

トンネルと地下 4

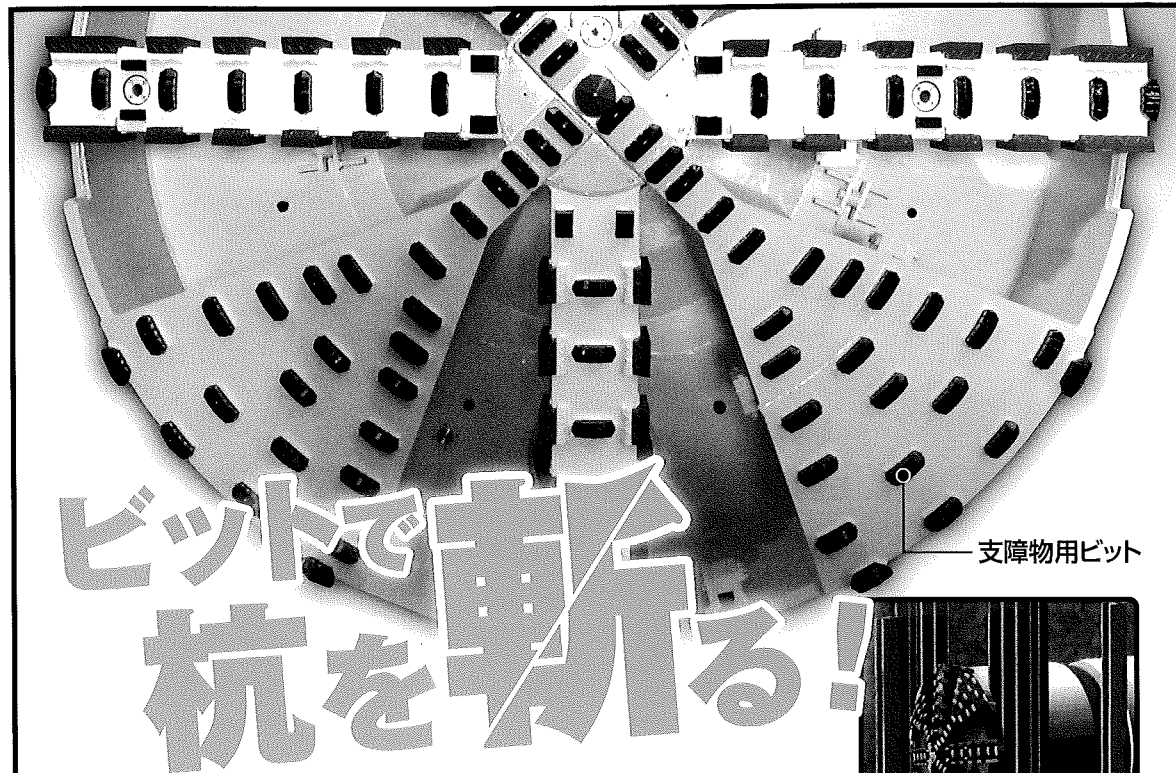
vol. 45
no. 4
2014

Tunnels and Underground

特集 アジアとヨーロッパを結ぶ夢のプロジェクト完成
—ボスポラス海峡横断鉄道トンネル(総集編)—

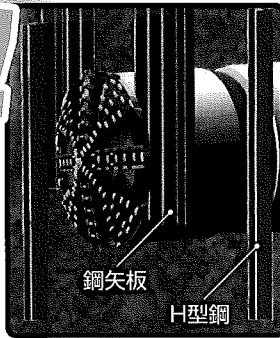
緻岩を鋼製支保工の降伏を許容した支保構造により掘削
6mにわたる高水圧砂礫層をφ10.8mの大断面シールドで掘進
状トンネルの覆工内面補強設計に用いる解析モデル化手法の提案

日本トンネル技術協会誌



ビットで斬る! 杭を斬る!

支障物用ビット



鋼矢板
H型钢

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

特長

切羽に人が出る必要がなく安全性が高い。

泥土圧・泥水式どちらでも適用可能。

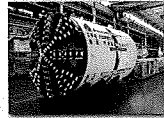
切削時の騒音、振動がほとんどなく、昼夜施工が可能。

周辺地盤の沈下などはほとんどなく、近接物への影響が小さい。

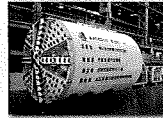
施工実績



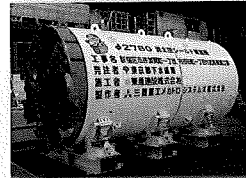
φ2680泥土圧シールド
H型钢(300H)×8本
鋼矢板(IV型)×2面



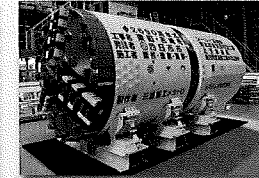
φ4240泥土圧シールド
H型钢(350H)×6本
鋼矢板(VI型)×2面



φ4680泥土圧シールド
H型钢(250H)×2本
鋼矢板(III型)×2面



φ2780泥土圧シールド
RC杭(φ800, φ1000)×6本
PHC杭(φ350)×6本



φ2690泥水式シールド
鋼矢板(II、III型)×12面

三菱重工メカトロシステムズ(株)の支障物切削技術

三菱重工メカトロシステムズ株式会社 都市開発部

神戸市兵庫区和田宮通五丁目4番22号 TEL.078-672-2872 FAX.078-672-2869

東京都港区港南二丁目16番5号 TEL.03-6716-4092 FAX.03-6716-5833

定価 1,620円

雑誌06619-4

本体価格1,500円



4910066190446
01500





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

ホイール式ドリルジャンボ
JTH2200R-III / JTH3200R-III
 国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事に用建設機械)指定機

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

新型油圧ドリフタHD210II搭載



◆主な仕様	JTH2200R-III 2ブーム、2ケーシング	JTH3200R-III 3ブーム、2ケーシング
質量	35.5 ton	44 ton
全長×全幅×全高	14.2m×2.7m×4m	14.8m×3.1m×4.2m
水平さく孔範囲(幅×高さ)	12.8m×8.5m	13.2m×8.8m

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)
CJM2200E-III

自走式キャリアに、コンクリートポンプ、急結剤供給装置、コンプレッサ、高圧水ポンプ等、吹付け作業に必要な装置を搭載したコンパクトな一体型コンクリート吹付機です。

質量	24 ton
全長×全幅×全高	15.6m×3m×4m
水平さく孔範囲(幅×高さ)	13.3m×10m

△古河機械金属グループ
FRD 古河ロックドリル株式会社
 FURUKAWA

www.furukawarockdrill.co.jp

本社 〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目5番3号

特機部 ☎03(3231)6966

札幌 ☎011-786-2222 東北 ☎022-384-8991 関東 ☎027-326-9611 名古屋 ☎0568-77-7700
 関西 ☎06-6475-8221 広島 ☎082-832-3542 九州 ☎092-948-2010

長尺鋼管切羽補強工

高付着型長尺鋼管切羽補強工

特許第3882118号

特許第4942211号

Me 工法
 Metal eco

Me-fix
 Metal eco

エコロジー&地山拘束効果。
 新しい長尺鋼管切羽補強システム。



特徴① 分別回収による鋼材のリサイクル化 ※特別仕様
 NETIS 番号:KT-080027

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

特徴② 接続部補強により鋼管の薄肉化

「Me 工法」、「Me-fix」は接続部拡張・縮径によりネジ部耐力の増強を図り、小口径薄肉鋼管(φ76.3×4.2~4.5mm)の使用を可能とし、軽量化に伴い経済性、施工性が向上します。

特徴③ 長尺鋼管切羽補強工の付着耐力の向上

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

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

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

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

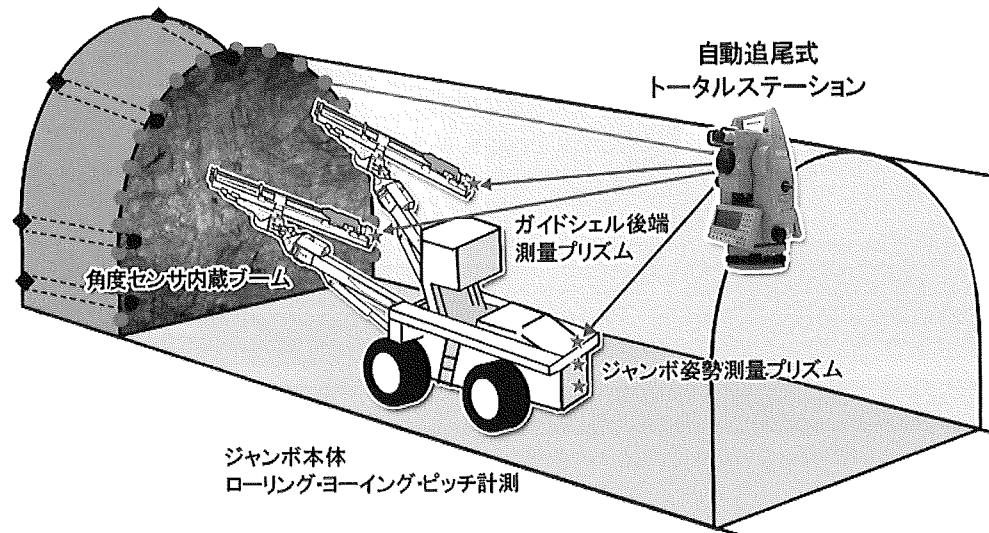
東京土木営業部:東京都港区芝公園芝パークビル B 館 ☎03-6402-8251
 大阪土木営業部:大阪市北区西天満 3 丁目 2-17 ☎06-6363-1884
 技術部 :東京都港区芝公園芝パークビル B 館 ☎03-6402-8257

NETIS登録番号:KK-100049-A

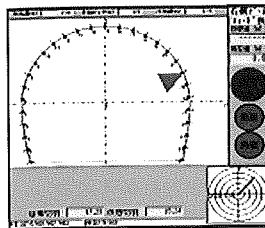
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

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

FRD 古河機械金属グループ
古河ロッドドリル株式会社

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3
特機部

TEL:03-3231-6966 FAX:03-3231-6993

日本で生まれ、世界へ広がる。 NATMの補助工法

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

スーパーSRFは「湧水地山においても水の白濁や泡立ちがなく確実に発泡固結し、湧水に流されることなく効果を発揮する」という他の樹脂系注入材にはない圧倒的な優位性があります。更に、多くの特許を取得しているため、他が追従できない商品です。

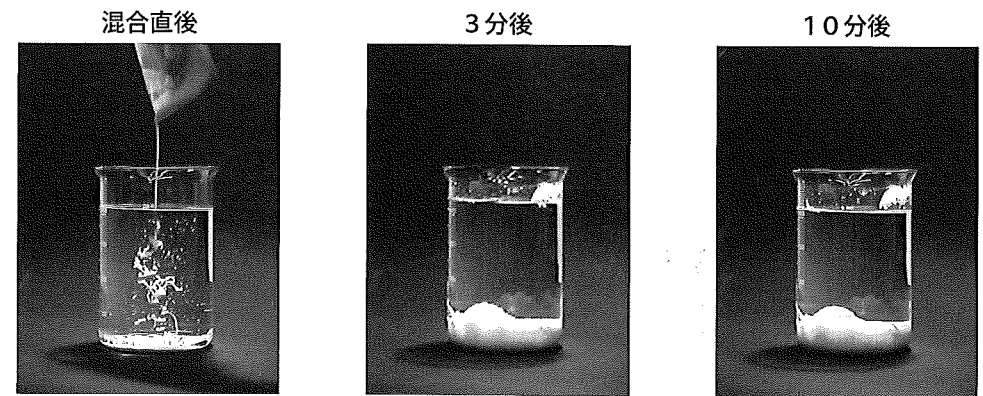
補助工法ラインナップ

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

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

スーパーSRFの優位性

スーパーSRFは、水に溶解、希釈することなく反応して発泡固結体を形成するため、湧水地山においても、水の白濁や泡立ちが発生せず、地山中に沈着し強固に結合するため、湧水に流されることなく卓越した効果を発揮します。これが他の樹脂系注入材には存在しない圧倒的な優位性であり、多くの特許を取得した「唯一無二」の技術です。



KATECS

株式会社 カテックス
建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.jp/>

技術部
TEL) 052-331-8821 FAX) 052-332-0164
東京支店
TEL) 03-3260-8321 FAX) 03-3266-1648
西日本統括(関西営業所)
TEL) 06-6578-3235 FAX) 06-6578-3237

中部営業部
TEL) 052-331-8821 FAX) 052-332-0164
東京支店(仙台事務所)
TEL) 022-344-6041 FAX) 022-344-6042
西日本統括(九州営業所)
TEL) 092-574-0856 FAX) 092-574-0846

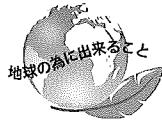
This May Debut

TAG Navi-V (換気自動制御)

Automatic Ventilation Control System

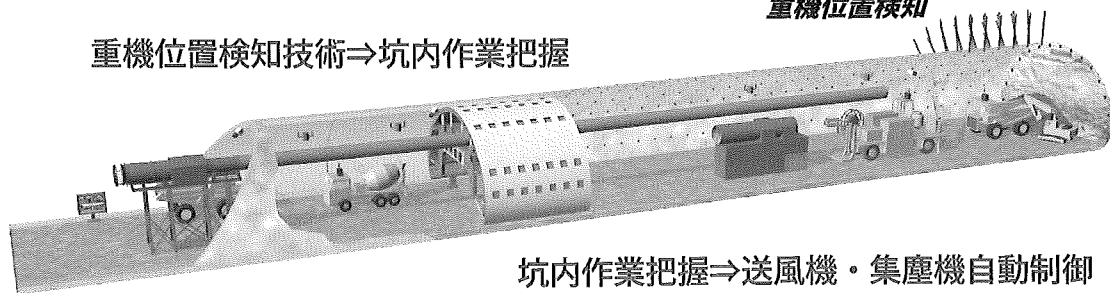
CYBER NATM

TAG Navi - V (換気自動制御)は坑内作業(削孔作業・ずり出し作業・吹付作業等)を切羽付近で自動検知し、作業データを坑外に設置しているコントラファンに無線伝送し、自動的にインバーター制御を行い、電気量とCO2排出削減を目標とする新しい省エネルギー換気システムです



重機位置検知

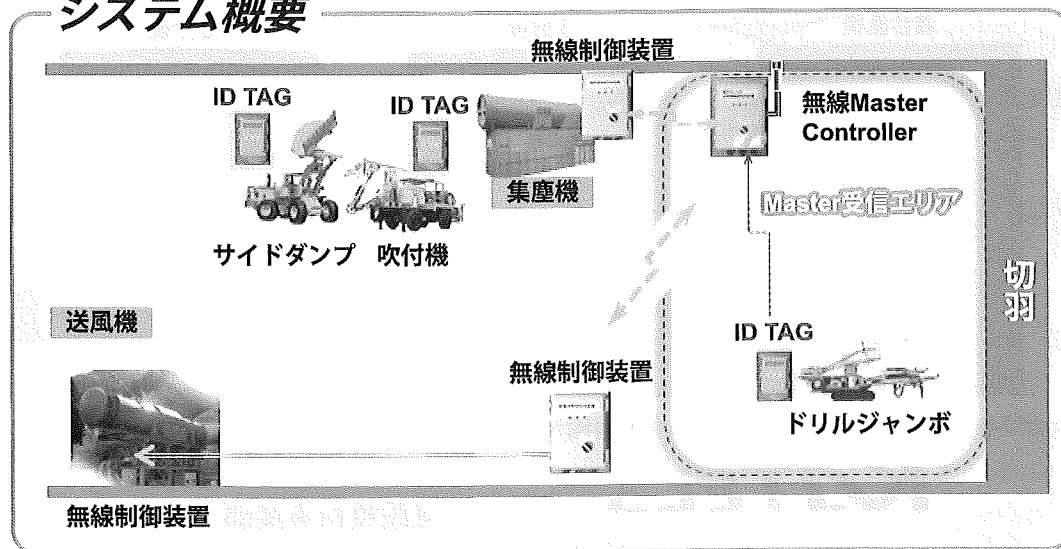
重機位置検知技術⇒坑内作業把握



坑内作業把握⇒送風機・集塵機自動制御

データ伝送・自動制御

システム概要



株式会社流機エンジニアリング

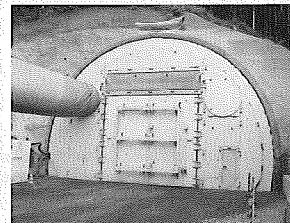
enzan koubou

株式会社 演算工房 ENZANKOUBOU CO., LTD.

■京都本社 〒602-8268 京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地3
TEL: 075-417-0100 FAX: 075-417-0200

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～



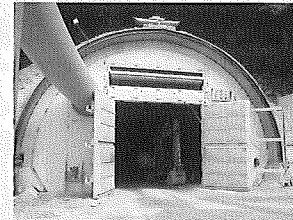
【防音扉】

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

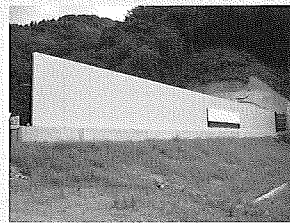
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	16 dB
2基設置	29 dB(A)	25 dB

『防音扉マークII 10c』の音響性能

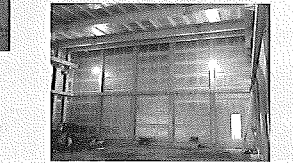
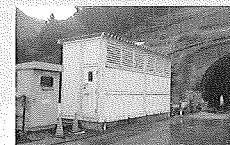
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	20 dB
2基設置	29 dB(A)	33 dB

『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】



Sタイプ(スタンダードタイプ)

Dタイプ(デラックスタイプ)

Hタイプ(ハイデラックスタイプ)



『防音パネルSタイプ』の音響性能

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

『防音パネルDタイプ』の音響性能

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

『防音パネルHタイプ』の音響性能

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

防音設備の設計、製造、施工、リース

株式会社ヒューズ

本社 〒132-0035 東京都江戸川区平井 6-35-5 TEL. 03-3617-8111 FAX. 03-3617-7565

大阪営業所 〒531-0072 大阪府大阪市北区豊崎 3-4-14 TEL. 06-6359-2611 FAX. 06-6359-2288

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

建設業登録：東京都知事許可(般-25)第130153号

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

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

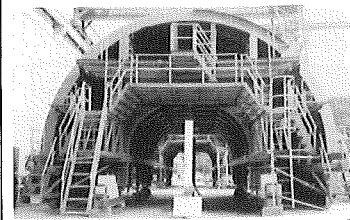


東和機電工業株式会社 かいた 穎田工場

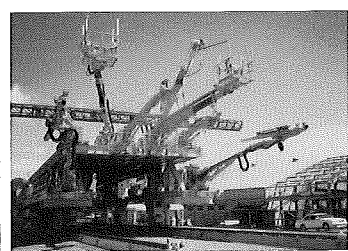
〒820-1111 福岡県飯塚市勢田^{せいた}2594番地の18
 電話：(09496)2-3500(代表)
 F A X：(09496)2-6310
 E-mail：info@towakiden.co.jp
 ホームページ http://www.towakiden.co.jp

道路・鉄道・水路トンネル用コンクリート型枠はもとより、
 各種鋼構造物の設計・製造をおこなっております。

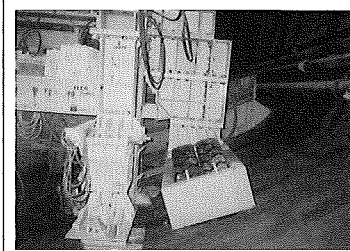
高流動コンクリート対応型
 全断面ステンレスフォーム



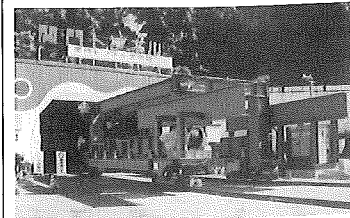
ワークステーション架台



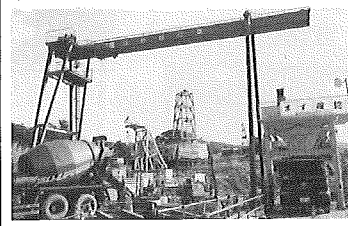
全輪タイヤ式インバート栈橋



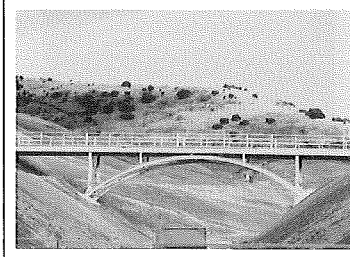
勾配対応全輪駆動式
 トンネル床版撤去架台



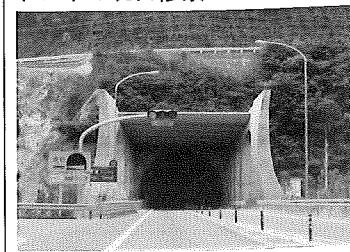
立坑ズリ出し設備
 (4.5t×60m)



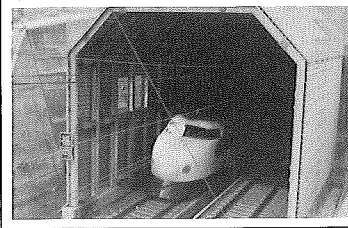
林道橋



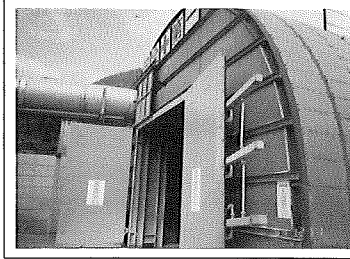
トンネル坑口修景ルーバー



新幹線微気圧伝播緩衝工
 (鋼製、総溶融亜鉛メッキ)



防音シェルター

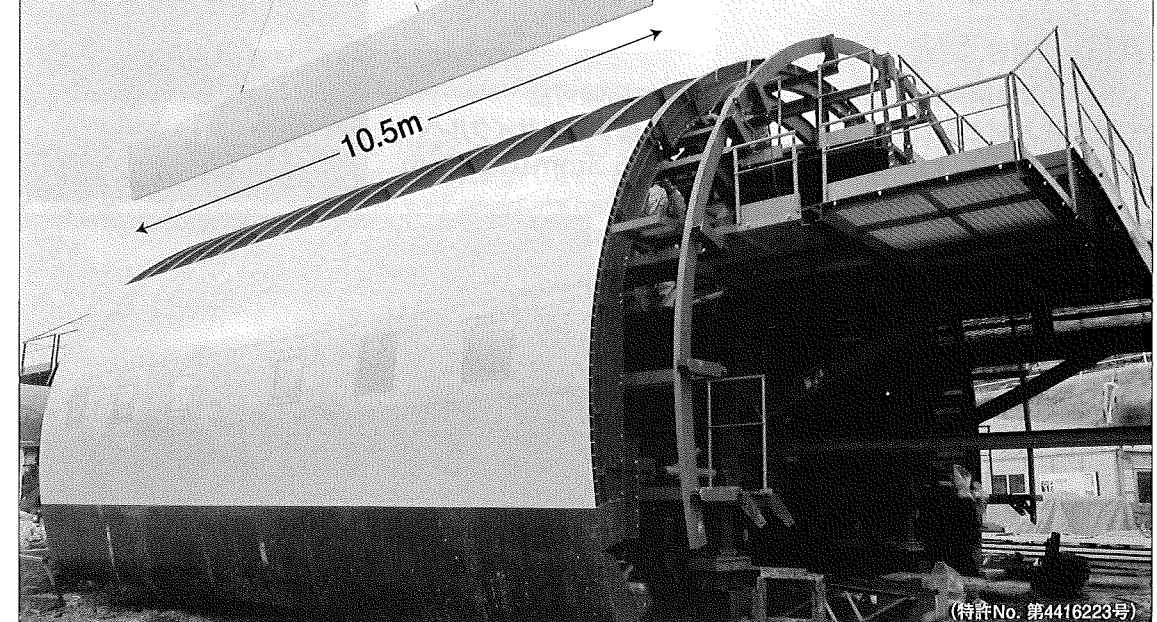


離島を含む九州一円中国四国圏内におきましては、
 地の利を生かした営業・打合せ・納品・対応を行ってまいります。

連続ベルコンを通過させるセントルにおいて、ベルコン側の懐を拡げるためにガントリーを偏芯させ高強度化することは、弊社の所有特許です。

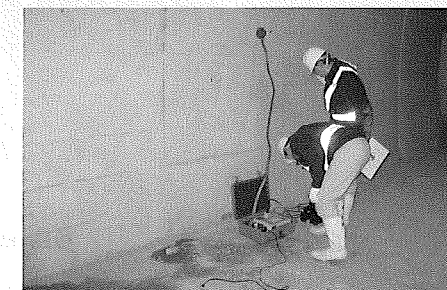
新着ニュース FRPセントルによる 覆工コンクリートの密実性を検証

初期養生FRPセントル ハイパーフォームG



(特許No. 第4416223号)

透気試験状況



国土交通省東北地方整備局が発注した東北中央自動車道(相馬～福島)の楯道トンネル工事(全長1,492.8m)において、トンネル全線(非常駐車帯部を除く)で採用したFRP製セントルと非常駐車帯部で使用した鋼製セントルで施工された覆工コンクリートの表層部分の透気係数を測定することにより、コンクリートの中性化速度係数が30%～50%程度低下し耐久性が大幅に向上する事が実証された。

国土交通省東北地方整備局楯道トンネル 側フジタ施工

特徴

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

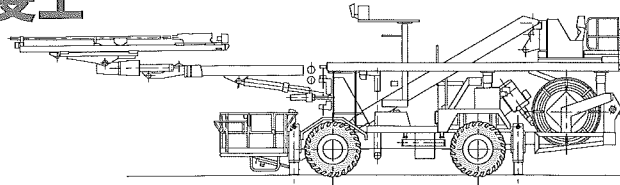
M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

■ 本社 〒553-0006 大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル TEL:06-6443-7060
 ■ 九州営業所 〒812-0011 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

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

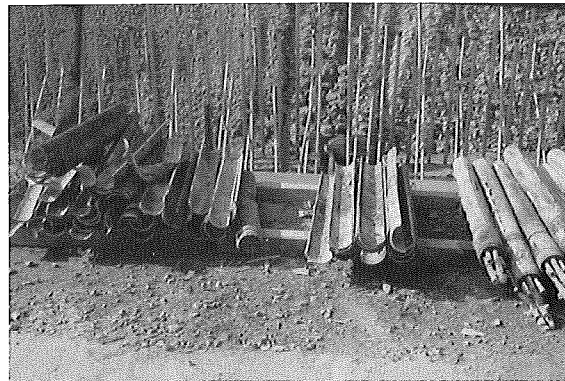
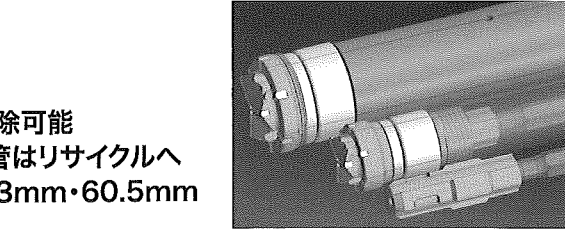
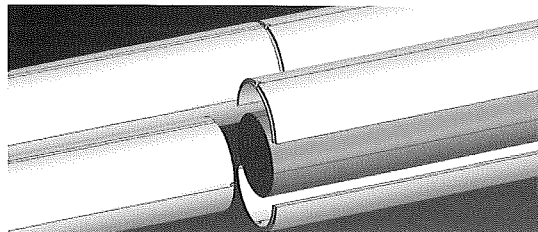
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



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。



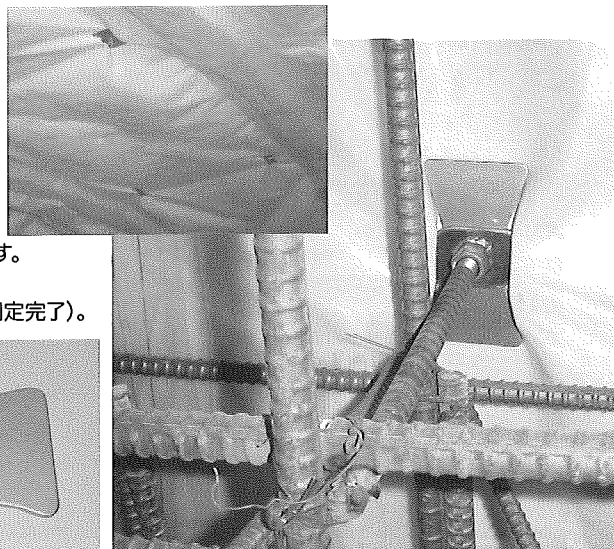
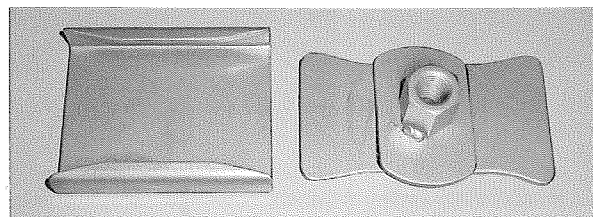
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリップ

- 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

- 支保工へ溶接したグリップに防水シートを当てます。
- 回転プレートを押込みます。
- ナットを回し、止め位置まで90度右回転します(固定完了)。



東邦金属株式会社 東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD

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

株式会社 トーキソール

〒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)

月刊推進技術

定期購読のご案内



定期購読料金 **12,337円** 1冊1,130円/月×12ヶ月(税・送料込)

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

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039 加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間購読料金12,337円(毎月1冊×12ヶ月 税・送料込)をお支払いください。

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

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

定期購読のお申し込み
右のQRコード
または本誌ホームページから



月刊推進技術 編集室

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

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201 株式会社LSプランニング内
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail akasaka@lswb.co.jp

推進工事技士試験 過去12年間(平成14~25年度)

試験問題と模範解答・解説集

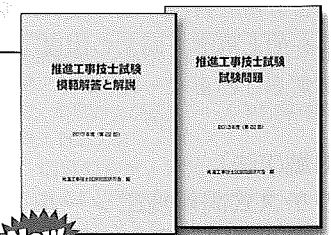
推進工事技士試験問題研究会編

推進工事技士試験は、推進工法に係わる技術、技能を適正に認定することを目的に(財)日本下水道管渠推進技術協会(現(公社)日本推進技術協会)が平成4年度より実施している制度で、管渠施工の安全性と品質を確保する上で有益な制度です。

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

New

平成25年度版発売中!!



1. 内容の特長

- 過去11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。

株式会社LSプランニング

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

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail oda@lswb.co.jp

好評発売中

多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判 141頁 本体価格2,500円



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

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

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

【掲載工法】

- ①ラチス式同時施工シールド工法、②F-NAVIシールド工法、③ハニカムセグメントを用いた同時施工法、④ロングジャッキ式同時施工シールド工法、⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法、⑥充填式シールド急曲線工法、⑦地下茎シールド工法、⑧T-BOSS工法、⑨球体シールド工法、⑩上向きシールド工法、⑪MMST工法、⑫拡大シールド工法、⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法、⑭ワギング・カッタ・シールド工法、⑮自由断面シールド工法、⑯OHM工法、⑰H&Vシールド工法、⑱単円～三連型駅シールド工法、⑲MFシールド工法、⑳DOT工法、㉑MSD工法、㉒親子シールド工法、㉓掘径シールド工法、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

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先

(株)土木工学社 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888 FAX: 03-3267-2807

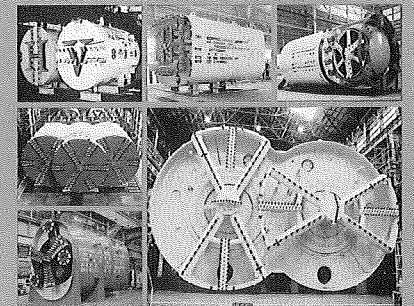
シールド トンネルの 新技術

シールドトンネルの新技术研究会 編

B5判 280頁 定価: 4,660円+税

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
代表 鈴木 章



土木工学社

進化を続けるシールド工法。その誕生から技術の変遷、将来の技術開発の動向までをまとめ、最先端の技術について理論と実際にいたるまで記載した。

豊富な設計・施工例を掲載し、応用のしやすい的確な解説を加えた好評の一冊。

主要目次

第1章 概説

- 1. シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性
シールド工法の歴史/わが国におけるシールド工法の歴史/今後の技術開発の方向性

第2章 調査・計画編

- 1. シールド工法の調査技術
シールド工事における調査の取り組み方/基本計画時の調査(予備調査)/設計時の調査(基本調査、詳細調査)/施工時の調査(確認調査、管理調査)/施工後の調査(追跡調査)
- 2. 断面および線形計画
断面および線形/鉄道用シールド/下水道用シールド/断面と線形における今後の展開
- 3. シールド機種の種類と選定
シールド機の構造と装備/現状のシールド機種の種類と選定方法
- 4. 新しいシールド工法
大断面化、大深度化、長距離化への展望

第3章 設計・施工編

- 1. 覆工
一次覆工の設計/二次覆工の設計と施工/シールドトンネルの防水技術
- 2. 立坑の設計と施工設備
立坑の設計と施工
- 3. 仮設備
仮設備の計画
- 4. シールド工事の自動化
掘進管理システム/方向制御システム/セグメント自動組み立てロボット/自動搬送システム/その他の自動化技術
- 5. 掘進と施工管理
シールド掘進と施工管理/シールド機の発進と到達/裏込め注入工法と注入効果/曲線施工と地中接合/補助工法の種類と選定
- 6. 近接施工と環境対策
近接工法と対策/アンダーピニングおよび支障物対策/シールド工事と環境対策
- 7. 新工法の現状と将来展望
自由断面シールド掘進(縦楕円断面)/

- 異形断面シールド/分岐・接合シールド/球体シールド(ホルン)工法/複円形、矩形および拡大シールドの開発動向/ECL工法
- 8. 切羽の安定と地盤変状防止
切羽安定の理論と実際/泥水式シールド工法の切羽安定/土圧式シールド工法の切羽安定/特殊条件下の切羽安定
- 9. 地盤変位の理論と実際
地盤変位の実態/地盤変位の予測解析

付録

- 1. セグメントの設計例
セグメントの設計例/外国の設計手法との比較/有限要素法を用いたシールド覆工設計例
- 2. 地盤変位予測解析手法の例
地盤変位の一般的性状/予測解析手法の例
- 3. シールド工事の施工計画
施工計画書とは/施工計画立案手順/シールド工事施工計画書の参考例

参考文献/索引

株式会社 土木工学社 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807 http://www.tunnel.ne.jp

トンネル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 氏

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)



GFRP ロックボルト

パワースレッド

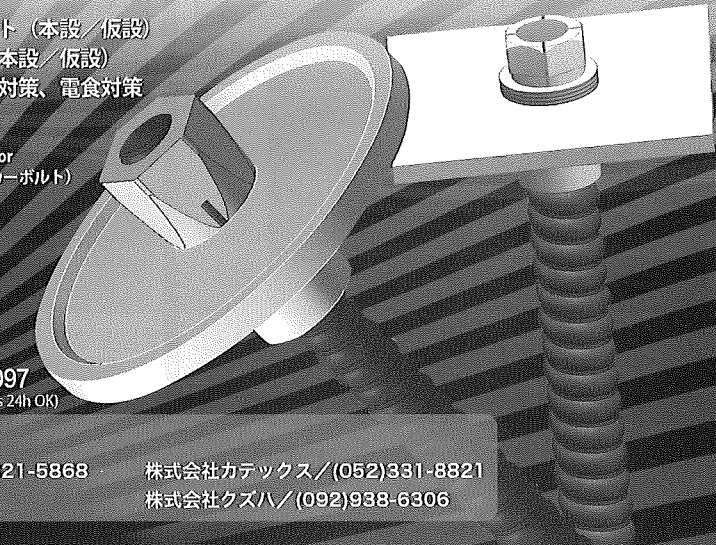
FiReP® POWERTHREAD

NETIS登録番号 CB-090005-A



- トンネル用ロックボルト (本設/仮設)
- 法面用ロックボルト (本設/仮設)
- 非磁性用途、酸性土壌対策、電食対策

姉妹品:
FiReP® POWERTHREAD-Anchor
(インバート鉄筋組立用アンカーボルト)



FiReP Rebar Japan 株式会社
(ファイレップ リバー ジャパン)
〒107-0052 東京都港区赤坂1-14-5
アーキヒルスエグゼクティブタワー S601
Email: sales@firep.co.jp
Web: http://jp.firepworld.com/

☎ 03-6459-1907 ☎ 080-1604-1097
営業: 佐川和矢 (365days 24h OK)

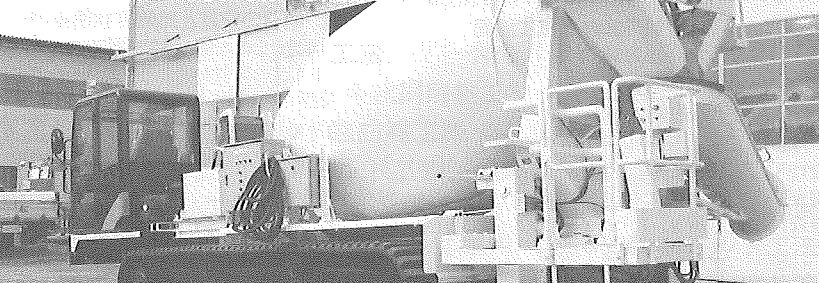
代理店

株式会社エイチ・オール・オー/(011)821-5868
合名会社菊川商店/(054)641-0033

株式会社カテックス/(052)331-8821
株式会社クズ八/(092)938-6306

ゴムクロ・ミキサー車

国土交通省排ガス2次トンネル工事専用指定



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

【仕様】		ゴムクロラ式ミキサー車 TGM-MR45T 上部ミキサー: カヤハ製 (混合容量4.5m³)	
全長	7,500mm	タンブラ中心間距離	3,870mm
全幅	2,690mm	クローラ全長	9,800mm
全高	3,620mm	クローラ幅	700mm
最低地上高	530mm		(100ピンチ×98リンク)
空車質量	11,000kg	セメント積載時質量	22,000kg
形式	三菱6D-TLE2B	定格出力	165kw/2,700min
排気量	7,545cc	最大トルク	700N・m/1,300min
速度1段	最大 7.6km/h		
速度2段	最大 20.0km/h		
空車時接地圧	20kpa	積載時接地圧	40kpa

【TGM-MR45T II 仕様】

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

T&M

Tunnel & Mining

ニシオティアンドエム株式会社

山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業

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

〒569-0836
大阪府高槻市唐崎西2-26-1

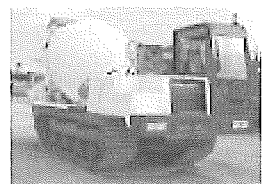
■北海道営業所
tel: 0133-72-3715
fax: 0133-72-3716

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

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

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

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



スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献!

立坑スリップフォーム工法

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

立坑スリップフォーム工法
コンクリート投入装置
立坑外壁
鉄筋
新しく投入したコンクリート
硬化したコンクリート壁
ジャッキアップ作業機
スライド型枠
センターホールジャッキ内の上下2箇所の爪がロッドをつかんで、装置全体をスライドアップします。
配筋、コンクリート打設
鉄筋、支持ロッド接合→作業床上昇

シールドマシン・TBMアップダウン

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

シールドマシン・TBMアップダウン
ステップロッド
地下鉄シールドマシンのリフトアップ (東京メトロ副都心線工事)
面が決め手滑らない
滑らない
よじれない
ダブルロックで安全確保
1,950トンのTBMリフトアップ (飛騨トンネル工事)
2%勾配で据付
ジャッキ
ステップロッド

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

JFE シビル 株式会社
JFE 都市基盤営業部 特殊工法グループ

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

VOLVO 建設機械

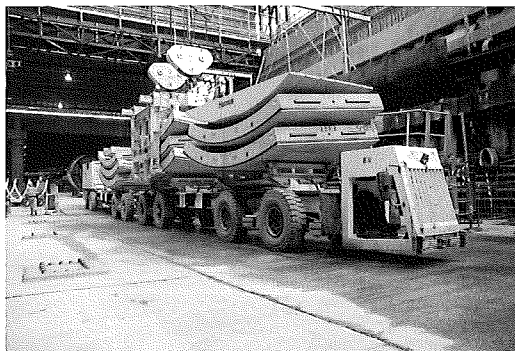
高い作業性とクールなデザインが人気
年々強化される排ガス規制にも対応



ボルボ事業部 担当：浅野
TEL0538-66-1215 FAX0538-66-6162

TMS Techni-Metal Systèmes

多目的運搬台車
4次オフロード法取得 レールからの解放



TMS 社 日本総代理店
担当：渡邊



山崎マシーナリー株式会社

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

コストダウンを可能にする Kリング・Kプレート

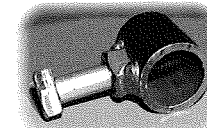
施工方法等詳細については下記までご連絡ください

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

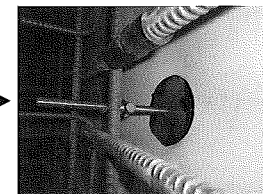
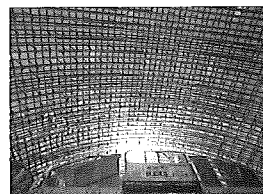
①アーチ鉄筋組立金物 (Kリング) 特許出願中 (特願 2001-309314 号)

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。



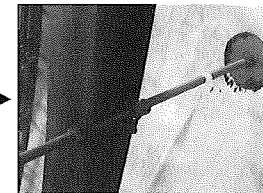
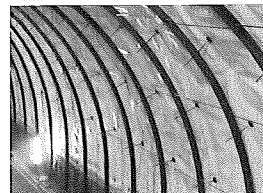
②トンネル覆工鉄筋防水シート接着ジベル筋組立 (Kプレート)

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。

トンネル進捗率改善の
ための最新技術



明かりが見えます



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

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

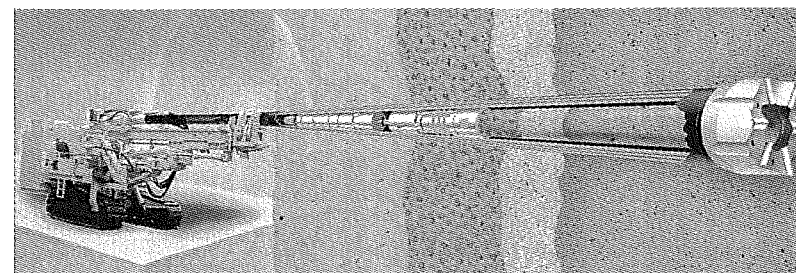
これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership (パートナーシップの力)」です。

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

ORICA
MINING
SERVICES

トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■ 特長

①断層破砕帯や湧水をとまらぬ難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行え、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 鉦研五業株式会社

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

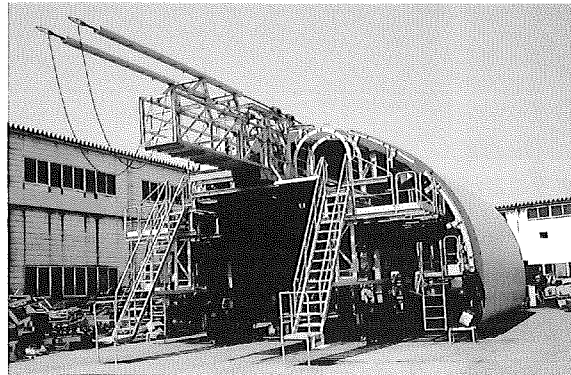
http://www.koken-boring.co.jp

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-V

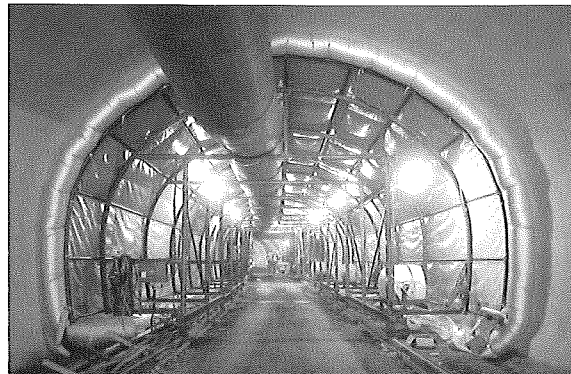


期待される効果・特徴

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

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-A (製造:株式会社マシノ)



期待される効果・特徴

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

北陸鋼産株式会社

(旧社名 株式会社 佐賀)

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

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

滑川工場: TEL076(476)0333 FAX076(475)9121 東北営業所・工場: TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423
東京支店: TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789 大阪支店: TEL06(4963)3520 FAX06(4963)3521

濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0 m³/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

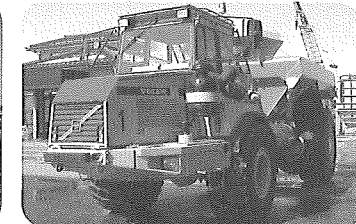
【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

＜汎用車両全般＞



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



10T ミキサー



4.5 m³ 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

施工と管理はつながるのか

望月 常好5

■小特集

アジアとヨーロッパを結ぶ夢のプロジェクト完成

—ボスポラス海峡横断鉄道トンネル(総集編)—

概要編

土屋 正彦・山本 平・大塚 勇7

沈埋トンネル編

小山 文男・中塚 健司・木村 政俊13

TBMトンネル編

今石 尚・日比谷 穰・湯上 繁信24

山岳トンネル編

岩野 政浩・小林 伸次・金子 哲也33

■研究

変状トンネルの覆工内面補強設計に用いる解析モデル化手法の提案

蔣 宇静・東 幸宏・谷口 颯士・古賀 大陸69

■施工

蛇紋岩を鋼製支保工の降伏を許容した支保構造により掘削

—国道40号 音威子府トンネル—

掛田 浩司・橋本 忠幸・山岸 隆史・北村 義宜43

1 kmにわたる高水圧砂礫層をφ10.8mの大断面シールドで掘進

—東京都建設局 白子川地下調節池—

渡辺 修・立澤 延泰・土橋 功・新井 昌一53

■連載講座

トンネルの維持管理における課題とさまざまな取組み(2)

—具体的な維持管理上の課題と対策事例—

JTA保守管理小委員会79

■現場だより

「海と温泉のリゾート」南紀白浜町から

岩本 俊一42

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

インフラ整備に生きて

井上 博務61

■資料

土木情報

編集部78

工法・技術・製品ニュース

編集部87

トンネルジャーナル

編集部86

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会88

■会報

会報

日本トンネル技術協会89

【表紙説明】

小特集：アジアとヨーロッパを結ぶ夢のプロジェクト完成

—ボスポラス海峡横断鉄道トンネル(総集編)—



本トンネルは、トルコ共和国のボスポラス海峡を横断する総延長13.6kmの海峡横断トンネルである。同トンネルは、海峡部の沈埋トンネル、陸上部のシールドトンネル、岩盤内地下駅や上下線渡り区間の山岳トンネルの3つのトンネル工法が同時施工された。工事は、世界最深の沈埋函設置作業、世界初の立坑を介さない沈埋トンネルとシールドトンネルの海底下接合作業、脆弱な建物が密集する市街地下でのNATM情報化施工など技術的な難易度の高いものであった。写真は、ブルーモスクを背景にしたボスポラス海峡の夜景である。 [写真提供：大成建設(株)] (本文7頁参照)

温泉とは？ 温泉の有効利用は？ この1冊であなたの疑問を解決します!!

続 きみの庭にも温泉が出る
 その後の温泉開発と建設の考え方
 石井 康夫・俣野 恭寛 共著
 新書判217頁 本体価格1,200円(税込1,296円)

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

お申し込みは当社へFAX, または、お近くの書店にてお申し込みください

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

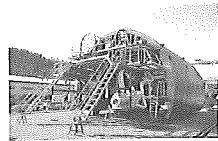
管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

コンクリートトータル養生システム

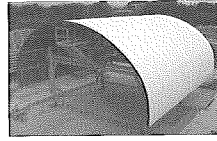
セントル型枠

加温しながら初期強度を上げる
加温養生（型枠）



第二養生

加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



第三養生

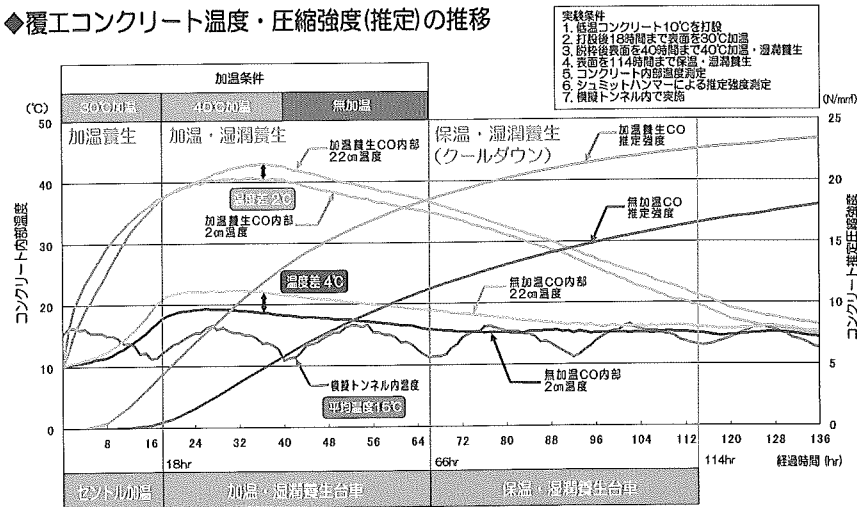
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

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

【製作・販売協力】

TECHNO
テクノプロ株式会社

TOUKOU
株式会社 東 宏

総務委員会広報小委員会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

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

〔幹 事〕

居 相 好 信 株式会社大林組生産技術本部統括部長	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	西 岡 和 則 鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部 トンネルグループ長
大 津 敏 郎 株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部 トンネル専門主幹	長谷川 雅 彦 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長
荻 野 竹 敏 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 改良建設企画課長	藤 井 義 文 株式会社竹中土木執行役員
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長	松 原 利 之 飛鳥建設株式会社建設事業本部 エンジニアリング事業推進部長
小 松 敏 彦 前田建設工業株式会社土木事業本部土木部 トンネルグループ長	吉 富 幸 雄 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル室参与

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW
総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ10.5m（ケーブルハンガーを除く）
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.0m
- ・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

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

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

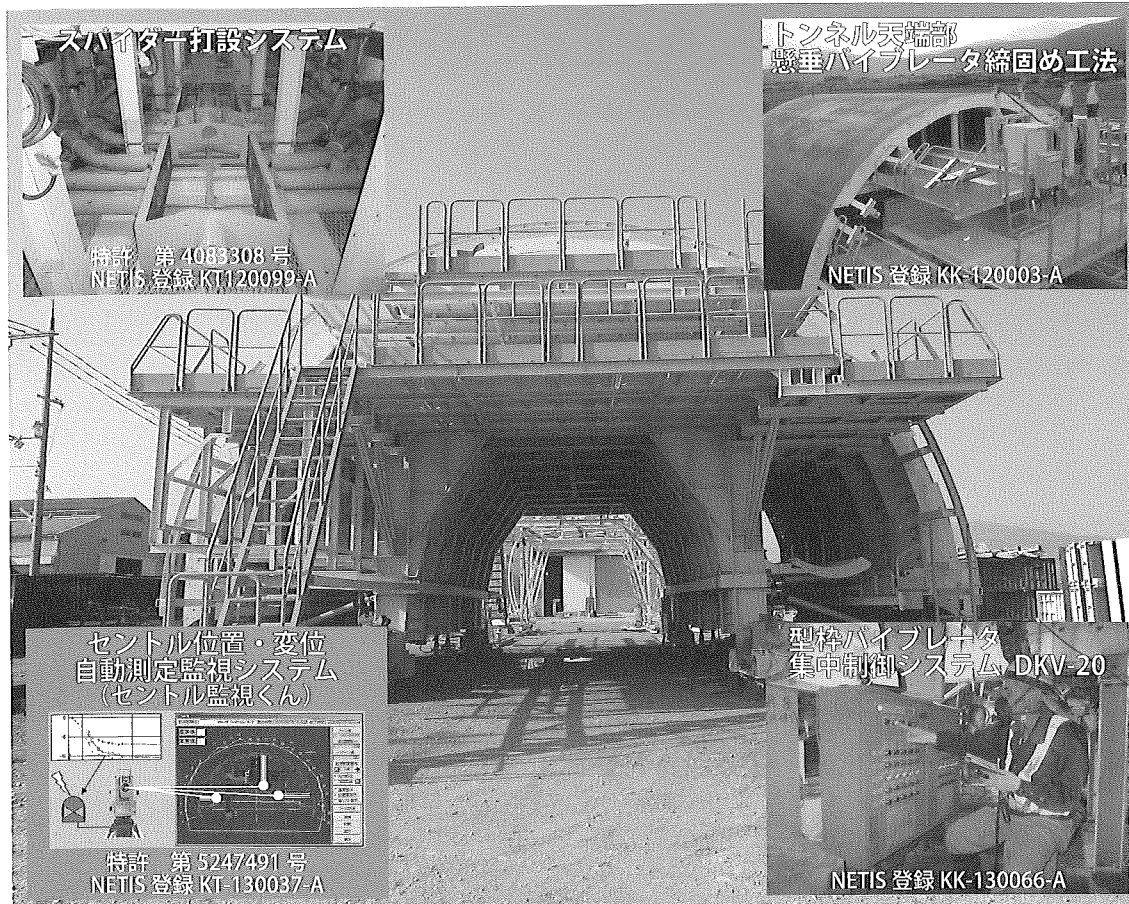
〔編集参与〕

木谷 日出男 国際航業株式会社フェロー技術開発センター
地盤研究室長
小山 幸則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授
今田 徹 東京都立大学名誉教授
高橋 良文 東京都下水道サービス株式会社専務取締役
三浦 克 株式会社竹中土木常務執行役員

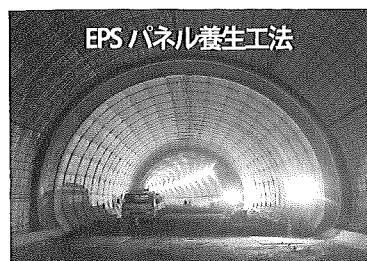
〔委員〕

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
亀山 勝 東京地下鉄株式会社鉄道本部鉄道統括部
移動円滑化設備整備促進担当課長
佐原 圭介 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社建設工事部兼設備部
構造技術センター次長
高田 武 東京都水道局建設部工務課長
高橋 晃 東京電力株式会社パワーグリッド・カンパニー
工務部流通土木グループマネージャー
谷内 雅之 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
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
柳 雄 東京都下水道局建設部設計調整課長

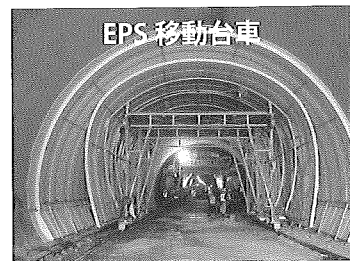
トンネル二次覆工型枠総合メーカー



新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



EPS パネル養生工法



EPS 移動台車

EPS パネルの保温性、保湿性が効く

実績および計画		
施主	実績	計画中
国土交通省	27	1
NEXCO	6	1
地方自治体	14	3
鉄道・運輸機構	1	0

平成25年12月1日 現在

実施権許諾第 10396 号
NETIS 登録 (No.CB-090003-A)

一歩前進! ~限らない未来への挑戦~

 **大栄工機株式会社**

本社 〒526-0842 滋賀県長浜市春近町 90 番地 TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765
URL <http://www.daieikouki.co.jp/> E-Mail: daiei-co@minos.ocn.ne.jp
営業品目 各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売 ※詳しくはホームページを御覧ください

トンネルと地下 VOL.45 No.4 掲載概要

掲載頁
7

小特集：アジアとヨーロッパを結ぶ夢のプロジェクト完成
—ボスポラス海峡横断鉄道トンネル(総集編)—

大成建設(株) 岩野 政浩

本プロジェクトは、東京都とほぼ同じ人口(約1,300万人)を抱えるトルコ共和国・イスタンブール市の交通渋滞およびこれに起因する大気汚染の解消を目的とした、総延長13.6kmの海峡横断地下鉄建設工事である。

本工事では、海峡部の沈埋トンネル、陸上部のシールドトンネル、岩盤内地下駅や上下線渡り区間の山岳トンネルの3つのトンネル工法が同時施工された。

工事は世界最深の沈埋函設置作業、世界初の立坑を介さない沈埋トンネルとシールドトンネルの海底下接合作業、脆弱な建物が密集する市街地下でのNATM情報化施工など技術的な難易度の高いものである。

本稿ではプロジェクトの概要および特筆すべき技術を中心として各トンネルの施工について報告する。

Special Topic: Completion of the Dream Tunnel that Links Europe and Asia—Bosphorus Strait Rail Tunnel (Summary)—

By Masahiro Iwano, Taisei Corporation

This project consisted of the construction of a 13.6 km sub-sea railway tunnel with the aim of alleviating traffic congestion and air pollution caused by this in Istanbul, Turkey which has a similar population to that of Tokyo (approx. 13 million).

The tunnel was built in parallel with three tunneling methods: submerged tunnel under the Strait, shield tunnels under the land surface and NATM tunnels for the underground stations in the bedrock and crossovers of in- and out-bound.

The construction works were very technically difficult including work to place the world's deepest submerged tunnel elements, world's first work to connect the submerged tunnel and shield tunnels under the sea bottom and computerized NATM underneath an urban area dense with fragile buildings.

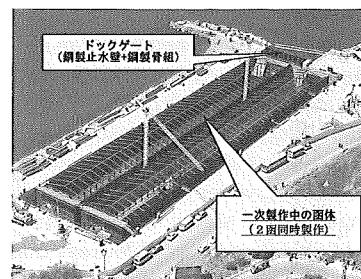
This report contains an outline of the project and techniques worthy of special mention for each tunnel works.



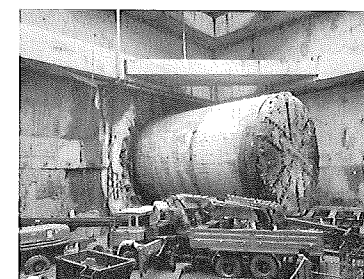
ボスポラス海峡横断鉄道トンネル路線



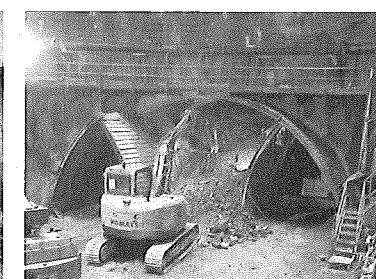
開通式典での記念列車



ドライドック内函体製作状況



TBM引出完了

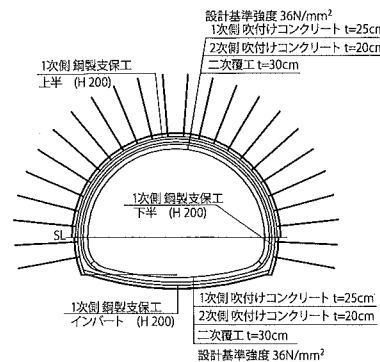


西換気兼接続通路トンネル施工状況

音威子府トンネルは蛇紋岩区間の土かぶりがおおむね200m以上と大きいことから、塑性変形による著しい土圧が作用して、トンネル支保工が降伏する可能性が見られた。そこで鋼製支保工応力が降伏応力を超えて剛性が低下し、吹付けコンクリートおよび周辺地山に荷重が再分配される状況を模擬するトンネル掘削解析プログラムを開発し、これを用いた掘削解析を通じて土かぶり地山の変形係数に応じたもっとも合理的な支保パターンを選定できる仕組みを構築した。本稿では開発したプログラムの紹介および構築した支保パターンの選定方法を概説するとともに、蛇紋岩区間の施工結果について報告する。

Dig in Serpentine using Steel Support Allowed to Yield—Otoineppu Tunnel, National Route 40—

By Koji Kakeda, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism



図は蛇紋岩区間の開始位置に適用した支保パターン

The excavating works of Otoineppu Tunnel along in the serpentine was predicted that there was a possibility that the tunnel steel supports would yield by considerable earth pressure due to plastic deformation, as the overburden of the section is over 200 m. Accordingly, we developed a tunnel excavation analysis program that simulates situations in which rigidity reduces as the steel supports yield and load is redistributed to the concrete lining and the surrounding ground. We created a framework which makes it possible to select the most rational support pattern that corresponds to overburden depth and deformation coefficient of ground through excavation analysis with the program. This report contains an introduction to the program, an outline of the support pattern selection framework that was constructed as well as the construction results for the serpentine section.

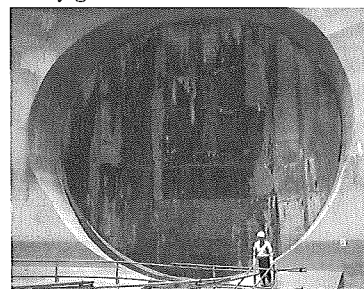
白子川地下調節池は、白子川における1時間50mmの降雨に対応する、延長約3.2km、内径10mのトンネル式地下調節池である。本シールド工事は大断面・高水圧・長距離に加え、延長1km以上に及ぶ砂礫層掘進、高水圧下の到達などの過酷な条件での施工であったため、排泥管の厚肉化、仮壁切削工法および水中到達工法の採用などの対策を講じていた。しかし、想定外の礫量排出による泥水輸送設備の損耗や仮壁部材によるポンプ閉塞など度重なる課題が発生した。これらの課題に対して、発注者・受注業者・関連業者が一体となって乗り越えることができた。あわせて、適切な施工管理のもと、周辺環境へ影響を与えることなく、またトンネル構造物の品質を確保し、安全かつ早期に工事を完成させることができた。

本稿では、シールド工事の概要および施工実績について報告する。

φ10.8 m Shield TBM Driving 1 km Long under High Water Pressure in Sandy Gravel— Shirakogawa Underground Retention Basin, Bureau of Construction, Tokyo Metropolitan Government, —

By Osamu Watanabe, Forth Construction Office, Tokyo Metropolitan Government

The Shirakogawa Underground Retention Basin is a tunnel-type structure with an inner diameter of 10 m and a length of approx. 3.2 km that allow with 50 mm/h rainfall in the Shirakogawa basin. As the construction conditions are harsh such as large tunnel crosssection, high water pressure, long distance, driving TBM in sandy gravel of more than 1 km long and arrival at the shaft under high water pressure, we took measures such as thickening slurry transportation pipes and installing cuttable material as temporary wall of the arrival shaft and underwater arrival technique. However, problems such as the damages of the slurry transportation facilities due to an unexpected volume of gravel and pump blockage due to cuttable wall materials. The client and the main and sub-contractors worked together to overcome these issues. In response, based on appropriate construction management and without affecting the surrounding environment, we completed the works safely and ahead of schedule, ensuring the quality of the tunnel structure.



写真は発進坑口

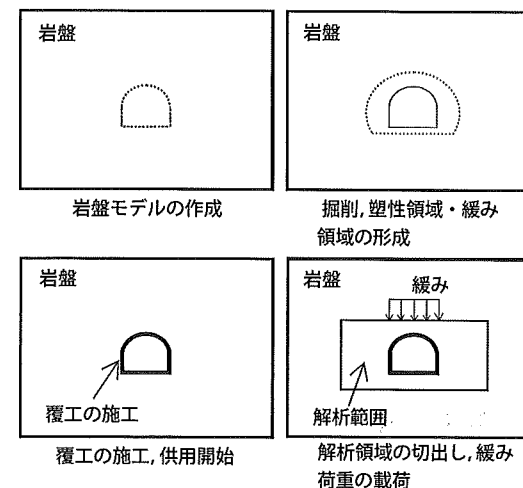
This report contains an outline of shield works and construction results.

近年、供用後40年以上も経過したトンネル構造物が増加しており、その維持管理が急務となっている。とくに矢板工法により施工されたトンネルの多くは覆工の背面に空洞を有しており、近接施工や時間経過に伴う周辺岩盤内の緩み圧・塑性圧の増大により、剥落や岩塊崩落などにつながる可能性がある。このようなトンネルの補強設計においては覆工をフレームで、周辺地山を地盤バネでモデル化する骨組み構造解析が一般的に用いられている。しかし、骨組み構造解析では地山と覆工との相互作用を考慮できない欠点がある。そこで、本稿では緩み圧の作用による覆工の安定性への影響を考察できる数値解析モデル化手法を提案する。また、近年高性能トンネル補強材として用いられているFRPグリッドによる補強工法を対象として、緩み圧に対する補強効果と適用条件を有限差分法解析により解明し、考察を加える。

Analytical Modelling Method used for the Design of Reinforcement on Lining Surface of Deformed Tunnels

By Jiang Yujing, Nagasaki University

In recent years, the number of tunnel structures that have been in service for 40 years or more has been increasing and maintenance of these is becoming urgent task. In particular, many tunnels constructed with the timbering support technique have voids behind the lining and it is possible that this may lead to spalling or rock collapse due to an increase in loosening ground pressure / plastic ground pressure in the surrounding bedrock that comes from tunneling close by or the passage of time. In design of reinforcement for this kind of tunnel, frame model analysis that ground reaction is modeled as soil spring usually used. However, a disadvantage of frame model analysis is that it is not possible to take the mutual action of ground and lining into account. Therefore, this report proposes a numerical analysis modelling method that makes it possible to consider the stability of lining under loosening earth pressure. In addition, I clarified and investigated reinforcement effect and applicable conditions of lining reinforcement with the FRP grid that has been used in recent years as a high performance material for tunnel reinforcement using finite difference method.



図は解析モデルの作成イメージ

施工と管理はつながるのか



五洋建設(株)専務執行役員
望月常好

この正月休みに平山復二郎氏の『トンネル』(現代語訳)を読ませていただきました。トンネルの施工にまったくの素人である私にとってたいへん興味深く、またずいぶんと細部にわたって良くご存知なのだなあと感心しました。海外の施工事例についても当時の最新技術を多数収集しておられたようです。

その後、トンネルの設計理論や施工技術は急速に進化しました。NATMの考え方が導入され、大規模な機械化施工が可能になって、平山氏がかつて望んだ状況がほぼ実現したのではないかとこのうふうにも感じられます。

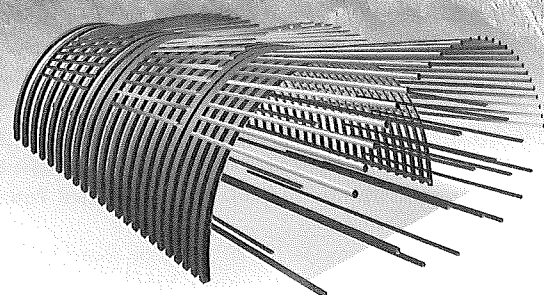
とは言え、現在でも未だに経験工学と言われることもあるようです。NATM理論にもいろいろと異論があるようですし、それ以前に、そもそも地山の状況が十分にはわからない状態で施工に入ることから、突発する事態にいかに対処するかが技術者の腕の見せどころだとも言われています。

一方、一昨年末の笹子トンネル事故が契機となって老朽化対策の重要性が広く理解されるようになりました。この事故以前からも関係者の間では老朽化対策や維持管理の重要性は強く認識され、橋梁を中心に個々の構造物の老朽化状況を把握しながらこれを一般化し、診断・補修技術の蓄積が進められてきました。土木研究所のCAESARがその中心的な役割を担っていることは皆様もよくご存知のことと思います。

ところで、トンネルについてはどこに焦点が当てられているのでしょうか。もちろん、笹子トンネル事故の原因となったトンネル本体以外の構造物の診断・補修に力が入っていますが、トンネル本体の方はどうかというと、経時的に劣化するという傾向が見当たらない場合がほとんどでなかなか難しく¹⁾、矢板工法の既設トンネルについて盤ぶくれが生じた後の観察・計測と分析が進められている段階²⁾のようです。

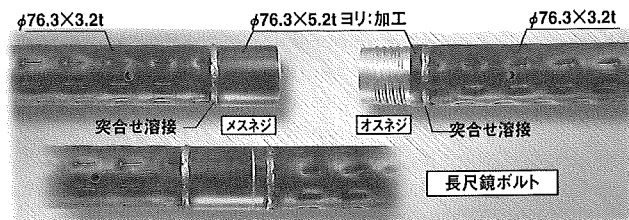
ところで、この正月に読ませていただいた資料の中にジェオフロンテ研究会が作成した若手技術者向けの写真集もありました。ここで、どうも違和感を覚えたのです。枠囲

ユニークな発想でVEを提案



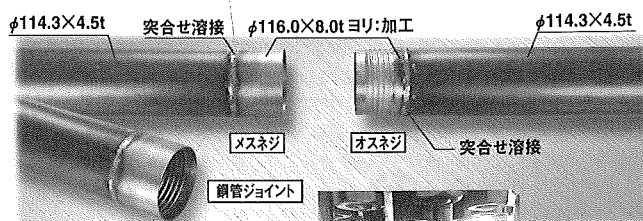
ストロング
FIXチューブ(S型)

- ※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!

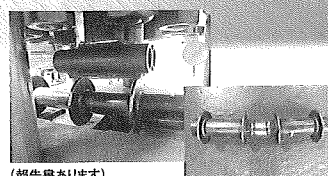


AGF-STD工法

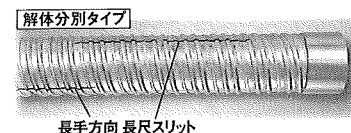
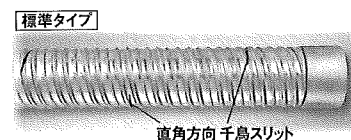
- ※軽量化による作業性とねじ強度の改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



曲げ耐力30%UP!!



撤去管の選択



STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングピッチ
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

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

STE
エステ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

いになっている施工管理の通則には「必要な施工情報を保管し、維持管理に反映させる」とあるものの、施工中の観察・計測の項ではその気配が感じられません。一方、維持・管理の項では、これとは脈絡なく打音検査などの写真が掲げられています。どうも施工と管理に一線を画して別物として取り扱っているように感じられました。昨年末に取りまとめられた維持管理・更新のあり方に関する答申³⁾の中にも「新設時において作成した施設に係るデータの維持管理・更新への活用促進……についての検討を行う」と記述されていますから、これからの課題ということなのかもしれません。

突発事態にいかに対処するかが技術者の腕の見せどころなのでしたら、どの箇所でもんな課題があり、どのような対処をしたのか、残る懸念は何なのか、将来それを確認するにはどんなことが必要になるのか、といった施工時の情報こそ管理に役立つのではないのでしょうか。少ない人員で作るうえに数多くの課題に対応しなければならない、工期を守る必要にもせられる、利益も出さなくてはならない、もちろん工事の安全は第一の課題だ、といった状況下で、なかなか管理のことまで気が回らないのが実態なのかもしれません。工事を見学させていただいたある現場でもそんな感じを受けました。

NATM以降の新しいトンネルについても今のうちに管理の課題や診断方法などを体系的に整備していったらどうかなどと思ってしまう。施工時の情報をどのように的確に管理者に伝えるか、もし可能なら施工時の計測システムを管理にも活かさないか、など具体策を考えてみる価値はあるように思います。こうしたことを通じて技術は更に進化するのではないのでしょうか。

素人の“感じ”に過ぎません。プロの方々のご叱責をいただければ幸いです。

- 1) 玉越隆史・横井芳輝：橋梁以外の道路構造物(土工・舗装・トンネル)のアセットマネジメント体系の構築に向けた取組み，土木技術資料，2013.12.
- 2) 砂金伸治・真下英人・石村利明：現地計測に基づく既設トンネルの変状の進行に関する考察，土木技術資料，2013.12.
- 3) 社会資本整備審議会・交通政策審議会：今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について答申，2013.12.

小特集

アジアとヨーロッパを結ぶ 夢のプロジェクト完成

ボスポラス海峡横断鉄道トンネル(総集編)

概要編

大成建設(株)国際支店トルコ・ボスポラス海峡横断鉄道建設工事作業所所長(設計担当)
(現)大成建設(株)土木本部土木設計部部長，設計計画室長

土屋正彦

大成建設(株)国際支店トルコ・ボスポラス海峡横断鉄道建設工事作業所課長(設計担当)
(現)大成建設(株)土木本部土木設計部陸上設計室長

山本平

大成建設(株)国際支店トルコ・ボスポラス海峡横断鉄道建設工事作業所課長(設計担当)
(現)大成建設(株)国際支店トルコ・ボスポラス海峡横断鉄道建設工事作業所課長(設計担当)

大塚勇

はじめに

東西文明の十字路として世界史を彩り、近年は急成長を遂げる新興経済国として注目されるトルコ共和国のボスポラス海峡はトルコ第一の商都であるイスタンブールを東西に隔て、北の黒海から南のマルマラ海へと流れる長さ約30kmの海峡である。この海峡を隔てての旅客輸送・物流は長らく2本の道路橋が頼みの綱であったが、その容量はすでに逼迫し、慢性的交通渋滞と大気汚染、騒音公害などを引き起こしていた。このため、自動車から鉄道へのモーダルシフトによる交通渋滞の緩和と大気汚染の抑制、さらにはヨーロッパとアジアを鉄道で結ぶことによる物流の活性化が引き起こす経済発展を目的として海峡横断鉄道が必要とされていた。

その一方で、鉄道による海峡横断はトルコの150年前からの悲願¹⁾であったが、急潮流と大水深などボスポラス海峡の特殊性に因むさまざまな

建設技術上の課題を克服できず実現に至らなかった。このようななか、海峡横断トンネルが日本の資金援助と建設技術によって完成し、トルコ共和国90周年にあたる2013年10月29日から最新式の地下鉄が走り始めた。1時間に上下線150,000人の輸送力を誇るこの地下鉄は、交通渋滞に悩まされてきたイスタンブールの人々の暮らしを大きく変えるに違いない。

以下では、海峡横断トンネルの概要とその施工について紹介する。

2 プロジェクトの概要

プロジェクト全体は「マルマライ計画」(トルコ語で「マルマラ海+鉄道」を表す造語)と呼ばれ、マルマラ海沿いの鉄道を近代化し、海峡下をトンネルで結ぶ全長76kmの鉄道整備計画²⁾である。大成建設とトルコ企業であるGama社・Nurol社との共同企業体は、このうちカズリチェシュメからボスポラス海峡下を通過しアイリクチェシュ

メに通じる延長13.6kmの海峡横断トンネルの設計・施工²⁾を行った(図-1, 2).

プロジェクトの主な概要は以下のとおりである。

発注者：トルコ共和国運輸省、鉄道・港湾・空港建設総局

施工者：大成建設・Gama・Nurol 共同企業体

発注者代理人：オリエンタルコンサルタンツ・

日本コンサルタンツ・Yukusel Proje 共同企業体

資金調達：国際協力機構(JICA)環境円借款

契約工期：(当初)2004年8月27日～

2009年4月28日

(変更)2004年8月27日～

2013年10月28日

契約金額：(当初)1,023億円(円建て、暫定工事金額含む)

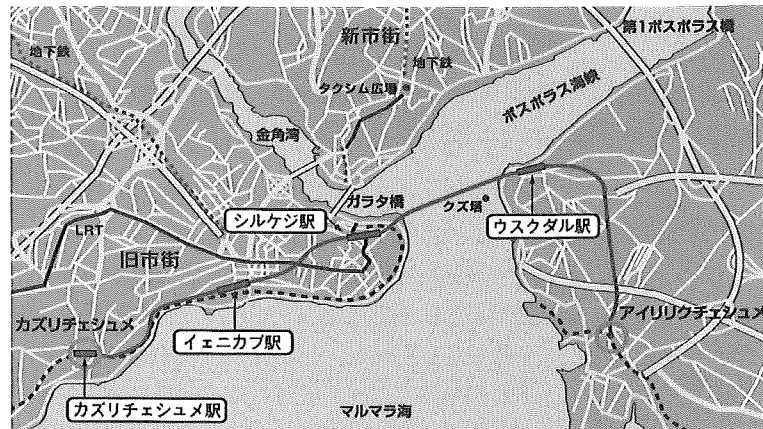


図-1 路線平面図

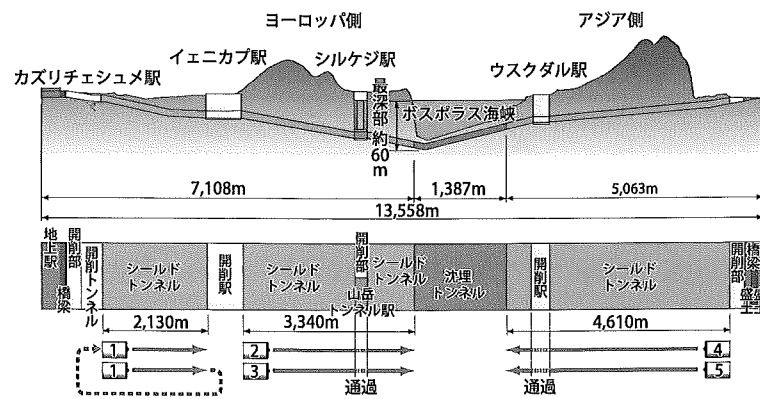


図-2 路線縦断模式図

(変更)物価変動などによる価格調整
項目の追加

契約工事範囲：

以下に示す土木・建築・機械・設備にかかわる設計・施工であり、関係機関の設計承認取得、他工事との設計・施工調整などの一切を含む。

- ・トンネルおよび開削区間：沈埋トンネル(海峡部)、シールドトンネル(陸上部)、山岳トンネル(上下渡線、上下線連絡通路)、土工
- ・地上駅舎：カズリチェシュメ駅
- ・地下駅舎：ウスクダル駅(開削)、シルケジ駅(山岳工法+一部開削)、イエニカブ駅(開削)
- ・軌道敷設
- ・緊急避難通路：シルケジ駅避難トンネル、ウスクダル駅舎内に構築

- ・換気建屋：トンネル坑口2か所、イエニカブ
- ・道路橋、鉄道橋
- ・建築工事(駅舎の内外装、天井、床仕上げ)
- ・機械・設備工事：電気・空調設備、消火設備、乗客移動設備ほか
- ・埋蔵遺跡調査

契約はEPC(Engineering, Procurement, Construction)契約で、設計手法や施工方法および調達手段の原則は「施主の要求事項」という契約書類に盛り込まれている。

2-1 トンネルの概要

施工区間のうち11km区間にシールド・沈埋・山岳トンネルの各工法でトンネルが建設された。

2-1-1 沈埋トンネル

海峡部の沈埋工法の採用は、発注者の基本計画で決定された契約条件である。設置水深は60

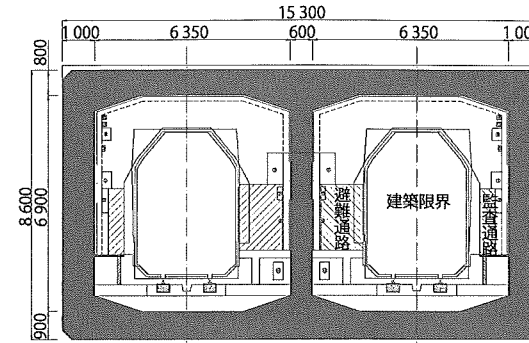


図-3 沈埋トンネル標準断面図

mに達し、世界最大水深の沈埋トンネルとなる。トンネル延長は1,387mで、11の函体で構成される。函体構造は鉄筋コンクリート構造で、函体幅は15.3m、函体高は8.6mである(図-3)。

また、水密性を100年間保つために函体周囲を鋼板で覆い、さらに電気防食を施している。函体は沈設地点から約40km離れたドライドックで構築され、その後、函体をドックから引出し、沈設地点まで曳航したあとに沈設して埋戻す。これを順次くり返してトンネルが完成した。

2-1-2 シールドトンネル

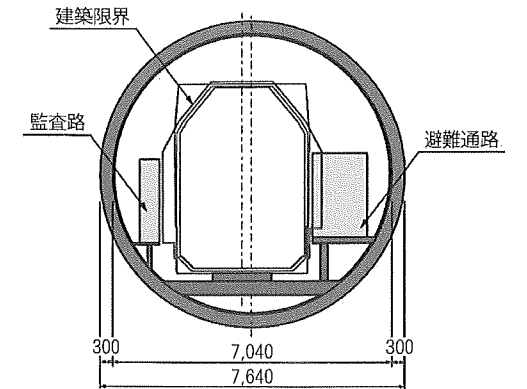
シールドトンネルは延長9,360mの複線で、単線トンネル2本を中心間隔14~45mで併設する。掘削延長距離は約19,000mである。トンネル内径は7,040mm、セグメント厚はイエニカブ駅以西で320mm、その他は300mmである(図-4)。セグメント幅は1.5mで、セグメントリング数は約13,000リングである。イエニカブ駅より東側の7,230mは泥水式シールドで、西側の2,130mは泥土式シールドで掘削した。

4基の泥水式シールドは陸上側から沈埋トンネルに向かって掘り進み、沈埋トンネルに貫入したのち、接続部分に鉄筋コンクリート構造を構築して接続された。

2-1-3 山岳トンネル

シルケジ駅の岩盤部、クロスオーバー(上下線間の渡り線)、避難連絡通路は山岳工法により構築された。

シルケジ駅は市街地の下45~65mの岩盤内に構築され、幅23mの換気立坑からプラットフォーム、



セグメント内径	7,040mm
セグメント厚	300, 320mm
セグメント幅	1,500mm
マシン台数	5台
掘削延長距離	18,720m
セグメントリング数	約13,000リング

図-4 シールドトンネル断面図

通路など幅約6~13mのトンネルを山岳トンネル工法にて縦横に掘り進んで構築した(図-5)。

クロスオーバーは、アジア側とヨーロッパ側の2か所に構築された。アジア側ではクロスオーバーの掘削完了後にシールドトンネルを貫通させた。一方、ヨーロッパ側ではシールドトンネル構築後にセグメントを撤去し、トンネルを切抜けてクロスオーバーを構築した。避難連絡通路は、200mごとに上下線を結ぶ通路で、シールドトンネル構築後にセグメントを切開いて構築した。

2-2 駅舎

トンネルのほか、4か所の駅舎が契約に含まれており、そのうち3駅(イエニカブ、シルケジ、ウスクダル)が地下駅である。シルケジ駅は上述のとおり山岳トンネル工法主体で施工し、イエニカブ駅、ウスクダル駅は開削工法で順巻き施工された。イエニカブ駅の山留めには連続場所打ち杭を、ボスボラス海峡に隣接するウスクダル駅では掘削時の止水性に配慮してRC連続壁を用いた。駅舎の意匠は、世界遺産に登録されている周辺のたたずまいに調和するよう配慮した(写真-1)。

機電設備の計画では、乗客の安全に細心の注意を払った。例えば、朝夕のラッシュアワーでも車両火災などの緊急時に乗客が安全に避難できるよ

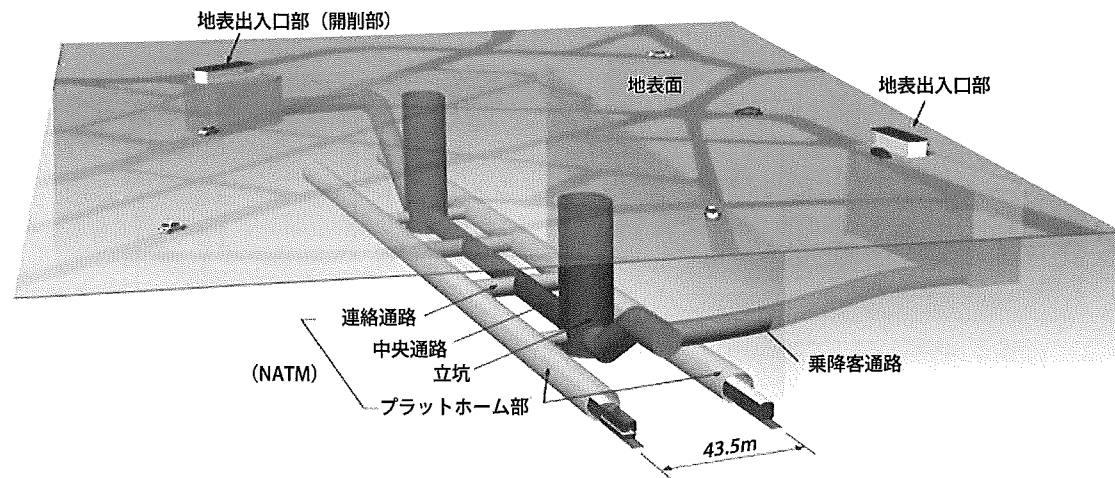


図-5 シルケジ地下駅鳥瞰図



写真-1 イェニカプ駅コンコース

う、階段やエスカレータの容量を確保している。また、トンネル内換気システムは100MW級の貨物列車火災にも対応できるように設計されている。

3 地質概要

全長で13.6kmに及ぶ地質を、岩盤(基盤)部、陸上土砂部および海峡土砂部に分けて概括する。図-6に地質縦断図を示す。

3-1 岩盤(基盤)部

イスタンブールは、Trakya Formationと呼ばれる石炭紀の岩盤で覆われており、その厚さは少なくとも2kmに達する。主として砂岩と泥岩から構成されているが、上部では泥岩が優勢となり、局所的に層状・塊状に石灰岩が分布するほか層状

に石灰質の頁岩も介在する。ヘルシニア造山活動とアルプス造山活動による褶曲・断層作用を受けて全体的に細かい節理を成す破碎構造を呈しており、上部では表層水によって風化されたゾーンを形成している。シールドトンネル、山岳トンネルは、岩盤部の掘削において上記破碎部、風化ゾーンと頻りに遭遇した。

3-2 陸上土砂部

古くからの市街地やボスボラス海峡沿岸の表層は、埋土層で覆われており、当該計画路線においては海峡部を除く全線にわたって分布する。層厚はおおむね2~10m程度で、後述の遺跡が出現する層である。埋戻しの砂、礫、シルトに加え、レンガやモルタル片、木片、貝殻など人工的な廃棄物も多く含んでいる。イェニカプ駅以西の土砂主体のシールドトンネルは、主としてBakırköy Formation, Güngören Formationと呼ばれる地層を通過する。

Bakırköy Formationは主として石灰岩からなる層であり、馬鹿貝(Mac-tra)を含んでいることを特徴とし、埋土層の下に分布する層であるが、場所によっては地表面に露出している。当該路線における層厚は10~20m程度であり、部分的に粘土と泥灰岩を層状に介在している。

Güngören Formationは、Bakırköy Formationの下位に分布するきわめて硬質な粘性土から

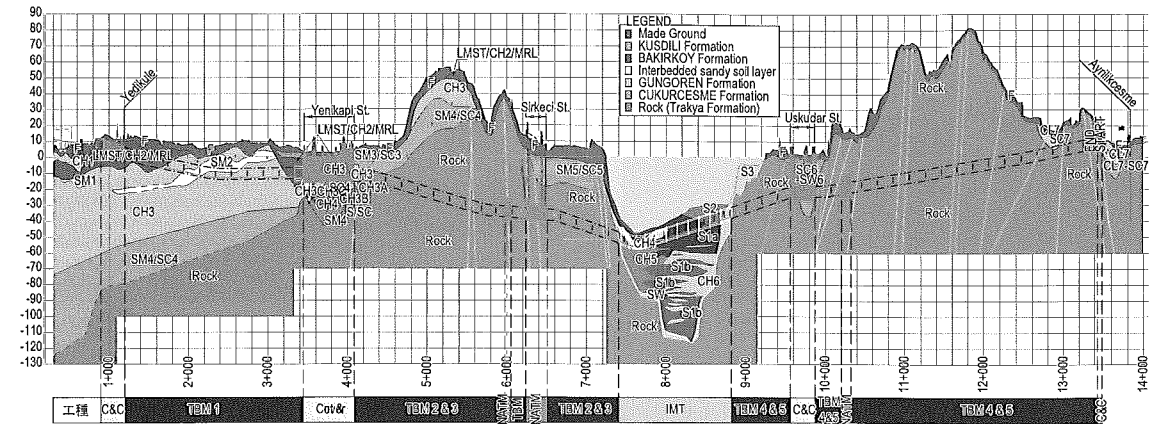


図-6 全体地質縦断図

なる層である。層厚は40~60mに達するが、5~10m程度の非常に密な砂層が介在しており、トンネルはこの介在砂層も通過する。

3-3 海峡土砂部

海峡部の堆積層は3つの地質ユニットから構成されている。ユニット1は沿岸部表層に分布する礫混じりの砂であり、木炭やレンガなども含んでいる。ユニット2はユニット1の下に分布し、海峡部堆積層の大部分を占める層である。貝殻混じりの砂、細砂、シルト質細砂、およびシルトから構成されており、砂質土部分は流動化しやすい性状を有していると考えられた。沈埋面支持基盤の一部をなすこれらの層に地震時液状化対策工を実施している。ユニット3は基盤を覆う砂礫で、層厚は5~10m程度である。

4 遺跡調査と工程

当初契約におけるプロジェクト工期は2004年8月27日~2009年4月28日の56か月であった。工事範囲には暫定工事として遺跡(埋蔵文化財)調査が含まれており、調査場所は駅舎部を中心とした9か所であった。

当初契約での工事完了予定時期の2009年4月時点では、ヨーロッパ側イェニカプ(換気塔、駅)、シルケジ(東立坑、南出入口、北出入口)の5か所

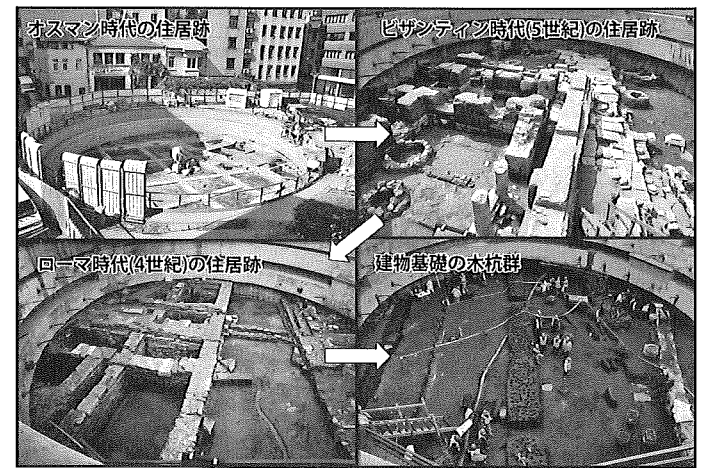


写真-2 シルケジ駅遺跡調査

となったが、遺跡調査の長期化により54か月の工期延伸が生じ、工事完了日は2013年10月28日への変更となった(写真-2)。実際にすべての調査が完了したのは2012年8月であった。

5 工事を終えて

トルコ共和国建国90周年記念日に開業したいというトルコ国の切なる要望に応え、2013年10月29日の営業運転開始を実現することができたことは感無量である。

写真-3に開通式典、写真-4に開通式典での記念列車の様子を示す。

これは、設計・施工に直接携わったわれわれ請負者のみならず、発注者・協力業者ならびに技術指導にご尽力をいただいた学識者の方々の総力の

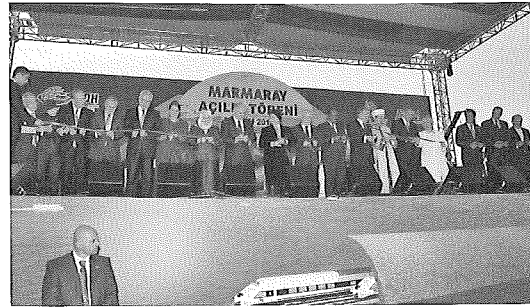


写真-3 開通式典



写真-4 開通式典での記念列車

賜物である。この場をお借りして関係者全員に感謝の意を表したい。

最後に、日本で発展したさまざまなトンネル関連技術の粋を集めて完成したボスボラス海峡横断鉄道トンネルは、トルコ150年の夢の成就であり、トルコと日本両国の友好の証として末永く讃えられることとなろう。またヨーロッパからボスボラス海峡を直通横断し、アジアへとつながる真の意味でのオリент急行の実現する日が、おおいに近づいたことを示唆する。

参考文献

- 1) 近江秀味：夢かなえるプロジェクト、ボスボラス海峡横断鉄道トンネル、CEレポート、土木学会誌、Vol.91, No.8, pp.48-51, 2006.8.
- 2) 柴枝秀樹・松久保徹郎・土屋正彦・今石尚・小山文男・田口洋輔：アジアとヨーロッパをつなぐボスボラス海峡横断鉄道トンネルプロジェクト、ミニ特集、土木学会誌、Vol.93, No.2, pp.1-2, 2008.2.
- 3) 田口洋輔・小山文男・今石尚：ボスボラス海峡横断鉄道トンネルの施工、トンネルと地下、Vol.39, No.1, pp.7-17, 2008.1.

沈埋トンネル編

- 大成建設(株)国際支店トルコ・ボスボラス海峡横断鉄道建設工事作業所所長(沈埋トンネル担当)
 (現)大成建設(株)調達本部第二調達部部长
小山文男
- 大成建設(株)国際支店トルコ・ボスボラス海峡横断鉄道建設工事作業所次長(沈埋トンネル担当)
 (現)大成建設(株)土木本部土木部国際室次長
中塚健司
- 大成建設(株)国際支店トルコ・ボスボラス海峡横断鉄道建設工事作業所課長(沈埋トンネル担当)
 (現)大成建設(株)土木本部機械部機械技術室長
木村政俊

はじめに

ボスボラス海峡の横断部の施工には沈埋トンネル工法が採用された。函体の設置最大水深が60mの世界最大水深の沈埋トンネルである。沈埋トンネルは最大長さ135mの函体11函からなり、RC構造の矩形断面で幅15.3m、高さ8.6mである。

函体の底面および側壁の外壁は電気防食を施した鋼板で覆い、頂版の上には樹脂製防水シートを敷設し水密性を保った。この函体を海峡部から40km離れたドライドックと浮上構築用栈橋部で製作し、その後、函体を函体製作ヤードから曳き出して、双胴式の沈設作業船に抱き込み、曳航・沈設・水圧接合を順次くり返す。沈設地点では、函体の曳航・沈設の進捗に合わせて事前にトレンチ浚渫を行い、基礎マウンドを施工しておいた。

沈埋トンネルの施工は、以下に示すようなボスボラス海峡特有の厳しい施工条件下で行い、さまざまな技術課題を解決した。

- ・沈埋トンネルでは例のない大水深(最大施工水深-60m)
- ・複雑に変化する速い潮流(表層最大3m/s, 下層最大-1m/s)

- ・海上作業エリア周辺の交通事情(急潮流下での船舶過密航行)
 - ・発進・到達立坑の構築に適さない地形と地質
 - ・限られた沈埋函製作ヤードと製作期間
- 沈埋トンネル工事は、2005年1月にドライドックの製作を開始し、2008年9月に最終函体(11函体目)の曳航・沈設・接合作業を無事完了した。以下にその施工概要を記述する。

2 海底トレンチ工

2-1 トレンチの構造

沈埋函設置前にトレンチ掘削工、基礎マウンド工(函底基礎工)が施工され、沈埋函設置後に埋戻し工(函体固定用埋戻し工、埋戻し工、洗掘および被覆防護工、走錨防止工)が施工された(図-1)。沈埋函の埋戻しに用いた上述の4種類の材料の役割は以下のとおりである。

- 函底基礎工：潮流に対する沈設直後の函体安定性を確保すること、さらには函体底部と基礎マウンドとの間隙に注入される函底充填材料を封じ込めることを目的としている。
- 埋戻し工：標準的な埋戻しである。

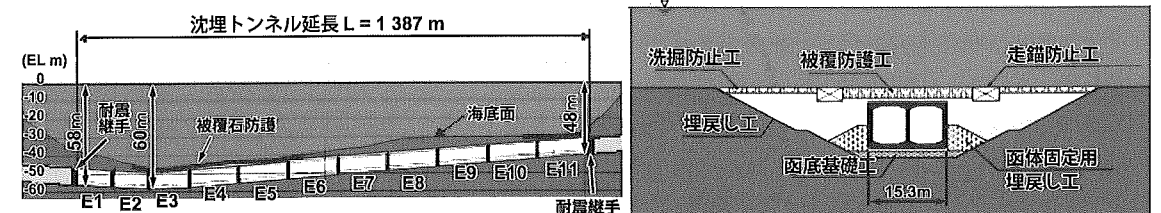
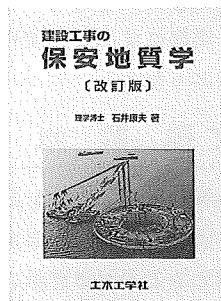


図-1 沈埋トンネルの縦断面図と断面図



ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

建設工事の
保安地質学
(改訂版)

理学博士 石井康夫 著

A5判 上製本 475頁 価格6,300円 円340円

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



〒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

洗掘および被覆防護工：

潮流による浸食防止の役割がある。

走錨防止工：何らかの理由で投錨がありトンネル部分を錨が通過する際にもトンネル部分で把駐させないための対策工である。

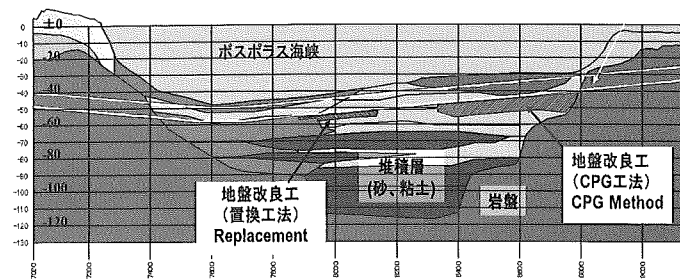


図-2 地盤改良施工位置

アジア側(E8～E11)の函底基礎工直下には耐震対策として地盤改良(強制置換締固め工法および置換工法)が施工された。

2-2 液状化対策工

液状化判定の結果、図-2に示す範囲で、液状化対策が必要であることが判明した。対策として、密度増大工法の1つであるCPG工法(コンパクショングラウティング工法)を採用した。本プロジェクトでは、世界で初めてCPGの海上施工を採用した。

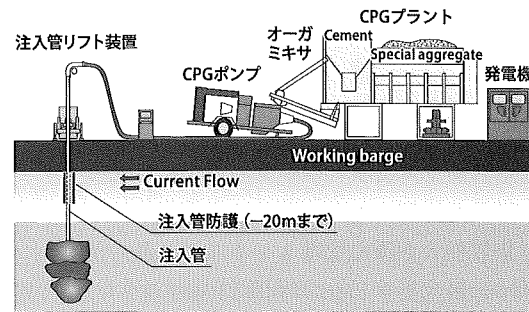
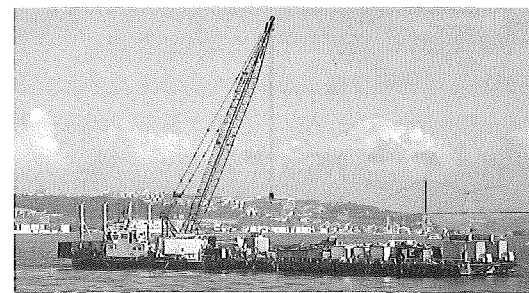


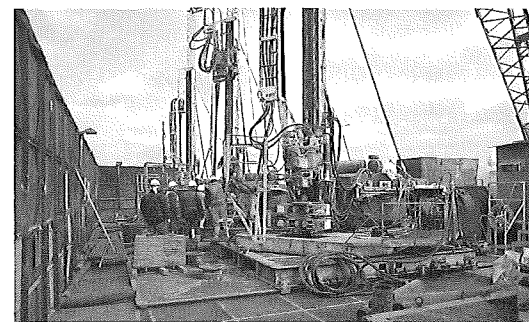
図-3 CPGのシステム構成説明図

図-3にCPGのシステム構成を示す。CPGは、あらかじめケーシングパイプを改良地盤下端まで削孔した後、砂、セメントおよび水を混合した材料をグラウトポンプによって地盤中に注入し、所定量を注入することで材料塊を形成する。注入後は、ケーシングパイプを設定量まで引上げながら次ステップの材料を注入する。この操作をくり返すことにより、鉛直方向に団子状に材料を注入することで強制的に周辺地盤を締固めるものである。

写真-1に示す長さ84m、幅24mの平台船に材料製作用の練混プラント、グラウトポンプおよびボーリングマシンを配置して作業船を構成し施工を行った。施工に用いた作業船には2,000馬力の推進機が4台装備され、GPSを用いたダイナミックポジショニングシステムおよび9本の係留索により、作業船の位置決めを行った。ボーリングマシンとグラウトポンプは各4台配備し、練混プラントは2台用いた。



(1) 地盤改良船の全景



(2) ボーリングマシン
写真-1 CPG施工状況

CPGは団子状塊を地中に形成することで締固め効果を発揮する工法であるため、注入材料はスランプ8cm以下とする比較的固練りの材料とした。

2-3 トレンチ掘削工

沈埋函の沈設工に先立ち、海底地盤のトレンチ掘削工を実施した。掘削は、60mの大水深に対応でき、かつ6ノットの急潮流でも現地係留できる

大型グラブ浚渫船を日本から廻航して行った。掘削には4種類のパターンがあり、砕岩掘削4,000m³、密閉バケットを用いた汚染土掘削118,000m³、荒掘り1,052,000m³および仕上げ掘り28,000m³である。

砕岩掘削、荒掘りおよび仕上げ掘りによる土砂は、指定されたマルマラ海に処分し、汚染土掘削では、海上運搬した掘削土を陸揚げし、本プロジェクトで作成した管理型処分場に処分した。

2-4 基礎マウンド工

沈埋函を設置するトレンチ内には、トレンチ掘削後の床付け面に厚さ80cmの基礎マウンド(粒径：200mm以下)が施工される。図-4に示すように、砕石(捨石)はトレミー管工法により投入した。作業台船の右舷に2段階伸縮式トレミー管を装備し、海底付近までトレミー管の筒先を下ろすことにより、砕石の流失を防いだ。トレミー管の位置はRTK-GPSにより位置決めをし、所定の箇所に適

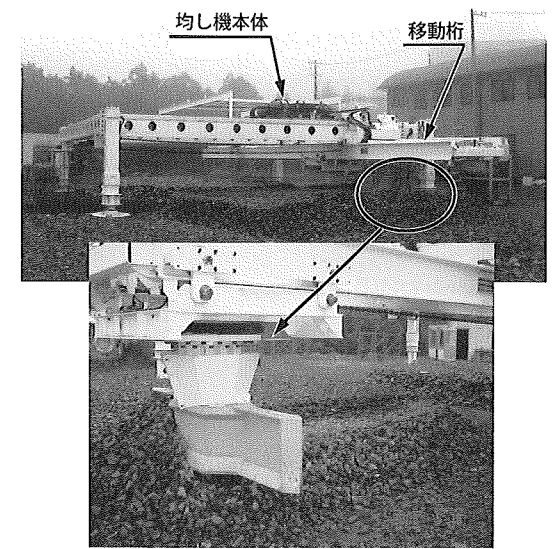


写真-2 水中均し機(水中ロボット)

切に投入することができた。

長さ98mから135mに及ぶ沈埋函(図-5)の基礎マウンドの天端高とマウンドの平坦度は、精度よく構築する必要があった。しかしながら、水深40～60mの大水深、急潮流かつ上下2層の逆流という条件下において潜水士による効率的なマウンド均し施工は困難であるため、水中均し機(水中ロボット、写真-2)を開発し適用した¹⁾。

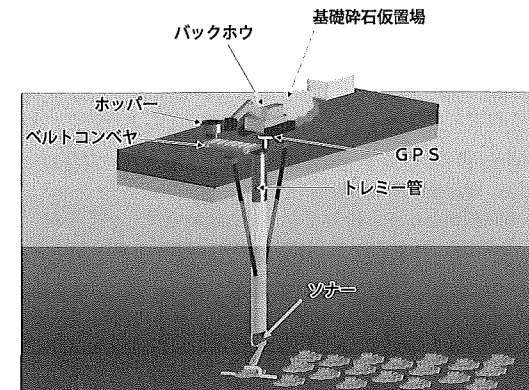


図-4 捨石投入工の施工概念図

3 函体製作工

3-1 函体製作上の要点

沈埋函の製作ヤードは、函体建設地点よりも南東約40kmのマルマラ海側に位置した発注者の港湾設備を利用することにした。

新設する2基のドライドック内で沈埋函の底版と壁下半分の構築を行ったあと、発注者所有の港湾内へ沈埋函を曳航し、港湾内で浮上したまま上壁半分と上床を構築した。

沈埋函はボスボラス海峡の水深40～60mの海底に設置される(図-6)。日本における沈埋トンネルの最大水深30mの2倍であり、設置後、沈埋函は高水圧に曝されることになる。このため、沈埋函は構造上、コンクリートの防水性の確保と高水圧に耐えられる鉄筋の配置が重要なポイントであった。本プロジェクトでは高水圧下での防水効果を確

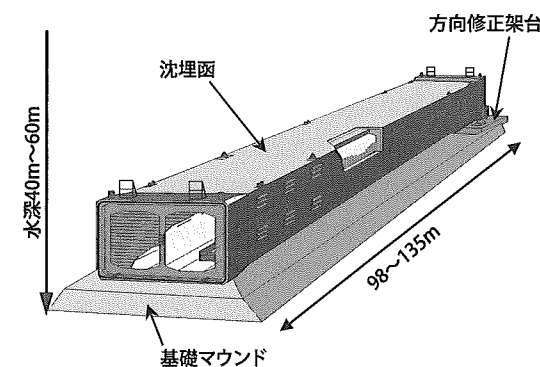


図-5 沈埋トンネルの沈埋函概要図

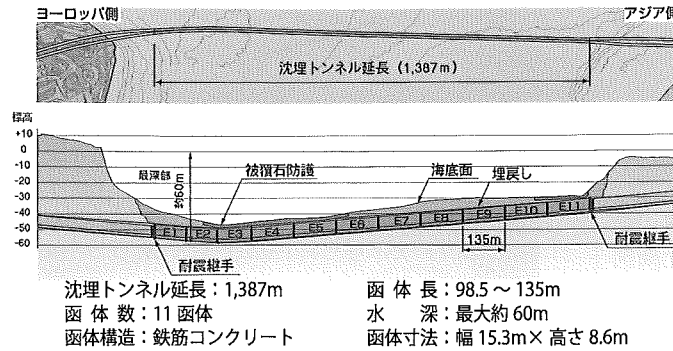


図-6 沈埋トンネル縦断面図

実にするために、コンクリートの水密性に加え、沈埋函外周に厚さ7mmの鋼板を設置した。沈埋トンネルの機能上、コンクリートの水密性が最優先されるため、コンクリートの水セメント比は38%に設定されている。その他の函体コンクリートの仕様について、特徴的な事項を以下に示す。

- ・設計基準強度: 40N/mm²
- ・初期ひび割れは許容しない。
- ・結合材は以下の2種類から選択する
 - ① PC: ポルトランドセメント, フライアッシュ, シリカフェュームの混合
 - ② BC: 高炉セメントB種

沈埋函コンクリートには、PCタイプの結合材を選定した。セメントは、初期ひび割れ防止を目的として中庸熱ポルトランドセメントとした。

また、近年日本で多く採用されるようになったヘッドバー(HB: プレート付きせん断鉄筋)を用いた。このHBの採用により、通常のせん断補強筋の複雑な鉄筋組立て作業がなくなり、下側鉄筋組立て後に上側鉄筋を組立て、その上からHBを差込み、結束することで、鉄筋組立て作業が容易になった。

3-2 沈埋函製作

沈埋函の製作フローを図-7に示す。新設した2基のドライドックは長さ148.8m×幅40.4m×深さ6.5mで、ドライドック1基につき2函(写真-3)、合計4函の沈埋函を製作できる。

ドライドッグでは下床部のコンクリート(Phase-1)と側壁・中壁部の下半部のコンクリ

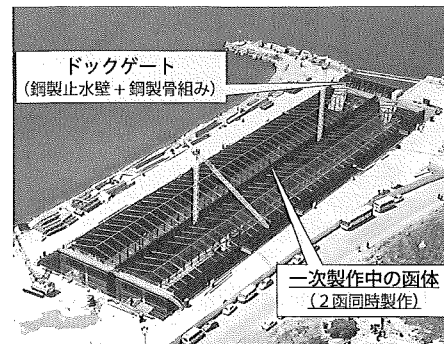


写真-3 ドライドック内製作状況

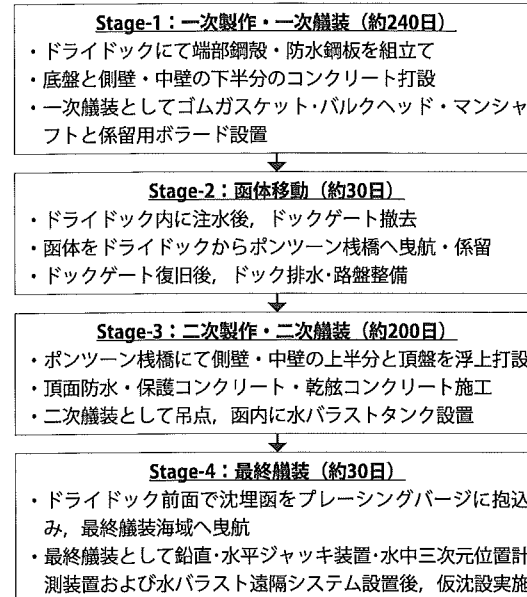


図-7 沈埋函製作フロー

ト(Phase-2)に分割し、端部から片押しで、連続してコンクリートを打設した。しかしながら、ドライドックから湾内に移動して、浮遊状態(写真-4)で側壁・中壁の上半部と上床部のコンクリート(Phase-3)を打設する際は、沈埋函の水中のバランスを考慮すれば端部からの片押し打設は不可能である。したがって、沈埋函を図-8に示すように6分割して、打設によるコンクリートの重量と沈埋函のバランスを事前にシミュレーションして安全性を確認したあとにコンクリートを打設した。

ブロックの打設順序は、ドライドックですでに打設した下床および壁の下半部の剛性を考慮した弾性床上の梁モデルを用いて解析し、沈埋函既打

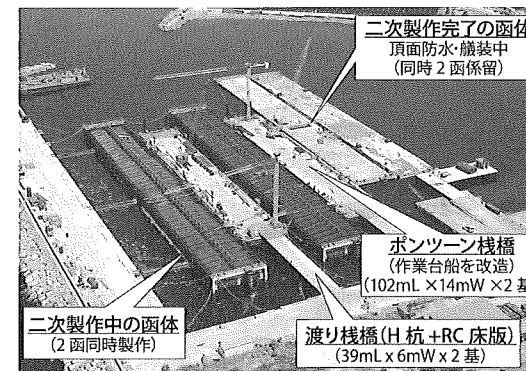


写真-4 港湾内沈埋函浮上係留

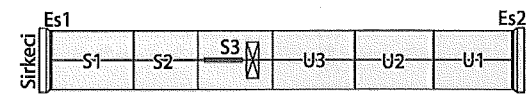


図-8 函体分割図(Phase-3)

設部の縦断方向変形量をもっとも小さくなるコンクリート打設順序(S3→U2→S1→U3→U1→S2)を選定し、あわせて既打設部の発生応力、残留応力についてもチェックを行った²⁾。

4 函体沈設工

4-1 函体沈設工の要点

沈埋トンネルの施工は、厳しい気象海象条件下で実施された。本稿では沈埋函の沈設を成功に導いた技術開発について述べる。

ボスポラス海峡における沈埋函の沈設でもっとも重要なポイントは、以下の3点であった。

- ① 潮流の速さと変化の予測
- ② 沈埋函の曳航・沈設作業が可能な潮流限界の設定と、作業を実現する設備・機械の開発
- ③ 上記設備・機械の利用による安全かつ効率的な作業手順の決定

4-2 ボスポラス海峡の流況

ボスポラス海峡での沈埋函の曳航、沈設および接合作業には約1.5日を要する。このため、安全で精度よく作業を完了させるためには、潮流の速さや変化を知り、その変化がどのような要因(風向・風速、気圧、降雨など)により、どうすれば変化を予測できるかを知ることが今回のプロジェクトの成功を握る鍵であった。

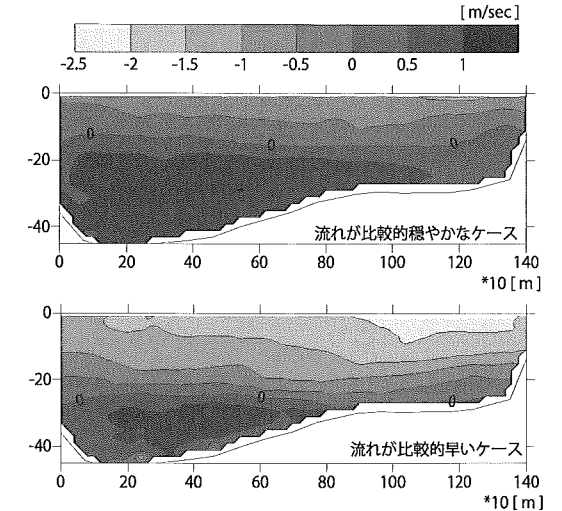


図-9 流速鉛直断面分布

まず、現地の流況特性を解明するために1年間にわたる現地観測を実施した³⁾。観測項目はトンネル線形周辺の流況と、海峡の南北両端部での水位、風速、風向、気圧である。計測頻度は1時間ごととし、2004年10月から2005年9月の1年間の長期連続観測を実施した。

図-9にトンネル縦断面における流況の例として、表層の流れが比較的穏やかなケース(上図)と比較的速いケース(下図)を示した(図-6縦断面図参照)。負値は北(黒海)から南(マルマラ海)に向かう流れを示し、正値は南から北に向かう流れを示している。

2つの図を比較すると、流向が逆転する(流速0 m/s)深さは、流況が穏やかな上図では水深が15 m付近にあり、流況が速い下図の場合は水深が25 mの深い位置に変化する。また、表層の流速は1.0 m/sから2.0 m/s以上に増加しているのに対し、底層は流速が0.5 m/s程度で大きな変化はない。このように流況の変化により流向の逆転する水深も変化し、また表層と底層の流速の変化特性も違うことがわかる。

4-3 全体施工フロー

沈埋函の製作から沈設・接合までの施工フローを図-10に、各施工場所の位置関係を図-11に示す。沈埋函の沈設・接合作業は点線で囲んだ範囲が該当する。

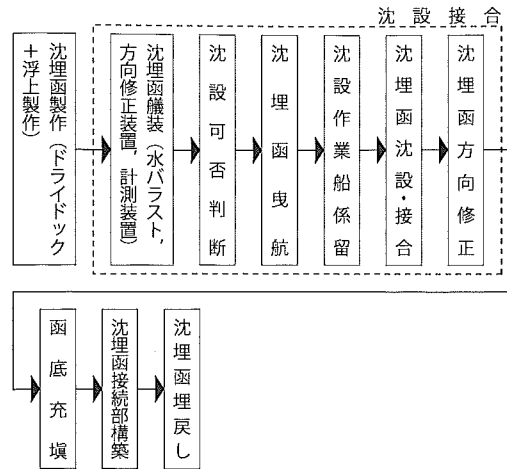


図-10 全体施工フロー

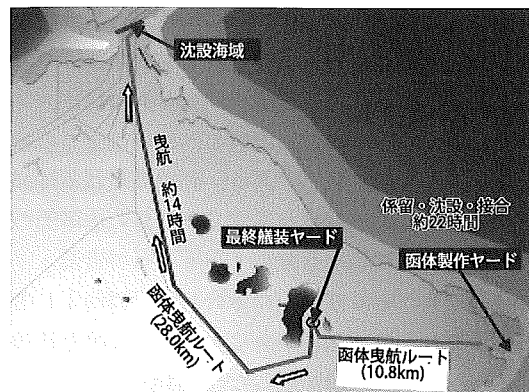


図-11 沈埋工事施工場所

4-4 沈設可能な気象海象条件

沈埋函の曳航から接合に至る一連の沈設作業のうち、作業開始後、安定した気象海象条件でなければ危険を伴う作業は、沈埋函の曳航、係留および沈設である。上記作業を安全に実施できる気象海象条件の設定を係留シミュレーションおよび水理模型実験により以下のように決定し、海事関係者に周知した。

- ・潮流：上層 3ノット以下
下層 1.5ノット以下
- ・波高：0.5m以下
- ・視程：1,000m以上

4-5 函体沈設・接合作業の課題と対策

沈設・接合作業のなかでもっとも特徴的な作業および解決すべき課題を以下に示し、詳細を述べる。

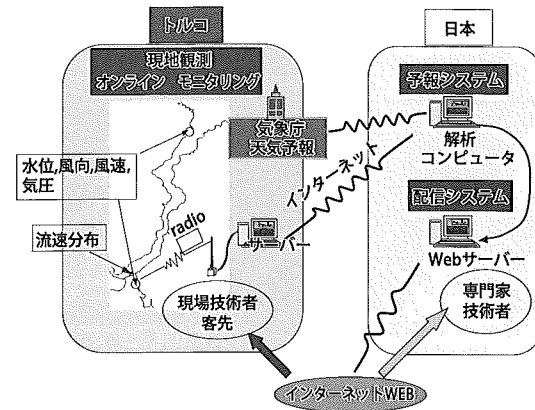


図-12 潮流予報システムの構成

- ① 潮流の予測と沈設・接合の可否判断
- ② 作業可能な沈設作業船の実験と設計
- ③ 急潮流・高水圧に対応する設備と沈設方法
- ④ 沈埋函の位置修正

4-5-1 潮流の予測と沈設・接合の可否判断

予測システムは図-12に示したように、現地トルコで実行されるリアルタイムの観測値および気象予測データを日本側のコンピュータにインターネットを介して常時転送し、予測システムを日本にて稼働させた。気象予測データはトルコ国気象庁から提供され、海峡両端の初期水位、建設地点の初期流速を用いて、海峡両端の水位予測を行い、その結果から水位差を算定し、水位差と流速の相関関係から建設地点の流速を予測した。予測システムの結果は、インターネットのWEB上で発注者、発注者代理人、請負者が閲覧できるICT情報として配信された。これにより、沈埋函の沈設作業の可否判断を効率的に行うことができた。

予測システムの検証は、毎日2回、予報流速を実測流速と比較して行った。図-13はADCP(超音波ドップラー流速計)を既設函体E07のE06側端部函体上に設置し、それにより得られる8m水深の実測値と予報値を比較したものである。縦軸の負値は南向流速を正値は北向き流速を示す。全体としては予報値と実測値がよく一致している。

4-5-2 作業可能な沈設作業船の実験と設計

沈埋函の曳航、係留および沈設作業は、前述した気象海象条件のもとで安全に作業を遂行できる

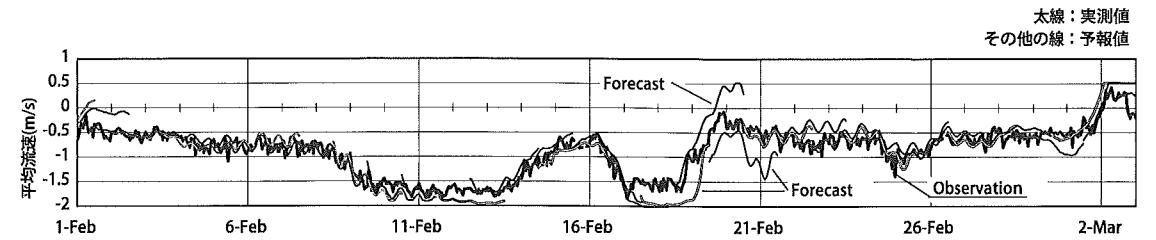


図-13 流速の予報値と実測値の比較例(水深8mの流速)



写真-5 プレッシングバージ全景

表-1 曳航船団の仕様

作業船	能力	数量	備考
① プレッシングバージ	1,000 ton class	1	
② タグボート	5,000ps	1	主曳船
③ タグボート	5,000ps	1	主曳船
④ タグボート	3,000ps	1	補助曳船
⑤ 支援船	2,000ps	1	緊急時対策船
⑥ アンカーボート	50 ton class	1	
⑦ 作業船	500ps	1	
⑧ 交通船	500ps	1	

ことが作業船団に求められる。

本工事で使用した沈設作業船(プレッシングバージ)は、鋼製で非自航式のウインチバージである。吊下げ総荷重は1,000t(4フック合計)であり、それぞれのガーダは200%の荷重に耐えるよう設計した。最大吊下げ水深は-50m(フック位置)であり、最大係留ウインチ能力は70tfとした。

プレッシングバージの全景を写真-5、曳航船団の仕様を表-1、沈埋函曳航船団を図-14に示す。

4-5-3 急潮流・高水圧に対応する設備と沈設方法

沈埋函曳航・沈設の準備作業として、沈埋函を製作ヤードから機装ヤードに移動し、沈設作業に必要な函体機装を行った。最終機装ヤードは波浪の影響が少ない小島(ビュカダ)の東側を選定した(図-11)。

沈埋函を係留したあとに以下の機装作業を実施した。沈設時の函体位置を計測する「超音波計測装置」、函体の水中重量を調整する「函体水バラスト調整設備」、函体接合面を監視する「水中カ

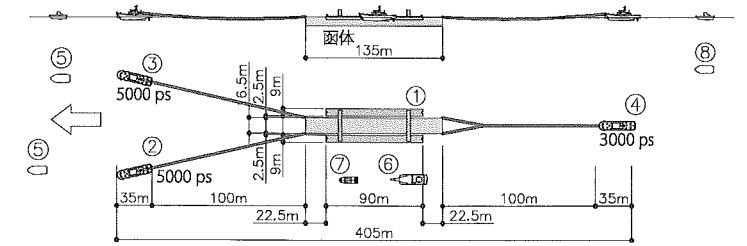


図-14 沈埋函曳航船団

メラ」, 沈設後に函体位置を微調整する「位置調整ジャッキと反力架台」などである。また、沈設作業船には、マルチソナー、GPS、ジャイロ、傾斜計を組合せたシステムを急潮流対策用として開発し機装した。

沈降開始時はマルチソナーを使用し、接合端間が水平距離10m、鉛直距離5mに接近した範囲では、水中3次元装置(精度±30mm)を併用することにより函体を誘導した。図-15に沈埋函沈設時の計測設備図を示す。

着床した函体は、図-16に示すとおり接合側では互いのシェアキーが接した状態であり、後方は2基の油圧ジャッキ(鉛直ジャッキ)により支持されている。この状態で、既設函体から油圧ジャッ

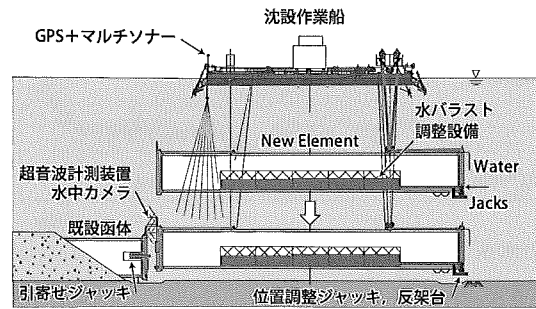


図-15 沈埋函計測設備図

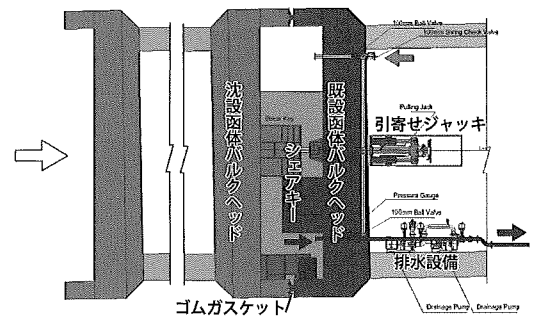


図-16 水圧接合状況図

キ(引寄せジャッキ)を伸ばし沈設函体のシェアキーを把持して沈設函体を引寄せ、引寄せジャッキは、引寄せ能力が2,000kN、ストロークは600mmであり、函体の中壁中央に配置した、引寄せ時の端面間隔の変化は超音波計測装置で確認し、引寄せ完了時にはゴムガスケットのノーズ部分が圧縮されてバルクヘッド内が密閉される。

沈埋函体引寄せ後、図-16に示すように、バルクヘッド間の海水を既設函体側へ排水することにより、新設函体の後方に掛かる最大8,000tfの水圧によってゴムガスケットが圧縮され水圧接合が完了する。

4-5-4 沈埋函の位置修正

水圧接合を行う際、新設函体が既設函体に押付けられる圧力が大きいため、沈設中は新設函体の向きの変化を制御することができない。このため沈設完了後に方向修正が必要になる。函体艀装時に装備した鉛直ジャッキ、位置調整ジャッキを組み込んだ反力架台を函体端部下端に設置して、沈設函の高さと平面線形を修正した。図-17に沈埋函方向修正概念図を示す。

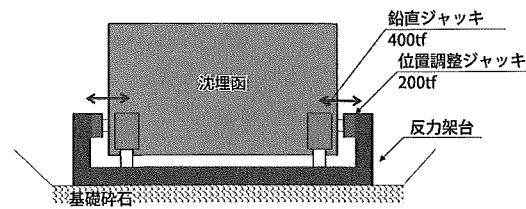


図-17 沈埋函方法修正概念図

修正量は事前の函内測量結果によって決め、沈設函の外側に設置された各ジャッキを函体内部から遠隔操作し、ジャッキストロークを管理した。

ジャッキは、沈埋函と基礎砕石間の空隙部に充填材料を注入したあと撤去して、次の沈埋函に転用した。

5 海上仮設工

5-1 アクセスシャフト工法の採用

従来の沈埋トンネル工法は、発進・到達立坑を構築したあとに、発進立坑側から順次沈埋函を沈設し、接続していく。しかしながら、本プロジェクトのトンネル線形によれば、沈埋トンネルの設置を開始するアジア側海域は、水深が5m程度で岩盤質の浅瀬が250m程度続き、反対側のヨーロッパ側の海域は、護岸の前面水深が50m程度で、かつ潮流が速い。

このため、従来工法の採用は立坑構築の施工安全性に問題があるだけでなく、莫大な岩盤浚渫を実施しなければならないため、全体工程の観点からも現実的ではなかった。

したがって、従来工法である発進・到達立坑の構築を行わず、アジア側、ヨーロッパ側の両護岸から約300mの沖合区間に沈埋トンネルを設置・接続し、沈埋トンネルの両端部はTBMトンネルにより水中で接続する世界初の工法を採用した。

この工法は、沈埋トンネルの構築を約600m短縮でき、かつ浚渫量を約1,000,000m³低減できるメリットがある反面、TBMトンネルとの接合が完了しなければ沈埋函へのアクセスができない。このため、別途、沈埋函へアクセスするためアクセスシャフト(以下、AS)を用いた工法⁹⁾を計画した(図-18)。

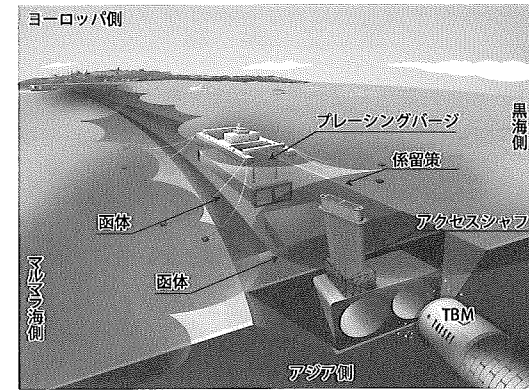


図-18 アクセスシャフトイメージ図

以下にAS求められる性能について記述する。

(1) 函体へのアクセス機能

- ・沈埋函内への作業員(50人/日程度)の出入り
- ・資機材および廃材の搬出入
- ・函内ライフライン(電気、給排水など)の供給
- ・給気および排気としての換気口

(2) 船舶衝突に対する安全性

- ・漁船などの小型船舶がASに衝突しても健全であること
- ・連絡船、フェリー(1,000t以下)の漂流に対して、上流側に設置する防衛設備でASを防護できること
- ・国際航路を航行する大型船舶がASに衝突する確率がきわめて低いこと
- ・万が一、大型船舶が衝突してもAS自体の損傷は許容するが、沈埋函本体に損傷を与えないこと
- ・上記の場合でも沈埋函内への浸水が防止でき、内部にいる作業員を安全に救出できること

(3) 厳しい自然条件下での施工性

- ・常時3ノット前後の潮流下で沈埋函とASの接合が安全に実施できること

5-2 アクセスシャフトの構造

ASの構造図を図-19に示す。また、構造概要を以下に記す。

- ① 構造形式は、下端が沈埋函頂版に固定され、天端(EL.+3.5m)が海面上まで突出した全高34.3mの鋼製メンブレンによる片持ち箱桁構造とした。

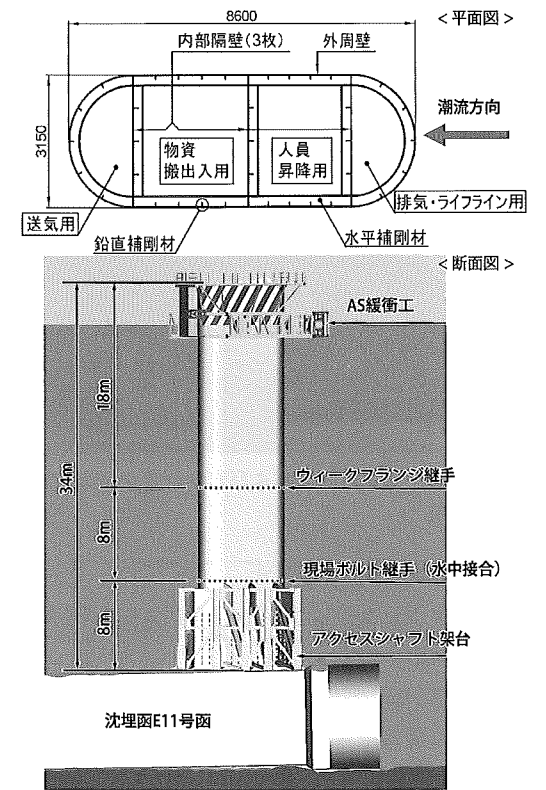


図-19 アクセスシャフト概要図

- ② 立坑内部を3枚の隔壁により4つの立坑に分割し、それぞれを人員昇降用、物資搬出入用、送気、排気兼ライフライン立坑とした。
- ③ 潮流力の低減を目的として長辺方向を潮流卓越方向と合致させた小判形とした。
- ④ 製作および起重機船吊り能力の観点から、AS本体を上部と下部ブロックからなる2分割構造とした。下部ブロックはあらかじめ沈埋函に艀装し、沈埋函とともに沈設する。上部ブロックは、起重機船により下部ブロック上に一括して吊り架設し、海中でダイバーによりボルト継手で接合する工法を採用した。

5-3 アクセスシャフトの安全対策システム

前述したように、本工事では海岸線から約300m離れた海上に孤立したASを構築したため、従来の立坑工法より船舶の衝突に関するリスクが非常に高いことが推察された。そのため、安全性の向上を図るために、以下に示すような安全対策を施した。写真-6に沈設海域仮設工および安全対策

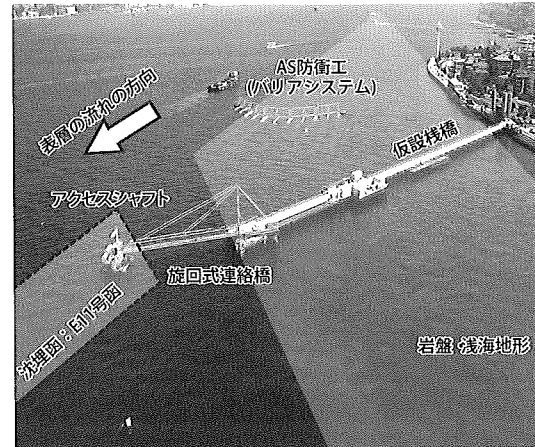


写真-6 沈設海域仮設工および安全対策システム全体配置

システムの全体配置を示す。

5-3-1 アクセスシャフトの緩衝システム(小型船舶対応)

船舶衝突の確率が比較的高い小型船舶(20GT程度)の漂流衝突に対応するため、ASの海面近傍に緩衝工を設置した。AS緩衝工は、空気式防舷材と鋼製フレームの組合せとし、船舶衝突時には防舷材が衝突エネルギーを吸収する。

5-3-2 アクセスシャフトの漂流船舶防衛システム(バリアシステム)

最大で1,000GTに及ぶフェリー船については、ASの北東側(ボスボラス海峡上流方向300m)にAS防衛工(バリアシステム)を配置し、ASに衝突するまえに捕捉することとした。AS防衛工は、工事の進捗に合わせた撤去・再設置が可能となるように、鋼製浮体および係留アンカーからなる構造とした。

5-3-3 ウィークフランジシステム

船舶のASへの衝突の危険はきわめて低いと判断したが、万が一、現実のものになった場合、沈埋トンネル内にはAS内から瞬時に大量の海水が流れ込み、作業員は全員死亡することが予想された。

また、ASの固定部の沈埋トンネル本体にも大きな被害を及ぼすことが予想できた。そこで、船舶衝突時にASを通じて函体に作用する反力を函体耐力上の許容値内に収めるため、AS上部の中

間部(水面下14.5m)にウィークフランジ継手を設置した。

ウィークフランジ継手はボルト継手構造とし、設計荷重作用時には構造上の安全性を確保するが、設計以上の荷重が作用した際には継手内の接合ボルトが破断することにより、函体への作用反力を許容値内に制御する構造である。

5-3-4 遮水ハッチシステム

ASから函体内への海水流入を防止するために、AS下端の資機材搬出・入と吸・排気の開口部には、遮水ハッチを配置した。このハッチは、油圧式開閉機構を有し、AS倒壊時には、手動もしくは自動により開口を閉鎖する。また、人員昇降用開口にはドア式ハッチを配置し、海水の流入を防止する構造とした。

5-3-5 リフューズ(避難所)システム

函内に取り残された人員の避難場所として、耐圧壁で仕切られた緊急避難室を函体内部に設置した。ここでは、40人で10日分の飲料水・食料・栄養分をストックし、外部と連絡できる通信システムを配備した。

6 沈埋トンネルの工事を終えて

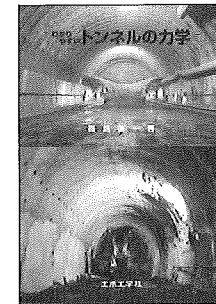
急潮流で知られるボスボラス海峡の水深60m海底に沈埋トンネルを完成させた技術は、沈埋トンネルの適用に関する認識を覆しただけでなく、わが国の建設技術の高さを海外へ示し、今後のわが国の建設産業の国際化にも良い影響を与えると考えられる。

最後に今回の沈埋トンネルの建設にあたって、コンクリートの技術指導にご尽力をいただいた魚本健人・元 芝浦工業大学教授(現(独)土木研究所理事長)、沈埋トンネルの設計・施工全般に対してご指導をいただいた清宮理・早稲田大学理工学部教授、安田進・東京電機大学理工学部教授に心から感謝申し上げます。

さらに、施工に協力いただいたトルコ共和国の関係各所、日本の専門工事会社、日本人SVおよびトルコ人スタッフの方々に心からお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 本田隆英・織田幸伸・上野成三・八重田義博・伊藤一教：大水深強流下における薄層捨石基礎の高精度施工，第32回海洋開発シンポジウム，p.73，2007.
- 2) 山口高弘・小山文男・土屋正彦・木村誉哉：ボスボラス海峡沈埋トンネル工事における函体製作，土木学会第64回年次学術講演会，pp.267-268，2009.
- 3) 織田幸伸・伊藤一教・上野成三・勝井秀博・東江隆夫・小山文男・栄田秀樹：ボスボラス海峡横断鉄道トンネル建設工事における流況観測と流況解析，第52回海岸工学講演会，pp.1421-1425，2005.
- 4) 外山雅昭・野勢辰也・林晋・土屋正彦・小山文男：ボスボラス海峡沈埋トンネルにおける仮設立坑の設計・施工技術，第34回海洋開発シンポジウム，pp.257-262，2009.



わかりやすい トンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 千340円

福島啓一著

NATMの導入以来、トンネル工事の現場に計測が大幅に取り入れられるようになって、トンネルの力学がますます重要視されるようになった。

本書はトンネル力学の基礎的な事項に基づく問題点を経験則と理論則から説明し、設計・施工に携わる実務者がトンネルを掘るとき、また、計画・設計するときに考慮しなければならないトンネルの力学を主眼にした入門書である。

【目次】 ○従来のトンネル力学の考え方/トンネル力学の発展、NATM以前の考え方/ゆるみ高さの推定、ゆるんだ地山の釣り合い、沈下量の差により変わる土圧、切羽の安定、地山の分類による支保の設計、NATMの考え方/せん断破壊説、変形による圧力の低減、地山のゆるみ防止、アンカーボルトによる地山の補強、地山挙動の時間依存、せん断破壊説による設計法、経験的設計法、地山分類と地山等級に対応した支保工の標準設計、NATM力学についての問題点、○弾性論による解析/弾性学の基礎、軸対称円形トンネル、線対称円形トンネルの弾性解、円形トンネルの弾性解析、地表面に近いトンネル、だ円形のトンネル、球形空洞周りの応力と変位 ○弾塑性論による解析/塑性力学の基礎、軸対称円形トンネル、線対称円形トンネルの弾塑性解、円形トンネルで地山の自重を考えた弾塑性解析 ○弾塑性解以外の検討/トンネルの大きさの影響、時間の影響、表面の影響、山はね、ゆるみと締めり、地山のゆるみ、再圧密を考えた考察 ○その他の検討/二次覆工の役割とひび割れ、安全率、支保工の設計・観察・計測の解釈と逆解析、力学的に好ましい、または好ましくないトンネルの設計および施工法、有限要素法、トンネルと地下水

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

TBMトンネル編

大成建設(株)国際支店トルコ・ボスボラス海峡横断鉄道建設工事作業所所長(TBMトンネル担当)
(現)大成建設(株)国際支店土木部部长

今石 尚

大成建設(株)国際支店トルコ・ボスボラス海峡横断鉄道建設工事作業所所長(TBMトンネル担当)
(現)大成建設(株)土木本部土木技術部部长

日比谷 穰

大成建設(株)国際支店トルコ・ボスボラス海峡横断鉄道建設工事作業所課長(TBMトンネル担当)
(現)大成建設(株)土木本部土木技術部課長

湯上 繁信

はじめに

ボスボラス海峡横断鉄道トンネル建設工事¹⁾の総延長約13.6kmの上下線鉄道の建設工事のうち、シールド工法を採用した延長は約10.1km(上下線)である。概要編の図-1, 2に示すヨーロッパ側イエニカプ駅より西側の2,130mの小土かぶりの土砂部には泥土圧式を適用し、東側の7,230mの大深度の岩盤部には泥水式を適用した。本稿では、後者の泥水式シールド工法²⁾について、ヨーロッパ側の約3.3km×2本およびアジア側の約4.6km×2本のトンネルを報告する。

また、海外においてはTBMとシールドの仕分けがないため、本稿では泥水式シールド工法をスラリー式TBMと記載する。

2 TBMトンネル築造工

2-1 工法選定

掘削対象地盤は、変化の激しい岩盤とヨーロッパ側で最大6.5MPa、アジア側で最大8.5MPaの地下水圧という条件である。TBMは脆弱岩盤区間における切羽崩壊および高水圧下での出水などに対応可能で、最終的にボスボラス海峡下での沈埋函との接続を安全に行う機能を必要とする。そのため、地山の変化に対しリアルタイムで管理ができ、止水に対してもっとも信頼のあるスラリー式TBMを採用することとした。

2-2 TBM(シールド)

岩盤掘削対応として、カットフェースはセミドーム型とし、17インチのディスクカット55個(当初

を装備した。また、長距離掘削の摩耗防止対策としてカットフェース前面には硬化肉盛溶接と外周部には対摩耗鋼板による補強を施した。

TBMの製作数は、到達部が海峡下となり回収が不可能であるため、TBM残置を基本とせざるを得なかったこと、全体工程の最適化から、沈埋函を挟んでヨーロッパ側2基(TBM 2, TBM 3)、アジア側2基(TBM 4, TBM 5)の計4基とした(写真-1)。

TBMの主要諸元は以下のとおりである。

掘削外径：7,930mm

TBM前胴外径：7,890mm

TBM後胴外径：7,850mm

T B M 機 長：ヨーロッパ側 10,000mm

ア ジ ア 側 11,000mm

総 推 力：75,000kN(3,000kNジャッキ×25本)

カッタトルク：10,600~4,800kN-m

2-3 RCセグメント

本プロジェクトの構造物には、100年の設計耐

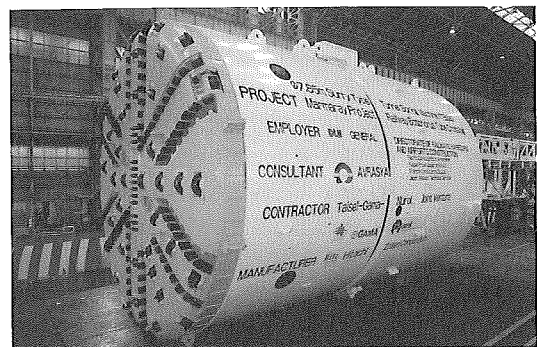


写真-1 TBM

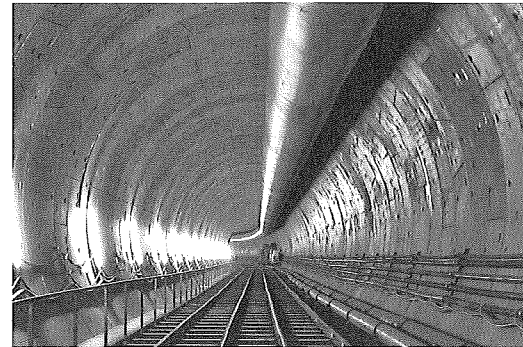


写真-2 RCセグメント組立て状況

用年数と初期ひび割れを許容しない防水構造が要求された。RCセグメントは、トンネル仕上り内径が7.04mで、セグメント厚は土質により300, 320mm、セグメント幅は1.5mである。掘削延長18,720mに対して約13,000リングを専用の工場にて製造した。

セグメント用コンクリートは、ポリカルボン酸塩系の高性能減水剤を使用し、スランプ18±3cmのノンAEコンクリートとして配合した。セグメント製造時は、蒸気養生に起因するDelayed Ettringite Formationの発生防止を考慮し、セグメント内部のコンクリート温度が60℃を上回らない条件で、かつ必要な製造サイクルが確保できるように、打込み温度ごとに適切な前養生時間と蒸気養生サイクルを定めた。また、養生シート被覆など急冷や乾燥などによるひび割れの防止に配慮した養生対策を実施した(写真-2)。

2-4 実施工程

各トンネルの実施工程は下記のとおりである。なお、到達日は最終到達日であり、途中駅部に到達し、駅部内を移動(または空推進)したうえで、さらに再発進した期日などは記載していない。

TBM 2 (ヨーロッパ側)

掘進延長：3,068m

掘進開始日：2009年12月31日

到達日：2011年8月8日

TBM 3 (ヨーロッパ側)

掘進延長：3,081m

掘進開始日：2009年12月1日

到達日：2011年1月26日

TBM 4 (アジア側)

掘進延長：4,216m

掘進開始日：2007年3月26日

到達日：2010年2月17日

TBM 5 (アジア側)

掘進延長：4,187m

掘進開始日：2007年1月24日

到達日：2010年10月5日

上記を見てわかるように、ヨーロッパ側の発進時期は、発進基地であるイエニカプ駅の埋蔵文化財調査の長期化によりアジア側の発進から約3年後となった。そのために全体工程は大幅に延びたが、アジア側の施工実績を分析し、ヨーロッパ側の施工へ反映する時間を得ることができたため、2-6節に述べるように、あと施工のヨーロッパ側の施工効率を大幅に改善することができた。

2-5 対象土質

掘削対象土質は、アジア側、ヨーロッパ側ともほぼ同等であり、今から約2億5千万年前の泥岩・砂岩・頁岩を主体とする堆積層で、岩強度(一軸圧縮強度)は平均で $q_u=80\text{MPa}$ 、亀裂の多い中硬岩クラスであった。

また、堆積岩中に火成岩(輝緑岩)が貫入しており、その周辺がマグマによる熱変成・圧力変成を受けて粘土や玉石になっている。TBMはそれらの土層を水平に掘削していくため、堆積岩層から粘土層または玉石層を通過して火成岩層へ突入、再び粘土層または玉石層を経て堆積岩層に戻るといった一連の流れを何度もくり返すこととなった。この土層変化は、短い周期では5~10m、長い周期でも100~200mで出現し、そのたびごとに切羽安定のため、きめ細やかな泥水管理が要求された。これ以外にも、後述する転石や破砕体にも遭遇し、その対策に多くの時間と労力を費やすこととなった。

2-6 アジア側での課題分析とヨーロッパ側への反映

先行して施工を開始したアジア側では、ディスクカットの摩耗が激しく、その交換は当初予定していた600mに1回という頻度をはるかに上回っ

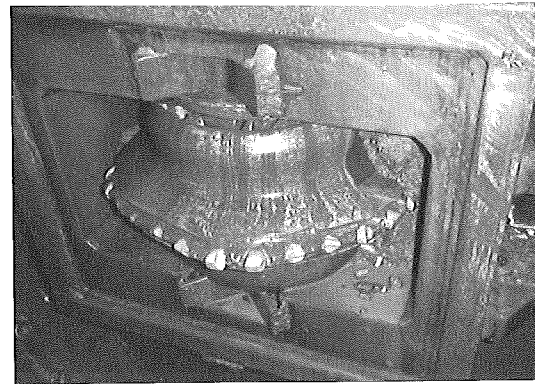


写真-3 ディスクカッタ摩耗状況

た。事前に摩耗対策は施していたが、カッタフェース自体の摩耗も激しかったため、到達後の補修・補強にも想定以上に時間を要した(写真-3)。

また、流体輸送設備や泥水処理設備でも摩耗による損傷が激しく、通常交換しない部品の交換もせざるを得なくなった。

破碎装置(ロータリクラッシャ)による破碎後の礫径がポンプの形状とマッチしなかったため、インペラでの閉塞が頻繁に発生した。これにより排土の能力の低下や完全閉塞時の除去作業に多くの時間を費やした。さらに、トルコではスラリー式TBMの施工実績がなかったため、経験のあるエンジニアや作業員がおらず、日常点検などがどうしても不十分になりトラブルの発生を未然に防ぐことができなかった。

これらの問題により、部品交換が当初予定したよりも高頻度で発生し、その対応自体にも時間がかかったためアジア側の施工では進捗が思うように上がらなかった。

これらの点をふまえて、とくにヨーロッパ側の施工では掘進開始前に以下にあげる改善を行うことで工程の促進を図った。

(1) カッタフェースの改造

ディスクカッタで破碎された岩ずりが完全にチャンバ内に取込めないため、外周部の摩耗が激しかったこと、とくに外周部のディスクカッタの摩耗が激しかったことから、取込み開口の増設および外周部のディスクカッタを増設するとともに、サイズアップも行った。

(2) 流体設備の改良

閉塞防止と排土の負荷を低減するために、当初1台だったロータリクラッシャを2台直列に配置し、排土するずりのサイズを確実に小さくすることを実現した。これにより、1台目で大割り、2台目で小割りすることで、1台あたりの負担を半減させ、なおかつ、どちらかが故障の際にはバイパス管を用いることで、機械修理のための掘削中止を回避することもできた。

また、管内ずり沈降抑制のため、排泥パイプのサイズアップおよび中継ポンプの増設で排土の能力を上げた。

(3) 泥水処理設備の改良

排泥能力に合わせて、泥水の処理能力も向上させた。また、振動篩の網なども摩耗に強いタイプのものに交換し、さらに通常必要としない部品についてもアジア側で交換したものについては、事前に予備品を用意して調達にかかるタイムロスも低減した。

(4) 人的補強

経験のある日本人スーパーバイザーでメンテナンス班を組織して、日常の点検および定期的なメンテナンスを実施することで効率的な部品交換を実施した。

以上の改善を実施した結果、ヨーロッパ側ではアジア側の約2倍の進捗を上げることができた。

2-7 不測の事態への対応

民族・文化・宗教・法律・言語も違う海外工事では、不測の事態はつきものである。通常国内の施工では発生し得ないような事態をいくつも経験した。その中でアジア側の施工時に発生した技術的不測の事態について、代表的なものをいくつか報告する。いずれも工程に深刻な影響を及ぼすこととなった事例である。

(1) 古井戸

TBM5が発進した直後に、埋戻された古井戸(直径約1.5mで民家の車庫の基礎モルタル地下に存在していた)に当たり、井戸内に埋戻されたごみなどをチャンバ内に取込んだため、深刻な閉塞を起こし、泥水圧のコントロールが困難となり掘

進不能となった。

対応策としてはまず、地上より古井戸内にモルタルを充填し、切羽前面の安定を図った。次にチャンバ内を大気圧に戻すことなく、泥水の循環作業のみで地道にチャンバ内閉塞物の除去作業を行った。周辺に影響を与えることなく作業を完了したが、通常の掘削に戻るまで約半月を要した。

施工前に路線上の井戸に関して2種類の調査を実施していた。1つは使用中の井戸で、事前に自治体に登録されているので、行政側の台帳にもとづきリストを作成し、住民へのヒアリングで確認した。2つ目は古井戸で、記録がないため住民へのヒアリングにて調査確認した。しかし、土地所有者が変わったり、失念されていたりして、リスクを多く含んでいた。このことが今回の事態を招いた原因であったことから、この事態以降、ジオレーダーにより路線上の古井戸ならびに地中障害物調査を行い、同種の事態は回避できた。

(2) 転石によるビットの脱落

先行機のTBM5にて、小土かぶりの破碎帯部の掘削を行っていた際、地盤中に切羽半分を覆う巨大な転石が出現し、ティースビットの大半が脱落した。

路上より切羽上部を地盤改良し、泥水を抜いてチャンバ内に立入り、破損したカッタフェース、ティースビットを補修し、転石は削岩機により破碎して対応した。

このトラブルの対応のためにTBM5が長期間停止することとなり、後行していたTBM4が離隔6mでTBM5を追い抜くこととなった。

(3) 破碎帯での掘進停止

破碎帯において、縦長に破碎された岩がカッタフェースのスリット制限板をすり抜けてチャンバ内に多数入り込み、排泥管より排出することができなくなり閉塞して掘削不能となった。

これは排泥管のサイズに合わせてスリットに制限板を取付けていたが、3次元的に制限できなかったため縦長のサイズの大きい岩塊を取り込んでしまったのが閉塞の発生原因であった。

スリット制限板をさらに増やし、減った開口率

は、新たに設けた取込み口で補った。

(4) ウスクダル駅到達時の地下水噴発³⁾

ウスクダル駅では到達部が岩盤ではなく土砂部であり、海に隣接する駅であるため、ほぼ地盤高に地下水位がある地質であった。そのためジェットグラウトによる到達防護を連壁背面に実施して、駅側からコア抜きで地盤改良効果の確認を行い、適宜止水注入で補足することで、先行するTBM4は問題なく到達し、駅内にTBMを引出せた。

後行のTBM5も同様の手順どおりに連壁背面に到達後、TBM引入れ準備のためにチャンバ内の泥水を抜いて駅側より到達部の連壁の撤去を始めようとしたときに、地山より地下水がチャンバ内へ噴発した。地表の沈下などの影響を発生させないように、泥水をチャンバ内に満たし地下水の安定を図ったが、TBMを駅内に引入れるには、さらなる補助工法が必要となった。

すでにTBMが駅背面に到達していたため地上部からTBM下部への地盤改良が困難であること、周囲が繁華街のため地表面への影響が許されないことなどから、地下水位低下工法や地盤改良工法ではなく、マイナス197℃の液体窒素による地盤凍結工法を採用した。

TBMの下部も凍結させるために駅部より水平にTBMを囲うように凍結管を配置し、地盤凍結を行った(写真-4)。

この工法は、冷却材の液体窒素を凍結管に分配供給し、液体窒素が気化する際に地盤の熱を奪うことでTBMの周囲の地盤を地下水ごと凍結させるものである。通常国内で使用される冷媒方式(塩化カルシウム水溶液マイナス30度)に比べ、温度が低いぶん、凍土造成時間が短いというメリットがあるが、工費は割高となる。凍結完了後、連壁の撤去を行い、地表面への影響もなく無事到達を完了させた(写真-5)。

これらの不測事態も、(1)についてはジオレーダによる調査、(2)、(3)についてはカッタフェースの改造とダブルクラッシャの採用、泥水輸送・泥水処理設備の拡充によりヨーロッパ側の施工では発生を防ぐことができた。

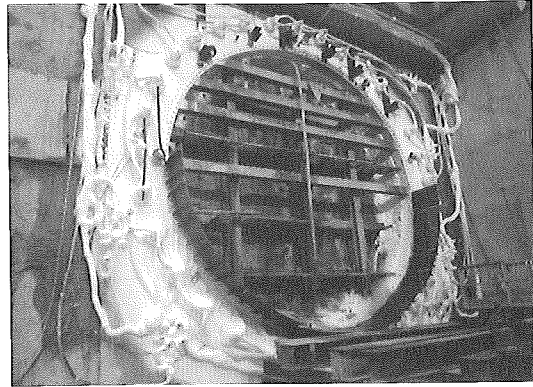


写真-4 ウスクダル駅到達坑口凍結状況

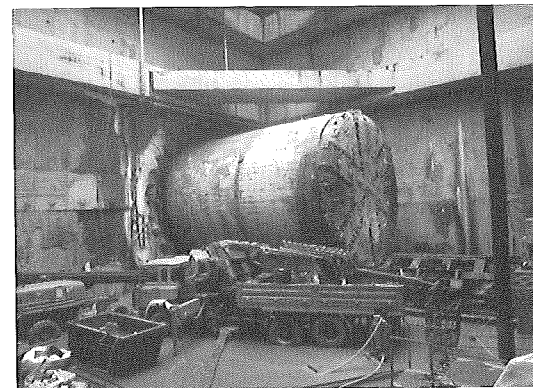


写真-5 TBM 5 引出し完了

2-8 不健全建物対応

今回の施工では、海峡部分を除くほとんどの路線が市街地の民家の下を掘削しなければならなかった。問題となったのは、その建物の健全性であった。トルコでは、住居を親から子へ、そして孫へと引継いでいく慣習があるため築100年を軽く超える老朽化した建物が数多くみられる(写真-6)。そのためその多くは現在の建築基準法に準じていない建物であったり、強度不足であったり、また不法に建てられた建物もあり、トルコ国内で年に何棟か集合住宅が自然倒壊し、犠牲者が出る報道を目にすることもある。本契約によると、トンネル掘削中、これら建物の健全性を維持する義務が請負者側にあるとされたため、影響が懸念される区間の建物調査を実施した。これらの建物をその健全性から6つのカテゴリーに分類し、危険度の高い方から3つのカテゴリーに属する建物を詳細に再調査したうえで、その結果についてイスタ



写真-6 老朽建物

ンブル工科大学の専門家に評価および対策立案を依頼した。その結果、施工前に家屋の取壊し、補強、トンネル掘削時のみ住民一時退避などの対策を施し、施工中は当該建物のモニタリングを実施し、対策の効果を確認しながら、建物に損傷を与えることなく無事施工を完了した。

3 TBMと沈埋トンネルの接合工事

3-1 施工概要

ここでは、「ボスボラス海峡横断鉄道トンネル建設工事」におけるスラリー式TBMと沈埋トンネルとの接合工事について記載する。

本工事は、ボスボラス海峡の下で、沈埋トンネルとの接合部に、ミックスソイルによる人工地盤を造成し、到達立坑を設置することなく、4基のTBMを直接、沈埋トンネルに接合させた過去に前例のない試みである。沈埋トンネル接続施工の概要は沈埋トンネル編の図-18を参照されたい。人工地盤造成と接続要領を図-1に示す。

特記すべき技術的課題は、高水圧下(アジア側0.5MPa, ヨーロッパ側0.6MPa)での接合作業を安全に施工するために、確実な止水性が要求されることである。沈埋トンネルの断面・縦断図を図-2に示す。

接合の補助工法として、ゴムパッキンと加圧チューブを作動させて止水するF-PAS(The Freezing Packing for Seal)工法を採用した。この工法にて仮止水したあと、切羽を大気圧に開放し、すみやかに本設の止水作業(止水鉄板取付け)を行った。

TBMと沈埋トンネルの接続

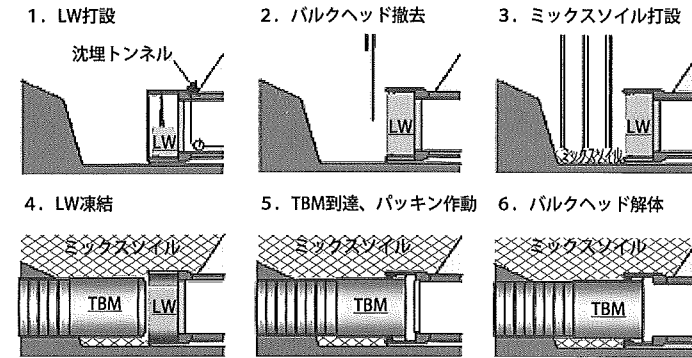


図-1 人工地盤造成と接続要領図

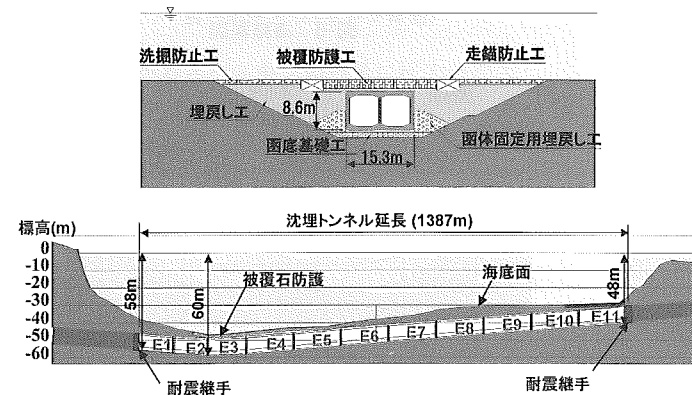


図-2 沈埋トンネルの断面・縦断図

その後、長期止水性を確保した状態で、TBMと沈埋函のバルクヘッドを解体し、セグメントと函体を鉄筋コンクリートでつなぐことで、接合工事を無事に完了した。

3-2 TBMと沈埋トンネルとの接続^{(4),(5)}

今回の工事では、海底下において全長約1.4kmの沈埋トンネル両端部に、スラリー式TBMを各々2基ずつ直到達させ、高水圧下でシールドトンネルと沈埋トンネルの接続を行った。到達時の補助工法として、高水圧下でも安全かつ確実な止水性を保てるF-PAS工法を採用した。

F-PAS工法では一般的に、到達立坑側の坑口部全周に、鋼芯入りのゴム製パッキン、加圧チューブおよび凍結・解凍用の配管を収納した止水装置(図-3)を事前に組込み、坑口部内部を止水装置ごと充填材にて充填する。そして、TBMの到達前に止水装置周辺の充填材を凍結しておき、到達後

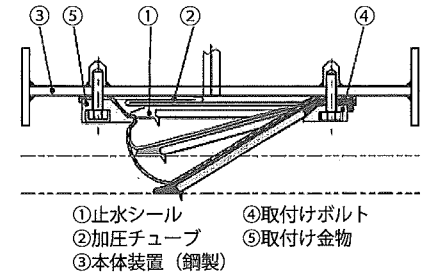


図-3 F-PAS装置

に解凍することによって、装置周辺の充填材に流動化をおこさせ、パッキン背面の加圧チューブを膨らませることによって、パッキンがTBM方向に開き、全周でスキンプレートに接することで止水を行うものである。

充填材には、凍結固化後に、解凍を行うことによって、流動化する性質のある水ガラス系の注入材料であるLWを使用する。

今回の施工にあたっては、TBMの到達用に沈埋函の端部に設けられたスリーブ管内に、F-PAS装置を組込み、その後、スリーブ管内部をLWにて充填した(写真-7、図-4)。

以下に実際に施工したF-PAS工法の施工手順を報告する。

3-2-1 凍結

凍結用の機器を沈埋トンネル内に搬入し、すでに取付けられている凍結配管および測温素子に接続する。

TBMの到達に先行して、事前にF-PAS装置内に組込まれた凍結管に、約-25℃に冷やした不凍液(ブライン：塩化カルシウム溶液)を循環させ、装置周辺部およびスリーブ管下端部を凍結させる。スリーブ管下端部の凍結の施工は、解凍後、流動化したLWを効率よく切羽側に取除くためのラインを確保するために行う(図-5)。

そして、温度をモニタリングしながら、測温素子の位置で-2℃になるまでブラインの循環を行い、温度が-2℃に達したあとは、TBM到達まで凍結維持運転を継続する(図-6)

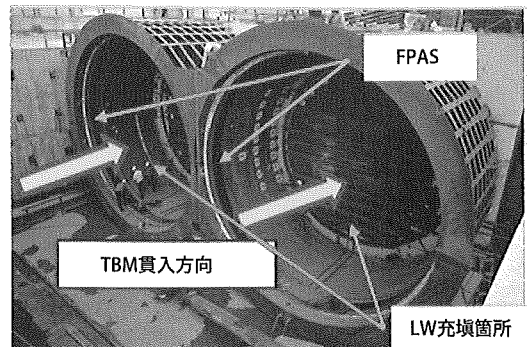


写真-7 沈埋函端部の到達用スリーブ管とF-PAS設置状況

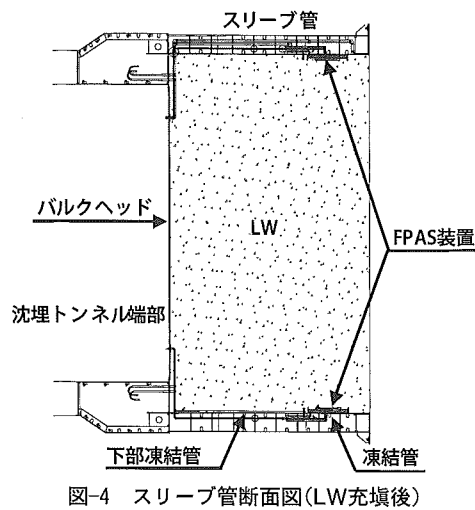


図-4 スリーブ管断面図(LW充填後)

3-2-2 解凍、パッキン作動

沈埋函端部スリーブ管内の所定位置までTBMの掘進を行ったあと、F-PAS装置周辺のLWを流動化させるために、凍結管に約60℃の温水を循環させ解凍を行う。

解凍後に、加圧チューブに水を送り込み、膨らませることで、流動化したLWが押しつけられ、収納されたパッキンがTBMスキンプレートに向かって開いていく(写真-8,9)。チューブが膨らんでLWを押しつけるため切羽水圧が上昇するが、TBM側よりチャンパ内の泥水を徐々に抜くことで、切羽水圧を保ちながら、所定量まで注水を継続する。

加圧チューブ内に所定の量を注水すると、パッキンがTBMに押しつけられるので、止水状況を確認するために、切羽水圧を徐々に下げていく。切

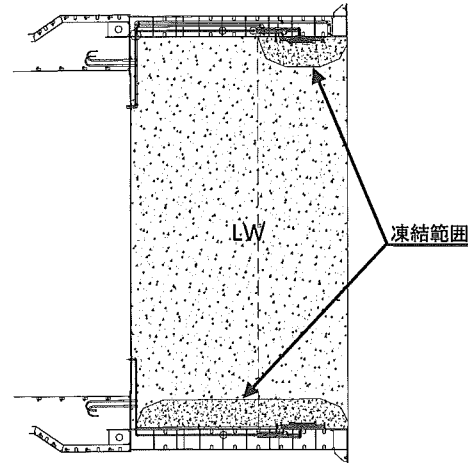


図-5 凍結範囲

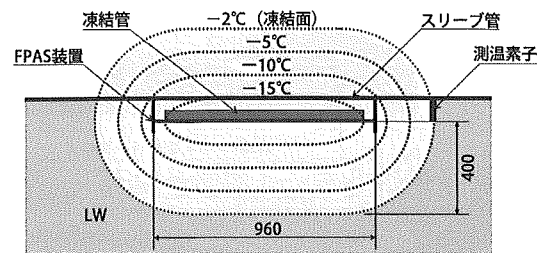


図-6 温度分布図

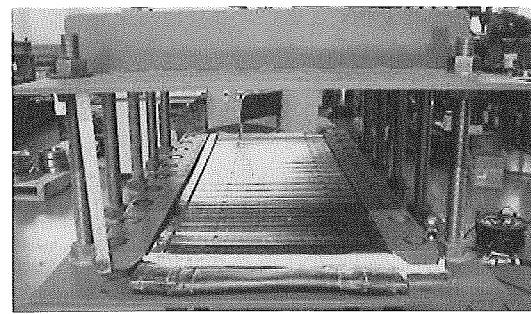


写真-8 パッキン作動前

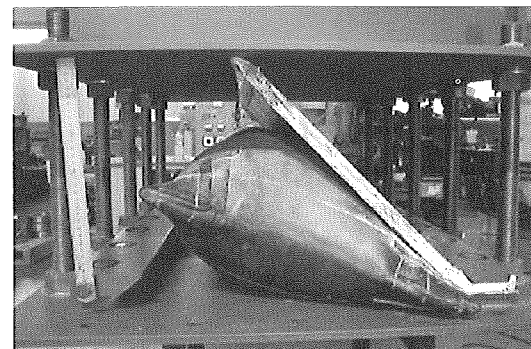


写真-9 パッキン作動後

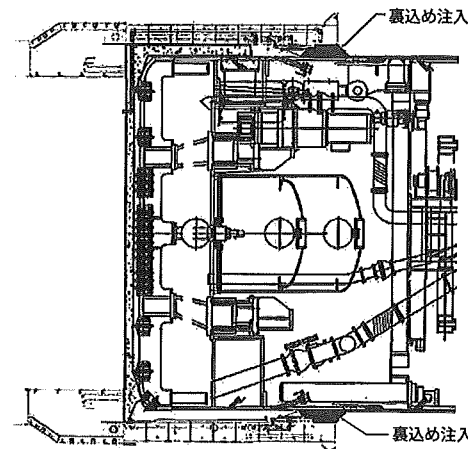


図-7 裏込め注入(パッキン背面)

羽水圧が下がるとパッキンの内外に圧力差が生じ、さらにパッキンがTBMに押しつけられて止水性が向上していく。

切羽水圧を下げたあと、切羽水圧が復旧しなければ止水完了となるが、今回はさらに止水を確実にするために、TBM内より、裏込め注入を行い、スリーブ管とTBM間のボイドを充填した(図-7)。

3-2-3 止水プレート取付け

ボイドへの裏込め注入後、切羽水圧をモニターしながらしばらく養生を行い、切羽水圧の上昇がないことを確認したうえでマンロックを開けチャンパ内の残りの泥水を排水し、止水鉄板を溶接にて取付けた(図-8,9)。

F-PAS工法はあくまでも仮止水であるため、F-PASによる止水完了後、TBMスキンプレートとスリーブ管を鉄板にて接続し、全周溶接で最終の本止水を行う。止水鉄板は、小分割した鉄板をTBM前胴とカッターヘッドの隙間からスリーブ管まで差込み、順次溶接していく。

止水鉄板の溶接完了後、鉄板背面より、鉄板とパッキンの隙間にセメントミルクを充填した。硬化後に、加圧チューブ内の水を裏込め注入材で置換して、すべての作業が終了となる。このあと、TBMの解体、沈埋トンネルのバルクヘッド解体を行い、トンネルの貫通となる。

TBM 1基あたりの海底下での接続工事は、到達から止水鉄板取付け完了まで約20日間かかった。

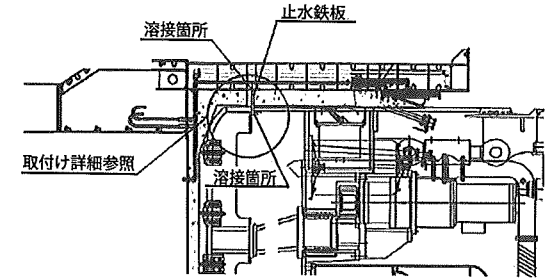


図-8 止水鉄板取付け位置

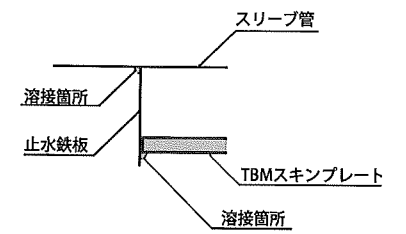


図-9 止水鉄板取付け詳細

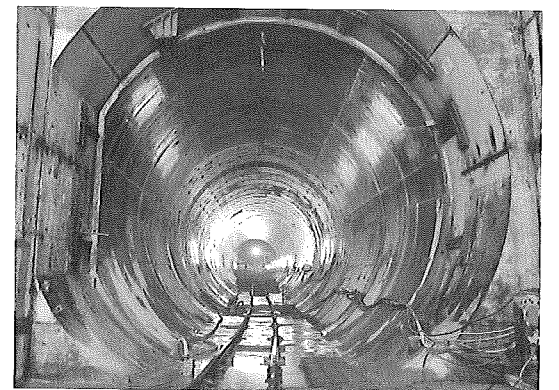


写真-10 トンネル接続部(覆工修了後)

4基すべてのTBMについて出水もなく、安全に完了させることができた。

その後、完全に止水された状態で、TBMおよび沈埋トンネルのバルクヘッドの解体を行い、セグメントと函体を鉄筋コンクリートで結合し、接合工事はすべて完了した(写真-10)。

4 TBM工事を終えて

当社初めての国トルコでのビジネス、トルコ初めてのスラリー式TBMの施工を、言語、文化、国民性の違う異国の地で行うにあたり、さまざまな困難はあったものの、2011年1月26日に併設トンネルのうち1本目が地中接合を終えて貫通し、

山岳トンネル編

大成建設(株)国際支店トルコ・ボスボラス海峡横断鉄道建設工事作業所所長(山岳トンネル担当)
 (現)大成建設(株)土木本部次世代プロジェクト部部长
岩野 政浩

大成建設(株)国際支店トルコ・ボスボラス海峡横断鉄道建設工事作業所所長(山岳トンネル担当)
 (現)大成建設(株)土木本部次世代プロジェクト部准部長
小林 伸次

大成建設(株)国際支店トルコ・ボスボラス海峡横断鉄道建設工事作業所課長(山岳トンネル担当)
 (現)大成建設(株)土木本部次世代プロジェクト部課長
金子 哲也

1 はじめに

山岳工法により施工される構造物¹⁾は、大規模地下駅であるヨーロッパ側シルケジ駅、アジア側・ヨーロッパ側に各1か所の大断面渡り線トンネル、200mごとに合計43か所配置される上下線を結ぶ避難連絡通路トンネル、トンネル内の排水を集水し坑外に排水するための3か所あるポンプピットである。シルケジ駅の掘削断面積約500m²の2本の換気立坑を含めて各種トンネルで総延長2,130m、掘削土量は約24万m³、耐水型トンネル覆工や駅舎構造物を含めたコンクリート量は約5万m³である。シルケジ駅鳥瞰図を図-1に示す。

2 大規模地下駅の施工²⁾

シルケジ駅には、地下約50mに2本のプラットフォームトンネルとその中央に並行する中央通路トンネル、それに直行する4本の接続通路トンネルが建設される。また東西に2か所の換気立坑、

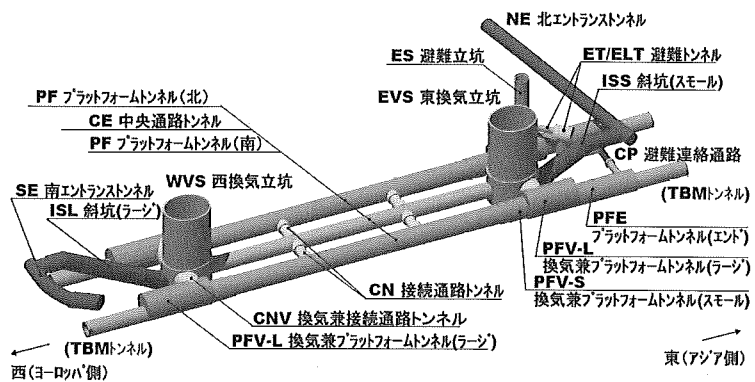


図-1 シルケジ駅鳥瞰図

その立坑に接続する換気坑併設通路トンネル、避難立坑および避難トンネルも建設される。

種々の設備を兼ね備える必要性から30か所以上の交差点部を施工する必要があり、さらに大幅な断面変化点や勾配30度のエントランス斜坑の施工もあり、とくに東換気立坑周辺では立体的に非常に近接していた。また小土かぶりのエントラントンネルや避難連絡トンネルの上部では帯水砂層内でのトンネル構築となるなど、複雑な構造の地下構造物を山岳工法で施工する工事であった。

工事に伴う地表面構造物への影響評価³⁾を実施するために、掘削に伴う地表面沈下と地下水位低下による地表面沈下予測を行った。客先要求事項(ERQ)に従い管理基準を設け適切に対応した。シルケジ駅の施工は南北エントランスおよび東換気立坑の遺跡調査が長期化したことにより、当初の施工手順を変更し、ほとんどの掘削工事は西換気立坑のみからの施工となった。

トンネル掘削は2008年5月に西換気立坑(WVS)から開始し、西立坑掘削完了後にはトンネル掘削基地として用いながら、プラットフォームトンネルほか坑内掘削の大部分を行った。遺跡調査の長期化で遅れていた南北エントランスおよび東換気立坑の掘削が開始されたのは2012年に入ってからであった。

2-1 西換気立坑の施工⁴⁾

立坑は、深さ58m、直径約25

海底をわたる風がアジアからヨーロッパへ吹抜けた。翌2月26日にはエルドアン首相ならびにユルドゥルム運輸大臣を招待しての貫通式典を華々しく挙行することができ、改めて国家事業の大きさを再認識させられた。

その後2011年8月8日に4機目のTBM2が無事沈埋函に到達し、TBMの全掘進工を完了した。

また、今回の沈埋函とスラリー式TBMの海底下での接続工事は、過去に例のないものであり、高水圧環境下での技術的難易度の高い工事であった。設計および計画段階から、リスクマネジメント手法を用いて、発生頻度の低いリスクについても対応策を細かく立案した。そして、施工においては作業ステップごとに、細部にわたり計画と実施工の照合および検証を行い、不具合については手順を詳細に見直し、フィードバックすることで、4台のTBMをトラブルなく沈埋函に接合し、高水圧下での完全止水を実現することができた。

掘進距離14.6kmに及ぶ鉄道トンネルを、4基のスラリー式TBMで大深度の岩盤を掘削し、海面下で沈埋函体へ直接地中接合させた前例はない。今後、さまざまな場所で計画される高水圧環境下での同種工事に今回の経験が生かされれば幸いで

ある。

本プロジェクトの完成は、ひとえに150年の夢を追い続けたトルコ国民の協力、コミュニケーションを助けてくれたローカルスタッフの努力なしでは成し得なかったと思われる。国籍の違いを超えて工事に携わったすべての人々にご指導いただいた関係者の皆様に心より感謝の意を表します。

参考文献

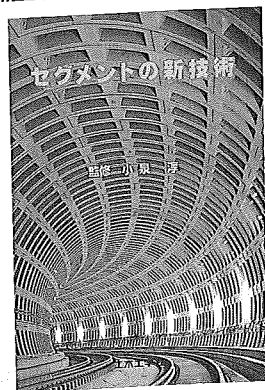
- 1) 田口洋輔・小山文男・今石尚：ボスボラス海峡横断鉄道トンネルの施工，トンネルと地下，Vol.39，No.1，pp.7-17，2008.1.
- 2) 今石尚・稲積教彦・湯上繁信・安藤哲人：トルコ150年の夢，アジアとヨーロッパを結ぶ海峡横断鉄道トンネル，スラリー式TBMトンネルの施工—シルドトンネル—，基礎工，Vol.42，No.1，pp.69-75，2014.1.
- 3) 今石尚・湯上繁信：ボスボラス海峡横断鉄道トンネルの施工，特殊凍結工法によるシルド機到達の報告，土木施工，Vol.51，No.6，pp.60-64，2010.5.
- 4) 日比谷穰・稲積教彦：タイトル，建設の施工企画，No.730，pp.19-23，2010.12.
- 5) 日比谷穰・湯上繁信：ボスボラス海峡横断海底トンネルの建設，JREA，Vol.57，No.2，pp.41-44，2014.2.

セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 円290円

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



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

また、立坑下部には4か所の大断面開口部を設けることから先受け工などの開口部補強を行った。CNVの掘削についてはできるだけ加背を小さくした多段ベンチカット工法により行い、計測管理による情報化施工により、常に設計時の計画変位量に対する照査を行いながら掘削を進めた。その結果、計測値は予測値より若干大きな値となったが、支保工の変状などは確認されなかった(図-5)。

多段ベンチカットの施工は、西側については仮

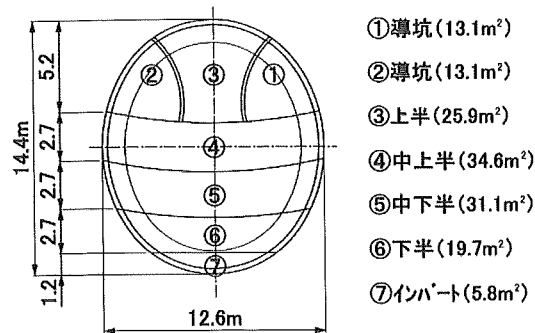


図-5 換気兼接続通路トンネル掘削加背割り図



写真-4 西換気兼接続通路トンネル施工状況

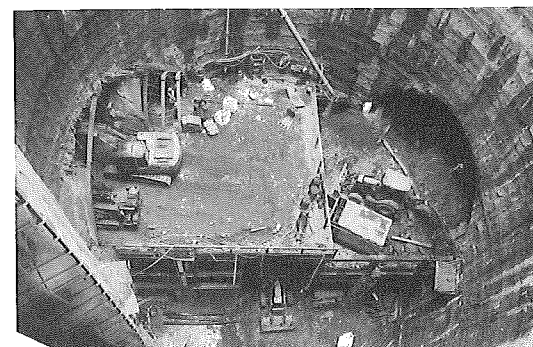


写真-5 東換気兼接続通路トンネル施工状況

設の施工盤を仮設盛土により行った。この際、中央連絡トンネル、クロスオーバーへのアクセストンネルの動線を確認するため、プロテクタを設置した。東側は工程促進のため鋼製ステージを組立て、すべての動線へのアクセスを確保した(写真-4, 5)。

2-5 北エントランストンネルの施工⁸⁾

当初、北エントランストンネル水平部(NE)は、NATMによる掘削を計画していたが、設計位置変更による追加地質調査により、トンネルすべてが砂層内に構築されることが確認された。延長が約130mと短距離であるものの、地表面環境への影響を抑制する必要から、EPB-TBM(土圧シールド)を採用した(写真-6、掘削径φ7.23m、仕上り内径φ6.40m)。

プラットフォームからの連絡トンネル(斜坑)との接続は、シールドセグメントにNATMトンネルで接続する方法を取った。支保剛性の異なる2つのトンネルを接合させるため、NATM側の接続部を円形補強梁によるSRC構造とした。

接続部の施工は先行して掘削が完了している周辺トンネルから掘削範囲に止水注入(水ガラス)を実施した。セグメントの開口部には事前に仮補強リングを設置し、NATMによる接続部掘削、セグメント開口、防水シート、補強梁鉄骨、鉄筋コンクリートの順で施工を進めた(写真-7, 8)。

北エントランストンネル斜坑部(ISS)の施工はエントランスの構築作業と同時期の施工となったため、東換気立坑内より勾配30度で切り上がり掘削を行った。下部からの施工は切羽安定が必須の

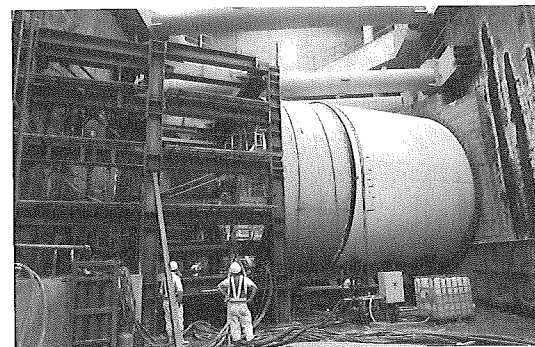


写真-6 北エントランストンネル施工状況

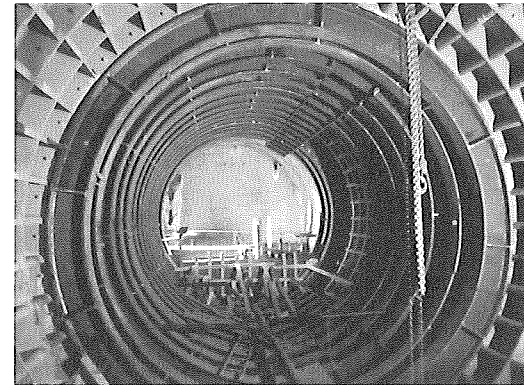


写真-7 北エントランストンネル接続部セグメント開口補強仮リング設置状況

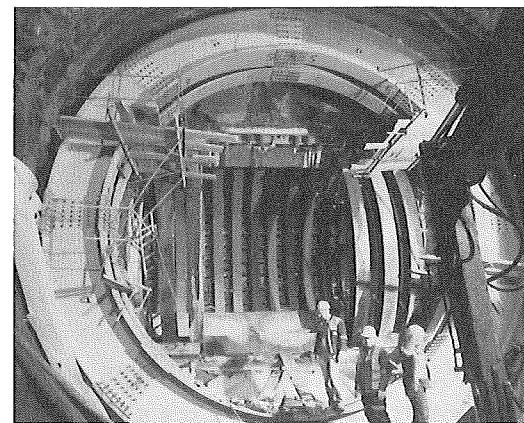


写真-8 北エントランストンネル接続部鋼製円形補強梁設置状況

ため、9mの鋼管先受け工および鏡ボルトを4mラップさせながら全線で実施した(図-6、写真-9)。

2-6 南エントランストンネルの施工⁹⁾

南エントランストンネルは約30mの水平部(SE)と約60mの斜坑部(ISL)である。水平部については南エントランスの構築と施工エリアを区分し、エントランス側から掘削を行った。斜坑部については北エントランス同様、エントランス構築と同時期となったため、西換気立坑内より勾配30度で切り上がり掘削を行った。北エントランス斜坑に比べ地山状況は良好であったが、安全性の確保という観点から同様の補助工法を採用して切羽の保全を行った。また西換気立坑の構築作業と同時施工となったため、立坑底盤部にプロテクタを設置したうえで、換気立坑構築支保工を設置した。ず

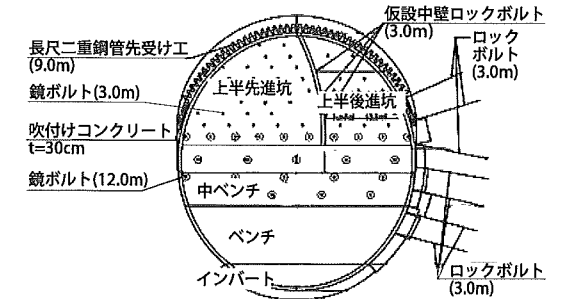


図-6 北エントランス斜坑掘削加背割り図



写真-9 北エントランストンネル斜坑掘削状況

り搬出および資材搬入は中央連絡トンネルを使用して東立坑から行った。

2-7 換気立坑スリップフォームの採用

東西2か所の換気立坑(内径約23m×19m、深さ約57m)では、工程促進策として側壁構築工にスリップフォーム工法を採用した。換気立坑は換気機能と南北エントランスからの通路およびプラットフォーム間を接続する連絡トンネルの機能も備えているため4方向に大開口のある楕円構造物であった。とくに南北の接続トンネルは換気坑を一体化しているため断面が約140m²と大きい。東西の人道トンネルについても4連エスカレータを包括するため約75m²の開口となっていた。駅舎天井となる換気スラブから上部については、換気設備をすべて立坑内に配置するため9層構造で、複雑な中壁で仕切られた構造であった。

スリップフォームを採用するにあたり4方向円形開口部対策および床版接合部の施工方法を検討する必要があった。開口部の施工方法については、仮支柱をスリップフォームと同時に打上げていく

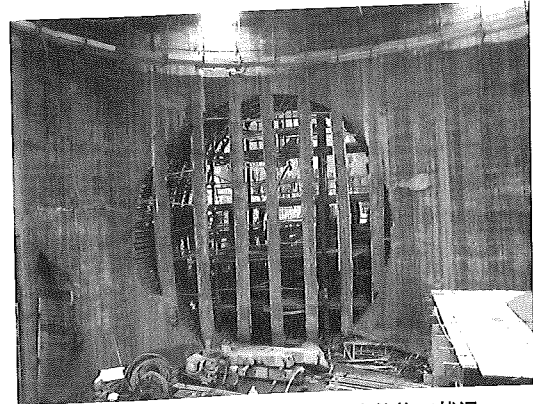


写真-10 スリップフォーム仮支柱施工状況

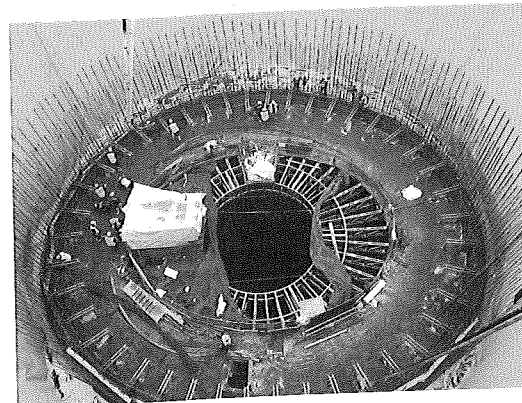


写真-11 スリップフォーム施工状況

こととし、座屈防止のためRC構造とした(写真-10)。

スラブ鉄筋はスリップフォーム施工の妨げとなるため、型枠表面に突出しないよう折込み鉄筋とし、スラブ構築時に曲げ戻しを行い接続した。コンクリートの供給は、下部ではコンクリートバケット、上部では移動式ポンプ車により、打設を行った。施工はほぼ計画どおり、東西立坑とも約1か月で完了し、工程促進が果たせた(写真-11)。

2-8 鋼製セグメント覆工の採用

南エントランス斜坑の二次覆工を、工程促進のため、プレキャスト鋼製セグメントに変更した。セグメントを、軌道でシルケジ駅外から供給し、特製ハンドリングマシンにより1ピースずつ組立てた。ハンドリングマシンはウインチにて牽引するレール式台車に設置し、施工の進捗に伴い順次移動させ、別途セグメント台車を下部に配置して資材の供給を行った(写真-12)。

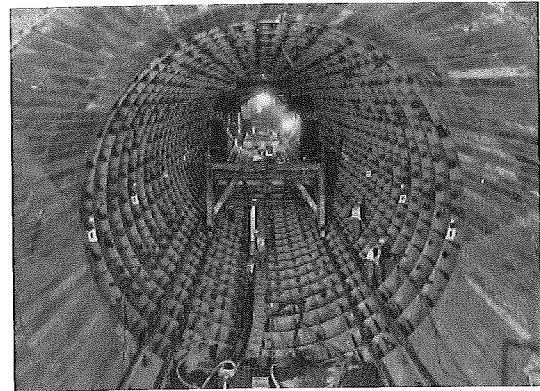


写真-12 南エントランストンネル斜坑鋼製セグメント覆工施工状況

鋼製セグメント設置後は、裏込めとして、まず豆砂利を注入し、セグメント間の止水溶接完了後にセメントミルクを注入して裏込め充填を行った。

3 大断面渡り線トンネルの施工

渡り線(クロスオーバー)トンネルは、上り線と下り線の両本線トンネルをつなぐリンクトンネルで、アジア側、ヨーロッパ側に各1か所設けられる。

3-1 アジア側渡り線トンネルの施工

アジア側のクロスオーバートンネルは、図-7に示すように1本の大断面トンネルに2本のTBM本線トンネルが接続し、大空間の中に渡り線が収まるかたちとなる。施工の順序は、仮設立坑・仮設トンネルからNATMにて大断面を掘削しておき、その後TBMが到達・再発進する。約210m²と大断面であることから、上半中壁の多段ベンチ掘削とした。

3-2 ヨーロッパ側渡り線トンネルの施工

ヨーロッパ側のクロスオーバートンネルは、図-8に示すような構造であり、3種類の断面よりなる。先にいったんTBMで掘削された本線トンネルをNATMにてそれぞれの断面に切抜け(COL, COM), これを同じくNATM掘削によるリンクトンネル(COS)とつなぐものである。

ヨーロッパ側クロスオーバートンネル部の地質は泥岩が主体である。地形的には丘の下となり、土かぶりは80m程度と路線内では比較的大きい。

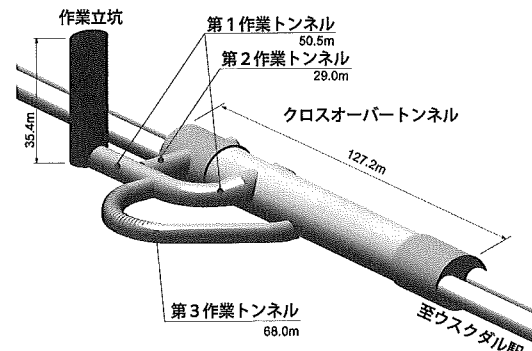


図-7 アジア側クロスオーバー鳥瞰図

先行したTBM掘削データより粉碎帯と思われる脆弱層の出現が懸念された。地下水位はほぼ地表面近傍であった。地表部はグランドバザール直近の商業地であり、商用ビルが密集している。

クロスオーバートンネルの施工は、以下の方針により行った。

- ・ NATM切抜けによる大断面部(COL)は、TBM掘削を優先し、TBM掘削完了後に行う。ただし、事前補強のプレロックボルトについてはTBM掘削の動線を確認し、TBM仮設レール上から行う。
- ・ リンクトンネル(COS)は、TBM掘進中もNATMによる掘削が可能であるため、工期を勘案し、シルケジ駅西換気立坑よりアクセストンネル(約25m²)を掘削し、TBM通過より前に掘削する。

切り抜け施工手順を下記に示す。

- ① プレロックボルト：NATMによる切抜けに先立ち、TBMセグメント内よりロックボルトを打設する。ボルト長は、TBM断面とNATM切抜けの断面との位置関係に応じて4~6mとした。また削孔データを分析し事前地山評価を行った。
- ② アプローチトンネル掘削：COLトンネルの断面は約220m²であり、TBM断面に比較して極端に大きいため、NATMとしての切羽の自立スパンを考慮し、いったん中間断面で上半掘削を行う。中間断面は、切抜け開始地点ではTBM断面と同じとし、徐々に大き

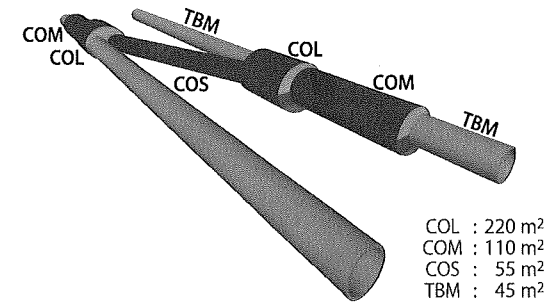


図-8 ヨーロッパ側クロスオーバー鳥瞰図

- くして最終的にはCOM上半と同じとした。またCOM天端に到達するよう若干上り勾配の斜路掘削とし、これをアプローチトンネルと呼んだ。TBMセグメントを一問ずつ外し、COMトンネル上半とほぼ同じ支保を行った。
- ③ COMトンネルの上半掘削を終点まで行う。
 - ④ COM上半の掘削完了後、アプローチトンネルをCOM上半断面で切抜ける。逆向きの掘削となるため、拡幅掘削部分を分割し、通行を確保しながら行った。
 - ⑤ COL上半断面へと切抜けを行う。大断面掘削に伴う変位の抑制と地表面沈下の抑制のため、上半仮インバートを施工する。
 - ⑥ COL上半掘削を仮インバートによる仮閉合を行いながら施工する。
 - ⑦ COLのベンチとインバートを掘削する。
 - ⑧ COMのベンチとインバートを掘削する。
- 以上により、COL、COM断面の掘削が完了する。施工状況を写真-13、切抜け掘削(TBM断面→COM断面→COL断面)の手順を図-9に示す。

COSトンネルの掘削は、TBM掘削中に西立坑よりアクセストンネルを使用して開始した。まず南側本線トンネルに向かって掘削を行い、近接トンネルの影響を考慮し残り10m程度まで掘削を行った。

南側の貫通は、COLの上半まで完了したのち、先受け補強を行い、COL側より行った。北側への掘削は、アクセストンネルが北側COL大断面に近接しているため、まず近接するアクセストンネルをコンクリートで埋戻し、南側トンネルを使用して行った。

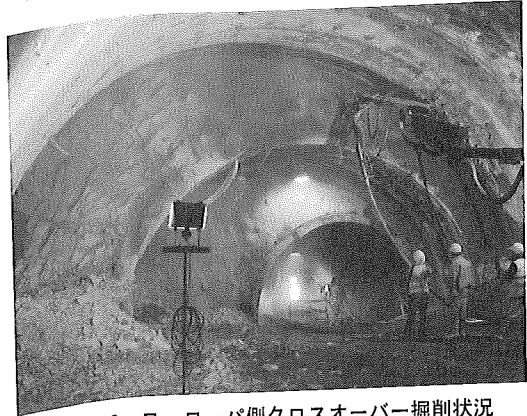


写真-13 ヨーロッパ側クロスオーバー掘削状況

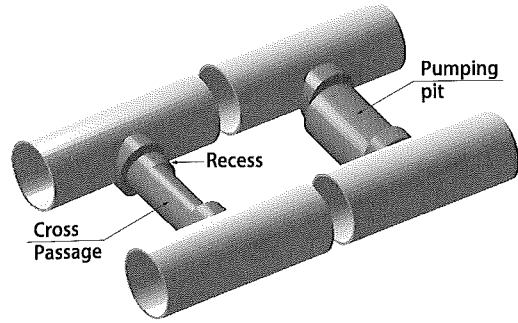


図-10 避難連絡坑鳥瞰図

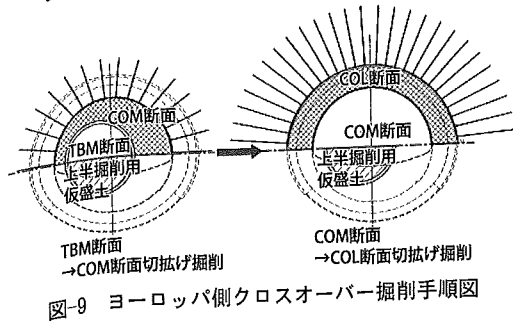


図-9 ヨーロッパ側クロスオーバー掘削手順図

4 避難連絡坑の施工

避難連絡坑の概要を図-10に示す。避難連絡坑は、主としてTBMで掘削された本線の上下線を約200m間隔で連絡するもので、山岳工法で施工した。緊急避難路として使用されるのみならず、ほぼすべての避難連絡坑に電気設備が配置される関係からリセス(Resess)と呼ばれる拡幅部が付随する。またTBM本線との接合部は上下線とも耐火ドアのための拡大断面となっている。

TBM本線のカーブなどの関係からTBM相互の離隔が異なり、リセス部とジョイント部を除いた避難連絡坑一般部の延長は、約5～約20mとなっている。また一部ポンプピットが併設される箇所は、本線より低いレベルまで掘り下げたかたちとなっている。断面の下半分がポンプピットとして利用され、スラブを挟んで上半分が通常の避難連絡坑として利用される構造となっている。

避難連絡坑は、場所により土かぶり・地質が異なる。施工上で懸念されるリスクは以下のとおり

である。

- ① 小土かぶり・低固結層での地表面陥没・沈下
- ② 海峡近接部での異常出水
- ③ 地山不良部における大変形
- ④ TBMとNATM接合部における止水不良

これらのリスクを回避するため、NATM掘削前に事前ボーリングを行い、地山状況の確認と湧水状況を確認して、必要な場合には地盤強化・止水を目的としたセメント系注入を行った。セメント注入の仕様の決定には試行錯誤を重ねたが、ノモグラムを作成し、これにもとづいて行うこととした。

判断の指標として、事前ボーリング孔にてルジオン試験を行い、地山の(改良前)ルジオン値を実測する。得られたルジオン値と土かぶり(≒水頭)より、改良しないで掘削した場合の湧水量を推定する。推定された湧水量が基準値以内に収まっていれば、改良は行わないと判断した。一方、基準値に収まらない場合は、湧水量が基準値に収まるよう改良を計画することとした。注入による透水性の改良効果は、トンネル外周の改良ゾーンの幅をパラメータとして、それまでの実績を整理して推定した。基準値は吹付けをはじめとした掘削の施工性、および防水シートのNATM部-TBM部の設置をはじめとした覆工の施工性より、50L/分とした。

なお小土かぶり・低固結層においては、実測ルジオン値、推定湧水量にかかわらず、地山補強を目的としたセメント注入を実施した。

施工はまず、セグメント開口部補強となる仮設サポートを設置してセグメントに開口部を設ける。次にトンネル掘削を行い、完了後に本設セグメントサポートを掘削断面内に設置し、開口部補強を仮設から盛替えた時点で仮設サポートを撤去し、防水工および覆工コンクリートの施工を行った。

5 都市部山岳トンネルの施工を終えて

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

西立坑の掘削を山岳工法により2008年2月に開始し、南北フォームトンネルの掘削、4か所の大断面換気兼プラットフォームトンネル、2か所の中央通路と南北接続通路の十字型交差部および西立坑からの南北2か所の換気兼接続通路トンネルなど、すべての水平トンネルの掘削が完了した2011年7月まで、3年6か月を要した。

また遺跡調査の長期化により工事開始が遅れていた東換気立坑周辺や南北エントランストンネルの斜坑を含めた全トンネル掘削が2013年4月に完了した。その後、土木工事の最後となるシルケジ駅内の覆工工事および軌道工事も無事に完成し、2013年10月に客車の営業運転開始を迎えることができた。

最後に、今回の大規模地下駅および大断面トンネルの建設にあたって、山岳トンネルの設計・施

工全般に対しての技術指導にご尽力をいただいた桜井春輔・神戸大学名誉教授に心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 田口洋輔・小山文男・今石尚：ボスボラス海峡横断鉄道トンネルの施工、トンネルと地下、Vol.39, No.1, pp.7-17, 2008.1.
- 2) 岩野政浩：世界歴史遺産都市における大規模地下駅の建設、ボスボラス海峡横断鉄道トンネル工事、トンネルと地下、Vol.44, No.3, pp.7-18, 2013.3.
- 3) Boscardin, M. and Cording, E.J.: Building Response to Excavation-Induced Settlement, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.115, No.1, pp.1-21, 1989.1.
- 4) 岩野政浩・土屋正彦・田口洋輔・金子哲也・松村謙治：ボスボラス海峡横断鉄道工事-都市部山岳工法による大規模地下駅の設計と施工、土木学会第38回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.104-109, 2009.1.
- 5) Iwano M., Kaneko T., Otsuka I., Shimizu Y. and Sakurai S.: Construction of underground railways station in historical area in Istanbul, Turkey, ITA-AITES World Tunnel Congress 2011, Helsinki, 2011.5.
- 6) 小原伸高・松村謙治・岩野政浩・大塚勇・桜井春輔：ボスボラス海峡横断鉄道工事における都市部山岳工法による大規模地下駅の設計・施工、土木学会第22回トンネル工学研究報告集, Vol.22, pp.107-114, 2012.11.
- 7) 坂井一雄・小池真史・青木智幸・大塚勇・金子哲也：岩野政浩,ボスボラス海峡横断鉄道建設工事における大規模・大深度地下駅掘削時の安定性検討,土木学会第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.19-24, 2011.1.
- 8) 小原伸高, 岩野政浩, 大塚勇, 小林伸次:ボスボラス海峡横断鉄道工事における都市部山岳工法によるシルケジ駅の設計と施工,土木学会・第23回トンネル工学研究報告集, Vol.23, pp.129-136, 2013.11.

建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋吉吉 共著 A5判 326頁 本体定価 4,300円(〒340円)

株式会社 **土木工学社** 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072



「海と温泉のリゾート」南紀白浜町から

岩本 俊一

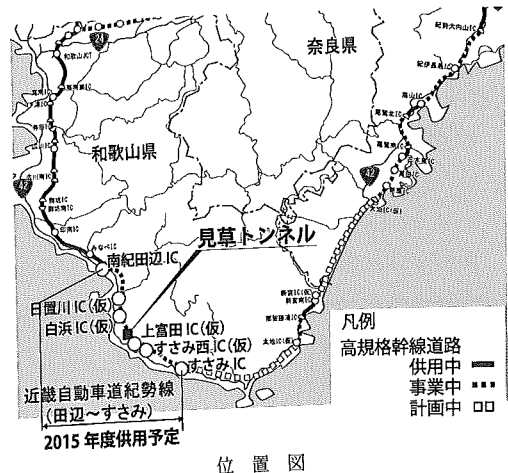
白浜町は、紀伊半島の和歌山県南西の海岸沿いに位置し、日本三古湯のひとつに数えられる南紀白浜温泉を有する西日本有数のリゾート地として知られている。

南紀白浜温泉は、飛鳥奈良時代から「牟婁の湯」の名で知られ、日本書紀に歴代天皇が訪れたことも記載されており、古くから多くの人々が来泉している。町内には多くの温泉があり、工事事務所近くの美肌の湯として有名な椿温泉郷にも、多くの観光客が立ち寄っている。

戦後から高度成長期に入り、南紀白浜空港の開港や道路・鉄道の整備により、多くの観光客が訪れる関西一の温泉観光地として発展していった。観光地として景勝地も多く、南紀白浜のシンボルである「円月島」、断崖絶壁の名勝「三段壁」、岩畳が壮大な景観の「千畳敷」などがあり、世界遺産である「熊野古道大辺路街道」へ続く参詣道の途上でもある。

また、近畿地方屈指の海水浴場として知られる白良浜は、延長640mに及ぶ遠浅の浜を持ち、90%の珪酸を含む石英砂は文字通り真っ白でサラサラである。夏の海水浴シーズンには60万人を超える人が訪れ、花火大会やトライアスロン大会など数々のイベントも開催される、マリニゾートとしても発展している。

動物園、水族館、遊園地が一体となったテーマパークである「アドベンチャーワールド」は、日本で3か



地元小学校見学会

所しかないジャイアントパンダの飼育動物園を有している。

現在、ジャイアントパンダは日本で8頭が飼育されているが、「アドベンチャーワールド」には、そのうち5頭が暮らしており、これは中国以外では世界で一番の大家族である。

近畿自動車道紀勢線は、大阪府を起点として和歌山県を經由し三重県に至る、高速自動車道である。この路線は幹線道路として、地域相互の振興と発展に寄与し、発生が懸念されている東南海地震などの、災害時の代替路としての機能も期待されている。

国土交通省近畿地方整備局は、田辺市から西牟婁郡すさみ町までの区間を、わかやま国体開催年である平成27年度中の供用開始を目指し、工事を進めている。

見草トンネルは、もっとも東側に位置する延長L=2,380mの長大トンネルである。地質が新第三紀中新世の砂岩・泥岩の互層のため、全線の90%がインバート施工となっている。トンネル掘削は平成24(2012)年9月に着手し、平成26(2014)年3月に貫通予定である。

当工事は、トンネル工事で施工CIM(コンストラクション・インフォメーション・モデリング)に本格的に取組んだ最初の工事であり、各方面から注目されている。今後、二次覆工が主体となるが、地元のご理解を得て、発注者を初めとする関係各位のご指導をたまわりながら、安全第一で早期完成を目指し努力していく所存である。

(株)大林組見草トンネル工事事務所(所長)

施工

蛇紋岩を鋼製支保工の降伏を許容した支保構造により掘削

— 国道40号 音威子府トンネル —

国土交通省北海道開発局旭川開発建設部士別道路事務所第3工務課長 掛田 浩司
国土交通省北海道開発局旭川開発建設部士別道路事務所第3工務課第1工務係長 橋本 忠幸
鹿島建設(株)北海道支店音威子府トンネル工事事務所現場代理人 山岸 隆史
鹿島建設(株)土木設計本部地下空間設計部トンネルグループ設計主査 北村 義宜

1 はじめに

国道40号は、旭川市を起点に稚内市に至る延長約250kmの幹線道路である。このうち音威子府バイパスは、雪崩による特殊通行規制区間を解消し、道路交通の定時性、安全性向上や現道の交通事故低減を目的とした総延長約19kmの一般国道のバイパス事業である。音威子府バイパスには、4本のトンネルが計画されており、音威子府トンネルは南東に位置するもっとも起点側のトンネルである。

音威子府トンネルは全延長2,699mのうち、その約4割に相当する1,015mの区間で蛇紋岩が出現すると想定されている。過去に蛇紋岩区間を施工したトンネルにおいては、施工中から大きな変位が生じるなど、難航した経緯が多く報告されている。

本トンネルは蛇紋岩区間の土かぶりがおおむね200m以上(最大土かぶり315m)と大きいことから、

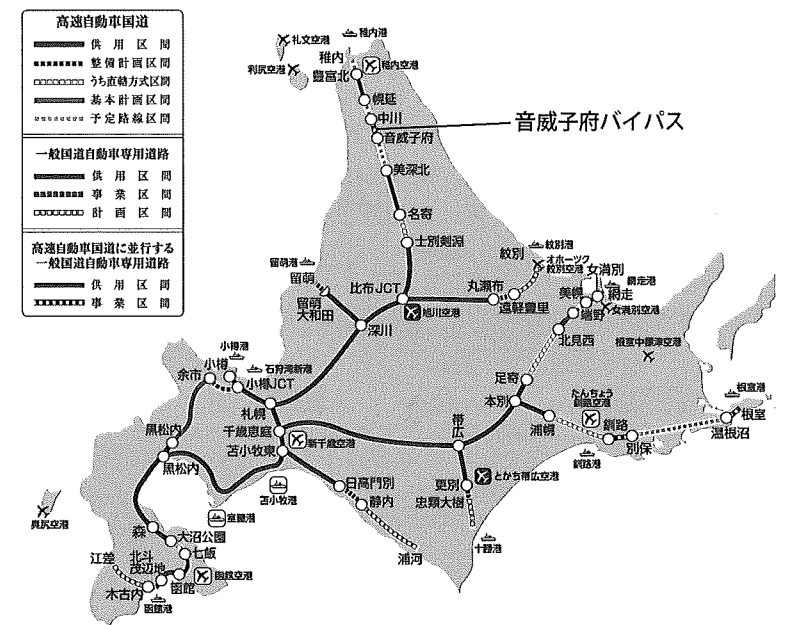


図-1 音威子府バイパス位置図

塑性変形による著しい土圧が作用して、トンネル支保工が降伏する可能性が予見された。この場合、FEM解析による従来の設計手法に従えば、鋼製支保工の応力が降伏応力を超えないように支保サイズを設定することとなるが、鋼製支保工の応力が降伏応力を超えてその剛性が低下した場合でも、

吹付けコンクリートの応力は設計基準強度まで余裕があり、トンネルの安定性は維持される事例が多い。

このため、鋼製支保工応力が降伏応力を超えて剛性が低下し、吹付けコンクリートおよび周辺地山に荷重が再分配される状況を模擬するトンネル掘削解析プログラムを開発し、これを用いた掘削解析を通じて土かぶりを開発し、これを用いた掘削解析を通じて土かぶりと地山の变形係数に応じたもっとも合理的な支保パターンを選定できる仕組みを構築した。本稿では開発したプログラムの紹介および構築した支保パターンの選定方法を概説するとともに、蛇紋岩区間の施工結果について報告する。

2 工事概要

本トンネルの諸元と工事概要を表-1, 2に示す。本トンネルはトンネルの全延長が2,699mとなる2車線道路トンネルである。本トンネル周辺の地質は南北に伸びる白亜系蝦夷層群に属する堆積岩類とこれに貫入する蛇紋岩で構成され、それぞれが断層を介して接している。また図-2に示すよ

表-1 トンネル諸元

道路規格	第1種第3級
平面線形	直線~R3,000m
縦断勾配	2.0%
掘削断面積	79.9~109.8m ²
内空断面積	76.4m ²

表-2 工事概要

工事名称	一般国道40号 音威子府村 音威子府トンネル工事	一般国道40号 音威子府村 音威子府トンネル新設工事
	音威子府トンネル138番地先	
工事場所	北海道中川郡音威子府村字音威子府138番地先	
発注者	北海道開発局旭川開発建設部	
施工者	鹿島・荒井 特定建設工事共同企業体	
工期	2009年10月7日~ 2013年3月19日	2012年8月24日~ 2016年3月18日
	掘削工 1,482.0m	掘削工 1,209.5m
工事内容	インバート工 991.5m	インバート工 1,210.0m
	覆工 196.0m	覆工 2,495.5m
	坑門工 7.0m	面壁工 0.5m

トンネルと地下

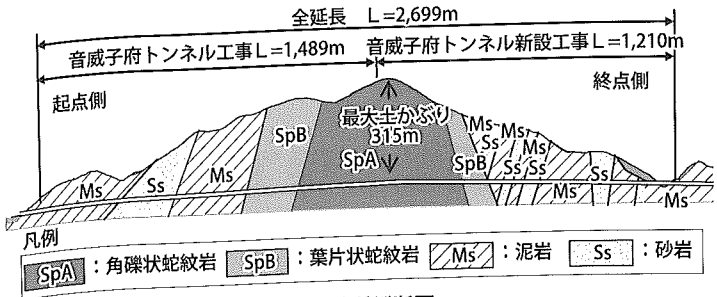


図-2 地質縦断面

うに、トンネル中央部を中心に全延長の約4割に相当する区間に蛇紋岩が分布しており、塊状および角礫状蛇紋岩を主体とする蛇紋岩A(SpA)と、葉片状蛇紋岩が優勢となる蛇紋岩B(SpB)の2つに大きく区分される。

3 蛇紋岩地帯におけるトンネル施工実績の調査

北海道における蛇紋岩トンネルの支保パターンの採用実績を概観し、本トンネルの蛇紋岩区間に必要となる支保パターンを推定した。

北海道における蛇紋岩を対象に施工した2例のトンネルを取上げ、それぞれの支保構造、土かぶりや地山の变形係数などをまとめた結果を表-3に示す。同表のうち穂別トンネル西工事¹⁾では支保構造に一次側と二次側の二重構造(二重支保)を採用しているのに対し、幌加内トンネル²⁾では二次側の支保工は設置しない構造となっている。

穂別トンネル西と幌加内トンネルの地山变形係数は似通っているが、両者には土かぶりに違いがあり、土かぶりの大きい穂別トンネル西工事では二重支保が必要となる一方、幌加内トンネルではこれが不要であったと考えられる。

本トンネルでは、地上からの調査ボーリングにより蛇紋岩の变形係数を調査した。この結果、葉片状、角礫状、塊状の3つの形態の蛇紋岩が確認されたが、図-3に示すように葉片状蛇紋岩の变形係数が穂別トンネル西工事と同程度であり、土かぶりも大きいことから、本トンネルにおいても地山の性状によっては二重支保が必要となる可能性があると思定した。

表-3 蛇紋岩トンネルの施工事例

トンネル名称		穂別トンネル西工事	幌加内トンネル	
支保仕様	一次側	アーチ部 鋼製支保工	HH-200@1.0m	H200@0.9m
		吹付けコンクリート	t=250mm (f _{ck} =36N/mm ²)	t=250mm (f _{ck} =36N/mm ²)
	インバート	鋼製支保工	HH-200@1.0m	H200@0.9m
		吹付けコンクリート	t=250mm (f _{ck} =36N/mm ²)	t=200mm (f _{ck} =36N/mm ²)
	二次側	アーチ部	鋼製支保工 吹付けコンクリート	なし
		インバート	鋼製支保工 吹付けコンクリート	なし
ロックボルト		4m×23本	4m×18本, 6m×4本	
補助	工法	鏡ボルト, 鏡吹付け, 先受け工	鏡ボルト, 鏡吹付け, 先受け工, 増しボルト	
土かぶり		350m	120m	
掘削	工法	補助ベンチ付き全断面掘削	ショートベンチカット工法	
地山变形係数	代表値	1.5×10 ³ kN/m ²	1.0×10 ³ kN/m ²	

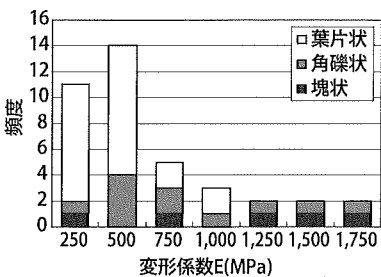


図-3 蛇紋岩变形係数の調査結果

4 鋼製支保工の降伏時における剛性低下を考慮した解析手法の概念

本トンネルのようにトンネル支保工に鋼製支保工が降伏するような大きな土圧が作用すると想定される場合、FEMを用いた従来のトンネル設計手

法では、鋼製支保工の応力が吹付けコンクリートよりも先に許容値(降伏応力)を超過するため(図-4左)、鋼製支保工の応力が許容値を下回るように支保工をランクアップする必要があった(図-4右)。

一方、実際のトンネルにおいては、トンネル支保への作用土圧が小さければ、鋼製支保工と吹付けコンクリートの応力は許容値以下(図-5A)であるが、鋼製支保工の応力が許容値(降伏応力)に達すると、その状態のまま壊れることなくトンネ

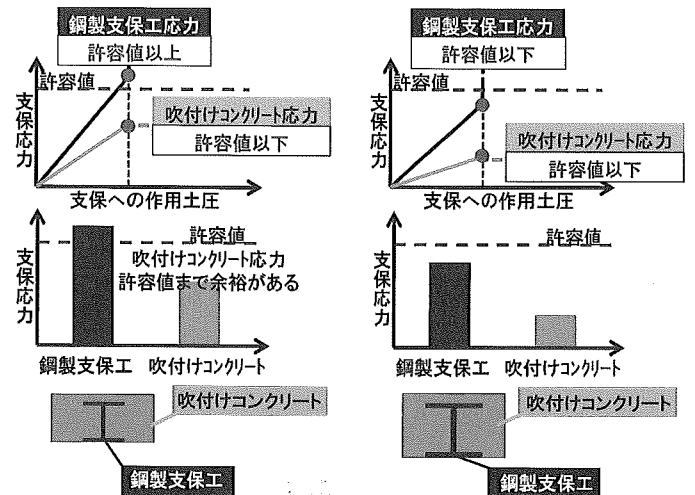


図-4 従来の解析手法にもとづくトンネル支保工の設計方法

ルの变形に追随(図-5B)し、土圧がさらに増えれば、鋼製支保工に代わって吹付けコンクリートや周辺の地山が土圧を負担する(図-5C)ことが、これまでの実測結果から判明している。

つまり、鋼製支保工の応力が降伏応力に到達しても、吹付けコンクリートに拘束されて座屈できないため、吹付けコンクリートが弾性範囲内で挙動するかぎり、支保工全体としては健全性を維持できると考えられる。このため、鋼製支保工が降

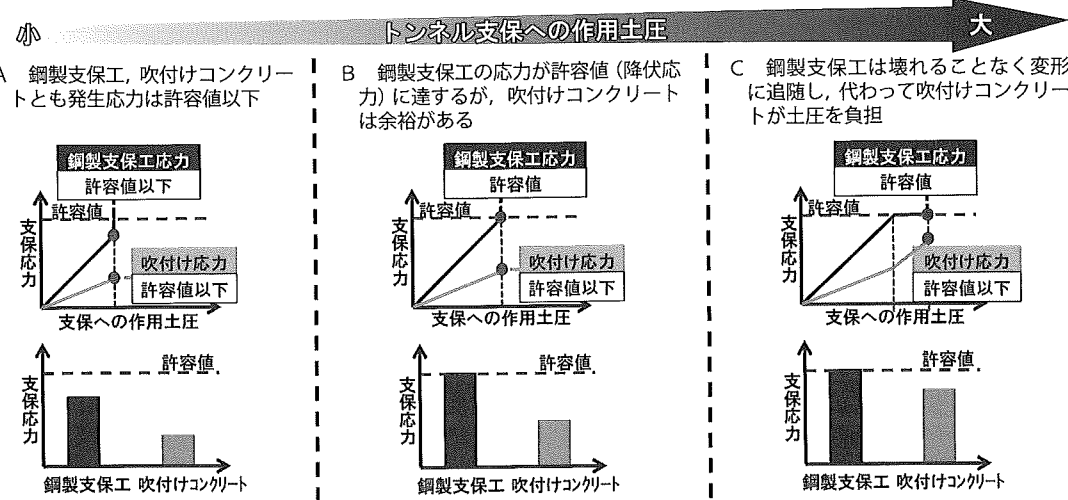


図-5 実現象におけるトンネル支保への作用土圧と支保応力の関係

伏しても、吹付けコンクリート応力が許容値以内であり、かつ過大な坑内変位が生じないことが予測できれば、FEMを用いた従来のトンネル設計手法にて設定した支保仕様をさらに合理化することが可能となる。

そこで、鋼材の降伏後に応力を一定に保ったまま、ひずみのみが増加する構成則と、支保部材に段階的に土圧を作用させて部材の応力が許容値に到達したかどうかを逐次判定する機能を組込んだトンネル掘削解析プログラム「トレーシー」(TRASY: Tunneling Rational Analysis with Support Yielding model, 特願 2011-130236)を開発した。

この解析プログラムを用いることで、実現象に近いシミュレーションを行うことができ、鋼製支保工の応力が許容値に到達したあとも、吹付けコンクリートが有する強度を活用した合理的な支保設計が可能となる。

5 解析手法の妥当性検証

本トンネルに対して「トレーシー」を適用したFEM解析を行い、鋼製支保工の剛性低下を考慮した支保設計を実施した。

この結果、トンネルの安定性を確保するためには図-6に示すような二重支保工構造(一次側:鋼製支保工+吹付け、二次側:吹付けのみ)により、

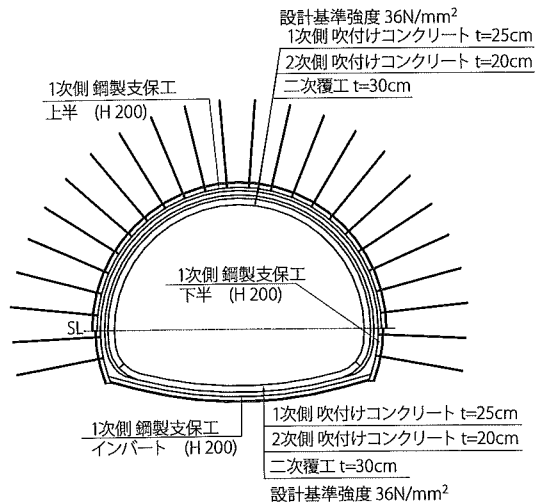


図-6 蛇紋岩区間の開始位置に適用した支保パターン
早期に断面を閉合する必要があるとの結果が得られたため、この支保パターンを採用して蛇紋岩区間の施工を開始した。

5-1 支保部材応力および坑内変位の計測結果

鋼製支保工軸力の測定結果を図-7に示す。天端付近で2,600kNの軸力(発生応力約400N/mm²)に相当するひずみが発生しており、鋼製支保工は降伏していると判断される。

一方、表-4に示すように吹付けコンクリート応力は設計基準強度を下回っており、坑内変位も小さいことから、トンネルの安定性は確保されている状況にあった。

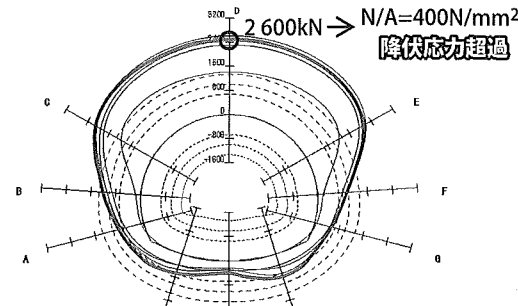


図-7 鋼製支保工軸力の測定結果

表-4 吹付け応力および坑内変位の計測結果

吹付けコンクリート(N/mm ²)		坑内変位計測結果(mm)		
応力計測値	設計基準強度	天端沈下量	内空変位量	
一次側最大	二次側最大	36	22	32
16.9	2.0			

5-2 解析手法の妥当性検証

支保工の軸力を計測した断面では、図-8に示すように切羽直近(切羽後方5m程度の位置)にて掘削断面を閉合する施工方法(超近接早期閉合)を採用した。このため、表-5~7を解析条件に設定してトレーシーを用いた掘削解析を実施し、坑内変

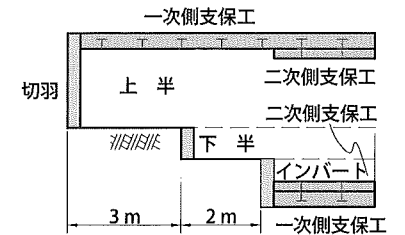


図-8 超近接早期閉合の掘削概念

表-8 解析結果と実測値の比較

	天端沈下量(mm)	内空変位量(mm)	吹付けコンクリート応力(N/mm ²)	
			一次側	二次側
実測値	22	32	16.9	2.0
解析結果	22	32	15.3	2.4

位と支保部材応力の実測値と一致する地山変形係数、側圧係数および上半一次支保設置時(ステップ3)の掘削解放率を求めた。

この結果、表-8に示すように、坑内変位だけでなく一次側および二次側吹付けコンクリート応力の実測結果も精度よく再現することができたため、トレーシーを用いて坑内変位と支保部材応力を推定することは妥当と判断した。

表-5 解析ステップ(超近接早期閉合)

ステップ1	ステップ2	ステップ3	ステップ4	ステップ5
自重解析	上半掘削	上半支保	下半掘削	下半・インバート支保
掘削解放率				
	上半40%	上半5%*	下半40%	上半55%, 下半60%

*現地実測結果と一致する掘削解放率を再現解析により設定

表-6 地山物性値

土かぶりH(m)	変形係数E(kN/m ²)	単位体積重量γ(kN/m ³)	ポアソン比ν ₀	粘着力c(kN/m ²)	内部摩擦角φ(°)	側圧係数k ₀
250	13.3×10 ⁶	24.7	0.33	400	20	0.96

表-7 支保部材物性値

	サイズ	変形係数E(kN/m ²)	ポアソン比ν	断面積A(m ²)	断面二次モーメントI(m ⁴)	許容値(N/mm ²)
吹付けコンクリート	t=25cm	6.00×10 ⁶	0.2	0.25	—	36 (設計基準強度)
	t=20cm			0.2		
鋼製支保工	H-200	2.10×10 ⁸	0.3	6.35×10 ⁻³	4.72×10 ⁻⁵	240(降伏応力)

6 土かぶりと地山変形係数に応じた合理的支保パターンの選定方法

図-3に示したように、本トンネルの蛇紋岩は葉片状、角礫状および塊状の3つの形態が出現し、その変形係数に大きなばらつきがある。このため、蛇紋岩の強度特性に応じて臨機応変に支保パターンを変更する必要が生じると考え、土かぶりと地山の変形係数を参考として、簡易に合理的な支保パターンを選定できる仕組みを構築した。

6-1 支保工の作用荷重に関連する指標の設定

トンネルの支保工に作用する荷重は土かぶりに比例し、地山の変形係数に反比例すると考えられる。このため、土かぶり荷重を地山の変形係数で

除した式(1)に示す無次元量 P 値を定義し、これを支保工に作用する荷重と地山条件とを関連づける指標とした。

$$P = \frac{\gamma H}{E} \quad (1)$$

γ : 地山の単位体積重量(kN/m³)

H : 土かぶり(m)

E : 地山の変形係数(kN/m²)

この P 値が大きいほど、吹付けコンクリートの発生応力や坑内変位量が大きくなり、より耐力の高い支保が必要となる。

6-2 比較対象とする支保パターンおよび掘削工法の設定

支保耐力のもっとも小さな標準案から二重支保

表-9 比較対象とする支保パターン

支保仕様	一次側 二次側	上半		下半		インバート	
		鋼製 支保工	吹付け厚 (cm)	鋼製 支保工	吹付け厚 (cm)	鋼製 支保工	吹付け厚 (cm)
標準案 (原設計)	一次側	H-200	25	H-150	20	H-150	20
対策案Ⅰ	一次側	H-200	25	H-200	25	H-200	25
対策案Ⅱ	一次側	H-200	25	H-150	20	H-150	20
対策案Ⅲ	一次側	H-200	25	H-200	25	H-200	25
対策案Ⅳ	一次側	H-250	30	H-250	30	H-250	30
対策案Ⅴ	一次側	H-200	25	H-200	25	H-200	25
	二次側	—	20	—	20	—	20
対策案Ⅵ	一次側	H-200	25	H-200	25	H-200	25
	二次側	H-200	20	H-200	20	H-200	20
対策案Ⅶ	一次側	HH-200	25	HH-200	25	HH-200	25
	二次側	HH-200	20	HH-200	20	HH-200	20

の採用により大幅に耐力を増強した対策案Ⅶまで、8種類の支保パターンを設定した(表-9)。また、図-8に示した施工方法(超近接早期閉合)だけでなく、切羽後方にて掘削断面をトンネル支保工にて閉合する施工方法(早期閉合、図-9)も想定し、合計16ケース(支保パターン8種類×掘削工法2種類)について比較検討を行うこととした。なお、早期閉合における解析ステップは、現地実測結果と解析結果が一致するよう、表-10のように設定した。

6-3 支保パターンおよび掘削工法に関する適応性の評価基準

16ケースの支保パターンと掘削工法の組合せに対して、土かぶりと地山の変形係数を多様に変化させた掘削解析を実施し、坑内変位および支保部材応力に関する評価基準とを対比することで、各ケースに関する適応性を評価した。

まず、トンネル周辺岩盤が限界ひずみを超えて破壊に至らないよう、一軸圧縮強度試験の平均値(4.5×10⁴kN/m²)に対する限界ひずみを当該岩盤の限界ひずみに設定し、内空変位と天端沈下の照査基準を表-11のように設定した。

また、蛇紋岩区間の土かぶりが高く、鋼製支保

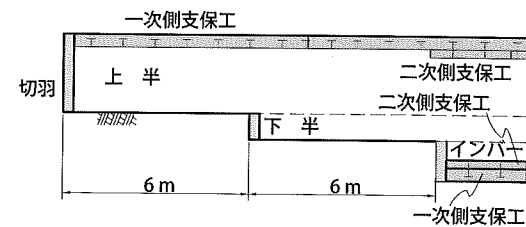


図-9 早期閉合の掘削概念

工は降伏すると想定されたため、吹付けコンクリート応力のみを照査することとした。照査基準値は吹付けコンクリートの設計基準強度とした。

6-4 P値を基準とした適応性の評価結果

掘削解析より得られた坑内変位量と支保部材応力を照査基準値と対比し、 P 値を基準として支保パターン別に評価結果を整理した。

図-10は P 値に対する適応可能な支保パターンと掘削工法の組合せを示している。

同図より支保パターンの剛性が高まるほど、また早期閉合より超近接早期閉合のほうが、より高い P 値に対して照査基準を満足することが確認できる。

このように支保パターンと掘削工法の組合せを整理することで、原位置における地山の変形係数試験やFEM逆解析などを通じて地山の変形係数を取得することにより、任意の土かぶりに対してもっとも合理的な支保パターンを選定することが可能となる。

7 地山性状に応じた支保パターンおよび掘削工法の適用結果

トンネル掘削時における坑内変位、支保部材の応力の測定結果および先進ボーリングの孔内載荷試験で得られた変形係数をもとに、適用した支保

表-11 坑内変位の照査基準

天端沈下量	内空変位量
75mm	150mm
限界ひずみ×トンネル半径	限界ひずみ×トンネル半径×2

表-10 解析ステップ(早期閉合)

ステップ1	ステップ2	ステップ3	ステップ4	ステップ5	ステップ6
自重解析	上半掘削	上半一次支保	下半掘削	下半支保	インバート掘削
掘削解放率					
—	上半40%	上半55%	下半40%	上半5%, 下半60%	インバート100%

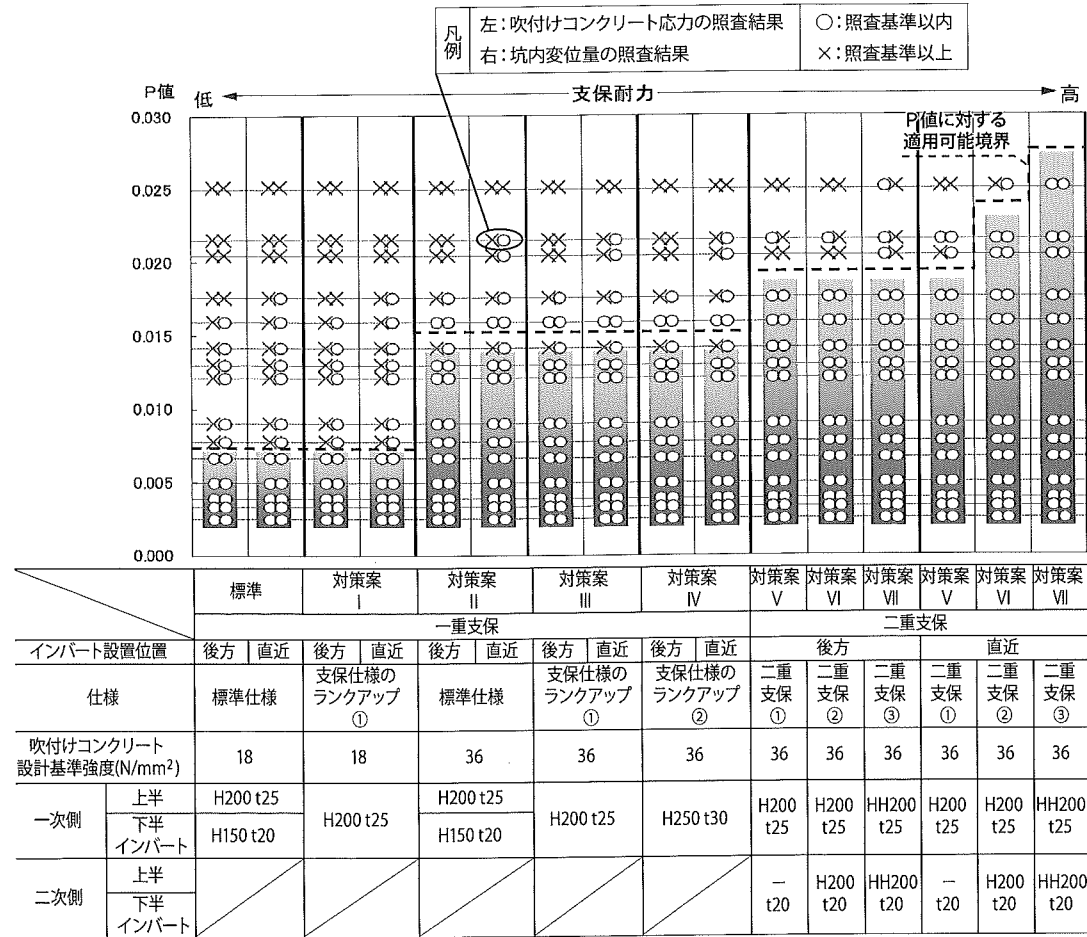


図-10 P値に対する適応可能支保パターンと掘削工法の組合せ

パターンの妥当性を検証し、地山性状に応じた支保パターンの見直しを適宜行った。

蛇紋岩が出現した区間を対象として、トンネル距離程に応じて坑内変位量をプロットした結果を図-11に示す。当初は孔内載荷試験より求めた変形係数と土かぶりからP値を求め、対策案V(超近接早期閉合)にて蛇紋岩区間の掘削を開始したが、SP2367.5にて支保部材応力を計測した結果、表-4に示すとおり二次側の吹付けコンクリート応力がわずかであり、変形量も小さく抑えられていることがわかった。この時点でFEM逆解析を実施したところ、対策案III(早期閉合)の適用が可能と判明したため、SP2400.5より対策案III(早期閉合)に変更した。この後、支保剛性が同等である対策案IIへ変更したが、当初に比べて葉片状蛇紋

岩が優勢な区間は減少し、変位も依然として小さいことから、先進ボーリングの孔内載荷試験で得られた変形係数とSP2475.5における吹付けコンクリート応力の計測結果(表-12参照)を勘案して、SP2576.85より標準案(早期閉合)に変更した。

SP2592.85断面において標準案適用の妥当性を確認する目的で支保部材応力を測定した。表-13に示すとおり、鋼製支保工の軸力は最大1,736kN(発生応力273N/mm²)に相当するひずみが発生しており、鋼製支保工は降伏していると考えられる。一方、吹付けコンクリート応力は最大11.9N/mm²(設計基準強度の70%程度)となり、坑内変位も小さく抑えられていることから、標準案への変更は妥当であると結論づけた。これ以降は標準案での掘削を継続したが、地山性状の悪化に伴いSP

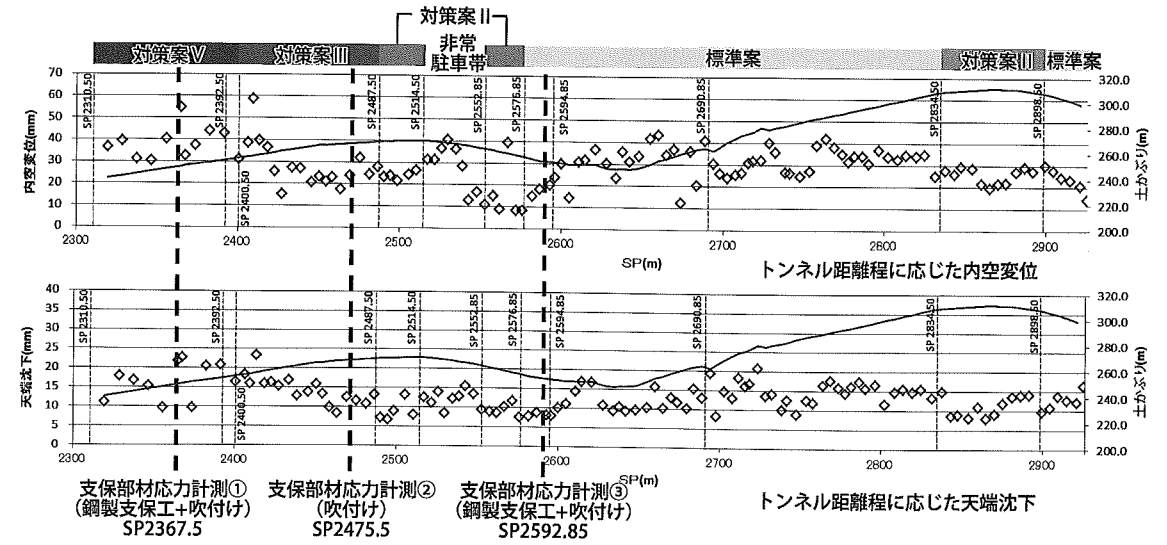


図-11 トンネル距離程に応じた坑内変位の計測結果

表-12 支保部材応力計測結果②(SP2475.5)

部 位	左肩	天端	右肩
吹付けコンクリート応力 σ_c (N/mm ²)	9.0	11.9	11.3
設計基準強度 $f'_{ck} = 36\text{N/mm}^2$ 未滿			

表-13 支保部材応力計測結果③(SP2592.85)

部 位	左肩	天端	右肩
鋼製支保工軸力 N_s (kN)	1,736	1,589	1,565
N/A (N/mm ²)	273	250	246
降伏応力 240N/mm^2 超過			
吹付けコンクリート応力 σ_c (N/mm ²)	6.0	11.6	-1.9
設計基準強度 $f'_{ck} = 18\text{N/mm}^2$ 未滿			

表-14 適用した支保パターン

支 保 仕 様	一次側 二次側	上 半		下 半		インバート	
		鋼製支保工	吹付け (cm)	鋼製支保工	吹付け (cm)	鋼製支保工	吹付け (cm)
一重支保	標準案	標準仕様 ($f'_{ck} = 18\text{N/mm}^2$)	一次側 H-200 25	H-150 20	H-150 20	H-150 20	
	対策案II	標準仕様 ($f'_{ck} = 36\text{N/mm}^2$)	一次側 H-200 25	H-150 20	H-150 20	H-150 20	
	対策案III	支保仕様のランクアップ① ($f'_{ck} = 36\text{N/mm}^2$)	一次側 H-200 25	H-200 25	H-200 25	H-200 25	
二重支保	対策案V	二重支保① ($f'_{ck} = 36\text{N/mm}^2$)	一次側 H-200 25	H-200 25	H-200 25	H-200 25	
			二次側 — 20	— 20	— 20	— 20	

2834.5より対策案IIへ変更するなど、適宜支保パターンを見直し、掘削を継続している。

8 お わ り に

本稿にて紹介した鋼製支保工の降伏時における剛性低下を考慮した解析手法は、吹付けコンクリートの有する耐力を最大限活用することを意図したものであり、鋼製支保工の応力を降伏応力以下と

する従来の設計手法と比較して支保仕様を合理化することができる。その反面、本手法は従来の手法にて設計した支保構造が有していた地山や支保構造の不確実性に対する安全率を利用するものでもあるため、本手法の適用にあたっては、十分な計測監視体制を整備してトンネル内で発生する異常を即座に検知し、異常が発生した際には迅速に対処できるように準備する必要がある。

吹付けコンクリートは初期材齢にて変形しやすいため、鋼製支保工は吹付けコンクリートが硬化するまで、トンネル支保工の剛性を向上させる効果が期待される。しかし、吹付けコンクリートの強度が発現する前に鋼製支保工が降伏すれば、トンネルの変形が拡大してゆみ領域も大きくなり、トンネル支保工に作用する荷重が増大するおそれがある。このため、本稿にて紹介した解析手法を用いる際には、吹付けコンクリートの初期材齢時に鋼製支保工が降伏しないよう、適正なサイズの鋼製支保工を選定する必要がある。

本報告が支保工に大きな土圧が作用するトンネ

ルの計画・設計にあたっての参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 高橋俊長・大村修一・高田篤・山田浩之：蛇紋岩地山を早期閉合と二重支保で変位制御，北海道横断自動車道穂別トンネル西工事，トンネルと地下，Vol. 41, No.5, pp.7-18, 2010.5.
- 2) 桜井司・三浦篤・林実雄・遠藤康男：蛇紋岩地山におけるトンネル施工について，一般国道275号深川市幌加内トンネルにおける蛇紋岩地山の変位挙動と対応について(事例報告)，トンネル技術研究発表会，pp.81-92, 2009.2.

■図書案内

地下水の科学 全3巻

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

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



株式会社 土木工学社

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

施工

1 kmにわたる高水圧砂礫層をφ10.8mの大断面シールドで掘進

—東京都建設局 白子川地下調節池—

東京都第四建設事務所工事第二課長 渡辺 修

東京都第四建設事務所工事第二課白子川地下調節池工事係長 立澤 延 泰

大成・佐藤・銭高建設共同企業体白子川地下調節池工事作業所現場代理人 土橋 功

大成・佐藤・銭高建設共同企業体白子川地下調節池工事作業所監理技術者 新井 昌 一

1 はじめに

1-1 白子川の現況

白子川は東京都練馬区西部の大泉井頭公園を源とし、埼玉県和光市との都県境を経て、新河岸川へと注ぐ、河川延長約10km、流域面積約25km²の一級河川である(図-1)。

白子川流域は、昭和30年代ごろからの急速な都市化に伴い、雨水が地下に浸透せず、地表面を流れて一気に河川に流入することによって生じるいわゆる「都市型水害」が頻発している。水害による被害軽減を図るために、まずは1時間50mmの降雨に対応する整備を確実に進めていく必要がある。

しかし、中流域の埼玉県施工区間(東埼玉橋～芝屋橋区間の約1.4km)については、当面の間、整

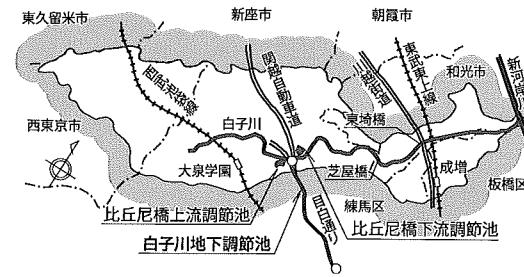


図-1 白子川流域図

備が見込めない状況にある。このことから、その上流の比丘尼橋付近に白子川調節池群を整備し、下流の洪水に対して安全を確保するとともに、調節池から上流に向けて、河道拡幅などの護岸整備を行っている。

白子川調節池群は図-2に示す3つの施設から構成され、このうち「比丘尼橋上流調節池」「比丘尼橋下流調節池」は、平成14年度までに完成している。

本稿では、現在施工中である「白子川地下調節池」のトンネル築造にあたって、大断面、高水圧、長距離下で施工を行ったシールド工事の概要および施工実績について報告する。



図-2 白子川調節池群平面図

1-2 白子川地下調節池の概要

白子川地下調節池は、白子川における1時間50mmの降雨に対応する基幹的な施設であり、延長約3.2km、内径10m、貯留容量212,000m³のトンネル式の地下調節池である。

シールドトンネルは、都道目白通りの地下約35mの深さを掘進したのち、石神井川と都道環状八号線の交差点付近に設置する立坑に到達する(図-3)。

なお、発進立坑については平成10(1998)年に完成している。

2 白子川地下調節池工事(その5)の概要

本工事は、練馬区大泉町二丁目地内に存在する東京外環道路大泉ジャンクション内に既に設置済の発進立坑(内径21.0m、深さ47.3m)を起点とした延長3.2kmのシールドトンネルの構築と、その終点となる石神井川と都道環状八号線の交差点付近、同区高松三丁目到達立坑(内径19.5m、深さ46.5m)の構築を行う工事である。



図-3 地下調節池ルート図

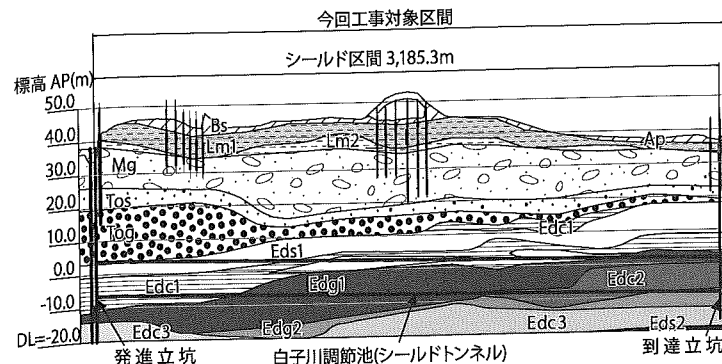


図-4 土質縦断面図

2-1 工事概要

工事の概要は以下のとおりである。

工事件名：白子川地下調節池工事(その5)

工事期間：平成23(2011)年2月24日～

平成26(2014)年1月27日

【シールドトンネル】

内径：10.0m

外径：10.6m

延長：3,185.3m

平面線形：直線および曲線(R=124m, 140m, 300m, 318.5m)

土かぶり：約34～47m

工法：泥水式シールド工法

覆工：合成セグメント、鋼製セグメント

【到達立坑】

立坑内径：19.5m

立坑外径：25.1m

立坑深さ：GL-54.0m(ケーソン刃口先端)

工法：ニューマチックケーソン工法

2-2 地質概要

土質縦断面を図-4に示す。シールド掘削対象地

時代	地層区分	地層名	記号
完新世	二次堆積土層	埋土層	Bs
	腐植土層	腐植土層	Ap
	関東ローム層	ローム層	Lm1
		凝灰質粘土層	Lm2
武蔵野レキ層		砂レキ層	Mg
	東京層	砂質土層	Jo
更新世	東京レキ層	砂レキ層	log
	江戸川層	第1粘性土層	Edc1
第1砂質土層		Eds1	
第1砂レキ層		Edg1	
第2粘性土層		Edc2	
第2砂質土層		Eds2	
第3粘性土層		Edc3	
	第2砂レキ層	Edg2	

盤は、全線にわたり江戸川層であり、粘性土、砂質土、砂礫土の互層となっている。土質については非常に硬く、あるいは非常によく締まった地層からなっている。江戸川層第1粘性土層は、硬質固結シルトで、N値は11～50以上である。また、江戸川層第1砂質土層は、均一な細砂で、N値は16～50以上である。江戸川層第1砂礫層は、礫径は2～50mmだが、ところどころ100mm程度の玉石が混じり、N値は50以上である。江戸川層第2粘性土層は、砂質固結シルトでN値は50以上と堅固である。地下水位は、おおむねGL-5m(シールド中心水圧で0.30MPa)である。

3 施工計画

3-1 泥水式シールド工法の採用

本工事は、全線にわたり土かぶり約35mでの長距離掘削となることから、さまざまな土質に適合し、高水圧下でも切羽の安定性が優れている泥水式シールド工法を採用した。

3-2 シールドの仕様

本工事で使用する泥水式シールドの構造図を図-5に、仕様を表-1に示す。

カッターヘッドは、粘性土層掘削時の面板閉塞が発生しないように開口率を37.5%と大きく取り込みを良くするが、一方で、巨礫による配管閉塞が発生しないようにスリット幅を350mm以下とした。硬質地盤を長距離掘削することから、掘進

表-1 シールド仕様

項目	詳細項目	仕様
シールド本体	外径	φ10,800mm
	機長	11,100mm
	テールシール	ワイヤブラシ3段
推進装置	シールドジャッキ	3,500kN×36本 総推力126,000kN
中折れ装置	機構	X型(球面中折れ)
	中折れジャッキ	3,000kN×30本
掘削装置	装備トルク	16,500kN-m
	カッタ回転速度	0.6min ⁻¹
	カッタ支持方式	中間支持方式
	カッターモータ	75kW×40P×14台
	カッターヘッド	スポーク主6、副6 開口率 37.5%
	余掘り装置	コピーカッタ2基
	攪拌装置	攪拌翼10本

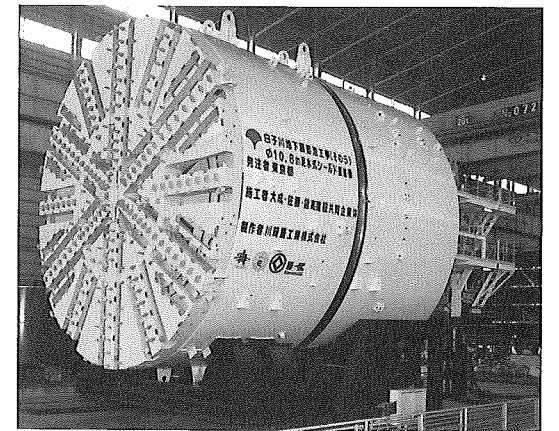


写真-1 シールド

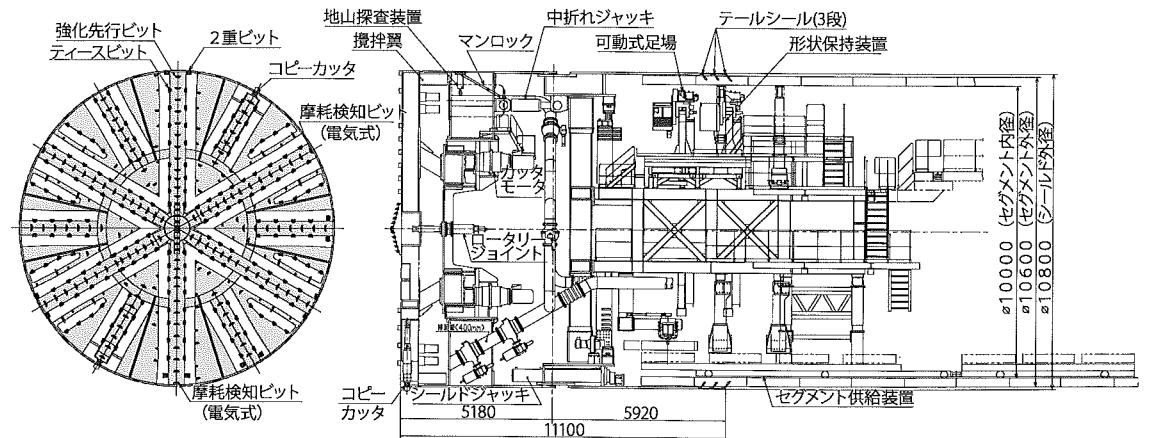


図-5 シールド構造図

効率を向上させるため、強化先行ビットを内周2パス、外周3パス配置するとともに、カットルクは計算による所要トルクの2.7倍(α 値13)とし、装備推力についても、計算による所要推力の2.2倍とした。

3-3 シールド設備

3-3-1 流体輸送設備

流体輸送設備は、砂礫層卓越区間での高速施工に対応するため、国内最大級の泥水ポンプ(吐出量25m³/min)を使用した。送排泥管は送泥16B(400mm)、排泥14B(350mm)を使用することとし、排泥管は長距離掘進および砂礫層掘進時の摩耗対策として厚肉管(11.1mm)とした。また、クラッシャは効率的な破碎が可能な直列2台方式とし、礫の破碎量を向上させることにより閉塞を防止することとした。

3-3-2 泥水処理設備

泥水処理設備は、砂礫層が卓越する断面および粘性土が卓越する断面それぞれにおいて高速施工に対応する必要があったことから、一次処理機(振動ふるい×4基)、二次処理機(フィルタープレス×9基)およびタンク類を狭い地上ヤードに2階建てで配置し、効率よく土砂を排出する設備とした。

3-3-3 土砂搬出設備

掘削土は1.4m³級のバックホウ5台によりダンプトラックへ積み込み、場外へと搬出する。一次処理土については積み込みサイクルを早めるために計量土砂ホッパーを使用し、一方で、二次処理土については粘土分が付着する可能性のあるホッパーではなく埋込み式のトラックスケールを使用することで、過積載の防止に努めながら、効率よく搬出する設備とした。

3-4 覆工構造

本工事に用いるセグメントは、地下調節池トンネルのため内水圧に対応する必要がある。このため、高い耐荷性を有する嵌合方式合成セグメント、粗度係数を抑えるための内面平滑性、シールド材の膨張圧による割れ欠けを防止するため継手面にコンクリートが露出しない構造とする必要がある。

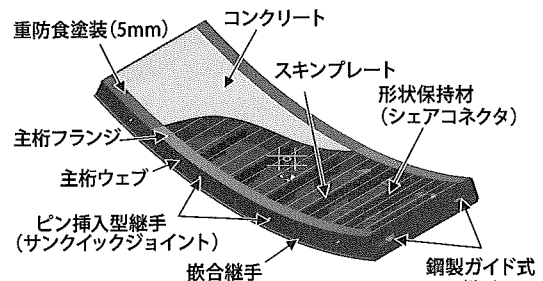


図-6 嵌合方式コンクリート一体型鋼製セグメント概要図

表-2 覆工仕様

	一般部 (R=300m以上)		急曲線部 (R=124m, 140m)	
	内径	10,000mm		
外径	10,600mm			
幅	1,800mm			1,200mm
桁高	300mm			
セグメント分割	7分割(K縮小)			
継手形式	セグメント継手	鋼製ガイド式継手 M金物 F金物		
	リング継手	嵌合継手	ピン挿入型継手	

これらの条件を満足する覆工構造として、嵌合方式コンクリート一体型鋼製セグメントを採用した(図-6、表-2)。

4 施工実績

4-1 シールド掘進工

近年、高水圧下でのシールド掘進工としては、立坑に設けた仮壁をシールドにより直接切削する方法が主流であるが、発進立坑は平成10(1998)年に完成したものであり、地下連続壁($t=1,000$ mm)をはつって発進させる構造であった(写真-2)。このように高水圧下の場合、発進防護として凍結工法を採用する機会が多い。

しかし、シールド基地周囲を大泉ジャンクションが取り囲んでおり、その橋脚基礎に対して凍結

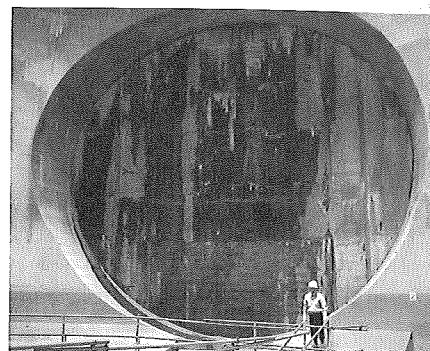


写真-2 発進立坑

時の膨張圧による影響が懸念されたため、高圧噴射攪拌工法と薬液注入工法を採用した。大断面かつ高水圧下での施工となるため、改良体の品質確保が重要な課題となった。

図-7に示すように発進開口部における地山は粘性土と砂質土との互層をなしており、地層の不陸や不連続性が懸念されることから、粘性土層に対しても連続的に高圧噴射攪拌杭を造成することで、未改良部の発生を防ぐ対策を行った。また、同図に示すように、シールド発進部上部において砂礫層(Tog層)を有し、現場透水試験の結果、透水性が高く、豊富な水量が確認されたことから、当該層の周囲に先行して薬液注入を実施し、遮水壁を設けてから高圧噴射攪拌杭の造成を行った。

以上のような対策を実施することで、トラブルなく、健全な鏡面に確実にシールドを発進させることができた。

4-2 シールド掘進工

4-2-1 掘進実績

シールド掘進は平成24(2012)年3月に発進し、平成25(2013)年8月に到達を迎えた。

大断面シールドでは、掘削土の搬出によって掘進量が制限される。また本工事場所は市街地であることから土砂搬出は昼間8:30~16:00だけに限られた。そのことから、工程短縮の対策として、積み込みサイクルの短縮、ダンプ台数の増強や仮置場確保による処分地までの回転数の増加を図り、

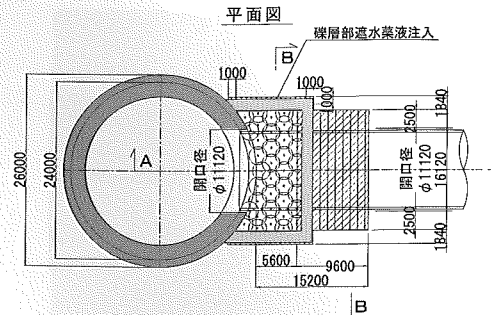


図-7 発進防護工計画図

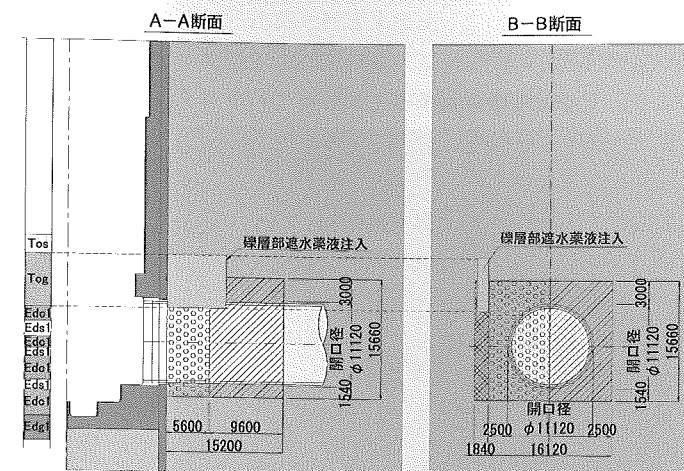


図-7 発進防護工計画図

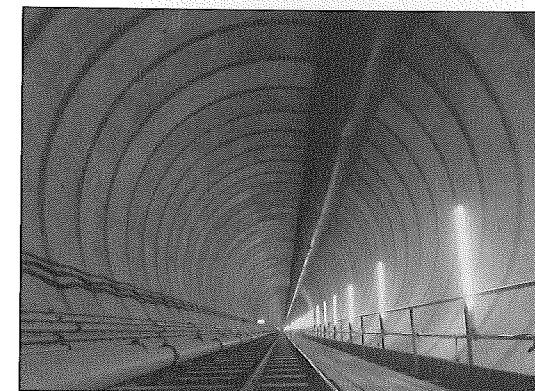


写真-3 シールドトンネル

周辺交通に支障を与えることなく、最大搬出量2,200m³/日、ダンプ延台数430台/日を実現した。その結果、最大月進量324m(掘進日数20日)を達成することができた。

4-2-2 掘進・組立てサイクル

本掘進において、最大日進量30.6mを実施した

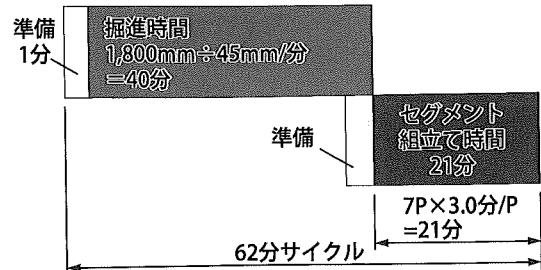


図-8 掘進・組立てサイクル(1リング)

際の掘進・組立てサイクルを図-8に示す。1,800mmセグメントに対して、平均速度45mm/分で掘進し、7分割のセグメントをおよそ21~22分(3分/ピース)で組立てを行った。平均で62分サイクルにより、その他配管延長などもあわせて17リングの掘進・組立てを行うことができた。

セグメントの組立てについて、1ピース3分と速い組立て時間を実現できた要因の1つとして、セグメントのリング間に備えている嵌合継手がガイドとなり、組立てたセグメントの真円度が高く、最終の軸方向挿入型のKセグメントの位置合わせも容易にできたことが挙げられる。

4-2-3 掘進トラブル対策

(1) 固結粘性土区間対策

粘性土を主体とする区間において、送泥比重としては低めの1.15以下で管理していたが、一部チャンバ内閉塞が発生し、カットトルクおよび推力の上昇がみられた。そこで水圧計を増設することでチャンバ内を可視化するとともに、粘性土が付着しやすい中心付近に設けた注入孔からチャンバ内へ高圧水を噴射する対策を実施した。あわせて、休日などの掘進停止時には粘性を低下させる効果のある分散剤をチャンバ内に定期的に投入することで、正常な掘進を維持した。

(2) 砂礫層区間対策

砂礫層を主体とする区間において、粒径100mmの礫を含む一次処理土の想定土量はおよそ10万m³にも及んだ。そのため、排泥管に厚肉管を使用することにより、礫による掘進時のトラブルに備えたが、想定を上回る一次処理土量の排出(1.2倍以上)と、硬質な礫を多く含んでいたことから、排泥管、排泥ポンプおよび一次処理機などの損耗

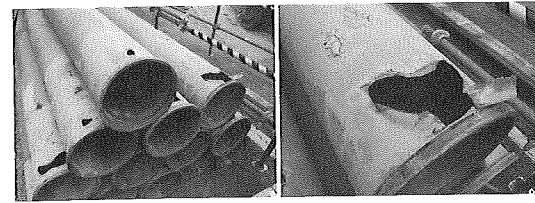


写真-4 排泥管摩耗状況

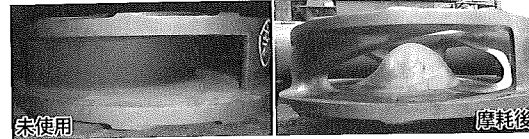


写真-5 排泥ポンプインペラ摩耗状況

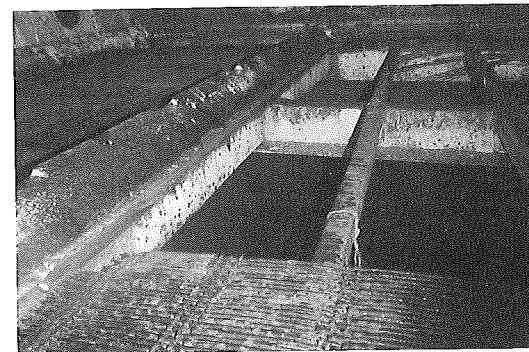


写真-6 一次処理機振動ふるい網損傷状況

が激しかった(写真-4~6)。

排泥管については、曲がり管はもとより、直線部においても摩耗がひどく、延長3,200mのトンネルに対して、1,200m分の排泥管を交換することとなった。排泥ポンプについては、インペラの摩耗によってポンプ性能の低下を引起し、掘進速度の低下にもつながった。

また、坑内は排泥管を通過する際によって騒音が激しく、坑内作業員へは耳栓着用を義務化せざるを得ない状況であった。このような礫層掘進への対応として、昼夜2交代制としていた掘進工を3交代制へシフトし、1方は配管交換などのメンテナンス作業に専念した。また、配管摩耗量を計測管理して、交換の優先順位を明確にすることで日々の掘進量を維持した。

4-2-4 ビット摩耗計測結果

シールド到達後、強化先行ビットの摩耗量を測定した。測定結果を図-9に示す。横軸にビット取付け位置を、縦軸に計測した摩耗量を示す。大半

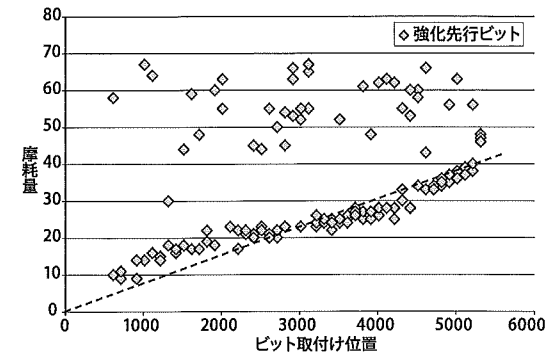


図-9 強化先行ビット摩耗計測結果



写真-7 強化先行ビット摩耗状況

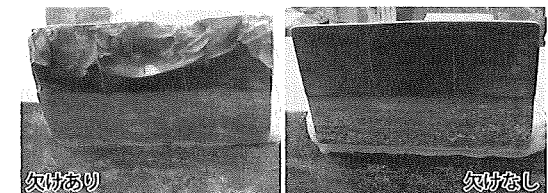


写真-8 ティースビット摩耗状況

のビットは許容摩耗量50mm以内であり、その摩耗量は取付け位置(摺動距離に相当)に応じて比例的に増加している。データが比例直線から散っているものは、ビットの欠けによるものである(写真-7)。

また、ティースビットの摩耗はほとんどないが、全数190個のうち、欠けによる計測不能なものが約15%あり、計測可能なものについても大半が部分的に欠けており、想定をはるかに超える礫量の掘進であったと言える(写真-8)。

4-3 シールド到達工

シールドトンネルの到達方法として、仮壁切削工法および水中到達工法を採用した。



SEW工法とは、FFU (Fiber Reinforced Foamed Urethane) をシールド通過部に組み込んだ工法である。

写真-9 SEW工法施工状況



写真-10 FFUポンプ閉塞状況

4-3-1 仮壁切削工法

到達開口の仮壁には、大断面・大深度下では初めての適用となるSEW工法(Shield Earth Retaining Wall System)を採用した(写真-9)。到達掘進時は、掘進速度を1~3mm/minで仮壁を切削した。

その結果、カットトルクや推力に異常はなく、大きな騒音・振動は発生しなかった。ただし、FFU部材がクラッシュでも破壊できなかったことから、排泥ポンプにおいて閉塞が頻発し、掘進に時間を要した(写真-10)。

4-3-2 水中到達工法

到達掘進は高水圧下(最大0.4MPa)であることから、立坑内への出水を防止するため、自然水位まで立坑内に水を溜めた水中到達工法を採用した(図-10)。事前に到達開口部にチューブを設置し、

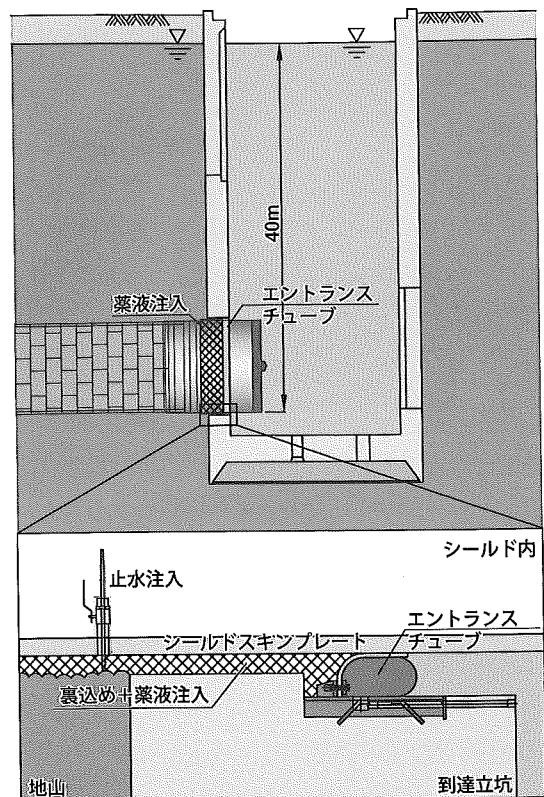


図-10 水中到達方法

水中到達したシールドにチューブを加圧して押し当てる。シールドと立坑の背面を止水注入したあと、立坑内を排水した(写真-11, 12)。

4-3-3 到達精度

本シールドトンネルは、全線合成セグメントであり、また交通量の多い目白通り直下にあることから、地上からの測量用観測孔の設置が困難であった。そこで、1基線あたり3回の坑内ジャイロ測量を行った結果、3.2kmのトンネルに対して、到達位置は水平3mm、鉛直2mmの誤差に収めることができた。

5 おわりに

本シールド工事は大断面・高水圧・長距離に加え、延長1km以上に及ぶ砂礫層掘進、高水圧下の到達などの過酷な条件での施工であったため、排泥管の厚肉化、仮壁切削工法および水中到達工

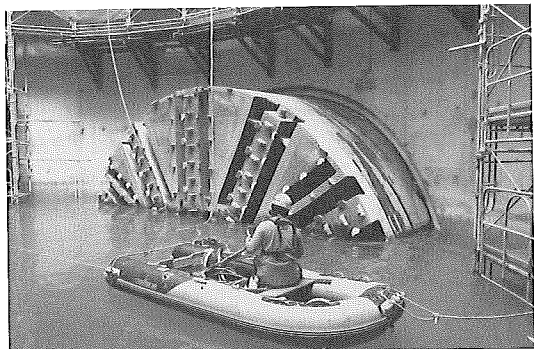


写真-11 立坑内排水状況

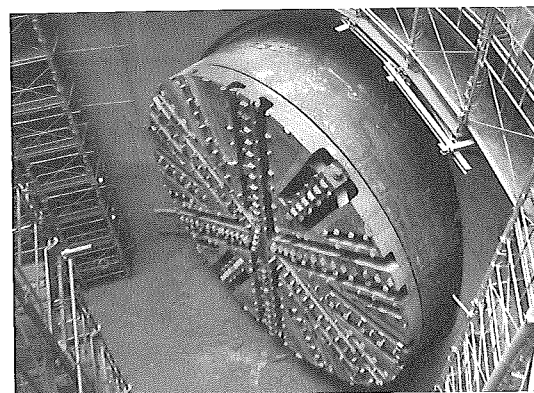


写真-12 シールド到達状況

法の採用などのさまざまな対策を講じていた。しかし、想定外の礫量排出による泥水輸送設備の損耗や仮壁部材によるポンプ閉塞など度重なる課題が発生した。

これらの課題に対しては、発注者・受注業者・関連業者が一体となって議論や試行錯誤を行うことで乗り越えることができた。あわせて、適切な施工管理のもと、周辺環境へ影響を与えることなく、またトンネル構造物の品質を確保し、安全かつ早期に工事を完成させることができた。

今後は、トンネル内インバート、立坑内部構築などの土木工事や、設備・建築などの維持管理施設工事を実施し、平成28(2016)年度未完了に向けて事業を推進していく所存である。

最後に、本工事の着手から完了まで、ご指導、ご支援をいただいた関係各所の皆様に深く感謝の意を表する次第である。

インフラ整備に生きて

井上博務
(株)奥村組社友

博務

第五十二回
語り継ぎ
言ひ継ぎ行かむ

はじめに

1962(昭和37)年入社時に、出身地関西から遠方に赴任希望して、戦後復興のシンボルである七色の煙に迎えられ、八幡支店の配属となりました。初仕事は小倉港での浚渫埋立て工事でした。やっと現場に馴染んだ9月に、突如、戸畑-八幡間の複々線化トンネル現場で同期入社2名が辞職を申し出たため、その代替要員になったのが、河童がモグラになるきっかけでした。

その現場は、底設導坑の風化珩岩が膨張して盤膨れを起こし、木製支保工の内側に担を施した箇所にないに3㎡トロが当たって脱線する狭さで、昼休みの測量や交替時の見回りでの静かな坑内での「木鳴り」の怖さ、1週間交替の夜勤当番に1件の割合で労災現認証を事務係へ報告することなど、海の工事とは別世界でした。

その後、2000(平成12)年の定年退職まで延べ33年4か月間、その

9割弱をトンネル工事に従事し、西日本と海外2か国で勤務地を変わる16回、18工事に従事しました。と言えるのも、転勤を厭わなければ、トンネルにありつける工事量に恵まれた時代であったからです。

掘るべき山の地形、地質は千差万別、いまだトンネル工事の難しさを感じるのが本音です。それだけに達成感に比類のない大きさがあるのも事実です。

表題の趣旨に値する心許ないですが、自身で印象深い工事を取上げ、施工上の工夫、トラブルとその対応などについて、当時の工法、資機材での経験を述べ、若いトンネル屋の方々への参考の一助に拙文を寄稿させていただきます。

木製から鋼製支保工へ

前述した初めてのトンネル工事は、「鹿児島本線戸畑枝光間牧山隧道工事」で、掘削断面64㎡、延長約600mの複線トンネルを底設導坑先進上部半断面工法レール

しをすべて斜路方式とし、ずり処理を効率良くする(前頁右中、掘削施工図参照)。

- ③ 発電所本体と水抜き坑および起動装置室間に設ける20m PC用孔は、水抜き坑および起動装置室から発電所本体掘削に先立って穿孔し、早期に緊張して発電所内の作業量を減らすことで、工事の輻輳を避ける(前頁右下、PC配置図)。
- ④ 壁面はNATMに準じて金網と吹付けコンクリートを施工し、工事の安全を期す。

■各工種の施工実績

各作業坑とも全断面掘削方式で、各工種の施工実績は次のとおりです。

機器搬入トンネル複線部坑口付け：

- 1975年3月1日～
アーチ横坑掘削：
- 1975年5月5日～
アーチ中央導坑掘削：
- 1975年6月18日～
アーチ掘削(全長3ブロック分割し同時施工)：
- 1975年7月28日～12月6日
アーチグラウト(水抜き坑からダウンザホールドリルによりボーリング)：
- 山側1976年2月6日～3月18日に471孔完了、川側～1976年6月14日に966孔完了
- アーチ核部掘削：
- 1976年2月18日～3月4日
本体掘削：
- 上半部1976年3月5日～6月22日、下半部～1976年10月14日に完了
- 周壁コンクリート：

～1977年4月25日にI期側、1977年5月10日にII期側を引渡し完了

■発電所アーチの施工法

アーチ部の掘削は、アーチ横坑を延長して中央導坑を先進させ、次いで頂設導坑を掘削し、その後、掘削および巻立てコンクリートを1スパン4.8mで、全長を3ブロックに分割して、同時施工としました。アーチコンクリートは、頂設導坑に敷設されたコンクリート輸送管で打設し、ほかのブロックの作業に支障なく打設できました。セトルは、中央導坑部のみ完全なスライド式の簡易セトルとしました。

■本体の掘削工法

発破方法

盤下げ掘削は、PC工、吹付け工の施工性から1リフト2.5mのベンチカット方式とし、上半部6ベンチ、下半部8ベンチとしました。ベンチ掘削は、中割り掘削を20～30m先行させ、穿孔間隔は、掘削ずりを閉閉所盛立て材として用いるために最大粒径40cmとする必要から、1.2mの千鳥状とし

した。穿孔は、クローラドリルで3mロッドを使用、穿孔角度75°、穿孔長2.8mとしました。側壁部はプレスプリット工法を採用し、標準間隔60cmで穿孔して、あらかじめ縁切り発破を行いました。

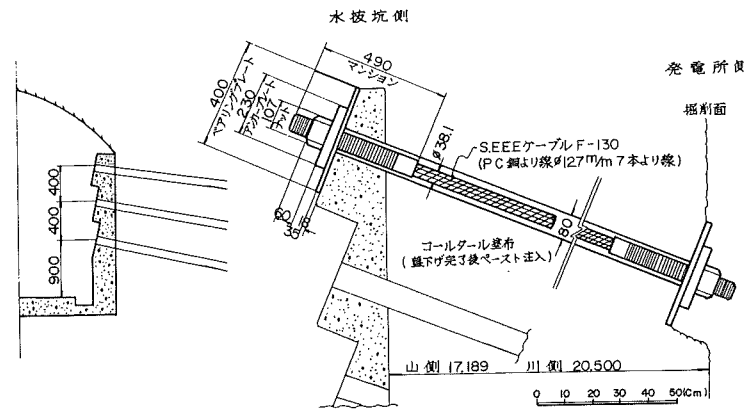
ずり出し工法

同発電所では、前頁右中、掘削施工図に示すように、斜路運搬方式とグローリー方式を併用しました。

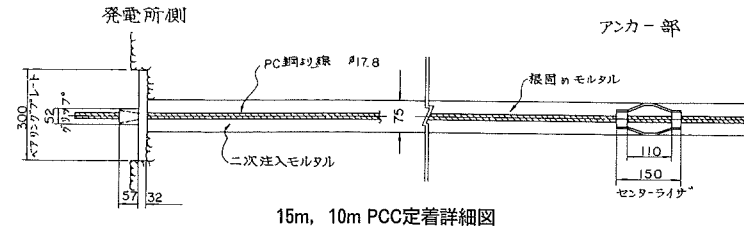
まずアーチ横坑から10%の下り勾配斜路を設け、ダンプトラックを乗入れ、A区間のずりはアーチ横坑から搬出し、また、B区間のずりは、発電所組立て盤から搬出しました。C区間は、おのおの独立の作業配置として、ロックストラットの上下流側に1本ずつ設けたグローリーホール(2.5m×2.5m)を使い、D、E区間は直積みで発電所横坑からずりを搬出しました。

壁面補強工

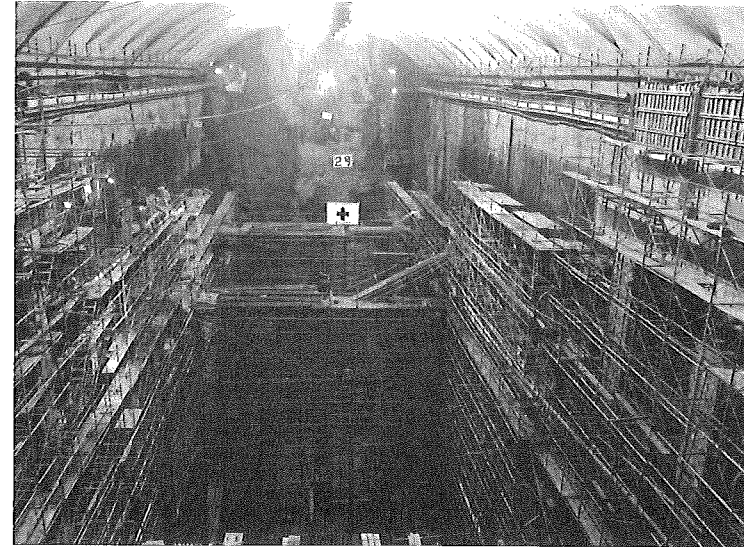
発電所本体の壁面補強用のPC材は、現場の作業性から、長さ20～10mのものはケーブルを、5mのものは鋼棒を使用しました。また、20mPCケーブルの定着方法に



SEEEケーブル定着詳細図



15m, 10m PCC定着詳細図



発電所本体周壁施工状況

は、施工性に優れ、定着後の再緊張が容易なSEEEケーブル工法を採用しました。

20mのSEEEケーブルは、山側の水抜き坑、川側の起動装置室および水抜き坑から、ダウンザホールドリル12台で本体掘削に先立って穿孔し、発電所側と緊張しました。

15m以下のPC用孔は、発電所側からPC孔専用クローラドリル(DC-45)3台で穿孔し、モルタルアンカーによる定着方法を採用しました。

また、コンクリート吹付け工では、本体上半部で溶接金網に厚さ10cm、下半部で菱型金網に厚さ7cmのコンクリート吹付けを施工しました。

■本工事の工程短縮

—PC工固定端の支圧面改良—

発電所側固定端の支圧面は、従来、支圧座コンクリートを打込み、養生を待って緊張していましたが、この方法では大きな労力と時間を要するので、直接岩盤面を仕上げる方法を検討しました(左上、定着詳細図参照)。

その結果、ボーリング完了後にダウンザホールドリルおよびクローラドリルに特製のフェーシングビットを取付けて面取りを行い、不陸のある場合は、キューテックスペーストにより補正することとしました。

また、SEEEケーブルの水抜き坑側の固定端は、前頁右下、定着詳細図に示すように水抜き坑の

コンクリート打込み時に階段状に施工して、支圧面の施工を省略することによって工程短縮を図りました。挿入は各PC材とも発電所側から行いました。SEEEケーブルは、将来の緊張力調整も考慮して、ペースト注入を本体掘削完了後の周壁岩盤の変形停止後としたため、錆止め防止にコールドールを塗布しました。

15m以下のPCケーブルは、左上図に示すようなセンターライザーを取付け、PCケーブルが根固めモルタルの中央に納まるように配慮しました。

緊張は、SEEEケーブルにおいては水抜き坑からセンターホールジャッキにより行い、本体掘削完了後にペースト注入を実施しました。それ以外のPC材では、発電所本体より根固めモルタルの養生を待って、2次モルタル注入後、センターホールジャッキにより緊張しました。

苦い経験の海外工事

外国企業が行う海外工事の技術指導の経験を経て、1981(昭和56)年の夏、奥村組が初めて単独受注した海外工事であるマレーシア・サラワク電力供給公社発注「ボタンアイ水力発電所仮排水トンネル工事」のC1工事に従事しました。

現場はボルネオ島東マレーシアのサラワク州都クチンから東へ260km入ったところで、北緯1°のほぼ赤道に位置し、気温は年中日本の真夏と同じく最高気温35～37°C、最低気温20～23°Cで、際立った雨期、乾期の差はなく、6～10

月は比較的雨量は少ないと言われていました。

現地の住民はイバン族と呼ばれ、ジャングルの中でロングハウスという高床式の長屋に集団で生活しており、その長屋は、長大だと50世帯250人規模になります。大昔は首狩り族と呼ばれていたようで、着工当ても、工事区域のロングハウス酋長宅入口の軒に数個の頭蓋骨が数珠状に吊り下げてありました。

こうした未体験の土地での初仕事は、言語以外でも幾多の困難を伴いました。オペレータの技能の未熟さやストライキなどの人的悩みもありましたが、最大の難問は、着工時6月の例年になく多い雨でした。乗込み時に完成しているはずの他業者による進入路工事は未完成で、泥沼化した道路で機材を搬入しました。当然、現場内の工事用道路の造成や明かりの切土工事も、多雨では赤色粘性土上でのダンプトラックの登坂がままならず、骨材用に採取した川砂利やトンネル掘削ずりなどの路盤材が使用可能になるまで困難を極めました。

この着工時期の工事の遅れが影

響し、日本から予定外の社員・職人の応援、建設機械の追加を仰ぎ、C1工事は大幅な赤字を余儀なくされ、会社に多大の迷惑を掛ける結果となり、人生最大の苦い経験を味わいました。

自然相手の土木工事で、予想外の緊急事態に対し建設機械のリースや建設資材の調達に難しい地域での海外工事の事前調査は、いくら入念にやってもやり足りない、身をもって思い知らされた感じがいまだに残っております。

坑口部の地すべり対策工

四国横断道黒田トンネル工事は、高知県新宮IC北側の延長1,843mトンネルほかの工事で、その特色は、北坑口部の地すべり対策およびトンネル施工でした。ここでは、地すべり対策とトンネル切羽安定対策の記述にとどめます。

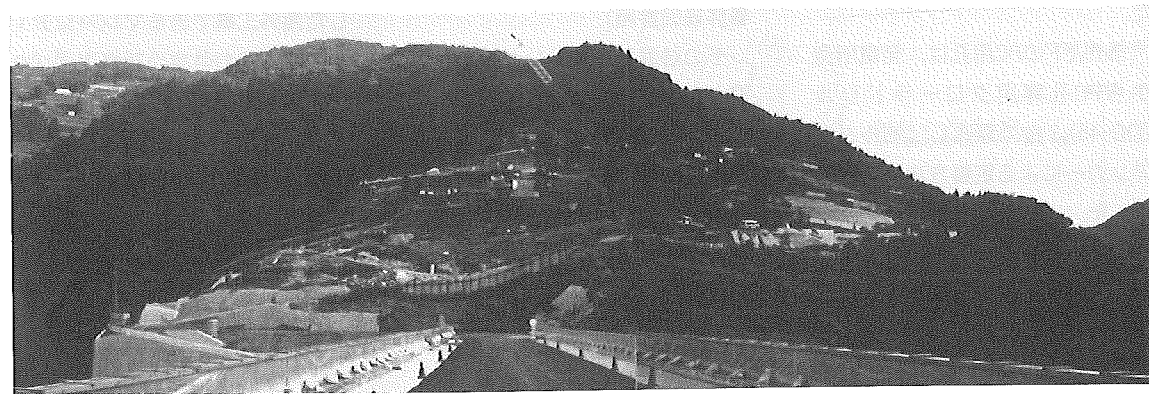
地すべり対策およびトンネル切羽安定対策工の総数量は、垂直縫地ボルト15,880m、薬液注入工785m³、深礎杭工φ5.0m×8本-328m、集水井φ3.5m×2本-33m、集・排水ボーリング900mでした。

地すべり対策およびトンネル施

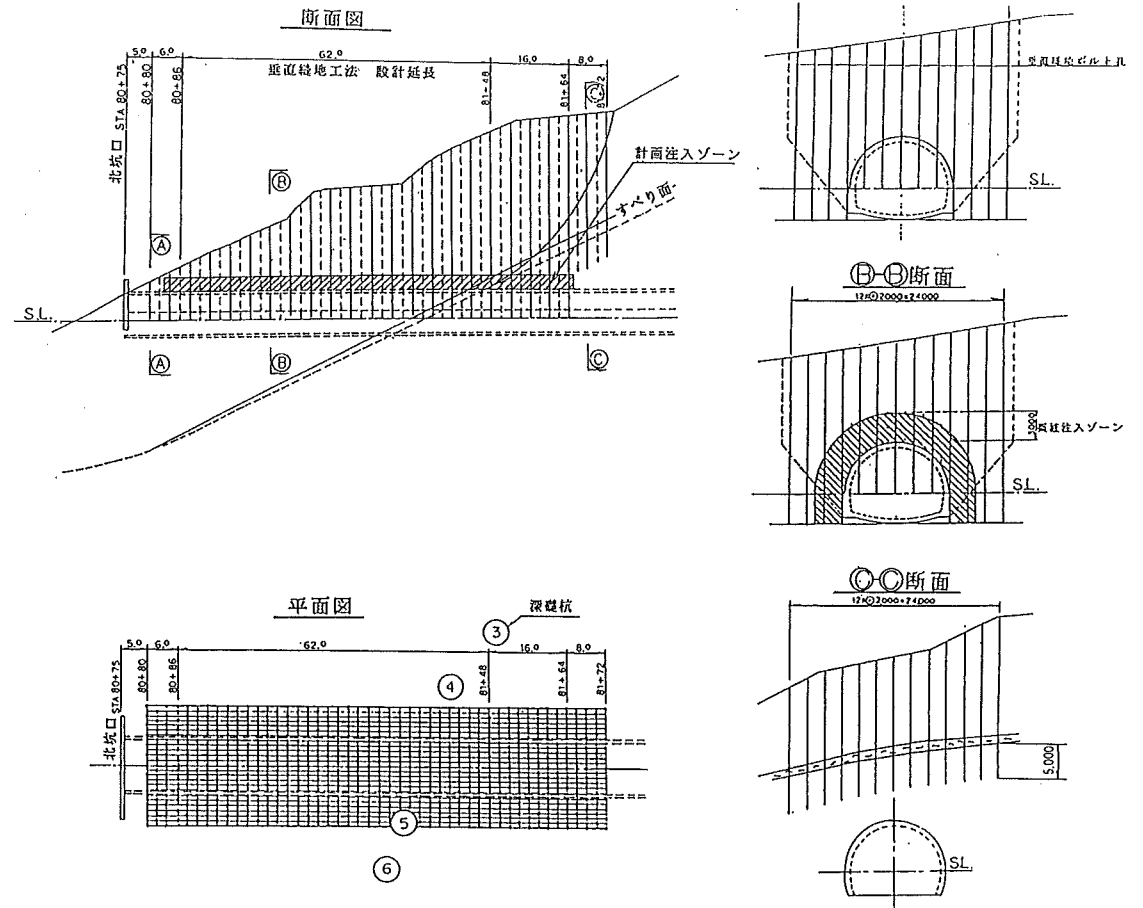
工検討会を開催し、検討の結果、トンネル工事が地すべりに与える問題点は、第一に地表から実施の工事用道路、垂直縫地ボルト、深礎杭の施工に伴い、局所的な表層地すべりが発生し、それが全体地すべりに影響すること。第二はトンネル掘削に伴う地山の緩みにより厚さ2mの地すべり面(粘土層)に影響が生じる懸念でした。

とくに第二の問題については、トンネル上方位置までの垂直縫地ボルトだけではトンネル掘削が困難であることが判明したので、垂直縫地ボルトをトンネル下端まで延長してすべり面に対抗させ、かつ垂直縫地ボルト孔を利用して外周部へのセメントペントナイト(CB)注入による地山改良を併用する工法を採用することとしました(次頁、計画図参照)。この北坑口の施工が全体に占める割合が大きく、本工法の採用により、穿孔費用の合理化が図れるとともに、工程への影響度も小さくすみ、またトンネル掘削に先行して対策できる利点を見出すことができました。

垂直縫地工法の設計には、土か



黒田トンネル北坑口部地すべり対策施工状況



垂直縫地ボルトおよびCB注入工の計画図

りや地すべり面との位置関係から、3断面についてFEM解析にもとづく検討を実施しました。その結果、掘削により切断されたボルトには、引張の軸力が発生しており、掘削後の吊下げ効果があることがわかりました。また、掘削切断外のボルトには、非常に大きな圧縮の軸力が分布しており、あたかも支持杭としての機能を発揮していることがわかりました。

さらに、CB注入による地山改良によりトンネル周辺に発生するひずみが減少し、とくに地すべり面に沿って発生する破壊ひずみ領域がなくなり、CB注入による地

山改良を行わないと垂直縫地ボルトに発生する引張の軸力によりボルトが破断する結果となりました。ほかに垂直縫地ボルトにはトンネル掘削前の切羽前方の地山の緩みを制御する抑止杭としての働きやトンネル掘削外側の地表沈下量の抑制効果が解析によって認められました。

垂直縫地ボルトの穿孔方法は、ロータリーパーカッション型穿孔機により外径φ100mmの穿孔とし、注入方法は2重管ケーシング加圧方法を用いました。また、荷役設備として80tクローラークレーンを使用しました。

調査ボーリングおよびピットでの注入状況の調査結果は、強度・止水効果とも認められ、垂直縫地ボルトの施工は約4.5か月で完了しました。その後、深礎工、地すべり面通過まで側壁導坑先進NATM、以奥は底設導坑先進NATMで掘進、199m地点で工事開始から突貫工事を経た2年後、四国横断道トンネル群全11本の最後の貫通を果たしました。

おわりに

若手のトンネル技術者の方々に伝えたいことを、自身の失敗経験と時流から挙げてみました。

- ① 以前にも増して少ないパイの受注合戦の成否は、トンネル技術の改良・改善にかかっています。つねに、もっと早く、安く、安全に、高品質な方法はないか、考える習慣を付けること。また、資機材メーカーの情報を大切に。
- ② 工程管理と安全管理が原価を左右すると言っても過言ではありません。工期が長く、危険度が高いのがトンネル工事の特徴。ランニングコストは言うまでもなく、労災を起こせば、経済的、工程的、精神的損失は多大。法の順守、

整理整頓は基本です。

- ③ 一生に十数回の「よそ者」が宿命。世界共通に全工事関係者が笑顔で挨拶し、誠心誠意地元の方々に接して、いかに早く信頼を得られるかが仕事がしやすくも、難しくもします。
- ④ 異常気象の時代に、「たかが仮設建物、仮設備」と安易に設置場所を選定しない。事が起きてから想定外と後悔しても後の祭り。
- ⑤ 国内の僻地や海外工事では、機械の性能・仮設備能力に15%くらいの余裕を持って計画。

段取り替えは、原価と工程に影響大。

- ⑥ 日本式NATMで地質の悪いトンネル経験があれば、新興国のインフラ整備工事をはじめどこの国でも通用します。そのチャンスに備えてトンネル技術と英会話の研鑽を期待します。

最後に、おかげさまで大過なくトンネル工事にかかわらせていただきました。発注者をはじめ、社内外の方々へ心よりの感謝と、本誌への拙文寄稿の機会を与えていただいたことに厚くお礼申し上げます。

研究

変状トンネルの覆工内面補強設計に用いる解析モデル化手法の提案

長崎大学大学院工学研究科社会環境デザイン工学コース教授 蔣 宇 静
長崎大学大学院工学研究科博士後期課程 東 幸 宏
新日鐵住金マテリアルズ(株)コンポジット社トウシート部マネージャ 谷 口 硯 士
(株)エイト日本技術開発構造事業部構造部トンネルグループ構造・トンネル室プロジェクトマネージャ 古 賀 大 陸

1 はじめに

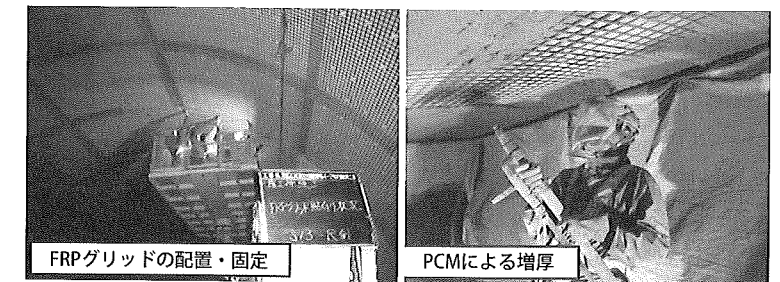
日本は山岳が多く存在し、その地形的制約からとくに高度経済成長期に社会資本整備事業として数多くのトンネル構造物が建設された。そのため近年では、供用年数が40年以上のトンネル構造物が急増しており、それらの劣化現象が全国的に顕在化しつつあることから、その維持管理が急務となっている。

損傷した覆工コンクリートの補修補強としてさまざまな内面補強工法(炭素繊維シート接着工、鋼板接着工、内巻き工など)や覆工コンクリートの打替えが行われている。とくに、矢板工法により施工された多くのトンネルに対して、炭素繊維シート接着工が主な補強工法として用いられている。また、近年ではその強度や施工性、耐腐食性の高さからFRP(Fiber Reinforced Plastics)グリッドによる内面補強工が用いられるようになってきている¹⁾。FRPグリッドによる内面補強工の補強対象となるトンネルの多くが、矢板工法により施工された覆工背面に空洞を有するトンネルであることが調査により報告されている²⁾。

これらの内面補強工による補

強設計を行う場合、各種補強工の補強効果を確認するために事前解析を行うのが一般的である。この事前解析は2次元フレームによる骨組み構造解析を用いて行われることがある³⁾。骨組み構造解析は覆工コンクリートのみをフレームでモデル化し、周辺地山は一般的に地盤反力係数を用いて地盤バネによりモデル化する。

しかし、骨組み解析ではトンネル覆工と地山の相互作用などを考慮することができず、岩盤の変形に伴う覆工への作用応力や掘削に伴う周辺岩盤の塑性化といった影響を考慮できない問題点がある。そこで、本稿では連続体解析手法である有限差分法(Finite Difference Method: 以下、「FDM解析」)を用いて緩み圧の作用および覆工と地山との相互作用を考慮したモデル化手法を提案する。また、提案した解析モデルを用いてFRPグリッドを用いたPCM(Polymer Cement Mortar)吹付



(a) FRPグリッドの配置状況 (b) PCMの吹付け状況

写真-1 FRP-PCM工法の施工状況例

け工法(以下、「FRP-PCM工法」)に着目して、内面補強工の補強効果を解析的に考察する。

ここでFRP-PCM工法とは、引張補強材であるFRPグリッドを覆工表面に配置してアンカーで固定したあとに、PCMの吹付け(場合によりコテ塗り)で増厚して覆工の耐荷性・耐久性を図る工法である。写真-1に施工状況の例を示す。

2 トンネル構造物における解析手法

2-1 解析手法

トンネル構造物を対象とした数値解析では、一般的に有限要素法、有限差分法、骨組み構造解析が実務において用いられている。FEM解析とFDM解析はともに有限要素メッシュを用いた連続体解析であり、覆工に作用する荷重を掘削による応力解放により発生するものとして捉える。骨組み構造解析では、荷重をインプットした外荷重として捉え、地盤をバネでモデル化する。前者は主に弾塑性理論により地盤の変形を計算して構造物への影響を算出するものであり、その計算技術が体系化されている。後者は主に、作用荷重による構造物に発生する応力や変形の算出として用いられている。これらの境界は、実務上の使用性が優先されている。

トンネル構造物においては、支保工の応力算出にもとづく支保パターンの妥当性評価には通常FEM解析やFDM解析が用いられ、コンクリート構造物として力学的機能を有する覆工の耐力などの算定には骨組み構造解析が用いられている。

2-2 解析手法の選定

岩盤、とくに軟岩を対象とした解析では岩盤の変形特性(ひずみ軟化、ダイレイタンス特性など)を適切にモデル化し、かつ塑性領域や緩み域の拡大に伴う大変形を表現できる解析手法が求められる。

FEM解析は一般的に解析領域を三角形または四角形の要素に区切ってモデル化し、それらの要素の集合として近似解を求める手法である。節点で結合された要素の変形の適合条件、力の釣合い条件、応力-ひずみ条件を満たすように剛性マト

リックスを作り、さらに要素全体に対する釣合い条件式を用いて応力-変形を求める。岩盤構造物の解析手法として一般的に用いられるが、微小変形理論にもとづく手法である。

FDM解析は、基礎微分方程式の微分項を差分近似して解析する手法である。解析対象のモデルを要素に区切り、節点における運動方程式の加速度項を差分近似して応力-変形を求める。この運動方程式の定式化が容易であり、陽解法による定式化にもとづいて時間増分ごとに応力-変形計算を実行する場合にはFEM解析などよりも有利である。

またFDM解析の特徴的なメリットとしては、弾塑性解析を例とすると、掘削や載荷の結果として、釣合い状態が得られるか、もしくは材料の降伏後も変形が進行し、累積して崩壊状態となるかを判明した結果が得られることが挙げられる。このため、FEM解析などで見られる「解の発散」という状況が存在しない。

岩盤工学分野における既往の解析的研究のほとんどが微小変形理論の枠内にあり、FEM解析や境界要素法(Boundary Element Method)などの微小変形理論にもとづいたものである。しかし、これらの解析手法では破壊後の材料非線形性、またそれらに起因する幾何学的な非線形性を表現することは困難である。

以上を踏まえ、本稿の数値解析による考察では破壊後の変形挙動の過程を安定的に解析することができ、材料非線形性および幾何学的非線形性をともに考慮した大変形理論にもとづくFDM解析手法を用いることにする。

3 モデル化の概要

FRP-PCM工法などの内面補強工の補強設計や覆工の構造耐力の評価にあたって背面空洞による緩み圧を考慮した解析を行う際、通常は図-1に示すような解析モデルを用いる。このモデルでは一般的に骨組み構造解析による外力の作用下における覆工の応力値を算定し、許容応力度により補強工施工時の安定性や欠陥、荷重が構造に与える影

響を評価する(例えば文献7))。

この解析手法では、前述のように地山と覆工との相互作用を考慮することができない。ここでは、有限要素メッシュによる連続体解析手法であるFDM解析を用いることで緩み圧および地山-覆工間の相互作用を考慮可能な解析モデルを提案する。また提案したモデルを用いて内面補強工(FRP-

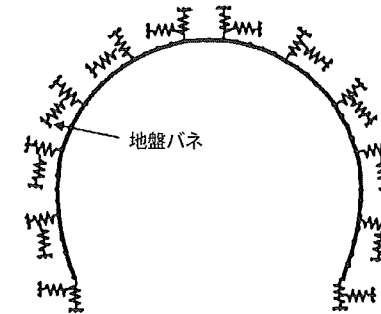


図-1 骨組み構造解析モデルの一例

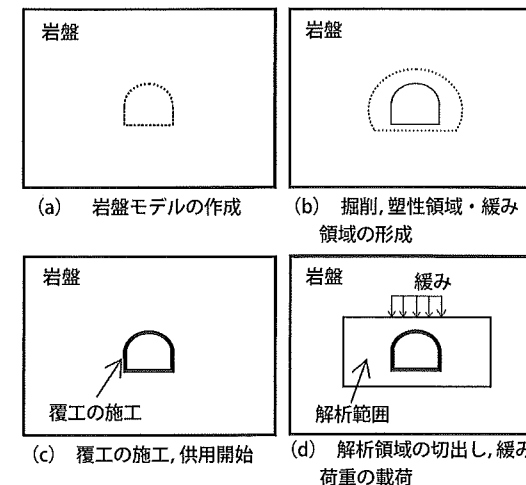


図-2 解析モデルの作成イメージ

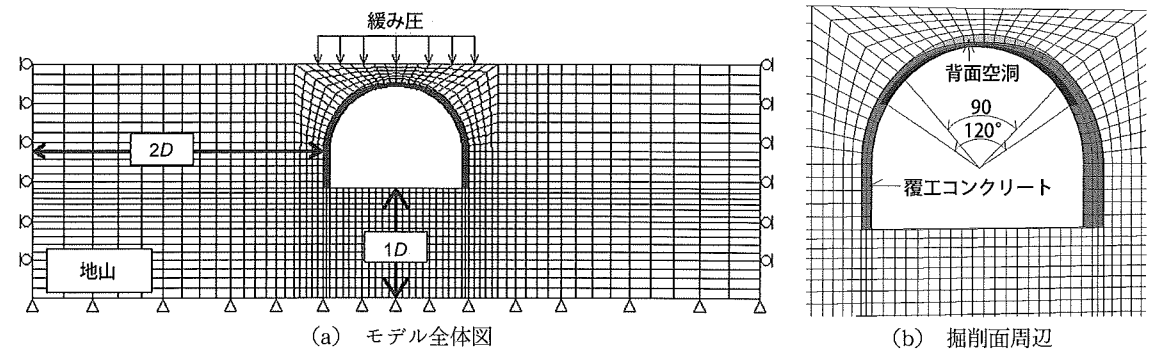


図-3 作成モデル概要図

PCM工法)によるトンネル補強解析を実施し、その補強効果を評価する。

解析モデルの作成イメージを図-2に示す。まず、(a)に示すように対象とするトンネルの地山モデルを作成し、初期応力状態を構成する。その後、(b)のようにトンネルの掘削解析を実施する。掘削後の切羽および(c)に示す覆工の支保効果は応力解放法により再現し、供用開始状態とする。覆工厚さは最大45cmとし、天端の覆工厚は『道路トンネル維持管理便覧』における突発性崩壊に対する健全度評価区分にもとづいて、もっとも危険な状態として天端空洞厚30cmとなるように15cm(判定区分:3A)とする。その後、(d)に示すように供用開始後に緩み圧が覆工に作用するものとし、解析領域を天端から1mのかぶりの範囲となるようにモデルを切り出す。そして変位をリセットし、FRP-PCM工法と背面空洞に対する裏込め注入工による補強を行い、モデル上面のトンネル掘削幅の範囲に上載圧として緩み圧を作用させることとする。

上記の手順で作成した解析モデルを図-3に示す。解析対象は矢板工法により施工され、天端部の覆工背面に空洞を有するトンネルを想定している。

本解析は単位奥行きで平面ひずみ条件下で実施するものとし、覆工への地山反力の作用および掘削の影響を十分に考慮してモデルの左右および底面境界からの距離はそれぞれ2Dおよび1D(D:トンネル掘削幅10m)とした。境界条件は下端をピン境界、左右両端をローラー境界とし、上端は非拘束状態として任意の上載圧を載荷可能とした。

なお、載荷範囲はトンネル掘削幅とした。また、偏圧など左右非対称な荷重を載荷可能となるように全断面モデルとした。

FRP-PCM工法は後述する等方弾性体の構造要素であるライナー要素でモデル化した。背面空洞の範囲はトンネル中央から90°とし、補強範囲は既往研究⁹⁾より空洞範囲を十分に補うことのできる120°とした。

4 緩み圧を考慮した補強解析

4-1 解析ケースの設定とモデルの概要

ここでは、提案モデルを用いてFRP-PCM工法の補強解析を実施する。解析ケースは地山等級、緩み高さ、補強材料により設定した。表-1に解析ケースを示す。

地山等級は、実務におけるFRP-PCM工法による補強設計に向けて、土木学会などの適用基準よりC級とD級の岩種(CII級, DI級)を対象とした。裏込め材料は可塑性のエアモルタルやセメントミルクが使用されるが、覆工コンクリートの補修と並行して行う場合には硬化速度の速いウレタン系材料(例えば文献⁹⁾)が用いられることが多い。そこで、裏込め材料としてウレタン系の材料を模擬して物性値を設定する。解析に用いる各種物性値を表-2に、補強工の物性値を表-3に示す。

載荷する緩み圧は『トンネル標準示方書』¹⁰⁾よ

表-1 解析ケース

覆工厚	FRPグリッド	緩み高さ	地山分類
15.0cm	無補強	3m	CII
	CR4	6m	DI
	CR6	1D	
	CR8		

注) : CR4 ~ CR8 は補強材料の規格

表-2 材料物性値

項目	CII地山	DI地山	覆工	裏込め材
γ (kN/m ³)	22.6	21.6	24.0	9.81
E (MPa)	980	490	245,000	12.0
ν	0.3	0.35	0.20	0.13
c (MPa)	0.98	0.49	5.21	0.50
ϕ (deg)	40.0	35.0	35.0	10.0
α_t (MPa)	0.23	0.14	2.0	0.20

り、トンネル掘削幅 $D=10$ mにおいて支保工に作用する緩み高さである3m, 6m, 1Dとし、各緩み高さに相当する土圧を算出して求める。CII級およびDI級の岩盤を対象として算出した緩み圧は表-4に示す。

地山、覆工コンクリートおよび裏込め注入工はMohr-Coulomb破壊規準を用いた弾完全塑性(ある応力値に達するとひずみが一定となり、この応力値で変形が進行する)モデルとし、FRP-PCM工法は付着面の破壊と剥離、せん断剛性を考慮可能な弾性体の面要素(ライナー要素¹⁰⁾)でモデル化する。

ライナー要素の概要を図-4、せん断方向の境界面挙動を図-5、付着面の応力変形挙動を図-6に示す。図-4に示すように、ライナー要素は面に作用する荷重だけでなく、付着面のせん断挙動を力学的に考慮することができ、図-5のようにメッシュに付着したライナー要素で表現した付着面は弾完全塑性挙動を示す。付着面に作用するせん断応力はせん断剛性とせん断変位により算出され、付着

表-3 補強工物性値

材料	弾性係数 E (MPa)	引張強度 α_t (MPa)	せん断抵抗角 ϕ_s (deg)	粘着力 c_s (MPa)	せん断剛性 k_s (MPa/mm)
CR4	100,000	1,400	17.7	2.217	5.298
CR6					6.394
CR8					13.369
PCM	26,000	4.6			—

表-4 算出した緩み圧(kPa)

緩み高さ	CII	DI
3m	67.62	64.68
6m	135.24	129.36
1D	225.40	215.60

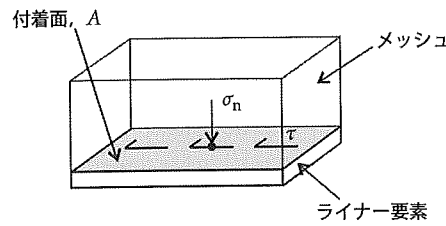


図-4 ライナー要素の概要

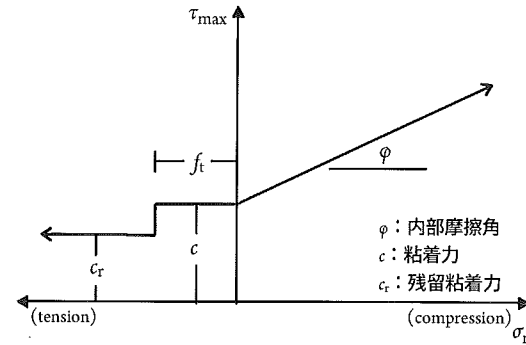
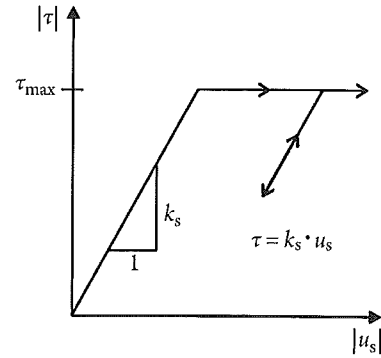


図-5 せん断方向の境界面挙動

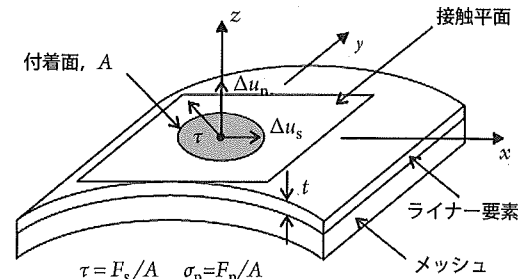
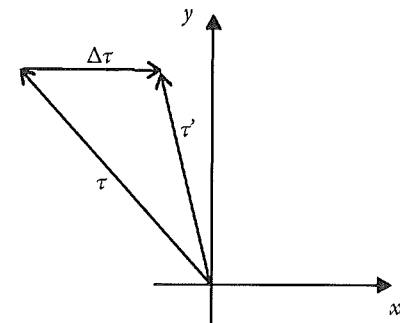


図-6 付着面の応力挙動



$$\tau' = \tau + \Delta\tau = \tau + k_s \Delta u_s$$

$$\sigma'_n = \sigma_n + \Delta\sigma_n = \sigma_n + k_n \Delta u_n$$

図-7 各ステップでの応力-変形の定式化

面の破壊と剥離が判定できる。境界面に作用する荷重および応力増分は図-7に示す関係式でステップごとに計算される。

4-2 地盤反力による覆工-地山間の相互作用の比較

覆工コンクリート側壁付近における地盤反力係数の比較により、骨組み構造解析モデルと提案モデル(無補強ケース)の覆工-地山間の相互作用を比較する。

骨組み構造解析では、地盤反力係数を地盤バネ定数として以下の式(1)、(2)¹⁰⁾を用いて算出する。

$$k_h = k_{v0} \left(\frac{B_v}{30} \right)^{-\left(\frac{3}{4} \right)} \quad (1)$$

$$k_{v0} = \left(\frac{1}{30} \right) \alpha E_0 \quad (2)$$

ここで、 k_h :設計水平地盤反力係数(kN/m³)、 E_0 :地盤の変形係数(kN/m²)、 k_{v0} :直径30cmの剛体円盤による平板載荷試験値相当の鉛直方向地盤反力係数(kN/m³)、 B_v :載荷幅(m)、 α : E_0 の推定方法による地盤反力係数の推定に用いる係数である。ここでは E_0 は各地山等級における変形係数、 B_v はトンネル掘削幅、 α は常時 $\alpha=4$ とした¹⁰⁾。CII級とDI級の地盤反力係数の算出値はそれぞれ297MN/m³、148MN/m³となった。

提案モデルでは、解析により得られた掘削壁面周辺(掘削壁面から6mの範囲)のメッシュにおける水平方向応力 σ_{xx} (kN/m²)と該当メッシュの節点の水平変位量 u_x (m)を用いて以下の式(3)より地盤反力係数 k_{tdm} を算出する。なお、水平変位量 u_x は該当メッシュの有する全節点の平均値とした。

$$k_{tdm} = \frac{\sigma_{xx}}{u_x} \quad (3)$$

図-8に各地山等級における地盤反力係数の算出値と提案モデル解析値との比較を示す。

骨組み構造解析では、どの緩み圧においても各地山物性に対し地盤反力係数は定数として取扱われるが、FDM解析では地山の变形量が入力した岩盤および覆工の物性値と発生応力より算出されるため、地盤反力係数は緩み圧や入力物性値に依

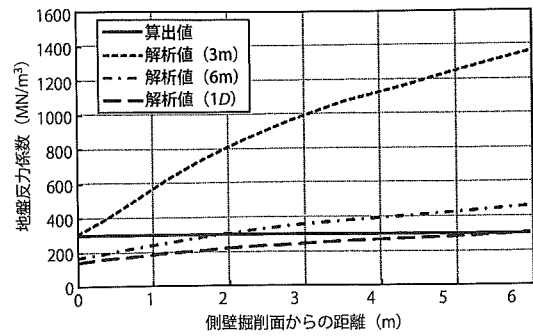


図-8 (a) CII級地山

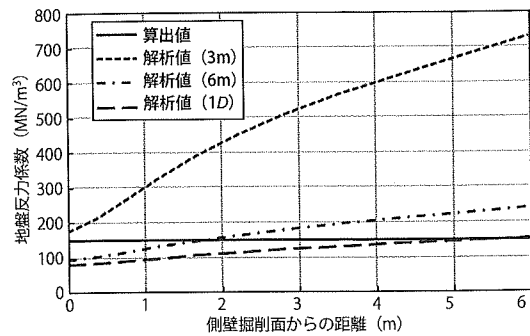


図-8 (b) DI級地山

図-8 地山等級ごとの地盤反力係数比較

じて変化する。

いずれの地山等級においても、緩み圧が大きいほど地盤反力係数の解析値は小さく、掘削壁面からの距離が離れるほど地盤反力係数の解析値は大きくなる傾向となっている。とくに緩み高さ3mのケースでは掘削壁面からの距離が離れるほど算出値と大きく乖離し、緩み高さ6m、1Dのケースでは掘削壁面から離れた位置で算出値と同等となることがわかる。

掘削壁面付近に着目すると、緩み高さ3mのケースではいずれの地山等級においても算出値と同等の値となっており、緩み高さ6m、1Dのケースでは算出値の約1/2となっている。

次に、地山等級をDI、緩み高さを1Dとして、覆工の変形係数と強度を変化させて同様に地盤反力係数の比較を行った。変形係数と強度の変化率は覆工の劣化状態を再現するものとして、もとの値、1/3および1/5とした。図-9に算出値と解析値との比較を示す。

図-9より、掘削壁面付近では覆工の変形係数お

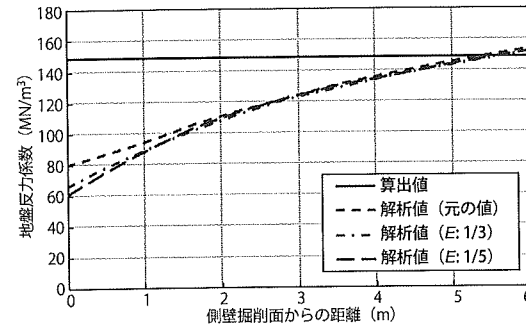


図-9 覆工の劣化度合いにおける地盤反力係数比較

よび強度が低下するほど地盤反力係数が小さくなる傾向となっている。これは覆工の強度が下がり、掘削壁面付近の岩盤に作用する応力が小さくなるためであると考えられる。掘削壁面から離れるにつれ、いずれのケースにおいてもほぼ同様の値に収束している。

以上の結果より、地盤反力係数は緩み圧や覆工の物性値などの解析条件の変化により大きく異なることがわかる。そのため、緩み圧や覆工物性値にかかわらず地盤反力係数が定数となる地盤バネとしてモデル化する骨組み構造解析では、トンネル断面の変形に伴う周辺地山の状況を再現できないので、本稿で示したモデル化手順が変状トンネルの補強設計のための数値解析において参考になると考えられる。

4-3 FRP-PCM工法を用いた補強解析

前章で示したモデル化手順にしたがって実施したFRP-PCM工法によるトンネル補強解析の一例として、DI級地山で、緩み高さが1Dの結果について考察する。

4-3-1 覆工破壊抑制効果の検討

図-10にFRPグリッドの規格によるパラメータ解析結果として覆工の破壊領域図を示す。図より、無補強時において覆工天端部で破壊が生じていることがわかる。覆工天端部では緩み圧による曲げ荷重が大きく作用するため、内空側では引張、地山側では圧さによる破壊が生じるものと考えられる。これに対し、CR4およびCR6による補強を行った場合、内空側の破壊が抑制された。つまり、引張補強材として作用するFRPグリッドは、内

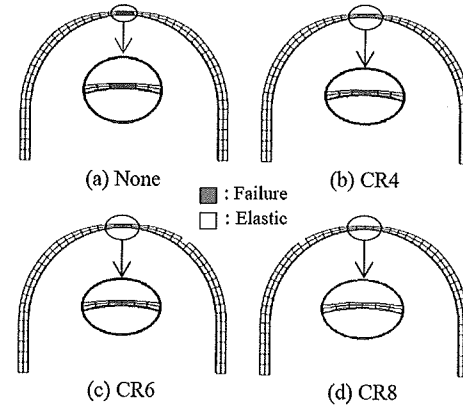


図-10 FRPグリッドの規格によるパラメータ解析結果 (覆工の破壊領域図)

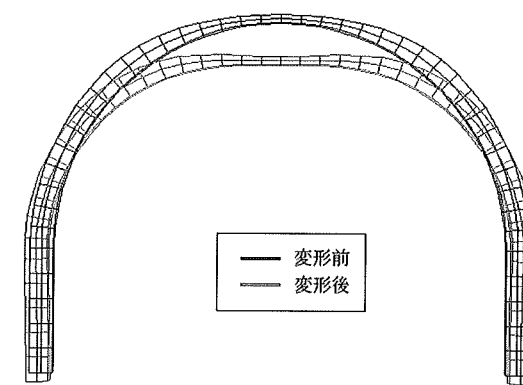


図-11 覆工の変形モードの一例

空側の引張破壊を抑制する効果を発揮していると考えられる。

CR8による補強の場合、覆工コンクリートの破壊は完全に抑制されている。これは、CR8の格子筋断面積が3パターンの中でもっとも大きくグリッドの剛性が高いため、緩み圧による変形を抑制し、覆工天端部の発生応力を軽減したと推測される。

4-3-2 覆工に作用する軸応力比較

緩み高さ1Dのケースにおける覆工内の軸応力を比較する。図-11に覆工の変形モードの一例(変形倍率100倍として表示)、図-12に覆工に作用する軸応力カウンター図(+：圧縮、-：引張)、表-5に覆工天端部の軸応力値を示す。

図-11より、天端で大きく沈下し、側壁が地山側に押し出される変形モードを示していることが

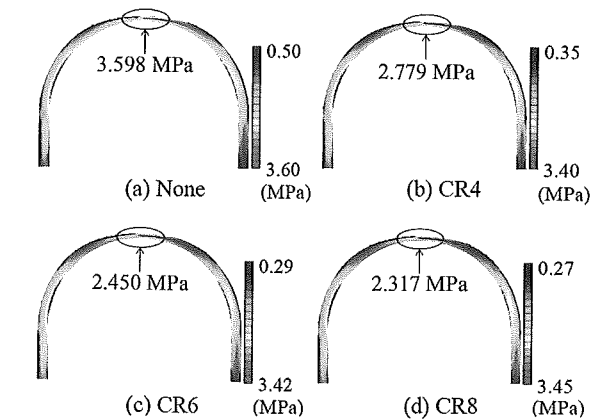


図-12 覆工の軸応力カウンター図(DI級地山、緩み高さ1D)

表-5 覆工天端における軸応力値(MPa)

地山分類	無補強	CR4	CR6	CR8
CII	2.889	2.066	1.827	1.727
DI	3.598	2.779	2.450	2.317

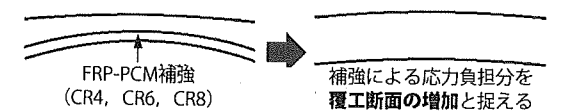


図-13 断面補強効果の概要

わかる。図-12より、いずれのケースにおいても覆工肩部の内空側で大きな圧縮応力が作用していることがわかる。これは図-11からも明らかなように、緩み圧によりトンネル上半部分が沈下し、覆工の内空側で大きな曲げ圧縮が生じたことに起因するものである。これに伴い、トンネルの天端中央においても軸応力が大きくなっていることが確認できる。表-5より、FRP-PCM工法による補強を行うことで、CII級地山では最大40%程度、DI級地山では最大36%程度の応力低減効果が得られていることがわかる。

次に、この軸応力値をもとに、覆工天端部の断面補強効果 R_r を算出する。断面補強効果は、図-13に示すように補強工の応力負担分を覆工の断面増加として捉え、補強工を覆工の増加分として、以下の式(4)で算出される。

$$R_r = \left(\frac{\sigma_{nr}}{\sigma_r} - 1.0 \right) \times 100 \quad (4)$$

ここで、 σ_{nr} ：無補強時における軸応力値(MPa)、

表-6 断面補強効果 R_r (緩み高さ1D)

地山分類	CR4	CR6	CR8
CII	39.8%	58.2%	67.3%
DI	29.5%	46.9%	55.3%

σ_r : 内面補強時における軸応力値(MPa)である。
断面補強効果 R_r の算出値を表-6に示す。表-6より、CII級地山では最大67%程度、DI級地山では最大55%程度の断面補強効果が得られており、FRP-PCM工法による覆工断面を増加させる効果が期待できる。

4-3-3 補強工付着面の安全性評価

次に、補強工と既設覆工との付着面の安全性について評価する。図-14に補強工付着面のせん断応力カウンター図を示す。いずれのケースにおいても、補強工の両端部でせん断応力が大きく発生している。前述のように、上半部が大きく沈下し肩部で曲げ圧縮が発生することにより、肩部に位置する補強工の両端部の付着面でせん断変形が生じ、これに伴ってせん断応力が大きく生じていると考えられる。これらの箇所では付着面のせん断剥離、あるいは母材(覆工コンクリート)の破壊が生じる可能性がある。

これらの箇所における安全性を照査するために付着面の安全率を算出することにした。付着面安全率 f_s は補強工と覆工との付着面に生じるせん断応力値と付着面に作用する垂直応力および付着面強度定数 c, ϕ を用いて以下の式より算出する。

$$f_s = \frac{\tau_{max}}{\tau_c} \quad (5)$$

$$\tau_{max} = c + \sigma_{max} \tan \phi \quad (6)$$

ここで、 τ_c : 付着面せん断応力の解析値、 τ_{max} : 式(6)で算出される最大せん断応力、 σ_{max} : 付着面に作用する最大垂直応力、 c, ϕ : 付着面の強度定数、である。

表-7に付着面安全率の算出値を示す。グリッドの種類に着目すると、格子筋断面積の大きいグリッドほど付着面安全率が低くなっていることがわかる。これは、格子筋断面積の小さいグリッドを用いた場合に、補強工の剛性が覆工の剛性と比較的

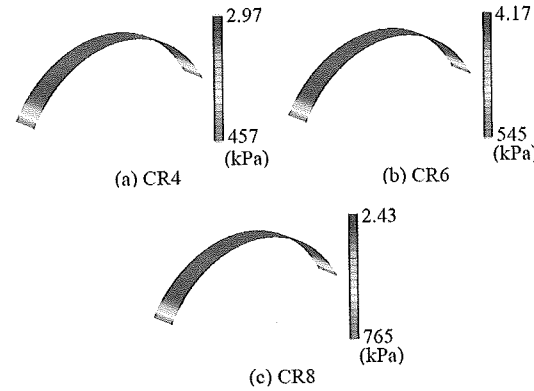


図-14 付着面のせん断応力カウンター図(DI級地山, 緩み高さ1D)

表-7 付着面安全率

緩み高さ	3 m	6 m	1D
CR4	18.882	7.743	4.369
CR6	15.776	6.509	3.687
CR8	11.294	4.653	2.643

近い値になるため覆工の変形に追従しやすく、補強工の両端部に生じる付着面せん断応力が小さくなる傾向にあり、格子筋断面積が大きくなると覆工の剛性よりも相対的に大きくなるため覆工の変形に追従せず、付着面のせん断応力が大きく生じるためと考えられる。

いずれのケースにおいても付着面の安全率は2.0以上となっているが、構造物としての安全率と異なることに留意する必要がある。また、補強解析では緩み圧に起因する突発的破壊のみを考慮した解析となっており、覆工の経年劣化や材質劣化に伴う強度低下、また時間経過に伴う塑性圧の発生と増加、周辺地山の強度低下などさまざまな要因も存在するため、これらをもとに考慮した場合には付着面の安全率はさらに低下する可能性がある。十分な定着長の確保あるいは補強範囲をスプリングラインより上部の上半補強とする必要も考えられる。

5 おわりに

矢板工法により施工された背面空洞を有する変状トンネル構造物を対象とし、連続体解析手法である有限差分法にもとづいて緩み圧による突発的

破壊を考慮することの可能なモデル化手法を提案した。また、近年適用されてきているFRPグリッドを用いたPCM吹付け工法を対象として補強解析を実施し、その補強効果を評価した。以下に得られた知見を示す。

- ① 実務における補強解析で一般的に用いられることの多い骨組み構造解析では、周辺地山を地盤バネとしてモデル化していることから地山-覆工コンクリートの相互作用を正しく表現することが困難なため、有限要素メッシュを用いたモデル化により任意の緩み圧作用下における地山と覆工コンクリートとの相互作用を表現することが可能となる。

- ② 緩み圧に起因する突発性崩壊に対する内面補強工の補強解析を行った結果、各地山条件下における補強効果を以下のように定量的に評価した。

- ・CII級とDI級岩盤を対象とした場合に、FRP-PCM工法による補強を行うことで内空側の破壊進展を抑制することを示した。
- ・補強を行うことで、覆工に作用する軸応力を最大40%程度低減させ、覆工断面を覆工厚の最大55%程度補助することを明らかにした。

- ③ 上記の覆工補強効果および覆工と補強工との付着面安全率を総合して判断することにより、対象となるトンネルに対する最適な補強材料の選定が可能となることを示した。

本研究を進めるにあたり、FRPグリッド工法研究会と(株)エイト日本技術開発から研究助成をいただいた。ここに感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 東幸宏・蔣宇静・石田耕生・谷口硯士・古賀大陸・米田裕樹・佐々木謙二・原田哲夫: 在来工法トンネルにおけるFRP-PCM工法の補強効果に関する一考察, 土木構造・材料論文集, No.28, pp.69-76, 2012.
- 2) FRPグリッド工法研究会: FRPグリッド施工実績, 2009.
- 3) 鉄道総合技術研究所: 変状トンネル対策工設計マニュアル, 1998.
- 4) 真下英人・砂金伸治・木谷努: 山岳トンネルの構造解析手法に関する一考察, トンネル工学報告集, Vol.15, pp.107-114, 2005.
- 5) 川本眺万・石塚与志雄: ひずみ軟化を考慮した岩盤掘削の解析, 土木学会論文報告集, No.312, pp.107-118, 1981.
- 6) Cundall, P. and M. Board: A microcomputer program for modeling large-strain plasticity problem, Proc. 6th International Conference on Numerical Methods Geomechanics, Innsbruck, Austria, pp.2101-2108, 1988.
- 7) 野城一栄・小島芳之・樺田正人・佐野力: 欠損を考慮したトンネル覆工の骨組み構造解析, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.56, pp.34-35, 2001.
- 8) 日本道路協会: 道路トンネル維持管理便覧, pp.124-136, 1993.
- 9) 東幸宏・蔣宇静・石田耕生・谷口硯士・古賀大陸・米田裕樹: FRPグリッドを用いたPCM吹付け工法の道路トンネル補強効果の評価手法に関する研究, 第32回西日本岩盤工学シンポジウム講演論文集, pp.51-56, 2011.
- 10) ケミカルフォーム協会: 既設道路トンネル裏込め注入工法技術資料, 2012.
- 11) 土木学会編: トンネル標準示方書 山岳工法・同解説, pp.294-295, 2006
- 12) Itasca Consulting Group, Inc.: FLAC3D User's manual Structural Elements, 2002.
- 13) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 IV下部工編, pp.284-286, 1996.

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

B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(〒450円)



〒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.490

今月の主な入札結果

(2月10日~3月9日)

事業主体	工 事 名	請 負 会 社	請負額 単 位 百万円
東北地整	R45吉浜釜石道路	大林・富士ピーエスJV	10,283.4
"	R45下安家道路	戸田・大豊JV	9,549
"	R45外千徳小山田道路	前田建設工業	5,936
"	R45柏木平地区T	青木あすなる建設	3,039.95
"	R45田老地区T	五洋建設	2,586.5
"	R115円測T	フジタ	2,224
"	R115庄司測T	鴻池組	2,105.4
"	R115腰巡T	佐藤工業	2,070
"	赤川流域笹根T	岩田地崎建設	1,285
関東地整	中部横断帯第2T	戸田建設	2,390.58
"	楮根第3T	鴻池組	684
"	圏央道高良田函渠他	鈴縫工業	240
"	横浜湘南道路藤沢立坑	大成・五洋JV	4,600.9
"	R127久保坂下T改良	927	
"	石原第二樋管新設	青木あすなる建設	125
"	H25西押揚排水樋管新設	岩井土建	125
"	H25上之坊排水樋管改築	北野建設	203.5
北陸地整	梯川天神排水樋管及び分水路	共立建設	243
"	R289 6号T	真柄建設	142
中部地整	H25 19号鳥居T修繕	戸田建設	2,405
"	三遠南信池島T調査坑	吉川建設	180
近畿地整	和歌山岬道路深日T	清水建設	1,505
"	R9 京都西共同溝立坑設置	フジタ	1,500.66
中国地整	鳥取西道路気高青谷T第2	西松建設	2,834.5
四国地整	H25-28西山T	前田建設工業	3,645.5
九州地整	九州横断道(嘉島~山都)高木T新設	前田建設工業	1,560.42
"	長崎497号調川T 1号新設	前田建設工業	2,867.37
"	2号新設	安藤ハザマ	1,121.3
鉄道・運輸機構	相鉄・東急直通線, 羽沢T他	大成・東急・大本・土志田JV	12,075
"	九州新幹線(西九州), 木場T他	清水・青木あすなる・西日本菱重JV	6,830
東日本高速道路	上信越自動車道金谷山T	森組	1,208
首都高速道路	高速横浜環状北線新横浜換気塔他	大成建設	1,370
岩手県	主地大船渡綾里三陸線(仮称)小石浜T	銭高・豊島JV	1,141.32
"	R106宮古西道路(仮称)松山T築造	村本・熊谷JV	783
"	R340(仮称)小峠T築造	奥村・大本・高德JV	1,891.48
都・下水道局	隅田川幹線その3	東急建設	3,810
"	東大島幹線及び南大島幹線その3	鹿島建設	6,629
"	新宿区市谷加賀町一丁目, 市谷田町一丁目付近外濠流域合流改善貯留施設設置	清水建設	140.5
"	第二戸山幹線その7	戸田建設	1,513.8
"	渋谷区恵比寿南二丁目, 恵比寿西一丁目付近再構築その2	若築建設	177.1
都・財務局	白子川地下調節池(その6-2)	大成・成豊JV	847.1
"	環2地下T(仮称)築造及び補償代行(25-環2新大橋第二工区)	長田・仲岡JV	453
福井県	原子力災害抑制道路等整備(交付金)(仮称)敦賀半島第1T浦底工区	安藤ハザマ・敦賀旭・寛・岡JV	5,891.7
和歌山県	R480(仮称)杉野原板尾T)道路改良	小池組	435
大阪広域水道事業団	送水管布設(藤井寺長吉BP送水管・藤井寺市ほか)	オリエンタル白石・みらいコーセンJV	3,026
仙台市	原町東部雨水幹線1	奥村・大本・さとうJV	4,660.81
"	第2霞目雨水幹線1	安藤ハザマ・奥田・河北JV	3,455
さいたま市	雨水貯留管等築造	西松・鴻池・大本JV	2,668
"	芝川第8処理区分区下水道(北建-25-71)	三ツ和総合・湊川JV	677.65
"	南部処理区分区下水道(北建-25-73)	鴻池・とだか・田中JV	1,530.91
"	深作第3-2排水区分区下水道(北建-25-79)	斎藤工業	163.68
横浜市	北部処理区分区下水道整備(その3)	土志田建設	288.33
新潟市	南下13号白根第1排水区分区白根西1号雨水幹線754下水道	福田・広瀬JV	773.2
"	東下37号物見山排水区分区枝線996~1001下水道	福田組	140.5
"	西下25号五十嵐第2排水区分区雨水幹線27下水道	福田組	378.5
名古屋市	犬山系導水路A扶桑町大字高雄字北郷から大口町中沖2丁目地内間2000mm整備	日本国土・桑原・日本コムシスJV	3,777.26
福岡市	八幡雨水調整池流入管下水道築造	浅沼・藤貴JV	488
"	福岡市地下鉄七隈線中間駅(仮称)東工区	銭高・日本国土・九建JV	4,061.51
北九州市	桜町北湊雨水貯留管築造	大林・熊谷・大本・東田中JV	7,092
		鹿島・若築・池間JV	3,027

建設情報

トンネルの維持管理における課題とさまざまな取組み(2)

—具体的な維持管理上の課題と対策事例—

JTA保守管理小委員会

表-1 維持管理上の課題と対策事例

連載回	用途	主な課題の分類	具体的な事象
今号	鉄道	構造面	狭小
	道路	情報面・知識面	路盤変状
次号	道路	環境面	塩害
	道路	知識面	地滑り
	道路	対策施工時の課題	活線拡幅

③ 具体的な維持管理上の課題と対策事例

前回は、維持管理上の課題を「時間別分類」と「要因別分類」に分けて整理し、維持管理上の課題の総合的な考え方として「維持管理を容易に実施するための工夫と、必要な情報や知識などを確保すること」と提案をした。

今回からは2回にわたり、実際の維持管理上の課題と対策事例を紹介する。紹介事例を表-1に示す。

3-1 主として構造面での課題事例(鉄道トンネル)^{1),2)}

3-1-1 冠着トンネルの概要

篠ノ井線は、長野県の主要都市である長野市と松本市を結び、長野県の鉄道交通の動脈として活用されている(図-1)。その中でも冠着トンネルは冠着・姨捨間に位置し、標高1,000mを越える山稜を横切ったちで明治33(1900)年に建設され、その経年は実に110年を越えている。トンネル構造は、単線甲型断面のレンガトンネルであり、トンネル延長は2,656mと、建設当時は日本最長の鉄道トンネルであった。昭和48(1973)年には電化開業をしたが、断面形状を改築しなかったため、建築限界余裕が著しく少ない狭小断面のトンネルとして、維持管理されている。

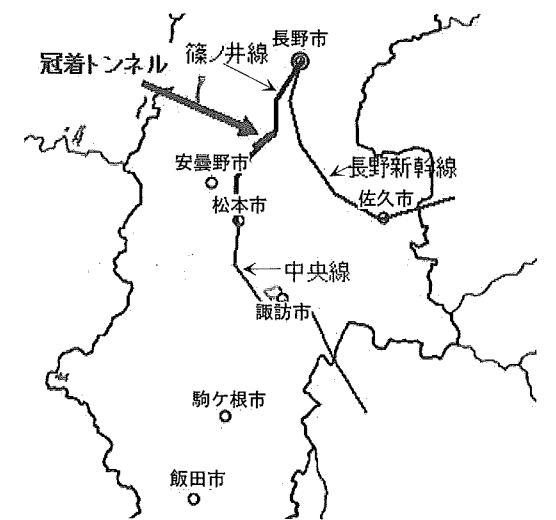


図-1 位置図

当トンネルでは、レンガ覆工の目地切れやはく離・はく落、漏水・結氷などの変状が発生したため、過去に大規模な対策を行ってきた。しかし、これらのさまざまな対策工自体に変状が発生したため、継続的に補修を実施することで維持管理を

している。

これらの変状に対して近年実施した詳細調査により、変状原因の一つとして漏水の一部に酸性水が存在していることが確認された。そのため、酸性水による材料劣化を考慮した覆工の補修工法について検討し、対策工を実施している。

3-1-2 維持管理上の課題

当トンネルでの維持管理上の課題を挙げると、以下ようになる。

(1) 構造面での課題

- ・目地切れや煤煙、漏水の影響により、はく離・はく落が発生しやすい状態にある。
- ・建築限界余裕がないため、対策工の選定に制限がある。

(2) 利用面での課題

- ・非電化トンネルを電化したため、建築限界余裕がない状態となり、保守余裕がほとんどなく対策工の選定に制限がある。

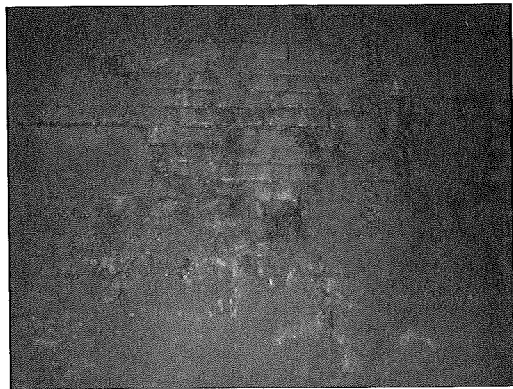


写真-1 煤煙付着状況



写真-2 樹脂ネットによる対策

(3) 環境面での課題

- ・覆工面に付着した煤煙は、清掃しても容易に落ちないため、覆工面の目視検査に時間を要する(写真-1)。

(4) 情報面での課題

- ・変状発生時期や対策工の施工時期が古く、これまでの変状の経緯や対策工の経緯が不明確となっている(写真-2)。

(5) 知識面での課題

- ・変状原因が近年まで特定されていなかったことから、変状がくりかえし発生していた。

3-1-3 対策事例

冠着トンネルでははく離・はく落、目地切れなどの変状原因は、煤煙の付着による材料劣化や、漏水および凍害によるものと推定されていたため、以下に示すような対策工をこれまで実施してきた。

- ① コンクリートブロック覆工改良：
昭和31(1956)年
- ② 吹付けモルタル施工：
昭和46, 47(1971, 72)年
- ③ H形鋼セントル+ライナープレート+裏込めモルタル設置：
昭和61(1986)年～平成2, 4, 7(1990, 92, 97)年
- ④ 吹付けガラス繊維補強モルタル施工：
平成8～11(1996～99)年

しかしながら、これらの対策工は、施工後数年が経過した時点で、対策工自体に変状が発生した。変状は、はく離・はく落(写真-3)や、鋼材の腐食など(写真-4)であった。そのため、原因調査を急いで実施したところ、漏水中に酸性水が含まれていることが確認された。そこで、酸性水の影響を考慮した対策工の検討を行い、施工することとした。

酸性水を考慮した対策工は、トンネル内空断面の余裕量(建築限界支障量)や施工間合いなどを勘案し、レンガの表層をはつり、良質な覆工材料に置き換える工法を選定した。この工法(図-2)では、有害な酸性水を防水シートと排水ドレーンにより隔離し導水し、劣化が著しくはく離・はく落が心配なレンガ材から安全性の高い部材へ置き換える



写真-3 吹付けモルタルのはく落

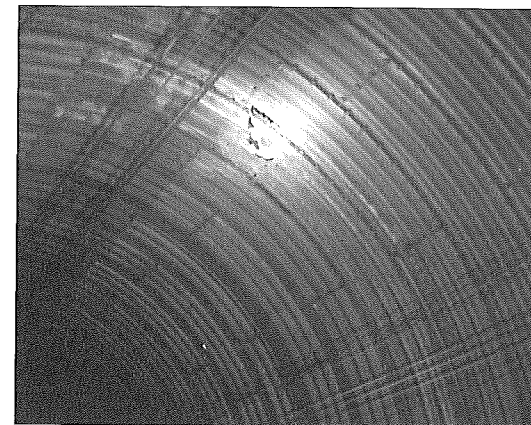


写真-4 ライナープレートの腐食

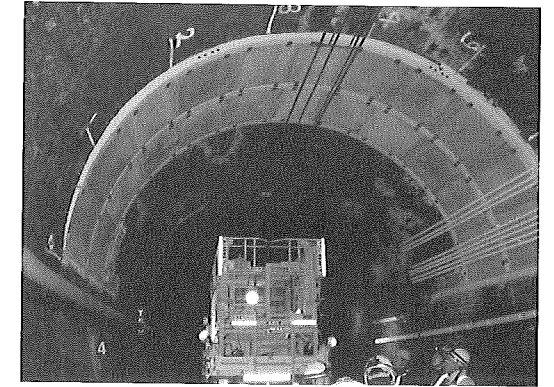


写真-5 対策工施工状況

ことにより(写真-5)、対策による効果が確認されている。

本対策工は、今後改良を重ね、さらに効果的な補修工法を確立し、維持管理上の課題の解決に向けて取組んでいく。

3-2 主として情報面・知識面での課題事例(道路トンネル)³⁾

3-2-1 盃山トンネルの概要

盃山トンネルは、山形自動車道の山形蔵王IC～山形北IC間に位置する1,234mの2車線トンネルで、平成3(1991)年7月20日に暫定対面通行で供用された。なお、平成14年度に4車線化され、I期線は上り線としてII期線は下り線として利用されている。

平成20(2008)年8月13日、上り線において突然、路面変状(隆起)とクラックが発生し、変状は日々拡大し、10日間で38cmの隆起を確認した(写真-6)。なお、変状が生じる前日の定期巡回および点検では、隆起などは確認されなかった。

今回変状を起こした区間の地質は、膨張性粘土鉱物(スメクタイト)を52%も含む凝灰岩層であった。当該区間は建設時にも大きな内空変位(水平変位約400mm)が発生しており、インバートが破損し鋼製支保工を設置し

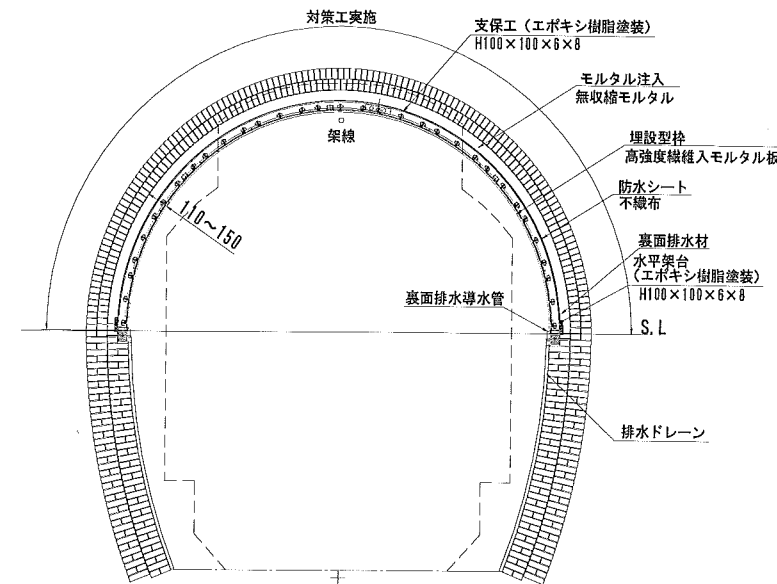


図-2 補修工法標準断面図

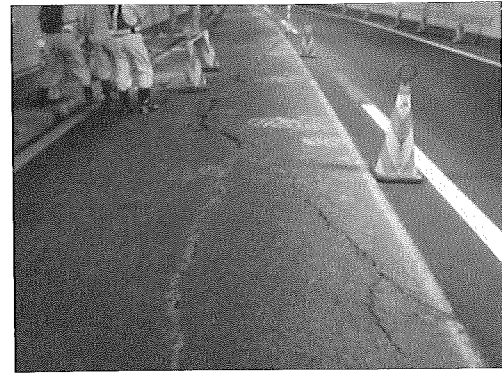


写真-6 舗装面の隆起

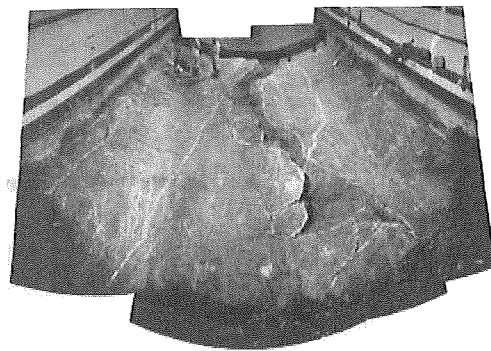


写真-7 インバート破損

て再施工したところもあった。

路面変状の原因を確認するため、既設舗装および路盤材料を撤去したところ、既設インバートの中央付近で縦断方向に破断していた(写真-7)。

3-2-2 維持管理上の課題

当トンネルでの維持管理上の課題を挙げると、以下のようになる。

(1) 構造面での課題

- 路面下のインバートの状況は目視することができない。
- トンネルはコンクリートで閉合されて地圧に抵抗しており、補修する場合には覆工の安全を確認しながら区間を細分化して施工する必要がある。

(2) 利用面での課題

- 交通量が約9,000台/日あり、通行止めは社会に対する影響が大きい。
- 監査廊には、通信ケーブル・水管などが埋設されており、簡単に撤去できない。

(3) 環境面での課題

- 建設から18年経過しており、地下水状況の変化や地山の強度低下が生じると建設時の設計の考え方と合致しなくなる。

(4) 情報面での課題

- 建設時の地質や支保の情報はあるが、損傷箇所での周辺地山の細部データはない。

(5) 知識面での課題

- 長期にわたり発生する塑性地圧の原因と将来の状況を定量的に確定することができない。

3-2-3 対策事例

今回の変状メカニズムは、地山の塑性地圧が湧水などの影響により増加してインバートにひび割れが生じ、センタードレーンも破損したため、さらなる塑性領域が拡大し、最終的にはインバートが隆起破壊し、路面隆起に至ったと推定される。

対策工の決定にあたっては、各種調査結果をもとに解析を行ったほか、平成14(2002)年度に供用した下り線は変状を起こしていないことを参考にして、以下のとおりとした。

- ① インバートに鋼製支保工(H-200)を1mピッチに設置
- ② インバート吹付けを厚さ25cm(36N/mm²)、インバートコンクリートを厚さ50cm(24N/mm²)で設置
- ③ インバート半径を13.1mから10mへ変更し、より円形に近づける

施工は、通行止めを避けるべく、下り線を対面通行で運用(盃山トンネルほか2トンネル)し、本復旧を進めることとした。インバート再設置範囲の148mの補修に3か月以上の期間を要した。応急対策から本復旧までの手順は以下のとおりである。

- ① 応急対策(8月13~21日：上り線の車線規制および一時通行止め)
 - 舗装路面クラック調査、ボーリング調査、試掘調査、変位観測、舗装補修
- ② 下り線対面通行対策(8月20~21日：下り線の車線規制)
 - 走行側規制標識などの設置、センターポ-

ル設置、上下線開口部設置、緩和照明設置

- ③ 本復旧(8月21日~11月28日：下り線対面通行、上り線通行止め)

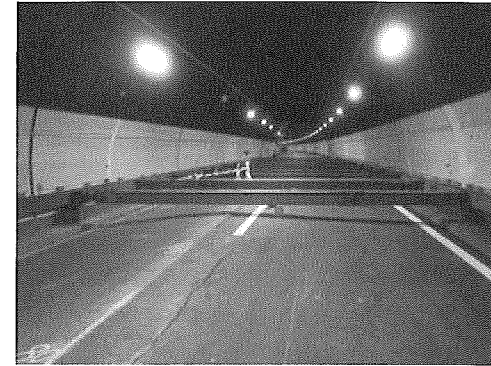


写真-8 切梁設置状況



写真-9 インバート切削状況

- ケーブル撤去および迂回工事、水管の切断
- 切梁設置(写真-8)、舗装版撤去、インバート施工(写真-9,10)、排水工施工、舗装版・表層施工、計測工
- 電気・通信設備工事、非常用設備工事

- ④ 上下線供用対策(11月28日：上下線の車線規制)

- センターポール撤去、上下線開口部閉鎖
- 下り線緩和照明撤去、路面表示消去

3-3 主として環境面での課題事例(道路トンネル)^{4),5)}

3-3-1 東京港トンネルの概要

首都高速湾岸線東京港トンネルは、1976年に開通した湾岸台場地区と大井地区を結ぶ全長約1,325mの海底トンネルで、1日約14万台の通行車



写真-10 鋼製支保工設置状況

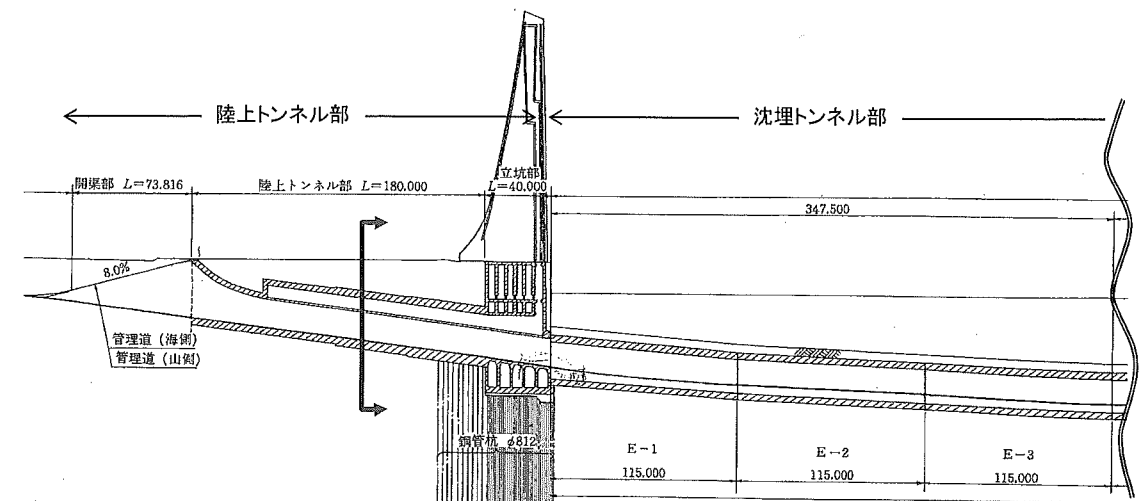


図-3 東京港トンネル縦断面図

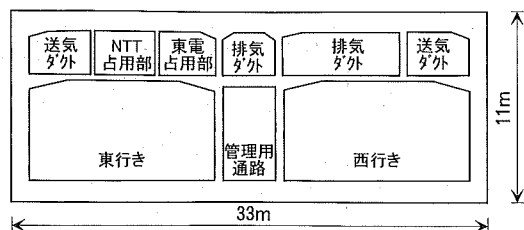


図-4 陸上トンネル断面構成

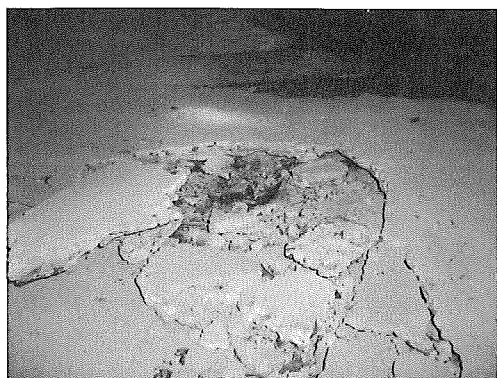


写真-11 中床版上面被りコンクリートはく離

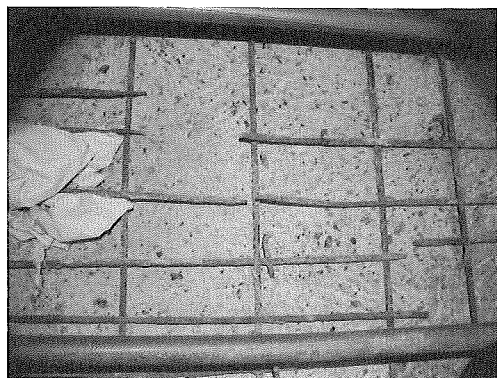


写真-12 中床版上面コンクリートはく離部鉄筋腐食・欠損状況

両が利用する首都圏の大動脈である。

トンネルは延長1,035mの沈埋部と290mの開削工法で施工された陸上トンネル部で構成されている(図-3)。この陸上トンネル部の西側180mは、幅33m×高さ11mの断面構成で、部材厚30cmの中床版で分離された矩形断面のRC構造であり、下層階に高速湾岸線と管理用通路、上層階に送気・排気ダクト、東電・NTT占有部が配置されている(図-4)。

当トンネルの中床版において、構造目地部およ

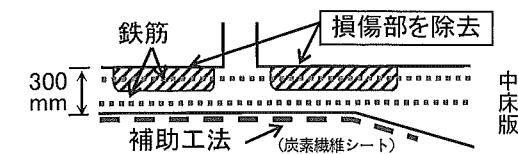


図-5 中床版上面損傷部はつり取りイメージ

び隣接する企業洞道との接続部からの漏水に起因するコンクリートの浮き、はく離、鉄筋露出、鉄筋欠損が広範囲にわたり確認された(写真-11, 12)。原因分析のために実施した各種の調査から、中床版の損傷原因は塩分を含んだ漏水が中床版内に浸透した塩害と分析された。そのため、コンクリートの除去深さや補修方法について検討し、塩害損傷コンクリートをはつり、残存コンクリートや鉄筋の塩害対策を施したうえでポリマーセメントモルタルを用いて断面を修復した(図-5)。また、施工中の強度補強材として炭素繊維シートを中床版裏面に貼り付けた。

3-3-2 維持管理上の課題

当トンネルでの維持管理上での課題を挙げると、以下のようになる。

(1) 構造面での課題

- ・構造目地部頂版からの漏水が中床版上面(道路天井)に滞水しやすい状態にある。
- ・隣接するトンネルより縦断が低いため漏水が滞水しやすい状態にある。

(2) 利用面での課題

- ・企業洞道として占有されている区画がある。
- ・高速道路が24時間開放されている。

(3) 環境面での課題

- ・トンネル周辺の地下水には塩分が含まれている。

(4) 情報面での課題

- ・企業洞道として占有している区画では管理情報が不足する状態であった。

(5) 知識面での課題

- ・漏水対策として実施した補修が短期間で効果を失った可能性がある。
- ・漏水の発生原因や構造物に及ぼす影響が把握されていない可能性がある。

3-3-3 対策事例

水および滞水の塩分濃度を測定、蛍光X線分析装置による塩化物イオン量の測定、コア採取による塩化物イオン量の測定、フェノールフタレイン溶液の噴霧による中性化深さの確認などから、中床版の損傷原因は塩分を含んだ漏水が中床版内に浸透したことによる塩害と分析された。

補修対策は、①腐食因子(漏水)の遮断、②浸透した塩化物イオンの除去、③塩化物イオンを除去する補修によって中床版厚が一時的に薄くなることに対する補強、④損傷断面の補修、で構成される。

① 腐食因子(漏水)の遮断

構造目地部からの漏水は導水樋で集水して排水設備に排水し、躯体ひび割れ部からの漏水は薬剤によって止水した。

② 浸透した塩化物イオンの除去

塩化物イオンが浸透した範囲のコンクリートを手はつりで除去した。

③ 中床版厚が一時的に薄くなることに対する補強

補修限界塩化物イオン量が残存する中床版上面をはつるときに、既設の部材に発生する

増加応力を抑えるために、中床版下面に炭素繊維シートを貼り付けて応力を負担させた。

④ 損傷断面の補修

損傷断面の補修は、塩害損傷コンクリートはつり、腐食鉄筋の除去、残存コンクリート面の塩化物拡散抑制処置、鉄筋の復旧、残存鉄筋の素地調整、犠牲陽極の設置、鉄筋の防錆処置、補強筋などの配置、断面復旧、補修範囲以外のひび割れ補修、塗り床材の塗布の手順で行った。

参考文献

- 1) 竹村慎修ほか：老朽レンガトンネルの変状と維持管理、新線路、2011.3.
- 2) 片山浩一ほか：老朽レンガトンネルにおける酸性水を考慮した覆工補修、日本鉄道施設協会誌、2011.9.
- 3) 佐久間智・菅原徳夫・多田誠・遠藤祐司：供用中に発生した急激な盤膨れ変状を復旧する、トンネルと地下、Vol.40, No.12, pp.27-37, 2009.12.
- 4) 蔵治賢太郎・吉崎龍太郎ほか：塩害で損傷したトンネル中床版等の補修、土木学会年次講演会、V-008, 2011.9.
- 5) 吉崎龍太郎・蔵治賢太郎・和田新：土木学会第18回地下空間シンポジウム、2013.1.

『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)

トンネルジャーナル

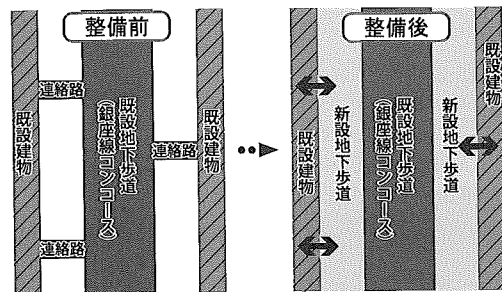
日本橋地下歩道東側が完成

東京国道事務所が整備する日本橋地区都市再生事業のうち、日本橋地下歩道東側(Ⅲ期区間)の約73mが完成し、1月31日、名橋「日本橋」保存会の主催のもと完成式典が催された。これにより、Ⅲ期区間、約190mがすべて開通したことになる。

同事業では、国道4号下の東京地下鉄銀座線の三越前駅コンコースを拡幅するかたちで、両脇に地下歩道を整備している。従来はコンコースから各沿道施設に個別に地下通路が設けられていたものを、沿道施設の再開発にあわせて地下駅と建物とを一体化

した地下歩道整備を行うことで回遊性の向上、快適な歩行空間の確保、バリアフリー化、デザインの調和などを図っている。また工事を沿道施設の建替え工事と一体的に行うことで、土留め壁など仮設構造物を共用して官民境界いっぱいまで地下空間を確保し、あわせて工事費の削減と工期の短縮も実現した。

同事業は、国道4号の日本橋北詰～室町3丁目交差点間の約500mにわたって計画されており、2002年度に西側区間で着手され、西側の日本橋北詰から約330m区間が2008年に完成していた。



沿道建物とスムーズかつバリアフリーに接続

(左)事業の概要、(右)事業関係者によるテープカット(いずれも東京国道事務所提供)



マレーシア パハン・セラングール導水トンネルが貫通

マレーシアのパハン州からセラングール州に工業・生活用水を導水するパハン・セラングール導水トンネル(延長44.6km)で、2月19日、TBM-1区間(延長11,333m)とTBM-2区間(延長12,007m)が貫通した。貫通にあたって式典が催され、マレーシアのエネルギー・環境・水省ズル局長らが貫通掘進の合図を行うと、貫通点であるパハン側坑口から16.6km地点まで掘進を完了していたTBM-2側へ向かって、TBM-1マシンが掘進を開始し、貫通に至った。式典会場では200名の来賓がTBM-2の作業基地に設置された大型LEDモニターで、この瞬間を見守った。本貫通が同トンネルにおける最後の貫通となり、44.6kmがすべての掘削が完了したことになる。

同トンネルは東南アジア最長のトンネル。土かぶりは最大1,246mに及び、パハン側TBM-1では最大24.6t/minの突発湧水、TBM-2では400mに及ぶレポ断層、5km以上に及ぶ50度を超える高温岩盤、

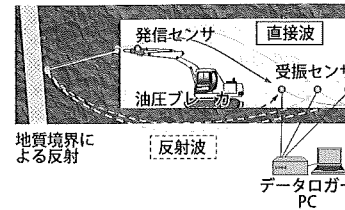
山はねといった課題に対処しながらの掘進となった。同トンネルはマレーシアの首都クアラルンプールならびに周辺地域の水不足を解消するため計画されたトンネルで、2014年末の完成を予定している。



清水建設(株)提供

工法・技術・製品ニュース

工法 トンネル掘削振動の反射波を利用した探査システムを開発



清水建設(株)
コーポレートコミュニケーション部
Tel 03-3561-1111 (代表)
<http://www.shimz.co.jp/>

清水建設は、掘削作業に伴い地山内に伝播する振動の特性を利用して掘削部前方の地山性状が変わる地点を予測する「切羽前方探査システム」を開発し、同社が施工中の近畿自動車道紀勢線十九淵第一トンネル工事に適用して、システムの有効性を確認したと発表した。

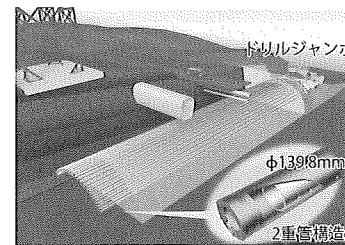
同システムは、地山内を伝播する振動が地山性状の変化点で反射する特性を利用したもので、掘削機により打撃振動を与え、受振にはロックボルトを利用する。システム構成は、掘削機の発信センサ、ロックボルトの頭部に設置する受振センサ、データロガー、データ解析ソフト(PC)からなる。

実地試験では、解析により検知し

た地点と掘削によって地山の風化・変質が確認できた地点が一致するとともに、切羽前方50mの距離までの高い検知精度を発揮できることのほか、システムの設置から探査、撤収が約30分で済むこと、掘削作業を継続しながら探査できることなどが確認された。

掘削作業に使用する重機や資材を探査に利用するため掘削作業の中断を伴わず、日常的に使用できることが特徴。探査により地山性状が変化する地点を検知した場合にかぎり、先進調査ボーリングなどの探査手法を適用すれば施工管理に必要な地山情報を収集でき、掘削作業の中断期間と地山情報の探査費用を最小限に抑えることができるとしている。

工法 LL-Fp工法を地すべり跡地の坑口部安定化対策に初適用



西松建設(株)技術研究所
土木技術グループ
<http://www.nishimatsu.co.jp/>

西松建設は、ドリルジャンボを使用した超長尺大口径鋼管先受け工法「LL-Fp工法(Long distance and Large caliber Forepiling method)」を、地すべり跡地のトンネルおよび地山の坑口部安定化対策として初適用し、施工性や掘削時のトンネル変形抑制効果を確認したと発表した。

同工法は、ドリルジャンボを使用してφ139.8mmの大口径鋼管を切羽前方のトンネルアーチ部へ超長尺打設し、さらに鋼管から地山へ薬液を注入することで、掘削時のトンネル変形抑制・切羽安定を図るもの。

適用現場では、トンネルアーチ部約120°範囲の21か所において、長さ3.0~3.5mの大口径鋼管を継ぎ足しながら39.5mの深度まで打設し、大口径鋼管内に挿入したAGF鋼管内からシリカレジン地山に注入した。

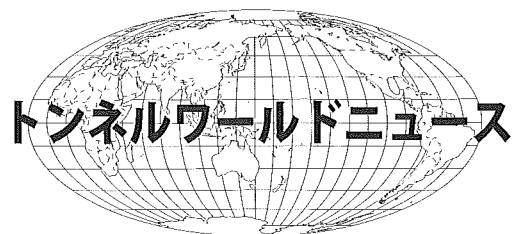
これらの一連の作業時に大きなトラブルはなく、当初計画されていたAGF工法(4シフト)の7割程度の期間で全工程を終えることができた。また、専用の削孔機を使用する従来の超長尺大口径鋼管先受け工法と比較しても、大幅な工程短縮とコストダウンが可能となったとしている。

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

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



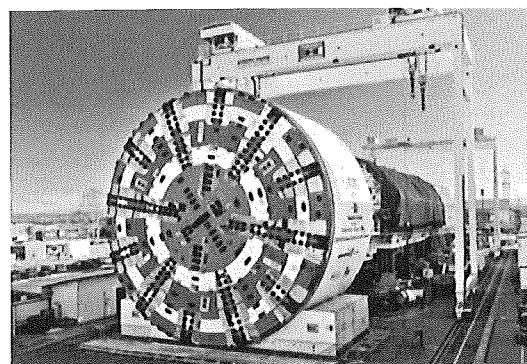
(一社)日本トンネル技術協会
国際委員会

イタリアSparvoトンネル工事で TBM掘進記録を達成した

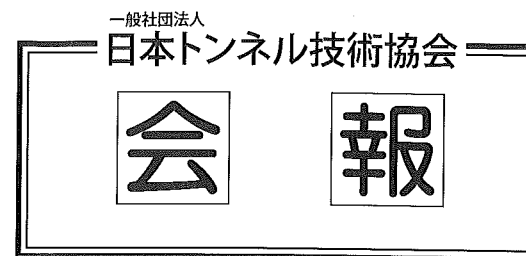
イタリアの高速道路公社が発注のSparvoトンネル工事で6月、TBMが貫通し、請負会社のToto社が世界記録を達成した。TBMはHerrenknecht社が製作した世界最大級の掘削径15.62m土圧シールドである。工事はフローレンス～ポローニャを結ぶA1国道で、断面が世界最大となる総延長5kmの道路トンネルを19か月で掘削完了させた。TBMは15m級の双設トンネル工事において、NATMと比べ10倍の掘進速度を記録した。南行き線2,600mを8か月で掘進し、覆工を2012年7月に完了させ、そのまま到達地で方向転換して北行き線2,430mの掘進を11か月で完了させた。TBMの掘進記録は作業時間を日あたり24時間、週7日実働で進捗24m/日、126m/週、400m/月を達成した。工事の課題としては複雑な地質にあった。主に高粘着性の粘土層に緑色岩や蛇紋岩が混在しており、さらに懸念されたのはメタンガスなど爆発性の可燃性ガスが大量に含有していたことである。安全に掘進するためにシールドの機器類はすべて完全防爆仕様とした。また、ずり運搬用の延伸ベルトコンベヤは全長にわたり密閉式として、TBM機内には常時新鮮な空気を送気した。このような地質条件からRCセグメントも従来の2倍の厚さと3倍の重量となった。セグメントは世界最大級のパッチャプラントで1日に80ピース製作され掘進速度に適應した。この道路は3.75m

Location, Country	Sparvo, Italy
Year	2011 - 2013
Application	Road
Geology	Soft ground Clay, mudstone, sandstone
Tunnelling length	4,907m

Machine data	1x EPB Shield: Diameter: 15,550mm Lining method: Segmental lining Cutterhead power: 12,000kW Torque: 94,793kNm
--------------	--



の緊急車両用路肩を含む3車線でValicoバイパスの主要幹線となり、完成すればA1国道の慢性的な渋滞を緩和できる道路となる。
(WT '13.10 担当：篠原慶二・前田建設工業(株))



1. 会員の現状

	2月28日現在
個人会員	836名
団体会員	203名
推薦会員	212名
特別会員	14名
名誉会員	0名
賛助会員	134名
合計	1,399名

2. 委員会の開催状況(2月1日~28日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

委員会(2/28)

小島治雄委員長ほか7名、平成25年度決算見込みと平成26年度予算を検討

企画運営幹事会(2/21)

木村宏幹事長ほか8名、決算見込みおよび予算案網を検討

広報小委員会(2/24)

秋葉芳明委員長ほか7名、活動報告および活動計画を検討

広報小委員会誌WG(2/5)

大島洋志主査ほか11名、3月号の会誌と3か月計画を検討

◎事業委員会

委員会(2/27)

桑原彌介委員長ほか16名、催物開催結果報告および平成26年度催物開催計画を検討

◎設立40周年記念事業実行委員会

委員会(2/6)

木村宏委員長ほか14名、活動報告および課題を調整
映像・記念誌WG(2/4)

西岡和則主査ほか13名、作業項目および工程を検討
催物・企画WG(2/14)

中間祥二主査ほか4名、実施項目を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会

海外ニュースWG(2/26)

清水健志主査ほか8名、英文原稿を査読

対外広報WG(2/4)

清水健志主査ほか11名、和文原稿と英文原稿を査読

海外文献WG(2/18)

福井勝則主査ほか12名、文献和訳原稿を査読
計 11回開催 122名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

委員会(2/19)

今田徹委員長ほか14名、各小委員会活動報告および計画を検討

都市トンネル小委員会

打合せ会(2/27)

守屋洋一委員ほか8名、シールド技術変遷史編集方針を検討

都市部近接施工ガイドライン小委員会

文献調査WG(2/19)

滝本邦彦主査ほか9名、調査文献の編集方針を検討
本文編集WG(2/25)

西田与志雄主査ほか9名、作業内容および方針を検討

安全環境小委員会(2/6)

豊澤康男委員長ほか16名、平成26年度活動方針を検討

◎受託研究特別委員会

地下鉄トンネル塩化物対策検討委員会(2/10)

大即信明委員長ほか23名、報告書を検討

小田急下北沢地区線増連続立体交差事業技術委員会(2/12)

小山幸則委員長ほか25名、土留め壁を検討

相鉄・JR・東急直通線トンネル技術検討委員会 開削駅検討WG(2/14)

館山勝座長ほか26名、開削・非開削境界部の構造を検討

相鉄・JR・東急直通線検討委員会(2/20)

小山幸則委員長ほか51名、設計・施工の検討

九州新幹線(西九州)トンネル検討委員会(2/25~26)

江崎哲郎委員長ほか37名、各工区的设计・施工の検討と現地調査

地下水位回復・広域地盤隆起に伴う地下鉄トンネル 影響検討委員会(2/28)

小泉淳委員長ほか18名、報告書案を検討

計 11回開催 247名出席

合計 22回開催 369名出席

3. 国際会議の開催予定

会 議 名	開 催 日	場 所	主 催 者 等
第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 ITA(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 ITA(国際トンネル協会) http://wtc15.com/
第42回ITA総会およびコンgres 「Uniting Our Industry」	2016. 6. 12～15	サンフランシスコ (アメリカ)	Underground Construction Association of SME ITA(国際トンネル協会)

*会議に関する詳細は事務局(担当:関)までお問い合わせください。 TEL:03-3524-1755 FAX:03-5148-3655

4. 平成25年度催物開催現況

(平成26年3月現在)

催 物 名	開 催 日	人 数	場 所	CPD取得単位
(現場研修会)				
横浜市下水道トンネル工事現場研修会	2013. 5.16	20	神奈川県	2.5
—中部処理区本牧第二幹線—				
東北道路トンネル現場研修会	2013. 5.27	25	青森県	2.0
—国道106号新川目トンネル—				
中部地区道路トンネル現場研修会	2013. 6. 7	27	愛知県	3.5
—県道牛川トンネル(仮称), 新東名乗本トンネル—				
中国地区道路トンネル現場研修会	2013. 7.18	16	広島県	1.8
—東広島・呉道路金剛山トンネル—				
北海道道路トンネル現場研修会	2013. 8. 1	14	北海道	1.8
—道道西野真駒内清田線(こばやし峠)トンネル—				
相鉄・JR直通線西谷トンネル現場研修会	2013. 9. 3	30	神奈川県	2.5
—西谷トンネル—				
五反田川放水路トンネル現場研修会	2013.10.11	28	神奈川県	2.0
中央環状品川線大橋連結路工事現場研修会	2013.11.14	25	東京都	1.4
—EF連結路トンネル工事トンネル—				
関東地区道路トンネル現場研修会	2013.11.28	14	栃木県	2.0
—下塩原第二トンネル—				
相鉄・JR直通線西谷トンネル現場研修会(その2)	2014. 1.24	23	神奈川県	2.0
—西谷トンネル—				
東北道路トンネル現場研修会	2014. 3.19	25	福島県	2.0
—国道15号霊山トンネル—				
(施工体験発表会)				
第72回(山岳)「課題克服に取り組んだ工事—周辺環境への配慮, 創意工夫, 効率化—」	2013. 6.25	155	東京都	4.6
第73回(都市)「都市における創意工夫・新技術による地下構造物 の施工事例」	2013. 6.26	93	東京都	5.3
(講演・講習会)				
第15回ステップアップ研修会(シールド部門)	2013.10. 2, 3	26	東京都	13.0
第16回ステップアップ研修会(山岳部門)	2013.12. 5, 6	24	東京都	9.9

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

平成26年度定時総会開催のお知らせとお願い

一般社団法人日本トンネル技術協会

定款第14条の規程により平成26年度定時総会を下記のとおり開催致します。会員の皆様には4月下旬にご案内をお送りする予定です。総会の成立および議決には、定足数が重要となりますので、総会招集状を受け取りの折は、ご出欠のご回答を遅くとも5月19日(月)までに投函くださいますよう、また、ご欠席の場合は、返信用はがきの委任状欄にご記名ご捺印のうえご返送くださいますようご案内ご協力お願い申し上げます。

日 時：平成26年5月30日(金) 16:00開会

場 所：東京商工会議所(東商ビル)7F「国際会議場」

千代田区丸の内3-2-2 TEL:03-3283-7680

議 題：第1号議案 (報告事項)平成25年度事業報告について
第2号議案 (審議事項)平成25年度事業収支決算について
第3号議案 (報告事項)平成26年度事業計画について
第4号議案 (報告事項)平成26年度事業収支予算について
第5号議案 (審議事項)役員を選任について(辞任に伴う補充選任)

※総会終了後、17:00から懇親会を同8F「東商スカイルーム」にて予定しています。

個人会員E-mailアドレスの登録依頼について

当協会では、積極的な情報提供を行うため、これまで団体会員連絡者のメールアドレスを登録いただき、E-mailとホームページを使った各種案内を実施しております。一方、個人会員に対しても同様に行うこととして、E-mailアドレスの登録を進めておりますが、未だ少ない状態です。協会は2015(平成27)年度協会設立40周年を迎えます。これを契機に積極的に収集いたしますので、下記要領でご登録くださいますようお願いいたします。

—記—

1. 使用目的：協会の催物をはじめ各種の連絡事項などの発信に活用させていただきます。
2. 連絡登録方法：メールでお願いします。
送信タイトルを「jtaアドレス登録」とし氏名、所属、TEL、E-mailアドレスを記載のうえweb master@japan-tunnel.orgまで送信願います。
3. その他：協会からの情報を発信する場合は当面送信タイトルに「jta」を明記します。
4. 問い合わせ先：田中(TEL:03-3524-1755 FAX:03-5148-3655)

個人会員加入のお願い

技術の習得のために個人会員に加入してはいかがでしょうか。協会ホームページの申込書で簡単に入会手続きができます。

- 個人会費：年12,000円(月1,000円)
- メリット1：協会の機関紙「トンネルと地下」を毎月、無料でお届けします。
- メリット2：協会刊行図書が個人会員価格で購入できます。
- メリット3：協会開催の各種催物に個人会員価格で参加できます。

5月号予告[5月1日発売予定]

- 九州新幹線西九州ルート 彼杵トンネル
 - 東関東自動車道 谷津船橋インターチェンジ
 - 相鉄・JR直通線 西谷トンネル
 - 東京電力 菖蒲南部産業団地供給管路
 - 東京都下水道 東大島・南大島幹線
- 【連載講座】

- トンネル維持管理におけるさまざまな取組み(最終回)
- *内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆東京都北区のJR京浜東北線東十条駅の南口のわきに十条跨線橋という橋があります。同橋はポニーワーレントラスの単純桁で、1931年に現在地に移設されたものです。前世は1896年に架設された日本鉄道(現JR東北本線)荒川橋梁で、同型桁を4連ならべたかたちで供用されていました。この桁は英国のお雇い外国人の設計によるもので、明治初～中期には標準桁のように使われていたようです。六郷川橋梁(1875)として用いられた同じ設計の桁は、愛知県の明治村で保存されています。

◆荒川橋梁の4連のワーレントラスのうち、残りの転用先のひとつが江ヶ崎跨線橋でした。江ヶ崎では、2連のプラットトラスと1連の鉄桁とともに広大な操車場の上空を跨いでいたようです。江ヶ崎跨線橋は先般、架替えられたのですが、撤去したプラットトラスの一部を再生させ、横浜市内の道路橋に再移設しました。現在は霞橋として供用されています。復興橋梁の架替えを、再生させた明治時代の橋でおこなうということで一部で話題になりました。十条跨線橋の兄弟であるワーレントラス桁は部分的に保管されるということです。

◆さいきん十条跨線橋の架替事業が進んでいるとの話を聞きました。撤去はまだ先のようなのですが、撤去後は、兄弟桁が約90年ぶりに再会できるような保存の仕方がされることを期待しています。

(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。

★(一社)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(一社)日本トンネル技術協会へご連絡ください。

トンネルと地下

第45巻 第4号 (通巻524号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成26年3月20日 印刷

平成26年4月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

購読料

1冊 1,620円(送料110円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は本社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

TEL: 03-3267-2888

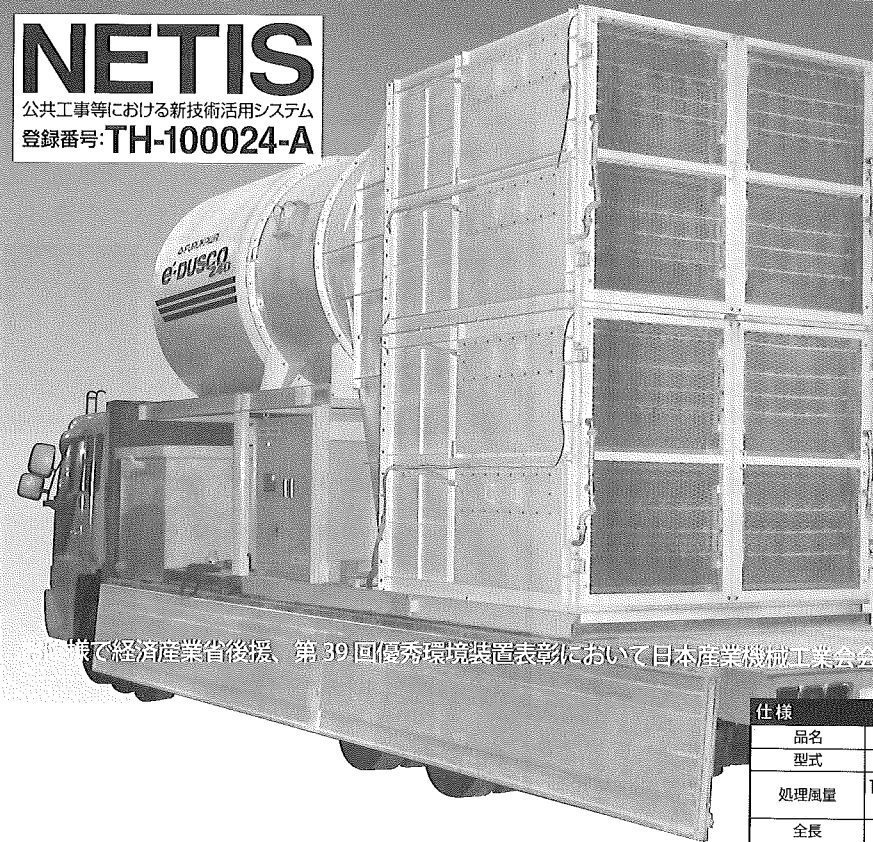
本誌掲載記事を無断で複写(コピー)および転載することは、著作権上での例外を除き、禁じられております。本誌から複写または転載を希望される方は、本社(03-3267-2888)までご連絡ください。

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO
イーダスコ・ニーヨンマル

究極の省エネ

70%も節電

NETIS
公共工事等における新技術活用システム
登録番号:TH-100024-A

本機で経済産業省後援、第39回優秀環境装置表彰において日本産業機械工業会会長賞を受賞しました。

クラス最高の集じん効率95%

従来の電気式では達成できなかった95%以上の高集じん率を確保。

微細粉じんも逃さない電気式

電気式だから人体に有害な微細粉じん(0.2~5μm)も捕集できます。

現場メンテナンスは手間いらず

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

大風量と省エネを同時に実現

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

仕様	
品名	e-DUSCO240
型式	FTE2400
処理風量	1800・2100・2400m ³ /min、任意設定の4モード
全長	7411mm(サイレンサ含む)
全幅	2350mm
全高 ^{※1}	3700mm
本体重量	10t
電源仕様	3相3線400V58kVA
ファン動力	30kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意
洗浄水	2.4m ³ /回
捕集ダストの処理	湿式
集じん効率 ^{※2}	95%以上

※1 車両高さは含まれていません。

※2 JIS Z 8808により測定した値です。

古河機械金属グループ

古河産機システムズ株式会社

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

本社

〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3
第二営業部 ☎03-3212-7804大阪支店 ☎06-6344-2532 名古屋支店 ☎052-561-4580 札幌支店 ☎011-784-1179
東北支店 ☎022-221-3532 九州支店 ☎092-741-5193 小山西工場 ☎0285-23-8662

山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著
3,200円+税 B5判

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



続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・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、著者の経験と交えながらまとめた。



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200円+税 A5判

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



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修
2,500円+税 B5判

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



地質工学概論

菊地宏吉 著
4,757円+税 B5判

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



山岳トンネルの新技术

ジオフロンテ研究会 編
14,573円+税 B5判

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



わかりやすいトンネル技術入門(都市トンネル編)

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800円+税 A5判

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



推進工法の理論と実際

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

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



シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編
4,660円+税 B5判

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



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

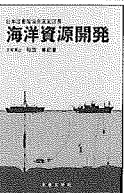
ジオテクスタイルの交通施設への利用について詳述された1981年の報告書を完訳。



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400円+税 A5判

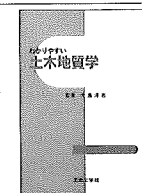
海洋の石油・天然ガス・石炭などのエネルギー資源と、マンガン・ジュールの鉱物資源、また、海洋エネルギーなどの開発と利用についてまとめた。



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)

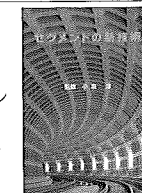
日本で唯一のトンネルと地下構造物の専門月刊誌。研究、調査・設計から施工にいたるまで、その時点での技術的問題点を中心に、業界の動向などをあわせて網羅しながら、新鮮な情報を提供する。



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よう各々の特徴を整理して掲載した。



- 第I巻 地下水の物理と化学
4,078円+税 B5判
- 第II巻 地下水環境学
4,272円+税 B5判
- 第III巻 地下水と地質
3,689円+税 B5判

建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著
4,300円+税 A5判

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

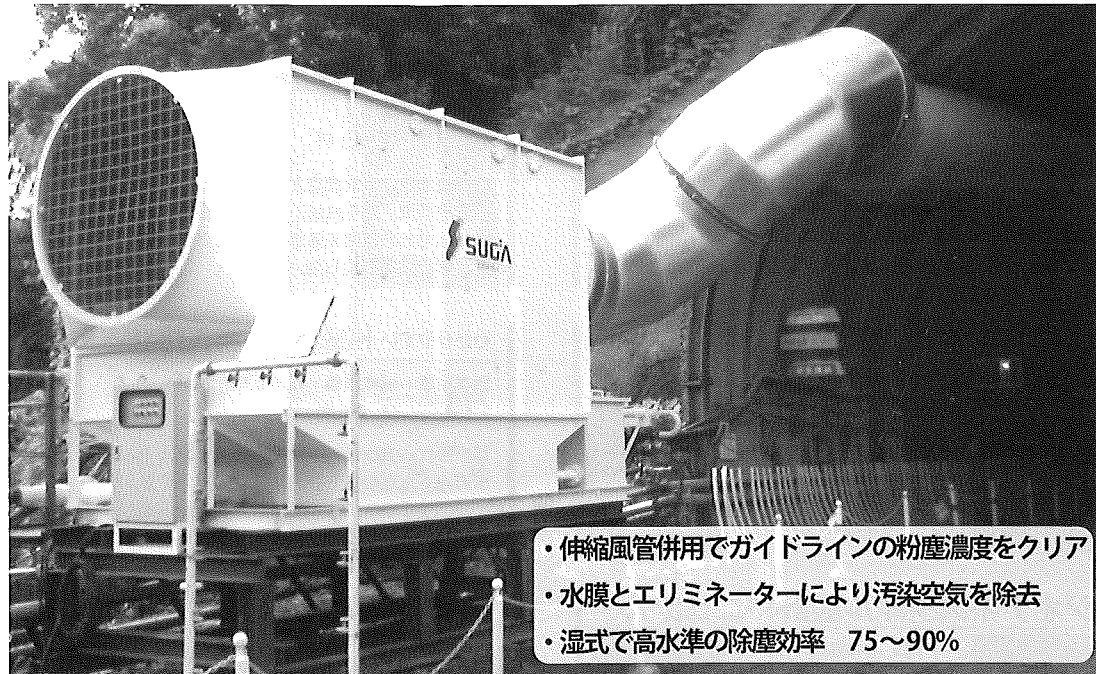


書籍のお申し込み

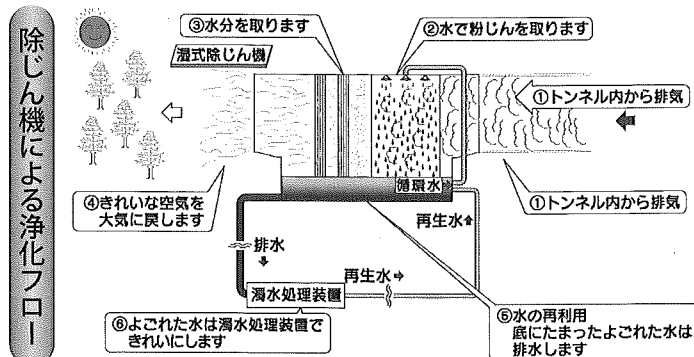
ご注文は当社へFAXまたは、書店にてお申し込みください。FAXでご注文の際は、書名、部数、送り先、氏名、電話番号を明記のうえ下記までお送りください。
(株)土木工学社
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888 Fax: 03 3267 2807

新指针对応の排気式換気システムに新戦力現る！ 湿式除塵機 シャワーエリミネーター

集塵機を使用しないで大幅なイニシャル&ランニングコスト低減
2000m³/min集塵機との比較で電力90%削減 110kW(55kW×2)⇒11kW



- ・伸縮風管併用でガイドラインの粉塵濃度をクリア
- ・水膜とエリミネーターにより汚染空気を除去
- ・湿式で高水準の除塵効率 75~90%



機種

- ①1500m³/min 動力：7.5kW
 - ②2000m³/min 動力：11.0kW
- *動力は循環ポンプのみ
*使用水は再生水循環式



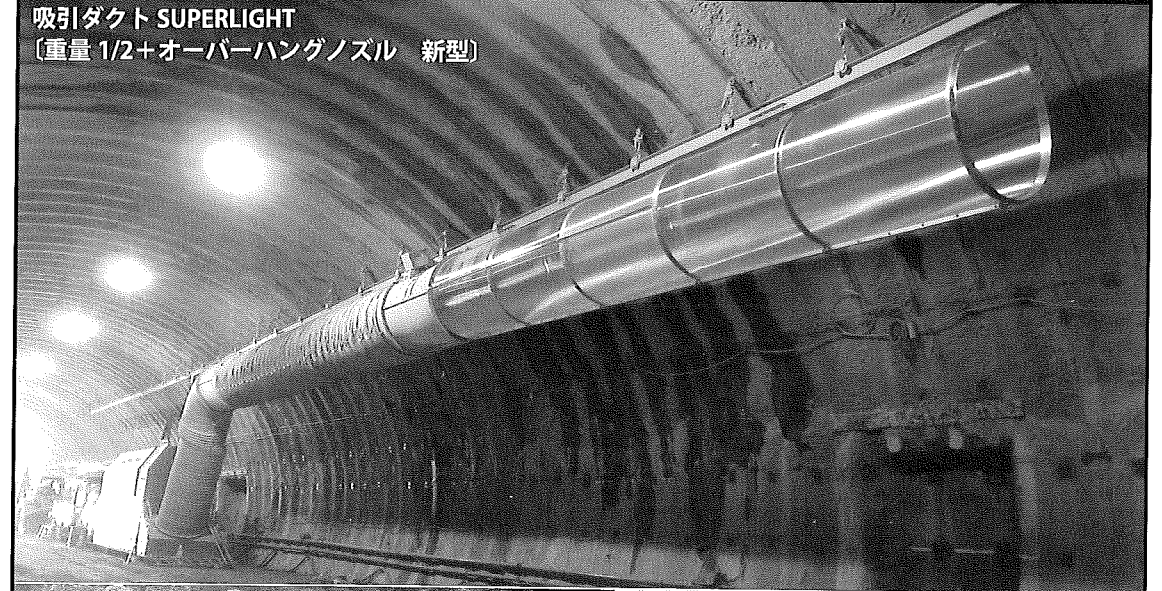
菅機械工業株式会社

URL <http://www.suga-kikai.co.jp>

本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町12番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460

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

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



超低騒音ファンEZ-Qシリーズ
EZ-30000 : (3000 m³/min 220kW) Coming soon
EZ-20000 : (2000 m³/min 150kW)



7.4 dB
省エネ
CO₂削減

正圧用(ビニール)
ノンリークダクト

除染事業対応装置のご提案 『除染作業を大幅に省力化できます』



集塵・換気設備 (10 m³/min ~ 3000 m³/min)
バキュームシステム
エジェクターユニット (コップレッサーエアによる移送装置)

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 いちご聖坂ビル
TEL: 03-3452-7400
URL: <http://www.ryuki.com/>
E-mail: eigyobu@ryuki.com

