

と交差する小土かぶり区間を地山改良工で掘削
近接双設トンネルを無導坑方式・早期閉合により施工
水口ケーソンと取水路シールドを海底下で接合
長44.6km, 最大土かぶり1,246mでマレー半島を貫く
土かぶり山岳トンネルの地震被害メカニズムと耐震設計法の提案

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
本体価格1,500円

雑誌06619-1

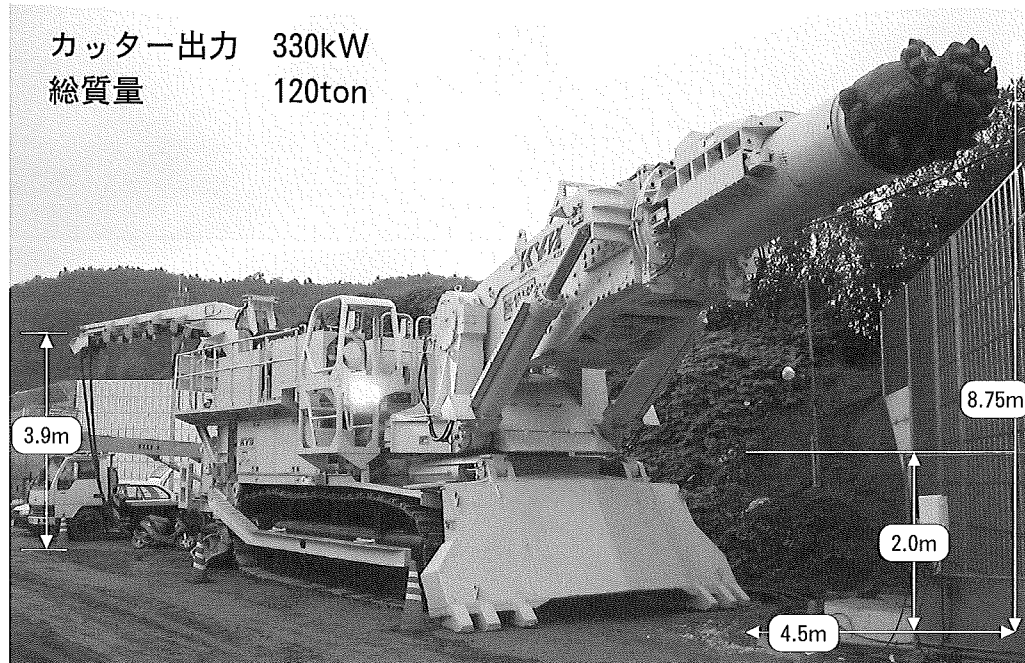


4910066190132
01500

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9.0m
- ・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 千105-0012 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 千252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586
 相模事業所 千564-0063 大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号TEK第二ビル TEL 06-6387-3371
 大阪支店 千812-0016 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
 西部支店 千514-0396 三重県津市雲出長常町 1129 番地 11 TEL 059-234-4111
 三重工場

トンネル工事に用 電気集じん器

e-DUSCO

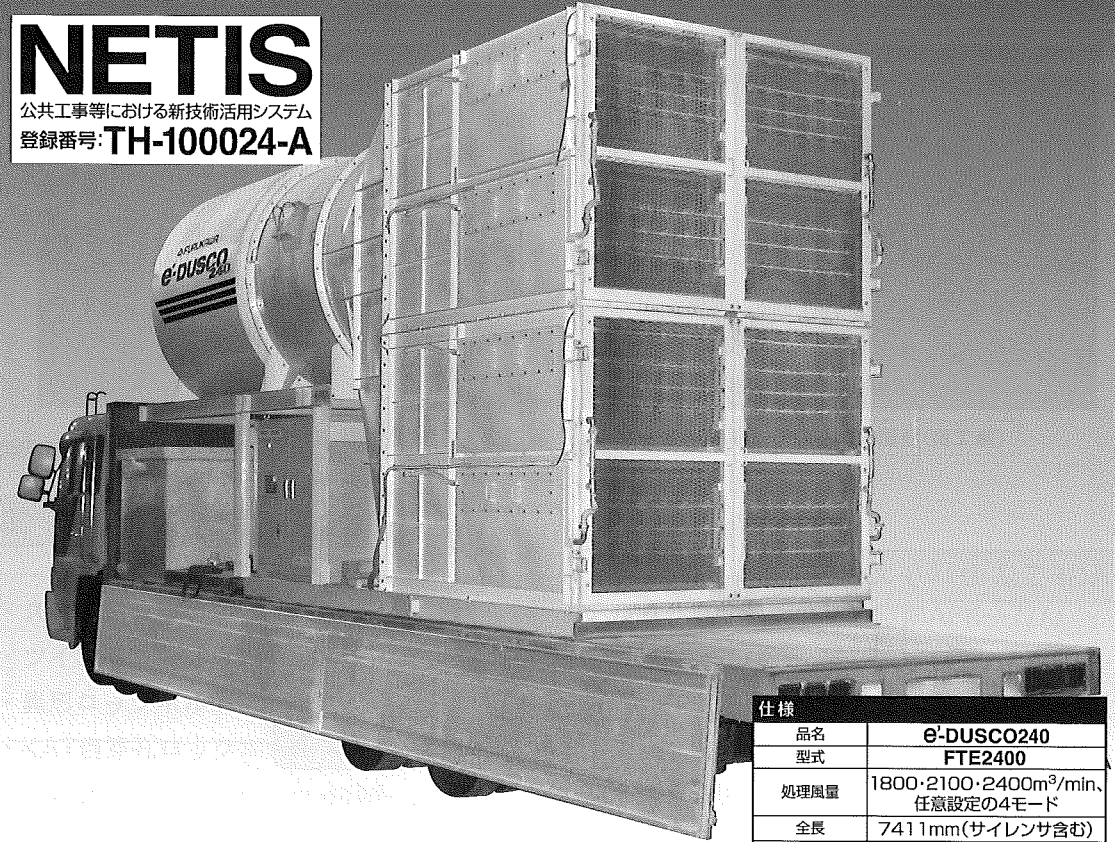
イーダスコ・ニーヨンマル 240

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。

微細粉じんも逃さない電気式

電気式だから人体に有害な微細粉じん(0.2~5μm)も捕集できます。

現場メンテナンスは手間いらず

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

大風量と省エネを同時に実現

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

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

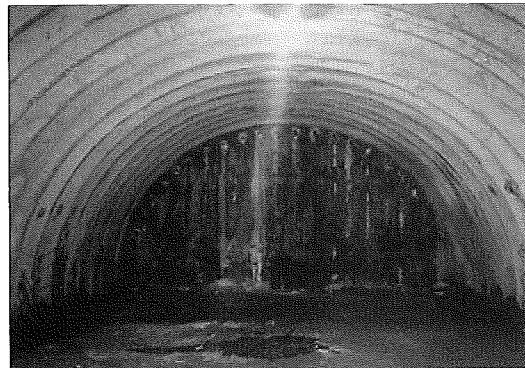
※1 車高は含まれていません。
 ※2 JIS Z 8808により測定した値です。

△ 古河機械金属グループ
古河産機システムズ株式会社

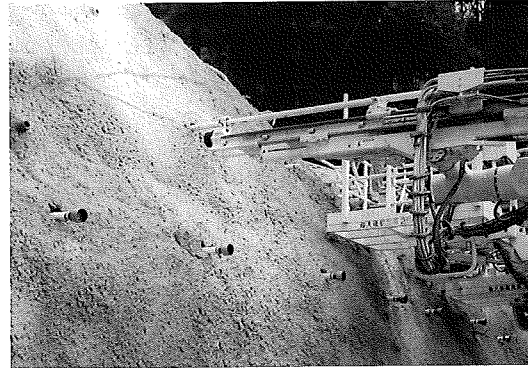
URL: <http://www.furukawa-sanki.co.jp/>
 本社 千100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3 第二営業部 千03-3212-7804
 大阪支店 千06-6344-2532 名古屋支店 千052-561-4580 札幌支店 千011-784-1179
 東北支店 千022-221-3532 九州支店 千092-741-5193 小山工場 千0285-23-8662

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

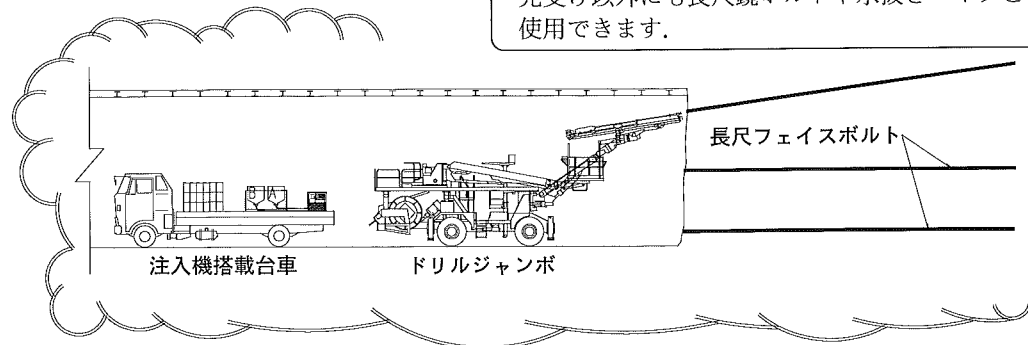
プロトタイプ
無拡幅タイプ
最小拡幅タイプ

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！



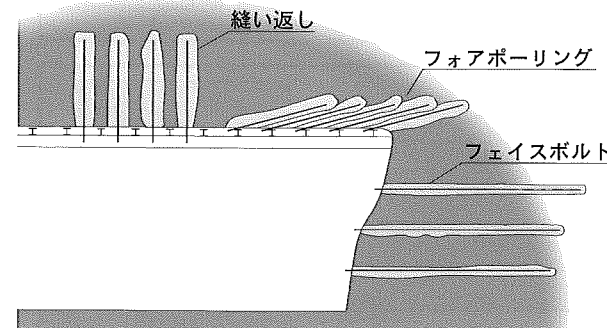
注入材のバリエーション

- 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

— NATM を支える —

技術と信頼!

ケー・エフ・シーの ロックボルト

全ネジ FRP ロックボルト

CG22S



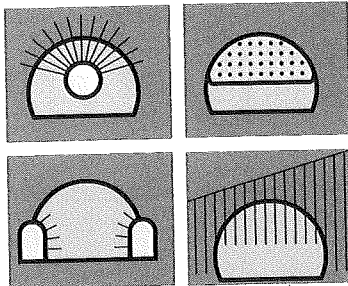
(中実タイプ)

CGR32

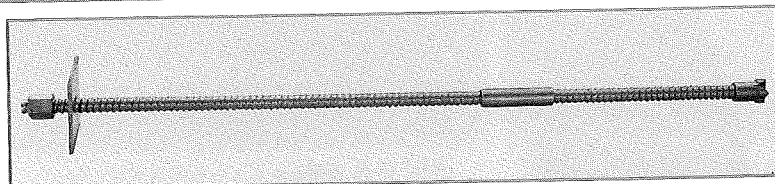


(中空タイプ)

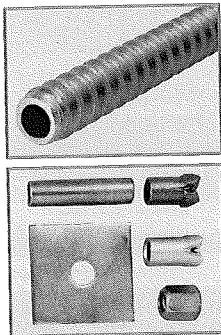
FRP ボルトに全ネジ加工することによって、ナット取付け、カプラー接続が簡単にできます。



自穿孔 IBO アンカー

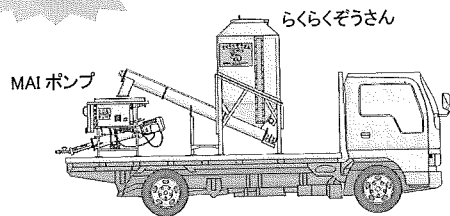


現場での取扱いが非常にし易い R32 ネジを全長にわたって転造した中空ロックボルトです。



MAI ポンプ & らくらくぞうさん (モルタル投入システム)

ECO システム!



現場ゼロエミッションに貢献します。



特許第 3256532 号
(らくらくぞうさん)



環境にやさしいパッケージ
「ふたたびくん」

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

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

ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

1本1本が大切! だから

次世代 防食 ロックボルト

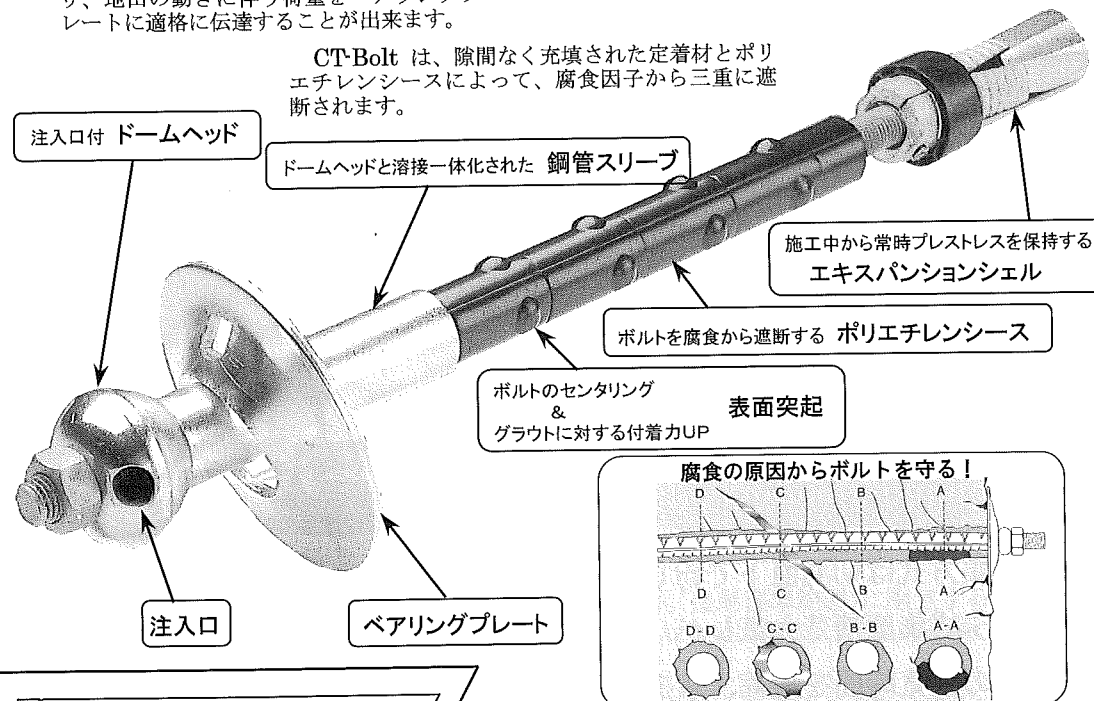
CT-Bolt



通常施工により超長期支保

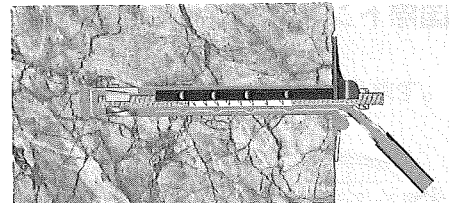
CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適格に伝達することが出来ます。

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

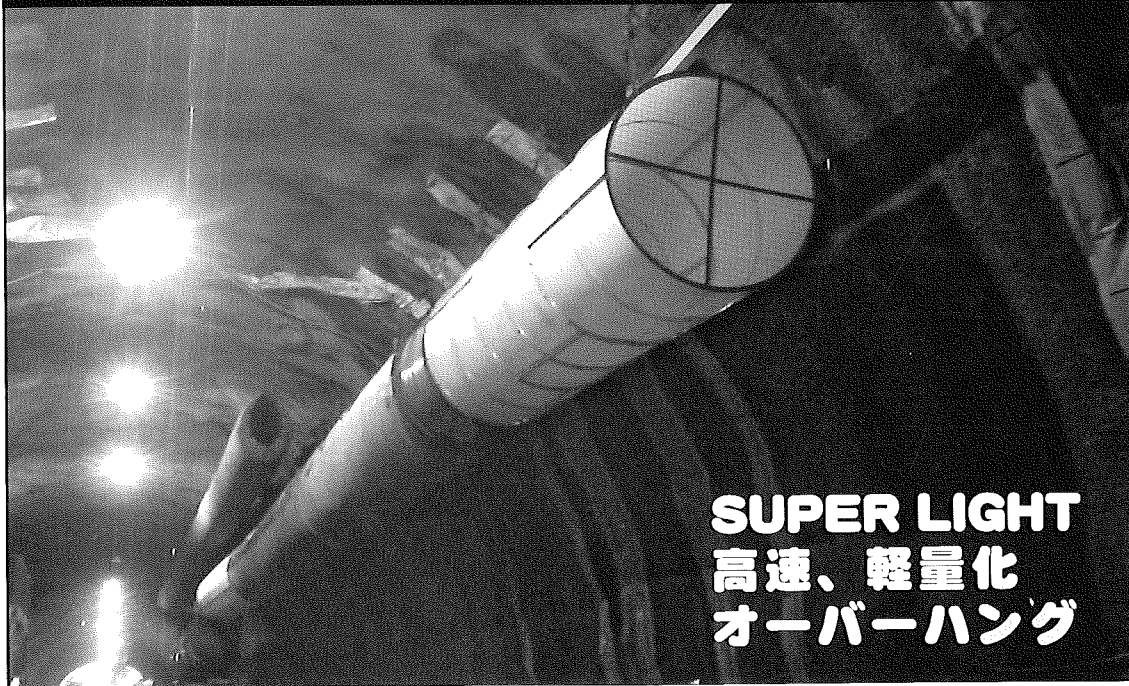
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

〒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

時代は吸引捕集方式へ...

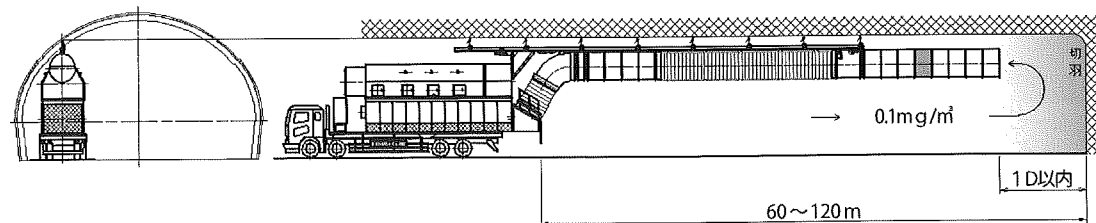
トンネルじん肺を根絶できる最良の方法です



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、余掘り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

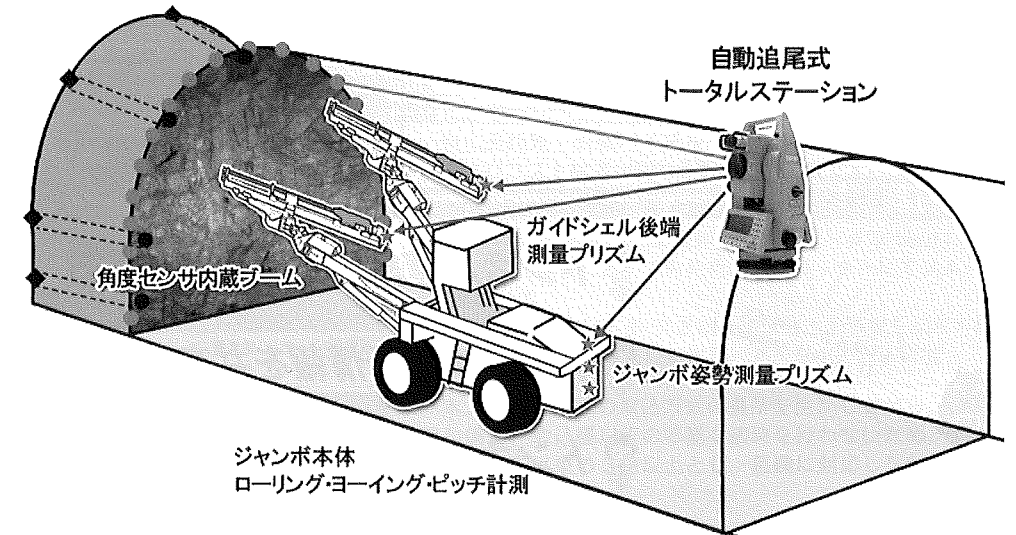


NETIS登録番号:KK-100049-A

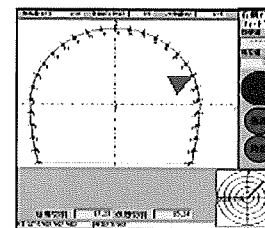
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

1. 最も重要な外周孔(追尾視準範囲)に限定することにより、従来のナビゲーションと比較し低コストを実現しました。
2. ガイドシエ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
FURUKAWA

〒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

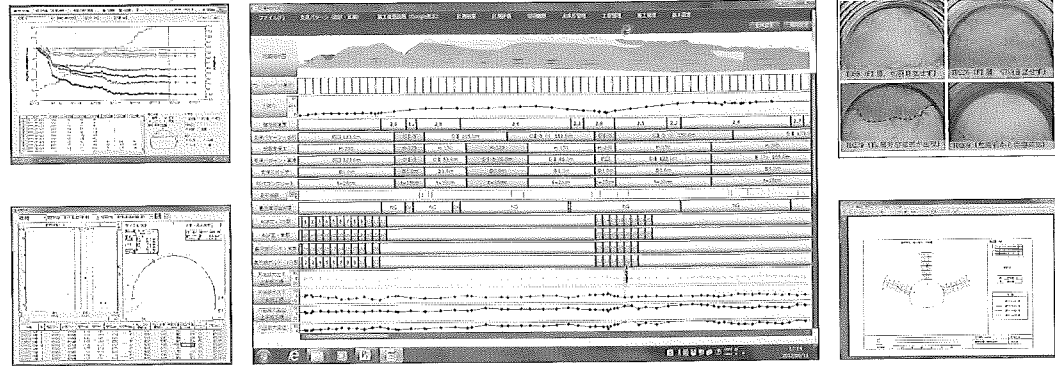
This August Debut

Cyber NATM 2nd Generation

新時代の切羽情報管理システム

CYBER NATM Horus

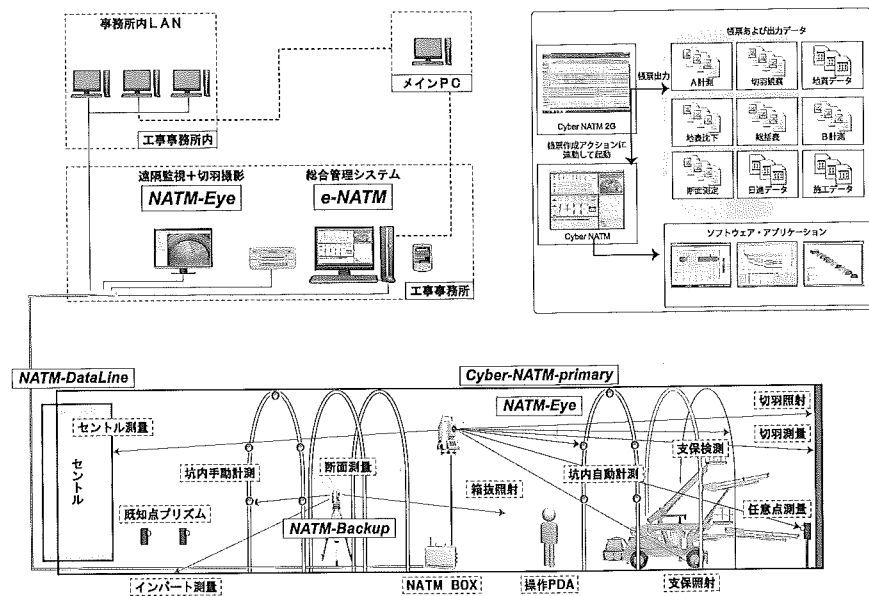
トンネル管理の原点はやはり巻物であった



トンネルアーカイブ
IT Scroll management



- 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

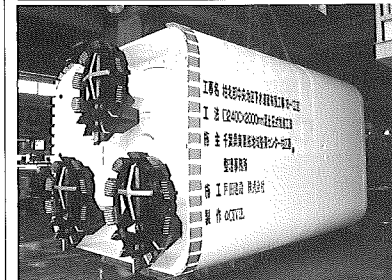


株式会社 演算工房 **ENZANKOUBOU CO., LTD.**
 ■京都本社 〒602-8268 京都府京都市上京区智恵光院通中立売下/山里町237番地3
 TEL: 075-417-0100 FAX: 075-417-0200

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：千葉県柏市若柴地内



多軸自転・公転掘進機(内寸法□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
- ◆完全密閉型式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

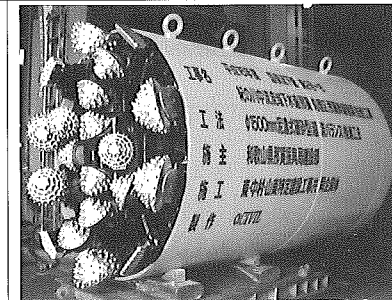


φ1016mm長距離パイプルーフ掘進機(リターン回収型)

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、到達立坑が不要となり、大幅なコスト縮減が可能となりました。
 特に長距離、曲線パイプルーフ施工として有効なため、工期短縮およびコスト縮減が図れる画期的な工法です。

- ◆長距離・曲線パイプル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)
- ◆密閉型掘進機機構ゆえに無水層~滞水層まで対応可能

巨礫・岩盤破砕型掘進工法

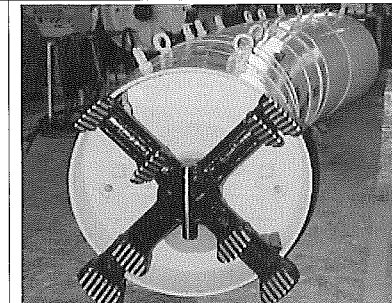


φ1500mm破砕型掘進機

本工法は泥濃式の取込方式の長所を生かしながら、破砕方式を兼ね備え、取込径以下の不要な破砕を行わないため、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。

- ◆破砕型掘進機：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
- ◆破砕型急曲線実績 R=15m(φ800、巨礫層)
- ◆破砕型長距離実績 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%程度の玉石等の抽出が可能
- ◆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



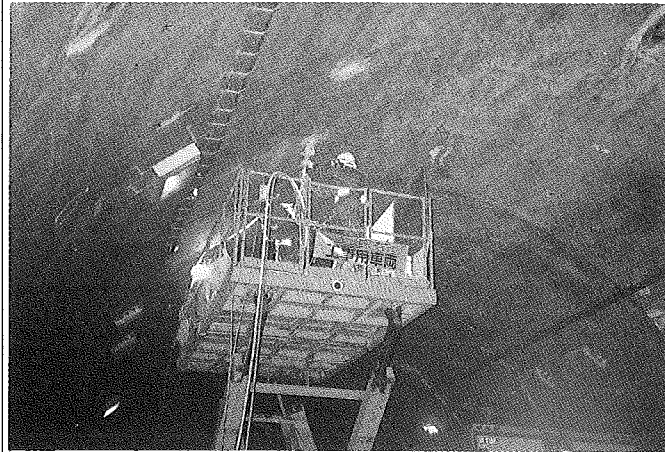
株式会社アルファシビルエンジニアリング(超流セミシールド協会)

〒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

硬質発泡ウレタン セットフォーム工法

急結性・高性能空隙充填材

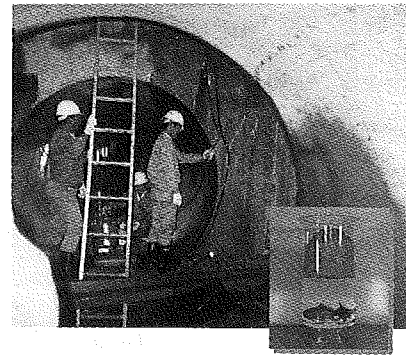


- シールドにおける滞水層、軟弱地盤の全面裏込め注入
- シールド急曲線部の裏込め注入(即時地盤反力の効果)
- トンネル構造物などの背面空洞充填
- 深基礎工法の裏込め(止水、裏込め後の即時掘削可能)

漏水を瞬時にストップ!

SF-A工法

長期耐久性に優れた
無溶剤タイプの
ウレタン系止水材



- 山岳トンネル、下水道、共同溝、地下鉄、地下室、その他地下構造物の漏水補修
- 地下構造物の背面空洞の充填
- 地盤や岩盤の止水、および固結安定

ケミカルフォーム協会会員

アルス株式会社	〒950-0944	新潟市中央区愛宕 1-4-25	TEL 025-280-0337
株式会社内田工業	〒332-0032	埼玉県川口市中青木 2-12-2	TEL 048-257-0848
エコシビックエンジニアリング株式会社	〒135-0047	東京都江東区富岡 1-12-4 みつきビル	TEL 03-3643-7241
エスイーリペア株式会社	〒811-1313	福岡県福岡市南区日佐 5-15-24	TEL 092-585-5133
MC山三ポリマーズ株式会社	〒103-0012	東京都中央区日本橋堀留町 1-2-10 イトーピア日本橋SAビル	TEL 03-3662-0253
株式会社共和	〒462-0832	名古屋市北区生駒町 7-148-1	TEL 052-911-3984
四国リニューアル株式会社	〒780-0815	高知市二葉町 3-5	TEL 088-878-0050
ショーレジック株式会社	〒104-0032	東京都中央区八丁堀 3-14-4 直平ビル	TEL 03-3551-8391
成和リニューアルワークス株式会社	〒163-0610	東京都新宿区西新宿 1-8-1	TEL 03-5326-0720
株式会社総合開発	〒768-0065	香川県観音寺市瀬戸町 2-14-16	TEL 0875-25-4162
日本綜合防水株式会社	〒171-0022	東京都豊島区南池袋 3-11-10 ペリエ池袋	TEL 03-5950-8211
林建設工業株式会社	〒998-0023	山形県酒田市幸町 1-6-6	TEL 0234-23-3322
フジモリ産業株式会社	〒141-0022	東京都品川区東五反田 2-17-1 オーバルコート大崎マークウエスト	TEL 03-5789-2206
前田産業株式会社	〒755-0032	山口県宇部市寿町 3-5-23	TEL 0836-21-2666
株式会社マシノ	〒733-0822	広島市西区庚午中 1-19-23	TEL 082-507-2737
株式会社松井商店	〒062-0902	札幌市豊平区豊平 2 条 1-1-1	TEL 011-820-8688
株式会社マノール	〒120-0047	東京都足立区宮城 2-4-16	TEL 03-3927-1331
株式会社三原工業	〒531-0074	大阪市北区本庄東 1-22-3 四本ビル	TEL 06-6371-9947

協会事務局

〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 1-2-10 イトーピア日本橋SAビル MC山三ポリマーズ(株)内
TEL 03-3662-0253 <http://www.chemicalfoam.jp>

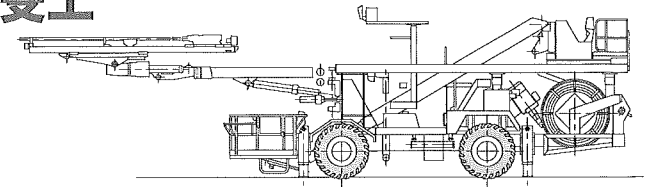
製造元 日清紡ケミカル株式会社 断熱事業部

〒289-2505 千葉県旭市鎌数9163-13 TEL 0479-60-3555

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

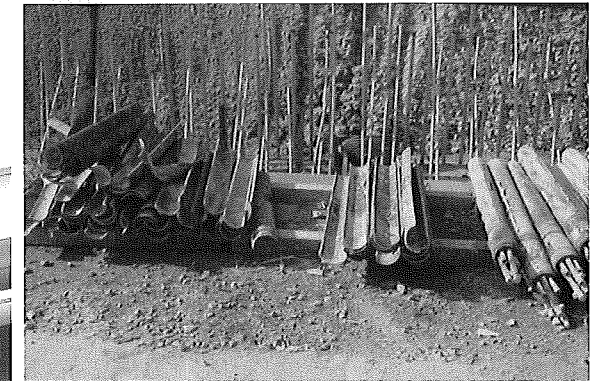
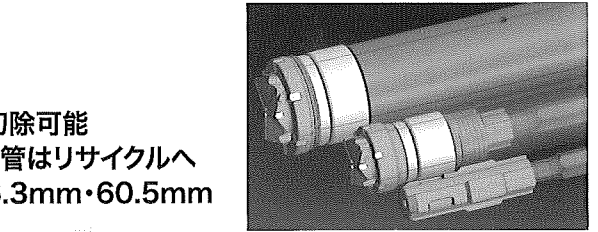
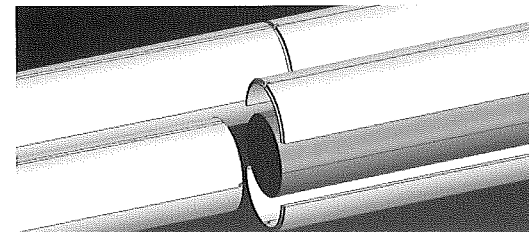
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



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。



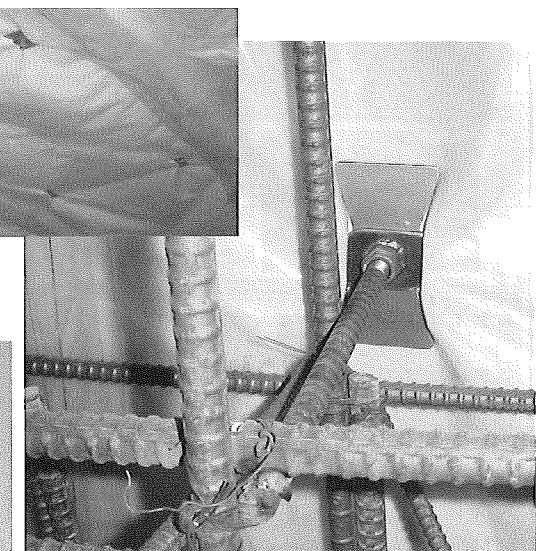
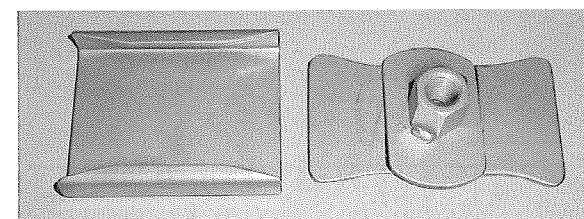
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

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



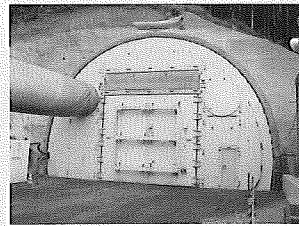
東邦金属株式会社 東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD

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

株式会社 トーキソール

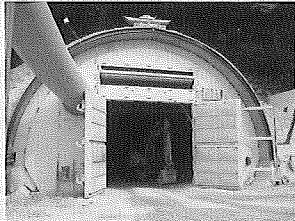
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel: 044-333-0012 Fax: 044-333-0321
(お問い合わせ先)

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



【防音扉】

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



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。

【防音扉マークII】の音響性能

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

【防音扉マークII 10s】の音響性能

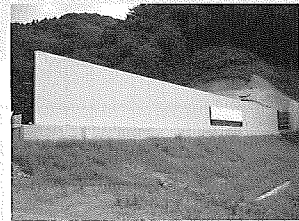
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	16 dB
2基設置	29 dB(A)	25 dB

【防音扉マークII 10c】の音響性能

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

【防音扉マークII 15c】の音響性能

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



【防音壁】
 【防音ハウス】
 【防音シェルター】
 【防音ボックス】

【防音パネルSタイプ】の音響性能

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

【防音パネルDタイプ】の音響性能

項目	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	22	32	37	38	37	43
吸音率【%】	51	77	75	81	71	62

【防音パネルHタイプ】の音響性能

項目	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	32	32	38	46	50	53
吸音率【%】	57	48	61	76	86	91

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

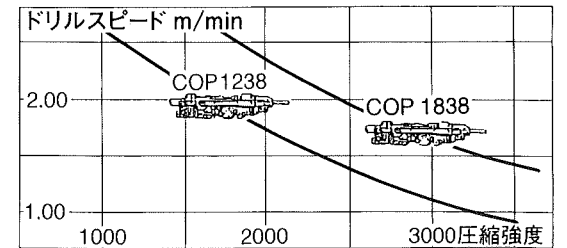
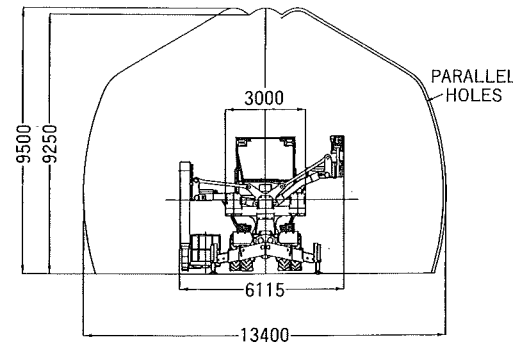
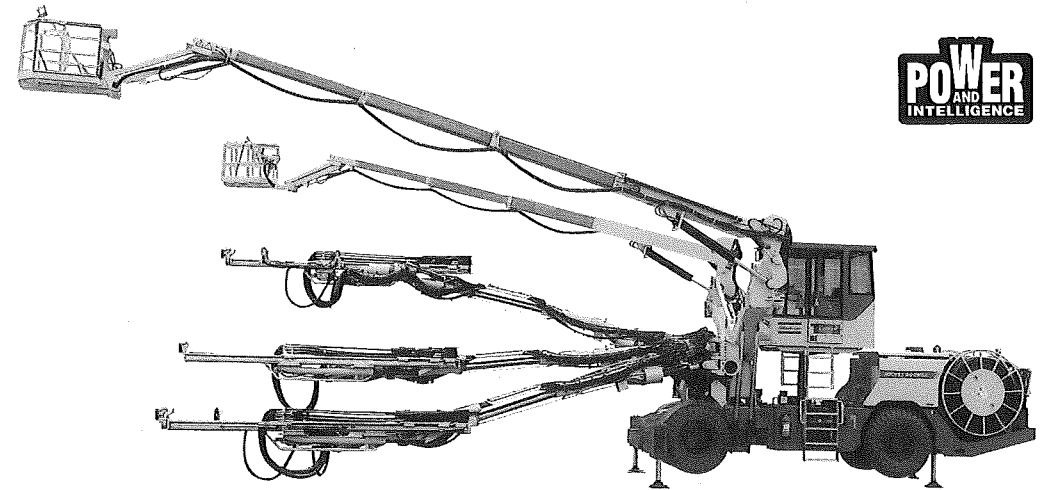


アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

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

防音設備の設計、製造、施工、リース

F2008 株式会社ヒューズ

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

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

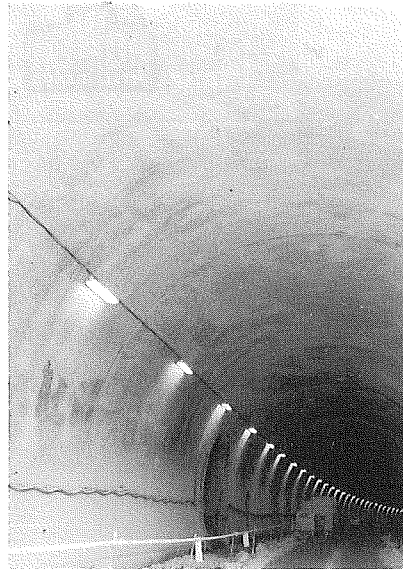
建設業登録：東京都知事許可(般-20)第130153号

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

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 ◆

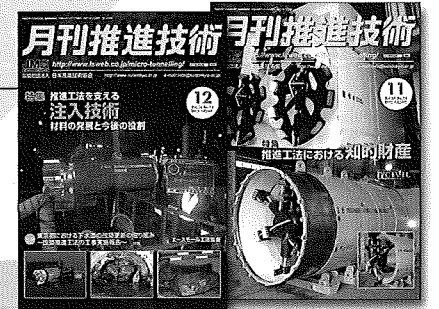


株式会社 **マール**

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

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います。

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039 加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間購読料金12,000円(毎月1冊×12ヶ月 税・送料込)をお支払いください。
詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

<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

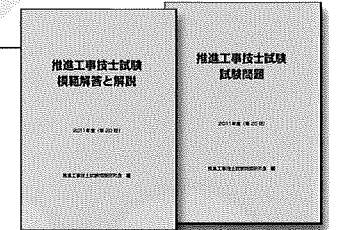
<http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/>

〒135-0046 東京都江東区牡丹2-2-3-105 株式会社 LSプランニング内
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail akasaka@lswb.co.jp

推進工事技士試験 過去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(社)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。

お問い合わせ先

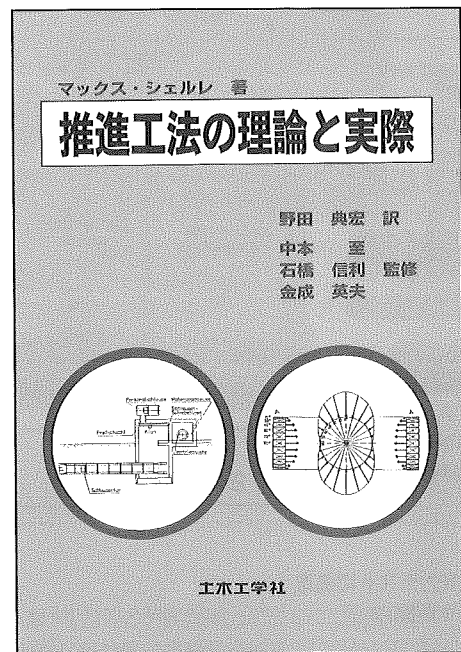
株式会社 LSプランニング

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

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

推進工法の理論と実際

マニュアルを超えて
推進工法の理解を
さらに深める一冊



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

推薦の言葉

中本 至・石橋信利・金成英夫

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

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

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

【好評発売中】

セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 送料 290円

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

このような状況を受けてここ10年ほどの間に、急激にいろいろなセグメントが提案され実用化された。これらのセグメントのうちにはよく似たものも多く、名称もバラエティに富み、その特徴や適用範囲などが明確でないため混乱が起きている例もある。

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

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

〈セグメントの新技术〉

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

株式会社 土木工学社

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

きりーとーりー線
《ご注文票》

セグメントの新技术 _____ 冊 申込みます。

所在地 〒 ()

事業所名

部 課 名

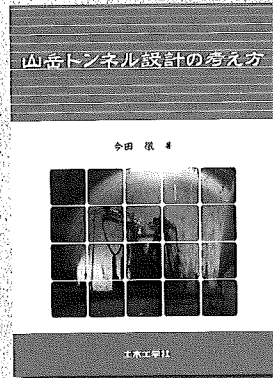
申込者名

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

株式会社 土木工学社

好評発売中

山岳トンネル設計の考え方



東京都立大学名誉教授

今田 徹 著

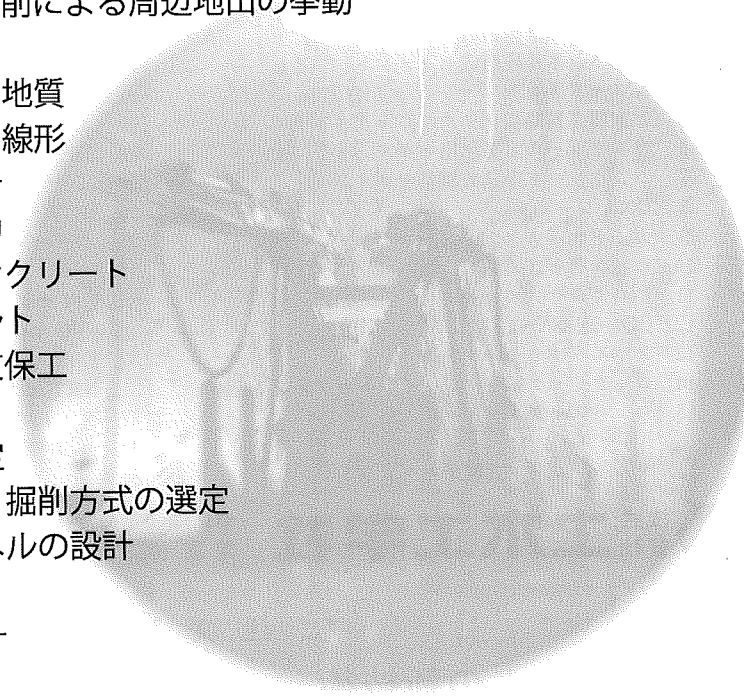


B5判 183頁 上製本 定価3200円+税

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

《主要目次》

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



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

株式会社 **土木工学社**

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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

トンネルの発破技術

監修 山田隆昭 B5判 76頁 定価1,500円+税(送料別途)

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで!
振動や騒音の環境問題を詳述!!

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

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

《主要目次》

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

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

株式会社 **土木工学社**

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



Tunnel & Mining

ニシオティアー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

■北海道支店
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

快適な運転、優れた耐久性



坑内専用リジッドダンプ FV50JJWD324

国土交通省排ガス3次トンネル工事事用指定

- 超耐磨耗性鋼板使用ベッセル
- 2重構造スーパーフレーム

【仕様】 三菱ふそう製 FV50JJWD324		一般ダンプ	FV50JJWD324
最大積載重量	10t	10t	25t
	4.520m	4.520m	4.520m
ホイールベース	11R22.5-14PR (8スタッド)	12.00-20-18PR (10スタッド)	12.00-20-18PR (10スタッド)
タイヤ&ホイール	6M70T3	6M70-TL	6M70-TL
エンジン	380PS/185kgf・m	370PS/154kgf・m	370PS/154kgf・m
最高出力kw (ps)/rpm	279 (380)/1,800	272 (370)/2,000	272 (370)/2,000
最大トルクN・m (kgf・m)/rpm	1,810 (185)/1,100 (JIS05)	1,510 (154)/1,600 (産業用第3次排出ガス規制)	1,510 (154)/1,600 (産業用第3次排出ガス規制)
パワーステアリング	シングル	ツイン	ツイン
フレーム	17	18+18 (二重フレーム)	18+18 (二重フレーム)
その他	—	専用アスフル&サスペンション	専用アスフル&サスペンション



道路、トンネル設計 (本体工, 換気, 防災, 照明, 施工管理他)



(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。

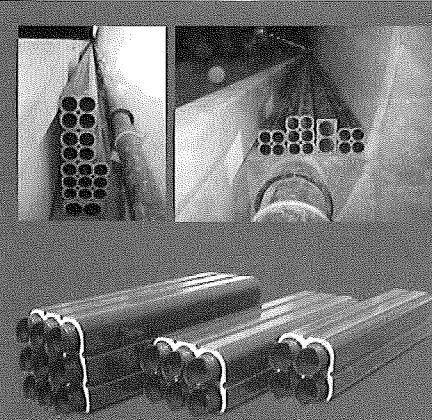
- タイヤ間の間隙が無いため石を噛まない
- サイドの切断に強い
- 石および普通釘に強い
- 弾性波

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)



「安全・安心」な道路建設に
 セラダクトAネオは燃える
 ことはありません。
 トンネル内地中埋設管路

セラダクトA^{エース}ネオ
neo

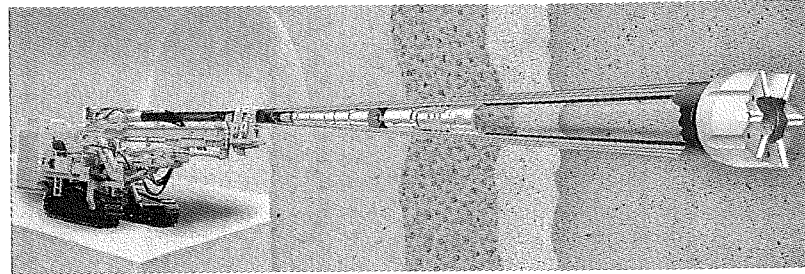
『不燃材』
 『特長』
 標準管の長さは65cmの新規格
 接続はカップリング方式で
 簡単スピーディー

 **杉江製陶株式会社**
 http://www.sugie.co.jp/

本 社・工 場 愛知県知多郡武豊町字上山一丁目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

トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーラインサンプリング工法



■ 特長

- ①断層破砕帯や湧水をともなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に、施工時間が大幅に短縮できます。
- ②2重管ワイヤーライン サンプリングシステムにより、地質条件にかかわらず、コアサンプルの採取率が従来とくらべて大幅に向上しました。

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

お問い合わせ先：工事営業本部
 TEL. (03)6907-7512 FAX. (03)6907-7522
<http://www.koken-boring.co.jp>



トンネル進捗率改善のための最新技術

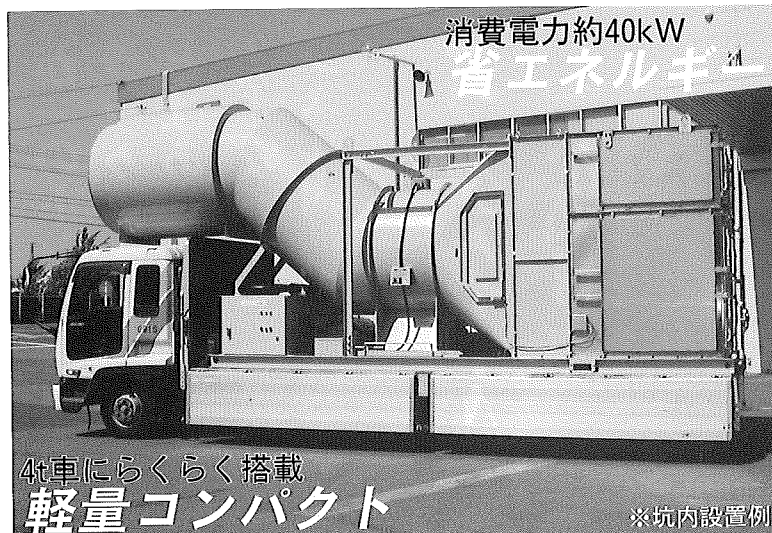
明かりが見えます

トンネルが貫通するまでの長い道のりの中で、工事完了までの間に大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。これらはすべて、お客様のご要望に沿って全てのプロジェクトに最適な技術サービスとサポートをご提供した結果です。

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

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



消費電力約40kW
省エネルギー

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

コストダウンを可能にする Kリング・Kプレート

施工方法等詳細については下記までご連絡ください

製造・販売元 静岡スチール

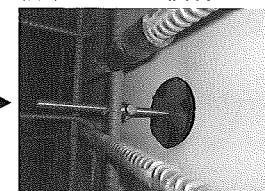
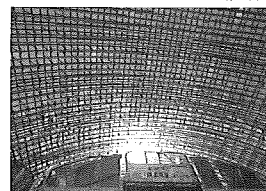
〒436-0342 静岡県掛川市上西郷765-1
 TEL: 0537-24-3886 FAX: 0537-24-3859
 Mail: ktk@r5.dion.ne.jp

①アーチ鉄筋組立金物(Kリング) 特許出願中(特願2001-309314号)

トンネル覆工工事におけるアーチ鉄筋組立金物。コストダウン、安全、工期、品質の向上を可能にします。

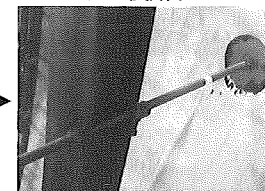
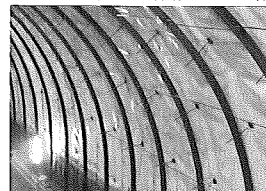
②トンネル覆工鉄筋防水シート接着ジベル筋組立(Kプレート)

円型プレートを直接支保工下地防水シートに接着して使用します。Kリングと併用します。



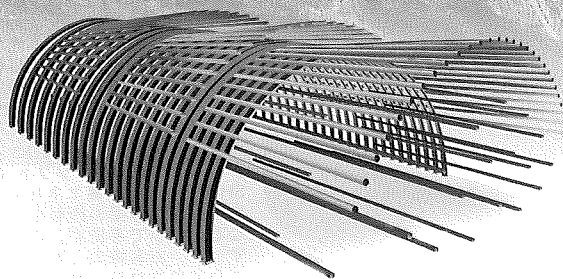
ウォータータイト(全周止水)トンネルにおいて覆工コンクリートの鉄筋を自立させることによって、鉄筋受け架台の鋼製支保工コストの大幅削減を可能にすることができます。

鋼製支保工を設置した場合もKプレートを使用することが可能です。



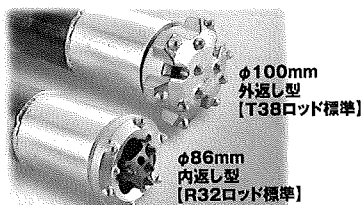
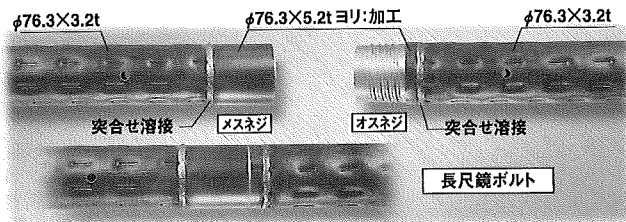
Kプレートで鋼製支保工を固定。架台の鋼製支保工の固定にも使用できます。

ユニークな発想でVEを提案



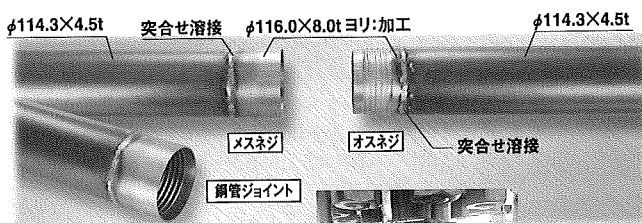
ストロング FIXチューブ(S型)

- ※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!

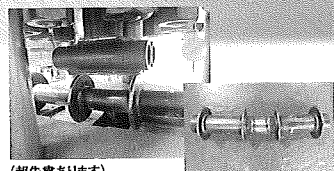


AGF-STD工法

- ※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!

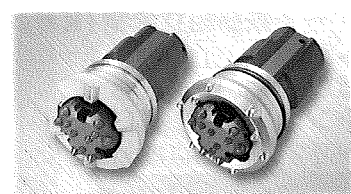
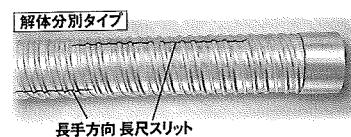
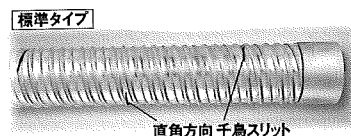


曲げ耐力30%UP!!



(報告書あります)
接続部の抗折力試験

撤去管の選択



STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124



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

注入材・その他工法

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

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

年頭のご挨拶

佐藤 信彦57

■研究

小土かぶり山岳トンネルの地震被害メカニズムと耐震設計法の提案

宮林 秀次・井浦 智実57

■施工

沢と交差する小土かぶり区間を地山改良工で掘削

—九州新幹線西九州ルート 三坂トンネル—

本野 一男・井浦 智実・稲永 岳洋・秋保 琢7

超近接双設トンネルを無導坑方式・早期閉合により施工

—舞鶴若狭自動車道 鳥浜トンネル—

中堀千嘉子・稲垣 太浩・牛田 和仁・奥野 哲夫15

取水口ケーソンと取水路シールドを海底下で接合

—JR川崎火力発電所4号機取替増強に伴う取水設備新設—

小島 淳史・白石 浩三・秀嶋 桂・渡辺 幸喜23

全長44.6km, 最大土かぶり1,246mでマレー半島を貫く

—マレーシア パハン・セランゴール導水トンネル—

河田 孝志・仲野 義邦・水戸 聡33

■連載講座

トンネル技術者のための地相入門(9)

—断層とトンネル工事(1)—

「地相入門」連載講座小委員会69

■現場だより

「日本一の海岸美」岩手県田野畑村より

佐々木照夫14

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

トンネル技術者よ、世界に羽ばたけ!

満下 直紀45

■資料

土木情報

編集部32

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会79

トンネルジャーナル

編集部56

工法・技術・製品ニュース

編集部80

■会報

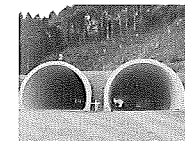
会報

日本トンネル技術協会82

【表紙説明】

超近接双設トンネルを無導坑方式・早期閉合により施工

—舞鶴若狭自動車道 鳥浜トンネル—



舞鶴若狭自動車道鳥浜トンネル(延長149m)は、超近接双設トンネルを先進坑・後進坑の全線で切羽後方5~10mで吹付けコンクリートと鋼インバート支保工によるインバートの早期閉合で施工した。地山の緩みを極力抑制し、中央壁(ピラー部)の地山改良などの補強工を実施せずに無導坑方式で掘削した。写真は、坑口全景である。

【写真提供：中日本高速道路(株)】(本文15頁参照)

ヤマモト たくがんき 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

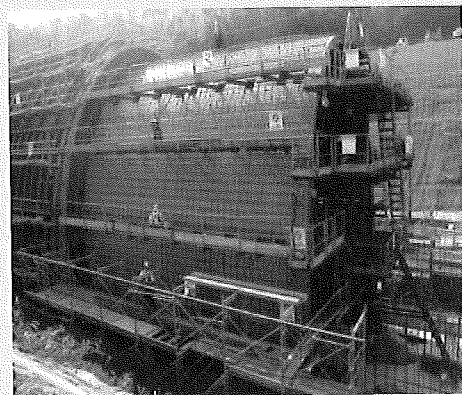
本社 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号富士ビル ☎(03) 3201-0701(代)

工場 広島県庄原市東城町36番地 ☎(08477) 2-2137(代)

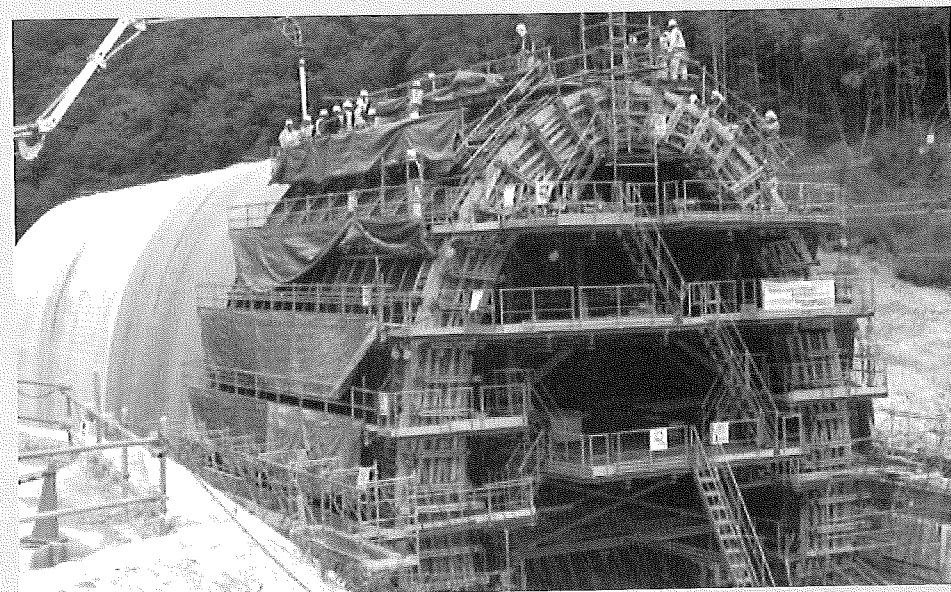
仙台営業所 (022) 262-4531(代) 大阪営業所 (06) 6531-1571(代) 高知営業所 (0888) 22-1367(代) 九州営業所 (092) 471-0381(代)

(明かり巻き)
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専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襖作業 → 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

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

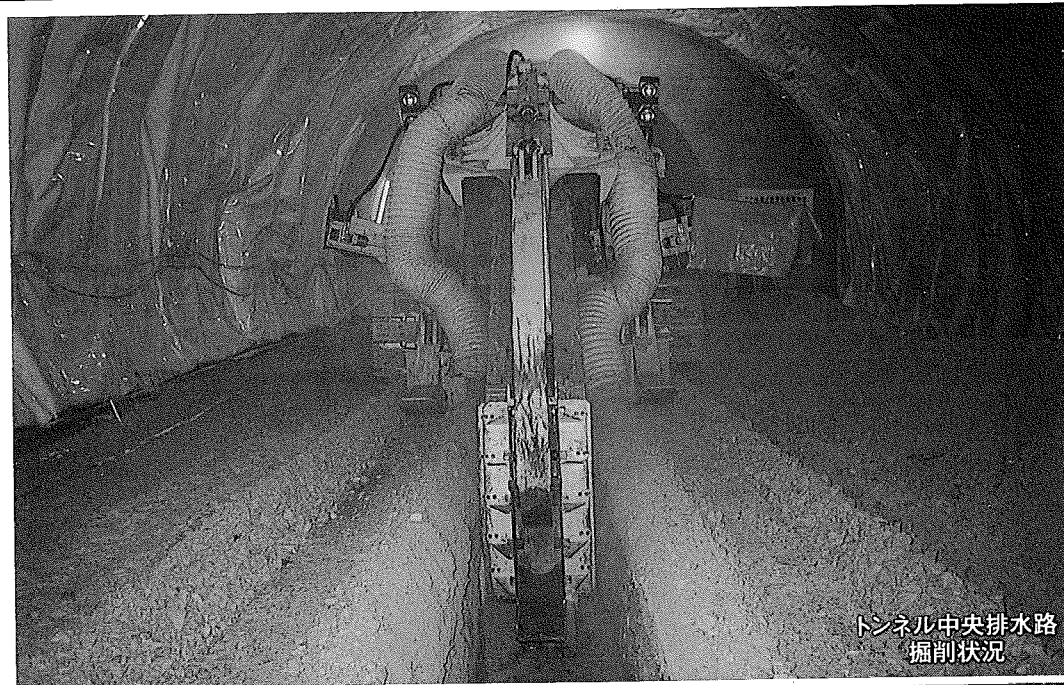
大 島 洋 志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹 事〕

居 相 好 信 株式会社大林組生産技術本部統括部長	志 岐 寛 清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部 部長
岩 田 美 幸 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	福 家 佳 則 鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部 トンネルグループ長
大 石 敬 司 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部次長	松 原 利 之 飛鳥建設株式会社建設事業本部 エンジニアリング事業推進部長
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	三 浦 克 株式会社竹中土木常務執行役員
金 山 洋 一 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長	吉 富 幸 雄 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル技術室室長
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	

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務部兼設備部 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

沢と交差する小土かぶり区間を地山改良工で掘削
—九州新幹線西九州ルート 三坂トンネル—

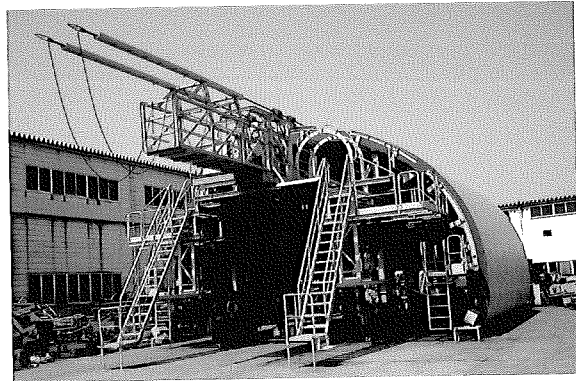
鉄道・運輸機構 本野 一男

要求性能を満たす 覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレータ装置

NETIS 登録 No.HR-080001-A

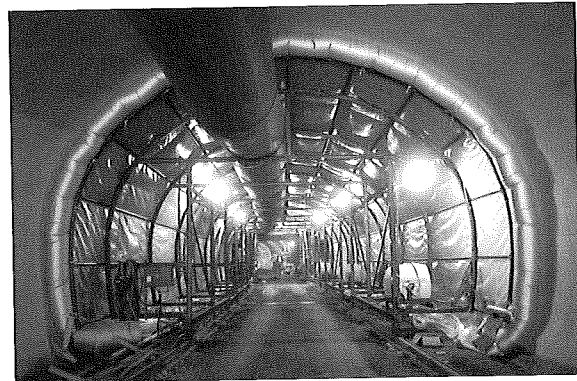


期待される効果・特徴

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

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-A



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



写真は地山改良工の施工完了状況

掲載頁
15

超近接双設トンネルを無導坑方式・早期閉合により施工
—舞鶴若狭自動車道 鳥浜トンネル—

中日本高速道路(株) 中堀千嘉子

舞鶴若狭自動車道鳥浜トンネル(延長149m)は、超近接双設トンネルを先進坑、後進坑の全線にわたり、切羽後方5~10mで吹付けコンクリートと鋼インバート支保工によるインバートの早期閉合で施工することで、地山の緩みを極力抑制し、中間地山部分(中央壁)の地山改良などの補強工を実施せずに無導坑方式で掘削した。本稿では、後進坑通過時の先進坑の内空・壁面変位を計測した結果から、同トンネルの変形挙動を示すとともに、その特性について考察する。また、掘削と早期閉合の施工過程を適切にモデル化した3次元弾塑性解析結果を参考に、超近接双設トンネルの施工法として早期閉合の有効性と今後の課題を述べる。

Extremely Close Twin Tunnels with No-heading / Early Closing with Invert Steel Ribs —Maizuru-Wakasa Expressway, Torihama Tunnel—

By Chikako Nakahori, Central Nippon Expressway Company Limited

Torihama Tunnel (149 m in length) on The Maizuru-Wakasa Expressway is extremely close twin tunnel that was constructed without heading tunnel and soil stabilization between two tubes. Its construction was conducted to inhibit loosening of ground by spraying shotcrete and placing invert steel ribs 5-10m behind the cutting face throughout both tubes. This report discusses the characteristics of deformation behaviour of twin tunnel during construction showing the results of convergence measurement and wall deformation of advancing tube when cutting face of following tube passing. Further, this reports states the effectiveness of quickly closing with invert steel ribs as a tunneling technique for extremely close twin tunnel and future challenges with references to three-dimensional elasto-plastic analysis results that suitably simulated the construction processes of excavation and quickly closing.



写真は坑口全景

取水口ケーソンと取水路シールドを海底下で接合

—JR川崎火力発電所4号機取替増強に伴う取水設備新設—

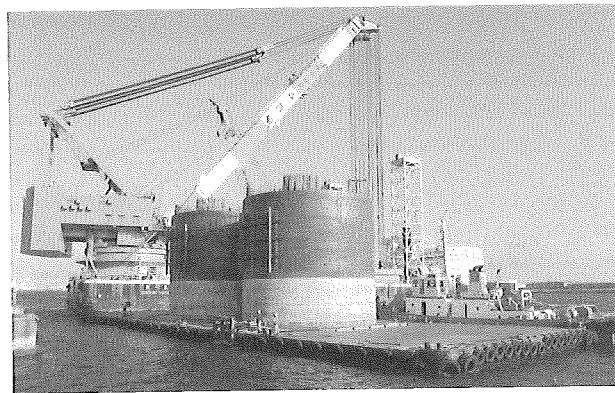
東日本旅客鉄道(株) 小島 淳史

本工事は、ニューマチックケーソン工法により施工した海底下の取水口と取水路シールドを接合するものである。シールド到達部は、到達立坑を兼用した取水口(ケーソン)躯体であり、約0.34MPaの高水圧下となるため、到達時の泥水の噴発が懸念された。このため、ケーソン躯体内に高水圧に耐えうる到達室を設置し、その中にシールドが到達する計画とした。

本稿では、軟弱粘性土地盤におけるニューマチックケーソンの施工結果およびシールド到達時の施工結果について報告する。

Connect Channel Shield Tunnel to Intake Caisson below the Seabed —JR Kawasaki Thermal Power Station, New Intake Facility to Replace / Reinforce of Generator No. 4—

By Atsushi Kojima, East Japan Railway Company



写真は鋼殻施工状況

These works are to connect an intake channel shield tunnel to an intake constructed below the sea bed with pneumatic caisson method. It was planned that shield would arrive at a structure (caisson) of intake that is combined with its arrival shaft and there was concern about collapse due to breaking-out of slurry with high water pressure of approx. 0.34 MPa at the time of shield arrival. For this reason, we made a plan to install an arrival room to endure high water pressure within the intake caisson where shield would arrive in.

This report gives information on construction results of the pneumatic caisson and shield arrival in weak cohesive ground.

全長44.6km, 最大土かぶり1,246mでマレー半島を貫く

—マレーシア パハン・セランゴール導水トンネル—

清水建設(株)・西松建設(株)・UEMB・IJM共同企業体 河田 孝志

マレーシアに位置するパハン・セランゴール導水トンネルプロジェクトは、全長44.6kmの長大トンネルプロジェクトである。本プロジェクトは、4工区2.5kmの作業トンネル、44.6kmの導水トンネル本体は、トンネルを8工区に分け、そのうち3工区34.6kmをTBM(Tunnel Boring Machine)、4工区9.1kmをNATM(New Austrian Tunneling Method)、1工区0.9kmを開削工法で施工する海外特有の大規模プロジェクトである。2008年4月28日開札、2009年4月28日着工命令、5月25日契約調印式が執り行われ、6月1日に着工し、現在に至る。

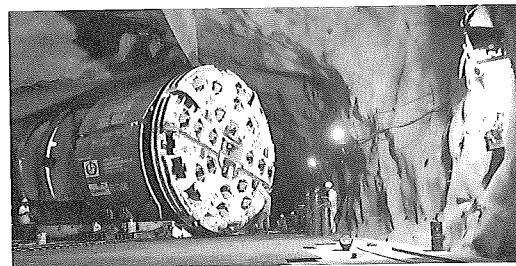
本稿では、一軸圧縮強度最大200MPaの花崗岩、最大土かぶり1,200m下での山はね発生および岩盤温度上昇、大量突発湧水区間、小土かぶり河川横断部などの厳しい条件でのTBMおよびNATMの施工結果を報告する。

44.6 km Tunnel with Maximum Overburden of 1,246 m Passing through the Malay Peninsula —Pahang-Selangor Raw Water Transfer Tunnel, Malaysia—

By Takashi Kawata, Shimizu Corporation, Nishimatsu Construction, Ltd., UEMB, IJM Joint Venture

The Pahang - Selangor Raw Water Transfer Tunnel in Malaysia is a long tunnel of 44.6 km. This project is a large-scale specific overseas project to construct 2.5km work tunnel divided into 4 lots and a 44.6 km raw water transfer main tunnel in 8 lots with 3 lots (34.6km) with TBM, 4 lots (9.1km) with NATM and 1 lot (0.9km) with the cut-and-cover method. Bids opened on 28th April, 2008, notice to proceed was given on 28th April, 2009, the contract was signed on 25th April and construction began on 1st June and has continued up until the present.

This report gives information on TBM and NATM construction results under difficult conditions such as granite with maximum unconfined compression strength of 200 MPa, occurrence of rock-burst under overburden of maximum 1,200 m, rise in ground temperature, large-volume water inflow and excavation under river with small overburden.



写真はφ5.2mTBM坑内搬送状況

小土かぶり山岳トンネルの地震被害メカニズムと耐震設計法の提案

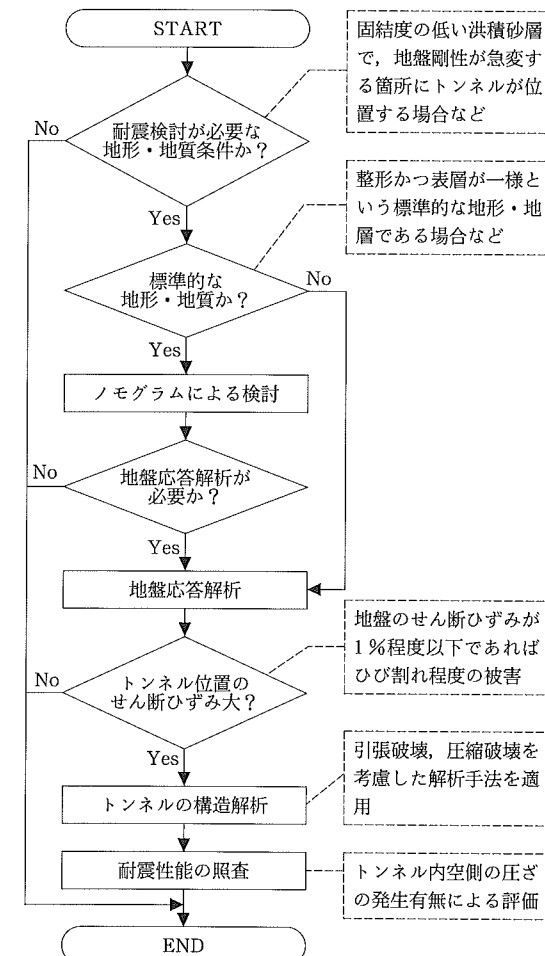
鉄道・運輸機構 宮林 秀次

無筋コンクリートからなる山岳トンネルの覆工については、定量的な耐震性能の検討は通常は行われず、経験にもとづく定性的な評価がなされているのが現状である。本研究では、小土かぶり山岳トンネルを対象とし、その地震被害メカニズムを把握するために、現地計測および模型実験を実施した。その結果、小土かぶり山岳トンネルが地震時にせん断変形すること、また、地盤のせん断変形によって実際と同様の被害モードが生じることを確認した。さらに、数値解析による検討結果より、地盤条件によってはトンネルも被害を生じ得ること、繊維補強コンクリート覆工により被害を軽減できることを確認した。以上の結果にもとづき、性能規定による小土かぶり山岳トンネル覆工の耐震設計手法を提案した。

Seismic Damage Mechanisms and Seismic Design for Shallow Mountain Tunnels

By Hidetsugu Miyabayashi, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

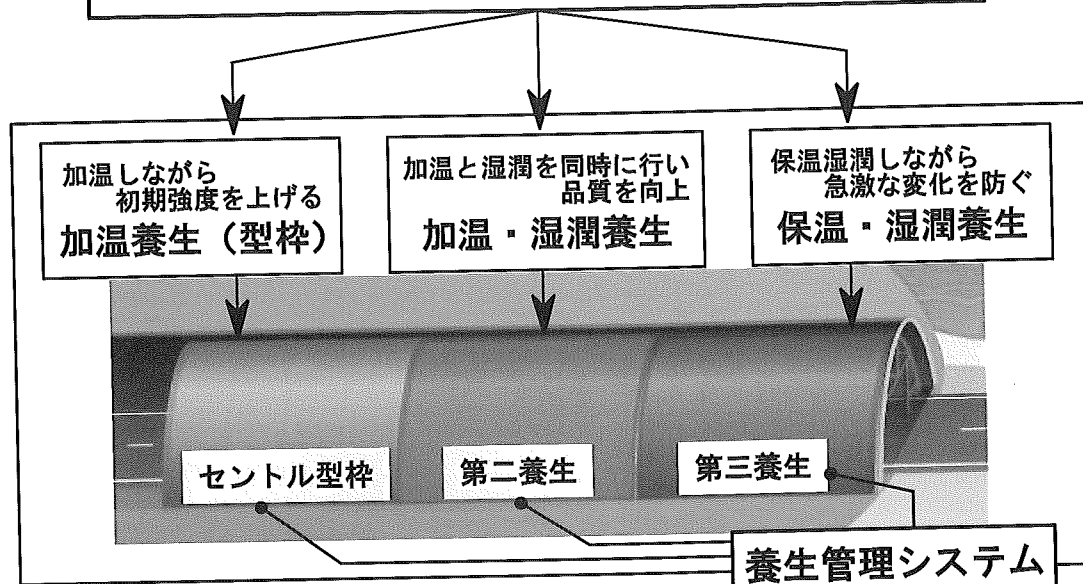
Seismic Capacity of unreinforced concrete lining in mountain tunnel is evaluated qualitatively based on experience, quantitative one is not normally assessed. This study implemented on-site measurements and model experiments in order to understand seismic damage mechanisms for shallow mountain tunnels. In the results, we confirmed that shear deformation could occur in shallow mountain tunnels at the time of an earthquake and model experiments could recreate same damage modes as those which actually occurred caused by ground shear deformation. Furthermore, through the results of numerical analysis, it was confirmed that damage could also occur in tunnels due to ground conditions and that it was possible to reduce damage with fibre-reinforced concrete lining. Based on the above results, we proposed seismic design methods for lining in shallow mountain tunnel through performance based requirements.



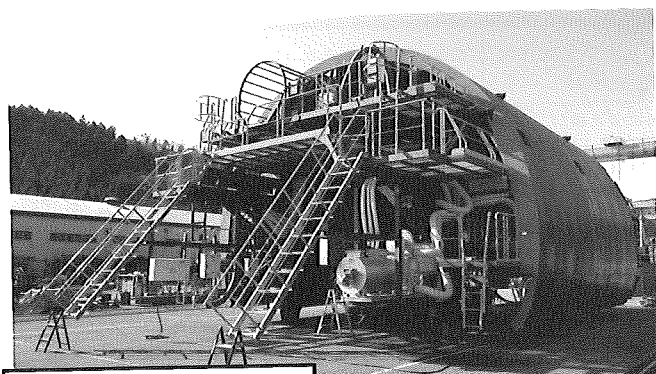
図は小土かぶり山岳トンネルの耐震設計フロー

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

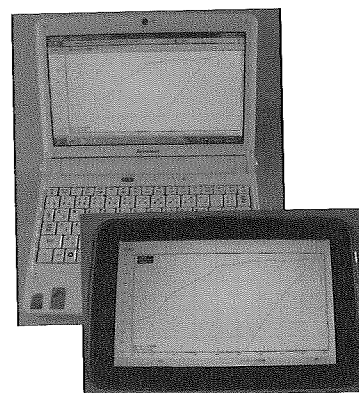


型枠脱型時また養生台車での強度を予測管理できるソフトが組み込まれています。



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)

年頭のご挨拶



(社)日本トンネル技術協会会長

佐藤信彦

明けましておめでとうございます。日本トンネル技術協会(JTA)の諸活動について、格段のご支援、ご協力をいただきまして、ありがとうございます。本年も引き続きよろしくご指導、ご鞭撻を賜りますよう、お願いいたします。

わが国の経済動向は、世界経済の減速、さらに対外的な課題もあり、わが国の輸出にも大きく影響を及ぼしており、外需にはあまり期待できない状況が続いています。

一方で一昨年の3月11日に発生した東日本大震災の復旧・復興は、徐々に進展してきているところではありますが、まだまだ十分とは言えない状況にあり、進展速度の加速も期待されているところです。内閣府の昨年8月の試算では、平成24年度のGDPデフレーターは▲0.3%ですが、平成25年度は+0.2%とプラス側に想定されており、いよいよデフレ経済からの脱却が想定されているところで、こういったことから復興需要による継続的な経済成長の押し上げを期待するところです。トンネル事業では、平成24年度は継続中ではありますが、国内工事の請負高はやや下降気味であり、海外はやや上向きの傾向にあるなど、統計的には種別による凹凸はあるものの、全般的に見ると、ほぼ横ばいの流れが読み取れます。こういった中で、経済成長の期待を現実にするためにも、極力マイナス要因を除去することが重要な課題だと思います。

昨年はいくつかの大きな工事中事故が発生しました。2月7日には、岡山県倉敷市のJX水島製油所海底トンネル掘削(シールド)工事現場において、異常出水による大きな事故が発生しました。国土交通省では、この事故を受けて、再発防止の観点からシールドトンネルの設計・施工技術について、安全面などからの技術的な検討を行う「シールドトンネル施工技術安全向上協議会」を設置しました。

第3回協議会後に中間報告が公表されています。この段階では事故原因の特定までは

至っていませんが、事故の要因となる事項の洗い出しはなされており、その内容が注意事項として公表されています。

また、5月24日には新潟県南魚沼市欠之上の国道253号八箇峠トンネル内の工事現場で、爆発事故が発生しました。倉敷市の事故と同様、国土交通省では、「八箇峠トンネル事故に関する調査・検討委員会」を設置し、事故の発生原因や、再発防止策などについて専門的見地から検討しているところです。

八箇峠事故は爆発事故であったことから、坑内の可燃性ガス発生箇所付近のボーリング調査や可燃性ガス滞留メカニズム調査を含めて、従前の可燃ガスに対する安全対策事例と法規・指針・通達との整合も検討されています。

この事例でも、八箇峠トンネル(十日町工区)工事を参考として、工事再開に向けた課題と配慮事項(案)として、入坑前手順や可燃性ガスの検知方法、可燃ガス発生時の運用などが示されています。今後さらに詳細な爆発事故防止策および配慮事項の提言が行われるので、注視する必要があります。

事故は悪条件が重なって起こることではありますが、事前の調査、施工計画などを十分行い、安全性を高めることが重要であります。当協会としても、技術委員会を通じ、安全に努めて参りたいと考えています。

技術委員会には現在5つの小委員会があります。今日的な課題や会員のニーズを把握するため情報収集、各小委員会の調査研究への反映に努め、図書資料の頒布や『トンネルと地下』誌に掲載し、会員相互および新しいトンネル技術者の育成を目指しています。今年度の当協会の他の委員会活動としては、国際委員会では海外でのトンネル技術に関する雑誌記事の翻訳などを通して『トンネルと地下』で紹介するなど、幅広い技術の吸収に努めております。

会員各位におかれましても、いつもお願いしていることではありますが、今年も現場からの発想として、どしどし委員会にご意見をお寄せいただき、当協会を軸として、安全を含めたトンネル技術の発展に努力していこうではありませんか。

施工

沢と交差する小土かぶり区間を地山改良工で掘削

—九州新幹線西九州ルート 三坂トンネル—

鉄道・運輸機構九州新幹線建設局武雄鉄道建設所主任 本野一男

鉄道・運輸機構九州新幹線建設局武雄鉄道建設所長 井浦智実

清水・青木あすなる・唐津土建特定建設工事共同企業体所長 稲永岳洋

清水・青木あすなる・唐津土建特定建設工事共同企業体現場代理人 秋保琢

1 はじめに

九州新幹線西九州ルートは、武雄温泉・諫早間(線路延長約45km)の工事実施計画が平成20年3月に認可され、暫定的に整備が開始されていた。その後、武雄温泉・長崎間(線路延長約66km)の工事実施計画が平成24年6月に認可され、現在整備が進められている(図-1)。

三坂トンネルは、佐賀県嬉野市に位置する延長1,400mの山岳トンネルである。平成23年12月よ

り横坑掘削、平成24年1月より本坑掘削に着手し、現在の本坑掘削延長は、約320m(平成24年9月末時点、切羽位置9km440m付近)を超えたところである。ほぼ全線にわたり小土かぶりであることから、掘削時の切羽安定性の確保と沈下の抑制が課題となっている。

本稿は、対策工として地山改良工を採用して突破した小土かぶり区間における掘削計画および掘削実績について報告するものである。

2 地形・地質概要

三坂トンネルの平面図および地質縦断面図を図-2に示す。三坂トンネルは、下宿丘陵と呼ばれる標高50~90m程度の小起伏の丘陵地を通過している。丘陵地は河川などによる開析が進んでおり、トンネルは途中3か所の沢部と交差する。沢部では、トンネル天端あるいはトンネル全体が地上に露出する位置関係となるが、セメント改良盛土によるトンネル構造として一本化する計画である。

土かぶりは最小約2m、最大約40mであり、全線にわたって小土かぶりという特殊条件を有している。トンネル直上の主な土地利用形態は、茶畑、山林であり、起点方には産業廃棄物中間処理施設が存在している。また、トンネルには家屋や複数のため池が近接しており、ため池からの用水路、市

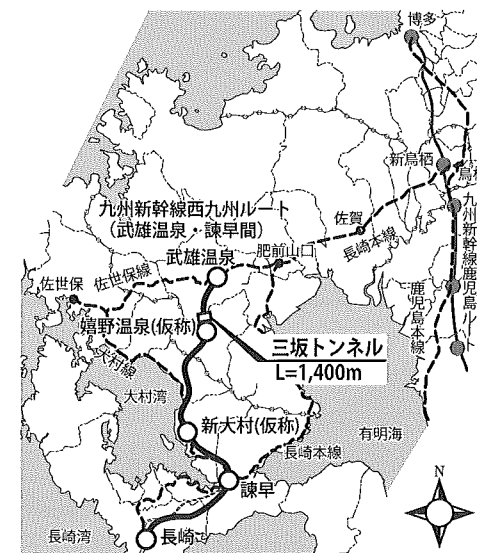


図-1 九州新幹線(西九州ルート)位置図

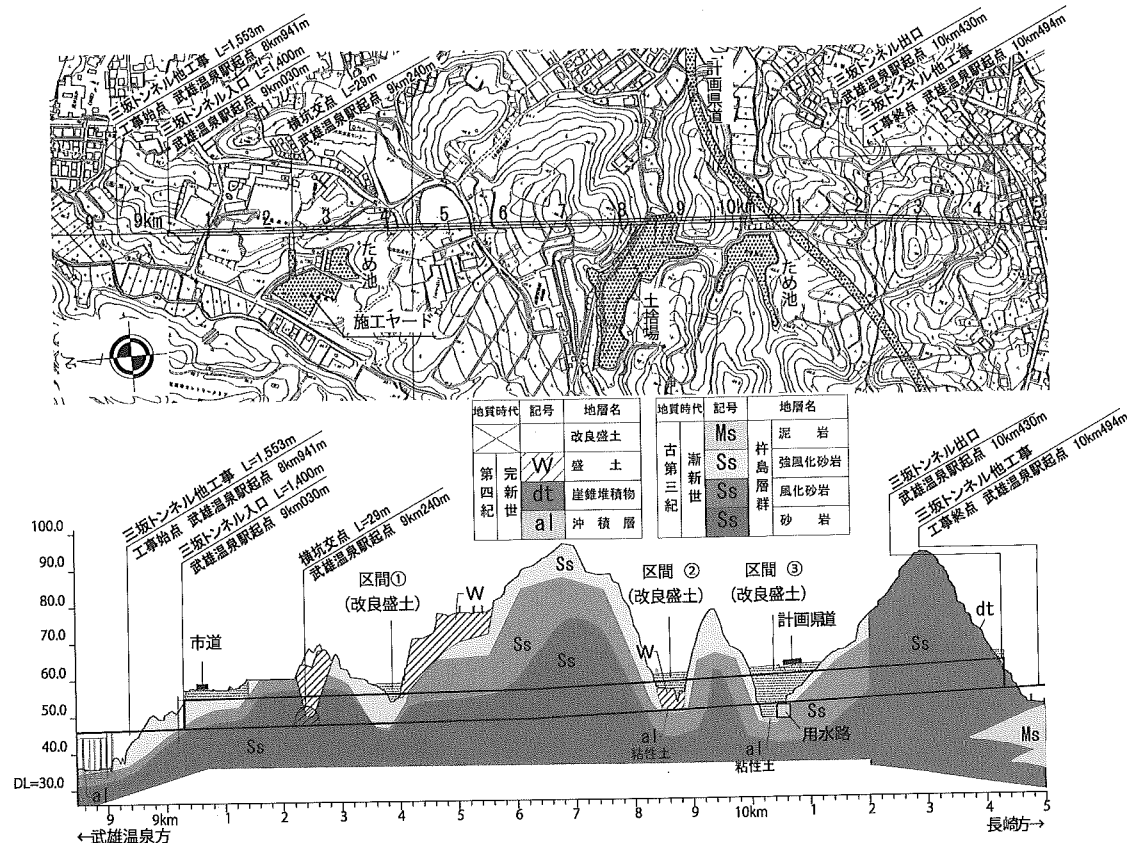


図-2 三坂トンネル平面図および地質縦断面図

道および将来的に整備が予定されている計画県道などの交差物件が存在する。

掘削対象地質は、基盤層である古第三紀漸新世に形成された杵島層群砂岩層が主体で、その上部には部分的に盛土層が分布している。砂岩層は、微細粒～細粒で固結度が高く硬質であり、とくにトンネル下部には新鮮かつ安定した岩盤が分布している。全体的に泥質な砂岩層であり、層理面には明瞭な粘土層の介在がみられる。

一方、表層付近は風化が進行し多亀裂な状態となっており、著しい強度低下を示す。強風化部は顕著なスレーキング特性を示し、岩片はハンマーの軽い打撃で容易に細片化する程度の硬さである(写真-1)。また、沢部に分布する表層の砂岩層は、土砂化が進行しており、脆弱な未固結地山状態を呈している。

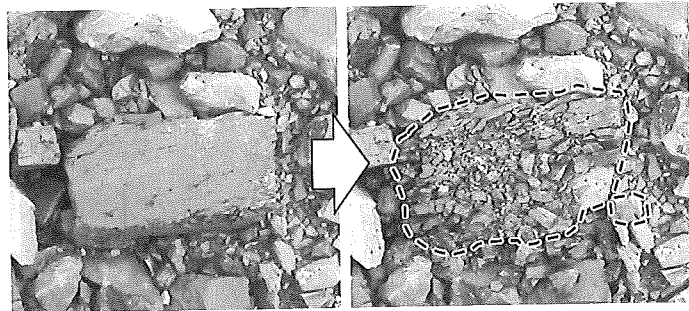


写真-1 強風化砂岩のスレーキング特性

3 小土かぶり区間の概要

小土かぶりとなる3か所の沢部(図-2参照)の施工概要について述べる。

区間①の断面図を図-3に示す。トンネル天端が一部露出し、かつ、掘削断面内に土砂化した脆弱層が分布するため、切羽安定対策として地山改良工を採用し、山岳工法にて施工する計画としている。地山改良工は、トンネル掘削に先立って地上

から表層の脆弱部を除去し、セメント改良土と置換することにより地山強化を図る工法である。整備新幹線のトンネル工事で豊富な実績を有しており、小土かぶりトンネルにおける有効性が実証されている(例えば1)~3)。

他の2か所(区間②、③)については、トンネル断面が地表に露出する地形条件であることから、セメント改良盛土によるトンネル構造として計画している。

区間②については、本線西側の沢部上流側を土捨場として盛土造成する計画であり、沢部に存在する地下水についてはトンネル下部を疎通させ、トンネルによるダムアップ現象を防止する構造を検討している。

区間③の概要を図-4に示す。この区間は、トンネルがため池と近接しており、かつ、将来的に整備される盛土構造の計画県道がトンネルの直上に土かぶり約2mで交差する計画となっている。また、トンネル直下には、ため池からの用水路(ボックス構造、内空4.0m×2.0m)をトンネル工事に先立って構築することとしており、最終形状は複雑

な立体交差構造となる。

なお、これら小土かぶり区間においては、二次覆工に力学的な機能を付加させる設計とし、土圧、上載荷重および交通荷重などの影響を考慮したRC複鉄筋の覆工構造として計画している。

以下、本稿は区間①の詳細について述べる。区間②、③の構造計画や施工概要については、別の機会に報告したい。

4 地山改良工の計画および施工

4-1 地山改良工の採用

区間①(図-3)は、トンネル側部にため池が近接しており、ため池側に傾斜した地形となっている。土かぶりがきわめて小さく、地形的にトンネル天端が一部地表に露出する。また、多亀裂な強風化砂岩と一部土砂化した未固結層が分布していることから、切羽安定対策および沈下抑制対策として地山改良工を延長50m(9km350m~400m)の範囲において採用することとした。

地山改良工は、掘削に先立ってトンネル天端にセメント改良土による安定した改良体を形成するため、確実性の高い補助工法といえる。また、坑内からの切羽作業とは別に、地上からの施工が可能となるため、坑内の補助工法が不要になることによる掘削サイクルの向上にも寄与するものである。

セメント改良土は、原地盤またはトンネル掘削ずりを有効利用し、それらにセメント系固化材を添加攪拌することで盛土材料とする。施工方法として

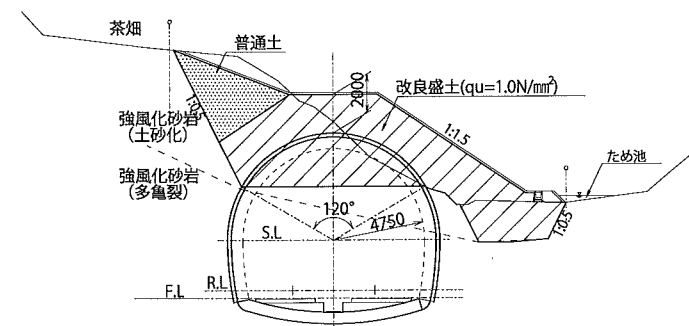


図-3 区間①(9km370m付近)断面図

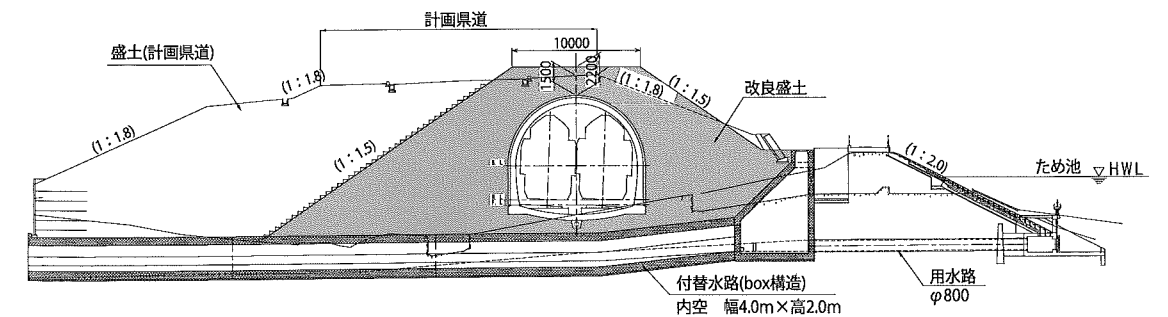


図-4 区間③(10km040m付近)断面図

は、改良盛土の施工規模に応じて、バックホウ攪拌による方法と、大型の自走式土質改良機を用いる方法との使い分けを行うこととしている。

なお、区間①においては、バックホウ攪拌を採用しており、今後施工予定の区間②、③については、改良盛土の施工規模が大きいことから施工の効率化を図るため、自走式土質改良機を用いた改良を計画している。

4-2 地山改良工の設計

改良範囲と改良強度の設計は、既往の実績^{2),9)}を参考に決定した。図-3に示すとおり、改良範囲としては土かぶり2mを確保するとともに、天端120°を包含する範囲とした。改良体の設計基準強度は、掘削時に切羽の自立性が期待できる程度とし、一軸圧縮強さ $q_u=1.0\text{N}/\text{mm}^2$ とした。

実際の配合については、セメント協会の技術基準⁹⁾にもとづき室内試験を実施して決定した。一軸圧縮強さについて、現場状況の変動を経験的に補正するための指標である強さ比(現場強度/室内強度)を考慮し決定した。表-1より、軟弱土のバックホウ攪拌の場合は、強さ比0.3~0.7であるため、

表-1 固化材の添加方法と強さ比の関係

固化材の添加方法	改良の対象	施工機械	強さ比(現場/室内)
粉体	軟弱土	スタビライザ	0.5~0.8
		バックホウ	0.3~0.7
	ヘドロ	クラムシェル	0.2~0.5
	高含水有機質土	バックホウ	
スラリー	軟弱土	スタビライザ	0.5~0.8
		バックホウ	0.4~0.7
	ヘドロ	処理船	0.5~0.8
		泥上作業車	0.3~0.7
	高含水有機質土	クラムシェル	0.3~0.6
		バックホウ	

表-2 改良体の一軸圧縮強さ

		一軸圧縮強さ(N/mm ²)	強さ比(現場/室内)
改良体の設計基準強度		1.0	—
配合設計	バックホウ攪拌	2.0	0.5
	自走式土質改良機	1.25	0.8

平均的な強さ比0.5を採用することとした。また、自走式土質改良機の場合は、攪拌混合性能が向上することを考慮し、スタビライザの最大値である強さ比0.8を採用した。以上により、配合設計強度としては表-2のとおり決定した。

固化材については、普通ポルトランドセメント、高炉セメント、六価クロム溶出量低減型の固化材3種類の添加量について、100~300kg/m³の範囲で検討を実施した。また、配合の選定にあたっては、六価クロム溶出試験を実施し、土壤環境基準の0.05mg/Lを満足することを確認した。

検討の結果、六価クロム溶出量低減型の固化材を採用することとし、添加量としてはバックホウ攪拌の場合で230kg/m³、自走式土質改良機の場合で180kg/m³と配合を決定した。

4-3 地山改良工の施工

改良方法としては、施工ヤードにおいて0.8m³級バックホウを使用して盛土材料と固化材を攪拌混合した。改良盛土の転圧については、1層厚30cmで撒出しを行い、振動ローラやタイヤローラを用いて1層あたり4回の転圧回数で締固めを行った。地山改良工の施工完了後の状況を写真-2に示す。

改良盛土の品質管理としては、通常の締固め管理に加え、簡易弾性波速度測定器による管理手法を実施した。この手法は、改良体のせん断弾性波速度 V_s と、室内試験結果より得た一軸圧縮強さ q_u の関係を整理し、若材齢時点のせん断弾性波速度から間接的に発現強度の推定を行うものである。本手法を通常の締固め管理と平行することで、よ



写真-2 地山改良工の施工完了状況

り精度の高い施工管理を行うことが可能となった。簡易弾性波速度測定器を用いた管理状況を写真-3に示す。

実際の施工管理結果を図-5に示す。改良体から不攪乱試料を採取し、一軸圧縮試験を実施した結果、材齢28日強度で1.1~1.9N/mm²程度の実績であった。また、それらの供試体を採取した地点における材齢1日時点のせん断弾性波速度は、おおむね $V_s=300\text{m}/\text{sec}$ を超える範囲に分布していた。そのため、実施工においては、 $V_s=300\text{m}/\text{sec}$ (材齢1日)という管理目標値を設定し盛土管理を実施した。

図中には、全施工日のせん断弾性波速度の分布をあわせて示しているが、管理目標値をおおむね満足しており、所定の改良強度が得られているものと判断される。

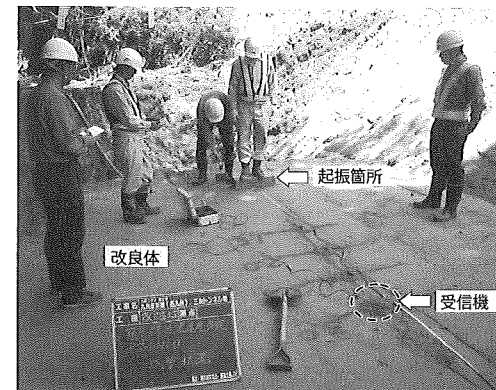


写真-3 簡易弾性波速度測定器による管理状況

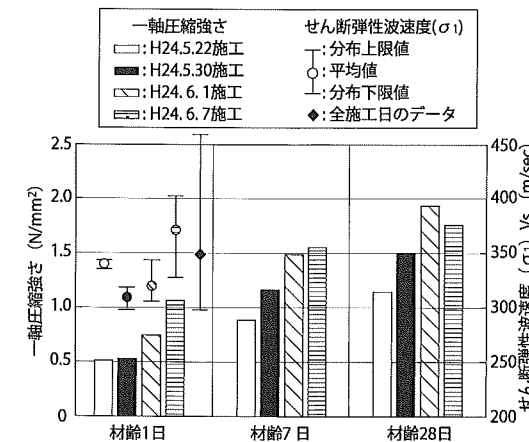


図-5 一軸圧縮強さとせん断弾性波速度の結果

5 掘削実績および地山改良工の評価

5-1 掘削方法および計測管理

三坂トンネルにおいては、大型の自由断面掘削機(300kW級)による機械掘削方式を採用している。掘削工法としては、切羽の自立性によって補助ベンチ付き全断面工法とベンチカット工法を使い分けている。区間①においては、地山改良工の効果によって天端の安定性は向上したものの、改良体下部に多亀裂の風化砂岩あるいは土砂化した未固結地山が存在するため、ベンチカット工法を採用している。また、支保構造は、吹付け厚150mm(最小)、鋼製支保工125H@1.0mを採用している。

地山挙動を把握するための計測工としては、通常のA計測に加え、地表面沈下計測を縦断方向に5m間隔で実施している。管理基準値については、限界ひずみによる手法を用いて表-3に示すとおり設定した。

5-2 掘削時の切羽状況

区間①における掘削時の切羽状況を写真-4に示す。天端付近には安定した改良体が形成されており、切羽の自立性が向上していることが確認された。しかしながら、改良体とトンネル下部の新鮮な岩盤との間には、節理が発達した多亀裂な強風

表-3 管理基準値

	天端沈下量(mm)	内空変位量(mm)
管理レベルI	33	67
管理レベルII	67	134
管理レベルIII	100	200

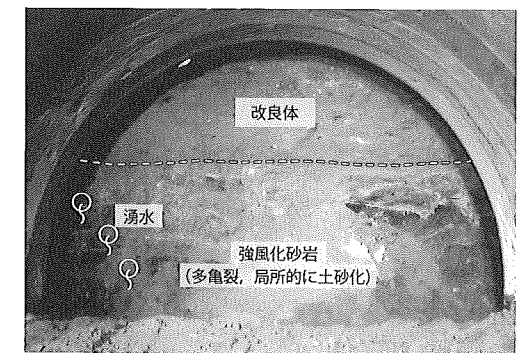


写真-4 切羽の状況(9 km360m)

化砂岩が存在し、かつ、局部的に土砂化が進行している状況であった。さらに、改良体下部には沢部上流から供給された湧水が発生しており、その影響によってトンネル上半脚部の不安定化が進行する状態が確認された。

5-3 計測結果および追加対策工の実施

区間①の9km355m地点における地表面沈下と坑内A計測の結果を図-6に示す。

地表面沈下については、上半切羽到達前の約1D(D：トンネル掘削幅、約10m)より約20mmの先行沈下の発生がみられ、上半通過後に約45mmとなり、最終的に下半通過後に約61mmで収束している。先行変位率は32.8%となり、トンネル掘削における一般的な地山挙動とほぼ同様の傾向である。

天端沈下についても、地表面沈下と同様の沈下傾向を示しており、最終的に約39mmで収束している。このように、地山改良工の効果によって天端の自立性向上が図られた結果、小土かぶり条件下においても沈下を効果的に抑制することが可能になったものと考えられる。

上半脚部沈下については、地山状態の違いにより左右で差が生じているものの、天端沈下と同様の沈下傾向を示している。上半通過、下半通過の各段階において、地表面沈下、天端沈下および脚部沈下がほぼ同様に進行しているのが特徴的であり、小土かぶりトンネル特有の「とも下がり現象」の発生が確認できる。

一方、内空変位に着目すると、上半掘削段階で約67mmの急激な内空変位が生じており、上半脚部の押し出しが確認された。この原因としては、5-2節で述べたとおり、局部的に土砂化した強風化砂岩に湧水による影響が加わり、上半脚部の泥濘化が進み、一時的に不安定な状態になったものと考えられる。その対策として、上半仮インバート(吹付け厚150mm)によって脚部補強工を実施した。上半仮インバートによる対策工を図-7に、その施

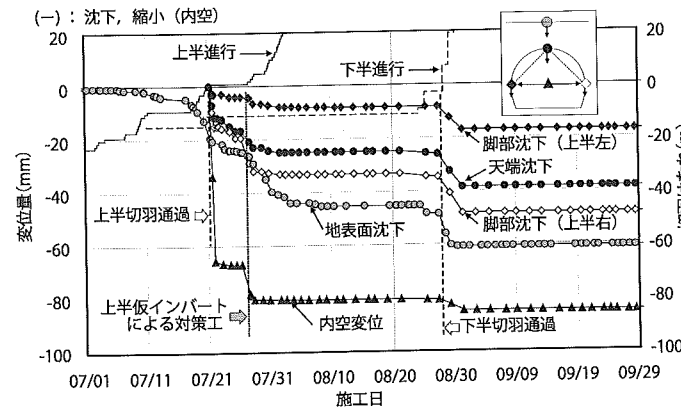


図-6 地表面沈下および坑内A計測データ(9km355m)

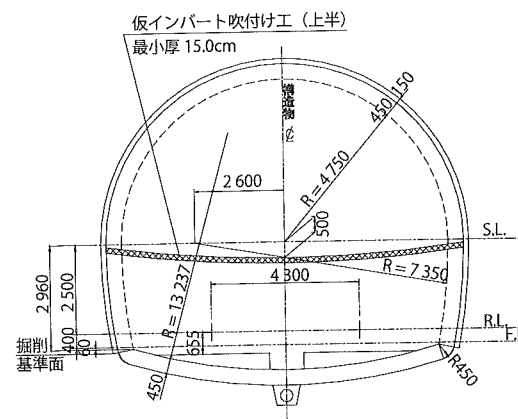


図-7 上半仮インバートによる対策工

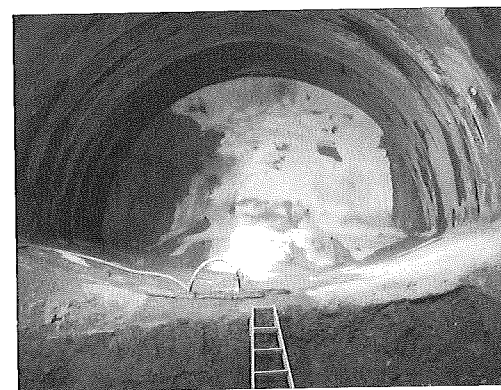


写真-5 上半仮インバートの施工状況

工状況を写真-5に示す。上半仮インバートの効果によって、上半脚部の安定性が向上した。下半には新鮮かつ安定した岩盤が分布していたため、図-6に示すとおり下半通過時には内空変位が小さく、早期に収束傾向が確認されている。

6 おわりに

三坂トンネルは、ほぼ全線にわたって小土かぶりという特殊条件を有しているが、地山改良工を採用することで安定した状態で掘削を進めることが可能となっている。本稿の内容が、今後の小土かぶりトンネルの設計・施工の一助になれば幸いである。

今後の施工区間においても、近接・交差構造物による厳しい制約を受けな

がらの施工が継続することになるが、関係機関と綿密な調整を図りながら、安全性および経済性に配慮したトンネル工事を進めていきたいと考えている。最後に、本トンネルの計画・設計・施工にあたり、ご指導、ご協力を賜った関係各位に深甚なる謝意を表す次第である。

参考文献

- 1) 北川隆・磯谷篤実・奥津一俊・川口隆徳：地山改良とサイドパイルで小土かぶり土砂地山を掘削，東北新幹線 牛鍵トンネル，トンネルと地下，Vol.135，No.4，pp.7-14，2004.4.
- 2) 北野仙之・水谷哲也・山本一郎・藤野晃：小土かぶりで連続する河川・民家・道路直下の段丘を掘る，北陸新幹線 第2魚津トンネル，トンネルと地下，Vol.40，No.5，pp.7-15，2009.5.
- 3) 梶田覚・中島活哉・亀井次生・黒田裕之：地山改良工で最大土かぶり7mの水田丘陵地を掘削，北陸新幹線 上中島トンネル，トンネルと地下，Vol.41，No.6，pp.7-14，2010.6.
- 4) セメント協会：セメント系固化材による地盤改良マニュアル(第3版)，2007.

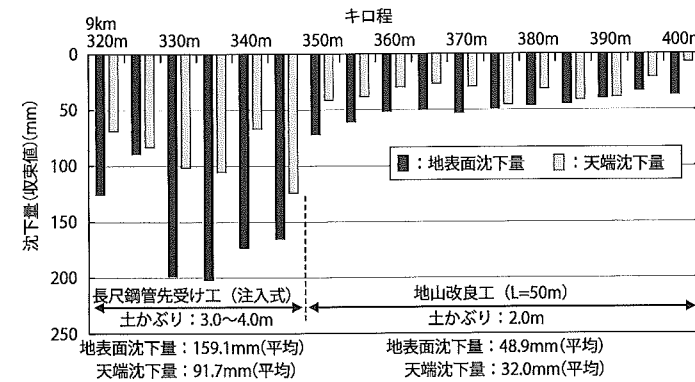


図-8 沈下実績の比較

5-4 地山改良工の効果の評価

地山改良工の効果について考察を行う。小土かぶりトンネルにおいては、一般的に沈下卓越の地山挙動を示すことから、ここでは、地表面沈下量と天端沈下量に着目して評価を行った。切羽安定対策工として、坑内からの長尺鋼管先受け工(注入式)を施工した区間と地山改良工を採用した区間(区間①)の沈下量の比較を図-8に示す。両区間は、土かぶりに相違はあるものの、地質分布状況、掘削工法などの条件は同様となっている。地山改良工を採用した区間においては、坑内からの対策工を実施した区間と比較し、地表面沈下量で平均31%程度に、天端沈下量で平均35%程度に抑制されている。地山改良工では、トンネル掘削に先立って、天端付近に信頼性の高い改良体が連続的に形成されるため、切羽到達前～切羽通過中～切羽通過後といった一連のトンネル掘削の影響を緩和し、周辺地山の安定性を大幅に向上する効果が発揮されるものと考えられる。

わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格 2,500円 円340円

本書は、「トンネルと地下」に17回にわたって連載した「トンネル技術者のための応用地質学入門」をベースに、加筆および整理してまとめたものである。本書では、最新のトンネル技術、地質学、ならびに、地質調査法などを挙げ、学生から実務者まで広範に満足させる内容となっている。

株式会社 土木工学社

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



「日本一の海岸美」岩手県田野畑村より

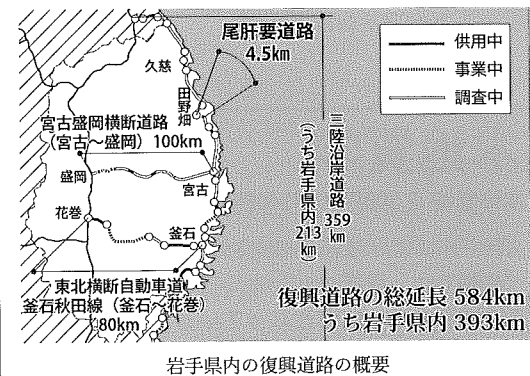
佐々木 照 夫

田野畑村は、岩手県北部の太平洋側に位置し、リアス式の海岸線は陸中海岸国立公園に指定されている。とくに、北山崎の景観は(財)日本交通公社の全国観光資源評価の「自然資源・海岸の部」において、国内で唯一、最高ランクの特A級に格付けされている。豊富な海産物は、夏のウニ、冬のアワビのほか、沖の定置網から新鮮な魚介類が水揚げされるとともに、コンブ、ワカメなどの養殖も盛んで、豊かな海の幸がもたらされている。一方、北上山地が海岸近くまでせまっていることから、丘陵地での酪農が盛んであり、秋には松茸といった山の幸も豊富だ。

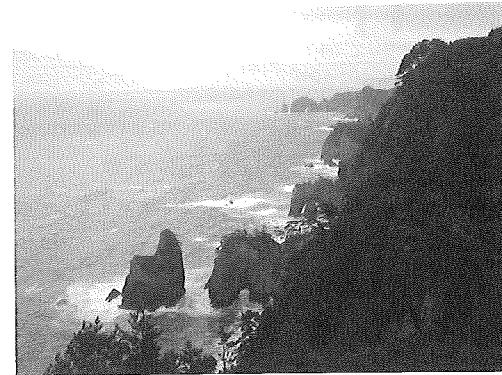
国道45号線(浜街道)は、海岸沿いに仙台から青森までを結ぶ道路で、田野畑村付近には、その昔、この地に赴任した役人が谷越の厳しさに、「このまま進むか、引き返そうか」と悩んだことに由来する「思案坂」、さらにそこから北に進んで現れた谷のすげさに、遂には仕事を投げ出し帰ったことに由来する「辞職坂」など、深い谷と険しい峠が連続している。

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、田野畑村においても、津波による甚大な被害が発生させ、死者14名、行方不明15名、家屋倒壊270棟(平成24年9月24日時点)のほか、港湾施設など、海岸付近の施設が被災し、現在も施設の復旧が進められている。

一方、国土交通省では、地域の暮らしを支え、命を守るために、復興道路として三陸沿岸道路の早期全線整備を目指している。三陸沿岸道路は、平時には、医



岩手県内の復興道路の概要



北山崎の海岸美

療サービス、産業、観光など、地域の暮らしを支えるとともに、災害時には、避難、救命救急、復旧といった「命の道」としての役割を担っている。

尾肝要道路は、三陸沿岸道路のうち、宮古市と久慈市を結ぶ延長約90kmの「三陸北縦貫道路」の一部であり、下閉伊郡田野畑村田野畑から同村集合を結ぶ4.5kmの自動車専用道路である。国道45号線での最高標高地点(海拔380m)である「閉伊坂峠」を貫き、隘路解消による安全・快適な走行サービスの提供、救急搬送時の患者への負担軽減、災害時の緊急輸送道路の確保などの効果が期待されている。

このうち、尾肝要トンネルは延長2,736mの道路トンネルであり、北工区(L=1,438m)および南工区(L=1,298m)の両方をハザマが担当し、現在、早期の完成を目指して建設が進められている。震災後、約1か月の工事中止を経て、工事が再開したが、再開直後は仮設資材などの不足に悩まされた。平成23年11月のトンネル工事着工式を経て、掘削を進めている。また、トンネル掘削土の一部は仮置きし、今後、防潮堤をかねた盛土道路や高台移転ための造成盛土に利用される予定となっている。

東日本大震災がもたらした傷跡が癒えるには長い時間がかかるかも知れない。しかし、尾肝要トンネルの完成が人や物の流れを円滑にし、一日も早い地域の復興につながるものと信じている。

((株)間組東北支店尾肝要トンネル南作業所所長)

施工

超近接双設トンネルを無導坑方式・早期閉合により施工

—舞鶴若狭自動車道 鳥浜トンネル—

中日本高速道路(株)敦賀工事事務所若狭工事区 中 堀 千嘉子
 中日本高速道路(株)敦賀工事事務所若狭工事区工事長 稲 垣 太 浩
 清水建設・前田建設工業共同企業体副所長 牛 田 和 仁
 清水建設(株)技術研究所社会基盤技術センター上席研究員 奥 野 哲 夫

1 はじめに

舞鶴若狭自動車道(小浜～敦賀)のうち、福井県若狭町内の鳥浜トンネル(延長149m)は、先進坑・後進坑の全線で切羽後方5～10mで吹付けコンクリートと鋼インバート支保工によるインバートの早期閉合(以下、「早期閉合」と称する)により、地山の緩みを極力抑制し、中間地山部分(以下、「中央壁」と称する)の地山改良などの補強工を実施せずに無導坑方式で超近接双設トンネルを掘削した。

本稿では、後進坑通過時の先進坑の内空・壁面変位を計測した結果から、超近接双設トンネルの変形挙動を示すとともに、3次元弾塑性解析結果も参考に、超近接双設トンネルの施工法として全断面早期閉合の有効性を述べる。

2 トンネル概要

軟弱地盤地帯に挟まれた鳥浜トンネルは、両坑口部に、超軟弱で圧縮性が高い有機質土が厚く堆

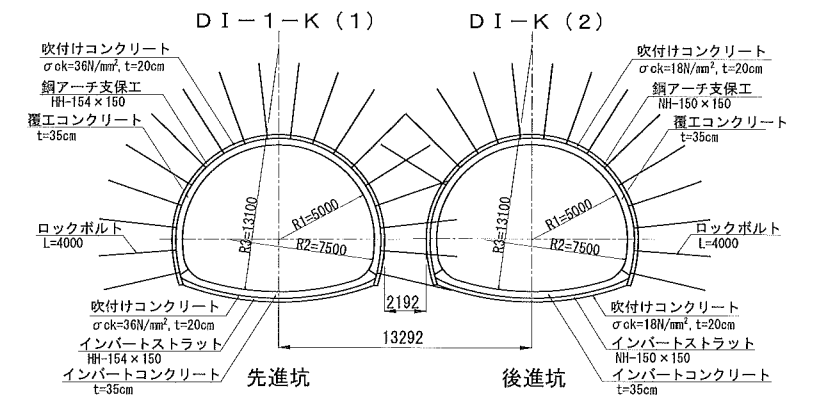


図-1 支保パターン図(DI)

表-1 中央壁部の幅

支保パターン	中心間距離(m)	中央壁部幅(m)
DIIIa	13.2	1.5
DIII	13.16	1.76
DI	13.29	2.19

積した軟弱地盤上に盛土が構築されている。この軟弱地盤では、対策として、パーチカルドレーンを深さ34m打設したのち、真空圧密工法により急速盛土している。建設時の沈下量は、すでに11mを超えている。このような地質・立地条件から、トンネルの上下線の離隔を標準的なトンネル中心間隔3D(30m)とすると、事業用地と軟弱地盤対

策工の範囲が広大となり、事業費は膨大となることが計画時から予測された。そこで、トンネル離隔を縮小する案が検討され、地山状況を吟味したうえで、トンネルの中心間隔を13mとした(図-1)。中央壁の幅は、表-1に示すように支保パターンに応じて1.5~2.19mとなる。

従来、超近接双設トンネルいわゆるめがねトンネルでは、地山の地耐力と切羽の自立性から3導坑方式または、中央導坑方式を採用して支保工脚部と中央壁を補強してきた。しかし、近年、切羽の安定化技術の進歩によって無導坑方式が採用されつつある。鳥浜トンネルも当初設計では、上半先進工法で中央壁を薬液注入(セメント系 $q_u = 3.5\text{N/mm}^2$)により補強する計画であった。無導坑方式では、地山を緩ませないことと、切羽の安定が大前提となる。そこで、早期閉合が可能な全断面工法の方がその有効性が高いと判断し、鳥浜トンネル施工検討委員会(西村和夫委員長)で再検討した。

その結果、先進坑・後進坑の全線で早期閉合することで地山の緩みを極力抑制し、先進坑の一次支保を後進坑より剛な構造として、後進坑掘削時の増加荷重を先進坑へ受け持たせ、中央壁は無補強とする設計へ変更した²⁾。掘削工法も、上半先進工法から機械掘削による補助ベンチ付き全断面工法とした。

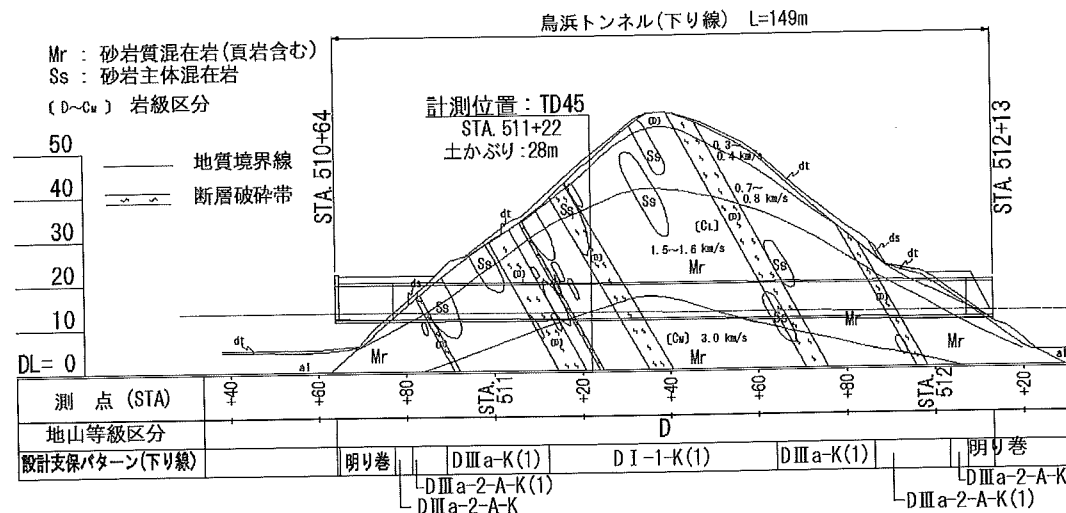


図-2 鳥浜トンネル地質縦断面

3 地質概要

鳥浜トンネルは、標高55~59mのやせ尾根に対して計画高13m付近を掘削幅(D)約11mで通過する。両坑口部の山腹斜面は35~40°前後の急傾斜を呈する(図-2)。トンネルを構成する基盤岩は中生代・前期~中期ジュラ紀の丹波テレーンに属する混在岩で、砂岩基質中に頁岩をレンズ状に混入し、褶曲に伴って層理面は不規則で変化に富み、部分的に破砕帯を介在する。トンネル中央部の地山等級はD Iに相当する。

4 一次支保構造

一次支保工は、表-2に示すように、吹付けコンクリート強度 σ_{28} は後進坑18N/mm²に対して先進坑は36N/mm²、またH形鋼支保工は後進坑NH材(SS440)に対して先進坑はHH材(SS590)を採用して、先進坑を剛な構造とした。

表-2 支保部材一覧表

支保部材	先進坑	後進坑
吹付けコンクリート	D I $\sigma_c = 36\text{N/mm}^2$ $t = 200\text{mm}$	$\sigma_c = 18\text{N/mm}^2$ $t = 200\text{mm}$
	D III $\sigma_c = 36\text{N/mm}^2$ $t = 250\text{mm}$	$\sigma_c = 18\text{N/mm}^2$ $t = 250\text{mm}$
鋼アーチ支保工	D I HH154×151	NH150×150
	D III HH201×200	NH200×200

鳥浜トンネル(下り線) L=149m

超近接双設トンネルでは、先進坑と後進坑の両方の緩み土圧が重なり、通常トンネルより大きな土圧が作用するため、一次支保の部材は標準より厚くした。先進坑、後進坑ともに、吹付けコンクリート厚さはD Iパターンで20cm(D IIIパターンで25cm)、また、H形鋼支保のサイズはD Iパターンで15cm(D IIIパターンで20cm)とした。なお、インバート部は、上・下半と同じ支保構造とした(図-1)。

5 計測位置および掘削方法

主計測断面は、図-2に示すように下り線TD45(STA511+22)で、土かぶり28mのD Iパターンの地点である。内空・壁面変位は図-3に示す位置で計測した。主計測断面の掘削は、図-4に示すように、先進坑側で上半切羽から7m後方で、後進坑側では上半切羽から5m後方で吹付けコンクリートと鋼インバート支保工による早期閉合を実施した。掘削は、下り線の西坑口(起点側)から開始して、貫通後、再び西坑口へ移り、上り線を施工し

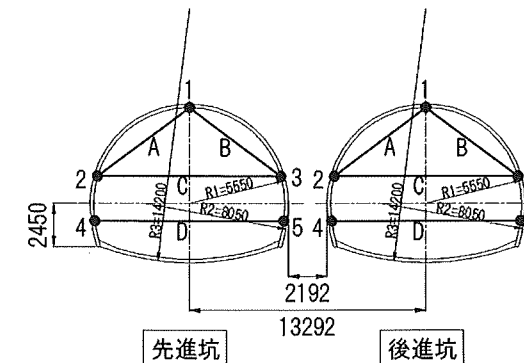


図-3 内空変位計測断面の計測位置

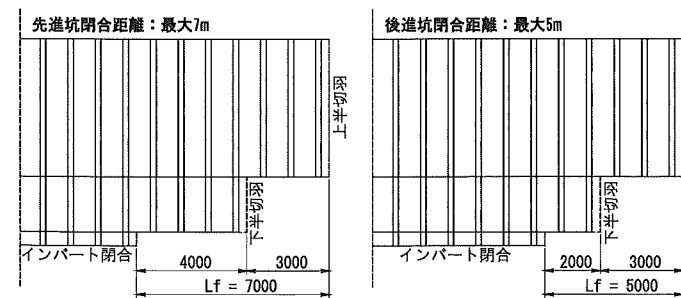


図-4 インバート早期閉合概要図

た。300kW級のロードヘッドにより約50m/月で掘進した。覆工は両トンネル貫通後に施工した。

6 計測結果^{3)~5)}

6-1 トンネル壁面変位

図-5は、先進坑と後進坑の壁面変位ベクトル分布図である。先進坑掘削時、先進坑の水平変位は内空側に5mm以下、沈下は最大10mm程度であった。後進坑掘削時の先進坑の水平変位では、天端~中央壁側で、6~9mm程度の後進坑側に引張られる挙動が認められた。一方、沈下は、中央壁側の測

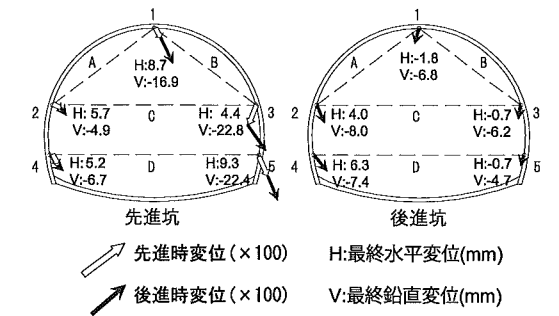


図-5 トンネル変位ベクトル分布図

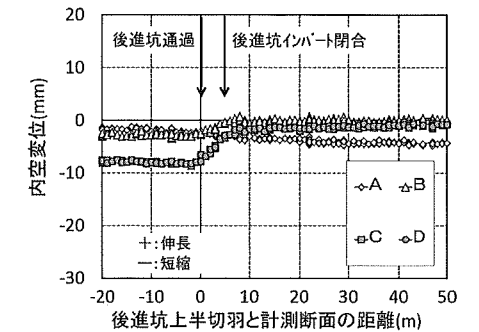


図-6 後進坑通過時の先進坑内空変位

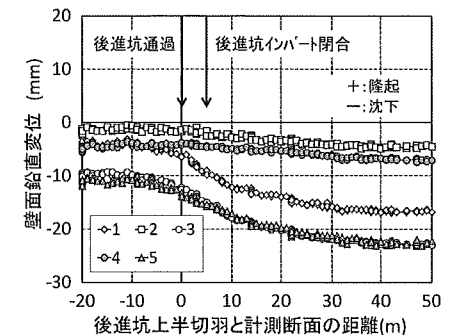


図-7 後進坑通過時の先進坑壁面鉛直変位

点3, 5がそれぞれ-22.8mm, -22.4mmと大きく, 天端の測点1(-16.9mm)より大きな値を示した. また, 後進坑でも, 中央壁側壁面で約-8mm沈下した.

図-6は後進坑上半切羽(以下「後進切羽」と称する)通過時の先進坑内空変位である. 後進坑掘削による影響は, 後進切羽が先進坑の計測位置に到達したとき(後進切羽距離0m)から挙動が始まり, 後進切羽距離5mの位置で後進坑をインバート閉合すると収束傾向を示した. 最終の内空変位量は±10mm以内の値で安定した.

図-7は後進切羽通過時の先進坑壁面鉛直変位(壁面沈下)である. 天端と後進坑側の3点(測点1, 3, 5)での沈下は, 後進切羽が約1D手前(後進切羽距離-10m)から始まり, 後進坑インバート閉合をしても継続し, 後進切羽が30~40m程度離れると緩やかに収束に向かっている. 一方, 反対側壁面の測点2, 4では後進坑掘削による変位増分はほとんど認められない. これらのことから, とくに先進坑の中央壁側は, 後進坑掘削施工過程の影響を3次的に受けて沈下するものと考えられる. すなわち, 後進坑掘削による双設の影響により中央壁の荷重が高まることで先進坑側の壁面沈下が生じ, それに続く後進坑の早期閉合によって剛な支保構造が早期に形成されるとトンネル自体の変形は抑えられ安定する. 一方, 荷重は剛な支保構造を介して中央壁側のインバート下部地山に伝わり, トンネル掘削前の初期応力を越えた下部地山に沈下が発生して, トンネル全体が中央壁側に傾くように変形したものと考えられる.

6-2 吹付けコンクリートと鋼アーチ支保工応力

吹付けコンクリート応力分布図を

図-8に示す. 先進坑では後進坑掘削後に, 天端~中央壁反対側(T1, T2, T4)で2~3N/mm²の増加が認められるが, 中央壁側の肩部(T3)とSL部(T5)では圧縮応力の増加は顕著ではない. インバート部でも基本的に圧縮応力が発生している. 後進坑上半部の吹付けコンクリート応力は1~6N/mm²で, 後進坑掘削後の先進坑と同程度の圧縮応力が発生している.

次に, 鋼アーチ支保工応力計により計測された

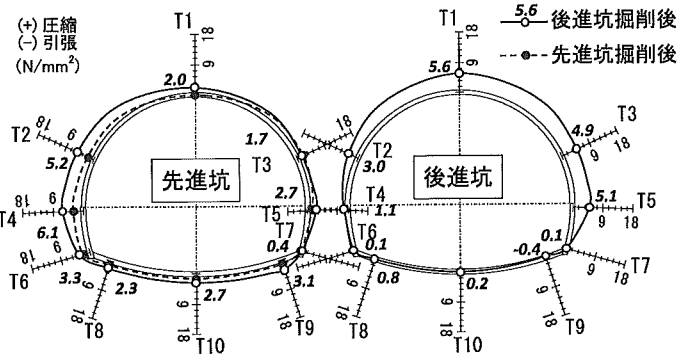


図-8 吹付けコンクリート応力分布図

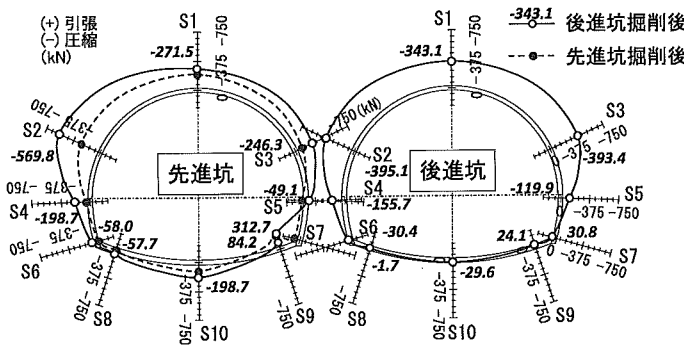


図-9 鋼アーチ支保工軸力分布図

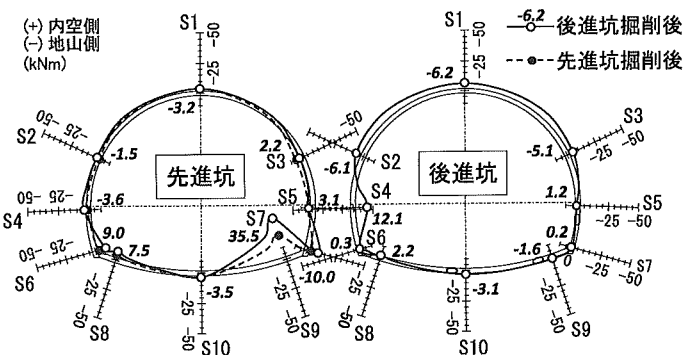


図-10 鋼アーチ支保工曲げモーメント分布図

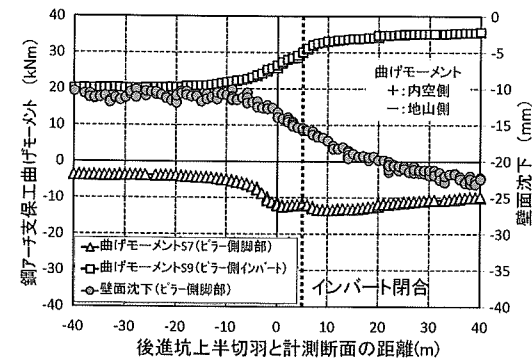


図-11 鋼アーチ支保工曲げモーメントと壁面沈下の関係軸力および曲げモーメント分布図を図-9, 10に示す. また, 図-11に後進切羽通過過程の先進坑中央壁側脚部測点5(図-3, 5参照)の壁面沈下と, 同中央壁側の脚部S7, インバート部S9(図-10参照)の鋼アーチ支保工曲げモーメントを後進坑上半切羽との距離の関係で示す.

図-9から, 後進坑掘削後に, 先進坑の天端~SL部(S1~S5)までの上半アーチ部で圧縮応力が均等に増加している. また, 後進坑の上半部でも先進坑と同程度の軸力が発生している. インバート部では大きな軸力は発生していないが, 図-10より, 先進坑の隅角部周辺, とくに中央壁側のインバート部のS9で内空側への大きな曲げモーメントが発生している. これは, 図-11に示すように, 中央壁側脚部測点5の壁面沈下の増加に伴い, インバート部S9の曲げモーメントも増加する関係があることから, 後進坑掘削時の中央壁部の卓越した沈下の影響と考えられる.

また, インバート中央壁側の脚部の吹付けコンクリートに応力の発生やクラックなども見られなかったことから, 閉合部材として, 曲げ耐力を持つ鋼インバート支保工が有効であったと言える. ただし, 鋼インバート支保工の曲げモーメントの発生を軽減すべく, 隅角部の形状を見直す余地はあると考える.

また, 先進坑中央壁側SL部では, 後進坑掘削時に吹付けコンクリートと鋼アーチ支保工の圧縮性軸力が卓越することなく, 先進坑, 後進坑の上半アーチ部で均等に圧縮応力が増加した(図-9, 10). これは, 後進坑掘削時に中央壁部側のみに荷重が

集中することなく, 上半アーチ部で均等に荷重を分担していることを示している. つまり, 双設トンネルを包含するかたちでグラウンドアーチが形成され, 中央壁に応力集中が生じなかったと考えられる. これは, 先進坑と後進坑との早期閉合の効果により地山の緩み域が抑えられたことにより, グラウンドアーチの形成に必要な地山強度と土かぶりを確保することができたと考えられる.

7 解析結果

解析検討では, 早期閉合により施工された超近接双設トンネル掘削時の, 基本的な変形特性を把握する目的から, 先進坑, 中央壁, 後進坑の各物性の違いや早期閉合の施工過程を適切に考慮した3次元弾塑性解析を用いることで, 構造物-地盤の相互作用による変形挙動の評価を目指した. とくに, 応力解放率を用いた2次元解析では, 早期閉合による3次元挙動を適切に評価することは困難と考えて3次元解析とした. その解析モデルを図-12に示す.

解析領域は高さ80m×横100m×奥行き(トンネル軸方向)100mで, 土かぶりはトンネルSLから50mで一定とし, 岩盤物性は表-3のCL級の均一弾塑性材料(Mohr-Coulomb破壊規準に従う弾完全塑性材料)とした. なお, 表-3は現場ボーリング孔の内水平載荷試験から評価された値である.

掘削は全線100mにわたり, 掘進長1mで先進

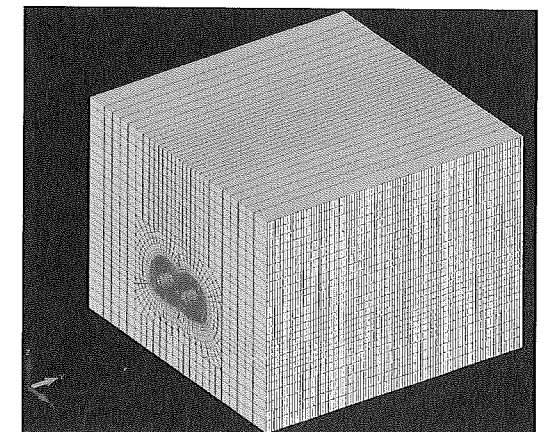


図-12 3次元解析モデル図(解析メッシュ図)

坑、後進坑とも上半切羽3m後方で下半を掘削し、上半切羽7m後方で早期閉合をくり返す掘削過程でモデル化した。実施工に合わせて掘削直後に吹付けコンクリート(設計強度:先進坑36MPa,後進坑18MPa,厚さ20cm),鋼アーチ支保工(先進坑HH-154,後進坑NH-150)の施工をモデル化し、

表-3 岩盤物性

岩盤	単位体積重量 γ (kN/m ³)	変形係数 E (kN/m ²)	ポアソン比 ν	粘着力 C (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (deg)
CL級	22.0	101,000	0.35	200	34

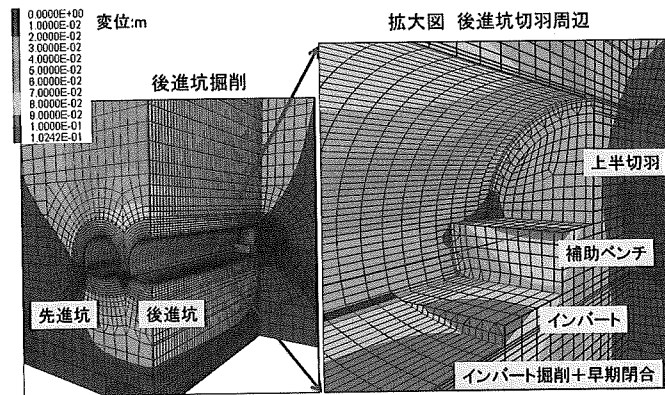


図-13 後進坑掘削時の切羽周辺状況(解析モデル)

吹付けコンクリートは弾塑性材料(弾完全塑性),鋼アーチ支保工は弾性係数,断面諸量を実際の値に一致させた棒要素(弾性材料)でモデル化した。

以上の施工過程を再現した解析を実施し、図-12のトンネル軸方向50m位置(中央断面位置)に、図-3と同じ計測断面を設け、切羽進行に伴う各種変位を算出した。

後進坑が先進坑の計測断面横を通過する時点の後進切羽周辺の掘削形状と変位分布を図-13に示す。

図-14, 15に後進坑掘削時の先進坑の計測断面位置での各測点(1~5)および測線(A~D)の変位量を、計測結果と解析結果を比較して示す。先進坑掘削後の後進坑掘削の影響を調べる目的から、すべて後進坑の上半切羽到達前-20m位置での各変位を初期値とし、その後の変位増分を示している。なお、計測値は早期閉合を上半切羽から5m後方で実施した(後進坑のみ)計測断面TD45(図-2参照)であり、解析で設定した7m後方とわず

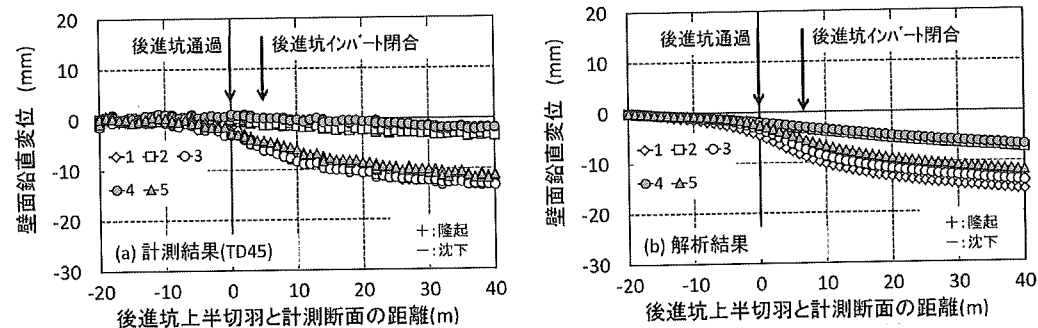


図-14 先進坑鉛直変位の比較(計測結果と解析結果)

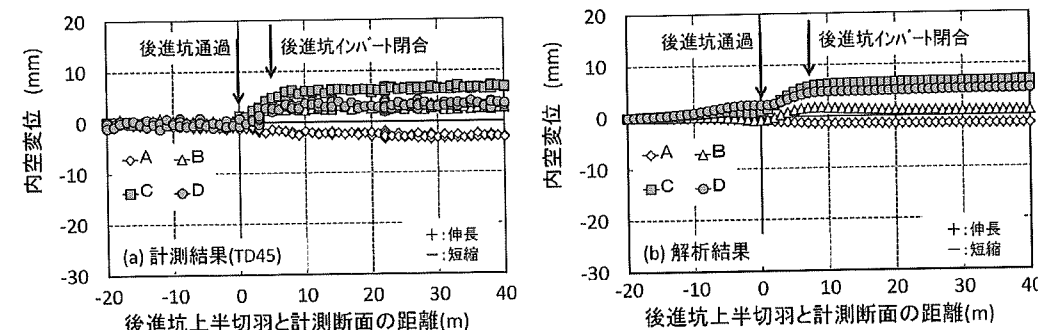


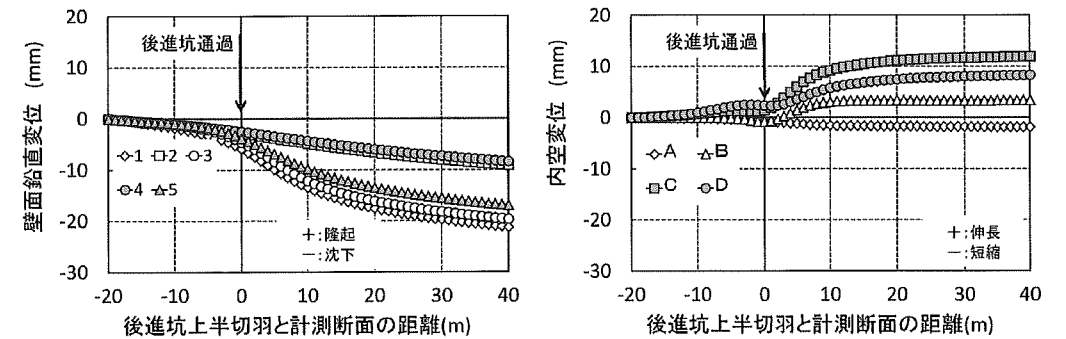
図-15 先進坑内空変位の比較(計測結果と解析結果)

かながら異なる。

両者の比較により、全般的に解析結果は計測結果と類似した挙動を示す。壁面鉛直変位(図-14)では、測点1, 3, 5は解析値と計測値はともに、切羽通過時(後進坑上半切羽と計測断面の距離が0m)以前から沈下が増加し始め、切羽が40m程度離れた時点で12~15mm程度の沈下となり、良い一致を示す。内空変位(図-15)は、測線B~Dが後進切羽通過時付近で伸長方向に動き、数mm~7mm程度伸びる。

一方、測線Aは数mm程度短縮方向に変化するが、いずれも切羽が7~10m程度離れると収束傾向を示す。

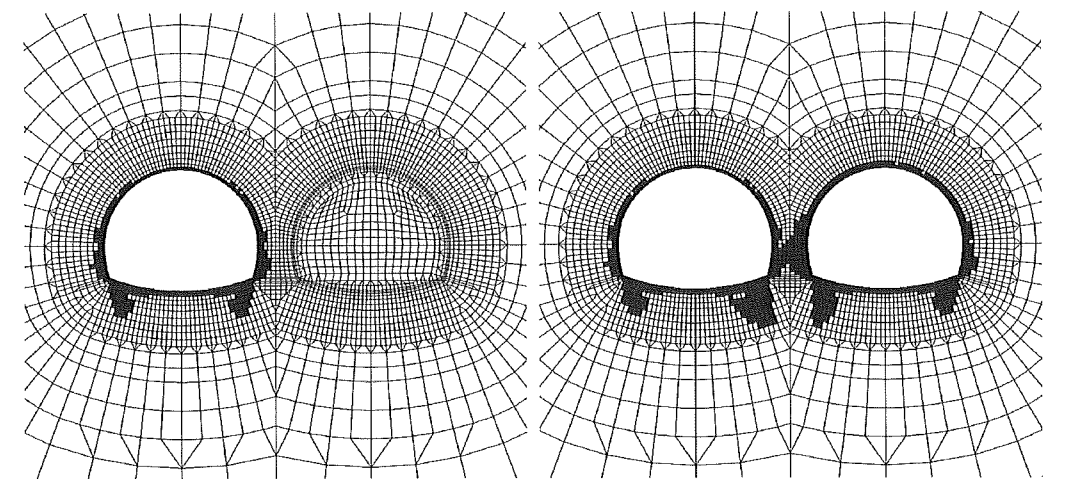
図-16には、比較のため早期閉合を行わない場合の先進坑壁面鉛直変位と内空変位を、3次元弾



(a) 3次元解析による先進坑壁面鉛直変位

(b) 3次元解析による先進坑内空変位

図-16 早期閉合を行わない場合の先進坑鉛直変位と内空変位(解析結果)



(a) 先進坑掘削後の塑性域

(b) 後進坑掘削後の塑性域

図-17 先進坑掘削後および後進坑掘削後の塑性域(解析結果)

最後に、図-17は、早期閉合を行った場合のトンネル軸方向50m位置(中央断面位置)での先進坑掘削後と後進坑掘削後の塑性域を示している。後進坑掘削後には中央壁側のインバート下部地山に塑性化した要素が集中している。この塑性域が沈下の主要因と考えられる。今後の設計において、どの程度の沈下を許容できるか、また、中央壁側脚部の地耐力とインバートの発生応力との関係から、インバート下部地山の補強の要否の判断などが課題と考えられる。

8 ま と め

鳥浜トンネルでは、インバートの早期閉合により、中央壁の地山改良などの補強工を実施せずに無導坑方式でD級地山の超近接双設トンネルを掘削した。その計測結果から以下の知見が得られた。

- ・超近接双設トンネルの中央壁(中間地山)に地山改良などの補助工法を採用することなく施工できたことは、早期閉合の効果として評価できる。
- ・超近接双設トンネルでは中央壁側で沈下が卓越するために、インバート閉合部材として曲げ耐力を持つ鋼インバート支保工が有効である。ただし、鋼インバート支保工の曲げモーメントの軽減に隅角部の形状を見直す余地がある。
- ・早期閉合の実施によりトンネル自体の変形は微小な値に抑制されたが、双設の影響によりトンネル全体が中央壁側に傾くような沈下が卓越する。
- ・ある程度の土かぶりを有するトンネルでは、双設トンネルを包含する形状でグラウンドアーチが形成されることにより、先進坑、後進坑の上半アーチ部で均等に荷重を分担することができる。

9 お わ り に

鳥浜トンネルは、超近接双設トンネルと早期閉合の採用により、事業費・事業用地の削減と、補助工法を使用せず、安全に通常のトンネル工法と変わらない効率的な施工ができた。その意味で同様の採用例が増える可能性があるため、全断面早期閉合による超近接双設トンネルの設計・施工システムの確立を期待したい。また、同設計では、超近接双設トンネルに特化した理論⁹を駆使するより、すでに地盤力学で一般化した弾塑性構成モデルなどにもとづき、構造物-地盤の相互作用を考慮した解析をもとに、実務設計へ展開する方がよいと考える。

最後に、これまで全断面早期閉合による超近接双設トンネルの設計・施工に挑戦されてきた諸先輩に敬意を表し感謝を申し上げたい。

参 考 文 献

- 1) 今田徹：山岳トンネル設計の考え方，土木工学社，pp.150-151，2010。
- 2) 日本道路公団試験所：トンネルの標準設計に関する研究報告書，試験研究所技術資料，第350号，1986。
- 3) 稲垣太浩・川北真嗣・津野康則・矢野一郎・牛田和仁・奥野哲夫・淡路動太：早期閉合で施工された超近接双設トンネルの変形挙動，第47回地盤工学研究発表会，No.640，pp.1273-1274，2012。
- 4) 高本絢也・矢野一郎・淡路動太・中堀千嘉子・稲垣太浩・津野康則：早期閉合で施工した超近接双設トンネルの一般部D1区間での双設影響(その1)，土木学会第67回年次学術講演会，VI-040，2012。
- 5) 川北真嗣・津野康則・矢野一郎・奥野哲夫・淡路動太：早期閉合で施工した無導坑式超近接双設トンネルの挙動特性，トンネル工学報告集，Vol.22，pp.143-150，2012。
- 6) Chin-Bing Ling: On the Stress Analysis in a Plate Containing Two Circular Holes, *Journal of Applied Physics*, Vol.19, 1948.1.

施 工

取水口ケーソンと取水路シールドを海底下で接合

—JR川崎火力発電所4号機取替増強に伴う取水設備新設—

東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所 小島 淳 史

東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所 白石 浩 三

清水建設(株)JR川崎火力取水設備作業所 秀嶋 桂

清水建設(株)JR川崎火力取水設備作業所主任技術者 渡辺 幸喜

1 は じ め に

JR東日本川崎火力発電所構内において、重油を燃料とする汽力発電設備から発電効率の高い天然ガスを燃料とする複合サイクル発電機への取替え増強に伴い、取水設備(取水槽、取水路、取水口など)の新設工事を進めている。

本稿では、取水口ニューマチックケーソンおよび取水路シールドの施工について報告するものである。

2 事 業 概 要

川崎火力発電所リプレース計画は、現在稼働している4機の発電設備(合計65.4万kW)のうち、既存の発電設備2機(1号機、4号機)を除却し、新たに天然ガスを燃料とする20万kW級の発電設備3機(新1号機、新4号機、5号機)(合計約60万kW)を設置するものである(出力合計101.8万kW)。

新4号機、新1号機および増設する5号機は、天然ガスを燃料とする発電効率の良いコンバインドサイクル発電方式を採用することにより、排ガス中の有害物質および二酸化炭素排出原単

位の削減が見込まれ、地球温暖化防止に貢献する事業である。

3 工 事 概 要

本工事は、JR東日本川崎火力発電所リプレース計画のうち、取水設備を新設する工事である。取水設備は、冷却水を貯める「取水槽」、冷却水を取り込む「取水口」、取水槽と取水口を結ぶ「取水路」の3つの構造物からなる(図-1)。

取水槽は、図-2に示す鉄筋コンクリート構造物

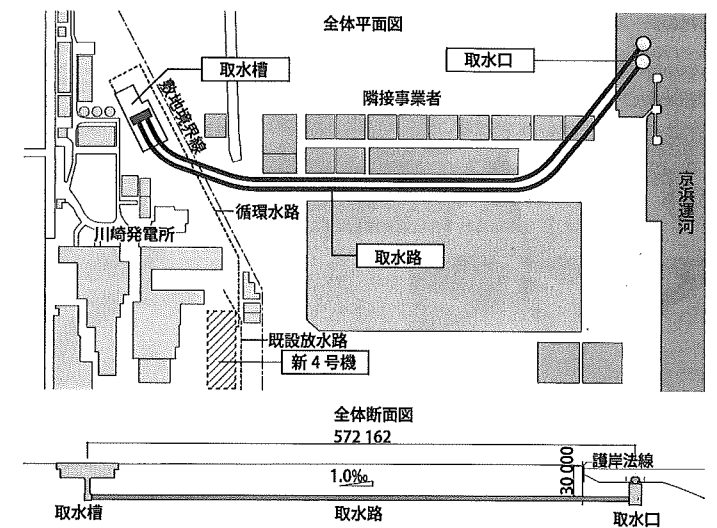


図-1 工事全体平面図・断面図

であり、開削工法で掘削した後に躯体を構築する。取水口は、図-3に示す鉄筋コンクリート構造物であり、ニューマチックケーソン工法で海中に沈設

する。取水路は、図-4に示す円形トンネル2本からなり、取水槽を発進立坑、取水口を到達立坑とし、泥水式シールド工法で一次覆工を構築し、二次覆工コンクリートを打設する。

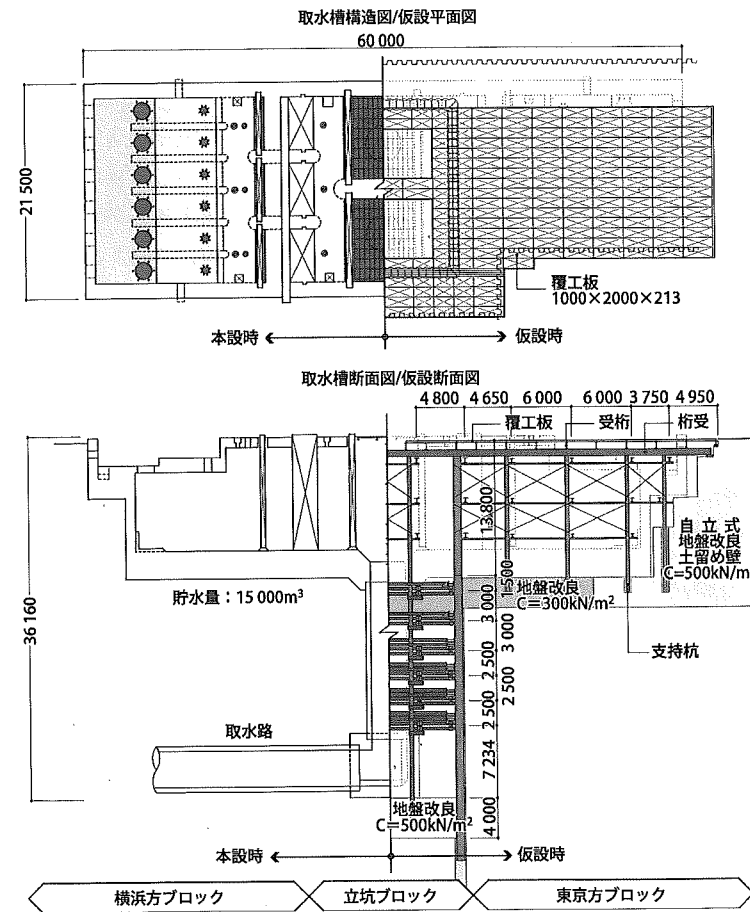


図-2 取水槽概要図

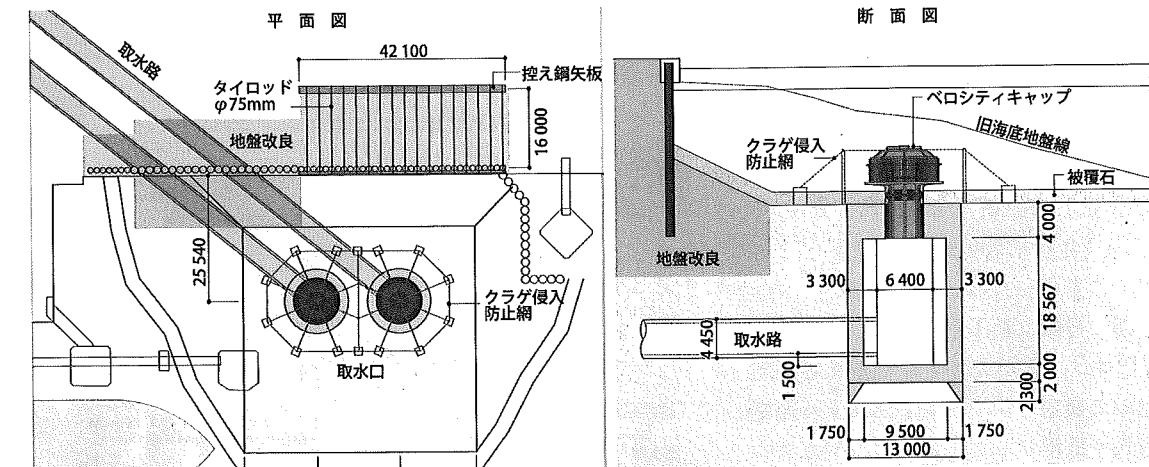


図-3 取水口概要図

4 構造および施工概要

4-1 取水口

取水口は、直径13.0m、高さ22.8mの円柱形の鉄筋コンクリート構造である。ニューマチックケーソン工法により沈設し、最大気圧0.38MPa、最終刃先深度がKP-36.367mの大深度施工となる(図-5)。

海上施工となるため、工期短縮を目的として台船上にてケー

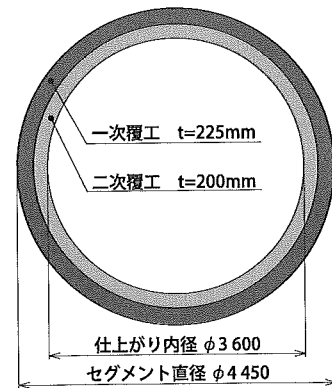


図-4 取水路断面図

断面図

ソン躯体の一部を先行製作し、18,000kN吊りの起重機船により据付けた(写真-1)。ケーソン据付け地盤は比較的強度があるKP-7.000mまで浚渫を行った。

取水口の施工フローを図-6に示す。

ケーソン躯体は、5分割の打設割りとし、このうち2ロット部に鋼殻を使用した。ケーソン躯体のコンクリート量は、1基あたり約2,100m³であり、低発熱コンクリートおよび過密配筋箇所に高流動コンクリートを使用した。

当該箇所の地質条件は、図-5に示すとおり、

KP-9.180mより軟弱粘性土地盤(平均N値4以下)、KP-27.180mより平均N値50以上の砂質土地盤である。

4-2 取水路

取水路は、土かぶり約30m、延長約570mの2本のトンネルについて、取水槽下部の発進立坑より、到達立坑となる取水口まで1%の上り勾配にて、平均N値50以上の砂質土地盤中を掘進した。また、工期短縮のため2台の泥水式シールドを用い、平面離隔約1D(D:トンネル直径)にて、ほぼ同時期に施工した。

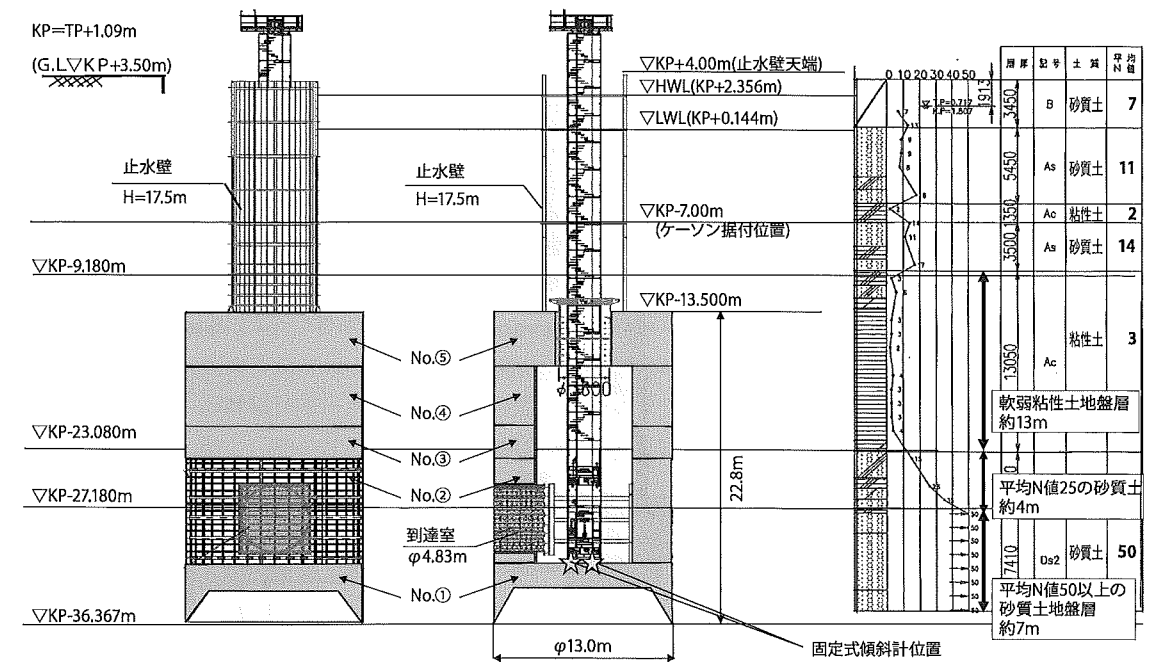


図-5 取水口構造概要および地質図

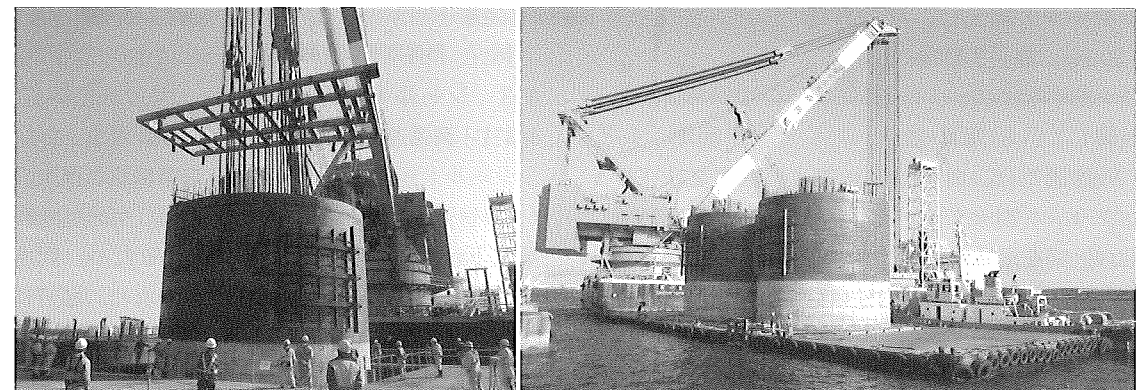
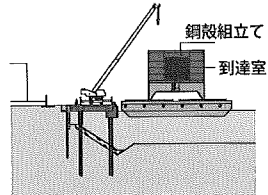
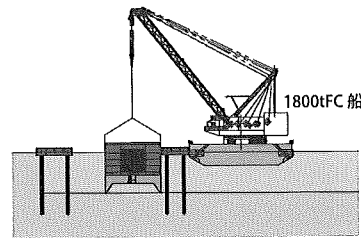


写真-1 鋼殻施工状況

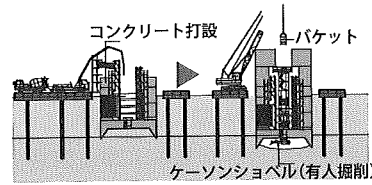
①ケーソン・鋼殻組立て
ケーソンの底版および鋼殻を組立てる。
鋼殻にはシールド到達のための到達室を
装備する。



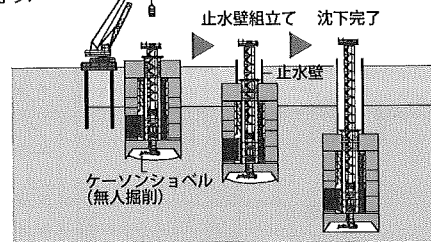
②ケーソン据付け
ケーソンを18,000kN吊り起重船で据付ける。



③構築・沈下掘削(有人)
鉄筋・型枠組立て、コンクリート打設を行い、
取水口を構築する。
構築の高さに応じて沈下掘削を行う。
(有人掘削)



④沈下掘削(無人)・止水壁組立て・沈下完了
構築・沈下掘削をくり返し、途中からは遠隔操作による無人掘削
を行う。躯体が海上までないため、止水壁を組立てながら沈下掘
削を行う。



⑤中埋めコンクリート打設・シールド到達
沈下完了後、作業室内を埋めるため、中埋めコンクリートを打設す
る。そのあとにシールドが到達する。

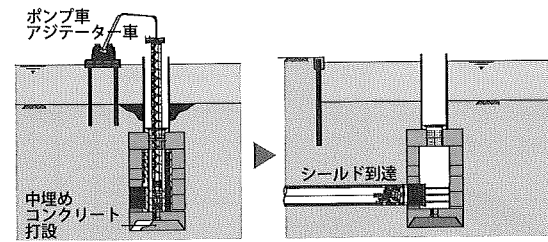


図-6 取水口の施工フロー

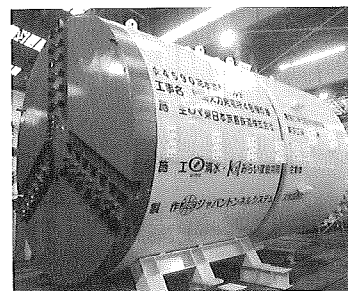


写真-2 シールド全景(工場内組立て完了)

シールド諸元は、掘削外径
4,590mm、機長7,200mmであり、
最小曲率半径46mに対応するため、中折れ装置を
装備している(写真-2)。

一次覆工は、外径4,450mmで直線区間を鉄筋コ
ンクリート製セグメント(桁高225mm、幅1,200mm)、
曲線区間を鋼製セグメント(桁高225mm、幅450mm/
900mm)とし、仕上がり内径は3,600mmである。

内面平滑化および耐久性向上を目的として、二
次覆工コンクリート(合成短繊維入りコンクリ
ート、厚さ200mm)を打設した。

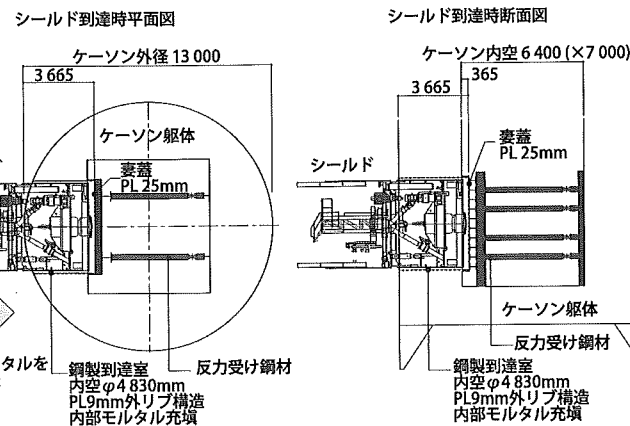


図-7 到達室平面・断面図

4-3 シールド到達部

4-3-1 到達方法および到達部の構造

シールド到達部は、到達立坑を兼用した取水口
(ケーソン)躯体であり、約0.34MPa(ケーソン作
業室下は0.38MPa)の高水圧下となるため、到達
時の泥水の噴発が懸念される。このため、図-7に
示すように、ケーソン躯体内に高水圧に耐えうる
到達室を設置し、その中にシールドが到達する計
画とした。

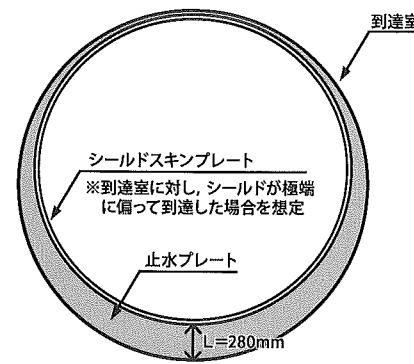


図-8 止水プレート設置断面図

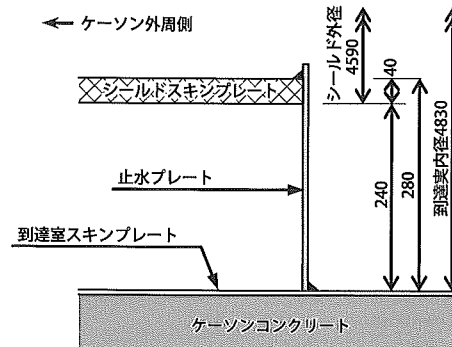


図-9 止水プレート設置側面図

到達室は、円筒形の茶筒部および円形の妻蓋で
構成される。ケーソン躯体を一部先行施工する際、
到達室(鋼殻)を設置し、躯体沈設後に海中作業に
て到達室内に貧配合モルタルを打設する。シールド
到達後、シールド内から止水注入を行い、坑口
の止水性を確認してから妻蓋を撤去する計画とし
た。

なお、妻蓋や支保工撤去の際にも、シールドス
キンプレート外周面と到達室内面との間に隙間が
できる(図-8)。トンネル完成時の止水性を確保す
るために、図-9に示すとおり止水プレートを溶接
する構造とした

4-3-2 取水口(ケーソン)躯体コンクリート打設 時の配慮事項

到達室は、取水口(ケーソン)の鋼殻に取付けら
れており、ケーソン躯体コンクリートの2ロット
目打設時には、コンクリート打設による側圧と浮
力が作用する。側圧に関しては、到達室を挟んで
左右の高さが均等になるようコンクリートを打ち
上げる計画とした。

【到達室諸元】

- ・材質: SM490A
- ・外径: $D0 = 4988$ (mm)
- ・1リング幅: $B = 900$ (mm/R)
- ・スキンプレート板厚: $t = 9$ (mm)
- ・主桁高さ: $hr = 70$ (mm)
- ・桁高さ: $h = t + hr = 79$ (mm)
- ・主桁・継手板厚: $tr = 9$ (mm)
- ・主桁本数: $N = 3$ (本)
- ・到達室長さ: $L = 2700$ (mm)

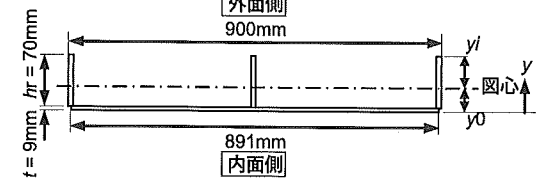


図-10 到達室本体部材構造

一方、浮力に関しては、到達室(鋼殻)からワイ
ヤーでケーソン躯体に緊結し、浮き上がりを防止
する計画とした。

4-3-3 到達室および支保工構造

到達室本体は、シールドトンネル用の鋼製セグ
メントを裏返した形状とし(図-10)、ケーソン沈
設からシールドが到達するまでの間、到達室の外
側には円形妻蓋と支保工を取付け、ケーソン躯体
コンクリート打設時には、内部に支保工を設置す
る計画とした。

土水圧は、妻蓋を介して水平方向支保工材から
直方向支保工材に伝達させる。鉛直方向支保工材
に伝達させた反力は、最終的に反力受け鋼材を介
して立坑反対側の壁面に受け持たせる構造とする。

なお、到達掘進時の閉塞などによる泥水圧の急
上昇に配慮し、安全率を2以上確保する構造とし
た。

5 取水口の施工

5-1 準備工

取水口(ケーソン)据付け高さのKP-7.000mを
確保するため、事前に水底土砂調査を行い、一次
浚渫(約8,931m³)を行った。浚渫は、バックホウ
台船(2.5m³積み)を使用し、浚渫土砂は土運船(底
開式250m³)に積み込み、曳船にて浮島埋立て処分
地へ海上運搬した(写真-3)。浚渫深さは、レッド
測量により管理を行った。

5-2 鋼殻ケーソン沈設

シールド到達立坑を兼用した取水口(ケーソン) 躯体の一部である鋼殻ケーソン(1基あたり 12,900kN)を台船上にて製作し、18,000kN吊りの 起重機船により沈設を行った(図-11)。なお、台 船上では2基の鋼殻ケーソンを製作し、1基吊上 げ時には台船が傾くことになるため、台船の安定



写真-3 一次浚渫状況

を検討して、問題のないことを確認した。

5-3 ニューマチックケーソンの施工

沈下掘削中の躯体は、きわめて不安定な状態であり、傾きやすいことから、傾斜管理が最大の課題であった。このため、最終据付け深度での出来形の規格値(±100mm以内)を定めて管理した。

傾斜管理は、図-12に示す4点(A~D)の刃口深度の最深値から、4点の刃口深度の差を傾斜値とし、傾斜値の最大値を管理する計画とし、固定

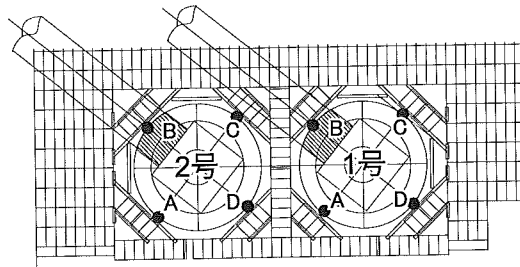


図-12 取水口平面図(計測)

ケーソン・W=1200t(設計質量)
 ・ケーソン膨らみによる増加質量(5%)
 $W=6.5m \times 6.5m \times 3.14 \times 2.0m \times 2.45t/m^3=650.0t$
 $W=6.5m \times 6.5m \times 3.14 \times 2.3m \times 2.45t/m^3=747.6t$
 $\odot W=1/3 \times 3.14 \times (6.5m \times 6.5m + 6.5m \times 5.0m + 5.0m \times 5.0m) \times 2.3 \times 2.45t/m^3=588.3t$
 $W=809.3t \times 0.05=40.5t$
 ・底面付着力(0.3t/m²)は考慮しない
 ・吊具W=50t
 ・吊棒W=25t
 必要吊荷重:1315.5t

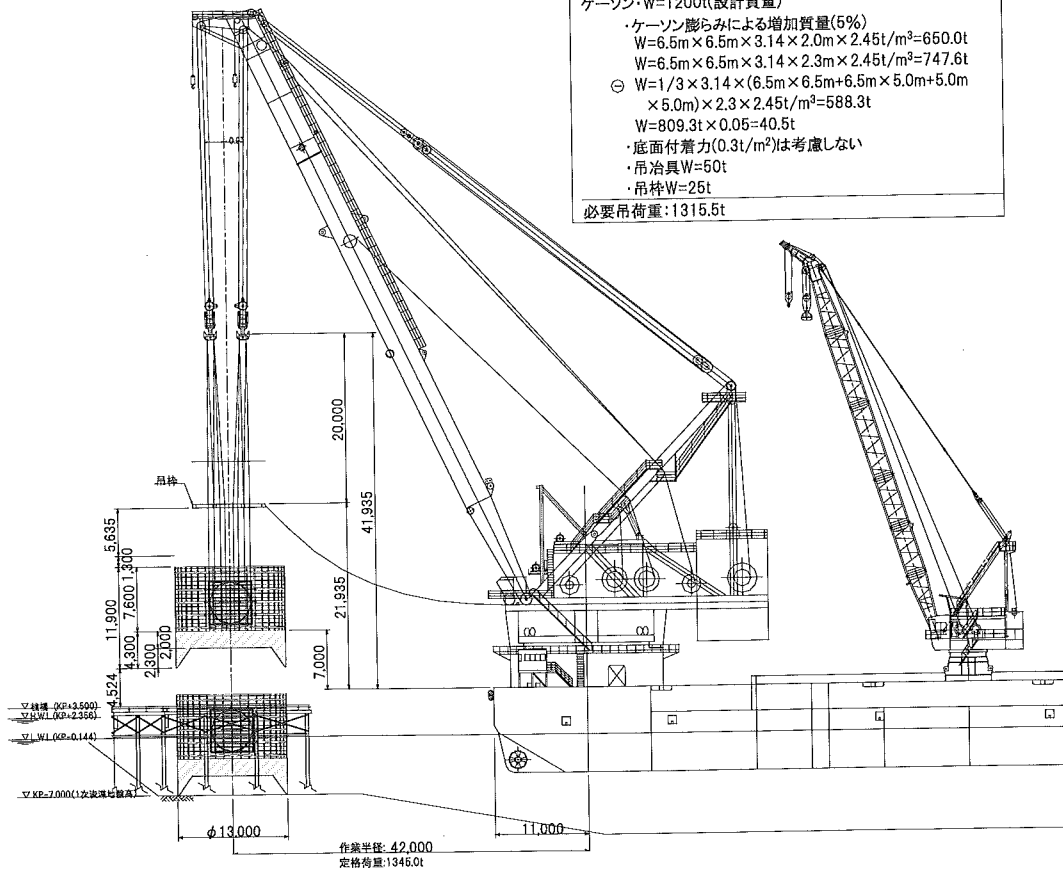


図-11 鋼殻ケーソン据付側面図

式傾斜計により計測を行った。傾斜に対する基準値として、傾斜限界値は、過去の施工実績より躯体直径の3%の390mmとし、傾斜警戒値は傾斜限界値の80%の310mmとした。

初期沈下掘削時の傾斜対策として、図-13に示すガイドローラーとジャッキを有するケーソンガイドを工事用栈橋上に設置した。使用するジャッキの能力は、傾斜警戒値310mmの傾斜により発生する水平荷重と躯体構造に対して問題のない水平荷重から、350kN仕様のジャッキ4台とした。

沈下掘削は、表-1に示す3段階に分けることができる。沈下掘削に伴う躯体へのガイドの設置は、図-5に示す砂質土地盤到達前1.5mまで行う計画とした(施工段階I)。砂質土地盤到達前1.5mで、躯体とガイド設置位置の関係からガイドが外れてしまうが、受働土圧の増加により傾きにくいと判断し、その後は使用しない計画とした(施工段階II)。

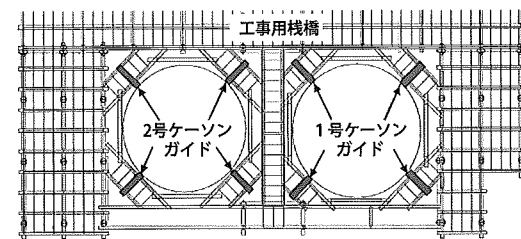
また、砂質土地盤到達までの残沈下量が約1.5mであるため、この間に発生した傾斜を砂質土地盤に到達したあとの施工(施工段階III)で修正することとした。

軟弱地盤における沈下掘削時の傾斜修正は、刃口部の掘削位置を調整し傾斜修正する方法、下部空間(作業室)にサンドルを設置し、沈下掘削を行うなどの方法による計画とした。

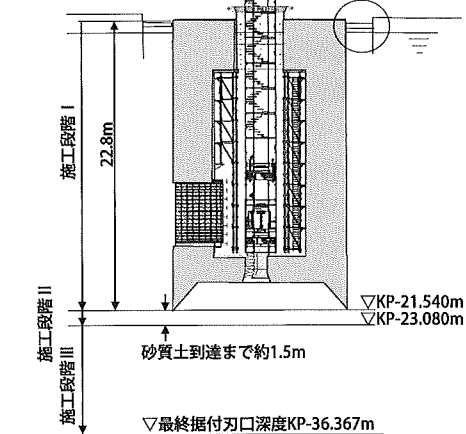
軟弱粘性土地盤での沈下掘削に伴う傾斜は、図-14に示す結果となり、1号、2号ケーソンとも同様の傾斜傾向を示した。

最大傾斜値は、施工段階Iで278mm、施工段階IIで312mmとなり、軟弱粘性土地盤施工中において、傾斜限界値390mmを満足することができた。また、施工段階IIIでの傾斜値は減少の傾向を示し、

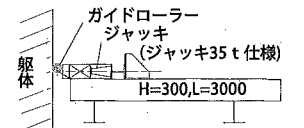
ガイド設置平面図



ガイド設置断面図



ケーソンガイド拡大平面図



ケーソンガイド拡大断面図

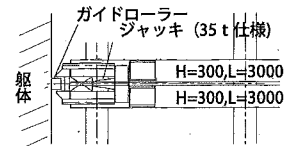


図-13 ケーソンガイド設置図

表-1 施工段階内訳

施工段階	ケーソンガイド	地盤	刃口深度
I	使用	軟弱粘性土	~KP-21.540m
II	不使用	軟弱粘性土	KP-21.540m~ KP-23.080m
III	不使用	砂質土	KP-23.080m~ KP-36.367m

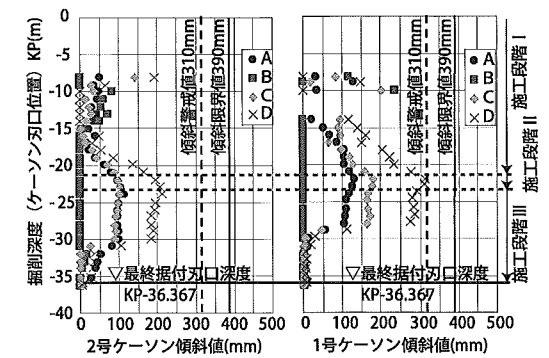


図-14 躯体沈下掘削に伴う傾斜値結果

最終据付け刃口深度到達時の最大傾斜値は7mm、出来形値は基準高さ-28.0mmと規格値の基準高さ±100mmを満足した。

6 シールド到達時の施工

6-1 到達掘進

海面下の高水圧に対応するため、到達室の奥行き長さを3.7mと長くしているため、到達室にシールドが貫入するだけでなく、シールドを到達室内部に収める必要がある。このため、一般のシールドに比べ、シールドと到達室の方向を一致させることがより重要であった。

事前に到達室内に充填置換していた貧配合モルタル内の掘進は、カッタートルク、掘進推力に注意しながら毎分2～3mm程度で行った。

実績として、カッタートルク550kN-m(装備の70%)、推力10,300kN(装備の51%)であった。また、モルタル切削片が大割れすることを想定し、礫取り箱を設置して閉塞を解除しながら掘進した(写真-4)。

取水口(ケーソン)内側では、反力受けにひずみ計を設置し軸力を監視するとともに、カメラで漏水状況を確認した。また、反力受け部材の変形を

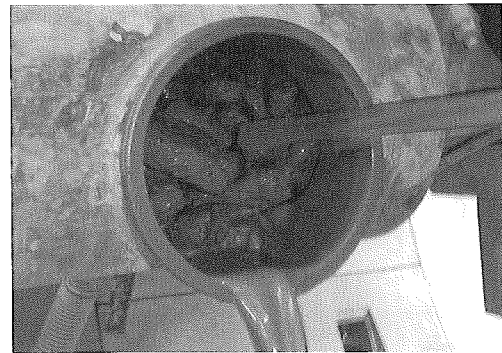


写真-4 礫取り箱での閉塞解除状況

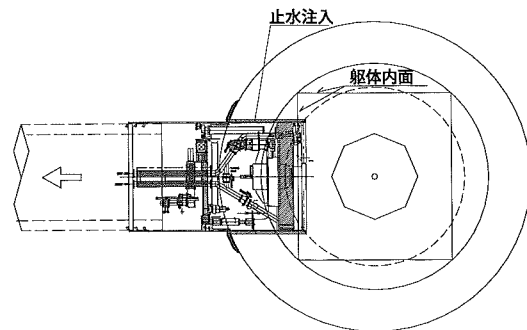


図-15 止水注入計画範囲

レーザー距離計、下振り、目視観察により監視した。

6-2 止水注入

シールド到達後、セグメントグラウトホールより裏込め注入を行い、その後、シールドに事前に設置した27か所の注入バルブより止水注入を実施した(図-15)。

しかし、事前に設置した注入バルブは、ジャッキやモータなどが故障し、注入ができない箇所が

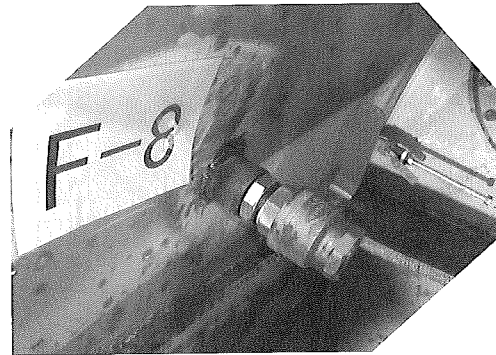


写真-5 注入孔増設状況

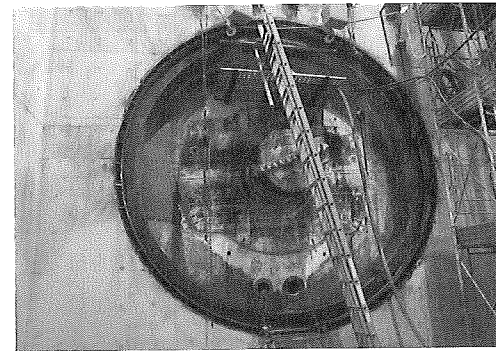


写真-6 到達室解体完了状況

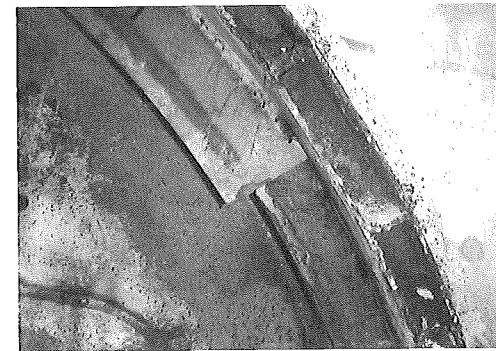


写真-7 止水鉄板設置状況

7 おわりに

取水路シールドの到達立坑を兼用した取水口のニューマチックケーソン工法による施工は、海上からの沈設という厳しい条件下にもかかわらず、事前の綿密な計画により、高精度な沈設を実現した。とくに、取水口(ケーソン)躯体が不安定な初期沈下掘削においては、ケーソンガイドの活用によるケーソン傾斜管理が有効に機能し、精度向上に寄与した。

取水路シールドに関しては、到達立坑となる取水口(ケーソン)躯体に設置した到達室内にシールドを収める計画とし、慎重な掘進管理および坑口部の確実な止水を実施したことにより、2本のシールドトンネルとも安全に施工できた。

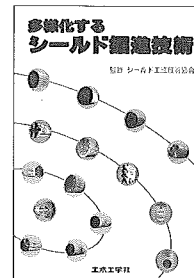
本報告の内容が、今後の同種工事の参考にできれば幸いである。

あり、シールド全周への注入ができなかった。チャンパ内のバルブからの漏水量を計測した結果、10L/分の漏水が確認された。

そこで、シールド内部の解体完了後、スキンプレートに2Bのバルブを溶接し、ダイヤモンドカッターでスキンプレートを貫通させて注入孔を増設し、追加注入を実施した(写真-5)。この結果、漏水量をほぼゼロにできた。

6-3 到達室解体

到達室の解体が海底下であることを考慮し、解体中はシールドのバルクヘッドを存置し、万一出水した場合でも坑内には水が入らないように配慮した(写真-6)。さらに、分割解体方法を採用し、1の方で撤去した部分に2の方で止水鉄板を設置することにより、地山が解放される時間を最小限にした(写真-7)。



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・カッター・シールド工法、⑮自由断面シールド工法、⑯OHM工法、⑰H&Vシールド工法、⑱単円～三連型駅シールド工法、⑲MFシールド工法、⑳DOT工法、㉑MSD工法、㉒親子シールド工法、㉓拡径シールド工法、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

土木情報 No.475

今月の主な入札結果
(11月10日~12月9日)

事業主体	工 事 名	請 負 会 社	請負額 単 位 百万円
近畿地整	橋本道路中島側道4号函渠他	山口建設	253
〃	〃 5号函渠他	丸山組	250
九州地整	東九州道(清武~北郷)寺山第2T新設	戸田建設	551.2
都市再生機構	柏北部東地区H2公下他	加藤建設	528
日本下水道事業団	行田市遮集幹線増補管建設	小川工業	155
成田国際空港	第2木の根T設置(その3)	大林組	1,242
東日本高速道路	北海道横断自動車道第二天神T	戸田建設	5,572
首都高速道路	(改)トンネル耐久性補強1-1	奥村組	409
千葉県	江戸川左岸流域下水道管渠築造(松戸幹線402工区)	西松・竹内JV	2,011.8
都・財務局	下水道管布設及び既設管撤去(24有・埋-1)	白岩建設	257.5
〃	〃 (24有・埋-2)	阿蘇建設	228
都・下水道局	北多摩二号水再生センター・浅川水再生センター間連絡管	前田建設工業	1,094.99
都・水道局	上井草給水所から練馬区石神井町五丁目地先間配水本管(1000mm)新設(シールド工事)	熊谷・ユウディケーJV	1,406.9
新潟県	床上1号1級河川柿川床上事業柿川放水水路本体(その1)	広瀬・曙・河田JV	818
三重県	H24北勢沿岸流域下水道(北部処理区)菰野幹線(第7工区)管渠	西出・真光JV	331.61
大阪府	寝屋川流域下水道大東門真増補幹線(第4工区)下水管渠築造	三井住友建設	1,063
和歌山県	R424(仮称新法手見T)災害関連	鴻池・三友JV	991.8
福岡県	伊良原ダム仮排水T	奥村・才田JV	256.1
鹿児島県	道路改築(知覧T)	東急・南生・上東・桑畑JV	1,680
山梨県昭和町常永土地区画整理組合	2号調整池築造	早野・大新・明友JV	496.8
大阪広域水道企業団	長吉立坑築造(長吉松原BP送水管・大阪市)	森組	746.1
〃	藤井寺立坑築造(藤井寺長吉BP送水管・藤井寺市)	中林建設	564.4
新座市	公下野火止中央第二幹線その10	三井住友建設	147.39
八千代市	H24公下事業八千代台北地区雨水排水整備	浅沼組	256
横浜市	北部処理区矢向地区下水道整備	横浜建設	206.62
〃	中部処理区大和地区下水道整備(その9)	長野工務店	132.99
〃	南部処理区磯子地区下水道再整備(その12)	馬淵・白崎JV	414.27
川崎市	大師河原貯留管その3	前田・大和小田急・岡村JV	1,230
上越市	上新下24-2号下水道雨水管渠築造その2	丸運・有坂JV	100
大津市	おぼろ池川雨水幹線管渠築造	昭建	589.40

あけまして おめでとうございます

平成25年 元旦

青木あすなろ建設株式会社	株式会社間組	カヤバシステムマシナリー株式会社
岩田地崎建設株式会社	前田建設工業株式会社	株式会社ケー・エフ・シー
株式会社大林組	吉岡建設株式会社	株式会社ジャベックス
株式会社奥村組	若築建設株式会社	株式会社スターロイ
鹿島建設株式会社		株式会社ソーキ
株式会社キハラコーポレーション	アンダーパス技術協会	大栄工機株式会社
木部建設株式会社	U R T 協会	太平洋マテリアル株式会社
株式会社熊谷組		電気化学工業株式会社
佐藤工業株式会社	株式会社演算工房	日豊株式会社
清水建設株式会社	国際航業株式会社	古河ロックドリル株式会社
大成建設株式会社	株式会社ドーコン	株式会社マシノ
株式会社竹中土木	メトロ開発株式会社	株式会社マノール
戸田建設株式会社	株式会社ロード・エンジニアリング	株式会社三井三池製作所
飛島建設株式会社		三菱重工業メカトロシステムズ株式会社
西松建設株式会社	アトラスコブコ株式会社	三菱マテリアル株式会社
日本基礎技術株式会社	カヤク・ジャパン株式会社	ヤマモトロックマシン株式会社

(掲載順)

謹 賀 新 年

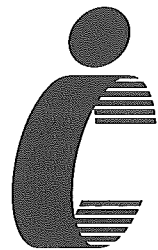


青木あすなる建設

AsunaroAoki

代表取締役社長 市木 良次

〒108-0014 東京都港区芝四丁目8番2号 Tel (03)5419-1011



IWATA CHIZAKI

岩田地崎建設株式会社

代表取締役社長 岩田 圭剛

本社 札幌市中央区北2条東17丁目2番地 TEL (011)221-2221

支店 東北・東京・名古屋・大阪・広島・九州・海外

営業所 旭川・函館・帯広・釧路・苫小牧・横浜・千葉・新潟・神戸・四国・台湾

URL <http://www.iwata-gr.co.jp/>

謹 賀 新 年



株式会社 キハラコーポレーション

KIHARA CORPORATION SINCE 1899



代表取締役社長 塚谷 秀男

《本社》 福井県越前市大虫町第7号2番地 TEL.0778-24-2200 (大代)

《東京支店》 東京都港区西新橋三丁目4番1号 TEL.03-3436-4900 (代表)

《URL》 <http://www.kihara-corp.co.jp/>

木部建設株式会社

代表取締役社長 木部 哲実

〒180-0005 東京都武蔵野市御殿山1丁目6番10号

URL <http://www.kibekensetsu.com> TEL 0422-48-7221

地上発進・地上到達！シールド工法が変わる！

- さがみ縦貫川尻トンネル工事
- 中央環状品川線大井地区トンネル工事
- 東関東自動車道 谷津船橋インターチェンジ工事
- 田原第2幹線三河湾横断シールド工事



地球に笑顔を

代表取締役社長 白石 達

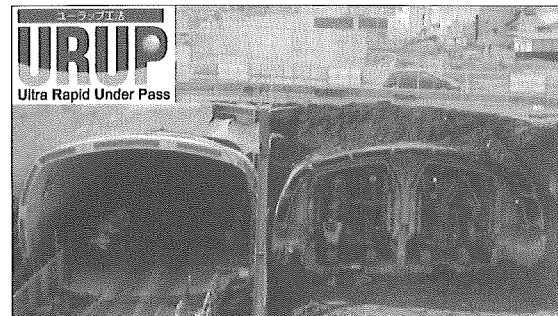
〒108-8502

東京都港区港南2-15-2

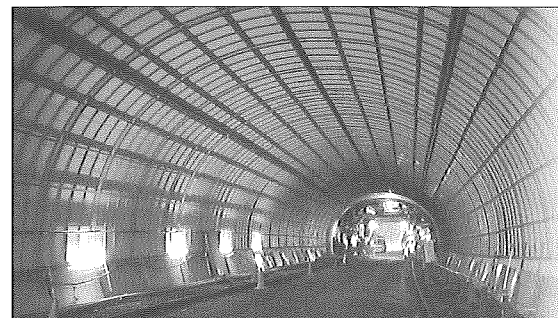
TEL.03-5769-1111

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

大林組



URIP
Ultra Rapid Under Pass



奥村組

OKUMURA CORPORATION

代表取締役社長 奥村 太加典

本社:大阪市阿倍野区松崎町2-2-2 TEL. 06(6621)1101

東京本社:東京都港区芝5-6-1 TEL. 03(3454)8111

<http://www.okumuragumi.co.jp>

人と自然を、技術でむすぶ。

100年をつくる会社。

鹿島

代表取締役社長 中村 満義

本社 東京都港区元赤坂1丁目3番1号

電話 東京 03(5544)1111 (代)

<http://www.kajima.co.jp/>

人と地球の未来を考える



熊谷組

取締役社長 大田 弘

〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2番1号 TEL:03-3260-2111

<http://www.kumagaigumi.co.jp>



「ありがとう」の心をこめて。

佐藤工業

代表取締役社長 山田 秀之

〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4丁目12番19号 TEL (03) 3661-0502

子どもたちに誇れるしごとを。

清水建設

取締役社長 宮本 洋一

〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1 TEL(03)3561-1111

謹 賀 新 年



大成建設株式会社

代表取締役社長 山内 隆 司

〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1 電話 (03) 3348-1111



人と地球の架け橋に

株式会社 竹中土木

取締役社長 竹中 康 一

〒136-8570 東京都江東区新砂1-1-1 TEL.03(6810)6200
<http://www.takenaka-doboku.co.jp/>

人がつくる。人でつくる。



戸田建設株式会社

代表取締役社長 井上 舜 三

本社/〒104-8388 東京都中央区京橋1-7-1 Tel: (03) 3535-1354 <http://www.toda.co.jp/>

防災のトビシマ

建ててから始まる真のお付き合い



飛島建設株式会社

代表取締役社長 伊藤 寛 治

本社/〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 Tel.044-829-6750 URL <http://www.tobishima.co.jp>

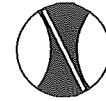


西松建設

代表取締役 近藤 晴 貞

〒105-8401 東京都港区虎ノ門1丁目20番10号 TEL 03(3502)7648

謹 賀 新 年



日本基礎技術株式会社

JAPAN FOUNDATION ENGINEERING CO.,LTD.

代表取締役社長 中原 巖

東京本社 〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町15番17号 TEL 03(3476)5701 FAX 03(3476)4551
本 社 〒530-0037 大阪市北区松ヶ枝町 6 番22号 TEL 06(6351)5621 FAX 06(6355)2077
URL : <http://www.jafec.co.jp>

Hazama

代表取締役社長 小野 俊 雄

〒105-8479 東京都港区虎ノ門2-2-5 Tel. 03(3588)5700



前田建設工業株式会社

代表取締役社長 小 原 好 一

本 社/東京都千代田区猿楽町 2-8-8 猿楽町ビル ☎ 03 (3265) 5551 (大代)



吉岡建設株式会社

代表取締役社長 吉 岡 隆 一

〒569-1136 大阪府高槻市郡家新町41番2号
TEL 072(681)1861(代) FAX 072(681)1866

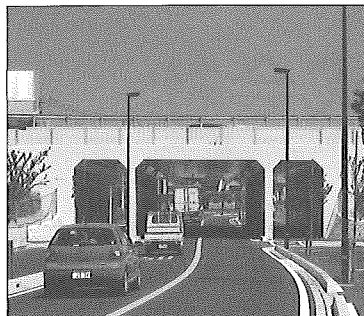


豊かな未来へ 技術のメッセージ

若築建設

代表取締役社長 菅野 幸 裕

〒153-0064 東京都目黒区下目黒二丁目 23 番 18 号 Tel.03(3492)0271



**鉄道・道路下の
非開削
アンダーパス施工法**

- フロンテジャッキング工法
- ESA工法
- アール・アンド・シー工法
- SFT工法
- 凍上防止対策工法
- 箱形ルーフ開削設置工法

資料のご請求・お問合せは
アンダーパス技術協会
<http://www3.ocn.ne.jp/~randc/>

事務局：
〒185-0032 東京都国分寺市日吉町2-30-7
電話 042-574-1180

事務局分室：
〒108-8381 東京都港区芝5-6-1
電話 03-5439-5412

新時代を構築するテクノロジー
Under Railway / Road Tunnelling Method Association


URT協会

協会長 山田和男

〒130-002 東京都墨田区両国2-10-14 両国シティコア(石川島建材工業株式会社内) TEL 03-3633-6280


URT工法とPCR工法をもって、安心・安全・確かな技術で交通を遮ることなく鉄道・道路等の直下を横断する、さまざまなトンネルを構築する工法の研究開発・普及に取り組んでおります。

Happy New Year Simple work at site and office



enzan koubou

provide the surprising and impressive solution
Visit Our Web Site : www.enzan-k.com



国際航業株式会社

「地球とずっと。」語り合い、「地球とずっと。」生きる。

代表取締役社長 中原 修

本社 〒102-0085 東京都千代田区六番町2番地 TEL 03-3262-6221(代)




総合建設コンサルタント

株式会社ドーコン

代表取締役社長 平野 道夫

本社 〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4番1号 TEL.011-801-1500 FAX.011-801-1600
<http://www.docon.jp>




メトロ開発株式会社

代表取締役社長 矢萩 秀一

都市トンネルに関する 土木・建築・設備の設計・施工監理 海外都市鉄道のコンサルタント業務 近接施工の設計・計測管理 流動化処理土の製造販売 構築補修土木工事

〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11番9号日本橋小伝馬町ビル 電話03(5347)7800

トンネル本体内設計・設備設計, トンネル点検・補修設計, トンネル現場診断



株式会社 ロード・エンジニアリング

本社 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目24番7号 TEL 03(3891)0711 FAX 03(3891)0701


大阪支店 〒569-1133 大阪府高槻市川西町2丁目21番38号 TEL 072(691)0711 FAX 072(691)0711

福岡支店 〒812-0011 福岡市博多区博多駅前4丁目25番14号 TEL 092(436)1588 FAX 092(436)1589

仙台営業所 〒981-1106 仙台市太白区柳生5丁目2番11号 TEL 022(306)3470 FAX 022(306)3471

新潟営業所 〒950-0003 新潟市東区下山2丁目485番14号 TEL 025(278)8282 FAX 025(278)8278

沖縄営業所 〒901-2122 沖縄県浦添市勢理客4丁目16番9号 TEL 098(870)6411 FAX 098(870)6412



アトラスコプコ株式会社

土木鉱山機械事業部

取扱商品：トンネルジャンボ、ファン、ヘグローダー、シャトルカー、ディーゼルロコ、坑内用トラック、ロードホールダンプ、クローラドリル、ロッドビット、ロックボルト、油圧ブレーカ

〒105-0014 東京都港区芝2-13-4 住友不動産芝ビル4号館11F ☎(03)5765-7890

産業用火薬類の製造・販売


アルテックス、ランデックス、ANFO爆薬、耐静電気雷管
EDD、導火管付き雷管、黒色火薬、NRC（非火薬破砕剤）



カヤク・ジャパン株式会社

東京都墨田区横綱1-6-1 TEL. 03-5637-0901

北海道営業部:0125-55-2323 東北営業部:022-265-0203 東日本営業部:03-5637-0903
名古屋担当:052-586-1373 西日本営業部:06-4863-7821 九州営業部:092-526-2112



カヤバ システム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

代表取締役社長 石井 英勝

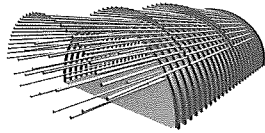
〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL (03) 5733-9441

【取扱製品】 ブームヘッダー型トンネル掘削機, ミゼットマイナー型トンネル掘削機, ブームカッターシールド掘進機, シャフトヘッダー(立坑掘削機), HEP

謹 賀 新 年

ロックボルト FIT工法 Me工法 防水シート

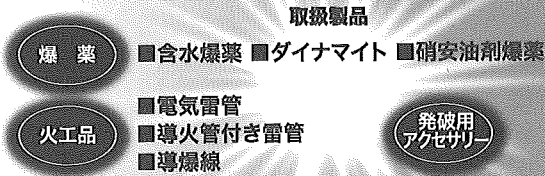
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー



土木資材事業部

〒105-0011 東京都港区芝公園2丁目4-1 TEL03-6402-8251 FAX03-6402-8255
〒530-0047 大阪市北区西天満3丁目2-17 TEL06-6363-1884 FAX06-6313-0755
http://www.kfc-net.co.jp/

APEX
株式会社ジャペックス



URL: http://www.highjex.jp お問い合わせメールアドレス: japex-staff@highjex.jp

【本 社】 北海道営業部 TEL.011-241-6411 中部営業部 TEL.0569-73-7962
〒105-0003 東京都港区西新橋1-11-5 新橋中央ビル4F 東北営業部 TEL.022-215-9001 関西営業部 TEL.06-6454-6561
TEL. 03-3506-9061 FAX. 03-3580-8244 東京営業部 TEL.03-3506-9061 九州営業部 TEL.092-735-2977

STARLOY

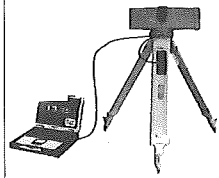
シールド・TBM用カッタビット・ローラカッタ

株式会社 スターロイ

営業本部 〒545-0053 大阪市阿倍野区松崎町2-10-22
TEL 06-6621-1734 FAX 06-6621-1867
本社・工場 〒709-3612 岡山県久米郡久米南町上弓削1317-1(久米南工業団地)
TEL 0867-28-4511 FAX 0867-28-4512
HP/http://www.starloy.com/ E-mail/starloy@starloy.com

3D Tube

機器・システムのレンタルにより「情報化施工」を支援します。
3Dスキャナによるトンネル内空計測システム



- 高精度、かつ多点群のデータにてトンネル内空の形状を瞬時に把握できます。
- 軽量、かつ測定時間が短いため、トンネル施工サイクル内におけるシステムの運用が可能です。

株式会社 ソーキ 代表取締役 都志 益一
大阪市西区九条南4-2-4 URL www.sooki.co.jp

SOOKI



大栄工機株式会社

代表取締役 古儀 信幸

〒526-0842 滋賀県長浜市春近町90番地
TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765
E-mail: daiei-co@minos.ocn.ne.jp http://www.daieikouki.co.jp

営業品目

- ・ 二次覆工用型枠, 作業台車, 移動機橋
- ・ 型枠用各種 OP 装置, 表面処理
- ・ 二次覆工コンクリート養生 (EPS, トンネルミスト)

謹 賀 新 年

吹付けコンクリート用急結剤「太平洋ショットマスター」
平成25年1月から販売再開いたします。



太平洋マテリアル株式会社

営業本部 基盤材料営業部 TEL 03-5500-7510

DENKA デンカケミカル
DENKI KAGAKU KOGYO KABUSHIKI KAISHA 電気化学工業株式会社

代表取締役社長 吉高 紳介
本社セメント・特混事業部特殊混和材部長 辻 均

〒103-8338 東京都中央区日本橋室町2-1-1 電話(03)5290-5358

トンネル用機械販売・リース, 土木資材販売



日豊株式会社

代表取締役社長 野崎 正和

本 社/〒150-0002 東京都渋谷区渋谷1-20-24 渋谷スカイデジタル206号 TEL 03(3409)8041
九州事務所/〒841-0026 佐賀県鳥栖市本鳥栖町615-6 アーバンコート2F TEL 0942(82)1703

未来への確かな技術

次世代型ホイール式ドリルジャンボ・コンクリート吹付け機・トンネルワークステーションなど、様々なトンネル工事に挑戦し実績を積み重ねてきたトンネル各種製品。全国に広がる安心のサービス網でお客さまをバックアップします。

FRD 古河ロックドリル株式会社
FURUKAWA

代表取締役社長 猿橋 三郎

〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目5番3号
特機部 TEL.03-3231-6966 FAX.03-3231-6993 URL: http://www.furukawarockdrill.co.jp/

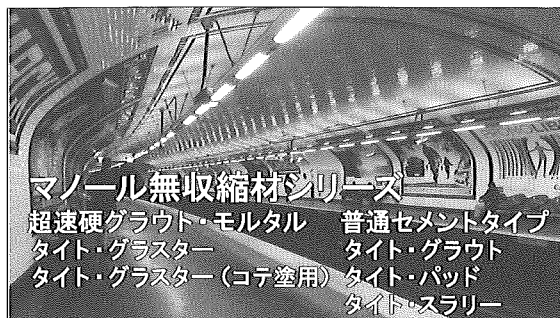
トンネル補修工事・鋼アーチ支保工・ロックボルト



株式会社 マシノ

代表取締役社長 増野 裕人

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



マノール無収縮材シリーズ
 超速硬グラウト・モルタル 普通セメントタイプ
 タイト・グラスター タイト・グラウト
 タイト・グラスター(コテ塗用) タイト・パッド
 タイト・スラリー



セメント混和・助材総合メーカー

株式会社 **マノール**

代表取締役社長 矢中光三

本社・東京営業所 〒120-0047 東京都足立区宮城2-4-16
 TEL 03-3927-1331 FAX 03-3927-1334
 URL <http://www.manol.co.jp>

ロードヘッダ, ツインヘッダ, トンネル換気設備 <http://www.mitsumiike.co.jp>

株式会社 三井三池製作所

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

ジオフロントに技術と実績で迫る 三菱トンネル掘削機(シールド, TBM)

三菱重工メカトロシステムズ株式会社

都市開発部

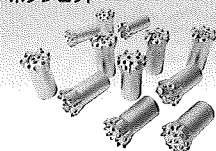
兵庫県神戸市兵庫区和田宮通五丁目4番22号 〒652-0863 TEL. 078(672)2873
 東京都港区港南二丁目16番5号 〒108-8215 TEL. 03(6716)4092



MITSUBISHI
DIABIT

三菱マテリアルの建設工具
MEET YOUR REQUEST!!

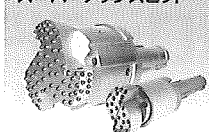
ポタンビット



ウルトラメックスビット



スーパーメックスビット



AGF工具システム



シールド用カッタービット



東京支店 03-5819-5263 大阪支店 06-6355-1053 海外グループ 03-5819-8723

HCD-101・301・401 油圧クローラードリル YTB-1120 トンネルビッガー

ヤマモトロックマシン株式会社

代表取締役 山本勝俊

東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル713区

TEL(03)3201-0701 FAX(03)3201-5702

URL <http://www.yrm.co.jp> E-mail: tokyo@yrm.co.jp

施工

全長44.6km, 最大土かぶり1,246mでマレー半島を貫く

—マレーシア パハン・セランゴール導水トンネル—

清水建設(株)・西松建設(株)・UEMB・IJM共同企業体所長 河田孝志
 清水建設(株)・西松建設(株)・UEMB・IJM共同企業体副所長 仲野義邦
 清水建設(株)・西松建設(株)・UEMB・IJM共同企業体工事課長 水戸聡

1 はじめに

本プロジェクトは、JICA((独)国際協力機構)が資金供与する円借款工事であり、マレーシアの首都クアラルンプール(セランゴール州)の生活・工業用水を確保するため、隣接するパハン州より日量189万m³の導水能力を持つ、延長44.6km、直径5.2mの導水トンネル(図-1)の建設工事である。

本稿では、海外プロジェクト特有の規模の大きさとTBM工区の施工結果およびNATM工区の施工結果について報告する。

2 プロジェクト概要

本プロジェクトは5工区15.8kmの工事用道路、4工区2.5kmの作業トンネル、導水トンネル本体は、44.6kmのトンネルを8工区に分け、3工区34.6kmをTBM(Tunnel Boring Machine)、4工区9.1kmをNATM(New Austrian Tunneling Method)、1工区0.9kmを開削工法で施工する(図-2)。

工期: 2009年6月1日～2014年5月30日
(1,825日)

発注者: マレーシア政府, エネルギー・環境技術・水資源省, 水道供給局

設計・施工管理: 東電設計・SMEC(豪州)・SMHB(マレーシア)

施工: 清水建設(株)・西松建設(株)・UEMB・IJM共同企業体(UEMB, IJMはマレーシアのゼネコン)

工事金額: 384億円
(2009年5月1日レート換算)

資金: JICA75%, マレーシア政府25%
 契約約款: FIDIC(1987年第4版, 1992年修正版が基本)

契約方式: BQ方式

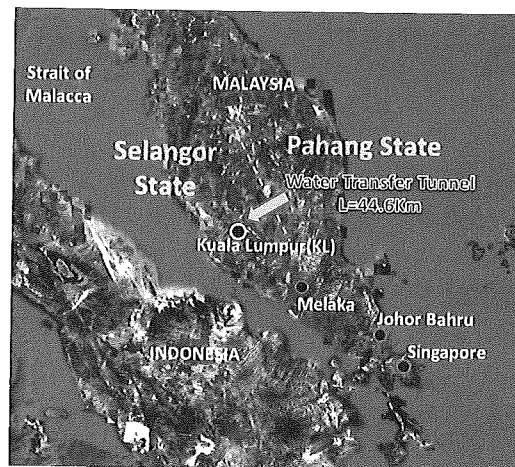


図-1 現場位置図

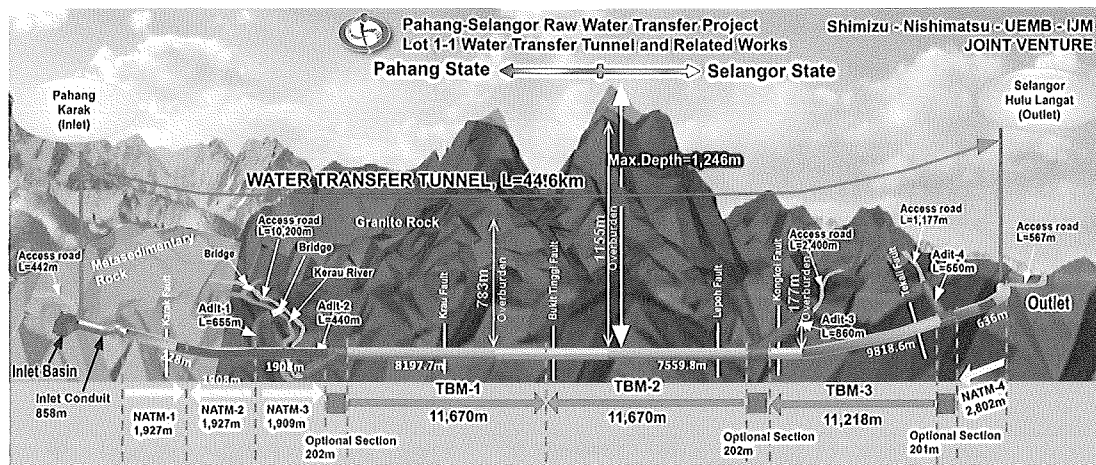


図-2 プロジェクト概要および2012年11月末進捗図

3 地形・地質概要

パハン・セランゴール導水トンネルの位置する周辺地形は、標高50~1,300m程度の山岳地形である。山地構成体は、ペルム紀(約2億9,900万年~約2億5,100万年前)から三畳紀(約2億5,100万年~約1億9,960万年前)の硬質な花崗岩(細粒花崗岩~粗粒花崗岩)がほぼ全体を占め、起点側工区のNATM-1, 2工区(延長3.1km)に堆積岩が分布する。本トンネル施工区間には、6か所の断層と17か所のリニアメントが確認されている。

4 プロジェクトの特徴

本プロジェクトの特徴を以下に示す。

(1) 工事規模が大きい

トンネル掘削111万m³, 切土120万m³, コンクリート25万m³, 工事機械合計1,094台, 最大需要電力10,303kW, 消費電力9,163万kWh, 延べ労働時間950万時間。

(2) トンネル延長距離が長い

全延長L=44.6km, うち, TBM-1工区およびTBM-2工区L=11.6km, TBM-3工区L=11.2km, 完成すると全長では世界で11番目の長さとなる(表-1)。

なる(表-1)。

(3) 土かぶり大きい

最大土かぶりは1,246m, 1,000m以上の土かぶり区間が5km. 完成すると世界で8番目の土かぶりとなる(表-2)。

表-1 トンネル延長世界ランキング

	Name	Location	Length (m)	Type
1	Delaware Aqueduct	New York State, United States	137,000	Water supply
2	Päijänne Water Tunnel	Southern Finland, Finland	120,000	Water supply
3	Dahuofang Water Tunnel	Liaoning Province, China	85,320	Water supply
4	Orange-Fish River Tunnel	South Africa	82,800	Water supply
5	Bolmen Water Tunnel	Kronoberg/Scania, Sweden	82,000	Water supply
6	Gothard Base Tunnel	Leopontine Alps, Switzerland	57,072	Railway
7	Seikan Tunnel	Tsugaru Strait, Japan	53,850	Railway
8	Želivka Water Tunnel	Czech Republic	51,075	Water supply
9	Channel Tunnel	English Channel, UK/France	50,450	Railway
10	Seoul Subway: Line 5	Seoul, South Korea	47,600	Metro
11	Pahang Selangor Raw Water Transfer Tunnel	Pahang, Selangor, Malaysia	44,600	Water Supply
12	Aitufvevo-Bulver Dmitriya Donskogo	Moscow Metro, Russia	41,500	Metro
13	Metro Madrid L-12	Madrid, Spain	40,900	Metro
14	Tocho-mae-Shiodome-Hikarigaoka (Toei Oedo Line)	Tokyo, Japan	40,700	Metro
15	Kárahnjúkar Hydroelectric Power Plant	Austurland, Iceland	39,700	Hydro electric

(4) 高速掘進が要求される

全体工程が5年間である。工事用道路、作業トンネルの施工完了後、本坑トンネルの施工を行うため、TBM工区で485m/月、NATM工区で126m/月の進行が要求される。

トンネル(Adit 4)の掘削をNATMで開始した。

2012年11月末現在、出来高70.9%(予定70.0%), 延べ労働時間764万時間、工事用道路を含む明かり工事95%、作業トンネル4工区L=2.5km(平均月進106m)、本坑NATM L=8.6km(平均月進108m)、TBM L=25.6kmの掘削が完了している。

5 プロジェクトの進捗

2009年6月に着工以来、工事用道路の建設、坑口仮設準備を行い、2009年12月には最初の作業ト

6 TBM掘削

6-1 TBM仕様

TBM工区は、トンネルの94%が地山等級B, C Iの硬岩地質と想定されていたことから、計画掘進速度(計画平均月進485m/月, 初期掘進除く)の確保、地質不良部での注入式フォアポーリングなどの補助工法の施工、早期支保工、掘進精度の確保などを可能とする、オープンタイプTBMとした。また最大一軸圧縮

表-2 トンネル土かぶり世界ランキング

	Name	Location	Overburden (m)	Type
1	Gothard Base Tunnel	Switzerland	2,500	Rail
2	Jinping II Hydro, Headrace Tunnel	China	2,500	Waterway
3	Olmos Trans-Anden Tunnel	Peru	2,000	Waterway
4	Zhongnanshu Tunnel	China	1,640	Road
5	Furka Base Tunnel	Switzerland	1,500	Rail
6	Vereina Tunnel	Switzerland	1,500	Rail
7	Dai-Shimizu Tunnel	Japan	1,300	Rail
8	Pahang Selangor Raw Water Transfer Tunnel	Malaysia	1,200	Waterway
9	Shin-Shimizu Tunnel	Japan	1,200	Rail
10	Kanetsu Tunnel	Japan	1,190	Road
11	Lotscheberg Base Tunnel	Switzerland	1,190	Rail
12	Cityplace Kerman Water Supply Tunnel	Iran	1,160	Waterway
13	Pir Panjal Railway Tunnel	India	1,140	Rail
14	Hida Tunnel	Japan	1,024	Road

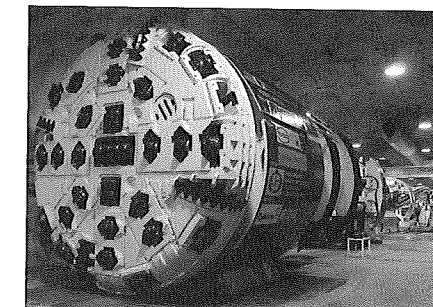


写真-1 φ5.2mTBM全景

表-3 TBM主要諸元

項目	仕様	項目	仕様	
掘削径・形式	5.2m, Open Type	後続台車数	20Nos	
最大ストローク	1.8m	長さ	TBM	
電 源	AC11,000V, 3相, 50Hz		バックアップ	27m
カッタヘッド出力	2,310kW(7×330kW, 690V)	計	205m	
カッタ外径	19inch(483mm)	重量	TBM	
カッタ個数	センター以外		バックアップ	250tons
	センター		計	170tons
	計		420tons	
カッタ最大荷重	312kN(19inch)	変電設備	カッタモーター	3,400kVA, (11,000V/690V)
スラスト推力	14,000kN(=3,500kN×4pcs)		油圧システムほか	1,700kVA, (11,000V/4000V)
カッタトルク 最大	3,504kN・m(when 6.0rpm)	後続台車牽引長	2.0m	
カッタ回転速度	0~12rpm	ベルトコンベヤ	幅	914mm
			容量	895m ³ /hr

強度250MPaの岩の掘削に対応できるように高スラスト、高トルクを基本とした。掘削径は、導水能力を確保するのに必要な内空断面からφ5.2mである。TBMの主要諸元とTBM全景を表-3と写真-1に示す。

6-2 仮設備計画

TBM工区はすべて作業トンネル(下り勾配5.7~10%, 写真-2)からのアクセスとなるため、TBM発進基地は導水トンネル本線上に設けた。TBM発進基地断面は荷役設備の20tガントリーク

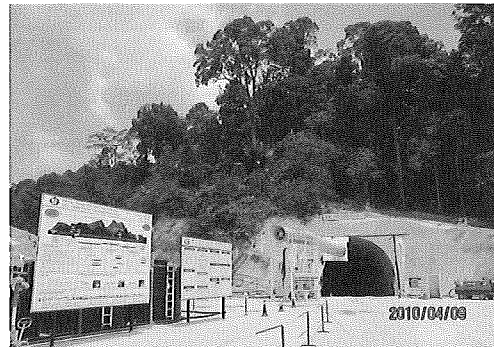


写真-2 作業トンネル坑口全景

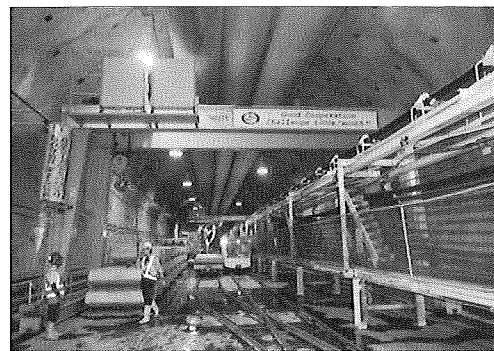


写真-3 TBM発進基地全景

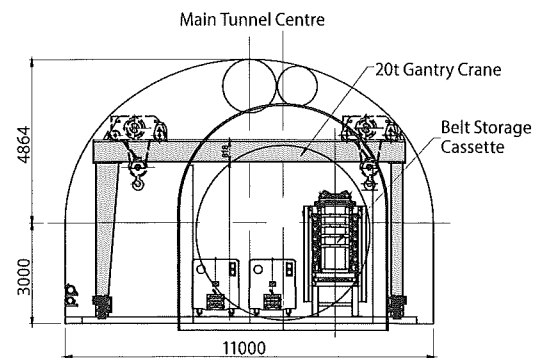


図-3 TBM発進基地断面図

レーンが納まる断面とし、TBM発進基地延長はTBM掘削ざり出し用坑内連続ベルトコンベヤ設備が納まる延長とした(全長200m)。TBM発進基地断面図およびTBM発進基地写真を図-3および写真-3に示す。

TBM本体組立ては、TBM発進基地掘削および準備作業と並行させるために、作業トンネル坑外ヤードにて行った。TBM本体組立て後は、作業トンネル内を自走させてTBM発進基地まで搬送させた(写真-4)。TBM後続設備組立てはTBM発進基地内で行った。

TBM発進基地は作業トンネル終点部にあるため排水設備は排水能力20m³/minを基本とする。また、停電対策として、坑内の換気、照明、排水設備が稼働できるだけの非常用発電機を各TBM工区に設置している。TBM-1工区のみは下り勾配(1/1,900)であるため、TBM坑内1,000mごとの排水設備も稼働できる非常用発電機を設置している。

TBM掘削で発生したずりは坑内連続ベルトコンベヤと作業トンネル内の固定コンベヤにて切羽から作業トンネル坑口のずりピットまで運搬される。坑内連続ベルトコンベヤシステムは、TBM坑口位置から中間地点にブースタードライブを1基設置した。メインドライブとブースタードライブ

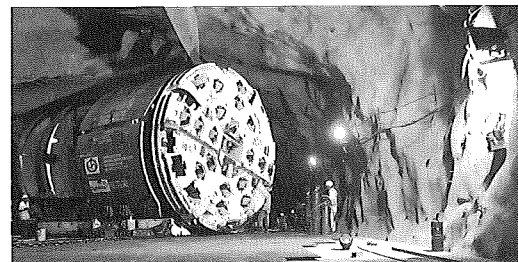


写真-4 φ5.2mTBM坑内搬送状況

表-4 連続ベルトコンベヤ主要諸元

	メインドライブ	ブースタードライブ
動力	375kW(187.5kW×2)	375kW
駆動方式	インバータ駆動方式	インバータ駆動方式
ベルト速度	3m/sec	
搬送能力	400t/h	
ベルト種類	スチールベルト、幅600mm	
ベルト強度	1,600kg/m	

ブの主要諸元を表-4に示す。

6-3 支保システム

TBM坑の支保構造は、これまでのTBM坑の施工実績や新東名・名神のTBM導坑の実績を参考に、薄肉ファイバー入りモルタル吹付けと鋼リング支保工の組合せによる支保パターンを基本として、自立度の低い崩壊性地山では、ルーフサポート背面の無支保区間の崩落域が深部に進展しないよう注入式フォアポーリングの補助工法を併用する。

TBM掘削完了後は、繊維補強吹付けコンクリート(厚さ100~250mm)によるライニングが計画されている。

6-4 TBM機械データによる地山性状把握

TBM支保設置位置はTBMカッターヘッドから6m(約1D)後方であるため、TBM掘進時の切羽状況の目視確認は不可能である。そこで支保判定補助データとして以下に示すデータを採用している。これにより地山状況を早期把握し早期支保判断を可能としTBM掘進の最大特徴である高速施工を活かしている。

(1) 掘削エネルギー(E)

$$E = \{10^3 \times F + 2\pi \times (N \times 10^3 \times 10^3 \times T) / V\} / A$$

ここに、

E: 掘削エネルギー(N/mm²)

F: スラスト力(kN)

N: カッターヘッド回転速度(rpm)

T: カッターヘッドトルク(kNm)

V: 純掘進速度(mm/min)

A: 掘削断面積(mm²)

例えば、掘削エネルギーが10N/mm²以下では坑壁の自立度が低く、地山等級DまたはEに相当し、鋼リング支保工設置が必要となる。TBM運転席には、掘削エネルギー区分によるTBM運転操作者の対応を掲示し、地山に応じたTBM運転操作を行っている(表-5)。

(2) 掘削ざり形状

扁平状、角礫状、土砂状などをモニタし、TBM機械データとあわせて、カッターヘッド前面の地山状況を把握する。

表-5 掘削エネルギー値区分によるTBM運転操作者の対応

TBM BORING ENERGY (E)	
E ≥ 15N/mm ²	Normal Boring
15N/mm ² > E > 10N/mm ²	Pay attention to Collapse Stop TBM Boring and check cutting face condition from inside cutterhead. Call Tunnel Engineer. Decrease Cutterhead Rotation Speed (Instructed by Tunnel Engineer). Decrease Thrust Speed (Instructed by Tunnel Engineer).
10N/mm ² ≥ E	Caution for Collapse Stop TBM Boring and check cutting face condition from inside cutterhead. Call Tunnel Engineer. Decrease Cutterhead Rotation Speed (Instructed by Tunnel Engineer). Decrease Thrust Speed (Instructed by Tunnel Engineer). Preparation for material (Steel rib, Steel lagging etc.).

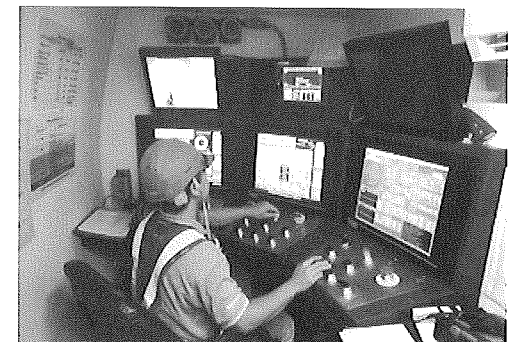


写真-5 TBM運転操作室モニタ

TBM機械データはTBM運転席モニタおよび現場事務所モニタにて同時モニタリングを実施している(写真-5)。TBM機械データは、5秒ごとおよび20mmごとに採取され、すべてのデータがPCに保存されている。

TBMベルトコンベヤの要所にはモニタカメラが設置され、TBM掘削ざり形状および取込み量をTBM運転席および現場事務所にて監視している。

TBM運転席から坑外現場詰所までのデータ伝送は伝送速度およびデータ伝送容量確保のため光ファイバーケーブルを使用している。これにより、

施工担当者は地山性状の早期把握および機械トラブルの早期把握が可能となっている。

6-5 計画掘進進行と実掘進進行

TBMの高速掘進性の確保、長距離TBM掘進のための計画は、以下のとおりである。

- ① TBMを毎日の稼働させるために、TBM作業員編成は3班2交替制とし、勤務形態は6勤2休とする。
- ② 花崗岩の一軸圧縮強度が150~200MPaと非常に硬いため、TBM機械能力の上限に近いオペレーションとなる。カット交換および機械メンテナンスは毎日昼勤で行う(4~6時間)。
- ③ TBM機械トラブルに対する早急な処置が行えるよう、TBMメーカーより機械と電気の特注部品を各TBMに配置する。
- ④ 前方探査は、TSP(Tunnel Seismic Prediction)による方法と水抜きを兼ねた先進ボー

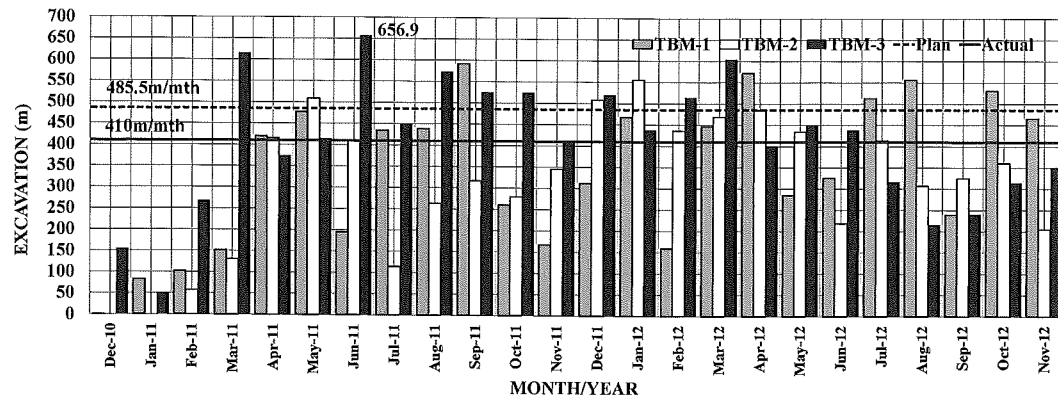


図-4 TBM掘進実績

表-6 TBM進行低下の主要要因と対策

要因	内容	対策など
カット貫入量の低下	岩石一軸圧縮強度150MPaに対し、計画カット貫入量5.6mm/revであるが、実績は3.6mm/revと計画より36%低い。	従来のカット幅3/4インチよりカット幅が狭い5/8インチカットの試験運用実施。現在比較検討中。
カット交換個数の増加	岩石一軸圧縮強度150MPaに対し、計画カット消費量227~266m ³ /個であるが、実績は158m ³ /個と計画より30~40%多い。	Heavy Duty カットより高強度のExtra Heavy Dutyカットの試験運用実施。現在比較検討中。
センタカットハウジングの歪み損傷	TBM機械能力最大連続運転によりセンタカットハウジングに歪み損傷が発生し、センタカット偏摩耗が多発。	センタカットハウジング交換実施。
ベルトコンベヤ通信機器の損傷	マレーシアは世界で2番目に雷の発生が多い国である。雷による誘導電流がベルトコンベヤ通信機器の損傷が多発。	ベルトコンベヤ通信機器の電源をバッテリーに変更。通信幹線に光ファイバーケーブルを使用。
坑内温度上昇による作業環境悪化	大土かぶり下での岩盤温度上昇により坑内温度が40℃以上まで上昇し、作業環境が悪化。	給水冷却設備の増設、TBM後続台車への冷却設備の増設により作業環境温度を35℃以下に設定。

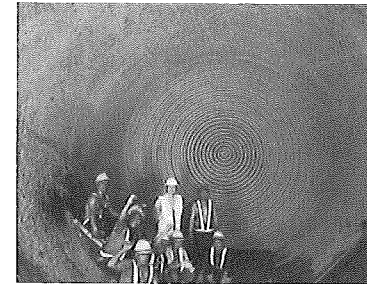


写真-6 TBM切羽状況(花崗岩)(1)

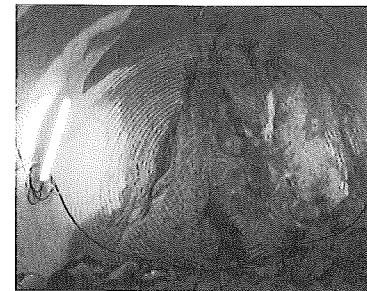


写真-7 TBM切羽状況(花崗岩)(2)

値とし、カットヘッド回転速度は10~12rpmとしている。カットヘッド前面の切羽状況を写真-6,7に示す。

6-6-1 花崗岩変質部

本トンネルの花崗岩の変質状態として以下に示す2例が挙げられる。

(1) 長石の風化により茶色~茶褐色に変質

この変質部では、TBM掘削壁面の自立性は低く、TBMカットヘッドからルーフサポート間で崩落が発生した。支保パターンはD-TまたはE-Tによる掘進としている。崩落高さ1.5m以下の場合にはファイバーモルタル吹付けによる吹付け充填、1.5m以上の場合には、軽量鋼矢板による天端部防護を施し、TBMが崩落部通過後にモルタルにて空洞部充填を実施している。さらに拡大性崩落の場合は、ルーフサポート後端よりシリカレジンによる注入式フォアポーリングを実施している。

(2) 石英脈境界部での変質

この変質部では、湧水を伴い茶色~茶褐色に変質したものと灰色に粘土変質したものが混在し、小空洞が確認される。TBM掘削壁面の自立性はわずかに低く、支保パターンはD-TまたはE-Tによる掘進としている。

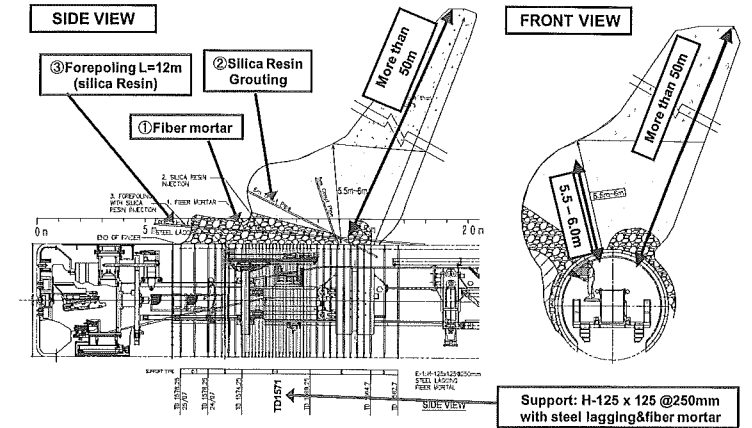


図-5 Lepoh断層空洞推定図



写真-8 Lepoh断層地山状況



写真-9 鋼リング支保工設置、ファイバーモルタル吹付け状況

6-6-2 Lepoh断層

本断層はTBM-2工区に位置し、推定高さ50m以上の空洞が存在する。空洞推定図を図-5に示す。空洞部には湧水および土砂が存在し(写真-8)、TBM掘進時にはカットヘッド開口部が粘土土砂に閉塞されカットヘッドトルク上昇によるTBM停止が多発した。50cm掘進ごとに人力によるカッ

タヘッド内の粘土土砂の排除を行いながら、この難区間13mを15日かけて突破した(平均日進0.87m/日)。支保パターンはH-125鋼リング支保工25cm間隔、軽量鋼矢板による天端部防護、全周ファイバーモルタル吹付け(厚さ125~180mm)とした(写真-9)。TBM通過後は、セメントミルクを空洞部にトンネル直径である5.2mの厚さで充填を行った。

6-6-3 大土かぶり区間

本トンネルの最大土かぶりは1,246mであり、1,000m以上の土かぶり区間が5kmと長いことが特徴である。土かぶり約1,000m掘進地点で側壁に鱗片状の岩片の突出が断続的に確認された。そこで、大土かぶり下での地山の初期地圧を測定し、山はねの危険を確認する目的で、TBM坑内にて円錐孔底ひずみ法による初期地圧測定を、土かぶり1,130mの下で行った。測定結果を図-6に示す。この応力状態下におけるトンネル壁面での応力集中は側壁部で80MPa程度となる(3×29.8MPa-9MPa=80MPa)。

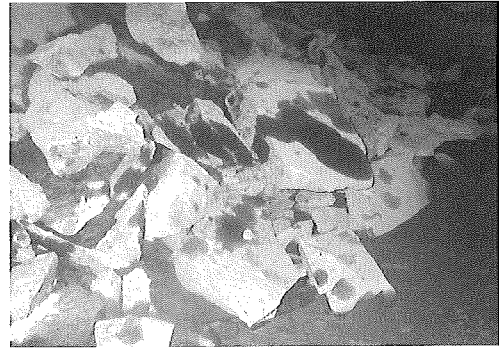
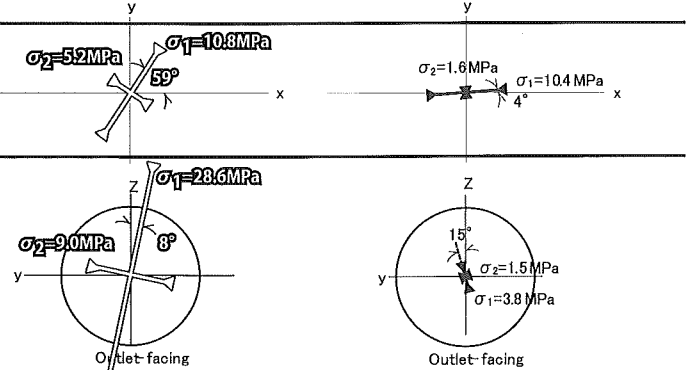
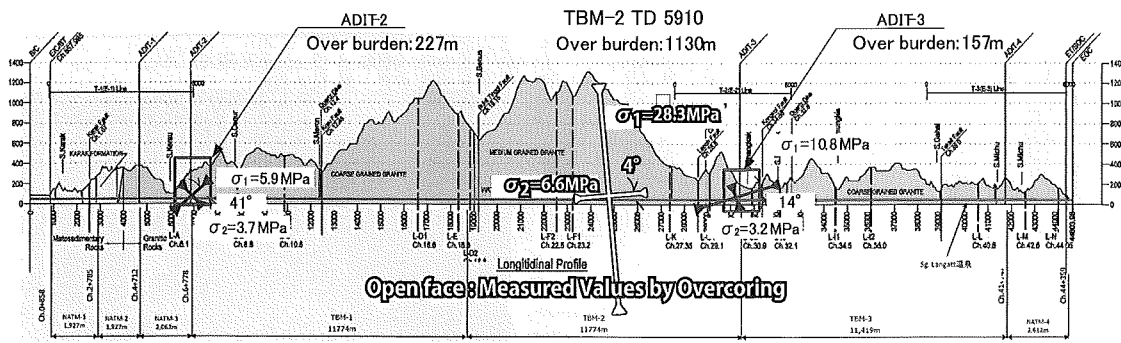


写真-10 山はね状況(側壁部)



写真-11 山はね状況(カッタヘッド前面)



Open face: Measured Values by Overcoring (CCBO)

図-6 初期地圧測定結果

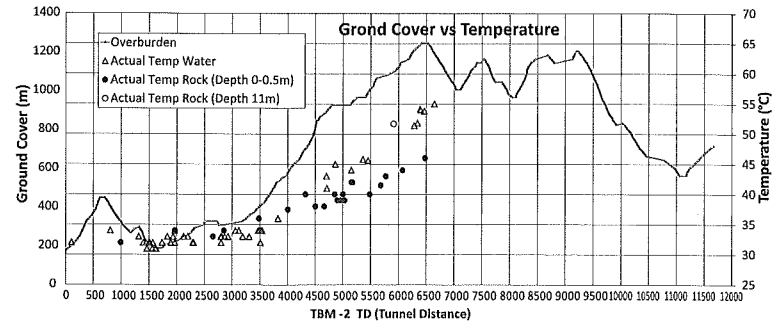


図-7 土かぶりりと岩盤温度および湧水温度の関係(1)

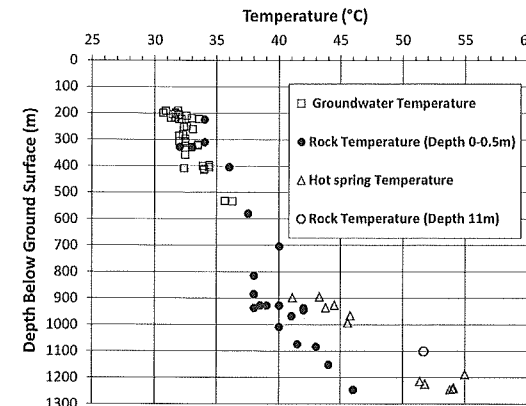


図-8 土かぶりりと岩盤温度および湧水温度の関係(2)

一軸圧縮強度は100~200MPaと高いが、大土かぶり区間でのTBM掘進時には、トンネル側壁部およびカッタヘッド前面で山はねが断続的に発生している。山はね発生後の2次山はねは発生していないため、ファイバーモルタル吹付けのみによる支保パターンC-Iまたは部分ファイバーモルタル吹付けのみによる支保パターンB-Tの掘進としている。トンネル側壁部およびカッタヘッド前面での山はね状況を写真-10, 11に示す。

また、この区間では土かぶり増に伴い、岩盤温度および湧水温度が上昇する。トンネル壁面での岩盤温度は最大44°C、湧水温度は最大55°Cと高く、作業環境に悪影響を及ぼしている。現在は、冷却設備の増設により、TBM後続台車間の温度を35°C以下に保っている。土かぶりりと岩盤温度および湧水温度の関係を図-7, 8に示す。

6-6-4 大量突発湧水区間

最上流に位置するTBM-1工区は、TBM 3工区の中かで唯一の下り勾配(1/1,900)である。

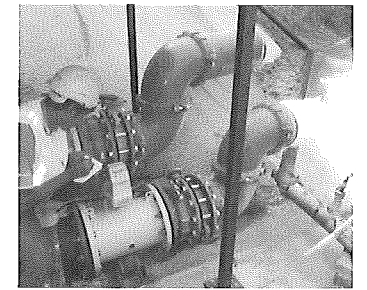


写真-12 TBM-1坑外への湧水排水状況(12インチ排水管)

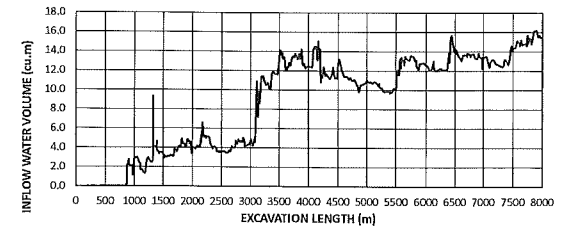


図-9 トンネル進捗と坑内湧水の関係

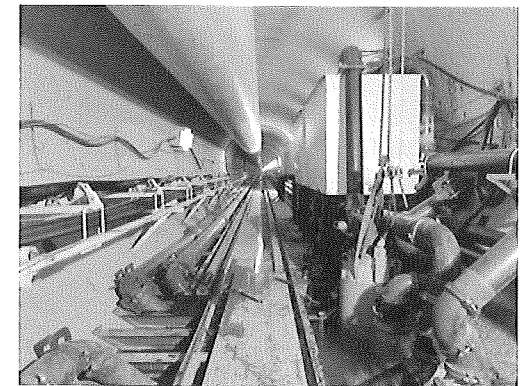


写真-13 TBM-1坑内排水設備

2010年6月に10m³/minの突発湧水に遭遇、その後3~6m³/minの突発湧水にたびたび遭遇し、2012年9月末現在(TBM-1進捗7,201m)での最大坑内湧水量の合計は約16m³/minである(写真-12, 図-9)。

施工開始当初から、突発湧水は当プロジェクトのもっとも大きなリスクであり、その対策として20m³/minの排水能力を備えた排水設備を整えていたが、今後土かぶりが増えるに連れ湧水量も増えることが予測されるため、TBM坑内において30m³/min(写真-13)、TBM発進基地において40m³/minの排水能力を備えた設備へと増強を行った。

7 NATM掘削

7-1 施工方針

NATM掘削の高速施工性の確保および安全施工確保のための施工方針を以下に示す。

(1) コンピュータージャンプの採用

NATM工区は、トンネルの85%が地山等級B、C Iの硬岩地質と想定されていたことから、NATM掘削のメインとなる油圧削岩機は高性能のコンピュータージャンプを使用する(写真-14)。これにより、切羽での発破マーキングが不要とな

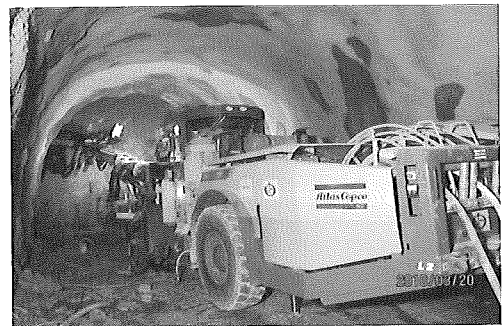


写真-14 コンピュータージャンプ

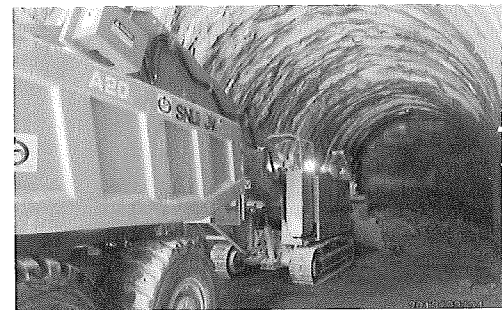


写真-15 ずり出し状況(シャフローダー, 20tダンプトラック)

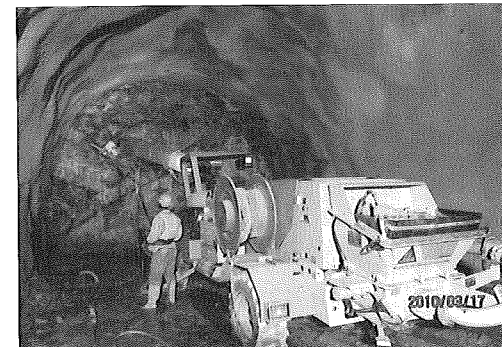


写真-16 吹付け状況

り、施工時間の短縮および切羽直近作業をなくすことによる安全性が図られる。また、削孔角度および削孔長をコンピューターで管理することにより、硬岩での確実な発破掘削および余掘り低減が図られる。

(2) シャフローダーと前後進対応型20tダンプトラック(ツインステアリング)の採用

NATMトンネルは幅が5mと狭いことを考慮し、ずり出しには、シャフローダーと、キャビン内部に前後2つのステアリングを有する前後進対応型20tダンプトラックを採用する(写真-15)。これにより、連続してずり出しが可能かつダンプトラックの坑内転回がなくなり、施工時間の短縮が図られる。

(3) 吹付けロボットの採用

日本国内では当たり前ではあるが、吹付けコンクリートの施工は吹付けロボット(リモートコントロール制御方式)を採用し、切羽に作業員を近づかせないことを図る(写真-16)。

(4) 非電気式雷管の使用

マレーシアは世界で2番目に雷の発生が多い国で、パハンプロジェクト施工位置のパハン州、セランゴール州もその例外ではない。雷による誘導爆発を防ぐ目的で非電気式雷管を使用する。

7-2 支保システム

NATM坑の支保構造は、NEXCO設計要領を参考に、吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼製支保工の組合せによる支保パターンを基本とし

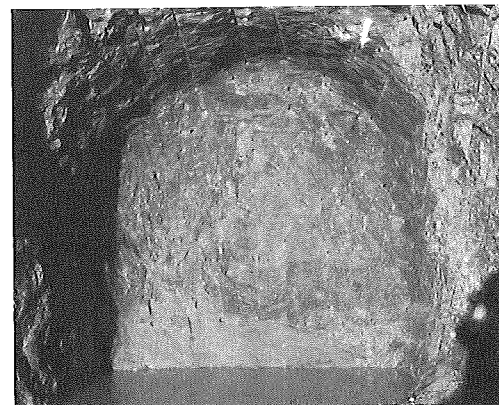


写真-17 切羽状況(花崗岩)



写真-18 切羽状況(頁岩)

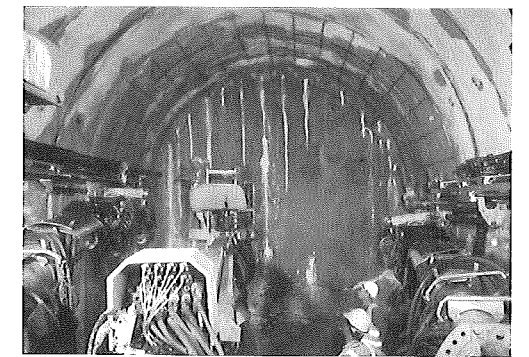


写真-19 長尺鋼管フォアパイリング施工状況(河川横断面部)

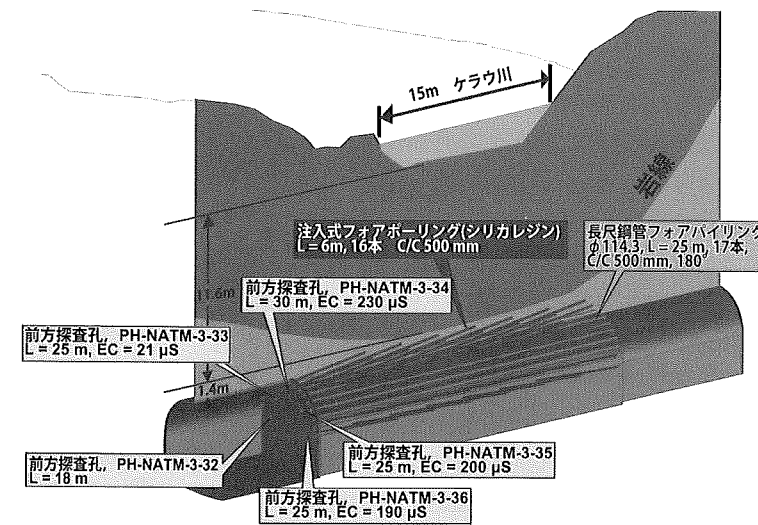


図-10 河川横断面部対策工鳥瞰図

て、自立度の低い崩壊性地山では、注入式長尺鋼管フォアパイリングおよび注入式フォアボーリングの補助工法を併用する。

7-3 NATM掘削状況

7-3-1 花崗岩

花崗岩は、一軸圧縮強度が100~200MPaと高く、割れ目も密着し、大部分は吹付けコンクリートとロックボルトのみによる支保パターンC I-Nまたは吹付けコンクリートのみによる支保パターンB-Nの掘削としている(写真-17)。

7-3-2 堆積岩

NATM-1工区のほとんどは堆積岩である頁岩が主で、注入式フォアボーリングを併用した支保パターンD-Nの掘削が大部分を占める。切羽面

安定確保が困難な場合は、ミニベンチ工法および鏡ボルトを併用しながら掘削を行った(写真-18)。

7-3-3 小土かぶり河川横断面部

NATM-3工区に位置する河川横断面部の地質は、直下に位置する古い断層を境に、新鮮な花崗岩と破碎後に熱水変質を受け再固結した軟質の花崗岩が存在し、土かぶりは11mと小さい。

切羽天端部崩壊対策として、注入式長尺鋼管フォアパイリング(φ114.3mm, L=25m, シリカレジン注入)と注入式フォア

ボーリング(φ25mm, L=6m, シリカレジン注入)の補助工を実施した。注入式長尺鋼管フォアパイリングの打設角度はトンネルとほぼ平行とし、打設角度管理をコンピュータージャンプにて行い、天端部補強を確実なものとした(写真-19)。河川横断面部対策工鳥瞰図を図-10に示す。また、発破振動による緩みを最小限に抑えるため制御発破を実施した。発破振動速度はV=35mm/secに抑えることを目標とし、かつアーチ外周孔180°の範囲には、大口径(φ102mm)ビットによる空孔を200mm間隔に配置した。その結果、発破振動速度は24mm/sec以下に制御でき、発破による天端部の緩みを最小限にできた(天端沈下量最大値:3.2mm, 水平側線変位量最大値:5.3mm)。



写真-20 NATM-1 工区貫通

8 おわりに

本プロジェクト開始当初、想定されるさまざまな問題点を洗い出し、検討を行い実施してきた。

TBM工事では、当初想定のカット貫入量より小さいこと、カット交換個数が当初想定よりも多いこと、雷の気象要因によるベルトコンベヤ通信機器の破損、坑内温度上昇による作業環境悪化およびTBM機械への負担増と、さまざまな問題点が発生している。しかし、現在、問題点を一つ一つ検討解決しながら工事を進めている。

この厳しい条件下で2012年11月30日現在での各TBMの平均月進記録は、TBM-1で399.9m/月(掘進延長8,197.7m)、TBM-2で382.5m/月(掘進延長7,559.8m)、TBM-3で443.6m/月(掘進延長9,818.6m)である。

NATM工事では、使用機械能力を最大限に活かすことと機械メンテナンス体制の確立により、NATM月進日本記録283mを達成することができた。また、小土かぶり河川横断部施工では、施工前に入念な調査および検討により適切な施工方法を選定、施工管理体制を確立した。その結果、トンネルの安定性を保持しながら無事に河川横断部を突破することができた。2012年10月4日にはNATM-1工区の貫通を最後にNATM全工区の掘



写真-21 2011年マレーシア「安全衛生最優秀賞」受賞
削が無事完了した(写真-20)。

本プロジェクト着工以来、安全管理への取り組みが評価され2011年度のマレーシアにおける「安全衛生最優秀賞」を受賞した(写真-21)。今後も厳しい条件が続くが、本プロジェクトに携わる皆が一丸となってプロジェクト完遂までがんばる所存である。

最後に、本工事の施工にあたり、大島洋志・国際航業(株)上席フェロー技術センター長、大久保誠介・東京大学教授、福井勝則・東京大学准教授、西垣誠・岡山大学教授、発注者であるマレーシア政府、エネルギー・環境技術・水資源省、水道供給局の皆様ならびに設計・施工管理者である東電設計・SMEC・SMHBの皆様からご指導、ご支援を賜りましたことに深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 河田孝志：パハン・セラシゴール導水トンネル 全長44.6km、最大土被り1,200m、土木技術、Vol.67, No.5, pp.102-108, 2012.
- 2) 大友強一・芳賀伯文・松本茂美・水戸聡：TBMで6kmの避難坑を高速施工、日本海東北自動車道 温海トンネル避難坑、トンネルと地下、Vol.39, No.3, pp.15-26, 2008.3.
- 3) 九里尚一・阿部司・斉藤徳美：花崗岩類の風化に関する研究(I)、物理探鉱、Vol.24, No.1, pp.6-17, 1970.

第三十七回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

トンネル技術者よ、 世界に羽ばたけ！

(元)西松建設(株)
満下直紀

はじめに

シールド技術者として幾多の経験をしたことに感謝している。とくに、国内の経験を踏んで海外に出してもらい、種々の人種、地層、工法、契約先技術者、現地技術者や作業員とともに貴重な経験をした。停滞期に入って久しい国内であるので、トンネル技術者はチャンスがあれば、ものづくりの夢を海外に追い求め、外国に日本のトンネル技術者ファンを増やし、輸出にも貢献して欲しい。

ここで、私の略歴をご紹介します。次頁に略歴表を示すのでご参照願いたい。

昭和39年に入社して、最初の8年間は関東支店、次の6年間を九州支店、次の11年間を海外支店、次の4年間を九州支店にて、シールド工事を中心とする都市トンネルの工事に従事した。

昭和42年に着任した「荒川左岸下水道組合・鴨川幹線工事(セミシールド)」では、日本で最初の

泥水式シールドを使った。この現場では、シールド発進時のエントランス止水を初めてゴムパッキンで行った。昭和42年から海外に赴任するまで、国内で4件のシールド工事を経験した。

昭和52年からの11年間は、バンコクで水道、中国本土返還前の香港で地下鉄のシールド工事に従事した。また、その間、シアトルのトンネル工事の応札なども経験し、種々の地質・国民性の人々に遭遇して、苦しかった思い出もあるが、今思えば意義深い技術者人生であったと考える。

当時の契約を含めた技術上の苦労、工法上の工夫、現地作業員の士気の鼓舞など、常に悩みながら職責を全うした。そのことについて、後輩の皆様の参考になればと思い、海外の経験を主体にして本稿をまとめることにした。

シールド工法も今では国内外であらゆる工事の経験を積んで進化し、いかなる地質条件にも対応できるようになっていると考えるが、



現場事務所で中国人スタッフと(前列が筆者、後列左が杉山氏、右がロバート氏)

著者略歴

昭和39年4月	西松建設(株)入社
昭和39年4月	関東支店、営団地下鉄東西線落合工区
昭和39年9月	新宿西口地下駐車場工事ほか、都内開削工事
昭和42年3月	荒川左岸下水道組合・鴨川幹線工事(日本最初の泥水式セミシールド)
昭和43年9月	国鉄・東海道本線東京～品川間線増工事(圧気・機械掘り式シールド)
昭和47年7月	九州支店、北九州市・浜町幹線他シールド工事(圧気・機械掘り式)
昭和48年12月	下水道事業団・佐賀市屋外汚水幹線工事(泥水式セミシールド)
昭和50年12月	福岡地下鉄1号線室見工区工事(開削)
昭和52年5月	海外支店、タイ国首都水道公社・導水トンネル工事(泥水式シールド)係長
昭和53年12月	香港地下鉄301工区(圧気・半機械掘り式シールド)副所長
昭和57年5月	香港地下鉄402工区(圧気・半機械掘り式シールド)所長
昭和62年10月	九州支店、福岡地下鉄榎田東工区(複線断面泥水式シールド)所長
平成3年4月	四国支店土木部長
平成5年6月	取締役・四国支店長
平成9年6月	常務取締役・九州支店長
平成13年6月	代表取締役副社長・施工本部長
平成16年4月	代表取締役副社長・関東支店長
平成18年6月	退任

発展途上の当時のことだったので、失敗も含めた経験談として読者のお役に立てれば本望である。

タイ国首都水道公社 導水トンネル建設工事

バンコク市中心部には既存の水道供給システムはあったが、お

らかな国民性のためであろうか、施工時の供給管路の欠陥が多く、多量の漏水や供給水に砂などの不純物が混入する問題が発生していた。広域化していくバンコク首都圏において、これらの問題を解決するために新規の水道幹線トンネルを築造する工事であった。

私の配属された工区は、端末のバンケー浄水場からパホンヨーテンパルプシャフトまでの掘削外径φ4.56m、延長10.2kmの工区であった。当初の計画では、バンケー浄水場から4.1km、3.3km、2.8kmに分け、圧気併用の機械掘り式シールド3台で施工する予定であった。しかし、現地の労務事情、地質に苦勞をし、スタートとしては必ずしもうまくいっていない状況であった。

とくに、最長区間の上流部4.1kmは、他区間の地質が硬質粘土層であったのに対して、細砂層であったため、圧気をかけているにもかかわらず切羽の崩壊を起し、たびたび、路面の陥没を起こしていた。

私は既配属当社土木職員を補強する役割として配属された。

■シールド掘削工法のこと

現地配属後、機械で掘削する切羽の状況を見ると、掘削していないときは、圧気の効果で切羽は安定して立っているが、いったんカタフェイスが回りだすと、切羽下半に小さな空洞ができ、その後のカッタの回転に合わせてどんどん大きくなっていく状況であった。そしてついには、2～3リング進行するあいだに、シールドの背面側まで空洞が伸びていく始末である。

どこまで空洞が広がっているのだろうと、面板を外して恐る恐る顔を出して上を覗いてみると、シールドの背中が完全に露出し、その約2m上方の軟弱シルト層の層境が確認でき、そこから下の細砂が

剥げ落ちて空洞になっている状況であった。わずか2～3リング掘削の間に、細いカッタスリットから、どうやってこのように余分の大量の砂が出てきたのか、まるで狐につままれたような感じであった。

このようなトラブルを何回かくり返しながらか、発進して1年が経っていたが、目標の4.1kmに対して掘進延長はちょうど365mであった。タイの若い技術者たちと、この不思議な数字を嘆きあったことを覚えている。

これでは掘削に対するなんらかの対策が必要である。現地の機械職員が切羽をもう少し柔らかく削れるようにと、カンナ刃式のビットを考えていたので、それを試すつもりでいた。

ところが、当時の橋社長が現地に来られて「君たちは、失敗したときには素直にそれを認め、思い切った解決策を講じなければ、いつまで経っても同じ失敗から抜け出せないことになるぞ」とおっしゃった。この一言で、開放型機械掘り式シールドから泥水式シールドに改造することに決まった。

余談ではあるが、改造にあたり国内のシールド工法の大家たちが、改造の具体案を立案するため現地踏査をするというので、モルタル注入をして空洞を埋め、切羽がカタフェイスに密着する状態にした。いよいよ明日は来訪者の前でカッタを回転させ、空洞発達の初期の段階をご披露しようとカッタを回したところ、カッタが回らない。深夜のことである。私をはじめ、

日本人技術陣は青くなった。

狭いカッタの場所である。私を含めた3人の日本人で必死にカタ周りの土を手で掻き出し、やっと明け方にカタがひと回りした。そのとき、後方から「チャイオー!!!」という、どよめきのような声が起こった。何かと思って振り向くと、タイ作業員たちから一斉に起こった「万歳!」という歓喜の合唱の声である。彼らも私たち同様、状況を察して心配して見ていたのだろう。今でもあのときのタイ作業員の声は耳に残っている。

このようにして、地中でシールドを改造して、泥水式シールド工法による掘削が始まった。

また、4.1kmの掘進延長も折半し、中間点から先に新規の発進立坑を設けて、新たに追加の泥水式シールドを入れ、同時に2台の泥水式シールドで掘進することにした。

しかし悲しいかな、急な工法の変更である。国内雑誌を見ていると泥水式シールド工法の泥水処理システムも確立され始めてきて、切羽からの排泥水中のシルト、粘土の細粒分を逃さず、必要な量を掘削のための送泥水に還流するシステムが採用され始めていたが、そういうものはこのタイの国では急には揃わない。ましてや工程上要求されている月進400mの高速掘進は望めない。

泥水処理設備としては、サイクロンのみを排泥放水口に据付けて、できるだけ細粒分を回収するという、今思えばお粗末なシステムであった。

しかし、問題となった地質は細砂層であり、排泥水に大量の細砂分が含まれている。この細砂分を逃さないように限られたタンク(セグメントで作った容器)の中に排泥水を貯めて循環させても、5～6リング掘削するとタンク内が砂で一杯になってしまう。これでは、要求工程である月進400mどころではない。

ところが、幸いなことに、追加投入した2機目の泥水式シールドはシルト質地層を掘進していたので、そちらの排泥水をタンクローリーで運び、細砂側のシールド掘削の送泥水に混入し、こちら側の排水は溜池用地に放流した。このように、地層の悪いところでは両掘削排泥水のやりくりで高速掘進を保つようにした。

工事が軌道に乗った段階で、上司から、クレームの成功性を問われたので調べたが、この問題の砂層はキャサグランデ土質分類でSPに分類される粒径の揃った砂層で、入札の地質横断面にもはっきり明示されている地層であった。

今でこそ、このような地質は泥水式シールド工法が最適であるということが常識となっているが、当時は技術レベルがそこまで達していなかったであろう。

■タイの労務環境に関すること

タイの東大といわれるチュラロンコン大学出身の若い技術者を多数採用して、彼らを指導しながら工事を進めた。

工事が軌道に乗ってくると、定常業務の作業に対する指示は彼らを受け持ってくれた。

彼らはプライドをもった技術者で、当時、自分たちのような大学出の技術者はタイ国内に1,000人程度しかいないと言っていた。そして、彼らの目から見ると、日本人技術者は技能者に映っていたようである。

実際、彼らのあいだの議論を聞いていると、電卓片手に構造物の応力計算を公式も何も見ずにやっているような優秀さであった。彼らは、夜勤で仕事の指揮を一人で任されているようなときでも、坑内へ通じる電話を片手に、適確に各所のタイ人世話役を動かしてきて、頼もしいかぎりであった。

タイの労働者の賃金はインセンティブも含めて、われわれ幹部がコントロールできるシステムにした。

順調な工事進捗が望めるようになったので、5リング進行以上から幾何級数的にボーナスを増やすようにしたが、急にはその効果は出なかった。彼らはギャング(グループ)ごと、何度かは良い進行を出してくれるが、続かない。

しかしあるとき、日本人技術者にタイ作業員が「本当にこのようなボーナスを出してくれるのですか？」と確認に来たので、「本当です。このボーナスシステムはあなたたちに差し上げるために作ったのです」と答えると、その日から進行が驚異的に上がるようになった。

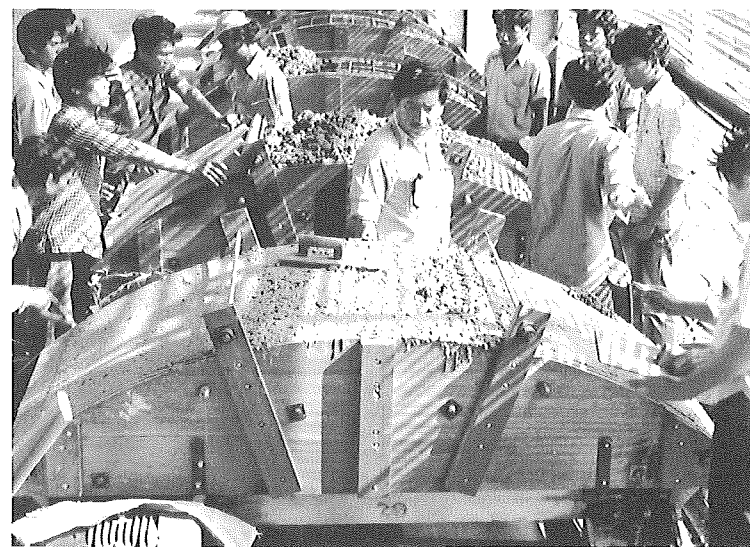
これは地方から出てきたタイの人の歴史であろうか？ 約束されても何度も裏切られるという経験からきた、すぐには信用しないと

いう習性のように、何か彼らの苦労の歴史を感じさせられることであった。

当時、わが社は、他工区業者のセグメントも含めて製造していたが、昼夜シフトで300人もの作業員を雇用しているにもかかわらず、30ピース/日の生産しかできなかった。他工区業者からのセグメント供給不足のクレームを心配する事態にまでなり、やむを得ずわれわれの1つのトンネルの掘削まで止める深刻な状況になってしまった。

そこで、この工場でもボーナスシステムを採用した。例のごとく、最初は効果があまり現れなかったが、給金支払い後にこのシステムが信用されると、なんと300ピース/日を超えるまで生産数が伸び、そのうえ昼夜の交代時に、反対側シフト作業員に職場を譲らないという問題にまで発展して、セグメント不足の問題は一挙に解決した。

現地の人々の労働意欲を鼓舞することでこんなにも生産性が上がる、



タイでのコンクリートセグメント製作状況

ということを痛切に感じた。

■二次覆工コンクリートの品質の問題点

二次覆工コンクリートの打設に、タイ国史上初めてコンクリートポンプ車を持ち込んで、コンクリートを長距離パイプ圧送する計画であったが、コンクリートが輸送パイプ内で閉塞固結してしまうということがなかった。

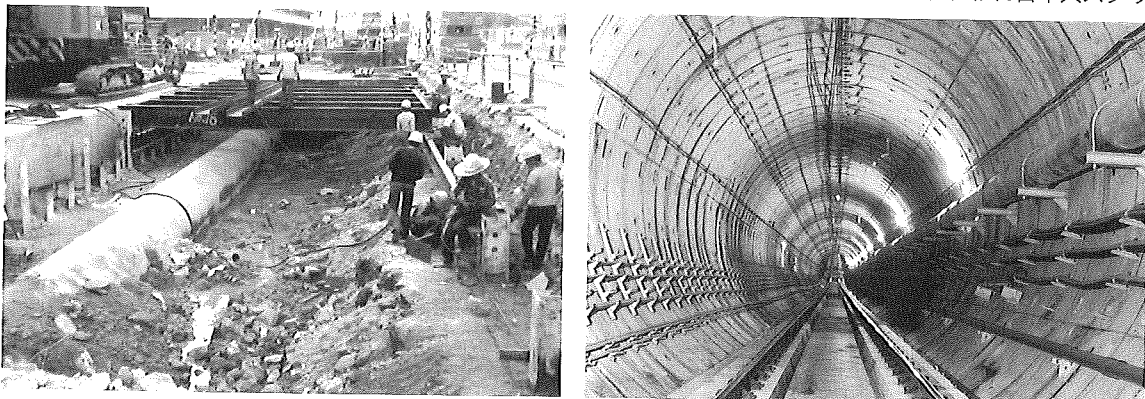
原因は使用川砂の細粒分の少ない粒度分布にあると考えたので、砂の納入業者に悩みを打ち明けると、彼らは所長と一緒に私を採取地のクワイ川(映画『戦場にかけの橋』のテーマ曲『クワイ川マーチ』の川)に連れて行き、小さな小舟に乗せて土砂で黄色く濁った急流に漕ぎ出した。この船が転覆したら一生の終わりだなどと生きた心地がしなかったが、彼らの言いたいのは、タイ国の川砂採取地はこのように急流なので、細粒分を適度に含む砂は取れないということであった。

王様の関連企業が製造しているセメントの品質にも問題があった。ブレン値(粒子の比表面積の指数)が低かった。

いずれの点も長距離コンクリートポンプ圧送には不利な点である。考えてみれば、当時のタイ国でのコンクリート打設方法は、どんな高層ビル建築でも、タワーバケットでコンクリートを最上階に巻き上げ、それをタイの労働者(女性が多かった)が小さなバケツに入れて手で運んでいた時代である。

タイのコンクリートプラント技術者に配合のことを聞いても、適格な返事は返ってこない。アジア工科大に行って、日本から来た教授に相談すると、セメント量を増やすしかないというサジェスションを受けたのでそのようにしたが、最後まで問題なく順調にコンクリート打設ができたとは言いがたかった。

この問題は、次の香港九龍側地下鉄工事でもあった。香港では砂は砕砂を使っている。これは、ポンプ圧送には全く適さない粒度分布の砂である。ましてや、香港では地上から圧気トンネル内にコン



香港地下鉄301工区 (左)開削部施工状況 (右)シールドトンネル完成状況

クリートを打ち込むのである。

このときは、混和剤として超減水剤を使ってコンクリートを練った。バンコクのケースでもこの方法が確実だっただろうと今は考えるが、コストの問題は別である。

香港地下鉄建設工事

バンコク工事が軌道に乗った段階で、中国本土返還前の香港地下鉄建設工事に配属された。九龍側の建設工事と香港島側の建設工事に、2期、通算9年滞在了。市街地における、ボルダー、ベッドロックを含む地下水位の高い地質条件での圧気シールド工事であったが、英国式工事契約と現地作業員の士気高揚に苦勞することとなった。

■プリンスエドワード駅～サンスイポー駅～チョンシャワン駅間トンネル工事(301工区)

九龍側の高層ビルが建ち並ぶ主要幹線道路下で、ボルダーを含む真砂土を掘削対象地盤とする、高地下水圧下でのシールド工事であった。圧気・半機械掘り式シールド工法を採用し、圧気圧は2.1~2.8 kgf/cm²(0.21~0.28MPa)とした。

契約は、香港地下鉄公団提示のエンジニア・デザインに対する代案を提示したことによる、ランプサム契約であった。

欧米式契約(フィディック式契約)であるので、甲乙対等の契約で、乙の立場としても工事運営上、何でもクレームすることができ、公平に議論が戦わされるが、業者側の代案に則った施工法であったため基本的には業者側が施工上のリスクを負うことになる。

最大の契約上の論点となったのは、日本から分割されて運搬されてきたシールドを、ずり出しシャフトの横坑から運び込み、本線トンネルで組み立てるための大断面のシールドチャンバを造る切り抜け工事が、予想以上の期間を要することとなり、工程に余裕がなくなり、機械・人員を大幅に超過して投入することになったことである。

このシールドチャンバの切り抜けに関する工程の延伸が、甲乙間の最大のクレーム事項となり、契約上の論争となった。基本的には代案での施工であり、また着手にあたってのわれわれ日本人スタッ

フの、契約先から取っておくべき確認事項の文書不備から、まともな議論としては噛み合わなかった(裁判法廷に持ち込んでも勝てない)。

これは、われわれが日本国内で工事を施工しているときは、甲乙信賴して「ともかく、仕事をしっかり行っていれば、甲の方も理解してくれて、お金の交渉は後からできる」という安易な考えが裏目に出たものであった。

また、入札にあたって、どの程度、入札金額の競争が激しかったのかはわからないが、調達機械はほとんどが前期工事で現地他業者が使用したものを譲り受けたため、故障などで苦労することとなった。

たびたび、ずり揚げ設備も故障し、作業員の士気も上がらない。常に 2.4kgf/cm^2 (0.24MPa)以上の坑内圧気圧である。わが社の日本人技術職員も多くの方が潜函病に悩まされた。そのようなとき、坑内火災が発生した。切羽後方設備の電気スイッチボックスの中の電線のショートが原因であった。このときの坑内圧気圧は 2.6kgf/cm^2 (0.26MPa)である。火は切羽のトンネル機械類に瞬く間に燃え移り、黒煙が坑内を走り、作業員も坑口のマンロックに逃げ込むのがやっとのことだったと言う。

モンコック消防署の隊員が坑内に入るという話になり、私は「すでに作業員は全員無事避難しており、この坑内圧気圧の状況では消火の施しようもないので、坑内には入らないでほしい」と申し入れた。

にもかかわらず、消防隊は煙が充満した暗黒の坑内に入り、消防隊員一人が坑内で隊列から外れ、空気呼吸器が脱落した状態で救助され、心臓マッサージをされながら立坑のクレーンで引き上げられるという状況になった。

結果は最悪の事態となり、この消防隊員は、過去において有名な英国人を救助した香港の中国人英雄であったということで、現地の新聞にも大々的に掲載されるところとなった。

のちほど、刑事罰の追求で、私も九龍裁判所で尋問を受けたが、モンコック消防署の英国人署長が不必要な入坑を認め、入坑時の統制の乱れを認めたので私はことなきを得た。噂では、この英国人署長が次期の香港島の同様の地下鉄工事を想定し、この機会をとらえて、隊員の人命救助の訓練の場としてこのトンネルを利用したと言われていた。

しかし、これらの事象の大本の原因は、使用機器が高圧気下の工事条件に適さないものであったからと言える。このような高圧気下での長期間の工事は国内ではないので、今考えると無理のないところもあったと考えるが……。

このようなことで、この九龍半島側の工事は後味の悪い結末で終わることとなったが、引き続き香港島側の工事が発注になった。

このとき、私たちは開削工事区間の責任者も含めて再び橋社長に呼ばれた。

社長の言：「君たちは、今のこのくらいの圧気圧の工事でアップ

アップしているが、次の香港島の工事では圧気圧は 3kgf/cm^2 (0.3MPa)を超えるそうじゃないか。社長の私としてはぜひ取りに行きたいが、君たちを見ていると、どうしようかと考えざる得ない」

これは明らかに私の方を向いての発言であった。契約条件を盾に英国人にやり込められて、現地の広東人も、うまく使いこなせなかったこの情けない状況。私の言うことは決まっていた。

■香港島上環(シオンワン)トンネル工事(402工区)

先の九龍側工事での経験を踏まえ、設備、人員配置なども熟慮して入札金額を決めた。

前工事で数度の潜函病を病んだ当社日本人職員主体の管理体制を変え、各切羽、各シフト(1日3シフト)に英国人トンネル技術者を貼り付け、何かとうるさい公社側英国人エンジニア、インスペクターに対処させる。

今回の施工方法は公社側提示のエンジニア・デザインに忠実なものを採用し、金額積算もこれに則ったもの(メジャメント積算方式)とし、条件変更があったときには公社側に責任を取ってもらうようにする。

工程は契約の求めである電算に組み込まれたネットワークで管理し、契約にもとづく当初条件から想定外の事象が発生したら、そのことに起因する遅滞状況が把握できるようにする。

英国人技術コーディネーターとコンティンティサーベイヤー(OS)を組ませて、所長の指示のもとに、

公社側と時々刻々の交渉に当たらせる。

各アクティビティの工事を始めるときには、その詳細を文書で公社側に事前に提出し、それに対する公社側の契約条項外の追加の要求があったときには工事精算金額に反映させるため、文書のやり取りを行う。

前回の工事で公社側も「安かろう、リスクが多かろう」では、この世紀の香港島地下鉄工事はうまくいかないと考えたのだろう、上記のような条件でわれわれが見積もったにもかかわらず、開札後すぐに公社側から「金額はほぼ合致した。詳細を聞きたい。」という返事をもらい、工事が始まった。

前回の工事では英国人社長の下請けを使用し、設備の不具合などもあり、思うように工程が進まなかったが(英国人社長の思惑もあったと推測する)、今回は広東人経営者を介した直営形式にし、作業



香港地下鉄402工区でのシールド発進開削部着工セレモニー状況(中央が筆者、左が市川氏、右がラーキン氏)

いろいろな紆余曲折があったので、以下に3点挙げておきたい。

単線トンネル区間のUnforeseen Ground Condition に対するクレーム交渉

前述のように、工程、積算は公社側提示図面の地質条件、工法にもとづいている。現場ヤードの引渡しを受けたあと、高層マンションの下を進むトンネル部分の地質調査をしたところ、公社提示図のランダムなボルダー混入の地質だけではなく、相当広範囲の区間でベドロックが出現することがわかった。このような、より過酷な地質条件では当初目論んでいた掘削進行は達成できない。大幅な工程の遅延は、前述のプログラムに入ればはつきりする。工事費のアップにもなる。

しかし、公社は地下鉄供用開始が遅れると、1日あたり莫大な収入減となる。あくまで当初の期間で全工事を完了させることを要求

員に対する進行に合わせたボーナスも含めてわれわれの直接裁量が及ぶようにした。

採用する作業員は香港本土から来た20才前後の屈強の若者たちで、前回の工事で意欲のなかった作業員たちが、ボーナス制度を採用すると、タイ国の作業員とは対照的に、即、その効果が現れた。

切羽を防護しながらトンネルを造る人力掘削の区間があったが、前回は24時間で1m(1リング)しか進行しなかったものが、今回は切羽掘削面に5人も同時に横一列に並んで、一心不乱にスコップを振るようになり、3mも進むようになった。また、そのようなとき彼らと目を合わせると、満足した表情で向こうから挨拶してくるようになったものである。

人の使い方により、こんなにも個々人の労働意欲が鼓舞されるものかと、つくづく考えさせられた。そうは言っても、工事期間中、



香港地下鉄402工区開削部で用いた連発バケット

してきた。このため、当初組み込んでいた工事計画の大幅なグレードアップが必要となった。

機械設備のグレードアップを行い、トンネル作業員も広東人作業員から高価ではあるが圧気内作業でより適応力と馬力があり、進行を多く望める韓国人作業員に変えて金額を提示し、これでオリジナルの工期を守ると交渉した。

金額は了解され、工程についてはオリジナル工期から1日遅れることに変更金額が減額される変更契約となった。韓国人下請けにもわれわれ同様のインセンティブを

提示したので、彼らもわれわれの期待を裏切らなかった。

シールドチャンバの切り抜け掘削（駅トンネル機械組立てのための単線トンネルの切り抜け箇所）

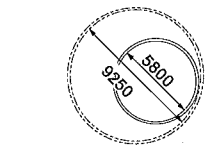
前回工事において、最大の問題となった施工箇所であった。今回は日本式の鉄製アーチリブ枠を使用してサイロット工法で切り抜けを行ったが、今回は公社英国人技術者が想定しているとおりの掘削工法、手順を進めた。この工法は、わが社の国内トンネル技術の大家たちにとっては理解できなかったようで、「そんなに絵に描いた

ようにうまくいくわけがない」という雑音も聞こえてきたが、われわれは圧気内の掘削なので自信もっていた。

手順は以下のとおりである。

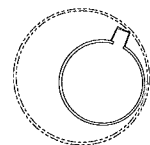
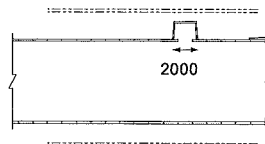
- ① 単線トンネルをパイロットトンネルとして使用し、掘削切り広げの安定に役立てるため、手掘り掘削の単線トンネルをシールドチャンバ箇所を通過して築造する（下図、Step-A）。
- ② シールドチャンバ中心位置から、単線トンネル内径φ5.5mのセグメントを外して、

Step-A



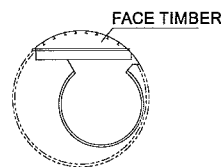
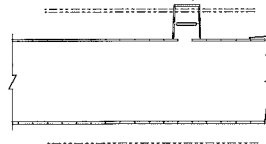
① EXCAVATE FULL FACE PILOT TUNNEL THROUGH THE SHIELD CHAMBER

Step-B



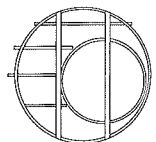
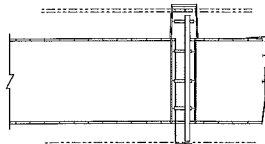
② BREAK UP THE PILOT TUNNEL BY REMOVING A TOP SEGMENT

Step-C



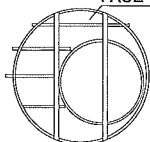
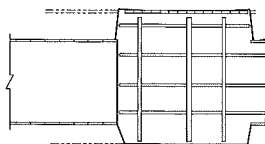
③ EXCAVATE AND ERECT THE FIRST LAYER OF FACE TIMBER WITH 2 m WIDTH

Step-D



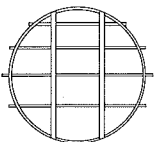
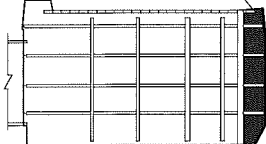
④ EXCAVATE AND ERECT FACE TIMBER SUPPORT OF 2ND, 3RD & 4TH LAYERS
⑤ COMPLETE THE EXCAVATION, BUILT 8.9 m ID SGI RING -2RINGS OF SHIELD CHAMBER AND CARRY OUT CAVITY GROUTING
⑥ INSTALL H 300 x 300 SOLDIER BEAM AT ONE OF RINGS

Step-E



⑦ REPEAT STEP ③, ④ & ⑤ ALTERNATIVELY IN BOTH DIRECTION

Step-F



⑧ SHUTTERING AND PLACE MASS CONCRETE AT BOTH ENDS OF SHIELD CHAMBER

香港地下鉄402工区シールド切り抜け施工手順

上部からヤンキーブロップ（英国人の通称金具名）とバンカーバー（鉄矢木）で空間を囲いながら掘削していき、パイロットトンネルの外側に内径φ8.9mのトンネルセグメント覆工を2リング構築する（Step-B～D）。

③ この拡張された内径φ8.9mのセグメントから、前後に手掘りでトンネルを伸ばしていき、長さ15mのシールドチャンバを仕上げる（Step-E～F）。

この施工法では、鉄矢木の裏やセグメントの裏に、そのつど、確実に裏込めモルタルを注入するため、パイロットトンネルとこの裏込めが地山を支えていく。そのため従来の日本式山岳工法の鉄製アーチリブを使用した上半先進工法よりも地山を傷めない（日本式鉄製アーチリブ掘削工法では、内径8.9m×長さ15mの全掘削が完了するまではセグメントによる覆工に着手できない）。これにより、路面の沈下もなく、順調に完了した。

香港での技術者採用状況

英国の技術者は一人前の技術者として認知されるまでは、行政官庁、設計事務所、コントラクターの経験を積む必要があるとのことであった。

わが社が香港島の契約を入手すると、若い英国技術者たちから採用の可能性を問いかけてきた。また、彼ら技術者の間では『Tunnel & Tunneling』というジャーナルが世界中で読まれていて、その読者が採用の可能性を問い合わせる。

当然、公社側の若い技術者も請負側に興味をもち、話が合意に達すると、翌日から公社のヘルメットからわが社のヘルメットにかぶり替えて職務につくことになる（昨今のイチローほどのスピード感はないが！）。

また、トンネルジャーナルに応募して世界に羽ばたこうと野心を持った技術者を、ロンドンに向向いて種々確認して採用した。

英国人技術者の補助をする種々の中国人技術者も香港大学系の優秀な人を採用し、契約上の論争の対公社作戦に当てた。

このように、西松建設の施工部隊とは言っても、少数の日本人職員がキーポイントを司っているだけで、ほかには英国人、中国人の混成部隊であった。

公社の英国人技術者は彼らの職務倫理規定では、残るものをもらうことは罰せられるが、コンシューム（消化）するものは良いらしく、われわれの工事事務所の1階に「クラブ乾杯」を作り、夕方勤務

時間が終わると甲乙の技術者が集まりビールを酌み交わしながら、ダーツゲームを楽しんだりして、共同でこの世紀の難工事を完成させるという雰囲気を作り出した。もちろんこれはわれわれの方に採用されている英国人の発案で、飲食するビール・つまみ類は各自負担であった。夕刻にアルバイトでくる若い中国人女性の給料は、さすがにわが社の工事費から出した。

■香港地下鉄工事完了後の余談
2期目の香港島地下鉄工事は、すべて順調に、われわれの思惑どおり完了した。公社側にも満足していただくこととなった。

公社の経営クラスの英国人が「西松も九龍側では苦勞し、公社としてもいろいろ心配したが、香港島側ではよく勉強し、すっかり公社のお株を奪うまでに成長した。」と言われたそうである。これは決して彼らの負け惜しみを吐露した言葉ではなく、お互い対等の立場の契約に立って立派な地下鉄路線ができたという満足した賞賛の言



香港地下鉄402工区駅部完成状況

葉と受け取った。

また後日、香港電力(株)の香港島裏の長区間の海岸沿いケーブル施設構造物築造工事を担当したが、香港電力(株)の担当者が、この現地合わせの箇所が多く設計変更が多いことが予想される工事を監督する立場において、「私たちはこのようなプロジェクトを、フランス、イタリアなどのクレームが多く、最終金額や完成時期もはっきりさせない業者には施工させたくない、日本の業者に受け持ってもらいたいで、がんばってください」と言われたことがある。

日本人コントラクターとして、こういうことで全世界に事業を開いて良いのかと迷うところではあるが、地下鉄公社の経営層の英国人も、西松に建設を任せて公社も満足している、というコメントではなかったかと推測する。

福岡市高速鉄道1号線 榎田東工区 —再び国内へ—

福岡市地下鉄シールド工事が発注となり、再び福岡市へ帰ることとなった。掘削径φ10.2m、延長

1.0km、福岡空港下を泥水式シールド工法で施工する複線トンネル工事である。

着任して、福岡市に挨拶に行くと、旧知の技術者たちが、「君が来てくれれば安心だ、よく帰ってきてくれた」と言ってくれたので、正直嬉しかった。

今回はバンコク時代の泥水式シールド工法の段取りと違い、泥水分離設備も完璧なものが計画に組み込まれていたため、何も心配することはなかった。

ましてや、国内の工事は甲乙お互いに信頼し合って工事を進めるので、外国のように常にクレームを念頭において工事を進める必要もなく、いま振り返っても土木屋冥利につける夢のように楽しい工事であった。

またその間、わが社が技術指導員として機械メーカーに職員を出している、英仏間ドーバー海峡横断トンネルに技術アドバイザーとして行かせてもらい、チョーク層を肌で感じる事ができた。

福岡市の工事は、私のあらゆるトンネル建設経験の中でも最高に順調に進捗し、最高の品質のもの

ができた。

今でも地下鉄で福岡空港に行くときがあると、途中、目を皿のようにしてトンネル内を見つめるが、漏水は皆無である。経済的なメンテナンスができていたものと想像する。

おわりに

私は福岡地下鉄工事を最後に、現場を卒業することとなった。

しかし、外国人も含めた私たちの仲間の技術者が、香港、タイ、シンガポール、台湾、ロンドン、アイルランドで同様の工事に散り、活躍した。もちろん、外国人はプロジェクトによってはわれわれ業者側であったり、企業先側であったりする。

そして、集まる機会があると香港時代のことが話題になり、同窓会が盛り上がるそうである。

また、その後のタイの若手技術者も国会議員になった者もいれば、競争入札でわが社に対抗するほどの会社を運営するようになった者もいる。タイ人でシールドを運転していたグループも、中東で同様に高等なシールドを巧みに運転し

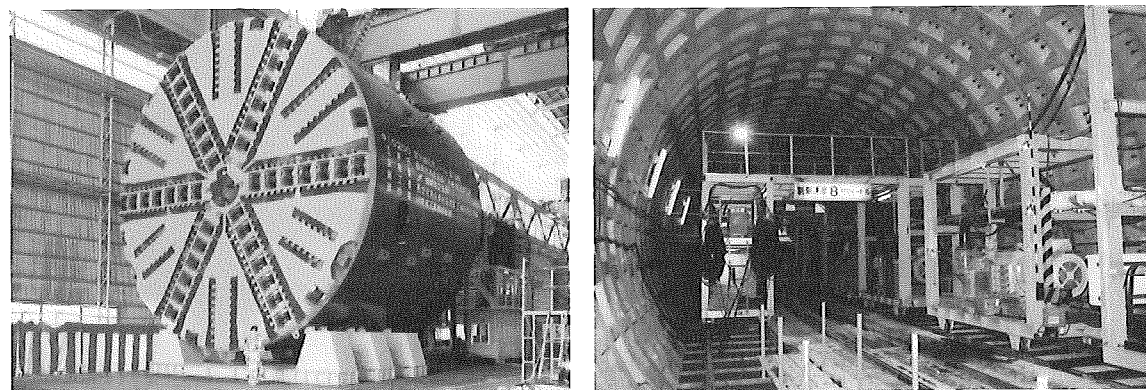
て、どこでこのような高等技術を習得したのかと驚嘆されたと聞いている。

ものづくりの楽しみをわかっている者には人種の隔たりはない。一緒に汗を流している日本人技術者の心を理解してもらい、われわれ技術者から人の輪を広げることによって、国際親善に貢献できると考える。もちろん、国によって

は宗教・商習慣など千差万別であり、進出先の国の選別は慎重にする必要があるが、海外には、その国の将来の発展のキーとなる重要なプロジェクトがあり、そこで活躍する日本人技術者は高く評価される時代である。

建設請負の海外進出は、われわれ日本技術者のノウハウをベースにした、知的財産を駆使しての輸

出(外貨の獲得)に分類される。国内すべての分野で元気のない現在、土木屋も外貨獲得をかねて外国に出たいという意を込めて、この拙文を書いた次第である。これからの日本の土木を背負っていただける後輩の皆様に、参考にしていただければ幸いである。



福岡市高速1号線榎田東工区 (左)φ10.2m泥水式シールド (右)シールド施工状況

トンネルジャーナル

北海道新幹線 津軽蓬田トンネルが貫通 新青森-新函館間最後の1本

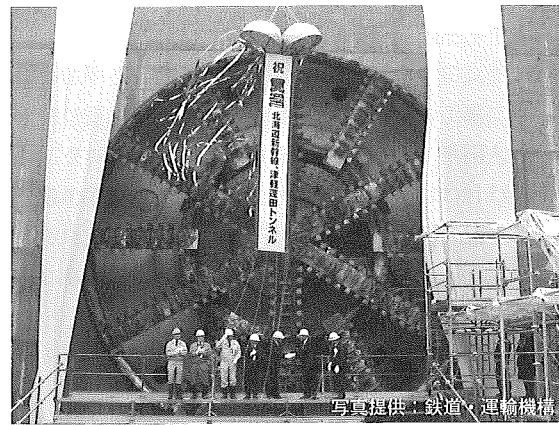
北海道新幹線、津軽蓬田トンネルが貫通し、10月23日、青山祐治・青森県副知事ほか約100名が参加して、蓬田村蓬田地内にある到達位置で、貫通式が開かれた。式典では参加者らが到達した直径11.3mのSENSマシンの前でくす玉を割り、貫通を祝った。この貫通により、新青森・新函館(仮称)間にあるすべてのトンネル掘削が完了したことになる。

同トンネルは、新青森駅から約19km北に位置し、青森県東津軽郡蓬田村蓬田地内と外ヶ浜町蟹田地内を結ぶ延長6,190mの新幹線複線断面トンネル。本州方のトンネルのなかでは最長となる。地下水位がトンネル天端より高く、切羽には未固結砂を主体とする流動化を生じやすい蟹田層が現れることから、切羽の安全を確保するため国内で2例目となるSENS工法を採用した。

SENSマシンは泥土圧シールド方式で、2009年11月に国内初となる地上発進から掘削を開始。高速掘進を目指し、一次覆工コンクリートの品質改良、二次圧送ポンプ台数の増強、内枠の大型化などの対策をとり、平均月進で約189m、最大月進では367.5mで掘進した。到達においても、5mという小土かぶ

りのもとで国内初となる地上到達を成功させ、このたびの貫通に至った。

同トンネルが位置する、新青森と新函館(仮称)を結ぶ延長149kmは、平成27年度末の完成に向けて全線にわたり工事を進められている。また、昨年6月に新函館(仮称)・札幌間工事実施計画が認可を受け、新青森・新函館(仮称)間の開業から、おおむね20年後の完成を目指し、工事に着手したところである。



『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

研究

小土かぶり山岳トンネルの地震被害メカニズムと耐震設計法の提案

鉄道・運輸機構理事 宮林 秀次
鉄道・運輸機構九州新幹線建設局武雄鉄道建設所長 井浦 智実

1 はじめに

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

その一方で、最近の施工技術の進歩により、未固結な地盤からなる小土かぶり条件下でも、山岳トンネルが採用される事例が増えている^{例え(3)-(6)}。このような小土かぶり山岳トンネルは、岩盤にある山岳トンネルと比較して地震被害を受けやすいと考えられる。

山岳トンネルの地震被害を抑えるためには、被害のメカニズムとトンネルの耐震性能とを正しく評価し、設計・施工・維持管理に適切に反映させることが重要である。しかしながら、無筋コンクリート覆工からなる通常の山岳トンネルについては、周辺の地質情報や常時の荷重が不明であること、無筋コンクリート構造に関する定量的な設計計算法が確立されていないなどの理由から、数値解析による検討は通常は行われず、事例分析結果をベースに、「特殊条件」(小土かぶり部、地質不良区間など)を加味した経験的な耐震性能の評価が行われているのが現状である。

このような状況に鑑み、筆者らは主に無筋コンクリート覆工からなる小土かぶり山岳トンネルを対象とし、その地震被害メカニズムの解明や耐震

性の評価、耐震検討法の確立を目標として研究を行ってきた^{6)~10)}。本稿は、メカニズムの解明を目的として行った現地計測の結果と模型実験の結果、実トンネルの被害を再現し被害を受けやすい条件を抽出するために行った数値解析の結果、および、せん断変形に対する変形性能と対策工としての繊維補強コンクリートの効果を把握するために行った数値解析の結果について示すものである。また、これらの結果にもとづいて、無筋コンクリート覆工からなる小土かぶりトンネルの性能規定による耐震設計手法について提案を行う。

なお、本稿では、小土かぶりトンネルとして、土かぶり2D(D:トンネル掘削幅、約10m)程度以下のトンネルを想定している。

2 小土かぶり山岳トンネルの地震時挙動と被害メカニズムの解明

2-1 現地計測による地震時挙動の解明

過去の地震時挙動計測事例^{11),(12)}によれば、地震時にトンネルが、ある方向に軸を持ち、楕円形になるようなせん断変形を生じるという計測事例が報告されているものの、小土かぶり条件下での計測事例は報告されていない。このような背景から、実際の小土かぶり山岳トンネルにおいて、地震時に覆工に発生するひずみの計測を行った^{6),(8)}。計測対象トンネルは、第四紀更新世の未固結地山中に位置する新幹線トンネルで、土かぶりは10m程度である。図-1にトンネル断面とひずみ計の設置

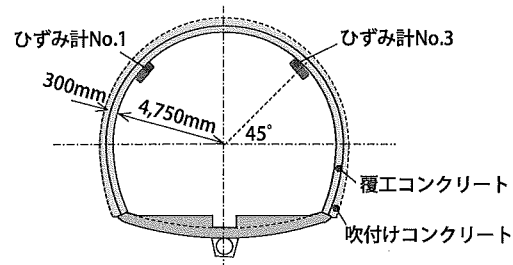


図-1 トンネル断面とひずみ計の設置位置

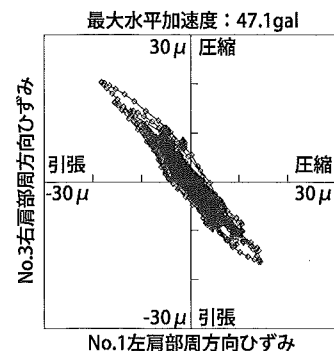


図-2 アーチ左右肩部のひずみの計測結果

位置を示す。

計測は2007年2月から約2年間実施し、この間、トンネル坑内で震度2以上となった地震を17地震観測した。2008年7月24日の岩手県沿岸北部地震(M=6.8, 震源深さ108km, 震央距離100km)において観測されたデータを図-2に示す。この図は、アーチ左右肩部に取り付けた覆工アーチ周方向のひずみ計(ひずみ計No.1, No.3)の計測結果で、同時刻における左右肩部のひずみの値をプロットしたものである。アーチの右肩部・左肩部で、絶対値がほぼ等しく、正負が反対のひずみが生じており、トンネルが地震により交番のせん断変形をしていることが確認できる。

2-2 模型実験による地震被害の再現

次に、小土かぶり山岳トンネルの地震被害に対し、模型実験によりメカニズムの解明と耐震性能の評価を行った。

2-1節で示した現地計測により、小土かぶり山岳トンネルは周辺の地盤のせん断変形に追従して挙動しているものと予想される。よって、実験は2次元せん断土槽(図-3)を用いて実施した。トンネル模型を模擬地盤中に埋設し、ジャッキにより

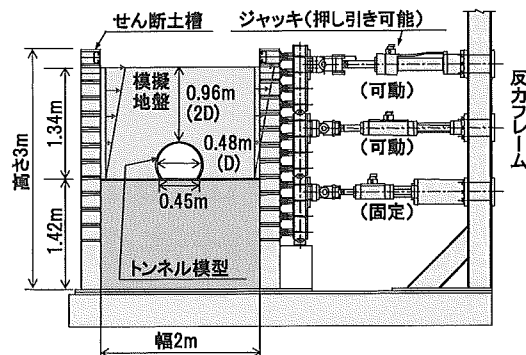


図-3 2次元せん断土槽

模擬地盤を介してトンネルにせん断変位を与えることにより実験を行うものである。

トンネル模型は、新幹線標準断面のトンネルを想定した1/20スケールである。そのほか、実際のトンネルには吹付けコンクリートなどの支保工があり、これらの効果も考慮すべきであるが、本研究ではモデル化していない。実際のトンネルでは常時状態においてはこれらの支保工の効果により安全性が向上するといえるが、地震時の支保工の効果については不明な点が多く、今後解明していく必要がある。

模型はモルタル製で、一軸圧縮強度は約26MPaである。模擬地盤の材料は乾燥した珪砂で、地盤は気中落下法により作成した。締固めを行うことにより、地盤の相対密度は80%程度としている。

図-4にトンネル模型の計測項目と計測位置を示す。実験においては、3段あるジャッキのうち最下段のジャッキは固定し、上側2段のジャッキにより、三角形分布の変位を作用させた。荷重は変位制御とし、図-5に示すように、1サイクルごとに Δ/H (地盤のせん断ひずみ、定義は図-6参照)の振幅を大きくしながら、 Δ/H が $\pm 6\%$ に達するまで静的交番荷重を行った。その際、トンネル模型壁面の変位などを計測した。また、トンネル模型内に設置したWebカメラにより覆工のひび割れの発生、破壊の進展の様子を観察した。

変形については、地盤のせん断ひずみ Δ/H 、トンネルのせん断変形率 δ_s/h 、トンネルの水平変形率 δ_h/b に着目して整理した。これらの定義を

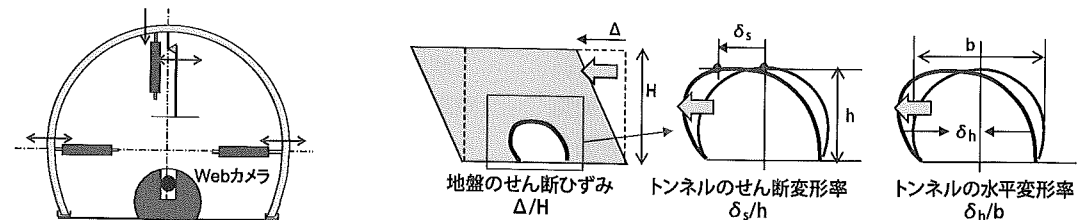


図-6 各数値の定義

図-4 トンネル模型の計測項目と計測位置

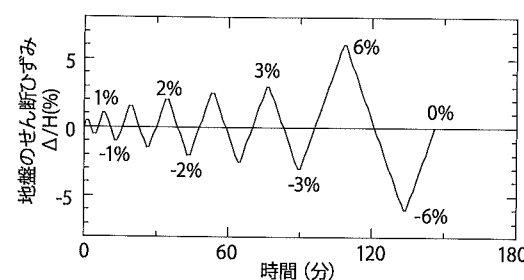


図-5 実験における荷重パターン

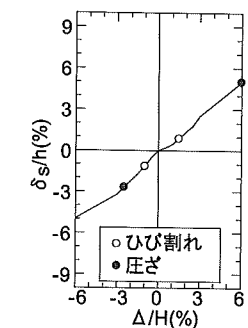


図-7 アーチ左右肩部のひずみの計測結果

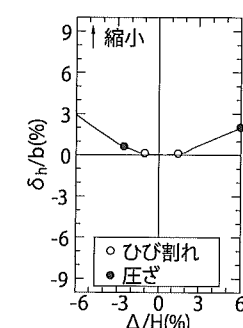


図-8 アーチ左右肩部のひずみの計測結果

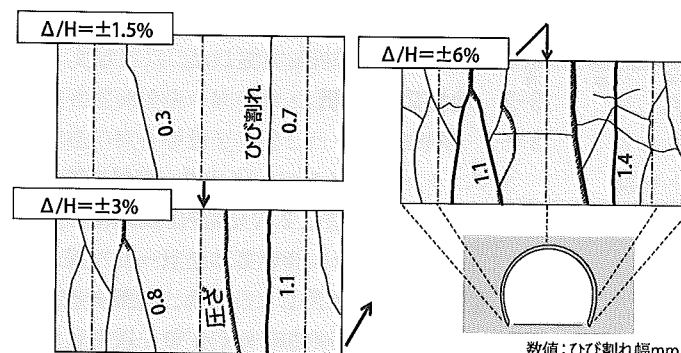


図-9 トンネル模型の変状展開図

図-6に示す。

図-7に Δ/H と δ_s/h の関係を、図-8に Δ/H と δ_h/b の関係を示す。なお、実験は交番荷重により行ったが、各荷重段階での Δ/H の絶対値が最大となるとき計測値をつないで表示している。

図より、 δ_s/h は Δ/H の絶対値にほぼ比例して増加しており、トンネルのせん断変形が再現できていることがわかる。また、 $\Delta/H = \pm 1\%$ 程度までは δ_h/b に変化はみられないが、 $\Delta/H = \pm 1\%$ を超えると Δ/H の絶対値にほぼ比例して増加、すなわち水平内空が縮小していく。図-9にて後述するが、図中には、ひび割れ、圧ざ(曲げ圧縮破壊に伴う剥離)がはじめて発生した時期も○●印で

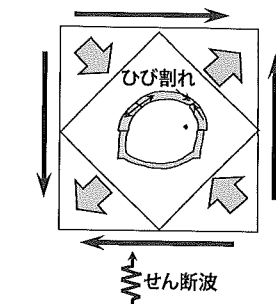


図-10 予想される小土かぶりトンネルの地震時挙動

同時に示してある。上記ひび割れ、圧ざはアーチ肩部のものであるが、ひび割れの発生と水平内空の縮小の開始はいずれもほぼ同時である。

図-9にトンネル模型の内側表面の変状展開図を示す。 $\Delta/H = -1.0\%$ および $+1.5\%$ でアーチ左右肩部に引張りひび割れが発生し、 Δ/H の絶対値が大きくなるに伴い、ひび割れの数および幅が大きくなっている。 $\Delta/H = -3\%$ にて微細な剥離を生じたため、この時点を押ざと判定した。模型実験でみられたこれらの変状は、実際の地震被害事例^{13),14)}と酷似しているといえる。

以上の結果から、小土かぶりトンネルにおいては、図-10に示すように、地震に伴いせん断波が

鉛直に入射し、地盤とトンネルとがせん断変形を生じ、曲げが大きくなるアーチ肩部でひび割れ、また、ひび割れの開口が大きくなると圧ざが発生するというメカニズムで被害が生じるものと予想される。

3 数値解析による実トンネルの耐震性能の検討

次に、未固結地盤中の小土かぶりトンネルを想定した数値解析により、実大トンネルレベルで、アーチ左右肩部でひび割れ、圧ざを伴う変状を生じ得るかどうかを確認することとした。

3-1 条件設定

解析手法としては応答震度法を用いることとした。地盤応答解析によりトンネル周囲の地盤の加速度を求め、トンネルをモデル化した構造解析において、加速度を荷重に換算したうえで節点荷重として作用させ、トンネルの応答(被害)を調べるという手順で解析を実施した。

図-11に解析に用いたトンネル断面を示す。トンネルについては、新幹線標準断面の山岳トンネルを想定した。覆工は無筋とし、インバートを設

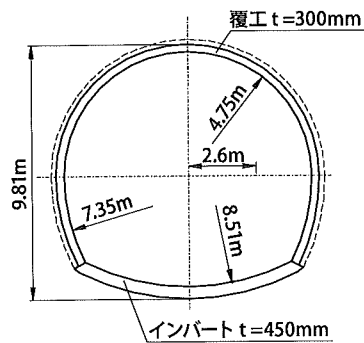


図-11 解析に用いたトンネル断面

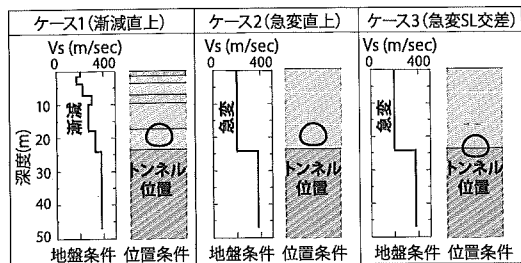


図-12 解析ケースの模式図

けている。なお、支保工はモデル化していない。

地震動については、過去の事例¹⁰⁾によればL1地震動ではほとんど被害は生じないと予想されたため、L2(スペクトルII)地震動¹⁰⁾を選定した。

地盤については、東北新幹線(八戸・新青森間)の小土かぶりトンネルが位置する洪積地盤のボーリングデータを参考にして設定した。深度25m以深が地盤のせん断弾性波速度 $V_s=380\text{m/sec}$ の耐震設計上の基盤相当の層で、それ以浅が表層地盤となる。地盤条件は、「漸減」と「急変」の2とおりとした。「漸減」は実在の地盤をほぼそのままモデル化したもので、基盤との層境を境に V_s が漸減していく地盤となっている。一方で「急変」は、層境で V_s が急に小さくなるようにしたもので、層境においてせん断変形が大きくなるような条件設定となっている。

図-12に解析ケースの模式図を示す。地盤条件と位置条件(トンネルの位置)をパラメータとして3ケースについて解析を実施した。

3-2 地盤応答解析

3-2-1 解析条件

まず、トンネルはモデル化せず、地盤応答解析を行った。解析手法は2次元動的FEM(直接積分法)とし、内部減衰については、レーリー減衰とし、剛性比例型を採用した。また、地盤モデルとしてはH-Dモデル(双曲線モデル¹⁰⁾)を採用した。

3-2-2 解析結果

地盤応答解析の結果として、図-13に地盤のせん断ひずみの分布を示す。図より、トンネルが位置する基盤面直上に着目すると、(a)漸減では地盤のせん断ひずみは1%以下であるが、基盤~表層間のインピーダンス比が大きく、(b)急変では、

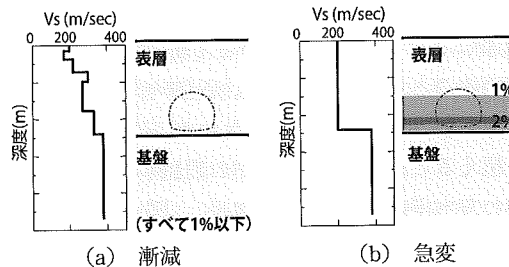


図-13 地盤応答解析の結果(せん断ひずみ)

1~2%のせん断ひずみが生じていることがわかる。

3-2-3 トンネルの構造解析

(1) 解析条件

次に、地盤応答解析で得られた加速度を節点荷重に変換したうえでモデルに作用させてトンネルの構造解析を行い、トンネルの応答を調べた。ここで、節点荷重の算出に用いる加速度には、インバート~天端間の相対変位(層間変位)が最大となる時刻の解析結果を用いた。

なお、解析においては、トンネルには自重を与えるが、地盤は単位体積重量を0とし、覆工には土かぶり荷重を与えていない。

無筋コンクリートからなる覆工については、実際のトンネルの地震被害でみられたひび割れ、圧ざを表現できるモデルを使用する必要がある。ここでは、文献17)に示す、コンクリートの引張強度到達後の軟化および圧縮強度到達後の軟化挙動を考慮したモデルを用いることとした。

図-14に解析メッシュを示す。地盤については、地盤応答解析における収束剛性を用いた弾性体としてモデル化した。一方、覆工は厚さ方向に12層に分割し、ひび割れや圧ざが予想されるアーチ左右肩部については、トンネルの周方向に細かくメッシュを分割した。

解析においては、節点荷重(地盤は弾性体としているためせん断変形量に比例)を徐々に増加させていくステップ解析により実施した。解析結果の表示にあたっては、解析モデルに与えた節点荷重の最終的に与える節点荷重に対する割合を「全せん断変形量に対する割合」と定義し、これを用いてステップの進行を表している。

(2) 解析結果

図-15に、トンネルと地盤の変形モー

ドを示す。いずれのケースも地盤のせん断変形に伴いトンネルもせん断変形を生じていることが確認できる。

図-16に、载荷変形量の全せん断変形量に対する割合が0, 20, 40, 60, 80, 100%時のそれぞれについて、覆工に発生するひずみの分布を示す。ここで、ひずみはvon Mises(VM)相当ひずみ(式(1))で表示した。

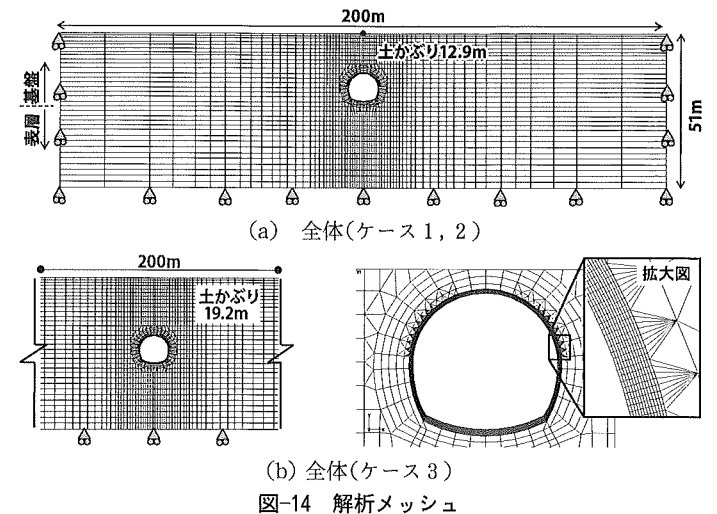


図-14 解析メッシュ

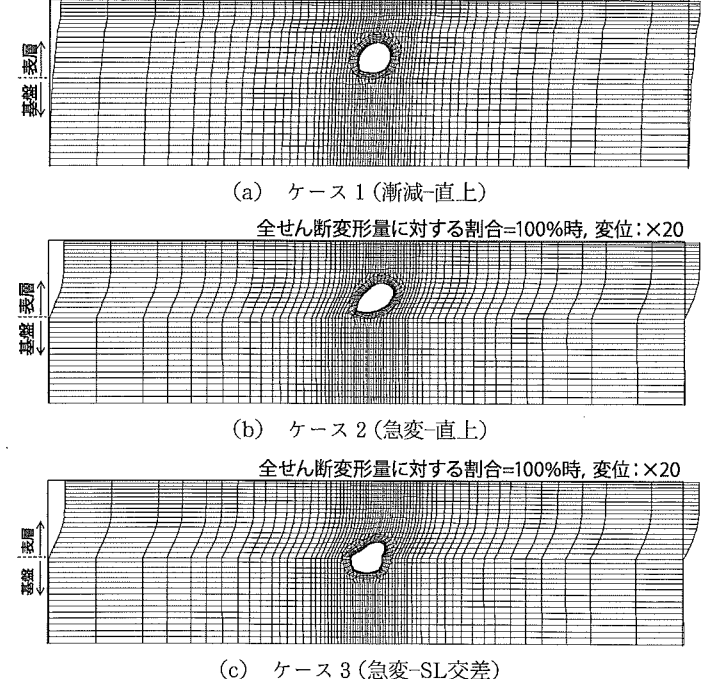
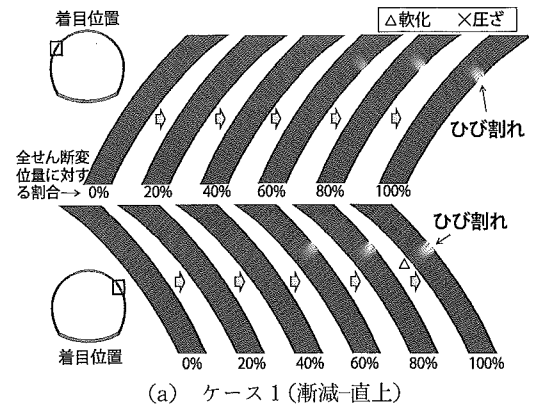
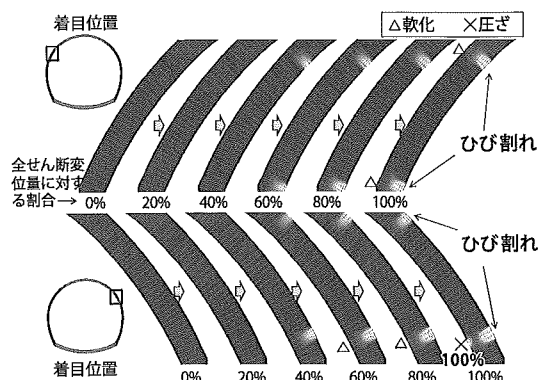


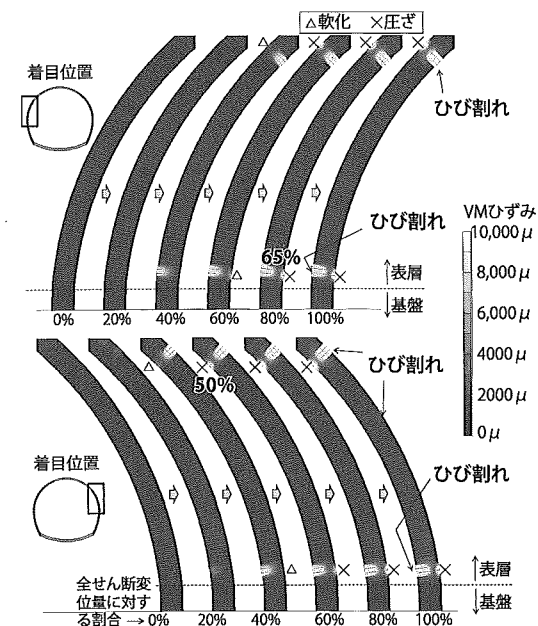
図-15 トンネルと地盤の変形モード



(a) ケース1(漸減直上)



(b) ケース2(急変直上)



(c) ケース3(急変-SL交差)

図-16 覆工に発生するひずみ

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

($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$: 最大, 中間, 最小主ひずみ, 伸び正)
 また, 解析において, ひび割れは引張強度に到達することをもって, 圧ぎは文献17)に準じ, 式(2)で示す相当塑性ひずみ ε_{eq} が $10,000 \mu$ に到達することをもって判定した.

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

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

図-16中に, 圧縮側において軟化状態にある要素がある箇所を△, 圧ぎ状態にある要素がある箇所を×であわせて表示した. 上記のような判定基準を用いると, ケース1では, トンネル覆工には圧ぎと判定される箇所は出現しないが, ケース2ではアーチ右肩内面側の1か所, ケース3は左SL内面側, アーチ左肩地盤側, アーチ右肩内面側, 右SL地盤側の4か所に圧ぎと判定される箇所が出現している. これらの箇所は, 図-15において示したトンネルの形状線の折れ点の箇所と対応している. 一般に, 地盤の剛性が深さ方向に急激に変化するところにトンネルが位置する場合には, 耐震検討が必要とされているが, 上記解析結果からもその傾向を確認することができる.

4 数値解析による繊維補強コンクリートの効果の検討

次に, 実大トンネルを想定した数値解析により, せん断変形を受ける環境下において, 対策工としての繊維補強コンクリートの効果の程度を確認することとした.

4-1 条件設定

解析方法は3章と同様である. 表-1に解析ケースを示す. 地盤条件は, トンネルに与える影響が大きくなるよう「急変」を用いた. 位置条件は3章と同様に, 地盤ひずみが大きくなる基盤面直上にトンネル位置を設定したほか, SLが基盤面に

表-1 解析ケース

ケース名	トンネルの位置	対策工	略称
ケース2	基盤面直上	なし(無筋)	急変直上-無筋
ケース4	基盤面直上	繊維補強Co	急変直上-FRC
ケース3	SLが基盤面に位置	なし(無筋)	急変-SL-無筋
ケース5	SLが基盤面に位置	繊維補強Co	急変-SL-FRC

位置するようにトンネル位置を設定した. また, それぞれに対して, 対策工として繊維補強コンクリートを想定した.

繊維補強のモデル化については, 繊維補強コンクリートは無筋コンクリートと比べて圧縮強度は同じでも圧縮破壊後の軟化が緩やかとされている¹⁸⁾ことから, ここでは, 繊維補強の効果を検討して, 圧縮破壊後の軟化が緩やか(無筋の1/2)になるようにしている.

4-2 解析結果

基盤面直上にトンネル位置を設定したケース2の場合について, 図-17にトンネルのせん断変形の進展を示す. トンネルのせん断変形に関しては, 繊維補強コンクリート(以下, FRC)の効果はほとんどみられない. この理由であるが, ケース4では節点荷重がケース2と同じで, かつトンネルは内部が空洞であるため構造系全体に及ぼす剛性の影響が小さいという状況下であり, FRCによる効果では, 圧縮破壊後の軟化が生じている箇所のみ覆工断面の曲げ剛性を多少向上させているだけであるので, トンネル全体としての剛性はほとんど変化していないためと考えられる.

覆工に発生するひずみに関しては, 図-16(b)に示した無筋のケース2では最終的に内面側で圧ぎが生じていたものが, FRCのケース4では圧ぎが生じなくなっている. これは, 覆工断面の曲げ剛性の向上によるもので, 同じ曲げモーメント時においてもひび割れの開口が抑制され, 圧縮縁でのひずみの増加が抑制されたことによるものである.

同様にして, SLが基盤面に位置するようにトンネル位置を設定したケース3の場合について, 図-18にトンネルのせん断変形の進展を示す. ケー

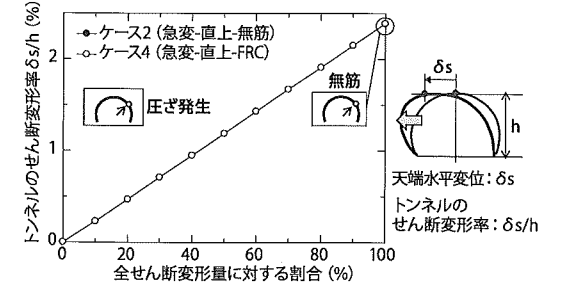


図-17 トンネルのせん断変形の進展(基盤面直上)

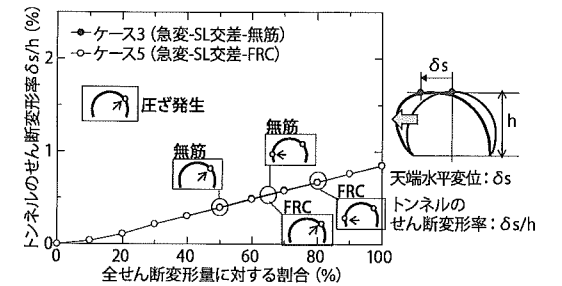


図-18 トンネルのせん断変形の進展(SLが基盤面)

ス4と同様の理由でFRCの効果はほとんどみられない.

覆工に発生するひずみに関しては, FRCのケース5でも100%荷重に到達する前にトンネルの内面側で圧ぎが生じる結果となった. ただし, 圧ぎの発生する時期が, 図-16(c)で示した無筋のケース3ではアーチ右肩部で50%荷重時, 左SLで65%荷重時であったものが, FRCのケース5では, それぞれ, 65%荷重時, 80%荷重時へと遅くなっていることから, 変形性能が増加する効果は確認されている.

覆工への繊維補強コンクリートの適用を想定した解析を行った結果, 繊維補強コンクリートを適用してもトンネルとしての剛性の向上効果はほとんど期待できず, 変形を抑制することはできないが, ひび割れの開口すなわち圧縮側のひずみの増加を抑制できるため, 圧ぎの発生を遅らせることが可能であることがわかった.

これにより, 基盤~表層間で V_s の変化が大きい条件下でも, 基盤面直上にトンネルが位置する場合は, 繊維補強コンクリートを採用すれば圧ぎが発生しなくなるといえる. しかし, 基盤面がト

ンネル断面内に位置する場合は、複雑な破壊形態となるため、繊維補強コンクリートを採用しても圧ぎを防ぐまでには至らなかった。

5 小土かぶり山岳トンネルの耐震設計手法

これまでの検討により、基盤～表層間で V_s の差が大きい条件下で、基盤面直上にトンネルが位置する場合や、基盤面がトンネル断面内に位置する場合においては圧ぎを生じる可能性があるものの、表層～基盤での V_s の差が大きく、なく緩やかに変化する条件下では、基盤面直上にトンネルが位置する場合であっても覆工に圧ぎが生じないことが判明した。したがって、すべての小土かぶり山岳トンネルにおいて耐震検討を実施することは過剰と考えられるため、耐震検討が必要となる条件を明確にすることが重要となる。

5-1 せん断変形を受けるトンネルの耐震性能の評価

まず、せん断変形を受けた際の耐震性能を明らかにするために、一般的な条件を仮定して、トンネルおよびその周辺の地盤にせん断変形を与え、数値解析を行うことにした。なお、4章の結果より、基盤面がトンネル内に位置する条件では、FRCでは圧ぎを防止できるまでには至っていないため、今回は対象外とした。このような場合は覆工のRC化など、変形性能をさらに大きくするための別の対策を検討する必要があると考えられる。

(1) 解析条件

解析ではトンネルと地盤をモデル化し、トンネルが一樣なせん断変形を受ける地盤中に存在する条件を仮定し、プッシュオーバー解析(構造物に対して静的荷重を漸増荷重して破壊の過程を把握する解析)によりトンネルの変形性能を調べた。

図-19に解析メッシュを示す。解析モデルは、

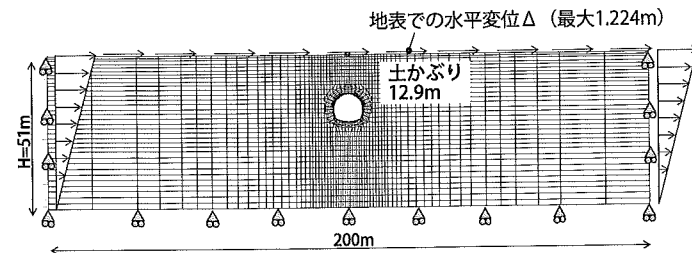


図-19 解析メッシュ(全体)

表-2 解析ケース

ケース名	地盤の弾性係数E	覆工	ケース名	地盤の弾性係数E	覆工
ケース1	3MPa	無筋	ケース6	3MPa	FRC
ケース2	10MPa		ケース7	10MPa	
ケース3	30MPa(基本)		ケース8	30MPa(基本)	
ケース4	100MPa		ケース9	100MPa	
ケース5	300MPa		ケース10	300MPa	

図-14(a), (c)に示したものと同様であるが、本解析においては、節点荷重を与える代わりに、左右の側方境界に三角形分布の水平変位を、また、地表面に水平一様変位を作用させていることが異なる。解析においては、水平変位を覆工内面に圧ぎが発生する程度まで静的に増加させており、結果的に、地盤のせん断ひずみ Δ/H (Δ :地表での水平変位, H :解析モデルの高さ、定義を図-19にあわせて示す)が2.4%となるまで荷重した。また、覆工コンクリートについても同様に、引張強度到達後の軟化および圧縮強度到達後の軟化を考慮したモデルを用いた。そのほか、トンネルには自重を与えるが、地盤は単位体積重量を0として、覆工には土かぶり荷重を与えていないことも同様である。

地盤とトンネルとの相互作用をモデル化した解析においては、覆工に発生する断面力は地盤の剛性により影響を受けることも考えられる。よって、地盤剛性をパラメータとした。ここで、本研究は土砂地山を想定しているため、弾性係数を $E=3, 10, 30, 100, 300\text{MPa}$ の5とおりに設定した。また、FRCについても解析を行うことにし、上記パラメータを組み合わせて、表-2に示す10ケースについて実施した。

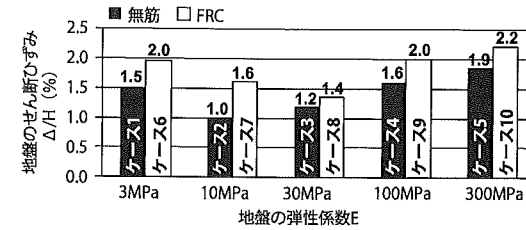


図-20 トンネルの内面側にはじめて圧ぎが発生するときのせん断ひずみ

(2) 解析結果

図-20にはじめて覆工の内面側に圧ぎが生じたときの Δ/H を示す。図より、無筋コンクリート覆工については、地盤の剛性 E を変化させたときの Δ/H の最小値は、今回解析した範囲では、1.0%(ケース2)という結果になった。一方、FRCでは、全体的に圧ぎが発生するひずみを30%程度向上させる良い効果がみられ、圧ぎが発生するときの Δ/H の最小値は、今回解析した範囲では1.4%という結果になった。

なお、2章における模型実験では、圧ぎが生じたひずみは $\Delta/H=3\%$ 、本章における解析での評価値は $\Delta/H=1.0\sim 1.9\%$ と両者に相違がある。これについては、模型実験は、そのスケールから圧ぎが生じてはかなり小規模のものであり、かつ、Webカメラを用いた確認であるため発見が遅れる、すなわち、実際の発生より大きな Δ/H である可能性がある。また、模型実験では非線形材料である珪砂を用いたのに対して、数値解析では単に地盤を弾性体として計算を行ったことなどが考えられる。

5-2 耐震検討が必要となる条件の抽出

5-1節での検討により、一樣にせん断変形が発生する条件において、地盤の剛性を変化させて圧ぎが生じる地盤のひずみを調べたところ、その最小値は無筋コンクリートの場合で1.0%、FRCの場合で1.4%という結果となった。小土かぶりトンネルの耐震設計手法を検討するにあたっては、せん断変形を受ける際のトンネル周辺地盤のせん断変形率として、上記数値がトンネルの耐震性能を評価するうえでの一つの目安となると考えられる。

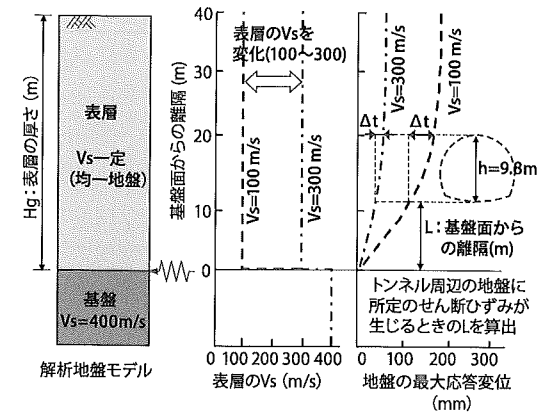


図-21 地盤応答解析による検討の概要

ここでは、小土かぶり山岳トンネルの耐震性の初期段階の検討に用いることを目的とし、固結度の低い洪積砂層中で基盤層の直上にあるトンネルを想定し、整形かつ表層が一樣という標準的な地形・地質を仮定して地盤応答解析を行い、5-1節で明らかにしたトンネルに圧ぎが生じるレベルの地盤のせん断ひずみが発生する条件を把握することとした。

(1) 解析条件

図-21に検討の概要を示す。検討に用いた解析手法は、地盤応答解析であり、3章と同様の2次元動的FEMとしている。解析条件についても同様である。ただし、地震波の入力位置は基盤面の位置としている。

解析モデルとしては、トンネルを考慮しておらず、表層の厚さは $H_g=20\text{m}$ および 40m の2種類とし、表層のせん断弾性波速度が一定の均一地盤を想定している。

表-3に解析ケースを示す。表層のせん断弾性波速度 V_s をパラメータとして、地盤の最大応答変位を算出する。なお、解析においては、各ケースについてトンネルの基盤面からの離隔 L を変化させ、トンネル上下端位置での相対変位 Δt とトンネルの高さ h から算定される $\Delta t/h$ が1.0%となる L を求める。

地盤応答解析では地盤の塑性化を考慮しているため、地盤全体としては一樣なひずみは発生しない。よって、トンネル周囲のせん断ひずみの代表

表-3 解析ケース

表層の厚さ H_g (m)	20	40
表層の V_s (m/s)		
100	ケース1	ケース10
125	ケース2	ケース11
150	ケース3	ケース12
175	ケース4	ケース13
200	ケース5	ケース14
225	ケース6	ケース15
250	ケース7	ケース16
275	ケース8	ケース17
300	ケース9	ケース18

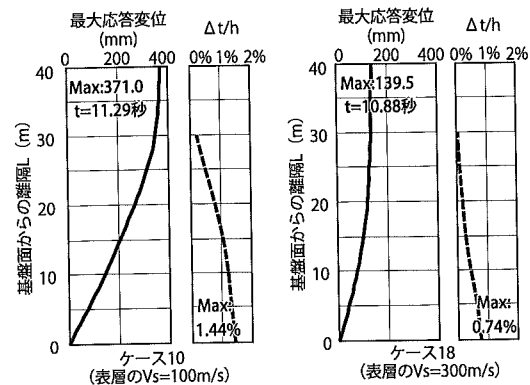


図-22 解析結果(ケース10および18($H_g=40$ m))

値として $\Delta t/h$ を用いている。ここで、この値は、5-1節において無筋コンクリート覆工において覆工の内面側にはじめて圧が生じるときの地盤のせん断ひずみ Δ/H が1.0%であったことにもとづいて設定している。

(2) 解析結果

地盤応答解析結果のうち、ケース10(表層の $V_s=100$ m/s)とケース18(表層の $V_s=300$ m/s)の結果を図-22に示す。表層が均一地盤であるため、 $\Delta t/h$ は基盤面直上で大きく、地表に近づくにつれ小さくなるように分布する。地表面が最大応答変位を生じる時刻に着目し、その時刻における応答変位の分布をもとに、上述したように $\Delta t/h=1.0\%$ となるとき L を求める。

(3) 耐震検討が必要となる条件

図-23, 24に $H_g=20$ mおよび40mそれぞれについて、 L と V_s の関係を抽出した結果を示す。双方と

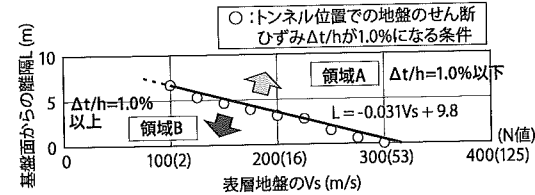


図-23 トンネル位置での地盤のせん断ひずみが1.0%に達する場合の L と表層の V_s との関係($H_g=20$ m)

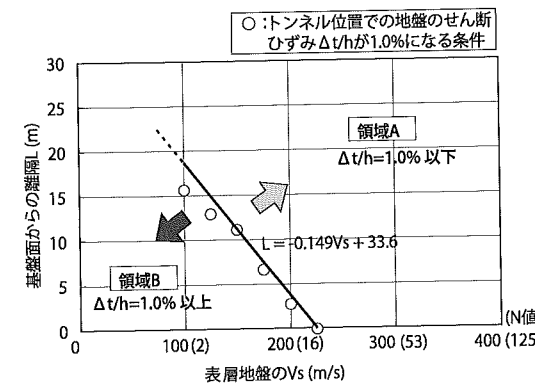


図-24 トンネル位置での地盤のせん断ひずみが1.0%に達する場合の L と表層の V_s との関係($H_g=40$ m)

もに、ほぼ直線的な分布を示しており、表層の V_s が小さくなるにつれ、 $\Delta t/h$ が1.0%以下となる場合の L は大きくなることわかる。

また、これらのプロット結果から、図中に示すような境界を設定すると、この境界よりも右上の領域Aは $\Delta t/h$ が1.0%以下を示す範囲となる。一方、左下の領域Bは $\Delta t/h$ が1.0%以上を示す範囲となる。これまでの検討により、無筋コンクリート覆工においては、せん断変形を受ける条件下では、 $\Delta/H=1.0\%$ までは圧を生じないと考えられるため、領域Aの範囲に該当する条件においては、トンネルの詳細な耐震検討を実施せずとも、地震時のトンネルの安全性が確保されるとみなすことができる。一方、領域Bに該当する条件においては、詳細な地盤応答解析やトンネル構造解析による検討が必要となる。

地盤応答解析により、このようなノモグラムを作成すれば、耐震設計上の基盤面の深度を把握した前提で、 V_s や L という条件さえ与えてやれば、簡易にトンネルの耐震検討の必要性を判断することが可能となり、小土かぶり山岳トンネルの耐震

設計を行ううえで有益な指標となる。

なお、これまでに示した解析は、新幹線の標準的な断面、整形地盤、一様な地盤という、限られた条件で実施したものであり、ノモグラムの適用にあたっては、検討するトンネルが条件に合致するかどうかの確認が不可欠である。

5-3 性能規定による耐震設計手法の提案

これまでの検討結果より、性能規定による小土かぶり山岳トンネルの耐震設計手法を提案する。耐震設計のフローを図-25に示す。

性能規定による耐震設計を行ううえで、地震時におけるトンネルの要求性能を「トンネル内空側に圧を生じないこと」として規定する。これは、過去の地震被害事例や復旧事例から判断し、トンネル内空側に圧を伴う地震被害が生じた場合、

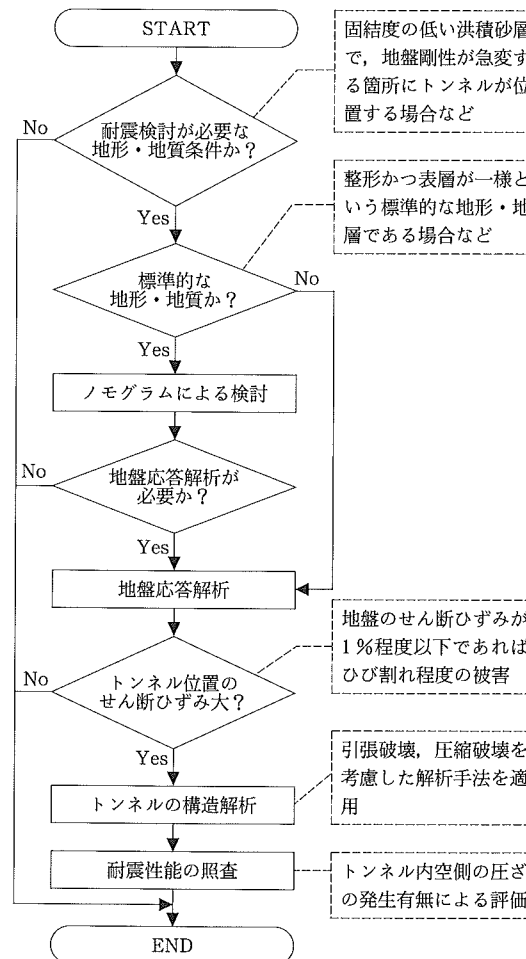


図-25 小土かぶり山岳トンネルの耐震設計フロー

安全性や復旧性が大幅に低下することが想定されるためである。

このようなフローに従って耐震検討を実施すれば、山岳トンネルの基本構造である無筋コンクリート覆工を対象として、「トンネル内空側に圧を生じないこと」という要求性能の照査を、多くのケースで簡易に行うことが可能となる。さらに、詳細な耐震検討が必要となった場合であっても、地盤応答解析結果にもとづき、無筋コンクリート覆工に加えFRCを考慮したトンネル構造解析によって、性能規定による合理的な耐震設計を体系的に実施することが可能となる。

6 おわりに

本研究により得られた成果を以下にまとめる。

- ① 現地計測により、小土かぶり山岳トンネルが地震時にせん断変形することがわかった。
- ② 模型実験により、地盤のせん断変形により実際の被害と同様の被害モードとなることがわかった。
- ③ 実トンネルを想定した数値解析により、地盤剛性が大きく変化する条件下での、基盤の直上や、基盤面との交差箇所などにおいては圧などの被害を生じ得ることがわかった。
- ④ 繊維補強コンクリート覆工により、被害を軽減できることがわかった。
- ⑤ トンネルを含む一様な地盤に一様なせん断変形を与える解析により、無筋コンクリート覆工、繊維補強コンクリート覆工のそれぞれについて、せん断変形下の変形性能を確認した。
- ⑥ 基盤層の直上にトンネルが位置し、整形かつ表層が一様という標準的な条件を想定して地盤応答解析を行い、トンネルに圧が生じる地盤のせん断ひずみが発生する条件を把握した。
- ⑦ 以上の結果にもとづき、小土かぶりトンネルにおいて耐震検討が必要となる条件を抽出し、性能規定による耐震設計手法を提案した。最後に、本研究にかかわる今後の課題について

述べる。

小土かぶり山岳トンネルを対象とした地震時挙動計測のデータは、その計測事例も少なく、十分に蓄積されていないのが現状であり、小土かぶり山岳トンネルの地震時挙動は詳細に把握されているとは言いがたい。そのため、建設段階の短期間のみならず、供用後のトンネルにおける継続的かつ長期的な地震観測の必要性が高いと考える。

また、本研究で提案した性能規定による小土かぶりトンネルの耐震設計手法を今後のトンネル設計施工に反映していくにあたり、多くの技術者が実務に供することができるよう、統一的な技術基準として整備する必要があると考える。

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

また、本研究の実施にあたっては、京都大学大学院・朝倉俊弘教授、西藤潤准教授、鉄道総研・小島芳之氏、野城一栄氏、レールウェイエンジニアリング・野々村政一氏にご指導を賜った。また、実験・解析の遂行においてはジェイアール総研エンジニアリング・川上義輝氏、ダイヤコンサルタント・大場諭氏にご協力をいただいた。ここに深甚なる感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 吉川恵也：鉄道トンネルの震災事例調査，鉄道技術研究報告，No.1123，1979.
- 2) 朝倉俊弘・志波由紀夫・松岡茂・大矢敏雄・野城一栄：山岳トンネルの地震被害とそのメカニズム，土木学会論文集，No.659/III-52，pp.27-38，2000.
- 3) 田村栄二郎・松長剛：小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法(その1)，東北新幹線 八戸・七戸間トンネル群，トンネルと地下，Vol.39，No.10，pp.7-16，2008.10.
- 4) 登坂敏雄・玉井達毅：小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法(その2)，東北新幹線 八戸・七戸間トンネル群，トンネルと地下，Vol.39，No.12，

pp.7-13，2008.12.

- 5) 中村純治・田野彰一：小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法(その3)，東北新幹線 八戸・七戸間トンネル群，トンネルと地下，Vol.40，No.1，pp.15-24，2009.1.
- 6) 朝倉俊弘・小島芳之・野々村政一・宮林秀次・磯谷篤実：小土被りトンネルにおける地震時挙動に関する研究，トンネル工学報告集，Vol.17，pp.209-213，2007.
- 7) 野城一栄・嶋本敬介・小島芳之・宮林秀次・西藤潤：小土被りトンネルの地震時挙動と対策工に関する基礎的研究，トンネル工学報告集，Vol.18，pp.119-126，2008.
- 8) 宮林秀次・高橋源太郎・深沢成年・小島芳之・朝倉俊弘：小土被りトンネルにおける耐震対策工に関する基礎的研究，トンネル工学報告集，Vol.18，pp.165-172，2008.
- 9) 宮林秀次・井浦智実・小島芳之・野城一栄・朝倉俊弘：小土被り山岳トンネル覆工の耐震性能と耐震設計手法に関する基礎的研究，土木学会論文集F1(トンネル工学)，Vol.67，No.2，pp.126-143，2010.
- 10) 宮林秀次：小土被り山岳トンネルの地震被害メカニズムと耐震設計法に関する研究，京都大学学位論文，2011.
- 11) 山口文敏・中村豊・富田健司・遠峯啓一：青函トンネル地震防災システムに捉えられた1993年釧路沖地震，第22回地震工学研究発表会講演概要集，pp.651-654，1993.
- 12) 中村豊・富田健司・山口文敏・齋田淳・佐藤新二：青函トンネル地震防災システムに捉えられた地震時のトンネル挙動，鉄道総研報告，Vol.8，No.5，pp.19-24，1994.
- 13) 小野田耕治，楠山豊治，吉川恵也：伊豆大島近海地震による被害(1) 鉄道トンネルの例，トンネルと地下，Vol.9，No.6，pp.7-12，1978.6.
- 14) 小山幸則・朝倉俊弘・佐藤豊：兵庫県南部地震による山岳トンネルの被害と復旧，トンネルと地下，Vol.27，No.3，pp.51-61，1996.3.
- 15) 野城一栄・西藤潤・井浦智実：最近の山岳トンネルの地震被害の傾向，日本鉄道施設協会誌，Vol.47，No.4，pp.307-309，2009.
- 16) 鉄道総合技術研究所：構造物等設計標準・同解説(耐震設計)，p.38，1999.
- 17) 野城一栄・小島芳之・新井泰・岡野法之・竹村次朗：圧縮破壊後の軟化を考慮した無筋コンクリート山岳トンネル覆工の数値解析手法に関する研究，土木学会論文集C，Vol.65，No.4，pp.1024-1037，2009.

地相入門

トンネル技術者のための地相入門(9)

—断層とトンネル工事(1)—

「地相入門」連載講座小委員会

① 断層地形とトンネル工事

断層はトンネル技術者がもっとも関心を持つ地質事象の一つである。これは、断層の存在が施工時から維持管理段階においてさまざまな問題を引き起こし、工事費の増大や工期の大幅な伸びなど、直接的な影響が大きいのである。また、施工技術が未熟だった時代には、断層に伴う破碎帯を突破する際の事故などにより、安全にも大きな影響を及ぼした。しかし、断層は、その存在が地形に表れていることが多いので、断層地形を把握しておくことによって、断層突破時のリスクを事前に回避することができる。ここでは断層地形の特徴を説明するとともに、調査時、設計時、施工時、維持管理時の留意点を2回にわたり説明する。1回目(今号)では断層の基本や工学的問題点を説明し、また、断層地形のうち比較的判読が容易な断層変位地形について事例を示しながら説明する。2回目(次号)ではトンネル施工で発生したトラブル事例を断層差剝地形(リニアメント)の判読結果を踏まえて考察する。

なお、リニアメントなどの地形判読は空中写真判読や最近のレーザー計測地形画像判読などと組み合わせて行われることが多いが、ここでは、国土地理院発行の1:25,000地形図の判読をベースとして説明を行う。

② 断層の基本的特徴

2-1 断層の分類

断層は地殻変動に伴う岩盤のせん断破壊時に、相対的にずれ動いた際の不連続な地質構造であり、図-1に示すような様相を示す。せん断破壊の際に形成された面は断層面と呼ばれ、地盤は断層面を境界として変位する。断層面の両側の岩盤の変位方向の特定は、活断層などの新しい断層では比較的容易であるが、古い断層では困難な場合が多い。断層運動に伴う変位方向が特定できる場合は、岩盤の上下、左右の相対的な変位に対し、正断層、逆断層、横ずれ断層などに区分される(図-2)。

また、逆断層については、衝上断層と呼ばれる

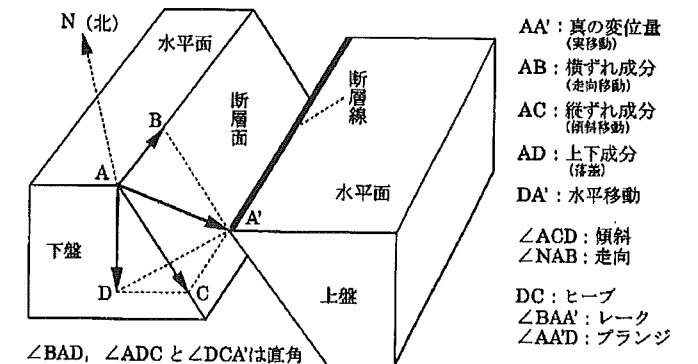


図-1 断層変位の模式図¹⁾

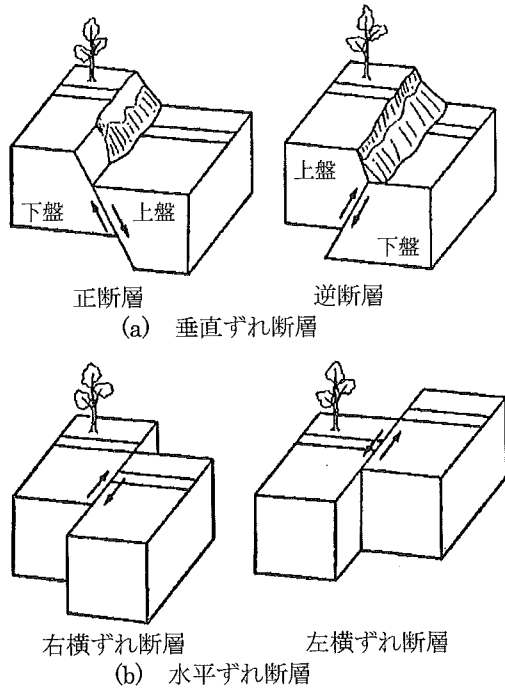


図-2 基本的な4種の断層の模式図¹⁾

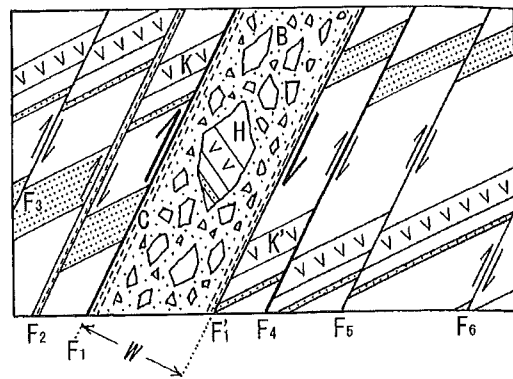


図-3 逆断層の場合の断層破砕帯概念図¹⁾

非常な小さな傾斜角をなす(低角度)断層も知られている。

2-2 断層の構造と特徴

断層は厚みのあるせん断帯を伴い(図-3), それを断層破砕帯と呼ぶ。断層破砕帯は断層角礫と断層粘土で構成される。断層角礫は固結度が低く透水性が高いことで、帯水層となっている場合がある。また、断層粘土は難透水性を示すことで、極

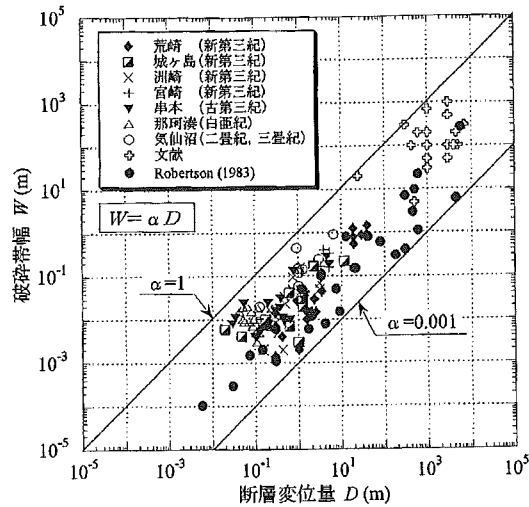


図-4 断層の破砕帯幅と見かけ変位量との関係¹⁾

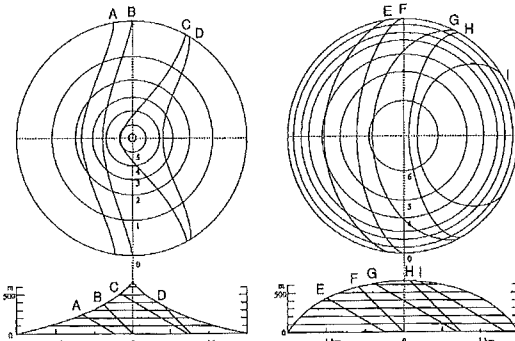


図-5 断層面の傾斜と地形の組み合わせによる断層線の平面形の違い¹⁾

端な水頭差を持った遮水層となっている場合がある。トンネル掘削時には遮水層となる断層粘土を突破した際に、背後の帯水層からの高圧水の湧出に伴い切羽崩壊が発生する場合があることに留意する。

2-3 断層の長さ、変位量と破砕帯幅

断層の長さや変位量と破砕帯の幅には関係があるとされ、延長が長いほど²⁾, または変位量が多い断層ほど破砕帯幅が大きい(図-4)。通常、トンネル施工時には地質縦断面などで断層(弾性波の低速度帯)幅を見積もるが、同時に地質平面図にも目を向け、断層(またはリニアメント)の延長や変位の程度に留意しておくことが重要となる。

2-4 断層面の傾斜と平面図での見え方

断層面は平面であっても、図-5に示すようにそ

の傾斜角と地形との関係により平面図上では多様な見え方をする。

地質平面図などで断層線を見るときは、高角度の断層ほど地形の影響は小さく直線的に連続し、低角度な断層ほど地形の影響を受け、曲線状、蛇行することに留意する。

③ 断層地形

3-1 断層変位地形

断層は平面的にも、鉛直的にも独特の地形的特徴を有している。断層地形は表-1のように断層変位地形と断層削剝地形に大別される¹⁾。

断層変位地形は地殻変動により変位した地形が、開析も埋積もされことなく、初生的な形態の特徴を残存するもので、新しい時代に活動した断層で多く見られる。

このような新しい断層は著名なものが多く、公刊地質図に記載されることが多い。また、断層変位地形は比較的明確であることで、地形図を見ても比較的判読しやすい。

図-6では断層変位地形のうち、縦ずれ断層崖の例を示す。

3-2 断層削剝地形とリニアメント

断層削剝地形は古い断層に起因する破砕帯とその周辺の硬い岩盤が差別的な削剝を受けることで形成された地形であり、リニアメントとして確認される場合が多い。リニアメントは断層変位や差

別削剝によって生じた直線的な谷や鞍部列などが図-7の例に示すように、連続的に直線または弧状に伸長・配列する状態を示す形態用語である。断層削剝地形は浸食が大きく、変動地形は不明瞭となることが多いが、古い顕著な断層を示唆していることが多いため、地形図を見る際には、図-8に示すような断層線谷、図-9に示すような断層鞍部列など、断層の痕跡として残された地形を丁寧に見ながらリニアメントを見出すことが重要である。

なお、差別的な削剝は、例えば砂岩泥岩互層にて泥岩が浸食されやすいことにあるように、構成地質の初生的な硬軟の差異により顕在化する場合もある。したがって、リニアメントが必ずしも断層線と一致するわけではないことに留意しておく必要がある。

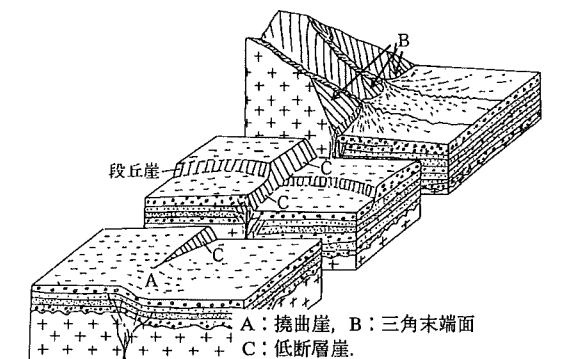
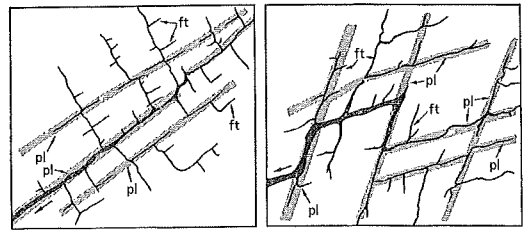


図-6 縦ずれ断層崖の主な地形種(松田ほか(1977)を改訂)³⁾

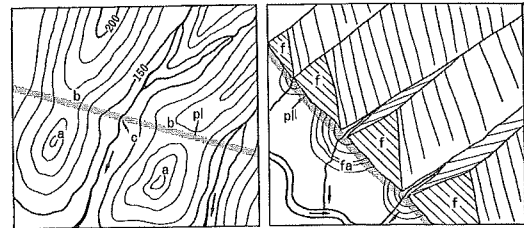
表-1 断層変位地形と断層削剝地形の地形種類¹⁾に追加

	断層変位地形		断層削剝地形
	縦ずれ断層変位地形	横ずれ断層変位地形	断層削剝地形***
急崖と急斜面	撓曲崖, 低断層崖, 断層崖(縦ずれ断層崖), 三角末端面, 逆向き低断層崖	断層崖(横ずれ断層崖), 三角末端面	断層線崖 再従断層線崖 逆従断層線崖
谷, 凹地と鞍部	断層谷, 断層鞍部, 地溝, 小地溝, 断層凹地, 断層陥没, 断層湖, 断層池, 断層角盆地, 先行谷, 截頭谷, 風隙(谷中分水界)	横ずれ谷(オフセット), 断層鞍部, 横ずれ断層谷, 断層楔状凹地, 閉塞凹地, 断層湖, 断層角盆地, 先行谷, 截頭谷, 風隙(谷中分水界)	断層線谷, 断層線鞍部列*, 接頭直線谷*, 十字直線谷*, 谷中分水界, リニアメント
尾根, 小突起, 分離丘陵と地塊	地壘, 小地壘, ふくらみ, 圧縮尾根, 断層突起, 尾根遷緩点, 断層地塊山地, 傾動地塊山地	横ずれ尾根(オフセット), 段丘崖・山麓線のくいちがい, 閉塞丘, 断層分離丘*, 楔状断層地塊	尾根遷緩点列*
堆積地形**	崖錐, 沖積錐, 合流扇状地	崖錐, 沖積錐, 合流扇状地	

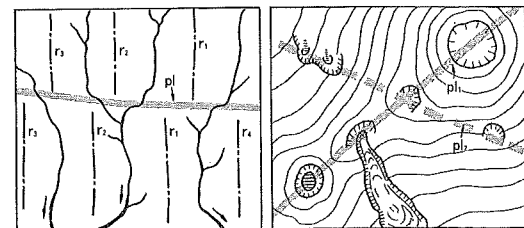
*: 著者新称 ** : 断層崖下にしばしば随伴する堆積地形を示す *** : 各種のリニアメント



(a)格子状をなす水系模様。pl:フォトリアメントとすべきところで、大規模な断層であることが示唆される。ftは破碎線。
 (b)角ばった水系模様。pl:フォトリアメント、ft:破碎線。



(c)a:ケルンバット、b:ケルンコル、pl:フォトリアメントを入れるべき位置。水系も多少かわっていることがある(c)。
 (d)平野部と山地を境するフォトリメント(pl)は、断層崖面(f)と平野部との接線により引くことができる。沢の出口には、扇状地(fa)がみえる。



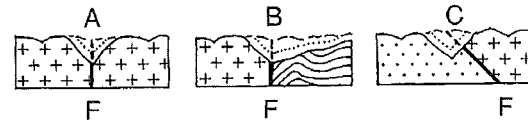
(e)主線線(r1~r4)のズレを示す。稜線のズレと同時に、流路のズレも認められる。pl:フォトリアメント。
 (f)一直線状に配列した爆裂火口の存在は、構造線(pl1)の存在を示唆する。これとは別に、pl2のような方向の構造線も考えられる。

図-7 リニアメントの方向を示す模式図⁹⁾

④ 断層の工学的問題点

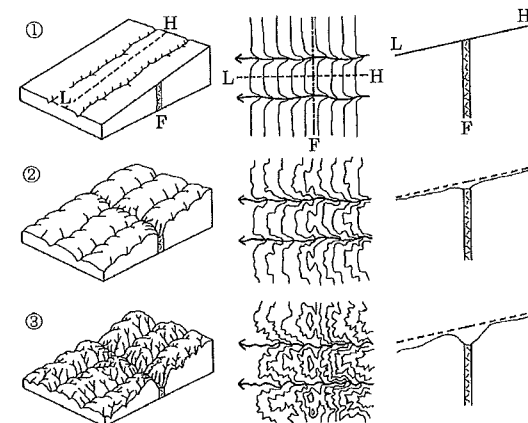
4-1 切羽崩壊

断層に伴う破碎帯が細粒分を主体とした非固結物質で構成される場合には、切羽の自立性は著しく低く、不安定な状態となる。また、不安定な状態が天端まで波及した場合には、大規模な落盤などに至る場合がある。断層の走向とトンネル軸が平行に近い場合、断層はトンネルの進行とともに、切羽のいずれかの箇所から現れ、長区間断層を掘



A:対称谷(兩岸の地質が同じで、高角断層の場合)、
 B:非対称谷(兩岸の地質が異なる場合:断層線崖を伴う)
 C:断層線谷の谷底と断層線が著しく離れており、低角断層の場合。

図-8 断層線谷の3種の横断形⁹⁾



①:若い谷の発達する山地斜面に古い断層が横断している。②:谷の下刻に伴い、その谷壁斜面の断層破碎帯の部分に崩壊が発生し、支谷が生じる。③:断層破碎帯にそう支谷が尾根の両側から発達し、尾根に断層鞍部が生じる。左:ブロックダイヤグラム、中:等高線、右:H-Lの尾根の縦断面。

図-9 断層鞍部列の形成過程の模式図⁹⁾

削することになる。

一方、トンネル軸と断層の走向が直交する場合は、断層をもっとも短く通過するが、断層に伴う破碎帯が突然切羽に出現したりすることに留意する。

4-2 突発湧水

断層破碎帯にて断層角礫が帯水層となっている場合には、断層に進入したと同時に突発湧水に遭遇する可能性がある(図-10:左図)。また、断層の側面に難透水性の断層粘土を伴う場合には、断層の前後で地下水位・水圧が異なり、断層を通過したと同時に突発湧水に遭遇する可能性がある(図-10:右図)。とくに図-10に示すようなトンネル軸と断層の走向が直交する場合は、高圧の地下水が予兆もなく突発的に湧出する懸念があり、こ

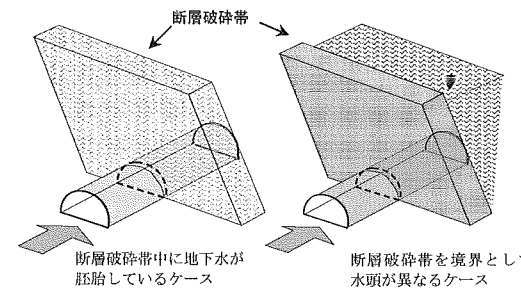


図-10 断層破碎帯での帯水状況模式図

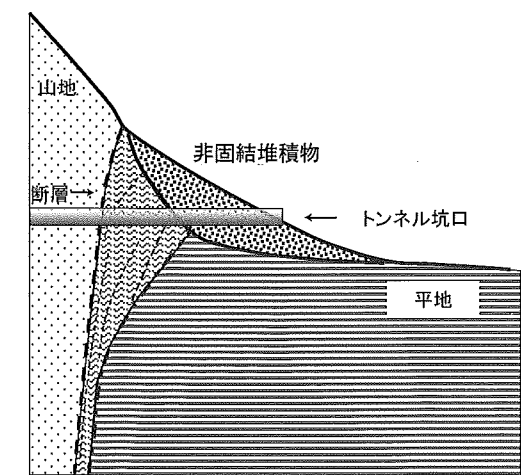


図-11 山地と平野を隔てる断層と坑口部の関係

のような断層が想定される場合には、事前に水抜きボーリングなどを実施しておく必要がある。

4-3 トンネル断面の大変形

断層ではせん断に伴う細粒分や岩石がブロック化した破碎帯を伴うことから、地山が緩みやすく、トンネル支保に過大な土圧が作用することがある。トンネル掘削中には支保耐力が相対的に不足することで、一次支保に変形が生じたり、供用後においても覆工に変状が発生したりすることがある。

4-4 地質の変化

断層では断層面(または破碎帯)を境界として構成岩石や地質構造が変化したり、割れ目の発達程度の違いによる岩盤としての硬軟が急変する場合がある。トンネル掘削時には地山の変位状況や変形挙動の急変、岩質の変化に伴う掘削工法の変更などに留意する必要がある。

4-5 坑口の安定性

平野と丘陵・山地の境界沿いには本連載(1)の

p.81で紹介した遷緩線が認められる場合があり、このような箇所には断層が連続している場合が多い。道路トンネルや鉄道トンネルは図-11に示すように平野と丘陵・山地の境界沿いに坑口を設置する機会が多いことから、坑口部近傍での断層に起因する脆弱地山や非固結堆積物の存在に留意する。坑口付けでは非固結堆積物を対象とした斜面掘削時の不安定化が懸念される。坑口付近のトンネル掘削では土かぶり小さく、アーチアクションを形成しにくいことに加え、断層の存在は地山を脆弱化させている可能性があることから、地耐力不足に伴う地表面沈下や地山の緩みに伴う斜面不安定化の誘発、ならびに切羽崩壊の発生が懸念される。

⑤ 断層変位地形の読み方と施工事例

今回は著名な断層で見られる断層変位地形から代表的な地形種を説明し、更にその近傍でのトンネル施工事例を紹介する。

事例1: 徳島自動車道のトンネル群¹⁰⁾とJRトンネル【段丘面を切る縦または横ずれ断層変位地形(中央構造線)】

断層変位地形のうち、縦または横ずれ断層変位地形の例として徳島県池田町付近の地形図を図-12に示す。当該地周辺では中央構造線が東西に良く連続し、この断層を縫うように、徳島自動車道のトンネル群やJRのトンネルが位置している。中央構造線は右横ずれとなっており、図-12(上図)中の“断層分離丘”は南側の凹んだ地形(鞍部)を境界として東方に右横ずれしている。また、市街地北側のウエノ地区は吉野川の段丘面であるが、中央構造線を境界として相対的に高標高位となっており、その南縁の直線的急崖は、通常の浸食による段丘崖ではなく、垂直変位による断層崖である。地形図上では道路勾配を確保するために迂回していることが見てとれる。

徳島自動車道のトンネル群やJRのトンネルは中央構造線と交差ししない線形となっているが、このような大きな断層沿いでは周辺の岩盤が脆弱化することや副断層が存在することで、トンネル施

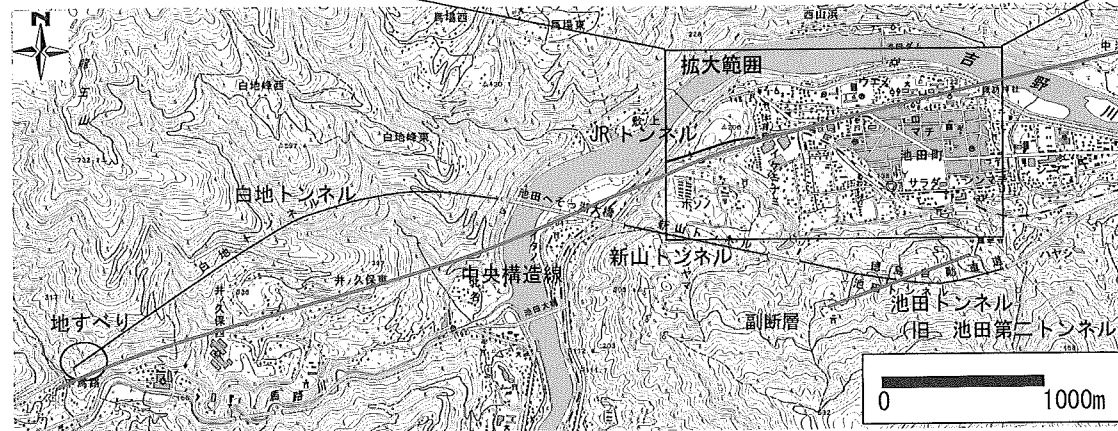
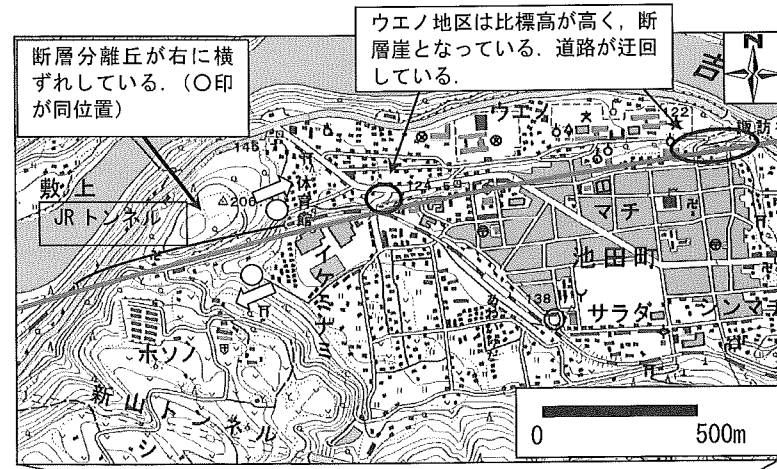


図-12 中央構造線と徳島自動車道，JRトンネル群位置図(国土地理院 1：25,000「阿波池田」)

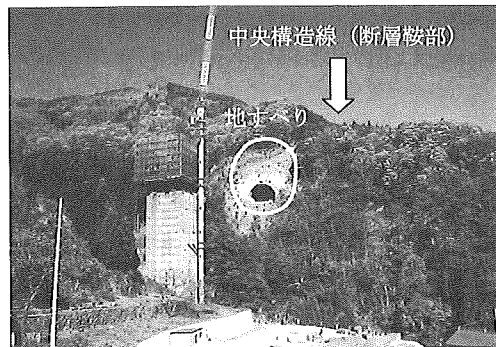


写真-1 白地トンネル西坑口部(に加藤)

工時にはさまざまな問題点が顕在化する。

白地トンネル⁹⁾は中央構造線の北側に位置し、地質は中生代白亜紀の和泉層群に属する砂岩泥岩互層である。白地トンネルでは、中央構造線に近づく西側坑口で大規模な地すべり地形が予想され、対策工として垂直縫地工が実施された(写真-1)。

また、脆弱地山中でのトンネル掘削に伴う地すべり誘発防止のため、坑内からの補助工法として長尺鋼管先受け工，レッグボルト，仮インバート工などを実施した。

池田第二トンネル⁹⁾(現池田トンネル)は中央構造線の南側に位置し、地質は三波川帯に属する泥質片岩，塩基性片岩，珪質片岩である。池田第二トンネルは東坑口から掘削を進め、事前調査から地山等級はほとんどB，Cパターンで計画されていた。しかし、トンネル中央部付近にて中央構造線の副断層が出現し(図-12)，この断層の影響に伴う不良地山より、鋼アーチ支保工の座屈をはじめとする急激な変状，最大100m³/hの突発湧水による切羽崩壊が発生した。この断層は真の断層幅が25m程度であるが、走向が中央構造線と調和的に(東北東—西南西走向)トンネル線形に対し約

30°程度の鋭角で交わるため、その影響範囲は100m以上に達した。この断層区間では、特殊支保構造の実施および注入式長尺鋼管先受け工法などによる補助工法を採用しながら、約11か月をかけて断層を突破した。

JRのトンネルが通過する分離丘は新山トンネル，ホソノから続く地すべり堆と考えられている¹⁾。JRのトンネルは平面的に中央構造線避け、路線標高から地すべり堆を避けた位置にあると考えられるが、維持管理を行っていくうえで、変動地形が近傍に位置していることに留意(覆工の変状など)する。

事例2：名神高速道路 天王山トンネル^{7),8)}【縦または横ずれ断層変位地形】

断層変位地形のうち、縦または横ずれ断層崖の例として大阪府と京都府の境界に位置する天王山付近の地形図を図-13に示す。当該地周辺では天王山断層がおおむね東北東—西南西の走向で連続し、それに直交するように金ヶ原断層が南北方向に連続する。これら断層にはそれぞれ変位地形として三角末端面などが認められ、さらに天王山断

層の副断層沿いには谷の屈曲から右横ずれ断層変位地形が認められる。また、天王山断層や副断層周辺には竹が多く繁茂していることが見てとれる。植生は表層土壌の状態(粒度，含水比など)を反映しており、間接的に地盤の性状(粘土を伴う断層破砕帯や細片化した地すべり土塊の存在)を示唆している場合があるので留意しておく。

天王山トンネル^{7),8)}は天王山断層の北側に位置し、地質は中古生層の超丹波層帯に属する粘板岩，砂岩，チャートなどであり、これらを大阪層群(礫，砂，粘土)，段丘堆積物，崖堆積物などの非固結堆積物が被覆する。天王山トンネルでは、逆断層となる天王山断層が西側の坑口付近にて近接することで、地山が極度に脆弱化し、昭和30年代の旧線施工時のトンネル掘削は難工事となった。図-14に示す2本の旧線トンネルのうち、内側線では側壁導坑により掘削を開始したが、地圧により側壁コンクリートにクラックが発生し、上半切掘げ時にも沈下が発生したため、全面的に鉄筋入りインバートの施工を余儀なくされた。外側線は、山側側壁導坑より掘削を開始したが、湧水とともに



図-13 天王山断層と天王山トンネル位置図(国土地理院 1：25,000「淀」)

に地圧が増大し、進行不能となった。その後、地表に天王山断層に沿う形状で地すべり性の大亀裂が発生し、それと前後してアーチコンクリート打設時にセトルが変形した。また、ライニングには多数のクラックが生じ、さらに山側から押され、川側に座屈した形状を呈し、崩壊寸前となったが、インバートを施工したことで崩壊は免れた。

平成の旧線改築(断面拡幅)工事は、西坑口から

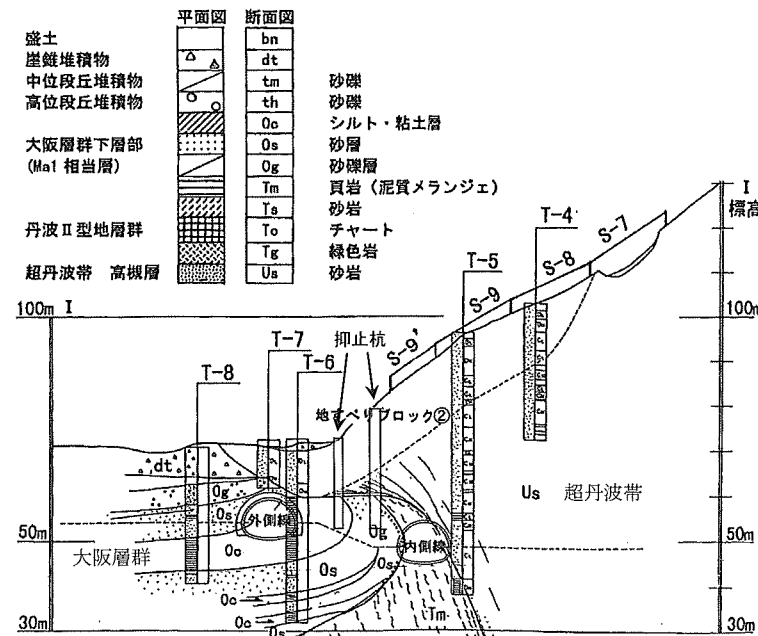


図-14 天王山トンネル旧線西坑口付近地質横断面図⁹⁾に加筆

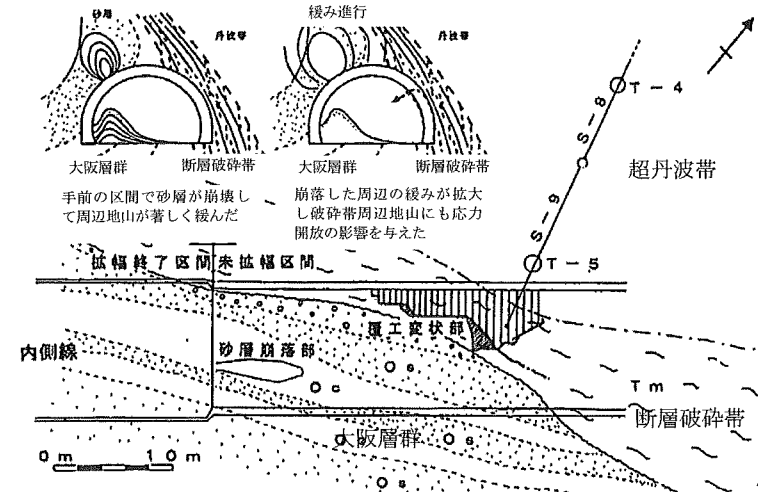


図-15 変状発生状況(75m)および原因推定図⁹⁾に加筆

既設の覆工を取り壊しながら施工を進めたが、内側線の75m地点で砂層からの崩落(50m³)が認められた。さらに14m前方の旧山側覆工部では縦断方向約10mにわたり最大約15cmの押し出しが認められた。この変状部は図-15に示すように、大阪層群と天王山断層の破碎帯との境界に位置しており、変状の原因は砂層崩落の影響が徐々に大阪層群の緩みや丹波層群の弱層の変形を拡大させ、

旧覆工の亀裂を進行させたと考えられた。この変状に対し、ウレタン系充填材による空洞充填、坑内盛土、仮インバートなどの応急対策を実施したが、地表面の一部で変状が完全に収束しないことから、この区間の拡幅工事は地表部からの抑止杭が完了したのちに再開することとした。

天王山トンネル西坑口のように断層破碎帯と地すべりが複合するような箇所は、坑内外の補強を迫られるなど、施工が難渋することが多い。このような箇所では、精密な地質調査結果を踏まえた入念な設計、施工計画が望まれる。

事例3：箕面トンネル^{9),10)}【右横ずれ断層変位地形(有馬高槻構造線)】

断層変位地形のうち、右横ずれ断層、断層谷、断層鞍部、尾根遷緩点の例として北摂山地南麓部付近の地形図を図-16に示す。

北摂山地南麓沿いには、図-16に示すように平野を形成する大阪層群との境界に位置する有馬高槻構造線(A.T.L.)、およびこれらの副断層が東西～北北東-南南西方向に連続している。

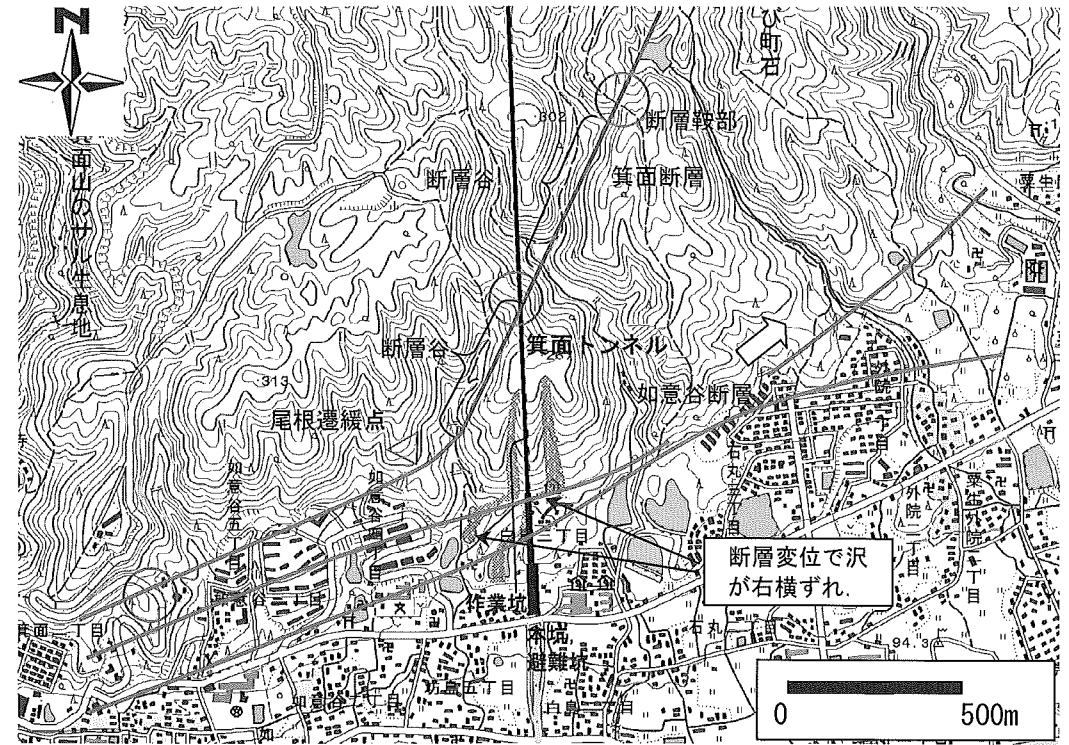


図-16 有馬高槻構造線と箕面トンネル位置図(国土地理院 1:25,000「広根」)

A.T.L.を構成する断層のうち如意谷断層は図-16の平面図に示す沢の屈曲状況から典型的な右横ずれの断層変位地形を呈している。また、箕面断層は明確な断層変位地形は認められないが、断層谷や断層鞍部などの地形種の連続が認められる。

箕面トンネル^{9),10)}は南坑口付近で、如意谷断層や箕面断層と交差する。本トンネルの地質は基盤岩となる中生層の丹波帯(頁岩主体)とこれを被覆する大阪層群(礫、砂、粘土、有機質土)からなるが、多くの断層で分断されていることから、その地質構造は複雑である。

本トンネルの南坑口は最大300m²を超える超大断面トンネルとなるが、掘削対象地山が如意谷断層の影響で破碎された頁岩と非固結の大阪層群の砂層、粘土層であることから、トンネル切羽の自立性が懸念された。このような条件のもとで、まず、作業坑(図-17)で地質状況を確認しながら施

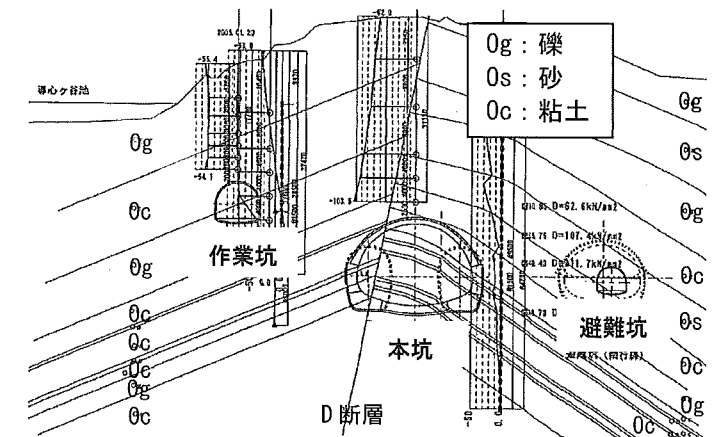


図-17 箕面トンネル地質横断面図と各トンネル位置⁹⁾に加筆

工を進めたが、図-18に示す断層を突破した際に突発湧水と切羽崩壊が発生した。トンネル線形が如意谷断層の走向に対し直交となることから、作業坑掘削中には当初予想していなかった副断層に突発的に遭遇したが、結果的に地質状況を良く把握することができた。このため、本坑掘削では作業坑掘削時の地質状況、計測結果などを反

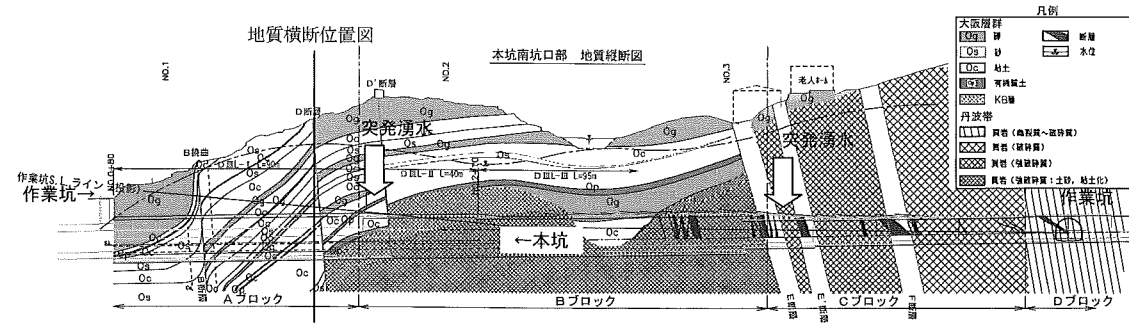


図-18 箕面トンネル実績地質縦断面(10)に加筆

映させ、合理的な補助工法や施工法を検討・採用し、問題なく超大断面トンネル掘削を終えることができた。本事例のように、断層変位地形が確認できる大きな断層のほかにも地形には現れない副断層の分布が予想されるようなトンネルでは、作業坑、避難坑などを先行させ、地質状況確認や地下水位低下を図っておけば、本坑掘削時でのトラブルが少なくなるものと考えられる。

㊦ おわりに

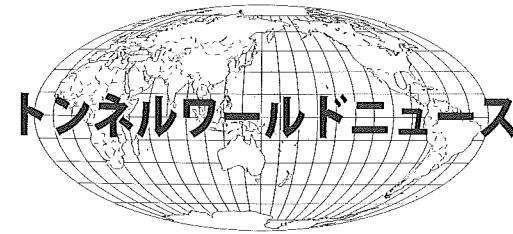
今回は、断層の基本を説明するとともに、断層変位地形について事例を示しながら説明した。断層変位地形は著名な断層で多く認められることから認知度が高いこと、また、地形に現れやすく、判読しやすいことで、予め留意し検討がなされているケースが多い。しかし、今回、いくつかの事例で示したように、地形で判読できる断層線以外にも周辺地山の脆弱化に伴い顕在化する地すべりや副断層は、施工上問題となる場合があり、トンネル線形計画時、調査時、設計時、施工時、維持管理時の各段階において留意しておく必要がある。

次回は、断層に伴うトラブルがあったトンネル施工事例を取り上げ、トンネル周辺で判読した断層削剥地形やリニアメントと、坑内で発生した事象とを比較しながら説明する予定である。

(文責：岩永茂治, 片山政弘・(株)熊谷組)

参考文献

- 1) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，第4巻(火山・変動地形と応用読図)，古今書院，pp.1081-1145, 2004.
- 2) 金折裕司：断層の影響はどこまで及んでいるか，応用地質，Vol.41, No.6, pp.323-332, 2001.2.
- 3) 活断層研究会編：(新編)日本の活断層分布図と資料，東京大学出版会，p.5, 1991.
- 4) 武田裕幸・今村遠平：建設技術者のための空中写真判読，共立出版，p.73, 1976.
- 5) 横井義一・芳野清美・大畑雅義・手塚仁：中央構造線に近接した山岳トンネルの坑口部の施工について，熊谷組技術研究報告，第58号，pp.137-143, 1991.11.
- 6) 四国最大級の断層破砕帯を突破した池田第二トンネルの施工，清水建設土木クォーターリー，No.127, pp.32-53, 2000.8.
- 7) 寺尾幸青・本山和幸・山本茂生・土橋正文：わが国初の高速道路トンネルを拡幅改良，名神高速道路天王山トンネル，トンネルと地下，Vol.28, No.11, pp.23-30, 1997.11.
- 8) 角南明彦・横山和昭・西村誠一・木村正樹・鳥居敏：既設トンネル拡幅時の地山挙動と対策工について，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.9, pp.189-194, 1999.11.
- 9) 武友憲重・久保田英雄・西村誠一・安田亨：未固結地山における超大断面トンネルの施工，箕面有料道路 箕面トンネル南工区，トンネルと地下，Vol.36, No.5, pp.7-15, 2005.5.
- 10) 片山政弘・西村誠一：トンネル湧水より考察した有馬高槻構造線周辺の地下水賦存状況について(箕面トンネル南工区の事例)，日本応用地質学会平成16年度研究発表会講演論文集，pp.121-124, 2004.

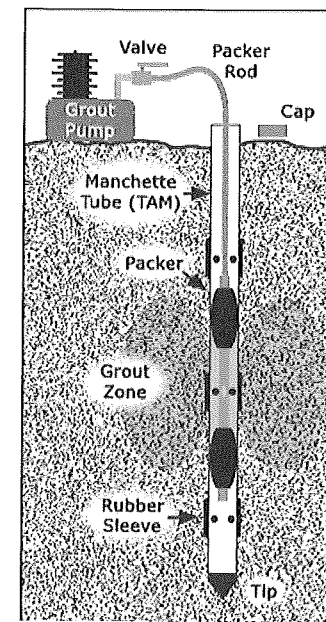


(社)日本トンネル技術協会
国際委員会

最初のSCLトンネルが完成

Crossrailのリバプールストリート駅建設の一環として、プロジェクト最初の2本の吹付けコンクリートトンネルが、ロンドンのフィンズベリーサーカスの地下に構築されている。そこは、「World Tunnelling」の事務所と目と鼻の先にある。2本のトンネルは直径が4.5mで、フィンズベリーサーカス作業所内の主要作業立坑から構築されている。

2本のトンネルは仮設構造物であり、トンネル工事による地山の動きや地表面沈下を制御するための地盤注入作業に使用される。地盤注入は、こ



参考図：マンシットチューブ

れらの仮設トンネルから請負業者によって、地山を穿孔し、小口径のマンシットチューブを設置して実施される。

2本のトンネルは吹付けコンクリートライニング(SCL)によって構築されている。SCLは地山を安定させるために掘削壁面にコンクリートを吹付け、恒久的なトンネルライニングを形成するものである。第一SCLトンネルは80mの延長で、現場から東へ向かう第二トンネルは100mの延長がある。

SCLはまた、Crossrailの路線に沿って、小断面で比較的短いトンネルとなるプラットフォームトンネル、通路、注入作業坑として、延べ12kmにわたって構築される。SCLトンネルのうち約7.5kmは永久構造物となる予定である。

(WT '12.6 担当：岡村光政・戸田建設(株))

New Irvington トンネルが貫通

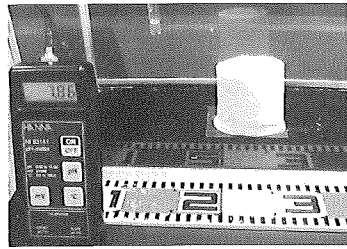
先月、トンネル専門業者のJacobs Associatesは、サンフランシスコの水道システム改善計画の一環である5.6kmのNew Irvington トンネルのうち西側区間の貫通を発表した。坑夫たちは55tのロードヘッドを用いて、トンネル西端に位置するFremontのIrvington坑口と東に1,341m離れたVargas立坑の2つの切羽を貫通させた。このトンネルは、46億USドルのサンフランシスコ公共事業(SFPUC: San Francisco Public Utilities Commission)の核となる工事であり、全体的に老朽化している水道システム(Hetch Hetchy system)の向上を目的としている。先月のトンネル貫通に続き、直径2,590mmの鋼管の設置準備が始められる。鋼管は長さ15.2m間隔で、トンネル内で溶接されつながれていく。

残りのトンネル工区(東側区間)はさらに長く、Vargas立坑から東に位置するSunolのAlamanda West坑口まで伸びる。2013年の第3四半期に貫通予定である。

(T&TI '12.7 担当：松村謙治・大成建設(株))

工法・技術・製品ニュース

工法 周辺環境への影響低減を目的とした新技術



pH計測状況

戸田建設
Tel 03-6758-7001
http://www.toda.co.jp

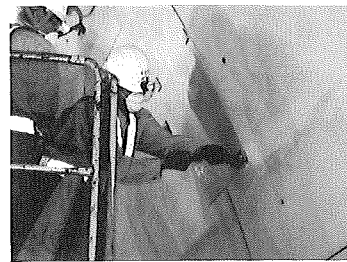
戸田建設は、周辺環境への影響低減を目的とした、既設構造物背面の空洞を充填する「環境配慮型中性系可塑性充填材」を、太平洋セメントと共同開発し、各種構造物の補修、改修工事への適用を開始した。

同工法は、従来、空隙充填材料として用いられてきたセメント系充填材に代え、硬化材としてマグネシウム化合物、pH調整材として硫酸アルミニウム水溶液を用いるもの。pH12を超える高アルカリ性のセメントを用いずに、pHが約10.5程度と

比較的低アルカリである水酸化マグネシウム飽和水溶液を用いることで、充填材と接触した水が高アルカリ性になるといった環境負荷を低減することが可能となる。

また、水酸化カルシウムにくらべ溶解度も低く、水に暴露された場合の溶出量が少ないため長期安定性を確保することができる。マグネシウム化合物は重金属の不溶化材としても使用されるなど、重金属などの溶出に伴う二次リスクも少なく、環境にやさしい材料となっている。

工法 施工容易なトンネル剝落防止対策工法



鉄建建設 エンジニアリング本部
技術企画部
TEL 03-3221-2243
E-mail: eng@tekken.co.jp

鉄建建設、西日本高速道路メンテナンス九州、宇部日東化成は共同で、トンネルの剝落対策工事の補修工法である「SCプレート工法」を開発し(特許出願済み)、長崎自動車道のトンネルにおいて試験施工を行ったと発表した。

同工法は、難燃性のポリプロピレン製中空プレートパネルを、対象部へアンカーを用いて取り付けることで、容易に剝落対策を行うもの。部材がパネル状のため、簡単な加工でトンネル下面に導水できる効果もあ

るとしている。

試験施工では、ボード自体が軽量で適度なしなやかさを持っていることから、トンネル覆工面へのボード取付け作業が容易であることが確認でき、従来工法より工期短縮が見込めるとしている。

パネルの形状は、厚さが約5mm、幅が600または1,000mm、標準長が2mで、長さ3mまで対応可能。材料も東、中、西日本NEXCOが規定している、トンネル施工管理要領の試験に適合している。

製品 作画速度・品質を強化したCAD用インクジェットプロッタ



RJ-901X

武藤工業 国内営業部
Tel: 03-03-6758-7001
E-mail: info.plotter@mutoh.co.jp

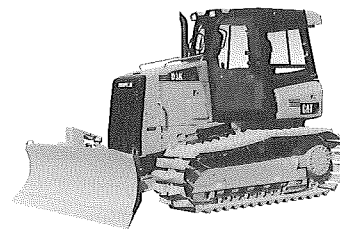
武藤工業は、CAD用インクジェットプロッタ「RJ-900」シリーズの後継機種として、卓上設置も可能なA1サイズ対応の「RJ-901X」、A0サイズ対応の「RJ-900X」を発売した。

両機は、同社従来機種に対し、ドラフトモードにおいて25%の高速化を実現。A1カラーを最速33秒で作画する。また、サイン向け大判インクジェットプリンタで培われた技術を導入し、建築パース図面や3DCAD図面、写真画像、イラスト、

塗り潰しなど、グラフィックス要素を多く含んだ図面の作画品質の向上も実現させた。

さらに和紙などの薄紙搬送能力を、用紙押さえローラーのキャンセル機能により加圧力調整することで向上させたほか、パソコンからだけでなく、スマートフォンにも対応した新開発のステータスマニタ「VSM」に対応させ、プロッタ本体のさまざまな情報が、手軽に手元で確認ができるようになった。

製品 オフロード法2011対応の小型ブルドーザ6機種を新発売



Cat D3K2

キャタピラー・ジャパン 広報グループ
Tel: 03-5717-1122
E-mail: ojl-public@cat.com

キャタピラー・ジャパンは、小型ブルドーザ6機種を発売した。

新発売したのは、Cat D3K2(湿地車(運転質量8,850kg)、乾地車(同8,200kg))、Cat D4K2(湿地車(同8,950kg)、乾地車(同8,450kg))、Cat D5K2(湿地車(同10,350kg)、乾地車(同9,550kg))の6機種。それぞれCat D3K/D4K/D5Kのフルモデルチェンジ機となる。

今回のモデルチェンジでは、オフロード法2011年基準に対応し、新型の環境対応パワーユニットCat C4.4

ディーゼルエンジンを全機種に採用した。

また、低負荷時には、エンジン回転数を自動で1,600rpmまで落とし、燃料消費を抑えるエコノミーモードを新たに搭載。さらにエコノミーモード選択時にパーキングブレーキをONにすると、エンジン回転を自動で950rpmまで下げるオートエンジンアイドル機能も備えた。こうした省エネシステムにより騒音や排出ガスを抑制すると同時に燃費を低減することを可能にした。

製品 バケット容量19m³の大型ホイールローダー



キャタピラー・ジャパン 広報グループ
Tel: 03-5717-1122
E-mail: ojl-public@cat.com

キャタピラー・ジャパンは、Cat 994H ホイールローダー(バケット容量19.0m³)を発売した。

同機は、ロングストローク・高トルク型大排気量エンジンCat 3516B HDを搭載。大排気量、低定格回転数、ロングストロークの設計によりエンジンの耐久性を向上させるとともに、燃料消費量を低減。また、高いトルクライズは掘削時に強力な牽引力を発揮する。

油圧システムでは、可変容量ピストンポンプを採用。従来の固定容量

式に比べ、必要ときに必要な量の油を供給できるため、ロスが少なく燃費の低減に貢献する。また、すばやいレスポンスにより優れた操作性も実現した。

安全性にも配慮し、昇降用ステップの角度を従来機より緩やかにしたこと、昇降時の安全性を確保したのに加え、夜間の作業時に周囲を明るく照らせるHIDライトや車両後方の確認が可能なりアビューカメラを装備し、周辺作業者の安全確保にも配慮している。

製品 新型ダンプトラックを発売



キャタピラー・ジャパン 広報グループ
Tel: 03-5717-1122
E-mail: ojl-public@cat.com

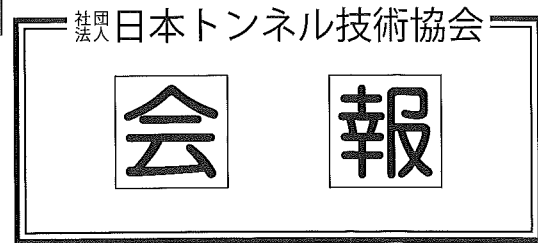
キャタピラー・ジャパンは、Cat 785Dダンプトラック(最大積載量137.7t)を発売した。

同機は、高出力・高耐久エンジンであるCat 3512C HDを搭載。従来機に比べシリンダストロークを延長し、燃料の燃焼効率を改善した。これにより燃費低減やエンジンの耐久性の向上が見込まれる。

また、高出力エンジンに対応した堅牢な電子制御フルオートマチックトランスミッションを採用すること

で、コンピュータ制御により、スムーズなシフトチェンジとクラッチ摩耗の低減に貢献する。

車体構造には、2段傾斜した独自のV字形のベッセルを採用することで、積荷を中央に集まりやすくし、積載物の保持や安定性を向上させた。また、メインフレームには箱型断面構造の強化型デザインを採用。大きな負荷のかかるフレームコーナーなどには鋳鋼を使用し、強度を高めている。



1. 会員の現状

	11月30日現在
正会員	1,513名
団体会員	350名
個人会員	1,163名

2. 第211回理事会, 第74回顧問・評議員会

日時:平成24年11月19日(月) 12:00~13:00
 場所:東京商工会議所 8F「東商スカイルーム」
 出席者:理事24名, 監事2名, 顧問1名, 評議員19名,
 計46名

議事:

①入退会

団体会員10名, 個人会員18名の計28名の入会と団体会員16名, 個人会員50名の計66名の退会を承認。

②理事の交替

旧	新	所属役職
小松 秀樹	小島 治雄	東日本高速道路(株)執行役員 技術本部長
大津 健次	早川 和利	西日本高速道路(株) 取締役常務執行役員
廣木 良司	遠藤 正宏	東京都交通局建設工務部長
伊藤 泰司	中井 雅彦	東日本旅客鉄道(株)執行役員 建設工事部長

③評議員の交替

旧	新	所属役職
吉田 聰	西岡 敬治	阪神高速道路(株)技術部長
神山 守	巖 滋之	日本下水道事業団 東日本設計センターセンター長
栗田 敏寿	藤森 伸一	東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所所長
有賀 茂	野口 俊介	電源開発(株)土木建築部 土木技術室室長
上野 康信	元木 洋	青木あすなる建設(株) 常務執行役員
赤井 憲彦	濱邊 修一	東洋建設(株)代表取締役 専務執行役員土木事業本部長

④平成25年度定時総会の開催日を平成25年5月20日(月)とした。



第211回理事会, 第74回顧問・評議員会

3. 委員会の開催状況(11月1日~30日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会誌WG(11/7)

大島洋志主査ほか10名, 12月号の会誌と3か月計画を検討

総務委員会(11/14)

宮林秀次委員長ほか7名, 新法人への移行手続きおよび理事会資料を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会海外ニュースWG(11/20)

浅見均主査ほか8名, 英文原稿を査読

◎事業委員会

40周年記念事業準備会(11/12)

久多羅木吉治主査ほか7名, 実施内容を検討
 計4回開催 36名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

安全環境小委員会シールドトラブル事例調査WG(11/6)

石村利明主査ほか9名, アンケート調査項目を検討

都市トンネル小委員会近接施工調査準備会(11/27)

五十嵐明主査ほか8名, 作業方針を検討

◎受託研究特別委員会

北海道新幹線(北海道方)トンネル技術委員会(11/8, 9)

三上隆委員長ほか41名, 施工, 計測結果を検討

大深度シールド設備特別検討会幹事会(11/16)

中村隆良幹事ほか12名, 検討内容および作業方針を検討

大深度シールド設備特別検討会泥土圧WG(11/26)

守屋洋一主査ほか11名, 作業内容および方針を検討

大深度シールド設備特別検討会泥水WG(11/29)

河本武士主査ほか12名, 作業内容および方針を検討

中流動覆工コンクリート特別委員会打合せ会(11/16)

松岡茂幹事ほか6名, 作業方針を検討

小断面掘削工法特別検討会(11/16)

吉富幸雄委員長ほか12名, 作業内容および方針を検討

計 8回開催 119名出席

合計 12回開催 155名出席

4. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第39回ITA総会およびコンgres「Underground - the way to 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gres*「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gres「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

5. 平成24年度催物開催現況

(平成24年11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	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	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	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	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	25	宮城県	3.5
下水道工事現場研修会(第二溜池幹線及び勝どき幹線工事)	2013. 1.24	30	東京都	2.5
(施工体験発表会)				
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」	2012. 6.27	104	東京都	5.6
(講演, 講習会)				
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しておりますので閲覧ください。http://www.japan-tunnel.org/event_japan

◆新刊図書案内◆

- Tunnelling Activities in Japan 2012 価格(税込): 会員 3,000円, 非会員 3,600円
- トンネル年報2012 価格(税込): 会員 2,000円, 非会員 3,000円
- トンネル年報-工事記録CD-R版(各年) 価格(税込): 会員10,000円, 非会員15,000円

2月号予告[2月1日発売予定]

- 総武線市川・本八幡間外環こ道橋
- 熊野尾鷲道路 新鹿トンネル
- 首都高速道路のトンネル構造50年の歩み
- 東京メトロ 小竹向原駅～千川駅間連絡線
- 東京都下水道 東尾久浄化センター西日暮里幹線流入渠

【連載講座】

- トンネル技術者のための地相入門(10)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

新年あけましておめでとうございます。

◆昨年の5月号から、ご好評をいただくなか、連載している「トンネル技術者のための地相入門」ですが、かくいうわたしも、たいへん興味深く拝読しています。というのも、最終間氷期に存在した、いわゆる古東京川から現在の東京低地の河川流路にいたる変遷をまとめる必要があり、いろいろ調べているのですが、その過程で、地質、地理に関する用語がやたらと出てくるわけです。前職で基礎構造物の設計などに携わっていたので、まったくの門外漢というわけではないのですが、かつての勉強不足がたたなり、地質学的なパースペクティブを持つにはボキャブラリーが不足していました。仕方なく地理や地質に関する入門書を図書館などで探すのですが、副題に「土木技術者のための」と掲げたものや、「建設技術者がより地質学を理解するために」と前書きに書かれている地質学の入門書は意外と多いものです。それはともかく、本連載は、トンネル技術者向けということで、私が選ぶような入門書に比べると、数段、敷居が高いのですが、それでも、大地が長い時間をかけて、その内部に刻んだ歴史を、表層に現れる微かな兆しを手がかりに、手際よく読み解いていくさまは、推理小説を読むような爽快感があります。今回から断層についての話が始まりました。荒川と利根川の流路の変遷には綾瀬川断層の動きが大きくかかわっていますので、しっかり勉強させていただきたいと思っています。

(K.K)

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

★(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1号 [通巻509号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成24年12月20日 印刷

平成25年1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、小社より振込用紙をお送りいたします。

購読料

1冊 1,575円(送料108円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

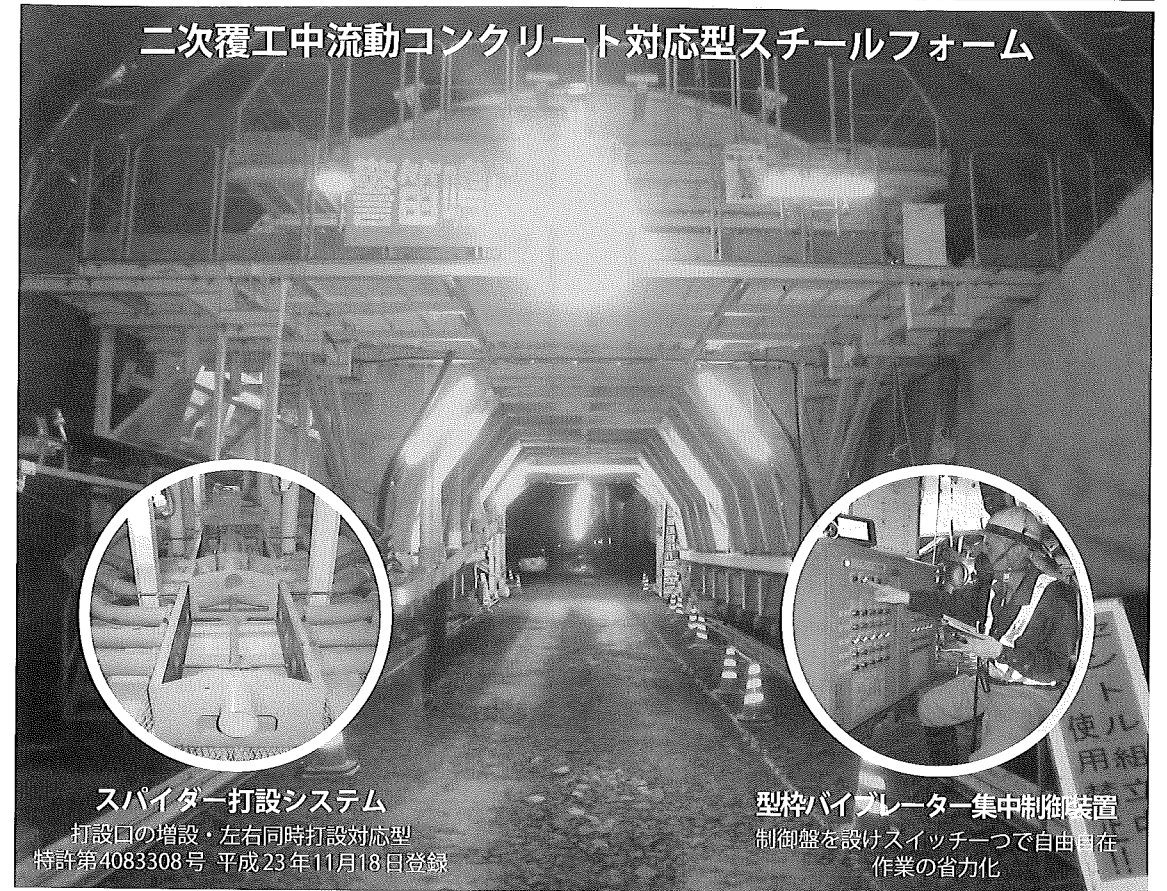
本誌広告のお申し込み方法

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

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

トンネル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

型枠バイブ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	計画中
国土交通省	21	1
NEXCO	5	1
地方自治体	8	6
鉄道・運輸機構	1	1

平成24年4月30日 現在

実施権許諾第 10396 号

NETIS 登録 (No.CB-090003-A)

一步前進! ~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。



トンネル工の衛生と環境保全

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
3,200円+税 A5判

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



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修
1,500円+税 B5判

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



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著
6,000円+税 A5判

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



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200円+税 A5判

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



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修
2,500円+税 B5判

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



地質工学概論

菊地宏吉 著
4,757円+税 B5判

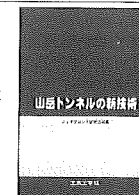
土木構造物や岩盤構造物の計画・調査から設計・施工において必要と地質や岩盤に関する情報を得るために必要な理論および技術を平易に解説した。



山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 編
14,573円+税 B5判

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



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800円+税 A5判

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



推進工法の理論と実際

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

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



シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編
4,660円+税 B5判

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



ジオテクスタイル設計マニュアル

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

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



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400円+税 A5判

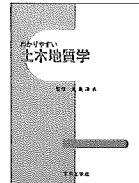
海洋の石油・天然ガス・石炭などのエネルギー資源と、マンガン・ジュールの鉱物資源、また、海洋エネルギーなどの開発と利用についてまとめた。



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・E.W.シュワルツ 共著、
地下水の科学研究会・大西有三 監訳

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



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)

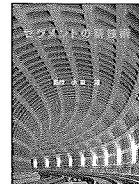
日本で唯一のトンネルと地下構造物の専門月刊誌。研究、調査・設計から施工にいたるまで、その時点での技術的問題点を中心に、業界の動向などをあわせて網羅しながら、新鮮な情報を提供する。



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各々の特徴を整理して掲載した。



建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著
4,300円+税 A5判

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



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

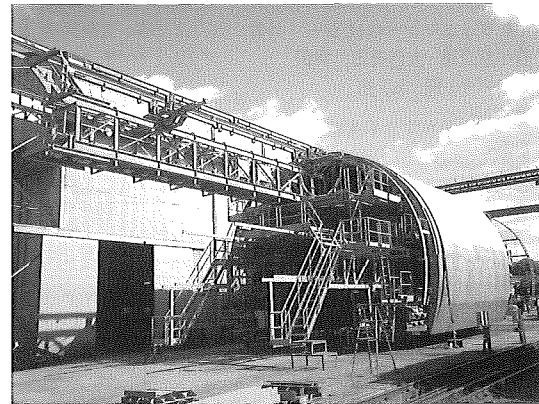
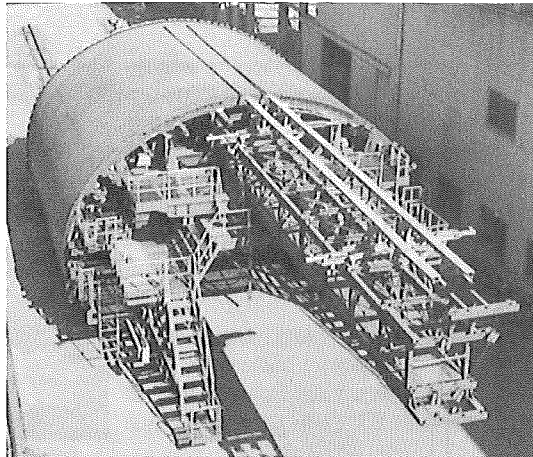
各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー



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

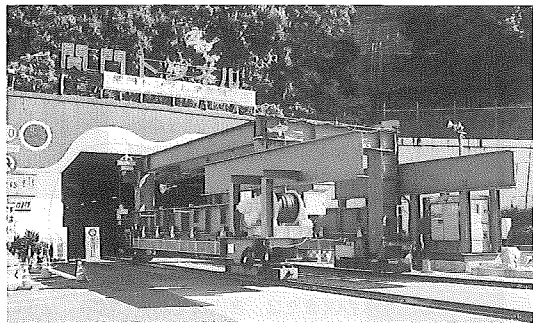


● 自動ケレン装置



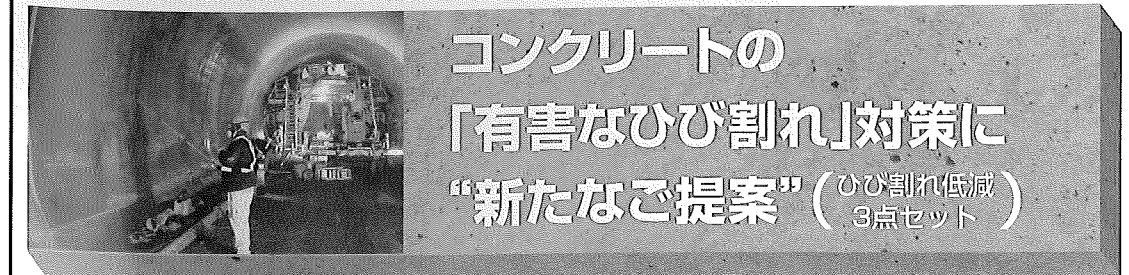
- ◎ 強靱なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは、前進後進同一の力で抜き差し出来ます。
- ◎ 円周方向にスライドするガイドセルは、クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます。
- ◎ ガイドセルの上昇・下降により、任意の高さを締め固める事が出来ます。

- トンネル床版撤去架台
 勾配対応四駆型(関門トンネル)

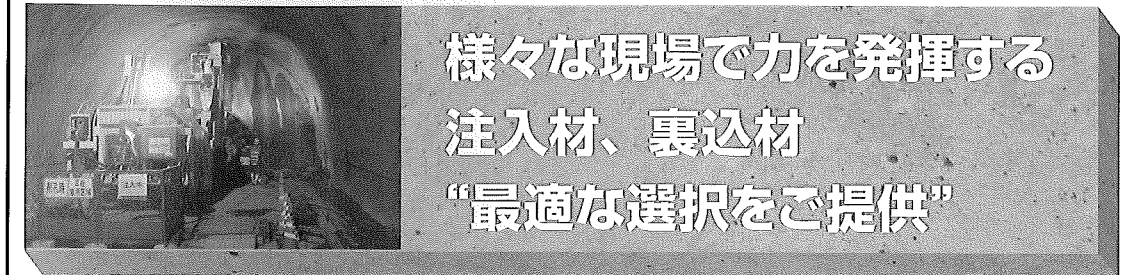


- ベルコン通過型スライドフォーム(特許)
- ローター式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサー及び警鳴装置
- クラック防止用ラップウレタンゴム
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充填センサー
- 2段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セントル
- 横移動式棧橋

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。



コンクリートの
 「有害なひび割れ」対策に
 “新たなご提案” (ひび割れ低減
 3点セット)



様々な現場で力を発揮する
 注入材、裏込材
 “最適な選択をご提供”

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