

弱な強風化泥岩と炭鉱ずり山のトンネル掘削
水百選など周辺水環境に配慮し中央導坑方式を採用
口部のまさ地山を早期閉合により克服
港施設下のシールド掘進と掘削土砂改質技術の採用
岳トンネルの地下水情報化施工

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。

- 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** (ドバイLRT用シールド) ドバイの交通網の発展に貢献
- 2006** (世界最大径 φ15.01mm泥土圧シールド) スペインマドリッド環状道路M300の洗滌回避に活躍
- 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・環状七号線地下開発池の建設で活躍
- 1995** (3心円泥水式駅シールド) 地下鉄12号線環状部飯田橋駅工区建設工事で活躍
- 1993** (世界最大級の泥水式シールド) 東京湾横断道路工事で活躍
- 1989** 英仏海峡トンネルT-5工区貫通式完成にわく関係者たち
- 1939** (日本最初の本格的シールド) 関門トンネル工事で活躍

世界中で
1700台の
実績！

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

三菱重工地中建機(株)のシールド式トンネル掘削技術

| | | | |
|--------------|-------|--------------------|------------------|
| 三菱重工地中建機株式会社 | 本社 | 明石市二見町南二見1番地 | TEL.078-672-4575 |
| | 東京事務所 | 東京都港区港南二丁目16番5号 | TEL.03-6716-4092 |
| | 神戸事務所 | 神戸市兵庫区和田宮通七丁目1番14号 | TEL.078-672-2850 |

定価 1,575円 雑誌06619-8
本体価格1,500円



4910066190897
01500

FURUKAWA
ROCK DRILL

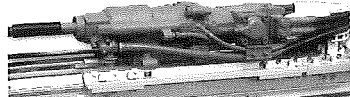
FRD
FURUKAWA

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

ホイール式ドリルジャンボ
JTH2200R/3200R

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。

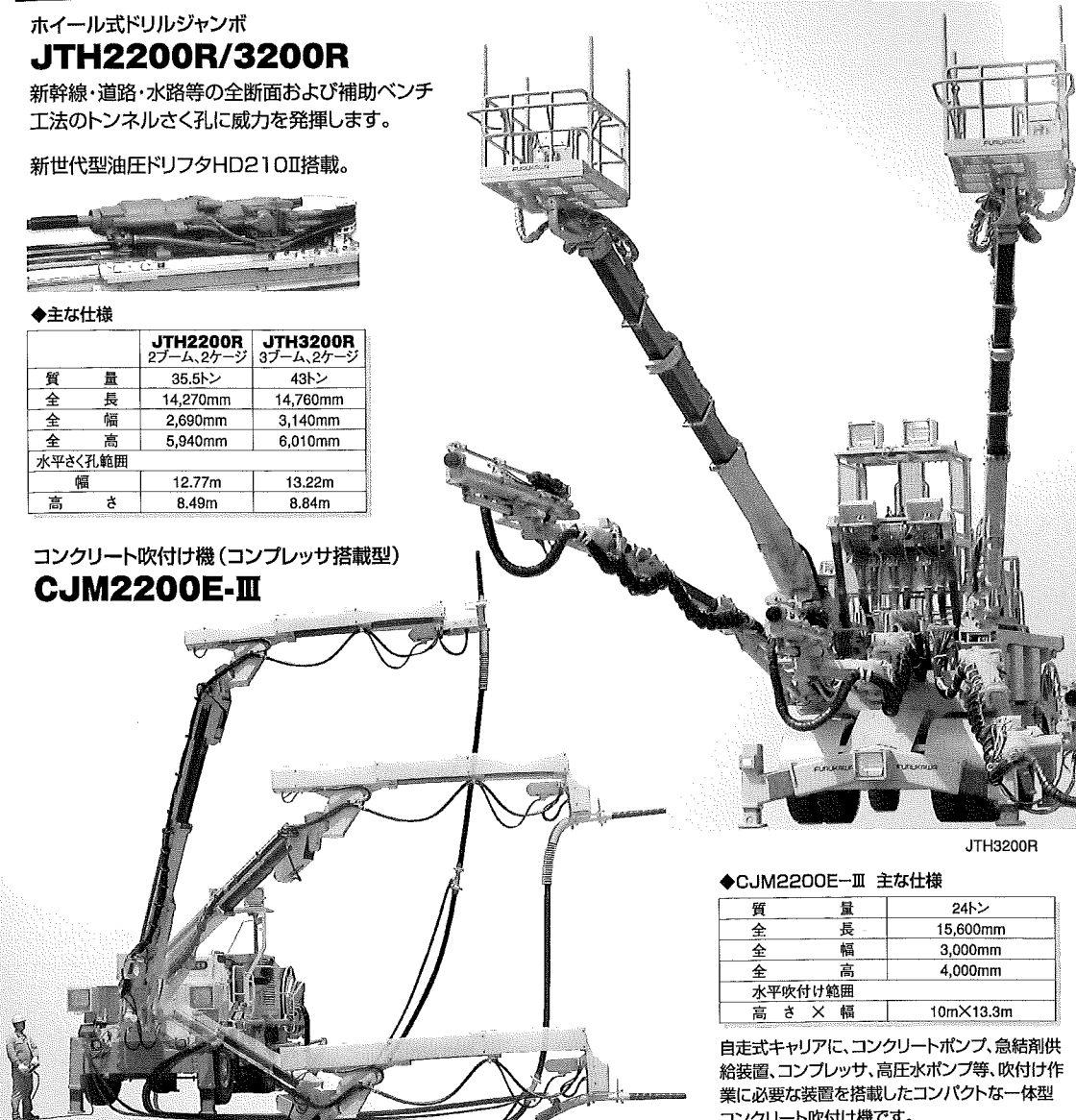
新世代型油圧ドリフタHD210II搭載。



◆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トン | 43トン |
| 全長 | 14,270mm | 14,760mm |
| 全幅 | 2,690mm | 3,140mm |
| 全高 | 5,940mm | 6,010mm |
| 水平さく孔範囲 | | |
| 幅 | 12.77m | 13.22m |
| 高さ | 8.49m | 8.84m |

コンクリート吹付け機(コンプレッサ搭載型)
CJM2200E-III



JTH3200R

◆CJM2200E-III 主な仕様

| | |
|---------|-----------|
| 質量 | 24トン |
| 全長 | 15,600mm |
| 全幅 | 3,000mm |
| 全高 | 4,000mm |
| 水平吹付け範囲 | |
| 高さ×幅 | 10m×13.3m |

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。

写真は吹付け姿勢の合成写真です。

△古河機械金属グループ

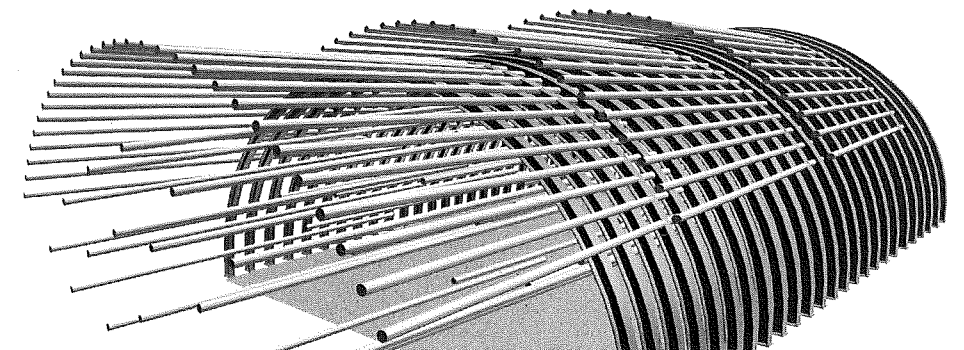
FRD 古河ロックドリル株式会社 <http://www.furukawarockdrill.co.jp/>

本社 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町二丁目3番14号 古河ビル8F 特機部 電話：(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 広島営業所 082-832-3542 四国営業所 087-815-1708 九州支店 092-948-2010

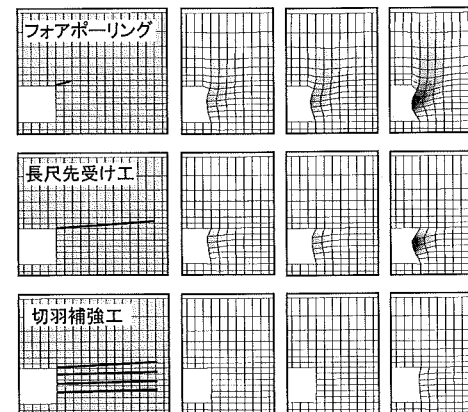
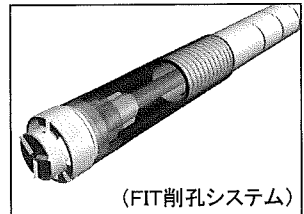
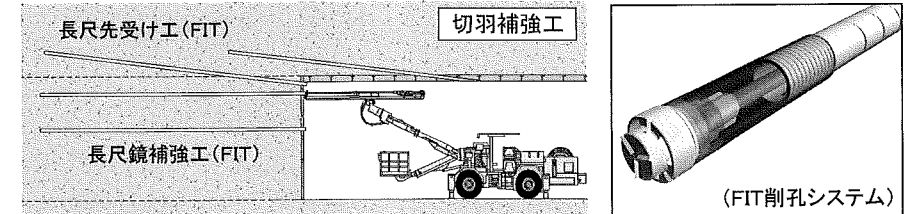
全方位 GFRP 管長尺補強システム

NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150件以上

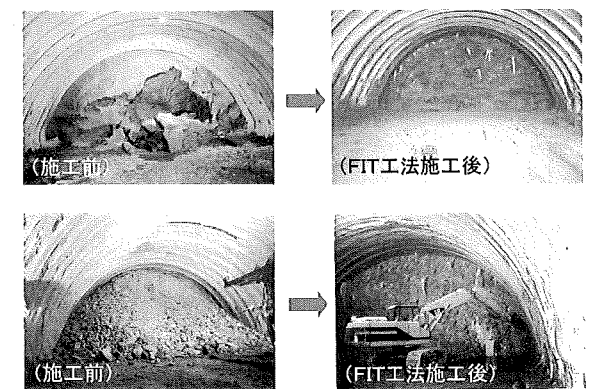
FIT 工法
FRP INJECTION TUBE



最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」



(数値解析による切羽補強効果の検証例)



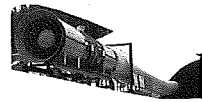
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

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

ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

ホンモノしか残らない。。。

…1960～ 1970～ 1980～ 1990～ 2000……



大容量ファン



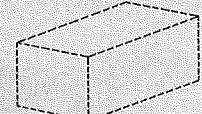
二軸反転
サイレントファン



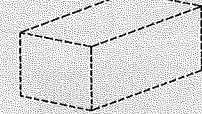
可変翼やインバーター
での風量制御ファン



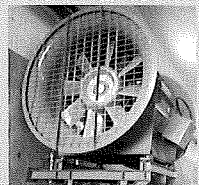
中型集塵機
ロッカー払落し式



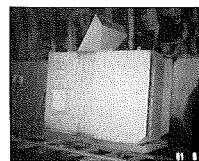
中型集塵機湿式



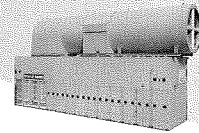
中型集塵機電気式



単段ファン



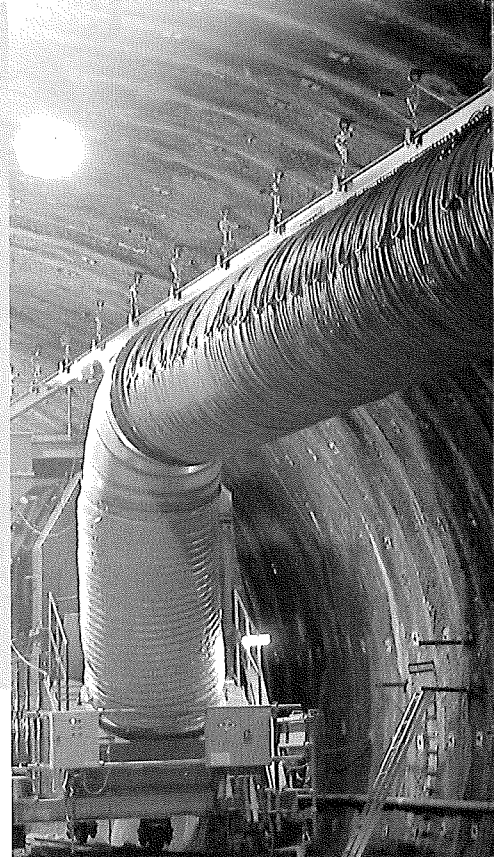
中型集塵機
フィルタ交換型



大型集塵機
1000～4000m³/min
30000hメンテナンス
フリー、トンネル
用は清浄度0.1mg/
m³以下保証

吸引ダクト SUPER LIGHT (新型)

自走式伸縮ダクト、自走レール、
全体の重量が半減！
φ600～1700、最長130m、
切羽照明で安全UP



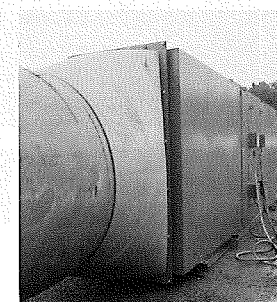
換気・環境技術は進化しています

2009……



密着

コンクリート密着養生システム
コンクリート自身が持つ水分と水和熱により自然
な状態で硬化



〔新型〕
大風量中圧ファン
EZ-2000Q
(2000m³/min, 2.94kpa,
150kw)

重量1/2に半減!!

漏れない風管シリーズ〔新型〕

従来のビニール・鋼管の風管に比べて漏風がほぼゼロのため、
中継なしで長距離送風が可能で大幅な省エネ
負圧=ピタジョイントダクト(超軽量鋼管)
正圧=ノンリークダクト(FRPリング式ビニール)

2010……



コンパクト大型集塵機
(低動力・ガス吸着・冷房除湿)
(高効率運転・再資源化…)

最適環境を創造する

株式会社流機エンジニアリング

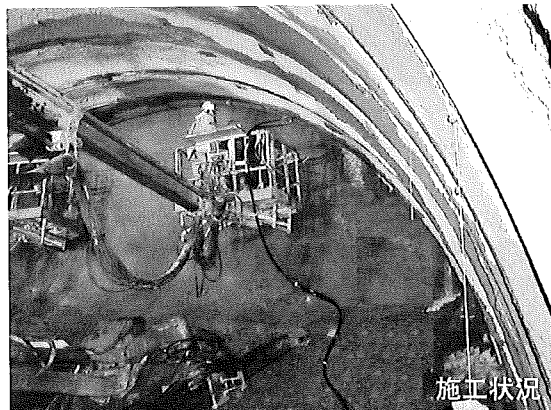
URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: eigyobu@ryuki.com

〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI聖坂ビル TEL: 03(3452)7400

補助工法・注入材のことならティーエムシー

AGF-OFP工法

当社が提案するAGF-OFP工法(注入式長尺先受工法)は、長尺の先受を鋼管打設と注入により構築するもので、現場で通常使用されているドリルジャンボで施工できる、汎用性の高い長尺先受工法です。鋼管・削孔資材から注入材まで、全部まとめてお任せください。



施工状況

■各種注入材
NEW-TSRF
(シリカレジン)
NEW-TBU
(ウレタン)



※その他各種工法、セメント系注入材など、詳しくは当社ホームページをご覧ください。

環境に配慮したリサイクルコンテナシステム

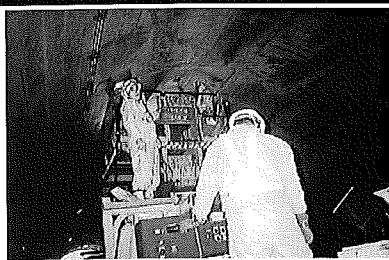
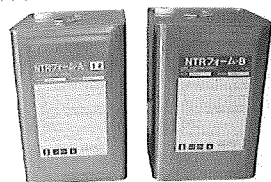


◎リサイクルコンテナ(左)と現場への搬入風景 当社のリサイクルコンテナシステムなら、一斗缶の産業廃棄物処理がなくなるため、工事もスムーズに進みます。現場にも環境にもやさしいシステムです。

トンネル補修もティーエムシーにお任せください

これからますます需要増加が見込まれるトンネル補修工事。当社では、補修工事で使用される空洞充填材も取り扱っております。

NTRフォーム12(12倍発泡)
NTRフォーム30(30倍発泡)
NTRフォーム40(40倍発泡)
※強度等詳細は当社ホームページにてご確認ください。



上記の各種注入材の他、ドリルジャンボ、集塵機をはじめ各種機械も取り扱っております。お気軽にお問い合わせください。

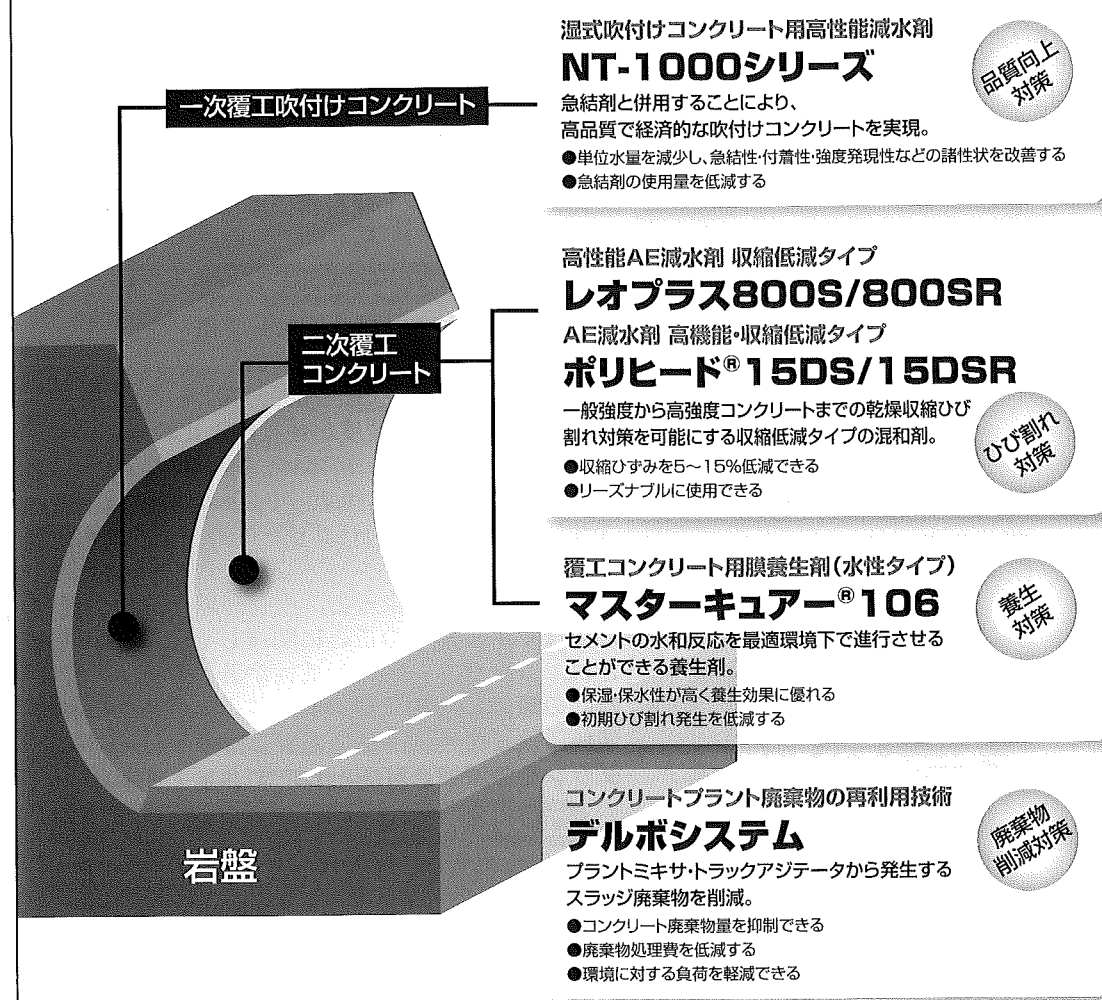


株式会社ティーエムシー ホームページ : <http://www.tmc-net.com/>
お問合わせ・お見積のご相談はお近くの当社事務所まで

| | | |
|-------|--|-------------------|
| 本社 | 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-23-3 冠第二ビル5F | TEL: 03-3891-8211 |
| 仙台支店 | 〒984-0826 宮城県仙台市若林区若林2-5-5 SKビル3F | TEL: 022-286-5111 |
| 名古屋支店 | 〒486-0844 愛知県春日井市鳥居松町4-165 春日井中央ビル4F | TEL: 0568-56-4288 |
| 大阪支店 | 〒578-0903 大阪府東大阪市今米1-2-1 中辻第3ビル3F | TEL: 072-966-6280 |
| 富山営業所 | 〒933-0806 富山県高岡市赤祖父707 古川ビル2F | TEL: 0766-28-8355 |
| 九州営業所 | 〒839-0809 福岡県久留米市東合川3-12-40 アイ・ソリューションビル1F | TEL: 0942-40-8151 |

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。



BASFポゾリス株式会社

- 本社 / 東京都港区六本木3-16-26
混和剤営業部 TEL:03-3582-8811(直) FAX:03-3588-3800
 - 支店 / 仙台、東京、名古屋、大阪、福岡
 - 営業所 / 札幌、宇都宮、千葉、横浜、上越(松本・金沢)、静岡、広島、高松、鹿児島
- 資料進呈 / 詳しくは、本社混和剤営業部または、最寄りの事業所にお問い合わせください。
URL <http://www.pozzolith.basf.co.jp>

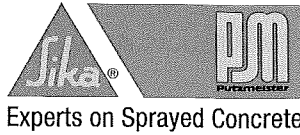


●BASFポゾリスは開港センターと岩崎工場において、ISO9001およびISO14001の両方登録をしております。



The Chemical Company

吹付けコンクリートシステム



コンクリート吹付機
Sika®-PM500 PC
by Putzmeister

当社はこのたびコンクリートポンプ・コンクリート吹付機で世界的実績を誇るputzmeister社と契約し、今までの吹付機の発想をことごとく変え、さらにその実績と技術ノウハウの基に製造されたputzmeister・Sika®-PM500PCを国内に導入しました。

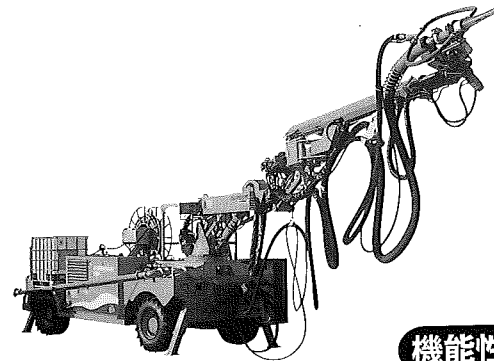


特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです。

プツマイスター圧送ポンプの特長

- ①シリンダーが他社機と比較して長い
プツマイスター L=1000mm
他社機 L=600~700mm
- ②S型揺動管の切替速度が他社機と比較して速い
プツマイスター 0.15sec
他社機 0.20~0.30sec
- ③油圧回路に特許FFH(フリーフロー回路)機能を採用

この三大特長によって、吹付け時の脈動が非常に少なく、またそのことに関連して息つきが防止され、コンクリートの付着性が著しく向上、作業時間の短縮、飛散りバンドの減少、さらに部品の消耗、油圧ホース、油圧ポンプ等々を含めコストダウンその減額を可能とします。



コンパクトで群を抜く使いやすさ!

機能性、機動性の基に理想的な機械化を実現!

総販売元 東友エンジニアリング(株) 製造輸入元 プツマイスタージャパン(株)

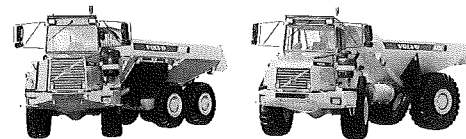
トンネル関連製品

吹付けコンクリートシステム

putzmeister・Sika®-PM500PCコンクリート吹付機
Putzmeister S.A.

一体型吹付機・特殊型吹付機
設計・製作: 東友エンジニアリング株式会社

VOLVO ダンプトラック
(A25C-TS, A25C-TR, A20/30C-T)

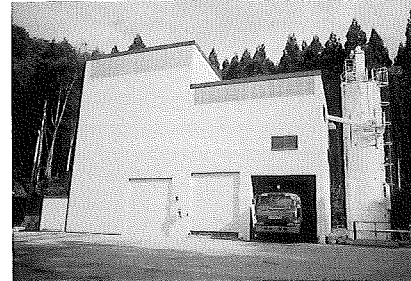


Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他, トンネル施工機械全般

バッチャプラント

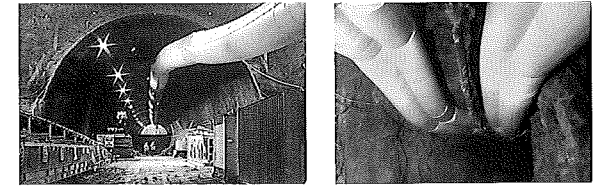
(全自動式, 3槽クラム式, 簡易型, 特殊型)



設計・製作: 名岐エンジニアリング株式会社

トンネル換気システム

ABC
VENTILATION SYSTEMS



- ファスナー式風管
- ツイングダクト風管
- スパイラル風管
- 帯電防止型風管

総代理店 東友エンジニアリング株式会社

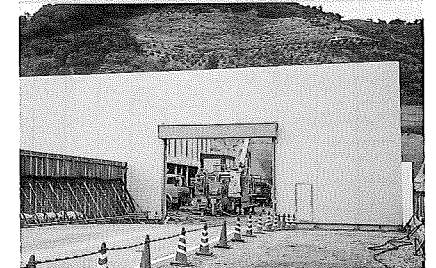
騒音防止システム

エコフラット -35db Cタイプ



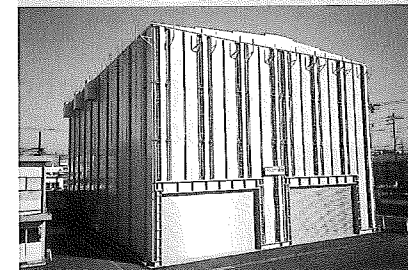
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 -15db Aタイプ



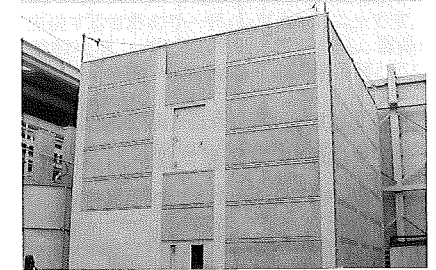
適応性の優れた防音パネル

エコユニット -30db Bタイプ



組立て容易な標準型防音ハウス

スーパーエコハウス 超低周波音 -25db



超低周波音対策に適した防音ハウス

設計施工 株式会社トーユーエコサポート

建設業界に貢献するTOYU GROUP

東友エンジニアリング株式会社

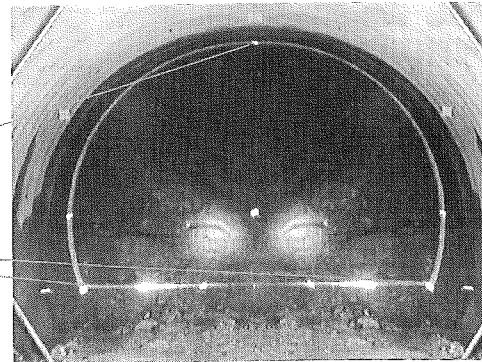
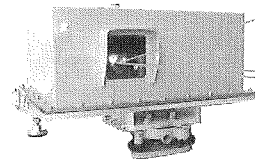
<http://www.toyu.co.jp>

〒101-0032 東京都千代田区岩本町 3-2-1 TEL: 03-5829-8901 FAX: 03-5829-8902
株式会社トーユーエコサポート TEL: 03-5809-2171 FAX: 03-5809-2172
トーユーサービス株式会社石岡工場 TEL: 0299-27-6211 FAX: 0299-27-6233

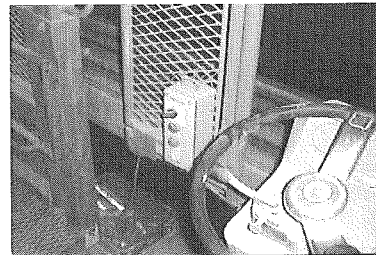
レーザーマーキングシステム

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

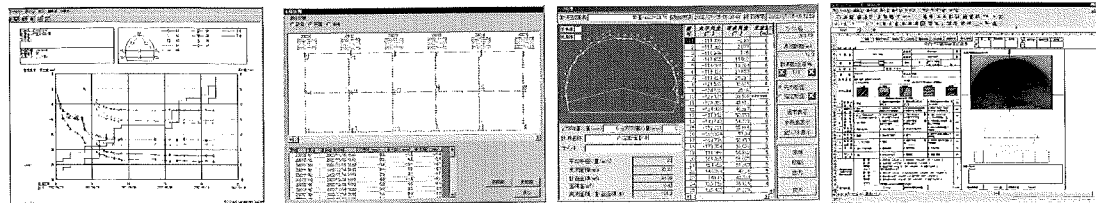


現場環境に耐え得る頑強なコントローラー

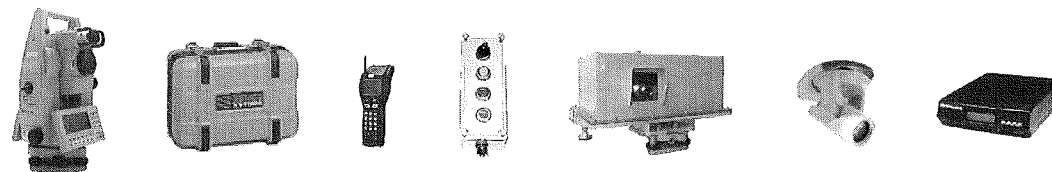


ジャンボに取付けて使用可 AC200V対応

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。

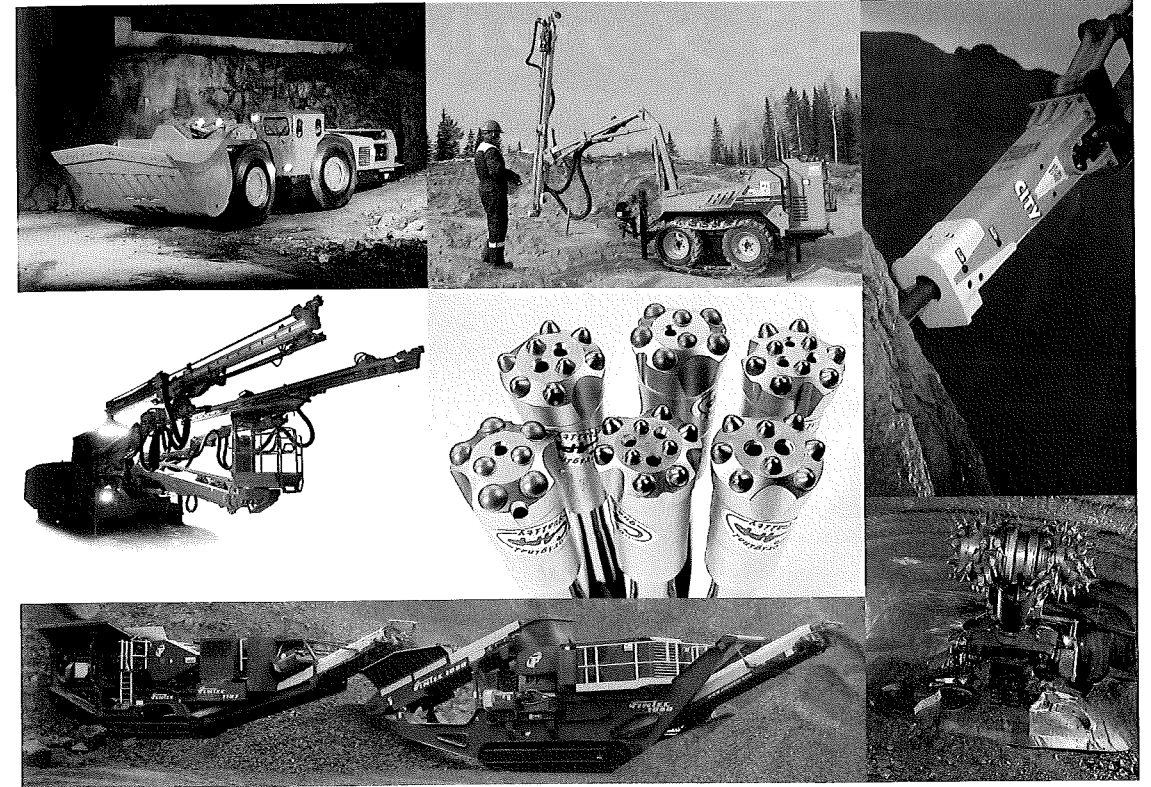
MAC マック株式会社

〒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

SANDVIK



**Productivity
in Action**

サンドビック マイニング アンド コンストラクションは、鉱山、建設業界においてトータルソリューションをご提供する世界のリーディングカンパニーです。私たちの製品は、鉱山機械、建設機械、一般土木機械に広く対応し、製品群は、掘削機、クラッシャー、油圧ブレーカ、スクリーン、及びその消耗品類と広くカバーしております。それらは、長い歴史で培った経験と知識が生かされた優れた設計に基づいた製品であり、また万全のアフターセールスサポートにより貴社を強力にバックアップいたします。長い歴史を持つサンドビックは、お客様とのパートナーシップを大切にします。私たちは、お客様とのより密なパートナーシップにより、お客様の生産性、収益性を改善する斬新なソリューションを絶えず提案し続けます。

サンドビック マイニング アンド コンストラクション ジャパン株式会社

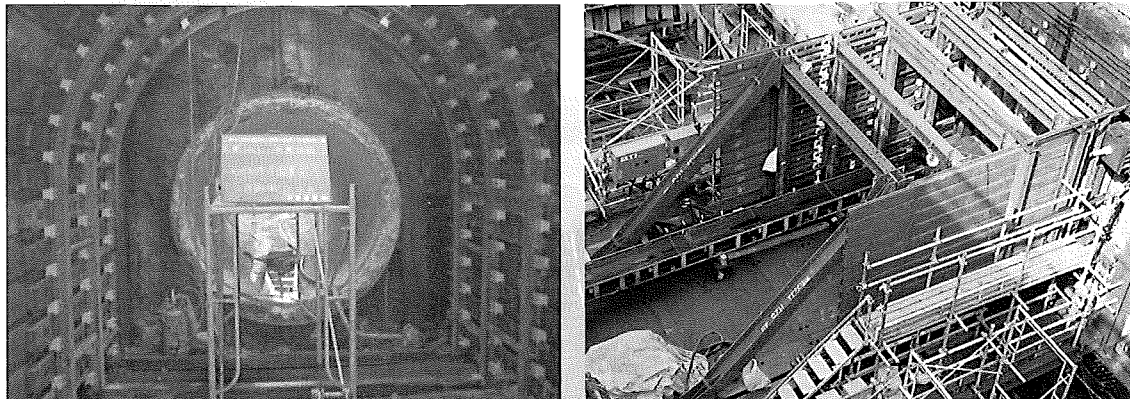
〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜2-15-12 共立新横浜ビル6階 TEL045-478-0862/FAX045-478-0861

URL <http://www.miningandconstruction.sandvik.com/jp/>

アーストンネル掘削工法に最適

SS-メッセル工法

Stabilizer System Messer



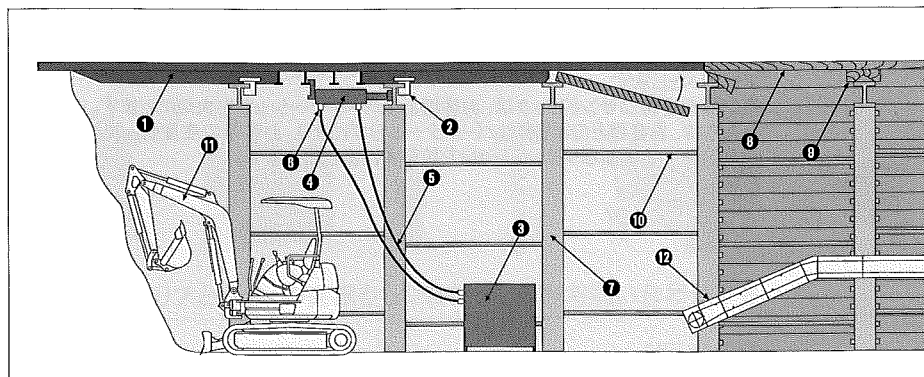
特徴

- 地山をゆるめず任意の断面形状のトンネル掘削ができます。
- 余掘りがなく切羽の掘削と一次覆工がSS-メッセルを介して同時に安全に施工できるので地表面が沈下しません。(都市トンネル工事では最適)
- SS-メッセルプレートとスタビライザが一体となり、正確に推進する機構になっているので、安全で確実に掘進することができます。
- SS-メッセル工法に使用される断面は、支保工の形状に従って、円形・角形・アーチ形・馬蹄形、のいずれでも自由に選べます。

実績

- 線路下横断構造物工事。鉄道・道路・下水道・共同溝・地下連絡通路などトンネル工事に多数の実績をもっています。

SS-メッセル工法概略図



- 1 SS-メッセルプレート
- 2 スタビライザ
- 3 油圧ユニット
- 4 油圧ジャッキ
- 5 油圧ホース
- 6 油圧手許切換装置
- 7 支保工
- 8 木矢板
- 9 木製キャンバー
- 10 径間パイプ、
タイロッドボルト
- 11 バックホウ
- 12 ベルトコンベア



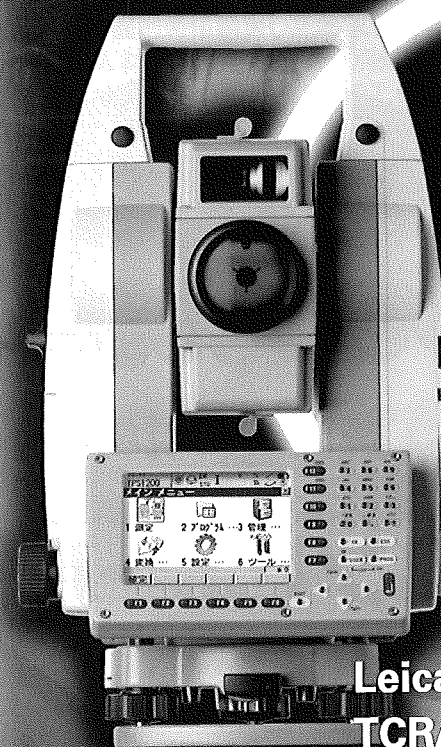
株式会社シーテック

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

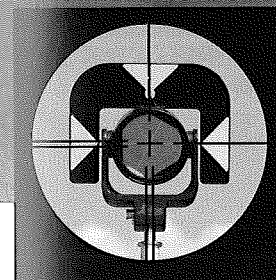
〒102-0074 東京都千代田区九段南3丁目8番10号 TEL.(03)3263-7457(代) FAX.(03)3262-0915

ユニバーサル測量システム

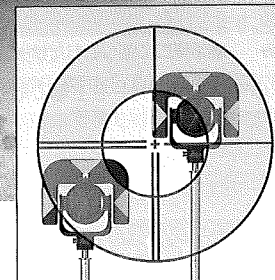
トンネル設計者の要望に応え、さらに進化 ライカTPS1200+シリーズ、ついに登場



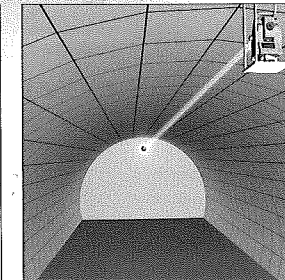
Leica TPS1200+
TCRA+1205



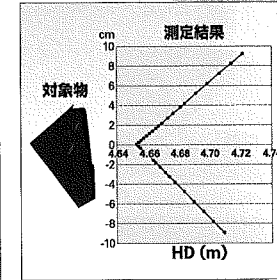
精度が向上した自動視準
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで、自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



自動視準視野が変更可能
制御コマンドを使用して視野を1/3にすることにより、プリズムが近くに並んだ状態でも測定可能。



ノンプリズムの距離延長
新特許技術 PinPoint R1000によりノンプリズム測距1000mまで可能。これにより、器械のターニング回数が減少。※対象物反射率90%のとき



ノンプリズム精度の向上
PinPoint R1000ノンプリズム測定なら、測定対象物の正確なデータ取得が可能。

ライカ ジオシステムズ株式会社

本社 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコート
Tel. 03-5940-3020 Fax. 03-5940-3056

<http://www.leica-geosystems.co.jp>

- when it has to be right

Leica
Geosystems

Kanaflexの電力・通信ケーブル保護管

都市部での電線集中化工事を省力化・効率化

電力・通信ケーブル用多条保護管 特許出願中

カナレックスML

1. 独自構造 (波付き管と管台一体型リブの連続構造)

- ・リブに平面部があり、管を密着させて敷設できる為、掘削幅、深さを小さく出来る。
- ・従来品に比べ、良好な砂の充填ができ、一括埋め戻しが可能。

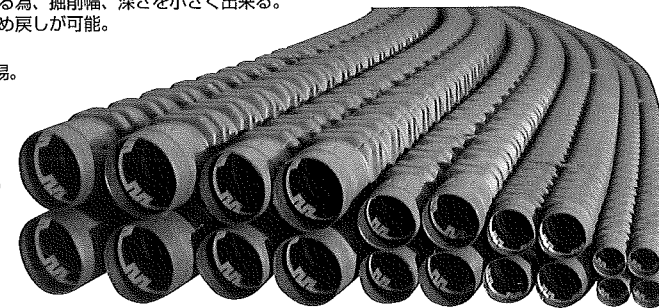
2. 可とう性に優れる

- ・上下左右に曲がり、既設物や障害物の回避が容易。

3. 優れた性能

- ・軽量で、全サイズワンタッチ接続の採用により、工事の省力化が図れる。
- ・ワンタッチ式のロングベルマウス、ベルブロックを採用することによりハンドホール接合部の省力化が図れる。
- ・JIS C3653 (附属書1及び3) の圧縮強度試験、難燃性試験をクリア。

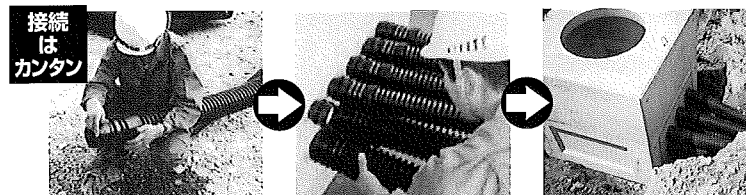
4. 摩擦係数が低く整直性が良い為通線がスムーズ



電線共同溝をはじめとする電力・通信ケーブルの埋設管工事
情報化時代に伴う光ファイバーの多条敷設
都市部での電線地中化工事を
省力化・効率化

ハンドホール工事の工期短縮・工費削減に現場の加工作業を大幅に軽減できる

ワンタッチ継手付ハンドホール



管路に継手差口をねじこみ 継手受口に差しこむだけ これで接続完了。

ワンタッチ継手 (ベルマウス付直材) を工場に取り付けてご納品。管路接続がスピーディー、確実に行えます。

●本商品には、専用FEP管として、カナフレックスの「カナレックス」をご使用下さい。

※特許・意匠出願中

TVコマーシャル放映中 テレビ朝日系「サンデープロジェクト」(日曜 朝10:00~11:45)

カナフレックスコーポレーション株式会社 ISO 9001 認証取得

株式会社 インテック

東京本社 〒106-6117 東京都港区六本木6-10-1 (六本木ヒルズ森タワー17F)

TEL(03)5770-5111 FAX(03)5770-5130

大阪本社 〒530-6017 大阪市北区天満橋1-8-30 (OAPタワー17F)

TEL(06)6881-0767 FAX(06)6881-0769

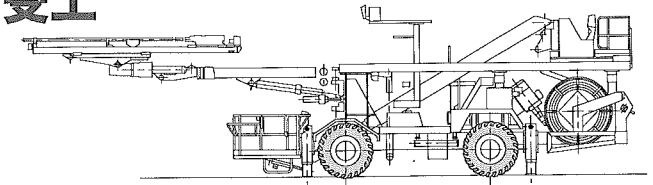
営業所 札幌・仙台・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・福岡・鹿児島

直営工場 北海道・仙台・栃木・千葉・滋賀・愛東・広島・四国・九州

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

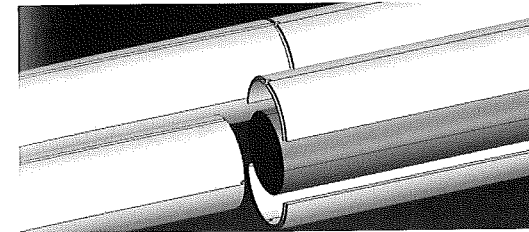
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



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。



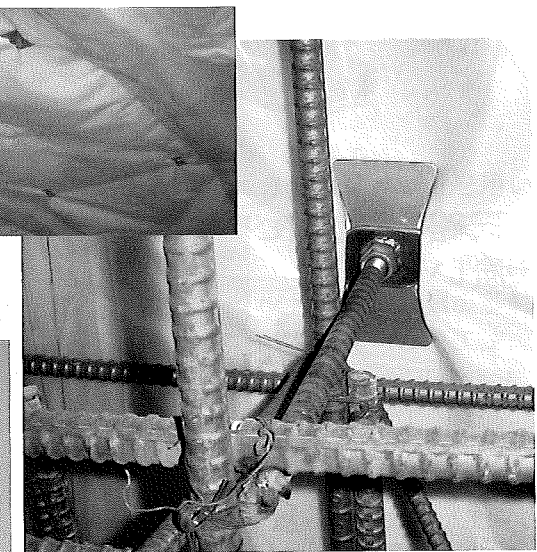
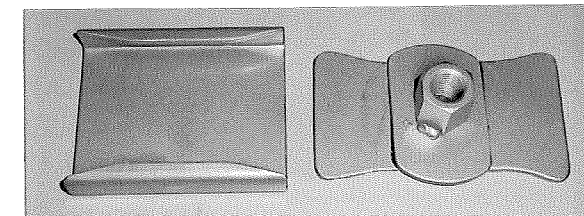
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

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 東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD

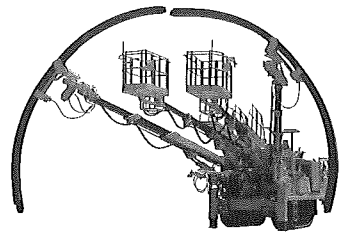
〒105-0003
東京都港区西新橋3丁目2番1号 共同ビル(西新橋)10F
Tel: 03-5401-6211 Fax: 03-5401-6218
URL: http://www.tohokinzoku.co.jp

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)

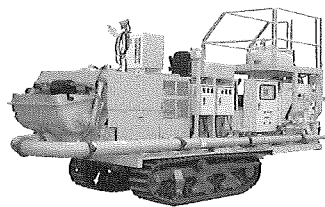
エレクター搭載吹付システム スコーピオン I 型・II 型

オフロード法認可・排ガス3次対策機指定



小断面シリーズ

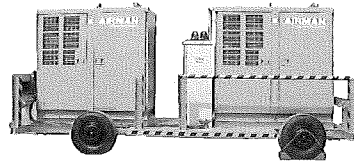
小断面用ポンプ台車



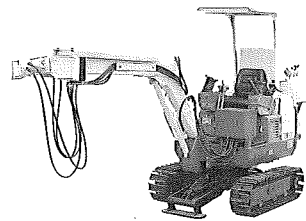
アリバー台車



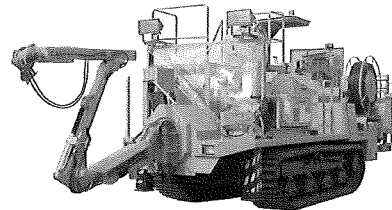
コンプレッサー牽引台車



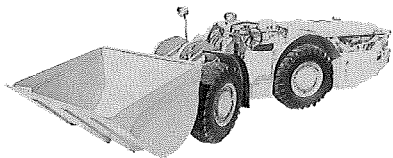
小断面吹付ロボット MR-II



ミニ・ビートル

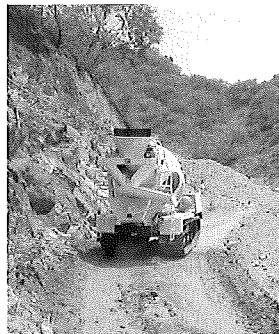


ロードホールダンプ M8

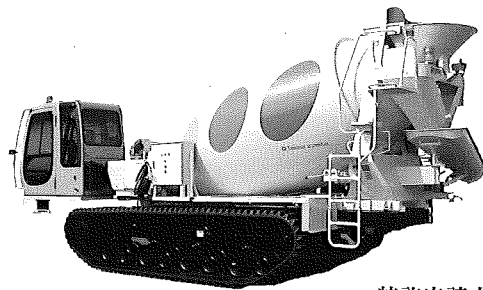


ゴムクロミキサー車

悪路・斜路に
強い



斜路を登る
ゴムクロミキサー車



特許申請中

ホームページにアクセス下さい
URL <http://www.tonneru-rental.co.jp/>
株式会社トンネルのレンタル
〒389-0506 長野県東御市柵津字元会下1080-9
TEL0268(62)1426 FAX0268(62)1999

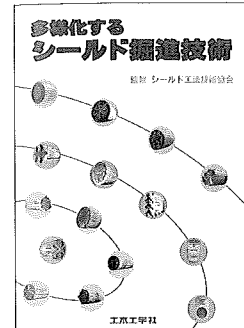


好評発売中

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地下莖シールド工法、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

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・送料先・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

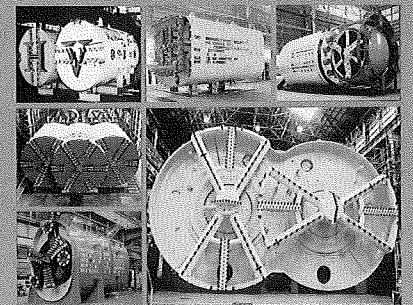
シールド トンネルの 新技術

シールドトンネルの新技术研究会 編

B5判 280頁 定価：4,660円+税

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会
代表 鈴木 章



土木工学社

進化を続けるシールド工法。その誕生から技術の変遷、将来の技術開発の動向までをまとめ、最先端の技術について理論と実際にいたるまで記載した。豊富な設計・施工例を掲載し、応用のしやすい的確な解説を加えた好評の一冊。

主要目次

第1章 概説

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

第2章 調査・計画編

1. シールド工法の調査技術
シールド工事における調査の取り組み方/基本計画時の調査(予備調査)/設計時の調査(基本調査、詳細調査)/施工時の調査(確認調査、管理調査)/施工後の調査(追跡調査)

2. 断面および線形計画
断面および線形/鉄道用シールド/下水道用シールド/断面と線形における今後の展開

3. シールド機種の種類と選定
シールド機の構造と装備/現状のシールド機種の種類と選定方法

4. 新しいシールド工法
大断面化、大深度化、長距離化への展望

第3章 設計・施工編

1. 覆工
一次覆工の設計/二次覆工の設計と施工/シールドトンネルの防水技術

2. 立坑の設計と施工設備
立坑の設計と施工

3. 仮設備
仮設備の計画

4. シールド工事の自動化
掘進管理システム/方向制御システム/セグメント自動組み立てロボット/自動搬送システム/その他の自動化技術

5. 掘進と施工管理
シールド掘進と施工管理/シールド機の発進と到達/裏込め注入工法と注入効果/曲線施工と地中接合/補助工法の種類と選定

6. 近接施工と環境対策
近接工法と対策/アンダーピニングおよび支障物対策/シールド工事と環境対策

7. 新工法の現状と将来展望
自由断面シールド掘進(縦構断面)/

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位防止
切羽安定の理論と実際/泥水式シールド工法の切羽安定/土圧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

株式会社 **土木工学社**

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

トンネル工事からパンクを追放 坑内用特殊複層タイヤ



特許第1610830号

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

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

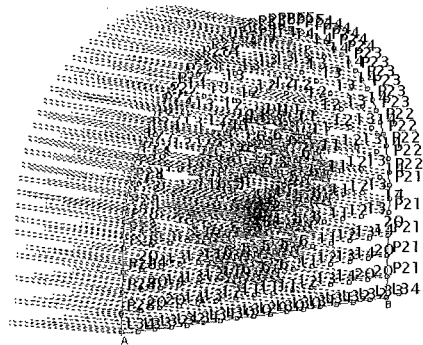
0~20 (約2年) 20~30 (1年6か月)
30~40 (約1年) 40~50 (6か月)

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

中濃産業株式会社
代表取締役 土田 義 式

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

トンネル専用電子雷管 eDev™



トンネルさく孔パターン設計
各種制御発破に対応 1ms 毎の秒時設定可能
周辺孔余堀りの減少
発破粉度・ズリ出し位置のコントロール
長孔さく孔→急速施工



オリカジャパン株式会社

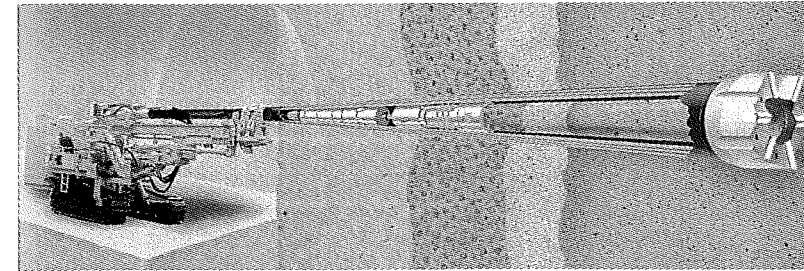
代表取締役社長 安藤 宏

〒105-0001 東京都港区虎ノ門3丁目7番11号 虎ノ門三須ビル 7階
TEL: 03-5777-4681 Fax: 03-5777-4682
<http://www.oricaminingservices.com>

取扱品目: 技術サービス・電子雷管・導火管付雷管・電気雷管・含水爆薬・産業爆薬用硝安

トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■ 特長

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



機械掘削ツインヘッド

1.0m²クラス 322C 他

| 区分 Type | 型式 Model | ピック型式 Tooth Type | ピック本数 Number of Teeth |
|-----------------|-------------|---------------------|--------------------------|
| 標準型 Standard | MT-300S-F | HABCM-15 | 48 |
| | MT-600S-F | HABCM-15 | 64 |
| | MT-1000S-F | HABCM-15 | 72 |
| | MT-2000S-F | HABCM-15 | 72 |
| | MT-300S-C | RM5C-9 | 52 |
| | MT-600S-C | RM8B-15 | 54 |
| | MT-1000S-C | RM8B-15 | 62 |
| | MT-2000S-C | RM8B-20 | 68 |
| | MT-4000S-C | RM8B-25 | 80 |
| | | | 丸ピック Conical |

klea 株式会社 ケイリー

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

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

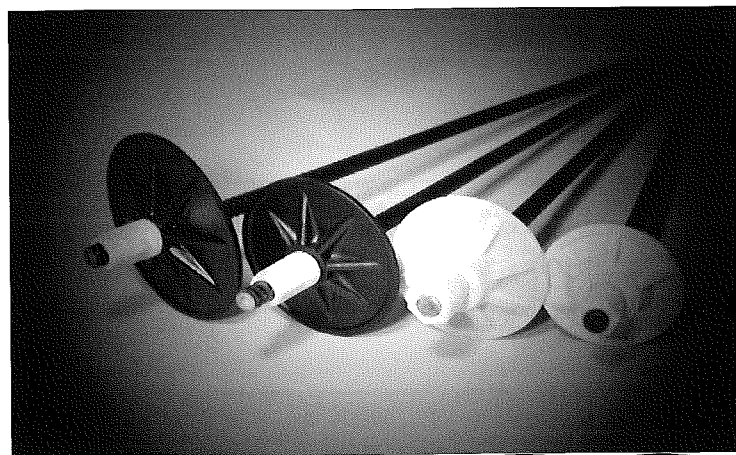
パターンボルトのGRP化

POWERTHREAD

耐食機能に優れるロックボルト

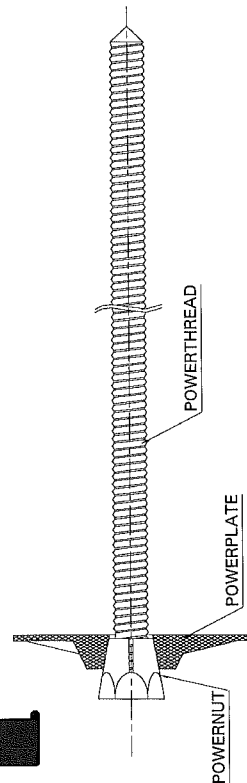
POWERTHREADは、POWERNUT/POWERPLATEを組み合わせることにより、
全てGRP製に！！

※ 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

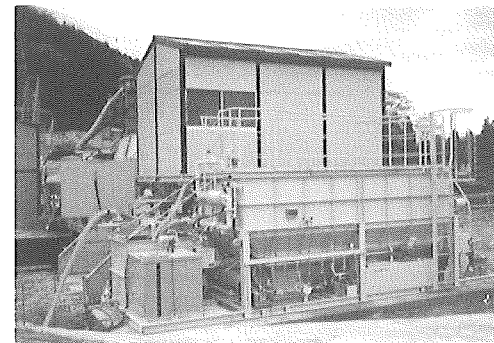
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237

北海道地区(株エイチ・アール・オー)

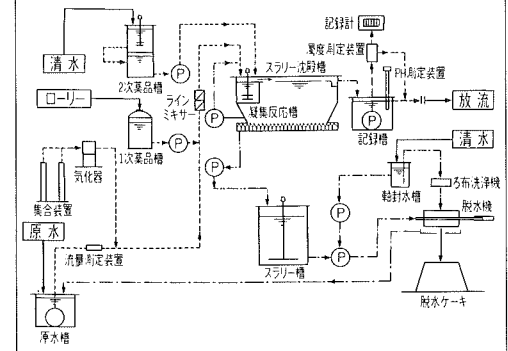
TEL)011-821-5868 FAX)011-821-6644

TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら 大きな処理能力



フローシート (システム TYPE II)



特長

1. 基礎、土木工事の期間が短く安価である。
設置面積が小さくフラット基礎で設置可能である。
2. 運転経費が少ない。
ラインミキサー及び余剰ガス循環システムの組み合わせにより効率の良い中和が出来炭酸ガス使用量の節約になる。角型シックナー沈降面積及び容積をより大きく設計しており又傾斜板を採用していることから一次、二次薬品が少量でも効率の良いSS処理が出来る。複式汙板型の脱水機を採用していることから汙布等の消費費が少ない。
又、加圧型脱水方式の為無薬注で脱水出来る。
3. シックナー内流速を最少にする設計であることより清澄度の高い処理水が得られ、再利用が可能である。
4. 運転管理が容易である。
原水流入に合せた自動運転方式を採用している。パトライトによる異常警報装置を標準装備している。

脱水機は、全自動無人化タイプを採用している。処理水の水质監視装置及び記録を自動化しており、運転状況の確認が容易である。

5. 多種多様な原水に対応出来る。
凝集反応槽攪拌機及び集泥用レーキにインバーターを採用し、水量及び濃度に幅広く対応する。
6. 豊富なオプション装置
高分子凝集剤の自動溶解装置
処理水返送装置 (異常警報装置と連動)
炭酸ガス後中和処理装置
鉄分除去処理装置 (エアレーション装置等)
スラリー再濃縮装置
脱水助材添加装置
自動汙布洗浄装置

シックナー5機種、脱水機4機種を標準化し、処理量に応じた自由な組み合わせが可能です。あなたの現場にピッタリフィットのシステムを御検討下さい。

詳細資料請求、お問い合わせは

株式会社 フジテックス

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

Waste Water Treatment System

■巻頭言

20年後のトンネル技術

山田 和男5

■研究

山岳トンネルの地下水情報化施工

安田 亨49

■施工

脆弱な強風化泥岩と炭鉱ずり山のトンネル掘削

—北海道横断自動車道 ユーパロトンネル—

計良 清隆・森 俊介・信田 俊文・野崎 克博7

名水百選など周辺水環境に配慮し中央導坑方式を採用

—四国横断自動車道 齒長山トンネル—

前田 良文・和田 信良・近森 博・土田 淳也17

坑口部のまさ地山を早期閉合により克服

—一般国道49号 三和トンネル—

石井 重好・河原 正儀・田村 佳丈・高野 浩司29

空港施設下のシールド掘進と掘削土砂改質技術の採用

—新潟空港下水道管渠敷設工事—

竹村 淳一・広尾 俊幸・林 成卓・日野 義嗣39

■連載講座

沈埋トンネル(4)

—耐震設計—

岡田 一郎59

■現場だより

『愛』のくから

平山 保彦16

「八鹿」より

西川 秋弘28

■資料

トンネル千夜一夜(56)

小野田 滋26

文献紹介

編集部67

土木情報

編集部38

工法・技術・製品ニュース

編集部68

トンネルジャーナル

編集部48

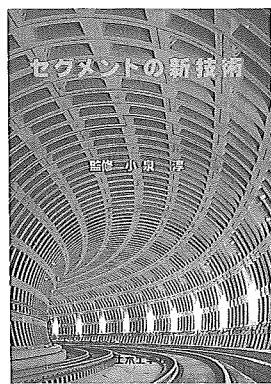
海外文献速報

JTA国際委員会69

■会報

会報

日本トンネル技術協会70



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】

坑口部のまさ地山を早期閉合により克服

—一般国道49号 三和トンネル—



本トンネルの両坑口部15~20m間では、トンネル全面にまさが出現し、天端の先抜け、切羽崩壊により断面閉合までの間の大変位発生などが危惧された。このため、先行する終点側は、上半先進ベンチカット工法を採用し、下半の早期掘削で支保構造体の力学的安定を確保したが、100mmを越える天端沈下が発生した。始点側では、これを考慮し、補助ベンチ付き全断面工法による早期閉合を採用した。写真は、吹付け閉合後のインバート施工状況である。

〔写真提供：国土交通省〕(本文29頁参照)

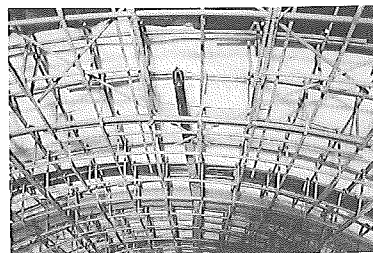
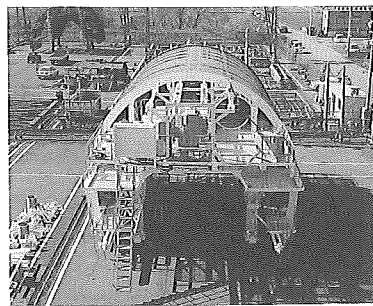
高品質なトンネル覆工に挑む

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

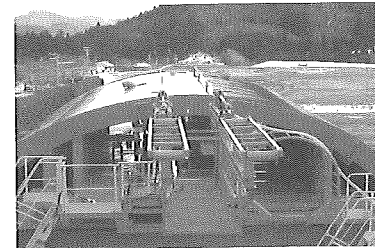
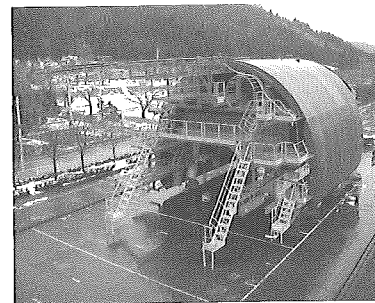
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【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。

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〕

| | |
|---|--|
| 池 田 豊 人 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官 | 長 島 芳 雄 株式会社竹中土木常務取締役 |
| 大 石 敬 司 東京地下鉄株式会社建設部工事課課長 | 濱 建 介 (元)日本鉄道建設公団理事 |
| 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 | 福 家 佳 則 鹿島建設株式会社土木管理本部土工務部 トンネルグループ長 |
| 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 | 松 原 利 之 飛鳥建設株式会社土木事業本部技術統括部 トンネル技術グループ部長 |
| 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 | 山 道 哲 二 株式会社大林組東京本社生産技術本部 統括部長 |
| 千 葉 隆 清水建設株式会社土木技術本部 地下空間統括部部長 | 領 家 邦 泰 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル技術室参与 |



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/>

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW
総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ10.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- ・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 三重県津市雲出鋼管町6番地2 TEL 059-234-4139

西部支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998

三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町6番地2 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

定塚 正行

日本シビックコンサルタント株式会社
参与・技師長(山岳トンネル担当)

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

〔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
防災技術研究部部长

清水 満

東日本旅客鉄道株式会社東京工事事務所
立体交差課長

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

田村 聡志

東京都水道局建設部工務課長

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

野邑 敏行

東京都交通局建設工務部計画改良課長

巖 滋之

東京都下水道局建設部設計調整課長

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

掲載頁
7

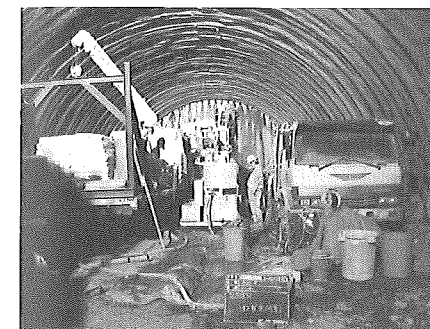
脆弱な強風化泥岩と炭鉱ずり山のトンネル掘削
—北海道横断自動車道 ユーパロトンネル—

東日本高速道路(株) 計良 清隆

ユーパロトンネルの地質は全線にわたり古第三紀の幌内層泥岩で、土砂化や破砕が進行し崩壊性が高く、掘削時の切羽の安定やトンネル沈下対策に補助工法を選定する必要があった。一方トンネル終点部には石炭採掘時に排出された岩塊混じり土砂を無転圧で堆積したルーズな炭鉱ずりが存在した。

本稿は、崩壊性が高く、沈下が卓越する強風化泥岩の掘削補助工法・沈下対策工の施工実績および選定フロー、トンネル終点部に位置する炭鉱ずり山の掘削補助工法の検討および施工について報告する。

Excavation in Weathered Mudstone and Muck Pile—Hokkaido Odan Expressway, Yuparo Tunnel—
By Kiyotaka Keira, East Nippon Expressway Company Limited



写真はAGF-R施工状況

The geological features of the Yuparo Tunnel include Palaeogene mudstone of Horonai formation on all lines and collapsibility was high as weathering and fracturing progressed therefore it was necessary to select auxiliary methods as countermeasures for face stability and subsidence at the time of excavation. On the one hand, around a portal of the tunnel there was loose muck consisting of soil with rock debris that was deposited with no surface compaction from coal mining.

This report gives information on the construction results and selection processes for auxiliary methods and settlement countermeasures for excavating in weathering mudstone of high collapsibility and investigation and construction with auxiliary methods in the muck pile located around portal of the tunnel.

掲載頁
17

名水百選など周辺水環境に配慮し中央導坑方式を採用
—四国横断自動車道 歯長山トンネル—

西日本高速道路(株) 前田 良文

愛媛県宇和島市と西予市の境界に計画された歯長山トンネルは、仏像構造線と明浜スラストに挟まれた石灰岩層を貫く、延長2,053mのトンネルである。

本トンネル周辺には、地元の重要な水源となっている観音水(名水百選)のほか、第二観音水、白水観音水という石灰岩層起源の自然湧水があり、本トンネル掘削によって、これらの湧水に影響を与えることが懸念された。また、二つの断層に挟まれた石灰岩層区間では、高被圧湧水の発生や切羽崩壊などが懸念された。

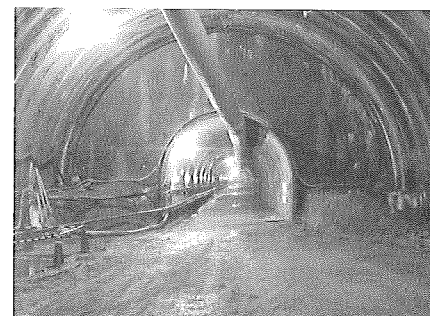
そこで、石灰岩層区間の掘削にあたっては、各種水文・地質調査を行い、先進導坑などにより各水源への影響の有無と地質を直接的に確認することで、最適なトンネル構造や切羽安定化対策工などを検討し、施工した。

Centre Pilot Bore for Environment Preservation—Shikoku Odan Expressway, Hanagayama Tunnel—
By Yoshifumi Maeda, West Nippon Expressway Company Limited

The Hanagayama Tunnel that was planned on the borders of Uwajima and Seiyō Cities in Ehime Prefecture is 2,053 m long and passes through limestone bed interposed between the Butsuzo tectonic line and the Akehama thrust.

Surrounding this tunnel, as well as Kan-non Water (one of the Selected One Hundred Exquisite Waters of Japan) which is an important water resource in the locality, there are natural springs rising from the limestone such as the 2nd Kan-non Water, the Shiramizu Kan-non Water and there was anxiety concerning the effects on these springs with the excavation of this tunnel. In addition, there was concern about the occurrence of water inflow into the tunnel or face collapse in the limestone section that was interposed between the faults.

Therefore, in order to excavate the limestone section, we conducted all types of hydrological and geological surveys and, by directly confirming geological features and the existence of effects on each water source through such things as pilot tunnels, we investigated the most suitable tunnel supports and face stabilization countermeasures and proceeded with construction.



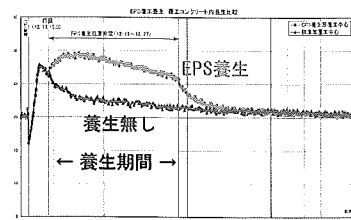
写真は先進導坑坑口全景

新しいタイプの覆工コンクリート養生システム
EPSパネル養生工法

NETIS 登録
(No. CB-090003-A)



EPSパネルの保温性、保湿性が効く。



温度測定結果

| | 養生無し | EPS養生 |
|---------------------------|------|-------|
| 反発度 (平均) | 33.8 | 36.3 |
| 推定強度 N/mm ² | 24.9 | 28.1 |
| 強度比 | 1.0 | 1.13 |

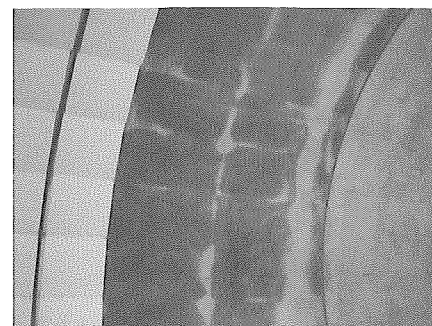
強度測定結果

(シュミットハンマー)

- 温度測定結果より、保温養生効果を確認。
- シュミットハンマーテスト(材令28日)の結果より、強度の増進を確認。
保温・保湿養生の効果。
- 弾性波レーダーによる鋼球接触時間測定結果より、表層の硬さ(弾性係数)の増大を確認。
表面の乾燥収縮ひび割れに対する抵抗性の増大。

実績および採用決定(平成21年7月1日現在)

| 施主 | 実績 | 採用決定 |
|-------|----|------|
| 国土交通省 | 4 | 4 |
| NEXCO | 3 | 2 |
| 地方自治体 | 5 | 1 |
| 合計 | 12 | 7 |



EPSパネル取り外し直後の状態

株式会社 不動テトラ

建設本部
〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町7番2号
TEL 03-5644-5025 FAX 03-5644-8576

特許登録番号第3977849号

大栄工機株式会社

〒526-0842 滋賀県長浜市春近町90番地
TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765
【営業品目】
各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売
トンネル用機材一般/土木資材の販売
鋼製支保工の製造販売

実施権許諾第10396号



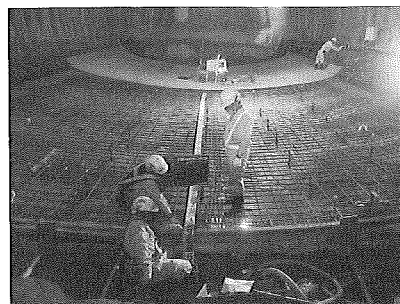
三和トンネルの両坑口斜面は緩傾斜地形をなし、崖錐堆積物とまさが分布する。坑口部の15~20m間では、両坑口ともに、トンネル全面にまさが出現し、天端の先抜け、切羽崩壊、断面閉合までの間の大変位発生などが危惧された。このため、施工を開始する終点側は、初期変位速度で次施工を判断する上半先進ベンチカット工法を採用し、下半の早期掘削で支保構造体の力学的安定を確保したが、100mmを越える天端沈下が発生した。始点側は、これを考慮し、補助ベンチ付き全断面工法の早期閉合を採用した。

その結果、トンネル変位は約1/2に抑制され、確実な施工ができるようになり、この施工方法の未固結まさ地山への適用の有効性が示された。

Penetrate Grus Ground by Early-stage Building Invert concrete—National Highway 49, Miwa Tunnel—

By Shigeoyoshi Ishii, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The slopes at both portals of Miwa tunnel are composed of mildly-slope and are distributed with talus and grus. From portal to 15 - 20 meters behind, grus appeared all over of each face and there were misgivings about grave occurrences such as the failure of the crown or the faces, or huge deformation before building invert concrete. For this reason, the construction that was to be started at a portal employed the bench cut method that could decide the next method of construction by analyzing an initial displacement speed, the stability of the supporting was ensured by the early-stage excavation of the bench, but the crown settled by over 100 mm. Taking this into consideration, at the another portal section the full face method with auxiliary bench was employed combined with early building invert concrete.



写真は吹付け閉合後のインバート工施工状況

As a result of this, the crown settlement was controlled to approximately 1/2, it became possible to construct reliably and the effectiveness of the application of this construction method to grus ground was demonstrated.

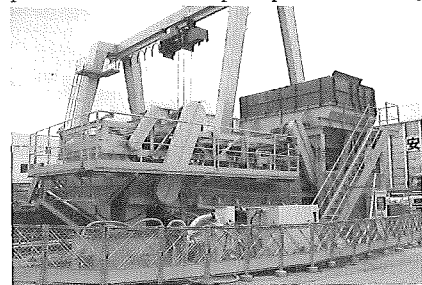
本工事は、整備水準を10年に1回の降雨とした総合雨水対策整備の一環として、新潟空港の敷地内に、仕上がり内径4,000mmの雨水幹線管渠を泥土圧シールドにより構築するものであり、崩壊性の高い砂質土地盤において、滑走路を含めた各空港施設の直下を安全に掘進することが求められた。

本稿の前半では、空港施設下をシールド掘進するにあたって、地盤変位を抑制するための対策について報告する。また後半では、掘削土砂の改質に関して、建設事業費の削減に対する社会的要請を鑑み、一般的に使用される石灰などの改質材の代わりに、主として吸引により含水比を低下させて土砂性状を改質する新技術を現場適用したので、その効果について報告する。

Shield Tunneling and Muck Improvement Techniques under Airport Facilities—Sewage under Niigata Airport—

By Junichi Takemura, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

These works constructed a stormwater sewer main with an inner diameter of 4,000 mm using a slurry shield within the grounds of Niigata Airport, as a part of general rainwater countermeasure project for ten-year probable maximum precipitation. The geology of site was the sandy ground with high collapsibility. It was demanded safe excavation directly underneath various airport facilities including runways.



写真は脱水ベルコン全景

The first half of this report gives information on measures in order to control ground settlement when driving a shield directly under airport facilities. The second half gives information concerning the improvement of muck, taking into account social demands pertaining to the reduction of project costs and instead of improvement materials such as quicklime that are generally used, the insitu application of new technologies to improve the condition of the muck mainly by reducing the water content by suction and the results of these.

トンネル工事に関する地下水の課題は、施工面では大量湧水に伴う切羽崩落やトンネル排水の処理、および安全に施工するための地下水対策工の検討などがある。また、周辺環境面では地下水排水に伴う周辺水環境への影響、既設水源に及ぼす地下水低下影響が挙げられ、これらの自然環境保全はトンネル工事にかかわる重要課題である。

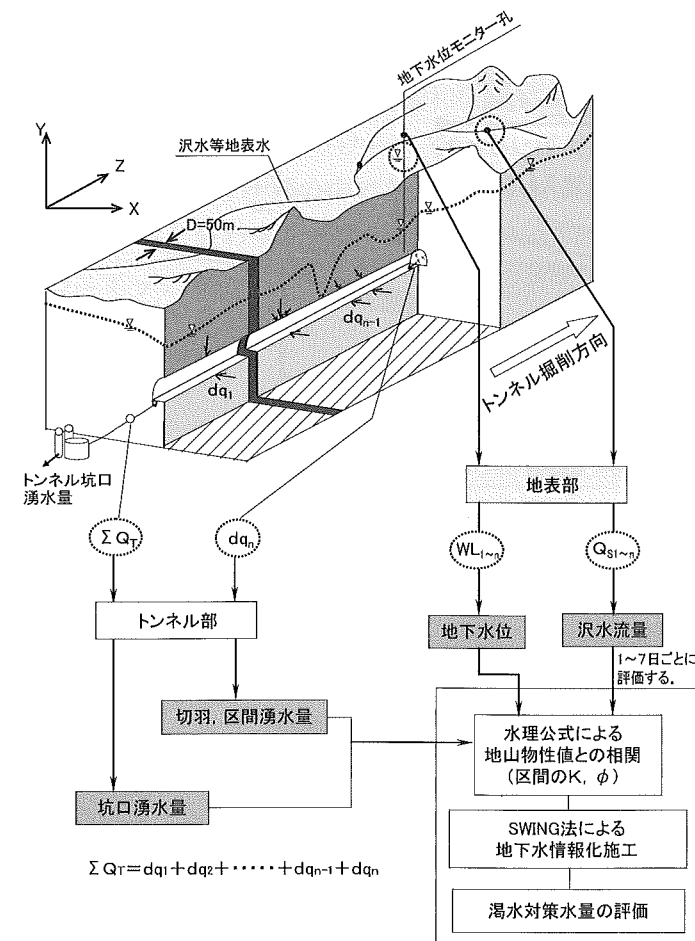
本稿では、トンネル周辺の水環境保全やトンネル工事の地下水問題について、迅速かつ簡便に予測する評価法(SWING法: System on Water Information of Groundと呼ぶ)の内容、それに関する解析法の開発、ならびに評価手法について述べる。

Smart NATM Considering Groundwater Environment

By Toru Yasuda, Pacific Consultants Co., LTD.

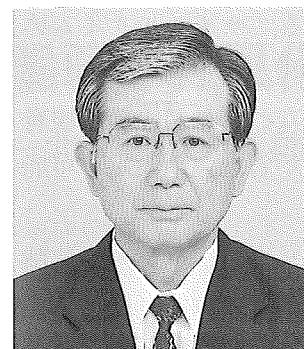
The challenges of groundwater in tunnel works are such things as face collapse due to large-volume water inflow or processing of tunnel drainage or investigation into countermeasures for groundwater in order to be able to construct safely. In addition, the effects of inflow-water drainage on the surrounding water environment and the effects of the reduction in groundwater level on existing water resources were raised and conservation of nature was an important challenge concerning the construction of the tunnel.

This report gives information on the conservation of the water environment surrounding the tunnel and the groundwater issues of the tunnel construction, the details of the evaluation method that speedily and simply makes estimations (called the SWING method: System on Water INFORMATION of Ground) and developments in analysis methods of it as well as evaluation methods.



図はSWINGシステムの概念(入出力データ)

20年後のトンネル技術



前田建設工業(株)常任技術顧問(本協会理事)

山田和男

当協会の活動に関係するようになってから10年余りになる。この間に立場は事業者側から施工者側が変わったが、周辺に大勢のトンネル技術者がおり、トンネル工事がしばしば話題となる日常に変わりはない。私自身はトンネル技術者ではないが、こうした状況の中で山岳トンネル技術について思うところを述べてみたい。

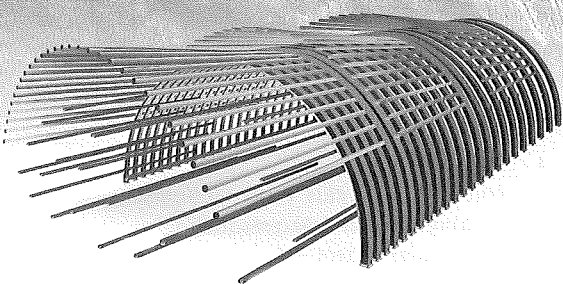
NATMは昭和49年にわが国に紹介された。昭和61年には土木学会のトンネル標準示方書(山岳編)において標準工法に位置づけられている。NATMがわが国の複雑な地盤条件に適した工法と考え、手探り状態の中で多くのトンネル工事に採用、失敗と成功の経験を積み重ねる中で、導入後わずか10余年で日本型NATMを確立したことは、わが国トンネル技術史のエポックメイキングとして誰しも認めるところである。この頃からわが国の山岳トンネルのほとんどがNATMで施工されていることはその成果の大きいことを物語っている。

平成18年当協会発刊の『トンネル技術白書』によれば、今日ではわが国のトンネル技術は世界のトップ水準にあるとのことであるが、その特徴のひとつに体系化された技術基準類の保有を挙げている。基準類の整備、情報の共有化にあたっては当協会をはじめとする学協会の担った役割は大きい。

標準工法となってから今日までの20年余の技術の推移を概括すれば、NATMはその構成要素となる種々の技術が大幅に発展し、工法として成熟したといえるだろう。解析手法や地山探査技術、計測技術の進歩、バラエティーに富んだ補助工法の開発、掘削用等使用機械の大型化・高性能化、吹付け・覆工コンクリートの高品質化、環境負荷を低減する技術の開発や坑内環境関連設備の性能向上等々、海外からの技術導入を含めて多方面にわたって格段の進歩が見られる。

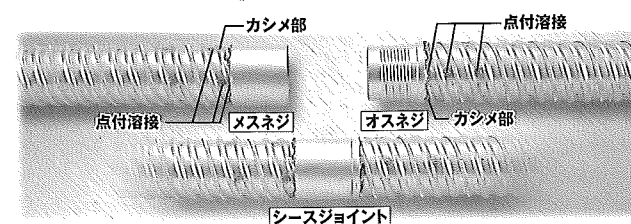
NATMが新たな技術を取り入れ進化したことから、より難度の高い地山条件のトンネルが施工されるようになった。都市トンネル分野でもNATMにより多数のトンネルが施工されている。本誌を購読していると、強大な地圧・水圧を受ける箇所や軟弱地盤

ユニークな発想と高品質・自信の価格



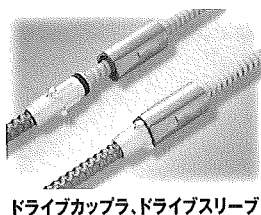
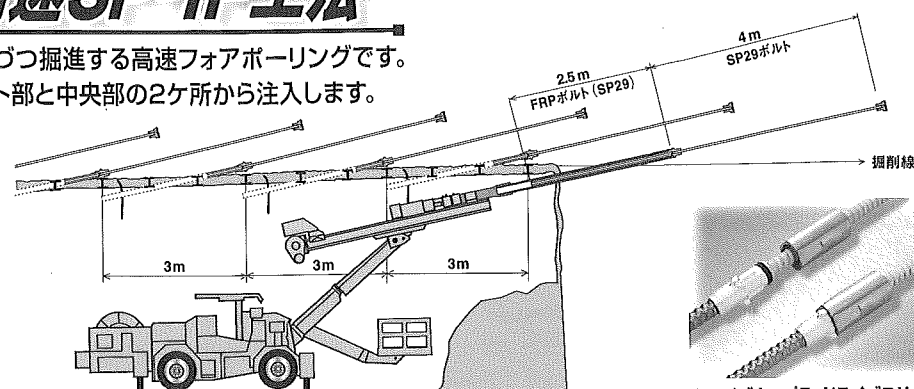
FIXチューブ工法

※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。



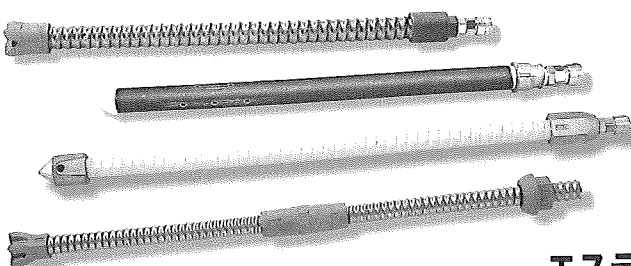
高速SP-IF工法

※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

エステーエンジニアリング株式会社

ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2

TEL:0729-90-0250 FAX:0729-90-0251

http://www.st-eng.co.jp

での掘進事例，都市の限られた地下空間の中で，周辺の構造物などへの影響を極力抑えて大断面を構築する事例などにNATMの領域の拡がりを実感する。サイクルタイムの短縮や省力化などにより施工の効率化が進むとともに，全体の技術水準が向上しすべてのトンネルで一定の品質の確保が可能になった。坑内環境の大幅な改善はじん肺新規有所見者数の推移や労災保険率の低下を見れば明らかである。厳しい管理値の設定が可能になり自然環境への負荷も低減している。

一方，工事の途中で計画変更を余儀なくされた例も散見される。また，トンネルに精通した技術者が従事していても，切羽の前方数メートルの地山が掘みきれず，崩落等不測の事態が起こりうるのもトンネル工事の難しいところである。わが国の地形・地質の複雑さや，予測を超える自然の怖さを示すものといえるが，調査段階における地山の予測精度が上がれば，より適切な施工体制を整えられ，更なる装置化，効率的な施工が可能となる。切羽付近の性状が確度高く把握できれば崩落や異常出水など突発事故は減少しよう。

また，さほど難しくないとトンネルでは切羽作業を無人化できないだろうか。コストとの兼ね合いを考えればなんでも装置化すればよいというものではないが，切羽で剥き出しの自然を相手とする作業の無人化は安全性の向上に大きく貢献し，効率化にもつながる。一方で，NATMは地山の変化に応じて臨機の対応が可能なのがその優れた特性のひとつであり，すべての切羽で人力作業がなくなることはないとの思いもある。地山の状態に応じて生じる種々の作業を着実に行えるグループの確保はこれからも大事なことである。

私が望む技術の向上について2点ほど述べてみたが，いずれにしてもNATMは今後とも改善を重ねていこう。これから20年後山岳トンネル技術はどんな進化を遂げているだろうか。年齢を考えれば残念ながら保証はないが，ぜひ見たいものである。

総合評価制度にみられるように，他者を差別化する固有技術を持つことが高く評価される時代である。施工者も手持ちの技術の改善あるいは新技術の開発に注力しているが，経営基盤の現状を考えれば，短期間に成果が得られぬテーマなどは手を出しにくい。

歴史を振り返ってみると，経験工学的要素の強いトンネルの場合，時代を画する技術開発は，事業者が施工困難な箇所の克服に意欲的に新技術を採用し，研究者，施工者と連携する中で育まれてきている。事業費の圧縮がなによりも強調され，技術開発の担い手，受益者が議論となる時代であるが，事業者にとっては，開発された技術を積極的に評価・採用し，難工事区間の克服，コスト圧縮，工期短縮などプロジェクトの効率的な推進に活用していただくとともに，スパンは長い大きな成果をもたらす革新的技術の開発にリーダーシップを発揮していただくことをお願いする次第である。

施工

脆弱な強風化泥岩と炭鉱ずり山のトンネル掘削

—北海道横断自動車道 ユーパロトンネル—

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 計 良 清 隆

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

戸田建設(株)・東亜建設工業(株)・日本国土開発(株)特定建設工事共同企業体所長 信 田 俊 文

戸田建設(株)・東亜建設工業(株)・日本国土開発(株)特定建設工事共同企業体主任 野 崎 克 博

1 はじめに

ユーパロトンネル工事は，現在建設中の北海道横断自動車道(夕張IC～トマムIC間60.5km)のうち，北海道夕張市域3.5kmをトンネル・橋梁・切盛土工にて施工するものである。

当工事区間が平成23年度に開通することにより，一般国道経由で約4時間を要していた札幌～帯広間の移動時間が約3時間に短縮され，広大な北海道の東西を結ぶ高速道路ネットワークが形成される。

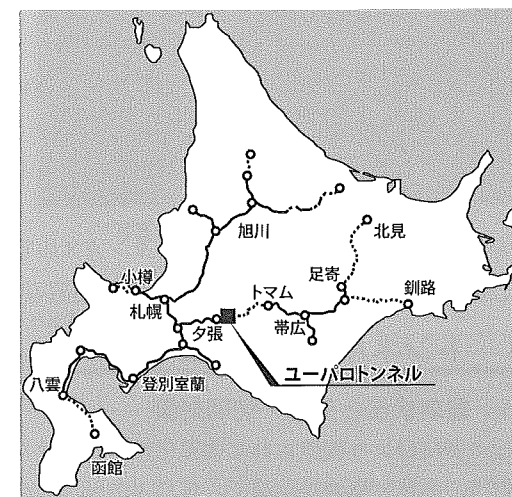


図-1 工事位置図

2 工事概要

施 工 者：北海道横断自動車道ユーパロトンネル
工 事

発 注 者：東日本高速道路(株)北海道支社

場 所：北海道夕張市楓～登川

工 期：平成17年7月1日～

平成21年12月6日

請負形態：戸田・東亜・日本国土開発特定建設工
事JV

工事概要：工 事 延 長 3,549m

トンネル延長 1,955m

掘 削 断 面 積 80.3m²

掘 削 工 法 上半先進ベンチカット
工法

掘 削 方 式 機械掘削方式

薬液注入工 一式

3 地質概要

3-1 地質および地形

トンネルの地質は，全線にわたり古第三紀の幌内層泥岩である。弾性波速度としては，2.5～3.5 km/sで，岩盤等級C～D級となっており，とくに2.5km/s区間は，土砂化および破砕が進行し，非常に崩壊性の高い状態であった。破砕箇所につい

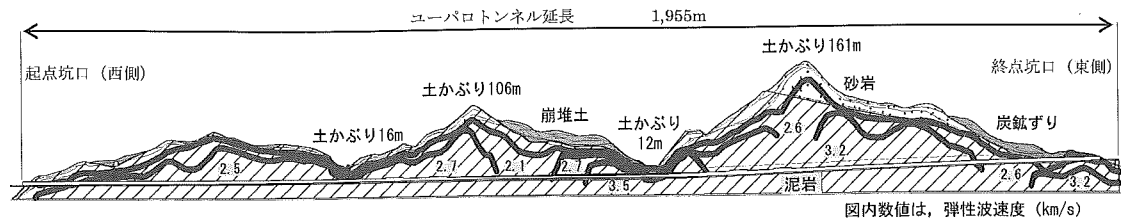


図-2 トンネル縦断面

では、微細な潜在亀裂に至るまで鏡肌が発達し、さらに崩壊性を助長している。また、泥岩特性としては、スレーキングの進行が非常に速く、路盤の泥濘化防止対策が必要なほどであった。

地形は、起点坑口より580m, 1,130m地点に、それぞれ16m, 12mの小土かぶり箇所(沢部)が存在する(図-2参照)。

一方トンネル終点部には、石炭採掘時に排出された岩塊混じり土砂を堆積したルーズな炭鉱ずり山が存在している。

3-2 検討経緯

夕張～占冠間は8本のトンネルが連続する区間であり、並行するJR石勝線や一般国道274号は、トンネル掘削時にメタンガスが発生したこと、地質が脆弱なためトンネル掘削に労力を要したこと、さらに大規模な地すべり対策が施されたことなどから、計画段階から有識者で構成されるトンネル委員会を組織し、継続した審議を行ってきた。終点側炭鉱ずり山の掘削についても、本委員会において比較検討がなされ、基本的な対策が決定された。

3-3 メタンガスの発生と対策

夕張は、かつてわが国を代表する産炭地のひとつであった。過去、採掘時にメタンガスによる爆発事故も多数記録されている。

本トンネル地下にも旧坑道が存在するため、トンネル掘削当初より、有識者からの指導のもと、メタンガスの発生を想定して先進ボーリングによる切羽前方の調査、坑内ガス濃度測定(常時)を行ってきた。

掘削延長680m地点に達したとき、切羽側溝部にて気泡を確認、調査の結果メタンガスであった(写真-1)。湧出箇所にてガス濃度を測定すると、



写真-1 メタンガス湧出状況

メタン100%LEL(爆発濃度の下限値 5 Vol%が100%LELである)を示し、量は微量ながらも、常時湧出している状態であった。ただし、トンネル坑内でのガス濃度は、送風換気による希釈・排出効果により0%LELとなっており、メタンガスは感知しない程度であった。

対策は千歳工事事務所と有識者で検討された対策マニュアルにもとづき、下記の内容について実施した。

- ① メタンガスの測定
- ② 停電時などに備え送風機の非常用発電機を設置
- ③ ガス切断、溶接作業時には移動式局所ファンの使用
- ④ 送風機の24時間運転によるメタンガスの希釈

4 トンネル掘削対策工

4-1 掘削状況と天端・切羽対策

起点側坑口より確認された強風化作用を受けた泥岩は、非常に崩壊性が高く、坑口より68m地点において、上半掘削時に50m³の切羽崩壊が発生

した(写真-2)。

本トンネルの泥岩は、亀裂に沿って鏡肌が発達し(写真-3)、崩壊を助長する。また、土砂化、粘土化した部分も多数確認され、切羽崩壊、トンネルの変形を誘発した。事前調査による弾性波速度が、2.5～3.0km/sの箇所についても、切羽の自立が確保できない状態であった。また、施工中の切羽からの調査結果(先進ボーリング孔内の速度検層)によると、掘削に伴う応力解放で、切羽前方に15～30m程度まで、先行緩みが発生することも判明した(図-3)。

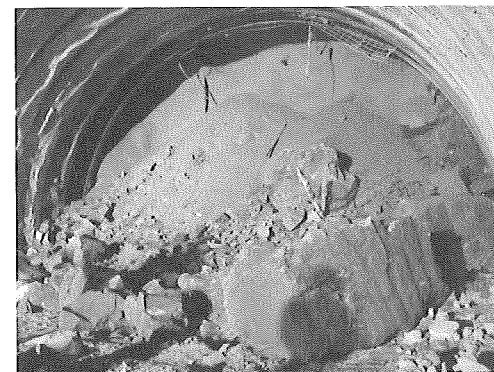


写真-2 TD68m切羽崩壊状況



写真-3 切羽拡大写真(鏡肌の発達)

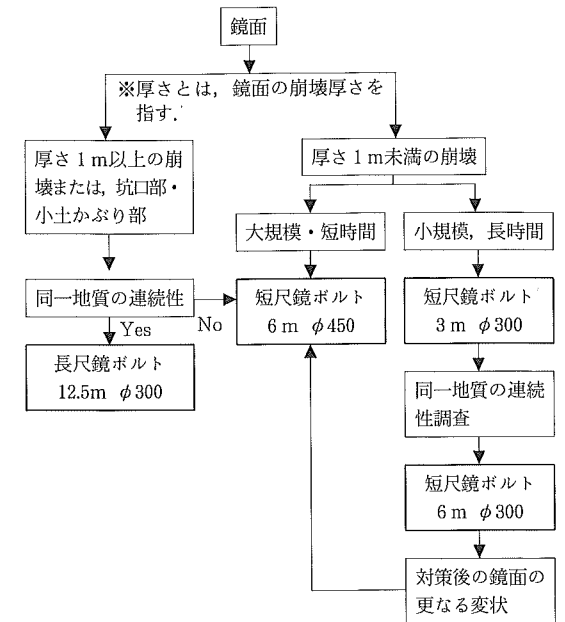


図-4 補助工法選定フロー(鏡面)

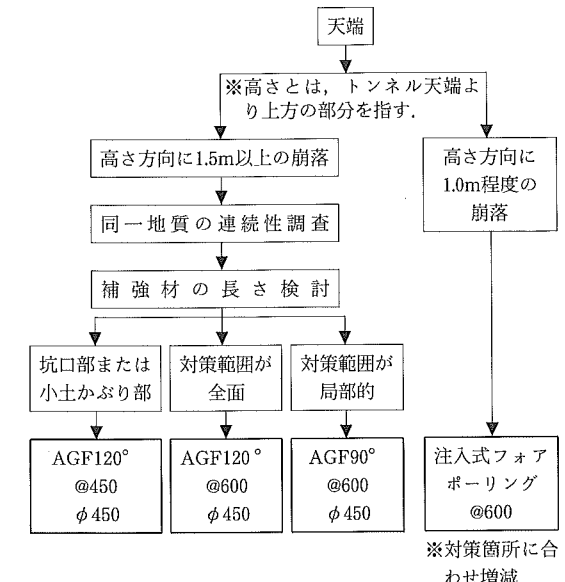


図-5 補助工法選定フロー(天端)

| トンネル延長 | 110m | 120m | 130m | 140m | 150m | 160m | 170m |
|----------|------|---------|---------|---------|------|------|------|
| 調査番号 B-2 | 切羽位置 | 1.7km/s | 2.1km/s | 2.7km/s | | | |
| 調査番号 B-3 | 切羽位置 | 1.7km/s | 2.1km/s | 2.5km/s | | | |

図-3 弾性波速度測定結果(切羽からのボーリング)
トンネル掘削による前方緩み領域が15～30m程度であると想定される

掘削補助工法としては、天端および鏡面に対して長尺鋼管フォアパイリング、注入式フォアボーリング、長尺・短尺鏡ボルトを施工した。

工法の選定にあたっては、まず低レベルの対策工を対策工を実施した結果の安定性を観察し、それらを切羽の地質や崩壊程度をパラメーターとしてデータを収集し、それらをもとにフロー図を作成して対策工選定基準を明確にした。

強風化作用を受けた泥岩対策として、当現場で採用した補助工法選定フローを図-4,5に示す。

4-2 沈下対策工

前述した強風化泥岩の脆弱性に起因して、トンネルの沈下が卓越する傾向が見られた。これはトンネル側方の緩み(土圧)に対し、上方の緩みが大きかったため、沈下卓越となったものとする。トンネル沈下、上方の緩み増大、さらなる上方からの土圧の作用、沈下というメカニズムがくり返されたと考えられる。坑口より105m地点においては、上半脚部沈下量140mmに達し、内空断面を確保できない状態となり、延長35m区間の縫い返しを行った。また、そのときの水平変位量は沈下量の60%となる85mmとなっており(図-6)、その後の区間においても沈下、変位比率については同様の傾向を示した。

沈下対策工としては、ウイングリブ付き支保工、増しロックボルト、吹付けインバート閉合を行った。切羽離れ10mにおいて、増しロックボルトやウイングリブ支保工については、70~100mmの脚部沈下を発生するのに対し、吹付けインバート閉合を施工した区間は50mm程度と沈下抑制効果ももっとも高かった。本トンネル泥岩における沈下対策工としては、早期にトンネルを閉合する吹付けインバート工がもっとも効果的であった。また、これらの補助工法を用いても、下半施工時には、30

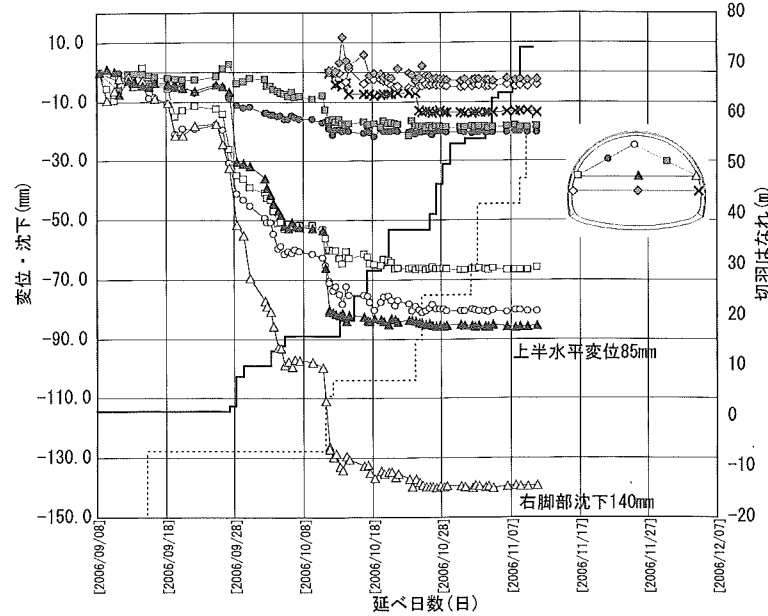


図-6 TD105mA計測データ

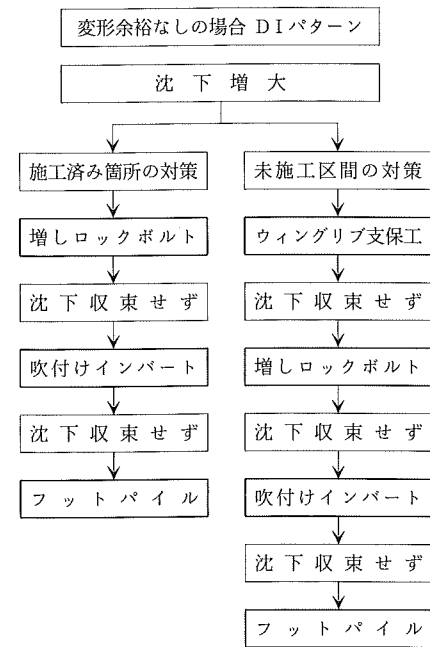


図-7 沈下対策工選定フロー

~50mmの沈下を発生するため、内空断面確保のため、変形余裕10cmを持たせたDIIパターンにて施工を行った。

4-3 炭鉱ずり山対策工

トンネル終点部には、転圧されていないルーズ

な炭鉱ずり山(図-8)が存在する。本工事では土かぶり7~22mでこの炭鉱ずり山を掘削するに先立ち、トンネル委員会にて議論が進められた。

表-1にも示すように、③案(パイプルーフ)は小口径推進工法を応用した工法で割高であり、地表に構造物などもなく、地表沈下などにも制約のない本区間には適さない。

②案(薬液注入+長尺先受け工)に比べ、①案(薬液注入、二重管ダブルパッカー)は、工程的に有利であり、経済的には同等であるため、当初設

計として採用した。また、地下水対策として、集水井も設置することとした。

炭鉱ずり山の性状としては、シルト混じり砂質礫(礫混入率70~80%)で間隙率は40%程度である。砂岩、泥岩、石炭が無転圧状態でルーズに堆積している。また、巨礫が多い箇所は空隙が大きく、シルト~砂質箇所については、やや空隙が小さくなっている。

以上の炭鉱ずり山の性状を踏まえ、試験施工を行い、対策工法の変更を行った。

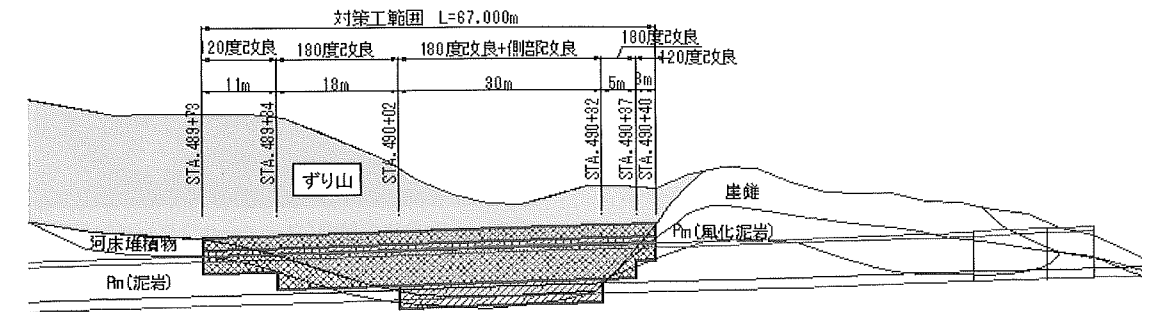


図-8 炭鉱ずり山縦断面図

表-1 工法比較表(当初設計時)

| | ①薬液注入 (二重管ダブルパッカー) | ②薬液注入+長尺先受け工 | ③パイプルーフ | |
|---------|--|---|---|---|
| | | | 東坑口発進案 | 西坑口発進案 |
| 概要図 | | | | |
| 工法概要 | トンネル掘削に先立ち、地表部より注入孔を削孔、薬液注入を行い、補強した地盤内で通常のトンネル掘削を行うものである。 | トンネル掘削に先立ち、セメントベンナイトによる注入(荒詰め)を行い、トンネル掘削時には長尺鋼管先受け工を併用し、切羽前方の緩みを抑制しながら掘削する。 | トンネル周辺に剛性の高い鋼管をルーフ状に配置し、パイプルーフの庇護下でトンネル掘削を行うものである。パイプルーフの施工は、東坑口側から行う。 | パイプルーフによる案であるが、パイプルーフを必要区間(ずり区間)のみとするため、坑内に発進基地(拡幅断面)を施工してパイプルーフを施工するものである。 |
| 施工性・経済性 | 注入工は地表部から施工できるため、施工性はよい。ただし、逸走を含め、目的とする区間に確実に注入を行うための細心の施工監理が必要である。注入作業はトンネルの掘削サイクルに関係なく施工でき、確実な注入ができれば、トンネルの施工性は良い。 | 注入工は地表部からの事前注入であり、施工性にも問題はない。長尺先受け工は坑内からの施工でサイクルタイムへの影響がある。 | パイプルーフは坑外からの施工で発進基地にも問題はないが、パイプルーフの施工精度・施工能力などに未経験の部分があり、パイプルーフの施工そのものに十分な検討を要する。 | トンネルの切羽を止め、拡大断面(発進基地)の施工およびパイプルーフの施工を行うもので、全体工程への影響が大きい。 |
| 評価 | ○ | △ | × | × |

4-3-1 第1回試験施工

当初設計は、地上からの薬液注入工法にてトンネル外周部を事前改良するというものであった(図-9)。二重管ダブルバッカー工法にて、1次注入：セメントベントナイト、2次注入：特殊スラグ系注入材を地上より施工するものである。1次注入材にて炭鉱ずり山に荒詰めを行い、2次注入材にて浸透注入を行うことにより、トンネル外周部の改良体を確実なものにする計画である。

当初設計の試験施工を実施した結果、1次注入材の逸走により、所定の改良体が構築できなかった。炭鉱ずり山の間隙率は、その成り立ちにより、非常にバラツキが大きく、平均すると40%程度ではあるものの、70~80%という礫混入率が示すように、空隙がさらに大きな部分もあり、このため1次注入材が逸走したものである。

4-3-2 第2回試験施工

第1回試験施工の結果より、性状(粒径、間隙率)にバラツキの大きい炭鉱ずり山において、ゲルタイムを持たない注入材は適さないことがわかった。このため、大きな空隙を確実に充填できる瞬結タイプの注入材に変更した。

また、トンネル掘削に伴い発生する塑性領域の検討を行った結果、外周部に一軸圧縮強度1N/mm²、厚さ3.5mの改良体が必要になるため、地表

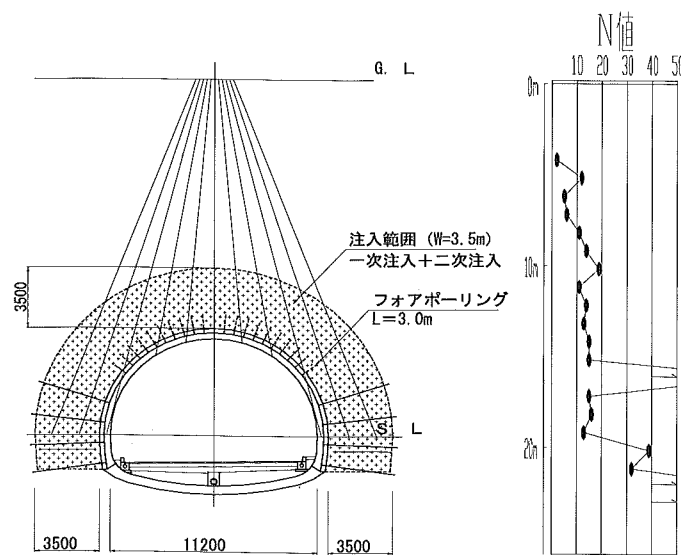


図-9 当初設計断面図

表-2 第2回試験結果一覧表

| 注入率 | 間隙率 | 一軸圧縮強度 (N/mm ²) | 改良体の状態 (目視、打撃) |
|------------|------|--------------------------------|-------------------|
| | (%) | | |
| TYPE 1 15% | 31.9 | 0.46 | 改良体小さい |
| TYPE 2 30% | 29.0 | 0.96 | 適当 |
| TYPE 3 45% | 23.7 | 1.18 | エリア外への広がり大 |

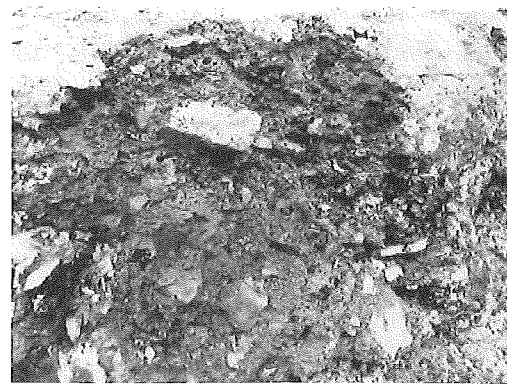


写真-4 改良体の状況(フェノールフタレイン反応)

より行う1次注入材は、強度が高く、ゲルタイムを有するものの中から「水ガラス系懸濁型注入材(瞬結型)」(RMG-S4)を選定した。

試験施工は、RMG-S4の注入率を15、30、45%として、改良後の間隙率、一軸圧縮強度の測定および目視・打撃による確認を行い評価した。改良体の状態判定は、注入箇所を試掘することにより、目視およびハンマーでの打撃にて行った。結果を表-2に示す。

以上の結果より1次注入率は、近似計算を行い、一軸圧縮強度1N/mm²を満足する34%とした。

ただし、注入後の改良体の状態を打撃および目視観察すると、粒度の荒い箇所は改良されるが、細粒箇所には注入材が浸透せず未改良部が残る結果となった(写真-4参照)。

また、注入率30%における強度のバラツキは大きく、0.78~1.17N/mm²(平均値で0.96N/mm²)となっている。このように1次注入では、完全には均一な改良体が造成できないため、坑内から長尺鋼管先受け工(以下「AGF」)を併

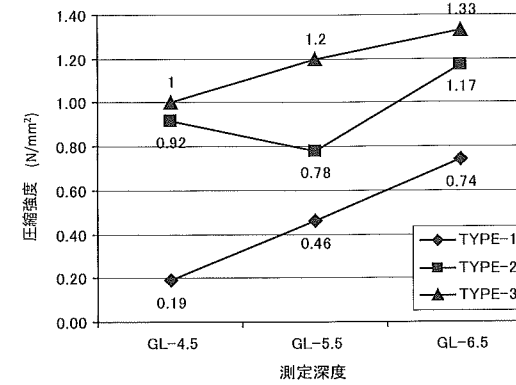


図-10 改良率ごとの一軸圧縮強度

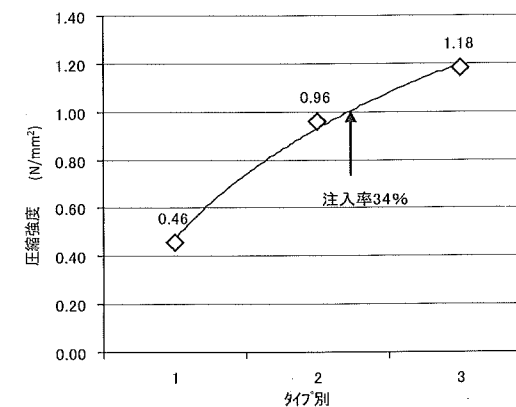


図-11 タイプ別平均圧縮強度

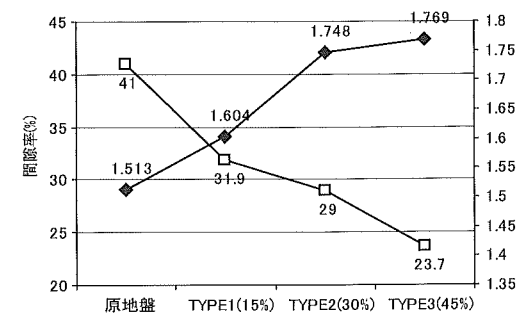


図-12 タイプ別間隙率、湿潤密度

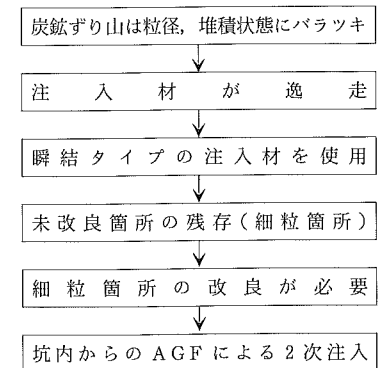


図-13 ずり山対策工フロー

ある。そこで、トンネル外周部に確実な注入を行うことができ、かつ鋼管による荷重の分配(土圧の集中荷重防止)と先受け効果が期待できるAGFを坑内より施工することとした。

4-3-4 AGFによる2次注入の検討

地表からの注入のみでは、細粒分の未改良部が残り、トンネル掘削による緩みから崩落を誘発させる恐れがある。また、未改良部の強度を1N/mm²を確保するため、AGFによる2次注入を採用することとした。注入材としては、浸透性に優れ、強度の高い「特殊スラグ系注入材」(シラクソル)を使用することとし、使用工法も地山の特性を考慮し、くり返し補足注入可能なAGF-R工法とした。

第2回試験施工の結果により、「注入率」と「注入後の地山間隙率」の関係において、近似式により補完すると、34%注入後の地山間隙率は28.2%となる(図-12参照)。ジェオフロンテ研究会『注入式長尺先受け工法(AGF工法)技術資料(四訂版)』によると粘性土の充填率は60~70%となっている。ここで粘性土とみなすのは、地表からの注入により炭鉱ずり山の大きな空隙は十分改良されており、粘性土としての充填率を採用することが妥当と判定できるからである。よって、2次注入率は、

$$\text{間隙率}28.2\% \times \text{充填率}65\% = \text{注入率}18\%$$

とした。図-14に、最終的に決定、実施した「炭鉱ずり山対策工」の断面図を示す。

用することにより2次注入で目標強度1N/mm²を確保することとした。

4-3-3 対策工の検討

合計2回の試験施工を整理した結果、瞬結タイプの薬液を使用することにより、大きな空隙に対する改良を確実に実施することができた。

ただし、瞬結タイプの1次注入だけでは細粒箇所の改良が不十分であるため、2次注入が必要で

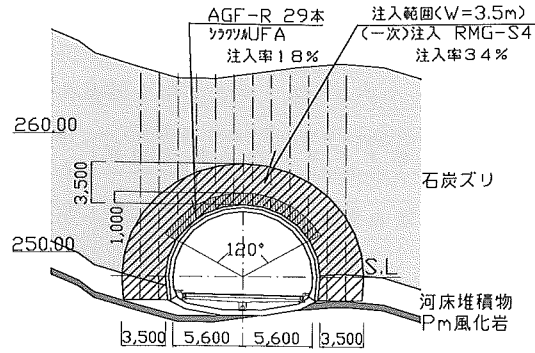


図-14 炭鉱ずり山対策工断面図

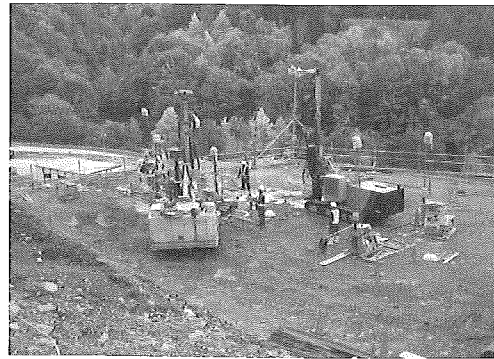


写真-5 1次注入施工状況

- ①先行削孔(ロータリパーカッション)
- ②ボーリングマシン削孔
- ③注入

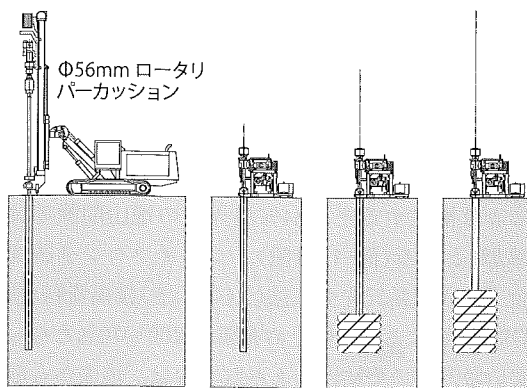


図-15 工法概要図

4-3-5 1次注入工施工

地上からの1次注入は平成19年9～11月にかけて行った(写真-5参照)。

注入工法は、薬分の多い炭鉱ずり山の掘削精度を上げるため、ロータリパーカッションにて先行削孔を行い、その後再度注入機にて削孔し、注入を行った。工法概要を図-15に示す。



写真-6 AGF-R施工状況

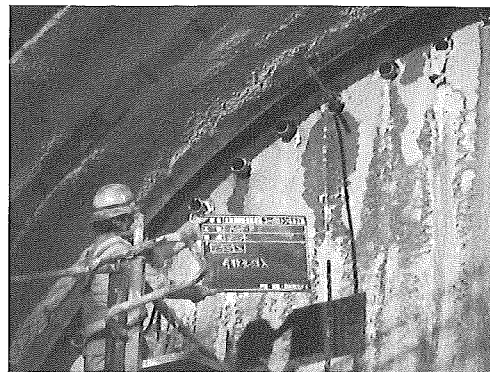


写真-7 AGF-R施工状況

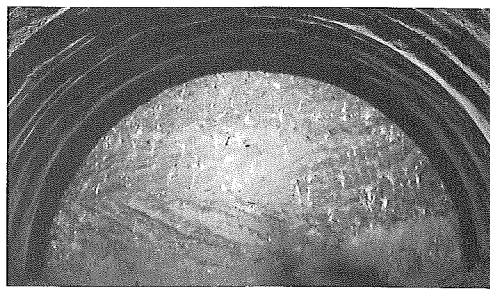


写真-8 炭鉱ずり山切羽状況

4-3-6 効果確認

実際施工した1次注入が試験施工にて想定された強度に達しているかを確認するため、効果確認ボーリングを実施した。変数係数Eと一軸圧縮強度 q_u との関係式 $E(\text{MN/m}^2) = 105q_u(\text{N/mm}^2)$ を用い、坑内水平載荷試験結果から算出したところ調査箇所4点の一軸圧縮強度は0.47～1.51N/mm²とかなりのバラツキを示した。強度が高かったのは礫質土箇所、1次注入材にて十分に改良されていた。一方、粘性土箇所は注入材が浸透せず、低

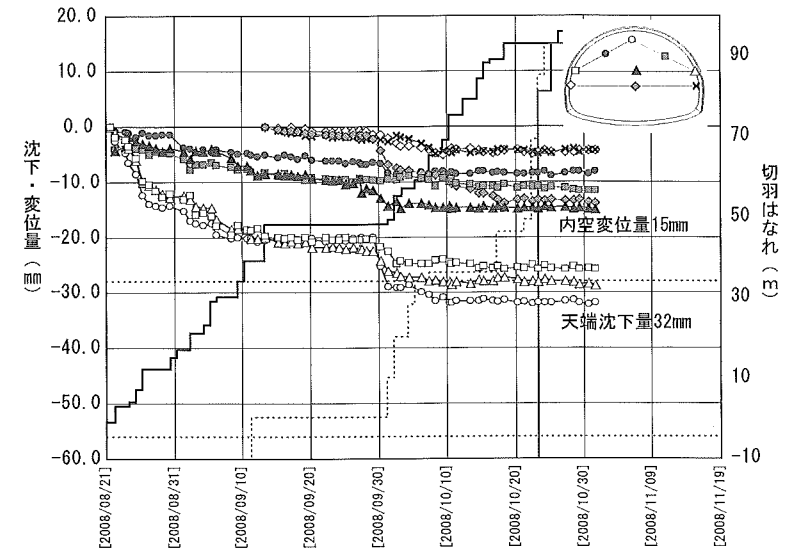


図-16 炭鉱ずり山A計測データ

強度状態であり、試験施工と同様な結果であった。目標平均値1N/mm²に対し0.97N/mm²が得られたため、目標品質は確保されているものとした。

4-3-7 2次注入工施工

炭鉱ずり山の掘削は、平成20年7月下旬から9月上旬までの1.5か月を要し、対象延長72m(AGF-R8シフト)の施工を行った(写真-6,7)。

AGF-Rの注入管理方法としては、注入圧3MPa超過または、設計数量にてステップアップするものとした。追加補注注入に関しては、注入圧と掘削実績を踏まえて、次シフトの管理基準を決定することとしたが、前述の方法にて注入管理を行ったところ、トンネル掘削時の切羽および天端の自立性が非常に良好(写真-8)であったため、結果的には、補注注入は行わずに掘削を進めることができた。

掘削後の天端沈下、内空変位については、それぞれ30mm、20mm程度で収束し(図-16)、トンネル構造体として健全なことを確認した。

5 おわりに

ユーパロトンネルは、想定をはるかに上回る脆

弱で崩壊性の高い泥岩が連続している状態であった。当初、補助工法は考慮しておらず、補助工法採用にあたっては、その妥当性、経済性、技術的根拠についてひとつひとつ検証を行いながら選定フローを策定し、対応した。

また、メタンガスの湧出もあったが、事前準備を整え、対策マニュアルにしたがって適切に対応、処理することができた。

トンネル終点部の炭鉱ずり山のトンネル掘削に際しては、当初すべて地表から改良する計画

であったが、現地での試験施工を入念に実施し、その課題と対策についての的確に把握した。

その結果、大胆な方針転換を行って、地表から瞬結タイプによる1次注入を実施し、トンネル坑内からAGFによる2次注入を行って、合理的な改良体の構築を図り、トンネル掘削を安全・確実に施工できたことは、非常に有益であった。この地表からの1次注入と、坑内からの2次注入は、結果として切羽面をも改良し、副次的に切羽の安定にも寄与した。また、1次注入材をセメントベントナイトから瞬結タイプに変更したことにより、限定注入を確実にし、平均注入率も低い値(45%→30%)におさえられ、当初設計工法に比べ経済的にも約2割のコストダウンを図ることができた。

今回の施工方法は、大きな地山空隙をもつ、砂礫や玉石地層のトンネル掘削にも応用可能であると考えている。

最後に本トンネルの技術的課題に対し、種々ご検討のうえ、貴重なご意見・ご指導をいただいたトンネル委員会の三上委員長(北海道大学)はじめ委員の皆様へ感謝の意を表したい。



『愛』のくから

平山保彦

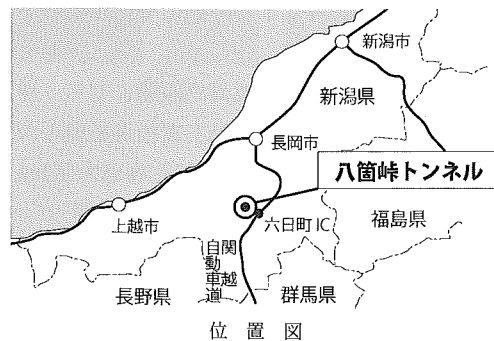
愛 この文字をご存知でしょう。NHK大河ドラマ「天地人」で広く知られるところとなった直江兼統が兜の前立にも用い、兼統自身の精神を象徴した文字でもある。今から約450年前、兼統は、ここ越後国上田庄(現・南魚沼市)で生を受けた。

南魚沼市は新潟県南部の魚沼盆地に位置し、南には八海山をはじめとする魚沼連峰の山々を望み、北には越後三山只見国定公園が広がる。春夏には美しく穏やかな自然に恵まれる反面、冬は厳しく日本屈指の豪雪地帯へと変貌する。

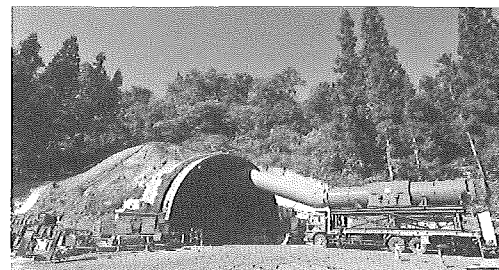
現在、市内ではいたる所で「愛」、「直江兼統」の文字を記した幟を目にする。町の中心部では「天地人」にちなんで催し物を行っており、観光バスが毎日行き交い、夏のリゾート観光やスキー観光とは違った賑わいを見せている。

ところで、町の名前にもなっているが「南魚沼」という言葉、一度は聞いたことがあるのではないだろうか。数多いブランド米の中でも、評価が高いコシヒカリ。その中でもここ「南魚沼産」は別格で、人気・味とも日本一にふさわしい良質の米である。また、市内を流れる清流「魚野川」の本支流では鮎や岩魚が獲れ、少し市内から外れると、もうそこはワラビ、ウド、フキをはじめとする山菜の宝庫である。

旨い米、良質な水、この二つが合わされば旨い酒が生まれる。そのためか上杉謙信は、こよなく酒を愛し、功のあった家臣には自ら酒を注ぐ習わしがあったそうである。主従で酒を飲みながらお互いに打ち解け、よ



愛・天地人停



トンネル坑口

り一層に結束を強めていったのではないだろうか。旨い酒、旨い米そして山、雪、清流などの四季折々の豊かな自然を満喫しに、ここ「愛」のくにを訪れてはいかがでしょうか。

さて、事業進行中の八箇峠トンネルは、南魚沼市から十日町市へ抜ける全長2,840mのトンネルであり、当工事は南魚沼側から1,620mを施工するものである。

現国道253号は、一般通行規制区間や線形不良を抱える八箇峠を通過するため、安定的な交通確保が困難な状況にある。また、冬期は積雪による幅員減少や凍結など、雪国特有の交通障害が発生している。このため、地元生活圏にとっては早期完成が望まれる工事である。

工事は平成20年7月よりトンネル掘削を開始し、昨年12月からの積雪による工事中止期間を挟み、現在312mの掘削が完了している。今年からは二次覆工も開始し、工事の最盛期に入る。

その昔旨い酒を酌み交わし結束を固めたように、作業所・協力会社全員が団結し、最後まで無事故、無災害で貫通・竣工を迎える所存である。

(佐藤工業(株)八箇峠トンネル作業所現場代理人)

施工

名水百選など周辺水環境に配慮し中央導坑方式を採用

—四国横断自動車道 歯長山トンネル—

西日本高速道路(株)四国支社大洲工事事務所所長 前田良文

西日本高速道路(株)四国支社大洲工事事務所宇和工事区工事長 和田信良

五洋建設(株)・日本国土開発(株)特定建設工事共同企業体歯長山トンネル工事事務所所長 近森博

五洋建設(株)・日本国土開発(株)特定建設工事共同企業体歯長山トンネル工事事務所工務主任 土田淳也

1 はじめに

四国横断自動車道^{はながやま}歯長山トンネル(仮称)は、愛媛県宇和島市と西予市の境界付近に分布する仏像構造線と明浜スラストに挟まれた法華津カルストと呼ばれる石灰岩層を貫く、延長2,053mの暫定2車線道路トンネルである。

歯長山トンネル周辺には、環境省選定「日本の名水百選」の一つである「観音水」のほか「第二観音水」「白水観音水」という石灰岩層起源の自然湧水がある(以下、これらをまとめて「三観音水」と記述する)。これらの湧水は生活用水や灌漑用水などに用いられているほか、「観音水」は観光資源としても活用されており、地元の重要な水源となっている。

本トンネル近傍に位置する吉田導水路トンネルは、昭和51~60年にかけて施工され、切羽崩壊および高被圧湧水により仏像構造線(幅約20m)に及ぶきわめて軟弱な断層粘土の突破に8か月を要し、観音水が減水するなど、難工事となった。このため、同一の地山を掘削する本トンネルにおいても同様のことが懸念された。

そこで、本トンネルの施工にあたり「四国横断

自動車道歯長山トンネル施工技術検討委員会」を設置し、対策の検討を行った。

本稿では、本トンネル周辺に点在する三観音水の保全および区間長約120mに及ぶ仏像構造線～明浜スラスト間(石灰岩・緑色岩層)のトンネル掘削に対して実施した対策について報告する。

2 工事概要

図-1に歯長山トンネル位置図を示す。

歯長山トンネルは、愛媛県の四国横断自動車道(宇和島～大洲)のうち、三間IC(仮称)と西予宇和ICの間に計画されたトンネルで、宇和島市吉田町より法華津山脈(仏像構造線)を貫き、歯長峠を経て西予市宇和町へ至る。延長は2,053m、最

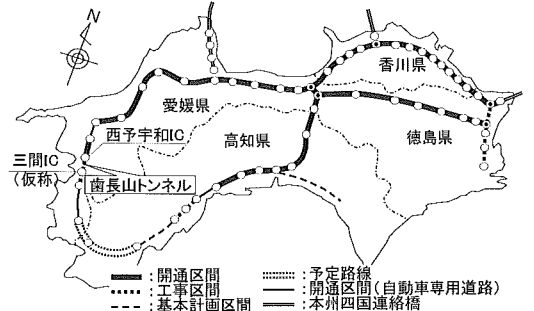


図-1 歯長山トンネル位置図

大土かぶりは約278mである。

本工事は、地質や湧水の影響などを考慮して、宇和島市と西予市の行政区境で南側工区と北側工区に分けて、両坑口から施工している。

3 地質・水文概要

3-1 地質概要

図-2に歯長山トンネル付近の表層地質と三観音水位置図を、図-3に歯長山トンネル地質縦断図を示す。

本トンネル計画地域の周辺には、四国をほぼ東西方向に帯状に分布するいくつかの地質帯のうち、四万十帯と秩父帯が分布している。これら二つの地質帯は、歯長峠付近に位置する仏像構造線で南北に分けられている。

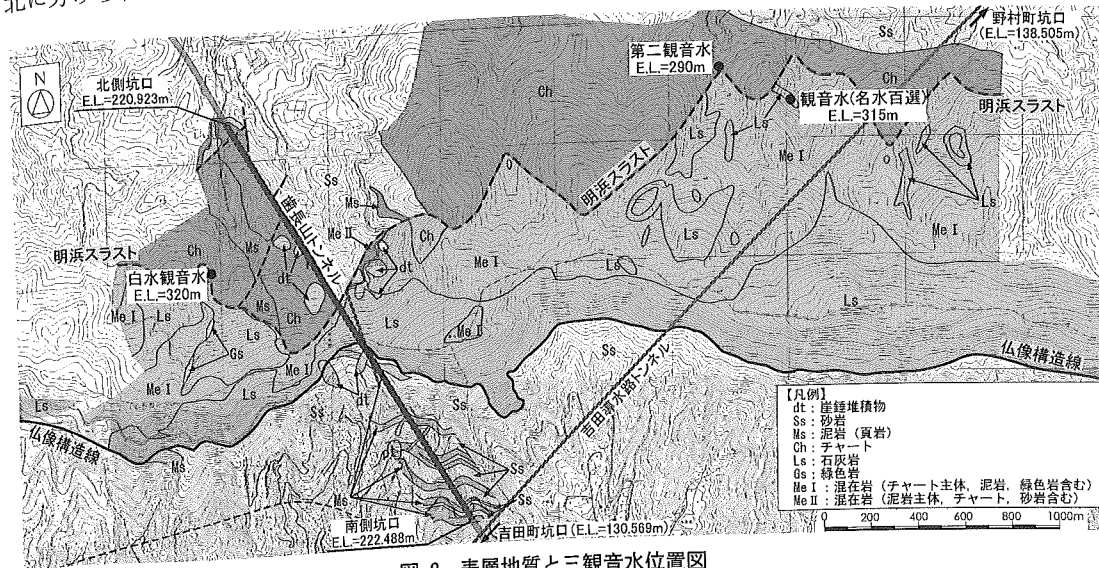


図-2 表層地質と三観音水位置図

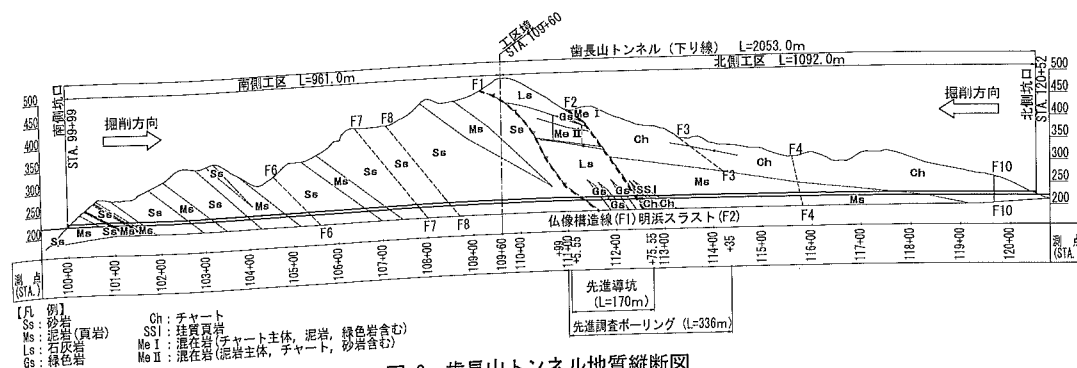


図-3 歯長山トンネル地質縦断図

用されている。中でも、観音水は環境省選定の「日本の名水百選」に選ばれた湧水であり、重要な観光資源となっている。

仏像構造線の北側には法華津山脈の尾根部に沿って数百mの幅で石灰岩が帯状に連続しており、北側斜面の沢水の流出が確認できる位置はおおむね標高290~320m付近である。それより仏像構造線までの間では地表水は認められない。このことから、石灰岩層に浸透した雨水は、高い透水性を示す石灰岩中の地下水系を地表水流域を越えて流動し、観音水などとして湧出しているものと考えられる。

本トンネルは、南側坑口(宇和島市側)の標高が約222m、北側坑口(西予市側)の標高が約221mであり、三観音水より下位に位置している。

このため、本トンネル掘削対象地山に分布する石灰岩層を掘削することによって観音水などの湧出量に影響を及ぼすことが懸念された。

4 施工方針と施工手順

4-1 施工方針

本トンネル掘削によって観音水、第二観音水および白水観音水が減水した場合には、地域住民の生活などに与える社会的な影響が大きい。

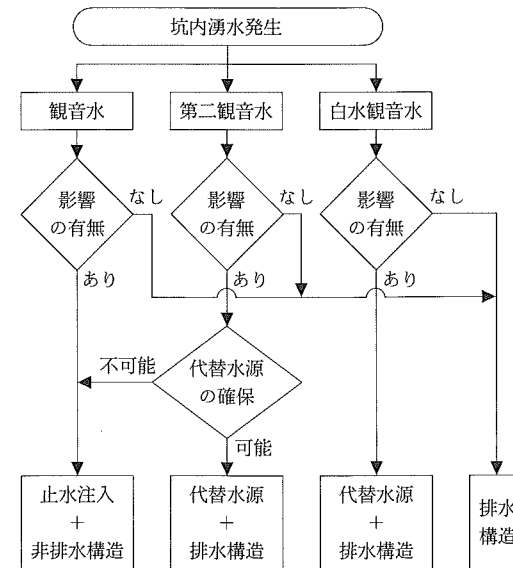


図-4 トンネル施工方針

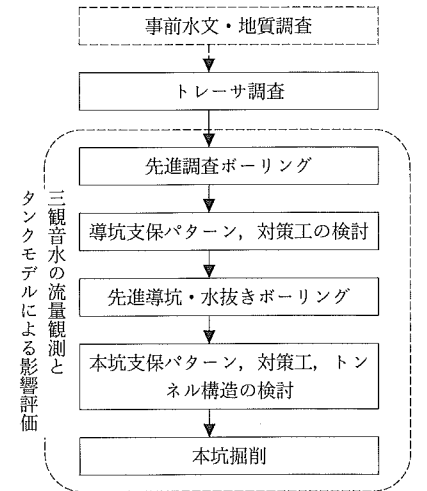


図-5 トンネル施工手順

そこで、本工事においては、それぞれの観音水の利水状況や立地条件などを勘察し、合理的かつ経済的な施工を実現するために、図-4に示すようなトンネル施工方針を策定した。

4-2 施工手順

施工前に実施した水文・地質調査結果からは、本トンネル掘削が三観音水に与える影響の度合いや明浜スラスト~仏像構造線間の地質などは不明確であった。

そこで、本工事においては、三観音水の保全ならびに施工の安全性とトンネル構造の安定性確保に万全を期すために、図-5に示す手順で施工することとした。

5 三観音水の監視体制

本トンネル掘削による三観音水への影響の有無を的確に評価するために、事前に低流量レベルにおける三観音水のタンクモデルを構築し、三観音水の観測流量の変動とタンクモデルで算出したトンネル掘削を行わない場合の推定流量の変動を比較しながら施工を行うこととした。

図-6に本工事におけるタンクモデルの概念図を示す。タンクモデルとは、集水域内の地下水の動きを側面や底面にいくつかの流出孔を持つ容器に置き換え、そこでの流出を再現させるモデルである。本工事では、気象条件(降水量・蒸発散量)を

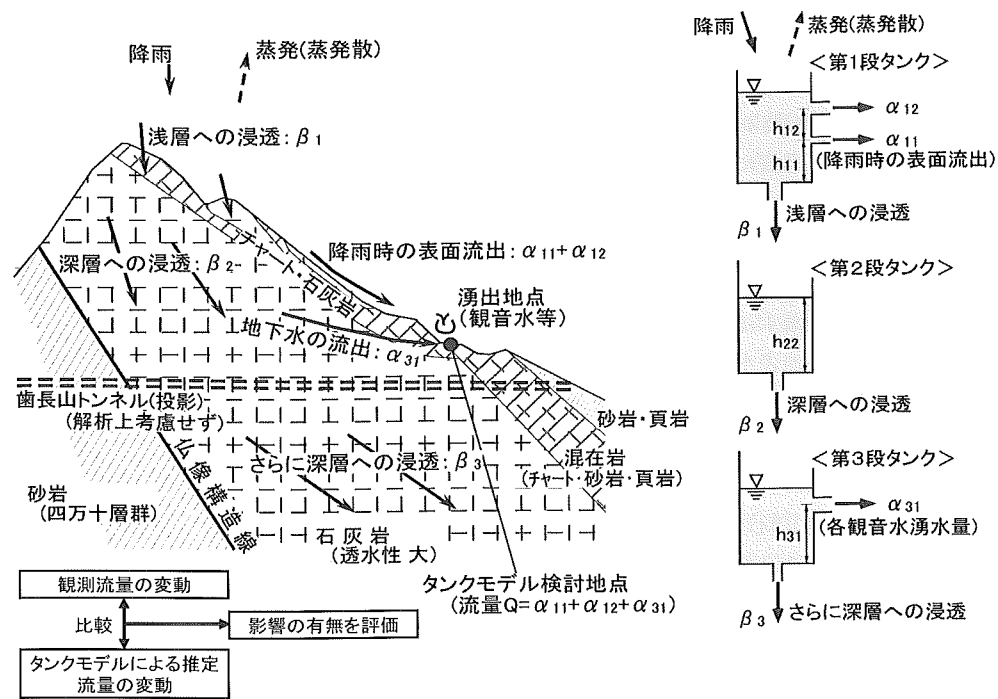


図-6 タンクモデル概念図

入力することで、その時の三観音水の流量変動を再現することが可能なモデルとした。

工事期間中の三観音水への対応は、利水量調査結果などをもとにした管理基準値(管理レベルⅠ～Ⅲ)を観音水ごとに設定し、管理レベルに応じて代替水源からの給水や止水注入などの対策を実施することとした。

6 追加水文・地質調査

6-1 トレーサ調査

本トンネル掘削による三観音水への影響の有無を評価する一環として、トレーサ調査によって本トンネル計画地域の地下水流動方向を確認することとした。

トレーサ調査は、事前地質調査でトンネルルート直近に設置したボーリング孔(HT-1)および本トンネルと観音水・第二観音水のほぼ中間地点に新設したボーリング孔(AK-D-1)からトレーサ物質を投入し、三観音水において採水・分析することとした(図-7参照)。

今回のトレーサ調査では、調査範囲が広域にわ

たることから、アクチバブルトレーサを採用した。アクチバブルトレーサは、希土類元素を用いたトレーサ調査方法であり、試料分析における検出感度がきわめて高い(定量下限値: 0.01 μg/l)ため、少量のトレーサ物質で広範囲のトレーサ調査が可能である。

トレーサ調査の結果、観音水および第二観音水では、トレーサ物質は検出されなかった。一方、白水観音水では、当湧水地点から約0.6km離れたHT-1孔に投入したトレーサ物質が投入から17時間後に検出され、約1.4km離れたAK-D-1孔に投入したトレーサ物質も投入から19日後に検出された。このことから、本トンネル計画地域の石灰岩層は高い透水性(5.1×10⁻²~3.5×10⁻¹cm/sec)を示し、石灰岩層中の地下水は東側から西側へと広範囲にわたって流動していることが確認された。

事前水文調査結果およびトレーサ調査結果から、本トンネル掘削による地下水位の低下度合いなどによっては、白水観音水のみならず、観音水および第二観音水の湧出量にも影響を及ぼすことが考えられた。

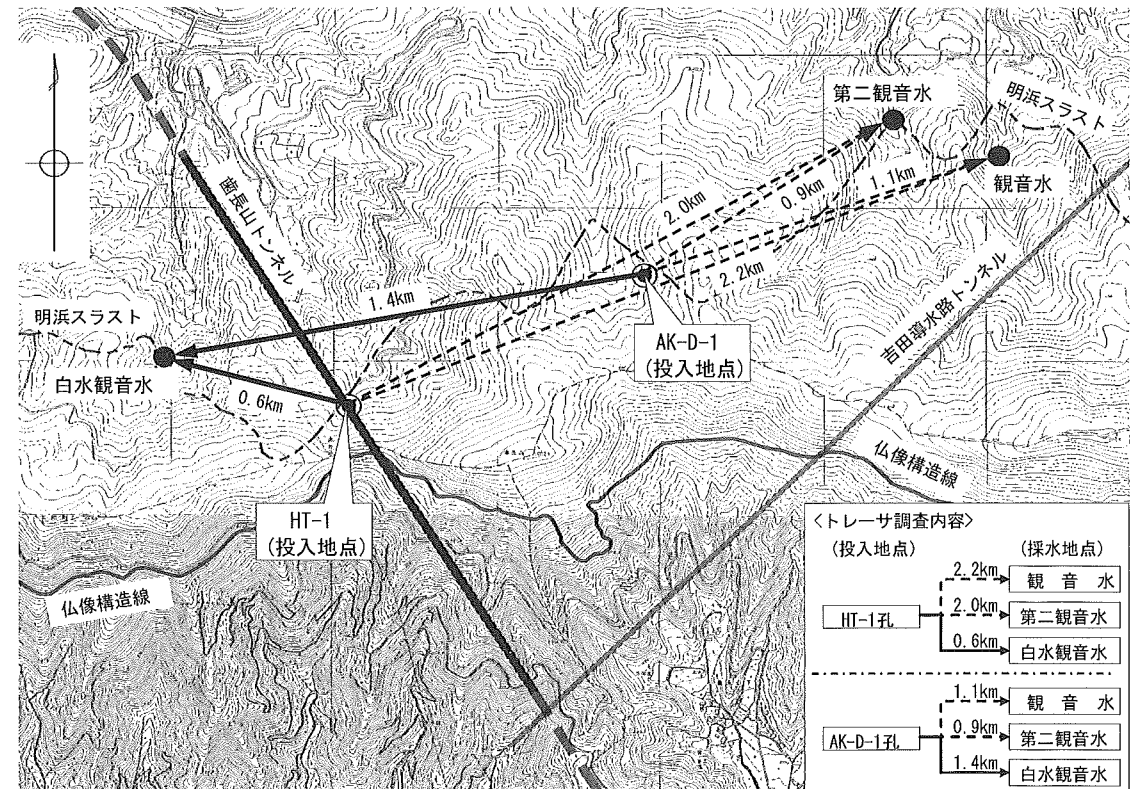


図-7 トレーサ調査位置図

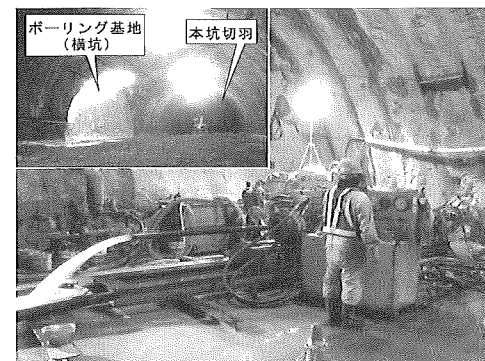


写真-1 先進調査ボーリング施工状況(横坑内)

なシールドリバース工法を採用した。

先進調査ボーリングは、ボーリング作業による工期損失を最小限に抑えるために、切羽から約30m後方のトンネル東側に構築したボーリング基地(横坑)において、トンネル掘削作業と並行して実施した(写真-1参照)。なお、先進調査ボーリングは、本坑壁面から約10m離れた位置でトンネル軸線と平行に削孔した。

先進調査ボーリングの結果、明浜スラストは当初の想定位置より約75m南側(STA.112+49付近)で確認され、頁岩が幅約4mにわたって破碎・粘土化していた。

一方、仏像構造線は当初の想定位置より約23m北側(STA.111+36付近)で確認され、緑色岩、砂岩および頁岩が幅約4mにわたって破碎・粘土化していた。また、明浜スラスト～仏像構造線間では、石灰岩と緑色岩のコアが互層状に採取された。これより、当初、区間長約210mの石灰岩単独層と想定されていた明浜スラスト～仏像構造線間は、

6-2 先進調査ボーリング

明浜スラスト～仏像構造線間の地質の概略把握と帯水層の位置、規模(湧水量・湧水圧)の確認などを目的として、北側坑口から617m地点(STA.114+35)から先進調査ボーリング(L=336m)を実施した。

先進調査ボーリングには、断層破碎帯や高被圧湧水下においても長尺削孔およびコア採取が可能

区間長約110mの石灰岩・緑色岩互層であることが確認された。湧水量および湧水圧は、明浜スラスト通過以降、仏像構造線に近づくにつれて増加する傾向を示し、仏像構造線の破砕帯(STA.111+33.5)では、湧水量900 l/min, 湧水圧1.2MPaを記録した。

7 明浜スラスト～仏像構造線間の掘削

7-1 先進導坑掘削と水抜きボーリング

7-1-1 施工目的

これまでの水文・地質調査結果に加え、以下のことを目的として、STA.112+75.55から先進導坑(L=170m)と水抜きボーリング(L=75m×左右3シフト)を施工することとした。

- ① 三観音水への影響の有無を直接的かつ早期に捉えること。
- ② 明浜スラスト～仏像構造線間の地山状況を高い精度で把握すること。

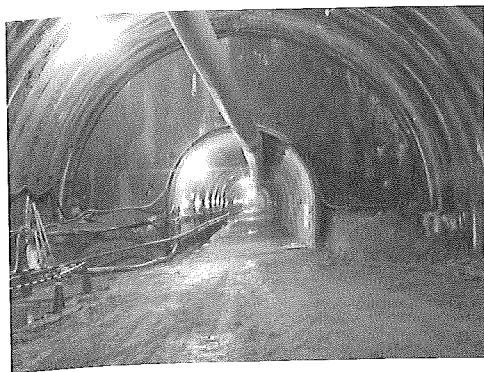


写真-2 先進導坑坑口全景

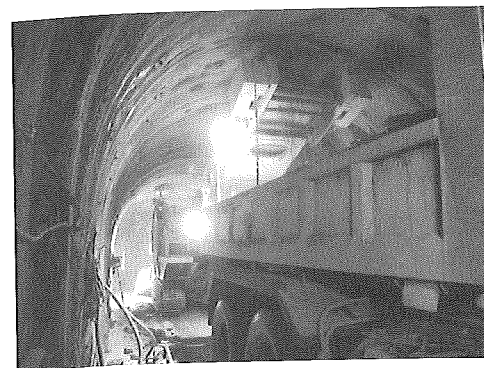


写真-3 先進導坑施工状況(ずり出し)

7-1-2 施工概要

本工事においては、以下に示す理由から、先進導坑を本坑のほぼ中央部に配置し、NATMで施工することとした(写真-2参照)。

- ① 複雑な地質および地下水流動形態を示す石灰岩・緑色岩層においても、本坑掘削時の三観音水への影響や地山状況を直接的に確認す

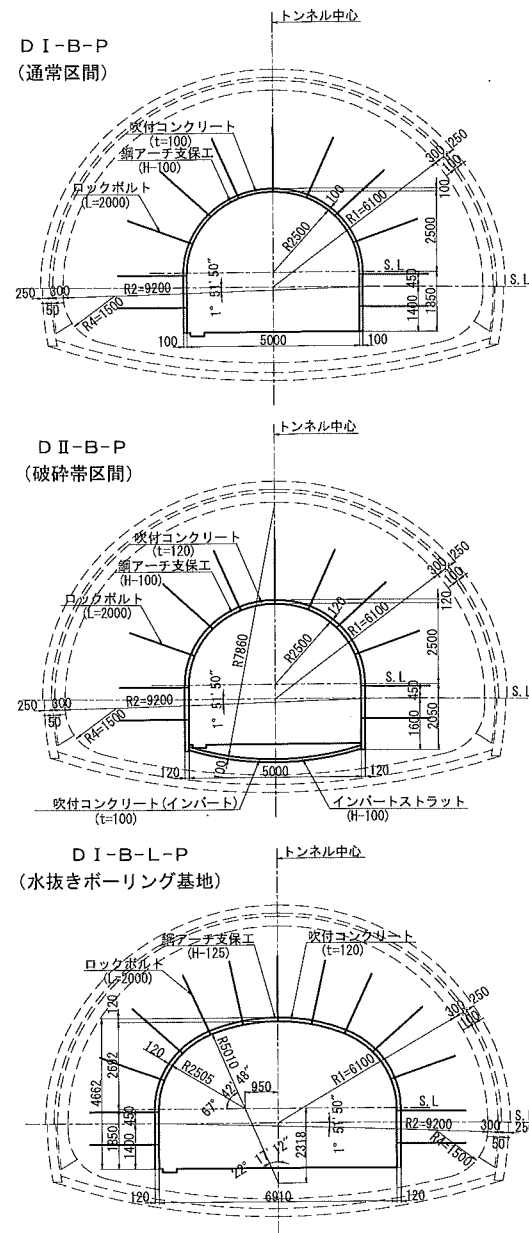


図-8 導坑支保パターン図

- ② 止水注入が必要となった場合、導坑を利用して効率的かつ経済的な止水注入ができる。
 - ③ 本坑の断面外に導坑を構築する場合に比べて掘削・ずり処理の面で経済的である。
 - ④ 導坑本体による本坑切羽の事前補強効果が期待できる。
- また、掘削断面積は、以下に示す観点から約20 m²とした。

- ① 止水注入や切羽安定対策工などが必要となった場合に迅速かつ効率的な対応を可能とするために、ある程度の能力を有する施工機械が使用可能なこと。
 - ② 極力、新規の機械設備を用いることなく、現有の機械設備で効率的に施工できること。
- なお、掘削方式・工法は爆破掘削方式による全断面工法とし、ずり運搬はタイヤ方式とした(写真-3参照)。

図-8に導坑支保パターン図を示す。破砕帯区間では、必要に応じてインバーストラットを設置し早期に断面閉合することで、盤ぶくれや支保工の変位・変形に伴って地山の緩みが増大すること

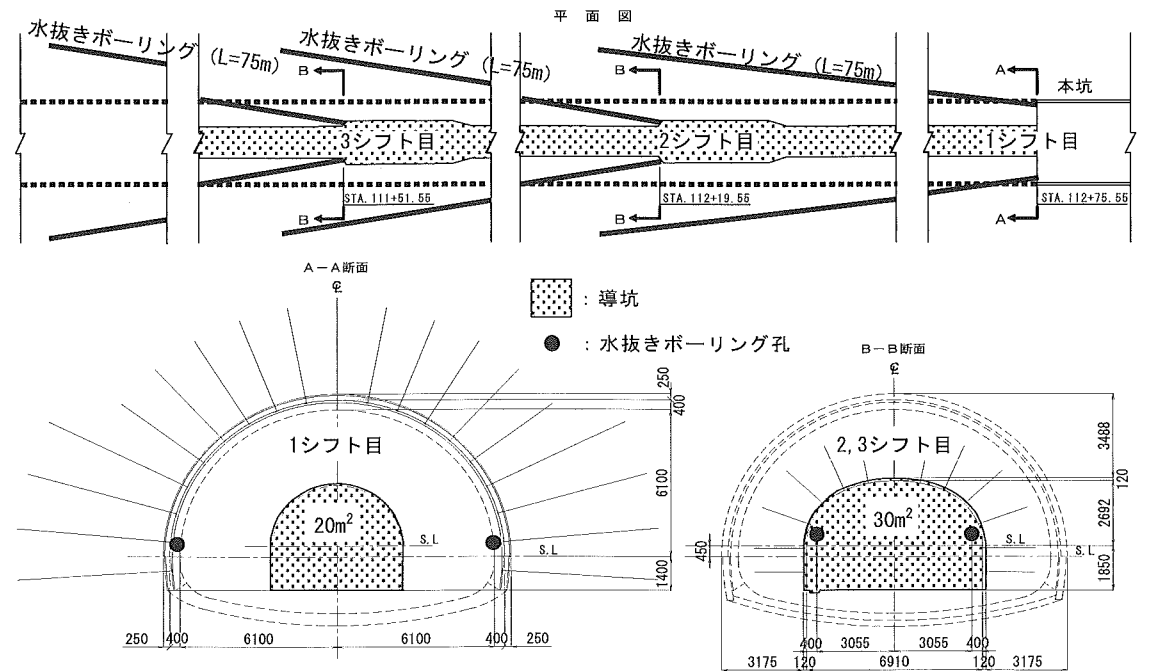


図-9 水抜きボーリング施工位置図

を抑制することとした。さらに、導坑内で水抜きボーリングを施工する位置では、ボーリング基地として導坑断面を拡幅することとした。

水抜きボーリングは、図-9に示す位置において、経済性に優れ、高速で長尺穿孔が可能なロータリーパーカッション工法で施工することとした。

7-1-3 施工結果

(1) 三観音水への影響

先進導坑掘削および水抜きボーリングの結果、観音水および第二観音水に減水などの影響は認められなかった。

一方、本トンネルの西方約0.5kmに位置する白水観音水においては、水抜きボーリング(1シフト目)が明浜スラストを貫いて以降、観測流量の減少傾向が大きくなり、タンクモデルによる推定流量の変動との乖離がみられた。

(2) 地質

先進導坑掘削の結果、明浜スラストは先進調査ボーリングで確認された位置とほぼ同じ位置に、仏像構造線は先進調査ボーリングで確認された位置より約10m南側に出現した。明浜スラストでは、土砂～粘土状の頁岩からなる幅約7mの破砕帯が

確認された。一方、仏像構造線では、緑色岩と頁岩からなる幅約70cmの断層粘土層が分布していた。また、仏像構造線の北側(秩父帯)約20m間では、熱水変質によるとみられる赤褐色の粘土や擾乱・破碎された石灰岩、風化変質によって黄褐色を呈する石灰岩が確認された。さらに、仏像構造線の南側(四万十帯)約4m間では、亀裂が発達した砂岩と破碎された頁岩が確認された。

明浜スラスト～仏像構造線間は、亀裂が発達した石灰岩を主体とし、部分的に緑色岩が挟在または混在していた。

(3) 湧水状況

湧水は、主に石灰岩層から多量に発生し、仏像構造線に近づくにつれて増加する傾向にあった。

仏像構造線付近の石灰岩層においては、導坑切羽から施工した水抜き管や石灰岩の割れ目から200～500 l/minの湧水が生じた。一方、水抜きボーリングからの湧水量(抜管直後)は、1シフト目が964 l/min、2シフト目が320 l/min、3シフト目が1,021 l/minであった。また、水抜きボーリングで確認された最大湧水圧は1.05MPaであった。

先進導坑の掘削が進むにつれて水抜きボーリングからの湧水は減少したが、先進導坑掘削完了時点での導坑内湧水量は約4,000 l/minに達していた。

7-2 本坑掘削

先進導坑掘削および水抜きボーリングの結果、観音水および第二観音水に減水などの影響は認められなかったため、“排水構造トンネル”として施工することとした。また、先進導坑掘削の結果

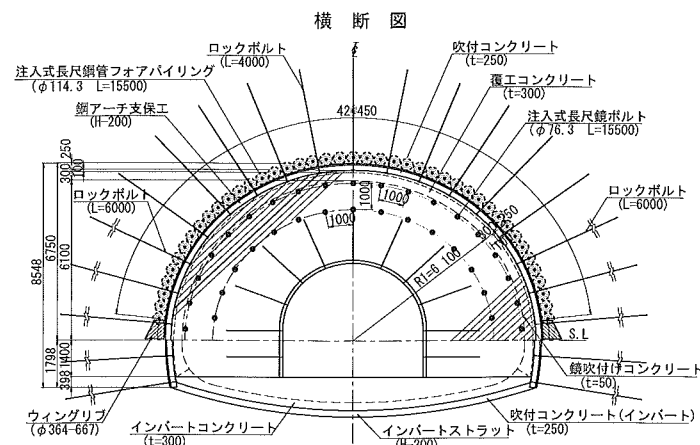
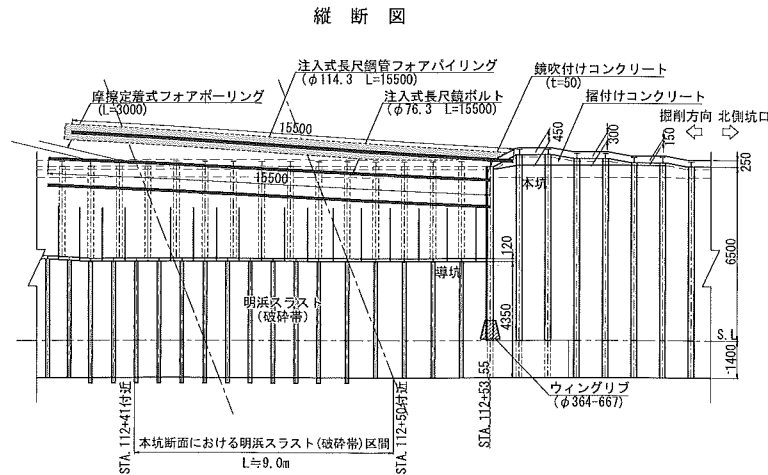


図-10 明浜スラストの破碎帯における切羽安定対策工

から本坑支保パターンを見直すとともに、本坑掘削時の切羽安定対策工を検討し、施工の安全性と経済性の確保を図ることとした。

7-3 本坑掘削時における切羽安定対策工

図-10および図-11に明浜スラストおよび仏像構造線の破碎帯における切羽安定対策工を示す。

明浜スラストの破碎帯における切羽安定対策工では、切羽崩壊の防止と切羽前方地山の緩みを抑制するために、注入式長尺鋼管フォアパイルングと注入式長尺鏡ボルトを用いて切羽前方地山を積極的に補強・改良することとした。さらに、支保工の変位・変形に伴って地山の緩みが増大することを抑制するために、インバートストラットを用いて断面を早期閉合することとした。

一方、仏像構造線の破碎帯における切羽安定対

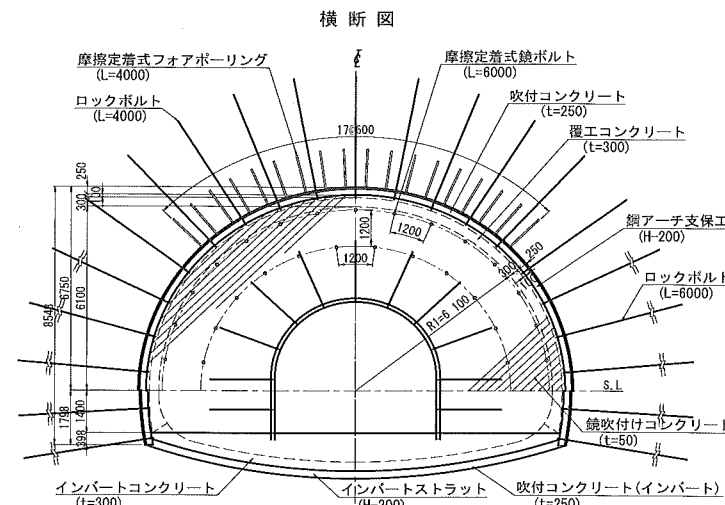
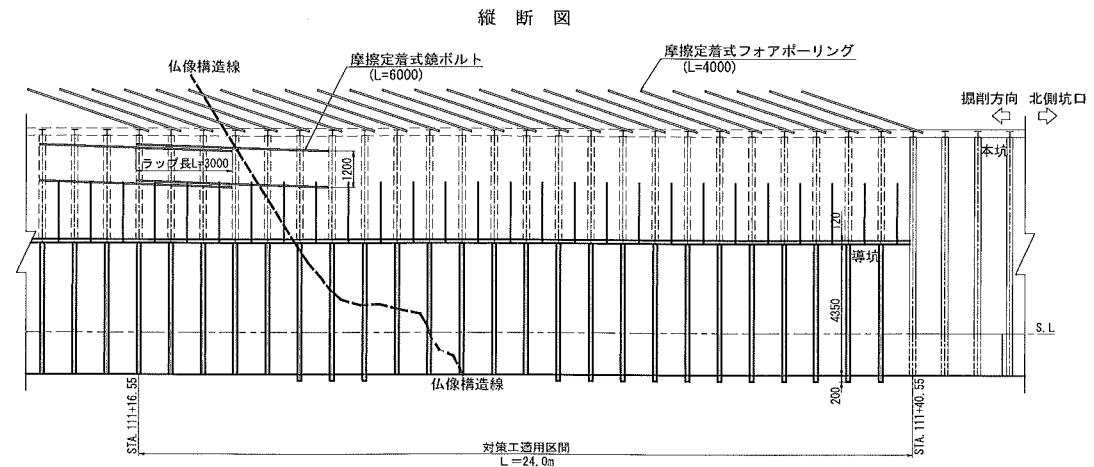


図-11 仏像構造線の破碎帯における切羽安定対策工

策工では、多量湧水下において切羽崩壊を防止するために、①即効性があり、②多量湧水下においても確実に定着が得られ、③ボルト材の膨張によってボルト材周囲の地山を圧密することで地山強度を改善する効果が期待できる鋼管膨張型ボルトによるフォアパイルングと鏡ボルトを用いることとした。さらに、支保工の変位・変形に伴って地山の緩みが増大することを抑制するために、インバートストラットを用いて断面を早期閉合することとした。

この結果、明浜スラストの破碎帯における天端・脚部沈下量は30mm、内空変位量は70mm、仏像構造線の破碎帯における天端・脚部沈下量は10mm、内空変位量は20mm程度に抑えることができ、いずれ

も切羽崩壊や支保工の変状を招くことはなかった。

なお、仏像構造線の破碎帯において比較的軽微な対策工で掘削することができたのは、先進導坑が鏡補強の役割を果たすことで本坑切羽の安定性向上に大きく寄与していたものと考えられる。

8 おわりに

本工事においては、各種の水文・地質調査に加え、先進導坑掘削および水抜きボーリングによって本坑掘削が三観音水に及ぼす影響度合いや

明浜スラスト～仏像構造線間の地山状況を高い精度で確認することができた。これにより、トンネル構造および本坑支保パターンを適切に選定することができ、本坑掘削時における切羽安定対策工も必要最小限に抑えることができた。

本工事は、平成21年2月27日にトンネル掘削が完了した。トンネル掘削完了後、坑内湧水量は降雨にตอบสนองするように約4,000～5,000 l/minで推移している。今後も三観音水への影響を評価するために流量変動の監視を継続し、歯長山トンネルの早期完成を目指す所存である。

最後に、歯長山トンネル施工技术検討委員会の委員をはじめとする関係各位のご指導、ご協力に対し厚くお礼を申し上げます。



■わが国最古のトンネルの教科書？

教科書の存在は、その分野がどこまで体系化されているかを判断するための指標のひとつである。そうした意味で、わが国の土木工学に関する教科書の中で、トンネルがどのように扱われてきたのかは、トンネル工学の発達過程を知るうえでも興味深い視点である。トンネルは、他の土木技術に比べて施工が優先したため体系化や理論化が遅れ、明治期に発行されたトンネル工学に関する教科書も、管見による限り、石橋絢彦『隧道編』(工学書院・1898)、内田録雄『鉄道隧道編』(建築書院・1903)、相澤時正『実地応用隧道新書』(博文館・1906)のわずか3冊を数えるのみである。ちなみに、土木学会の選定した戦前土木名著100書に選ばれた田辺朔郎『とんねる』(丸善・1922)が発行されるのは、大正時代になってからであった。

もっとも、日本語による最初の近代土木工学の教科書とされる水野行敏の『蘭均氏土木学』(文部省・1880)にはすでに「隧道」の章があるので、全く無視されていたわけではない(総ページ数に比べるとごくわずかであるが……)。トンネルは、現場の工事経験が重視されたため、測量や力学のように机上で学ぶ必要性に乏しい面があり、理論そのものもまだ確立していなかったのだろう。

こうした中で、日本語による最初のトンネルの

教科書と考えられるのが、今回紹介する石橋絢彦の『隧道編』と題した書物である。

■石橋絢彦のプロフィール

『隧道編』を著した石橋絢彦は(写真-1)、わが国における燈台学の権威で、『工学会誌』や『土木学会誌』などに多数の論文を執筆したことで知られる人物である。また、1922(大正11)年に鉄道時報局内にシビル社が創設され、『土木建築雑誌』(理工図書の雑誌『土木技術』の前身)の刊行を開始したが、その顧問として知識の普及に貢献するなど、幅広く活躍した。

石橋絢彦は、中村国蔵の五男として1853(嘉永5)年12月27日に江戸で生まれ、のちに幕臣の石橋家を継いだ。沼津兵学校、攻玉社などで学んだのち1873(明治6)年工部省工学寮(のち工部大学校を経て現在の東大工学部)に入学して土木工学を専攻した。卒業後は、イギリスに留学して同国燈台局技師長のサー・ジェームス・ニコラス・ダグラス(1826~1898)のもとで燈台の工事などにたずさわり、さらにフランス、アメリカなどで見聞を広めて1883(明治16)年に帰朝し、工部省燈台局



写真-1 石橋絢彦
(1853~1932)

に勤務した。1887(明治20)年、中堅技術者を養成する工業専門学校として私立工手学校(現在の工学院大学)が帝国大学初代総長・渡辺洪基(1848~1901)の肝入りで設立され、古市公威(土木)、山口準之助(土木)、辰野金吾(建築)、中村貞吉(化学)、中野初子(電気)、三好晋六郎(造船)などととも、その発起人に名を連ねた。

1889年(明治22)年には神奈川県に転出し、臨時横浜築港北水堤現場監督となったが、1891(明治24)年に燈台局に戻り、航路標識管理所長兼同所技師長となったほか、この年に工学博士の学位を授与された。1894(明治27)年日清戦争の勃発により大本営付となり、対馬や五島列島などの燈台の急設工事に従事した。また、翌年には、韓国政府の要請によって燈台の調査を行ったほか、台湾総督府の囑託として燈台の整備を推進した。1904(明治37)年日露戦争の際には、病をおして再び韓国に渡り、浮標の設置や燈台の建設に従事した。その後、神奈川県囑託となって横浜市の吉田橋を鉄筋コンクリート橋に架替えたほか、1910(明治43)年には工手学校の校長に就任し、後進の指導にあたった。1922(大正11)年にはすべての公職を退いて神奈川県葉山一色に隠居し、1932(昭和7)年11月25日に自邸で永眠した。

■『隧道編』の背景とその意義

『隧道編』は、石橋や野沢房敬(1864~1934)が中心となって1890(明治23)~1896(明治29)年にかけて工学書院から発行された「土木学講義録」という全16巻のシリーズに含まれるもので、1898(明治31)年には『隧道編』として単独で出版された。このシリーズは、工業学校で用いる教科書として編纂されたと考えられ、石橋は「隧道」以外に「灌漑及埋築工事」「橋梁一斑」「築港要論」「土木学者処世の前途」「運河編」「水道工事摘要」「水理学」「測量術」「応力論」「石灰及膠泥の説」「治河法」など、幅広い分野を担当した。

石橋は、プロフィールでも紹介したように、土



(1) 原著
図-1 シムズの原著と『隧道編』の図
(2) 『隧道編』

木技術者ではあったが、その経歴から判断してトンネル工事を経験したことはほとんどなかったと考えられる。しかし、技術者の養成を急ぐためには、専門分野の違いなど気にしている余裕はなかった。土木工学のあらゆる分野を網羅した日本語の教科書を出版するという使命感が、石橋をして『隧道編』を書かせたのであろう。

『隧道編』の大半は、ロンドンで発行されたフレデリック・ウォルター・シムズ(1803~1865)の大著『Practical Tunnelling』を翻案したもので、図版などもそのまま書き写して掲載された(図-1)。この本は、シムズがイギリスのサウス・イースタン鉄道在任中に担当したブレッチングレートンネルとソルトウッドトンネルを主な事例として、トンネル工事の基礎を解説したものであった。したがって、石橋のオリジナルによる内容は含まれていなかったが、他に模範となる教科書がなかったことを考えると、やむを得ない選択だったと思われる。

その後出版された、内田録雄の『鉄道隧道編』では篠ノ井線・白坂トンネルなどの実例を挙げながらトンネル工事を解説し、相澤時正の『実地応用隧道新書』では、当時の日本の鉄道トンネルを概観しながら、その施工法を解説するなど、ようやくオリジナルな内容を含む教科書が登場するようになった。こうした教科書の出版とともに、講義を筆記したり、外国の文献を翻訳する負担が軽減され、しだいにトンネル工学を学ぶ体制が整えられるようになるのである。



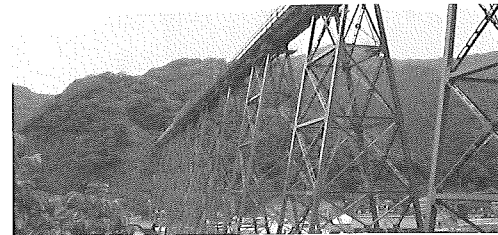
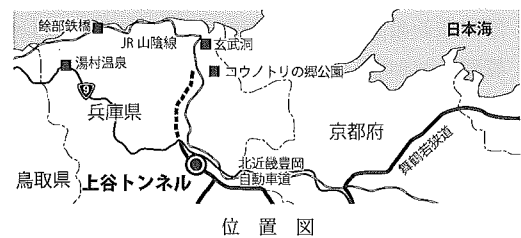
「八鹿」より

西川 秋弘

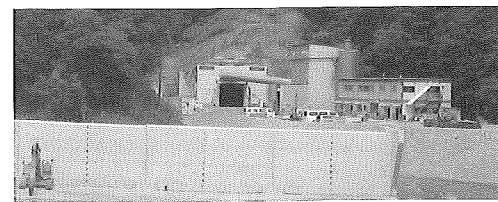
ある著名な俳人が「読めないなあ」と言ったとされるこの地名、実は「ようか」と読む。この地を通る国道9号線は、京都市内では牛若丸と弁慶の出会いの場とされる五条大橋近くを基点として西に伸びる、通称「五条通り」である。京都の市街地を抜けるとすぐに、「敵は本能寺にあり」と明智光秀が全軍に号令した「老いの坂」があり、先は丹波、但馬、山陰地方を経て山口県下関まで通じている。

ここは国道が京都府から夜久野峠を越えて兵庫県に入る所で、朝来市和田山町と養父市八鹿町が隣接する場所である。国道は山間部を通り、テレビドラマで吉永小百合が主演した「夢千代日記」の舞台である湯村温泉を経て鳥取へと向かう。一方、京都市からほぼ並行してきたJR山陰線は、ここで国道から離れて豊岡市を経て山陰海岸に至る。この途中に山陰線でもっとも難工事だったと言われる「餘部鉄橋」がある。明治42年に33万円の巨費と25万人を超える人員を動員した工事は、トレスル橋としては日本最大である。歴史的価値が高く保存の声もあるが、現在架け替え工事が進んでおりまもなく姿を消そうとしている。朝来市には日本最古の鋳物のアーチ橋「神子畑鋳鉄橋」「羽淵鋳鉄橋」などの土木遺産がある。

ほかには自然が豊かで但馬牛、冬には松葉ガニの産地としても広く知られている。また兵庫県北部の中心都市である豊岡市には、国の特別天然記念物コウノトリの人工飼育場「兵庫県立コウノトリの郷公園」がある。昭和40年に人工飼育を開始して現在では102羽となり、4年前からは放鳥も行われている。このうち28羽が自然界で生息し、その優雅な姿を見ることもできる。傍を流れる円山川の右岸には、玄武岩が直線や褶曲をなした見事な柱状節理の玄武洞がある。



餘部鉄橋



上谷トンネル坑口

今ここで、工事の最盛期を迎えているのが関西圏と但馬・山陰を結ぶ路線の交通緩和と物流の高速化を目的とした「北近畿豊岡自動車道和田山八鹿道路」である。総延長13.7kmに5本の山岳トンネル(延べ約8.5km)があり、この工事の主体をなす。当社が担当している上谷トンネルはこの中間に位置し、延長1,473mをNATMの発破工法で施工している。トンネル掘削では超高速化施工に取り組み、1年で貫通することを目指してきたが、現在、掘削開始から10か月が経過し、残りが300mと非常に厳しい状況である。

このトンネルは全体の53%がD級パターンであり、超高速化には適していなかったが、私自身もう一度どこかでチャレンジしてみたい。そのほか、明かり区間には隣接工区からの受入れ土砂を含めて、52万m³(高さが45m)に達する盛土がある。品質管理には当社もその開発に携わった「αシステム」を導入し、リアルタイムに締固度を把握することで品質確保の成果を上げている。この大量の土砂や資材の搬入にあたっては、地域の方々に変な迷惑をお掛けしながらも、多大なるご協力とご支援を賜っている。工事が順調に進んでいることについて、関係各位に厚くお礼を申し上げます。

(前田建設工業(株)上谷トンネル作業所所長)

施工

坑口部のまさ地山を早期閉合により克服

—一般国道49号 三和トンネル—

国土交通省東北地方整備局磐城国道事務所工務課課長 石井 重好
国土交通省東北地方整備局磐城国道事務所建設監督官 河原 正儀
国土交通省東北地方整備局磐城国道事務所工務課 田村 佳丈
清水建設(株)三和トンネル工事作業所所長 高野 浩司

1 はじめに

トンネルの両坑口斜面は緩傾斜地形をなし、崖錐堆積物とまさ分布する。坑口部の15~20m間では、両坑口ともに、トンネル全面にまさ出現し、天端の先抜けや切羽崩壊、断面閉合までの間の大変位の発生などが危惧された。このため、施工を開始する終点側は、初期変位速度で次施工を判断する上半先進ベンチカット工法を採用し、下半の早期掘削で支保構造体の力学的安定を確保したが100mmを超える天端沈下が発生した。このことから、始点側は、坑口斜面への影響を考慮し、補助ベンチ付き全断面工法の早期閉合を採用した。

その結果、トンネル変位は約1/2に抑制され、確実な施工ができるようになり、この施工法の未固結まさ地山への適用の有効性が示され、またこれによる挙動特性が明らかになったので報告する。

2 工事概要

一般国道49号三和トンネルは、福島県いわき市三和地区に位置し、掘削断面積94.5m²、延長743mの2車線道路トンネルである(図-1)。地質は花崗閃緑岩であり、土かぶりは最大約70mと小さい。トンネル中央付近と起点側の2か所で、土かぶり約20mの沢部を通過するが、比較的良好な風化岩

である。

また、トンネル施工位置には、一軸圧縮強度が120~142N/mm²の新鮮な花崗岩や弱風化花崗岩が分布する(図-2)。両坑口付近のまさや強風化花崗岩は、軟質、脆弱で、0.2~1.4N/mm²である。切羽湧水は、起点側坑口DⅢa区間を除き、5~6か所で確認されたが、最大約150ℓ/分以下である。

掘削工法は、上半先進ベンチカット工法と補助ベンチ付き全断面工法である。起点側坑口DⅢaでは、補助ベンチ付き全断面の早期閉合を採用した。掘削方式は、機械掘削を基本とし、岩石強度

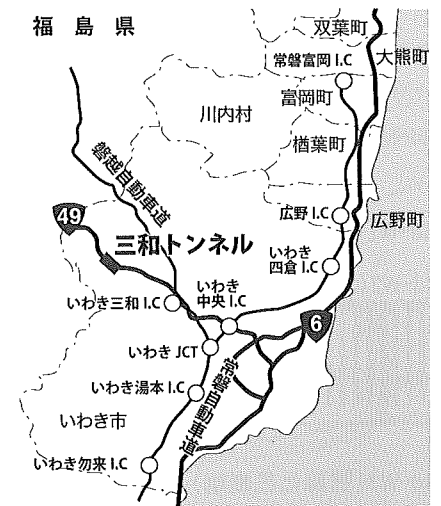


図-1 三和トンネル位置図

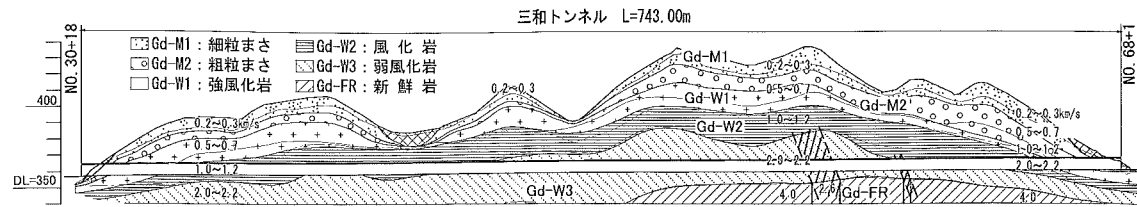


図-2 地質縦断面図

表-1 区間延長と施工方法(実績)

| 支保パターン | 区間延長 (m) | 掘削工法 | 掘削方式 |
|--------|----------|------------|------|
| DⅢa | 55.5 | 上半先進(同時併進) | 機械 |
| DⅡ | 20.0 | | |
| DⅠ-b | 56.0 | | |
| DⅠ-b | 150.0 | 上半先進(交互併進) | 爆破 |
| CⅡ-b | 291.6 | 補助ベンチ付き全断面 | |
| DⅠ-b | 48.0 | 上半先進(交互併進) | 機械 |
| DⅠ-b | 14.4 | 上半先進(同時併進) | |
| DⅡ | 20.0 | | |
| DⅢa | 76.5 | 補助ベンチ付き全断面 | |

が50N/mm²を超え、機械による掘削が困難であった地山等級DⅠとCⅡでは、爆破方式で施工した(表-1)。

トンネル施工は、終点側から起点側に向かっての下り勾配0.5%の突込み掘削である。平成20年4月17日より掘削を開始し、平成21年2月19日に、無事故で掘削を完了した。

3 終点側坑口部の施工

3-1 地質・地形概要

終点側坑口斜面は緩傾斜地形をなし、土砂化したまさや花崗閃緑岩の風化物が堆積した礫混じり土砂の崖錐堆積物が約6mの層厚で分布する(図-3)。しかし、地すべり、崩壊などの不安定地形は認められない(写真-1)。坑口DⅢa区間延長は、

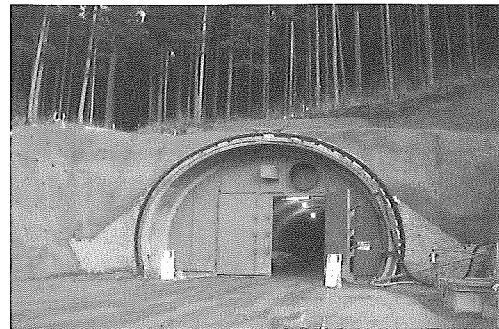


写真-1 終点側坑口全景

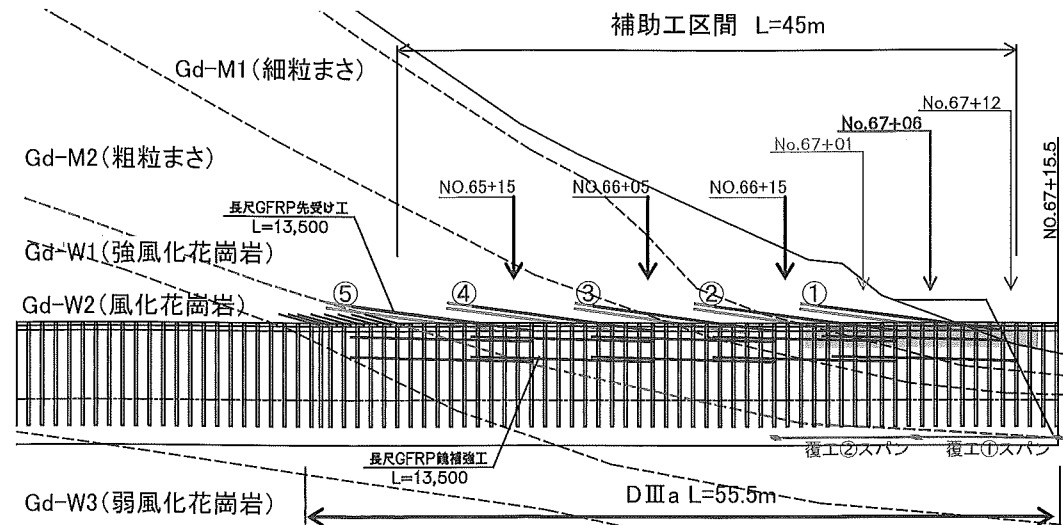


図-3 地質縦断面と測点番号(終点側坑口区間)

55.5mである。

坑口から約20m間は、トンネル全面に未固結まさや出現する。この下部には、強風化花崗岩が分布する。

3-2 支保構造と補助工

トンネル支保構造は、標準的な坑口支保パターンのDⅢaである(図-4、表-2)。補助工は、土砂状の強風化岩や未固結まさ、崖錐堆積物層の上・下半掘削であり、アーチ部周辺地山の剥落、先抜けや鏡崩壊などが危惧されたので、まさや砂質土などの未固結土砂地山で高浸透注入が見込める特殊水ガラス系を注入材とする長尺GFRP先受け工に長尺GFRP鏡補強工を併用した補助工¹⁾を採用する(表-3)。

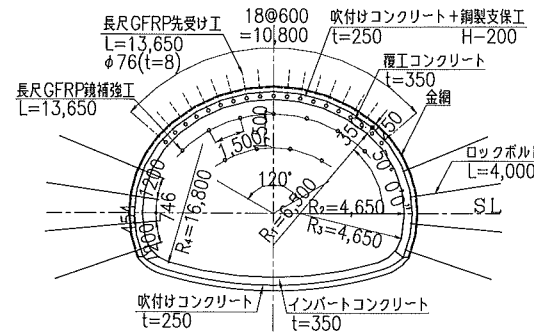


図-4 トンネル支保構造概要(終点側DⅢa)

表-2 トンネル支保構造仕様(終点側DⅢa)

| | |
|------------|----------------------------|
| 掘進長(m) | 1.00 |
| 変形余裕量(cm) | 0 |
| 吹付け厚(圧縮強度) | 25cm(18N/mm ²) |
| 鋼製支保工 | H-200(SS400) |
| ロックボルト本数 | 上・下半8本(L=4m), 176.5kN |
| 断面閉合部材 | 吹付けコンクリート(25cm) |

表-3 補助工仕様(終点側DⅢa)

| | |
|--------|---|
| 長尺先受け工 | <ul style="list-style-type: none"> GFRP管: φ76mm, L=13.5m, 19本/断面 (アーチ 120°, p=600) 注入材: 特殊水ガラス系 設計注入量: 先行孔(535ℓ/本) 後行孔(535ℓ/本) |
| 鏡補強工 | <ul style="list-style-type: none"> 長尺GFRP管: φ76, L=13.5m, 11本/断面 (半径×周, p=1.5m) 注入材: モルタル系(80ℓ/本) 鏡吹付け(t=5cm) |
| 1シフト長 | 9.00m |

3-3 施工方法

上半先進ベンチカット工法の機械掘削である。トンネル底盤部に強風化花崗岩の出現が見込めるが、断面閉合なしでのトンネル支保構造体の安定確保は困難と推察されたので、トンネル構造の力学的安定は、早期のインバート工による断面閉合で確保する。このため、坑口DⅢa区間の下半掘削が完了した時点で、掘削を停止し、インバートコンクリートで断面閉合する。また、初期変位速度30mm/dayを目安にして、下半掘削と断面閉合時期を判断する情報化施工を採用した。

3-4 計測工概要

変形挙動は、三次元自動測量・計測システムを用いて、12~24時間ごとに自動測定する。計測工A断面は、トンネル軸方向10m間隔に設け、1断面あたりの測点数は5点である(図-5)。

3-5 施工状況

全面まさ区間の上半掘削時に、トンネル支保構造体に不安定挙動が現れ、坑口から9m位置の計測工A断面(No.67+06)において、最大の天端沈下が発生した。トンネル沈下の経時変化は図-6に示し、支保構造体の安定確保のための対応とこれによるトンネル挙動特性は、以下のとおりである。

- ① 上半切羽が計測断面を通過した2日後(切羽距離で6m)に、37mmの天端沈下が発生した。上半切羽を11mまで進めた3日後でも、収束傾向は見られず62mmになった。
- ② この時点で、上半掘削を停止、上半施工全区間の下半を掘削し、力学安定上有利なトンネル完成断面形状にした。するとトンネル変

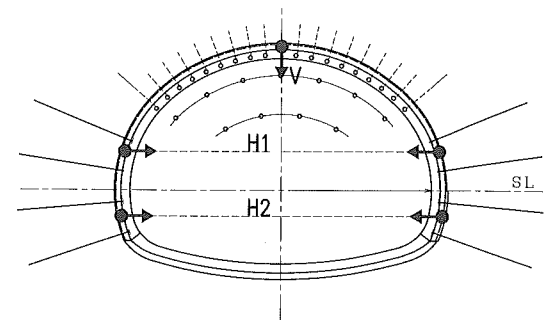


図-5 計測線配置概要

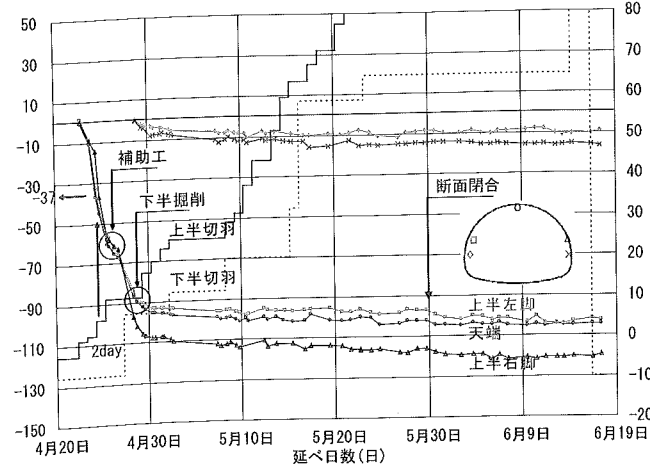


図-6 トンネル沈下の経時変化(最大沈下発生断面, No.67+06)

位は収束傾向を示し、トンネル支保構造体の力学的安定はおおむね確保できた。しかしながら不安定挙動は、断面閉合するまで継続した。

これらから、トンネル全面にまさが出現する区間では、グラウンドアーチ形成によるトンネル支保構造体の自立安定確保は困難であるが、底盤部周辺岩盤により支保構造体の閉構造化がなされ、これにより力学的安定はおおむね確保できたと推察する。また、補助工の併用により、切羽鏡は比較的安定していたがアーチ部掘削面の未改良部では、頻りに剝離、剝落した(写真-2)。

一方、坑口DⅢa区間の断面閉合は、早期の下半掘削により、トンネル支保構造体の力学安定性が高まったので、下半掘削1か月後に施工した。これは、施工単位を2~3mとする吹付けコンクリート閉合を先行させ、施工延長が10.5mを超えた時点でインバート工を行い、坑奥側からこのくり返して施工した(写真-3)。

3-6 トンネル挙動特性

終点側坑口DⅢaの断面閉合以前の天端沈下と内空変位の測定値を図-7に示す。これから、以下のことがわかる。

① 坑口からNo.66+15位置までの全面まさ区間の天端沈下量は、70mm以上と大きく沈下する。この最大値は105mmの沈下である。トンネル側部に強風化岩が現れるNo.65+16の

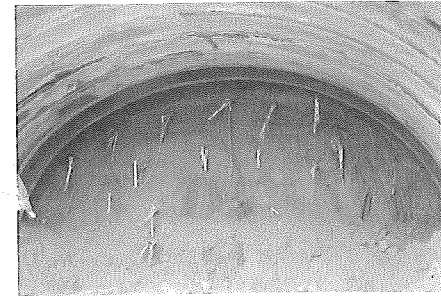


写真-2 上半切羽状況(細粒まさ, No.67+06)

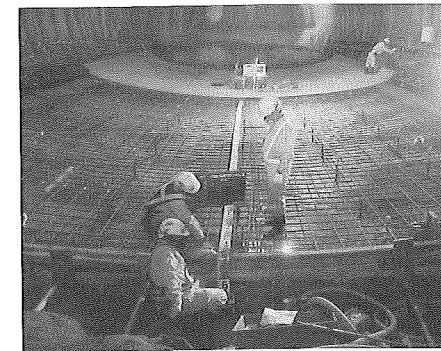


写真-3 吹付け閉合後のインバート工施工状況

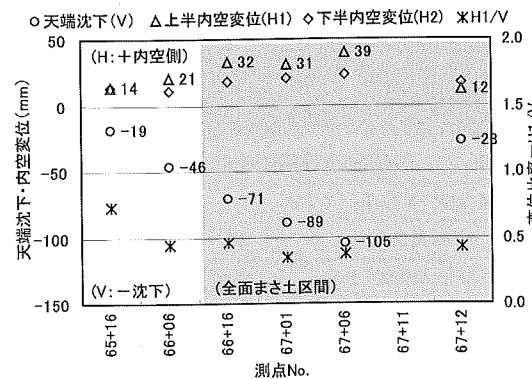


図-7 天端沈下と内空変位(終点側DⅢa)

天端沈下は、19mmの沈下である。

② 全面まさ区間の内空変位 H_1 は、内空側に30mm以上変位し、最大値は39mmである。トンネル側部に強風化岩が現れるNo.65+16では、14mm内空側に変位する。

③ 全面まさ区間では、変位比率(H_1/V)は0.5以下となり、天端沈下が卓越する。

3-7 坑口斜面への掘削影響

坑口斜面のトンネル中心地表沈下 δ_v を図-8に、

地表沈下とトンネル軸方向地表変位を図-9に示す。これらから、以下のことがわかる。

- ① 地表沈下 δ_v の最大値は、全面まさ区間のNo.67+01で発生し、166mmの沈下である。
- ② SL付近に強風化岩が現れるNo.66+06では、

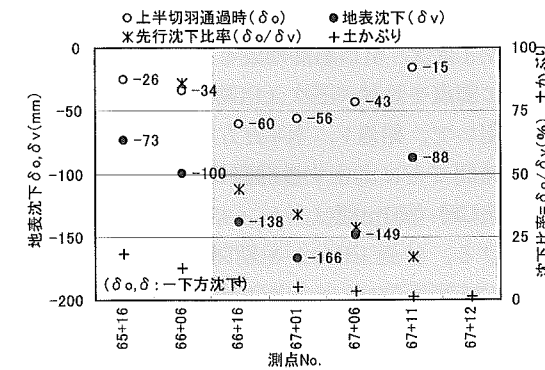


図-8 地表沈下(終点側DⅢa)

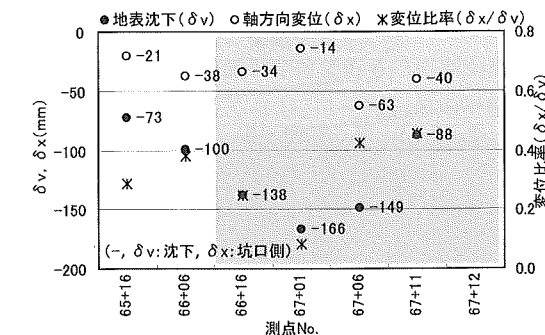


図-9 地表沈下とトンネル軸方向地表変位(終点側DⅢa)

地表沈下は100mmになる。この位置の先行沈下比率(δ_o/δ_v)は86%である。全面まさ区間では44%以下となり、地表斜面は上半切羽通過後に大きく沈下する。

③ 上半切羽通過時変位 δ_o の最大値は、No.66+16で60mm発生し、先行変位は大きい。

④ トンネル軸方向地表変位 δ_x は、天端部の地層が細粒まさから粗粒に変化したNo.66+06付近で減少傾向を示し、最大約38mm坑口側に変位する。

3-8 まとめ

トンネル底盤部に強風化花崗岩の出現が予想されたので、初期変位速度で次施工を判断する上半先進ベンチカット工法で施工した。その結果、比較的大きい変位が発生したが、早期の下半掘削は、支保構造体の力学安定確保に有効であり、また補助工の併用は、未固結まさ地山のトンネル施工を可能にすることが示された。

4 起点側坑口部の施工

4-1 地質・地形概要

起点側坑口DⅢaの約77m間の斜面には、層厚約15mの未固結まさが分布する(図-10)。坑口から約15m間では、トンネル全面に軟質なまさの出現が予想され、施工時に、天端の先抜けや切羽崩壊、過大な変位発生などが懸念された。この区間

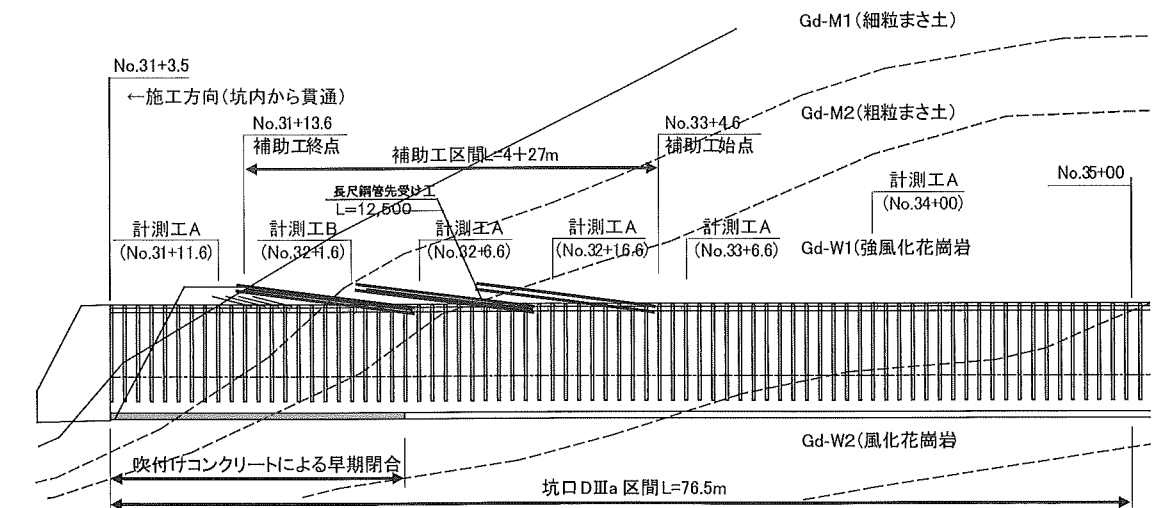


図-10 地質縦断と測点番号(起点側坑口区間)

での切羽集中湧水はない。

4-2 支保構造と補助工

トンネル支保構造は、標準的な坑口支保パターンのDⅢaである(図-11,表-4)。補助工は、鏡吹付けと岩盤固結剤のシリカレジン注入材とする長尺鋼管先受け工²⁾を採用する(表-5)。早期閉合部材は、吹付け厚25cmの吹付けコンクリートである。これの半径は $r_3=2.5 \times r_1$ である。

4-3 施工方法

補助ベンチ付き全断面工法の機械掘削³⁾である。トンネル底盤部にまさの出現が予想される区間では、上半切羽から8m以内で吹付けコンクリート

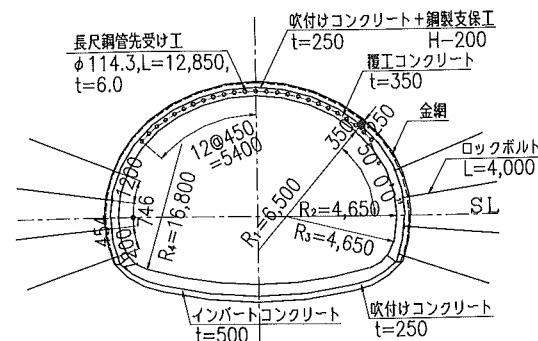


図-11 トンネル支保構造概要(起点側DⅢa)

表-4 トンネル支保構造仕様(起点側DⅢa)

| | |
|------------|----------------------------|
| 1 掘進長(m) | 1.00 |
| 変形余裕量(cm) | 0 |
| 吹付け厚(圧縮強度) | 25cm(18N/mm ²) |
| 鋼製支保工 | H-200(SS400) |
| ロックボルト本数 | 上・下半8本(L=4m), 176.5kN |
| 早期閉合部材 | 吹付けコンクリート(25cm) |

表-5 補助工仕様

| | |
|--------|---|
| 長尺先受け工 | <ul style="list-style-type: none"> 長尺鋼管: $\phi 114.3$, $t=6$, $L=12.5$m, 25本/断面(アーチ120°, $p=450$) 注入材: シリカレジン 設計注入量: 先行孔(160kg/本) 後行孔(240kg/本) |
| 注入式FP | <ul style="list-style-type: none"> 打込み型ボルト: $L=3$m, 27.5本/断面(アーチ120°, $p=450$) 注入材: シリカレジン 設計注入量: 先行孔(30kg/本) 後行孔(45kg/本) |
| 鏡補強工 | 鏡吹付け($t=5$ cm) |
| 1シフト長 | 9.00m |

による早期閉合を行い、トンネル支保構造体の力学的安定性を確保する。早期閉合の施工単位は2mを基本とし、上・下半2m進行ごとに早期閉合する(図-12)。トンネルの施工方向は、坑内から坑口側に向かって施工する。

4-4 計測工概要

計測工Aは、坑口斜面地表とトンネル吹付け内空面に測点を設け、三次元自動測量・計測システムを用いて、鉛直V、水平H方向の絶対変位を12~24時間ごとに測定する(図-13)。計測工A断面は、坑口から35m間は、トンネル軸方向5m間隔に設ける。計測工Bは、早期閉合区間内のNo.32+1.6に1断面設け、上半断面の吹付けコンクリート(T)と鋼製支保工(S)に発生する応力を1時間ごとに測定する。ここでの土かぶり⁴⁾は6.3mである。

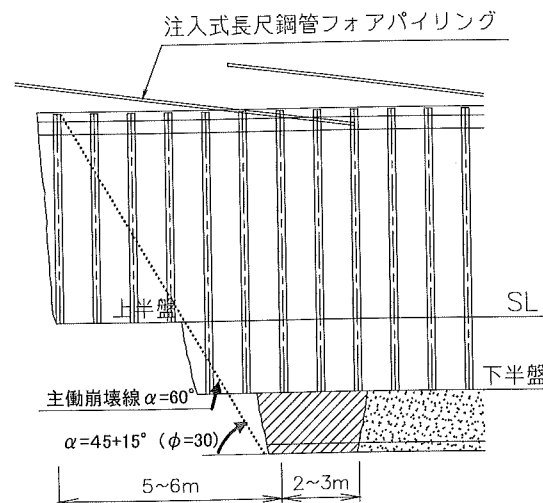


図-12 早期閉合方法(起点側DⅢa)

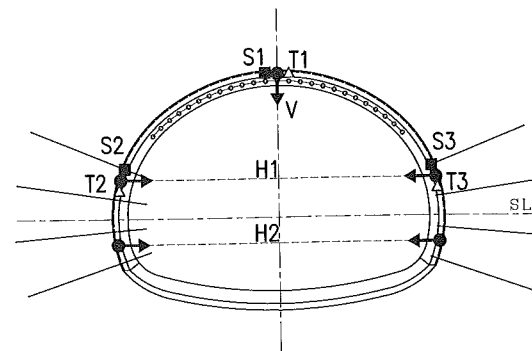


図-13 計器配置概要(起点側DⅢa)

4-5 施工状況

吹付けコンクリートによる早期閉合により、トンネル支保構造体の安定度は高まり、確実な施工を可能にした(写真-4)。含水比の低いまさへの吹付けは、施工性は低下するが、注入材を岩盤固結剤とする補助工の採用により、アーチ部掘削面の自立度は高まり、剥落の規模は小さく抑えられた。また、切羽鏡の安定は、鏡吹付けで確保できた(写真-5)。

4-6 トンネル挙動特性

坑口DⅢa区間のトンネル変位を図-14に示す。これから、以下のことがわかる。

- ① 早期閉合区間に入る直前の天端部は、52mm沈下する。これが早期閉合区間に入ると9mmの沈下となり、早期閉合により天端沈下は顕著に小さくなる。
- ② 内空変位は、早期閉合区間に入る以前は15~34mmの内空側の変位である。早期閉合区間に入ると小さくなり、1~14mmの内空側の変

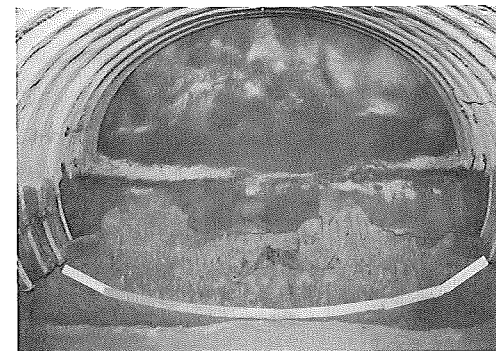


写真-4 吹付けコンクリートによる早期閉合状況(施工単位3m)

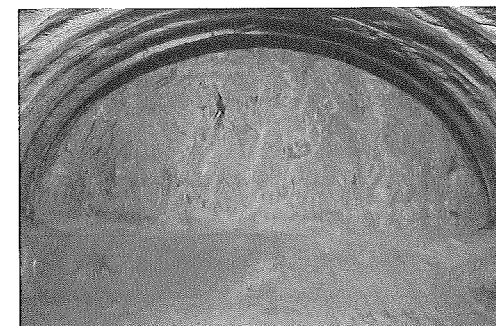


写真-5 起点側切羽状況(DⅢa, 細粒まさ, No.32+1.6)

位である。

- ③ 早期閉合区間では、上半内空変位 H_1 と下半内空変位 H_2 の発生量は同等レベルである。
- ④ 天端沈下Vに対する上半内空変位 H_1 の比(H_1/V)は、切羽がまさ地山に近づくにつれ低下するが、早期閉合区間に入ると増加しはじめ、1.0に近づく。

4-7 坑口斜面への掘削影響

坑口斜面のトンネル中心地表沈下を図-15に示す。これから、以下のことがわかる。

- ① 早期閉合しない区間では、切羽が坑口に近づくにつれ地表沈下は増加する。早期閉合区間に入ると、いったん減少するが、掘削進行とともに再び増加する。
- ② 上半切羽が早期閉合区間に近づくにつれ先行沈下の沈下比率(δ_o/δ_v)は徐々に低下するが、早期閉合区間に入ると増加しはじめ、93%になる。

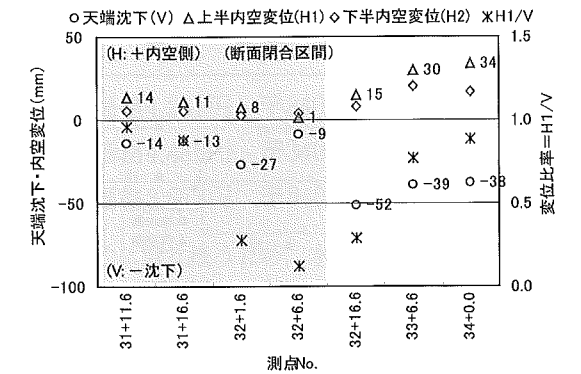


図-14 天端沈下と内空変位(終点側DⅢa)

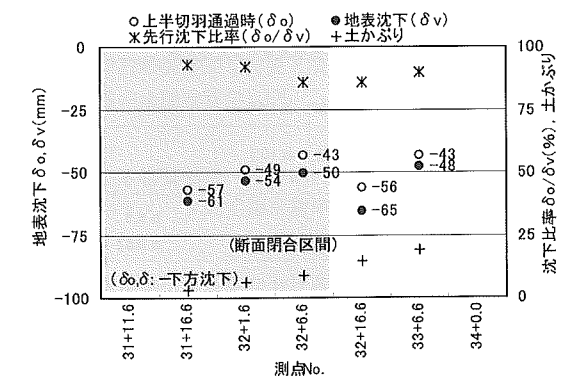


図-15 地表沈下(終点側DⅢa)

4-8 トンネルの安定性と作用土圧

計測工B断面(No.32+1.6)での早期閉合した吹付けコンクリート軸応力とこれの分担率を図-16に、鋼製支保工縁応力を図-17に示す。また、支保構造体に作用する換算土圧P_oを図-18に示す。これらから、以下のことがわかる。

① 吹付けコンクリート軸応力の最大値は、天端部に発生し、3.2N/mm²の圧縮となり、圧縮強度18N/mm²の範囲内で力学的安定が確保で

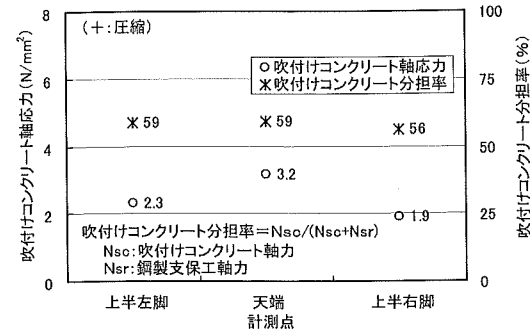


図-16 吹付けコンクリート軸応力(起点側DⅢa, No.32+1.6)

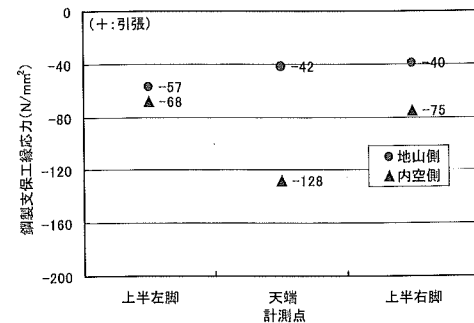


図-17 鋼製支保工縁応力(起点側DⅢa, No.32+1.6)

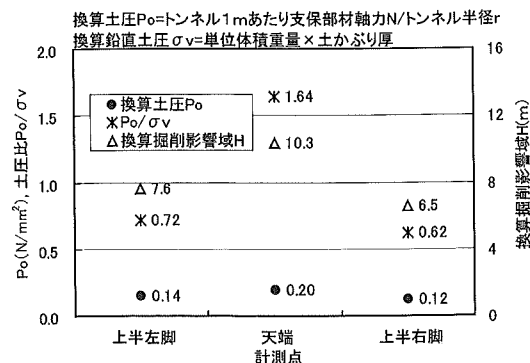


図-18 換算土圧(早期閉合区間, No.32+1.6)

きた。上半側部の左右測点では、同等レベルの約2N/mm²の圧縮である。

② 吹付けコンクリートは、支保部材発生軸力の約60%を負担し、鋼製支保工とともに主要支保部材をなす。

③ トンネル支保構造体に作用する換算土圧P_oは、天端部で0.20N/mm²、上半側部で0.14N/mm²の作用が推察される。また、天端部では換算鉛直土圧σ_vの約1.6倍、上半側部ではσ_vの約0.7倍の土圧作用が見込める。

4-9 まとめ

補助ベンチ付き全断面工法に長尺鋼管先受け工と早期閉合を併用して、坑口まさを施工した。その結果、トンネル変位は30mm以下、斜面地表沈下は65mm以下に抑制でき、支保構造体の力学的安定が確保でき、この施工方法の有効性が示された。また、天端部では鉛直土圧の1.6倍、上半側部では0.7倍の土圧の作用が推察され、早期閉合トンネルの力学特性が得られた。

5 おわりに

トンネル両坑口斜面には崖錐堆積物と未固結まさが分布し、坑口から15~20m間のトンネル底盤周辺にはまさが出現するトンネル工事において、補助工の併用を基本にして、初期変位速度で次施工を判断する上半先進ベンチカット工法と補助ベンチ付き全断面工法の早期閉合で施工した。

その結果、前者では比較的大きい変位が発生したものの、早期の下半掘削により、トンネル支保構造体の力学的安定は確保できた。後者の吹付けコンクリートによる早期閉合では確実な施工を可能にし、坑口DⅢa区間未固結地山の施工法としての有効性が示された。今後は、数値解析手法などで挙動特性を同定、考察し、未固結地山における坑口DⅢaの施工技術として取りまとめ、別の機会に報告する予定である。

最後に、本工事を進めるにあたり、貴重なご意見をいただいた関係各位、またご助言をいただいた(株)建設技術センター菊地司朗氏に、感謝する次第である。

参考文献

1) GFRP切羽補強研究会：GFRP切羽補強工，標準積算資料，第1回改訂版，2005.9.

2) ジェオフロンテ研究会：注入式長尺先受け工法(AGF工法)技術資料(五改訂)，2006.12.
3) (社)日本トンネル技術協会：トンネルの高速施工技術に関する検討報告書，2009.1.

P.A.ドミニコ, F.W.シュワルツ著

地下水の科学

各B5判
全3巻

地下水の科学研究会 大西 有三 監訳

| | | |
|---------------|----------|-------|
| 第I巻 地下水の物理と化学 | 価格4,281円 | 〒340円 |
| 第II巻 地下水環境学 | 価格4,485円 | 〒340円 |
| 第III巻 地下水と地質 | 価格3,873円 | 〒340円 |

本書は様々な環境問題を地下水理学の立場から本格的に取り扱うため、水の物理学・化学的性質、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多岐にわたっており、地質学者、水理地質の実務者、地球化学者ならびに流体力学に関心のある地球物理学者、または、地質学を学ぶ学生など広範に満足させる内容となっている。

<第I巻 主要目次>

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 主要目次>

地下水の化学 化学反応 物質輸送の数字理論 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 水質浄化の対策

<第III巻 主要目次>

水資源 堆積盆地環境における地下水 地殻における地下水 地下水流動における熱輸送

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

土木情報 No.434

今月の主な入札結果

(6月10日～7月9日)

| 事業主体 | 工事名 | 請負会社 | 請負額 単位 百万円 |
|----------|--|--------------------|------------------|
| 関東農政局 | 両総農業水利事業南部幹線水路その47 | 戸田建設 | 600 |
| 北陸農政局 | 九頭竜川下流農業水利事業右岸幹線水路鳴鹿工区建設 | 西松建設 | 2,529.9 |
| 中国四国農政局 | 吉野川下流域農地防災事業南部・第十幹線水路その11 | 戸田建設 | 319.7 |
| 北陸地整 | 滝坂地すべり北部排水T3期 | 会津・滝谷JV | 225 |
| 中国地整 | 東広島・呉道路岩山T | 佐藤工業 | 1,652.8 |
| 日本下水道事業団 | 大津市合流改善貯留管渠建設その2 | 飛島・大鉄・宮本JV | 3,548 |
| 中日本高速道路 | 舞鶴若狭自動車道鳥羽T他1T | 西松建設 | 2,590 |
| 〃 | 〃 御岳山T | 浅沼組 | 1,928 |
| 都・財務局 | 新宿歩行者専用道2号線Ⅱ期出入口設置(21三-主4青梅街道) | イチフジ | 299.9 |
| 都・水道局 | 目黒区柿の木坂一丁目地先から同区碑文谷四丁目地先間配水本管(800mm)新設 | 青木あすなる建設 | 375 |
| 都・下水道局 | 足立区千住龍田町, 千住中居町付近再構築その5 | 大豊建設 | 440 |
| 〃 | 東陽幹線その6 | 松尾工務店 | 318.7 |
| 〃 | 荒川区荒川一, 三丁目付近再構築 | 新井組 | 365.4 |
| 岐阜県 | 東濃西部送水幹線(多-5工区土岐川横断)事業 | 吉川組 | 180.6 |
| 沖縄県 | 真地久茂地線識名T新設(覆工) | 南海・太名嘉・沖永JV | 390 |
| 高崎市 | 井野川右岸第4排水区雨水幹線築造(第2工区) | 岩井・研屋JV | 166 |
| 三郷市 | 公下三郷中央幹線築造(21-1) | すばる建設 | 131 |
| 千葉市 | 下水道排水施設(長洲21の1工区) | 銭高・備建JV | 469 |
| 〃 | 〃 (神明21の1工区) | 森本・小柳JV | 566 |
| 〃 | 〃 (幕張第7・21-1工区) | 三幸・伊藤JV | 183.6 |
| 船橋市 | 葛飾管渠布設(その80) | 浅沼組 | 149 |
| 柏市 | 大津川左岸第5排水区雨水排水整備(21-0-20) | 永和建設 | 138.75 |
| 横浜市 | 鶴ヶ峰幹線口径1000mm送水管新設(その5) | 森本・馬淵JV | 191 |
| 〃 | 戸塚区原宿地区下水道(その3) | 大成建設 | 100 |
| 〃 | 神奈川処理区帷子川右岸雨水幹線下水道整備(その2) | 森本・馬淵JV | 332 |
| 川崎市 | 登戸雨水幹線その15 | 重田・重田造園JV | 168.55 |
| 相模原市 | 公下大野台地区雨水幹線整備(1工区) | アコック | 116.42 |
| 茅ヶ崎市 | 公下中海岸4丁目地内外(合流)単独21-4 | ライト工業 | 105 |
| 京都市 | 七条東幹線(その1-2)公下 | 清水・不動テトラ・ケイコン・仁木JV | 2,320 |
| 大阪市 | 泉尾千島枝管800mm配水管布設 | ヤマト工業 | 341.98 |
| 福岡市 | アイランドシティ(香椎浜3丁目24・西部)地区下水道築造 | 岡崎産業 | 108.22 |

施工

空港施設下のシールド掘進と掘削土砂改質技術の採用

—新潟空港下水道管渠敷設工事—

国土交通省北陸地方整備局新潟港湾・空港整備事務所長 竹村 淳一
 大林・不動・本間特定建設工事共同企業体所長 広尾 俊幸
 大林・不動・本間特定建設工事共同企業体工事課長 林 成卓
 大林・不動・本間特定建設工事共同企業体工事主任 日野 義嗣

1 はじめに

近年の急激な都市化は、雨水流出量の増大や流達時間の短縮を伴うことから浸水被害増加の一因となっている。平成10年8月4日の集中豪雨(97mm/時間, 265mm/24時間)では、新潟市域の1,495世帯が床上浸水するという甚大な被害が生じている。こうした豪雨被害を教訓として、新潟市では、整備水準を10年に1回の降雨(46~50mm/時間)とした総合雨水対策整備に着手しており、市内を八つの処理区に大別して、雨水幹線やポンプ場などの整備を進めている。本工事は、その一環として物見山排水区の終端に建設される下山ポンプ場にいたる、内径4,000mm, 延長1,380.4mの雨水幹線管渠を新潟空港の敷地下に構築するものである。

本稿の前半では、滑走路などの空港施設下をシールド掘進するにあたって、地盤変位を抑制するための対策について報告する。また後半では、掘削土砂の

改質に関して、建設事業費の縮減に対する社会的要請を鑑み、一般的に使用される石灰などの改質材の代わりに、主として吸引により含水比を低下させて土砂性状を改質する新技術を現場適用したので、その効果について報告する。

2 工事概要

2-1 工事概要

路線概要を写真-1に、工事概要を表-1に示す。本工事では、路線の大部分が新潟空港の敷地内に

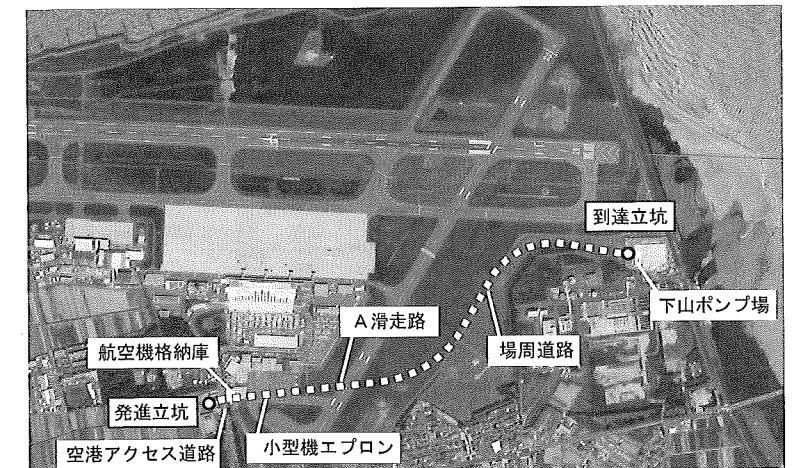


写真-1 路線概要

位置しており、小型旅客機や航空機使用事業の小型機およびヘリコプターの離着陸に使用する「A滑走路(長さ1,314m×幅45m)」のほか、「空港ア

表-1 工事概要

| | |
|-------|---|
| 工事名 | 新潟空港下水道管敷設工事 |
| 発注者 | 国土交通省北陸地方整備局 |
| 施工者 | 大林・不動・本間特定建設工事共同企業体 |
| 工事場所 | 新潟市松浜町新潟空港内 |
| 工期 | 平成18年3月8日～平成19年10月31日 |
| 管渠延長 | 1,380.379m |
| 管渠勾配 | 1.1‰ |
| セグメント | RCセグメント：1,366リング 鋼製セグメント：9リング 可とうセグメント：2リング セグメント外径4,800mm, 覆工厚175mm |
| 工法 | 泥土圧シールド工法(気泡) |
| 線形 | 曲線半径100m×2か所, 曲線半径200m×1か所 曲線半径300m×1か所 |
| 土かぶり | 8.79～12.90m |
| 土質 | 砂質土 |

表-2 横断する空港施設

| 空港施設 | 土かぶり |
|------------|------------|
| 1 空港アクセス道路 | 10.8m |
| 2 航空機格納庫 | 11.1m |
| 3 小型機エプロン | 11.5m |
| 4 A滑走路 | 11.7m |
| 5 場周道路 | 10.3～10.5m |

表-3 シールド通過部の土質調査結果

| 調査位置(路線追加距離) | 0m | 300m | 550m | 825m | 1,100m | 1,400m |
|--|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ボーリング名 | No.13-1 | No.13-2 | No.13-3 | No.13-4 | No.13-5 | B-1 |
| 試料番号 | P1-1 | P2-1 | P3-1 | P4-1 | P5-1 | P-2 |
| 深さ(m) | 13.00～13.50 | 14.00～14.50 | 14.00～14.50 | 14.00～14.50 | 13.00～13.50 | 12.15～12.45 |
| 土質区分 | 細砂 | 細砂 | 細砂・微細砂 | 細砂 | 細砂・微細砂 | 細砂・シルト質細砂 |
| N値 | 11～18 | 20～46 | 23～25 | 5～34 | 7～22 | 19～28 |
| 土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³) | 2.681 | 2.69 | 2.672 | 2.641 | 2.703 | 2.663 |
| 自然含水比(%) | 29.7 | 26 | 22.4 | 51.8 | 30.3 | 25.31 |
| 粒度 | 礫分 2～75mm (%) | 0 | 2 | 3 | 0 | 7.5 |
| | 砂分 75μm～2mm (%) | 95 | 88 | 87 | 44 | 81 |
| | シルト分 5～75μm (%) | 5 | 10 | 10 | 56 | 19 |
| | 粘土分 5μm未満 (%) | | | | | |
| | 最大粒径(mm) | 4.8 | 9.5 | 9.5 | 2.0 | 2.0 |
| 均等係数 U _c | 2.51 | 3.96 | — | — | — | 2.95 |

クス道路」「航空機格納庫」「小型機エプロン」および「場周道路」といった各空港施設の直下を掘進する。各空港施設横断部での土かぶりを表-2に示す。これらの空港施設に対してシールド工事の影響を抑制することが本工事の課題である。

2-2 土質概要

本管渠は、信濃川・阿賀野川・通船川などの氾濫および沿岸流により形成された低平な砂丘間低地および三角州上に位置し、土質はすべて砂質土からなる。地下水位はGL-0.3～2.61mと比較的高く、一部の区間では地下水中の塩化物イオン濃度が22,000ppmであり、海水の影響を受けている。表-3にシールド通過部の土質調査結果を示す。掘削対象土砂は、N値10～30程度の微細砂を主体としており、透水係数は、 $1.0 \times 10^{-2} \sim 7.7 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ である。均等係数は2.5～4と粒度分布が狭く、ひとたび掘削土砂の取込み過多を生じた場合には、即座に地表面への影響が懸念される崩壊性の高い地盤と考えられる。また、調査ボーリングにおいて、最大53.1vol%のメタンガスの溶存が確認されており、坑内における燃焼・爆発事故防止対策を検討する必要がある。

2-3 覆工構造

本管渠の標準断面を図-1に示す。一次覆工には、日本下水道協会規格JSWAS A-4 C43のRCセグ

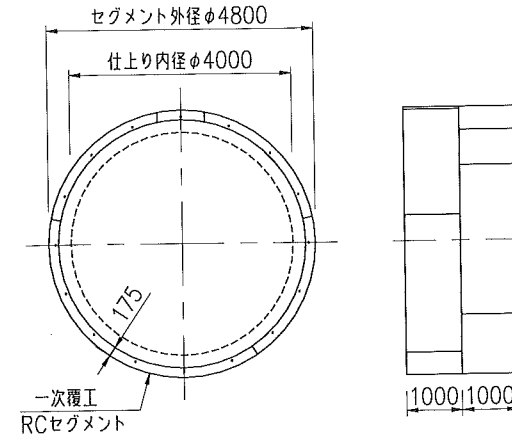


図-1 標準断面

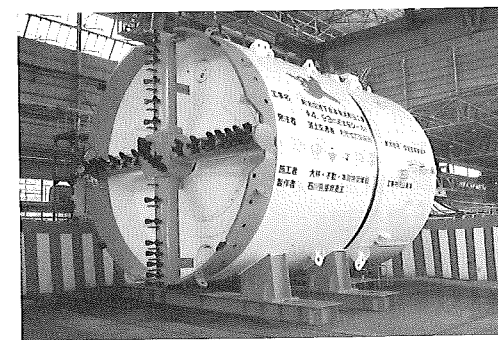


写真-2 シールド

表-4 主なシールドの仕様

| 項目 | 仕様 |
|----------|--------------------------------|
| シールド外径 | φ4,930mm |
| シールド機長 | 5,440mm |
| シールドジャッキ | 1,200kN×1,150mm×18本 |
| 推進速度 | 80mm/min |
| 中折れ角 | 2.0° |
| カットトルク | 1,485～2,329kN-m (α=12.3～19.4) |
| カット回転速度 | 0.58～1.08rpm (V=8.9～16.7m/min) |

防爆換気設備(排気式、局所ファン併用)

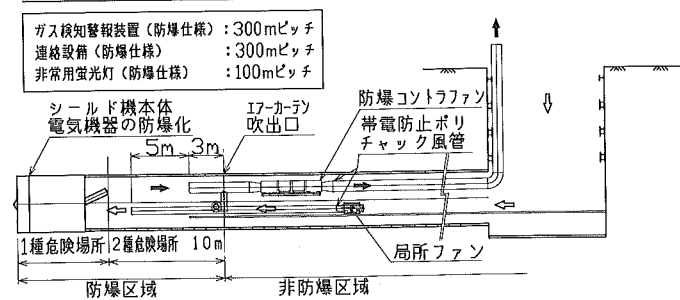


図-2 坑内換気概要

メントを使用する。標準のコンクリート系セグメントでは、鉄筋の最小かぶりは13mm以上と既定されているが、本管渠では、地下水中に塩化物イオンが検出されていることから、腐食性環境への対応として、セグメント地山側の鉄筋かぶりを35mm以上確保している。

その他、立坑接続部には可とうセグメントを、人孔接続部(2か所)には、鋼製セグメントをそれぞれ設置する。

2-4 シールド設備

シールドの外観を写真-2に示す。また、主なシールドの仕様を表-4に示す。

メタンガス対策として、シールド運転操作台車前方にエアカーテンを設置して防爆区間を限定し、シールドおよび切羽の諸設備を防爆仕様とした。坑内換気は、防爆コントラファン(500m³/min)による排気を主とし、局所ファン(350m³/min)による送気を併用する方式とした。また、機内、後方台車および坑内の300mごとに「ガス検知装置」「警報ブザー(防爆仕様)」「電話機(防爆仕様)」を、100mごとに「非常用蛍光灯(防爆仕様)」をそれぞれ設置した。

3 地盤変位抑制のための対策

崩壊性の高い砂質地盤において、空港施設下を安全に掘進するために、以下の対策を計画した。

3-1 切羽安定対策

3-1-1 添加材

添加材は地下水に含まれる塩化物イオンの影響を確認するため、事前に海砂を用いた配合試験を行い、気泡(Aタイプ)を選定した。ただし、掘進状況に応じて予備の気泡(Bタイプ)や高分子系添加材を併用できるように設備とし、一般的には地上に設置する添加材注入プラントを坑内に設置することで、土質などの変化に応じて柔軟に添加材を変更できるようにした。

3-1-2 チャンバ内土砂流動管理技術

切羽の安定を確保するためには、チャ

ンパ内土砂の適正な塑性流動状態を保持することが必要である。これまで、チャンパ内土砂の塑性流動状態の管理は、カッタやスクリーコンベヤのトルク値、排出された土砂の目視やスランプ試験などにより実施しているが、実質的には掘進管理者の経験によるところが大きかった。そこで、チャンパ内土砂流動管理技術を採用し、土砂の塑性流動状態を定量的に把握し、切羽安定管理に活用することとした。本技術は、チャンパ内に設置

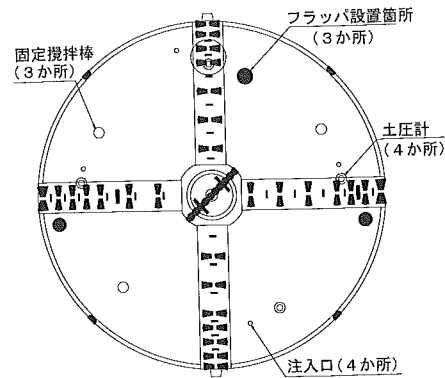


図-3 フラップ設置位置

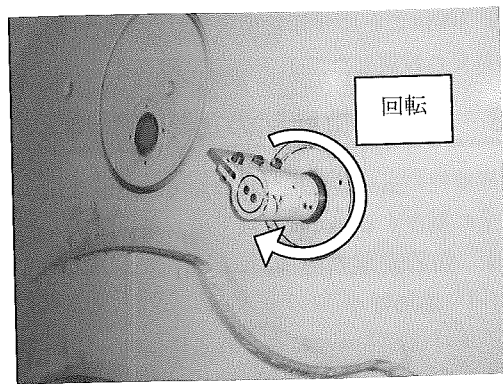


写真-3 フラップ設置状況

したフラップを回転させ、そのトルク値をリアルタイムに計測することで、チャンパ内土砂の塑性流動性を把握する技術であり、本現場では2件目の適用事例となる。

図-3にフラップの設置位置を、写真-3にフラップの設置状況を示す。

3-1-3 噴発防止対策

地下水圧により排土が噴発状態となった場合、排土量の制御が困難となり、取込み過多による地盤変位を誘発する可能性がある。チャンパ内土砂が適正な塑性流動状態を保持していれば噴発は生じないが、空港施設下を安全に掘削するためには補助的な対応が必要と考えた。そこで、内面に非粘着性樹脂をライニングしたフレキシブル配管(ノントックホース)をスクリーコンベヤ排土口からずり鋼車間に設置することで切羽圧力保持の補助的手段とした。

3-2 排土量管理

排土量管理として以下の自動計測システムを導入した。図-4にシステムの概要を示す。

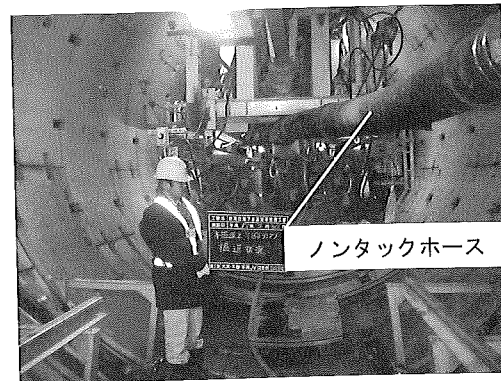


写真-4 ノントックホース設置状況

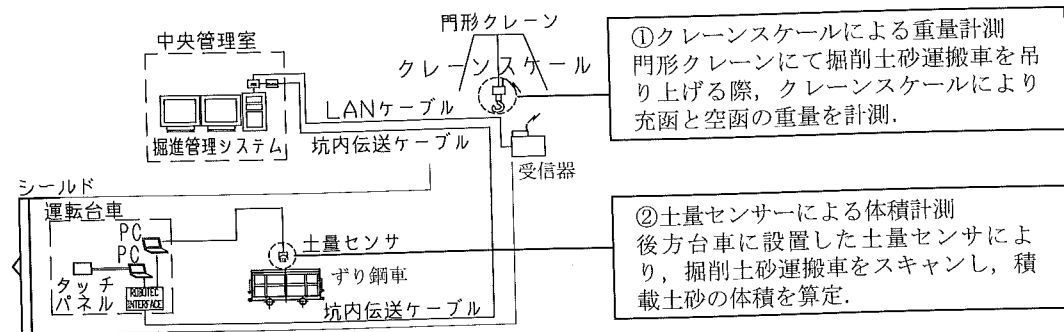


図-4 排土管理システムの概要

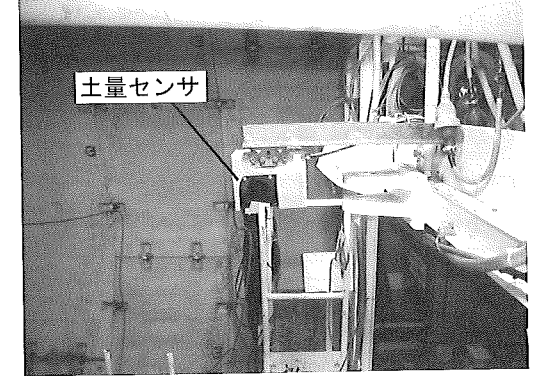
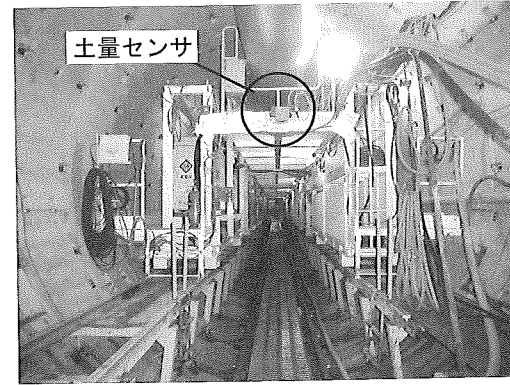


写真-5 土量センサ

① 土量センサによる体積の自動計測

後方台車に設置した土量センサにより、バッテリー機関車に牽引されてきたずり鋼車をスキャンし、積載土砂の表面形状を測定することで、排土体積を算定する。

② クレーンスケールによる重量計測

門形クレーンにてずり鋼車を吊り上げる際、クレーンスケールにより計測した充函と空函の重量を差により排土重量を算定する。

これらのシステムにより、排土量を数値的に把握し、計測結果を統計処理することで排土量の増減傾向などを確認することとした。また、複数の管理手法を併用することで、計測誤差を低減し、排土管理の確実性の向上を図った。

3-3 線形管理

シールドの急激な方向制御は、周辺地盤を乱し地盤変位の要因となる。本工事では、自動測量システムを導入することで掘進中のシールド位置をリアルタイムに計測し、線形管理精度の向上を試みることにした。このシステムは、自動追尾式のトータルステーションでシールドに設置したプリズムの座標を測量し、シールド位置を算出するものである。シールド位置の算出方法は人為測量の場合と同じであるが、掘進中も連続的にシールド位置を把握できるため、想定外のシールドの挙動に対しても迅速に線形管理に反映することができる。

3-4 トライアル計測

切羽土圧や排土量の管理値設定の妥当性を検証

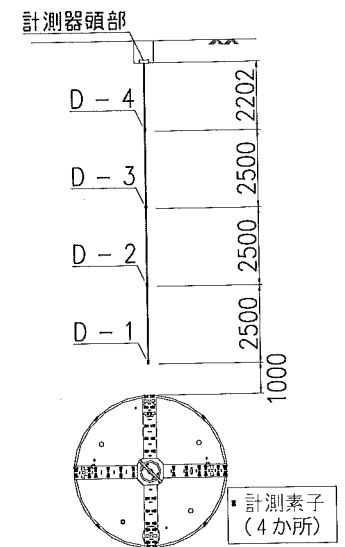


図-5 層別沈下計の設置概要

するため、発達立坑付近の空港アクセス道路手前に層別沈下計を設置し、シールド通過前後を通じた地盤変位を確認することとした。図-5に層別沈下計の設置概要を示す。

トライアル計測の結果を図-6に示す。シールド通過時の切羽土圧は、おおむね目標土圧で推移しており、下限値以上での施工であった。地盤変位は、シールド先端が達した時点から、直上1.0mの素子D-1で隆起傾向を示し、掘進中は2~4mm程度の幅で変動し、裏込め注入後に2mm程度隆起した状態で収束している。最上部にある素子D-4では、シールド掘進にあわせて、D-1とほぼ同時期に変位したが、変位量は1mm程度と小さかった。トライアル計測部では、シールド姿勢制御のため

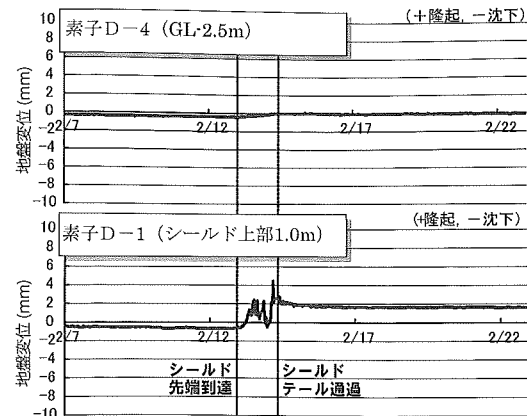


図-6 トライアル計測結果

中折れを0.2°上向きに使用していた。シールド通過時の素子D-1の挙動は方向制御により周辺地盤が影響を受けている状況を示していると考えられる。また、D-1とD-4の変位発生時期がほぼ同時であることから、シールド掘進の影響が地表に現れやすい地盤であることが想定された。地表の地盤変位量がきわめて小さく、その後変位が進行する様子もみられなかったことから、切羽土圧の設定や排土管理手法などは妥当であると判断し、その後は、地表面のレベル測量により掘進状況を確認しながら、管理値を適宜修正することとした。

4 施工結果

月進量および日進量の実績を表-5に示す。シールド掘進はおおむね順調で、最大月進量は376m、最大日進量は19mを確保した。各空港施設下の掘進においても一次管理値(-10mm)以内の地盤変位で安全に通過することができた。シールド直上の地盤変位を20m間隔でレベル測量した結果を図-7に示す。

チャンバ内土砂流動管理システムの適用実績として、フラップトルクの計測値を図-8に示す。いずれのリングのフラップトルク値も、フラップ回転に応じて変動している。741リングについては、事前のシミュレーション解析によるトルク振幅値(200N・m)程度となっており、チャンバ内土砂の適切な塑性流動性が確保できていることを示している。一方で719リングでは、トルク値の振幅が

表-5 シールド掘進実績

| 月 | 月進量 | 累計 | シールド稼働日 | 平均日進量 | 最大日進量 | 備考 |
|----|-----|-------|---------|-------|-------|------|
| 1月 | 7 | 7 | 6 | 1.2 | 3.0 | |
| 2月 | 54 | 61 | 11 | 4.9 | 7.0 | |
| 3月 | 106 | 167 | 19 | 5.6 | 7.5 | |
| 4月 | 109 | 276 | 15 | 7.3 | 10.0 | |
| 5月 | 308 | 584 | 21 | 14.7 | 19.5 | 昼夜施工 |
| 6月 | 376 | 960 | 22 | 17.1 | 19.0 | 昼夜施工 |
| 7月 | 354 | 1,314 | 23 | 15.4 | 18.0 | 昼夜施工 |
| 8月 | 62 | 1,376 | 12 | 5.2 | 9.0 | |
| 9月 | 2 | 1,378 | 1 | 2.0 | 2.0 | |

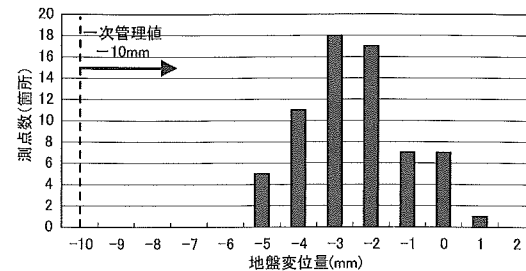


図-7 地盤変位の計測結果

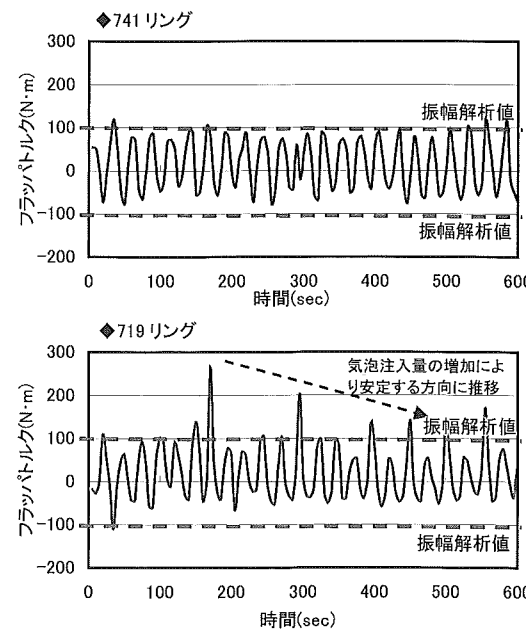


図-8 フラップトルク計測値

一時的に大きくなっており、塑性流動状態が適切な時とは傾向が異なっている。このリングでは、気泡注入量を増加させることでフラップトルクが

安定する方向に制御し、その結果、排土不良に伴う地盤変位を発生させることなく、カットルックやスクリュートルックについても安定した掘進状態を維持することができた。

本工事における気泡注入量の実施量は28.2%となり、気泡シールド工法技術資料による平均注入率の計画値26.4%と一致する結果となった。また、カットルックの平均は装備値の66%、推力の平均は装備値の47%であり、おおむね想定した掘進ができた。

なお、チャンバ内土砂流動管理技術については、これまでに蓄積してきた計測・解析データと合わせ、本工事で得られたデータに関してさらなる分析を行い、技術の向上を進めている。現時点では、掘削土砂の流動状態をリアルタイムに視覚的に確認できるシステムを開発しており、他現場での掘進管理に活用している。

5 掘削土砂の含水比低下技術の導入

5-1 技術導入の背景

泥土圧シールド工事で発生する掘削土砂は、含水比が高く流動性を呈するため、場外への搬出に先立ちダンプ運搬可能な性状に改質する必要がある。本工事においても、地上部の土砂ピットにて改質材を添加した後に、場外の仮置場に運搬する計画となっていた。改質材と掘削土砂の混合攪拌作業においては、改質材の飛散による周辺への影響も想定される。そこで、改質材の使用量低減および改質作業の軽減のために、ベルトコンベヤで運搬中に掘削土砂の含水比を低下させる装置(以下、「脱水ベルコン」と呼称)を導入することとした。

5-2 脱水ベルコンの概要

脱水ベルコンの概要図を図-9に、全景写真を写真-6に示す。脱水ベルコンは①土砂ホッパー、②ベルトフィーダー、③脱水コンベヤ、④フラットコンベヤ、⑤搬出コンベヤから構成される。土砂ホッパーに投入された土砂は、ベルトフィーダに

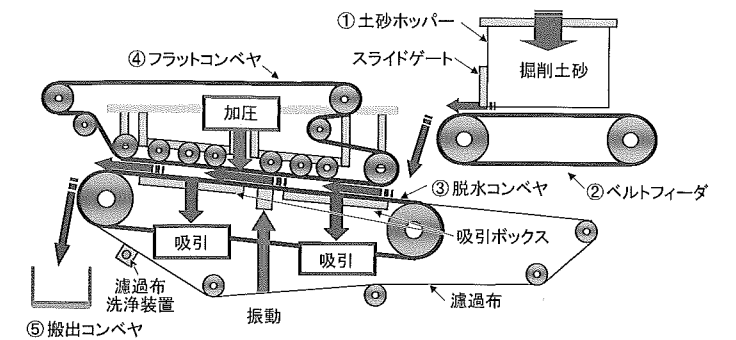


図-9 脱水ベルコン概要図

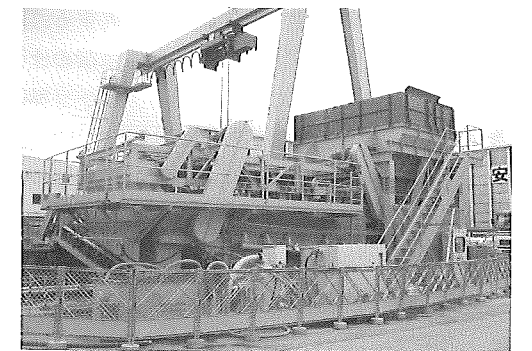


写真-6 脱水ベルコン全景

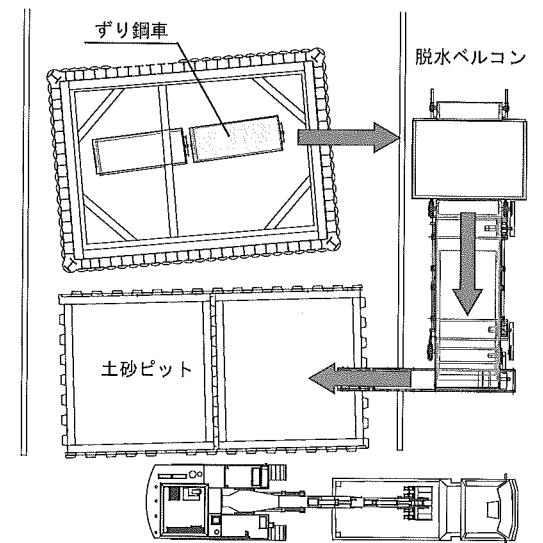


図-10 脱水ベルコン現場配置図

より脱水コンベヤに運搬され、脱水コンベヤでの運搬中に真空吸引により土砂中の水分が吸引される。このとき、脱水効果を高めるために土砂はフラットコンベヤにより上部から押さえつけられ、脱水された土砂は搬出コンベヤにより排出される。

脱水コンベヤは水分の吸引のため、ベルトに等間隔でφ15の穴が開いており、その裏側に吸引ボックスを設置している。また、水分を吸引する際に、同時に土砂を吸引することがないように、脱水コンベヤのベルト上には濾過布を設置している。濾過布はベルトとともに回転し、土砂の目詰まりによる吸引効果の低減を防止するため、洗浄装置を備えている。

脱水ベルコンの現場配置図を図-10に示す。門形クレーンにて立坑より吊上げたずり鋼車を土砂ホッパー上で転倒させて掘削土砂を投入する。脱水ベルコンにより改質された土砂は、隣接の土砂ピットに排出する。

5-3 効果確認試験の概要

脱水ベルコンの現場適用に先立ち、実機を想定した試作ベルトを用いた室内実験を実施し、その結果から脱水ベルコンの必要能力を決定した。脱水の効果は、脱水後のコーン指数200kN/m²を目標として定め、それに伴う改質材の低減量などについて検証した。現場適用にあたっては、まず吸引時間や運搬土砂の層厚などを変化させたパラメータ試験を行い、脱水効果を確認した。その後、現場施工サイクル内に脱水ベルコンを組込み、連続状態での脱水効果の確認を行った。

5-4 効果確認試験の結果

脱水ベルコンを使用して土砂ピットに排出した状況を写真-7に、掘削土砂を改質せずに土砂ピットに排出した状況を写真-8に示す。脱水ベルコンを使用した掘削土砂は、山状に堆積しており改質の効果を確認できた。

連続運転実施時のリングごとのコーン指数の増加量の一例を図-11に示す。コーン指数に着目すると、脱水前のコーン指数の平均値が200kN/m²を下回っていたのに対して、脱水後のコーン指数の平均値は200kN/m²を越えており、脱水ベルコンの効果が確認された。

また、脱水後のコーン指数と脱水ベルコンを使用せずに改質材を添加した場合のコーン指数の比較を図-12に示す。脱水ベルコンによる脱水後のコーン指数は改質材(天然高分子系固化剤)を1.0

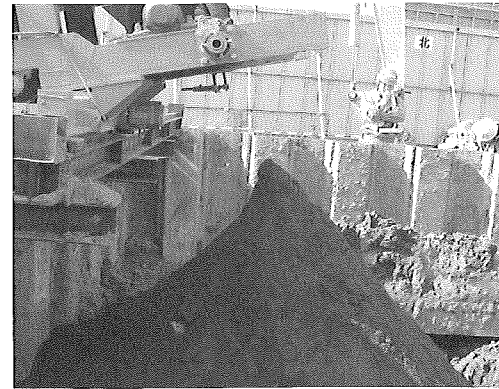


写真-7 脱水ベルコン使用後の排土状況



写真-8 脱水ベルコン未使用の排土状況

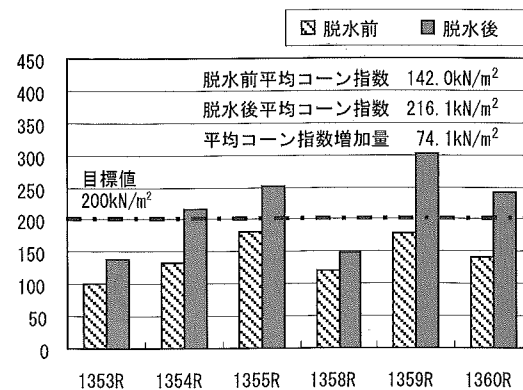


図-11 脱水ベルコン使用前後のコーン指数

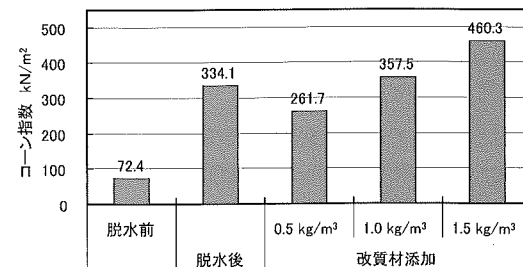


図-12 脱水ベルコンと改質材の効果比較

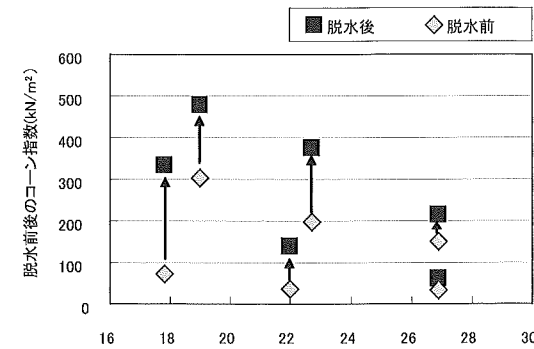


図-13 細粒分含有率と脱水前後のコーン指数

kg/m³添加した場合とほぼ同等であった。

掘削土砂の細粒分含有率と脱水ベルコン使用前後の含水比を図-13に示す。これより、細粒分含有率が小さいほど、脱水ベルコンの効果が大きいことがわかる。一方、細粒分含有率が大きな領域では、コーン指数の増加量が小さいことから、脱水ベルコンには土砂による適用範囲があると考えられる。

5-5 施工実績および今後の課題

脱水ベルコンの適用によりコーン指数は増加するが、土質によっては目標コーン指数を確保するために、改質材を補助的に併用する必要があった。しかし、改質材の総使用量は21,000kg(掘削土砂1m³あたり0.8kg)であり、改質材のみで対応する当初計画に対して35%の使用量であった。掘削土

砂の多い大断面シールドや長距離シールドでは、設備費の割合が小さいため経済効果が期待できると考えられる。ただし、細粒分が多く含まれる土砂に対しては相対的に改質効果が小さく、土質条件を考慮したうえで現場適用の判断が必要であるとともに、脱水ベルコンの適用土質拡大が今後の課題として考えられる。

6 おわりに

本稿では、崩壊性の高い砂質土において、空港施設下を安全に掘進した施工実績および掘削土砂をおもに吸引により改質する技術を現場適用した結果について報告した。シールド工事において、地盤変位抑制と掘削土砂処分は主要な課題であり、当現場では、従来からの対策を確実に実施するとともに、一部に新技術を導入することで良好な施工結果を得ることができたと考えている。本稿で報告した内容が、類似現場の参考となれば幸いである。

参考文献

- 1) 小西ほか：泥土圧シールドにおけるチャンバー内の土砂管理技術の実施工への適用、土木学会第61回年次学術講演会講演概要集, p.6-102, 2006.9.

『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、本誌編集委員会が審査のうえ決定します。
 4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
 5. 原稿は、原則として返却いたしません。
(注:「現場だより」の投稿は受け付けておりません)
- 送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係
 〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
 電話 (03) 3267-2888(代)

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL

アンダーパス技術協会
第4回定時総会開催

アンダーパス技術協会は6月19日アルカディア市ヶ谷(東京)で定時総会を開催した。

植村誠会長のあいさつではじまり、平成20年度事業報告・決算報告、平成21年度事業計画・予算を審議し、満場一致で承認された。

国土技術開発賞の表彰

国土技術研究センターと沿岸技術研究センターが共催する第11回国土技術開発賞が6月26日発表された。

五洋建設などが開発した沈埋トンネルにおける最終継手省略工法「キーエレメント工法」ほか1件が最優秀賞に選ばれた。

その他、優秀賞2件、入賞5件が発表されたほか、創設11回を迎えたことを機に、独自の建設技術の活用・応用を通じて地域の課題解決に貢献した技術を対象に創設された「地域貢献技術賞」に4件が選ばれた。

鍛高トンネル貫通

東日本高速道路が整備する北海道横断自動車道鍛高トンネルで、6月13日貫通式が行われた。

同トンネルは延長2,383m、幅員9.5mのNATMトンネル。

白山トンネルが貫通

新潟県が整備する主要地方道柏崎高浜堀之内線白山トンネル(延長282m、全幅9.0m)が貫通し、6月17日貫通式を迎えた。

同道は柏崎市大字宮川を起点とし、地方拠点都市長岡市を經由し魚沼市堀之内に至る広域幹線道路であり、長岡市街地から一般国道17号を通り、中越大地震で大きな被害を受けた長岡市蓬平、山古志方面へ至る最短経

路となる。長岡市濁沢町地内は、線形不良および幅員狭小箇所が多く、車両のすれ違いが困難であるため、円滑・安全な通行の確保が急務とされており、県では同トンネルを含め約640mの整備を進めていた。

国道45号中野バイパス
大牛内トンネルが着工
岩泉トンネルでは貫通式

東北地整が整備する三陸縦貫道路中野バイパスにおいて、6月25日、大牛内トンネルで安全祈願祭が、7月7日には岩泉トンネルで貫通式が実施された。

同バイパス区間には三つのトンネルが計画されており、大牛内トンネルは幅員9.5m、延長345mのNATMトンネルで、同バイパスにおける最後の主要構造物の着工となる。また、岩泉トンネルは、幅員9.5m、延長1,986mのNATMトンネルで同バイパスに位置する三つのトンネルの中では最長となる。もうひとつのトンネルである岩泉長内トンネル(延長301m)は一昨年貫通を終えている。

同バイパスは、宮古市と久慈市を結ぶ延長約90kmの「三陸北縦貫道路」の一部で、岩泉町小本から田野畑村大芦を結ぶ6.2kmの自動車専用道路。岩泉町中野坂の線形不良解消、隘路解消はもとより地域間交流の拡大、地域経済の発展・活性化、安全確実な交通の確保などの効果が期待されており、平成22年度の開通を予定している。

夢咲トンネルの開通日決定

大阪府は7月1日、夢洲と咲洲を結ぶ夢咲トンネルが平成21年8月1日(土)17時に開通すると発表した。

同トンネルは、臨海部の骨格となる幹線道路網を構成し、夢洲と咲洲を直接連絡する道路で、スーパー中

枢港湾の中核となる夢洲コンテナ埠頭や、臨海部物流拠点へのアクセス道路として、円滑な交通処理の実現に寄与することを目的に建設された。

開通により、咲洲、舞洲や在来臨海部の工場、物流倉庫などの土地利用の利便性が高まり、これら地域の業務・商業施設やスポーツ・レクリエーション施設についても、大阪市内や関西圏の各地域からくる市民や観光客のアクセスが改善され、回遊性も増すことから、地域全体の活性化につながるものと期待されている。

同道路部は、国土交通省の直轄事業において建設されたが、管理は大阪府が国土交通省から受託する。

原宿交差点の交通環境が
大幅改善

関東地整は、今年4月4日に開通した国道1号原宿交差点東京方向(上り線)トンネルの開通1か月の整備効果を発表した。

同発表によると、①国道1号をつかい藤沢から原宿交差点を通過し東京方向へいたる5km区間の通過時間が46分(H18調査)から15分(1か月後調査)へと31分短縮した、②原宿交差点での混雑の減少に伴い並行道路の交通量が11%減少した、③国道1号の渋滞解消により渋滞損失額が年間約30億円減少した、などの効果が確認された。

同交差点は、国道1号と横浜環状4号の交差点で、その前後に横浜新道、新湘南BPがあるなど多様な交通が集中することから渋滞が発生していた。改良事業では、交差点前後の830m区間をアンダーパスにより立体化(国道1号が地下化)し円滑な交通を確保することを目指している。

現在は、藤沢方向(下り線)トンネルの平成22年完成を目指して整備を進めている。

2009年版

業

界

案

内

目次

| | |
|----------|-----|
| コンサルタント業 | II |
| 建設業 | III |
| 建設機械業 | V |
| 建設資材業 | VI |

掲載内容の説明

| 会社名 | |
|--|--------|
| 代表者名 | および 役職 |
| 業務内容、取扱商品名 など | |
| 問い合わせ先 所在地 TEL : (XXX)XXX-XXXX FAX : (YYY)YYY-YYYY E-mail : XYZ@ZZZ.jp URL http://www.ZZZ.jp | |

【コンサルタント業】

株式会社 演算工房

代表取締役 林 稔

建設分野における情報化施工システムの開発・販売。主にトンネル工事(山岳・都市)での施工管理(測量・計測)システムを手がけている。現在、トンネル以外の土木工事全般に適用可能な情報化施工システムの開発を目指している。

問い合わせ先: 京都本社 営業部
〒604-0847 京都府京都市中京区秋野々町535番地 日土地京都ビル4階
TEL: 075-213-7200 FAX: 075-213-7201
E-mail: info@enzan-k.com
URL <http://www.enzan-k.com>

川崎地質 株式会社

代表取締役社長 肉藤 正

建設コンサルタント 16-9
地質および土質調査, 土質・岩石・水質試験, レーダ探査, 検層, コンクリート劣化診断, 設計(道路, トンネル), 環境(土壌・地下水汚染など), 測量, 海洋調査, 工事(地すべり・法面对策), 情報処理

問い合わせ先: 本社 技術本部
〒108-8337 東京都港区三田2-11-15
TEL: 03-5445-2077 FAX: 03-5445-2093
E-mail: post-master@kge.co.jp
URL <http://www.kge.co.jp>

国際航業 株式会社

代表取締役社長 中原 修

空間情報サービス
地質調査/海洋調査
建設コンサルタント

問い合わせ先: 技術センター
〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1
TEL: 042-307-7110 FAX: 042-330-1031
E-mail: naoki_muto@kkc.co.jp
URL <http://www.kkc.co.jp>

メトロ開発 株式会社

代表取締役社長 矢萩 秀一

●都市トンネルの調査・設計・施工管理●近接施工の設計・計測管理●建設資機材の販売リース●建築・設備の設計・施工管理●IPH(内圧充填接合補強)システムの施工●流動化処理土(Mソイル), 建設汚泥改質材(Mハード)の製造・販売

問い合わせ先: 技術営業課
〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11番9号
TEL: 03-5847-7807 FAX: 03-5847-7825
E-mail: horikoshi@metro-dev.co.jp
URL <http://www.metro-dev.co.jp>

株式会社 ロード・エンジニアリング

代表取締役 清水 洋

道路, 道路構造物, 付帯設備の調査, 設計, 施工管理およびトンネル点検・調査・補修設計, とくにトンネルに関する部門を完備

問い合わせ先: 本社
〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-24-7 冠ビル
TEL: 03-3891-0711 FAX: 03-3891-0701
E-mail: info@road-eng.co.jp

【建設業】

株式会社 大林組

取締役社長 白石 達

国内外建設工事, 地域開発・都市開発・海洋開発・環境整備・その他建設に関する事業, およびこれらに関するエンジニアリング・マネージメント・コンサルティング業務の受託, 不動産事業ほか

問い合わせ先: 東京本社 土木本部生産技術本部
〒108-8502 東京都港区港南2-15-2品川インターシティB棟
TEL: 03-5769-1301 FAX: 03-5769-1970

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

木部建設 株式会社

代表取締役社長 木部 信敏

総合建設業, 専門トンネル工事, 都市土木工事

トンネル専門工事業協会員

問い合わせ先: 本社 建設本部工務部
〒180-0005 東京都武蔵野市御殿山1丁目6番10号
TEL: 0422-48-7221 FAX: 0422-47-6967
E-mail: s.oouchi@kibekensetsu.co.jp
URL <http://www.kibekensetsu.co.jp>

株式会社 熊谷組

代表取締役社長 大田 弘

総合建設業

問い合わせ先: 土木事業本部
〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1
TEL: 03-3260-2111 FAX: 03-5261-7590
E-mail: info@ku.kumagaigumi.co.jp
URL <http://www.kumagaigumi.co.jp>

新日本開発 株式会社

グループ代表取締役 箕井 伸

トンネル補助工法(パイプルーフ, マイクロパイル, AGF工法, DIP工法ほか), 各種杭工事, 注入工事, 地盤改良工事, 地すべり対策工事(集水井, 水抜き工, アンカー工), 地質調査業, 構造物補修補強工, ウォーターハンマー工法

問い合わせ先: 土木部
〒550-0012 大阪市西区立売堀2丁目4番19号
TEL: 06-6543-1175 FAX: 06-6543-1170
E-mail: info@njd.co.jp
URL <http://www.njd.co.jp>

成和リニューアルワークス 株式会社

代表取締役社長 西野 誠二

シールド掘進機/泥水・濁水処理装置/各種クレーン/吹付ロボット/法面舗装設備/各種型枠
地中連続壁工事/法面グラウト工事/シールド工事
地盤改良工事/環境・リニューアル工事・耐震補強工事(PHb)

問い合わせ先: 本社 技術営業部
〒160-0023 東京都新宿区西新宿1-8-1新宿ビルディング7階
TEL: 03-5326-0713 FAX: 03-5326-0726
E-mail: aal52320@nyc.odn.ne.jp
URL <http://www.seiwarw.co.jp>

大豊建設 株式会社

代表取締役 水島 久尾

総合建設業

問い合わせ先: 土木本部土木第一営業部
〒104-8289 東京都中央区新川1-24-4
TEL: 03-3297-7007 FAX: 03-3551-4005

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

株式会社 竹中土木

取締役社長 竹中 康一

総合建設業

問い合わせ先: 技術・生産本部
〒136-8570 東京都江東区新砂1-1-1
TEL: 03-6810-6215 FAX: 03-6660-6304
E-mail: webmaster@takenaka-doboku.co.jp
URL <http://www.takenaka-doboku.co.jp>

飛島建設 株式会社
 代表取締役社長 篠部 正博
 総合建設業

問い合わせ先：土木事業本部 土木技術部
 〒102-8332 東京都千代田区三番町2番地
 TEL：03-5214-7083

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

日本基礎技術 株式会社
 代表取締役社長 中原 巖

トンネル補助工事、地盤汚染対策工事、ダムグラウチング工事、斜面安定工事、地すべり対策工事、地盤改良工事

問い合わせ先：東京本社 技術本部技術部
 〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町15番17号
 TEL：03-3476-5701 FAX：03-3476-4551
 E-mail：etsurou_imabayashi@jafec.co.jp
 URL <http://www.jafec.co.jp/>

吉岡建設 株式会社
 代表取締役社長 吉岡 隆一

建設業
 土木工事施工(トンネル・シールド・ダムほか)

問い合わせ先：工事部
 〒569-1136 大阪府高槻市郡家新町41番2号
 TEL：072-681-1861 FAX：072-681-1866
 E-mail：yoshiokakensetsu@e-yoshioka.com
 URL <http://www.e-yoshioka.com/>

【建設機械業】

カヤバシステムマシナリー 株式会社
 代表取締役社長 羽生田信良

自由断面トンネル掘削機：ブームヘッダー(RH-10J, RH-250-MB-SL, RH-8J, RH-3J), ミゼットマイナー(MM-90, MM-49), ブームカッターシールド(BCS), シャフトヘッダー(SH-37)

問い合わせ先：本社 営業統轄部 営業2部
 〒105-0012 東京都港区芝大門2-5-5 住友不動産芝大門ビル
 TEL：03-5733-9444 FAX：03-5733-9506

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

ケンサンリース 株式会社
 代表取締役社長 晴披 保

トンネル工事、シールド工用各種機械、資材のレンタルおよび販売
 主な取扱い機械：バッテリーロコ、ズリトロ、各種運搬台車、コンクリート関連機械、レール、分岐、ジャンボ、送風機、集塵機、フリッカー装置、ほか

問い合わせ先：本社
 〒171-0022 東京都豊島区南池袋3-13-15
 TEL：03-5396-9331 FAX：03-5396-9333
 E-mail：l.kensan@oregano.ocn.ne.jp
 URL <http://www9.ocn.ne.jp/~l.kensan/>

鉦研工業 株式会社
 代表取締役社長 末永 幸彦

- 各種ボーリング・グラウト機器製造販売
- 地下開発のコンサルティング・エンジニアリング・工事施工
- 環境事業
- 地下開発の海外事業

問い合わせ先：国内営業本部
 〒171-8572 東京都豊島区高田2丁目17番22号
 TEL：03-6907-7511 FAX：03-6907-7521
 E-mail：info@koken-boring.co.jp
 URL <http://www.koken-boring.co.jp>

サンドビックマイニングアンドコンストラクションジャパン 株式会社
 取締役事業部長 松本 啓志

ジャンボ、ブレーカ、ロックツール、ロードホウルダンプ、ダンプトラック、ロードヘッダー、ツインヘッダー、さく孔具、モバイルクラッシャー&スクリーン、ほか

問い合わせ先：セールスサポート部
 〒222-0033 横浜市港北区新横浜2-15-12 共立新横浜ビル6階
 TEL：045-478-0662 FAX：045-478-0661
 E-mail：mayuko.yoshida@sandvik.com
 URL <http://www.miningandconstruction.sandvik.com/jp/>

古河ロックドリル 株式会社
 代表取締役社長 猿橋 三郎

トンネルドリルジャンボ/クローラドリル(油圧・空圧)/油圧ブレーカ/油圧圧砕機・油圧鉄骨カッター/コンクリート吹付機/電動式坑内積込機/スロットドリル/インパクトオーガドリル/ハンドドリル・レグドリル/ハンドブレーカ/ビット・ロッド

問い合わせ先：本社 特機部
 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町二丁目3番14号
 TEL：03-3231-6966 FAX：03-3231-6993

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

ヤマモトロックマシン 株式会社
 代表取締役 山本 勝俊

油圧・空圧さく岩機、ドリフター、油圧・空圧クローラドリル、アタッチドリル、法面せん孔機、ドリルジャンボ、401・301・101ロックボルトせん孔機、立坑せん孔機、石材せん孔機、油圧割岩機、静的破砕剤、熔融炉開孔機、関連機器。

問い合わせ先：東京営業部
 〒100-0005 東京都千代田区丸の内3-2-3 富士ビル713区
 TEL：03-3201-0701 FAX：03-3201-5702
 E-mail：tokyo@yrm.co.jp
 URL <http://www.yrm.co.jp>

【建設資材業】

カヤク・ジャパン 株式会社

代表取締役社長 山本 茂樹

産業用火薬類の製造・販売、危険性評価試験
 含水爆薬(アルテックス, ランデックス)
 ダイナマイト, アンホ爆薬, 導爆線
 電子雷管, 導火管付き雷管(アイデット)
 電子雷管(EDD), 発破器, テスター

問い合わせ先: 営業本部
 〒130-0015 東京都墨田区横網1-6-1(国際ファッションセンタービル9F)
 TEL: 03-5637-0901 FAX: 03-5637-0940
 E-mail: danger.kj@kayakujapan.co.jp
 URL: http://www.kayakujapan.co.jp/

太平洋マテリアル 株式会社

代表取締役社長 安西 幸男

ひびわれ低減剤: クラックセイバー
 ひびわれ低減用ネット: ハイパーネット60
 膨張材: 太平洋ハイパーエクспан
 地盤注入材: アロフィクス・スーパーハード
 裏込め材: 太平洋フォルトカバー

問い合わせ先: 営業本部 高機能建材営業部
 〒135-0064 東京都江東区青海2-43 青海フロンティアビル15F
 TEL: 03-5500-7510 FAX: 03-5500-7542
 E-mail: post-koukinou@taiheiyu-m.co.jp
 URL: http://www.taiheiyu-m.co.jp

合資会社 日高商会

代表 川守田政臣

(ドリフター用さく孔ツール類製造販売)
 シャンクロッド, 中継ロッド, カップリング, ビット
 (長尺先受工法用ツール類製造販売)
 AGF工法用鋼管, さく孔用ビットNSXビット, フェースボルト用鋼管, その他特殊工具類

問い合わせ先: 営業部
 〒103-0023 東京都中央区日本橋本町4-14-2 ミマツビル102
 TEL: 03-3663-0561 FAX: 03-3667-5443
 E-mail: info@nikko-shokai.com
 URL: http://www.nikko-shokai.com

研究

山岳トンネルの地下水情報化施工

パシフィックコンサルタンツ(株)大阪本社交通技術部部长 安田 亨

1 はじめに

トンネル工事に関する地下水の課題は、施工面では大量湧水に伴う切羽崩落やトンネル排水の処理、および安全に施工するための地下水対策工の検討などがある。また、周辺環境面では地下水排水に伴う周辺水環境への影響、既設水源に及ぼす地下水低下影響があげられ、これらの自然環境保全はトンネル工事にかかわる重要課題である。

こうした地下水にかかわる課題を評価する方法として地下水解析法が採用されるが、3次元浸透流解析や修正タンクモデル法などに代表される既往の地下水解析は、ある規模の地盤モデルの作成が必要となること、また、演算性能が向上したとしても解析時間やデータ処理などの労力が必要となる^{1)~4)}。すなわち、地下水解析に関しては、実際のトンネル掘削工事中的実績データによる逆解析や検証解析は、変形解析などに比べて実施されたケースは少なく、従来はほとんど事前評価に始終している場合が多い。ましてやトンネル掘削進行に応じて、施工中の実績データを反映した影響評価を行うことは現状の解析ツールを用いても相当の困難を伴うことになる。

しかしながら、図-1に示すように、近年の環境問題に対する意識の高揚や、アカウンタビリティの観点から、施工中においても地下水情報を用いたマネジメント手法を導入する必要

性が急速に高まっている。

これらの背景を受けて、大西らは3次元浸透流解析を用いて山岳トンネルの情報化施工手法を提案している^{5),6)}。この結果は施工中のデータをフィードバックし、予測評価をくり返ししながら適正な施工法を選定するマネジメント手法を確立したといえる。しかし一方で、上述のとおり予測評価解析には多大の労力を費やし、迅速に結果を得ることは至っていない。

以上より、ここではトンネル周辺の水環境保全やトンネル工事の地下水問題について、迅速かつ簡便に予測する評価法(SWING法: System on Water Information of Groundと呼ぶ)を提案する^{7),8)}。以下に、水循環系を考慮しつつ、経済的、合理的な施工を目的として開発したSWING法の内容、それに関する解析法の開発、ならびに評価手法について述べる。

SWING法の開発の背景として、施工時の湧水

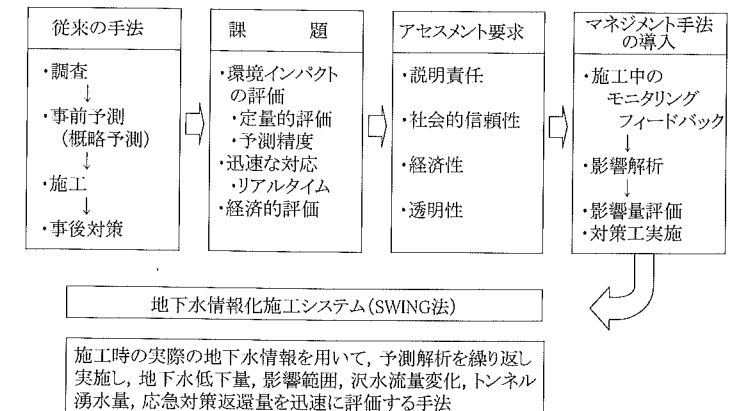


図-1 地下水情報化施工システムの位置づけ

対策, および周辺水環境問題に対して, 次の基本方針を満足できる地下水解析が必要とされていた.

- 従来の水文学的方法では, 施工後の恒常湧水量や湧水影響範囲の予測は可能であるが, 工事中の施工実績による修正が困難であり, 湧水対策水量などの水量的な評価ができない. これを補う予測評価法であること, かつ工事実績が迅速にフィードバックできる解析法であること.
- 水循環系の要素であるトンネル湧水や表流水などの水量的な評価が可能なシステムであること. 従来の地下水解析は工事実績や水量的な評価を必要な精度を持って行うことが可能であるが, 地盤モデルが複雑になることやパラメータ自体が煩雑となり, 随時工事に適合させて予測評価を行うためには, ある程度の解析期間が必要になる. これを補って迅速, かつ数量的な評価が可能な解析方法であること.
- 可能な限り工事実績をもとにした精度のあるトンネル湧水予測, ならびに湧水予測評価を行う必要性が高く, この評価結果をもとに工事中においても周辺水環境への具体的な保全

対応を行うことが可能な解析方法であること.
 • 施工完了後においても, トンネルの維持管理段階において湧水対策, 湧水返還などのマネジメント要求に応えられる解析方法であること.

これらの要件を満足する手法として開発したSWING法の概念を図-2に示す. 事前予測, 施工中のフィードバックと予測, 完成後の維持管理段階への活用などの概念を示している.

2 SWING法による水収支解析モデル

SWING法は, 浸透流解析や修正タンクモデルなどに代表される地盤モデルを用いた数値解析法ではなく, 実際のトンネル掘削により発生した湧水量をもとに, トンネル進行距離, 例えば50mを単位スライスボリュームとしてモデル化し, このスライスボリューム内において水理式を適用して透水係数や有効間隙率を求める. さらに実績から得られた水理定数をもとに, スライスボリュームにおける地下水位低下範囲や低下量, および沢水減少量を求めるという方法である. このSWINGシステムの概念を図-3に示す. 入力データは, 地

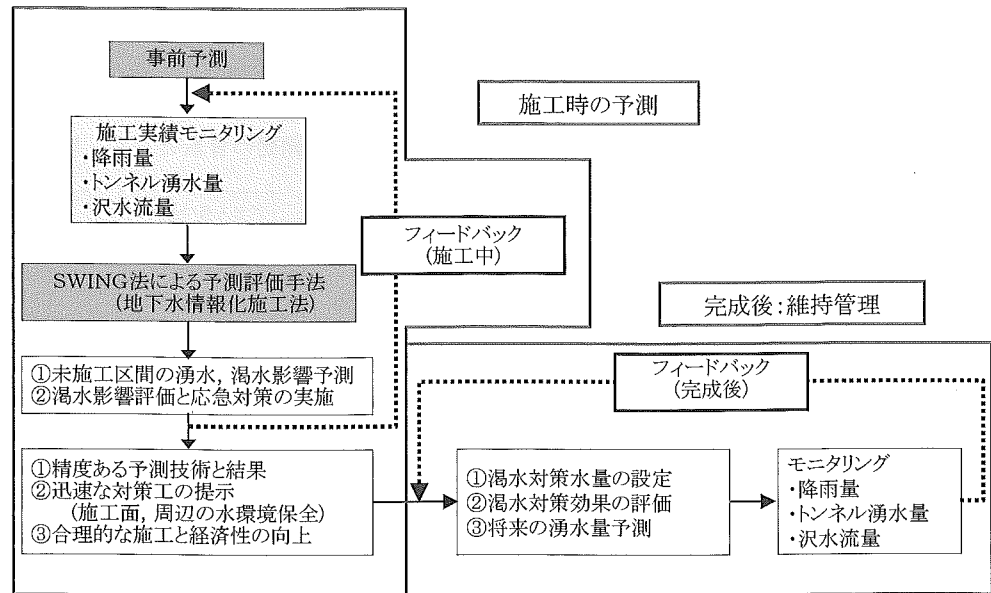


図-2 地下水情報化施工の全体像(SWINGの活用)

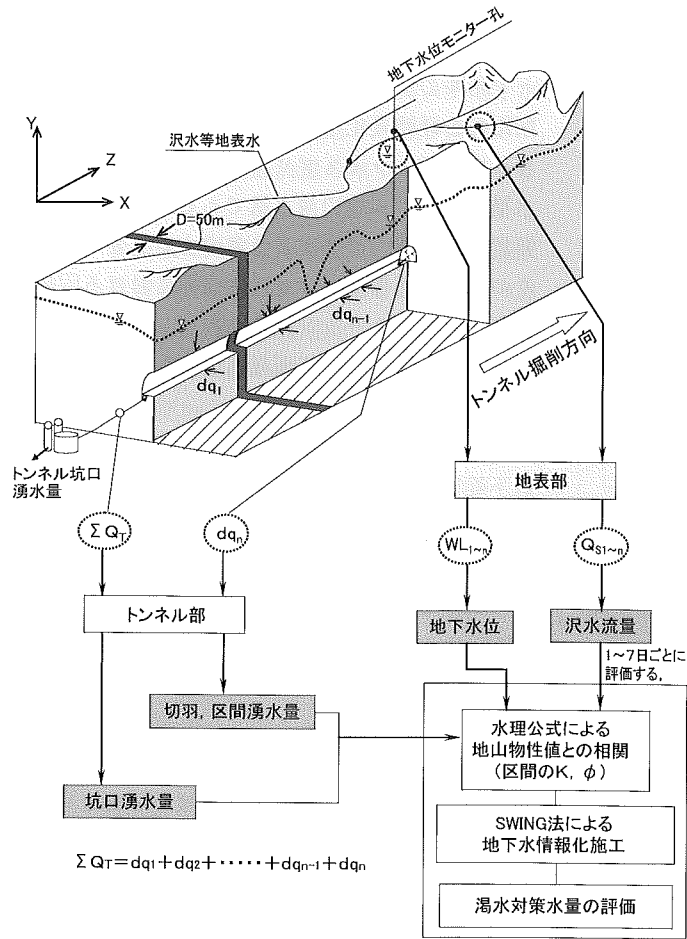


図-3 SWINGシステムの概念(入出力データ)

表およびトンネルの水文データ, および地山パラメータであり, いずれも施工中においてモニタリングされる実データを活用するものである.

本研究の場合, 着工前の入力値はトンネル縦断における弾性波速度, 比抵抗値などの物理探査結果からトンネル縦断方向における水理地質区分を設定し, その初期設定をもとにSWING法を適用して予測し, 進捗に合わせて施工実績から既施工区間の見直し, 未施工区間の予測をくり返し行った. 本研究において示す解析事例では入力データの修正を含めてトンネル湧水, 地下水位低下範囲, 沢水減少量について2~3時間程度で既施工区間の同定と未施工区間の予測評価を行っている. このように簡便な手法であることから, 切羽における水抜きボーリングの実績を迅速に取り込み, 本

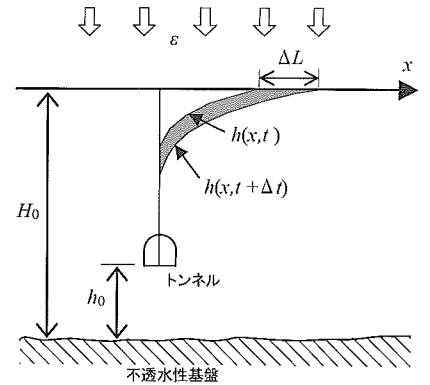


図-4 単位スライスボリュームにおけるトンネル

坑掘削時の湧水やそれに伴う湧水影響予測を即座に行うことも可能である.

以下にSWING法における各水収支要素の算定式を示す.

2-1 トンネル湧水量と地下水位低下量の算定

通常, 掘削に伴うトンネル湧水の基本的な性質や発生した場合の地下水流動メカニズムを捉えるために1次元非定常流を考える. すなわち, 水平不透水性基盤上の帯水層中に, 地盤サイズに比べて十分小さい径のトンネルを設けたものと仮定する. 初期水位 H_0 が

一定である地下水位は, 掘削後の経過時間とともにトンネル直上から徐々に低下する. SWING法ではDupuitの準一様流解析に置き換える. 図-4に示すとおり, 降雨浸透量 ϵ を伴う帯水層は初期 $t=0$ では地下水位は水平であると仮定すると, $t=0$ における地下水面はDupuitの準一様流の式(1)から求められる.

$$\frac{(h^2 - h_0^2)}{(H_0^2 - h_0^2)} = \frac{x}{L}$$

$$q = k \frac{(H_0^2 - h_0^2)}{2L} \quad (1)$$

ここに,
 k : 地盤の透水係数
 h : 地下水位
 h_0 : 不透水性基盤からトンネル底盤までの距

離

H_0 : 初期地下水位

q : 単位スライスボリュームのトンネル湧水量

L : 単位スライスボリューム内で発生する地下水低下区間

また、 $t=t+dt$ 後には図-5に示す水位低下域の水量は、トンネル湧水量 q に等しいことから、 dt 間の地下水低下区間の増加を dL とすると式(2)が成立する。

$$qdt = k \frac{(H_0^2 - h_0^2)}{2L} dt$$

$$= \lambda e \frac{(H_0 - h_0)}{3} dL + \varepsilon L dt \quad (2)$$

ここに、

λe : 有効空隙率

ε : 降雨浸透率

さらに t で積分すると下式(3)に示すとおりとなる。

$$q(t) = \frac{k(H_0^2 - h_0^2)}{2L(t)}$$

$$= \frac{k(H_0^2 - h_0^2)}{2 \left[\frac{k(H_0^2 - h_0^2)}{2\varepsilon} \{1 - e^{-\varepsilon t / \lambda e (H_0 - h_0)}\} \right]^{1/2}} \quad (3)$$

したがって、各スライスボリューム内における

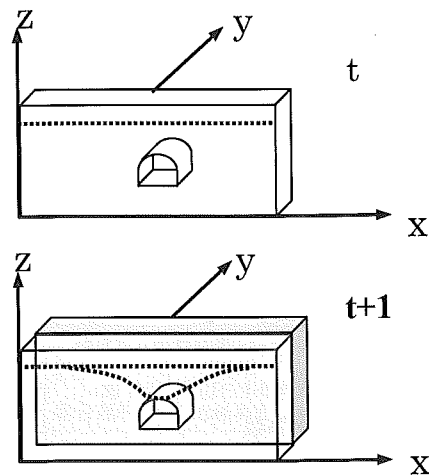


図-5 トンネル進捗に伴う単位スライス

トンネル湧水量の低減特性が計算できることになる。すなわち、SWING法は、図-5に示すとおり、トンネルの進行にあわせて掘削スライスごとに掘削距離を経時変化パラメータとして順次算出する。さらに、各スライスボリュームにおける積算した水量はトンネル坑口湧水量である。ここで水循環要素として降雨浸透率 ε を考慮する必要がある。この降雨浸透率については地表部における限界貯留高、およびホートン流出を再現した1次元タンクモデルを適用し、降雨量に応じた降雨浸透率を採用する。

一方、トンネル湧水に伴って地下水低下量や低下範囲は拡大するが、スライスごとに式(3)に示した水理式から求めることができる。トンネル湧水量は周辺地山の地下水や地質と密接な関係を持つわけであり、トンネル湧水の経時変動や降雨応答はきわめて重要な地山情報のひとつである。

2-2 表流水への影響評価

ここではSWING法における表流水への影響量の算定手順を示す。いま、図-6に示す谷地形における基底流量を考える。通常、基底流量は流域における地下水流出量と同意であるから、表流水の内基底流量は谷地形の形状から式(4)に示す不貫通井戸や開渠の水理公式で近似される。

$$S_p(t) = \frac{\pi K (H_A^2 - h^2)}{\ln(R/r)} \cdot \frac{\theta}{360} \cdot \frac{1}{A} \quad (4)$$

ここに、

θ : 流域開口角

A : 流域面積

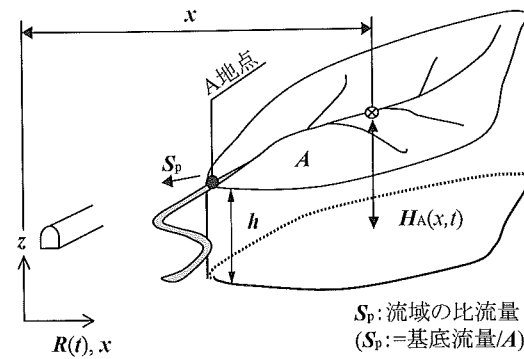


図-6 トンネル進捗に伴う単位スライス

R : 流域幅

r : 平均河道幅

したがって、トンネル掘削の影響による地下水低下は、流域内の地下水位低下に置き換えられ、その低下量を用いて基底流量の減少が算定できることになる。

なお、表流水は降雨に伴う変動が著しく、基底流量への影響が直接現地調査における表流水の流量と異なるため、流量観測地点ごとにタンクモデルを結合し、基底流量の減少に伴う表流水本来のハイドログラフから流量変動を求める。

3 SWING法によるトンネル湧水、地下水位、表流水の変動解析

ここで取り上げた解析事例は、道路トンネルである。ルート付近の地形は、風化浸食の進んだ緩やかな傾斜を持つ山地斜面であり、山裾部は丘陵地や扇状地などが分布する。地質は、古生代石炭期中期～中生代ジュラ紀後期の粘板岩、頁岩、砂岩、チャートなどであり、粘板岩と砂岩は互層形態を呈し、断層幅数m～20m程度の断層破碎帯が数箇所分布していた。

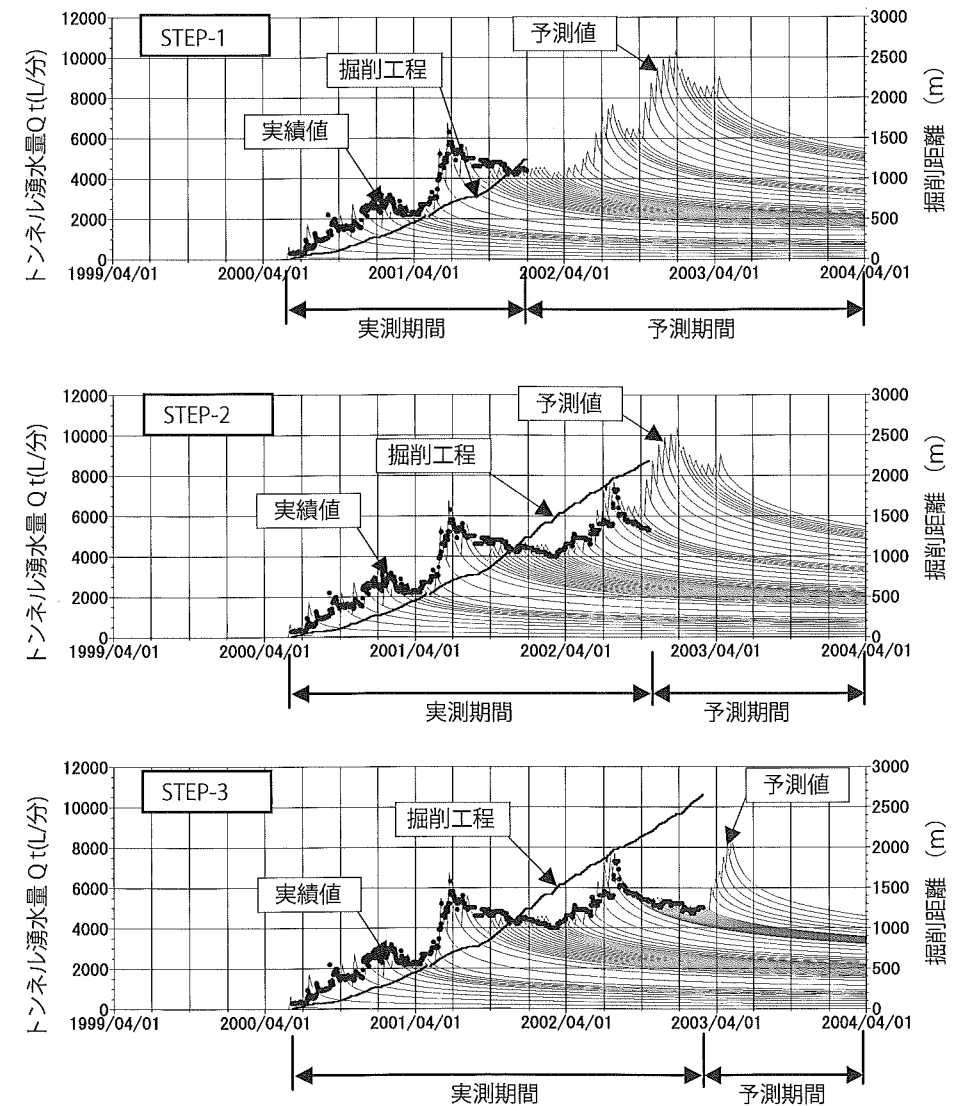


図-7 トンネル進捗に伴う実績値との検証(STEP-1～3)

3-1 トンネル湧水量の変動解析結果

トンネル進捗に伴うトンネル湧水について、実績値とSWING法による予測値を対比して図-7に示す。同図は施工中における工事の進行距離とトンネル湧水量であり、実績値は坑口湧水量である。多数の重なりで表現した湧水量は、SWING法による予測値であり、各スライスボリュームにおける区間湧水量とそれらを積算した坑口湧水量である。各掘削ステップ(STEP-1~3)における工事進捗に伴う既施工区間の実績値との検証、および同時に未施工間の予測結果を示し、各ステップにおける検証結果に伴い、順次未施工区間の予測結果の推移が確認できる。すなわち、SWING法は施工実績をもとにして未施工区間を予測している。STEP-1は、掘削開始から1年後の検証を行ったうえで、トンネルルートの水理定数を想定した場合に相当し、STEP-2,3は各々トンネル工事が進行しているケースである。

さらに、トンネル貫通後における将来的な湧水量の推移を図-8に示す。施工時に集中湧水が発生した区間やトンネル全体の湧水量、貫通後の減衰傾向が予測されている。なお、貫通後の降雨条件は実際には未経験であるので、図-8に示すように実際に経験した2000年から貫通までの施工中の降雨をくり返すことで条件入力している。

また、同図にはSWING法の特徴であるトンネル湧水に関する坑口湧水量、区間湧水量(①~③)の区間湧水量の時系列変化として表示について、掘削開始以降の経時変化として表示している。

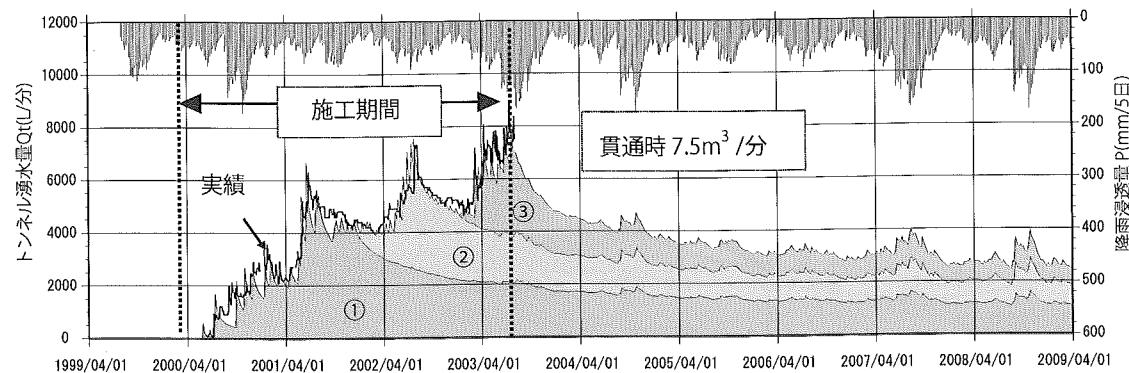


図-8 SWING法によるトンネル湧水量の予測

また、実際のトンネル工事における坑口湧水量を検証データとして、図中に点線として、坑内における区間湧水量の合計を重ねて表示している。実際のトンネル工事では進行とともに順次吹付けや覆工が実施されるため、区間湧水量の時系列変化が計測できないことが多いが、SWING法を援用することで、坑口湧水量と区間湧水量との相関が評価可能となる。すなわち坑口湧水量との検証を行うだけで、区間湧水量の時系列変化を再現することができるようになる。

3-2 地下水位、表流水の変動解析結果

ここではSWING法における湧水影響評価の一例を示す。地下水位、および表流水の流量とも予測結果と実績値を対比して示している。図-9にはトンネルルート近傍に設置されていた2か所の観測孔における地下水位である。両地点ともSWING法による予測値と実績値を対比して示している。同図によれば、地下水位の低下開始時期、および、トンネル切羽の通過後における影響水位は比較的合致した結果となっている。

図-10には同様に沢水流量の低下量を示している。ともに実績値と対比して示している。沢水流量の場合、一般的に、地下水位変化に比べて降雨応答が顕著であり、著しく変動しながらトンネル掘削の影響が現れる。とくに、降雨が少なくなった時期に影響が明瞭に現れてくる。同図によれば、SWING法による予測結果、および実績値とも2003年4月付近から影響が現れていることが認められる。

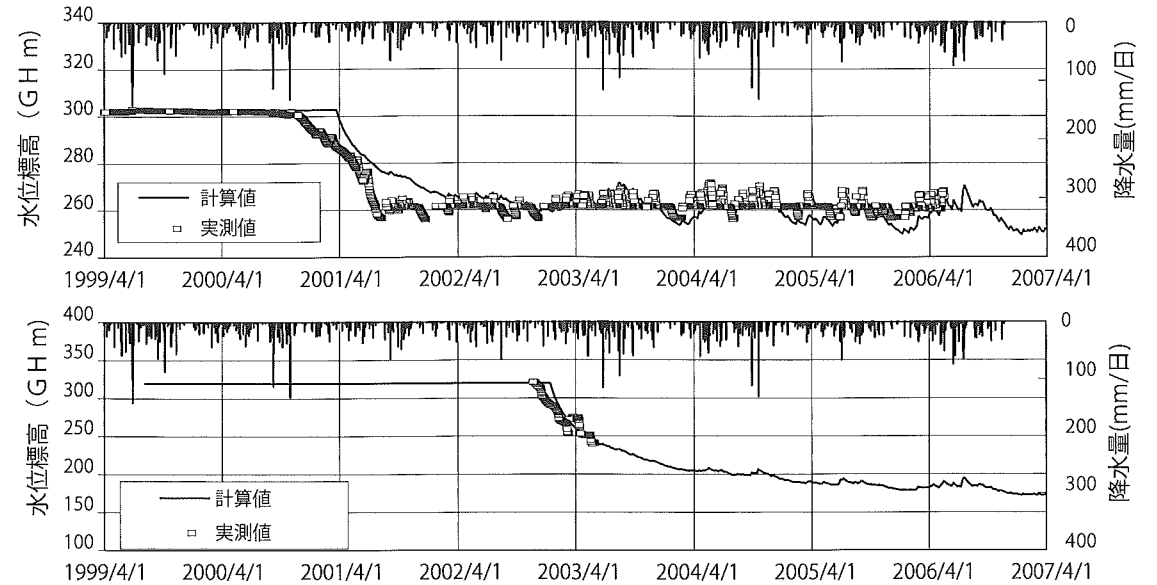


図-9 トンネル進捗に伴う地下水位の変動予測

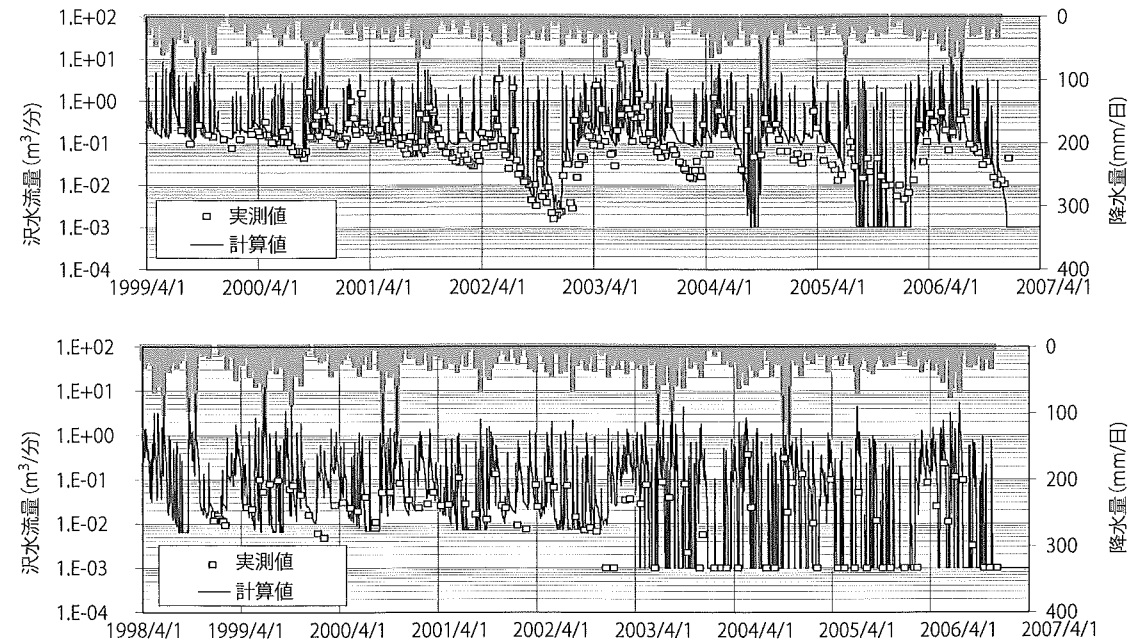


図-10 トンネル進捗に伴う沢水流量の減少予測

なお、これらのモニタリング地点は、SWING法におけるスライス座標系の任意地点の予測結果であり、この解析事例ではトンネル周辺に設置した観測地点のうち、2か所について示しているが、実際のシステムは、多数の実測地点を網羅している。

3-3 トンネル貫通後の湧水管理

前述のとおり、工事期間におけるSWING法によるトンネル湧水量の推移は、実際の工事区間中の実績値に近似し、SWING法の有効性が認められた。

一方、本トンネルには、掘削による影響(地下

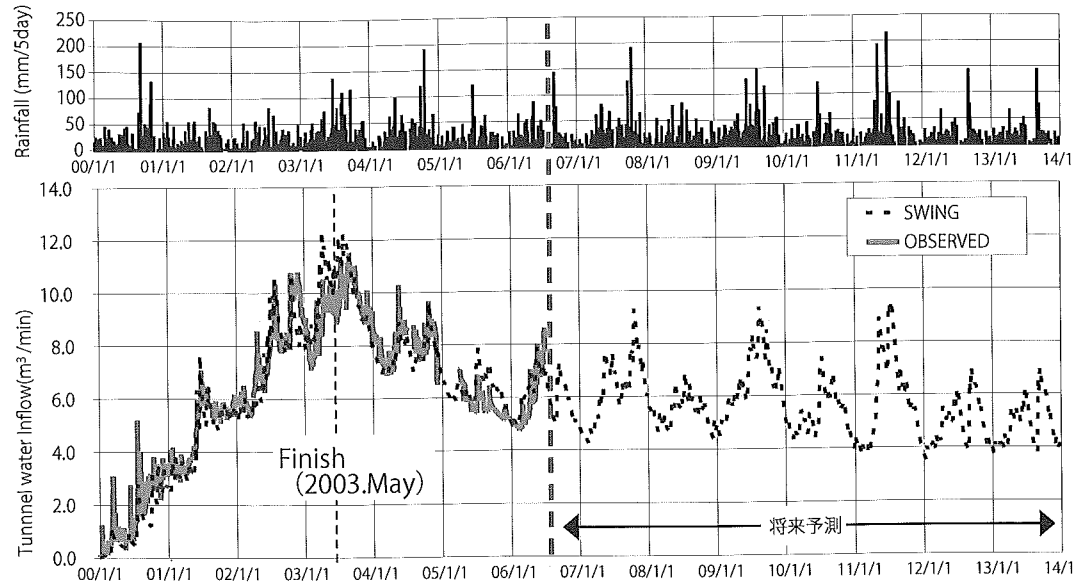


図-11 トンネル恒常湧水量の将来予測

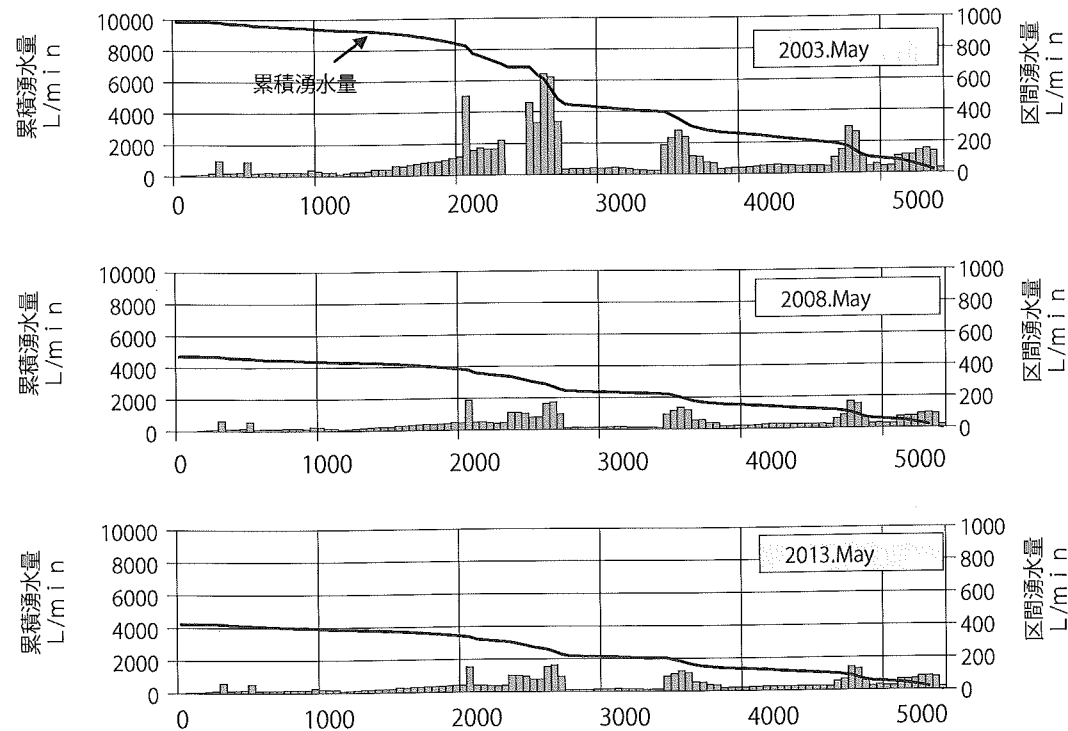


図-12 トンネル貫通後の区間湧水量の予測

水位の低下、沢水流量の減少)に対して、施工中に発生した多量の湧水の再利用計画が考えられていた。
すなわち、再利用の立場から、トンネル貫通後

の湧水管理として、とくに、利用可能水量や配水施設の維持管理において、貫通後のトンネル湧水量の経年変動を捉える必要性からSWING法による将来の湧水予測を行った。

表-1 トンネル工事におけるSWING法の活用法

| トンネル工事 | SWING法の適用範囲と内容 |
|-------------|--|
| ①調査ステージ | <input type="checkbox"/> トンネル湧水、地下水位、沢水流量などのデータを統合的に評価した事前影響予測を行う。 <input type="checkbox"/> 影響予測では、従来の数値解析のような複雑なモデルは使用しない、簡易な水理式を適用することから、比較的短期間で予測評価ができる。 <input type="checkbox"/> 主な予測評価指標は、以下の項目である。 <ul style="list-style-type: none"> ・トンネル進捗に伴う湧水量 ・トンネル進捗に伴う沢水影響量、地下水位低下量 |
| ②設計ステージ | <input type="checkbox"/> 設計の基本であるトンネル縦断における地山区分と整合した地下水情報の出力を行う。 <ul style="list-style-type: none"> ・集中湧水、トンネル区間湧水 ・湧水に関する補助工法の要否、対策区間、対策規模 <input type="checkbox"/> トンネル施工計画に合わせて、周辺の水環境への影響評価を行う。 <ul style="list-style-type: none"> ・トンネル掘削に伴う湧水影響評価(切羽位置と湧水物件、影響量) ・湧水問題に対する対応を含めた設計 ・湧水対策工の要否、対策効果 |
| ③施工ステージ | <input type="checkbox"/> 施工実績のフィードバック トンネル掘削距離に応じて、予測区間と実績区間を入れ換えることから、常に実績値との検証を行い、掘削区間50~100mごとに実績を組み込んだ未施工区間の予測を行う。 <ul style="list-style-type: none"> ・地山区分の見直しに伴う湧水予測 ・水抜きボーリングなどの補助工法の要否 ・坑口湧水の動向と排水処理能力の評価 <input type="checkbox"/> 周辺水環境への影響評価 トンネル本體工事だけでなく、周辺に及ぼす湧水影響についても同じレベルで予測する。すなわち、実際に発生している影響を認識することができ、適切な湧水対策工の検討を行う。 <input type="checkbox"/> 評価精度の向上 迅速、かつ容易に工事実績を取り込むことから、未施工区間における地山の地下水挙動の予測評価精度が向上する。すなわち、施工が進むほど精度向上が図られる自己学習型システムである。 |
| ④完成後の管理ステージ | <input type="checkbox"/> 施工管理ステージの延長として、施工実績を完全に取り込んだシステムを用いて、完成後の湧水管理や降雨条件を置換することから完成後の影響評価を行う。 <ul style="list-style-type: none"> ・トンネル湧水利用時の湧水量管理 ・完成後の湧水影響管理 ・完成後のモニタリング地点の縮減 |

図-11は貫通後におけるSWING法による湧水管理の一環として、坑口湧水量の現況把握と同時に将来予測を示している。当然ながら将来の降雨条件は予測できないことから、既往の降雨条件をSWINGシステムに組み込み、湧水年や豊水年における降雨条件を数ケース試行することで、トンネル坑口湧水量の変動幅、あるいは最低値、最大値等々の統計量を事前に把握している。

さらに、図-12には坑口湧水量を算定するデータである各スライスボリュームにおける50m区間の区間湧水量と累積湧水量(=坑口湧水量)を示している。

同図によれば、貫通時にTD2,000~3,000m区間の湧水量が急激に減少し、結果的に坑口湧水量が減衰していることが認められている。

一般的に、本トンネルのような道路トンネルでは完成後においては、区間湧水量の観測は困難である。SWING法では施工中の実績値により、各区間の施工履歴が反映されていることから、完成後の区間湧水量の信頼性も確保されている。

4 トンネル工事におけるSWING法の活用法

本章では、前述のトンネル事例を勘案したうえで、他トンネルへの援用を含めて、SWING法の活用法を表-1にとりまとめて示した。

5 おわりに

SWING法の適用により、水環境系を考慮した工事の進捗に応じた地下水挙動評価と施工実績に

合致した最終的な影響評価を検証できていることから、この解析法が十分実用的な解析法に位置づけられると考えている。

一般的に、トンネルでは工事前に地山の安定性、透水性を見きわめることは困難なため、地下水にかかわるトラブルが余儀なくされる事例が多い。こうした課題に対して、施工途上におけるトンネルの坑内外で発生した地下水や地表水の挙動を観察、計測し、迅速に設計・施工に反映させることが可能なSWING法が、今後、重要な役割を担うことになるものと考えている。従来の浸透流解析などの地下水解析は、工事開始前の事前評価として多用され、工事開始以降は、予測結果との整合性を議論することはあっても、解析所要時間などの関係から掘削実績を再評価するまでには至らないケースが多い。これに対してSWING法は、利便性を挙げれば、簡便に掘削実績を組み入れることが可能であり、掘削実績をもとに周辺の水環境問題や経済的、かつ施工に有益な地下水評価が可能であり、施工面、周辺環境面を考慮したきめ細かい評価が可能な解析法である。

参考文献

- 1) 佐藤邦明：山岳トンネル地下水のモデル化とシミュレーション手法の応用，応用地質，Vol.23, No.3, pp.50-56, 1982.
- 2) (社)日本トンネル技術協会：トンネル湧水調査法に関する調査研究報告書，p.128, 1990.
- 3) 大西・田中・安田・高橋：トンネル掘削の周辺地盤地下水に及ぼす影響の評価(その2)，第32回地盤工学研究発表会，p.32, 1997.
- 4) Ohnishi, Y., Ohtsu, H., Yasuda, T., Takahashi, K. : Assessment of Influence in Ground Water Surroundings at Urban Tunnels, Proc. ITA. World Tunnel Congress '98, pp.489-494, 1998.
- 5) 西岡・高橋・安田・大西・大津：トンネル工事における環境保全に配慮した地下水情報化施工，材料，Vol.52, No.5, 2003.5.
- 6) Ohnishi, Y., Ohtsu, H., Nishioka, K., Yasuda, T., Takahashi, K. : Observational Method for Tunnel Construction in Difficult Conditions Considering Environmental Impact to Ground-water, ITA World Congress 2005.
- 7) 安田・高橋・大津・大西：山岳トンネルにおける地下水情報化施工法の提案，第59回土木学会年次学術講演会，2004.10.
- 8) Ohnishi, Y., Ohtsu, H., Yasuda, T., Takahashi, K. : Research of Observational Method on Ground-water in the Tunnel Excavation Using the SWING Method, ITA World Congress 2006.

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ご配慮のほどお願い致します。なお、応募方法の詳細につきましては47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)

連載講座

沈埋トンネル(4)

—耐震設計—

「沈埋トンネル」連載講座小委員会

日本シビックコンサルタント(株)地盤構造ソリューション部長 岡田 一郎

はじめに

沈埋トンネルは、比較的軟弱な地盤に設置されることやトンネル規模が大きいことから、耐震設計の必要性に関する認識度は高く、1969年に建設が開始された東京港トンネルの事例では、既にトンネル縦断方向を対象として動的解析法を用いた耐震設計が実施されている¹⁾。

それ以降の沈埋トンネルでも、トンネルの重要性に鑑み、動的解析法による地震応答解析を基本とした耐震設計が行われている。また、多くの沈埋トンネルの耐震設計において、設計用の入力地震動として、近距離中規模地震と遠距離大規模地震の2種類が考慮されており、現在でいうレベル1、レベル2(プレート境界型の地震)に相当するような入力地震動がとり入れられている。このような耐震設計の流れは、現在でも受け継がれており、兵庫県南部地震以降は、内陸直下型のレベル2地震動をも考慮したものとなっている。

一方、沈埋トンネルの構造は、沈埋函が従来のRC構造から防水鋼板を構造部材とする合成構造へと合理化が図られたり、可撓性継手についてもレベル2のような大地震に対して、断面力の軽減や変位吸収能力を高めた構造が開発されるなどの発展を遂げてきている。

ここでは、従来からの耐震設計の考え方・やり方に加え、沈埋トンネルに関する最近の耐震設計

の動向について紹介することとする。

① 耐震設計の概要

沈埋トンネルの耐震設計は、主として沈埋トンネルを構成する沈埋函本体と、函体同士や函体と換気立坑を結ぶ継手構造の耐震性の照査を目的として行うものである。その設計手法は、他の地中線状構造物と同様に、地震時の挙動が周辺地盤の動きに追従するとした応答変位法である。ただし、沈埋トンネルの場合には、次のような特長を有していることから、静的な応答変位法ではなく動的解析法によって詳細に応答値を求め耐震性照査に用いることが多い。

- ① 道路や鉄道用のトンネルとして用いられ、被災した場合の社会的影響が大きい。
- ② 周辺地盤が軟弱地盤であることが多く、地震時に生じる地盤変位が大きい。
- ③ トンネル縦断方向に沿って地震時に断面力

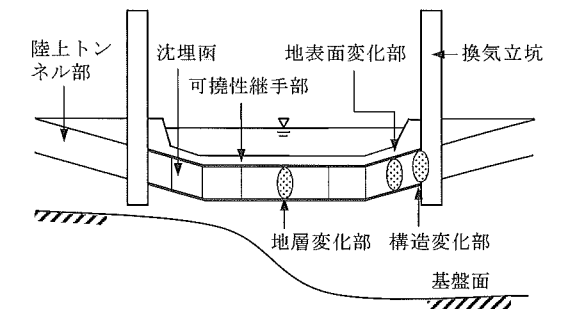


図-1 地震時における断面力集中箇所

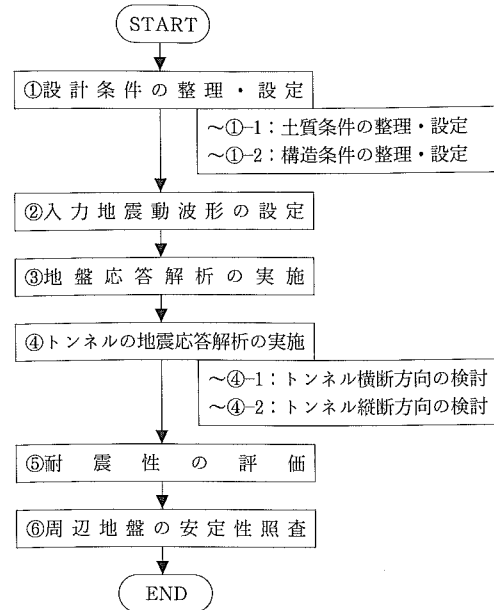


図-2 耐震設計の概略フロー

の集中が予想される箇所(図-1参照)を有している。

④ 温度変化や地震時の発生断面力低減を目的として可撓性継手が設置される(地震時の変形が集中するため、止水性の確保が重要)。

とくに、沈埋トンネルの耐震設計では、上記の③、④の事項に対する応答値の算出や照査が重要となる。したがって、地震応答解析の実施に際しては、地層変化や構造変化による影響を適切に評価できる構造モデルを採用するのがよい。

具体的に耐震設計を行う際の手順をフローとして図-2に示す。次章からは、図-2のフローに沿って各項目の概要について述べることにする。

② 設計条件の整理・設定

耐震設計を実施するにあたり、最初に行うことは、土質条件および構造条件の把握と設計に用いるための物性値の整理・設定である。その概要を以下に示す。

2-1 土質条件の整理・設定

土質条件の整理・設定は、沈埋トンネルの計画位置周辺で実施された既往の地質調査結果をもとに、トンネル縦断方向の地層分布の作成・把握、

設計に用いる動的な物性値や工学的基盤面の設定を行うものである。

まず、トンネル縦断方向の地層分布を把握し、計画路線下での地層急変箇所の有無を確認する。

次に、各地層ごとに動的な物性値の設定を行うが、耐震設計に用いられる主な物性値は、 N 値、単位体積重量、せん断弾性波速度、動的変形特性および動的強度特性である。これらの物性値の設定は、標準貫入試験、PS検層やくり返し三軸試験の結果を整理して行う。ただし、せん断弾性波速度や動的変形特性が得られていない場合には、 N 値や既存の特性曲線から推定する方法²⁾もある。

工学的基盤面の設定は、準拠する基準・指針に示される事項によることを基本とするが、重要なことは、「それ以深での力学的性質が大幅に変化しない地層の上面」とすることである。

2-2 構造条件の整理・設定

構造条件の整理・設定では、沈埋トンネルを構成する沈埋函本体の構造断面諸元、可撓性継手の構造部材と構造特性を把握するとともに、設計に用いる力学モデルの設定を行う。

沈埋函本体の構造は、主として鉄筋コンクリート方式と合成構造方式(外側の鋼板とコンクリートをずれ止めで一体とし、鋼板も構造部材と期待する構造方式)であるが、これらの構造方式の特長を踏まえ、トンネル断面を構成する上床版、下床版、側壁、中壁の材料特性をモデル化する。とくに、レベル2地震動を対象とした地震応答解析では、応答値が塑性域に及ぶため非線形性を考慮した材料特性の設定が必要となる。たとえば、図-3に示すような鉄筋コンクリート部材の曲げモーメントと曲率の非線形特性である。

トンネル横断方向の地震応答解析では、部材の諸元ごとにこのようなモデル化を行う必要があるため、事前に各部材の断面諸元と材料特性を設定しておく必要がある。

可撓性継手部の耐震設計は、トンネル縦断方向の地震応答解析によって行うが、その解析におけるモデル化は、可撓性継手を構成する部材を対象として設定する必要がある。可撓性継手の構造に

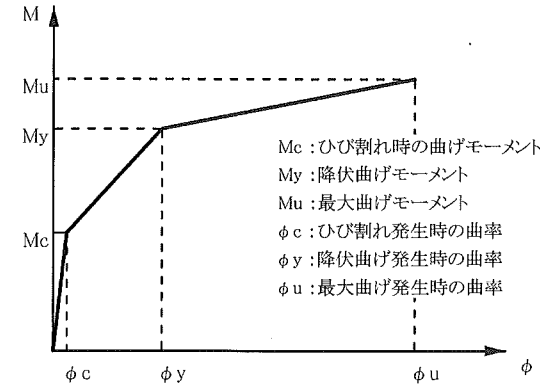
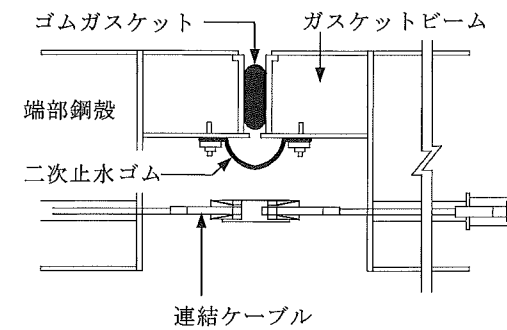
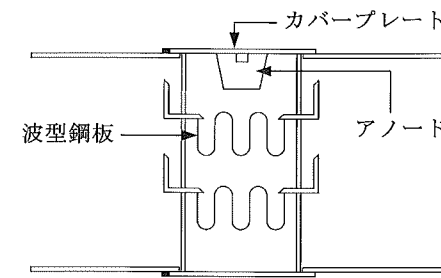


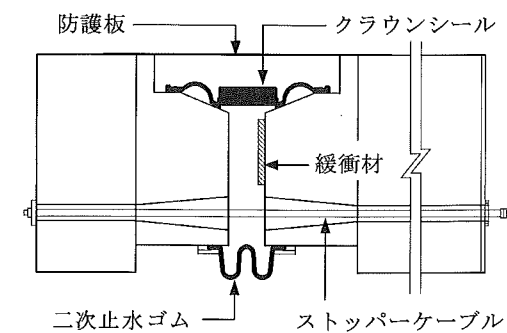
図-3 曲げと曲率の非線形特性の概念図



[ゴムガスケットと連結ケーブルの継手構造]



[波型鋼板による継手構造]



[クラウンシール式の継手構造]

図-4 各種の可撓性継手構造概要図

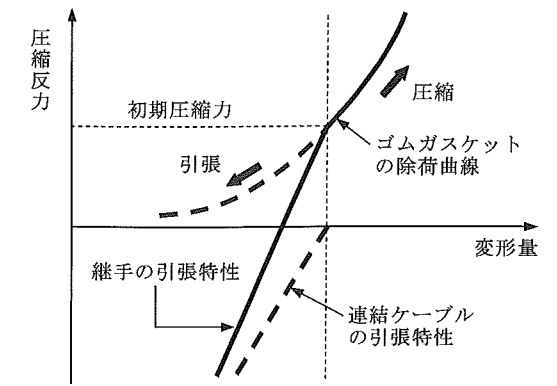


図-5 従来型可撓性継手の引張特性の模式図

は、ゴムガスケットとPC鋼棒で構成される従来型の継手構造のものや、最近では、波型鋼板による継手構造³⁾やクラウンシール式継手⁴⁾が採用されている(図-4参照)。

図-4にそれらの構造概要図を示すが、解析におけるモデル化は、圧縮特性や引張特性、また必要に応じてせん断特性が表現できるように設定を行う。図-5には、従来型の可撓性継手の引張特性を参考として示す。

③ 入力地震動波形の設定

沈埋トンネルの耐震設計では、後述する地盤応答解析やトンネル縦断方向の地震応答解析で地震動波形を入射した動的解析を行う。そのため、入力地震動波形が必要となるが、これには準拠する設計指針・基準類に規定されている入力地震動にもとづく波形を用いるのが基本となる。

他の地中線状構造物と同様に、沈埋トンネルを対象とした場合でも、レベル1、レベル2といった強度の異なる2種類の地震動が、耐震設計用の入力地震動として設定される。このうち、レベル2地震動については、建設地点近傍に活断層の存在が確認されている場合、その断層の震源特性、伝播経路特性、サイト特性を考慮して、半経験的・経験的グリーン関数法を用いて強震波形を作成する方法が示されているものもある⁵⁾。

なお、延長が1 km以上となる沈埋トンネルでは、トンネル縦断方向の地震応答解析を行う際の入力地震動の作用条件として、水平方向の波動伝

播効果を考慮することがある。工学的基盤面で地震波が見掛け上伝播するとし、伝播速度に応じて地震波を入射する方法である。その伝播速度としては、既往の文献⁶⁾をもとに1,000m/sとして地震応答解析に適用した例が多い。

④ 地盤応答解析の実施

4-1 地盤の応答解析法

土は、地震動のようなくり返しせん断振動を受けると、発生するひずみレベルに応じて強度が低下し、減衰が大きくなること(図-6参照)が既往の実験などにより明らかとされている。応答変位法や動的解析法といった地震応答解析では、このような土の動的変形特性を考慮したうえで、地震時における地盤の低下剛性値やひずみ、変位などを求め解析に用いている。

その地震時における地盤の低下剛性値などの応答値は、地層の硬軟や分布状態によって異なり、トンネルに作用する地震荷重あるいは支持条件として、トンネルの地震時応答に直接的に影響を及ぼすこととなる。したがって、沈埋トンネルを対象とした耐震設計では、多くの場合、地盤の応答解析を実施して、詳細に地震時の地盤定数を求める方法を採用している。

地盤の応答解析手法は、有効応力解析法と全応力解析法の二つに大別されるが、沈埋トンネルを対象とした地震応答解析では、現在のところ、プログラム「SHAKE」に代表される全応力解析法(等価線形化法でモデル化)によって行われる例が多い。これは、使用実績も多く実務設計上取り扱いが容易な点や、一般的に、全応力解析による応答値の方が有効応力解析よりも大きめであり、設計上安全側の結果を与える場合が多いとされていることによるためである。

しかし、等価線形化法による全応力解析では、レベル2のような強震動を対象とした場合、ひずみレベルが土の破壊に至るような1%を超える結果となることも少なくない。このような状態に対しては、有効応力解析あるいは全応力解析でもRamberg-Osgoodモデル(図-7参照)などの逐次

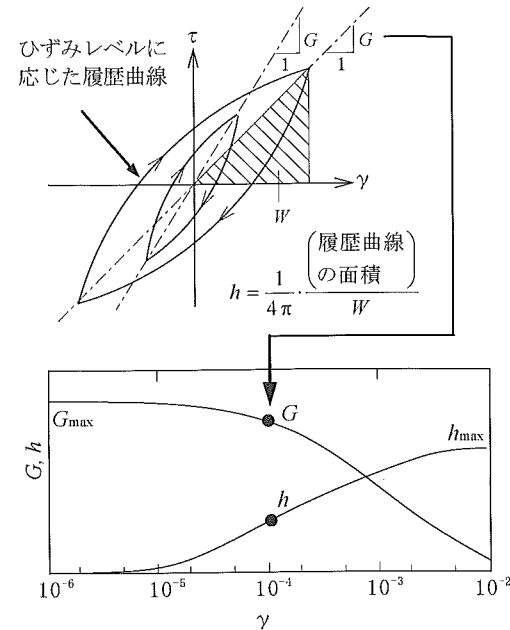


図-6 土の動的変形特性の概念図

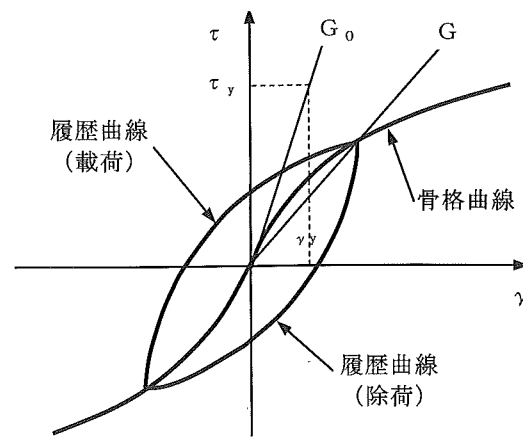


図-7 R-Oモデルの応力-ひずみ曲線

応答解析によって地盤変位などを算出することが望ましいとされている。

4-2 地震荷重の設定

地盤応答解析の結果は、地震時における地盤の低下剛性値の算出だけでなく、地震荷重の設定にも利用される。たとえば、以下に示すようなトンネル横断方向の地震応答解析に用いられる地震荷重である。

- ① トンネル上下端に作用する地盤の変位荷重
- ② トンネル周面に作用するせん断力
- ③ 躯体慣性力、地盤慣性力

4-3 地盤ばね定数の設定

トンネル横断方向の地震応答解析として静的な応答変位法を用いる場合には、トンネル周辺地盤をばねとしてモデル化する。また、トンネル縦断方向の地震応答解析においても、トンネルや換気立坑を支持する地盤をばねでモデル化する。このように、トンネルの地震応答解析では、そのモデル化に地盤ばねを用いることが多いが、地盤ばねを設定する際の地盤定数には、地盤応答解析の結果より得られた低下剛性値を用いる必要がある。

なお、地盤ばねの算出方法としては、①地盤反力係数から求める方法、②トンネルと周辺地盤を静的な2次元有限要素モデルでモデル化し、トンネルに単位の強制変位を与えた場合の反力をもとに、 $K=P/\delta$ として算出する方法⁷⁾などがある。

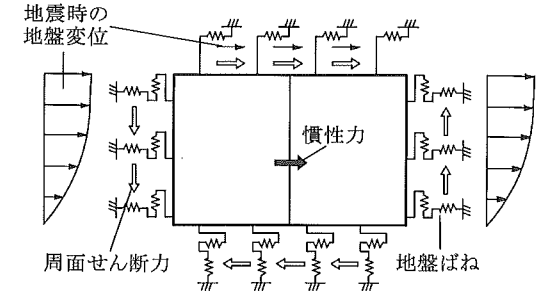


図-8 応答変位法の概念図

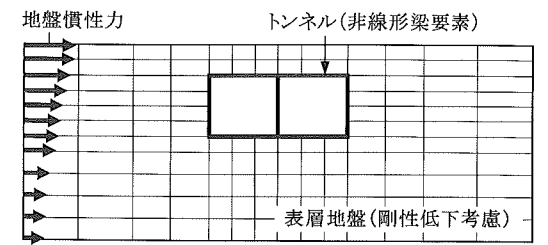


図-9 応答震度法の概念図

⑤ トンネル横断方向の地震応答解析

トンネル横断方向の構造部材の耐震性照査は、地震時に発生する断面力に対して行うが、この地震時発生断面力は、常時荷重状態で生じる断面力を初期状態とし、これに地震荷重によって生じる地震時増分断面力を考慮したもとなる。

その地震荷重によってトンネルの各構造部材に発生する地震時増分断面力(および変形量)の算出を目的としたものが、トンネル横断方向の地震応答解析である。解析の手法には、地震荷重を静的に作用させて解析する静的解析法と、表層地盤とトンネル構造部材を有限要素モデルでモデル化し、基盤面に設計用の地震動波形を入射して行う動的解析法がある。それらの概要を以下に示す。

なお、解析の実施に際しては、トンネル縦断線形に沿っていくつかの検討断面を設定する必要があるが、その選定・設定は、地震荷重が支配的となるような周辺地盤の状態や代表的な構造断面形状を考慮して行う。

5-1 応答変位法

応答変位法は、地震時における表層地盤の応答値をもとにトンネル上下端での最大相対変位や周面せん断力などを設定し、これらの地震荷重を地

盤ばねで支持された梁モデルに作用させて行う静的解析法である。トンネル横断方向の解析手法として事例の多い手法である。解析に要する時間は短い、モデルを作成するまでの諸定数の設定に手間がかかることや、有限要素法解析と異なり地盤とトンネルとの相互作用が考慮できないといった短所がある。

5-2 応答震度法

表層地盤とトンネル構造部材を2次元の静的な有限要素モデルでモデル化し、地盤要素に慣性力(応答加速度×地盤要素の質量)を静的に作用させてトンネル部材の変形や断面力を算出する方法である。作用させる慣性力や地盤定数には、地盤応答解析の結果より得られた値を用いる。

応答変位法に比較し、解析モデルの作成に手間がかからないことや地盤ばねを設定する必要がないこと、横断方向の地層変化の影響が考慮できるといった利点がある。

5-3 動的有限要素法

表層地盤とトンネル構造部材を2次元の有限要素モデルでモデル化し、基盤面に地震動波形を入射して行う動的解析(時刻歴応答解析)法である。トンネルと周辺地盤との動的相互作用が考慮できる長所があるものの、解析に時間を要するといっ

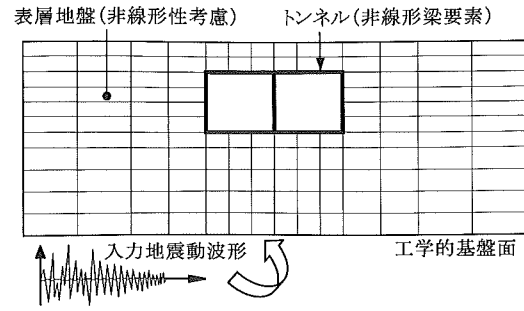


図-10 動的有限要素法概念図

た短所もある。

トンネル横断方向の地震応答解析にいずれの方法を用いるかは、構造物の形状や周辺の地盤・地層条件状態などを検討したうえで設計者が判断することとなる。

⑥ トンネル縦断方向の地震応答解析

トンネル縦断方向の地震応答解析は、地震荷重によって沈埋函本体および継手構造部材に発生する断面力や変形量の算出を目的として行う。

地震応答解析の方法は、基本的に表層地盤の地層変化や立坑と沈埋トンネルとの接合部といった構造変化箇所における応答性の違いが、適切に評価できる動的解析法(時刻歴応答解析法)とする。その動的解析モデル全体の概念図(多質点系モデルの場合)を図-11に示すが、この図をもとにモデル化と解析の手順を表すと図-12のようになる。

図-12に示した手順に沿い各項目の概要を以下に述べることとする。

6-1 表層地盤の地震応答解析

図-12に示したように表層地盤の地震応答解析の方法には、多質点系モデルと動的有限要素法による解析の2種類がある。その概要を表-1, 2に示す。

長大なトンネル構造全体を対象範囲とする縦断方向の解析では、従来、有限要素法による解析よりも多質点系モデルによる解析の方が多かった。しかし、最近では計算機とソフトの発達により、動的有限要素法による解析が以前より手軽になってきたこと、地盤の非線形性を等価線形モデルや

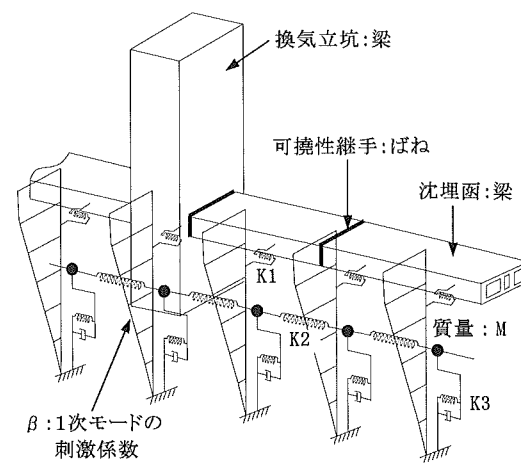


図-11 動的解析モデル(多質点系モデル)概念図

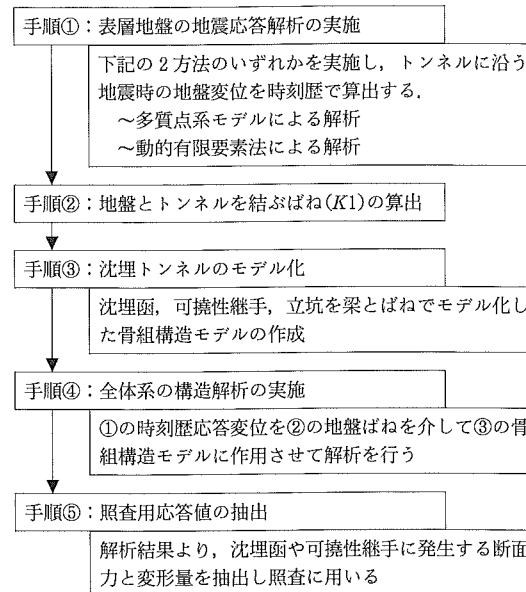


図-12 トンネル縦断方向の解析手順

R-Oなどの非線形履歴モデルとして考慮しやすいという利点があることなどから、トンネル縦断方向を動的有限要素法による解析で行うケースが増えてきている。

6-2 地盤とトンネルを結ぶばねの算出

表層地盤の地震応答解析によって得られたトンネル深度における時刻歴応答変位は、地盤とトンネルを結ぶばねを介してトンネル構造部材に入力する。その際の地盤とトンネルを結ぶばねの算出は、トンネルと表層地盤を2次元あるいは3次元の有限要素モデルでモデル化し(地盤定数には地

表-1 多質点系モデルによる解析の概要

| | |
|----|--|
| 概要 | 表層地盤を縦断方向に分割し、分割した土柱を1質点系の振動モデルに置換する。これをトンネル軸に沿って連結して表層地盤全体の振動モデルとする(図-11参照)。地震動波形を基盤に入力して各質点の応答から、トンネル深度における応答変位を時刻歴で求める。 |
| 長所 | 地表面や地層変化の影響が考慮できる。解析時間は動的有限要素法に比較して短い。 |
| 短所 | モデルの作成に手間がかかる。 |

表-2 動的有限要素法による解析の概要

| | |
|----|---|
| 概要 | トンネル縦断方向の表層地盤全体を有限要素モデルでモデル化し、基盤面に地震動波形を入力して、トンネル位置における地盤の応答変位を時刻歴で求める(図-13参照)。 |
| 長所 | 地層急変箇所での地盤ひずみの集中に伴う縦断方向の応答変位の変化が詳細に考慮できる。 |
| 短所 | 解析に時間を要する。 |

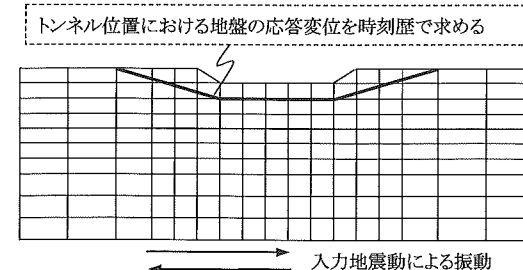


図-13 動的有限要素法による解析概念図

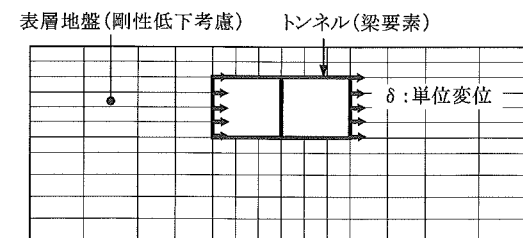


図-14 地盤とトンネルを結ぶばねの算出モデル

震時の低下剛性値を用いる)、トンネルに単位変位を与えた場合の反力をもとに、 $K=P/\delta$ として求める方法が多く用いられる(図-14参照)。

6-3 沈埋トンネルのモデル化

6-3-1 沈埋函本体のモデル化

沈埋函本体は、軸方向剛性が圧縮と引張で異なることや曲げと曲率の非線形性を考慮した非線形梁としてモデル化を行う。図-15にモデル化の概念図を示す。

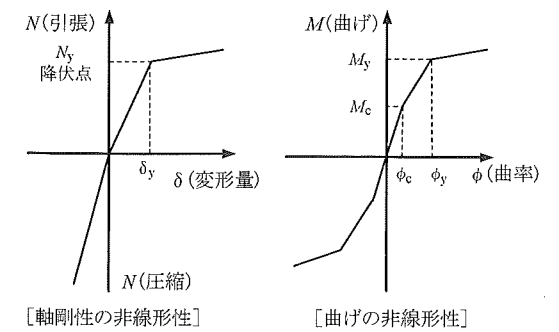


図-15 沈埋函本体のモデル化

6-3-2 可撓性継手のモデル化

可撓性継手のモデル化は、その構造(図-4参照)を考慮して、例えば図-5に示すような圧縮・引張特性を有するばねでモデル化を行う。

6-3-3 換気立坑のモデル化

換気立坑に関しては、地震時に生じるロッキング(回転運動)などが、トンネル縦断方向の挙動に影響を及ぼすことから、縦断方向の地震応答解析において、その存在を考慮する必要がある。

換気立坑のモデル化は、全体を剛な梁とし、慣性力の影響を受ける地上部には集中質量を設け、地下部には水平、鉛直、回転に対する地盤ばねを設けてモデル化を行う。また、立坑構築時の仮設構造として剛性の高い構造物が残置され、立坑の振動特性に影響を及ぼすと考えられる場合には、残置された構造物も立坑と合わせてモデル化する必要がある。

6-3-4 陸上トンネル部のモデル化

陸上トンネル部は、30~40m間隔に伸縮継手を設けることから、トンネル本体は梁、伸縮継手はばねでモデル化する場合が多い。

6-4 全体系の構造解析の実施

6-3で述べたモデルを組み合わせることで沈埋トンネル縦断方向の全体モデルを構築し、6-2の地盤ばねを介して6-1の時刻歴応答変位を作用させトンネル全体の地震応答解析を実施する。ここで、地盤振動の方向(つまり、6-1の解析の方向)は、トンネルに発生する軸方向力が最大となるような軸方向加振と、水平面内の曲げモーメントが最大となるような軸直角方向加振の2方向とし、地震応

答解析も軸方向と軸直角方向の2方向に対してそれぞれ解析を行う。

解析結果より、沈埋函本体と可撓性継手部に発生する断面力と変形量を抽出し照査に用いる。

7 耐震性の照査

トンネル横断方向、縦断方向の地震応答解析の結果をもとに、トンネル構造部材や可撓性継手部を対象として耐震性の照査を行う。

照査は、発生断面力あるいは変形量が、設計地震動レベルに応じて設定される照査用の限界値を超えないことを確認することによって行う。照査用の限界値については、準拠する設計指針・基準類に規定されている値が基本となる。参考として『沈埋トンネル技術マニュアル(改訂版)』に示されている照査用限界値の記述⁹⁾を表-3に示す。

8 地盤の安定化に関する検討

トンネル本体の耐震性に加え、地震時における周辺地盤の安定性についても検討しておく必要がある。周辺に緩い砂質土層が分布している場合には、液状化の判定を行ったうえで、液状化時の構造物の浮き上がりや側方流動の影響について検討を行う。また、液状化後の沈下についても、沈下後の状態が、トンネル機能に及ぼす影響を検討しておく必要がある。

おわりに

以上、沈埋トンネルにおける耐震設計の考え方や方法について述べた。基本的には開削トンネルやシールドトンネルといった他の地中線状構造物と同様であるが、沈埋トンネルの場合には、水密性が非常に重視される点が他の地中線状構造物とは異なる。

表-3 照査用限界値の記述事例

| | | レベル1 | レベル2 |
|------|-----|----------|--------------------|
| 耐震性能 | | 耐震性能1 | 耐震性能2 |
| 照査内容 | | 弾性限界の照査 | 断面破壊の照査 変形性能の照査 |
| 照査 | 沈埋函 | 制限応力度の照査 | 終局耐力の照査 |
| | 継手 | 許容安全率の照査 | 限界安全率の照査 |

注)上表の継手は、ゴムガスケットとPCケーブルの継手方式を表し、照査内容はその継手方式における以下の止水性確保に対する安全率を表したものである。

- ・レベル1時での止水性確保の安全率：1.2以上
- ・レベル2時での止水性確保の安全率：1.0以上

耐震設計ではその点を考慮し、可撓性継手部における変形量・止水性について適切な評価が可能となるような詳細なモデル化・解析が求められることとなる。

参考文献

- 1) 首都高速道路公団：東京港トンネル工事誌，pp.499-552，1977.3.
- 2) 沿岸開発技術研究センター：埋地地の液状化対策ハンドブック(改訂版)，pp.60-69，1997.8.
- 3) 戸田和彦ほか5名：沈埋トンネル柔継手の構造による地震応答の相違，構造工学論文集，Vol.46A，pp.939-946，2000.3.
- 4) 宮田正史ほか4名：沈埋トンネルの新型可とう性継手の開発～クラウンシールド式継手～，土木技術，Vol.59，No.3，pp.77-84，2004.3.
- 5) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻)，pp.330-363，2007.7.
- 6) 清宮理・西沢英雄・横田弘：川崎港海底トンネルでの地震応答観測と応答解析，港湾技術研究所報告，Vol.22，No.3，pp.280-298，1983.9.
- 7) 日本道路協会：駐車場設計・施工指針 同解説，pp.165-168，1992.11.
- 8) 沿岸開発技術研究センター：沈埋トンネル技術マニュアル(改訂版)，pp.42-43，2002.8.



解説

文献紹介

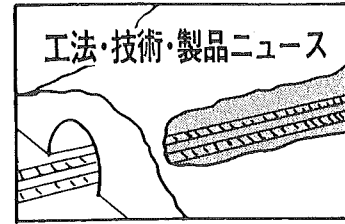


- 小泉淳・藤木育雄・荻野竹敏・清水幸範：シールド工法，基礎工のブレイクスルー，基礎工，Vol.37，No.1，2009.1.
- 川相章：還暦を迎えた推進工法，基礎工のブレイクスルー，基礎工，Vol.37，No.1，2009.1.
- 並川賢治：首都高速中央環状線における近接施工の考え方と実際，基礎工，Vol.37，No.2，2009.2.
- 武藤義彦・坂田聡：東京地下鉄における近接施工の考え方と実際，基礎工，Vol.37，No.2，2009.2.
- 焼田真司・小島芳之：シールドトンネルにおける近接施工対策，基礎工，Vol.37，No.2，2009.2.

施工

- 津田修一・吉平健治・宮城三木夫：那覇港における沈埋トンネルの建設，土木技術，Vol.64，No.1，2009.1.
- 仲田義弘：阪神なんば線工事における特徴的な技術の概要と事業への期待，土木技術，Vol.64，No.1，2009.1.
- トンネルの中に橋を架ける，首都高速道路川崎縦貫線トンネル工事(神奈川県)，日経コンストラクション，1月9日号，2009.1.
- 小野稔：システムチック養生台車による覆工品質向上，封緘養生と湿潤養生を設備した養生台車による養生実験と考察，建設機械，Vol.45，No.2，2009.2.
- 竹之越修久：九州新幹線筑紫トンネルの貫通，九州新幹線最長山岳トンネルの施工，建設機械，Vol.45，No.2，2009.2.
- 中井将博・菊池彰：H型PC杭による道路擁壁の近接施工事例，基礎工，Vol.37，No.2，2009.2.
- 佐藤卓哉：首都高速大橋ジャンクション建設工事に伴う近接施工事例，基礎工，Vol.37，No.2，2009.2.
- 岩田曉洋・石井善一・増田和雄・吉野雄一郎・八須智紀：地下鉄シールドおよび高速道路に近接した施工事例，基礎工，Vol.37，No.2，2009.2.
- 角田浩・國井一史・石原陽介：鉄道に近接する大規模な開削・シールドトンネルの施工事例，基礎工，Vol.37，No.2，2009.2.
- 岡田龍二：シールドトンネル直上での開削工事，副都心線新宿三丁目駅，基礎工，Vol.37，No.2，2009.2.
- 中込芳雄：環状七号線交差部(小田急電鉄)トンネル近接工事，基礎工，Vol.37，No.2，2009.2.
- 田口敬介・水野希典・足達康軌・平岡慎司：自動計測システムを活用した住宅密集地でのトンネル施工，基礎

- 工，Vol.37，No.2，2009.2.
- 杉田裕：幌延の地下研を例とした放射性廃棄物地層処分技術と地盤工学，地盤工学会誌，Vol.57，No.2，2009.2.
- 西琢郎：付加体地質におけるトンネル施工事例，地盤工学会誌，Vol.57，No.2，2009.2.
- 特集/トンネル技術の今昔一知られざるトンネルの世界，土木学会誌，Vol.94，No.2，2009.2.
- 田口敬介・大島基義：住宅密集地における大断面浅層4連めがねトンネルの施工，土木学会誌，Vol.94，No.2，2009.2.
- 田中貞俊・志岐寛：火山噴出物地山を通過する小土かぶり超近接大断面双設トンネル，土木学会誌，Vol.94，No.2，2009.2.
- 特集/大土被りに挑む，月刊推進技術，Vol.23，No.2，2009.2.
- 特集/駐車場における防水改修の最新技術動向，防水ジャーナル，No.447，2009.2.
- 原田哲伸・井上隆広・今若弘孝：CSM工法「クアトロサイドカッター機」による大深度ソイルセメント壁の施工，首都高速道路中央環状品川線大橋連絡路工事，建設の施工企画，No.708，2009.2.
- 特集/極限に挑む，推進測量，月刊推進技術，Vol.23，No.3，2009.3.
- 嶋田洋一・平岡陽治・白砂健：ドバイメトロプロジェクトの概要と地下構造物の設計・施工，湾岸地域初の鉄道地下駅とシールドトンネルの建設，土木技術，Vol.64，No.3，2009.3.
- 中村一樹：トンネルのアセットマネジメント，地盤工学会誌，Vol.57，No.3，2009.3.
- 稲積真哉・大津宏康・勝見武・有蘭大樹：環境コストを考慮した地下鉄構造物のライフサイクルアセスメント，地盤工学会誌，Vol.57，No.3，2009.3.
- 柳森豊・小林真人：周辺環境モニタリングによるトンネル工事，騒音・振動・低周波音を監視して環境影響を抑制した石丸トンネル，建設機械，Vol.45，No.4，2009.4.
- 特集/環境に配慮した掘削添加材，月刊推進技術，Vol.23，No.4，2009.4.
- 藤原鉄朗・齋藤豊・森丈久・森充広・渡嘉敷勝：通水状態での農業用水路トンネル点検手法の開発，水土の知，Vol.77，No.4，2009.4.
- 上田耕治・山地隆司：ダブルエレメント置換推進(W-PCR)工法を用いた基幹農道と鉄道の立体交差化，水土の知，Vol.77，No.4，2009.4.

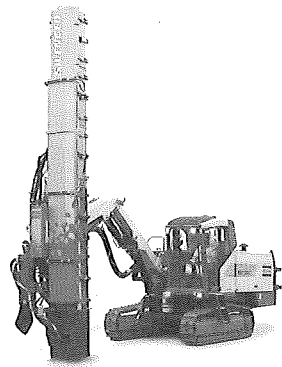


環境にやさしいクローラドリル

アトラスコプロは、騒音低減機能を搭載したクローラドリル「サイレントドリル ROC D9CS」の日本での発売を開始した。

同機は、せん孔作業を自動制御できるシステムを搭載したことにより、騒音発生源であるドリフトを搭載しているガイドセルのフルカバー化が可能となり、騒音レベルを他製品に比べ10dB低減させた。

また、設定したせん孔角度にガイドセルが自動で作動する自動ポジショニングシステムや、設定したせん孔長までロッドを自動で継ぎ足しせん孔するシステムが搭載され、適切な出力制御により同クラスの製品に比べて約30%の燃費が改善されたとしている。



保温・湿潤養生台車による覆工養生

熊谷組は、自社で開発した専用台車による養生工法を、岐阜工業と共同で、テクノプロの協力のもと、一部改良を行い、「保温・湿潤養生台車による覆工コンクリート養生工法」

として実用化した。

同工法は、トンネル二次覆工コンクリートを「保温・湿潤養生台車」を使用して2種類の方法で養生する工法で、覆工セメントの後方に「外気遮断養生台車」1台、「湿潤養生台車」2台を連ねた設備を用いる。

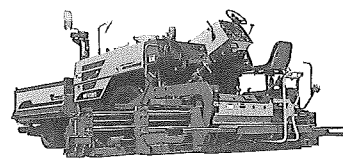
トンネル覆工コンクリート養生用の専用移動式設備により初期養生が迅速にでき、外気遮断養生と湿潤養生を継続して行い、6日間の初期養生ができるなどの利点がある。

最大舗装幅4.5mのアスファルトフィニッシャー

キャタピラージャパンは、道路舗装工事に使用するMF45WE(舗装幅員：1.9~4.5m)を発売した。

同機は2003年発売のMF43WDのモデルチェンジ機で、最大舗装幅を従来機の4.3mから4.5mに延長したほか、従来機比で出力8%アップの新型エンジン搭載により高粘度型アスファルト施工への対応能力を高めるなど、作業性を向上させた。

さらに、アスファルトフィニッシャーとしては業界初となる車両遠隔管理システムを標準装備したほか、低床のホップを採用することでダンプトラックからよりスムーズに合材供給が行えるなどの改善が施されている。



掘削面の岩盤スケッチ作業を省力化

飛鳥建設は、建設工事の際、露出する岩盤・地表面の地層形状、傾斜、地質、湧水などを記録する岩盤スケッチにかかる時間や手間を大幅に軽減し、より正確な描写を可能にする「岩盤面描画支援システム」を開発した。

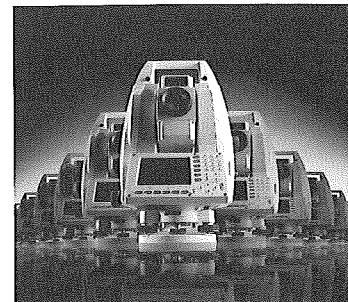
同システムは、従来、地質技術者が現地を測量しながら紙面上に描画していたものをデジタル写真をPCに尺度を持たせて取り込み、PC画像上でメモなどを記述する仕組みで、大がかりな準備作業の軽減や作業の簡便化をもたらす。

Leica TS30/TM30発売開始

ライカジオシステムズは、トータルステーションLeica TS30およびTM30の発売を開始した。

TS30は、測角精度において水平・鉛直双方で0.5"精度、距離測定はプリズムで0.6mm+1ppmを実現。また、自然な測定面へはノンプリズム機能により1,000mまでの範囲で2mm+2ppmという精度の計測を実現した。新たに開発したビエゾ技術にもとづくダイレクトドライブを搭載したことにより、すぐれた動的追尾性能を獲得し、ワンマン測量を可能とするとともに、その低電力消費特性による長時間使用を可能にした。

TM30は、TS30と同様の精度、動的性能をもち、モニタリング専用として開発されたモデル。プリズムを自動に検知する機能がmm精度で3,000mまで拡大したことから、機器設置の自由度がひろがるほか、複数のプリズムが接近していても正しいプリズムを検知することや任意の測定点の画像を望遠鏡のカメラで撮影・保存が可能。また、低電力消費により24時間/日、7日間/週、使用しつづけることができるよう設計されている。



(社)日本トンネル技術協会 国際委員会

若材齢における繊維補強吹付けコンクリートの耐荷力/Early-age load resistance of fibre reinforced shotcrete linings

Tunnelling and Underground Space Technology, Nos.4, July, 2008, pp.451-460

鉱山やトンネル掘削において、繊維補強吹付けコンクリートが硬化して安全に作業開始(再入坑)できるまでの時間が全体サイクルに大きく影響する。

しかしながら若材齢における繊維補強吹付けコンクリートの安全性は今まではエンジニアの個々の経験や判断に任せられることが多く、工学的なアプローチが欠けていた。しかしながら工事中のトラブルを合理的に防止するためには、荷重条件や吹付けの破壊モード、時間依存特性などを考慮した若材齢吹付けコンクリートの定量的な評価手法が必要となる。

本研究内容は大きく二つに分けられ、第一は室内実験および破壊事例の検証による若材齢繊維補強吹付けコンクリートの破壊モードの特定、第二はオーストラリア鉱山における現地実験による繊維補強コンクリート性能データの収集である。

室内実験では、①プルアウト試験、②押し抜きせん断試験、③若材齢圧縮試験、④付着試験、などが実施された。しかしながら室内実験では、実際の岩盤の凹凸などの影響を考慮できないことから、さらに現地実験を行い検証した。繊維補強材

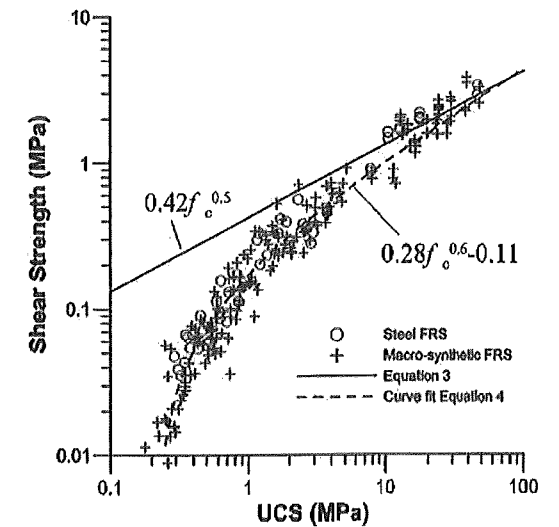


図-1 実験結果から得られた圧縮強度とせん断強度の関係

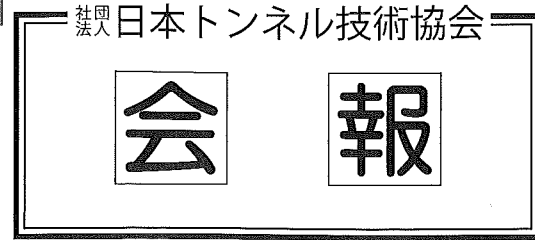
としては、鋼繊維あるいはポリプロピレン材を用い、吹付け厚は50~60mm厚とした。

得られた結果は以下のとおりである。

- ① プルアウト試験によると若材齢においては、せん断破壊モードとなるが、強度発現に従い、曲げ破壊(地盤との剝離)モードに移行する。その変化点は、地盤との付着力に依存する。
- ② 若材齢においてもせん断強度と圧縮強度は明確な相関があるが、図-1に示すように硬化したコンクリートとは関係性が異なる(硬化コンクリート式ではせん断強度を過大評価する)。

③ せん断強度は、繊維の種類には依存しない。以上の結果にもとづいて、再入坑できるための安全な時間は、若材齢の圧縮強度⇒せん断強度⇒吹付けのせん断抵抗を求めた後、想定荷重がせん断抵抗をある安全率をもって超えないことで確認することができる。ただし、このとき付着強度が十分でせん断破壊よりも曲げ破壊先行であることを付着試験により確認しておく必要がある。

(文責：満尾 淳・東急建設(株))



1. 会員の現状

| | 6月25日現在 |
|------|---------|
| 正会員 | 1,795名 |
| 団体会員 | 317名 |
| 個人会員 | 1,478名 |

2. 委員会の開催状況(6月1日~30日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

JTAビジョン検討会(6/30)

日月俊昭委員長ほか5名, 協会の今後のあり方を検討

広報小委員会会誌WG(6/3)

大島洋志主査ほか12名, 7月号の会誌と3か月計

3. 国際会議の開催予定

| 会議名 | 開催日 | 場所 | 主催者等 |
|--|----------------|---------------|---|
| 第36回ITA総会およびコンgres「Tunnel vision towards 2020」 | 2010. 5. 14~20 | バンクーバー(カナダ) | The Tunnelling Association of Canada (カナダトンネル協会) International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://www.wtc2010.org |
| 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) | Finnish Association of Civil Engineers RIL (フィンランド土木学会) International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://www.ril.fi/web/index.php?id=641 |

* 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

4. 平成21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) | | | | |
| HEP&JES工法現場研修会 | 2009. 4.20 | 8 | 東京都 | 2.0 |
| 国道9号京都西立体交差現場研修会 | 2009. 4.27 | 17 | 京都府 | 2.0 |
| 首都高速中央環状新宿線現場研修会 | 2009. 6.25 | 18 | 東京都 | 2.0 |
| 新東名島田第一トンネル現場研修会 | 2009. 7.13 | 20 | 静岡県 | 4.5 |
| 調布駅付近連続立体交差現場研修会 | 2009. 7.17 | 30 | 東京都 | 2.5 |
| 北陸地区トンネル現場研修会 | 2009. 8. 7 | 20 | 福井県 | 7.0 |
| (施工体験発表会) | | | | |
| 第64回(山岳)「新たな発想により課題を克服した施工事例」 | 2009.10. 7 | 200 | 東京都 | |
| 第65回(都市)「都市トンネル工事における創意工夫・新技術」 | 2009.10. 8 | 200 | 東京都 | |
| (講演, 講習会) | | | | |
| 第11回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門) | | | | |
| 第12回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門) | | | | |

9月号予告[9月1日発売予定]

- 北海道新幹線 新茂辺地トンネル
- 北海道横断自動車道 下トナムトンネル
- 国道9号京都西立体千代原トンネル
- 名古屋市営地下鉄桜通線延伸工事
- 名古屋市 名駅雨水幹線

【連載講座】

- 沈埋トンネル(5)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆本号に北海道横断自動車道・ユーパロトンネルの施工報告が載っています。「ユーパロ」ってどんな意味かご存知ですか。アイヌ語で鉱泉が湧き出るところ、すなわち、温泉を意味しています。そして、「ユーパロ」の発音、何か聞きなれた言葉と似てないでしょうか。北海道の「夕張」はこの「ユーパロ」が訛って地名とされたといわれています。検索エンジンで「ユーパロ」と入力すると、「ゆうぱりユーパロの湯」が一番ヒットします。「ユーパロ」が夕張と温泉を意味しているので「ゆうぱりユーパロの湯」はちょっとへんな感じがするのは私だけでしょうか。

◆編集委員会では論文の査読を行うと同時に表題の確認も行っています。同じ「ユーパロトンネル」の論文の表題で、「炭鉱ざり山」とは「ぼた山」ではないかという意見が編集委員会でありました。編集委員の方に調べていただきました結果、「ぼた」は専ら九州地方で使われる語句とわかりました。また、逆にざりは主に北海道地方を中心に使われていた語句とわかりました。「ざり」も「ぼた」ももともとは炭鉱で使われた語句でほとんど近似の語句ということです。炭鉱が盛んだった北海道と九州で呼び名が違うということだと思います。

◆日本語は土着の方の言葉や訛りなどから同じ意味でも呼び名が違うことがあったりして、改めて日本語の奥の深さとむずかしさを感じたと思います。もしかしめると、われわれが当たり前のように呼んでいる呼び名が本来は誤った用法というものがたくさんあるかもしれません。

(I.Y)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学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40巻 第8号 [通巻468号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成21年7月20日 印刷

平成21年8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。

推進工法の理論と実際

推薦の言葉

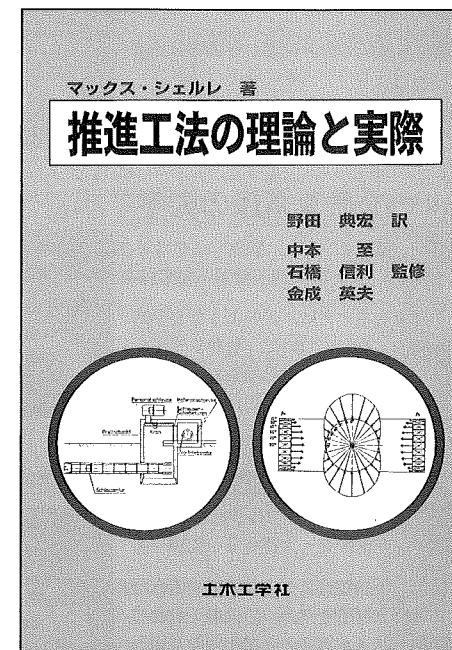
中本 至・石橋信利・金成英夫

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。下水道の施工方法の選定にあたって、施工条件や建設環境、地下埋設物や地盤条件などの関係から、開削工法

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

私は、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。

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

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

株式会社 **土木工学社**

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の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

ジェオフロント研究会 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・松本義典・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

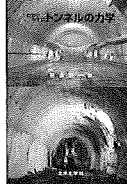
土木工事にかかわりのある地質学の基礎知識を盛り込み、土木工事において問題となる地質事象や、各種地質調査の原理についてわかりやすく解説を与えた。



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。



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)

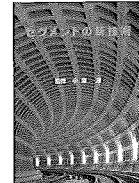
日本で唯一のトンネルと地下構造物の専門月刊誌。研究、調査・設計から施工にいたるまで、その時点での技術的問題点を中心に、業界の動向などをあわせて網羅しながら、新鮮な情報を提供する。



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。



地下水の科学 I~III(全3巻)

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

地球という複雑なシステムを循環する水、とくに地下水循環を考え、汚染地下水など環境問題を地下水理学の立場から取り扱うため、水の物理的・科学的性質、地球の状況、水資源としての地下水の状況、地下水の物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。



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。



続きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・伊野恭寛 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。



トンネル工事の衛生と環境保全

白谷三郎・橋本康孝・友田孝 共著
3,200円+税 A5判

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



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。



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

覆工コンクリート湿潤養生システム

パラソル30ミスト工法

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

新製品



NATMトンネル二次覆工コンクリートを最適に仕上げます

特許出願中



菅機械工業株式会社

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

| | | | |
|---------|-----------|---------------------|------------------|
| 本社・大阪支店 | 〒550-0015 | 大阪府大阪市西区南堀江3-9-27 | TEL 06(6541)7931 |
| 東京支店 | 〒101-0021 | 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

TFTのトンネル資材

▼ AGF工法

トンネル工事において軟弱地山の先行ゆるみ抑制のためAGF鋼管を打設し、その後注入をおこなうことにより地山を安定させ掘削を可能にする工法で、「AGF-φ工法」等があります。

当社はこれらの「ビットシステム」「AGF鋼管」「ロッド・カップリング」等をご提供します。



削孔用主要部材

●削孔システム

●AGF鋼管

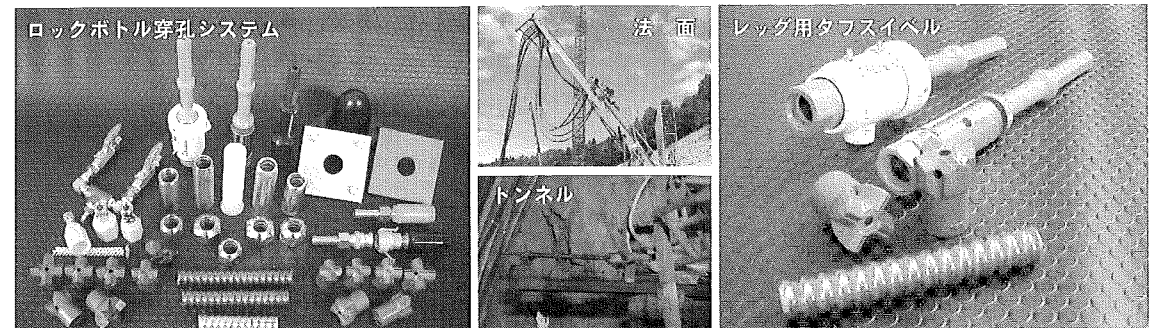
●ロッド・カップリング

▼ タフボルト (自穿孔ロックボルト)

トンネルのフォアパイリング用ボルトから法面用ロックボルトまで幅広く使用されています。どんな削孔機でも施工でき、しかも小型削岩機も使用可能であり足場費の低減が図られます。

また削孔ビットもφ45~φ65mmと広く準備されています。

| 品名 | 外径mm | 断面積mm ² | 引張荷重 | 降伏荷重 | せん断荷重 |
|------|------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| TF22 | 31.5 | 375 | 235kN (24Tf) | 196kN (20Tf) | 125kN (12.7Tf) |
| TF26 | 31.5 | 420 | 274kN (28Tf) | 215kN (22Tf) | 176kN (18.0Tf) |



TFT 株式会社 ティーエフティー

Tube Forming & Technological

〒220-0051 神奈川県横浜市西区中央1丁目29番16-201号

Tel 045-320-1701 Fax 045-320-1702