

トンネルと地下

3

vol. 44
no. 3
2013

Tunnels and Underground

世界歴史遺産都市における大規模地下駅の建設
新技術を用いた沈埋工法により洞海湾を横断する
高水圧下で曲線パイプルーフを利用した地下接続工(Uターン路)の同時施工
住宅密集地に近接した営業線の地下化切替え
高速道路2車線トンネルにおける高規格支保構造の標準化

日本トンネル技術協会誌



信頼の品質

技術提案に好適!! デンカの特種混和材

デンカの液体急結剤
初期強度発現がバツグン
《デンカクリアショット》

NETIS:KT-080020

液体急結剤 **デンカナトミックLSA**
粉体助剤 **デンカナトミックUSS**

- ・脅威の低粉じん吹付けが可能
- ・確かな初期強度、長期強度発現性
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない
- ・粉体急結剤と同様の吹付け性状
- ・湧水、低温にも強い

優れた低粉じん吹付け

《デンカスラリーショット》
デンカナトミックUS-32
デンカナトミックUS-50

《粉じん低減剤》
デンカクリアップ2

- ・安定した低粉じん吹付けが可能
- ・確かな初期強度、長期強度発現性
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

実績の粉体急結剤

一般吹付け・高品質吹付け
デンカナトミックTYPE-5
高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10

瞬結吹付け・初期高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10S
デンカΣショットS

- ・安定した初期強度・長期強度発現性
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

覆工コンクリート
ひび割れ抑制・耐久性向上

コンクリート用膨張材
デンカパワーCSA
有機無機複合型被膜養生剤
デンカクラッコフ

コンクリート補強用合成繊維
STRUX 85/50L

- ・高品質な覆工コンクリートが得られます

◆トンネル関連製品

- ・デンカPFモルタル、PFモルタルTYPE-K・・・小断面・TBM用吹付けモルタル
- ・デンカライフセッター・・・吹付けコンクリート用凝結調整剤
- ・FTN-30・・・吹付けコンクリート用高性能減水剤
- ・デンカES/ES-L・・・無公害なセメント系土質安定用急硬材
- ・デンカコロイダルセメント/コロイダルスーパー・・・微粒子、超微粒子セメント
- ・デンカPモル・・・注入式ロックボルト定着材
- ・デンカCG-1000、CG-2000・・・可塑性モルタル用混和材

DENKA

電気化学工業株式会社

セメント・特混事業部 特殊混和材部
東京都中央区日本橋室町2-1-1
電話 03-5290-5558

定価 1,575円 雑誌06619-3
本体価格1,500円

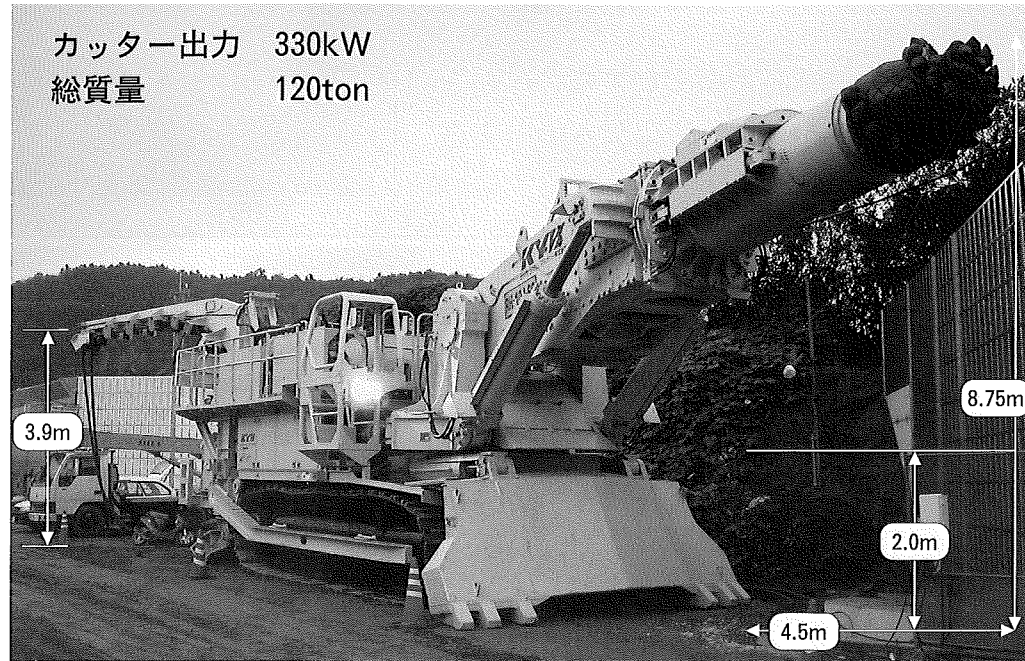


4910066190330
01500

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW
総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定格最大切削範囲は、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

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO

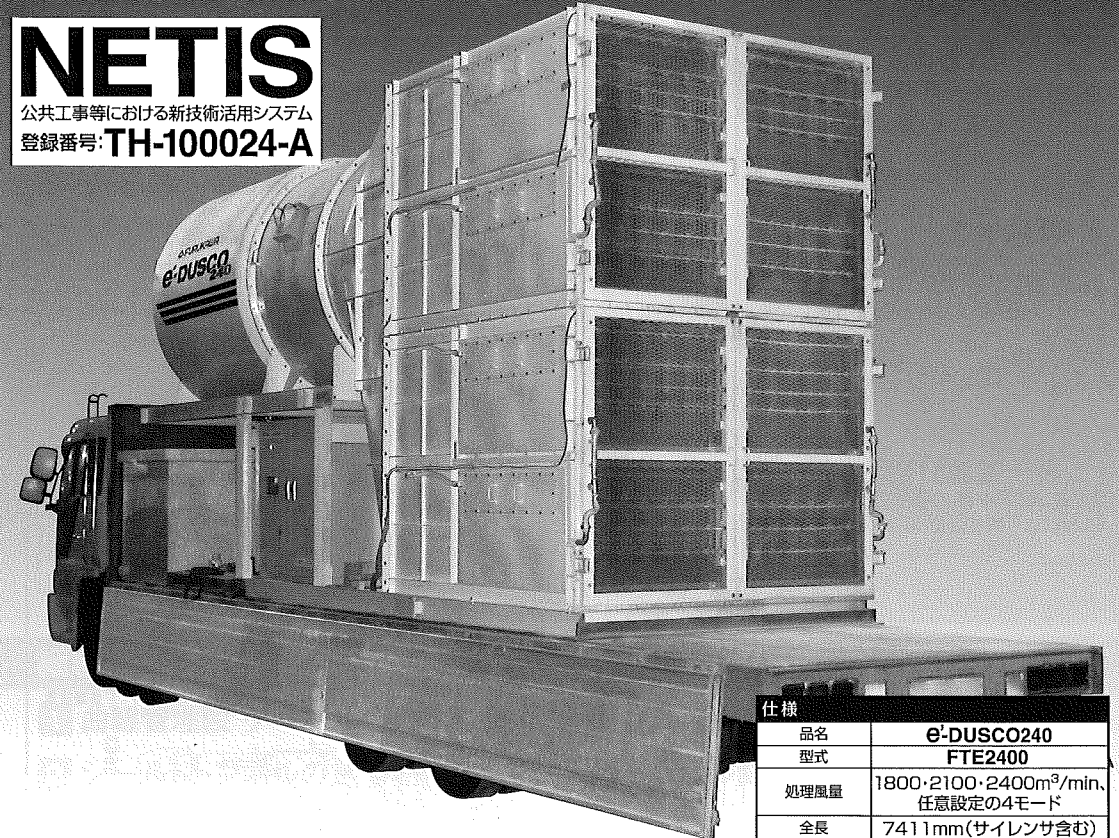
イーダスコ・ニーヨンマル

究極の省エネ

70%も節電

NETIS

公共工事等における新技術活用システム
登録番号:TH-100024-A



クラス最高の集じん効率95%

従来の電気式では達成できなかった95%以上の高集じん率を確保。

現場メンテナンスは手間いらず

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

微細粉じんも逃さない電気式

電気式だから人体に有害な微細粉じん(0.2~5μm)も捕集できます。

大風量と省エネを同時に実現

処理風量は20%増えたのにこいっそう省エネ。安定した処理風量でCO₂削減を実現するエコ製品です。

仕様	
品名	e-DUSCO240
型式	FTE2400
処理風量	1800・2100・2400m ³ /min、任意設定の4モード
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	23kW・28kW・33kW・任意
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。

古河機械金属グループ

古河産機システムズ株式会社 URL: <http://www.furukawa-sanki.co.jp/>

本社 〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3 第二営業部 ☎03-3212-7804

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

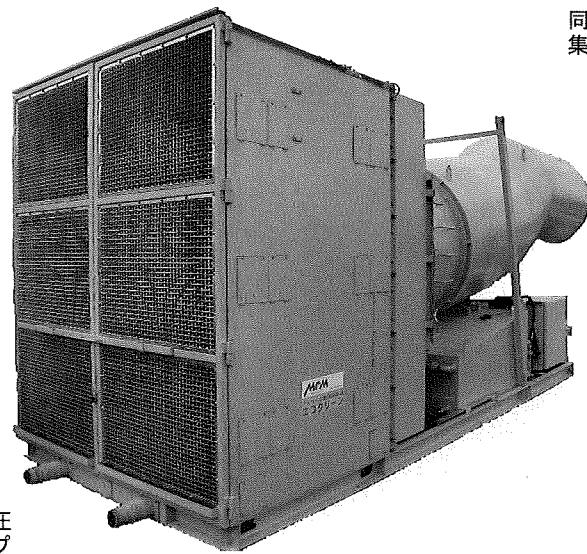
最新型・電気集じん機

エコクリーンX

NETIS登録番号:KT-040047-A

このたび、弊社エムシーエムは1999年にクリンジェット1号機を現場納入して以来、培ってきたノウハウを結集し、電気集じん機の大幅な性能アップを図った「エコクリーンX」を開発いたしました。

極板放電方式
放電線をなくし消耗品の削減と断線トラブルの撲滅



少ない消費電力
同クラスのフィルター方式集じん機に比べおよそ1/4

コンパクト
同クラス集じん機の中で最小

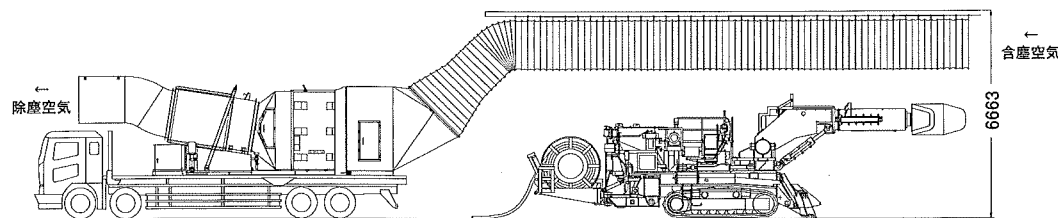
貯水タンク
自動洗浄が
随時可能

オプション
自走クローラ台車
自走ホイール台車
伸縮風管...etc.

処理風量
750m³/minから3000m³/minまで製作実績あり

高圧電源分割
集じんユニット毎の個別電圧印加により集じん効率アップ

伸縮風管(軽量型Φ1500,Φ1600製作実績あり)



伸縮風管接続例

弊社では「エコクリーンX」以外にTBM用吹付け「サブショットシステム」等、多様なトンネル工事に用いるシステムを開発ご提供しております。機器に関するお問合せはご遠慮なく下記までどうぞ。

株式会社エムシーエム

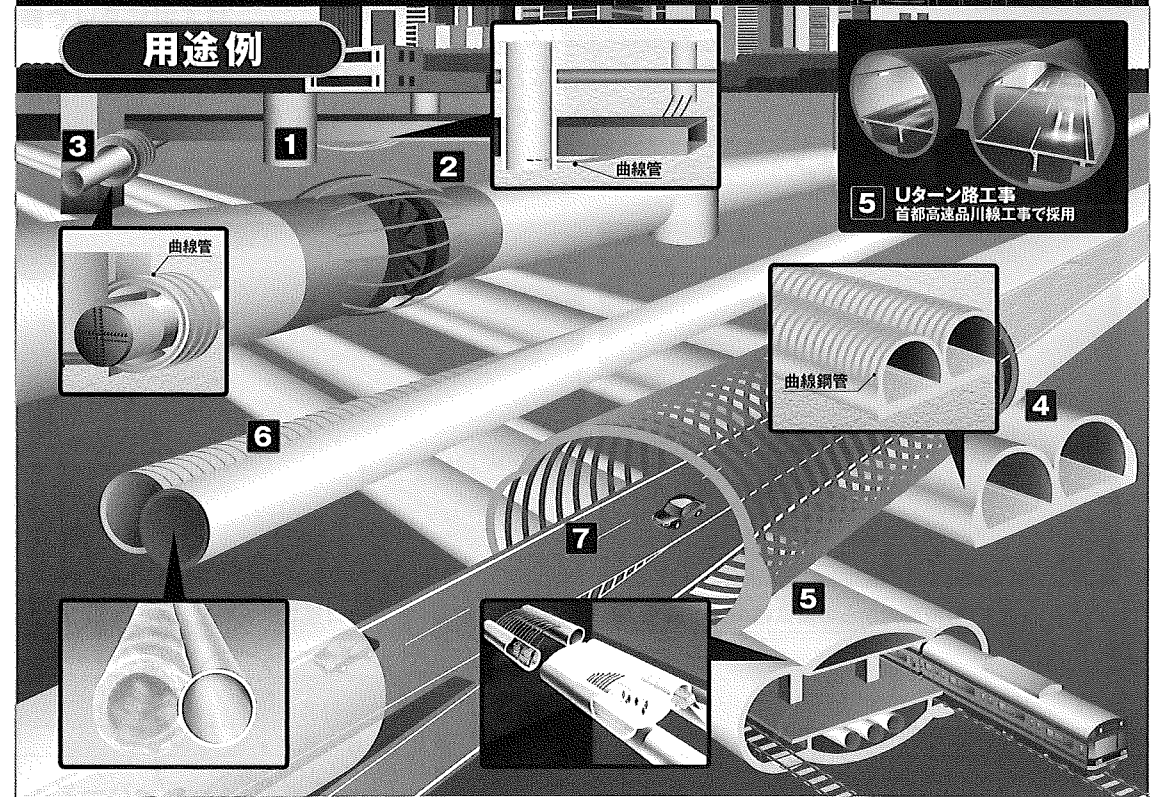
<http://www.mcmcm.jp>

本 社 : 愛知県名古屋市天白区植田東2丁目1014番地
tel.052-804-9633 fax.052-804-1505
北陸センター : 富山県高岡市福岡町下老子43番地2号
tel.0766-64-0351 fax.0766-64-0352



NEW TULIP 工法

地下空間の画期的な構築方法



細経曲線ボーリング工法

- 1 曲線管理設 ケーブル等のさや管
- 2 シールドトンネルの地中結合
- 3 立杭の地中拡幅
- 4 大断面トンネルの支保工、先受け工
- 5 トンネル間の切掘り拡幅

太経曲線パイプルーフ工法

- 6 管路の地中分岐
- 7 トンネルの分岐合流部拡幅

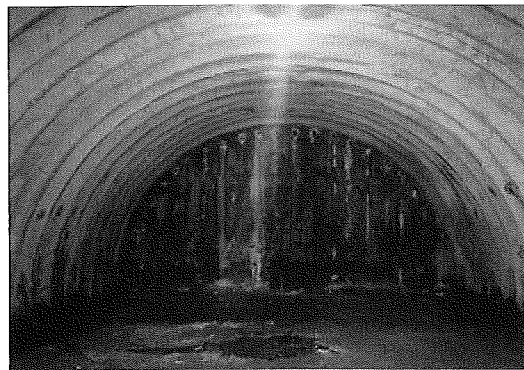
NEW TULIP 工法研究会

詳しくは当研究会のホームページをご覧ください <http://www.new-tulip.com/>

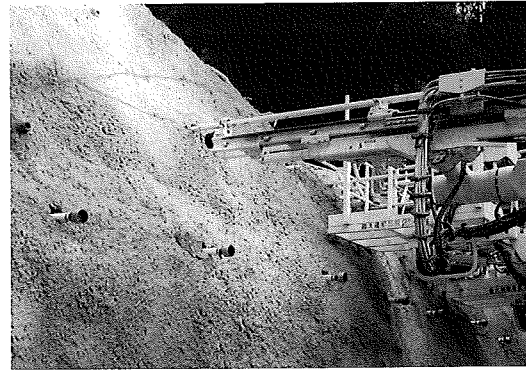
〒101-8366 東京都千代田区三崎町2-5-3 鉄建建設株式会社
TEL.03-3221-2104 FAX.03-3239-1685

日本で生まれ、世界へ広がる。 NATMの補助工法

当社は「AGF工法のパイオニア」として、数多くの実績を築いてきました。この豊富な施工実績を基にした技術対応力で、バックアップ体制をとっています。さらに、豊富なビットシステムと多様な注入システムを保有しているため、「AGF工法～小口径二重管削孔システム」まで、地山条件や施工条件など目的に応じたご提案ができます。



(施工例)断面内からの無拡幅AGF工法



(施工例)鏡面への小口径二重管削孔システム

AGF工法のバリエーション

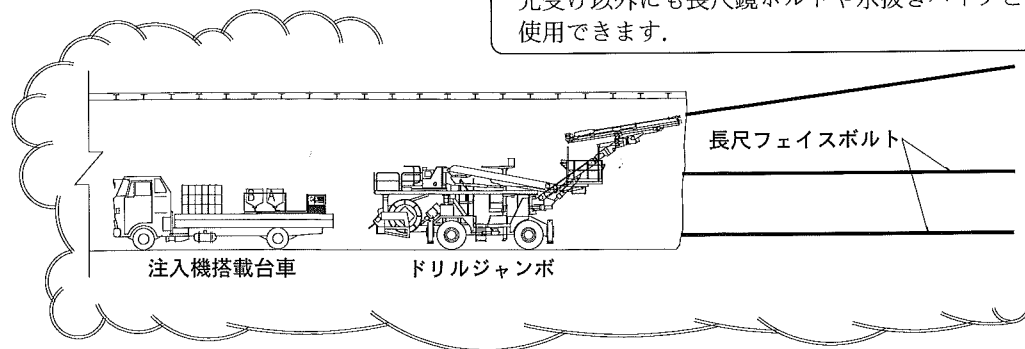
プロトタイプ
無拡幅タイプ
最小拡幅タイプ

小口径二重管削孔システム

鋼管径φ89.1mm～60.5mmまで対応ができ、鋼管・スリット管・特殊樹脂管が選べます。

↓ ↓
先受け以外にも長尺鏡ボルトや水抜きパイプとして使用できます。

施工性や経済性を追及して、注入式フォアポーリングとAGF工法の間を埋める工法！



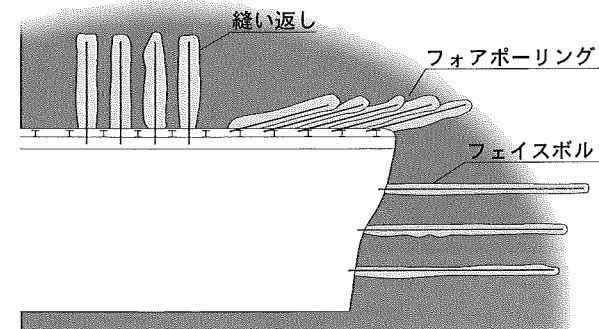
注入材のバリエーション

- シリカレジン注入材
 - ・スーパーSRF(標準タイプ)
 - ・スーパーSRF(Sタイプ)
 - ・スーパーSRF(低粘度タイプ)
- ウレタン注入材
 - ・ガンバンスーパーS
- 無機系注入材
 - ・シリカセーフ



(施工例)固結状況

注入ボルトのバリエーション



注入式フォアポーリングや鏡ボルト等に使用する注入ボルトとして、

- ・PUボルト
 - ・KATアンカー
 - ・GPRマルチタイプロックボルト
- 等があり、地山条件や使用目的に応じて選択できます。

主要営業品目

- ・スーパーシート(防水シート)
- ・ツイストロックボルト
- ・異形ロックボルト
- ・KAT自穿孔ロックボルト
- ・GRPマルチタイプロックボルト
- ・各種注入材
- ・アルカリフリー型液体急結剤AFK-777J
- ・各種AGF工法
- ・Small-P工法/パノラマ工法
- ・注入式フォアポーリング
- ・濁水処理設備
- ・建設資材全般

KATECS

株式会社 カテックス
建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.co.jp/>

技術営業部

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

東京支店

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

九州営業所

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

中部営業部

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

関西営業所

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

北海道地区(株エイチ・アール・オー)

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

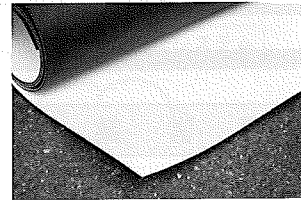
ウォータータイトトンネル 防水システム



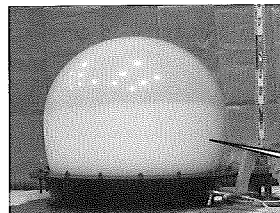
非排水型防水システム用メンブレン
KFCタイトライナー

シート防水材

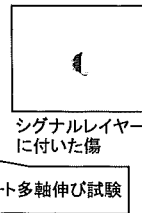
- KFCタイトライナー
追随性・溶着性・耐破損性の優れた防水シート
- シグナルレイヤー
防水シート損傷部の発見が容易なシグナルレイヤー付防水シート
- 裏面緩衝材
長繊維不織布から透水性の優れた立体網状体まで豊富なバリエーション



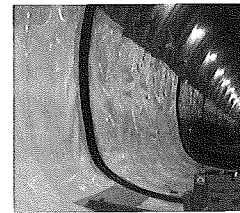
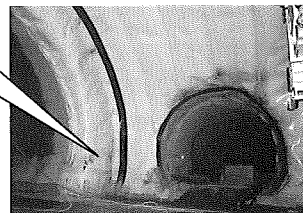
シグナルレイヤー付防水シート



シート多軸伸び試験



シグナルレイヤーに付いた傷



基本システム

- ウォーターバリア
打継目からの漏水防止および漏水範囲の限定
- コンタクトグラウト
被圧された地下水から防水シートの損傷防止

漏水対策システム

- ストリップグラウト
打継目からの漏水対策
漏水発生ブロックの特定
- リペアシステム
クラックや打継目からの恒久止水対策

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

土木資材事業部(東京) TEL(03)6402-8251 FAX(03)6402-8255
土木資材事業部(大阪) TEL(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755

1本1本が大切! だから

次世代 防食 ロックボルト

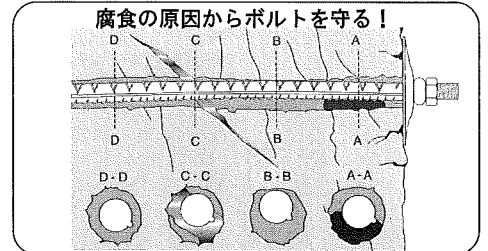
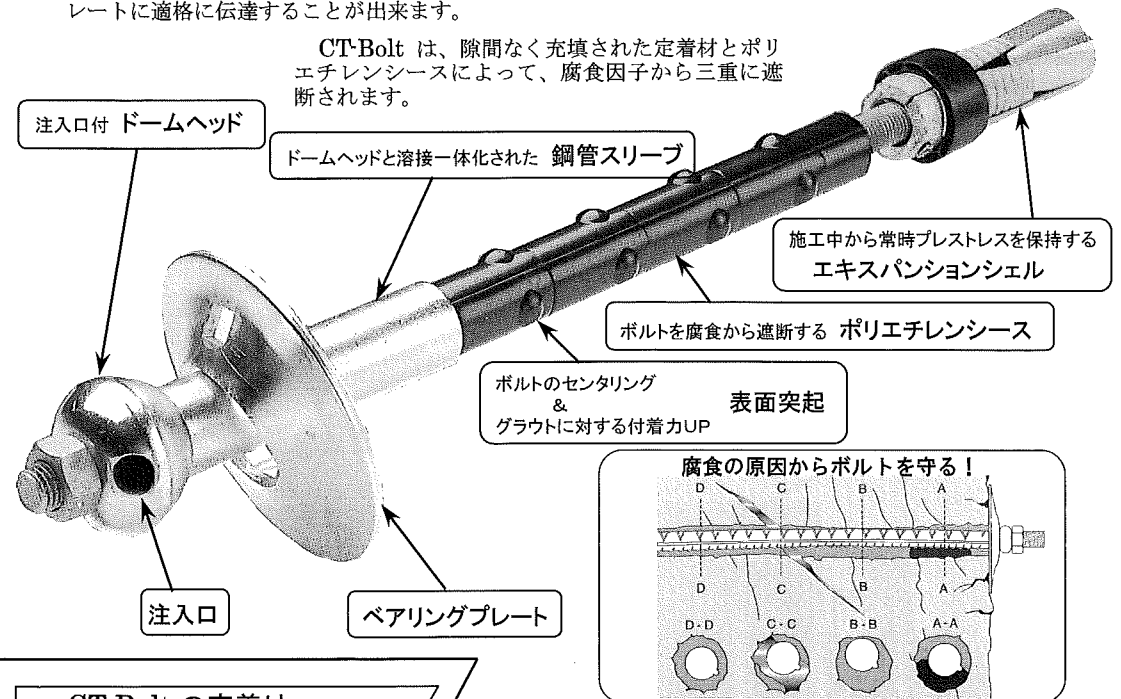
CT-Bolt

Orsta Stål

通常施工により超長期支保

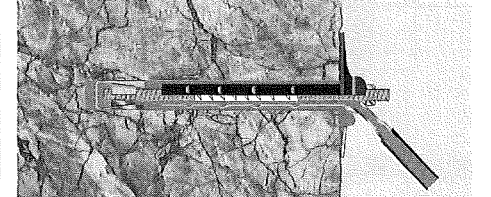
CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適切に伝達することが出来ます。

CT-Bolt は、隙間なく充填された定着材とポリエチレンシースによって、腐食因子から三重に遮断されます。



CT-Bolt の定着は・・・

即時に支保効果をもたらす先端定着と、時期を選んで行える全面定着グラウト充填のコンビネーションです。施工直後から施工後長期にわたって、ボルト支保効果を最大限に活用することが可能です。ポリエチレンスリーブがボルトを覆う構造により、仮に空洞や偏芯、或いは湧水によって部分的にグラウトが逸失している場合にも、腐食促進成分がボルトと接触しません。



用途：
山岳トンネル・海底トンネルに
立坑・地下空洞支保に
石油備蓄基地等地下施設建設に
斜面安定・補強土工に
その他 腐食対策の必要な地盤に

完全充填

CT-Bolt は、広い範囲の粘度のグラウト注入が可能です。グラウトはポリエチレンスリーブ内に充填された後、先端部から孔壁とスリーブの間を充填して戻り、リターンによって全面定着が確認出来ます。

総発売元 Your Fastening Partner

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

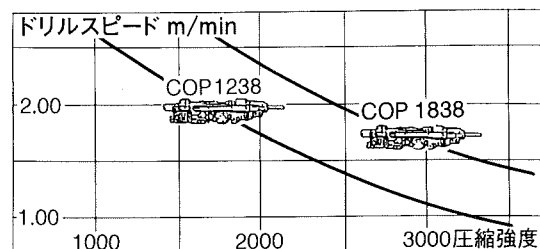
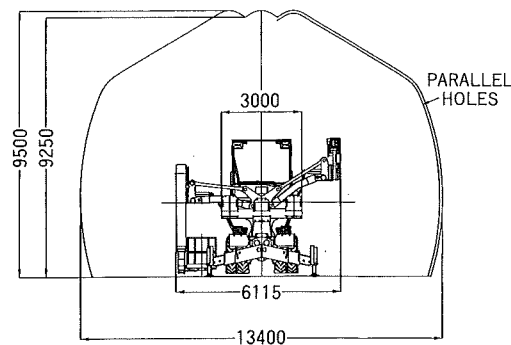
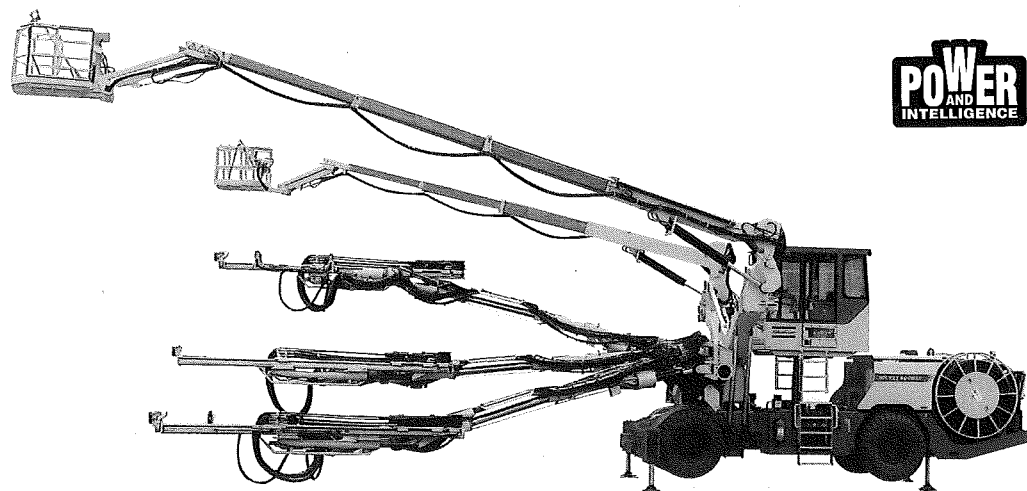
〒105-0011 東京都港区芝公園2丁目4番1号
お問い合わせ先 TEL: 03-6402-8256
技術部 FAX: 03-6402-8255

アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B

COP1838油圧ドリフター搭載

3ブーム・2バスケット



ドリルマシン株式会社

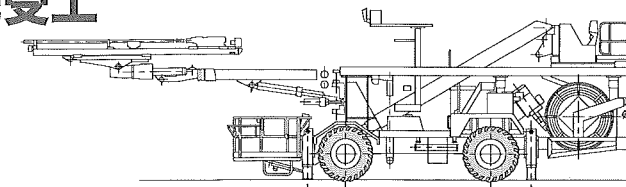
DRILL MACHINE CO., LTD.

本社 〒116-0014 東京都荒川区東日暮里6-16-8 桂ビル5階
 TEL (03) 3806-3377 番 FAX (03) 3806-8461 番
 関西支店 〒657-0864 兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4
 TEL (078) 802-5551 番 FAX (078) 802-5528 番
 九州支店 〒839-0841 福岡県久留米市御井旗崎1-6-14
 TEL (0942) 43-5315 番 FAX (0942) 43-5832 番
 広島出張所 〒739-2613 広島県東広島市黒瀬町植原1336-1
 TEL (0823) 36-7787 番 FAX (0823) 36-7791 番
 兵庫工場 〒679-1332 兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端454-3
 TEL (0795) 36-0461 番 FAX (0795) 36-0467 番

環境対応型長尺鋼管先受工

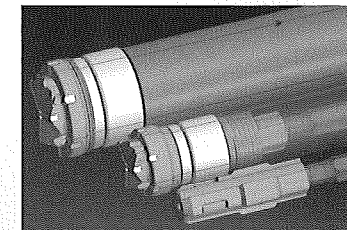
TOHO AGF System

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

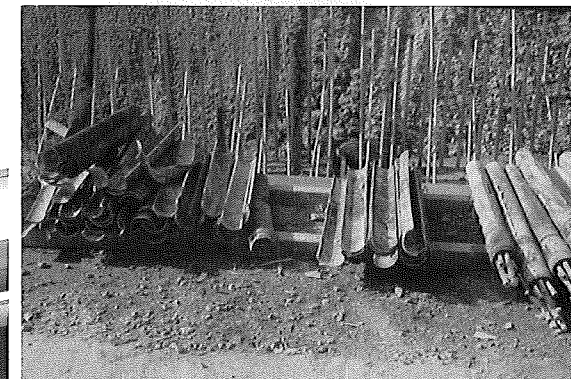
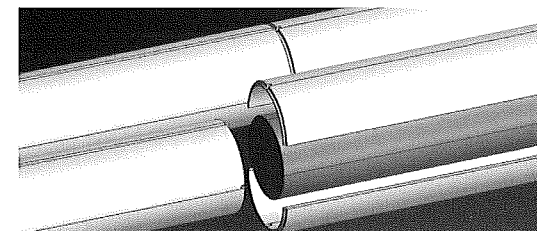


AGF-Me工法

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



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



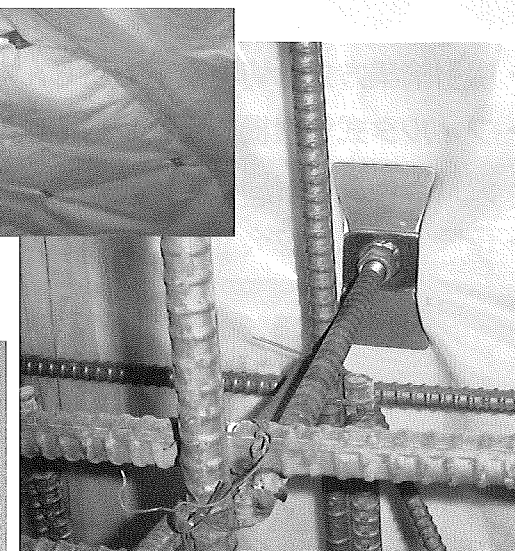
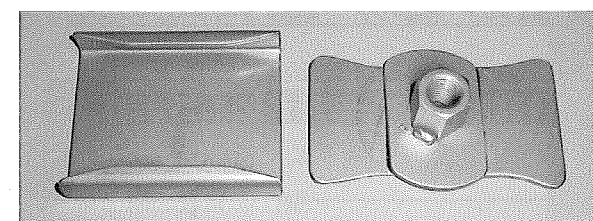
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

- ・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 TOHO KINZOKU Co., LTD

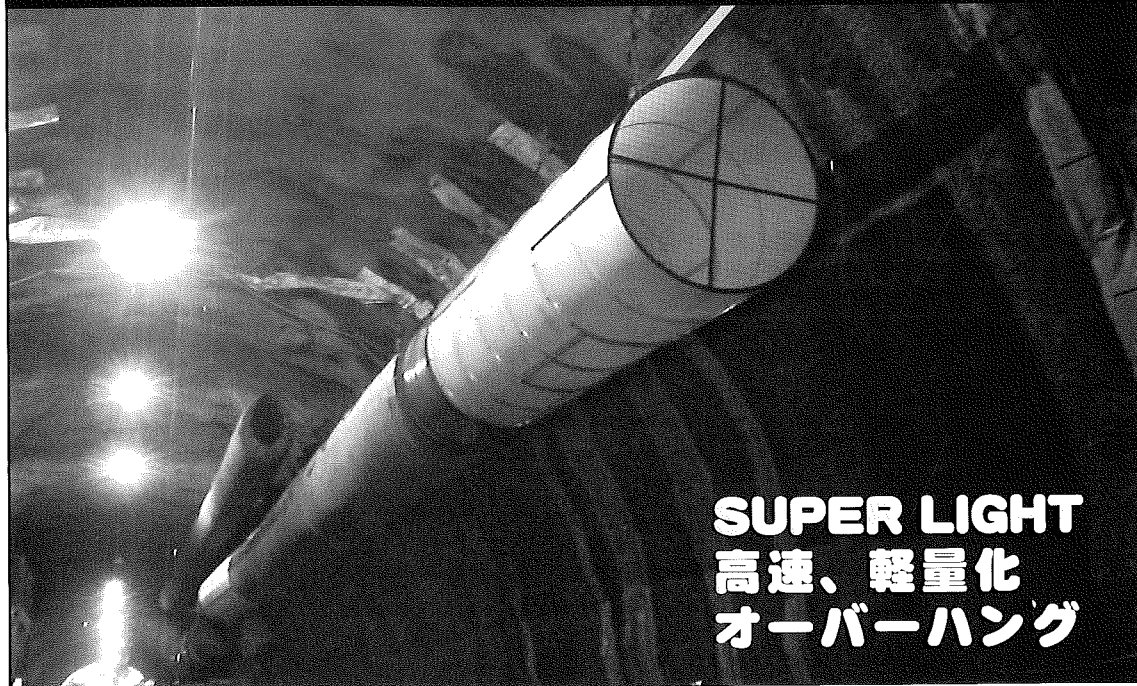
〒107-0052 東京都港区赤坂2-19-8 赤坂2丁目アネックス6F
 Tel: 03-5545-7900 Fax: 03-5545-7905
 URL: <http://www.tohokinzoku.co.jp>

株式会社 トーキソール

〒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)

時代は吸引捕集方式へ...

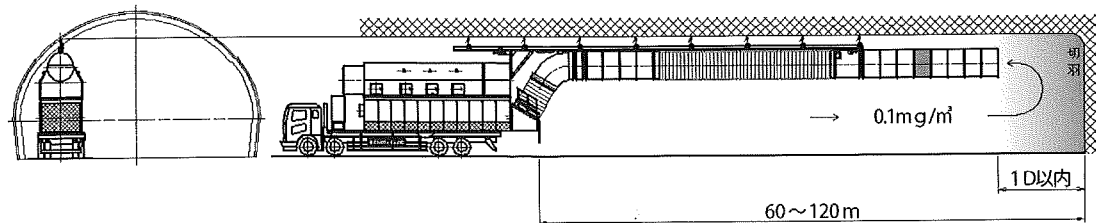
トンネルじん肺を根絶できる最良の方法です



SUPER LIGHT
高速、軽量化
オーバーハング

- ・吸引捕集方式は切羽直下で粉じんを吸引し、切羽の作業員を守ります。
- ・フィルタ式集塵機で大気レベルに清浄化、トンネル全域をきれいにします。
- ・発破後の換気時間を短縮、余掘防止など生産性も向上します。
- ・国際トンネル協会 (ITA) も推奨している方式です。

集塵機 レール送り 固定ダクト 伸縮ダクト 駆動部 オーバーハングノズル



最適環境を創造する
株式会社 **流機** エンジニアリング

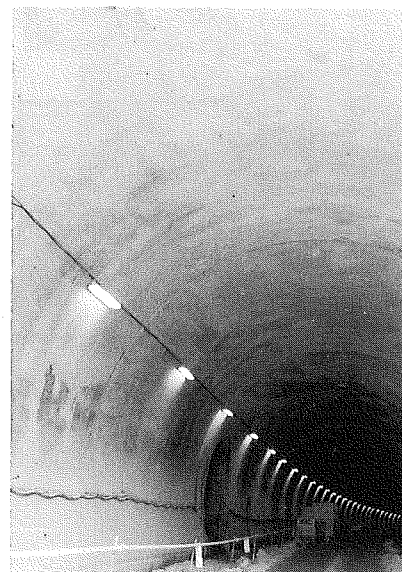
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI 聖坂ビル
TEL : 0120-449-881
URL : <http://www.ryuki.com/>
E-mail : eigyobu@ryuki.com



コンクリートの劣化、欠陥箇所の改修、補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



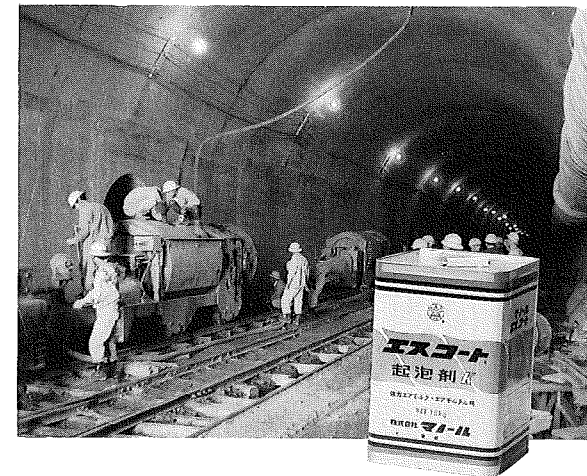
〈工期短縮、即日仕上り〉

プレミックス急硬モルタルと
特殊ラテックスの
複合材で
短時間で実用強度が得られる
即日補修工法です。

- 短時間で高強度、即日仕上り
- 強力な接着力と収縮、ヒビ割れ防止
- 防水性、防錆力に優れ、中性化防止
- 既調合品で現場管理が簡単

エアモルタル裏込め注入……

エスコート L & K 起泡剤



- 強力な分散性と安定した流動性
- ノーブリージング
- 任意の強度の選定
- セメント、骨材の種類が任意

◆ 土木資材の総合プランナー ◆



株式会社 **マール**

〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)

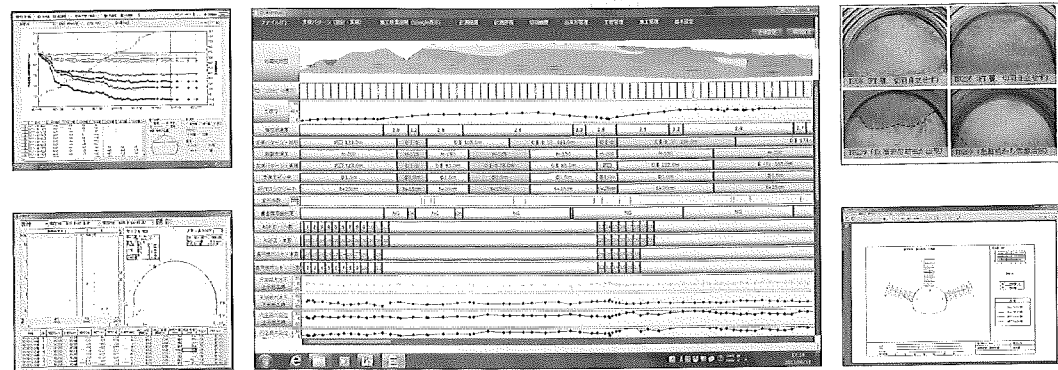
This August Debut

Cyber NATM 2nd Generation

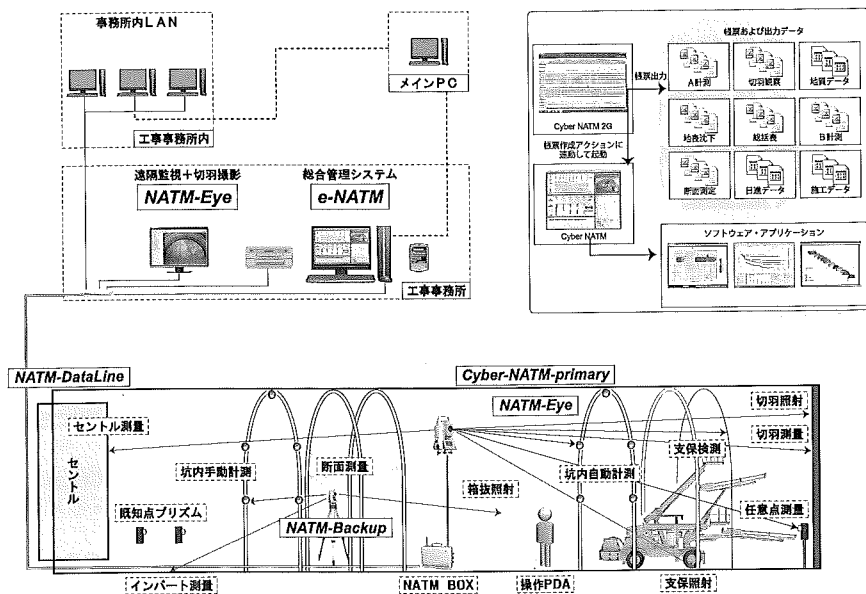
新時代の切羽情報管理システム

CYBER NATM Horus

トンネル管理の原点はやはり巻物であった



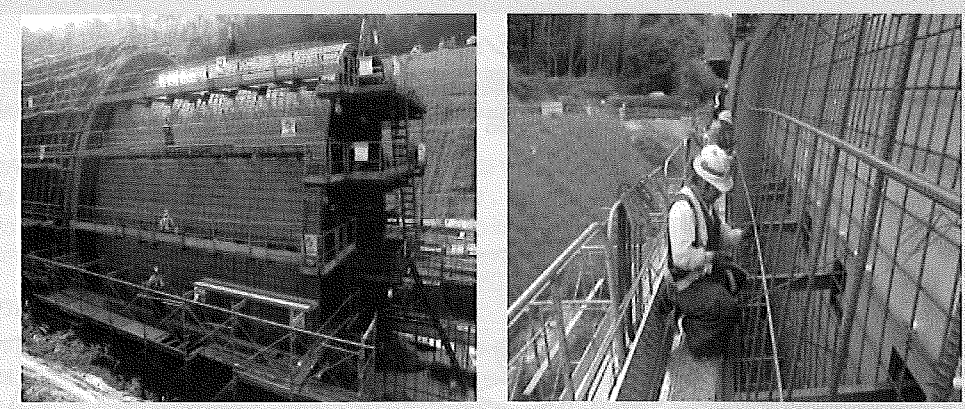
- トンネル連続情報を可視化する
- トンネル技術情報を共有化する
- トンネル施工情報を一元化する



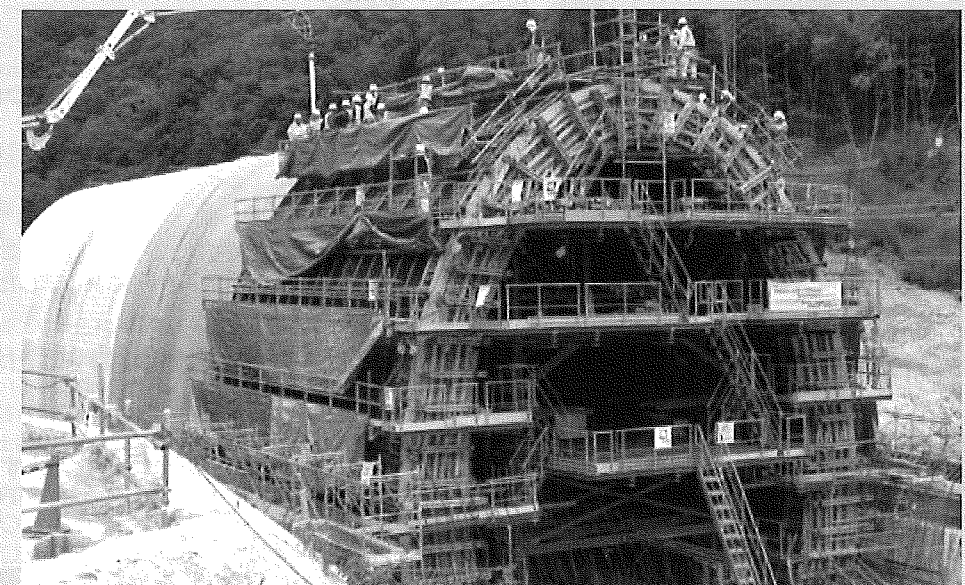
株式会社 演算工房 ENZANKOUBOU CO., LTD.
 京都本社 〒602-8268 京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地3
 TEL: 075-417-0100 FAX: 075-417-0200

アーチカルバート用セントルの新工法

＜画期的な構造により大幅にコストダウン＞



IN側セントル窓から鉄筋工事用足場をスライドし、ケレン・鉄筋組立て工事を完了。
 (スライド足場収納式IN側スライドセントル:特許品)



①移動式OUTセントルをセット → ②セバ取り付け → ③棲作業 → ④コンクリート打設
 (左右スライド脱型式OUT側セントル:特許品)

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

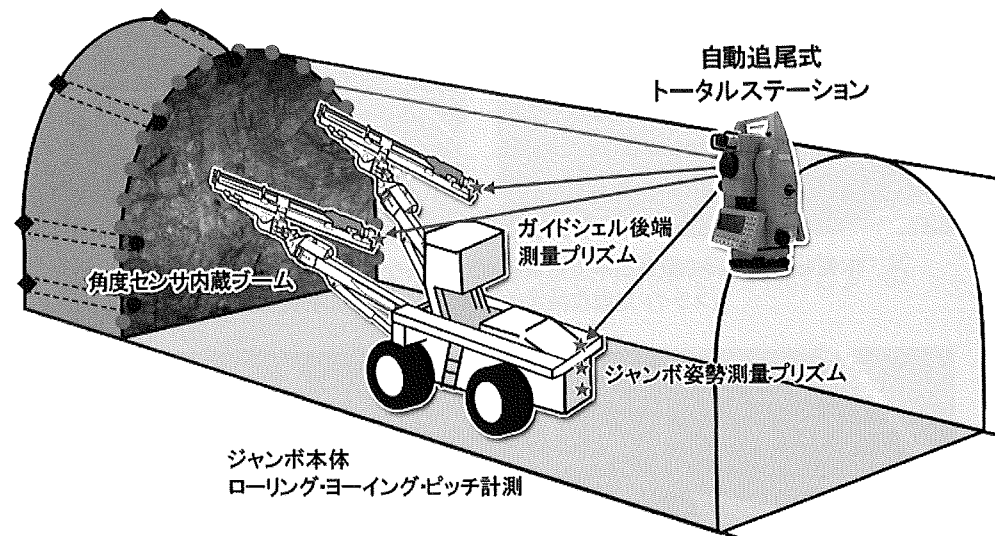
- 本社 〒553-0006 大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル TEL:06-6443-7060
- 九州営業所 〒812-0011 福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号 TEL:092-409-8008
- 指定工場 〒919-0441 福井県坂井市春江町定重(森本工業) TEL:0776-51-2410

NETIS登録番号:KK-100049-A

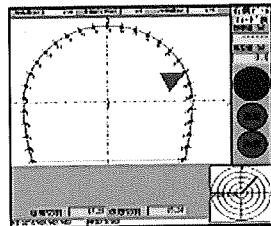
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

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

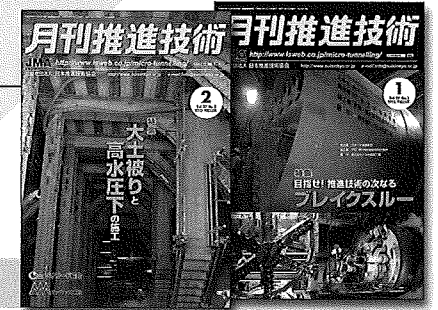
FRD 古河機械金属グループ
古河ロックドリル株式会社

〒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

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をしております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管渠埋設の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっております。

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039 加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間購読料金12,000円(毎月1冊×12ヶ月 税・送料込)をお支払いください。

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

<http://www.lsweb.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



お問い合わせ先

月刊推進技術 編集室

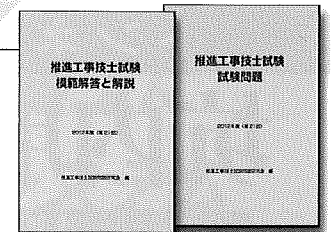
<http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/>

〒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@lsweb.co.jp

推進工事技士試験 過去10年間(平成14~23年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編



平成24年度版
2月上旬発売予定

推進工事技士試験は、推進工法に係わる技術、技能を適正に認定することを目的に(財)日本下水道管渠推進技術協会(現(公)日本推進技術協会)が平成4年度より実施している制度で、管渠施工の安全性と品質を確保する上で有益な制度です。解答付きの解説書に対する受験者の皆様からのご要望に応じて、この程、推進工事技士試験過去問題集を刊行しました。受験対策書としてご利用いただければ幸いです。

1. 内容と特長

- 過去10年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- 各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出典箇所を明記

2. 価格

各年度単体に1set 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

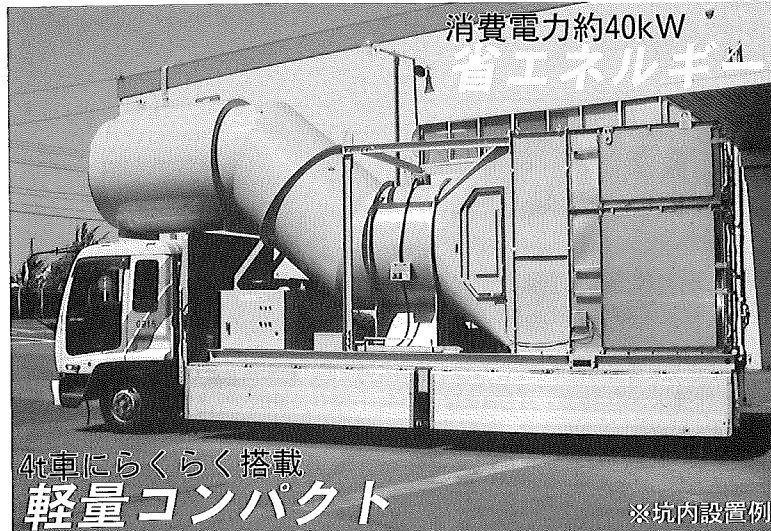
本図書のお申込は前金でお願いしています。ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社(団体)名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。これらのことをインターネットでご案内しています。[推進工事技士試験] 検索

お問い合わせ先

株式会社 LSプランニング

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

〒135-0046 東京都江東区社丹2-2-3-105
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail oda@lsweb.co.jp



4t車にらくらく搭載
軽量コンパクト

※坑内設置例

National電気集塵機クリンジェット(2,000m³/minタイプ)



取扱レンタル商品

- フリッカー対策器
- MACレーザーシステム
- オアシス(坑内休憩室)
- 発電機エコ装置
(従来より小容量の発電機で
施工できる為、省エネ効果)

株式会社 レント

特機営業課 担当者 工藤

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-12-9 NIビル8階 TEL: 03-5642-6750 FAX: 03-3249-0415
URL: <http://www.rent.co.jp> E-mail: kudo.yuji@rent.co.jp

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

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

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

 中濃産業株式会社
代表取締役 土田 義 式

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



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

オリカ社は、今まで積み重ねてきた研究開発と技術力を駆使して、お客様が毎日直面する課題の解決策をご提供することができます。自由に延時設定可能なトンネル専用電子雷管eDev、トンネル発破デザインソフト New SHOTPlus-TTM、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。

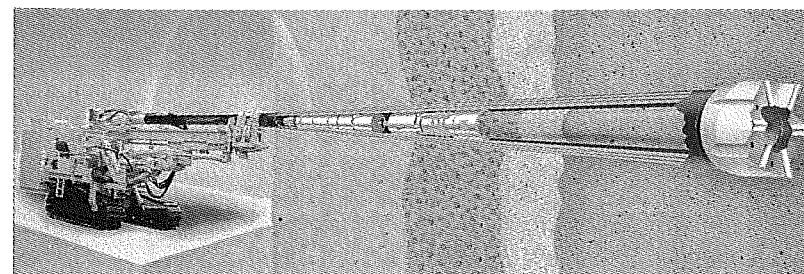
これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership (パートナーシップの力)」です。

www.oricamining.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。




トンネル掘さく的安全施工に
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

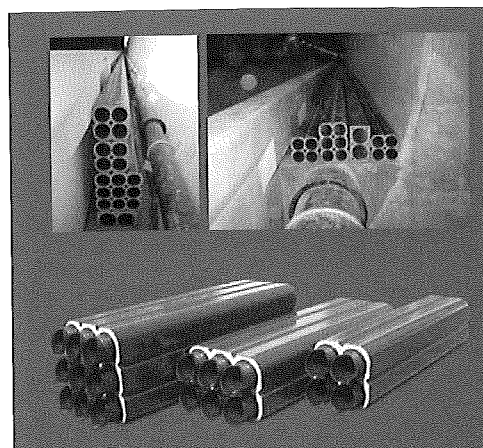


■ 特長

- ①断層破砕帯や湧水をとまらぬ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 鉞研工業株式会社
本社 〒171-8672 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>



『不燃材』

セラダクトA^{エース}ネオ

NEO

万が一のトンネル火災でもセラダクトAネオは燃えることはありません。


「安全・安心」な道路建設にトンネル内地中埋設管路

— 特長 —
標準管の長さは65cmの新規格
接続はカップリンク方式で
簡単スピーディー

本社工場 愛知県知多郡武豊町上山一丁目76番地 〒470-2387
TEL(0569)35-2360(代) FAX(0569)35-4087

東京支店 東京都渋谷区恵比寿一丁目21番8号セラ51ビル 〒150-0013
TEL(03)3442-6181 FAX(03)3442-1691

大阪支店 大阪府都島区御幸町1丁目3番1号 〒534-0012
TEL(06)6922-6991 FAX(06)6922-2498

 杉江製陶株式会社
<http://www.sugie.co.jp/>

ゴムクロー・ミキサー車

国土交通省排ガス2次トンネル工事用指定



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

【仕様】	ゴムクローラ式ミキサー車 TGM-MR45T 上部ミキサー:カヤバ製(混合容量4.5m³)	【TGM-MR45T II 仕様】	
全長	7,500mm	タンブラ中心間距離	3,870mm
全幅	2,690mm	クローラ全長	9,800mm
全高	3,620mm	クローラ幅	700mm
最低地上高	530mm		(100センチ×38センチ)
空車質量	11,000kg	セメント積載時質量	22,000kg
形式	三菱6D-TLE2B	定格出力	165kw/2,700min
排気量	7,545cc	最大トルク	700N・m/1,300min
速度1段	最大 7.6km/h		
速度2段	最大 20.0km/h		
空車時接地圧	20kpa	積載時接地圧	40kpa

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

T&M
Tunnel & Mining
ニシオティアンドエム株式会社
山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業
<http://www.nishio-tm.co.jp>
〒569-0836 大阪府高槻市唐崎西2-26-1

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

■東北営業所
tel: 0198-26-0240
fax: 0198-26-0241

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

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

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



道路,トンネル設計 (本体工,換気,防災,照明,施工管理他)

トンネル現場診断



(社) 建設コンサルタンツ協会会員 ISO9001取得

株式会社 ロード・エンジニアリング

会長 田島 利男 代表取締役社長 清水 洋(技術士)
(技術士・土木学会フェロー会員)

常務取締役 堀内 浩三郎(工学博士) 大阪支店長 亀甲谷 義高(技術士)
福岡支店長 朽網 新

本社: 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目24番7号 電話(03)3891-0711
大阪支店: 〒569-1133 大阪府高槻市川西町2丁目21番38号 電話(072)691-0711
福岡支店: 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前4丁目25番14号 電話(092)436-1588
沖縄営業所: 〒901-2122 沖縄県浦添市勢理客4丁目16番9号 電話(098)870-6411

トラック用タイヤ販売 海外日系メーカー純正指定タイヤ

コストダウンを実現する

サイズ 11R22.5 オールシーズンタイヤをラインアップ

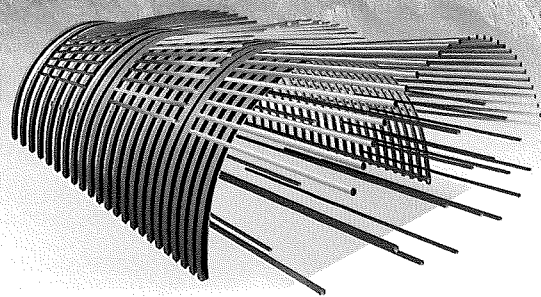


11R22.5サイズ用ホイール, プロテクターチェーン も取り扱いいたしております

詳しくは弊社へお問い合わせください

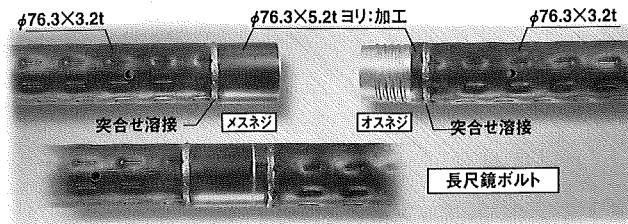
 株式会社 エスピーエス
〒389-0207 長野県北佐久郡御代田町馬瀬口 2100-1
TEL: 0267-32-6793 FAX: 0267-32-6798 E-mail: info@spsusvi-m.com
<http://www.spsusvi-m.com>

ユニークな発想でVEを提案



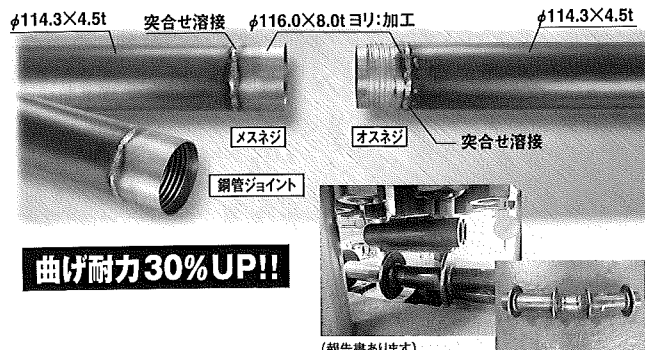
ストロング FIXチューブ(S型)

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



AGF-STD工法

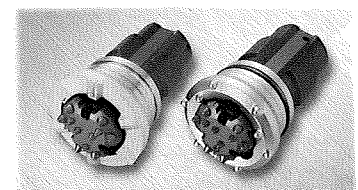
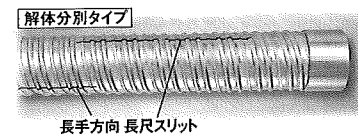
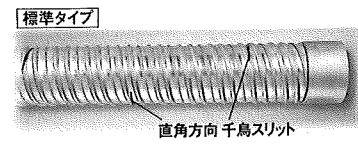
- ※軽量化による作業性とねじ強度の改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



曲げ耐力30%UP!!

接続部の抗折力試験

撤去管の選択



呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

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

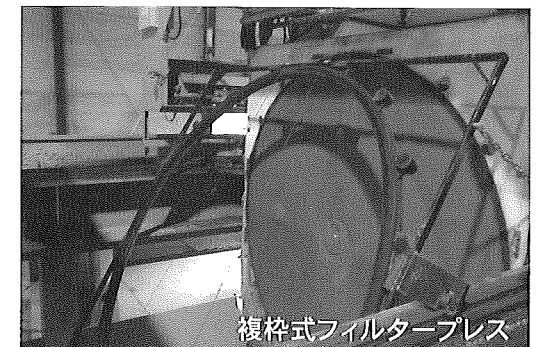
STE
エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.072-990-0250 FAX.072-990-0251
http://www.st-eng.co.jp

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



【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

大災害の教訓

小島 治雄5

■研究

高速道路2車線トンネルにおける高規格支保構造の標準化

岩尾 哲也・中田 主税57

■施工

世界歴史遺産都市における大規模地下駅の建設

—ボスポラス海峡横断鉄道トンネル工事—

岩野 政浩7

新技術を用いた沈埋工法により洞海湾を横断する

—新若戸道路 若戸トンネル—

森山 安夫19

高水圧下で曲線パイプルーフを利用した地下接続工(Uターン路)の同時施工

—首都高速中央環状品川線シールドトンネル—

水谷 正史・五十嵐 央・築取 優丞・谷口 敦27

住宅密集地に近接した営業線の地下化切替え

—京王電鉄 調布駅付近連続立体交差事業—

岩村 忠之・松田 茂広・千田 馨・鏑木 毅47

■連載講座

トンネル技術者のための地相入門(11)

—火山地形におけるトンネル工事—

「地相入門」連載講座小委員会65

■現場だより

「善光寺平に結ばれる 人と地域がきらめくまち」ながのより

山口 耕二37

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

我がトンネル人生

—「山のゆるみは気のゆるみ」を肝に銘じて—

昆布 明弘39

■資料

土木情報

編集部38

工法・技術・製品ニュース

編集部64

トンネルジャーナル

編集部56

海外文献速報

JTA国際委員会77

■会報

会報

日本トンネル技術協会78

【表紙説明】

世界歴史遺産都市における大規模地下駅の建設

—ボスポラス海峡横断鉄道トンネル工事—



トルコ共和国イスタンブール市で進められている「ボスポラス海峡横断鉄道トンネル工事」は、イスタンブール大都市圏鉄道システムの向上を図るものである。当該工区には、ボスポラス海峡を挟んで延長13.6km区間に沈埋トンネル、シールドトンネル、山岳トンネル、開削トンネルなどの各工法でトンネルや駅舎が建設される。写真は、シルケジ駅を上空から撮影したもので、右側の工事は西換気立坑(深さ58m、直径約25m)、左側の工事は南エントランスの立坑である。〔写真提供：大成建設(株)〕(本文7頁参照)

ヤマモト **かくがんき** 無騒音 無振動 静かな破碎

超大型油圧破碎機
YTB 1120
トンネルビッカー

ヤマモトロックマシン株式会社

本社 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号富士ビル ☎(03) 3201-0701(代)

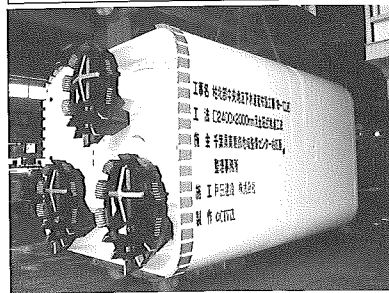
工場 広島県庄原市東城町36番地 ☎(08477) 2-2137(代)

仙台営業所 (022) 262-4531(代) 大阪営業所 (06) 6531-1571(代) 高知営業所 (0888) 22-1367(代) 九州営業所 (092) 471-0381(代)

超流バランスセミシールド工法

ボックスカルバート推進工法

施工場所：千葉県柏市若菜地内



多軸自転・公転掘進機(内空寸法□2400×2000)

本工法は、有効断面を最大限に確保し、低土被り、長距離、急曲線の安全で迅速かつスムーズな密閉型矩形推進工法を確立しました。

先行工事としての角鋼管水平土留工やボックスカルバートの密閉型推進工法に活用可能です。

- ◆低土被りが推進可能(H=1.5m程度まで可能)
- ◆PC・RCボックスカルバート函体および角鋼管にて対応可能
- ◆密閉型のため切羽の安定性に優れ、地山の緩みを防止可能
- ◆完全密閉型多軸方式の高トルク掘進機のため、多様な土質に適用可能で迅速な施工を実現可能

リターン回収掘進工法

施工場所：東京都渋谷区神宮前



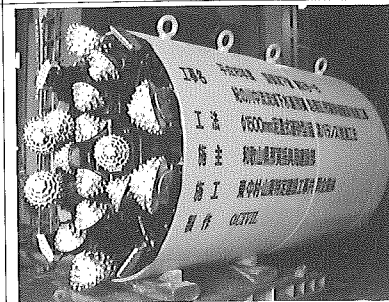
φ1016mm長距離パイプーフ掘進機(リターン回収型)

本工法は、掘進機を発進基地に迅速に引き戻せる機構としたことで、到達坑が不要となり、大幅なコスト削減が可能となりました。

特に長距離、曲線パイプーフ施工として有効なため、工期短縮およびコスト削減が図れる画期的な工法です。

- ◆長距離・曲線パイプーフとして適用可能
- ◆通常のJIS鋼管にて対応可能(鋼管φ812~φ1219mm)
- ◆継ぎ手付鋼管においても先行継ぎ手カッターにてスムーズな掘進が可能
- ◆到達回収立坑が不要(発進側へ掘進機内部装置を回収可能)
- ◆密閉型掘進機構ゆえに無水層~滞水層まで対応可能

巨礫・岩盤破碎型掘進工法

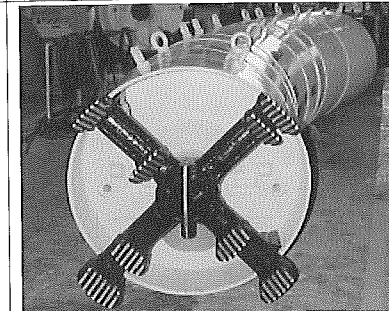


φ1500mm破碎型掘進機

本工法は泥濃式の取込方式の長所を生かしながら、破碎方式を兼ね備え、取込径以下の不要な破碎を行わないため、ビットの耐磨耗延長を従来の2倍以上とし、巨礫に対応しながら長距離推進を可能としました。

- ◆破碎型掘進機：呼び径φ600~φ1650に対応が可能
- ◆岩盤層実績 26件、延べ延長L=10.0km
- ◆巨礫層実績 47件、延べ延長L=15.6km
- ◆破碎型急曲線実績 R=15m(φ800、巨礫層)
- ◆破碎型長距離実績 L=619m(φ1000、巨礫層)

長距離・急曲線推進工法



φ800mm超急曲線掘進機(R=9.3m対応機)

本工法は泥濃式の中でも特に高トルク、超急曲線機能・超長距離安定機能の開発を進め、玉石砂礫層~軟弱層の広範囲の土質に対応できる画期的な掘進機を開発してきました。

- ◆呼び径φ600~φ2400に対応が可能
- ◆排土口径が大きいため、取込型掘進機でも管呼び径の40%程度の玉石等の摘出が可能
- ◆通常の泥濃式の送泥水注入と固結型滑材注入に加え掘進機外周からテールボイド安定材の注入、さらにテールボイド拡幅装置(TRS)を装着することで切羽の安定と良好なテールボイドの構築が可能
- ◆超急曲線掘進機は多段中折れ機構により管呼び径の40~15倍程度まで曲線施工が可能

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	志 岐 寛
株式会社大林組生産技術本部統括部長	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	西 岡 和 則
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	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 石 敬 司	藤 井 義 文
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部次長	株式会社竹中土木執行役員
大 津 敏 郎	松 原 利 之
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	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	吉 富 幸 雄
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長	大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル技術室室長
久多羅木 吉治	
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長	
小 松 敏 彦	
前田建設工業株式会社土木事業本部土木部 トンネルグループ長	

認証取得

ISO 9001
ISO 14001

株式会社アルファシビルエンジニアリング(超流セミシールド協会)

〒812-0015福岡市博多区山王1丁目1番18号

TEL(092)482-6311 FAX(092)482-6363

E-mail: arfa@oregano.ocn.ne.jp

URL <http://www.alpha-civil.com>

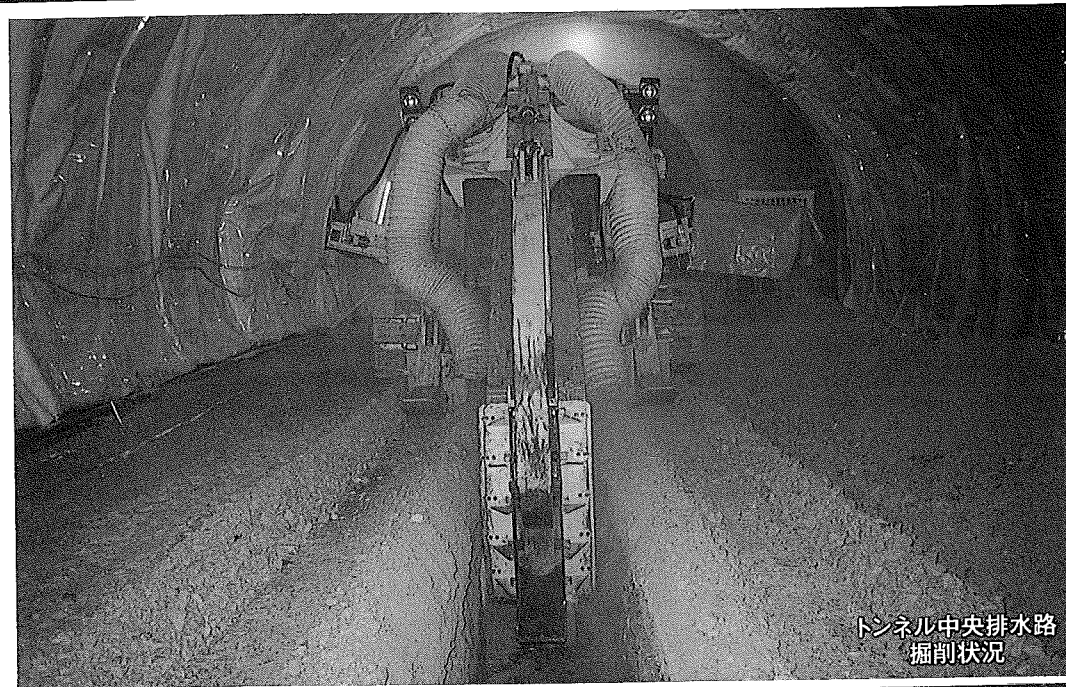
建設コンサルタント登録番号：建18第8677号

測量登録番号：登録第(1)-30507号

建設許可番号：国土交通大臣許可(特-18)第19193号

トレンチャー

硬質地盤の溝堀はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路
掘削状況



施工例

トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D7	40/30	60/35
メーカー名	テスメック	テスメック	マステンブルグ	マステンブルグ
掘削幅(最小)cm	45	75	70	70
掘削幅(最大)cm	60	100	110	110
掘削岩の硬さ(最大)	500kg/cm ²	700kg/cm ²	700kg/cm ²	1000kg/cm ²
重量 t	36	53	50	59
長さ m	13.0	10.8	14.0	15.4
幅 m	2.5	3.2	2.95	2.98
高さ m	3.30	2.86	3.00	3.20
エンジンの出力 PS	300	402	450	600

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

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	高田 武 東京都水道局建設部工務課長
亀山 勝 東京地下鉄株式会社鉄道本部鉄道統括部 移動円滑化設備推進担当課長	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	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
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	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
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社建設工事部兼設備部 構造技術センター次長	柳 雄 東京都下水道局建設部設計調整課長



ワールド開発工業株式会社

●本社/営業部 〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484
☎(026) 282-3671(代) FAX(026) 282-5803
<http://www.wkk.co.jp/>

掲載頁
7

世界歴史遺産都市における大規模地下駅の建設
—ボスボラス海峡横断鉄道トンネル工事—

大成建設(株) 岩野 政浩

トルコ共和国イスタンブール市で進められている「ボスボラス海峡横断鉄道トンネル工事」についてその施工概要と状況を報告する。本プロジェクトは「マルマライ・プロジェクト」と呼ばれ、イスタンブール大都市圏鉄道システムの向上を図るものである。当該区には、ボスボラス海峡を挟んで延長13.6km区間に沈埋トンネル、シールドトンネル、山岳トンネル、開削トンネルなどの各工法でトンネルや駅舎が建設される。本稿では、プロジェクトの現況および山岳工法により施工を行う各種トンネルの特徴や施工状況を示す。とくにヨーロッパ側の歴史遺産地区に建設される大規模地下駅(シルケジ駅)の設計・施工の詳細について報告する。

Large-scale Underground Station Works in World Heritage City—Bosphorus Strait Crossing Rail Tunnel Works—

By Masahiro Iwano, Taisei Corporation



写真はボスボラス海峡横断鉄道トンネル路線

This report gives summary of plan and current state of the Bosphorus Strait Crossing Tunnel Works that are underway in Istanbul, Turkey. This project is called the Marmaray Project and is intended to improve the railway system in Istanbul metropolitan municipality. The works are to build various underground structures with immersed tunnel, shield tunnel, natm tunnel and cut-and-cover tunnel along a 13.6 km section across Bosphorus Strait. This report gives information on the current project situation, the characteristics and construction status of each tunnel constructed with new Austrian tunneling method. The report particularly focuses on the details of the design and construction of a large-scale underground station (Sirkeci Terminal) in a World Heritage Site.

掲載頁
19

新技術を用いた沈埋工法により洞海湾を横断する
—新若戸道路 若戸トンネル—

国土交通省 森山 安夫

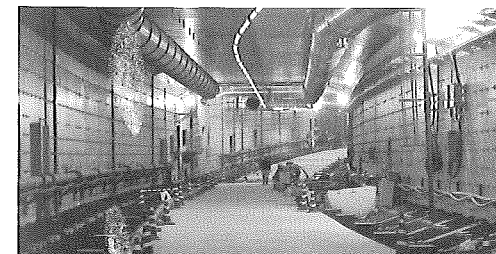
新若戸道路は、北九州市若松区と戸畑区を隔てる洞海湾を横断し、若松側の臨海部より発生する大型車両などを戸畑側の高速交通体系へ円滑に接続させるための自動車専用の臨港道路であり、地域の重要な幹線道路ネットワークとして都市計画道路にも位置づけられている港湾事業と道路事業の合併事業である。このうち、港湾事業施工のトンネル部「若戸トンネル」は、道路トンネルとしては九州初の「沈埋トンネル工法」を採用し、フルサンドイッチ工法やキーエレメント工法、充填コンクリートなどの新技術を用いることにより施工上の課題に対応してきた。

今回は、平成24年9月15日に開通を果たした新若戸道路のうち沈埋トンネル工法を採用した「若戸トンネル」を含む若松側から戸畑側までの約1.2kmの整備について報告する。

Crossing Dokai Bay with the Immersed Tube using New Techniques—Shin-Wakato Road, Wakato Tunnel—

By Yasuo Moriyama, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The Shin-Wakato Road crosses Dokai Bay that separates Wakamatsu and Tobata Wards in Kita-Kyushu City. It is a port road for motor vehicles with the purpose of connecting large vehicle traffic that occurs from the waterfront on the Wakamatsu side to the high speed traffic system on the Tobata side smoothly. This is a combined roads and port project and is even featured in urban planning as an important local trunk road network. The Wakato Tunnel works as a part of the port project employed the submerged tunnel method for the first time for a road tunnel in Kyushu and had responded to challenges by using new techniques such as the sandwich steel shell, the key element as final element to complete assembling and innovated infilled concrete.



写真は沈埋函接合後の内部状況

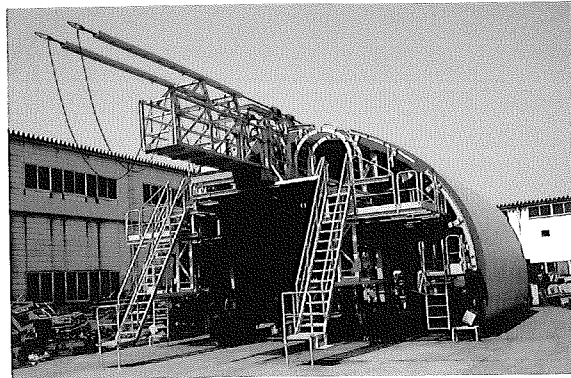
This report gives information on the 1.2 km of the Wakamatsu to Tobata link including the Wakato Tunnel on the Shin-Wakato Road which was opened on 15th September, 2012.

要求性能を満たす 覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレーション装置

NETIS 登録 No.HR-080001-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.CG-080012-A (製造:株式会社マシノ)



期待される効果・特徴

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

北陸鋼産株式会社

(旧社名 株式会社 佐賀)

URL <http://www.hokuriku-kosan.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

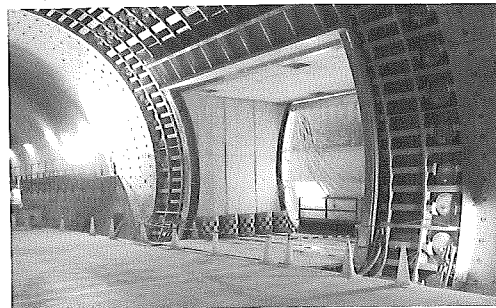
高水圧下で曲線パイプルーフを利用した地下接続坑(Uターン路)の同時施工 —首都高速中央環状品川線シールドトンネル—

東京都 水谷 正史

首都高速中央環状品川線は、全長約47kmの中央環状線の南側部分を形成する路線であり、東京都と首都高速道路(株)が共同で事業を進めている。このうち東京都が施行している「中央環状品川線シールドトンネル工事-2」は、各工種において合理的な施工方法を駆使し、約8.0kmの長距離シールドの高速掘進工事に並行して、道路床版、Uターン路、横連絡坑を同時施工することで工期の大幅な短縮を実現した。本稿では、地下-40~-50mという高水圧条件下でシールドトンネル間を切り開き、接続するUターン路の工事を取上げ、曲線パイプルーフをはじめシールドとの同時施工を実現するための設計・施工面での工夫や取り組みについて報告する。

Simultaneous Work of Connection Structures (U-Turn Passages), with Shield Tunneling Works in the Central Circular Shinagawa Line Project

By Masashi Mizutani, Bureau of Construction, Tokyo Metropolitan Government



写真はUターン路完成全景

The Central Circular Shinagawa Line of Metropolitan Expressway is south part of the central circular line. In The Shield Tunneling Works of the Central Circular Shinagawa Line-2 Project, a tunnel approximately 8 km long is constructed with the use of the one shield machine. In this construction, we made it possible to work shield tunnel excavation, road slab, 11 evacuation passages and three U-turn passages simultaneously, so we had achieved shortening a term of construction work.

In this report, we wrote about those simultaneous works of U-turn passages, various inventions and waterproofing of structures that constructed under high water pressure.

住宅密集地に近接した営業線の地下化切替え —京王電鉄 調布駅付近連続立体交差事業—

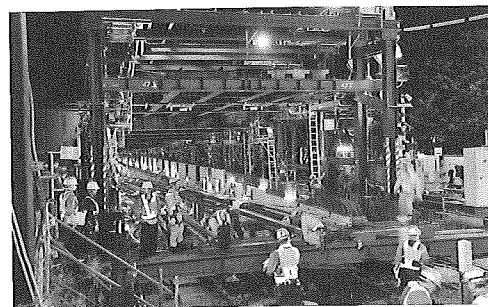
京王電鉄(株) 岩村 忠之

本稿は、平成24年8月18日の終電後に実施した調布駅付近連続立体交差工事における地下化切替工事のうち、地上との取付け部の工事について報告するものである。

地下線への切替のため、京王線の柴崎方と西調布方、相模原線の京王多摩川方の3か所において地上線路から地下線路へ取り付ける工事を行った。今回の切替箇所は仮線用地を確保することが困難なことから、各切替箇所の現場条件に合わせて「クレーン撤去」「工事桁上」「工事桁降下」の3つの工法を組み合わせることで線路直下切替工法を採用した。

Switch Railway Route from Surface to Underground near Populated Area—Keio Corporation Grade Separation Project near Chofu Station—

By Tadayuki Iwamura, Keio Corporation



写真は工事桁上施工状況

This report gives information about the connecting works of existing surface trucks to new underground trucks on the grade separation project near Chofu station that were implemented after the last train on 18th August, 2012.

The works were to connect new underground trucks at three points: to truck for Shibasaki and one for Nishi-Chofu on the Keio line and one for Keio Tamagawa on the Sagami-hara Line. Due to the fact that it was difficult to secure the site for temporary line for the switch, we took methods to switch directly above/under trucks combining crane remove and temporary girder raising and lowering according to the site conditions.

高速道路2車線トンネルにおける高規格支保構造の標準化

(株)高速道路総合技術研究所 岩尾 哲也

現在、高速道路2車線トンネルでは、高強度の支保部材を適用した高規格支保パターンを採用している。しかし、トンネル一般部における鋼アーチ支保工は、高規格鋼の適用に至っておらず、吹付けコンクリート厚のみが低減されたことで、吹付け面からの鋼アーチ支保工の突出量が従来支保パターンに比べ大きくなっていて、鋼アーチ支保工の突出量を低減することで、覆工の品質向上、施工性の向上、コスト削減などが期待できる。本研究は、高規格支保構造の更なる合理化として、高規格鋼アーチ支保工の一般部への適用について、室内試験および試験施工を行い、構造安定性や施工性を検証したものである。

なお、高規格鋼アーチ支保工の一般部の適用は、平成24年7月に標準化されている。

Applications of High-strength Support Pattern for Two Lanes Expressway Tunnels

By Tetsuya Iwao, Nippon Expressway Research Institute Company Limited

Currently, 2-lane expressway tunnels are built with the high standard support patterns using high-strength support members. However, steel arch ribs in the general tunnel sections do not accept high-strength steel and reducing the thickness of shotcrete makes excrescences of arch rib higher than conventional materials. By decreasing this excrescence, we can expect lining quality improvement, working activity improvement and cost reduction, etc. This study conducted laboratory experiments and experimental construction for the application of high-strength arch rib to general section as a further rationalization of high-strength supports to verify structure stability and construction activity.

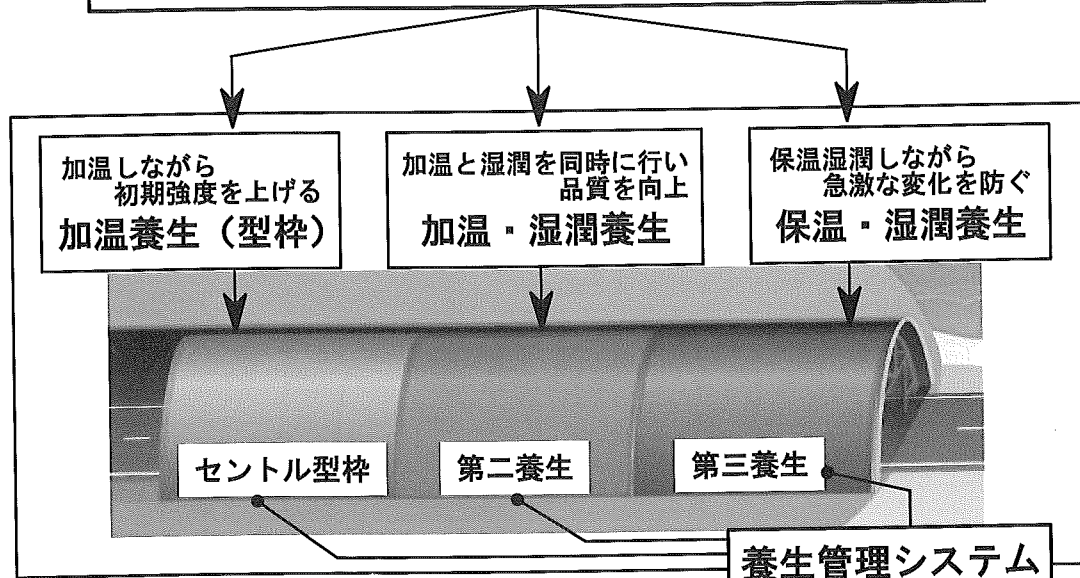
The application of high-strength arch rib to general tunnel section was standardized in July, 2012.

表は従来支保パターンと現行高規格支保パターンの比較(下線部が変更箇所)

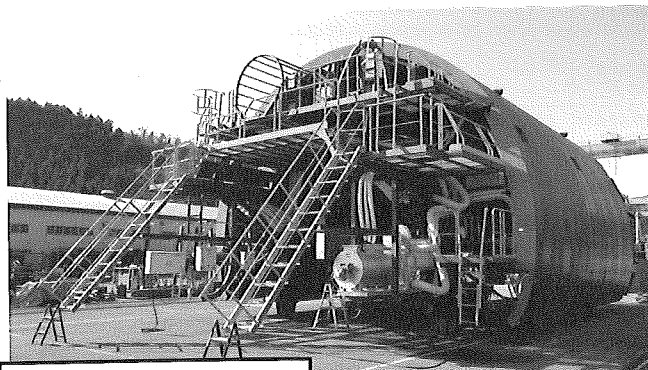
地山等級	支保パターン	標準1掘進長(m)	ロックボルト				吹付けコンクリート(36N/mm ²)	鋼アーチ支保工			
			長さ(m)	耐力(kN)	施工間隔(m)			施工範囲	厚さ(cm)	上半サイズ	下半サイズ
					周方向	延長方向					
B	B-a	2.0	3.0	110⇒ <u>170</u>	1.5⇒ <u>2.0</u>	2.0	上半120°	5	—	—	
C I	C I-a	1.5	3.0	110⇒ <u>170</u>	1.5⇒ <u>2.0</u>	1.5	上半	10 ⇒ <u>7</u>	—	—	
C II	C II-a	1.2	3.0	110⇒ <u>170</u>	1.5⇒ <u>1.8</u>	1.2	上下半	10 ⇒ <u>7</u>	—	—	
	C II-b				1.5⇒ <u>1.8</u>	1.2					
D I	D I-a	1.0	3.0	170⇒ <u>290</u>	1.2⇒ <u>1.8</u>	1.0	上下半	15 ⇒ <u>10</u>	NH-125	NH-125	
	D I-b	1.0	4.0								
D II	D II-a	1.0以下	4.0	170⇒ <u>290</u>	1.2⇒ <u>1.8</u>	1.0以下	上下半	20 ⇒ <u>15</u>	NH-150	NH-150	
—	D IIIa	1.0	4.0	170	1.2	1.0	上半側壁付近	25 ⇒ <u>20</u>	NH-200⇒ HH-154	NH-200⇒ HH-154	

管理しながらコンクリートを育てる

コンクリートトータル養生システム

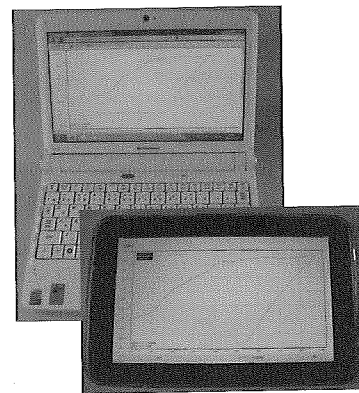


型枠脱型時また養生台車での強度を予測管理できるソフトが組み込まれています。



加温養生（型枠）

温風発生器及び温風を送り込める特殊角型鋼管を型枠の補鋼材に使用し、型枠から加温します。



◆お問い合わせ



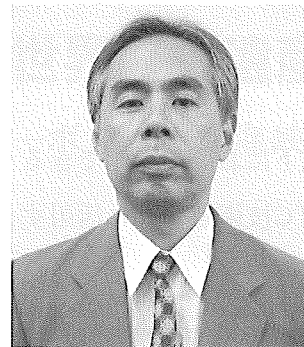
岐阜工業株式会社

本社 岐阜県本巣市十四条144番地
TEL 058(323)2001(代) Fax 058(323)1176

東京支店 TEL 03(5836)0531 Fax 03(5836)0532
仙台営業所 TEL 022(259)2239 Fax 022(259)3664
九州営業所 TEL 092(918)3880 Fax 092(918)3882
URL <http://www.gifukogyo.co.jp/>

巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)



大災害の教訓

東日本高速道路(株)建設・技術本部副本部長

小島治雄

東日本大震災が発生して以来、約2年が経過しました。被災地では復興事業が継続的に進められていますが、1日も早く復旧事業が完成することが望まれています。発生当時に対応した課題および今後の事業に反映すべき事柄について高速道路の建設管理を担当するNEXCO東日本からの報告をします。

平成23年3月11日に発生した地震により、NEXCO東日本が被った被害の範囲は、所掌する管理延長3575kmの約25%にあたる870kmの区間に損傷が確認されました。被害の大半は盛土区間であり路面の陥没が23か所、2cm以上の路面段差が172か所でした。橋梁についてはジョイントの損傷が57か所、支承の損傷が5か所であり、橋脚などの下部工の損傷はほとんどありませんでした。平成7年1月に発生した、阪神淡路大震災の教訓として、橋梁下部工の補強工事を継続的に実施してきましたが、その補強効果が発揮されたものと判断しています。また、トンネル区間における被害はありませんでした。

地震発生直後には、被災地の復旧支援を確実に実施するために、可能な限り早期に緊急輸送路の確保に努めました。地震発生後、直ちに実施した緊急点検の結果をもとに、東北道などの主要路線を中心に自衛隊の救援車両などの通行を可能とする「仮復旧工事」（一部徐行が必要）を順次完成しました。地震が発生して20時間後の3月12日の午前11時には、被害を受けた854kmの区間について、緊急輸送路として指定を受け、第一ステップの目的を達成しました。後日談として現場の社員から入手した情報では、被害を受けた最前線のデータを事務所に伝える作業に苦労したようです。今後の改善点として、現場の最前線の情報(とくに被災状況写真と位置情報)をいかに的確かつ迅速に伝達するため、一層の工夫が望まれます。災害発生直後には、通信回線が制限されるため、携帯電

話などの通信手段が普段どおり使用できません。そのような状況下において活用できる通信手段を確保するとともに、飛躍的な発展が日々進んでいるITC技術を有効に活用することを、常日頃から検討し実施できる体制を構築することが重要です。

中央防災会議において「首都直下型地震」の想定について見直し作業が進められています。仮に首都圏で大規模な地震が発生した場合、今回の教訓をいかに反映できるかを検討すべきです。地震発生後は高速道路の休憩施設であるサービスエリアなどからお客さんが退出されることになり、災害復旧に向けて有効なスペースとして活用することが可能になります。地震発生直後に実施される交通規制について、交通管理者(警察など)においてどのような想定がなされているのか、を認識する必要があります。その想定に対して復旧支援に有効活用できる休憩施設の機能を設定し、準備を進めることが肝要と判断しています。とくに首都圏での混乱を極力低減できるように、常日頃から関係機関との協議調整を進めています。具体的には休憩施設の防災拠点化に着手しており、常磐道の守谷サービスエリアにおいて関係機関との合同実地訓練を平成24年9月に実施しています。

過去に発生した大災害を比較すると、発生した条件や求められる対応は全く異なります。重要なことは、発生した事象について事実関係を整理するとともに、反省点や改善すべき事項を記録として残しておくことだと思います。多くの技術者が、何らかの方法でその内容を視覚や聴覚から取得し、有事に活用できる能力を備えることが期待されます。

今回の大震災により被災された多くの方々が、元の生活を取り返せずに未だご苦労されているようです。このような悲劇を二度とくり返すことのないように、可能な限り事実関係を収集し、将来のためになる教訓を残すことが非常に重要とされます。時代の変化に伴い、社会から求められる土木技術者の役割は変化しています。社会資本の老朽化や取り巻く環境の変化と向き合い、真剣に考えるべきと考えています。

施工

世界歴史遺産都市における大規模地下駅の建設

—ボスポラス海峡横断鉄道トンネル工事—

大成建設(株)土木本部次世代プロジェクト部部长 岩野政浩

1 はじめに

西欧世界の東洋への夢と憧れをのせたオリエント急行が、トルコのイスタンブールまで鉄道の直通運転で結ばれたのは1889年6月のことである。フランスのパリからウィーン、ブタペスト、ベオグラード、ソフィアを経由して所要時間約68時間で到着した。当時のイスタンブールは、ヨーロッパではまだビザンチン時代のコンスタンティノープルという旧名で呼ばれており、オスマン帝国スルタンの支配する東洋の専制国家の首都であった。西欧にとってはノスタルジーの漂う「オリエント」の始まる地であった都市は、1930年のトルコ革命後にイスタンブールと名を改められた。

イスタンブールにおけるオリエント急行の終着駅がボスポラス海峡に面するシルケジ駅である。駅は1873年に仮開設され、1890年に西欧人が抱くオリエンタリズムを取り入れたモダンな建物であ



写真-1 ボスポラス海峡横断鉄道トンネル路線

る本設駅舎が完成し、現在に至っている。既存のシルケジ駅に隣接して建設中の新しいシルケジ駅の完成が待たれている(写真-1)。

本稿では、まずプロジェクトの概要および山岳工法により施工を行う各種トンネルの内容や特徴を示す。次にヨーロッパ側の歴史遺産地区に建設される大規模地下駅(シルケジ駅)の設計・施工の詳細について報告する。

2 プロジェクト概要と近況

プロジェクト全体はマルマライ計画(マルマライとはトルコ語で「マルマラ海+鉄道」を表す造語)と名称され、ボスポラス海峡で分断されているイスタンブールのアジア側とヨーロッパ側の既存鉄道路線を海峡下の沈埋トンネルで結び、近代化するという総路線76kmに及ぶ鉄道整備プロジェクトである。プロジェクトは海峡横断を含む13.6kmのトンネル区間と既存地上路線を改良する63kmの郊外区間に分けられ、ボスポラス海峡横断鉄道トンネル建設工事(BC1工区)は前者のトンネル区間である(図-1)。

日本政府(JICA:国際協力機構)の資金援助で2004年8月に工事着工され、施工主はトルコ共和国運輸省傘下のDLH(鉄道・港湾・空港建設総局)である。請負者は大成建設とトルコ業者のGAMA社とNUROL社の3社JVである。

工事内容はボスポラス海峡部の長さ約1.4kmの沈埋トンネル、総延長約18.7kmの複線シールド

国内外に類を見ない複雑な構造を山岳工法で施工する難工事となっている。

4 地質概要

シルケジ駅が位置する箇所の地質概要を岩盤部と土砂部に分けて示す(図-6)。

4-1 岩盤部

イスタンブールは、Trakya Formationと呼ばれる石炭紀の岩盤で覆われており、その厚さは少なくとも2kmに達する。主として砂岩と泥岩から構成され、上部では泥岩が優勢となるが、局所的には層状から塊状に石灰岩が分布し、層状に石灰質の頁岩も介在する。ヘルシニアン造山活動とアルプス造山活動による褶曲・断層作用を受けて全体的に細かい節理をなす破碎構造を呈しており、上部では表層水によって容易に風化され、種々の厚さの風化ゾーンを形成している。また輝緑岩の貫入による破碎と変成を受け、かなりの深度まで脆弱化している。

西側立坑掘削時の地山状況では、泥岩の間に硬

い輝緑岩が貫入しており、境界部は破碎・変質してかなり脆弱化し、立坑に高角度に交差している。また泥岩基質部にも節理が発達し、設計時に想定した地山等級より1ランク以上悪い地山状況であった(写真-4)。

4-2 土砂部

旧市街地や海峡沿岸の表層は埋土層で覆われており、当該計画路線においては海峡部を除く全線にわたって分布する。層厚はおおむね2~20m程度で、礫、砂、シルトに加え、貝殻、木片、レンガやモルタル片など人工的な廃棄物も多く含まれている。古代都市の遺跡が出現する層であり、工事に際しては事前の埋蔵遺跡調査が義務づけられている。

5 設計概要

設計は要求事項(ERQ)を満たす設計マニュアルを作成後、各トンネルの設計を順次進めたが、本報告では山岳工法区間のトンネル設計に関するトピックスを紹介する。

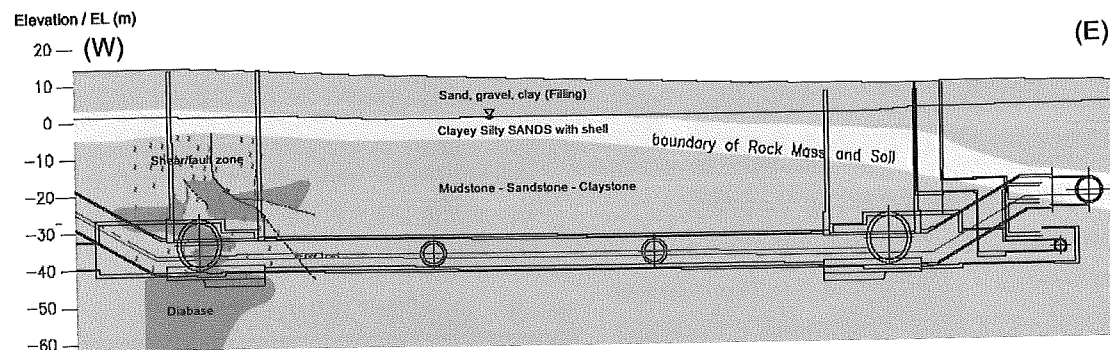


図-6 シルケジ駅地質縦断面図

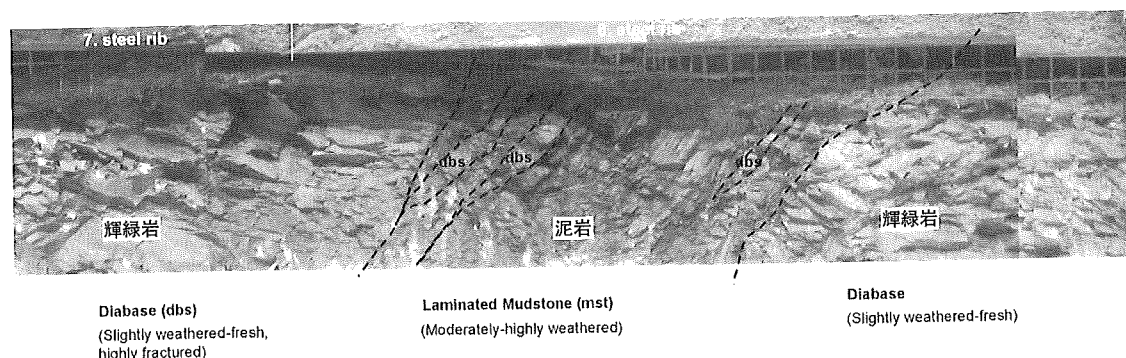


写真-4 西立坑での地山状況

5-1 一次支保

5-1-1 水平トンネル

岩盤部と土砂部とで設計手法を分け、岩盤部には経験的設計手法、土砂部には地山特性曲線法による解析的設計手法を適用することを基本とした。地山等級は、国内外の岩盤分類の相関関係²⁾を参照し設定した(表-1)。

次に各地山等級区間ごとに、地山等級に応じた標準支保パターンの適用、ならびに掘削工法の選定を実施する。設計時の支保パターンはCIIパターン~DIIパターンであった。ただし、標準支保パターンの適用においては、実際の地山条件に応じて適宜補助工法の採用を併せて再検討した。なお、支保パターンの決定には、二次覆工の設計より定まる断面規模・形状を考慮に入れることとした。

5-1-2 大断面換気立坑

東西2つの換気立坑は、断面積約500m²の大断面掘削となる。上部の土砂部は柱列式連壁による土留め壁およびRCリングビームによる支保構造、岩盤部となる部分(西側立坑では地表面下21m以深)は山岳工法による支保構造とした。西側立坑の場合、山岳工法区間の上部12m区間の支保工は通常の1重支保構造だが、下部24m区間の支保工は、後に大断面の連絡坑を掘削することを考慮し二重支保構造とした。1重目の支保(地山側)で掘削により解放される力を支持し、2重目の支保(内空側)で連絡坑掘削のための開口時の力を支持する構造である。

5-1-3 三次元解析を用いた開口補強の設計

換気立坑下部は、140m²の大断面開口部が南北2方向にあり、また東西方向にも60m²を超える開口が必要とされた。また立坑と200m²を超える大断面の換気兼プラットフォームトンネルの離隔が最小約1mと近接している特殊な状況となることから、開口時(とくにCNV掘削時)の地山の不安定化や支保工の応力集中が懸念された。類例のない施工となるため、事前に施工中の挙動や安定性を把握するため、構造と施工手順をできるだけ忠実に反映した三次元逐次掘削解析を行い、開口補強工などの事前対策を検討した。ここでは西立坑(WVS)周辺を対象とした検討³⁾において、地山およびトンネル支保をモデル化した三次元掘削解析モデルを示す(図-7)。

プラットフォーム換気トンネル(PFV-L)や換気兼接続通路トンネル(CNV)のような大断面トンネルは、切羽安定を考慮して上半部に導坑を先進する多段ベンチカット工法による掘削とした。立坑下部の開口部では、CNV掘削時に立坑の支保工を切断するため、開口部の支保工が負担していた断面力が周辺に再配分され、開口部周辺の支保工に増加応力が誘発され、耐力を超過すると予想された。そこで、覆工コンクリートの設計を見直し部材厚の薄肉化を図り、掘削時の支保工の内空側に厚さ50cmの開口補強材を追加設置することとした。補強構造は、4方向にトンネル開口が設けられることを考慮し、開口上下端の周方向に

鉄骨コンクリートの開口補強リングを設置、鉛直方向にも鉄骨コンクリートの開口補強柱を設置することとした。また開口上下端の開口補強リングは吹付けコンクリートにて50cm増し吹きすることとし、開口範囲が大きいCNVとISS側には高強度の鋼繊維補強コンクリート($f'_{ck}=30N/mm^2$)、それ以外の中央通路側(CE側)には普通コンクリート($f'_{ck}=18N/mm^2$)を適用した。図中に開口補強構造の概要を示す(図-8)。

表-1 主要な岩盤分類の評価値の比較²⁾

日本道路 公団*	電力中央研究所 (菊地・斉藤)**	鉄建公団	RSR*	RMR*	Q**
A	CH~B	VN	100~75	非常に良好 100~81	普通 10以上
B		IVN	75~59	良好 80~61	悪い 2.0~10
C I	CM	III N	58~44	普通 60~41	かなり悪い 0.1~2.0
C II		II N	43~29	悪い 40~21	非常に悪い 0.1~0.04
D I	CL	I L, I S	28以下	20以下	極端に悪い 0.004以下
D II		D			
E	D	特S, 特L			

*「全段面掘削工法に関する調査研究(その3)報告書」平成4年2月 日本トンネル協会
**「BartonのQ値と日本の岩盤分類および弾性波速度との関係」谷本 敬伯 第37回土木学会年次学術講演会 1988

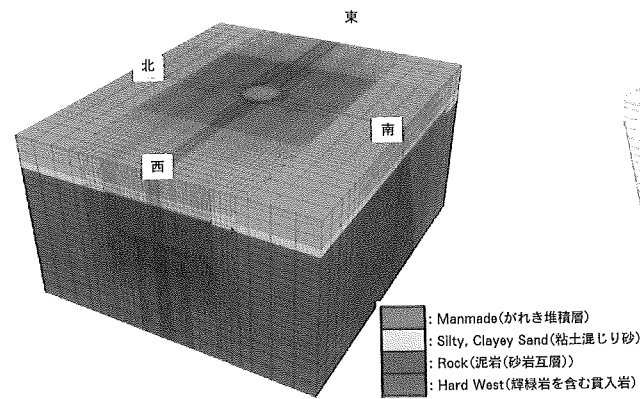


図-7 三次元掘削解析モデル

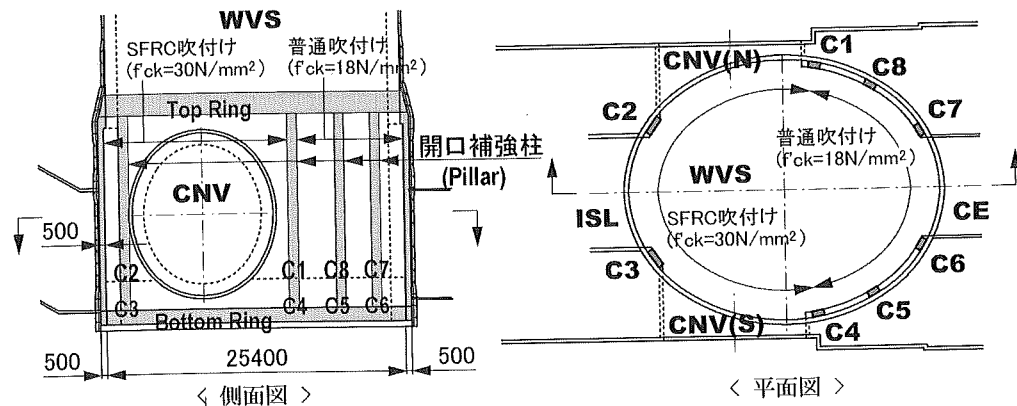
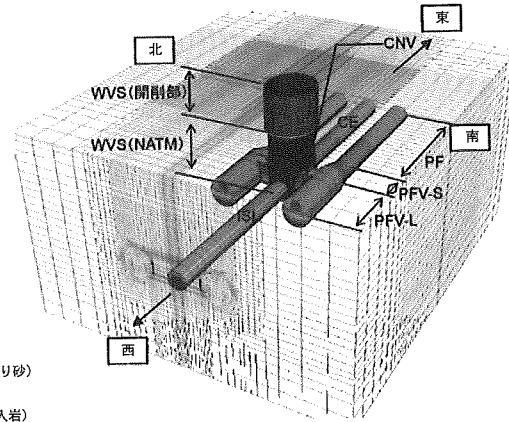


図-8 西立坑開口補強工概要

立坑とCNVの接続部地山側の隅角部は、開口により損傷を受けることが予想されるため、CNV掘削前にシリカレジンの注入にて地山補強を実施することにした。また、南北PFVトンネル内については、立坑と反対側の側壁に長尺ロックボルト工による地山補強を、アーチ部に高強度繊維補強吹付けコンクリートによる増し吹きを実施するものとした。

5-2 二次覆工

トンネルには耐水性を確保することが求められており、トンネル完了後の地下水位回復に伴う水圧に対抗するために、二次覆工には力学的機能を付加することが要求された。このため設計手法としては経験的手法(標準設計)の適用が困難であることから、ここでは解析的手法により二次覆工を設計するものとした。二次覆工の設計においては、

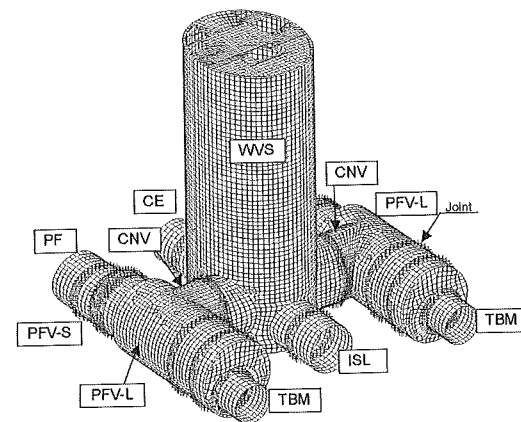


図-9 換気立坑覆工解析モデル

トンネルの断面形状および覆工仕様を仮定したうえで、骨組構造解析を用いるものとし、主たる荷重である水圧とその他要求事項(ERQ)に示された荷重との組み合わせにおいて設計荷重を設定し

た。また二次覆工と地山との相互作用は、地盤バネを付加することにより評価するものとし、最終断面形状ならびに覆工仕様を決定するにあたり、骨組構造解析を用いて断面力を算定し、限界状態設計法による照査を実施した。

一方、換気立坑については底部に4つの開口部が必要であり、また連結するトンネル部においても断面変化や交差部がいくつもあるため、設計的に適切な断面力算定に二次元の構造解析を適用することは困難である。そのため三次元のシェルバネモデルを用いた構造解析を実施した。また換気立坑の上部は土砂部に位置するので耐震設計が必要とされ、応答震度法を用いて地震時の断面力を算出し、設計照査を実施した(図-9)。

5-3 地表構造物への影響評価

工事に伴う地表構造物への影響評価を実施するために、掘削に伴う地表面沈下と地下水位低下による地表面沈下を推定した⁴⁾。

トンネル掘削による地表面構造物の影響評価は要求事項(ERQ)に従い、応力解放による沈下と地下水位低下による沈下の合計が10mm以下かつ地表面傾斜が1/500以下の場合には、地表面構造物の健全性評価を必要としない。上記条件を満たさない場合、地表面構造物に及ぼす影響度をBoscardinとCordingの提案する方法⁹⁾を用いて判定し、適切な対策を実施した。

6 施工状況

シルケジ駅の施工では遺跡調査の進捗に依存して、本工事に着手可能な箇所が順次増えていくという過程をくり返した。掘削順序は2008年5月より西側換気立坑(WVS)、プラットフォームトンネル(PF, PFV)を主体とした水平坑部、避難立坑部(ESS, EST)、東側換気立坑(EVS)と遷移し、帯水砂層内の北エントランストンネル(NE)、南エントランストンネル(SE)の水平坑部、最後に斜坑部の掘削と進めた。主要部分の施工状況を以下順番に報告する。

6-1 西換気立坑(WVS)の施工⁶⁾

シルケジ駅の施工は西立坑の掘削から開始した。立坑は、深さ58m、直径約25m、掘削断面積500m²の大断面立坑である。上部の未固結地山部は開削工法、下部の岩盤部はNATMにより掘削を行う。上部は土留め壁となる柱列式連壁を打設後、ヨーロッパで多く用いられるリングビームを構築しながら掘り下がる。この区間は遺跡の堆積層であり、遺跡調査を行いながら慎重に施工を実施した。

一方、下部は山岳工法により1m掘削後、吹付けコンクリート、鋼製支保工およびロックボルト

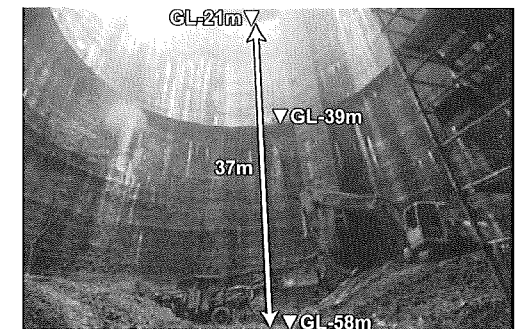


写真-5 西立坑施工状況

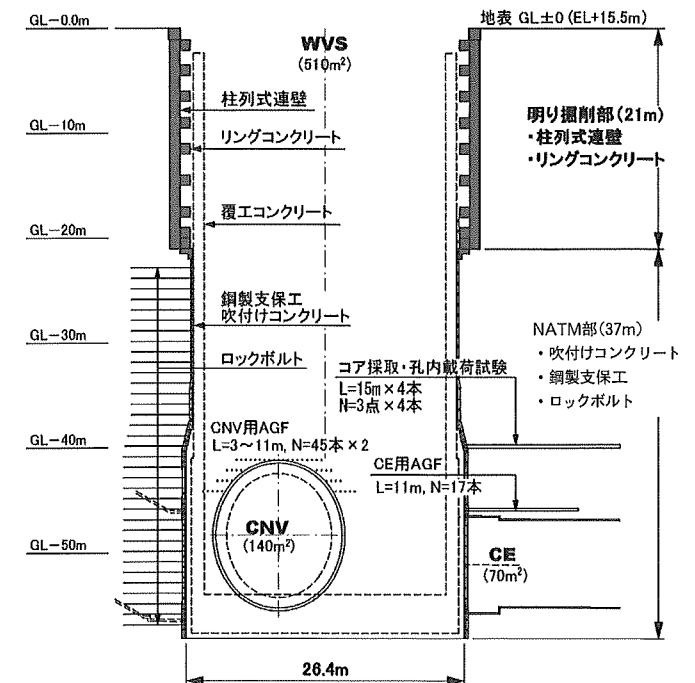


図-10 西立坑施工概要図

で支保し、順次掘り下がっていく。開口部は深は二次覆工の厚さが変わるので、それに伴い掘削断面積も大きくなる。また立坑と接続する換気兼通路トンネル(CNV)と中央通路トンネル(CE)には、それぞれの天端高さに到達したところで掘削を停止し、横坑掘削時の天端防護用のAGF(長さ12m, 周方向45cmピッチ)を事前に施工した。立坑掘削は2008年3月より開始し、7月末に完了した。掘削の進行に伴い地表面沈下が局所的に想定以上に発生する箇所があったため、途中から掘削手順を変更し、早期閉合による沈下の抑制に努めた。また対策として一部土砂部不良地山箇所立坑坑内よりセメント注入を実施した。

掘削中は、坑内計測(中空変位, 地中変位)と吹付けコンクリートおよび鋼製支保工応力測定を実施し、地山挙動の把握に努めた。施工概要および立坑内の掘削時の状況を示す(写真-5, 図-10)。

GL-39.5mの地点では、地山状況確認のため東西南北4方向水平にコア採取と孔内載荷試験を実施した。変形係数100~500MN/m²のものが大半で全体的にばらつきが多く、100MN/m²に満たないものや、孔くずれしてコアが採取できないほど

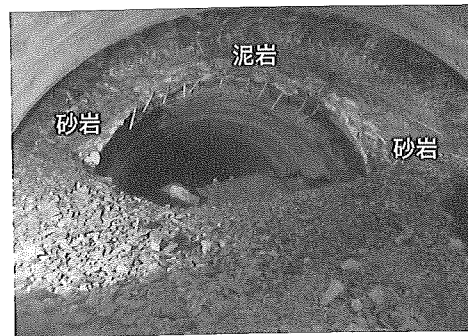


写真-6 プラットフォームトンネル掘削状況

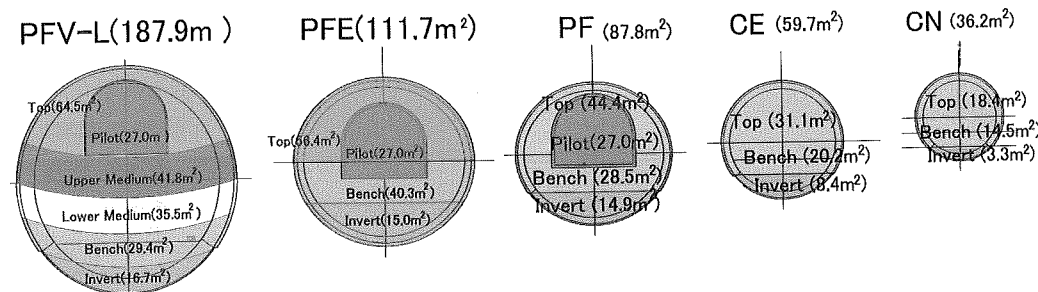


図-11 水平トンネルの掘削断面と加背割り

脆弱な部分も存在し、想定以上に不均質な地山性状であった。

6-2 水平トンネル(PF & PFV)の施工⁷⁾

南北2本のプラットフォームトンネル(PF:長さ173mの2本, 掘削断面積87.8m²)の掘削に先駆け、地質調査・先行地山補強を兼ねたパイロットトンネル(先導坑)をまず全線にわたって掘削した。その結果をもとにプラットフォームトンネルに対する各種補助工法の要否および適用区間などを決定し、プラットフォームトンネルの掘削を開始した(写真-6)。

掘削は当初上半先進のショートベンチ工法にて南プラットフォームトンネルより進めたが、地表面沈下が想定より大きくなる傾向があるため、後の交差部となる部分や地山不良区間が多い北プラットフォームトンネルの掘削では、一部インバートストラットを併用した早期併合が可能なマイクロベンチ工法に切替えた。

換気兼プラットフォームトンネル(PFV:延長35mと27mの各々2本, 掘削断面積187.9m²)は鳥瞰図に示すように東西換気立坑の両側に近接して構築される大断面トンネルである。掘削工法は、

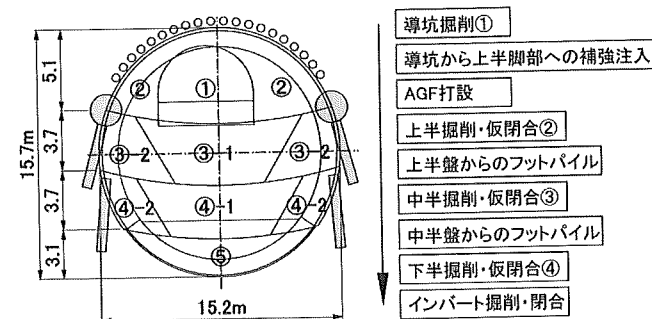


図-12 換気兼プラットフォームトンネル施工手順

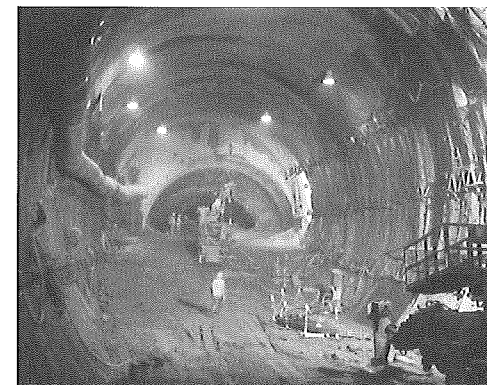
まずPFVトンネルの上半部にパイロットトンネルを掘削し、上半切掛け掘削, 中半掘削, 下半掘削, インバート掘削の順に行う多段ベンチカット工法を採用した。各種水平トンネルの加背割りおよびPFVトンネルの施工手順を示す(図-11, 12)。

補助工法は、まず導坑内からトンネル軸方向に1mピッチで左右両側に、上半脚部を対象にシリカレジンで地山改良を実施し、上半掘削時の沈下抑制対策を行った。次に地表面沈下の抑制および天端補強を目的にAGF(長さ12m, 周方向60cmピッチで20本1シフト)を打設し、上半仮インバートを実施しながら沈下を極力抑えるように施工した(写真-7)。

上半掘削後、沈下抑制対策と中半側壁の地山改良を目的に上半盤から1mピッチで左右両側にフットパイル(長さ6m, 軸方向1mピッチ)を実施し、シリカレジンを注入した。中半掘削でも沈下抑制のために仮インバートを行いながら掘削を進め、中半盤からも上半で行ったようにフットパイルを



(a) 上半掘削



(b) 下半掘削

写真-7 換気兼プラットフォームトンネル掘削状況

施工し、沈下抑制と下半側壁部の事前地山改良を行った。

6-3 中央通路と接続通路の十字形交差部⁷⁾

シルケジ駅での乗降は、南北エントランスから中央通路トンネル(CE)を通り、2か所の南北接続通路トンネル(CN:延長28.8m×2本, 掘削断面積38.2m²)を通してプラットフォームに向かうこととなり、中央通路トンネルには2か所の十字形の交差部が必要となる。軟岩における山岳工法での施工実績が見受けられないため、次の手順で交差部を補強しながら慎重な施工を実施した(図-13)。

- 南北プラットフォームトンネル掘削
- 中央通路トンネルをマイクロベンチ工法にて掘削
- 中央通路内の十字形交差部の補強として隅角部に二重支保工を設置
- 二重支保工を支点として交差部の天端を覆うように網の目状に補強支保工を設置(写真-8)
- 接続通路トンネルを南プラットフォーム側からマイクロベンチ工法にて中央通路トンネルに向け掘削し、T字形交差部を完了。次に北側から同様な掘削を行い、十字形交差部の掘削を完了(写真-9)
- 施工にあたっては交差部を中心とした坑内

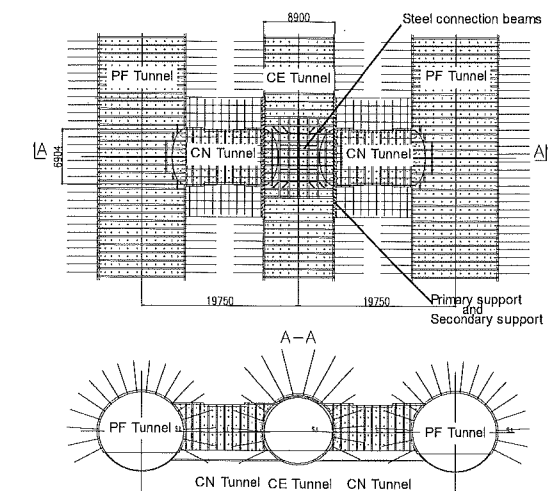


図-13 十字形の交差部支保構造

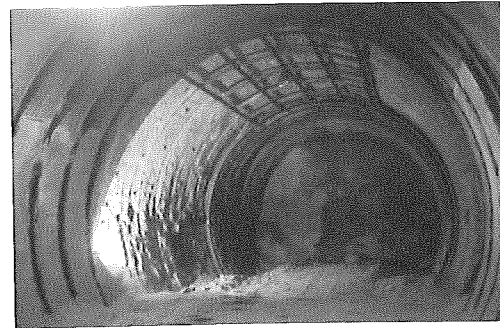


写真-8 十字形交差点部補強支保工

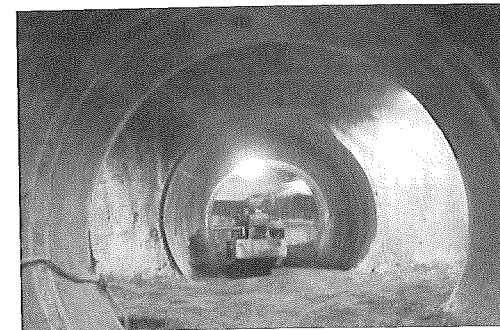


写真-9 十字形交差点部掘削完了

計測, 近接トンネルへの影響, および地表面沈下を綿密に計測し, 1か所の十字形の交差点部の施工に伴う地表面沈下は約10mmであった.

6-4 換気兼接続通路トンネル(CNV)の施工³⁾
西立坑(WVS)と換気兼プラットフォームトンネル(PFV)とを接続する換気兼接続通路トンネル(CNV)の掘削は, 立坑や近接する大断面トンネル(PFV)に断面積140m²余りの大断面開口を設けることになる. さらに西立坑と大断面トンネル

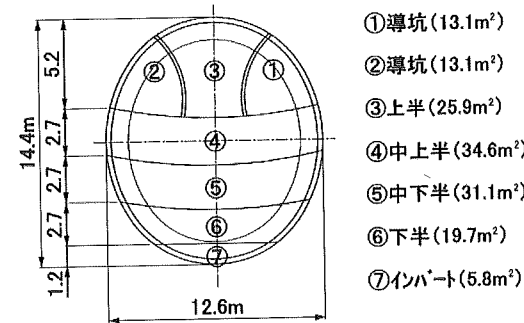
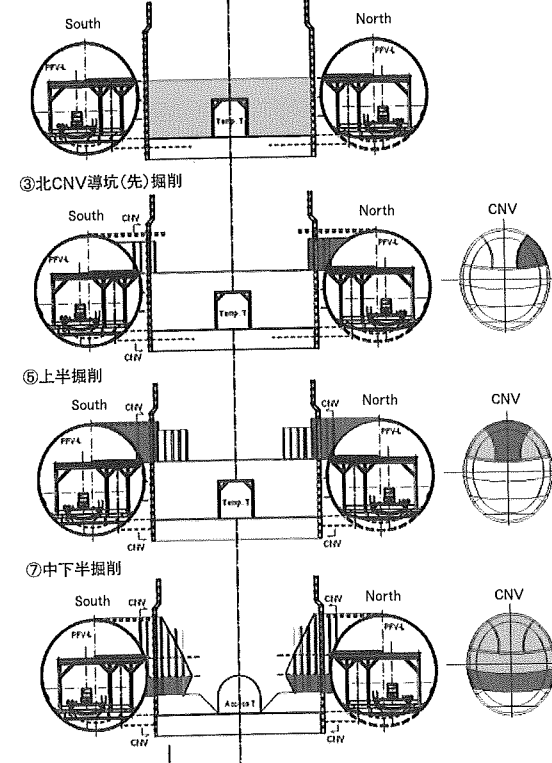


図-14 換気兼接続通路トンネル掘削加背割り

①WVS埋め戻し, 作業鋼台設置



②南CNV導坑(先)掘削

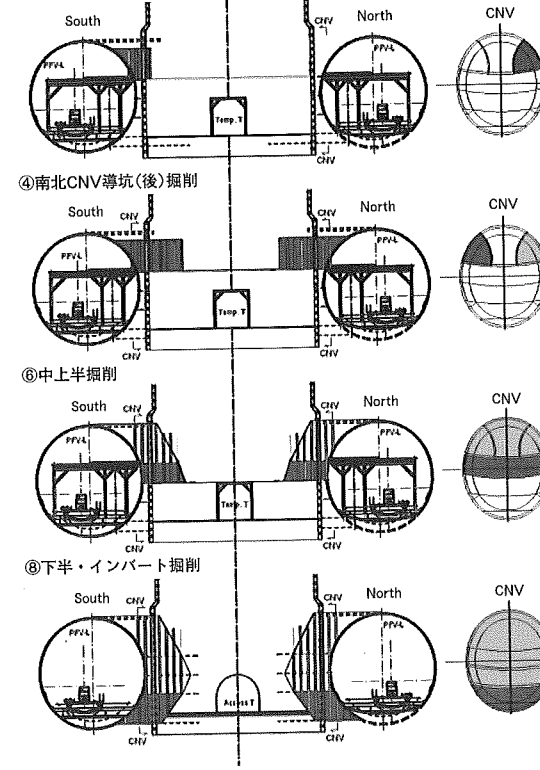
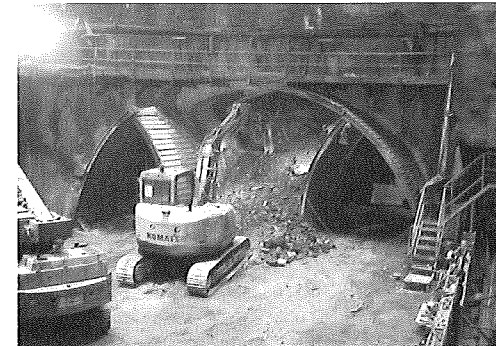
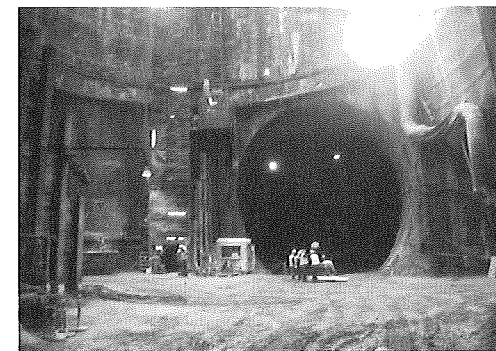


図-15 換気兼接続通路トンネル施工手順図



(a) 上半掘削



(b) 掘削完了

写真-10 換気兼接続通路トンネル掘削状況

との離隔は最小離隔1mと超近接しており, 立坑下部には4つの大断面開口部を設けることなどから, CNV掘削に伴う支保工や地山の安定を確保するために, 詳細検討にもとづいた開口部補強を行った. またCNVはできるだけ加背を小さくした多段ベンチカット工法による掘削手順とし, 綿密な計測を伴う情報化施工を進めることとした(図-14, 15).

CNVを掘削するにあたっては, 立坑底盤からCNV導坑まで約15mの高さがあるため, 施工機械が届く高さまで換気立坑を埋戻し, 作業盤を確保する必要があった. しかし, 立坑が地上と地下トンネル群をつなぐ唯一のアクセスルートとなるため, 立坑をすべて埋め戻してしまうとCNV掘削以外の作業が止まってしまう. そこで立坑内に土留め壁・仮設トンネルを設置し, アクセス路を確保しながら上半作業盤高さまで埋戻しを行い, 西立坑以外のエリアでの作業とCNV掘削を同時に行えるような方法とした. またPFV-L内にも

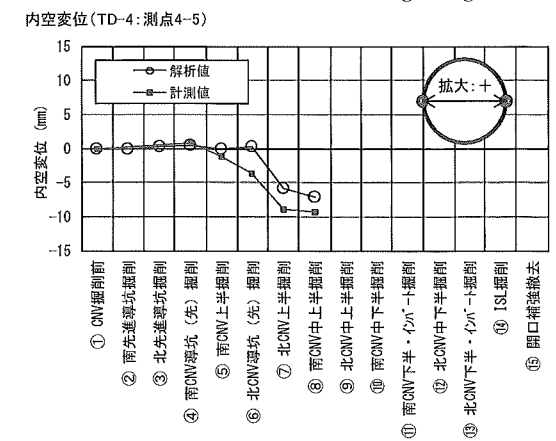
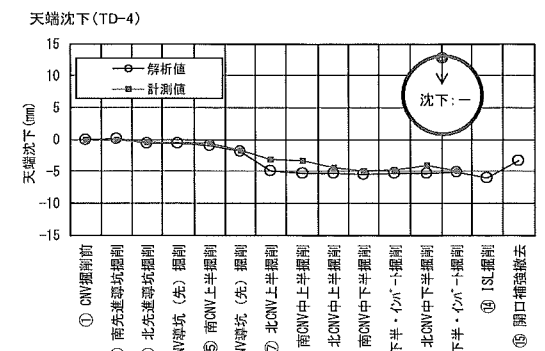
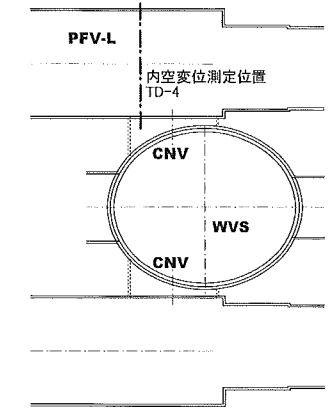


図-16 換気兼プラットフォームトンネル坑内天端沈下および内空変位計測

CNV上半盤高さまでプロテクターを兼ねた作業構台を設置し, TBM掘進作業との併行作業を可能とした. CNV掘削進行に併せて立坑内の埋戻しを順次撤去して作業盤を確保し, インバート掘削まで無事に完了させた(写真-10).

CNV掘削時は地山が幾何学的に不安定な形状

になるため、立坑内や水平トンネル内の天端沈下、内空変位、開口付近の支保工応力などの各種の動態観測を併用し、解析による施工段階ごとの予測値と比較して地山や支保工の安定性を確認しながら施工を進めた。

施工時の計測結果の一例として、CNV掘削に伴う北側交点部におけるPFV-Lの天端沈下および内空変位の予測値と計測値とを比較した結果を図-16に示す。天端沈下は、北CNVの上半掘削時から予測値とほぼ一致した変形量で徐々に増加し、北CNV中上半掘削時に最終変形量と同等の変形となった。また、内空変位は南CNV上半掘削時から徐々に増加し、北CNV上半掘削時に最終変形量と同等の値となった。計測値は予測値より若干大きな値となったが、支保工の変状等は確認されなかった。

次にCNV掘削時に、開口補強柱中央部が内空側にはらみだすような変形とそれに伴う応力により開口補強部材の不安定化が懸念されたが、開口補強工の応力計測においては、ほとんど応力増加が見られない結果となり、無事掘削を完了することができた。

7 おわりに

新しいシルケジ駅は歴史遺産都市イスタンブール中心部の建物密集地域の地下に位置し、狹隘な地上施工ヤード、断面変化や交差部が多数存在する複雑な構造を建設する国内外にも類を見ない大規模な掘削工事である。また、掘削を進める過程で明らかになってきたことであるが、地山は褶曲と変性作用により脆弱化しており、不均質の度合いがきわめて高い状態のため難工事となった。

西立坑の山岳工法により掘削を2008年2月に開始し、南北プラットフォームトンネルの掘削、4か所の大断面換気兼プラットフォームトンネル、2か所の中央通路と南北接続通路の十字形交差部および西立坑からの南北2か所の換気兼接続通路トンネルなどすべての水平トンネルの掘削が完了した2011年7月まで3年6か月を要した。また工事開始が遅れていた東換気立坑周辺や南北エント

ランストンネルの斜坑掘削やシルケジ駅内の覆土工事および軌道工事も現在順調に進んでおり、最後まで無事に工事を完成させるよう今後も努力していく所存である。本報告に示すシルケジ駅の設計・施工実績が今後の類似プロジェクトの推進に参考になれば幸いである。

最後に、日本で発展したさまざまなトンネル関連技術の粋を集めて施工したボスポラス海峡横断鉄道トンネルの完成の暁には、ヨーロッパからボスポラス海峡を直通横断し、アジアへとつながる真の意味でのオリエント急行が実現する日も近い。

参考文献

- 1) 田口洋輔・小山文男・今石尚：ボスポラス海峡横断トンネルの施工，トンネルと地下，Vol.39，No.1，pp.7-17，2008.1.
- 2) 日本トンネル技術協会：TBMハンドブック，p.65，2002.1.
- 3) 坂井一雄・小池真央・青木智幸・大塚勇・金子哲也・岩野政浩：ボスポラス海峡横断鉄道建設工事における大規模・大深度地下掘削時の安定性検討，土木学会・第40回岩盤力学に関するシンポジウム，2011.1.
- 4) Otsuka I, Taki H, Aoki T., Shimo M., Kaneko T., Iwano M. and Sakurai S. : Observational construction management by field measurement of large scale underground railway station by urban NATM, 12th International Congress on Rock Mechanics, Beijing, Oct. 2011.
- 5) Boscardin, M. and Cording, E. J. : Building Response to Excavation-Induced Settlement, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.115, pp.1-21, 1989.1.
- 6) 岩野政浩・土屋正彦・田口洋輔・金子哲也・松村謙治：ボスポラス海峡横断鉄道工事—都市部山岳工法による大規模地下駅の設計と施工—，土木学会・第38回岩盤力学に関するシンポジウム，2009.1.
- 7) Iwano M., Kaneko T., Otsuka I., Shimizu Y. and Sakurai S. : Construction of underground railways station in historical area in Istanbul, Turkey, ITA-AITES World Tunnel Congress 2011, Helsinki, May 2011.
- 8) 小原伸高・松村謙治・岩野政浩・大塚勇・櫻井春輔：ボスポラス海峡横断鉄道工事における都市部山岳工法による大規模地下駅の設計・施工，土木学会・第22回トンネル工学研究発表会，2012.11.

施工

新技術を用いた沈埋工法により洞海湾を横断する

—新若戸道路 若戸トンネル—

国土交通省九州地方整備局北九州港湾・空港整備事務所企画調整課長 森山安夫

1 はじめに

北九州港は、アジアに近い地理的特性から、日々発展するアジア諸国と日本を結ぶ重要な港として機能するとともに、国内物流の拠点港としても、北九州市内だけでなく九州・山口地域の人々の生活や産業・経済を支える大切な役割を担っている。

新若戸道路は、新たな物流・産業拠点となる響灘地区と市街地を結ぶことを目的に、北九州市若松区と戸畑区を隔てる洞海湾を沈埋トンネル形式の海底トンネル(若戸トンネル)で結ぶ延長約4.2km(1期事業国直轄臨港道路区間1,181m)の臨港道路(図-1)であるとともに、北九州港の洞海湾を横断する第2のルートを実現する地域の重要な交通インフラ(都市計画道路，延長約4.5km)としても期待されている。すでに、昨年9月15日には、若戸トンネルを含む1期事業の約2.3kmが開通を迎えたばかりである(図-2)。

今回は、新若戸道路の1期事業のうち、道路トンネルとしては九

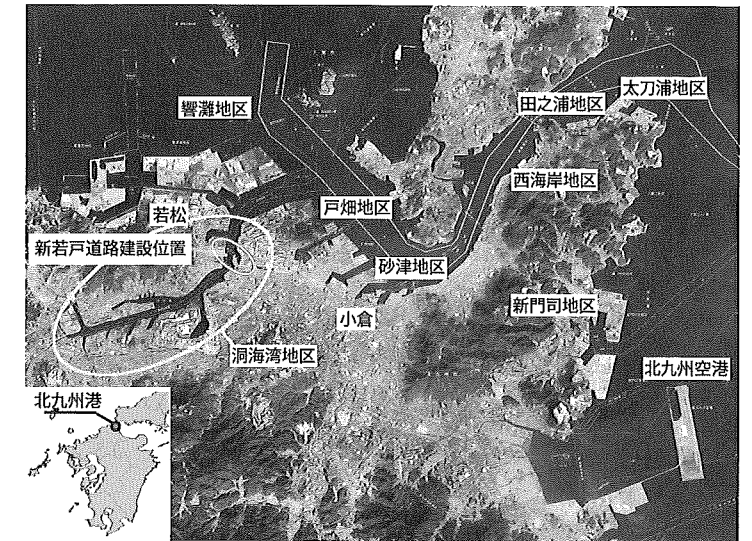


図-1 北九州港全体図



図-2 新若戸道路位置図

州初となる「沈埋トンネル形式」を採用した「若戸トンネル」を含む若松側から戸畑側までの約1.2kmの整備について報告する。

2 新若戸道路の概要

2-1 整備計画

新若戸道路は計画延長4.5kmのうち4.2kmを臨港道路として計画しており、1期事業約2.3kmは、若戸トンネルを含む地中部約1.2kmを港湾事業、残り約1.1kmを道路事業、管理を北九州市道路公社が若戸大橋を含めた一元管理を行うことより、道路施設を道路有料事業が整備する3者の合併事業として、平成13年度に工事着手している(図-3)。

以下に道路諸元と計画の特徴を示す。

道路規格	2種2級
設計速度	60km/h
車線数	片側2車線
車線幅員	3.25m
設計車両	背高コンテナ
車道部建築限界	4.7m
最大縦断勾配	約5%
危険物車両の通行	禁止
非常駐車帯	トンネル内両側各1か所

2-2 沈埋トンネル工法の採用

若戸トンネルの工法形式については、当時、河川

や航路を横断する工法として、わが国で事例が少ないトンネル工法(沈埋トンネル形式)を採用した。

工法の選定にあたっては、橋梁形式、シールドトンネル形式と比較検討を行い、施設延長を短くできること、現道アクセスが容易となり、線形の自由度が高いこと、周辺環境への影響が比較的小さいこと、既設のルートが橋梁(若戸大橋)であるため災害時のリダンダンシー確保の観点などを考慮した(図-4)。

2-3 若戸トンネルの構造

若戸トンネルで採用した沈埋トンネル工法は、沈埋函とよばれる函を別の建設ヤードで製作し、これを海中に浮かべて敷設現場まで曳航、あらかじめ地盤を掘削して造成されたトレンチ内に沈め函同士を連結(水圧接合)させ、その後、埋戻しを行ってトンネルを完成させる工法である(図-5)。

若戸トンネルは、全長1,181m、7函の沈埋函

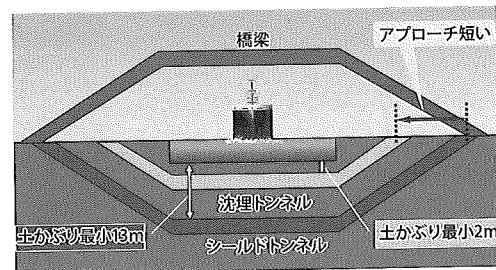


図-4 工法形式の比較

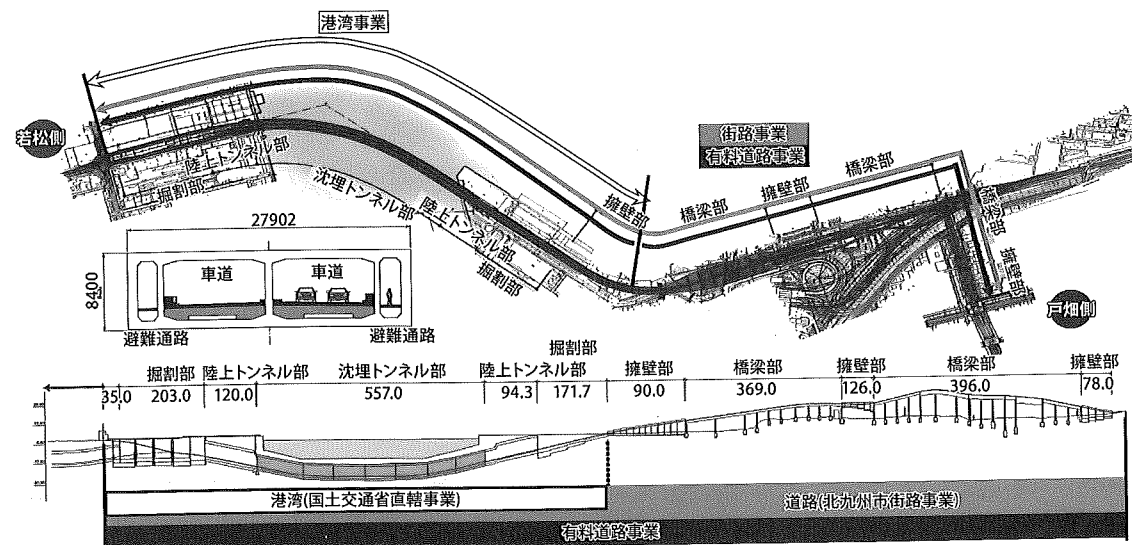


図-3 新若戸道路施工区分

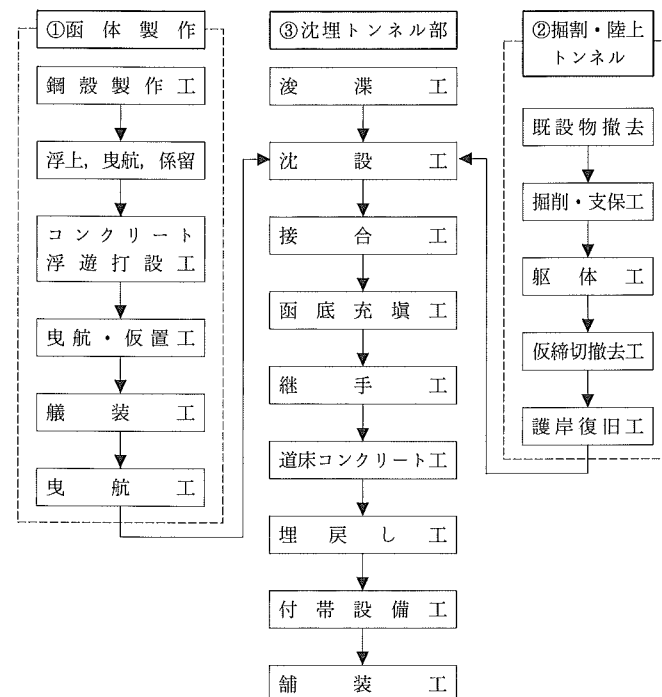


図-5 沈埋トンネル工法施工フロー

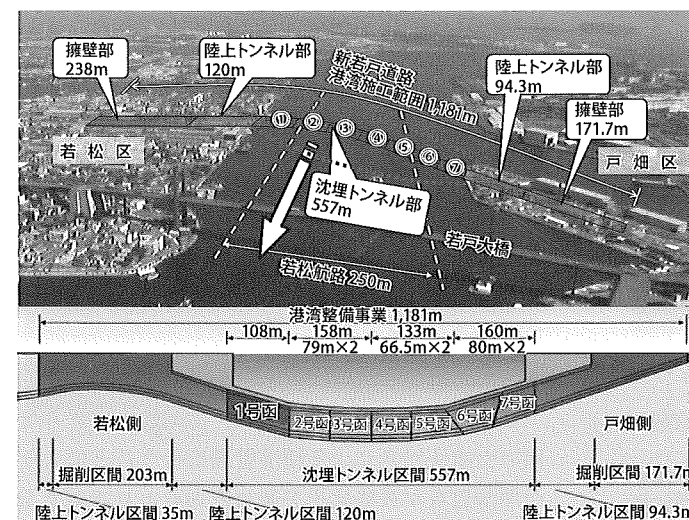


図-6 若戸トンネル縦断面図

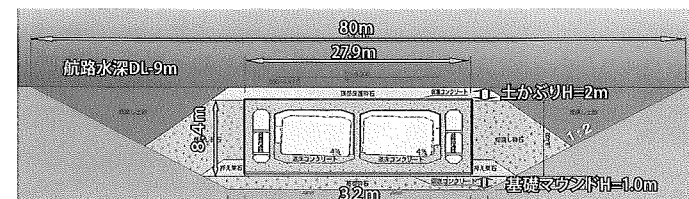


図-7 若戸トンネル横断面図

(全延長557m)とその両端の陸上トンネル部、掘削部で構成しており、1函あたりの大きさは、幅27.9m、高さ8.4m、延長66.5~106m、重量約15,000~24,000tf(150,000~240,000kN)、サッカーコート約半分の大きさに相当する(図-6,7)。

3 若戸トンネルの技術的特徴

若戸トンネルでは、函体を使用するコンクリートに充填コンクリート、最終函の接続にキーエレメント工法を採用するなど各種新技術を採用することにより施工上の課題に対応してきた。

本章では、これら若戸トンネルで用いた技術的特徴を紹介する。

3-1 フルサンドイッチ構造²⁾

若戸トンネルでは、函体を鋼板として製作後、内部空洞にコンクリートを打設することにより、鋼板とコンクリートが一体となるフルサンドイッチ構造を採用している(図-8)。フルサンドイッチ構造の特徴は、鋼板とコンクリートを合成構造にすることにより、せん断力やひずみ力に対する抵抗性が向上し、

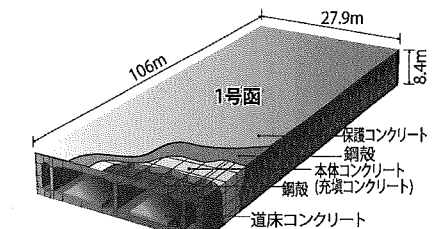
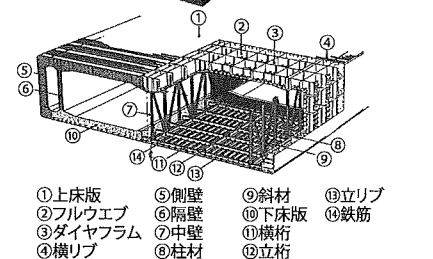


図-8 沈埋函の構造



外壁が鋼板となることから漏水などによるコンクリートの劣化が防止され、耐久性が高い構造となる。

3-2 充填コンクリートの開発・採用

従来、フルサンドイッチ構造の沈埋函へのコンクリートの充填は、自己充填性の高いスランプフローが650±50mmの高流動コンクリートが採用されてきた。しかし、高流動コンクリートは通常コンクリートに比べ単価が高く、管理が煩雑であるという問題があった。

そこで本トンネルでは、コスト低減を図るため、使用材料、施工方法について各種調査や実寸大モデル実験を行い、スランプフローが500±100mmのコンクリートを用い、打設時に補助的な加振を行うことで高流動コンクリートと同程度以上の充填性および品質の確保ができる、充填コンクリートを開発・採用した(表-1、図-9、写真-1)。

表-1 充填コンクリートの品質基準

項目	性状・品質目標
設計基準強度	30N/mm ² 以上
スランプフロー	500±100mm
空気量	4.5±1.5%
単位容積質量	2.5±0.05t/m ³
間隙通過性試験	200mm以上
ブリーディング率	2.5%以下

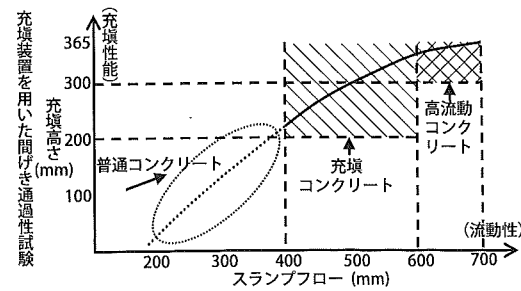


図-9 各種コンクリートの流動性と充填性能範囲

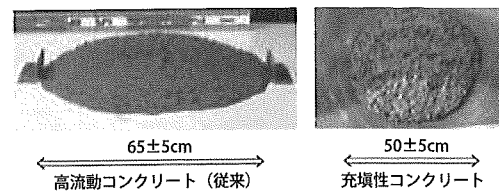


写真-1 スランプフローの比較

3-3 沈埋函継手に伸縮性止水ゴムを採用

若戸トンネルは、若松区北浜交差点と戸畑区戸畑の高速道路に連結する計画より、トンネルの道路法線としては洞海湾の水域に曲線(R=540m)を設ける設計となった。その結果、沈埋函7函すべてにおいて平面形状として曲線が入ることから、函の接合部の方向修正の容易さが施工管理上、重要な要素であった。そこで、最終函を確実に結合させる施工として、製作誤差や施工誤差を柔軟に吸収することができる「伸縮性止水ゴムガスケット」をすべての沈埋函に採用する国内初の試みを行った(写真-2)。

伸縮性止水ゴムは、一般的な止水ゴムと異なり、袋状のゴムガスケット内部にモルタルを注入し、モルタルが硬化したあとに水圧接合を行うことで、鋼殻端面の不陸や製作誤差などの比較的大きな変形も柔軟に吸収できる特徴を有している(表-2)。

3-4 キーエレメント工法³⁾の採用

沈埋トンネル工法は、沈埋函同士の連結を「水圧接合」で接続することが主流であり、水圧を利用して沈埋函端面の外周に取り付けたゴムガスケットを圧縮することにより止水、連結する。そのため最終沈埋函の沈設時には、沈埋函の動揺やゴムガスケットの損傷防止のため、クリアランスや、水圧接合時のゴムガスケットが圧縮することによる函体の水平移動が伴い、最終的に隙間として残る。この隙間部分を「最終継手」とよび、その施工は、沈埋函の製作・沈設工程とは別の「最終継手工」としてVブロック工法が採用されてきた。

しかし、若戸トンネルでは、伸縮性止水ゴムを用いた水圧接合による精度管理を行うことにより、沈埋函自身が最終継手を兼ねるキーエレメント工

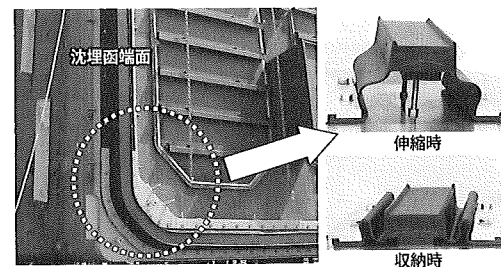




写真-2 伸縮性止水ゴム

表-2 継手部止水構造の検討表

項目	ゴムガスケット(ジーナ型)による方法	伸縮性止水ゴムによる方法	陸上トンネル部の受け部で対応する方法
予想以上の変形に対する対応方法	・ドック打設に比較し、大きめのゴムガスケットを取付け、変位吸収能力に余裕をもたせておく。 ・不測の事態に備え、バックアップ体制を検討、整備しておく。	・伸縮性止水ゴムの大変形吸収能力に期待する。	・陸上トンネル部の沈埋函受け部で、沈埋函の端面精度を調整する。
適用箇所	すべての継手に対応	すべての継手に対応(剛継手)	陸上トンネル部と、17号函の間の継手
構造特性	・ゴムガスケットの許容圧縮範囲内(高さの40%以内)で変位を吸収する。	・伸縮性止水ゴムの変形吸収能力が大きく、沈設時の予想以上の変形に対する適用能力が高い。 ・柔継手の場合には、別途可撓性継手と併用する必要がある。	・ドライな状態で、陸上トンネル部の沈埋函受け部で調整するので大変形にも適用できる。 ・陸上トンネルとの接合部しか適用できない。
施工性	・施工実績が多い。 ・浮遊打設状態では端面精度の修正ができない。  ジーナ型ゴムガスケット断面	・沈設時の変位吸収能力が大きいため、不測事態に対する心配が少ない。 ・実績がない。  伸縮性止水ゴム断面	・結合面の調整が済んでいるので、通常の施工方法で対応できる。 ・沈埋函の端面精度を計測してから陸上トンネル部の沈埋函受け部の調整をするので、工程調整が必要である。
信頼性	・止水ゴム自体の信頼性は高いが、浮遊打設時の端面精度を含めた止水システム全体としては不安材料がある。	・実績がないので、実験などで適用性の確認が必要。	・結合面の調整が済んでいるので、信頼性が高い。
評価	・大きめのゴムガスケットを採用すれば適用可。	・適用可。ただし、柔継手部には別途可撓性継手が必要。 ・沈設時の比較的大きな変形に対応可能。	・適用可。ただし、陸上トンネル部と1,7号函の継手に限定される。

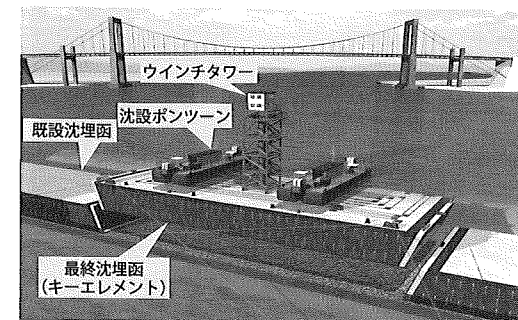


図-10 キーエレメント工法



写真-3 鋼殻製作状況(陸上ヤード)

法を採用した(図-10)。

4 若戸トンネルの建設

4-1 沈埋函の製作

若戸トンネルでは、鋼殻を工場建屋内で約63mの小ブロックに分けて製作し、陸上ヤードおよびドライドック内にて鋼殻小ブロックを大組立てし、鋼殻全体を製作(写真-3)。その後、回航するための艀装品や函体同士の接合に必要なゴムガスケット

トを端部に取付け、バルクヘッドにより函体側面に蓋をした。また、沈埋函は海底という非常に厳しい環境下に設置することから、構造物としての耐久性を向上させ、孔食の発生を防ぐために流電陽極方式(亜鉛照合電極・鉛照合電極)による電気防食を施した(写真-4)。

鋼殻は、作業ヤードから北九州港まで回航、浮遊打設機橋に係留させ、充填コンクリートを打設した。打設は、ポンプ車の作業半径ではすべての区画を打設することができず、また、配管を設置しての打設では配管の移動回数が多く、移動距離

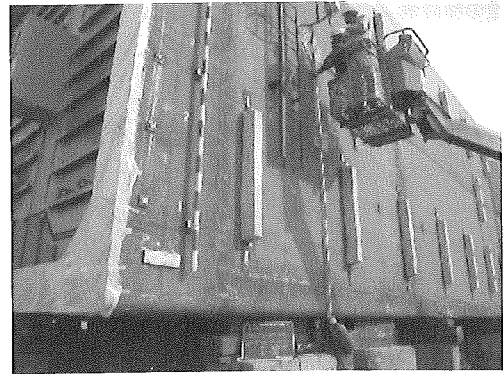


写真-4 電気防食施工状況

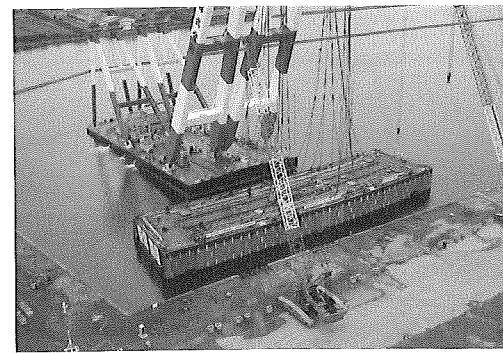


写真-5 鋼殻進水状況

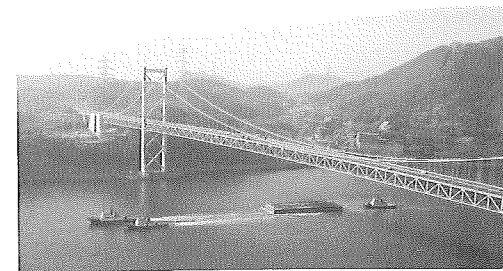


写真-6 鋼殻曳航状況

が長すぎることから、ポンプ車から函上に配置した2台のディストリビュータを経由した(写真-5~7)。下床版の打設については、上床版の開口部から配管を通し、筒先をキャスター付き台車に固定した筒先誘導架台を使用した(写真-8)。

4-2 沈埋函の沈設・接合

沈埋函の沈設にあたっては、まず浚渫船による床掘りを行い、碎石を投入して基礎を造成、造成場所に沈埋函を曳航した(写真-9)。

沈設工法は、従来、ツインタワー方式で行うが、若戸トンネルでは、昼夜160隻/日の船舶が航行す

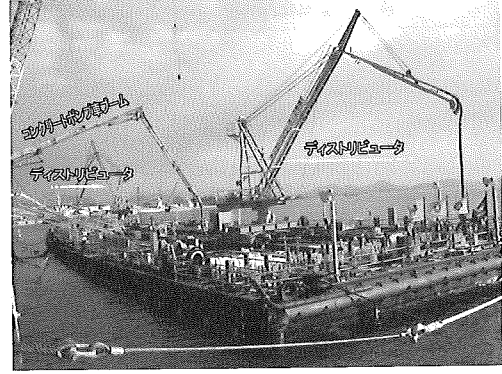


写真-7 浮遊打設状況



写真-8 下床版打設状況



写真-9 沈埋函曳航状況(夜間)

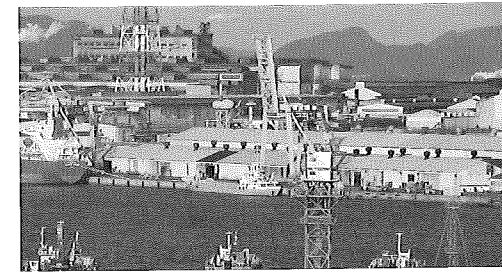


写真-10 沈埋函沈設(ワントワーポンツーン方式)

る若松航路(可航幅250m)を横断するため、函体据置き時の影響を軽減するためワントワーポンツーン方式で沈設した(写真-10)。

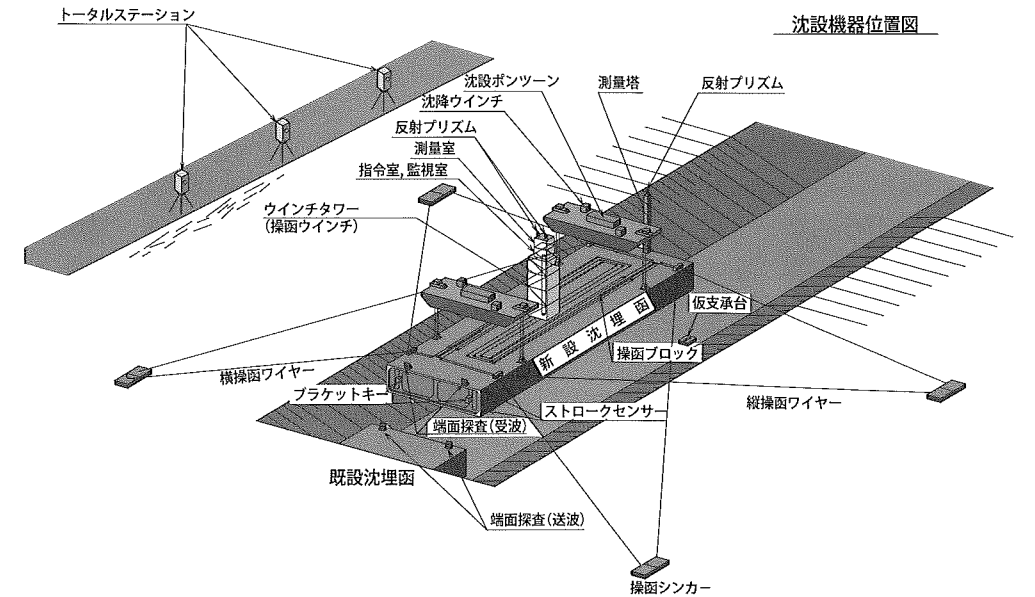


図-11 ワントワーポンツーン方式

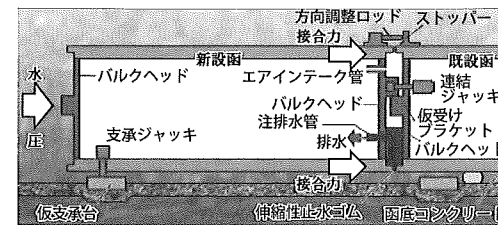


図-12 水圧接合イメージ図

アを注入し、先端を既設函と接触させバルクヘッド間の止水を行い、止水ゴム内のエアを排出しながらモルタルを注入する。モルタルが硬化したのちバルクヘッド間の海水を排水することにより外水圧を利用して水圧接合を実施した(図-12)。

接合した沈埋函は、浮き上がりに対する安定性の確保と内部工事用の道路として利用する道床コンクリートを打設し、その後、函体の側面部および頂上部を、トミー台船、ガット船を使用して、碎石による埋戻しを実施した(写真-11)。

4-3 沈埋函の内部構造

若戸トンネルでは、函体にフルサンドイッチ構造を採用しているため、トンネル大規模火災発生時に、鋼板とコンクリートが剥離して強度低下を招くおそれがあることから、耐火被覆工により鋼板表面温度の上昇を抑制する必要がある。

本トンネルでは危険物車両の通行を禁止しているが、スイスのゴットルドトンネルや伊仏を結ぶモンブラントンネルでの大規模火災の事例などからドイツで採用されている『道路トンネルの構造と管理に関する基準(RABT)』での加熱温度曲線(RABT30分曲線)を採用し、耐火被覆材に被覆パネルを用い、鋼板表面温度、加熱後の性状な

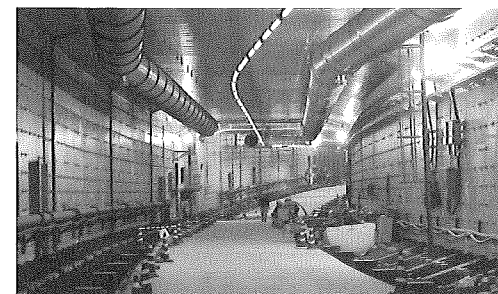


写真-11 沈埋函接合後の内部状況

ワントワーポンツーン方式は、沈埋函上に搭載したタワーとポンツーンにより、3次元で函体をコントロールする方式で、操縦ワイヤーが函体から直接シンカーと結ばれているため、操作性に優れ、据付け時の各機器はすべてタワー上の操作室から遠隔操作できる(図-11)。

函体の接合は、沈設位置に着座させた函体を連結ジャッキにより引寄せ、伸縮性止水ゴム内にエ

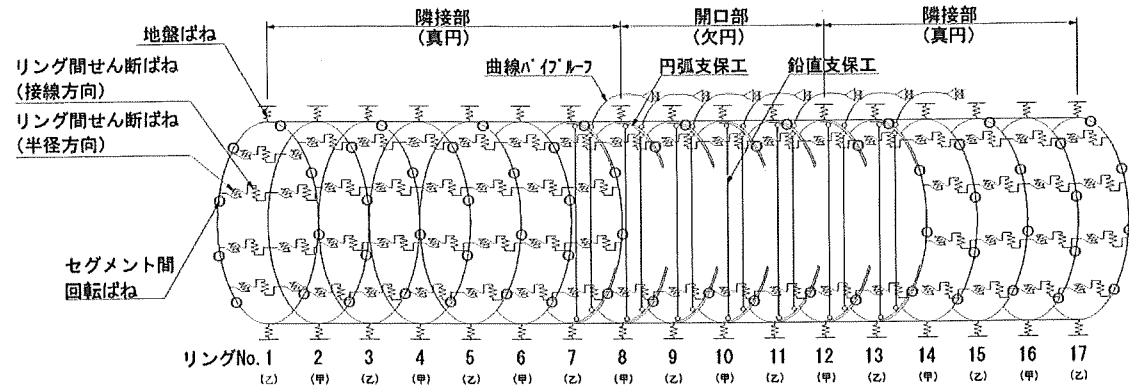


図-5 多リングばねモデル概要図(開口時)

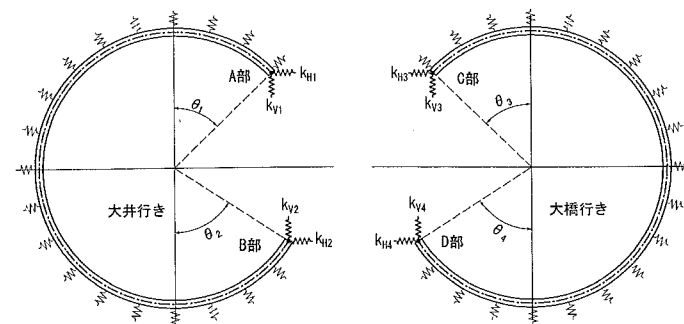


図-6 2次元一様単リングモデル概要図(完成時)

時には、開口補強枠をばねとしてモデル化した2次元一様単リングモデルを採用した(図-6)。

4 Uターン路の施工概要

図-7にUターン路工事全体の施工ステップを示す。最初に地山安定のため、低圧浸透方式の薬液注入により掘削周辺地盤の止水改良を行う。止水確認後、

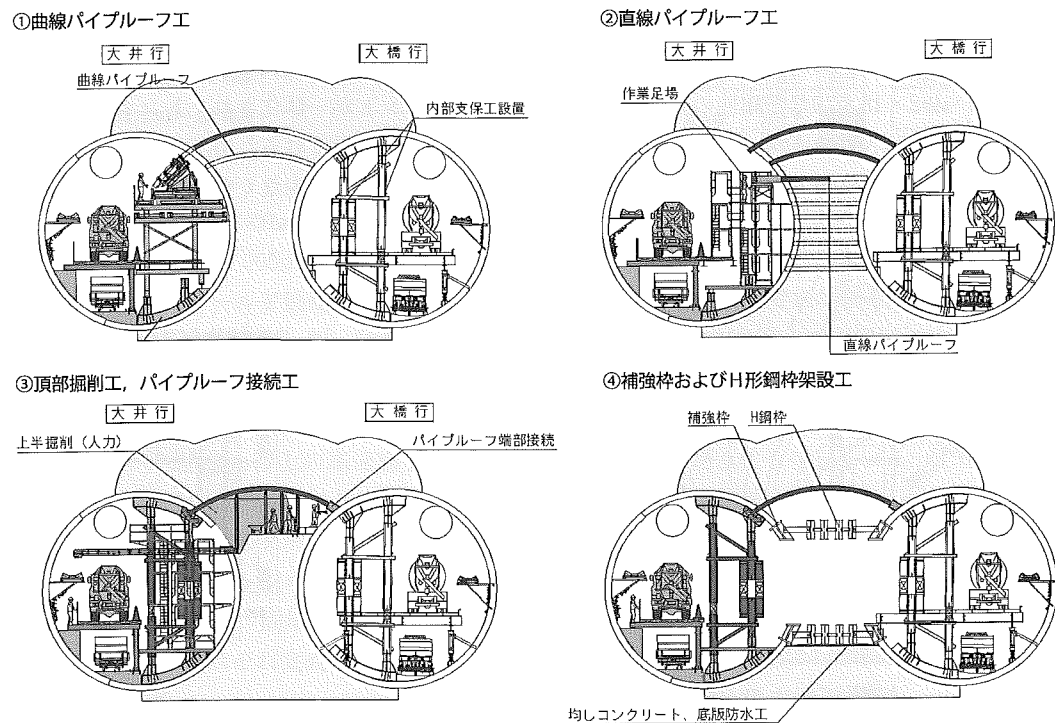


図-7 Uターン路主要施工ステップ図

トンネル間の土留めとして天井部にはφ267mmの曲線パイプルーフを、側面にも同径の直線パイプルーフをそれぞれ打設する。セグメント内部支保工の設置およびプレロード荷重を行った後、上半部を小断面で掘削しながら天井部となる曲線パイプルーフを反対側のシールドに順次固定する。この固定を終えた後、下半掘削～本躯体構築を行うものである。

Uターン路3か所において数箇月の間隔を保ちながら順次並行して施工を進めた。薬液注入開始から躯体完成までの工事期間はUターン路1か所あたり約10か月であり、3か所のUターン路を約16か月間で完成した。

5 出水対策(補助工法)

5-1 薬液注入工法の選定

2-2項の地質の特徴で述べたとおり、当該地盤は目黒川の直下に位置し、泥岩層(Kc)に細砂層(Ks)を挟む地層である。この細砂層(Ks)は比較的高い透水係数(10⁻³cm/secオーダー)を有しており、縦方向の亀裂の存在も想定され、地中切開きを行ううえでは非常に出水リスクの高い地盤である。

本工事では、全体的には泥岩層が優勢であるため、凍結工法を採用した場合は、セグメントに大きな凍結膨張圧が作用することから、パイプルーフの補助工法(止水対策)として低圧浸透方式の薬液注入工法を採用することとした。そのため、大深度での出水リスクを考慮し、その改良範囲について十分な検討を行った。

5-2 薬液注入工法の設計

薬液注入工法の範囲決定においては、以下の条件を考慮して設計を行った。

(1) 浸透流解析による最小改良範囲の設定

二次元定常浸透流解析により

Uターン路掘削領域の総湧水量を求めたところ、薬液注入改良後の地盤の透水係数5.0×10⁻⁵cm/sec、改良厚さ3.5mの条件において、十分に排水可能なレベルである計算結果が得られた。この結果から、泥岩層(Kc)が優勢であるUターン路頂部および底部の薬液注入改良厚さを必要最小厚さである3.5mに設定した。

(2) 砂層範囲における押抜きせん断抵抗による改良厚さの設定

Uターン路の掘削に伴い、粘着力を有しない砂層がもっとも厚い区間を対象として、改良体の端部に地下水圧が作用する場合の押抜きせん断に対する改良厚さの検討を行った。『薬液注入工事の設計資料(平成19年度版)』(社)日本グラウト協会)にもとづき、薬液注入改良体の粘着力を100kN/m²、安全率2.0以上として検討した結果、必要改良厚さを5.0mとなり、細砂層(Ks)が優勢であるUターン路側部すなわち本線トンネル縦断方向の改良範囲にこの値を適用した。

(3) FEM解析による塑性化領域を包括する改良範囲の設定

上記の検討と同様に、荷重条件として地下水圧を考慮したモール・クーロンの非線形弾性FEM解析において、掘削周辺地盤の破壊接近度を検証

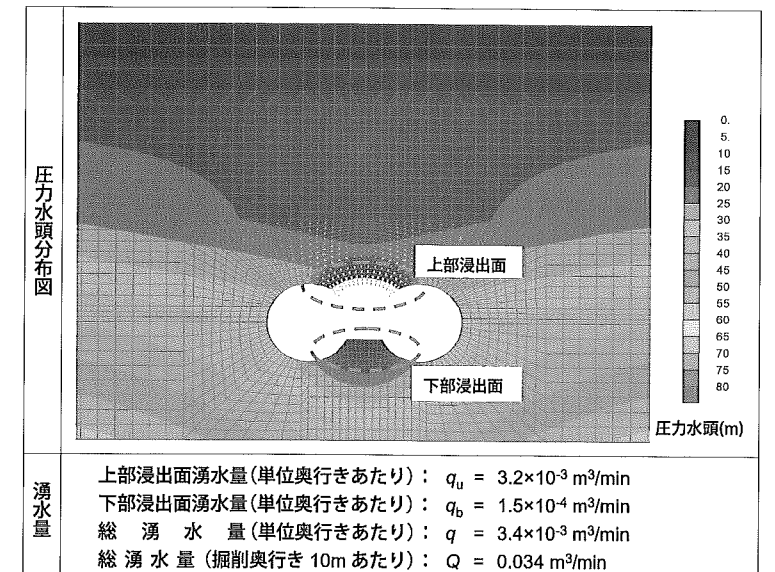


図-8 浸透流解析による圧力水頭分布と湧水量の検討結果

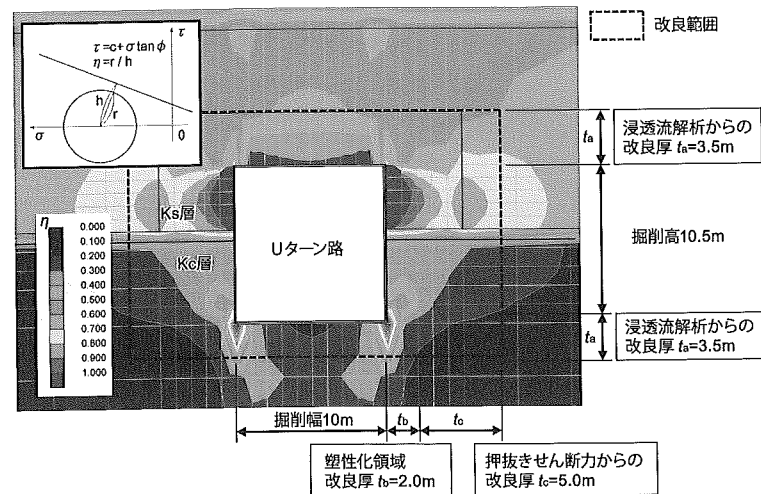


図-9 Uターン路掘削に伴う破壊接近度の検討結果

し、ここで得られた塑性化領域を改良必要範囲とした。今回の検討では砂層部分において2.0mの塑性化領域が求められたため、(2)の改良厚さにこれに加え、当該砂層の改良範囲を5.0m+2.0m=7.0mとした。

(4) 切開き施工時におけるセグメント変形に対する周面方向の改良範囲の設定

切開き掘削またはセグメント開口に伴うセグメント変形により、薬液注入改良地盤とセグメント背面の剝離による出水が懸念される。このため、はりばね解析で得られた結果より、セグメント覆工完成時の初期状態から開口時まで相対変位量がほぼゼロとなる位置を基準として、本線シールドの横断方向すなわちセグメント周方向に追加または補足の薬液注入を行うこととした。なお、この追加、補足の厚さは(1)の検討で求めた3.5mとした(図-10)。

5-3 薬液注入の施工

薬液注入範囲の設定に際して、新たに近傍でボーリング調査を行い、介在砂層(Ks)の分布状況を確認し、注入計画に反映させた。また、薬液注入後の見かけの透水係数の目標値を $5.0 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ として設定し、改良後には湧水量確認のため、Uターン路ごとに8か所のボーリング試験を実施した。目標の透水係数が得られない場合は追加注入を実施し、確実に所定の止水性を確保した。

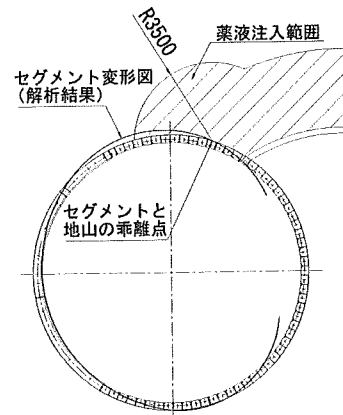


図-10 セグメント変形に対する薬液注入の補足範囲



写真-1 低圧浸透薬液注入工法の施工状況

表-1 各Uターン路における薬液注入率の計画と実績の比較

Uターン路	A	B	C
対象改良土量	2,280m ³	2,551m ³	2,844m ³
泥岩：砂層比率	100：0	43：57	6：94
計画注入率	10.0%	22.2%	30.3%
実施注入率	10.9%	31.0%	35.8%
増加率	+9%	+40%	+18%

低圧浸透薬液注入の施工において、目標注入率を砂層で31.5%、泥岩層で10%に定めた一方で、各注入工程では注入圧力の上昇が確認されるまで注入を続ける圧力優先の施工管理を行った。その結果、実施注入量が計画注入量を全体で約24%上回ることとなり、セグメント周面部の水みちや、地盤内に局所的な亀裂の存在がうかがえる結果となった。表-1にUターン路3か所における注入率の計画と実績の比較を示す。

6 曲線パイプルーフ工法

6-1 曲線パイプルーフの適用

本工事では、シールド掘進工、床版工および横連絡坑などの複数の工事を同時並行で進めていたため、トンネル半断面を物流の動線として確保することが求められた。このため、トンネル間上半部の防護、土止め工法として、コンパクトな設備で施工可能である小口径曲線パイプルーフ工法を採用した。

6-2 曲線パイプルーフの構造仕様

曲線パイプルーフの仕様は曲率R=8.0m、延長

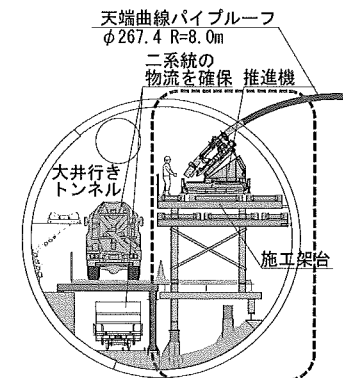


図-11 曲線パイプルーフ施工概要図

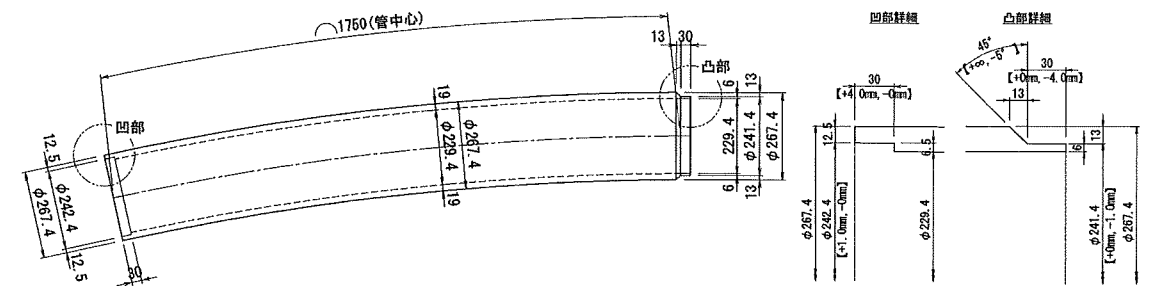


図-12 曲線パイプルーフ構造概要図



写真-2 曲線パイプルーフ施工機械

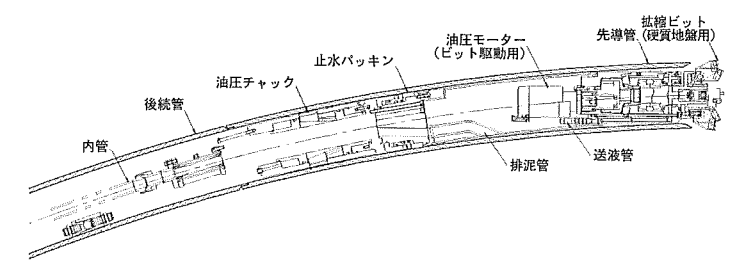


図-13 曲線パイプルーフ掘削先端装置

約10m、配置間隔0.9m、総本数14本であり、鋼管仕様は、外径φ276.4mm、板厚19.0mm、鋼材種SM570-Hである。作業スペースの条件から搬入する鋼管の長さを2m未満として、各ジョイント部は部分溶接により接合した。なお、継手部の精度がパイプルーフの全体の施工に大きく影響することから、凹凸嵌め込み式の機械加工を施し、継手部での屈曲を防止できる構造とした(図-12)。

6-3 曲線パイプルーフの掘進装置

写真-2に曲線パイプルーフの掘進装置による施工状況を示す。掘進装置は、曲線パイプルーフを把持して地山側に貫入させる推進装置と、先頭管と称するパイプルーフ先端を掘り進める泥水式掘削装置で構成される。先頭管の切削ビットは拡張機能を備えており、発進側に機械を回収できる機構を備えている(図-13)。

6-4 曲線パイプルーフのセグメントへの固定方法

パイプルーフの端部固定については、施工誤差を吸収したうえで、確実かつ合理的な固定方法が求められた。パイプルーフ発進側ではセグメント縦リブとパイプルーフ端部を一体化する支持梁方式を考案し採用した。一方、到達側は他工区のセ

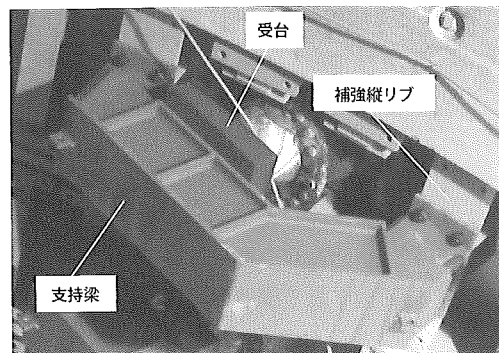


写真-3 曲線パイプルーフ端部固定状況(発進側)

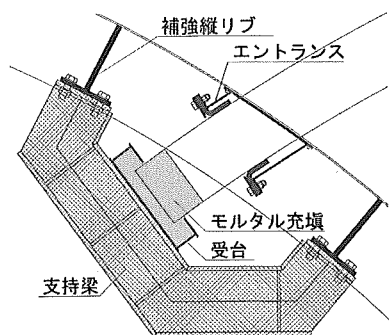


図-14 曲線パイプルーフ固定方法(発進側)

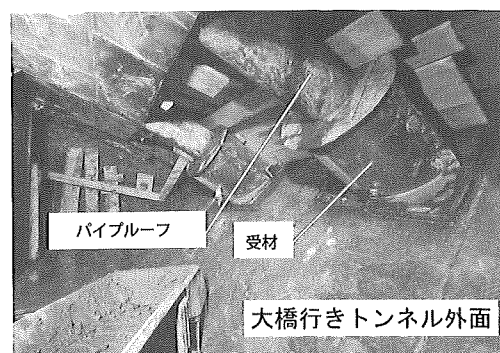


写真-4 曲線パイプルーフ端部固定状況(到達側)

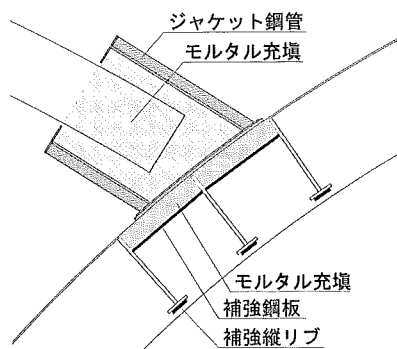


図-15 曲線パイプルーフ固定方法(到達側)

グメントへの固定となるため、セグメントの切断、貫通をいっさい行わずに接続できる方法とした。この方法は、パイプルーフ数本ごとに小断面の掘削を進めながら、到達側セグメントの外側(地山側)から順次半割りのジャケット鋼管を溶接固定し、その内部に無収縮モルタルを充填することでパイプルーフとセグメントを固定するものである。到達側でのパイプルーフ先端位置の誤差は50mm=1/200以下であったが、本方法的採用により、誤差を十分に吸収しつつ、合理的で確実な施工を可能とした。

7 Uターン路本体

7-1 Uターン路本体の構造

Uターン路3か所の構造はビルトH形鋼を主体とする矩形の鋼構造形式を採用しており、セグメント開口部分に配置される補強枠梁および補強柱枠、トンネル間に配置されるH形鋼枠(接続用、標準用)により構成される。図-16にUターン路Bの鋼枠組立て断面図を、表-2に同箇所の部材仕様一覧表を示す。

7-2 Uターン路鋼枠の架設

Uターン路鋼枠の現地架設は、シールドトンネル内の狭隘かつ空頭制限を受ける厳しい条件下で

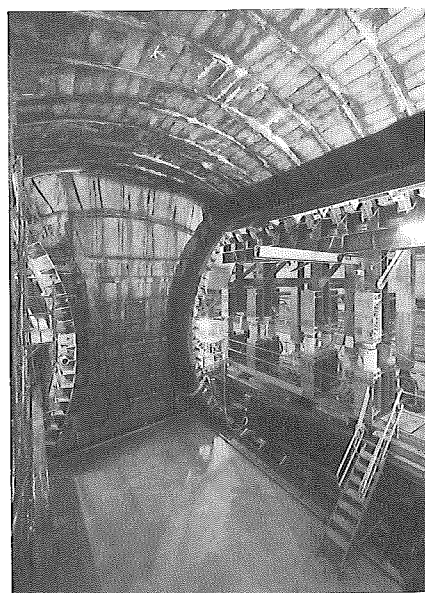


写真-5 Uターン路切開き掘削完了全景

の重量物荷役作業である。このため、仮設構造の内部支保工の設計段階において、最長10mの本設鋼枠部材の引込みが可能な計画とし、上部の鋼枠部材については、補強枠とH形鋼枠の梁材を一体化(全重量約60t)して、ジャッキアップ架設するなどの工夫を行ったことで、合理的かつ安全な施工を実現した。

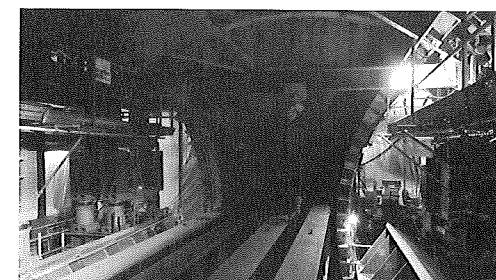


写真-6 Uターン路上部鋼枠組立て状況

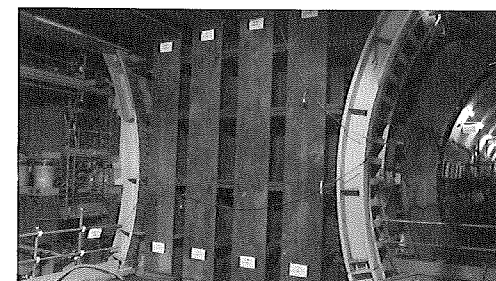


写真-7 Uターン路上部鋼枠組立て完了

表-2 Uターン路B鋼枠部材仕様一覧表

部材名	仕様
補強枠梁	BH 1300×1000×90×100
補強枠柱	B[450×300×80×85
接続用H形鋼枠	BH 1200×600×32×39
標準H形鋼枠	BH 1200×600×19×22
横 梁	2-[180×75×7×10.5
	2-[200×90×8×13.5
	2-[380×100×10.5×16

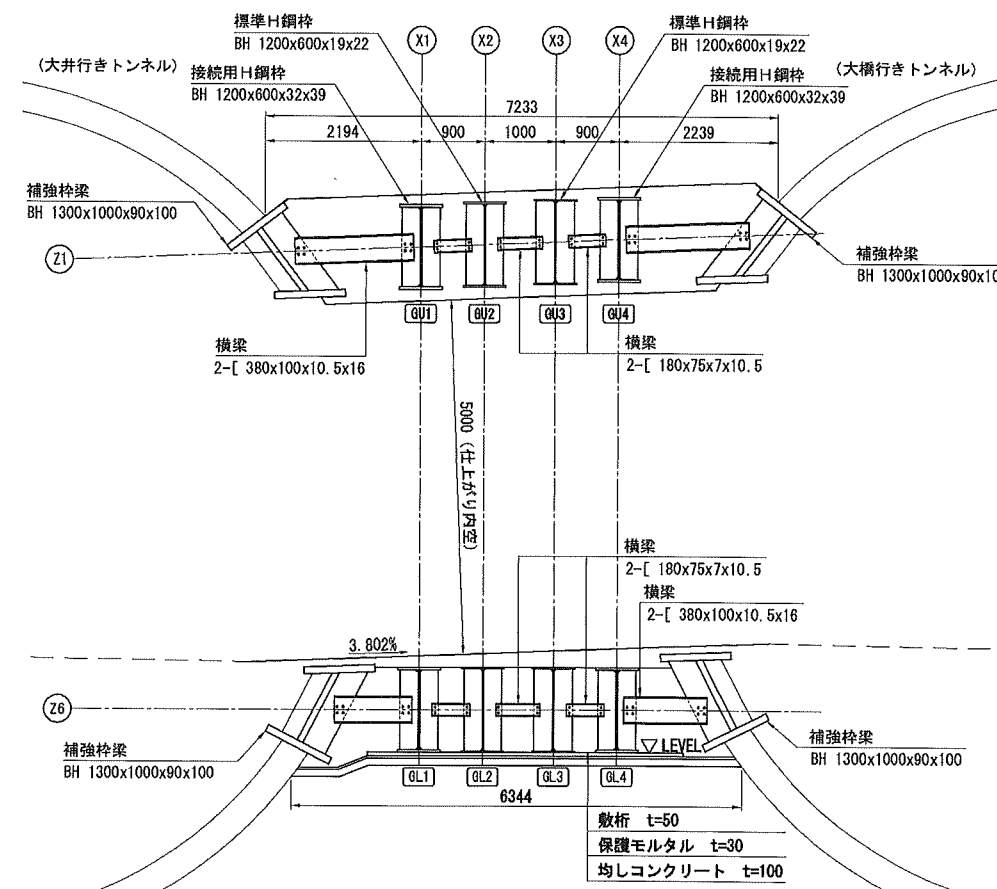


図-16 Uターン路B鋼枠組立て断面図

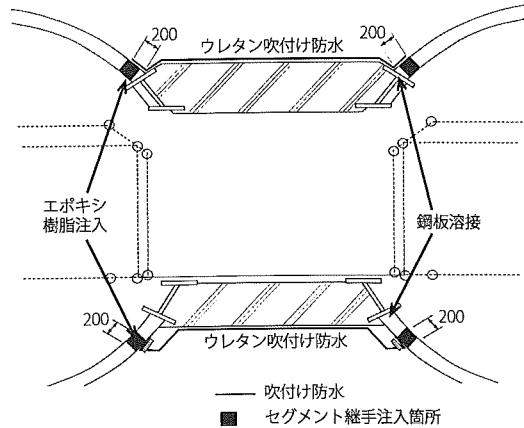


図-17 Uターン路防水計画図

表-3 Uターン路防水仕様一覧

防水工程	材料種別など	使用量・厚さなど
下地プライマー	水溶性プライマー	標準塗布量0.2kg/m ²
防水塗膜層	ポリウレタン樹脂系塗膜材	平均厚さ2.0mm以上
保護材層	モルタルまたはコンクリート	設計厚さ80mm以上
セグメント継手目地処理	エポキシ系接着材	—
セグメント継手接合面注入	ウレタン系注入材	—

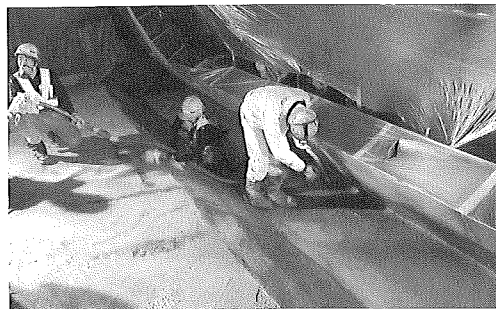


写真-8 ウレタン吹付け防水施工状況

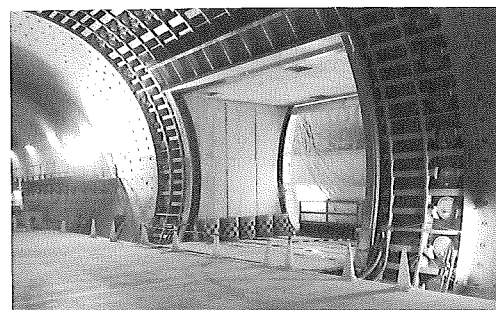


写真-9 Uターン路完成全景

7-3 Uターン路躯体の防水

Uターン路施工箇所における地下水圧は0.4～0.5MPaと高く、確実な防水構造と施工が求められた。前述のとおり、Uターン路の基本構造は鋼構造であるが、防水および防食の観点から、SC構造同様に鋼材をコンクリートで覆う形式としている。

鋼製セグメントと補強枠梁および補強柱の接続部は全周止水溶接を施し、コンクリート打設面と各接合部には追従性に優れたウレタン系樹脂吹付け防水を施工した。また、防水の保護層にあたる躯体と地山の境界部の空間は、コンクリートおよび可塑性裏込め注入材を充填し防水性の更なる向上を図った。

8 おわりに

中央環状品川線シールドトンネル工事は、大断面では日本最長となる8kmの長距離掘進や、500m/月以上の高速掘進など、シールド掘進工事が注目を集めるところであるが、道路トンネルのプロジェクト全体工程を短縮し、早期供用を目指すうえで、道路床版や横連絡坑、Uターン路などの後続工事を合理的かつ安全に進めることが重要なポイントとなる。今後の道路トンネル建設計画でも同種の地下接続工場の必要性が見込まれるなかで、本工場の取組みが次期プロジェクトの参考になれば幸いである。

本工事は、主要土木工事がほぼ完了し、開通に向けてトンネル内装工事を施工中である。最後に、これまでご指導、ご支援をいただいた関係各所の皆様に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 後藤広治・五十嵐央・築取優丞・豊田務・谷口敦・福田隆正：曲線パイプルーフを利用した地下切開きの施工，土木学会第67回年次講演会講演概要集，VI-40I，2012。
- 2) 後藤広治・五十嵐央・築取優丞・谷口敦：中央環状品川線シールドトンネルにおける地下接続工(横坑・Uターン路)の同時施工，土木学会トンネル工学報告書集，Vol.22，pp.405-410，2012.11。



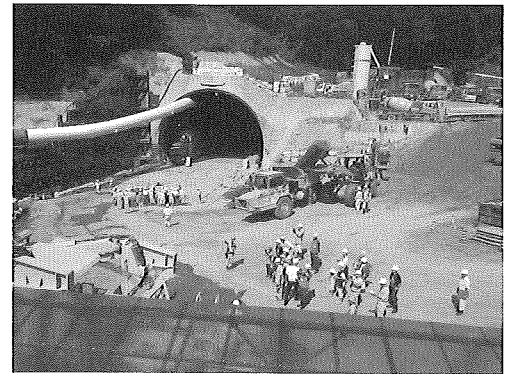
「善光寺平に結ばれる 人と地域がきらめくまち」ながのより

山口 耕二

長野市は、長野県北部の中心都市で、善光寺の門前町として有名である。門前町としてのみならず、周辺の観光地への前線としても重要な位置を占める。

市内を流れる犀川は、幹川流路延長157.7kmの一級河川である。標高3,180mの北アルプス南部の槍ヶ岳にその源を発し、松本盆地で奈良井川、高瀬川などの一級河川と合流しながら北流し、生坂村、大町市および長野市信州新町で蛇行しながら北東に流れ、長野盆地で東に流れを変えて長野市若穂綿内付近で千曲川に合流する。このような地形により、犀川流域は中流の山間部では急峻な溪流を呈するが、千曲川に合流する下流平部では緩やかな勾配となり、対照的な特徴を有している。

この中でも久米路峡は、新第三紀鮮新世に活動した火山の噴出物と考えられる凝灰角礫岩からできており、これが隆起に伴い、犀川による浸食の障害となることでできた溪谷である。犀川水系中流域でもっとも狭く、古来より何回か橋が架け替えられた。また、新緑や紅葉がみごとな景勝の地として長野市指定名勝とさ



市民見学会を開催

れており、「きじも鳴かずば撃たれまい」の悲話の発祥の地としても有名である。

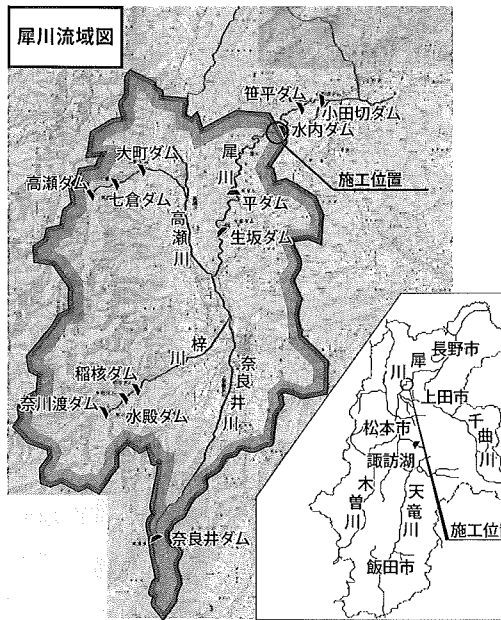
一方、長野市信州新町(旧信州新町)では、昭和58年9月27～29日の台風10号に起因した犀川の越水より、国道19号を含む住宅地への浸水が発生し、浸水面積44.25ha、浸水家屋620棟、被害総額32億円を上回る甚大な被害が発生した。この災害の原因は、住宅地下流に位置する久米路峡の狭窄とその上流に連続する河川の湾曲により洪水時に水位が上昇することによるものであった。

災害発生後、長野県では治水対策事業(俗にいう3点セット)に着手し、1点目として平成4年度に久米路第1河川トンネルを構築し、2点目に平成20年度に杉山開削工事を完成させた。

3点目の治水対策である久米路第2河川トンネル工事は、さらなる治水安全度の向上を目的とした河川バイパストンネルであり、平成25年度の完成を目指して工事を進めている。

トンネルの掘削断面はインバートを含めると186m²と超大断面であり、掘削対象地山は周囲の凝灰角礫岩に反して脆弱な凝灰岩質泥岩であったため、長尺鋼管先受け・長尺鏡ボルト・仮インバート早期閉合などの補助工法や各種計測を実施し、長さ176.5mのトンネルを貫通させたところである。今後も無事故・無災害で二次覆工などの工事を継続させる所存である。

(株)フジタ犀川河川トンネル作業所所長



位置図

土木情報 No.477

今月の主な入札結果

(1月10日～2月9日)

事業主体	工 事 名	請 負 会 社	請負額 単 位 百万円
沖縄総合事務局	H24名護東道路3号T	西松・屋部JV	1,658.2
東北地整	R115霊山道路T	飛島建設	4,324
〃	R45釜石T	東急建設	1,703.8
関東地整	虎ノ門地下歩道工事	西松建設	561.5
〃	中部横断楮根地区T	大林組	2,449
〃	日本橋室町二丁目共同溝	名工建設	249.25
北陸地整	R253八箇峠T(十日町工区)その2	大成建設	3,232
中部地整	天城北道路湯ヶ島第1T	森本組	2,641
〃	佐久間道路東栄地区第1T新設	西松建設	4,059.5
近畿地整	近畿自動車道紀勢線西津浦T	鹿島建設	2,028.4
〃	〃 右会津T	ハザマ	1,418.51
〃	奥瀬道路竹筒T	西松建設	1,741.8
〃	那智勝浦道路市屋第1T	フジタ	1,369.62
〃	〃 第2T	熊谷組	1,237
〃	賤ヶ岳T換気所撤去その他	桑原組	225
中国地整	東広島・呉道路乃美尾T	ハザマ	720.88
四国地整	H24-25箸蔵第2T	三井住友建設	748.7
〃	H24-26前山T	奥村組	1,413
九州地整	東九州道(佐伯～蒲江)谷川T新設	戸田建設	814.9
〃	福岡322号八丁峠道路T(嘉麻側)新設	前田建設工業	3,405.6
〃	宮崎218号南久保山T新設	鹿島建設	1,109
東日本高速道路	常磐自動車道鞍掛T補修	浅沼組	702
〃	上信越自動車道佐久管内トンネル変状対策	大林組	510
宮城県	二ノ浜1号T本体	橋本店	610
都・下水道局	豊島区駒込五丁目、北区西ヶ原三丁目付近再構築その2	不動テトラ	324
〃	新宿区富久町、新宿六丁目付近再構築	浅沼組	321.05
都・水道局	第二淀橋給水所～新宿区西新宿二丁目地先間配水本管(1000mm)新設及び立坑築造	大成・佐藤JV	838.5
〃	東村山浄水場から東村山市青葉町一丁目地内間原水連絡管(2000mm)用立坑及びトンネル築造	大成・不動テトラJV	1,762
〃	朝霞市泉水一丁目地先から同市宮戸一丁目地内間原水連絡管(2000mm)用立坑及びトンネル築造	戸田・初雁JV	1,533.89
新潟県	国改交13-3-1号R403総合交付金(国道改築)(仮称)新大倉T	福田・丸山JV	640
島根県	松江鹿島美保関線瀬崎工区社会資本総合交付金(改良)(仮称)野井T	カナツ技建工業	340
広島県	R186道路改良(仮称)防鹿T	前田・大之木JV	1,070
〃	沼田川工業用水道事業尾道ライン管路更新(シールド)	フジタ・竹中・占部JV	1,780
横浜市	新横浜駅第5出入口移設	鹿島・相鉄JV	645
川崎市	大師河原貯留管建設土木その2	清水・東洋・鴻池・三ツ和JV	2,030
相模原市	公下境川第25-イ雨水幹線整備(1工区)	西松・萩原・日栄JV	1,022.5
上田市	道整備交付金丸子小牧線T	佐藤・青木JV	1,274.95
静岡市	H24下川原排水区下川原雨水貯留管築造	三井住友・木内・静鉄JV	2,003.4
大阪市	R479清水共同溝設置-4	前田・南海辰村JV	2,410.68

第三十九回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

「山のゆるみは気のゆるみ」を肝に銘じて

我がトンネル人生

（元）鉄建建設（株）
昆布 明弘

はじめに

今回、執筆依頼を受けたとき、数年前の出来事を思い出しました。それは、資料を探すため書店で手にした書籍の中に「トンネル十訓」の項があり、その項を読むうちに約40年前の記憶がよみがえったことです。私が1966年に鉄建建設に入社して最初に配属された土讃線・大歩危トンネル現場の作業員休憩所に「トンネル十訓」が掲示してありました。全項目の記憶は定かではありませんが、今でも覚えているのは、「地相は人相、山の性状」「山のゆるみは気のゆるみ」の2項目です。この2項目の本来の意味は「人にはそれぞれに人相があるように、地山もそれぞれに特性を有している」「細心の注意で、地山の変化を見落とさず、いかに対処するか」ですが、この「地山」をその時々事柄に置き換えることにより、トンネル工法が矢板工法からNATMへと劇的に変革した時期の現場勤務、本社技

術部での指導・計画・設計業務などが思い起こされます。

山岳トンネルの基本的な施工の流れは、地山を破碎・掘削し、運び出し、掘削された空間を支保し、そして、覆工を施工することで恒久的に空間を保持することです。このようにトンネル技術は、地山を破碎・掘削する技術、運搬する技術、地山を支保する技術、施工順序などの工法技術、切羽の安定性を確保する技術などの要素技術から構成された総合技術だと思えます。

設計・施工においては、地山条件や施工条件にもっとも適した要素技術を組み合わせることです。それぞれの技術は、時代とともに発展し、それらは設計・施工に反映されてきました。しかし、山岳トンネルの対象は地山であるため、トンネル技術者は地山の特性(地質、地質構造など)を知るとともに、地山の安定性の良否を判断する「山を見る目」を独自に養う必要があると思えます。対象とする



筆者近影

著者略歴

昭和41年	鉄建建設(株)入社 国鉄土讃線大歩危トンネル
昭和42年	鉄道建設公団湖西線峰山トンネル
昭和45年	国鉄山陽新幹線新関門トンネル(黒川工区)
昭和46年	道路公団関門高速道路大久保トンネル
昭和48年	鉄道建設公団内山線内子トンネル
昭和54年	道路公団中国縦貫自動車道米山トンネル
昭和56年	本州四国連絡橋公団鷺羽山トンネル
昭和63年	本社施工本部土木部課長
平成元年	本社技術本部土木技術部次長
平成6年	本社エンジニアリング本部土木技術部 トンネル担当部長
平成10年	本社エンジニアリング本部技術部部長
平成11年	本社エンジニアリング本部土木設計部部長
平成13年	鉄建建設(株)退社 (株)ケー・エフ・シー入社、トンネル技術室部長 現在に至る

トンネルの地質や地質構造などは、事前の地質調査結果や文献などで知ることができず、「山を見る目」は多くの経験(現場で、見て、対処して)を積み、自己修練でしか修得は困難と思います。これがトンネル技術の難しさと同時に、技術者としての生きがいであると思っています。

私が現場や本社技術部での経験をお話することで、皆さんの今後に少しでもお役に立てれば幸いです。

トンネル現場での経験の蓄積

■土讃線・大歩危トンネル一発想の転換—

大歩危トンネルは、全長約3,500mの単線断面トンネルで、当社施工は大歩危方の2,121mでした。地質は千枚岩で一部に破碎粘土化した区間もありました。施工法は底設導坑先進のレール方式

でした。上半は鋼製支保工でしたが、底設導坑は不良区間のみ木製支保工で、上半掘削用に導坑に「担い」を吊っていました。

この現場には進入できる道路がなく、また、掘削ずりは約800m離れた大歩危駅の改良(拡幅)工事に用いるため、本線に並行して栈橋を架設し、資材置場やコンクリートプラント設備は対岸の国道沿いに配置し、坑口前の栈橋上に配置したヤードにキャリアで搬送しました。ロッカー・ショベルやディーゼルロコなどの機械類は大歩危駅より2駅離れた阿波川口駅で貨車に積み込み、夜間にモーターカーで大歩危駅構内に運搬して人力により横取りを行いました。

覆工は上半パラセントルの9m物で、打設にはプレスクリート(1.5m³)を使用しました。プレスクリートは実用化されたばかりの機械(1号、2号機)でトラブルの

発生が多々あり、その主なものとしてはドラム回転用のチェーンの切断と配管の閉塞でした。当時覆工担当の私はトラブルの要因の解明と対策の検討を行うように上司から指示を受けました。

チェーンの切断の要因は、機械的要因(ドラム回転伝達機構がコーンクラッチのため、起動時の過負荷)と人為的要因(回転停止前の切替え)の両方と考えました。機械的要因にはメーカーに機構の変更を指示し、回転機構を油圧に変更してチェーンの強度を増強した機種ではチェーンの切断はなくなりました。人為的要因には作業手順の周知徹底を行いました。

配管の閉塞の要因にはコンクリートのワーカビリティが関係すると考え、配合の変更や砂の含水率の管理などで対応しましたが、それだけでは解決できませんでした。そのため、所定強度を確保すれば

粗骨材寸法を替えてもよいのではないかと考え、粗骨材を40mmから25mmに変更した設計配合を作成し、上司の承認を受けました。このときコンクリート単価の比較を求められたことを覚えています。

後から聞いたことですが、所長は他の現場からの情報で、配合の変更が必要と判断し、工事区と協議していたそうです。今思えば時間をかけて技術者を育てることができた時代でした。

■湖西線・峰山トンネル—水と膨脹性地山—

本工事は峰山トンネル(全長3,910m、当社施工1,810m)、天神トンネル(80m)の2本のトンネルと付随する約2.0kmの明かり工事でした。峰山トンネルの地質は粘板岩で、坑口より約800m付近までのあいだには、多くの破碎帯(幅数十cm程度)が存在し、多少の湧水もありましたが、比較的安定した地山でした。

坑口より700m付近で幅約50mの断層粘土帯に遭遇しました。粘土帯の通過後は絶えず切羽に湧水がある地山になり、800m付近で多量の湧水とともに礫状になった地山が流出し、底設導坑が10mほど埋没しました。湧水量は約5t/分でしたが、1週間程度で湧水量が約1t/分に減少したので、縫い地矢板、矢木丸太や鏡面の縦縫い地などを用い、人力掘削で10m程度の破碎区間を突破しました。その後も1t/分程度の突発湧水に5か所ほど遭遇しました。

この湧水は、トンネルの上部側方にあった沢の水枯れを起し、沢

水は農業用水に利用されていたために、湧水対策として本流に揚水設備を設けました。坑内は水中ポンプにより強制排水しましたが、湧水の温度が15°以下と低く、農業用水(稲作)には適さないとのことで、遊水池まで別に水路を作りました。上半掘削時には切羽からの湧水はありませんでしたが、湧水がなかった区間に比べ、切羽鏡面の安定性は低下していたのを感じました。この湧水は現在も1.5t/分程度の恒常湧水となっており、地元の人がマスの養殖に利用しているようです。

断層粘土帯は押し出しが生じたために、底設導坑は、増し支保工とストラットで変形を抑制し、上半は鋼アーチ支保工のサイズアップ(H-150→H-175)で押し出し防止を図りましたが、1か月程度で片側に20cm以上の変形が生じたために縫い返しを行いました。縫い返しにあたっては、巻厚を90cm、支保工をH-200に変更し、縫い返し後、直ちに覆工を行いました。セントルの強度から2回に分けて行いました。側壁コンクリートは背面を直にして底面積を拡げました。しかし、この区間に設置した測量用のダボは測量のたびに上下・左右に差異が生じ、まるで地山が息をしているように思えました。

当時、私は体をこわし約2か月の入院から復帰して間のないころでしたので、設計変更要員を命じられました。設計変更要員は現在の工務にあたり、主な業務は発注者との設計変更に伴う事前協議、

資料の作成および毎月の出来形などの現場事務でしたが、設計変更のプロセス(検討・計画・実施・報告)および管理(工程・原価)と単価ネゴなどの全般にかかわりました。これらの業務は私にとっては貴重な経験で、その後の工事に対する見方や考え方に大きな影響を受けたと思っています。

■関門高速道路・大久保トンネル一発破振動と低周波騒音—

大久保トンネルは、両坑口付近に民家があり、典型的な都市型の山岳トンネル工事でした。上り線(374m)と下り線(400m)の2本を底設導坑先進工法で同時施工を行いました。当初設計では通常の2方施工でしたが、トンネル工事着手前の地元協議で、作業時間帯を6時から24時、発破作業は7時から20時、ずり出し時間は22時までなどの作業条件で、着事後再度協議することと了承を得ました。しかし着事後すぐの地元協議の結果、各作業終了時間を2時間短縮することとなりました。

発破振動に関しては火薬メーカーに相談し、民家が密集している地点(40m)での発破振動の管理値を1.0kineとする発破設計で試験発破を行った結果、管理値はクリアしましたが、一部住民から「家の中の振動」に苦情がありました。そこで振動値が0.5kineとなるように心抜きにMS雷管を用いた試験発破の結果、発破の了承を得ることができました。しかし、上り線の東側坑口から約100m地点のトンネル直上(土かぶり25m)に家屋

があり、この家屋に対しては雷管の段数を増やしても管理値をクリアできないため、住人に説明し、上半掘削の期間だけ一時移転をお願いしたところ「家屋の被害補償と発破の事前連絡があれば良い」との返答をもらったので、振動対策として上半の進行長を短くすることで対応しました。

その後、先行していた下り線の西側坑口から土平掘削を開始したところ、坑口から200mほど離れた民家から、発破音とともに両戸が振動するとの苦情がありました。このときに初めて低周波騒音を知ることとなりました。専門家から低周波騒音は振動と同様に薬量と距離に関係があるとのアドバイスをを受け、1発破あたりの爆薬量を少なくし、遮音用に坑口と上半の数箇所に防爆シートを配置し対応しました。

トンネル延長が400mと短いにもかかわらず、夜間作業に強い制約を受けたことなどにより、施工に長い期間が必要でした。また東側は戦前からの住宅が多く、西側は新興住宅で、両者の意識が異なり対応に苦慮したことが思い出されます。

毎月1回工事の進捗状況の報告と数回の現場見学会を開催しました。見学会には女性の参加希望があり、最初はトンネル工事の風習を説明し断りましたが、反対されたため、作業員の了解を得て開催し、切羽で削孔作業の実演などを行い、トンネル工事の実態を理解してもらいました。本トンネルでは地元住民の理解と協力なくして

は工事を進めることができないことを痛感しました。

■内山線・内子トンネル—上半先進と週休制—

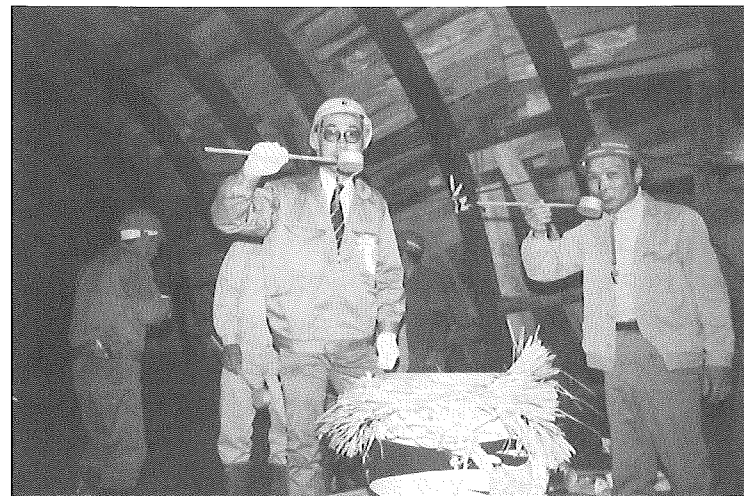
内子トンネルは延長1,110mの単線トンネルでした。地質は頁岩で、トンネル中間付近の約120m区間の土かぶりが10m以下で、S.L上部に砂礫層が分布していました。当初の施工法は底設導坑先進工法でしたが、掘削面をS.Lより0.5m下げた上半断面をレール方式による上半先進工法に変更しました。工法変更の内容や工程・使用機械などを協力会社の所長や責任者に説明し、問題点などについて協議して計画を一部変更した結果、上下半の平均月進は150mで上半の最大月進は砂礫層区間を含む区間での190mでした。

このような月進を確保できたのは地山条件に恵まれただけでなく、週休制で施工を行った結果でもあったと思っています。

当時は月あたり3日の休みでしたが、作業員のほとんどは、車で

3時間程度の所に家族と暮らしていたため、家庭の都合で土日も休むことが多く、平均の稼働日数が22~23日でした。掘削開始2か月後に所長の了解を得て、休日を毎日曜日とする週休制を作業員に提案しました。当初は作業員から作業日数が少なくなるとの意見がありました。各人の作業実績を説明し、2か月間を試行期間とすることで了承を得て実施したところ、好評を得たために工事終了まで週休制を採用しました。

上半先進工法の計画時にもっとも留意したのは、砂礫層区間における支保工の沈下と掘削断面の縮小でした。これらの対策として根固めコンクリートを計画しました。根固めコンクリートの高さは1m、厚さは支保工(H-150)のリブ厚としましたが、実施工では砂礫層の自立性が良く、大部分が掛け矢板でしたので、支保工脚部をブロックし、根固めコンクリート部分の矢板は最小限としました。型枠にはエクスパンドメタルを用い、



内子トンネル貫通(左が著者)

コンクリート硬化後、支保工に溶接して一体化(支保工の連続性)を図りました。

路盤コンクリート工では溶接金網を使用し、幅止め筋や突起鉄筋の加工は地元の鉄工所で加工して、施工精度と施工の効率向上を図りました。

■中国縦貫自動車道・米山トンネル—メッセル工法と先行削孔—
約4年間の支店勤務や都市土木に従事したのちに再度トンネル工事に復帰したのが米山トンネルでした。

米山トンネルの全長は2,870mでしたが、西側の800mは施工済みで、当社の施工延長は2,070mでした。このうち1,500mはその1工事、残りの570mはその2工事として随契で受注しました。地質はその1工事区間が粘板岩、その2工事区間が凝灰岩でした。その1工事はレール方式の底設導坑先進(うち100mは側壁導坑)、その2工事はタイヤ方式の上半先進で計画されていましたが、その1工事

終了前に転動したため、その2工事には従事しませんでした。しかし、その2工事は施工機械の入替えなどを考慮して、その1工事と同様に底設導坑先進で行ったと聞きました。

トンネル坑口から30mほどの区間に地すべり跡の崖錐堆積物が分布していたために、上半の施工をメッセル工法で行うことになり、この工法の経験者であった私が指導することになりました。しかし、経験した京都駅構内を横断する作業坑でのメッセル矢板は側壁部分だけで、また地質が自立性の良い砂礫層のために道床バラストより0.5m程度以下は先掘りが可能でした。それに対し、崖錐堆積物は締まりが緩く、メッセル矢板が簡単に貫入するため、貫入量が大きいとセクション部分にずりが咬み込み、後進矢板の押込みに苦慮することもありました。また支保工がH-200で建込み間隔が80cmでしたので、メッセル矢板のテール通過後の矢板の締め上げに苦労した

ことが思い出されます。

導坑ではたびたび、突発湧水に遭遇したために、油圧ドリフターを専用台車に架設し、毎週1回40m程度の先行削孔(チェックボーリング)をして湧水位置や湧水量を調査し、湧水量が多い場合には水抜きのため数本の削孔を行いました。また、水圧により切離したロッドが押し出されることもあり、坑外設備には200t/hの濁水処理設備がありましたが、湧水量の増加により処理能力をオーバーするようになりました。しかし導坑の湧水は必ず積み時でも清水状態であったために、導坑の湧水を配管で、新しく坑外に設置した沈砂池に導水して、清濁分離方式で処理をしました。

■瀬戸中央道・鷺羽山トンネル

—9本のトンネルが—

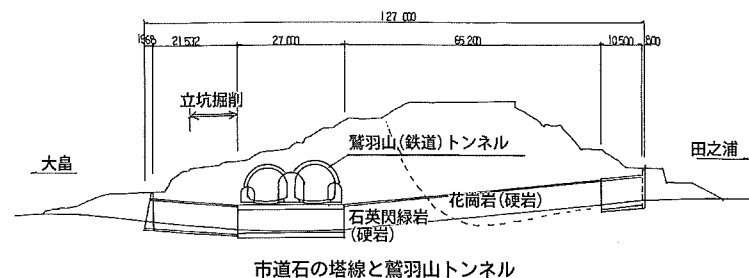
鷺羽山トンネルは、私にとっては初めてのNATMによる施工で、経験したことのないトンネル形状でした。ここで得た経験はその後のトンネルの施工指導・設計などの基礎となりました。

なお、鷺羽山トンネルの施工に関しては本欄の第11回で井上堯夫氏が(Vol.41, No.11, pp.35-42)、設計に関しては第34回で亀岡美友氏が(Vol.43, No.10, pp.25-30)、詳しく紹介されていますので参考にして下さい。

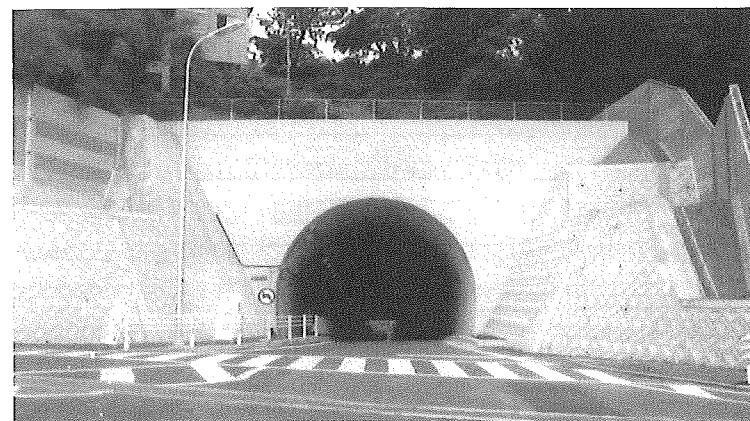
鷺羽山のトンネル本数は南北方向の道路・鉄道・アンカートンネルの各々2本と運搬用坑道の計7本のほかに、鷺羽山トンネルの児島方に市道石の塔線(L=127m)と、トンネル中央部に電源開発(株)の



米山トンネル坑口



市道石の塔線と驚羽山トンネル



驚羽山トンネル田ノ浦方坑口

高圧送電用トンネルが運搬用坑道まで驚羽山トンネルの下を横断しています。驚羽山の約250m間には計9本のトンネルがあることになります。

市道石の塔線の田ノ浦方には道路の反対側とトンネル直上に家屋があったため、田ノ浦方の60m区間は割岩工法で、送電用トンネルは外周スロット(連続溝)による発破併用のSD工法で施工しました。

1988年4月10日の瀬戸中央道の開通式典を最後に、私の現場生活が終わりました。

**本社・技術部での
新技術への挑戦**

■新技術の開発—AGF工法—

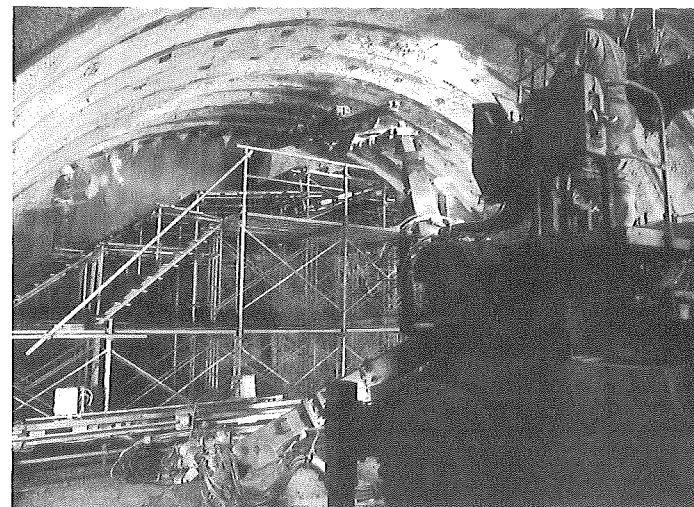
AGF工法(All Ground Fastening)は、1980年代に鉄建建設が開発したφ54mmの鋼管AGF(All Ground

Fasten)ボルトから発展した長尺鋼管先受け工法です。私がAGF工法に関係したのは、打設試験の報告・検討会からでした。当時、私はジェオフロンテ研究会でアンブレラ分科会のWGに参加していて、イタリアにおける専用機を用いた長尺鋼管先受け工(TREVI工法)などを勉強していましたが、本工法がTREVI工法や過去に経験したパイプルーフに比べ、施工性、経済性に優れ、将来性のある工法と判断しました。しかし、本工法が鉄建建設だけの技術としているならば、長尺先受け工法としての普及は困難であると考え、当時技術本部の林副本部長に進言して、ジェオフロンテ研究会の長友会長にAGF工法を紹介しました。長友会長は非常に興味を示し、研究会の事業として採用され、工法の名称

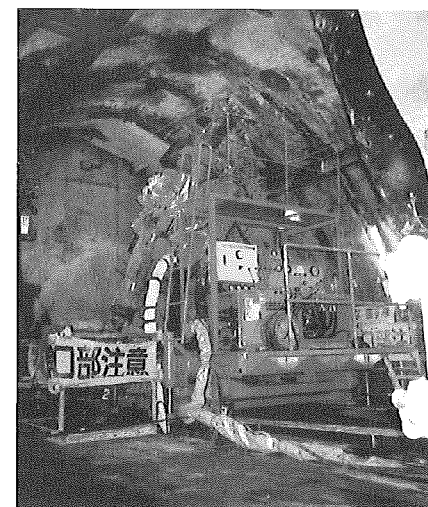
として鋼管ボルトの名称のAGFをそのまま用いることになりました。なお、最初のAGF工法の採用は他社が行いました。

1992年8月に日本道路公団名神高速道路(改築)梶原トンネル工事の現場から、上り線の東側坑口部区間(L=120m)の天端安定対策工の検討依頼があり、AGF工法を提案しました。当時、AGF工法の設計手法が確立していなかったため、先受け工の効果に対してはFEM解析で、先受け長についてはシールドトンネルで用いられる「村山の式」を用いて設計し、打設長を12.5m(掘進長9.0m)で、鋼管の打設方式は支保工を順次拡幅する拡幅方式として計画しました。梶原トンネルでは、現場指導を行うとともに歩掛調査と、現場からの要請で、セメントミルクに代わる注入材として特殊速硬性セメント(デンカAGF)を開発・採用しました。また、厚肉鋼管用に改良したPCD(PCD110用)ピットの実証試験も行いました。

翌年、日本鉄道建設公団リニア実験線笹子トンネル工事において、沢部の小土かぶり区間(L=65m)の天端安定対策工としてAGF工法が適用されました。しかし、事前の先行削孔の結果、沢部付近で100ℓ/分以上の湧水が確認されたため、セメント系注入材では問題があると判断し、湧水区間の注入材としてシリカレジンを用いることとしました。当時、加藤徳商事(現 カテックス)におられた故辻孝志氏に開発を依頼していたウレタン系注入材用の注入方式(ステッ



AGF工法施工状況(名神高速道路梶原トンネル)



TULIP工法の推進装置(飛鳥山トンネル)

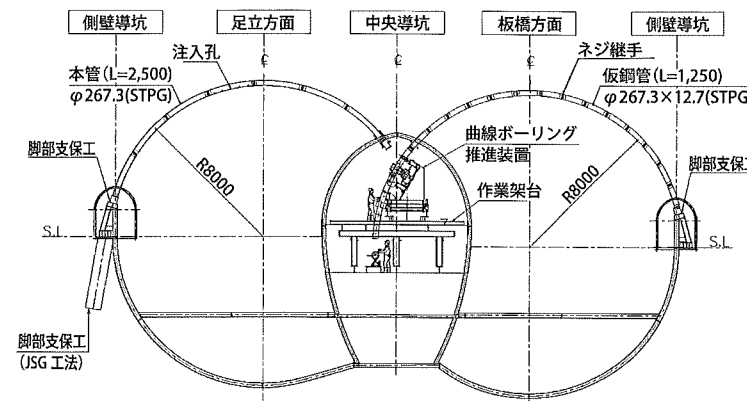
プ方式)を採用し、確実な施工ができました。

これら両トンネルで行った歩掛調査より作成した、施工フロー、サイクルタイム表、積算資料などをジェオフロンテ研究会に提供し、AGF工法の技術資料などの作成に活用してもらいました。その後WGのメンバーから内々に積算資料の作成の協力依頼を受け、作成したのが現在のAGF工法標準積算資料の原型となりました。

■新技術の採用—曲がりボーリング(TULIP工法)と長尺鏡ボルト(FIT工法)—

曲げ加工した鋼管を削孔・敷設する曲がりボーリング(TULIP工法)は、鉄建建設と数社が共同開発し、1990年に特許を取得した工法です。

当時、ジェオフロンテ研究会の長友会長が、曲がりボーリングによってトンネル外周部に鋼管を先行支保として設置する工法をホエールボーン工法と命名し、3グループが研究・開発を行っていました。



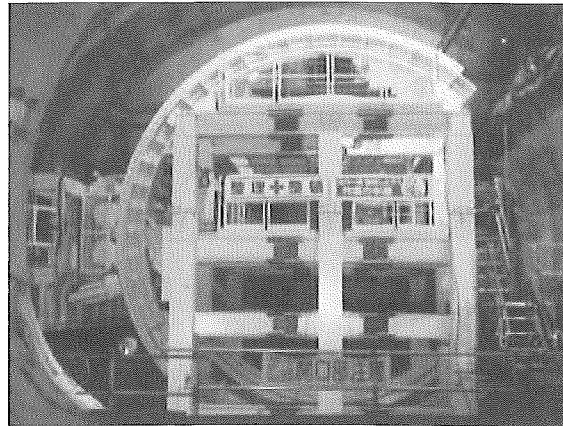
TULIP工法支保工図(飛鳥山トンネル)

最初に本工法で計画・施工を行ったのは、首都高速中央環状王子線の、JR京浜東北線王子駅構内に建設する飛鳥山トンネルと、飛鳥山公園直下の既設トンネルとの接合部を延伸・拡幅する工事でした。

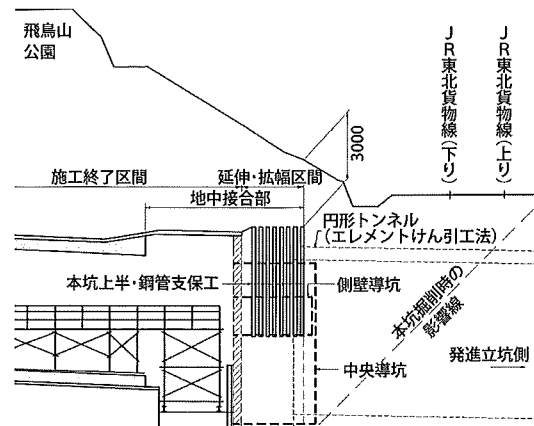
飛鳥山トンネル工事は、東日本旅客鉄道(株)の受託工事として1998年に発注されましたが、翌年に中央環状王子線の開通を2年繰り上げることが決定し、トンネル工事は約19か月の工期短縮が必要になりました。当初計画は、元押し(PCR)工法により、JR線横

の発進立坑から飛鳥山公園側に推進し、円形トンネルを構築するものですが、この工法は、線路内に予想される支障物の撤去に対応できるように、角形鋼管を推進したのちPCR桁に置き換える、2工程でした。

工期短縮のため1工程で施工可能なエレメント牽引工法(HEP&JES工法)に変更になりましたが、今度は既存の地中接合部ではHEP&JES工法の牽引装置を設置するためのスペースが不足するため、地中接合部を延伸・拡幅すること



HEP&JES推牽引装置(飛鳥山トンネル)



TULIP工法側面図(飛鳥山トンネル)

が必要となりました。しかし、延長5.0mの延伸と拡幅(幅60cm)区間の上部は公園の急斜面部で最小土かぶり約3mと小さく、東北貨物線に近接しているため、貨物線に影響がない施工方法を検討した結果、TULIP工法を、安全で、本坑の薬液注入(止水と地盤改良)を並行作業できる施工法であるとして選定しました。

鋼管はφ267.3mm、t=9.3mm、設置間隔は600mmとし、鋼管周辺の地山改良のため逆止弁付き注入孔を設け、ダブルパッカー方式で注入をセメント系注入材で計画しました。

また解析の結果、上半脚部の耐力が不足するため、側壁導坑内に脚部補強工として連続杭(JSG工法)を採用し、掘削に伴い切羽前方の地表面沈下と鏡面の安定性に問題が想定されたため、地表面沈下抑制と鏡面安定対策として当時実用化され始めていた小口徑

GFRP管を用いた長尺鏡ボルト(FIT工法)を採用しました。本計画では19か月の工期短縮という特殊な条件のために新技術を採用することができました。このような機会を得たことは幸運だったと思っています。

おわりに

最近、私が気になるのは設計・施工全般におけるトンネル技術者のマニュアル至上主義的な考え方は、本来マニュアルは多くの経験を集約し、基準、要領、経験則として一般化された技術の基本原則であって、最低限度守るべき事項であり、それだけを守ればよしとすべき事項ではないのです。

マニュアルがあれば長年の経験を積み重ねなくても、現象の理解度が深まり、よりの確かな判断力を持つことが可能です。しかし、マニュアルの内容を知っていてもそれらの本質を理解していなければ、

単に文章の記憶に過ぎず、知識(技術)は身につかないことになります。また、マニュアルには具体的な選定(判断)基準がないため自分自身で判断基準の構築することが必要となります。判断基準の構築は技術の本質を理解して経験(実践)することから得られるものです。

技術の向上は技術の理解と経験の相乗効果により得られるもので、過去の経験にとらわれては、技術は停滞することになります。そのため従来の技術がどのように改良・発展したかを振り返るとともに、技術の基本的な原則に習熟し、新しい技術の開発・展開を積み重ねることが必要であると思います。

読者のみなさま、とくに若いトンネル技術者のみなさまは、是非とも、この点を理解していただき、精進していただきますよう祈念します。

施工

住宅密集地に近接した営業線の地下化切替え

—京王電鉄 調布駅付近連続立体交差事業—

京王電鉄(株)鉄道事業本部工務部調布工事事務所 岩村 忠之
 大成建設(株)東京支店作業所 松田 茂広
 東急建設(株)鉄道建設事業部作業所 千田 馨
 戸田建設(株)東京支店作業所 鏑木 毅

1 はじめに

京王線は新宿を起点とし東京都西部を結ぶ主要路線で、渋谷を起点とする井の頭線などと合わせて延長84.7kmの線路において1日約171万人を輸

送している。調布駅は新宿～京王八王子間を結ぶ京王線と調布～橋本間を結ぶ相模原線が分岐する駅で、1日の平均乗降客数が約113,000人であり、京王線において新宿駅に次ぐ乗降客数を有する駅である。過密ダイヤにより、調布駅付近の踏切で

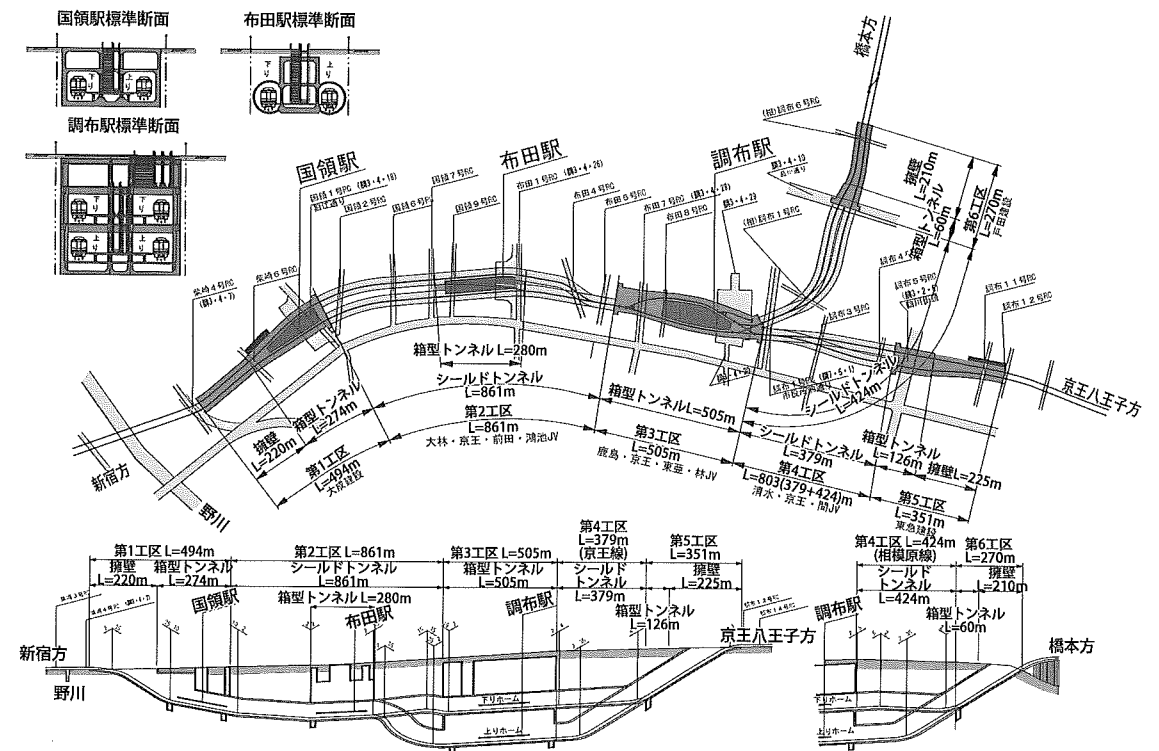


図-1 調布駅付近連続立体交差事業概要図

は1時間に50分以上遮断する状態で、周辺道路は慢性的な交通渋滞が生じていた。

本事業では、これらの問題を解決するために、京王線柴崎駅付近から西調布駅付近間の約2.8kmと相模原線の調布駅から京王多摩川駅付近間の約0.9km、合計3.7kmの区間を地下化し、鉄道と道路とを連続立体交差化するものである。

これにより、国領駅、布田駅、調布駅の3駅が地下駅となり、18か所の踏切が除却されるとともに、8か所の都市計画道路の立体化が図られ、交通の円滑化および鉄道によって隔てられていた地域の一体化、活性化に寄与するものである。

本事業では図-1に示すように、開削工法とシールド工法にてトンネルを構築した。

本稿では平成24年8月18日の終電後に実施した地下化切替え工事のうち、地上との取付け部の工事について報告するものである。

2 工事概要

地下線への切替え工事は、京王線の柴崎方と西調布方、相模原線の京王多摩川方の3か所において地上線路から地下線路へ取付ける工事を行った。鉄道線路の切替えは仮線方式で行われるのが一般的であるが、今回の切替え箇所は仮線用地を確保することが困難なことから、各切替え箇所の現場条件に合わせて「クレーン撤去」「工事桁吊上」「工事桁降下」の3つの工法を組合わせて線路直下切替え工法を採用した。

2-1 京王線柴崎方取付け部工事概要

柴崎方取付け部では、地下化切替え区間260mを油圧ジャッキにより

工事桁を降下させる「工事桁降下区間」、軌道脇の道路にクレーンを設置し工事桁を撤去する「クレーン撤去区間」および現軌道を計画の軌道高さまで降下する「軌道下路区間」に分割し、地下化切替え工事を行う計画とした(表-1、図-2)。

表-1 柴崎方切替え概要表

	桁延長	降下量・撤去ピース	桁重量	使用設備
降下区間	L=30.0m	降下量 262~790mm	48.4t	トラニオンジャッキ 12台
				センターホールジャッキ 12台
				電動ポンプユニット 1台
撤去区間	L=185.0m	縦桁 56連	202.4t	50tラフタークレーン 5台
		横桁 58本	55.9t	60tラフタークレーン 5台
		支持杭 58基	78.3t	

表-2 西調布方切替え概要表

	ブロック(桁延長)	扛上量・撤去ピース	桁重量	使用設備					
扛上区間	Aブロック (L=48.0m)	扛上量 2,476~2,501mm	127.7t	35tセンターホールジャッキ 18台					
				電動ポンプユニット 18台					
				Bブロック (L=48.3m)	扛上量 2,508~4,163mm	124.7t	35tセンターホールジャッキ 18台		
撤去区間	Cブロック (L=42.3m)	扛上量 4,187~5,040mm	101.6t	電動ポンプユニット 18台					
				Dブロック (L=36.0m)	横桁 8本	31.2t	30tラフタークレーン 4台		
				Eブロック (L=23.7m)	縦桁 12本	51.2t			

表-3 京王多摩川方切替え概要表

	ブロック(桁延長)	扛上量・撤去ピース	桁重量	使用設備		
扛上区間	A-1ブロック (L=42.5m)	扛上量 3,017~3,066mm	102.7t	80tセンターホールジャッキ 16台		
				電動ポンプユニット 4台		
				A-2ブロック (L=41.5m)	扛上量 3,066~4,258mm	100.3t
撤去区間	L=28.35m	横桁 5本	11.4t	電動ポンプユニット 4台		
				縦桁 10本	23.4t	80tセンターホールジャッキ 20台
降下区間	L=34.2m	降下量 299~993mm	43.7t	16tラフタークレーン 6台		
				トラニオンジャッキ 14台		
				センターホールジャッキ 14台		
				電動ポンプユニット 14台		

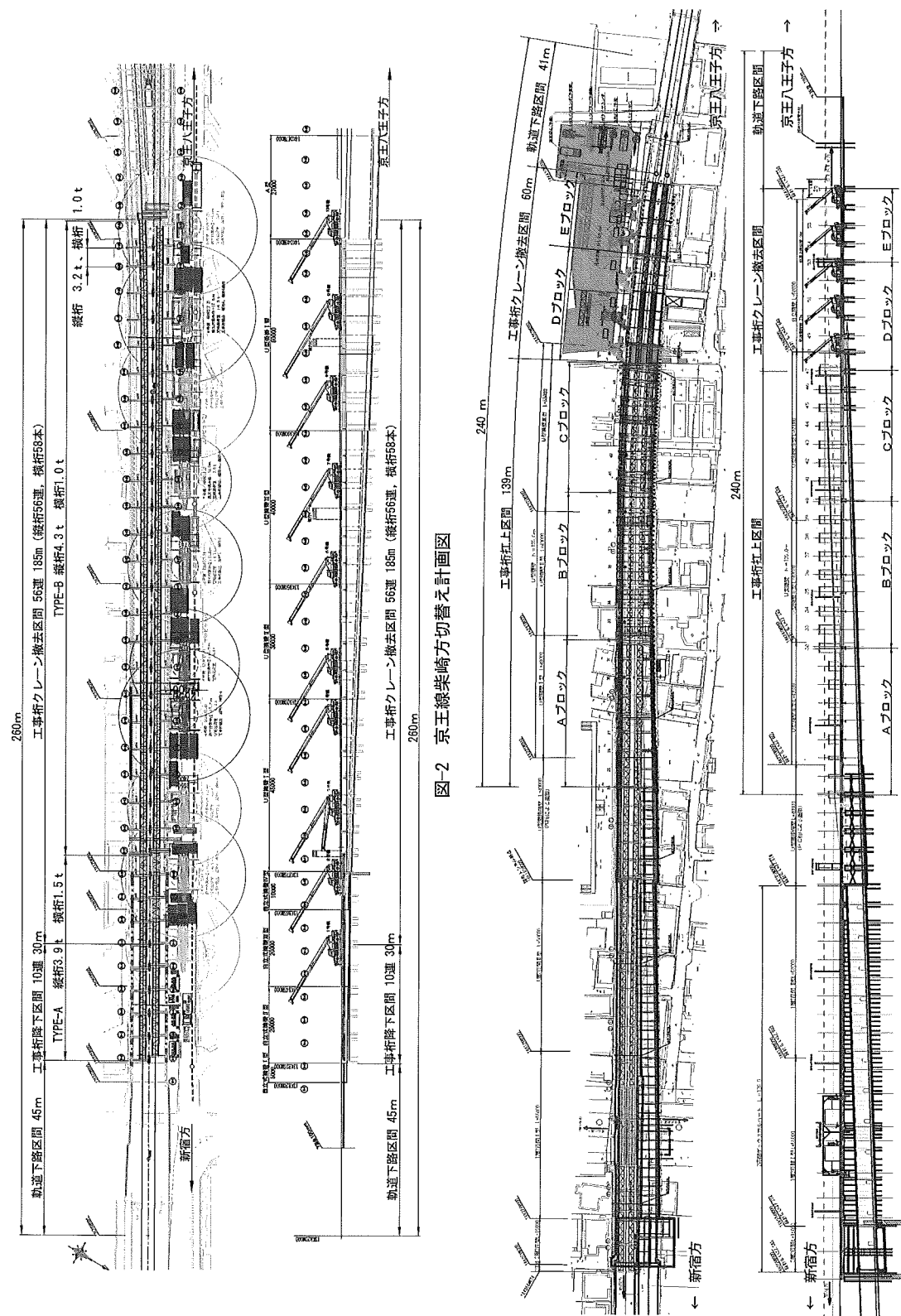


図-2 京王線柴崎方切替え計画図

図-3 京王線西調布方切替え計画図

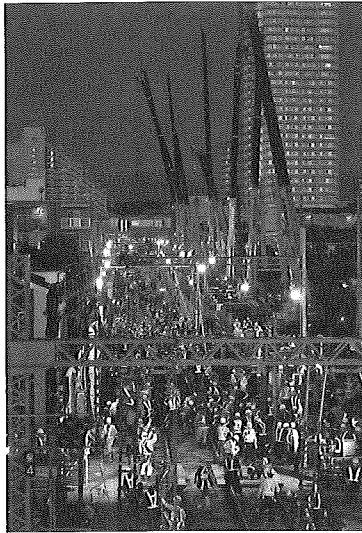


写真-4 工事桁撤去施工状況

線路閉鎖に備えた。

24時57分の線路閉鎖確認後、工事桁固定ボルトの撤去、レール切断の準備作業を開始し、1時20分の信号作業による踏切ケーブル撤去完了合図後、レール切断作業を開始した。

各工区の切替え工事は表-4の地下化切替え時間工程のとおり進行し、8時13分から試運転列車、ATC測定列車などの運転を行い、営業列車運転開始予定時刻の10時よりも早い9時30分に営業列車を無事迎えることができた。

5 ま と め

2004年に工事着手し、約8年間にわたり工事を行ってきたが、関係する皆様のご指導、ご協力の

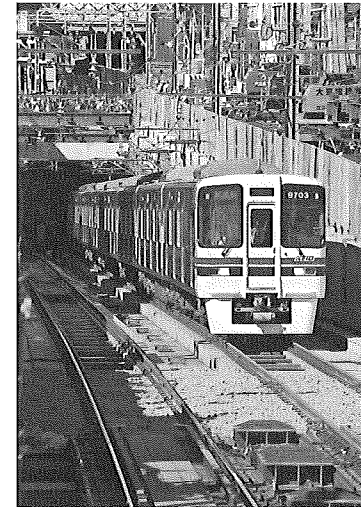


写真-5 地下化切替え完了

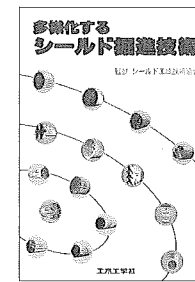
もと、このたび無事に地下化開業を迎えることができた。この場をお借りしお礼申し上げたい。

地下化開業により事業区間の18か所の踏切が解消されるとともに、京王線と相模原線の平面交差が解消され列車運行がスムーズになり、また、ホームの幅員が広がり各駅にホームドアが設置されるなど、列車運行の安定性、安全性の向上にもつながっている。

今後は、既存の鉄道施設の撤去や駅舎の本設化工事など、事業竣工に向け工事を進めていく。そうしたなかでは、地下化により生み出された都市空間を有効に活用し、駅前広場や周辺の道路整備などの街づくり事業と一体となり、沿線地域の発展に貢献していきたい。

表-4 地下化切替え時間工程

	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9
工事桁撤去区間	準備工	作業帯設置(クレーン撤去材料搬出終了まで)				作業帯撤去完了14時								
撤去工事	クレーン搬入・据付	ボルト撤去・レール切断				工事桁撤去				工事桁搬出1(3時30分搬出完了)				
電力工事					架線撤去			架線復旧	架線調整					
信号工事					踏切カット			レールボンド復旧	軌道回路調整・試験					
工事桁扛上区間	準備工					桁受設置								
降下工事		ボルト撤去・レール切断 扛上				降下	PCより線撤去							
電力工事					架線撤去			架線復旧	架線調整					
信号工事					踏切カット			レールボンド復旧	軌道回路調整・試験					
工事桁降下区間	準備工				サンドル撤去・降下									
扛上工事					レール切断	高さ調整								
軌道工事								レール復旧						
電力工事					架線撤去			架線復旧	架線調整					
信号工事					踏切カット			レールボンド復旧	軌道回路調整・試験					
<p>上り終電 24:13 下り終電 24:45 上り試運転列車 08:02 下り試運転列車 08:28</p> <p>き電停止 01:18 線路閉鎖 24:57 き電停止解除 07:00</p>														



多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会
B5判 141頁 本体価格2,500円

本書は、「トンネルと地下」に約1年間にわたり連載した『多様化するシールド掘進技術』をベースとして、掲載しなかった工法、技術などを整理、体系化するとともに、各種工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点が、よりわかりやすいように手を加え再度同名の図書としてシールド工法技術協会が監修を行ったものである。

【掲載工法】

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

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

トンネルジャーナル

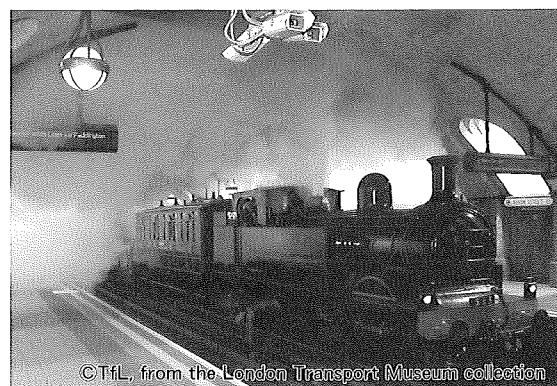
ロンドン地下鉄開業150周年

世界最古の地下鉄・ロンドン地下鉄が2013年1月9日に開業150周年を迎えた。これを祝ってロンドン交通博物館(London Transport Museum)では、1年にわたり各種の記念行事を行ってゆく。

ロンドン地下鉄は当初、私設のメトロポリタン鉄道により、当時の主要鉄道ターミナルであったパディントン、ユーストン、キングズクロスの各駅とビジネス街を結ぶ約5kmの路線として設置された。明治維新の始まる4年前である1863年1月9日の午後1時、パディントン駅を世界初の地下鉄がファリンドン駅に向けて発車し、「鉄道界が成し遂げた驚嘆すべき土木事業」として賞賛された。

150周年記念行事として、1月13日と20日には、メトロポリタン鉄道で使用された1898年製の1号蒸気機関車が、現存する最古の客車である353号記念客車を引いて、開業当時の路線を走行した。今後はメトロポリタン鉄道で用いられた電気機関車による運行も予定されている。

その他、ロンドン交通博物館では、2月15日から



© TfL, from the London Transport Museum collection

昨年12月に行われた1号機関車の試運転の様子

10月27日まで、ロンドン地下鉄構内の壁を飾った1908年から現在に至るまでのポスターの中から、デザインに優れた150のポスターを展示し、来場者の人気投票により最高の一枚を決める催しを行うほか、博物館の倉庫の公開や、廃駅となっているAldwych駅での地下鉄150年の歴史をテーマにした演劇などが企画されている。

土木学会が100周年記念事業を発表

土木学会は2月4日、同会が、2014年11月24日に創立100周年を迎えるにあたり、時代の変化のなかで、これからの土木が何をビジョンとし、何をなすべきかを考えるための「100周年事業」を展開してゆくとし、事業の基本方針と実施事業を発表した。

事業は、「豊かなくらしの礎を これまでも、これからも」をキャッチフレーズとして掲げ、「社会貢献」「国際貢献」「市民交流」を3本の柱としておこなわれる。「社会貢献」のなかでも、とくに「社会安全」に焦点をあて、事業のなかでも重点的に実施してゆくとしている。

社会安全では、津波・高潮に対する避難行動を想起しやすい水位標識などを、市民・自治体などと協力して設置するプロジェクトのほか、巨大災害時に各工学分野が連携して対応できるよう同学会が世話役となり工学連携ネットワークの構築に乗り出す。

国際貢献では、今年1月に土木学会英文論文集を発刊したほか、来年には100周年記念国際会議や、アジア若手技術者・研究者のワークショップの開催



土木学会100周年事業ロゴ

などを予定している。

また、市民交流事業では、「市民普請大賞」を創設して、地域の環境保全や防災まちづくりを応援してゆくほか、土木にかかわる市民活動を土木学会に登録することで、活動の広報の支援や資金援助を行うものとしている。

同学会は、1879年に創立された工学会を母体として、1914年11月24日に独立。初代会長・古市公威氏のもと443人の会員とともに創立された。現在、学生会員を含めた土木学会に所属する個人会員は約36,000人を数える。

研究

高速道路2車線トンネルにおける高規格支保構造の標準化

(株)高速道路総合技術研究所トンネル研究室室長 岩尾 哲也
(株)高速道路総合技術研究所トンネル研究室研究員 中田 主税

1 はじめに

高速道路2車線トンネルの支保構造は、従来に比べ高強度の支保部材を採用し、支保構造の安定性を確保したうえで支保部材の合理化を図った高規格支保パターンが標準となっている。しかし、トンネル一般部の鋼アーチ支保工は、従来鋼(NH-125, NH-150)に対応する高規格鋼の製作実績がなく、品質などの性能が確認されていなかったこと、H形鋼断面図を小さくすることにより地山の不安定化が懸念されるなどの理由により、高規格鋼の採用に至っていなかった。

本研究は、高規格支保構造の更なる合理化を目的として、高規格鋼の一般部への適用について室内試験と試験施工を行い、構造安定性及び施工性を

検証し、高速道路2車線トンネルにおける新たな高規格支保パターンを提案するものである。

2 高規格支保パターンの概要と課題

2-1 高規格支保パターンの概要

高規格支保パターンは、従来支保に比べ高強度の支保部材を採用し、支保部材の薄肉化やロック

表-1 支保部材の比較

支保部材の仕様	従来支保	高規格支保
吹付けコンクリート (設計基準強度:材齢28日)	18N/mm ²	36N/mm ²
ロックボルト(降伏耐力)	110kN, 170kN	170kN, 290kN
鋼アーチ支保工 (規格, 降伏応力)	NH-200 (SS400) ($\geq 245\text{N/mm}^2$)	HH-154 (HT590/SS540) ($\geq 440\text{N/mm}^2$)

従来鋼: NH, 高規格鋼: HH

表-2 従来支保パターンと現行高規格支保パターンの比較(下線部が変更箇所)

地山等級	支保パターン	標準1掘進長(m)	ロックボルト					吹付けコンクリート (36N/mm ²)	鋼アーチ支保工		
			長さ(m)	耐力(kN)	施工間隔(m)		施工範囲		厚さ(cm)	上半サイズ	下半サイズ
					周方向	延長方向					
B	B-a	2.0	3.0	110⇒ <u>170</u>	1.5⇒ <u>2.0</u>	2.0	上半120°	5	—	—	
C I	C I-a	1.5	3.0	110⇒ <u>170</u>	1.5⇒ <u>2.0</u>	1.5	上半	10⇒ <u>7</u>	—	—	
C II	C II-a	1.2	3.0	110⇒ <u>170</u>	1.5⇒ <u>1.8</u>	1.2	上下半	10⇒ <u>7</u>	—	—	
	C II-b				1.5⇒ <u>1.8</u>				NH-125	—	
D I	D I-a	1.0	3.0	170⇒ <u>290</u>	1.2⇒ <u>1.8</u>	1.0	上下半	15⇒ <u>10</u>	NH-125	NH-125	
	D I-b								1.0	4.0	—
D II	D II-a	1.0以下	4.0	170⇒ <u>290</u>	1.2⇒ <u>1.8</u>	1.0以下	上下半	20⇒ <u>15</u>	NH-150	NH-150	
—	D IIIa	1.0	4.0	170	1.2	1.0	上半側壁付近	25⇒ <u>20</u>	NH-200⇒ HH-154	NH-200⇒ HH-154	

ボルト本数の低減、掘削断面の縮小、サイクルタイムの短縮など効率化を図ったものである。

従来支保と高規格支保の支保部材の比較を表-1に、支保パターンの比較を表-2に示す。

吹付けコンクリート(以下、「吹付け」という)は、設計基準強度36N/mm²の高強度吹付けを採用することで、吹付け厚さを3割程度低減し、施工性の向上を図った。また、従来吹付けに比べ強度発現が早く、掘削時の周辺地山の緩みの抑制効果が期待できる。

ロックボルトは、設計耐力を1ランクアップし、断面あたりで内圧を同等以上とし、安全を考慮したうえで周方向間隔を広げ本数の低減を図った。

鋼アーチ支保工は、坑口部などの小土かぶり区間(DⅢ区間)について、従来鋼(NH-200)と軸方向降伏曲げモーメントが同等程度で、大断面トンネルでの施工実績がある高規格鋼(HH-154)を採用し、施工性の向上を図っている。

2-2 高規格支保パターンの課題

トンネル一般部の鋼アーチ支保工を用いる高規格支保パターンでは、吹付けの厚さが低減された

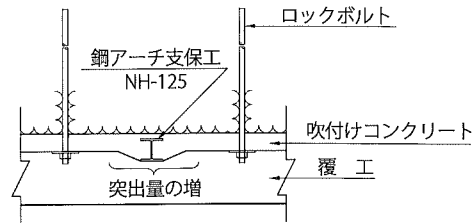


図-1 鋼アーチ支保工の突出の概念図

ことで、図-1に示すとおり鋼アーチ支保工の突出量が従来に比べ大きくなり、吹付けの施工性が低下していた。

また、覆工としても、部材が均一な厚さの方が構造上望ましいと考えられる。

そこで、鋼アーチ支保工の突出量を低減し、覆工の品質向上、施工性の向上、コスト削減を図ることを目的に、高規格支保構造の更なる合理化の検討を行った。

3 高規格鋼アーチ支保工の仕様

3-1 高規格鋼の材質

NEXCO 3社が建設する高速道路2車線トンネルに用いる鋼アーチ支保工の材料仕様を表-3に示す。

一般的に、鋼材を高強度化すると破断までの伸び率が小さくなる傾向にあり、破断伸びが小さい場合は支保構造の急激な変形および破壊を招く可能性が考えられる。そのため、鋼アーチ支保工に用いる高規格鋼の材質は、従来鋼(SS400)の伸び率と同一としたもので、JISで規定されているSS540の仕様をもとに、引張り強さ590N/mm²以上にし、冷間加工後の破断伸び率を17%以上になるよ

表-3 鋼アーチ支保工の材料仕様

	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	破断伸び (%)	炭素当量 C _{eq}
高規格鋼(HH)	≥440	≥590	≥17	≤0.47
従来鋼(NH)	≥245	400~510	≥17	—

表-4 鋼アーチ支保工の規格・寸法

鋼種	寸法 (mm)	断面積 (cm ²)	単位質量 (kg/m)	断面係数 (cm ³)		Z _x /Z _y	断面二次モーメント (cm ⁴)		降伏軸力 (kN)	軸方向降伏 曲げモーメント (kN)	冷間加工最 小曲げ半径 の目安(m)
				Z _x	Z _y		I _x	I _y			
高規格鋼	HH-200×201×9×12	65.53	51.4	478	162	3.0	4,782	1,626	2,883	210	4.5
従来鋼	NH-250×250×9×14	91.43	71.8	860	292	2.9	10,700	3,650	2,240	211	5.5
高規格鋼	HH-154×151×8×12	47.19	37.0	260	91.3	2.8	2,000	689	2,076	114	3.5
従来鋼	NH-200×200×8×12	63.53	49.9	472	160	3.0	4,720	1,600	1,556	116	4.5
高規格鋼	HH-108×104×10×12	33.91	26.6	118	43.5	2.7	636	226	1,492	52	2.5
従来鋼	NH-150×150×7×10	39.65	31.1	216	75.1	2.9	1,620	563	971	53	2.0
高規格鋼	HH-100×100×6×8	21.59	16.9	75.6	26.7	2.8	378	134	950	33	1.3
従来鋼	NH-125×125×6.5×9	30.00	23.6	134	46.9	2.8	839	293	735	33	1.5

うに設定している。

3-2 高規格鋼アーチ支保工の規格・寸法

従来鋼と高規格鋼を対比した鋼アーチ支保工の規格・寸法を表-4に示す。高規格鋼の寸法は、対応する従来鋼と比較し、降伏軸力や軸方向降伏曲げモーメントが同等程度となる寸法とし、一般部に採用する高規格鋼アーチ支保工は、NH-125に対してHH-100、NH-150に対してHH-108を用いることとした。これにより、一般部の鋼アーチ支保工の断面サイズは25~42mm低減され、支保工1基あたりの質量は3割程度の軽量化が図れることになる。

高規格鋼は従来鋼に比べ断面サイズを低減させるため、剛性が低下する。そのため、地山の変形が増加しトンネルの安定性に影響を及ぼすことが懸念された。

しかし、高規格支保パターンは従来支保パターンに比べ、高強度吹付けの初期強度発現性による周辺地山の緩み抑制効果が高く、また、FEM解析や2車線トンネルの坑口部および3車線トンネルではあるが新東名・新名神トンネルなどの施工実績から、高規格鋼アーチ支保工の支保剛性の低下による地山の変形量や支保工応力の増大など、トンネルの不安定化につながる影響はないと判断した。

4 高規格鋼アーチ支保工の室内試験

高規格鋼アーチ支保工のHH-100およびHH-108は、これまで製作実績がなかったため、製作工場における材料試験、曲げ加工を行い、高規格鋼の性能を確認した。

その結果、機械的性質に関して、降伏点(N/mm²): 563≥440, 引張強さ(N/mm²): 653≥590, 破断伸び(%): 19>17の試験結果が得られ、規格値を満足することが確認できた。また、曲げ加工前後の形状・寸法は、JIS規格項目(ウェブ高, フランジ幅, ウェブ反り, 反り, 曲がり, フランジ折れ, 直角度, 長さ, 並行度)の許容値内に収まっていることを確認した。

5 試験施工

5-1 試験施工の概要

高規格鋼アーチ支保工を適用した場合の支保構造の安定性および施工性を検証するため、現地トンネルにおいて試験施工を実施した。

試験施工は、地山状況や土かぶりが同程度と想定される区間を設けて、従来鋼と高規格鋼で順次10~20m程度の施工を行い、施工状況や計測データを比較し検討を行った。

対象とした掘削支保パターンは、表-5に示すと

表-5 試験施工概要一覧

番号	支保 パターン	支保パターン			区分	施工延長
		ロックボルト	吹付けコンクリート	鋼アーチ支保工		
①	CⅡ-b	長さ : 3.0m 周方向打設間 : 1.8m 耐力 : 170kN	厚さ : 7cm 設計基準強度 : 36N/mm ²	従来鋼 : NH-125	従来鋼	20.4m
				高規格鋼 : HH-100	高規格鋼	40.8m
②	CⅡ-b	長さ : 3.0m 周方向打設間 : 1.8m 耐力 : 170kN	厚さ : 7cm 設計基準強度 : 36N/mm ²	従来鋼 : NH-125	従来鋼	28.0m
				高規格鋼 : HH-100	高規格鋼	30.0m
③	DⅠ-b	長さ : 4.0m 周方向打設間 : 1.8m 耐力 : 290kN	厚さ : 10cm 設計基準強度 : 36N/mm ²	従来鋼 : NH-125	従来鋼	13.0m
				高規格鋼 : HH-100	高規格鋼	11.0m
④	DⅠ-b	長さ : 4.0m 周方向打設間 : 1.8m 耐力 : 290kN	厚さ : 10cm 設計基準強度 : 36N/mm ²	従来鋼 : NH-125	従来鋼	13.0m
				高規格鋼 : HH-100	高規格鋼	11.0m
⑤	CⅡ-L	長さ : 4.0m 周方向打設間 : 1.6m 耐力 : 290kN	厚さ : 10cm 設計基準強度 : 36N/mm ²	従来鋼 : NH-150	従来鋼	21.4m
				高規格鋼 : HH-108	高規格鋼	10.6m

おり現行の高規格支保パターンをもとに、一般部の標準断面ではNH-125とHH-100を比較するCII-bとDI-bの支保パターンを、非常駐車帯断面ではNH-150とHH-108を比較するCII-Lの支保パターンとした。

支保構造の安定性を確認するため、計測工A(天端沈下量、内空変位量)を5m間隔で、計測工B(ロックボルト軸力、吹付け応力、鋼アーチ支保工応力、地中変位量)をそれぞれの区間の中央付近に設置し計測を行った。

5-2 試験施工結果

(1) 切羽状況

試験施工区間の切羽状況などを表-6に示す。切羽状況および切羽評価点から、各掘削支保パターンにおける試験施工区間の選定は妥当であると判断できる。

(2) 計測結果

試験施工の計測結果を表-7に示す。

まず、計測工Aの変位収束値を比較すると、従来鋼区間および高規格鋼区間とも全体的に小さな値を示し、変位量の差は2mm程度とほぼ同様の値であり、いずれも現場管理レベルI以内に収まっている。

次に、計測工Bの結果を比較すると、鋼アーチ支保工応力は、多少のばらつきは見られるものの、いずれも現場管理レベルI以内に収まっており、降伏応力に対しては、高規格鋼の方が余裕がある

傾向となっている。また、吹付けおよびロックボルトの発生応力については、両区間とも同程度であり、鋼アーチ支保工の違いによる影響は見られなかった。

高規格鋼アーチ支保工を用いた支保構造としては、変形量および変形モードに大きな違いはなく、また、各支保部材の耐力にも余裕があることから、安定性は確保されていることが確認できた。

(3) 支保部材の換算内圧と分担比率

支保構造の評価の目安として、計測工Bの計測データから各支保部材に生じている応力を作用内圧とし、軸力モデルとして支保換算内圧を施工段階ごとに算出した。支保換算内圧の算定は、各支保部材の受ける1掘進長あたりの平均内圧を算出し、全体を100として各支保部材内圧の比率を算出するものである。

本稿では、「③DI-bパターン」の高規格鋼と従来鋼の施工段階ごとの換算部材内圧と部材内圧の分担比率を図-2に示す。

支保部材の分担率に関して、従来鋼区間および高規格鋼区間ともに経時変化の傾向は同様であり、鋼アーチ支保工の違いによるロックボルトおよび吹付けの分担率が変化するなどの顕著な影響は見られなかった。

(4) 施工性

HH-100は、より部材厚が薄く軽量なため、試験施工の初期段階では、鋼アーチ支保工の建込み

表-6 試験施工区間の切羽状況など

番号	支保パターン	地質	土かぶり(m)	切羽評価点	切羽状況
①	CII-b	凝灰角礫岩	84	44.0	切羽全体が凝灰角礫岩であり、切羽上部には、10~40cm程度の玉石が不均等に分布。切羽は湧水もなく安定している。
			81	44.0	
②	CII-b	砂質片岩	52	43.3	切羽全体が砂質片岩であり、左肩から右中央にかけて破砕層あり。亀裂間隔5~20cm程度で比較的硬質。湧水による劣化は見られない。
			72	47.5	
③	DI-b	泥質片岩	24	30.0	天端から右側は亀裂が5cm以下で部分的に破砕されている。ブレーカー打撃により亀裂より崩れ落ちる。左側は流れ目で、亀裂面から滑り崩れる。
			26	30.0	
④	DI-b	泥質片岩	27	26.0	切羽全体が泥質片岩であり、切羽中央から左側にかけて亀裂に沿って変色と強度低下が見られる。亀裂間隔5cm程度で、部分的に粘土を挟む。
			29	29.5	
⑤	CII-L	砂質片岩	59	47.0	砂質片岩は、亀裂間隔が5~10cm程度で、右肩部では亀裂が少なく非常に硬質である。左肩部には泥質片岩が見られ、部分的に破砕されている。
			59	45.8	

※CII-bパターン支保選定の目安 35~50点、DI-bパターン支保選定の目安 ~30点

表-7 試験施工の計測結果一覧

番号	支保パターン	区分	計測工A(管理レベル) -:沈下, 縮小, +:隆起, 拡大						計測工B(管理レベル) +:引張, -:圧縮								
			天端沈下(mm)			上半水平内空変位(mm)			ロックボルト(kN)			吹付けコンクリート(N/mm ²)			鋼アーチ支保工 [※] (N/mm ²)		
		現場管理値															
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	
①	CII-b	現場管理値	-4	-7	-11	-7	-14	-21	85	136	170	-18	-30	-36	-123	-196	-245
		従来鋼	-2.3 I(-4mm)以下			-2.5 I(-7mm)以下			7.3~12.9 I(85kN)以下			-2.4~-0.5 I(-18N/mm ²)以下			-19.7~-8.1 I(-123N/mm ²)以下		
		高規格鋼	-2.4 I(-4mm)以下			-2.2 I(-7mm)以下			5.0~13.3 I(85kN)以下			-2.9~-1.7 I(-18N/mm ²)以下			-55.8~-19.9 I(-220N/mm ²)以下		
		現場管理値	-9	-15	-18	-18	-27	-36	85	136	170	-18	-30	-36	-123	-196	-245
②	CII-b	現場管理値	-9	-15	-18	-18	-27	-36	85	136	170	-18	-30	-36	-123	-196	-245
		従来鋼	-4.2 I(-9mm)以下			-4.5 I(-18mm)以下			5.0~29.2 I(85kN)以下			-0.9~-0.4 I(-9N/mm ²)以下			-37.3~-15.7 I(-123N/mm ²)以下		
		高規格鋼	-2.5 I(-9mm)以下			-4.2 I(-18mm)以下			5.5~15.9 I(85kN)以下			0.8~1.7 I(-18N/mm ²)以下			-59.7~-54.9 I(-220N/mm ²)以下		
		現場管理値	-11	-17	-22	-22	-33	-44	145	232	290	-18	-30	-36	-123	-196	-245
③	DI	現場管理値	-11	-17	-22	-22	-33	-44	145	232	290	-18	-30	-36	-123	-196	-245
		従来鋼	-5.4 I(-11mm)以下			-6.3 I(-22mm)以下			2.7~47.3 I(145kN)以下			-4.0~-1.9 I(-18N/mm ²)以下			-81.8~-42.0 I(-123N/mm ²)以下		
		高規格鋼	-7.9 I(-11mm)以下			-7.0 I(-22mm)以下			7.7~39.1 I(145kN)以下			-4.2~-3.3 I(-18N/mm ²)以下			-73.3~-65.6 I(-220N/mm ²)以下		
		現場管理値	-11	-17	-22	-22	-33	-44	145	232	290	-18	-30	-36	-123	-196	-245
④	DI	現場管理値	-11	-17	-22	-22	-33	-44	145	232	290	-18	-30	-36	-123	-196	-245
		従来鋼	-8.5 I(-11mm)以下			-7.4 I(-22mm)以下			28.7~54.8 I(145kN)以下			-4.4~-2.2 I(-18N/mm ²)以下			-76.3~-53.8 I(-123N/mm ²)以下		
		高規格鋼	-9.3 I(-11mm)以下			-9.3 I(-22mm)以下			10.1~52.6 I(145kN)以下			-7.6~-1.8 I(-18N/mm ²)以下			-92.3~-50.1 I(-220N/mm ²)以下		
		現場管理値	-9	-15	-18	-18	-27	-36	145	232	290	-18	-30	-36	-123	-196	-245
⑤	CII-L	現場管理値	-9	-15	-18	-18	-27	-36	145	232	290	-18	-30	-36	-123	-196	-245
		従来鋼	-2.6 I(-9mm)以下			-4.5 I(-18mm)以下			-15.8~11.9 I(145kN)以下			-2.1~-0.8 I(-18N/mm ²)以下			-21.8~-0.8 I(-123N/mm ²)以下		
		高規格鋼	-5.1 I(-9mm)以下			-6.8 I(-18mm)以下			-8.0~16.9 I(145kN)以下			-2.8~-0.9 I(-18N/mm ²)以下			-42.1~-28.2 I(-220N/mm ²)以下		
		現場管理値	-9	-15	-18	-18	-27	-36	145	232	290	-18	-30	-36	-123	-196	-245

※現場管理値の上段：従来鋼，下段：高規格鋼

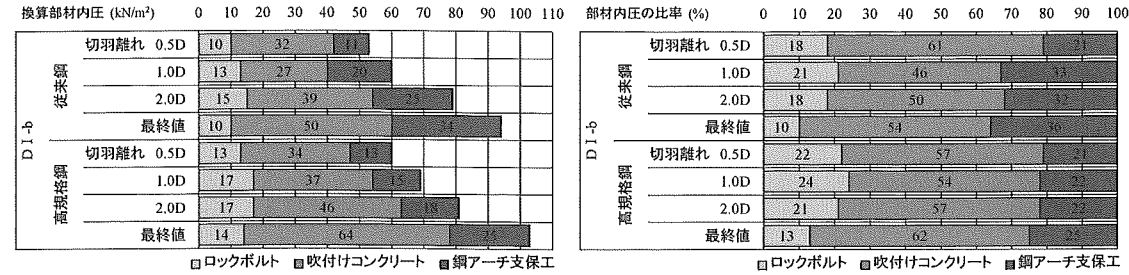


図-2 計測値の換算内圧と各支保部材の分担比率

作業時にややふらつきが見られたが、施工の慣れとともに解消され、問題なく施工できることが確認できた。

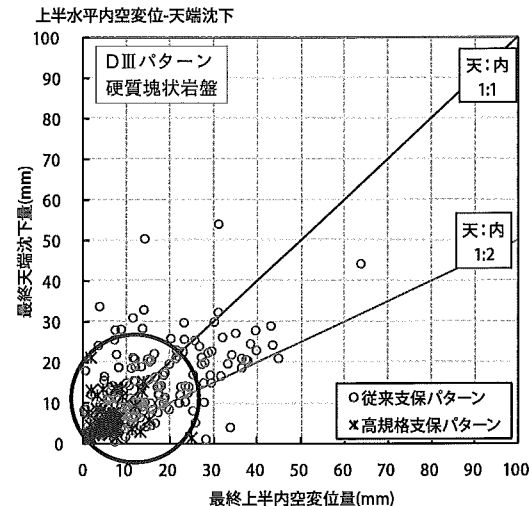
また、施工者に対するヒアリング調査では、据付けなどは鋼アーチ支保工が軽量化されるため取扱いやすいといった意見や、従来鋼と比較して突出量が軽減されるため、吹付けの仕上げは良好になるといった意見があり、施工性についてはおおむね良好であることが確認できた。

6 高規格支保と従来支保の変位データ分析

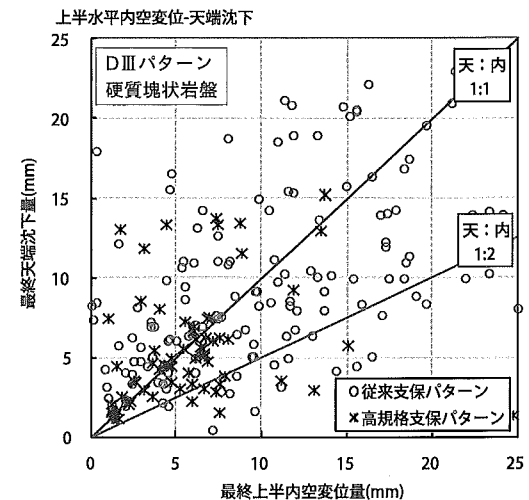
坑口部などの小土かぶり区間(DⅢ区間)では、既に高規格鋼アーチ支保工を適用した高規格支保パターンが採用されていることから、これまでNEXCO 3社で収集しているDⅢ区間の従来支保と高規格支保の天端沈下と上半内空変位の関係について整理した。

なお、NEXCO 3社では、地山の分類や切羽評価は4つの岩石グループに分けており、本報告では、高規格支保での施工実績データが得られた硬質塊状岩盤グループ(従来支保192断面、高規格支保75断面)および中硬質軟質塊状岩盤グループ(従来支保300断面、高規格支保12断面)について比較した。

図-3, 4に示すとおり、従来支保に比べ高規格支保の方が比較的変位量が小さい傾向となっている。これは、高規格支保に用いている高強度吹付けが、3時間強度で2 N/mm²以上と初期強度が高く、従来支保に比べ地山の緩み抑制効果が高いため、変位が抑制されたと考えられる。また、高規格鋼アーチ支保工の支保剛性の低下によるたわみの影響に



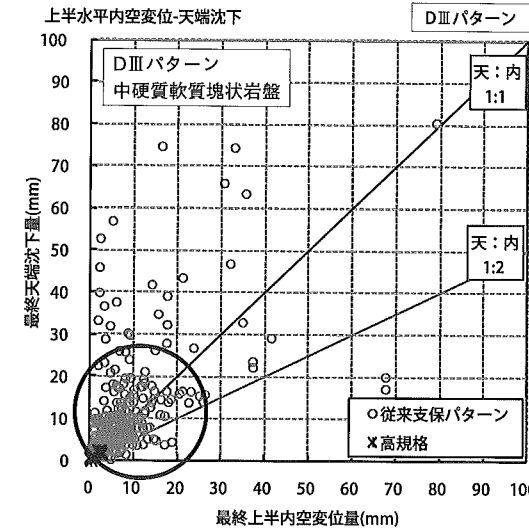
(1) 全体



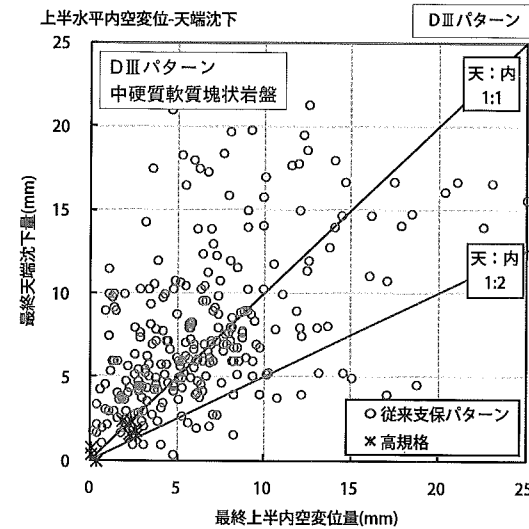
(2) 囲み部拡大

図-3 DⅢパターン(硬質塊状)での天端沈下と上半内空変位の関係

については、天端沈下が卓越するなどの影響も見受けられず、支保構造としての安定性は確保できていると判断できる。



(1) 全体



(2) 囲み部拡大

図-4 DⅢパターン(中硬質軟質塊状)での天端沈下と上半内空変位の関係

認められた。また、施工性についても高規格鋼にしたことによりサイズダウンが図られ、従来鋼と比較して突出量が低減され、吹付けの仕上げが良好になるとともに、軽量化のため施工性の向上にもつながることが確認された。さらに、サイズダウンにより単位長さあたりの質量が減少するため、鋼アーチ支保工1基あたりのコスト削減が見込める。

8 おわりに

高規格支保構造の更なる合理化を目的として、高規格鋼アーチ支保工の一般部への適用性を検証し、適用が可能であるという結果が得られた。これにより、高強度吹付けとロックボルトの高耐力化に加え、高規格鋼アーチ支保工を標準採用することで、すべての支保部材を高規格化し、従来支保パターンに比べより合理化された「高速道路2車線トンネルの高規格支保パターン」を構築できたと考えている。また、これらの結果をもって、平成24年7月にはNEXCO 3会社の2車線トンネルの標準支保パターンが改訂された。

今後は、高規格鋼を用いた高規格支保パターンが現地展開されたあとのフォローアップとして、数多くの施工データを収集・分析し、支保構造の評価を行っていく予定である。

最後に、本検討に際して試験施工をご協力いただいた西日本高速道路(株)福岡工事事務所、中津工事事務所の関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 東日本高速道路・中日本高速道路・西日本高速道路：設計要領第三集，トンネル本体工建設編，2012。
- 2) 東日本高速道路・中日本高速道路・西日本高速道路：トンネル施工管理要領，2012。
- 3) 中田主税・岩尾哲也・小川澄：高速道路トンネルにおける高規格鋼アーチ支保工の標準化，トンネル工学報告集，Vol.22，pp.63-68，2012。
- 4) 中野清人・小川澄・清水雅之：二車線トンネルへの高規格支保部材の適用，トンネルと地下，Vol.41，No.7，pp.45-56，2010.7。
- 5) 小林隆幸・寺本哲・小門武・篠原雅樹：トンネル支保工の高規格化への取り組み，トンネルと地下，Vol.29，No.9，pp.49-56，1998.9。

7 まとめ

一般部に用いる高規格鋼アーチ支保工として、これまで製作実績のなかったHH-100とHH-108の材料試験や曲げ加工を行い、品質などの性能を確認することができた。

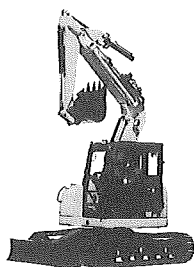
試験施工では、高規格鋼と従来鋼を適用したそれぞれの区間の内空変位および各支保部材の発生応力に大きな差異はなく、支保構造の安定性が確

工法・技術・製品ニュース

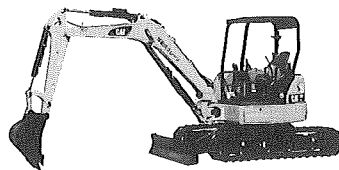
製品 後方超小旋回型/超小旋回型油圧ショベルのラインアップが充実



Cat® 314E CR



Cat® 308E SR



Cat® 305E CR

キャタピラー・ジャパン(株)広報室グループ
Tel 03-5717-1122
e-mail: ojl-public.oat.com

製品 国産最大級の AC 駆動式ダンプトラック発売



EH5000AC-3

日立建機(株)広報戦略室広報・IRグループ
Tel 03-3830-8065
http://www.hitachi-kenki.co.jp

キャタピラー・ジャパンは、各クラスの後方超小旋回型油圧ショベルおよび超小旋回型油圧ショベルを相次いで発売し、そのラインアップを拡充させた。

発売されたのは、小型クラスが、後方超小旋回型油圧ショベル2機種(Cat 314E CR(バケット容量0.45m³, 運転質量13.2t), Cat 314E LCR(同0.5m³, 14.4t)と超小旋回型油圧ショベル1機種(Cat 314E SR(同0.45m³, 14.7t))。

8tクラスが、後方超小旋回型油圧ショベルCat 308E CR(バケット容量0.28m³, 機械質量7.59t)と、超小旋回型油圧ショベルCat 308E SR(同0.28m³, 8.14t)。

また、ミニ油圧ショベルの新シリーズとして、後方超小旋回型ミニ油圧ショベル4機種(Cat 303.5E CR(同0.11m³, 3.495t), Cat 304E CR(同0.13m³, 3.725t), Cat 305E CR(同0.16m³, 4.595t), Cat 305.5E CR(同0.16m³, 4.845t))。

小型油圧ショベルは、いずれも最新の環境対応パワーユニットを搭載することで、排出ガスのクリーン化を実現し、オフロード法2011年基準

をクリアした。くわえて、従来機比で燃料消費量を、スタンダードモードを使用した場合には5~8%低減させエコノミーモードを用いるとさらに約12~13%低減することが可能で、「燃費低減型エンジン・油圧システム搭載油圧ショベル」としてNETIS登録を得た。

8tクラスの2機種は、オペレータ環境の改善や燃料コストの低減を図ってフルモデルチェンジがなされており、新たに採用された大画面フルグラフィックカラーモニタは、マシンチェックから各種設定、セキュリティ操作までを集約したマルチインフォメーション機能を搭載した。また、低燃費かつ高出力なCatエンジンを搭載するとともにエコノミーモードや自動デセルといった低燃費システムを装備した。国土交通省の低騒音方建設機械にも適合している。

ミニ油圧ショベルの4機種は、「Catミニ油圧ショベル『Eシリーズ』」として初導入となるもので、高い掘削力や広い作業範囲に加え、操作性の向上などにより作業効率を向上させた。また低燃費設計により燃料コストの圧縮に寄与する。

フトウェアを加えることで、走行モータに対する、きめ細かな速度とトルクの制御を実現した。

発進時、登坂時やステアリング時にも、制御システムが最適な電力を即座にモータへ出力することにより、滑らかでスピーディーな加速性能を実現した。降坂時には強力な電気ブレーキが作動。通常の減速操作では機械ブレーキを必要としないため、安定した減速性能が得られ、機械ブレーキの補修期間も延長できる。

連載講座

トンネル技術者のための地相入門(11)

—火山地形におけるトンネル工事—

「地相入門」連載講座小委員会

① はじめに

今回は火山地形と火山地形の一部である大規模なカルデラのカルデラ壁でトンネルを施工する際の問題点を解説する。なお火山周辺に広く分布する火砕流堆積物で覆われた台地については次回で取り上げる。

② 火山地形の特徴とトンネル工事

2-1 地形の特徴

日本は世界でも有数の火山国である。そのためトンネル工事で火山地形や火山地質に遭遇する機会が多い。図-1に日本の第四紀火山および広域的な火砕流堆積物の分布を示すが、国内には多くの火山が存在し、国土のかなりの部分が火山の影響範囲にある。

火山からの物質の放出の形態としては図-2に示すように、マグマが直接流出する溶岩流、火山灰・火山弾などの空中への放出と堆積(降下堆積物)、火山ガスと火山灰、火山礫などの混合物を流出する火砕流が主なものである。火山ではこのような活動がくり返され、火山体が成長する。またマグマの種類、噴火の様式によって形状や規模の違いが生じる。さらに火山は一方的に規模が拡大するだけでなく、火山体の大規模な崩壊や、噴火によ



図-1 日本の火山(▲)および火砕流堆積物(灰色)の分布¹⁾

て地下に空洞ができて火山体が陥没し、カルデラが形成されることもある。火山の形態・内部構造による分類を図-3に示す。

国内でもっとも多く規模も大きい火山形式は、富士山や浅間山などに代表される成層火山であり、基本的には中央火口を有し、噴火のくり返しにより溶岩流と火山砂礫、火山灰などが層状に重なりあっている。図-4に羊蹄山の地形図を示す。この好例のように成層火山は山頂火口を有し、同心円状の等高線を持つ円錐状の地形で広い裾野を持つ

ている。また中腹の斜面では放射状にガリー(雨裂)が形成されている。羊蹄山のように山頂火口と浅い放射谷に刻まれた平滑な斜面(火山原面と

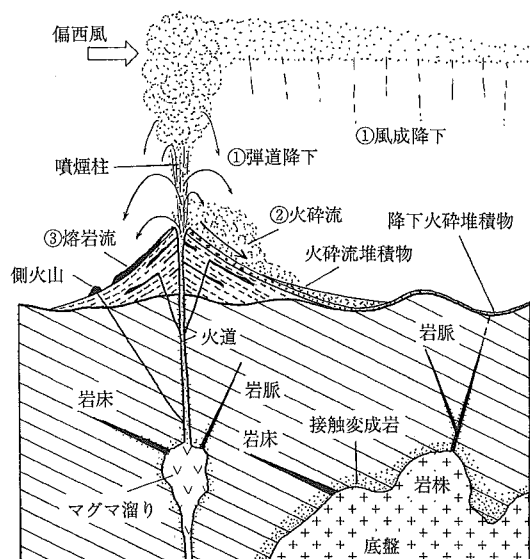


図-2 火山からの噴出物²⁾

いう)をもつ成層火山は比較的新しい年代の火山である。

新しい時代の火山では、固結した硬い岩石(溶岩)と固結度の低い地層(火山灰や火山礫などの火山砕屑物)が重なり合って不安定な地盤を構成し

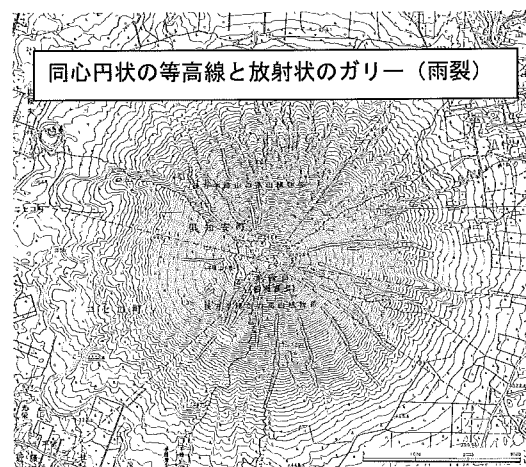
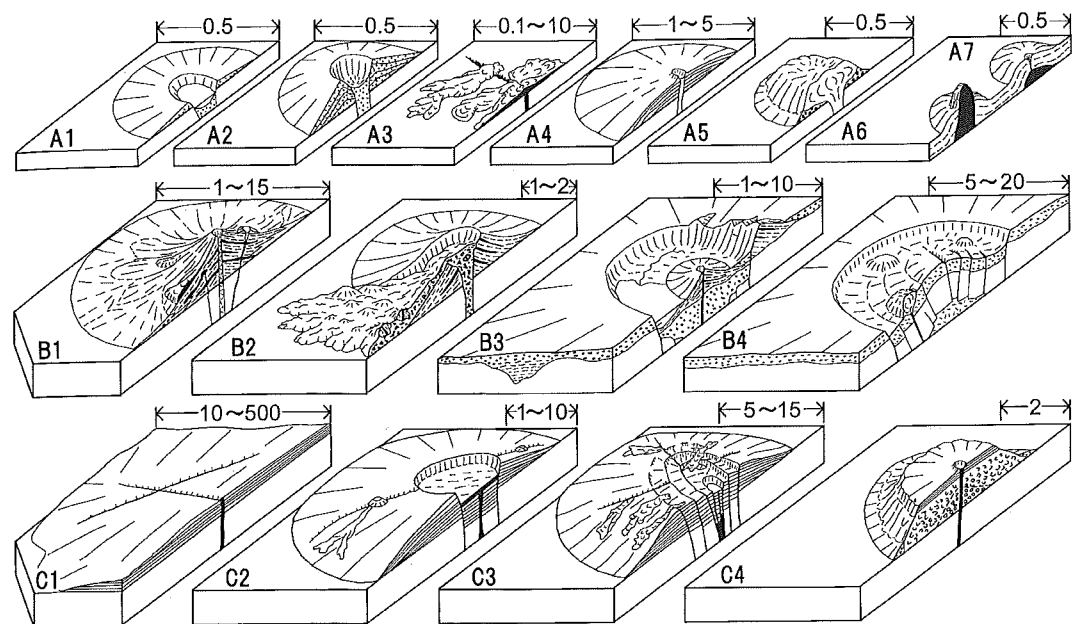


図-4 成層火山の地形図(羊蹄山)(国土地理院 1: 50,000 地形図「倶知安」,「留寿都」)



上段(単成単式火山) A1: マール, A2: 火山砕屑丘 A3: 熔岩流原, A4: アイランド式盾状火山(単成盾状火山), A5: 熔岩頂丘, A6: 火山岩尖, A7: 潜在火山。
 中段(各種の複成火山) B1: 成層火山, B2: 爆発カルデラをもつ成層火山, B3: クラカウ型カルデラと軽石流原(火砕流台地), B4: 再生カルデラと火山灰流原。
 下段(玄武岩質の複成火山) C1: 熔岩原, C2: キラウェア型カルデラをもつハワイ式盾状火山, C3: ガラバゴス型カルデラをもつハワイ式盾状火山, C4: 卓状火山(水底・水底火山)。

図-3 火山体の形態と内部構造から見た火山の分類³⁾

ている。そのため地すべりや土石流などを発生させやすい。火山が活動を止め、削剝が進むと、火口や当初の火山斜面がなくなり次第に原形を留めなくなる。活動中の火山だけでなく原形を留めている火山の認識は容易であるが、削剝が進んだ場合には、周囲から独立した山体であることや、何より火山岩で構成されていることなどにより認識される。

2-2 工学的な問題点

2-2-1 大量湧水

図-5に成層火山の模式的断面図を示す。溶岩流の上下にある火山砕屑物や火山砂礫層は空隙が多く透水性が高いが、溶岩の中心部や細粒の火山灰層は透水性が低い。そのため、相対的な透水層・不透水層が互層状に重なっている状態となるが、火山全体としては、ほかの地盤に比べると透水性ははるかに高い。また不透水層を挟むため、各層がそれぞれの地下水位を持つことがある。図-5に示すように山頂部から中腹にかけてその表層部は地下水に乏しく、一方、裾野から山麓部にかけては比較的浅いところに大量の地下水を貯留しており、山麓部ではこれらの地下水が被圧地下水となって湧出している。羊蹄山の周囲にも「ふきだし湧水」など多数の湧水がある。したがって、火山麓にトンネルを設ける場合には、大量の湧水、被圧水に注意しなければならない。その一方で大量の湧水を伴うトンネル工事では、湧水問題や温泉枯渇の問題が発生する可能性にも注意する必要がある。なお、火山砕屑物と溶岩が層状に重なっている場合、両者の透水性の大小関係は各層の固結度や節理の状況によって異なる。九州新幹線千綿トンネルでは溶岩が透水層、自破碎溶岩や凝灰角礫

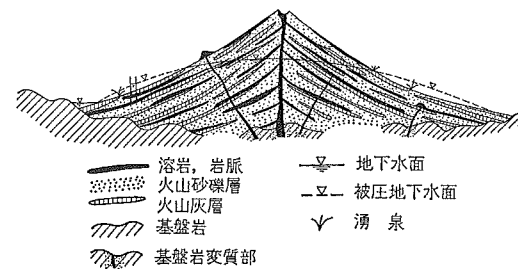


図-5 成層火山の内部と地下水状態概念図⁴⁾

岩が不透水層として機能し、複雑な帯水構造を呈している⁴⁾。

2-2-2 高い地熱, 温泉, 火山性ガスなど地熱現象

火山活動は高温のマグマの活動に起因する現象であり、活動性の高い火山付近は地温が高く、トンネルを掘れば高温の岩盤に遭遇することがある。悪い作業環境や爆薬の自然発火などの問題が発生するため、地熱兆候の近くでトンネルを施工する場合には事前に十分な調査が必要である。

2-2-3 熱水変質岩とその膨張性

温泉・熱水の影響で岩盤が変質作用を受けて粘土鉱物が生じることにより、岩盤の強度が低下し、土かぶりが多いと膨張現象が発生する。温泉余土と呼ばれる脆弱な粘土が代表的なものである。

2-2-4 非固結地層と不均質な地盤

新しい火山噴出物は固結度が低く切羽の自立性が問題となる。火山噴出物は噴火口から全方向に均等に堆積するわけではなく、吹き上げられた火山灰は偏西風の影響で火山の東側に厚く堆積する。また、溶岩流はそのときの地形で流れやすい方向に流れるため分布は限られる。したがって、成層火山といえども普通の水中の堆積層ほど地層の連続性が良くないので、岩盤の急激な変化が頻繁に起こる。1枚の溶岩でも上下は多孔質な自破碎溶岩で中心部は緻密な溶岩といった岩相変化が激しいことにも留意しなければならない。

また、火山活動は間欠的にくり返し行われることが多く、噴火活動の休止時期には山体の崩壊や浸食、堆積といった現象が継続する。このとき、盆地状の地形や河川のせき止めなどによって形成された厚い堆積物や湖成層が帯水層となって大量の湧水が発生した事例が後述の安房トンネル平湯低速度帯や丹那トンネルの下丹那環状凹地地下における湧水である。

③ 火山地形の施工事例に見る地相の読み方

事例1: 安房トンネル【大量湧水・地熱対策】^{5),6)}

岐阜・長野県境の安房峠道路安房トンネルは、焼岳火山群のひとつであるアカンダナ山(標高

2,190m)と安房山(標高2,219m)に挟まれた安房峠の下を通る全長4,370mのトンネルである。

図-6にトンネル付近の地形図を、図-7に地質状況と施工実績を示す。アカンダナ山は3万年前以降まで活動した新しい火山で、溶岩ドームなどの火山地形を有する。火山地帯を横断するトンネルのため、当初から、高熱帯、火山性ガスの噴出、多量の湧水が予想されていた。昭和42年から地質調査を開始し、さらに昭和55年からは地質状況を確認し、本坑工事の可能性と、諸問題を調査するため、調査坑の掘削を開始した。その調査坑の結果を受けて平成元年10月に本坑に着手、平成6年に掘削を終え、平成9年12月に開通している。

安房トンネルの課題は表-1に示すように、平湯側からTD435～580m間の熱水帯、TD850～

1,450mの600m間の低速度帯、中ノ湯側からTD340～1,240mの900mにわたる高熱帯であった⁶⁾。

(1) 平湯低速度帯と大量の湧水
地質調査のため弾性波探査を実施した結果、トンネル施工基面付近の弾性波速度は4.2～5.5km/

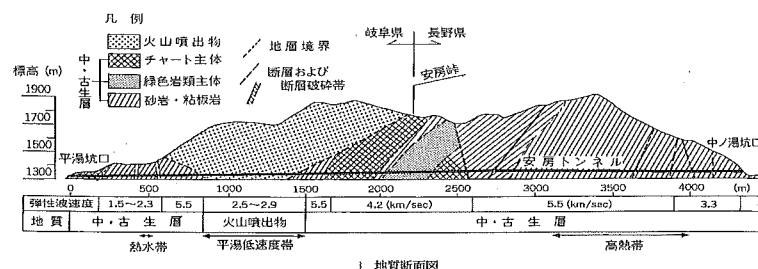


図-7 地質断面と施工実績³⁾

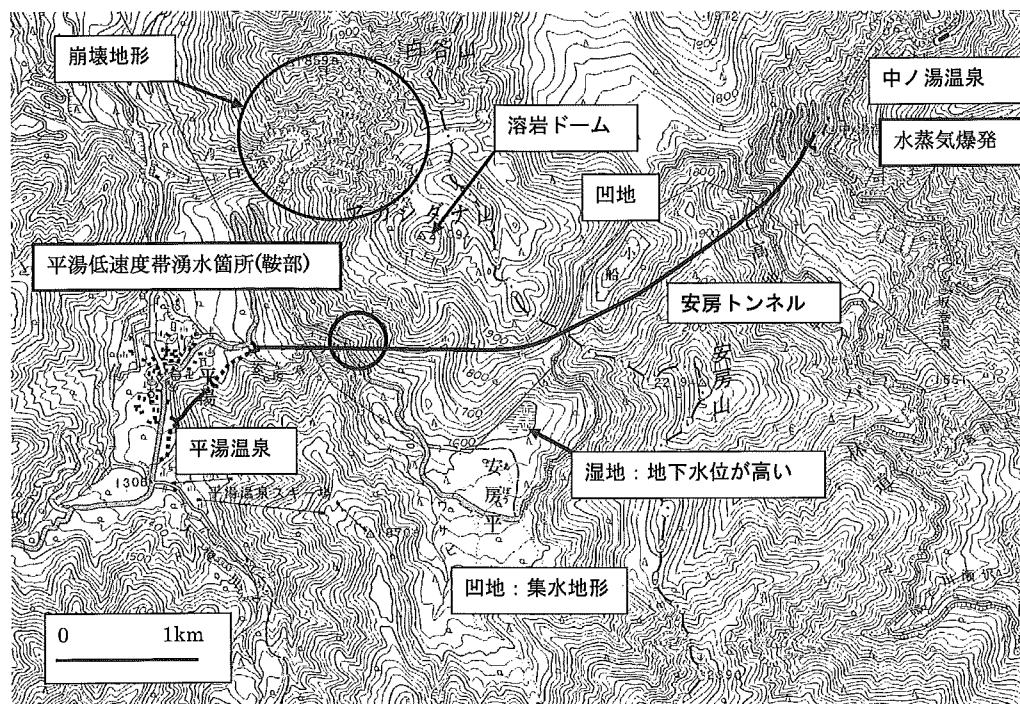


図-6 安房トンネル付近地形図(国土地理院 1:50,000地形図「上高地」)

表-1 安房トンネル施工時の課題と対策⁹⁾

名称	記 事	課題と対策
平湯熱水帯	・平湯側からTD435～580mにかけて最高温度73℃の熱水湧水、湧水量の最大は1.16t/分。一部炭酸水の湧水あり。	・熱水区間の作業環境の確保と地盤改良を兼ねた止水注入。 ・注入材料の耐久性の検討。 ・換気設備の検討。 ・高温湧水に対する二次覆工コンクリートの耐久性の検討。 ・坑内換気検討。
平湯低速度帯	・平湯側からTD850～1,450mの600m間の低速度帯区間。 ・この区間の弾性波速度は2.5～2.9km/s、また22kg/cm ² の被圧水が確認されている。 ・TD869mで最大180t/分の突発湧水と3,000m ³ の調査坑の土砂流出。	・低速度帯の地質は未固結の火山噴出物と火山泥流堆積物である。この区間の掘削方法の検討と補助工法の選定。 ・突発湧水区間では水抜き坑の掘削、水抜きボーリング、止水注入。
中ノ湯高熱帯	・中ノ湯側からTD340～TD1,240mの900m区間。 ・岩盤温度は50℃から75℃。 ・調査ボーリング孔から一部火山性ガス。	・掘削のための耐熱爆薬、耐熱雷管の検討。 ・換気設備の計画、検討。 ・岩盤温度測定のための調査ボーリング。 ・NATM支保材料の耐食性、耐久性の確認。 ・覆工コンクリートの耐食性、耐久性の確認。 ・覆工コンクリートのひび割れ防止対策。 ・火山性ガスの調査ボーリング。 ・発破前後の環境測定と自動環境測定。

secが得られ、美濃帯中・古生層の比較的新鮮な岩盤が分布していることが推定された。しかし、アカンダナ山の南西部に約250mにわたって弾性波速度2.5～2.9km/secと周囲より遅い速度を示す低速度帯が検出された。この低速度帯の地質状況を把握するため、9本のボーリングや、広域の弾性波探査が実施された。その結果、低速度帯付近には、安房平から平湯温泉北方の白谷にかけて延びていた旧谷地形を厚さ300～500mの火山噴出物が埋積し、大量の被圧水を貯留していることが判明した。調査坑掘削時には180m³/分の突発湧水と3,000m³の土砂崩壊を発生させている。しかし、本坑掘削時はこの水抜き効果で、湧水によるこの区間の問題は生じていない。

この付近の地形的特徴としては安房平の盆地とそこから北西に延びる鞍部であり、この鞍部直下で大量湧水が発生した。このような地形から、安房平は白谷山やアカンダナ山の噴出物によって形成されたせき止め湖であることが伺える。また集水地形であり、一部は湿地となっていることから地下水位が高いことがわかる。

(2) 平湯熱水帯と中ノ湯高熱帯

平湯熱水帯では最高73℃の熱水の湧出、中ノ湯高熱帯では最高岩盤温度75℃を記録した。そのた

め、作業環境改善のための換気設備、耐熱爆薬、覆工コンクリートの耐久性確認などの対策が取られた。平湯・中ノ湯ともに温泉地であり、中ノ湯側にある噴気孔や高い地熱から、ある程度予測されることであり、そのために調査坑を含む入念な調査が行われた。

(3) 水蒸気爆発

活火山の内部は高温であるため、地下の水分が水蒸気となって長い間に火山体内に充満し、そのガス圧が山体の破壊強度より大きくなると山体を吹き飛ばす。これが水蒸気爆発である。

平成7年2月、安房トンネル中ノ湯側坑口前の明かり工事中に発生した水蒸気爆発の影響により6,000m³の土砂が噴発し、4名の方が犠牲となった。この結果、将来に対する安全を確保するため、山側に道路の線形を変更するとともに、ガス圧を軽減する措置がとられた。火山地帯のトンネルでは水蒸気爆発にも注意しなければならない。

(4) 温泉の減水、渇水

安房トンネルの近傍では平湯温泉などの温泉が多数存在する。安房トンネルの掘削では温泉量の減少、温泉枯れも想定されていたため工事着手時点から温泉の水文調査を行って工事を進めた。この温泉問題も火山地形でのトンネル施工の一つの

課題である。

事例2：丹那トンネル【大量湧水、温泉余土】^{7)~13)}

丹那トンネルは東海道線熱海から函南に至る延長7,808mのわが国初の長大複線トンネルである。工事は1918(大正7)年から1934(昭和9)年まで16年もの年月を費やした未曾有の難工事となった。図-8に丹那トンネルの縦断面図、図-9に丹那トンネル中央部の地形図を示す。

丹那トンネルは、箱根火山の南に位置する多賀火山¹²⁾を貫くトンネルである。多賀火山は開析の

進んだ古い火山で、トンネルの熱海寄りに南北に延びる稜線がある。この付近が滝地山で最大土かぶり500mとなる。この稜線の西側に丹那断層が走る直径2kmの丹那盆地、さらにその西側に下丹那を中心とした直径約1.5kmの環状凹地がある。丹那トンネルの工事が難航した区間は6大難場と呼ばれており、それらの概要を表-2に示す。

熱海側坑口から約2,400m間は安山岩溶岩と凝灰岩、集塊岩がくり返し現れ、溶岩からの大量湧水があったものの比較的良好な地質であった。しか

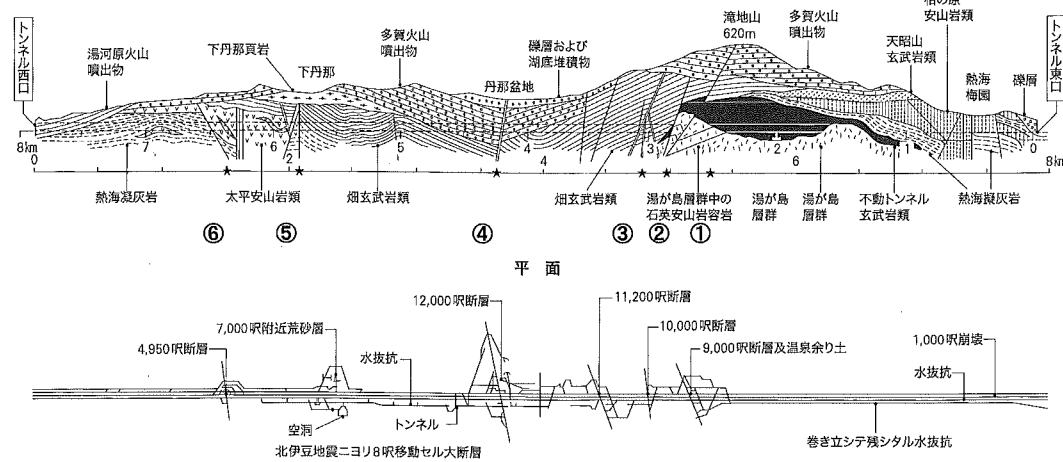


図-8 丹那トンネル地質縦断面図¹¹⁾

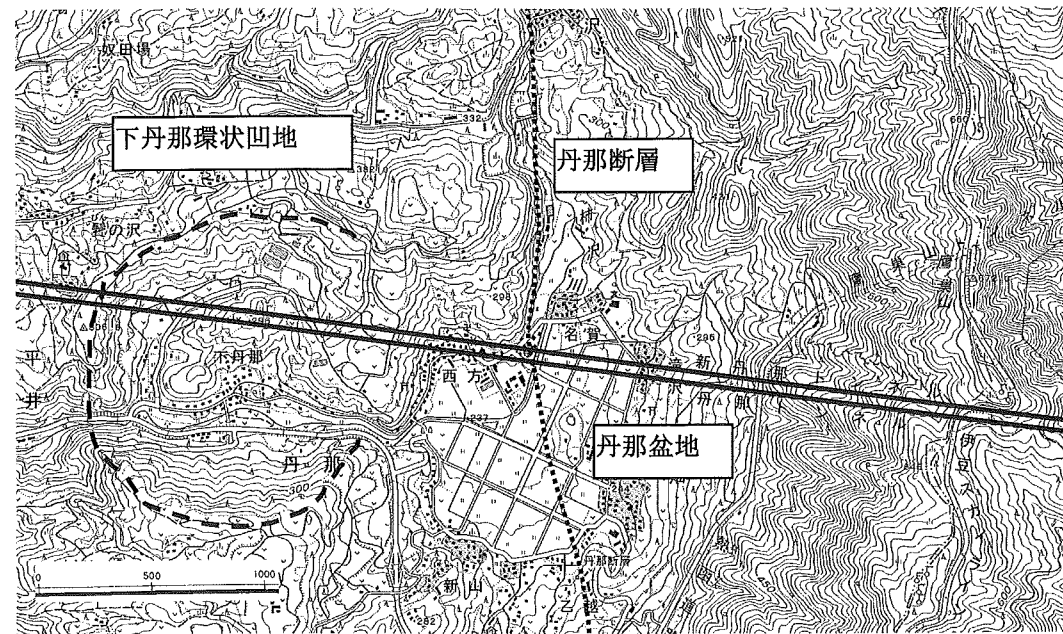


図-9 丹那トンネル中央部地形図(国土地理院 1:25,000地形図「熱海」)

表-2 丹那トンネルの難工事区間⁷⁾

位置	東口(熱海側)			西口(函南側)		
	①	②	③	④	⑤	⑥
坑口からの距離	2,727m付近	3,030m付近	3,394m付近	3,636m付近	2,121~2,424m	1,500m付近
地質	温泉余土	畑玄武岩類の溶岩・凝灰角礫岩	畑玄武岩類の溶岩・凝灰角礫岩	多賀火山噴出物中の断層角礫帯(丹那断層)	畑玄武岩類の溶岩・凝灰角礫岩 火山灰・頁岩互層	太平安山岩類の凝灰角礫岩
難工事の要因	温泉余土と湧水	数本の断層	断層破砕帯	断層および湧水 断層幅40m	軟弱火山灰・頁岩(含水砂層) 互層中に水を含んでいたため	断層および湧水 断層幅10m
湧水量	22.2t/分 最高湧水圧 19kgf/cm ²	10.2t/分	5.1t/分	35.1t/分 最高湧水圧 14kgf/cm ²	約210t/分	34t/分
難工事区間突破に要した期間	42か月	12か月	12か月	34か月	44か月	14か月
対策工	迂回坑 水抜き坑10本 セメント注入 シールド	水抜き坑5本 セメント注入	迂回坑 水抜き坑6本 セメント注入	迂回坑 水抜き坑21本 水平ボーリング セメント注入	水抜き坑5本 薬液注入 圧気工法	迂回坑 水抜き坑3本 水平ボーリング セメント注入

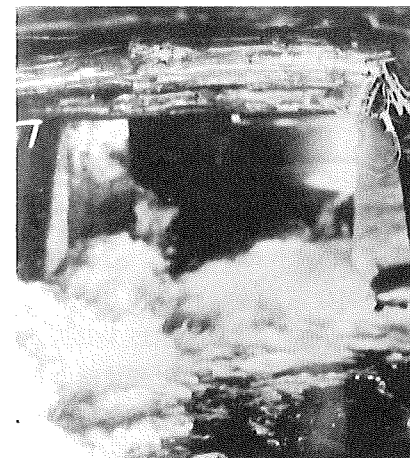


写真-1 丹那トンネル西口2,255m湧水¹⁴⁾

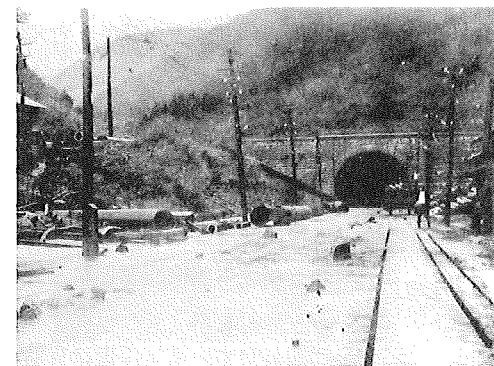


写真-2 丹那トンネル西坑口の湧水状況¹⁴⁾

し滝地山付近(表-2、図-8の①)では温泉余土が約300m続き、顕著な膨圧による押し出し・支保工の変形などが発生し、圧気シールドも用いられた。

三島側は坑口から1,500mの地点で断層にあたるまで安山岩、集塊岩、凝灰岩の良好な地質であった。この断層部(同⑥)では大崩壊が発生し、迂回坑が施工されている。三島側坑口から2,137m付近(同⑤)では火山荒砂層と呼ばれる火山砂層にあたり最大210m³/分の大湧水が発生した。写真-1に坑内の湧水状況、写真-2に川のような状態で浸水している三島側坑口の状況を示す。この湧水位置が下丹那の環状凹地の直下にあたる。この環状凹地の地形的な特徴は、丹那盆地と違って中央部に弧状の高まりがあることと、南側を柿沢川が横断している点である。施工中の大量湧水の供給源はこの柿沢川からの表流水であったろうと考えられるような水文地形環境にある¹⁰⁾。トンネルで火山荒砂層の手前(三島側)に現れた泥岩黒砂互層は地上で柿沢川沿いに露出している下丹那頁岩¹²⁾と同様に火山活動の休止期間に形成された湖成堆積物と推定される。また、泥岩を挟んでいることから三島側の遮水壁となり、柿沢川からの豊富な地下水の供給を受けて火山荒砂層に大量の地下水を

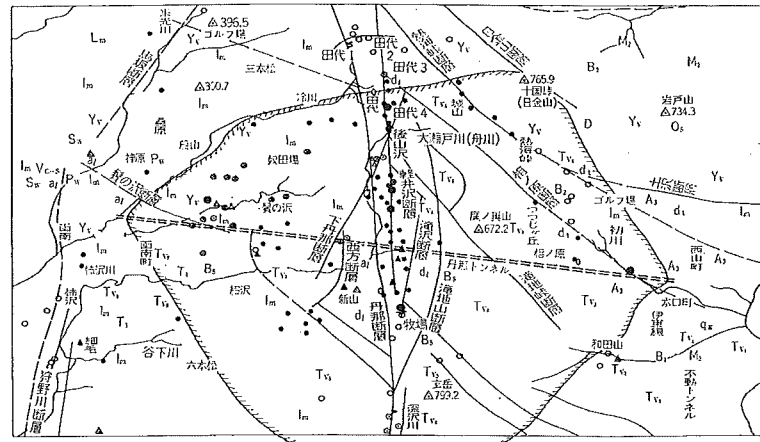


図-10 丹那トンネルによる湧水範囲⁹⁾

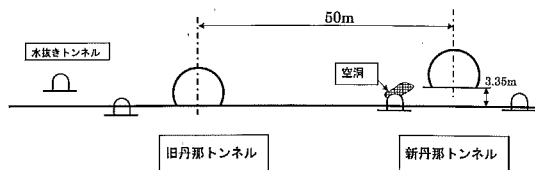


図-11 新旧丹那トンネルの関係¹⁰⁾に加筆

帯水していたものと考えられる。

丹那断層(同④)付近は丹那盆地からの大量の湧水があっただけでなく、1930年の北伊豆地震では2.4mの横ずれが生じ線形の変更が行われた。

丹那トンネルでは多量の湧水で苦しんだ一方で、大規模な湧水問題を発生させ、範囲とその補償は国内でも例を見ない規模となっている。湧水の影響範囲を図-10に示す。

新丹那トンネルは昭和34年9月に着工した東海道新幹線のトンネルである。新丹那トンネルは丹那トンネルの北側50mの位置に約5m高いレベルで建設されている。その位置関係は図-11に示すとおりである。丹那トンネルで210m³/分の大湧水があった箇所での湧水は確認されていない^{10,13)}。

丹那トンネルの工事は、その後の日本のトンネル工事の地質調査を含めてその在り方を示し、トンネル技術の発展に大きく貢献した工事であった。

④ 火山地形の技術的課題と留意点

火山地帯のトンネルでは、大量湧水、高熱、軟弱地山などで困難な施工を強いられる場合や湧水

など周辺環境に大きく影響する機会が多い。旧丹那トンネルの時代はともかく、今後このような地形・地質状況でトンネルを計画・施工する場合、環境への深刻な影響は許されなくなっており、事前の地形・地質調査が非常に重要である。

4-1 地形判読のポイント

- ① 新しい火山は独立した円錐形の山体・噴火口・溶岩円頂丘・溶岩流などの存在によって容易に認識できる

地形である。古くなって浸食が進んでいるとこのような特徴が不明瞭になってくるが、放射状の谷やその下流の扇状地(火山麓扇状地という)、稜線を包絡することによる原地形の復元などによって火山であることは想定できる²⁾。

- ② 火山周辺でトンネルを施工するとき、どこでも苦労しているのは湧水である。とくに火山周辺の凹地は集水地形であることと透水性の高い堆積物で埋積されていることがとくに問題である。

4-2 工学的な留意点

- ① 火山周辺の凹地については、物理探査やボーリングで地質や地下水の状況について十分に調査を行い、できるだけ事前に把握するとともに、施工中は先進ボーリングなどの切羽前方探査が必要である。
- ② 新しい火山噴出物は固結度が低く、とくに表層部は崩壊しやすいので、坑口部や土かぶりの小さい部分は先受けなどの併用によって慎重に施工する必要がある。
- ③ 火山噴出物は地質の変化が激しく、変質部も伴うので、各種の物理探査を併用することによって、できるだけ事前に問題となる箇所を把握しておく必要がある。とくに地下水や粘土化部分を把握しやすい電気探査は有効な手段である。

⑤ カルデラの特徴とトンネル工事

5-1 地形的な特徴

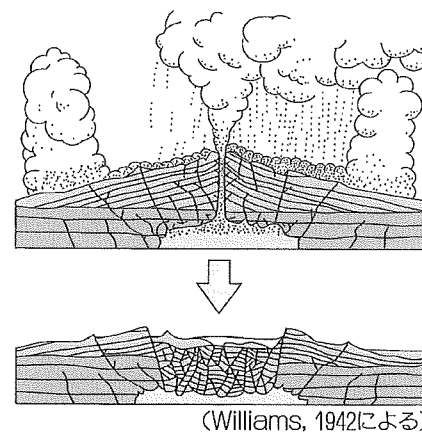
カルデラは火山の大爆発に伴う山体崩壊や火砕流の噴出に伴う陥没によって形成された大きな凹地である。カルデラの規模は直径2~25kmのもので多く、阿蘇山の外輪山の直径は東西18km、南北25kmでその内部に10個以上の中央火口丘(後カルデラ丘)を持っている。

大規模なカルデラの多くは陥没地形であり、その周壁(カルデラ壁という)は一般に垂直に近い急な崖をなしている。この陥没の原因は、図-12のように、大量の火砕流が噴出したために地下にできた大きな空洞の上部が崩壊して地表に達する陥没が起きると解釈されている。そのため、カルデラの周囲には火砕流堆積物が広く分布していることが多い。

カルデラに水がたまると十和田湖のようなカルデラ湖ができる。カルデラ湖には周囲から土砂が流れ込み、湖成層が堆積して次第に埋積されていく。阿蘇山のような巨大なカルデラでは、カルデラ底部の平地(カルデラ底またはカルデラ床という)に集落ができ、カルデラ内外を結ぶ道路や鉄道が建設される。このときカルデラ壁を貫くトンネルが施工される場合があり、その事例を後述する。

5-2 工学的問題点

カルデラ壁の地質はカルデラ形成前の火山体を



(Williams, 1942による)
図-12 カルデラ形成の模式図¹⁰⁾

構成していた火山岩類のこともあるが、火山の基盤となった地層・岩石が分布していることも多い。また、カルデラの外側の斜面はカルデラ形成の原因となった、透水性の高い火砕流堆積物に覆われていることが普通である。そのため、カルデラ壁にトンネルを施工する際は、大量湧水の発生を考慮しておく必要がある。とくにカルデラ壁の底部に近い標高の区間で、カルデラ壁の地下水面よりトンネルが低い場合には要注意である。

⑥ カルデラの施工事例に見る地相の読み方

事例1：高森トンネル【カルデラ壁を貫くトンネル：大量湧水・湧水】¹⁰⁾

旧国鉄高千穂線の高森トンネルは阿蘇カルデラ外輪山の南東部を貫く延長6,515mの単線トンネルとして計画されたものである。阿蘇カルデラは中央火口丘群の南北にカルデラ底の広い盆地があり、北側の盆地には大分-熊本間の豊肥本線が走っている。南側には高千穂線が計画され、高森-高千穂間のトンネルとして高森トンネルの施工が開始されたが、高森方から2,055m掘削したところで中止された。

高森トンネルは図-13のように阿蘇カルデラのカルデラ壁を貫くもので、地質は図-14に示すように高森方坑口から555mが阿蘇中央火口丘の烏帽子岳の噴出物である火山灰土、2,200m(31k800m)付近までが高森火山岩、そこから約100mの礫層を挟んで高千穂方は火砕流堆積物(大部分は溶結凝灰岩)を主とする阿蘇火山噴出物である。高森火山岩類は安山岩溶岩と凝灰角礫岩の互層であり、施工中の湧水状況によると安山岩溶岩層が不透水層、凝灰角礫岩層が帯水層となっており、図-14のようにカルデラ壁に降った雨水は、東に傾斜した水理地質構造に沿ってトンネルの奥に向かう地下水の流れを形成していたものと考えられる。この高森火山岩類を掘削中に図-14に示す位置で破碎帯からの大量湧水が3回発生した。このとき高森町の水道水源の井戸が枯渇し、自衛隊による給水、トンネルよりも深い井戸の新設、切羽湧水

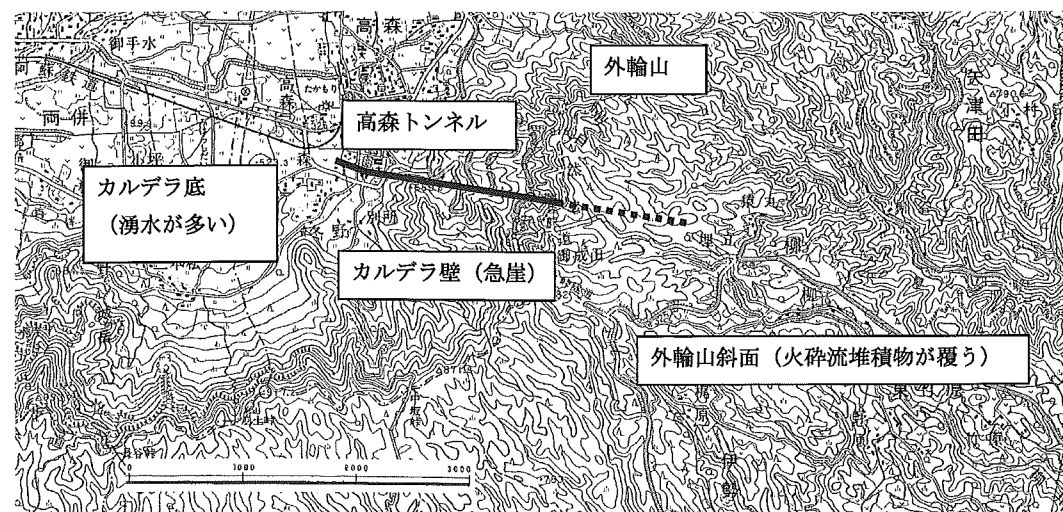


図-13 高森トンネル付近地形図(国土地理院 1:50,000地形図「高森」)

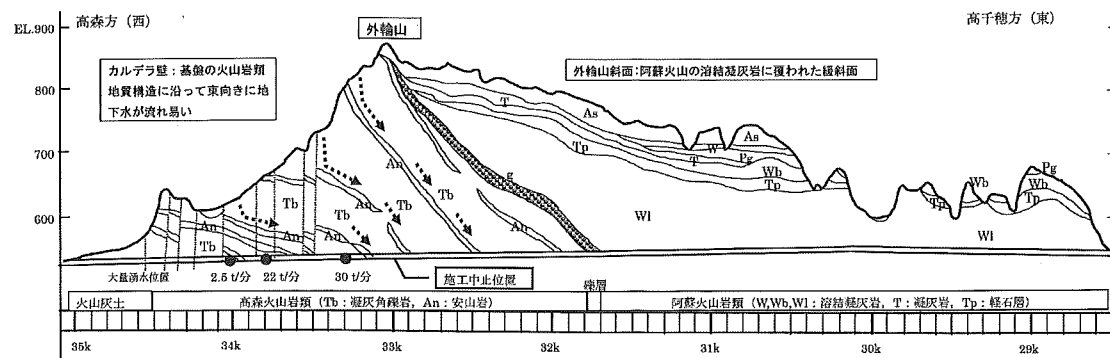


図-14 高森トンネル地質縦断面図(16)に追加

の供給などの対策が行われ、現在もトンネルの湧水が上水道およびかんがい用水として使用されている。

高森火山岩類は阿蘇火山の基盤をなす岩層であるが、透水性の高い凝灰角礫岩と不透水層となる安山岩の互層がトンネル奥に向かって傾斜し、地表付近の地下水を引き込みやすい地質構造となっていたことが影響して、トンネルの大量湧水がカルデラ壁で地下水の湧水を引き起こしたと想定される。

また、トンネル施工基面がカルデラ底(カルデラ壁基部)の標高に近く、おそらく地下水位よりもかなり低いことも大きな要因である。北側の豊肥本線では、外輪山の稜線直下で、カルデラ底よりも約200m高い位置にカルデラ壁を貫くトンネルが施工されている。

事例 2: 加久藤トンネル【カルデラ壁を貫くトンネル: 大量湧水対策】¹⁷⁾

加久藤トンネルは、九州自動車道の人吉-えびの間に位置し、熊本・宮崎両県境を東西に連なる標高約700m前後の山地を、計画高330mではほぼ南北に加久藤カルデラを貫く、延長約6,260mの長大道路トンネルである。

加久藤カルデラは鹿児島県に接する宮崎県西南部に位置し、33万年前の火砕流の活動でカルデラが形成された。その後、加久藤盆地南縁の霧島山火山の成長によりほとんど覆い尽くされ、カルデラとは一目ではわかりにくい地形となっているが、周囲には広く火砕流堆積物が分布し、内部には湖成層が堆積している。加久藤トンネルは、カルデラの原形を残した北側外輪山を貫通するトンネルである。

図-15にトンネル付近の地形図、図-16に地質縦断面図を示す。加久藤トンネルの地質は四万十累層群の堆積岩類を基盤岩として、その上部にえびの層群(新第三紀鮮新世)、さらに肥薩火山岩類(大部分が鮮新世)の順に重なっており、いずれも加久藤カルデラ噴出物の基盤をなすものである。え

びの層群は安山岩と凝灰角礫岩から構成されている。その上部の肥薩火山岩類は節理が発達し、地下水の豊富な安山岩が主体となっている。トンネルに現れる地質は人吉側(北側)が四万十累層群の堆積岩類、えびの側(南側)の大部分はえびの層群の安山岩が主体であるが、風化・変質を受けた軟

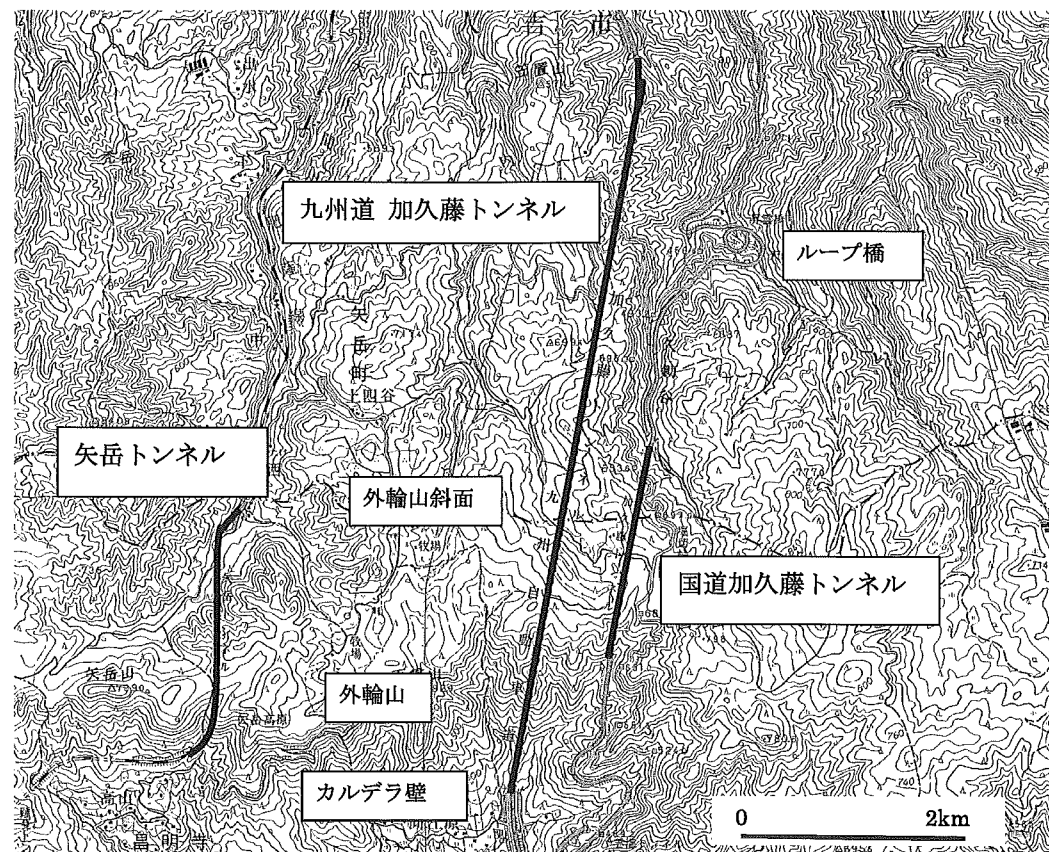


図-15 加久藤トンネル付近地形図(国土地理院 1:50,000地形図「加久藤」)

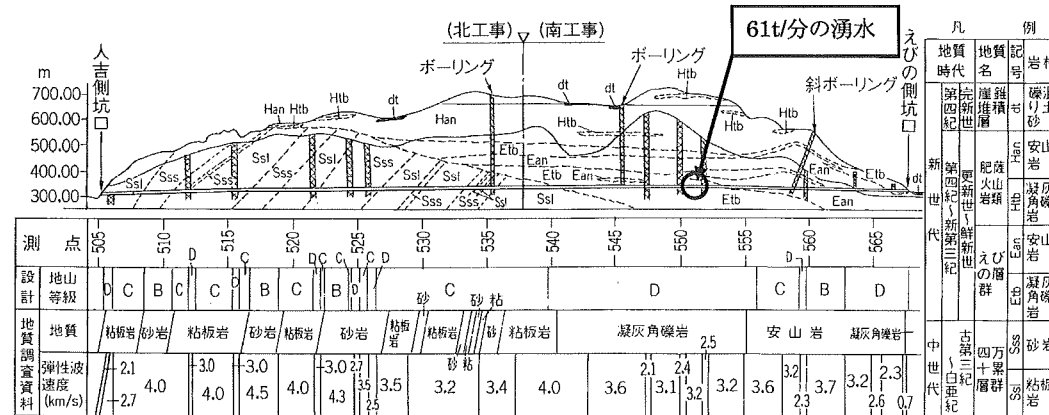


図-16 加久藤トンネル縦断面図¹⁷⁾

質な凝灰角礫岩を伴っている。

えびの側坑口から1,600~1,700m間の安山岩を主体とした地質区間では、パイロット坑で大量の湧水が発生したため、パイロット坑から本坑到達前の水抜きボーリングを事前に実施した。その結果22本の水抜きボーリングからピークで合計61t/分の湧水があった。2か月経過しても湧水量は23t/分を記録したため、水抜き坑の掘削と止水注入を行って、本坑はこの区間を突破した。また1,700m以奥の変質した凝灰角礫岩の区間では変形が大きく、支保の増強などの対策を行いながら施工を進めた。

加久藤カルデラの北側外輪山を貫通するトンネルはこのほか、東側に国道加久藤トンネル、西側にJR肥薩線矢岳トンネルがある。

国道加久藤トンネルは、九州自動車道加久藤トンネルの東側600mの位置に建設された延長1,800mの道路トンネルで、昭和40年代に建設され、その施工基面標高は580mである。トンネル掘削時の湧水量の予測は1.1~1.3m³/分であり、湧水によってトンネル掘削が難航した記録は見られない。九州自動車道加久藤トンネルとの施工基面の標高差250mが湧水量の違いの大きな要因である。ただし、国道トンネルは高い位置にあるため、両側にループ橋やループトンネルの施工が必要となった。

矢岳トンネル(2,096.1m)は1906~1910年に施工された単線鉄道トンネルで、河川の直下を川沿いに掘削したため大量湧水で苦労した¹⁸⁾。

7 カルデラの技術的課題と留意点

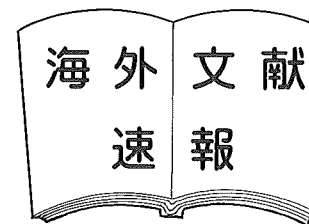
カルデラ壁を貫くトンネルは今後も計画・施工される可能性が高い。そのとき、事前の地質・地下水調査にもとづき、とくに地下水位とトンネルレベル、水源として利用されている井戸との関係の検討が重要である。

道路でも鉄道でも利便性を考えると低い位置に計画されることが多くなると思われるが、今後は周辺環境への影響も考慮したルート選定や施工法の検討が必要になる。

(文責：一條 勝、稲葉武史・鹿島建設(株))

参考文献

- 1) 地質調査総合センター：200,000シームレス地質図および日本の新生代火山岩の分布と産状(CD-ROM)より作成。
- 2) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，第4巻，古今書院，2004。
- 3) 池田俊雄：わかりやすい地盤地質学，鹿島出版会，1986。
- 4) 高野裕輔・谷口俊太・門脇欣一郎・山浦亮一：複雑な帯水構造の火山岩地帯を多段水位観測しながら掘削，九州新幹線西九州ルート 千綿トンネル，トンネルと地下，Vol.43，No.6，pp.7-12，2012.6。
- 5) 成瀬清・鈴木辰弘・松山政雄：安房トンネルの本坑が貫通—高圧帯水火山噴出物層と高熱帯を克服，トンネルと地下，Vol.26，No.11，pp.27-33，1995.11。
- 6) 建設省中部地方建設局高山工事事務所：安房峠道路工事誌，建設省中部地方建設局高山工事事務所，pp.21-51，1999.11。
- 7) 鉄道省熱海建設事務所編：丹那隧道工事誌，鉄道省熱海建設事務所，1936。
- 8) 鉄道省熱海建設事務所編：丹那トンネルの話，鉄道省熱海建設事務所，1933。
- 9) 村上郁雄・大島洋志・塚本正雄：丹那トンネルの湧水・濁水はどうなっているか，トンネルと地下，Vol.8，No.10，pp.41-51，1977.10。
- 10) 大島洋志：開通75年を迎えた丹那トンネル難工事を振り返る，トンネルと地下，Vol.41，No.5，pp.47-58，2010.5。
- 11) 久野久：旧丹那トンネルと新丹那トンネル，科学，Vol.32，No.8，pp.397-401，1962.8。
- 12) 久野久：7.5万分の1地質図熱海図幅・同説明書，地質調査所，1947。
- 13) 国鉄静岡幹線工事局編：東海道新幹線工事誌，東京第2工事局，1965。
- 14) 鹿島建設社内資料。
- 15) 浜島書店編集部：最新図表地学，浜島書店，1995(Williams, H: The geology of Crater Lake National Park, Oregon, with a reconnaissance of the Cascade Range southward to Mount Shasta, Carnegie Inst. Washington Publ., 1942による)。
- 16) 篠崎知己：異常出水とその対策—高千穂線高森トンネル，トンネルと地下，Vol.7，No.7，pp.7-14，1976.7。
- 17) 田代邦弘・江藤誠一・折田増美・藤田筆司：大量湧水に挑む，九州自動車道加久藤トンネル，トンネルと地下，Vol.23，No.5，pp.15-22，1992.5。
- 18) 日本鉄道建設業協会：日本鉄道請負業史，明治篇，日本鉄道建設業協会，1967.12。



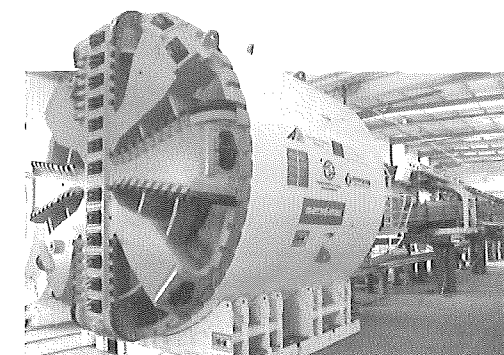
(社)日本トンネル技術協会 国際委員会

プラハの地下鉄A線延長に用いられる2基の土圧バランスシールド/Two Earth Pressure Balance Shields for Metro Line A Extension of Prague Metro TUNNEL, February, 2012

この記事は、沈下抑制が問題となる都市部のトンネル施工で用いられた2基の土圧バランスシールドについて述べている。

チェコ共和国の首都で最大の都市であるプラハの地下鉄は、公共輸送システムの大切な部分であり、1日に約150万人を運ぶ。1960年代にロシア製のオープンシールドで地下鉄掘削が始まったときには、鑄鉄製支保が用いられたが、その後コンクリートのセグメントで全面的に交換された。また70年代にはECL型TBMも用いられている。現プロジェクトは、市バスの数を大幅に減らして環境・交通状況を改善する目的で、径が6.1mのEPB 2基を用いて地下鉄A線を約5.7km延長するものである。地質は主に粘土質頁岩とその風化残土で、砂岩、シルト岩、粘土岩なども遭遇し、所々不安定な切羽が予想される。

EPBシールドの油圧ドライブは1,200kWで、掘削中32本のシリンダーで約39,000kNの推進力を発揮する。カッターヘッドは開口率が30%、38枚の17インチディスクカッターが100mm間隔で並び、64本の切刃と8個のバケットで設計されている。また、軟弱地盤ツールとバケット用に2台の油圧摩耗検知ユニットが取り付けられている。2基のマシンは全長96mで、87mのバックアップは7台のガントリーとブリッジからなる。さらに、トンネル天端や切羽で行う地盤安定化のための処理剤圧



入ドリルリグが搭載されている。トンネル切羽では径が100mmの8本の圧入ラインを介して仰角14°で圧入でき、2本の水平ドリルによりトンネル切羽でのグラウト圧入や、切羽前方探査にも用いることができる。

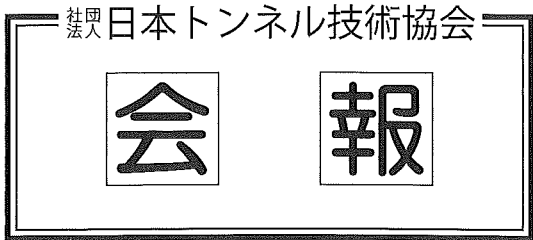
コントロールボーリングプロセスシステム(CBP)：トンネル施工方針の策定とリスク回避の観点からトンネル掘削を常に最適条件に維持するため、トンネル計画線上部での沈下や隆起の情報をTBMの運転データと結びつけるのがCBPの目的である。

2成分のグラウト：水、ベントナイト、セメント、安定剤(A)と促進剤(B)からなる。2成分システムの利点は、十分な強度に短時間で達するため短時間でリング安定化が図れること、および機械の停止時間や掘進速度、ポンプによる遠距離搬送度などに依存しないグラウトの使用特性である。

セグメント支保：1.5m長のトンネルリングは5+1セグメントで構成されており、設計者の経験にもとづいてユニバーサルリング(両サイドがテーパ)を選択。セグメントにはEPDM(エチレンプロピレンゴム)ガスケットがついており、周方向ならびに軸方向ともボルト止めできる。

掘削は2011年4月中旬(S-609)と2011年7月中旬(S-610)に始まった。現場では両マシンを週最速162m(S-609)の掘進速度で2011年12月までに1,500m(S-609)、1,150m(S-610)前進させた。2012年末までに2本の平行な単軌線トンネルの掘削を終えた後、TBMはトンネルから後ろ向きに回収される予定である。

(文責：小川豊和・大成建設(株))



1. 会員の現状

	1月31日現在
正会員	1,467名
団体会員	351名
個人会員	1,116名

2. 委員会の開催状況(1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(1/11)

大島洋志主査ほか15名, 2月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会海外ニュースWG(1/21)

浅見均主査ほか9名, 英文原稿を査読

海外文献小委員会文献調査WG(1/29)

大久保誠介主査ほか17名, 海外文献を査読

計 3回開催 44名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

支保WG(1/22)

蓼沼慶正主査ほか25名, 鋼製支保工および繊維補

強コンクリートの作業方針を検討

保守管理小委員会(1/24)

中井雅彦委員長ほか14名, 地震対策への取り組み

事例を検討

◎受託研究特別委員会

小断面掘削工法特別検討会(1/30)

吉富幸雄委員長ほか11名, 作業方針を検討

計 3回開催 53名出席

合計 6回開催 97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39回ITA総会およびコンGRESS 「Underground - the way to the future -」	2013. 5. 31~6. 7	ジュネーブ (スイス)	Swiss Tunnelling Society International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://www.wtc2013.ch/
第40回ITA総会およびコンGRESS* 「Tunnels for a better living」	2014. 5. 9~15	イグアス (ブラジル)	COMITE BRASILEIRO DE TUNEIS International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://www.wtc2014.com.br/
第41回ITA総会およびコンGRESS 「Promoting Tunnelling in South East European (SEE) region」	2015.5.22~28	ドヴロヴニク (クロアチア)	Croatian Tunnelling Association International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://wtc15.com/

*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 FAX:03-5148-3655

入会のお勧めならびに会員の皆様へお願い

3月, 4月は転勤など異動の多い時期です。会誌の送付先など変更が生じた場合は速やかにご連絡くださいますようお願いいたします。また, 新たにトンネルに携わる方にとって, 会員になることは大変有意義と考えます。是非加入の勧誘をお願いします。なお, 変更や入会の申し込み様式はホームページに掲載していますのでご参照ください。

4. 平成24年度催物開催現況

(平成25年1月現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(見学会)				
中部横断自動車道トンネル建設工事現場研修会(八之尻, 醍醐山)	2012. 7.27	25	山梨県	3.2
東九州自動車道トンネル工事現場研修会(赤尾第一, 中津)	2012. 8.28	22	大分県	3.2
横浜環状北線シールド工事現場研修会	2012. 9.21	24	神奈川県	1.8
新東名高速道路トンネル工事現場研修会(雁峰, 稲木)	2012. 9.26	21	岐阜県	2.5
清滝生駒道路清滝トンネル工事現場研修会	2012.10.26	24	大阪府	2.0
阪神高速大和川線トンネル工事現場研修会 (大和川線シールド, 三宝第4工区(その1)開削および換気所)	2012.11.26	20	大阪府	2.8
仙台市地下鉄東西線現場研修会	2012.12. 7	12	宮城県	3.5
下水道工事現場研修会(第二溜池幹線および勝どき幹線工事)	2013. 1.24	30	東京都	2.5
東北・道路トンネル現場研修会(国道45号是川)	2013. 2. 6	19	青森県	2.0
九州新幹線(西九州ルート)トンネル現場研修会 (施工体験発表会)	2013. 2.18	25	長崎県・佐賀県	3.2
第70回(山岳)「課題克服に貢献した新技術・創意工夫事例」	2012. 6.26	154	東京都	5.1
第71回(都市)「困難な施工条件下での都市トンネル工事事例」 (講演, 講習会)	2012. 6.27	104	東京都	5.6
第14回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2012. 9.27, 28	19	東京都	17.3
第15回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2012.11.21, 22	24	東京都	9.8

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

平成25年度施工体験発表会計画

事業委員会

恒例の現場技術者による施工体験発表会は, 下記のとおり開催することとしました。詳細については, 3月中旬にホームページに掲載しますのでご参照ください。

■第72回施工体験発表会(山岳)

開催日:平成25年6月25日(火)

開催場所:発明会館 地下ホール

テーマ:「課題克服に取り組んだトンネル工事一周辺環境への配慮, 創意工夫, 効率化」

趣旨:近年, 難しい立地条件下において品質を確保するため合理的かつ高度な施工が求められているとともに, 工事区域の住民や生態系などの環境への配慮が従前にも増して要求されており, 各種補助工法や新技術, 創意工夫などの技術を駆使して施工がなされています。今回はこれらを体験した方々に発表して頂く予定です。

■第73回施工体験発表会(都市)

開催日:平成25年6月26日(水)

開催場所:発明会館 地下ホール

テーマ:「都市における創意工夫・新技術による地下構造物の施工事例」

趣旨:都市部の地下は, 既存の各種地下施設物が輻輳するなど, トンネルに限らず新たな各種地下構造物の建設は, これらを守るため近接施工や大深度施工などの厳しい条件下での工事を余儀なくされています。さらには, 環境に対する関心がこれまで以上に高くなっており, 周辺住民やリサイクルなどへの配慮も不可欠です。今回はこれらを含めた各種課題を克服するために行った施工体験を発表して頂く予定です。

4月号予告[4月1日発売予定]

- 列車振動を活用したトンネル覆工のはく落監視法に関する研究
- 山梨リニア実験線
- 首都高速中央環状品川線大井地区トンネル
- 仙台市高速鉄道東西線 八木山トンネル
- 既設送電線用トンネルの上・下を交差して通過するトンネル工事における鉛直挙動計測結果【連載講座】
- トンネル技術者のための地相入門(12)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆今月号で紹介したボスポラス海峡トンネルのあるトルコ共和国は、親日的であるといわれています。そこには、日本ではあまり知られていない歴史があります。今からおよそ100年以上前に日本を訪れたトルコの軍艦エルトゥール号が都合により、台風の時期に帰途することになりました。航行中、台風の影響で和歌山沖の紀伊大島の檜野崎に連なる岩礁に激突、座礁し沈没しました。この事故で約600人が亡くなりましたが、住民総出の救助と介抱により約70人が生存できました。この知らせを聞いた明治天皇は、大いに心を痛み、政府として可能な限りの援助を行うよう指示し、後日、日本海軍によって、生存者をイスタンブールまで送り届けました。

◆1985年のイラン・イラク戦争で、イラクのフセイン大統領は48時間の猶予期限以降にイラン上空を飛ぶ航空機は無差別に攻撃すると突然通告しました。日本からは、日本航空が救援機を飛ばすことになりましたが、安全面から飛ばすことができず、200人以上の日本人が取り残されました。そこで、トルコに援助を求め、トルコ航空機により全員無事脱出することができたのです。これには、100年以上前のエルトゥール号遭難事故での日本への恩義を忘れないトルコ国民性があったといわれています。

◆両国は、2020年のオリンピックの誘致に関しては、ライバル関係ですが、ボスポラス海峡を舞台として、更なる友好関係を築くことを切望しています。

(K.Y)

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

★(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44巻 第3号 [通巻511号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成25年2月20日 印刷

平成25年3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 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

購読料

1冊 1,575円(送料108円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

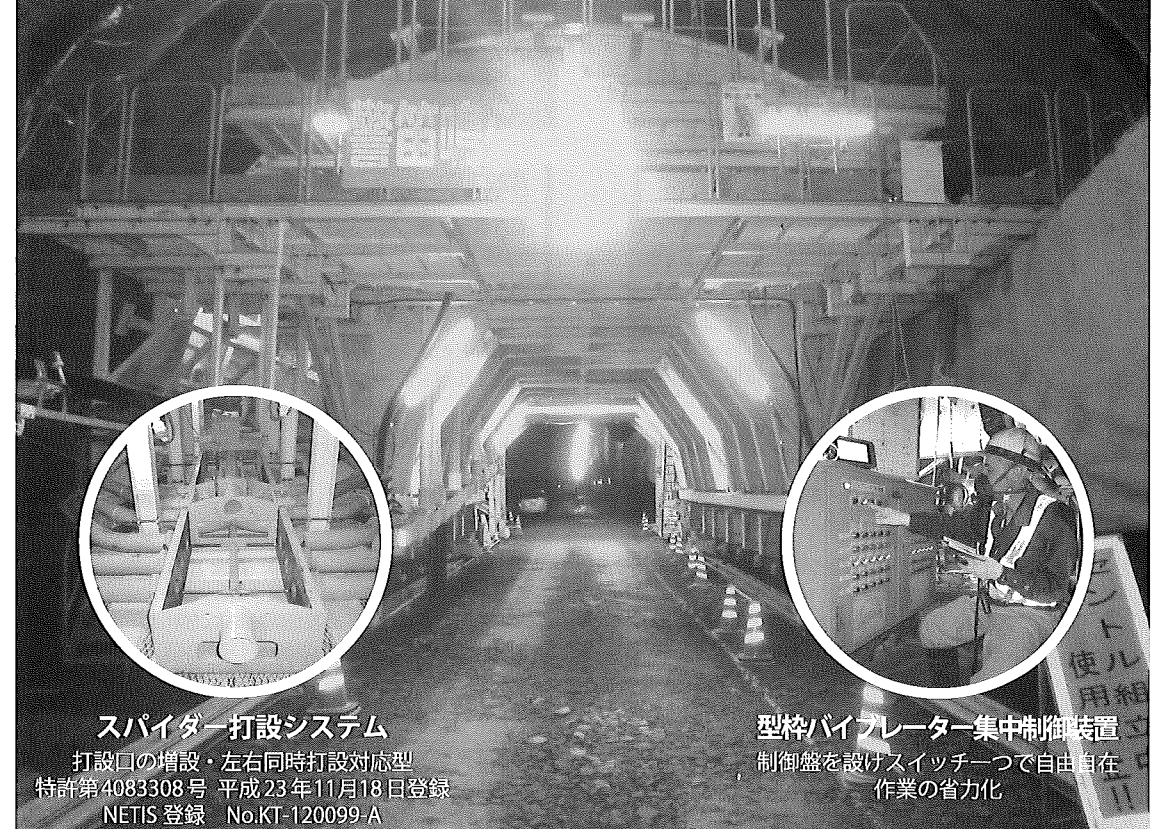
本誌への広告掲載は本社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

TEL: 03-3267-2888

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

トンネル二次覆工型枠総合メーカー

二次覆工中流動コンクリート対応型スチールフォーム



スパイダー打設システム

打設口の増設・左右同時打設対応型
特許第4083308号 平成23年11月18日登録
NETIS登録 No.KT-120099-A

型枠パイプレーター集中制御装置

制御盤を設けスイッチ一つで自由自在
作業の省力化

新しいタイプの覆工コンクリート養生システム

EPSパネル養生工法



EPSパネルの保温性、保湿性が効く

実績および計画

施主	実績	計画
国土交通省	24	0
NEXCO	6	1
地方自治体	12	2
鉄道・運輸機構	1	0

平成25年1月31日 現在

実施権許諾第 10396号

NETIS登録 (No.CB-090003-A)

一歩前進! ~限りない未来への挑戦~

 **大栄工機株式会社**

本社 〒526-0842 滋賀県長浜市春近町90番地

TEL 0749-64-0246 / FAX 0749-63-6765 / URL <http://www.daieikouki.co.jp/>

営業品目 各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売 ※詳しくはホームページを御覧ください

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・俣野恭寛 共著
1,200円+税 新書判

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



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患や有害環境条件、健康障害、衛生管理、保護具などを解説した。



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

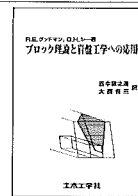
建設技術者に必要な地質・岩石・岩盤などの基礎知識と酸欠・有害ガス・ガス爆発・湧水などの建設災害について、著者の経験を交えながらまとめた。



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。



ジオテキスタイル設計マニュアル

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

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



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400円+税 A5判

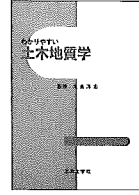
海洋の石油・天然ガス・石炭などのエネルギー資源と、マンガン・ジュールの鉱物資源、また、海洋エネルギーなどの開発と利用についてまとめた。



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・F.W.シュワルツ 共著、
地下水の科学研究会・大西有三 監訳

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



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。



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)

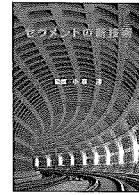
日本で唯一のトンネルと地下構造物の専門月刊誌。研究・調査・設計から施工にいたるまで、その時点での技術的問題点を中心に、業界の動向などをあわせて網羅しながら、新鮮な情報を提供する。



セグメントの新技术

小泉 淳 監修
2,000円+税 B5判

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



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

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。



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

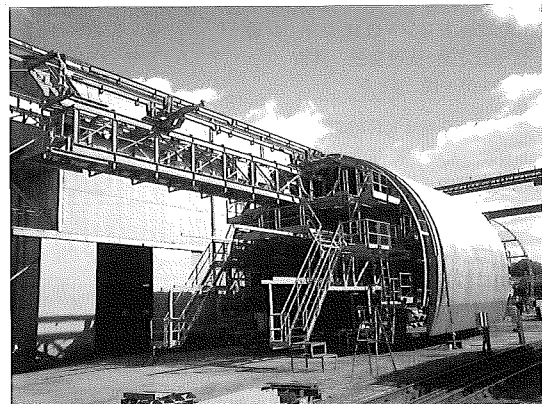
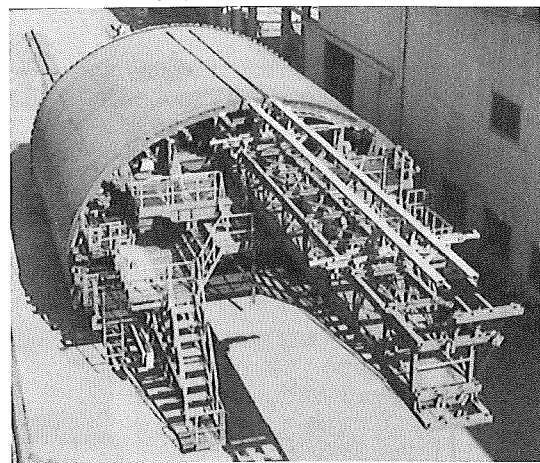
各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー



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 ● 新幹線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

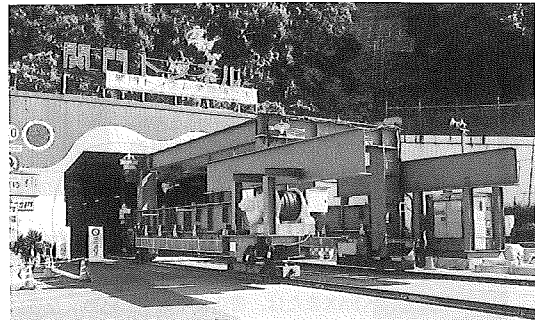


● 自動ケレン装置



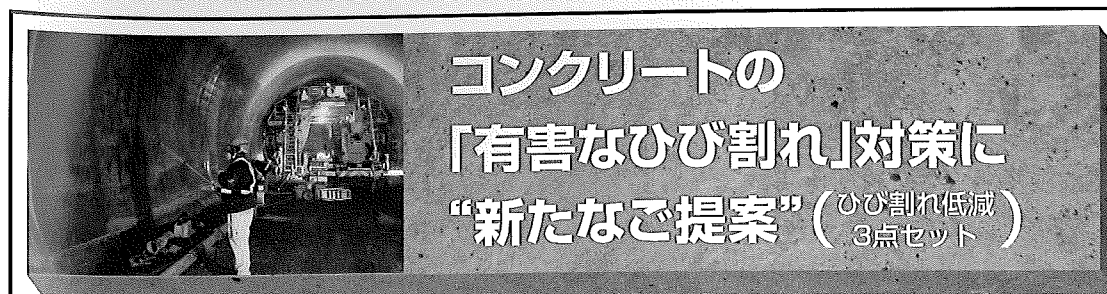
- ◎ 強靱なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは、前進後進同一の力で抜き差し出来ます。
- ◎ 円周方向にスライドするガイドセルは、クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます。
- ◎ ガイドセルの上昇・下降により、任意の高さを締め固める事が出来ます。

- トンネル床版撤去架台
- 勾配対応四駆型(関門トンネル)



- 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。



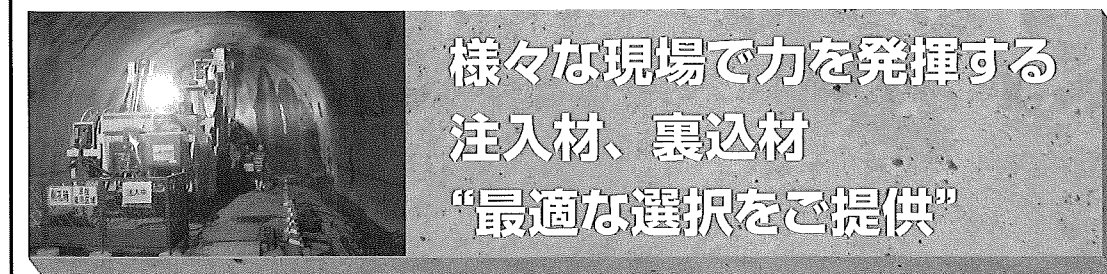
コンクリート打設前設・耐アルカリ性ガラス繊維ネット
ハイパーネット60
 NETIS登録番号 SK-080003-V

コンクリート混入・コンクリート用膨張材
ハイパーエクパン
 NETIS登録番号 QS-020033-V

コンクリート収縮抑制

養生効果
 硬化後塗布・塗布型高性能収縮低減剤
クラックセイバー
 NETIS登録番号 SK-080001-V

補強効果によるひび割れ幅低減



注入材	超微粒子注入材	太平洋アロフィクスMC
	瞬結工法用無機懸濁型 土質安定材・下水道止水材	太平洋アロフィクスMC2号
	注入式長尺先受工法用注入材	太平洋スーパーハード
	注入式長尺先受工法用注入材	太平洋スーパーファスナー
裏込材	プレミックス裏込用充填材	太平洋フォルトカバー

太平洋マテリアル株式会社
 営業本部

〒135-0064 東京都江東区青海 2-4-24 青海フロンティアビル 15F
<http://www.taiheiyo-m.co.jp>
 TEL.03-5500-7510 FAX.03-5500-7542