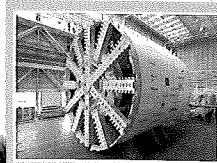
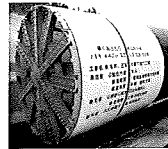


トンネル開発技術に

60余年のヒストリー。



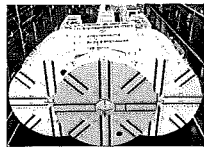
2006
 (ドバイLRT用シールド)
 ドバイの交通網の発展に貢献



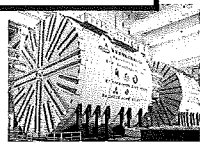
2004
 (大断面SENS工法シールド)
 東北新幹線三本木原トンネル
 工事の建設で活躍



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



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



1993
 (世界最大級の泥水式シールド)
 東京湾横断道路工事で活躍



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
 1677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60余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。

※平成19年4月1日より、三菱重工のトンネル事業は三菱重工地中建機株式会社として生まれ変わりました。

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

トンネルと地下 2

vol. 40
 no. 2
 2009

Tunnels and Underground

腐植土層の線路下横断構造物の施工

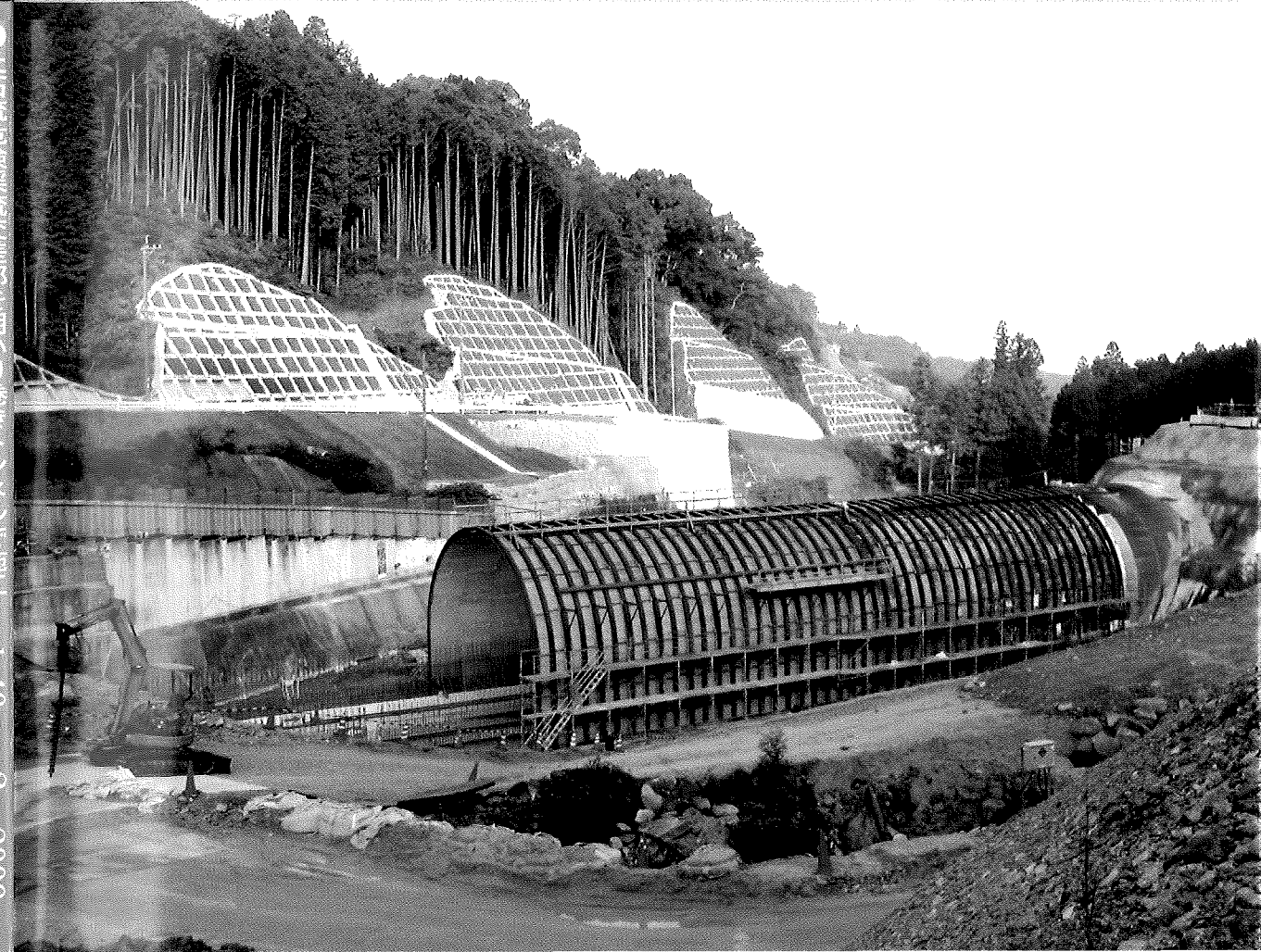
土石流危険渓流交差部を明かり巻きトンネルで施工

老朽化したトンネル坑口部の補強工事

銀座・丸ノ内線合築駅部をアンダーピニング

トンネル建設における地盤沈下解析法に関する考察

日本トンネル技術協会誌



定価 1,575円

本体価格1,500円

雑誌06619-2



4910066190293
 01500

信頼の品質

技術提案に好適!! デンカの特種混和材

デンカの液体急結剤 初期強度発現がバツグン 《デンカクリアショット》

NETIS:KT-080020

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

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

優れた低粉じん吹付け 《デンカスラリーショット》 デンカナトミックUS-32 デンカナトミックUS-50

《粉じん低減剤》 デンカクリアップ2

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

実績の粉体急結剤

一般吹付け・高品質吹付け
デンカナトミックTYPE-5
高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10
瞬結吹付け・初期高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10S
デンカΣショットS

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

覆工コンクリート
ひび割れ抑制・耐久性向上
コンクリート用膨張材
デンカパワーCSA
有機無機複合型被膜養生剤
デンカクラッコフ
コンクリート補強用合成繊維
STRUX 85/50L

- ・高品質な覆工コンクリートが得られます

◆トンネル関連製品

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

DENKA

電気化学工業株式会社

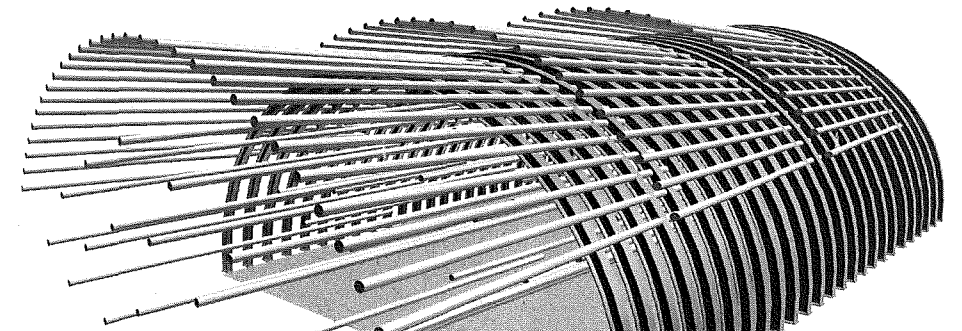
セメント・特混事業部 特殊混和材部
東京都中央区日本橋室町2-1-1
電話 03-5290-5558

全方位 GFRP 管長尺補強システム

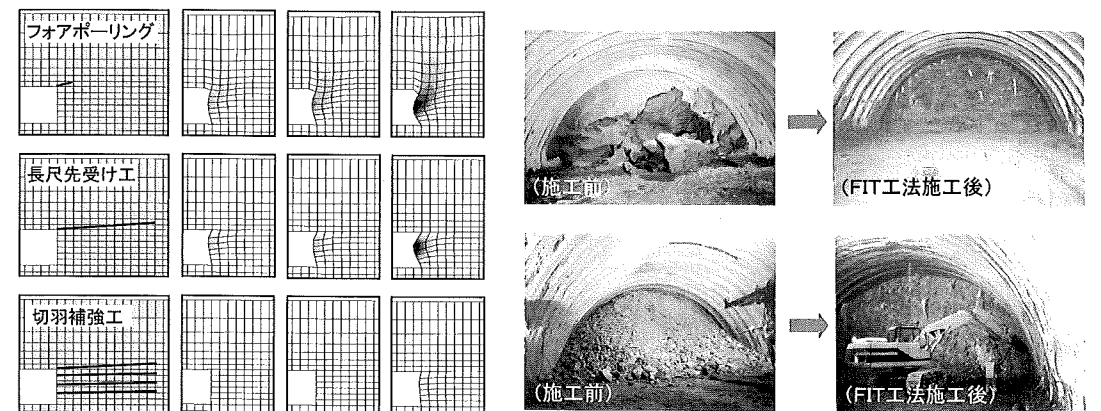
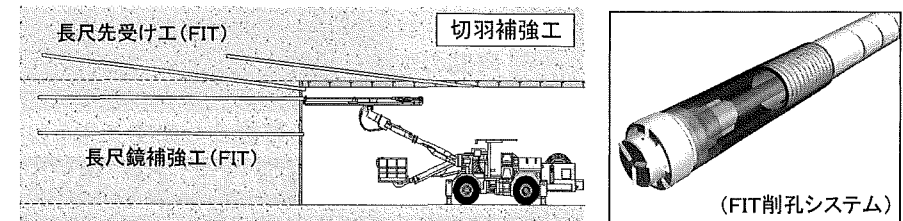
NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150 件以上

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/>

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。

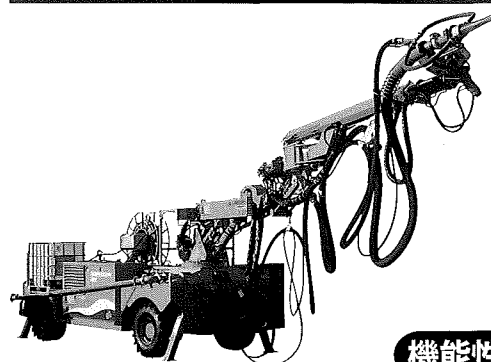
プツマイスター圧送ポンプの特長

- 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
- ② S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、飛散リバンドの減少、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)

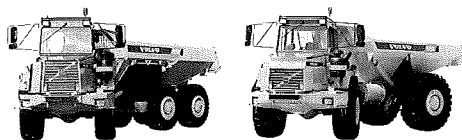
トンネル関連製品

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)

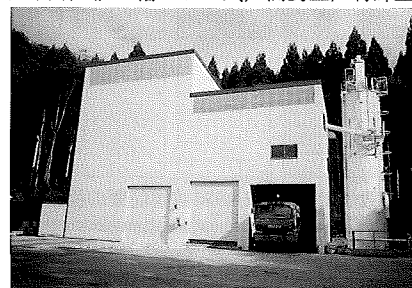


Volvo East Asia(Pte) Ltd

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)

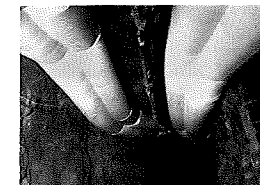


設計・製作: 名岐エンジニアリング株式会社

トンネル換気システム

ABC

VENTILATION SYSTEMS



- ファスナー式風管
- スパイラル風管

- ツインダクト風管
- 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

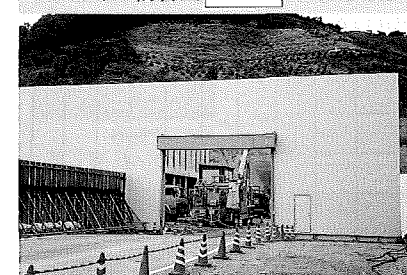
騒音防止システム

エコフラット -35db Cタイプ



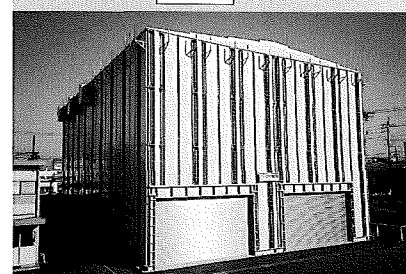
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 -15db Aタイプ



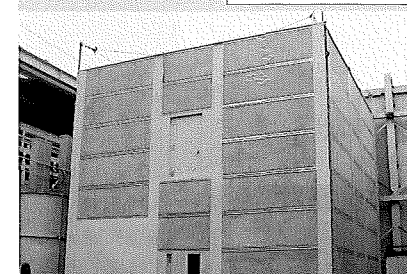
適応性の優れた防音パネル

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>

〒102-0073 東京都千代田区九段北 3-2-5 TEL: 03-3234-8901 FAX: 03-3234-8900

株式会社トユーエコサポート TEL: 03-5226-5971 FAX: 03-5226-5974

トユーサービス株式会社石岡工場 TEL: 0299-27-6211 FAX: 0299-27-6233

ホンモノしか残らない。。。

…1960～ 1970～ 1980～ 1990～ 2000……



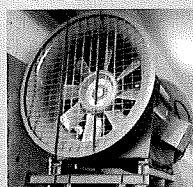
大容量ファン



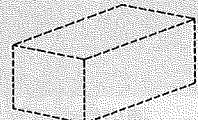
二軸反転
サイレントファン



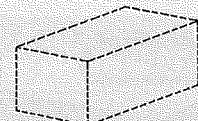
中型集塵機
ノッカー払落し式



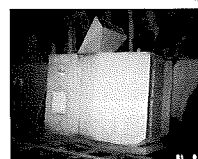
単段ファン



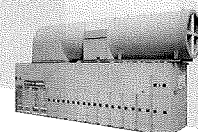
中型集塵機湿式



中型集塵機電気式



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



重量1/2に半減!!

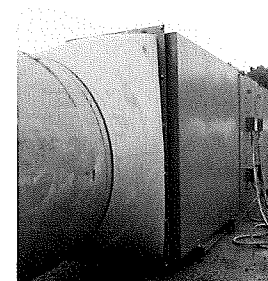
換気・環境技術は進化しています

2009……



密着

コンクリート密着養生システム
コンクリート自身を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, 2.9kpa,
148kw)

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

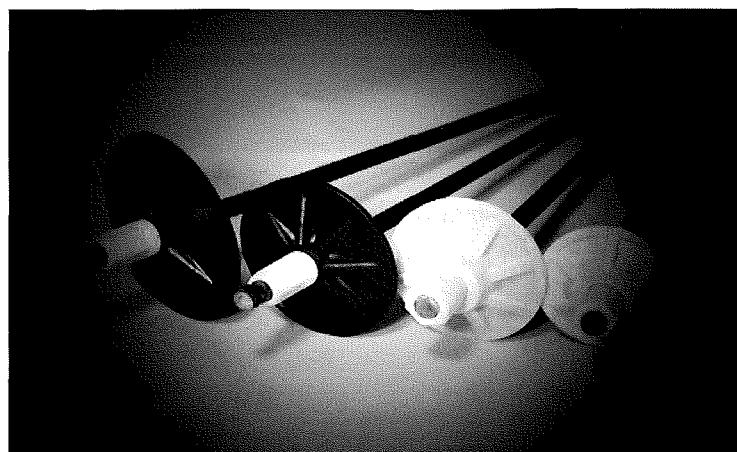
パターンボルトのGRP化

POWERTHREAD

耐食機能に優れるロックボルト

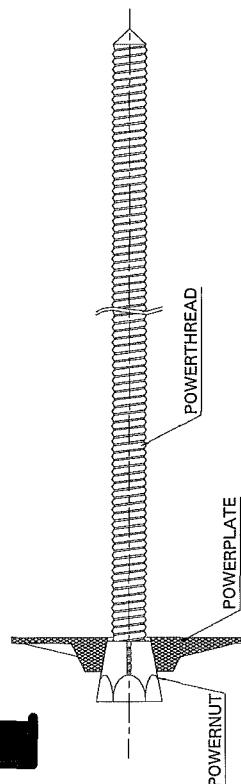
POWERTHREADは、POWERNUT/POWERPLATEを組み合わせることにより、
全てGRP製に！！

※ 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

拡大された能力。 継続的なお客さまへの コミットメント。

www.oricamining.com



オリカ・マイニング・サービス
——産業爆薬、起爆システムおよ
び高度な爆破ソリューションの
世界的リーダー企業。

オリカは、ダイノ・ノーベルのアジア、
中南米、欧州、中東およびアフリカ事業
を買収しました。当社は、お客さまとの
関係の維持、ならびに統合プロセス全般
における滞りのない移行の実現に努めて
います。

当社は、オリカとダイノ・ノーベルの
最良部分を活用し、お客さまの最終利益
拡大をお手伝いいたします。

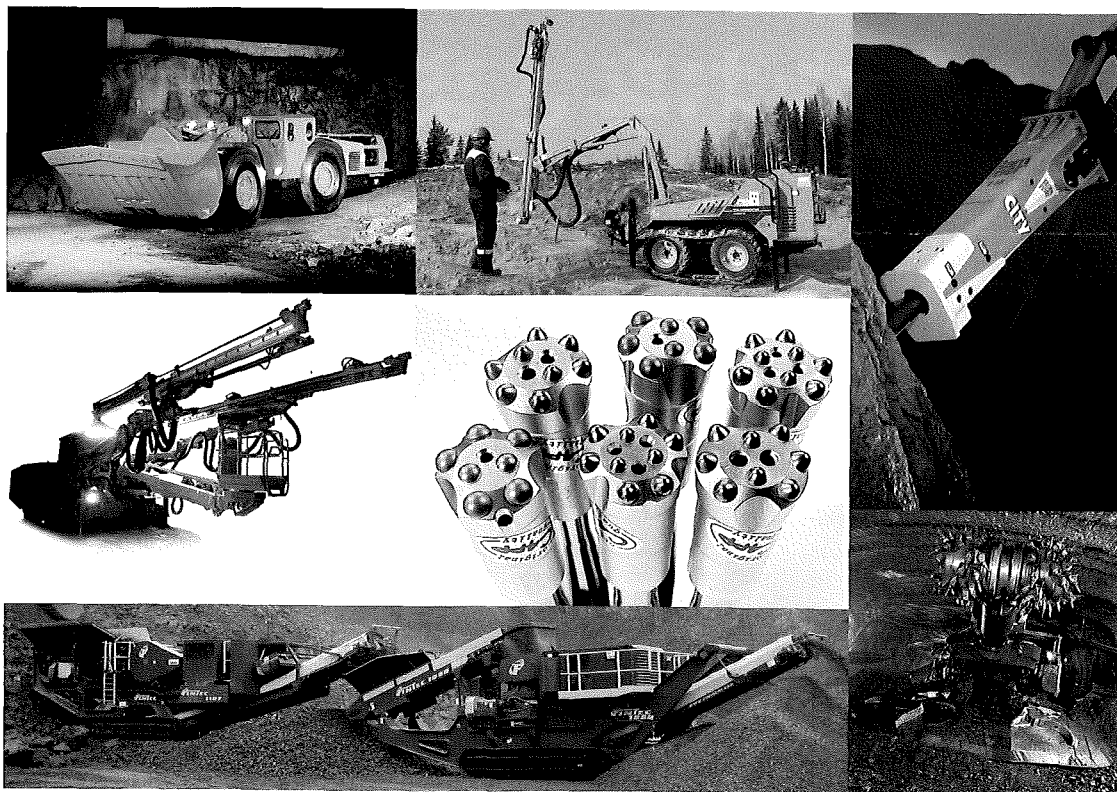
皆さまには、さらなる技術投資、
◇供給のより高い安定性に向けて、
より広範囲の製品およびサービス、
ならびに拡大された製造施設 サプライ
ポイント・ネットワークへのアクセス、
◇爆薬、技術サービス、ANおよび起爆
システム製品の信頼できるデリバリー
——をご期待いただけます。

オリカは、鉱業および建設業界、
ならびに当社のお客さまへの
コミットメントをお約束します。

オリカジャパン株式会社
〒105-0001
東京都港区虎ノ門3丁目7-11
虎ノ門三須ビル7階
Tel: 03 5777 4681 Fax: 03 5777 4682

 **ORICA**
MINING
SERVICES

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/>

MITSUBISHI
三菱マテリアル

DIABIT

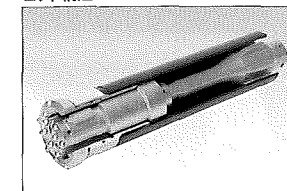
三菱マテリアルの補助工法用削孔工具システム

■用途 注入式鋼管先受け工法・脚部補強・水抜き・フェイスボルト・パイプルーフ・基礎工・アンカー

●ウルトラメックスビット (UMB) 打撃削孔式リングロストタイプ

- ・崩壊性地盤から硬質地盤まで対応する高い削孔性能
- ・独自のロッキング構造とワンタッチ式勘合により回収時のトラブルを克服
- ・穴曲がりを極力抑えたハイスピード削孔を実現
- ・水平方向を含め、安定した全方位削孔が可能

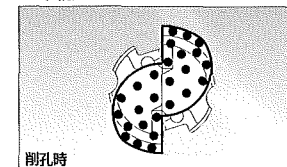
ビット構造



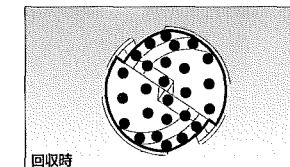
●スーパーメックスビット (SMB) 打撃削孔式拡張径タイプ

- ・国内外で多くの使用実績を誇るヘッド全可動式拡張径タイプ
- ・ヘッド全可動式が可能とする安定した削孔性能
- ・ヘッド全面を取り替える為、高いコストパフォーマンスを実現
- ・軟・中硬岩に幅広く対応

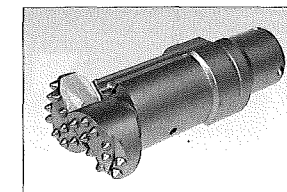
ビット構造



削孔時



回収時

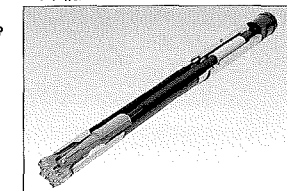


●スモールP (Small-P) システム

●小孔径 (2~2.5インチ) 打撃削孔式ビットロストタイプ

- ・崩壊性地盤から硬質地盤まで対応する高い削孔性能
- ・独自のロッキング構造とワンタッチ式勘合によりインナーの回収時のトラブルを克服
- ・穴曲がりを極力抑えたハイスピード削孔を実現
- ・水平方向を含め、安定した全方位削孔が可能

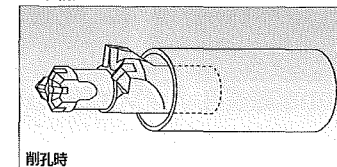
ビット構造



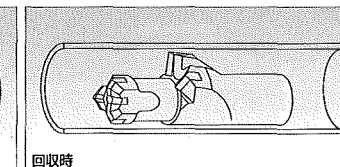
●かん太郎ビットシステム打撃削孔式鋼管内偏芯回収タイプ

- ・軟質層等軟岩用簡易拡張径
- ・独自の形状・構造の為、使い易い
- ・シンプル形状の為、製品剛性が高い

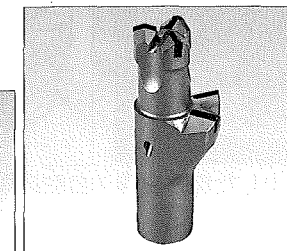
ビット構造



削孔時



回収時



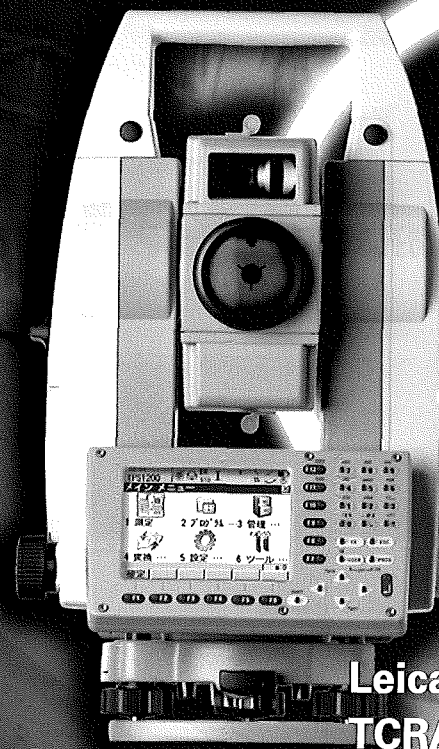
※鋼管サイズ・削孔径等の条件に合わせ、各種設計承ります。

三菱マテリアル

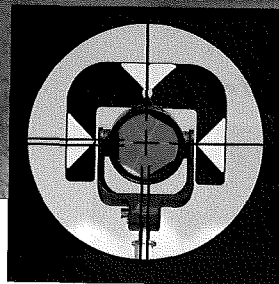
●東京支店 ☎(03) 5819-5263 ●大阪支店 ☎(06) 6355-1053 ●九州営業所 ☎(092) 573-7372 ●海外グループ ☎(0584) 27-5011
<http://mrt.mitsubishicarbide.com/>

ユニバーサル測量システム

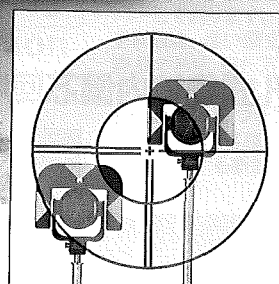
トンネル設計者の要望に応え、さらに進化
ライカTPS1200+シリーズ、ついに登場



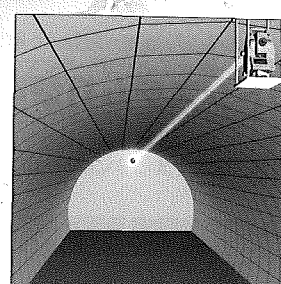
Leica TPS1200+
TCRA+1205



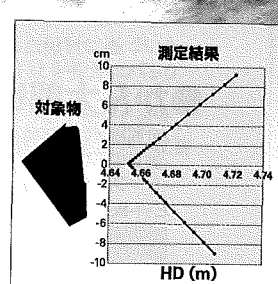
精度が向上した自動視準
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで、自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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

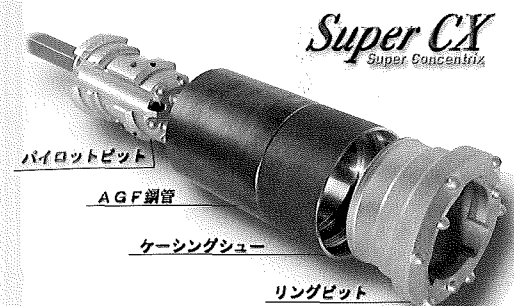
Leica
Geosystems

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

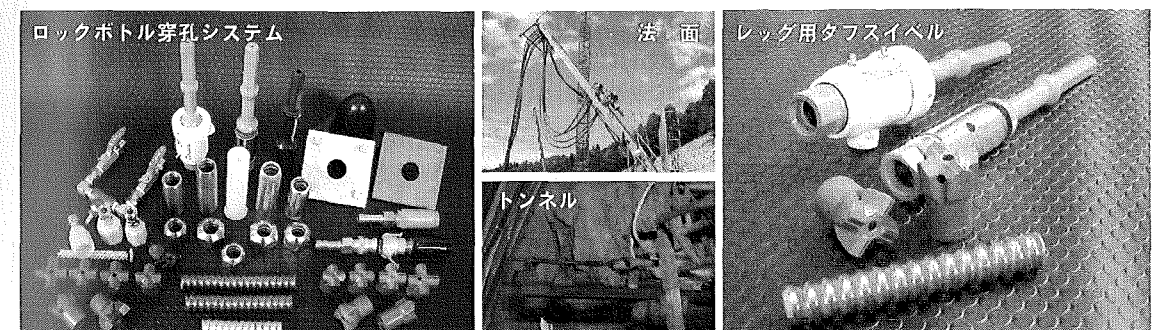


▼ タフボルト (自穿孔ロックボルト)

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

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



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

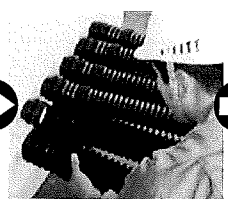
ワンタッチ継手付ハンドホール



※特許・意匠出願中



接続はカンタン



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）を工場で取り付けてご納品。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。

TVコマーシャル放映中 テレビ朝日「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)

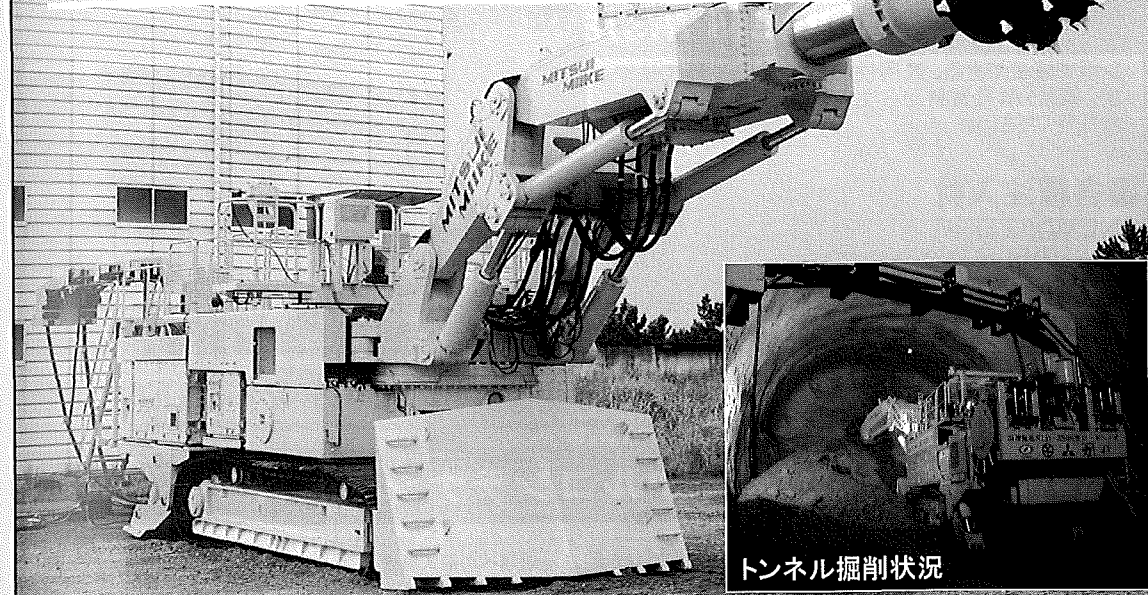
TEL(06)6881-0767 FAX(06)6881-0769

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

全断面トンネル高速施工掘進機

ロードヘッダSLB-350S



トンネル掘削状況

大断面トンネルの高速施工を目指して

特徴

- 国内最大の350kW・4/6P定出力型2速切換式電動機を搭載しており、軟岩トンネルはもとより、中硬岩トンネルにおいても十分な掘削能力を発揮します。
- 切削部には中折れブームを採用しており、ベンチ長は最大5mまで確保できます。又、中折れブームを取り外しての全断面掘削、及び上半掘削も可能です。
- 中折れブームの取り外し、及び低速掘削を行うことにより、機体安定性と掘削トルクが増加し、中硬岩トンネル掘削時において高い効果を発揮します。（硬岩用ドラム使用）
- 油圧式のスライドデッキを機体両サイドに装備しており、機体幅より各々1mの張り出しが可能であるため、下部掘削時等におけるオペレータの視界が大幅に改善されます。
- ※1,2 ディーゼルエンジンの搭載により、ロードヘッダ単独での走行が可能です。よって、機体移動に際し配線替えや別途発電機の準備が不要となり、作業時間が短縮されます。

※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。

※2 掘削・コンベヤ仕様の場合、ディーゼルエンジンは搭載されません。



スライドデッキ

販売・レンタル 及びメンテナンス ミイケ機材株式会社 本社/〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目11番7号西日暮里ワイエムビル

TEL. 03-3241-4711 FAX. 03-5615-1180 E-mail kizai@r4.dion.ne.jp

札幌営業所 TEL. 011-817-5220 / 大阪営業所 TEL. 06-6308-1090 / 福岡営業所 TEL. 0944-59-6201

製造元 株式会社 三井三池製作所 本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館

販売元 産業機械営業部 TEL. 03-3270-2008 FAX. 03-3245-0203

http://www.mitsuimiike.co.jp E-mail sanki@mitsuimiike.co.jp

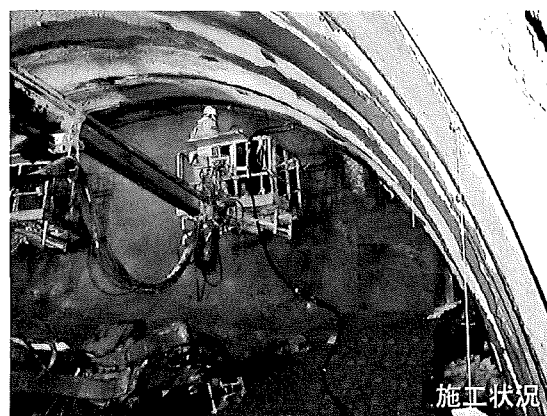
補助工法・注入材のことならティーエムシー

■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。

■各種注入材

NEW-TSRF
(シリカレジン)
NEW-TBU
(ウレタン)



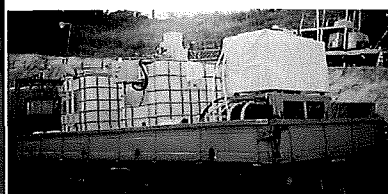
施工状況

※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



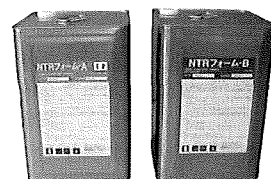
当社のリサイクルコンテナシステムなら、一斗缶の産業廃棄物処理がなくなるため、工事もスムーズに進みます。現場にも環境にもやさしいシステムです。

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。

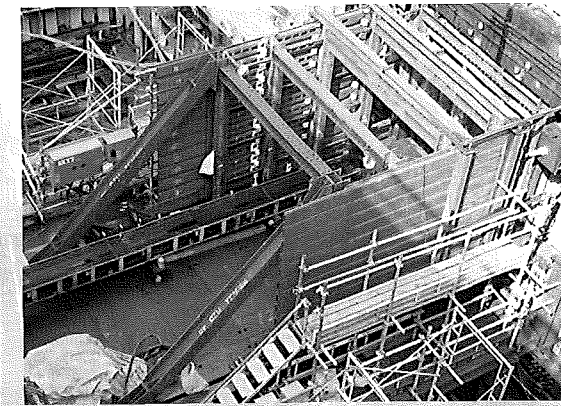
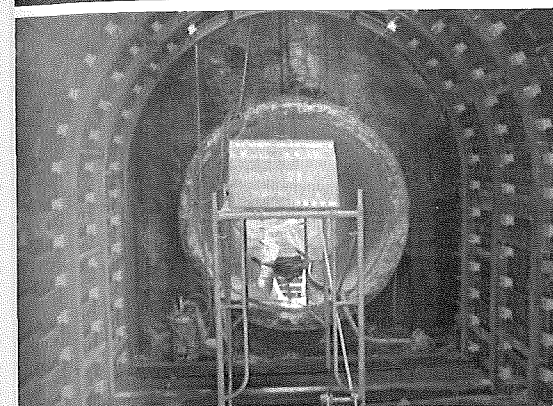
TMC

株式会社ティーエムシー ホームページ : <http://www.tmc-net.com/>
お問い合わせ・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 愛知県春日井市島居松町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

アーストンネル掘削工法に最適

SS-メッセル工法 Stabilizer System Messer



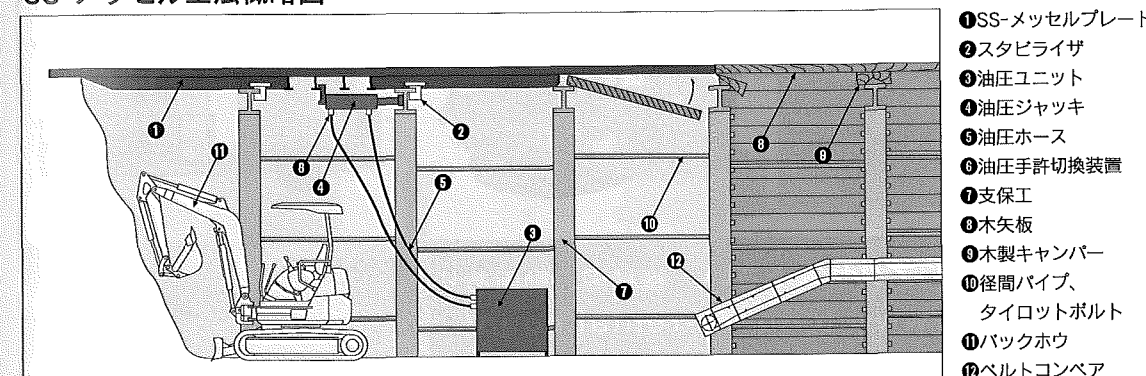
特徴

- 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



株式会社シーテック

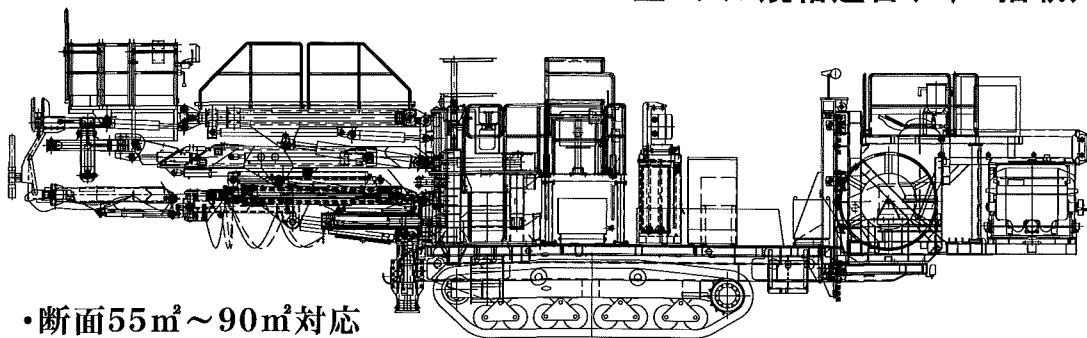
URL <http://www.sietech.co.jp>

〒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

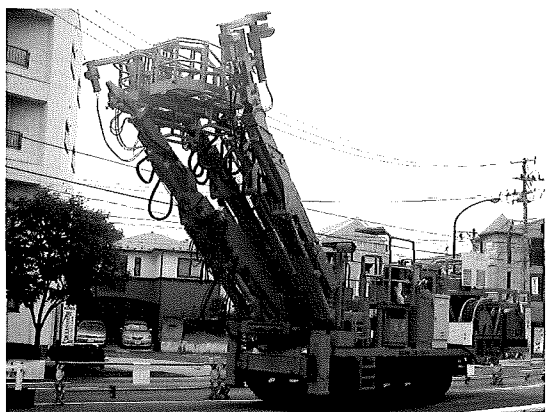
スコーピオンに新型(Ⅱ型)一般断面に適合

特許申請

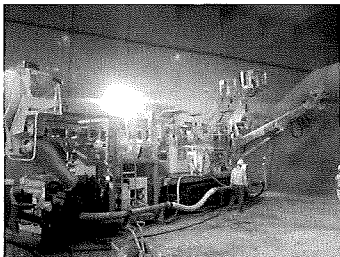
Ⅰ型 フル規格適合(C/P搭載)



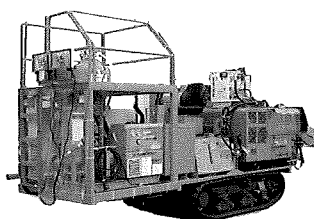
- ・断面55㎡～90㎡対応
- ・車体幅 2700mm/m
- ・ポンプ式 アリバー式兼用



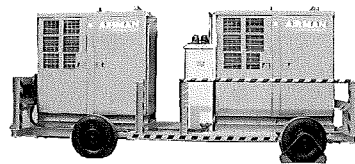
現場に納入したⅡ型



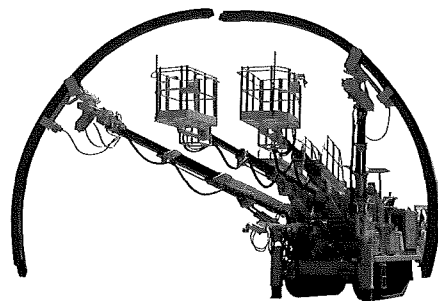
小断面用ポンプ台車



コンプレッサー牽引台車(別途)



スコーピオンⅠ型
☆オフロード法認可
☆排ガス三次規制認可



エレクター2基 バスケット2基 ロボット 吹付機
コンプレッサー 急結剤補給装置(オプション)搭載のマルチ機

常設展示



ホームページにアクセス下さい 機械図、動画あり
URL <http://www.tonneru-rental.co.jp/>

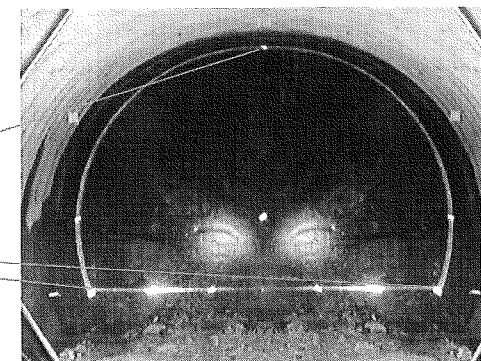
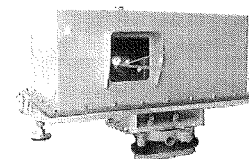
株式会社トンネルのレンタル

〒389-0506 長野県東御市祢津字元会下1080-9
TEL 0268(62)1426 FAX 0268(62)1999
E-mail: tonneru-rental@luck.ocn.ne.jp

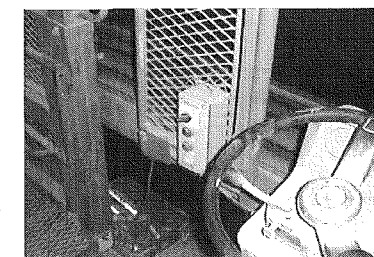
レーザーマーキングシステム

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

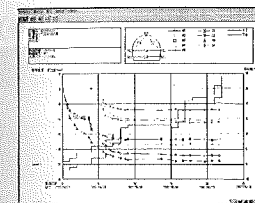


現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー

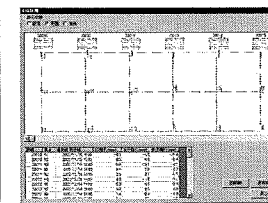


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

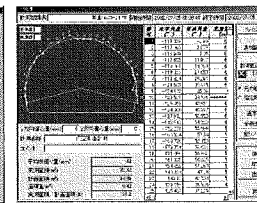
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



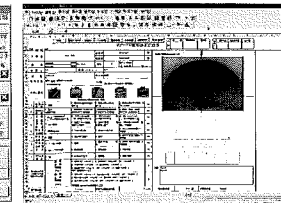
A計測データ処理



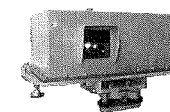
支保工立込精度、変形量



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

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)

コストダウンを可能にする Kリング

特許出願中 (特願2001-309314号)

①アーチ鉄筋組立金物

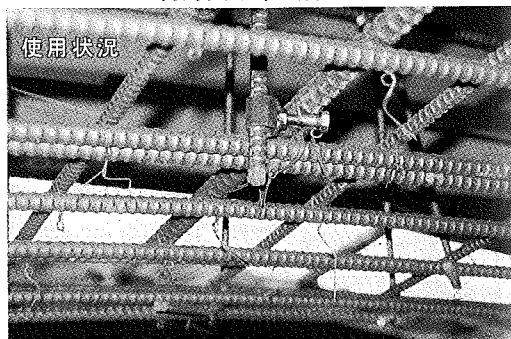
トンネル施工時の覆工工事における、鉄筋補強工事は、坑内上部・壁部にアンカーを打ち、そのアンカー筋に段取り筋を溶着し、それにアーチ筋を取付けていましたが、“防水シートを焦がす”、“塵肺作業である”、“作業効率が悪い”等問題点が指摘されていました。当社開発のKリングを使用することにより、スピードアップ、コストダウンを可能にすると同時に諸問題をすべて解決することができました。

②鉄筋加工業務

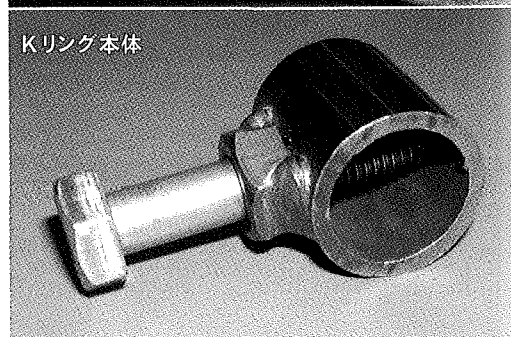
「トンネル」「セグメント」の請負業務を開始いたしました。“正確な加工”、“鉄筋の品質管理”、“Kリングとの同時搬入”で皆様から幅広いご支援をいただき県内はもとより県外からも鉄筋加工のご用命を頂いております。どんな鉄筋加工のご相談にもお応えいたしますのでご一報ください。

製造・販売元 **静岡スチール**

〒436-0342 静岡県掛川市上西郷765-1
Tel : 0537-24-3886 Fax : 0537-24-3859
E-mail: ktk@r5.dion.ne.jp
URL : <http://www.h7.dion.ne.jp/~kttk>

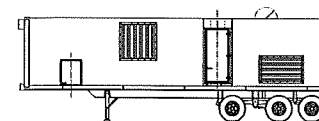
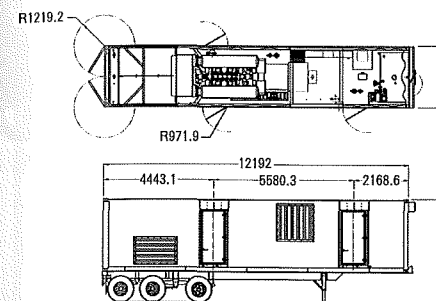
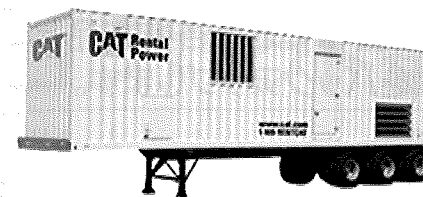


使用状況



Kリング本体

大型発電機レンタル



		2000KVA	
		50	60
周波数	Hz	50	60
出力	KVA	2,000	2,281
出力	kW	1,600	1,825
電圧	V	400	440
電流	A	2,887	2,993
燃料		軽油	軽油
容量/燃料タンク	L	4,730	4,730
燃料消費量	L/h	260	307
燃料消費量(75%負荷時)	L/h	—	—
全長	mm	13,500	13,500
全幅	mm	2,439	2,439
全高	mm	4,115	4,115
乾燥質量	kg	40,370	40,370
整備質量	kg	33,636(車台含む)	33,636(車台含む)

株式会社 ケイリー

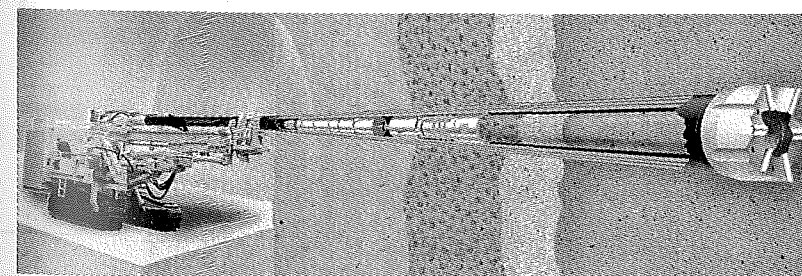
仙台: TEL.022-359-5331
東京: TEL.03-3661-5651
大阪: TEL.06-6838-1372

klea

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

トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■ 特長

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

KOKEN 鉋研工業株式会社

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

お問い合わせ先 : 工事営業本部

TEL. (03)6907-7512 FAX. (03)6907-7522

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

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トHD210Ⅱ搭載。

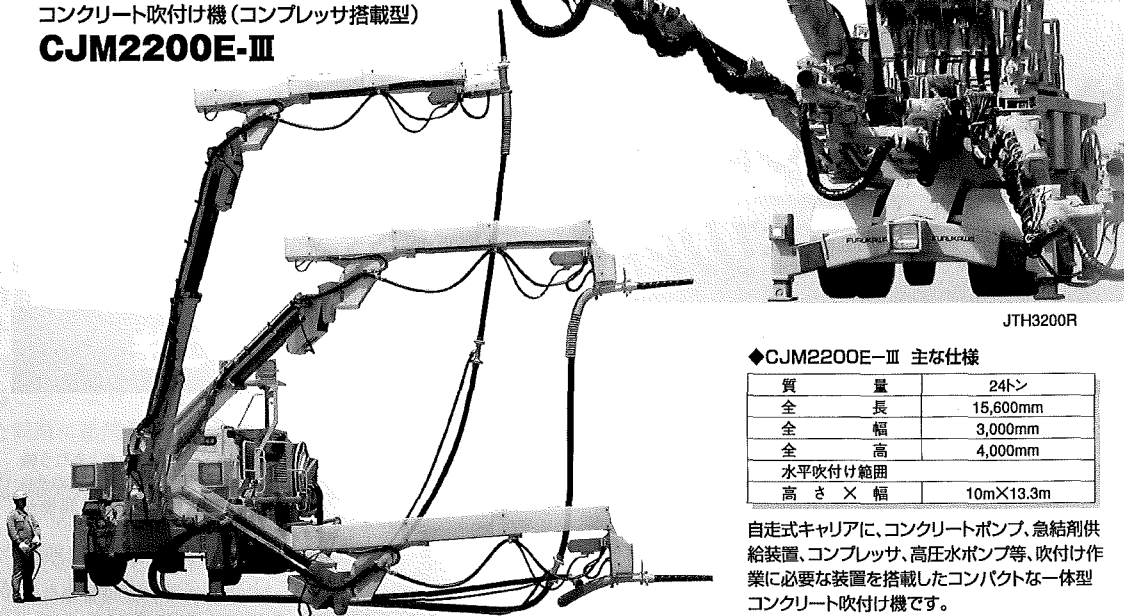


◆主な仕様

	JTH2200R 2ブーム、2ケーシング	JTH3200R 3ブーム、2ケーシング
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。

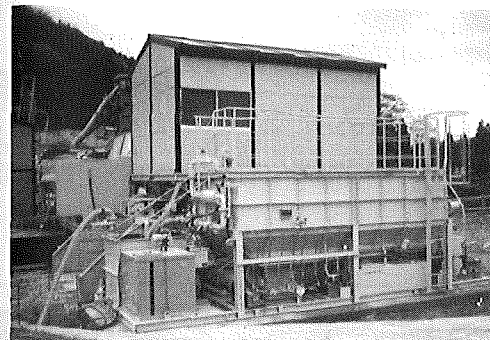
△ 古河機械金属グループ

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

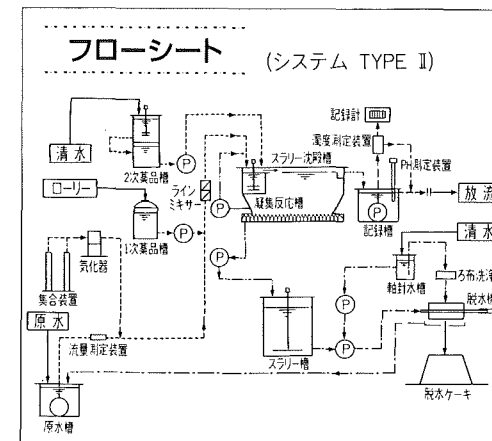
TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら 大きな処理能力



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耗費が少ない。
又、加圧型脱水方式の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状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（異状警報装置と連動）
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

技術開発

市川 正美.....5

■研究

トンネル建設における地盤沈下解析法に関する考察

久武 勝保 47

■施工

腐植土層の線路下横断構造物の施工

—東海道線戸塚駅付近こ道橋新設—

三丸 英寿・鈴木 雄大・武村 譲.....7

土石流危険渓流交差部を明かり巻きトンネルで施工

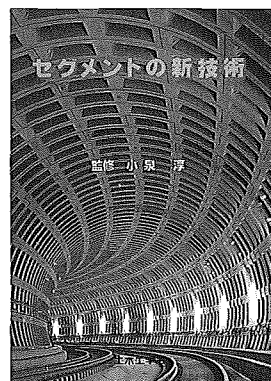
—九州新幹線 筑紫トンネル(梶原工区)—

吉野美喜男・村山 正巳・吉川 豊・前田 政弘 15

老朽化したトンネル坑口部の補強工事

—北九州高速道路 北41工区トンネル改築工事その1—

伊川 幹夫・中山 佳久・川端 康夫・新井 勝明 23



セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 円290円

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

銀座・丸ノ内線合築駅部をアンダーピニング

—東京メトロ 赤坂見附駅出入口新設—

若林 正則・岩瀬張千市・福田 政隆・吉田健太郎 37

■連載講座

山岳トンネル先進ボーリング入門(6)

—施工事例(1): 施工前に坑外から実施する地質調査ボーリング—

山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会 55

■現場だより

宮崎県最古のトンネル「山俣屋隧道」のある北郷町より

岡 幸平 36

■資料

トンネル千夜一夜(50)

小野田 滋 34

土木情報

編集部 46

トンネルジャーナル

編集部 67

工法・技術・製品ニュース

編集部 68

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 69

海外文献速報

JTA国際委員会 72

■会報

会報

日本トンネル技術協会 76

【表紙説明】

土石流危険渓流交差部を明かり巻きトンネルで施工

—九州新幹線 筑紫トンネル(梶原工区)—



九州新幹線筑紫トンネルは、九州の陸上トンネルとして最長となる延長11,935mのトンネルである。起点側より150~180mの位置に、2級河川梶原川の河床と本線レール高がほぼ同一高さで交差する箇所があるほか、河川上流は土石流危険渓流となっている。そのため、新幹線の安全を確保する必要から、土石流対策として河川下流側に砂防えん堤を構築し、その堆砂敷き内にトンネルを通過させ、河川水および土石流発生時はトンネル上部を流下させる構造とした。写真は、明かり巻き部の施工状況である。

(写真提供: 鉄道・運輸機構) (本文15頁参照)

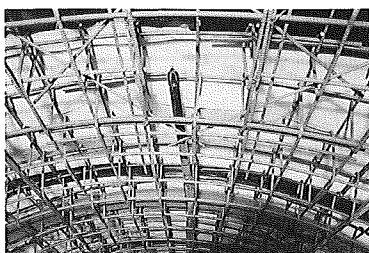
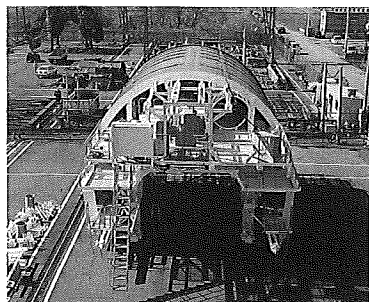
高品質なトンネル覆工に挑む

高品質なトンネル覆工を実現する 引抜バイブレータ締固システム

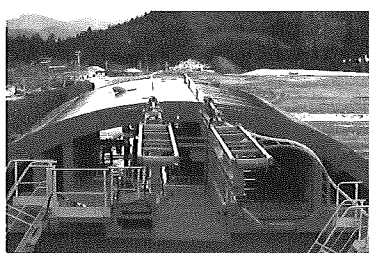
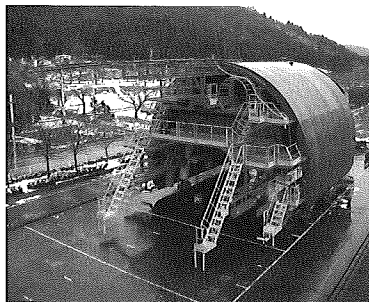
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースパイプ巻取り式



パイプパイプ伸縮式



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

効果・特徴

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



岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO., LTD

本社 岐阜県本巣市十四条14番地 〒501-0464
本社工場 TEL (058) 323-2000(代) FAX (058) 323-1176

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

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

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

大 島 洋 志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹 事〕

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木工務部 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 飛島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

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9.9m
- ・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>

(旧社名: 日本鉦機株式会社)

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62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62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〕

木谷 日出男

財団法人鉄道総合技術研究所
防災技術研究部部長

佐山 順二

東京電力株式会社電力流通本部工務部
設備渉外・調整グループ課長

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

西村 聡

東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
第二工事事務所所長

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

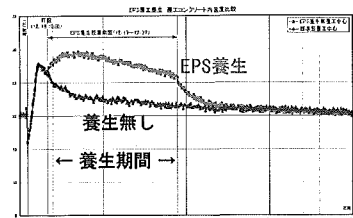
真下 英人

独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ長

新しいタイプの覆工コンクリート養生システム EPSパネル養生工法



EPSパネルの保温性、保湿性が効く。



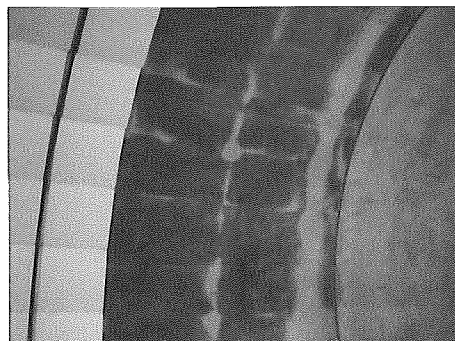
温度測定結果

	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)

実績および計画

施主	実績	計画中
国土交通省	1	1
NEXCO	2	2
地方自治体		4



EPSパネル取り外し直後の状態

- 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。

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

実施権許第10396号



トンネルと地下 VOL. 40 No. 2 掲載概要

掲載頁
7

腐植土層の線路下横断構造物の施工

—東海道線戸塚駅付近公道橋新設—

東日本旅客鉄道(株) 三丸 英寿

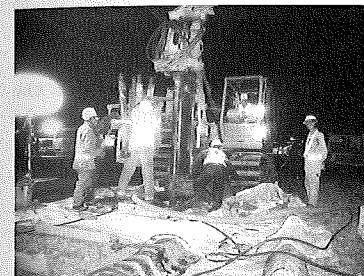
JR東海道線戸塚駅付近の鉄道線路6線をアンダーパスする都市計画道路について、横浜市よりJR東日本が委託を受け施工している。

当該箇所の地盤は水位が高く(GL-2m)、また地層構成が様でなく、さらに腐植土が厚く層状に形成するなど、施工方法を検討するうえで課題の多い状況である。

近年、線路内作業の軽減のため非開削工法が主流となっているが、本稿では当現場特有の条件から開削工法(工事桁工法)を採用するに至った経緯・計画・施工状況について報告するものである。

Construction of Structure on Humus Crossing under Railway Tracks—Installation of Underpass in the Vicinity of Totsuka Station, Tokaido Line—

By Hidetoshi San-maru, East Japan Railway Company



写真は遮水壁工・沈下対策工

JR East was commissioned by Yokohama City to construct a city planning road under 6 railway lines in the vicinity of Totsuka Station on the JR Tokaido Line.

At this construction site, ground water levels were high (GL-2 m), the composition of stratus was not uniform and humus is thick. That is there were many tasks to investigate the most suitable construction methods.

Though it has become major not to use the open cut method in recent years in order to reduce the work on the tracks, this report gives reasons of the employment of open cut method (using temporary beams) and information of construction planning and works.

掲載頁
15

土石流危険渓流交差部を明かり巻きトンネルで施工

—九州新幹線 筑紫トンネル(梶原工区)—

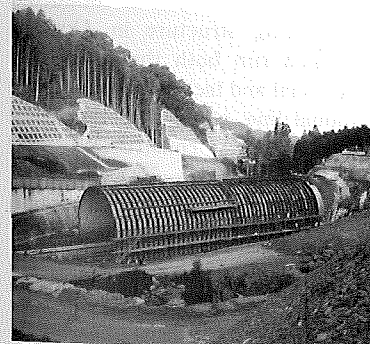
鉄道・運輸機構 吉野美喜男

九州新幹線筑紫トンネルは、福岡と佐賀県の県境である福岡県那珂川町～佐賀県鳥栖市に位置し、九州の陸上トンネルとして最長となる延長11,935mのトンネルである。起点側より150～180mの位置に、2級河川梶原川の河床と本線レベル高がほぼ同一高さで交差する箇所があり、当初計画時には本線を盛土構造とし、河川をボックス構造で本線下部を流下させる計画であった。しかし、その後の調査により同河川上流は土石流危険渓流であることが判明し、新幹線の安全を確保するため、土石流対策として河川下流側に砂防えん堤を構築し、その堆砂敷き内に新幹線トンネルを通わせる。本稿では、新幹線構造に対する河川の流下方式の選定、トンネルの設計および施工について報告する。

Construction of Open Cut Tunnel under the Dangerous Stream of Debris Flow—Chikushi Tunnel (Kajiwara Section), Kyushu Shinkansen—

By Mikio Yoshino, Japan Railway Construction, Transport, and Technology Agency

The Kyushu Shinkansen Chikushi Tunnel is located on the prefectural border between Nakagawa Machi, Fukuoka Prefecture and Tosu City, Saga Prefecture and is the longest land tunnel in Kyushu at 11,935m. 150 - 180 m from the starting point is a point that crosses the Shinkansen tracks and the Kajihara River, river bed



写真は明かり巻き部全景写真

height is at almost the same height as tracks height. In the earlier planning, the embankment structure for the main track and a box culvert in the bank for the river in order for flow to be directed to the bottom part of the rails is planned. However, after this, according to research, it was established that the upper stream of site was a dangerous stream of debris flow and, in order to ensure the safety of the Shinkansen, an erosion control dam was constructed on the downstream side of the site as a debris flow control countermeasure, Shinkansen passes under the sediment storage area of the dam, that is stream water and debris flow pass over the tunnel.

This report gives information on the selection of river down-flow methods for Shinkansen construction and design and construction of the tunnel.

老朽化したトンネル坑口部の補強工事

—北九州高速道路 北41工区トンネル改築工事その1—

福岡北九州高速道路公社 伊川 幹夫

本工事は、都市高速4号線上下線(門司区春日ランプ～大里ランプ間)に位置する奥田トンネルおよび黒川トンネルの老朽化に伴う補修・補強工事である。

面壁補強は、供用下の施工安全性が重要課題であるため、プレキャスト部材を使用した面壁の増し打ち工法を採用した。また、覆工補強は、NATMの坑口覆工と同等の保有耐力を有する構造とするため、既存の覆工に樹脂塗装鉄筋を配置し、TDRショット工法(硬化促進剤を用いた高性能モルタルの湿式吹付け工法)により一体化する工法を採用した。

本稿では、本トンネルで実施した補強工事の実績について報告する。

Reinforcement Works on Deteriorated Road Tunnel Portal—North 41 Section Tunnel Reconstruction Part 1, Kitakyushu Expressway—

By Mikio Igawa, Fukuoka-Kitakyushu Expressway Public Corporation

This construction is maintenance and reinforcement work due to deterioration in the Okuda and Kurokawa tunnels on the westbound line of Route 4 of Kitakyushu Expressway (between the Kasuga and Osato ramps).

For reinforcement of portal, the method to increase the thickness of concrete using precast concrete form was employed as in-service safety is important issue. In addition, for lining reinforcement the method of additional shotcrete (TDR shot) with resin coated rebar on existing lining was employed in order to make it the structure which had equivalent strength to NATM linings.

This report gives information on the results of the reinforcement works that were conducted on these tunnels.



写真はプレキャストアーチ部材架設状況

銀座・丸ノ内線合築駅部をアンダーピニング

—東京メトロ 赤坂見附駅出入口新設—

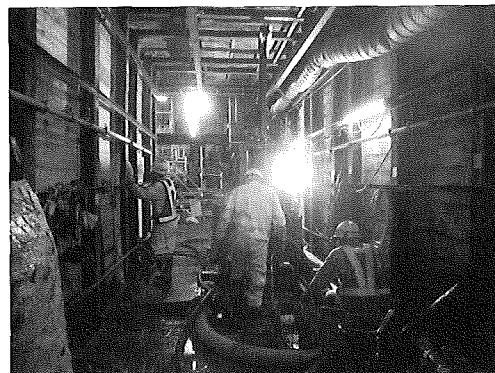
東京地下鉄(株) 若林 正則

本工事は、赤坂見附駅の火災対策設備を充実させるため、排煙設備の完備および2方向避難通路の確保を図るものである。2方向避難通路の確保においては、銀座線、丸ノ内線が走る赤坂見附駅既設構造物をアンダーピニング工法により仮下受けして新設構造物の構築を行う。営業線をアンダーピニングするという社会的・技術的重要性から、その安全性に対して十分な対策を行うとともに、綿密な施工・計測管理が求められた。

本報告では、このアンダーピニング工法の概要、施工計画、および施工実績について報告する。

Underpinning of Ginza/Marunouchi Complex Build Station—Installation of New Entrance/Exit to Akasaka Mitsuke Station, Tokyo Metro —

By Masanori Wakabayashi, Tokyo Metro Co. Ltd.



写真は下受け杭(BH杭)施工状況

This is a construction that will ensure the full provision of smoke exhaustion equipment and a bi-directional evacuation passage in order to enhance the fire-fighting installations in Akasaka Mitsuke Station. In order to install the bi-directional evacuation passage, construction is conducted with underpinning of an existing structure in Akasaka Mitsuke Station through which run both the Ginza and Marunouchi Lines. From the social and technological gravity of underpinning an operational line, along with preparing sufficient safety measures, careful construction and measurement management were required.

This report gives information on the outline, construction planning and construction results for this underpinning method.

トンネル建設における地盤沈下解析法に関する考察

近畿大学 久武 勝保

重力によって初期応力が生じる地盤において、トンネル掘削に起因する地表沈下量を有限要素法(FEM)で解析すると、解析領域の違いによって結果が異なることが知られている。シールドセグメントのような剛性の大きい覆工を有する場合においては、この影響がより強く現れる。

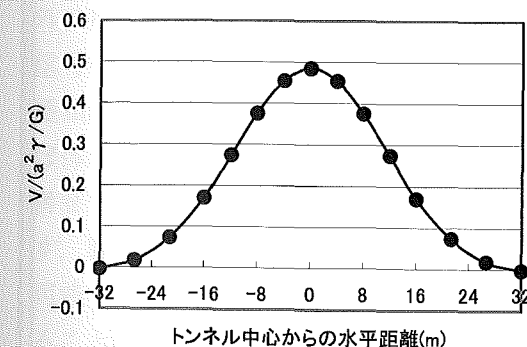
本稿は、このような現象を考慮して、トンネル掘削による地盤沈下量を現実的に解析する手法を提案することを目的としている。まず、通常行われる沈下解析手法の問題点を実測結果によって示し、この問題点を除去する新たな解析法を提案した。次に、提案手法の妥当性を実測結果によって示した。

A New Settlement Analysis in Tunnel Excavation

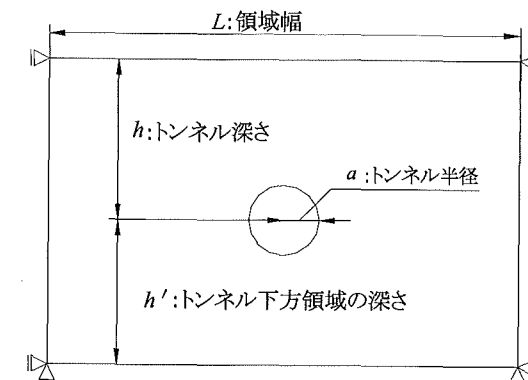
By Katsuyasu Hisatake, Kinki University

It is well-known that, in the ground where initial stress occurs due to gravity if the settlement caused by tunnel excavation is analyzed using the Finite Element Method (FEM), its results will be different depending on the differences in the analytic areas. This effect is observed even more strongly in cases which have rigid linings such as shield segments.

This report considers this kind of phenomenon and aims to propose the techniques to practically analyze the settlement caused by tunnel excavation. Firstly, it will show the problems of settlement analysis that is normally carried out through observation results and then it will propose new analysis methods that resolve these problems. Next, it will show the validity of the proposed techniques through observation results.



シールドトンネル建設による地表の鉛直変位(+は隆起)
 $(h/a=4, h'/a=4, L/a=16, a=4\text{m}, \gamma=19.6\text{kN/m}^3, G=385\text{MPa}, \nu=0.3)$

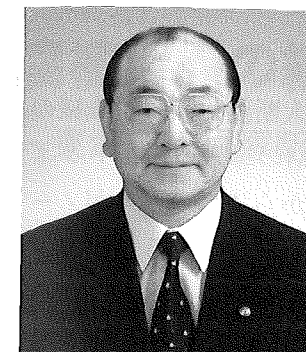


トンネル周辺地盤の幾何特性

技術開発

東急建設(株)代表取締役社長(本協会評議委員)

市川正美



常日頃現場第一主義を標榜している身として仕事で歩く機会は多いものの、歩くことを目的に歩きを始めて足掛け15年になる。平日は夕食後、休日は昼間に、病気のとき以外は毎日歩いて、たとえ会食があった日でも歩かないではいられないようになってきた。信号待ちと車の交通量が少なく、かつ景観に富むコースを45分、1時間、1時間15分の3種類設定して、体調と時間によってコースを選ぶことにしている。真冬でも20分も歩けば体が温まり、家に戻るころにはかなり汗をかき、風呂場に直行して一日のストレスも併せて流すことができる。歩きはゴルフと同様にフォームが重要であって、背筋を伸ばす、胸を広げる、踵から着地し、つま先をピンと上げる、肘を90度に曲げ大きく振る、可能な限り大股にするなどであるが、もっとも重要なのは肩の力を抜いてリラックスすることではないだろうか。継続は力なりとはよく言ったもので、長年歩いていると歩行技術も徐々にではあるが高まってきたと自負している。

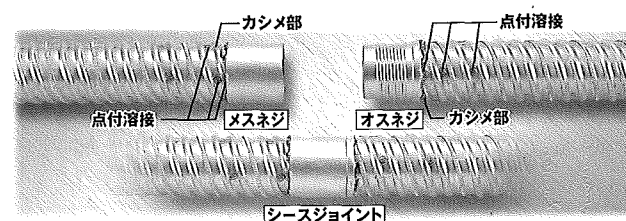
さて、トンネル掘削技術に話を移すと、学・官・民各界先人各位のご尽力により大きな進歩を遂げ、世界でも一級の技術を保有するに至っている現状は喜ばしい限りである。いかなる過酷な条件の下でも施工可能な状況にすることができ、最近ではいかに安く早く安全に掘削するかがキーワードとなってきている。これらの技術の進歩の仕方には大きく二つに分類され、常日頃の努力により一步一步改良を重ねていくものと、ある理論やアイデアによるブレークスルーでその世界が大きく進歩するものがある。

後者の代表的なものにはNATMがある。1970年代に欧州から導入されたこの工法は、今では至極当然の標準工法となっているが、その導入期には相当の苦労があった。以前は地山の荷重を鋼製支保工と矢板で担っていたものを、吹付けコンクリートとロックボルトの助けを得て、地山自身が支える工法、すなわち目に見えないもので支保することになった。視覚的に以前とは全く異なる工法になったことで、現場の監督員から作業員まで「このような工法で地山を支えることができるわけがない。狂っているのではないか」と大変な抵抗があったようである。しかしながら、発注者の強力なリーダーシップ

ユニークな発想と高品質・自信の価格

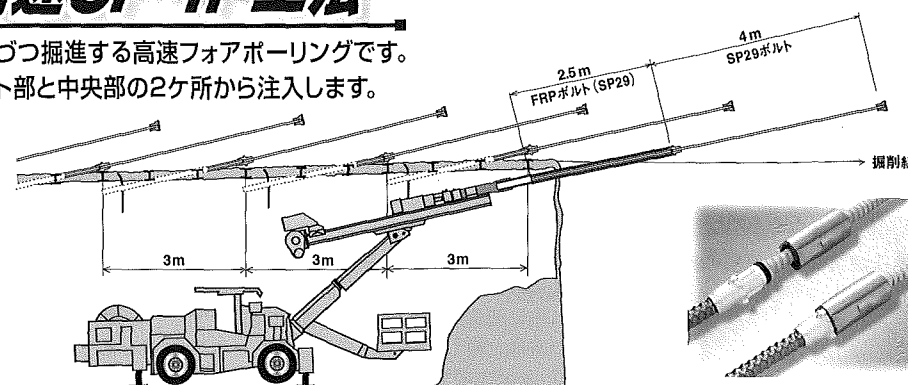
FIXチューブ工法

※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。

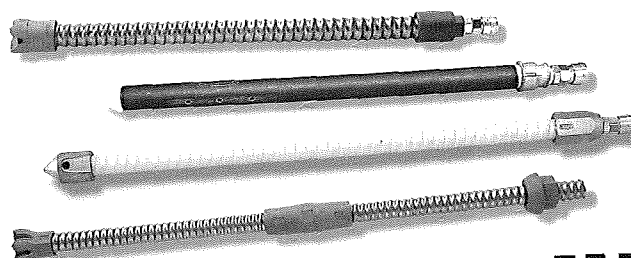


高速SP-IF工法

※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。



自穿孔ボルト&注入管



φ65mm ロストビット (SP29)

STE

エスティーエンジニアリング株式会社

ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2

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

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

※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。

により、徐々にこの工法のよさが理解されてきた。切羽の集約、大断面化、大型機械の導入、安全性の向上、コストダウンなどいずれの面からもNATMの導入は山岳トンネルにおける史上最大級のブレークスルーとなった。昨年はわが国から4名の方々がノーベル賞に輝いたが、NATM開発の関係者はノーベル賞相当の貢献をしているものと考えられる。同賞は残念ながら創始者ノーベルの遺言により、物理学、化学、医学、文学、平和の五部門に限定されていることから土木関係での受賞が望むべくもないのは残念なことである。山岳トンネルのブレークスルーにはNATMのほか、木製支保工から鋼製支保工への変更がある。木製支保工時代には導坑を掘り、徐々に切り上げ大断面とする複雑な工事手順があり、さらに覆工打設の際に松丸太などの支保部材を取り外す「木はずし」という危険この上ない作業があったため、崩壊事故も生じやすかった。それまで非常に高価な鋼鉄を埋殺すといった考えはなかったが、剛性の高い鋼製支保工を用いることで支保力と安全性の向上はもとより、作業空間の拡大により大型機械の導入が可能になった。それが、工期短縮と工費の節減につながり、NATM導入までの約30年間は鋼製支保工時代の全盛期到来となった。一方、シールド工法におけるブレークスルーとしては、開放型から密閉型シールドへの移行すなわち圧搾空気を泥水・泥土に替えて切羽の安定を図ったことが挙げられる。密閉型シールドの採用により、切羽を直接見られないという不満は残ったものの、掘削の安定度が飛躍的に高まり作業環境も工場と見間違うほど改善された。次に異型断面型シールドの採用が挙げられる。土圧・水圧に対抗するためには円形がもっとも合理的であり、これ以外の形状は想像の域外であったが、マルチフェース型シールドが世に出て以来複合型やほぼ四角に近いシールドも開発され、さまざまな条件下の地下工事が可能となった。シールド工事は今では更なる改良を重ねて、多種多様な工法が発展し日本の技術は世界に冠たるものとなっている。

さて、技術の発展は地道な努力の積み重ねと、全く新しい考えにもとづくブレークスルーの混合により発展してきている。このうち前述の山岳トンネル、都市トンネルのブレークスルーの歴史を紐解くと、大部分が発注者の英断と強力なリーダーシップによって進められてきたのも事実である。公共事業の縮小や環境面において建設事業を取り巻く情勢は厳しくなっているが、このような時代にこそ、より一層の技術開発が必要であると思われる。施工者の一員として技術開発の努力を続けることは勿論ではあるが、最近の情勢では十分な開発を行うまでの体力はない。発注者には、ブレークスルー的な技術開発と施工者にも大きな技術開発が可能となるような環境整備を期待したい。

施工

腐植土層の線路下横断構造物の施工

—東海道線戸塚駅付近公道橋新設—

東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所立体交差課副課長 三 丸 英 寿

東日本旅客鉄道(株)研究開発センターフロンティアサービス研究所新構造Iグループ 鈴 木 雄 大

東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所立体交差課 武 村 讓

1 はじめに

横浜市は、東海道線戸塚駅周辺地区を一体整備するため、市街地再開発事業・土地区画整理事業を推進しており、駅東西の交通機能の強化を図るため、東海道線40k750m付近で立体交差(アンダーパス)する都市計画道路柏尾戸塚線を計画している(写真-1, 2, 図-1参照)。

柏尾戸塚線は、国道1号線の代替ルート(自動車専用道)であり、現在の国道1号線が東海道線・横須賀線・東海道貨物線の6線と戸塚駅構内東京方で平面交差する東海道踏切(通称「大踏切」)は、朝夕のラッシュ時には開かずの踏切となっている。

JR東日本は、柏尾戸塚線のJR線路下横断部を含む延長約80m区間について横浜市より委託を受け、施工を行っている。

本稿では、当初、非開削(HEP&JES)工法で計画していたが、施工時に軌道に及ぼす変状リスクへの対策および予定工期内の完成・引渡しの実現可能性を検討した結果、開削(工事桁)工法に変更するに至った経緯と計画・施工状況について報告するものである。

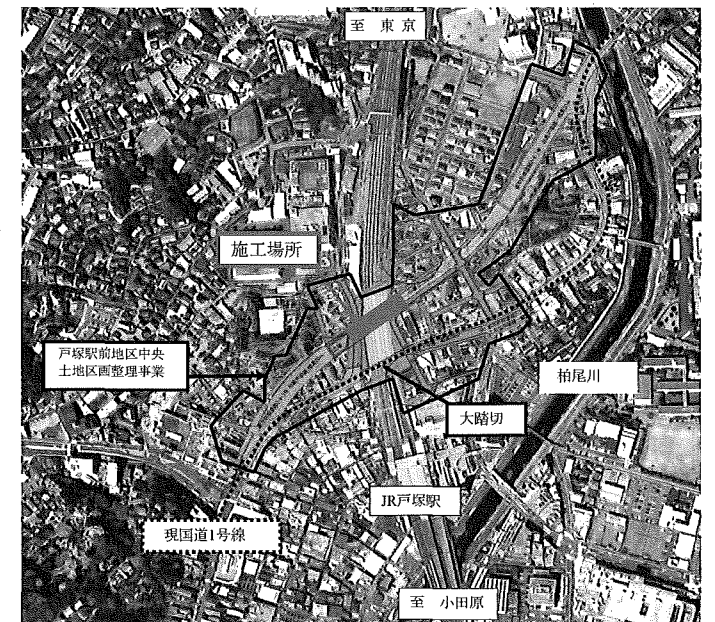


写真-1 周辺地域全景



写真-2 施工箇所全景(東京方より)

2 計画概要(当初)

線路下横断工法には開削工法(工事術工法など)と非開削工法(エレメントけん引工法など)があるが、JR東日本では非開削工法を採用することが

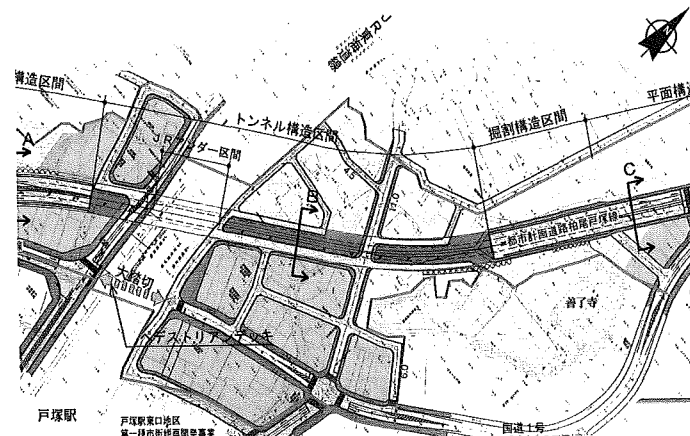


図-1 位置平面図

多い。それは、線路上には電柱や信号機などの移設が必要となる支障物が多く存在し、また軌道上での作業が多くなる開削工法よりも、非開削工法は一般的に軌道変状リスクが小さいと考えられているからである。

このため、当初、本工事では非開削工法の中でも土かぶり小さい箇所での施工が可能であり、線路下での施工ステップが少ないHEP&JES工法でこの道橋新設を計画し、概略段階での主要課題と対策を次のように考えていた(図-2,3参照)。

2-1 軌道変状と防護措置

東側(発進立坑側)の土質に腐植土層があり、さらに地下水位がTP+13.0mと高いため、軌道変状に対する防護を行う。

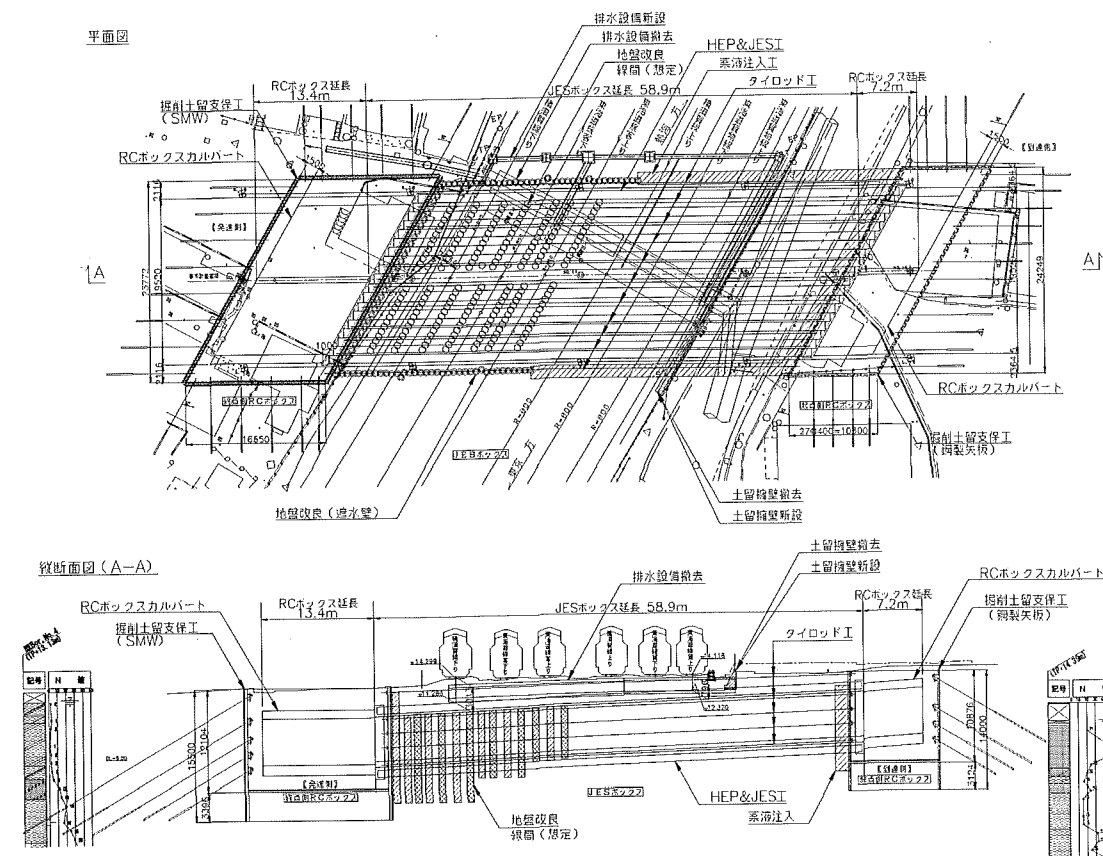


図-2 全体施工計画図

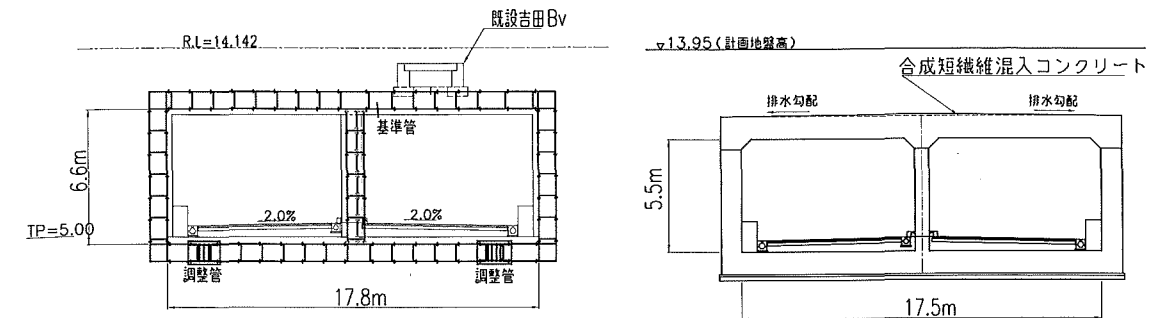


図-3 断面図(JES部、RC部)

- ① JESエレメントけん引時の止水目的として、薬液注入工と地盤改良工を施し、遮水壁を構築する。この遮水壁で囲われた内部の水を排水する。
- ② 軌道の沈下防止として、JES函体の下床部以深まで地盤改良工を行う。
- ③ JESエレメントけん引時の軌道状態を把握し、沈下を未然に防止するため、軌道計測工を行う。

2-2 JESエレメントけん引および既設水路撤去

JES函体上床版の土かぶりは、東海道貨物上り線部でもっとも小さく約1.2mであり、また軌道下を横断している既設水路(吉田B)がJESエレメントけん引に支障するため、

- ① 上床版においては、夜間線路閉鎖作業によりJESエレメントをけん引し、軌道監視・軌道整備を行う(側壁、中壁、下床版においては、昼夜間作業にて施工を行う)。
- ② 既設水路に支障する箇所は、人力作業での掘削・撤去によるJESエレメントけん引を行う。

3 地盤条件

この道橋新設箇所の道路センター断面の地層構成を図-4に示す。地盤条件は東西方向で大きく異なり、東側は粘性土層が中心であり、西側は砂質土層が中心となっている。とくに東側には、5m程度のPt層(腐植土層)が存在する。また、地下水位はGL-2mと高い状態にある。

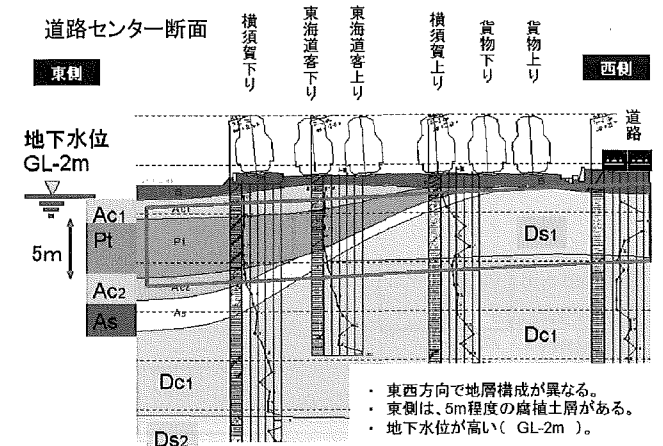


図-4 地層構成図(道路センター断面)

4 非開削(HEP&JES)工法の施工検討

HEP&JES工法の施工手順において、東側(発進立坑)と西側(到達立坑)の土留め壁を繋ぎ固定するタイロッドの施工時に、地盤削孔での地下水の漏出が想定される。この道橋はPt層(腐植土層)を貫く位置にあり、地下水位以下であるため、この地下水の漏出に伴いPt層が圧密沈下し、軌道変状を生じさせることが懸念された。そこで、タイロッド施工による圧密沈下についてFEM解析を行った。

4-1 圧密沈下解析

解析にあたり、横須賀線(下り)付近の断面の地盤およびタイロッドをモデル化した(図-5参照)。使用した地盤諸元とPt層のe-logP曲線をそれぞれ表-1と図-6に示す。

解析の結果、断面中央部での沈下量は最大約

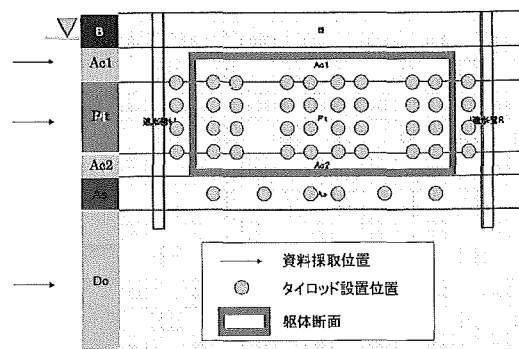


図-5 モデル化(横須賀線下り断面)

表-1 地盤諸元

地層	粘性土(Ac1)	腐植土(Pt)	粘性土(Dc1)
深度GL-m	1.5~2.35	4.5~5.35	13.5~14.1
自然含水比 $W_n(\%)$	57.4	279.5	67.1
細粒分含有率 $F.C.(\%)$	78	97	89
圧密降伏応力 $P_c(kN/m^2)$	266.5	76.5	—
圧縮指数 C_c	0.95	6.43	—
一軸圧縮強さ $q_u(kN/m^2)$	55~79	56~64	544~751
$E_{90}(MN/m^2)$	1.9~2.3	1.4~1.6	39.5~68.6

・粘性土層(Ac1)は、圧密降伏応力が非常に大きく、過圧密状態。

・Pt層は、含水比が高く圧縮性の大きい有機質土。

・Dc1層は洪積層であり、非常に大きな一軸圧縮強さを示すため圧密対象とはならず、弾性変形の対象であるが、変形係数(E_{90})が非常に大きいため、間隙水圧低下による変形は、ほとんど生じないと思われる。

1.1mとなり(図-7)、沈下速度は最大約4.4mm/dayとなった(図-8)。

定期的な保守管理や、軌道に影響のある工事を実施する場合において、夜間線路閉鎖時間帯での軌道整備は通常行われる作業であるが、上記の沈下量・沈下速度を通常の軌道整備で対応することは不可能な状況である。

4-2 圧密沈下対策

4-1の解析結果から、当箇所のHEP&JES工法での施工には沈下対策が不可欠のため、改めて大きく分けて以下の三つの対策を比較検討した。

- ① 圧密層の地盤改良(機械攪拌または高圧噴射攪拌)による沈下抑制

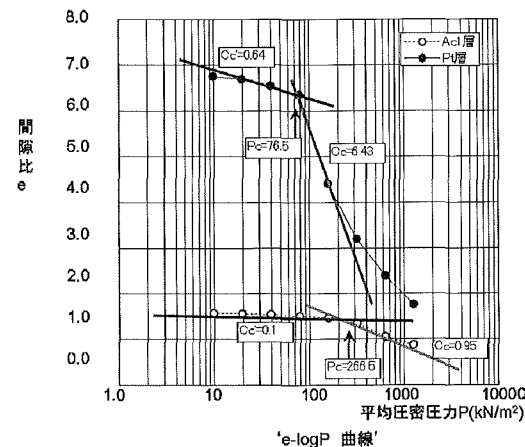


図-6 e-logP曲線(Pt層)

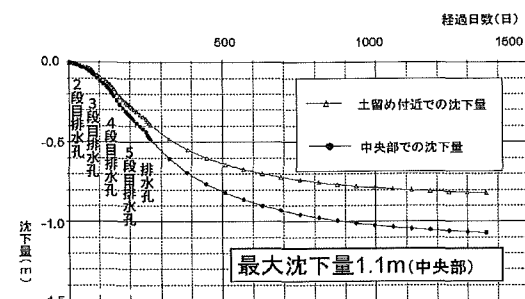


図-7 圧密沈下量

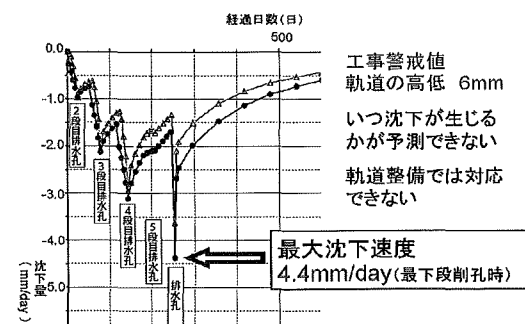


図-8 圧密沈下速度

- ② 強制排水先行(ディープウェルなど)による沈下の事前促進
 - ③ エレメント切羽部の地盤改良による地下水位の維持
- ①は、地盤改良工法は幾多あり、その特徴も一長一短あるが、線路上からの施工数量が膨大となり、工期・コスト面から困難である。
- ②は、計画的な沈下と軌道保守がきわめて難しく、粘性土層の沈下は比較的長期に継続し、長期

間の保守も必要となるため、工期面からも困難である。

③は、改良範囲が砂・軟弱～硬質粘性土など複雑に互層になっているため、改良の確実性やJESエレメントの構造上の理由から地下水水位維持は難しく、リスクを伴うため困難である。

計画当初においては、①と②の対策についての概念はあったものの、施工検討の過程において実施困難であることが判明したものである。

以上の検討結果を踏まえて、本工事での非開削(HEP&JES)工法を断念し、工事桁で支持することで軌道に圧密沈下の影響がない開削(工事桁)工法を採用することとした。

5 開削(工事桁)工法の施工計画

工事桁工法では、桁架設が完了するまでは全作業が線路内作業と言っても過言ではなく、軌道変状リスクの増大とともに夜間線路閉鎖作業による時間の制約から工程に及ぼす影響も大きい。そこで、仮土留めを軌道上からと軌道下での2段階施工とし、軌道上からは1次掘削に対応の親杭横矢板方式で施工数量を減らすこととした。なお、線路閉鎖間合い(作業有効時間)は、東海道線・横須賀線が194分、東海道貨物線が74分である。また、工事桁前後の軌道や周辺地盤に圧密沈下が生じる恐れがあるため、開削範囲を仮土留めおよび遮水壁で取り囲み、周辺の地下水・地盤に影響を与えないよう、十分な止水性を確保するよう計画した(図-9参照)。

工事桁工法の概略フローを次に記す。

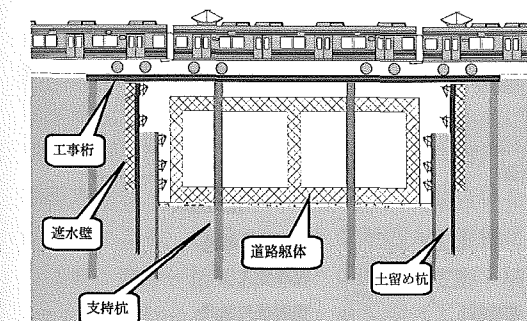


図-9 開削(工事桁)工法

- ① 仮土留め工(1次)(図-10参照)
- ② 遮水壁工
- ③ 工事桁支持杭打設

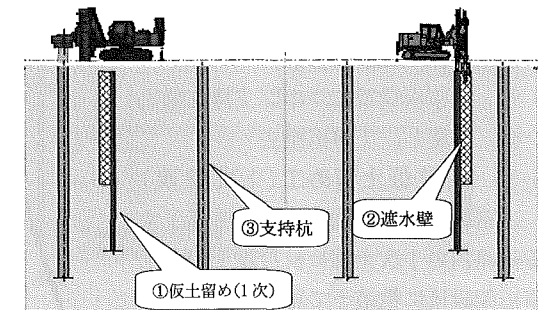


図-10 概略フロー(①～③)

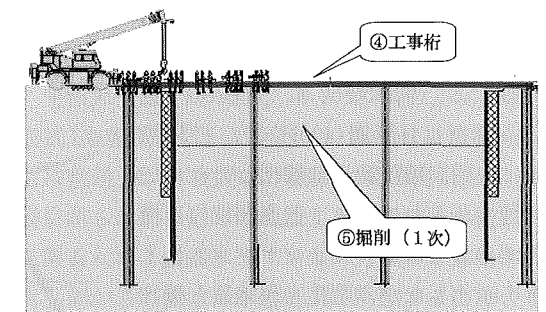


図-11 概略フロー(④～⑤)

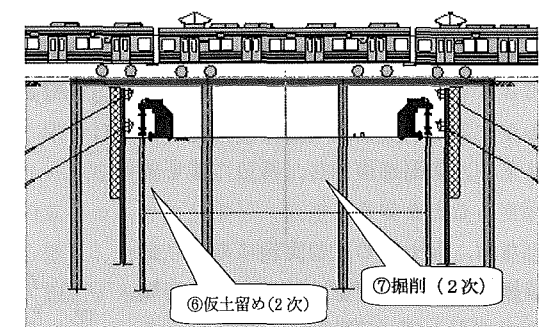


図-12 概略フロー(⑥～⑦)

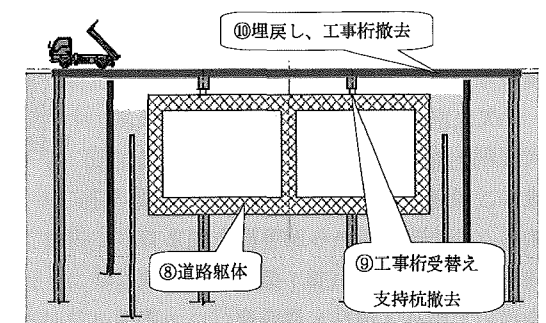


図-13 概略フロー(⑧～⑩)

- ④ 工事桁架設(図-11参照)
- ⑤ 掘削・土留め支保工(1次)
- ⑥ 仮土留め工(2次)(図-12参照)
- ⑦ 掘削・土留め支保工(2次)
- ⑧ 躯体工(図-13参照)
- ⑨ 工事桁受替え, 中間支持杭撤去
- ⑩ 埋戻し, 工事桁撤去

5-1 ①, ⑥仮土留め工(1次, 2次)

工事桁架設後の掘削に先立ち施工する線路内の1次土留め杭打設工と, 工事桁架設後に軌道下で施工する2次土留め杭打設工である(図-14参照)。

1次土留め杭は, 軌道上から仮土留め杭を『削孔攪拌+圧入工法』により打設する。杭本数52本, 杭長8.5~14m, 芯材はH形鋼(400H)で, 打設箇所に表層崩壊防護や位置出しのため口元管を圧入しておき, 低空頭杭打ち機のオーガ先端からセメントベントナイトを噴出しながら削孔・現地盤と攪拌し, 攪拌孔にH形鋼を圧入する工法である。

削孔攪拌と圧入作業を各1日で完了できないため, H形鋼は2.5mの継杭とし, オーガおよび杭を口元管内部で吊り下げ, 表面を復旧し, 後日作業を続行することとなる。

なお, 仮土留め工の実施にあたり試験施工を行い, 周辺地盤の変状の有無, オーガ引上げ・H形鋼圧入にかかわるセメントベントナイト配合具合, 施工サイクルタイム, 重機と架空線との離隔について確認することとした。

2次土留め杭は, 工事桁架設後の1次掘削・2段グラウンドアンカー施工後に, 軌道下にてSMW連続壁を施工する。1次掘削面から工事桁下面までの桁下空頭は約4mで, 低空頭対応機を用いて削孔・攪拌・造成を行い, 芯材(350H)をH形鋼建込み用定規に差

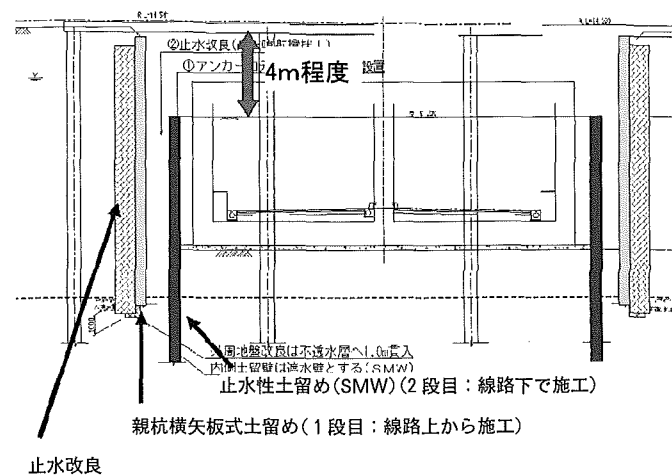


図-14 線路下2段土留め・遮水壁

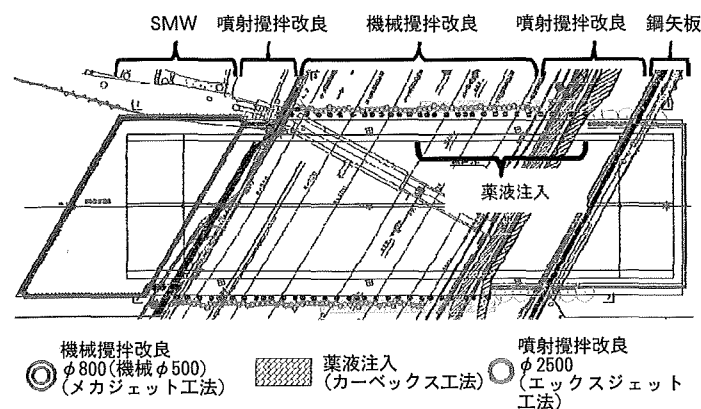


図-15 遮水壁平面図

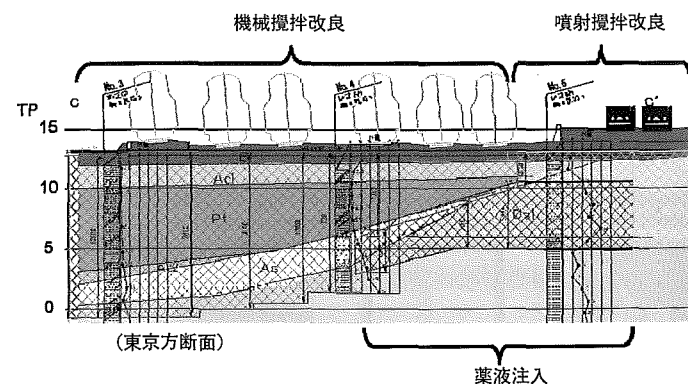


図-16 遮水壁断面図(東京方面)

し込みミニクレーンで建て込む。

5-2 ②遮水壁工

線路内で施工する仮土留め工(1次)側部の遮水壁造成工である(図-15, 16参照)。

使用機械が小型で架空線下の空頭制限のある箇所での施工が可能な高圧噴射併用攪拌工法(メカジェット工法)を採用した。施工数量107本(造成長約840m), 改良径φ800で, 仮土留め工(1次)と同様に口元管を設置した後, 東側粘性土と西側砂質土上部の表層を地盤改良する。西側砂質土層部につい

ては薬液注入とし, 東海道貨物線直下で有効作業時間が非常に短いため, 西側作業ヤードからの水平薬液注入(カーベックス工法)を用いることとした。

また, 西側道路部については, 埋設物が支障し上部からの機械攪拌施工ができないため, 高圧噴射攪拌工法(X-jet工法)とした。

なお, メカジェット工法での地盤改良の実施にあたり試験施工を行い, 機械能力, 改良体(φ800mm)の出来形・強度, 地盤変状の有無, 排土量, サイクルタイムについて確認することとした。

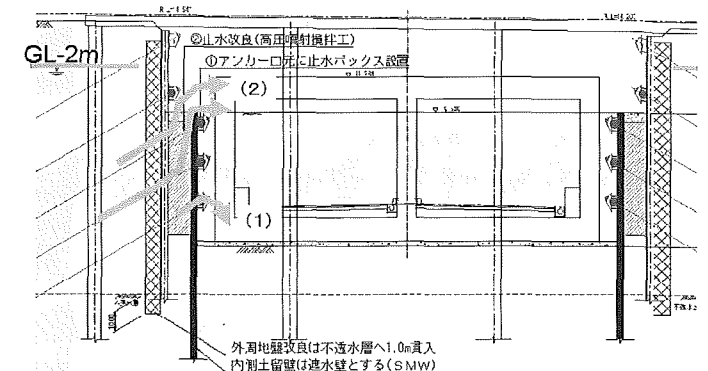
5-3 ③工事桁支持杭打設

工事桁の支持杭として鋼管杭を打設する。軌道上からの施工量を極力少なくするため鋼管杭を採用し, 1線あたり3スパン・8本で計48本の鋼管杭(φ700, t=19mm, L=17m)を低空頭杭打ち機により回転圧入する。

鋼管杭は2.5mの単尺ものをネジ式継手で接続する。

5-4 ④工事桁架設

東海道線・横須賀線・東海道貨物線の6線に工事桁を18連(1線あたり12m/連×3連)架設する。架設方法は, 現場条件および線路閉鎖間合いを考慮したところ, 鉄道クレーンなどの大型重機による1晩1連の一括架設が難しいため, 主桁・横桁(マクラギ受桁)を順次設置し組み立てる分割架設とした。



課題: 土留めの止水性

- (1) アンカー口元からの漏水の恐れがある。
- (2) アンカー削孔時に止水壁を貫くため, 土留め間を通る漏水が懸念される。

図-17 2段土留めの止水対策

5-5 ⑤, ⑦掘削・土留め支保工(1次, 2次)

土留め支保工として, グラウンドアンカー(除去式)を施工する。1段目アンカーは工事桁架設前に軌道上から夜間線路閉鎖作業で施工する。2段目からは工事桁下で施工するが, 地下水位以下であるため「耐高水圧アンカー方式」を採用し, 背面側からの漏水・水位低下を防止することとした。なお, 2次土留め(SMW連続壁)と遮水壁の間の止水について, 施工状況に応じて対策を検討することとしている(図-17参照)。

5-6 ⑧躯体工

床付け面まで掘削完了後, 道路躯体鉄筋コンクリートを施工する。延長約75mの躯体を15mごとの5ブロックに分割し, 軌道下中央のブロックから施工した後, 東側と西側に向けてブロックを順次施工する計画である。コンクリート施工数量は約4,500m³($\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$)で, 上床版には剥落防止のため合成短繊維混入のコンクリート打設を予定している。なお, 施工時に支障物となる工事桁支持杭部については, 箱抜き形状などの対策を検討中である。

5-7 ⑨工事桁受替え, 中間支持杭撤去

RC道路躯体の上床版と下床版を貫通している工事桁支持杭の開口部を塞ぐため, 工事桁を上床版上に受替え, 受替え完了後, かんざし桁受けと支持杭を撤去する。撤去材は, チェーンブロックにて吊り上げながらガス切断・撤去し, 開口部を

コンクリート打設し閉鎖する。コンクリート打設は、コンクリート圧送管を配管し、昼間作業にて行う。

5-8 ⑩埋戻し、工事桁撤去

躯体築造後に流動化処理土での埋戻しとグラウンドアンカーの引抜き撤去を交互にくり返し、工事桁下面まで埋戻しを行った後、工事桁を撤去しバラスト軌道への復旧を行う。工事桁の撤去方法は、架設と逆順序での分割撤去とした。1晩での作業可能な範囲の横桁(マクラギ受桁)を撤去しPCマクラギに置替え、バラスト充填・つき固めを行う。横桁撤去完了後、主桁を撤去しバラスト埋戻し・締め固めを行う。工事桁撤去後、支持杭頭部で工事桁を受けていたかんざし桁を撤去する。

5-9 背面側軌道沈下対策工

腐植土層の圧密沈下対策として、工事桁工法を採用し併せて遮水壁を施工するが、過去の戸塚駅付近の工事実績や有識者の意見によると、施工時の工事桁仮橋台背面の沈下、完成後の躯体背面の沈下が懸念され、更なる対策が必要とのこととなった。このため、①工事桁の1スパン延伸、②恒久材による薬液注入、③機械攪拌による地盤改良の3案の中から経済性・施工性・工期・効果を総合評価し、③案に決定した。工法は遮水壁工と同じくメカジェット工法を採用することとし、軌道への影響範囲・腐植土層厚から平面配置・改良深さを決定し、施工数量184本(改良長2~11m、全長約960m、改良径φ800)で、開削部から離れるに従い改良深さを徐々に浅くした。

6 施工状況

6-1 仮土留め工(1次)

2007年10月より口元管の設置に着手し、2008年



写真-3 遮水壁工・沈下対策工

5月に全52本の打設を完了した。

6-2 遮水壁工(メカジェット工法)

2008年6月より口元管の設置に着手し、現在施工中である。(2008年10月28日時点、全107本中81本の打設完了)

6-3 沈下対策工

2008年6月より口元管の設置に着手し、現在施工中である(2008年10月28日時点、全184本中99本の打設完了(写真-3参照))。

7 おわりに

現在、遮水壁工・沈下対策工(メカジェット工法)を施工中であるが、本年11月からは工事桁支持杭(鋼管杭)の打設に着手し、2009年9月頃より工事桁架設を開始する予定である。

本工事では、軟弱地盤での線路下横断工事における軌道変状リスクへの対応のため、当初計画を変更するなど実施工に向けてより多くの検討が必要であった。本検討における関係の皆様に対し感謝するとともに、2013年度内に予定している道路躯体引渡しの目標に向け、今後ともご指導とご協力をいただきますようお願いするものである。

施工

土石流危険渓流交差部を明かり巻きトンネルで施工

—九州新幹線 筑紫トンネル(梶原工区)—

鉄道・運輸機構九州新幹線建設局工事第一課長 吉野 美喜男
 鉄道・運輸機構九州新幹線建設局那珂川鉄道建設所長 村山 正巳
 鉄道・運輸機構九州新幹線建設局那珂川鉄道建設所 吉川 豊
 大成・徳倉・大木・松本特定建設工事共同企業体所長 前田 政弘

1 はじめに

九州新幹線鹿児島ルートは、福岡市から鹿児島市を結ぶ延長257kmの新幹線鉄道路線である。

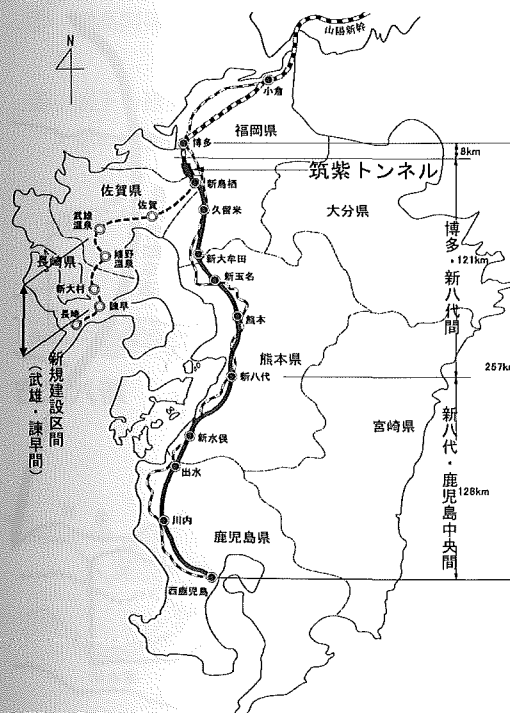


図-1 九州新幹線ルート概要図

このうち、新八代・鹿児島中央間(延長128km)は平成16年3月に開業した。一方、博多・新八代間(工事延長121km)は平成22年度末の完成に向け鋭意施工中である(図-1)。筑紫トンネルは、福岡県と佐賀県の県境である福岡県那珂川町内~佐賀県鳥栖市内に位置する九州の陸上トンネルでは最長となる延長11,935mのトンネルである(図-2)。

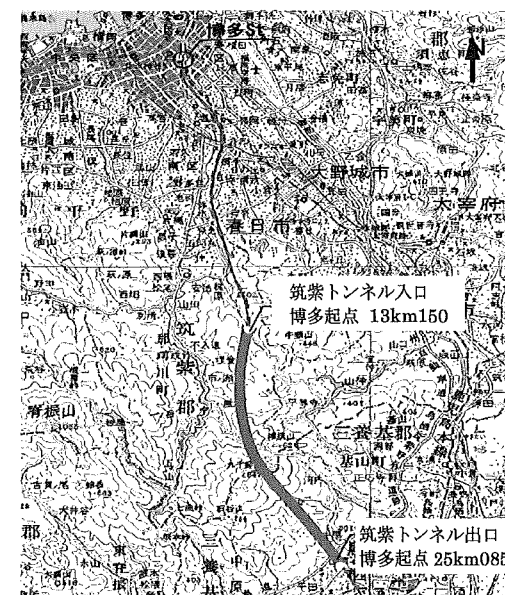


図-2 筑紫トンネル位置図

2 トンネルルート

筑紫トンネルは福岡県と佐賀県にまたがる背振山地の東側に位置し、トンネルルートはほぼ南北方向で、起点方に $R=6,000\text{m}$ 、終点方に $R=9,000\text{m}$ の曲線区間を持ち、平面線形はS字形となっている。縦断線形は分水嶺となる福岡県那珂川町と佐賀県鳥栖市の県境を頂点とし、拝み勾配となっている。

筑紫トンネルルート付近には4か所のダムが存在し、近接する福岡市、春日市、那珂川町、大野城市、筑紫野市、基山町および鳥栖市の「水がめ」となっている。このため、トンネル掘削に伴う周辺の水環境への影響に配慮して、上述のトンネルルートを決定している(図-3)。

具体的には、平面線形に曲線を取り入れ、4か所のダムから極力離れたルートとしたうえで、縦断線形に新幹線の最急勾配である35‰を採用し、ルートの標高を高くすることで、土かぶりを小さくして周辺の水環境への影響範囲を極力抑えるよう計画している。

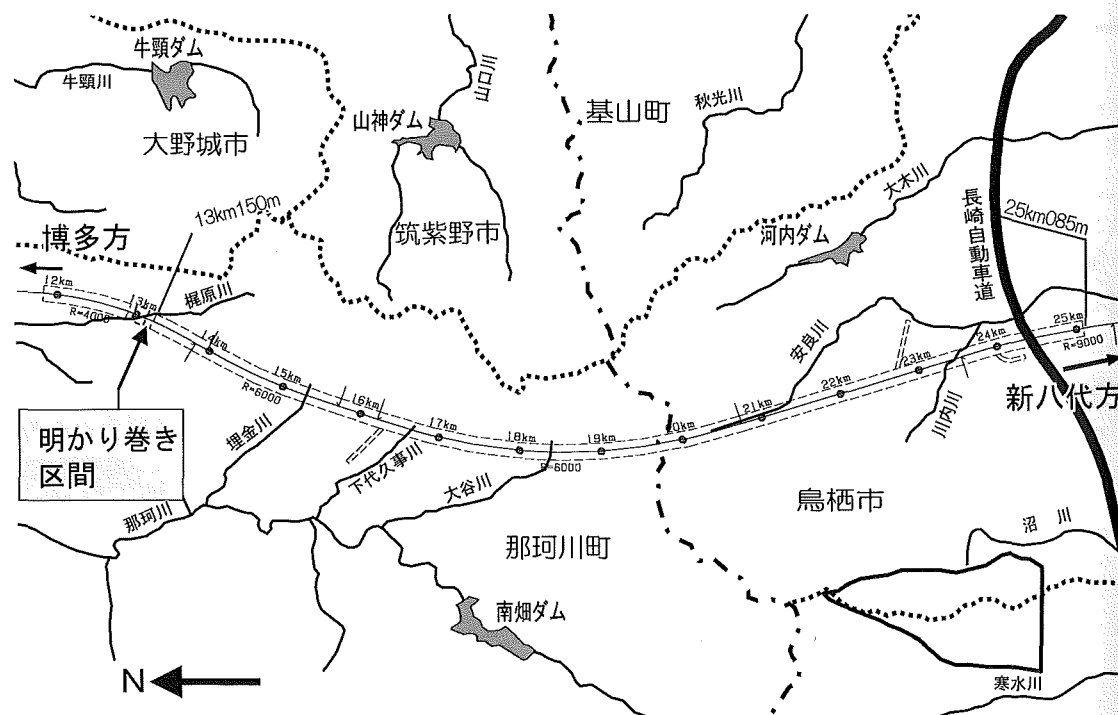


図-3 筑紫トンネル平面線形概要図

3 土石流対策の必要性

筑紫トンネルは、全体を4工区に分けて施工を行っているが、もっとも博多方の梶原工区には、筑紫トンネル部分(博多起点13km150m~16km300m、延長3,150m)と、その起点側の第2那珂川トンネル(博多起点12km970m~13km120m、延長150m)との間の明かり区間があり、2級河川梶原川の河床と本線施工基面高がほぼ同一高さで交差する箇所があった。

当初計画案は、河川交差部はボックス構造とし、新幹線下部を流下させる計画(図-4)であったが、その後の詳細な調査などにより、梶原川交差部上流側流域部全体である 2.27km^2 が土石流危険渓流であることが判明し、土石流対策の検討を行うこととした。

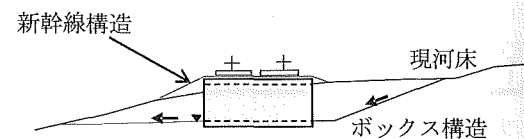


図-4 梶原川交差縦断面図(イメージ)

4 河川流下方式の選定

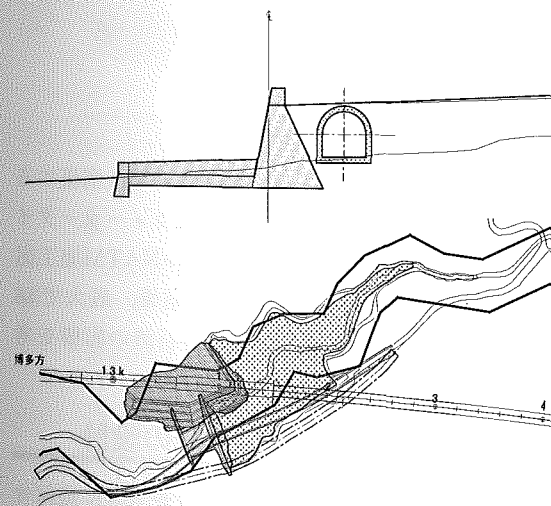
通常時の河川水および土石流発生時の流下をいかに新幹線構造物に対して安全かつ確実に導くかが重要であるため、次の課題点を考慮して比較検討を行った。

- ① 梶原川河床と新幹線の標高関係
- ② 洪水・土石流発生時の流下の確実性
- ③ 土石流に対する安全性の確保

図-5は、新幹線に対する土石流などからの被害を防止するため、トンネル構造を基本とし、流下方法をトンネルの上部または下部にした場合の構造案である。

オーバース案は、本線下流側に砂防えん堤を構築し、堆砂敷き内に新幹線トンネルを通過させる計画であり、アンダーパス案は、本線上流側に砂防えん堤を構築し、洪水・土石流発生時は新幹線トンネル下部に構築されたボックス構造内を流下させるよう計画したものである。先の課題点に対して両案を比較検討した結果、アンダーパス案では、

- ① 標高関係では、下流との取り付きが長くなる。
- ② 流下の確実性では、流木などによるボックス部の閉塞が懸念される。また、下流擦り付



(1) オーバース案

(2) アンダーパス案

図-5 流下方法検討案

けの河道勾配が緩くなり、土砂の堆積による疎通能力低下が懸念される。

- ③ 安定性の確保では、土石流が新幹線構造物まで及ぶ恐れがある。

などの理由から、「新幹線構造物の安全を確保できない」「洪水・土石流の流下方法として適切ではない」と判断し、オーバース案を採用することとした。

5 土石流対策区間の設計

砂防えん堤の配置位置を決め、詳細設計を行った結果、梶原川に並行している県道平等寺・那珂川線が砂防施設に埋没するため砂防えん堤の高さまで付替えることになった。また、新幹線交差の下流側にダムを設置した場合、交差角度の関係から、右岸側袖部にソイルセメントによる人工地山の構築が必要となった(図-6)。

河川管理者である福岡県の砂防指針によると、ソイルセメント目標強度はレベルⅢとなり $3.0 \sim 6.0\text{N/mm}^2$ の強度になるが、砂防ダムの安定計算より求めた目標強度は 2.1N/mm^2 であることから今回は 3.0N/mm^2 を目標強度とした。

また、ソイルセメントの材料はトンネル掘削ずりを粒度調整して流用した。

なお、トンネル掘削部分の改良強度は、掘削の

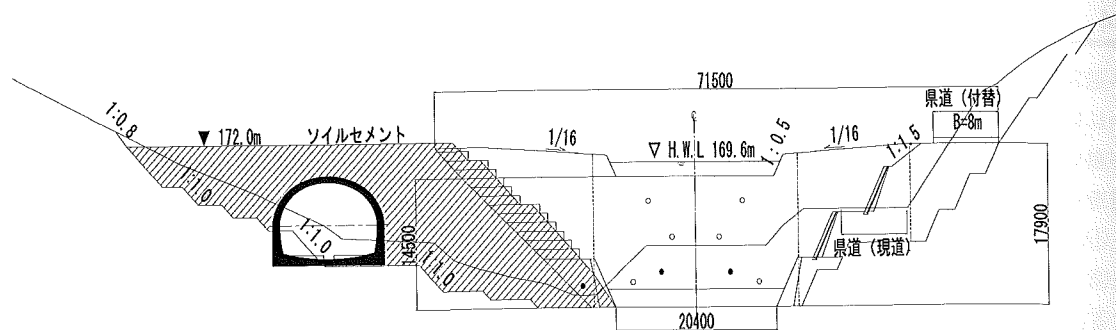


図-6 えん堤正面図

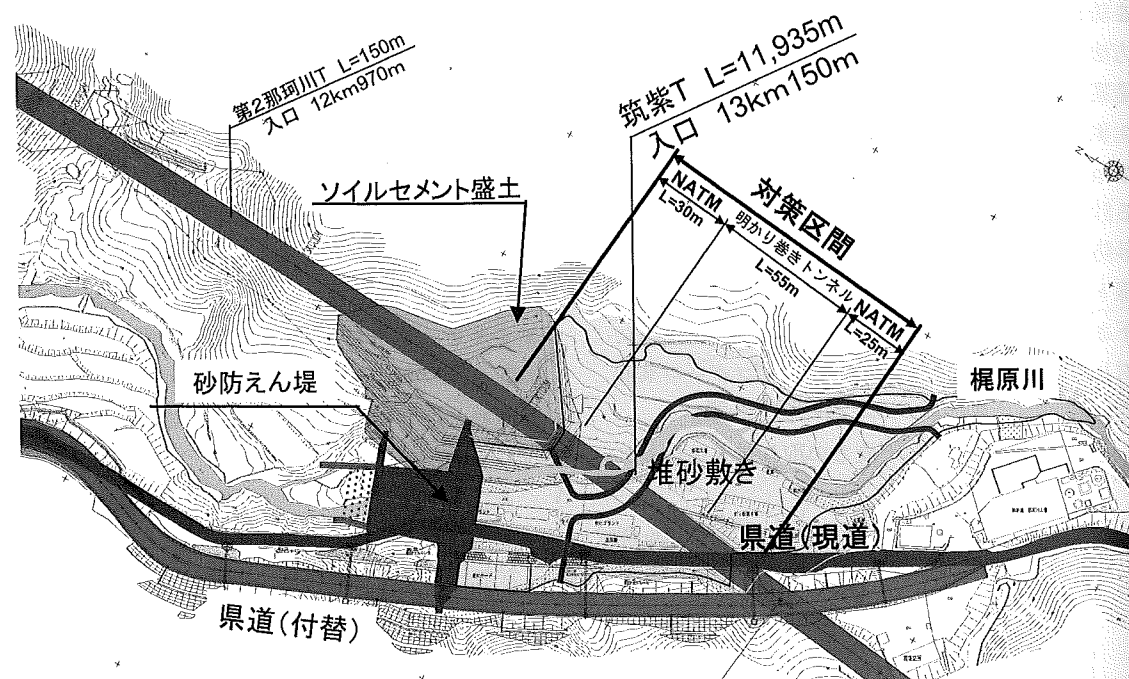


図-7 梶原川交差点部平面図

施工性を考慮し 1.0N/mm^2 とした。

土石流の流下方向は発生場所や規模などによって定まっておらず、土石流の影響を受ける区間として、明かり巻きトンネル区間の55mのほか起点方のソイルセメント盛土のNATM区間の30mと終点方のNATM区間の25mの110m間を土石流対策区間とした(図-7)。

明かり巻き区間前後のNATM区間は、地山土かぶりおよび土石流による堆積などを鉛直荷重として、覆工厚を明かり巻きトンネルと同様の700mmに設定した。

また、トンネル覆工は、砂防えん堤を構築することによる水位の影響を考慮したウォータータイト構造とし、範囲の設定は前後のNATM施工区間の地盤の透水係数を調査した結果、最大で $3.8 \times 10^{-5}\text{cm/sec}$ 程度であるため土石流の影響を考慮する範囲とした。

6 明かり巻きトンネルの設計

今回の砂防えん堤は土砂だまりを大きく確保せずに、あらかじめ土砂を堆砂させてその堆砂内に新幹線トンネルを構築する構造としている。

その明かり巻きトンネルの詳細な設計について述べる。

6-1 適用基準

適用基準は次のものを適用した。

『鉄道構造物等設計標準・同解説』((財)鉄道総合技術研究所)

- ・コンクリート構造物(平成16年4月)
- ・開削トンネル(平成13年1月)
- ・耐震設計(平成11年1月)

6-2 設計条件

一般条件を表-1,2のように定めた。

材料の設計用値、鉄筋の腐食に対するひび割れ幅の制限値は、それぞれ適用標準に準拠した。

また、設計荷重は表-3のとおり定めた。

要求性能別の作用の組み合わせ、各限界状態に対する安全係数は、適用標準に準拠した。

6-3 常時の計算

明かり巻きトンネルは、通常の開削トンネルと

表-1 設計概要

構造形式	トンネル(底版張出し)
列車荷重	P-16列車荷重
設計耐用年数	100年
かぶり	標準かぶり50mm以上
環境条件	通常環境
地盤条件	底部地盤 $N=50$ 側部地盤 $N=20$
構造物の重要度	重要構造物

表-2 使用材料

コンクリート	設計基準強度 $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$ ヤング係数 $E_c=25\text{kN/mm}^2$
鉄筋	規格SD345 降伏強度 $f_{yk}=345\text{N/mm}^2$ ヤング係数 $E_s=200\text{kN/mm}^2$

表-3 設計荷重

固定死荷重	鉄筋コンクリート 24.5kN/m^3
付加死荷重	軌道スラブ 23.0kN/m^3 軌きょう 7.5kN/m^3
鉛直土圧	上載土 19.0kN/m^3 , $H=6.25\text{m}$
側圧	$P_s=K_0(q+\gamma H)$
水圧	$P_w=\gamma \cdot H$
土石流荷重	$\gamma=18.0\text{kN/m}^3$, $H=2.4\text{m}$

同様に常時と地震時に対して検討を行った。常時の計算に用いる解析モデルは、折れ線近似構造とし、地盤ばねに支持されているものとしたが、土かぶりが小さい区間もあるため、S.L.以浅の地盤ばねは考慮しないこととした(図-8)。

前記条件により、安全性(破壊)の検討(曲げ・せん断)、耐久性(ひび割れ)の検討(せん断・曲げ)を行った。明かり巻きトンネルの構造は、アーチ部の巻厚および構造物中心における底版厚が700mmとなり、最大応力が生じる側壁と底版の取り合いとなる隅角部は1,000mmほどの厚さとなった(図-9)。

また、配筋は、アーチ部および側壁内側がD22の125ピッチ、側壁外側および底版部がD32の125

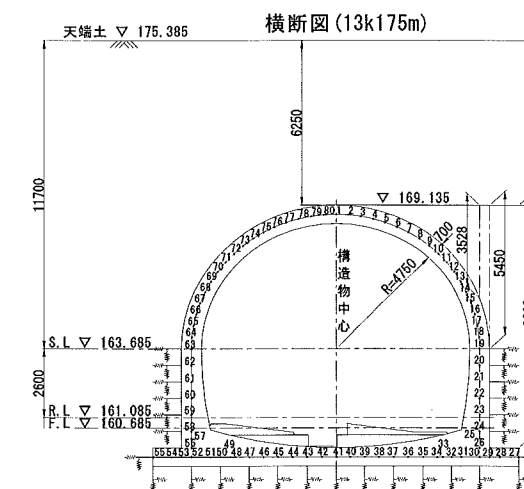


図-8 解析モデル図

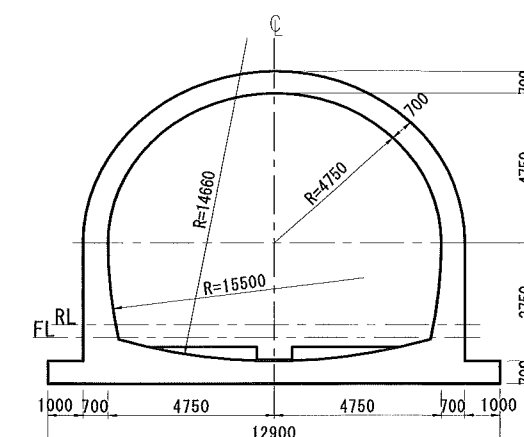


図-9 明かり巻き覆工断面図

mmピッチとなった。なお、補足検討として、洪水・土石流によるトンネルの浮上がりの検討も行い、問題ないことを確認している。

6-4 地震時の照査

本件では、地盤の固有周期によって簡易に表層

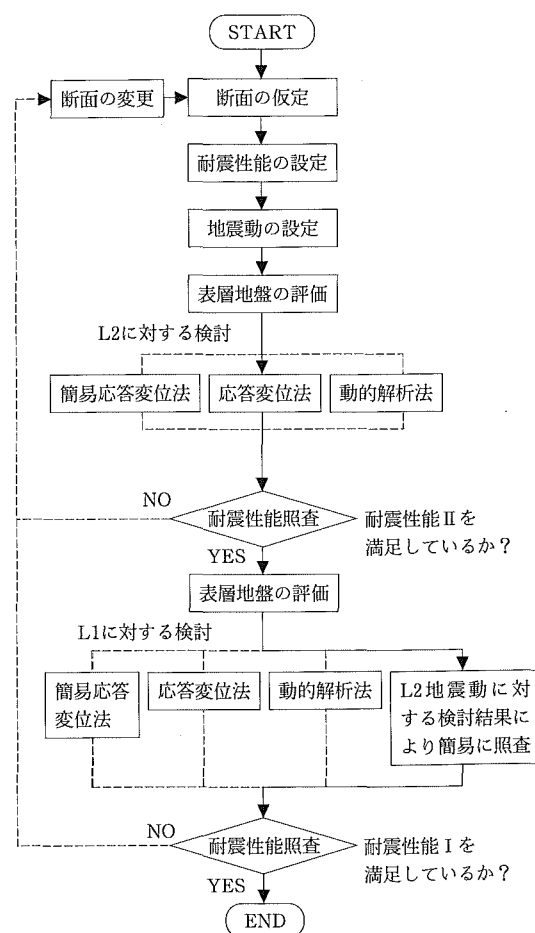


図-10 耐震性能照査フロー

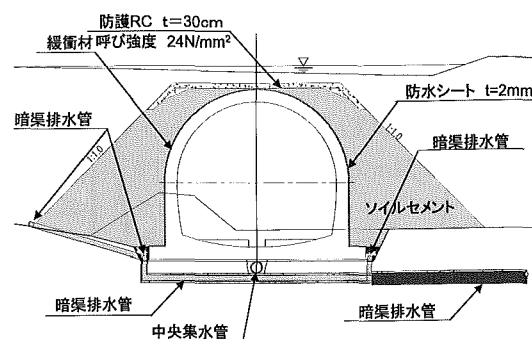


図-11 トンネル防護略図

地盤を評価し、L2地震動に対する検討では、応答変位法を用いて構造物の応答値を算定するものとした。

また、L1 地震動に対する検討では、L2 地震動に対する検討結果より簡易に応答値の算定および耐震性能照査を行うものとした。

以上により検討を進め、破壊形態、耐震性能とも満足する結果が得られた。

6-5 明かり巻きトンネル防護

明かり巻きトンネル区間と堆砂敷きとの交差箇所の土かぶりは最小で約50cm程度となるので洪水・土石流によりトンネル上部の堆砂敷きが流出する可能性がある。

上流の転石の調査や土石流発生時の流速を検討した結果、直径1.2m程度までの転石などが流下してくる可能性があり、その転石群がアーチコンクリート表面へ直接衝撃を与えることにより損傷を受ける恐れもあるため、図-11のようにトンネル外周にソイルセメント人工地山を構築するとともに、その天端には鉄筋コンクリート防護を行い、トンネル全体を防護することとした。また、堆砂敷きからの浸透水がトンネル内へ流入すると列車運行の阻害の原因ともなるため、前後のNATM区間同様、明かり巻きトンネル全周を厚さ2mmの防水シートで覆うウォータータイト構造にするとともに、明かり巻きトンネル自体がダムとなり、上流側からの水圧を受けないように、トンネルの上流および下流にトンネルに沿ってφ300の暗渠排水管を配置し砂防えん堤外まで導水し、水位上昇による水圧の影響を極力受けない構造とした。

7 施 工

7-1 ソイルセメント盛土とトンネル掘削

ソイルセメント盛土の基盤は盛土の自重およびトンネル下部においては新幹線の走行荷重に対し、将来的に沈下が生じない十分な強度が求められる。したがって、床掘り完了後、平板載荷試験を行い、支持力を確認している。また、地盤の設計支持力 ($1,200\text{kN/m}^3$) が不足している場合は、満足する地盤まで掘削し、置き換え部の盛土材は、盛土本

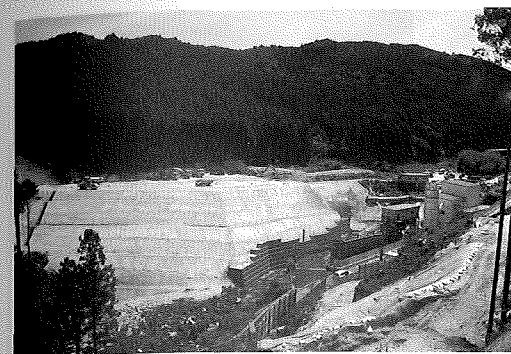


写真-1 ソイルセメント盛土全景写真

体と一体ものとして考え、同様の強度を持つソールセメントで置き換えた。

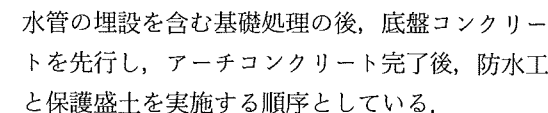
盛土材の目標強度は 3 N/mm^2 以上と規定されており、事前の試験施工によりセメントの添加率を 60 kg/m^3 に定めた。また、トンネル掘削部は目標強度が 1 N/mm^2 であることから、 50 kg/m^3 と添加率を低減した。

盛土材は、筑紫トンネル梶原工区の土捨て場において、掘削土を最大粒径80mm以下に粒度調整したものに、自走式土質改良機(SRG-2000)を使用し、セメントを攪拌・混合して作製した。この材料をダンプトラックで施工場所まで運搬し、敷き均し、転圧を行った(写真-1)。

トンネル掘削部におけるソイルセメントの目標強度は 1 N/mm^2 であることから、当初の施工計画では掘削は、油圧式切削機(ツインヘッダー、 39.2 MPa)と大型ブレーカー($1,300 \text{ kg}$ 級)を併用した機械掘削を予定していたが、現実的には掘削外周面での盛土強度は 3 N/mm^2 を遙かに超えており、ツインヘッダーでは切削能力が不足したので、自由断面掘削機(ロードヘッダー 200 kW 級)に変更した。ソイルセメント盛土内は非常に安定しており、鏡面の自立性は高く、内空変位もほとんど発生しなかった。また、置換工の効果で脚部沈下も抑制できた。

7-2 明かり巻きトンネルの施工

明かり巻きトンネルの施工延長は55mであるため、覆工セントルの寸法(全長10.5m)に合わせ、6スパン(9m×5スパン+10m×1スパン)にブロック分けして構築する計画とした。施工は、暗渠排



明かり巻きトンネル区間は、梶原川の河床および河川敷に位置し、地質は基盤となる風化花崗岩(GsⅡ相当)の上に転石混じりの崩積土が堆積した状態であった。明かり巻きトンネルの基礎地盤の支持力は新幹線本線部の設計荷重ならびに堆砂敷盛土の荷重を満足する必要があることから、所要の設計支持力(1,000kN/m²)を有する地盤に達する深度まで掘削を行うとともに平板載荷試験を実施し、地盤の支持力が設計荷重に対し安全であることを確認することとした。なお、インバート底面部までの置換部はソイルセメント盛土で施工実績があり、設計値を満足する3N/mm²のソイルセメントを使用した。明かり巻きトンネルでは、アーチコンクリートの外型枠には移動式のアウトセントルを使用する例もあるが、今回はH形鋼に木矢板を現地に取り付ける方法を採用した。最初に、アーチ形状に加工したH200×200(4分割)を底盤コンクリート上に設置する。フレーム解析の結果、建込み間隔は800mmピッチとし、シーボルトなどでセントルに縫い付けるのではなく、強力サポートにより外部(側部)から突っ張る補強方法をとった(写真-2)。

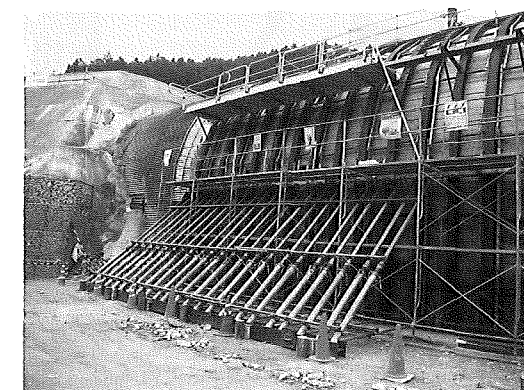


写真-2 外型枠組立て状況写真

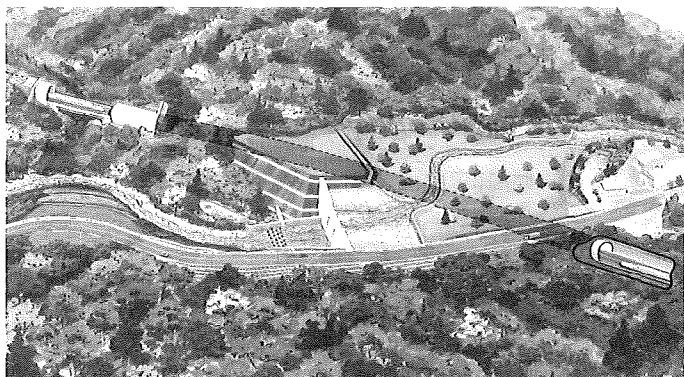


図-12 梶原川交差点完成イメージ

H形鋼の外側には作業足場および補強材を設置し、強力サポートにより強固に支持した。

鉄筋組立て用の足場にはNATM区間で防水シートの施工に使用した作業台車のステージを拡張する改造を行い、内部から組立てを行った。

鉄筋組立て完了後、セントルを移動・セットし、妻型枠を組立てた。セントルはNATM区間の進行方向と逆向きに起点方から使用するため、妻型枠を支持する部材などをすべて付替えるための改造作業を要した。

明かり巻きトンネル部は平成20年11月末、砂防施設(えん堤、堆砂敷き)は平成21年3月末の完成

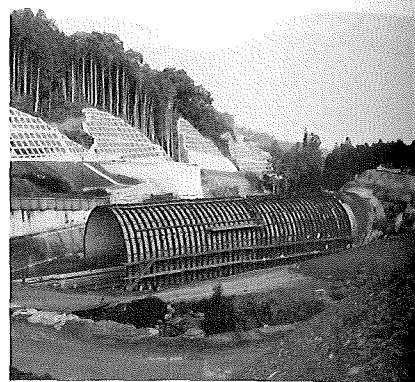


写真-3 明かり巻き部全景写真

を目指して鋭意施工中である(写真-3)。

8 おわりに

筑紫トンネルの掘削は、工事着手より約6年7か月を経た平成19年12月に全工区無事貫通の日を迎えた。

九州新幹線鹿児島ルートの中線開業に向け々と工事が進んでいくなか、筑紫トンネル工事の施工にご協力いただいている関係機関の方々、また、地権者の皆様をはじめとする地元関係各位には感謝の念に堪えない。関係部署一丸となり、筑紫トンネル全線完成まで、全力を注ぐ決意である。

【図書案内】



大災害来襲 防げ国土崩壊

高橋 裕 監修/国土文化研究所 編集 アドスリー
A5判 268頁 本体2,000円 2008年11月刊

本書は、近年、多発している自然災害に対応すべく、日本人の災害観を背景に防災に対する考え方を見つめなおそうと、日本の地理的特徴や気候を熟知する工学者の目から、地震・台風・火山噴火・地盤沈下・海岸浸食などの自然災害への対策、問題の解決策を提案したものです。さらに過去の災害の一覧も掲載し、災害のシミュレーション動画を収録したDVD-ROM付きとなっています。

施工

老朽化したトンネル坑口部の補強工事

—北九州高速道路 北41工区トンネル改築工事その1—

福岡北九州高速道路公社北九州事業所保全改築課課長 伊 川 幹 夫

飛島建設(株)土木事業本部土木技術部トンネルグループ課長 中 山 佳 久

飛島建設(株)土木事業本部土木技術部環境リニューアルグループ課長 川 端 康 夫

飛島建設(株)土木事業本部土木技術部環境リニューアルグループ主任 新 井 勝 明

1 はじめに

北九州都市高速は、都心と市街地周辺との連絡および市内の各拠点間の連絡強化と都市内交通混雑緩和を図る道路で5路線49.5kmを供用し、高規格幹線道路と連携した放射環状型自動車専用道路網を形成している。

北九州都市高速4号線は、昭和33年春日IC側より順次供用され、昭和54年に全線供用している。80%以上の区間が供用後30年以上を経過し、劣化損傷が顕著になってきたため、大規模な補修工事を平成15年度から実施し、構造物の安全性能向上を図っている。

本工事は、これら大規模補修工事の一環として

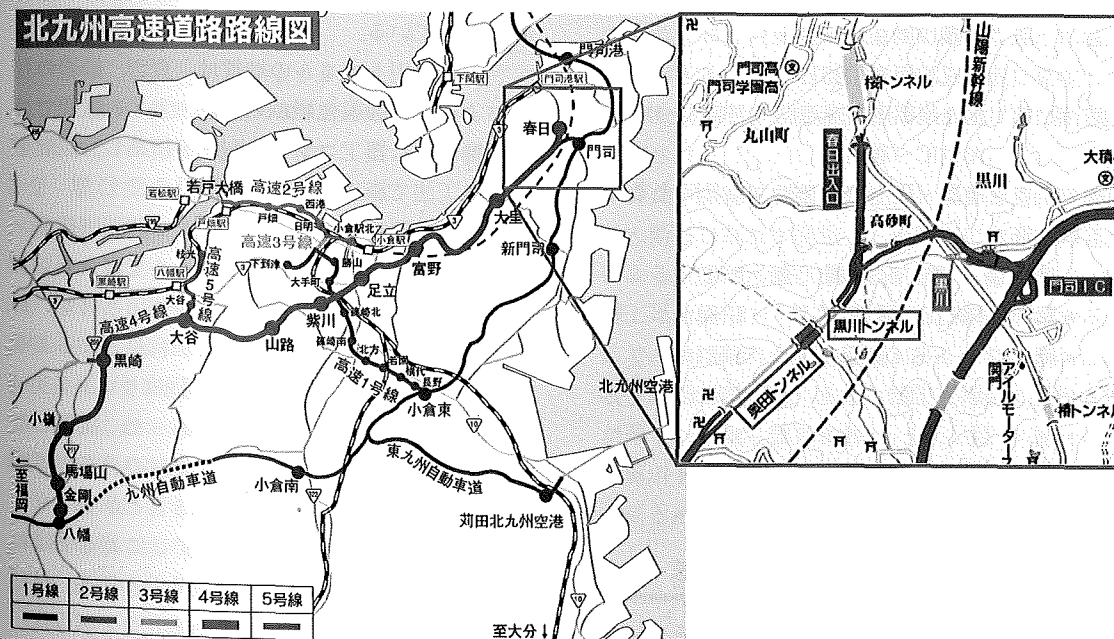


図-1 トンネル位置図

行われた都市高速4号線上り線(門司区春日ランプ～大里ランプ間)の奥田トンネル(652m)および黒川トンネル(190m)における覆工の剥落防止や漏水処理を主体とした補修工事である。図-1にトンネル位置図を示す。

両トンネルの坑口部について、劣化状況の詳細調査を行ったところ、面壁が前方に5cmほどせり出し、面壁の中心部や周辺部にひび割れが確認された。原因として、面壁と覆工のいずれも無筋構造で、トンネルにインバートがないうえ、両者が構造的にも一体になっていないことから、面壁の変形や不等沈下が増長したものと考えられる。さらに、トンネル掘削時の地山の緩みや長期間の風化や浸食による土圧が作用したことが挙げられる。

本稿では、これらの変状を踏まえたうえで、坑口部の安定化のために実施した補強工事の計画、設計、施工について報告する。

2 工 事 概 要

工事名称：北41工区トンネル改築工事その1

発注者：福岡北九州高速道路公社

工事場所：北九州市門司区大字黒川～

奥田四丁目地内

工 期：平成17年9月6日～

平成20年3月15日

路 線 名：北九州都市高速道路4号線(上り線)

大里IC～春日IC

施 工 者：飛島・松山特定建設工事共同企業体

工事内容：

- ・損 傷 現 況 調 査 1式
- ・漏水対策工(樋設置工) 2,734m
- ・繊維シート工(剥落対策) 5,524m²
- ・割 目 注 入 工 422m
- ・割 目 止 水 工 384m
- ・断 面 修 復 工 473m²
- ・ト ン ネル 内 装 板 工 4,140m
- ・空洞注入工(可塑状注入材) 35m³
- ・トンネル坑口安定対策 3か所
- ・トンネル覆工コンクリート補強対策 1か所

3 坑口部の変状と課題

3-1 トンネルの概要

高速4号線のトンネルは、1950年代後半と1970年代前半の施工のものに大別できる¹⁾。その中で、もっとも古いトンネルは奥田・黒川トンネル(上り線)であり、一般有料道路北九州バイパス道路として1958年に竣工している。同年、関門国道トンネル(海底トンネル)が開通しており、高速4号線は当初国道3号線バイパスとして供用が開始された。なお、その時期には土木学会の『トンネル標準示方書』はなく、1964年に制定される以前の施工であった。奥田・黒川トンネル(上り線)の施工記録は残っておらず、標準断面図のみ現存している。施工年代から考察すると、木製支保工を用いた在来工法による施工であったと考えられる。

奥田トンネルの地質は、頁岩を主体としており、坑口付近は軟質な強風化頁岩および崖錐堆積物からなる。そのため、坑口付近は側壁導坑先進掘削工法により施工されているが、それ以降の硬岩区間では、底設導坑先進掘削工法により施工されており、無普請もしくは木製合掌式支保であった可能性が高い。また、覆工コンクリートは全断面で施工されている。

一方、黒川トンネルの地質は、頁岩、砂岩の互層およびその強風化層からなり、大半の区間では、上半掘削後に覆工コンクリートを構築し、側壁を逆巻き工法で施工している。

同時期に建設が進められていた「関門国道トンネル」の記録によると、同トンネルではスランプゼロに近い固練りコンクリートが使用されていた。木製支柱支保工において盛替えが容易となるように、当時の覆工コンクリートは「固練りコンクリート」を使用することが一般的であった。採取したコンクリートコアを観察すると骨材の分布が不均一であり、空隙が確認されていることからコンクリートは現場で製造し、「木はずしによる手ばね打設」で施工されていたものと考えられる。ただし、正常に採取されたコンクリートコアからは、おおむね40N/mm²以上の高い強度が得られており、

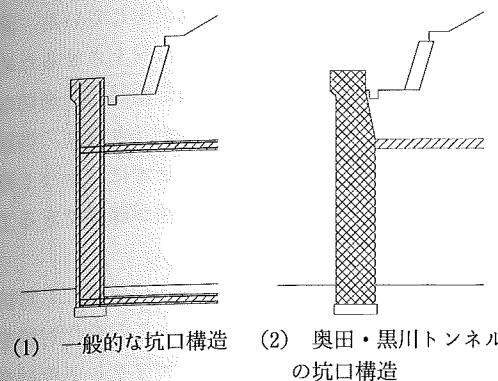


図-2 坑口部構造の特徴

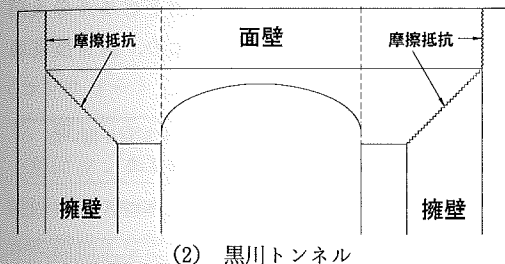
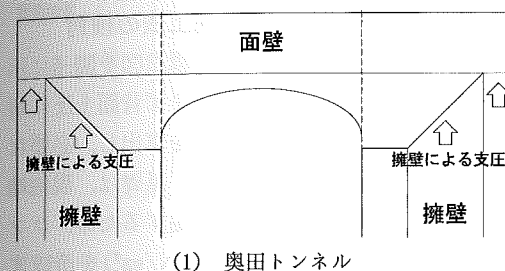


図-3 面壁と擁壁の取り付け部の構造

「固練り」の効果が現れていた。

3-2 坑口部の構造的特徴

図-2に示すように、現在の一般的なトンネルの坑口は、覆工と一体となったRC構造の面壁であり、張り出し擁壁として背面土圧に対抗する構造が採られる。また、覆工は、インバートコンクリートにより、リング状に閉合した安定した構造となっている。これに対して、奥田・黒川トンネルの坑口部の構造の特徴を以下に示す。

- ① 図-2に示すように面壁、覆工ともに、無筋構造物であり、それぞれが結合されていない。
- ② 面壁は基本的に重力式擁壁として背面土圧に対抗する構造となっているが、さらに図-3に示すように面壁を両側面の擁壁で押さえつ

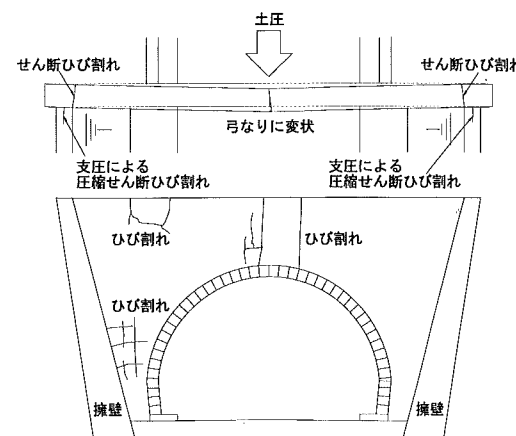


図-4 面壁の変状状況

けた構造(奥田トンネル)や面壁と擁壁の摩擦によって対抗する構造(黒川トンネル)が採られていた。

- ③ インバートコンクリートがなく、リング状に閉合されていない。

3-3 坑口部の面壁および覆工の変状状況

奥田トンネル入口、出口および黒川トンネル入口における坑口部の面壁は、図-4に示すように天端中央部が車道側に弓なりに突出する形状で変状している。面壁と覆工との間は、目地開き、段差が生じており、面壁が車道側に倒れこんだ形跡がうかがえる。面壁のひび割れは、鉛直に発生しているものが多く、背面土圧による曲げひび割れと想定される。

また、面壁と擁壁の取り付け部では、面壁側にせん断ひび割れが発生し、擁壁側には面壁の支圧による圧縮せん断ひび割れが発生していた。一方、覆工は、奥田トンネル出口および黒川トンネル入口で、ひび割れの発生頻度が多く、ひび割れから漏水が確認された。また、覆工天端部での巻き厚が薄く、空洞も散見された。

黒川トンネル出口の坑口は、面壁および覆工ともほとんど変状・損傷が発生していなかった。

4 面壁の対策工

対象となる坑口が3か所あることから、各坑口部の変形および損傷状況を踏まえ、一貫した方針

表-2 各坑口覆工の損傷状態と課題

施工箇所	損 傷 の 状 態	坑口対策工としての課題
奥田トンネル入口	・覆工の巻き厚不足 ・部分的な空洞(30cm)	湧水もなく、ひび割れ、変状も少ないことから炭素繊維による剝離・剝落対策を基本とする。
奥田トンネル出口	・極端な巻き厚不足(15~20cm) ・面壁背面の地質は脆弱層が厚い。 ・コンクリートの剝離 ・打継ぎ、ひび割れからの漏水が多い。	対象箇所は漏水が多く、繊維シートは適さない、脆弱層が厚く、極端に巻き厚の薄い箇所があるため、補強対策が必要である。
黒川トンネル入口	・天端部の巻き厚不足(25cm程度) ・縦横断にひび割れが発生しており、ひび割れ密度が高い。 ・覆工背面に空洞が広がっている(30cm) ・打継ぎ、ひび割れからの漏水が多い。	対象箇所は漏水が多く、繊維シートは適さない。

高品質モルタルの湿式吹付けによって断面修復する工法である。

本工法は、高品質な無機系材料を使用することで従来のポリマーセメントモルタルを用いる断面修復材と同等以上の品質を有し、さらに硬化促進剤を用いることで高い厚付け性能が得られ、施工性を向上させている³⁾。TDRショット工法の基本

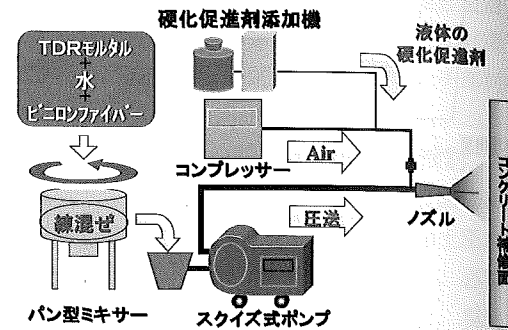


図-6 TDRショット工法の基本システム

表-3 覆工補強対策工の比較表

工 法	断面修復工(※) + 炭素繊維シート工	カーボングリッド + 高性能吹付けモルタル	断面修復工(※) + 鋼板接着工	樹脂塗装補強鉄筋 + 高性能吹付けモルタル
工法概要				
性能	剝離・剝落対策として使用される。	補強効果は期待できるが、NATMの坑口覆工までの耐荷力を有さない。	NATMの坑口覆工の耐荷力を目指すことが可能。	NATMの坑口覆工の耐荷力を目指すことが可能。
建築限界の許容性	厚さが薄く、支障はない。	建築限界を侵す箇所をハッキリ取ることに対処できる。	検討を要す。	建築限界を侵す箇所をハッキリ取ることに対処できる。
供用下の安全性	1車線規制内で作業可能である。	・1車線規制内で作業可能である。 ・粉塵などの養生が必要である。	・1車線規制内で作業可能である。 ・重量物で施工性が悪い。	・1車線規制内で作業可能である。 ・粉塵などの養生が必要である。
工 程	短期間	短期間	鋼板製作に時間を要す。 (4~6か月)	短期間
経済比率	1.0	1.8	3.0	2.5
実 績	補強を目的として使用しない。	実績あり	実績あり	実績あり
施工箇所	奥田トンネル入口部に採用	黒川トンネル入口部に採用	—	奥田トンネル出口部に採用

※表中の断面補修工は、表面の不陸修正を目的としている。

構造としてモデル化した。

検討結果として、図-8に各検討モデルのM-N耐力線比較図を示す。これより、次の事項が確認できた。

- ① 現状覆工は、無筋構造であるため、引張力に対する抵抗がなく、許容できる曲げモーメントに限られる。
- ② NATMの坑口覆工や「鉄筋配置+高性能吹付けモルタル」による補強は、鉄筋による補強効果により、許容可能な曲げモーメントが現状覆工より大きい。

- ③ 「鉄筋配置+高性能吹付けモルタル」による補強は、NATMの坑口覆工と許容可能な曲げモーメントがほぼ同一であり、現状覆工を補強することで、同等の耐荷力を有する構造に回復できる。

5-3-2 複合部材の耐力試験

(1) 検討目的

保有耐力の検討では、補強部材と既設の覆工が一体となって、外力に対抗する構造を前提としている。しかし、実際の部材では、補強部材と覆工が終局状態まで、一体となって挙動することが確認されておらず、各々の部材が荷重の作用する過程でひび割れや界面剝離などで個別に挙動するようなことがあれば、補強の効果が得られない。そこで、複合構造(既存コンクリートと補強部材)とコンクリートだけの単純構造の梁試験体を用い、「曲げせん断破壊型」の破壊形態を想定したうえで、部材寸法、鉄筋量を決定し、耐力試験を実施した。

(2) 実験方法

耐力試験用の試験体は、コンクリートと吹付け材からなる試験体(複合型)とコンクリートを一体成型した試験体(一体型)を用いた。「複合型」は、コンクリートを材齢2週まで湿潤養生した後、TDRショット工法で高性能吹付けモルタルを吹付け、吹付け後材齢28日で耐力試験を実施した。

CASE	基本条件	概 略 図
現状覆工	コンクリート 設計基準強度 40(N/m ²) 覆工厚さ 150 [※] (mm)	
	鉄筋 なし	
NATM	コンクリート 設計基準強度 18(N/m ²) 覆工厚さ 350(mm)	
	鉄筋 D19@200	
吹付けモルタル + 鉄筋補強	高性能吹付けモルタル 設計基準強度 40(N/m ²) 覆工+モルタル厚さ 150 [※] +80=230(mm)	
	鉄筋 D19@200	

※現状覆工厚さは、最小巻き厚でモデル化した。

図-7 検討モデル図

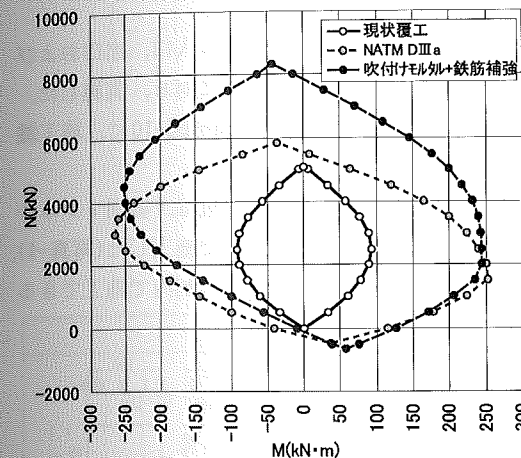


図-8 M-N耐力線比較図

システムを図-6に示す。

5-3 覆工対策工の設計

5-3-1 奥田トンネル出口側坑口の保有耐力の検討

奥田トンネル出口側坑口部の覆工厚は、設計覆工厚500mmに対して、追越し車線側の天端から肩部にかけて150~200mmの厚さの箇所が比較的広く分布しており、局所的に150mmを下回る箇所があった。覆工対策工の基本方針にもとづき、NATMの坑口覆工と同等の構造性能とするため、増し厚工の耐荷力を照査した。検討モデルを図-7に示す。覆工断面をフレームでモデル化し、限界状態設計法により検討した。現状覆工は、覆工厚の調査結果をもとに最小厚150mmとし、覆工補強は現状覆工と「鉄筋配置+高性能吹付けモルタル」の一体

その間の養生は、湿潤養生とした。載荷は、3等分点載荷方法により実施している。

(3) 試験結果

図-9に荷重-変位曲線およびひび割れ発生状況を示す。荷重-変位曲線より、「複合型」および「一体型」とともに、ほぼ同等の曲げ・せん断耐力を有していることが確認できる。また、試験体のひび割れ発生状況も同様の傾向を示しており、先行して部材中央付近に曲げひび割れが発生し、終局時には下面支点付近から試験体天端中央に向け、せん断ひび割れが延伸して破壊に至っている。

「複合型」では、そのひび割れが、打継ぎ界面を斜め(45°)方向に横断しており、ひび割れが界面に展開したり、付着切れを起こすようなことは確認されなかった。

(4) 複合部材の性能評価

試験結果より、既存(旧)コンクリートと高性能吹付けモルタル(TDRショット工法)の複合部材の性能として、以下が確認できた。

① 荷重-変位曲線およびひび割れ発生状況

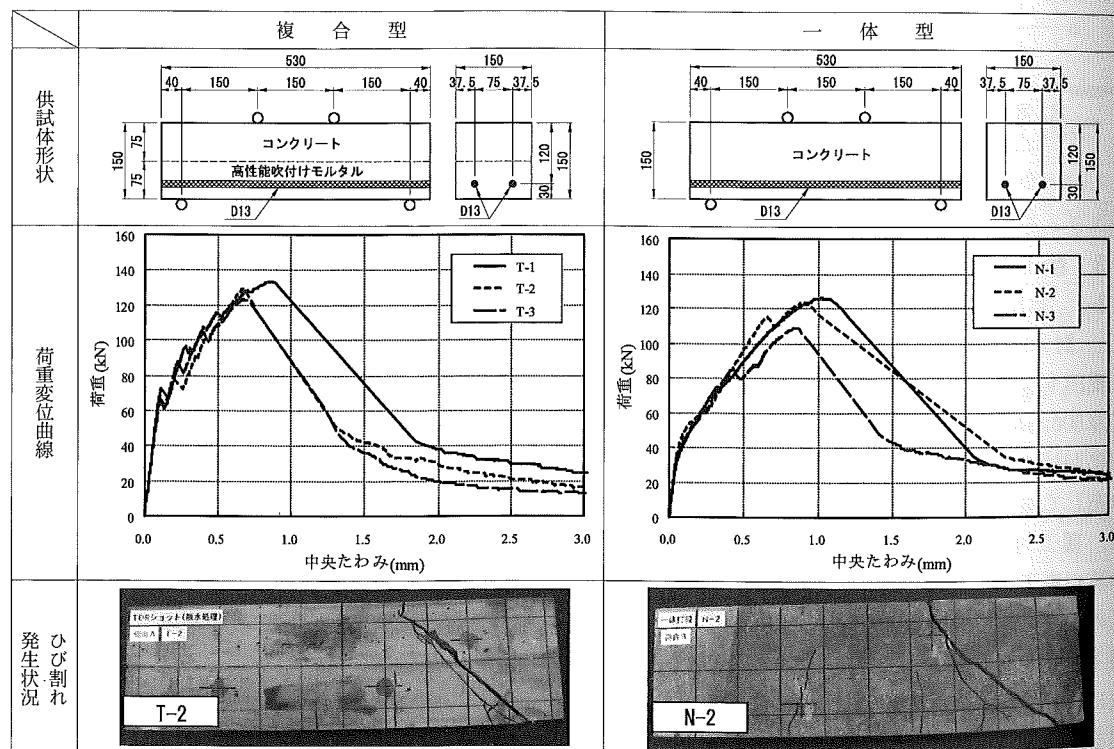


図-9 荷重-変位曲線およびひび割れ発生状況

り、終局状態に至るまでのどの段階においても、既存コンクリートと高性能吹付けモルタルの界面剥離は発生しない。

- ② 既存コンクリートを高性能吹付けモルタルで補強すれば、一体型コンクリートと同等以上の曲げ、せん断耐力を得ることができる。
- ③ 既存コンクリートと高性能吹付けモルタルの界面剥離が発生しないことから、平面保持の仮定を用いて、曲げ、せん断耐力、変形性能を検討することができる。

6 施 工

6-1 面壁補強工

面壁補強工は、奥田トンネル入口、出口および黒川トンネル入口部の3か所に対し、実施した。面壁の補強工の施工フロー図を図-10に、施工機械一覧表を表-4に示す。

基礎としてのコンクリート杭は、奥田トンネル出口および黒川トンネル入口で施工した(写真-1)。ロックオーガマシンは、車線規制内で施工できる

省スペース用の施工機械を選定している。一方、奥田トンネル入口は、脆弱部を除去し、コンクリートにより置き換えた。

プレキャストアーチ部材は、中央で2分割され、左右のピースが千鳥配置となっており、規制車線を切り替えながら1日3ピースの架設を行った(写真-2)。1回の架設時間は1時間程度であった(準備作業30分、部材準備10分、架設作業1分、

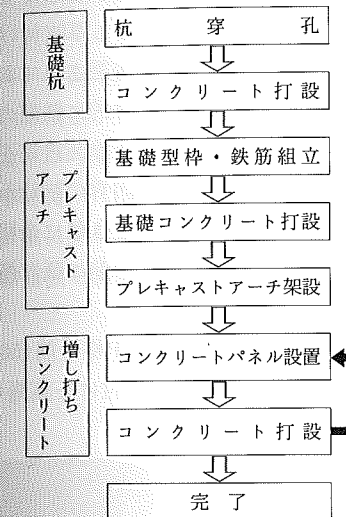


図-10 面壁補強工施工フロー図

表-4 施工機械一覧

工 種	使用 機 械
基 礎 杭 工	クローラ式ロックオーガ(35t級)
プレキャストアーチ工	ラフタークレーン(25t)
残 存 型 枠 工	ラフタークレーン(5t)
コンクリート工	コンクリートポンプ車

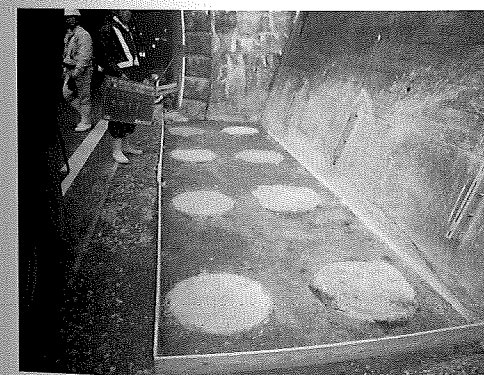


写真-1 コンクリート柱設置状況

接合作業10分)。部材の吊り上げ、旋回は、車両の通行が途切れたタイミングを見計らい、安全監視員の指示のもと、第三者の安全に留意しながら実施した。

面壁のコンクリートパネルは、1回の組立て高さを1.5mとし、パネル構築後、直ちに増し打ちコンクリートを打設した。コンクリート打設は、左右均等の打設高さになるようにコンクリートを

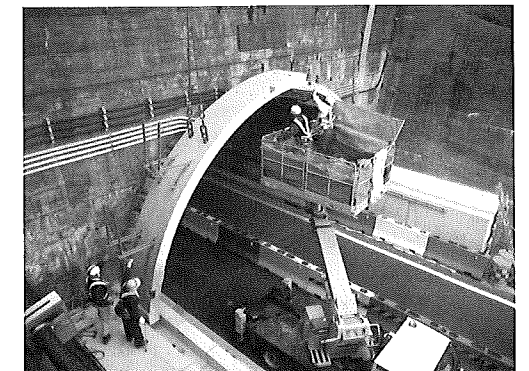


写真-2 プレキャストアーチ部材架設状況

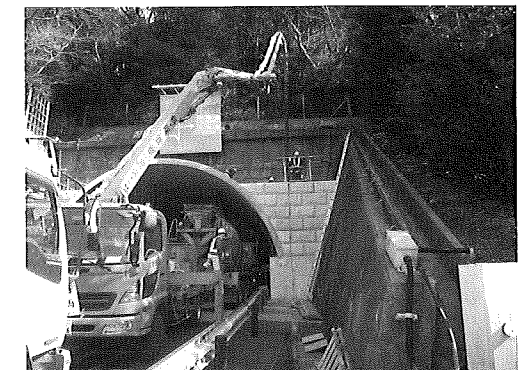


写真-3 増し打ちコンクリート打設状況

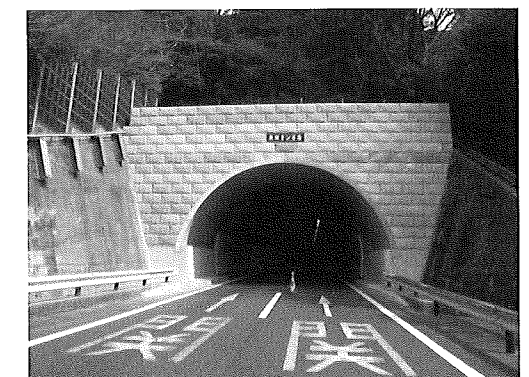


写真-4 奥田トンネル入口面壁補強完成

分配し、そのつど規制車線の変更を行うとともに、コンクリートポンプ車も移動させた(写真-3)。1か所あたりの面壁の構築に要した期間は、約1か月である。完成状況を写真-4に示す。

自動車専用道路上では車両の方向転換ができないため、規制車線を切り替えるためには、全工事用車両を、いったん一般道路に排出し、再び施工場所へ戻る方法を採らなければならなかった。工種によっては、1日4回程度の車線切り替えをくり返す必要があった。

6-2 覆工補強工

本工事では、奥田トンネル出口および黒川トンネル入口の覆工補強に対し、TDRショット工法

表-5 配合表(1m³あたり) (単位: kg)

	TDR モルタル	ビニロン ファイバー	TDR-ACC 硬化促進剤	水	減水 剤
奥田 トンネル	1,975	6.5	39.5	253	4
黒川 トンネル	1,900	6.5	38.0	266	—

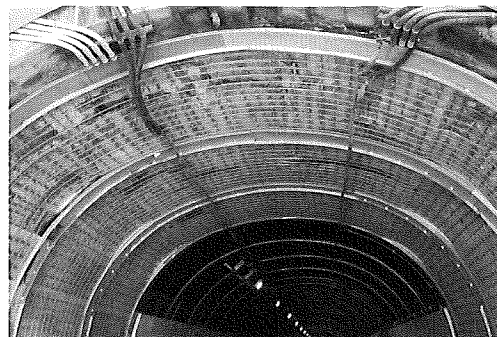


写真-5 樹脂塗装鉄筋(奥田トンネル出口)

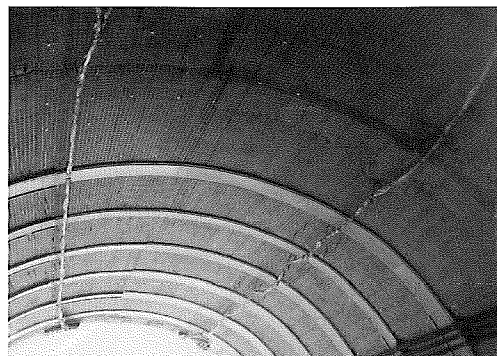


写真-6 CFRP格子筋(黒川トンネル入口)

によるモルタル吹付け工を行った。奥田トンネルでは、目標圧縮強度を、45N/mm²に設定し、減水剤を使用した配合とした。一方、黒川トンネルは、剝離・剝落防止が主な目的のため、40N/mm²の標準的な配合とした。表-5に配合表を示す。また、外気温が低い時期の施工であったため、温水を用いてモルタルの練り上がり温度を常に15℃以上に保つように管理した。

奥田トンネル出口側は、主鉄筋としてD19を200mm間隔で配置し、80mmの増し厚吹付けを実施した。なお、施工前に漏水が確認されており、鉄筋かぶりも少ないことで、将来的に鉄筋の発錆が生ずる可能性があるため、樹脂塗装鉄筋を採用している(写真-5)。また、建築限界の制約が厳しい肩部については、既設覆工の巻き厚に余裕があることを確認したうえで、吹付け前に既存覆工を切削し、建築限界を確保した。

黒川トンネル出口は、CFRP格子筋(50mm×50mm)を配置して50mmの増し厚吹付けを実施した(写真-6)。

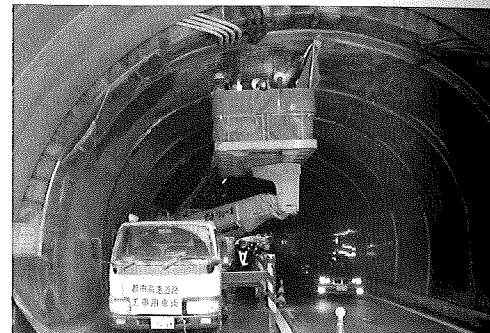


写真-7 モルタル吹付け状況(奥田トンネル出口)

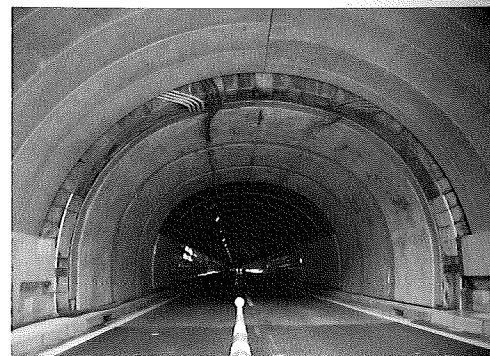


写真-8 覆工補強完成(奥田トンネル出口)

施工は、終日の車線規制ができないため、すべての資機材をトラックに載せた車上プラント方式とし、準備・片付け作業の効率化を図った。また、高所の吹付け作業には、写真-7に示すように高所作業車を使用し、片側規制の状態で施工を行っている。写真-8に完成写真を示す。

7 おわりに

奥田・黒川両トンネルの変状は、施工後50年が経過し、老朽化が進んだこと、建設時に想定していなかった背面土圧が作用したこと、さらにトンネル坑口の構造が想定荷重に対し、適切でなかったことなどから変状が顕著になった事例である。

本工事では、片側車線規制という限られた作業範囲で、常に第三者の安全に留意しながら、大規模な坑口補強を実施した。本報告が今後の類似工

事の参考になれば幸いである。

最後に、本工事の実施にあたりご指導をいただきました、真下英人・(独)土木研究所道路技術研究グループ長をはじめ、関係機関、関係者の方々に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 伊川幹夫・西恭太・中山佳久：施工年代におけるトンネル変状の特徴，シビルエンジニアリングジャーナル・シリーズ1「土木の新時代」，pp.78-84，2007.4.
- 2) 川端康夫・松尾勝弥ほか：新しい断面修復用湿式吹付け工法の開発，土木建設技術シンポジウム2004，土木学会，2004.7.
- 3) 荒木昭俊・寺村悟ほか：硬化促進剤を用いた補修吹付けモルタルの特性，第3回コンクリート構造物の補修，補強，アップグレードシンポジウム，日本材料学会.

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

1. 原稿は弊社ホームページ(<http://www.tunnel.ne.jp>)に掲載されている投稿規定により執筆して頂きます。
2. 原稿のボリュームは、原則として刷上がりで8頁以内とします(図・表・写真含む)。
3. 原稿掲載の採否は、本誌編集委員会で審査のうえ決定します。
4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
5. 原稿は、原則として返却いたしません。
(注:「現場だより」の投稿は受付けておりません)

送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888(代)



■岩波書店の「少国民のために」

かつて岩波書店の児童書に、「少国民のために」というシリーズがあった。1931(昭和16)年に創刊されたこのシリーズは、巻末の辞に「国民学校上級生と中等学校一二年生とを予想し、正しい科学知識を与えることを目標として編輯されました。」とあることから、現在の小学校高学年から中学生程度を対象としていたようである。『雷の話』『海流の話』『山はどうして出来たか』『音とは何か』『地図の話』『蟻の世界』など、戦前から戦中にかけて13巻が次々に刊行されたが(戦後さらに追加された)、その中に有馬宏の『トンネルを掘る話』という一編があった。

この本は、シリーズの2冊目に刊行されているので、13巻の中でも優先順位は高かったようであるが、当時は丹那トンネルに続く関門トンネルの工事が国民的な関心事だったので、企画としてもタイムリーだったのだろう。著者は、これらのトンネル工事に、現場長として携わった鉄道省技師・有馬宏で、まさに余人に代えがたい人選であった。

■有馬宏と丹那トンネル、関門トンネル

著者の有馬宏は(写真-1)、1899(明治32)年鹿児島県肝属郡内之浦村(現・肝付町)で生まれ、第一

高等学校を経て東京帝国大学工学部土木工学科に進学し、1926(大正15)年3月に同校を卒業した。ただちに鉄道省に入省し、建設局工事課勤務となり、当時、工事が進められていた上越線・清水トンネルの工事を担当した。その後、志願兵として陸軍鉄道第一連隊に入隊した後、1928(昭和3)年9月に除隊となって熱海線建設事務所に配属された。熱海線建設事務所では、東口詰所主任(現在の工事所長または区長に相当)として、難工事となって



写真-1 有馬 宏
(1899～1957)



写真-2 丹那トンネルの導坑貫通で握手を交わす東西両詰所主任(左が有馬宏)

いた丹那トンネルの陣頭指揮にあたり、1933(昭和8)年に導坑を貫通させた(写真-2)。その後、1935(昭和10)年7月に岡山建設事務所勤務となり、翌年7月に新設された下関改良事務所に転じて、門司側所長として関門トンネルの工事を担当し、のち下関工事事務所工事課長となった。1931(昭和16)年4月に建設局計画課と監督局線路課、同調整第二課を兼務し、1944(昭和19)年4月には仙台鉄道局盛岡工務部長、1945(昭和20)年7月に地下建設本部直轄部隊長となって終戦を迎え、運輸省運輸建設本部第二工務部長を経て1946(昭和21)年2月に運輸省を退官した。学生時代のボートに始まり、剣道、釣り、ゴルフ、ラジオの自作、はては編み物に至るまで、多趣味の人として知られ、自らの手料理で酒を嗜むことを楽しみにしたと伝えられる。

このように、有馬は清水トンネル、丹那トンネル、関門トンネルという戦前を代表するトンネル工事とともに人生を歩み、現場の最前線に立ってこれを完成に導いた。『トンネルを掘る話』は、有馬自身のこうした豊富な工事経験を背景として、主に丹那トンネルの工事を振り返ることによって、調査から完成に至るトンネル工事の流れを平易な文章で解説しているのが特徴である。とくに、崩壊事故や湧水との闘いに関する記述は秀逸で、崩壊の原因やその対策工、地質調査の重要性など、トンネル工学の専門書に匹敵する広範囲な話題をカバーしている。

■戦後の『トンネルを掘る話』

『トンネルを掘る話』は戦後もさらに版を重ね、1954(昭和29)年には「爆弾三勇士」など戦時色の濃い表現を改めた改訂版が出版された(写真-3)。しかし、著者の有馬宏は、1957(昭和32)年、長崎県諫早市を襲った諫早大水害で遭難し、帰らぬ人となった。

1957(昭和32)年7月25日、出張先の諫早方面へと向かった有馬は、「帰りには雲仙でゴルフでも」と言い残して博多を発った。しかし、折からの豪雨で足止めとなり、諫早市の本明川の近くの旅館

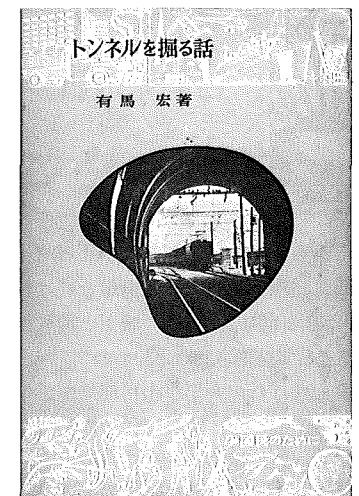


写真-3 『トンネルを掘る話』(岩波書店)

に身を寄せていた。その後、夜半になって本明川は急速に水位を増し、他の宿泊客や従業員とともに避難所へ移動することとなったが、避難所で確認したところ有馬の姿だけがなく、そのまま行方不明となってしまった。

関門トンネルの工事で苦楽をともにした高坂紫朗は、「特にトンネル工事についてはわが国第一の権威者であることはあまりにも有名で、現に青函トンネルの調査委員になられており、有馬さんの教えを受けた後輩は数知れない。」とその功績を讃え、「例の飄々乎とした人格から生まれるユーモアと凝り性から非常に多くの逸話を残した人で、優に一冊の小説本となりうる。それだけに皆から愛されていた。」とその人柄を偲んだ。

『トンネルを掘る話』は、著者の死後もロングセラーを続け、筆者の手元には1962(昭和37)年に発行された戦後改訂版の第七刷があるので、初版から数えて少なくとも20年以上にわたって読まれ続けたことになる。学童向けの書籍であるが、専門家にとっても含蓄に富んだ内容で、トンネル工事の基本的な考え方を再認識させてくれる(ちなみに土木学会が選定した戦前の土木名著100書にも唯一の児童書として選ばれている)。現在でも、歴史のある図書館などで所蔵しているほか、古書店などでもまれに見かけるので、手に取る機会があれば、ぜひ読んでいただきたいと思う。



宮崎県最古のトンネル「山仮屋隧道」のある北郷町より

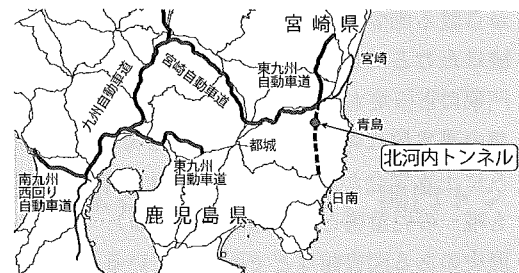
岡 幸 平

宮崎市から南へ、清武町を通り北郷町へ通じる県道27号宮崎北郷線は通称・飢肥街道と呼ばれている。今から400年ほど前に、飢肥藩の城下と清武郡を結ぶ主要幹線道路として開削されたといわれている。当時のルートは古道と呼ばれ、大半が山岳部で尾根伝いや山腹沿いの険しい山道だが、参勤交代の飢肥藩主も通った殿様街道であった。途中の関所には仮屋と呼ばれる休憩施設もあったようで、番所跡として今も残っている。

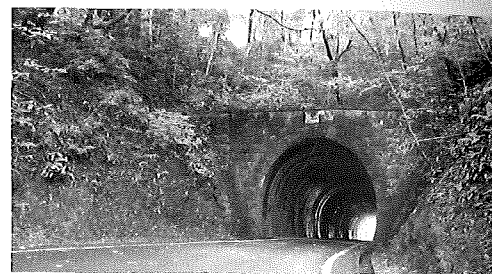
明治になり、交通機関が徒歩から馬車へと移り変わった変革期に飢肥街道も大きく姿を変えていった。明治27(1894)年には新たに開設された宮崎飢肥間の県道が全線開通している。この県道工事の中で、明治24年に山仮屋地区で隧道工事が着手され、翌25年には宮崎県内初のトンネルとして完成している。これが山仮屋隧道である。

高さ4.3m、幅4.8m、延長56mで、煉瓦で覆工されたトンネルは平成10年に宮崎県より有形文化財として指定されている。側壁の形状や、煉瓦の品質や積み方などに当時の最先端の土木技術が導入されているそうである。先人のトンネルにかけた思いが偲ばれる。現在の県道は峠の部分を開削で貫いているので見過ごしてしまいそうだが、案内板のある旧道を少し入っていくと突然トンネルが現れる。苔むした石組みの坑門と煉瓦積みの覆工を装ったトンネルはまさしく隧道と呼ぶにふさわしく、何十年も時間が止まっているかのようたたずんでいる。まさしく土木遺産である。

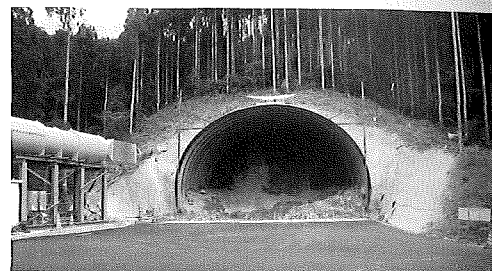
しかし、山仮屋隧道からほんの少し離れたところでは、「どげんかせんといかん」と地域の発展への期待を担って東九州自動車道の工事が進められている。そ



位置図



山仮屋隧道



坑口全景

の中のひとつである東九州道(清武～北郷間)北河内トンネル新設工事は、山仮屋隧道から直線距離にしてわずか1kmほどしか離れていないところで槌音を響かせている。開通すれば清武JCTから南下して北郷町に入ってから最初のトンネルとなる。全長441m、中央分離帯のある内空断面積93m²の大断面トンネルである。平成20年10月からトンネル掘削を開始したが、地質は海底地すべり堆積物が陸化して形成されたとされる四万十帯日南層群で、地質状況の推移を注意深く見守りながら、発注者のご指導のもと迅速に対応しているところである。

近くには宮崎自然休養林、椿山森林公園、椿山キャンプ場があり、四季折々の豊かな自然を求めて多くの人々が訪れてくる地域である。この豊かな環境を大切に、地域の方々とコミュニケーションをはかり、発注者・関係諸官庁のご指導を頂きながら、一日も早い工事の完成を目指して、安全に、より良いものを造っていきたいと思う。山仮屋隧道を残してくれた明治の人たちに誇れるように。

(青木あすなろ建設(株)北河内トンネル作業所長)

施工

銀座・丸ノ内線合築駅部をアンダーピニング

—東京メトロ 赤坂見附駅出入口新設—

東京地下鉄(株)第一工事事務所所長 若林 正 則

東京地下鉄(株)第一工事事務所技術課第三担当課長 岩瀬 張 千 市

鹿島・清水・銭高建設工事共同企業体現場代理人 福 迫 政 隆

鹿島・清水・銭高建設工事共同企業体工事課長 吉 田 健太郎

1 はじめに

東京地下鉄赤坂見附駅は、銀座線・丸ノ内線の停車駅であるとともに、半蔵門線・有楽町線・南北線の停車駅である永田町駅とも改札内通路で乗換えが可能であり、赤坂見附駅だけで1日平均乗降人員が10.8万人、永田町駅も加えると17.1万人となり、東京地下鉄の中でも1日平均乗降人員で上位に位置する主要駅である。

本工事は、この赤坂見附駅の火災対策設備を充実させるため、排煙設備の完備および2方向避難通路の確保を図り、換気設備と出入口を増設するとともに駅施設の整備を行うものである。工事概要を図-1に示す。排煙設備の完備としては、銀座

線の既設トンネル脇に、ホーム、コンコースの排煙を行うために第1空調機械室および第2空調機械室を新設し、地表面には排煙に必要な換気口をそれぞれ設置する。また、第2空調機械室とコンコースの連絡用ダクトと通路を新設する。2方向避難通路の確保として、地下3階コンコースを新設し、ここから地上への出入口(エスカレータ)をプルデンシャルタワーの敷地内に新設するとともに、エレベータ専用出入口を路上に新設する。駅施設の整備としては、新設の地下3階コンコース内に各種施設を新設する。さらに、地下1階、2階ホームの既設乗降場階段を撤去し、乗降場階段4(エスカレータ)に改造を行う。

ここで、2方向避難通路の確保における地下3

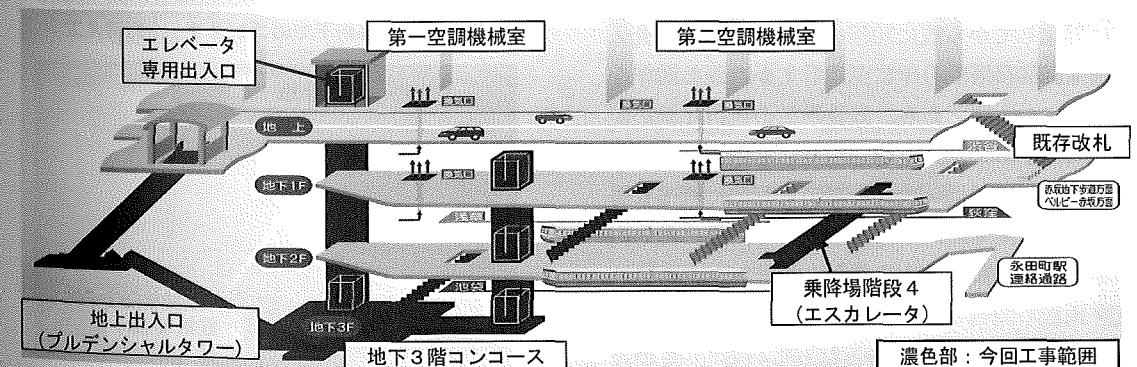


図-1 工事概要図

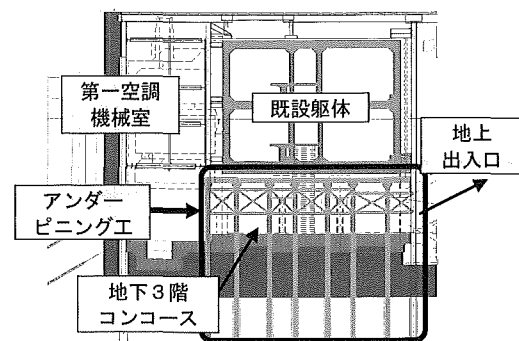


図-2 アンダーピニング工法概要図

階コンコースは、営業線である銀座線・丸ノ内線の赤坂見附駅の既設躯体直下に新設することから、図-2に示すアンダーピニング工法によって、いったん赤坂見附駅の既設躯体を下受けする必要がある。営業線を下受けするという社会的・技術的重要性から、その安全性に対して十分な対策を行うとともに、綿密な施工・計測管理が求められた。

本稿では、このアンダーピニング工法の概要、施工計画、および施工実績について報告する。

2 アンダーピニング工法の概要

新設地下3階コンコース上部の赤坂見附駅は、幅約15m、高さ約11mの中壁を有するRCボックス断面である。銀座線と丸ノ内線間には、図-3に示す渡り線を有しており、中壁が連続的に変化する複雑な断面形状となっている。また、実施区間前後はフィッシュボーン(魚の骨)状の鉄骨構造の骨格に鉄筋コンクリートを版状に築造した鉄鋼框構造であり、アンダーピニング範囲が構造変化区間となっている。さらに、銀座線は1938(昭和13)年に開業してから既に70年を経過しており、丸ノ内線も1959(昭和34)年に開業してから既に49年を経過していることから、既設構築の老朽化が心配された。さらに、銀座線建設時に2階型島式ホームとして将来の丸ノ内線の構築も同時に築造していたものの、ホームの幅員がせまく、後に丸ノ内線車両などの規格が変更になったことなどから、丸ノ内線の開業にあたって構築の拡幅を行っており、図-4に示す合築構造となっている¹⁾。このため、アンダーピニング工に先立ち、既設構築の補

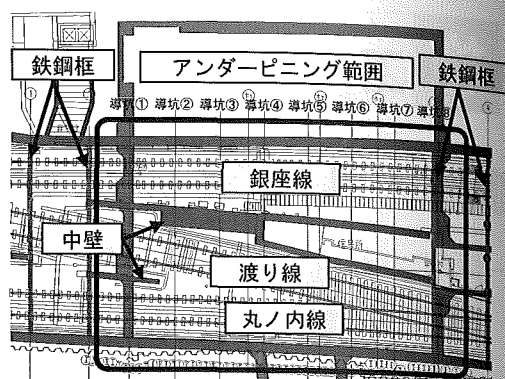


図-3 既設構築平面図

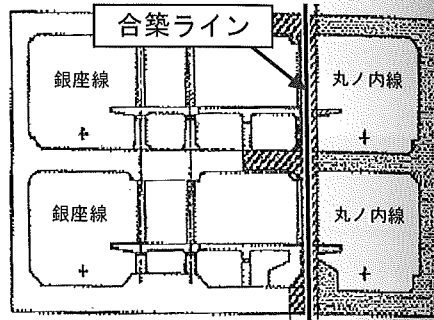


図-4 銀座線・丸ノ内線合築図

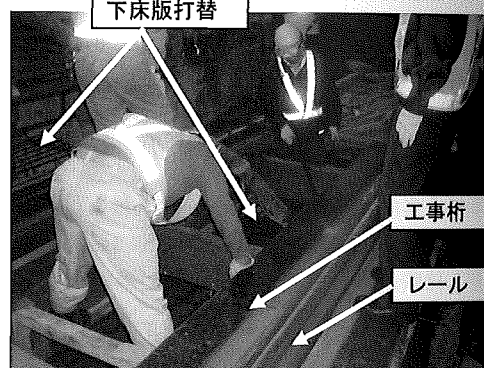


写真-1 工事桁下でのコンクリート打替え工

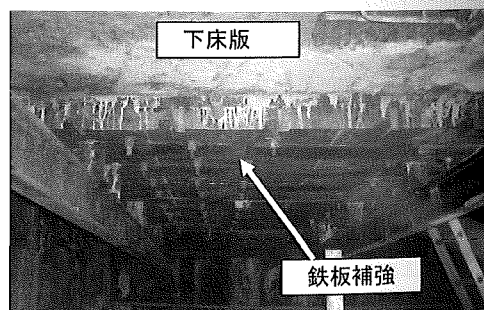


写真-2 既設構築下床版の鉄板補強工

強を実施した。補強状況を写真-1, 2に示す。

既設構築下の導坑掘削を行う当該地層は、N値50以上の礫混じり砂および細砂層である、地下水位は既設構築下面から約5.2mの高い位置にある。このため、事前に掘削周囲に地盤改良により遮水層を設け、掘削山内にディープウェルを設置して、掘削下面より低位に掘削内の水位を下げるとともに、導坑掘削範囲の土砂崩壊防止として薬液注入を実施した。

アンダーピニングの方式は、図-5に示す直接支持方式と下受け梁方式の併用とした²⁾。メインジャッキは下受け桁を介して下受け杭で直接支持し、補助ジャッキおよび既設構築の側壁下部のメインジャッキは下受け梁で支持するものとした。

施工フローを図-6に示す。最初に導坑掘削を行った後、既設構築下で下受け杭の施工を行い、下受け桁の設置、油圧ジャッキの設置を行い、導坑ごとにジャッキアップを実施して、次導坑掘削へ移るのを基本施工フローとし、端部の導坑については、土留め杭およびグラウンドアンカーの施工を下受け杭の施工前の導坑内の空間が広い段階で実施するものとした。

3 施工計画

3-1 工事数量

アンダーピニング工の工事数量を表-1に示す。下受けする既設構築の設計荷重は54,780kN(列車荷重を含む)であり、それを下受け桁8本で受けることから、下受け桁1本あたり6,848kNの重量を分担することになる。

3-2 導坑掘削

新設する地下3階コンコースの躯体構築および、下受け杭の施工上必要とされる空頭高さなどの関係から、掘削範囲は幅25.5m、奥行き約16.5m、高さ3.8mとなり、導坑掘削土量は1,600m³となる。これを、導坑掘削時の掘削可能幅および必要下受け間隔などの関係から8導坑に分割し、2導坑同時に掘削を行うものとした。掘削順序は、2導坑の掘削が同時に隣合わないようにするとともに、端部導坑(①導坑、⑧導坑)のグラウンドアンカー

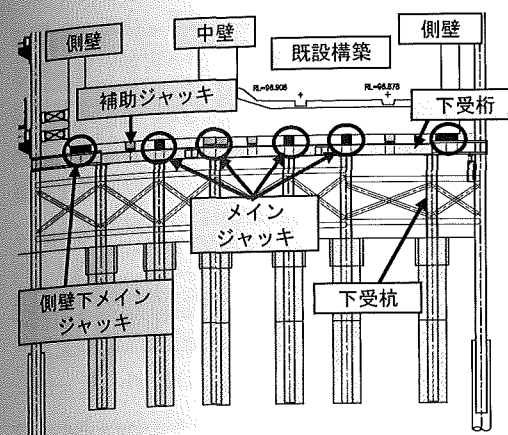


図-5 アンダーピニング方式

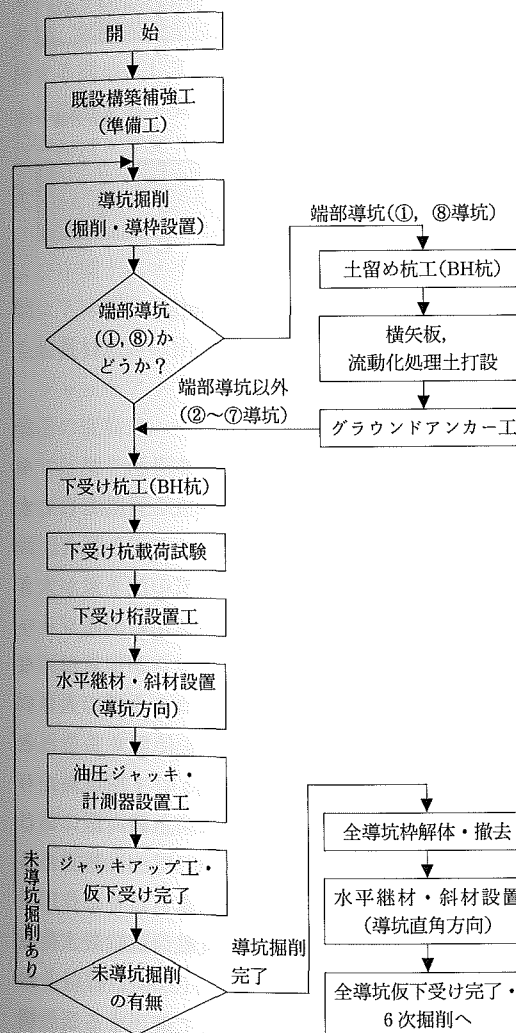


図-6 施工フロー

表-1 工事数量

主要工種	仕様	数量	単位
導坑掘削	①, ⑧導坑: 213m ³ /導坑 ②~⑦導坑: 196m ³ /導坑	1,600	m ³
下受け杭 坑内せん孔 鋼杭B(BH杭)	H-400×400×13×21 L=9,000mm (②-④のみ, 13,200mm)	48	本
土留め杭 坑内せん孔 鋼杭B(BH杭)	H-300×300×10×15 L=8,000mm	15	本
下受け桁 据え付け	H-400×400×13×21 L=99,190mm(w=172kg/m) H-498×432×45×70 L=37,320mm(w=605kg/m)	40	t
ジャッキ 据え付け	メインジャッキ: 合計67台 500t×3台, 300t×13台, 200t×36台, 100t×15台 補助ジャッキ: 合計24台 100t×24台	91	台
計測器設置	圧力変換器×72点 相対変位計×72点 ピアノ線式絶対変位計×48点	1	式
土留めアンカー (地下3階5段目)	溜池側壁部, 見附側壁部 SWPR7B-φ12.7×6本×11本 SWPR7B-φ12.7×8本×2本	13	本
土留めアンカー (地下3階5段目)	千代田区側 SWPR7B-φ12.7×10本×7本	7	本

の施工上の空間確保の観点から端部導坑の掘削前に隣接する②導坑, ⑦導坑を先行して掘削することとした。掘削順序を図-7に示す。導坑掘削は, 0.12m³級バックホウとベルトコンベヤを用いて行うこととした。

3-3 下受け杭(BH杭)

下受け杭はBH杭とし, 1導坑あたり6本のBH杭を施工し, 合計48本を駅既設構築下にて施工した。工程促進の観点から, 削孔長を短くするため, 杭芯材がH-400×400×13×21に対して, 削孔径をφ1,000mmと大きくして杭先端の支持力を増大することで, 埋込み長を2.8mと短くすることにした。BH杭は掘削が正循環方式のため, 支持杭とした場合に, スライムの残留に伴う杭の沈下が心配される。このため, 孔底・孔壁のスライム処理に通常よりも多くの時間をかけるとともに, 孔底に厚さ50cmの余堀りを設けてモルタル版を築造することとした。また, 芯材とモルタル間にず

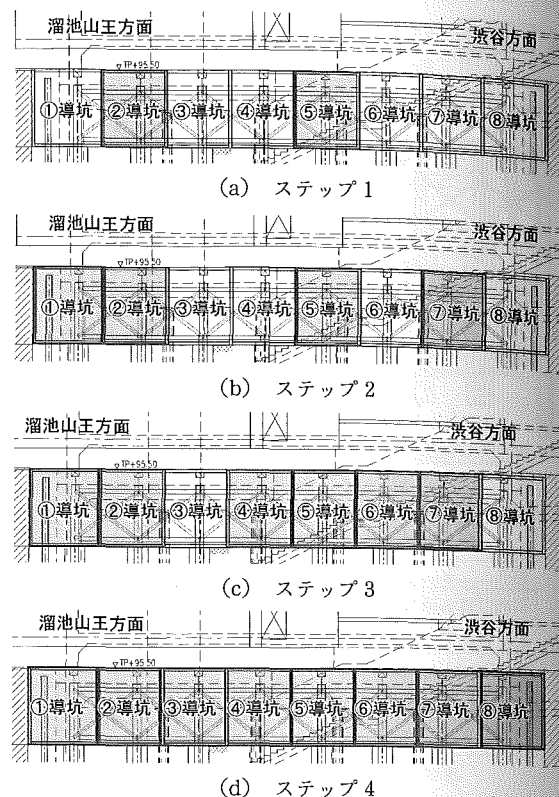


図-7 導坑掘削順序(縦断面図)

れ止めを設けた。なお, 空頭制限から芯材長は, 2.5m以下の継杭とした。

3-4 杭の荷重試験

下受け杭(BH杭)の支持力の確認と, ジャッキアップ時における沈下の先行除去を目的としてすべての杭において荷重試験を行うこととした。

荷重試験装置を図-8に示す。杭の沈下量が大きくなった場合, アンダーピニング用の油圧ジャッキ(ストローク30mm)ではストロークが足りなくなることが考えられたため, ストローク量の大きい(220mm)タイプの油圧ジャッキを使用することとした。荷重試験は2本同時に行い, 1導坑あたり3回に分けて実施した。これは, 上載荷重における1導坑あたりの平均分担荷重が6,848kNであるため, ジャッキアップ時の杭1本あたりに作用する最大荷重を参考に設定した杭荷重試験最大荷重3,000kNに対して2本同時荷重(6,000kN)以上の本数で荷重を行うと, 反力として使用する既設構築の隆起が予想されるためである。荷重ステップ

を図-9に示す。予想外の既設構築の変状による列車運行障害を防止し, さらに最大荷重保持時間をできるだけ長い時間確保するため, 杭荷重試験は終車後に開始し, き電開始前作業終了時刻(4:15)近くまで最大荷重を保持し, き電開始前(4:40)に除荷を完了するものとした。

3-5 下受け桁

下受け桁の仕様は, 一般部はH-400×400×13×21, 端部はH-498×432×45×70とした。メインジャッキは下受け桁上に設置するが, 基本的には下受け杭直上となるように計画している。しかしながら, 側壁部のメインジャッキは, 端部の下受け桁を介して下受け杭で支持する構造としているためである。下受け杭上に設置する下受け桁は, 既設構築下部に設けた仮設ホストを用いて設置を行った。

3-6 ジャッキアップ・計測管理

油圧ジャッキの配置は, 既設構築の側壁および中壁下にメインジャッキを配置し, その間に下床版の保持を目的として補助ジャッキを配置した。

ジャッキアップに伴う, 既設構築や下受け構造の変動は, 相対変位計と絶対変位計を用いて計測を行うこととした。油圧ジャッキおよび計測器配置図を図-10に, 変位計計測要領図を図-11に示す。

ジャッキアップは, 駅既設構築の荷重時のバランスを保つため, 各導坑ごとに全ジャッキ同時荷重で行い, 杭の荷重試験と同様に, 終車後に行うこととした。ジャッキアップ時の目標荷重は, 活荷重(列車荷重×衝撃)を除いた死荷重に伴う設計ジャッキ反力とした³⁾。これには, 導坑掘削順序に伴う導坑側部の緩みを考慮した施工時荷重を考慮している。荷重ステップは, 設計ジャッキ反力の20%を増分として, 既設構築および下受け構造の安定性を確認しながら, ステップバイステップで行うこととした。目標荷重到達後は, 既設構築, 下受け構造, 荷重システムの安定性を確

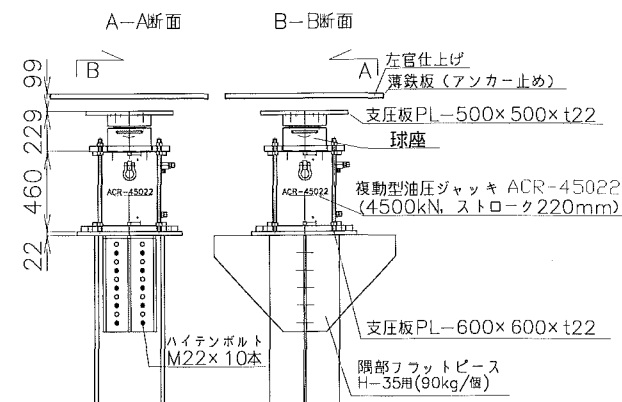


図-8 荷重試験装置図

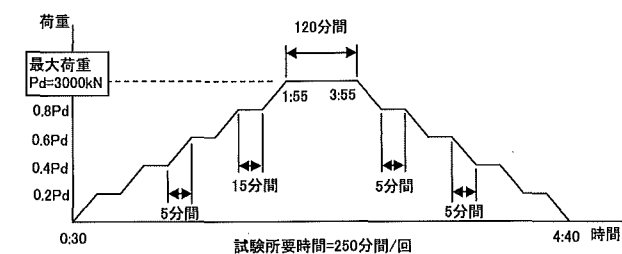


図-9 荷重ステップ図

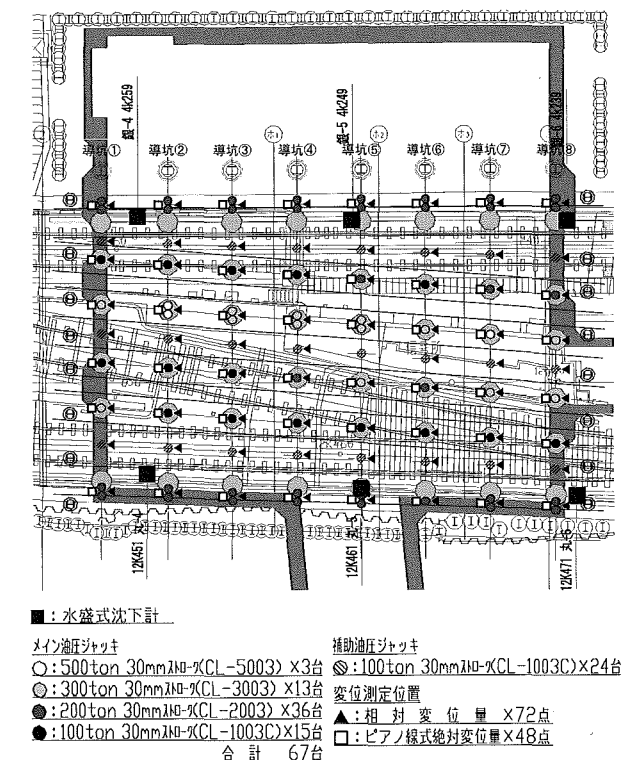
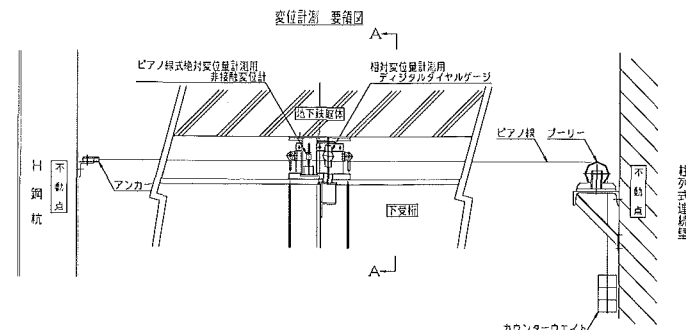
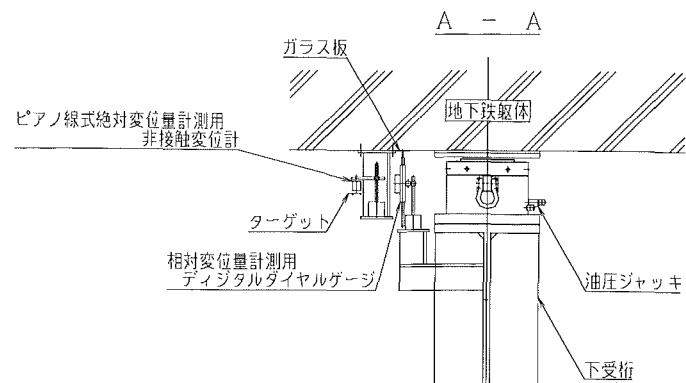


図-10 油圧ジャッキおよび計測器配置図



(a) 変位計測要領図(1)



(b) 変位計測要領図(2)

図-11 変位計測要領図

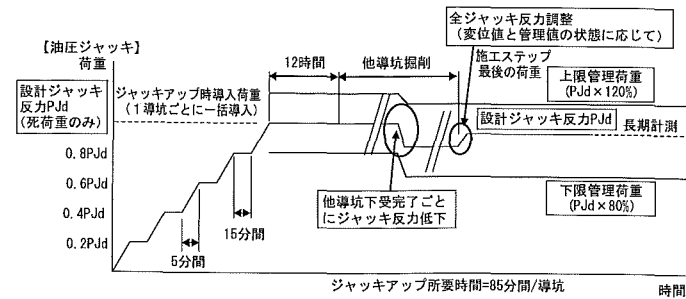


図-12 ジャッキアップおよび長期計測模式図

認するため、12時間の集中監視期間を設定した。それ以降は、油圧ホースのバルブをロックし、機械式ストッパーを0.5mmの遊間を設けてセットし長期監視期間へと移行することとした。ジャッキアップおよび長期計測の模式図を図-12に示す。

既設構築の安全性は、駅構内地下2階の側壁部に設置した水盛式沈下計の変動を監視することで行うものとし(図-10参照)、1次管理値を±3.5mm、2次管理値を±5.0mmに設定した。

また、最終的な列車運行上の安全性の判断基準

として、軌道整備目標値(四項目測定: 軌間、水準、通り、高低)を定めた。

管理フローを図-13に、軌道整備目標値を表-2に示す。

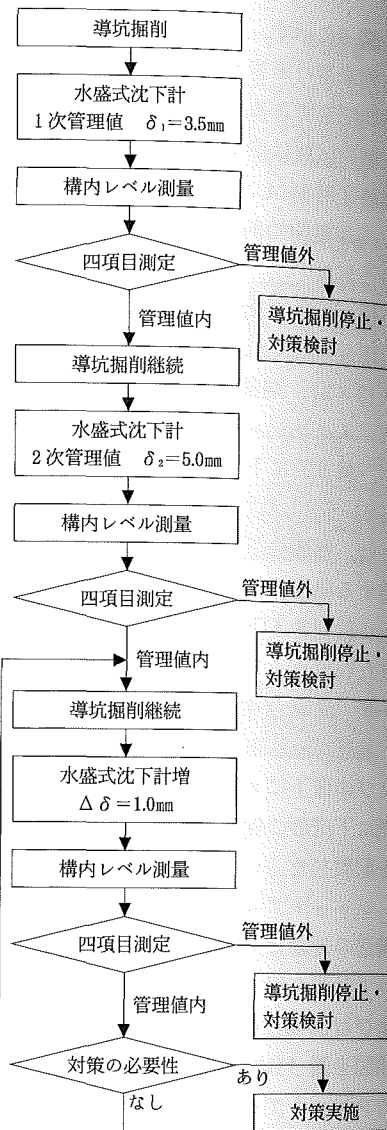


図-13 管理フロー

表-2 軌道整備目標値(四項目測定)

項目	許容値
軌間	増: 9 mm, 減: 5 mm
水準	増: 5 mm, 減: 5 mm
通り(延長10m以内)	増: 5 mm, 減: 5 mm
高低(延長10m以内)	増: 5 mm, 減: 5 mm

4 施工実績

4-1 導坑掘削

導坑掘削状況を写真-3に、計画工程と実績工程を表-3に示す。計画工程に対して実績工程では多くの日数を要しているが、駅既設構築下に1.5m間隔に配置された□-300×300mm程度の木材(尺角)や残置杭、駅既設構築下床版の防水層の撤去に多くの時間を要したためである。撤去状況を写真-4に示す。

4-2 下受け杭(BH杭)

下受け杭の施工状況を写真-5に、計画工程と実績工程を表-4に示す。路上の作業帯の制約から夜間作業のみで施工を実施したが、ほぼ計画工程どおりの進捗を確保することができた。

4-3 杭の載荷試験

⑤導坑における杭の載荷試験結果を図-14に示す。計算上の杭の鉛直弾性変形量3.85mmに対して、

3,000kN載荷時で8.0~62.0mmの変位量であった。ここから、除荷後の残留変位(杭の沈下量)を除いた見掛けの弾性変形量は4.0~9.0mmであった。

4-4 下受け桁

下受け桁の施工状況を写真-6に示す。杭の載荷試験によって生じる杭の天端高さのばらつきは、ライナープレートにより高さを調整した。

4-5 ジャッキアップ・計測管理

ジャッキアップ状況を写真-7に示す。⑤導坑の

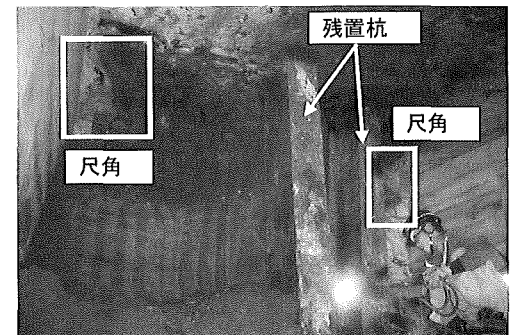


写真-4 支障物撤去状況

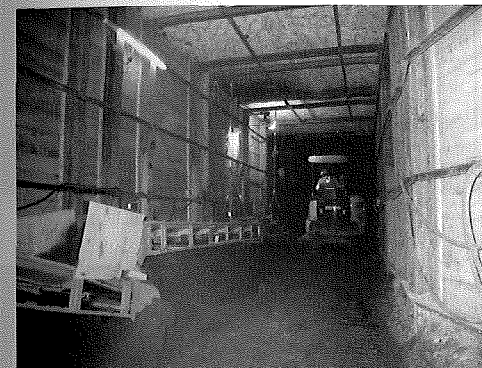


写真-3 導坑掘削状況

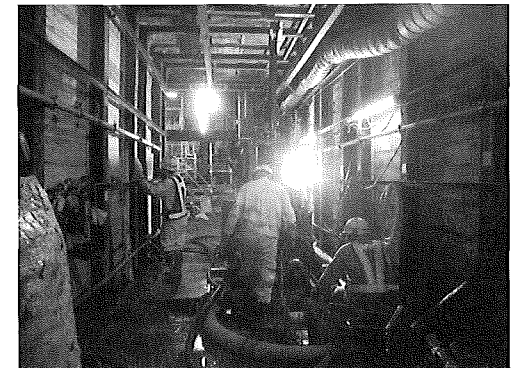


写真-5 下受け杭(BH杭)施工状況

表-3 導坑掘削工程

片数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
計画工程																															
⑤導坑実績																															
②導坑実績																															
⑦導坑実績																															
①導坑実績																															
⑧導坑実績																															
④導坑実績																															
③導坑実績																															
⑥導坑実績																															

表-4 下受け杭(BH杭)工程

片数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
計画工程	下受け杭						土留め杭								
⑤導坑実績						下受け①	下受け②	下受け③	下受け④	下受け⑤	下受け⑥				
②導坑実績		下受け①	下受け②	下受け③	下受け④	下受け⑤	下受け⑥								
⑦導坑実績		下受け①	下受け②	下受け③	下受け④	下受け⑤	下受け⑥								
①導坑実績	土留め①	土留め②	土留め③	土留め④	土留め⑤	下受け①	下受け②	下受け③	下受け④	下受け⑤	下受け⑥				
⑧導坑実績	土留め①	土留め②	土留め③	土留め④	土留め⑤	下受け①	下受け②	下受け③	下受け④	下受け⑤	下受け⑥				
④導坑実績	下受け①	下受け②	下受け③	下受け④	下受け⑤	下受け⑥									
③導坑実績		下受け①	下受け②	下受け③	下受け④	下受け⑤	下受け⑥								
⑥導坑実績		下受け①	下受け②	下受け③	下受け④	下受け⑤	下受け⑥								

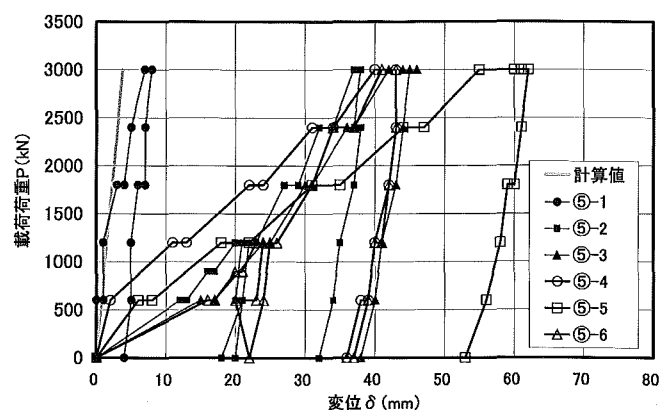


図-14 杭の荷重試験結果(⑤導坑)

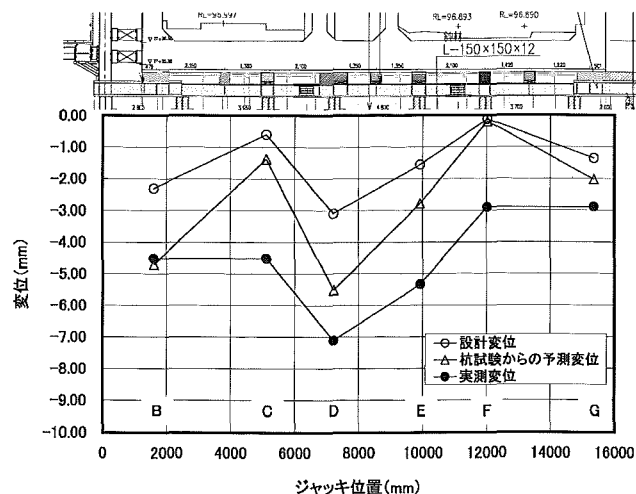


図-15 ジャッキアップ後の下受け杭の変位分布図



写真-6 下受け桁の施工状況

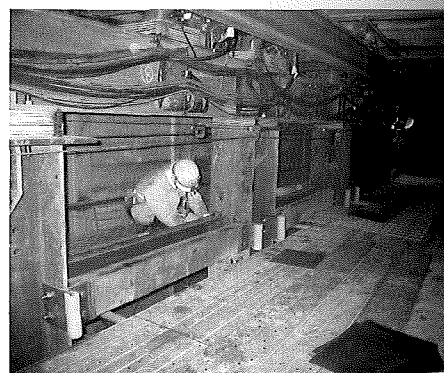


写真-7 ジャッキアップ状況

ジャッキアップ後の下受け桁の変位分布図を図-15に示す。ここで、設計変位は各油圧ジャッキ位置での設計上の弾性係数を用いた変形量、杭試験からの予測変位は杭の

載荷試験結果から得られた見掛けの弾性係数を用いて計算した変形量を示している。その結果、実測変位は杭試験からの予測変位によりおおむね評価をできることが確認できた。その中でも設計ジャッキ反力の大きい、ジャッキB、D、Gは予測変位におおむね一致することが確認できた。一方、設計ジャッキ反力が小さい場合は、杭の載荷試験後に設置した下受け桁やライナープレートなじみなどが相対的に大きく影響したものと考えられる。

水盛式沈下計の変化分布図を図-16に示す。ジャッキアップ前後において、最大でも0.4mmの小さい隆起であり、既設構築に影響を与えることなく管理を行うことができた。

水盛式沈下計の変位-時間関係を図-17に示す。計測値は-1.5~1.0mmの幅で安定している。1次管理値である±3.5mm以内に対して十分に小さな値に収めることができおり、安定した既設構築のアンダーピニングを実施できている。

5 ま と め

最初の導坑掘削を2008年5月26日に開始してから、2008年11月5日にすべてのジャッキアップが完了するまで約5か月間を要した。この間、8回のジャッキアップを実施したが、いずれも既設構築および列車運行への支障なく安全にジャッキアップを完了することができた。また、長期計測管理においても、既設構築の変位を1次管理値内の小さな値で抑えることができた。引き続き今後の施工管理を徹底していきたいと考えている。

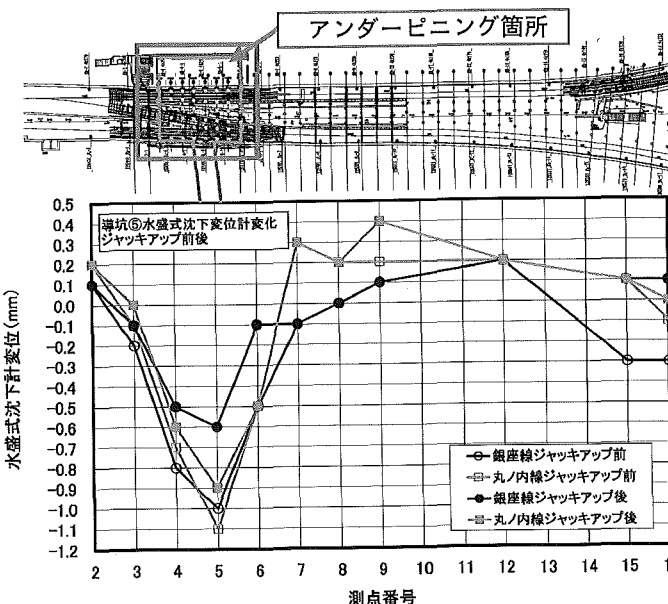


図-16 水盛式沈下計の変化分布図

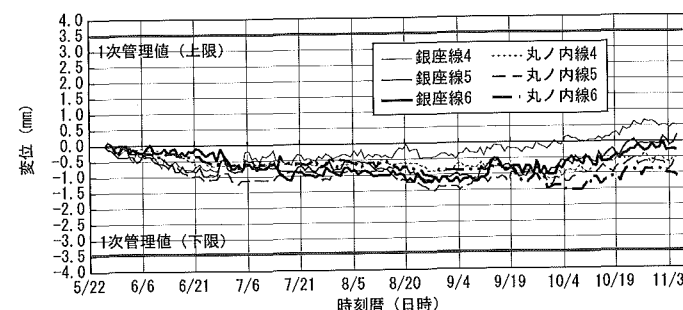


図-17 水盛式沈下計の経時変化

本施工にあたっては関係各位に多大な協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 東京地下鉄(株)鉄道本部工務部：帝都高速度交通営団工務部のあゆみ【土木編】，pp.75-79，2005.7.
- 2) 新アンダーピニング工法等研究会編：アンダーピニング工法設計・施工マニュアル，pp.57-63，2007.5.
- 3) (財)鉄道総合技術研究所：アンダーピニング設計・施工の手引き，p.76，1987.9.

土木情報 No.428

今月の主な入札結果

(12月10日～1月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単 位 百万円
九州農政局	筑後川下流白石平野(1期)農業水利事業佐賀西部導水路白石線	飛島建設	1,354.9
中部地整	紀勢線古里第3・加田T	前田建設工業	2,168
九州地整	東九州道(清武～北郷)年見第1T	梅林建設	507.7
中日本高速道路	第二東名高速道路千両T	西松建設	2,300
千葉県	北千葉道路関連北総～成田線φ800mm送水管布設替	篠田建設	190
都・都市整備局	取付道路擁壁設置及び下水道管布設(20有-12)	都市建	108
都・下水道局	台東区浅草三、四丁目付近再構築	名工建設	343.3
"	墨田区八広六丁目、東墨田二丁目付近再構築	東海興業	329.8
"	江東区高橋、森下三丁目付近再構築	ノバック	409.8
神奈川県	厚木市旭町～幸町地内配水管布設(シールド)	大日本・亀井・入内島JV	1,201.97
島根県	一般国道261号桜江BP改築(改良)(仮称)桜江T	今井・大福・毛利JV	1,346
"	浜田川総合開発事業付替県道(上流工区)2号T(仮称)	中筋・祥洋JV	898
"	主地川本波多線志学工区地方道路交付金(改良)長方T	原・堀JV	625
"	一般県道大野漁瀬曇線鎌田工区地方道路交付金(改良)(仮称)鎌田T	フクダ・カナツ・平井JV	1,530
"	一般国道432号東岩坂BP地方道路交付金(改良)(仮称)東岩坂T	松江・都間JV	520
さいたま市	東宮下雨水渠築造	鹿島・ユーディケー・斉藤JV	1,362
"	南部第10処理分区下水道(南建-20-2)	佐伯工務店	163
"	" (南建-20-3)	武蔵野技建	132.58
"	" (南建-20-4)	和光建設	165.4
"	" (南建-20-5)	とだか建設	147.2
"	" (南建-20-6)	ユーディケー	161
"	" (南建-20-7)	和光・吉野JV	314.9
船橋市	葛飾管渠布設(その70)	森本組	155.2
"	" (その72)	アイサワ工業	105
"	谷津管渠布設(その35)	青木あすなろ建設	131.2
国立市	公下流下貯留管築造	飛島建設	653.93
横浜市	栄処理区川上第二雨水幹線下水道整備	西武・東海JV	941.02
"	" 金井地区下水道整備(その10)	宮内建設	228.8
"	" 下倉田第二幹線下水道整備(その4)	奈良建設	180.71
"	戸塚駅前地区中央土地区画整理事業都計道柏尾戸塚線道路本体築造(その5)	石田建設	354.23
川崎市	江川1号雨水幹線その5	前田・東洋・藤木JV	775
東大阪市	公下第3工区管渠築造	大末建設	485.30
"	" 第4工区管渠増築	大浜組	210.38
神戸市	遠矢浜地区雨水幹線他築造(その3)	窪田工業	378.9
"	野寄4号雨水幹線他築造(その1)	神盟	129.15
"	高羽雨水幹線増築(その1)	協同建設	198.2
福岡市	城西5号幹線築造	西武・梅林・松山JV	1,243.77

研究

トンネル建設における地盤沈下解析法に関する考察

近畿大学理工学部社会環境工学科教授 久武勝保

1 緒 論

トンネル掘削に起因する地表沈下量を有限要素法(FEM)で解析すると、解析領域の違いによって結果が異なることが明らかにされている^{1),2)}。これは素掘りトンネルに対して得られたものであるが、シールドセグメントのような剛性の大きい覆工を有するトンネル解析においては、解析領域の影響が沈下結果により強く現れる。そこで本論文は、解析と実測の結果にもとづいて、トンネル建設における地盤沈下量を現実的に推定するための一手法を提案することを目的としている。

まず、通常行われるFEM沈下解析手法の問題点を解析の結果により明らかにするとともに、この手法で得られるトンネル下方地盤の隆起現象が現実には確認できないことを実測結果によって示す。次に、この問題点を除去して沈下量を現実的に推定するための一手法を提案し、また提案手法の結果が実測沈下特性をよく表現できることを示すこととする。

2 トンネル建設による沈下特性

2-1 シールドトンネルの鉛直変位解析結果

図-1はシールドトンネルによって生じる地表の鉛直変位 V (+は隆起)について、セグメント構築後にトンネル境界の初期応力を100%解放して求めたものである。ここに、トンネル周辺地盤の幾何条件およびセグメントのパラメータの値は図-2

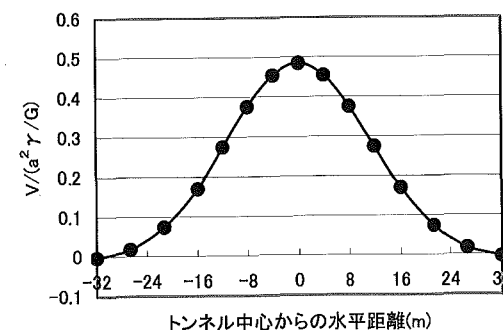


図-1 シールドトンネル建設による地表の鉛直変位(+は隆起)($h/a=4$, $h'/a=4$, $L/a=16$, $a=4\text{m}$, $\gamma=19.6\text{kN/m}^3$, $G=385\text{MPa}$, $\nu=0.3$)

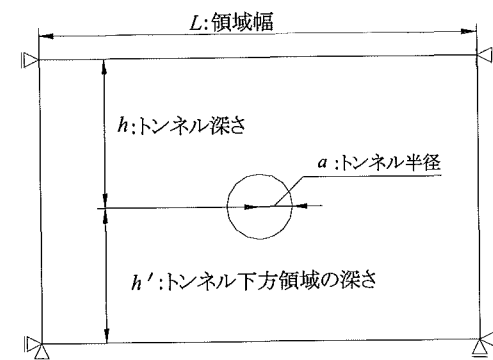


図-2 トンネル周辺地盤の幾何特性
表-1 セグメントのパラメータの値

せん断弾性係数比 G_L/G	ポアソン比 ν_L	厚さ b_L/a
39	0.3	0.075

と表-1のとおりであり、 G , γ , ν , a はそれぞれ地盤のせん断弾性係数、単位体積重量、ポアソン比およびトンネル半径である。また、 G_L , ν_L , b_L は、セグメントのせん断弾性係数、ポアソン比

および厚さである。このようにトンネル境界で初期応力を100%解放する解析を以後、通常解析という。沈下の予測という観点からすると、セグメント構築前に $\alpha\%$ (α :定数)、セグメント構築後に $(100-\alpha)\%$ の初期応力がトンネル境界で解放されるとする沈下解析法がより現実的であるが、ここではセグメントの存在が鉛直変位特性にどのような影響を与えるかを明らかにすることを目的としているため、セグメント構築後に初期応力を100%解放することとする。図-1よりトンネル掘削により地表すべてが隆起するという非現実的な現象が得られている。以下では、この現象について考察する。

さて、トンネル掘削時に解放される初期応力のうち、鉛直方向の初期応力は図-3(a)のように表される。このとき、下半部で解放される応力は上半部で解放される応力と絶対値が同じで逆符号の応力(図-3(b))と、掘削地盤重量にかかわる応力(図-3(c))の二つに分けることができる¹⁾。図-3(c)の応力の総和は掘削により取り除かれる地盤重量($W=\pi a^2 \gamma$)に一致している。

いま、図-1の場合と同一条件下のシールドトンネルについて、トンネル境界の掘削解放応力のうち、図-3(c)の応力のみを無視し、他の初期応力

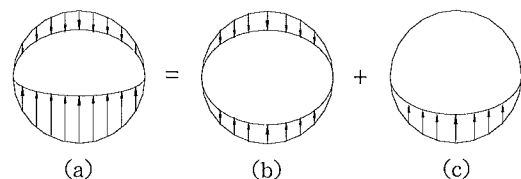


図-3 鉛直方向の掘削解放応力の分解

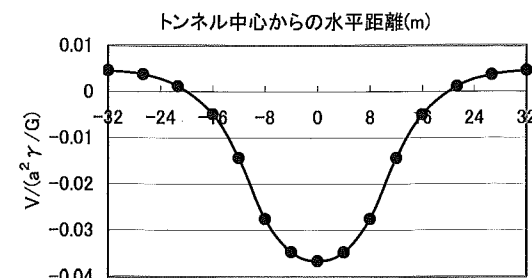


図-4 掘削地盤重量に起因する応力(図-3(c))を無視して解析したシールドトンネル建設による地表の鉛直変位

を100%解放して地表鉛直変位を求めれば、図-4が得られる。図-4を見ると、通常解析で求めた図-1の結果のように地表すべてが隆起するという現象は発生していない。図-1の結果から図-4の結果を差し引いた値は図-3(c)の応力解放のみによって生じる鉛直変位である。その最大隆起量の絶対値は図-4の最大沈下量の絶対値の10倍以上になっている。この結果から、掘削地盤重量に起因する図-3(c)の応力の地表隆起量に及ぼす影響がきわめて大きいことが認められる。

2-2 トンネル下方地盤の実測変位

図-3(c)の応力解放に起因して発生するトンネル下方地盤の隆起量は、採用する解析領域に依存して大きく変化する¹⁾。すなわちトンネル半径 a 、トンネルの深さ h 、および領域幅 L を一定にし、トンネル下方の領域深さ h' のみを大に行けば、隆起量はいくらでも増加する。例えば、素掘り円形トンネルの中心を通る水平地盤面の鉛直平均隆起量 V_{mean} は次式で近似できる¹⁾。

$$V_{\text{mean}} = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)\pi a^2 \gamma h'}{E(1-\nu)L} \quad (1)$$

これより、 V_{mean} は h' に比例して増大することが理解できる。また V_{mean} の値は弾性係数 E と ν の値が大きいほど小さく、 ν が0.5の場合には V_{mean} は発生しないことになる。トンネル下方の地盤隆起に起因して、その上方に存在する地盤も式(1)と同量隆起する。

そこでトンネル下方地盤の鉛直変位に着目し、このような隆起現象が実際に発生しているか否かについて、以下では解析と現場実測の変位により

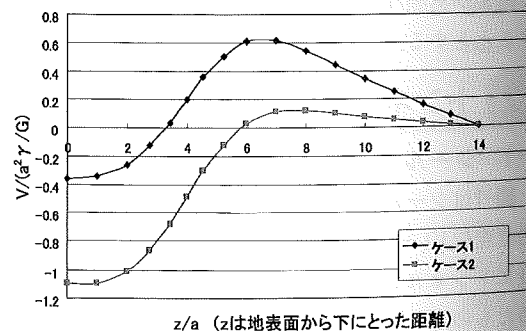
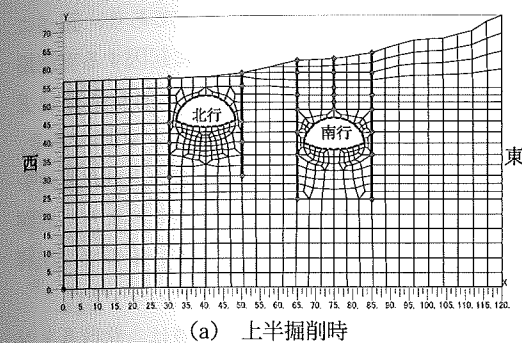


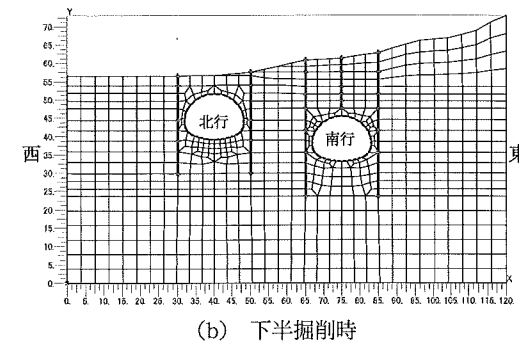
図-5 トンネル側方鉛直測線での鉛直変位

考察する。

図-5は $h/a=4$ 、 $h'/a=10$ 、 $L/a=16$ (図-2参照)、および $\nu=0.3$ の条件下で、素掘り円形トンネルを掘削した場合について、トンネル側壁よりトンネル半径 a だけ水平に離れた点を通る鉛直測線の鉛直変位を示したものである。ここに、ケース1は通常解析の結果、ケース2はトンネル壁面での掘削解放応力のうち図-3(c)の応力を無視した解析の結果である。したがって、ケース1とケース2の結果の差は図-3(c)の応力のみに起因する。ケース1の結果はトンネル下方の隆起がケース

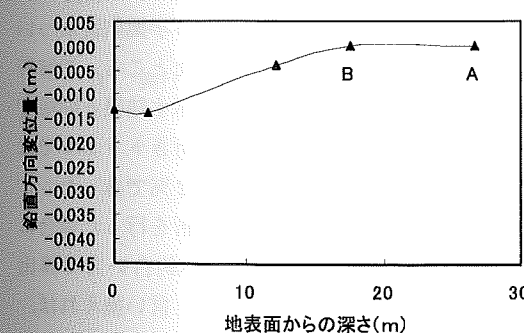


(a) 上半掘削時

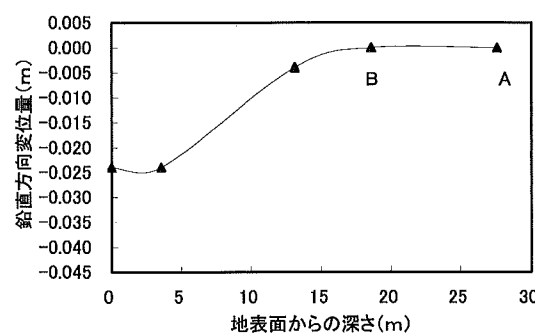


(b) 下半掘削時

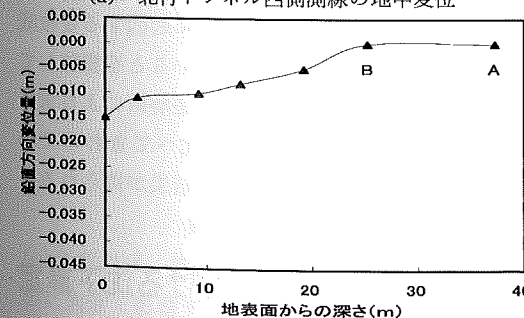
図-6 トンネルの幾何条件と変位計測線(単位:m)



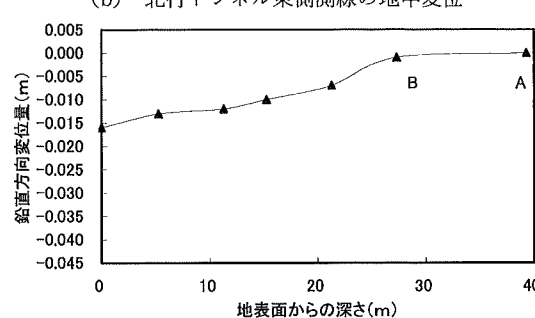
(a) 北行トンネル西側測線の地中変位



(b) 北行トンネル東側測線の地中変位



(c) 南行トンネル西側測線の地中変位



(d) 南行トンネル東側測線の地中変位

図-7 上半掘削後の周辺地盤の鉛直変位(A点とB点は図-6に示す測線下端計測点およびそれより一つ上の計測点)

断面形状は掘削幅16.4m、掘削高さは上半掘削時8.6m、下半掘削時12.5mである。施工法は上半先進ショートベンチカット工法である。地質は礫質土と粘性土の細かい互層となっている。

図-7は上半掘削後に図-6の各測線で実測された鉛直変位である。これよりトンネルより下方に位置する計測点AとBのすべてにおいて、図-3(c)の応力に起因するような隆起現象はほとんど観測されていないことが認められる。また、同様の計測結果が土かぶりの小さい他のトンネル現場^{3)~6)}でも確認できる。すなわち、図-3(c)の応力に起因するようなトンネル下方の隆起現象は現場計測結果では確認されない現象であると考えられる。

3 逆解析による掘削解放節点力の検討

トンネル掘削に起因して発生する実測鉛直変位を弾性逆解析の入力値とし、これよりトンネル掘削解放節点力を求めることができる。この結果から、掘削地盤重量(W)に対応する不釣り合い力が算出されるか否かについて検討することができる。採用する逆解析法^{8)~10)}は解放節点力のノルム(ベクトルの絶対値)の2乗和が最小となる制約条件により、掘削解放節点力や変位などを求める手法である。

さて、逆解析で求められる掘削解放節点力を用いて、以下のパラメータ β を算出することを考える。

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^N F_{vi}}{W} \times 100(\%) \quad (2)$$

ここに、 F_{vi} はトンネル境界での節点 i における鉛直方向の解放節点力(上向きを正とする)、 N はトンネル境界上の節点の数である。 $\sum_{i=1}^N F_{vi}$ はトンネル境界で解放される鉛直方向の不釣り合い力を表している。 β は不釣り合い力を掘削地盤重量で除して、不釣り合い力の程度を%で表す値である。覆工の有無にかかわらず、通常解析によって地盤変位をいったん求め、これを入力値として逆解析を行えば、 $\sum_{i=1}^N F_{vi}$ の値は W に一致し、 β の値は100%となる。一方、実測変位を逆解析の入力値とした場

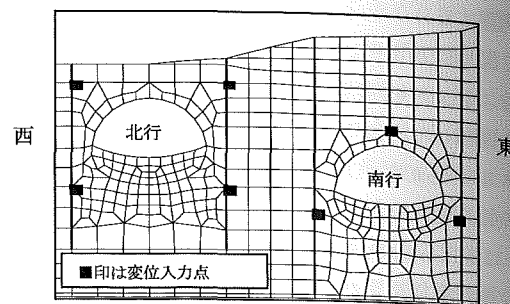


図-8 逆解析における実測変位入力点

合でも上記のような結果が得られるか否かについて、以下では検討する。

採用する地盤は図-6(a)と同一であり、図-8に示す7点で測定された上半掘削に起因する実測鉛直変位を逆解析入力値とする。地盤条件は $E = 45.6 \text{ MN/m}^2$ 、 $\gamma = 18.6 \text{ kN/m}^3$ 、 $\nu = 0.3$ である。逆解析を実行することによって求められた変位を実測変位と比較して図-9に示す。これより、逆解析変位は実測変位を良く表現しているため、逆解析が妥当に行われたといえよう。

実測変位から求められた β の値は、北行きトンネルでは約5%、南行きトンネルでは約1%と、非常に小さい値となった。また下半掘削後についても上記と同様の逆解析を行ったところ、逆解析変位と実測変位の対応は図-9に示す結果と同程度となり、この場合の β の値は北行きトンネルでは約6%、南行きトンネルでは約2%であった。すなわち、実測変位を用いて逆解析を行った場合には掘削地盤重量(W)に見合う不釣り合い力は算出されないという結果が得られた。言い換えれば、実際の施工では W に対応する不釣り合い力が作用しているにもかかわらず、これに起因する変位成分が実測変位に反映されていないことを意味しており、したがって実測変位から逆解析により求められる不釣り合い力の値は W に比べてきわめて小さい値しか算出されないという結果が得られることになる。

4 トンネル建設における沈下算定手法の提案

以上に示すように掘削地盤重量に起因する図-3

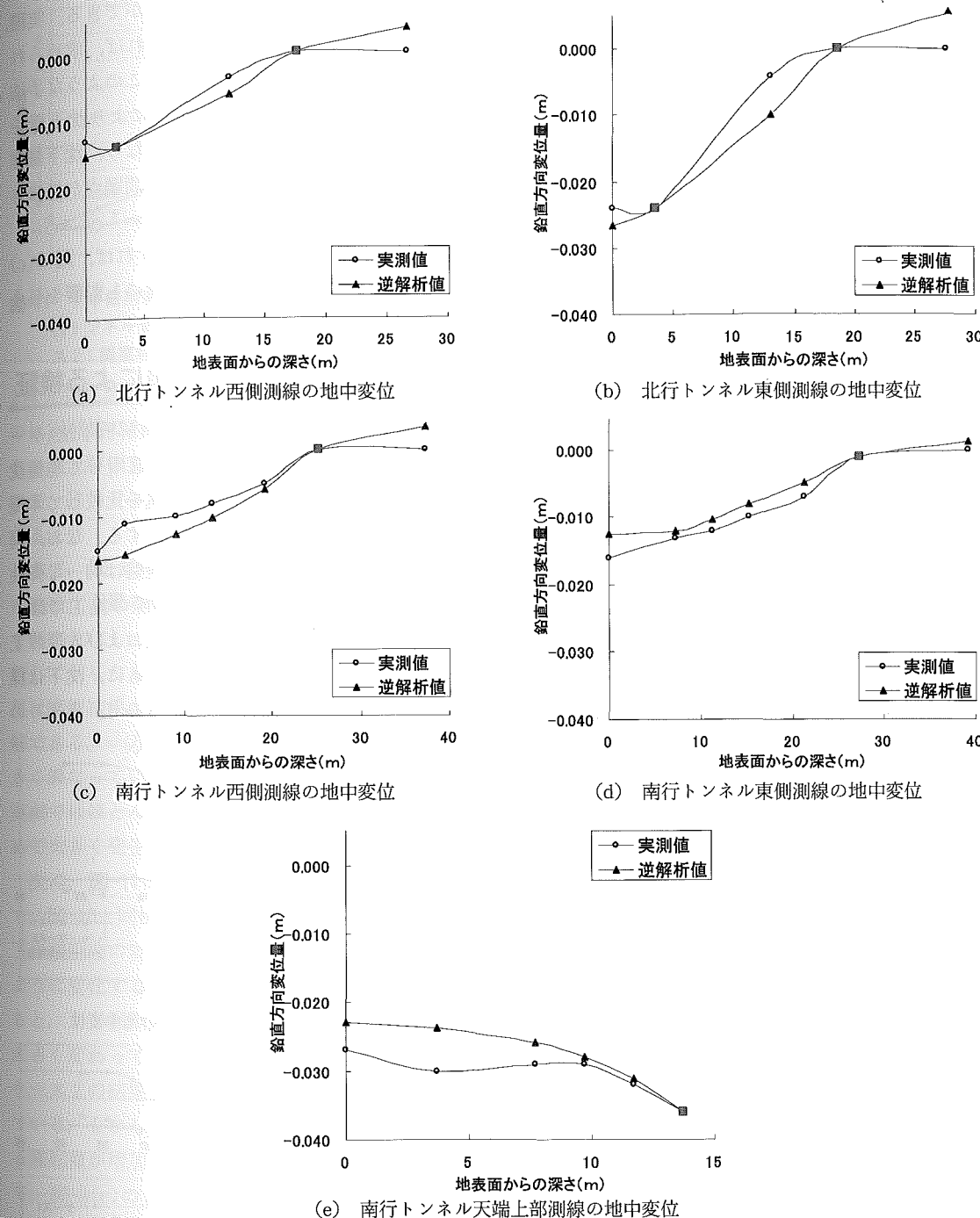


図-9 上半掘削後における逆解析と実測の鉛直変位の比較(■は逆解析入力変位)

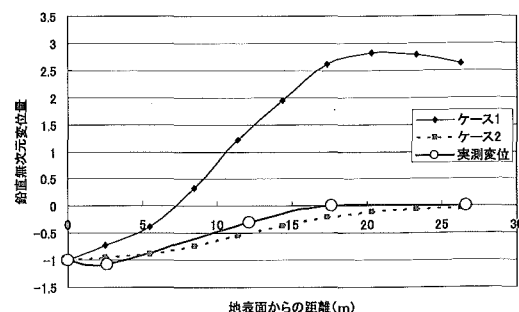
(c)の応力は、素掘りトンネルの地盤沈下解析結果に大きく影響するだけでなく、シールドトンネルのようにセグメントを有する場合には、地表すべてが隆起するという非現実的な結果を与える

ことになる。ところが、2-2で示したように、解析で求められる図-3(c)の応力に起因するトンネル下方地盤の著しい隆起現象はトンネル現場の実測結果から確認できない状況にある。

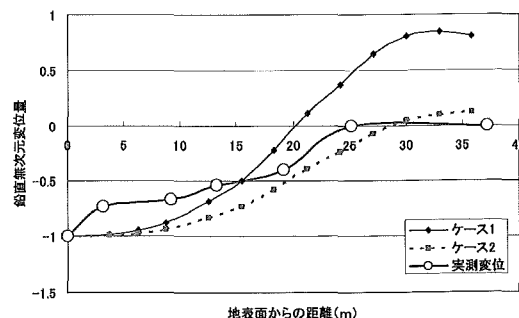
一方、トンネル周辺の実測変位を用いて逆解析を行い、トンネル境界の掘削解放節点力を求め、これより鉛直方向の不釣り合い力を算出したところ、掘削地盤重量の数%の値しか得られなかった。すなわち、実際の施工では掘削地盤重量に見合う不釣り合い力は解放されているが、しかしこのような不釣り合い力は実測変位を用いた逆解析からは確認できない状況にある。

以上の結果は、沈下量の推定において不釣り合い力がわずかしか作用していないとして解析しなければ、解析変位と実測変位の整合性が保てないことを示している。そこで、ここでは不釣り合い力の源である掘削地盤重量に起因する図-3(c)の応力を無視する沈下解析手法を提案する。なお、3章の実測変位から逆解析で求められた不釣り合い力の値は掘削地盤重量(W)の数%であるが、この不釣り合い力を無視する上記提案手法で算出される沈下量はこれを考慮する場合に比べて多くなり、設計においては安全側の推定値を与えることになる。

ところで、トンネルより下方地盤の領域深さ h' を小さく採用することにより、掘削地盤重量



(a) 北行トンネル西側測線の地中変位



(c) 南行トンネル西側測線の地中変位

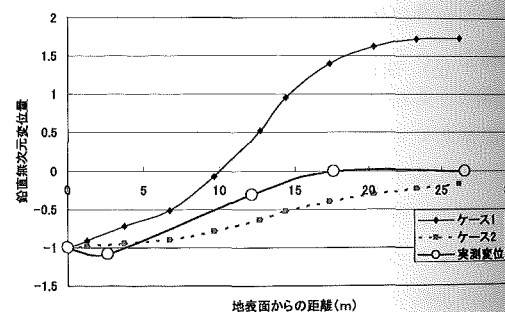
図-10 上半掘削後の実測と解析の変位特性の比較(ケース1:通常解析結果, ケース2:提案解析結果)

に起因する隆起量を制限することができる。実際、式(1)において h' の値を小さくすれば、求められる隆起量は小さくなる。しかし、このような手法を採用すれば、 h' の値の採り方により沈下量を主観的に変化させることが可能となり、沈下量推定の客観性が保証されないという問題点が指摘される。

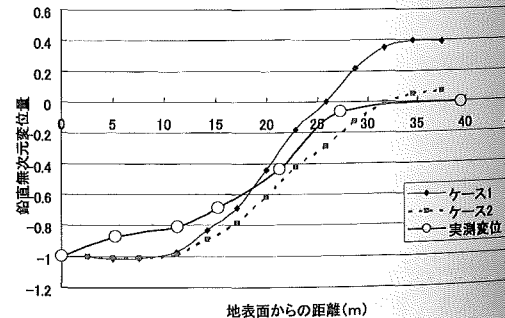
また、 h'/a の値を小さく採用すれば、図-3(c)以外の解放応力に起因する沈下量にも影響を与えることになる。

5 提案手法の実測結果による検証

図-6に示すトンネル現場に通常解析手法(ケース1)と本提案手法(ケース2)を適用して地盤沈下量を求め、これらと実測沈下量を比較して本提案手法の妥当性を検証することとする。なお、両解析とも、トンネルは素掘り、地盤は均一な弾性体($\nu=0.3$)と仮定している。実際の施工では、吹付けコンクリート、鋼製支保工および先受け工などの補助工法が施工されるとともに、沈下は採用される掘削工法の影響も受けるので、素掘りの



(b) 北行トンネル東側測線の地中変位



(d) 南行トンネル東側測線の地中変位

6 まとめ

トンネル建設によって生じる地盤沈下量をFEMで解析する場合、掘削地盤重量に起因する鉛直上向き解放応力が解析結果に大きく影響する。とくに、剛性の大きいセグメントを有するシールドトンネルの場合は、素掘りトンネルの場合に比べてより強くその影響が現れる。本論文ではその原因を力学的に明らかにするとともに、解析で求められる上記上向き解放応力に起因するトンネル下方の地盤隆起現象が現場計測結果から確認できないことを示した。また、実測変位を逆解析することによりトンネル境界で解放される節点力を求めたところ、掘削地盤重量の解放に起因する不釣り合い力はほとんど算出されなかった。以上の結果から、地盤沈下量を現実的に解析する手法として、上記の上向き解放応力を無視する手法を提案した。また、実際のトンネル現場に提案手法を適用し、実測結果と解析結果を比較したところ、提案手法の結果が実測現象を良く表現できることを確認した。

参考文献

- 1) 久武勝保・山崎康裕：トンネル沈下のFEM結果に及ぼす解析領域の影響，トンネルと地下，Vol.32，No.11，pp.45-50，2001.11.
- 2) 田村武・足立紀尚：トンネル掘削解析における領域設定について，土木学会論文集，No.701/Ⅲ-58，pp.231-242，2002.
- 3) 小峰隆幸・助川博之・綿引秀夫：近接施工における既設構造物の挙動について，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.7，pp.389-394，1997.
- 4) 地盤工学会計測結果の解釈と計測管理編集委員会：計測結果の解釈と計測管理，地盤工学会，pp.5-16，1999.
- 5) 櫻井春輔・藤村三喜男・原田浩史・岩野政浩・加藤隆：土被りの浅い大断面トンネルにおける地山挙動の非線形逆解析，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.9，pp.95-100，1999.
- 6) Sasaki, R., Takayama, T., Tsukada, M., Kimura, M., Torii, S. and Nakagaki, H.: Excavation monitoring of a large cross section tunnel underpassing an existing railway, Proceedings of Modern Tunneling Science and Technology,

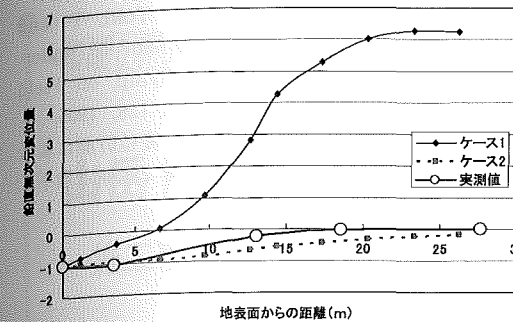


図-11 下半掘削後の実測と解析の変位特性の比較，北行トンネル東側測線(ケース1:通常解析結果，ケース2:提案解析結果)

2次元弾性解析によって沈下の絶対値を推定するのは不可能である。しかし、沈下のモードは上記の2次元解析でもある程度近似できると思われるので、以下では無次元鉛直変位特性について検討する。

さて、図-10は上半掘削後について、各計測線の地表沈下量の絶対値でその測線の地中鉛直変位を無次元化し、上記両解析手法と実測の結果を比較して示したものである。これよりケース2の結果は実測結果とおおむね良く対応しているのが理解できる。一方、ケース1の結果は実測結果と大きく異なっている。すなわちケース1の結果は、実測ではほとんど発生していない隆起現象がきわめて大きく発生している。

次に、図-11は下半掘削後の総鉛直変位について、図-10と同様の無次元表示をしたものであり、下半掘削後の変位特性が上半掘削後に比べてどのように変化するかを調べたものである。これによると、下半掘削後の実測変位特性は上半掘削後と大きく変わっていないことが理解できる。また、ケース2の結果はこの点で実測結果と良く対応している。しかし、ケース1の結果は下半掘削による隆起量が増加している。これは下半掘削によって、図-3(c)の上向き応力による地盤隆起量が上半掘削時のそれに加算されたためにこのような結果になっている。

以上に示すように、提案手法のケース2の結果は、上半掘削後、および下半掘削後において、実測沈下特性に良く対応していることが確認できる。

pp.253-258, 2001.

7) 伊藤富雄・久武勝保：トンネル掘削による地表沈下の解析，第9回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要，pp.91-95, 1975.

8) 久武勝保・村上敏夫：トンネルのA計測変位を用いた覆工応力推定法，土木学会論文集，No.457/Ⅲ-21, pp.78-86, 1992.

9) Hisatake, M., Murakami, J., Toki, T. and Murakami, T.: Stability assessment of underground cavity, Proc. 4th Int. Symp. on Field Measurement in Geomech., pp.121-128, 1995.

10) 久武勝保・村上譲二・村上敏夫：変位計測によるトンネル覆工保守管理の一手法，トンネルと地下，Vol.33, No.10, pp.47-56, 2002.

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 円340円
第Ⅱ巻 地下水環境学	価格4,485円 円340円
第Ⅲ巻 地下水と地質	価格3,873円 円340円

本書は様々な環境問題を地下水物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メイジャー神楽坂
電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072

連載講座

山岳トンネル先進ボーリング入門(6)

— 施工事例(1)：施工前に坑外から実施する地質調査ボーリング —

山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会

① ワイヤラインによるコントロールボーリングの事例(九州新幹線筑紫トンネル)

1-1 はじめに

ここでは，九州新幹線建設工事の中で最長(12.115km)となる筑紫トンネルで実施されたワイヤライン(WL)によるコントロールボーリングの施工事例を紹介いたします。

筑紫トンネルは，福岡県と佐賀県の県境を東西に走る背振山系を南北に貫くトンネルです。このトンネルは，最大土かぶり500mに及ぶため，地上からのボーリングではトンネルレベルの調査が困難な箇所も多く，調査の主体は高密度電気探査に頼るところが多くありました。これは，トンネルを計画した背振山系に福岡県の水がめとして多くのダムがあることから渇水に留意して地下水の調査に重点を置いていたことにも理由があります。また，トンネルの平面線形もダムに影響を及ぼさないように曲線で計画されました。

そこで，施工の条件が適合し，どうしても事前に地質の詳細を知って起きたい2か所についてコントロールボーリングを実施しました。

1-2 地形・地質概要

筑紫トンネルは，中生代白亜紀後期から古第三紀にわたり形成された3種類の花崗岩類でできています。花崗岩類は，御影石とも呼ばれ墓石や建築材料に多く使用されることから非常に硬質なイメージを持たれています。しかし，わずかながら

時代の違う3種類の花崗岩類ということは，新しい花崗岩類が古い花崗岩類に接触する箇所が熱水変質を起し，脆弱な状態に変化させているわけです。さらに，断層運動やベグマタイト，アプライトなど脈岩の貫入でも硬質岩が脆弱化したり，粘土化が進み，トンネル掘削に支障をきたす事になります。そこでトンネルに沿ったボーリングがあればコアからそれらの状態と出現する位置が正確に判明し，施工に対して十分な対応が可能となります。そこで，ワイヤラインによるコントロールボーリングを採用したわけです。

1-3 小土かぶり区間での調査¹⁾

1-3-1 調査概要

筑紫トンネルのもっとも南(佐賀県)の工区になる山浦工区は，小土かぶり区間が約1km近く続き蛇行した山浦川の下(土かぶり40m)を2度も潜らなければならない工区でした。この間，更新世の砂礫層からなる段丘堆積物の下に花崗岩の風化帯(マサ土が主)が存在し，電気探査では全線ほぼ同一の比抵抗値を示すため詳細がわからず，コントロールボーリングによるコア判定が重要となりました。そこで，小土かぶり区間でトンネルが接近する河川に近い箇所にある段丘面上の農閑期の水田を借地し，最初に傾斜-17°で掘進を開始し，段丘堆積物や強風化花崗岩を掘進しながらボーリング軌跡が水平になるまで傾斜をコントロールします。その後，トンネルの下位を通常のワイヤラインで500mまで掘進することとしました。

掘進孔径は，傾斜掘進区間でφ101mm，コン

ロール区間ではφ76mmとしました。また、傾斜測定の頻度は、傾斜掘進区間で1回/25m、コントロール区間で1回/10m、水平区間で1回/20mとし、最終の許容精度を±5mに計画しました。

1-3-2 調査の特徴と実績

ボーリングの口元は、平地の水田から掘進を開始するため、最初にバックホーを使用してピットを掘削しました。これを地熱発電用や温泉などの深掘ボーリングではセーラと言います。

次にトンネル位置に接近するまでは、コアを必要としないので高能率を期待して本講座の第2回で紹介しました、ロータリパカッションドリルを使用してコントロール位置まで掘削しました。

コントロール区間からは、ワイヤライン掘進となるため穿孔機を一般的な

スピンドル型ロータリ式に入れ替え、スピンドルを-17°にセットし、掘進を行いました。コントロール掘進は、通常NQワイヤラインツールズで掘進し、10mごとに傾斜と方位の測定を行いコントロール箇所のみBQワイヤラインツールズで行

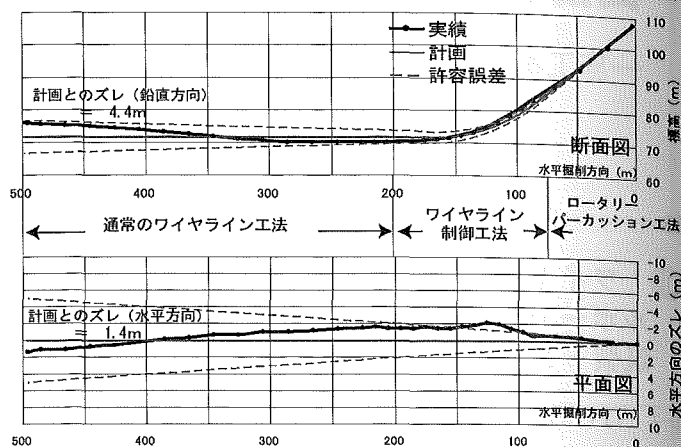


図-1 掘進軌跡図(山浦工区)

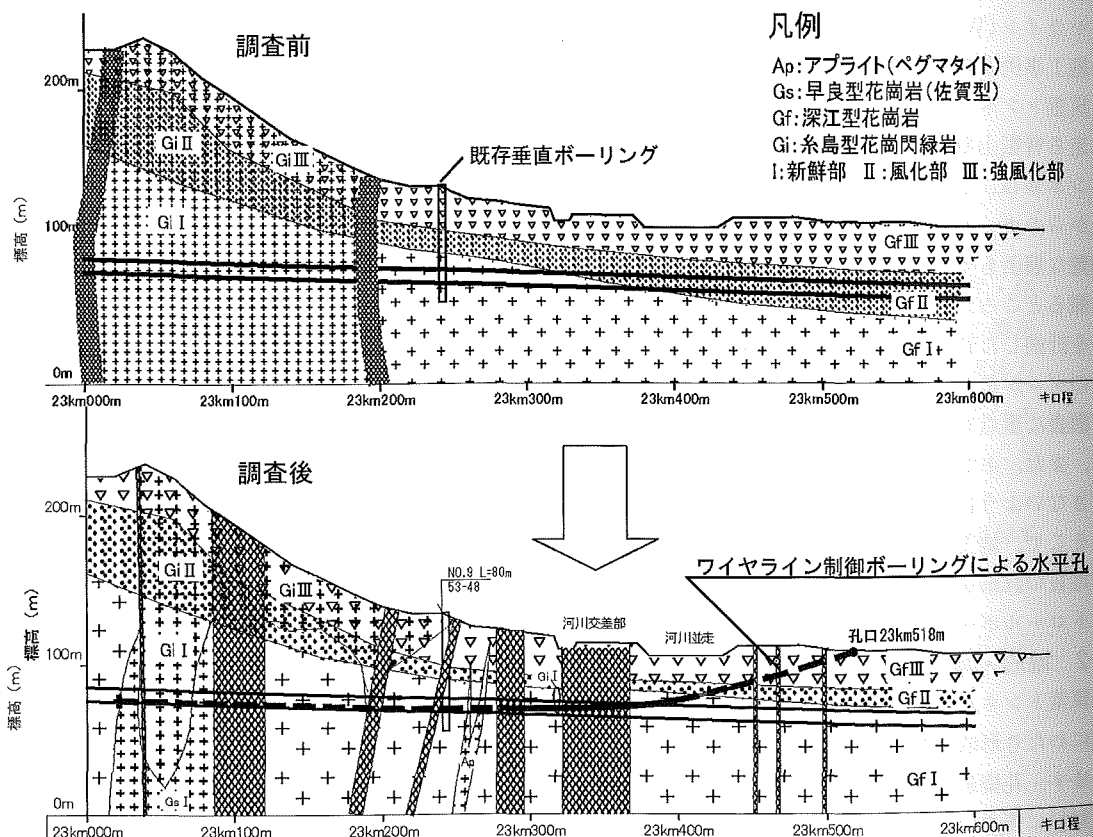


図-2 調査前後の地質対比図(山浦工区)

いコントロールが確認されたところでNQサイズに拡張する作業をくり返します。その結果、掘進深度200m付近で計画とおりの軌跡が確認され、ほぼ水平の掘進に入りましたが、400m付近で軌跡の上昇が確認されたため再度、コントロールによる修正を行い500.8mの計画深度に到達し、計画範囲内に収まり非常に良い結果を得ることができました(図-1参照)。

当初の調査から想定した地質縦断面図とコントロールボーリングのコアによって得られた地質縦断面図との比較を図-2に示しますが、破碎帯の位置、脈岩の位置、さらには時代の異なる花崗岩の境界まで新しい情報が多く得られました。

このように鉛直ボーリングではトンネル位置との交差点の情報しか得られないのに対して、今回のコントロールボーリングでは、トンネル縦断方向に約350mの正確な岩盤状況が把握することができたわけです。地上から行うことでトンネル施工前に情報を得られるとともに、施工中の先進ボーリングと異なり、坑内作業の障害にもならず、非常に有効な調査方法であることが立証されました。

これに引き続き、大断層ではないかと懸念されていた筑紫トンネル南畑工区に想定されていた平等寺断層の調査でもワイヤラインによるコントロールボーリングを採用しましたので以下に紹介いたします。

1-4 断層区間での調査²⁾

1-4-1 調査の概要

南畑工区は福岡方2工区目で、佐賀県との県境までの3,385mを工区としましたが、この間には鮮明な地形リニアメントや電気探査の比抵抗値から平等寺断層、大谷断層の大規模断層が想定されていました。土かぶり200m以上となるためコントロールボーリングを採用しても利点が少ないと判断して、土かぶり60mの下代久事川から平等寺断層を目指して調査を行いました。

調査の目的は、平等寺断層の位置と

その状況や断層の影響範囲の確認にあり、下代久事川近傍に出現する可能性が大きいことからコントロール箇所までの区間もコアを採取することとしました。そのため、口元からワイヤライン工法を採用し、口元をPQ(φ122mm)とし、順次HQ(φ98mm)、NQ(φ79mm)、BQ(φ62mm)と掘進径を落しながらその都度ケーシングパイプを挿入して、550m掘進する計画としました。

1-4-2 調査の特徴と実績

孔口の傾斜を-30°に設定し掘進を開始しましたが、コントロールを計画した箇所の岩盤状態が悪く、すでに-32°まで垂れ下がり傾向を示していました。そこで岩盤状態が良好となった110mからコントロールを再開してトンネルに沿わせるように努力しましたが、なかなか理想のとおりにはコントロールが効かず、最終掘進長の550mでほぼトンネル下端に達したものの、掘進長280m地点ではトンネルとの離れが24mとなりました(図-3参照)。しかし、山浦工区の実績のように計画どおりのコントロールをできなかったもののトンネル下位を確実に調査できたことで、先進ボーリングとしての役割を十分に果たしたものと評価できるでしょう(図-4参照)。

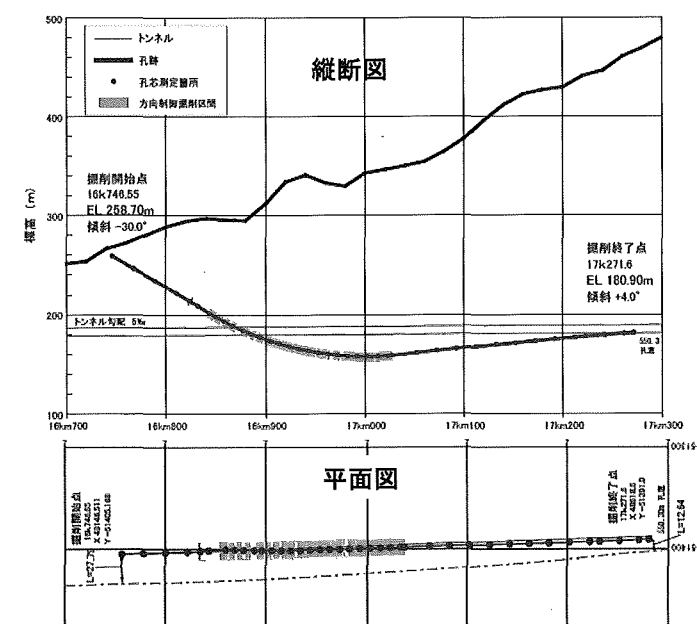


図-3 掘進軌跡図(南畑工区)

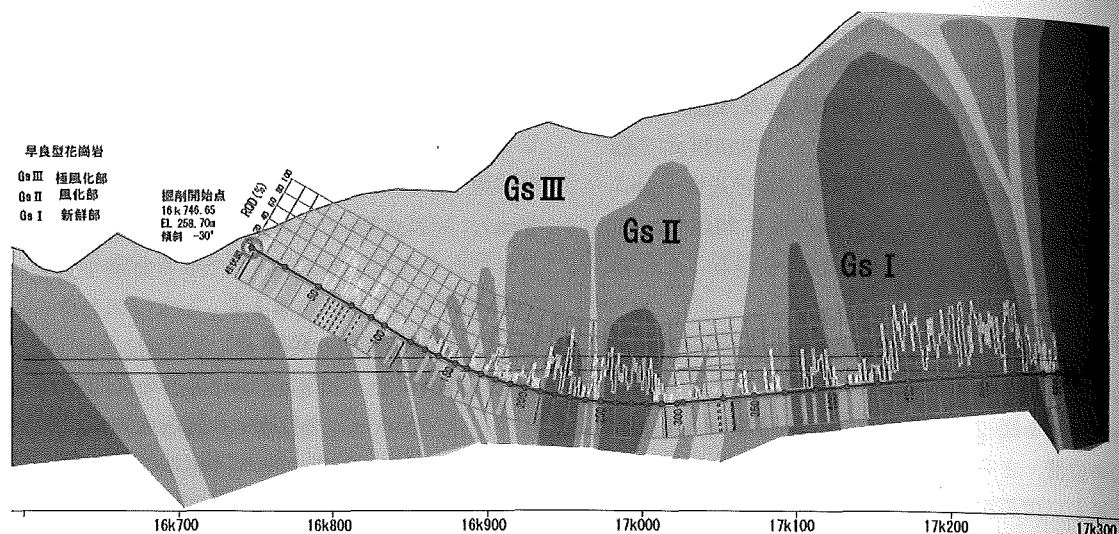


図-4 地質調査結果図(南畑工区)

1-5 ワイヤラインによるコントロールボーリングの評価

今回、筑紫トンネルで実施した2例を紹介しましたが、トンネルの先進ボーリングとして非常に有効な手段であることを理解されたと思います。

利点としては、①コアの採取が可能ことから、トンネルレベルの数百m間の調査が可能となります。②トンネル施工の障害になりません。また、欠点としては、①コントロール箇所が粘土化した脆弱帯であると制御の精度が低下します。②ワイヤラインはコアチューブ形式であることから0.7MPa以上の湧水圧下での掘進が困難となります。

先進ボーリングとしての有効性が確認できたことから、今後は、リアルタイムな位置確認や孔内原位置試験が可能となれば、より多くのトンネルへの情報提供へとつながることと思います。

(文責：北原秀介・鉄道・運輸機構)

参考文献

- 1) 北原秀介・谷藤吉郎・対馬教夫・上野光：コントロールボーリング(ワイヤライン制御工法)による高精度トンネル地質調査事例，日本応用地質学会，平成17年度研究発表会講演論文集，pp.83-86，2005.10.
- 2) 鉄道・運輸機構：九幹鹿，平等寺付近地質調査報告書，2003.12.

② 外管追従によるコントロールボーリングの事例(瑞浪研究坑道超大深度立坑ほか)

拡張ビットを採用した外管追従ボーリング工法は、30年以上前の本四架橋工事の海底岩盤掘削で活躍し、装薬孔のオーバーバーデン削孔にウェルマン(WELLMAN)工法が適用されました。このほかに、トンネル補助工法のAGF工法でも削岩機ロッド先端に拡張ビットが適用され、ドリルジャンボによるパイプルーフ(AGF)の施工を可能にしています。

以下にルーツを辿って30年以上前の話から進めます。

2-1 外管追従ボーリング工法について

2-1-1 初期の外管追従ボーリング工法

本四架橋の海底削孔に活躍したウェルマン工法は海上のプラットフォーム(セップ台船)から海水中を通り、海底面の堆積物を貫き、段取り替えなしに硬岩の基盤削孔を可能とする工法で、海底での爆薬の装填を外管の中で実施できました。

ウェルマン工法の概要と施工順序は本講座の第2回、2-2-5項に記述しています。拡張ビットの写真を写真-1に、本四架橋での海底掘削の状況を写真-2に示します。

2-1-2 外管追従によるコントロールボーリングのしくみ(拡張ビットとダウンホールモーターの組み合わせ)

外管追従によるコントロールボーリングとは、拡張ビットの後部にダウンホールモーター(水圧による先端駆動モーター，以下「DHM」と呼ぶ)を装着して、内管を非回転とし、ウェッジまたはベント管(キックオフサブまたはベントサブと呼ぶ)により角度を付与することにより掘進方向をコントロールする方式です。この方式によるコントロールボーリング技術は以下の2種類あります。

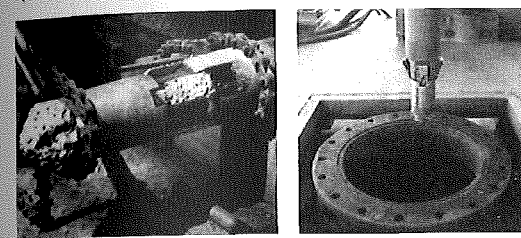


写真-1 拡張ビット

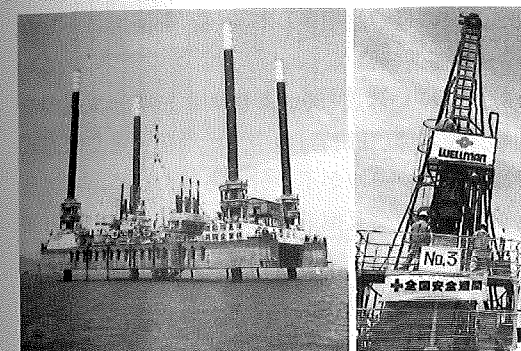


写真-2 ウェルマンシステムによる海底掘削

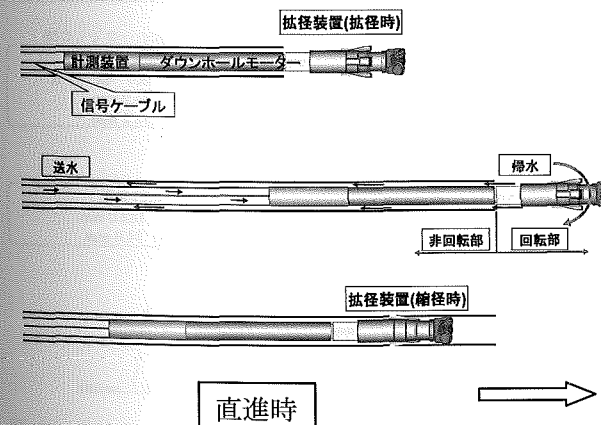


図-6 コントロールの基本構造(ノンコア二重管方式)

① 大口径コントロールコアボーリング(152-SDS工法)

これは大口径($\phi 152\text{mm}$)ワイヤライン方式の工法です。先端部のしくみを図-5に示します。

② 超長尺コントロール水平水抜きボーリング(拡張式二重管追従掘削工法)

二重管ノンコア方式で内管にトリコンビットなどのノンコアビットを使用したタイプです。この方式の先端部のしくみを図-6に示します。

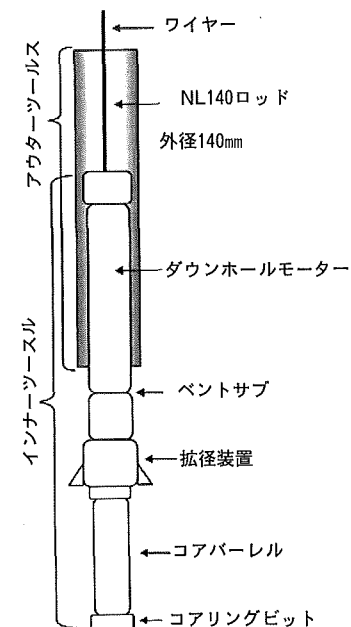
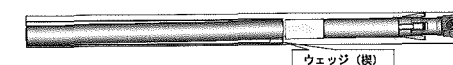
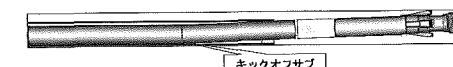


図-5 コントロールの模式図(ワイヤライン方式)

① ウェッジ(楔)機構の採用



② ダウンホールモーターの効果的使用



2-2 瑞浪超深地層研究所MIZ-1号孔¹⁾の事例(大口径コントロールコアボーリング)

2-2-1 はじめに

瑞浪超深地層研究所での深さ1,000mの研究坑道の展開に伴い実施された大深度調査ボーリングの事例を示します。この調査ボーリングは、研究坑道周辺の地質環境モデル構築に向けた高度な調査を行うものです。掘削長1,350mの大口径(φ152mm)オールコアボーリングが計画され、攪乱のない良好なコア採取が主な目的の一つで、卓越する高角度傾斜の地質構造に対し、ボーリングの途中で鉛直から斜方向へのコントロールボーリングが試みられました。研究坑道のイメージを図-7に示します。この研究坑道は深度約1,000m、仕上がり内径6.5mの主立坑と4.5mの換気立坑および研究用の水平坑道から構成されています。また、MIZ-1号孔の掘削計画を図-8に示します。

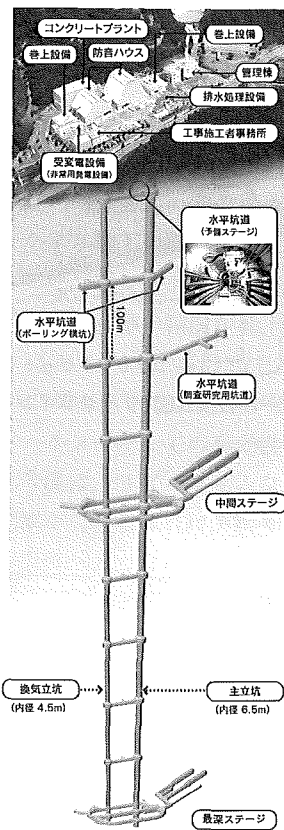


図-7 瑞浪超深地層研究所研究坑道イメージ図

2-2-2 地形・地質概要

研究坑道の建設用地は土岐川支流の狭間川に沿った場所に立地しています。付近の地質は、地表から深度約100mまでは堆積岩(中新統瑞浪層群の砂岩・泥岩互層および基底礫岩層)が分布し、その下位には不整合面を介して基盤の花崗岩(後期白亜系土岐花崗岩)が分布すると予測されていました。

2-2-3 コントロールボーリング工法のシステム

このシステムは図-5に示すようにワイヤライン工法に拡張ビットとDHMを組み合わせたオールコアコントロールボーリングで152-SDS工法と呼ばれています。先端部の全体を写真-3に示します。先に説明したとおり、コアパレルの後方(上部)に拡張ビット、ベント管(ベントサブ)、DHMを配して、外管を追随させてコントロールボーリングを行う方式で、ビットの交換のための外管の揚げ降ろしは必要ありません。ボーリングマシンは、パワードライブ型の(株)利根製TSL-HD型、櫓は高さ24mの(株)利根製DR-30(特)を使用しました。

2-2-4 掘進経緯

計画に従い深度250mよりコントロール掘削を開始。硬岩部(花崗岩)の中で、当初予定した方式ではコントロールが不十分であったため、コアリングと拡張の交互掘進やウェッジ使用などの方策

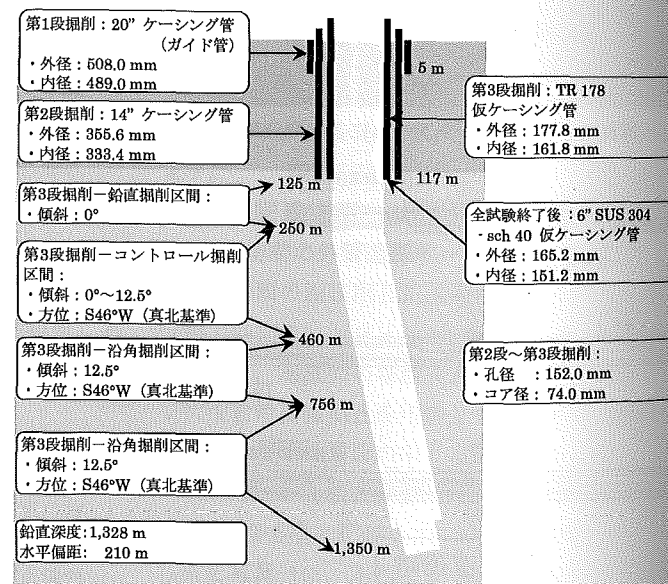


図-8 MIZ-1号孔の掘削計画

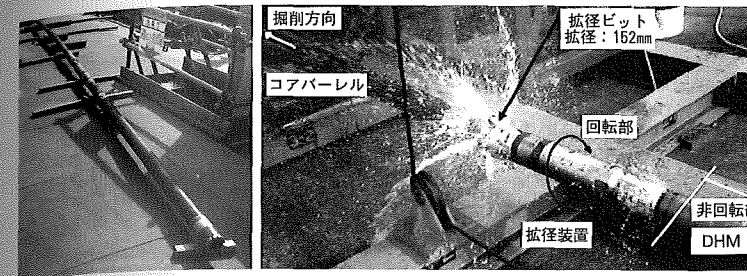


写真-3 152-SDS工法先端部

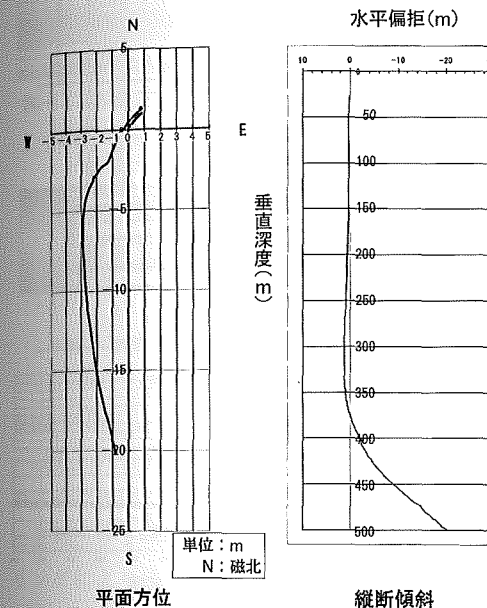


図-9 152-SDSコントロール掘削孔跡図

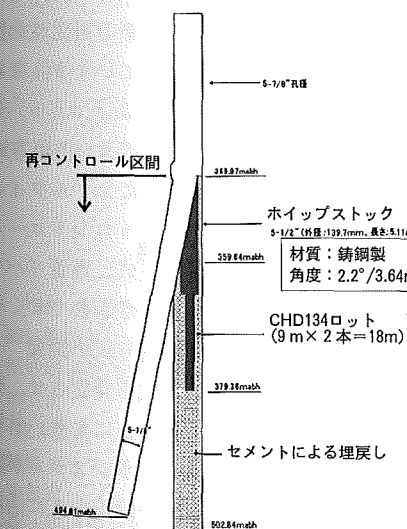


図-10 ホイップストックによる分岐掘進(サイドトラック)

の併用により深度約500mに到達しました。結果は、計画した傾斜(12.5°)は達成されましたが、計画方位(S46°W)から大きくずれ、ほぼ南に向かう結果となりました。MIZ-1号孔のコントロール掘削孔跡を図-9に示します。

その後、深度350m付近において図-10に示す方向修正治具(ホイップストック)とMWD(Measurement While Drilling: 掘削中にボーリング孔の方位・傾斜、掘削パラメータなどを孔底で計測し、リアルタイムで地上へデータを伝送する技術)による分岐掘進(サイドトラック)を行い、その後ワイヤライン工法(CHD134-WL)による計画方向への沿角掘進を行い、約1,300mの深度に到達して終了しました。

2-2-5 成果と課題

大口径コントロールコアボーリング(152-SDS)のトラブルの主要なものとして、硬岩部での先端ツールの剛性不足に起因すると推定されるバイブレーションとビットの異常磨耗が挙げられます。また、方位コントロールが不十分であった原因としては、上記の先端ツールの剛性不足、ベント管(ベントサブ)傾斜角の設定が適切でなかったことなどが挙げられています。

この工法は通常のワイヤライン工法に比べビット交換のための外管(ロッド)揚げ降ろしがなく、作業性に優れた特性を持つため、これらの問題点をクリアし、実績を重ねて成熟した技術として発展させることが望まれます。

なお、この事例の技術情報の多くを日本原子力研究開発機構瑞浪超深地層研究所から提供いただきました。

2-3 新幹線長大トンネルの事例²⁾(超長尺コントロール水平水抜きボーリング・外管追従ノンコア)

2-3-1 はじめに

この事例についての計画概要は、本講座の第4回、3-1-2項で記述しておりますので、ここでは

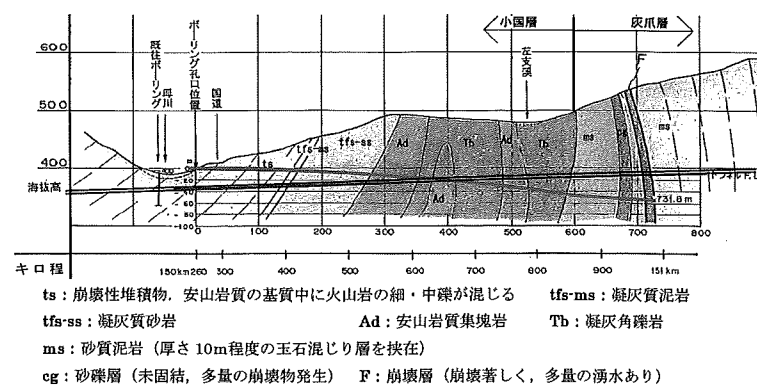


図-11 トンネル計画縦断とボーリング位置

実施結果と課題，改善点について述べることにします。

2-3-2 地形・地質概要

トンネルは新第三紀の堆積岩で，ボーリング場所はトンネルルート直上の小土かぶりの沢部が選定されています。地質縦断とトンネルおよびボーリング位置を図-11に示します。長大トンネルの水抜きボーリングをトンネル中間部の地上から可能とするため，比較的土かぶりの小さな場所を選定してボーリング発進基地とし，トンネル線形に対し水抜き効果の得られる位置にコントロールして目的を達成しようとするものです。

2-3-3 掘進経緯(コントロールボーリングの実績)

トンネルセンターから水平に約15m，上方に約35m離れた位置にボーリング口元を設置し，掘進過程でトンネル計画線の下方向へ漸近させるコントロールを，リアルタイム位置計測システムの併用により行いました。ボーリングマシンはトップドライブ(水平)型の(株)利根製TOP-LSを使用しました。掘進長731.8mまでのボーリング先端の軌跡の平面，縦断を図-12に示します。

2-3-4 成果と課題

コントロールボーリングはおおむね良好に実施されましたが，外管からの突出部分が崩壊性地山などの不良部でジャミングしやすく，崩壊物の排除に難があることが明らかになりました。また，リアルタイム位置計測システムについても，ロッド揚げ降ろし時のケーブルの着脱やロッド回転ができないなどの制約が掘進速度に影響することが

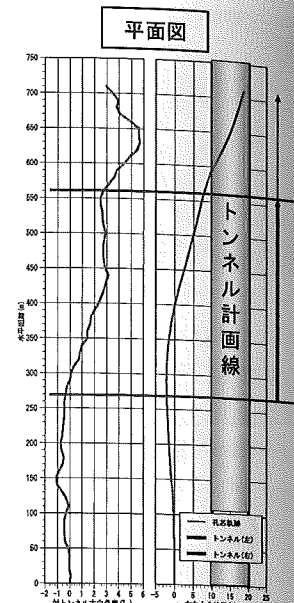


図-12 ボーリング先端位置軌跡

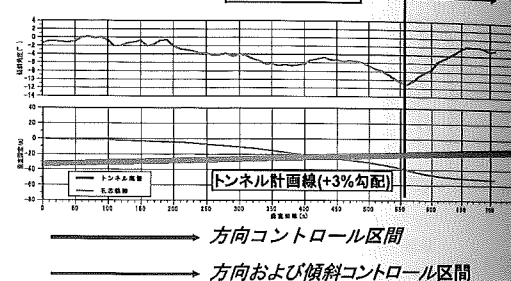


図-13 ボーリング先端位置軌跡

わかりました。以上の課題に対し新しい工法の開発と実際の運用の提案が行われています。それらを以下に示します。

(1) パイロットコントロール掘削工法の併用方式

その提案は，図-13に示すようにリアルタイム位置計測システムによるパイロットコントロール掘削を先行し，新規開発の「拡張式二重管リバース掘削方式」により沿角掘進を行うものです。

(2) 拡張式二重管リバース掘削方式の開発

従来の二重管リバース掘削方式を発展させ，拡張ビットを装着した方式とすることにより，外管の揚げ降ろしなしに連続掘進を行うシステムが開発されました。この工法は上記の併用方式に活用するほか従来のボーリング工法への適用が期待されます。拡張式二重管リバース掘削方式の模式図

①パイロットコントロール掘削
ダウンホールモーターによるコントロール掘削を行い，パイロット孔として目的方向への方向付けを行う。

②拡張式二重管リバース掘削+挿入計測
パイロットコントロール掘削終了後，本掘削孔を拡張式二重管リバース工法により掘削する。所定区間掘削終了後，計測装置を挿入し，孔芯位置の計測を行う。



図-13 パイロットコントロール掘削方式と拡張掘削

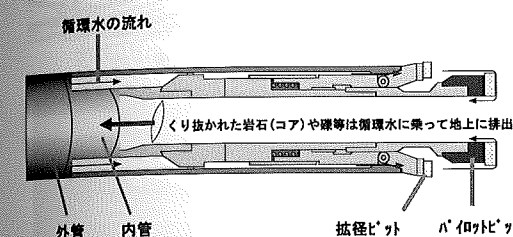


図-14 拡張式二重管リバース掘削方式

を図-14に示します。

以上，外管追従によるコントロールボーリングの二つの事例を紹介しました。今後の更なる改善により，トンネル全区間の地質が事前にコアボーリングにより確認でき，坑口や地表からトンネル掘進に支障せず水抜きボーリングができれば，トンネル技術者にとって素晴らしいことです。また安全で品質の高いトンネルを築造するうえで非常に意義のあることで，1,000～2,000mクラスの超長尺の安定掘進ができる，信頼性の高いコントロールボーリングの実用化と普及が望まれます。

(文責：金田 勉・(株)大林組)

参考文献

- 大林・間特定建設工事企業体：JNC TJ7440 2005-091(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)，超深地層研究所計画における試錐調査(MIZ-1号孔)，2005.3。
- 鈴木恒夫・北原秀介・笹尾春夫・井ヶ田徳行・佐藤知則：リアルタイム位置計測システムを併用した水平長尺コントロールボーリング工法の開発，土木学会，平成16年度トンネル工学報告集，pp.211-216，2004。

③ 湧水対策として坑外から実施した長尺水抜きボーリングの事例(東海北陸自動車道名皿部工事平山トンネル)

3-1 はじめに

東海北陸自動車道名皿部工事平山トンネルは，大和IC～白鳥IC側へ約4km北上した長良川右岸側に位置し，標高315～350mの山腹を通過する延長1,423mの2車線高速道路トンネルです。

平山トンネル北側坑口付近は事前地質調査結果より多量の被圧地下水の存在が確認され，トンネル掘削時の突発湧水が懸念されました。このため，トンネル掘削に先立ち貯留する地下水と地質確認および湧水対策である地下水位低下を目的として坑外より2本の長尺水抜きボーリングを実施しました。

3-2 工事概要

工事名：東海北陸自動車道名皿部工事

発注者：日本道路公団名古屋建設局

工事場所：岐阜県郡上郡大和町

工期：1993年2月27日～1997年3月27日

工事内容：総延長2,220m。うち，トンネル延長
L=1,413m(暫定二車線トンネル)

3-3 地形・地質概要

平山トンネルは，長良川と落部谷川に挟まれた北西から南東に細長く連なる尾根状山地を貫き，本トンネル線上にはF-14断層のほか2本の不明瞭断層(F-a，F-b)が存在しました(図-15)。

地質は，南側坑口から約880m区間が中生層の美濃帯からなるジュラ紀の砂岩，粘板岩の互層であり，それより北側坑口までが二畳紀(一部石炭紀)からジュラ最前期の化石を産するチャートと粘板岩との互層となっています。北側坑口部は新しい地層の上に古い地層が重なる逆転した状態となっており，チャートの岩体は亀裂が多く全体に空隙が多い状況でした。

3-4 地下水の状況

事前地質調査により北側坑口付近の地下水の状況は以下のように予測されていました。



図-15 平山トンネル位置図

- ① 坑口付近のチャートと粘板岩の互層区間では、粘土化した粘板岩が遮水層となり地下水が被圧し、また、断層および破碎帯も遮水層の役目をなし、これらに囲まれたチャート層が多量の地下水をダム状に貯留している。
- ② 調査ボーリング孔から700 l/minの自噴湧水があり、地下水位はトンネル計画高より100m程度高い。
- ③ 当地山の地下水は、周辺河川水などを引き込んだものではなく、降水が長い年月をかけてたまったものと推定される。

3-5 湧水対策

北側坑口付近のチャートが分布する区間においては、被圧帯水層が形成されていることが判明し、トンネル掘削に伴い突発多量湧水の発生が懸念されました。その対応策として、当地山の帯水構造、地下水位、地下水の集水範囲などを考慮して湧水を排除する工法を検討しました。当工法には水抜きボーリング、水抜き導坑、ディープウェルなどがありますが、ここでは坑外よりの長尺水抜きボーリング工を採用しました。

3-6 水抜きボーリング

3-6-1 工法の選定

地質が硬岩のチャートであり、長尺のため穿孔速度が速かつコストを考慮して、穿孔機には高トルクを有するTOP-LSを使用し、掘削工法は拡底ハンマー併用ノンコアシールド工法としました。

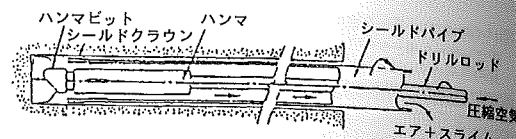


図-16 拡底ハンマー併用シールド工法概要図

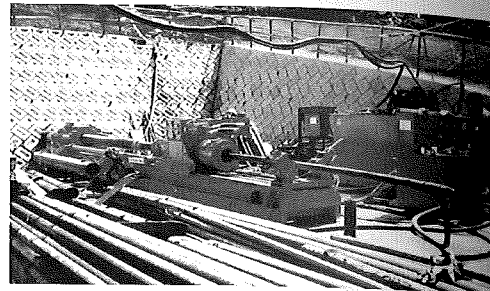


写真-4 TOP-LS穿孔機

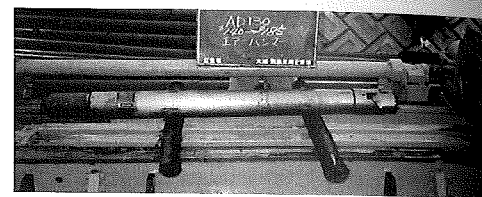


写真-5 拡底ハンマー

(図-16, 写真-4, 5)。

3-6-2 水抜きボーリング施工位置

長尺水抜きボーリング施工位置を図-17に示します。No.1 水抜きボーリングは、地下水位低下および地質状況確認のため二期線坑口から一期線に向けて延長300m実施しました。

No.2 水抜きボーリングは、No.1 水抜きボーリングの水位低下状況から判断して追加施工されました。No.2 水抜きボーリングは、トンネル坑口位置から本線接線方向とし、延長は500mとしました。また、水抜きボーリングの効果検証のため、トンネルセンターには水位観測孔を2本設置しました(図-17)。

3-6-3 No.1 水抜きボーリング

No.1 水抜きボーリングは、口元12m間をトリコン併用ノンコアシールド工法で穿孔した後、拡底ハンマー併用ノンコアシールド工法に切換え深度126mまで穿孔しました。深度126~200m間では湧水量と湧水圧が増大しシングルリバース工法に変更し、深度200m以降は再度拡底ハンマー併用ノンコアシールド工法により施工されました。

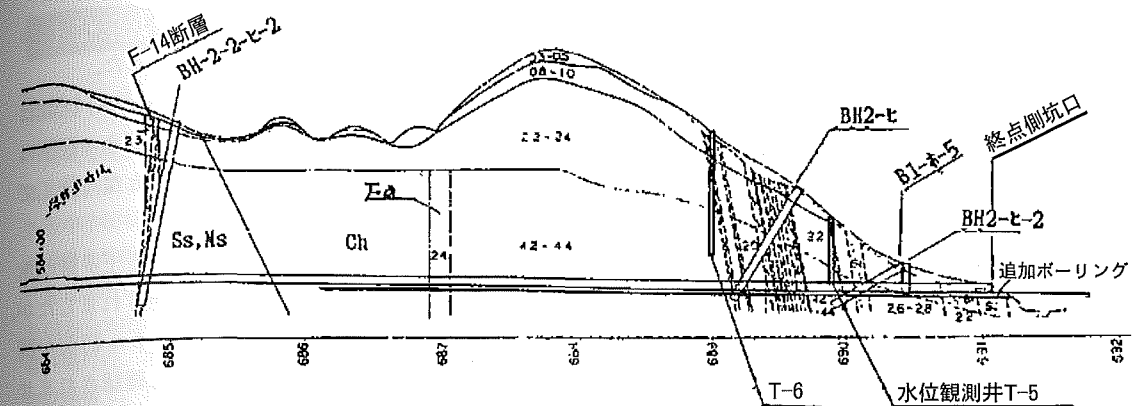


図-17 水抜きボーリング施工・水位観測孔位置図

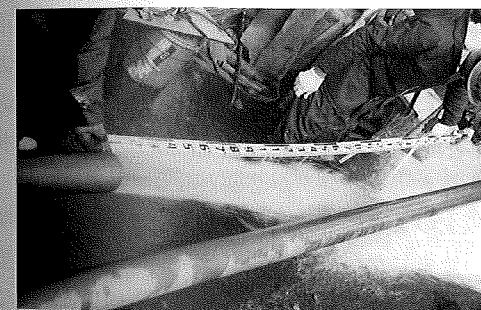
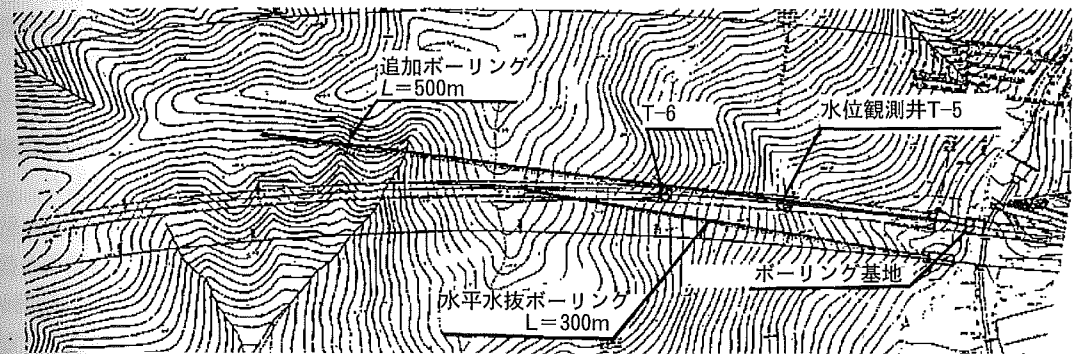


写真-6 湧水量測定

湧水は予測したとおりボーリング孔が破碎帯(粘土化した粘板岩)を破りチャート層に入った時点で水圧、湧水量とも急激に増大しました。湧水圧は深度125mで最大0.63MPa、湧水量が2.5m³/minを記録しています。また、最大湧水量はビット交換時で7.2m³/minとなりました(写真-6)。湧水は茶褐色の濁水のため濁水処理設備を設置しました。当初10t/hの沈殿設備で開始しましたが最終的に300t/hまで増設し、突発湧水には1,250tの調整池を用意しました。図-18にボーリング完了

後、ケーシングパイプ抜管開始からの地下水位、湧水量と経過日との関係を示します。湧水量は抜管開始から完了するまでの4日間に2.5~1.5m³/minに減少し、地下水位も約40m低下したことから水抜きボーリングは有効であったと思われました。しかし、同ボーリング施工位置はトンネル計画線からシフトしているため、地下水位はトンネルFHより10m程度高い位置で安定しそれ以上低下しないことから、さらなる水位低下が必要となりました。また、予想されるF-a断層確認とその他の粘板岩層背面の水抜きも必要と考えられました。以上から、No.2 水抜きボーリングを追加することに決定しました。

3-6-4 No.2 水抜きボーリング

No.2 水抜きボーリングの結果、坑口から350m付近にF-a断層を確認しましたが、それ以深の地質は想定したチャートとは異なり硬質な粘板岩であることが判明しました。穿孔中の湧水は、F-a断層を突破した時点で湧水圧が急増し1.08MPaを

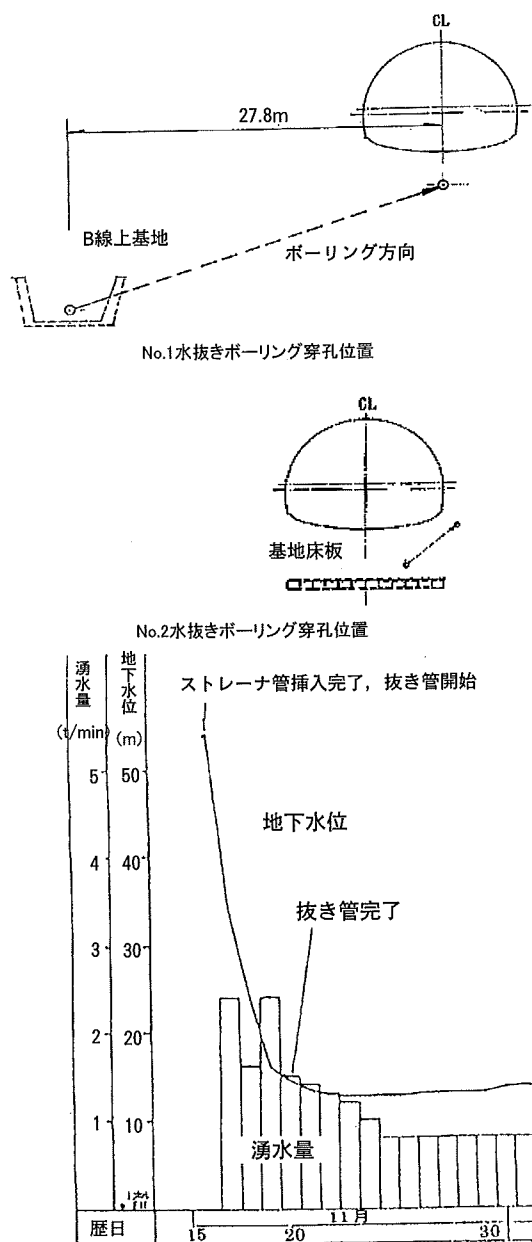


図-18 水抜きボーリング完了後の地下水位、湧水量と経過日数との関係

記録し、湧水量は抜管時に最大2.5t/minとなりました。No.1孔の湧水量は約800 ℓ /minで恒常湧水となっていましたが、No.2水抜きボーリング完了後には50 ℓ /minまで減少しました。

3-7 長尺水抜きボーリングの評価

平山トンネル北側坑口部は、高圧多量湧水が貯留する状況でしたが、トンネル掘削に先立ち坑外

から長尺水抜きボーリングを実施し水位低下を図った結果、次のような効果が得られました。

- ① 水抜きボーリングを行ったチャート区間は地下水位低下効果が見られ、トンネル掘削は湧水の影響をほとんど受けることなく施工できました。
- ② TD120~200m間はNo.1孔で高圧多量湧水が観測され多量の貯留水が予想されましたが、同孔穿孔完了4.5か月後にトンネル切羽が同位置に到達した時点では湧水は確認されませんでした。同区間のチャートは開口亀裂が発達し割れ目沿いに湿潤な流入粘土が付着して、帯水層であったことがうかがえました。

ただし、地質状況や長尺水抜きボーリングの配置状況により次に示しますような小規模な水抜き工の追加を必要とする部分もありました。

- ① 切羽にチャート分がなく粘土化した粘板岩、緑色岩が主体の区間では水抜き効果が低く、切羽天端・鏡の小崩落が頻発し、切羽から4~6mの穿孔水抜きをくり返すことになりました。
- ② F-a断層では、水抜きボーリング孔が1孔となり、かつトンネル断面から離れたため切羽での湧水増加が見られました。その結果切羽が不安定な状況となり、切羽からの短尺水抜きボーリングが必要となりました。

以上のように部分的に補助的な水抜き工を組み合わせましたが、全体的には事前に坑外からの長尺水抜きボーリングによる水位低下効果は絶大なものとなりました。事前水抜きボーリングの効果が実証された事例として、他の工事の参考となれば幸いです。

(文責：領家邦泰・大成建設(株))

参考文献

- 1) 広谷繁樹・藤田貴司・竹内久雄・迫田輝幸：東海北陸自動車道平山トンネルにおける湧水対策、日本道路公団名古屋建設局社内資料。
- 2) 土井義春・石崎清隆・今藤健一：平山トンネルの湧水対策、日本道路公団名古屋建設局社内資料。

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL

臼田トンネルでゾウの化石発見

関東地整が施工する、中部横断自動車道臼田トンネル工事(長野県佐久市中小田切付近)において、ゾウの臼歯と切歯片が発見された。

発見場所は、同トンネル現場の入り口から207m付近の掘削ずりの仮置き場付近。地層は固結の悪い暗褐色砂礫層で、100~110年前のものと想定されている。発見されたのが古型マンモスとなると、長野県では初となり、今後のマンモス研究の貴重な資料となると期待される。

波高島バイパスが完成

山梨県が整備する一般国道300号波高島バイパス(山梨県南巨摩郡身延町上之平地内~同下山地内)の道路供用開始式が11月17日行われた。

同バイパスは、波高島トンネル(742m)を含む延長1,570mの区間で、老朽化した富山橋の架け替えなどを目的として平成12年度より工事が進められてきた。

大万木トンネルで安全祈願祭

中国地勢が整備を進める中国横断自動車道尾道松江線の大万木トンネル工事現場(島根県雲南市)で、12月4日、安全祈願祭が行われた。

同トンネルは、島根県と広島県の県境にある毛無山(1,062m)を貫き、雲南市と広島県高野町とを結ぶもので、今回の工事では全長4,878mのうち、本坑2,940mおよび避難坑2,933mが整備される。

加平谷中トンネルが開通

東京都が整備する東京都市計画道路補助第258号線のうち、足立区の加平地域と谷中地域を結ぶ「加平谷中トンネル」が、12月7日開通した。同トンネルは、東京メトロ綾瀬車

両基地により分断されていた足立区加平と同区谷中をアンダーパスで結ぶもので、延長は712m(トンネル延長340m)、車道部と歩道者自転車道を上下二段で分離した二層式の構造となっている。

同道は、足立区鹿浜5丁目と大谷田5丁目を結ぶ総延長約8.3kmの路線。今回の「加平谷中トンネル」開通により、加平地域と谷中地域の交流の促進や環七の混雑緩和などにもつながると期待される。

大柏木トンネルで貫通式

関東地整が整備するハッ場ダムにおいて、ダム本体のコンクリート用骨材を運搬する工事専用道路である大柏木トンネル(仮称)が貫通し、12月10日貫通式が行われた。

同トンネルは $L=3,005\text{m}$ 、掘削断面約80 m^2 のNATM(発破工法)トンネル、平成17年5月から掘削開始し、平成20年11月11日に貫通していた。

同ダムの形式が重力式コンクリートダムのため、本体コンクリート打設にあたっては、必要な骨材を群馬県吾妻郡東吾妻町大字大柏木の山(原石山)を掘削し、25tの重ダンプで大柏木トンネルを抜けてダムサイトまで運搬する計画となっている。なお、骨材運搬が終了した後は、県道川原畑大戸線として活用する。

恋の峠トンネル貫通

東北地整が整備する、三陸縦貫自動車道・釜石山田道路恋の峠トンネル(343m)の貫通式が、12月12日、岩手県釜石市の現地で行われた。

釜石市と山田町を結ぶ釜石山田道路は延長23kmで、そのうち同市両石地区から片岸地区までの4.6kmについて先行して整備を行っている。先行整備区間では、両石トンネルに続くふたつめの貫通となる。

栗子トンネル避難坑貫通

東北地整が整備する東北中央自動車道栗子トンネルの避難坑が、12月16日、貫通した。

同トンネルは山形県米沢市と福島県福島市の間で工事が進められており、避難坑の長さは8,998m。福島側5,473mは火成岩を主体としておりTBMにより掘削が行われ、山形側3,525mは堆積岩主体でNATMによる施工が行われていた。先行する山形側において貫通予定地点で拡幅掘削を行い、そこにTBMを引き込むかたちで貫通を迎えた。

佐渡一周線内海府トンネル開通

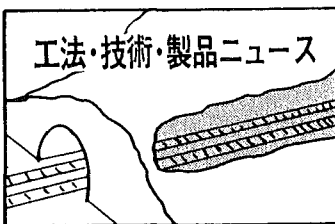
新潟県が整備する、主要地方道佐渡一周線、内海府トンネルが12月16日に開通した。同トンネルは延長1,759m、幅員8.5mのNATMトンネル。施工は、上半先進ベンチカット工法(機械掘削)と補助ベンチ付き全断面工法(発破掘削)を採用した。

現道は車のすれ違いが困難なほど幅員が狭く、落石の危険箇所が多数存在し、実際に平成10年3月には土砂崩落のため約20日間の全面通行止めとなり、島内観光や地域生活に著しい支障をきたしていた。このため県が、安全・安心な道路とするために平成16年度からトンネル工事を進めてきたもので、供用開始後は、安全で円滑な交通確保とともに島内観光の活性化、地域の振興に役立つものと期待されている。

初瀬トンネルで安全祈願祭

高知県が整備する、県道中平橋原線初瀬トンネルで、12月22日、安全祈願祭が執り行われた。

同トンネルは、延長316m、掘削22 km^2 のNATMトンネルで、今年11月の完成を予定している。

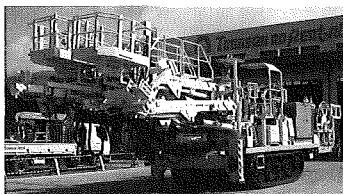


スコーピオンが第3次 排出ガス対策機に指定

トンネルのレンタルが開発した吹付けシステム一体型エレクトラ台車スコーピオンTER6-R10S-TNが、国土交通省により第3次基準値に適合したトンネル工事用排ガス対策型建設機械として指定された。

第3次排出ガス対策機指定のうち、トンネル工事用機械は4機種しかなく、同機以外はいずれもバックホー、コンクリート吹付け機またはエレクトラ台車が指定されるのは初めてのことで、また、9月にはオフロード法の認可も受けている。

同機は、原動機にキャタピラー製のC7、黒煙浄化装置に日本ドナルドソン製のDPM14L7を採用しており、同社では、施工効率とともに、安全、環境面でも現場の要望に応えられる次世代機として営業展開する方針としている。



ロングクローラの油圧ショベル

キャタピラー・ジャパンは、ロングクローラを装着した15tクラスの油圧ショベルCAT 315D L「REGA」(バケット容量0.65m³、運転質量17.0t)を発売した。

同機は、省燃費へのニーズに応え、燃費低減に効果のある「エコノミーモード」を新たに採用するとともに、

オフロード法に適合したエンジンを搭載した。また、ロングクローラの装着とカウンタウエイトの重量アップにより、掘削やアタッチメントを装着した際の作業においても高い安定性を発揮する。

さらに、車両のさまざまな情報を集約表示可能なフルグラフィックカラーモニタを採用し、車両の稼働状況やメンテナンス情報を遠隔管理できる「プロダクトリンクジャパン(PL-Japan)」を標準装備するなど、サービス性・メンテナンス性も向上させた。



大規模土木工事で活躍する 大型ホイールローダ

キャタピラー・ジャパンは、規模の大きな土木工事や鉱山の採掘現場を中心に活躍する、大型ホイールローダを発売した。

今回発売したCAT992K(標準仕様/石灰石鉱山仕様:バケット容量11.5/12.3m³、運転質量97.6/98.2t)は、新世代環境対応型エンジンACERTを搭載し、排出ガスに含まれる有害物質の大幅な低減させるとともに、従来機と同等の定格出力を維持しながら排気量を約7%減らし、レスポンスと燃費効率を向上させた。

また、溶接式箱型断面構造の「グレートアーム」は、ねじれに対する強度をより一層高めている。



超小旋回の小型油圧ショベル

日立建機は、特定特殊自動車排出ガス基準に適合した、ZX75UR超小旋回型油圧ショベルを発売した。

同機は、側溝の深掘り作業がスムーズにできるオフセット式ブーム構造を採用するとともに、オフロード法排出ガス基準適合および欧米の排出ガス3次規制対応や、転倒時運転者保護構造のキャブ採用などで、環境・安全性を向上させている。

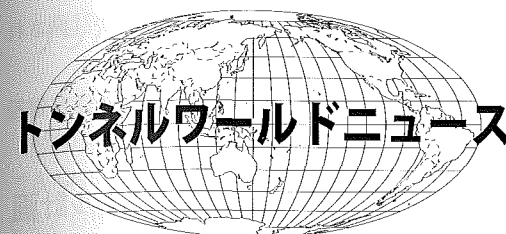
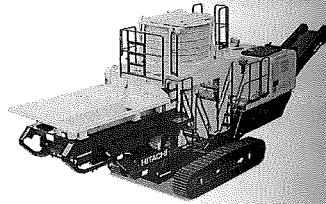
また、低燃費化などによる経済性の向上、後方確認補助に使用できる後方監視カメラの標準装備、居住・整備性の改善など、油圧ショベルの全領域にわたって性能を向上させた。



排出ガス第3次規制値 クリアの自走式土質改良機

日立建機は、建設発生土などを効率的に改良するSR2000G自走式土質改良機を発売した。

同機はモデルチェンジ機で、2軸パドルミキサによる混合性能を継承し、新たに排出ガス3次規制対応型エンジンの搭載、スクリーフィーダの改良、無線式リモコンの採用などにより、信頼性とメンテナンス性を向上させた。



(社)日本トンネル技術協会
国際委員会

Odebrecht社がLos Olmos 送水トンネルの3分の1を掘進

Odebrecht社は、先月までに、ペルーの延長13.9kmの送水トンネルのちょうど3分の1を完了した。このトンネル掘削は、ロビンズ社製オープンタイプトンネルボーリングマシン(以下、TBMと記す)を使用し、今年初めに生じた現場の出水事故にもかかわらず、大土かぶり条件を克服してきた。

外径5.3mのTBMは、2007年3月に発進した。工事は、先月までに5,150m以上のTBM掘進を終えて、2009年3月に完了予定となる工期の半分以上の

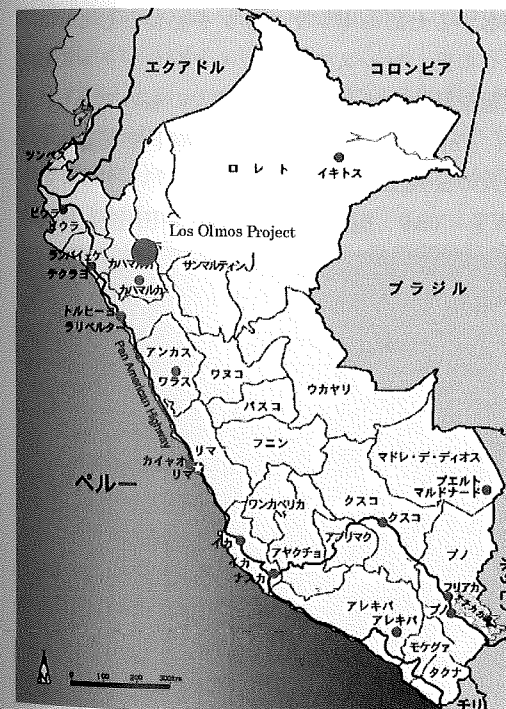


図-1 施工位置図

上のところまで来た。

トンネル路線中の地質は、石英斑岩、安山岩、凝灰岩から構成され、一軸圧縮強度は、60~225 MPaであり、約50mの幅を持つ2か所の破碎帯を含んだ多くの断層を有している。

標高の高い地形で実施される本工事の主な課題は、1,800mを超える土かぶりのため、押し出し性山で掘進機が拘束される危険性を回避することにあった。そのため、請負業者は、掘進機をシールドタイプではないオープンタイプを選定した。

平均進捗率は、日進22mで、最大日進量は、33.8mを超えた。掘進機は、探査ボーリングを装備し、50mmの余掘りが可能となっている。支保工

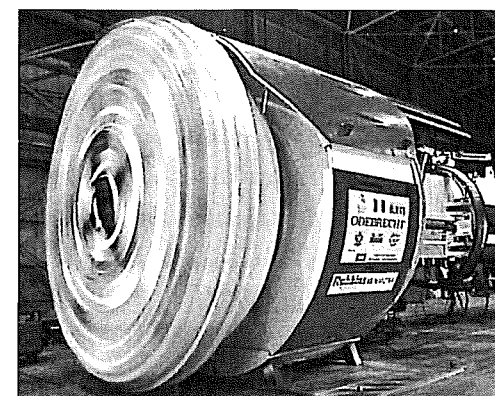


写真-1 トンネルボーリングマシン

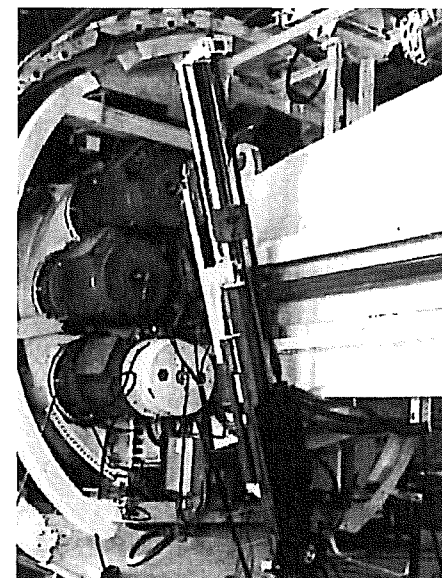


写真-2 地山探査装置

には、ロックボルト、アーチ鋼、リングビーム鋼、溶接金網、吹付けコンクリートが用いられる。

本坑は、アンデス山脈の東部から西部への送水に利用される計画であるが、工事自体は、4年前に、国や地方の政府によって、Odebrecht社の子会社となるTrasvace Olmos社に発注された20年間の事業権付き建設事業の一部となっている。トンネル工事の下請け業者は、Odebrecht Peru Ingenieray Construction(OPIC)社である。

トンネル作業員は、設備の日常定期保守点検を主に午前交代勤務時に行うことにより、TBMを毎日18~20時間運転し、バランスの良い工程を保っている。TBMは、坑内の高温に対し、ロビンス社によって設計された換気クーリングシステムを設置している。そのシステムは、坑内温度を52℃から20℃程度まで低減する。ロビンス社は、TBM、後方台車、予備部品、カッタ、および運転スタッフを提供する契約を結んでいる。

全長20kmのOlmos Trans-Andeanトンネルでは、TBMを用いるトンネル掘削は、その一部であり、すでに、発破工法を用いる取り組みが1950年代に始まっていた。さらに、その計画構想は、1世紀以上も前に遡ることになる(T&TI; 2006年11月号, p.11参照)。

そのトンネル利用計画の第一段階は、2010年までに灌漑用として運用されることになっており、その後、水力発電用トンネルを造成するため、発

破工法によるトンネル掘削を行うことが計画されている。

(T&TI '08.9 担当: 西川和良・三井住友建設(株))

メキシコシティのメガトンネル計画

メキシコシティは、数世紀にわたる排水問題を解決するために、直径6.4m、延長62kmのトンネルを建設すると発表した。

この排水問題は、多分にメキシコシティが周囲を山に囲まれた谷に位置すること起因する。同市の大きな排水トンネルは古く、嵐などによる超過降雨に対処できない。

毎秒150m³の排水能力をもつ12億7,000万ドルのトンネルは、年額2億5,000万ドルの公共工事の6年分に相当する。新たなトンネルで排水問題の解決が望まれるが、別の問題も生じている。

地下水の過度な排水が徐々に都市を沈下させ、それに伴う地盤の変形が生じて、場合によっては既設トンネルの勾配を反転させて、自然排水を不可能にする。このことは、雨水と汚水の合流水を排水するためのポンプアップを必要としている。

その新しいシステムは、メキシコシティの排水問題を解決するメキシコで最大のものであり、また、Felipe Calderon大統領政権下で実施される最大の公共工事のひとつとなる。

(WT '08.9 担当: 岡村光政・戸田建設(株))



メキシコシティ

プラハ環状道路の双設トンネルを NATMで掘削中

Metrostav社は、プラハのSpelc双設トンネルでAtlas Copco社製ジャンボRocket Boomer L2Cを2台使用し、トンネル全長3kmのうち約2/3のNATM区間の掘削を行っている。トンネルは北から南に向かって掘削され、Vltava川の下を通過し、プラハ市内の環状道路のうちBlanka区間6.4kmの一部を形成することになる。トンネル掘削は、上半掘削(65m²)、下半掘削(35m²)、インバート掘削(25m²)に分けて行われる。支保工は、厚さ300mmの吹付けコンクリート、ラティスガーダー、金網、摩擦式ロックボルトである。

8月末までに、北行きトンネルは約3/4となる1,180mの掘削を完了し、南行きトンネルは約半分となる870mの掘削を完了している。また、これまでに4方施工で最大月進147mを達成している。

S字を描くトンネル沿いの地質は、先進坑で確認されており、砂質頁岩、粘土質頁岩、細粒珪岩で構成されている。また、先進坑からは圧力注入が実施されている。

圧力注入とジェットグラウトによる地盤改良が必要となった含水砂礫層は、延長160mの小土かぶり区間に分布しており、この区間の土かぶりは最大でも14.5mとなっている。

Spelc双設トンネルは2011年に供用開始予定であり、楕円形のトンネル内空は2車線断面(123.7m²)と3車線断面(172.6m²)からなる。ポリプロピレン繊維で補強される厚さ400mmの覆工には、ポリエチレン製の防水シートが使用される。

(T&TI '08.9 担当: 伊藤 彰・(株)間組)

上海の揚子江下を通る双設トンネルが完成

15.43mの世界最大径を有する2台のTBMによって掘削が行われていた、上海の揚子江下を横断する2本のトンネルが完成した。

2台のHerrenknecht社製ミックスシールドは、揚子江に位置する長興島(Changxing island)の立坑に到達した。この全長7,472mのトンネルによって、上海の浦東(Pudong)と長興島が結ばれた。このS-318型ミックスシールドは、全区間が帯水層で全長7.5kmのトンネルを20か月で掘削し、9月5日に立坑へ到達した。もう一方のシールドは、これよりも3か月早い5月28日に到達している。

2本のトンネルは、完成時にはともに2階建て構造となり、上層階は3レーンの道路として、下層階は地下鉄として利用される。

2010年に上海で開催される万国博覧会に間に合わせられるように完成する必要がある。当初計画よりも10~12か月早く完成した。このトンネルによって、上海~長興間の移動時間が1時間から20分に減少され、現状のフェリーによる連絡に取って代わることになる。

Herrenknecht社製の2台のシールドは、ともに長さ125m、重さ2,300tであり、地下水を含む砂および粘土層を通るトンネル掘削を行った。水圧は水底から65mより下で最大6.5気圧であった。トンネル掘削の最大週間進捗は142m、最大日進は26mであった。トンネルの到達精度は高く、Herrenknecht社によると、TBMは全長7.5kmの計画路線で27mmそれただけであった。

Herrenknecht社のスポークスマンは、「『上海揚子江河底トンネル』の貫通は、シールド技術において、画期的な出来事である。すなわち、シールド技術のノウハウを用いることにより、工程、予算、安全の要件が満たされ、大断面トンネル掘削におけるその適合性が証明された。」と述べている。

このトンネルは、Changxing Tunnel & Bridge Construction社と、Shanghi Tunnel Engineering社、Bouygues社およびHerrenknecht社からなるコンソーシアムによって建設された。

(WT '08.10 清田三四郎・鉄道・運輸機構)



(社)日本トンネル技術協会
国際委員会

ユーザーの外部便益の評価および地下街の管理戦略の開発 / Valuing user external benefits and developing management strategies for metro system underground arcades

Tunnelling and Underground Space Technology, No.2, March, 2008, pp.103-110.

日本やヨーロッパにおける地下街構築の試みは、景観保全、通行者の安全確保、快適さ、有効な土地利用などの面で大きな便益をもたらしている。このようなプロジェクトに関する便益解析は単にそのプロジェクト評価にとどまらず、今後の地下街の設計・管理戦略のためにも有効である。

具体的にはユーザー便益評価は、ユーザーへのアンケート調査あるいは価値意識法(CVM: Contingent Valuation Method)などによって行われ、その結果、そのプロジェクトに対する価値意識と支払い意思額(WTP: Willingness To Pay)が得られる。

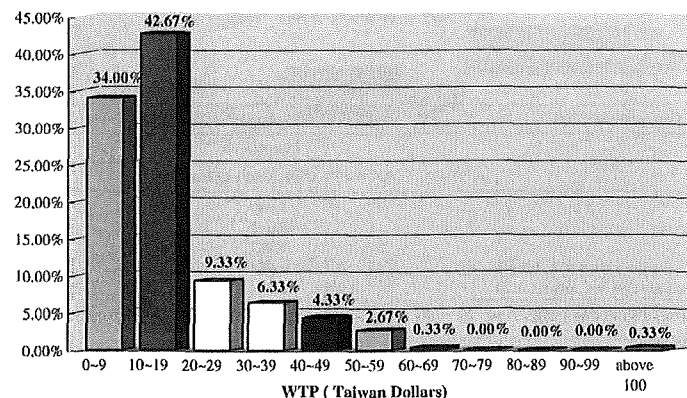


図-1 probability distribution of WTP.

本稿は、台北市における東地下街の便益評価を行った事例を示す。

台北メトロシステムは、営業総延長が74.4kmであり、さらに現在62.4kmが建設中である。その中には五つの地下街があり、中でも2002年に開業した東地下街はもっとも栄えた地下街といえる。

東地下街の延長は725m、面積が9,500m²、17の出入口で地上に通じており、またBL10、BL11という二つの駅ともつながっている。毎日100,000人以上の乗客が利用している。

本地下街に対して2004年1月にアンケート調査を実施した。

質問の内容は主に以下のとおりである。

① この東地下街に入ることによっていくら支払う意志があるか(WTP)? (この地下街の快適性、安全性、景観保全などについてあらかじめ説明したうえでの質問)

② 年齢、性別、収入

③ 利用頻度、利用目的

WTPの分布は図-1に示すとおりであり、平均のWTPは13.25台湾\$ (¥46.5)となった。

ポアソン分布(PR: Poisson regression)あるいは負の二項分布(NBR: negative binomial regression)にもとづく付け値関数(bid function)を定義することにより、WTPと他のアンケート結果の相関性について検討したところ、WTPと性別、収入などとは相関が高く、年齢、使用頻度などとの相関は低いという結果が得られた。

これらの便益解析を行った結果、台北東地下街の今後の戦略として、WTPの高い客層(女性や高収入者など)には主にサービス内容に関して、またWTPの低い客層(男性や低収入者など)に対しては主に価格面で以下に示す四つの項目を提案することができた。

戦略1-1(WTPの高い客層に対してサービス面で)

- ・ニーズにあった幅広い商品を提供。
- ・モール内のデザインを彼らの好みに合ったものとする。

戦略1-2(WTPの高い客層に対してサービス面で)

- ・メトロモールから周辺の主要施設などに対して直接アクセス可能とする。

- ・市場調査を行うこと。

戦略2-1(WTPの低い客層に対して価格面で)

- ・セット価格の設定(Bundling pricing)

戦略2-2(WTPの低い客層に対して価格面で)

- ・鉄道や周辺デパートとの協同

(文責: 満尾 淳・東急建設(株))

チェコ鉄道トンネルの再構築 / Reconstructing the jablunkov tunnels

World Tunnelling, January/February, 2008, pp.20-23.

開発と再構築

チェコのJablunkov鉄道トンネルは延長612mの単線並列トンネルで1870年と1917年に着工した。このトンネルは、第二次世界大戦で損傷を受け、その後何度か補修されてきた。列車の高速化に対応できるよう、並列の単線トンネル断面を大きくするとともに覆工コンクリートを新設する計画が今年にも実施されると考えられていた。この計画に対して、単線トンネルを複線断面に、さらにもうひとつの単線トンネルを避難用トンネルとして改築するよう変更することで、500万ドルの建設費の低減と工期の短縮が可能となる。

トンネル588mの掘削は、3工程に分けられる。第一段階では、既設単線トンネルを利用して、複線断面トンネルの上半導坑の掘削と一次支保であ

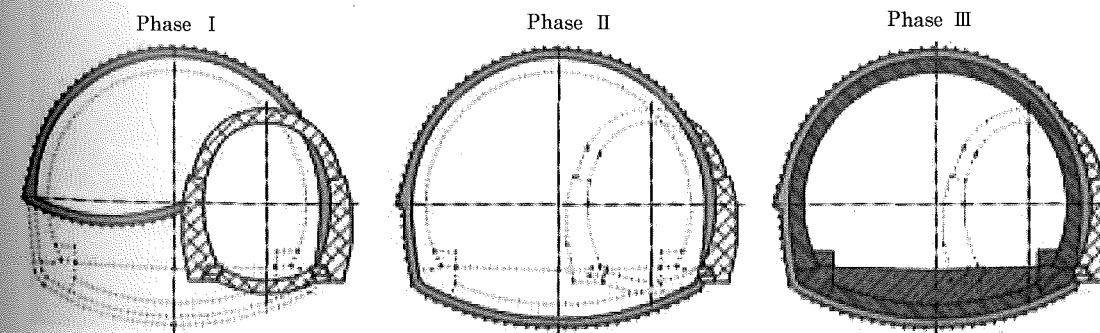
る吹付けコンクリートをトンネル全長にわたって実施する。上半導坑のずり出しは、すべて既設トンネルの軌道を使用して搬出する。

第二段階は、既設トンネルの大部分を取り壊す作業と既設トンネルの側壁を新設トンネルの一次支保としながら新設トンネル外周部分の掘削を同時に行う。引き続き、トンネル全体に一次吹付けを施工する。第三段階では、中間層に防水工を施し、二次覆工を実施する。

既設トンネルの覆工コンクリートは発破工法で取り壊し、トンネルはNATMで施工する。トンネル掘削機は、脆弱な泥岩層の破碎に使用される。高性能の掘削機で、上半導坑を掘削する。掘削断面面積は、116.1~129.9m²である。一次支保には、溶接金網を取り付けた吹付けコンクリート、鋼製支保工、ロックボルト、フォアポーリングが含まれている。一次支保の厚さは、150~350mmで、支保パターンにより異なる。坑口部は、長さ12mの先受け工法により支保する。

最後に移動式セトルを使用して2段階で覆工コンクリートを施工する。最初にインバードコンクリートを施工し、次にアーチ部を12m打設する。覆工の鉄筋コンクリート厚さは、400~600mmで支保パターンにより異なる。地下水位を考慮した設計であるので覆工背面の永久的な排水設備は必要ではない。

必要であれば、鋼製支保工、溶接金網、緊結品を覆工コンクリートの補強材とする。インバートは、補強されたコンクリートが使われ、その厚さはアーチ部と同じである。インバートと軌道バラ



各施工段階での複線トンネル

ストの間は、コンクリートを充填する。防水工は、クローズドタイプとして設計されており、防水シートはトンネル全周を覆うが、長期間の完全防水を要求するものではない。この防水工は、クローズドタイプでないものと比べると、トンネル近傍の地下水に長期間影響を与えない。

排水用に直径40cmのポリエチレンパイプを軌道面の下にあるポーラスコンクリートの中に設置する。排水管は、両坑口までつながっている。歩廊は両側にあり、鉄製の手摺りが設置されている。

開削断面

両坑口の開削トンネル延長は12mである。開削部の法面は、溶接金網で補強された吹付けコンクリートで安定させる。坑口部は、アンカーを追加補強する。開削区間はトンネル区間が終了後、最後に施工する。坑口端部は、水勾配をつけ雨水が流れ落ちないような縁端部とする。覆工厚、インバート厚とともに600mmで、補強コンクリートで設計する。

避難坑

複線トンネルの計画が認められれば、既存のJablunkov I トンネルの改築を開始する。新設複線トンネルのおおよそ中間付近に延長276mの避難坑の入口を設ける。避難経路は、使用しなくなる単線トンネルとの間に18mの連絡坑を設置して南側の坑口へ導くものである。

馬蹄形断面の連絡坑は、NATMで施工し、一次支保は吹付けコンクリート、金網、ロックボルト、鋼製支保工からなる。両坑口は、長さ8mの先受け工を施工する。連絡坑の覆工は鉄筋コンクリート、インバートは金網と鉄骨で補強されている。アーチ側壁部の厚さは200mm、インバートは最大500mmである。覆工は2段階で施工される。歩廊部を施工後、アーチ側壁部を施工する。防水工は、本坑と同じクローズドタイプとして設計されている。

連絡坑には長さ16.5mの空気圧室(気圧調整し、火災の拡大や噴煙の進入を防止する構造)があり、幅2.2mの防火扉で分けられている。避難坑からも同じ規格の鉄製の扉で分けられている。

避難坑として使用される部分のJablunkov I 単線トンネルは、最初バラストを撤去し、覆工表面を手当てする。次にクローズドタイプの防水工を施工し350mmの覆工コンクリートを施工する。移動式型枠による覆工コンクリート工は、123m施工する。

単線トンネルの北側は、新設トンネルの掘削土でほぼ埋められることになる。そして断面の残り部分は、シンダーコンクリートを打設し、収縮クラックがあるところは注入する。既存のトンネル排水量は、クラックへの注入と防水工により著しく減少する。水位は、長期的には自然水位に回復することになると思われる。最後に北側坑口の斜め翼壁を取り壊し、傾斜地として復旧される。

(文責：関本 昇・佐藤工業(株))

Hanekleiv Tunnel の崩壊原因 / Hanekleiv's perfect storm

By Patrick Reymolds : Tunnels & Tunnelling International, November, 2007, pp.16-18

2006年12月にノルウェーのHanekleivトンネルの一部が崩壊した。Hanekleivトンネルの地質はトンネル北半分が砂岩、南半分が閃長岩で構成されている。崩壊後の調査で、崩壊箇所にはトンネルに平行に走る膨張粘土が確認されており、これが原因であると特定された。さらにこれを受けて、NPRA(Norwegian Public Roads Administration)は他の1,000トンネルを点検・調査した。写真-1に崩壊状況を示す。



写真-1 Hanekleiv トンネル崩壊状況

崩壊の原因として地質学的な原因のほかに、NPRA自体の運営にもとづく原因も指摘された。NPRAはHanekleivプロジェクトの管理を請け負う前に、すでにオスロE18の設計・施工管理を請負っていたが、オスロ南西部のE18プロジェクトの開始を受け、組織を管理部門と建設部門の二つに分割して対応することを決定した。しかし、新しい組織体制の下での管理はすべてのプロジェクトに適用されず、Hanekleivトンネル2本とLokenトンネルのうち1本は従来の管理・建設一体型で施工されることとなった。このようなプロジェクト管理体制の矛盾はチェックされることもなく、かつ、プロジェクト責任者も明確でなかったため、プロジェクトに対する管理が徹底されなかった。管理部門からの建設部門へのバックアップが不足したため現場でも混乱をきたし、さらに

管理部門と建設部門の関係を難しくしてしまうなどの弊害が発生した。さらに建設部門は西ノルウェーでの硬岩掘削の経験をもつ地質学者や技術者の意見を十分取り入れることなくトンネル掘削を行っていたことも判明した。

監査委員会は今回の崩壊の原因を、①プロジェクトに対する責任の不明確さ、②管理部門と建設部門のコミュニケーションの不足、③地質調査報告書の利用に関する自由度の低さ、④個人的なミズと断定し、NPRAに対して、地質学的見地にもとづく原因のほかに、組織的な原因についても建設大臣に報告するよう求めている。NPRAのずさんな運営から、多岐にわたる問題が起り、多くの人々の生活にも影響を及ぼすこととなった。

(文責：河上清和・五洋建設(株))

お詫び

第39巻、第12号、33～40頁、「最小土かぶり4.4mで土佐堀川下をシールドで横断—中之島線 第6工区」におきまして掲載に不備がありましたので訂正いたします。

上記報文について、「図-10 要素安全率の結果(Step⑨)」が本文中に掲載されておりました。ここに掲載するとともに、関係者にご迷惑をおかけしましたことをお詫びいたします。

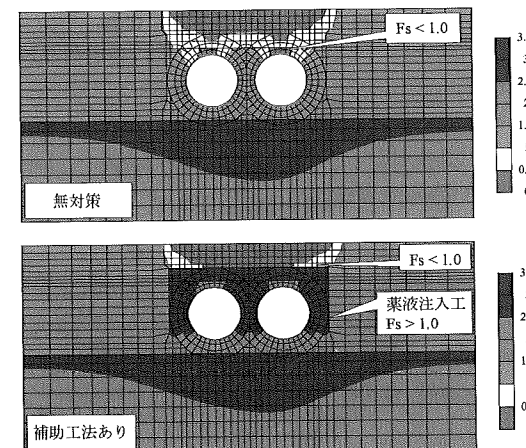


図-10 要素安全率の結果(Step⑨)

社団法人日本トンネル技術協会

会報

1. 会員の現状

	12月25日現在
正 会 員	1,944名
団体会員	343名
個人会員	1,601名
名 誉 会 員	1名
計	1,945名

2. 委員会の開催状況(12月1日～31日)

①調査研究関係委員会

◎技術委員会

保守管理小委員会

12/5(林康雄委員長ほか15名)道路トンネルデータ活用事例を検討

共通技術小委員会支保WG

12/11(深沢成年主査ほか16名)変状事例を検討

共通技術小委員会ずり出し調査WG

12/16(朝倉謙主査ほか5名)調査報告書を検討

都市トンネル小委員会幹事会

12/19(小岩敏男幹事長ほか8名)設計施工の留意事項を検討

安全環境小委員会災害事例調査WG

12/10(小川澄主査ほか10名)アンケート調査結果を検討

耐震設計検討特別委員会

12/18(今田徹委員長ほか19名)マニュアル案を検討

耐震設計検討特別委員会打合せ会

12/15(今田徹委員長ほか4名)委員会資料を検討

耐震設計検討特別委員会幹事会

12/5(蔣宇静幹事長ほか15名)再現解析を検討

耐震設計検討特別委員会幹事会

12/25(蔣宇静幹事長ほか13名)課題を検討

効率的掘削工法特別委員会

12/24(西村和夫委員長ほか21名)報告書原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会打合せ会

12/8(楠本太委員長ほか2名)大変位に関する原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会打合せ会

12/9(梶山孝司委員ほか8名)早期断面閉合の原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会打合せ会

12/15(領家邦泰委員ほか5名)吹付け覆工の原稿を検討

計 13回開催 154名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会

12/15(竹内友章委員長ほか5名)ホームページの改良点および新しいコンテンツを検討

広報小委員会ホームページWG

12/1(土門剛委員ほか5名)文献検索の方策を検討

広報小委員会会誌WG

12/3(大島洋志主査ほか13名)1月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会海外文献WG

12/4(大久保誠介主査ほか14名)海外文献を査読

海外文献小委員会海外ニュースWG

12/12(小島宗隆主査ほか7名)海外ニュースを翻訳

◎事業委員会

12/2(桑原彌介委員長ほか16名)催物事業計画を検討

計 6回開催 66名出席

合計 19回開催 220名出席

3. 国際会議の開催予定

会 議 名	開 催 日	場 所	主 催 者 等
第35回ITA総会およびコンgres「都市と環境のための安全なトンネル工法」	2009. 5. 23～28	ブダペスト (ハンガリー)	Hungarian Tunnelling Association (ハンガリートンネル協会) International Tunnelling and Underground Space Association(国際トンネル協会) http://www.wtc2009.org

* 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20年度催物開催現況

催 物 名	開 催 日	人数	場 所
(見学会)			
名古屋市下水道現場研修会	2008. 6.19	15	愛知県
名古屋市地下鉄現場研修会	2008. 6.20	13	愛知県
交差点立体工事現場研修会	2008. 7.25	18	神奈川県
都下水道現場研修会	2008. 7.30	17	東京都
首都高速中央環状新宿線現場研修会	2008. 8.19	18	東京都
福岡市下水道現場研修会	2008. 9.12	19	福岡県
北関東自動車道トンネル現場研修会	2008. 9.19	18	栃木県
北海道道路トンネル現場研修会	2008. 9.25～26	41	北海道
北海道新幹線トンネル他現場研修会	2008.10. 9～10	32	北海道
仙台東西線 青葉山トンネル他現場研修会	2008.10.17	17	宮城県
調布駅付近連続立体交差現場研修会	2008.10.31	23	東京都
東濃地科学センター施設研修会	2008.11.13	20	岐阜県
HEP&JES工法工事現場研修会	2008.12. 5	14	東京都
小田急下北沢地区複々線化工事現場研修会	2008.12.12	26	東京都
(施工体験発表会)			
第62回(山岳)	2008.10.23	131	東京都
「周辺の環境条件を配慮し、新技術を駆使したトンネル工事」			
第63回(都市)	2008.10.24	89	東京都
「都市部の特殊条件下でのトンネル工事」			
(講演、講習会)			
第10回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2008.11. 6～ 7	20	東京都
第11回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2008.11.20～21	19	栃木県
2009トンネル技術の特別講演と技術研究発表会	2009. 2.20	300	次頁参照

2009トンネル技術の特別講演と技術研究発表会プログラム

主催 北海道土木技術会トンネル研究委員会
社団法人日本トンネル技術協会

日 時：平成21年2月20日(金) 10:00~17:00

場 所：北海道大学学術交流会館(大学正門内左側)

(札幌市北区北8条西5丁目 TEL:011-706-2141)

参 加 費：研究発表会 6,000円(論文集を含む), 懇親会 4,000円

申し込み方法：FAXにて出欠をお知らせ下さい(メールでも結構です)。

申し込み先：トンネル研究委員会講習講演小委員会事務局

(株)開発工営社内 熊本 TEL:011-207-3666 FAX:011-200-1377

E-mail:kumaki@kai-koei.co.jp

もしくは、(株)ダイヤコンサルタント内 杉浦・鴻上 TEL:011-729-2701

締 め 切 り：平成21年2月13日(金)

定 員：300名

そ の 他：・参加費は、なるべく事前に銀行振込(振込料はご負担願います)でお願い申し上げます。
また、当日会場にて現金もしくは後日銀行振込でも結構ですが、その旨を申し込み書に記載して頂きますようお願い申し上げます。
・論文集は当日、ご所属、ご氏名を確認のうえ、会場でお渡し致します。
・発表会場に駐車場がありません。JR、地下鉄、バス等の公共交通機関をご利用下さい。

※ なお、本研究発表会は(社)土木学会のCPDプログラムに認定されています。

プログラム：

10:00~10:15 開会挨拶 北海道土木技術会トンネル研究委員会委員長 三上 隆

特別講演

10:15~12:15 『『応力を計る』技術と『変位を現場で可視化する』技術の開発』
神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻准教授 芥川 真一

12:15~13:15 休 憩(昼食)

研究発表(第1部)

13:15~13:45 「トンネル工事火薬遠隔装填システム『Safe Charger』の概要」

鹿島建設(株)機械部技術1グループ 佐藤 政昭

日油(株)研究開発部EXグループ ○田中 新也

鹿島建設(株)大夕張トンネル東JV工事事務所 大越 保・山口 静人・渡辺 尚洋

13:45~14:15 「発破振動計測を基にした、低土被り部の掘削方式の選定」

清水建設(株)阿寒トンネル作業所 ○設楽 幸司・宇治川徳夫・小田 洋明

14:15~14:45 「小郡トンネルにおける品質向上を目的とした技術開発とその適用」

—覆工湿潤管理, 覆工応力管理, 施工情報管理の適用事例—

飛島建設(株)西日本土木支社 ○岩根 康之・筒井 隆規・山本 茂夫

飛島建設(株)技術研究所 平間 昭信・田畑 美紀・田村 琢之・松田 浩朗

14:45~15:00 休 憩

研究発表(第2部)

15:00~15:30 「寒冷地トンネルの維持管理における諸検討について」

—トンネル・マネジメント・システム(TMS)分科会中間報告—

岩田地崎建設(株) ○須藤 敦史・川村 巧

(独)土木研究所寒地土木研究所 佐藤 京

北海道大学大学院工学研究科北方圏環境政策工学専攻 三上 隆

(株)エーティック計測部 角谷 俊次

(株)構研エンジニアリング防災施設部 五十嵐隆浩

15:30~16:00 「スレーキングの著しい脆弱地山での坑口部におけるトンネル施工」

北海道開発局帯広開発建設部足寄道路事務所 村田 直之・小田 晃司

(株)熊谷組・戸田建設(株)・荒井建設(株)炭山第1トンネル作業所 ○村山 友彦

16:00~16:30 「蛇紋岩地山におけるトンネル施工について」

—一般国道275号 深川市 幌加内トンネルにおける蛇紋岩地山の変位挙動と対応について(事例報告)—

北海道開発局札幌開発建設部深川道路事務所 ○桜井 司・三浦 篤・林 実雄・遠藤 康雄

16:30~17:00 「土被りの大きい脆弱地山(蛇紋岩)におけるトンネル設計と施工に関する一考察」

—北海道横断自動車道 穂別トンネル西工事の施工—

(株)鴻池組大阪本店土木技術部 ○山田 浩幸

東日本高速道路(株)千歳工事事務所 佐々木正博

鴻池・飛島特定建設工事共同企業体穂別トンネル西工事 大村 修一・高田 篤

17:00~17:10 閉会挨拶 北海道土木技術会トンネル研究委員会副委員長 高倉 清

17:30~19:00 懇親会 センチュリーロイヤルホテル 20F 白鳥の間

3月号予告[3月1日発売予定]

- 地盤変状の抑制を考慮した新しい薬液注入工法の試験施工
- 一般国道440号 地芳トンネル
- 四国横断自動車道 焼坂第二トンネル
- 京王線調布駅付近立体交差工事
- 【連載講座】
- 山岳トンネル先進ボーリング入門(7)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆1月10日から15日までの6日間、銀座のギャラリーで知人の方の企画で展示会を行いました。銀座のギャラリーといえども敷居が高いようなギャラリーでなく、こぢんまりとしたカジュアルなギャラリーです。展示も出展者自らが、展示方法もまちまちでした。主にグラフィックデザインがメインの展示会で、展示物も三者三様でした。ポスター、イラスト、Tシャツ、エコバック、写真、オブジェ、人形などなどです。総勢15.6名の作品の展示となりましたが、出展者は普段は印刷のDTPのオペレーターであったり、建築のCADのオペレーターだったり、広告代理店勤務の方がいたり、必ずしもデザインをメインに活躍している方ばかりではありませんでした。どちらかという来廊者より出展者自ら楽しむような展示会でした。プロのイラストレーターのゲスト参加もあり、多くの方にお越しいただきました。

◆昨年から少しずつパソコンを練習して、展示会に出せる程度まで技術が上がりましたが、まだまだ、作業スピードも技術も未熟です。今後も練習を続け、別の仕事でも活用できるようにしたいと思います。景気の悪いこの時期だからこそいろいろなチャレンジしていくつもりです。

(I.Y)

お詫び

1月号裏表紙に掲載いたしました「シールド工法技術協会」様の広告の正会員名に誤りがございましたので、関係者にお詫びして以下のように訂正させていただきます。

(誤) (正)

大和小田急(株) 大和小田急建設(株)

★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2号 (通巻462号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成21年1月20日 印刷

平成21年2月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 小森 博

〒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

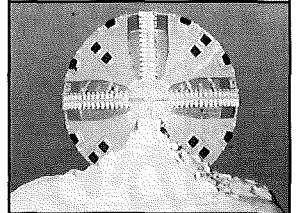
本誌掲載記事を無断で複写(コピー)および転載することは、著作権上での例外を除き、禁じられております。本誌から複写または転載を希望される方は、小社(03-3267-2888)までご連絡ください。

地下の空間を創る

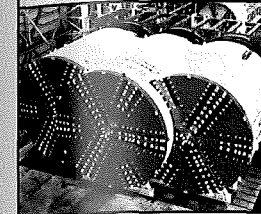
近年、都市部の基礎整備には地下の利用が不可欠です。

シールド工法は、地下空間を創造する方法として一段と重要さを増しています。ここに集まった13のシールド工法は、実績があり信頼できる最先端技術です。

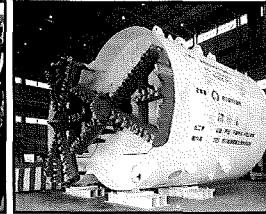
気泡シールド工法



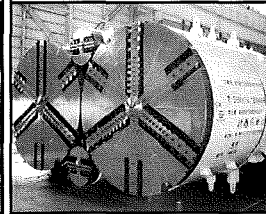
MFシールド工法



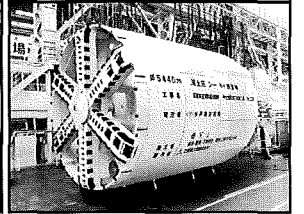
D O T 工法



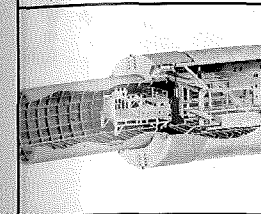
H&Vシールド工法



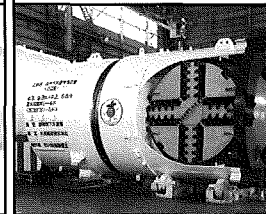
ケミカル・プラグ・シールド工法



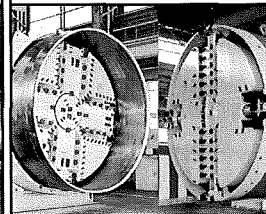
拡大シールド工法



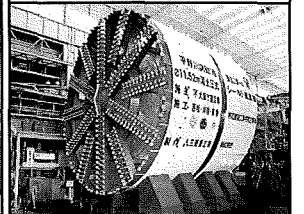
球体シールド工法



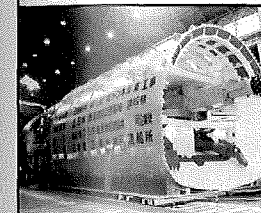
M S D 工法



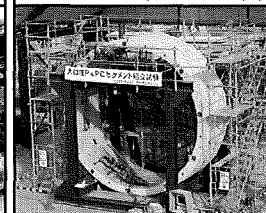
泥土加圧シールド工法



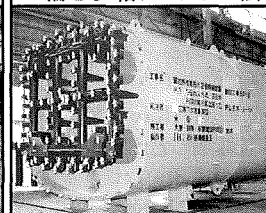
E C L 工法



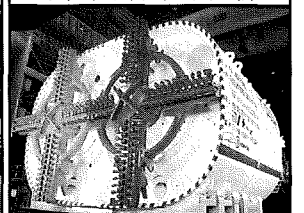
P&PCセグメント工法



偏心多軸シールド工法



ワギング・カット・シールド工法



シールド工法技術協会

事務局 〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1 新宿センタービル

大成建設(株)土木本部内

TEL 03-3348-6322 FAX 03-3348-7125

URL: http://www.shield-method.gr.jp e-mail: sta@shield-method.gr.jp

正会員

アイサワ工業(株)
青木あすな建設(株)
あおみ建設(株)
浅沼組
岩田地崎建設(株)
大林組
大本組
奥村組
オリエンタル白石(株)
鹿島建設(株)
熊谷組
鴻池組
五洋建設(株)
佐藤工業(株)

清水建設(株)
西武建設(株)
銭高組
大成建設(株)
大日本土木(株)
大豊建設(株)
大和小田急建設(株)
竹中土木
鉄建建設(株)
東亜建設工業(株)
東急建設(株)
東洋建設(株)
戸田建設(株)
飛島建設(株)
西松建設(株)
日本国土開発(株)

間組
ピーエス三菱
フジタ
不動テトラ
本間組
前田建設工業(株)
三井住友建設(株)
みらい建設工業(株)
村本建設(株)
名工建設(株)
森本組
りんかい産建設(株)
若築建設(株)
I H I
川崎重工業(株)

小松製作所
JFEエンジニアリング(株)
日立造船(株)
三菱重工地中建設機(株)
石川島建機工業(株)
SMCコンクリート(株)
新日本製鐵(株)
新和コンクリート工業(株)
JFE建機(株)
ジオスター(株)
都築コンクリート工業(株)
日本コンクリート工業(株)
フジミ工研(株)

賛助会員

新井組
安藤建設(株)
伊藤組土建(株)
植木組
奥村組土木興業(株)
坂田建設(株)
大旺建設(株)
徳倉建設(株)
奈良建設(株)
福田組

アクティオ
ガジマロエンジニアリング(株)
成和ニューワークス(株)

第一化成産業(株)
太平洋ソイル(株)
立花マテリアル(株)
タック
中央工業(株)
テルナイト
東洋工業(株)
日本ネットワークサポート
マルマテクニカ(株)
ミイケ機材(株)

好評発売中

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のとなり安全性は格段に向上している。また、起爆を高精度に制御できるIC雷管も登場し、振動の軽減を図るための制御発破技術も一段と進歩している。さらに、近年のトンネル作業の効率向上と安全環境の確保の面から、発破の機械化、自動化が進められている。削岩機においては、自動的に位置を決めて穿孔するコンピュータジャンボも開発されている。また、2004年3月には火薬取締法施行規則の改正により、含水爆薬に関して移動式製造設備で火薬類を製造しながら装薬ができるようになり、爆薬の機械装填についても準拠できる基準が示された。これにより、含水爆薬の自動装填技術の取り組みも積極的になされている。

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

〈主要目次〉

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

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

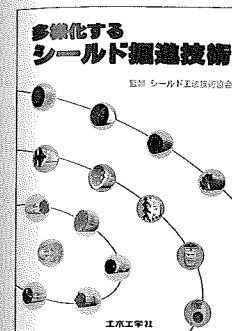
株式会社 **土木工学社**

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

多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判 141頁 本体価格2,500円



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

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

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

〔掲載工法〕

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

覆エコンクリート湿潤養生システム パラソル30ミスト工法

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

新製品



NATMトンネル二次覆エコンクリートを最適に仕上げます

特許出願中



菅機械工業株式会社

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

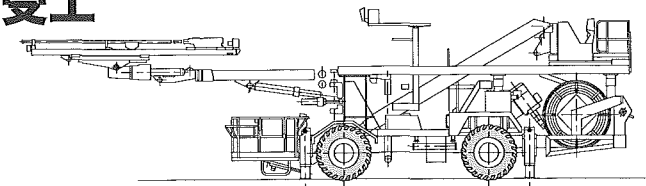
本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0021	東京都千代田区神田司町2-8-4	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-13-9	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460

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

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

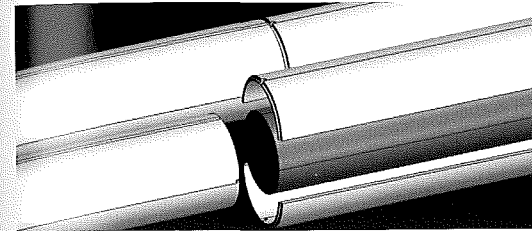
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



AGF-Me工法

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

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



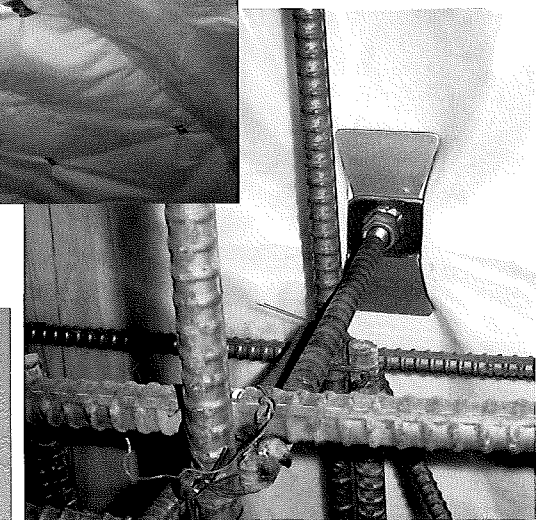
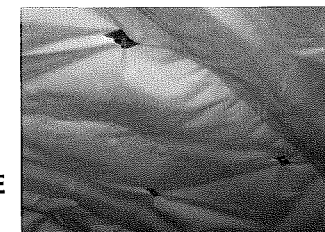
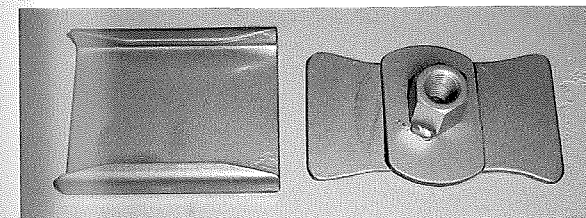
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

- ・防水シートへの穴あけ不要
- ・一人で容易に取り付けが可能
- ・外れ防止機構付き、施工後の高い安全性

固定方法は3ステップ

1. 支保工へ溶接したグリッパーに防水シートを当てます。
2. 回転プレートを押し込みます。
3. ナットを回し、止め位置まで90度右回転します(固定完了)。



東邦金属株式会社
TOHO KINZOKU Co., LTD

東京営業部

〒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 トーキンオール

〒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)