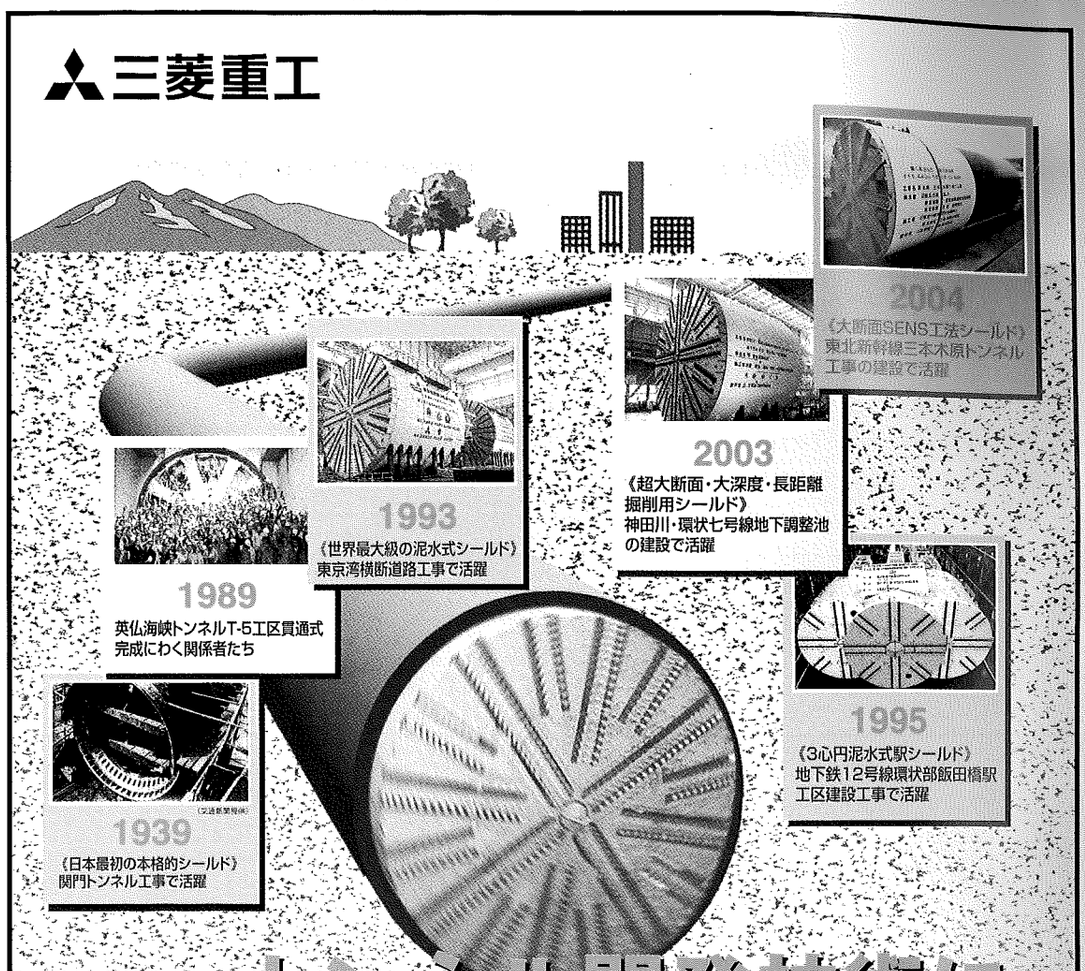
トンネルと地下　平成17年2月1日発行第36巻第2号　昭和45年11月18日第3種郵便物認可
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

三菱重工



トンネル開発技術に
60余年のヒストリー。

昭和14年（1939年）我が国初の本格的シールド式トンネル掘削機を開発して以来、三菱重工はトンネル開発技術のパイオニアとして60余年にわたり国内や海外で数多くの実績を築いてきました。
豊かな21世紀を育むために、三菱重工は最先端のジオテクノロジーでさらに前進しています。

三菱重工業株式会社　本社　地中建機事業ユニット　営業グループ　東京都港区港南2-16-5〒108-8215　TEL03(6716)3111
神戸造船所　地中建機事業ユニット　営業課　神戸市兵庫区和田崎町1-1-1 〒652-8585　TEL078(672)2876

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-2
4910066190255
01500

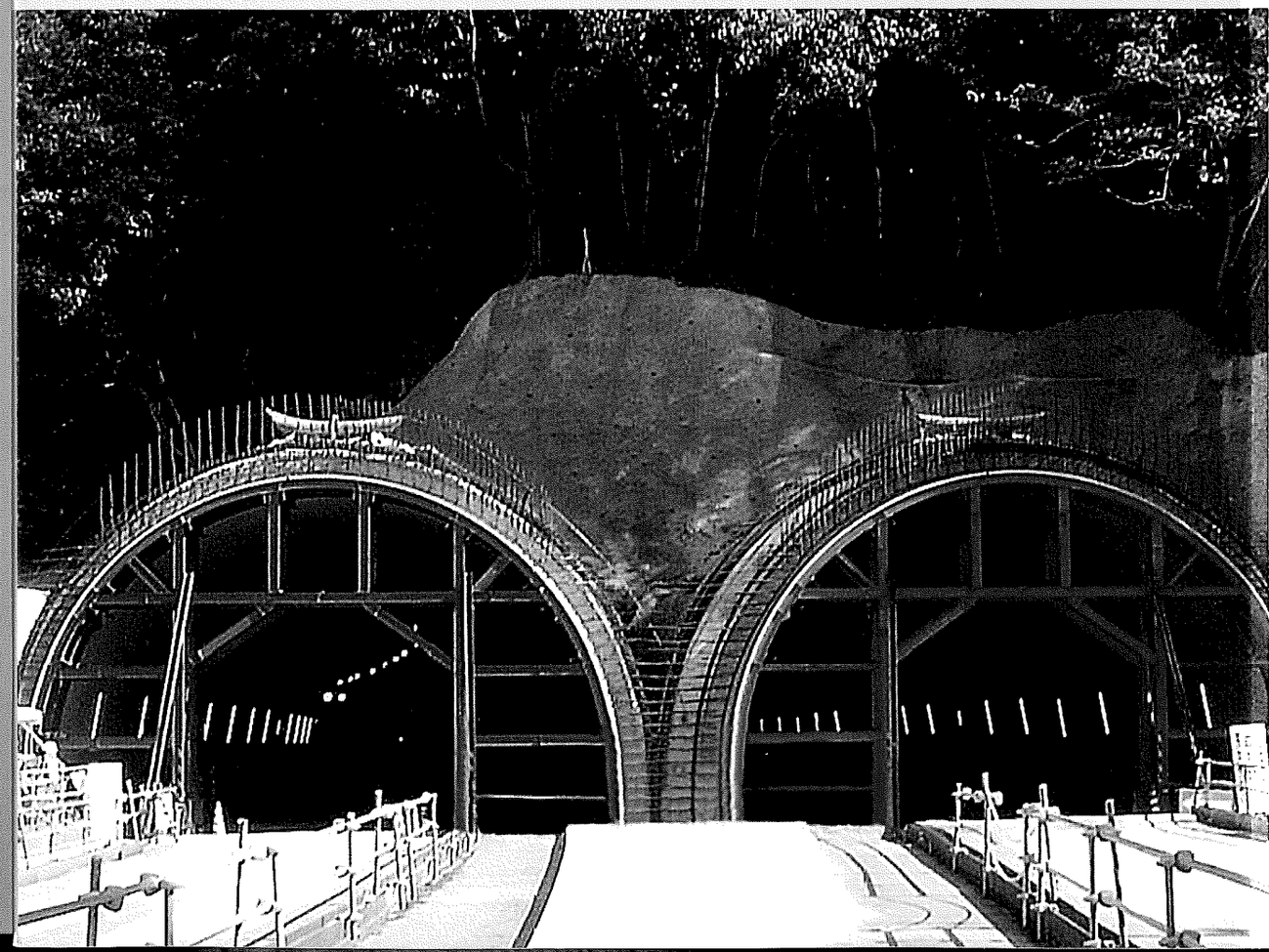
昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成17年2月1日発行(毎月1回1日発行)　第36巻第2号　通巻414号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 2

vol. 36
no. 2
2005

鉄道直下の函体けん引に鏡補強ボルトを採用
導坑も先進坑覆工もなしでめがねトンネルを施工
渋谷駅前の銀座線高架橋基礎の受け替え
環境に配慮したシールド工事の施工と市民PR
光ファイバによるトンネル覆工の変状監視法
シールド発進・到達工実態調査報告(2)

日本トンネル技術協会誌



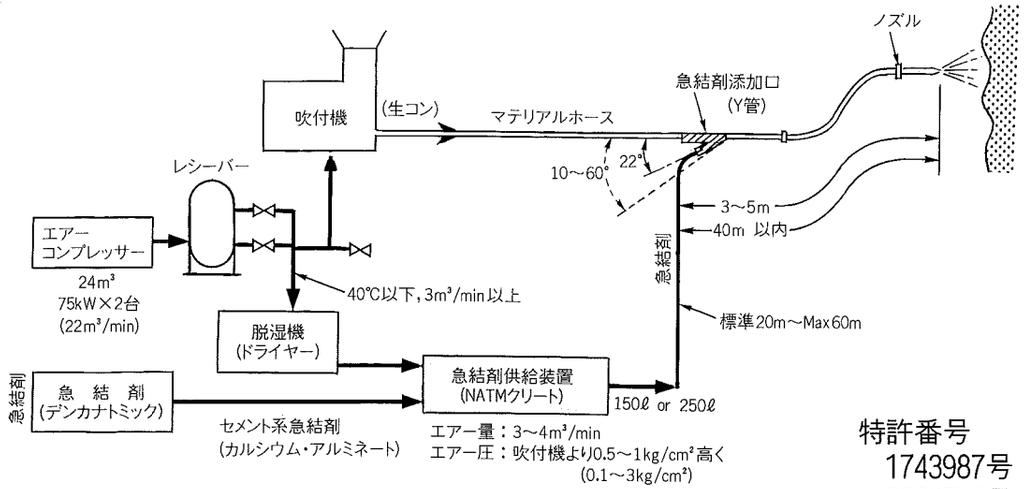
世界に誇る日本のNATMトンネル

安全性・経済性・高品質

技術者が選ぶ デンカナトミック

吹付けコンクリート用急結剤

NATMトンネル吹付けシステム（デンカナトミック使用時）



特許番号
1743987号
2060759号
2118718号

湧水、剝落をシャットアウトする

急結力

- 湧水に強い
- 急結性が優れている
- 付着性が大きく、はね返り損失が少ない
- 短時間強度・長期強度とも優れている

《デンカナトミック》 ――――― 種類

＊：TYPE-Lは，液状急結剤です．

TYPE	かさ比重(標準) 有振動	かさ比重(標準) 無振動	真比重(標準)	標準使用量(×C%)	主成分	性能および主な用途
3	1.03	0.73	2.48	3～6 (標準5)	無機塩	一般吹付け工事，用排水路・法面吹付け工事，他
5	1.22	0.78	2.68	5～10 (標準7)	急結性セメント鉱物	高急結性一般吹付け工事，湧水部の吹付け工事，ナトムトンネル用万能タイプ
10	1.18	0.70	2.86	10～25	超急硬性セメント鉱物	高強度用　緊急・補修吹付け工事，ぼうあつトンネル工事，膨張性地山工事，地下貯蔵用タンク
L*	—	—	1.47	4～8	無機塩	一般吹付け工事 トンネル・用排水路・法面吹付け工事

■トンネル関連製品

- デンカ Σーショット…高強度吹付けコンクリート用混和材
- デンカ FTN…吹付けコンクリート用高機能混和剤
- デンカ サブショット…小断面トンネル（TBM）用吹付けモルタル
- デンカ Pロック…長尺ボルト・ケーブルボルト用定着材
- デンカ ウレタン／MIF…地盤注入およびフォアパイリング定着材
- デンカ AGF…AGF工法用セメント系定着材
- デンカ ES…無公害な土質安定用急硬材
- デンカ CSA 100R…トンネル2次巻きのひびわれ抑制に（水和熱抑制型膨張材）
- デンカ GKー10…セメント系裏込注入材

チャレンジする化学

デンカ
電気化学工業株式会社

本社●特殊混和材事業部
東京都千代田区有楽町1-4-1 〒100-0006
電話 03－3507－5358

1本1本が大切！　だから

次世代 防食 ロックボルト

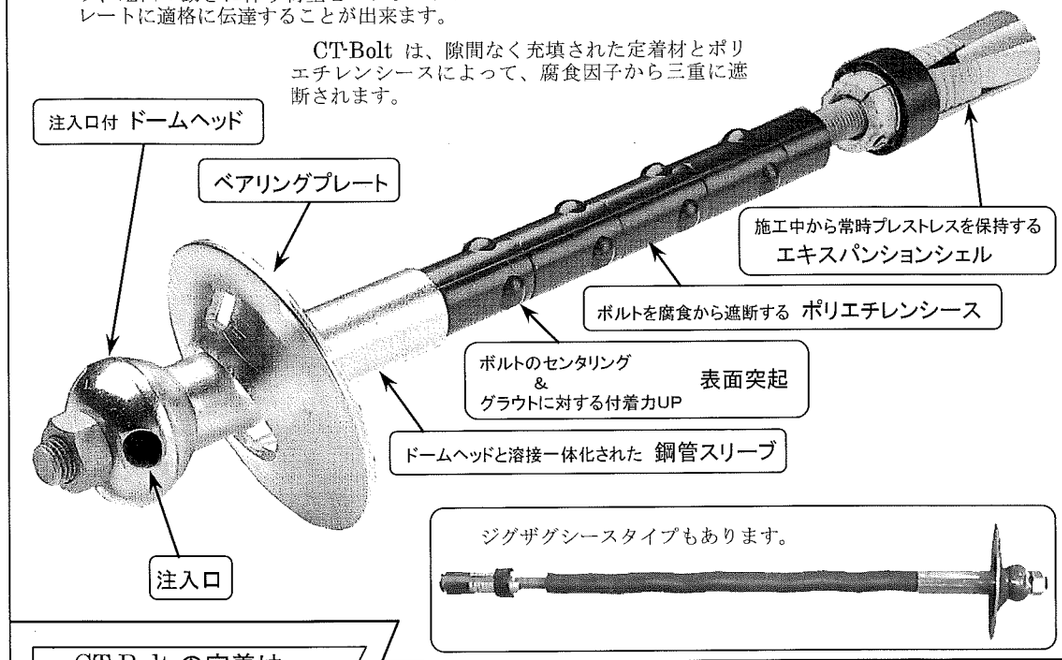
CT-Bolt

Ørsta Stål

通常施工により超長期支保

CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適格に伝達することが出来ます。

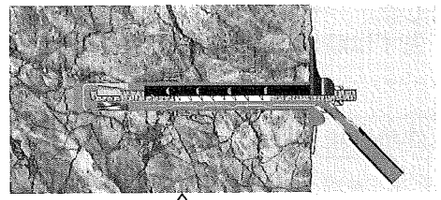
CT-Bolt は、隙間なく充填された定着材とポリエチレンシースによって、腐食因子から三重に遮断されます。



ジグザグシースタイプもあります。

CT-Bolt の定着は、

即時に支保効果をもたらす先端定着と、時期を選んで行える全面定着グラウト充填のコンビネーションです。施工直後から施工後長期にわたって、ボルト支保効果を最大限に活用することが可能です。ポリエチレンスリーブがボルトを覆う構造により、仮に空洞や偏芯、或いは湧水によって部分的にグラウトが逸失している場合にも、腐食促進成分がボルトと接触しません。



用途：
山岳トンネル・海底トンネルに
立坑・地下空洞支保に
石油備蓄基地等地下施設建設に
斜面安定・補強土工に
その他 腐食対策の必要な地盤に

完全充填

CT-Bolt は、広い範囲の粘度のグラウト注入が可能です。グラウトはポリエチレンスリーブ内に充填された後、先端部から孔壁とスリーブの間を充填して戻り、リターンによって全面定着が確認出来ます。

総発売元 Your Fastening Partner

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

〒105-0014 東京都港区芝 2-5-10
お問い合わせ先 TEL:03-3798-8517
技術部 FAX:03-3798-8850

特許権侵害訴訟の勝訴確定について(お知らせ)
――トンネルの注入式長尺先受工法(ＡＧＦ工法)――

東京都千代田区三番町2番地
飛島建設株式会社
名古屋市中区上前津1丁目3番地3号
株式会社　カテックス

拝啓　時下益々ご清栄こととお喜び申し上げます。
平素は格別のご高配を賜り，誠にありがたく厚く御礼申し上げます。

さて，弊社らが各種トンネル工事で施工してきたＡＧＦ工法が，下記地山固結工法特許権の侵害にあたるとして，権利者東海ゴム工業株式会社殿(代表者：藤井昭，本社：愛知県小牧市)と争いになり，平成13年10月に，東海ゴム工業株式会社殿は浜松簡易裁判所に「特許権に基づく差止等請求の調停」の申立を行いました。この際，お取引先各位には，それまでの経緯や弊社対応方針のご案内と共に，ご支援のお願いをさせて頂きました。

弊社らは，本件について一貫して「侵害していない」という見解を取り続けていたため，その後東海ゴム工業株式会社殿は，東京地裁に弊社らを債務者とした「工法差止等の仮処分命令」を申立て(H14.3.28)，次いで「損害賠償・工法差止等を求める本案訴訟」を提起(H14.6,28)されましたが，結果，東海ゴム工業株式会社殿の敗訴(H15.4.17)となりました。

原告東海ゴム工業株式会社殿は，これを承服せず東京高裁に控訴されましたが，同様に敗訴(H16.2.27)し，さらに最高裁に上告(H16.3.11)されましたが，今回これが棄却され(H16.9.10)，権利侵害訴訟は弊社らの勝訴で確定しました。

一方，弊社らは，特許庁審判部に本件特許の無効審判を請求しました(H14.5.21)が，これが審決で斥けられたので，東京高裁に審決取消を出訴し結果，弊社らが勝訴しました。(H16.2.27)。敗訴した東海ゴム工業株式会社殿は，最高裁に上告されました(H16.3.11)が，今回これも棄却され(H16.9.10)，特許無効審判訴訟は弊社らの勝訴で確定しました。本件特許は，今後特許庁に戻されて審理され正式に無効となります。

本件訴訟では，お取引先各位の特段のご配慮を賜り，お蔭様で，上に申し上げたとおり完全勝訴となり，ＡＧＦ工法も安心して実施できる運びとなりました。誠にありがとうございました。

先ずは略儀ながら書面をもちまして，ご報告かたがた御礼申し上げます。　　敬　具

記

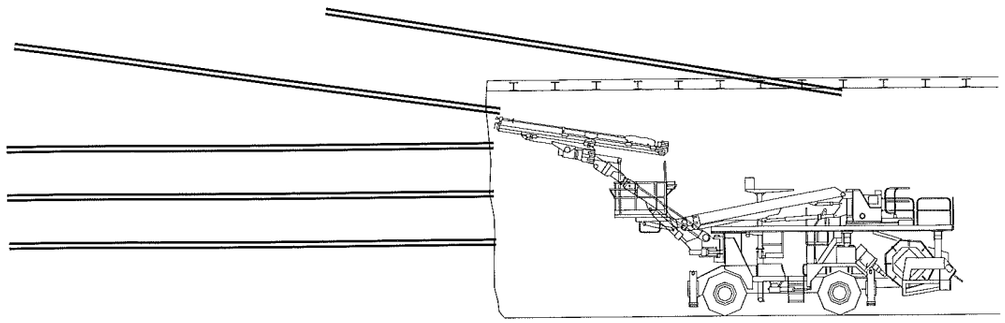
本件特許権

発明の名称	産業上の利用分野	出願番号 (出願日)	公告番号 (公告日)	登録番号 (登録日)
地山固結工法	トンネル工事で，軟弱地山を薬液で堅固に改善する工法	特願平1-42531 (H01.02.22)	特公平7-81484 (H07.08.30)	2056106 (H08.05.23)

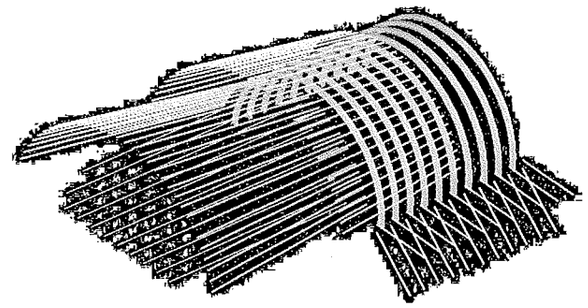
以　上

弊社本件問合せ先――― 飛島建設株式会社　土木本部土木技術部長　松尾勝弥
TEL03-5214-7083
株式会社カテックス　建材資材事業部技術営業部次長　浅井　勉
TEL052-331-8821

KATECS
全方位切羽補強工法
パノラマ工法
パノラマ工法は切羽から長尺樹脂管(ＧＲＰ管)を打設し，シリカレジンを注入することによって，切羽前方地山を効果的に拘束するための全方位マルチパターン地山補助工法です。特殊強化樹脂管を切羽から全方位に打設することで，天端部の先受工と併せて鏡面補強も同時に施工することができ，切羽の安定性を高め，掘削の安全性を向上させます。



注入式長尺先受工法
AGF工法
AGF－P工法
AGF－S工法
小口径長尺先受工法
Small-P工法

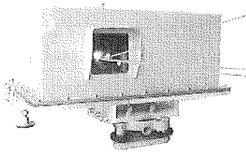


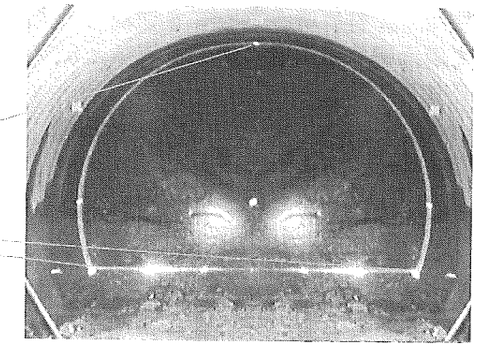
KATECS
株式会社 カテックス　建設資材事業部
http://www.katecs.co.jp/
本　　社　〒460-8331　名古屋市中区上前津1丁目3番3号
技術営業部　TEL 052-331-8821　FAX 052-332-0164
中部営業部　〒460-8331　名古屋市中区上前津1丁目3番3号　TEL 052-331-8821　FAX 052-332-0164
東京支店　〒112-0014　東京都文京区関口1丁目15番3号　TEL 03-3260-8321　FAX 03-3266-1648
関西営業所　〒550-0015　大阪市西区南堀江4丁目1番18号　TEL 06-6578-3235　FAX 06-6578-3237
広島事務所　〒735-0022　広島県安芸郡府中町大通1-2-13　TEL 082-285-6601　FAX 082-285-6651
九州営業所　〒816-0932　福岡県大野城市瓦田623-4　TEL 092-574-0856　FAX 092-574-0846
北海道地区　〒003-0011　札幌市白石区中央1条5丁目8番2号　㈱エイチ・アール・オー　TEL 011-821-5868　FAX 011-821-6644

レーザーマーキングシステム

国内、海外特許取得済み

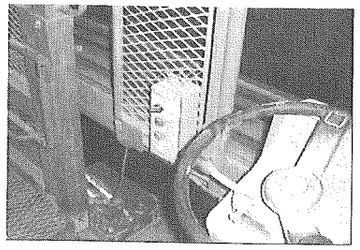
残像効果を使ったペイント不用
の連続高速照射を実現





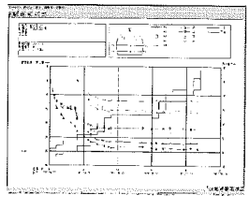
現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー



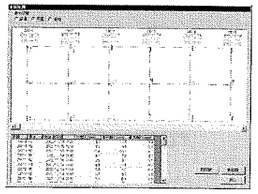


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

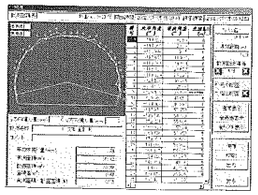
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



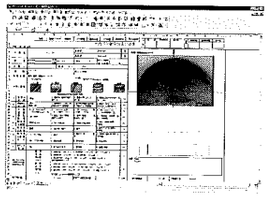
A計測データ処理



支保工立込精度、変形量



内空、巻厚検査

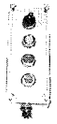


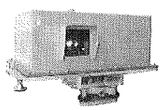
切羽観察、etc















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。

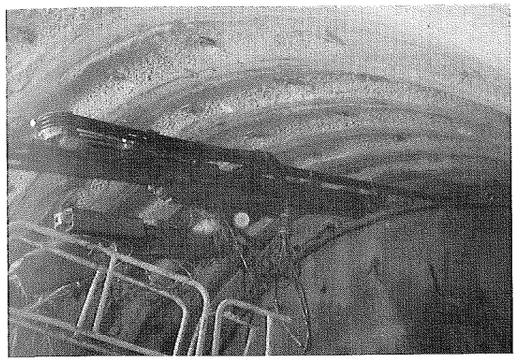
MAC マック株式会社
〒272-0832 千葉県市川市曽谷8−16−3
TEL (047) 371-3191 FAX (047) 371-3190

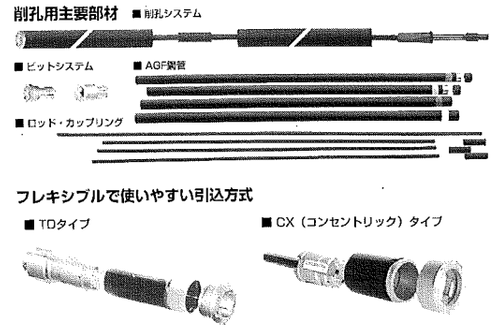
〔販売元〕
古河機械販売株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

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。

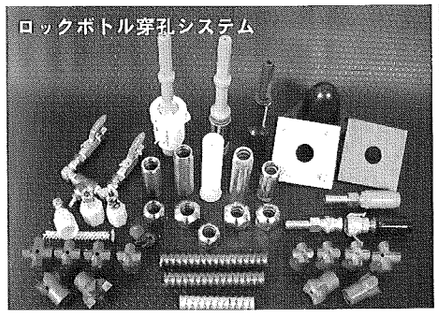




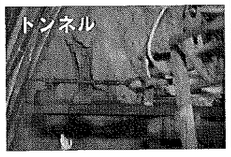
▼ タフボルト（自穿孔ロックボルト）

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)
TF32	34.0	500	353kN (36Tf)	274kN (28Tf)	216kN (22.0Tf)









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

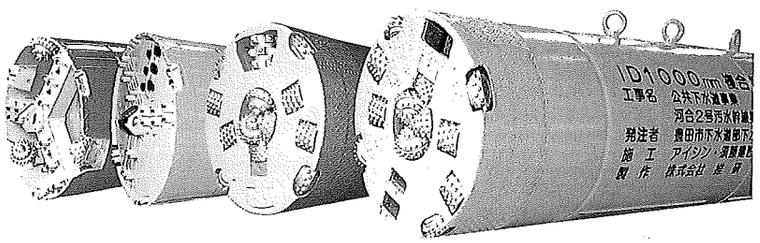
岩盤推進を創めて20年

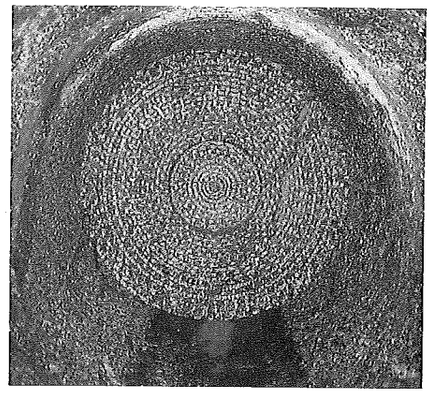
軟弱土から硬岩まで!!

複合推進工法（C.M.T工法）

- ●800mm～3000mmまで対応
- ●機内よりビット交換が可能です.
- ●岩盤と普通土との互層土質も施工可能です.
- ●長距離曲線推進も可能です.

■ CMT工法で使用される様々なカッターヘッドの一例





C.M.T工法協会
株式会社 堀研
本　社 〒547-0002 大阪市平野区加美東4-3-48
TEL 06-4303-6026
FAX 06-4303-6029
研究所 〒569-1044 大阪府高槻市上土室3-29-7
TEL 0726-94-6164
FAX 0726-92-0186

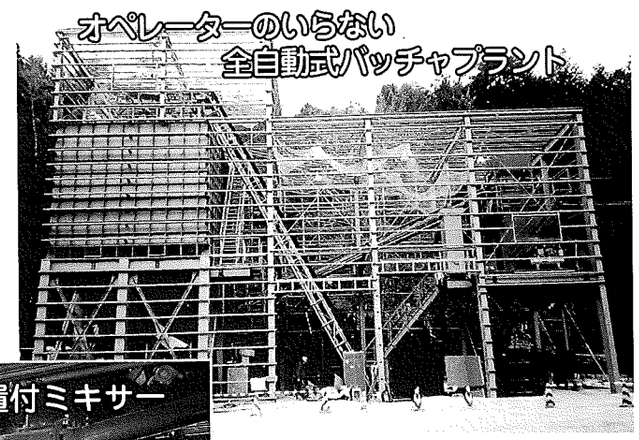
高品質・SEC・高強度対応型　吹付プラント

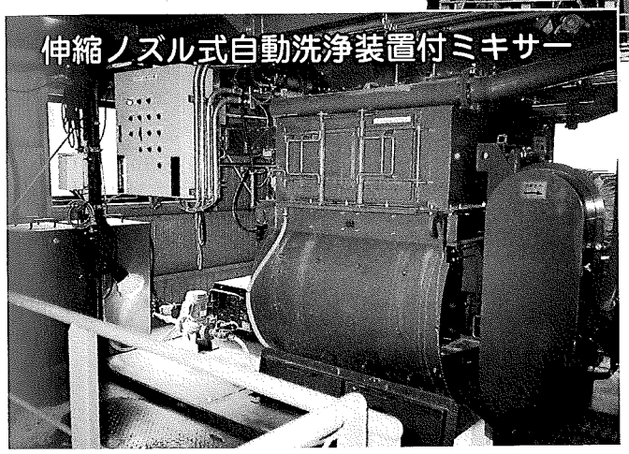
全自動式 バッチャプラント

吹付コンクリート用

自動スランプ調整装置

バッチャプラントの水分補正は
名岐の自動スランプに
おまかせ下さい。





■ MKS-500KBE-TME型

長工期
トンネルに適し
人件費の
大幅削減！

■ 生コン洗浄水処理装置

ミキサー洗浄水
トラミキ洗浄水
リサイクル

- ◆ スチールファイバー供給設備
- ◆ 濁水処理プラント（能力 10T/H～100T/H）ユニットタイプ
- ◆ 砕石プラント・産廃プラント・ベルトコンベアー　設計・製作
- ◆ 油圧バケット、特殊クレーン設計・製作
- ◆ ターンテーブル（30ton・重タンプ用・40ton通過）

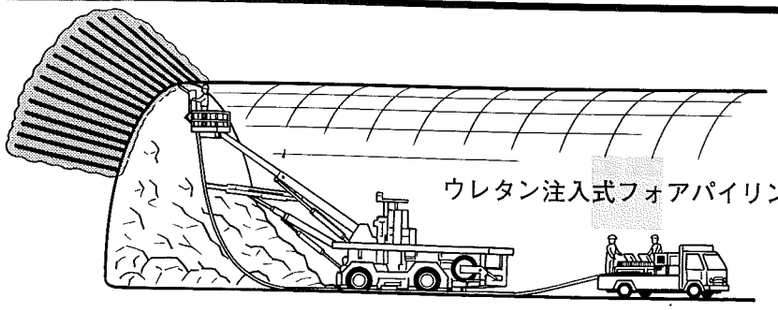
名岐機器株式会社
本　社　岐阜県養老郡養老町有尾600-100
〒503-1227　TEL (0584) 35-3735(代)
FAX (0584) 35-3736
本巣工場　岐阜県本巣市神海
〒503-1235　TEL (0581) 32-5066
FAX (0581) 32-5565

BRIDGESTONE

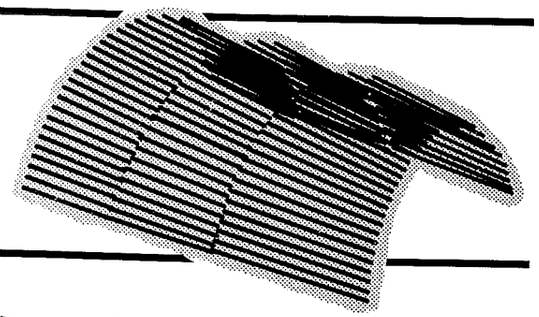
厳しい条件下の施工に
迅速な対応・信頼の
ブランド

ブリヂストンのトンネル資材

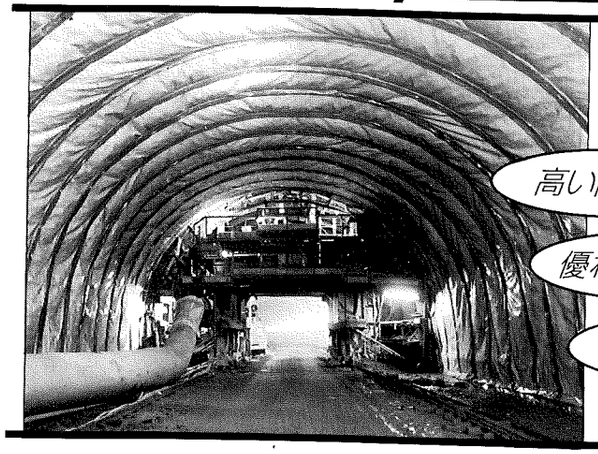
切羽の安定化対策用補助工法
エバーライトGK工法
ウレタン注入式岩盤固結工法



注入式長尺先受工法
（AGF工法）



ナトミックシート
トンネル用防水シート



高い防水性
優れた耐久性
容易な施工性

株式会社ブリヂストン　土木・海洋商品販売部
東京都中央区八重洲1丁目6番6号　〒103-0028
電話　東京(03)5202-6870

MITSUBISHI　DIABIT

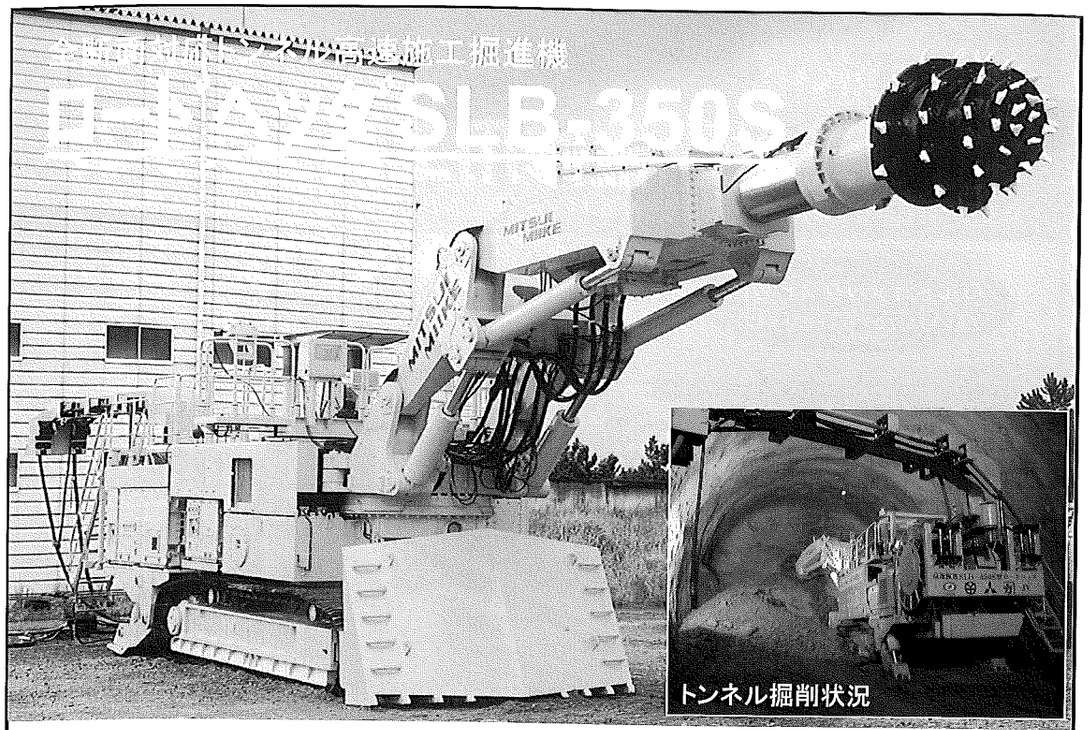
地山の維持・補修用工具システム

☆玉石・軽石混じり砂礫層掘削に威力を発揮！！　☆掘削しながら同時にケーシングが挿入できる！！



三菱マテリアル

東京支店 ☎03-5819-5263　岐阜駐在 ☎0584-27-5082
大阪支社 ☎06-6355-1053　海外グループ ☎0584-27-5011
九州営業所 ☎092-573-7372



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。

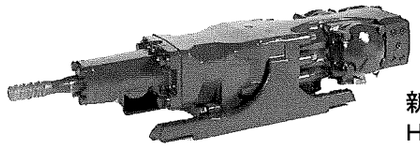


※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。
※2 掻寄・コンベヤ仕様の場合、ディーゼルエンジンは搭載されません。

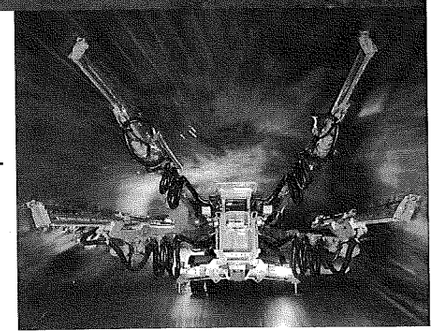
製造元
販売元　株式会社 三井三池製作所　本店／〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
産業機械部　TEL. 03-3270-2006　FAX. 03-3245-0203
札幌支店　TEL. 011-251-5211　FAX. 011-221-3704　／　大阪支店　TEL. 06-6448-6851　FAX. 06-6441-6537
福岡支店　TEL. 092-271-8871　FAX. 092-271-0653
http://www.mitsuimiike.co.jp　E-mail　koken@mail.mitsuimiike.co.jp

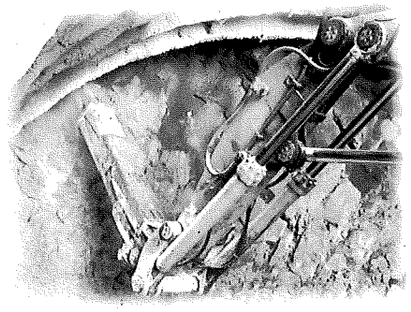
メンテナンス　ミイケ機材株式会社　本社／〒103-0021 東京都江戸川区中央1丁目13番19号
TEL. 03-3241-4711　FAX. 03-5678-4105





新型高性能ドリフター
HLX5





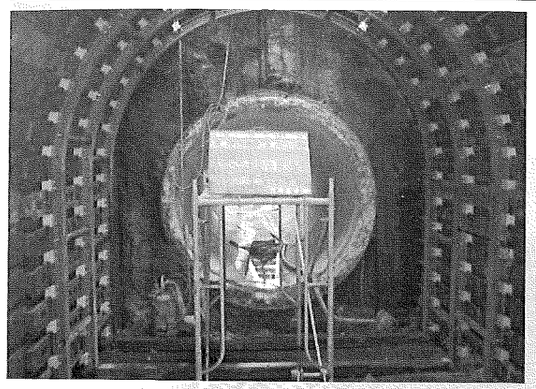
TOYO　EJC　Rammer
TAMROCK　TORO

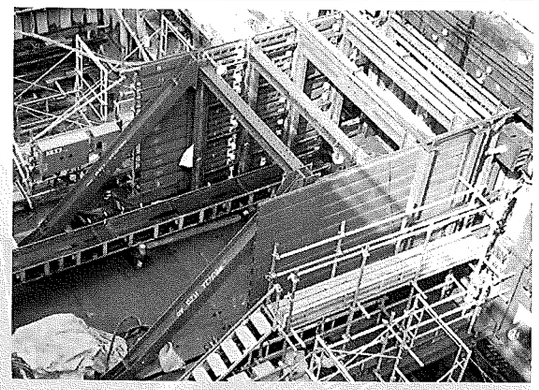
サンドビックトーヨー 株式会社
〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-15-12
共立新横浜ビル6F

Tel: 045-478-0660 Fax: 045-478-0661
URL: http://www.SMC.sandvik.com

アーストンネル掘削工法に最適

SS-メッセル工法





30年の実績(工法指導致します)

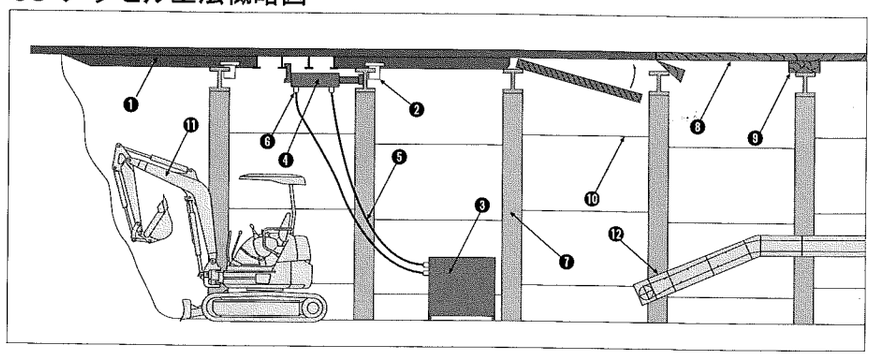
特徴

- 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。
- 余堀りがなく切羽の掘削と一次覆工が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との組合せにより、メッセルの離脱及びノーズダウンを防止する構造になっています。直線・曲線掘進に適応します。
- 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

- JR線等線路直下横断工事。鉄道・道路・下水道・共同溝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

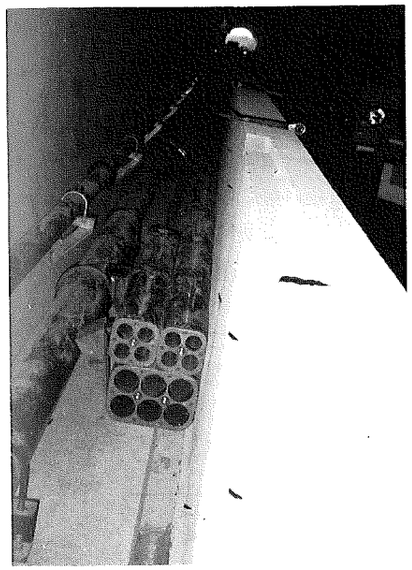
SIETECH 株式会社シーテック
URL http://www16.ocn.ne.jp/~sietech/

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋4丁目4番5号 TEL.(03)3263-7457(代) FAX.(03)3262-0915

永久施設に永久管路



▲ 宇治トンネル 〔日本道路公団〕



▲ 関南トンネル 〔日本道路公団〕

地下ケーブルの保護に
杉江の多孔陶管

セラダクト

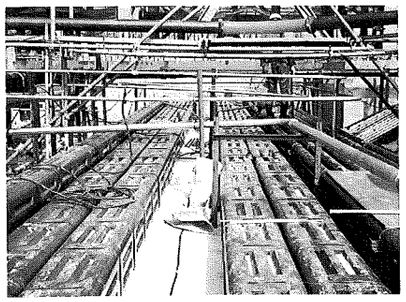
燃えない　錆びない　壊れない

地中配線管路材(JIS C 3653)

トンネル内の狭い空間の多条数のケーブル布設に最適な管路です



▲川越火力発電所〔中部電力㈱〕



▲ 広野火力発電所〔東京電力㈱〕

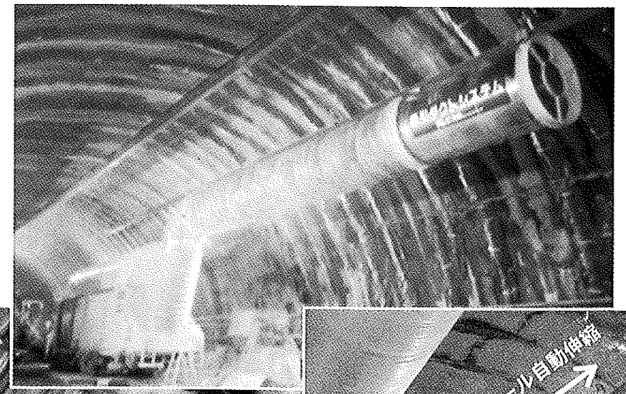
狭い空間(トンネルetc)での制約された条件下でも施工が簡単、迅速に行える、杉江の"多孔陶管"は多条数ケーブル布設に最適です。予備孔も安価に設けられる等、管路省力化工事に是非お役立て下さい。

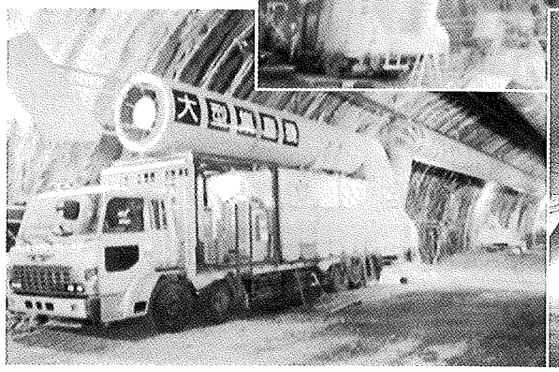
sugie 杉江製陶株式会社

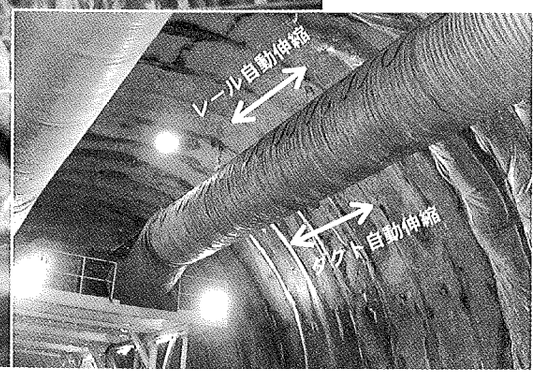
本社・工場	愛知県知多郡武豊町字上山1－76	〒470-2387	☎(0569)35-2360(代)	FAX (0569)35-4087
東京支店	東京都渋谷区恵比寿1－21－8	〒150-0013	☎(03)3442-6181(代)	FAX (03)3442-1691
大阪支店	大阪市都島区御幸町1－3－1	〒534-0012	☎(06)6922-6991(代)	FAX (06)6922-2498
札幌連絡所	札幌市北区新川2条10丁目575-28	〒001-0922	☎(011)763-8907(代)	FAX (011)763-8790

吸引ダクトシステム

ガイドラインをクリア(※)0.5mg/m³達成!!

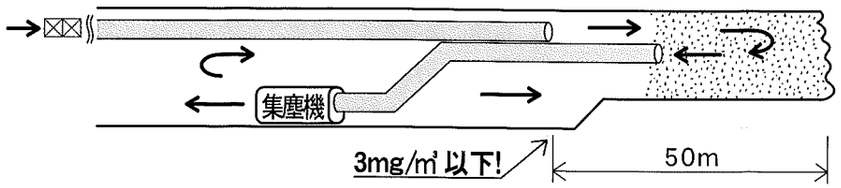






(※)諸条件はお問合せください。

- 発生源粉塵対策の決定版。
- ダクトはもちろん吊下げレールも無線リモコンで楽々前進。
- 掘削工法や作業サイクルに適応。操作のお手間をとらせません。
- 最低限の切羽送気量と後方の高い清浄空間の確保で換気コスト・ランニングコストの大幅なコストダウンに。
- ダクト外径はΦ600～Φ1800、負圧−2kpa、収縮率1/5、100m以上もレンタルで対応可。

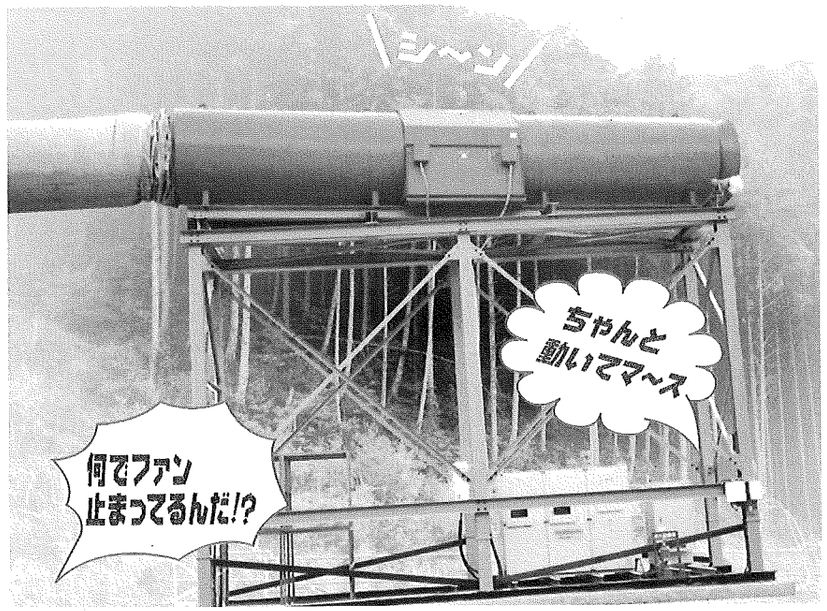


まずはお問合せ下さい。実績データと理論を元に現地条件に合わせてコンサル致します。

株式会社流機エンジニアリング
URL：http://www.ryuki.com E-mail：eigyobu@ryuki.com
本　社／〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL：03 (3452) 7400 (代) FAX：03 (3452) 5370
つくば／〒308-0114 茨城県真壁郡関城町大字花田字西山84-6
リースセンター TEL：0296 (37) 7680 (代) FAX：0296 (37) 7681

超低騒音・二軸反転ファン エアロ★MAX

耳をすまして下さい！●●サ●ア●～これ、ファンの音なんです。



今時、静かなのは当たり前!!

シールド、都市NATMなどの都市環境や
大断面長大トンネルの施工環境に対応する換気ファンを350台以上保有。
必要なとき、必要な容量の設備を提供します。

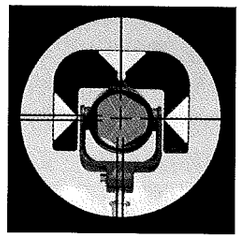
超低騒音：標準78dB(A)、オプションサイレンサーで60dB(A) 以下も可能。
省エネ：インバータでファンの回転数を制御するため無負荷電流がなく、人ー△直動方式や可変ピッチ方式より大幅に省エネができます。
高効率：固定翼、インバータ制御で広い性能点で効率のいい運転。
制御：ダストセンサーによる自動制御、集塵機との連動運転が可能。
（特許　第1742880　ダストセンサーによるインバータ制御）
使い易さ：軽量、**INV高調波対策も万全**、ソフトスタートでダクトを痛めずファンのメンテナンスも軽減。
高価なフリッカ対策設備も不要。
ｺﾝｻﾙﾃｨﾝｸﾞ：長年にわたってつちかって参りました弊社の換気のノウハウを生かし、換気計画後、5.5kW×２～200kW×２の幅広い揃えで対応致します。
換気のご相談はお気軽に本社・営業部までどうぞ。

株式会社流機エンジニアリング
URL：http://www.ryuki.com E-mail：eigyobu@ryuki.com
本　社／〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL：03 (3452) 7400 (代) FAX：03 (3452) 5370
つくば／〒308-0114 茨城県真壁郡関城町大字花田字西山84-6
リースセンター TEL：0296 (37) 7680 (代) FAX：0296 (37) 7681

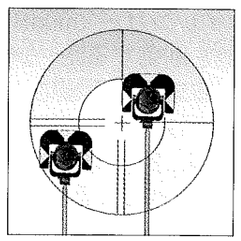
トンネル測量システム

トンネル計測者の声を聞き、さらに進化。
ライカTPS1200シリーズついに登場。

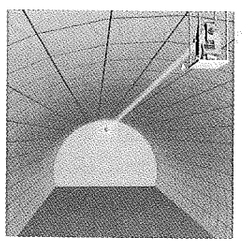




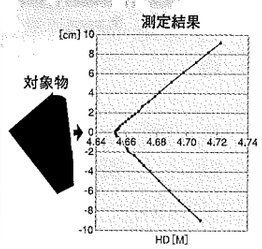
精度が向上した自動視準
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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PinPointR300により、ノンプリズム測距範囲500m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
PinPointR300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
http://www.leica-geosystems.co.jp

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
テクニカルセンター	〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコートB1F	Tel.03-5940-3035	Fax.03-5940-3059
大阪支店	〒540-6131 大阪市中央区 城見2-1-61 Twin21 MID タワー31F	Tel.06-6910-3871	Fax.06-6910-5733
福岡営業所	〒812-0016 福岡市博多区博多駅南1-3-6 第三博多偕成ビル6F	Tel.092-432-8201	Fax.092-432-8221
札幌出張所	〒063-0829 札幌市西区発寒9条13丁目1-10 プレサント発寒ステーション3F	Tel.011-669-1101	Fax.011-669-1102

Leica Geosystems

電力・通信ケーブル用多条保護管

カナパイプPV型

Kanaflex
ISO9001
認証取得

トンネル内埋設工事を
省力化・効率化



用途
- トンネル ● 道路・橋梁
- レジャー施設
- 電線共同溝（C.C.BOX）
- 大規模プラント

難燃ポリエチレン製の多条ユニット(定尺5m)
ワンタッチで管路接続、作業性抜群です。
配管間隔が狭い省スペース施工に威力を
発揮します。

カナフレックス コーポレーション株式会社

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)6881-0776	FAX(06)6881-0760		
札幌営業所	TEL(011)271-8770	仙台営業所	TEL(022)792-3055	横浜営業所	TEL(045)241-7511
新潟営業所	TEL(025)226-5111	静岡営業所	TEL(054)275-2258	金沢営業所	TEL(076)234-5660
名古屋営業所	TEL(052)955-1511	神戸営業所	TEL(078)360-6173	広島営業所	TEL(082)240-0609
高松営業所	TEL(087)861-4600	北四国営業所	TEL(0875)57-6120	福岡営業所	TEL(092)474-2630
鹿児島営業所	TEL(099)224-8404				

直営工場　北海道工場　仙台工場　栃木工場　千葉工場　滋賀工場　愛東工場　広島工場　四国工場　九州工場
URL　http://www.kanaflex.co.jp

自削孔
NTロックボルト PAT.P

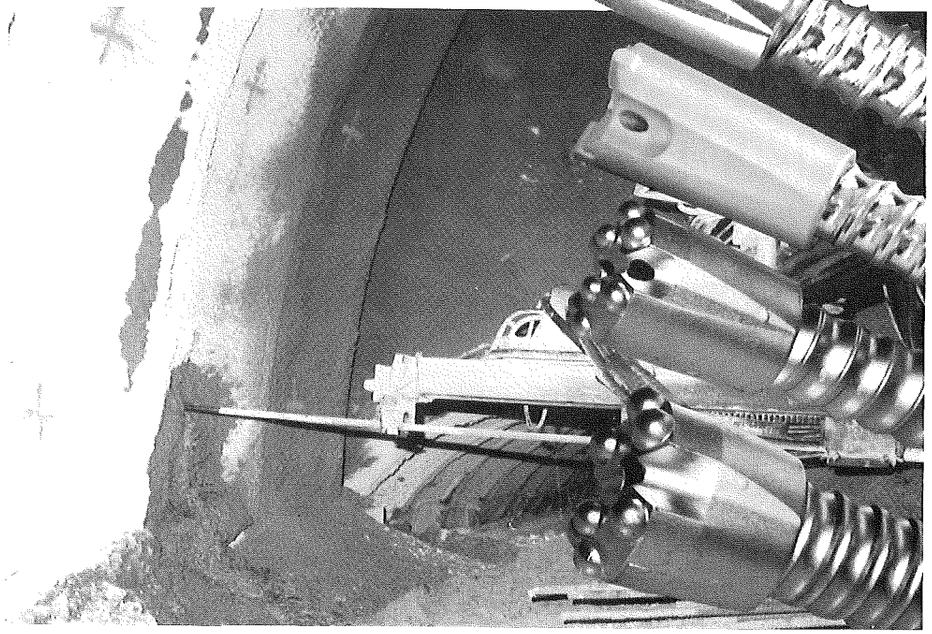
特　徴

自削孔：削孔時には、ビットとロッドの役割をなし、削孔後には、中空ロッド内からグラウト材を充填し、完了するもので、中空ロッド自体がロックボルトの役割をなす。

施工性：スイベルスリーブを使用し、グラウト材をフラッシングとして、削孔すれば、削孔完了が注入完了となり、施工性が大幅に上昇する。

左ネジ：削孔時のズリ排出が容易。
グラウト材との付着が良く引抜き抵抗が高い。
全長左ネジで、カップリングで接続でき、長尺ボルトの打設が可能。

多様化：適応地山、使用目的に適応した４種類のロックボルトと各種ビットがある。



ＮＴロックボルト本体仕様

種　類	ＲＢ－３０	ＲＲ－３２	ＲＡ－４０	ＦＰ－７３
材質及び形状	特殊鋼、台形ネジ	特殊鋼、ロープネジ	特殊鋼、台形ネジ	特殊鋼、台形ネジ
寸　法	28.5D＊11d(P13.0)	31.0D＊16d(P12.7)	39.6D＊18d(P13.0)	72.0D＊54d(P8.0)
重　量	3.5kg	3.5kg	6.6kg	12.5kg
耐　力	≧19ｔf	≧19ｔf	≧35ｔf	≧60ｔf
破断荷重	≧25ｔf	≧25ｔf	≧50ｔf	≧80ｔf

製造元

日東鐵工株式会社

本　　社　〒142-0043 東京都品川区二葉4－1－20 ＭＣ中延ビル
ＴＥＬ　03－5702－０１６１(代表)
ＦＡＸ　03－5702－０　１　６　５

中国営業所　〒700-0824 岡山県岡山市内山下1-5-11 ＹＡＦ内山下ビル
ＴＥＬ　086－234－４　８　０　０
ＦＡＸ　086－234－４　４　０　０

相模原工場　〒229-1112 神奈川県相模原市宮下１－１－38
ＴＥＬ　042－773－４１１１(代表)
ＦＡＸ　042－774－０　９　３　９

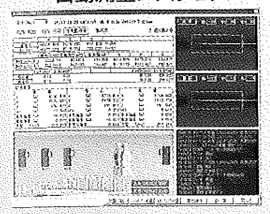
ROBOTEC SURVEY SYSTEM

シールド工事向け自動測量システム

実績　日本国内・アジア No.1

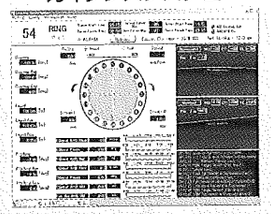
シールド工事における自動測量システムの納入実績は、国内はもとよりアジア地区でNo1となりました。数々の高速・高精度施工の新記録を打ち立て、現在も世界各国の現場で稼動しております。

自動測量システム

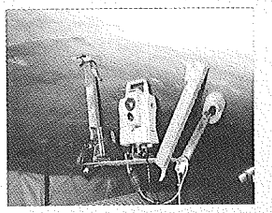


坑内は勿論離れた事務所からの遠隔測量も実現します

ガイダンスシステム



掘削オペレーターには解かり易いガイダンス画面を提供します



トータルステーションは施工工種や施工条件により弊社エンジニアが最適なスペックの機材を提案致します

ARiGATAYA V3.0

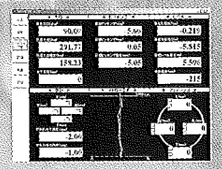
シールド工事向け掘進管理システム

各々の現場における要望等を最大公約数で取り入れ、システムアップし、常に進化しております。
弊社は強力なコンサルタント部門による提案型スタイルで、お客様にご満足頂いております。

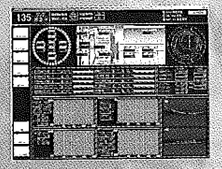
システムタイプ
- 泥土圧　泥水　TBM
- 上下水道　共同溝　地下鉄　道路　etc.
（各々専用のソフトをご用意しております）

オプション
- Shiled Broad Band(ブロードバンドシステム)
- FOG (光ジャイロシステム)
- 3D土量計測システム
- シールド測量パック
- セグメント内空・変位計測
- CG・VR・ホームページ作成

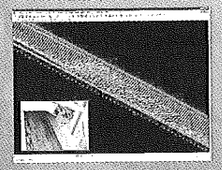
GEOMETRY GYRO



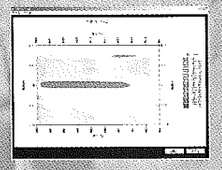
掘進管理



3D土量計測システム



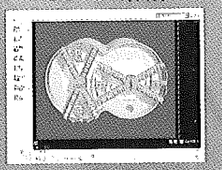
セグメント内空計測



Shiled Broad Band



CG・VR作成

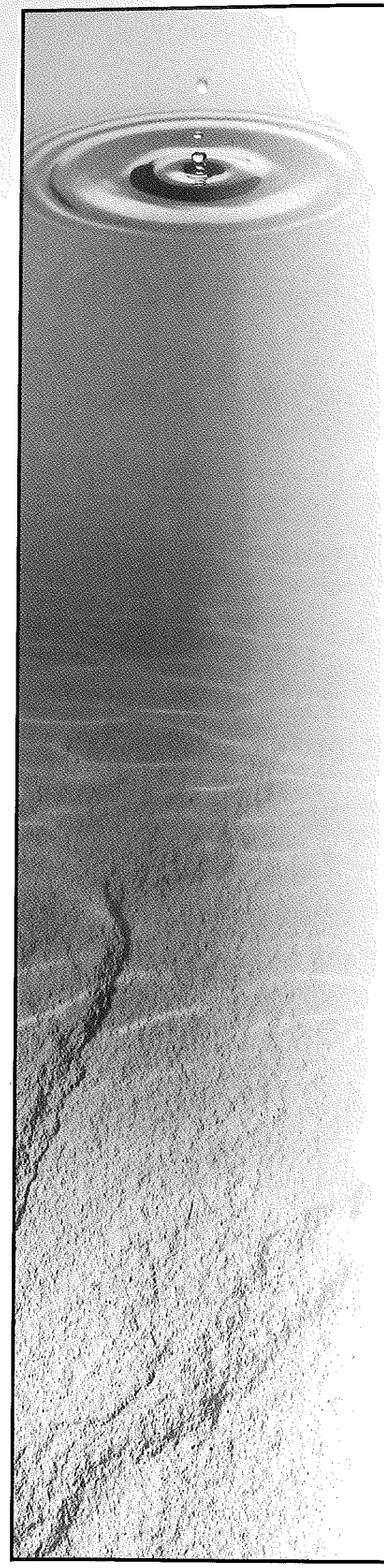


Cyber WORKS

enzan Kobou

Visit Our Web Site : www.enzan-k.com

株式会社 演算工房
本社office：京都市中京区烏丸通押小路上る秋野々町535番地 日土地ビル4F　TEL：075-213-7200 FAX：075-213-7201
東京office：東京都千代田区神田錦町3-15-5 川崎パークビル17F　TEL：03-3518-2588 FAX：03-3518-2589

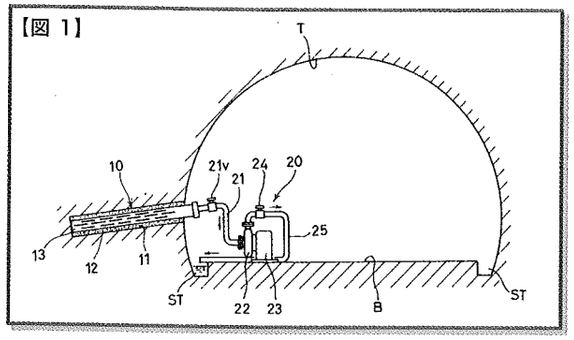


トンネル坑内 湧水濾過処理工法

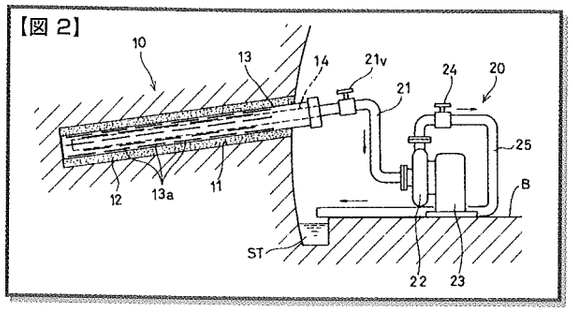
特許 第3497116号

トンネル坑内で掘削時に発生する湧水を濾過処理する湧水濾過処理方法において、掘削されたトンネル内に生じた湧水点又はその付近に削孔を掘削し、周囲の土に影響を及ぼさない濾過材でストレーナ管の外周を囲んだ濾過手段を上記削孔に装着し、この濾過手段で湧水を濾過して清水とし、その清水を所定の吸引圧で吸引して側溝へ排出するようにしたことを特徴とする湧水濾過処理方法。

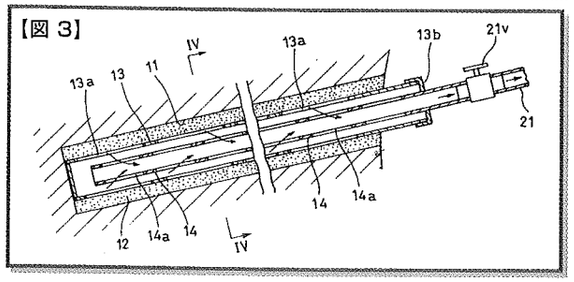
【図 1】



【図 2】



【図 3】

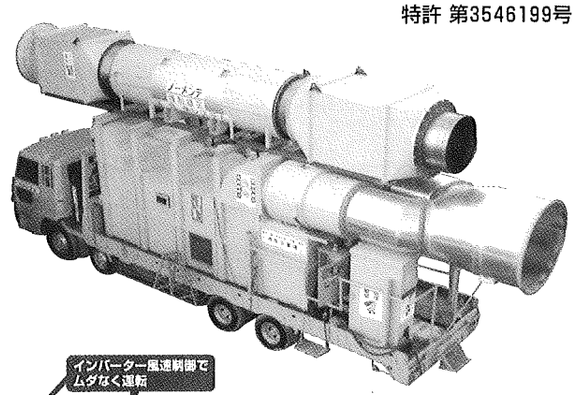


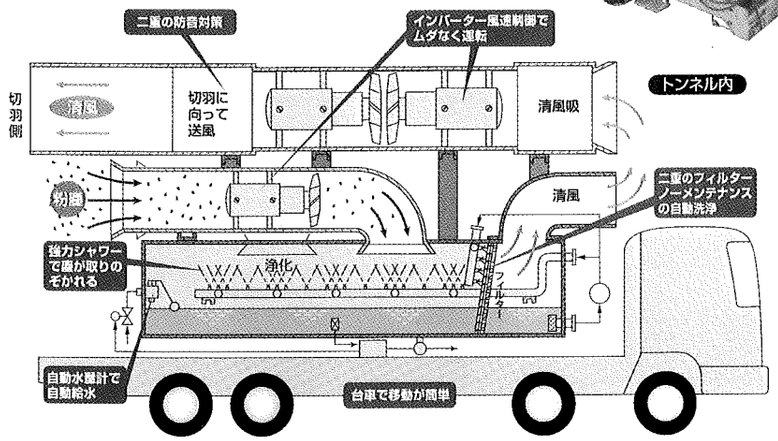
ノーメンテナンス“集塵機”強制換気システム

特許 第3546199号

集塵機の目的

- 人体に有害な粉塵の除去
- 作業員の視野の確保
- 周辺の環境の粉塵公害対策



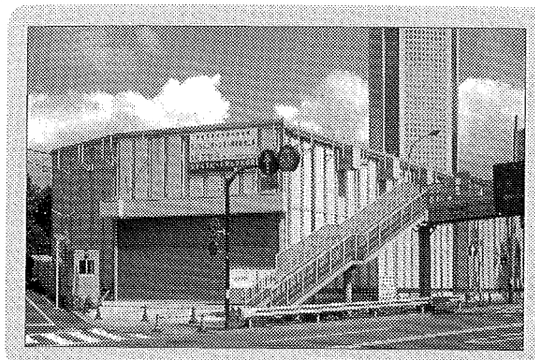


【仕様表】

		集塵機	集塵機強制換気ファン	
		S−C−900	SW37	SW55
吸込ファン	型式	MFA90Pz 37kw	SW37kw 2連並列	SW55kw 2連並列
	口径	φ900	φ1,000	φ1,100
	風量	700m³	1,100m³×2 2,200m³	1,200m³×2 2,400m³
	全圧	全圧180mmAδ×9.8＝1,764pa	1台当り全圧180mmAδ×9.8＝1,764pa×2台	1台当り全圧240mmAδ×9.8＝2,352pa×2台
	回転数	1,450rpm 50Hz 1,800rpm 60Hz	インバータ 400rpm～MAX1,800rpm	インバータ 400rpm～MAX1,800rpm
送気ファン	型式	—	SW55kw 2連直列	SW80kw 2連直列
	口径	—	φ1,200	φ1,300
	風量	—	1,300m³×1 1,300m³	1,500m³×1 1,500m³
	全圧	—	全圧500mmAδ×9.8＝4,900pa	全圧500mmAδ×9.8＝4,900pa
	回転数	—	インバータ 400rpm～MAX1,800rpm	インバータ 400rpm～MAX1,800rpm
散水圧力ポンプ	型式			
	吐出量	1,000ℓ/min	1,000ℓ/min	1,000ℓ/min
	出力	7.5kW	11kW	11kW
	回転数	1,500rpm～1,800rpm	1,500rpm～1,800rpm	1,500rpm～1,800rpm
	装置寸法	L4,500 H2,800 W1,800	寸法は現場のニーズによる	寸法は現場のニーズによる
	能力	セメント粉塵 60% 岩切粉塵 40% 吸気1,000カウント～排気200カウント	セメント粉塵 60% 岩切粉塵 40% 吸気1,000カウント～排気200カウント	セメント粉塵 60% 岩切粉塵 40% 吸気1,000カウント～排気200カウント
	1カウント	＝1m²空気中に0.01mmgの粉塵量	＝1m²空気中に0.01mmgの粉塵量	＝1m²空気中に0.01mmgの粉塵量
その他		—	温度計、排水システム、記録計付きインバータ制御で、粉塵の状況に応じて風速も自由に変換できます	

S 株式会社 阪本商会
http://www.sakamoto-shokai.co.jp
本　　社：大阪市浪速区稲荷1丁目10番4号
TEL.（06）6562-7657 FAX.（06）6562-7650
西営業所：兵庫県小野市大開町字南谷415-30
関東営業所：静岡県田方郡天城湯ヶ島町佐野字奥野869-619

大丸の防音システム



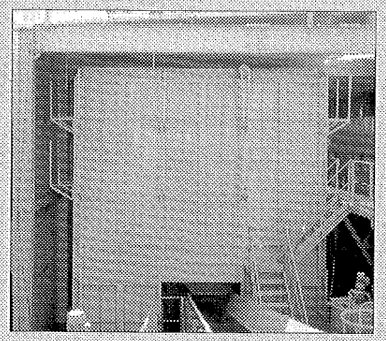
サイレントハウス(Bタイプ)

- 工期の早い標準型
- 音源対策から大型プラントまで

コスモス（Cタイプ）

- 防音効果が最大
- 環境問題の解決に





VLFシステム

- 超低周波音対策に
- 16Hzで-26dB（実績）

設計・施工　東京都知事許可(般ー13)第76001号　鋼構造物工事業
建設コンサルタント登録　建13第5745号

DMR Daimaru

大丸防音株式会社

http://www.daimaru-bouon.co.jp

本　社　〒104-0043 東京都中央区湊2-4-1　TOMAC ビル2F
TEL. 03-3537-6700（代表）　FAX. 03-3537-6701
営業所　〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3-28-16 オーベクスビル
TEL. 06-6821-6151　FAX. 06-6821-6477

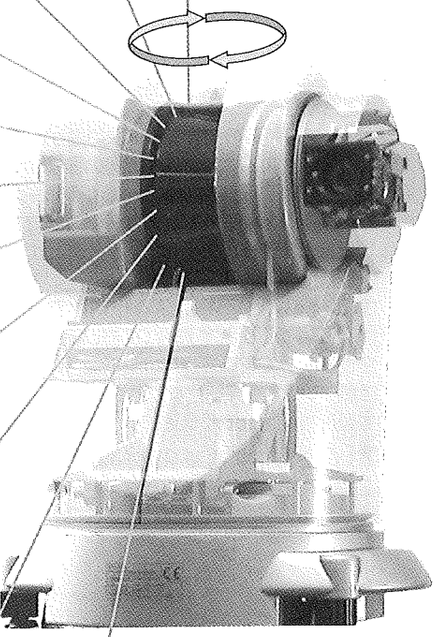
Callidus™ レーザースキャナー

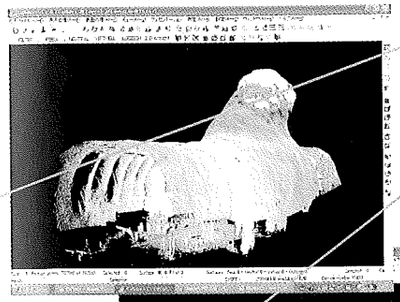
3次元トンネル断面計測機

測距精度±5mmで、1秒に1000点以上計測する3次元トンネル断面計測機。1つの機械点からトンネルの約20m(1)の範囲を10分で計測できます（機械点前後）。測定データの3次元展開図は、まさにトンネルを絵画のように詳細表示します。又、内蔵デジタルカメラで測定範囲を写真として記録可能です。

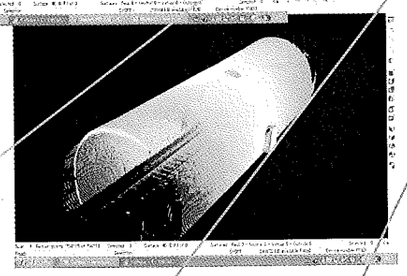
(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン





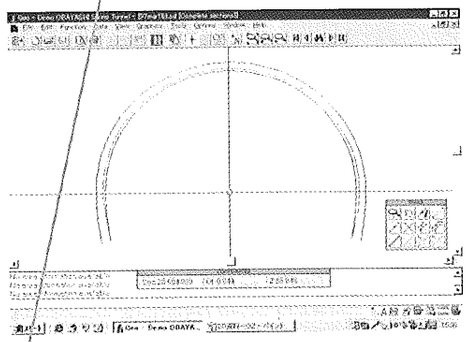
特殊なトンネル形状も対応可能です。



単独スキャンを合成し、トンネル全体を簡単に3次元表示できます。

データ解析および製図「GEOWIN」

AUTOCAD搭載の後処理ソフト「GEOWIN」は、測量計算ソフトを中心としたトンネル管理システムです。カリダスで計測したデータを3次元メッシュ（ポリゴン）で補間した後、断面を指定するだけで設計断面との比較図、設計断面に対する各観測点の差、観測断面の円周長、観測断面の面積、観測範囲のボリューム計算などが計算・表示・出力できます。



■ 販売・レンタル　株式会社ソーキ
〒550-0025 大阪市西区九条南4−2−4
TEL : 06-6586-1707　FAX : 06-6586-1277
URL : http://www.sooki.co.jp/

■ 製造元　トリンブルジャパン株式会社
〒135-0007 東京都江東区新大橋1−8−2
新大橋リバーサイドビル101
TEL : 03-5638-5022　FAX : 03-5638-5016

美しさと合理性をもつ多分割式アーチシステム

モジュラーチ®

「モジュラーチ」(MODULARCH)は、フランスのマティエール社(Matiere®)が開発した新製品を日本に技術導入した、大型の鉄筋コンクリート二次製品です。アーチ特有の形状-美しさと合理性をもつ多分割式アーチ形構造物です。

モジュラーチの特長の主なものは次の通りです。

(1) 多分割式のため**大断面の構造物**が構築できます。

(2) アーチ型構造物に加わる荷重によるモーメントが、最も小さい箇所で分割する**合理的な分割方式**です。

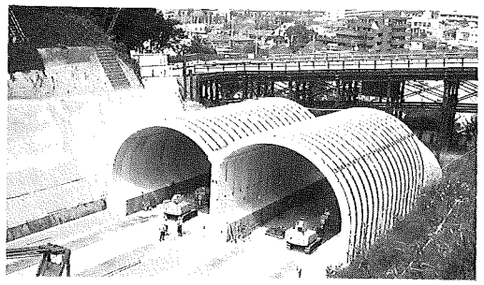
(3) 頂版部と側壁部の継手はヒンジ構造となっており、**耐震性**に優れた構造です。
(財)土木研究センターによる「モジュラーチ工法の耐震性向上に関する研究委員会」において、地震時に対する安全性について実験を行い、部材、継手とも安全上まったく問題ないことが確認されております。

(4) 側壁部材が自立する構造になっており、**安全性、施工性**に優れています。

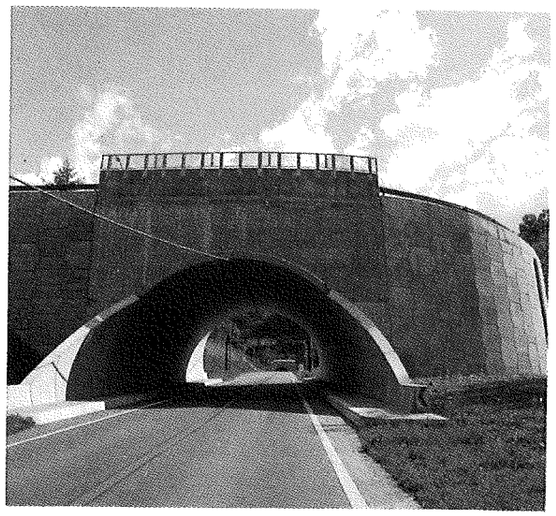
モジュラーチには次のものがあります。

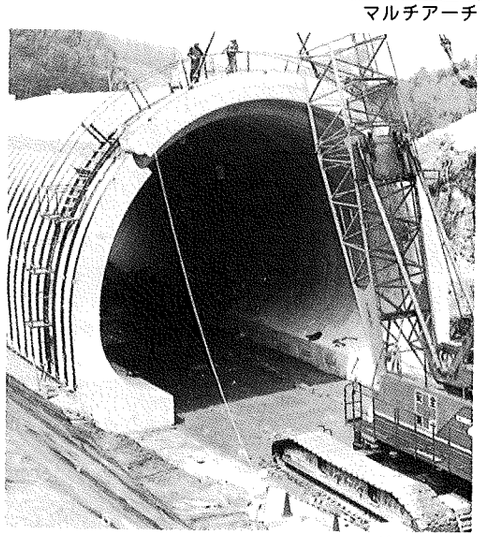
(1) シングルアーチ
4分割1組を単体としたもの

(2) マルチアーチ
4分割で中間側壁をもつ2連以上のもの



マルチアーチ





シングルアーチ

MODULARCH **モジュラーチ工法協会**

本部・事務局 〒101-0032 東京都千代田区岩本町1-10-5 TMMビル5F
日本ゼニスパイプ㈱内 TEL 03(3865)2618 FAX 03(3865)2625

会員会社

日本ゼニスパイプ㈱	TEL(03)3865-2611	FAX(03)3865-2630
ジオスター㈱	TEL(03)5844-1204	FAX(03)5844-1221
日本ヒューム㈱	TEL(03)3433-4114	FAX(03)3436-3275
オリエンタル建設㈱	TEL(03)3261-1174	FAX(03)3234-1949
日本コンクリート工業㈱	TEL(03)5462-1051	FAX(03)5462-1040

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）

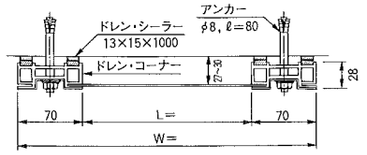
中濃産業株式会社
代表取締役 土田義弐

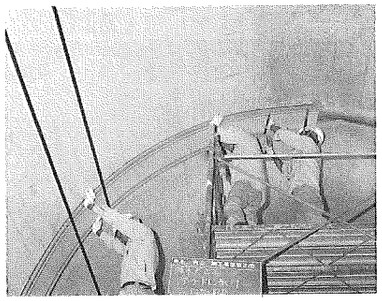
本社 〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241㈹ FAX(0581)38-3383
営業所 〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990㈹

トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

アーチ・ドレン導水樋

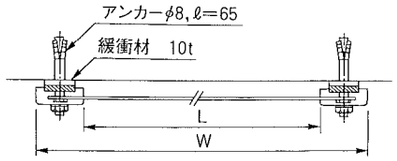
■特 徴
・漏水幅に応導水幅の選択が可能
・導水プレートはアクリル変性P.V.C強化樹脂で驚異的な耐衝撃性有り
・寒冷地型、Box カルバート用勾配型、etc 有。





コンクリート剥落対策に

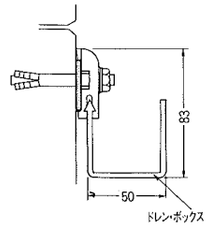
アーチ・パネル



JH 水戸 大久保トンネル、etc。

水平導水樋に

サイド・ドレン

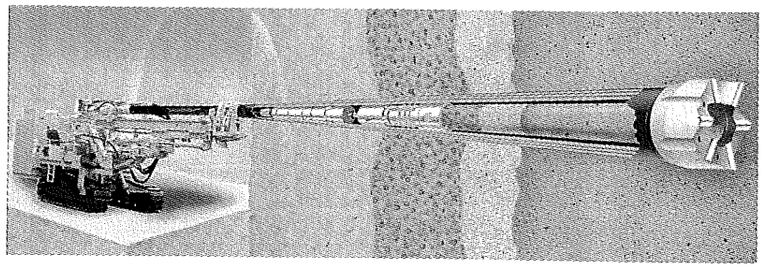


■特 徴
・スプリングライン等の水平方向からの漏水対策に最適
・ドレン・ボックスは必要に応じサイズの変更が可能

ニホン・ドレン工業株式会社
〒910-2166 福井市小路町4－12－1
☎0776(41)3725 FAX0776(41)3455
e-mail n-doren@sky.hokuriku.ne.jp

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。

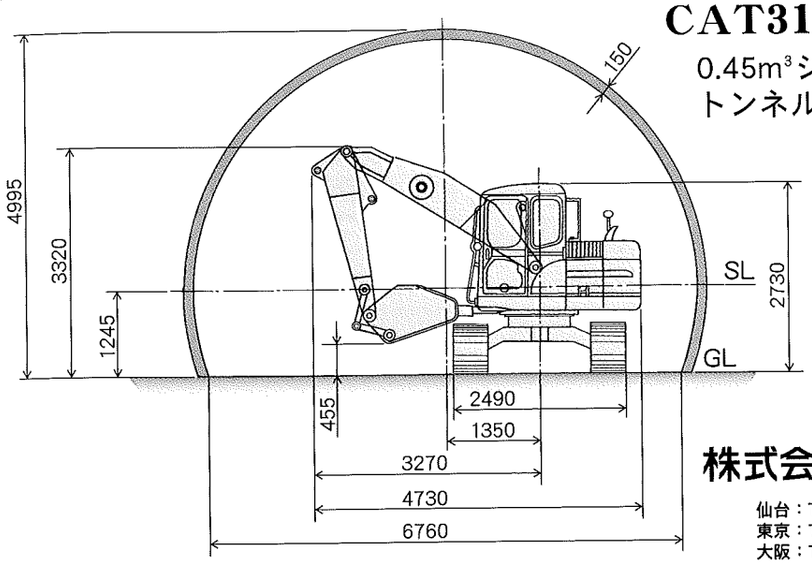
②2重管ワイヤーライン サンプリングシステムにより、地質条件にかかわりなく、コアサンプルの採取率が従来とくらべて大幅に向上しました。

KOKEN 鉱研工業株式会社

本　社　〒164-8650 東京都中野区中央1-29-15
TEL (03)3366-3111(大代表)　FAX (03)3366-3341

お問い合わせ先 ： エンジニアリンググループ
TEL. (03)3366-3123　FAX. (03)3366-3365
http://www.koken-boring.co.jp/

小断面にも入ります？



CAT313B
0.45m³ショートブーム
トンネル仕様

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

CATERPILLAR（キャタピラー）及びCATはCaterpillar Inc.の登録商標です。

数々の技術・豊富な実績が
明日を築く東急の濁水処理設備



◀北陸新幹線碓氷峠トンネル（東）
濁水処理設備

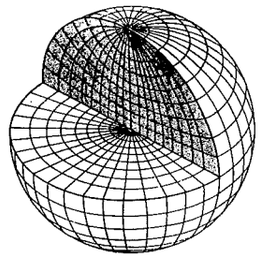
◆営業品目◆

トンネル工事濁水処理設備
都市土木工事
P.Hコントロール設備
炭酸ガス中和設備
水処理各種計器器材
上記　設計、施工、管理

TOKEN SANGYO
東建産業株式会社
(旧 東急設備㈱)

本　　社　東京都渋谷区渋谷1−16−14
〒150-0002　TEL 03(5466)9511
関西事務所　大阪市北区豊崎3−19−3
〒531-0072　TEL 06(6371)6447

21世紀の地球環境を見つめる土木専門図書



ブロック理論と岩盤工学への応用
R.E.グッドマン，G.H.シー著／吉中龍之進·大西有三訳
A5判　360頁　税込 5,097円　送料 340円

建設工事の保安地質学【改訂版】
石井康夫　著
A5判　474頁　税込 6,300円　送料 340円

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

岩盤地下空洞の設計と施工
E.フック，E.T.ブラウン　共著
小野寺透·吉中龍之進·斉藤正忠·北川隆　共訳
B5判　444頁　上製本　税込 10,290円　送料 450円

山岳トンネルの新技術
ジェオフロンテ研究会　編纂
B5判　500頁　税込 15,301円　送料 450円

わかりやすいトンネル力学
福島啓一　著
B5判　286頁　税込 6116円　送料 340円

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

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

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

Step-Up 21 創造への新たな技術

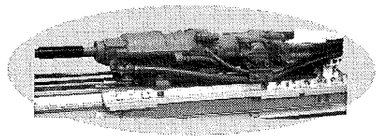
FURUKAWA

次世代型ホイール式ドリルジャンボ
JTH2200R / JTH3200R

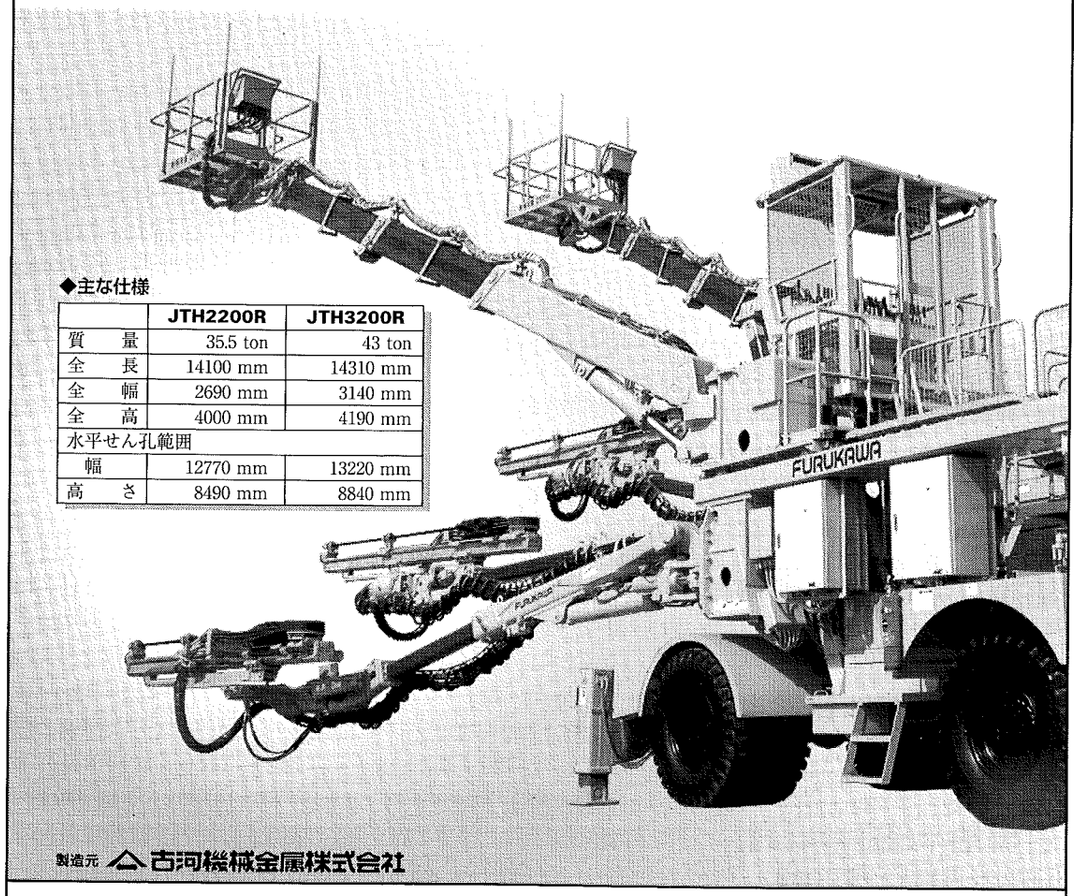
（2ブーム、2ケージ）　（3ブーム、2ケージ）

新型油圧ドリフタ***HD210***、アルミ製ガイドシェル、ブーム、チャージングケージetc.全ての動きがスピードアップ。
せん孔作業の違いがわかる次世代型ホイール式ドリルジャンボ新登場。

新型油圧ドリフタHD210搭載



デュアルダンパ内蔵の新型油圧ドリフタ***HD210***搭載。
クラス最高のせん孔性能と消耗品ライフの向上を実現。



◆主な仕様

	JTH2200R	JTH3200R
質　量	35.5 ton	43 ton
全　長	14100 mm	14310 mm
全　幅	2690 mm	3140 mm
全　高	4000 mm	4190 mm
水平せん孔範囲		
幅	12770 mm	13220 mm
高　さ	8490 mm	8840 mm

製造元 古河機械金属株式会社

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の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。

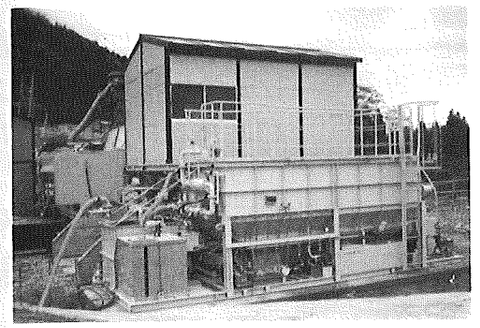
総販売元 古河機械販売株式会社　ホームページ：http://rvs.furukawakk.co.jp/ms/

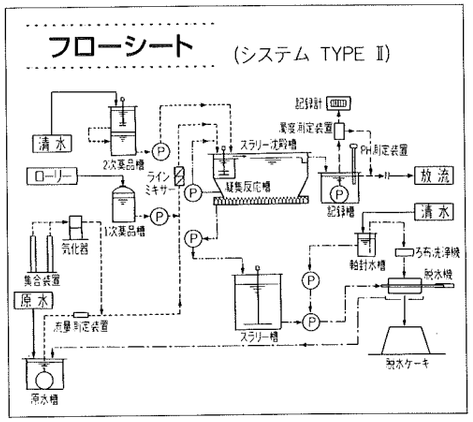
本　社　〒101-0047　東京都千代田区内神田2丁目15番9号　古河千代田ビル　特機営業部　☎03-3252-2544

札幌支店 ☎011-861-3261　東北支店 ☎022-356-5771　関東支店 ☎027-322-5953　名古屋支店 ☎0568-77-7700
静岡出張所 ☎054-620-1641　関西支店 ☎06-6475-8221　広島支店 ☎082-231-5621　四国支店 ☎087-833-4833
九州支店 ☎092-948-2010
整備工場
関東 ☎0274-60-7011　名古屋 ☎0568-77-6363　関西 ☎06-6475-8461　九州 ☎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　2月号目次　Vol.36, No.2, 2005 Feb.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

土木技術者に期待すること
磯島　茂男……5

■研　　究

光ファイバによるトンネル覆工の変状監視法
小島　芳之・栗林　健一・朝倉　俊弘・伊藤　裕昌……47

■報　　告

シールド発進・到達工実態調査報告(2)
ＪＴＡ都市トンネル小委員会……55

■施　　工

鉄道直下の函体けん引に鏡補強ボルトを採用
―里塚・上野幌連絡線　JR上野幌駅構内アンダーパス工事―
小西　康人・海原　卓也・小野　隆利・須川　智久……7

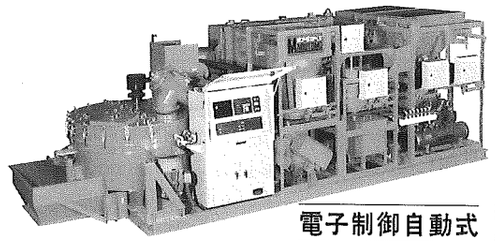
導坑も先進坑覆工もなしでめがねトンネルを施工
―主要地方道茨木亀岡線　大門寺トンネル―
高橋　明生・木村　文憲・本藤　敦・櫻井　孝臣……17

渋谷駅前の銀座線高架橋基礎の受け替え
―13号線・東横線相直　渋谷駅建設工事―
西村　高明・今井　龍雄・鷲見　博由……29

コンパクトで計量精度は抜群…

丸友の移動式
コンクリートプラント

製造・販売・リース
生産量 10～90m³/H



電子制御自動式
(印字自動記録装置付)

丸友機械株式會社

本　　社　名古屋市東区泉一丁目19番12号
〒461-0001　電話〈052〉(951)　5　3　8　1　代

東京営業所　東京都千代田区神田和泉町1の5
〒101-0024　ミツバビル　電話〈03〉(3861)9461代

恵那工場　岐阜県恵那市武並町藤字相戸2284番地
〒509-7121　電話　〈0573〉(28)　2　0　8　0　代

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

環境に配慮したシールド工事の施工と市民PR
―京都市下水道　有栖川中央幹線―
大楽　尚史・上田　昌三・植松　浩……37

■連載講座

山岳トンネルにおける工事用機械の選定(16)
TBM(3)－特殊掘削用－
「山岳トンネルにおける工事用機械の選定」連載講座小委員会……65

多様化するシールド掘進技術(12)
自由断面シールド工法，OHM工法，MMST工法
鎮守　達美・一原　正道・山田　淳・立石　洋二……77

■現場だより

『日本一のダム』岐阜県藤橋村より
高山　幸雄……27

■資　　料

土木情報
編　集　部……28

トンネルジャーナル
編　集　部……46

トンネル千夜一夜(2)
小野田　滋……62

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……64

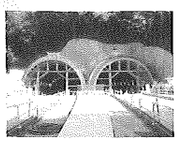
トンネルワールドニュース
JTA国際委員会国内広報ワーキング　…89

海外文献速報
JTA研究開発委員会……90

■会　　報

会　報
日本トンネル技術協会……92

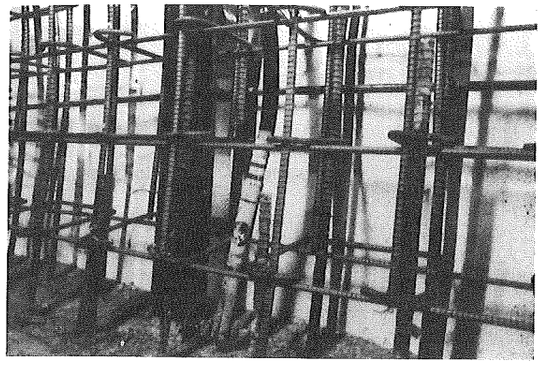
【表紙説明】　導坑も先進坑覆工もなしでめがねトンネルを施工
―主要地方道茨木亀岡線　大門寺トンネル―

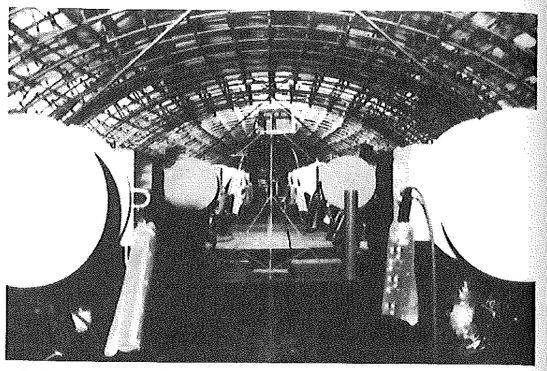


めがねトンネルでは，中央導坑・側壁導坑を施工してセンターピラーや側壁コンクリート躯体を構築するのが一般的であるが大門寺トンネルでは，工期短縮，コスト縮減，品質向上を目的として，導坑方式のめがねトンネルを無導坑とし，さらに先進坑の覆工なしに後進坑の掘削を実施するという，これまで類例のないきわめて近接した双設トンネルへの設計変更を行い，無事掘削を完了した．写真はトンネル坑口状況である．

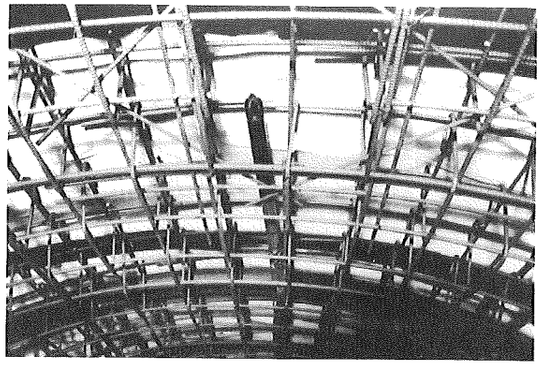
〔写真提供：大阪府〕（本文17頁参照）

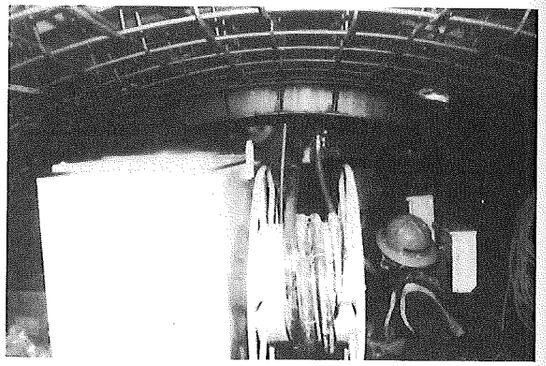
コンクリート打設の新技術



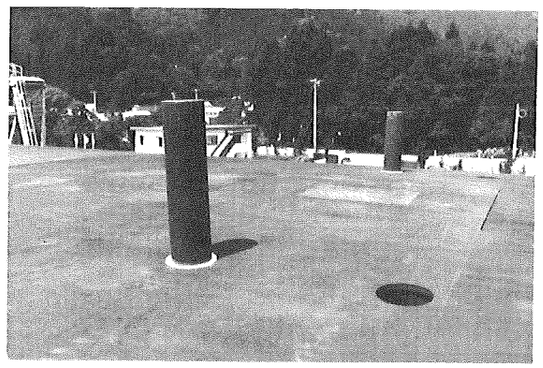


コンクリート感知センサー内蔵型自動バイブレータシステム
（バイブレータに内臓されたセンサーがコンクリートを感知し自動的に巻き取る）

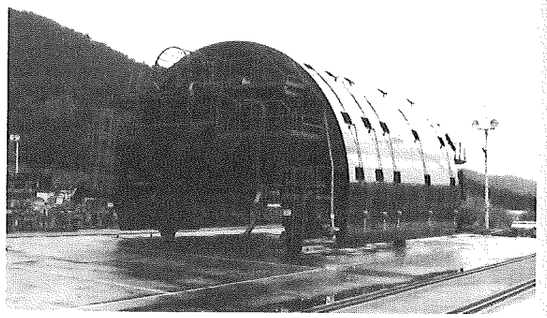




トンネル天場部の引抜式バイブレータシステム
（トンネルの天場縦断を締固める）



伸縮式バイブレータシステム



浮きバイブレータシステム

岐阜工業株式会社
GIFUKOGYOU CO.,LTD
GIFU KOGYO

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

東京支店　(03)3262-1285(代)
仙台営業所　(022)259-2239
九州営業所　(092)713-5265

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

会誌委員会の構成（五十音順・敬称略）

〔委員長〕

橋本定雄　不動建設株式会社特別顧問
（元）東京都下水道局長

〔委員〕

伊藤範行
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
グループ長

猪俣正
飛島建設株式会社執行役員技師長

久多羅木吉治
東亜建設工業株式会社土木営業本部技術部長

田川弘義
株式会社竹中道路取締役社長

千葉隆
清水建設株式会社土木事業本部
技術第二部部長

永島茂
東京地下鉄株式会社鉄道本部工務部次長

端則夫
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

濱建介
株式会社アオバ取締役会長

三浦正彦
株式会社大林組土木技術本部技術部長

宮林秀次
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部計画部計画課長

山田邦博
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

山田隆昭
日本道路公団試験研究所調査役

編集顧問の構成（五十音順・敬称略）

伊吹山四郎
攻玉社工科短期大学名誉学長

島田隆夫
鉄建建設株式会社社友

高橋彦治
伸光エンジニアリング株式会社技師長

田島利男
株式会社ロードエンジニアリング代表取締役

西松裕一
東京大学名誉教授

林博
西松建設株式会社専務取締役

松本崇義
（元）東京都理事

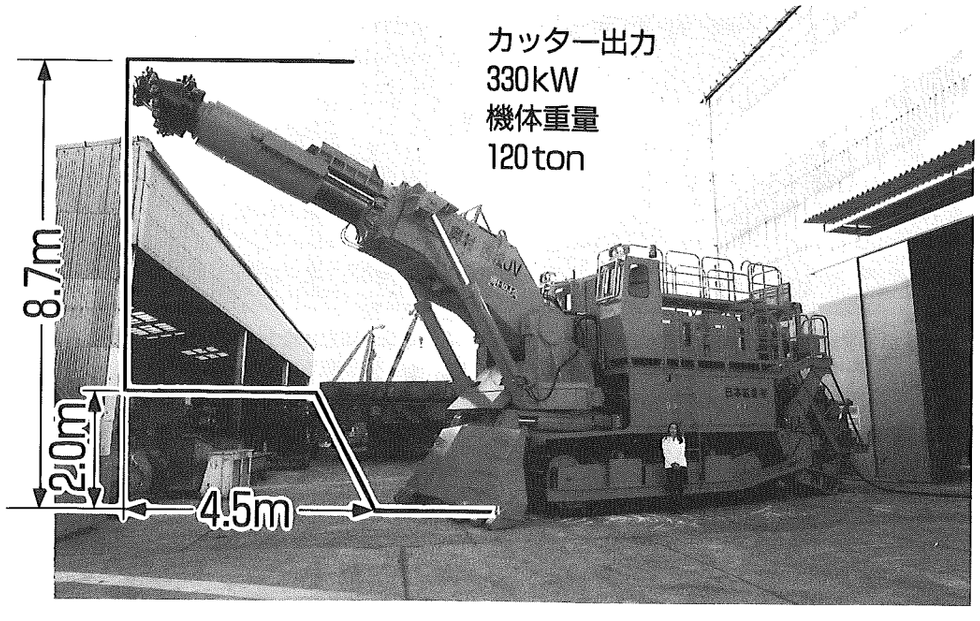
丸安隆和
東京理科大学教授

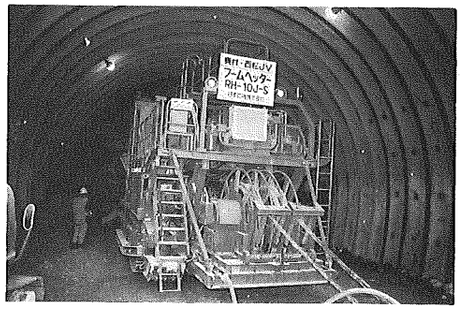
宮川房夫
株式会社熊谷組専務執行役員

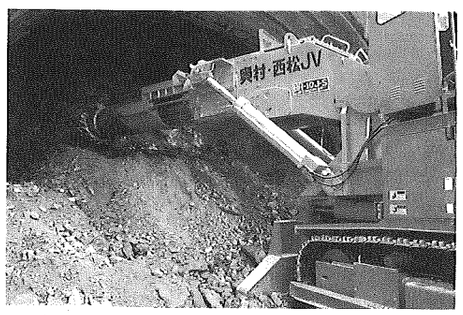
吉川新吉
東京発電株式会社常任監査役

吉村恒
吉村とんねる・らぼ

RH-10J-S ミニベンチ機械掘削工法 ブームヘッダー







RH-10J-S型は

①積込機、NATM関連機器等、従来機との組合せでミニベンチ工法が出来ます。

②トップデッキを外すことにより、ショートベンチ工法の上半にも使えます。

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社 建設機械部

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

旧社名: ㊐日本鉱機株式会社

本社・営業 カスタマーサービス　〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル6階　TEL 03-5733-9441

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〕

橋本定雄　不動建設株式会社特別顧問
（元）東京都下水道局長

〔編集参与〕

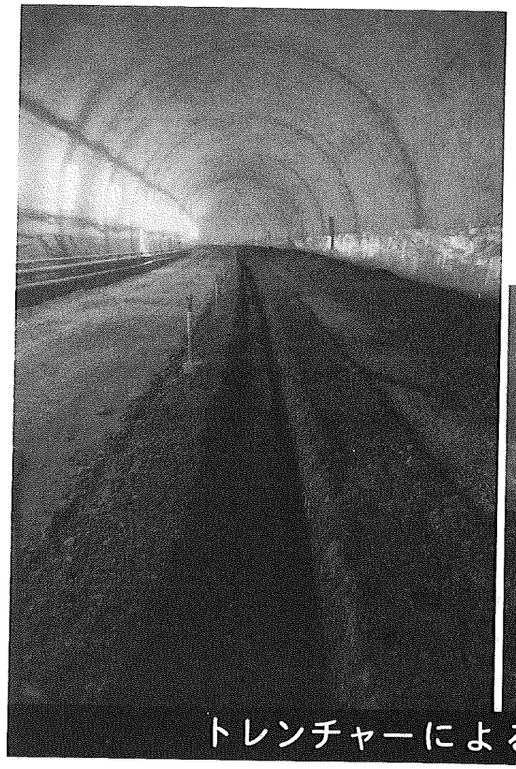
伊藤良行　株式会社復建エンジニヤリング 第一技術部部長
大島洋志　国際航業株式会社 上席フェロー技術センター長
今田徹　東京都立大学名誉教授
定塚正行　株式会社コンテク代表取締役社長
鈴木章　日本下水道事業団理事
濱建介　株式会社アオバ取締役会長
水谷敏則　（財）先端建設技術センター 専務理事

〔委員〕

大月喜雄　東京地下鉄株式会社建設部 新宿工事事務所所長
橿尾恒次　東京都交通局建設工務部保線課長
木谷日出男　財団法人鉄道総合技術研究所 防災技術研究部主任研究員
佐藤亘　東京電力株式会社工務部送変電建設センター 首都圏調査グループ課長
清水満　東日本旅客鉄道株式会社建設工事部 構造技術センター課長
清治均　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
高橋良文　東京都下水道局計画調整部事業調整課長
原薗一矢　東京都水道局建設部工務課長
真下英人　独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ 上席研究員（トンネル担当）
山田隆昭　日本道路公団試験研究所調査役

岩盤切削機 トレンチャー

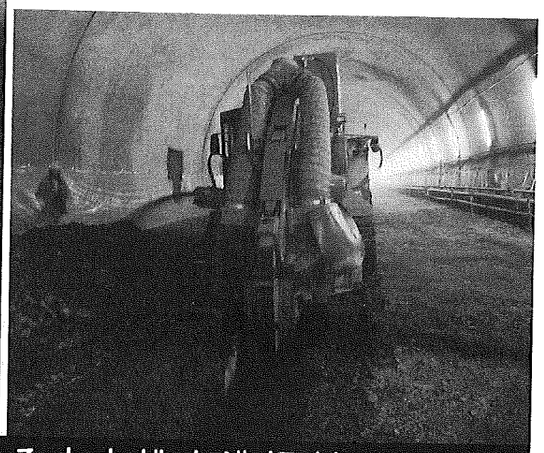
TRENCOR inc.



トレンチャーによる
工期短縮とコスト合理化の実現

トンネル中央排水溝掘削例

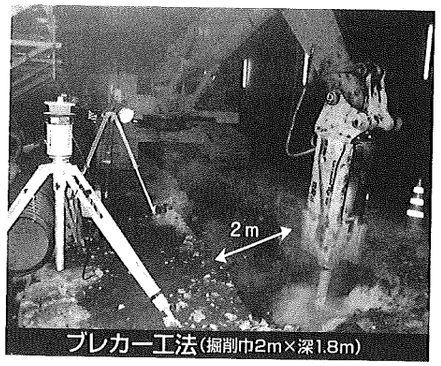
トンネル	排水溝寸法（矩形）		進行と掘削時間	
	巾（m）	深（m）	m／時	時／日
新幹線	0.8	1.8	10～25	2～4
高速道路	0.6	0.9	20～50	4～5



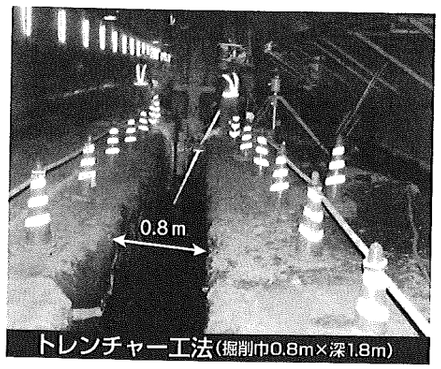
トレンチャーによる中央排水溝掘削

	切削巾	切削深	用途
トレンチャー	0.3～2.4m	0.5～10.0m	深溝掘削 ⇒ トンネル中央排水溝、道路、造成地内溝
ロードマイナー	3.0～4.8m	0.9～1.9m	広幅掘削 ⇒ トンネル下半、道路盤、造成工事
ロックソー	0.1～0.3m	0.9～1.4m	狭溝掘削 ⇒ 光ケーブル、電力線、その他

どちらの工法を選びますか？



ブレカー工法（掘削巾2m×深1.8m）



トレンチャー工法（掘削巾0.8m×深1.8m）

TRENCOR INC.
TEXAS. U.S.A
www.trencor.com

総代理店 オオヤマ & Co.（Ohyama & Co.）
〒121-0813 東京都足立区竹の塚1-27-9
TEL.03-3885-0864 FAX.03-3885-0864
mail：ohyama@mui.biglobe.ne.jp

トンネルと地下 VOL.36 No.2 掲載概要

掲載頁 7

鉄道直下の函体けん引に鏡補強ボルトを採用
—里塚・上野幌連絡線 JR上野幌駅構内アンダーパス工事—

北海道旅客鉄道(株) 小西 康人

上野幌(かみのっぽろ)BV工事は，JR千歳線直下の道路交差アンダーパス工事である．本工事の地山は，飽和粘性土を主体とする盛土体で，地盤改良では軌道に影響を及ぼす可能性が高いため，数値解析シミュレーションにより地山の崩壊メカニズムを明らかにし，これに対する有効な地山安定対策として鏡補強ボルトを採用した．

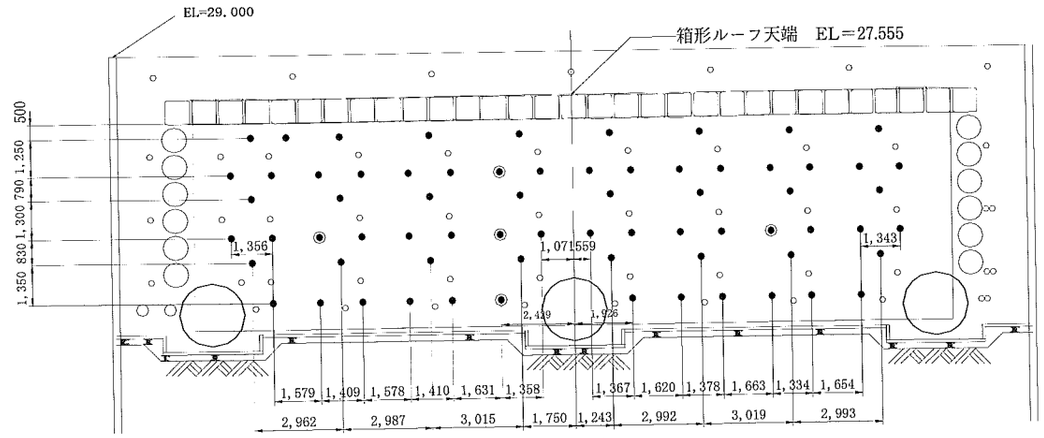
本報告は，数値解析を含めた鏡補強ボルトの設計過程を示すとともに，施工時の現場計測結果をもとにしてその妥当性を評価するものである．また，工期や施工条件の制約を満たすために実施した，削孔方法などに関する施工工夫点もあわせて示す．

Application of Face Bolting to Box Pulling Method underpassing Railway — Road-Underpassing-Railway Project in JR-Kaminopporo Station

By Yasuhito Konishi, Hokkaido Railway Company

The Kaminopporo BV Project is the construction one that a new road underpasses the existing JR-Chitose Railway. The geology in this site is saturated clayey fill. In consideration of such ground condition, in this project, the face bolting method was adopted to stabilize the face instead of the ground improvement such as chemical injection that would gives negative impacts to the railway. Before the application of this method, the numerical simulation was done to clarify the mechanism of fracture of ground.

This paper reports the consistency of the above-mentioned simulation before construction and the results of measurement during construction, and the drilling method as a appropriate method in this project for the cost-saving and reduction of construction period.



図は鏡補強ボルト打設位置図

掲載頁 17

導坑も先進坑覆工もなしでめがねトンネルを施工
—主要地方道茨木亀岡線　大門寺トンネル—

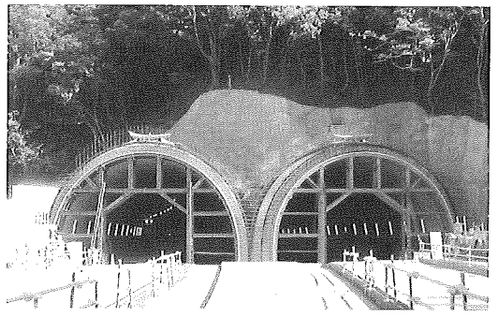
大阪府　高橋　明生

めがねトンネルでは，中央導坑・側壁導坑を施工してセンターピラーや側壁コンクリート躯体を構築するのが一般的であるが，導坑掘削および導坑コンクリート構築後に本坑掘削を行うため，工期が長くなるなどの問題があった．大門寺トンネルでは，工期短縮，コスト縮減，品質向上を目的として，導坑方式のめがねトンネルを無導坑とし，さらに先進坑の覆工なしに後進坑の掘削を実施するという，これまで類例のない極めて近接した双設トンネルへの設計変更を行い，無事掘削を完了した．本報告は，大門寺トンネルにおけるこれらの支保設計の経緯や施工，計測結果などについて報告するものである．

Construction of Glasses-Shaped Twin Tunnel without Side Drifts and temporary Lining of Pilot Tunnel — Daimonji Tunnel Project of Main Local Road Ibaraki-Kameoka Line

By Akio Takahashi, Osaka Municipal Government

Usually, in execution of glasses-shaped twin tunnel, center pillar and side walls are complete after the construction of center drift and side drifts and lining of them. In the Daimonji Tunnel Project, the construction of glasses-shaped twin tunnel was successfully performed without side drifts and temporary lining of pilot tunnel for the cost saving, reduction of construction period and improvement of quality of structure. This paper presents the procedure of design and the construction with the measurement.



写真は坑口全景

掲載頁 29

渋谷駅前の銀座線高架橋基礎の受け替え
—13号線・東横線相直　渋谷駅建設工事—

東京地下鉄(株)　西村　高明

地下鉄13号線は池袋駅を起点とし，明治通りを南下して渋谷に至る総延長8.9kmの路線である．13号線渋谷駅を横断する銀座線は，地上を通過する地下鉄で，交通量の多い明治通りに橋脚6列各2柱を有した高架橋で築造されている．GL−0.8〜1.2mの深さに，高さ1.0mのフーチング基礎(松杭あり)があるため，13号線開削工事に先立ち，銀座線フーチング基礎の受け替え工事が必要となった．

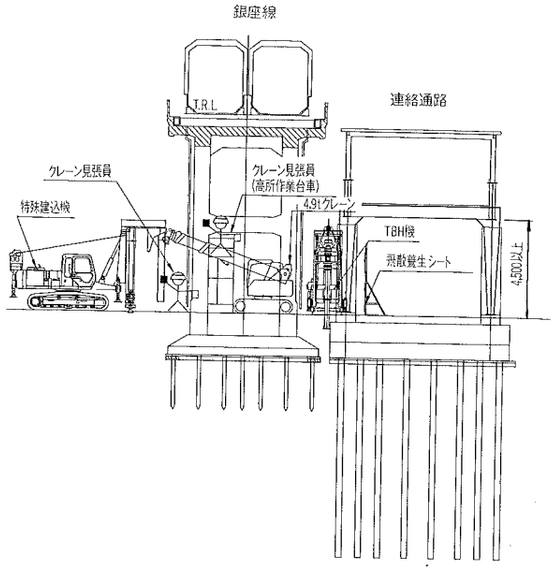
そこで種々検討した結果，路面交通に支障しない添梁形式の受け替え工法を採用したので，本稿では下受け杭の施工から添梁築造による受け替えまでについて概略計画について紹介する．

Underpinning of Foundation of Subway Ginza Line in Shibuya Station — Subway No.13 Project

By Takaaki Nishimura, Tokyo Metro Co., LTD

Subway No.13 in Tokyo that is now under construction will start from Ikebukuro Station and reach Shibuya Station through Meiji-Dori Street with the length of 8.9 km. Subway Ginza Line has a viaduct structure and overpasses Shibuya Station with 6 piers of 2-column type in Meiji-Dori Street that has heavy traffic volume. These piers have footing foundations, which height is 1.0 m, with pine piles. These piles are at the depth of G.L. −0.8 to 1.2 m and located in the construction section of Subway No.13 to be executed by the cut and cover method. They have to be removed before the construction of Subway No.13. Due to this construction condition, the load of Ginza Line shall be replaced by the underpinning method using new beams to be added to the both side of each footing and new piles in consideration of the traffic condition.

This paper introduces the planning of replacement works of footings.



図は削孔・建て込み図

掲載頁 37

環境に配慮したシールド工事の施工と市民PR
—京都市下水道　有栖川中央幹線—

京都市上下水道局　大楽　尚史

総合的な治水計画の一環としての，下水道事業による雨水貯留幹線工事の計画・設計・施工における，周辺環境に配慮し，市民PRに積極的な取り組みを行った事例を報告する．この工事は，狭小な観光地へのアクセス道路下におけるシールド工事であり，長距離施工などにより地上作業を極力排し，二次覆工の省略により工期を短縮し，また，防音ハウスの設置により騒音の発生を抑制するなど，周辺環境を配慮した施工を行った．また，見学会や積極的な情報発信により市民へのPRを積極的に行い，市民と行政が協働した取り組みを行うことができた．

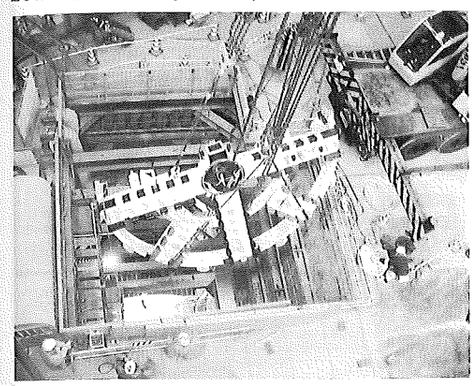
Construction of Sewer Tunnel Project by Shield Method and Public Relations on it for Resident — Arisugawa Sewer Main in Kyoto City

By Takashi Dairaku, Kyoto Municipal Government

The project of Arisugawa Sewer Main is one part of the storm water storage project in Kyoto City. This tunnel is located under the narrow road leading to the sightseeing site. In consideration of environmental matters, this sewer main was constructed by the shield method with long distance driving to minimize works on the ground surface and without the secondary lining to reduce the construction period. The facilities in the site were covered with soundproof structures.

Kyoto Municipal Government organized the public relations on this project such as the site visits and explanatory meetings for the resident actively.

This paper presents the outline of shield tunnel works and the public relations for resident.



写真は防音ハウス内でのカッタ面板の吊り下ろし

掲載頁 47

光ファイバによるトンネル覆工の変状監視法

(財)鉄道総合技術研究所　小島　芳之

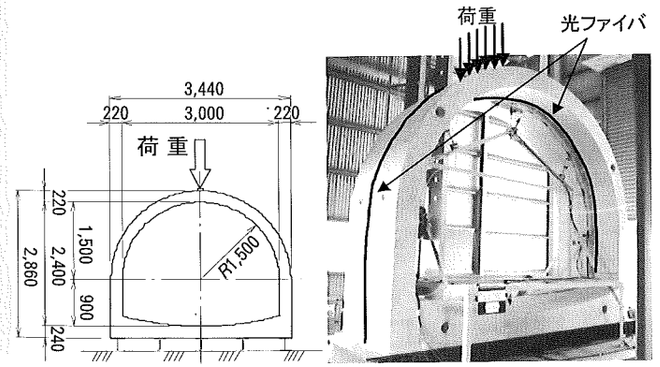
トンネルの変状監視や近接施工の影響に対する計測には，一般に，内空変位(トンネルの内空寸法の変化)の計測やひずみ計などによるひび割れ幅の計測などが行われている．しかし，これらを用いて長大区間を長期間にわたり連続監視するためには，煩雑で多大な労力を要している．そこで，連続的なひずみの変化を遠隔地より監視することができる光ファイバセンサ(B-OTDR)を用いたトンネルの変状監視法に着目し，①覆工模型載荷実験，②現地施工試験，③計測管理システムについて検討を行い，その適用性について考察を行った．

Monitoring System of Tunnel Lining using Optical Fiber

By Yoshiyuki Kojima, Railway Technical Research Institute

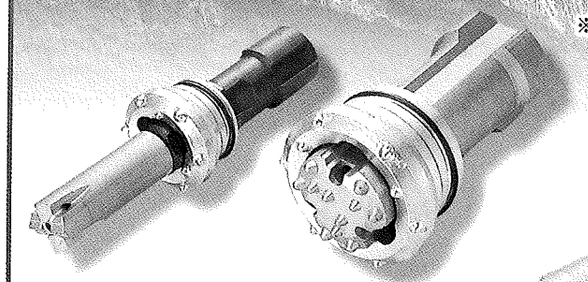
Usually, the measurement of convergence of tunnel or width of cracks using strain gauges and crack gauges is done to monitor deformation of lining and negative impacts given to existing structures by tunnel excavation. If this method is adopted to monitor the condition of long tunnel for long time, it needs great efforts and energies. To settle this matter, we study on the remote control monitoring system using the optical fiber. This system can monitor the change of strain of lining continuously.

This paper introduces our studies, especially, the loading test using miniature model, the in-situ test and measurement management system.



図は実験状況

ユニークな発想と高品質・自信の価格



※連続突起を有する鋼製シースを地山に引込み、芯材を挿入して固化材を注入。周辺地山にしっかりと"FIX"します。



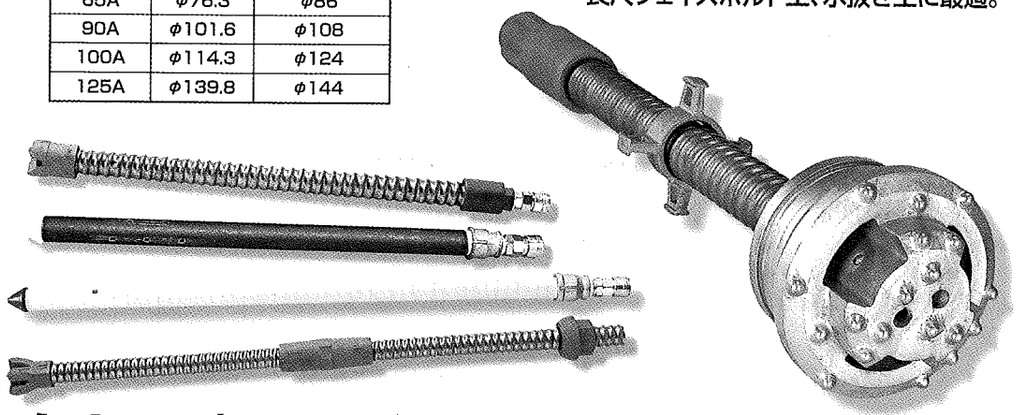
STD BITS

（ロストリング方式）

呼称	鋼管径	リングビット径
65A	φ76.3	φ86
90A	φ101.6	φ108
100A	φ114.3	φ124
125A	φ139.8	φ144

FIX TUBE工法

長尺フェイスボルト工、水抜き工に最適。



自穿孔ボルト&注入管

名称		形状 外形状	形状 内径	降伏荷重 (kN)	破断荷重 (kN)
SPアンカー		R29	φ13	204	>255
		R32	φ17	204	>255
		R38	φ16	400	>500
SPミニパイル		R51	φ29	600	>750
		R73	φ50	960	>1200
注入管	鋼管	φ27.3	φ15	155	>215
	GFRP	φ28	φ17	−	>180

※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。

AGF-SP工法

R38自穿孔ボルトで二重管打設してロッドを回収しない、高速・高剛性長尺先受け工法です。坑口などでのミニパイプルーフとして最適。

STE
エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0869　大阪府八尾市桜ヶ丘3丁目101番地
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251
E-mail : steng@kawachi.zaq.ne.jp

巻頭言

（題字　三谷　浩会長）



土木技術者に期待すること

清水建設(株)代表取締役副社長(本協会理事)
磯島茂男

昨年は，台風が立て続けに上陸して全国各地に大きな爪痕を残し，10月には新潟県中越地震が発生して鉄道や道路など多くのインフラが被災し，国民生活に多大な影響を及ぼしたことは記憶に新しい．新潟県中越地震では，主要な道路や鉄道路線のほとんどは関係者の努力，緊急工事により早期に復旧されたものの，地震に強いとされた山岳トンネルにも被害が及んだことで，震災発生直後の写真入りの報道や，なかにはトンネルの安全性に対する信頼が揺らいだという論調もあった．

阪神・淡路大震災のとき，私は地震の3日後に神戸支店の副支店長として赴任した．昼夜を問わず被災構造物や施設の復旧工事の指揮をとったときに，いくつかの山岳トンネルやシールドトンネルの被災状況を見る機会があった．確かに，覆工のひび割れや剥落がいくつかあったが，多くの明かり構造物の被災状況と比較すれば軽微だとの印象から，トンネルは地震に強い構造物だと感じた．このとき面白い話を聞いた．神戸では古代から三角州に浮島のように点在する「砂堆(さたい)」と呼ばれる小高い場所に居住していたらしい．すなわち，古代人はこの硬い地盤では地震の被害が少なく，三角州や異なる地盤の境目で被害が甚大になると知っていたとのことだ．現実の被害状況はまさしくこれに合致していたのである．

そもそも，人工的な構造物が自然の大きな力に対して絶対安全ということはあり得ない．今回のトンネル被害についても未知の断層が影響したようであるが，被害のメカニズムを解明し，今後の計画や設計に反映させることが土木技術者の役割と感じた．

近年，トンネル分野において施工指針やマニュアルという形で普遍化が図られていると聞く．ここにはトンネル技術者共通の「暗黙知」が存在していることが前提であろうが，大きな危険もはらんでいると思う．すなわち，マニュアルを重視するあまり，技術の本質を理解する努力が薄まり，結果として技術の発展が阻害されたり，それを超えた課題に対応できなくなるのではないかということである．山岳ではNATM，都市域で

はシールド工法と大まかに分かれていたが，最近はその領域が重なり合ってきている．補助工法を駆使することで岩盤以外でもNATMの適用が可能になってきているし，逆に，地下水を保全するために岩盤にシールド工法を適用した事例もある．1台の掘削機をシールドとTBMのデュアルモードで使用するといった技術開発も進んでいると聞く．また，山岳トンネル，シールドトンネルとも，従来の2倍の速度で掘削したいとの要求に応えた事例もある．環境保全などの要求から，都市域において大断面・大深度の道路トンネルのニーズが出てきており，新たな技術革新により，最高のパフォーマンスが求められている．このようなニーズはマニュアルでは対応できないことである．どれだけ情報化施工が発達しても，最後の判断は人間が行うしかない．マニュアルを超えたところにこそトンネル技術者としての存在価値があると思う．

最近，公共事業を取り巻く環境の変化の中で，国民の合意形成が重要になり，いわゆるパブリックインボルブメントやアカウンタビリティといった考えが導入され始めた．すなわち，公共事業の必要性を一般社会によく理解してもらおうという活動であり，コストダウンや技術開発への取り組みなども含めて，社会への情報発信が少なかったことが公共事業への誤解を生んでいたことは否めない．日本土木工業協会の「100万人の市民現場見学会」は建設会社が社会に情報公開できることとして，2002年11月から全国で実施されており，2年間で50数万人もの方々に現場見学をしていただいている．また，国土交通省東京工事事務所が日比谷共同溝工事で，市民向け公開イベント「東京ジオサイトプロジェクト」を開催したところ，2度のイベントに約2,800人の一般市民の方が参加し，ホームページへのアクセスは1,000万件を超えているという．このような地道な努力，すなわち土木技術者の暗黙知を社会に表出することで，公共事業への理解が社会へ広がることを期待している．

話は新潟に戻るが，被災地のひとつ山古志村は，映画「掘るまいか―手掘り中山隧道の記録―」の舞台である．この映画は，積雪7～8mにもなる冬場，雪に閉ざされる村の生活を守るため，昭和8年からツルハシ一つでトンネル掘りに立ち向かった村人たちの16年に及ぶ血と汗の記録である．冬期間，村の生活を守りぬいたこのトンネルは国道291号ができる平成10年まで使用されていた．防災事業だけでなく，地方にはまだまだ整備しなければならない道路などのインフラも残されていることを再認識した．安全・安心，快適な暮らしは全ての国民の権利であり，それを守ることがわれわれの義務であろう．都市にいては気がつかないことであろうか．

施工

鉄道直下の函体けん引に鏡補強ボルトを採用

―里塚・上野幌連絡線　JR上野幌駅構内アンダーパス工事―

北海道旅客鉄道(株)鉄道事業本部工務部工事課構造エンジニアリング　小西康人
北海道旅客鉄道(株)鉄道事業本部工務部工務技術センター　海原卓也
(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部トンネル　小野隆利
三井住友建設(株)技術研究所土木研究開発部地盤研究室　須川智久

1　はじめに

上野幌(かみのっぽろ)BV工事は，市道「里塚・上野幌連絡線改良新設道路」に伴うJR千歳線上野幌駅構内の鉄道交差アンダーパス工事であり，札幌市からの委託を受け北海道旅客鉄道(株)が施工するものである．JR上野幌駅は，札幌中心部より約15km南東の札幌市と北広島市の市境に位置し，通学・通勤の利用客が多く，近年の都市開発により利用客は増加傾向にある．

工事は，上野幌駅構内のホーム直下に，最小土かぶり1.4mで，幅24.5m，高さ7.7m，延長25.0mのボックスカルバートをR&C工法(けん引方式)により築造するものである．当該工事では，函体けん引に先立つ底盤改良注入工において，軌道変状を伴う地盤隆起が確認された．このため，掘削時の切羽安定を目的とした全面的な地盤改良注入工は，列車走行に著しい影響を与える可能性が高く，その実施を断念せざるを得なかった．

そこで，切羽の自立性を検討するため，再度，地質精査を実施するとともに，これまでの施工記録を整理したところ，当該地点の構成地盤は著しく粘性が高く，その強度も事前調査の想定よりも小さいことが判明し，約190m²に及ぶ掘削断面が自立する可能性はほとんどないものと判断された．

そこで，地山安定対策として山岳トンネル補助工法で用いられる長尺鏡補強ボルトを採用することとした．本稿は，その設計と掘削・けん引中の地山挙動を示し，その妥当性を問うものである．

また，鏡補強ボルトの施工にあたっては，対象地山が含水比の高い鋭敏な粘性土であるために，削孔方法，定着方法などに特殊な工夫が求められた．このために考案した施工方法と，その試験施工による検証結果も併せて示す．

2　工事概要

2-1　工事概要

JR千歳線は，札幌～新千歳空港を結ぶ北海道の主要幹線のひとつであり，貨物列車，都市圏・都市間高速列車などを合わせて日通過列車本数約300本超と，超過密ダイヤ区間である．

本工事は，アンダーパス工事としては構築躯体の断面積が大きいこと，工事位置が盛土区間で発進・到達立坑が設置可能であることなどの理由から，比較検討の結果，実績のあるR&C工法のけん引方式が選定された．工事位置を図-1に，工事平面図および縦断図を図-2，3に示す．

工事名称：里塚・上野幌連絡線改良新設道路に伴う千歳線上野幌駅構内アンダーパス工事

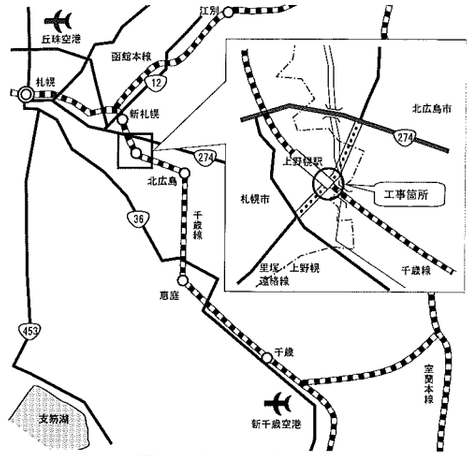


図-1　施工箇所位置図

事業主体：札幌市
発 注 者：北海道旅客鉄道(株)
施 工 者：三井住友建設(株)・鉄建建設(株)共同企業体
工事箇所：北海道札幌市厚別区上野幌
工　　期：平成12年12月～平成16年７月
工事内容：函体けん引延長　$L=23.4$m
掘削断面積　188.7m²
掘削方式：人力掘削＋機械掘削(バックホウ)

2-2　地質概要

工事地点は，野幌丘陵に囲まれた小規模な沖積低地に位置し，昭和40年代に施工された高盛土部と，N値 2～10程度の砂質シルトを主体とする原

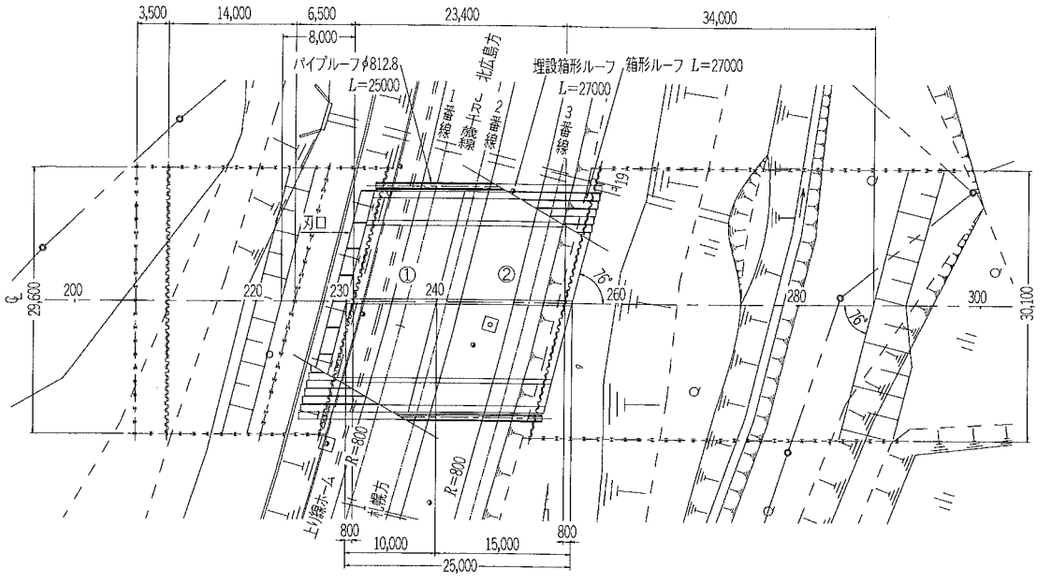


図-2　工事平面図

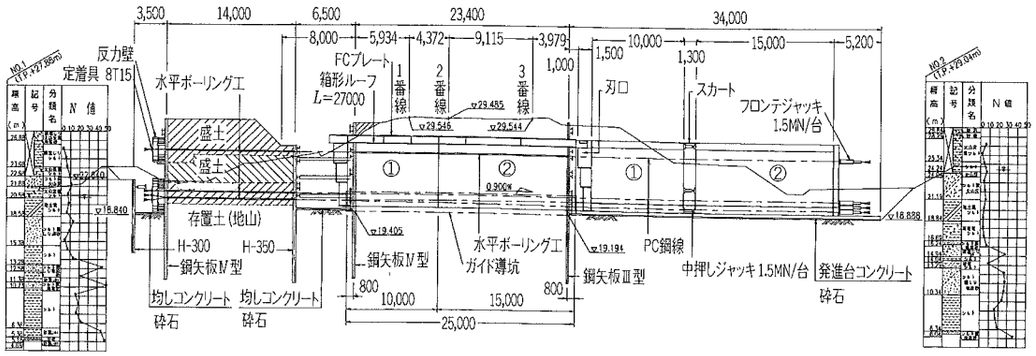


図-3　工事縦断図

地盤によって構成されている．

事前の地質調査に用いたボーリング試料は，鉄道幹線直下以外から採取されたもので，掘削部分そのもののボーリング調査は行われていない．しかしながら，箱形ルーフ施工時に泥土状の飽和粘性土が確認されたことや，土留めアンカーの定着長が設計値以上となったことから，軌道直下の盛土部を含む地質が，当初想定されたものより軟弱な性状を呈していることが想定された．そこで，追加ボーリング調査も含めて地質精査を実施したところ，対象地盤は砂とシルトが分布する不均質な土質構造で，とくに掘削断面中央に分布する砂質シルトは，自然含水比が高く擾乱に鋭敏な反応を示すことが判明した．

2-3　工法概要

R&C工法は，上部構造物の防護工として矩形のパイプルーフ(箱形ルーフ)を設置し，後端のボックスカルバート(函体)を前進させる地下構造物の施工法である[1]．本工事では，躯体断面積，地山内推進時の貫入抵抗，対象土質構成，および立地条件を勘案し，到達側の反力盛土とPC鋼線を用いて函体を引き込むけん引方式(中押し併用)を採用した．

図-4は函体構築までの施工手順を示した図で，各工程の概要は以下に示すとおりである．

2-3-1　鋼矢板，反力盛土製作

発進立坑・到達立坑の鋼矢板，H鋼親柱を打設し，地山内底盤部分と鏡全面の厚さ２m部分を薬液注入により地盤改良した後，タイロッドおよびアースアンカーの仮土留めを行う．

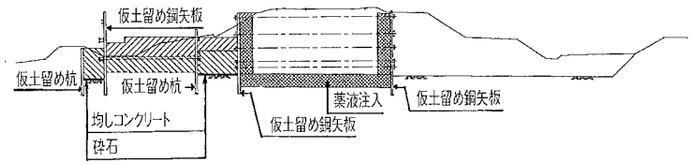
2-3-2　箱形ルーフ・パイプルーフ施工，第二函体築造

反力盛土を利用して，到達側より箱形ルーフおよびFCプレートを推進させると同時に，発進側で第二函体の製作を行う．また，カルバート側面に位置するパイプルーフを，第二函体を反力として推進させる．

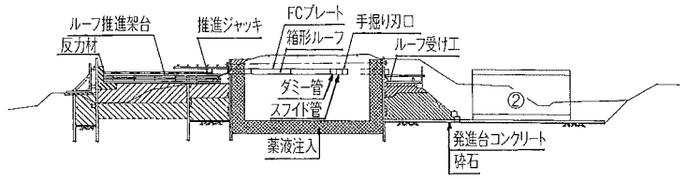
2-3-3　刃口・第一函体製作，切羽補強工

底盤部に，既設杭の切断などを考慮して鋼管推進によるガイド導坑を施工後，発進側で発進台コンクリートを打設し，刃口および第一函体を製作する．

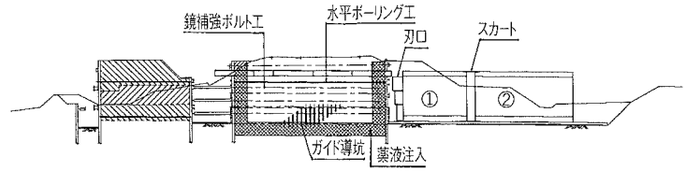
到達側からは，けん引用のPC鋼線挿入孔を水平ボーリングし，切羽補強対策工を施工する．



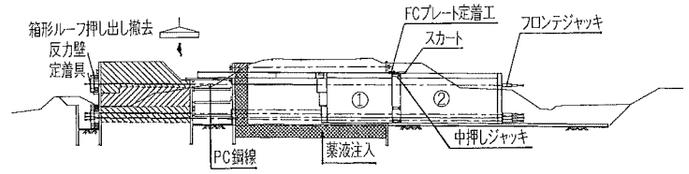
手順１　鋼矢板打設，反力盛土製作



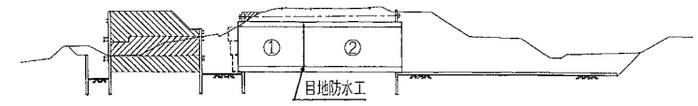
手順２　箱形ルーフ・パイプルーフ施工，第二函体築造



手順３　刃口・第一函体製作，切羽補強工



手順４　掘削・函体けん引工



手順５　函体接合・けん引設備撤去

図-4　R&C工法手順図

2-3-4　掘削・けん引工

けん引設備，排土設備を設置後，掘削・けん引作業を行う．第一函体は第二函体を反力とした中押し推進，第二函体は反力盛土を利用したけん引である．

2-3-5　函体接合・けん引設備撤去

刃口が到達側鋼矢板に達した後，鋼矢板の撤去および刃口の解体を行う．けん引完了(所定位置到達)後，目地防水，裏込め注入，けん引設備の撤去を行う．

この後，第三函体製作，反力盛土撤去，擁壁工，ホームの改修を経て工事は完了となる．

3　切羽の安定対策

3-1　掘削地山の安定性評価

本工事は土かぶりが最小1.4m，平均２m程度と非常に小さいため，切羽の崩落はそのまま上部軌道の変状を誘起する可能性が高い．このため，対策工の選定にあたっては発生する崩落の規模とそのメカニズムを明らかにする必要があると考えた．

この目的で，３次元有限差分解析シミュレーション(コード名：FLAC)によって対象地山の安定性評価を実施した．本解析では，要素数48,890，節点数52,559の幾何学モデルを使用し，解析における諸定数は，**表-1**に示すように設定した．

図-5は，未対策の条件下で掘削によって切羽が崩壊する状況を示したものである．このときの最大せん断ひずみと土の破壊ひずみを比較すると，切羽面より４m程度奥から崩壊面が形成されることが想定された．このような大規模な崩壊は列車の走行に大きな支障をきたす可能性が高く，何らかの地山安定対策が不可欠であると判断された．

表-1　解析に用いた諸定数

地山物性値

記号	土層名	弾性係数 (kN/m²)	ポアソン比	粘着力 (kN/m²)	内部摩擦角 (°)	単位体積重量 (kN/m³)
B	盛　土	7.68	0.40	10	12	18.0
Av	沖積層	16.80	0.40	8.0	10	18.5
Ac						
As						
N_L	野幌層	64.40	0.35	15	15	19.0

使用材料物性値

事前補強材	部材寸法 (mm)	弾性係数 (MPa)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m³)
ルーフボックス	$W800\times D25{,}000\times H800$ $t=19$	2.1×10^5	0.11	78.0
垂直パイプルーフ	$\phi812\times D25{,}000$ $t=12$	2.1×10^5	0.11	78.0
コンクリート	—	2.4×10^4	0.20	26.0

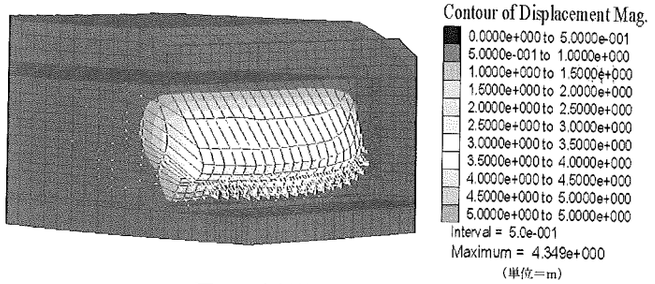


図-5　未対策地山の変形(解析結果)

3-2　地山の補強方法の検討

図-5に示した切羽の崩壊は，掘削に伴う引張応力の発生によって対象地山全体が等価な強度低下，すなわち，ひずみ軟化挙動を呈するために生じるものと判断された．そこで，地山内に引張部材を設置し，引張応力を分担させることで切羽の安定性を保持し，崩落を抑止することができると考えた．

その引張部材としては，これまでの実績から山岳トンネルで用いられる鏡ボルト工がもっとも妥当であると判断された．さらに，同工法は200m²級断面における実績も存在するため，当該工事の設計を行ううえでも非常に参考になるものと考えた．

3-3　鏡補強ボルト工実施のための検討課題

軌道直下区間では，削孔によって地山を不必要に攪拌し軟弱化させないことが強く求められる．また，鏡補強ボルトの配置については，打設位置と函体および刃口部との取り合いについても留意せねばならない．さらに，函体けん引作業が冬期間とならないようにするため，本補強ボルト打設が工期のクリティカルとならずに，他の準備作業と並行で作業可能となる施工方法を検討する必要があった．以下に，当該鏡補強ボルトの施工における要検討事項を示す．

- 鏡補強ボルトは，事前に地山内に設置されなければ充分な効果を発揮できないため，工期の制約上，けん引開始までの短期間に施工する必要がある．
- ボルト孔の削孔水の逸散によって，地山の流動化や強度低下が懸念される．
- 地山の安定効果を担保するには，補強ボルトと地山の十分な付着を確保する必要がある．
- 掘削・けん引作業は，作業時間の制限があるため，掘削時に容易に撤去可能なものでなくてはならない．

これらの事項を満足する補強材の選定を行った．本工事で採用した補強ボルトの材料特性を**表-2**に示す．

3-4　鏡補強ボルトの設計

鏡補強ボルトの設計は，まず，山岳トンネルの鏡ボルトで用いられる「村山の式」を用いて概略設計し，打設本数をn=68本とした．また，打設位置は，既設ホーム基礎杭やタイプル鋼管を避け，かつボルト１本の受け持ち面積が等分となるように，千鳥配置を基本として**図-6**のように決定した．なお，１本あたりの受け持ち面積は約３m²である．

上記の設計を加味し，数値解析シミュレーションを実施した．**図-7**は安全側の評価による計算結果を示すものであるが，その最大変形量は約9.5cmであり，切羽の安定は担保されるものと判断した．

3-5　鏡補強ボルトの施工

鏡補強ボルトの施工にあたっては，削孔，定着材充填方法に関する前述の問題点を解決するため，

表-2　鏡補強ボルトの材料特性

材　質	外径/内径	引張強度 (kN/mm²)	せん断強度 (kN/mm²)	ねじ部強度 (kN/mm²)	断面積 (mm²)	単位重量 (kg/m)
GFRP	76 60	600以上	100以上	200以上	1,710	3.0

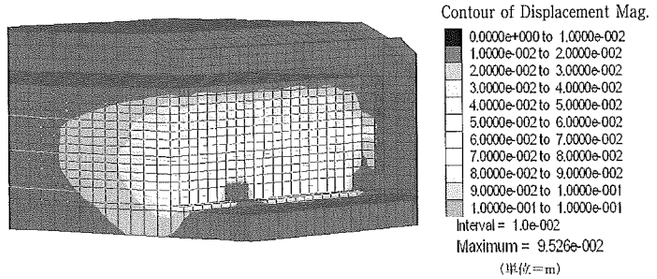


図-7　補強ボルト施工後の地山の変形(解析結果)

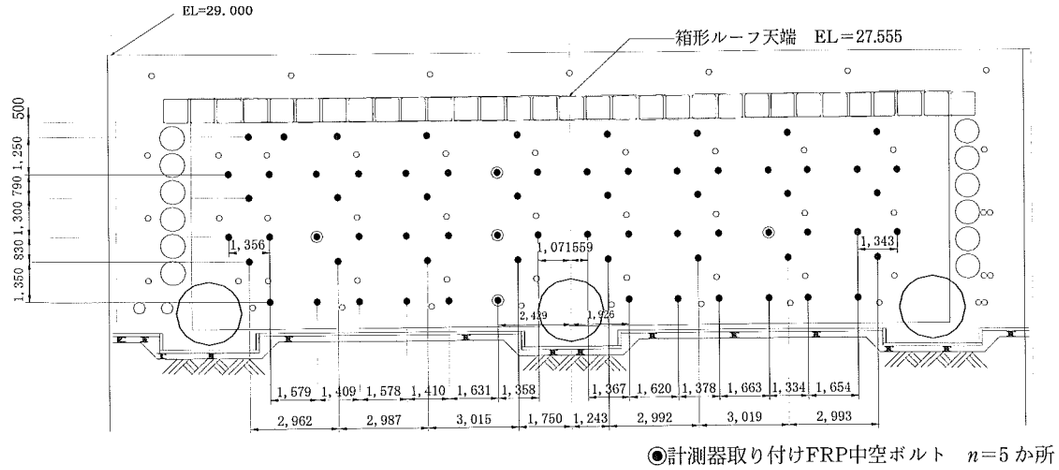
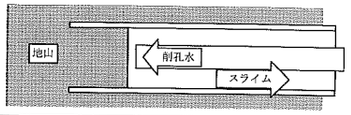


図-6　鏡補強ボルト打設位置図

表–3　鏡補強ボルトの施工概要

施工諸元	名　称	内　　容
削孔方法	二重管内部排土削孔	①外管を回転と打撃により挿入し，土砂を取り込む． ②内管により少量の水を送り，外管より手前まで削孔． ③外管と内管の間からスライムを回収． 二重管削孔方式を改良，地山への影響がほとんどない施工方法． 
定着方法	後定着法	①削孔時の外管を残してFRPパイルを挿入． ②ボルト内から注入し，自然流下によって外管内部まで充填． ③外管を引き抜き，追加充填．
定着材	IBO自穿孔モルタル	コーンフロー15±5 sec．ゲルタイム120分以上． 圧縮強度＝1.0N/mm²以上(6時間)．10N/mm²以上(1日)． 流動性が良く，亀裂や空隙に浸透・割裂注入が可能(アルカリ性) 透水係数 $k=10^{-3}$程度までの注入に向く． セメントミルクに比べて湧水の影響，強度の低下が比較的少ない．

表–3に示す施工方法を考案した．

削孔は，無水削孔が装置や経済性の面で実用的でないため，水を使用しながらもこれが地山内に漏出しない方法を検討した．その結果，二重管の外管内部に遮水体として一定量の土砂を取り込み，外管先端より手前で削孔・スライム回収を行うことにより，削孔水の周辺地山への浸透を抑制する方法を考案し，現場試験施工を実施したところ，地山への逸水がなく十分な精度を確保できることを確認した．

また，定着性に関しては，1°の下り勾配をつけたボルトの先端からの定着材充填方法を検討し，同条件で透明管を用いた充填試験(写真–1)により充填性を確認した．さらに，現場引き抜き試験を実施し，設計に供した付着強度が確保されていることを確認した．

また，発進側での函体製作期間中に到達側から施工することで，工程を延長することなく鏡補強ボルトの本施工を完了することができた．さらに，品質管理として，流量計で回収水量を測定し，地山への逸水の有無を確認するとともに，孔曲がり測定(傾斜角測定)によって，1～2°の削孔精度を確認した．充填に関しても，吐出確認と充填量管理によって所定の施工を完了した．なお，掘削・けん引時に，ボルト打設位置，定着材充填性とも十分な精度で施工されていることを確認した．



写真–1　充填性確認試験

3–6　計測工の設置

掘削に伴う補強ボルトと地山の挙動を観測し，地山の安定性を評価する指標に供するため，補強ボルトにひずみゲージを貼付け，発生する軸力の計測を行った．

計測位置は，数値解析の結果をもとに，鉛直方向に3測線，水平方向に3測線となるよう図–6の◉の位置に選定した．また，ボルト1本の計測位置は，2m間隔を基本としたが，掘削開始直後の地山の安定性に懸念があり，掘削・けん引工事初期段階での挙動を詳細に把握できるよう，発進側先端より5m区間を1m間隔として合計13点の計測とした．

4　掘削・けん引工事

4–1　施工管理・計測監視体制

当該工事では，従来の軌道直下における掘削・けん引工事と同様の軌道の監視を実施するほかに，前述のボルト軸力計測および切羽観察を実施した．

表–4に計測項目を示し，以下に，掘削・けん引作業における計測および管理体制の概要を述べる．

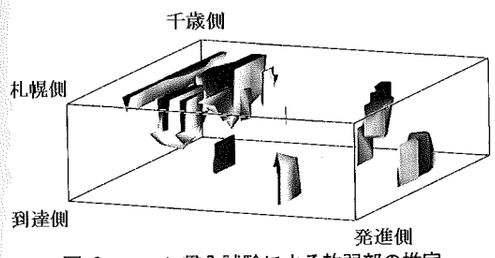
4–1–1　地山の安定性評価

切羽の地質状況は，切羽のスケッチおよび写真による切羽分類によって評価されるが，粘性地山や盛土に対する評価は存在しない．そこで，目視

表–4　計測項目

計測項目		計測方法および内容	計測期間
ボルトひずみ計測		・地山に挿入したFRP中空ボルトにひずみゲージを貼付け，ひずみを測定する． ・リアルタイムに，かつ連続的に計測できる自動計測システムを導入する．	掘削開始前から，最終撤去まで
地質調査	切羽観察	・掘削1サイクルごとに切羽観察(地質・湧水・支障物・土留めなどの状態)を行う． ・後にボルトひずみ計測結果，軌道変位計測結果と比較できるよう，切羽観察簿に記録を残す．	全掘削作業中
	写真撮影	・掘削1サイクルごとに切羽進行配置と撮影箇所を記した黒板とともに撮影する．	
	コーン貫入試験	・鉛直方向のコーン貫入試験を水平方向に適用し，地山変化，および施工状況に応じて，実施する．	
軌道計測	自動変位計測	・1，3番線，ホームの要所にプリズムを設置し，自動追尾トータルステーションにて変位計測を行う． ・リアルタイムに，かつ連続的に計測できる自動計測システムを導入する．	掘削開始前から，軌道変位安定まで
	軌道検測	・軌道計測器による，軌間・水準検測を実施する． ・レベルや糸張りなどによる高低・通り検測を実施する． ・けん引中は，連続計測により軌道変状を確認する． ・けん引時には工事中断の判断の基準に資する．	掘削開始前から，軌道変位安定まで

による地質・湧水の観察と切羽スケッチおよび切羽写真を主項目とし，付加的に水平方向へのコーンペネトロメータ貫入試験[2]によって切羽を評価することとした．なお，図–8はコーン貫入試験によって得られた貫入抵抗値から，地山の弱部を推定したものであるが，施工状況などと照らし合わせると，当該地山の地質弱部をかなり適確に把握できたものと判断された．



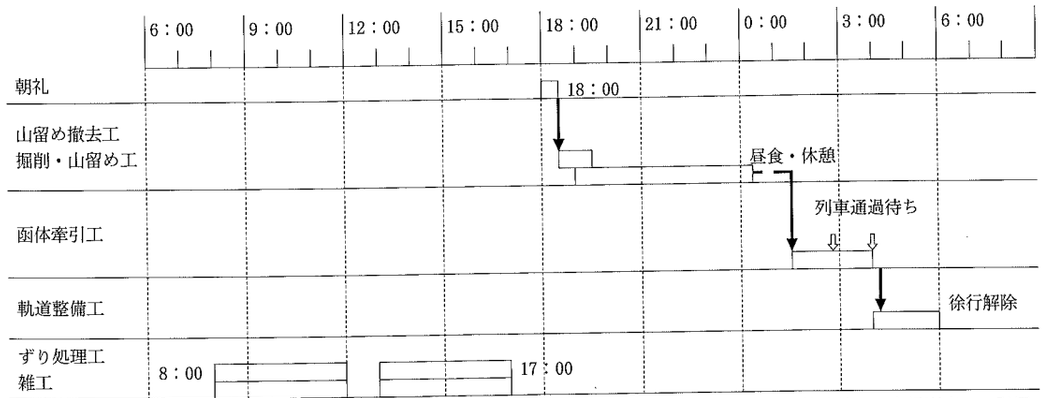
図–8　コーン貫入試験による軟弱部の推定

4–1–2　軌道変状の監視

常時の軌道監視のため，トータルステーションによる自動計測システムを導入し，作業休止中の軌道変状も確認できるようにした．さらに，掘削・けん引作業時には，レベル・水糸での軌道計測を実施し，各作業での軌道への影響を確認するとともに，適宜，軌道整備を実施した．

4–1–3　施工時の連絡体制

施工時，現場管理者および各作業担当者には，



※函体推進・牽引作業時間内には列車の通過が含まれるため，当該ダイヤを確認のうえ，列車通過数分前には走行列車への影響をなくすよう，推進・牽引作業の中断を確認した．

図–9　掘削・けん引工施工サイクル

函体内の作業状況が逐次伝達されるよう音声無線を用いた．併せて，切羽にネットワークカメラを設置し，事務所内でも作業の進捗状況が確認できるようにした．

4-2　掘削・けん引作業

本工事の掘削・けん引作業は，列車本数の少ない夜間の徐行時間帯内の作業とした．

図-9は，掘削・けん引作業における標準的な施工サイクルである．列車未通過の時間帯がAM 1：00～AM 5 ：00まで断続的に続くため，けん引作業はこの時間に限定して行った．また，夜間のみの施工となるため，一連のけん引サイクルを調整し，1日2回のけん引を目標とした．

小崩落や機械の故障などのトラブル発生時には，列車ダイヤにあわせて，けん引作業時間を調整しており，設備段取り替えなどを含む稼働日あたりの日平均けん引量は，約38cmであった．

4-3　掘削中の崩落箇所

掘削中には幾度かの小崩落が発生した．以下に，代表的な崩落発生箇所とその発生要因を述べる．

4-3-1　掘削長10m地点での崩落

この地点は，けん引の約2/5が完了した段階であり，第一函体の貫入によるけん引補助設備(FC制御装置：上部地山と函体の縁切りのために設置するフリクションカットプレートの水平移動を制御する装置)の段取り替えのため，長期(9月25日～10月3日)にわたって掘削作業が停止した時期である．

この期間は，台風の影響などで降雨量が多く，箱形ルーフの上端を伝う雨水が徐々に切羽表面に浸透したため，砂分の多い箇所は軟弱化していった．段取り替え後，掘削再開のための土留め工撤去時に，この緩んだ土塊が流動化し約5 m³の崩落に至った．しかし，崩落箇所周囲は透水性の低い粘性土であったため，雨水の浸透などはほとんどなく，これ以上の崩落の拡大はないものと判断し，慎重な作業を周知して掘削を再開した．

4-3-2　掘削長16～18m地点での小崩落

掘削長16.7m（10月16日），17.3m（10月17日）で奥行き50cm～1m規模の肌落ちが，連続して発生した．

当該箇所は，数cm大の礫が混じった粘土質の材料の盛土層であった．この層は黄色がかった灰色を呈し，自然含水比が高く，強度も非常に低いものであった．崩落発生当日，およびその数日前はほとんど降雨が測定されておらず，断面内のほかの箇所はほぼ乾いた切羽であったが，肌落ち箇所周辺では，目視観察評価でも水による軟弱化が記録されていた．

これらを総合的に評価すると，この盛土材料は，盛土構築後に浸透した地下水が貯留し，その貯留箇所の強度が劣化したために崩落したものと判断された．したがって，この盛土材料が確認される間は，連続した肌落ちまたは小規模の崩落が予想されることから，地質変化の確認と掘削時の肌落ち対策を工事従事者へ周知し，さらに，土留めの点検強化を徹底した．その後，問題となる弱層の分布が徐々にせばまり，やがてなくなったため，それ以上の対策を講じることなく掘削作業を継続できた．

4-4　到達付近の施工

到達側付近では残地山が薄くなるため，どの位置まで地山の安定が確保されるかは，当初より問題となっていた．解析結果では，補強ボルトで地山が一体化され，地山は自重によって鉛直下方に沈み込む挙動を呈すると想定されていた．なお，到達側鋼矢板付近の掘削長19.5mと21.5m（残地山厚さは各約4m，約2m)の位置に，φ300のホーム基礎杭が9本/列で存置されていたが，解析ではこの基礎杭の影響は考慮していない．

実施工では，掘削長19.0m付近から地山と箱形ルーフ間に1～3cmほどの隙間が確認された．これは，自重によって沈下した可能性が高く，地山は解析に沿った挙動を示していると判断される．また，2列目の基礎杭撤去直後に後部土塊が到達側鋼矢板まで崩落したが，残地山が2mの薄さになるまで崩落にいたらなかった要因として，基礎杭が後方の残地山の滑動を抑制し，垂直縫い地工法と同様の切羽安定効果を発揮したことが考えられる．

なお，2列目の基礎杭位置では，函体・刃口が軌道およびホームの下部に達していたため，掘削による軌道変状の可能性はなかったが，掘削時の安全性を考慮して，杭撤去と同時に残土すべてを掘削した．

4-5　鏡補強ボルトの効果

鏡補強ボルトの挙動を詳細に検討することで，事前解析の妥当性を評価した．

図-10は掘削長1.7～3.9m位置における上・中・下段のボルト発生軸力である．横軸に掘削長を，縦軸にひずみ量より求めたボルトの軸力をプロットしたもので，グラフ下部の横棒が掘削完了位置を示している．

上段の軸力分布は，とくに明確なピークを持たず，ほぼ同程度の軸力が全面にわたって発生している．中段では，切羽から4m程度奥をピークとして分布しており，切羽の位置に併せてピーク位置も後方へと移行している．下段にも同様の傾向が見受けられるが，絶対値としては中段に比して小さな値となった．この上・中・下段のボルトの軸力分布は，おおむね事前解析結果の傾向と同様であり，想定どおりに地山補強効果を発揮したと推測できる．

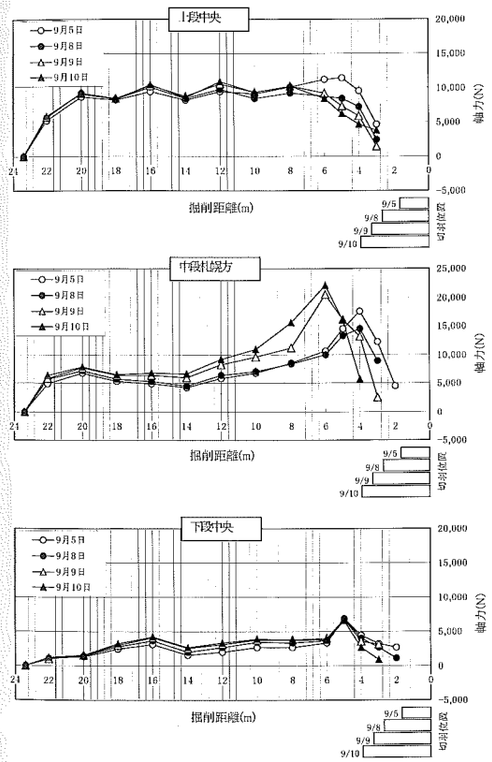


図-10　鏡補強ボルトの軸力分布図

なお，ボルトに発生した軸力の実測値は，解析値よりもやや低い数値であったが，これは以下に述べる事前解析との条件の差異によるものと考えられる．

4-5-1　底盤付近の地質

下部のシルト層が，解析条件より固結度が高く，強度も大きかったため，不安定化する地山領域がその上部に限定され，全体に軸力値が減少した．

4-5-2　砂質層の存在

砂分含有率の高い層が偏在しており，このような固結度の低い地山では，ボルト周辺の付着抵抗が伝播し難いために軸力値が減少した．

4-5-3　掘削断面内の鋼管の存在

土留め用に設置されていた40本に及ぶタイプル鋼管と地山とが良好に付着していたために，鏡補強ボルトと同等の効果を発現し，その結果として鏡補強ボルトの分担が低減された．なお，この鋼管の効果について設計では安全のマージンとして無視した．

一方，肌落ちが鏡補強ボルトで囲まれた領域内でとどまるという現象が見受けられた．これは，鏡補強ボルトの効果のひとつとして，地山のひび割れの進展を抑制し，大規模な破壊面の形成を抑止する効果が発揮されたのではないかと判断した．

なお，軌道変状については，地山掘削時で数㎜程度とほとんど変状は見られなかった．

5　おわりに

本稿では，大型函体けん引工事の地山安定対策に鏡補強ボルトを採用し，数値解析による検討を経て地山挙動のメカニズムを明らかにし，設計・施工を実施した内容を示すほか，計測結果をもとに鏡補強ボルトの妥当性を評価した．

本工事は，鉄道主要幹線直下での小土かぶりという厳しい条件であったが，現場に適合した鏡補

強ボルトの施工法を考案し，掘削・けん引時には監視体制を維持することで，列車走行に影響を与えることなくけん引を完了することができた．

これからの都市再開発などに大断面のアンダーパス工事が適用される場合，上部構造物の変状を最小限に抑えることがとくに重要になると考えられる．今回の事例のように，鏡補強ボルトは，適切な施工により地山安定効果が十分発揮されることから，同種工事の補強工としての適用性は高いものと判断される．

さらに，山岳トンネル工事では鏡補強ボルトの実績が多いが，その補強効果については未解明の部分が多く，設計手法などの改良の余地は残されている．今後，この結果を活用して地山挙動と鏡補強ボルト効果のメカニズムを明らかにし，現場条件に適合した設計手法・施工方法の確立に努めていく所存である．

最後に，設計指導・監査を賜りました鉄道総合技術研究所小島芳之，岡野法之の両氏には深甚の感謝を表すとともに，適切な施工を実現いただいた三井住友建設(株)・鉄建建設(株)共同企業体の皆様の努力に改めて御礼申し上げます．

参　考　文　献

1) R&C工法協会：R&C工法技術資料，1997.9.
2) (社)地盤工学会：地盤調査法，1995.

【好評発売中】

わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修　B5判　209頁　価格 2,650円　〒340円



本書は，平成11年3月号より17回にわたって「トンネルと地下」に連載した「トンネル技術者のための応用地質学入門」をベースに，加筆および整理してまとめてものである．本書では，最新のトンネル技術，地質学，ならびに，地質調査法などを挙げ，学生から実務者まで広範に満足させる内容となっている．

〔主要目次〕

序　編　トンネルと地質の関わり
第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学
第Ⅱ編　トンネル工事と地質条件
第Ⅲ編　地質調査法
第Ⅳ編　工事を対象とした地質調査の進め方

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

導坑も先進坑覆工もなしでめがねトンネルを施工

—主要地方道茨木亀岡線　大門寺トンネル—

大阪府安威川ダム建設事務所建設課道路建設グループ長　高橋明生
大阪府安威川ダム建設事務所建設課道路建設グループ技師　木村文憲
前田・山本土木特定建設共同企業体安威川トンネル作業所課長　本藤敦
前田建設工業(株)土木本部土木技術部設計技術グループ　櫻井孝臣

1　はじめに

安威川ダム建設により水没または分断される公道の機能回復を目的として進められている府道茨木亀岡線付替道路整備事業のうち，大阪府茨木市大門寺地区に計画された1号トンネル(以下，「大門寺トンネル」と呼ぶ)は，ダムサイト右岸側のゴルフ場直下を最大土かぶり35mで通過する延長242mのめがねトンネルである．図-1に位置図を示す．

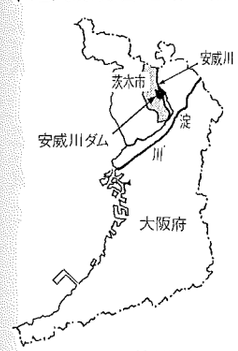


図-1　位置図

本トンネルでは，工期短縮，コスト縮減，品質向上を目的として，導坑方式のめがねトンネルを無導坑とし，さらに先進坑の覆工なしに後進坑の掘削を実施するという，これまで類例のないきわめて近接した双設トンネルへの設計変更を工事受注後に行い，無事掘削を完了した(写真-1)．

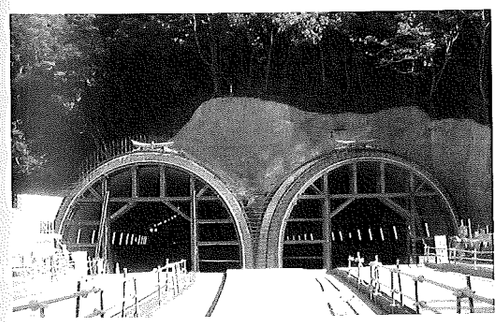


写真-1　大門寺トンネル

本稿は，大門寺トンネルにおけるこれらの支保設計の経緯や施工，計測結果などについて報告するものである．

2　工事概要

大門寺トンネルの工事概要を表-1に示す．

施工順序は当初，中央導坑(両坑口部は中央および側壁導坑)を掘削し，中央壁(両坑口部は中央壁および側壁コンクリート)構築後，両本坑を掘削し，最後に覆工を構築する計画であった．

また，土かぶりが小さく，地山が土砂化している両坑口部では，補助工法として注入式長尺鋼管先受け工法を採用した．

表-1　工事概要

工事名	主要地方道茨木亀岡線付替府道工事1号トンネル
工事場所	大阪府茨木市大門寺
工　期	2002年5月～2004年10月
掘削工法	上半先進NATM
掘削方式	発破

起点側には騒音対策を目的とした本トンネルと接続する明り巻きトンネル工が計画されており，終点側では本トンネルへ接続する既設の橋梁が構築済みである．

3　地形・地質概要および周辺環境

トンネル掘削部の地質は，中央部では主にC_L～C_M級の花崗閃緑岩，坑口部ではD級の土砂状を呈した強風化帯(マサ化)となっている．またその上部には，厚さ10m程度の大阪層群砂礫層が広範囲に分布している．地質構成を表-2に，計画時の地質縦断図を図-2に示す．ここで起点側坑口付近は押え盛土部となっている．

トンネル起点側坑口部には，約20mの離隔で十二社大明神が，また約47～65mの離隔で大門寺とその住居がある．さらに，前述したようにトンネル直上にはゴルフ場のフェアウェイが存在する．

表-2　地質構成

岩盤区分	層　　相	弾性波速度 VP m/sec
土砂	大阪層群砂礫層	250～ 900
DL～DH	花崗閃緑岩強風化帯マサ土砂状	500～ 900
CL	著しく亀裂の多い岩盤 岩片状～短棒状コア	1,000～2,600
CM	割れ目に沿って風化しているが岩塊は硬質 10～30cmの棒状コア	2,900～3,500

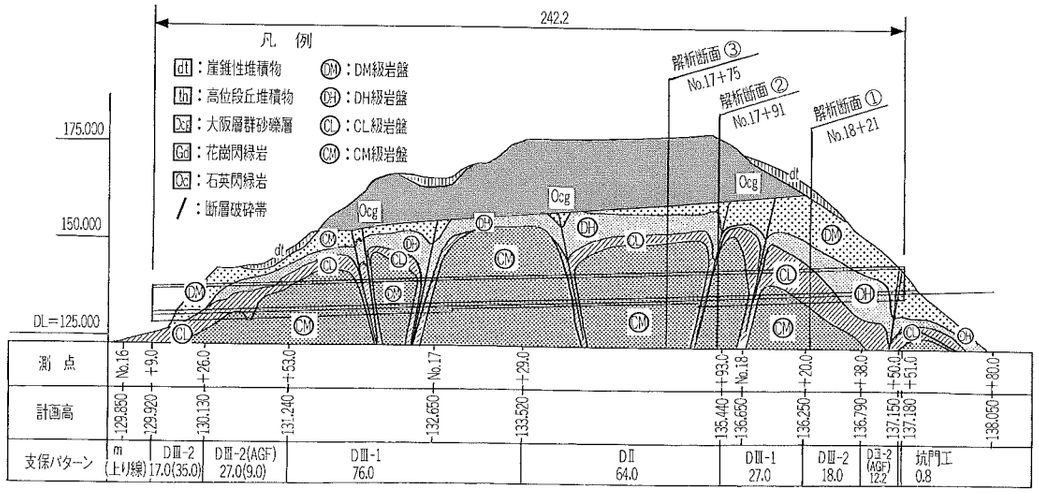


図-2　地質縦断図

4　設　計　変　更

4-1　検討方法

4-1-1　めがねトンネルの問題点

めがねトンネルでは，中央導坑・側壁導坑を施工してセンターピラーや側壁コンクリート躯体を構築するのが一般的である．これは，地山部をコンクリート躯体で置換して，掘削時の支持力を確保することなどが目的であるが，導坑掘削および導坑コンクリート構築後に本坑掘削となるため工期が長くなるばかりでなく，狭隘な導坑内での作業を強いられ，加えて中央壁上部の空洞処理も必要となり，施工性が悪化する．また，トンネル総延長が長くなることや導坑支保工撤去による産業廃棄物の発生もともない，コスト面でも不利である．さらに，掘削時にくり返し多方向から荷重を受けるため，中央壁や覆工の変状発生が懸念されることや，構造上導坑コンクリートと覆工の接続部に漏水が生じやすいなどの問題もある．

4-1-2　無導坑方式の検討

そこで，大門寺トンネルでは，過去のめがねトンネルの施工実績[1~3]などを参考に，無導坑方式のめがねトンネルを検討することとした．

無導坑方式では後進坑掘削時の安定を確保するため，あらかじめ先進坑の覆工を行っておく方法があるが，後進坑掘削の影響を覆工が直接受けてしまうこととなり，変状発生の可能性もある．大門寺トンネルでは覆工に近接施工の影響を及ぼさないこととし，下到津トンネル[3]の施工実績を踏まえ，先進坑の覆工を行わずに後進坑の掘削を行う方針で検討を進めた．

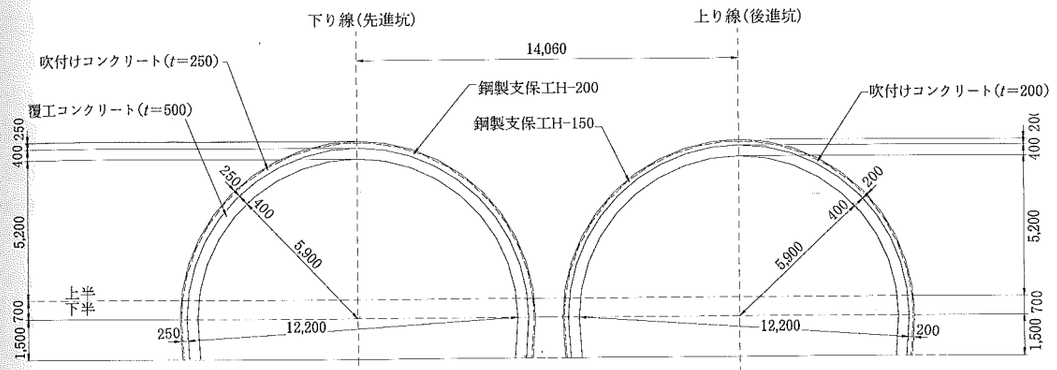
設計変更にあたっては，両トンネルの線形や離隔距離，本坑の断面形状はほぼ当初設計どおりとした．また，後進坑掘削の影響による先進坑および周辺地山の挙動を把握するために，施工過程を考慮したFEM解析を行い，支保工などに発生する応力を予測し，設計に反映した．

4-1-3　支保パターン

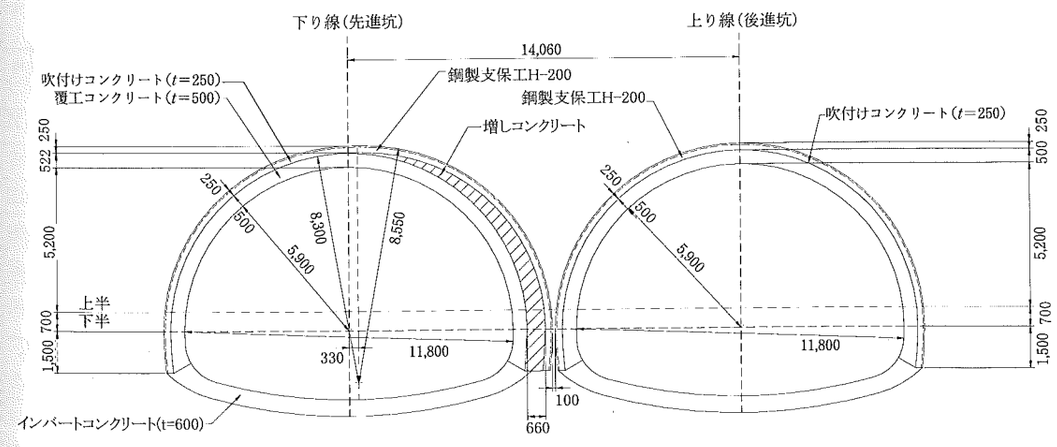
支保パターンは土かぶりが $1D$(D：トンネル総掘削幅)を越え，地山の良好な区間を一般部(DⅡ)とし，幅約１mの中間地山(先進坑と後進坑間に挟在する地山部分)を掘削時に作用する荷重を支持する中央壁の一部として利用することとした．また，地山が不良部を含み土かぶりが $1D$以内の区間を坑口部(DⅢ)として，中間地山をコンクリートで置換えることとした．ここで，土かぶり $1D$以内とは両トンネルのどちらかあるいは両方のトンネルセンターでの土かぶりが $1D$以内の場合をいう．なお，各支保パターンは過去のめがねトンネルの実績を参考にして設定し，FEM解析により，その妥当性を検討した．これらの標準断面図を図-3に示す．

4-1-4　中間地山の補強

下到津トンネルの実績[3]より，後進坑上半切羽通過後に先進坑の後進坑側の覆工および支保工に大きな応力増加が生じることが判明していた．こ



(a)　DⅡパターン



(b)　DⅢパターン

図-3　標準断面図

れより大門寺トンネルにおいても，後進坑上半切羽通過後に置換えコンクリートに大きな応力増加が生じることが予測された．このとき発生する曲げモーメントが大きいと置換えコンクリート内面にクラックが生じ，トンネル全体が不安定化することも懸念され，また変状発生後の挙動予測も困難であったため，置換えコンクリートに発生する断面力を算出し，これに応じた鉄筋を配置することで，覆工による補強を行わない中間地山部の安定性を確保することとした．

4–2　中間地山への作用荷重

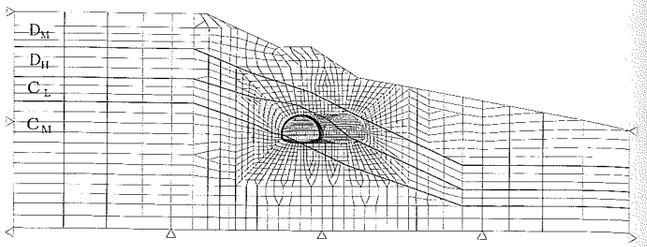
きわめて近接した双設トンネルを評価するためにもっとも重要と考えられる中間地山の安定性を評価するための中間地山への作用荷重高さは過去の施工実績[1~3]を参考に，土かぶりが1*D*を超える領域では1*D*とし，土かぶりが1*D*を下回る領域では土かぶり高さ*H*と想定した(**図–4**)．

4–3　FEM解析条件

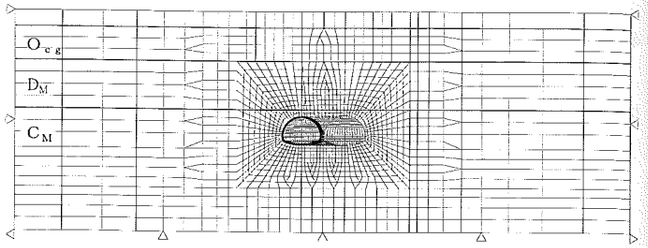
FEMは二次元弾性解析とし，**図–5**に示す坑口部(DⅢ–2，DⅢ–1)と一般部(DⅡ)について解析を行った．地山および支保工の物性値を**表–3~5**に示す．

解析ステップは，先進坑掘削後，置換えコンクリート(坑口部のみ)を構築してから，後進坑の掘削を行うこととし，両トンネル掘削終了まで覆工は行わない(**表–6**)．置換えコンクリートは部材厚が大きいため，ソリッド要素とした．

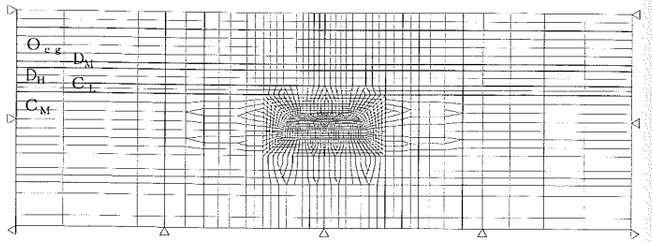
また，切羽進行の影響を考慮するための応力解放率は支保工設置前に40%とし，支保工設置後に残りの60%とした．



(a)　DⅢ–2パターン

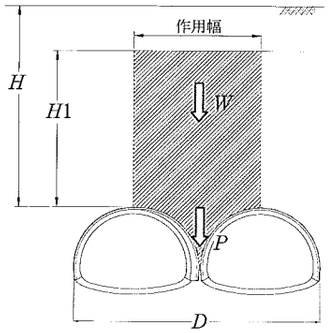


(b)　DⅢ–1パターン



(c)　DⅡパターン

図–5　解析モデル図



$D<H$　$H1=D$
$D>H$　$H1=H$
$H1$：想定作用荷重高さ
H　：土かぶり
D　：トンネル掘削総幅
W　：中間地山への想定作用荷重(斜線部)
P　：中間地山への実作用荷重

図–4　中間地山への想定作用荷重

表–3　地山物性値

地層名	弾性係数 E(kN/m²)	ポアソン比 υ	単位体積重量 (kN/m³)	粘着力 c(kN/m²)	内部摩擦角 ϕ(°)
D_M	18,000	0.4	21	50	20
D_H	40,000	0.4	21	200	30
C_L	210,000	0.35	22	500	40
C_M	660,000	0.3	23	1000	45
大阪層群	40,000	0.4	20	100	30

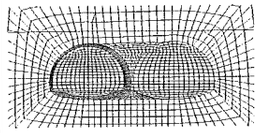
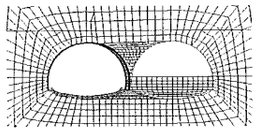
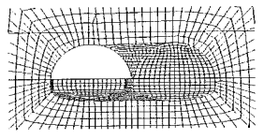
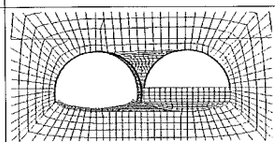
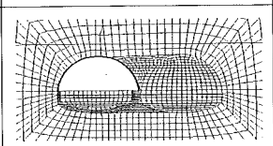
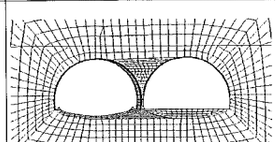
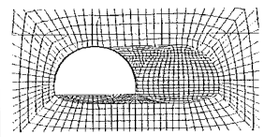
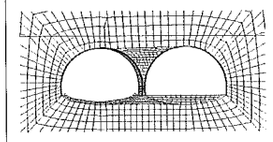
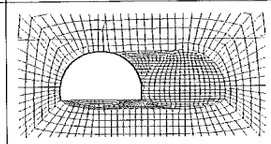
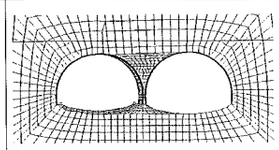
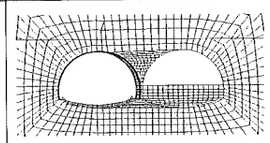
表–4　支保工物性値(線要素)

材料	弾性係数 E (kN/m²)	単位体積重量 γ (kN/m³)	断面積 A (m²)	断面二次モーメント I (m⁴)
H–200	2.0×10^8	77	6.35×10^{-3}	4.72×10^{-5}
H–150			3.97×10^{-3}	1.62×10^{-5}
吹付けコンクリート	0.4×10^7(硬化前)	23	0.25	—
	2.2×10^7(硬化後)			

表–5　支保工物性値(面要素)

材料	弾性係数 E (kN/m²)	ポアソン比 υ	単位体積重量 γ (kN/m³)
インバートコンクリート	2.5×10^7	0.2	25
置換えコンクリート	0.4×10^7(硬化前)	0.2	25
	2.2×10^7(硬化後)		

表–6　解析ステップ(DⅢパターン)

STEP	概要図	STEP	概要図
1	 自重計算	7	 後進坑上半掘削(解放率 α=40%) 先進坑吹付け：28日強度
2	 先進坑上半掘削(解放率 α=40%)	8	 後進坑上半支保設置 (解放率 α=60%) 後進坑吹付け：若材齢
3	 先進坑上半支保設置 (解放率 α=60%) 先進坑吹付け：若材齢	9	 後進坑下半掘削(解放率 α=40%)
4	 先進坑下半掘削(解放率 α=40%)	10	 後進坑下半支保設置 (解放率 α=60%) 後進坑吹付け：若材齢
5	 先進坑下半支保設置 (解放率 α=60%) 先進坑吹付け：若材齢	11	 後進坑インバート掘削 (解放率 α=100%)
6	 先進坑インバート掘削 (解放率 α=100%) 先進坑増し吹付け施工：若材齢		

注) DⅡパターンではSTEP6, 11を除く

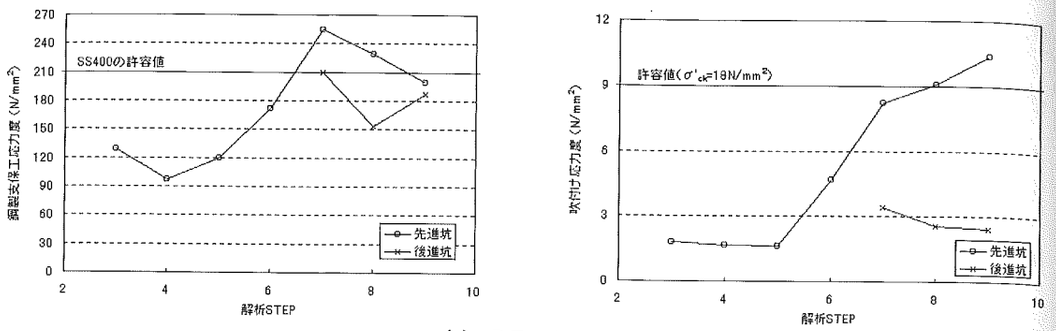
4–4　FEM解析結果および支保設計

4–4–1　支保工

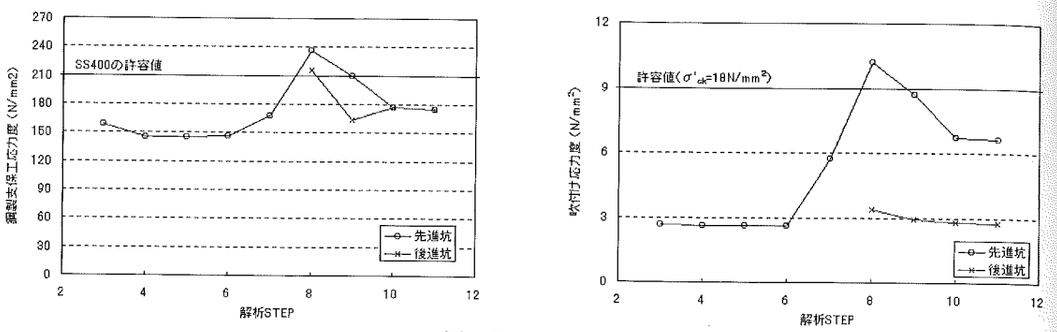
各パターンで支保工に発生する応力度の最大値をステップごとに抽出したグラフを**図–6**に示す．

鋼製支保工の応力度の最大値(先進坑・後進坑)は210~255 N/mm²と，すべてのパターンにおいて仮設時の許容値(SS400：210N/mm²)を超えることから，鋼製支保工には高規格H鋼(許容応力SS540：440N/mm²)を使用することとした．

吹付けコンクリートの応力度の最大値は，先進坑で9.1~10.4 N/mm²，後進坑で2.8~3.4N/mm²と先進坑の負担が大きい．先進坑では，許容応力度 σ_{ca}=9N/mm²(仮設時として σ'_{ck}=18N/mm²の1/2と設定)を超えるため，高強度吹付けコンクリートの採用も考えたが，許容値を超える部分が局所的であること，鋼製支保工(高規格H形鋼)の許容応力度が発生応



(a)　DⅡパターン

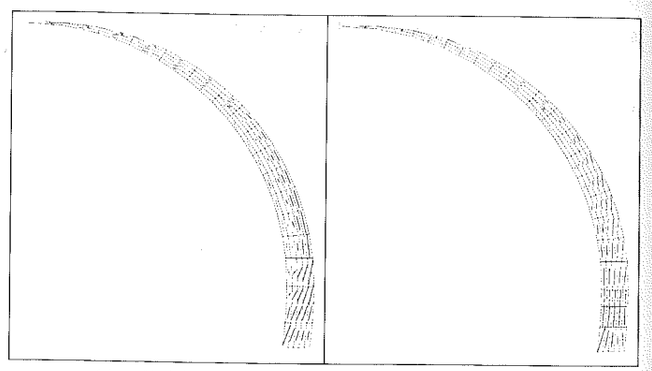


(b)　DⅢパターン

図-6　支保工応力度最大値経時変化図

力度に対して余裕が大きいこと，非常時にはボルトや増し吹きで補強可能であることを理由に，またコスト面も考慮し，通常の吹付けコンクリートを使用することとした．

吹付けコンクリートの応力は，DⅡの先進坑では最終ステップで最大値を示すのに対し，DⅢパターンでは後進坑の上半支保設置時で最大値を示す．これは，置換えコンクリート・地山部との荷重の負担割合の違いによるものと考えられる．



(左：後進坑上半掘削終了時，右：後進坑掘削完了時)

図-7　置換えコンクリート部主応力

4-4-2　置換えコンクリート

図-7に置換えコンクリート部の主応力図を示す．図中の実線は圧縮を，点線は引張を示している．置換えコンクリート内側には，後進坑上半支保設置時で側壁部に大きな引張応力が発生しているのに対し，後進坑インバート掘削後では圧縮領域に変化しているのがわかる．

ここでは，置換えコンクリート部の仕様を決定するため，断面力を要素の応力分布から求めた[5]．その結果を**図-8**に示す．

この結果より，置換えコンクリート部に作用する曲げモーメントは後進坑上半掘削時で最大(内曲げ)となること，曲げが最大となる箇所は上半と下半の境界付近であること，下半掘削後にはその値が小さくなる傾向にあることなどがわかった．また，軸力は施工に伴って次第に大きくなり，後進坑のインバート掘削後，中間地山の下半部で最大となることがわかった．せん断力は，後進坑上半掘削時に上半盤のやや下部で最大となり，その後，下半を掘削すると上半部では次第に大きくなり，下半部では小さくなる傾向にあることがわかった．

設計では，上記の断面力に対して**表-7**に示す許容応力度(仮設時)を満足するよう鉄筋を配置するものとした．決定した置換えコンクリートの配筋図を**図-9**に示す．

4-4-3　中間地山

表-8に中間地山に作用すると想定した荷重W(図-4参照)と**図-10**に示した位置の実作用荷重P(解析値)を示す．土かぶり1D以上を満足するDⅡ とDⅢ-1の結果を比較すると，比較的地山の悪いDⅢ-1の方が中間地山に作用する荷重が大きくなった．また，土かぶりが1Dより小さなDⅢ-2では土かぶり荷重が小さい分，作用荷重は上記の2断面より小さくなった．

作用荷重に対して，中間地山下方の地耐力確保については，DⅢ-1およびDⅢ-2パターンではインバートを施工することから，最終状態で地山の

表-7　許容応力度(N/mm²)

コンクリート		鉄　筋	
曲げ圧縮	せん断	引張	圧縮
σ_{ca}	τ_{ca}	σ_{sa}	τ_{sa}
9.0	0.49	240	240

表-8　中間地山に作用する荷重

支保パターン	想定作用荷重 W(kN/m)	実作用荷重(解析値) P (kN/m)	P/W
DⅡ	8,600	7,566	0.88
DⅢ-1	8,400	8,784	1.05
DⅢ-2	6,150	6,135	1.00

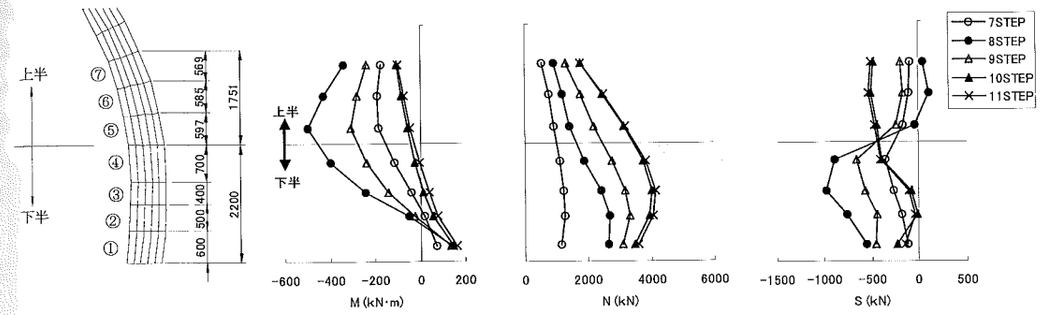


図-8　置換えコンクリート部断面力

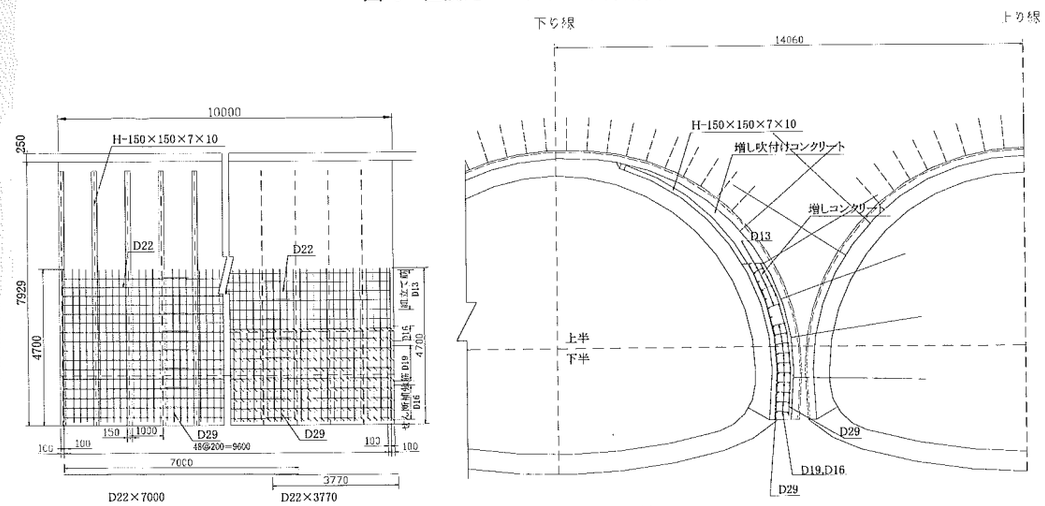


図-9　置換えコンクリート配筋図

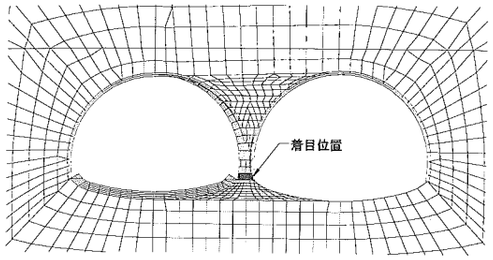


図-10　作用荷重算定位置

変位を拘束することが可能であり十分と考えられるが，後進坑インバート掘削時には地山の拘束が不十分となる．亀裂などの地山状況によっては中間地山下部の変状が懸念されるため，インバート施工は下半切羽にできるだけ接近させ，短スパン(5.25m)での施工を行うこととした．

DⅡパターンでは中間地山の一軸圧縮強度が10MN/m²程度以上は確保できることから，支保工の荷重分担および下方地山の荷重分散を考慮することで，安定を確保できると判断したが，インバートを施工しないため，掘削時の地山観察を十分に行い，地山の状態に応じて，縫い地効果を期待したボルト材を主とする補強を行うこととした．

5　施　工　概　要

5-1　トンネル掘削

終点側坑口部(DⅢ区間全体)と出口側坑口付近はD級の土砂化した強風化帯が分布しており，機械掘削を行ったが，C_M級の花崗閃緑岩主体の一般部では発破掘削を行った．以下，発破掘削について述べる．

工事着手時より発破による周辺環境への影響が懸念され，導火管付き雷管による制御発破を実施した．さらに試験発破の結果を踏まえ周辺環境への影響を最小限にするため，発破実施時間をAM8：00～PM8：00間とし，薬量を1発破あたり21.5kg以内とする発破制限が設けられた．そのため夜間作業における上半掘削が困難となり，計画工程の変更を余儀なくされた．

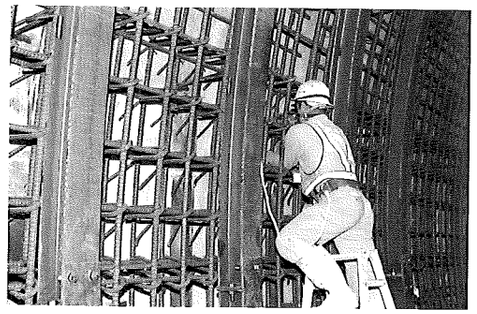
計画では上半盤を最小30mとする上半先進ショートベンチ掘削工法で上半盤が60mとなった時点で下半盤を30m掘削する工程であったが，発破許可時間内に上下半の発破を実施し，夜間作業にて変則上下半併進掘削を行った．また，大型ブレーカ(4t級)の導入により，薬量不足による残掘削を実施した．

5-2　置換えコンクリート

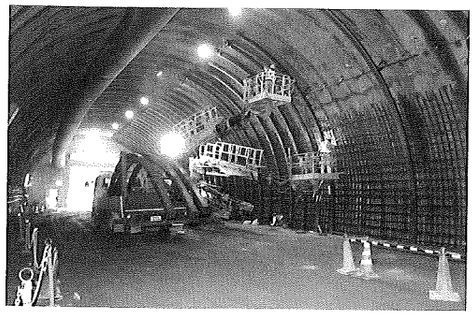
坑口部(DⅢ区間)では，鉄筋が密に配置される下半盤より4.7mの高さまでコンクリート打設を行った．このとき内空側には型枠として，鋼製支保工(H-150@1.0m)とキーストンプレートを設置した．また，鉄筋を必要としない上部すり付け部には吹付けコンクリートを行うこととした．施工状況を写真-2に示す．

5-3　先進坑への発破の影響

後進坑(上り線)掘削では，掘削面から先進坑(下り線)の吹付けコンクリートまでの離隔は約1mとなり，発破によるクラックの発生が懸念された．これより先進坑の吹付けコンクリートの振動管理値(クラック発生限界値)を過去の事例などを参考に30.0cm/secに設定して，試験発破を行った．これより爆源との離隔距離を1.6m以上，装薬量を0.2kg/m³として，先の振動管理値を越えないよう管理しながら施工を行うこととなった．これより後進坑の先進坑側側部は，周縁装薬孔が配置できず，この部分は，4t級ブレーカによる補助掘削作業が必要となったが，結果的に先進坑の吹付けコンクリートに変状はみられなかった．



(a)　補強鉄筋



(b)　補強部全景

写真-2　置換えコンクリート部施工状況

6　計　測　結　果

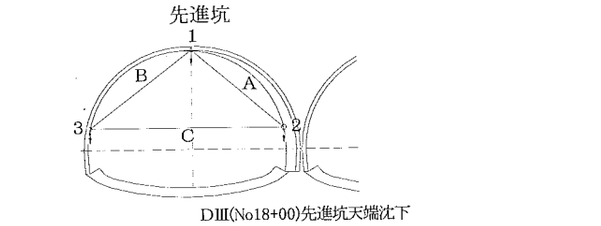
ここでは，地山が土砂状を呈する強風化帯であり，中間地山を置換えコンクリートで補強したDⅢ-1区間(No.18＋00)の計測結果について記述する．

6-1　坑内変位および地表沈下

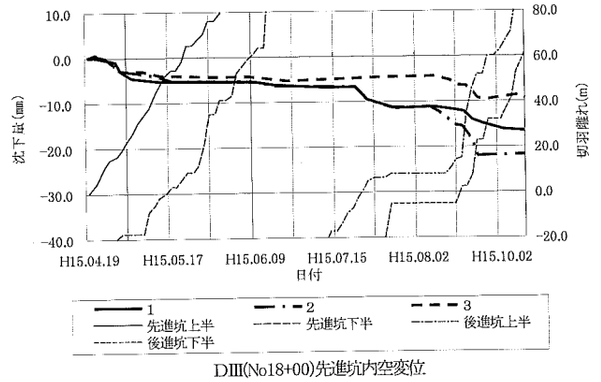
後進坑下半掘削時に，先進坑の後進坑側側壁部において比較的大きな沈下が発生しているが，剛性の高い置換えコンクリートを施工しており，顕著な変位ではなかった(図-11)．また，ゴルフ場の地表沈下は発生しなかった．

6-2　置換えコンクリートの断面力

先進坑の置換えコンクリートには鉄筋計を設置し，鉄筋のひずみ値より掘削時に作用する断面力を算出した．その結果，後進坑上半掘削時にFEM解析結果と同程度のトンネル内空側が引張側となる曲げモーメント(約300kN・t)が確認された



DⅢ(No18+00)先進坑天端沈下



DⅢ(No18+00)先進坑内空変位

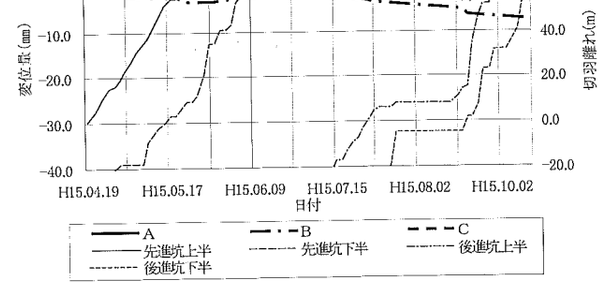


図-11　坑内変位経時変化図(No.18＋00)

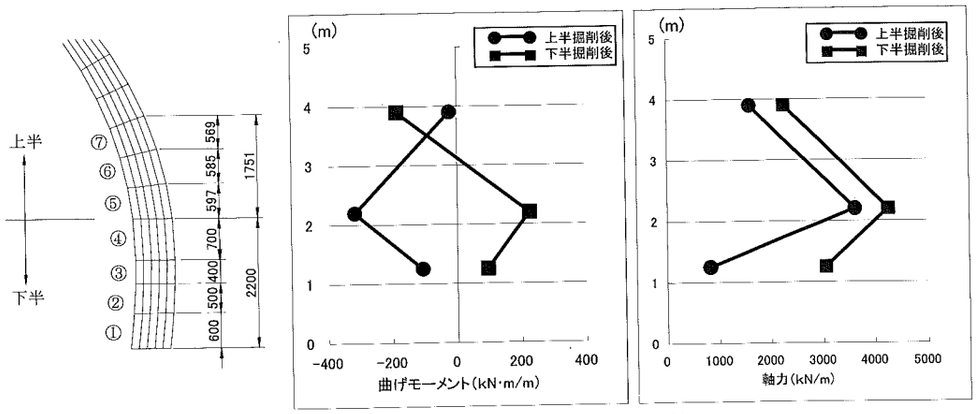


図-12　置換えコンクリート部断面力(計測値)

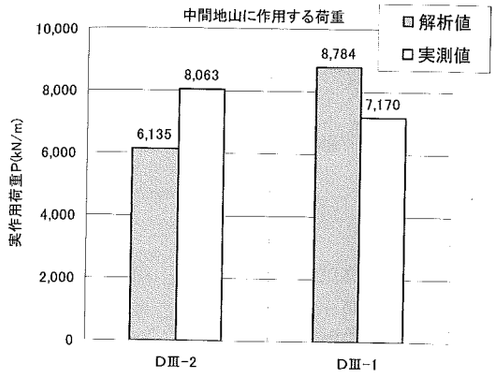


図-13　中間地山に作用する荷重

(図-12)．この曲げモーメントは後進坑下半掘削後減少する．また，軸力は後進坑上半掘削，下半掘削と掘削が進行するにつれて増加傾向がみられた．今回の計測結果では後進坑上半切羽が通過後，最大曲げモーメントの発生位置で想定より大きな軸力が作用しており，結果的に置換えコンクリート内面に引張ひずみは発生しない結果となったが，後進坑上半通過後，内空側の鉄筋の圧縮応力は大きく減少した．これより，FEM解析で得られた置換えコンクリートの挙動と同様な傾向が実計測でも確認できた．

6-3　中間地山に作用する荷重

中間地山に作用する荷重は両本坑の支保工および置換えコンクリートの計測値を合計して算出した．なお，計測値は後進坑上半通過後の収束値である(図-13)．おおむね解析値に近い荷重が作用していることがわかる．

解析では，DⅢ-2パターン(No.18＋21)でP/W＝1.00，DⅢ-1パターン(No.17＋91)でP/W＝1.05であった(表-8参照)が，計測値ではそれぞれ1.31，0.85となる．DⅢ-2にて解析値を上回る計測結果が得られたが，これは計測位置が土砂化した斜面部であり，後背斜面の影響を受けたと思われる．

7　おわりに

大門寺トンネルでは下到津トンネルで課題として残されていた先進坑覆工前に後進坑を掘削する方法を検討し，無事掘削を完了した．工期，工費，品質面での優位性を確認できたことに加えて，設計変更および施工，計測により以下のことが明らかになった．

- 置換えコンクリートに作用する曲げモーメントは，後進坑の上半掘削時に上半と下半の境界付近で最大値をとり，下半掘削後は減少する．
- 置換えコンクリートに作用する軸力は掘削に伴って次第に大きくなり，後進坑の下半(インバート)掘削後に最大となる．
- 中間地山への作用荷重高さは，DⅢパターンでは，1D(D：トンネル総幅)程度となる．
- 一次支保に適切な補強工を施せば，地山条件が比較的悪くても，無導坑方式の一次支保状態(二次覆工未施工)で掘削が可能である．

今後は，地山条件に応じ幅広く無導坑方式の適用性を検証，把握していくことが必要であると考える．また，同時により合理的な構造，形状についても検討が必要であると考える．本報告が今後のめがねトンネルを設計・施工する上で参考になれば幸いである．

参　考　文　献

1) 豊里栄吉・岩島保・五十嵐瑞穂・梨本裕：土かぶりの薄いメガネトンネルを掘る，第二神明道路(改築)小束山トンネル，トンネルと地下，Vol.28，No.9，1997.9.
2) 佐藤映・松長剛・小島正人・酒井照夫：市街地地すべり地帯のめがねトンネル(トンネル編)，久里浜田浦線　阿部倉トンネル，トンネルと地下，Vol.34，No.6，2003.8.
3) 石川靖治・上村正人・米田裕樹・中川浩二：斬新な設計・施工のめがねトンネルで市街地に挑む，北九州市　下到津ランプ連絡道路トンネル，トンネルと地下，Vol.34，No.5，2003.5.
4) 本藤敦・黒木繁盛・櫻井孝臣・高橋明生・金澤明広：無導坑方式めがねトンネルの設計，トンネル工学研究論文・報告集，第13巻，2003.11.
5) コンクリート構造物の設計にFEM解析を適用するためのガイドライン：日本コンクリート工学協会，1989.3.

現場だより　平成17(2005)年

『日本一のダム』岐阜県藤橋村より

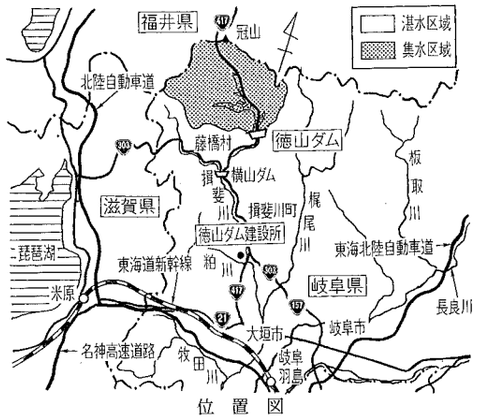
高　山　幸　雄

岐阜県揖斐郡藤橋村は，木曽三川の一番西に位置する揖斐川の水源地の村である．揖斐川流域では，過去に幾度となく甚大な浸水被害にみまわれてきた．代表的な洪水被害としては，昭和34年8月の集中豪雨，および同年9月の伊勢湾台風であり，2度にわたり揖斐川支川の牧田川合流地点の根古地地先において右岸堤防が決壊し，大きな被害が発生した．その後も計画水位を上回るか，これに匹敵する大きな洪水が発生しており，徳山ダムは流域住民の悲願であった．

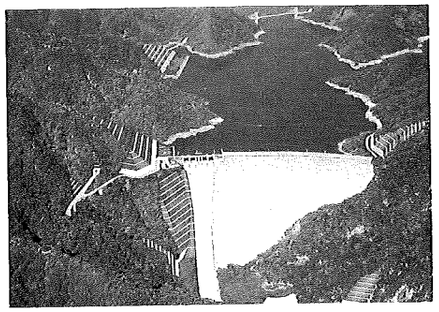
ダムができる徳山村は映画「ふるさと」にて，当時の戸入分校教諭だった平方浩介氏の原作「じいと山のコボたち」をもとにダム建設によって故郷を去りゆく村民の哀しみと現代社会の宿命を描いたもので1993年に全国公開された映画の場所である．

徳山ダムは昭和51年9月に事業実施計画の認可を受け，昭和51年10月に水資源開発公団に事業承継し，昭和55年3月に付替道路に着手し，昭和62年徳山村が藤橋村に廃置分合，平成元年3月に域外移転466世帯すべてについて移転契約を完了し，平成4年2月に仮排水トンネルに着手した．平成7年9月に仮排水トンネルが完成．平成7年10月には仮締切基礎工事に着手し，平成11年11月に転流し，現在に至っている．

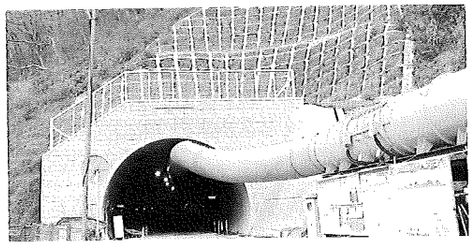
平成16年7月事業実施経過雨変更(第3回)の認可により洪水調節123,000m³，異常渇水時における緊急水の補給53,000m³，新規利水量6.6m³/s，新規利水容量78,000m³，発電最大出力15.3万kW規模となる．



位　置　図



徳山ダム完成予想図



建設中の塚白椿隧道起点側坑口全景

ダム形式は中央遮水壁型ロックフィルダムで，堤高161.0m，堤長427.1m，堤頂標高406.0m，堤体積約1,370万m³，総貯水容量が6億6千万m³(国内第1位)の規模で日本一のダムである．平成16年10月に堤体盛立量1,000万m³(堤体積1,370万m³)を達成し，平成19年度完成を目指して，頑張っている．

さて，当工事は，国道417号線がダムにより水没する区間の付替道路工事であり，ダムの規模が大きいために，ダム本体地点より13kmのほとんどが橋梁とトンネル工事である．

当現場は，付替道路の終点側に位置し(福井県側)，塚白椿隧道(延長3,330m)のうち，三軒屋工区(延長1,664m)の工事である．

平成16年12月末現在のトンネル掘削は残り360mであり，発注者・関係各位のもと，企業体ならびに協力会社が一丸となって，平成17年春先の貫通を目指し頑張っていく所存である．

(大豊・不動特定建設工事共同企業体所長)

土木情報 No.380 今月の主な入札結果

（11月15日～12月15日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
中四農政	吉野川下流第10幹線水路 3-7	梅林建設	245
近畿地整	大阪港夢洲T沈埋部	五洋・みらいJV	670
中国地整	萩・三隅道路飯井第１T	木原建設	910
九州地整	新若戸道陸上T戸畑側	大成・東亜・飛島JV	3,300
〃	〃　沈埋函浮遊打設	佐伯建設工業	575
道公・静岡	第２東名浜松T西その３	熊谷・東急・大本JV	4,150
道公・中部	東海北陸道亀尾島T	名工・日本土JV	2,280
道公・北陸	北陸道今庄T補修	佐藤工業	260
下水事・本社	小松島市川北２号雨水幹線	西松・尾崎JV	1,378
緑機構・近畿北陸	美濃８工区農用道４号T	西松・大日本・杉山JV	1,098.61
〃	南丹園日１工区１号T	五洋建設	465
埼玉県	御岳山線(両神地区)森林管理道T	斎藤組	148
千葉県	農道犬石T	ハザマ	390.8
都・水道局	下石神井 1-18～同 5-17配水管布設替	布施建設	223
都・下水道局	青山幹線再構築４	ハザマ	498
〃	銭瓶幹線改良	アイサワ工業	255
〃	西日暮里２付近再構築４	株本・山藤・佐々木JV	311.5
〃	東神田３，神田佐久間町４付近再構築	東京地区建設業	223.48
滋賀県	湖南中部中部第２幹線若宮・上田工区管渠	西松・西村JV	902
和歌山県	町道紀州サン・リゾートライン線上ノ城T２	奥村・大豊・白洋JV	1,738
〃	国道480号梨子ノ木T	大林・鴻池・東JV	1,720
愛媛県	主要地方道宇和島下波津島線北漁火T	一若建設	595
横浜市	汐見台第２幹線下水道その４	馬淵・千代田JV	516
〃	鶴見第２幹線左支線下水道	前田建設	315.4
〃	東俣野幸浦線(第４工区)下水道５	フジタ・東急・馬淵・松尾JV	828.45
川崎市	渋川５号雨水幹線	五洋・クボタ・大恵JV	810
新潟市	万代排水区局貯留排水施設	不動・白石・櫛谷・本間道JV	1,899
〃	坂井輪排水区雨水１号幹線３，２号幹線	戸田・国土開・第一・福田道JV	2,230
〃	木戸排水区雨水貯留池	丸運建設	363.7
新津市	下水80号新津市公下真木野ポンプ場流入渠	福田・第一JV	518.5
名古屋市	大治浄水場流入・流出管敷設	清水・東急・りんかいJV	1,898
〃	春日井浄水場第２配水地流出管	矢作建設工業	308
〃	会所町雨水幹線	大末建設	221
近江八幡市	武佐汚水幹線	坂田建設	258
京都市	有栖川中央第１準幹線(雨水)その１	マスダ	201.9
大阪市	柏里幹線下水管渠	森本・大末JV	676
大東市	東部排水区21工区	西松建設	1,185
八尾市	福万寺排水区16工区下水道	熊谷組	425
明石市	赤根北部第３号雨水幹線	大鉄工業	137
倉敷市	片島配水池築造および送・排水管布設	錢高・東洋工JV	795
松山市	中須賀４号雨水幹線２	鹿島	808
福岡市	飯倉第３雨水幹線	国土開・丸建・三軌JV	1,210
飯塚市	目尾鯰田汚水幹線1	奥村・古賀JV	750
日高町(兵庫)	知見八鹿T	大林・鴻池JV	2,667
福崎町(兵庫)	田原第２，第４汚水幹線	松村組	348

施工

渋谷駅前の銀座線高架橋基礎の受け替え

—13号線・東横線相直　渋谷駅建設工事—

東京地下鉄(株)建設部渋谷工事事務所所長　西　村　高　明
東京地下鉄(株)建設部渋谷工事事務所主任　今　井　龍　雄
東急建設(株)鉄道事業部東急渋谷駅作業所所長　鷲　見　博　由

1　はじめに

地下鉄13号線は東京地下鉄有楽町線新線池袋駅を起点とし，通称グリーン大通り，都市計画道路環５の１号線下を通過後，明治通りを南下し，新宿三丁目・明治神宮前を経由して渋谷に至る総延長8.9kmの路線である(**図-1**参照)．この路線は池袋以西において有楽町線，東武東上線および西武池袋線と，渋谷では東急東横線と相互直通運転を行う予定で，埼玉県南西部方面から都心を経由して横浜方面に至る広域的な鉄道のネットワークになる．

本稿は，13号線建設工事の中で，渋谷駅開削工事のうち，既設線交差となる銀座線高架橋の受け替え工法(添梁形式による工事中の仮受け)の計画について紹介するものである．

2　13号線渋谷駅の概要

13号線渋谷駅は渋谷区渋谷一丁目・二丁目地先の明治通り下において，東京地下鉄半蔵門線その他既設路線との連絡を考慮し，宮益坂との交差点に位置している．

この駅は東急東横線との相互直通運転を計画している接続駅であり，三層三径間の始端停接部と三層五径間ホーム２面４線，平均掘削深31m，構築最大幅36mの大規模な駅(**図-2, 3**参照)となる．

駅建設工事は13号線と東急東横線との共同駅になることから，ホーム中心より池袋方を東京地下鉄が，代官山方を東急電鉄が，渋谷駅建設一期工事として建設する．このうち東急電鉄側には銀座線が13号線と交差していることから，この交差部を含めた30m区間の設計・施工管理を東京地下鉄

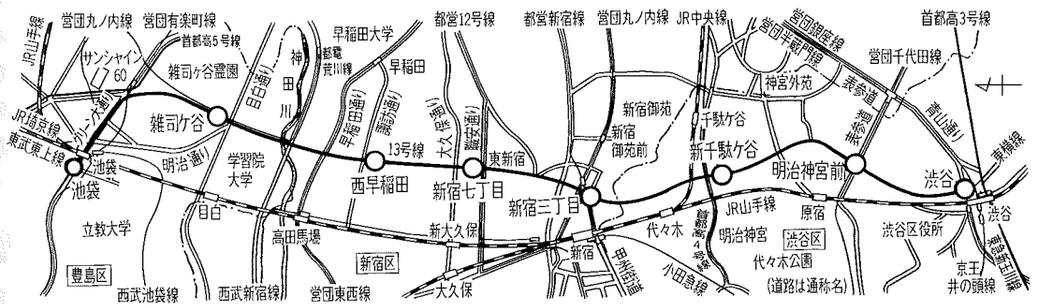


図-1　13号線平面図

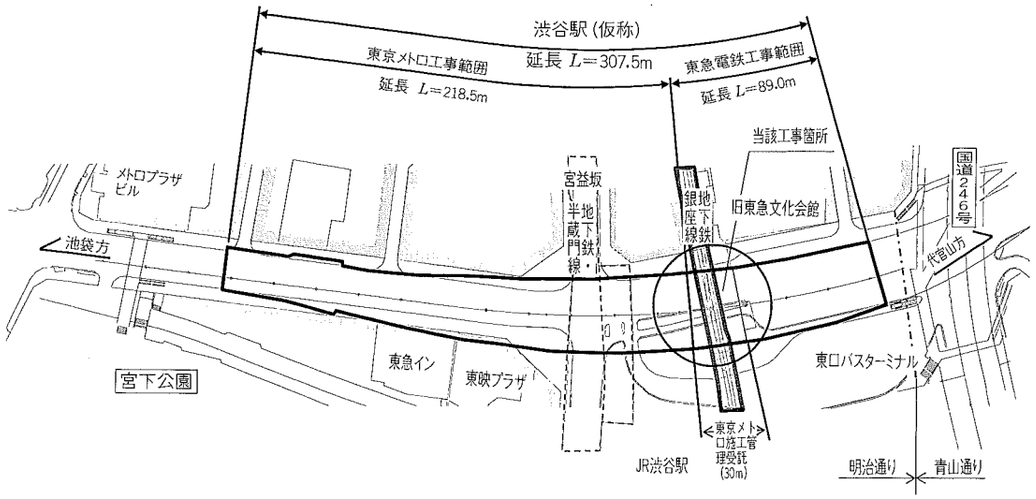


図-2 渋谷駅(仮称)平面図

が受託することとなった.

3 地形・地質概要

当該地区は淀橋台の谷底低地渋谷川右岸に位置し，都心方の表参道方向より渋谷に向かっての傾斜地になっている．地質は上部より埋土，関東ローム層ローム(lm)・火山灰質粘性土(tc)，東京層群粘性土(Toc)，地下水の豊富な東京層群砂質土(Tos)および東京層群礫(Tog)，その下に非常に硬質な上総層群粘性土(Kac2：軟岩・風化岩)，非常に高い被圧水を持った砂質土(Kas2)という洪積層で構成されている．

4 銀座線高架橋受け替え工法の選定

銀座線渋谷～表参道間は東京高速鉄道(株)により建設され昭和13年12月に開業した区間であり，その後昭和16年９月に帝都高速度交通営団(平成16年４月東京地下鉄(株)に社名変更)に免許権譲受されたものである．完成より60年以上経過しているが，現在でも健全な状態で維持管理されている．

13号線と交差する銀座線の通過位置は表参道地区の高台を地下で通過し，渋谷地区ではJR山の手線の上を通過するため高架で建設された．明治通りに橋脚を６列各２柱建て(金王第一高架橋)内回り４車線，外回り３車線の７車線道路と１列２柱の橋脚(渋谷東広場架道橋)で渋谷東口駅前広場を通過している．また，東急文化会館連絡通路(明治通り横断通路橋)が３列各２柱で近接し設置されている(図-3参照)．

銀座線金王第一高架橋基礎は生松丸太末口180㎜，L＝2.73mの杭で，渋谷駅側からP1・P2橋脚９列８本，P3橋脚７列３本，P4橋脚７列３本，P5橋脚７列３本，P6橋脚９列４本が配置され，関東ローム層部で支持されている．13号線はこの直下を開削工法で施工するため，銀座線を下受けして工事を行うことになる．今回銀座線下受け工法の選定は，①高架橋橋脚の位置・構造を考慮し，かつ路面交通に支障しない，②高架橋基礎の側下に埋設されている大型埋設物(下水道古川幹線φ2,800 DP4.90m，同渋谷幹線φ1,650 DP5.37m)に支障しない，③東急文化会館連絡通路橋脚基礎に近接する，などの制約条件により一般的な下受け工法が採れない状況であった．それらを考慮して検討した結果，添梁工法(鉄筋コンクリート構造方式)による下受け工法を採用することにした．

5 銀座線高架橋受け替え添梁工事

添梁の形式はPC・井桁締結方式を採用し，近接する東急文化会館連絡通路下で大型車通行に支

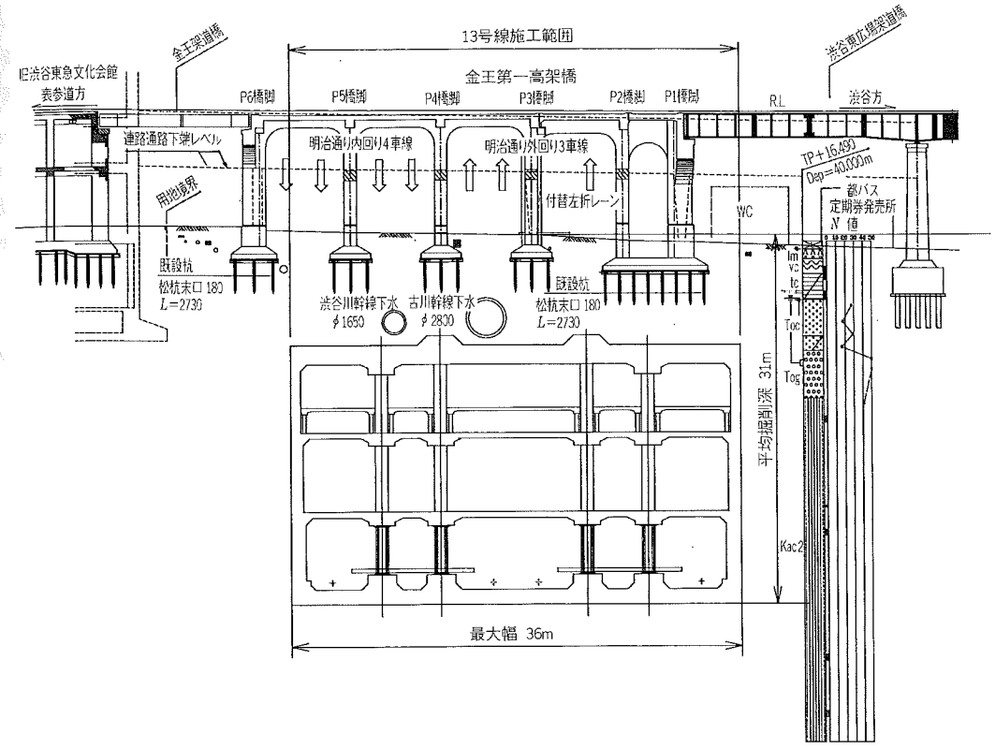


図-3 渋谷駅(仮称)銀座線交差部断面図

障のない高さ4.2m以上を確保し，路面覆工板(H-250)下と橋脚フーチング空間で銀座線高架橋柱荷重(死荷重・列車荷重・衝撃荷重，安全率Fs＝2.3)を下受けできる高さの添梁寸法(道路部H＝1.0m)で設計した．

添梁部では骨組み構造解析により算出した曲げモーメントおよび載荷によるねじりモーメントに対し，施工上問題のない範囲で軸方向鉄筋量を決定し，これに対して発生応力度が許容値を下回るようにプレストレスを導入する方法で，曲げおよびねじりモーメントによる鉄筋引張り力が同時に作用しても安全となるように配慮した．つなぎ梁部(締結部)は添梁と柱の接触面に曲げ引張応力度が発生しないよう，下縁の曲げ引張応力度が1.47N/㎟以上となるようプレストレスを導入する設計とし，接触面における平均押し抜きせん断応力度は4.9N/㎟以下とした．

5-1 銀座線高架橋橋脚構築事前調査

調査は13号線建設工事の際の振動などによる高架橋の高欄部，床版部，橋脚部などのコンクリート塊落下事故の未然防止および既設橋脚のコンクリート強度を確認することを目的に打診調査および橋脚強度確認試験を行った．

打診調査は目視調査のみでは外観の異常(ひび割れ，変形，錆汁など)の有無は確認できるが，コンクリート塊の剝離・剝落の危険性が高い部分をもれなく調査することは困難であり，点検ハンマーによる打診により細部調査を行った．

強度試験は下受け添梁緊張時の橋脚強度確認およびアンカー打設時のコンクリート表面強度確認のため，橋脚３か所(P2・P4・P6橋脚)をシュミットハンマーによりコンクリート表面の反発度を非破壊試験にて測定し，強度を推定した．

5-2 銀座線高架橋受け替え工

下受け杭は銀座線高架橋フーチングおよび東急文化会館連絡通路フーチングを避けた位置に打設した．杭造成はTBH削孔機を使用し，夜間専用作業帯を設け造成径φ700 (P3～P6橋脚部本杭，

表-1　銀座線高架橋作用荷重および添梁寸法

橋脚番号		P1橋脚	P2橋脚	P3橋脚	P4橋脚	P5橋脚	P6橋脚
作用荷重	kN	10,791	8,457	8,351	6,463	6,463	8,086
橋脚柱形状	幅 C' (m)	1.50	1.70	0.90	0.80	0.80	1.00
	奥行C (m)	2.70	1.00	2.20	1.00	1.00	1.90
	柱間隔(m)	5.60	5.40	4.60	4.50	4.50	4.70
添梁部	幅 B (m)	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	高さH (m)	1.40	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00
つなぎ梁部	幅 D (m)	1.00	1.20	1.20	1.00	1.00	1.00
	高さH (m)	1.40	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00

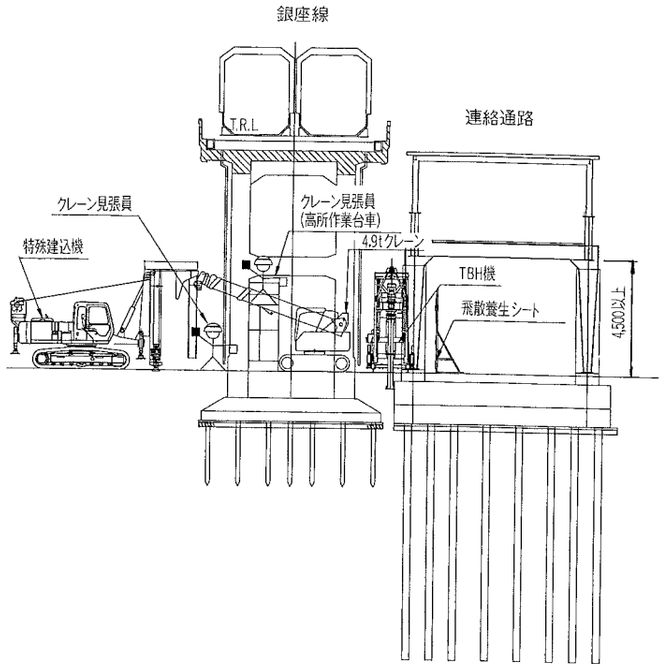


図-4　削孔・建て込み図

P1～P6控え杭)，鋼材(H-414)，杭長31.0m根入れ2.0m以上および造成径φ750㎜(P1，P2橋脚部本杭)，鋼材(H-428)，杭長31.0m根入れ4.0m以上とした．作業は南側で東急文化会館連絡通路桁下部に本杭・控え杭を打設するため，空頭制限(約4.5m)を受け，2m継ぎのロッド(φ200)と鋼材長2.5mを継杭しながら建て込みを行う方法を採用した．道路占用による夜間作業のため施工時間に制限があり，削孔に2日間，杭建て込みに1日，注入造成に1日に1本4日の工程とした．また，高架橋銀座線下8.0m・連絡通路下4.5mの現場作業条件より特殊クレーンおよび特殊建て込み機を使用し造成を行った(図-4)．

また，泥土(産業廃棄物処理)が確実に処理されたかマニフェストを随時回収し確認を行った．

5-3　こう上舗装工

P3～P6橋脚に銀座線橋脚部下受け用添梁を築造するには，現在の道路高(TP＋16.89～17.28m)では橋脚基礎(TP＋16.19m)が浅い位置にあるため，添梁高さ1.00m，幅1.50mを築造することが困難であり，道路高さ制限を行う計画が必要となった．銀座線下は6mと十分な空間があるが，東急文化会館連絡通路下の空間は4.5～4.7mの道路高さしかなく，制限高を少し上回る程度であった．そのため路面下での添梁施工空間を確保しつつ，路面交通に支障しない高さ(4.2m以上)を確保したかさ上げを行い，周辺の地盤との段差を解消することにした．

5-4　路面覆工設置

覆工は大型埋設物，銀座線橋脚基礎，東急文化会館連絡通路橋脚基礎などを避けた位置の杭打設となり，既製品の3mまたは2mの覆工板が使用できないため，特殊覆工板を作成し，銀座線橋脚下部分に架設した．特殊覆工の架設方法は上空を銀座線高架橋・東急文化会館連絡通路が占用していること，覆工板運搬車両搬入場所が代官山方になることから，通常の大型機械使用による直接架設方法の施工ができない現状から，特殊覆工運搬台車使用により連絡通路下を通り銀座線下まで移動させ，池袋方に50tラフテレンクレーンを配置し架設する方法を採用した．特殊覆工板は2-BH 250×350×25×50の鋼材2本の間および側面にPL-25×235を工場溶接で製作し，長さ約11m，重量約9.6tを使用した．

5-5　添梁鉄筋コンクリート築造

添梁構築の作業は工事用地内(コンクリート打設・緊張工を除き昼間作業)，道路下部分(昼間および夜間作業)の二つの作業条件で行う．

以下に，施工順序を示す．

5-5-1　床付け掘削・下受け杭杭頭処理・下受けジャッキ設置

添梁構築築造に先立ち下受けジャッキ設置のため，添梁下端＋基礎砕石・モルタル厚さ(t=150)まで掘削し，下受け杭の杭頭掘削，杭頭処理を行う．その際，トッププレート(500×500)を溶接加工し下受けジャッキとトルシアボルトで固定する．下受けジャッキのユニバーサルヘッドは支圧プレートの設置を考慮して，高さ調整をした後，埋め戻し転圧を行う．

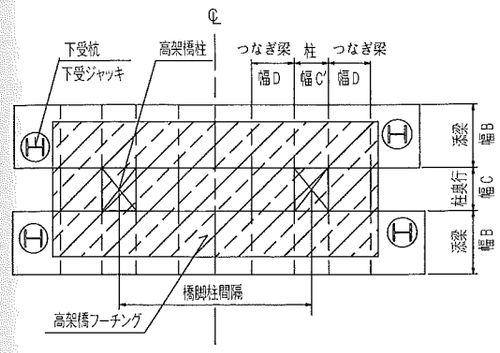


図-5　添梁平面図

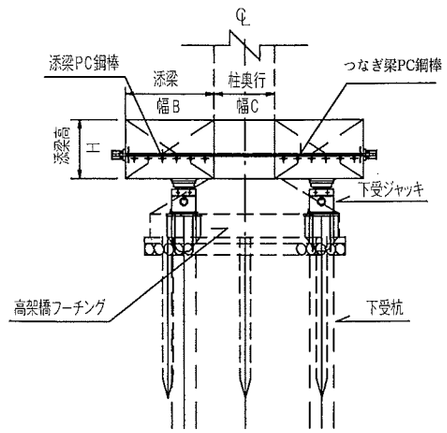


図-6　添梁断面図

5-5-2　基礎砕石敷均し・転圧均しモルタル打設

添梁構築築造時の添梁底部を安定させるために基礎砕石(t=100㎜)を敷き均し転圧後，均しモルタル(t=50㎜)を打設する．

5-5-3　添梁既設橋脚柱面チッピング

既設橋脚柱と添梁との一体化を図るために，柱部の添梁高さ(P1・P2橋脚H=1.4m，P3～P6橋脚H=1.0m)分の目荒しを行う．

5-5-4　底面型枠組み

ジャッキ位置を確認後，均しモルタルが添梁に付着しないよう上部に合板型枠を敷設する．下受けジャッキ上部には振止め・支圧プレートが設置されるため，箱抜きして支圧プレートと躯体が直接接触するようにする．その際ジャッキ固定用アンカーを設置する(M24 L=250，1ジャッキ/4本)．

5-5-5　鉄筋加工・組み立て・PC鋼棒・シース管設置

鉄筋継手は主筋・帯鉄筋ともすべて機械式継手(ネジテツコン)を添梁鉄筋の組み立て手順を考慮し採用した．組み立て順序は添梁・つなぎ梁の帯

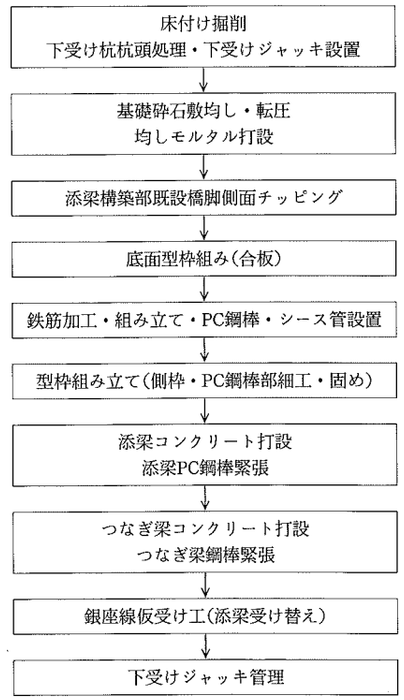


図-7　添梁施工フロー図

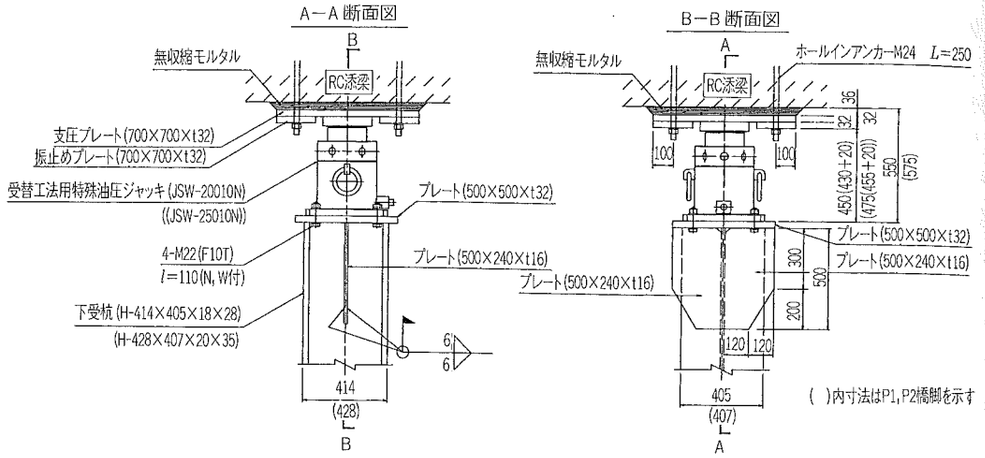


図-8　下受けジャッキ設置図

鉄筋配置⇒つなぎ梁の下筋⇒添梁の下筋の順序で行い，次にシース管をつなぎ梁・添梁の順に交互に組み上げる．機械式継手のグラウト注入は，組み立て手順を考慮し各階層ごとに注入し組み上げる．

5-5-6　型枠組み立て(側枠・PC鋼棒部細工・固め)

鉄筋組み立て完了後，側枠組み立てを行う．シース管・PC鋼棒部は頭部が型枠より外側に出るため，型枠加工を行う．また，添梁とつなぎ梁は緊張順序により打ち分けるため，コンクリートの止めとしてネット型枠などを設置する．P1 添梁とP2 添梁は添梁同士が接するため，縁切り材として合板(12㎜)を設置する．

5-5-7　コンクリート打設

生コンクリートは現場諸条件により高強度・高流動(自己充填性)・早強コンクリートを使用し，添梁の所定強度(設計基準強度の75～85%)発現後PC鋼棒の緊張を行う．添梁コンクリートの緊張後，つなぎ梁のコンクリートを打設する．コンクリートの打設作業は銀座線終電後から初電までの間(約4時間)で行う．コンクリート打設時に添梁コンクリートの重量により橋脚が沈下する可能性を考慮し，施工中は銀座線橋脚の水準を測定するとともに銀座線計測管理を行い，変状の早期発見に努める．

5-5-8　PC鋼棒緊張

コンクリートの所定強度(設計基準強度の75～85%以上)到達後，PC鋼棒(φ36)の緊張を行う．緊張は，添梁コンクリート緊張⇒(つなぎ梁コンクリート打設)⇒つなぎ梁コンクリート緊張の順に行う．緊張器は2台準備し1柱を同時に緊張する．施工中は銀座線橋脚の水準を測定し，変状の早期発見に努める．

5-5-9　銀座線仮受け工(添梁受け替え)

工事期間中，下受けジャッキの油圧管理を行うが，下受けジャッキ露出，振止め・支圧プレート・アンカーボルトの固定確認後，ポンプユニットより油圧ホースをジャッキに接続し，加圧を行う．加圧は銀座線高架橋橋脚構造に合わせて，三分割(P1・P2，P3・P4・P5，P6)のグループに分けて加圧する．

応力の導入方法は，各既設橋脚柱に作用する設計荷重の死荷重を6段階に分け，20%，40%，60%，80%，100%，120%と順次導入する．各段階時には荷重，仮受け杭相対変位，ピアノ線式柱絶対変位を計測し，躯体の変状，健全度および管理基準値以内であることを確認する．

本工事においては，軌道を基準として各柱の道路横断方向に2台×2か所の油圧ジャッキを配置して工事の進捗時における躯体の変状などが生じた場合これに対応できるよう配置する．下受け杭には4台の油圧ジャッキを配置し，ジャッキの出力が所定の数値に至るまで一定速度で載荷する．

5-5-10 下受けジャッキ管理

添梁の構築および荷重の盛替えにおいては橋脚に直接作用する施工を余儀なくされることから，動態観測により常時高架橋の変状を監視する．とくに添梁コンクリート打設時，PC鋼棒緊張時には橋脚に変状が生じる可能性が高いことから，慎重な計測管理とこれをフィードバックした施工管理により銀座線の安全運行を確保する．

添梁施工完了後，13号線構築築造工事進捗に対する銀座線高架橋の防護対策として，銀座線上部架台設置・添梁間にストラットコンクリート打設を行うとともに，銀座線交差部の構築は13号線上床版を逆巻き工法にて先行施工し，下部掘削に伴う水平変位の減少を図る．また，掘削に合わせ順次下受け杭・下受け控杭を水平材・斜材にて結合し，変形防止対策を行う．

6　銀座線計測管理

計測管理は13号線渋谷駅工事に伴い，銀座線の運行に支障がないよう高架橋各橋脚に計測機器を設置する．

機器は変状発生の事前予知と万一変化が発生した場合，直ちに対策が講じられるよう銀座線高架橋・架道橋に水盛式沈下計・傾斜計を設置し，その挙動について常時監視を行い，13号線と交差する銀座線構造物の保全と列車の安全運行を確保する．計測データはNTT回線により計測室管理装置で管理を行う．

計測機器のトラブルや異常に対応するため，また構造物縦横断方向の変状確認のため，月1回の水準測量・水平測量も合わせて行い平成15年9月より13号線開業まで計測管理を行うことにしている．

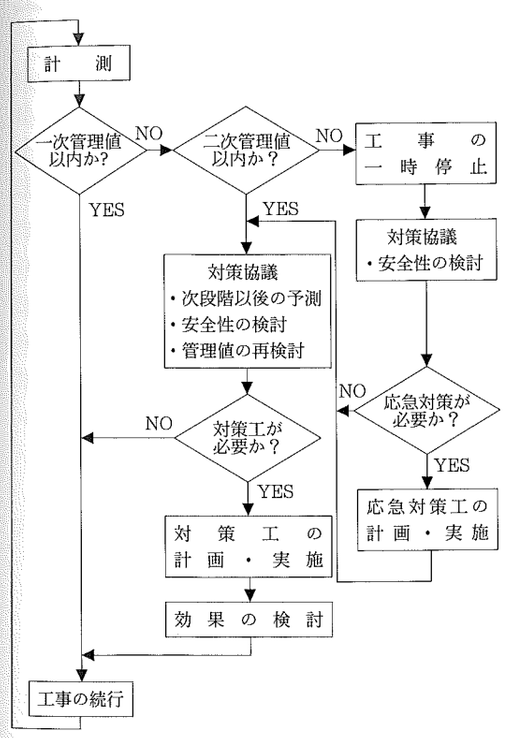


図-9　計測管理フロー図

表-2　計測管理基準値表

管理項目＼管理レベル	一次管理値	二次管理値	管理基準値(許容値)
軌道鉛直変位	±2.0㎜	±3.5㎜	±5.0㎜

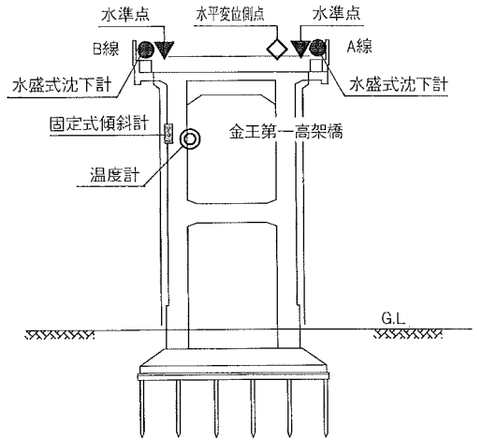


図-10　計測機器設置断面図

表-3　計測・測量項目表

計測対象	計測項目	使用機械	備　考
銀座線高架橋架道橋	沈下計測	水盛式沈下計	自動計測
	傾斜計測(X・Y2方向計測)	傾斜計	自動計測
	水準測量	自動レベル	1級水準測量
	水平変位測量	トランシット	1級基準点測量

7 おわりに

本稿では，銀座線高架橋の一時的な受け替え工事を紹介した．

平成16年11月現在，銀座線受け替え工事は下受け支持杭施工，路面覆工架設を終了し，添梁コンクリートを施工中である．今後は，仮受けとなる添梁築造後，一次掘削を行って上床版を先行築造する．さらに床付けまで掘削し13号線構築を完成させた後，銀座線の本受け施工を行う計画である．

これからも銀座線列車運行に支障しないよう，日常の計測管理により安全に工事を進めて行くが，機会があれば計測管理も含めて工事報告を紹介したい．

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 289頁　価格4,893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○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

施工

環境に配慮したシールド工事の施工と市民ＰＲ

—京都市下水道　有栖川中央幹線—

京都市上下水道局下水道部計画課長　大楽尚史
京都市上下水道局下水道部管路設計課長　上田昌三
京都市上下水道局下水道部管路建設課長　植松治

1 はじめに

京都市の西部に位置する有栖川流域においては，昭和40年代以降急激な都市化が進行し，不浸透面積の増大に伴う雨水流出量の増加により，**写真-1**に示すように浸水被害が多発している．しかし，この流域の雨水を流集する一級河川有栖川は，密集市街地を流下しているため，計画されている改修事業が長期化している．こうしたことから，本流域では，浸水被害の早期解消を図るため，河川事業と下水道事業が役割分担を行う総合的な雨水整備計画を策定し，即効性のある下水道事業を重点的に進めることにより安全・安心のまちづくりに努めている．

下水道事業については，10年に一度の大雨に対応できるよう，貯留型雨水幹線，雨水調整池，ポンプ場などの整備により降雨ピーク時の雨水を一時貯留し，降雨終了後河川へ放流する計画である．この計画のうち，雨水調整池の施工を完了し，３工区の貯留型雨水幹線を施工中である．

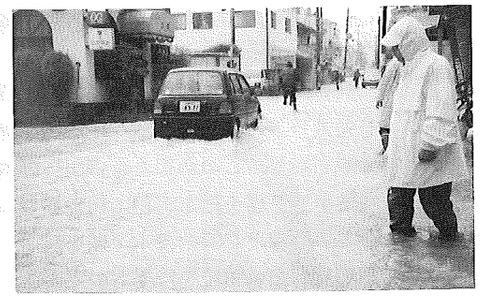


写真-1　有栖川流域の浸水状況

ここで報告する有栖川中央幹線は，この計画の根幹となる貯留型雨水幹線でシールド工法による施工を行っている．また，施工場所は，市街地の狭小な道路下であるが，付近は名勝「嵐山」に指



写真-2　シールド到達付近の広隆寺

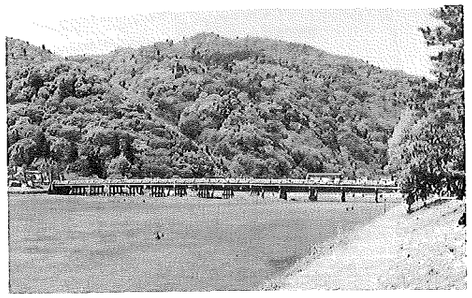


写真-3　シールド発進地点付近の桂川にかかる渡月橋

定されており，**写真-2**，3に示すように文化財や観光スポットが散在している．有栖川中央幹線の計画・設計・施工に際しては，周辺環境に十分配慮したものとした．さらに，安全・安心のまちづくりの事業に対し市民理解が得られるよう，市民PRにも力を入れている．

本稿では，有栖川流域の総合的な雨水計画と雨水貯留幹線計画，厳しい施工条件下における環境に配慮した有栖川中央幹線の設計と施工および工事の市民PRについて報告する．

2　有栖川中央幹線の計画

2-1　有栖川流域の総合的な雨水整備計画

本流域の雨水計画については，短期間に事業効果を発揮するとともに，長期的な視野にたった整備を行うため，総合的な雨水整備計画を策定した．**図-1**に示すように，下水道事業による対策，河川事業による対策および雨水の貯留・浸透による流域対策により役割分担を行うこととした．短期的には，下水道事業による10年に一度の大雨に対応する雨水貯留幹線や雨水調整池の整備で浸水地区の対策を行い，中長期的には，河川事業による河道改修などにより，50年に一度の大雨に対応することとし，雨水の貯留・浸透による流域対策では，継続的な取り組みを行い，浸水安全度の向上を行うこととしている．

2-2　下水道事業における対策計画

下水道事業としては，河川改修の完成に相当期間を要する区域について，河川改修に先行して，ピーク時の雨水を貯留幹線や調整池に一時貯留し，降雨終了後に河川などに放流することを基本とし，

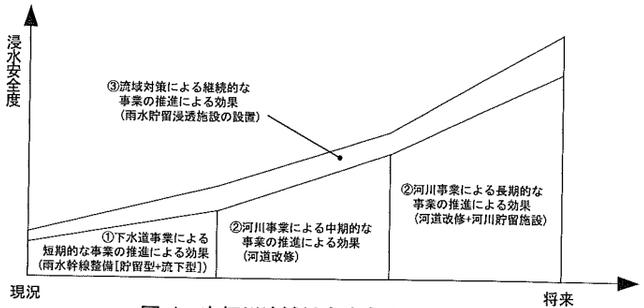


図-1　有栖川流域総合治水計画のイメージ図

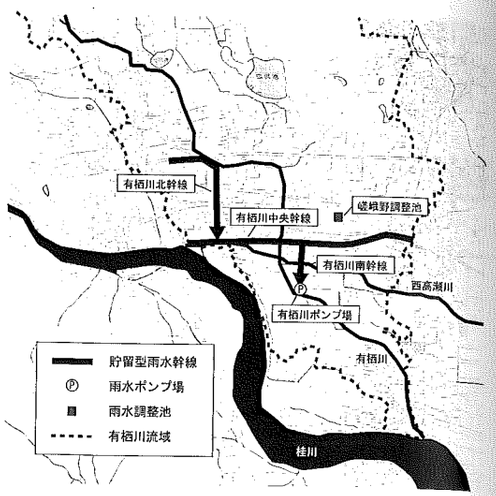


図-2　下水道事業における浸水対策事業計画図

①雨水幹線の整備事業(貯留管を含む雨水幹線の新設，在来水路の部分改修)，②雨水ポンプ場(貯留幹線の排水ポンプ場)および雨水調整池(嵯峨野調整池)の整備事業を含んでいる．下水道事業における浸水対策事業の概要を**図-2**に示す．

なお，事業実施にあたっては，3つの貯留幹線と調整池を同時期に施工し，早期に効果を発揮し浸水被害を解消できるよう配慮した．

2-3　雨水貯留幹線の計画

短期的な対策としてピーク時の雨水を一時貯留することとしたが，浸水の発生箇所が流域内に散在しており，浸水発生箇所から貯留施設へ導水する必要があること，必要な貯留施設を設置する用地の確保が困難であることなどにより，浸水区域を縦断する貯留幹線を布設し，河川へ排水を行うポンプ場まで導水することとした．必要な貯留量は，貯留幹線分が約39,000m³，調整池分が約3,100m³である．

具体的には，流域を東西に縦断する三条通り下に根幹となる有栖川中央幹線を布設し，この幹線と有栖川に排水するポンプ場を結ぶ有栖川南幹線およびこの幹線と北部の浸水区域を結ぶ有栖川北幹線の布設を行うものである．有栖川中央幹線を含む3つの貯留幹線

表-1　雨水貯留幹線の概要

幹線名	形状・寸法	延長	貯留量
有栖川北幹線	円形管 内径2,800㎜	約1,000m	約39,000m³
有栖川中央幹線	円形管 内径4,500㎜	約2,000m	
有栖川南幹線	円形管 内径2,200㎜	約　400m	
計		約3,400m	

の諸元を**表-1**に示す．

3　有栖川中央幹線の設計と施工

3-1　設計の概要

3-1-1　工事概要

本工事は，京都市右京区嵯峨中山町地内から太秦桂木町(右京区役所前，国宝第1号の阿弥陀如来像を有する広隆寺手前付近)までの府道二条停車場嵐山線(三条通り)道路下に仕上がり内径4,500㎜，延長1,990mの貯留式の下水管を築造するものである．本工事の計画路線を**図-3**に示す．この道路は，**写真-4**に示すように，住居や店舗が密集した地域の交通量が多い片側1車線の幹線道路であるため，生活環境や交通事情を配慮し，施工可能な工法としてシールド工法を採用した．当該路線には，道路に面した利用可能な空地がほとんどなく工事基地の選定に苦慮したが，計画路線起点(西端)付近の公園建設予定地をシールド発進基地とし，マンホールなどの構造物も用地内に占用することとした．また，約2kmの施工延長を連続施工することにより，路上作業を可能な限り行わないこととした．シールド工事の概要を**表-2**に示す．



写真-4　シールド路線上の三条通りの状況

表-2　シールド工事の概要

仕上がり内径	φ4,500㎜
施工延長	1,990m
シールド	φ5,040㎜泥土圧式
セグメント	RC，鋼製，鋼製中詰めコンクリート
セグメント仕様	外径　φ4,900㎜ 厚さ　200㎜ 幅　300～1,200㎜
縦断勾配	1.0‰
曲線半径	最小R＝20m

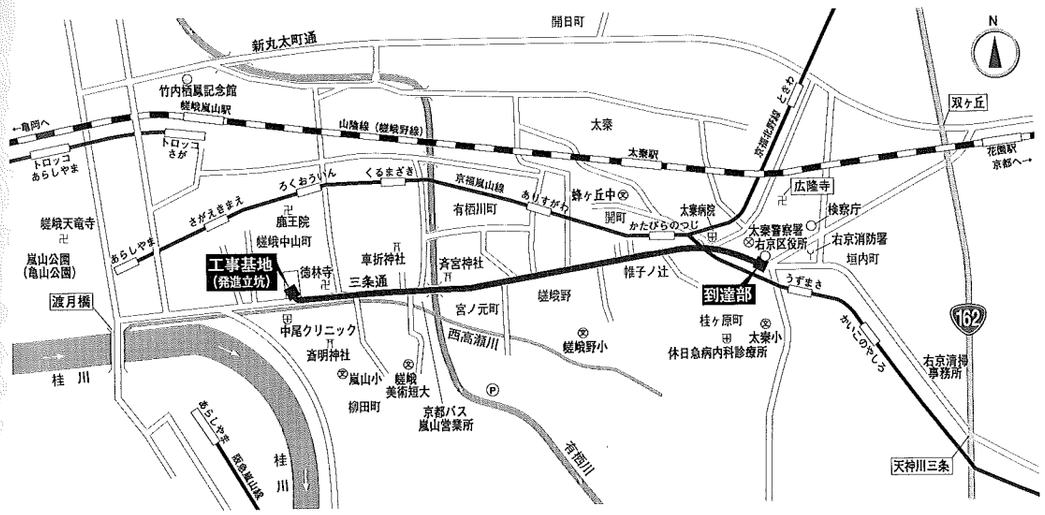


図-3　有栖川中央幹線の計画路線図

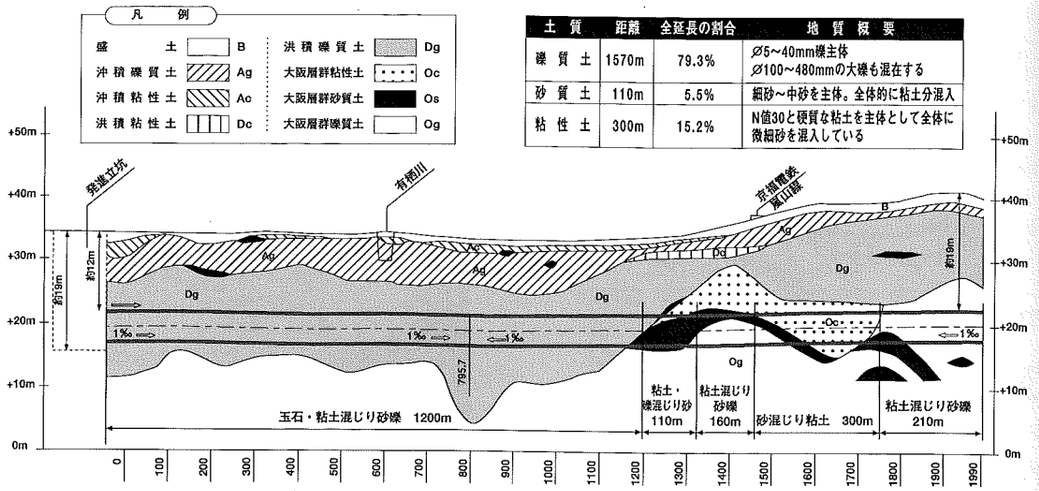


図-4 有栖川中央幹線の縦断線形と土質状況

平面線形は，発進直後に曲線半径R＝20mの急曲線部を有し，その後は，道路線形に合わせた掘進を行い，曲線半径R＝60m以上の曲線施工区間を有している．約５mのシールド外径に比して道路幅員が狭小であるため，全線の道路と民地との境界明示図を参考に，構造物の路線が民地に入らないよう配慮した．土かぶりは発進部分がもっとも小さく約12m，到達部分直前がもっとも大きく約19mである．

なお，発進立坑は，形状が8.1×12.2m，深さが19.1mでありSMW工法で土留め工の施工を行った．**図-4**に計画路線の縦断線形と土質状況を示す．

3-1-2 長距離施工と二次覆工省略型セグメントの採用

設計にあたっては，コスト縮減を図るため，約２kmの連続施工が可能なシールドを用い，雨水を貯留する幹線であるため二次覆工省略型のセグメントを採用した．その結果，二次覆工の省略およびシールド外径の縮小により，残土量の縮減まで含めてコスト縮減を図るとともに工期を大幅に短縮することができた．

発注時のシールドの仕様については，土質条件および施工条件を明示し，その条件で施工可能なマシンを使用することとした．また，セグメントについても，二次覆工省略形であることを設計条件とし，そのことを明示した．いずれも，請負者が選定するにあたって自由度を持てるように配慮した．

3-1-3 急曲線防護

発進部のシールドの線形については，発進立坑を用地内に設置し，幅6.4mの前面道路に向けて発進するため，発進直後にR＝20mの曲線施工を行う必要がある．余掘り部分が大きくなるため補助工法が必要であるが，地上からの施工が困難であるため，「余掘り部充填＋ミニパッカー工法」を採用し地上作業をなくした．この工法は，従来，裏込め注入まで空隙となっていた余掘り部に，シールド内から可塑性の充填材を掘進と同時に注入することによって地山の安定を図るもので，ミニパッカーの使用によりシールドの推進力を確実に地山に伝達し急曲線部の反力を確保することができる．

3-2 環境に配慮した有栖川中央幹線の施工計画

施工計画の策定にあたっては，近隣の居住環境に配慮するとともに，観光客の通行も多い道路交通への影響を配慮することを基本とした．発進基地からの騒音・振動を低減するとともに，施工時間帯や車両の出入に配慮した．

3-2-1 発進基地周辺の騒音・振動対策

発進基地は，狭小なうえにこの地域の幹線道路

である三条通りに面しており，西および北面に集合住宅，東面に寺院が隣接し，また，南面には道路を挟んで病院がある．そのため，**写真-5**に示すように，工事基地を防音ハウスで覆い，シールド工事施工時の騒音レベルを付近の環境基準まで下げる計画とした．とくに，西面に隣接するマンションは，防音ハウスまでの離隔が最小で３mしかなく，細心の注意を払い騒音・振動の低減対策を行った．具体的には，マンション側の防音ハウスの内面に防音材を追加貼付けし防音効果の増強を図った．

また，立坑設置に先立つSMW工法による土留め工施工においては，対象地盤に300～600㎜大の巨礫が存在するため，ロックオーガによる先行削孔を行うとともに，各プラント設備をそれぞれ防音ハウスや防音シートで覆い騒音・振動の低減を図った．**写真-6**に防音ハウス内でのシールドカッタ面板の吊り下ろし状況を示す．



写真-5 工事基地に設置した防音ハウスとイメージ図

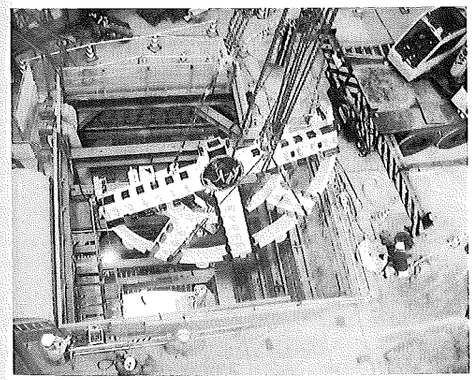


写真-6 防音ハウス内でのカッタ面板の吊り下ろし

3-2-2 施工時間や周辺環境への配慮

工事基地前面道路は，近隣小学校・中学校の通学路に指定されているため，工事基地への車両の出入りについては朝の通学時間を避けて８：45からとし，夕方の車両の出入りについては18：00までとして夜間には行わないこととした．また，シールド工事中の作業時間は，7：45～16：45，18：00～2：00の２交代制に設定，さらに，地上でのクレーン作業を１：00までに限定して深夜の騒音・振動の防止に努めた．

その他，工事用全車両のタイヤを出口で洗浄して粉塵の防止や泥の道路への持ち出しを防ぎ，また工事基地付近で工事車両が待機することのないよう搬入時間の調整に留意した．

3-3 施工結果

3-3-1 シールドとセグメント

発注仕様にもとづき，シールドとセグメントの製作を行った．シールドは，外径ϕ5,040㎜，機長7,960㎜で，急曲線施工に対応するため，左右13.5°に屈曲が可能な中折れ装置を装着している．また，硬質土を長距離施工できるよう，カッタビットに超硬チップを採用した．

図-5に本工事で用いたシールドの概要図を示す．

また，二次覆工省略タイプのセグメントについては，**図-6**に示すように，軸方向にボルトボックスを持たないKLセグメント(Key Lock Type Segment)を採用し，セグメント組み立て時間の短縮による掘進サイクルの短縮と内面平滑性の確保を図った．

3-3-2 施工の効率的化

掘進管理には，統合型自動掘進システム(HI-SDACS)を採用し，**図-7**に示すように，地上の中央制御室から遠隔操作にて掘進を管理した．このシステムは，シールド掘進管理において，シールドの方向，姿勢制御・掘進時の切羽管理・裏込め注入，加泥注入の管理とプラント制御・計測管理・通信制御を中央施工管理盤のハードウエアと管理システムのソフトウエアで構成されている上位コンピューターを有する中央制御盤による掘進システムである．このシステムにより，集中管理によるデータの

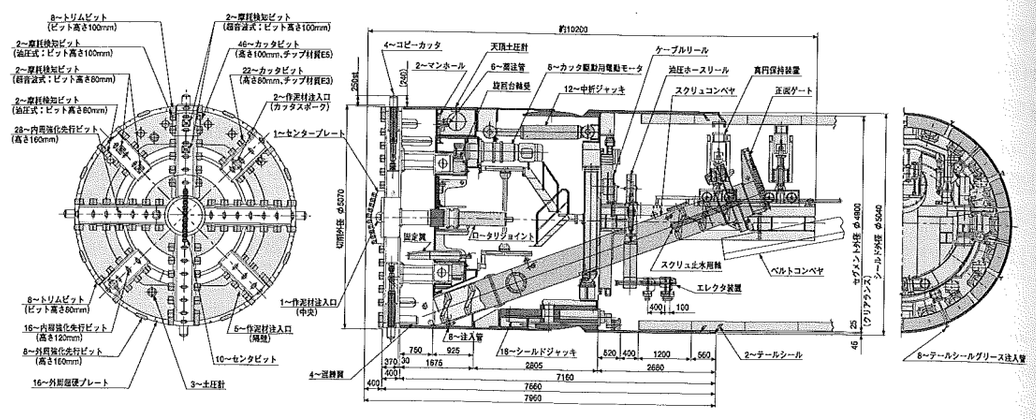


図-5　本工事に用いたシールドの概要

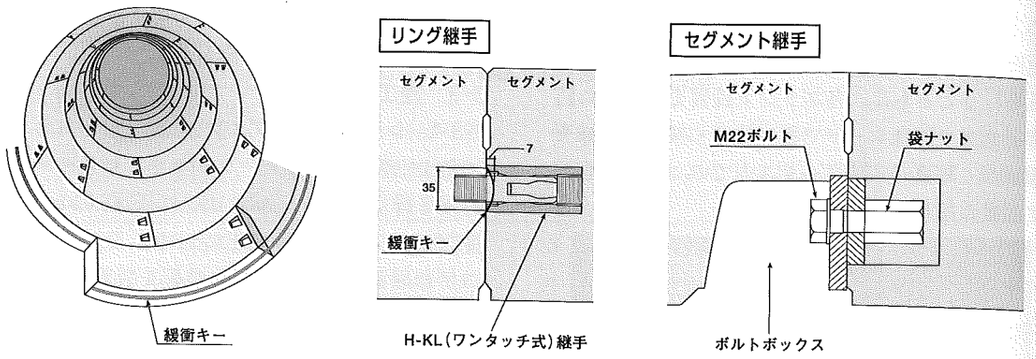


図-6　本工事に用いたKLセグメント

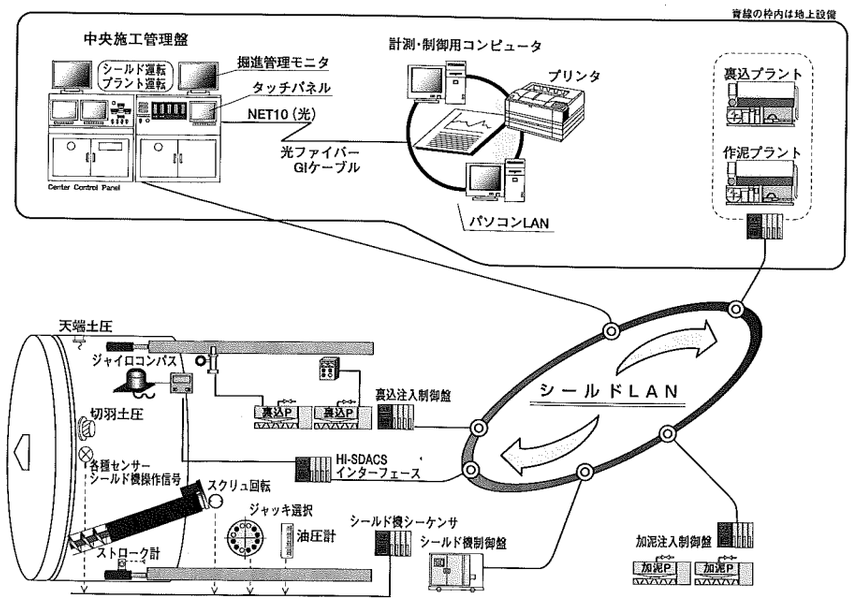


図-7　総合型自動掘進システムの概要

一元管理と省力化および機器相互のインターロックによる安全性の向上を図ることができた．

また，工程の短縮を図るため次のような施工方法を採用した．①掘進と並行した内面仕上げ：作業台車を2台坑内に設置し，掘進作業と並行してボルトボックスの穴埋め作業およびセグメント目地のシール作業を実施．②ベッセル仕様のダンプを使用：掘削残土はベッセル仕様のダンプにて処分地へ運搬することで，場内での改良工程を省略，また，道路への荷こぼれを防止．

3-3-3　掘進状況

土質条件は，初期掘進から約1,200mが硬質な洪積礫質土，その後，大阪層群の硬質な粘土層を主体とした土質が約600m，到達までの約200mが大阪層群の硬質な礫質土である．いずれも硬質な土質条件であるが，シールド掘進にとってもっとも厄介な土質はN値が30にも達することがある硬質粘土層である．この土質区間では，当初，摩擦抵抗の上昇による掘進に対する負荷が増大し掘進速度が10㎜/minまで減少したが，加泥材の性状を工夫し，合わせてコピーカッタによる余掘りを行うことなどにより，掘進速度が30㎜/minまで回復し無事掘進を行うことができた．

一方，礫質土では，土質調査および発進立坑掘削状況から玉石・巨礫の出現が予測されたが，掘進状況を見るとこれらが原因の閉塞などの不具合も発生せず，また，排土には破砕された岩塊がみられたため，切羽での切削が良好に行われたものと推定され，40㎜/min程度の掘進速度が得られた．各土質ごとの掘進実績データを**表-3**に示す．

表-3　土質条件と掘進実績データ

項　目	礫質土	硬質粘土	礫質土
土質性状	φ5～20㎜の礫主体風化礫混入	硬質な粘土	φ2～10㎜の礫主体玉石・巨礫混入
N　値	25～60以上	15～40	29～50
掘進速度（㎜/min）	30～50	10～30	30～50
推　力(kN)	6,000～15,000	17,000～20,000	6,000～10,000
カッタトルク (kN・m)	1,200～1,600	1,500～2,000	1,500～1,800



写真-7　一次覆工の仕上がり状況(ボルトボックス充填後)

自動掘進管理システムの効果もあり，初期掘進から到達までの全作業時間に占めるトラブルの対応に要した時間が全体の2.4%に留まり，工事全体を通じて，順調な施工が行われた．

3-3-4　軌道・河川の横断

施工区間内に京福電鉄軌道横断があったが，軌道横断部分については鉄道事業者との協議により，昼夜施工による早期通過と適切な裏込め注入の管理に努めた結果，地上監視データでは沈下は見られなかった．また，河川(有栖川)下の通過も行ったが同様に管理，監視を行い問題なく通過することができた．

3-3-5　出来形

本工事の掘進線形については，鉛直高低量および水平蛇行量の偏差規格値を50㎜以内に設定し，掘進全線においてこの規格値を満足することができた．また，一次覆工(セグメント組み立て)では，①真円度；内空4,500㎜±22㎜，②目違い(セグメント間段差)；5㎜以下，③目開き(セグメントリング間隙間)；2㎜以下の3項目について規格値を設定し管理を行ったが，全路線においてこの規格値を満たす結果が得られた．**写真-7**にボルトボックス充填後の一次覆工の仕上がり状況を示す．

また，全路線地下水位以下の施工であったが，顕著な漏水は見られなかった．

4　工事の市民PR

4-1　住民と協働した工事の施工

安全・安心のまちづくりのための雨水幹線工事

ではあるが，とくに工事基地周辺の住民には迷惑をかけることになり，必ずしも十分な理解が得られるわけではない．従来から，工事に先立って住民への説明会を開催し，また，工事現場にPR看板を設置するなどにより，工事内容のPRと工事への理解と協力をお願いしてきた．本工事においても，マンションに隣接して工事基地を設けるという厳しい施工条件下であり，工事に先立って，地元自治会役員への説明，沿線全住民を対象とした説明会，工事基地の地元町内会の住民を対象とした説明会，基地に隣接するマンションの住民を対象とした説明会を何度か行い，工事着手にこぎつけた．また，工事基地に設置した防音ハウスには，2×4mの大きさの工事概要と完成イメージ図による工事PR看板(**図-8**参照)を設置するとともに，写真-5のように，同ハウスに嵐山をイメージした大きな絵を描いて環境に調和するよう配慮した．

一方，下水道は一般に地下に埋設される施設で，工事中は市民に迷惑をかけるが完成後は人の目に付くことが少ない．一方，工事の手法も，市民生活への影響を配慮することにより逆に市民の目から遠ざかっていく．京都市では，事業実施にあたり市民参加を推進することを基本とし，平成15年度には「市民参加推進条例」を制定している．そこで，従来の工事の理解と協力を求めるための工事説明だけでなく，事業のPRに積極的に取り組み，地域住民と協働した工事施工を目指すこととした．

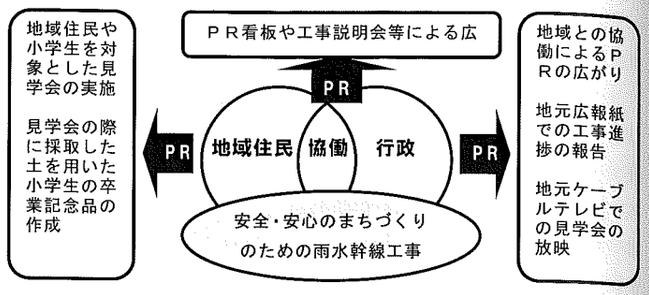


図-9　地域住民と協働した事業実施のイメージ図

地域住民への情報発信の手法としては，工事説明会，工事ビラや工事基地に設置したPR看板などの従来の手法に加え，地元自治会の広報紙での工事の進捗状況の報告，地元住民や地元小学校の児童を対象とした工事見学会，また，見学会の内容の地元ケーブルテレビでの放映などを行った．工事の目的と内容を知っていただく，見ていただくことからその内容をメディアを利用してさらに広く伝えるように配慮した．これらの情報発信により，地域の安全・安心のまちづくりのための雨水幹線工事を，われわれ行政と地域住民が協働してPRしていく試みができたものと考えている．**図-9**に地域住民と協働した事業実施のイメージ図を示す．

4-2　見学会の実施

工事現場を地域の皆様方に見ていただく見学会を，情報発信の中でもっとも重要なものとして位置づけた．そこで，住民を対象とした見学会を，シールド工事が本掘進に入り約1km掘進した平成15年12月6日に行った(**写真-8**参照)．39名の住民が参加し，「こんな立派な施設が三条通りの地下に建設されているのか」，「長い間浸水で苦しんできたがもう大丈夫だ」などのご意見をいただいた．

この見学会の中で，地元自治会役員の方の「地下の下水道施設は工事が終わるともう見ることができない．次の次代を担う子どもたちに見せてあげたいのだが．」という提案があり，小学生の見学会を企画した．工事基地を校

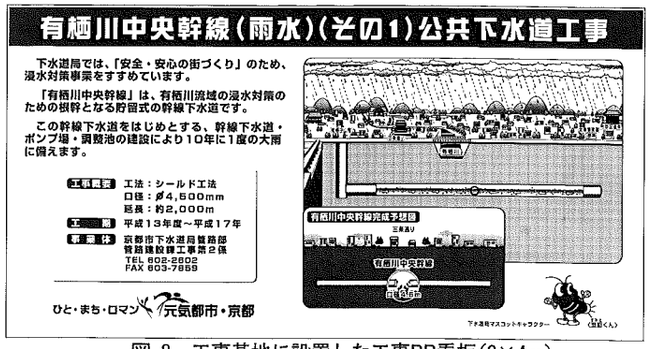


図-8　工事基地に設置した工事PR看板(2×4m)

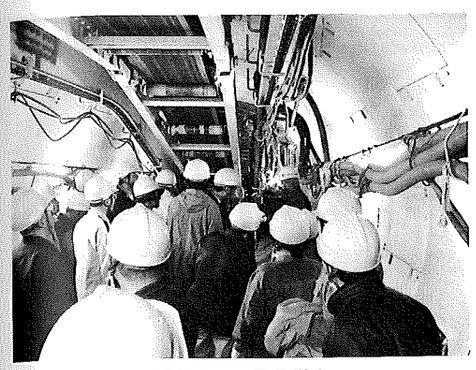


写真-8　住民見学会

区に持つ嵐山小学校に申し入れ，6年生70人が見学することになった．子供たちが工事現場に入るということで，安全第1を旨として準備し無事実施できた．見学の途中で，ずりトロに積まれた掘削土を見た引率の先生から，「土をいただきたい」との申し出があった．持ち帰った土を陶土に混ぜ，同じく付近にある嵯峨芸術大学の学生の指導を受け，卒業記念品の植木鉢を作られたとのことである．卒業記念品となった土の量はほんの少しのものであるが，地下の雨水幹線が卒業記念品とともに子どもたちの記憶に残ることにより，何よりのPRになったものと考える．

また，平成16年8月には，同じく嵐山小学校の児童を対象とした夏休み親子見学会を実施した．工事の施工中という限定された期間ではあるが，継続的な取り組みとして，次世代を担う子どもたちを含めた地域住民へのPRを行っている．

5　おわりに

社会基盤整備のための事業は，住みよい街づくりのために必要なものであるが，工事中は周辺住民に迷惑をかけることになり，また，下水道のような地下施設は，建設完了後，機能を発揮してもその効果が見えにくい場合が多い．そのため，その計画・設計にあたっては，周辺環境を十分考慮する必要があり，また，施工にあたっては，事業の目的と効果，工事の内容などを市民にPRする必要がある．

本報告は，総合的な治水計画の一環としての下水道事業による雨水貯留幹線工事における，周辺環境に配慮した計画・設計・施工の事例を紹介したものである．国際観光都市京都の観光スポットである名勝嵐山へのアクセス道路下への雨水貯留幹線の布設工事において，地上作業を極力排した施工を行い，効果が見られた．また，市民へのPRを積極的に行う取り組みを行い，スムースな工事施工を確保するとともに，従来にも増して事業への理解が得られた．

これからの公共事業は，周辺環境を十分配慮した工事計画の策定が必要であり，コスト面を含めてその実現を図るには，新技術の適用や適用しやすい環境整備が必要である．また，発注者，施工者，住民が協働して取り組んでいくことが重要であり，本報告での取組事例が今後の事業実施の一つの方向性を示していると考える．

〔土木工学社図書案内〕

岩盤の計測と解析　　工博　鈴木　光著

A5判　箱入　260ページ　価格4,410円　(〒380円)

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

このような理由から，建設工事では，従来にも増して計測や解析が重要となりつつある．

本書は，応用範囲も広く重要と思われる岩盤の計測と解析法の紹介と解説を試みた実務書である．

九州道４車線化完成

九州自動車道人吉IC～えびのIC間22.3kmの４車線化工事(8.4km)が12月11日に完成，供用を開始した．

加久藤トンネルを含む今回の４車線化完成により，九州自動車道全線346kmが４車線化(一部６車線)されることになり，交通集中による渋滞が解消され，九州北部と九州南部地域のアクセスが向上，円滑で快適な走行が可能になると期待される．

美濃～瓢ケ岳間４車線化完成

日本道路公団中部支社が建設を進めている東海北陸自動車道美濃IC～瓢ケ岳SA間18kmの４車線化工事が，12月４日完成した．

同区間は，ほとんどが２車線の対面通行で，トンネルが連続するため，後楽シーズンには常に渋滞していた．また，トンネル内での事故も多く，早期４車線化が望まれていた．

今回の完成で，同自動車道は一宮JCT～瓢ケ岳SA間51kmが４車線となり，トンネル連続区間の自然渋滞がほぼ解消される．

また，瓢ケ岳SA～白鳥IC間でも４車線化事業が進んでおり，このうち，ぎふ大和IC～白鳥IC間の一部(2.1km)も12月４日に完成した．

女性の坑内労働緩和へ

厚生労働省は，労働基準法で禁止されている女性の坑内労働について，規制緩和に向けた「女性の坑内労働に関わる専門家会合」の初会合を12月７日に開き，検討を開始した．05年夏ごろに検討成果をまとめる予定．

内閣府の規制改革・民間解放推進室には，全国規模の規制改革要望として，東京都から「女性の坑内労働の禁止に係わる労働基準法の見直し」が提案されている．都は，トンネル工事の監督業務に女性が従事できるよう要望．女性の技術系職員がシールド工事やトンネル工事の監督業務に就けるよう提案し，雇用機会の均等と職域の拡大を図るよう求めている．

貫通の瞬間を公開

日本道路公団関西支社が，04年６月からTBM導坑先進拡幅掘削工法により，掘削を進めていた第２名神高速道路下り線の甲南トンネル(2,531m)が12月４日貫通した．

同日夕刻，貫通現場に地元住民ら500人を集め，TBMによる貫通の瞬間が一般公開された．第２名神の草津JCT～三重県境間42kmには鈴鹿トンネル，栗東トンネルおよび甲南トンネルの３本のトンネルが計画されているが，今回の甲南トンネル下り線TBM導坑の貫通により，すべてのトンネルに風穴が開いたことになる．今後，東西両坑から本掘削を開始，06年春の掘削完了を目指す．貫通の瞬間を公開したのは関西ではじめて．

放置自転車解消へ提案

駅前放置自転車の解消策として，東京都内で地下駐輪場の整備を計画する自治体が相次いでいる．

このような自治体の施策に連動し，最近はゼネコンの間で新たな地下駐輪場を提案する動きがでてきた．ハザマが事務局を務める機械式地下駐輪場研究会は，地下駐輪場の建設とあわせ，地上部に施設を一体整備する都市機能更新型の「ジオサイクル構想」を提唱し，需要の喚起に務めている．

寺畑谷第１トンネル完成

九州地方整備局が建設を進めている国道10号延岡道路工事は，１工区(12.8km)，２工区(7.8km)の総延長20.6kmの宮崎県北地方拠点の骨格をなす自動車専用道路で，05年度に寺畑谷第１トンネルを含む２工区の供用が予定されている．

寺畑谷第１トンネルは，延長676m，乾式低粉塵吹付け工法，爆薬の遠隔装填システム，画像解析による山岳トンネル総合管理システムなど最新の技術を導入，１か月工期を短縮して竣工させた．

新潟県中越地震の復旧へ提言

土木学会は，新潟県中越地震の被災地に派遣した第２次災害調査団の調査結果を踏まえ，復旧に向けた施策や今後の防災のあり方を緊急提言にまとめた．

新幹線の安全対策では，高速で走行する列車の最大のリスクは，「橋梁や盛土などの構造物の崩壊・破壊による軌道面上の大きな変位やトンネルの変状によって生じる覆工などの大きな支障物の落下や軌道面上の変位」と指摘．耐震安全性を高めるには，阪神淡路大震災から進めてきた高架橋の耐震補強を早期に完了させるとともに，盛土構造とトンネルの耐震向上策を進めるべきだとした．

日本坂トンネル補修完了

79(昭和54)年７月11日死者７人，焼失車両173台という大惨事に見舞われた東名高速道路日本坂トンネルの火災事故は，事故後，吹付けコンクリートで復旧され，これまで供用されてきたが，経年変化でコンクリートの表面劣化が進行，補修工事が実施されてきたがこのほど完了．12月19日上り線右ルートの規制が解除された．

同補修工事では，覆工表面に光硬化型シートを接着する新工法が採用．従来工法に比べて２か月程度の工期短縮された．

研　究

光ファイバによるトンネル覆工の変状監視法

(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部トンネル研究室長　小　島　芳　之
(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部トンネル研究員　栗　林　健　一
京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻教授　朝　倉　俊　弘
三菱重工業(株)横浜製作所鉄鋼プラント部主席チーム統括　伊　藤　裕　昌

1　はじめに

トンネルの変状の進行性や近接施工の影響に関する監視計測には，一般に，内空変位の計測やひずみ計などによるひび割れ幅の計測などが行われている．しかし，これらの計測法を用いて長大区間を長期間にわたり監視するためには，煩雑で多大な労力を要している．

このような状況に鑑み，近年，光ファイバを用いた構造物の変状監視法が注目され，開発・実用化されつつある[1),2)]．この光ファイバを用いた変状監視法は，連続的なひずみの変化を遠隔地より監視することが可能なものであり，トンネルや斜面のような長大な構造物の変状監視に適しているものと考えられる．

そこで，筆者らは，光ファイバの中でも延長約10km以上にわたって連続してひずみ計測が可能なB-OTDR(Brillouin Optical Time Domain Reflectometer)法[3)]に着目し，トンネルの変状監視への適用性を検証するため，以下の項目について実施してきた．

① 覆工模型載荷実験[4),5)]による基本性能の検証
② 現場施工試験による施工性・耐久性の検証
③ 計測管理システムの構築

本稿ではこれらの研究成果について紹介する．

2　光ファイバセンサの概要

光ファイバによる計測法には，以下のような様々なものがある．

- 光ファイバのセンサ部からのブラッグ反射波の波長の変化や検出時間を捉え，ひずみの大きさを推定する多点型計測法(FBG；Fiber Bragg Grating)．
- ひずみを受けている部分から発生するブリリアン後方散乱光を検出し，反射光の周波数と伝播時間からひずみの大きさ，位置を推定する分布型計測法(B-OTDR)．
- センサの屈曲部で生じる赤外線の漏洩現象を利用し，赤外線の減衰率から変位を計測する広域型計測法(OSMOS；Optical Strand Monitoring System)．

本研究では，これらのうち，延長約10km以上にわたってひずみ計測とその位置の推定が可能なB-OTDRに着目した．

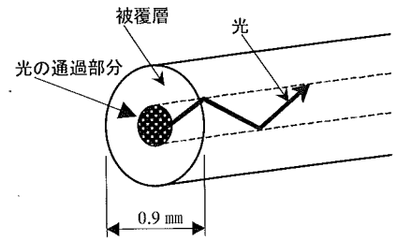


図-1　光ファイバセンサ

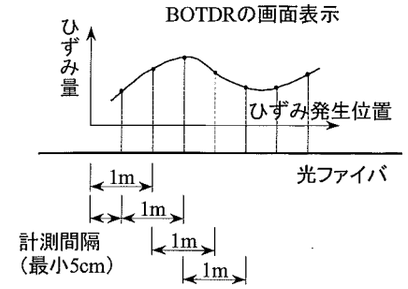


図-2　得られるデータのイメージ

本研究で用いた光ファイバは，図-1に示すように，外径0.9㎜で，コア径125μmの通信用素線(シングルモード)をナイロンにより被覆したものである．さらに計測器はゲージレングス(以下，GLと示す)1mのものを使用し，その間の平均ひずみを値とした．これは，図-2に示すように，1mのひずみゲージを延長方向に重複させて連続的に並べた状態と考えることができる．

3　覆工模型載荷実験

3-1　実験概要

3-1-1　実験装置および供試体

図-3に示すように，トンネル覆工を模擬した無筋の供試体(複線断面の1/3縮尺を想定)を製作し，覆工の内外面に，光ファイバを3種類の方式で敷設し，アーチ天端部に鉛直方向の荷重を加える載荷実験を行った．

載荷は，載荷板の押し込み量δにもとづく変位制御方式とし，載荷板を手動油圧ジャッキで1ステップあたり0.05㎜強制的に押し込むことにより，

表-1　光ファイバセンサの敷設方式

	内　　容
①定点接着方式	初期張力を導入した光ファイバを，一定間隔ごとに接着する方式(GL=1.0m) 光ファイバ(保護管)　固定金具　1.1m　光ファイバ(保護管)　固定金具
②全面接着方式	光ファイバの全面を直接供試体に接着する方式(GL=1.0m) 光ファイバ　接着材　光ファイバ(保護管)　接着材
③ループ方式	光ファイバを2回折り返して見かけ上のGLを短くする方式(GL=0.33m) 光ファイバ　固定治具　0.34m　固定治具　光ファイバ

覆工に荷重を与えた．なお，地盤反力は実験装置の都合により導入していない．

実験は，2体の供試体(A供試体・B供試体)について行った．A供試体では光ファイバの敷設方法を変えて実験を行い，B供試体では光ファイバの敷設方法に加え敷設位置を変えて実験を行った．また，光ファイバで測定するひずみと比較するため，ひずみゲージ，パイ型変位計(ループ式光ファイバとの比較用：GL=350～500㎜)，パイ型変位計(クラック開口幅の計測用)を設置した．

3-1-2　光ファイバセンサの敷設

実際に用いた光ファイバセンサの敷設方式は，表-1に示すように，①定点接着方式，②全面接着方式，③ループ方式の3種類とした．

3-2　実験結果

3-2-1　トンネル供試体の変形性状

図-4に，2供試体の荷重と法線方向の覆工内面変位量(u)の関係を示す．初期ひび割れの発生は図中の点①で，A供試体では30.4kN，B供試体では57.2kNであった．最大荷重は，A供試体では67.3kN(u=2.38㎜)，B供試体では77.0kN(u=3.41㎜)であった．

ひび割れの発生順序は，天端内側，

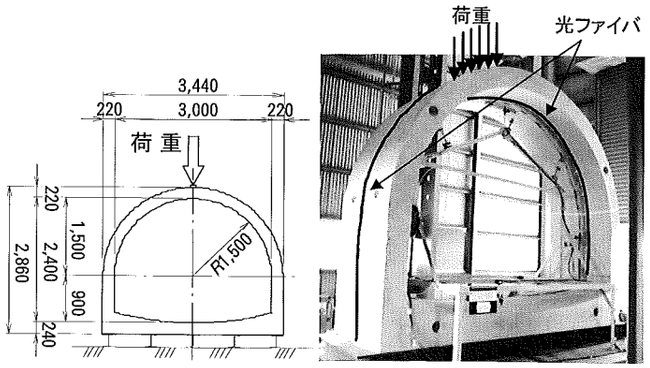


図-3　実験状況

インバート内側，スプリングライン外側，肩部外側であった．また，すべてのひび割れは，曲げ引張ひび割れである．ひび割れが入るごとに荷重変位曲線の傾きが緩くなり(覆工全体の剛性が低下)，その傾きは供試体A，Bともほぼ同じである．

3-2-2　光ファイバひずみ計測結果

図-5に，A供試体(制御変位：6.0㎜)における定点接着方式，全面接着方式，ループ方式による

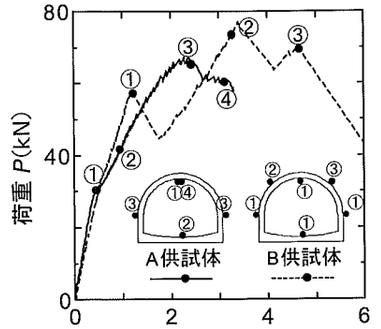


図-4　荷重と載荷点変位の関係

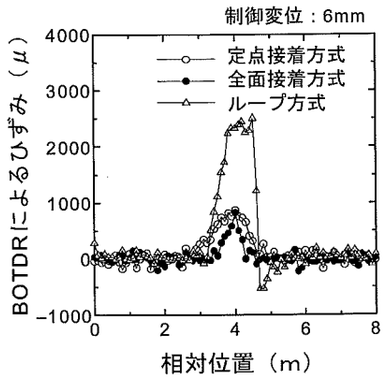


図-5　敷設方法ごとのひずみ分布

ひずみ分布を示す．光ファイバを2回折り返して見かけ上のGLを短くしている(GL=0.33m)ループ式によるひずみ値は，定点接着方式や全面接着方式に比較すると，約3倍の値を示し，見かけ上のGLに反比例している．このことから，見かけ上のGLを短縮することにより計測感度を向上できることがわかる．

図-6は，B供試体における全面接着方式によるひび割れ発生前後の計測結果を示したものである．この図より，荷重変位の増加に伴い4か所(①～④)にひび割れが発生したが，全面接着方式によるひずみ計測においても値の増加が確認され，ひび割れ発生位置の特定が可能であることが確認された．

3-2-3　ひずみの測定精度

図-7は，ループ方式とパイ型変位計(GL=350㎜)のひずみの関係を示したものである。これらを比較すると，光ファイバによるひずみ値は，良好な精度で測定されていることが分かる。すなわち，0～1,000μ程度のひずみの範囲では±65μの精度で，1,000～2,500μのひずみの範囲では±50μの精度で測定された．

3-2-4　ひび割れ幅とひずみの関係

図-8は，ひび割れ幅と定点接着方式ひずみの関係を示したものである．これより，定点接着方式によるひずみ計測値は，ひび割れ開口幅とほぼ比例関係にある．また，ひび割れ幅が約0.3㎜以上になると，そのひび割れの発生を識別できることがわかる．

3-2-5　ひずみ位置の測定精度

光ファイバにあらかじめマーキング(引張ひず

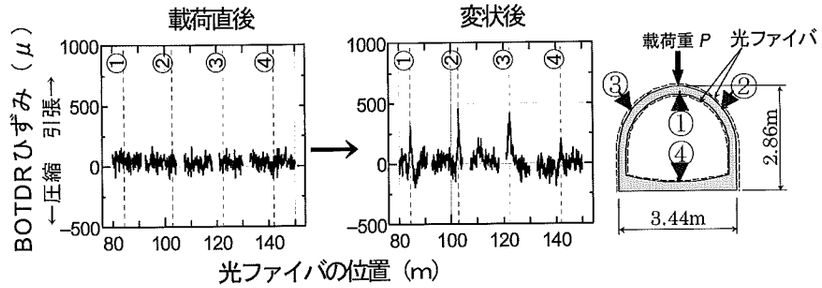


図-6　全面接着方式におけるひび割れ発生検知

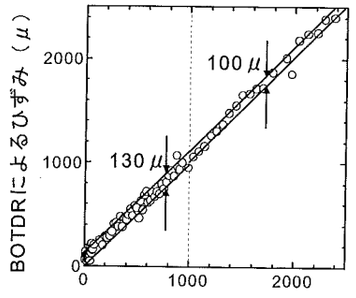


図-7　ループ式とパイ型変位計のひずみの比較

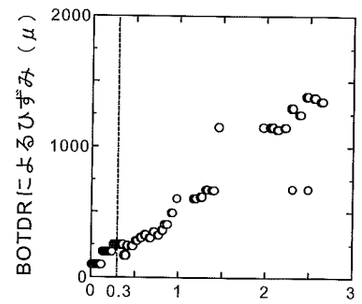


図-8　ひび割れ幅と定点接着方式ひずみ

みの付加)しておき，その位置を計測した．その結果より推定位置の4～22cmの誤差を確認した．

3-3　模型実験のまとめ

（1）　敷設方法として，全面接着方式，定点接着方式，ループ方式の3種類のうち，定点接着方式，ループ方式の計測感度が良好である．

（2）　ループ方式は，ゲージレングスを短縮して計測感度を上げることが可能であり，その精度は±50～65μ程度である．

（3）　幅0.3mm程度以上のひび割れの検知が可能であった．ひずみ位置の測定精度は高く，その誤差は4～22cmであった．

4　現場施工試験

4-1　試験概要

実現場への適用にあたっては，施工方法，施工時の耐久性，長期耐久性，計測精度の確保が重要となる．そこで，新幹線トンネル斜坑と供用中の在来線単線トンネルで現場施工試験を実施した．トンネルの変状監視センサへの光ファイバセンサの適用に関して，覆工模型実験などの要素実験結果から，トンネルに適用可能なセンサ構造(図-9)とした．

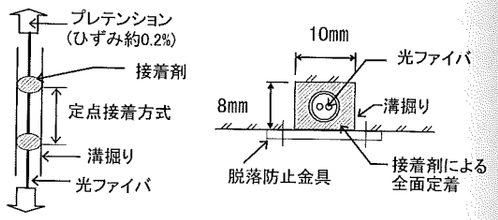
4-2　新幹線トンネル斜坑への適用

列車通過時の風圧や列車振動の影響を受ける新幹線の斜坑トンネルにおいて，光ファイバセンサの現地敷設および耐久性の検証を目的とした施工試験を行った．

4-2-1　現場施工試験の概要

現場試験施工は，図-10に示すように新幹線本坑に接続する斜坑トンネルで行った．敷設方法は，図-11に示すように，覆工の全断面に光ファイバセンサを敷設する方法と繊維シート上に敷設する方法に加え，覆工の半断面に敷設する3種類の方法とした．

光ファイバセンサを実際に適用する場合，トンネル覆工面の既設付帯物などの障害物を迂回しなければならない場合も想定される．そこで図-12



a）センサ概要　　b）定着部の断面概要

図-9　トンネル用センサ概要(標準工法)

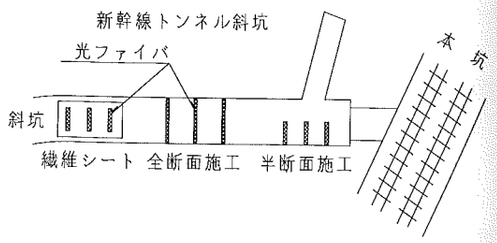
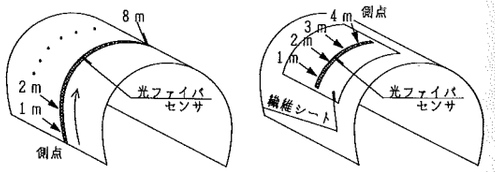


図-10　敷設パラメータ



全断面施工　　繊維シート部施工

図-11　温度計測結果設置状況

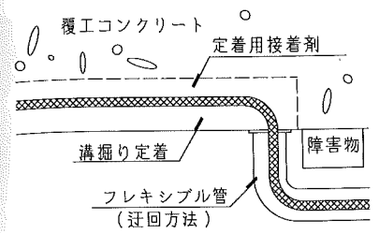


図-12　計測機器の違い

に示す迂回方法について確認を行った．

また，敷設時の気温によって光ファイバセンサを固定する接着剤の種類が異なるため，常温用接着剤と低温用接着剤の違いによる計測結果について確認を行った．

なお，現場施工試験の実施期間は平成12年11月に敷設してから，平成16年1月までであり，その間に初期値を含めて合計8回の計測を行った．

4-2-2　計測結果

（1）　施工性・短期耐久性

1センサ(8m)の取り付けにあたって，連続して作業を行う必要がある工程での最大作業時間は35分であり，実トンネルでも十分に施工可能であることが確認された．

また，鉄道トンネルにセンサなどを取り付ける際，列車風圧による影響が懸念されるが，新幹線通過時に生じる風圧に対しても，センサに異常は確認されず，新幹線通過前後における計測された値に変化はなかった．

（2）　ひずみ計測結果(ひずみゲージとの比較)

ひずみの計測にあたっては，ひずみゲージと光ファイバセンサを使用した．同断面および同位置での，計測器の違いによる計測結果の一例を図-13に示し，図-14に全断面施工部での計測結果を示す．計測値は，設置時を初期値とする差分値である．また計測値の補正対象はB-OTDRの光学的特性(20μ/℃)のみとする．

光ファイバセンサとひずみゲージによる計測結果に大差は確認されなかった．また計測後1年を越えた時点でひずみゲージが剥離したため，計測器の違いによる計測結果の比較を行うことはできないが，光ファイバセンサによる計測値は，3年

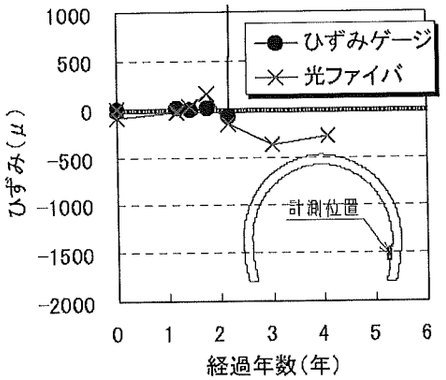


図-13　ひずみ計測結果

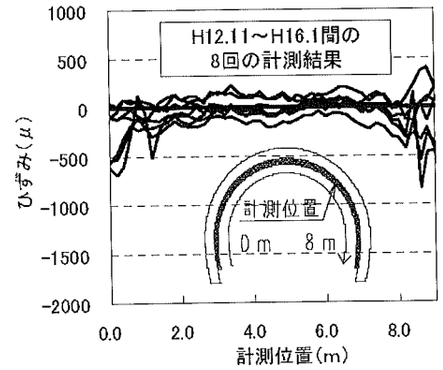


図-14　敷設パラメータ

2か月後においても，安定した計測結果(端部を除き±100μ以内)を示したことから，その耐久性は優れていると考えられる．

（3）　ひずみ計測結果(接着剤の種類)

図-15に，接着剤の違いによる計測結果を示す．計測値は，各計測値の初期値と3年2か月後の計測値との差分値である．同図より，接着剤の違いにより計測結果に違いは確認されなかった．

（4）　ひずみ計測結果(対策工法との併用)

図-16に，コンクリート片の剝落対策などの目的で使用される繊維シートの上に，光ファイバセンサを敷設した結果を示す．計測開始後2年を過ぎた値(図中の2～3年)において，計測位置2.5m付近より先端部でひずみが低下している．これはセンサの先端部で光ファイバに動きがあったことを示しており，図-12に示したように先端部が溝に埋設されていないことによる影響と思われる．

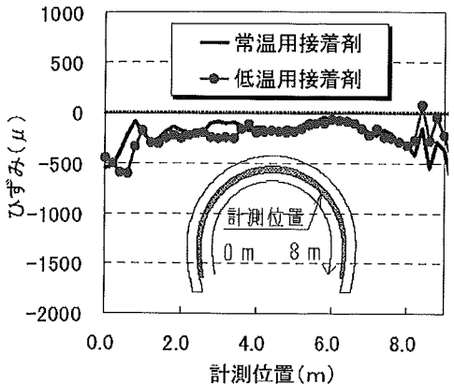


図-15 繊維シート上に敷設

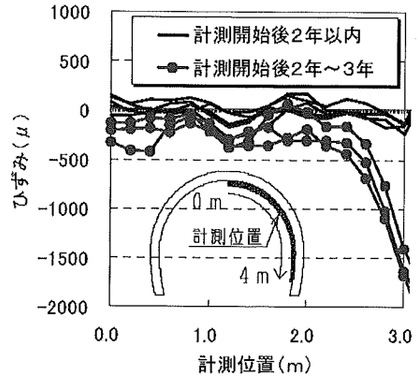


図-16 敷設方法の違いによる計測値

図-15や図-16でも同様にセンサ端部でひずみが低下していることが確認されたことから，迂回部においては余長部まで溝に埋めるなどの改善策が必要である．

4-3 私鉄単線トンネルへの適用

4-3-1 現場試験施工の概要

供用中の変状を生じた私鉄単線トンネル(**写真-1**)に示すにおいて，現場試験施工を行った．

光ファイバセンサには，圧縮側のひずみを計測するために，あらかじめテンションを導入し敷設している．そこでこの試験施工では，テンションの導入時期(工場製作時・現場敷設時)の違いなどについて確認を行った．なお，本試験施工は平成14年3月に敷設し，平成16年1月まで初期値を含めて合計6度の計測を行った．

4-3-2 計測結果

図-17に敷設後2年近く経過した計測結果(初期

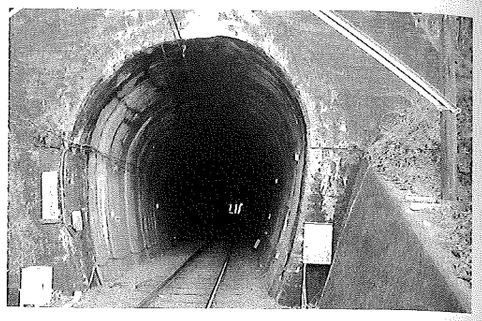


写真-1 私鉄単線トンネル坑口

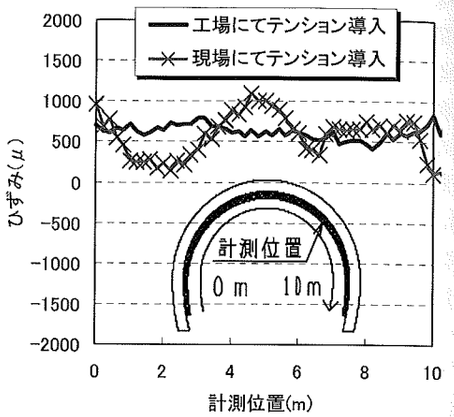


図-17 遠隔管理システムの概要図

値との差分値)を示す．圧縮ひずみ計測用のあらかじめ工場にてテンションを加えたセンサを使用した計測値は比較的安定し精度が良好といえるが，現場敷設時にテンションを加えたものを使用している計測値にはばらつきが確認され，不安定な計測結果であった．

ここに，現場敷設時にテンションを加えたものは，トンネル覆工が大きな変形が生じているとも考えられるが，比較用として設置していた亀裂変位計の値が安定していたことから，現場でテンションをかける際の誤差によりばらつきが生じたものと思われる．

4-4 まとめ

以上の現場試験施工より，以下のことが確認された．

① 連続して作業を行う必要性がある工程での最大作業時間は35分であり，実トンネルでも十分に施工可能であることが確認された．

② 新幹線通過時に生じる風圧に対しても，異常は確認されなかった．

③ 温度計測結果より，光ファイバセンサと熱電対による計測結果に大差はなかった．

④ ひずみ計測結果より，設置後3年2か月経過した時点で光ファイバセンサによる計測値は安定した結果であった．また敷設後1年で，同じ環境条件下でのひずみゲージが剥離したことを考慮すると，光ファイバセンサの耐久性は優れていることが確認された．

⑤ ひずみ計測結果より，センサ端部でひずみが低下していることが確認された．迂回部においては余長部まで溝に埋めるなどの対策が必要である．

⑥ 現場状況を加味したうえで，テンションは工場で載荷させ，現地では敷設作業に限定する方が計測精度がよいと考えられる．

以上より，トンネルの変状検知センサとして十分な施工性，計測精度(±100μ程度)，比較的長期の耐久性を有していることが実証された．

5 計測管理システム

実際の現場においては多種多様の目的に応じた計測が求められ，計測管理システムとしての検討が必要となる．

鉄道トンネルは長距離にわたる構造物であり，構造物の維持管理は，各種構造物との連携，および遠隔地での管理が可能であることが計測システムとして要求される．

B-OTDR方式の光ファイバセンサは特殊な光ファイバを用いていないため，通信網とセンサ網を統一化できる．したがって，計測管理箇所から約10km以内の範囲であれば1つの光ファイバ網を使った計測管理ができる．しかし，それ以上の範囲になると，光の減衰などの問題から1つの光ファイバ網で計測管理を行うことは難しい．そこで，移動電話などの無線通信を利用し，遠隔地における計測管理が可能なシステムを構築した．

図-18にシステムの概要図を示す．本システムの適用について検証を試みた[6]．計測現場に設置

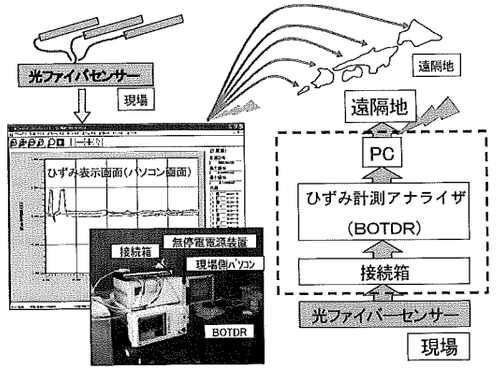


図-18 遠隔管理システムの概要図

する計測器と計測管理ソフトを導入したPC，移動電話，および遠隔地の計測管理箇所に設置するPC，移動電話のみである．現場で経時計測されたデータは計測器，PCを通し，移動電話による無線通信により遠隔地の計測管理箇所へと送信される．電話がつながるところであれば，現場と計測管理箇所の距離に制限はない．また，現場は計測器とPCを設置する程度のきわめて小規模なスペースで対応可能であり，大規模な計測施設などは不要となるため，経済的，配置的にも合理的なシステムを組むことができる．

6 変状監視法の選定

これまでの研究により開発を行った光ファイバセンサは，トンネルの変状監視に適用できることが明らかとなった．

変状監視法の選定にあたっては，センサの「精度」に加え，変状監視システム全体の「維持管理性」や「耐久性」，さらに計測期間を設定したうえでLCC評価による「経済性」の比較を行うことが重要である．

表-2にこれまでの研究で得られた成果をもとに光ファイバセンサ(B-OTDR)によるトンネル覆工の変状監視の精度とその検出範囲について整理を行った．表-2より，光ファイバセンサは，設置後の人的作業がほとんどないことから，その計測精度(100μ)は高く，バラツキが小さいことがわかる．

図-19に供用中の新幹線トンネル内の20断面に

表-2　B-OTDRによる変状監視の精度と検出範囲

	精　度	範　囲	位　置
ひずみ	±100μ (±50～65μ)※1	2000%(圧縮)～ 28000%(引張)※2	±20cm
ひび割れ	0.3mm	2.6mmまで	
温　度	±5℃	−40～+60℃	

※1ループ式の場合
※2プレテンション量による

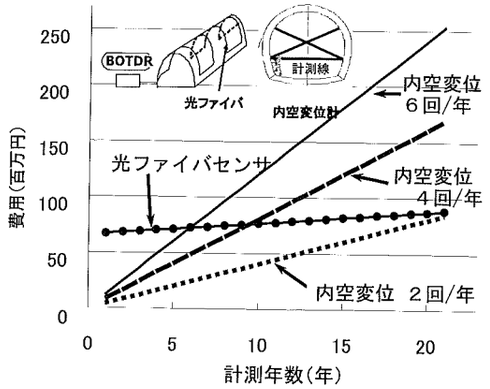


図-19　LCC評価による経済性の比較(計測20断面での経済比較)

ついて監視計測を行うことを想定した場合におけるテープスケール(内空変位計測)と光ファイバセンサによる変状監視手法についてLCC評価による経済性の比較を行った算出例を示す．なお，算出にあたっては，光ファイバセンサをトンネル軸方向に10mピッチで30断面の敷設を行うものとし，費用は計測器(B-OTDR)とパソコンを含んだものとする．

図-19より，計測年数や1年あたりの計測回数が少ないほどテープスケール(内空変位計測)による変状監視法が経済的には優れているが，その反対の条件では光ファイバセンサによる変状監視手法が，テープスケールによる計測を経済性において逆転することがわかる．なおテープスケールの耐久性低下に伴う取り替え費用は計上されていないため，長期計測また多断面計測ではより光ファイバセンサによる計測監視手法が有利となる．

7　おわりに

光ファイバを用いたトンネルの変状監視システムを開発し，現場施工試験を行った．それによりシステムの施工性・耐久性を検証するとともに，監視計測に適する精度が得られることを実証した．

今後は，さらに長期的な耐久性の検証を行うとともに，常時の変状監視をはじめ近接施工による影響監視も含め，実現場への適用を促進していきたい．さらに，この手法はトンネルを含む線区全体の防災管理システムに発展させることも可能であるため，今後も更に研究開発を進める必要があると考えている．

なお，本研究は(財)鉄道総合技術研究所と三菱重工業(株)との共同研究によるものである．実験および施工試験の一部は国土交通省の鉄道技術開発費補助金を得て行った．また，現場試験施にあたっては，西日本旅客鉄道(株)のご協力を得た．ここに記して深甚の謝意を表します．

参　考　文　献

1) 藤木育雄・栗原和美・市川一好・和内雅弘：光ファイバセンサ(B-OTDR)を用いた近接施工管理，土木学会第58回年次学術講演会概要集，第3部門，pp.955-956.
2) 風間広志・渡辺浩平・熊谷仁志・小林理志：東急東横線地下化工事光ファイバセンサによる支保工部材計測，第36回地盤工学研究発表会，地盤工学会，pp.1913-1914，2001.6.
3) 池田恭一：センサ技術，丸善(株)，1991.9.
4) 六車崇・小島芳之・吉川和行・朝倉俊弘・伊藤裕昌：光ファイバによるトンネル変状監視手法の検証試験，鉄道総研報告，2002.3.
5) 伊藤裕昌・小島芳之・六車崇・佐野力・山浦剛俊：トンネル覆工変状監視への光ファイバ計装システムの適用性研究，トンネル工学研究論文，報告集Vol.10，2000.11.
6) 小島謙一・伊藤裕昌・村田修・秋山洋・山浦剛俊・棚村史郎：土構造物の計測管理に用いる光ファイバセンサの基本特性，土木学会論文集，No.750/Ⅲ-65，pp.51-67，2003.11.

報　告

シールド発進・到達工実態調査報告(2)

ＪＴＡ都市トンネル小委員会

6　発進工法の課題と評価

本章では，シールド発進工法について分析を行い，それらの課題と評価について述べる．

6-1　発進工法

発進工法は，事前に仮壁を撤去しておく方法(以下，仮壁撤去工法)と，シールドで直接仮壁を切削する方法(以下，仮壁切削工法)に分けられる．

(1)　シールド外径と発進工法

シールド外径寸法(D)別に発進工法を比較した結果を図-26に示す．径が大きくなるほど仮壁切削工法の採用割合が多くなっており，仮壁撤去工法は中小口径では8割以上を占めるが，大口径では半数程度に減少する．

(2)　地下水圧と発進工法

シールド発進部の地下水圧(Pw)別に発進工法を比較した結果を図-27に示す．

発進工法の種類は地下水圧と顕著な相関がみられる．高水圧であるほど仮壁切削工法が多く採用されており，200kPa以上の地下水圧においては仮壁切削工法が約4割の比率を占めるようになっている．

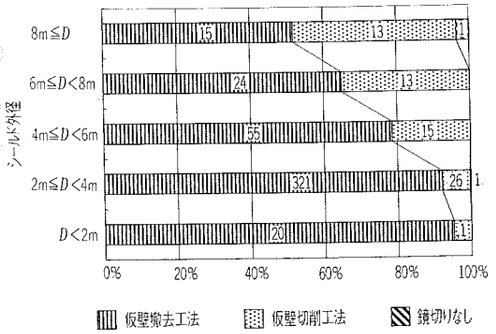


図-26　シールド外径と発進工法

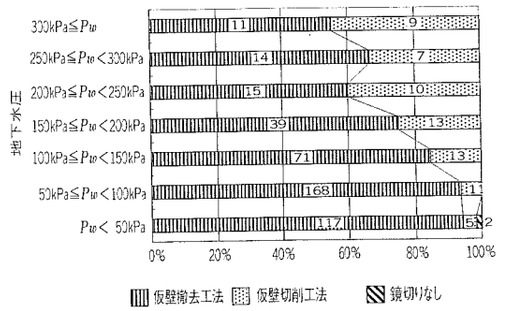


図-27　地下水圧と発進工法

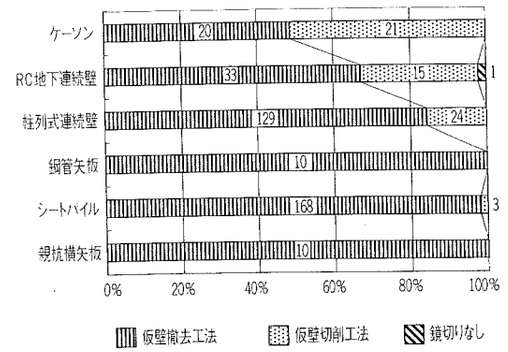


図-28　土留め種類と発進工法

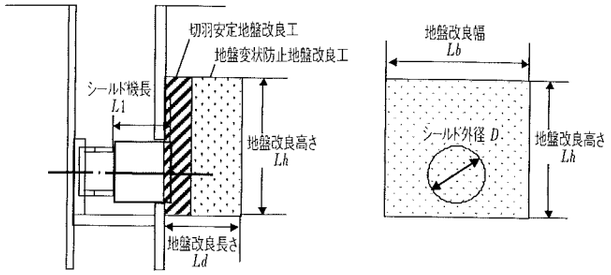


図-29　地盤改良範囲

（3）　土留め種類と発進工法

土留め種類別に発進工法を比較した結果を図-28に示す．仮壁切削工法の採用割合は，柱列式連続壁，RC地下連続壁，ケーソンの順で多くなっている．

6-2　地盤改良工の範囲区分

地盤改良工の範囲を図-29に示す．本調査では，鏡撤去時の地山崩壊防止を目的とした改良を切羽安定地盤改良工と定義し，シールドがエントランスを通過するまでの間の地盤変状防止を目的とした改良を地盤変状防止地盤改良工と定義した．

6-3　仮壁撤去工法の課題と評価

6-3-1　地盤改良工の目的と種類

（1）　地盤改良工の目的と種類

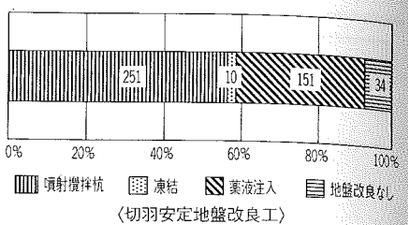
仮壁撤去工法における地盤改良工を比較した結果を図-30に示す．仮壁撤去工法においては，切羽安定地盤改良工が9割以上採用されており，その多くは噴射攪拌杭となっている．また，地盤変状防止地盤改良工の採用割合は半数以下となっている．

（2）　土質と地盤改良工の種類

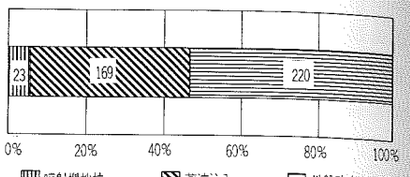
シールド発進部の代表的な土質別に，鏡切り時の切羽の安定を目的とした地盤改良工の種類を比較した結果を図-31に示す．硬質な地盤では噴射攪拌杭の採用割合が相対的に低く，沖積粘性土や砂質土など崩壊性の高い土質では噴射攪拌杭が7～9割と多くなっている．

6-3-2　地盤改良寸法

発進部における地盤改良寸法について，地盤改良幅(Lb)および高さ(Lh)とシールド外径(D)の関係を図-32, 33に示す．また，地盤改良長さ(Ld)とシールド機長($L1$)との関係を図-34に示す．



〈切羽安定地盤改良工〉



〈地盤変状防止地盤改良工〉

図-30　地盤改良の目的と種類

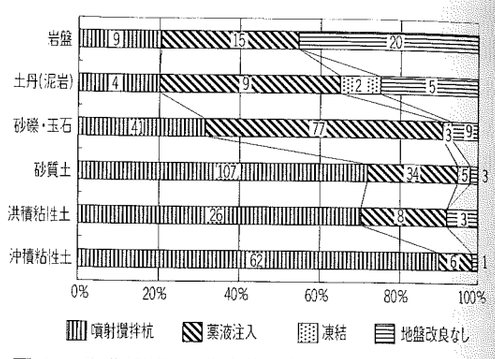


図-31　発進部断面の代表的な土質と地盤改良の種類

地盤改良幅および高さともに，シールド外径より2～4 m大きくしているものが多い．また，地盤改良工の種類は，噴射攪拌杭と薬液注入が多く採用されている．

地盤改良長さについて，シールド機長以上としているものが全体の約56%を占めている．地盤改良長さをシールド機長より0～3 m大きくしているものが多い．

なお，地盤改良幅と高さは切羽安定地盤改良工の寸法とし，地盤改良長さは切羽安定と地盤変状防止の地盤改良長さの和とした．

6-3-3　仮壁撤去工法における課題

仮壁撤去工法を使用した場合の各項目に対する問題の有無の関係を図-35に示す．

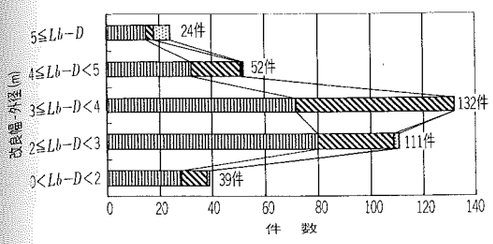


図-32　地盤改良幅

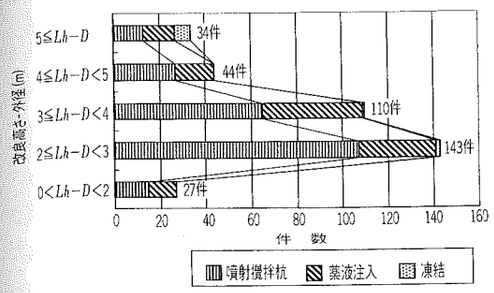


図-33　地盤改良高さ

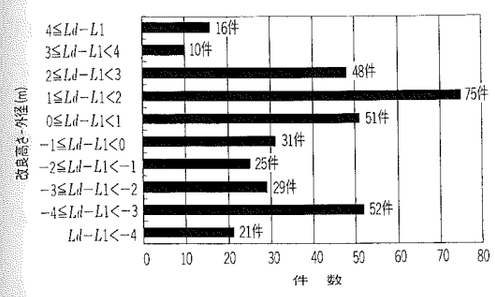


図-34　地盤改良長さ

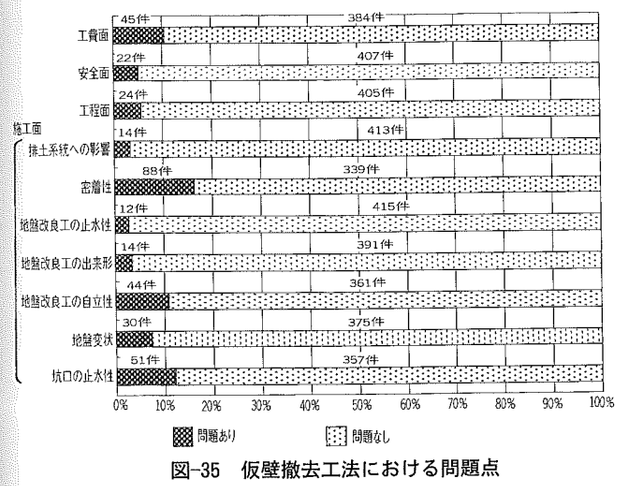


図-35　仮壁撤去工法における問題点

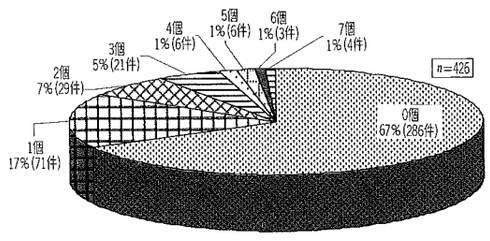


図-36　“課題あり”の個数比率

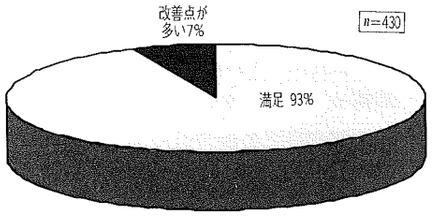


図-37　仮壁撤去工法の満足度

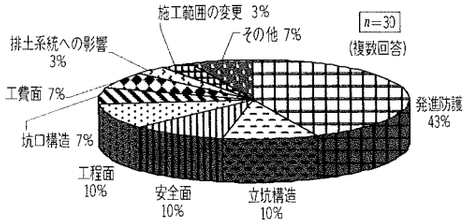


図-38　仮壁撤去工法の改善点に関するコメント

施工面において“問題あり”の比率の高い項目は，地盤改良工における排土系統への影響(16%)，仮壁と地盤改良工との密着性(12%)，地盤改良工の止水性(11%)となっている．一方，施工面以外では工費面(10%)が高い．

次に，有効回答件数426件(全回答件数520件)において安全面，工程面，工費面を除く施工面の7項目において“問題あり”と回答した個数比率を図-36に示す．

67%(286件)が全7項目に対して“問題なし”と回答している．

6-3-4　仮壁撤去工法の総合評価

（1）　工法の満足度

仮壁撤去工法の満足度を図-37に示す．満足している割合は，93%となっている．

（2）　工法の改善点

仮壁撤去工法における改善点の内訳を図-38に示す．発進防護(43%)，立坑構

造(10%)，安全面(10%)，工程面(10%)の改善項目が上位を占めている．

各改善点に関するコメントをみると，“発進防護”については，改良範囲の拡大(とくにシールド延長方向)や改良方法の選定など，発進防護工をより確実にするための方策をあげている．

(3)　地盤改良工の満足度

採用した発進部地盤改良工における満足度を図-39に示す．満足している割合は，85%となっている．

(4)　地盤改良工の改善点

発進部地盤改良工の改善点に関するコメントの内訳を図-40に示す．改良範囲(22%)，改良工法の変更(22%)，改良の出来形(16%)，補足注入(16%)の改善項目が上位を占めている．

各改善項目におけるコメントとしては，

1) 改良範囲

発進直後の排土状況は非常に不安定であるため，シールドが完全に地山に貫入し，坑口の裏込め注入工が完了するまでの区間を改良するのが良い．

2) 改良工法の変更

① 原設計は複相注入であったものを，施工上の確実さを確保するためダブルパッカー注入を施工承諾で施工．

② 単相懸濁型注入を地盤条件から溶液型に変更して施工．

3) 改良の出来形

① 噴射攪拌杭の改良を実施したが，地質が互層のため改良径・改良強度にばらつきがでた．

② 大深度の場合，削孔精度が保てず，改良に隙間が生じて水道(みずみち)を形成しやすい．

4) 補足注入

立坑掘削前の地盤改良工のため，掘削による影響から改良部とシートパイル間に隙間ができ，鏡切り前に補足注入を行った．との意見があった．

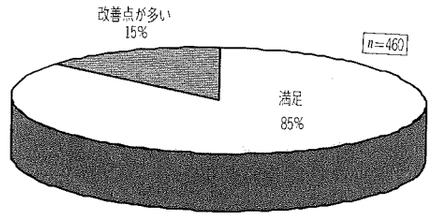


図-39　発進部地盤改良工における満足度

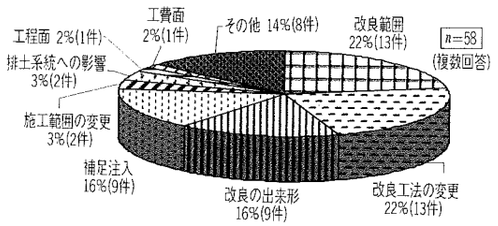


図-40　地盤改良工の改善点に関するコメント

6-4　仮壁切削工法の課題と評価

6-4-1　地盤改良工の目的と種類

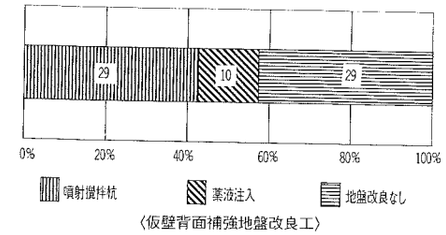
仮壁切削工法における地盤改良工法を比較した結果を図-41に示す．仮壁切削工法においても，切削壁の背面補強の地盤改良工が半数以上採用されているが，その大半は噴射攪拌杭である．また，地盤変状防止地盤改良工は3割程度の採用となっている．

これより，仮壁切削工法においても地盤改良工を併用しているケースが多いことが確認された．

6-4-2　地盤改良寸法

発進部における地盤改良寸法について，地盤改良幅(Lb)および高さ(Lh)とシールド外径(D)の関係を図-42, 43に示す．また，地盤改良長さ(Ld)の関係を図-44に示す．

地盤改良幅および高さともに，シールド外径より3～5 m大きくしているものが多い．また，地盤改良工の種類は，噴射攪拌杭が多く採用されている．



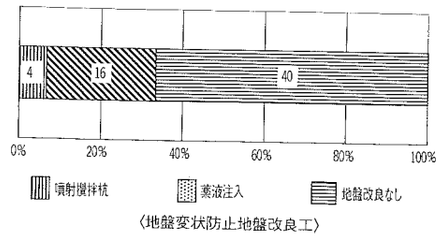


図-41　地盤改良の目的と種類

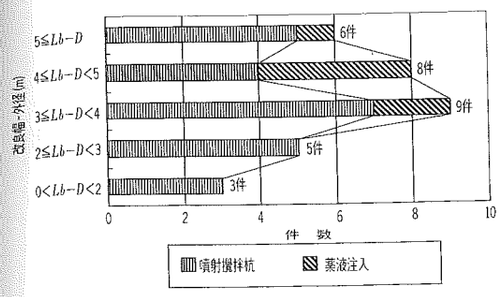


図-42　地盤改良幅

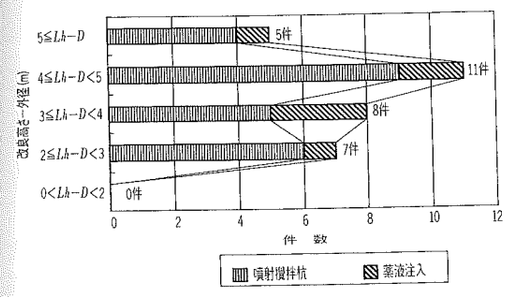


図-43　地盤改良高さ

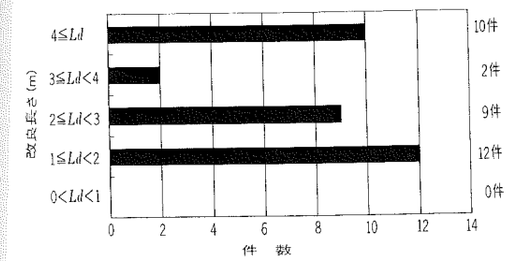


図-44　地盤改良長さ

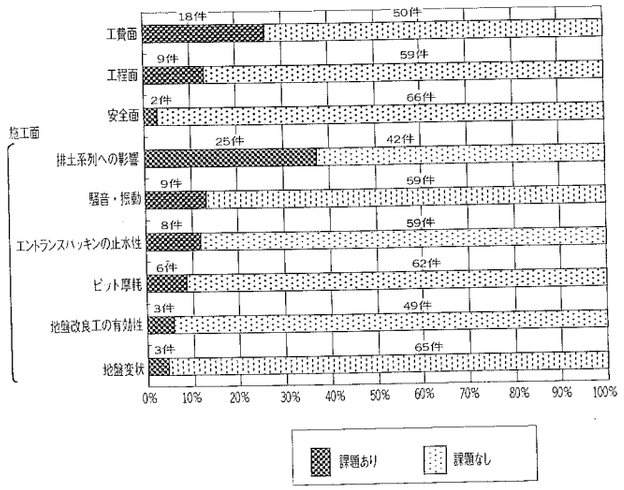


図-45　仮壁切削工法における問題点

6-4-3　仮壁切削工法における課題

仮壁切削工法を使用した場合の各項目に対する問題の有無の関係を図-45に示す．

施工面において“問題あり”の比率の高い項目は，排土系統への影響(37%)，騒音・振動(13%)，エントランスパッキンの止水性(12%)であった．また，施工面以外では工費面(26%)で高い比率であった．仮壁撤去工法と比較して概して“問題あり”の割合が高くなっている．

ここで個々の項目について分析する．

“切削ずりによる排土系統への影響”を泥水式，土圧式に区別すると，“問題あり”の割合が泥水式49%，土圧式15%と圧倒的に，泥水式における問題が多く何らかの対策が必要であることを示唆している．

“仮壁背面の地盤改良工の有効性”について，“問題あり”とした3件の内容は，コメントから，実施した地盤改良工の品質の悪さを問題にしており，仮壁背面の地盤改良工の必要性について否定したものでない．

“安全面”について“問題あり”とした2件の内容は，コメントから，仮壁背面の地山反力が不足している場合に，背面の地盤改良工を認めてもらえないことを指摘している．

また，有効回答件数68件において安全面，工程面，工費面を除く施工面の6項目において“問題あり”と回答した個数比率を図-46に示す．15%(10件)が全6項目に対して“問題なし”と回答している．仮壁撤去工法の67%と比べ低い比率となっており，仮壁切削工法は施工上注意すべき点が多いことを示している．

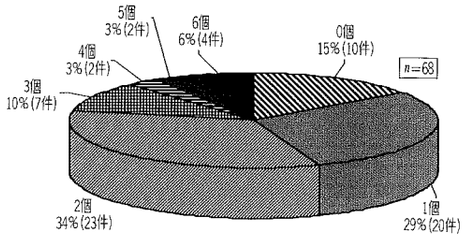


図-46　“問題あり”の個数比率

6-4-4　仮壁切削工法における対策項目

仮壁切削工法を採用するにあたっての対策項目の採用比率を図-47に示す(回答件数146件)．78%が仮壁切削用ビットの装備を行っており，以下，掘進速度制御用装置の装備(63%)，排土系統閉塞防止設備の装備(37%)の順で採用比率が高くなっている．

6-4-5　仮壁切削工法の総合評価

(1)　工法の満足度

仮壁切削工法の満足度を図-48に示す．満足度については，71%と仮壁撤去工法に比べ低い．

(2)　工法の改善点

仮壁切削工法における改善点の内訳を図-49に示す．具体的な改善点を見ると，工程面の割合が22%ともっとも多い．これは，通常だと2～3日で施工が終了するはずが，閉塞，騒音・振動など色々なトラブルにより1～2週間かかった事例が多いためである．次に騒音・振動，シールド性能など切削性能に関連した問題が多い．また，発進

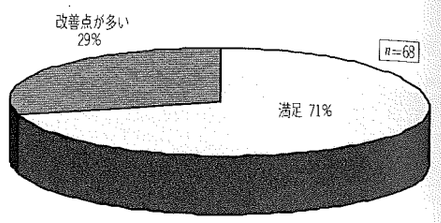


図-48　仮壁切削工法の満足度

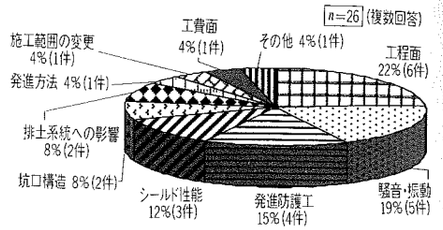


図-49　仮壁切削工法の改善点に関するコメント

防護においては背面の改良を認めてくれないことに対する改善を望む声も多い．しかし，安全面では改善件数がなく，危険・苦渋作業を伴わない信頼性のある工法であることも示している．

6-5　工法変更および設計で考慮を望む項目

6-5-1　工法変更

(1)　発進工法の変更

発進工法の変更に関して，条件面および施工面の変更理由を組み合わせた関係を図-50に示す．条件面の理由として，「騒音・振動等環境面」が多く，施工面の理由としては，「工期短縮」，「安全性の向上」が多くあげられている．また，条件面の理由「騒音・振動等環境面」と施工面の理由「安全性の向上」との組み合わせの回答が多く見られた．

(2)　発進部地盤改良工の変更

発進部地盤改良工の変更に関して，条件面および施工面の変更理由を組み合わせた関係を図-51に示す．

条件面の理由として，「地盤」，「地下水圧」が多く，施工面の理由としては，「安全性の向上」が多くあげられている．また，条件面の理由「地盤」「地下水」と施工面の理由「安全性の向上」との組み合わせの回答が多く見

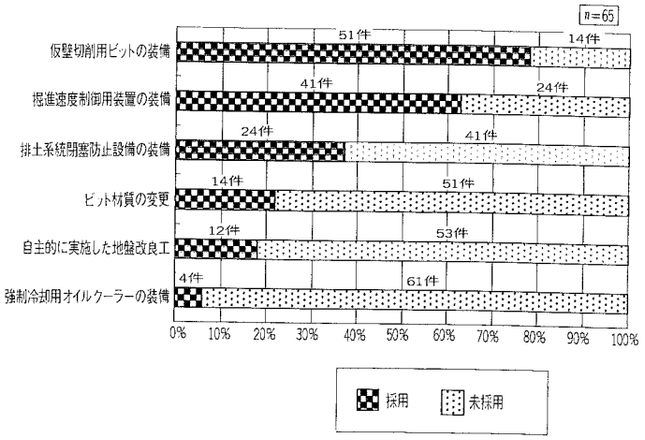


図-47　仮壁切削工法における対策項目

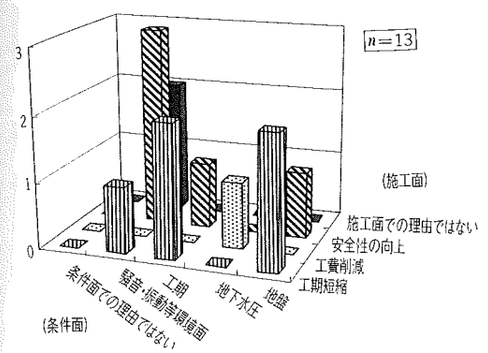


図-50　発進工法の変更

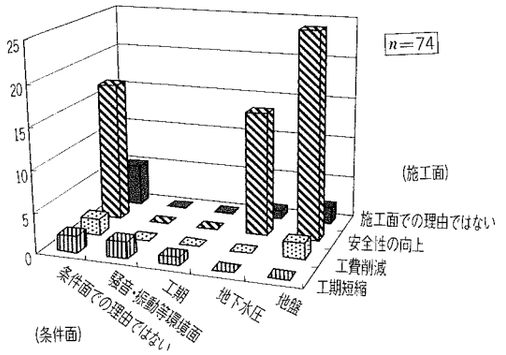


図-51　発進部地盤改良工の変更

られた．

6-5-2　設計で考慮を望む項目

シールド発進工において設計で考慮を望む項目に関しては，有効回答件数483件(全回答件数520件)のうち，28.6%にあたる138件で“設計で考慮を望む項目があり”という回答結果であった．また，コメント数は126件であった．内訳を図-52に示す．地盤改良工が40%，発進設備が20%と比率が高かった．

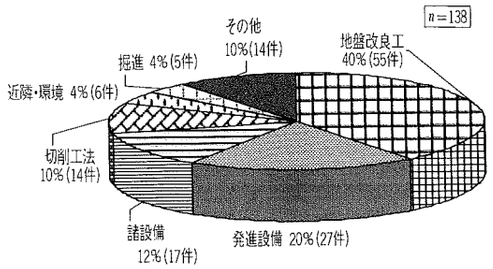


図-52　設計で考慮を望む項目内訳

(1)　地盤改良工

全55件のうち多いものは，地盤改良長さをシールド機長以上にとって欲しい22%(12件)，補足注入20%(11件)，地盤改良工の効果確認工9%(5件)の順となっている．その他に“地盤改良工区間の掘削土処分費を，産業廃棄物として計上して欲しい”，“噴射攪拌工法における，排泥土量割増係数の見直し”などといったコメントがあった．また，仮壁切削工法においては背面地盤強度確保のための地盤改良工を設計に計上する要望も多い．

(2)　発進設備

全27件のうち，エントランスパッキンの材質，形状，寸法(二重パッキン，反転防止フラップ)の要求が33%(9件)もあった．安全で確実なエントランス構造を求める要望が多い．

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

1. 原稿は当社所定の投稿規定により執筆して頂きます．投稿規定は，弊社ホームページ(http:www.tunnel.ne.jp)に掲載されています．
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送りします．
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)



■土木学会田中賞

土木学会田中賞と言えば，震災復興橋梁の設計をはじめ，鋼鉄道橋の研究に功績のあった故・田中豊博士(**写真-1**)の基金をもとに，1966(昭和41)年から土木学会賞のひとつとして橋梁・鋼構造物の発展に業績のあった人々に贈られているもので，作品部門，論文部門，研究業績部門の３部門からなっている．

橋梁関係の技術者に与えられる田中賞が，どこでどうトンネルと結びつくのか，まずは田中豊のプロフィールから紹介してみたい．

■田中豊のプロフィール

田中豊は，1888(明治21)年，長野市で生まれ，第七高等学校を経て1909(明治42)年に東京帝国大学土木工学科に入学し，1913(大正２)年に同校を卒業した．卒業後はただちに鉄道院に入庁し，工務局設計課，総裁官房研究所を経て，1920(大正９)年から２年間，イギリス，ドイツへ留学した．帰朝後は，中国の膠済鉄路の落橋調査にあたるなど，橋梁工学の専門家として頭角を現し，1923(大正12)年の関東大震災後に発足した帝都復興院に出向して被災した東京の道路橋梁の復興にあたった．当時，帝都復興院は後藤新平総裁の下に鉄道省から多くの人材が出向し，経理局長の十河信二，

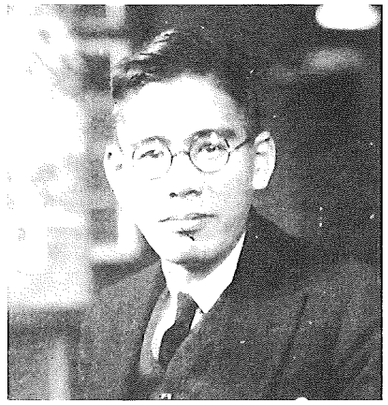


写真-1　田中豊(1888～1964)

土木局長の太田圓三，橋梁課長の田中豊，道路課長の平山復二郎，隅田川出張所長の釘宮磐など，錚々(そうそう)たるメンバーが轡(くつわ)を並べた．田中は，かつて留学したドイツの橋梁を参考として隅田川の橋梁をそれぞれ異なるデザインで設計したほか，世界に先がけたデュコール鋼の採用，ニューマチックケーソン工法の導入などの功績を残した．1928(昭和３)年，鉄道省へ復帰後は，大臣官房研究所第四科長と東京帝国大学教授を兼任し，鋼橋への溶接技術の導入などに取り組んだ．1933(昭和８)年に鉄道省を退官したのちは，東京帝国大学教授として後進の育成にあたり，溶接学会会長，土木学会会長などを歴任したが，1964(昭和39)年８月，病のため76歳の生涯を閉じた．

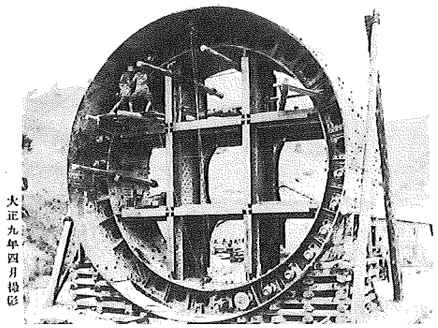
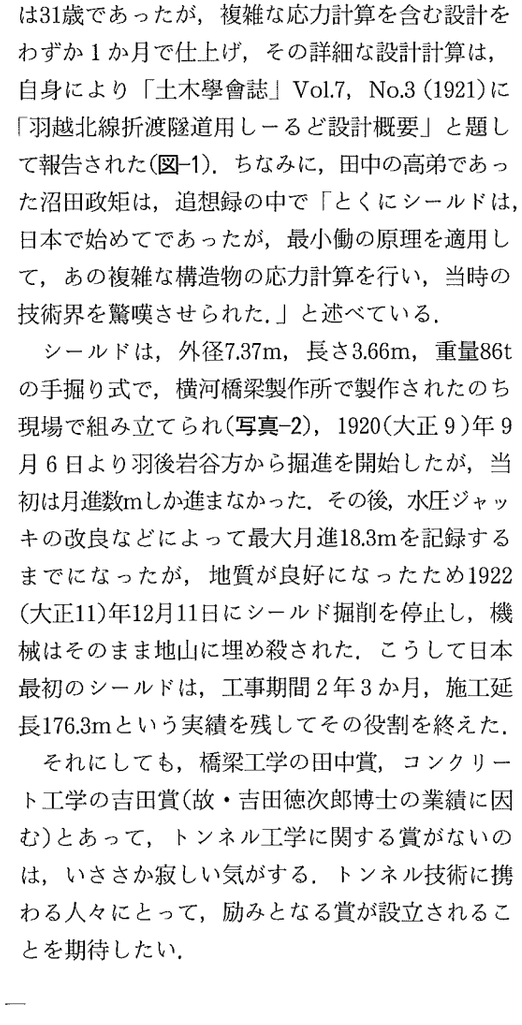


写真-2　組み立て中のシールド掘削機(筆者所蔵)

て直轄工事で臨むこととなった．この膨張性地質に対し，シールド工法を適用することとなったが，その掘削機の設計は総裁官房研究所に委嘱され，田中豊がこれを担当することとなった．時に田中は31歳であったが，複雑な応力計算を含む設計をわずか１か月で仕上げ，その詳細な設計計算は，自身により「土木學會誌」Vol.7，No.3 (1921)に「羽越北線折渡隧道用しーるど設計概要」と題して報告された(**図-1**)．ちなみに，田中の高弟であった沼田政矩は，追想録の中で「とくにシールドは，日本で始めてであったが，最小働の原理を適用して，あの複雑な構造物の応力計算を行い，当時の技術界を驚嘆させられた．」と述べている．

シールドは，外径7.37m，長さ3.66m，重量86tの手掘り式で，横河橋梁製作所で製作されたのち現場で組み立てられ(**写真-2**)，1920(大正９)年９月６日より羽後岩谷方から掘進を開始したが，当初は月進数mしか進まなかった．その後，水圧ジャッキの改良などによって最大月進18.3mを記録するまでになったが，地質が良好になったため1922(大正11)年12月11日にシールド掘削を停止し，機械はそのまま地山に埋め殺された．こうして日本最初のシールドは，工事期間２年３か月，施工延長176.3mという実績を残してその役割を終えた．

それにしても，橋梁工学の田中賞，コンクリート工学の吉田賞(故・吉田徳次郎博士の業績に因む)とあって，トンネル工学に関する賞がないのは，いささか寂しい気がする．トンネル技術に携わる人々にとって，励みとなる賞が設立されることを期待したい．


論說報告

土木學會誌　第七卷第三號　大正十年六月

羽越北線折渡隧道用しーるど設計概要

會員　工學士　田　中　豐

大正八年七月二日鐵道院官房研究所ニ於テ設計ヲ了シタル羽越北線折渡隧道用しーるどノ設計概要次ノ如シ

一　設　計　要　領

目下絶賛工事中ナル羽越北線第五工區内折渡隧道ハ其掘鑿起工中南坑ニ於テ導坑ヲ掘鑿シ引續キ丸形ヲ切擴ケ完全ナル支保工ヲ施シタルニ數日ニシテ路盤隆起約三呎ニ達シ柱下土盛木中央部ヨリ上部ニ向ヒ撓折シ丸形先ツ壓潰シ續テ導坑亦全ク閉塞スルニ至レリ右ノ狀況ニ徴スレハ該地盤ハ普通ノ支保工ヲ以テシテハ到底掘鑿遂行ノ見込薄東ナク結局現在ノ施工方法ヲ變更シ簡易ナル鐵製構盾ヲ使用シ掘鑿並ニ壘築ヲ進ムルノ利益ナルヲ認メ左記ノ條項ニヨリテ其結構部ノ設計ヲナセリ

設　計　資　料

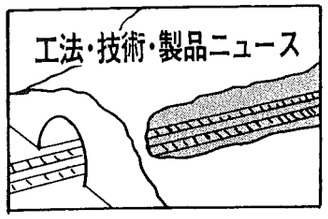
一　隧道ノ斷面ハ現在設計ニ依リ仰拱ヲ附シタルモノ又ハ之ニ相當スル圓形トス
一　覆工ノ厚サハ一呎十吋二分ノ一トシ混凝土塊ヲ用ヒ一個ノ長サハ一呎六吋トス
一　構盾ノ長サハ十二呎乃至十五呎トス
一　構盾ハ水壓扛重器ニ依リ進行セシメ一日ノ進程ハ一呎六吋以上トス
一　土壓ハ構盾ノ外周毎平方呎三噸ヲ下ラサル見込

図-1　田中豊の論文

■田中豊と折渡トンネル

このように田中豊の生涯は，まさに橋梁工学の進歩とともにあったが，鉄道院に入庁して留学するまでの７年間は，さまざまな仕事を担当していた．当時の記録を調べると，橋梁用枕木の強度試験，レールの沈下量を測るたわみ計の開発，信越本線のラックレールの強度調査，レール標準長さの検討，縦曲線区間における緩和曲線の検討など，主として軌道関係の測定や解析に携わっていたようである．そして，そのころの業績のひとつに，日本最初のシールド掘削機の設計があった．

わが国最初のシールドトンネルとなった折渡(おりわたり)トンネルは，羽越本線・羽後岩谷～折渡間に建設された延長1,438mの単線断面トンネルで，橋本信次郎の請負により1917(大正６)年７月に両坑口から掘削を開始した．掘削当初の地質は比較的良好であったが，しだいに膨張性の地質に変わって掘削困難となり，1919(大正８)年，羽後岩谷口は463m，折渡口は342mほど掘削した時点で仮締切を施工して工事を一時中断し，請負契約を解約し



新型ホイールローダ

川崎重工は，新型ホイールローダ「AUTHENT 135ZV」を新発売した．

同機は，バケット容量9.5m³の超大型機で，V型12気筒・30リッターエンジンを搭載し，最大537kW(730ps)のエンジン出力により余裕の作業を実現．オペレータの居住性や操作性にも配慮し，作業効率の向上と環境への対応を両立．



パネル張り耐火被覆

大成建設は，道路シールドトンネル工事で2次覆工の代わりに耐火パネルを張り付ける耐火ライニング(被覆)システムを開発した．

同システムは，RCセグメントに金具付きの耐火パネルをはめ込み式で取り付けることにより，効率的な取り付け作業を実現．また，取り付け金具がトンネル内面に露出せず，耐熱性能が低下するヒートブリッジを抑制できる．耐火性能を維持しつつ，掘削断面を縮小できる．掘削土量やセグメントのコンクリート量を減らし，コストが低減できる．

ICカードで施解錠

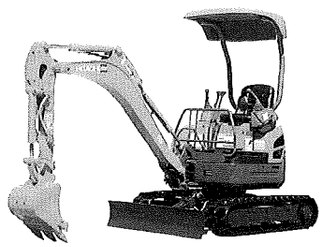
戸田建設は，横浜市地下鉄車両基地現場で，汚染土壌掘削区域の入場制限に建設ICカードによる施錠システムを適用した．

同区域への入場を制限するため，作業員に個人専用のICカードを保持させ，入退場ゲートを自動で管理するシステム．同工事では，工場跡地の汚染土を処理するため，確実で慎重な安全施工が求められた．掘削にあたっては，掘削区域の全周を囲むとともに特別教育を受けた作業員だけを入場させるなど，厳重な管理のもとで処理を行った．

後方超小旋回型ミニショベル

日立建機は，EX15u-3後方超小旋回型ミニショベル(バケット容量0.44m³，機械質量1,570kg)を新発売した．

同機は，可変脚式クローラ(伸縮幅990～1,240㎜)を標準装備．最大掘削力22%，最大掘削深さ10%アップ．リストコントロール式操作レバーの採用や，ブーム背面にブームシリンダを配置，損傷防止を図っている．



超低周波音に有効対策

鹿島は，大丸防音と共同でシールド工事などで使う大型振動ふるいから発生し，騒音や頭痛，耳鳴りなどの原因となる「超低周波音」の有効な対策法を開発した．

従来は，コンクリート壁で覆うなどの対策しかなかったが，独自の吸音レゾネータ(吸音共鳴器)を開発し，遮音パネルと組み合わせることで，従来と同等以上の超低周波音の低減性能を実現した．組み立て式のため2週間程度で設置でき，コンクリートで遮蔽する場合に比べ2割程度コストを低減できる．

大口径推進管を現地製作

ハザマは，3mを超える大口径推進管を施工現場で製作可能にする技術を開発し，川崎市の電気洞道工事に初適用した．

大口径推進管は工場製品を使うのが一般的だが，コストが高いという課題があった．同社は高流動コンクリートを使うことで高品質の大口径推進管の現地製作を実現．製造設備や作業工程の簡素化が図られ，これまで必要だった推進管の輸送費や工場間接費などを削減した．

潜函工事を完全無人化

大豊建設は，ニューマチックケーソン(潜函)工事の完全無人化を達成した．

01年から「New DREAM工法」の名称で展開してきた一連の技術開発のうち，最後の要素技術となる遠隔操作による地耐力試験装置の開発が完了．このほど実物大装置を使った試験で，性能を確認した．

A1サイズ対応スキャナ

武藤工業は，A1版大判スキャナ2機種(モノクロ/フルカラー)のモデルチェンジ機種「SW-601」を新発売した．

同機種は，①SCSIインターフエースと同等のスキャンスピードでプラグアンドプレイ対応，②モノクロスキャニングスピードを33%向上，③0.1%±1ピクセルを実現，④ANSI IT8を含むキャリブレーションシートで補正，などの特長があげられる．



連載講座

山岳トンネルにおける工事用機械の選定(16)

TBM(3)—特殊掘削用—

「山岳トンネルにおける工事用機械の選定」連載講座小委員会

1. はじめに

斜坑用TBM，リーミング用TBMなど特殊な用途としての機能を持つTBMは，安全確保，省力化，作業環境の改善や自然環境への配慮といった社会的要請から従来の発破掘削方式に代わるものとして選定されている場合が多い．国内では，発電所の水路トンネルにおいて斜坑用TBMおよび水平トンネルでのリーミング用TBMの事例はあるが，立坑用TBMの実績はない．海外では，斜坑用としては水圧管路トンネルのほかに換気トンネル，ケーブルカー用トンネル，鉱山坑道などがあり，リーミング用TBMも，スイスを中心に大断面の道路・鉄道トンネルなどに採用されている．立坑TBMの事例は海外でも実証プロジェクトを含め数例しかない．ここでは，わが国における斜坑用TBMおよびリーミング用TBMについて述べ，リーミング用TBMでは外国の施工事例も紹介する．

2. 斜坑用TBM

斜坑用TBMは，重力を利用してずりを搬出(自然落下)するために下部より切り上がる方式がとられている．勾配が急になるとTBMが持つグリッパ装置のほかに，機体の後退を防止する補助グリッパなどの機体滑落防止装置が必要となるほか，TBM自体の構造や性能，そして後続台車を急勾配に対応した斜坑用TBMとしたものにする必要がある．斜坑掘削におけるパイロット・リーミング方式は，あらかじめ小断面のパイロットTBMで導坑を下部から上部へ掘削し，その後，導坑をずり出しおよびリーミングTBMの方向案内として斜坑上部から下部へリーミングTBMにより切り拡げ掘削する(図-1)．

国内での斜坑TBMは，揚水式水力発電所の水圧管路斜坑で実績があり，大出力化に伴い高落差となり，水圧管路斜坑の長大化を余儀なくされ，1979年に初めて電源開発下郷発電所でドイツ・ヴィルト社の斜坑用TBMが導入された．

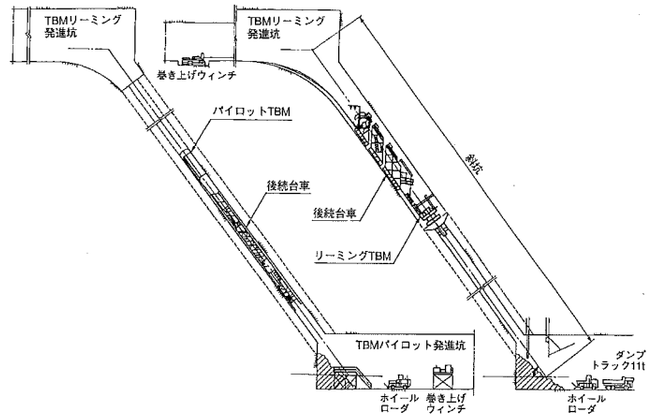


図-1 斜坑におけるパイロット・リーミング方式

従来の導坑掘削は，発破によるクライマー工法が一般的であり，その機構および施工上の理由から長さ350m程度が限度とされ，長大斜坑の場合には中間作業坑(横坑)が必要となること，また，施工時の安全・環境面でも問題があり，より機械化を進めた合理的な施工法への転換が要請されていた．当時，ヨーロッパにおいてはTBMによる硬岩地山での斜坑掘削の実績が増えていたこともあり，自然環境に対する配慮・コストなど総合的に勘案されて斜坑TBM工法が下郷発電所で採用された．その後，急勾配対応としてわが国の地質条件および急勾配を考慮したシールド構造をもった国産の斜坑用TBMが開発され，現在に至っている．なお，斜坑導坑掘削としてレイズボーラー工法も施工されているが，掘削精度の確保が難しく，掘削延長も機械能力から300m程度である．

下郷発電所で導入された斜坑用パイロットTBM(オープン型)の特徴は，機体滑落防止用に後退防止装置(補助グリッパ方式)を採用しており，グリッパを張出してい

る油圧が一定値を下回った場合には，確実に補助グリッパが機械的に押し付けて機体の滑落を防止する機構となっている．また，パイロット坑を利用し切り拡げするリーミングTBM（オープン型）の特徴は，本体の推進装置および反力機構（スラストジャッキ，グリッパ装置）が総てパイロット坑内にあり，リーミング坑にはカッタヘッドと後続台車を配置した構造となっている．

東京電力蛇尾川発電所の水圧管路斜坑は，勾配が52.5度と国外を含め初めての急勾配の斜坑導坑に，国産のシールド型TBMが採用された．地質条件および急勾配を考慮してシールド構造を採用しているため，軟弱層などでの坑壁崩壊に対して安全であること，掘削反力機構としてシールドジャッキを装備していることから急勾配での滑落防止のための改良が容易であることが選定の理由であった．急勾配斜坑TBMの特徴は，十分な機体滑落防止対策が必要なため，掘進反力はメイングリッパで坑壁からとるほかに，常時シールドジャッキを滑落防止鋼材

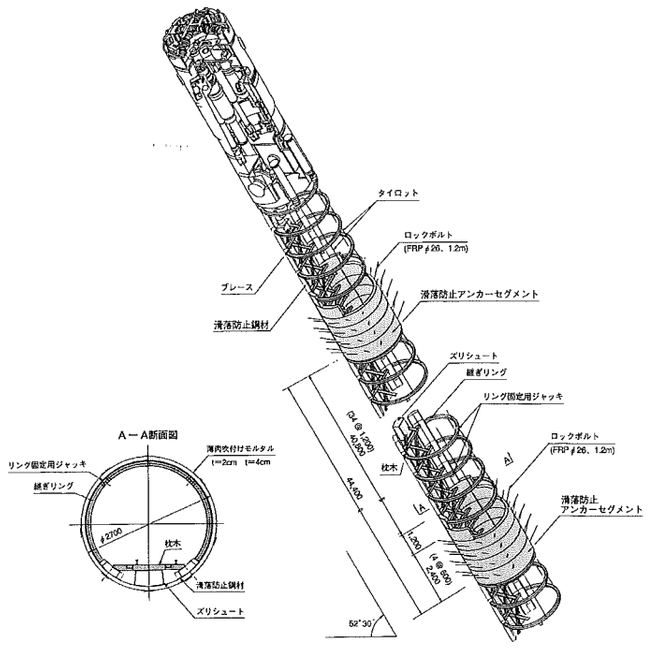


図-2　TBM滑落防止設備概要図（葛野川発電所斜坑）

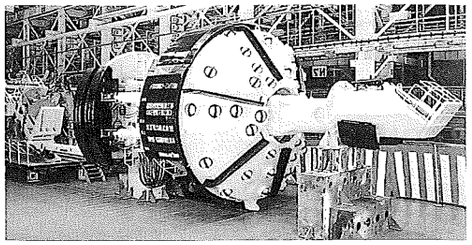


写真-1　カッタヘッドスライド式リーミングTBM（φ7.0m）

に押し当てて機体の後退を防止する方式となっている．また，メイングリッパ反力がとれないような弱層部対策として，シールドジャッキによる推進力を得るために反力受けアンカー部（鋼製セグメント）と呼ばれる支持機構を設置し，掘進する機構となっている（図-2）．

東京電力葛野川発電所水圧管路斜坑で開発されたリーミングTBMは，わが国の複雑な地山条件やずりの落下などによるパイロット坑壁の崩落でも対応可能な推進装置およびグリッパなどをリーミング坑に配置した新タイプのカッタヘッドスライド式リーミングTBM（オープン型）である．カッタヘッドスライド式リーミングTBMを**写真-1**に示す．また，地質が良好な岩盤においては，掘削径φ6.6mの大きな断面を1工程で切り上がる全断面斜坑TBM工法で施工された東京電力神流川発電所水圧管路斜坑の事例がある．斜坑TBMの実績を**表-1**に示す．

3. リーミング用TBM（水平トンネル）

水平トンネルにおけるリーミング用TBMは，比較的大きい掘削断面の硬岩地山において小断面パイロット坑をTBMで貫通させ，このトンネルをガイドとして同心円状に断面を切り拡げするパイロット・リーミング方式で施工されている．メリットは，掘削径が大きくなることに伴う外周と内側とのカッタの転走距離の差が増大することを回避し，パイロット坑の芯抜き効果によるリーミン

表-1　斜坑TBMの国内実績

名　称	企業者	施工期間	勾　配	施工延長	掘削径		地　質
					パイロット	リーミング	
下郷発電所	電源開発	'79.6～'80.3	37°	488m×2本	φ3.3m	φ5.8m	細粒砂岩・頁岩
蛇尾川発電所	東京電力	'89.1～'89.6	52.5°	462m×1本	φ2.3m	発破工法	流紋岩
葛野川発電所	東京電力	'94.9～'98.1	52.5°	745m×2本	φ2.7m	φ7.0m	泥岩・砂岩
神流川発電所	東京電力	'99.11～'01.4	48°	935m×1本	φ6.6m全断面切り上がり		泥岩・砂岩
小丸川発電所	九州電力	'01.10～	48°	890m×2本	φ2.7m	φ6.1m（施工中）	砂岩・頁岩

表-2　リーミング用TBM（水平トンネル）の国内実績

名　称	企業者	施工期間	施工延長	掘削径		地　質
				パイロット	リーミング	
新愛本発電所	関西電力	'82.4～'84.11	3,380m	φ3.6m	φ6.1m	閃緑岩
大飯発電所	関西電力	'87.11～'88.5	572m	φ3.6m	φ6.2m	流紋岩
秋葉第三発電所	電源開発	'88.3～'91.6	3,327m	φ3.3m	φ7.1m	黒色片岩

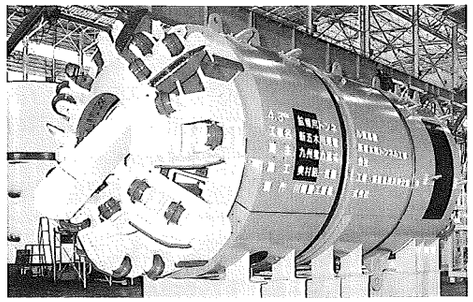


写真-2　既設トンネル拡幅用TBM（φ4.3m）

グ機械の負担が小さくすむことにより，TBM工法の優れた高速掘削能力を発揮することができる点にある．また，リーミングTBM本体の推進装置および反力機構がすべてパイロット坑内にあるタイプでは，リーミング用カッタヘッド直後の作業空間が広く確保されており，支保などの作業性が良いなどの利点もある．ただし，このパイロット・リーミング方式は，機械の組み立て・解体・仮設備の設置・撤去が2工程となるため，施工延長が短い場合は必ずしも工期，経済性で有利とはいえない．

わが国のような複雑な地山条件でのリーミングTBMによる硬岩掘削では，全断面方式に比べ，パイロット掘削により水抜き効果が期待できること，パイロット掘削で得た地質状況の把握により高速掘進が可能になること，また，破砕帯ではパイロット掘削後に補強などの手当てを行いリーミングに備えることができるという利点があり，より確実に掘削できるという点で，パイロット・リーミング方式の方が優れていると思われる．

1982年に関西電力新愛本水力発電所において，導水路トンネルを急速施工するために，ヴィルト社製のパイロット・リーミングTBMが採用されている．その後，このパイロット・リーミングTBMは，関西電力大飯原子力発電所の増設工事における冷却用海水管トンネル掘削において，転用されている．また，電源開発秋葉第三発電所導水路トンネルは，掘削径に合ったTBMを保有していたことが採用理由で，下郷発電所の水圧管路斜坑を掘削したTBMを，ずり出し用ベルトコンベヤの搭載など水平坑用に改造して転用された．実績を**表-2**に示す．

その他の特殊TBMとしては，50余年を経た既設トンネルの断面拡幅に拡幅用TBMを採用した事例がある．1993年に九州電力新五木川発電所において，発電能力の規模の増大を図る再開発として，既設導水路トンネル（断面積6～8m²）をφ4.3m TBMで拡幅掘削された．この拡幅用TBMは，カッタヘッド中央部を脱着可能な構造とし，既設トンネル拡幅部においてはカッタヘッドの中心部を取り外して，バルクヘッド内に取り込んだ掘削ずりをTBM前面に装着したシュートを使い，前方に排出する前出し方式を採用している．なお，前出ししたずりは，シャフローダにてシャトルカーに積み込み，既設導水路トンネルを利用して坑外に搬出している．拡幅用TBMを**写真-2**に示す．

4. 斜坑用TBM施工事例

4-1　パイロット・リーミング方式（葛野川発電所水圧管路斜坑工事）

4-1-1　工事概要

東京電力葛野川発電所は山梨県塩山市を流れる富士川水系に上部ダムを，大月市を流れる相模川水系に下部ダムを建設し有効落差714mを利用して最大出力160万kWの発電を行う揚水式発電所である．その水圧管路下部斜坑掘削において急速施工と安全性の向上を目的に，国産型のパイロット・リーミング方式による斜坑TBM工法を採用した工事である（**表-3**）．

4-1-2　当工事の地質概要

山梨県東部の大菩薩嶺の東南に位置し，地質は中世代白亜紀から新世代古第三紀にかけて生成された四万十層「小仏層群」に属する泥岩・砂岩の混合層からなっている．節理の走向・傾斜はかなり卓越した方向性を示し，斜坑部とは約15～30°の低角度で交差している．岩片は硬質で一軸圧縮強度は35～248MPa（平均105MPa）で，基岩部の弾性波速度は3.3～5.2km/secである．また土かぶりは斜坑上部で約50～80m，斜坑下部で約500～570mである．湧水は最大550ℓ/min程度であった．

表-3　斜坑工事概要

工事名	葛野川発電所新設工事（1期）のうち土木工事（水圧管路下部工区）
発注者	東京電力株式会社
工事場所	山梨県大月市七保町瀬戸
TBM施工期間	平成6年11月～平成10年1月
斜坑延長	水圧管路下部斜坑　L＝768m×2条 （TBM実掘削長745m×2条）
断面積	38.5m² （パイロットφ2.7m，リーミングφ7.0m）
掘削工法	斜坑TBM工法 （パイロット・リーミング方式）
ずり出し方式	自然落下方式（勾配52.5°）

4-1-3　当斜坑工事の特徴

当地点は勾配52.5度で，かつ地質も硬岩から軟弱層まで変化することから切り拡げ掘削において，ずりの落下などによるパイロット坑(導坑)の坑壁崩落で，リーミング時に反力機構としてパイロット坑に配置したノーズグリッパ(図-4参照)の使用不可能な場合が心配された．これまでの硬岩を対象とした外国製リーミングTBMの機構では地山不良部での導坑壁崩落に対処できないため，新タイプのリーミングTBMを開発し，適用した工事である．

4-1-4　斜坑掘削機械選定の経緯

(1)　パイロットTBM

パイロットTBMによる勾配52.5度の切り上がり斜坑導坑掘削は，既に実績のある蛇尾川発電所の滑落防止設備を用いた斜坑TBM工法に若干の改良を加えて継承した．パイロットTBM掘削径については，TBM機内の作業性を勘案してϕ2.7mに変更した．

その理由は，先述の蛇尾川発電所でのパイロットTBMの掘削径の根拠となったのが，過去の斜坑・立坑において切り拡げ掘削時の発破により破砕された岩塊は60cm前後の大きさで，その大きさの3倍以上の径があれば導坑閉塞の可能性が小さいと言われ，実績から2m角前後の大きさの導坑が多かったことと斜坑内での作業においてもとくに問題ないとの判断から蛇尾川では必要最小径のϕ2.3mとなった．しかし，配管・電線ケーブル類などもあり坑内が手狭な状況であり，ケーブル類の保護，作業性などを考慮して葛野川発電所では一回り大きいϕ2.7mとした．

(2)　リーミングTBM

長大な斜坑切り拡げ掘削においてリーミングTBMを導入する主な理由は，以下のような点にあった．

① 揚水式発電所の大出力化に伴い高落差となり，必然的に水圧管路の斜坑延長も長くなり，発電所工事全体の中で斜坑工事の占める工程のウエイトが大きく，工程上クリティカルになっている．そのため，急速施工による工程確保を図る必要がある．

② 発破掘削方式での機械化した多機能ガントリージャンボによる斜坑切り拡げ掘削では，ガントリージャンボの重量が数十トンもあり，その昇降には，大型巻き上げ機によるワイヤロープ方式やチェーンアンカーによるチェーン方式が採用されている．坑内に大型巻き上げ機の設置が困難な場合にチェーン方式が採用され，その手順は，斜坑内の左右に設置されたチェーンアンカーから伸びたチェーンをガントリージャンボ内のチェーンウインチによってチェーンを巻き取ることにより昇降する．左右のチェーンの伸びによる違いから，偏荷重対策として斜坑内にチェーンアンカーを盛替えなければならないなど，ワイヤロープ方式も含め施工の安全性と急速施工に問題がある．

③ 長大な水圧管路は，掘削後に埋設する水圧鉄管(ペンストック)の設計において荷重の一部を岩盤に負担させており，発破工法の場合には発破による地山のゆるみ範囲をグラウチィングにより改良している．リーミングTBMを導入した場合には，周辺地山を痛めないためグラウチィングが省略でき，グラウト工の工程短縮も図れるなどのメリットがある．

これらの理由により，わが国の地質条件に対応可能なリーミングTBMが検討され，ずり出し坑であるパイロット坑の坑壁崩落があっても掘進可能とするメイングリッパ反力をリーミング坑壁から確保する構造のカッタヘッドスライド式リーミングTBMを開発し，採用した．

表-4　パイロットおよびリーミング斜坑TBM主要諸元

項　目	諸　元	
	パイロットTBM	リーミングTBM
掘削径(形式)	ϕ2.7m(シールド型)	ϕ7.0m(オープン型カッタヘッドスライド式)
機体長	7.95m(後続台車含め56m)	14.5m(後続台車含め46m)
機体重量	100t(後続台車含め135t)	300t(後続台車含め360t)
ストローク	1.2m	1.5m
カッタヘッド回転数	4.5，9.0rpm(2段切替)	2.7，3.6，4.5rpm(3段切替)
カッタヘッドトルク	最大480kN・m (48t・m)	最大2,060kN・m (206t・m)
カッタモータ出力	132kW×2台	160kW×6台
カッタサイズ(個数)	10インチ(6set)，14インチ(17set)	17インチ(ϕ430×34set)
スラストジャッキ推力	最大360t	最大848t
シールドジャッキ推力	最大600t	—
メイングリッパ推力	最大1,380t(690t×2個)	最大2,400t(1,200t×2個)
フロントグリッパ推力	最大100t×4個	—
サイドサポート推力	—	最大920t(460t×2個)
ノーズグリッパ推力	—	最大247t×4個

このリーミングTBMは，メインビームを持ったオープン型であり，リーミング坑のメイングリッパとパイロット坑内のノーズグリッパでメインビームを固定し，メインビームに沿ってカッタヘッドをスライドさせて掘進する．もし，弱層部などでパイロット坑壁の崩壊などノーズグリッパが使用できないときは，メイングリッパとカッタヘッド近傍にあるホールドグリッパ(図-4参照：サイドサポート，バーチカルサポート，ルーフサポート)を使用して掘進が可能な構造としている点が特徴である．

また，カッタヘッドの形状は，切羽の安定とパイロット坑壁の崩壊を防止するためコーン型とした．なお，後続台車は，滑落に対する抵抗性を考慮し，ソリ構造とし斜坑底部の枕木上をスライドさせる方式を採用し，資機材の運搬のため，後続台車の中を人荷車が通過できる門形構造とした．パイロットおよびリーミング斜坑TBMの主要諸元を**表-4**に，パイロットTBMの構造を**図-3**に，リーミングTBMの構造を**図-4**に示す．

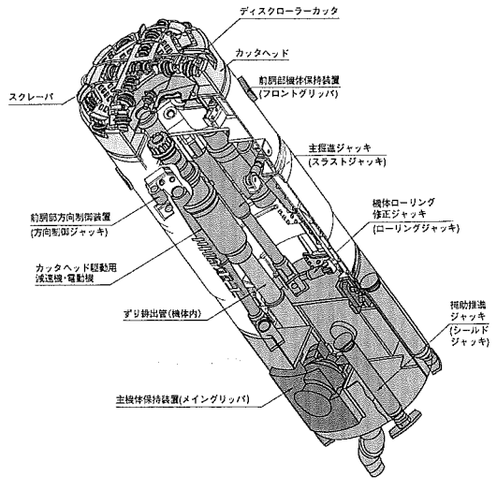


図-3　パイロット斜坑TBMの構造

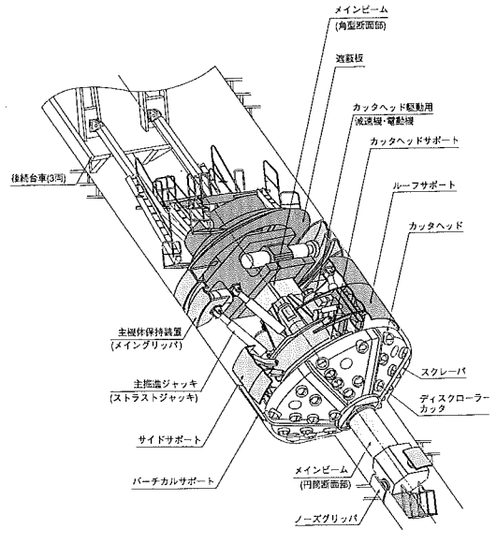


図-4　リーミング斜坑TBMの構造

(3)　インクライン設備

斜坑TBM工法におけるインクライン設備は，資機材の搬出入および人員の輸送を行う上で重要な設備で，斜坑延長が長くなると輸送能力が低下する．巻き上げ機の能力は斜坑規模・掘削サイクルタイムなどから**表-5**に示す仕様の巻き上げ機・人荷車を選定した．

4-1-5　施工実績

パイロット機による掘進サイクルは，掘進—盛替え—支保—滑落防止設備組み立てを基本とし，1掘進長は通常L=1.2mとした．坑壁の崩落防止対策として，吹付け直後に高強度の発現が期待できる繊維補強吹付けモルタル(t=2cm，4cm)を使用した．なお，3，4号パイロット坑での実績は，平均日進6.6m，最大月進158.4m(平均月進134.2m)であった．

リーミング機の支保作業はメイングリッパ後方で施工するため，カッタヘッドからメイングリッパまでの機体内のオープン区間において肌落ち崩落が発生した．肌落ち防止対策としてオープン区間に吹付けロボットを増設し機内上半部を仮吹付けした．また，パイロット坑の坑壁崩落によりノーズグリッパが使用できない場面もあり，ノーズグリッパの代用としてホールドグリッパ(サイドサポートほか)を使用して無事掘進することができた．3，4号パイロット坑での実績は，平均日進5.8m，最大月進

表-5　インクライン設備の仕様

		導坑掘進時	切り拡げ掘進時
巻き上げ機	電動機出力	77kW	160kW
	ロープ速度(高速)	60m/min	67.5m/min
	最大張力	4.7t	13.0t
人荷車	定員	6名	12名
	最大積載荷重	2t	2.8t

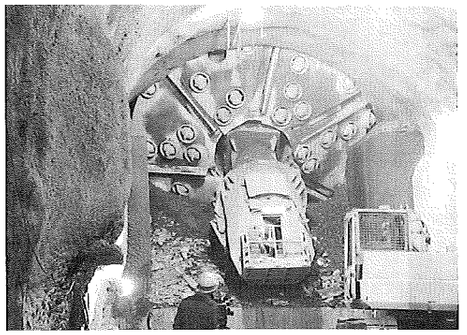


写真-3　貫通時におけるリーミングTBM

168.0m（平均月進102.1m）であった．貫通時におけるリーミングTBMを**写真-3**に示す．

4-2　全断面切り上がり方式（神流川発電所水圧管路斜坑工事）

4-2-1　工事概要

東京電力神流川発電所は長野県東部の信濃川水系に上部ダムを，群馬県南西部の利根川水系に下部ダムを建設し有効落差653mを得て最大使用水量510m³/secにより最大出力270万kWの発電を行う揚水式発電所である．このうち水圧管路斜坑において，φ6.6mの大きな断面を下部より1工程で切り上がる世界的にも斜坑としては，最大規模の「全断面斜坑TBM工法」を採用した工事である（**表-6**）．

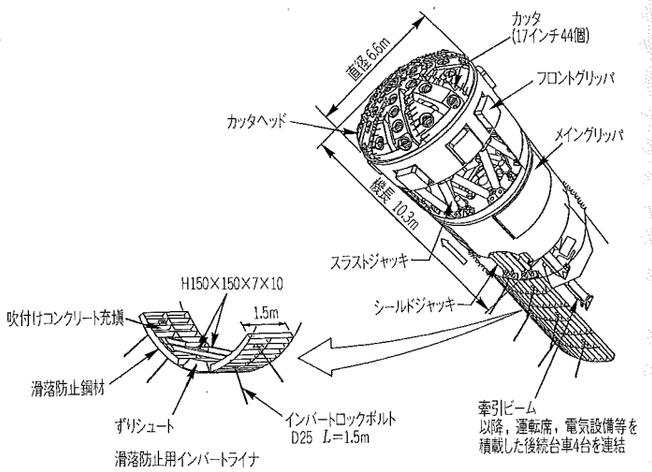


図-5　滑落防止用インバートライナ

4-2-2　当工事の地質概要

秩父帯南帯（三宝山帯）の中古生層がほぼ東西系の帯状構造をなし，泥質岩を主体とする基質に様々な大きさの砂岩・チャート・凝灰岩および玄武岩・石灰岩などの異地性の外来岩塊（オリストリス）が海底地すべりにより混入した混在岩である．地層の傾斜は，斜坑掘削面とほぼ直交する方向となっている．斜坑に出現する一軸圧縮強度は泥岩で40MPa，砂岩で最大280MPa程度あり総じて良好な岩盤であるが，地質性状の変化が激しい．

4-2-3　当斜坑工事の特徴

地質が良好な岩盤であることから，掘削径φ6.6mを1工程で切り上がる全断面斜坑TBM施工システムを開発して施工した．斜坑TBM掘削においては地山崩落を未然に防止することが最重要課題であり，掘削断面積が2工程方式（パイロット・リーミング）におけるパイロットTBMに比べ，34m²と大きく，切羽での地山崩落が発生した場合には，後続台車を含むTBM重量に崩落荷重がTBM推力に付加されるとともにTBMが拘束されるなどのリスクが懸念された．そのため，斜坑全線にわたり削孔検層による前方探査を実施し，地質性状を把握するとにより弱層部における地山注入・全周ライナーなど事前に対応ができるようにするとともに，崩落が発生した場合にも対応できる十分なトルクと推力をTBMには装備した．

表-6　斜坑工事概要

工事名	神流川発電所新設工事（1期）のうち土木工事（水圧管路工区）
発注者	東京電力株式会社
工事場所	群馬県多野郡上野村
TBM施工期間	平成11年11月～平成13年4月
斜坑延長	水圧管路斜坑　L＝960m （TBM実掘削長935m）
断面積	34.2m²（全断面TBM6.6m）
掘削工法	斜坑TBM工法（全断面切り上がり方式）
ずり出し方式	自然落下方式（勾配48°）

また，全断面TBMにおける後続台車を含めた機体重量が600tにもなり，急勾配斜坑の滑落に対する支持機構は，大断面化による鋼材重量の増加が想定され，従来と比べ更なる合理化が求められた．今までの滑落支持機構の計測結果から，合理的なインバートライナ方式を考案した．その特徴は，1掘進ごとに鋼製ライナ（滑落防止鋼材枠）を吹付けコンクリートで充填し，ロックボルトでインバート部の岩盤に固定し，岩盤とのせん断摩擦抵抗により滑落荷重を支持するものである，滑落防止用インバートライナ構造図を**図-5**に示す．

4-2-4　斜坑掘削機械選定の経緯

2工程方式であるパイロット・リーミング方式は，パイロット坑による地質状況の把握・水抜き効果などメリットが大きいものの，当地点の地質が良好であることから下部より1工程で掘り上がる「全断面斜坑TBM工法」の採用となれば，従来の2工程方式と比較して約1.5倍の急速施工が可能となり，中間作業坑も省略できることなど大幅な工程短縮とコストダウンが見込まれた．そこで，事前に既往地点のトラブル事例を詳細に調査・分析するとともに，地質などの地点特性と大口径化および長距離化によるリスク評価を行い，これに対応可能な装備および施工機械を検討し，採用した．

（1）　全断面切り上がりTBM

① 作業の安全確保，シールド掘進の必要性，滑落防止機構への適用性などを考慮しシールド型を選定し，硬岩から弱層部まで対応可能なインバータ制御による運転と崩落が発生した場合にも対応できる十分なトルクと推力を装備した．

② カッタヘッド形状は，地山の安定・ずりの排出を考慮してドーム型とし，最大開口率が20%と大きいことから，開口部に着脱可能な取り込み制限蓋を装備し，地質性状に合わせて開口率を変更できるよう

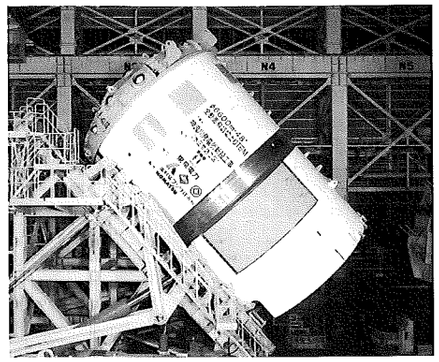


写真-4　全断面切り上がり斜坑TBM（φ6.6m）

表-7　全断面切り上がり斜坑TBM主要諸元

項目	諸元
掘削径（形式）	φ6.6m（シールド型）
機体長	10.3m（後続台車含め50m）
機体重量	460t（後続台車含め600t）
ストローク	1.5m
カッタヘッド回転数	0.4，2.1，4.3，5.2rpm（4段切替）
カッタヘッドトルク	最大7,065kN・m（721t・m）
カッタモータ出力	160kW×10台
カッタサイズ（個数）	17インチ（44set）
スラストジャッキ推力	最大2,180t（ラチスタイプ全16本）
シールドジャッキ推力	最大3,280t（全26本）
メイングリッパ推力	最大5,400t（2,700t×2個）
フロントグリッパ推力	最大2,500t（312.5t×8個）

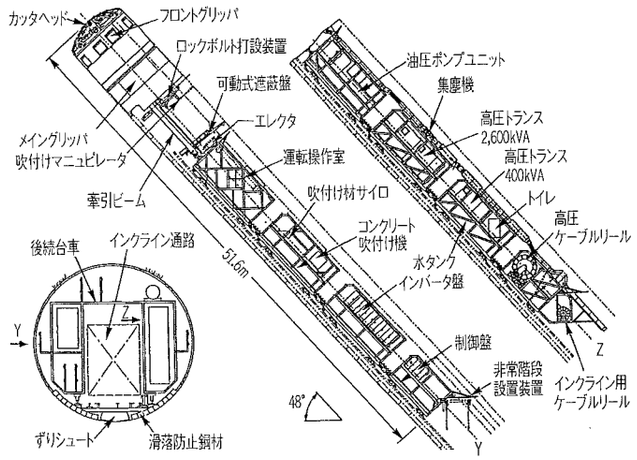


図-6　TBM後続台車全体図

表-8　TBM後続台車主要搭載機器一覧表

機械名	形式・仕様
カッタ交換装置	マニュピレータ式
吹付けマニュピレータ	
ロックボルト打設装置	HD-150・削孔検層と併用
荷役設備（エレクタ）	Tバー式・1.2t吊り
送風機	300m³/min
コンクリート吹付け機	NEEDGUN600・乾式吹付け
吹付け材サイロ	4.5m³
集塵機	300m³/min・湿式
機内給水ポンプ	800ℓ/min×80m水タンク4m³
非常階段設置装置	旋回式テルハ0.49t吊り

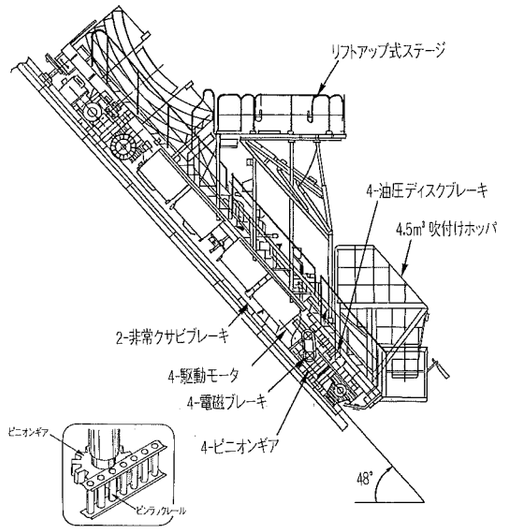


図-7　インクライン（人荷車）側面図と制動方式

表-9　インクライン（人荷車）主要諸元

寸法	長11.65m×幅2.40m×高3.15m
重量	全重量31.5t（積載重量12.2t）
搭載設備	9名（運転手1名含む）
動力	60kWモータ×4台
電源	直流500Vトロリー給電
駆動方式	ピンラック-ピニオンギア方式
走行速度	最大50m/min
制動方式	(1)モータ回生制動×4台
	(2)電磁ブレーキ×4台
	(3)油圧式ディスクブレーキ×4台
	(4)クサビ式非常ブレーキ×2台

にした．

③ 支保工は，吹付けコンクリートとロックボルトを基本とし，弱層部では鋼製の全周ライナーにより対応することとした．吹付けコンクリートはインクラインによる運搬を考慮して乾式とし，吹付け材料は，1掘進

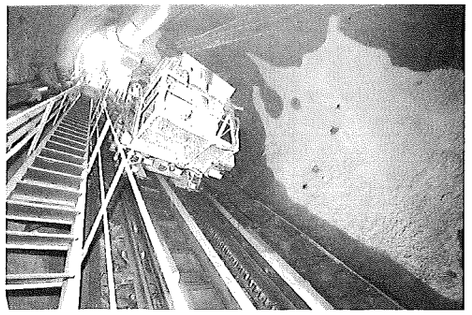


写真-5　斜坑内のインクライン設備(人荷車)

長分のセメントと骨材を空練りしたものをインクライン専用ホッパ(人荷車)に積み込み，後続台車に設けた吹付け材サイロまで運搬する．なお，吹付けはTBM掘削によって坑壁に付着したスライムを高圧水で洗浄除去後，後続台車に搭載されたコンクリート吹付け機と吹付けマニュピュレータによって吹付けるようにした．

切り上がり全断面斜坑TBM本体を**写真-4**，TBM主要諸元を**表-7**，後続台車全体図を**図-6**，主要搭載機器一覧表を**表-8**に示す．

(2)　インクライン設備(人荷車)

従来の斜坑工事では，資機材および人員輸送にはTBM後部にあるワイヤシーブを介して巻き上げ機・ワイヤ牽引方式のインクラインを使用していた．しかし，長大斜坑においては，人荷車重量よりもワイヤ重量の方が重くなるという現象が斜坑内で発生し，人荷車の浮き上がりやワイヤ制御の困難さなどの問題があった．そのため，斜坑内に設置したトロリー線から受電するピンラック・ピニオンギア方式で駆動する自走式インクラインを採用した．本方式の斜坑工事への採用は初めてであり，とくに安全装置は多重に装備した．インクライン(人荷車)主要諸元を**表-9**に，側面図を**図-7**に示す．斜坑内のインクラインを**写真-5**に示す．

4-2-5　施工実績

TBMによる斜坑掘削は，後続台車がすべて斜坑内に収まるまでの初期掘進(62m)を平成11年11月末から平成12年2月末まで要し，その後段取り替えを行い3月21日より本掘進を開始し，平成13年4月4日に貫通した．TBMによる掘進サイクルは，掘進—盛替え—支保—滑落防止設備組み立てを基本に，1掘進長は$L=1.5$mとした．平均月進長は71.4m (最大月進長115.5m，最大日進長7.5m)であった．

(文責：阿久津秋秀・(株)奥村組)

5. リーミング用TBM施工事例

5-1　パイロット・リーミングタイプ(新愛本水力発電所導水路トンネル工事)

5-1-1　工事概要

新愛本発電所工事は黒部川本川出平に高さ76.7mのコンクリート重力ダムを造り，最大74m³/secを取水し，ここから延長10.8kmの導水路によって発電所に導水し，有効落差193.5mにより，最大124,000kWを発電した後，延長1.8kmの放水路により黒部川本川へ還元放流するものである．新愛本発電所導水路トンネルでパイロット・リーミングタイプのTBMを採用したのは，導水路10.8kmのうち，4号トンネル全長5,735mが長大トンネルとなるため，そのうち4号下口トンネルの延長3,380mの区間で急速施工を目的に採用した(**図-8**参照)．

5-1-2　パイロット・リーミングタイプの採用理由

本工事に使用したパイロット・リーミング方式のTBMの仕様を**表-10**に示す．この方式の特徴は，一度に大断面のTBMを施工することではなく，小断面のパイロットTBM (ϕ3.6mの導坑用)と拡幅用リーミングTBE (ϕ6.1mの拡幅掘削用TBM)を2回に分けて施工するものである．この方式では，掘削そのものだけでなく，機械の組み立て・据付け・解体および坑内仮設備の設置・撤去をそれぞれ2回行わなければならないが，硬岩掘削では機械の負担が少なくてすみ，かつ軟弱層ではパイロット坑掘削後に地山補強などの処理を行いリーミング掘削に備えることができるという利点があり，地質変化の著しいわが国のTBM掘削では，全断面TBMに比べより安全性・確実性の高い掘削ができる利点を有している．

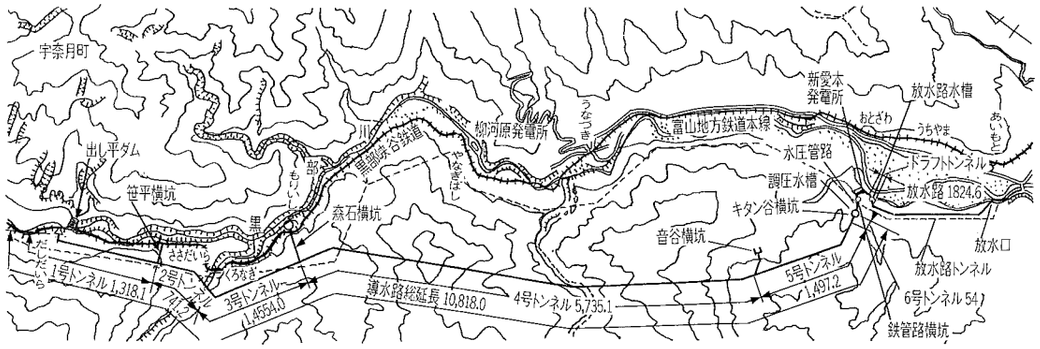


図-8　新愛本発電所導水路平面図

表-10　パイロット・リーミングタイプTBMの主要諸元

	パイロット機 TBⅡ360H	リーミング機 TBEⅡS-360/800H
設計対象岩石能力	圧縮強度250MPa以下，引張強度15MPa以下，ミネラル含有容積比率40%以下の岩を2.5m/hr	
直径	3.6m	6.1m
全長	約40.5m	約44.5m
本体機長	約7.5m	約14.0m
推進装置ストローク	1.2m(無段階変速)	1.5m(無段階変速)
最大スラスト	440t	866t
カッタヘッド回転数	0～10rpm (無段階変速)	0～5.2rpm (無段階変速)
総重量	約130t	約350t
電動機出力	約460kW	約1,100kW
センターカッタ	ディスク6個	—
カッタ	1枚刃ディスク28個	1枚刃ディスク52個
バケット	5個	6個
グリッパ最大推力	1,130t	2,740t
グリッパ面積	78cm×82.5cm×8個=51,480cm²	95cm×165cm×8個=125,400cm²
操向装置(フロント)	上下2個の油圧シリンダ	上下2個，左右1個の油圧シリンダ
〃 (リア)	上下2個，左右1個の油圧シリンダ	上下2個の油圧シリンダ
最小曲率半径	150m	150m

(注)後退防止装置を取付ければ斜坑掘削可能

発破方式と比較して，TBM掘進は以下に示す利点を有している．

①　ずり処理，支保工の作業が掘削と並行して行えるため，掘削が連続的で，急速施工が可能である．

②　発破方式に比較して，爆破による地山への衝撃がないため，地山の緩みが小さく，かつ断面が円形でしかも滑らかであるため力学的な安定が良く，支保工が削減できる．

③　発破方式に比べ余掘りが少ない．

④　発破作業による危険がなく，地山の緩みが小さいので崩落・肌落ちの危険性が少ない．

また，今回採用したTBMの特徴を以下に示す．

①　パイロット・リーミング方式のため，安全確実に大口径トンネルが掘削できる．

②　適用可能な地山の範囲が広い．

③　斜坑掘削にも転用可能である．

パイロット・リーミングタイプの作動機構を**図-9**に，TBMの機器構成を**図-10**に示す．

パイロット掘削開始当初は機械の不慣れもあり，月進100～150m程度であったが，3か月経過後から計画月進286mに達した．しかし，T.D.700m付近からトンネル縦断方向の破砕帯に遭遇し，月進50～80m程度が5か月ほど続いた．T.D.

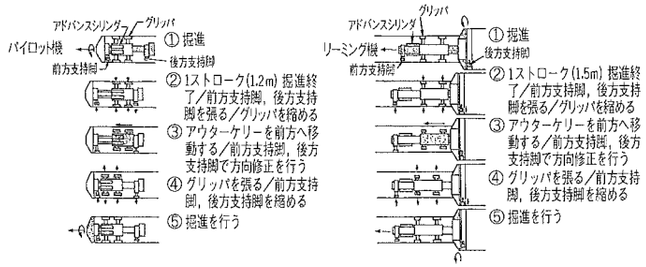


図-9　パイロット・リーミングタイプTBMの作動機構

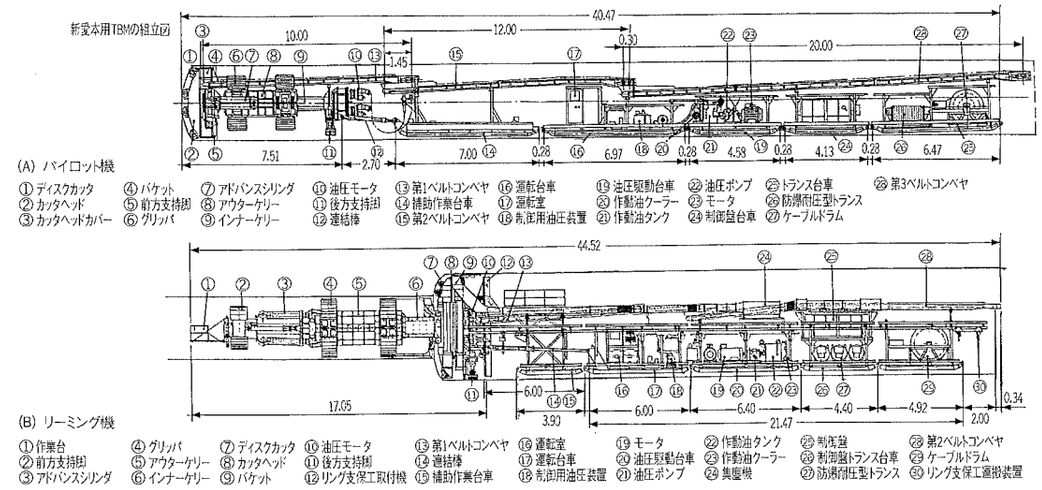


図-10　パイロット・リーミングタイプTBMの機器構成

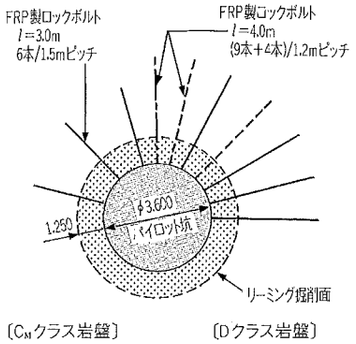


図-11　破砕帯区間で採用した支保工

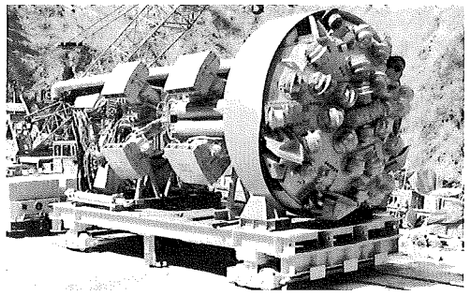


写真-6　パイロットTBM

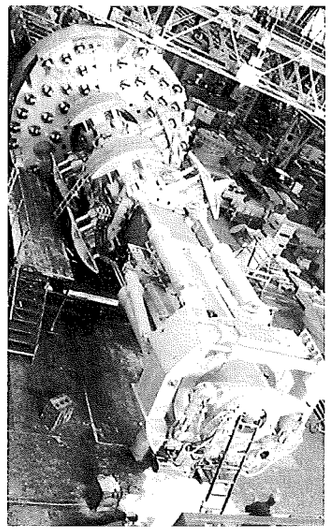


写真-7　リーミングTBE

表-11　TBMの掘削実績

進行 / 機械名	月進 最大	月進 平均	日進 最大	日進 平均
パイロット	460m(486m)	225m	37.6m	9.9m
リーミング	414m(521m)	315m	33.6m	12.9m

※(　)は月にまたがる最大月進である．

1,200mで破砕帯を抜け，以後は一軸圧縮強度250MPaもの花崗岩地山を月進400mで掘進し，全長3,380mを掘進することができた．

リーミング掘削開始にあたって考慮した点は，パイロット掘削時に遭遇した長さ500mの破砕帯をいかに早く安全に掘進するかであった．パイロット掘削で苦労した教訓を活かし，リーミング掘進前にFRP製ボルトで地山を補強することで，パイロット掘進時には破砕帯掘削に5.5か月要したものを，リーミング掘進では3.5か月の短期間で掘進を行うことができた(破砕帯区間で採用した支保工を図-11に示す)．

この利点は，先に述べたように，地山の急変するトンネル掘進に際し，小断面の導坑を先進させ，地山状況を把握し，必要に応じて必要な補強工を施工することによりTBMによる急速施工ができる特徴を有した方法である．

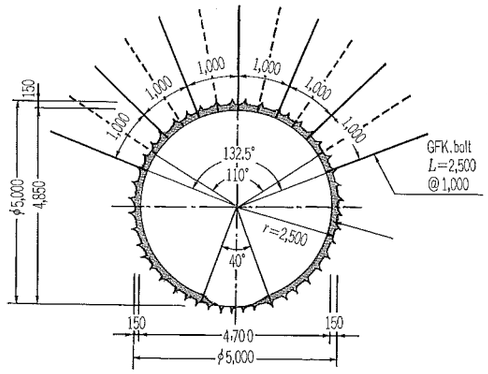


図-12　TBM区間支保パターン

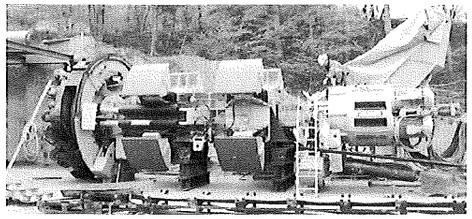


写真-8　TBM先端部(φ5.0m)

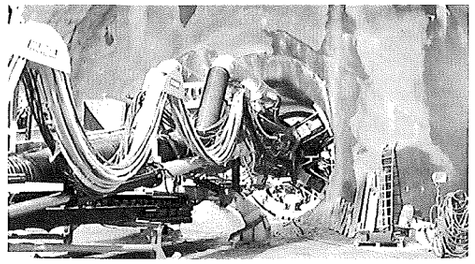


写真-9　坑内TBM発進状況

最後に，本工事で採用したパイロットTBMを写真-6に，リーミングTBEを写真-7に，TBMの掘進記録を表-11に示す．

5-2　パイロット・リーミングタイプTBM（ユートリベルグトンネル）

5-2-1　工事概要

本トンネルの延長は4,420mで，2001年に掘進を開始し，2006年中期に掘削完了予定である．スイスのユートリベルグトンネルは，チューリヒ西バイパスの4本のトンネル中最長のトンネルで，その延長は4.4kmの道路トンネルである．このトンネルの施工方法として，パイロット・リーミングタイプTBMを採用し掘削している．

5-2-2　パイロット・リーミング

TBMおよびTBEによるトンネルは円形断面で最終掘削断面積は約159m²である．図-12に示したように，トンネル寸法は幅14.4m，高さ14.2mとトンネル脚部より下は10cm小さく掘削する．TBMの支保工はTBMパイロット坑全周の鋼繊維吹付け(t=5～12cm)および天端120°区間のグラスファイバー製のボルト(L=2.5m，@1.0m)である．また，TBEの支保工は全周の金網入りの吹付け(t=25～35cm)とロックボルトである．トンネル掘削は，まずφ5.0mのTBMによるパイロット坑を先進させ(写真-8)，その後φ14.2～14.4mのTBEによる拡幅掘削を行う方法である．なお，坑口部の軟弱区間の250mはNATMにより施工し，内部に機械を引き込んで施工した(写真-9参照)．なお，施工実績としては，φ5.0mの先進坑TBMが2002年5月8日から掘進を開始し，平均日進26.6mで最大日進は42.6mであり，1本目は9か月で掘進完了した．なお，施工は1日3シフトで行っている．

トンネル拡幅時のTBEの施工方法として，通常硬岩では拡幅切羽に直角にディスクカッタが配置され，切羽の地山をせん断破壊させながら掘削するのに対し，本トンネルではモレーン区間(qu≒30～90MPa)の掘削方法

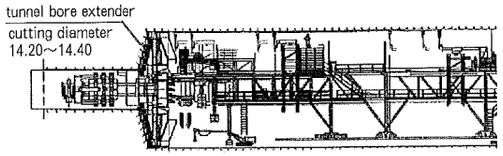


図-13　TBEトンネル断面図

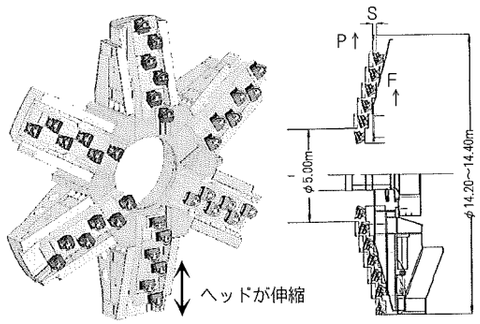


図-14　カッタヘッドの拡大図および施工概要図

表-12　TBEの機械仕様一覧

TBE450/1440	仕　様
直　径	14.0～14.4m
延　長	180m
カッタヘッド動力	10×250＝2,500kW
カッタ回転速度	0～3.7r.p.m
ディスクカッタ個数	36個
余掘り用ディスクカッタ	3個
ローラビットサイズ	20インチ
カッタブーム	6ブーム
スラスト	1,500mm
総重量	1,000t

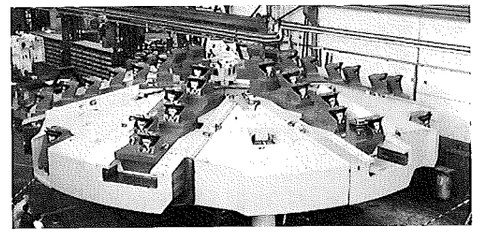


写真-10　カッタヘッドの工場組み立て完了状況

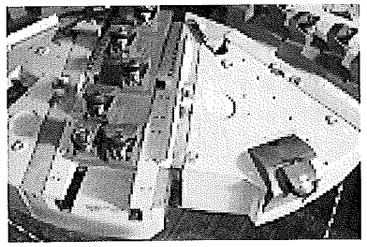


写真-11　余掘り調整用カッタ

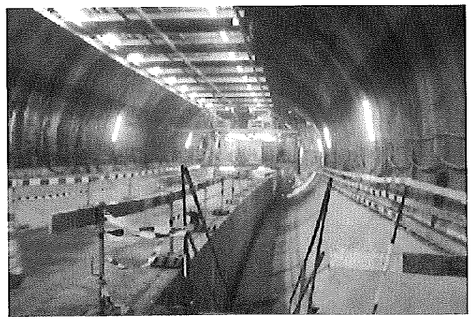


写真-12　トンネル坑内TBEベルコン状況

として，拡幅時の切羽を傷めないようにカッタヘッドが6つのブームに分かれており，各々6個のディスクカッタが斜めに配置され，トンネルの拡幅外側に向けディスクカッタが回転し，各ブームが外側に徐々に移動しながら0～20cmの幅で地山を階段状にスライスカット状に切削し掘進するものである．トンネル外周の所定の寸法まで切削が完了すると，各ブームがトンネル中心側に移動し，TBE先端部のパイロット坑内に配置したジャッキを張りTBE拡幅用カッタヘッドを引き寄せ前進させるシステムである．この方法は本トンネルで始めての試みであるとのことであった．バックカッティングシステムと称し，切羽の損傷抑止と掘削エネルギーを節約できる方法であるとの説明であった(**図-13, 14，写真-10, 11**参照)．TBEの総カッタ電流2,800kWのうち，2,500kWがカッタヘッドの電流である．掘削ずりは運搬能力100t/hrの連続ベルコンで坑外まで搬出する．なお，機械はドイツのヴィルト社製である(**表-12**参照)．

TBEの掘進はこれから実施するが，計画進行として，9 m/日を予定しているとの説明であった．また，TBMおよびTBE施工区間の許容施工誤差は10cmであり，先進させるTBMパイロット坑の施工により誤差は決まってしまうが，現状までの施工結果ではこの誤差の範囲内に収まっているとのことであった．

(文責：鈴木雅行・(株)間組)

わかりやすい **トンネルの力学**

B5判　286頁　価格 6,116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

連載講座

多様化するシールド掘進技術(12)

自由断面シールド工法，OHM工法，MMST工法

鎮守達美*　一原正道**
山田淳***　立石洋二****

自由断面シールド工法

1. 工法概要

自由断面シールド工法(以下，本工法)は，従来の円形断面を主体としているシールド工法に対して，非円形を掘削するために開発された工法である．非円形の形状を掘削するためにはカッタを複数組み合わせることで，円形断面を重ね合わせて掘削する方法がある．

本工法は，主カッタで円形断面を切削すると同時に，主カッタの周辺を断面形状に倣って遊星カッタを自転させつつ公転させて切削することで，従来困難とされていた非円形断面の掘削を可能とした新しい掘削機構を有する工法である．**写真-1**に縦楕円シールド掘進機を示す．

2. 開発の経緯

現在，都市部の道路地下空間は，上下水道，地下鉄，道路，電力洞道，通信洞道，ガス導管，共同溝などの各種の地下構造物が輻輳している．このため，地下空間の有効利用と，使用目的にあった合理的な形状のトンネルを築造するシールド工法が求められていた．

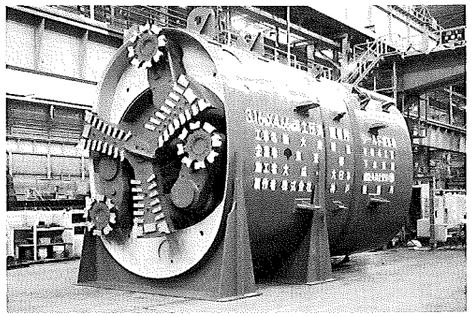


写真-1　縦楕円シールド掘進機

このような状況のもとで，平成元年より3か年かけて東京都下水道局と民間企業で共同研究を進め，合理的な断面形状，掘削機構，セグメント構造，施工性など総合的な研究・開発を行い，実証実験と実施工を行った．

3. 工法の特徴

本工法は占有幅や形状に制約が生じるさまざまな形状のトンネル築造に適合する工法である．このため，従来の工法に比べて次のような大きな特徴がある．

(1)　地下空間を有効に利用できる

矩形や，楕円形など細長い掘削断面が得られるため，

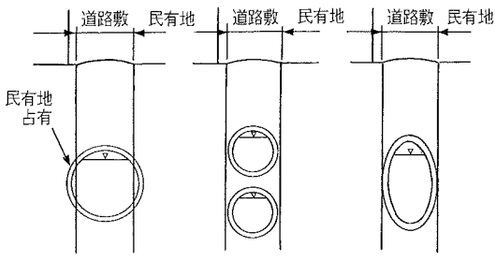


図-1　実施例

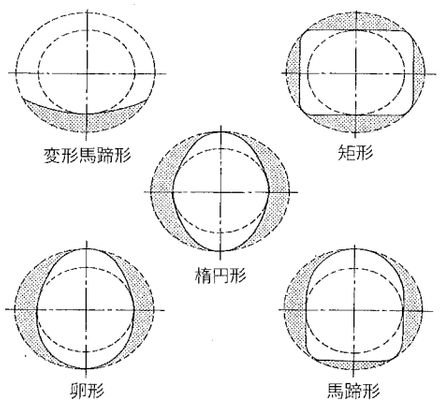


図-2　掘削断面形状例

＊大成建設(株)東京支店土木部技術部技術室次長
＊＊前田建設工業(株)土木技術部副部長
＊＊＊首都高速道路公団神奈川建設局川崎工事事務所長
＊＊＊＊大成・鹿島・戸田特定建設工事共同企業体所長

幅員や深度に制限がある地下空間に水を流すのに大容量のトンネルが得られる．図-1に実施例を示す．

（2） 使用目的にあった合理的なトンネル形状が得られる

図-2に示すように，共同溝や電力洞道には矩形，道路トンネルには馬蹄形など合理的なトンネル形状が選べる．

4. 工法の適用

4-1 シールドの形式

シールドの形式は，各種地盤への適用性や切羽の安定，掘削機構などを考慮して泥土圧シールドを基本とする．

4-2 シールドの適用範囲

4-2-1 掘削形状と最大縦横比

トンネルの掘削形状は，遊星掘削方式を前提としていることから主カッタの大きさに対してそこに配置できる遊星カッタの大きさには限界がある．そのことから縦径と横径との比(縦横比)が制限される．

① 最小断面はセグメント横外径で2.0 m

② 最大断面はセグメント横外径で5.0 m

4-2-2 縦楕円シールド

（1） シールドの外径

シールドのテールクリアランスについては，ローリングの影響を考慮して円形シールドより5～10㎜大きくとる．

（2） 主カッタ

主カッタの形状は，土砂の取り込みや遊星カッタとの取り合い関係からスポーク型とし，形状寸法，回転数，装備トルク，カッタビットなどについては円形シールドの考え方に準ずる．

（3） 遊星カッタ

1） 遊星カッタの配置

遊星カッタの配置によっては負荷の変動が大きくなるので，主カッタトルクの平均化を考慮した配置にする必要がある W3.16m×H4.66mの例では遊星カッタは3個として等間隔に配置する．

2） 駆動機構

遊星カッタは，遊星カッタ駆動機構の特性により主カッタの回転に伴って回転するが，さらに，独立した駆動系統を付加し，土質に応じて回転数を変えることができる構造とする．

3） 軌道制御

遊星カッタの軌道制御はスイングアームと一体に構成されているガイドアームにスイングジャッキを取り付け，主カッタの回転角に対応してジャッキ伸縮量を制御することによって行う．

(4) エレクタ機構

縦横比が大きい場合は円形シールドと異なり，図-3のようにエレクタ本体を昇降させる機構が付加される．

エレクタは，昇降時にスクリューコンベヤや油圧ホースなどと干渉しないよう，リングギアの一部を切り欠いた構造とする．

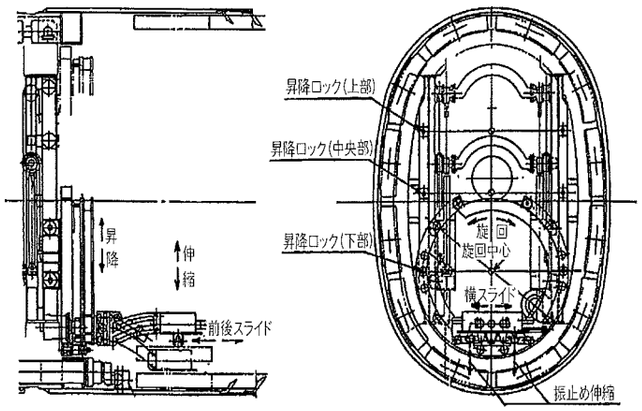
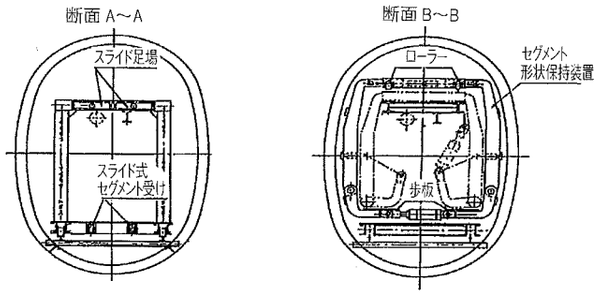


図-3 エレクタ構造図



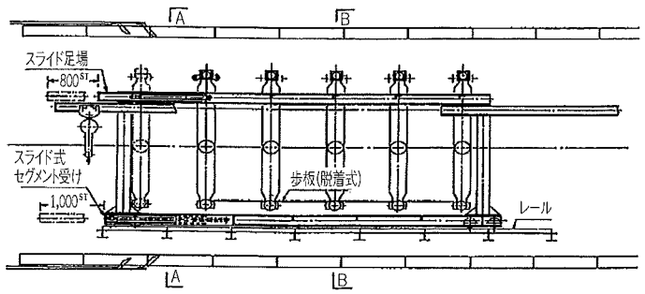


図-4 形状保持装置

（5） セグメント形状保持装置

縦楕円形セグメントは，その形状特性から裏込め注入圧によって側方の変形がおきる．この変形を防止するため図-4のセグメント形状保持装置を装備する．裏込め注入圧の影響は数リング続く傾向を示すので，5リング程度継続してセグメントを支承できる構造とする．

5. 最新の施工例

5-1 工事概要

工 事 名：新大森幹線その4工事
工事場所：東京都大田区大森北5丁目3番～大田区大森北6丁目24番
発 注 者：東京都下水道局
施 工 者：大成・大日本建設共同企業体
工　　期：平成4年7月23日～平成6年9月30日
工事内容：トンネル延長　565m
　　シールド外径　3,160×4,660㎜
　　仕上がり内径　2,150×3,650㎜
　　土 か ぶ り　8.8～12.8m
　　縦 断 勾 配　11.8，1.6‰
　　最小曲線半径　R=20m

図-5に路線図を，図-6に管渠断面図を示す．

5-2 地形および立地条件

施工箇所は東京都南部に広がる沖積低地に位置し，シールド掘進対象土層の大部分は，洪積細砂層(N値50)，洪積粘土層(N値10～20)であり一部埋没谷となっているか，比較的硬質な土層である．地下水位はGL-1.5～4.2m付近にある．図-7に地層断面図を示す．

路線全線の掘進方向右側に溝渠，両側には民家が近接しており，道路下には水道，ガス，電力，通信，下水道の管路が埋設されている．到達は主要幹線道路下の供用中の下水道人孔である．

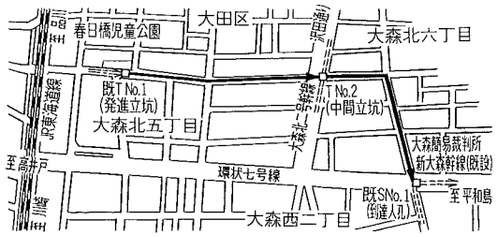


図-5 路線図

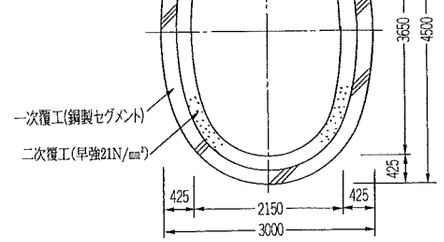


図-6 管渠断面図

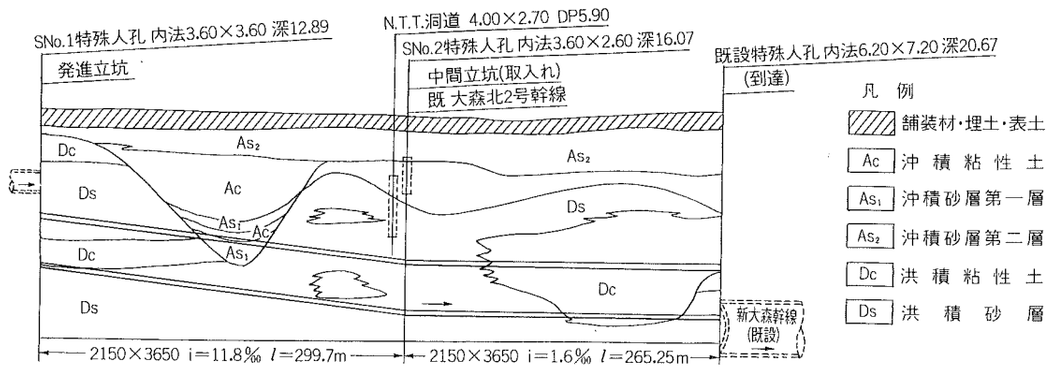


図-7 地層断面図

5-3 採用の経緯

東京都下水道局では，これまで主要幹線道路下に下水道幹線を円形シールド工法で建設してきたが，ほぼ主要幹線道路下での建設が一巡した状況下において，主要幹線道路以外の狭小道路下に大容量の下水道幹線を建設することが課題となっていた．そこで，もっとも合理的断面である縦楕円シールドを採用した．

5-4 シールド

図-8にシールド組み立て図を示す．

5-5 施工経過

本工事は，平成4年7月の発進立坑工事完了に伴い，シールド発進設備などの仮設備に着手した．シールドの

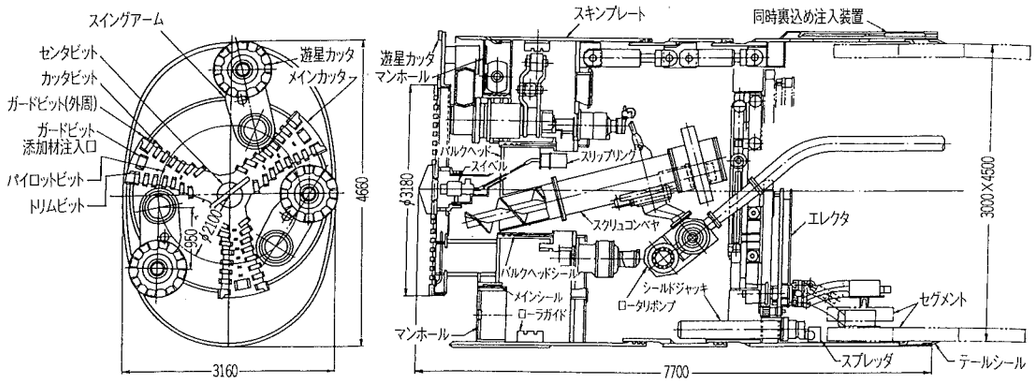


図-8 シールド掘進機

表-1 掘進管理データ

項 目	直線部(標準)	急曲線部
土圧(Mpa)	0.13～0.18	
主カッタトルク(t-m)	20～30	30～40
遊星カッタトルク(t-m)	0.5～0.6	
主カッタ回転数(rpm)	～1	0.55
遊星カッタ回転数(rpm)	5～6	
推進力(KN)	3,000～4,000	5,500～6,000
推進速度(mm/min)	20～30	20～25
添加剤注入率(%)	10～20	
土質	砂質粘土と粘土質細砂の互層	
余掘り量(mm)	10～40	10～80

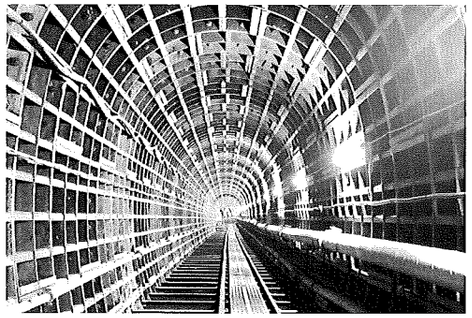


写真-2 一次覆工完了状況

組み立てと並行して防音建屋，シールド関係諸設備などを設置し，平成5年1月に掘進を開始した．同年4月中旬に75mの初期掘進を完了し，本掘進のための設備変更を実施した．

本工事でもっとも難航が予想されたR＝20mの急曲線部においてはトラブルの発生もなく掘進し，主要幹線道路下の既設人孔に平成6年6月下旬に到達した．

表-1に掘進管理データを，**写真-2**に一次覆工完了状況を示す．

5-6 計測管理

初めての本工法採用事例であり，技術的な問題点の解明および今後の設計・施工にフィードバックするため，地盤変状計測を2か所，セグメントの計測を3か所実施した．

（1） 地盤変状計測工

層別沈下計，地盤沈下計，挿入式傾斜計による地盤計測，レベルによる地中に埋め込んだ沈下盤の定点観測を実施した．

（2） セグメント計測工

実施工時のセグメントには，作用荷重として土圧，水圧の他に施工時の付加荷重として裏込め注入圧力が作用し，この発生応力の累積により局所的にセグメントの応力が設計値以上の値を示す現象が発生した．

この要因は今回のセグメント形状保持装置が2リング分であったためと想定される．今後は，施工時の影響がなくなる5～7リング分のセグメント形状保持装置を装備する必要があると思われる．

6. おわりに

本工法は，過密化する都市部における限られた地下空間の有効利用として，使用目的にあわせた断面形状が選択でき，狭小な空間にトンネルを構築することが可能である．

よって，これらの条件に適応した地下インフラ施設構築に貢献できる工法として適用されることが期待される．

（文責：鎮守達美・大成建設(株)）

参考文献

1) シールド工法技術協会：自由断面シールド工法―技術資料―，2003.3.
2) 辰野政信・赤星三雄・ほか：わが国初の泥土圧縦楕円シールドの施工，トンネルと地下，Vol.24，No.6，1993.6.
3) 鎮守達美・丸山英樹・ほか：自由断面シールド工法とその工事例，土と基礎，41-8 (427).

OHM工法

1. 工法概要

近年，地下駐車場，地下歩道，地下鉄，共同溝や地下を利用した新しい物流システムなどが地下空間の有効利用が過密化したとくに集積度の高い都市で要求されている．これらの施設は，形状や延長も多種多様であり，その施設および立地条件に応じた断面形状とすることがもっとも合理的である．角形トンネルはこのような社会基盤施設にその適用できる範囲が広いものの一つである．

OHM工法(以下，本工法)とは，Omni-sectional(あらゆる断面に対応できる)，Hedge(取り囲む)，tunnelling Method(トンネル工法)の略称で，3本のスポークからなるカッタ装置を回転させながら，カッタ装置全体を所定量だけ偏心してカッタの回転方向と逆方向に3倍の速度で回転させることで角形形状の掘削を可能とするシールド工法で，カッタ(スポーク形状)の軌跡はルーロの三角形の理論に従うものである．

2. 開発の経緯

シールドトンネルは，円形が持つ力学的優位性とシールド中心に円運動を行うことによる掘削機構の簡易性から，円形であることがこれまでの常識であった．しかしながら，地下に構築されるトンネルなどの構造物が，その用途，立地条件などに応じて自由に形状を選択することができれば，その構造物自体の施工および経済性のみならず，その施工時における周辺への影響なども低減することが可能となる．

このような背景から，矩形断面の掘削方式に円形断面の掘削方式を取り入れ，その回転軸を偏心させることにより，回転掘削でありながら矩形断面の掘削ができる方式を開発した．

平成10年には京都市地下鉄二条城駅連絡通路工事(施工：銭高組)では，OHM第1号機として採用，その実績から平成10年度土木学会関西支部技術賞を受賞している．

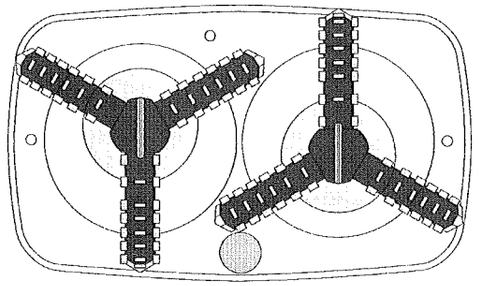


図-1 OHM工法(矩形2軸)

3. 工法の特徴

3-1 掘削機構

掘削機構は，カッタ装置と偏心装置により構成される．カッタ装置は3本スポークのセンターシャフト支持形で，シールド本体中心よりεだけ偏心した位置に取り付けられている．偏心装置は，カッタ回転方向とは逆方向に回転させる機構となっている．

3-1-1 ルーロの三角形

ルーロの三角形の理論式は，以下に示すとおりである．

$$\varepsilon_0 = \frac{L/2}{\cos 30^\circ} - L/2$$

ここで，L：ルーロの三角形の一辺の長さ

例えば，4m×4mの正方形断面を掘削すると考えると，上式より偏心量ε_0＝309mmとなる．

3-1-2 カッタ装置，偏心装置の回転

カッタ装置と偏心装置は，装置ごとに独立した駆動装置を持っている．カッタ装置は，偏心して取り付けられたセンターシャフトを中心として回転する．偏心装置は，カッタ装置全体をカッタの回転方向とは逆方向に3倍の速度で回転させる．これにより，掘削断面は**図-3**のような正方形断面となる．

3-2 任意掘削断面

カッタ装置の偏心量は，ルーロの三角形の式により求められるが，この偏心量εを変化させることにより，真円形までの任意の丸みを付けたり，ヒトデ形に変形することができる．

3-3 容易な方向制御

従来の非円形断面シールドの掘進で課題とされている

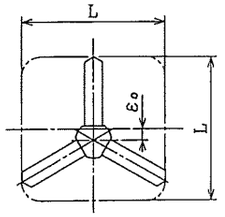


図-2 ルーロの三角形

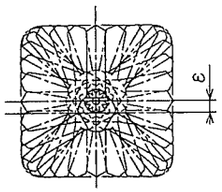


図-3 掘削断面($\varepsilon = \varepsilon_0$)

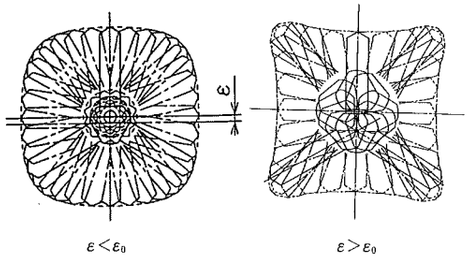


図-4 掘削断面

ローリング修正に対して，カッタの回転制御により容易に対応が可能である．また，中折れジャッキや偏心シールドジャッキなどの各種機能により，通常の円形シールドと同等の操作性が確保できる．

4. 工法の適用

4-1　超大断面への適用

本工法では，前述のとおり偏心量を変化させることにより丸みをつけたりヒトデ形に変形することができる．この特色を使い，単断面の継手を凸凹に接合し，確実な複合覆工構造を形成できる．

また，避難用通路や換気ダクト，ケーブルなど本体に付属する設備の収容ボックスとして覆工内空を有効に活用できる．

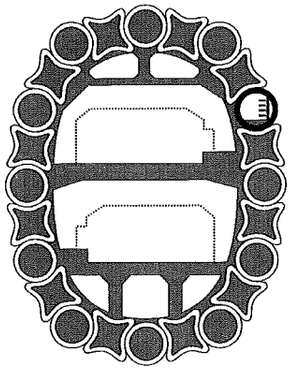
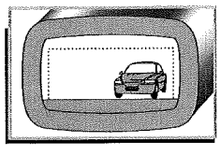


図-5　超大断面シールド

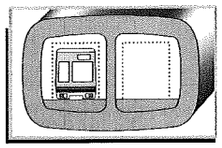
4-1-1　小型自動車専用地下道路

都市内小トリップ用交通や地下駐車場アクセス，高速道路から建物への直接乗り入れなどへの適用が考えられる．



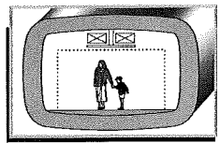
4-1-2　コミューター地下鉄道

モノレール・新交通の地下化，路面電車・バスの代替え手段，自動車の都市内乗り入れの制限などへの適用が考えられる．



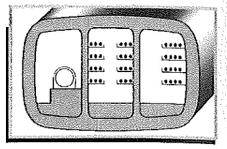
4-1-3　歩行者専用地下道

歩車道分離による歩道空間の確保，拠点間歩行の全天候対応，機能性重視による地下化への適用が考えられる．



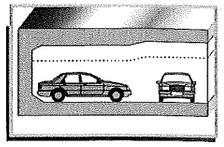
4-1-4　共同溝・物流地下トンネル

地下埋設物の一括管理，道路輸送の転換，物流システムの効率化への適用が考えられる．



4-1-5　地下駐車場

都市内路上駐車の解消，都市内道路の機能性改善，駐輪場の整備への適用が考えられる．



5. 最新の施工例

5-1　工事概要

本工事は，京都地下鉄外環状線の石田地下横断歩道と石田駅への歩行者用連絡通路を矩形の泥土圧シールドにて築造する工事である．

工 事 名：石田地下横断歩道建設工事，
　　高速鉄道東西線石田駅連絡通路建設工事
工事場所：京都市伏見区石田大受町～石田森東町
発 注 者：京都市交通局
施 工 者：飛島・西松・森本・公成・ケイコン建設共同企業体
工　　期：平成14年６月～16年５月
工事内容：トンネル延長：L＝142.4m
　　(29.4m＋113.0m)
　　シールド外径：高さ3830㎜，幅4280㎜
　　仕上がり寸法：高さ3650㎜，幅4100㎜
　　土 か ぶ り：10～15m
　　縦 断 勾 配：－1%
　　最小曲率半径：直線
　　土　　質：砂礫，粘性土

5-2　採用の経緯

当初計画における縦断路線は，上部に下水道管渠(φ3.65m)と下部に地下鉄シールド(φ5.7m)に挟まれた部分(上下離隔H＝6.68m)を通過し，中間立坑でシールドを転回し再発進するという計画であった．この条件下で円形シールドを計画すると，上下離隔を超える占用となるため工事が不可能となる．このため，上下離隔内に収める方法として矩形シールドを採用した．

5-3　シールドの特徴

① 本機は矩形泥土圧シールドで，W4.28m×H3.83mの矩形断面を従来の円形シールドと同様に均一に切削することができるカッタ駆動機構

② カッタビットは礫層にも対応したコーナー部を鈍角とした矩形用カッタビット形状

③ 長方形断面に対応するため左右部分のオーバーカット用コピーカッタを装備

④ 礫層に対応するためカッタトルク最大1,930kN・m(α＝22)を装備

⑤ カッタ混練機構は隔壁がカッタ混練翼と反対方向に回転しているため圧力室全体が混練でき，閉塞が少なく礫層に適合

⑥ 長方形断面に対応するために補助スクリュー付きリボンスクリュー(y字方式)を装備

⑦ ローリング修正のために偏心ジャッキ(左右各３本)を装備

⑧ マシンのノーズダウンに対応するために可動ソリ装置を装備

⑨ １ピース約２tonのセグメントをハンドリングできる門形エレクタ装置を装備

5-4　施工結果

発進立坑より約30m掘進し中間立坑に到達し，シール

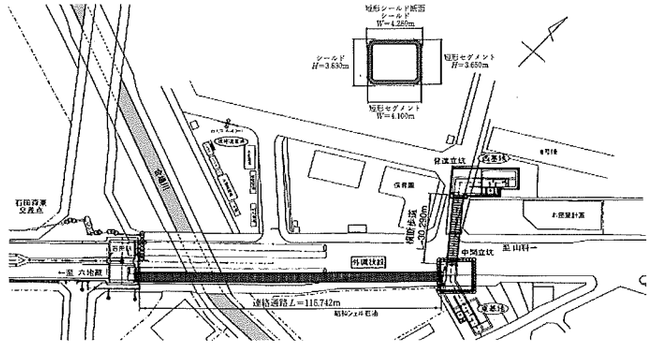


図-6　平面図

表-1　セグメントの構造・諸元

セグメント形式	RC平板型セグメント
セグメント横内径(㎜)	3,400
セグメント縦内径(㎜)	2,950
セグメント厚(㎜)	350
セグメント幅(㎜)	1,000
設計基準強度σc (N/㎟)	48
分　割　数	8分割(4種類)
キーセグメント形式	半径方向挿入型
重　量(t/Ring)	12.9
ボルト継手の寸法・強度区分	M27　10.9

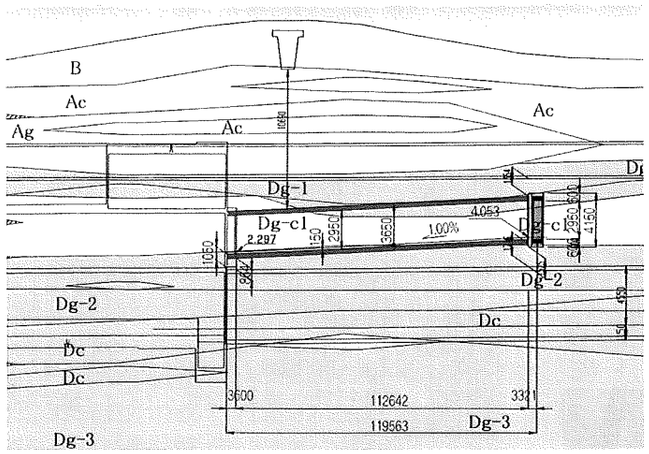


図-7　石田駅連絡通路部断面図

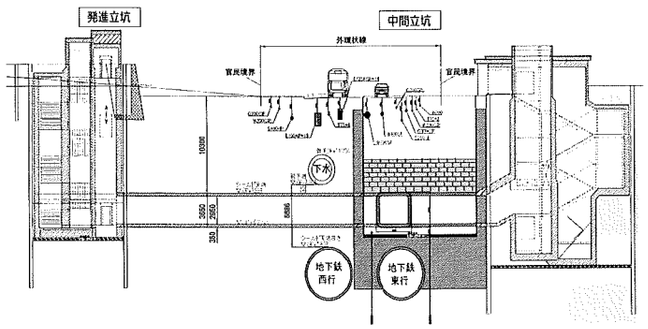


図-8　石田地下横断部断面図

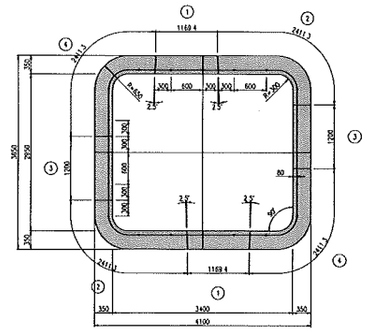


図-9　セグメント断面図

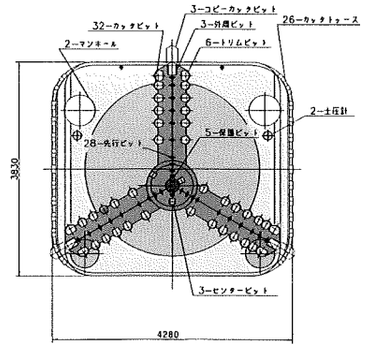


図-10　シールド正面図

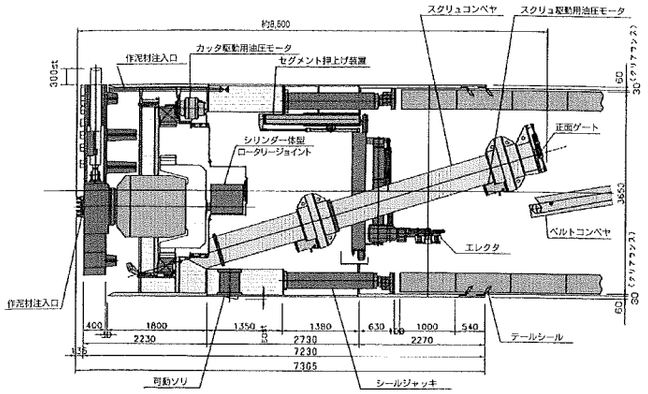


図-11 シールド側面図

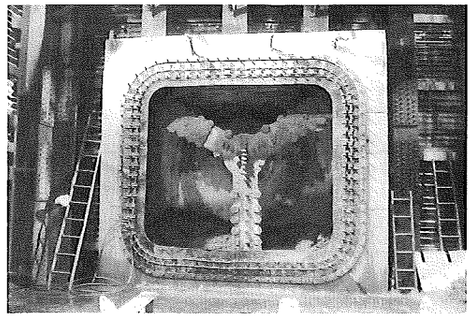


写真-1 中間立坑到達状況

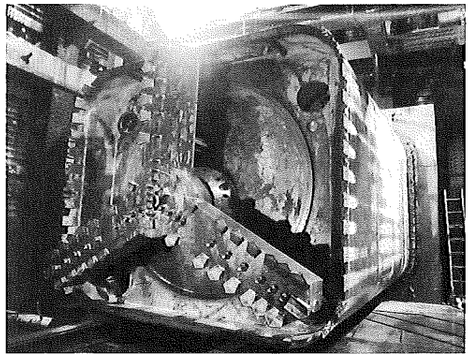


写真-2 シールド引き抜き状況

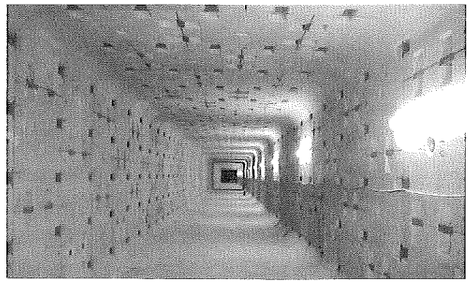


写真-3 仕上がり全景

ドを引き抜き立坑内で90度方向転回後，再発進し約116mを石田駅に向かって掘進した．施工管理は，地下鉄併設シールド施工後の緩み範囲を掘進するため，路面沈下の防止とシールドの落ち込みに留意して日々の管理を行った．

（1） 切羽土圧管理

設定トライアル区間として初期部(横断歩道部：L=30m)にて，設定切羽土圧を「静止土圧＋水圧」で管理した結果，最大3㎜の沈下が発生したため，その後「受働土圧＋水圧」に変更し測量誤差範囲で管理できた．

（2） 線形管理

線形管理は，テーパーセグメントを2種類(上下修正・左右修正)製作(4%)して行い，センター・レベルともに30㎜以内で管理できた．

6. おわりに

本工法は，地下空間を有効に利用することができるため，地下歩道，道路，共同溝など矩形断面トンネルへのニーズが増大し，適用範囲もさらに拡大されることが期待される．

(文責：一原正道・前田建設工業(株)土木技術部／協力：南條克正，飛島・西松・森本・公成・ケイコン建設共同企業体所長)

参考文献

1) 岡本・小畑・ほか：角形断面シールド工法の施工(VI-74)土木学会第54回年次学術講演会，1999.9.
2) 高橋・岩坂・ほか：矩形断面RC平板形セグメントに関する現場計測(III-B103)，土木学会第54回年次学術講演会，1999.9.

MMST工法

1. 工法概要

MMST工法とは，マルチマイクロシールドトンネル(Multi-Micro Shield Tunnel)工法(以下，本工法)のことで，トンネル外殻部を複数の小断面シールドにより先行掘削し，それらを相互に接続してトンネル外殻部躯体を構築した後，内部土砂を掘削して大断面トンネルを築造する工法である．その施工手順を図-1に示す．

2. 開発の経緯

首都高速道路公団で事業を進めている高速川崎縦貫線のトンネル区間において，施工条件・用地条件および環

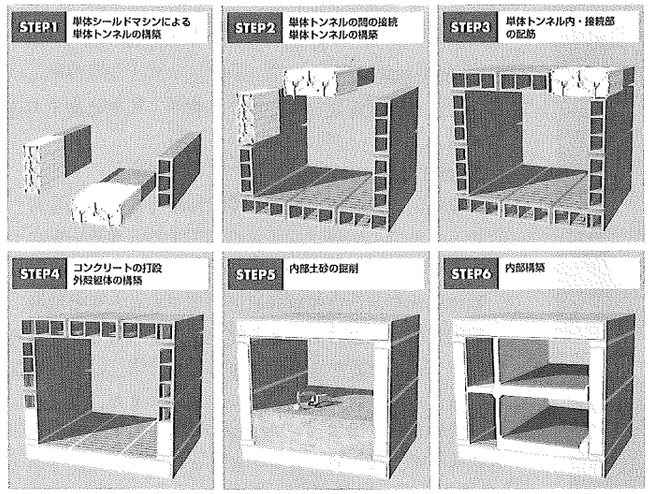


図-1 MMST工法施工手順

境アセスメントの条件などから開削工法および通常の非開削工法の採用が不可能な状況であった．そのため，それらの厳しい条件に対応できる新しい非開削工法として本工法を適用することが決定され，平成7年度より「川崎縦貫線におけるMMST工法の実用化に関する調査研究委員会」(委員長：今田徹・東京都立大名誉教授)が発足し，各種の要素実験および解析検討・施工検討を行った．また，世界で初めての工法であるため，高速川崎縦貫線トンネル部と大師ジャンクション内の換気所を結ぶ換気用トンネルの構築に本工法を採用して，平成8年より試験工事を実施した．試験工事は，平成11年に無事竣工，様々なデータを得ることができ，本工法の実用化への検証ができた．その後，平成12年より高速川崎縦貫線トンネル区間の本工事の施工を行っている．

なお，これまでの本工法の開発の実績が評価され，平成11年度土木学会技術開発賞を受賞した．

3. 工法の特徴

3-1 工法の特徴

本工法は開削工法や従来のシールド工法と比較すると以下のような特徴を有している．

（1） 開削工法と比較して地上部において作業帯や山留め壁などの施工区域が不要となる．しかもトンネル上の車線規制や地下埋設物の移設や防護が少なくなる．

（2） 複数の小断面シールドで大断面トンネルを構築するため，大断面の円形シールドより土かぶり厚の小さい区間でも適用できる．また，単円の大断面トンネルに比べて合理的な断面を確保でき，立坑の規模も小さくできる(図-2)．

（3） 小断面シールド間の接続部間隔を変化させることによりトンネルの断面形状をある程度変化させることができる(図-3)．

（4） 内部土砂は通常の掘削機械で掘削するため産業廃棄物となる泥水または泥土の量を減少させることができる(図-4)．

3-2 構造の特徴

トンネル構造は，仮設段階である単体トンネル時は，鋼殻構造を有し，本設の大断面トンネル時には鋼・コンクリート合成構造(一般部)とRC構造(接続部)の複合構造という本工法特有の構造形式を有している(図-5)．その特徴を以下にまとめる．

（1） 単体トンネル

単体トンネルは，主桁および中柱で構成される鋼殻構造である．土水圧・施工時荷重(裏込め注入圧，近接して通過するシールドの裏込め注入圧および重量)・接続間掘削時の偏圧に抗する構造である(図-6)．

シールド施工や接続工・外殻構築工の施工手順を考慮し，設計を行っている．

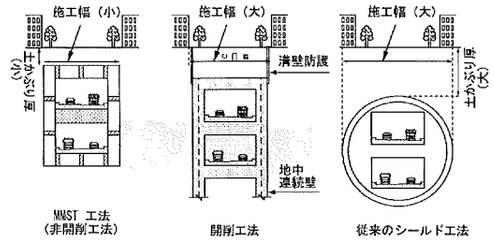


図-2 MMST工法と従来工法の断面比較

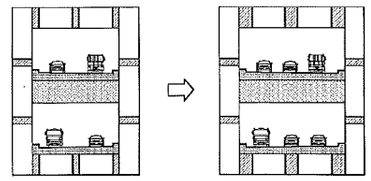


図-3 道路幅員の変化に伴う単体シールドの割り付け

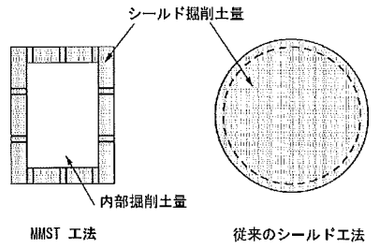


図-4 シールド掘削土量の比較

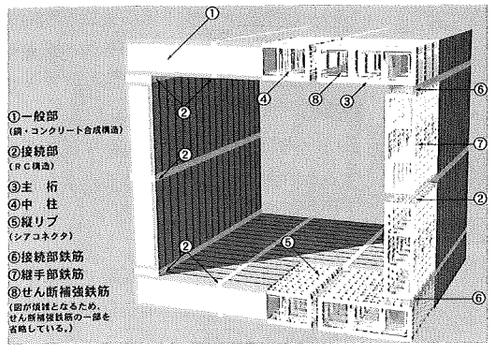


図-5　MMSTトンネル構造図

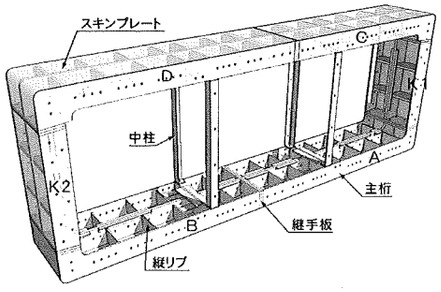


図-6　単体トンネル構造概要図

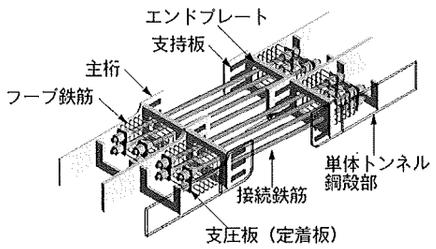


図-7　支圧方式接続構造図

(2)　外殻構造一般部

外殻構造一般部は，単体トンネルの鋼殻を本設構造部材とした鋼・コンクリート合成構造である．

鋼殻の主桁は，シアコネクタ(単体トンネル掘進に使用する縦リブを利用)を介してコンクリートと一体化される．

(3)　接続部・継手部

隣接する鋼殻間をつなぐ接続部および単体トンネル時の鋼殻の継手部は，接続鉄筋および継手部鉄筋を主鉄筋としたRC構造である．接続部・継手部鉄筋は，直接的に主桁に力を伝達する結合方式，支圧板を端部に配し主桁内部に定着する支圧方式を採用している．支圧方式とは，接続鋼材に作用する引張力を支圧板→コンクリート→エンドプレート→主桁に伝達する構造である．支圧方式接続構造のイメージを図-7に示す．

4.　工 法 の 適 用

4-1　掘削形式

本工法は，泥水式および泥土圧式シールドに適用可能である．

4-2　施工条件

構築断面と比べて小断面のシールドで複数掘削を行うため，大断面の円形シールドで施工を行う場合と比べて，土かぶり厚の小さい区間で適用できる．

躯体断面形状が官民境界直近までを必要とする場合，一般的な開削工法において必要施工帯を確保した山留め壁配置を行うと躯体断面が侵されるが，本工法では官民境界直近までの躯体構築が可能である．また，既設構造物が近接して開削工法で施工を行うと土留め壁が干渉する場合でも，既設構造物と干渉せずに施工が可能である(図-8)．

4-3　断　面

躯体断面形状(幅，高さ)を変化させることができるため，道路トンネルの分合流部の施工に適用できる．

5.　最 新 の 施 工 例

試験工事の経験を踏まえ，シールド掘進管理，掘削機械，鋼殻などに改良を施し，現在MMSTトンネル本線の施工を行っている．以下に概要を記す．

5-1　工事概要

工 事 名：(高負)KJ124工区(4)～KJ132工区(1)トンネル工事
工事場所：神奈川県川崎市大師河原1丁目～殿町4丁目，江川1丁目
発 注 者：首都高速道路公団　神奈川建設局
施 工 者：大成・鹿島・戸田特定建設工事共同企業体

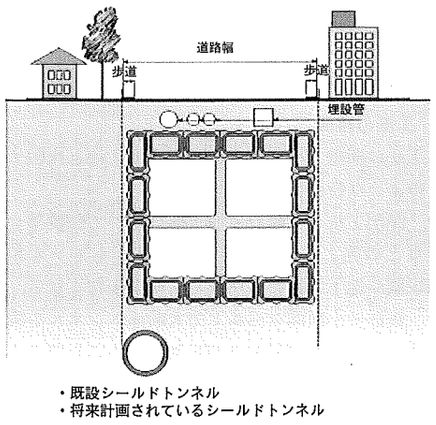


図-8　MMST工法による施工図

工　　期：平成12年2月26日～平成19年1月10日
工　　法：泥土圧シールド
工事内容：トンネル延長　$L=540$m
トンネル外寸：高さ　24.05～22.5m(図-9)
　　幅　27.90～26.1m
トンネル断面積：671～594m²
トンネル内部掘削断面積：413～353m²
土かぶり：4.8～12.6m
平面線形：R＝∞～280m
縦断線形：R＝∞～700m，3.0%(最大)
土質条件：地表面より埋土および軟弱な有楽町層相当層(As1，Ac2，Ac4，As4)がGL－20mまで存在し，それ以深には，固い粘性土である七号地層相当層(Dc1)がGL－40m程度まで存在する．トンネル掘削の対象土層は，As1，Ac2，Ac4，As4，Dc1となる．

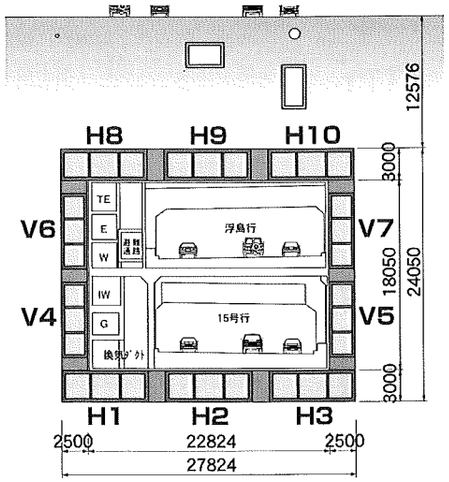


図-9　MMSTトンネル本線代表断面図

5-2　シールド工

MMST本線トンネル工事においては，単体シールドの施工にあたり，縦型シールドと横型シールドを各2台ずつ製作している(写真-1，2，表-1)．

矩形シールドであるためカッタの掘削機構，姿勢制御には以下の特徴がある．

(1)　掘削機構

矩形断面の掘削方法は，メインカッタでの掘り残し部をコーナーおよびサブカッタとコピーカッタの自動制御により切削する機構としている．このメインカッタは縦型・横型ともに同一平面上に3連配置され，相互干渉しないように同一平面同期方式により回転制御している．

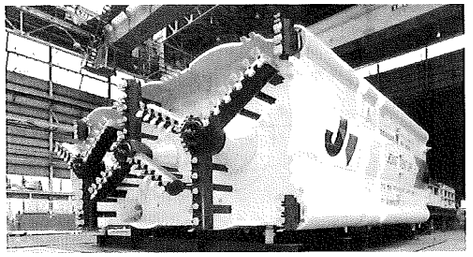


写真-1　横型シールド掘削機

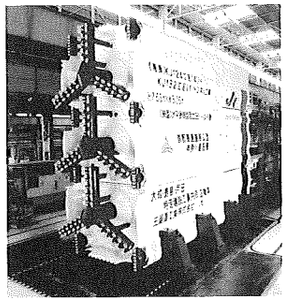


写真-2　縦型シールド掘削機

表-1　シールド仕様

		横型シールド	縦型シールド
製作台数		2台	2台
シールド機	シールド機長	10,450mm	10,020mm
	最外径	縦3,900mm×横8,800mm	縦7,850mm×横3,190mm
	掘削断面積	32.7m²	23.91m²
	総推力	50,000kN	38,220kN
中折れ装置(V中折れ方式)	中折れジャッキ(上部)	2,500kN×7本×310mmST	1,960kN×18本×230mmST
	中折れジャッキ(下部・側部)	3,000kN×9本×310mmST	
	中折れ角度	左右1.0度　上下2.0度	左右1.5度　上下1.5度
ローリング修正	修正ジャッキ	3,000KN×8本×180mmST	—
	中折れ方式	中胴付き前胴3分割×中折れ方式	—
	中折れ角度	上下2.0度	前胴上段と下段の許容中折れ角度差1度
メインカッタ	回転数	1.4rpm	1.8rpm
	掘削トルク	885kN-m×3基	636kN-m×3基
	α値	14.9	19.6
重量		670t	547t

（2）　シールド姿勢制御

シールドは**表-2**に示す各種姿勢制御装置を装備している．

横型シールドは，前胴・中胴・後胴より構成され，姿勢制御は，ピッチング・ヨーイングについては前胴中胴部を後胴に対し中折れさせ，ローリングについては3分割した前胴部をそれぞれ上下方向に中胴に対し中折れさせて対応する機構となっている．

縦型シールドは，前胴上部・前胴下部および後胴部分より構成され，姿勢制御は，ピッチング・ヨーイングについては前胴上下部を後胴に対し中折れさせ，ローリングについては前胴上下部をそれぞれ左右方向に中折れさせて対応する機構となっている．

（3）　シールド施工状況

現在，外殻構造を構成する単体シールドトンネルのうち縦型4本(V4，V5，V6，V7)・横型3本(H1，H2，H3)の掘進施工が完了し，横型1本(H9)の掘進中である．今回のトンネル本線工事の施工では，発進到達防護の地盤改良部以外においては，横型・縦型ともに初期掘進では日進5～6 リング，本掘進では日進7～8リングという進捗結果であった(**図-10, 11**)．

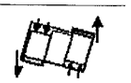
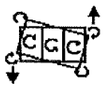
また，鋼殻の掘進完了時点での基線に対する施工精度を**表-3**に示す．横型は鉛直方向および水平方向に同程度の蛇行量が発生している．一方，縦型は水中方向の鋼殻蛇行量に比べて鉛直方向の蛇行量は小さい傾向にある．

6. おわりに

本工法は，これまでにない特殊な工法であるために，設計・施工上の課題が山積みであったが，試験工事や各種の要素実験および解析検討を事前に行うことにより，トンネル本線工事は計画どおりの成果をあげている．

今後，限られた用地内に輻輳する地下空間に大規模な地下構造物を有効利用するケースが増加すると思われ，MMST工法は，これらの建設時の諸問題を合理的に解決する工法として，適用されることが期待される．

表-2　横型シールドの姿勢制御

制御装置 ＼ 制御項目		ピッチング（側面図）	ヨーイング（平面図）	ローリング（正面図）
オーバーカッタ コピーカッタ	移動方向側の地山を余掘りする			
カーブ用 中折れ装置	前胴・後胴間を折り曲げることにより縦断曲線・平面曲線への姿勢制御を行う			—
ローリング 修正用 中折れ装置	前胴の両端が上下に折れる	—	—	
カッタ 回転方向	土の抵抗によりカッタの回転方向と逆方向にマシンが回転する	—	—	

参考文献

1）高橋邦博・森健太郎：MMST工法におけるシールドトンネルの施工，第25回日本道路会議論文集，論文番号08067，2003.11

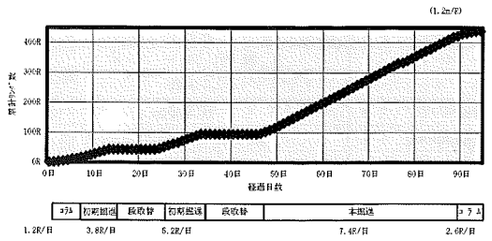


図-10　V4シールド施工実績

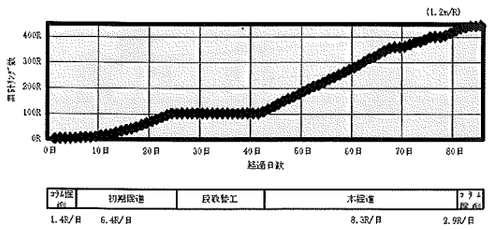


図-11　H3シールド施工実績

表-3　鋼殻施工精度

	横型シールド			縦型シールド	
	H1	H2	H3	V4	V5
ピッチング上下蛇行	最大57㎜ 下向き	最大78㎜ 上向き	最大53㎜ 上向き	最大49㎜ 上向き	最大60㎜ 上向き
ヨーイング水平蛇行	最大80㎜ 右向き	最大89㎜ 左向き	最大68㎜ 右向き	最大122㎜ 右向き	最大94㎜ 右向き
ローリング回転蛇行	最大0.38deg 右に傾斜	最大0.26deg 左に傾斜	最大0.44deg 右に傾斜	最大0.41deg 左に傾斜	最大0.43deg 右に傾斜

トンネルワールドニュース

（社）日本トンネル技術協会
国際委員会国内広報ワーキング

2005年中旬にヴィエンナーウッズトンネルが掘削開始

ヴィエンナーウッズの丘陵地帯を通過するヴィエンナーウッズ鉄道トンネル(T&T '04.3, p.10)建設工事の契約が，応札した4コンソーシアムのうちの1コンソーシア(4社で構成)に決定した．Lainzトンネルからウィーンに向かって分岐するHLAG発注の延長13.3kmヴィエンナーウッズトンネルの工事は，4億1,470万USドルで落札されたものである．

オーストリア西部へ向かう鉄道ルートの増強は，オーストリアとヨーロッパの人々にとって優先の課題となっている．このヴィエンナーウッズトンネルは，延長42kmの拡張計画路線の第1区間である．トンネルの線形は，複線トンネルから2本の単線並列トンネルへと変化する．複線トンネル部分は，分岐区間に接合するために構造上必要となる．さらに，延長1.8kmの複線トンネルは，400mの区間で単線2本のトンネルへと分岐する．

2本の単線トンネルは，約30mの離隔で西側坑口まで約11.1km平行して走る．複線トンネル区間には，安全のために立坑と避難場所を備えた3か所の非常出入り口が設備され，単線トンネル区間には，500mごとに連絡坑が設置される．さらに，複線トンネル拡幅箇所から平行した単線トンネルへ移行するまでの区間に，非常用換気装置を設備するための拡大断面の立坑が構築される．

NATMは東側複線トンネル部分で採用され，西側の単線トンネル部分は2つのTBM（直径10.6m)を使用し，2005年5月着手に向けて準備中である．

(T&T '04.9　文責：武井秀永・佐藤工業(株))

編集スタッフを募集いたします

技術誌の編集に興味がありやる気のある方　大募集!!

職　　種：技術誌の編集
勤務時間：月～金の 8：30～17：15
勤務場所：東京都新宿区
給　　与：応相談
待　　遇：賞与年2回，交通費支給
備　　考：22歳～32歳まで．経験は不問です．

入社希望の方は履歴書と自己PR(1,000字程度)を書いて，当社へお送りください．
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
(株)土木工学社　山本(担当)

海外文献速報

（社）日本トンネル技術協会
研究開発委員会

Russia Wharfでの凍結工法によるNATM/NATM AND GROUND FREEZING COMBINED AT RUSSIA WHARF

World Tunnelling, Vol.16, No.10, December, 2003

ボストンのバス専用のSilverlineはRussia Wharfの直下を小さい土かぶりで掘削する．Russia Wharfには，Russiaビル，Graphic Artsビル，Tuftsビルの３つのビルがあり，いずれも築100年以上の７階建の鉄骨構造で，柱とレンガ壁の荷重は基礎の大理石を介して長さ14mの木製群杭で支持されていた．トンネル掘削でこれらの群杭の一部を除去するため，トンネル掘削時の沈下とともに支持力減少への対策が必要であった．

トンネルは，用地の制約，掘削ずりの削減，対面交通の回避，などの諸条件から幅12m，高さ８mの隔壁付きのめがねトンネルで設計された．

このCC03A工区の地質はボストン海成粘土が主体で，トンネル延長は100m程度であるが，土かぶりと地表の状況により掘削順にEからAの5つの施工パターンを設定している．

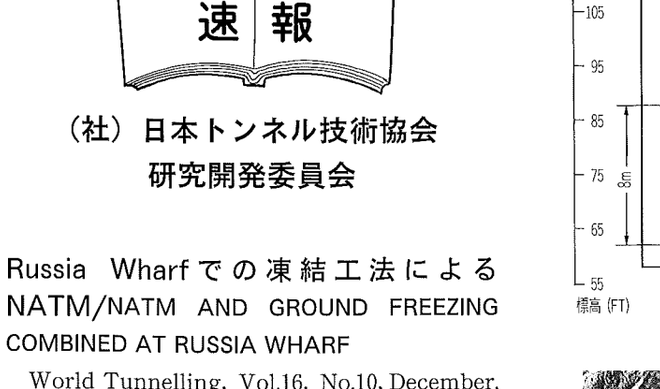


図-1　CC03A工区の平面図

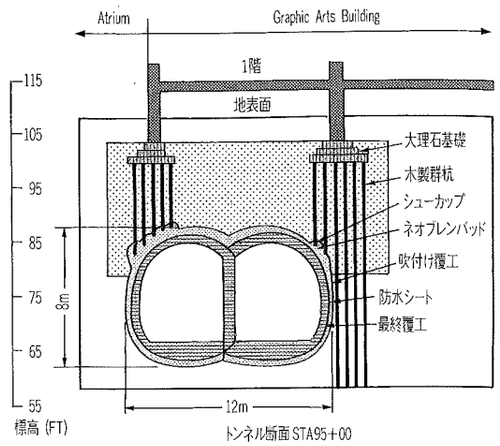
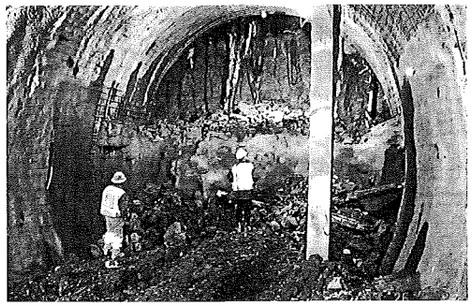


図-2　断面図（施工パターンD）



（切羽の木製群杭と手前のアンダーピニング用鋼材が観察される）

写真-1　切羽の状況（施工パターンB）

（１）　施工パターンE

Becoサイトは開削トンネルで地盤の補強に長さ2.74mのグラウト鋼管杭を用いる．

（２）　施工パターンD

Graphic Artsビルの下にはトンネル掘削時の安定確保と沈下の抑制のために凍結工法を採用し，トンネル掘削で除去した群杭の先端はシューカップを介してトンネル覆工で支持させる．また，ビルの柱の足元には各々，油圧ジャッキが挿入され，ビルの沈下を制御できるよう工夫された．凍結時の50mmの浮き上がりと解凍時の沈下がこのジャッキで補正され，トンネル掘削時の沈下はほとんど生じていない．

（３）　施工パターンC

Graphic ArtsビルとRussiaビルの間の中庭（Atrium）部分は凍結工法による地盤の固結は行わず，グラウト鋼管杭で補強する．ただ，近くの運河の潮位変化の影響を避けるため，凍結スラリー壁による遮水壁を施工している．

（４）　施工パターンB

Russiaビルの下は凍結工法を適用する．この部分の土かぶりは3.7mとこの工区でもっとも少なく，凍結工法のみでは支持力が不足するため，深さ37mまでの鋼製アンダーピニングを併用している．トンネル部分のアンダーピニングはトンネル隔壁部を貫通するように設計され，500トンのビル荷重が作用するためトンネル掘削時に最も注意を必要とした．

（５）　施工パターンA

道路交差部の最後の６mの区間は開削工法で施工する．

この工事ではトンネル部分の木製の群杭の荷重はトンネル覆工で支持することを設計の原則にしている．

トンネル覆工は，掘削直後のラチス支保工，２枚の溶接金網，30cmの吹付けコンクリートによる吹付け覆工と，防水シート敷設後の30cmの二層吹付けコンクリート（鋼繊維吹付けと高分子繊維吹付け）による最終覆工である．

吹付けコンクリートは乾式で，１日強度17.5MPa，１週強度25MPa，28日強度70MPaの高強度仕様としている．

また，トンネルがめがね型で隔壁があり，施工パターンBではアンダーピニングの鋼材もトンネルを貫通することから，遮水のための防水シートには特殊なものを使用している．吹付けコンクリートと凍結工法の効果が予想より大きく，ラチス支保工の間隔は当初の76cmから1.1mまで拡げて掘削できたとのことである．

（文責：香川和夫・（株）フジタ）

「読者の声（仮タイトル）」投稿募集のご案内

新設コーナー：読者の声（仮タイトル）の投稿を募集します．読者の方の意見や提言，または，有意義な情報など何でも結構ですのでご投稿ください．ただし，宣伝色の強い内容や他人を中傷するような内容は掲載をお断りすることもございますので予めご了承ください．原稿は文字のみとし，ボリュームは1,000字以内程度，タイトルは20字以内でお願いいたします．掲載にあたり，所属団体名と氏名も掲載いたします．原稿には，連絡先（住所，氏名，所属名，電話，E-mailなど）明記のうえ，電子媒体（FD，CD，MO，いずれも可）と一緒に投稿してください．原稿は（株）土木工学社編集部までお送りください．

原稿送付先：〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
（株）土木工学社　編集部

社団法人 日本トンネル技術協会 会報

1. 会員の現状

	11月25日現在	12月25日現在
正会員	2,075名	2,075名
団体会員	349名	349名
個人会員	1,726名	1,726名
名誉会員	1名	1名
計	2,076名	2,076名

2. 委員会の開催状況(12月1日～31日)

①調査研究関係委員会

◎契約積算委員会

山岳トンネル小委員会幹事会：12/21（峰田勲幹事長ほか10名)調査報告書を検討

◎施工技術委員会

支保幹事会：12/17（服部修一幹事長ほか23名)原稿を検討

TBM工法小委員会幹事会：12/3（高津壮太幹事長ほか18名)原稿を検討

都市トンネル小委員会幹事会：12/13（松岡正宏幹事長ほか9名)掲載原稿を検討

◎研究開発委員会：12/20（大久保誠介委員長ほか18名)海外文献を査読

トンネル技術白書小委員会Aグループ打合せ会：12/10（小野田滋主査ほか8名)原稿を検討

同　B1グループ打合せ会：12/22（松尾勉幹事長ほか5名)作業方針を検討

◎大深度地下都市部山岳工法特別委員会幹事会：12/14（西村和夫幹事長ほか9名)作業方針を検討

◎支保構造合理化特別検討会：12/14（西村和夫委員長ほか18名)原稿を検討

◎特殊トンネル特別委員会幹事会：12/15（蒋宇静幹事長ほか17名)地下水対策等を検討

◎長期耐久性向上特別検討会：12/1（中川浩一委員長ほか22名)原稿を検討

同　改築WG：12/15（畔高伸一主査ほか7名)原稿を検討

◎東北新幹線トンネル委員会幹事会：12/20（田村武幹事長ほか41名)施工法を検討

◎川崎縦貫高速鉄道線コスト縮減検討会委員会：12/21（大石敬司委員ほか26名)まとめを検討

同　幹事会：12/3（末富裕二幹事ほか17名)まとめを検討

◎新埋戻し材対策特別委員会：12/10（赤木寛一委員長ほか23名)試験結果を検討

◎13号線建設部特別委員会：12/2（小山幸則委員長ほか17名)主旨説明ほか

計　17回開催　305名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

企画運営幹事会WG：12/13（土屋幸彦幹事長ほか13名)改善内容を検討

◎国際委員会

国内広報WG：12/6（小島健一幹事長ほか8名)海外文献の査読

◎会誌委員会：12/7（橋本定雄委員長ほか10名)1月号の会誌と3か月計画を検討

計　3回開催　34名出席

合計　20回開催　339名出席

3. 平成16年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
(見学会)			
シンガポール国際トンネル会議技術調査	2004. 5.22～31	27	シンガポール，ベトナム台湾
第二東名トンネル現場研修会	2004. 4.16	24	静岡県
名古屋地区トンネル現場研修会	2004. 6. 4	28	愛知県
横浜市下水道現場研修会	2004. 6.10	27	神奈川県
仙台市下水道現場研修会	2004. 7. 9	17	宮城県
北陸地区道路トンネル現場研修会	2004. 8. 5, 6	25	石川県，岐阜県
北陸新幹線現場研修会	2004. 8.31	21	長野県
横浜市地下鉄現場研修会	2004. 9. 9	25	神奈川県
JR吾妻線トンネル現場研修会	2004. 9.14	18	群馬県
大谷川山腹崩壊対策現場研修会	2004. 9.17	17	栃木県
首都高速環状新宿線現場研修会	2004.10.19	22	東京都
東北新幹線現場研修会	2004.10.21, 22	18	青森県
大阪市地下鉄現場研修会	2004.10.25	24	大阪府
(発表会)			
①第54回(山岳)「山岳トンネルの難工事克服事例」	2004.11.18	116	東京都
②第55回(都市)「都市トンネルの環境対策事例」	2004.11.19	94	東京都
(講演，講習会)			
第7回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2004. 5.27, 28	27	東京都
第6回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2004.10.28, 29	33	東京都
トンネル技術特別講演会	**2005. 2. 9**	**300**	**詳細94頁参照**

4. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催等	備考
第12回オーストラリアトンネル会議「よりよき都市に向けてのトンネル技術」	2005. 4.17～20	ブリスベーン(オーストラリア)	12th Australian Tunneling Conference 第12回オーストラリアトンネル会議事務局	http://www.tunneling2005.com
第31回 ITA総会およびコングレス「地下空間利用：過去の分析と未来への教訓」	**2005. 5. 7～12**	**イスタンブール(トルコ)**	**TRA Turkish Road Association トルコ道路協会 国際トンネル協会**	**http://www.ytmk.org.tr**
第5回 国際シンポジウム 軟弱地盤における地下建設の土質工学の現況	2005. 6.15～17	アムステルダム(オランダ)	TC28 Symposium 国際地盤工学会第28回技術委員会	http://www.tc28-amsterdam.org
国際シンポジウム —世界最大のトンネル市場— 中国	2005. 9. 7～ 9	上海(中国)	Tunnel and Underground Works Branch, China Civil Engineering Society, Intex Shanghai Co. Ltd. 中国土木学会トンネルおよび地下建設分科会	http://www.tunnel-china.com
国際会議「長大トンネルのデザイン，建設，管理・雪山トンネル開通記念」	2005.11. 7～10	台北(台湾)	Chinese Taipei Tunnelling Association 台湾トンネル技術協会	http://www.longtunnel2005.taneeb.gov.tw
第32回ITA総会およびコングレス「地下空間の安全」	**2006. 4.22 ～4.27**	**ソウル(韓国)**	**Korean Tunnelling Association 韓国トンネル協会 国際トンネル協会**	**http://www.ita2006.com Call for papers**
第10回吹付けコンクリート国際会議	2006. 9.12～16	ウィスラー(カナダ)	Engineering Conferences International 国際技師会議事務局	http://www.engconfintl.org/6ad.org Call for papers

＊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．社団法人日本トンネル技術協会 TEL：03-3553-6174

トンネル技術特別講演会開催のご案内

このたび，今年度締めくくりの催物として下記のとおり特別講演会を開催することといたしました．テーマは，トンネルの掘削時に必ず直面する地質や断層などを構成している地下のメカニズムについての海底探査による地球システム変動の研究と，既存トンネルの有効活用ともなるリニューアルならびに維持補修についての保守管理技術の２題であります．

ともにトンネル技術者にとりましては，誠に重要な課題でありますので，多数ご参加下さいますようご案内申しあげます．

―記―

開　催　日：平成17年２月９日(水)

場　　所：虎ノ門「発明会館ホール」(案内図参照)
港区虎ノ門2-9-14　TEL：03-3502-5499

プログラム：司　会　事業委員会委員　大成建設(株)土木本部土木技術部トンネル技術室室長　端　　則夫

13：20　開会挨拶　　事業委員会委員長　日本交通技術(株)代表取締役社長　桑原　彌介

13：30　付加体地質学総論―南海トラフ，四万十帯そして日本列島
(独)海洋研究開発機構地球深部探査センター長　平　　朝彦

14：30　質疑応答

15：00　休　憩

15：20　トンネルのリニューアルと維持補修管理(仮題)
(独)土木研究所基礎道路技術研究グループ上席研究員　真下　英人

16：20　質疑応答

16：50　閉　会

定　　員：300名

参　加　費：会員10,000，一般12,000円

申し込み方法：この案内文書添付の申し込み用紙に記載のうえ，FAXをもってお申し込み下さい．電話での申し込みは受付けませんので，ご了承願います．
〒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　トンネル技術特別講演会係
TEL：03-3553-6174
FAX：03-3553-6145

支払い方法：上記お申し込みののち，郵便振替用紙通信欄に行事名と参加者氏名を記入のうえ，下記にお振り込み願います．現金書留でも結構です．
郵便振替口座：00160-7-196331　日本トンネル技術協会

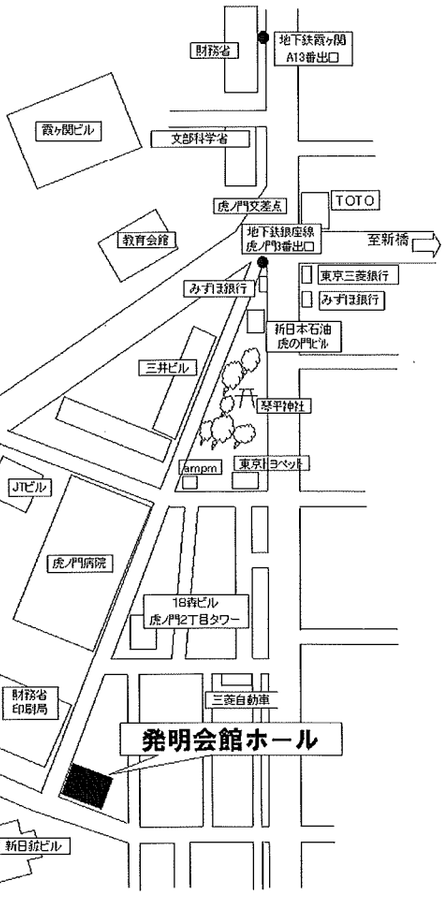
そ　の　他：参加費の払い戻しはいたしかねますが，代理参加は差し支えありません．

トンネル技術特別講演会申込書

下記のとおり申し込みます．

氏　名		年　齢	歳
会社名			
所属役職			
会社住所	〒　－ TEL：		

(会場案内図)
住所　東京都港区虎ノ門 2-9-14
電話　03-3502-5499　FAX　03-3595-2763
URL　http://bekkoame.ne.jp/ha/id25154/
交通　地下鉄銀座線「虎ノ門」駅　３番出口
徒歩５分
地下鉄千代田線「霞ヶ関」駅　A13番出口
徒歩13分
地下鉄日比谷線「神谷町」
徒歩７分



3月号予告[3月1日発売予定]

●長尺先受工の挙動に関する現場計測
●北陸新幹線　第1黒部トンネル
●第二東名高速道路　引佐第二トンネル
●チャロム・ラチャモンコン線(タイ・バンコク地下鉄)
●東京都下水道　南台幹線シールド
●シールド発進・到達工実態調査報告(3)
【連載講座】
●山岳トンネルにおける工事用機械の選定(17)
●多様化するシールド掘進技術(13)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆今年は酉年です．過去の酉年はどんな年だったのでしょうか．12年前(1993年)は，大冷夏で米が穫れず「平成の米騒動」があったり，北海道南西沖地震によって奥尻島で津波が発生して多くの尊い命が失われした．さらに12年前の1981年には，スペースシャトルの打ち上げに成功し経済がますます活発になったころでした．さらにその12年前の1969年は，アポロ11号が月面に着陸し人類が初めて月に立った年でした．今から60年前の1945年は，終戦の年です．全体的には，科学技術の発展，異常気象，政変など大きく生まれ変わる年でもあるようです．

◆プロ野球では，新球団ができセパ両リーグで交流試合をやるなど新しい取り組みが始まろうとしています．昨年新潟県中越地震で被災した方々や昨年末に起こったスマトラ沖の津波に遭われた地域の方々にとってはこれからの長期にわたる復興の年です．

◆2004年は「災」の年になってしまいましたが，2005年酉年は「災い転じて福となす」年になってほしい．鳥のように羽ばたける年になることを期待したい．

(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36巻 第2号〔通巻414号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成17年1月20日　印刷
平成17年2月1日　発行

社団法人日本トンネル技術協会
会長　三谷　浩
〒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://wwwsoc.nii.ac.jp/jta
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

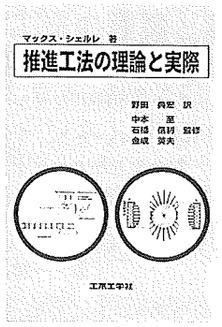
本誌掲載記事を無断で複写(コピー)および転載することは，著作権上での例外を除き，禁じられております．本誌から複写または転載を希望される方は，小社(03-3267-2888)までご連絡ください．

マックス・シェルレ　著

推進工法の理論と実際

野田典宏 訳　中本　至・石橋信利・金城英夫 監修

B5判　437頁　税込 8,925円　送料450円



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．

〈主 要 目 次〉

第1章　推進工法の技術
第2章　推進工法の機械・器具
第3章　推進管に作用する荷重とその計算方法
第4章　推進工法の計画，設計および施工
第5章　管布設の欠陥と損傷

推薦のことば

推進工法によって，下水道をはじめ多くの管渠が布設されている．下水道については1960年にはわが国の普及率は15%に過ぎなかったが，今日では60%近くになっている．当初，年間1500kmしか施工実績がなかったが，近年の施工延長は年間15000kmになっている．下水管渠の施工方法の選定にあたって，施工条件や建設環境，地下埋設物や地盤条件などの関係から，開削工法より推進工法などの特殊工法が選定されることが多くなり，その中でもとくに推進工法の適用は多くなった．ところが，わが国では推進工法に関する実務書は多いが理論面を記述したものはあまり見当たらず，推進工法の一層の発展のためにも理論書が求められていた．

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

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

中本　至・石橋信利・金成英夫

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，下記の申込書に部数・送付先・氏名・電話番号を明記のうえ，お申し込みください．

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

《書 籍 申 込 書》

推進工法の理論と実際　　冊 申し込みます

住所(〒　　－　　)

事業所名

TEL

部課名　　申込者　　㊞

【好評発売中】

セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B5判　132頁　税込 2,100円　送料 290円

いわゆるバブルがはじけたここ数年，コスト縮減はすべてに優先する至上命題となっており，シールド工事もその例外ではない．シールド工事の直接費に占めるセグメント費の割合は約4割程度と言われているが，シールド工事費の縮減のためにはセグメントの製造コストの縮減は避けて通ることのできない課題の一つとなってきている．

このような状況を受けてここ10年ほどの間に，急激にいろいろなセグメントが提案され実用化された．

これらのセグメントのうちにはよく似たものも多く，名称もバラエティに富み，その特徴や適用範囲などが明確でないため混乱が起きている例もある．

このため「トンネルと地下」の編集委員会では過去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，「セグメントの新技術」の連載講座を設けてこれらのセグメントを順次紹介した．セグメントの名称，特徴，開発目的，適用範囲などは同じフォーマットで掲載され，また，最終回では，そこで紹介されたセグメントを整理分類し，新しいセグメントの開発の動向や今後の展望を総括した．

本書はこの連載講座をもとに新たに「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．

〈セグメントの新技術〉

1．薄型化・高強度セグメント
2．サンドイッチ型合成セグメント
3．矩形トンネル用合成セグメント
4．NM セグメント
5．二次覆工省略型ダクタイルセグメント
6．リングシールド工法用セグメント
7．コンクリート中詰め鋼製セグメント
8．DNA シールド
9．ガイドロックセグメント
10．ウイングセグメント
11．ハニカムセグメント
12．CONEX-SYSTEM
13．スパイラルセグメント
14．コッター・クイックジョイントセグメント
15．ワンパスセグメント
16．AS セグメント
17．マルチブレード式継手セグメント
18．シンプロセグメント
19．WB セグメント
20．リングロックセグメント
21．KL セグメント
22．コーンコネクターセグメント
23．FRP-Key 継手
24．ほぞ付きセグメント
25．HOT セグメント
26．インサート継手(その1：アーチ形)
27．インサート継手(その2：NF 型)
28．CPI セグメント
29．PPC セグメント
30．FBR セグメント
31．NRT セグメント
32．タイドアーチセグメント
33．遠心力締固め RC セグメント
34．高流動コンクリートセグメント

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》

セグメントの新技術＿＿＿＿冊　申込みます．

所在地　〒(　　)

事業所名　　☎

部課名　　申込者名　　㊞

現在から未来への地球環境を見つめる土木専門図書

トンネル工学

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
B5判　285頁　税込4,893円（〒340円）

セグメントの新技術
監修　小泉　淳
B5判　132頁　税込2,100円（〒290円）

推進工法の理論と実際
野田典宏 訳　中本至・石橋信利・金城英夫 監修
B5判　437頁　税込8,925円（〒450円）

山岳トンネルの新技術
ジェオフロンテ研究会編
B5判　500頁　税込15,301円（〒450円）

わかりやすいトンネル力学
福島啓一　著
B5判　286頁　税込6,116円（〒340円）

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
A5判　204頁　税込2,940円（〒290円）

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
A5判　211頁　税込3,360円（〒340円）

岩盤工学・地質工学

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
第Ⅰ巻　地下水の物理と化学
B5判　235頁　税込4,281円（〒340円）
第Ⅱ巻　地下水環境学
B5判　252頁　税込4,485円（〒340円）
第Ⅲ巻　地下水と地質
B5判　197頁　税込3,873円（〒340円）

岩盤地下空洞の設計と施工
E.フック・E.T.ブラウン　共著
小野寺透・吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆　共著
B5判　444頁　税込10,290円（〒450円）

ブロック理論と岩盤工学への応用
R.E.グッドマン・G.H.シー　共著
吉中龍之進・大西有三　共訳
A5判　360頁　税込5,097円（〒340円）

岩盤の計測と解析
鈴木　光　著
A5判　244頁　税込4,410円（〒340円）

建設工事の保安地質学【改訂版】
石井康夫　著
A5判　474頁　税込6,300円（〒340円）

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

わかりやすい土木地質学入門
池田和彦・大島洋志　共著
A5判　224頁　税込1,995円（〒290円）

わかりやすい土木地質学
大島洋志　監修
B5判　209頁　税込2,625円（〒340円）

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

土木一般・その他

海洋資源開発
稲田善紀　著
A5判　247頁　税込3,570円（〒340円）

ジオテキスタイル設計マニュアル
T.A.Jaliburton・D.Lawmaker・V.C.McGuffer共著
田中　茂・山岡一三・廣田泰久　共著
A5判　405頁　税込8,400円（〒340円）

続 きみの庭にも温泉が出る
石井康夫・俣野恭寛　共著
新書判　220頁　税込1,260円（〒210円）

きみも金鉱を発見できる
石井康夫　著
新書判　200頁　税込1,029円（〒210円）

※FAXでのお申込みは03-3267-2807

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

TAIKU

CL301E型
カッタローダ



強力な掘削

最大掘削高さ6.6m

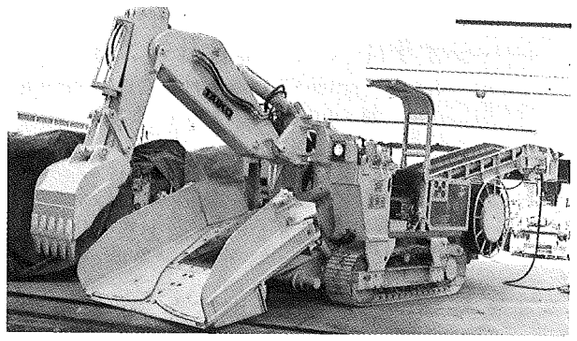
特長

1．カッタ駆動モータは、110kW電動機搭載
2．散水装置により、ビット冷却と粉塵抑制
3．パワーコントロールにより、岩質等に応じて、自動的にドラム送り制御
4．ケーブルリールにより、電源ケーブルのさばきが容易
5．走行移動用ディーゼルエンジン搭載

トンネル掘進機の本命・カッタローダ

山岳土木の豊富な実績を基に，なお開発に挑戦します。

RL型タフローダ



RL10

油圧式ズリ積機

アタッチメントとして
カッタヘッド
油圧ブレーカ搭載可能

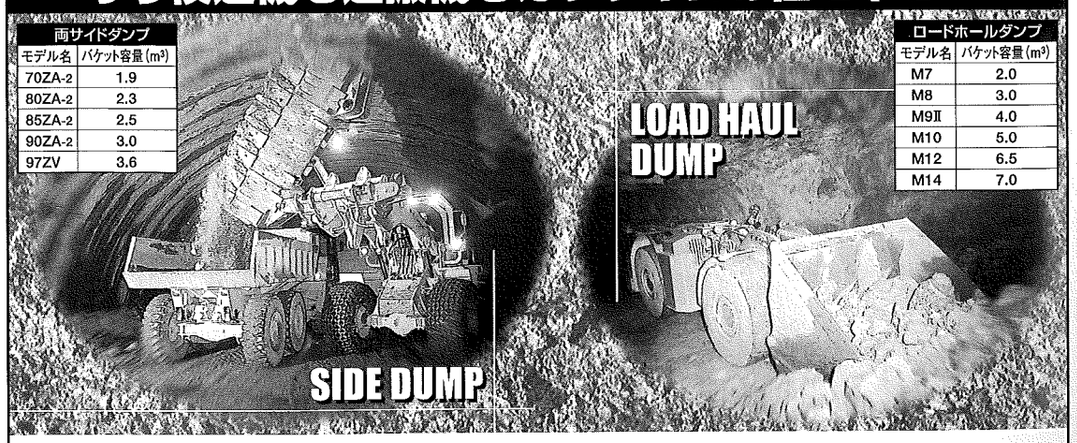
型式	RL16	RL10	RL5-1
適用ズリ取断面	10～32㎥	7～30㎥	4～14㎥
油圧パワーパック	53kW	45kW	31kW
ベルトコンベア能力	150㎥/H	150㎥/H	70㎥/H
質量	16.5トン	12.6トン	9.2トン

製造・販売・レンタル　株式会社 タイクウ

本社　〒144-0047 東京都大田区萩中三丁目6番5号　☎(03)3741-3131(代表)　FAX(03)3741-6457



ずり積込機も運搬機もカワサキにお任せ下さい



両サイドダンプ	
モデル名	バケット容量(m³)
70ZA-2	1.9
80ZA-2	2.3
85ZA-2	2.5
90ZA-2	3.0
97ZV	3.6

ロードホールダンプ	
モデル名	バケット容量(m³)
M7	2.0
M8	3.0
M9Ⅱ	4.0
M10	5.0
M12	6.5
M14	7.0

ONE FOCUS
Complete Solution
Kawasakiは一人一人のお客様を大切にします

川崎重工業株式会社
建設機械ビジネスセンター
東京本社　〒105-6116 東京都港区浜松町2-4-1(世界貿易センタービル)
☎(03)3435-6959　HPアドレス http://www.khi.co.jp/kenki/