

トンネルと地下 12

vol. 41
no. 12
2010

Tunnels and Underground

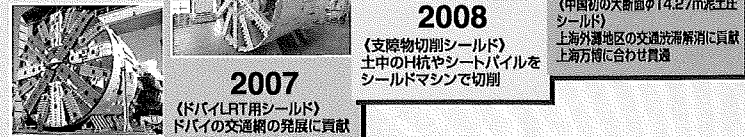
トンネル全線に中流動コンクリートを適用し高品質覆工に挑戦
国指定史跡(ストーンサークル)直下2mを函体けん引工法で施工
コンパクトシールド工法による効率的な下水道整備
発電用斜坑の全断面切り上がり式掘進機の開発

日本トンネル技術協会誌

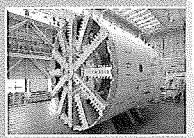


トンネル開発技術に

70年のヒストリー!



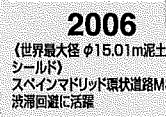
2009
(中国初の大断面φ14.27m泥水圧シールド)
上海外灘地区の交通渋滞解消に貢献
上海万博に合わせ貫通



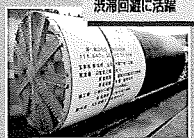
2008
(支障物切削シールド)
土中のH杭やシートパイルをシールドマシンで切削



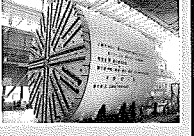
2007
(ドライブLFT用シールド)
ドライブの交通網の発展に貢献



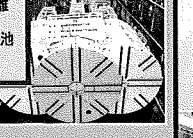
2006
(世界最大径φ15.01m泥水圧シールド)
スペインマドリッド環状道路M30の渋滞回避に活躍



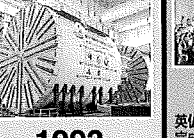
2004
(大断面SENS工法シールド)
東北新幹線三本木原トンネル工事の建設で活躍



2003
(超大断面・大深度・長距離掘削用シールド)
神田川・環状七号線地下調整池の建設で活躍



1995
(3心円泥水式駅シールド)
地下鉄12号線環状線飯田橋駅工区建設工事で活躍



1993
(世界最大級の泥水式シールド)
東京湾横断道路工事で活躍



1939
(日本最初の本格的シールド)
関門トンネル工事で活躍



1989
英仏海峡トンネルT-5工区貫通式完成にわく関係者たち

世界中で
1700台の
実績!

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

三菱重工メカトロシステムズ(株)のシールド式トンネル掘削技術

三菱重工メカトロシステムズ株式会社 都市開発部
神戸市兵庫区和田宮通五丁目4番22号 TEL.078-672-2873 FAX.078-672-2869
東京都港区港南二丁目16番5号 TEL.03-6716-4092 FAX.03-6716-5833

定価 1,575円 雑誌06619-12
本体価格1,500円



4910066191207
01500

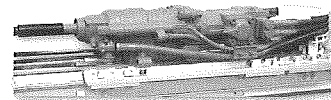


様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

ホイール式ドリルジャンボ
JTH2200R/JTH3200R

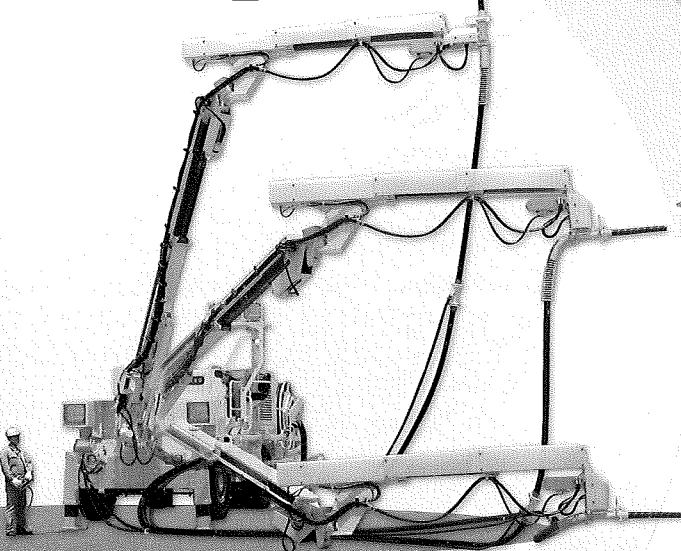
新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。

新世代型油圧ドリフタHD210 II 搭載。



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

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)
CJM2200E-III



◆CJM2200E-III 主な仕様

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

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

△ 古河機械金属グループ

FRD 古河ロックドリル株式会社

www.furukawarockdrill.co.jp

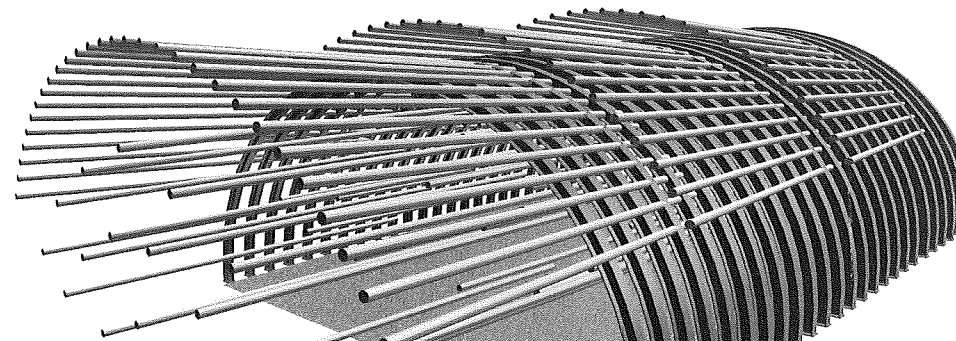
本社 〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目5番3号 特機部 ☎03(3231)6966

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

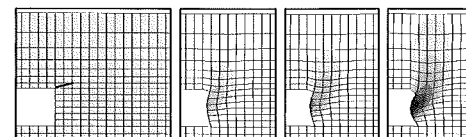
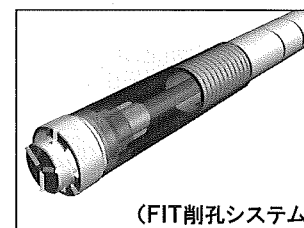
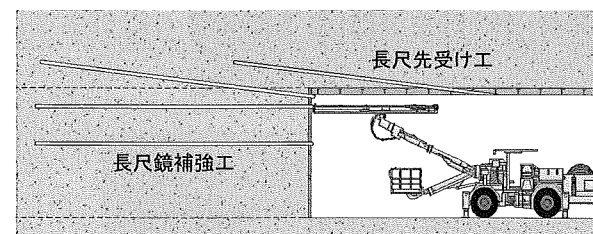
全方位 GFRP 管長尺補強システム

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

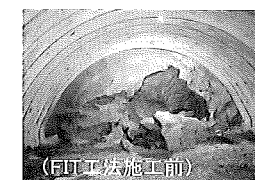
FIT 工法
FRP INJECTION TUBE



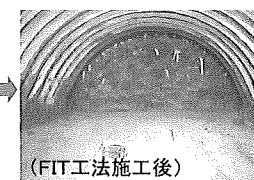
切削可能で掘削の妨げにならないGFRP管を使用し、切羽前方地山を確実にホールドできます。



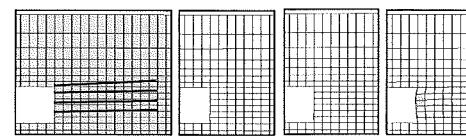
フォアポーリング



(FIT工法施工前)

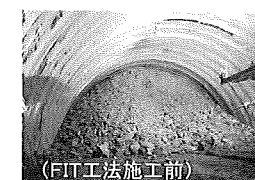


(FIT工法施工後)



FIT工法

(数値解析による効果の検証例)



(FIT工法施工前)



(FIT工法施工後)

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

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

ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

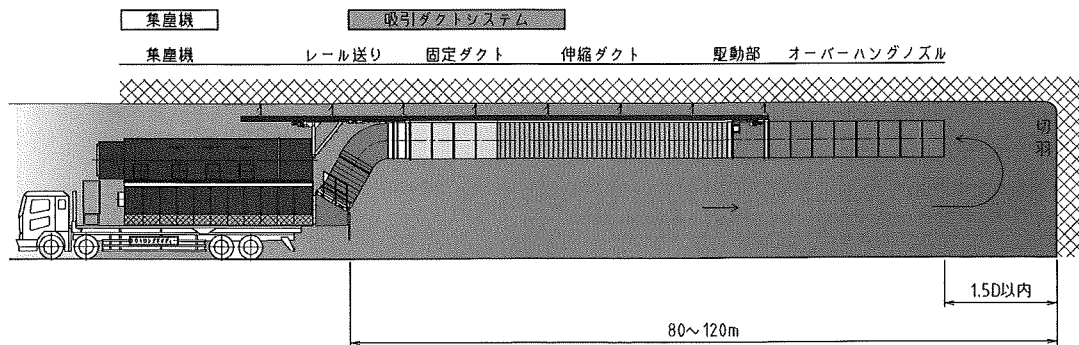
時代は吸引捕集方式へ

換気・環境技術は進化しています



軽量吸引ダクトシステム
SUPER LIGHT
オーバーハング

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



最適環境を創造する



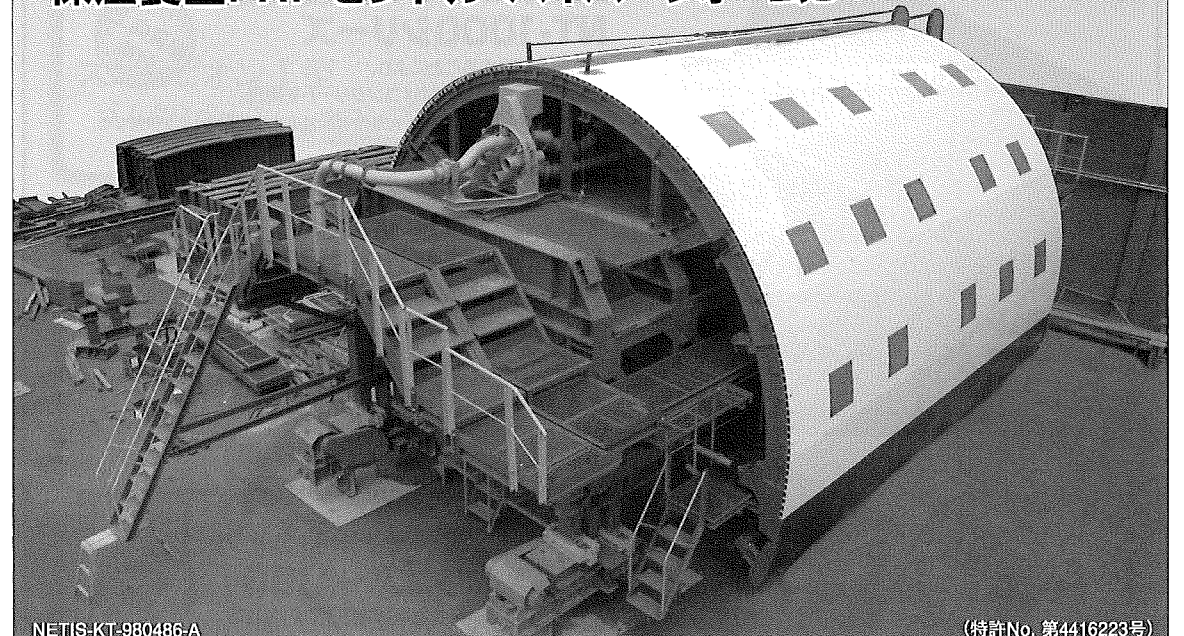
株式会社流機エンジニアリング

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

高品質・高耐久 覆工コンクリートを目指して

保温養生FRPセントル ハイパーフォームG

[実績17件]

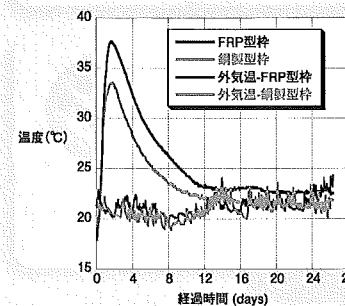


NETIS-KT-980486-A

(特許No. 第4416223号)

■ 覆工コンクリート温度の経時変化

[宮崎大学との共同研究により、隼フジタ 古江トンネル南にて測定]



◎3~4℃の保温効果により、コンクリート強度が15~20%向上

■ 鋼製型枠との比較

項目	単位	ハイパーフォームG	鋼製型枠
基準サイズ	mm	900×10500×55	300×1500×55
重量	N/m ²	145.1	405
比重		1.8	7.8
曲げ強度	MN/m ²	294.2	333.4
剛性E・I	N・m ³	3.66×10 ⁴	5.39×10 ⁴
熱伝導率	W/(m・k)	0.30	46.5
線膨張率	1/°C	1.0×10 ⁻⁵	1.1×10 ⁻⁵
光線透過率	%	2.2	0

特徴

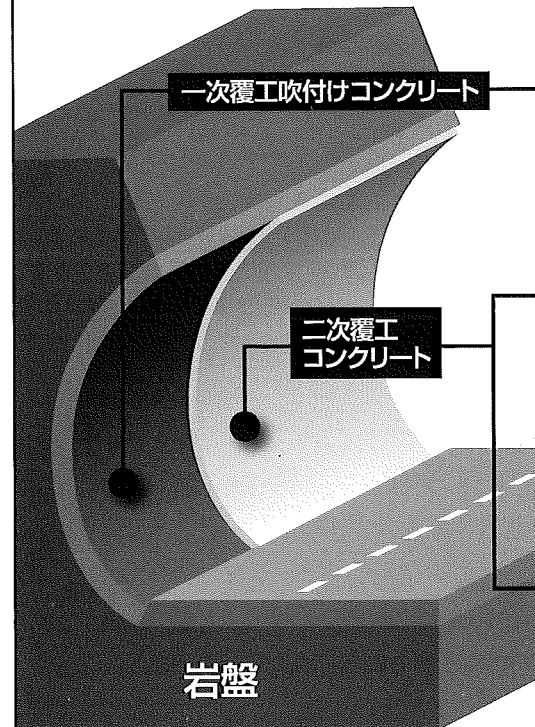
- すぐれた断熱効果により、保温養生を実現 (鋼製型枠に対し熱伝導率1/150以下)
- 外気の温度変化に対する影響が少なく、寒冷地に最適
- 剥離性がよく、ケレン作業が低減

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

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

トンネル工事を支えるコンクリート・ソリューション

長期耐久性に優れた高品質な覆工コンクリートの施工にお応えします。



湿式吹付けコンクリート用高性能減水剤 NT-1000シリーズ

急結剤と併用することにより、高品質で経済的な吹付けコンクリートを実現。

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

品質向上
対策

高性能AE減水剤 収縮低減タイプ レオプラス800S/800SR

AE減水剤 高機能・収縮低減タイプ
ポリヒード® 15DS/15DSR

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

- 収縮ひずみを5~15%低減できる
- リーズナブルに使用できる

ひび割れ
対策

覆工コンクリート用膜養生剤(水性タイプ) マスターキュアー® 106

セメントの水和反応を最適環境下で進行させることができる養生剤。

- 保湿・保水性が高く養生効果に優れる
- 初期ひび割れ発生を低減する

養生
対策

コンクリートプラント廃棄物の再利用技術 デルボシステム

プラントミキサ・トラックアジテータから発生するスラッジ廃棄物を削減。

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

廃棄物
削減対策

BASFポゾリス

検索

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

BASF ポゾリス株式会社

東京都港区六本木6丁目10番1号
六本木ヒルズ森タワー 21階
TEL 03-3796-9710(代) FAX 03-3796-9980(代)



人とコンクリートのいい関係

BASF
The Chemical Company

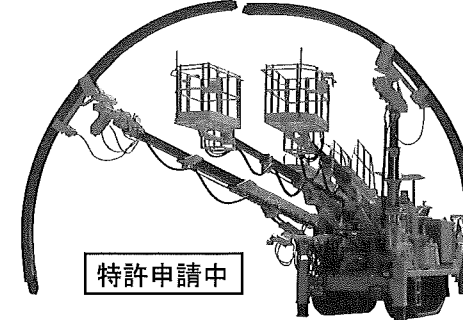
T&M
Tunnel & Mining

商品提供をより強力に
2010年4月より 新体制

(旧トンネルのレンタル参入)

スコーピオン I 型

ゴムクロベース ★コンプレッサー搭載



弁慶

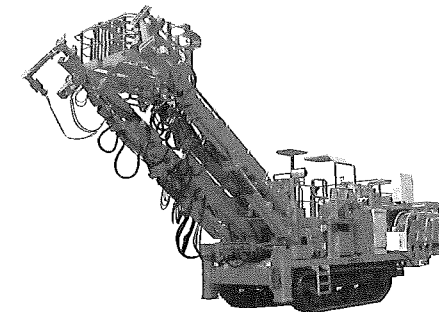
鉄クロベース



エレクター搭載吹付システム ラインナップ

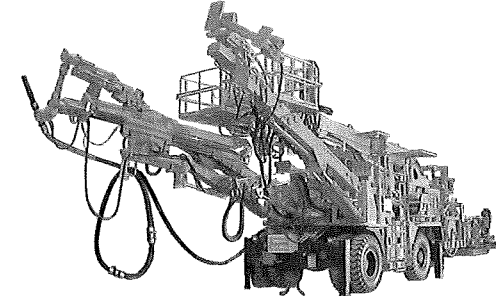
スコーピオン II 型

ゴムクロベース



EJS

ホイールベース ★コンプレッサー搭載



山岳トンネル施工機械、鉱山・採掘機械の総合レンタル企業

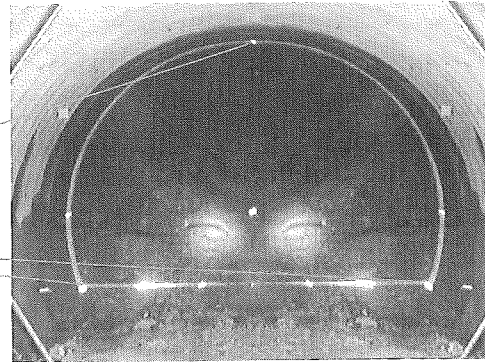
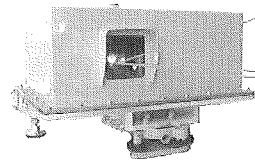
ニシオティアーアンドエム株式会社

本社(大阪) 072-634-3939 【支店及び工場】 ・大阪支店・工場 072-677-2101
営業推進(東京) 03-3280-3661 ・石狩工場 0133-72-3715 ・九州支店・工場 0982-26-2111
東日本営業本部(長野) 0268-62-1426 ・東北支店 0197-77-4101 <製作・整備協力>
西日本営業本部(大阪) 072-677-2101 ・関東支店・工場 0268-62-1426 ・岡山支店・工場 0538-66-1211

レーザーマーキングシステム

国内、海外特許取得済み

残像効果を使ったペイント不用の連続高速照射を実現

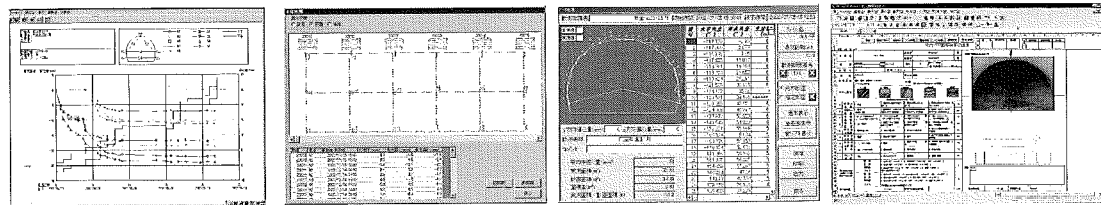


現場環境に耐え得る頑強なコントローラー

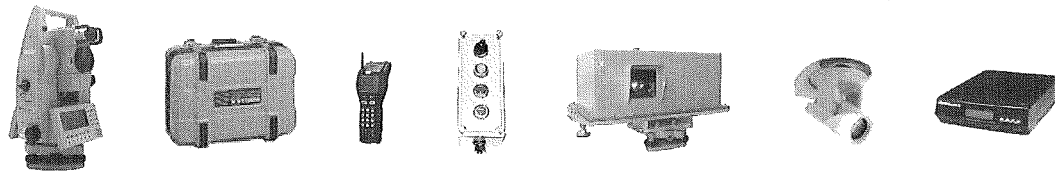


ジャンボに取付けて使用可 AC200V対応

各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



A計測データ処理 支保工立込精度、変形量 内空、巻厚検査 切羽観察、etc



豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

MAC マック株式会社

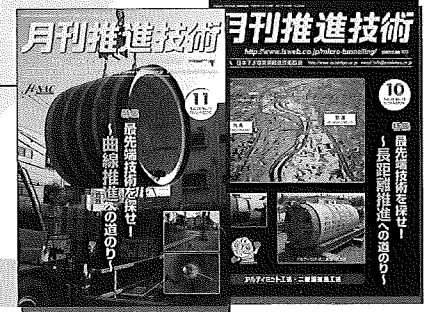
〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3
TEL (047) 371-3191 FAX (047) 371-3190

〔販売元〕

古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

月刊推進技術

定期購読のご案内



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

わが国の管渠整備事業においては、社会的ニーズや現場の施工条件等の要因により、推進工法の採用が必要不可欠とされています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説をしております。また、推進関連のニュースはどきよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管渠埋設の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっています。

申込方法

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

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたします。

お問い合わせ先

月刊推進技術 編集室

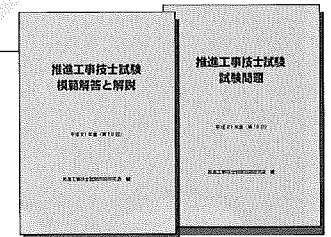
<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/>

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

推進工事技士試験 過去8年間(平成14~21年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編



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

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

平成22年度版は、2月上旬の発売予定

1. 内容と特長

- 過去8年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- 各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出版箇所を明記

2. 価格

各年度単位に1set 2,000円 (消費税・送料込)

3. 申込方法

本図書のお申込は前金をお願いしています。

ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社(団体)名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。

これらのことをインターネットでご案内しています。

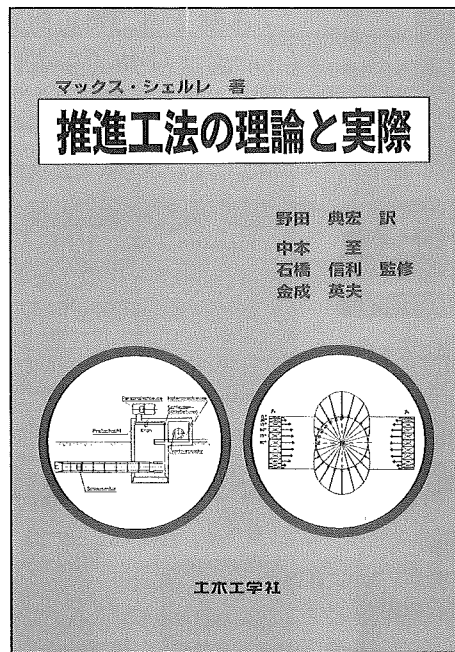
お問い合わせ先

株式会社 LSプランニング
http://www2.ocn.ne.jp/~ls_siken/

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

推進工法の理論と実際

マニュアルを超えて
推進工法の理解を
さらに深める一冊



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

推薦の言葉

中本 至・石橋信利・金成英夫

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

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

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

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

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

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
地盤変位の実際／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
地盤変位の一般的な性状／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



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も、最近の技術開発の成果により実用化に至った掘進技術は数多く、毎年、新しい技術が更新を繰り返している。

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

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

〔掲載工法〕

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

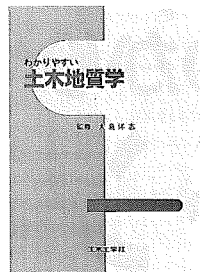
土木工学社の地質学書

〔好評発売中〕

わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修

B5判 209頁 税込2,625円 円340円



主要目次

序編 トンネルと地質の関わり

- 1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第II編 トンネル工事と地質条件

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

第III編 地質調査法

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

第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

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

〔その他の既刊図書〕

建設工事の保安地質学〔改訂版〕 石井康夫 著 A5判 475頁 税込6,300円 送料340円

建設工事の地質診断と処方 石井康夫・矢嶋壯吉 共著 A5判 324頁 税込4,515円 送料340円

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

第I巻 地下水の物理と科学 B5判 235頁 税込4,281円 送料340円

第II巻 地下水環境学 B5判 252頁 税込4,485円 送料340円

第III巻 地下水と地質 B5判 197頁 税込3,873円 送料340円

岩盤地下空洞の設計と施工 E. フック・E.T. ブラウン 共著 小野寺進・吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳

B5判 444頁 税込10,290円 送料450円

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

A5判 360頁 税込5,097円 送料340円

岩盤の計測と解析 鈴木光 著 A5判 244頁 税込4,410円 送料340円

地質工学概論 菊地宏吉 著 B5判 276頁 税込4,994円 送料340円

続 きみの庭にも温泉が出る 石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 税込1,260円 送料210円

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

株式会社 **土木工学社**

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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

トンネルの発破技術

監修 山田隆昭 B5判 76頁 定価 1,500円+税(送料別途)

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで!
振動や騒音の環境問題を詳述!!

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

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

〈主要目次〉

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

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

株式会社 **土木工学社**

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

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

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

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

中濃産業株式会社
代表取締役 土田 義 式

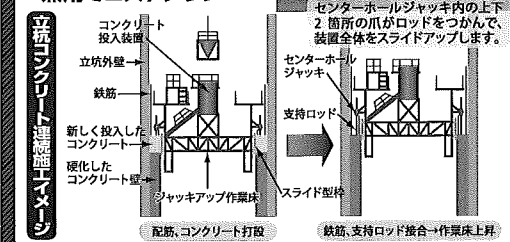
本社 〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241(代) FAX(0581)38-3383
営業所 〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990(代)

スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献!

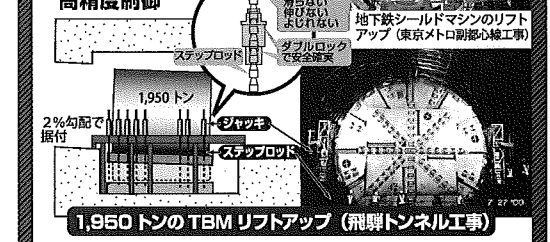
立坑スリップフォーム工法

- 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・グラウトスカーフで兼用でコストダウン



シールドマシン/TBMアップダウン

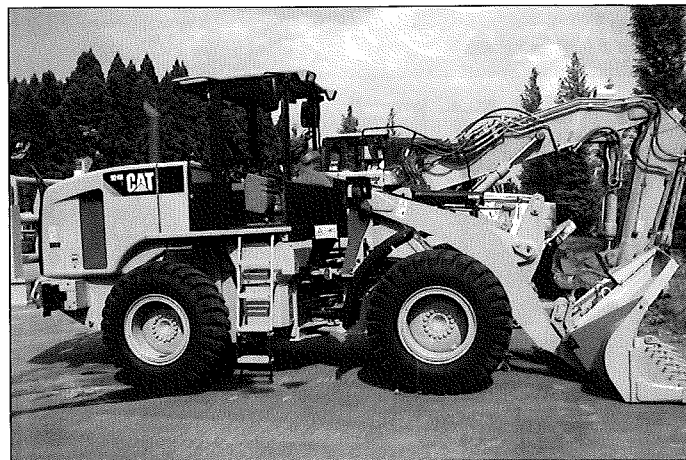
- 安全確実で経済的なステップロッド方式
- イコライザー機構で荷重・変位のバラ付きを解消
- 複数ジャッキを高精度制御



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

JFE シビル 株式会社
都市基盤営業部 特殊工法グループ

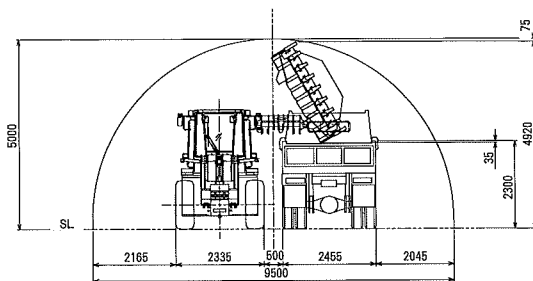
〒111-0051 東京都台東区蔵前2丁目17番4号 (JFE蔵前ビル)
TEL: 03-3864-5293 FAX: 03-3864-7319
URL <http://www.jfe-civil.com/> E-mail jack@jfe-civil.com



サイドダンプ

CAT 924H

1.5m³



k|lea 株式会社 ケイ・リー

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

URL <http://klea.catrent.com>



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

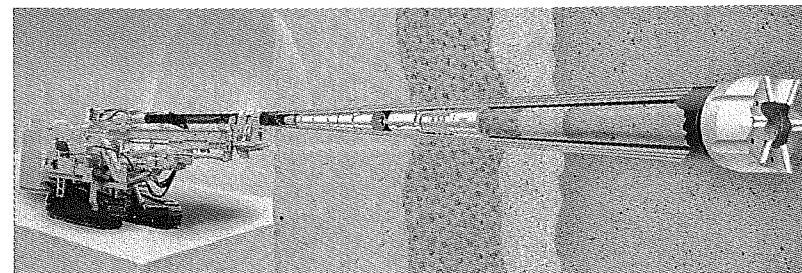
これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership (パートナーシップの力)」です。

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



トンネル掘さく的安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■ 特長

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



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>

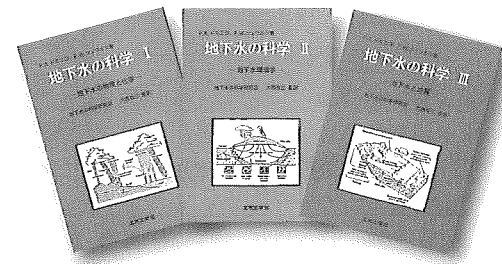
■ 図書案内

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。



第I巻 地下水の物理と化学

4,078円+税 B5判

- 序論 ■岩石における空隙の起源と透水性 ■地下水の動き ■岩石の弾性的な性質と流れの方程式 ■水理試験(モデル、方法と応用) ■溶質と粒子の輸送 ■汚染物質の水理地質学入門

第II巻 地下水環境学

4,272円+税 B5判

- 地下水の化学 ■化学反応 ■物質輸送の数学理論 ■地下水による物質輸送(水質編) ■地下水による物質輸送(地質編) ■物質の輸送のモデル ■輸送プロセスとパラメータ同定 ■水質浄化対策

第III巻 地下水と地質

3,689円+税 B5判

- 水資源 ■堆積盆水循環における地下水 ■地殻における地下水 ■地下水流動における熱輸送



〒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>

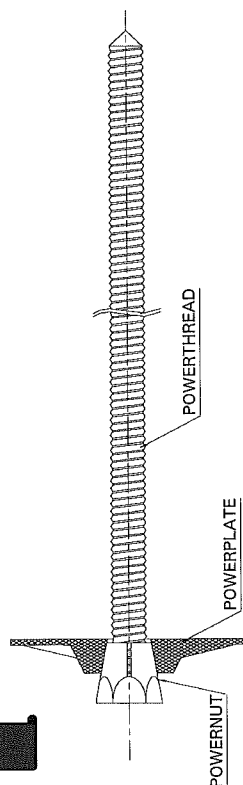
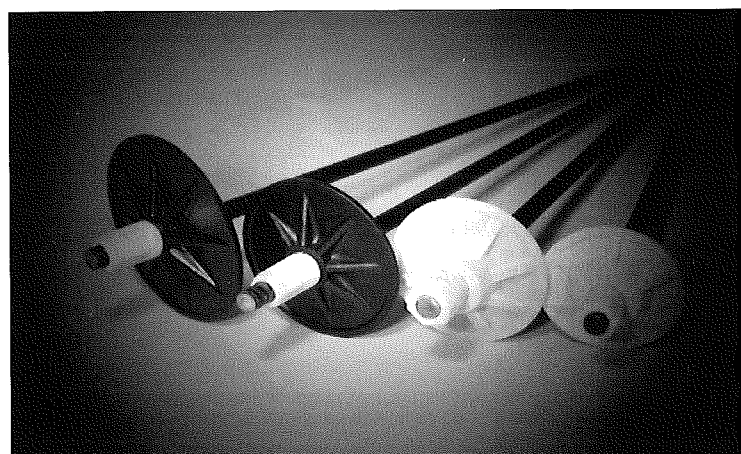
パターンボルトのGRP化

POWERTHREAD

耐食機能に優れたロックボルト

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

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



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

環境にやさしいロックボルトシステム

KATECS

株式会社 カテックス 建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.co.jp/>

技術営業部

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

東京支店

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

九州営業所

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

中部営業部

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

関西営業所

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

北海道地区(株)エイチ・オール・オー

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

濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0m³/Hr 濁水処理設備

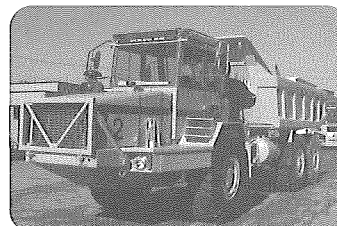


複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

《汎用車両全般》



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



10T ミキサー



4.5m³バツセル搭載ダンプ



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

海外工事展開のための方策

清宮 理5

■研究

発電用斜坑の全断面切り上がり式掘進機の開発

寺田 紳一・大久保誠介・福井 勝則・久保田克寿51

■施工

トンネル全線に中流動コンクリートを適用し高品質覆工に挑戦

—北海道横断自動車道 久留喜トンネル—

村崎 慎一・森 俊介・中間 祥二・桜井 邦昭7

国指定史跡(ストーンサークル)直下2mを函体けん引工法で施工

—北海道縦貫自動車道 鷲ノ木トンネル—

中村 明・山口 恭平・粕谷 伸男・畑 圭介17

コンパクトシールド工法による効率的な下水道整備

—東京都下水道 第二谷田川幹線—

伊藤 雄二・斧 申二37

■連載講座

ずり処理入門(12)

—掘削ずりの活用と処理・重金属(3)—

「ずり処理入門」連載講座小委員会63

トンネル保守管理における記録とその活用(6)

—変状展開図作成の自動化・デジタル化の取り組み(2)—

JTA保守管理小委員会75

■現場だより

「上杉の城下町」米沢より

牛田 久雄26

「神話とたたらのみち」雲南市吉田町より

安野 雅志36

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

トンネル後発組の奮闘記

白井 信夫27

■トンネル工事を見守る山の神

山の神と化粧木(その5)

阿部 公一48

■資料

土木情報

編集部50

トンネルジャーナル

編集部61

工法・技術・製品ニュース

編集部74

■会報

会報

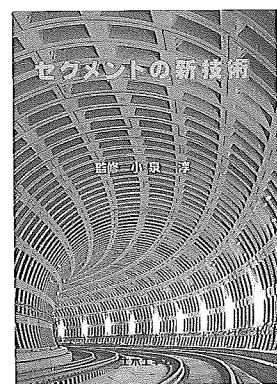
日本トンネル技術協会90

海外文献速報

JTA国際委員会83

「トンネルと地下」平成22年・年間総目次

編集部86



セグメントの新技术

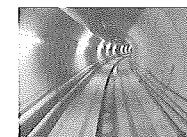
監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 千290円

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

【表紙説明】 コンパクトシールド工法による効率的な下水道整備

—東京都下水道 第二谷田川幹線—



第二谷田川幹線は東京都豊島区の一部と北区の一部の浸水対策として、既設の谷田川幹線の能力不足を補うため整備するものである。工事は、コンパクトシールド工法(溝付き二次覆工一体型セグメント使用)を採用し、既設下水幹線の下、土かぶり約10~11mの位置に仕上がり内径2.6mの円形管を構築するものである。写真は、RCセグメントR=100m曲線部の坑内状況である。 [写真提供:東京都下水道局] (本文37頁参照)

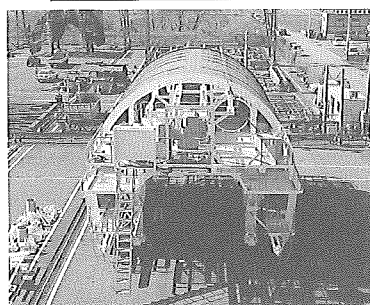
高品質なトンネル覆工に挑む

高品質なトンネル覆工を実現する 引抜バイブレータ締固システム

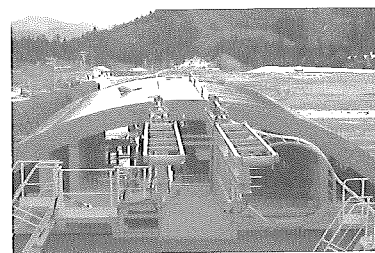
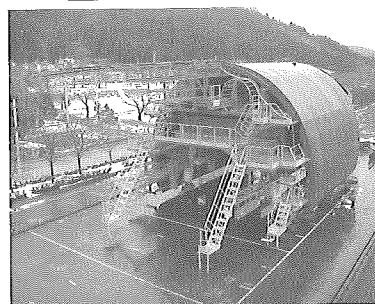
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースパイプ巻取り式



パイプパイプ伸縮式



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

効果・特徴

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



岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO.,LTD

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

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

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

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

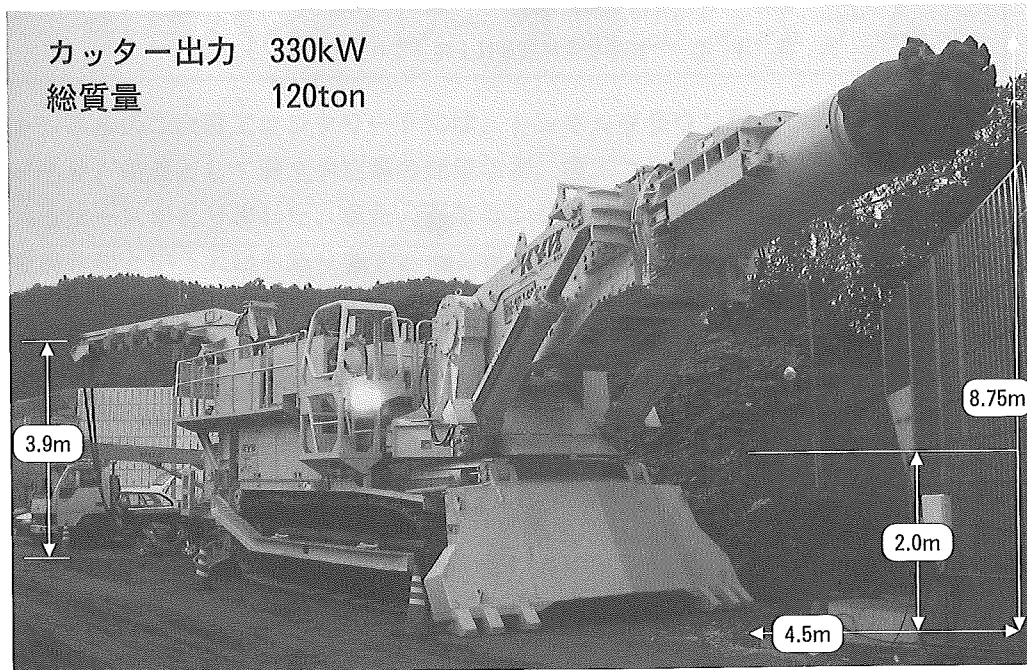
〔幹 事〕

居 相 好 信 株式会社大林組東京本社生産技術本部 トンネル技術部部长	千 葉 隆 清水建設株式会社土木事業本部工事監理部 上席エンジニア
池 田 豊 人 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	濱 建 介 (元)日本鉄道建設公団理事
大 石 敬 司 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 改良建設企画課課長	福 家 佳 則 鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部 トンネルグループ長
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 飛鳥建設株式会社土木事業本部土木技術部 トンネル技術グループ部長
城 間 博 通 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部トンネル研究担当部長	三 浦 克 株式会社竹中土木常務執行役員
高 瀬 昭 雄 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長	領 家 邦 泰 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル技術室参与

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW
総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m（ケーブルハンガーを除く）
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・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
カスタマーサービス 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444

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

西部支店 〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多 TEL 092-411-4998

三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出長常町 1129 番地 11 TEL 059-234-4111

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

今田 徹
東京都立大学名誉教授

高橋 良文
東京都下水道サービス(株)管路部長

橋本 定雄
(元)東京都公営企業管理者下水道局長

濱 建介
(元)日本鉄道建設公団理事

三浦 克
株式会社竹中土木常務執行役員

〔委員〕

葛城 真治
東京電力株式会社電力流通本部工務部
地中送電グループ課長

亀山 勝
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
計画担当課長

木谷 日出男
財団法人鉄道総合技術研究所
企画室長

清水 満
JR東日本研究開発センター
フロンティアサービス研究所次長

城間 博通
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

新谷 康之
東京都下水道局建設部設計調整課長

中本 忠道
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐

藤村 和彦
東京都水道局建設部工務課長

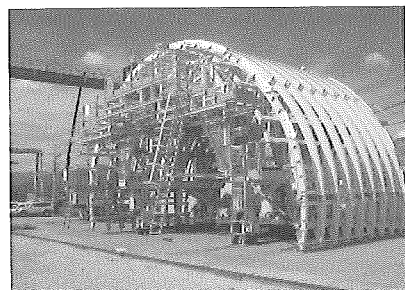
真下 英人
独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ長

両角 幸範
東京都交通局建設工務部計画改良課長

トンネル 二次覆工用型枠 総合メーカー

一歩前進！
～限りない未来への挑戦～

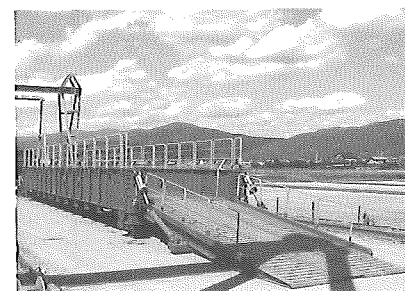
 大栄工機株式会社



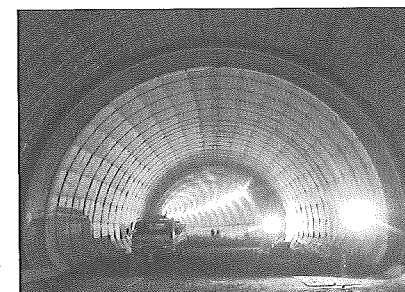
スライドセントル



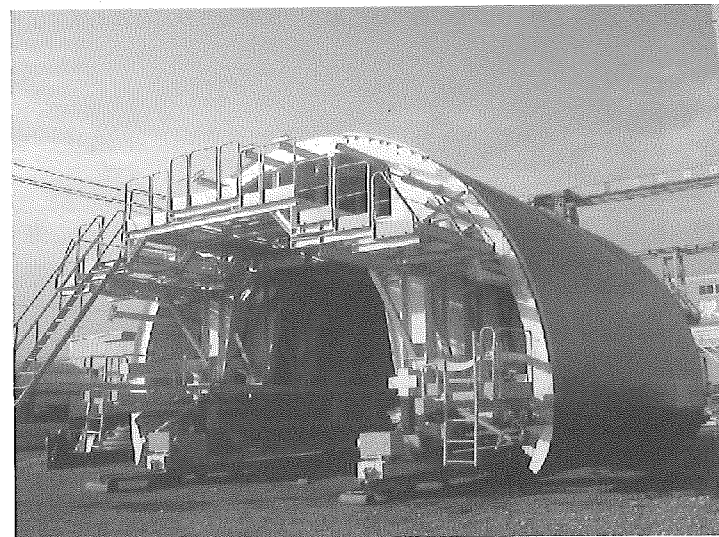
作業台車



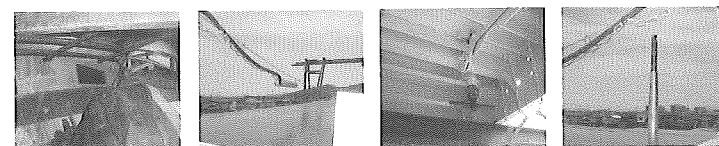
移動栈橋



NETIS登録番号 CB-090003-A
EPSパネル養生



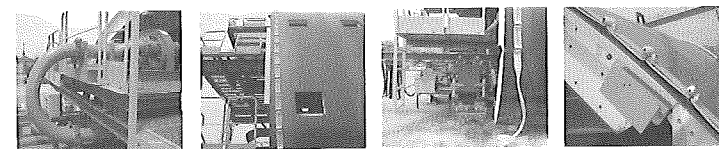
スチールフォーム(中流動コンクリート対応型)



MC矢板

天端引抜パイププレート

エアークレキ金具



配管切替装置

剥離材塗布装置付自動ケレン機

クラック防止センサー

ご用命は下記まで

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

トンネルと地下 VOL.41 No.12 掲載概要

掲載頁
7

トンネル全線に中流動コンクリートを適用し高品質覆工に挑戦
—北海道横断自動車道 久留喜トンネル—

東日本高速道路(株) 村崎 慎一

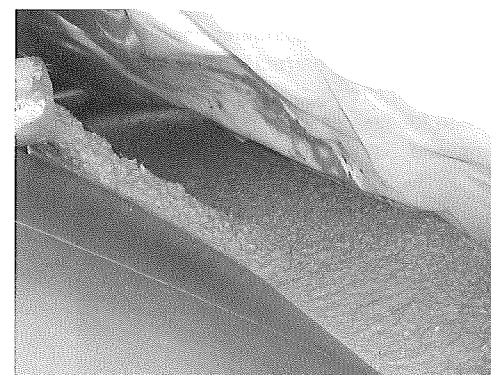
トンネル覆工は狭隘空間での締固め作業が必要であり、充填不良や背面空洞など施工に起因した不具合が生じる可能性がある。そこで、施工の省力化と品質向上を目的として、従来のコンクリートに比べ流動性の高い中流動コンクリートを用い、セントルに取り付けた型枠パイププレートで締め固める工法を北海道横断自動車道久留喜トンネルの全線に適用した。本稿では、本工法の採用による利点や注意事項について述べるとともに、本工法を用いた覆工品質の検証結果について報告する。

Attempt at High Quality Lining with Semi Self-compacting Concrete—Hokkaido Odan Expressway Kuruki Tunnel—

By Shinichi Murasaki, East Nippon Expressway Company Limited

Building tunnel lining requires compaction work in narrow spaces and it is possible that problems occur due to construction such as filling defects. Consequently, with the purpose of laborsaving and improving quality a construction method using semi self-compacting concrete with higher fluidity than general concrete and a form for tunnel lining mounted with concrete form vibrator is applied to all along the Kuruki tunnel on the Hokkaido Odan Expressway.

This report gives information on verification results for the lining quality by this method as well as advantages and precautions in employing it.



写真は中流動コンクリート流動状況

掲載頁
17

国指定史跡(ストーンサークル)直下2mを函体けん引工法で施工
—北海道縦貫自動車道 鷲ノ木トンネル—

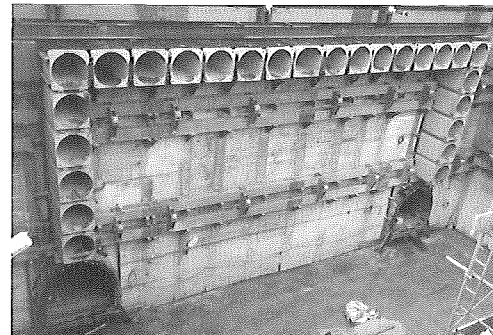
東日本高速道路(株) 中村 明

北海道縦貫自動車道森IC～落部IC間の建設工事現場内において、北海道内最大規模といわれるストーンサークルが発見された。非常に貴重な遺跡として、学識経験者、北海道教育委員会より保存要望が出され、北海道・森町・日本道路公団(現 NEXCO東日本)との間で協議・調整が行われ、高速道路建設を前提として関係者間で合意が図られた。遺跡発見時は既に周辺では工事が進捗している状況で、縦断・平面線形を変更することは不可能であったため、推進工法(R&C, ESA工法)によるトンネル構造へ変更した。本稿では遺跡発見から工法検討、および実施した施工について紹介する。

Tunneling at Directly 2 m beneath a Stone Circle with the Tunnel Box Jacking Method—Hokkaido Jukan Expressway Washinoki Tunnel—

By Akira Nakamura, East Nippon Expressway Company Limited

A stone circle said to be the largest in Hokkaido was discovered on the construction site between the Mori and Otoshibe Interchanges on the Hokkaido Jukan Expressway. As they were extremely valuable remains, a preservation request was made by academic experts and the Hokkaido Board of Education. An agreement for preserving this remains premised on implement of the highway construction was made after discussion and coordination was conducted between the Hokkaido government, Mori Town and the Japan Highway Public Corporation (currently NEXCO East Nippon Expressway Company). Works were already in progress in the surrounding area when the remains were discovered. Road structure was changed from road cut to box culvert tunnel with jacking (R&C, ESA methods) because it was not possible to change the vertical/horizontal alignment. This report gives information on events from the discovery of the remains to the review of construction methods and construction works.



写真はルーフ管配置およびガイド導坑完了状況

東京都下水道局は安全、安心で快適な都市生活を支えるためさまざまな事業を進めているが、その中で浸水対策事業は重要事業の一つである。現在、浸水被害軽減のための、幹線やポンプ所などの基幹施設の建設に鋭意努めているところである。

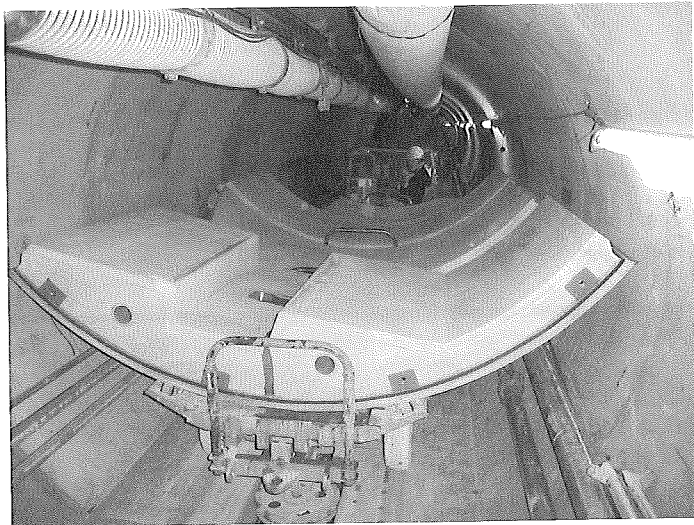
第二谷田川幹線は東京都豊島区の一部と北区の一部の浸水対策として、既設の谷田川幹線の能力不足を補うため整備するものである。工事は、コンパクトシールド工法(溝付き二次覆工一体型セグメント使用)を採用し、既設下水幹線の下、土かぶり約10~11mの位置に仕上がり内径2.6mの円形管を構築するものである。

Effective Sewer Building with the Compact Shield Method - Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government 2nd Yata Gawa Sewer Main Works -

By Yuji Ito, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

The Tokyo Metropolitan Government Bureau of Sewerage is progressing with various projects in order to support safe and comfortable lives for urban citizens. Among them, the inundation countermeasures project is one of the most important. At the present time, we are devoting our efforts to constructing main facilities such as sewer main and pumping stations in order to reduce inundation damage.

The 2nd Yata Gawa sewer main is to build in order to compensate for lack of capacity in the existing Yata Gawa sewer main as inundation measures for parts of Toshima and Kita Wards in Tokyo. These works employed the compact shield method (using secondary-lining-free grooved segments) and installed a circular pipe with an finished inner diameter of 2.6m under the existing sewer main about ten meters under the surface.



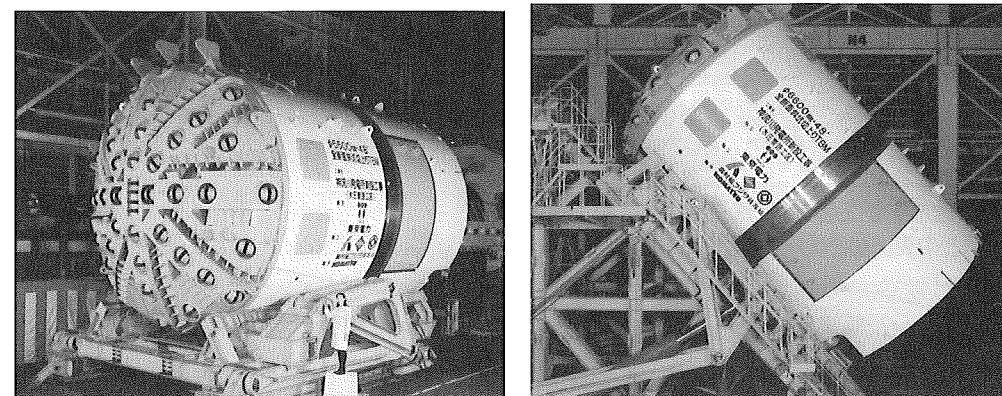
写真は坑内搬送状況

斜坑掘削は水平坑と比較して、危険度が高く、安全面、工期、コスト面からも機械施工が望まれてきた。本研究では、これまでの斜坑トンネル掘進機の実績を調査した。調査結果をもとに、改良した斜坑用TBMのコンセプトを固めていき、ついで機械要素について検討していく過程を述べた。斜坑用TBMの機械要素にかかわる設計計算は確立されていないので、本研究を通じて検討し、採用した計算方法も開示することにした。なお、改良機が使用されたのは神流川発電所水圧管路斜坑であり、その概要と実際の施工での経験についても簡単に触れた。

Development of a Refined TBM for Inclined Boring Based on the Former Experiences

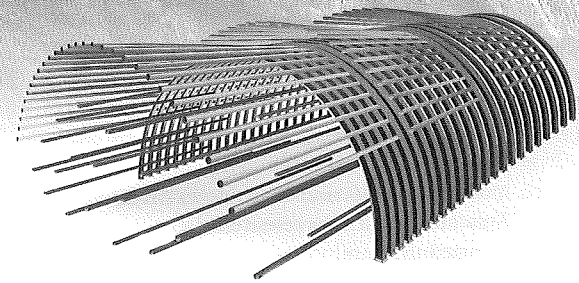
By Shinichi Terada, Komatsu, Ltd.

Compared to horizontal boring, inclined boring is much more dangerous and machine excavation has been desired from the points of view of safety, time and costs. This study initially researched the performance of TBMs for inclined boring hitherto. Based on the results, the procedure to reinforce a refined TBM concept for inclined boring and investigate machine elements was indicated. As design calculations pertaining to machine elements for TBMs for inclined boring had not been established, this study discloses the calculation methods that were investigated in this study and employed. The refined TBM was used for building an inclined penstock tunnel at Kan-na gawa power station and this report touches on an overview of this construction and experiences during it.



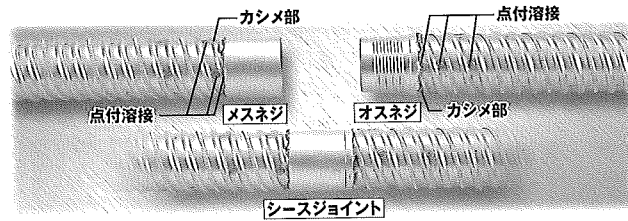
写真は完成した全断面斜坑切り上がりTBM

ユニークな発想と高品質・自信の価格



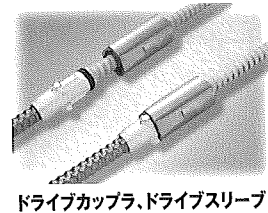
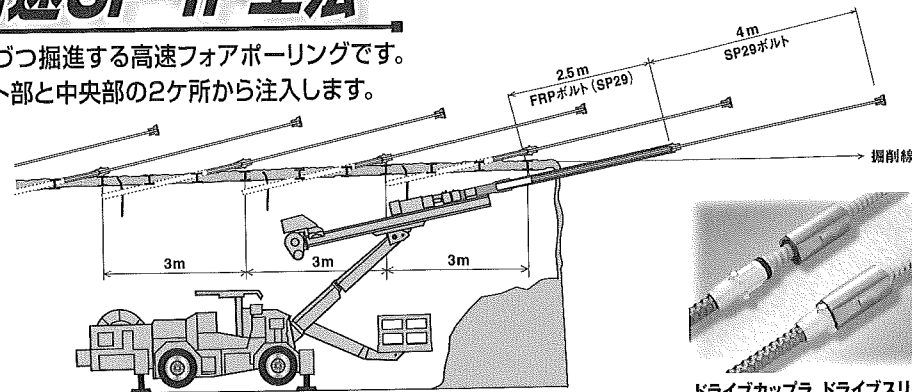
FIXチューブ工法

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



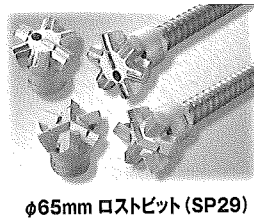
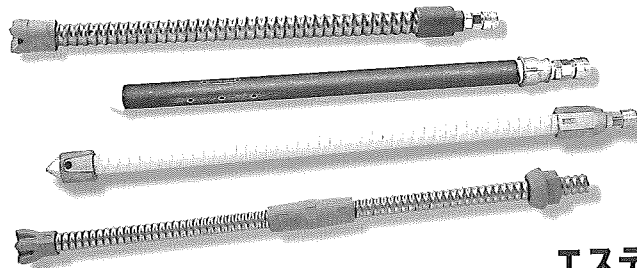
高速SP-IF工法

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



ドライブカップラ、ドライブスリーブ

自穿孔ボルト&注入管



φ65mm ロストビット (SP29)

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

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

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251
http://www.st-eng.co.jp



海外工事展開のための方策

早稲田大学創造理工学部社会環境工学科教授

清宮 理

「トンネルと地下」の巻頭言を依頼されましたが、山岳トンネル、シールドトンネルなどの研究面、実務業務での経験は私自身ほとんどありません。トンネルでは特殊な沈埋トンネルと社会人になってから40年来関係してきました。沈埋トンネルの建設数が国内では二十数個と少なく、関連する技術者も限られ、技術開発も大規模なものとはなりません。トンネル分野での技術開発は目覚ましいものがあり、日本のトンネル技術は世界の第一線との認識を持っています。沈埋トンネルの技術も世界的に見ればヨーロッパ(オランダ、ドイツなど)と米国と並んで日本は世界三大技術者集団を構成しています。これは単に沈埋トンネルの技術を欧米から模倣して国内で建設してきたのではないことを意味しています。軟弱地盤での建設技術、耐震設計法、大水深での施工法などは日本の技術が群を抜いています。トルコのボスポラス海峡での沈埋トンネルの建設は日本の技術を大いに発揮したと考えています。

ただし、国内では沖縄那覇港と北九州洞海湾での沈埋トンネルの建設が今年度ではほぼ終了すると、次のプロジェクトがすぐにあります。せっかくの技術者集団と技術的ノウハウがこのままでは継承されません。土木技術は絶えず継続していないと急速に衰えるものです。ヨーロッパ、米国も国内での沈埋トンネルの建設がピークを超え建設予定もほとんどありません。このため海外での仕事を積極的に進めています。ITA(世界トンネル協会)の活動でも明らかのように今後建設が伸びると予想されるアジア、東ヨーロッパの技術者を対象に本の出版、セミナーの実施などで沈埋トンネルの技術の普及に積極的に努めています。これは沈埋トンネルの技術を保持しながら今後の需要を見据えたビジネスチャンスを整えていると私は理解しています。日本の次世代のトンネル技術者がこのような活動にぜひ参加しビジネスチャンスを捉えてもらいたいと望んでいます。

日本国内の公共事業が縮小する中で建設業の海外への展開が求められていますが、このような種をまく作業も大変重要です。トンネル技術協会などの活動も短期でなく長い目での活動がぜひ必要です。これは私が関連した沈埋トンネルの分野に限定された話ではありません。入札が始まった時点で参入して、高い技術を売り込んでもとき既に遅い

気がします。この状況は現在苦戦している原子力発電、新幹線などと同様です。高い技術力を示すだけでは売り込みの機会は得られません。

日本の技術力は高いとの評価は世界の常識ですが、最近の海外工事でのトラブル続出でこの評価が揺らぎ始めています。この要因として低価格の受注による安全で余裕のある工事ができなくなっていることと、契約方法、リスク管理などの総合的なマネジメントが不足していることが考えられます。トンネルも海外では高付加価値、高性能の施設より標準的で安価な施設が求められています。この場合、最先端の技術で売り込むより確実にトラブルない信頼性の高い工事が要求されます。また、せっかく開発費と人材を投入して獲得した高度な技術もこの時代すぐに他国に吸収されてしまいます。人件費が安く安全への配慮や倫理性も欠ける後発国との国際入札に勝つことは確かに厳しいものがあります。早い段階から技術者を投入し政治的配慮とともに受注に走る海外企業と競争するのは容易ではありません。しかし食品問題、環境問題と同じで安全性に信頼があれば、少々の高額でも安全性を優先して選択することを、社会資本を今後整備する各国では重要視しています。高度の耐震設計などの技術を傍らに欧米での普通的设计、施工技術の習得も日本の技術者にとって重要です。日本の技術基準のみならずユーロコード、AASHTO(米国)の基準の理解も必要です。海外では設計時に当然にある設計審査、現場で生じた種々の問題を解決するための裁判(仲裁)でのやり取りでの日本人技術者の力不足は明らかです。日本での特殊な設計基準での説明や双務的に詰めていない契約は海外での工事では通用しません。これが日本の土木分野で早急に取り組まなければならない今の課題です。

日本での大学教育と社会人になった後での社内教育でも、海外で活動できる人材の育成体制は弱いと言わざるを得ません。自動車会社、商社などでは英語での会議、外国人の採用は時代の流れと既になっています。ゼネコン、コンサルが海外に積極的に進出することを希望するなら当然この語学と人材への取り組みが欠かせません。優秀な人材が今希望してこない建設業やコンサルタント業界にもかかわらず、優秀な外国人の採用は非常に限られています。現地採用だけでなく本社採用の枠も広げるべきと考えています。

文部科学省のG30と関連して国内主要大学では、英語のみによる留学生と日本人の大学教育の取り組みをスタートさせました。日本語を習得させての留学生の教育システムでは優秀な人材は世界各国から多数集まりません。今後相当数の留学生が、この英語をベースにした教育システムにより日本で育つはずですが、この教育で育った海外からの優秀な人材を活用しないわけはありません。土木の社会では官学民の協調体制が崩れ、会社間の協調も困難になりました。海外工事で会社や機関が単独で進出してもなかなか上手く行かない状況と思います。この状況を打開するためにも官学民の再度の人材確保の協調が非常に大事と考えています。

施工

トンネル全線に中流動コンクリートを適用し高品質覆工に挑戦

—北海道横断自動車道 久留喜トンネル—

東日本高速道路(株)北海道支社千歳工事事務所夕張工事区工事長 村崎 慎一
東日本高速道路(株)北海道支社千歳工事事務所夕張工事区 森 俊介
(株)大林組札幌支店夕張西JV工事事務所所長 中間 祥二
(株)大林組本社土木本部生産技術本部基盤技術部主任 桜井 邦昭

1 はじめに

トンネル覆工は、狭い空間内での締固め作業が必要で厳しい作業環境にある。また、アーチ天端部ではコンクリートを上方に吹上げ、かつ広範囲に流動して充填させるため、充填不良などの不具合の発生が懸念される。加えて、トンネル施工現場でも作業員の高齢化が生じており、これまでのような作業員の経験や勘によらずとも高品質なトンネル覆工を構築する施工技術の確立が求められている。

このような状況を踏まえ、東・中・西日本高速道路(株)では、従来の覆工コンクリート(スランプ15±2.5cm)に比べ流動性を高めた中流動コンクリート(スランプフロー35~50cm, 写真-1)を

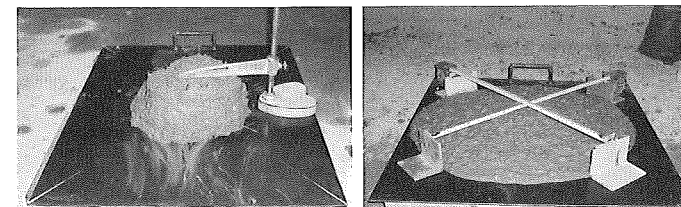
用いることで、移動式型枠(以下、「セントル」と呼称)に取り付けた型枠パイプレータで締固めが可能な「中流動覆工コンクリート」を開発し^{1,2)}、『トンネル施工管理要領』(以下、『施工管理要領』と呼称)に制定している³⁾。

著者らは、北海道横断自動車道久留喜トンネルの全線で中流動コンクリートを適用し、施工性が改善できることに加え、天端部の美観性の向上、均質な圧縮強度・緻密性の確保およびひび割れの低減など覆工品質が大幅に改善できることを確認した。

本稿では、久留喜トンネルの施工事例を通して、中流動コンクリートを用いたトンネル覆工の施工方法・設備の概要と留意事項、ならびに覆工品質の改善効果などについて報告する。

2 工事概要

久留喜トンネルは、現在建設中の北海道横断自動車道の夕張~占冠間のうち、夕張ICから道東方面に向かって最初に通過する全長481mのトンネルである。工事概要を表-1に、工事位置図を図-1に示す。トンネル掘削断面積



従来の覆工コンクリート
(スランプ15±2.5cm程度)

中流動コンクリート
(スランプフロー35~50cm)

写真-1 各種コンクリートのスランプ試験状況

表-1 工事概要

工事名称	北海道横断自動車道大夕張トンネル西工事
工事場所	北海道夕張市楓〜登川地内
発注者	東日本高速道路(株)北海道支社
施工者	(株)大林組・(株)浅沼組・JFEエンジニアリング(株)共同企業体
工期	平成18年3月〜平成22年11月
トンネル名	久留喜トンネル
トンネル概要	延長 L=481m, 掘削断面積 約80m ² 覆工 } 30cm(無筋区間) 厚さ } 35cm(鉄筋区間: 主鉄筋D19@200mm)

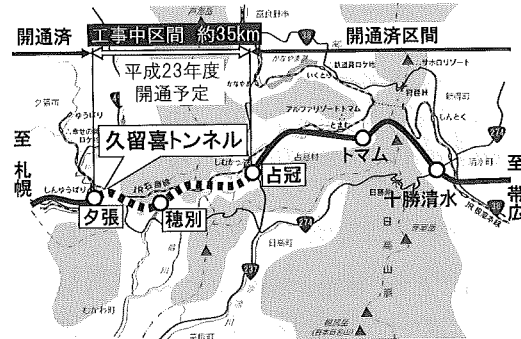


図-1 工事位置図

は約80m², 設計覆工厚さは30~35cmであり, 全線に繊維補強コンクリートを適用する設計となっている。覆工コンクリートは, 1スパンの施工延長を12.5mとして施工した。

なお, 本工事では標準断面部で中流動コンクリートを適用したが, 施工方法および覆工品質などの比較データを得ることを目的として, 一部の区間(3スパン: 37.5m)で, 従来の覆工コンクリート配合および棒状バイブレータを用いた施工を行った。

3 中流動コンクリートによる覆工施工の概要

中流動コンクリートを用いた覆工施工の最大の特徴は, 苦渋作業である狭隘な空間内での棒状バイブレータによる締固め作業の代わりに, 「セントルに取り付けた型枠バイブレータでコンクリートを充填させる」ことを基本としている点にある。これにより, 作業

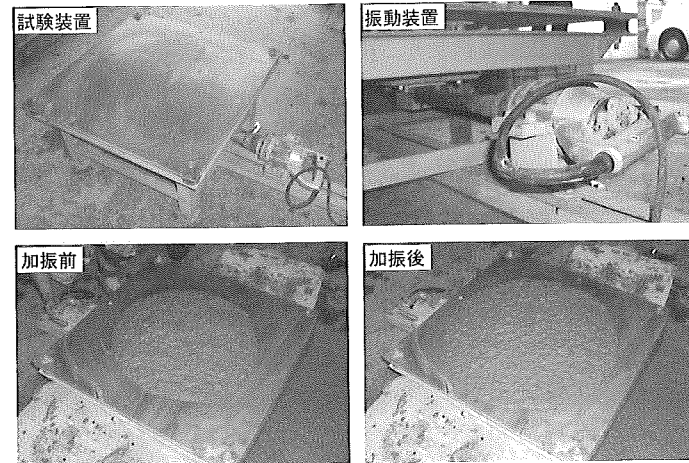


写真-2 加振変形試験の概要

員の技量や熟練度によらずコンクリートを充填できるため覆工品質の向上につながる。この施工方法を確立するには, 次の2点に配慮が必要である。

- ① 所定の振動エネルギー(施工管理要領では3.7J/L程度を目安としている)で充填可能な中流動コンクリートの配合を選定すること
- ② 所定の振動エネルギーがセントル全体に作用するように型枠バイブレータを適切に配置すること

以下に, 久留喜トンネルにおける中流動コンクリートの配合選定の概要と型枠バイブレータの配置間隔の検討結果を示す。

3-1 中流動コンクリートの配合

3-1-1 中流動コンクリートの仕様

施工管理要領における中流動コンクリートの配合および性能基準を表-2に示す。中流動コンクリー

表-2 中流動コンクリートの配合・性能基準

材齢28日における圧縮強度(N/mm ²)	18
粗骨材の最大寸法(mm)	20 or 25
スランプフロー(cm)	35~50
空気量(%)	4.5±1.5
単位セメント量(kg/m ³)	270以上
単位粉体量の標準(kg/m ³)	350
加振変形量(cm)	10±3 ^{*1}
U形充填高さ(流動障害なし)(cm)	28以上

*1: 加振・変形試験における10秒加振後のスランプフローの広がり。

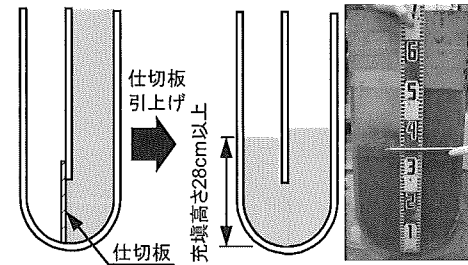


図-2 U形充填試験の概要

トの施工性能を評価する指標としては, スランプフロー(流動性)のほかに, 振動下における変形性能(材料分離抵抗性)を調べる加振変形試験(写真-2)や自己充填性を調べるU形容器を用いた充填試験(図-2)が規定されている。なお, 加振変形試験とは, 装置下面に設置した棒状バイブレータを10秒間振動することで平板上のコンクリートに3.7J/Lの振動エネルギーを作用させ, 振動前後のスランプフロー変化量(加振変形量)からコンクリートの変形性能を照査する試験である。

3-1-2 中流動コンクリートの配合選定

久留喜トンネルで採用した中流動コンクリートの配合ならびに比較のために本工事の一部で用いた従来の覆工コンクリートの配合を表-3に示す。中流動コンクリートの配合は, 従来配合に比べ, 単位セメント量を70kg/m³低減する代わりにフライアッシュ(JIS A 6201 フライアッシュII種適合品)を100kg/m³添加している(単位粉体量370kg/m³)。セメント量を減じることでセメントの水和熱に伴う温度ひび割れの発生を低減できるとともに, フライアッシュを有効利用することで環境負荷軽減にも寄与する配合であるといえる。

なお, 久留喜トンネルで用いた材料の場合, 施工管理要領で標準とされる単位粉体量350kg/m³では加振変形試験の規格値を満足できなかったため, 粉体量を20kg/m³増量した。使用材料によっては目標性能を満足するための単位粉体量が増大する場合もあることに配慮が必要である。また, 久留喜ト

表-3 中流動および従来の覆工コンクリート配合

種類	G _{max} (mm)	単 位 量 (kg/m ³)						
		W	C	FA	S	G	FB	AD
中流動	25	175	270	100	890	842	3.19	4.26
従来覆工	25	169	340	0	927	879	2.73	2.55

C: 普通ポルトランドセメント, FA: フライアッシュ(II種適合品), S: 陸砂, G: 陸砂利と碎石を容積比35:65で混合, FB: ポリプロピレン繊維(中流動0.35Vol%, 従来覆工0.3Vol%), AD: 高性能AE減水剤(中流動), 高性能AE減水剤(従来覆工)

ネルはその全線に繊維補強コンクリートを適用する設計であるが, 中流動コンクリートの配合では繊維混入率を0.35%としないと所定の曲げ靱性を確保できず, 従来の覆工配合に比べ繊維量が増大する結果となった。従来配合に比べ単位セメント量を減じるため, 材齢28日の圧縮強度が小さくなるが一因と考えられ, この点に関しても配慮が必要である。

3-2 型枠バイブレータによる締固め

3-2-1 型枠バイブレータの配置検討

先述のように, 中流動コンクリートを確実に充填させるには, セントル全体に所要の振動エネルギー(3.7J/L)が作用するように型枠バイブレータを適切に配置することが重要である。そこで, 施工に先立ち模擬型枠を用いた打設実験を行い(写真-3), 出力550Wの型枠バイブレータを3m間隔

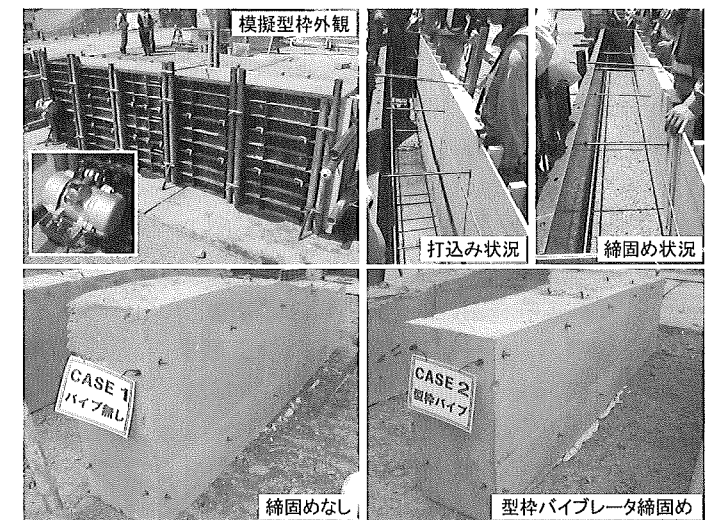


写真-3 模擬型枠による打設実験状況

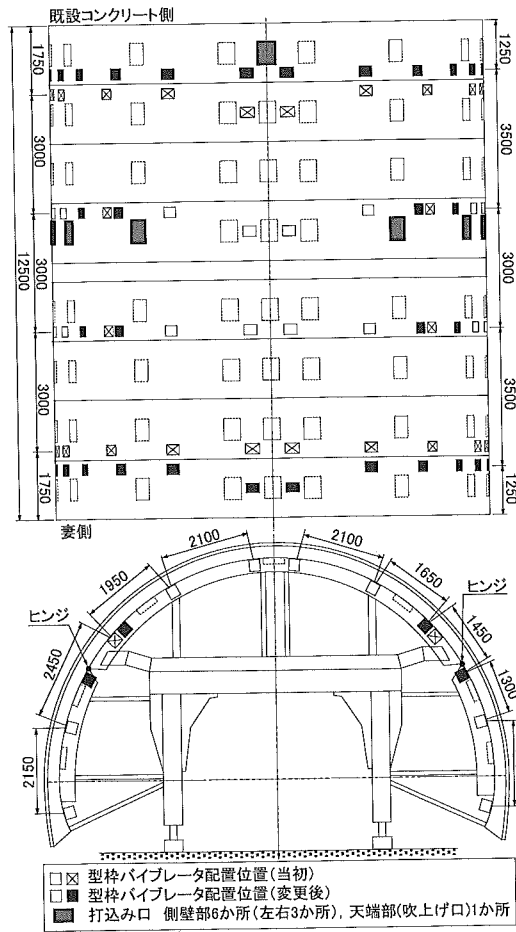


図-3 型枠バイブレータ配置図

で設置することで中流動コンクリートを充填できることを確認した。この知見をもとに、型枠バイブレータは断面方向に10台、延長方向に4列の合計40台設置した(図-3の「当初」を参照)。

3-2-2 型枠バイブレータの設置位置の妥当性の検討

施工時にセントル各部位の振動エネルギーを測定し、型枠バイブレータの設置位置の妥当性を検討した(写真-4)。測定位置を図-4に、測定結果を表-4に示す。なお、振動エネルギーは、施工管理要領に示される以下の式(1)から、振動計により振動数および加速度を測定することで算出できる。

$$E = \frac{m \cdot \alpha^2 \cdot t}{4 \cdot \pi^2 \cdot f} \quad (1)$$

ここに、



写真-4 振動エネルギー測定状況

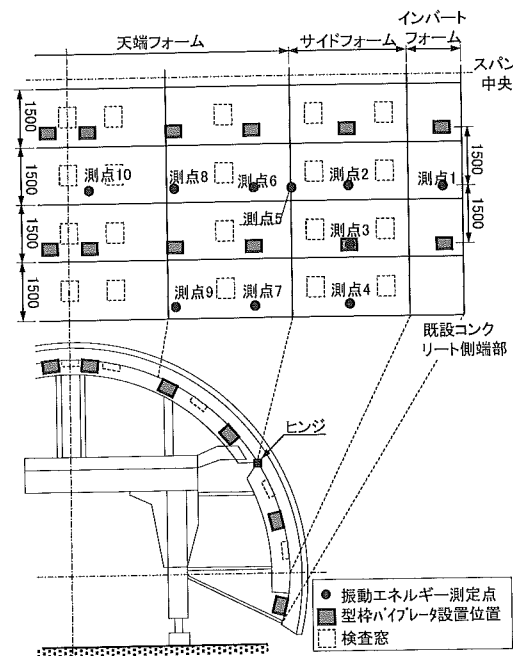


図-4 振動エネルギー測定位置図

- E : 振動エネルギー(J/L)
- α : 最大加速度(m/s^2)
- t : 振動時間(s)
- m : コンクリートの密度(kg/L)
- f : 振動数($Hz=1/s$)

測定の結果、振動時間を30秒間とした場合の振動エネルギーは0.3~35.1(J/L)の範囲にあり、部位により大きく相違することがわかった。得られた知見の概要を以下に述べる。

- ① 型枠バイブレータの近傍と中間では振動エネルギーは数倍程度異なる。また、型枠バイ

表-4 振動エネルギー測定結果

測点	測点の位置		振動エネルギー(J/L) ^{※2}
	周方向	延長方向 ^{※1}	
1	インバートフォーム	中間	3.6
2	サイドフォーム	中間	3.6
3		近傍	35.1
4	サイドフォームと天端フォームの境界	端部	1.9
5		中間	1.3
6	天端フォーム	中間	1.3
7		端部	0.3
8	天端フォーム	中間	2.7
9		端部	0.3
10	天端フォーム	中間	5.1

- *1: 中間: 型枠バイブレータと型枠バイブレータの中間地点のこと
近傍: 型枠バイブレータ設置位置の近傍のこと
端部: 既設側コンクリート端部のこと
- *2: 振動時間30秒間、振動数110Hzの場合

ブレータからの距離が同じ場合でも、既設コンクリート側などのセントル端部ではスパン中央部に比べて振動エネルギーが小さくなる。

- ② 目視により締め固めが十分と判断される振動エネルギーは、施工管理要領に示されている所要振動エネルギー(3.7J/L)とほぼ一致する。
- ③ フォーム間のヒンジを介すると振動エネルギーが伝達されにくい。

このため、施工途中で一部の型枠バイブレータの位置変更や追加対策を講じた(図-3の「変更後」を参照)。その後、再度振動測定を行い、所要の振動エネルギーがセントル各部位に作用していることを確認した。

なお、型枠バイブレータによる振動エネルギーの伝達のしやすさは、セントルの形状や剛性により相違すると考えられ、適用現場ごとに設置位置や作用時間を適切に設定する必要がある。

3-3 打設方法の概要と打設時の留意事項

3-3-1 中流動コンクリートの打設方法

中流動コンクリートの打設は以下の手順で行った。

- ① 側壁部では、1層あたりの打上り高さが40~50cmとなるように、コンクリートを片側

から2m³ずつ打ち込んだ。コンクリートを打ち込んだ後、該当する列の型枠バイブレータ4台を同時に30秒間(15秒間×2回)振動させて締め固めた。目視で締め固めが不十分と判断された場合は振動時間を延長した。

- ② コンクリートの打上り高さが打込み口よりやや低い高さとなったら、打込み口を上部に移動し、使用する型枠バイブレータも上部に変更した。なお、コンクリートの落下高さが1.5m以下となるように打設ホースを適宜延長させて打ち込んだ。
- ③ 天端部の打込みは、従来の覆工施工と同様に、既設コンクリート側の吹上げ口から行った。コンクリートを4m³打ち込んだ後、天端部の型枠バイブレータのうち既設コンクリート側4台、妻側4台の順にそれぞれ30秒間(15秒間×2回)振動させた。
- ④ 天端部3か所に設置した圧力計の表示値が覆工厚さ相当以上の圧力となり、天端部が確実に充填できたことを確認した後、コンクリートの打設を終了した。

なお、コンクリートの打込み口は、側壁部および天端部とも延長方向に1か所とした。コンクリートの流動距離は側壁部で最大7m程度、天端部で12m程度となるが、施工時にモルタル分と粗骨材とが材料分離を生じたり、補強鉄筋によりコンクリートの流動が阻害されるような状況は認められなかった。

中流動コンクリートと従来の覆工コンクリートの場合の締め固め状況と流動状況を写真-5~7に示す。従来の覆工施工では、狭隘な空間内で棒状バイブレータを振回してコンクリートを締め固める必要があった。苦渋作業であるとともに、十分な目視確認ができないことから、締め固め忘れや締め固め不足による充填不良などの施工欠陥が生じる原因となっていたと考えられる。

一方、中流動コンクリートと型枠バイブレータを用いた場合、作業員は合図者の指示のもと型枠バイブレータのスイッチをON・OFFするだけでコンクリートの締め固めを行うことができ、施工を



写真-5 従来の覆工施工状況

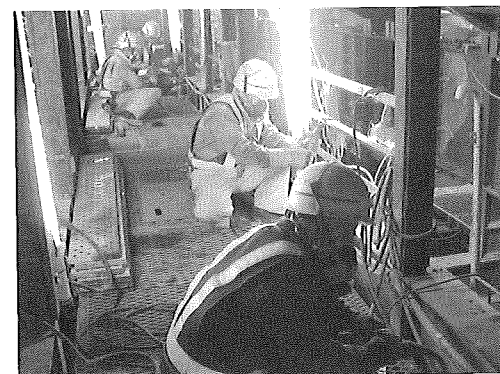


写真-6 型枠バイブレータによる締固め状況

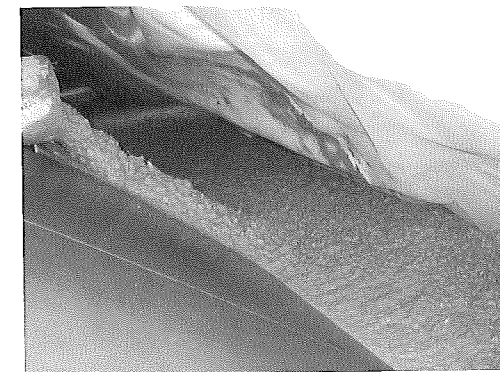


写真-7 中流動コンクリート流動状況

省力化できることが確認された。

なお、天端部の打込みにおいて、スランプフローが施工管理要領の下限値付近の中流動コンクリートでは、流動性が不足する状況が認められた。今後の他工事の施工事例なども踏まえて、場合によっては、中流動コンクリートの性能基準を適宜見直していく必要もあると考えられる。



写真-8 側圧管理制御盤

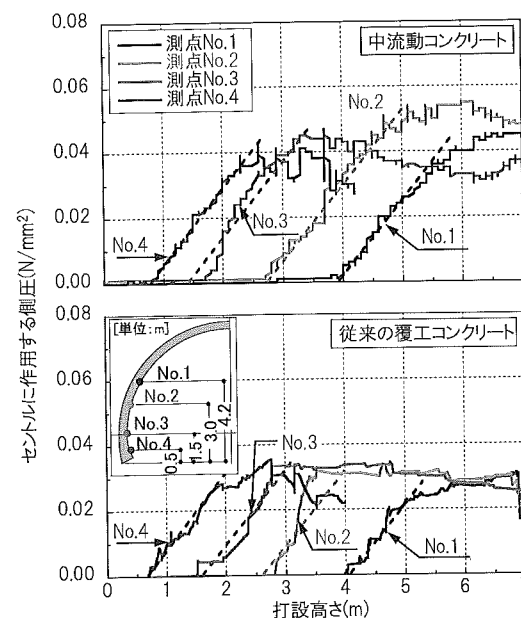


図-5 コンクリート打設時の側圧測定結果

3-3-2 セントルに作用する側圧

中流動コンクリートは、従来の覆工コンクリートに比べ流動性が高いため、セントルへの作用圧力の増加が懸念された。そこで、既往の文献²⁾を参考にセントル側部の耐荷力を増強した。施工時は、コンクリートの打上り高さを1.2m/h以下に管理するとともに、側壁部4点に取り付けた圧力計にて作用圧力を確認しながら打設作業を行った。さらに、測定した圧力値が管理圧力に達した場合に回転灯が自動的に点灯するシステムを構築し施工時の側圧管理の合理化を図った(写真-8)。

側圧測定結果の一例を図-5に示す。側圧は、コンクリートの種類によらず、打設高さに比例して増加し、その傾きはコンクリートが液圧として作用するとして求めた破線とほぼ等しい。中流動コンクリート施工時の側圧の最大値は0.045~0.055 N/mm²で、従来の覆工コンクリートを用いた場合に比べ0.015~0.02 N/mm²程度大きく、既往の知見⁴⁾と同様の結果であった。中流動コンクリートは流動性が高く、従来の覆工コンクリートに比べ液圧として作用する時間が長くなり、結果として側圧の最大値が増加したと考えられる。中流動コンクリートを適用する際は、従来の覆工コンクリートを用いた場合に比べ側圧が増加する可能性があることに配慮が必要である。

3-3-3 打重ね時間管理

型枠バイブレータによる締固めは、従来の棒状バイブレータによる締固めに比べ、下層コンクリートとの一体化を図りにくいことが想定された。そこで、打設および配車時間の管理を徹底し、コンクリートを連続的に打設するよう配慮した。配管の切替えなどにより打重ね時間が30分以上となる場合には、棒状バイブレータを用いて一体化を図る対策を講じた。

久留喜トンネルでは、これらの対策により、コールドジョイントなどの不具合は生じなかったが、コンクリートの許容打重ね時間は施工時の温度やコンクリートの凝結特性などに依存することから、適用現場ごとに適切な打重ね時間管理・対策を行う必要があると考えられる。

4 覆工品質の検証

4-1 中流動コンクリートの品質

久留喜トンネルでは、33スパンにわたり中流動コンクリートを用いた覆工施工を実施したが、すべての品質管理試験(スランプフロー、空気量および圧縮強度)において管理基準値を満足する結果が得られた。受入れ時の品質試験結果を図-6に示す。なお、本工事で使用した中流動コンクリートは、現場近郊の標準的な生コン工場で製造しており、従来の覆工コンクリートの製造時と比べて

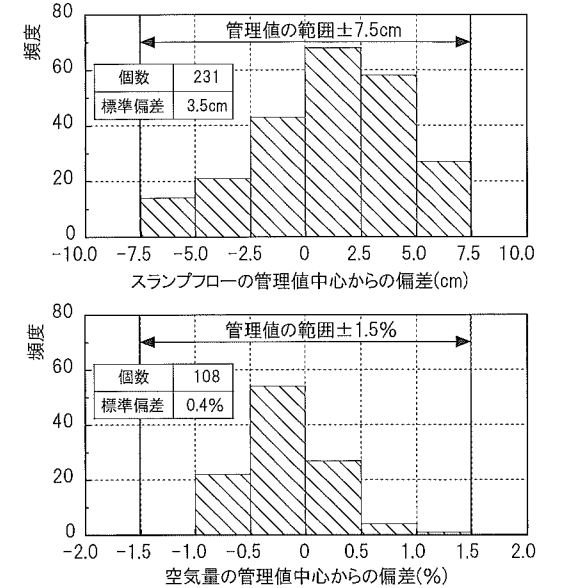


図-6 受入れ時の品質試験結果

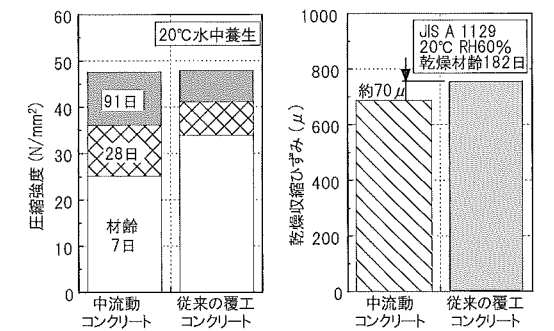


図-7 圧縮強度および乾燥収縮試験結果

品質安定化に関する特段の対策は講じていない。今回の施工結果より、標準的な生コン工場でも品質の安定した中流動コンクリートが製造可能であることを検証できた。

中流動コンクリートの長期強度試験および乾燥収縮ひずみ測定結果を図-7に示す。中流動コンクリートは、従来の覆工コンクリートに比べセメント量が少ないため、材齢初期の圧縮強度がやや低いものの、フライアッシュのポゾラン反応により、長期材齢では従来配合と同程度まで増加することを確認した。なお、初期強度はやや低いものの、セントルの脱型に必要な強度は材齢16時間で確保でき、従来コンクリートの場合と同様のサイクルで施工できた。

一方、中流動コンクリートの乾燥収縮ひずみは従来配合に比べ約70 μ (10%程度)小さく、ひび割れ抑制の観点からも効果的である結果が得られた。

4-2 天端部の充填性

天端部は、吹上げ口からコンクリートを吹上げて打ち込むため、背面空洞が生じやすい部位である。そこで、吹上げ口側、スパン中央および妻側(流動先端側)の天端部3か所に圧力計を取り付け、打設中に作用圧力をパソコン画面でリアルタイムに確認できるシステムを採用し圧力管理を行った

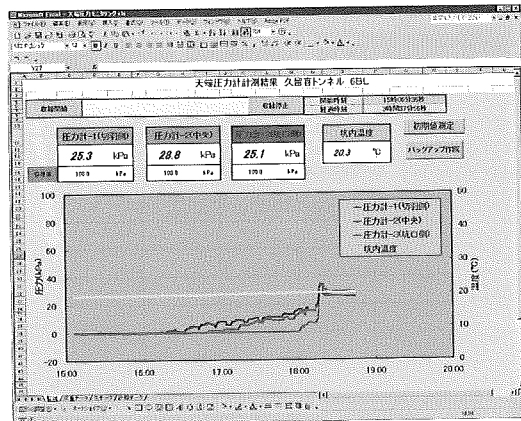


図-8 天端部の充填状況のモニタリング

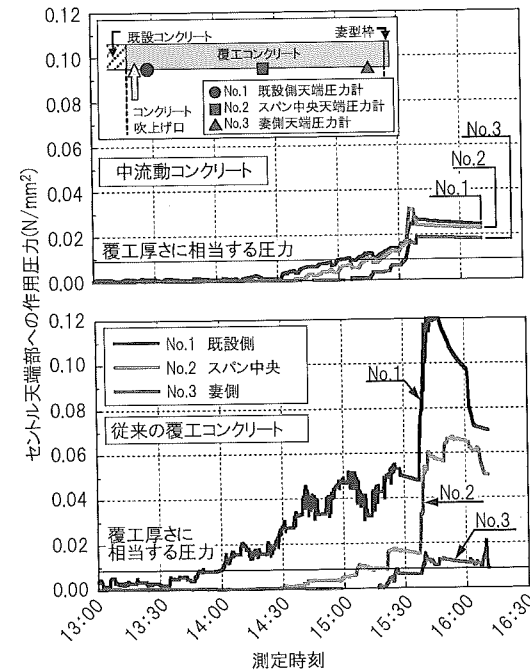


図-9 天端圧力測定結果

(図-8)。

天端圧力測定結果の一例を図-9に示す。従来の覆工コンクリートを用いた場合、①妻側にコンクリートが充填されるのが既設コンクリート側(吹上げ口側)に比べ遅くなる、②妻側の充填のために既設コンクリート側・スパン中央に過大な圧力が生じるなど、コンクリートが充填しにくい状況が示唆された。

一方、中流動コンクリートの場合、3点の圧力が増加する時間差が短く、圧力差も小さいなど、均等にコンクリートが充填していることが確認できた。また、セントル天端部への作用圧力は、覆工厚さに相当する圧力に比べて2~3倍程度であり、コンクリートが天端部に確実に充填できていることを示す結果が得られた。

4-3 覆工品質の検証

4-3-1 美観性

覆工コンクリートの天端付近の仕上がり状況を写真-9に示す。従来の覆工コンクリートは、天端付近にコンクリートが流動した跡が縞模様となって生じているが、中流動コンクリートの場合、縞模様はほとんど認められず、美観性が改善できる

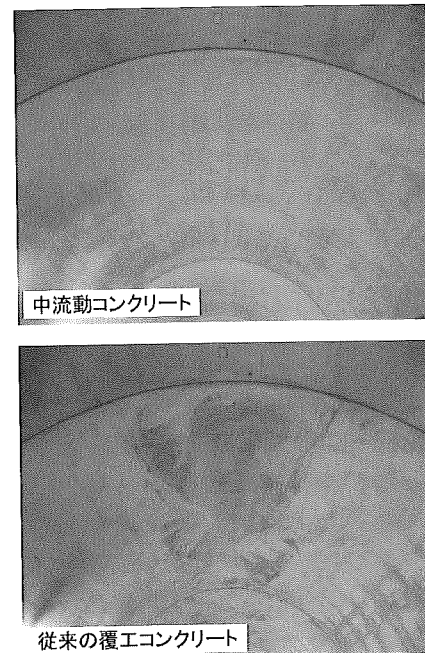


写真-9 覆工コンクリートの仕上がり状況

ことを確認できた。中流動コンクリートおよび型枠バイブレータを用いることで、コンクリートを天端部全体に流動させ、均等に充填することができるためと考えられる。

一方、側壁下側のハンチ部では、中流動コンクリート施工区間において、表面気泡が多数発生している状況が確認された。型枠バイブレータを用いて締め固めるので、空気がコンクリート表面に集まりやすいためと推測される。今後、表面気泡の除去方法についての検討が必要である。

4-3-2 トンネル覆工の品質

トンネル覆工の品質を確認するため、テストハンマー法によりコンクリート表面の反発度(圧縮強度)を、トレント法⁵⁾により透気係数(緻密性)を測定した。なお、透気係数とは物質の通りやすさを表す指標で、値が小さいほど緻密なコンクリートであることを示している。

測定は覆工施工の6か月後に、中流動コンクリート施工区間および従来の覆工コンクリート施工区間で3スパンずつ行った。測定箇所は側壁部と天端部それぞれのコンクリート打込み箇所とコンクリートの流動先端箇所とし、1測定箇所あたり9点測定して平均値を求めた。

テストハンマー法による反発度測定結果を表-5に示す。中流動コンクリートの反発度の標準偏差は、従来の覆工コンクリートに比べ小さく、バラツキの少ない均質なトンネル覆工が構築できている結果が示された。また、打込み箇所と流動先端箇所での反発度の差も、中流動コンクリートの方が従来覆工よりも小さく、中流動コンクリートが流動に伴う材料分離などの品質変動を生じにくいことを示す結果が得られた。

トレント法による透気係数測定結果を表-6に、測定状況を写真-10に示す。中流動コンクリート

表-5 テストハンマー法による反発度測定結果

測定位置	反発度							
	中流動コンクリート				従来の覆工コンクリート			
	側壁部		天端		側壁部		天端	
打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	
平均値	44.3	43.8	45.3	45.3	42.5	41.2	44.5	42.4
最大値	46.5	46.1	48.9	47.3	45.7	44.4	49.7	47.3
標準偏差	1.0	1.4	1.6	1.2	1.6	1.4	2.4	2.6
打込み箇所と流動先端の差	0.6		0.1		1.3		2.1	

表-6 トレント法による透気係数測定結果

測定位置	透気係数($\times 10^{-16} \text{m}^2$)							
	中流動コンクリート				従来の覆工コンクリート			
	側壁部		天端		側壁部		天端	
打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	打込み箇所	流動先端	
平均値	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.5	4.1	2.2
最大値	1.7	1.7	2.0	1.7	20.2	6.0	38.0	12.5
標準偏差	0.5	0.4	0.5	0.4	4.8	1.6	7.9	3.2

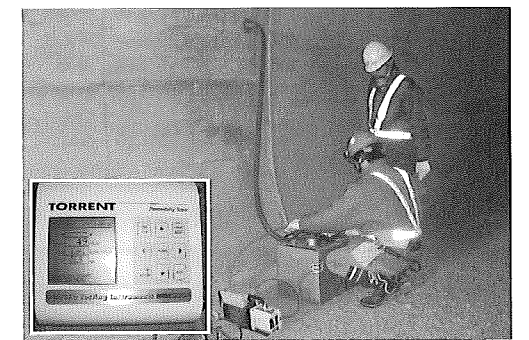


写真-10 トレント法による透気係数測定状況

施工区間の透気係数は、従来の覆工コンクリートに比べ1/2~1/4程度と小さく、覆工全体にわたり緻密なコンクリートを構築できていることが確認できた。

4-3-3 ひび割れの低減

トンネル覆工のひび割れ調査結果の一例を表-7に示す。ひび割れの生じやすさは、打込み時のコンクリート温度や、その後のトンネル坑内の環境(外気温、湿度や風など)の影響を受けることから、施工時期が近い連続した6スパン(17~22スパン)の調査結果を示した。なお、調査結果は施工後6

表-7 覆工コンクリートのひび割れ調査結果

コンクリート種類	スパンNo.	ひび割れ発生本数(本)	
		左側壁	右側壁
従来の覆工 コンクリート	17	2	2
	18	2	2
	19	2	2
中流動 コンクリート	20	0	1
	21	1	1
	22	1	1

* : 施工6か月後時点の調査結果

か月時点のものであり、いずれのひび割れもインパートコンクリートの拘束によると推測される側壁部に生じたトンネル断面方向のひび割れであった。

従来の覆工コンクリートで施工した区間(17~19スパン)は、左右の側壁にそれぞれ2本ずつひび割れが生じているのに対し、中流動コンクリート区間(20~22スパン)ではおおむね半分程度のひび割れしか生じていない。中流動コンクリートは従来覆工の配合に比べ単位セメント量が少ないためセメントの水和熱が小さくなり温度応力が低減することや、図-7で示したように乾燥収縮ひずみが従来覆工の配合に比べ小さいことにより、ひび割れが低減したと考えられる。

5 おわりに

久留喜トンネルでの施工を通じて、中流動コンクリートの採用により施工の省力化に加え、覆工品質の改善が図られることを確認できた。今後、型枠バイブレータの集中制御や中流動コンクリートの特性に見合ったセントル構造の変更などにより更なる省力化やコスト縮減が行えるものと考えられる。

なお、久留喜トンネルでは、中流動コンクリートの材料分離抵抗性を確保するために混和材(フライアッシュ)を単位粉体量の一部として用いたが、①単位粉体量の全量にセメントを用いたり、②単位粉体量を増加せずに増粘剤を用いることによっても中流動コンクリートを製造できることが既に明らかにされている^{4),6)}。混和材料の入手の容易さや生コン工場設備の事情に応じて、中流動コンクリートとするための方法を選択することで、全国各地のトンネル工事で中流動コンクリートを適用可能である。

今後、トンネル覆工の省力化と品質向上のため、中流動コンクリートが多くのトンネル工事で採用されることが望まれる。

最後に、久留喜トンネルの施工に際して、ご協力をいただいた関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 馬場弘二ほか：中流動覆工コンクリートの開発検討、土木学会トンネル工学報告集、Vol.17, pp.227-232, 2007.11.
- 2) 城間博通・小川澄・佐伯徹：トンネル覆工専用中流動コンクリートの開発、土木技術、Vol.64, No.4, pp.49-57, 2009.4.
- 3) 東・中・西日本高速道路(株)：トンネル施工管理要領、中流動覆工コンクリート編、2008.8.
- 4) 日本トンネル技術協会：第四章 中流動覆工コンクリートの適用性検討、トンネルの高速施工技術に関する検討報告書、2009.1.
- 5) 例えば、日本コンクリート工学協会：施工の確実性を判定するためのコンクリートの試験方法とその適用性に関する研究報告書、pp.90-93, 2009.7.
- 6) 桜井邦昭ほか：増粘剤を用いた中流動コンクリートのトンネル覆工への適用性に関する検討、コンクリート工学年次論文集、Vol.32, No.1, pp.1301-1306, 2010.6.

建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 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

施工

国指定史跡(ストーンサークル)直下2mを函体けん引工法で施工

—北海道縦貫自動車道 鷲ノ木トンネル—

東日本高速道路(株)北海道支社函館工事事務所森北工事区工事長 中村 明
東日本高速道路(株)北海道支社函館工事事務所森北工事区 山口 恭平
三井住友建設(株)北海道支店森工事事務所所長 粕谷 伸男
三井住友建設(株)北海道支店森工事事務所工務課長 畑 圭介

1 はじめに

北海道縦貫自動車道は北海道を南北に縦貫する高速自動車国道で、函館市を起点として内浦湾沿いを北上し、室蘭市、札幌市、旭川市を経て終点の稚内市に至るもので予定路線延長は681kmである。平成22年3月末現在、道央自動車道落部IC~士別剣淵IC間約413kmが開通している。

当該区間である森IC~落部IC間は秀峰駒ヶ岳を望む内浦湾沿いに路線があり、平成24年度供用を目指し、現在NEXCO東日本において鋭意工事を進めている。

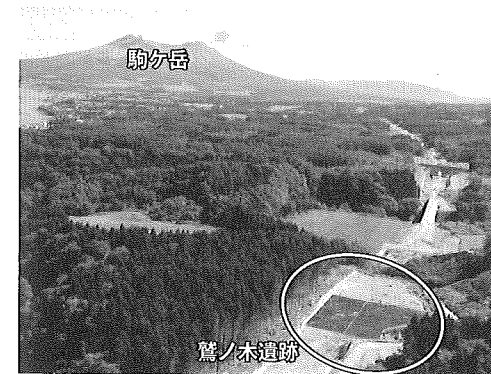


写真-1 建設中の北海道縦貫道(遺跡発見時)

「鷲ノ木遺跡」は、平成15年7月に工事中に発見された環状列石(ストーンサークル)で、全容を保つものとしては北海道内最大規模といわれている。

現場は当初、切土構造として計画され平成13年6月に工事発注されたが(写真-1)、遺跡の現状保存のためトンネル構造に変更したものである。

本稿では、国指定史跡である鷲ノ木遺跡の直下部における高速道路建設工事において実施したR&C工法、およびESA工法の施工について紹介する。

2 遺跡概要

トンネル構造への変更要因となった鷲ノ木遺跡(以下「ストーンサークル」という)について簡単に述べる。

ストーンサークルは、縄文時代後期前半(約4,000年前)のものと考えられ、地表は1~2mほどの厚さで駒ヶ岳の火山灰で覆われ、非常に良好な状態で発見されている。

現場は、埋蔵文化財包蔵地にも試掘調査地にも該当していなかったが、周辺の出土状況から当地にも遺跡がある可能性が高いという北海道教育委

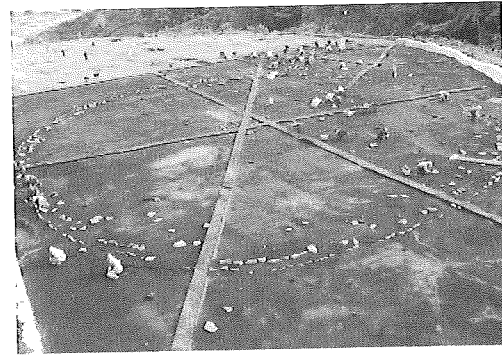


写真-2 鷲ノ木遺跡(ストーンサークル)

員会(以下「道教委」という)や学識経験者の意見をもとに調査を行った結果、遺構が発見されたもので、周辺は既に工事が進捗している状況であった。

規模は、長軸37m、短軸34m、約600個の玉石を外帯、内帯、中央帯の3重に配した構造となっている(写真-2)。

ストーンサークルの傍には「竪穴墓域」と呼ばれる珍しい遺構を伴うことから、学術上きわめて重要なものとして保存要望が出され、北海道、森町、日本道路公団(現NEXCO東日本)との間で遺跡の保存と高速道路の整備という観点で協議・調整が行われた結果、高速道路建設について現状保存を前提として平成17年2月基本合意に達した。

また、道教委は遺跡の現状を三次元レーザー測量により詳細な記録を作成し、国に史跡指定を申請し、平成18年1月に「鷲ノ木遺跡」の名称で指定されている。

平成21年1月には、この鷲ノ木遺跡を含む北海道・北東北を中心とした縄文遺跡群は、国からユネスコに提出している世界遺産候補リストに記載されている。

なお、工事にあたりは、文化庁へ「現状変更許可(遺跡直下にトンネルを構築)」を申請し、許可を得た後に着手している。

3 現状保存方法の検討

遺跡の保存にあたり、道路の平面線形や縦断線形の見直しを検討したが、遺跡近傍の橋梁やカルバートボックスが既に完成し、かつ離間距離が短

いことから、遺跡を完全に回避することは現実的に不可能であった。

また、遺跡を回避するために構造物や土工部を別ルートで新たに施工することは、追加の用地取得や完成済みの構造物の取り壊しなど、今後の工事の進捗に影響を及ぼすことが考えられたため、遺跡直下部をトンネルまたはカルバートボックスで横過することとした。

しかし、現計画の縦断線形における土かぶり(道路施工基面から約7.6~8.3mと浅く、通常のトンネル案を採用することは不可能であるため、小土かぶりでも施工可能な推進、またはけん引工法によりアンダーパスすることとした。

工法として考えられるのは「R&C工法」「フロンテジャッキング工法」「HEP&JES工法」「SFT工法」などであるが、頂版からの土かぶりが約2.0~2.6mであることを考慮し、現場条件および経済性などで有利となる「R&C工法」を採用することとした。

R&C(Roof & Culvert)工法は、到達側の地山を反力体としてプレキャストの函体を掘削と土留めをくり返し、中押しジャッキやフロンテジャッキなどを使用して土中にけん引する工法である。けん引が進行するに従い、地山反力が小さくなり、けん引ができなくなるため、お互いの函体自重や周面摩擦力をけん引の反力として利用するESA(Endless Self Advancing)工法も併用する計画とした。

4 工事概要

4-1 トンネル概要

当該区間は暫定2車線の工事計画で、ルートは遺跡のほぼ中央部を通過している。

現場は遺跡がある「現状保存区域」と、その前後の「緩衝区域」に分けられる(図-1)。

現状保存区域はストーンサークルを中心として設けられているもので、非開削(R&C工法、ESA工法)で行うこととした。

緩衝区域は「縄文集落と関連する地形的連続性の確保、ストーンサークルと関連する駒ヶ岳との

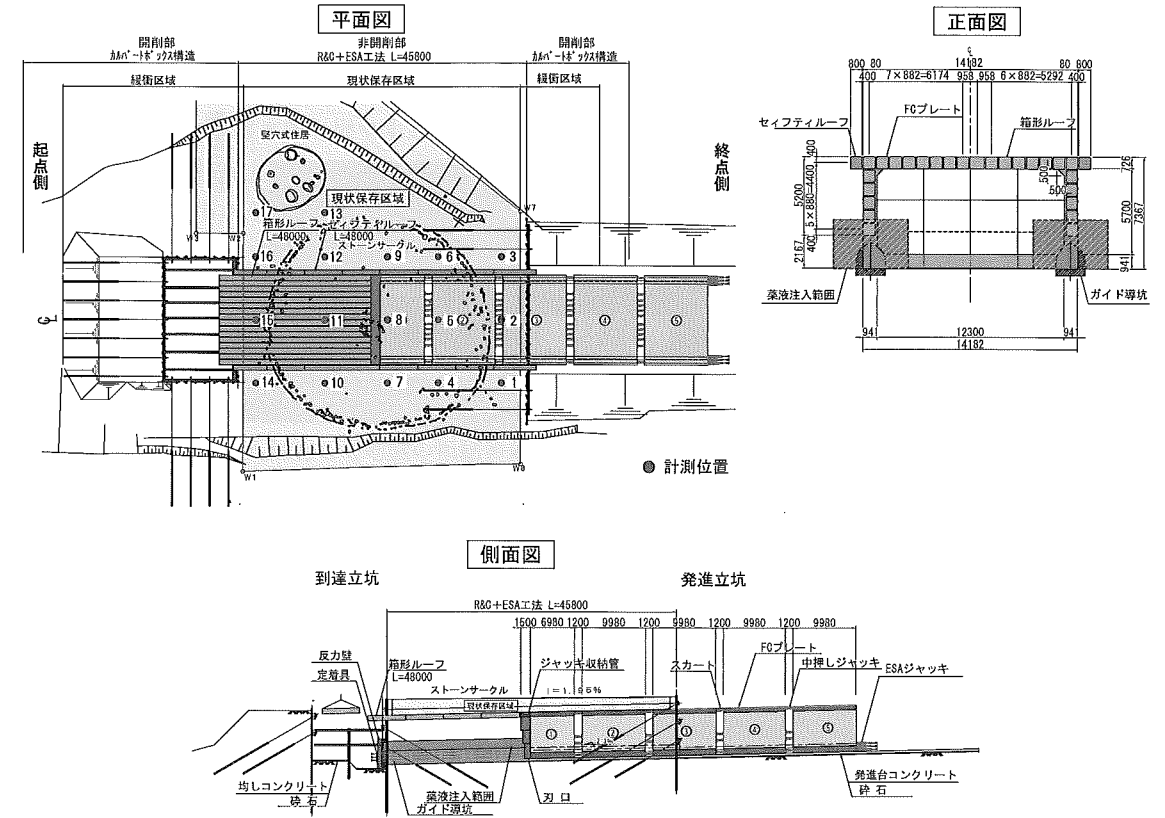


図-1 R&C工法+ESA工法施工計画図

表-1 施工概要

ルーフ管推進工	箱型ルーフ管(水平部)	□800×800 L=48.0m	15列
	箱型ルーフ管(調整部)	□950×800 L=48.0m	1列
	セフティルーフ管(水平部)	□800×800 L=48.0m	2列
	箱型ルーフ管(垂直部)	□800×800 L=48.0m	10列
ガイド導坑	47.00m × 2本		
薬液注入工	約50万リットル		
鋼製函体工	刃口 1基 スカート 4基 函体敷鋼板 5ブロック		
函体けん引工	46.00m		
グラウト工	函体外周注入工	45.0m ³	
	セフティルーフ中詰工	56.3m ³	

表-2 トンネル(カルバート)仕様

内空寸法	幅員	2.50m+3.50m+3.50m+2.50m
	高さ	5.70m
土かぶり	1.994~2.577m	
延長	7.00m+10.00m+10.00m +10.00m+10.00m	

通常、R&C工法あるいはESA工法では箱型ルーフ管(以下「ルーフ管」という)を推進完了後、同一方向に向け函体を送り出していくのが一般的であるが、本工事においては周辺工事進捗状況を考慮して、ルーフ管を到達立坑から推進し、

その間発進立坑において函体製作を行い、ルーフ管を元の場所に押し出し、函体と置き換えていく計画とした。

これにより、工事可能な期間が限られる積雪寒冷地の北海道にとって効率的な工事進捗を図ることができた。

景観保全に必要な区域」として位置づけられているもので、高速道路起点側と終点側にそれぞれ設けられている。

4-2 施工手順

施工概要およびトンネル仕様を表-1, 2, 地質縦断図を図-2, 概略の施工手順を図-3, 4に示す。

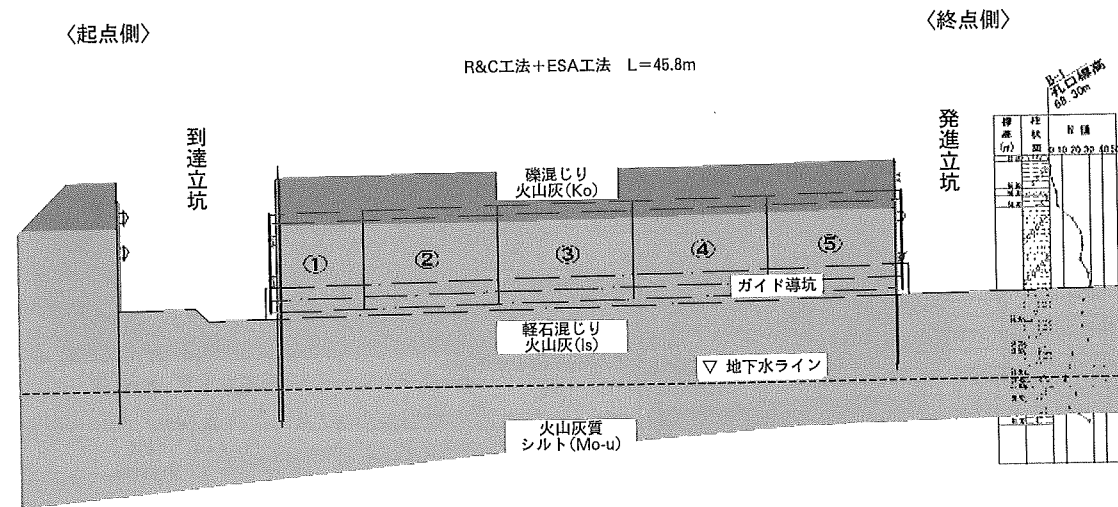


図-2 地質縦断面図

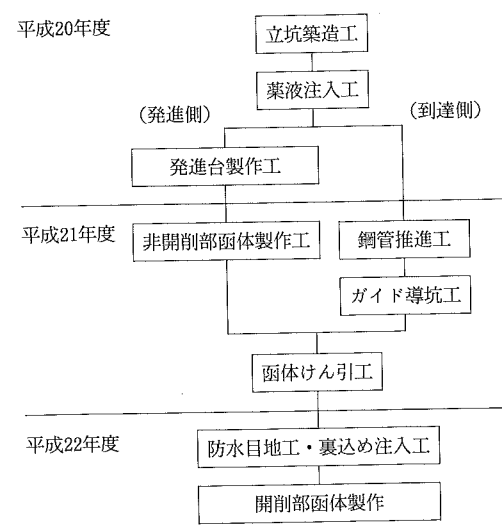


図-3 全体工事の流れ

4-3 準備工事

4-3-1 立坑工

ルーフ管の推進立坑、および函体けん引の発進立坑としてそれぞれ高速道路起点側と終点側に立坑を設けた。立坑の土留め杭は遺跡への影響を考慮し、振動がきわめて小さいプレボーリング工法によるモルタル先端根固め方式とした。

また、山留めは函体けん引到達時の状況を考慮し、タイロッドおよびグラウンドアンカーにて行った。グラウンドアンカーはロータリーパーカッション単管方式による削孔を行い、N値20程度の砂質土に定着させた。

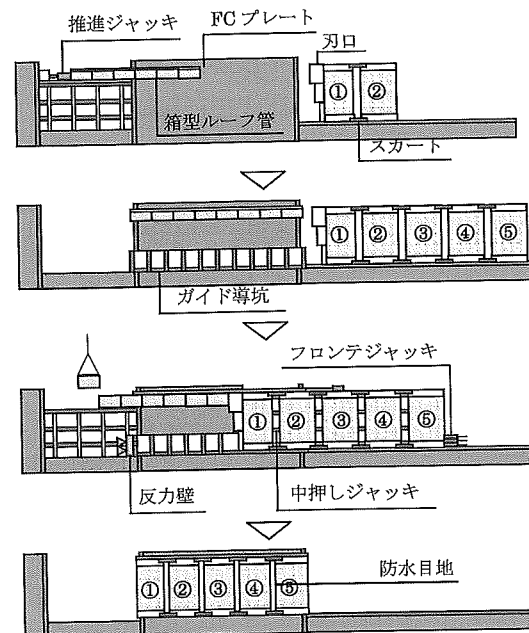


図-4 R&C工法施工手順図

計画であったが、下記のような懸念があった。

- ① 遺跡との土かぶり量が1m程度しかないうえに、掘孔延長が約46mと長く、上方に変位した場合、遺跡への影響が出る可能性がある。
- ② 削孔時に水を使用するため、遺跡の地盤に緩みを発生させるおそれがある。
- ③ 削孔区間の土質がシルト質のため、方向修正が困難である。

以上の点を考慮し、高精度で削孔が可能で、か

つ削孔時の方向修正が可能な小口径推進工法である鋼管鞘管方式で行った。

さらに、遺跡への影響を極力抑えるため、タイロッドのPC鋼より線本数を増やすとともに、腹起し材の寸法規格を上げることにより施工本数を当初計画の8か所から4か所に削減した。

4-3-2 薬液注入工

ガイド導坑掘削時の地山防護を目的として薬液注入を行った。

改良範囲は、ガイド導坑上部および側部とし、最小改良厚さである1.5mとした。

注入材料は1次注入材として地盤の粗詰め効果を目的にセメントベントナイトを注入管廻りのクリアランスに充填、2次注入材として地盤への浸透に優れ、隆起変状がもっとも少なく、本体施工期間中の改良効果の維持が可能なシリカゾルグラウト(非アルカリ系溶液型長結性注入材)を充填した。

注入率はN値0~30の砂質土を想定し、1次注入5%、2次注入35.5%と決定した。施工は注入延長が長いことから、発進側、到達側双方から施工した。

4-3-3 発進台製作工

発進台は函体製作台としてのほか、函体けん引の方向性を左右するガイドとしても設置するものである。また、刃口、スカート、函体底部敷鋼板の施工をするうえでも建て込み精度に影響を及ぼすため、レール(鋼)の高さは±2mmの管理で行った。さらに函体との摩擦抵抗低減を図る必要があった。

函体延長が5スパン約47mあり、空引きを含めると移動距離が最大約54mにもなることから、発進台上のレール(H形鋼)の設置高を2m間隔で測定し、コンクリート面より2~3mm程度高くすることにより、摩擦低減効果を長期にわたって確保した(図-5、写真-3)。

4-4 本体工事

R&C工法、およびESA工法に関する施工管理要領をNEXCO東日本では定めていないため、『アール・アンド・シー(R&C)工法技術資料』(ア

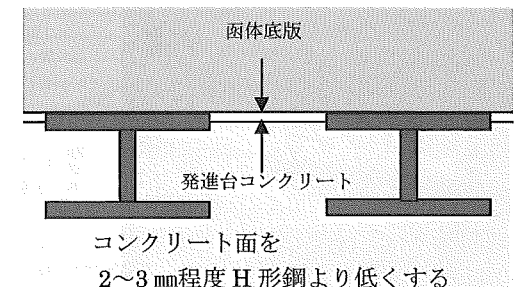


図-5 発進台断面図

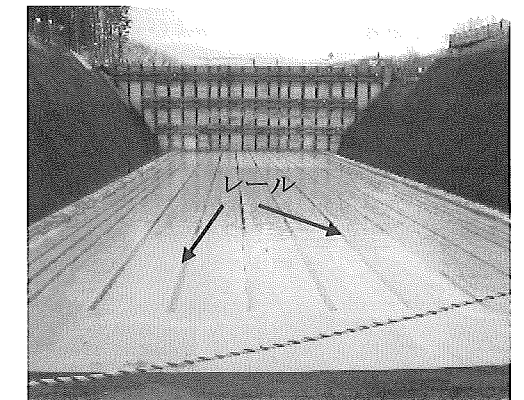


写真-3 発進台完成状況

ンダーパス技術協会)を参考に現場管理を行った。

4-4-1 箱型ルーフ管推進工

ルーフ管は□800mm×800mmを標準管とし、あらかじめ函体の外縁に合わせFCプレートとともに区間全長に設置し、函体のけん引と同時にFCプレートを地山内に残しルーフ管が押し出される。ルーフ管の配置は立地条件や土質条件により分類されるが、本工事では門型タイプを選定した(写真-4)。

また、地山の土砂が軽石混じり火山灰であるため、垂直ルーフ施工時、および函体けん引時に周辺地山が緩み、側部地山が安定しないと考えられたため、セーフティルーフを左右一列ずつ配置した。

R&C工法、ESA工法ではルーフ管と本体構造物である函体を置き換えることから、遺跡への影響を考慮して推進方法は高い精度が必要である。このため、方向制御が可能な方法を選択する必要がある。

本工事では推進延長が約46m、地表面には遺跡

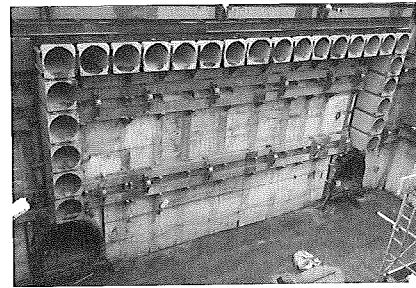


写真-4 ルーフ管配置およびガイド導坑完了状況

があることを考慮し、水平部および垂直部とも複数並列推進(一部単列推進)の人力掘削とし、切羽はそれぞれ1m程度ずらし切羽の崩壊を防いだ。なお、1列約46mの作業期間はおおむね10日~2週間程度であった。

図-6は、基準管として推進した水平ルーフ管の変位量を表したものである。2~3ストローク(約0.4m/ストローク)ごとに測量と切羽の修正をくり返しなが進めたが、変位量は管理基準値-30~+50mmに対して垂直方向で最大+15mm、水平方向で同+25mmであった。

また、ルーフ管の回転量は、ルーフ管幅の2%程度(±15mm)を目標値として設定したが、-1~+3mmの範囲であった。

4-4-2 ガイド導坑工

ガイド導坑は函体けん引時の方向と高さの精度向上、およびけん引時に使用するPC鋼線の挿入が主な目的である。

ガイド導坑には山岳トンネル方式と鋼管推進方式があり、今回は地下水位が低いことと地山が比較的良好であることから山岳トンネル方式とした。

施工は、薬液注入した切羽を1スパン(0.9m)ごとに人力掘削し、掘削土砂をタイヤショベルにより坑外に搬出した後、H形鋼支保工および土留め矢板を設置した。

全延長の掘削完了後、函体けん引時のガイドとなるH形鋼を坑内に敷設し、ガイドコンクリートを打設した。発進台と同様、レールの高さ調整には1~5mmの調整プレートを使用し、コンクリート天端はレールより2~3mm下げて仕上げを行った(図-7)。

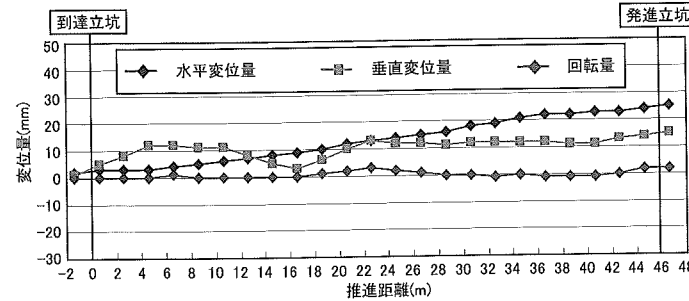


図-6 箱型ルーフ管出来形図(No.1)

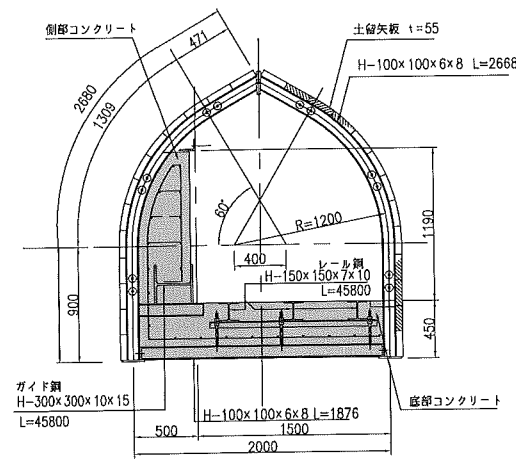


図-7 ガイド導坑図

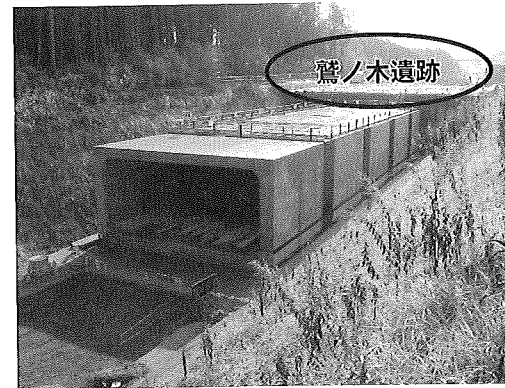


写真-5 函体製作状況

4-4-3 函体製作工

R&C工法で使用する函体は通常のカルバートボックスと異なり、刃口、スカートと呼ばれる鋼製支保工を備えている。これらは函体けん引時の土砂流出防止の役割も兼ねて函体底部の敷鋼板と合わせ鋼製函体工と呼ばれている。刃口、スカートは函体の製作精度に大きく影響を及ぼすため、

現場製作時に十分な注意を払う必要がある。

また、函体本体には「シース管」「グラウト注入管」「グリッド筋」などを埋め込む必要があるとともに、後続函体はあらかじめスカート分の欠き込みを考慮して函体を製作する必要がある(写真-5)。

4-4-4 函体けん引工

R&C工法およびESA工法は、鉄道や道路などを供用しながらその直下にカルバートボックスを設置する特殊工法である。鉄道横断の場合は、夜間にけん引作業を行うのが一般的であり、軌道に変位が生じた場合、作業を中断し軌道を修復することが可能である。

しかし、本工事の場合、遺跡直下での施工になることから立ち入りを含め遺跡を修復する行為は許可されていないため、発生した変位は累積していくことになる。また、函体けん引の精度は先に行われるルーフ管、ガイド導坑、発進台などの精度に非常に影響を受けるため、すべての作業工程において慎重な施工が求められた。

計画縦断勾配は*i*=2.3%でけん引方向への突込みになっていることや、また先頭函体の自重が約600t(他の函体は約850t)、刃口、スカートなどを含めると約660tに及ぶため、けん引の際の上向き修正を考慮し、基準高はあえて上方側の管理とした。

その結果、函体けん引の精度は垂直方向で+約20mm(管理基準値±50mm)、水平方向としてはけん引方向に対しR側へ+約20mm(同±30mm)であった。なお、けん引は昼夜2方作業で日進約1.3mであった(図-8)。

4-4-5 防水目地工

防水目地工は函体接続目地からの止水を目的として行うもので、止水方式と導水方式があり、本工事では、地下水位が底版より低い位置にあることを考慮し止水方式を採用した。

施工箇所が遺跡直下にあるため供用後に目地からの漏水が発生した場合、事後対策が非常に困難

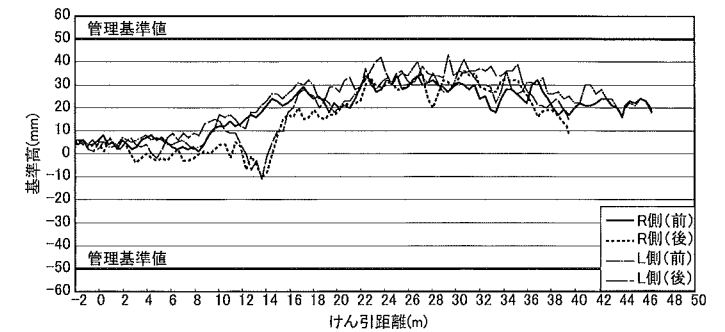


図-8 函体施工精度グラフ(函体①)

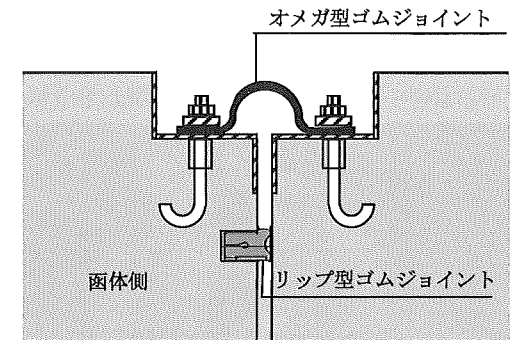


図-9 防水目地詳細図

なことから、「リップ型ゴムジョイント」と「オメガ型ジョイント」の2タイプの防水目地を併用することとした(図-9)。

今回のように2タイプの防水目地を併用することはまれであるが、重要度の高い地下構造物ではこのような対策工も必要であると考えられる。

4-4-6 グラウト工

R&C工法におけるグラウトには函体外周、セーフティルーフ外周および中詰め、シース内注入がある。函体外周およびセーフティルーフ外周にはセメントとベントナイトの混合物を用いた。

セーフティルーフの外周注入は、ルーフ管外周の空隙充填を目的として行うもので、外周注入施工時は地上への吹き上げや地山の隆起が生じないように注入圧力に十分注意し、遺跡面などを監視しながら施工した。

セーフティルーフの中詰めは、ルーフ両端部に蓋を取り付け、専用の注入孔より発砲モルタルを注入した。函体けん引完了後、シース内の完全充填を行った。

5 遺跡面の計測管理

5-1 管理基準値の設定

ストーンサークルは道教委により1個ずつ、あるいは連続しているものは数個まとめて土のうで固定され、工事による転倒などを最小限に抑える方策がとられている(写真-6)。万一、工事による影響が発生した場合を想定し、ストーンサークルは5mmメッシュ、遺跡面は10mmメッシュで三次元レーザーにより詳細な記録が作成されている。

このため、工事による遺跡の変位は厳しく制限されるため、道教委と工事管理値について協議を行い、JRの『近接工事設計施工標準』や『線路

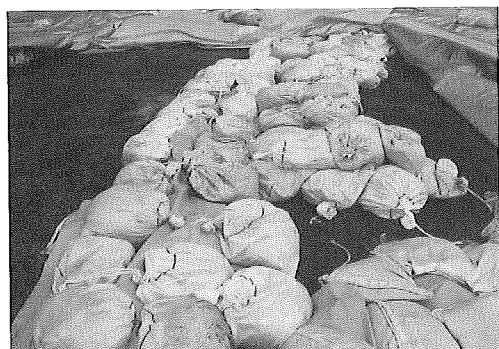


写真-6 遺跡保護状況

下横断工事施工における軌道管理方法について』などを参考に±22mmを採用することとし、文化庁からも許可を得た。

計測杭は、ストーンサークルの近傍にある堅穴墓域への影響も考慮して計17か所設置し、設置時には森町教育委員会(以下「町教委」という)の立会いのもとストーンサークルに影響を与えないよう慎重に行った。計測は、三次元データにより日々の変化を把握し、緊急時には道教委、あるいは町教委との立会い体制も合わせてとった。

5-2 ルーフ管推進時およびガイド導坑掘削時の計測結果

ルーフ管推進前の平成21年2月末ごろから凍上による影響と思われる遺跡面の隆起や平面移動などが観測されたが、4月に入ると徐々に収束に向かい、5月の本工事着手時にはほぼ元の状態に戻った。

現場は、積雪寒冷地であるため凍上による影響も決して少なくないが、施工が5～8月の期間であったため、問題とならなかった。遺跡面の最大変位が観測されたのは、遺跡のほぼ中央部にあるNo.8およびNo.11で7～8mmの沈下が見られた。

沈下はルーフ管推進着手から1週間程度経過し

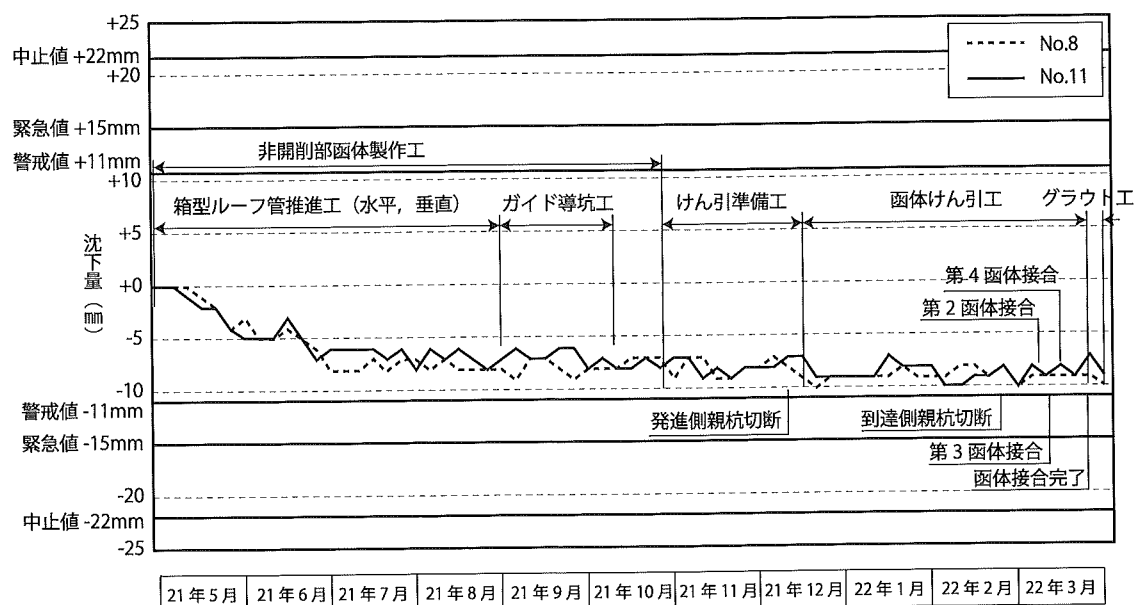


図-10 遺跡面変位計測図(No.8, No.11)

6 おわりに

平成15年7月、当地にストーンサークルが発見されて以来、実に7年の歳月をかけ遺跡の現状保存と高速道路建設が現実のものとなった。

ここに至るまでの協議・調整、工事手法の検討、さらには工事中における遺跡面での変位などの管理など、貴重な文化財の現状保存に対し、多くの関係者の協力をいただき、遺跡へ大きな影響を及ぼすことなく平成22年3月無事完了することができた。

遺跡の前後にある緩衝区域での工事をまだ残しているが、引き続き遺跡への配慮を十分に行い、平成22年11月の完成を目指し、工事を進めていきたいと考えている。

最後に、本工事を行うにあたり、協議・立会い、あるいは助言をいただいた北海道教育委員会および森町教育委員会の方々にこの場をお借りして感謝の意を表します。

たころに表れ、2か月程度で最大量に達したが、その後の施工においては大きな変位は発生しなかった(図-10)。遺跡の中央部付近では、このように顕著な沈下が見られたが、遺跡周辺部では沈下は見られなかった。

また、ルーフ管の推進完了後のガイド導坑掘削においても沈下の増加は見られなかったが、これは事前に施工した薬液注入の効果であると考えられる。

5-3 函体けん引時の計測結果

函体けん引開始前における発進側の土留め親杭、腹起し材、およびアンカーなどの切断時に2mm程度の沈下増が見られたが、その後は増加することもなく、ルーフ管推進時からの累計でも最大10mm程度の沈下であった。また、道路センターから離れた箇所ではほとんど変位は発生しなかった。

計測結果とストーンサークルの事前防護処置の内容から考え、影響は与えていないものと思われるが、緩衝区域での工事完了後、関係機関との立会いのうえ確認を行いたいと考えている。

E. フック・E. T. ブラウン共著

岩盤地下空洞の設計と施工

理学博士 小野寺透・工学博士 吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳
B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(〒450円)

株式 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



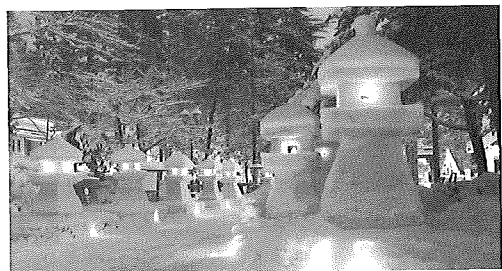
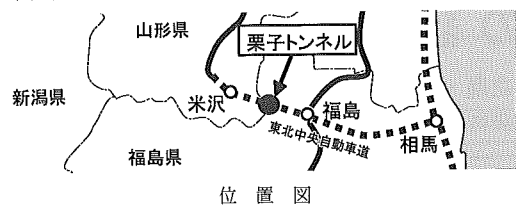
「上杉の城下町」米沢より

牛田久雄

山形県米沢は、2009年のNHK大河ドラマ「天地人」で上杉氏の城下町として脚光を浴び、今も「かねたん」(米沢市直江兼続マスコットキャラクター)が、米沢を訪れる人たちを迎えている。

米沢市は、山形県の南東部に位置し置賜地方の中心都市としての役割を果たしている。温泉とスキー場が多く、盆地特有の気候を利用した果物の栽培が盛んな地域でもある。特産品は「米沢のABC」と呼ばれ、Aは館山林檜(Apple)、Bは日本三大和牛の米沢牛(Beef)、Cは上杉鷹山が始めた米沢鯉(Carp)である。そのほかにも笹野一刀彫りや織物、米沢ラーメンなどがある。市街を歩くと、上杉氏ゆかりの史跡から城下町として発展してきた米沢の歴史を感じることができる。伊達、最上、直江、上杉諸氏が居城した米沢城は、城趾公園「松が岬公園」になり、本丸跡には上杉謙信公を祀る上杉神社がある。春は桜の名所、冬には300基を超える雪灯籠が並ぶ「雪灯籠まつり」が開かれる。また、毎年4月29日～5月3日まで開催される「米沢上杉まつり」では、上杉謙信の出陣前の儀式「武禱式」、500人規模の川中島に向かう上杉軍団の甲冑行列、そして、河川敷で武田軍との川中島合戦が再現される。この古式の慣習と壮大さに、観光客は戦国時代にタイムスリップさせられてしまう。

栗子トンネル工事は、福島県相馬市を起点とし、福島市、米沢市、山形市を経由して秋田自動車道に連結する東北中央自動車道の山形・福島県境米沢市に位置する。この栗子トンネルは、完成すると全長8,972m、東北で1番、国内では5番目に長い道路トンネルとなる。栗子トンネルの歴史は古く、今回の工事は、明治14年に開通した万世大路の栗子隧道から数えて第4世代のトンネル建設工事となる。万世大路とは、明治9年初代山形県令三島通庸が、福島県境をまたぐ異例の



雪灯籠まつり



米沢上杉まつり

大規模道路建設に着手し、明治14年の開通式に参加された明治天皇より「萬世ノ永キニ渡リ人々ニ愛サレドナレ」と願いを込められて命名された現在の国道13号である。中でも栗子隧道(延長約870m)は日本初の長大トンネルとして完成した。

当工事は、栗子トンネルの山形側(L=3,826m)を施工するもので、坑口部は国道13号直下を土かぶり約10mで通過するという厳しい条件であった。地山挙動の予測解析、切羽および地山安定化のための補助工法の採用、自動計測システムと緊急通報システムによる路面監視などにより無事通過できた。ずり出し方式は連続ベルトコンベヤシステムを採用している。掘削開始から約1年経過した現在、トンネル掘削は約700m進捗している。まだまだ続く長大トンネル建設工事だが、地域の方々の御協力、発注者をはじめとする関係各位の御指導をたまわり、職員・作業員一体となり期待に応えるべく無事故・無災害竣工を目指し努力していく所存である。

(三井住友建設(株)栗子トンネル作業所副所長)

第十二回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

トンネル後発組の奮闘記

(元)株 鴻池組
白井 信夫

はじめに

「語り継ぎ言ひ継ぎ行かむ」を執筆された諸先輩方のお話を興味深く拝見し、わが身と較べて正直なところ、非常に羨ましいと思いました。

私の場合は、諸先輩方と違い、トンネル技術を伝統的に継承している大手業者や役所関係には無関係で、ほとんどと言ってよいくらいトンネル経験のない会社に入社し、暫くは関係のない工事を体験した後、偶然の機会からトンネル工事に足を踏み入れたのでした。

したがって今回は、経験も知識も全くない状態でトンネル工事に飛び込んだ(それも責任者として)私の、当初の試行錯誤のくり返し、失敗の連続を語らせて貰おうと思います。

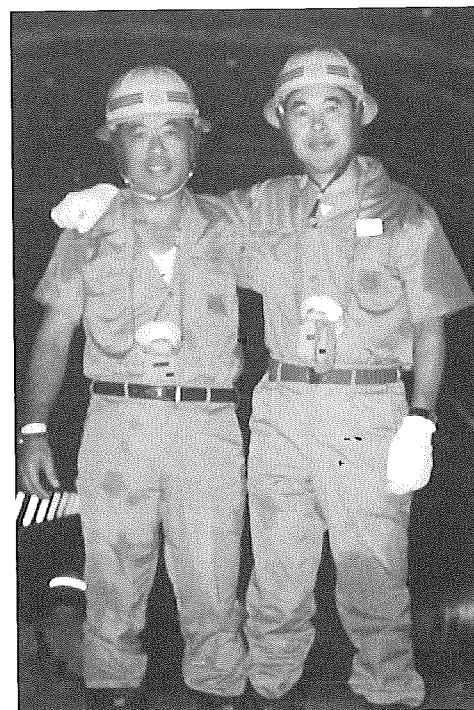
トンネル工事までの道のり

昭和29年(株)鴻池組に入社し、大阪に赴任しました。朝鮮戦争が始まった昭和25年の秋、大阪を襲っ

たジェーン台風による高潮で、大阪は甚大な被害を受け、在阪の建設会社は、防潮堤工事や港湾設備の嵩上げ復旧に追われている状況でした。しかし、昭和28年7月まで続いた朝鮮戦争の恩恵を受けて、日本中が勢いを取り戻し、大阪でも戦争で中断されていた地下鉄工事なども再開されました。

私も入社してすぐ、海岸の護岸復旧工事などに配属されていましたが、その年の秋には、戦後初めて再開された地下鉄工事に配属となり、昭和37年に初めてトンネル工事を体験するまで、地下鉄2か所、橋梁3か所、海岸工事2か所を体験していました。これは土木屋としての広い知識を養うには最初の貴重な体験で、それぞれの工事で、厳しい洗礼を受け、とくに水の恐ろしさをいやというほど思い知らされました。

トンネルの話とは外れてしまいましたが、初めての橋梁工事では、梅雨時の長期にわたる増水で、川中の橋脚築島のシートパイルの足



丸子トンネル工事のころの筆者(右)

著者略歴

- 昭和29年 3月 名古屋工業大学土木工学科卒業
- 昭和29年 4月 鴻池組入社
- 昭和29～36年 大阪市営地下鉄工事 2 か所, 橋梁工事 3 か所, 海岸護岸工事 2 か所に配属
- 昭和37年 東山トンネル
- 昭和40年 六甲山トンネル
- 昭和40年 水資源水路トンネル
- 昭和42～45年 道路改良工事, 在阪電鉄高架付替工事に配属
- 昭和45年 大阪本店土木工事課長
- 昭和48～53年 在阪電鉄高架付替工事 3 か所, 道路新設工事ほかに配属
- 昭和54年 檜原トンネル
- 昭和56年 阿多岐ダム付替え道路トンネル
- 昭和57年 都営地下鉄駅工事に配属
- 昭和59年 丸子トンネル
- 昭和61年 名古屋支店工事部長としてトンネル現場ほか管理
- 平成 2年 山陰支店工事部長兼務としてトンネル現場管理
- 平成 3年 本社特殊工事部トンネル担当部長
- 平成 8年 イーグル建設入社
- 平成11年 イーグル建設退社

元が洗掘されて全く宙に浮いてしまっ
て途方に暮れたり、トンネル工事の直前、昭和35年に配属された第2阪神国道安治川橋工事でも、順調に進んでいた工事が36年秋の第2室戸台風の高潮で、事務所のすぐ前の防潮堤下部から水が吹き上がり、防潮堤と国鉄桜島線とに挟まれた広い区域が完全に水没してしまい、事務所も机の位置まで水没し1週間以上も外部と連絡ができない状況でした。

地下鉄工事木製横矢板の時代で、山留めの梁や腹起こしは尺か尺2寸角の米松、覆工板も木製を使っていました。昭和29年着工の最初の地下鉄では、支給される山留め杭がルールで、それを高い槽の蒸気稼働のハンマーで打ちこんでいました。少し硬いものがあるとルールは曲がってしまい、杭が

下方で開いてしまううえ、レールの短いフランジのため横矢板のかがりが少なく、ずれ落ちて裏土が抜ける事故が頻発しました。またウェルポイントや水中ポンプなどもなく、パーティカルポンプで段階的に上まで排水し、どろどろの土砂の中をベルトコンベヤによる人力掘削で、横矢板の間からは水が噴き出して裏土が抜けるなど、全く泣きたくなくなるような状態でした。

また並べていたベルコンの電気の接続器具は碍子製で、取り扱い中によく割れ、感電することも日常茶飯事でした。私なりにコンベヤメーカーに提案して、ゴム製キャップを付けた製品を開発して取り替えたりしたこともありましたが。

昭和33年からの地下鉄工事では、鋼杭横矢板は同じですが、支給さ

れる杭がH形鋼に変わり、杭打ちもデルマックを使用となり、支保工こそ木製でしたが、掘削も機械化が進み、ウェルポイントも使用できて、仕事は格段に楽になりました。

この頃は年ごとに工法や機械がどんどん変わっていく時代でした。

トンネル工事との出会い

さて肝心のトンネル工事ですが、私の勤務していた会社は、冒頭に述べましたように、トンネル工事に関しては全くの後発会社で、戦後の工事実績としては昭和27年から31年にかけて、国鉄赤穂線の単線隧道4本とその近くの小断面道路トンネル1本のみで、大断面の経験は皆無でした。

たまたま昭和37年に近畿地建発注の京都の国道1号線東山パイバ



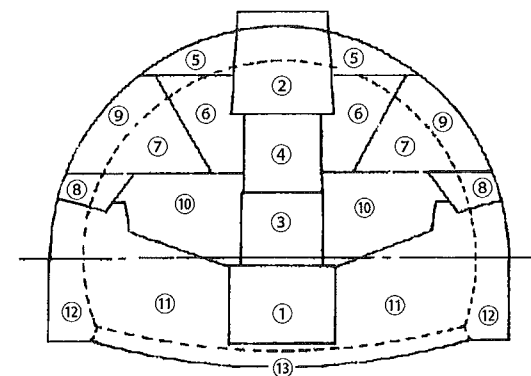
東山トンネル坑口(坑口の崩落)

ス(写真)のトンネル工事を受注することにになりましたが、適当な職員がおらず、たまたま私が大阪府ではまだ数少ない甲種火薬取扱免状を持っていて、ときどき火薬協会のお手伝いをしていたことと、地下鉄工事を2か所経験していたことが理由からか、全くの素人の私がトンネル担当主任として着任することになりました。

担当の地建事務所でもトンネルの経験者がおらず、着任時に坑門の設計などのお手伝いをしながら、何も知らない者同士と一緒に本を読んで勉強する有様でした。

私の会社は、人員不足のせいもありましたが、今でしたら10年、15年の経験を持つ職員が担当する仕事を、新入社員に毛の生えたような職員が担当し、それぞれが懸命に段取りを考えて仕事をしていました。

当然失敗は付き物で、その都度会社は高い月謝を払っていたと思いますが、今から思えば、社員教育の月謝だとも思っていたのか、失敗に関しては非常に寛容で、一応は怒られますが、その後も自身で段取りを考えて自由に仕事



新オーストリア工法掘削手順

をすることができました。すでに電力会社や国鉄が鋼製支保工を使用し、大きな実績を上げていた時期に、後発会社の悲しさ、全くそんな情報も入らず、社内の小断面単線トンネルのわずかな経験を聞いて回り、本の知識から底設導坑先進、頂設、切り掛けを基本とする新オーストリア工法(現在のNATMではありません。図参照)で、支保工も木製支保工を使用することに、何の疑念も持たずに工事に入りました。

また、いくつかのトンネル坑口を見学して、坑門設計の参考にしましたが、比較的強固な地山のトンネル坑門が多かったのと、すべて面壁方式で、私自身が切土の経験もなかったこともあって深くも考えず、トンネルの坑門はこんな位置に設置するものだと、坑口を前に出すどころか逆に地山に深く切り込んだ面壁にしてしまいました。

結果はわかりきった話で、2度にわたって坑口の山を大きく滑らせてしまいました。

発破講習の臨時講師なども務めたことがありましたが、全く机上

の学問で、トンネル掘削ではズブの素人の私が担当責任者でしたから、とにかく実際の仕事を覚えるのに懸命で、毎日切羽で斧指まさしにくついて仕事を教えて貰いました。年寄りの斧指は親切な男で、木製支保工に荷がかかった場合の松材の状況、その場合の処置とか、鯖の切り方とか、手取り足取りの教えぶりで、導坑の山の良いときなどは、坑夫の交代時間などを見計らって、実際に鯖を切らせてくれました。しかし、底設や頂設導坑の場合はともかく、丸型から中背の切り掛けにかかってくると、全体像がなかなかピンと来ず、材料の手配にしても手違いの連続で、よく坑夫に怒られました。

とにかく実際の施工現場を見たいと思ったのですが、施工している現場も、伝手もわからず、恥をしのんで国道事務所に泣きつきましたら、中部地建で2年近く前に完成した静岡県の新宇都宮トンネルが大断面で同じ工法で施工したと聞き、役所の担当官と一緒に静岡国道と工事を担当した藤枝工事事務所を訪問し、写真などをたくさん見せていただいていた程度概

念的なものを掘むことができました。

そのときの写真に荷がかかった後光梁支保工の補強にV形鋼を使っている写真があったのですが、当時は補強の一方だと思わず、鋼製支保工の知識が全くなかった私には、それが先駆的なものだったのだとは気が付きませんでした。

また交通量増加に伴い換気立坑が着工されたばかりの時期でしたが、これには全く関心を示さず帰ってしまったのですが、くしくも22年後に、隣の丸子トンネルに赴任するにあたり、立坑の施工も伴っており、あのとき実際を見ていたら、大いに悔やんだものでした。

当の東山トンネルは、今から考えても地山は結構悪いほうでした

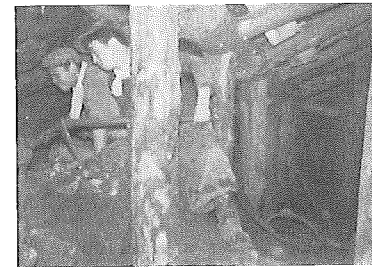
ので、導坑掘削はともかく、木製支保工での切り掘げとコンクリート打設は大変でした。

3~4尺ピッチの木製支保工で作業を進め、頂設からの切り掘げで上半が掘削できると、すぐに支保工の間に木製のセントルを組み立てて、コンクリート打設を行っていました。山が悪いため、切り掘げができると3スパンでも4スパンでも少しでも早く巻き立てて山を押さえたいので、セントルと切羽との距離は10mもないときもあります。その間にずり掻き落とし用のスクレーパーを設置するのですから大変です(下図、写真参照)。地山の荷がかかってきた場所では3尺ピッチの間に補強支保工を立てるという有様で、電話線

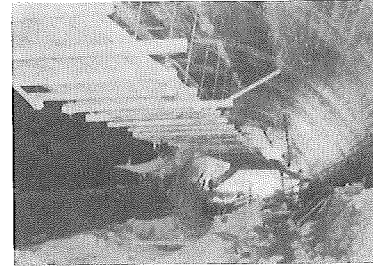
の電柱ほどの支保工が狭いピッチで立て込まれたその間に、木製セントルを組み立てるのですから、人間の出入りすらままならぬ状態の場合もあります。

先日、生野銀山に遊びに行ったとき、狭い坑内でスラッシャー(空圧ウインチ)とスクレーパーでずりを掻き寄せるさまが再現されており、懐かしい機械を見て、当時の上半切り掘げは鉱山掘削とほとんど同じだったのだと感動したものでした。事実私の会社でも閉山になった炭鉱からトンネル技術者として何人も受け入れていました。

話はずれですが、そういった荷重がかかった、悪い条件の場所でのコンクリート打設は、事故が



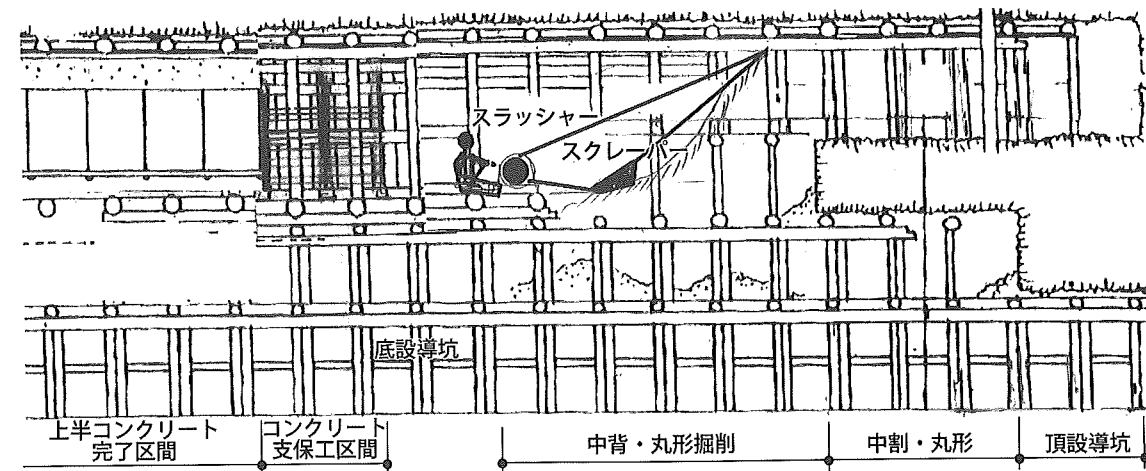
新宇都宮トンネルの丸形切り掘げ



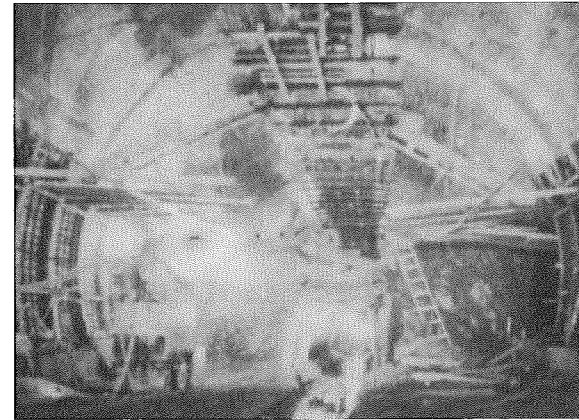
鋼トロ口用 吊り足場



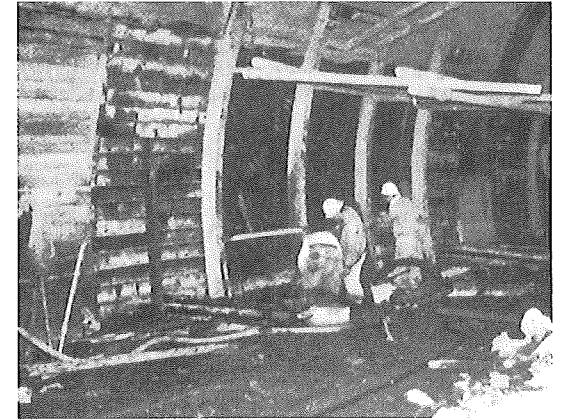
生野銀山の展示スラッシャー



上半支保工・コンクリート・掘削関係概要図



上下断面完成



側壁コンクリート

起こらなかったのが不思議で、セントルに1枚ずつメタルフォームを嵌め込んでコンクリートを流しこんでいたのですが、メタルフォームの嵌め込みで支保工の枝梁が障害になると、それを取り外すいわゆる「木外し」を行って、だんだんと両側均等にコンクリートを打ち上げて行きました。しかし、荷がしっかりとかった枝梁が簡単に外れるはずもなく、また外した瞬間ぐっと緩んだ山が果たして治まってくれるか、それこそ命懸けの作業だったといっても決して大げさではありませんでした。

さすがに昭和38年の頃には上半に鋼製支保工を取り入れ、作業は劇的に楽になりました。しかし、今では導坑程度に使用する150Hの支保工で、地山圧に対抗できず、振れて大きく曲ってしまうものが続出し、すべての鋼製支保工の中間位置に引っ掛かりのアングルを溶接しておき、遣らず丸太を建てこんで対応していました。

私の無知による失敗はたくさんありましたが、それなりに一生懸命勉強し実験も行いました。

今のように火薬の取り扱いが厳しい時代と違って、アンホ爆薬は規制の火薬ではありませんでしたので、火薬代を節約しようと切羽でのアンホ使用を目論見ました。どんどん進行があるときでしたらとても不可能でしたが、山が悪かったのか、多分私たちの掘削技術が下手だったのでしょうか、とにかく進行はあまり出ず、試験は比較的やりやすい状況でした。私が現場で試行錯誤をくり返してアンホを製作し、それでも坑夫に総スカンを食いながら、強引に切羽で何回も実験をくり返しました。

当時使われていた、ビニールのアンコ袋に手製アンホを詰め込んで挿入していましたが、混合割合、詰め込み密度など、試行錯誤をくり返しても辛うじて親ダイが爆発する程度で、それも不発が多く、結局諦めざるを得ませんでした。ただ、どんなに不発が出ても、雷管さえ爆発しておれば、その後の処理も簡単で、安全に作業が進められたのが取り得といえ取り得でした。また金額的にもほとんどタダに近い状態でした。

いつか実際に使用している瀬戸内海の石切り場に見学に行こうと思っているうちに、アンホが爆薬として規制されるようになってしまい、自家製アンホの夢は消えてしまいました。

後日別の現場でアンホを使用する機会がありましたが、やはり餅屋は餅屋、私の品とは雲泥の違いでした。ただ器具が今と同じだったらもっと良い結果が出ていたかも知れないと思っています。

上・下半のコンクリート打設は、鍋トロが吊線足場を走行して流し込んでいました。

単線隧道のような縦長のトンネルでは、この方法は非常に有効で、明治以来脈々と受け継がれてきたものなるほど思われました。しかし、複線道路トンネル程度の幅になりますと、コンクリートをシュートで流せる高さは、上半ではせいぜい下部の1.5m程度までの高さです。当然人力による重労働の跳込み作業になってしまい、なんとかしたいと思って、ポンプをと思ったのですが買って貰えず、コンクリートブレーサーを買って貰いま

した。

後の鋼製支保工区間はうまく行きましたが、木製支保工区間では、障害物で配管が難しく、また打設スパンが短いためのいろいろな問題が発生し、なかなか有効に使用することはできませんでした。

コンクリート打設後にも大きな問題は起こりました。

支保工が変形した箇所では、コンクリート打設後もひび割れの発生が見られたので、予想される場所には鋼製支保工やコンクリートに軸力計を取りつけて計測を行っていました。NATMの御時世の現在では、各種の計測は当たり前ですが、当時では非常に珍しかったと思います。

しかし、コンクリート打設後相当な日数がたっても数値はどんどん上昇して、計算上は許容応力を遥かに超えてしまうことがよくありました。タイガーの手回し計算器があっただけの時代、私達では断面全体の応力解析など到底できず、所長の出身校である京大の先生に解析をお願いしてみたのですが、確たる値は示して貰えず、ただはらはらしているだけでした。

その後背面にセメントミルク注入を行ったのですが、土留め矢板背面の隙間にどんどん入ってその注入量は膨大なものになってしまいました。セメントの入手が難しい時代でしたが、トンネル開通後もその作業は、1年近く続きました。さすがに注入後は、軸力計の数値が上がることはありませんでしたが、今まで下の方に抜けていた水が、今度は全部天井付近に集

まり、その処置が大変でした。

次の六甲山トンネルは昭和40年から始まりましたが、会社もトンネル技術者養成の必要から大勢の若手職員を配属していました。当時社内では、私が一番の経験者になっており、勉強のためにあちこち伝手を求めて他社の現場を見学して回っていた関係で、先生役的な役割を務める結果になりました。そのときの若手職員が皆立派に育ってトンネル現場の所長となり、私の会社のトンネル工事は彼らの力で大いに伸びていきました。

トンネル工事は経験工学といわれていた時代、伝統ある会社や、国鉄、道路公団など、技術者の豊富な組織と違い、経験も技術者もなかった私の会社では、すべてが手探りと苦労の連続でした。先発会社が当たり前としてやっていたことも、現場を見てもらって目から鱗の思いをすることがいくつもありました。

例えば、上半掘削にジャンボなどは使用せず、レグドリル穿孔で核を残しての掘削が普通で、レグドリルの配置に頭を悩ましていたころ、先発会社の現場を見学に行き、鋼製支保工から核部分の格好に合わせたレグドリル足場を吊って、それをスライドさせているいわゆるレグジャンボを見て驚愕したこともありましたが（ただ延長や坑内のいろいろな条件で、私の現場では使う機会はありませんでしたが）。

先発業者だけではなく、地元の小さな業者にも大いに教えられました。山の中の小さなトンネルや

ダム付け替え道路のトンネル坑口など重機が入れないようなトンネル工事では、私などは用地が可能ならば、まず取り付け道路か、または大きなケーブルの設置を考えます。大きなケーブルを張ることは、都会育ちの私には、大段取りに思えたのですが、普段伐採なども手掛けている彼らには全く抵抗感がなく、親亀の上に小亀方式で、立ち木などの簡単なアンカーでまず小さなケーブルを張り、上部に人力でちょっとした足場をこしらえて、小さなコンボを3つくらいに分解して上に揚げて組み立て、足場を拡張して更に大きなケーブルに張替え、結果として大きな重機も山上に揚げてしまうのです。

私もクレーン車などが無い時代、重量物の取り扱いや橋脚の架設などで坊主や二又などを使う薦仕事には経験が多つもりでしたが、山岳地の小さなトンネルでのこの方法には降参してしまいました。この方法は、後日、丸子トンネル立坑掘削時の段取りに大きな参考となりました。

話を戻して、さすがに昭和40年に着手した六甲山トンネルになりますと、掘削段取りでの失敗はなくなりましたが、坑口にコンクリートプラントを設けずに、神戸市内から生コンを1時間半以上かけて運搬していました。このとき初めてコンクリートポンプを使ったのですが、これだけ時間がかかると、夏場ではどうにもならず、すぐにポンプが詰まり、この処置をしている間に時間がたって、遅延剤の効果もなく、何台も並んだ生コン

車のコンクリートを捨ててしまうということがしょっちゅう起こりました。

あまりに勿体ないということで、コンクリートブロックの型枠をたくさん作り、これに廃棄される運命のコンクリートを入れていましたが、ブロック製作の人間を置いているわけでもなく、硬化しかけのコンクリートを職員や手の空いた人間が型枠に詰め込んでいたのですから、長続きするわけもなく、止めてしまいました。

その後、群馬県の水路トンネルに赴任しました。私の会社は関西が本拠地でしたから、東京の機材センターにはトンネル機械など全くありませんでした。まず機械を揃えることから私の仕事始めとなり、在京の会社の機材センターを回ってほしい、機械類を揃えました。しかし坑内の電気機関車だけはどこも空いている手持ちがなく、今だったら許されませんが、やむを得ず、坑内にわが社の明かり用ディーゼル機関車を使用していました。

今まで関西の現場ばかりで、関東のローム層、軽石層の経験は初めてでしたので、やはり面食らいました。関東の方はお笑いでしょうが、最初の失敗が10cmにも達する霜柱でした。坑口までの道路を造るのに毎朝霜柱が立ち、午後にはそれが解けて泥田状態になるので、トラクターショベルで取り除いていましたらどんどん盤が下がってしまい、大量のクラッシャーランを入れて盛土をしなければならなくなってしまいました。この

教訓から、その後のトンネル工事では坑口までは多少金がかかっても、全部コンクリートやアスファルトで舗装する方が、遥かに後々の工事が楽になることを学び、仮設工事に惜しみなく金を使えるようになりました。

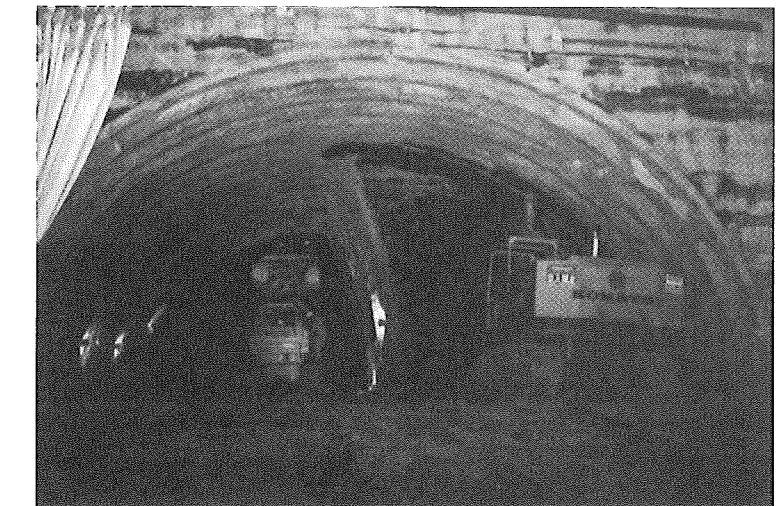
また、地質調査も満足にされていない小断面の長い水路トンネルで掘り始めて間もなく、最初の帯水軽石層の洗礼を受けました。大きな断面でしたら足首にもならない水でしょうが、小断面の水路トンネルですので、あっという間に腰くらいの水が押し寄せて切羽の人間が流されました。幸いまだ坑口が近かったので大事には至りませんでした。その後は先行ボーリングと水平ウェルポイントのくり返しでした。

その後いくつかのトンネル工事や道路工事を担当し、その間に大阪の私鉄営業線付け替え工事を3か所、東京の地下鉄工事を担当して、一時は鉄道屋に鞍替えかと思ったのですが、昭和59年、静岡の国

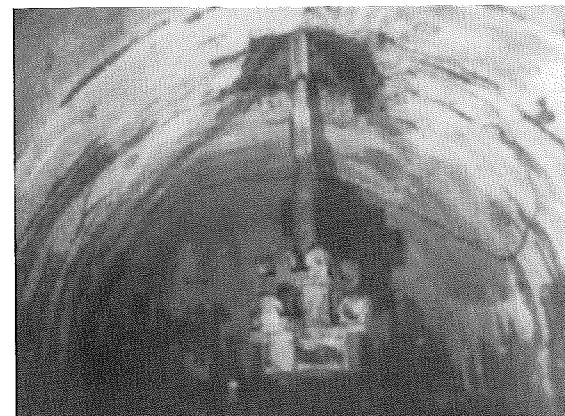
道1号線バイパス、丸子トンネルに着任しました。

昔訪問した静岡国道の担当工事で、中部地建にとっても私自身にとっても初めてのNATM工事でもあり、監督官とともに、各地の見学や、近くにありました建設機械化協会、後輩が在籍していました。筑波の土木研究所などに何回も通い、教えを受けました。この頃には昔と違って、図太くなっていたのか、同業者にも平気で教えを受けることができるようになっていました。

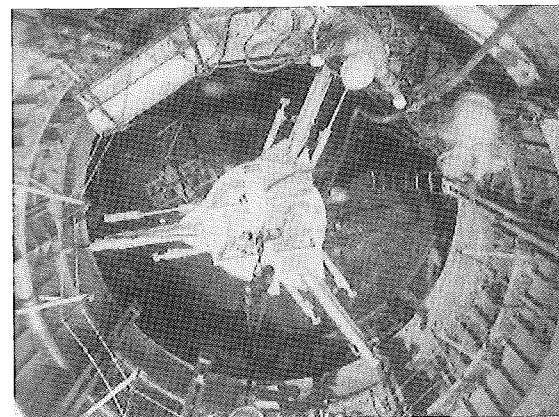
このトンネルには仕上がりφ5.6m、深さ90mの換気立坑があったのですが、これについても私は初めての経験でした。幸いJVを組みました三井建設が、立坑では日本のトップクラスの業者でしたので、当時秋葉原にありました社屋に何回も通い教えを受けました。トンネル後発会社のせいもあり、臆面もなく教えを受けに訪問し、現場見学をくり返したことが、私の仕事に大いに役立ったのだと思っ



丸子トンネル西坑口(中壁工法)



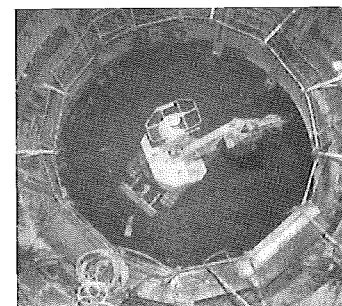
丸子トンネル立坑 堅坑導坑リーミング掘削



丸子トンネル立坑 堅坑アンブレラジャンボ



高圧電気集塵機



堅坑ずりを導坑に投入

ています。

この現場でも何か新しい試みをしたと、機材センターで試作した高圧電流による集塵機を実験してみました。集塵性を上げるためには坑内の粉塵を含んだ空気がどれだけ有効に集塵機を通過するかが課題であり、機械の空気吸い込み口に大きな扇形の物を取りつけてみたり、置場を変えてみたり、機械周辺の坑内の空気の移動状況を線香やローソクなどを立てて観測したりなど、試行錯誤をくり返しました。結果はトンネル断面を上下2段に分離するのが一番効率的だとわかったのですが、上半掘削断面での実際の設置は困難で、既存の強力な送風機を使用する方がより効果的でした。実験の狙い

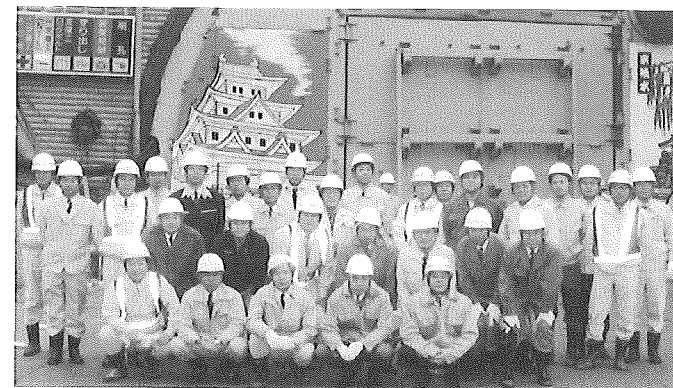
は、切羽近くに設置して、風管で外部に排出することなく、発破による有毒ガスや粉塵をその場で取っ てしまおうということだったので、機械周辺に強力な静電気が発生して、発破の安全上、あまり切羽の近くに置くことができないという想定していなかった事態が発生し、好結果は得られずに実験を終了してしまいました。

その後、いくつかのトンネルを工事部長として担当したのち、本社に入って、全国のトンネル現場を見る立場になり、各種委員会にも出席するようになりました。

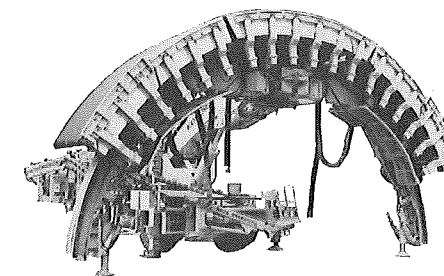
私の最後の実験は、本社に入った後、NTL(New Tunnel Lining)委員会に参加し、粉塵対策のための吹付け工法に替わる一次覆工機械

の開発でした。いろいろ社内での抵抗はありましたが、実際に2億円近い金をかけて、NTL機を製作しました。社内の機材センターで実験をくり返した後、道路公団四国松山道の早川トンネルの部分的な区間での実証工事、東海北陸道の小瀬子トンネルでは全区間617mの実証実験工事を行いました。

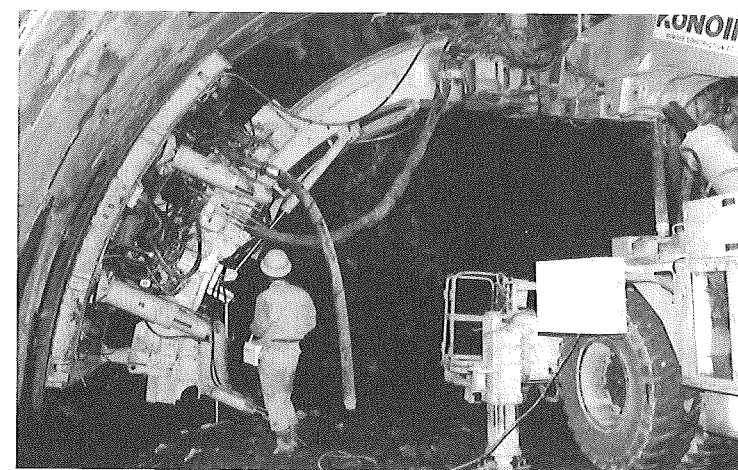
機械的には、それなりの成果を収めたと自負しているのですが、いかんせん、セメント会社での急結材の開発が思うにまかせず、硬化時間を使用水の温度で管理するために夏場には強力な水冷却装置を設置するなどいろいろ試みましたが、残念ながら従来の吹付け機に取って替わることはできませんでした。



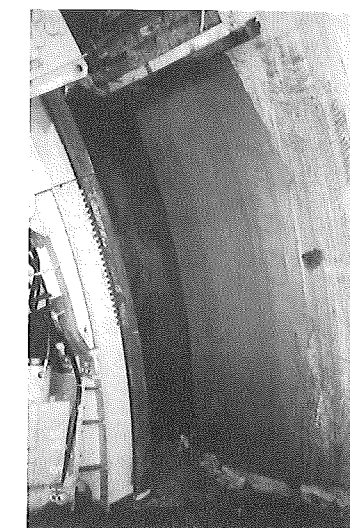
NTL委員会



NTL機



NTL 切羽での作業状況



NTL 側壁打設面(型枠が上昇しながらの一次コンクリート打設および打設面)

その後65歳で長らく勤めていた会社を退職して下請けのトンネル会社に3年間勤めた後はトンネルとは全く無関係な生活を送り、学生時代からの山登りに熱中して現在に至っています。

この原稿を書くにあたって気が付いたことは、昔の現場写真が非常に少ないことです。黒板に寸法を書き入れた工事監理写真しか撮っておらず、これは全部捨ててしまっていました。全体の風景や工事状況といった写真がほとんどなく、

いろいろ思いだそうとしたのですが、いくつかの現場は全く思いだすこともできません。

昔、藤枝工事事務所を訪問した当時には、施工管理写真的不是なものではなく、すべて状況写真ばかりで、後々見ても非常にわかりやすいものでした。

デジタル写真の現在では昔のように毎月何万円とかかる写真代に気兼ねする心配もないので、工事監理写真だけでなく、風景的な状況写真も大いに撮っておくことを

お勧めします。

私の場合、トンネルだけではなく、広い範囲の工事を体験することができたお陰で、いわゆるトンネル屋的な考えからも離れて、物を見ることができたこと、人に教えを乞うのがわりかた平気だったこと、それに加えて創意工夫の好きな優秀な部下がいて、それに触発されて仕事を進めたこと、などのお陰で最後まで職務を全うできたのだと感謝しています。

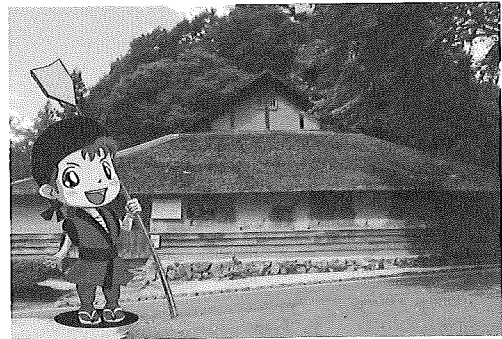


「神話とたたらのみち」雲南市吉田町より

安野雅志

当現場、川尻トンネルのある雲南市は、平成16年11月に、雲南地区の6町村(大東町、加茂町、木次町、三刀屋町、掛合町、吉田村)が合併して誕生した人口42,000人の市である。当地名は旧出雲国の南部地域に位置することに由来する。昔、国語の授業で習った10月の呼び名である「神無月」とは、八百よらずの神々がこの地方にある出雲大社へ集まるため、神々が留守になることから全国的にそう呼ばれているが、神話のふるさとである出雲地方ではその逆で、10月に神々がこの地域へ集まってくることから「神在月」(神有月)と呼ばれている。なぜ出雲に、なんのために集まるのか? 『日本書紀』によると、大国主大神が天照に国譲りをしたのち、「今後、私は幽れたる神事を治めます」と言ったとされる。「幽れたる神事」とは、目には見えない縁を結ぶことであり、このことから大国主が「幽れたる神事」について全国から神々を迎えて会議をするのだという信仰が生まれたと考えられている。われわれトンネル現場の仲間たちは、(目には見えない縁で)全国各地から集まってきてトンネルを納め、散っていく。だれしも思いがけない、不思議な巡りあわせを感じる。また、この地方は、歴史が古いことから非常に読みかたが難しい地名が数多くあり、例えば、岩ノリで有名な十六島[うぶるい](※私のパソコンではこのように打つとちゃんと変換できた)、出雲郷[あだかえ]などがある。

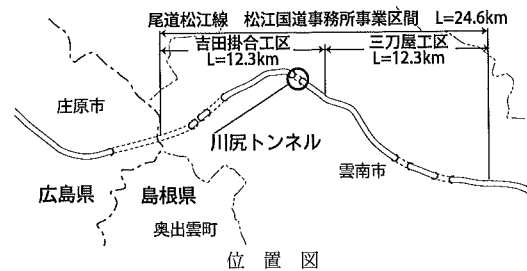
本トンネルは雲南市の吉田町に位置する。その吉田で「たたら」という言葉を見聞きするが、みなさんどこかで聞いたことがないだろうか? そうです。公開年にさまざまな記録を打ち立て、日本映画史上に残る名作として大ヒットした『もののけ姫』に「たたら」



「たたらくん」と菅谷高殿(大正10年まで操業していた)

の名が何度も登場しているのである。この映画で人間が作業する場所を「たたら場」と呼んでいるが、当時の日本の鉄文化を支えていたのがこの地域である。映画では、吉田町の菅谷高殿が「たたら場」のモデルとなっている。「たたら」というのは日本古来の製鉄法のこと、良質の砂鉄と大量の木炭を使って作られる。この地方では6世紀ごろからこの「たたら製鉄」が行われてきた。江戸時代の後半には日本の鉄生産量の約8割以上を占めていたと言われている。ちなみに、尾道・松江自動車道では「たたらくん」をイメージキャラクターとして採用している。

工事は、トンネル延長約425m、補助工法を採用しながら7月末に無事貫通した。平成22年8月末現在では、覆工を約250m終え、最終コンクリートを11月の初旬に予定しているところである。今年、異常に暑い夏であり、報道でもあるように熱中症が頻発している。一見、トンネルといえば日の当たらない坑内作業で、熱中症には無縁であるように思われるが、覆工コンクリートの打設は、高温多湿のなかでの作業であり、熱中症の危険度の高い作業である。もしかしたら昔の「たたら場」で働いていた方は、これ以上の想像を絶するような過酷な環境での鉄を作っていたのではないだろうか? この暑い夏、熱中症対策に万全を期し、今後も、発注者、各関係機関の御指導と地元の御理解と御協力を賜りながら、職員・作業員一同、同じベクトルに向かって努力していく所存である。(東急建設(株)川尻トンネル作業所所長)



施工

コンパクトシールド工法による効率的な下水道整備

—東京都下水道 第二谷田川幹線—

東京都下水道局基幹施設再構築事務所工事第一課長 伊藤 雄二
清水建設(株)土木東京支店土木第三部工事長 斧 申二

1 はじめに

東京都下水道局は安全、安心で快適な都市生活を支えるためさまざまな事業を進めているが、その中で浸水対策事業は重要事業の一つである。現在、浸水被害軽減のための、幹線やポンプ所などの基幹施設の建設に鋭意努めているところである。

本稿で紹介する第二谷田川幹線は東京都豊島区の一部と北区の一部の浸水対策として、既設の谷田川幹線の能力不足を補うため整備するものである。第二谷田川幹線工事は、既設下水幹線の下、土かぶり約10~12mの位置に雨水幹線として、仕上がり内径2.6mの円形管の第二谷田川幹線を構築するもので、コンパクトシールド工法(溝付き二次覆工一体型セグメント使用)を採用した工事である。

2 工事概要

2-1 工事概要

工事件名：第二谷田川幹線工事、第二谷田川幹線その2工事
工事場所：東京都北区中里一丁目、田端一~四丁目、文京区千駄木四丁目、荒川区

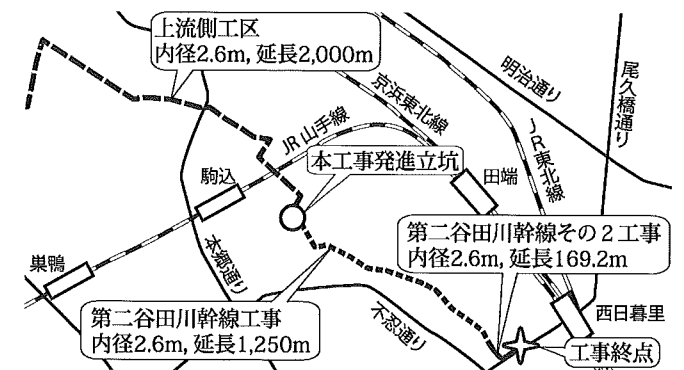


図-1 全体平面図

西日暮里四丁目、台東区谷中三丁目
工期：平成20年3月21日~平成22年6月3日
発注者：東京都下水道局
施工者：清水建設(株)

2-2 工事内容

本工事は、第二谷田川幹線の延長4,650mのうち、上流側工区の施工完了後、下流側の1,420mを施工した。図-1に全体平面図を示す。

当工区は、上流側の工区で使用した到達立坑を、所定の深度まで追加掘削して発進立坑として使用した。なお、当工区で使用したコンパクトシールドおよび後続台車は、上流側の工区で使用したものを整備、転用した。写真-1にコンパクトシールド

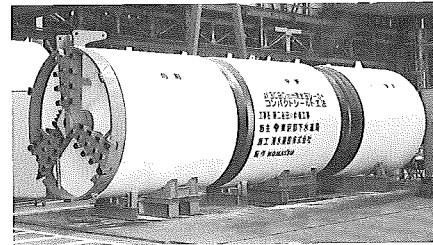


写真-1 コンパクトシールド

表-1 工事内容

延長	1,419.2m
工法	泥土圧式シールド工法 (コンパクトシールド工法)
土かぶり	10~12m
線形およびセグメントの配置	RCセグメント部 直線, R=100m, 200m, 250m 鋼製セグメント部 R=15m, 19m, 30m, 40m
縦断勾配	-1.5‰
シールド外径	φ3,090mm(掘削外径3,120mm)
仕上がり内径	φ2,600mm
RCセグメント	4分割3ヒンジセグメント 外径2,950mm 幅1,000mm
鋼製セグメント	5分割セグメント 外径2,950mm 幅300mm(R=30m) 外径2,900mm 幅300mm(R=15, 19m) 外径2,950mm 幅500mm(R=40m)

ドを、表-1にシールド施工に関する工事内容を示す。

3 地質概要

図-2に地質縦断図を示す。施工地域付近の台地の地質は、地表面より第四紀更新世の関東ローム層、段丘礫層、東京層群、上総層群で構成されている。シールドトンネル位置の地質は、途中N値30程度の砂質土が出現する箇所があったが、おおむねN値15程度の安定した東京層群の粘性土であった。地下水位はGL-2.0m程度で、これによる切羽静水圧は0.05~0.09MPaであった。

4 コンパクトシールド工法の特徴^{1),2)}

4-1 工法の概要

コンパクトシールド工法は、標準シールド工法

層序表				
時代	地層名	層相	記号	N値の範囲(平均)
現世	埋土層	埋土	B	1~3(1.8)
	沖積層	粘性土	Ac	0~2(0.6)
第四紀	段丘礫層	礫質土	Tg	3~21(10.2)
		第一砂質土	Tos1	6~50(19.7)
	東京層群	粘性土	Toc	5~19(10.9)
		第二砂質土	Tos2	26~50(34.5)
	東京礫層	礫質土	Tog	45~50以上(49.7)
下総層群	江戸川層	砂質土	Eds	39~50以上(48.9)

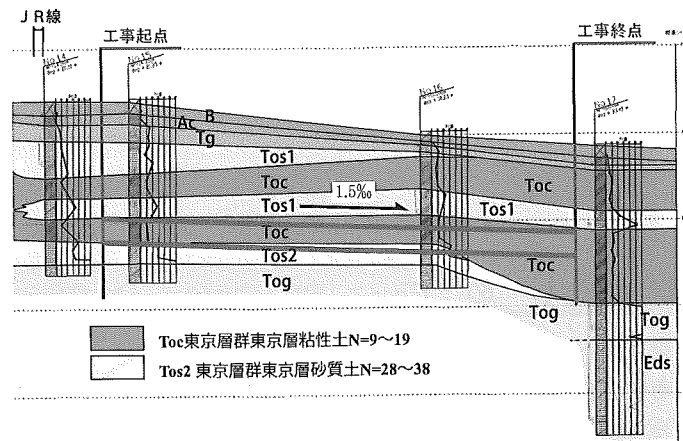


図-2 地質縦断図

における一層の合理化、および環境負荷の低減を図ることを目的として開発されたものである。主要枝線整備に適した新工法を開発するにあたり、「コスト低減」「工期短縮」「施工環境の多様化への対応」「環境負荷の低減」「維持管理の効率化」といった課題を設け、課題解決に向け、4分割3ヒンジ構造の溝付きインバート二次覆工一体型セグメント、後方設備内包型3分割シールドおよびガイドローラ付きタイヤ式無操舵搬送システムを使用する「コンパクトシールド工法」が開発された。本工法については既往の報告などがあるが、本章で再度述べる。

4-2 特徴

コンパクトシールド工法の特徴を以下に示す。

4-2-1 4分割3ヒンジ構造の溝付きインバート二次覆工一体型セグメント

図-3にセグメントの概略図を示す。

- ① 分割数を4分割として1剛結継手と3ヒンジ構造にすることにより、安定性の高い円形

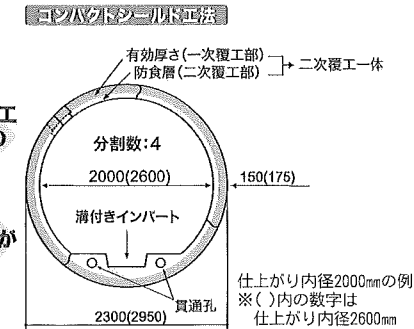
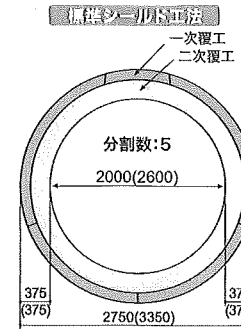
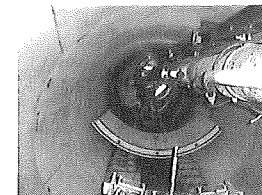
の静定構造物を実現し、従来の継手に要する費用を削減する。分割数を少なくすることでセグメント組立て時間を短縮する。

- ② リング継手はピン挿入式継手を標準とし、リング継手、セグメント継手ともボルトを使用しないため、ボルトボックス充填などの後

溝付き二次覆工一体型セグメント

二次覆工工程の省略

溝付きインバート二次覆工一体型セグメントで二次覆工工程を省略。



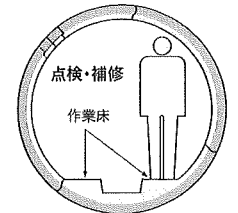
セグメントの種類

セグメントを4種類とし、規格化を図った。

仕上がり内径 (mm)	1,800	2,000	2,400	2,600
セグメント外径 (mm)	2,100	2,300	2,700	2,950
セグメント厚さ (mm)	150		175	
セグメントの幅 (mm)	1,000			

維持管理の効率化

平坦なインバート部の活用により維持管理を効率化できる。



4分割3ヒンジ構造

3ヒンジ静定構造

4か所のセグメント継手のうち、3か所をヒンジ、1か所を剛結とすることで、3ヒンジ静定構造として安定性の高いリング構造となる。

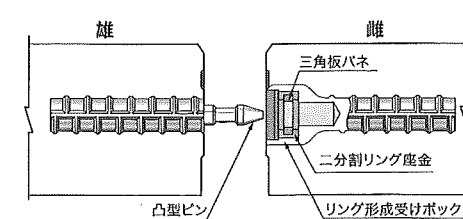
分割数の削減

従来5分割だった分割数を4分割とすることにより、セグメント組み立て時間を短縮。

リング継手

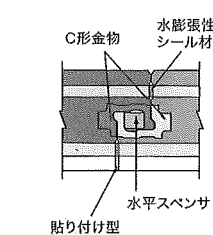
リング継手は挿入式継手を標準とする。

▼挿入式継手(例)



剛結部 嵌合継手

▼嵌合継手(例)
C形金物と水平スベンサを組み合わせて締結する方式。



ヒンジ部 ナックル継手

凸凹のナックル形式の突き合わせによる方式。

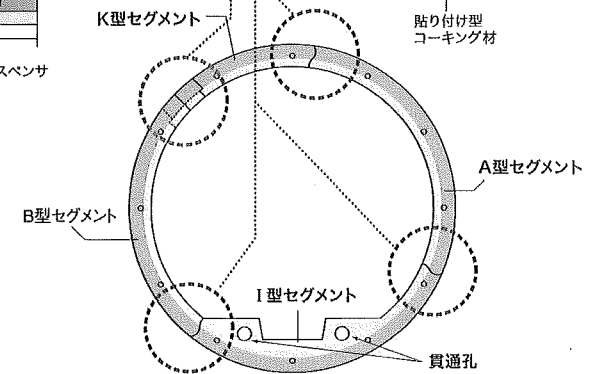
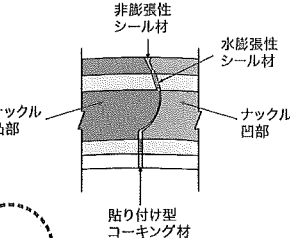


図-3 セグメント概略図¹⁾

施工が不要である。

③ 維持管理の効率化が可能
なインバートをセグメント
と一体化することで、後工
程を省略できる。また、タ
イヤ式の無操舵搬送システ
ムがインバート上を走行す
ることで、坑内の軌条設備
が不要となる。

4-2-2 後方設備内包型 3分割
シールド

図-4に3分割したコンパクトシールドの概要図
を示す。

- ① シールド内に後方設備(運転台車, パワ
ーユニット台車, オイルタンク台車)を内包し
ているので, 坑内空間を最大限に活用するこ
とができ, 通常より大きな寸法のセグメント
の搬送が可能である。
- ② 従来のような後方設備がないため, 初期掘
進長を短くできる。
- ③ シールドを3分割し, 分割されたシールド
を地山に挿入できるので, 立坑内空寸法を小
さくできる。
- ④ シールドを分割化するため, 回収しやすく
転用を図りやすい。

4-2-3 ガイドローラ付きタイヤ式無操舵搬送シ
ステム

写真-2にタイヤ式無操舵搬送システム, 写真-3
に坑内搬送状況を示す。

- ① 軌条設備(レール, 枕木など)の搬出入, 設
置解体の手間が不要になり, 工程の短縮, 工
期の低減が図れる。
- ② インバート溝部のガイドにより, 運搬の安
全性が高くなる。

4-2-4 その他の特長

(1) 内容寸法の規格化

トンネル内径の寸法を規格化(仕上がり内径
1,800mm, 2,000mm, 2,400mm, 2,600mmの4規格)す
ることで, シールド, 後方設備, タイヤ搬送シス
テム, およびRCセグメントの型枠の転用が図れ

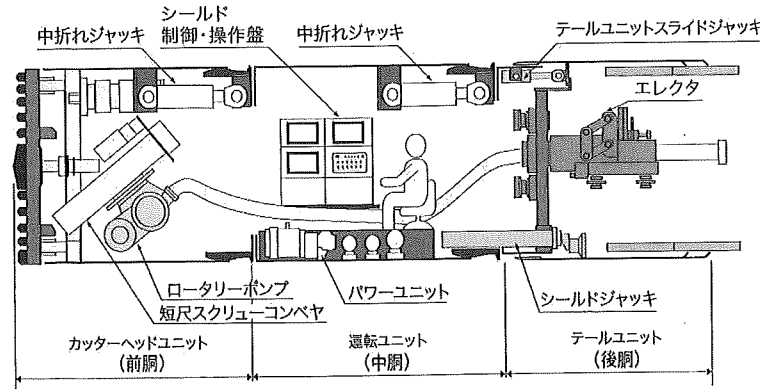


図-4 コンパクトシールド概要図¹⁾

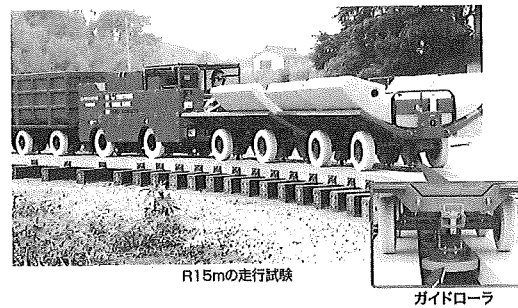


写真-2 タイヤ式無操舵搬送システム¹⁾

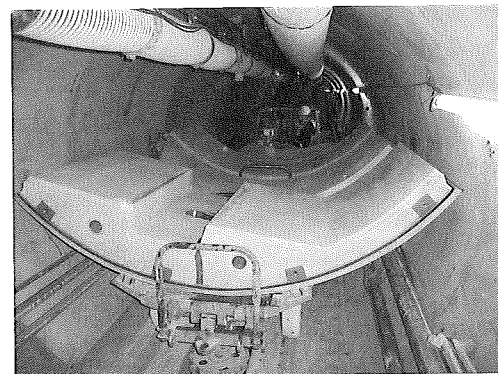


写真-3 坑内搬送状況

る。

(2) セグメント切羽供給方法

図-5にセグメント供給システムを示す。セグ
メントはタイヤ式無操舵システムで後方台車まで搬
送し, 切羽までは, 後方台車およびインバート上
に設置されたローラーの上を人力で移動させる
(写真-4)。後方台車からインバートへのセグメン
ト移動には, 油圧で昇降するセグメントリフター
を使用して行う。

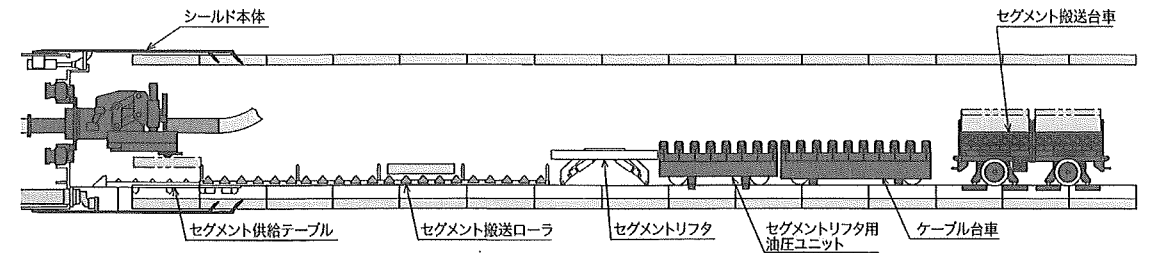


図-5 セグメント供給システム¹⁾

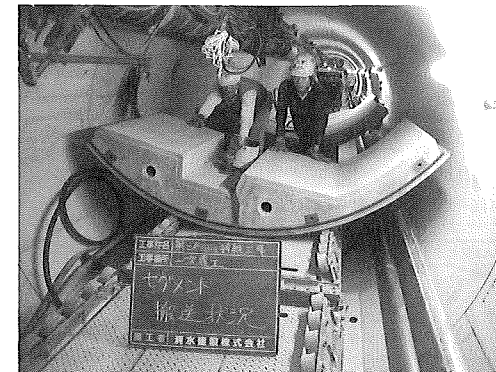


写真-4 セグメント供給状況

表-2 セグメント諸元

セグメント外径	φ2,950mm	
仕上がり内径	φ2,600mm	
厚さ	175mm	
有効厚さ	125mm	
防食層厚さ	50mm	
セグメント幅	1,000mm	
セグメント分割数	4分割	
挿入方式	軸方向挿入	
セグメント継手 (C型)	C型嵌合継手(剛結部)	1か所/R
	ヒンジ継手	3か所/R

5 コンパクトシールド工
法の本工事への適用

5-1 RCセグメント(4分割3ヒ
ンジ構造の溝付きインバート
二次覆工一体型)

当工区に使用したRCセグメントの
諸元を表-2に, RCセグメント一般図
を図-6に示す。

RCセグメントの特徴を以下に示す。

- ① インバート付きのため, 甲組,
乙組の両方のセグメント型枠が必要となる。
- ② セグメント単価の圧縮のため,
テーパセグメント用型枠は甲組のみである
(乙組型枠にテーパはない)。

5-2 鋼製セグメント

鋼製セグメントは曲線半径が40m以下の箇所
に使用した。従来と異なる点は, 組立て後にタイ
ヤ搬送システム運行のためにインバートブロックを
別途施工する点である。

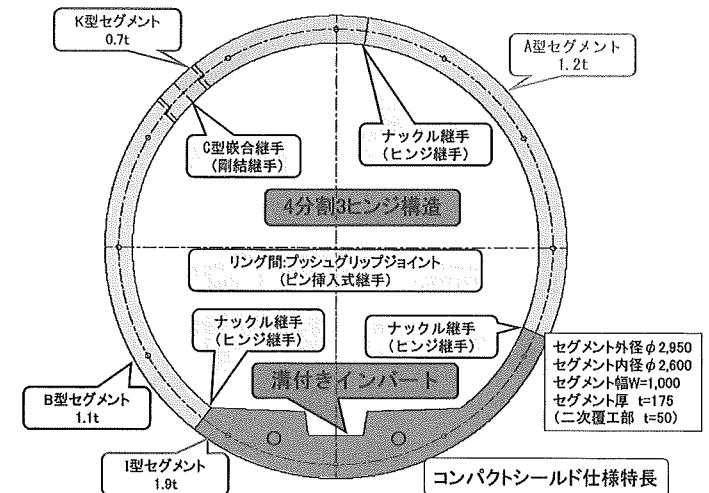


図-6 RCセグメント一般図

表-3に鋼製セグメントの諸元, 図-7に鋼製セ
グメント一般図を示す。

5-3 シールド

表-4にコンパクトシールドの諸元, 図-8にコン
パクトシールドを示す。

シールドの特徴を以下に示す。

- ① シールドは上流側の他社施工で使用した機

表-3 鋼製セグメント諸元

曲線半径(m)	15	19	30	40
セグメント外径(mm)	2,900		2,950	
セグメント内径(mm)	2,750			
セグメント高さ(mm)	75	100		
主桁高さ(mm)	72	97		
スキムプレート厚さ(mm)	3			
セグメント幅(mm)	300		500	
セグメント分割数	5分割			
挿入方式	軸方向挿入			
継手方式	ボルト継手(ピース間, リング間)			
テーパ量(mm)	両74	両60	両48	両50
S(標準):T(テーパ)	1:4	1:4	1:4	1:2

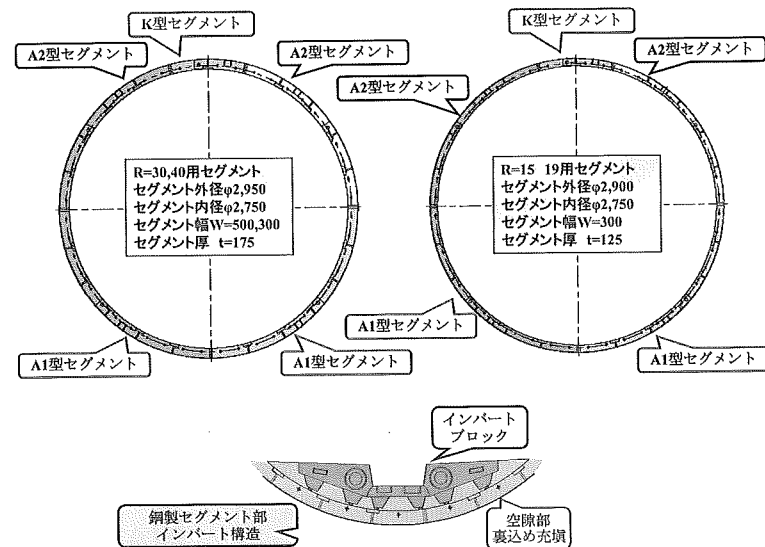


図-7 鋼製セグメント一般図

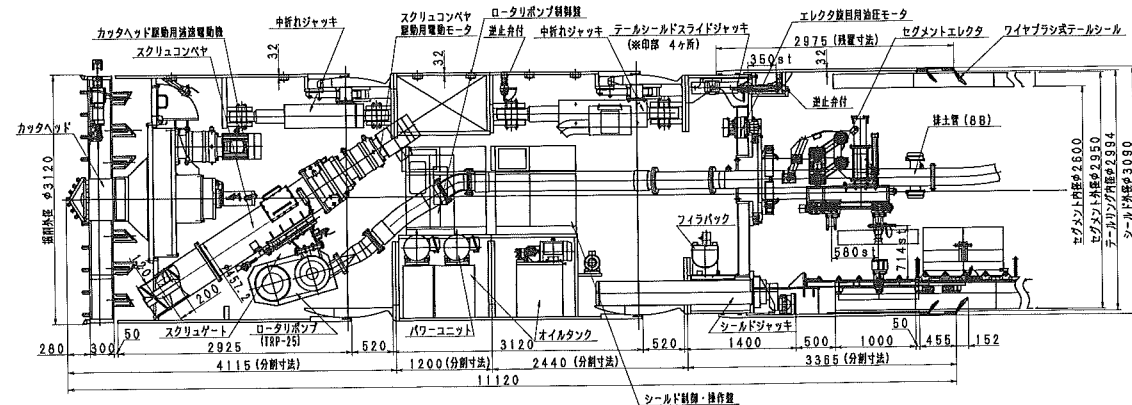


図-8 コンパクトシールド

械を修繕・整備して使用した。

- ② 運転台車, パワーユニット台車, オイルタンク台車をシールドの中胴部に内包し, 小規模立坑でも分割発進が可能な3分割構造にした。
- ③ 350mmスライド可能なテールスライド機構を装備し, 急曲線施工時(曲線半径R=20m未満)に機長を短くすることができる構造にした。

5-4 ガイドローラ付きタイヤ式無操舵搬送システムおよび後方台車

表-5にタイヤ式無操舵搬送システム, 表-6に後方台車の諸元, 図-9にタイヤ式無操舵搬送システム, 図-10に後方台車を示す。

それぞれの特徴を以下に示す。

- ① 上流側工区で使用した機械を修繕・整備して使用した。
- ② タイヤ式搬送システムのタイヤは安全性確保とセグメントの汚れ防止を目的としてノーパンクホワイトタイヤを使用した。
- ③ 後方台車上をセグメントの搬送が可能となるように, 後方台車の形状は, 従来シールド工法の縦型ではなく横型とした。

表-4 コンパクトシールド諸元

シールド工法	泥土圧式シールド工法
シールド外径	φ3,090mm
機長	11,120mm
分割数	3分割
テールシールド	ワイヤブラシ式2段
シールドジャッキ	1,225kN×8本, 総推力10,000kN
中折れジャッキ(2段)	1,470kN×6本×2段
テールスライドジャッキ	214kN×4本
カッターヘッド	センターシャフト支持 スポーク3本, 開口率62% 電動駆動 15kW×6台 回転速度 1.5rpm トルク 535kNm(α=18) α:トルク係数
コピーカッター	118kN×210mm, 2基(1基は予備)
スクリュウコンベヤ	軸付きショートタイプ φ415mm 最大24.6m³/h 軸端駆動方式 回転速度 最大8.4rpm トルク 常用最大16.8kNm
ロータリーポンプ	TRP-25 吐出量 最大24.0m³/h
中折れ装置2段	左右 14.5度
前胴・後胴とも	上下 1.0度(左右7度以上:0.5度)

表-5 タイヤ式無操舵搬送システム諸元

○ガイドローラ付きタイヤ式無操舵搬送システム	
動力台車	1台 最高速度:10km/h 最大牽引力:2,200kg 最大登坂力:3% 最小曲線半径:R=15m 制動距離:2m(5km/h時) 車両重量:3,200kg ステアリング方式:車軸回転式 車軸前後水平ガイドローラ制御
セグメント台車	2台 最大積載量:1,700kg
土砂搬送台車	5台 最大積載量:常用2.0m³ 最大2.2m³

表-6 後方台車諸元

セグメントリフター	1台
油圧ユニット台車	1台(セグメントリフター用)
トランス台車	1台
高圧ケーブル台車	1台
計装ケーブル台車	1台

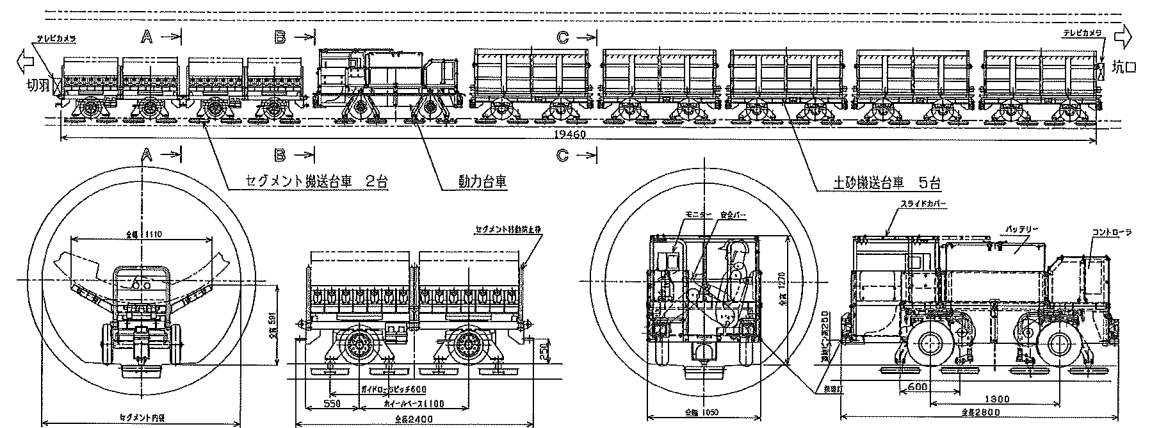


図-9 動力台車

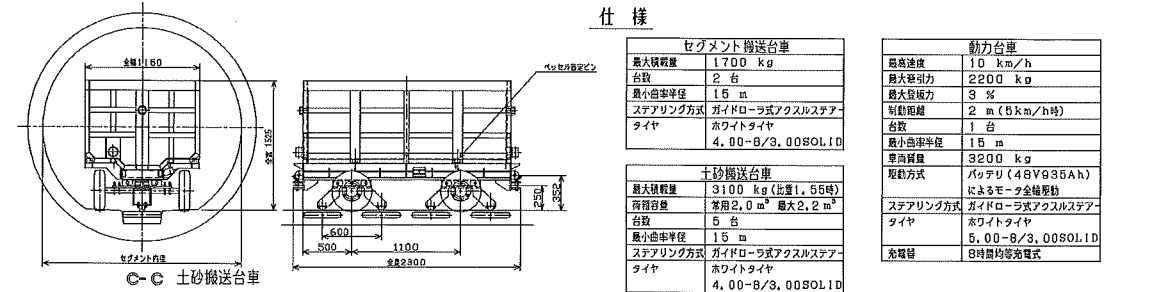


図-9 ガイドローラ付きタイヤ式無操舵搬送システム

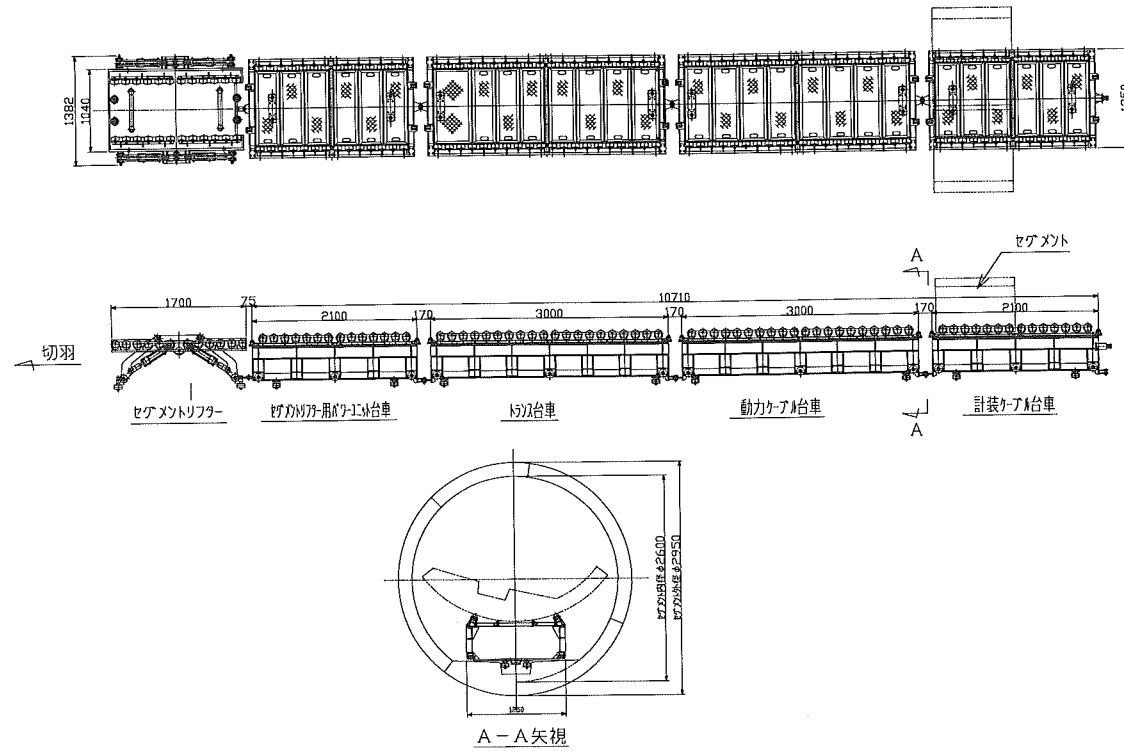


図-10 後方台車

6 施 工

6-1 シールド投入組立て・仮掘進工

コンパクトシールド工法で標準のセンターホールジャッキ式移動式バックアンカーを使用した分割発進で、狭小な内径8.0mの円形立坑から発進した。

施工手順を以下に示す。

- ① シールド前胴部投入組立て
- ② シールド中胴部(運転席, 油圧ユニット装備)地上組立て
- ③ 移動式バックアンカーを設置(図-11, 写真-5)
- ④ 鏡切(SMW(H-175×350)の撤去)
- ⑤ 前胴掘進(センターホールジャッキ(50t×8台)使用)(図-12, 写真-6)
- ⑥ シールド中胴部投入組立て
- ⑦ 中胴掘進(前胴と同様)
- ⑧ シールド後胴部投入組立て
- ⑨ 仮セグメント組立て

- ⑩ 後胴掘進(前胴・中胴と同様)
- ⑪ 初期掘進 3m, 坑口裏込め注入
- ⑫ センターホールジャッキ解体(反力部材は初期掘進用に残置)

6-2 初期掘進工

初期掘進の掘進長には、後方台車5台を坑内に収容でき、タイヤ搬送システムで掘削土砂の搬出可能な46mが必要だが、余裕を含めて掘進長58mとした。

6-3 本掘進工

6-3-1 掘 進

土質は、N値10~20の安定した東京層群の粘性土が主体で、途中砂質土が混在していた。掘進速度は45~48mm/分程度であった。

推力は、直線部では2,000~3,000kNで装備能力の20~30%であったが、曲線部では4,000kNを超えるときもあった。

6-3-2 掘削土の搬出

排土は、シールド前胴部のスクリュコンベヤとロータリポンプにより、排泥管(200mm)内を38.5

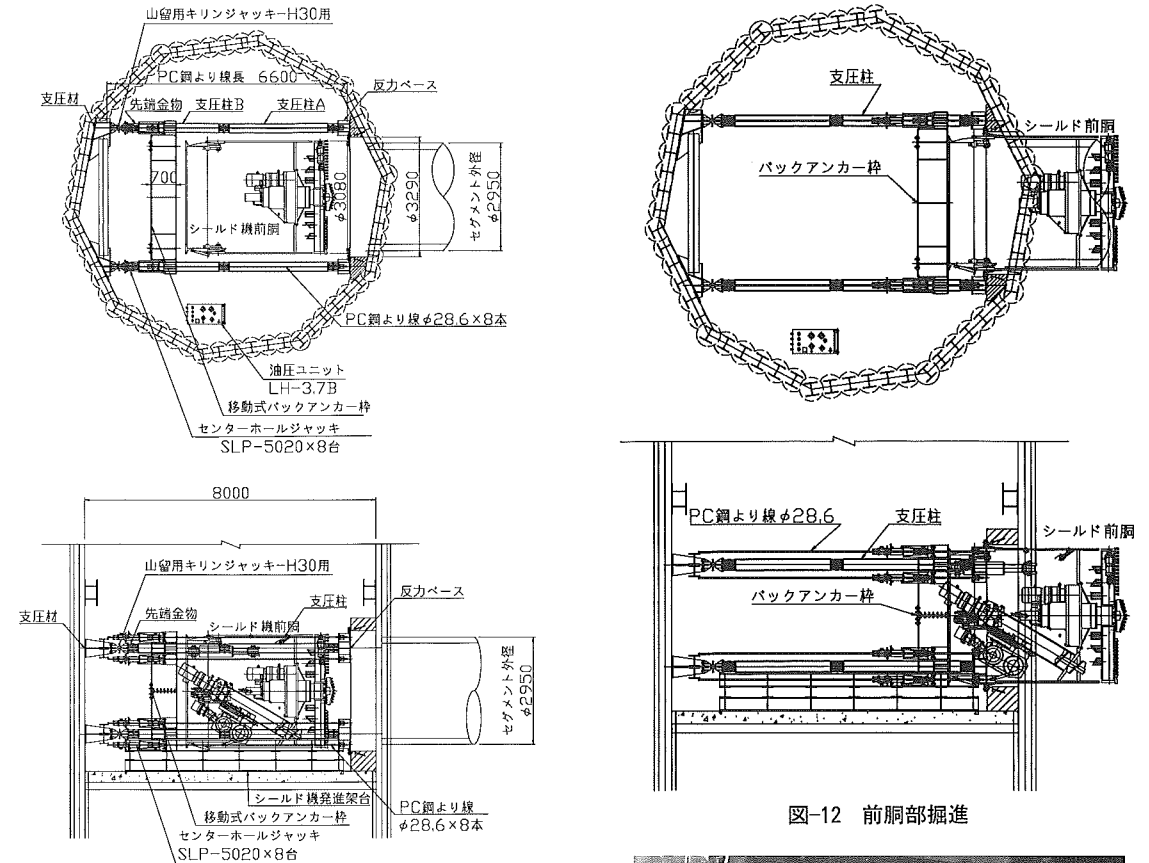


図-11 移動式バックアンカー組立て

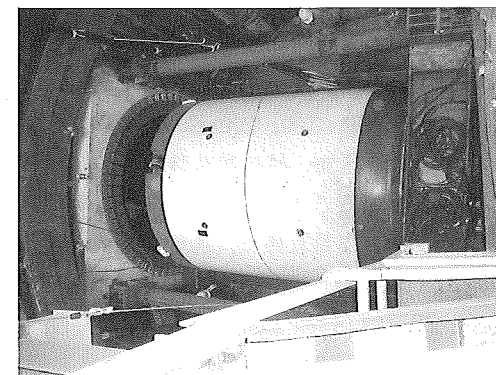


写真-5 前胴投入, バックアンカー設置

m(シールド内7.5m含む)圧送し、土砂運搬台車に積みこむ方式で行った。

土砂搬出台車は、走行タイヤ部と上部のずり函とを切り離すことができる上下セパレートタイプになっており、これにより上部のずり函のみを地上にあげ、土砂ピットに転倒させる方式とした。

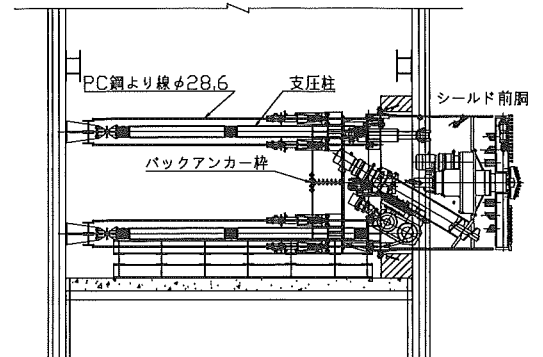


図-12 前胴部掘進

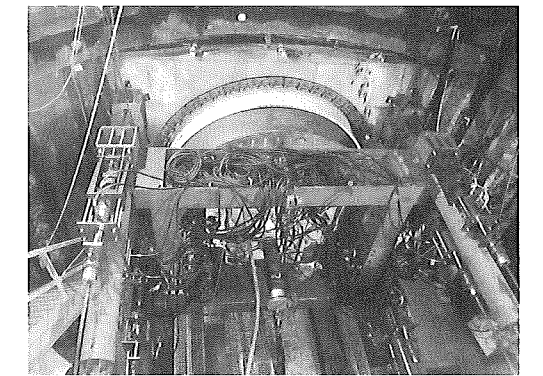


写真-6 前胴部掘進

6-3-3 セグメントの組立て

(1) RCセグメント

セグメント搬送方法は、後方台車まで動力台車とセグメント搬送台車で運搬し、1ピースずつ後方台車のローラ上を手押しで移動し、上下方向のセグメントリフターによる移動以外は、人力で切羽まで移動した。

セグメントの組立ては、I型セグメント(イン



写真-7 インバートブロック設置状況

パート付き), B型セグメント, A型セグメント, K型セグメントの順に行った。リング継手がピン型挿入継手のため, 既設のセグメントの差し込み部に位置合わせを行い, 面向き(ピッチング)に注意しながら, セグメント継手(ヒンジ継手)に目違い, 目開きがが生じないように組み立てた。組立ての所要時間は, 約20分であった。

(2) 鋼製セグメント+インバートブロック

鋼製セグメント組立て後に, 後方台車, タイヤ搬送システムが走行できるようにインバートを設置する必要がある。施工方法は, 鋼製セグメントにフラットバーを溶接し, その上に二次製品のブロックを設置した後, セグメントとの空隙に裏込め材(シールド用)を流し込み固定した(写真-7)。

6-4 施工サイクルタイム

1,000m付近でのRCセグメント施工時のサイクルタイムを表-7に示す。

切羽では, 従来シールド工法のように軌条設置が必要ないため, セグメント組立て完了後の作業がなく, 土砂搬出台車が戻ってくるのを待つ状態となる。よって, サイクルタイムの短縮は, 立坑での土砂搬出台車, セグメント台車の取り回し作業時間をいかに短縮することが重要なポイントになる。コンパクトシールドの特徴の一つに, シールド3分割掘進により従来のシールド工法より小さい立坑での施工が可能とあるが, 日々の掘進量を伸ばすためには, 本掘進時における立坑での台車取り回し方法などの検討を含めて, 立坑寸法を検討する必要がある。

表-7 RCセグメントのサイクルタイム

シールド掘進	22分 (45mm/分)		
土砂搬出台車 復路	10分 (1,000m/6 km/h)	セグメント組立て	20分
土砂揚重 (5函)	35分	セグメント移動	5分
土砂搬出台車 往路	10分 (1,000m/6 km/h)		
計	77分		

7 施工管理

7-1 RCセグメントの線形管理(組立てパターン)

表-8に当工区の平面線形の代表的な諸元およびセグメントの組立てパターンを示す。

RCセグメントの組立てにおける特徴を以下に示す。

- ① 継手位置が同一直線上にそろわないように, 甲組と乙組のセグメントを交互に組む必要がある。
- ② テーパーセグメント(蛇行修正用を含む)は甲組だけである。
- ③ インバートがあるため, 従来のようにセグメントリングを回転させることで, テーパー量の最大位置を変えることはできない。
- ④ 曲線半径R=100, 200mにおいて標準セグメント(S)とテーパーセグメント(T)の組立て比率は1対1である。

以上の制約があるために, 曲線長が83.9mであるR=100m曲線部においては, 84リングもの間, TとSを交互に, テーパーの最大(角度)も同じ位置で組み続けなければならない。よって, この間におけるシールドの線形管理が非常に重要となる。

表-8 セグメントの組立てパターン

線形	箇所数	最大カーブ長	テーパー量	S:T
R=100m	5 箇所	83.9m	両60mm	1:1
R=200m	2 箇所	36.0m	片30mm	1:1
R=250m	1 箇所	45.8m	片30mm	3:2

注)Sは標準セグメント, Tはテーパーセグメントを示す。



写真-8 RCセグメントR=100m曲線部

7-2 シールドの掘進管理

シールドは3分割で機長が長く, 中折れ機構が2段となっているため, 曲線前後において中折れ角度を変化させるときのシールドの挙動を予測するのが難しかった。

もっとも難しかったのは, 前述した組立てパターンが限定されているRCセグメントでの曲線施工であった。RCセグメントが組立て可能な位置を想定して, シールドを掘削通過させる必要があるため, 掘進精度が重要となり, 測量頻度を多くすることで掘進精度を確保した。

写真-8にRCセグメントR=100m曲線部, 写真-9に鋼製セグメントR=15m急曲線部の坑内状況を示す。

7-3 急曲線施工時のシールドのローリング管理

急曲線施工時においては, 従来のシールドに比べ機長が長いことにより, シールド本体の重心の変位量が大きくなり, それに伴いローリング量も大きくなった。

R=15mのシールド掘進では, ローリング変化量が大きく, 曲線部の中間点を通過した付近で-2.9度に達した。ローリングの復旧方法として, ローリングキャンバを使用する方法を採用した。これは, ローリングキャンバをシールドジャッキスプレッドとセグメントとの間に挟み, ジャッキ

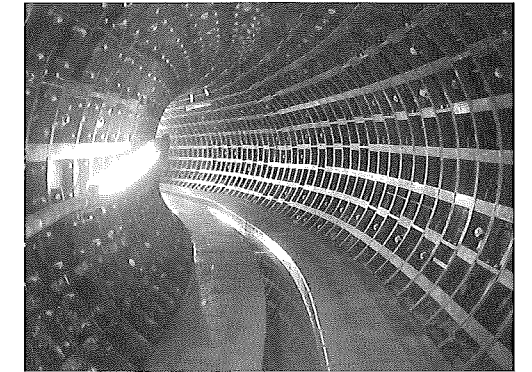


写真-9 鋼製セグメントR=15m急曲線部

の推進力によりセグメントに反力を取りシールド本体にローリングを発生させる方法である。当工区では下部のジャッキ4本に設置した。この方法で300mm掘進ごとにローリングを約0.05度解消することができ, シールド本体のローリングを解消した。

8 おわりに

今回はコンパクトシールド工法での施工事例を紹介した。シールド本体, セグメント, 土砂搬出方法, セグメントの搬送方法など, 通常のシールドと異なる点が多く管理すべき点は多かったが, 品質, 安全ともに問題なく工期内に施工を終えることができた。

今回の施工で得られた留意点を示す報告書が, 今後のコンパクトシールド工法の計画の参考になれば幸いである。

最後に, 本工事の施工にあたりご指導, ご支援, ご協力をいただいた関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) コンパクトシールド工法協会: コンパクトシールド工法パンフレット, 2008.7.
- 2) コンパクトシールド工法研究会: コンパクトシールド工法技術説明書, 第5版, 2009.9.

山の神と化粧木(その5)

東日本高速道路(株)技術部次長 阿部公一

化粧木の作成・化粧木の材質

化粧木に使われる丸太材は、圧倒的に松だという意見が多いが、檜が使用されることもあるようだ。正月には門松を立てて神様を迎える依代とするように、依代には常緑樹である松などの常磐木がふさわしく、山の神の依代だとする化粧木には、やはり縁起物として松が望ましいということだろうか。

しかし、工事従事者の多くは、その理由を、「坑内の支保工と同質素材」で、「雨で水分を含むと朽ちにくく」、「支保材としての強度をもつ」と松材のもつ実用性を理由に挙げて、さらに「坑木の強度を祈念」してともいう。

実際に化粧木の原材木を選ぶには、堅くて樹皮をむきやすい丸太を選ぶ。最近では鋼製の化粧木を採用している工事会社も現れている。

化粧木の製作・設置

こうして化粧木には松材や檜が選ばれるが、その資材はトンネルを掘る山中から入手するのが良いと思われている。実際に平成年代初期に行ったトンネル工事まで、そのようにして丸太材を入手したと具体的に証言する工事従事者もいるが、最近では、ほとんどが製材所に寸法を注文したり、工事責任者が現物を確認して、製材所にておおよその長さ・形に加工して納品される。

化粧木を山中から切り出すには、酒と米と塩とコモと荒縄をもって山に入り、狙いをつけた立木にしっかりとコモを巻いてから、根元に用意した清

め物を飾り、立木を清める。その後、親方が斧で一打し、坑夫は化粧木の部分が地に着かないよう切り倒し、山から工事現場まで休まず交代で担ぎ下げる。途中、下に落としたらその木は使えないと、アンケートの回答の中で、化粧木を伐り出した記憶が語られている。

入手した松丸太を、かつては斧指という職人が、最近ではトンネル工事会社の従業員がカンナをかけて丹精込めて磨き、反りをつけて成型・化粧する。その際、斧指の親方は縁起を担いで、一週間前から身を清め、とくに女性には絶対に触れず、妻が月経とか妊娠している場合は化粧木にも触れないし、山にも入らなかったとの証言もある。

整形した化粧木は、昔はトンネル坑夫の親方・棟梁が、最近では、「知識のある古参の工事長・作業長」などトンネル工事会社の責任者が指図して、坑夫が化粧木を据え付ける。

一般には、坑口付けに設置した数基の捨て枠のうちの手前の2基の支保工の上に土嚢を積み重ね、その上ところがしを置き化粧木を支えるのが基本のようである¹⁾。

化粧木の運搬・製作・据え付けといった一連の作業にあたっては、絶対に化粧木を跨いだり、化粧木に腰を掛けてはいけないという。もしそうしたらその木は使わないし、また化粧木の皮が剥げたり傷が付いたら怪我人が出るという化粧木の製作をやり直したという。

「トンネルの中心に、注連縄と同様に、向かって左側を天、右側を地として、七五三の土俵の上に設置する」といった意見があるが、こうした化

粧木の形・成型や設置の仕方に、担当する坑夫の棟梁やトンネル工事会社によって流儀のような違いも予想されるが、その実状は定かではない。

化粧木の設置についてアンケートの回答を寄せた24名のうち、半数の12名が向かって「左側」に細い方を置くと回答していて、その反対に「右側」を細くと回答したのは5名であった。先に、化粧木の来歴が鳥居と密接に関係することを述べたが、鳥居の笠木は通常正面右が上座、すなわち木の元を用いるといい、化粧木の配置と重なる。

このほかに、「根元の太い方が東に向くように配置」「根元の太い方が山手側に向くように」配置するという意見もある。

トンネル工事が終了した後の化粧木の行方

トンネル工事が終わると、かつては清めた後に川に流したという者もいるが、最近ではほとんどが、塩・酒で清めた後に現場で焼却したり、製材所に頼んで焼却処分してもらったり、他の工事廃材と同時に産廃処分されてしまうようだ。

中には、工事が無事故無災害で完了すると、縁起を担いで次の現場に持ち回る会社もあるという。

釜石自動車に建設された新仙人トンネルは平成15年12月に完成した。役目を終えた化粧木は、工事関係者の手で付近にある小さな神社に奉られ、山から切り出された化粧木はまた山に帰った。

このように、神社に奉納されないまでも、「坑門の上部で、人が踏みつけない場所に置いて土に戻す」「坑門の背面に飾る」場合もあるという。

いずれ、工事関係者が興味本位に自分の家に持ち帰って自分で飾ったりするようなことはしない。

トンネル工事の行方

明治維新を経て近代国家建設への道を踏み始めた日本は、地域開発や防衛を目的に幹線交通路などの社会資本整備に着手した。

また、各地で鉱山開発が行われたり、小規模ながら炭鉱での採炭も行われ、「山」や地中で働く人たちが大勢いた。

地質の前方探査技術なども合わせず、もちろん土質・岩盤の力学について知識もなかった当時、地中に空洞を掘削することは現代のわれわれには想像もできない恐怖であり、山・地中という異界を支配する神に工事の安全と無事な完成を祈らずにはいられなかった。

トンネル工事従事者に伝承されてきた山の神への信仰や禁忌は、猟師や樵、炭焼きなど山で働く人が培ってきた習俗・伝承と同根でありながら、トンネル工事で働く人々にいかにして伝播していったのか、その過程でいかに変質していったかは、金属鉱山や炭鉱の習俗などを含め、民族学的な観点から深い論考が必要だろう。

先の栗子隧道が開通して以来約130年が経過し、日本のトンネル建設技術は飛躍的に発展し、世界有数の技術力を誇るまでに至った。また、トンネル工事従事者の努力の積み重ねによって、坑内作業環境も改善され、事故も減り安全性が大幅に高まった。

一方、トンネル工事従事者に伝承されてきた山の神への信仰や禁忌は捨て去られ、急速に失われつつあるようだ。トンネル工事で働く先輩から後輩、ベテランから若い技術者へ伝承する力が弱まっているのだろうか、それとも地中探査技術や地中に発生する力や変形の解析技術が発達するに従い、かつて抱いていた山の自然を畏怖する気持ちが薄らぎ消え去りつつあるのだろうか。

トンネル工事従事者の心象は、これまで地中で働く人々に伝承されてきた「神とともにある自然と人間との関係」から離れて、「物質としての自然と機械力や力学との関係」に、すっかり移り変わりつつあるといえる。

技術発展がどれほど進展しても、獲得した技術を過信することなく、いつの時代にも山を恐れる気持ちをもち続け、未知な地中世界に謙虚に向き合う高い精神性をもつことが大切だろう。

参考文献

- 1) blogはろど, <http://hal.blog.eonet.jp/default/1/index.html>

土木情報 No.450

10月10日～11月9日

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
北海道開発局	深川留萌自動車道留萌市大和田T	ハザマ・中山JV	1,978
関東地整	H22矢作排水樋管改築	植木組	209
〃	付替林道T	銭高組	768
〃	H22鶴見地下道改良他	志真建設	203.18
〃	堀之内地区函渠その3	鉄建建設	3,324.5
北海道	小石川広域河川改修(河川T)	大林・大豊・宮坂JV	2,699.8
群馬県	利根川上流(県央処理区)高崎中2号幹線補助公共社会資本総合整備(下水)利根川上流流域下水道事業管渠築造第1工区	カワナベ・大木JV	273
千葉県	社会資本総合交付金(トンネル工事)	五洋・片岡JV	980.96
〃	手賀沼流域下水道管渠築造(南部第1幹線063工区)	五洋・東邦JV	1,320.49
都・財務局	H22有明北地区区画道路下水道管布設(その2)	リック	222.42
〃	街路築造(22二環5の1千駄ヶ谷)	奥村・池田JV	955
〃	環2地下T(仮称)築造(22一環2愛宕工区)	戸田・白岩JV	1,031.71
都・水道局	千代田区日比谷公園1先間配水本管(1000mm～600mm)布設替	前田・熊谷JV	174.5
都・下水道局	中川汚水幹線その15	竹中土木	1,702
〃	世田谷区等々力二丁目付近枝線	オリエンタル白石	250.77
〃	千代田区永田町一丁目付近再構築立坑設置	大本組	702.18
愛知県	新川東部流域下水道事業ポンプ棟築造	飛島・中日・安藤JV	1,209.5
和歌山県	R425付け替え(外)合併(仮称切目川2号T)	熊谷・西村JV	1,050
島根県	広域管農団地農道整備交付金事業安能2期地区(仮称)第4工区T	松江・フクダ・大福JV	2,090
山口県	R434道路改良(須川第2T)	協和・洋林・森野JV	1,165.9
高知県	R441地域活力基盤創造交付金(川登T)	豚座・土居・新谷JV	495
〃	県道高知南インター線地域活力基盤創造交付金(五台山T)	大旺新・入交・新藤・竹内・新藤JV	2,050
宇都宮市	合流改善貯留施設築造第2工区(中部第4地区主地宇都宮向田線)(本町)	山本・宇都宮・米弥JV	404.6
さいたま市	鴨川第38処理分区下落合7号幹線築造(南建22-1)	西松・松永・荒木JV	1,788
横浜市	南部処理区大岡右岸幹線(第2工区)下水道整備(その2)	日本国土開発	321
〃	西部処理区東中田第二雨水幹線下水道整備(その4)	三ツ和総合建設業協組	226
川崎市	元木地区下水枝線第10号	ケイアイ・石塚JV	199.75
〃	平瀬川T部分改修他合併	鹿島・城所JV	154.62
〃	細山送水管1000mm-700mm布設替	間・大藤JV	239.28
茅ヶ崎市	合流式下水道緊急改善(第二工区)土木	大和小田急・相鉄・浅岡JV	1,299.98
平塚市	松風町・久領堤貯留管築造その1	清水・国土・尾崎JV	1,737.15
名古屋市	正保雨水幹線下水道築造	不動テトラ・徳倉・二友JV	1,269.8
〃	豊年雨水幹線下水道築造	大本・ピーエス三菱・山昇JV	760.2

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 本体定価 1,200円 (〒210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

研究

発電用斜坑の全断面切り上がり式掘進機の開発

(株)小松製作所生産本部大阪工場地下建機事業室設計課主任技師 寺田 紳一

東京大学工学系研究科教授 大久保 誠介

東京大学工学系研究科准教授 福井 勝則

東京電力(株)建設部土木・建築技術センター水力土木技術グループグループマネージャー 久保田 克寿

1 はじめに

水平坑において数多くのTBMが使われてきたのに対して、斜坑用のTBMの実績はごく限られている。しかしながら、水路トンネル、換気用トンネル、運搬用斜坑として鉱山や土木現場での需要は今後増すと予想されているが、この方面の専門家も少なく、これまでの経験をまとめた文献もほとんど見当たらない。その結果として、斜坑TBMにおいて問題となる点は、機体の滑落防止以外にはほとんど認知されていないのが現状といえる。

本研究では、まず、これまでの実績^{1)~10)}を調査して、調査結果をもとに、改良した斜坑用TBMのコンセプトを固めていき、ついで機械要素について検討していく過程を述べることにする。

斜坑用TBMの機械要素にかかわる設計計算は確立されていないので、本研究を通じて検討し、採用した計算方法も開示することにした。なお、改良機が使用されたのは神流川発電所水圧管路斜坑であり、その概要と実際の施工での経験についても簡単に触れることにする。

2 神流川発電所の概要

神流川発電所は、群馬県と長野県の2県、信濃川水系南相木川と利根川水系神流川の2水系に跨る発電所であり、長野県東部の南相木川の最上

部に上部ダム(中央土質遮水型フィルダム、高さ136m)、群馬県南西部の神流川の最上部に下部ダム(コンクリート重力式ダム、高さ120m)を築造して、これらをそれぞれ上部および下部貯水池とする。その貯水池間の約6kmを水路で結び、有効落差653m、最大出力282万kW(単機出力47万kW×6台)を発電する大規模な純揚水式水力発電所である。

1997年5月に着工し、2005年12月より1号機が営業運転を開始した。残りの5台は今後順次営業運転を開始する予定である。

このうち、水圧管路斜坑は掘削径6.6m、勾配48度、延長935mの大断面急勾配斜坑であり、施工には世界的に最大規模となる全断面斜坑切り上がりTBM工法が採用された。

神流川地点の地質は、泥岩基質の岩盤にさまざまな大きさの砂岩、チャート、凝灰岩および玄武岩、石灰岩などの外来岩塊(オリトリソ)が混入した混在岩である。

水圧管路縦断沿いの地質区分を図-1に示す。

また、地層の傾斜はおおむね南に60~80度であり、トンネル軸とほぼ平行である。斜坑に出現する岩石の一軸圧縮強度は、泥岩では40MPaであるものの、砂岩では280MPa程度のものが確認されており、さらには、数十mにわたる範囲での破碎帯(弱層部)もあることが予想された。全体的には総じて良好な岩盤であるが、地質性状の変化に富んだものとなっている^{10),16)}。

地質時代	地 質 名		記 号
新 生 代 第 三 紀	貫入岩	貫入礫岩	Bd
		安山岩	An
中 生 代	泥質岩基質 混在岩	砂岩・チャート・塩基性凝灰岩・玄武岩・石灰岩 岩塊混在岩	SCBL/M
		塩基性凝灰岩・玄武岩岩塊混在岩	B/M
		砂岩・チャート岩塊混在岩	SC/M
		砂岩岩塊混在岩	S/M
中生代前期 ～古生代	オリストリス	凝灰岩	Tf
		玄武岩	Ba
		砂岩(粗粒砂岩:Sc, 中粒砂岩:Sm)	Ss
		チャート	Ch
		石灰岩	Lm
		蛇紋岩	Sp

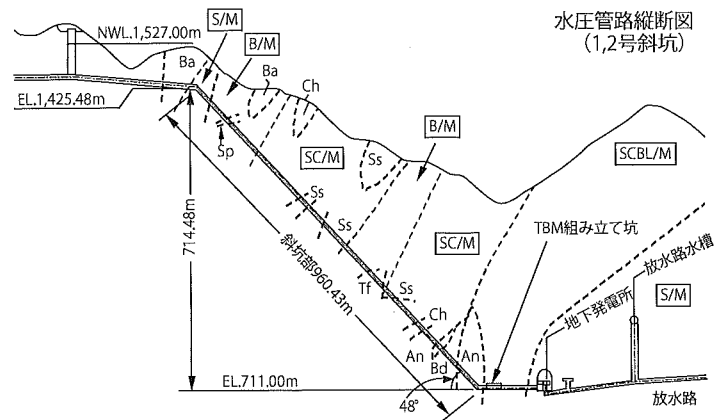


図-1 水管管路縦断沿いの地質区分

3 実績調査にもとづく基本設計

これまでの実績を分析し検討したところ、斜坑切り上がり掘削でのサイクルタイムは、支保作業(吹付け、滑落防止鋼材設置、ロックボルト打設作業)の占める割合が大きいが判明した。さらに、高速施工よりも弱層部での安全確保、機器の損傷防止、変化する岩盤条件への柔軟な適応、支保作業の容易さが、これまでの経験からより強く求められていることが判明した^{7),8)}。そこで、本工事では弱層部への高い対応性を持つシールドタイプとし、しかもディスクカッターを切羽面に出ることなく、カッターヘッド内から交換可能なカッター内取り付け(Back Loading)が可能であるTBMを検討の主対象とすることにした。

斜坑TBMでもっとも重要なことは、よく知られているように滑落防止対策であるので、この点にはとくに重点を置いて調査・検討をした。掘削径の小さい蛇尾川や葛野川の導坑掘削では、ロックボルトにより岩盤に固定された反力アンカー部からトンネル軸方向に配置された反力鋼材にTBMのシールドジャッキを当接させて滑落を防止している。この方法では、反力鋼材の設置には多くの工程、コストを要したことが、調査結果より判明した。さらに、大断面である本工事に適用した場合には施工性の悪化が予想されたので、この方法の適用は避けることにした。

検討の結果から判断して、もっとも有望な滑落防止方法は次のとおりであることが判明した。斜坑底部に鋼製インバートライナを設置する。その設置に際しては、鋼製インバートライナ内部に吹付けコンクリートを充填させ、岩盤と鋼製インバートライナとを密着・固定する。さらに、鋼製インバートライナを貫いて、ロックボルトを岩盤に打設し、鋼製インバートライナの浮き上がりや座屈防止を図る方式とした^{15),16)}。

製作費や質量が大きくなることによる取り扱い性を考慮して、鋼製インバートライナは、滑落防止のみを目的とし、掘進反力に耐える強度は持たせないことにした。そのため、滑落防止のために鋼製インバートライナにシールドジャッキを当接させるが、シールドジャッキ圧力を圧力センサで検知させ、インバートライナに掘進反力を負荷させない方式とした。掘進反力は通常時にはグリッパを張り、グリッパと岩盤の摩擦力で支持することにした。

グリッパによって掘進反力が支持できない弱層部での掘進では、鋼製インバートライナに加え鋼製セグメントを巻き立て、それに掘削反力を取り

掘進を行う方式とした。この場合には、通常時に当接させている下部に設置したシールドジャッキに加え、上部および坑壁からの崩落に対し、人や機械の保護装置付きシールドジャッキを使用することとした。

このようにして推進形式としては、通常実施する①スラストジャッキを伸張させる方法のほかに、②スラストジャッキを固定し、シールドジャッキおよび保護装置付きシールドジャッキを伸張させて掘進を行う方法も選択できるようにした。

TBMでは掘削ずりの速やかな運搬が掘進速度を左右することがある。本研究で対象とした斜坑は勾配が48度と急勾配で切上がるため、掘削ずりは斜坑の傾斜を利用し、トンネル下面に設けたずり排出口から自然流化させ、坑外へ排出する方式とした。

水平坑TBMは既に相当数の実績があるのでかなりの知見が蓄えられている。よって、掘削径が設定されるとディスクカッター径およびカッター配置が決定され、それに伴い推力やカッターヘッドトルクなどが計算できる。その他の諸元であるグリッパ押し付け力、フロントグリッパ押し付け力なども、過去の知見の蓄積にもとづいて計算できる場合が多い¹⁷⁾。

斜坑切り上がりTBMにおいては、弱層部における崩落とそれによってもたらされる荷重(TBMに加わる荷重)を正確に予測し、機械能力を決定するとともに、必要な設備を装備しなければ、最悪の場合には掘削不能という事態を生じる。このような配慮から、まず水平坑TBMにおける崩落事例の文献調査、アリマック工法(アリマックライマーによる切り上がり掘削工法)も含む斜坑トンネルにおける崩落事例調査を実施した。その結果より、機械設計に際して次式を使用することにした。

$$\text{崩壊高さ} = 2.5 \times \text{掘削径} \quad (1)$$

TBMでは坑壁の強度が十分に高い場合に、掘削反力はグリッパシューと岩盤との摩擦力により支持するが、斜坑TBMではこれに加えTBMの自重なども支持することになるため、グリッパシュー

と岩盤との摩擦係数の見積りが、安全上も重要な要素になる。そのため、摩擦係数についての調査・検討を慎重に行った。一般に、グリッパシューと岩盤との摩擦係数は0.4~0.5としており¹⁷⁾、実験においては0.5を超えるような値を示している¹⁸⁾。しかし、実稼働現場において、水で坑壁が濡れているような場合には、摩擦係数が低下してグリッパシューがすべりやすくなることが知られている。このため、斜坑切り上がりTBMにおいては、調査結果における下限値である0.3をグリッパシューにおける摩擦係数として設定した。

4 カッターヘッドの検討

4-1 形状

カッターヘッド形状については、水平坑の場合を含めて現在までに実績のある4タイプについて検討した。表-1に水平坑TBMにおける形状の比較を示す。一方、斜坑切り上がり掘削においては、掘削時にカッターヘッド面板上への掘削ずりの排土性についての検討も行う必要がある。このため、斜坑切り上がりにおけるずりの排土性に注目して調査を行った。その結果を表-2にまとめて示す。

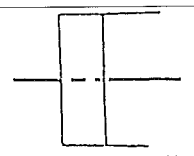
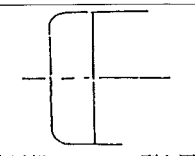
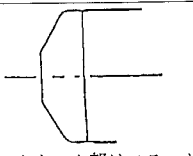
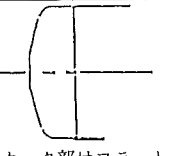
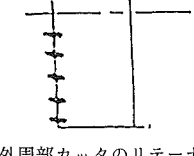
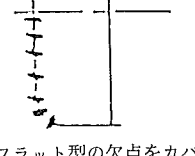

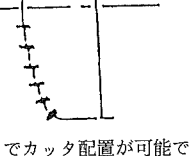
水平坑TBMにおける現在の趨勢は、設計・製作が容易で製作費用が節約でき、さらにカッターヘッドのずり取り込みの開口制限装置などの設置が行いやすいセミドーム型が主流である。しかしながら、斜坑切り上がりTBMでは表-2に示すとおりずり排出性に問題があり、検討を重ねたが採用はできないことが判明した。このため、製作が困難であるために製作費用がかさむが、全体の性能に優れ、とくに斜坑切り上がり特有のずり排出性が高いドーム型カッターヘッドを選定した。

4-2 カッターヘッド開口部

カッターヘッドの形状が決まったので、次にカッターヘッド開口部(掘削ずりの取り込み口)について調査・検討をした。開口率に関する調査結果を参考までに表-3に示す。

岩盤崩落のおそれがない硬岩を掘削する場合には、カッターヘッドの強度・剛性、ディスクカッター配置に支障をきたさないかぎり、開口率は大きい

表-1 水平坑TBMにおけるカッタヘッド形状の比較

タイプ 項目	I フラット型	II セミドーム型	III コーン型	IV ドーム型
形状	 面板全体がトンネル軸に対して直角でフラットである。	 内周部はフラット型と同一であるが、外周部は曲面形状である。	 センタカッタ部はフラット、内周部は円錐状で外周部は曲面状である。	 センタカッタ部はフラット、それ以降は円錐を重ねた形状である。ただし、外周部は曲面である。
カッタ配置	 外周部カッタのリテーナ部が坑壁と干渉し、外周部にカッタ配置ができない。	 フラット型の欠点をカバーし、外周部のカッタ配置も可能である。	 外周までカッタ配置が可能である。	 外周までカッタ配置が可能である。
切羽安定性	アーチ効果があまり期待できず、外周部での応力集中があり、不安定である。	アーチ効果はあまり期待できない。ただし、外周部は曲面であるため応力集中は少ない。	ドーム型ほどではないが、ある程度のアーチ効果は期待できる。	もっとも切羽の安定性が良い。
設計・製作など	構造がもっとも簡単で、設計・製作ともに容易である。	外周部に曲面を持つが、比較的、設計・製作が容易である。また、開口制限装置などの設置が行いやすい。	I, II型に比較すると設計・製作は難しいが、ドームに比較すると容易である。	4タイプの中でもっとも設計・製作が難しい。
実績	シールドで多数。	岩盤シールドで多数。水平坑TBMで多数。	リーミング機(国内斜坑リーミングTBM)。	15~20年前のTBMで多数。

◎:最適, ○:適する, △:条件による, ×:適用困難

表-2 斜坑切り上がりTBMにおけるカッタヘッド形状の比較

タイプ 項目	I フラット型	II セミドーム型	III コーン型	IV ドーム型
斜坑切り上がりにおける掘削ずりの排土性	面板がフラットなため、面板にのったずりが排土しにくい(面板上にのったままになる可能性がある)。	面板がフラットなため、面板にのったずりが排出しにくい(面板上にのったままになる可能性がある)。	外周部のずり排出性がドーム型に比較し若干劣る(円錐の段数が1段であるため)。	もっともずり排出性が良い。
斜坑TBMにおける実績	なし	スイス斜坑切り上がりTBM	斜坑切り下がりTBM	国内斜坑切り上がりTBM

◎:最適, ○:適する, △:条件による

表-3 カッタヘッド開口率実績

国内水平坑TBM	7~10%
国内斜坑切り上がりTBM①	20%
国内斜坑切り上がりTBM②	15%
スイス斜坑切り上がりTBM	10~15%(推定)
岩盤シールド(多数)	約20%
神流川TBM	20%(開口調整で約10%に変更)

ほど良いといえる。しかしながら、岩盤が崩落する懸念のある軟弱岩盤では、開口率が大きいとずりを取り込みすぎて、場合によっては岩盤崩落を助長させることがある。このような点を配慮して検討を重ねた結果、改良機に対して次のような方針を決定した。

① さまざまな条件に対応できるように開口率

を可変とする。

- 開口率を変えるために、開口部のスリット幅を調整できる開口調整板を装備する。
- 開口率の最大値は、土砂部の掘削も可能な岩盤シールドの値を採用する。
- インバータモータによってカッタヘッドの回転速度を可変とし、掘削ずりの取り込みを制限できるように配慮する。

開口率の次に開口部の寸法を決める必要がある。当然ながら開口幅を決めるためには掘削ずりの寸法に関するデータが必要であるが、これまでに掘削ずりの寸法を系統的に議論した研究は少ない¹⁹⁾。これまでの実績を調査し、TBMの掘削ずり寸法を次のように推定することにした。

(1) ディスクカッタ間隔方向の最大ずり寸法S(幅)

順調な掘削が行われているときには、ディスクカッタ間の岩片が平板状にはがれるので、掘削ずりの最大幅はディスクカッタの間隔(隣接溝間隔)にほぼ等しい。なお、詳細にみると、ディスクカッタ間の隙間はディスクカッタ間隔よりディスクカッタ刃先幅を引いたものとなる。よって、ディスクカッタ間隔を90mm、ディスクカッタ刃先幅を20mmとすれば、掘削ずりの最大幅はS=70mmとなる。

(2) ディスクカッタ移動方向の最大ずり寸法L
掘削ずりの寸法を調べてみると、ほとんどの掘削ずりでは、その最大寸法はディスクカッタの間隔以下となる。しかしながら、例外的にわずかではあるが、ディスクカッタ移動方向のずり寸法がディスクカッタの間隔の数%長くなることが認められる¹⁹⁾。そこで、これまでの実績と調査結果を大きくまとめて、次式よりずり寸法を推定することにした。

$$L = (1.5 \sim 2) \times S \quad (2)$$

1.5は比較的軟弱な岩盤に適用し、2は強固で脆性度の高い岩盤に適用することにした。

(3) 掘削ずりの最大厚みT

ディスクカッタの側面から、隣接溝に向かって亀裂が進展した結果として掘削ずりが発生するとする。その場合の亀裂は、ディスクカッタ側面か

ら岩盤の面と平行に進展し隣接溝に達する。よって、掘削ずりの平均厚さは切込み深さと同等かやや大きめになる。しかしながら、掘削ずりの中には中央が凸で厚くなっているものも散見される。このような場合には、掘削ずりの最大厚さは切込み深さの2~3倍となる。また、TとSとの関係を調べてみると、Tの上限値は次式となる。

$$T = (0.3 \sim 0.4) \times S \quad (3)$$

カッタヘッド面板上のつまりを少なくするには、開口部の寸法を大きくすることがもっとも有効である。上記の掘削ずり寸法の見積りと他の設計条件を勘案して、開口部の半径方向幅は、Lの上限値である140mmより10mm長い150mmとし、回転方向幅は掘削ずりシュートと同じく350mmとした。

4-3 ディスクカッタのカッタヘッド面板からの出代

基準面から測った突起物の最大高さを「出代」という。ディスクカッタ出代(カッタヘッド面板からの出代)も掘削ずりの円滑なカッタヘッド内への取り込みには重要な要素の一つである。このディスクカッタ出代に関する調査結果を表-4に示す。

斜坑切り上がりTBMにおいては、水平坑TBMと比較して掘削ずりが落下しにくく、カッタヘッド面板にのって転がりながら滞留することがある。これを防ぐには、ディスクカッタ出代を一定値より小さくして、カッタヘッド面板と切羽の間に大量の掘削ずりが入りこまないようにする必要がある。

一方で、ディスクカッタ出代が小さすぎるとカッタヘッド面板と切羽との間にずりが詰まってカッタ

表-4 ディスクカッタ出代の比較

水平坑TBMの実績	100~200mm(製作メーカーにより異なる)
国内斜坑切り上がりTBM①	120mm, センタカッタ部60mm
国内斜坑切り上がりTBM②	120mm, センタカッタ部60mm
スイス斜坑切り上がりTBM	110mm
下郷斜坑切り上がりTBM	400~500mm
斜坑リーミングTBM	250mm
神流川TBM	120mm

タヘッドのトルクが大きくなることもある。掘削ずりの取り込み以外の観点から考察すると、まず、最小ディスクカッタ出代として、ディスクカッタの許容摩耗量以上は必要となる。次に、切羽の安定性から考えるとディスクカッタ出代は小さい方が望ましい。

今回掘削対象としている地山では相当に軟弱な部分が想定されたため切羽の安定性を重視して、他の項目が許す下限の値を探った。表-4に示した実績も考慮した検討を重ねた後に、上に述べた条件を満たすカッタヘッド出代として120mmを設定した。

4-4 その他

カッタヘッド部での散水が下記の目標を持って行われることがある。

- ① 粉塵防止
- ② カッタヘッド内外のずり固着防止
- ③ カッタヘッド面板内に取り込んだ掘削ずりを円滑に掘削ずりシュートへ流す
- ④ センタカッタ部の掘削ずりの固着防止
- ⑤ ディスクカッタの冷却

これらの事項は本機でも重要と判断して、1ノズルあたり散水量を約0.025m³/min、圧力0.3~0.5MPaとし、9か所にノズルを配して散水を行った。

TBM施工においては、ディスクカッタ交換は必ず発生する作業であり、交換作業時間の長短は稼働率に大きく影響する。斜坑切り上がりTBMでは、交換作業が水平坑よりも困難なので、安全にかつ容易に短時間で実施できることを目的として、油圧式のディスクカッタ交換用マニピュレータを開発した。

5 カッタヘッド駆動装置(主電動機)の検討

今回の斜坑TBM用カッタヘッド駆動装置に要求される用件を以下にまとめてみた。

- ① 硬岩部掘削では低トルクでよいが、高回転速度が必要である。
- ② 弱層部掘削では低回転速度でよいが、高ト

ルクが必要である。

③ 設置スペースは一般TBM以下に抑えたい。調査の結果、上記の要求すべてを満たす減速電動機は見当たらなかったため新規に開発することにし、下記の2種類の減速電動機の検討を行った。

- ① 油圧トルクアップ装置付き減速電動機：高トルク・低速回転が必要な地点では、電動機後部にクラッチを介して装着した油圧モータを回転させることにより対応する。
- ② 8ポール減速電動機：通常の4Pモータと比較し、使用する鉄心材料をより特性の高いものに、また、冷却効率をより良くするなど全面見直しを行い通常モータよりサイズを小さくするとともに低速域でのトルク向上を図った。

油圧トルクアップ装置付き減速電動機は、低回転速度では優れた特性を示し、制御性も良いのでカッタヘッドの正確な位置決めが可能である。しかしながら、油圧モータが対応できなくなった直後の中回転速度におけるトルクがやや不足気味といえる。一方、8ポール減速電動機では、0.4min⁻¹以上の回転速度でしか長時間使用できないので、カッタヘッドの位置決めは正確さは劣ることになる。しかしながら、短時間で済む場合については、インバータ制御の電動機である利点を利用した位置決めは可能である。また、多くの分野での使用実績があり、全体としてのバランスは良好といえる。

以上の検討を経て、カッタヘッド駆動用の動力源としては、両者とも対応可能ではあるが、ごく低速(0.4min⁻¹以下)での回転はできないものの、実用上は差し支えないと考え、斜坑掘削であるため、設備が単純で操作性、メンテナンス性の良いインバータ制御の8ポール減速電動機を選定した。

6 推力の見積りと推進装置

6-1 推力の見積り

硬岩部における掘進に必要な推力 F は、岩盤掘削に必要な荷重 F_1 、TBM本体前部を前進させるために発生する摺動抵抗に抗する力 F_2 、滑落荷重

F_3 により決まり、次式で表すことができる。

$$F = F_1 + F_2 + F_3 \quad (4)$$

F_1 の計算方法は、水平坑TBMの場合と基本的に同じである。また、 F_3 は本体自重より簡単に計算できる。TBM本体前部を前進させるときに発生する摺動抵抗 F_2 は、TBM本体前部自重に摩擦係数をかけたもの、および振動防止のために拡張するフロントサポートでの摩擦力の和となると考えて、次式より計算した。

$$F_2 = (\mu \times W_1 \times \cos 48^\circ + \mu \times F_F) \quad (5)$$

ここで、 μ は鋼と岩盤の摩擦係数(0.3)、 W_1 は本体前部重量(249×10³kg)である。 F_F はフロントサポート拡張力であるが、実績を勘案した慎重な検討を経て、TBM本体前部重量と同一とした。

弱層部掘進の際の推力について検討をした。まず、 F_1 は硬岩部での値と比べて十分に小さくなる。

弱層部においては、式(1)に示すように最大で掘削径の2.5倍の高さの崩落が生じる可能性がある。崩落が生じた場合には、カッタヘッド面板とシールド部分に岩塊が崩落し、余分な地圧が加わる。ここでは、この付加的に加わる地圧を次式で見積もった。

$$(\text{垂直地圧}) = 2.5 \times (\text{掘削径}) \times (\text{崩落部分の密度}) \times g \quad (6)$$

$$(\text{水平地圧}) = 0.35 \times (\text{垂直地圧}) \quad (7)$$

ただし、 g は重力加速度である。これらがカッタヘッド面板とシールド部分に加わるとして F_2 、 F_3 を計算した。

6-2 推進装置(スラストジャッキ)

本項では通常時に使用するスラストジャッキについて記述する。図-2に示すようにスラストジャッキをシールド内周に沿って円環状に傾斜配置した構造を、ラチス方式(lattice type)と呼ぶことにする。

このラチス方式は海外TBMや国内津久井導水路トンネル(掘削径5.4m)、新東名高速道路金谷トンネル(掘削径5.0m)などで実績がある。調査結果では、この構造は以下の機能を持っていることがわかった。

- ① 後胴(グリッパシールド)と前胴(カッタシー

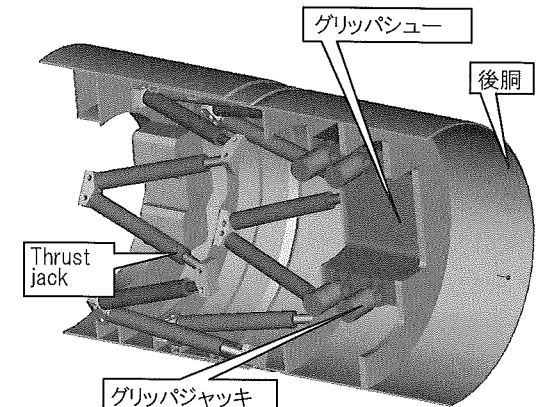


図-2 ラチス方式のスラストジャッキの配置 (lattice-type thrust jacks)

ルド)間でスラスト力(トンネル軸方向の力)を伝達し、前胴を前進させる。

- ② 後胴と前胴間でトルク(回転軸はトンネル軸方向)を伝達し、カッタヘッドの掘削トルク反力による前胴のローリングを防止する。
- ③ 後胴と前胴間でトルク(回転軸はトンネル軸と直交)を伝達し、前胴を任意の方向に向ける(方向制御機能)。

その他の方式として2種の方式があるが²⁰⁾、メインビーム方式では③の機能を、平行ジャッキ式では②の機能を有していない。総合的に検討した結果、十分な機能を有しており、さらに装置を別途設ける必要がないために、機内作業スペースが広く取れる利点があるラチス方式を採用することにした。

スラストジャッキの配置方式が決まったので、次にこれを制御する油圧装置について検討することにした。検討の末に、本機では2系統の油圧ポンプを使用することにした。通常の掘進時には各スラストジャッキに定流量の油を送るものとし、これによりすべてのジャッキは同じ速度で伸びていく。方向制御を行う場合は、TBMを向けたい方向の反対側のスラストジャッキへの流量を一時的に増してストロークに差をつけることにした。前胴がローリングした場合は、左右の油圧ポンプの電動機回転速度に差をつけることにより、スラストジャッキの伸び量に差をつけて、ローリング

の修正を行うことにした。

7 推進反力支持装置(グリッパ)

本項では通常時に使用するグリッパについて記述する。また、弱層部掘削においては掘削反力、自重などはグリッパシューでの摩擦力で保持するのではなく、マシン後部のシールドジャッキおよびムーバブルフードで保持するため、本章で述べる内容は硬岩部掘削時のみを対象としたものである。

グリッパシューを押し付け力 F_T で押し付けたときに発生するグリッパシューと坑壁との摩擦力 F_g は、検討の末に次式より計算することにした。

$$F_g = [(F_{th} + F_4 + F_5)^2 + \{F_T / (D/2)\}^2]^{1/2} \quad (8)$$

$F_{th} + F_4 + F_5$ はトンネル軸方向分力であり、 $F_T / (D/2)$ は円周方向分力である。 F_{th} は硬岩部掘削における本機の装備推力(制限値)、 F_4 は本体後部重量によりもたらされる滑落力であり、 F_5 は台車滑落力である。また、 F_T は本機の定格回転時の最大トルク、 D は掘削径である。

グリッパシューの押し付け力は、押し付け時に坑壁の損傷、肌落ちが生じにくいようにグリッパシュー面圧(グリッパシュー押し付け力をシュー投影面積で除した値)を小さくする方がよい。しかし、斜坑切り上がり掘削におけるグリッパシューの押し付け力は、機械の自重を支持する必要があること、安全のためシューと坑壁との摩擦係数を0.3(水平坑TBMでは0.4~0.5)としていることにより、グリッパシューの押し付け力が水平坑TBMに比較し大きなものとなりがちである。本機を対象として試算した結果と、これまでの実績値を参考までに表-5に示した結果からも、このこ

表-5 グリッパシュー押し付け力/カッターヘッド推力の実績

	本機	水平坑TBM φ5.4m	水平坑TBM φ3.83m	水平坑TBM φ2.6m	斜坑TBM φ2.7m	斜坑TBM φ2.7m
グリッパシュー押し付け力/カッターヘッド推力	5.6	2.5	2.8	2.5	3.0	4.3

表-6 グリッパシュー幅/機長の実績

	本機	水平坑TBM φ5.4m	水平坑TBM φ3.83m	水平坑TBM φ2.6m	斜坑TBM φ2.7m	斜坑TBM φ2.7m
グリッパシュー幅/機長	0.17	0.16	0.13	0.13	0.13	0.16

とは確認できる。

グリッパシュー面圧を決定するもう一つの要素であるグリッパシューの高さ(弧長)は、後胴におけるシールドジャッキの取り付け部分との兼ね合いから制限される。グリッパシューの幅(トンネル軸方向の長さ)は、質量と方向制御性の観点から制限される。すなわち、できるかぎり軽量にしたいし、あまり長くすると後胴が固定されがちとなるので方向制御が困難となる。本機を対象として試算した結果と実績値を表-6に示す。

検討を経た結果、本機のグリッパシューは、幅1,800mm×高さ3,680mmとした。このときのグリッパシュー面圧は3.9MPaとなる。この面圧は、水平坑TBMの基準面圧が2~5MPa²⁰⁾であり、斜坑切り上がりTBMの実績機である葛野川パイロットトンネル用掘進機の3.9MPaや、蛇尾川パイロットトンネル用掘進機の3.9MPaと比較しても問題ないと判断した。

グリッパシューストローク(張出し量)は、一般的にシールド型水平坑TBMでは、150~300mmとしている²⁰⁾。葛野川リーミングTBMにおいて肌落ちの大きい部分では、グリッパシューストロークが200mmで不足する場合があったため、本機ではグリッパシュー張出し量は300mmとした。

8 ま と め

斜坑TBMの開発にあたっては、実績調査、概略計算、数値計算を交えた計算などを実施した。

写真-1に完成した全断面斜坑切り上がりTBMの工場仮組み検査での状況を示す。このTBMの開発にあたっては数々の配慮を重ねた。

神流川発電所では、傾斜48°、長さ約1,000m、

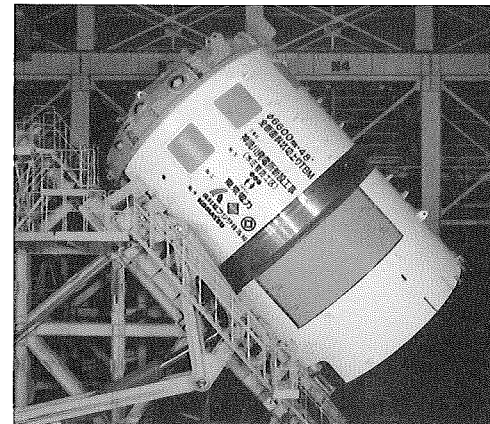
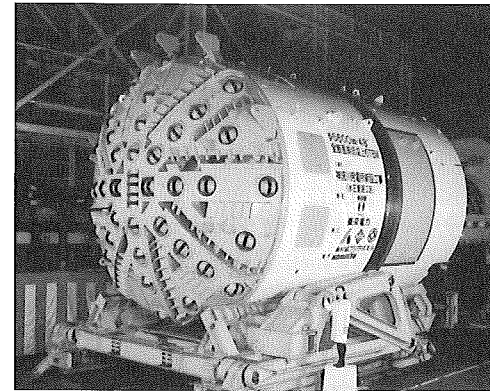


写真-1 完成した全断面斜坑切り上がりTBM

φ6.6mの斜坑を下から一気に掘り上げるようになった。この決定を受けて開発したのが、写真-1に示す全断面斜坑切り上がりTBMである。TBMは巨大になればそれだけ重くなる。ここで使用されたTBMは掘削径が斜坑用としては世界最大で、その重量もおよそ640tと、これまでで最高であった。結果的には、周りの地盤が比較的硬く丈夫だったこともあり、とくに大きな問題もなく掘削を終えることができた。葛野川における2工程方式と実績を比べると下記ようになる。

葛野川(1999年12月開通) : 導坑直径 2.7m
切掛け断面 7m
平均月進 52m
神流川(2005年12月開通) : 全断面掘進 6.6m
平均月進 71m

上記の数字をみると、平均月進で40%近い増加を達成することができた。なお、粗い見積りであるが、コストダウン約10%、工期6か月短縮がこ

の全断面斜坑TBMを採用したことでもたらされたとの報告もある²²⁾。

斜坑TBMの今後の課題としては、発進時の手順の簡略化と安全性の確保が挙げられる。これらを改善することにより、斜坑工事において、安全なTBM施工がより普及することが期待できると考える。

最後に、本研究を行うにあたりご協力いただいた、(株)奥村組、奥村・フジタ・銭高共同企業体ならびに関係各位に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 西田孜：下郷発電所計画の概要，電力土木，No.155，1978.7.
- 2) 西田孜・松村義章・宮永佳晴：TBMによる斜坑への挑戦，土木学会誌，1981.9.
- 3) 西田孜・松村義章・宮永佳晴：TBMによる水圧管路斜坑掘削，電力土木，No.172，1981.5.
- 4) 西田孜・松村義章・宮永佳晴：トンネルボーリングマシンによる水圧管路斜坑掘削，建設の機械化，No.348，1979.2.
- 5) 西田孜・松村義章・山田秋夫：トンネルボーリングマシンによる斜坑掘削の中間報告，建設の機械化，No.364，1980.6.
- 6) 西田孜・松村義章・山田秋夫：トンネルボーリングマシンによる斜坑掘削の最終報告，建設の機械化，No.377，1981.7.
- 7) 伊藤金通・草野邦雄：TBMによる急傾斜水圧管路の導坑掘削，東京電力蛇尾川揚水発電所，トンネルと地下，Vol.20，No.12，pp.39-46，1989.12.
- 8) 畠山昭・南将行・渡辺浩：パイロットTBM/リーミングTBMによる急勾配，大断面斜坑の掘削，電力土木，No.277，1998.9.
- 9) 長崎義美・池田博嗣・小柳晋太郎：TBMによる水圧管路急勾配部掘削の計画と実績，電力土木，No.336，2008.7.
- 10) 柏木雄二・園田利美津・池田博嗣：TBMによる水圧管路急勾配部の導坑掘削，電力土木，No.303，2003.1.
- 11) 日本トンネル技術協会：TBMハンドブック，pp.31-35，2000.12.
- 12) Project & Product News From Atlas Copco Robbins，BREAKTHROUGH，1996.1.
- 13) Tunnels & Tunneling International，pp.48-50，1997.6.
- 14) 西脇芳文：神流川発電所の計画と調査・設計の概

- 要, 電力土木, No.273, pp.20-25, 1998.1.
- 15) 前島俊雄・久保田利寿・渋谷武弘: 上り48°斜坑をφ6.6mTBMで掘削, 東京電力 神流川発電所水圧管路, トンネルと地下, Vol.32, No.9, pp.31-43, 2001.9.
- 16) 久保田克寿: 神流川発電所水圧管路工事, 建設機械, 2001.7.
- 17) 日本トンネル技術協会: TBMハンドブック, pp.113-123, 2000.12.
- 18) 先端建設技術センター: 楕円断面TBM, p.20, 1999.8.
- 19) 大久保誠介・福井勝則・陳文莉: 西松の切削抵抗の式にもとづいたトンネル掘進機のずりの形状・寸法の推定, 資源・素材学会誌, Vol.126, pp.24-30, 2010.1.
- 20) 日本トンネル技術協会: TBMハンドブック, pp.18-22, 2000.12.
- 21) 日本トンネル技術協会: TBMハンドブック, pp.120-121, 2000.12.
- 22) 水力発電技術事例, 第3回水力発電に関する研究会, <http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g80307f05j.pdf>

わかりやすい トンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 円340円

福島啓一著

NATMの導入以来, トンネル工場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/弾塑性学の基礎, 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, ゆるみと締まり, 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

トンネルジャーナル

県道角田山下線 角田山元トンネルが開通

宮城県が整備を進めてきた「角田山元トンネル」を含む一般県道角田山下線の未供用区間3.5kmが, 9月25日供用された。当日は現地では, 式典と「角田山元トンネル探索ウォーキング」が開催され, 開通を祝った。

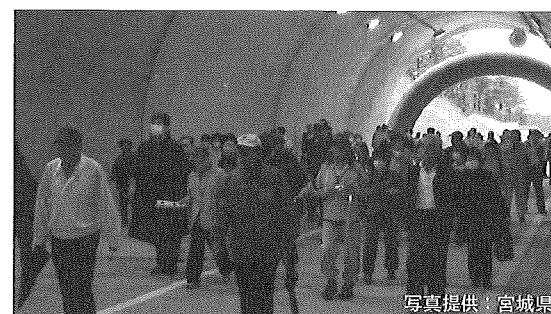
トンネルは, 亶理郡山元町と角田市の行政境に位置する全長961mのNATMトンネルで, 発破掘削により施工された。坑口付近では地山のゆるみが想定されたことから, 安定のため充填式フォアパイリン

グと長尺鏡ボルトを併用している。湧水や崩落ではなく最大日進5.8m, 平均月進64mで完了した。

同道は, 既存の一般県道半田山下線のバイパスとして整備され, 狭隘な峠道を解消するとともに, 角田・白石方面から常磐自動車道山元ICのアクセス道路としての機能に加え, 広くは東北自動車道白石ICに連絡する路線として位置づけられている。事業区間の全線開通により, 同県南部地域の交流促進, 経済活動の活性化などの効果が期待されている。



写真提供: 宮城県



写真提供: 宮城県

日本海沿岸東北自動車道 堅苔沢トンネルが貫通

東北地整酒田河川国道事務所が整備する日本海沿岸東北自動車道の「堅苔沢トンネル」が貫通し, 10月5日式典が催された。式典では, 地元の小堅小学校の児童が伝統の「岩ゆり太鼓」を披露し, 貫通を祝った。

同トンネルは, 全長1,993mのNATMトンネルで, 平成20年5月に掘削を開始した。

トンネル全体にわたり岩層の変化が激しいことから, 水抜きを兼ねた削孔検層を行い, 地質や断層破砕帯を事前に確認しながら掘削を進めた。

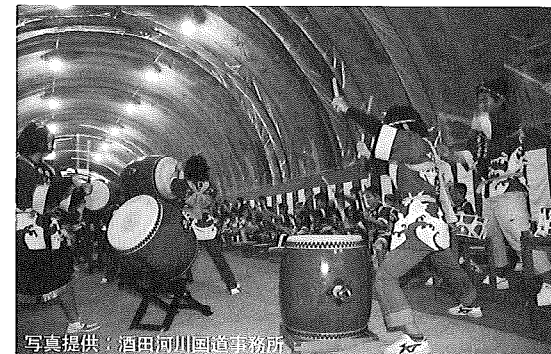
坑口部では崖錐堆積物が分布し, 崩落防止のため小口径注入式長尺先受け工を採用したが, その後も天端部に崖錐の貫入が続き, 小崩落が発生したことから短尺注入ボルトを施工しながら掘進した。

2か所ある最小7mの小土かぶり部では, 崩落や沈下対策として小口径注入式長尺先受け工, ウィングリブ付き支保工を用いた施工を行ったほか, 坑口から940, 1,050m付近に現れた破砕帯での施工では, ロックボルトの破断や吹付けコンクリートの破壊が生じたが, 高強度吹付けコンクリートや増しロック

ボルトなどによる支保増強とインバートの早期閉合を実施して突破した。平均月進は71mであり, 最大日進5m, 最大月進105mで貫通を迎えている。

同トンネルは温海〜鶴岡間にある5つのトンネルのうち, 温海(6,022m), 小波渡(2,496m)につづく3番目に長いトンネルで, 5つめの貫通となる。

同区間の開通については, 災害に強い道路ネットワークの形成や沿道に多くある観光地へのアクセス性の向上といった効果が期待されており, このたびの貫通により供用へ向けて大きく弾みがついた。



写真提供: 酒田河川国道事務所

横浜環状北線シールドが発進

首都高速道路が建設中の横浜環状北線のシールド発進式が10月5日、新横浜発進立坑で開催された。

シールドは、直径12.5m、長さ11.5m、重さ約2,000tで、発進基地設備がコンパクトになるよう泥土圧式とした。内・外回りにそれぞれ1機使用することから発進立坑内には2機のシールドが並列した。シールドには一般公募により、外回り(生麦方面)に「ナッピー号」、内回り(港北方面)に「コピー号」と愛称が付けられている。

同路線は、第三京浜道路の港北ICと首都高速道路横羽線の生麦JCTをつなぐ延長約8.2kmの自動車専用道路で、家屋の移転を少なくし周辺環境を保全するため、全体の7割にあたる約5.9kmをトンネル構造とし、うち約5.5kmをシールドで施工する。また、トンネルの中間地点付近にあたる馬場出入口部

では、大口径バイブーフを利用して非開削で出入口拡幅部の構築を行う。

今後、両シールドは横浜市港北区新羽町から同市神奈川区子安台までを平均月進約240mで約2年をかけて掘進する計画となっている。



写真提供：首都高速道路(株)

ゴットルドベーストンネルが貫通

スイス南部のサン・ゴットルド峠に建設されているゴットルドベーストンネルにおいて、南行きの東線トンネルが10月15日貫通した。

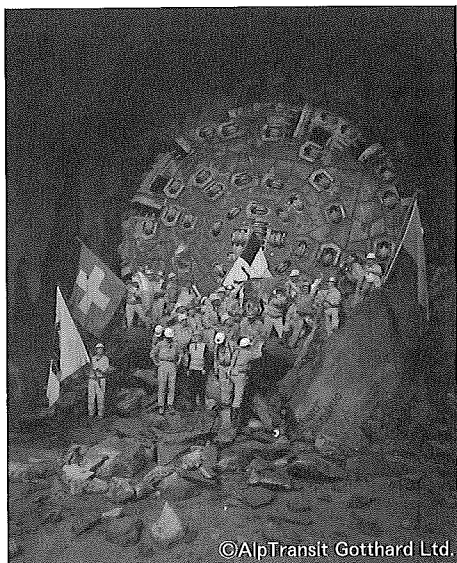
建設を進めるAlpTransit社のプレスリリースによると、南側のFaido工区からSedrun工区に向かって、TBMが最後の掘進を行い、同日午後2時30分ころ貫通した。貫通地点は北坑口から30km、南坑口から27kmの地点で、貫通誤差は水平方向に8cm、垂直方向に1cmであった。

貫通にあたって式典が催され、運輸大臣ら200名が出席して貫通を祝ったほか、これまでの作業にかかわった、計画、地質調査から設計、施工にいたる技術者、職員ら約3,500名が、坑口やトンネル内の多目的駅など4か所の会場に設置された大型スクリーンでその瞬間を見守った。

同トンネルは延長57kmで、Uri州Ersfeldにある北坑口と、Ticino州Bodioにある南坑口を結んでアルプスを貫通する。開通すれば53.85kmの青函トンネルを抜き世界最長となる。また、最大土かぶりには2,500mに及び、世界でもっとも深い位置にある鉄道トンネルでもある。トンネルは、並進する2本の単線トンネルからなっており、325mごとに40mの連絡坑で接続されている。斜坑なども含めた全体の掘削延長は151.8kmに及ぶ。

完成するとアルプスを抜ける勾配の小さい路線が実現することになり、ヨーロッパの鉄道輸送は大幅に強化される。南北間の貨物輸送では自動車から鉄道への転換が進み、旅客輸送では、チューリッヒ〜ミラノ間の所要時間は、3時間40分から2時間50分へと短縮される計画である。

西線トンネルの貫通は2011年4月、開業は2017年末を予定している。



©AlpTransit Gotthard Ltd.

連載特別

ずり処理入門(12)

—掘削ずりの活用と処理・重金属(3)—

「ずり処理入門」連載講座小委員会

表-1 工事概要

工事名称	一般国道230号虻田町青葉トンネル新設工事
発注者	国土交通省北海道開発局
工事場所	北海道虻田郡虻田町
トンネル延長	1,719.5m
地質概要	第四紀更新世以降の火山活動によるデイサイト質の新規溶岩を基盤としている。溶岩の一部は火山活動による熱水変質作用により変質している。
対象ずり量/全ずり量	97,000m ³ (53%)/183,000m ³

① はじめに

前回は、トンネル工事における自然由来重金属などの調査・施工中の分別および自然由来重金属等含有ずりの活用方法と処分方法について述べた。

今回は、トンネル工事における具体的事例について詳述する。

② 施工事例

2-1 青葉トンネル¹⁾

2-1-1 工事概要

2000年3月の北海道有珠山の噴火により被災し不通となった国道230号の代替として、トンネル2本を含む新ルートが計画された。このうち、青葉トンネルは噴火湾側に設けられたトンネルである。表-1に工事概要を、図-1に位置を示す。

2-1-2 施工前調査

重金属類含有量などの把握について、事前調査として地上から鉛直ボーリングを実施、ボーリングコアを土壌汚染対策法における溶出量試験(環境省告示第18号溶出量試験)、含有量試験(環境省告示第19号含有量試験(以下「公定法試験」という))にかけ溶出量・含有量を測定した。

2-1-3 施工中調査、判定方法

先進ボーリングを実施し、10m間隔でボーリングコアを公定法試験にかけ溶出量・含有量を測定した。

金属類の判定方法は、「洞爺道路トンネル技術

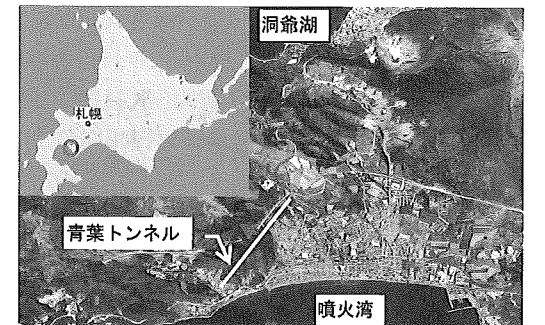


図-1 青葉トンネル位置

委員会」にて検討されたフローにより実施された(図-2参照)。

施工中は、先進ボーリングで確認されたコアと切羽面を比較し、相違ないことを確認するほか、「普通土として流用」と判定された基準値以下のずりに対しても、信頼性を高める目的で蛍光X線による含有量の再確認、土壌pH・EC測定を日々行い更なる安全性向上を図った(図-3参照)。

管理型ずりの判定基準を表-3のように定めた。

2-2-4 処理方法

(1) ずりびんへの仮置き

通常の施工工程に掘削ずりの鉱化変質岩の判定が加わるため、切羽から採取した試料の判定結果が出るまでは、ずりびんに仮置きして管理した(2分割し最大2日分溜め置き可能)。

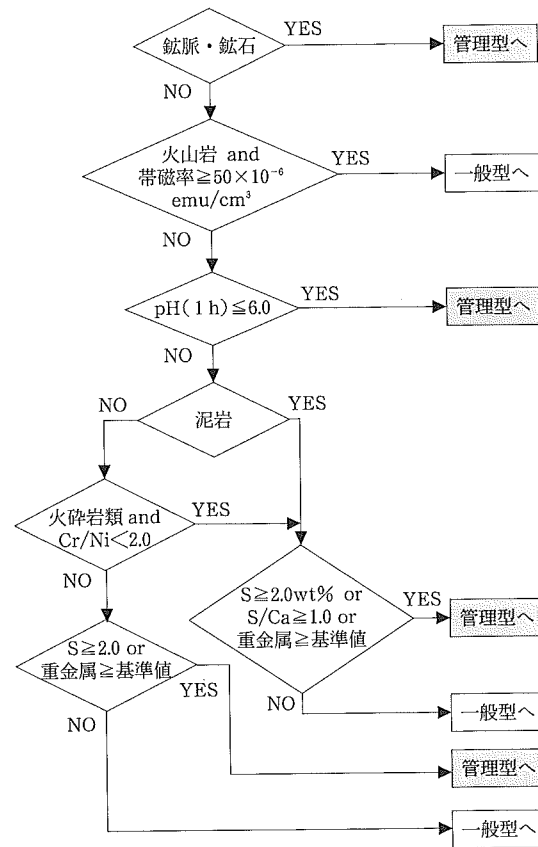


図-5 鉱化変質岩判定フロー³⁾

(2) 一般型盛土場への埋立て

判定の結果、一般型とされる掘削ずりについて、通常のトンネル工事において用いられる構造と同様な盛土場に埋立てるとした。

(3) 管理型盛土場への埋立て

管理型として判定された掘削ずりを管理型盛土場に埋立て、雨水・地下水などとの接触を断ち環境汚染の防止を図った。構造は、産業廃棄物管理型最終処分場に準拠した構造を有する。底盤部、法面部・覆土部のすべてをシートで覆い、遮水構造とした(図-6参照)。写真-2に覆土および緑化した状況を示す。

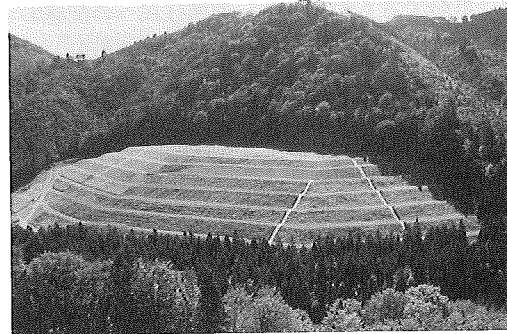


写真-2 管理型盛土場(緑化完了後)

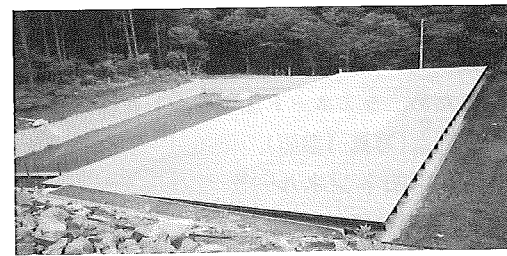


写真-3 浸出水貯留池

表-3 岩石判定基準値設定の概要³⁾

判定項目	判定基準値	基準値設定の根拠
帯磁率(κ_{sp})	$\kappa_{sp} \geq 50 \times 10^{-6} \text{ emu/cm}^3 \rightarrow$ 一般型	・基準値以上の火山岩で酸性化を示す試料がみとめられない ・基準値以下でSを2.0wt%以上含む火山岩は非常に少ない
溶出水のpH	一時間後のpH $\leq 6.0 \rightarrow$ 管理型	・1時間後の溶出水pHが6.0以下を示す試料はすべて、56日後でも酸性を示す
火砕岩類のCr/Ni比	Cr/Ni $< 2.0 \rightarrow$ 泥岩に準拠	・火砕岩類は、Cr/Ni比が1.0前後の試料と2.0以上の試料とに大別される ・泥岩のCr/Ni比は1.0前後で、火成岩のCr/Ni比は2.0以上である ・Cr/Ni比が1.0前後の火砕岩類の溶出特性が泥岩に類似する
泥岩および火砕岩類(Cr/Ni < 2.0)のS/Caモル比	S/Caモル比 $\geq 1.0 \rightarrow$ 管理型	・S/Caモル比が増加すると溶出水のpHが低下する ・S/Caモル比が1.0以上で溶出水が酸性化する場合が認められる
S含有率	S $\geq 2.0\text{wt}\% \rightarrow$ 管理型	・溶出水が酸性を示す火成岩類は、Sを2.0wt%以上含むことが多い

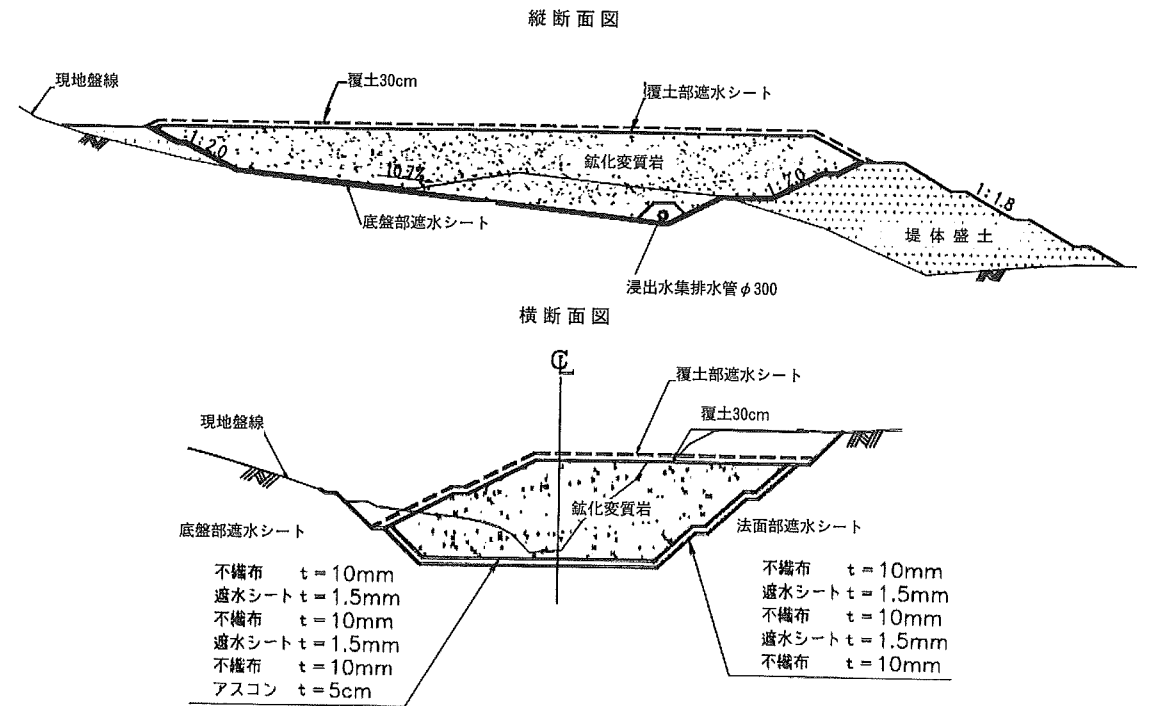


図-6 管理型盛土場の構造²⁾

2-2-5 モニタリング

管理型盛土場では、造成中は雨水・雪解け水などがずりの中へ浸透してくる。そこで、底盤部に排水管を設置し、排水できる構造とした。浸出水は、酸性を示すこと、あるいは重金属を含むことが想定されたため、それを貯留し、更にモニタリングを行えるようにするため、排水管の流末には浸出水貯留池を設置し、水質検査を行った後に河川などに放流している(写真-3参照)。

最終的に、盛土場からの浸出水の発生が確認されなくなった段階で、排水管を閉鎖する。

2-3 甲子トンネル⁶⁾

2-3-1 工事概要

一般国道289号は、新潟県新潟市から福島県の南会津地方、県南地方を経て同県いわき市に至る幹線道路である。このうち、南会津郡下郷町から西白河郡西郷村までの間は険しい甲子峠に阻まれ通年通行不能となっていた。

当工事はこの甲子峠を貫く全長4,345mのトンネル工事である。

表-4に工事概要を、図-7に位置を示す。

表-4 工事概要

工事名称	国道289号甲子トンネル工事
発注者	国土交通省東北地方整備局
工事場所	福島県南会津郡下郷町～同西白河郡西郷村
トンネル延長	4,345m(2工区)
地質概要	玄武岩質溶岩・玄武岩質火砕岩からなる甲子火山岩類、甲子旭岳火山岩類(第四紀火山噴出物群)
対象ずり量/全ずり量	50,000m ³ (29%)/170,000m ³

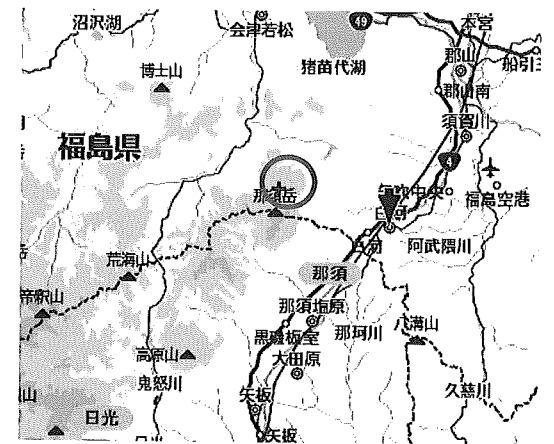


図-7 甲子トンネル位置

2-3-2 施工前調査

事前調査ボーリングにおいて一部サンプルより重金属を含む岩石が確認され、土壌汚染対策法に準じた溶出試験では環境基準を超過してはいないものの、強制的に溶出させうえて溶出量を測定したところ、環境基準を超過するサンプルが得られた。

主な重金属は鉛、ひ素、セレン、カドミウムであり、これらの重金属は掘削時点では溶出しにくいものの長期的には溶出する可能性があることが確認された。

2-3-3 施工中調査・判定方法

事前調査で得られた結果をもとに甲子トンネルでは学識経験者、行政担当者、トンネル施工技術者などで組織する「甲子トンネル施工技術検討委員会」を設置し、蛍光X線分析および簡易溶出試験を用いた判定と基準値を設定した(図-8参照)。

判定に用いる基準値は、溶出試験結果による重金属溶出濃度と硫黄含有量およびpHとの相関関

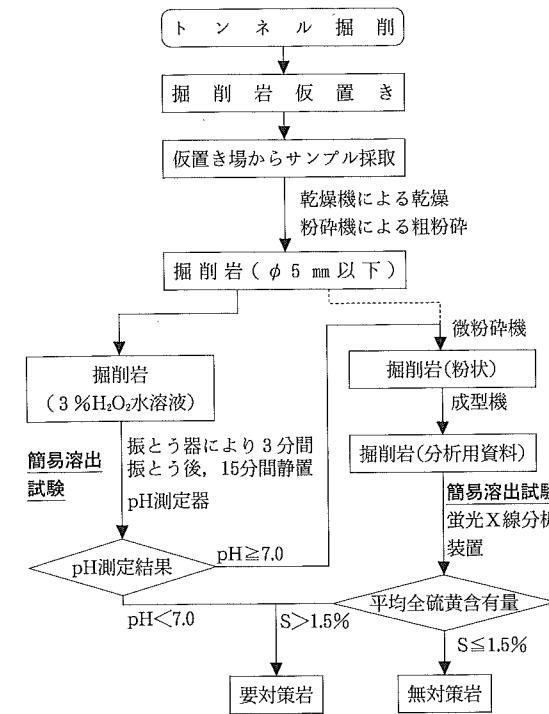


図-8 対策要否判定フロー⁶⁾

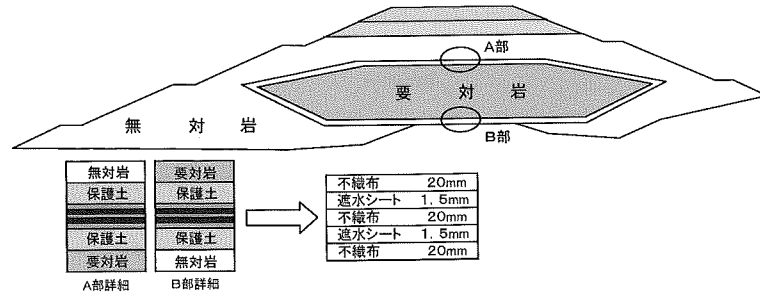


図-9 要対策岩の封じ込め方法の概要⁶⁾

係を導き設定した。

2-3-4 処理方法

(1) 掘削土の仮置き

掘削ずりの判定には半日程度を要するため、判定結果が得られるまでの掘削ずりは坑口付近に設置した1次仮置き場に保管し、結果が得られた時点で運搬し、道路盛土材として有効に活用した。

また、下郷工区では降積雪が非常に多く冬期間の盛土作業は不可能であることを考慮して、要対策岩を12,000m³保管できる2次仮置き場を設置し、対応した。

(2) 要対策岩の封じ込め対策

要対策岩は道路盛土工事の路体の中に遮水シート(二重)で封じ込める工法を採用した(図-9参照)。

2-4 仙台市地下鉄東西線⁷⁾

2-4-1 工事概要

仙台市地下鉄東西線は、仙台市南西部の八木山動物公園付近から東北大学を経由し、すでに開業している地下鉄南北線の仙台駅を交差し、東部の荒井地区に至る約14kmの路線である。

東西線事業で発生する建設発生土は、約125万m³を予定しているが、そのうちの4割にあたる

表-5 工事概要

工事名称	仙台市地下鉄東西線工事
発注者	仙台市交通局
工事場所	仙台市地下鉄東西線動物公園駅(宮城県仙台市太白区)~荒井駅(同市若林区)
トンネル延長	約14km
地質概要	新第三紀鮮新世の竜の口層(海成層)
対象ずり量/全ずり量	500,000m ³ (40%)/1,250,000m ³

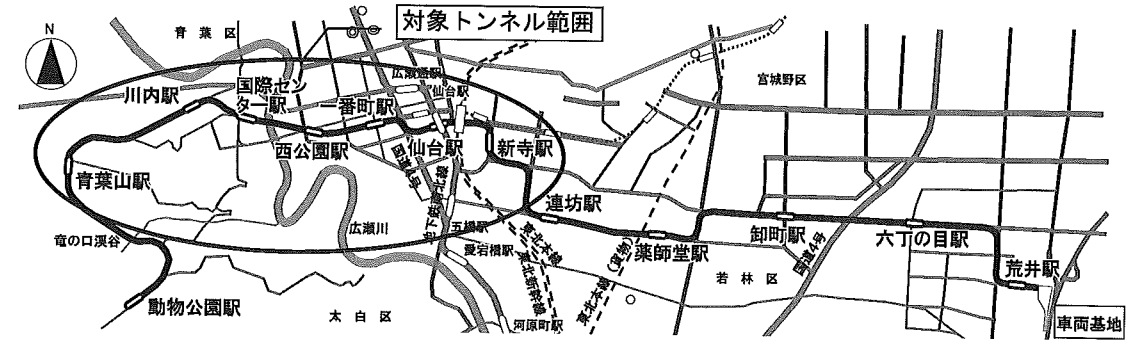


図-10 仙台市地下鉄路線

約50万m³について自然由来の重金属が含まれている可能性がある。

表-5に工事概要を、図-10に路線を示す。

2-4-2 施工前調査

施工に先立ち青葉山周辺から採取した資料を用いて自然的原因により含有する可能性があるといわれる項目(カドミウム、六価クロム、水銀、鉛、ひ素、ふっ素、ほう素、セレン)について土壌汚染対策法における公定法試験を実施した。その結果、含有量試験ではすべての項目において定量下限値未満であったが、溶出量についてはカドミウムなど環境基準を超過するものがあった。

その後の試験から、竜の口層の岩石は時間の経過、すなわち酸化の進行により、溶出する重金属が変化し、酸性水が溶出するという二つの性質があることが確認された。

このように時間の経過により溶出特性が変化することから、仙台市交通局ではフレッシュな状態でひ素が溶出する特性を「即時溶出」、酸化の進行によりカドミウムの溶出・酸性水を発生する特性を「酸化溶出」と名づけて整理することとした。

2-4-3 施工中調査・判定方法

先に述べた竜の口層の二つの溶出リスクのうち、即時溶出については「公定法溶出試験」での評価が可能である。一方、酸化溶出に対しては未風化の岩石に対して評価しなければならないため、強制的に酸化を進行させる必要がある。しかし、強制酸化試験は方法が確立されていないため、試験手法についての検討を行った。

その結果、3%過酸化水素水(H₂O₂)により4時

間反応させた強制酸化試験(以下「指標分析」という)により自然状態で起こりうる酸化に近いpH、電気伝導率の状態になったと判断した。

以上から、「公定法溶出試験」での評価および「指標分析の結果、検液のpHが4以下の場合」、要対策土と判断することとした。

2-4-4 処理方法

実際の処理については、仙台市郊外の砕石場跡地において森林復旧の一環としての盛土として行うこととなったことから、処理の考え方は盛土として締め固めて覆土を行うことにより雨水の浸透ならびに酸素との接触を抑制し、還元的かつ水の浸透もある程度制限された地山の状態に戻すことで溶出を制御することを基本とした。

また、これらの重金属類や酸性水原因物質は、水を媒介として周辺に拡散していくことから、盛土の施工基面には遮水シートによる浸透防止処置を施すほか、降雨時の養生や排水処理、溶出した重金属に対する処理プラントの設置により、重金属などを用地外に排出しない対策を講じることとした。

要対策土の盛土は、底部に遮水シートを敷設した後に前面および側面に一般土で土堤を施工し、その内側に埋めるように盛土を施工する。

盛土の施工は、1層が30cm以下になるようにブルドーザ(21t級)で敷き均し、タイヤローラ(8~20t級)で十分締め固めることとした。

盛土の品質管理として、締め固め度を85%以上と規定し、5,000m³ごとに密度試験を行うこととした(図-11、写真-4参照)。

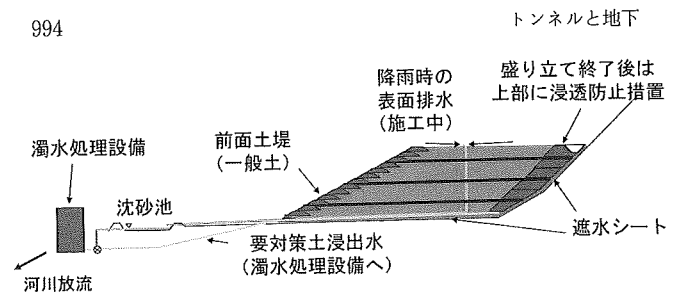


図-11 要対策土盛土構造²⁾

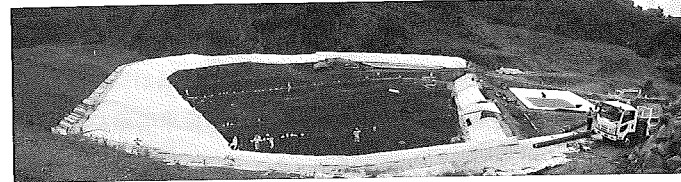


写真-4 要対策土の処理(底面遮水シート設置)²⁾

2-4-5 モニタリング

(1) 管理型盛土場の管理

専門知識を有するコンサルタントに施工監理を委託し、以下の項目について毎日確認を行うこととした。

- ・濁水処理プラント放流水の水質検査
- ・曝露面の監理および施工手順
- ・盛土工事、シート設置などの巡回確認
- ・排水管路などの確認
- ・要対策土および築堤部の現場密度監理
- ・盛土工、シート設置工の品質管理

(2) 地下水のモニタリング

地下水のモニタリングは、盛土場内の沈殿池、重金属処理プラントの処理水のほか、盛土場周辺を流れる河川上下流部および盛土場付近に設置した2か所の観測井の計6か所について、毎月採水し、カドミウム、鉛、ひ素、ふっ素、セレンの含有量とpHについて環境基準値を満足するかの確認を行い、その結果を付近住民に知らせている。

2-5 雪沢第二トンネル^{8),9)}

2-5-1 工事概要

日本海沿岸東北自動車道・大館北イ

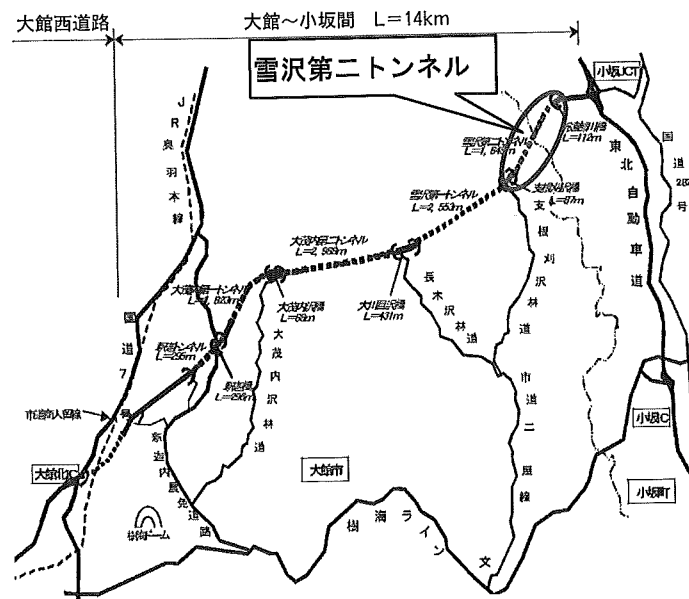


図-12 雪沢第二トンネル位置

ンターチェンジ(仮称)～小坂ジャンクション(仮称)間のもっとも東に位置する。

表-6に工事概要を、図-12に位置を示す。

2-5-2 施工前調査

トンネル周辺は、過去に黒鉱の採掘が行われており、計画時からトンネル工事に伴い、酸性水の発生や重金属などの溶出に関する報告がなされていた。

これらは、掘削土である岩石が雨水、地下水に接触して、含まれる硫化鉱物が酸化・分解されることに起因するた

めで、周辺環境に影響を及ぼす掘削土を判定するために、簡易溶出試験のpH、全岩硫黄含有量、硫黄/カルシウム比(S/Ca(モル比))などを指標と

表-6 工事概要

工事名称	日本海沿岸東北自動車道大館～小坂雪沢第二トンネル
発注者	東日本高速道路(株)東北支社
工事場所	秋田県大館市～同鹿角郡小坂町
トンネル延長	1,849m
地質概要	新第三紀中新世の大葛層と大滝層、これらに貫入する火成岩類
対象掘り量/全掘り量	14,000m ³ (8%)/182,000m ³

した手法が用いられていた。

工事着手前に行った調査では、掘削土である岩石の一部で、セレンが土壌汚染対策法に定められた溶出量基準(0.01mg/ℓ)を超過することがわかった。

2-5-3 施工中の調査・判定方法

トンネル掘削作業と併行して、掘削ずり判定を目的にトンネル全線にわたって切羽の中心で先進ボーリングを行った。

先進ボーリングは、パーカッションワイヤーライン工法で行い、月に一度、トンネル掘削作業が休止している2日間で延長100～150mを削孔した。

先進ボーリングコアの1m区間ごとに約300gの試料を採取し、5mコア相当分の試料を混合して1試料とした。ただし、コアの肉眼観察で、岩種、風化、変質の有無、粒度の違いがない区間では、10mコア相当分を上限として1～2mごとに上記同様各々約300gの試料を採取し1試料とした。

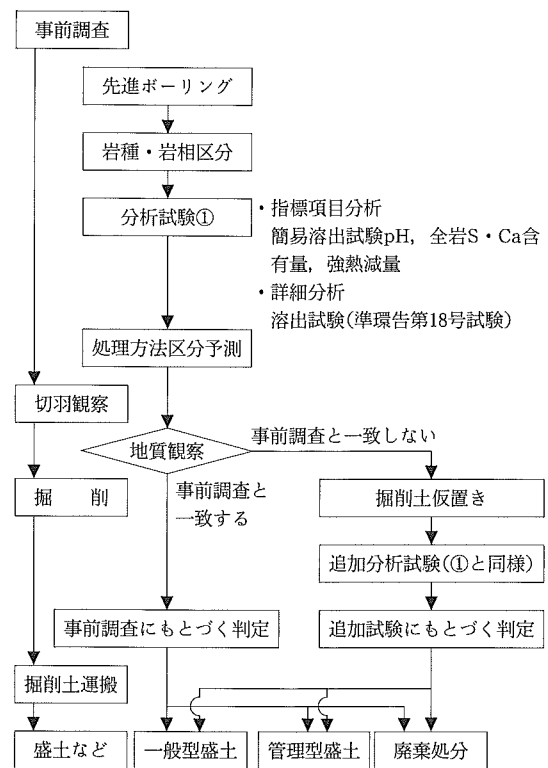


図-13 ずり処理の概念⁹⁾

なお、泥岩と凝灰岩が互層の場合も、これらを混合して分析試料とした。

分析方法としては、簡易溶出試験、全岩化学組成分析と強熱減量(強熱温度1,000～1,050℃)をずりの判定のための指標項目とした(図-13参照)。

簡易溶出試験は、蒸留水500mℓに粒径2～5mmに調整した試料100gを加え、3分間振とうさせ、7分間静置した後、検液のpHを測定したものをいう。簡易溶出試験のpHは、JIS Z 8802のガラス電極法により測定した。

土壌汚染対策法に定められた溶出試験の振とう時間は6時間であるが、当工事の簡易溶出試験は、検液の作成時のろ紙の過程を簡略化し、迅速かつ簡易なトンネル掘削土判定を行うための指標項目として独自に定めた。

指標としては、簡易溶出試験のpHが7.0以上、全岩硫黄含有量が1.0wt.%未満の試料では、溶出量基準の超過はなかったことから、硫黄含有量と簡易溶出試験のpHがセレンに対する掘削土判定の基準として用いることとした。

また、黄鉄鉱などを多く含む泥岩の分析方法として、全岩硫黄含有量とS/Ca(モル比)も、ひとつの基準になると判断した。

判定指標のしきい値を、表-7に示す。

詳細分析は、公定法試験の環境省告示第18号溶出試験を行い判定した。

2-5-4 処理方法

ずりの処理は、図-14の概念にもとづき第二溶出量基準(0.3mg/ℓ)を超過するずりを確認した場合は廃棄処分(場外搬出処理)するとした。

含有量基準(S=1.0wt.%)のみ超過するずりは、溶出量基準(0.01mg/ℓ)を超過するずりと同様に管理型盛土内に封じ込めることとした(写真-5、図-15参照)。

表-7 指標項目のしきい値

1) 「簡易溶出試験pH<6.0, 10.0<pH」 かつ「強熱減量>10.0%」	→詳細分析による判定
2) 「全岩硫黄含有量(S)≥1.00wt.%」	→詳細分析による判定
3) 「S/Ca≥1.0」	→詳細分析による判定
4) 「全岩硫黄含有量(S)≥1.00wt.%」 かつ「S/Ca<1.0」	→一般型盛土と判定

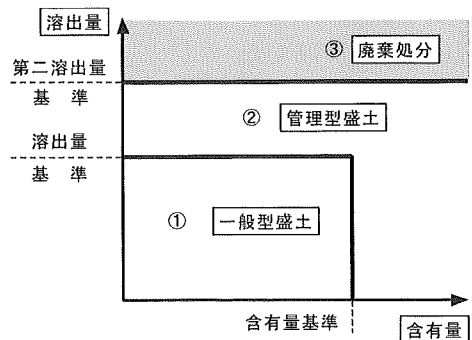


図-14 ずり処理の概念⁹⁾

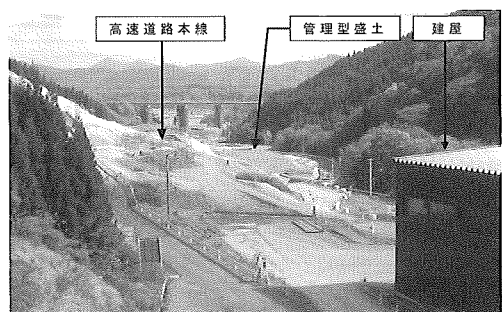


写真-5 管理型盛土

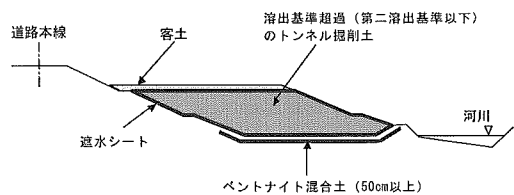


図-15 管理型盛土の構造⁹⁾

基準値を超過しないずりは、無処理で高速道路の盛土材(一般型盛土)として使用するとした。

なお、管理型盛土が完成していない工事中は、管理型盛土からの浸出水をいったん沈砂池に貯水し、沈砂池から河川に放流する前に水質試験を行い、排水基準を満足しない場合、重金属などの処理機能を有した濁水処理施設で排水基準未滿に処理してから放流することとした。

2-5-5 モニタリング

雪沢第二トンネル東坑口と管理型盛土脇を流れる河川水および管理型盛土上流・下流に設置した観測井戸からの地下水を採取するなど、モニタリング調査を行い、周辺への重金属などの拡散がないことを確認しながら、トンネル掘削作業を行った。

③ おわりに

ここで事例として紹介した工事は、改正土対法の施行以前のものであり、自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応は、「自然的原因により有害物質が含まれる土壌」は対象外とされたため、個別案件ごとに判定・処理方法を策定していた。

今後は、改正法の適用範囲や運用基準に留意したうえで、国土交通省により策定された『建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル(暫定版),平成22年3月』¹⁰⁾を適用して対応する必要がある。

今回の事例では、ずり処理の処分方法において、このマニュアルに記載されている対策に準じた方法が実施されている。今後、実際のトンネル工事において自然由来重金属等含有岩石・土壌に遭遇した場合の具体的な処分方法の策定にあたっては、これらの事例が良い参考になると思われる。

(文責：秋田勝次/鉄道・運輸機構、領家邦泰・内田正孝/大成建設(株))

参考文献

- 1) 斉藤義浩・甲斐明・福田裕紀：火山地域における重金属含有ずりの処理実績，第56回施工体験発表会(山岳)―特殊環境下におけるトンネル工事―，(社)トンネル技術協会，pp.57-64，2005.12.
- 2) 田中健・長谷川利晴：八甲田トンネルで発生する鉱化変質岩の環境対策，第56回施工体験発表会(山岳)―特殊環境下におけるトンネル工事―，(社)トンネル技術協会，pp.41-48，2005.12.
- 3) 服部修一・太田岳洋・菊地良弘：八甲田トンネルにおける掘削残土の酸性水溶出に関する判定手法の評価，応用地質，Vol.47，No.6，pp.323-336，2007.6.
- 4) 服部修一・太田岳洋：重金属などを含む掘削残土の分別処理方法，トンネルと地下，Vol.39，No.10，pp.51-61，2008.10.
- 5) 服部修一・太田岳洋・蓼沼慶正：鉱山地帯を貫く八甲田トンネル掘削における環境対策，地質と調査，Vol.95，pp.13-18，2003.
- 6) 岩淵誠・篠田耕二・原淳二，新居直人：重金属と突発湧水への対応，国道289号 甲子トンネル，トンネルと地下，Vol.37，No.11，pp.15-23，2006.11.
- 7) 谷畑一行・菊谷正己・高橋靖：自然由来の重金属を含む建設発生土の処理と対策，仙台市地下鉄東西線，

トンネルと地下，Vol.41，No.1，pp.29-39，2010.1.

- 8) 渋谷正之・五十嵐一之：トンネル工事で発生する重金属等含有掘削土砂対策について，国土交通省東北地方整備局管内技術研究発表会，http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/k00360/happyoukai/H19/ronbun/5-14.pdf.
- 9) 細川迭男・菅井皇人・山崎充：自然的原因により重金属等を溶出するトンネル掘削土判定と処理―日本

海沿岸東北自動車道 大館～小坂 雪沢第二トンネル―：応用地質，Vol.47，No.6，pp.346-353，2007.2.

- 10) 建設工事における自然由来重金属等含有土砂への対応マニュアル検討委員会：建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル(暫定版)，2010.3.(http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/pdf/recyclehou/manual/sizenyuraimanyu_zantei_honbun.pdf)

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

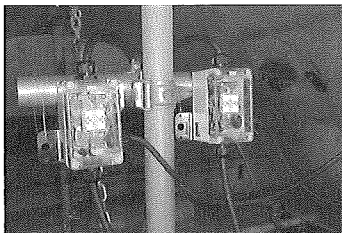
A5判 上製本 475頁 価格 6,300円 円 340円

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

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

工法・技術・製品ニュース

技術 コンクリートの養生状態を光の色で表現



養生状態(左側:温度,右側:湿度)の見える化

(株)銭高組技術本部技術研究所
Tel: 03-5210-2440
http://www.zenitaka.co.jp/

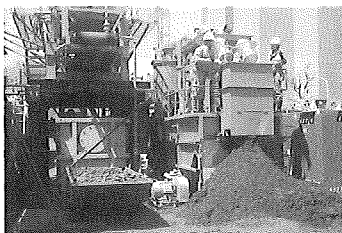
銭高組は、コンクリートの養生状態を光の色で表現する「LEDを用いたコンクリート養生監視・制御システム」を構築したと発表した。

同システムは、覆工コンクリートのひび割れを防止するため、温度を一定に保ち、高湿度を確保するために用いられるもの。温度・湿度センサーからのデータをLEDによる発光色として表示し、コンクリートの養生状態を視覚的に確認することが可能となる。

これにより、これまで現場に設置した温湿度計に頼り、容易に確認できなかったコンクリートの養生状態を、常時、視覚的に判別することができ、コンクリート品質管理体制の強化による高品質化が図られるものと期待されている。

今後、同社では、芥川真一・神戸大学教授が主宰するOSV(On Site Visualization)研究会を通じて、「光る計測装置」をさまざまな現場の用途に適用していくこととしている。

技術 SMWの発生汚泥を減容化



砂・礫と脱水ケーキの仕分け

(株)銭高組技術本部技術研究所
Tel: 03-5210-2440
http://www.zenitaka.co.jp/

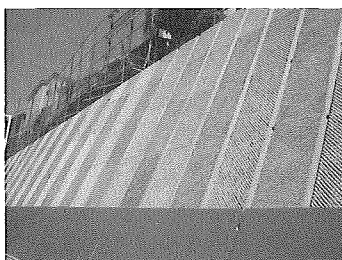
銭高組は、東京都発注の環2地下トンネル築造工事(銭高・大日本・アイサフJV)のSMWの構築において、発生する掘削泥土を、砂・礫、脱水ケーキ、水に分離して、40%の減容化を達成したと発表した。

SMWで発生する掘削泥土はセメントが混入して泥状化していることから現場での処理が難しく、すべて産廃処理されていたが、この技術では、泥水シールド工事で実施している発生土処理システム(振動フルイ、

フィルタープレス)と、高濃度泥水処理を目的として既に開発・実用化した「高性能凝集剤アクアセパレート(溶液型、粉末型)」による水処理工程を組み合わせることで、SMW工法の発生泥土の減容化が可能となる。

同社では今後、小規模で効率の良い減容化システムを構築するとともに、湖沼やダムの上流、泥土圧シールドの汚泥処理の減容化など、環境に優しい施工に取り組んでいきたいとしている。

製品 コンクリエーション2010新製品発表会



ストライプウォール

太平洋セメント(株)グループ事業管理部
建材事業グループ
Tel: 03-5531-7357

太平洋セメントとグループ会社は、コンクリート製品の最新製品発表会を、都内で開催した。

発表されたのは、共和コンクリートの埋設型枠式コンクリート擁壁の「ストライプウォール」ほか4点。これらは“CONCREATION—コンクリエーション”と題したプロジェクトのもとで開発された。

同プロジェクトは、「新しい風景、新しい生活環境を『コンクリート: concrete』によって『創造: creation』

する」ことをコンセプトとし、コンクリートの「新たな価値」を生み出すことを目的としている。

プロジェクトは2006年に活動を開始。太平洋セメントがコーディネータとなってグループ会社をまとめ、デザイナーらと連携しながら、これまでにないかたちでの取り組みのもとで、製品開発が進められた。

今後は、プロジェクトの継続とともに製品PRに力を入れていくとしている。

連載講座

トンネル保守管理における記録とその活用(6)

—変状展開図作成の自動化・デジタル化の取り組み(2)—

JTA保守管理小委員会

前号では、鉄道総研、東京メトロおよび東京都交通局の3会社における変状展開図作成の自動化・デジタル化のシステムを紹介したが、本稿では、JR東日本、NEXCO東日本、東京電力および東京都下水道局のシステムについて紹介する。

4-4 トンネル覆工表面撮影車(JR東日本)

トンネル覆工表面のひび割れなどの変状状況は、一般的に目視検査によりその状況をスケッチし、展開図を作成、記録している。しかし、その作業は暗所で長時間にわたること、上部を見続けるという困難な作業姿勢であることから、多大な労力を必要とする作業である。

JR東日本では、これらの課題を解決するために平成12年にトンネル覆工表面撮影車(Tulis: Tunnel Lining Scanning Car, 以下「トリス」写真-5)を導入した。トリスは、画像を撮影するレーザー計測装置を搭載した8t車ベースの軌

陸車両である。以下に撮影車および周辺機器の概要を述べる。

4-4-1 撮影方式

トリスの撮影方式には、レーザースキャニングによる電子写真方式を採用した。周長方向1mm×進行方向2mmピッチでデータサンプリングを行い、ひび割れ幅1mm以上のものを検知できる機能を有している。撮影速度は、当初3.5km/hであったが、2号機からは8.5km/hに向上している。

レーザースキャニング電子写真とは、レーザースキャナでレーザー光線をトンネル壁面に照射し、壁面で反射した光線の微妙な輝度の強弱を車両にある6個(車両左右側面および屋根上各2個)の光センサーで計測するものである。レーザー計測装置を採用した理由は、①非常に鮮明な画像を得ることができる、②撮影時に照明が不要、③撮影時のピント合わせが不要、④撮影画像の拡大・縮小



写真-5 トンネル覆工表面撮影車

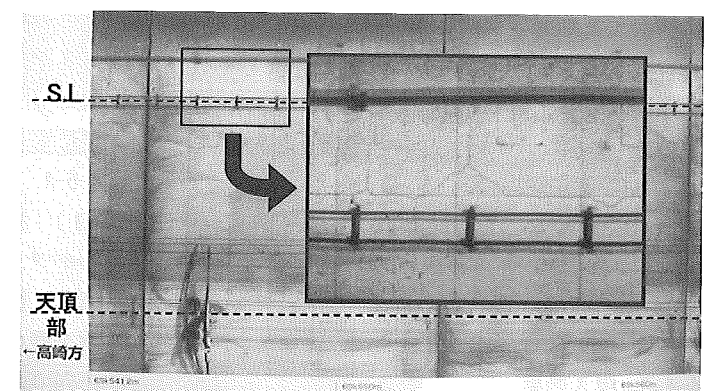


図-9 トリス撮影画像

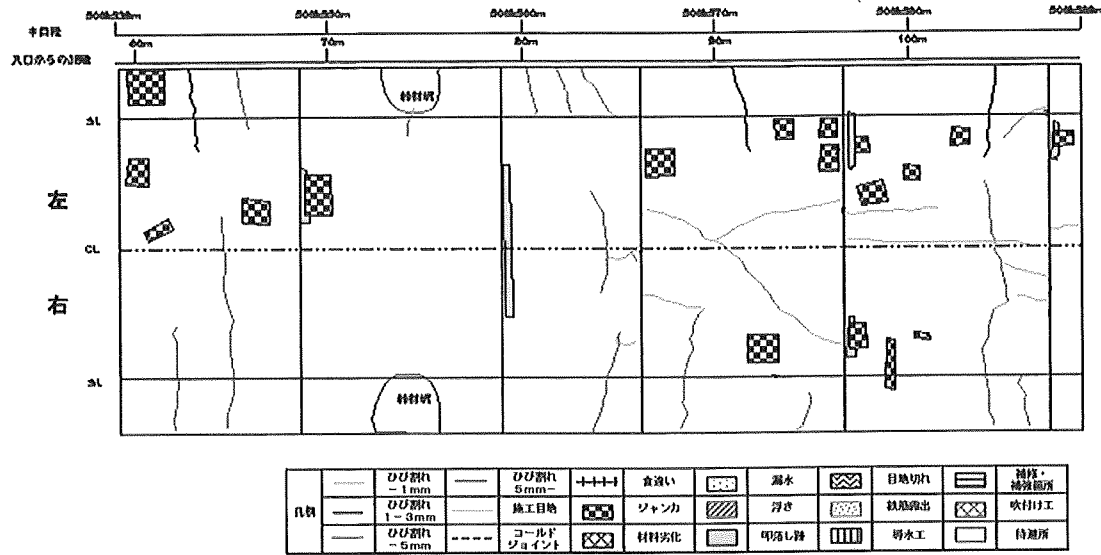


図-10 覆工展開図

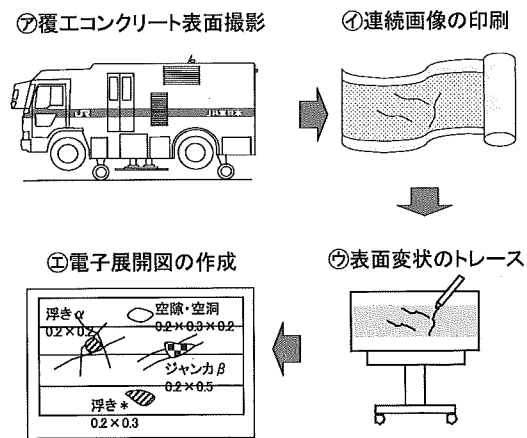


図-11 覆工表面撮影の流れ

が容易、といった特徴があることによる(図-9)。

4-4-2 画像処理作業

撮影車で計測した画像は、HDDに記録され、そのデータからトンネル覆工表面写真を印刷することができる。写真はトンネル延長200m程度を1枚のロール紙に印刷し、広範囲を一度に確認することが可能となっている。

変状展開図は、写真を利用して展開図作成システムにより作成される(図-10)。作成は、写真をトレースするかたちで行い、最終的に土木構造物管理システム(MARS)に登録される。

4-4-3 導入効果

検査者のレベルに左右されることなく、一定の

精度で撮影画像を用いて変状展開図を作成することができる(図-11)。展開図は電子データで保存するため、過去の変状データと比較することが容易であり、変状の進行を正確に把握することができる。

(文責：鈴木尊/東日本旅客鉄道(株))

4-5 覆工表面映像(レーザー・CCD)(NEXCO東日本)

NEXCOの高速道路では、これまで詳細点検において実施されてきた近接目視・打音点検をより効率的に行うためにレーザー光線や3 CCDデジタルビデオカメラを搭載した計測車両を60km/h程度で走行させるひび割れ調査技術を導入している。

この計測車両の要求性能は表-3に示すとおりであるが、高速道路の最低速度(50km/h)以上で点検走行できるので、点検作業に伴う交通規制が不要になることに大きな利点がある。

4-5-1 CCDカメラによるトンネル計測

(1) 測定原理など

デジタルビデオカメラを用いたひび割れ計測技術は、複数台のビデオカメラにより撮影された動画を静止画に変換し、トンネル縦断方向および周方向の画像の貼り合わせ処理を行い、合成展開画像を得るものである。なお、使用するデジタルビ

デオカメラの有効画素数と画角の関係によって、ひび割れ検出能力が異なる。当該計測手法における画像は、すべてカラーである。

(2) 装置の構成・仕様

CCDデジタルビデオカメラ計測システムは、複数台のCCDデジタルビデオカメラを搭載し撮影することで、覆工コンクリートの表面情報を連続的に記録し画像化するもので、写真-6に示す計

表-3 トンネル覆工画像撮影要求性能

項目	性能基準
計測速度	50km/h以上
計測範囲	SLより上のアーチ部
計測精度	ひび割れ幅0.5mm程度以上
取得画像	高精細連続印刷(縮尺1/40程度)

測車両のように機材はすべて4tトラックの架台に搭載する。計測における走行速度は60km/hまで対応可能である。撮影画像および変状展開図を図-12に示す。

4-5-2 アルゴンレーザーによるトンネル計測

(1) 測定原理など

アルゴンレーザー光を用いたひび割れ計測技術は、レーザーキャナでレーザー光線をトンネル壁面に照射し、壁面で反射した光線の微妙な輝度の強弱を光センサーで読み取り、256階調にデジタル化し高密度磁気テープに記録する。このレーザー光線の反射光量データを、車両の進行方向に連続して読み取ることにより鮮明な画像を得るものである。

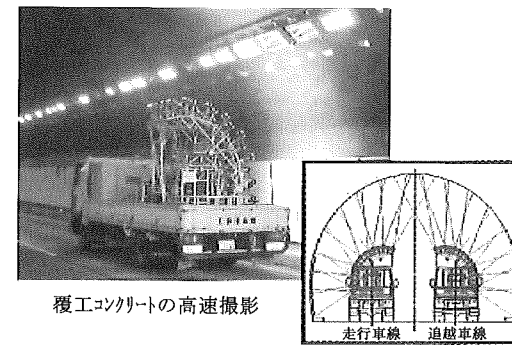


写真-6 3CCDデジタルビデオカメラによる計測状況



写真-7 アルゴンレーザーによる計測状況

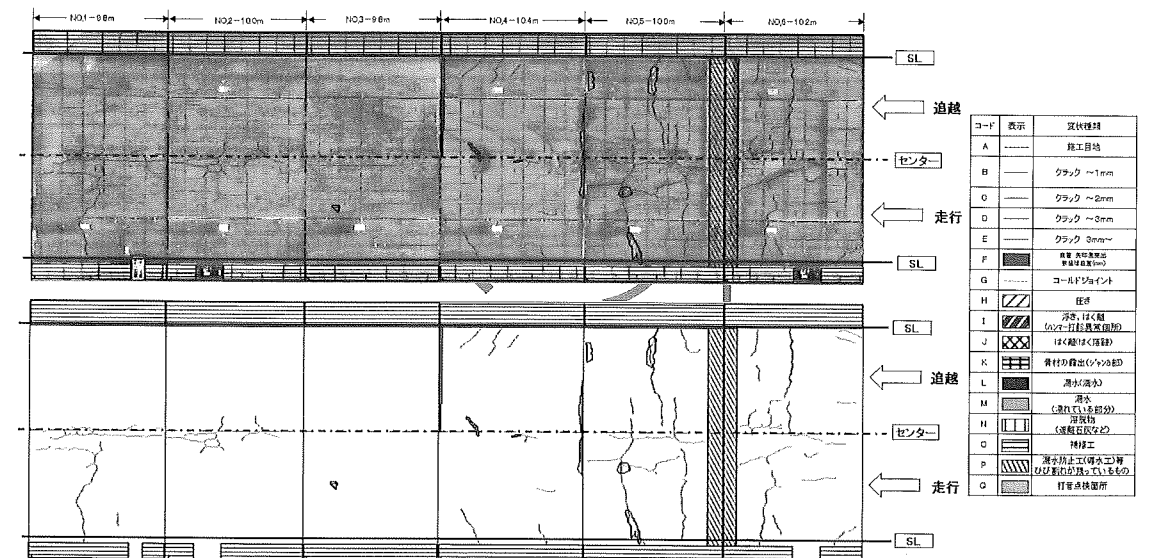


図-12 撮影画像(3 CCDデジタルビデオカメラ)および変状展開図

(2) 装置の構成・仕様

アルゴンレーザー計測システムは、レーザー光線の反射光量を車両の進行方向に連続して読み取り撮影することで、覆工コンクリートの表面情報を連続的に記録し画像化する。写真-7に計測車両の状況を示す。計測における走行速度は60km/hまで対応可能である。

(文責：小山内貴司/東日本高速道路(株))

4-6 トンネルレーザー・レーダー計測システム(東京電力)

発電用水路の点検・調査は、作業環境の悪い場所かつ長距離にわたって測定・記録を行うことから、多大な労力と時間を費やしている。

東京電力では、日本工営(株)との共同研究により、水路内部の点検・調査を連続的かつ短期間で調査できるトンネルレーザー・レーダー計測システムを開発し、平成6年度から調査業務に適用している。

4-6-1 システムの概要

トンネルレーザー・レーダー計測システムは、トンネルや暗渠の覆工表面に発生しているクラックや劣化を、レーザー光を照射して測定する「レーザー計測システム」と、覆工巻き厚と覆工裏側の空洞高を電磁波を用いて測定する「レーダー計測

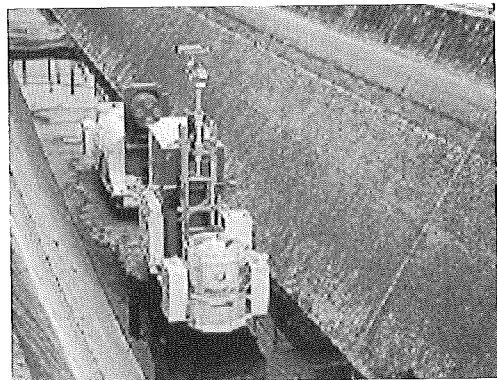


写真-8 トンネルレーザー・レーダー計測システム①

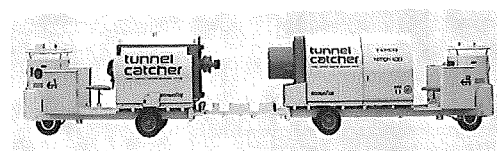


写真-9 トンネルレーザー・レーダー計測システム②

システム」で構成されている(写真-8,9)。

本システムでは、従来から用いられている「レーダー計測システム」を計測車両に搭載することで、覆工表面・巻き厚ならびに覆工裏側の空洞高を同時測定できるものである。

ここでは、共同研究により開発したレーザー計測システムの概要ならびに実用化研究の成果について述べる。

(1) レーザー計測システムの概要

レーザー計測システムは、既に実用化されているレーザー光を使用した道路の路面性状計測システムに着目し、同システムの水路への適用性について検討し、開発したものである。

計測システムの基本仕様は、表-4のとおりである。

(2) レーザー計測システムの原理

レーザー計測システムの測定原理は図-13に示すとおりであり、レーザー光をトンネル壁面に照射し、その反射光量の強弱を光検出器でとらえることにより、クラックなどの情報を検出するものである。トンネル壁面に照射されたレーザー光は、クラック内で乱反射し、反射光量が減少するため、その反射光量を連続的に計測記録することにより、クラックの方向・長さ・位置などが検出される。

また、本システムでは、集光レンズや回転ミラー

表-4 システムの基本仕様

基本仕様	計測方式	レーザーキャニング方式 (半導体レーザー使用)
	調査目的	トンネル覆工表面の状況調査
	対象	内径: 1.5~5.0m 断面形状: 円形, 馬蹄型, 上円下方形
	計測範囲	全周方向
	調査速度	最大: 2km/h
	画像処理速度	最大: トンネル延長40m/h
計測精度	不陸対応	±15cm
	水深対応	30cm
	動力	バッテリー方式
	抽出情報	クラック, 目地切れ, ずれ, 剝離・剝落, 欠陥, 補修跡, 摩耗, 遊離石灰, 湧水, 滴水, 噴泥
	検出可能な最小クラック幅	0.3mm

を用いてレーザー光の照射角度を90°変え、トンネル壁面に垂直に照射できるようにしており、トンネル全周のキャニングが可能である(図-14)。

4-6-2 水路点検・調査への適応性検討

水路の保守管理上、必要な点検・調査項目は、クラック、剝離・剝落などの変状の位置・規模であり、変状の進行性を的確に把握することが不可欠である。

そこで、レーザー計測システムにより計測可能な項目を調査・検討した結果、上記の管理上不可欠な項目については計測が可能であると評価した。

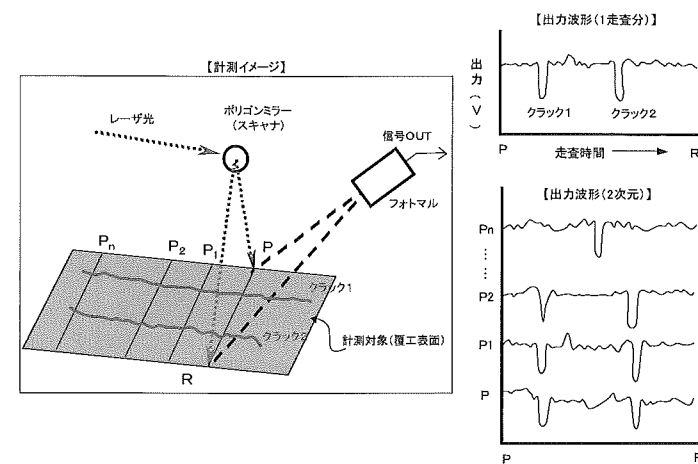


図-13 レーザー計測法の原理

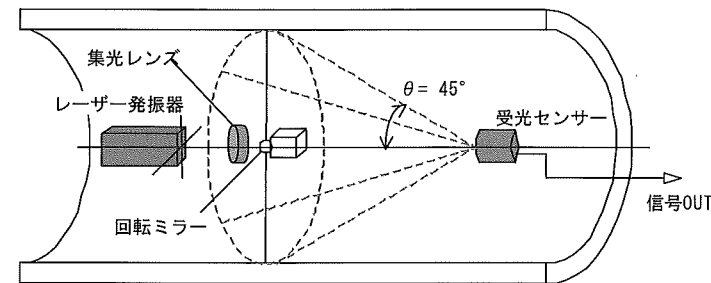


図-14 全周キャニング機構の概念図

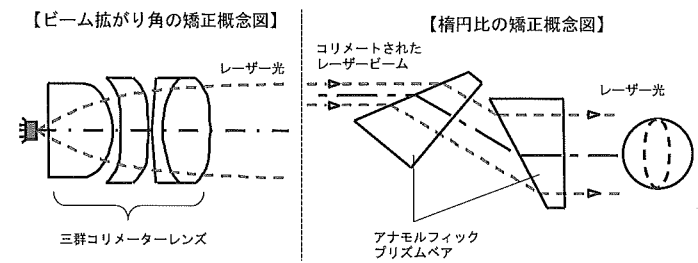


図-15 集光光学系の開発に関する検討

(1) 適用技術の開発

すでに実用化されている路面性状計測システムを、水路トンネルの内部における計測方法として適用するために、以下の技術開発を行った。

1) 半導体レーザー採用による計測車の小型化

路面性状計測システムは、光源としてガスレーザーを採用しており、このガスレーザーを使用した場合、電源および冷却装置などの付帯設備が大きくなり、適用できる最小トンネル径も2.5mと限定される。

このため、ガスレーザーに比べ熱効率が優れ、付帯設備のコンパクト化が可能となる半導体レーザーを光源とした計測方式を採用することとした。

半導体レーザーによる計測方式は、ガスレーザーと比べ光源から放射されるレーザービームが大きな広がり角を持つことから、画像の鮮明度が低下する。このため、これを矯正する目的で図-15に示す集光光学系の開発を併行して行った。

これらの開発により、内径5.0mのトンネル計測に適用した場合でも、0.3mmのクラックの認識が可能となった。

また、計測車の小型化により、内径1.5~5.0mの水路トンネル(当社水路トンネルの約85%)の計測に対応可能となった。

2) 全周キャニング機構の開発

レーザー光によるトンネルの全周計測を可能とするため、全周キャニング機構の開発を行った。

全周キャニング機構の概念は、図-14に示したとおりであり、レーザー発振器により発振したレーザー光は、集光レンズを通過後、回転ミラーにより角度を90°変え、トンネル壁面に垂直に照射される。この壁面からのレーザー散乱光量の強弱を受光センサーに

よって受光するものである。

3) 計測車両進行時の光軸姿勢制御装置の開発

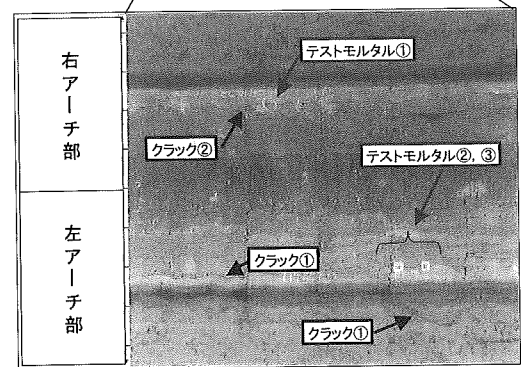
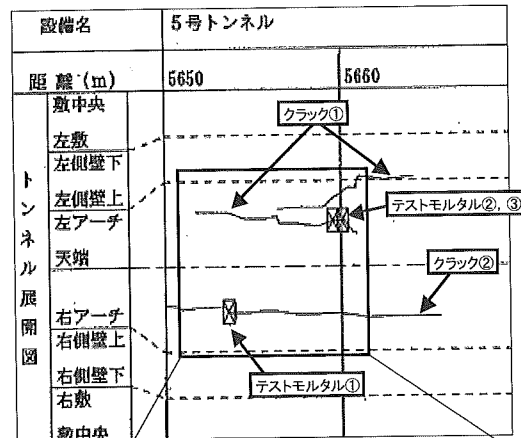
レーザーの計測精度上、レーザースキャナーの光軸を水平かつトンネルの中心に一定に保つことが重要となることから、光軸姿勢制御装置の開発を行っている。

4) トンネル壁面情報の画像処理システムの開発

レーザー計測により計測されたトンネル壁面の情報を、効率的に処理可能な画像処理機を開発した。

計測されたデータは、画像処理機のモニター上に濃淡映像(白黒)として再生される。再生した画像から、クラックの幅・位置・長さ、剝離・剝落の規模、湧水位置などの情報を対話方式にて抽出する。

画像処理結果は、データベース化することにより、今回の画像処理後の変状データを次回の再生画像に重ねることで、変状の経年的な進行性を的



注) 変状展開図と撮影写真は左右逆

図-16 撮影画像および変状展開図

確に把握することが可能となる。撮影画像および変状展開図を図-16に示す。

(文責: 岡田和明/東京電力(株))

4-7 ミラー方式テレビカメラシステム, 管渠内面展開図化システム, 管渠検査診断支援システム(東京都下水道局)

4-7-1 ミラー方式テレビカメラシステム

全方位パノラマセンサーを採用したテレビカメラ(写真-10)は、一定の速度で直進するだけで管渠の360°円周方向の画像(図-17)をより鮮明なデジタル画像情報として得ることができるとともに従来方式の調査時間を1/2に短縮するなど、作業の効率化を実現した新技術である。

4-7-2 管渠内面展開図化システム

管渠内面展開図化システムは、ミラー方式テレビカメラで撮影した管渠内面の撮影画像を図-17に示したようにデジタルの2-D画像に変換するもので、これにより、管路診断を効率化し、調査データの有効活用を図る。

また、デジタルデータはすべてPC内のデータベースへ取り込まれ、図-18の展開図帳票が調査

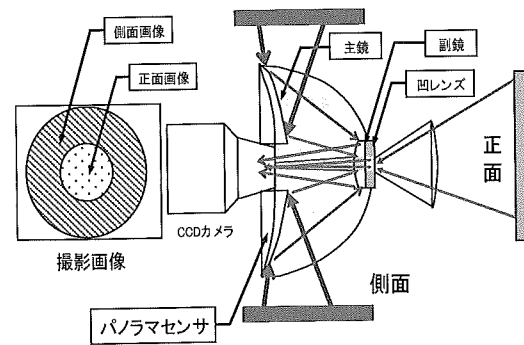
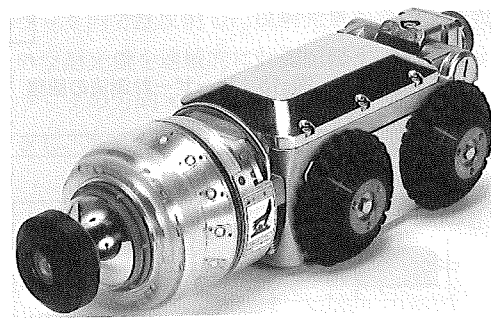


図-17 ミラーカメラの断面図

展開図帳票

帳票表示 集計表表示 異状一覧表示 印刷 終了

検索条件: 検索 標準 100 % 表示更新

記録番号: 42 (1/2)
調査日付: 2005年12月16日
上方展開

管きよの展開図

100m 200m

損傷状況の文字情報

距離	異状	位置	長さ	幅	深さ	備考
1.45m, 2107°	クラック					
2.02m, 2172°	クラック					
2.57m, 2237°	クラック					
3.15m, 2312°	クラック					
3.53m, 2381°	クラック					
4.03m, 2472°	クラック					
4.31m, 2519°	クラック					
5.31m, 2613°	クラック					
6.07m, 2678°	クラック					
6.57m, 2712°	クラック					
7.09m, 2755°	クラック					
12.25m, 2810°	クラック					
11.22m, 2812°	クラック					
13.52m, 2813°	クラック					
14.03m, 2812°	クラック					
15.73m, 2819°	クラック					
17.31m, 2812°	クラック					
18.07m, 2814°	クラック					
18.23m, 2812°	クラック					
18.73m, 2815°	クラック					

損傷箇所の状況写真

拡大図

詳細確認

動画表示 拡大図 集計表

1スパンの管きよ撮影画像を再生

損傷箇所, 取付管接続箇所の拡大写真を表示

各路線、調査結果の一覧

図-18 展開図帳票

報告書として容易に検索、出力が可能であるとともに、帳票から表示しているスパンの動画や拡大写真に移行できる。

さらに、このシステムでは損傷位置の一覧表が作成可能である。

4-7-3 管渠検査診断支援システム

管渠検査診断支援システムは、ミラー方式テレビカメラシステムで撮影し、取得したデジタル画像を「管渠内面展開図化システム」により展開図化した画像と一部デジタルビデオの直進画像を利用して管渠の損傷を半自動的に判定するソフトである。

オペレータが現行のアナログ式テレビカメラに

より現場でカメラを側視して管渠の損傷を把握する時間と、「管渠検査診断支援システム」による室内での損傷判定時間を比較すると、おおむね現行の管路内調査の1/10程度の時間で損傷を判定できる。

ただし、診断結果に着目すると、現時点での「管渠検査診断支援システム」では、毛髪なども損傷としてピックアップしてくるため損傷箇所を実際より多く拾ってしまうなど、微妙な判定には、まだ人的な補正を必要とするなど解決すべき課題もある。

(文責：木藤利男/東京都下水道局)

『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)



(社)日本トンネル技術協会 国際委員会

迅速な補修/Rapid Repair

By Patric Raynolds : Tunnels & Tunnelling International, February, 2009, pp.21-23

2008年9月にイギリスのフォークストーンとフランスのカレーを結ぶ海底トンネル(ユーロトンネル)の中で、貨物シャトル列車に搭載されていたトラックが火災を起こし、トンネル区間のうち650mが被災した。

ユーロトンネルは全長37kmで、直径7.6mの本坑が2本とその間に直径4.8mのサービストンネルで構成されており、避難連絡坑が375mごとに、ダクトが250mごとに設置されている。

補修開始前に、1996年の火災事故の補修実績をふまえて補修のための戦略が立案された。とくにできるだけ早く補修を完了させるために、工業集約的な手法で補修を行うものとした。被災区間650mのうち、100~300mmの深さの損傷を受けた550m区間で覆工コンクリートの撤去と再打設が必要となる。そこで、従来使用していたハンマやピックではない方法で損傷した覆工コンクリートを効率的に撤去するものとした。また、事前の覆工の被災調査のための清掃に対しても施工方法の工夫を行った。入札のための準備も迅速に行い、被災1か月後には施工業者も決定し、清掃と補修を開始した。

被災区間の清掃および補修はタイヤ方式で行うものとした。清掃方法についても事前に検討を行い、坑内に3,200tのバラストを敷き、610m区間にわたって作業台車を坑内に設置した。

また、コンクリート撤去前に安全性を確保する

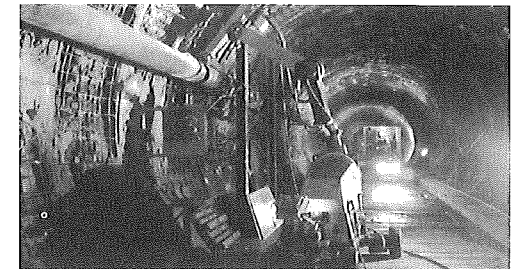


写真-1 遠隔操作の水圧破碎機

目的で、定着材にレジンを用いたボルト1,078本を打設した。この補強ボルトの打設によって、内空変位を管理基準値3mmに対して1mmに抑えることができた。

覆工コンクリートの撤去は遠隔操作の水圧破碎機を用いることで、施工の効率を向上させた。また、破碎したコンクリート片はバキューム車で搬出した。

覆工コンクリート撤去後、鉄筋で補強しファイバー入りの吹付けコンクリートで断面補修を行った。補修作業は24時間3交代で行われ、1方あたり85人の作業員編成で行われた。これによって1日20mの進捗が確保され、電気設備を含めた補修は想定した4か月よりもわずかであるが早く完了した。

(文責：河上清和・五洋建設(株))

Jinping(金平)II：水力発電施設用のグリッパーTBM

Tunnel, November, 2009

四川省雅砻江にて建設されている水力発電所Jinping(金平)IIは、完成すると4,800MWの発電能力をもち、四川省・重慶州の電力需要をまかなうことができるとされている。

Jinping IIは、150kmにわたって湾曲する雅砻江の標高差を利用するために、直径12.4mの導水トンネルを4本建設することで318mの落差を得ている。導水トンネルは高強度・高土かぶりの岩盤を貫くルートで、2本は機械を用いて、もう2本はドリル・発破を用いて掘削されている。現在、導水トンネルNo.1ではRobbins社のMain Beam TBMが、導水トンネルNo.3ではHerrenknecht

社のグリッパーTBMが稼働している。本報告では、導水トンネルNo.3のグリッパーTBMに着目する。

地質学的状況

トンネルは標高4,300m以上の山々を16km貫き、土かぶりは1,270~2,525mに及ぶ。地質は主に圧縮強度150MPa以上の石灰質大理石の中程度~厚い地層から構成される。平均土かぶり1,700mの巨大な大理石中で山はねが観察された事例があるが、これはTBM施工であれば、土かぶりがより小さく、かつ浸入水がある塊状で厚い石灰岩地層のときに考慮すべき現象であるだろう。これまでのJinpingの岩盤におけるグリッパーTBM施工では、応力開放はカッタヘッドの正面でのみ起こっており、山はねや浸入水はみられていない。

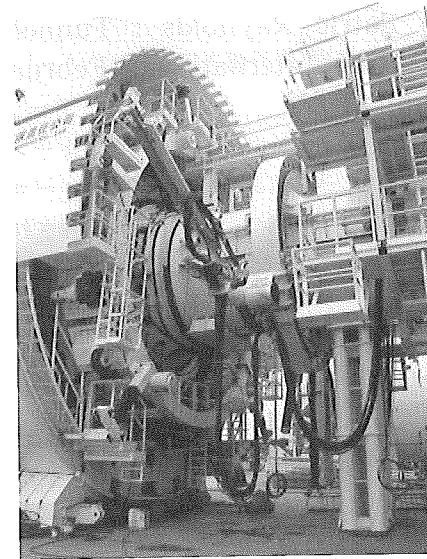
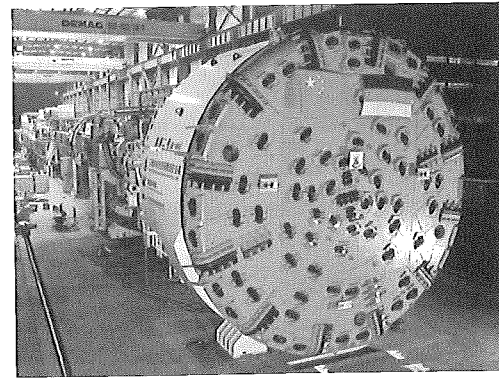
岩の高地圧のため、不安定な切羽は、地層の密な配列の崩壊などによってトンネルのきわめて大きな部分で応力の再配分を受けることを考慮しなければならない。これは大理石の構造が直立構造であることにより助長される。さらに、大きな石灰岩に遭遇する際には浸透水によるカルスト化現象も考慮しなければならない。

現地の岩の高地圧や、山はね、カルストの蓄積、水の浸入、高温、硫化水素などの危険ガスといった技術的な課題からhard rock TBMが設計され、カッタヘッドは主に、予想される浸透水の量と山はねのリスクから設計された。

工学的対応

本工事で使用されたTBMは、硬岩を掘削する最新技術に対応し、Jinping計画で提示された要求から設計されたものである。直径12.44mの硬岩用のカッタヘッドには19"ローラーカッタ(73の1リングタイプローラーカッタと4つの2リングタイプローラーカッタ)が用いられ、開口部が外側に12個、中心部に4個設けられている。

カッタホイールは毎分5周のスピードで回転し、4,900kWの運転出力であった。トルクが19,750kNmに達すると、推進力は39,584kNになる。カッタホイールは中央セグメントと4つの外側のセグメントから構成される。



カッタホイールはスイスの2事例(Lötschberg(レッチベルグ)、Gotthard(ゴッタルド) Base Tunnels)を参考にして設計されている。カッタヘッドのローラーカッタやダイバータ、バケット、開口部のスポークなどによって巨大な岩塊を砕くことができ、計画的に切羽を崩壊させるため、応力の再配分によって切羽が不安定になることを防ぐことができる。ただし、スイスの事例よりもJinping計画における岩は硬くなく、また摩耗もしていない。

切羽から大量の水が浸入したときに排水をコントロールするため、カッタヘッドのバケットチャンネルは、除去された岩から離れるようにできるなどの設計が必要である。本事例では水で飽和した土をmuck ringに落とすのを促進するために、バケットチャンネル内に穴の開いたプレートを設定

し、さらにカッタヘッドの後方部に排水のための穴を設けることでこの課題を解決した。水はカッタヘッドの基底部に流れ、TBMエリアの床面セグメントに沿って流れていく。後方設備は下端がトンネル床面から1.68mの高さとなるように設定され、300m³/hの大きな排水ポンプを三つ備えることで後方設備の浸水を防ぐ。

アンカーとアンブレラ工法のための2つの掘削ユニットはL1, L2ゾーンに配置され、2つのカッタヘッドユニットがマシンプレームの上下のL2ゾーンにセットされている。吹付けコンクリートは、台車の橋梁構造部分と第5台車に取り付けられた自動吹付けロボットによって施工される。

切羽から除去されたずり物は連続的にマシントラックを経由して運ばれ、それに続いてトンネルコンベヤベルトでトンネルの入り口まで運ばれる。コンベヤベルトの能力は、最大掘進速度と一致する。

TBMには、VTM社コントロールシステムが導入されている。

2008年11月中旬から作業を始め、毎日11時間の施工を行っている。2009年の9月初めまでには1,724m掘削した。2009年7月20日に最大日進速度30mを達成した。

まとめ

Jinping(金平)IIで使われた直径12.40mのS-405は、Herrenknecht社が今まで提供していたなかで最大のグリッパーTBMである。岩盤中の応力の再配分や高い岩盤の負荷、極度に高圧な流入水のリスクといった特別な課題をできる限り解決するため、このマシンが考案された。Jinping(金平)IIの主要なプロジェクトの完了と発電施設の運転開始によって、環境負荷の少ない水力発電は中国の経済発展の一部を担うだろう。

(文責:市川晃央・(株)竹中土木)

研究論文募集のお知らせ

弊誌「トンネルと地下」では、研究論文(実験、技術開発など)を募集いたします。大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい。とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので、平易・簡潔にまとめていただくようお願い致します。なお、応募方法の詳細につきましては82頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ、ご応募下さい。

問い合わせ先 株式会社 土木工学社 編集部

〒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)

「トンネルと地下」2010年1～12月号総目次

〈平成22年・年間総目次〉

巻月号頁

巻頭言

年頭のご挨拶……………佐藤 信彦 41 1 5
 海外事業成功のために ……小林 将志 41 2 5
 NEXCO東日本となり5年目—最近のトンネルの課題—
 ……大西 敏夫 41 3 5
 フェールセーフ……………丸山眞佐雄 41 4 5
 仮排水トンネルと試験湛水……………山口 温朗 41 5 5
 日本のCO₂削減に思う ……吉田 幸司 41 6 5
 電力土木におけるトンネル工事について(雑感)……………
 ……大石 富彦 41 7 5
 建設産業を取り巻く環境変化について思うこと……………
 ……中村 満義 41 8 5
 地下工事と列車の安全……………伊藤 泰司 41 9 5
 「物創り」について ……岡田 満 41 10 5
 「地下」は地球を救う! ……木下 雅敬 41 11 5
 海外工事展開のための方策……………清宮 理 41 12 5

報 告

貫通迫る アルプス越えの世界最長ゴッタルドベースト
 ンネル……………佐藤岳史・竹下俊輔・鈴木一真 41 6 49
 「ITA総会および世界トンネル会議(バンクーバー)」報
 告……………日本トンネル技術協会 41 9 45

研 究

維持管理を目的とした開削トンネル設計・施工データベ
 ース……………
 新井泰・有賀貴志・蒲地秀矢・大石敬司 41 1 57
 道路トンネルへの耐火型SFRCセグメントの適用〈首都
 高速横浜環状北線シールドトンネル〉……………
 津野和宏・足立義彦・松原健太・近藤由也 41 2 35
 サイドパイルの沈下抑制効果に関する研究……………
 ……北川隆 41 2 45
 無線センサを用いたトンネル変状監視……………
 津野寛・蒲地秀矢・中西祐介・仲山貴司 41 3 49
 地すべりのトンネルへの影響に関する数値解析を用いた
 検討……………太田敬一・倉岡千郎・藤澤和範 41 4 55
 地表面沈下抑制効果を考慮したパイプルーフの設計法……………
 ……大谷達彦・進士正人・千々和辰訓 41 5 59
 二車線トンネルへの高規格支保材料の適用……………

……………中野清人・小川澄・清水雅之 41 7 45
 鉄道トンネルの健全度診断システム……………
 ……岡野法之・小島芳之・津野寛 41 8 29
 先進ボーリング技術のブレイクスルーを目指して〈長尺・
 高速掘進・孔曲がり制御などの技術開発〉……………
 ……二村亨・梅村哲男・萩原博之・生森敏 41 8 37
 切削ワイヤを用いた改良JES工法で地表面変位を抑制……………
 ……有光武・桑原清・小泉秀之・長尾達児 41 8 49
 山岳トンネルへの曲面切羽の適用に関する解析的検討……………
 ……森崎泰隆・今田徹 41 11 55
 発電用斜坑の全断面切り上がり式掘進機の開発……………
 ……寺田紳一・大久保誠介・福井勝則・久保田克寿 41 12 51

計 画

トンネル掘削による近接営業線トンネルへの影響検討
 〈北陸新幹線 新呉羽山トンネル〉……………
 古谷聡・張信一郎・川島康広・木村亮之 41 2 7
 線路切替を伴う地下駅大規模改良工事〈阪神電鉄本線
 三宮駅〉……………八島敦・宮武一都・増見雅臣 41 2 15
 九州新幹線西九州ルート(武雄温泉・諫早間)のトンネル
 ……須澤浩之・山口修司 41 3 41
 鉄道高架橋直下に幅36mのケーソンで道路路体を構築
 〈総武線市川・本八幡間外環公道橋〉……………
 ……渡邊健司・水石舞衣子・黒肥地耕一 41 4 45
 既設下水道幹線直下の残置鋼矢板をDO-Jet工法で切断
 撤去〈東京都下水道 王子西一幹線シールド〉……………
 ……家壽田昌司・千葉正孝・北原淳 41 6 41
 採石場跡の軟弱な埋戻し土を山岳トンネルで貫く(設計
 編)〈北関東自動車道 出流原トンネル〉……………
 ……今井恵史・宗像慎也・宮本武司・山田浩幸 41 8 7
 有楽町・副都心線並行区間の線路交差を2本の単線連絡
 トンネルで解消〈東京メトロ 小竹向原駅～千川駅間
 連絡線計画〉……………鈴木章悦・藤沼愛 41 8 15
 地中に残されたコンクリート壁を着脱・再掘進型管路築
 造工法で突破〈東京都下水道 文京区根津一丁目、千
 駄木二丁目付近再構築工事〉……………
 ……須田久喜・森邦夫・平田純也 41 10 57
 超近接長距離併設シールドトンネルの設計〈阪神高速大
 和川線シールドトンネル〉……………
 ……志村敦・藤原勝也・辻野博史・岩住知一 41 11 43

解 説

豊川用水のトンネル技術今昔……………小西邦寿 41 2 29
 開通75年を迎えた丹那トンネル難工事を振り返る〈環状
 凹地で発生した最大200m³/分の突発湧水〉……………
 ……大島洋志 41 5 47

施 工

【鉄道トンネル】

地山改良工で最大土かぶり7mの水田丘陵地を掘削〈北
 陸新幹線 魚津上中島トンネル〉……………
 梶田寛・中島活哉・亀井次生・黒田裕之 41 6 7
 小土かぶり区間のSENSによる初期掘進〈北海道新幹線
 津軽蓬田トンネル〉……………
 ……小川淳・小伊豆俊博・玉井達毅・小林孝志 41 10 7

【道路トンネル】

斜交型坑口を面壁式坑門で施工〈一般国道54号可部バイ
 パス 大林トンネル〉……………
 砂掘松男・河上伸一・越智辰彦・藤井俊英 41 1 7
 高耐力支保による早期閉合で押し出し性地山に挑む〈北海
 道横断自動車道 穂別トンネル東工事〉……………
 ……高橋俊長・向井隆・井上孝俊・垣見康介 41 1 15
 蛇紋岩地すべり脆弱部を早期閉合で掘削〈北海道横断自
 動車道 タンネナイトンネル〉……………
 ……中野清人・佐藤諭一・本藤敦 41 3 7
 国道直下を地上からの地山改良で掘削〈一般国道12号
 旭川トンネル〉……………
 ……和田芳明・館山孝利・桶谷強・後藤隆之 41 3 17
 上下併設大断面急曲線シールドの掘進とUターン施工
 〈首都高速中央環状新宿線 大橋シールド〉……………
 ……小島直之・長田光正・木ノ本剛・谷口禎弘 41 4 7
 急傾斜地にある斜交型坑口を合理的に施工〈北海道横断
 自動車道 上庶路トンネル〉……………
 ……工藤勤・上原隆三・後藤良平・中田和明 41 4 19
 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〉……………
 ……高橋俊長・大村修一・高田篤・山田浩幸 41 5 7
 付加地山における先行トンネルへの掘削影響と対策工
 〈新東名高速道路 島田第一トンネル下り線〉……………
 ……大川了・板垣克利・金丸信一・亀谷英樹 41 5 19
 大断面トンネルの偏圧斜面坑口部の対策と繊維補強によ
 る覆工無筋化〈新東名高速道路 清水第二トンネル上
 り線〉……………

海瀬忍・土屋将樹・溝端拓哉・津國正一 41 6 17
 県道に近接した坑口明かり巻きを人工地山のトンネルに
 変更〈舞鶴若狭自動車道 谷田部トンネル〉……………
 ……正野繁生・前田佳克・岡部和宏・白石雅嗣 41 7 7
 立坑直下既設下水道幹線のリバウンドをグラウンドアン
 カーで抑制〈埼玉県道葛飾吉川松伏線バイパス 吉川・
 新三郷間公道橋〉……………
 ……久島敏晴・桑原清・齊藤明夫・勝田靖 41 9 7
 採石場跡の軟弱な埋戻し土を山岳トンネルで貫く(施工
 編)〈北関東自動車道 出流原トンネル〉……………
 ……今井恵史・市川裕祐・宮本武司・山田浩幸 41 10 17
 坑内外のウェルを併用し細粒砂質地山を掘削〈常磐自動
 車道 原町トンネル〉……………
 ……廣瀬貴樹・宮越信・森英治・伊藤毅浩 41 10 29
 最終函体をキーエレメントとした沖縄初の沈埋トンネル
 〈臨港道路空港線 那覇沈埋トンネル〉……………
 ……酒井洋一・吉平健治 41 10 49
 周辺水文環境を総合的に分析しトンネルを施工〈名護東
 道路2号トンネル〉……………
 ……石垣弘規・山根丈・藤田一宏 41 11 7
 MMST工法による矩形大断面トンネルの施工〈首都高
 速神奈川6号川崎線 大師トンネル〉……………
 ……吉川直志・神木剛・水野克彦・佐藤充弘 41 11 15
 トンネル全線に中流動コンクリートを適用し高品質覆工
 に挑戦〈北海道横断自動車道 久留喜トンネル〉……………
 ……村崎慎一・森俊介・中間祥二・桜井邦昭 41 12 7
 国指定史跡(ストーンサークル)直下2mを函体けん引工
 法で施工〈北海道縦貫自動車道 鷲ノ木トンネル〉……………
 ……中村明・山口恭平・粕谷伸男・畑圭介 41 12 17

【地下鉄トンネル】

自然由来の重金属を含む建設発生土の処理と対策〈仙台
 市地下鉄東西線〉……………
 ……谷畑一行・菊谷正己・高橋靖 41 1 29
 鉄道工事における環境負荷低減の取り組み〈小田急小田
 原線 連続立体交差および複々線化〉……………
 ……村松泰・山野泰弘・上野修彦 41 3 33
 羽田空港における地下駅建設に伴う軟弱地盤のリバウン
 ド対策〈京浜急行空港線 国際ターミナル駅〉……………
 ……新保貴光・柄澤正芳・安藤陽 41 4 27
 鉄道高架直下を2連矩形シールドで掘進〈東急東横線
 渋谷～代官山〉……………
 ……津守澄男・角田貴昭・山崎仁・新原亨 41 5 31
 営業線直下を1.7kmにわたり泥土圧シールドで掘進〈京
 王電鉄 調布駅付近連続立体交差工事〉……………

寺田雄一郎・岩村忠之・沼澤憲二郎・辻忠彦 41 6 33
 駅部大断面トンネルを中壁分割工法で構築〈仙台市高速
 鉄道東西線 青葉山トンネル〉……………
 ……本堂亮・東優・浅川敏郎・鶴原敬久 41 9 17

【サービストンネル】

新幹線など重要構造物直下で高水圧下の長距離シールド
 〈東京都下水道 第二立会川幹線〉……………
 ……岡野敏彦・仁禮拓身・白井健泰 41 1 51
 多摩川を横断し各種重要構造物に近接する長距離シールド
 〈北多摩一号・南多摩水再生センター間連絡管工
 事〉……………
 ……荒井一昭・古井範雄・菊池崇・高田克幸 41 7 15
 国内初の天然ガス高圧岩盤貯蔵実証試験……………
 ……今津雅紀・奥野哲夫・小松原徹 41 7 33
 海底部取水トンネルをプレグラウトおよび導坑切上がり
 掘削で施工〈島根原子力発電所3号機 海域部取水設
 備工事〉……………
 ……川本秀夫・大村剛・安永孝夫・窪之内雄策 41 9 27
 世界最大級の面積を有するニューマチックケーソンの施
 工〈東京都下水道 東尾久浄化センター主ポンプ棟〉
 ……杉本克美・齋木正 41 11 25
 コンパクトシールド工法による効率的な下水道整備〈東
 京都下水道 第二谷田川幹線〉……………
 ……伊藤雄二・斧申二 41 12 37

連載講座

ずり処理入門(1)〈概説〉……………
 ……「ずり処理入門」連載講座小委員会 41 1 65
 ずり処理入門(2)〈掘削ずりの処理〉……………
 ……「ずり処理入門」連載講座小委員会 41 2 53
 ずり処理入門(3)〈発生土の運搬方法・レール方式〉…
 ……「ずり処理入門」連載講座小委員会 41 3 55
 ずり処理入門(4)〈発生土の運搬方法・タイヤ方式
 (1)〉……………
 ……「ずり処理入門」連載講座小委員会 41 4 67
 ずり処理入門(5)〈発生土の運搬方法・タイヤ方式
 (2)〉……………
 ……「ずり処理入門」連載講座小委員会 41 5 71
 ずり処理入門(6)〈発生土の運搬方法・連続ベルトコン
 ベヤ方式〉……………
 ……「ずり処理入門」連載講座小委員会 41 6 57
 ずり処理入門(7)〈発生土の運搬方式・その他の運搬方
 式〉……………
 ……「ずり処理入門」連載講座小委員会 41 7 65

トンネル保守管理における記録とその活用(1)〈保有ト
 ンネルの現状〉JTA保守管理小委員会 41 7 77
 ずり処理入門(8)〈坑外仮置き場〉……………
 ……「ずり処理入門」連載講座小委員会 41 8 59
 トンネル保守管理における記録とその活用(2)〈データ
 ベース化・電子化の取り組み(1)〉……………
 ……JTA保守管理小委員会 41 8 71
 ずり処理入門(9)〈掘削ずりの活用と処理・一般発生
 土〉「ずり処理入門」連載講座小委員会 41 9 57
 トンネル保守管理における記録とその活用(3)〈データ
 ベース化・電子化の取り組み(2)〉……………
 ……JTA保守管理小委員会 41 9 67
 ずり処理入門(10)〈掘削ずりの活用と処理・重金属
 (1)〉……………
 ……「ずり処理入門」連載講座小委員会 41 10 63
 トンネル保守管理における記録とその活用(4)〈データ
 ベース化・電子化の取り組み(3)〉……………
 ……JTA保守管理小委員会 41 10 77
 ずり処理入門(11)〈掘削ずりの活用と処理・重金属
 (2)〉……………
 ……「ずり処理入門」連載講座小委員会 41 11 67
 トンネル保守管理における記録とその活用(5)〈変状展
 開図作成の自動化・デジタル化の取り組み(1)〉…
 ……JTA保守管理小委員会 41 11 75
 ずり処理入門(12)〈掘削ずりの活用と処理・重金属
 (3)〉……………
 ……「ずり処理入門」連載講座小委員会 41 12 63
 トンネル保守管理における記録とその活用(6)〈変状展
 開図作成の自動化・デジタル化の取り組み(2)〉…
 ……JTA保守管理小委員会 41 12 75

現場だより

「日本の100選」の宝庫・延岡市より……………
 ……北村徹雄 41 1 28
 「ホテルの里」延岡市北川町より……………
 ……森本正宏 41 2 22
 「豊後土工のふるさと」佐伯市より……………
 ……前田尚利 41 3 26
 「自然豊かな臨海工業都市」呉市より……………
 ……萱野朋之 41 3 32
 「くにびきとだんだん溢れる水都」松江市より……………
 ……安永孝夫 41 4 35
 「ラーメンと名水の郷」出流原より……………
 ……牛口美信 41 5 46
 「川沿いの散歩道」中土佐町久礼より……………

……………田内信男 41 6 15
 「世界遺産と日本百名山」吉野郡上北山村より……………
 ……齋藤佑樹 41 6 16
 「瀬戸の都」高松より……………山田 正 41 7 13
 「塚ヶ原山トンネルに新風が」島根県浜田市より……………
 ……山徳康博 41 7 14
 「幕末から明治維新の主役たちが育った町」萩より……………
 ……三隅宏明 41 7 32
 「お茶のまち」島田から……………内田裕二 41 9 16
 「相馬野馬追の里」南相馬より…森 英治 41 9 36
 「平家の里」湯西川より……………植野義英 41 10 16
 「豊かな自然に囲まれたやすらぎのまち」北秋田市より
 ……光増朝久 41 10 28
 「縄文時代から時を刻むまち」下呂市金山……………
 ……佐藤敦也 40 11 14
 「上杉の城下町」米沢より……………牛田久雄 41 12 26
 「神話とたたらのみち」雲南市吉田町より……………
 ……安野雅志 41 12 36

語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

トンネル六十年の履歴〈仕事は大きな夢を抱きながら楽
 しくやろう〉……………濱 建介 41 1 43
 トンネル掘って三十年……………児玉安彦 41 2 23
 導水路から鉄道へトンネル人生二十五年……………
 ……小川司郎 41 3 27

我がトンネル経験のあれこれ……………山崎武則 41 4 37
 トンネル施工技術の継承……………服部一夫 41 5 39
 トンネルは経験工学か〈設計が先か、施工が先か〉……………
 ……横田高良 41 6 27
 トンネル技術発展の推移を追いつづけて四十余年……………
 ……竹内泰雄 41 7 23
 もぐらの戯言……………飯塚輝夫 41 8 23
 我がトンネル掘進・苦心記……………鹿野秀一郎 41 9 37
 二大海底トンネル施工の人生……………落合 仁 41 10 41
 山岳トンネルの半世紀〈昭和三十年初めより五十年余〉
 ……井上堯之 41 11 35
 トンネル後発組の奮闘記……………白井信夫 41 12 27

コラム

【トンネル千夜一夜】

舞台になった丹那トンネル……………小野田 滋 41 1 26

【トンネル工事を見守る山の神】

トンネル工事と山の神……………阿部公一 41 7 57
 山の神と化粧木(その1)……………阿部公一 41 8 68
 山の神と化粧木(その2)……………阿部公一 41 9 54
 山の神と化粧木(その3)……………阿部公一 41 10 74
 山の神と化粧木(その4)……………阿部公一 41 11 52
 山の神と化粧木(その5)……………阿部公一 41 12 48

【土木工学社図書案内】

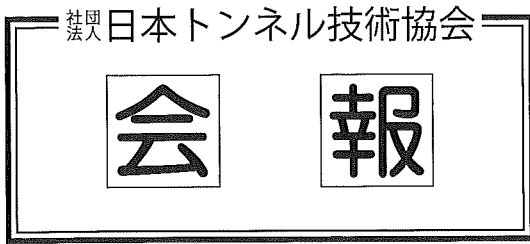
岩盤の計測と解析

工博 鈴木 光著

A5判 箱入 244ページ 本体価格4,200円(〒380円)

最近では、有限要素法を利用し、地盤や構築物の
 変形や応力分布に関する予想解析が行われるよう
 になりつつある。そのために入力などに信頼度の高い
 各種計測値が要求されるようになってきた。

このような理由から、建設工事では、従来にも増
 して計測や解析が重要となりつつある。
 本書は、応用範囲も広く重要と思われる岩盤の計
 測と解析法の紹介と解説を試みた実務書である。



1. 会員の現状

	10月31日現在
正 会 員	1,748名
団体会員	371名
個人会員	1,377名

2. 委員会の開催状況(10月1日～31日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会誌WG(10/6)

大島洋志主査ほか11名, 11月号の会誌と3か月計画を検討

企画運営幹事会(10/25)

宮林秀次幹事長ほか7名, 新組織を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会海外文献WG(10/19)

大久保誠介主査ほか14名, 海外文献を査読

海外文献小委員会海外ニュースWG(9/29)

早坂治敏主査ほか9名, 海外ニュースを翻訳

3. 国際会議の開催予定

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

* 論文募集に関する詳細は事務局(担当: 関)までお問い合わせください。(社)日本トンネル技術協会 TEL: 03-3553-6174

◎事業委員会(10/13)

桑原彌介委員長ほか18名, 催物開催結果および計画を検討

計 5回開催 64名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

都市トンネル小委員会格言編集WG(10/8)

栗原謙一郎主査ほか6名, 格言内容を検討

山岳トンネル小委員会支保WG(10/26)

深沢成年主査ほか16名, 会誌掲載原稿および新テーマの作業方針を検討

◎受託研究特別委員会

北海道新幹線(本州方)委員会機械化施工WG(10/8)

小山幸則座長ほか34名, 施工および計測結果の検討

効率的掘削工法特別委員会補助ベンチWG(10/14)

鈴木雅行主査ほか8名, 試験計画を検討

効率的掘削工法特別委員会高速施工WG(10/15)

領家邦泰主査ほか8名, 試験計画を検討

効率的掘削工法特別委員会中流動コンクリートWG

(10/19)

松岡茂主査ほか6名, 粗原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会高速施工WG(10/28)

領家邦泰主査ほか8名, 試験計画を検討

計 7回開催 93名出席

合計 12回開催 157名出席

4. 平成22年度催物開催現況

催 物 名	開 催 日	人 数	場 所	CPD取得単位
(見学会)				
北海道新幹線本州方津軽蓬田トンネル現場研修会	2010. 6. 4	38	青森県	2.0
調布駅付近連続立体交差現場研修会	2010. 6.18	28	東京都	2.0
京極発電所工事現場研修会	2010. 7.23	25	北海道	4.0
中央環状品川線トンネル工事現場研修会	2010. 7.30	38	東京都	3.3
東九州自動車道トンネル工事現場研修会	2010. 9.29	27	福岡・大分県	3.5
(13号直相)渋谷駅建設工事現場研修会	2010.10. 7	26	東京都	2.5
高瀬トンネル建設工事現場研修会	2010.10.22	21	栃木県	2.0
北網島第二幹線下水道整備工事現場研修会	2010.12. 3	30	神奈川県	
(施工体験発表会)				
第66回(山岳)「山岳トンネルにおける創意工夫事例」	2010.11. 1	200	東京都	5.9
第67回(都市)「厳しい施工条件下における都市トンネル工事」	2010.11. 2	200	東京都	5.9
(講演, 講習会)				
第13回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2010.11.11,12	30	愛知県	9.0
第14回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2010.11.18,19	30	東京都	17.3

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

会員加入のご案内について

社団法人日本トンネル技術協会

当協会は、トンネルの建設および維持管理に関する調査研究を行い、地下利用技術の進歩・向上を図ることによって、国土の保全と公共の福祉の増進に寄与することを目的として、1975年に公益法人として設立されました。

設立以来、産官学から多くのトンネル技術者が対等の立場で集い、数多くの技術課題に取り組んできました。また、会員各位の資質向上や会員同士の情報交換の場として各種トンネルの現場見学会、発表会、講習会、講演会を開催するほか、委員会活動の成果を技術報告書として広く公表しています。トンネル工場の業務に携わっている団体はもちろん個人の方も、是非、会員にご加入くださいますようお願いいたします。

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

1月号予告[1月1日発売予定]

- トンネル覆工検査車(CLIC)を活用した覆工内
部状態の評価
 - 米子自動車道 二川トンネル
 - 小田急小田原線連続立体・複々線化工事
 - ボルトレスセグメントでの性能照査型設計適用
と施工実績
- 【連載講座】
- ずり処理入門(最終回)
 - トンネル保守管理における記録とその活用(7)
- *内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆早いもので平成22年も終わろうとしています。今年1年みなさまにとってどのような年でしたでしょうか。

◆鳩山内閣から菅内閣へ、参院選では民主党が惨敗し3年ぶりのねじれ国会へ、宮崎を中心とした家畜の口蹄疫感染、奄美大島での集中豪雨、大阪地検特捜部による証拠改ざん事件、尖閣諸島沖での海上保安庁の巡視船と中国漁船の衝突事件、ロシア大統領の国後島訪問、など多くの出来事がありました。中でもチリ鉱山で起きた岩盤崩落事故では、絶望視されていた作業員が全員無事であることがわかり、小さな穴から食糧等を供給しながら、事故発生後約70日後に救出用の穴からカプセルで全員救出されました。閉じ込められた33名の作業員は、自分たちで規律を守り、お互いを励ましあいながら、過酷な状況の中を無事生還し世界中に感動を与えてくれました。

◆東北新幹線新青森・八戸間が12月4日に開業します。トンネルが区間の約6割を占めており、本誌でも何度か紹介させていただきました。中でも八甲田トンネルは延長約26.5kmで陸上トンネルでは国内最長、今年10月に貫通したゴッタルドベーストンネル(スイス)に次いで世界第2位の長さです。国内では、ビッグプロジェクトが減少しておりますが、世界的に見ても非常に高い技術力を有するわが国のトンネル技術が国土形成のうえで有意義に活用されることを切望します。

(K.Y.)

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

★(社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(社)日本トンネル技術協会へご連絡ください。

トンネルと地下

第41巻 第12号 [通巻484号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成22年11月20日 印刷

平成22年12月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0041 東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)

TEL: 03-3553-6174

FAX: 03-3553-6145

<http://www.japan-tunnel.org>

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

<http://www.tunnel.ne.jp>

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

購読料

1冊 1,575円(送料108円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

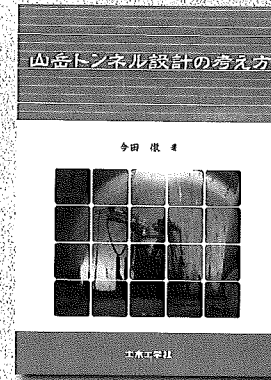
本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

TEL: 03-3267-2888

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

新刊案内

山岳トンネル設計の考え方



東京都立大学名誉教授

今田 徹 著

B5判 183頁 上製本 定価3200円+税

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



《主要目次》

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

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

株式会社 土木工学社

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

山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著
3,200 円+税 B5 判

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



続きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著
1,200 円+税 新書判

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



わかりやすいトンネルの力学

福島啓一 著
5,825 円+税 B5 判

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



トンネル工事の衛生と環境保全

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
3,200 円+税 A5 判

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



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修
1,500 円+税 B5 判

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



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著
6,000 円+税 A5 判

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



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200 円+税 A5 判

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



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修
2,500 円+税 B5 判

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



地質工学概論

菊地宏吉 著
4,757 円+税 B5 判

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



山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 編
14,573 円+税 B5 判

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



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800 円+税 A5 判

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



推進工法の理論と実際

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

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



シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編
4,660 円+税 B5 判

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



ジオテキスタイル設計マニュアル

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

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



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400 円+税 A5 判

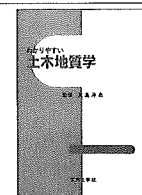
海洋の石油・天然ガス・石炭などのエネルギー資源と、マンガンノジュールの鉱物資源、また、海洋エネルギーなどの開発と利用についてまとめた。



わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修
2,500 円+税 B5 判

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



地下水の科学 I～III (全 3 巻)

R.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)

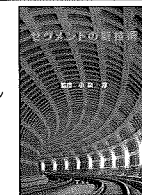
日本で唯一のトンネルと地下構造物の専門月刊誌。研究、調査・設計から施工にいたるまで、その時点での技術的問題点を中心に、業界の動向などをあわせて網羅しながら、新鮮な情報を提供する。



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

覆エコンクリート湿潤養生システム パラソル30ミスト工法

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

NETIS登録：KT-100038-A



NATMトンネル二次覆エコンクリートを最適に仕上げます

特許出願中



菅機械工業株式会社

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

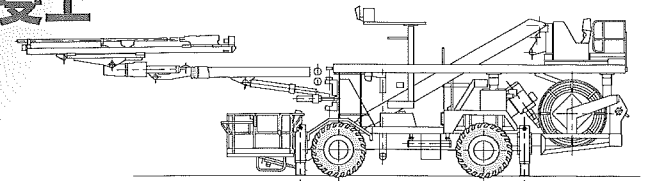
本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0021	東京都千代田区神田司町2-8-4	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-13-9	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460

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

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

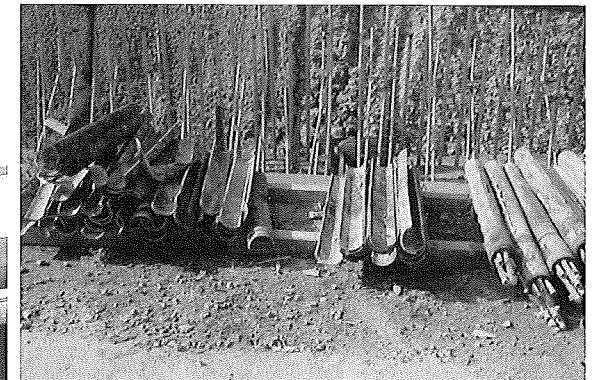
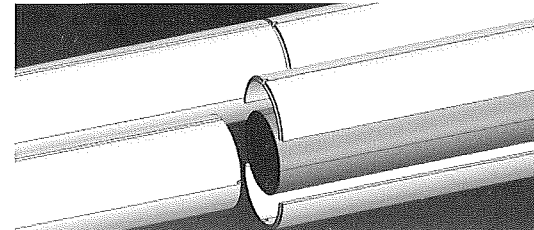
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



AGF-Me工法

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

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



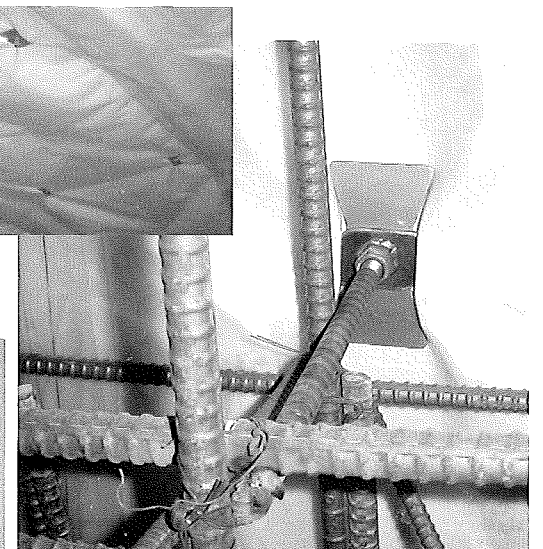
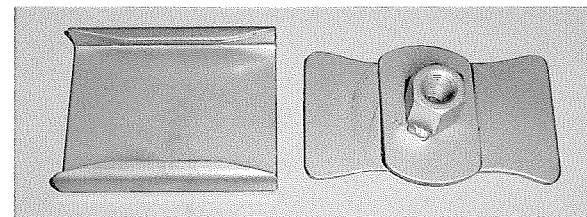
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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



東邦金属株式会社
TOHO KINZOKU Co., LTD

東京営業部

〒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)