トンネルと地下　平成21年6月1日発行第40巻第6号　昭和45年11月18日第3種郵便物認可
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-6
4910066190699
01500

年11月18日第3種郵便物認可　平成21年6月1日発行（毎月1回1日発行）　第40巻第6号　通巻466号　ISSN 0285-631X

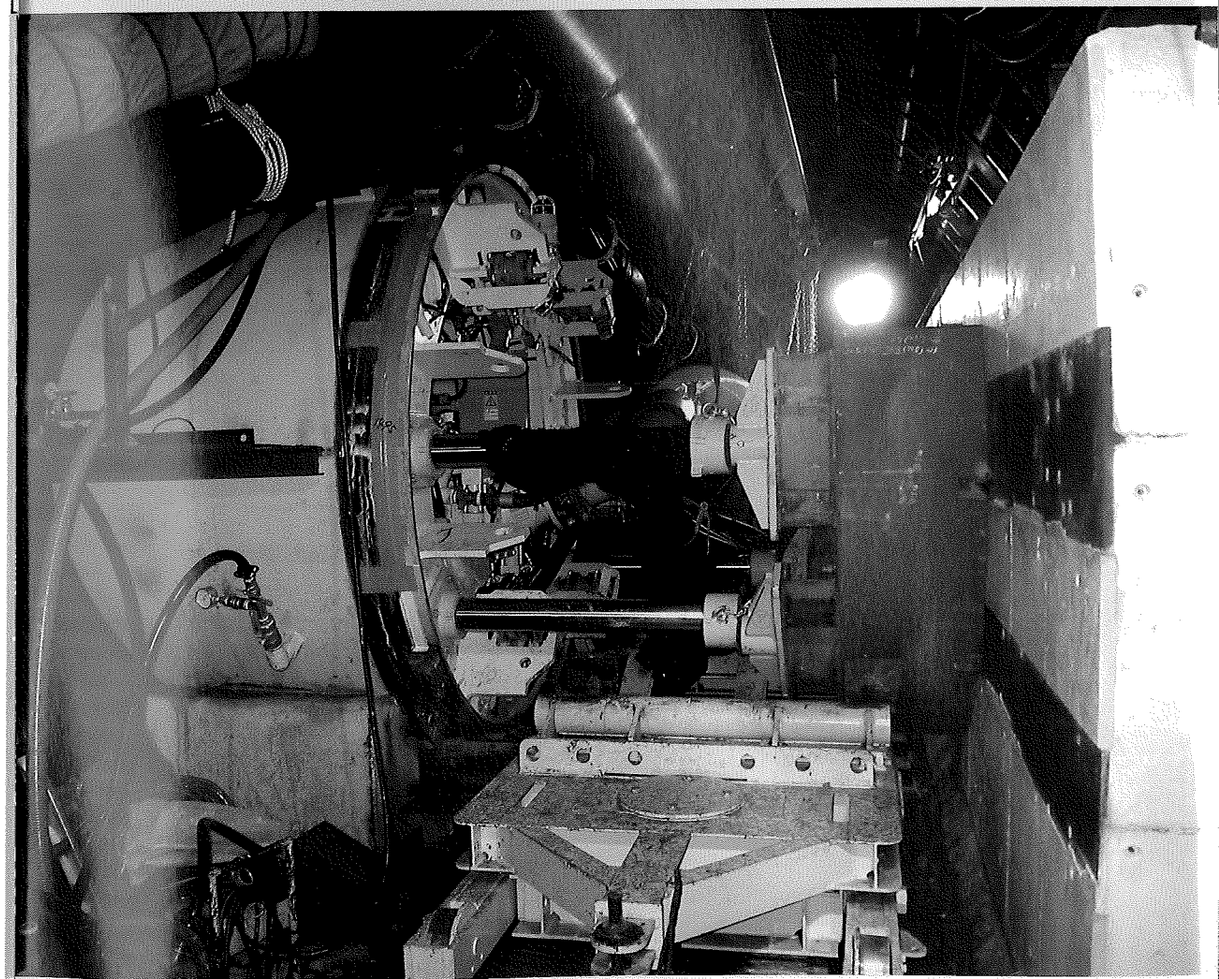
トンネルと地下 6

vol. 40
no. 6
2009

Tunnels and Underground

期線への影響を考慮したⅡ期線トンネルの設計施工
加体の破砕質粘板岩層を早期閉合で施工
体推進工法で共同溝直下に連絡通路を建設
素材セグメントを切削し枝線シールドを発進
子隧道・建設工事史

日本トンネル技術協会誌



信頼の品質

技術提案に好適!!
デンカの特殊混和材

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

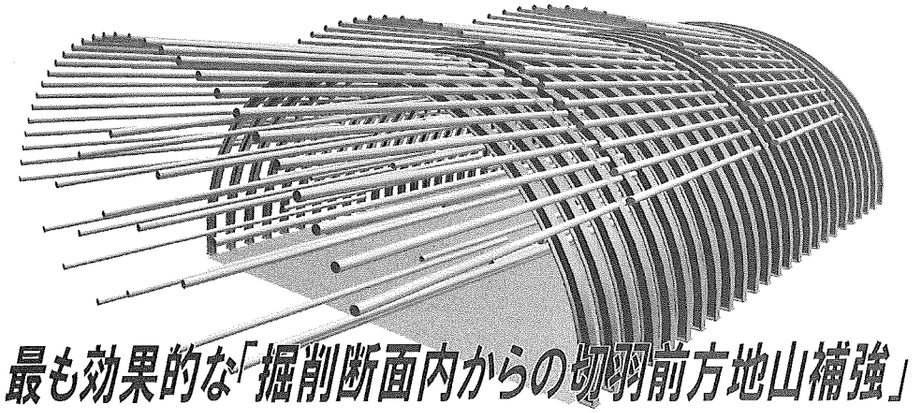
◆トンネル関連製品
・デンカPFモルタル，PFモルタルTYPE-K･･･小断面・TBM用吹付けモルタル
・デンカライフセッター･･･吹付けコンクリート用凝結調整剤
・FTN-30･･･吹付けコンクリート用高性能減水剤
・デンカES／ES-L･･･無公害なセメント系土質安定用急硬材
・デンカコロイダルセメント／コロイダルスーパー･･･微粒子，超微粒子セメント
・デンカPモル･･･注入式ロックボルト定着材
・デンカCG-1000，CG-2000･･･可塑性モルタル用混和材

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

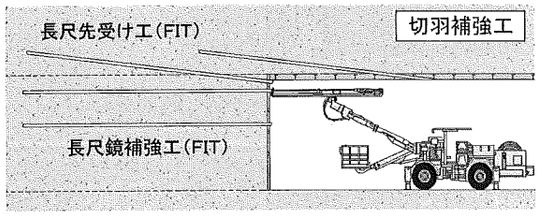
全方位 GFRP 管長尺補強システム

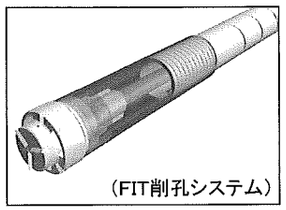
NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150 件以上

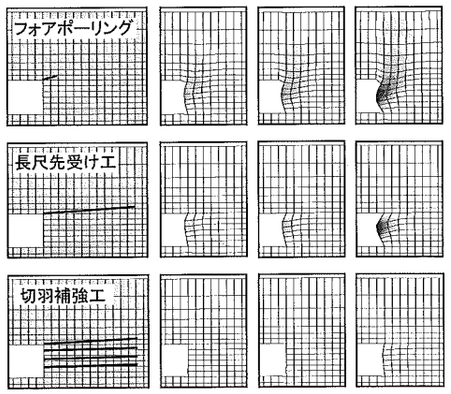
FIT 工法
FRP INJECTION TUBE



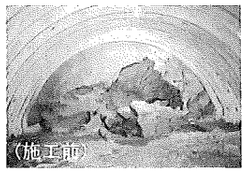
最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」

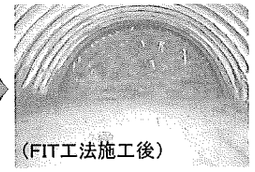



(FIT削孔システム)



(数値解析による切羽補強効果の検証例)


(施工前)


(FIT工法施工後)

(施工前)

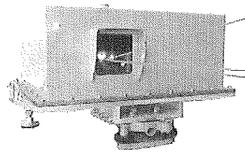
(FIT工法施工後)

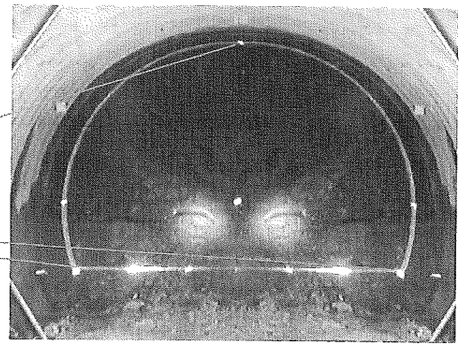
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー
東京土木営業部　TEL(03) 3570-5223　FAX(03) 3570-5233
大阪土木営業部　TEL(06) 6363-1884　FAX(06) 6313-0755
札幌支店　TEL(011) 751-4681　FAX(011) 751-4682
ホームページ http://www.kfc-net.co.jp/

レーザーマーキングシステム

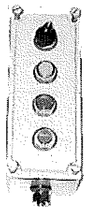
国内、海外特許取得済み

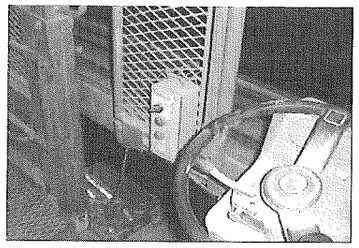
残像効果を使ったペイント不用
の連続高速照射を実現





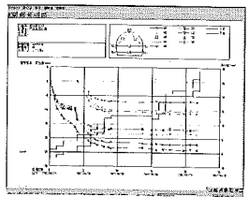
現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー



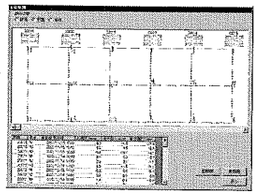


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

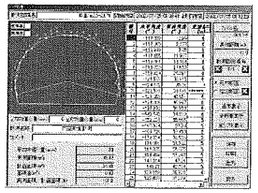
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



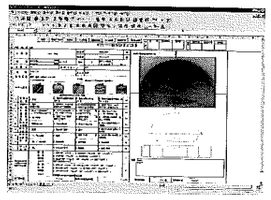
A計測データ処理



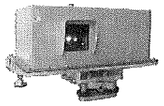
支保工立込精度、変形量



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。

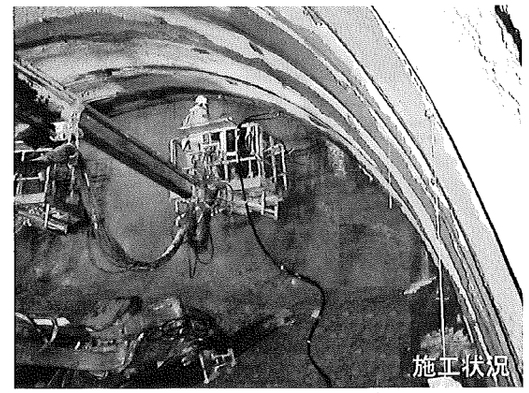
MAC マック株式会社
〒272-0832 千葉県市川市曽谷8−16−3
TEL (047) 371-3191　FAX (047) 371-3190

〔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

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。



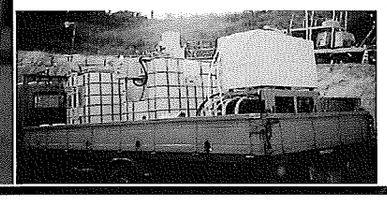
■各種注入材

NEW－TSRF
（シリカレジン）
NEW－TBU
（ウレタン）

※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下さい。

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

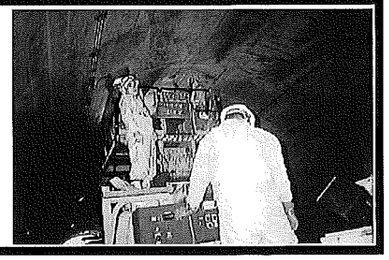


当社のリサイクルコンテナシステムなら、一斗缶の産業廃棄物処理がなくなるため、工事もスムーズに進みます。現場にも環境にもやさしいシステムです。

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。



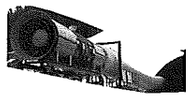
上記の各種注入材の他、ドリルジャンボ、集塵機をはじめ各種機械も取り扱っております。お気軽にお問い合わせください。

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

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

ホンモノしか残らない…

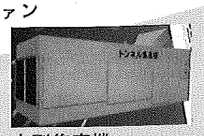
…1960～　1970～　1980～　1990～　2000……



大容量ファン

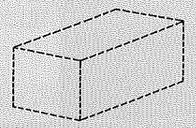
二軸反転
サイレントファン

可変翼やインバーター
での風量制御ファン

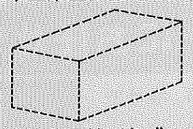


中型集塵機
ノッカー払落し式

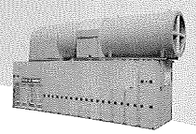
単段ファン



中型集塵機湿式



中型集塵機電気式

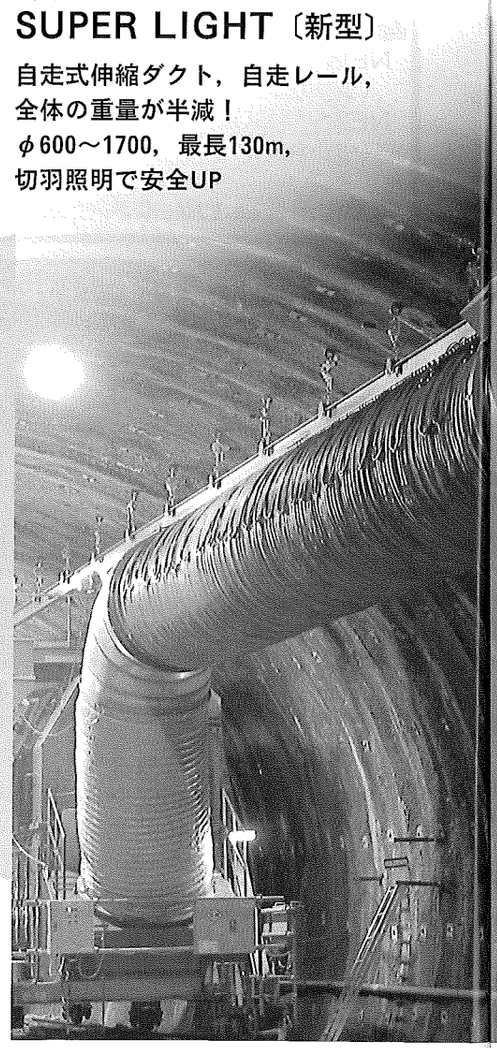


大型集塵機
1000～4000m³/min
30000hメンテナンスフリー，トンネル用は清浄度0.1mg/m³以下保証

中型集塵機
フィルタ交換型

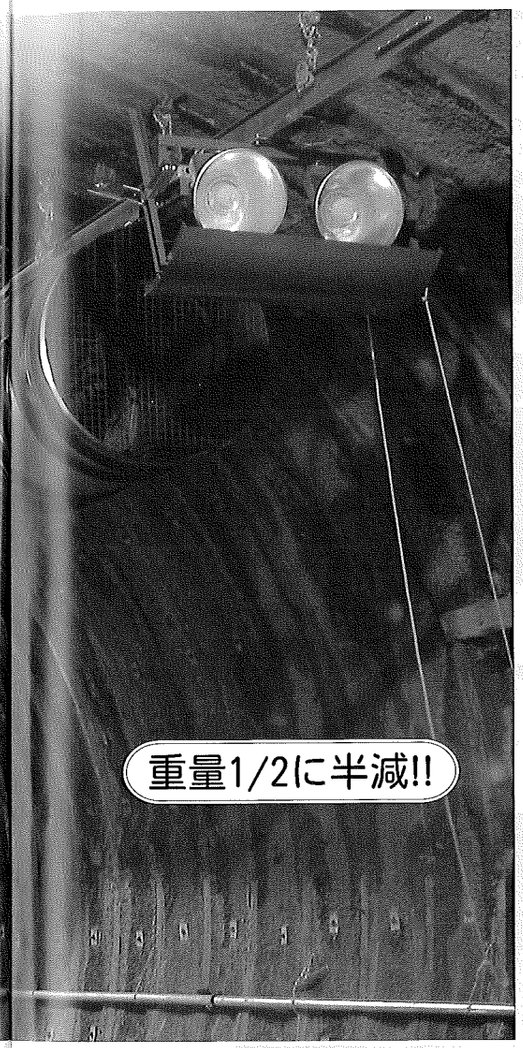
吸引ダクト
SUPER LIGHT〔新型〕

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



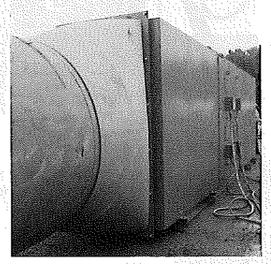
最適環境を創造する
株式会社流機エンジニアリング
URL：http://www.ryuki.com　E-mail：eigyobu@ryuki.com
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI聖坂ビル　TEL：03(3452)7400

換気・環境技術は進化しています



2009……

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



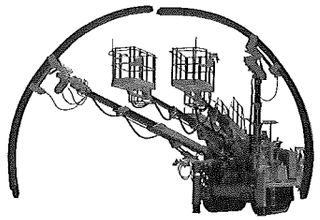
〔新型〕
大風量中圧ファン
EZ-2000Q
(2000m³/min，2.94kpa，150kw)

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…)

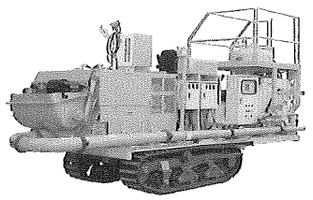
エレクター搭載吹付システム
スコーピオンⅠ型・Ⅱ型



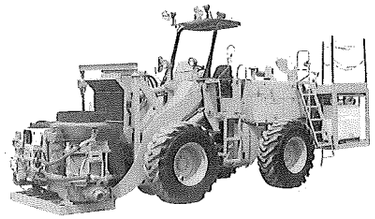
オフロード法認可・排ガス3次対策機指定

小断面シリーズ

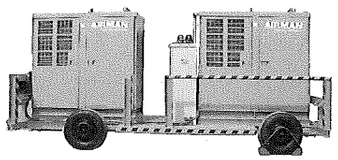
小断面用ポンプ台車



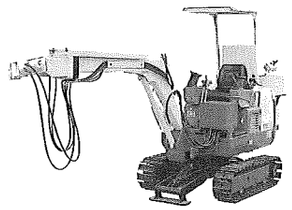
アリバー台車



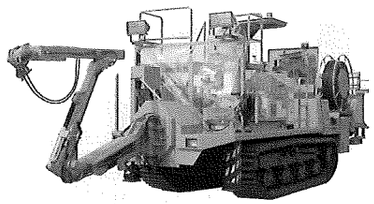
コンプレッサー牽引台車



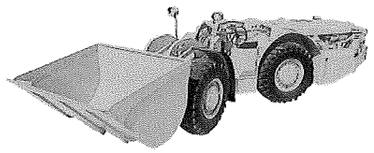
小断面吹付ロボット MR-Ⅱ



ミニ・ビートル

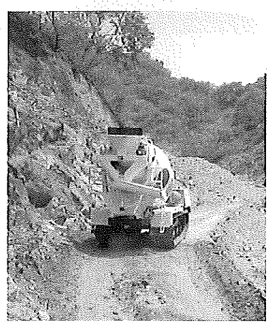


ロードホールダンプ M8

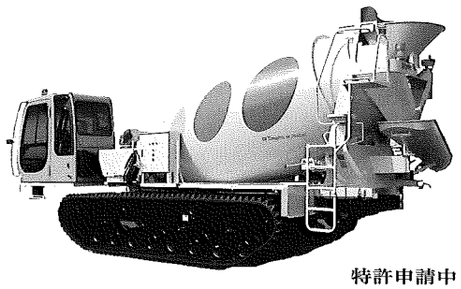


ゴムクロミキサー車

悪路・斜路に強い

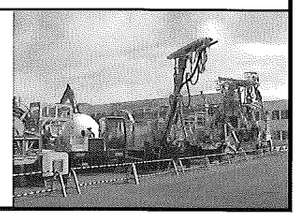


斜路を登る
ゴムクロミキサー車



特許申請中

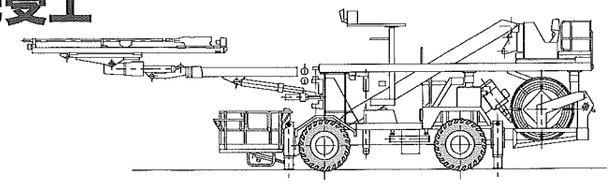
ホームページにアクセス下さい
URL http://www.tonneru-rental.co.jp/
株式会社トンネルのレンタル
〒389-0506　長野県東御市祢津字元会下1080-9
TEL0268(62)1426　FAX0268(62)1999



環境対応型長尺鋼管先受工

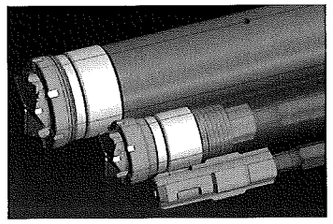
TOHO **AGF** System

All Graund Fastening;
Long-Distance,.Fore-Pilling Method

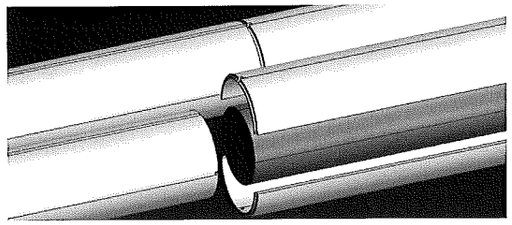


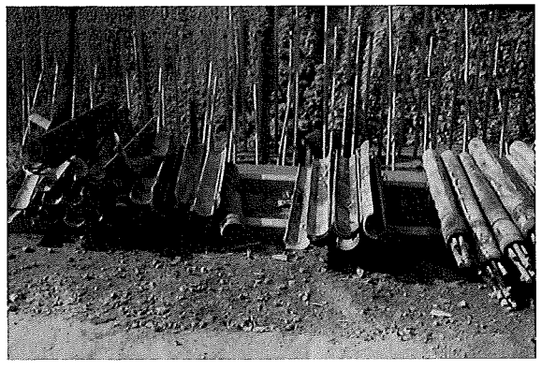
AGF-Me工法

- トンネル掘削時に露出した端末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。

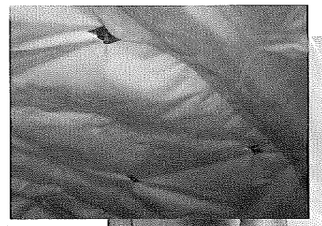




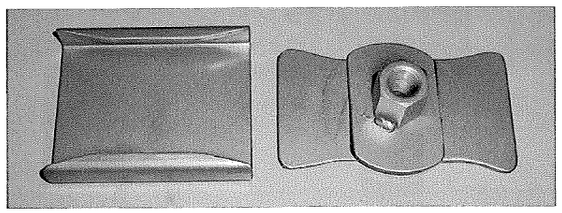
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

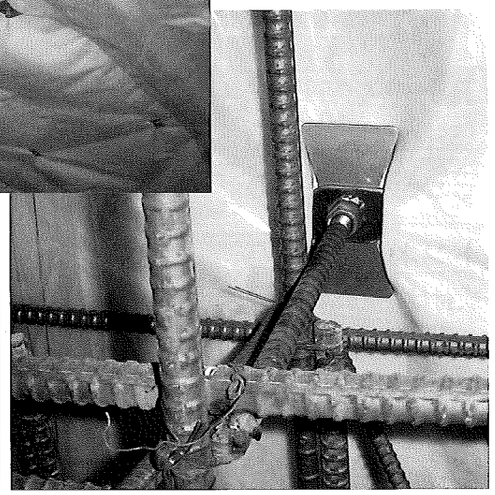
TKグリッパー

- 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プに防水シートを当てます。
2. 回転プレートを押し込みます。
3. ナットを回し、止め位置まで90度右回転します(固定完了)。





東邦金属株式会社　東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD
〒105-0003
東京都港区西新橋3丁目2番1号　共同ビル(西新橋)10F
Tel:03-5401-6211　Fax:03-5401-6218
URL:http://www.tohokinzoku.co.jp

株式会社 トーキンオール
〒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)

吹付けコンクリートシステム

Experts on Sprayed Concrete

コンクリート吹付機

Sika®-PM500 PC

by Putzmeister

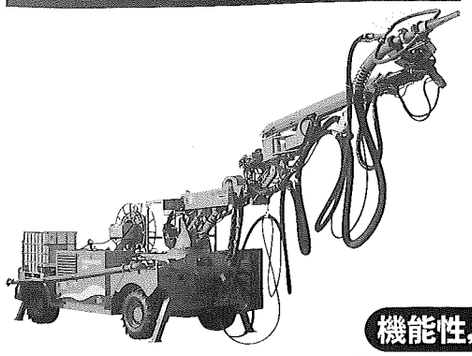
当社はこのたびコンクリートポンプ・コンクリート吹付機で世界的実績を誇るputzmeister社と契約し，今までの吹付機の発想をことごとく変え，さらにその実績と技術ノウハウの基に製造されたputzmeister・Sika®-PM500PC を国内に導入しました.

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

この三大特長によって，吹付け時の脈動が非常に少なく，またそのことに関連して息つぎが防止され，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㈱　製造輸入元　プツマイスタージャパン㈱

トンネル関連製品

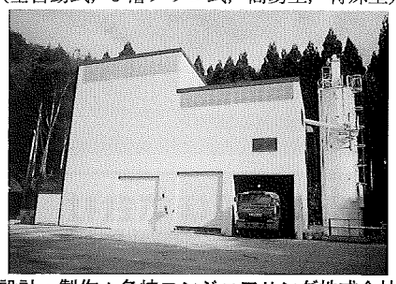
吹付けコンクリートシステム
　putzmeister・Sika®-PM500PCコンクリート吹付機
　Putzmeister S.A.
　一体型吹付機・特殊型吹付機
　設計・製作：東友エンジニアリング株式会社

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

Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他，トンネル施工機械全般

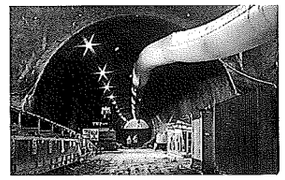
バッチャプラント
(全自動式，3槽クラム式，簡易型，特殊型)

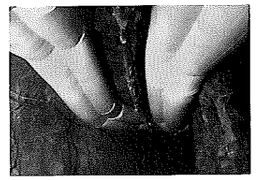


設計・製作：名岐エンジニアリング株式会社

トンネル換気システム

ABC VENTILATION SYSTEMS





●ファスナー式風管　●ツインダクト風管
●スパイラル風管　●帯電防止型風管

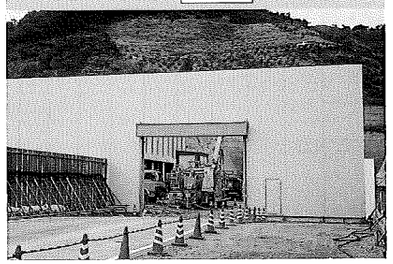
総代理店　東友エンジニアリング株式会社

騒音防止システム

エコフラット −35db Cタイプ

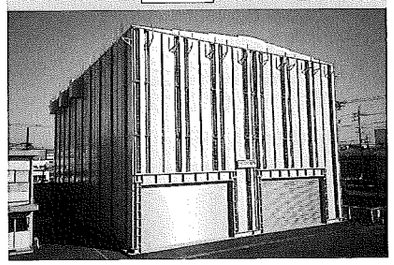
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 −15db Aタイプ



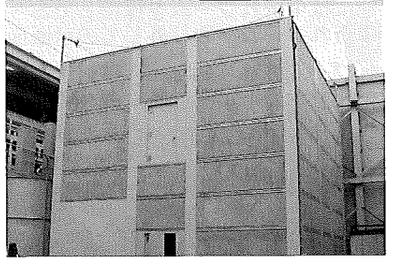
適応性の優れた防音パネル

エコユニット −30db Bタイプ



組立て容易な標準型防音ハウス

スーパーエコハウス 超低周波音−25db



超低周波音対策に適した防音ハウス

設計施工　株式会社トーユーエコサポート

建設業界に貢献するTOYU GROUP

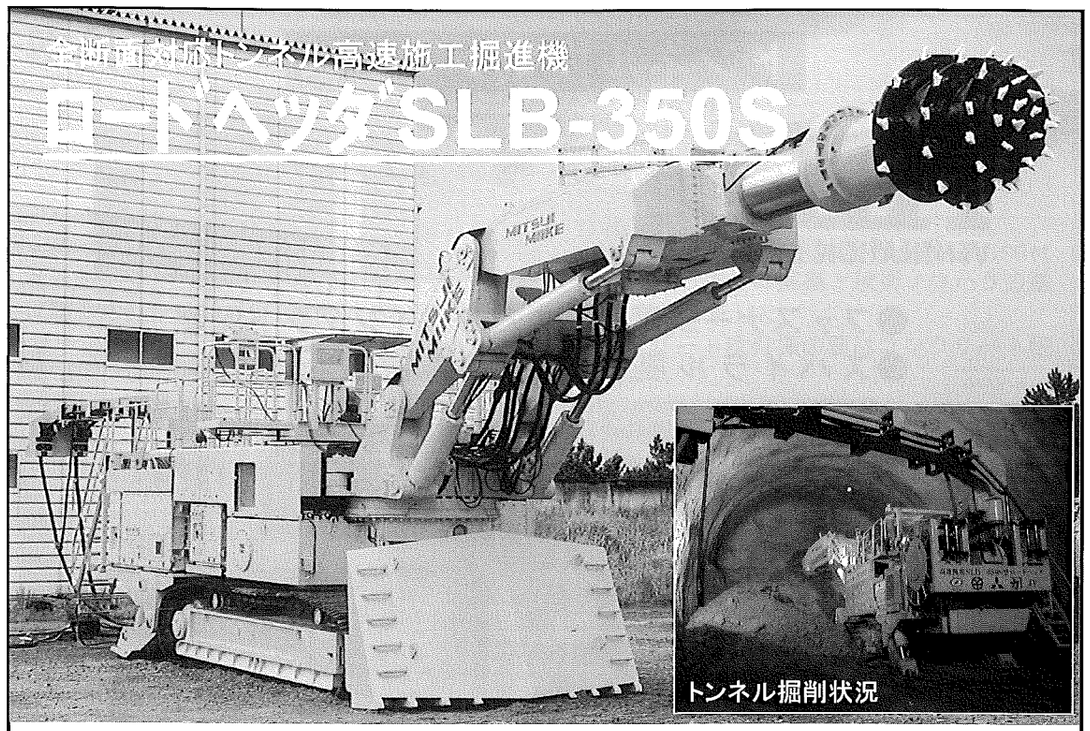
東友エンジニアリング株式会社

http://www.toyu.co.jp

〒102-0073　東京都千代田区九段北 3-2-5　TEL：03-3234-8901　FAX：03-3234-8900
株式会社トーユーエコサポート　TEL：03-5226-5971　FAX：03-5226-5974
トーユーサービス株式会社石岡工場　TEL：0299-27-6211　FAX：0299-27-6233

全断面対応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充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。
- ディーゼルエンジンの搭載[※1,2]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。

スライドデッキ

※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。
※2 掻寄・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。

製造，販売，レンタル及びメンテナンス　株式会社 三井三池製作所

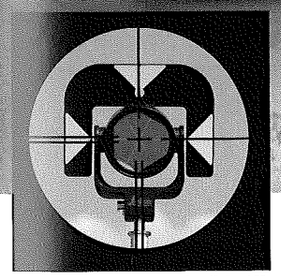
本店／〒103-0022 東京都中央区日本橋室町２丁目１番１号 三井ビル２号館

産業機械営業部　TEL.03-3270-2008，03-3241-4711　FAX.03-3245-0203

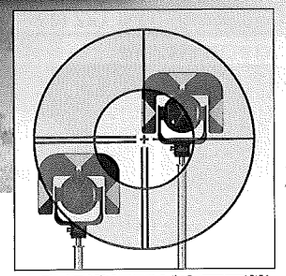
http://www.mitsuimiike.co.jp　　E-mail　sanki@mitsuimiike.co.jp

ユニバーサル測量システム

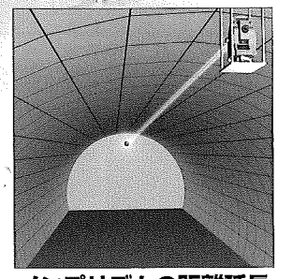
トンネル設計者の要望に応え、さらに進化
ライカTPS1200+ シリーズ、ついに登場



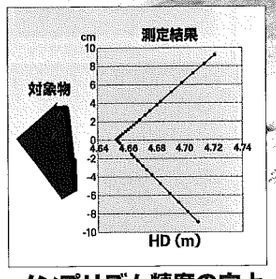
精度が向上した自動視準
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで、自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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**

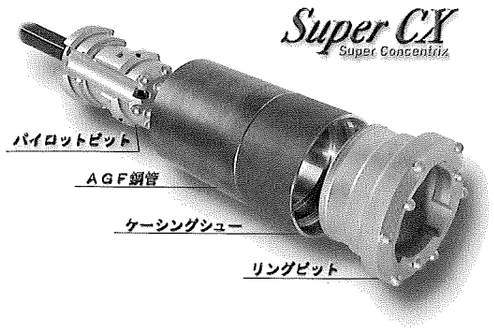
Leica Geosystems

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。

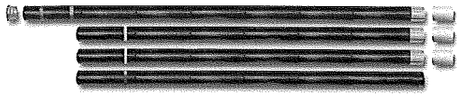
当社はこれらの「ビットシステム」「AGF鋼管」「ロッド・カップリング」等をご提供します。



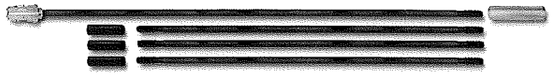
削孔用主要部材

●削孔システム

●AGF鋼管



●ロッド・カップリング

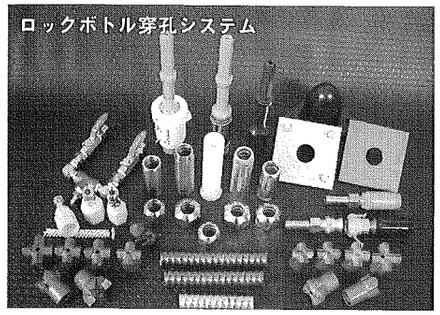


▼ タフボルト（自穿孔ロックボルト）

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～φ65㎜と広く準備されています。

品　名	外径㎜	断面積㎟	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 Tube Forming & Technological 株式会社 **ティーエフティー**

〒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

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

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。

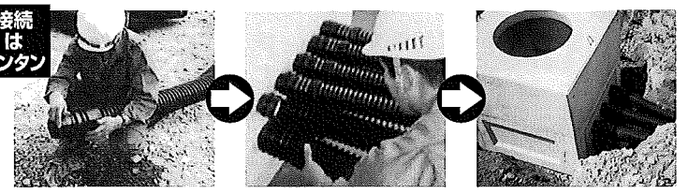
3.優れた性能
- 軽量で、全サイズワンタッチ接続の採用により、工事の省力化が図れる。
- ワンタッチ式のロングベルマウス、ベルブロックを採用することによりハンドホール接合部の省力化が図れる。
- JIS C3653（附属書1及び3）の圧縮強度試験、難燃性試験をクリア。

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



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　テレビ朝日系「サンデープロジェクト」（日曜　朝10:00～11:45）

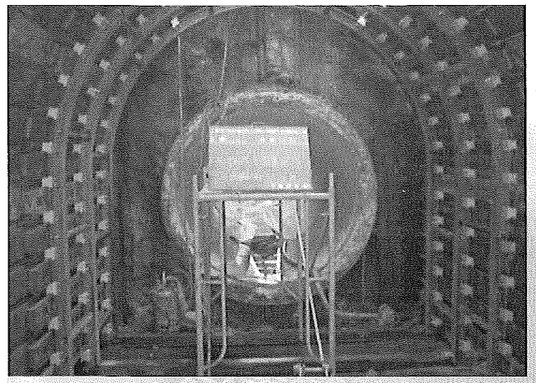
カナフレックス コーポレーション株式会社　ISO 9001認証取得

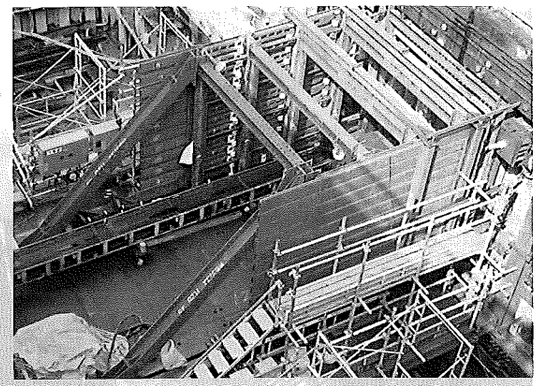
株式会社 インテック

東京本社　〒106-6117　東京都港区六本木6-10-1（六本木ヒルズ森タワー17F）
TEL(03)5770-5111　FAX(03)5770-5130
大阪本社　〒530-6017　大阪市北区天満橋1-8-30（OAPタワー17F）
TEL(06)6881-0767　FAX(06)6881-0769
営業所　札幌・仙台・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・福岡・鹿児島
直営工場　北海道・仙台・栃木・千葉・滋賀・愛東・広島・四国・九州

アーストンネル掘削工法に最適

SS-メッセル工法
Stabilizer System Messer





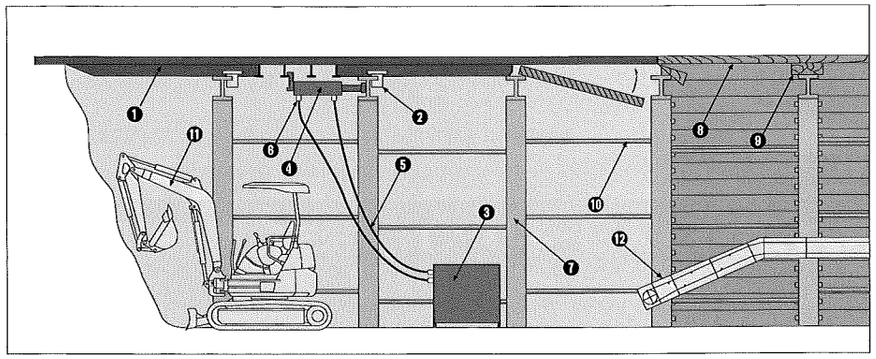
特徴

- 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。

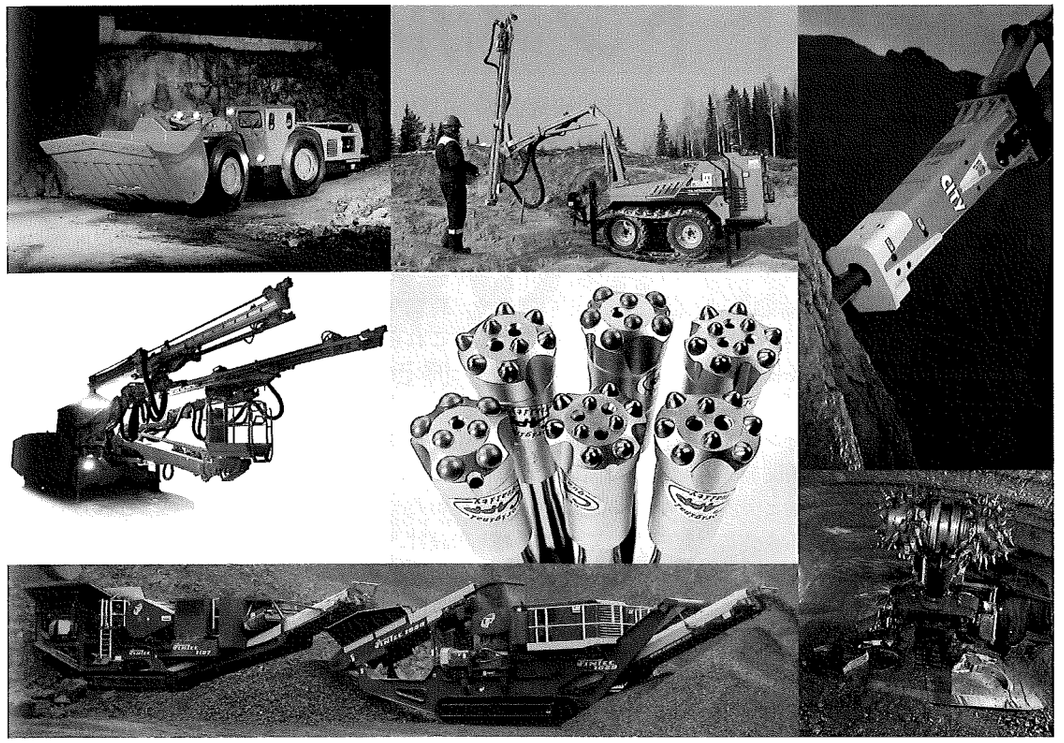
SS-メッセル工法概略図



❶SS-メッセルプレート
❷スタビライザ
❸油圧ユニット
❹油圧ジャッキ
❺油圧ホース
❻油圧手許切換装置
❼支保工
❽木矢板
❾木製キャンバー
❿径間パイプ、タイロットボルト
⓫バックホウ
⓬ベルトコンベア

SIETECH 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

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TEL045-478-0662/FAX045-478-0661
URL http://www.miningandconstruction.sandvik.com/jp/

【好評発売中】

シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編　代表　鈴木　　章

B5判　約280頁　本体価格4,660円　送料 340円

〔推薦の言葉〕　東京都技監兼下水道局長・工学博士　村田 恒雄

泥水式，土圧式シールドの開発と実用化により，切羽の崩壊や地盤沈下の防止はもとより，適用地盤の拡大，施工性や作業環境の改善なども飛躍的に進み，都市トンネルの施工法としてシールド工法は一般化されてきた．そして，今日では，立坑の設置や発進などの工夫や，特殊な断面形状や多円形のシールド工法の開発など，今日的なニーズや用途に応じた技術が誕生している．これらの技術は，国内はもとより英仏海峡トンネルの建設でも活用されるなど，広く海外でも日本で育ったトンネル技術として社会基盤造りに貢献している．

本書は，最近のシールドトンネルの新技術を実務経験者を中心にまとめたものである．本書の特色は，シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性の現況をまとめたうえで，新技術について調査・計画編，設計・施工編とに分けて，その理論と実際についてソフト，ハードにわたり記載されている．また，これらのことを実務にすぐさま活用できるように，付録としてセグメントの設計，地盤変位予測解析，施工計画についての計画・設計例も紹介されており，実務者をはじめトンネル技術者のニーズに応えた内容となっている．

本書の刊行が，シールド工事のより一層の安全性や経済性に寄与するとともに，新しいシールド技術の発展に貢献するものと確信するものである．

主　要　目　次

第一章　概説　1．シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性○ シールド工法の歴史○ シールド工法誕生以前のトンネル工法○ シールド工法の登場　2．わが国におけるシールド工法の歴史○ シールド工法の導入と発展の経緯○ シールド工法の現況　3．今後の技術開発の方向性　**第二章　調査・計画編**　1．シールド工法の調査技術　2．断面および線形計画　3．シールド機種の種類と選定　4．新しいシールド工法　**第三章　設計・施工編**　1．覆工○ 一次覆工の設計○ 二次覆工の設計と施工○ シールドトンネルの防水技術　2．立坑の設計と施工設備○ 立坑の設計と施工○ シールド機の構造と装備○ 仮設備の計画○ シールド工事による自動化　3．掘進と施工管理○ シールド掘進と施工管理○ シールド発進と到達○ 裏込め注入工法と注入効果○ 曲線施工と地中接合○ 補助工法の種類と選定　4．近接施工と環境対策○ 近接施工と対策○ アンダーピニングおよび支障物対策○ シールド工事と環境対策○ 新工法の現状と将来展望○ ECL工法　5．切羽の安定と地盤変状防止○ 切羽安定の理論と実際○ 泥水式シールド工法の切羽安定○ 土圧シールド工法の切羽安定　6．地盤変位の理論と実際　**付録** 1．セグメントの設計例　2．地盤変位予測解析手法の例　3．シールド工事の施工計画

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

き---り---と---り---線

《ご　注　文　票》

シールドトンネルの新技術 _____ 冊　申込みます．

所在地　〒(　　)

事業所名　　☎

部課名　　申込者名　　㊞

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

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

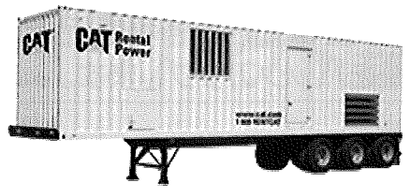
0～20（約２年）　20～30（１年６か月）
30～40（約１年）　40～50（６か月）

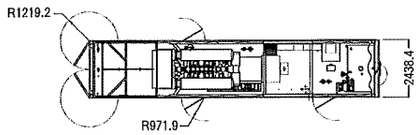
【営業品目】 複層タイヤ／油圧ホース／マテリアルホース／各種中古車／触媒／線路（中古）

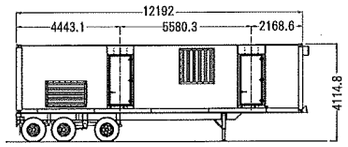
中濃産業株式会社
代表取締役　土田義弐

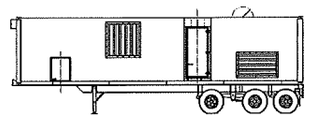
本　社　〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241(代)　FAX(0581)38-3383
営業所　〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990(代)

大型発電機レンタル







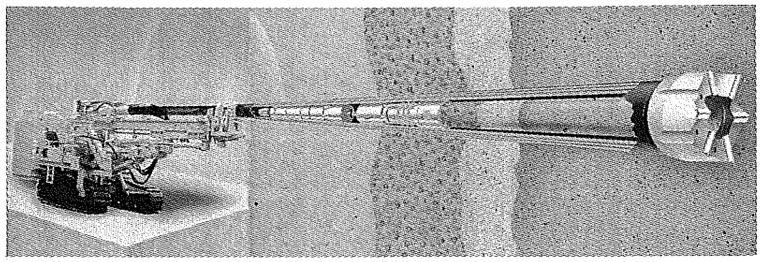


		2000KVA 60	2000KVA 60
周波数	Hz	50	60
出力	KVA	2,000	2,281
出力	kW	1,600	1,825
電圧	V	400	440
電流	A	2,887	2,993
燃料		軽油	軽油
容量/燃料タンク	L	4,730	4,730
燃料消費量	L/h	260	307
燃料消費量(75%負荷時)	L/h	—	—
全長	mm	13,500	13,500
全幅	mm	2,439	2,439
全高	mm	4,115	4,115
乾燥質量	kg	40,370	40,370
整備質量	kg	33,636(車台含む)	33,636(車台含む)

株式会社 ケイ・リー
klea
仙台：TEL.022-359-5331
東京：TEL.03-3661-5651
大阪：TEL.06-6838-1372
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

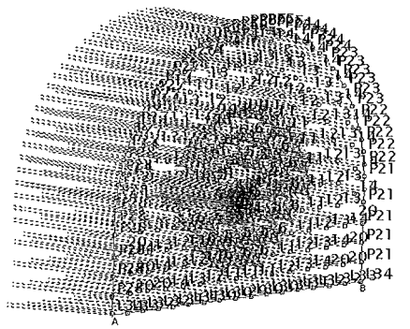
①断層破砕帯や湧水をともなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行え、施工時間が大幅に短縮できます。

②2重管ワイヤーライン サンプリングシステムにより、地質条件にかかわりなく、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 鉱研工業株式会社
本社　〒171-8572 東京都豊島区高田2-17-22 目白中野ビル１F
TEL (03)6907-7888(大代表)　FAX (03)6907-7527

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

トンネル専用電子雷管　eDev™



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

ORICA MINING SERVICES
オリカジャパン株式会社
代表取締役社長　安藤　宏

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

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

FURUKAWA
ROCK DRILL

FRD FURUKAWA

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

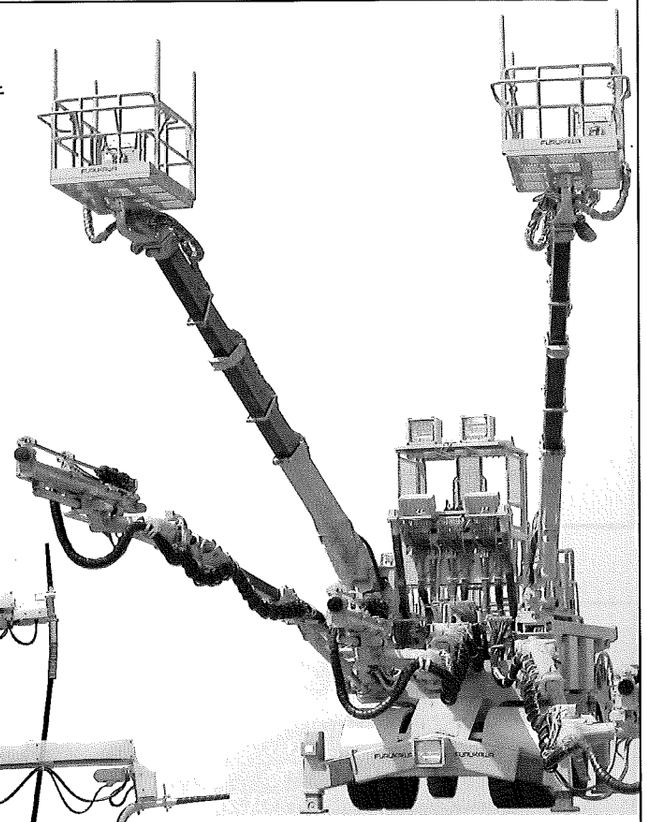
ホイール式ドリルジャンボ
JTH2200R/3200R

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

新世代型油圧ドリフタHD210II搭載。

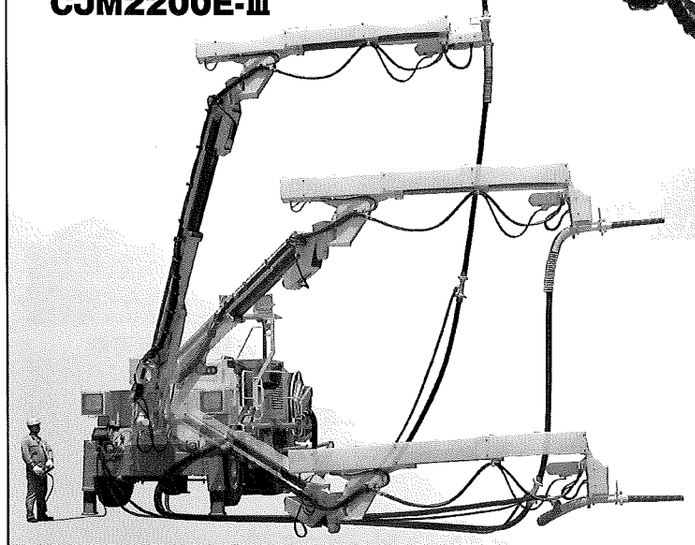
◆主な仕様

	JTH2200R 2ブーム、2ケージ	JTH3200R 3ブーム、2ケージ
質　量	35.5トン	43トン
全　長	14,270mm	14,760mm
全　幅	2,690mm	3,140mm
全　高	5,940mm	6,010mm
水平さく孔範囲		
幅	12.77m	13.22m
高　さ	8.49m	8.84m



JTH3200R

コンクリート吹付け機（コンプレッサ搭載型）
CJM2200E-Ⅲ



写真は吹付け姿勢の合成写真です。

◆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

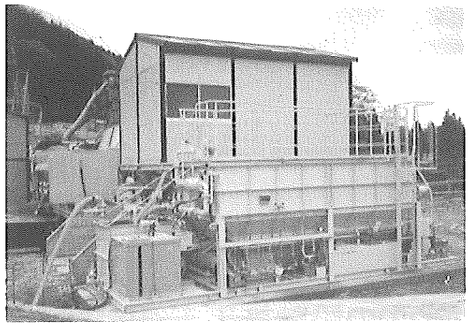
自走式キャリアに、コンクリートポンプ、急結剤供給装置、コンプレッサ、高圧水ポンプ等、吹付け作業に必要な装置を搭載したコンパクトな一体型コンクリート吹付け機です。

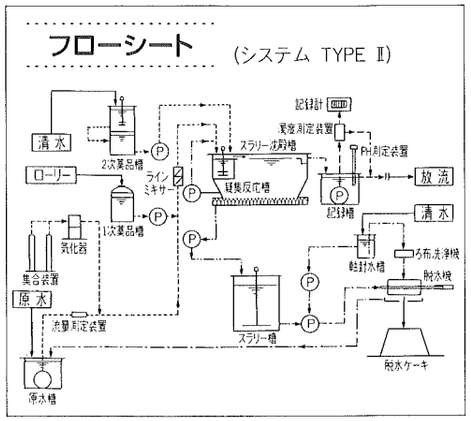
古河機械金属グループ
FRD FURUKAWA 古河ロックドリル株式会社 http://www.furukawarockdrill.co.jp/

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。複式沪板型の脱水機を採用していることから沪布等の消耗費が少ない。
又、加圧型脱水方式の為無薬注で脱水出来る。

3．シックナー内流速を最少にする設計であることより清澄度の高い処理水が得られ、再利用が可能である。

4．運転管理が容易である。
原水流入に合せた自動運転方式を採用している。パトライトによる異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。処理水の水質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
自動沪布洗浄装置

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。

Waste Water Treatment System

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㈹　FAX (076)452-1617

トンネルと地下　6月号目次　Vol.40, No.6, 2009 June

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

ふるさきをたずねて……
剣持　三平……5

■解　　説

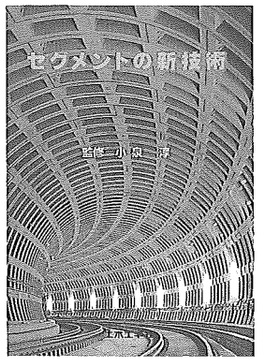
栗子隧道・建設工事史
―日本人技術者による初の近代山岳トンネル建設―
阿部　公一……49

■施　　工

Ⅰ期線への影響を考慮したⅡ期線トンネルの設計施工
―上信越自動車道　永江第一トンネル―
阿久津孝夫・中嶋　英裕・大谷　達彦・吉永　浩二……7

付加体の破砕質粘板岩層を早期閉合で施工
―日奈久芦北道路　新佐敷トンネル―
竹下　卓宏・森山　安夫・伊藤　典彦・益子　篤史……17

函体推進工法で共同溝直下に連絡通路を建設
―都営浅草線　高輪台駅―
山口　外志・山下　賢司・井上　邦夫・山田　真大……29



セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B５判　132頁　本体価格 2,000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「セグメントの新技術」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．

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

新素材セグメントを切削し枝線シールドを発進
―東大阪市下水道　新岸田堂・新寿幹線―
米崎　育和・木村　　勉……39

■連 載 講 座

沈埋トンネル（２）
―計画・調査―
髙橋　正忠……61

■現場だより

「名水の郷」京極町より
高山　正志……25

■資　　料

トンネル千夜一夜（54）
小野田　滋……26

土木情報
編　集　部……28

トンネルジャーナル
編　集　部……60

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……73

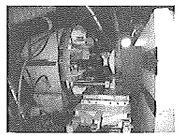
海外文献速報
JTA国際委員会……74

■会　　報

会　報
日本トンネル技術協会……78

【表紙説明】

新素材セグメントを切削し枝線シールドを発進
東大阪市下水道　新岸田堂・新寿幹線



本工事では，周辺状況などから地上での工事用地の確保が困難であったため，坑内から分岐工事を行う必要があった．それには，狭隘な作業空間の特殊性や本線トンネルに開口部を設置するという構造に起因した設計・施工上の課題があったが，本工事では分岐部に直接切削可能な新素材のFFUセグメントを採用することで順調に施工ができた．写真は，新素材セグメントの切削掘進状況である．

〔写真提供：東大阪市〕（本文39頁参照）

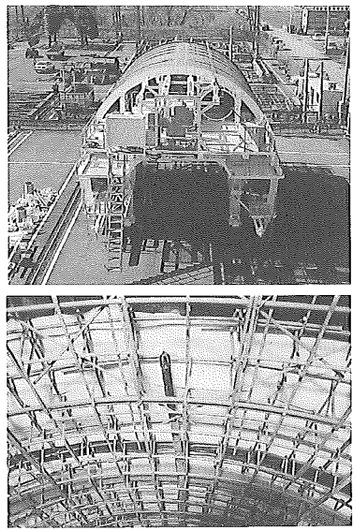
高品質なトンネル覆工に挑む

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

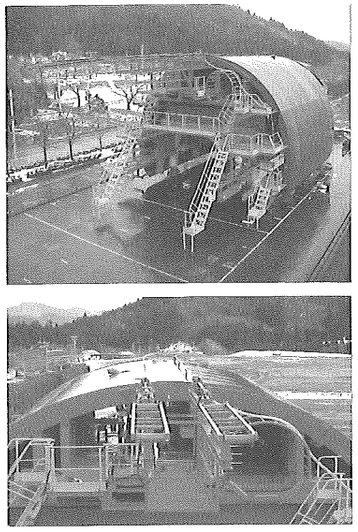
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースバイブ巻取り式



パイプバイブ伸縮式



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

効果・特徴

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

岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO.,LTD
本　　社　岐阜県本巣市十四条１４４番地　〒501-0464
本社工場　TEL (058)323-2000(代)　FAX (058)323-1176

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

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

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大 島 洋 志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹　　事〕

池 田 豊 人
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

大 石 敬 司
東京地下鉄株式会社建設部工事課課長

久多羅木 吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

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

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

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

長 島 芳 雄
株式会社竹中土木常務取締役

濱　　建 介
(元)日本鉄道建設公団理事

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

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

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

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

主な特長

- カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- 機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m（ケーブルハンガーを除く）
- 定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- 高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とビック消費量低減。
- 接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

http://www.kyb-ksm.co.jp

本社・営業 カスタマーサービス　〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル　TEL 03-5733-9444
中部支店　〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町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〕

亀山　勝
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
計画担当課長

木谷日出男
財団法人鉄道総合技術研究所
防災技術研究部部長

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

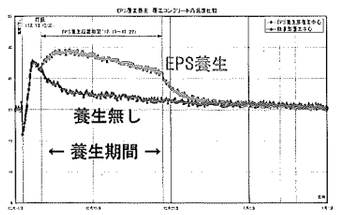
田村聡志
東京都水道局建設部工務課長

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

野邑敏行
東京都交通局建設工務部計画改良課長

裵岩滋之
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



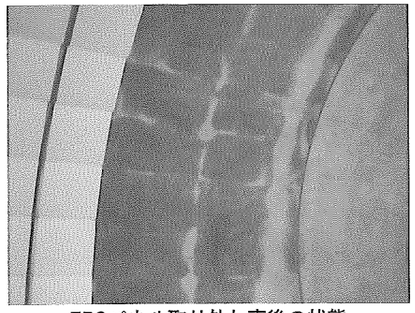
温度測定結果

	養生無し	EPS養生
反発度(平均)	33.8	36.3
推定強度 N/mm²	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)

実績および採用決定(平成21年5月現在)

施主	実績	採用決定
国土交通省	4	3
NEXCO	3	2
地方自治体	5	1
合　計	12	6



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。

FUDOTETRA 株式会社 不動テトラ
建設本部
〒103-0016　東京都中央区日本橋小網町7番2号
TEL　03-5644-5025　FAX　03-5644-8576

特許登録番号第3977849号

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

実施権許諾第10396号

QJ 01466/ISO 9001:2000

トンネルと地下　VOL. 40　No. 6　掲載概要

掲載頁 7

Ⅰ期線への影響を考慮したⅡ期線トンネルの設計施工
—上信越自動車道　永江第一トンネル—

東日本高速道路(株)　阿久津孝夫

永江トンネル工事は，暫定2車線道路の4車線化拡幅工事の一部で，供用中のⅠ期線に併設するⅡ期線トンネル工事である．本稿では，とくにⅠ期線への影響が懸念された小土かぶり部と到達側坑口部の設計および施工の概要を報告する．小土かぶり部については，設計時の影響解析結果と実測データの比較検討結果についても報告する．

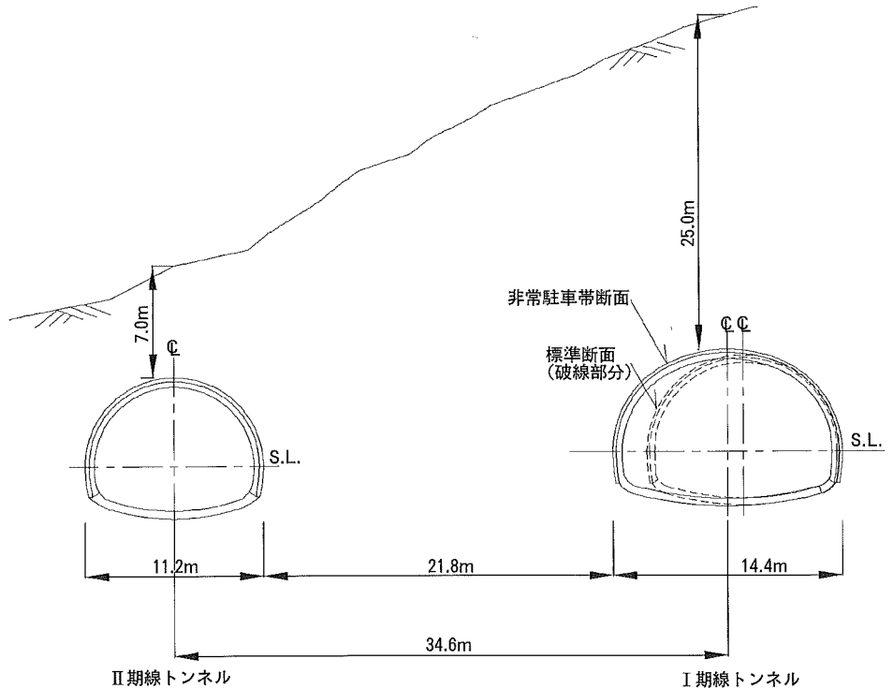
小土かぶり部は，Ⅰ期線トンネル施工時に変状の大きかった泥岩部に位置しているため，Ⅱ期線トンネルの施工がⅠ期線トンネルへ大きな影響を与えることが懸念された．そこで，Ⅱ期線トンネル施工時の変形を抑制するためにAGF工法を採用した．また，到達側坑口部は，急峻な地形に位置し，坑外からのアプローチが困難であるため，小断面の作業導坑を貫通させ作業道路とした．このとき，Ⅰ期線への影響を抑制するためには，作業導坑の安定確保が重要と考え，切土時の偏圧に抵抗できる支保構造とした．

Design and Construction of Second Tunnel Considering the Effect on First Tunnel—Joshin-etsu Expressway, Nagae Dai-ichi Tunnel—

By Takao Akatsu, East Nippon Expressway Company Limited

The Nagae Tunnel works is to install a new second tunnel parallel to a first tunnel that is already in service as a part of the project of expansion from a temporary two lanes road to four lanes. This report gives the outline of design and construction of the small cover section and arrival portal section, the effects of which were concerned to the first tunnel in particular. It also gives information on the results of comparative analyses at the small cover section between effects analysis results in designing and the data in actual measurements.

As the small cover section was positioned in a mudstone in which large deformation had occurred at the time of construction of the first tunnel and there was concern that the second tunnel construction would have a great effect on the first tunnel. Consequently, we employed the AGF method in order to control deformation. In addition, the arrival side entrance was positioned in steep land and, as it was difficult to approach from outside the tunnel, we penetrated the small pilot tunnel and used this as the construction road. At that time, in order to control the effects on the first tunnel, we considered it important to guarantee the stability of the pilot tunnel and used a supporting structure to resist unsymmetrical earth pressure at the time of cutting works.



図は小土かぶり部断面図

掲載頁 17

付加体の破砕質粘板岩層を早期閉合で施工
—日奈久芦北道路　新佐敷トンネル—

国土交通省　竹下　卓宏

南九州西回り自動車道は，九州西南部の地域経済の活性化および高速定時性の確保を目的に，八代市を起点に水俣市，薩摩川内市を経由して，鹿児島市を結ぶ約140kmの高規格道路である．そのうち日奈久ICと芦北IC間の16.8kmを日奈久芦北道路と呼び，平成３年度から事業着手し，平成16年度に日奈久IC～田浦ICまで開通している．

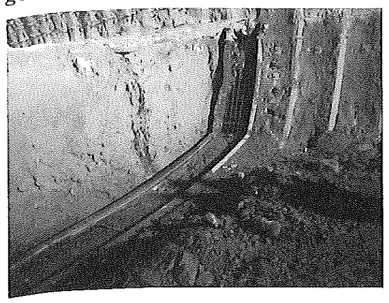
新佐敷トンネルは延長2,919m，日奈久芦北道路の田浦ICと芦北IC間に位置し，両方向から掘削した．本トンネルの地質は変化が激しかったので，掘削時には計測や切羽判定の頻度を増やすことで対応した．

本稿は，そのうち田浦側から施工した新佐敷トンネル新設Ｉ期工事の施工状況について報告するものである．

Tunneling in Fractured Slate of Accretionary Zone by Early Casting of Invert Concrete—Hinagu-AshiKita Route, Shin-Sashiki Tunnel—

By Takahiro Takeshita, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The West Minami-Kyushu Expressway is an approximately 140 km long high standard road that links Kagoshima City with Minamata City via Satsuma-Sendai City starting in Yatsushiro City with the aim of guaranteeing economic reenergization and high-speed mobility in southwest Kyushu. Among these is the section of 16.8 km between Hinagu Interchange and Ashikita Interchange called the Hinagu-Ashikita route on which project began in 1991 and in 2005 was put into service between Hinagu Interchange and Tanoura Interchange.



写真はインバート支保工

Shin-Sashiki Tunnel is 2,919 m long, is positioned between Tanoura and Ashikita Interchanges on the Hinagu-Ashikita route and excavation was conducted from both portals. As there were severe changes in the geological features along this tunnel, we responded by increasing the frequency of measurement and face judgments at the time of excavation.

This report gives information on the construction status of Shin-Sashiki Tunnel construction that was tunneled from the Tanoura side.

掲載頁 29

函体推進工法で共同溝直下に連絡通路を建設
—都営浅草線　高輪台駅—

東京都交通局　山口　外志

本工事は，都営地下鉄浅草線高輪台駅の防災改良およびバリアフリー事業の中で，隣接する民間再開発建築工事との合築によりエレベーター，エスカレーターを備えた新設の駅出入口と換気機械室を施工するものであり，その新設出入口への地下連絡通路と換気ダクトスペースを含むトンネル構造物を非開削工法により築造する．非開削工法としてR&C工法を採用し，工場製品ボックスカルバートを推進工により敷設する．また，推進掘削の直上には高輪共同溝が近接していることから，工事による変状をリアルタイムに計測するため沈下計と傾斜計を共同溝内部に設置し自動計測を行った．箱形ルーフ推進工および函体推進工においては，共同溝への変状影響を与えることなく順調に施工できた．

本稿は，R&C工法による函体推進工および自動計測による共同溝の変状計測について報告する．

Construction of an Underground Walk-through Directly under Utility Tunnel using the Box Jacking Method —Toei Asakusa Line, Takanawadai Station—

By Sotoshi Yamaguchi, Bureau of Transportation, Tokyo Metropolitan Government

The works to improve disaster prevention and barrier-free facilities in Takanawadai Station on the Toei Asakusa Line are constructing a new station entrance with escalators and elevators and a ventilation machine room in conjunction with works on an adjacent private redevelopment construction, and the construction of the tunnel including walk-through and ventilation duct to the new entrance using the non-open cut method.

写真は函体推進工完了

The R&C method was employed as a non-open cut-method, and a precast box culvert was installed using the jacking method. In addition, due to the fact that the Takanawa utility tunnel is directly above the tunnel, in order to measure the deformations caused by the works in real time, settlement gauges and inclinometers were installed in the utility tunnel and measurements were taken automatically. During box-shape roof jacking and box jacking, it was possible to construct steadily without having a deforming effect on the utility tunnel.

This report gives information on box jacking by the R&C method and the automatic measurement of deformations in the utility tunnel.

掲載頁 39

新素材セグメントを切削し枝線シールドを発進
—東大阪市下水道　新岸田堂・新寿幹線—

東大阪市　米崎　育和

本工事はシールドトンネルにおける坑内分岐事例である．都市部では地上部の交通や生活，社会環境に影響を与えず，低コストで全く違う方向にトンネルを分岐させる方法のニーズが高まっている．すなわち，分岐箇所に立坑を設けないで，地中で直接トンネルを分岐させる方法である．

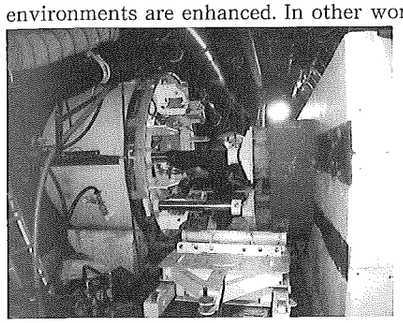
本工事では地上を全く使用しないで，すべてセグメント内の作業で分岐工事を施工した．セグメント内からの分岐トンネルの構築には，狭隘な作業空間の特殊性や本線トンネルに開口設置するという構造に起因した設計・施工上の課題がある．とくに，深度の大きな位置で，狭い坑内からの発進には，高い安全性と施工性を兼ね備えた工法の選定が必要であった．

本稿では分岐シールドの設計・施工上の課題と，分岐部に採用した新技術(FFUセグメント)の有効性を報告する．

Cutting through New Materials Segment and starting a Branch Line Shield—Higashi-Osaka City Sewer Main betweren Shin-kishidado and Shin-kotobuki—

By Yasukazu Yonezaki, Higashi-Osaka City

This construction is a bifurcation tunnel construction within a shield tunnel. Needs for a tunnel bifurcation in another direction with low cost without having an effect on above-ground urban traffic, lifestyle and social environments are enhanced. In other words, it is a method of direct tunnel bifurcation underground without installing shafts on bifurcation point.



写真はFFU切削掘進状況

These works were conducted completely underground and bifurcation works were all conducted within tunnel. In the construction of a bifurcated tunnel from within main tunnel, there were tasks on the design and construction to install an opening in the main tunnel or to work in narrow space. In particular, launching a shield from a narrow tunnel at great depth, it was necessary to select a method that combined high levels of safety and constructability.

This report gives information on tasks pertaining to the design and construction of a bifurcation shield and the effectiveness of the new technology (FFU Segment) employed in the bifurcation point.

掲載頁 49

栗子隧道・建設工事史
—日本人技術者による初の近代山岳トンネル建設—

(株)ネクスコ・メンテナンス東北/万世大路研究会　阿部　公一

明治新政府は，明治９年，米沢市と福島市を結ぶ幹線道路の建設に着手した．後に万世大路と呼ばれるこの道路の実現には，奥羽山脈を越える栗子隧道(876m)が不可欠だった．

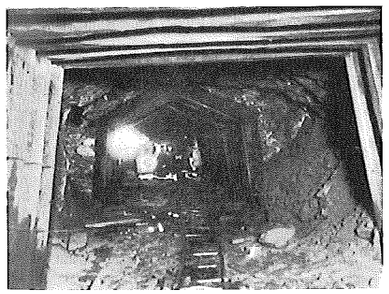
栗子隧道の建設は，お雇い外国人・エッセルから助言を得るなどしつつも，計画から建設工事まで，日本人技術者が独力で挑んだ近代的トンネル工事である．

エアドリルを導入した発破掘削，近代測量技術や坑門工・支保工など，当時のトンネル技術を紹介しつつ，栗子隧道が嚆矢となったわが国トンネル技術の飛躍を振り返る．

The History of Construction of Kuriko Tunnel—First Construction of a Modern Mountain Tunnel by Japanese Engineers—

By Koichi Abe, Nexco-Maintenance Tohoku Company Limited / Bansei-Tairo Workshop

The new government of Meiji, in 1876, undertook the construction of a trunk road that links Yonezawa and Fukushima cities. In order to implement this road, which was laterally called Bansei-Tairo, the Kuriko Tunnel (876m) that penetrates the Ou mountain range was indispensable.

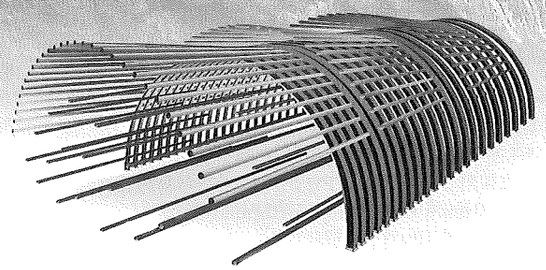


写真は栗子隧道坑内の木巻き覆工

The construction of the Kuriko Tunnel was a modern tunnel works that was created solely through the efforts of Japanese engineers from the planning to construction stages although there was some advice from Essel, Foreign Employee.

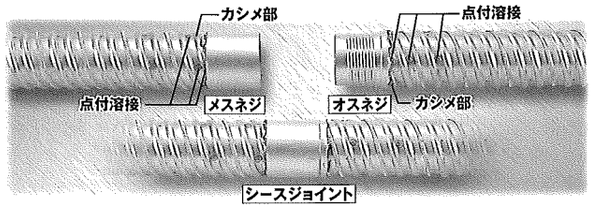
This report presents the tunnelling techniques of the time such as basting excavation using an air drill, modern measurement techniques and entrance / supporting structures, through looking back on the Kuriko tunnel construction as the pioneer of modern tunnel engineering in Japan.

ユニークな発想と高品質・自信の価格



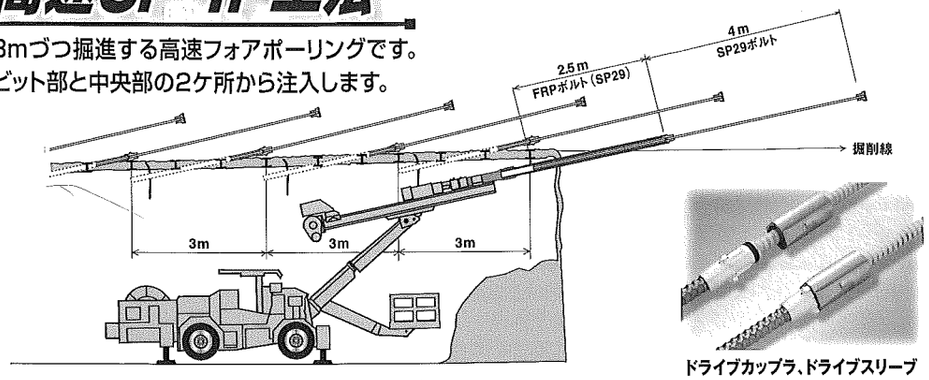
FIXチューブ工法

※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。



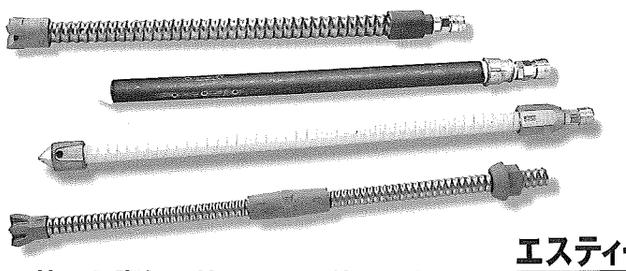
高速SP-IF工法

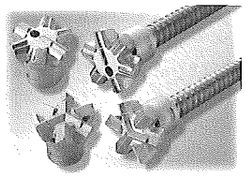
※3mづつ掘進する高速フォアポーリングです。
ビット部と中央部の2ケ所から注入します。



ドライブカップラ、ドライブスリーブ

自穿孔ボルト&注入管



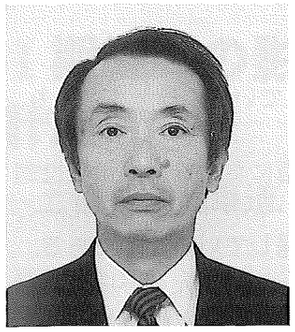


φ65mm ロストビット(SP29)

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

STE
エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251
http://www.st-eng.co.jp

巻頭言
(題字 小森 博会長)



ふるきをたずねて……

(株)フジタ常務理事(本協会理事)
劍持 三平

ご記憶の方もおられると思うが，今年1月の読売新聞によれば山岡荘八著『徳川家康』が昨年来，中国の都市部の企業家やホワイトカラーなどの間で爆発的人気を呼んでいるとのことである．中国全土40のメディアの記者が選ぶ「08年の良書」外国部門のトップに輝き，経営環境が悪化する中，いかに困難を克服するかを考えるうえで，家康の生き方や戦略に共鳴する企業家が多いと報道されている．この『徳川家康』については私自身も学生時代と40代になってからと二度読んだことがあり，とてもボリュームのある大作であるにもかかわらず，いずれも夢中になって読み終えた記憶がある．ただ，興味深い点は学生時代から約20年を経て(土木技術者としてようやく一人前になったころか？)再読したこの歴史小説の面白さが，生き生きとした時代と個性的な登場人物の魅力は同じであるものの，家康自身のハラハラするような出世物語の印象から局面の変化に対する入念で粘り強い家康の取り組みや山岡荘八氏の歴史観が感じられたことなど，かなり変化していたことである．

先日，約30年前の青函トンネル先進導坑の計測データをみる機会があった．このデータは奉職後さほど時間が経過していなかった私も担当技術者の一員として参加した思い出深いものであった．当時は計測そのものがまだ珍しかったことから，先進導坑の掘削・注入などの本体工事と同様に，直轄でひずみゲージを貼り付けロードセルを取り付けた計測支保工によりていねいに注意深く計測したものであった．先進導坑(断面積約18m^2)は全断面発破で掘削され，発破後ただちに建て込んだ鋼製支保工は矢板と木製のクサビにより地山との間で強固に締め付けられていた．計測支保工でもこの締め付け終了をもって建て込みが終了したものとして計測支保工に取り付けたひずみゲージなどをゼロアジャストした．計測データのうち鋼製支保工に発生する軸力は最初，引張力を記録したのち圧縮側に移行し，その圧縮力は時間の経過とともに増加し収束している．この引張力は，次の発破時の地山振動で支保工に作用していた締め付け力が解放されたことによる見かけの引張力と当時，考察していた．

この計測は，当時としては一般的であった土圧を鋼製支保工により支保するという考え方から支保工に発生する軸力と曲げモーメントを計測し，その結果により外力としての土圧を知ることを目的として計画したものであるが，現在では良く知られているように，この計測結果により土圧を推定することはかなり無理があるものと考えられる．ま

た，トンネル掘削による変位と切羽位置の関係などを明らかにしていくのは，こののち，しばらくの期間を要したと記憶している．

ただ，この計測データで明らかなことは，現在のトンネル技術における支保工の役割のうち「地山に内圧を付与する」という明確な整理はなされていなかったとはいえ，これらの鋼製支保工は矢板と木製のクサビにより地山を入念に支保していることである．また，昭和40年代にはすでに実用化していた吹付けコンクリートによる先進導坑の支保の考え方は，地山の悪い場合を除き，厚さ約５cmの吹付けコンクリートによりトンネルの安定を図り，その後，切羽後方において設計厚(12.5cm程度)まで吹付けコンクリートを段階的に施工するというものであった．このようなトンネル支保の考え方は，矢板の上から吹付けコンクリートを施工していたことを除き，合理的であると思われる．当時は精神訓話みたいであまり良く理解できなかった【トンネル十訓】(『現場技術者のためのトンネル工事ポケットブック』山海堂，1996.2)のなかの「山のゆるみは気のゆるみ」を懐かしく思い出す．全くの蛇足であるが，現在の山岳工法では変位を許容しているのであり山をゆるませていることではない．

同じころ，コンクリートの権威であったある先生が青函トンネルを視察され，最後尾でお供させていただいた私に「鋼製支保工は何のために使っているのか？」と質問されたことがあった．全く予想外でありほとんどご説明できなかったが，現在の『トンネル工事標準示方書』における鋼製支保工の効果に関する「……鋼製支保工は吹付けコンクリートやロックボルト等の他の支保部材と併用することが一般的であり……総合的に評価して設計しなければならない．……」を読むたびにこのときの質問を思い出し，今は知るすべもない先生のその質問の背景にあるものが何であったかを想像している．

計画，設計の各段階で，また，さまざまな構造物を施工する際に新理論，新技術をたくさん勉強，適用させていただいている．この結果，少しは良質な構造物が建設できたものと考えているが更なる技術開発のためには，なぜ技術開発に取り組んだのか？　新旧の技術のうち，とくに旧技術の優れた点がどこにあるのか？　を分析することが重要であるものと思われる．トンネル技術においてはNATMという革命とも言える技術変化があったことから，現在のトンネル掘削技術の考え方により過去のデータと技術資料をていねいに振り返ることにより，それらの理解がより一層進むものと考えている．ただし，このときの前提は私たち技術者が進化し，現在のトンネル掘削技術を十分に理解していることである．このような手順はトンネル技術に限ったものではなく土木技術全般にわたっても同様であり，過去を知ることにより現在の技術を検証し，その結果，現在の技術の課題を知ることができるようになるものと考えている．

三度目の『徳川家康』についてはなかなか時間がとれないこと，いくらなんでも同じ本を……，というようなことによりまだ読んでいない．正直に言うと，「二回目と全く同じ印象しかなかったら……」ということを少しだけ心配していることも事実である．

施工

Ⅰ期線への影響を考慮したⅡ期線トンネルの設計施工

—上信越自動車道　永江第一トンネル—

東日本高速道路(株)新潟支社信越工事事務所信濃工事区工事長　阿久津　孝　夫
西松建設(株)関東支店永江トンネル出張所副所長　中　嶋　英　裕
西松建設(株)土木設計部設計課課長代理　大　谷　達　彦
西松建設(株)土木設計部設計課主任　吉　永　浩　二

１　はじめに

上信越自動車道は，関越自動車道藤岡JCTと北陸自動車道上越JCTを接続する延長約203kmの高速自動車国道である．平成11年10月に，暫定２車線道路として全線が開通し，上信越地方沿線地域の経済・産業・文化などの発展に貢献している．

永江トンネル工事は，上信越自動車道の豊田飯山IC～信濃町IC間に位置し，永江第一トンネル，永江第二トンネルの二つのトンネルが含まれる(表-1，図-1)．当該工事は，本自動車道の４車線化拡幅工事で，供用中の暫定２車線道路(以降，「Ⅰ期線」と呼ぶ)に併設して，Ⅱ期線トンネルを新設する．

Ⅱ期線トンネル施工によって，Ⅰ期線へ影響を与えた場合，通行車両の安全走行を阻害したり，トンネル内の通行が不能となるなど，現状交通の維持に問題を生ずる可能性がある．よって，当該トンネル工事では，Ⅱ期線トンネル自体の安定性

表-1　工事概要

工事名	上信越自動車道永江トンネル工事
発注者	東日本高速道路(株)新潟支社信越工事事務所
施工者	西松・真柄上信越自動車道永江トンネル工事共同企業体
施工場所	長野県中野市大字永江
工期	平成18年３月14日～平成20年11月27日
トンネル延長	第一トンネル：L＝603m 第二トンネル：L＝244m
掘削断面積	DⅢa，DⅢa(A)：81.1m²，DⅢa(D)：80.6m² DⅠ-b(F)：77.3m²
掘削工法	ミニベンチカット工法
掘削方式	機械掘削方式
運搬方式	タイヤ方式

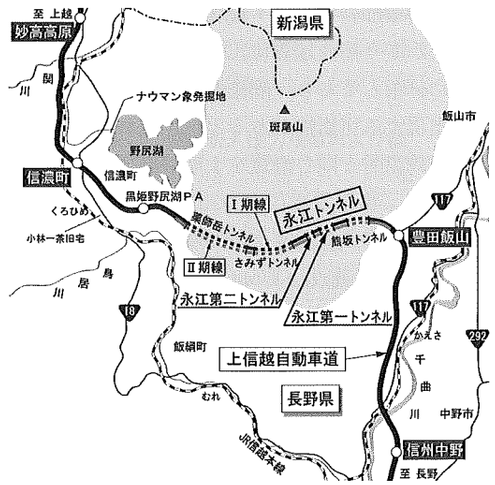


図-1　永江トンネル位置図

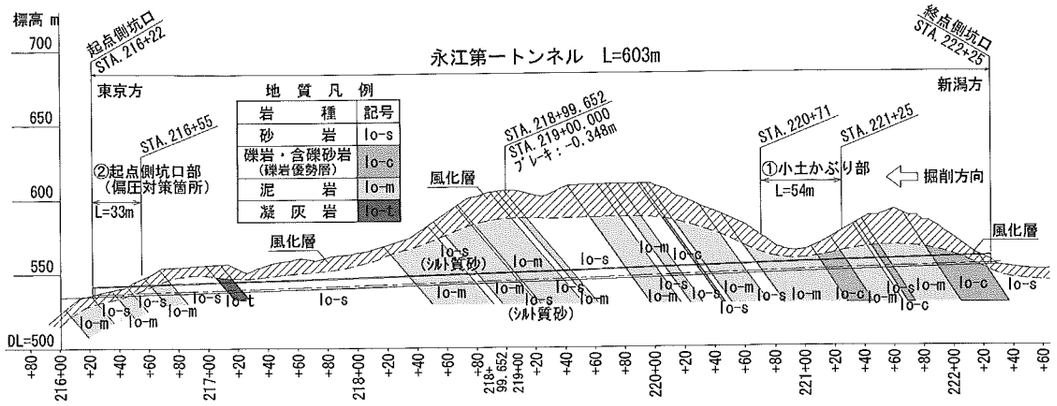


図-2　永江第一トンネル縦断図

のみでなく，Ⅰ期線への影響も考慮した設計および施工を行う必要があった．

本稿では，永江トンネル工事のうち，とくにⅠ期線への影響が懸念された永江第一トンネルの小土かぶり部(**図-2**の①箇所)，および起点側坑口部(図-2の②箇所)の設計および施工の概要について報告する．

2　地形・地質概要

永江トンネル付近の地形は，斑尾山，飯綱山，黒姫山などの標高1,000～2,000m級の第四紀火山に囲まれ，丘陵性の低い山地となっている．

地質は，新第三紀鮮新世に形成された飯山累層の大川層が主体で，トンネル断面通過部は，砂岩・礫岩・含礫砂岩・泥岩・凝灰岩で構成されている．

小土かぶり部の地質は，泥岩，砂岩，礫岩が互層状に分布しており，固結度が小さい低強度の泥岩が出現する可能性があると想定されていた．また，当該箇所と同じ地質をⅠ期線施工時に通過した際には，集中湧水(20 ℓ/min)が発生し，水による地山の劣化や泥濘化が見られ，大きなトンネル坑内変位(天端沈下135㎜，内空変位108㎜)が生じたと報告されている[1]．そのうえ，Ⅱ期線トンネルの土かぶりが7 mと小さく，グラウンドアーチが形成されにくい条件であった．

起点側坑口部は，トンネル横断面方向に斜面が傾斜し，トンネルに偏圧が作用する地形を呈する．地質は，砂岩，泥岩，凝灰岩が，トンネル掘削方向に対して流れ目で傾斜し，これらが互層状に分布していると想定されていた．また，地表から4 mまでは，それらが風化した脆弱な地層が分布し，それ以深は，*N*値が50以上の岩盤が分布していると想定されていた．

3　小土かぶり部の設計および施工

3-1　小土かぶり部の懸念事項

小土かぶり部は，Ⅰ期線トンネルの非常駐車帯に位置し，Ⅱ期線側に拡幅されているため，トンネルの中心間隔が，標準断面部の区間に比べて小さくなる(**図-3**)．よって，一般に，相互に影響を生じないとされるトンネル掘削幅*D*(*D*：Ⅰ期線トンネルとⅡ期線トンネルの掘削幅の平均値)の3倍[2]のトンネル中心間隔が確保できない．さらに，前述したように，Ⅰ期線トンネル施工時に大きな

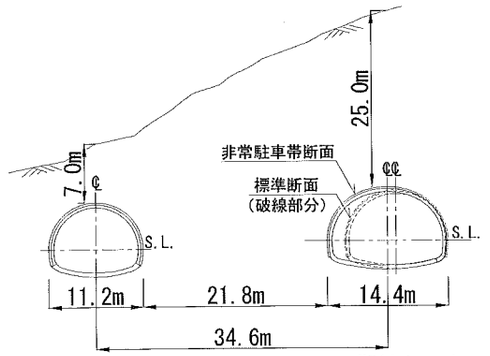


図-3　小土かぶり部　断面図

変位が生じたことや，土かぶりが小さいことを踏まえると，Ⅱ期線トンネル施工により，Ⅰ期線トンネルに影響を与えることが懸念された．

そこで，Ⅰ期線トンネルへの影響を考慮して，Ⅱ期線トンネルの補助工法を検討した．その結果をもとに，計測監視体制を計画し，Ⅰ期線トンネルへの影響を監視しながらⅡ期線トンネルの施工を行った．

3-2　設計概要

3-2-1　設計フロー

当該箇所の補助工法を設計するにあたっては，Ⅱ期線トンネルの安定性に加えて，Ⅰ期線トンネルへの影響を考慮することが必要であった．また，合理的な設計を行うために，Ⅰ期線トンネル施工時の情報を有効に活用することが必要であった[3]．

これらの状況を考慮し，設計は**図-4**に示す小土かぶり部の設計フローの手順で実施した．つまり，Ⅰ期線トンネル施工時の計測データを用いた逆解

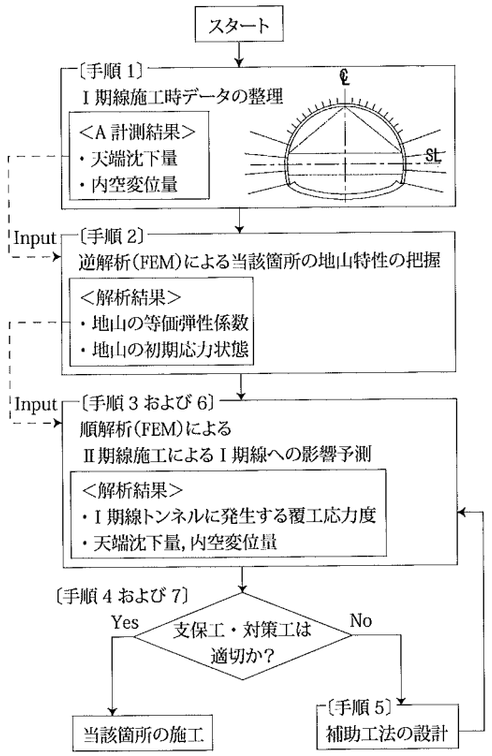


図-4　小土かぶり部　設計フロー

析を実施して，当該箇所の地山特性を評価した．次に，この地山特性を入力値とした順解析を実施し，Ⅱ期線トンネル施工によるⅠ期線トンネルの影響を予測した．その結果を踏まえ，対策工の必要性を判断し，必要な補助工法を設計した．

3-2-2　小土かぶり部の設計

今回実施した小土かぶり部の設計概要を以下に示す．なお，手順番号は，図-4の設計フローに示す番号と一致する．

〔手順1〕　Ⅰ期線施工時データの整理

当該箇所と同じ地質(泥岩：lo-m)におけるⅠ期線施工時のA計測結果(天端沈下量，内空変位量)を整理した．

この計測データを用いて，逆解析を実施する．

〔手順2〕　逆解析による地山特性の把握

今回の検討で用いた逆解析(DBAP)[4]では，Ⅰ期線トンネル施工時に得られた変位量を入力値とし，最適化手法によって地山の等価弾性係数，初期応力状態を推定した．

逆解析では，切羽到達前の先行変位を含む全変位を入力値とするため，これを算出する必要があった．一般的に，先行変位は，全変位の40%程度とされている[5]．今回は，計測開始までのロスタイムを考慮し，先行変位を50%として全変位(逆解析の入力値)を設定した(**表-2**)．

逆解析の結果，地山の等価弾性係数は，*E*＝39,000kN/m²と算出された．この値は，*N*値が15程度の土砂地山の変形係数と同等の値であり，トンネル掘削により変形が生じやすい地山である

表-2　逆解析入出力項目および値

	項目		値
入力	上半掘削時坑内変位量(㎜)	天端沈下	269.6
		水平測線	216.6
		左斜め測線	62.6
		右斜め測線	69.0
	土かぶり(m)		38.0
	地山の単位体積重量(kN/m³)		21
	ポアソン比		0.35
出力	地山の等価弾性係数(kN/m²)		39,000
	地山の側圧係数		1.3

と推測した．前述したように，当該地層では，Ⅰ期線の切羽から集中湧水が発生し，水による地山の劣化，泥濘化がみられた．このことからも，当該地山は，変形が生じやすい地山条件であると考えた．また，地山の側圧係数は，$K=1.3$と算出され，トンネル掘削時に水平方向の変位が生じやすいと予測した．

〔手順3〕　順解析によるⅠ期線への影響予測

逆解析で得られた地山の等価弾性係数と初期応力状態を用いて，Ⅱ期線トンネル掘削によるⅠ期線トンネルへの影響予測解析(順解析)を実施した．このとき，逆解析断面と順解析断面の土かぶりの相違を考慮し，検討位置での土かぶり相当に換算した初期応力度の値を入力値とした．

順解析の結果，**図-5**のように，Ⅰ期線トンネルは，Ⅱ期線側に移動し，かつ，トンネル断面が水平方向に伸びる変形モードとなった．その結果，インバート隅角部に，許容値(1.08N/㎟)を超えた引張増加応力度(1.18N/㎟)が発生する解析結果となった(図-5)．

〔手順4〕　対策工の必要性の判断

順解析の結果を踏まえ，Ⅱ期線トンネル施工時に，Ⅰ期線トンネルの変形を抑制する補助工法が必要であると判断した．

〔手順5〕　補助工法の設計

トンネルの変形を抑制するための補助工法としては，AGF工法，パイプルーフ工法などの先受け工法や，薬液注入工法などが一般に用いられる[6]．補助工法の選定にあたっては，薬液注入工法は高価であるため，経済性を考慮し，先受け工法を選定した．また，先受け工法のうち，当該現場で使用していたドリルジャンボ(油圧削岩機)で施工可能であるAGF工法を選定した．当該箇所は，小土かぶり部であり，グラウンドアーチが形成されにくいため，トンネル上方にゆるみが拡大し，Ⅱ期線トンネルに大きな変位が生じることが懸念された．そこで，AGF工法によりⅡ期線トンネルの天端部のゆるみの拡大を抑え，変形を抑制することによって，Ⅰ期線トンネルへの影響を抑制することを考えた．

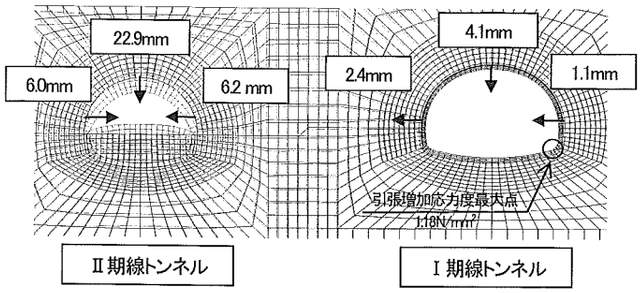


図-5　Ⅰ期線トンネルの変形図(対策工なし)
(図中の数値はⅡ期線上半掘削による増分量を示す)

〔手順6〕　補助工法を考慮した順解析の実施

AGF工法を適用したときのⅠ期線トンネルへの影響予測解析を実施した．AGF工法の効果を数値解析で表現する場合，トンネル上方の地表面沈下抑制効果については，AGF工法の設置領域(帯状)を鋼管と地山の合成弾性係数に向上させるモデル化が多く用いられる[7]．しかし，トンネル側方の併設トンネルへの変形抑制効果をFEMで評価する場合のモデル化の方法は確立されていない．そこで，櫻井の提案する効果率の考え方[8]を取り入れ，地山全体のみかけの弾性係数を向上させた．その際，AGF設置領域も含めた地山全体のみかけの弾性係数を均一に向上させ，効果率の値を乗じた弾性係数とした．

効果率とは，補助工法の変形抑制効果を評価する一つの指標であり，内空変位から求めたみかけ弾性係数(E')の，事前調査における変形係数(E_s)に対する比(E'/E_s)として定義されている．すなわち，補助工法の変形抑制効果により，地山全体のみかけの弾性係数が向上すると考える．

図-6に示すように，これまでに多くのトンネルの施工実績から，各種補助工法の効果率が整理されている．櫻井によればパイプルーフ工法は2～4(中央値＝3，図-6中の●印)，注入式フォアポーリングは1～3(中央値＝2，図-6中の◇印)と評価されている．AGF工法の効果率については，図-6には示されていないため，これら二つの工法の中間に位置すると考えて2.5とした．この効果率の考え方を，影響予測解析のAGF工法施工後の解析ステップ(**表-3**中のステップ8以降)に対して適用した．つまり，前述のように，地表面沈下抑制効果を表現する場合には，AGF工法施工範囲のみ弾性係数を向上させるのが一般的であるが，今回の検討では，効果率の考え方を参考にして，地山全体の弾性係数を2.5倍(39,000×2.5＝97,500kN/m²)とした．

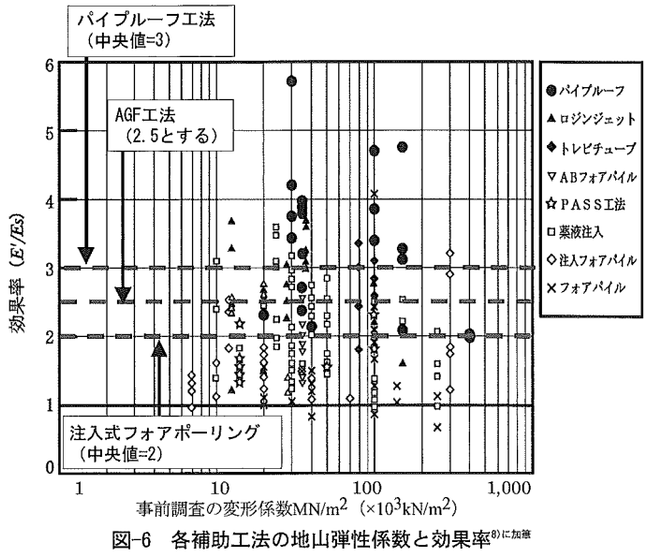


図-6　各補助工法の地山弾性係数と効果率[8]に加筆

表-3　AGF工法を考慮した順解析ステップ

Step	施工内容	地山弾性係数 (kN/m²)	応力解放率 (%)
1	初期応力解析	39,000	—
2	Ⅰ期線　上半掘削		40
3	Ⅰ期線　上半支保		60
4	Ⅰ期線　下半掘削		40
5	Ⅰ期線　下半支保		60
6	Ⅰ期線　インバート掘削		100
7	Ⅰ期線　インバート施工 覆工施工 Ⅱ期線　AGF 工法施工		—
8	Ⅱ期線　上半掘削	97,500※	20
9	Ⅱ期線　上半支保		80
10	Ⅱ期線　下半掘削		40
11	Ⅱ期線　下半支保		60
12	Ⅱ期線　インバート掘削		100

※AGF工法の変形抑制効果を考慮し，地山全体の弾性係数を2.5倍する．

また，効果率の考え方をFEMに取り入れる場合の先行応力解放率の設定方法について示された文献はみあたらない．そこで，今回の解析では，前述したAGF設置領域のみ弾性係数を向上させるモデル化での解析事例[7),9)~11)]を参考として，AGF工法を用いた場合の先行応力解放率を20%とした．

AGF工法を考慮した順解析の結果，Ⅰ期線トンネルに発生する最大引張増加応力度は0.90N/㎟となり，許容値である1.08N/㎟以下に抑制できる結果となった．

〔手順7〕　対策工の適否の判断

AGF工法を考慮した順解析の結果を踏まえ，AGF工法によってⅠ期線トンネルへの影響を抑制できると判断した．

3-3　計測監視体制の計画

当該小土かぶり部では，Ⅰ期線トンネルへの影響を監視しながらⅡ期線トンネルを施工することが重要であった．監視項目は，供用中のⅠ期線トンネル内に適用できる計測方法には制限があったため，供用しながらの計器設置が可能な方法を選択した．また，安全面を考慮し，Ⅰ期線坑内での人力による計測作業を避けるため，レーザー計測器を用いた内空変位(SL高さのトンネル水平方向の伸縮)の自動計測を行うこととした．

管理基準値は，前述のAGF工法を考慮した順解析の結果にもとづき設定し，Ⅰ期線トンネルに発生する引張増加応力度が，許容値に達するときの内空変位量とした．検討の結果，Ⅰ期線トンネルの内空変位の管理基準値は，2.5㎜(伸び)という小さな値となった．そこで，1/10㎜単位まで計測可能で，測定精度が±0.5㎜(測定区間10mの場合)のレーザー距離計を採用することとした．

3-4　施工概要

3-4-1　施工状況

トンネル掘削が小土かぶり区間に近づくにつれて，トンネルの脚部沈下が大きくなる傾向がみられた．そのため，脚部沈下対策として，上半掘削

時にウイングリブ付き鋼アーチ支保工を採用した(図-7).

ところが，小土かぶり区間に入ると，さらに脚部沈下が増加し，収束傾向を示さない状況に陥った．また，Ⅱ期線トンネルの脚部沈下が増加するのに伴い，Ⅰ期線トンネルの内空変位も増加し，収束傾向がみられない状況となった．これは，設計時に懸念していた低強度の泥岩がトンネル脚部に出現したことが原因である．

そこで，Ⅰ期線トンネルに問題となる影響を与えないために早急な対策が必要であると判断し，Ⅱ期線トンネルにインバート吹付けを実施し，支持力確保を図った．このインバート吹付けにより，Ⅱ期線トンネルの脚部沈下は収束し，Ⅱ期線トンネルの天端沈下，内空変位量についても，管理基準値以下の値に抑制できた．しかし，Ⅰ期線トンネルには，管理基準値(2.5㎜の伸び)を超える内空変位量(3.6㎜の伸び)が発生した．そこで，事前に設定した監視体制に従い，Ⅰ期線の詳細点検を実施した．その結果，Ⅰ期線トンネルには，変状や新たなクラックは見当たらなかったため，Ⅱ期線トンネル施工を継続した．

その後，低強度の泥岩が切羽に出現しなくなり，脚部沈下量も減少した．そのため，インバート吹付けよりも軽微な沈下対策である脚部補強ボルト(L=6.0m，水平方向)と支保工連結にランクダウンした．ランクダウンを行うにあたっては，地山条件が再度悪化することを懸念し，計測データが増加傾向を示した場合には，早急にインバート吹付けができる体制を整えた．しかし，ランクダウン後は，Ⅰ期線トンネルの内空変位は管理基準値以下に抑制され，変状や新たなクラックも発生しなかった．

このように，AGF工法を用いて変形を抑制するとともに，計測データにもとづき脚部沈下対策工を追加することにより，Ⅰ期線トンネルへの影響を抑制してⅡ期線トンネルを施工することができた．

3-4-2　計測結果と予測解析結果の比較検討

計測結果と予測解析結果を比較し，今回の設計手法の妥当性を検証する．

表-4に，Ⅱ期線トンネル施工による計測値と解析値を示す．同表には，同一断面における「上半掘削による増分変位量」と「下半掘削による増分変位量」を示した．この結果から，上半掘削時に関しては，Ⅱ期線トンネル，Ⅰ期線トンネルのいずれについても，計測値と解析値がおおむね一致していることがわかる．このことから，効果率の考え方をFEM予測解析に取り込むことによって，上半掘削時のAGF工法の変形抑制効果を十分な精度で予測できたといえる．

それに対して，下半掘削時については，計測値と解析値に差異が生じる結果となった．とくに，実施工においてⅡ期線トンネル全体が沈下する挙動を示した点が，解析値と大きく異なる．このような脚部沈下については，当然，これを防止するための脚部対策工の検討が重要である．しかし，地山条件によっては，本報告のように，対策工を施しても脚部沈下が生じる可能性がある．今回の予測解析で用いたFEMでは，このようなトンネル全体が沈下する変形モードを表現することは難しい．今後，脚部沈下に対する配慮がとくに必要となるときには，有限差分解析(FLAC)のような，トンネル全体の沈下挙動を表現できる数値解析手法[12]の適用も検討する必要があると考える．

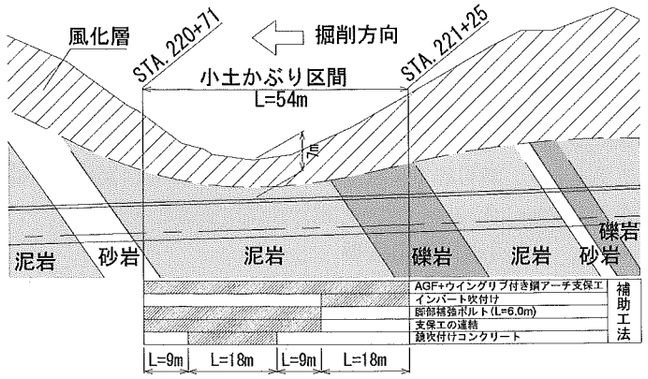
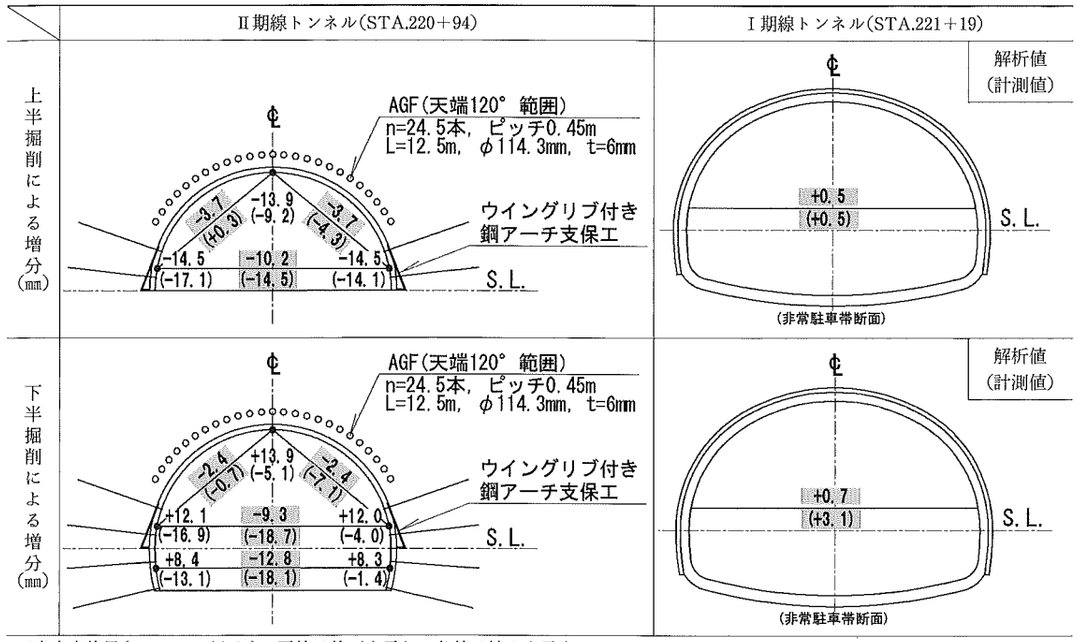


図-7　小土かぶり部縦断図

表-4　解析結果と計測結果の比較(Ⅱ期線トンネル掘削時の増分)



※内空変位量(ハッチングあり)の正値は伸びを示し，負値は縮みを示す．
※沈下量(ハッチングなし)の正値は上昇を示し，負値は沈下を示す．
※表中の値は，計測可能変位量を示す．

また，Ⅰ期線トンネルの内空変位についても，Ⅱ期線トンネルの下半掘削時の計測値と解析値に差異がみられ，計測値は，解析値の4.4(＝3.1/0.7)倍程度の大きな値となった．これも，FEMでは，Ⅱ期線トンネル全体の沈下挙動の表現が難しいことに起因すると考える．

3-5　小土かぶり部のまとめ

小土かぶり部では，Ⅰ期線トンネルへの変形抑制のための補助工法としてAGF工法を採用し，Ⅰ期線トンネルに変状や新たなクラックを発生させることなく，Ⅱ期線トンネルの施工を実施することができた．

今回の補助工法の設計にあたっては，FEMによる影響予測解析を実施した．このとき，AGF工法の変形抑制効果を数値解析で表現するために，効果率の考え方を採用し，地山全体の弾性係数を向上させて解析を実施した．その結果，上半掘削時の挙動については，計測値とおおむね一致する結果となり，効果率の考え方をFEMに取り込むことにより，Ⅱ期線トンネル施工によるⅠ期線トンネルへの影響を予測することができた．

しかし，下半掘削時については，予測解析結果よりも大きな影響がⅠ期線トンネルに生じる結果となった．これは，下半掘削時に，FEMでは表現が難しいトンネル全体の沈下挙動を示したことが，要因の一つであると考える．今後，脚部沈下に対する配慮がとくに必要となるときには，有限差分解析(FLAC)のように，トンネル全体の沈下挙動を表現できる数値解析手法[12]の適用も検討する必要がある．

4　起点側坑口部の設計および施工

4-1　起点側坑口部の問題点

起点側(到達側)坑口部は，偏圧対策として，抱き擁壁および押さえ盛土が必要となる．しかし，起点側坑口は，急峻な地形であり，坑外にアプローチ道路を設けることができないため，トンネル到達前に施工することができない状況であった．そのため，トンネル坑内から本坑断面より小さい作業導坑(掘削断面積約20m²)で貫通し，それをア

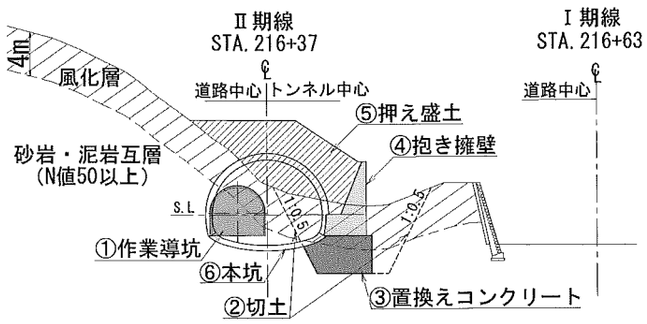


図-8　偏圧対策工断面図(図中の番号は施工順序を示す)

プローチ道路として利用し，本坑掘削前に偏圧対策を行う計画とした．

起点側坑口部の偏圧対策工は，図-8に示すとおりである．作業導坑貫通後，置換えコンクリート，抱き擁壁および押さえ盛土を施工し，本坑掘削時の偏圧対策を行った．

このとき，置換えコンクリートを施工するために，切土が必要となることが問題となった．この切土位置は，アプローチ道路として利用する作業導坑側方に近接する．そのため，切土を行うことによって，作業導坑に偏圧が作用し，安定性が損なわれることが懸念された．つまり，作業導坑の安定性が損なわれた場合，坑口周辺の斜面の崩壊をまねき，Ⅰ期線へ大きな影響を与える可能性があった．

そこで，起点側坑口部全体の安定性を確保し，Ⅰ期線への影響を抑制するためには，作業導坑に十分な剛性を持たせ，切土施工時に作用する，大きな偏圧に抵抗できるトンネル構造とすることが重要であると考えた．

4-2　設計概要

4-2-1　作業導坑位置の変更

当初，本坑上半盤で作業導坑を掘削する計画としていた．しかし，この作業導坑位置では，作業導坑が貫通した後，偏圧対策のための盤下げ掘削深度が大きく，掘削量が多くなる．この盤下げ掘削は施工性が悪いため，その掘削量を減らすことにより，作業効率を向上させることとした．そこで，本坑上半盤に位置していた作業導坑を，本坑下半盤へ変更した(図-9)．

このように，作業導坑の断面位置を1.9m下げることにより，盤下げ掘削量が減少することに加え，作業導坑のトンネル脚部が，N値50以上の砂岩，泥岩互層に位置することになるとともに，作業導坑掘削時の土かぶりも増加し，作業導坑の安定性向上も図ることができると判断した．

また，作業導坑位置の変更とともに，作業導坑のトンネル高さを当初計画より600㎜高くし，4,600㎜とした．これは，本坑掘削時に使用した大型トンネル機械(ドリルジャンボや吹付け機など)を使用可能とするためである．

4-2-2　作業導坑の支保構造の設計

作業導坑の一次支保構造の検討には，切土時の状況を想定した骨組構造解析を実施した．骨組構造解析モデルは，一次支保工の軸心を通る折れ線

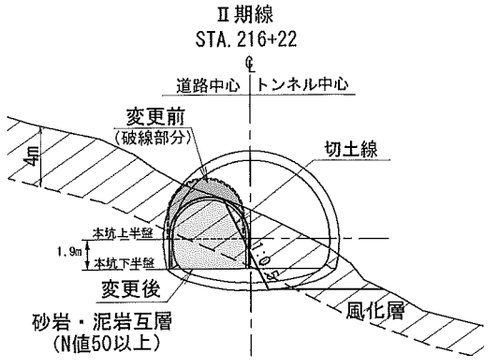


図-9　作業導坑位置変更図

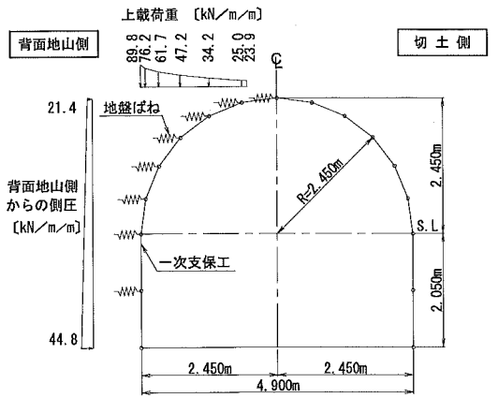
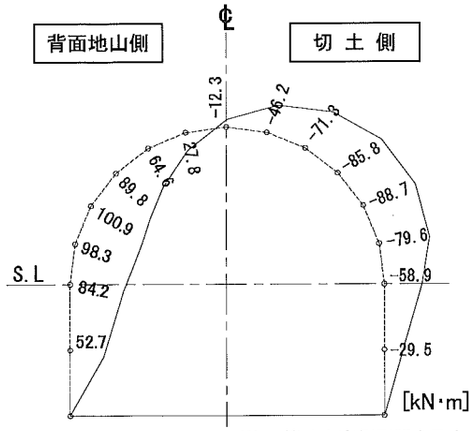
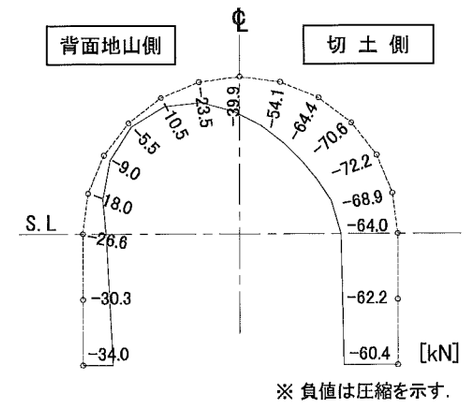


図-10　骨組構造解析モデル図



(a)　曲げモーメント図



(b)　軸力図

図-11　骨組構造解析結果

近似構造とし，変形に対する地山の拘束は，ばね支承として評価した．その際，地表面から4m深さまでを風化層，それ以深を砂岩・泥岩互層として，それぞれのばね値を設定した．このとき，図-10に示すように，切土側(抱き擁壁側)の地盤ばねについては，十分な機能を発揮しないと考え，考慮しないこととした．

また，作業導坑には，背面地山側からの側圧のみを作用させ，偏圧を表現した．上載荷重についても，偏圧を表現するために，地表面の形状を考慮した荷重とした(図-10)．

以上の解析条件で，骨組構造解析を行い，作業導坑に発生する断面力を算出した(図-11)．この

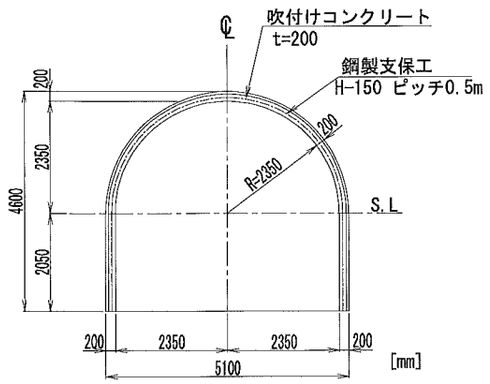


図-12　作業導坑一次支保構造図

断面図を用いて，許容応力度設計法より，作業導坑の一次支保構造を図-12のように設計した．

4-3　施工概要

施工ステップのうち，置換えコンクリート構築のための切土施工が，坑口周辺の安定性にもっとも大きな影響を与えると考えた．そこで，切土掘削時に，作業導坑の挙動を監視しながら施工を行った．このとき，作業導坑の延長が22mと短いため，変状の有無を目視にて直接確認することに重点をおいた．確認頻度は，午前，午後1回ずつ，切土作業を止め，作業導坑の坑内の全体を確認した．また，作業導坑に併設するⅠ期線トンネル坑口前のブロック積み擁壁の変状の有無についても，目視にて直接確認した．また，作業導坑内において，簡易な変位計測をあわせて実施した．

目視および簡易変位計測にて変状が確認された場合，迅速に作業導坑内に増し吹付けコンクリートを施工できる体制とした．

このように，変状が生じ始めた場合には，増し吹付けコンクリートにより作業導坑の剛性を向上させ，十分な剛性を持ったシェル構造とすることで，偏圧に対する抵抗力を確保することとした．

このような監視体制で施工を行った結果，切土施工による作業導坑内の吹付けコンクリートのクラック発生や，鋼アーチ支保工の変状は確認されず，増し吹付けコンクリートによる追加対策を実施することはなかった．このように，作業導坑の安定性を監視して施工した結果，背面斜面の安定

性も確保することができた．また，Ⅰ期線トンネル坑口前のブロック積み擁壁にも，変状は確認されなかった．

4-4 起点側坑口部のまとめ

当該坑口部の設計および施工を行うにあたっては，坑口部全体の安定性を確保するために，作業導坑に十分な剛性を持たせ，偏圧に抵抗できるトンネル構造とすることが重要であると考えた．そして，骨組構造解析を行い，切土施工時の偏圧に対して，十分な抵抗力を持つ支保構造を設計した．また，施工時には，切土施工による影響を監視しながら施工を行った．

今回の施工では，作業導坑には，微小なクラックも生じず，切土の影響を小さく抑えることができた．このように，トンネルの安定性が確保できた要因の一つとして，作業導坑位置を当初設計よりも低くしたことが考えられる．作業導坑位置を低くすることによって，風化層より下方の健全な岩盤が，作業導坑の脚部および側壁に分布することとなり，安定性が向上したと判断できる．

5 おわりに

本稿では，暫定2車線道路の4車線化拡幅工事に含まれるⅡ期線トンネル工事について，設計，施工の概要を報告した．当該工事のように，既設トンネルに併設する場合の既設トンネルへの影響を考慮した設計方法は，確立されていない点が多い．

したがって，設計時で実施した解析結果を過信することなく，実施工時の挙動を監視しながら慎重に施工することが重要であると考える．

最後に，本稿が類似工事の設計，施工に参考になれば幸いである．

参考文献

1) 日本道路公団名古屋建設局中野工事事務所：上信越自動車道日影トンネル工事，工事報告書，1996.
2) 東日本高速道路(株)：設計要領第三集トンネル編，p.5，2006.
3) 中川浩二・青木宏一・進士正人・廣井和也・嵯峨正信・岩井勝彦：Ⅰ期線施工結果を活用したⅡ期線トンネルの合理的な支保設計，土木学会論文集，No.721/VI-57，pp.81-93，2002.
4) 櫻井春輔・武内邦文：トンネル掘削時における変位計測結果の逆解析法，土木学会論文報告集，No.337，pp.137-145，1983.
5) 日本道路公団試験研究所道路研究部トンネル研究室：トンネル数値解析マニュアル，pp.2-32，1998.
6) 土木学会：2006年制定トンネル標準示方書山岳工法・同解説，土木学会，p.187，2006.
7) ジェオフロンテ研究会：注入式長尺先受工法(AGF工法)技術資料(五訂版)―AGF工法の考え方とその適用―，p.50，p.188，2006.
8) 櫻井春輔編著：都市トンネルの実際，合理的な設計・施工法をめざして，鹿島出版会，pp.84-85，1998.
9) 山本秀樹・木谷努・岡嶋正樹・海瀬忍：AGFを用いたトンネルの地表面沈下予測手法について，土木学会第57回年次学術講演会，pp.501-502，2002.
10) 藤村三喜男・山野賢治・原田浩史・須藤敏明：国内初の2層道路トンネル，首都圏中央連絡自動車道青海トンネル，トンネルと地下，Vol.29，No.9，pp.15-25，1998.9.
11) 飯島興二・梅木信夫・高橋聖二・千代谷朝男：幹線道路直下を90mのパイプルーフで克服，東北新幹線市川トンネル，トンネルと地下，Vol.37，No.6，pp.7-16，2006.6.
12) 亀谷英樹・真田昌慶・板垣克利：併設トンネルの掘削影響解析と現場計測結果，第12回岩の力学国内シンポジウム　併催：第29回西日本岩盤工学シンポジウム，pp.569-576，2008.

続　きみの庭にも温泉が出る
その後の温泉開発と建設の考え方
石井康夫・俣野恭寛 共著　新書判 217頁　本体定価 1,200円（〒210円）
株式会社 土木工学社　〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話　(03) 3267-2888（代）　振替 00110-8-190072

施工

付加体の破砕質粘板岩層を早期閉合で施工

―日奈久芦北道路　新佐敷トンネル―

国土交通省九州地方整備局八代河川国道事務所工務課長　竹下卓宏
国土交通省九州地方整備局八代河川国道事務所建設監督官　森山安夫
五洋建設(株)土木部門土木本部土木部長　伊藤典彦
五洋建設(株)九州支店熊野江第二トンネル工事事務所主任　益子篤史

1 はじめに

南九州西回り自動車道は，九州西南部の地域経済の活性化および高速定時性の確保を目的に，八代市を起点に，水俣市，薩摩川内市を経由して，鹿児島市を結ぶ約140kmの高規格道路である．そのうち日奈久ICと芦北IC間の16.8kmを日奈久芦北道路と呼び，平成3年度から事業着手し，平成16年度に日奈久ICから田浦ICまで開通している．

新佐敷トンネル(2,919m)は，日奈久芦北道路の田浦ICと芦北IC間に位置し，両方向からトンネルを掘削した(図-1)．

本トンネルの地質は変化が激しかったので，掘削時には計測や切羽判定の頻度を増やすことで対応した．

本稿は，そのうち田浦側から施工した新佐敷トンネル新設Ⅰ期工事の施工状況について報告するものである．

2 工事概要

工事概要を表-1に示す．

3 地質概要

新佐敷トンネル周辺地域の地質構造は，中部九州を北東から南西方向に斜交する大規模な構造線

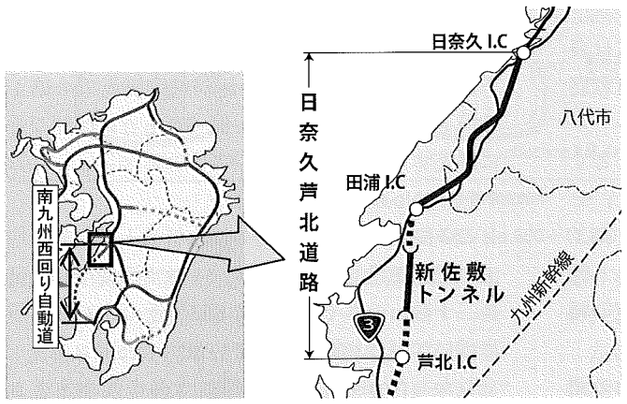


図-1　新佐敷トンネル位置図

表-1　工事概要

工事名	熊本3号新佐敷トンネル新設Ⅰ期工事
発注者	国土交通省九州地方整備局
施工者	五洋・竹中土木特定建設工事共同企業体
工事場所	熊本県葦北郡田浦町小田浦地内
工事延長	1,518m(トンネル部)
掘削断面積	82.4m²(完成断面66.5m²)
工期	平成16年11月3日～平成20年8月31日
施工方法	NATM
掘削方式	発破掘削(ずり出し：タイヤ方式)

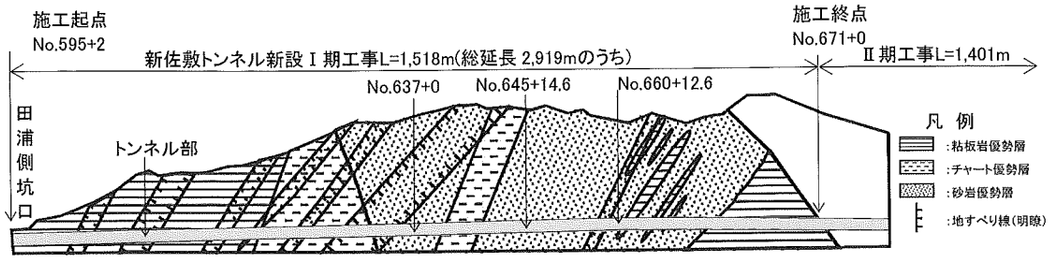


図-2　当初設計の地質縦断図

である臼杵-八代構造線と仏像構造線に囲まれており，秩父帯と呼ばれている．

本トンネルはその秩父帯の南西端に位置し，基盤岩は古生代二畳紀の与奈久層である．与奈久層は付加体地質であり，砂岩，粘板岩，石灰岩，頁岩，チャートなどからなる．特徴は岩相変化が著しく，レンズ状に他の地質に挟在する．そのため，当初設計の段階から地層の連続性や地下水の分布は複雑になっていることが想定され，切羽崩壊や異常出水に留意して施工した．しかし，たびたび出現した破砕され細粒化した粘板岩優勢層は地山変位の増加や湧水を伴った地山の抜け落ちを引き起こす原因となった．当初設計の地質縦断図を図-2に示す．

4　施　　工

掘削開始当初から粘板岩優勢層では突発湧水や天端崩落が発生し，水平水抜きボーリングや地山を注入補強するなどの対策を採用し，掘削していた(写真-1)．

No.637以奥は，当初設計では地山としては良好な砂岩優勢層が想定されていたが，実際は軟弱な粘板岩優勢層が出現した．

No.645＋14.6～No.660＋12.6の298m間は，とくに地質の変化が激しく，大量の湧水があった．そのため，A計測とB計測(地中変位，鋼製支保工応力，吹付けコンクリート応力，ロックボルト軸力測定)の頻度を増加した．同時に切羽判定の頻度も増加した．

複雑な地質に対応するために，この298mの間で計測を25か所，切羽判定を35回行った．

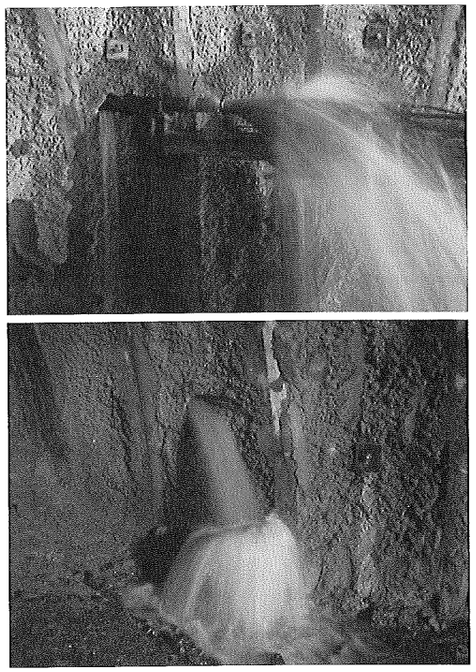


写真-1　水抜きによる湧水対策(No.626＋5.0)

4-1　トンネル掘削

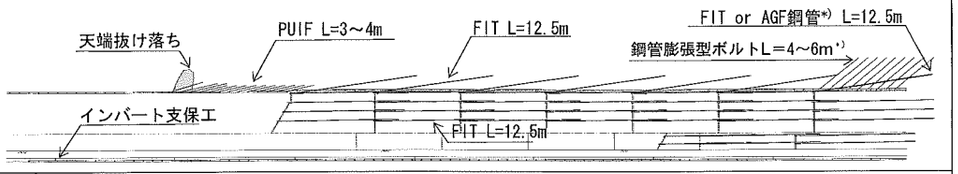
以下にとくに地質の変化が激しかったNo.645＋14.6～No.660＋12.6間の切羽判定箇所での施工状況と対策などについて，図-3をもとに区間ごとに詳述する．

4-1-1　No.646＋9.6掘削時

この測点までも掘削時の湧水低減と切羽前方地山の把握を目的に，ドリルジャンボを使用して延長二十数mのさぐり削孔をS.L.付近の左右２か所に行いながら，掘削をしていた．

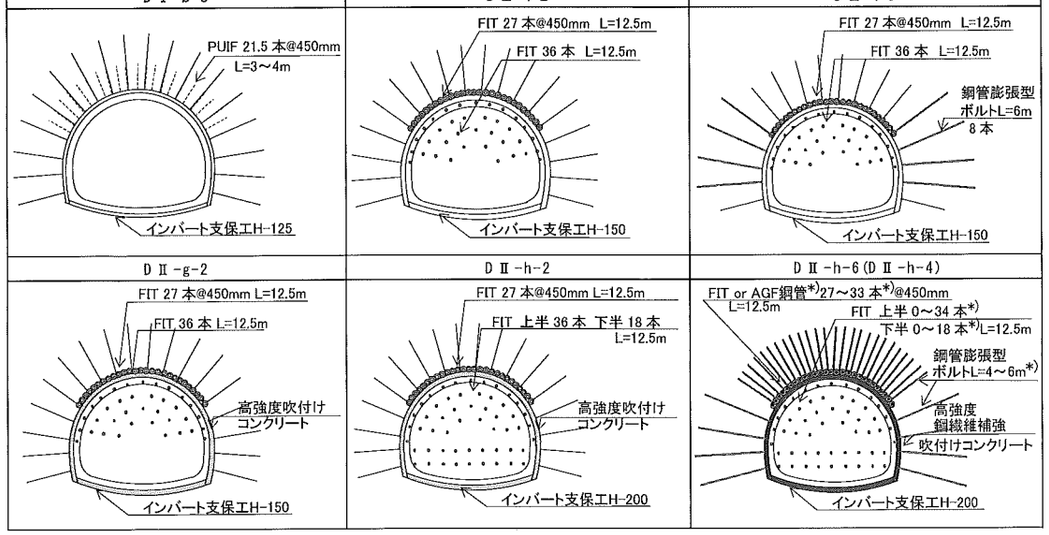
しかしNo.646＋9.6掘削時，大量の湧水とともに細粒化した粘板岩が左肩から天端部にかけて約

縦断図



測点	No.645+14.6	No.646+9.6	No.646+17.6	No.647+1.6	No.647+17.6	No.647+19.6	No.648+8.6	No.648+16.6	No.649+3.6	No.649+1.6	No.649+7.6	No.649+15.6	No.650+4.6	No.650+12.6
切羽判定	●		●	●		●		●		●		●		●
計測	○		○	○		○		○		◎		◎		○

支保パターン	DⅠ-b-s	DⅡ-f-2	DⅡ-f-3	DⅡ-g-2	DⅡ-h-2	DⅡ-h-6 (DⅡ-h-4)*)
変形余裕	なし	10cm				
鋼製支保工	H-125	H-150			H-200	
吹付けコンクリート	標準 t=150mm	標準 t=200mm		高強度 t=200mm	高強度 t=250mm	高強度鋼繊維 t=250mm
ロックボルト	4m	上半6m 鋼管膨張型ボルト		4m	4m	6m (4m)*)
インバート	インバート支保工 H-150				インバート支保工 H-200	
覆工	樹脂繊維補強コンクリート t=300mm					
補助工法 先受け	なし	PUIF	FIT			
			FIT or AGF管(φ114.3mm)*)，鋼管膨張型ボルト			
補助工法 鏡	なし		FIT 上半		上半，下半	
その他	地山変位，支保の状態によって増し吹き，増し打ちなどの補強を実施					



●：切羽判定実施個所　○：A計測実施個所　◎：A・B計測実施個所　*)：地山状況によって一部パターンを変更

図-3　No.645＋14.6～No.660＋12.6の施工パターンなど

3m先から抜け落ちた(写真-2)．抜け落ち箇所はシリカレジンで地山補強した．

素掘り面の安定なしでは安全な掘削が不可能であるので，これ以降は長さ４mのPUIFを天端120°の範囲に60cm間隔で千鳥に施工し，素掘り面の安定を確保した．

4-1-2　No.646＋17.6掘削時

左肩部からの湧水は50ℓ/min程度出ていたが，PUIFの効果によって天端部の素掘り面は安定していた．しかし，No.646＋13.6での地山変位は，

写真-2　湧水による抜け落ち(No.646＋9.6)

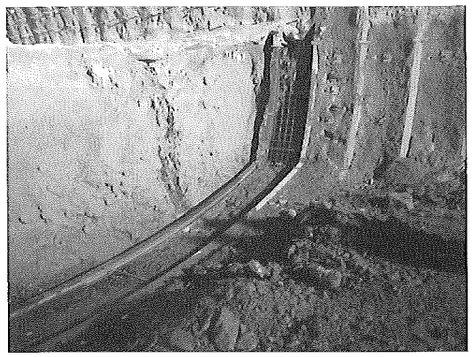


写真-3　インバート支保工(No.645＋19.6)

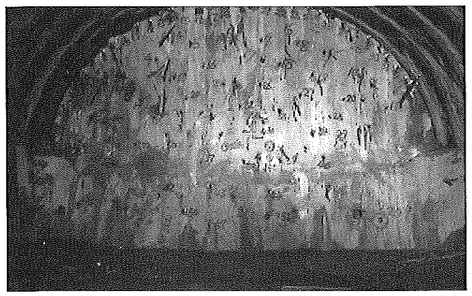


写真-4　FIT施工完了

天端沈下が51.5㎜，脚部沈下が70.4㎜，内空変位は25.7㎜であった．また，No.645＋14.6から切羽までの23mの区間で吹付けコンクリートにひび割れが発生し，ロックボルトのプレートにも変状が発生した．そこで，この23mの区間の上半全周に長さ４mの増しボルトを打設し，下半はシリカレジンで地山改良を行った．そして計測の測定頻度を増やし数m掘削した．

4-1-3　No.647＋1.6掘削時

天端の素掘り面はPUIFの注入改良材の効果によって安定していた．しかし切羽から26mの既掘削区間は，増しボルトなどによる支保部材の補強で変位速度は遅くなったが収束はしなかった．そこで，この切羽から26mの既掘削区間はインバート支保工による閉合を行うこととした(**写真-3**)．

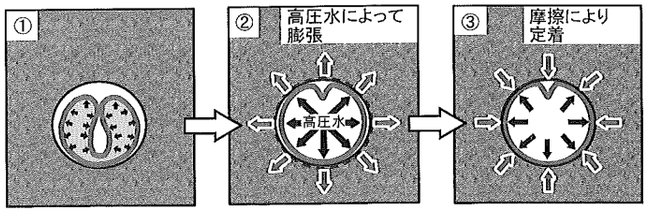


図-4　鋼管膨張型ボルトの定着概念図

インバート支保工の施工に先立ち，地山変位によって覆工巻き厚を侵した範囲は縫い返しを行った．さぐり削孔の結果から，この切羽以奥は同様の地質が継続すると想定されたため，支保パターンを支保部材の剛性も高く変形余裕を10cm見込んだDⅡ-f-2に変更した．さらに掘削後のゆるみ拡大防止を目的に，切羽から３～４ｍの位置でインバート支保工による掘削断面の早期閉合を行うこととした．そのためには素掘り面と鏡面を安定させる必要があるので，FITによる長尺先受け工(長さ12.5m，打設間隔45cm，27本，注入材：シリカレジン)と長尺鏡補強工(長さ12.5m，上半のみ36本，注入材：IBOモルタル)を行った．**写真-4**にFIT施工完了状況を示す．

4-1-4　No.647＋17.6掘削時

切羽直近での早期閉合によって，これまで切羽から10mの測点で100㎜以上あった天端沈下と脚部沈下が30～50㎜に小さくなった．閉合後の変位もほとんど見られなかった．しかし，吹付けコンクリート肩部のひび割れ発生やS.L.付近のロックボルトプレートの変形など支保部材の変状がみられた．

早期閉合後に変位がないことから，これらの変状は支保機能の発揮が遅れていることが原因であると考え，閉合前に支保機能を発揮させることを目的にロックボルトをモルタル定着式から摩擦定着式の鋼管膨張型ボルトに変更した(**図-4**)．長さも４mから６mにした．

表-2　吹付けコンクリートの配合

配合	スランプ(cm)	W/C(%)	S/a(%)	単位量(kg/m³)				
				W	C	S	G	混和剤
標準	10 ±2.5	62	60	223	360	1,063	700	—
高強度	21 ±2.0	45	65	203	450	1,084	578	4.5 C×１%

4-1-5　No.648＋8.6掘削時

地山変位，支保部材の変状とも，これまでと変わらなかった．そこで，さらに支保部材を強化することを目的に，吹付けコンクリートを閉合までの短期的な効果と閉合後の長期的な効果が期待できる高強度吹付けコンクリートに変更した．使用した吹付けコンクリートの配合を**表-2**に示す．

4-1-6　No.648＋16.6掘削時

高強度吹付けコンクリートにひび割れは発生しなかったが，標準の吹付けコンクリート区間は切羽の進行に伴いクラックの増加，進行があった．また，切羽から６m手前の沈下量も増加傾向にあったので，引き続き高強度吹付けコンクリートを採用した．

4-1-7　No.649＋3.6掘削時

大量の湧水とともに下半切羽が抜け落ちた．引き続き早期閉合を行うためには，下半切羽の安定が必要である．そこで下半にもFITによる長尺鏡補強(18本)を追加した．また，湧水による下半の抜け落ちの後，切羽から６m地点での天端沈下が77㎜，脚部沈下が74㎜と大きくなった．これまでひび割れが発生しなかったNo.648＋8.6以降の高強度吹付けコンクリートにもひび割れが発生した．これは支保部材の剛性不足が原因であると考え，鋼製支保工をH-150からH-200にランクアップし，掘削を再開した．

4-1-8　No.649＋7.6掘削時

切羽の状況を**写真-5**に示す．これまでの地質と変化はなく，天端・脚部沈下の増加や吹付けコンクリートのひび割れも引き続き発生していた．

また，さぐり削孔の結果，同様な地質の地山が続くと推測された．そこで，支保部材の応力状況や地山の変位状況を詳細に把握するために，No.649＋9.0の断面でB計測(地中変位，鋼製支保工応力，吹付けコンクリート応力，ロックボルト軸力の測定)を実施することとした．

4-1-9　No.649＋15.6掘削時

(１)　A計測・B計測結果

No.649＋15.6掘削時のNo.649＋9.0でのA・B計測の結果を**図-5～8**に示す．

天端沈下は94.5㎜，脚部沈下は85.7㎜，上半水平変位は62.3㎜と大きかった．また，天端地中変位E1は約20㎜で，天端沈下に比べ非常に小さい．一方，上半水平変位と上半左脚部地中変位E4は

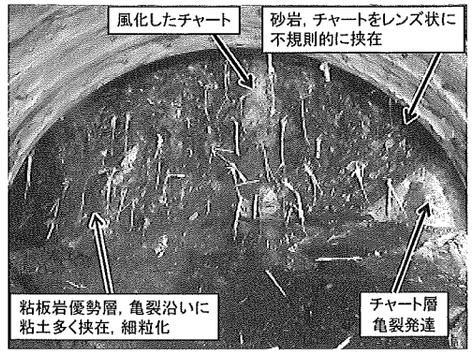


写真-5　切羽状況(No.649＋7.6)

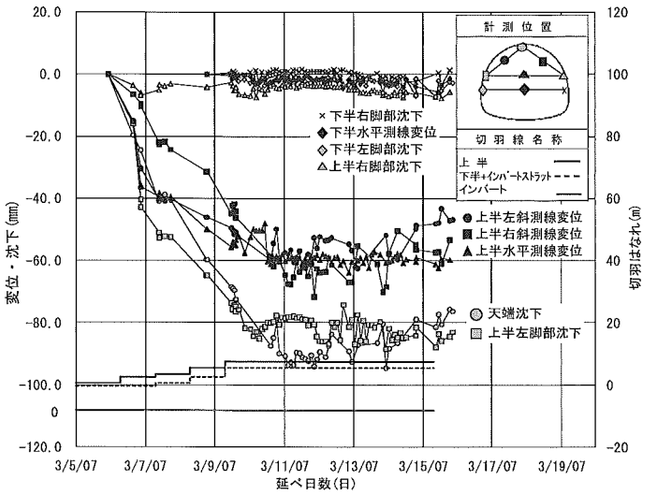


図-5　内空変位経時変化図(No.649＋9.0)

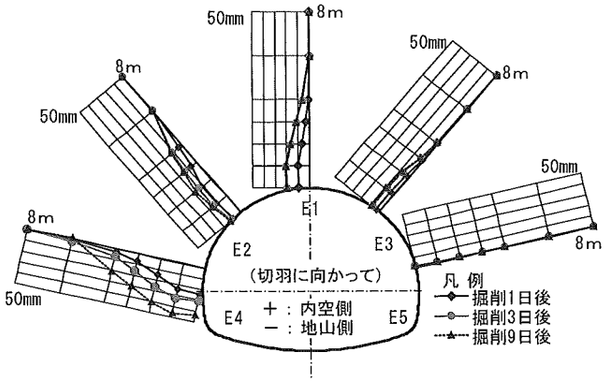


図-6　地中変位図(No.649＋9.0)

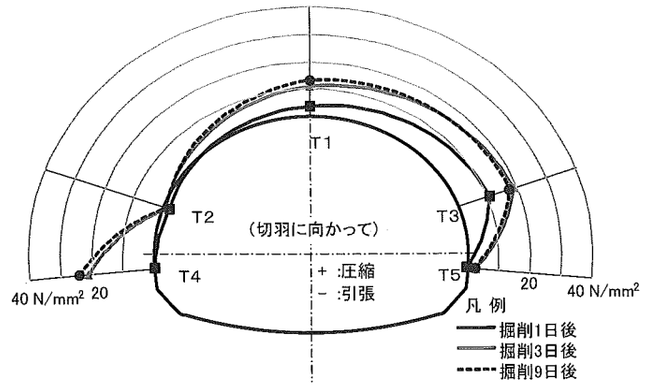


図-7　吹付けコンクリート応力(No.649＋9.0)

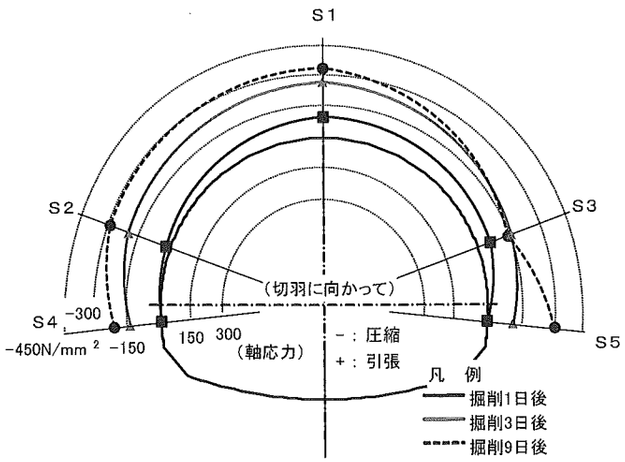


図-8　鋼製支保工軸応力(No.649＋9.0)

同程度であった(図-5, 6).

この計測結果から，地山変位は天端地中変位計より奥から変位している可能性が考えられた．

次に吹付けコンクリートでは，掘削1日後のT3で10.7N/㎟であり，掘削3日後も，18.9N/㎟，T4で21.3N/㎟と大きな応力が発生した(図-7)．

さらに鋼製支保工の軸応力は，掘削9日後の時点でS1，S2，S4，S5がそれぞれ，降伏強度を超過した(図-8)．一方，ロックボルトの発生軸力は30 kN程度であり，本来の機能が発揮されていないことが懸念された．

(2)　対策工の実施

まず高強度吹付けコンクリートにひび割れが発生した切羽から27mの区間は，6mの増しボルトを掘削断面全周に1.2m間隔で打設し，補強した．

次に，このA・B計測の結果から，この時点での施工パターン(支保工＋補助工法)では，ゆるみ領域が大きく支保工も過小であることが考えられた．これ以降安定したトンネルを構築するためには，切羽前方およびトンネル周辺地山のゆるみを抑制する対策工が必要であると考えた．

そこで，切羽前方の掘削断面周辺の地山を掘削前にできるだけ改良することを目的に，対策工を検討した．まず天端部地山をより補強するために，注入式長尺先受け工をFITからφ114.3㎜のAGF鋼管に変更した．次に天端部地山に厚肉の補強領域を形成するために，当現場ではパターンボルトとしても実績があった長さ6mの鋼管膨張型ボルトを天端120°の範囲に45cm間隔で切羽斜め前方60°の方向に打設することとした．**写真-6**は天端部鋼管膨張型ボルトの打設状況である．

また，前区間の高強度吹付けコンクリートは，ひび割れが発生していたので，曲げ抵抗性の向上を目的に，鋼繊維を添加することとした．試験練りの結果，表-2の高強度吹付けコンクリートの配合に，φ0.62㎜，長さ30㎜の鋼繊維をコンクリート体積の0.75%(60kg/m³)混入することとした．ロックボルトはボルト長を4mから6mに長くした．

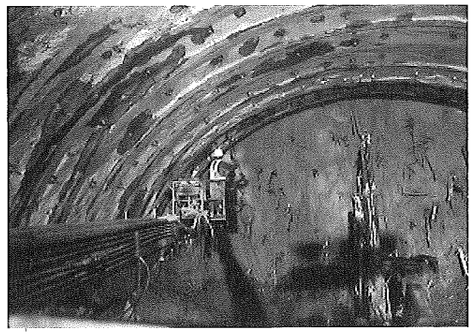


写真-6　鋼管膨張型ボルト打設状況

さらに，この切羽以奥の対策工の妥当性を評価するために，引き続き計測工を追加した．支保部材の健全性を確認するためにNo.649＋16.0で天端沈下を測定し，No.650＋1.0でA計測とB計測(地中変位，吹付けコンクリート応力，鋼製支保工軸応力，ロックボルト軸力測定)を行った．

4-1-10　No.650＋4.6掘削時

No.649＋16.0の天端沈下が12.1㎜，No.650＋1.0の天端沈下が23.3㎜，脚部沈下が5.3㎜，上半水平変位が6.6㎜であった．しかし，これまでの本トンネルの計測実績をもとに初期の変位速度から最終変位を予測したところ，No.650＋1.0の天端沈下が49.3㎜と大きな値が予測された．

一方，吹付けコンクリート応力と鋼製支保工軸応力は十分小さな値であった．

しかし，地質そのものに大きな変化が見られず，今後も同様の地質が続くと想定されたため，同様の施工ターンを継続することとした．計測はA計測を9m間隔で行うこととした．

No.650＋4.6以降はA計測と切羽判定を補助工法の1シフト長である9mごとに行い，施工パターンの良否を検討した．その結果として，No.660＋12.6まで，湧水や細粒化した粘板岩の出現範囲によって天端の鋼管膨張型ボルトの長さや打設範囲，そして先受け工や鏡ボルトの材質，打設本数や範囲を変えながら，掘削を継続した．

表-3　繊維補強コンクリートの配合

配合	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m³)					
			W	C	S	G	混和剤	混入率
繊維補強	45	65	203	450	1,084	578	4.5 C×1%	2.76 0.3vol%

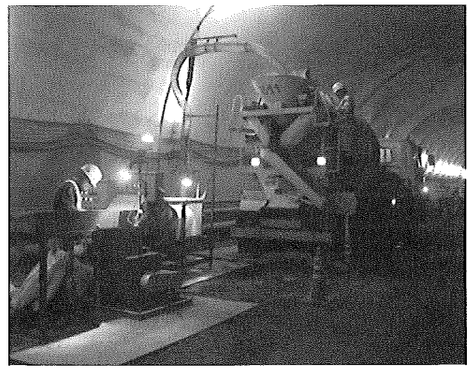


写真-7　繊維混入状況

これらの対応により，複雑に変化する地質に対して，地山変位・支保部材応力とも管理レベル以下に抑えることができ，突破することができた．

4-2　覆　工

トンネル掘削時に地山や支保工に変状が発生したDⅠ-b-sおよびDⅡ区間の地質は，ゆるみやすい細粒化した粘板岩であり，湧水による劣化が著しかった．そのため，将来トンネルに後荷が作用して覆工コンクリートにひび割れが発生し，剥離，剥落することが懸念されたので，覆工コンクリート剥離，剥落の防止を目的に繊維補強コンクリートを使用することとした．使用範囲は，内空変位，天端または脚部沈下の大きかったNo.645＋4.85～No.657＋14.85とした．

試験練りの結果，使用する繊維は長さ50㎜の樹脂繊維，配合は**表-3**に示す内容とした．繊維の混入方法は，生コン工場で製造したベースコンクリートをアジデータ車で現場搬入し，そこへ繊維を投入した．投入後にアジテータを90秒間高速回転し，混合攪拌した(**写真-7**)．

5　おわりに

No.660＋12.6以降は，補助工法は採用せず標準のDⅠパターンで掘削を進めることができた．し

かし，No.665＋9.0以降は再び湧水を伴った細粒化した粘板岩優勢層が出現したため，前述の施工経緯を踏まえ，地山状態に対応した注入式長尺先受け工や長尺鏡補強ボルト，インバート支保工を採用した施工パターンを選定し，掘削を続けた．

その結果，2008年４月７日にNo.671＋0.0の地点で貫通を迎えることができた．現在は南九州道西回り自動車道の早期開通を目指し，舗装工事，トンネル設備工事を施工している．

最後に，本工事を施工するにあたり多大なるご指導とご協力をいただいた関係者の皆様に，誌面を借りて深く感謝申し上げる．

P.A.ドミニコ，F.W.シュワルツ著

地下水の科学 各B5判 全３巻

地下水の科学研究会　　大西　有三　監訳

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

本書は様々な環境問題を地下水理学の立場から本格的に取り扱うため，水の物理学・化学的性質，地球の状況，水資源としての地下水の状況，地下水の水理学的特性とその調査方法など多岐にわたっており，地質学者，水理地質の実務者，地球化学者ならびに流体力学に関心のある地球物理学者，または，地質学を学ぶ学生など広範に満足させる内容となっている．

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

＜第Ⅱ巻　主要目次＞
■地下水の化学■化学反応■物質輸送の数字理論■地下水による物質輸送（水質編）■地下水による物質輸送（地質編）■物質の輸送のモデル■輸送プロセスとパラメータ同定■水質浄化の対策

＜第Ⅲ巻　主要目次＞
■水資源■堆積盆水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

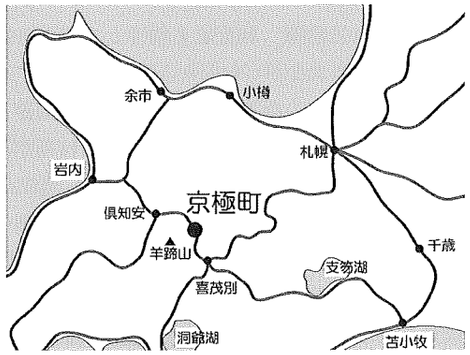
「名水の郷」京極町より

高　山　正　志

現場事務所からも望むことができる羊蹄山は，富士山を思わせる優美な姿から蝦夷富士と呼ばれ，日本百名山の一つに数えられている．標高1,700mから上では美しい高山植物が見られ，その種類は80種を超える．また野生動物の宝庫でもあり，野鳥の種類は130種類以上と言われ，ほ乳類ではエゾモモンガ，エゾユキウサギなどの珍しい動物も生息している．

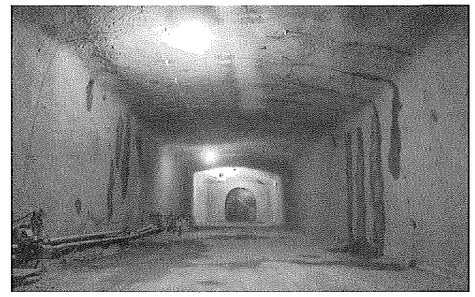
羊蹄山の北東山麓に位置する京極町には，名水百選に選ばれた「ふきだし湧水」があり，名水を求める多くの観光客や登山客が訪れている．ふきだし湧水は，羊蹄山に降った雨や雪が数十年の歳月をかけて地下に浸透し，京極のこの地に湧き出す．水温は冬も夏も6.5℃前後という冷たさで，湧水量は１日約８万tにものぼる．水質の良さ，水量の多さに加え，地域で湧水を大切にして，生活の隅々に役立てている．さらに湧水池を中心に周辺をふきだし公園として町が自然を残した状態で保全管理している．これらにより京極町のふきだし湧水は，北海道・日本を代表する名水となっている．夏にはカキ氷の早食い競争などが行われる「しゃっこいまつり」や「ふるさとまつり」などで町民の親睦や町おこしを行っている．

その名水の郷で建設工事を進めているのが，京極発電所である．上部調整池から京極ダム調整池までの総落差約400mを利用して，３台の水車・発電機により最大60万kWの発電を行う北海道初の純揚水式発電所である．



位　置　図

ふきだし公園から望む羊蹄山


頂設導坑

京極発電所建設工事のうち，当企業体は地下発電所本体および水圧管路，機器搬入トンネルなどの工事を担当している．発電所本体は地下430mに設置され，高さ46m，幅24m，奥行き141mの弾頭形の大空間で，約50階建の高層ビルを横にした規模と同等になる．現在は発電所本体の一部である頂設導坑の掘削を完了し，アーチ部の切り拡げを行っている．

京極町の美しい自然と共存するため，発注者である北海道電力(株)を中心に建設工事全体で，積極的に環境保全活動に取り組んでいる．

名水を使用したミネラルウォーター，清酒，コーヒー，コーヒーゼリーなどのほか，ジャガイモなどの農作物の特産品が豊富な京極町にぜひお立ち寄りください．ふきだし湧水を見たあと，羊蹄山を眺めながら京極温泉に入るのは格別です．

（大成・佐藤・北電興業・三井住友共同企業体作業所長）

■新宇津ノ谷トンネルの計画

1953(昭和28)年,「道路整備費の財源等に関する臨時措置法」(昭和28年法律第73号)が成立し,揮発油税(のち地方道路税とあわせてガソリン税と総称)を道路特定財源としてその整備に充てることが決定した.これにともなって翌年には第一次道路整備五箇年計画が策定され,宇津ノ谷トンネル付近についても,既存のトンネルをそのまま利用して,アプローチ部分の線形や幅員の改良を行う予定であった.

しかし,1954(昭和29)年の災害を教訓として再検討が加えられることとなり,宇津ノ谷トンネル調査委員会が設置された.メンバーは,学識経験者をはじめ建設省,土木研究所,道路管理者(静岡県)などが加わったが,その中には,芝浦工業大学教授で丹那トンネルの工事に従事した磯崎傳作,京都大学教授で関門鉄道トンネルの工事に従事した村山朔郎など,鉄道出身の技術者も参加していた.

委員会では,従来の案を基本とした場合,交通を一時遮断しなければならないことや,在来トンネルの変状が著しく,補強・補修に多大な費用を要するとし,長期的視野に立てば,自動車交通の発達や高速化によって,近い将来にはより平坦で広幅員の道路が必要であると答申した.

■新宇津ノ谷トンネルと新技術

新宇津ノ谷トンネルの地質調査は,名古屋大学理学部地球科学科教授・松澤勲に委嘱されたが,この地域は糸魚川静岡構造線の南縁にあたる複雑な地質で,古第三紀の四万十帯に属する瀬戸川層群の礫岩,砂岩,頁岩,泥岩,チャート,石灰岩などの互層からなり,堅硬ではあるが破砕質であった.このため崩壊地や地すべり地が各所に分布し,在来トンネルの工事の経験から判断して,困難が予想された.

ルート選定では,宇津ノ谷峠の直下を延長840m(完成後の延長は884m)のトンネルで一直線につなぐ案と,東側を迂回して延長620mのトンネルを掘削し,木和田川の谷にそって岡部へ至る案が比較され,曲線,勾配とも緩やかな前者を採用することとした.

新宇津ノ谷トンネルの建設は,戦後の道路トンネルのさきがけとして,さまざまな新技術が試みられることとなった.断面は,内空断面65m²,坑口付近の掘削断面積97m²に達する大断面を採用した(**図-1**).これは車両の大型化や,トンネル内の安全な走行を考慮して決められたもので,前後の取り付け道路と同じ有効幅員9mを採用したことは画期的であった(ほぼ同時期に完成した関門国道トンネルは有効幅員7.5mで,幅員9mは

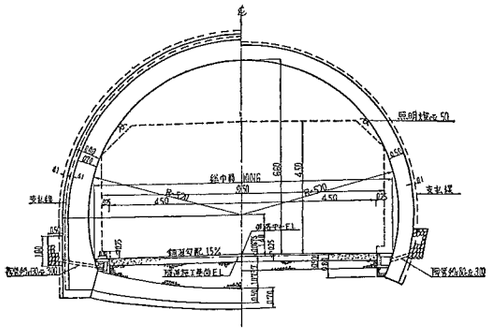


図-1 新宇津ノ谷トンネルの断面

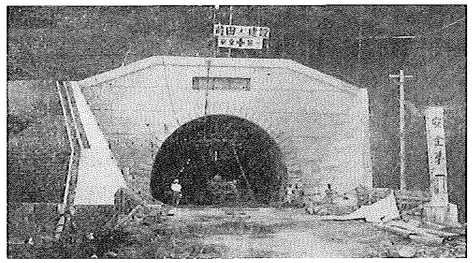


写真-1 工事中の新宇津ノ谷トンネル

当時の道路トンネルとしては最大).

大断面トンネルを掘削するため,逆巻き工法を基本とし,底設導坑を先進させて,丸形,中背を切り拡げてアーチのコンクリートを巻き,下半を掘削するという順序で行われた.また,一部の区間では,側壁導坑を先進させて,順巻きにより覆工を打設した.

支保工は旧来の木製支保工を用いたが,地圧の作用する一部の区間では,支保工がコンクリートの打設作業に支障したため,V形鋼を用いた可縮支保工を導入し,作業空間の確保と地圧に対する補強を兼ねた.可縮支保工は,昭和20年代後半に炭鉱で普及し,1955(昭和30)年頃には国鉄の富内線・日振トンネルなどでも採用されていたが,道路トンネルとしては初めての試みであった.このほか,コンクリートポンプやコンクリートプレーサーを用いたコンクリート施工の機械化や,土圧や覆工歪などの各種計測が行われた.

工事は,建設省藤枝国道工事事務所の監理,前田建設工業の施工により1957(昭和32)年12月に着工し(**写真-1**),1959(昭和34)年11月に開通した.トンネルの完成によって,宇津ノ谷～岡部間の距

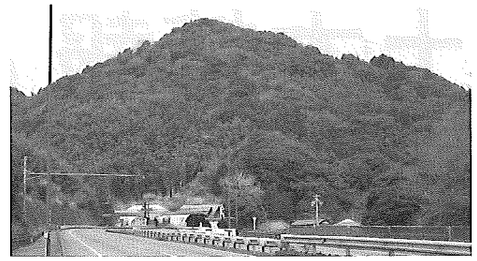


写真-2 現在の新宇津ノ谷トンネル(藤枝方)

離は約1km短縮され,15分かかっていた所要時間は,わずか3分に縮められた.新宇津ノ谷トンネルで獲得した新技術は,やがて工事が開始される高速道路のトンネルにも継承され,わが国の道路トンネルの技術は,長足の進歩を遂げた.

■平成の新宇津ノ谷トンネル

こうして完成した新宇津ノ谷トンネルは,渋滞にともなう坑内の換気を強化するため,深さ160m,直径4mの換気用立坑を中央部に新たに追加することとなり,1963(昭和38)年に着工して,1966(昭和41)年に竣功した.

しかし,交通量はその後も増大し続けたため,トンネルの南側にさらに並行して延長881mの新トンネルを建設することとなり,1990(平成2)年に着工した(本誌1993年4月号(Vol.24, No.4)参照).新トンネルは,NATMにより行われ,補助工法やインバートの早期閉合などを併用し,1995(平成7)年11月に開通した.

二期線トンネルの完成と同時に,1959(昭和34)年に完成した一期線のトンネルは閉鎖され,補修工事や防災設備の更新が実施された.そして,1998(平成10)年より,一期線トンネルを上り線,二期線トンネルを下り線として4車線化された.また,翌年には「道の駅・宇津ノ谷峠」が設置され,周辺も旧東海道の面影を残す散策路として整備されて今日に至っている(**写真-2**).

明治から平成に至る4代にわたって峠を克服してきた宇津ノ谷峠のトンネル群は,わが国の道路トンネルの歴史を物語る生き証人であり,日本坂付近に掘削された鉄道,道路のトンネル群とあわせて,先人たちの苦労の跡を偲ぶことができる.

土木情報 No.432 今月の主な入札結果

（4月10日～5月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
北海道開発局	湧別地区暗渠排水外一連	村井建設	110.3
〃	岐阜地区放水路	早水組	387.3
関東地整	稲久保函渠(その２)	昭和建設	175
〃	さがみ縦貫川尻T	大林組	4,009.2
〃	〃 城山八王子T(その1-2)	鹿島・佐藤JV	6,550
〃	蒲田立体擁壁(その３)	五洋建設	580
〃	〃 (その４)	日本国土開発	654
水資源機構	思川開発付替県道４号T	青木あすなろ建設	929
東日本高速道路	北海道横断自動車道大夕張T西(その２)	大林・淺沼・JFE工建	1,210
〃	〃 〃 東(その２)	鹿島・熊谷・みらいJV	1,070
〃	〃 穂別T西(その２)	鴻池・飛島JV	4,550
中日本高速道路	舞鶴若狭自動車道三方IC	清水・前田JV	8,790
阪神高速道路	三宝第２工区開削T	前田建設工業	2,494.7
西日本高速道路	阪和自動車道長峰T北坑口換気所	五洋建設	598
栃木県	主地宇都宮那須烏山線高瀬T(仮称)本体	戸田・桜岡・松本JV	2,688
都・水道局	足立区綾瀬六丁目地先から同区綾瀬三丁目地先間配水本管(800㎜)布設替及び配水小管新設	石川徳・中島JV	496
〃	渋谷区笹塚二丁目地先から幡ヶ谷二丁目地先間外1か所送水管(1800㎜)既設管内配管	JFEエンジニアリング	718
〃	墨田区向島四丁目地先から同区墨田四丁目間外1箇所配水本管(1200㎜・900㎜・800㎜・600㎜・400㎜)布設替	大盛工業	838
都・下水道局	中央区日本橋本町一，三丁目付近再構築その２	オリエンタル白石	200
山梨県	一般国道411号大常木T(仮称)	昭和・植野・広川JV	1,128
福岡県	北部福岡緊急連絡管φ1000(福岡21-13)	日本国土・羽野JV	371.2
横浜市	南部処理区根岸地区下水道再整備(その22)	横浜建設	133
京都市	山ノ内系吉田連絡幹線排水管布設(その７)	長村組	182.8
神戸市	落合汚水幹線布設	前野組	104.5
〃	南駒栄遮集幹線築造	神崎組	297
〃	垂水処理場本場・東拡張連絡管，沈砂池築造	錢高・窪田JV	1,052
福岡市	多々良(名島４丁目２)地区下水道築造	丸三工業	174.8

施工

函体推進工法で共同溝直下に連絡通路を建設

—都営浅草線　高輪台駅—

東京都交通局工務事務所長　山口外志
東京都交通局工務事務所工事第一係担当係長　山下賢司
熊谷・奈良建設共同企業体現場代理人　井上邦夫
熊谷・奈良建設共同企業体監理技術者　山田真大

1 はじめに

本工事は，都営地下鉄浅草線高輪台駅(東京都港区高輪３丁目)(図-1)において，隣接して整備が進む民間再開発ビルと地下鉄を結ぶコンコースと排煙ダクトの築造により，地下鉄のバリアフリー対策と火災対策を実施しようとするものである．

東京都交通局では，「(仮称)高輪台プロジェクト」との間で，同開発ビル内にエレベーターおよびエスカレーターを備えた出入口ならびに換気設備を合築する旨の協定を締結しており，本工事はそのうち土木施設を整備するものである．

本工事のうち，駅部と再開発建築物を結ぶ地下通路築造工事は非開削工法(R＆C工法)を採用し，

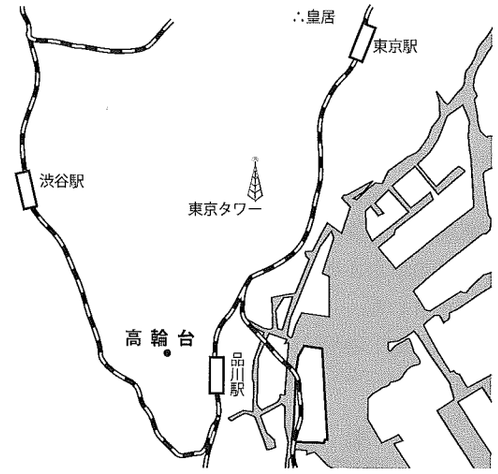


図-1　高輪台駅位置図

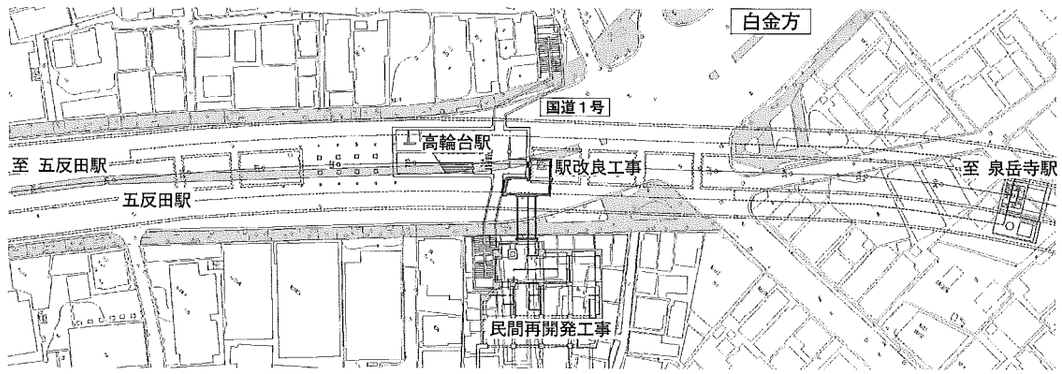


図-2　施工場所位置図

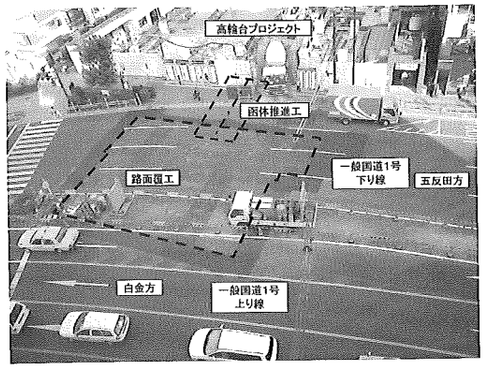


写真-1　現場地上部写真

外形(幅5.12m×高3.31m×長0.75m)の工場製品ボックスカルバートを推進工により15函体11.25m敷設する．再開発工事の地下部分から発進し，主要幹線国道15号(第一京浜)の路下にある地下鉄駅舎を増築するための立坑部分へ到達させる推進掘削を9.7m行う．

掘進工において，国道部での土かぶりは約7.2mで掘進中に高輪共同溝(4.2m×4.2m)の直下を離隔約70cmで横過する．また，到達付近では地下鉄シールドトンネルの上約3.5mを通過する．

本稿では，R&C工法によるボックスカルバート推進工事および近接する共同溝の変状計測について報告する．

図-2に施工場所位置図を，**写真-1**に地上部写真を示す．

2　工　事　概　要

2-1　本工事概要

工 事 名：浅草線高輪台駅防災改良及びエレベーター通路設置土木工事

工事場所：港区高輪三丁目11番先，浅草線高輪台駅構内

工　　期：平成18年10月19日～平成21年7月31日(34か月)

発 注 者：東京都交通局

施 工 者：熊谷・奈良共同建設企業体

2-2　函体推進工　工事数量

薬液注入工(水平方向二重管複相式)：

157kℓ

箱形ルーフ管推進工：

□800×1000，□800×800

12.0m/列　全9列

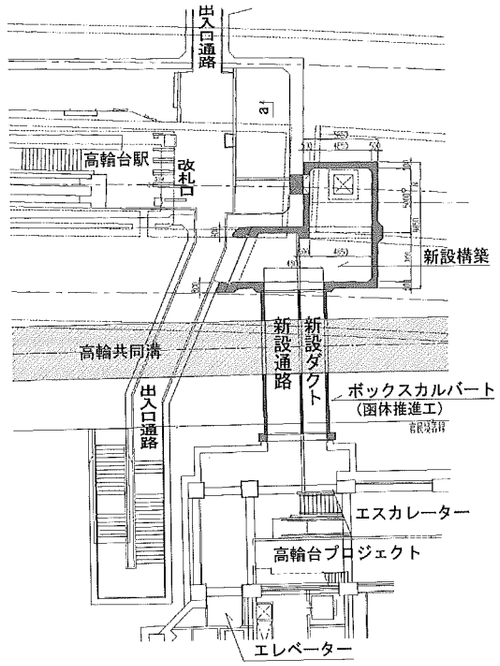


図-3　工事概要平面図

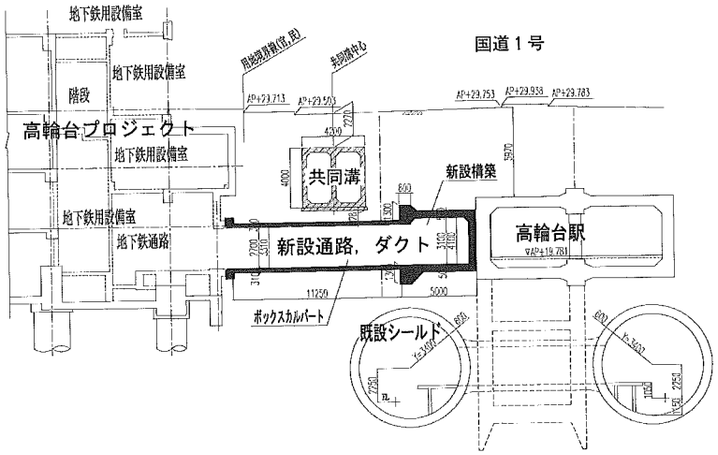


図-4　工事概要断面図

函体製作工：工場製作　15函体(10t/函体)

函体推進工：W 5.12m×H 3.31m×L 9.6m

2-3　工事概要図

工事概要平面図(**図-3**)および工事概要断面図(**図-4**)を示す．

3　工　法　検　討

3-1　施工条件の整理

新設通路およびダクトは，国道1号(第二京浜)路下に設置する高輪台駅コンコース階増築部分と民間開発工事の地下部分を結び，新設通路部直上には高輪共同溝，駅舎増築部直下には地下鉄軌道部トンネルが近接する．

高輪共同溝は，幅4.2m×高4.0mの矩形構造物で国道1号の土かぶり2.3mに位置して，築造は昭和42年，中壁のある構造で，主に東京電力とNTTのケーブルが内蔵されている重要構造物である．

浅草線高輪台駅は，駅務室，改札，機械室，階段，エスカレーターを設ける駅舎部分をケーソン工法により沈設し，単線シールド2本がケーソンの両脇を通過した後にケーソンの仮壁を撤去してホーム階ホール部を山岳トンネル工法により北行線と南行線をつなぐ島式ホームを掘削築造している駅である．ホーム階には，ホール部のほかに北行線，南行線ホームをつなぐ6本の連絡通路がある．開業は昭和43年である．

駅舎増築部分の築造は，国道1号の高輪台交差点付近に路面覆工を行い，立坑を設置(深さ約11m)し，民間開発工事の地下部分から発進する函体推進工到達後に鉄筋コンクリート構築を行う．

また，国道部の立坑底部から矩形深礎で8m掘削して2本のシールド間に換気ダクトを築造し，駅ホーム階の連絡通路と接続し，地下鉄トンネル部の換気ダクトと接続される．

新設通路の設置深さにおいて，共同溝の防護のため施工離隔を大きくすることで深く設定した場合，地下鉄軌道部トンネルに近づくことから，トンネルの浮き上がりなどの影響が懸念される．逆に地下鉄軌道部トンネルとの離隔を重視した場合，共同溝との施工離隔が不足することとなる．また，新設通路の歩行面は，バリアフリーの観点から既設通路と段差なく設置する必要がある．

3-2　工法の選定

開削工法の場合，共同溝受け杭の施工が必要となるが，歩道部には電線共同溝(管路，地上機器)，各企業者管路が隙間なく埋設されており，施工がきわめて困難である．また，共同溝受け桁設置の施工離隔が必要となるが，新設通路の計画高に支障する．このため，非開削工法を採用することとした．

3-3　非開削工法の選定

本工事箇所では，「(仮称)高輪台プロジェクト」側を発進立坑として施工することが可能であることから，次の三つの非開削工法を比較検討した．

(1)　パイプルーフ工法

鋼管(パイプルーフ)をトンネル断面外周に沿って水平に打設することにより共同溝を防護し，ルーフ下部地盤を掘削し躯体を構築する工法であり，アンダーピニング工法として実績も多い．

しかし，パイプルーフの下側に躯体を構築するため，新設通路の床面を下げる必要が生じ，既設通路との高低差が大きくなりすぎることから，不採用とした．

(2)　HEP&JES工法

水平ボーリングにより敷設したケーブル孔を利用し，到達側立坑に設置したけん引装置から発進側の掘削装置をけん引した後，掘削装置に直結された鋼製エレメントを発進立坑から所定の位置にけん引掘進する工法であり，鋼製エレメントは本体利用する．

それぞれの装置により，比較的大規模な立坑スペースが必要であり，本工事では作業スペースが確保できないため，不採用とした．

(3)　R&C工法

発進側立坑から到達側立坑に向かい，先ず防護工として小断面の鋼製箱形ルーフ管を用いて，設置する既製のボックスカルバートの外縁に合致させ，区間全長に先行推進する．箱形ルーフは，フリクションカットプレート(FCプレート)が外縁

に装備される．ルーフ後端に刃口を設置したボックスカルバートを据え付けて元押し推進することで箱形ルーフを到達側に押し出し回収する．所定位置までボックスカルバートを推進貫入し，箱形ルーフと置換設置する工法である．

この工法は，他の工法と比較して設備規模が小さいこと，仮設の箱形ルーフ管と完成構造物の外周面位置を一致させることができるため，防護する構造物との離隔を小さくできることから，本工事で採用することとした．

3-4　発進立坑側への反映

再開発建物の一部を推進工事の発進立坑として使用するため，「(仮称)高輪台プロジェクト」と次の各項について設計段階より協議，調整を行った．

(1)　共同溝下に築造する新設通路の形状寸法，平面位置，設置高さ

再開発建物内より推進工事を行うため新設通路は建物の柱間での施工が絶対条件となる．

この条件より通路の形状寸法を決定し，平面位置については共通の座標系にて確認した．

(2)　再開発建物の形状寸法

建物の基礎梁高さを推進施工場所については所定の高さよりも低くするなど，推進工事の施工空間を考慮した形状寸法への変更を行った．また，推進工事範囲は，柱，梁のみを先行施工とし，床，壁は推進工事後の後施工とするなど建物の工事工程についても変更を行った．

(3)　推進反力

推進反力は建物躯体に作用させるため，反力部材の構造，荷重位置，荷重量などの確認を行い，必要な補強について確認した．

(4)　資機材搬出入方法

資機材搬出入場所の床は後施工として，仮設覆工を計画し，施工荷重による関係する建物梁部の補強などを依頼した．

また，資機材の揚重機械として建物2階床梁上に天井クレーンを設置するため，関係する建物梁部の補強などを依頼した．

民間開発工事(高輪台プロジェクト)の発進側立坑の施工状況図を図-5に示す．

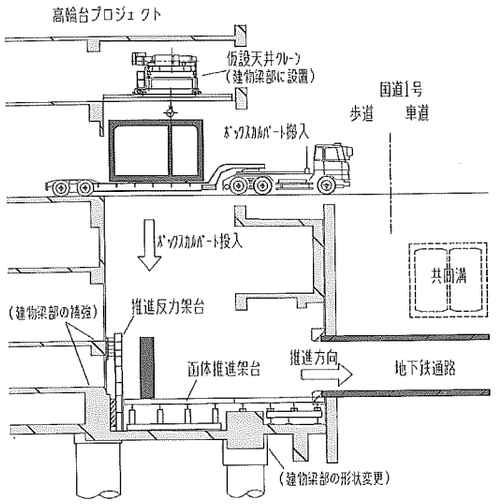


図-5　発進側立坑　施工状況図

4　施　　工

函体推進工の施工フローを表-1に示す．

4-1　第1工程

(1)　仮設準備工

表-1　函体推進工　施工フロー

第1工程	**仮設備準備** ・発進部，到達部の仮設備(電気，給排水)を設置する **発進部地盤改良土** ・推進部の地山補強のため，薬液注入工を行う
第2工程	**発進架台設置** ・発進部に推進架台(函体用，ルーフ用)，反力架台を設置する **到達架台設置** ・到達部に推進到達架台(ルーフ用)を設置する
第3工程	**箱形ルーフ推進工** ・発進側の鏡切断から到達まで4ステップ行う ・各ステップに応じて，架台の組み替えを行う
第4工程	**箱形ルーフ到達** ・箱形ルーフ推進設備を撤去する **函体搬入据え付け** ・発進立坑内において，函体刃口から順に搬入・投入・空押しを行う
第5工程	**函体推進掘削工** ・函体推進設備を設置する ・発進側の鏡切断から到達まで掘削と推進をくり返す
第6工程	**函体到達工** ・所定の位置で推進完了 ・坑口処理，裏込めグラウトを行う

(2)　推進部の地盤改良工(薬液注入工)

資機材搬出入用設備として(写真-2)の12t吊り天井クレーンを建物2階床梁上に設置した．

また，箱形ルーフ推進時の共同溝防護のため，図-6に示すように推進掘削地山の止水および強度増加のため，推進掘削範囲の外周に薬液注入工を発進側の建物内より水平施工した．

注入施工にあたっては，共同溝内に設置した自動計測機の値をリアルタイムに監視しながら行った．

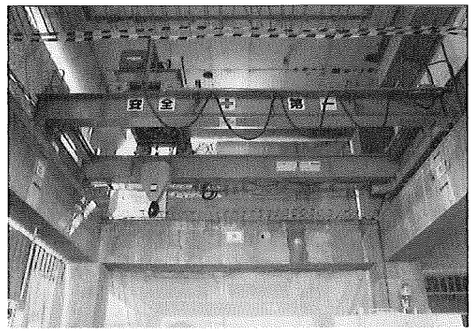


写真-2　天井クレーン設置(発進側建物 2F梁上)

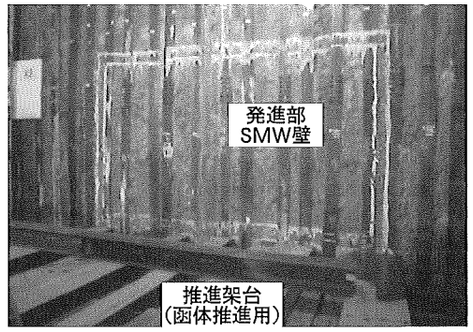


写真-3　発進側土留め壁および函体推進架台

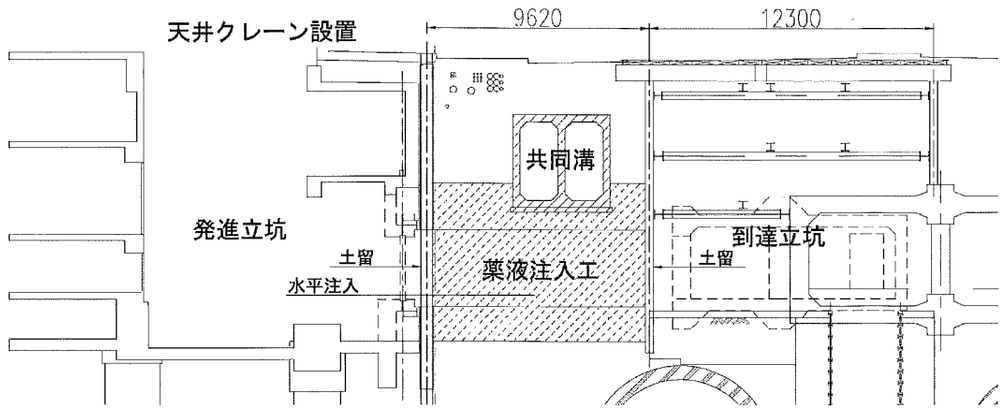


図-6　発進部地盤改良工

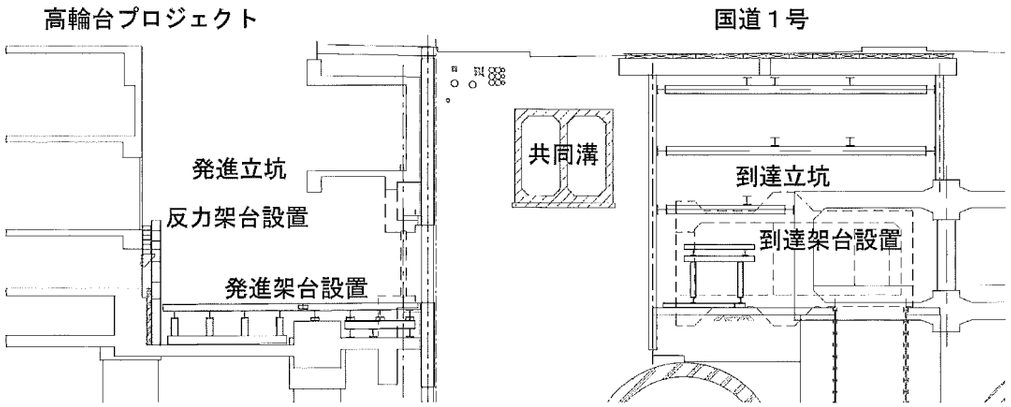


図-7　発進到達架台設置

4-2　第２工程

（１）　発進架台築造工

（２）　到達架台築造工

発進立坑内および到達立坑内に推進架台の組立てを行った(**図-7**)．発進側では，天井クレーンにより鋼材を投入し，あらかじめ投入しておいたミニクローラークレーンを使用して推進架台および反力壁を組み立てた．

写真-3は発進側山留め壁と函体推進架台を示す．函体推進施工用架台の上に箱形ルーフ施工用を設置した．到達側においても立坑内に鋼製の箱形ルーフ到達用架台を設置した．

4-3　第３工程

（１）　箱形ルーフ推進工

箱形ルーフ推進は，函体推進時の共同溝防護のために行うものである．施工状況図を**図-8**に，箱形ルーフ９本の施工順序を**図-9**に示す．

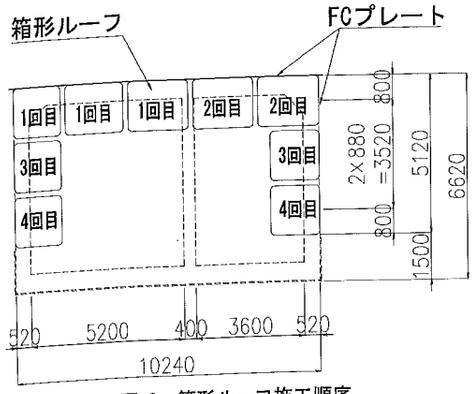


図-9　箱形ルーフ施工順序

箱形ルーフを発進架台上で組立て，その上面に鋼製のFCプレートを設置した．箱形ルーフ推進１回目のルーフ管据え付けおよびFCプレート設置状況を**写真-4**に示す．

FCプレートは函体推進時の頂部外面に位置するように上部の箱形ルーフ上に設置され箱形ルーフ掘進と同時に地山に接して挿入される．箱形ルーフ到達後，発進側と到達側の土留め壁に固定され，

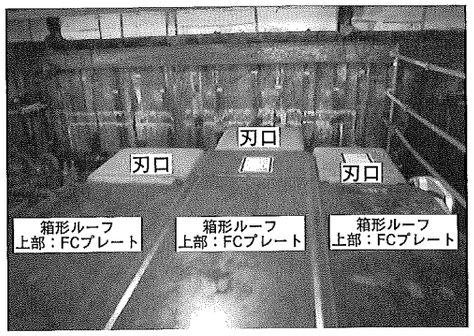


写真-4　箱形ルーフおよびFCプレート据え付け

写真-5　箱形ルーフ推進９本完了

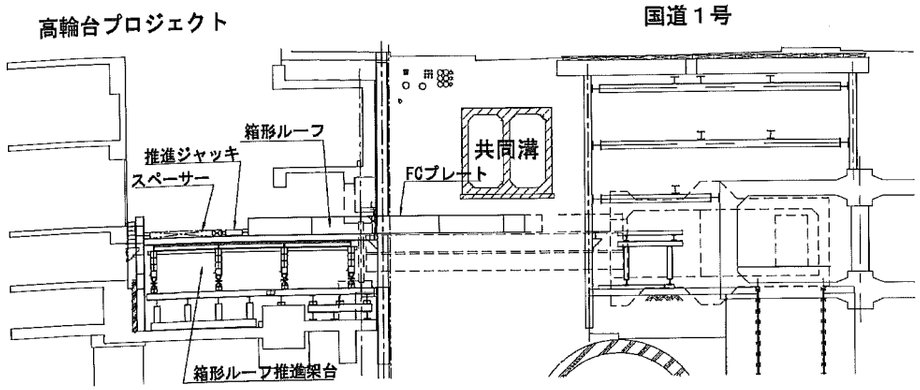


図-8　箱形ルーフ推進工

函体推進における周面摩擦抵抗を低減させる．

箱形ルーフの推進掘削は，それぞれのルーフ管切羽にて人力掘削を行い，発生土はルーフ管内を移動するトロバケットに積まれ，切羽からルーフ後方まで引き出して排土する．発進立坑内で土砂バケットに積み替えて天井クレーンにて地上へ引き上げ，ダンプトラックで場外へ搬出する．**写真-5**は９本の箱形ルーフ推進が完了し，後端にルーフ用ジャッキ収納管を設置した状況である．

4-4　第４工程

（１）　箱形ルーフ推進設備撤去

（２）　函体搬入，据え付け

図-10に函体搬入据え付け状況を示す．

工場製作函体(ボックスカルバート)は，外形で幅5.12m，高さ3.31m，１ブロックの長さ75cm(重量約10t)とした．低床式トレーラで工場から運搬し２函体ずつ現場へ搬入した．

地上階において12t吊り天井クレーンで荷受けし，一時仮置きの後に坑内へ投入した．先頭函の前には，鋼製刃口**写真-6**を現場で組立てて据え付け，先頭函とボルトで締結する．

先行施工として先頭函から８番函体までを搬入し，掘削推進を行う．函体の連結は据え付け時に各函体ごとにPC鋼棒φ17×４本で緊張した(**写真-7**)．に発進側坑内での函体据え付け状況を示す．

掘進が進捗し坑内に函体据え付けスペースができると，９番函体から15番末端函まで投入し，すべての函体を連結した後に掘削推進を行う．

4-5　第５工程

（１）　函体推進掘削工

図-11に函体推進掘削状況を示す．

函体推進抵抗力の計画値は，鋼製刃口の貫入抵抗，函体の周面摩擦抵抗，および刃口のフェースジャッキによる土圧抵抗を合算すると9,900kNとなる．安全率α＝1.2を見込み，11,900kNとなる

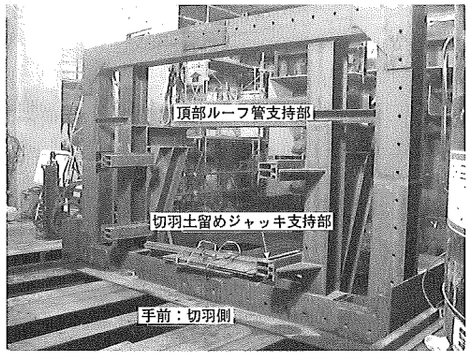


写真-6　鋼製刃口組立て

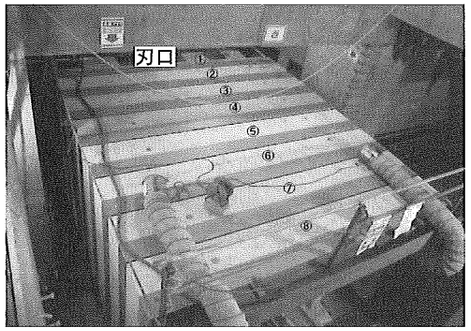


写真-7　発進側　函体①～⑧据え付け

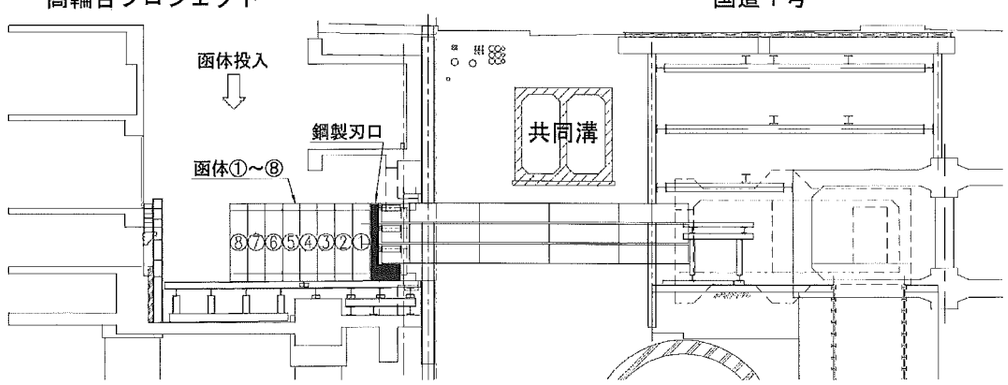


図-10　函体搬入，据え付け

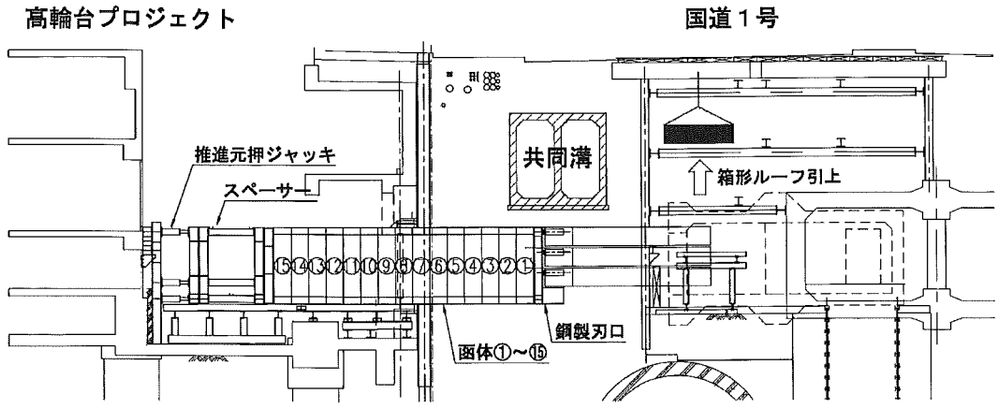


図-11　函体推進掘削工

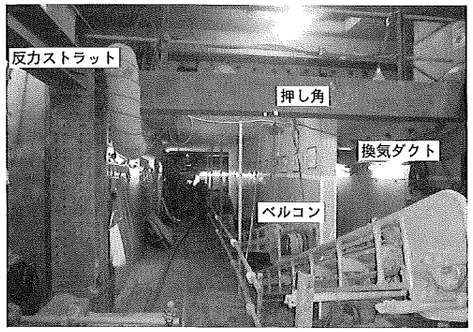


写真-8　函体内発生土搬出設備

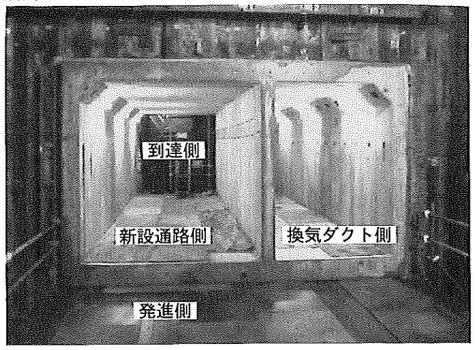


写真-9　函体推進工完了

ことから，推進元押しジャッキは1,500kNジャッキを８本設置した．

掘削は，人力で函体内先端の切羽にて地山を切り崩す．掘進延長50cmごとに掘削と推進をくり返し行った．作業は，発生土積み込み搬出作業による近隣への騒音を配慮して昼間に行った．掘進作業終了時の土留めは，切羽に当てた矢板をフェースジャッキで抑えることにより行った．切羽は，発進と到達の土留め壁付近における湧水が若干あったが薬液注入の効果により安定した状態だった．

発生土は，ベルトコンベヤにより函体後方へ搬送，土砂バケットへ排土，天井クレーンにより地上に引き上げ，ダンプトラックへ積み込み場外に搬出した．**写真-8**は，函体内の発生土搬出設備を示す．

4-6　第６工程

（１）　到達工

函体推進施工において，到達立坑側では，箱形ルーフ管が同時に押し出されてくる．箱形ルーフ到達架台を設置し，押し出された箱形ルーフ管のジョイントを分割し，地上へ引き上げ回収した．

函体先端部の鋼製刃口が到達側土留め壁まで到達した段階で，鋼製刃口の引出しを行うため土留め鋼矢板壁を切断撤去した．続いて空押し推進を行い，所定の位置まで到達させ，鋼製刃口を先頭函から引き離し解体撤去した．

到達推進完了後は，函体推進設備を撤去し，坑口処理を行い，函体の裏込めグラウト注入を行った．**写真-9**に函体推進工完了全景を示す．

4-7　施工結果

4-7-1　掘進量

掘進量は，平均して１日あたり約1.0mの掘進であった．湧水や機械トラブルにより掘進停止に至ることもなく順調に施工できた．

4-7-2　施工精度

施工精度は，到達側において鉛直変位で上方20

㎜，水平変位で右方に20㎜となった．この値は，箱形ルーフ推進工の時点での精度であり，函体推進工の施工精度は，箱形ルーフをガイドにして掘進していくこととなるため，結果として同様の値となった．実質的に，箱形ルーフ推進うち最初のステップでの推進精度が，函体推進全体の施工精度を支配してしまうと言える．施工管理値は，東京都交通局土木工事施工管理基準のトンネル工事における規格値の50％とし，鉛直水平ともに±25㎜と設定していた．

4-7-3　推進力

函体推進力は，計画の推進抵抗力9,900kNに対し，到達付近において最大となり4,100kNであった．この値は，ほぼ函体下床部の底面摩擦抵抗の値となる．地山の自立により函体側面の摩擦や鋼製刃口の貫入抵抗がごく少なく，FCプレートにより頂部の摩擦抵抗の低減が有効であったと考える．

5　計　測　管　理

5-1　計測項目

本工事に伴う影響を把握するため，高輪共同溝および高輪台駅シールド変状計測を行った．

共同溝は，水盛式沈下計５台，傾斜計３台および温度計を設置し，リアルタイムに監視可能な自動計測システムとした．駅シールド変状計測は，定期的に軌道部とホーム部において水準測量と基線測量を行い，鉛直・水平変位を計測した．

共同溝計測は，道路部の立坑掘削開始前から埋戻し完了までとし，現在も計測継続中である．駅シールド計測は，推進工の完了，道路部の構築完了を経て既に計測を終了している．

5-2　計測結果

5-2-1　共同溝計測結果

本計測における管理基準値は，共同溝管理者との協議により**表-2**に示すとおりとした．

鉛直変位について，道路部立坑掘削時に各測点とも０㎜から0.9㎜以内で安定していたが，推進防護薬液注入工において最大で＋4.5㎜(一次管理値の90％)まで隆起し，その後は沈下傾向となり，

表-2　管理基準値

計測項目	一次管理値（許容値の50％）	二次管理値（許容値の70％）	許容値
鉛直変位	±5.0㎜	±7.0㎜	±10.0㎜
傾　　斜	±2.5min	±3.5min	±5.0min

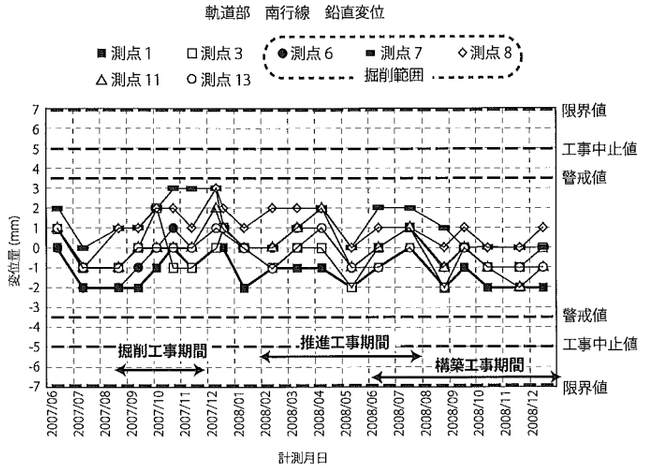


図-13　駅シールド軌道部変状グラフ

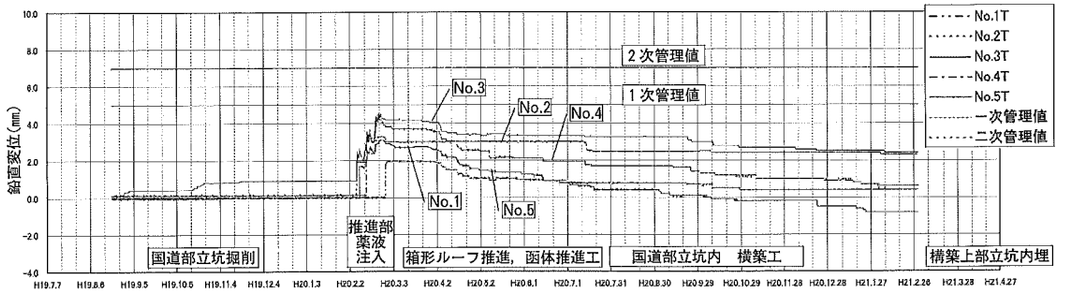


図-12　共同溝鉛直変状グラフ

推進施工前で4.0㎜となった．推進施工中では若干沈下したものの推進完了時で3.4㎜となり，現在は3.0㎜以内で安定している．

傾斜角についても，鉛直変位と同様に薬液注入施工時の影響で最大0.9minとなったが，その後，0.8minで安定している．

計測開始から全期間の共同溝鉛直変位計測グラフを図-12に示す．

5-2-2　駅シールド計測結果

計測開始から終了まで，施工状況にかかわりなく，また，立坑掘削範囲ともかかわりなく，計測範囲全体にわたり0～3㎜の変動を絶えずくり返している状況だった．トンネル上部の施工による影響はなかったものと考える．

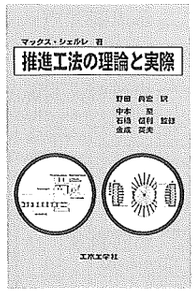
トンネル軌道部の変状計測グラフを図-13に示す．

6　ま　と　め

本工事は，共同溝の直下を横過する重要構造物に近接した条件での施工であった．離隔が約70cmしかない厳しい施工条件において，安全に品質の良い構造物を施工することができた．また，本構造物は駅利用者や近隣住民にとって利便性の高いバリアフリー対応の施設となることから，現場見学会を積極的に開催し，好評であった．

現在は，駅構築の増築部分にあたる構築も完了し，供用開始に向けて内装改修や設備関係の建築工事が新設構築内で行われている．土木工事は残りの構築上部の埋戻し，道路復旧工事を安全に無事故で施工するのみとなっている．

本施工に際し，共同溝(国土交通省)をはじめとして，多くの方々にご協力・ご指導をいただき感謝いたします．



推進工法の理論と実際

B5判　437頁　価格8,925円　送料450円

マックス・シェルレ　著

野田典宏 訳　　中本　至・石橋信利・金成英夫 監修

本書はドイツ人工学博士マックス・シェルレの著「Scherle Rohrvorieb」の翻訳本である．挿図を多く用い推進工法の理論をわかりやすく解説している．研究・開発，計画・設計，あるいは，施工に携わる多くの実務者に最適．

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

施工

新素材セグメントを切削し枝線シールドを発進

—東大阪市下水道　新岸田堂・新寿幹線—

東大阪市上下水道局下水道部建設室主査　米崎育和
(株)大林組シールド技術部課長　木村勉

1　は　じ　め　に

東大阪市は，生駒山，上町台地，大和川，淀川に囲まれたすり鉢状の寝屋川流域に位置し，排水されにくい地形から過去にも大きな浸水被害を受けてきた．そのため，治水対策の一つとして合流式下水道の建設が長年進められてきた．経済発展に伴う都市化の進展で，一時的な貯留効果を発揮していた農地がなくなる反面，コンクリートやアスファルトの不浸透域が増えたことによる流出係数の増加やピーク流量の増大により，都市型浸水被害が多発することになった．

本工事が実施された東大阪市南西部の岸田堂分区(約94ha)は，昭和40～50年代の比較的初期に下水道整備がなされた地域であり，集中豪雨による浸水常襲地区のため，雨水レベルアップ対策が必要とされた．

本工事は，既設管渠や終端ポンプ場の処理能力を超える流量を分水し，一時貯留する増補管築造工事であり，そのために市内の複数箇所で既設管渠から増補管へ分水することが求められ，分水箇所の増加に対応できるよう増補管の分岐が必要とされた．

分岐箇所(寿町1丁目交差点)は，幹線道路である府道大阪八尾線と東大阪市道が交差する五差路である．交通量調査でも交差点を通過する交通量は約23,000台/日と多く，加えて，民家や店舗の密集した地域であり，地上の工事用地の確保が困難であった．そのため，分岐工事用立坑の築造や地上部での地盤改良など，大規模な工事は非常に

表-1　工事概要

工事名称	平成16年度公共下水道第5工区管きょ築造工事
発注者	東大阪市上下水道局下水道部
施工者	(株)大林組
工期	平成17年2月28日～平成19年9月28日
施工場所	東大阪市岸田堂西2丁目～寿町1丁目 寿町1丁目～寺前町2丁目
掘削工法	泥水式シールド
施工延長	本線トンネル　1,104m 枝線トンネル　337m　(計1,441m)
シールド	本線シールド 外径φ4,700㎜，総推力16,000kN 枝線シールド 外径φ2,680㎜，機長4,830㎜ 総推力6,000kN，重量41.6ton トルク302kN-m(at 32.3MPa)(α＝15.6) カッタ回転数2.08rpm(at 20.6MPa)
セグメント	本線シールド 一般部：鋼製セグメント(3本主桁) 分岐部：FFU＋開口補強セグメント 外径φ4,550㎜，内径φ4,173㎜ 幅1.0m(分岐箇所) 枝線シールド 鋼製セグメント(3本主桁) 外径φ2,550㎜，内径φ2,244㎜ 幅1.0m(分岐仮セグメント0.5m)
二次覆工	本線　仕上がり内径φ3,750㎜ 枝線　仕上がり内径φ1,800㎜
土かぶり	本線　18～19m　　枝線　19～20m
縦断勾配	0.7‰
人孔	分水人孔4か所，点検人孔3か所 揚水用人孔1か所

困難であった．発注者，警察，地域の要望で，地上を全く使用しない坑内での分岐トンネルが必要とされた．

本稿では，分岐シールドの施工にあたり，直接切削可能な新素材(FFU)を分岐シールドの鏡面に使用したシールド施工事例を紹介する．

2　工　事　概　要

表-1に工事概要を，**図-1**に新素材(FFU)セグメントを使用した坑内分岐のイメージを示す．

3　地質・土質条件

図-2に全体平面図を，**図-3**に地質縦断図を示す．

シールド掘進対象地層は大阪層群の上部に位置する洪積粘土層(海成粘土層)である．N値が平均7程度の比較的硬い地層である．この粘土層の下部は天満砂層と呼ばれ，粒径がそろった均等係数の小さな砂層である．含水も多く，過去の工事でもトラブルの要因となっている．今回，工事に先立ってボーリング調査を実施し，分岐箇所での地層の状況を調べた．

トンネル分岐は，均一な洪積粘土層中になることを確認した．

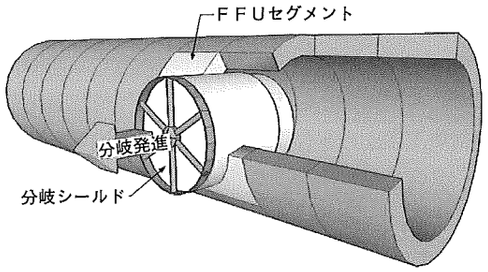


図-1　FFUセグメントを使用した坑内分岐のイメージ

図-2　全体平面図

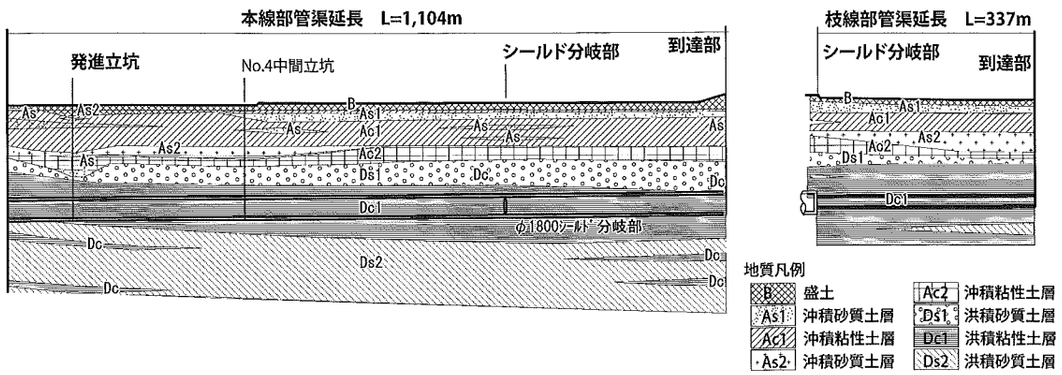


図-3　地質縦断図

4　分岐方法の検討

4-1　分岐シールドの技術的課題

分岐シールドの技術的な課題を以下に示す．

4-1-1　本線セグメント内の狭隘な作業

本線セグメント(内径4,173㎜)内から枝線シールド(外径2,680㎜)が分岐発進可能なシールドの製作と現地組立て掘進方法が必要であった．組立て空間が狭隘なため，シールドを一度に組立てできないことから，組立て中に複数回の掘進が必要であった．シールドが地山に貫入した後は，切羽圧を保持する必要がある．子機の組立て時に切羽圧を保持するためには，狭隘な作業空間でシールドを本線側のトンネルに仮固定(バックリング防止)しなければならない．

また，作業空間がほとんど取れず，緊急時の退避が困難なため，人力での鏡切りを行わない発進方法が必要であった．

4-1-2　開口補強対策

一般に，本線トンネルに対する枝線トンネルの直径(開口)が20%以上となる場合，本線トンネルの補強が必要とされる．本工事の開口は59%であり，明らかに対策が必要であった．

4-1-3　坑内での高強度地盤改良の問題

鏡切りやシールドジャッキ推力に対抗できるような改良強度の高い地盤改良が必要である．高強度改良が期待できる水平高圧噴射撹拌工法(MJS工法など)は施工設備が大きく，また，水平角以上の改良体造成が技術的に困難であった．したがって，水平高圧噴射撹拌工法は制約が多く採用できない．高い改良強度が得られる凍結工法の採用には，本線シールド施工完了後からの凍土造成であるため，工程遅延が避けられない．高強度の地盤改良を前提とした人力による鏡切りを行わず，シールドジャッキ推力を地盤とともにセグメントが負担できるような構造が必要であった．

4-1-4　シールドや機械設備の大幅な変更を必要としない工法の採用

シールド分岐工法でよく用いられるのが，親機に内蔵(または設置)可能な子機を使用して，親機から子機を分離発進する方法である．この方法では以下のような短所がある．

- シールド機長が長くなることによる発進立坑規模の増大
- シールド機長が長くなることによる曲線施工への適用性が低下
- 親機の構造が複雑化することによるシールド製作コストの増加

本工事では，大幅な工事変更やコストアップを伴わない，セグメントからの子機シールド発進が必要とされた．

4-2　工法の選定

前述の課題を克服すべく，以下の工法選定を行った．

4-2-1　FFUセグメントの採用

狭隘な作業空間での子機分岐発進を実現するために，人力鏡切りが不要でシールドカッタによる直接切削が可能なFFUセグメントを鏡部4R(4m区間)に採用した(**写真-1**)．

FFU(Fiber Reinforced Foamed Urethane)セグメントはガラス長繊維強化プラスチック発泡体の薄板をセグメントのリング形状に合わせて曲げ，積層したたものである．FFUは少量の発泡剤，製泡剤，触媒を添加したポリオールと，ポリイソシアネートを混合攪拌し，これをガラス長繊維に含浸した後，金型内で発泡硬化させ，板状に

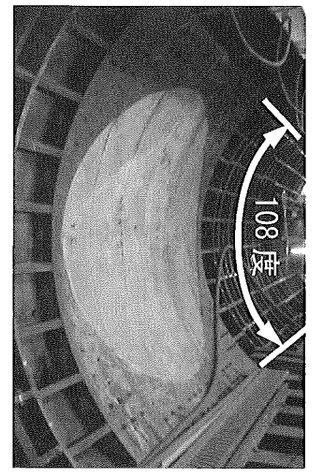


写真-1　FFUセグメント

成型したものである(**図-4**)．**表-2**にFFU材料の物性値を示す．

カッタで切削しないFFU部材の端部は，FFU積層時に内部補強鉄板を仕込んでおき，セグメントの内外面のそれぞれから内面，外面鉄板(写真-1参照)を締め付けボルトで挟み込んだ構造となっている．この構成部分を補強セグメントと接続した(**図-5**)．

FFUを立坑土留め壁に応用したものがSEW工法であり，セグメントに先行して実績が増加している．

FFUセグメントの長所は，カッタでの切削性に優れた点である．FFUのようなプラスチック素材は，NOMST工法のようなコンクリート素材に比べて軟らかく，削りやすい．シールドに大きなトルクが不要で，切削が容易である．従って，カッタトルク不足やシールドのローリング，掘進スピード低下時に対応するためのシールドジャッキ用低吐出ユニットの準備など，対策が軽微で済む．結果としてスムーズな発進が可能となる．本工事のように，狭いセグメント内から子機を順次組立てて発進する場合，このような対策に配慮する必要がないことは大きなメリットである．

また，切削抵抗が小さいため，掘進速度の大きな低下がない．そのため，坑内発進の不安定な初期掘進時期を早期に終わらせることができる．安全で確実なシールド発進方法といえる．

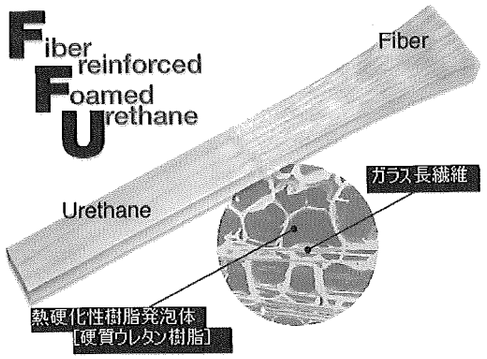


図-4　FFU材料[1)]

表-2　FFU材料の基本物性値[1)]

項　目	物性方向	試験値	設計用値
密　度(g/cm³)	———	0.74	———
曲げ応力度(N/mm²)	繊維方向	72.0※2	36
圧縮応力度(N/mm²)	繊維方向	56.9	29
	繊維直角方向	13.2	6.6
せん断応力度(N/mm²)	繊維方向	9.1	4.6
	繊維直角方向	6.2※2	3.1
接着せん断応力度(N/mm²)※1	繊維方向	9.1	4.6
引張応力度(N/mm²)	繊維方向	127	64
ヤング係数(N/mm²)	繊維方向	1.0×10⁴※2	1.0×10⁴※2

※1 接着剤はエポキシ系接着剤を使用
※2 FFU部材の実物大載荷試験の結果

4-2-2　開口補強セグメントの採用

本工事では狭隘なセグメント内部からのシールド発進となるため，開口補強部材をセグメント組立て完了後に追加する方法では作業空間が減り，施工性が大きく低下する．また，開口補強の作業工程が本線シールド終了後の段取替え作業と交錯するなど不利な面が多い．そこで，**図-5, 6**に示すような鋼製セグメントに開口補強を事前に施した開口補強セグメント(10R)を採用し，子機組立て作業空間の減少を抑え，工程遅延を防止した．

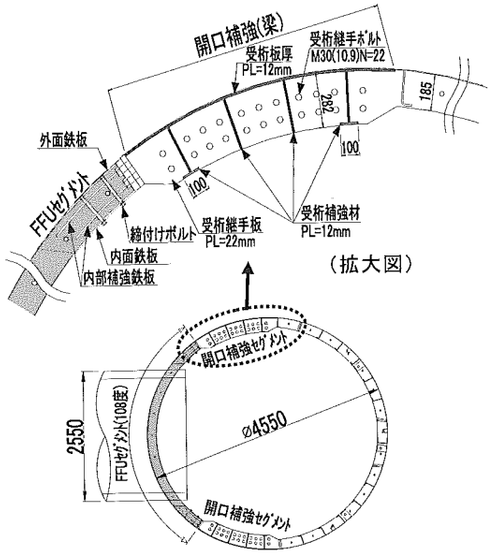


図-5　FFUおよび補強セグメント断面図

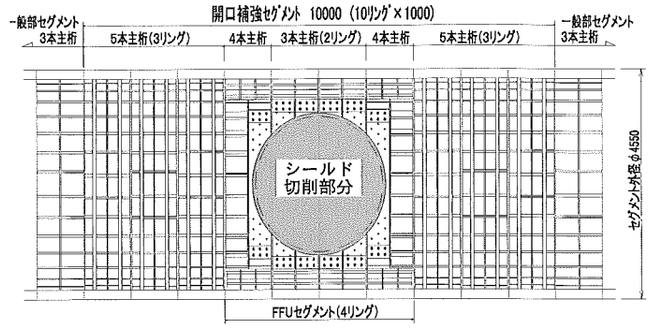


図-6　FFUセグメントと開口補強セグメント

写真-2　子機シールド

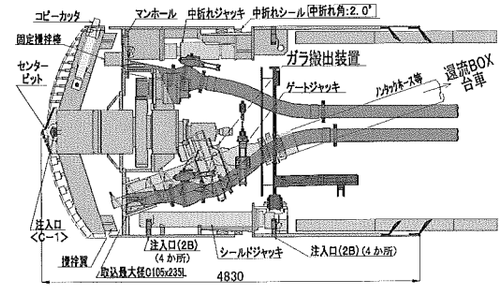


図-7　子機シールド図

4-2-3　分割発進に合わせたシールドの採用

セグメント内の狭隘な作業空間でシールドを運搬，組立て，発進できるよう，以下の対応を行った．

- シールド分割は運搬組立て可能な4分割を採用(カッタ部・前胴・後胴前部・後胴後部)
- 組立て途中での掘進が可能な構造の採用
- 組立て途中のシールドのバックリングを防止するため，補強セグメントに固定できる構造の採用
- FFUの大割れした破砕物によりチャンバが閉塞しないよう，スクリューコンベヤ型のガラ搬出装置を装備
- 円筒状に組立てられたFFUセグメントを均等に切削できるよう，カッタを球面に合わせたスポーク配置を採用

子機シールドを**写真-2**，**図-7**に示す．

5　分岐合流部の構造検討

5-1　補強構造

開口部の補強構造は，開口部の上下にトンネル軸方向の受け桁を考え，鋼製セグメント内部にあらかじめ補強を行った．この受け桁にはトンネル軸方向の梁として大きな曲げモーメントが発生し，梁として一体化した構造を確保する必要がある．このため，セグメントリング間についてもボルトで補強を行った(図-6)．

5-2　検討方法

検討モデルは開口の影響がある3*D*区間(*D*：開口径)において，多リングはり-ばねモデルを使用して検討を行い，受け桁については梁でモデル化した(**図-8**)．

応力度照査については，①鋼製セグメント本体およびセグメント間継手部，②受け桁の本体およびリング間継手のボルト，③受け桁部のリング間の主桁の照査を行った．

5-3　検討条件

5-3-1　検討断面

検討断面を**図-9**に示す．

5-3-2　荷重条件および解析ケース

荷重条件としては，完成時では，通常のトンネルの設計で考慮されるトンネル自重・土水圧を考慮し，仮設時においては，更に分岐シールドの発進時ジャッキ推力反力(2,400kN)を考慮した．ジャッキ反力は，地山・セグメント・反力壁(上段H-400，下段H-300＋コンクリート)の三つで負担できるよう考慮し，計算モデルではコンクリート設置範囲に分布荷重としてセグメントに載荷した．各荷重時における発生断面力を足し合わせて設計断面力として応力度照査を行った．

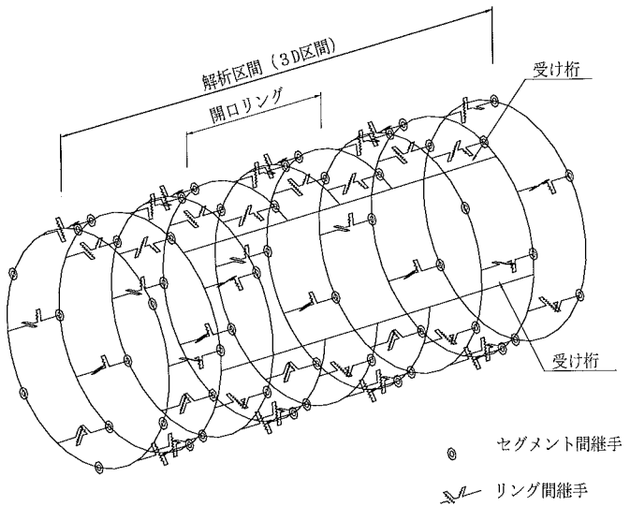


図-8　検討モデル

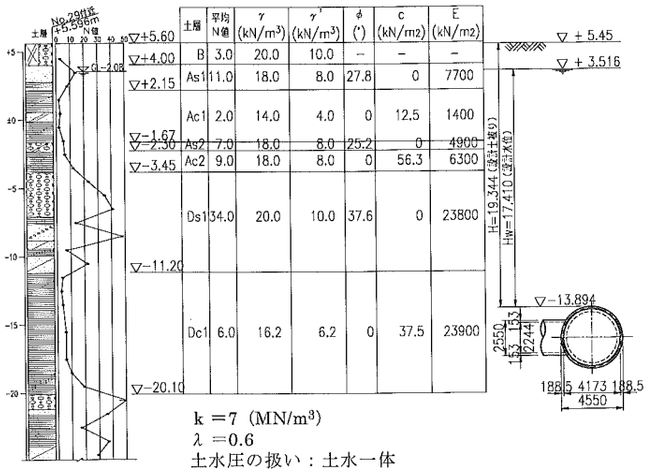


図-9　検討断面

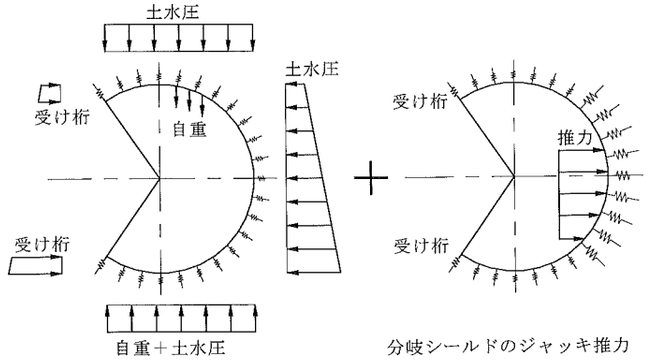


図-10　開口部の設計荷重

検討ケースとしては，①円形時(開口前)，②完成時(開口後)，③仮設時(分岐シールドジャッキ推力載荷時)の3ケースについて行った．

仮設時の開口部の設計荷重を**図-10**に示す．

5-4　検討結果

① セグメント本体については，開口上下の受け桁を介して開口前後のリングに軸力と曲げモーメントが伝達されることから，主桁本数を当初の3主桁から4～5主桁に補強し，更に中主桁にフランジリブを追加した．

② 受け桁には大きな曲げモーメントが作用し，受け桁の剛性を確保するために，受け桁部のみセグメント桁高を185㎜→282㎜にしたうえ，更に受け桁補強材にフランジを設置した．

③ 受け桁部のリング間ボルトについては，リング間にも受け桁本体と同様に曲げモーメントが作用するため，2列配置のボルト(M30(10.9)，22本)を配置した．

6　施工状況と有効性の確認

6-1　FFUセグメント組立て

カッタで直接切削されるFFUセグメントは，切削に支障したり，排土機構の閉塞を招く可能性が高い金属製の継手を使用することができない．また，セグメントの円周方向にガラス繊維の方向を設定し，強度を発現しているため，繊維の連続性がなくなるセグメント間(ピース間)継手をFFU部分に設定することはできない．このため，1リング分のFFU材を大きな円弧状にする必要があった．

本工事は，開口率が59%もあり，FFUセグメント1弧長が4.28m(108°)と，通常ピース(67.5°)よりもかなり大きくなった(写真-1，図-6)．このため，セグメント組立て時の空間的余裕がとくに少なくなり，エレクター把持吊り上げ状態で既設セグメントと23㎜の余裕しかなく，組立て限界に近い状態であった．

FFUセグメントの組立て状況を**写真-3**に示す．

FFUは引張に比べ，圧縮強度(とくにガラス長繊維に直角方向)が低い．このため，FFUセグメント組立て直後の親機のジャッキ推力による変形を防止することが課題になった．

今回使用したFFUセグメントは，FFUよりも圧縮強度の大きなFRP板(9㎜)を，積層時に4層挟み込むことでジャッキ圧に対応(装備推力の50%)した．

実施工でも親機シールドの推力を50%(8,000 kN以下)まで抑制するために，シールドジャッキの流量制御弁を絞り，スピードを低下させて掘進した(5リング分)．

結果的に掘進スピードが5㎜/分以下になるケースが発生し，進捗に若干の遅れが生じたものの，FFUの圧縮変形や破損といった問題は生じなかった．

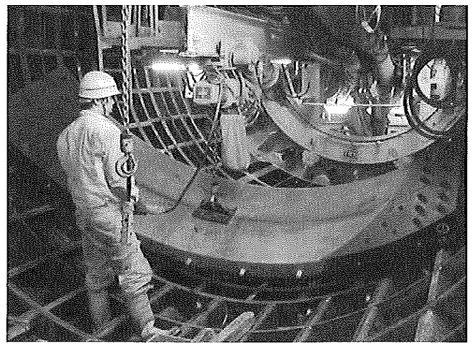


写真-3　FFUセグメント組立て状況

6-2　FFUセグメント切削と分岐シールド発進

親機シールド到達後，親機解体～子機シールド発進準備に約1か月弱を経て，子機組立てとシールド掘進を開始した．**表-3**に分岐シールドの工程を示す．

子機の組立てに先立ちエントランス金物をFFUセグメントの内面鉄板に溶接固定し(**写真-4**)，その下部にはシールド重量を受けるためにコンクリートを打設した．

エントランス金物は，組立て掘進途中の切羽圧を保持するため仮固定(バックリング防止)に耐える強度とした．

表-3　分岐シールド工程表

日　数	1	10	20	30	40
親機シールド掘進	→				
親機シールド解体撤去	―	―	―		
子機シールド設備工					
エントランス設置工		―			
シールド工法設備設置工		―	―		
子機シールド組立・掘進工					
カッタ，前胴設置組立			―		
反力壁設置			―		
試運転調整，掘進準備				―	
FFU切削，貫入掘進①				―	
後胴前部組立				―	
貫入掘進②					
後胴後部組立，調整					―
初期掘進工					→

※稼働日実績

子機の組立てには発進架台兼用の搬送台車(**写真-5**)を特別製作し，組立てや段取替えの施工時間を縮小させた．また，不安定な荷姿のカッタ部について，シールド工場にてトンネル最小半径での搬送試験を実施し，坑内運搬の安全性を事前に確認した．

FFU切削掘進状況を**写真-6**に示す．

FFUは比重が0.74と水よりも小さいので液体の充塡では切削屑をチャンバから排出しにくい．そこで，切削屑が浮かずチャンバ内に均等に分散するよう，加泥材を添加した．加泥材はベントナイトに水溶性の高分子添加材(TG-ジェル)を加えたものを使用した(ベントナイト70kg/m³，高分子添加材(TG-ジェル)15kg/m³)．

これにより，掘削トルクの低減を図りつつ，切削屑の流動性と非分離性を高めたFFU切削を行うことができた．

対策の結果，閉塞もなく，切削屑もガラ排出装置から容易に取り出せ，掘進にあわせて切羽圧も順当に作用させることができた(**写真-7**)．

写真-8は，FFUの切削屑を写したものである．FFUは繊維状に細かく，2～5 cm程度の長さに切断されている．平らに数cm角で切断されている

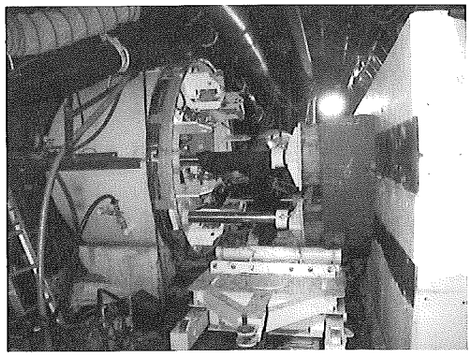


写真-6　FFU切削掘進状況

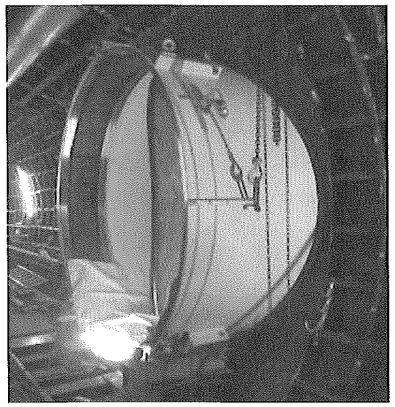


写真-4　エントランス

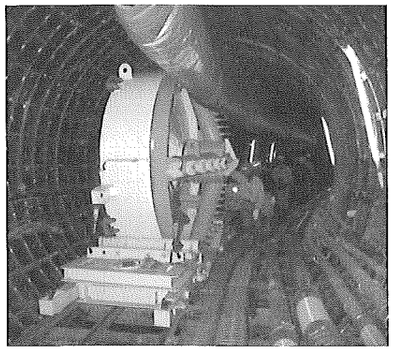


写真-5　搬送台車とカッタ部搬送状況

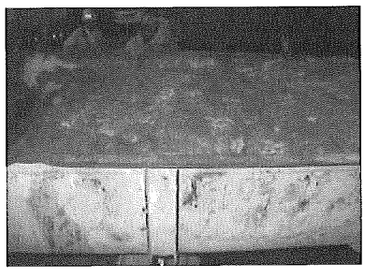


写真-7　切削屑排出状況

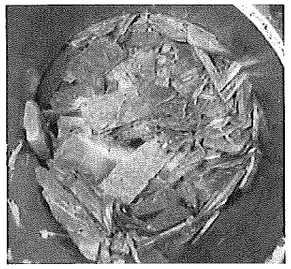


写真-8　FFU切削屑

Jスピード mm/min	J推力 kN	カッタトルク kN-m	カッタ回転数 rpm
25	600	150	4.0
20	480	120	3.0
15	360	90	2.4
10	240	60	1.6
5	120	30	0.8
0	0	0	0

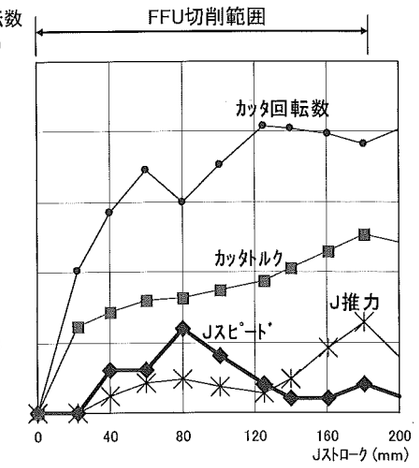


図-11　FFU切削時掘進データ

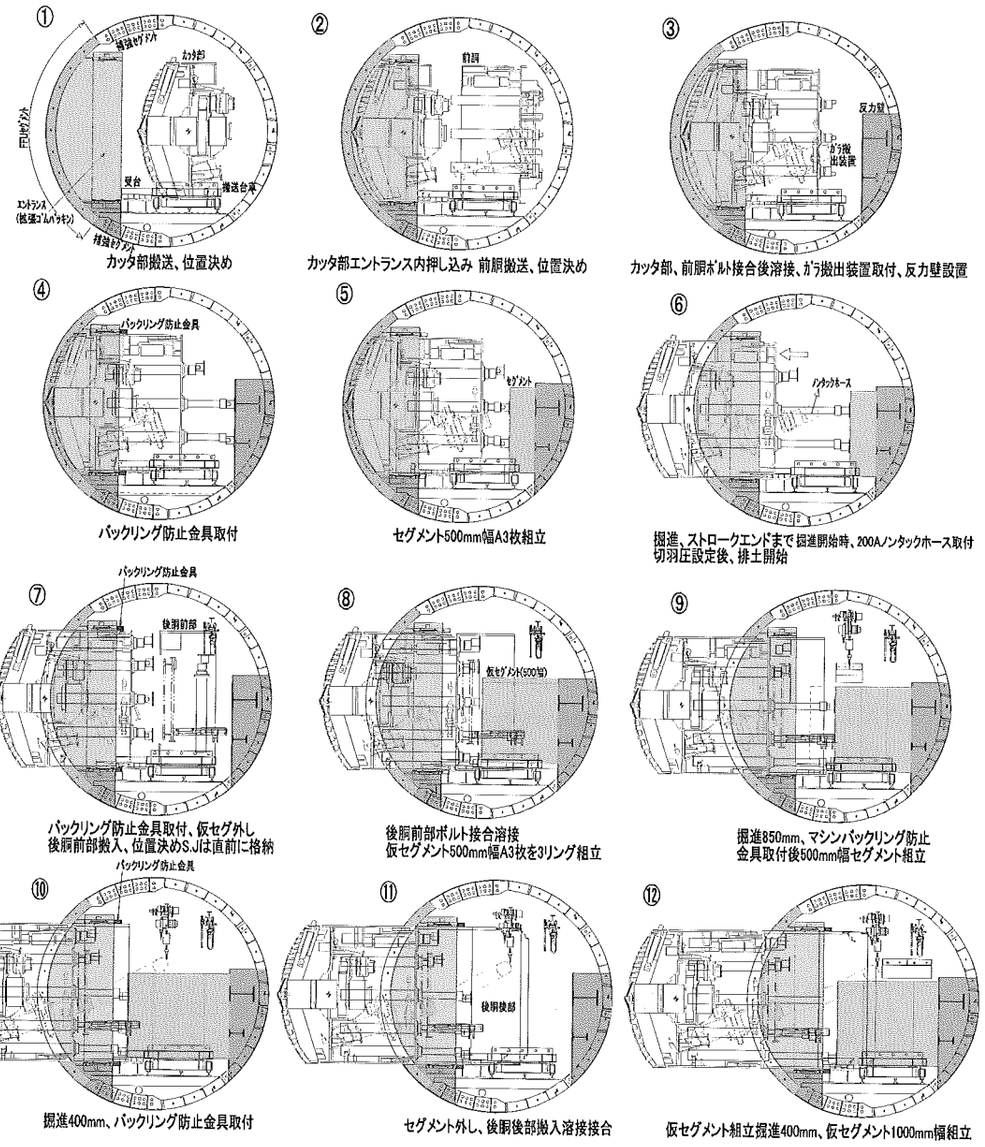


図-12　分岐シールド発進フロー図

のは，FFUに積層されているFRPである．

図-11にFFU切削時の掘進データを示す．

ジャッキ推力とカッタトルクはそれぞれ装備能力の25～45%であり，シールドに与える負荷は通常の掘進程度に収まった．ジャッキスピードは2～6 ㎜/minで，工程を遅らせることなく順調に切削し，かつFFUの大割れも防止できた．カッタ回転数を後半に上昇させているのは，カッタの切込み深さを抑えることで，トルクの上昇と大割れを防止するためであった．

FFUセグメント切削掘進の後，エントランス金物にバックリング金具を取付けていったん子機シールドを固定し，仮セグメント(500㎜幅)を組立ててから掘進を再開した．その後も同様に掘進，仮固定，組立てをくり返し，子機シールドを完成させた(**図-12**)．

7 おわりに

以上のように，分岐シールド工事を順調に施工でき，FFUセグメントの採用が適正であったと実感できた．

FFUセグメントは，形状やジャッキ推力などの適用限界の課題もあったが，地上作業を大きく低減でき，施工性も優れていることから，セグメント内での分岐工事に有効な方法といえる．

トンネル内からの分岐工事のニーズが多い中，今後の採用にあたり，本報告がその際の一助になれば幸いである．

参考文献

1）積水化学：パンフレット，SEWシールド直接発進到達工法．

シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編　代表　鈴木　　章

B5判 285頁　本体価格4,660円　〒340円

本書は，最近のシールドトンネルの新技術を実務経験者を中心にまとめたものである．本書の特色は，シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性の現況をまとめたうえで，新技術について調査・計画編，設計・施工編とに分けて，その理論と実際についてソフト，ハードにわたり記載している．また，これらのことを実務にすぐさま活用できるように，付録としてセグメントの設計，地盤変位予測解析，施工計画についての計画・設計例も紹介し，実務者をはじめトンネル技術者のニーズに応えた内容となっている．

〔目　次〕 **第一章　概説**　1．シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性〇シールド工法の歴史〇シールド工法誕生以前のトンネル工法〇シールド工法の登場　2．わが国におけるシールド工法の歴史〇シールド工法の導入と発展の経緯〇シールド工法の現況　3．今後の技術開発の方向性　**第二章　調査・計画編**　1．シールド工法の調査技術　2．断面および線形計画　3．シールド機種の種類と選定　4．新しいシールド工法　**第三章　設計・施工編**　1．覆工〇一次覆工の設計〇二次覆工の設計と施工〇シールドトンネルの防水技術　2．立坑の設計と施工設備〇立坑の設計と施工〇シールド機の構造と装備〇仮設備の計画〇シールド工事による自動化　3．掘進と施工管理〇シールド掘進と施工管理〇シールド発進と到達〇裏込め注入工法と注入効果〇曲線施工と地中接合〇補助工法の種類と選定　4．近接施工と環境対策〇近接施工と対策〇アンダーピニングおよび支障物対策〇シールド工事と環境対策〇新工法の現状と将来展望〇ECL工法　5．切羽の安定と地盤変状防止〇切羽安定の理論と実際〇泥水式シールド工法の切羽安定〇土圧シールド工法の切羽安定　6．地盤変位の理論と実際　**付録**　1．セグメントの設計例　2．地盤変位予測解析手法の例　3．シールド工事の施工計画

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

解説

栗子隧道・建設工事史

—日本人技術者による初の近代山岳トンネル建設—

(株)ネクスコ・メンテナンス東北常務取締役(万世大路研究会代表)　阿　部　公　一

1 はじめに

今，福島・山形両県の県境にそびえる栗子山の下で，東北中央自動車道「栗子トンネル」の建設工事が進んでいる．その延長は8,975m(本坑)で，東北の脊梁である奥羽山脈を一気に貫き，完成すると日本の道路トンネルとして，関越トンネル，飛騨トンネル，東京アクアトンネルに次いで第4位のトンネルとなる．

山形新聞(平成20年12月17日)は，工事が進められていた避難坑が貫通し，近く本坑の建設を開始すると報じている．

この栗子山中には，日本の近代トンネル建設技術の嚆矢となった栗子隧道が眠っている．山形県令・三島通庸が企画し，強引とも言える手腕を発揮して実現した「万世大路」の建設経緯については，地方史や土木史の中でたびたび紹介されてきた．しかし，そこでは事業の意義について論考されることがあっても，ともすると三島個人の事績に話題が集中し，栗子隧道をはじめとする新道工事の技術史的意義について触れられることは少なかった．

栗子隧道の建設工事が行われた明治初期，全国では鉄道線路の工事が始まり，逢坂山トンネル，柳ケ瀬トンネルをはじめとして，土木史に残るいくつものトンネルが建設された．日本の近代トンネル技術の黎明期に建設されたこれら鉄道トンネルについては，その工事の特徴がよく記録・紹介されていているが，ほぼ同時期に建設された栗子隧道は，工事の様子が紹介されることも少なく，その技術史的な評価が十分とは言えない．

NATMやTBMなど最先端のトンネル技術を駆使し，栗子隧道のほぼ真下に新たな長大トンネルが貫通したこの機会に，栗子隧道の建設工事を技術的な側面から振り返りたい．

2 万世大路のこと

かつて江戸時代には，奥羽山脈を越えて福島と米沢を連絡する道として，ほぼ現在のJR奥羽本線沿いにルートをとった米沢街道(板谷街道とも)が利用されたが，その通行は難儀をきわめた．

明治になって，当時の山形県令・三島通庸が，四方を山で囲まれた山形県の振興には，東京に直達する馬車も自由に通行できる幹線道路が欠かせないと，後に「万世大路」と呼ばれる新道を企画・建設したことは良く知られているとおりである．

万世大路の整備事業は，奥羽山脈に隔てられた山形県米沢市と福島県福島市の間に，総延長50km近い馬車が通れる道路を一気に新設するという，それまで日本が経験したことのない一大プロ

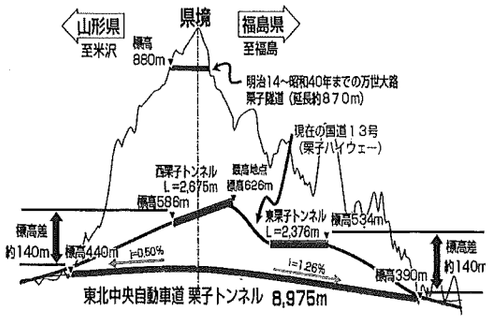


図-1　栗子山を越える歴史的幹線道路

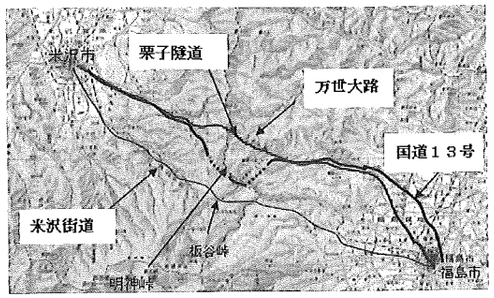


図-2　福島と米沢を結んだ万世大路

ジェクトだった．

そのうち山形県が担当した苅安新道区間は，米沢市上花沢信濃町から栗子隧道東坑口まで総延長17.7kmで，この間に石橋２橋，木橋５橋，トンネル２か所(栗子隧道，苅安隧道)を建設した．

福島県が担当した中野新道は，福島町東一丁より栗子隧道東坑口まで，土橋21橋，木橋２橋，トンネル３か所(二ツ小屋・大桁・高平の各隧道)を含む約30kmの道路新設で，両県合わせた工事は，質・量いずれの面からも，当時の土木技術に照らし画期的なプロジェクトだった(図-1)．

3　栗子隧道の諸元

3-1　トンネルの位置と事業計画

3-1-1　トンネルの位置と延長

栗子隧道は，栗子山(標高1,216m)のほぼ直下に計画され，西(山形)側坑口は標高889m，東(福島)側坑口は標高876mの位置にある．トンネルの最大土かぶりはおおよそ200mあり，延長四百八十二間(876m)の栗子隧道を建設して，高低差210～220mの昇降を回避できた(図-2)．

3-1-2　地質と工事計画

このトンネルは着工時には日本で最長であっただけでなく，それまで経験したことのない画期的な長大トンネルだった．

山形・福島両県が，明治９(1876)年11月４日，新道開削を「結約」した際，その「建設結了」を明治10(1877)年11月としていた．栗子隧道を含め約１年程度で建設できると目論んでいたわけである．

しかし，掘削を開始して初めて，東側の地質は

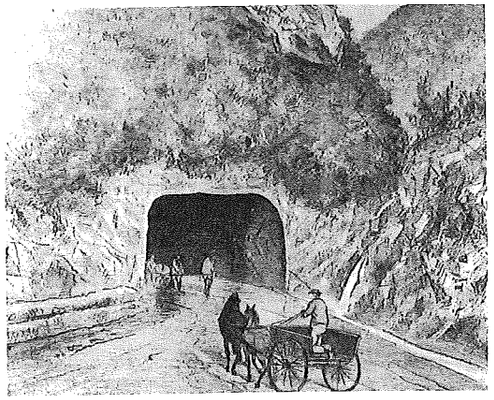


図-3　栗子隧道西坑口図(高橋由一画)

比較的軟質なものの，西側は予想をはるかに超えて堅硬なことがわかった．その結果，当初の１年とした工期の目論みは打ち砕かれ，貫通までに約４年を要した．

三島らとて，計画時点では決して楽観視していたわけではないだろうが，あらかじめ綿密な工事計画を立案して工事を始めたわけではなさそうだ．

当時，栗子隧道工事の成功を危ぶむ声が非常に高く，あえて楽観的な見通しを示して見せる必要があったのだろうか．結果的に，工事費の面からも杜撰・無鉄砲のそしりはまぬがれず，工事費は３倍に膨れ上がった．

3-2　トンネル断面

トンネル断面は，当時の洋画家・高橋由一が描いた西坑口の絵を見るとほぼ矩形である(図-3)．トンネル掘削の安全性を考慮して馬蹄形や円形とするよりも，通行に必要な空間を確保しつつ，できるだけ掘削断面を小さくすることを優先した結果だろうか．

しかし，東坑口部の絵(図-4)や，昭和９(1934)年に拡幅工事に着手した際に実測した形状を見ると，必ずしも西坑口と同形の矩形とは言えず，地質に応じて，臨機に断面形状を変化させたと思われる．

トンネル内空の幅は三間(5.5m)，高さ二間(3.6m)，掘削断面積は約20m²程度で，馬車どうしのすれ違いにも十分な断面とした．

しかし，三島が新道の開削を建議した時点では，

トンネル内も往復２車線の車線を確保するとしながら，幅員は二間(3.6m)，高さ九尺(2.7m)の計画だった．建議直後に始まった工事段階で，より大断面に変更されたわけだが，その経緯は明らかではない(写真-1)．

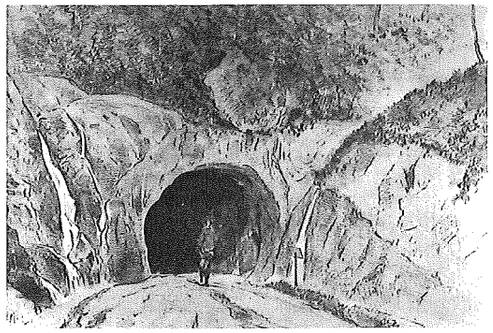


図-4　栗子隧道東坑口図(高橋由一画)[3]

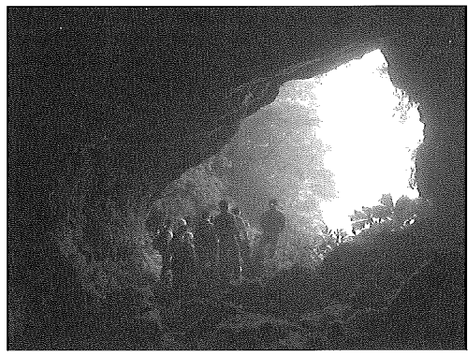


写真-1　栗子隧道坑内現況(撮影H20.7.12)

4　明治初期のトンネル建設技術

わが国における近代的なトンネル建設技術は，明治中期ごろより急速に始まった鉄道建設を契機に大きな発達をみたが，栗子隧道を建設した当時，日本では道路トンネルの宇津之谷隧道や初の山岳鉄道トンネルである逢坂山トンネルが建設されていたにすぎなかった(図-5)．

栗子隧道の工事が始まった明治９(1876)年当時，ヨーロッパではアルプスを穿つ長大鉄道トンネルが次々に計画・建設され，米国では大陸横断鉄道の建設が本格化し，削岩機，コンプレッサー，電気雷管などが実用化され，近代的なトンネル掘削技術が日々進歩していたが，日本では依然として，ノミとタガネを用いた手掘りが続けられ，大きく遅れをとっていた．

そのため日本は，外国人技術者を招聘するなどして，トンネル建設技術の吸収に努めると同時に，日本の複雑・多様で脆弱な地質にふさわしい独自の掘削工法を工夫し，次第に「日本式」とも言える掘削方式が定着した．

5　栗子隧道の建設工事

5-1　掘削工法

栗子隧道の建設当時はまだ定まった掘削方式があるはずもなく，掘削断面が小さかったこともあ

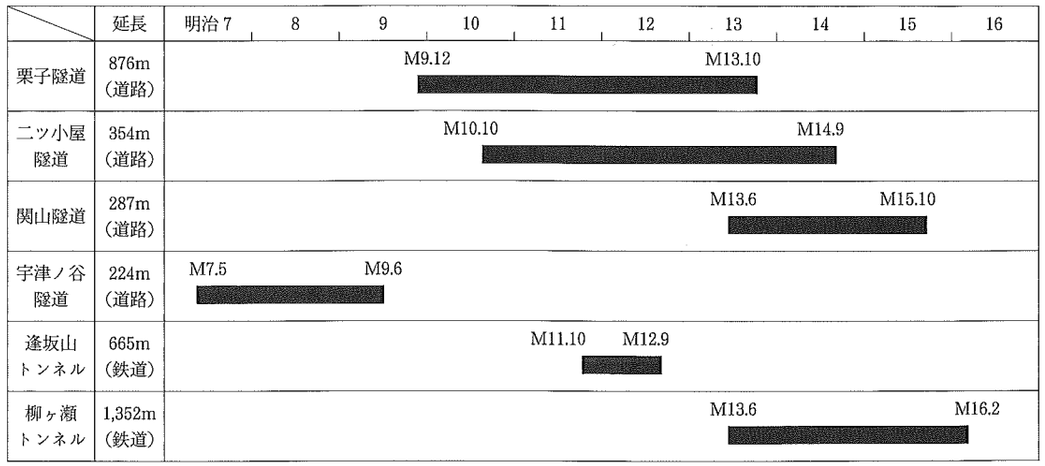


図-5　明治初期に建設されたトンネル

り，掘削は上部半断面を先進させ，追いかけ下半部を盤下げし，さらに隧道の貫通の後，隧道の内部を所定の内空断面に整形した．後述するとおり掘削の進行に追いかけて覆工することもなく，隧道内部を整形する作業は，貫通後に全区間同時に行ったものだろう．

掘削は，当初，西側からの片押しで開始したが，西側の岩質が堅硬で進行が遅かったため，明治11(1878)年５月より東西両側から同時に掘削することにした．東側は，西側に比較して岩質はやや軟質であったという．

両側から掘削すると，片押し掘削に比較して，切羽をはじめとする現場の管理が複雑になるとともに，片押しに比べ格段に掘削精度を高める必要があった．

なお，完成したトンネルを通行した人によれば，トンネルの縦断勾配はトンネル中央部にクレストがあったとの証言があり，湧水は両坑口に自然排水できたことだろう．

掘削にあたっては，坑口寄りの比較的地質の軟らかい区間は手掘りで，硬い区間は爆破工法を採用した．栗子隧道の西側坑口には，今でも手掘りによるノミの跡が残っている．

爆薬を装薬するための穿孔は，当初，ノミ，タガネで人力作業を行っていたが，掘削が難航した西側には，明治11(1878)年２月から日本で最初にエアドリル(蒸気掘削機)が導入された．

Escher(エッシャー)は回想録の中で，トンネル全延長のうち473mを蒸気掘削機で掘り抜いたと紹介している．

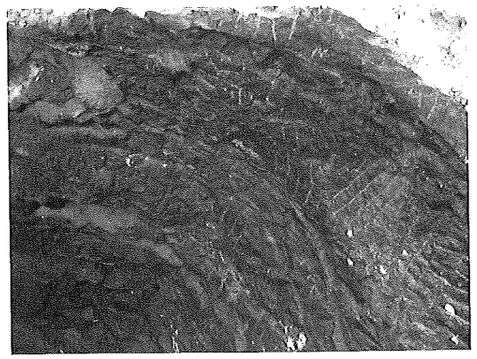


写真-2　栗子隧道に残るノミの痕(撮影H20.5.5)

一方，丸山光太郎氏は，その著書『土木県令三島通庸』の中で，西側からの掘削延長は258間(約470m)だったとしている．両者の記述からすると，明治11(1878)年春に東西・両坑口からほぼ同時に掘削に着手し，西側からの掘削のほぼすべてをエアドリルを用いて掘削したことになる．

5-2　穿　孔

5-2-1　欧米におけるエアドリルの開発

当時削岩機が開発されるまでは，先を硬くしたバールや長いノミをハンマーなどで岩盤に叩きつけて，１m前後まで穿孔していたという．想像するだけで気が遠くなるような作業である．

欧米では栗子隧道に先立つこと30年も前に，エアドリルが考案・実用化されていた．世界で初めて圧縮空気による穿孔用削岩機が使われたのは，アルプスのフレジュス峰の直下に建設された鉄道トンネル，モン・スニトンネル(13,657m，1857年工事着手)である．モン・スニトンネルの工事当初は手掘りで作業を行っていたが，イタリア人ジェルマン・ソンメイエによって開発された削岩機が大きな威力を発揮した．

一方，米国では，1866年，米国人C. バリーが圧縮空気を動力とした削岩機を発明してトンネル工事に使用するなど，大陸横断鉄道の建設工事に合わせ，削岩機の開発・改良が進められていた．

5-2-2　アメリカ製削岩機(エアドリル)を導入

西側の地質は硬く，作業の難航が懸念されたころ，三島県令が米国に隧道用の削岩機があると聞いたのが，米国製削岩機を導入する発端となった．

導入したこのドリルは，購入する時点ではアメリカでもまだ３台しか製造していない最新式で，その内の１台は米国が，もう１台はイギリスが購入し，栗子隧道の工事に使用されたのは３台目のドリルだった．

米国にエアドリルを発注し，動力源である蒸気エンジンは，イギリスより部品を取り寄せて，赤羽根(現在の赤羽)の工部省工作局にて製作した．

明治11(1878)年１月下旬，機械は現場に到着したが，既に降雪期に入ったうえに機械は精巧でその取り扱いに不慣れで，正月も返上して組立て作業を行い，２月３日になりようやく試動に成功した．

『栗子山隧道工事始末記』[1]は，最先端の工事用機械を導入したわが国の先進性と，その運転を日本人技術者だけでなし得た技術力を誇っている．

エアドリルの導入は，手掘りによる穿孔に比べて，坑夫20～30人分に相当する掘削効率を示したといい，従来の手掘り工事で最大のネックであった発破のための穿孔作業が飛躍的に改善された．

5-3　発破，ずり出し，照明・坑内換気

5-3-1　掘削に用いた爆薬

栗子隧道の掘削には，爆薬を用いて発破をかける方法を採ったが，その際，爆薬には黒色火薬を用い，導火線で起爆させたと思われる．

当時，既に発明されていたダイナマイトは，それまでの黒色火薬に比べ画期的な爆薬で，米国のフーザックトンネル(7,100m)で珪藻土ダイナマイトを用い，初めて電気発破に成功するなどして好評を得ていたが，日本にはまだ導入されていなかった．

ちなみにダイナマイトを日本で初めて使用したのは，北陸本線・柳ケ瀬トンネルの工事(明治13～16(1880～83)年)である．

5-3-2　ずり出し

人件費の安い当時，ずり出し作業も大部分は人力を主体に行われた．明治13(1880)年７月，南画家・白竜山人(菅原道元)が米沢坑口の様子を描いているが(**図-6**)，そこには，荷車を用いたずり出し作業が見て取れる．二人一組になって小さな荷車を牽く様子はのん気に見えるが，ずりの発生量は限られたもので，荷車程度で事足りたのだろう．

しかし，ひとたびトンネルが貫通し，その後切り広げ掘削が始まると，ずりの搬出も慌ただしくなった．新たに荷車48両を新造したものの，狭い坑内で多くの荷車と作業員が交錯して，坑内作業は難航したという．

栗子隧道の建設工事後も，ずり出し作業の機械化は遅れ，中央線・小仏隧道(明治29～33(1896～1900)年)では，依然としてずりを積んだトロッコを人が押して搬出した．

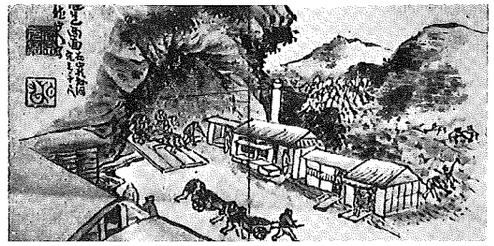


図-6　栗子隧道坑口図(菅原白竜山人画)[3]

中央線・笹子隧道(4,656m，明治29～35(1896～1902)年)でも，当初，ずりの運搬には人畜による方法が検討されたが，結局，日本で初めて電気機関車(米国製)が使われた．

ずりの搬出距離がせいぜい数百m程度だった栗子隧道では，牛馬を使役するまでもなかった．

5-3-3　照明・坑内換気

電力設備のなかった明治初期，トンネル工事の照明は，江戸期の鉱山の坑内とさほど変わることない旧態なままで，植物油を燃やしたカンテラに頼るだけで，掘進に伴い次第に坑内環境は悪化し，暗く煤や粉塵が舞う坑内環境は劣悪だった．

坑内に電灯がつき，照明が画期的に改善されるのは，中央線・笹子隧道の工事まで待たなければならなかった．そこでは，水力発電所を設け，坑内に電灯・電話が設備された．

完成後も真っ暗だった栗子隧道を通行するには，各自が何らかの灯具を携帯しなければならなかったし，灯具を持たず棒をトンネルの壁にあてながら，まさしく手探りで通り抜けた人もいた．

換気には，当時の鉱山と同様に，農家で使う回転式送風機・唐箕(とうみ)が使用された．明治27(1894)年10月に着工し，当時国内最長だった奥羽線の第２板谷峠隧道(1,628.5m)の工事では，掘り進むにつれてカンテラの油煙や爆煙などにより空気が汚れ，坑内は酸欠に近い状態になったため，東西両坑口に設けた唐箕を水車で回転させ，木樋により坑内に送風したという(**写真-3**)．

ちなみに，笹子隧道の初期のころにも，唐箕に木管・鉄管をつなぎ坑内に空気を送ったといい，換気用コンプレッサーは，２年後の明治29(1896)

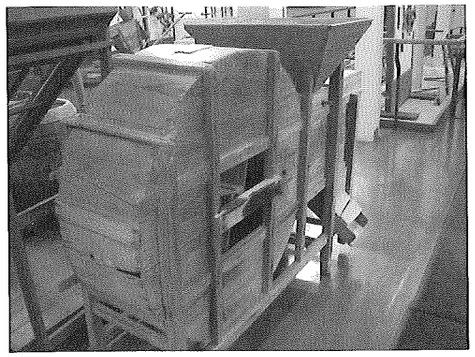


写真-3　籾殻を吹き分ける道具・唐箕

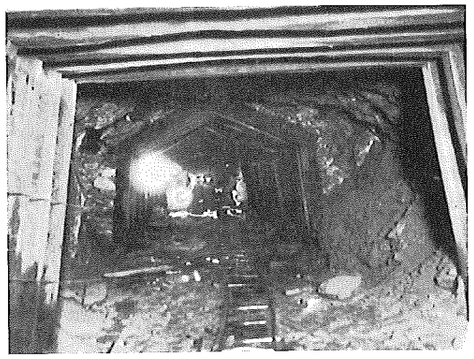


写真-4　栗子隧道坑内の木巻き覆工[3]

年に着工した中央線・小仏隧道の掘削工事から本格的に導入された.

栗子隧道にエアドリルを導入してからは，ドリルを穿孔に使用していないときは，これを坑内に放置して，動力源の蒸気エンジンにより新鮮な空気を送風し，坑内の換気を図り作業環境を改善した.

しかし，エアドリルのなかった東側(掘削延長404m)は，記録には残っていないが，唐箕を用いて換気をしつつ作業を続けたにちがいない.

5-4　覆工と坑門工

5-4-1　覆　工

明治時代に建設された大部分のトンネルは，側壁を布積形式の石積として，その上のアーチ部をレンガ巻きとするか，側壁からアーチ部まで全部をレンガ巻きとした．とくにレンガは，覆工材料として，鉄道・道路を問わず盛んに使われた.

栗子隧道を建設した当時は，日本初のホフマン窯を備えた小菅のレンガ工場で量産が始まってからまもなく，しかも栗子山の現場付近に専用のレンガ工場を設けることもなく，栗子隧道では，かつて鉱山の坑道掘削に用いられた「山留め」が施工されたにすぎない．トンネルの掘削形状は正確なアーチ形ではなく，建設当初から石材やレンガで覆工する用意もなかったのだろう.

栗子隧道の着工直前に完成した宇津谷隧道は，その大部分に角材を組み合わせて「合掌枠」を施した．栗子隧道でも，坑壁が不安定な区間には，部分的に「鳥居枠」や宇津谷隧道と同様に「合掌枠」を施した(**写真-4**)．合掌枠は，股木と呼ばれる柱材と押木と呼ばれる梁材を斜めに組んで土圧に対抗するもので，留の接合部分を手を合わせたように斜めに組んだことからその名がある.

昭和9(1934)年に拡幅改良した際に調査した記録によれば，素掘り区間が623m(72%)，木巻きの区間が231m(26%)で，掘削中に崩落した対策を講じたものか，山形側に1か所16m(2%)ほどコンクリート巻きとした区間もあった.

地山が堅硬だった山形県側は，坑壁も安定した区間が多く，その約90%が素掘りのままである．一方，岩質が比較的軟らかかった福島側は，木巻きした区間が約半数45%に達している.

なお，同時に建設が進んだ福島寄りの二ツ小屋隧道では，明治13(1880)年，工事中に大規模な崩落が発生し，木製支保工のほかに，目地にセメントモルタルを用いた切石による覆工を行った．この難関にあたって，福島県は同年8月，「土石留方法」を習得すべく，掛官員を大阪鉄道局に派遣した(**図-7, 8**).

当時，大阪駅構内には，鉄道の建設・運営にあたる技術者を養成することを目的に，「工部省鉄道局工技養成所」が設けられていた．ここには，外国人技術者のほかに技師・飯田俊徳らがいて，東海道線(京都～大津)の鉄道建設やトンネル工事の技術指導にあたっていた．大阪鉄道局は，既に逢坂山トンネル工事(明治11(1878)年10月～明治12(1879)年9月貫通)を経験するなど，トンネル工事に関する技術情報を蓄積していたのだろう.

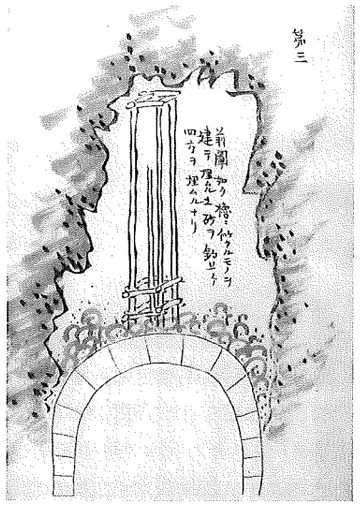


図-7　二ツ小屋隧道の切石覆工[4]

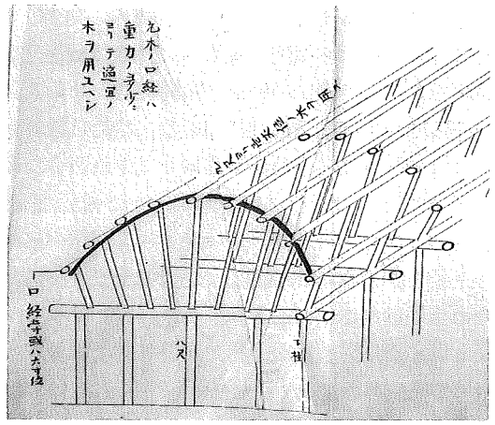


図-8　二ツ小屋隧道の木製支保工[4]

5-4-2　坑門工

栗子隧道では当時の国家的プロジェクトながら，坑門に意匠を施したり扁額を掲げるどころか，坑門工すら設けられなかった.

栗子隧道とほぼ時を合わせて建設された逢坂山トンネルには，太政大臣三条実美の筆による「樂成頼功」の石額があり，柳ケ瀬トンネルの坑門には，参議・伊藤博文の書になる扁額が掲げられているのとは大違いである.

明治10(1877)年7月に栗子隧道を訪れたEscherが，米沢側にある別のトンネル苅安隧道の坑口で写したという写真には，坑門工と花飾りのような装飾が写っている(**写真-5**).

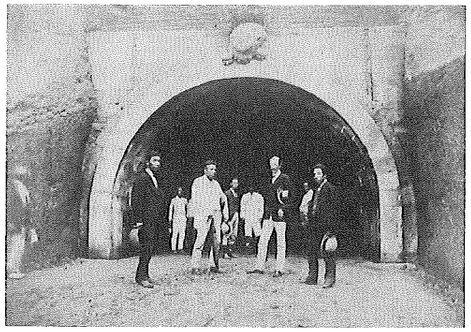


写真-5　苅安隧道坑口(上林好之氏提供)

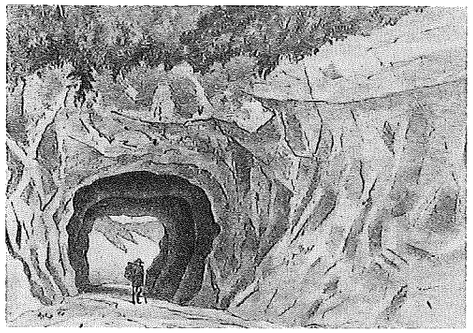


図-9　苅安隧道西坑口図(高橋由一画)[3]

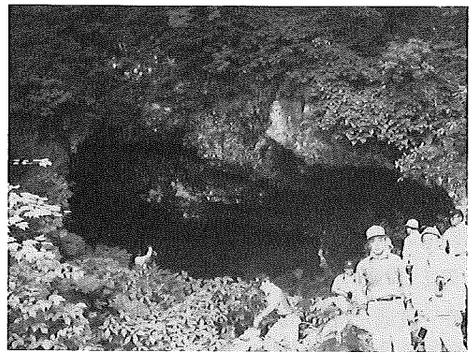


写真-6　栗子隧道西坑口(明治期建設)(撮影H20.7.12)

このように苅安隧道や逢坂山トンネルの坑門工が意匠されたのに比較し，国威を賭けて建設した栗子隧道の坑口が，何ら装飾を施すこともなく無造作なままなのは不思議でもある.

なお，菅原白竜山人や高橋由一が描いた苅安隧道(**図-9**)には坑門工が描かれておらずEscherが写したこの写真とは整合せず謎である.

昭和8～11(1933～1936)年に栗子隧道を含む万

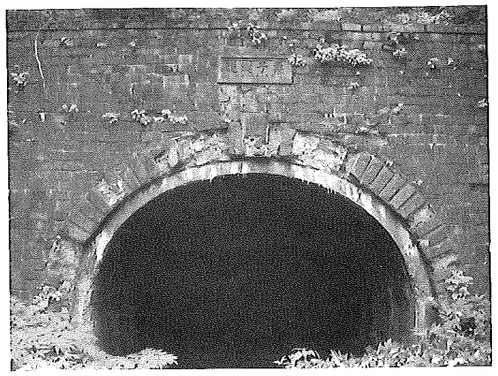


写真-7　栗子隧道東坑門工(昭和初期改築)
(撮影H20.7.12)

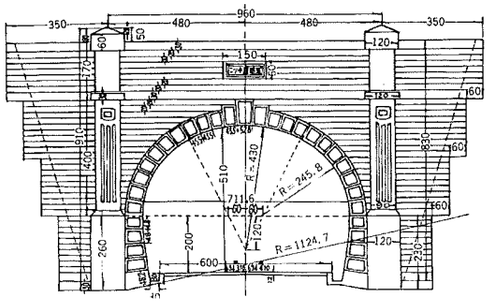


図-10　二ツ小屋隧道東坑門工(昭和初期改築)[3]

世大路の改良工事を実施した際にも，栗子隧道の坑門工には意匠を施すことはなかった．同時に建設した二ツ小屋隧道の坑門には壁柱をあしらい，印象的な坑門工としたのに比べ，栗子隧道は単に面壁で坑口を押さえただけである．当時の技術者達は，ことさら栗子隧道に記念性を付与しようとは考えはなかったのだろう(**写真-6, 7，図-10**)．

5-5　貫通と掘削進度

山形・福島両県が新道開削を「結約」した際，新道の「建設結了」を明治10(1877)年11月に予定していが，実際には冬期間も休むことなく工事を続けたものの，工事は大幅に遅れ，無事に貫通に漕ぎつけたのは，明治13(1889)年10月になってのことである．明治９(1876)年12月に試掘を開始して以来４年近く経ていた．

歴史的な隧道の貫通の様子は，『栗子隧道工事始末記』[1]や『栗子隧道碑記』[2]に劇的に記録されている．

明治13(1889)年７月中旬になって，東側の坑内で西側で使用するドリルの音がかすかに聞こえたという．西側でも東側のツチ・ノミの音が確認でき，坑夫達は勇躍した．

そのとき，残った掘削必要延長は六十間(約108m)ほどで，その後，坑夫達は互いに励ましあい，東西両側から競って掘削したという．

その３か月後，栗子隧道はついに貫通した．貫通孔を切り広げるに従い，風が次第に強く吹き抜け，その場に立っていられないほどだったと，記録には貫通時の様子が活き活きと描写されている．

さて，難儀した掘削工事だったが，掘削速度はいかほどだったのだろうか．貫通するまでのこの約３か月間，１日あたりにすると両側から約1.2m(片側0.6m)の割合で掘削したことになる．全力で掘ってもおおよそこの程度の掘削進度だった．

工事期間全体での平均掘削スピードを推計してみよう．西側から掘削を本格的に開始した日付は不明確ながら，坑夫の一部を東側に振向け東西両側から同時に掘削しはじめたのは，明治11(1878)年５月であることはわかっている．それから，明治13(1880)年10月18日に貫通するまで約930日程度を要したことになる．すなわち，東側404mを１日も休まず930日で掘削したとすると，１日あたりの平均掘進量は0.43mということになる．

なお，『栗子隧道碑記』には「一日所穿猶不辺数寸」と記されており，１日の掘削進度は「数寸」程度であったという．なにぶん碑文のことで，工事の難儀を必要以上に誇張している面もあるかもしれないが，もっとも難航したころは，１日あたりの平均掘進長は，まさしく「数寸」程度だったのだろう．

6　George Arnold Escherの助言

6-1　外国人技術者 Escher

栗子隧道の建設にあたっては，米国製エアドリルの導入に見られるとおり，一部欧米のトンネル技術が導入されたが，その計画・工事は，山形県土木課長・高木秀明をはじめ日本人技術者の独力で行われた．しかし，栗子隧道の建設工事を語るとき，外国人技術者Escherによる指導が強調さ

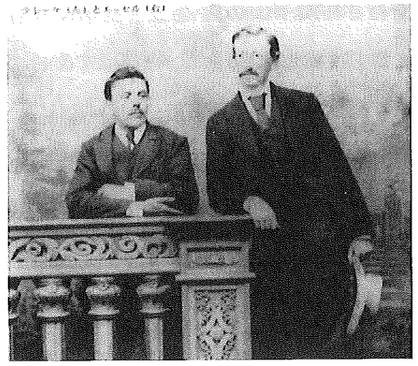


写真-8　G. A. Escher (右)とJ. de Rijke (左)[5]

れることが多い．ここで，栗子隧道に果たしたEscherの役割を振り返っておきたい．

明治新政府は，治水と築港に優れた技術を有していたオランダから，技術者８名を招聘したが，そのうちの一人に，George Arnold Escherがいた(**写真-8**)．

Escherが内務省土木寮に配置になってまもなくの明治10(1877)年３月，内務省は，中央政府の承認を得ないまま栗子隧道の工事を見切り発車した山形県に対し，Escherを派遣するまで隧道工事を一時中止して待つようにと告知している．内務省はEscherに，栗子隧道完成の見込みを見極めさせようとしたのだろうか．

しかし種々の分野で実務経験が豊富だったというEscherだったが，オランダの土木技術者だった彼が，どれだけ山岳トンネルの建設技術に関する知識・技術力を有していたのか疑問のあるところである．

6-2　Escherによる現地視察

Escherは，明治10(1877)年７月，急遽，栗子隧道の現地調査に赴き，７月２日，三島県令に同行され栗子山の隧道工事現場に到着して隧道の坑口を視察した．そして，一行はその日のうちに栗子山を下山し，Escherを同席させたうえで，「隧道開業式」を盛大に挙行した．

ところで，Escherが現場視察したころ，工事の進捗はいかばかりだったろうか．『栗子山隧道工事始末記』[1]は，栗子隧道の建設工事開始について，「栗子山隧道ニ着手ス時積雪山ヲ埋ム之ヲ拝シテ工ヲ創ス其岩石堅硬ナル事甚タシ(中略)此ノ日十二月十八日ナリ」と記していて，一般に，工事の開始は明治９(1876)年12月18日とされている．それは三島が当時の内務卿大久保利通宛に，上申書「苅安新道開削ノ伺」を提出する２日前であった．

こうした工事の見切り発車は，三島が中央政府に対して，栗子隧道を含む苅安新道の工事着工を既成事実化するために行ったデモンストレーションの意味合いが強かった．

しかし，Escherによる現場視察が行われた直後の明治10(1877)年７月18日には，福島県から東側坑口の位置を下げるべきとのいわゆる「トンネル坑口位置問題」が提起された．掘削工事が本格化したのは，この「坑口位置問題」が，Escherによる再度の現地調査結果をもとに決着した同年９月28日の後のことだろう．

Escherが現場を視察した時点で，本格的にトンネル掘削が始まっていなかったとすれば，Escherは施工計画について工事関係者と意見交換することはあっても，掘削工事自体に深く指導・助言することはなかっただろう．

6-3　Escher視察の意義

政府の承認を得ないままに工事を始めた三島だったが，さすがに政府から工事中止命令が出され慌てたのだろう．工事開始の翌年・明治10(1877)年になると，４月から５月にかけて，政府に新道開鑿を波状的にくり返し内務省に許可申請をしていたが，その結果，同年５月12日に指令(許可)が下りた．ただし，土木局からは，「工師栗子隧道ニ出張ノ時ニ検査云々」(『栗子山隧道工事始末記』[1])との条件が付けられた．そこで，政府の指導に従いEscherを早く派遣してくれるよう要請し，Escherが栗子隧道の現場に赴いたのは先に述べたとおりである．

つまり，三島にとっては，政府が言う外国人技術者のお墨付きを得ることが第一で，Escherから事業に反対意見が述べられなければそれで良かった．そのため，現地視察はわずか１日だけの慌ただしいものだった．

むしろ，三島はあえてEscherの現地視察の当日に合わせて「開業式」を挙行し，Escherの視察によって政府のお墨付きを得たことを強烈にアピールしたのである．

そんな三島の思惑とは別に，Escherは実に誠実だった．『栗子山隧道工事始末記』[1]から改めて栗子隧道工事に関するEscherの指摘を整理してみよう．

- 隧道ノ工事ハ測量ノ精ナルヲ以テ第一トス
- 其工ニ係ル者ノ膽(胆)力ノ如何ニアルナリ
- 此ノ工歳月ヲ費ス久シカルヘシ
- 其土石ノ質ニ至リテハ隧道トナスニ適セリ
- 今ヨリ時々測量ヲ試ムヘシ
- 此ノ餘余ニ於テ別ニ目的ノアルナシ

Escherは測量の重要性を強調したほかに，地質はトンネル掘削に適するほど堅固で，むしろ三島達が想定している工期内に掘削を終えることは困難であると，工事担当者の苦戦を暗示し，関係者の勉励努力を促している．

Escher自身，トンネル掘削に十分な指導をし得なかったことを自覚していたのだろう．後に三島県令が送った隧道の貫通を報せる便りに対し，明治14(1881)年5月30日に返事が到着した．そこには，「實ハ小生該事業ニ付テハ僅カニ関渉セシノミナルニ　尚態々御通信ヲ辱フルハ殊ニ御厚情ノ至リト奉存候」と謙遜している．

栗子隧道の視察に伴いEscherがわが国に残した功績は，むしろ，「栗子隧道坑口位置問題」に見られた山岳道路の縦断勾配のあり方を指摘したことだろう．

6-4　Escherと測量

Escherが初めて栗子隧道の現場を視察した際，測量の重要性を強調したびたび測量を実施すべきと力説した．

山形県はその頃，近代的な測量技術を入手していて，実際の測量作業は山形県の若い技師・中村童章がかなり精緻な測量をしていたらしい．栗子隧道を掘削しはじめる直前のころ，宇津之谷隧道の工事では，和算家・古谷道生とその門人達が測量を行っていたが，長さ224mにもかかわらず両方から掘り進んだものの，予定した貫通点に達しても両者は出会わなかった．当時の測量技術はそれほど未熟だったのである．

最終的にトンネル測量の精度は，貫通精度によって確認された．『栗子隧道碑』[2]は，「記東西相合不差尺寸人乃服測算之至精与工事之能謹也」と，さらに『栗子隧道工事始末記』[1]は「而シテ其鑿鉏相ヒ交ハルヤ東西隧線毫モ相ヒ左右シ相上下スルコトナク真ニ符節ヲ合スカ如シ　則チ測量ノ精ナルト工事ノ測線ヲ踐テ精ナル実ニ神妙ト云フヘシ」と，いずれも東西から掘り進んだ坑道は少しの誤差もなく合致し，高い測量精度だったことを自賛している．

7　あ と が き

7-1　日本人技術者が独力で建設した栗子隧道

米国製のエアドリルの導入やEscherによるアドバイスはあったもの，栗子隧道の建設工事は，日本人技術者によって成し遂げられた．

鉄道頭・井上勝は日本で最初の山岳鉄道トンネルである逢坂山トンネルを建設するにあたり，当時，鉄道建設に雇われた外国人が150人を超えていたにもかかわらず，日本人技術者の手だけで建設することを提案した．実際に，逢坂山トンネルは日本人技術者だけの手で完成され，鉄道技術の自立への先鞭をつけた．

栗子隧道は，逢坂山トンネルの着工より約2年も早く，しかもトンネル延長は約4倍という条件ながら，三島は井上に先だって，栗子隧道を日本人技術者だけで掘り抜こうとした．

政府からEscherによるお墨付きを得ることを条件付けられ，それに従ったものの，その企画から建設工事まで一貫して日本人技術者だけで推し進めたのである．三島は，その理由を語り残してはいないが，揺るぎない自信と信念があったのだろうか，それともただ楽天的だったのだろうか．

このプロジェクトを成功に導いた土木技術者の一人に，三島と同じ薩摩藩出身で土木事業に精通した山形県一等属土木課長の高木秀明がいた．栗

子隧道をはじめ，三島が山形県内で手がけた土木工事で，三島の重要な片腕となった人である．

栗子隧道の建設工事は，当時の日本の土木技術・測量技術の水準を試し，それをさらに発展させるための実験場となった．万世大路・栗子隧道を語るとき，ともすると三島の業績ばかりに光があたりがちであるが，日本の近代土木技術の発展に占める技術的な意義と，この工事に携わった日本人技術者の存在を忘れてはならない．

7-2　万世大路と栗子隧道のその後

万世大路が完成すると，冬期間には2mを遥かに超える積雪と北西の季節風によって冬期の約6か月間通行が不可能だったとは言え，奥羽山脈を越える交通に大きな変化をもたらした．

しかし，精魂を込めて建設した万世大路は，まもなく廃道寸前に帰してしまった．というのも，明治32(1899)年5月に現在の奥羽本線(福島～米沢間)が開業すると，貨物の輸送が途絶し，万世大路および七ヶ宿街道沿いに甚大な打撃を与えたからである．そのため，道路は荒れるにまかせ，栗子隧道の一部では落盤が生じ，湧水によっていたるところに膝まで没する水溜りができたという．

万世大路が物流幹線ルートとしての役割を予想外に早く終えたその原因の一つは，皮肉にも馬車輸送を主眼としたことによる．日本の交通は，欧米のように馬車輸送時代を経ずに，一足飛びに鉄道交通に転換したのである．

その後，再び道路が物流を担いはじめるのは，日本に自動車交通が普及しはじめる大正年間まで待たなければならなかった．そのため，栗子隧道が建設された後，それに続く道路トンネルは不在で，栗子隧道は戦前まで長きにわたり最長の道路トンネルであり続けた．

自動車道交通を対象とした道路トンネルが実質的に建設されはじめるのは，モータリゼーション時代を迎えた昭和30年代後半に入ってからである．

栗子隧道は，昭和初期に2代目となる栗子トンネルを拡幅掘削したため，そのほとんどが消失してしまい，今山形側の旧坑口だけが残っている．その姿は，完成したばかりの面影とはほど遠いが，トンネル工事のありさまを証言している．

第三世代のハイウエイといえる東北中央自動車道の建設工事が進むいま，奥羽山脈を越えた第一世代のハイウエイである万世大路・栗子隧道の歴史的な事業を再度，評価・検証するとともに，東北中央自動車道の建設意義を，改めて確認する必要があろう．

参　考　文　献

1) 山形県史編纂委員会：山形県史資料篇ニ明治下期三島文書．
2) 建設省東北地方建設局福島工事事務所：福島県直轄国道改修史昭和6年～昭和37年，1965.3.
3) 建設省福島工事事務所：栗子トンネル工事誌，1968.7.
4) 福島県：万世大路事業誌(福島県歴史資料館蔵)．
5) 上林好之：オランダ人技術者エッセルとデ・レーケの書簡の紹介，月刊建設，1997.5.
6) 福地合一：アルプス越え鉄道の今昔，昔モン・スニ今L.T.F，交通新聞社，2003.6.

『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」の投稿は受付けしておりません)

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)

THパイプルーフ技術協会 通常総会および懇親会開催

THパイプルーフ技術協会は，4月23日に東海大学校友会館(東京)で第12回通常総会および懇親会を開催した．

通常総会では，理事役員の一部選任が行われ，新会長に荒井民雄・日特建設(株)常務取締役事業本部長が選ばれた．また，平成20年度事業報告，収支決算報告，平成21年度事業計画および収支予算を審議し，満場一致で承認された．

総会後に行われた懇親会の冒頭で荒井新会長から挨拶があり，昨今では構造物を直接押し込む工法にシェアを奪われがちだが巻き返しを図りたいと抱負を述べた．

漆久保トンネルが開通

安曇野市明科にある旧国鉄篠ノ井線の廃線敷にある漆久保トンネルが「開通」し，4月8日式典が催された．

同トンネルが位置する旧国鉄篠ノ井線は明治35年に全通し長野県の南北を結び，多くの人や物資を運搬してきたが，昭和45年に蒸気機関車が姿を消して電化され，昭和63年に新線が完成したことで86年間の役目を終えていた．その後，周囲の鉄道敷跡を散策路として整備してきた同市がこのたび補修と整備を完成させ，約20年ぶりの開通を迎えた．

廃線敷きには3万本のケヤキ並木が残り，春の新緑と桜・秋の紅葉と年間を通して楽しむことができることから，市では観光の新名所として期待している．

岩籠山トンネルで貫通式典

中日本高速道路が整備する舞鶴若狭自動車道の岩籠山トンネルが貫通し，4月10日現地で貫通式典が行われた．同トンネルは，約1,700mのNATMトンネルで，美浜(仮称)IC−敦賀JCT間に位置する．

大夕張トンネルが貫通

東日本高速道路が整備する道東自動車道大夕張トンネルが貫通し，4月16日現地で式典が催された．

同トンネルは，夕張・穂別IC間に位置し，全長4,175mは北海道内では国道236号野塚トンネルの4,232mに次ぐ2番目の長さとなる．

同区間は2011年度の開通を予定しており，開通すれば道央と道東が高速道路で直通する．

賤機山トンネル貫通

中部地整が整備する静清バイパス賤機山トンネルが貫通し，4月22日貫通式が行われた．

同トンネルは全長537mのNATMトンネル．静清バイパスの全線暫定2車線化以降，交通渋滞や交通事故が慢性的に発生することから，これらの解消を図るために4車線化整備を進めている事業の一環．2008年9月に工事を開始し，このたび貫通に至った．

椎谷岬トンネルが貫通

新潟県が整備する国道325号椎谷岬トンネル(886m)が貫通し，現地で式典が行われた．

同トンネルが位置する柏崎市椎谷地区では，2002年7月16日の新潟県中越沖地震により斜面の大規模崩壊が発生したことで，同道が通行不能となっていた．このため道路災害関連事業として2002年10月にトンネル計画が採択され，08年5月から工事を行っていた．

日の出トンネル開通

島根県が整備する県道・浦郷漁港臨港道路の日の出トンネルが4月22日開通し，現地で式典が催され，西ノ島町立浦郷小学校の全校児童59名の鼓笛隊を先頭に関係者ら約100人が通り初めを行った．

同トンネルは，延長115mの機械掘削によるNATMトンネル．現道である国道485号は海岸線沿いを走っており，道路幅が狭いうえ，カーブが連続していることから，大型車両の円滑な輸送路の確保と安全な道路の整備が望まれていた．

温川トンネルが開通

和歌山県が整備する国道371号温川バイパスの温川トンネル(約460m)が完成し，4月30日に記念式典が行われた．これに伴い同バイパスは全線開通した．

赤岩トンネル(仮称)が貫通

北陸地整が整備する国道49号揚川改良事業(事業区間約7.5km)で，赤岩トンネル(仮称)が4月24日貫通し，現地で貫通式典が行われた．

同トンネルは全長2,661mの発破掘削によるNATMトンネルで，2002年6月に工事着手したもの．

揚川改良は，一般国道49号，阿賀町内の落石危険箇所と事前通行規制区間を迂回し，安全で円滑な道路ネットワークを構築し，安心して暮らせる地域作りを支援することを目的とする延長7.5kmのバイパス事業．

連載講座

沈埋トンネル(2)

—計画・調査—

「沈埋トンネル」連載講座小委員会

(株)オリエンタルコンサルタンツ釜山プロジェクト事務所長　髙　橋　正　忠

本講座第2回では，沈埋トンネルを計画するにあたっての留意点と，設計および施工計画を経て建設を具体化するまでの各段階で必要になる調査について主要事項を述べる．

① 計画の概要

沈埋トンネルの構想・計画段階では，以下の項目について概略の検討を行って全体としての見通しを立てておく．

① 沈埋工法採用の妥当性
② 平面，縦断計画
③ 沈埋区間長と函体長
④ 断面形状
⑤ 立坑の有無，位置および護岸処理方法
⑥ 沈埋函の製作ヤード
⑦ 浚渫土砂処分と埋戻し材採取計画

①については次節で述べ，②〜⑦について概要を述べる．

まず水路横断のルートと縦断線形を計画し，トンネルの総延長および取り付け区間を含む路線全体を把握しておく．次にトンネルの用途に応じた所要内空断面とその配置を検討し沈埋函の概略断面形状を設定する．目的とする内空断面のほかに，付帯施設として必要な内空も考慮する．道路トンネルの場合には，トンネル延長と交通条件に応じた換気計画を立て，必要ならば換気ダクトの断面を設け，また避難通路を計画する．

トンネル全長のうち沈埋区間をどれだけにするかは，護岸周辺の立地条件と，護岸前面の水深，陸上部の施工深度を念頭において計画する．沈埋トンネル始終端が陸上部に入り込む場合は，水域部と比べ荷重変化が大きいので沈下対策などに注意が必要である．沈埋函の長さは，施工中の航路使用条件，沈設設備機材の規模，沈埋函の継手に可撓継手を採用する場合の継手設置間隔などを考慮して計画する．

立坑は沈埋函沈設の起終点となる構造物としての役割をもつ．道路トンネルの場合には，同時にこれをトンネル施設収容建物として利用し，上屋構造物を設けるとともに，換気のために立坑の上に給排気タワーを建てる構造とすることが多い．しかし，換気所は必ずしも立坑位置にある必要はなく，トンネル軸線から分離して建てられることもある．また，陸上トンネル端部を直接沈埋トンネルとの接続点とすることもある．護岸処理方法は，沈埋函沈設時に必要な仮護岸と，完成後の護岸形態の両者に対して合理的な計画をすることが重要である．護岸構造は沈埋トンネルの構造および施工法と相互に関係するので慎重に計画すべき事項である．

沈埋工法を計画するうえで，沈埋函の製作方法と製作場所の選定はもっとも重要な課題である．予備検討の段階では，沈埋函の施工方式を特定できない場合が多い．したがって，ドライドックを

使用してコンクリート構造沈埋函を全函同時または数回に分けて製作する方法，既設の造船所施設などを利用して鋼殻形式の沈埋函を順次製作する方法など，いくつかの方法を多面的に計画しておき，製作方法と沈埋函構造の関連性を整理しておくのが望ましい．また，沈埋工法では水底土砂の浚渫とその処分，埋戻し材の使用など大量の土砂および砕石材料を扱うので，材料の入手計画，土砂処分計画など環境影響を含めて事前に実行可能性を検討しておく．

② 水域横断形式の比較

土木構造物の形式選定をするとき，通常いくつかの可能な形式を比較検討し，構造の合理性，安全性，経済性，施工性，景観，環境保全などの評価を行い，これらを総合評価したうえで採用形式を決定する．沈埋トンネルを採用する場合も，水域を横断する形式としての橋梁との比較，また他の水底トンネル工法としてシールドトンネルとの比較が行われることが多い．計画初期の段階ではこれらの比較検討を行い，沈埋トンネル採用の妥当性を確認しておく．

2-1　橋梁との比較

500m程度以上の水域幅があるとき，橋梁とトンネルのどちらが有利かはよく議論されることである．航路幅が400m程度の大型船航路を横断する場合を考えると，橋梁案では大規模な基礎と高い橋脚をもった長大橋梁となり，斜張橋，吊り橋，トラス橋などが比較する橋梁形式となる．臨海地域の軟弱地盤上にこのような長大橋梁の基礎を構築するのは多大な費用を要する一方，沈埋トンネルでは長い距離は問題とならず，沈埋函には浮力が働くため支持力が問題になることは少ない．また浮力に対抗する自重を得るために相当する部材厚が必要であるが，水深が深く水圧が大きい場合も必要な部材厚と重量がバランスし無駄になることはない．

縦断線形上の優劣を考えると，橋梁では航路を航行する船舶を通過させるクリアランスに桁高を加えた高さが必要になり，沈埋トンネルでは水底面から必要な土かぶり厚(通常1.5～2m)とトンネル断面の高さを加えた深さが必要である．航路に必要なクリアランスは，大型客船で水面上約50m以上，水深は大型貨物船が通過できる航路で－15m程度必要である．したがって，計画高の位置は橋梁の場合水面から55m前後，道路沈埋トンネルの場合は断面高が10m前後なので水面下－27m前後となる．地表面高を＋4mとすると，航路横断面に必要な両者の高低差は橋梁の方が20m程度余分に必要で，道路トンネルを想定し取り付け縦断勾配を4％とすれば，取り付け区間を含む全長は沈埋トンネルの方が1,000mほど短くできる．これは工事費節減のみでなく，買収用地の縮小，勾配延長の縮小による交通上の利点と交通に要するエネルギー節減をもたらす．

航路への影響を比較すると，沈埋トンネルでは，航路部に橋脚などの障害物がなく，高さ制限もないので船舶航行上からは有利である．ただし，工事中にはトレンチの浚渫，基礎の施工，沈埋函の沈設，埋戻しに伴い，船舶航行の制限や仮航路の設定などに慎重な計画が必要となる．

中小河川のように横断する水路幅が比較的せまく，高いクリアランスも必要ないときには，橋梁の選定が一般的であり工費も安価である．ただこのような条件でも，例えば地下鉄の河川横断など，取り付け部の線形や立地条件からの制約により沈埋トンネルなどのトンネル案が採用されるケースもある．

2-2　シールドトンネルとの比較

水底トンネルとして採用される他の工法としては，シールドトンネル，ケーソン工法，締め切り開削工法がある．このうち，締め切り開削工法は水深が浅く延長の短い河川を横断するようなときに採用される．延長が短くても水深が深い場合は，まれにケーソン工法が用いられることがある．

延長が数百m程度，水深が10m程度の場合はシールドトンネルが沈埋工法の比較対象になる．シールド工法が沈埋工法ともっとも大きく異なる点は，トンネルの浮き上りに対する安定性の確保，およびシールドの安定掘進のため，沈埋トンネルに比

べて大きな土かぶりが必要で，計画高が低くなる分だけ深くなりトンネル延長が長くなることである．シールドトンネルはその工法の特徴から通常は断面形状が円形であることから，例えば道路トンネルで2車線を超える断面を構成するには大断面の円形トンネルとなり，往復2本のトンネルを掘削することになる．長大トンネルであれば並列したトンネルを連絡する横坑も必要となる．一方，シールドトンネルの利点は，工事中も船舶航行など，水域への影響がないこと，土砂処分量が少ないことである．沈埋トンネルかシールドトンネルかを選定するときには，これらの構造・施工方法にかかわる両者の長短を考慮して判断しなければならない．

③ 平面・縦断線形の計画

3-1　沈埋トンネル始終端の位置

沈埋区間の始終端の位置を最初に設定する．始終端位置の決定要因には次のようなものがあり，これらを総合的に評価してもっとも妥当と考えられる位置を決定する．

① 沈埋トンネルの頂部が水面下に位置する深さであること．

② 施工時の護岸処理や完成後のトンネルへの荷重条件，護岸部分の土地利用条件などから，護岸線位置との関係を十分考慮すること．

③ 両側取り付け部トンネルの深度や，施工に必要な仮締め切りの占める範囲などの施工条件が厳しくならないよう注意すること．

④ 陸上構造物(立坑や陸上トンネル)周辺の土地利用などが限定される場合，そこが沈埋トンネル端部となることがある．

⑤ 沈埋トンネルからすぐにランプにつながるなどトンネルが断面変化する場合，沈埋函の形状変化を考慮し，沈埋函の製作，運搬に支障がない範囲とする．

3-2　平面線形

沈埋トンネル区間に平面曲線が入らなければ沈埋函の製作が容易になり，沈埋トンネル部は直線とするトンネルが多い．平面曲線半径は$R=300$m程度までの施工実績があり，施工上の制約になるわけではない．平面曲線と縦断勾配が組み合わされると，沈埋函の形状寸法が複雑になることを考慮しておかなければならない．

3-3　土かぶりと縦断線形

沈埋トンネルは，完成後にはそれ自体の重量で浮力に抵抗して安定させるため，原理的にそれ以上の重量追加はいらないが，沈埋函自体の防護や洗掘防止のためにトレンチを埋戻し，現海底面高を維持して沈埋函の上面は1.5～2m程度の土かぶり厚をとる．したがって，水底面からこの土かぶり厚を加えた深さに沈埋函の上面がくるように縦断線形を設定する．

沈埋函上面の土かぶり厚をどの程度にするかは縦断線形設定のコントロールポイントとなり，全体の計画および経済性に影響する．土かぶり厚さは世界各国の事例では50cmから2m程度の範囲にあり，航路や船舶航行の規模，流況など，水域の状況によって設定される．大型船舶の航行する航路では，投錨，走錨時の錨の貫入深さと錨の重量の関係が実験的に求められており，この結果にもとづき錨から沈埋函を防護するのに必要な土かぶり厚を決定することができる．これらのほか現状よりも深い将来計画の航路水深を確保することもあるので，港湾区域にある沈埋トンネルでは，港湾計画と整合の取れた設置深さとする必要がある．

縦断線形の特異な事例として釜山の沈埋トンネルがある(**図-1**参照)．この例では沈埋トンネル両側が海上橋梁および山岳地道路であり，いずれも計画高が高い位置へ取り付けねばならず，両端の斜路勾配区間で沈埋トンネルが海底面から高く盛り上がっており，海底盛土をする計画である．橋梁側の斜路部は軟弱粘性土地盤であり，基礎地盤をサンドコンパクションパイルで改良して大きな盛土荷重とそれに伴う沈下に対応している．また海底盛土はロック材およびコンクリートブロックで被覆して海流に対する洗掘防止を行う．

沈埋函1函の縦断形状は一般に直線で製作されるため，沈埋トンネル区間全体は継手位置で折っ

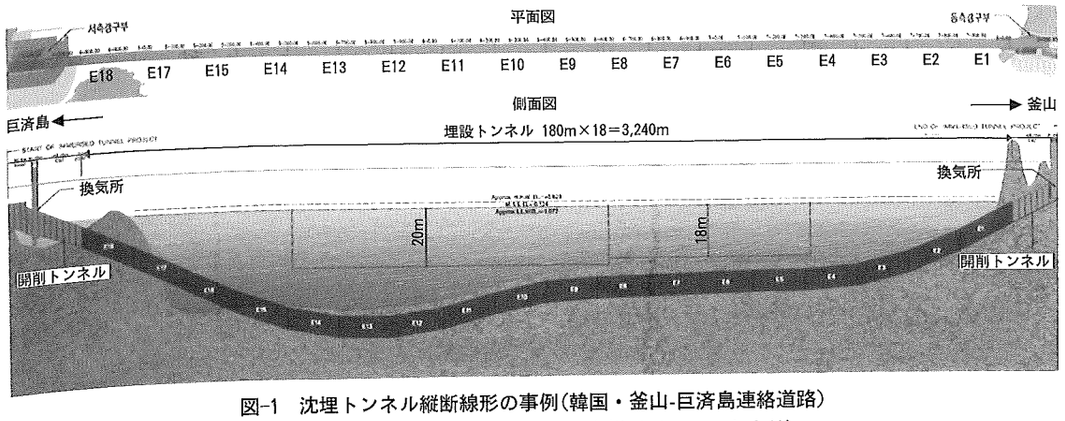


図-1 沈埋トンネル縦断線形の事例(韓国・釜山-巨済島連絡道路)
(Busan-Geoje Fixed Link Project 広報パンフレットより)

た折れ線で構成される．したがって，路面位置の縦断線形に縦断曲線が入ると，沈埋函の設置勾配との間に相対差ができ，内空高さや路床厚さが位置によって変化する．この相対差があまり大きくならないような縦断線形および沈埋函の長さを設定する．

3-4 沈埋函の長さの設定

沈埋函の長さは上述の線形との関係のほか，製作ヤードの規模，断面サイズとの関係，沈設方法，沈設時の航路切り替えとの関係，沈埋函の継手の配置間隔との関係などの諸要因を考慮して設定する．沈埋函の断面の大きさと函体長とは関連性は少ないが，鋼殻構造で小断面の場合などは，曳航運搬時の剛性，変形などに注意して長さを決める必要がある．沈設工事中の航路確保は沈埋工法では重要な問題であり，函体長を決定する重要な要素になる．また沈埋函の継手を可撓性継手とする場合は，地震時や沈下および温度変化による沈埋函の発生応力が函体長と密接に関係する．沈埋函の長さはこれら設計上の要求と施工方法，施工条件を勘案して適切な長さとする．道路，鉄道トンネルの事例では，通常100m前後が多いが，最近は沈設回数を少なくし，沈設設備機材を大型化して長大な沈埋函を沈設する事例もある．韓国・釜山－巨済島連絡道路トンネルは180m×18函，デンマーク・スウェーデン間のオレスンドトンネルは175m×20函である．

④ トンネル断面の計画

4-1 内空断面と横断面形状

内空断面の構成要素には，トンネルの用途に応じて主目的とする道路空間，鉄道空間などの建築限界のほかに，管理用通路，避難通路，換気施設用のダクトまたはジェットファンなどの機器設置空間，照明・標識・防災・通信施設の設置スペース，内装および耐火被覆設置スペース，浮き上がり防止のためのバラスト設置空間，平面縦断曲線や横断勾配にともなう断面拡大空間，施工精度を考慮した余裕空間などがあり，計画によっては共同溝の併設などもある．沈埋トンネル特有の必要空間として，浮き上がり防止用のバラスト空間がある．これは通常道路の路床構造または軌道を支えるバラストとして，車道または軌道の下方に設置し，砕石やコンクリートを用いた構造とする．他の用途のトンネルの場合も，トンネル断面の下部に歩行用の路面または床構造として設置する．

トンネルの用途に応じて各種必要内空の配置を検討し，外形断面積および躯体断面積が最小で，かつ重量と浮力のバランスが取れており，応力上も合理的な沈埋函の断面形状を設定する．沈埋函の重量と浮力の関係は，沈埋函を浮上曳航させるために必要最小限の浮力で安定して浮上でき，沈埋トンネル完成後には最小限の付加バラスト重量で所定の浮き上がり安全度を確保できるのがもっとも合理的かつ経済的である．この目安となる値は沈埋函のみかけの重量が全浮力の１％程度となるのが適当である．高さが10mの長方形沈埋函であれば，乾舷量(水面上に出る高さ)は約10cmとなる．沈埋函横断面の形状は大別して長方形と円形があり，これらの変形で八角形，眼鏡型などがある．沈埋トンネルの歴史的発展過程から，円形タイプは鋼殻方式でアメリカに多く，長方形タイプはコンクリート方式でヨーロッパおよび日本で多く用いられている．道路２車線や鉄道複線程度までの比較的小さい内空断面であれば円形や眼鏡型は構造的に有利な形状である．３車線以上の広幅員道路などでは，円形に比べて沈埋函の高さが低くできるため，長方形タイプが相対的に有利となる．どのような沈埋函形状を選定するかは内空断面の規模，配置すべき内空の種類と位置，構造上の優劣などを勘案して定めるのがよい．

4-2 トンネル施設の計画

基本計画の段階では取り付け部も含めたトンネル全体としての施設計画もまた重要である．とくにトンネル運用にあたって各種設備が必要な道路トンネルでは，換気所，アプローチ部，管理棟，トンネル監視施設，受変電所などの基本配置計画を行うとともに，トンネルを含む広域道路交通管制，維持管理作業基地，防災施設の運用と非常時避難計画などについても検討し，トンネル断面計画にこれらを反映させる必要がある．

⑤ 沈埋函の構造と製作方法

沈埋函の構造形式には，①鋼殻方式，②鉄筋コンクリート方式，③プレストレストコンクリート方式，④鋼コンクリート合成構造，⑤セグメント式などがあり，いずれも沈埋函の製作方法と関係しており，本講座第１回にその概要が述べられている．ここでは，沈埋函製作方法と構造形式の関連について事例を交えて述べる．

5-1 ドライドックを利用する場合

広大な埋立て地などがありドライドックを造成して製作する場合は，沈埋函の構造形式は基本的にどのようなものでも可能であるが，鉄筋コンクリート方式長方形断面がもっとも経済的であろう．ドックの規模によって全沈埋函を同時に製作できる場合と小規模ドックで数回に分けて製作する場合がある．近年大都市周辺では広大な面積をもつドライドックは得にくく，小規模ドックを複数回使用するか，造船所など既設施設を利用する方式が多くなっている．

ドライドック方式でもドック規模を縮小するため水深の浅いドックを製作し，沈埋函の一部を製作して吃水の小さい状態でドック外へ曳き出し，残りを浮上打設して沈埋函を完成させる方法もある．ボスポラス鉄道沈埋トンネルがこの方式であり，沈埋函は鉄筋コンクリート構造で外側は防水を目的とした鋼殻で覆われている．壁体の中間までコンクリートを打設して曳き出すので，沈埋函の剛性保持のため頂部を屋根型の仮設鋼材で補強している(**写真-1, 2**参照)．

写真-1 ボスポラス沈埋トンネルのドライドックと艤装岸壁(トルコ政府：ボスポラスプロジェクトのウェブサイトより)

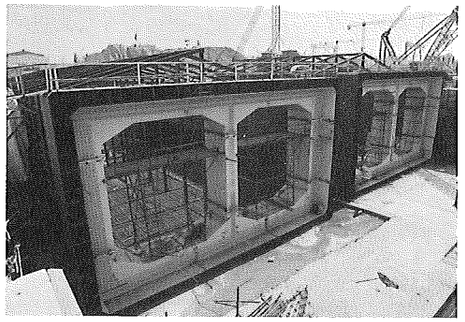


写真-2 ボスポラス沈埋トンネルの沈埋函製作状況(トルコ政府：ボスポラスプロジェクトのウェブサイトより)

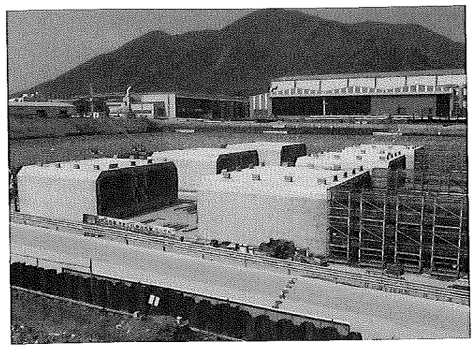


写真-3 釜山・巨済島連絡沈埋トンネルのドライドックと沈埋函製作(撮影：高橋正忠)

また，ドライドック方式でセグメント式沈埋函を製作する方法がある．これは5～20m程度に分割された沈埋函断面のセグメントを製作し，これを順次接合して沈埋函とするものである．この方式ではドライドックの平面規模を縮小でき製作期間が短縮できる．この形式では沈設が完了するまで沈埋函を一体化する必要があり，セグメントジョイントを貫通するPCケーブルで軸方向に仮固定する構造となる．デンマーク・スウェーデン間のオレスンドトンネルがこの方式の代表例である．2009年現在施工中である韓国・釜山の沈埋トンネルもセグメント式沈埋函といえるが，十分な規模のドライドックがあるため通常の鉄筋コンクリート方式と同様に製作されている．コンクリート打設方法は1セグメントを全断面一体打設している．

5-2 造船所施設を利用する場合

造船所施設を利用する場合，完成した沈埋函を曳き出すのに十分な水深があればドライドック方式と変わりはない．しかし，このような大規模造船ドックの数は限られ，一般には鋼殻のみを造船ドック内で組立て，浅い吃水でこれを曳き出し，吃水が十分にとれる艤装桟橋などでコンクリートを浮上打設する．あるいは上述の浅いドライドックと同様に，ドック外へ曳き出すのに可能な吃水となるまでは鋼殻内にコンクリートを打設し，残りをドック外で浮上打設する方法もある．

従来の鋼殻方式では，鋼殻はコンクリート打設時の変形に支障のない剛性を持つ型枠であり，同時に防水のための被覆であった．しかし，鋼殻とコンクリートを一体化した合成構造沈埋函が開発され，あわせて充填性のよい高流動および中流動コンクリートが開発されたことにより，現在日本では鋼殻構造をもつものは合成構造とするのが一般的となった．

5-3 岸壁を利用する場合，その他

鋼殻を陸上部の平地で製作しても，水上への移動が可能であればいろいろな施工方法が考えられる．鉄道トンネル断面のように比較的小規模の断面では，岸壁で鋼殻を組立て，船舶と同様にレール上を滑らせて進水させる方法や，クレーン船で岸壁前面に吊り降ろしてコンクリートを浮上打設する方式が以前から行われていた．また，沈埋函の規模に問題なければ浮きドック上で製作することもできる．最近では大断面の沈埋函でも陸上で鋼殻が組み立てられている．新若戸沈埋トンネルでは約2,000ｔの鋼殻がクレーン船で吊り降ろされた．また，那覇港沈埋トンネルでは重量構造物の横移動装置を使って運搬用船舶に積載し，長距離輸送して現地の係留桟橋でコンクリートを浮上打設している．いずれにしろ日本における鋼殻方式は合成構造が定着した．

⑥ 沈埋函の継手

沈埋函の継手は沈埋函を沈設・接合することで形成されるが，完成系としての継手構造には剛結構造と可撓構造がある．沈埋函の接合には通常ゴムガスケットが使われ接合直後の状態は可撓構造であり，これを利用して可撓構造とすることもできるし，接合後に内部を鉄筋コンクリートまたは鋼板で結合して剛結構造とすることもできる．どちらを選ぶかは主として設計上決まることで，トンネル軸方向に働く温度変化，不同沈下，地震時応力に対応できる構造としなければならない．継手の伸縮を許容してトンネル構造体に作用する断面力を低減させるのか，剛結合としてトンネル構造体に発生する断面力に抵抗できる強度を付与するかの選択ともいえる．どちらも設計可能であれば設計思想としてどうあるべきかで決定される要素が大きい．

沈埋トンネルを最後に閉合する最終継手には，古い時代に用いられた水中コンクリート方式，水深が浅いときに可能なドライアップ方式，現在標準的工法として用いられる止水パネル方式，近年開発されたターミナルブロック方式，Vブロック方式，キーエレメント方式など各種の方法があり，水深，断面の規模などの条件を勘案し適切な方式を選定する．また，さらに新しい構造および施工方法を工夫する余地もあると考えられる．

⑦ 沈埋函の基礎

沈埋トンネルの基礎工法はスクリード方式と仮支持方式に大別され，本講座第1回で概要が説明されているとおりである．現在では仮支持方式が大勢を占めるが，沈埋工法の初期から小断面の沈埋函で用いられてきたスクリード方式が近年大断面のトンネルにも改良して用いられるようになった．これは沈埋函設置後の基礎砕石とのなじみをよくするために，砕石を畝状に敷き均し，沈埋函を設置したときに畝と畝の間の空隙に砕石が一部崩れることで均等な支持状態が得られるというものである．オレスンドトンネル(デンマーク～スウェーデン)で実用化され，釜山沈埋トンネルでもこの基礎工法を用いている．**写真-4**は釜山沈埋トンネルで使用されている大型砕石敷き均し機である．スクリード方式は仮支持方式でのモルタルや水中コンクリートの注入作業とその硬化を待つ時間が不要であり，工期が短縮できる利点がある．基礎工法の選定にあたっては今後仮支持方式に加えて比較の対象になると思われる．

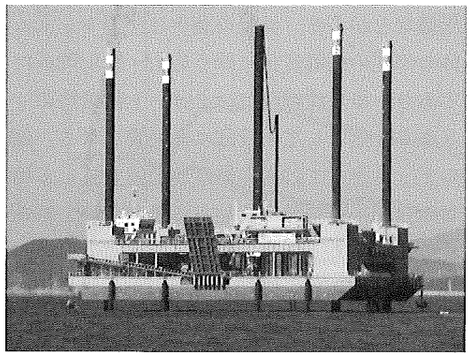


写真-4 基礎砕石敷き均し機(釜山沈埋トンネル)
(撮影：高橋正忠)

⑧ 沈設計画

沈埋函の沈設には沈設作業用の機器が必要でプレシングバージ(沈設作業船)，ポンツーン，海上固定足場(SEP)などが用いられる．これらにも種々の形式があり，各々の沈埋トンネルで独自に工夫開発されることがある．沈設作業用機材とこれに付随する艤装設備は沈埋函の大きさ・重量によって設備規模が決まる．ポンツーンのように曳航時に沈埋函上に載せるタイプでは沈埋函の浮力調整に関係するので，設計初期の段階から沈設計画を定めておく必要がある．**写真-5**に釜山沈埋トンネルで使われているポンツーンと沈設直前の沈埋函を示す．

沈設時の沈埋函の位置決めも重要であり，どのような測量方法・位置計測装置を用いるか計画段階で決めておくのが望ましい．最近はGPSの利用が欠かせなくなっており，位置および高さの管理を精度よく行えるようになってきた．

⑨ 沈埋トンネルの調査

沈埋トンネルの計画から工事実施までの間には，多くの調査が行われ，また工事中にも追加の調査が行われることもある．調査の目的は沈埋トンネルの計画，設計が適切に行われること，適切な工事工程と工事費で安全かつ経済的に施工が行われ

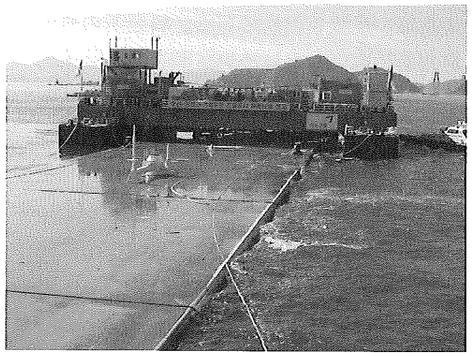


写真-5 釜山沈埋トンネルの沈埋函沈設用ポンツーン
(撮影：高橋正忠)

ること，かつ周辺の環境保全を図るために必要な資料を得ることにある．得られた調査資料は，計画，設計，施工に必要なだけでなく，沈埋トンネル完成後の維持管理にも利用される．したがって，必要な調査は時間と費用の許す範囲で十分に行うことが望ましい．調査の内容は社会条件調査，自然条件調査，環境保全のための調査その他があり，ここではそれらの概要を述べる．

9-1 社会条件調査

社会条件とは水域とその周辺の立地条件に関することや交通条件に関することで，計画の大前提となる事柄をさしている．

9-1-1 水路条件調査

水路条件を確認するため河川管理者，港湾管理者などの関係者から，現状の河床高と計画河床高，または現状の航路幅と水深，および将来の計画航路幅と計画航路水深，投錨禁止区域などの資料を入手する．また工事中における航路の一時閉鎖や使用可能な水域など，水路の使用条件について把握しておく．

9-1-2 船舶航行安全対策調査

沈埋トンネルの計画水域が航路である場合，港湾管理者が所有している船舶航行関係の統計資料を参考にするとともに，必要に応じて航行船舶の実態調査を行い，工事中の船舶航行安全対策の基礎資料とする．

9-1-3 交通関係調査

道路トンネルである場合，自動車の交通量，大型車混入率，歩行者自転車交通の有無，共同溝併設の有無，危険物輸送の可否，料金所の有無，非常駐車帯の有無などについて調査する．

9-1-4 用地，漁業などの利権調査

計画地点周辺に関する利権調査は，市街地，河川，海上，沿岸域などの土地利用の状況を把握し，計画上の制約条件などの基本事項を明らかにすることにある．とくに市街地の場合，都市計画法上の規制，土地利用上の将来計画を調査しておく必要がある．また地権，水利権，漁業権，遺跡や重要文化財の指定区域かどうかなども調査する必要がある．

9-1-5 支障物件調査

主なものは埋設物調査，既設構造物調査である．埋設物調査は沈埋トンネル取り付け部周辺および水域部分における上下水道，電力，通信，ガスなどの埋設管路の有無と，それらが存在する場合の規模，位置，材料，老朽の程度などを調査し，沈埋トンネル工事への影響度または必要な対策工を策定するために行う．調査方法は各物件の管理者が保有している台帳などにもとづいて概略の状況を把握しておき，設計・施工段階で必要に応じて詳細調査を実施し，現地と照合して確認する．既設構造物調査では陸上の地中部分に残置された旧構造物の杭基礎，仮設土留め壁などが存在しないかどうかを調査しておく必要がある．既設沈埋トンネルに近接して沈埋トンネルを増設するような場合は，既設沈埋トンネルの構造，施工法，埋戻し材，老朽の程度などを詳細に調査する．そのほか航路部などの海域で，沈没船，不発爆弾などが存在する可能性がある場合は，現地調査を行う．

9-1-6 地域防災計画調査

交通の用に供する沈埋トンネルは，震災時や火災時に避難路および救援活動のための交通路としての役割を果たす．したがって，地域防災計画を策定する際に，沈埋トンネルの果たす役割を明らかにし，トンネルの基本計画，構造計画と整合がとれるようにする必要がある．

9-2 自然条件調査

9-2-1 気象・海象条件調査

気象条件に関する調査には，気温，風向・風速，降雨量などがある．気温の調査は沈埋トンネル構造体の年間の気温変化に伴う応力・変形解析に必要であり，また沈埋函コンクリート打設時のマスコンクリートとしての管理にも必要となる．設計用のデータとしては，気象庁が公表している地域ごとの月間平均気温を用いることが多い．特殊な条件の地域にある場合は事前に現位置での計測を実施するのがよい．風向・風速のデータは，海上作業の可能限界や稼働率の設定，道路トンネルにおいて換気塔から排出されるガスの拡散計算などに用いられる．風の観測結果は通常16方位の風向および10分間平均風速で表す．降雨は沈埋トンネルの排水施設の規模，陸上部における地盤掘削時の排水設備，工事稼働率の算定などに関係する．降雨の観測は雨量計による雨量と降雨継続時間を計測し，時間あたり降雨量(降雨強度mm/hr)を決定する．

沈埋トンネルの建設において，水理・水質上もっとも影響を受けるのは水の比重，流速，波浪などである．沈埋函の曳航，沈設作業にはこれらの影響が大きく，沈埋函の重量調整，工事の稼働率などに関係するため十分に調査を行っておくべきである．建設地点水域の水理・水質調査に関しては，河川区域においては現状の流況の把握，過去の出水記録，水の比重調査を行うほか，河川計画における計画河床高，計画高水位などを確認する．海岸・港湾区域においては，水の比重は季節による水温の変化や河川からの流水によって変動し，深さ方向にも変化するので，詳細に調査する．これらに加えて高潮時の異常潮位，波浪，潮流などについて把握しておく．近年外洋波の影響を受ける地点に沈埋トンネルが建設される事例もでてきて，このようなケースでは波高，波向とうねり(swell wave)の周期などを調査し，その規模によっては施工可能な季節を把握する必要がある．また施工中にこれらのデータを常時採取できる観測システムを設置することが望ましい．**図-2**に釜山の沈埋トンネルにおける波浪予測例を示す．

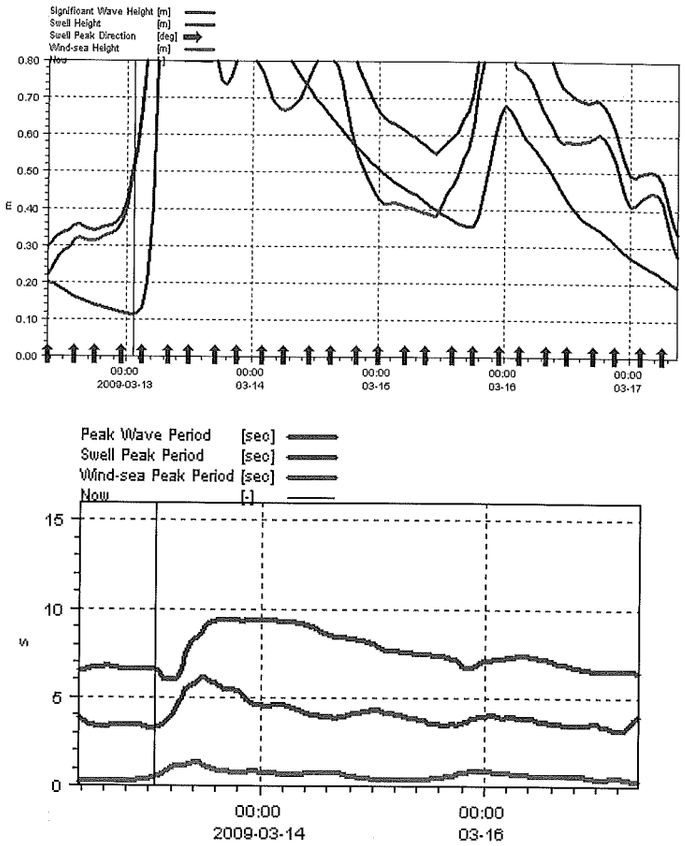


図-2 釜山沈埋トンネルにおける波浪予測(上図は波高，下図は周期)
(Operational Wind and Wave Forecast Service for Busan-Geoje Link ウェブサイトより)

9-2-2 地盤条件調査

沈埋トンネル建設にあたっての地質・土質調査の要点は，地層構成と各土質の性状を明らかにすること，地盤沈下の有無，掘削の難易などを確認することである．陸上構造物における地質・土質調査では基礎の支持力を明らかにすることが主要な目的のひとつであるが，沈埋トンネルでは支持力が問題になることは少ない．しかし，地盤の圧密沈下や不等沈下があるとトンネルに変状をきたすことがあるので注意が必要で，地質状況にもよるが，調査はこの観点から行うのがよい．

また，トンネルの路線に沿って地層構成の変化が激しい場合や，土質条件が著しく異なる場合には，沈下や地震によってトンネルは大きな応力を受けるので，地層構成と場所による土質の相違を精度よく把握することが望ましい．これらの地質調査は，計画の初期段階から設計，施工中などの段階ごとに順次必要なものを実施して行くことになる．

9-2-3 耐震設計調査

沈埋トンネルの耐震設計を行う

ためには，地震に関する条件，地盤条件，構造物の諸元を決定する必要があり，設計前の事前調査ではとくに地震および地盤の動的性質に関する調査が重要で以下に示すような調査がある．

（1） 地震調査

ここで言う地震調査とは，沈埋トンネル建設地点周辺で過去に発生した地震を既往の文献資料などにもとづいて調べ，耐震解析における設計地震動条件を設定するための基礎資料を得るための調査をいう．調査の主な内容は次のとおりである．

- 主要地震の起こった年，および震央とマグニチュード
- 震度別の地震発生回数
- 活断層調査
- 地震被害調査

建設地点を中心に，半径200km程度の範囲を対象に，発生時期，震央位置，マグニチュード，近接地点で観測された震度，地震を引き起こした活断層または地震によって誘発された活断層，地震による被害などを調べる．調査のもととなる基礎資料は活断層マップ，有史以来の被害地震カタログ，全国主要地点の気象庁による震度記録などである．これらの記録にもとづき，建設地点に影響を与えると想定される地震の発生頻度，規模，地震の特性，活断層との関連，被害の傾向などの情報を整理する．

（2） 工学的基盤面の調査

沈埋トンネルの耐震設計では，工学的な立場から基盤面の形状（トンネルルートに沿った各位置での基盤面の深さ）を明らかにし，この位置を地震動の入力位置とする．耐震解析においてはこの基盤面より上の地層をモデル化する．基盤面とは表層地盤とその下の基盤との境界面で，基盤とは広い範囲にわたって存在する地層であり，地震波が伝播する間にその波形が著しく変化しない層のことである．岩盤の上面は基盤面の一例であり，比較的浅い位置に岩盤が存在する場合はその上面を基盤面とする．岩盤の位置が深く，地盤のモデル化や解析に問題がある場合は，トンネルの建設地域周辺を含む広い範囲に分布する十分締まった地層で，その上方の地層よりもS波伝播速度が十分に大きい地層を工学的基盤とする．

（3） 動的地盤諸定数の調査

耐震設計に必要な地盤の諸定数は，弾性波速度（横波伝播速度V_s，縦波伝播速度V_p），変形係数（弾性係数E，せん断弾性係数G），ポアソン比（ν），密度（ρ），減衰定数（h），強度定数（粘着力c，内部摩擦角ϕ），地盤反力係数（k），地盤の卓越周期（T）などである．これらの諸定数は，ボーリングによる現位置試験，サンプリング試料による室内土質試験，各種地盤探査および検層結果から算出する．地盤の諸定数の多くは土のひずみレベルや載荷速度に依存して変化するので，検討する地震動のレベル，解析モデルに応じて適切な値を用いるか，ひずみの関数として設定する必要がある．

9-3 環境保全のための調査

沈埋トンネルの建設に伴い，周辺環境へ影響を及ぼすと予測される事項について，事前調査はもちろん，建設中および完成後も必要に応じて調査を実施する．主な調査事項は以下のとおりである．

9-3-1 水 質

沈埋トンネルで主として問題になるのは，浚渫，埋戻しなどの工事中の水質汚濁である．環境規制値としてSS（浮遊懸濁物質）濃度およびpH値が指定されることが多い．工事前の現位置濁度や各種水質指標値を測定しておき，工法選定にあたってのデータとする．また道路トンネルの場合には，路面排水や清掃水の処理方法を計画し，最終処理方法を調査しておく必要がある．

9-3-2 大気質

道路トンネルの場合は，供用後のトンネル坑口または換気塔からの自動車排出ガスの放出が問題となる．対象となる汚染物質はCO_2，NO_x，SO_xなどの有害物質と煤煙である．これらの有害物質は，換気設計とそれにもとづく諸施設の設置によって希釈排出または集塵され，環境基準値を満足するような対策がとられる．したがって建設地域の環境規制値を確認するほか，事前調査として大気質のバックグラウンド濃度調査と気象条件調査が必要である．気象条件で必要なものはトンネル周

辺の風向，風速，温度，日射量などである．これらのデータは通常年平均値を用いて環境影響を予測する．

9-3-3 騒音・振動

騒音・振動についても建設地域の規制状況を確認し，大気質と同様に道路トンネルの場合では，坑口部および換気塔からの騒音を主な対象として影響調査を行っておく．

9-3-4 地盤沈下および地下水

地盤沈下および地下水位の変化は，主に沈埋トンネル取り付け部の開削工事に伴って発生する可能性がある．地盤調査資料および計画されている工法にもとづいて，予想される地盤沈下量とその範囲，地下水位の変動，地下水の水質変化などへの影響を調査しておく必要がある．取り付け部のトンネル建設は，建設前の地下水流に変化を及ぼすこともあり得るので，完成後の地下水変動について，その影響を把握しておくことも必要である．

9-3-5 建設副産物の処理

沈埋トンネルの工事では，大量の浚渫土砂などの建設副産物が発生することがある．したがって，これら建設副産物の処理に関して，その処理方法，再利用方法，最終処分方法などを事前に調査しておかなければならない．

9-4 その他の調査

9-4-1 測量調査

沈埋トンネルを計画するうえでの主要な測量調査は，水路部における深浅測量である．これはトンネル中心線に沿って最低限トレンチ幅の範囲は必要であり，曳航経路となる範囲も実施しておかなければならない．さらに，施工時に航路切り替えを行う場合にはその箇所の測量も必要である．陸上部の測量は取り付け道路の範囲について通常の路線測量を行う．護岸線付近については護岸などの構造物の状況も把握しておき，施工中に影響する範囲とその防護，復旧，付け替えなどの計画をたてるための資料を得ておく．水準測量においては，地形図の基準標高面と港湾関係者が用いる基準高，海図の基準高などはそれぞれ異なるので，相互の関係を正確に把握しておく必要がある．

9-4-2 土捨ておよび土砂採取

沈埋工法でもっとも問題となることのひとつが浚渫土の処分である．同時進行する埋立て計画などがあれば問題は少ないが，いずれにしても浚渫土砂の受入れ先を確保しなければならない．その際浚渫土の土質が問題となる．とくに海底堆積土で有機物質や有機物で汚染されているものがないかどうか，あっても無害であるかを確認しておく必要がある．埋戻しに使用する土砂は地震時に液状化しないこと，船舶の投走錨から沈埋函を防護できることなど良質な石材が大量に必要であり，事前に採取先の調査をしておくことが望ましい．

9-4-3 沈埋函施工ヤード

沈埋トンネルの施工条件に関する調査として沈埋函製作ヤード，沈埋函の艤装ヤード，仮置きヤードの調査が必要になる．

（1） 沈埋函製作ヤード

沈埋函製作ヤードはその製作方法により，ドライドック，造船ドック，大規模海洋ドックなどの既設ドック，岸壁製作ヤード，浮きドックなどがある．これらは沈埋函の構造とも関係することは前述のとおりである．ドライドックの場合は，できるだけ現地に近い沿岸地域で十分な渠底面積が取れる場所を選定し，沈埋函の気中重量に対応する地耐力があるかどうかを確認する．軟弱地盤で地耐力が小さいと，基礎処理のために多大な費用が必要となる．造船ドックのような既設ドックを利用する場合は，その大きさ，吃水，地耐力を調査し使用可能かどうか判断する．浮きドックについても沈埋函が何函同時製作可能か（大きさと積載荷重能力）を調査する．岸壁を利用する方法には，スリップウェイによる進水方式，フローティングクレーンで吊り降ろす方法，運搬バージに横取りする方法などがあり，これらの付属設備能力を調査する．いずれの方法を採用する場合も，ヤードの借地料，既設ドックの借用料など経済性での優劣が決定要因になるケースが多いので，コスト面での調査も欠かせない事項である．

（2） 艤装ヤード

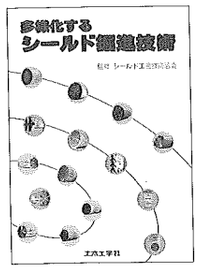
艤装ヤードでの作業は完成した沈埋函に沈設用

の諸設備を取り付け，沈設の準備を整えることである．また沈埋函のコンクリートを洋上打設する場合に，鋼殻沈埋函を桟橋に係留してコンクリートを打設する作業のことも言う．既設の岸壁がそのまま使用できない場合は，艤装桟橋を設置することになる．

艤装ヤードの適地は，静穏な海域で水深および前面の海域が十分広く，現地や沈埋函仮置き場所に近く，コンクリート供給能力など施工設備上利便な地域であることが望ましい．したがって気象・海象条件や海域の状況，および陸上の既設施工設備を調査して決定する必要がある．

（3）　沈埋函仮置ヤード

沈埋函の製作工程と沈設工程の関係で，完成した沈埋函を沈設時期が来るまでストックしておく必要が生じ，仮置場所に必要な函数だけ仮置きする．沈埋函の仮置方法は浮上係留方式と沈設方式がある．浮上係留方式の場合は潮流・波浪などの気象・海象条件を調査し，沈設方式の場合は海底のマウンドに支持させるため，これに加えて水底地盤調査も実施する．沈埋函製作ヤードと同様に水深と海域の広さ，製作ヤードと現地への距離，仮置場所の使用料などについて調査して場所を決定する．



多様化する
シールド掘進技術

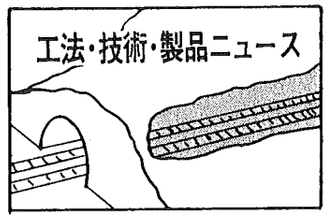
監修　シールド工法技術協会
B５判　141頁　本体価格2,500円

本書は，「トンネルと地下」に約１年間にわたり連載した『多様化するシールド掘進技術』をベースとして，掲載しなかった工法，技術などを整理，体系化するとともに，各種工法の境界，システム・考え方の違い，適用での留意点が，よりわかりやすいように手を加え再度同名の図書としてシールド工法技術協会が監修を行ったものである．

〔掲載工法〕

①ラチス式同時施工シールド工法，②F-NAVIシールド工法，③ハニカムセグメントを用いた同時施工法，④ロングジャッキ式同時施工シールド工法，⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法，⑥充填式シールド急曲線工法，⑦地下茎シールド工法，⑧T-BOSS工法，⑨球体シールド工法，⑩上向きシールド工法，⑪MMST工法，⑫拡大シールド工法，⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法，⑭ワギング・カッタ・シールド工法，⑮自由断面シールド工法，⑯OHM工法，⑰H＆Vシールド工法，⑱単円～三連型駅シールド工法，⑲MFシールド工法，⑳DOT工法，㉑MSD工法，㉒親子シールド工法，㉓拡径シールド工法，㉔DSR工法，㉕泥土加圧シールド工法，㉖ケミカル・プラグ・シールド工法，㉗気泡シールド工法，㉘コンパクトシールド工法，㉙既設シールド撤去工法

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

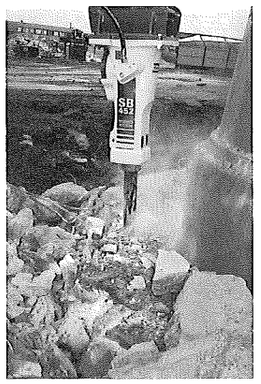


軽量油圧ブレーカの新製品

アトラスコプコは，最大13tの掘削機向けに，SB 452ブレーカの販売を開始した．

同機は以前のモデルに比べて，単一吹き出し衝撃エネルギーが12%以上，衝撃率が50%以上も増えたことにより，性能と破壊力が向上し，本体の新デザインによって，振動や騒音は低下している．一塊の鉄から機械加工で製作される．締め付けボルトが不要で，曲げ力やオペレータの負担に対して，独自の対策を講じているだけでなく，パーツが少なく，メンテナンスの手間がかからないという利点もある．

スリムなデザインを採用したことにより，位置決めが容易になり，狭い用途での作業に効果が期待される．また，効率性と熱回収が向上した新しい油圧システムによって，クラス最高の性能と破壊力を備えている．



地中カーボンストック技術の温室効果ガス削減効果

飛島建設，福井県雪対策・建設技術研究所，濱田政則・早稲田大学教授，吉田雅穂・福井工業高等専門学校准教授は共同で，地盤改良の実物大実験により木材による地中カーボンストック技術が温室効果ガス削減に効果のあることを検証した．

同社らは，砂礫の良好な地盤に深さ４m，地表部13m×28m，底部５m×20mの溝を掘り，そこにヘドロ状の土質を投入，人工の埋土地盤を造成したうえで，埋土地盤を４区画に分け，

①　丸太を0.5mピッチで打設
②　丸太を1.0mピッチで打設
③　プレローディング
④　土木シート

を施行した．これらの上部にサンドマットおよび載荷盛土を行い地盤改良の実験を行った．丸太はスギ材で末口0.15m，長さ３mのもの．

この実験により丸太に貯蔵された炭素量と一連の工事によって排出された二酸化炭素量を計測し収支を求めた．結果は，工事による二酸化炭素排出量よりも丸太による炭素貯蔵量の方が大きく上回り，工事することが二酸化炭素削減に寄与することが確認されたとしている．

電源不要の新電気防食工法を開発

飛島建設，電気化学工業，大日本塗料は，共同で研究開発を行ってきた，亜鉛・アルミ擬合金溶射による電気防食工法について，防食能力や耐久性能など実用化に向けた技術の検証が完了し，各企業者に向け技術展開を図っていくことで合意したと発表した．

同技術は，コンクリート表面に，大日本塗料が基本特許を有する亜鉛およびアルミ線材を常温溶射する技術を用い，これにより形成された溶射皮膜内の亜鉛とアルミの積層構造が消耗するに従って供給される電流を用いて鉄筋の防食を行うもの．外部電源方式に対し流電陽極方式と呼ばれる．電源装置が不要で維持管理が簡便であること，また施工性，経済性にも優れるといった特徴を有しているが，陽極材である亜鉛・アルミニウム擬合金皮膜が消耗していくため10～20年程度で再溶射による更新が必要となる．

ただし，従来の外部電源方式による工法においても，十数年で被覆材，充填材などの補助部材のメンテナンスが必要であることを考慮すると，長期的に見たライフサイクルコスト(LCC)の観点からも十分な競争力があると考えられる．

斜面変状対策工選定システムを開発

飛島建設は，斜面で計測された地表面変位から，斜面に発生することが想定されるすべり面を推定し，これまでに蓄積した斜面変状崩壊データベースをもとに対策工を選定する一連の斜面管理情報を統合するシステムを開発した．

同システムは，これまでに同社が開発した，遠隔地にある斜面やトンネルなどの変状をリアルタイムに監視できるWeb計測監視システムで得られる計測データのうち，斜面の地表面変位データを用いて，地中内部のすべり面を推定し，同社の蓄積してきた斜面変状崩壊データベースを参考にしながら，対策工の種類・規模などの立案に反映できるもの．

現在まで，地表面の三次元変位計測データを有する現場において，対策工を必要とする変形が発生した事例がないため，実際の現場でのモデル検証には至っていないが，今後，Web計測監視システムを積極的に活用して現場検証を図り，計測データの蓄積によりデータベースの充実させながら，独自データベースを活用した技術提案を図っていきたいとしている．

海外文献速報

(社)日本トンネル技術協会
国際委員会

香港九龍地区のMTRC南リンク線掘進/Driving Kowloon's Southern Link

By D. Hake：Tunnels & Tunnelling International, April, 2008, pp.16–20

香港九龍南リンク線KDB200工区はMTRCの西回り線と東回り線をつなぐ延長3.8kmの鉄道建設工事である．工事区域は北側に広がるホテル街や地下鉄Tsim Sha Tsui線に近接する．また，発進・到達区域には高層建築群が広がり，その他2か所の中間立坑付近は九龍地区の観光客で賑わうショッピング街となっている．そのため，既設の高層ビルの地下室や建物の杭への影響を防止するために，一部の鉄道平面線形をR＝225mの急曲線にする，あるいは，上下路線を離隔距離6.25mで縦に配置するなどの対策がとられた．とくに工事に伴う騒音について，環境管理庁から立坑基地を含むプラント設備に防音囲いを設けることで24時間のトンネル掘削を許可する，作業基地での作業は夜11時までとし，騒音規制値を55dB以下とすることが指示された．

地質は図-1に示すように，強風化花崗岩(CDG)またはこのCDG層と新鮮な花崗岩の複合地質で，全断面にわたって未風化花崗岩層も現れることが予測された．また，断層も存在し，CDGの複合地質に加えマリンデポジットと呼ばれる堆積物(腐敗泥層)や沖積土層なども出現することも予測された．地下水圧はトンネル中心で2.6barに及ぶ．

トンネル掘削は軟弱層と硬岩層の複合地盤でも切羽制御と地下水圧制御を確実にできるミックスシールドによる泥水シールド工法で施工された．バルクヘッド下部には礫破砕用のクラッシャが装備されており硬岩・巨礫層も掘進制御できる構造となっている．

トンネル掘進時の沈下計測にはインターネット回線によるシステムが採用された．土かぶりの小さいCanton通りとSalisbury通り沿いでの軟弱地盤および複合地盤でのトンネル掘進時の沈下量は掘進直径(ϕ7,990㎜)に対してCDG層で0.3%(24㎜)，複合地盤(土砂/礫)で0.5%(40㎜)，マリンデポジット層で0.7%(56㎜)であった．トンネルが上下配置になるCanton通り直下での後行側掘進時の沈下量の増加分は，CDG層，沖積層，マリンデポジット層のいずれも掘進径の0.1%(8㎜)であった．

掘進路線には多くの騒音測定器も設置された．香港文化センターでのトンネル掘削に伴う騒音の増加量はわずか3dBで，スタジオシアターでは7dBであった．また，この付近には振動の影響を受けやすい建物が林立していたが，TBMの通過によって影響が見られた建物はほとんどなかった．

(文責：河上清和・五洋建設(株))

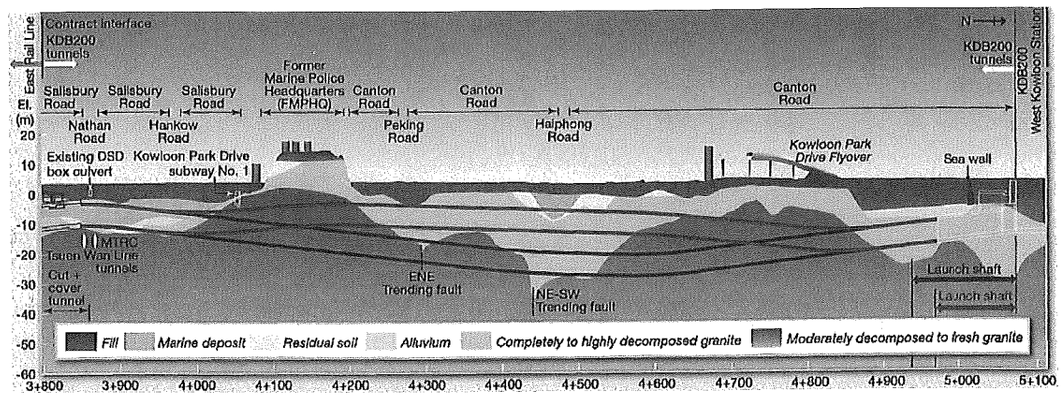


図-1 地質縦断図

ハイテクコンベヤシステム/High-tech conveyor solutions

By A. Foley：Tunnels & Tunnelling International, April, 2008, pp.43–46

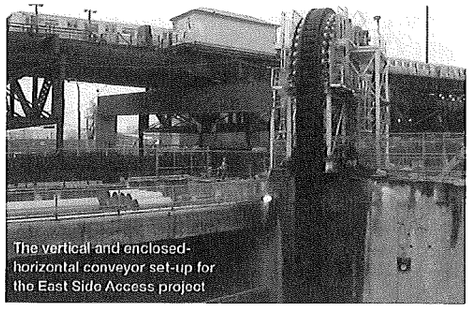
一般に，坑口や立坑まわりの作業基地は厳しい面積制限を受ける．さらに環境的な配慮からトンネル掘削時に発生するずりを遠く離れた位置に運搬して処理するなどの要求が増えてきている．このような条件のもと，フレキシブルな後方支援設備としてハイテクコンベヤシステムが注目されている．

New YorkのEast Side Accessプロジェクトでは，4本の高速道路を横切ってずり置き場へ運搬するために，連続ベルトコンベヤが採用された．また，イギリスのLower Lea Valley Cable Tunnelでは直径15mの二つの立坑からずりを搬出するために，垂直ベルトコンベヤが採用されている．垂直ベルトコンベヤを採用することで，資材運搬などのスペースも確保できる．とくに垂直ベルトコンベヤは立坑が小さく，より深い場合に効果的である．

ダンプトラック運搬方式ではタイヤの損耗費や燃料費などによってコスト高になるうえに，騒音や排気ガスなどの環境問題も発生しやすいが，効率の高い電動モータを主とし動作信頼度が高く維持管理が容易な長距離ベルトコンベヤシステムを使用することでこれらの問題が解決できる．中国では7km，インドでは19.2kmのベルトコンベヤが採用されている．

ベルトコンベヤの技術，信頼性，安全性およびコストは，さまざまなプロジェクトで培われた経験を設計や製造に反映することで改善されてきている．

長距離コンベヤシステムのパワーや効率を向上させるために，輸送時の抵抗を小さくし，かつ，



垂直ベルコンと水平ベルコンの組み合わせ

エネルギー消費を少なくする機械装置の開発が進められている．また，マルチドライブ長距離コンベヤシステムには最大効率を発揮させるためのブースターを搭載しているので排出トルクをコントロールすることができる．コストも部品の標準化や企業のコスト縮減努力および設計の単純化によって改善されてきている．

現在，ベルトコンベヤシステムの電子制御技術の高度化，例えばシステム全体の異常の発見を容易にする監視システムの開発や，ベルトコンベヤの動きをモニタリングする技術，例えば，ベルトの設置時期や運転サイクル数を管理するためのコンピュータチップを埋込んだ新しいコンベヤベルトの開発が進められている．

(文責：河上清和・五洋建設(株))

トンネル掘削により発生する地盤変位に対する建物剛性の影響/Effect of building stiffness on tunnelling-induced ground movement

Tunnelling and Underground Space Technology, Nos.4, July, 2008, pp.438–450

本論は，トンネル掘削時に発生する地盤変位に対して，その上に建つ2～3階建ての石造り住宅が自身の持つ剛性によりどのような変形形状となるかについて，ロンドンにおけるJubilee線延伸プロジェクトにおいて計測・解析された例などにもとづいて，その予測法を提案するものである．

上記プロジェクトでは，計画線直上にNeptune house, Murdoch house, Clegg houseまたBen

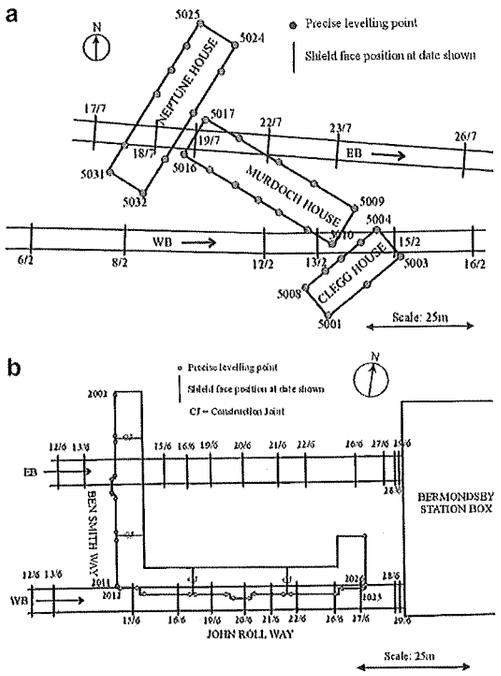


図-1　Moodkee Streetビル(a)およびKeetons Estate (b)におけるトンネル通過ラインおよび計測ポイントの平面図

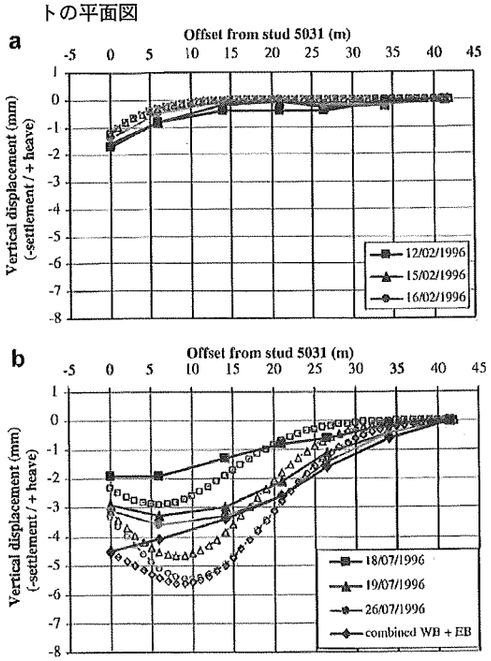


図-2　Neptune House西面における地表面沈下の経時変化(a：西行トンネル通過時，b：東行トンネル通過時)

smith way, John roll wayなどの建物が図-1に示すように存在し，これらの基礎に沈下計および水平変位計を取り付けて，2本の土圧バランスシールド通過時の変位を測定した．

地盤は，盛土層，沖積粘性土層，礫層，砂・シルトの互層などからなり，地下水位は，トンネル天端から約3m上に位置する．

実際に計測された地盤沈下と基礎の沈下の関係は，図-2, 3に示すとおりである．

計測結果より建物の曲げ剛性を逆算すると，Mair & Taylorの方法に比べて，下に曲げられるモード(sagging mode)では1オーダー，上に曲げられるモード(hogging mode)では2オーダー低い，すなわち柔軟であるという結果が得られた．その原因としては，

① 建物を梁要素と仮定しているが，実際の建物のひずみ分布は複雑であり，モデル化の問題がある．

② 弾性係数を仮定する際にひび割れ分布あるいは開口などを考慮していないため，剛性を過大評価している．

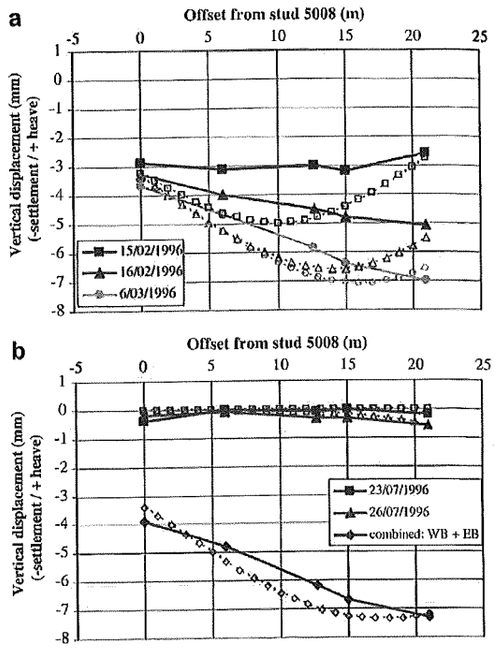


図-3　Clegg House西面における地表面沈下の経時変化(a：西行トンネル通過時，b：東行トンネル通過時)

③ とくに上に曲げられるモード(hogging mode)では石積み部は引張に抵抗しないため剛性が低い．

などが考えられ，これらに対して，建物のドアや窓などの開口の存在などを考慮して，Mair & Taylorの方法に対してさらに剛性を低下させる，また石積み部は引張抵抗はないものとして剛性を求めるなどの補正を行うことにより，実際の現象を説明することができる．

(文責：満尾　淳・東急建設(株))

わかりやすい **トンネルの力学**

B5判　286頁　本体価格 5,825円　〒340円

福島啓一著

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

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

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

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

社団法人 日本トンネル技術協会

会　報

1. 会員の現状

	4月25日現在
正　会　員	1,795名
団体会員	317名
個人会員	1,478名

2. 第194回理事会，第67回顧問・評議員会

日　時：平成21年4月21日(火)12：00～13：00

場　所：東京商工会議所8階「東商スカイルーム」

出席者：理事27名，監事3名，顧問2名，評議員22名

議　題：

①26名の入会と89名の退会を承認

②理事の交替を承認

旧	新	所属役職
高山　博文	金澤　博	鉄道・運輸機構理事
増永　修平	田代　民治	鹿島建設(株)専務執行役員
加納　清	阿比留卓雄	鉄建建設(株)土木本部本部長

③第35回通常総会議案(案)を承認

3. 委員会の開催状況(4月1日～30日)

①調査研究関係委員会

◎技術委員会

保守管理小委員会(4/15)

林康雄委員長ほか12名，データ活用事例を検討

山岳トンネル小委員会支保WG(4/16)

深沢成年主査ほか16名，インバート設置方法を検討

共通技術小委員会ずり出し調査WG(4/24)

朝倉譲主査ほか5名，調査報告書を検討

計　3回開催　36名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会会誌WG(4/8)

大島洋志主査ほか13名，5月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

ITA統括WG(4/3)

石田積主査ほか9名，ITAブタペスト総会ほかを検討

海外文献小委員会海外文献WG(4/14)

大久保誠介主査ほか16名，海外文献を査読

海外文献小委員会海外ニュースWG(4/17)

小島宗隆主査ほか7名，海外ニュースを翻訳

◎事業委員会(4/23)

桑原彌介委員長ほか15名，催物事業計画を検討

事業委員会打合せ会(4/6)

千葉隆委員ほか7名，施工体験発表会(山岳)課題を検討

事業委員会打合せ会(4/7)

久多羅木吉治委員ほか5名，施工体験発表会(都市)課題を検討

計　7回開催　79名出席

合計　10回開催　115名出席

4. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第36回ITA総会およびコングレス「Tunnel vision towards 2020」	2010. 5. 14～20	バンクーバー(カナダ)	The Tunnelling Association of Canada(カナダトンネル協会) International Tunnelling and Underground Space Association(国際トンネル協会) http://www.wtc2010.org
第37回ITA総会およびコングレス「Underground spaces in the Service of a Sustainable Society」	2011. 5. 21～25	ヘルシンキ(フィンランド)	Finnish Association of Civil Engineers RIL(フィンランド土木学会) International Tunnelling and Underground Space Association(国際トンネル協会) http://www.ril.fi/web/index.php?id=641

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

第64回(山岳)，第65回(都市)施工体験発表会発表者募集のご案内

このたび恒例のトンネル工事に携わっている現場技術者による施工体験の発表希望者を，下記のとおり募集いたします．発表者の意欲向上と発表会のレベルアップを図るため導入した表彰制度も3回目となり，優秀発表者を表彰することとしております．わが国のトンネル施工技術発展のために奮ってご応募くださるようご案内申しあげます．

―記―

課　　題：**第64回(山岳)「新たな発想により課題を克服した施工事例」**
第65回(都市)「都市トンネル工事における創意工夫・新技術」
(特殊条件下の施工，リニューアル，環境対策等)

開催時期：第64回　平成21年10月7日(水)
第65回　平成21年10月8日(木)

開催場所：ともに東京にて開催

発表時間：1題20分程度(発表件数により増減)

発表方法：発表テキスト原稿と液晶プロジェクター(パワーポイント)

応募方法：概要を1,200字程度に取りまとめ(様式自由)，題名，所属・役職，氏名，連絡先，電話番号，メールアドレスを記載のうえ，**6月12日(金)**までに下記事務局宛て提出してください．
FAX，メールでも結構です．
〒104-0041　東京都中央区新富2-14-7　新光第一ビル
社団法人日本トンネル技術協会　担当：山之内
TEL：03-3553-6174　FAX：03-3553-6145　E-mail：gori@japan-tunnel.org

発表者通知：発表者には選考のうえ，7月中旬に本人宛てご連絡いたします．
発表者は8月下旬までにテキストの原稿(約10,000字)を提出していただきます．
その際には，原稿作成要領など改めてご連絡します．

そ　の　他：発表会後に優秀発表者の審査を行い，表彰者には後日改めてご案内いたします．

7月号予告[7月1日発売予定]

●第四紀未固結粘性土地山における都市NATMの設計・施工管理手法
●九州新幹線　新田原坂トンネル
●真地久茂地線　識名トンネル
●阪和自動車道　藤白トンネルⅡ期線北工区
●多摩丘陵幹線　多摩川横断部
【連載講座】
●沈埋トンネル(3)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆新型インフルエンザが世界を震撼させています．水際対策で感染を最小限にとどめようと空港などで必死に検査を行っていましたが思いもよらないところから渡航歴のない高校生が発症したと報道され，一時は沈静化していた新型インフルエンザの恐怖が再び過熱してきました．この報道の数日後には感染者が100人を超え，中学や高校で臨時の休校となりました．今後，感染経路の究明が急がれますが，企業活動の自粛や運動会，修学旅行の中止など多方面で影響が出る可能性があります．企業によっては，通勤時や就業時のマスクの着用が義務づけられているところもあり，国民一人一人が手洗い，うがいをはじめできる限りの予防策をとる必要に迫られそうです．

◆世界同時不況に対する経済危機対策として，地球温暖化対策の推進，経済の活性化および地上デジタル放送対応テレビの普及を図るため，高い省エネ効果を有する家電製品の購入に対して，さまざまな商品・サービスと交換可能なエコポイントが付与される取り組みや，高速道路の休日の割引制度，定額給付金などがあります．これらの政策に対する国民の意見には賛否両論がありますが，緊急的な消費刺激策としては効果があるように思います．個人的には，家電品の購入予定もありませんし，まだ高速道路の割引制度も活用していないので恩恵は受けていませんが…

◆沖縄・奄美地方では，すでに梅雨入りが発表されています．これから蒸暑い日がつづいたり，梅雨冷の日があったりと，体調管理が難しい季節でもあります．これが過ぎれば暑い夏が待っています．昨年話題になった「ゲリラ豪雨」は今年も発生するのかわかりませんが，万全な備えで乗り切りたいものです．

(K.Y)

★購読の申し込み，または，送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください．
★(社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(社)日本トンネル技術協会へご連絡ください．

トンネルと地下
第40巻 第6号〔通巻466号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成21年5月20日　印刷
平成21年6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

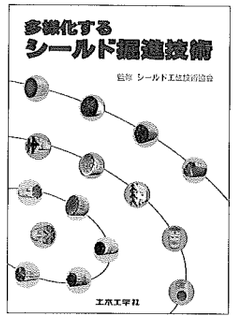
本誌掲載記事を無断で複写(コピー)および転載することは，著作権上での例外を除き，禁じられております．本誌から複写または転載を希望される方は，小社(03-3267-2888)までご連絡ください．

好評発売中

多様化するシールド掘進技術

監修　シールド工法技術協会

B5判　141頁　　本体価格2,500円



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

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

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

〔掲載工法〕
①ラチス式同時施工シールド工法，②F-NAVIシールド工法，③ハニカムセグメントを用いた同時施工法，④ロングジャッキ式同時施工シールド工法，⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法，⑥充塡式シールド急曲線工法，⑦地下茎シールド工法，⑧T-BOSS工法，⑨球体シールド工法，⑩上向きシールド工法，⑪MMST工法，⑫拡大シールド工法，⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法，⑭ワギング・カッタ・シールド工法，⑮自由断面シールド工法，⑯OHM工法，⑰H&Vシールド工法，⑱単円～三連型駅シールド工法，⑲MFシールド工法，⑳DOT工法，㉑MSD工法，㉒親子シールド工法，㉓拡径シールド工法，㉔DSR工法，㉕泥土加圧シールド工法，㉖ケミカル・プラグ・シールド工法，㉗気泡シールド工法，㉘コンパクトシールド工法，㉙既設シールド撤去工法

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先
㈱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

図書案内

株式会社 土木工学社

わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭　監修
1,500円＋税　B5判

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

多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会　監修
2,500円＋税　B5判

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

推進工法の理論と実際

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

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

わかりやすい土木地質学

大島洋志　監修
2,500円＋税　B5判

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

セグメントの新技術

小泉淳　監修
2,000円＋税　B5判

1990年代から急速に機能が拡大したシールド用セグメント34種を掲載．セグメントの設計・施工の際に利用しやすいよう各々の特徴を整理して掲載した．

続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・保野恭寛　共著
1,200円＋税　新書判

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

建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫　著
6,000円＋税　A5判

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

地質工学概論

菊地宏吉　著
4,757円＋税　B5判

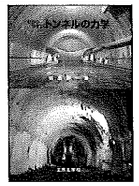
土木構造物や岩盤構造物の計画・調査から設計・施工において必要と地質や岩盤に関する情報を得るために必要な理論および技術を平易に解説した．

シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会　編
4,660円＋税　B5判

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

わかりやすいトンネルの力学



福島啓一　著
5,825円＋税　B5判

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

地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全3巻）

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

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

第Ⅰ巻　地下水の物理と化学
4,078円＋税　B5判

第Ⅱ巻　地下水環境学
4,272円＋税　B5判

第Ⅲ巻　地下水と地質
3,689円＋税　B5判

ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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

山岳トンネルの新技術

ジェオフロンテ研究会　編
14,573円＋税　B5判

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

ジオテキスタイル設計マニュアル

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

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

岩盤地下空洞の設計と施工

E.フック・E.T.ブラウン　共著，
小野寺透・吉中龍之進・斉藤正忠・
北川隆　共訳
9,800円＋税　B5判

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した．

建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉　共著
4,300円＋税　A5判

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

トンネル工事の衛生と環境保全

臼谷三郎・橋本康孝・友田孝　共著
3,200円＋税　A5判

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

岩盤の計測と解析

鈴木光　著
4,200円＋税　A5判

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

わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏　共著
2,800円＋税　A5判

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

海洋資源開発

稲田善紀　著
3,400円＋税　A5判

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

トンネルと地下

1,500円＋税　B5判　月刊(毎月1日発売)

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

書籍のお申し込み

ご注文は当社へFAXまたは，書店にてお申し込みください．FAXでご注文の際は，書名，部数，送り先，氏名，電話番号を明記のうえ下記までお送りください．

株式会社 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

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

特許出願中

SUGA スガキカイ
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

パターンボルトのGRP化

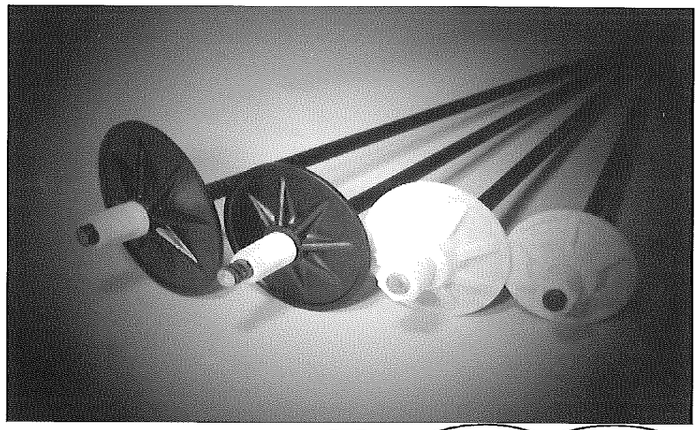
POWERTHREAD

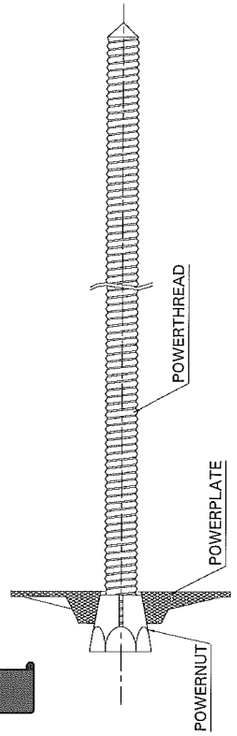
FiReP® Fiber Reinforced Polymer

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CO_2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	中部営業部
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164	TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164
東京支店	関西営業所
TEL)03-3260-8321 FAX)03-3266-1648	TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237
九州営業所	北海道地区(㈱エイチ・アール・オー)
TEL)092-574-0856 FAX)092-574-0846	TEL)011-821-5868 FAX)011-821-6644