧						0
上記以外	1	2				3
計	3	6	2	8	3	22

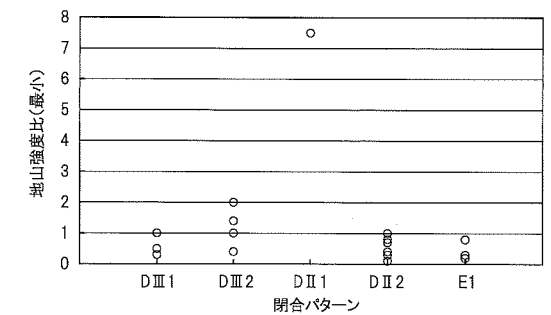


図-1 各閉合パターンと地山強度比

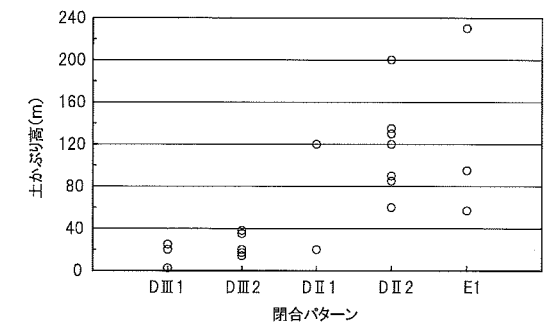


図-2 各閉合パターンと土かぶり高さ(最大)

定した。

2-2 施工事例調査結果

2-2-1 事例数

選定した早期閉合トンネルは、表-3に示す22事例である。閉合パターン別では、DIII1は3例、DIII2は6例、DII1は2例、DII2は8例、E1は3例を選定している。これらの施工実績から、特殊な地山条件に応じ早期閉合が採用されていることが確認できる。

2-2-2 早期閉合トンネルの実施状況

(1) 地山条件

表-3に示すように、押し出し性や膨張性地山では、閉合パターンDII2で8例、E1で1例あり、早期閉合事例の約40%を占める。未固結地山では、DIII1とDIII2で5例あり、約30%を占めている。地すべり影響抑制は、DIII1、DII1、E1で採用されている。早期閉合は、図-1に示すように閉合パターンDIII2、DII1を除くと、多くが地山強度比(最小)1.0程度以下で採用されている。

また、DIII1、DIII2は、主に坑口部で採用され

ていることから土かぶり40m以下となっている(図-2)。DII1、DII2、E1は、土かぶり高 h に関係なく採用されている。

(2) トンネル支保(上半・下半)の仕様

ここでは、上半・下半に施工された支保部材をトンネル支保と称し、またインバート部に施工された早期閉合の支保部材を早期閉合支保と称し、トンネルの支保部材を区分した、表-4にトンネル支保と早期閉合支保の仕様実績の集計を示す。

DIII1、DIII2では、吹付けコンクリート厚25cmで圧縮強度18N/mm²、鋼アーチ支保工サイズH

表-4 トンネル支保と早期閉合支保の仕様比較

閉合パターン	吹付けコンクリート						鋼(アーチ・インバート) 支保工サイズ			
	厚さ(cm)					圧縮強度(N/mm ²)	無	150	200	250
	20	25	30	45	55					
DIII1		3				3				3
		3				3	1	1	1	1
DIII2		4	1			3	2			5
	3	2				3	2	1	1	4
DII1	1	1				1	1			1
	1	1				1	1	1	1	1
DII2		5		1		1	5			6
	2	3		1		1	5			6
E1		2			1		3			3
	1	1			1		3			3

注：各閉合パターンで、上段：トンネル支保の仕様
下段：早期閉合支保の仕様
表中の矢印は、トンネル支保と早期閉合支保の仕様の異なるものを示す。

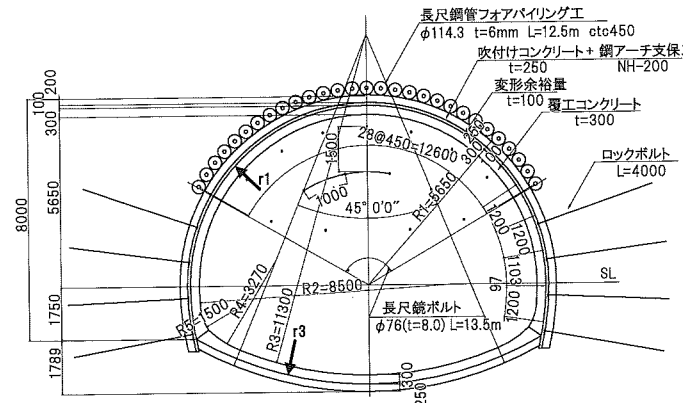


図-3 閉合パターン例DII($r_3/r_1=2.0$)

-200の組合せが多い。DII1では、事例数は2例と少なく、当初は主に早期閉合なしで、標準支保パターンDII-aによる標準施工が行われていたものに、変形量が大きくなり早期閉合支保を追加したと推察される。DII2では、図-3に示すように吹付けコンクリート厚25cmで圧縮強度36N/mm²、鋼アーチ支保工サイズH-200の組合せが多い。つまり、標準設計のDII-aからさらに変形量が大きくなり収束性が悪くなると、吹付けコンクリートの高強度化、鋼アーチ支保工のサイズUP、さらには、早期閉合へ移行した結果がうかがえる。

(3) 早期閉合支保(インバート部)の仕様

インバート部に施工する吹付けコンクリートや

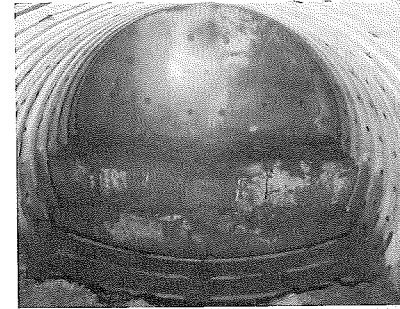


写真-1 早期閉合による施工



写真-2 鋼インバート支保工の施工

鋼インバート支保工の仕様は、DIII1、DIII2では、吹付け厚25cmで圧縮強度18N/mm²、鋼インバート支保工サイズH-200の組合せが多い。なお、8事例中5例で、トンネル支保の仕様と早期閉合支保の仕様が異なっており、インバート吹付け厚さの小さいものが3例、鋼インバート支保工なしが2例ある。

DII1、DII2では、吹付け厚さ20cmと25cmの圧縮強度36N/mm²、鋼インバート支保工サイズH-200の組合せが多い。なお、8事例中4例において、トンネル支保と早期閉合支保の仕様が異なっており、インバート吹付け厚さの小さいものが2例、鋼インバート支保工なしが1例ある。

このように、早期閉合支保の仕様については、トンネル支保の仕様を基本に決定されるケースが多いものの、その仕様についての目安などもないことから、各現場での地山状況に応じた対応となっているようである。早期閉合の施工状況を写真-1、2に示す。

(4) インバート半径比

インバート半径比(r_3/r_1)は、トンネル支保の半

径 r_1 に対する早期閉合支保の半径 r_3 の比で定義する(表-1)。インバート半径比は、図-4に示すように閉合パターンに関係なく、19事例中16例は2.0以上となっている。標準的な断面の比率が概略2.0~3.0の範囲であることから当初設計のインバート半径比をそのまま適用している例がほとんどであり、インバート半径比を変更している例は3例と少ない。

(5) 早期閉合の施工方法

早期閉合で施工方法の基本を表-1の⑩に示す。早期閉合の基本となるのが早期閉合距離 L_i と早期

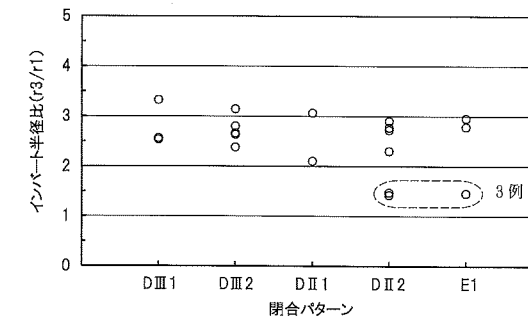


図-4 閉合パターンとインバート半径比

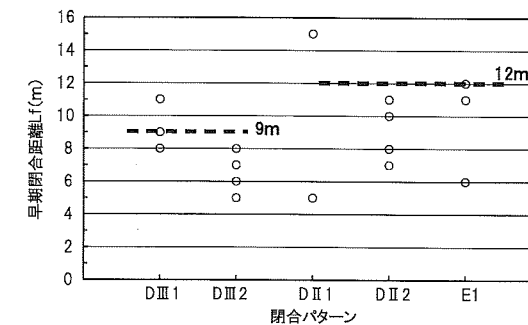


図-5 閉合パターンと早期閉合距離

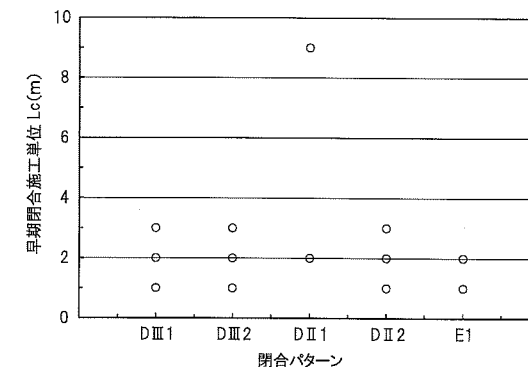


図-6 閉合パターンと早期閉合施工単位($r_3/r_1=2.98$)

閉合施工単位 L_c である。図-5に示すようにDIII1、DIII2では、 $L_i=9$ m以下の事例が多く、DII1、DII2、E1では、 $L_i=12$ m以下である。DIII2では、採用目的である変形抑制などからより短い閉合距離で施工されていることが確認できる。

早期閉合施工単位 L_c は、図-6に示すように $L_c=1\sim3$ mで行われている。

2-2-3 変形挙動特性

各事例における天端沈下、上半内空変位の最大値を地山強度比と閉合距離で整理したものを図-7~9に示す。

これらから、以下のことが確認できる。

- DIII1、DIII2の天端沈下、上半内空変位は、おおむね50mm以下で、地山強度比の違いによる差は小さい。
- DII2、E1では、天端沈下、上半内空変位ともに地山強度比が小さくなるにつれ増加し、E1の天端沈下、上半内空変位は最大で250mm前後となる。
- 各閉合パターンとも天端沈下は、早期閉合距

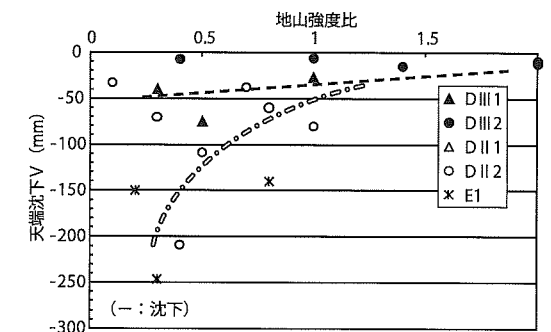


図-7 地山強度比と天端沈下

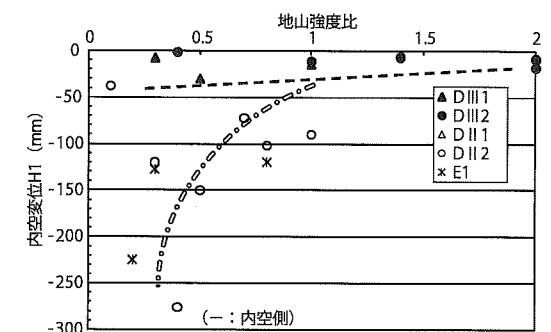


図-8 地山強度比と上半内空変位

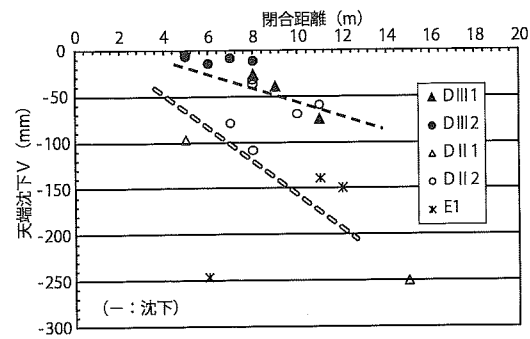


図-9 閉合距離と天端沈下

離 L_c を短くすれば変形量が小さくなる傾向であり、DII1, DII2 では、よりその効果が大きい(図-9)。

2-2-4 作用土圧 P_0 と作用等価土かぶり高さ H_c

支保部材応力の計測データがある17事例から、吹付けコンクリート軸応力の最大値 σ_c を用いて作用土圧 P_0 を計算し、これを単位体積重量で除して作用等価土かぶり高さ H_c を概略推定する(図-10)。図-11に地山強度比と推定した作用等価土かぶり高さ H_c の関係を示す。また、図-12に実際の土かぶり高さ h に対する作用等価土かぶり高さ H_c の割合を算出したものを示す。

これらから、以下のことが確認できる。

- DIII1, DIII2 では、吹付けコンクリートに作用する土圧は、作用等価土かぶり高さ H_c で最大25m相当以下が推定される。
- DII1, DII2, E1 では、地山強度比が1.0以下、作用等価土かぶり高さ約25mを境として、作用等価土かぶり高さ H_c が増加する傾向である。
- 作用等価土かぶり高さ H_c は、地山強度比が0.5を下回ると、地山強度比が小さくなるにつれ大きくなり、地山強度比0.5で $H_c=40$ m、地山強度比0.1で $H_c=80$ m が推定され、地山強度比による概略の作用土圧 P_0 の推定が可能と考えられる。
- 実際の土かぶり高さ h に対する作用等価土かぶり高さ H_c の割合は、土かぶり高さ h の小さいDIII1, DIII2 で30~70%、土かぶり高さ h の大きいDII1, DII2, E1 では25~50%

$$H_c = P_0 / \gamma$$

$$P_0 = Nf/r = \sigma_c \cdot A_c / r$$

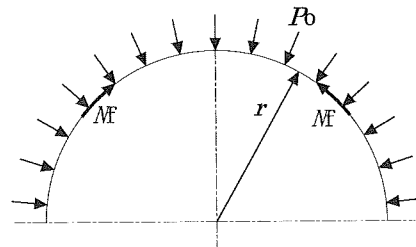


図-10 作用土圧と発生軸力の関係

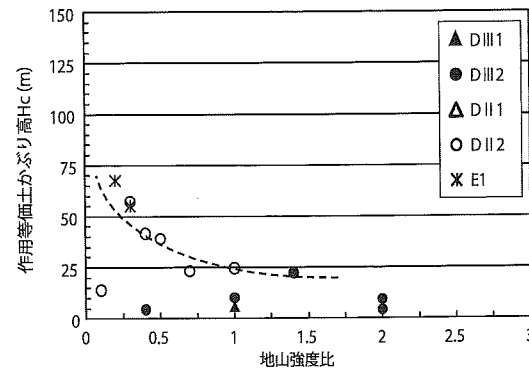


図-11 地山強度比と作用等価土かぶり高さ

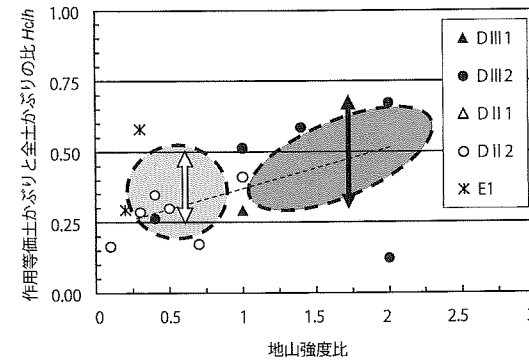


図-12 地山強度比と土かぶり比

となっている。

3 数値解析による変形挙動の検証

3-1 地山強度比の違いによる検証

地山強度比をパラメータとして、早期閉合の有無がトンネルの変形挙動や力学的安定性におよぼす影響を検証した。数値解析手法は、3次元 Finite Difference Method によるトンネル掘削

解析とし、解析コードは、FLAC3D-ver.3.0を使用した。

3-1-1 力学モデル

地山は、Mohr-Coulombの破壊規準を降伏条件とする完全弾塑性体とし、応力ひずみ特性はバイリニア関数で近似した。トンネル支保と早期閉合支保の吹付けコンクリートは、弾性体の薄肉シェル要素、鋼アーチ支保工と鋼インバート支保工は、弾性体のはり要素でモデル化した。ロックボルトは、考慮していない。掘削補助工法の長尺先受け工は、地山の改良体として等価剛性で考慮した。長尺鏡ボルトは、軸方向の付着特性を考慮したケーブル要素でモデル化した。

3-1-2 解析ケースの設定

解析ケースは、地山等級に対応させた地山強度比、早期閉合の有無をパラメータとし、8ケースを設定した(表-5)。

地山強度比(= $q_u / \gamma h$)は、土かぶり高さを $h=100$ mとし、地山等級別に一軸圧縮強度 q_u 、単位体積重量 γ を定めて算定した。変形係数 E は、 $E=100q_u$ で換算した。

表-5 解析ケースの設定

地山等級	E	DII	DII	DI	
地山強度比	0.2	0.5	1.0	2.0	
解析ケース	閉合距離 $L_c=8$ m	Ec	DIIc	DIIc1	DIc
	閉合なし	E	DII	DII1	DI
一軸圧縮強度 q_u (N/mm ²)	0.5	1.0	2.0	5.0	
単位体積重量 γ (kN/m ³)	20	21	21	22	
変形係数 E (N/mm ²)	50	100	200	500	

3-1-3 解析モデルの概要

解析領域は、トンネルと作用荷重の対称性を考慮し、トンネル中心を対称軸とする半断面とした。土かぶり高さは100m、側面はトンネル壁面より50m、底面までは30m、奥行き150mとした。図-13に3次元解析モデルの概要を示す。

トンネル支保の仕様と早期閉合支保の仕様は同一とし、事例調査から地山等級に対応させた支保パターンとした(表-6)。掘削補助工法は、地山強度比2.0(地山等級DI)のケースを除き、事例調査から表-7のものを考慮する。また、インバート半径比は、全ケース共通で、 $r_3/r_1=2.98$ とした。解析に用いたDIIの場合の早期閉合パターンを図-14に示す。

3-1-4 解析ステップ

トンネル掘削延長は70mとし、解析ステップ数は初期応力計算を含め71である。早期閉合距離は

表-6 トンネル支保と早期閉合支保の仕様

地山等級	吹付けコンクリート	支保工サイズ
DI	$t=20$ cm, $f'_c=36$ N/mm ²	NH-150@1.0m, SS400
DII	$t=25$ cm, $f'_c=36$ N/mm ²	NH-200@1.0m, SS400
E	$t=30$ cm, $f'_c=36$ N/mm ²	NH-250@1.0m, SS400

表-7 掘削補助工法の仕様

補助工法名	サイズ(m, mm, mm)	範囲, 間隔
長尺先受け工	$L=12.5$, $\phi 114.3$, $t=6$	上半120°, $p=45$ cm
長尺鏡ボルト	$L=12.5$, $\phi 76$, $t=8$	上半120°, $p=1.5$ m

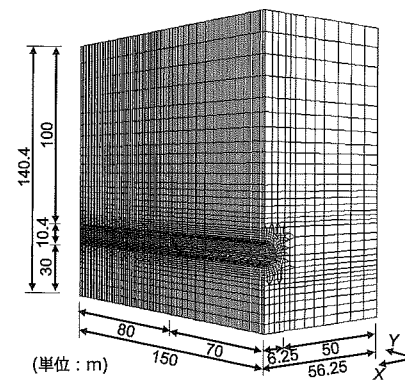


図-13 3次元解析モデル概要

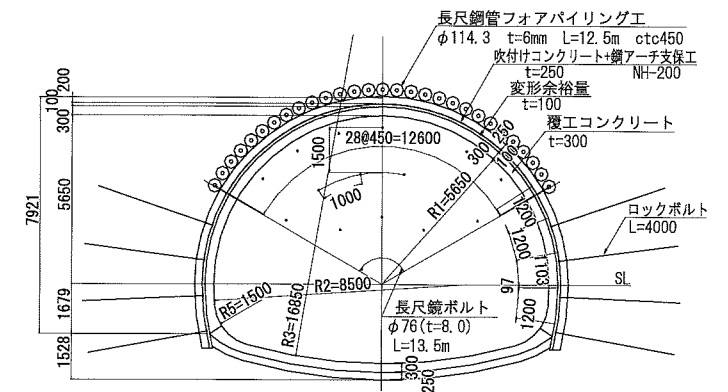


図-14 早期閉合パターンDII2 ($r_3/r_1=2.98$)

$L_f = 8\text{ m}$ とし、最終の解析ステップ71における掘削と支保の関係を図-15に示す。上半切羽は、モデル手前面から70mの位置である。支保設置は、掘削の1m後方とし、掘削は1m単位である。長尺先受け工と長尺鏡ボルトは、9m掘削ごとに考慮した。

3-1-5 地山物性値

解析に用いる地山物性値を表-8に示す。これらの物性値は、NEXCO技術資料に記載されている地山区分D I, D II, Eにおける代表物性値⁷⁾を参考にして設定した。側圧係数は、 $K_0 = 1.0$ とした。

3-1-6 解析結果の数値化

解析結果は、計測断面における測点に対応させて数値化する。トンネル変位は、上半切羽からトンネル掘削影響がないと思われる50m後方位置とした。吹付けコンクリート応力は、この位置にお

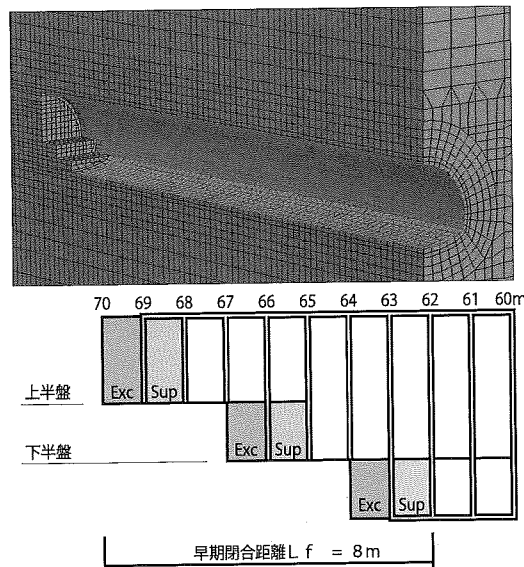


図-15 解析ステップ概要(71ステップ)

表-8 地山物性値

地山強度比(-)	0.2	0.5	1.0	2.0
地 山 等 級	E	D II	D II	D I
単位体積重量 γ (kN/m ³)	20	21	21	22
変形係数 E (N/mm ²)	50	100	200	500
ポアソン比 ν (-)	0.40	0.35	0.35	0.35
粘着力 C (N/mm ²)	0.1	0.2	0.2	0.4
内部摩擦角 ϕ (deg)	30	30	35	35

ける断面内軸応力の最大値とする。

3-2 解析結果と考察

地山強度比と天端沈下および上半内空変位の関係を図-16, 17に示す。また、吹付けコンクリート軸応力から換算した作用等価土かぶり高さ H_e との関係を図-18に示す。

これらから、以下のことが確認できる。

- 天端沈下、上半内空変位とも地山強度比=2.0の地山等級D Iでは、早期閉合の有無による差は見られない。
- 天端沈下、上半内空変位とも地山強度比=

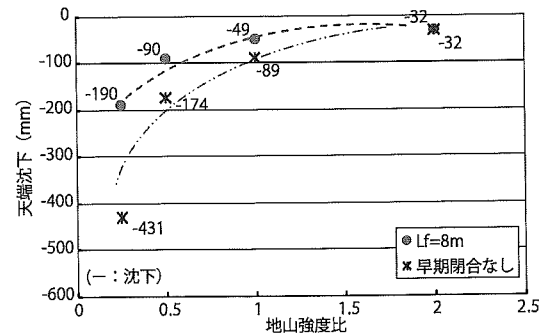


図-16 地山強度比と天端沈下

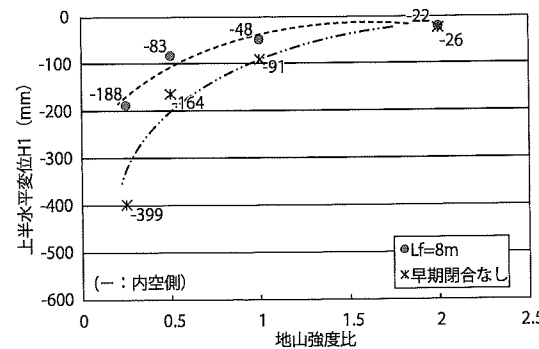


図-17 地山強度比と上半水平変位

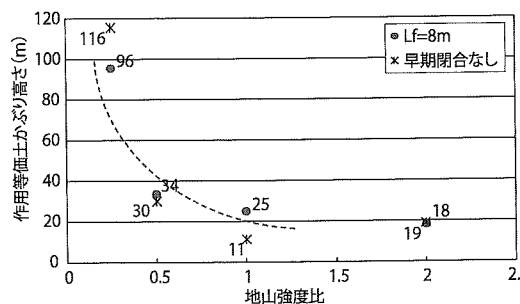


図-18 地山強度比と作用等価土かぶり高さ

1.0以下では、早期閉合の効果が見られ、とくに地山強度比=0.2では、早期閉合効果が大きく表れる。

- 作用等価土かぶり高さ H_e は、施工実績で確認されたレベルと同程度となり、地山強度比=0.5で40m弱、地山強度比=0.2で90m前後と推定できる。

4 ま と め

今回、道路トンネルで施工された22本のトンネルの早期閉合の施工実績より得られた知見および数値解析より、早期閉合の効果、早期閉合支保の仕様や施工について以下にまとめる。

- ① 早期閉合は、坑口部の地すべりなどで斜面が不安定な場所や近接施工で周辺地山の変形を抑制する必要がある場所(変形抑制のため)、そして地山強度比が1以下の強度不足や押出し性の地山など(トンネル安定のため)で採用されており、トンネル支保の安定確保と大変位の抑制に有効に機能し、不良地山などにおけるトンネル施工を確実にしている。
- ② 地山強度比で2.0程度の地山(D I相当)では、早期閉合効果は表れないが、地山強度比が1.0以下となる地山(D II, E相当)では、早期閉合効果が表れる。
- ③ 地山強度比が0.5を下回る地山では、支保の力学的安定性の向上や変形挙動の抑制に、早期閉合距離 L_f の短縮が効果的である。
- ④ 早期閉合トンネルに作用する土圧 P は、作用等価土かぶり高さ H_e と、地山強度比による推定が可能である。
- ⑤ 早期閉合支保の仕様(吹付けコンクリートや鋼インバート支保工)は、トンネル支保の仕様と同程度の事例が多い。
- ⑥ インバート支保半径は、標準設計から変更する事例は少ない。

⑦ 早期閉合の距離 L_f と施工単位 L_c は、 L_f を1D程度、 L_c を1~3m程度を基本と考え、現場条件や地山状況により対応されている。

今回、施工事例調査および数値解析結果より、早期閉合の効果や変形挙動について同様の傾向が確認でき、早期閉合の有効性が検証できたものと思われる。なお、今後よりいっそう、早期閉合の技術を確立するために、以下のような課題が残されていると思われる。

- ① 早期閉合の適用において、施工中の支保仕様の変更の考え方(ランクアップやランクダウン)。
- ② 早期閉合距離 L_f の長短、インバート半径比(r_3/r_1)の大小などが早期閉合トンネルの安定性におよぼす定量的評価。
- ③ 早期閉合を適用した場合の切羽安定補助工法の評価や考え方。

早期閉合の採用は、不良地山などにおける手戻りのない安定的な進行や安全性の向上などトンネル掘削の確実な施工により、これまでの施工方法(加背の分割や補助工法の駆使)に比べると総コストの削減になると考えられる。

今後は、これらの計測データを分析、精査、蓄積して、さらなる設計・施工技術の高度化と力学パラメータの高精度化を進める予定である。

最後に、首都大学東京の西村教授をはじめ(社)日本トンネル技術協会効率的掘削工法特別委員会委員ならびに関係各位より、貴重なご意見をいただいたことを、ここに記して感謝を表します。

参 考 文 献

- 1) 日本道路公団試験所：トンネルの標準設計に関する研究報告書，試験研究所技術資料第350号，1986。
- 2) 中野清人・小川澄・楠本太・樽井稔：早期閉合トンネルの現状と挙動分析，トンネル工学報告集，Vol.20，2010.11。

トンネルジャーナル

九州新幹線西九州ルート 鈴田トンネルが貫通

鉄道・運輸機構が整備する九州新幹線西九州ルート、鈴田トンネルが2011年11月3日に貫通し、同21日に貫通式が開催された。式典には、大村・諫早の両市長をはじめ市議会議員、関係機関、地元関係者などおよそ150名が参列し、「貫通発破」「通り初め」「鏡開き」などを行って貫通を祝った。

同トンネルは、九州新幹線西九州ルートのうち、新大村駅(仮称)と諫早駅間に位置する1,740mのNATMトンネルで、長崎県大村市中里町と長崎県諫早市下大渡野町に跨る。施工は、大林・西武・三基特定JVが請負った。

砂岩・頁岩互層、凝灰角礫岩などからなる地山を、約80m²の新幹線断面で約24か月かけて掘削。最大日進は7m、最大月進は119.0mだった。トンネルの中間部付近で交差する一級河川本明川水系西谷川の自然渓床直下では、最小4.6mの小土かぶりとなっ

ており、非常に慎重な施工が要求された。そのため地質調査など詳細な事前調査や数値解析による変位量予測を実施するとともに、施工時には先受け工や水抜きボーリングなどの補助工法を併用して掘削することで、河川構造物への影響もなく、無事通過した(詳細は本誌Vol.42, No.5, pp.7-14を参照)。



写真提供：鉄道・運輸機構

熊野尾鷲道路 亥ヶ谷山トンネル貫通

中部地整紀勢国道事務所が整備する国道42号熊野尾鷲道路の亥ヶ谷山トンネルが2011年11月7日に貫通(避難坑は7月11日)し、これに伴い、同25日に貫通式が執り行われた。

同トンネルは、熊野尾鷲道路のうち三重県尾鷲市の賀田町と三木里町を結ぶ3,197mの暫定2車線自動車専用トンネル。2工区に分けて発注され、起点側(新宮側)の賀田工区1,511mを鉄建建設が、終点側(松阪側)の三木里工区1,686mを間組が担当した。

両工区とも、おもに熊野酸性岩類花崗斑岩からなる地山を、発破NATMにより掘進した。掘進中、賀田工区では、切羽から最大0.25m³/分の湧水が発生し、少量の湧水が続いたこともあり、濁水処理設備を増強した。また、三木里工区では、避難坑の掘削で最大2m³/分の突発湧水に遭遇、水抜きボーリングの実施と濁水処理能力を増強して対処している。

賀田工区は、最大日進7.5m、最大月進154m、平均月進104m、三木里工区は、最大日進8m、最大月進150m、平均月進112mで掘削を完了した。

賀田工区では、Bパターンにおいて長孔発破を実施した結果、1回の発破では国内記録となる7.2mを樹立(Vol.42, No.10の本欄にて既報)。また三木里

工区でも、施工延長543mに対して平均1掘進長2.8mの実績を残している。

同道は、近畿自動車道紀勢線と一体となって、三重県尾鷲・熊野地域への高速交通サービスの提供、ならびに現道の雨量規制区間の回避を目的に計画された一般国道の自動車専用道路。開通により、地域の豊かな自然・歴史・産業資源を活かした地域相互間の交流・連携の促進、および東紀州地域が全国有数の豪雨地域であることから、異常気象時、災害時などの代替路線の確保と定時性の向上が期待されている。同トンネルのある三木里IC~大泊IC間については、2013年度の供用が予定されている。



写真提供：鉄建建設

連載講座

最新推進工法技術(9)

—推進工法の計画設計(1)—

「最新推進工法技術」連載講座小委員会

① はじめに

わが国で推進工法が採用され、すでに60年が経過している。今日わが国の推進工法は目覚ましい進歩を遂げ、良質な社会資本を整備する最新技術として、国内だけでなく海外でも広く採用されている。さらに新技術・新工法の開発・導入も進み、長距離推進、急曲線推進、大深度施工などの難易度の高い工事の設計も増えつつある。今回は「推進工法の計画設計(1)」と題し、推進工法の設計・計画時の留意点についてその概要を説明する。

② 計画設計の手順

推進工事の設計手順を図-1に示す。推進工事の計画設計は、詳細な現地調査の結果にもとづき、地形、地質および地域社会あるいは周辺環境への影響などを検討し、工事を安全、かつ迅速に施工することはもちろんのこと、ライフサイクルコストを考慮した計画とする必要がある。とくに近年、環境負荷低減に向けての対応が重要な要件となりつつある。また、推進工事は人口の密集した都市部で施工される場合が多く、施工中に住民生活に与える影響はとくに大きい。このため設計にあたっては、地域住民への負担軽減を最優先しなければならない。さらに近年、種々の制約により、立坑を最適な位置に築造することができず、このためスパンの長距離化、急曲線施工など、技術的検討を余儀なくされる場合も増加している。

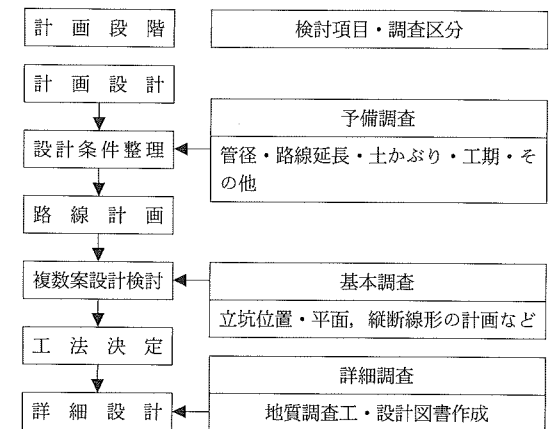


図-1 推進工法の設計手順

③ 調査手法

3-1 調査手法の区分

調査の目的は工事を安全かつ経済的に実施するための資料を収集することであり、計画設計の重要な項目となっている。さらに調査結果は工事完成後、維持管理のための資料ともなる。このために以下の4項目にわたり入念に実施されなければならない。

- ① 立地条件調査
- ② 支障物件等調査
- ③ 地形および地盤調査
- ④ 環境保全のための調査

以上の4項目の中で施工にもっとも重要なものは、③地形および地盤調査である。

さらに地盤調査は予備調査、基本調査、詳細調

表-1 地形・地盤調査の詳細

	予備調査	基本調査	詳細調査
調査の目的	①地形、土質、地層構成、古地形の概要の把握 ②問題となる土質の予測および以後の調査計画の立案	①路線全体の地層構成および地盤状況の把握 ②地盤工学的諸性質の把握 ③地質縦横断面図の作成	①地盤調査の補充 ②施工上問題となる地盤の詳細調査 ③地震、その他特殊条件の設計資料とする
調査の手法	①文献調査(近傍類似工事資料、地質調査資料の収集・整理) ②現地調査による観察(地表踏査)	①ボーリング調査 ②標準貫入試験 ③サンプリング(シンウォール・デニソン、ブロックサンプリングなど) ④地下水位調査 ⑤間隙水圧測定 ⑥室内土質試験(物理試験・力学試験)	①ボーリング調査サンプリング ②標準貫入試験 ③サンプリング(シンウォール・デニソン、ブロックサンプリングなど) ④間隙水圧測定 ⑤透水試験 ⑥室内土質試験 ⑦孔内水平載荷試験 ⑧酸欠空気、有毒ガス、可燃性ガス調査 ⑨大口径調査孔
調査の内容	・地図類などの文献調査(地形・地質・地盤図) ・地盤調査記録 ・既設構造物の工事記録(地下埋設物の有無、基礎形状の詳細) ・架空線の状況 ・井戸の使用状況、地下水位の変動状況 ・現地における地形、土質、周辺状況の観察 ・地盤沈下の有無	・地層構成 ・N値 ・地下水位、間隙水圧 ・透水係数 ・各種土質試験 粒度分布 含水比 土粒子の密度 土の湿潤密度 一軸圧縮強さ 液性限界・塑性限界 強度定数(粘着力、内部摩擦角) 圧密特性	・詳細な地層構成・N値 ・地下水位、間隙水圧、透水係数、地下水の流速、流向 ・各種土質試験(基本調査データの詳細な試験) ・遊離ガス、溶存ガスの種類と濃度 ・礫、粗石の径 ・地盤反力係数 ・弾性波速度 ・耐震設計上の基礎 ・RQD値 ・石英含有量

『推進工法体系Ⅱ 計画設計・施工管理・基礎知識編』p.5 表6.2-1 一部改

査の3段階にわけて実施される。

それぞれの目的、調査手法、調査内容を表-1に示す。

3-2 各調査の詳細

3-2-1 予備調査

予備調査は文献調査が主体であり、近傍での工事報告書、地質調査資料をできるだけ多数収集・精査する。さらに現地踏査により路線の全般的な地盤状況、架空線、地下埋設物の状況、および地中障害物の有無などの調査を行う。

予備調査の結果は、推進工事の設計資料となるだけでなく、引き続き行われる基本調査の計画にも用いられる。

3-2-2 基本調査

基本調査では、標準貫入試験を伴うボーリングを主体とした地盤調査を行う。ボーリングの施工状況を写真-1に示す。

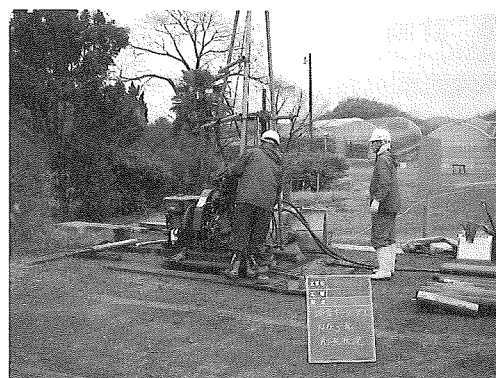


写真-1 ボーリング施工状況

ボーリングの本数、間隔、深度は地形条件と予備調査から推定される地山条件、埋設管の土かぶり、および環境条件などから決定される。一般に1スパンに1か所を原則とし、立坑築造位置とする場合が多い。近年増加している長距離推進工事の場合、50~100m間隔として実施される。土質

変化が著しい場合には、さらに間隔を狭めて実施する。

これらの調査データにもとづき路線に沿う地質縦断面図を作成する。縮尺は水平方向1/1,000~1/5,000、鉛直方向1/200~1/500程度とする場合が多い。

3-2-3 詳細調査

詳細調査は予備調査、基本調査を補完するものであり、施工上問題となる地盤の詳細把握が主目的である。詳細調査が必要な地盤としては粗石の存在が予想される砂礫層、ピート(腐植土)層が存在する場合があげられる。とくに粗石層の調査としては、試験掘り、または全周回転機による礫の礫径の測定、一軸圧縮試験に供する資料採取などの調査が行われる場合が多い。

3-3 調査実施時の留意点

推進工事は基本的に少ない地盤情報から、多くの事象を想定し、施工しなければならない。このため施工中に思わぬトラブルが発生し、推進不能に陥る場合も多いため、調査においては慎重な検討が必要となる。以下に工法別に調査時の留意点を示す。

(1) 小口径推進工法

推進管内部からのトラブル対策が不可能であるため、とくに地盤の礫径、礫含有率、地下水位には入念な調査が必要となる。

(2) 密閉型推進工法

カッタチャンパ内での閉塞、切羽崩壊、ビットの摩耗、折損などに伴う掘進不能防止のため、粒度分布(礫の場合は形状寸法、礫含有率、一軸圧縮強度など)、透水係数などについて入念な調査・検討が必要となる。とくに沖積平野に出現するN値が1~2程度以下の軟弱なシルト・粘土層では、切羽の崩壊が発生しやすく周辺地盤に変状を発生させやすい。このような地盤の出現が予想される場合、シンウォールサンプラーによる不攪乱資料の採取、および入念な室内土質試験の実施、さらに岩盤については一軸圧縮強度、および岩盤の割れ目頻度の評価値であるRQDの把握が必要となる。

④ 基本設計

基本設計では、自然条件(地盤性状、地下水、土かぶり)および施工条件(工法、推進距離、線形)から推進力、管種、施工設備、補助工法などの検討を行う。設計手順を図-2に示す。

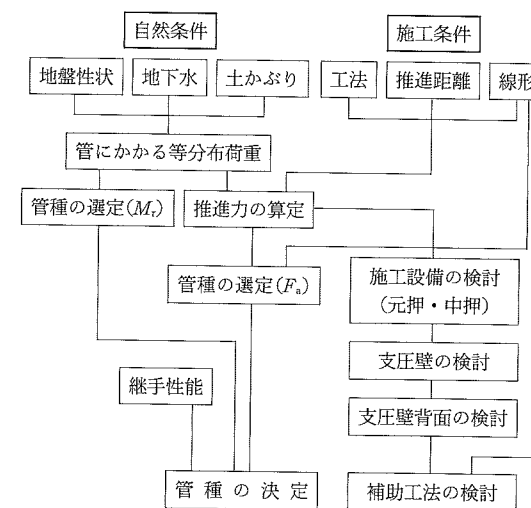
4-1 推進力の検討

推進力は推進に伴う諸抵抗力を求め、その総和とする。さらに抵抗力の要素は以下の4種類に区分される。

- ① 推進に伴う先端抵抗力
- ② 管・掘進機外周と土との摩擦抵抗力またはせん断抵抗力
- ③ 管の自重による管と土との摩擦抵抗力
- ④ 管と土との付着力

推進抵抗力は各工法の特性により異なるため、工法別に以下の6とおりの算定式が定められている。このため推進力の算定には、計画されている工法の算定式を採用する必要がある。

- ① 基本式
- ② 下水道協会式(略式:協会式)
- ③ 泥水・土圧式算定式(略式:泥水・土圧式)
- ④ 泥濃式算定式(略称:泥濃式)
- ⑤ 高耐荷力泥水・泥土圧方式算定式(略称:高耐荷力式)



ここで、 M_r : 管の抵抗モーメント F_s : 管の許容耐荷力
図-2 設計手順フロー図¹⁾

⑥ 低耐荷力方式算定式(略称:低耐荷力式)

以下に、各算定式について詳述する。

(1) 基本式

推進工法における基本式であり、刃口式推進工法に適用する。

(2) 下水道協会式(略式:協会式)

基本式の修正式であり、自立可能な地山における刃口式推進工法に適用する。

(3) 泥水・土圧式算定式(略式:泥水・土圧式)

大中小口径管の泥水式・土圧式推進工法に適用する。

$$F = F_0 + f_0 \cdot L$$

$$F_0 = (P_w + P_e) \cdot \pi \cdot (B_s/2)^2$$

$$f_0 = \beta \cdot \{(\pi \cdot B_c \cdot q + W) \mu' + \pi \cdot B_c \cdot c'\}$$

ここに、

F : 総推進力(kN)

F_0 : 先端抵抗力(kN)

f_0 : 周面抵抗力(kN/m)

L : 推進延長(m)

P_w : カッタチャンバ内圧力(kN/m²)

・泥水式 $P_w =$ 地下水圧 + 20.0(kN/m²)

・土圧式(砂質土の場合)

$$P_w = \text{主働土圧} + \text{地下水位} + \Delta P$$

($\Delta P = 20 \sim 50$ kN/m²とする)

・土圧式(粘性土の場合)

$$P_w = \text{静止土圧を用いる}$$

P_e : 切削抵抗力(kN/m²)

$$P_e = N \text{値} \times 10.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

ただし、 $N < 15$ の場合は、 $P_e = 150$ (kN/m²)

$N > 50$ の場合は、 $P_e = 500$ (kN/m²)

B_s : 掘進機の外径(m)

B_c : 管外径(m)

q : 管にかかる等分布荷重(kN/m²)

W : 管の単位重量(kN/m)

μ' : 管と土との摩擦係数

$$\mu' = \tan(\phi/2)$$

ϕ : 内部摩擦角

c' : 管と土との付着力(kN/m²)

粘性土($N < 10$) : $c' = 8$

固結土($N \geq 10$) : $c' = 5$

表-2 土質別の β 標準値

土質	推進力低減係数 β	
普通土	粘性土	0.35
	砂質土	0.45
	砂礫土	0.50
粗石混じり土	砂礫土(1)	0.60
	砂礫土(2)	0.70
硬質土	硬質土(1)	0.35
	硬質土(2)	0.35

注) β は標準値を基本とし、施工条件により ± 0.05 の範囲で採用する。

β : 推進力低減係数(表-2のとおり)

(4) 泥濃式算定式(略称:泥濃式)

大中小口径管の泥濃式推進工法に適用する。

$$F = F_0 + f \cdot S \cdot L$$

$$F_0 = (P_e + P_w) \cdot \pi \cdot (B_s/2)^2$$

$$f = 2 + 3 \cdot (G/100)^2 + 27 \cdot (G/100) \cdot M_2$$

ここに、

F : 総推進力(kN)

F_0 : 先端抵抗力(kN)

S : 管外周長(m)

L : 推進延長(m)

P_e : 切羽単位あたり推進力(kN/m²)

$$P_e = 4.0 \times N \text{値}$$

P_w : 掘進室内の泥土圧力(kN/m²)

$$P_w = (\text{地下水圧} + 20.0) \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

B_s : 掘進機の外径(m)

f : 管周面抵抗力(kN/m²)

G : 礫率(%)

M : 最大礫長径/管外径

(5) 高耐荷力泥水・泥土圧方式算定式(略称:高耐荷力式)

高耐荷力式)

小口径管の高耐荷力推進工法(泥水・泥土圧方式)に適用する。

$$F = F_0 + f \cdot S \cdot L$$

$$F_0 = \alpha \cdot \pi \cdot (B_c/2)^2$$

ここに、

F : 総推進力(kN)

F_0 : 先端抵抗力(kN)

α : 先端抵抗力係数(kN/m²)

B_c : 管外径(m)

表-3 土質別先端抵抗力係数および周面抵抗力係数

	砂質土, 粘性土	砂礫土	硬質土
先端抵抗力係数 α (kN/m ²)	1,200	1,750	1,500
周面抵抗力係数 f (kN/m ²)	3.0	4.5	2.5

表-4 土質別先端抵抗力係数および周面抵抗力係数

土質	粘性土	砂質土
推進抵抗		
誘導管の先端抵抗力係数 β (kN/m ²)	1,000	1,000
誘導管の周面抵抗力係数 f_{02} (kN/m ²)	2.0	2.5

表-5 土質別先端抵抗力係数および周面抵抗力係数

土質	粘性土	砂質土
推進抵抗		
誘導管の先端抵抗力係数 β (kN/m ²)	800	900
誘導管の周面抵抗力係数 f_{02} (kN/m ²)	3.0	6.0

注)粘性土においては、粘土分が多く粘着力の大きな比較的緩い地山の場合、誘導管の周面摩擦抵抗力係数が非常に大きくなることがあるので注意を要する。

f : 周面抵抗力係数(kN/m²)

S : 管外周長(m)

L : 推進延長(m)

表-3に土質別の係数 α , f の詳細を示す。

(6) 低耐荷力方式算定式(略称:低耐荷力式)

小口径管の低耐荷推進工法(圧入・泥推・泥土圧・オーガ方式)に適用する。

・硬質塩化ビニル管推進時の総推進力: F_1

$$F_1 = F_{01} + f_{01} \cdot S_1 \cdot L_1$$

$$F_{01} = \alpha \times \pi \times (B_c/2)^2$$

ここに、

F_1 : 総推進力(kN)

F_{01} : 先端抵抗力(kN)

α : 先端抵抗力係数(kN/m²)

f_{01} : 塩ビ管の周面摩擦抵抗力係数(kN/m²)

S_1 : 塩ビ管外周長(m)

B_c : 塩ビ管外径(m)

L : 推進延長(m)

表-4に土質別の先端抵抗力係数 α , 周面抵抗力係数 f の詳細を示す。

・誘導管推進時の総推進力: F_2

$$F_2 = F_{02} + f_{02} \cdot S_2 \cdot L$$

$$F_{02} = \beta \cdot N \cdot \pi \cdot (B_c/2)^2$$

ここに、

F_2 : 誘導管の総推進力(kN)

F_{02} : 誘導管の先端抵抗力(kN)

β : 誘導管の先端抵抗力係数(kN/m²)

f_{02} : 誘導管の周面抵抗力係数(kN/m²)

N : N 値

B_c : 先導体直径(m)(標準:0.07m)

S_2 : 誘導管外周長(m)(標準:0.20m)

L : 推進延長(m)

表-5に誘導管推進時の先端抵抗力係数 β , 周面抵抗力係数 f_{02} の詳細を示す。

4-2 管種の選定

推進管は外圧強さ、許容耐荷力、継手性能などについて性能規定とし、(社)日本下水道協会により認定されている。鉄筋コンクリート管の場合、形状から標準管・中押管、外圧強さから1種・2種、軸方向の強さを表す圧縮強度から50N・70N、および継手性能からJA・JB・JCに区分されており、複数の組み合わせが可能となっている。管種の選定にあたっては施工性、経済性を考慮し、複数の組み合わせの中から最適なものを選定する必要がある。

また推進工事は近年長距離化、急曲線化、大深度化、および耐震化が進みつつある。急曲線施工においては推進管は継手部が折れた状態で移動し、曲線の外側に張り出そうとする力が働く。さらに推進管どうしの接触は点接触となる。このため急曲線施工での推進管の選定にあたっては、側方荷重に対する管の強度の検証、軸方向力に対する管の強度の検証、継手部の止水性能の検証がとくに重要となる。また、継手部に使用する推進力伝達材の検討(材質、厚さ、配置方法など)も必要となる。

4-3 施工設備の計画

施工設備は大中小口径推進工法、および小口径推進工法の種類、施工条件、掘削方式、土砂の搬出方法、推進力の伝達方式などにより、その方式、規模が異なる。大別すると以下のとおりである。

・掘進機(刃口・先導体)

- ・元押推進設備
- ・中押推進設備
- ・坑口設備
- ・運搬設備
- ・電力設備
- ・保安設備
- ・その他の設備

以下に、施工設備を坑内設備、坑外設備に区分し詳述する。

4-3-1 坑内設備

基本的な坑内設備の設置状況を図-4に示す。工法により構造、形状、寸法は異なるが、使用条件に適合する構造、強度、耐久性を備え、安全で作業性の良いものを選定しなければならない。とくに支圧壁背面については注意が必要である。支圧壁背面が軟弱地盤の場合、土かぶりが小さい場合、さらに立坑築造時に背面地盤に緩みを発生させた場合、背面地盤が支持力不足となる場合も多い。このため事前に山留壁背面の裏込め、地盤改良など補助工法の計画を立案する必要がある。

4-3-2 坑外設備

坑外設備は採用する工法により使用する資機材

は大きく異なってくる。また施工規模(推進延長、立坑の大きさ、施工スパン数など)によっても資機材の仕様が異なってくる。このため坑外設備の計画設計にあたっては施工条件を勘案し、充分余裕のある計画とする必要がある。

図-5に大中小口径推進工法の代表的3工法の坑外設備の概要を示す。

4-4 補助工法の計画

推進工事では補助工法の計画設計は工事の成否を左右する重要な要件となる。主に用いられる補助工法としては、以下の工法がある。

- (1) 地盤改良工法
 - ① 薬液注入工法
 - ② 攪拌混合工法
- (2) 地下水位低下工法
- (3) 圧気工法
- (4) その他(凍結工法など)

これらの工法のなかでもっとも施工実績の多い工法は、地盤改良工法であり、とくに薬液注入工法の採用実績が多い。同工法は小型・軽量機材で施工するため、都市部の狭隘な場所でも十分施工可能である。しかし地盤の性状によっては注入材

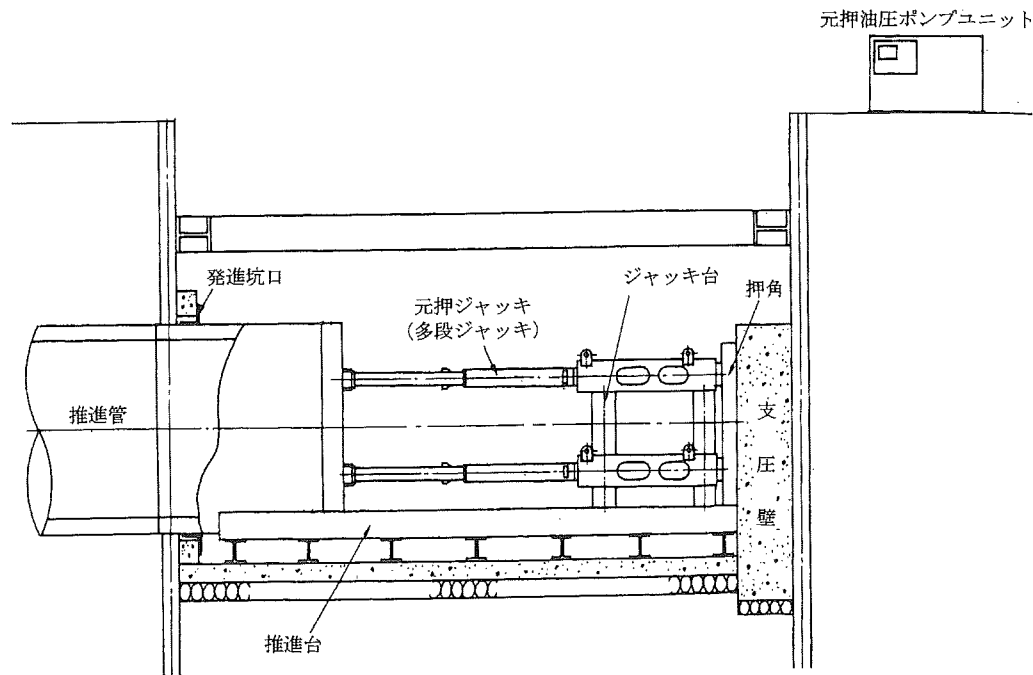
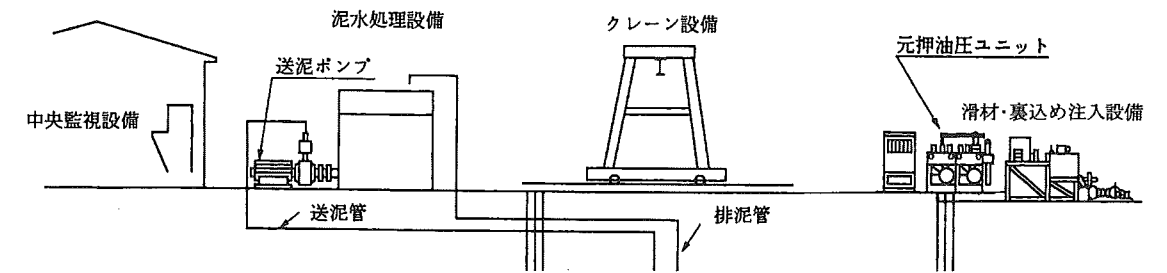
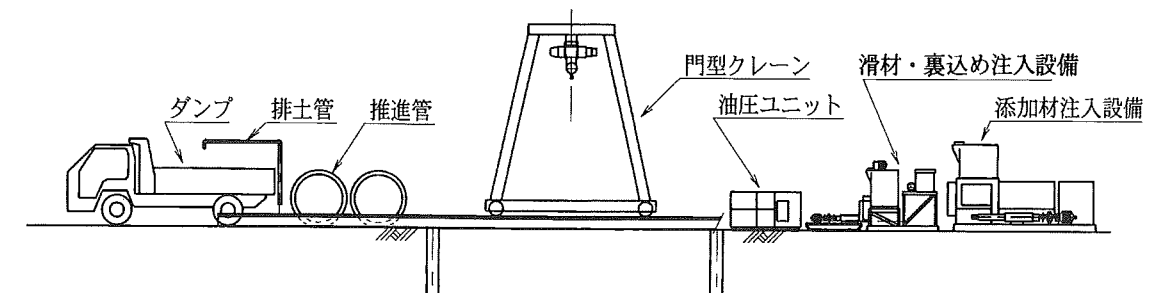


図-4 基本的な坑内設備の状況¹⁾

①泥水式推進工法：泥水輸送設備、滑材・裏込め注入設備を坑外に設置する



②土圧式推進工法：添加材注入設備、滑材・裏込め注入設備を坑外に設置する



③泥濃式推進工法：高濃度泥水・滑材注入設備、吸泥排土設備を坑外に設置する

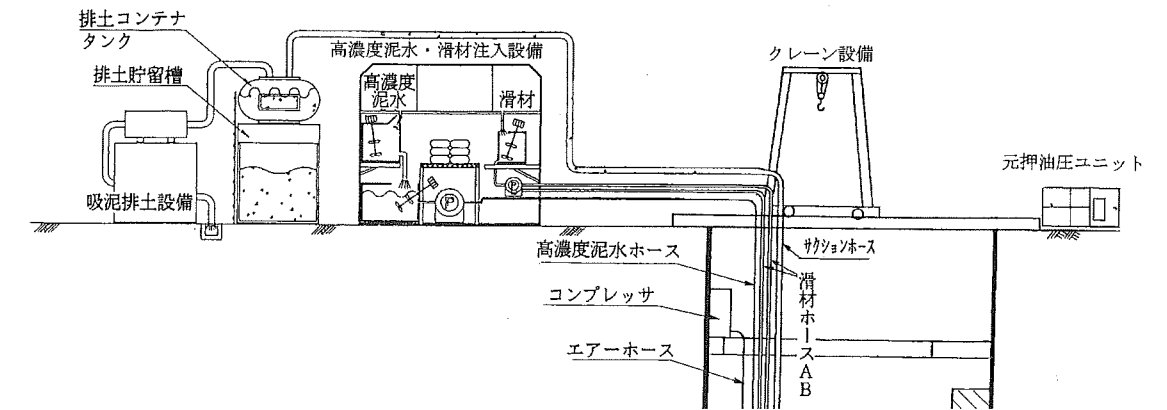


図-5 工法別坑外設備の概要図²⁾

料の流亡などにより、期待した注入効果が得られない場合も多い。このため計画設計には土質状況の正確な把握(土質定数、対象土層の性状、N値、地下水位など)、最適な注入材料の選定、十分な改良ゾーンの確保、適正な注入率の設定、最適な施工方法による計画が重要な要件となる。

用材料の進歩は目覚ましく、今まで以上に施工条件の厳しい局面においても推進工事の採用の増加が予想される。このため計画設計の重要性は現在以上に高まるものと考えられる。

(文責：伏屋行雄/日特建設(株))

参考文献

- 1) 日本下水道管渠推進技術協会：推進工法体系Ⅱ。
- 2) 日本下水道管渠推進技術協会：推進工法体系Ⅰ。

⑤ おわりに

以上、推進工法の計画設計の留意点についてその概要をまとめた。今日、推進工法、掘進機、使



計画・調査・設計

文献紹介



- 蔣宇静：道路トンネルの変状予測における数値解析技術，土木技術，Vol.66，No.7，2011.7.
- 日本建設機械化協会機械部会トンネル機械技術委員会品質・安全確保分科会：山岳トンネル施工機械における品質および安全確保技術，建設の施工企画，No.737，2011.7.
- 角湯克典：道路トンネル技術基準の変遷，矢板工法からNATMへ，支保工と覆工の設計の考え方の変遷，技術基準・温故知新，道路，Vol.846，2011.9.
- 大島洋志：歴史と経験に学ぶことの重要性，山岳トンネルと地盤との関わり，初級講座 技術の伝承，地盤工学会誌，Vol.59，No.10，2011.10.
- 竹中一行：三方原用水地区における大規模地震対策検討について，岩トンネル区間の耐震性能，農村振興，No.743，2011.11.

維持・管理

- 全国止水躯体補修工事協同組合：浄化センター最終沈澱池のひび割れ(漏水)補修事例，防水ジャーナル，No.478，2011.9.
- 佐田浩康・是近泰裕：玄澤地区における函渠更生工法，水土の地，Vol.79，No.9，2011.9.
- 吉井磨史：玉名3期地区における水路トンネルの改修・補修事例，水土の地，Vol.79，No.9，2011.9.
- 特集/下水道管路耐震化のポイント，月刊下水道，Vol.34，No.11，2011.9.
- 村上優秀・加藤雅治：老朽化した既設管路の水路機能を効率的に復元，エスロンリフトイン工法，建設の施工企画，No.739，2011.9.
- 西川啓一・富樫健司：MMSの最新動向，建設の施工企画，No.740，2011.10.

施工

- 鈴木雅博：「光る変位計」で土留め欠損部の見える化を推進，建設機械，Vol.47，No.7，2011.7.
- 山森和博・山下正治・北原成郎：低コスト連続穿孔機エールエスカッター工法，建設機械，Vol.47，No.7，2011.7.
- 小野良樹・大高律也・寺元務・久嶋正明：既設管渠の直接切削による管渠同士の接合技術(推進)一既設管切削

- 接合推進工法：補助工法省略型一，土木技術，Vol.66，No.7，2011.7.
- 特集/ここまで進化した推進技術，月刊推進技術，Vol.25，No.7，2011.7.
- 林下敏則・永里純一：巨勢山トンネルでの掘削作業における安全対策，建設の施工企画，No.737，2011.7.
- 高山藤博・福田浩二：九州新幹線西九州ルート俵坂トンネル(西)工区での安全対策，トンネル掘削及び一般道における安全対策，建設の施工企画，No.737，2011.7.
- 吉川豊：九州新幹線筑紫トンネル坑口部における土石流対策，基礎工，Vol.39，No.8，2011.8.
- 特集/トラブルゼロを目指す，月刊推進技術，Vol.25，No.8，2011.8.
- 特集/変化求められる下水道トンネル技術，月刊下水道，Vol.34，No.9，2011.8.
- 特集/立坑建設技術，基礎工，Vol.39，No.9，2011.9.
- 特集/難敵異物に打ち克つ，月刊推進技術，Vol.25，No.9，2011.9.
- 原秀利：ここまで進んだトンネル覆工技術，東九州自動車道(大越トンネル)，CEレポート，土木学会誌，Vol.96，No.10，2011.10.
- 宮地孝・安本宣興：大断面分割シールド工法(ハーモニカ工法)により国道1号原宿交差点のアンダーパストンネルが完成，土木学会誌，Vol.96，No.10，2011.10.
- 特集/総合評価と技術提案，月刊推進技術，Vol.25，No.10，2011.10.
- 佐藤清・佐藤隆志・小田桐匠：森吉山ダム試験灌水開始後の下段トンネル閉塞作業，ダム技術，No.301，2011.10.
- 特集/完全非開削に向けて，取付管推進工法，月刊推進技術，Vol.25，No.11，2011.11.
- 高島愛典：横瀬川ダム仮排水トンネルにおける防音対策，ダム技術，No.302，2011.11.
- 特集/山岳トンネルとシールド・推進工，建設の施工企画，No.741，2011.11.

土木史

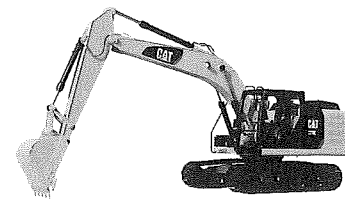
- 松波成行：60年の歳月を経て竣工した呉のトンネル，国道特二十四号：国道認定をめぐる内務省と海軍省の駆け引き，大正・旧国道をゆく(11)，道路，Vol.846，2011.9.
- 小野田滋：小坪隧道・名越隧道，要害の地を貫く，見どころ土木遺産，土木学会誌，Vol.96，No.10，2011.10.

工法・技術・製品ニュース

製品 Cat E油圧ショベル ラインナップを13機種に拡充



Cat 316E L油圧ショベル



Cat 320E油圧ショベル

キャタピラー・ジャパン(株)広報グループ
TEL：03-5717-1122
<http://japan.cat.com/>

キャタピラー・ジャパンは、Cat 320E(L)油圧ショベル、汎用小旋回機のCat 320E(L)RR油圧ショベルおよびCat 316E L油圧ショベルを発売した。

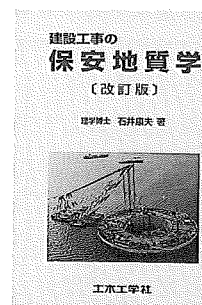
これにより、同社が、2011年6月に国内初のオフロード法2011年基準適合機Cat 336E(L)油圧ショベルを新たに「Eシリーズ」として発売して以来、より環境に配慮した製品の導入を進めてきた結果、Eシリーズのラインナップは13機種にまで拡充したことになる。

Cat Eシリーズ油圧ショベルは、①オフロード法2011年基準への対応、②燃料消費量の飛躍的な低減(生産性は維持)、③各クラスのアプリケーションに対応可能な信頼性/耐久性、④豪華かつ機能性に富む居住空間、⑤ISO規格準拠を始めとした安全性

の向上、⑥メンテナンスの省力化、を共通したコンセプトとして、社会的要請や顧客のニーズを十分に反映させた、新世代の油圧ショベル。

このたび発売されたラインナップのうち、Cat 316E L油圧ショベル(バケット容量0.65m³、運転質量17.2t)は16tクラスの油圧ショベル。

また、Cat 320E油圧ショベル(同0.8m³、20.7t)、Cat 320E L油圧ショベル(同0.9m³、21.3t)および汎用小旋回機のCat 320E RR油圧ショベル(同0.8m³、23.0t)、Cat 320E L RR油圧ショベル(同0.9m³、23.6t)は20tクラスの油圧ショベル、いずれもオフロード法2011年基準をクリア(届出準備中)する環境性能と、パワーシステムの統合制御などによる優れた燃料生産性を両立している。



ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

建設工事の 保安地質学 〔改訂版〕

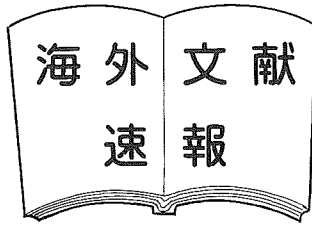
理学博士 石井康夫 著

A5判 上製本 475頁 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



(社)日本トンネル技術協会
国際委員会

ノルウェーのトンネル技術を中国に移転
/Norwegian lessons travel to China

By S.M. Zhou, M. Lu: World Tunneling, October, 2010, pp.20-23

中国・チンタオで最近貫通した長さ8.75km, そのうち海底部が3.95kmとなる双設の3車線道路トンネル(トンネル幅13.5m, 高さ10.5m)は, 中国で2本目となる海底トンネルである。双設トンネルの離隔距離は55m, サービストンネルは双設トンネル間に位置し, 最小離隔距離は16mとなっている。総工費は5億6,200万米ドルと見積もられており, 100年間は供用可能とする設計となっている。

トンネル最深部は水深42m, 土かぶり厚は25~30mであり, 他の海底トンネルと比較すると浅い部類となる。

着工前には, 海陸にわたるボーリング調査, 弾性波探査, 室内試験など徹底的な事前調査を実施

した。掘削対象岩盤はほとんどが湿潤強度50~70MPaの花崗岩であり, 路線には多くの水みちとなる断層破碎帯を含んでいる。

支保パターンの選定は中国の岩盤分類を反映させたが, この分類によるとClass II, IIIが72.3%, IVが26.4%, Vが1.3%である(Iがもっとも良好)。Class II, IIIはQ値に換算すると3~98となり, 'fair'~'good quality'に相当する。

トンネル設計にはノルウェーの技術が導入され, 本トンネルの支保はロックボルトと吹付けコンクリートによる一次(temporary)支保と厚さ400~500mmの鉄筋コンクリートによる二次(permanent)支保により構成されており, 二次覆工の設計では30%の静水圧を考慮している。ただし, サービストンネルはロックボルトと吹付けコンクリートのみで設計している。ここで防食対策として, ロックボルトは厚さ0.4mmの亜鉛メッキ加工としたとともに, 吹付けコンクリートには合成繊維を混入し, 防水性も向上させた。また, Class IV, Vではラチスガーダーを採用している。

止水についてはとくにノルウェーの技術が活かされた。切羽前方の先進ボーリングとしては径90mm, 長さ30~35m, ラップ長8mとし, 最低でも切羽3か所, 不連続面の状況によってはそれ以上の穿孔数とし, さらにTSPやジオレーダーによる切羽前方探査も実施した。

先進ボーリングからの湧水量にもとづき切羽前

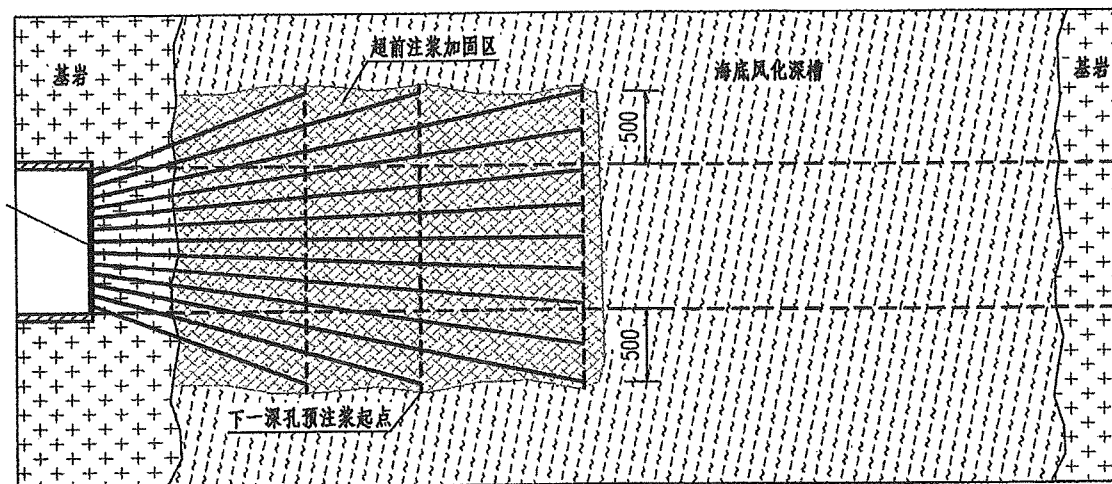


図-1 切羽前方注入状況

方を改良するかを判断したが, 1本のボーリング孔からの湧水量が5ℓ/分を超過した場合, 切羽前方に注入による改良を加えることにした。

トンネル全長において29か所の湧水に遭遇したが, 湧水は断層破碎帯に限らず良好な岩盤でも見受けられた。この事前地山注入により掘削時にはほとんど湧水はなく, 掘削後もノルウェー本国のトンネル実績よりも少ない湧水量となった。図-1に注入を実施した場合の模式図を示す。

また, 断層破碎帯通過時は, 先受け工と上半先進工法により対応した。

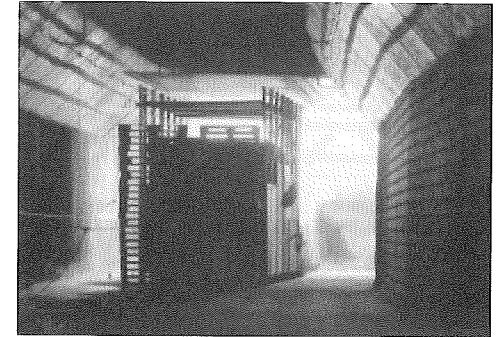
今回のノルウェー技術の導入による海底トンネル掘削の成功は, 中国におけるトンネル技術のブレイクスルーとなるであろう。

(文責:野間達也・(株)フジタ)

チャネルトンネルにおける火災の安全性
/Fire-Safety in the Channel Tunnel
Tunnel, November, 2010

チャネルトンネルは毎日48,000人が利用するが, 1996年と2008年にトラックシャトルで火災が発生している。火災時は温度が1,300℃に達し, トンネル, サービス機器に大きな被害を与えた(1996年:7か月間閉鎖, 被害約€2.5億, 2008年:数日閉鎖, 全面復旧は翌年)。火災時の安全性を確保するため, 延焼が少なく, 迅速な消火活動が容易であるセーフステーションを設置することで, トンネルへの被害を最小限に留め, 経費・閉鎖時間も減らすことができると考えられた。

研究では火災時の最高温度, セーフステーションまでの時間, 煙の流れなどを分析するため, 水スプレー法(水の供給が大変なため却下), 泡消火法(コスト高, 複雑, バイオハザードの可能性, 腐食, 後始末の大変さのため却下), 高圧ウォーターミスト(HPWM)法を検討したが, ヨーロッパ道路トンネルでの実績をもとにHPWMが採用された。



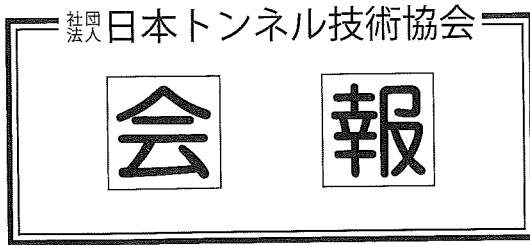
参考図 実トンネルでの耐火試験の様子

霧状の水は超微粒子で比表面積が大きく, 蒸発時間がきわめて短い。火から大きなエネルギーを吸収し温度降下に要する時間が短い。また, 熱放射も吸収することでトンネル壁を防御できる。上下線で29のセクションに分割しそれぞれ870mを設置する。システムは高圧電源のラインからは絶縁されており, 水を噴霧しても, 30kVでもアーク放電を起こさないことを実証している。設置は, 試作品作成(2010年末まで)と実物大模型耐火試験2段階に分けて行う。また, ライフサイクルコストの計算も行い採算性の検討を実施。全4か所のセーフステーションは2011年末までに設置予定で, 2012年のロンドンオリンピックに間に合うとしている。

現行の消火システム(UPTUN R251, NFPA 502)では, 実物大模型耐火試験の実施が義務づけられている。とくに換気システムの面から, 火災発生とその場所の検知が効果的であることの実証も必要であるため, IFAB(Applied Fire Safety Research)が200MWまでの火災テストをSTUV AやフランスのSETECも援助を受けてスペインの試験トンネルで実施した。

長い鉄道トンネルでは安全な緊急停止ステーションの開発が喫緊の課題であるが, セーフステーションの概念を導入することで, 安全で経済的な対策が可能となるとしている。

(文責:小川豊和・大成建設(株))



1. 会員の現状

	12月31日現在
正会員	1,563名
団体会員	365名
個人会員	1,198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

広報小委員会誌WG(12/7)

大島洋志主査ほか13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文献WG(12/20)

大久保誠介主査ほか14名, 海外文献を翻訳

海外文献小委員会対外広報WG(12/22)

早坂治敏主査ほか10名, 「現況2012年度版」の原稿を査読

海外文献小委員会海外ニュースWG(12/22)

早坂治敏主査ほか9名, 海外ニュースを翻訳

◎事業委員会

40周年記念事業準備会(12/26)

久多羅木吉治主査ほか5名, 実施にあたってのコンセプトを検討

計 5回開催 56名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

安全環境小委員会打合せ会(12/1)

林淳委員ほか11名, 作業方針を検討

都市トンネル小委員会打合せ会(12/8)

五十嵐明委員ほか6名, 作業計画を検討

山岳工法小委員会支保WG(12/19)

深沢成年主査ほか17名, 海外文献調査および国内アンケート調査結果を検討

◎受託研究特別委員会

効率的掘削工法特別委員会高速施工WG(12/13)

領家邦泰主査ほか8名, 報告書取りまとめ方針を検討

効率的掘削工法特別委員会補助ベンチWG(12/13)

鈴木雅行主査ほか9名, 報告書取りまとめ方針を検討

効率的掘削工法特別委員会(12/21)

西村和夫委員長ほか21名, 現地視察ならびに作業計画および方針を検討

土砂処理特別委員会切羽安定対策WG(12/16)

中村俊明主査ほか5名, 取りまとめ方針を検討

土砂処理特別委員会土砂改質処理WG(12/16)

河本武士主査ほか6名, 取りまとめ方針の検討

北海道新幹線(本州方)委員会機械化施工WG(12/12)

小山幸則委員長ほか42名, 施工現況を検討

九州新幹線(西九州)トンネル検討委員会幹事会(12/19, 20)

大島洋志主査ほか17名, 各トンネル施工の検討および現場視察

土砂処理特別委員会土砂運搬WG(12/20)

滝本邦彦主査ほか14名, 取りまとめ方策を検討

計 11回開催 167名出席

合計 16回開催 223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 http://www.wtc2013.ch/
第40回ITA総会およびコンgres「Tunnels for Better Living」	2014. 5. 9~15	サンパウロ(ブラジル)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Brazilian Tunnelling Committee

*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:03-3524-1755

4. 平成23年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(現場研修会)				
舞鶴若狭自動車道トンネル建設工事現場研修会	2011. 7.29	26	福井県	2.8
小田急下北沢地区複々線化工事建設現場研修会	2011.10. 7	16	東京都	2.0
横浜環状北線シールドトンネル工事現場研修会	2011.11. 4	36	神奈川県	2.0
大師線連続立体交差事業(地下化)工事建設現場研修会	2011.11.28	29	東京都	2.0
(施工体験発表会)				
第68回(山岳)「様々な課題克服に取り組んだ山岳トンネル工事」	2011.10.13	126	東京都	5.1
第69回(都市)「都市トンネル工事におけるコスト縮減・工期短縮の施工事例」	2011.10.14	74	東京都	4.6
(講演, 講習会)				
山岳トンネルのインバートに関する講習会	2011. 6.15	86	東京都	3.5
第13回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2011. 9.29,30	23	東京都	17.3
第14回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2011.12.14,15	24	東京都	9.3
山岳トンネルの地質に関する講演会	2012. 1.24	100	東京都	2.6

催物の案内は逐次協会のホームページに掲載いたしますので閲覧ください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,〈http://www.japan-tunnel.org/event_japan〉の入力で辿りつけます。

WTC(国際トンネル会議)会場から得られた資料の紹介

- 当協会は, ITA(国際トンネル協会)の日本の代表機関として積極的に協力していますが, 過去に開催されたITAのWTCの会場に設置されたブースやポスターセッションなどで集めた資料を協会会議室で閲覧をすることが可能です。希望者はあらかじめご連絡のうえ, ご来訪くださいますようお願いいたします。なお, 会員の方には貸し出しも行います。
- 協会ホームページでは, 収集した資料目録を掲載しておりますので, ご興味のある方はアクセスしてください。出展内容をチェックすることで世界のトンネル事情や, どの国が, どの会社が, どのような部門に注力しているか, ビジネスの考え方などを知る機会になれば幸いです。
- 保管資料: 2011年フィンランド(ヘルシンキ), 2010年カナダ(バンクーバー), 2009年ハンガリー(ブダペスト), 2008年インド(アグラ)

2012トンネル技術研究発表会

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24年2月24日(金) 10:00~17:00

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(論文集を含む)、意見交換会 4,000円

申し込み方法：FAXで申し込みください(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:011-729-2688

申し込み締切：平成24年2月16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、その旨を申込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
・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、バスなどの公共交通機関をご利用ください。

※1 プログラムはトンネル研究委員会のホームページ<http://www.ejsd.net/tunnel/>でも掲載しております。

※2 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。

プログラム(案)：

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

研究発表(第1部)

10:15~10:45 「大型(300kW級)ブーム式掘削機の性能実績に関する研究」
岩田地崎建設(株)技術部 ○須藤 敦史
カヤバシステムマシナリー(株) 鈴木 康雅
(株)赤阪鐵工所タイクウ事業部 高木 茂雄

10:45~11:15 「高付着型鋼管を用いたトンネル補強工の開発」
鹿島建設(株)技術研究所 ○横田 泰宏・山本 拓治
鹿島建設(株)北海道支店 伊達 健介
(株)ケー・エフ・シー技術部 岡部 正・井本 厚・三福 純平

11:15~11:45 「梅川トンネルで採用したハイ・イータス工法と覆工ひずみ計測について」
前田建設工業(株)北海道支店 池田 弘英・○梶山 孝司
前田建設工業(株)土木事業本部トンネルグループ 森田 篤

11:45~12:15 「光デバイスにより状態情報を発信する方法のトンネルへの適用—OSV(On Site Visualization)の適用事例—」

(株)建設技術研究所東京本社道路・交通部 ○野村 貢
神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 芥川 真一
(株)鴻池組本社土木事業本部技術部 山田 浩幸
西松建設(株)土木設計部 大谷 達彦

12:15~13:15 休憩(昼食)

13:15~15:00 特別講演
「デジタルカメラによる粉塵濃度簡易測定とトンネル軸方向変位計測による地山予測法の提案」
山口大学大学院理工学研究科教授 進士 正人

15:00~15:20 休憩

研究発表(第2部)

15:20~15:50 「未固結シラス地山における超大断面トンネルの掘削—鹿児島東西道路 新武岡トンネル—」
国土交通省九州地方整備局鹿児島国道事務所 増尾 明彦・中村 大志
間・銭高特定建設工事共同企業体 ○多宝 徹・若狭 紘也

15:50~16:20 「様々な条件に取り組んだ小断面トンネルの合理化施工—県営玄倉林道線2号隧道付替 新青崩隧道—」
岩田地崎建設(株)土木部 ○山中 桂司
岩田地崎建設(株)技術部 須藤 敦史
神奈川県足柄上地域県政総合センター森林部森林課 和泉 吉浩

16:20~16:50 「京極発電所調圧水槽(水室~立坑~水路部)の施工」
北海道電力(株)京極水力発電所建設所 安部 鐘一・工藤 正彦・伊藤 直也・桑野 智行
清水建設(株)土木技術本部設計第二部 矢部 幸男
清水建設(株)京極発電所新設工事のうち土木本工事(第3工区) 柏瀬 満久・○厨川 弘樹

16:50~17:00 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 細川 迭男

17:30~19:00 意見交換会 センチュリーロイヤルホテル 3F エレガンスホール

会員加入のご案内について

社団法人日本トンネル技術協会

当協会は、トンネルの建設および維持管理に関する調査研究を行い、地下利用技術の進歩・向上を図ることによって、国土の保全と公共の福祉の増進に寄与することを目的として、1975年に公益法人として設立されました。設立以来、産官学から多くのトンネル技術者が対等の立場で集い、数多くの技術課題に取り組んできました。また、会員各位の資質向上や会員同士の情報交換の場として各種トンネルの現場見学会、発表会、講習会、講演会を開催するほか、委員会活動の成果を技術報告書として広く公表しています。トンネル工事の業務に携わっている団体はもちろん個人の方も、是非、会員にご加入くださいますようお願いいたします。

ホームページ <http://www.japan-tunnel.org/Kaiin>

また、当協会では、事業活動に対するご意見ご提案を受け付けています。会員の皆様のニーズを反映した諸活動を目指してまいりますので、下記アドレスにメール送信お願いいたします。

メールアドレス webmaster@japan-tunnel.org

3月号予告[3月1日発売予定]

- ブロック積みトンネルの耐力評価法の研究
- 北海道新幹線 津軽蓬田トンネル
- 鹿児島東西幹線道路 新武岡トンネル
- 仙台市高速鉄道東西線 亀岡トンネル
- 東京都下水道 墨田区八広一、四丁目付近再構築

【連載講座】

- 最新推進工法技術(10)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆今年に入りトンネル絡みのニュースが2件ありました。トンネル絡みといっても当誌で専ら掲載しているような記事ではありません。

◆ひとつは、大分県別府市で発見された謎のトンネルです。高さ約1m、幅約2mの矩形断面のトンネルです。入り口が2か所発見されていますが、近年の住宅や道路建設によってトンネルは途中で寸断されてしまっているのが全体像は不明です。トンネルの見つかった周辺は、終戦後11年にわたって進駐軍が駐屯していた場所で、進駐軍によって掘られた可能性が高いということです。使用目的は不明で、今後、市の教育委員会では文化的価値を調査するようです。

◆ふたつ目は海外からのニュースです。イラクのドホーク州にある刑務所で、受刑者11人がトンネルを80m掘って脱走しました。刑務所長も驚きを隠せず、全くどのような方法で掘ったか皆目検討がつかないとのこと。さながら映画のような話ですが、凶悪犯も含まれていますので、早く脱走者が逮捕されることを祈るばかりです。

◆以上のニュースはご存知の方も多くおられると思いますが簡単に紹介させていただきました。今までは当誌もこのようなニュースなどを載せる頁を用意していませんでした。今月号の40~42頁に「Tunnel Wall」というコーナーが掲載されています。昨年の6月号に初めて掲載し、今回で2回目の掲載です。このコーナーはトンネルにかかわるものでしたらどのような内容のものでもOKというコーナーです。もちろん読者の方が自由に投稿できるコーナーです。42頁に簡単な執筆上の注意点を明記してありますのでぜひ皆様方からの投稿をお待ちいたしております。

(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)土木工学会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43巻 第2号 [通巻498号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成24年1月20日 印刷

平成24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

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学会社

〒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会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。

トンネル工事に用 電気集じん器

e-DUSCO

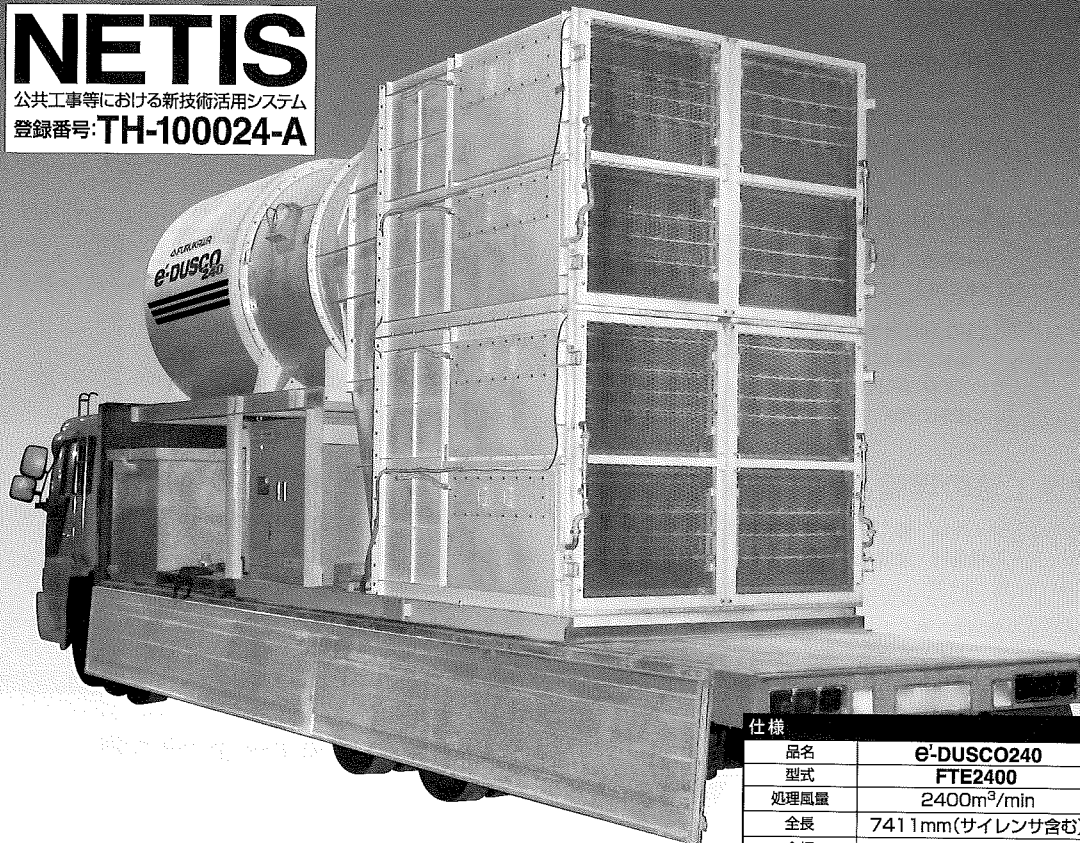
イーダスコ・ニューヨナル

究極の省エネ

70%も節電

NETIS

公共工事における新技術活用システム
登録番号: TH-100024-A



仕様

品名	e-DUSCO240
型式	FTE2400
処理風量	2400m ³ /min
全長	7411mm(サイレンサ含む)
全幅	2350mm
全高 ^{※1}	3700mm
本体重量	10t
電源仕様	3相3線400V58kVA
ファン動力	30kW
消費電力	33kW
洗浄水	2.4m ³ /回
捕集ダストの処理	湿式
集じん効率 ^{※2}	95%以上

※1 車両高さは含まれていません。

※2 JIS Z 8808により測定した値です。

クラス最高の集じん効率95%

従来の電気式では達成できなかった95%以上の高集じん率を確保。

微細粉じんも逃さない電気式

電気式だから人体に有害な微細粉じん(0.2~5μm)も捕集できます。

現場メンテナンスは手間いらず

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

大風量と省エネを同時に実現

処理風量は20%増えたのにいっそう省エネ。安定した処理風量でCO₂削減を実現する工口製品です。

古河機械金属グループ

古河産機システムズ株式会社

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

本社

〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3
営業第3グループ ☎03-3212-6575大阪支店 ☎06-6344-2532 名古屋支店 ☎052-561-4580 札幌支店 ☎011-784-1179
東北支店 ☎022-221-3532 九州支店 ☎092-741-5193 小山工場 ☎0285-23-8662

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。



続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・侯野恭寛 共著
1,200 円＋税 新書判

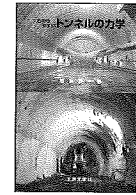
温泉開発における一般論から探査技術についてまとめ、今後の温泉開発の考え方を、外国の事例も交えながらわかりやすくまとめた。



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。



トンネル工事の衛生と環境保全

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
3,200 円＋税 A5 判

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



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。



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。



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。



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。



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。



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。



山岳トンネルの新技术

ジオフロンテ研究会 編
14,573 円＋税 B5 判

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



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800 円＋税 A5 判

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



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。



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。



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。



海洋資源開発

福田善紀 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。



わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修
2,500 円＋税 B5 判

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



地下水の科学 I～III(全3巻)

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

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



第 I 巻 地下水の物理と化学
4,078 円＋税 B5 判

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

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	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町12番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460

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

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

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

コンクリート密着養生システム



正圧用 (ビニール)
ノンリークダクト

～漏風 "0" の风管シリーズ～

超低騒音ファン EZ-2000Q
〔150kW 2000 m³/min 74dB〕



負圧用 (超軽量鋼管)
ピタジョイントダクト

トンネルに止まらず特殊な一品モノにもお応えします

〈産業用集塵機 1シリーズ〉

集塵、脱臭、除湿、水処理など環境装置を主とする、
エンジニアリングメーカーです。
極環境の宇宙、原子力、トンネルなどの装置開発も手がけています。



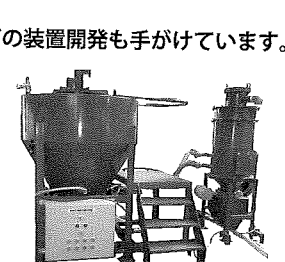
400 m³/min
コース・マンガン



1500 m³/min スラブ研削



工業用大型エアコン



急結剤補給やコンクリート
補強繊維の自動定量送り機



最適環境を創造する

株式会社流機エンジニアリング

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