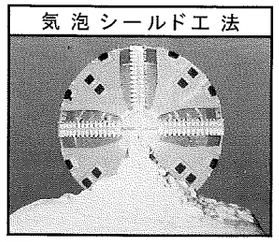
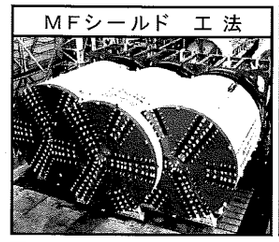
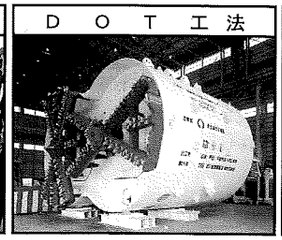
トンネルと地下　平成22年1月1日発行第41巻第1号　昭和45年11月18日第3種郵便物認可
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

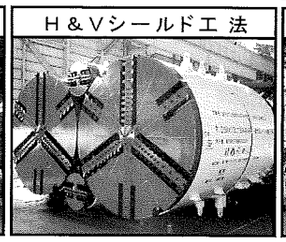
地下の空間を創る

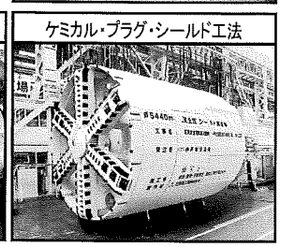
近年、都市部の基礎整備には地下の利用が不可欠です。
シールド工法は、地下空間を創造する方法として一段と重要さを増しています。
ここに集まった13のシールド工法は、実績があり信頼できる最先端技術です。

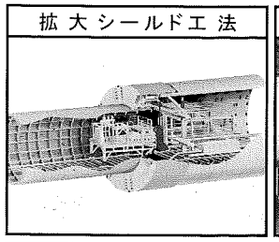


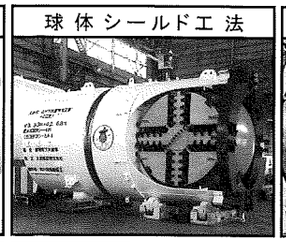


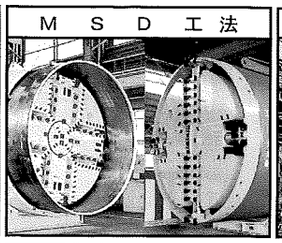


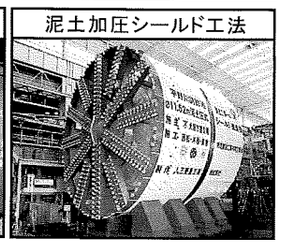


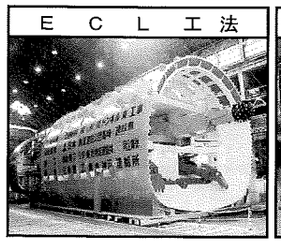


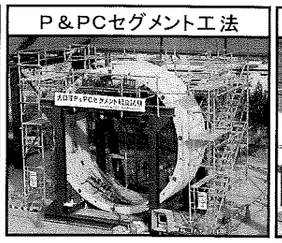


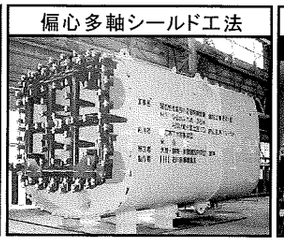


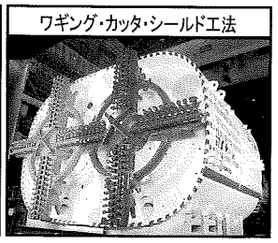












シールド工法技術協会
事務局　〒107-8348　東京都港区赤坂6-5-11
鹿島建設(株)　土木管理本部　土木工務部内
TEL 03-3348-6322　FAX 03-3348-7125
URL:http://www.shield-method.gr.jp　e-mail:sta@shield-method.gr.jp

正会員

アイサワ工業㈱
青木あすなろ建設㈱
㈱浅沼組
安藤建設㈱
岩田地崎建設㈱
㈱大林組
㈱大本組
㈱奥村組
オリエンタル白石㈱
鹿島建設㈱
㈱熊谷組
㈱鴻池組
五洋建設㈱
佐藤工業㈱
清水建設㈱
西武建設㈱
㈱銭高組
大成建設㈱
大日本土木㈱
大豊建設㈱
大和小田急建設㈱
㈱竹中土木
鉄建建設㈱
東亜建設工業㈱
東急建設㈱
東洋建設㈱
戸田建設㈱
飛島建設㈱
西松建設㈱
日本国土開発㈱
㈱間組
㈱ピーエス三菱
㈱フジタ
㈱不動テトラ
㈱本間組
前田建設工業㈱
三井住友建設㈱
村本建設㈱
名工建設㈱
㈱森本組
りんかい日産建設㈱
若築建設㈱
㈱IHI
川崎重工業㈱
㈱小松製作所
JFEエンジニアリング㈱
日立造船㈱
三菱重工地中建機㈱
石川島建材工業㈱
SMCコンクリート㈱
新日本製鐵㈱
新和コンクリート工業㈱
JFE建材㈱
ジオスター㈱
都築コンクリート工業㈱
日本コンクリート工業㈱
フジミ工研㈱

賛助会員

伊藤組土建㈱
㈱植木組
奥村組土木興業㈱
坂田建設㈱
徳倉建設㈱
奈良建設㈱
㈱福田組
㈱アクティオ
カジマメカトロエンジニアリング㈱
成和リニューアルワークス㈱
太平洋ソイル㈱
㈱立花マテリアル
㈱タック
中央工業㈱
㈱テルナイト
東洋工業㈱
㈱日本ネットワークサポート
マルマテクニカ㈱

定価1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-1
4910066190101
01500

昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成22年1月1日発行(毎月1回1日発行)　第41巻第1号　通巻473号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 1

vol. 41
no. 1
2010

Tunnels and Underground

斜交型坑口を面壁式坑門で施工
高耐力支保による早期閉合で押出し性地山に挑む
自然由来の重金属を含む建設発生土の処理と対策
新幹線など重要構造物直下で高水圧下の長距離シールド
維持管理を目的とした開削トンネル設計・施工データベース

日本トンネル技術協会誌



ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力　330kW
総質量　120ton



主な特長

- カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- 機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m（ケーブルハンガーを除く）
- 定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.8m
- 高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とビット消費量低減。
- 接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

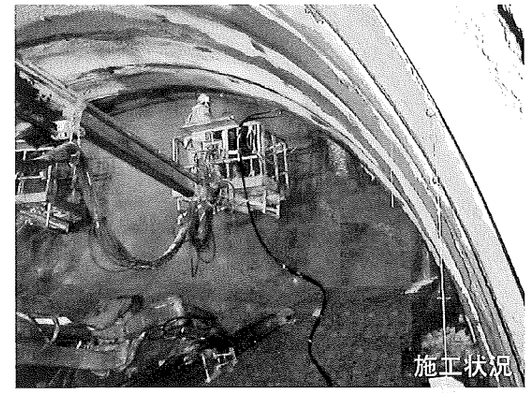
http://www.kyb-ksm.co.jp

本社・営業 カスタマーサービス　〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル　TEL 03-5733-9444
中部支店　〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2　TEL 059-234-4139
西部支店　〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多　TEL 092-411-4998
三重工場　〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2　TEL 059-234-4111

補助工法・注入材のことならティーエムシー

■AGF-OFP工法

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



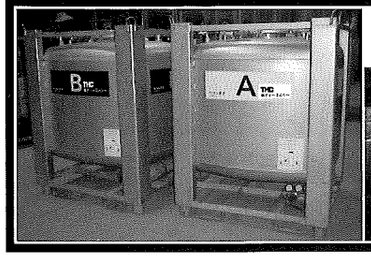
■各種注入材

NEW－TSRF
（シリカレジン）
NEW－TBU
（ウレタン）



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

環境に配慮したリサイクルコンテナシステム



◎リサイクルコンテナ（左）と現場への搬入風景



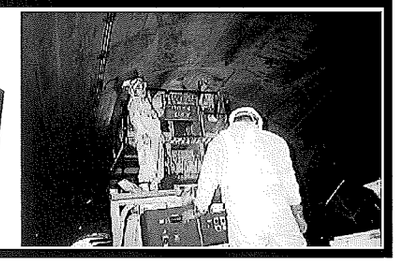
当社のリサイクルコンテナシステムなら、一斗缶の産業廃棄物処理がなくなるため、工事もスムーズに進みます。現場にも環境にもやさしいシステムです。

トンネル補修もティーエムシーにお任せください

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

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





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

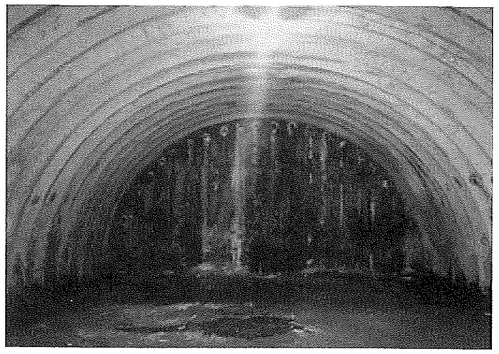
TMC 株式会社ティーエムシー ホームページ ： http://www.tmc-net.com/

お問合わせ・お見積のご相談はお近くの当社事務所まで

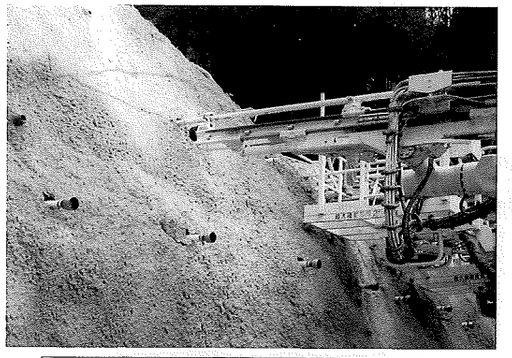
本社　〒116-0013　東京都荒川区西日暮里5-23-3　冠第二ビル5F　TEL：03-3891-8211
仙台支店　〒984-0826　宮城県仙台市若林区若林2-5-5　SKビル3F　TEL：022-286-5111
名古屋支店　〒486-0844　愛知県春日井市鳥居松町4-165　春日井中央ビル4F　TEL：0568-56-4288
大阪支店　〒578-0903　大阪府東大阪市今米1-2-1　中辻第3ビル3F　TEL：072-966-6280
富山営業所　〒933-0806　富山県高岡市赤祖父707　古川ビル2F　TEL：0766-28-8355
九州営業所　〒839-0809　福岡県久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

日本で生まれ、世界へ広がる。
NATMの補助工法

当社は「AGF工法のパイオニア」として，数多くの実績を築いてきました．
この豊富な施工実績を基にした技術対応力で，バックアップ体制をとっています．さらに，豊富なビットシステムと多様な注入システムを保有しているため，「AGF工法〜小口径二重管削孔システム」まで，地山条件や施工条件など目的に応じたご提案ができます．



（施工例）断面内からの無拡幅AGF工法



（施工例）鏡面への小口径二重管削孔システム

AGF工法のバリエーション

施工性や経済性を追及して，注入式フォアポーリングとAGF工法の間を埋める工法！

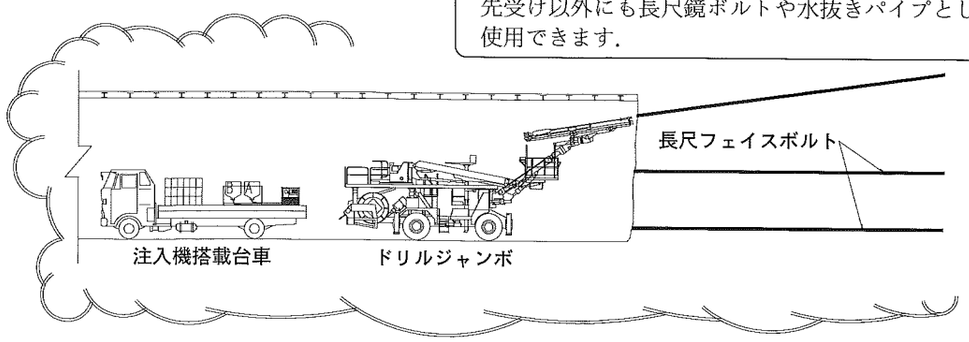
プロトタイプ
無拡幅タイプ
最小拡幅タイプ

小口径二重管削孔システム

鋼管径φ89.1㎜〜60.5㎜まで対応ができ，鋼管・スリット管・特殊樹脂管が選べます．

↓↓

先受け以外にも長尺鏡ボルトや水抜きパイプとして使用できます．



注入材のバリエーション

■シリカレジン注入材
- スーパーSRF(標準タイプ)
- スーパーSRF(Sタイプ)
- スーパーSRF(低粘度タイプ)

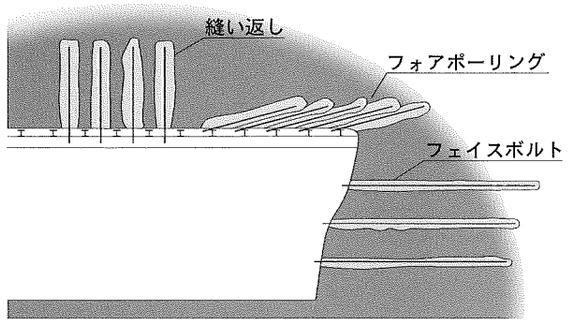
■ウレタン注入材
- ガンバンスーパーS

■無機系注入材
- シリカセーフ



（施工例）固結状況

注入ボルトのバリエーション



注入式フォアポーリングや鏡ボルト等に使用する注入ボルトとして，
- PUボルト
- KATアンカー
- GPRマルチタイプロックボルト

等があり，地山条件や使用目的に応じて選択できます．

主　要　営　業　品　目

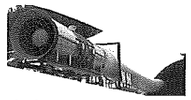
- スーパーシート(防水シート)
- ツイストロックボルト
- 異形ロックボルト
- KAT自穿孔ロックボルト
- GRPマルチタイプロックボルト
- 各種注入材
- アルカリフリー型液体急結剤AFK—777J
- 各種AGF工法
- Small—P工法/パノラマ工法
- 注入式フォアポーリング
- 濁水処理設備
- 建設資材全般

KATECS　株式会社 カテックス
建設資材事業部
ホームページ http://www.katecs.co.jp/

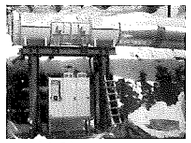
技術営業部
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164
中部営業部
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164
東京支店
TEL)03-3260-8321 FAX)03-3266-1648
関西営業所
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237
九州営業所
TEL)092-574-0856 FAX)092-574-0846
北海道地区(㈱エイチ・アール・オー)
TEL)011-821-5868 FAX)011-821-6644

ホンモノしか残らない…

…1960～　1970～　1980～　1990～　2000……



大容量ファン



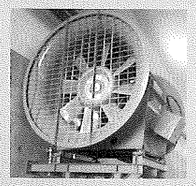
二軸反転
サイレントファン



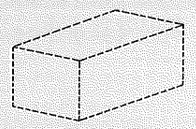
可変翼やインバーター
での風量制御ファン



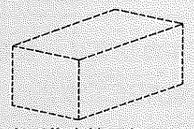
中型集塵機
ノッカー払落し式



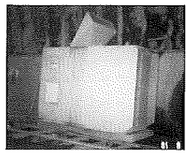
単段ファン



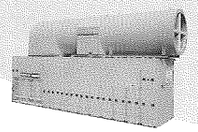
中型集塵機湿式



中型集塵機電気式



中型集塵機
フィルタ交換型



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

吸引ダクト
SUPER LIGHT〔新型〕

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

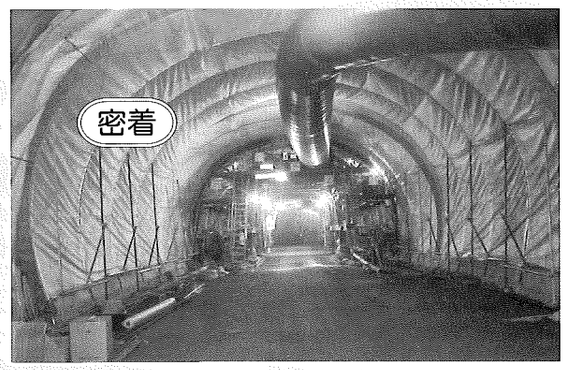


最適環境を創造する
株式会社流機エンジニアリング
URL：http://www.ryuki.com　E-mail：eigyobu@ryuki.com
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI聖坂ビル　TEL：03(3452)7400

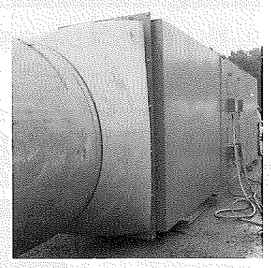
換気・環境技術は進化しています



2009……



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



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

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

2010……



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

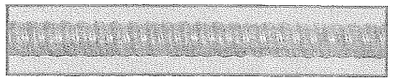
— NATM を支える —

技術と信頼！

ケー・エフ・シーの ロックボルト

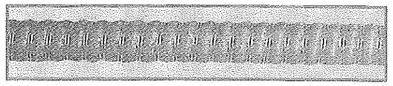
全ネジ FRP ロックボルト

CG22S

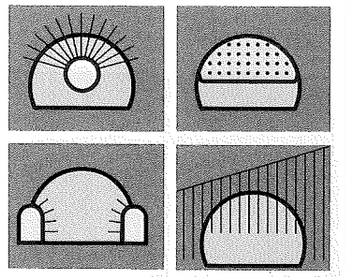


（中実タイプ）

CGR32

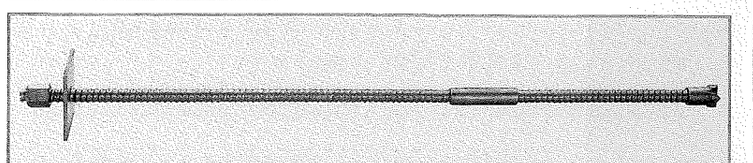


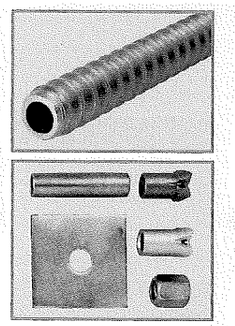
（中空タイプ）



FRP ボルトに全ネジ加工することによって、ナット取付け、カプラー接続が簡単にできます。

自穿孔 IBO アンカー



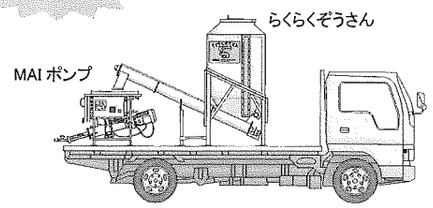


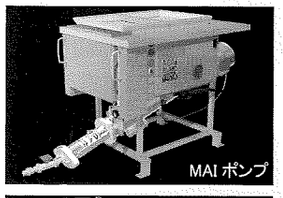
現場での取扱いが非常にし易い R32 ネジを全長にわたって転造した中空ロックボルトです。

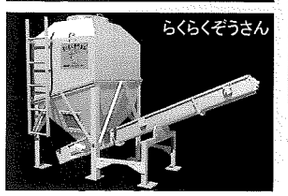
MAI ポンプ＆らくらくぞうさん（モルタル投入システム）

特許第 3256532 号（らくらくぞうさん）

ECO システム!









環境にやさしいパッケージ
「ふたたびくん」

現場ゼロエミッションに貢献します。

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

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

ホームページ http://www.kfc-net.co.jp/

1本1本が大切！ だから

次世代 防食 ロックボルト

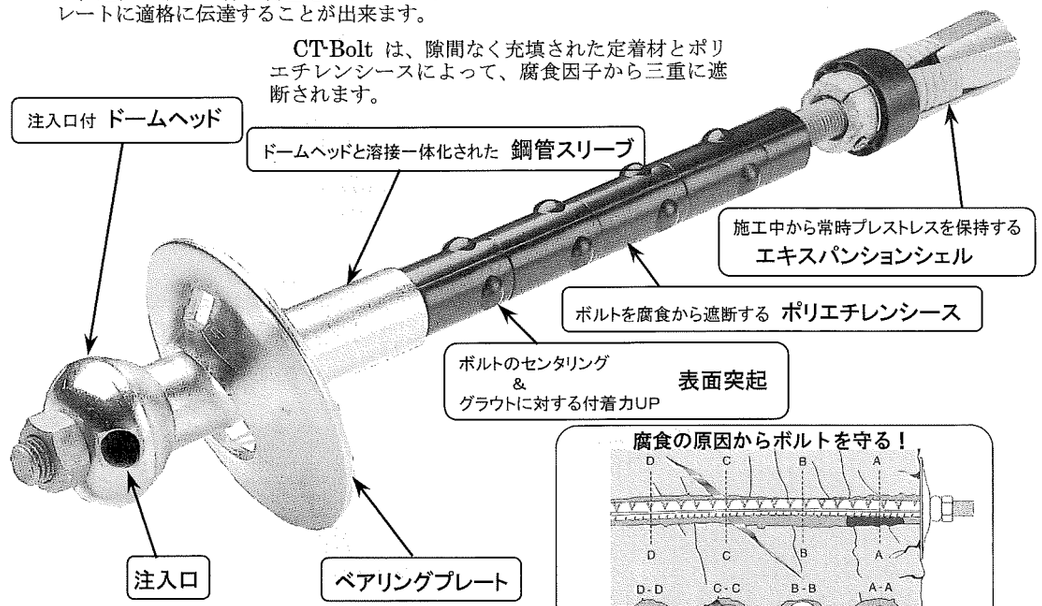
CT-Bolt

Ørsta Stål

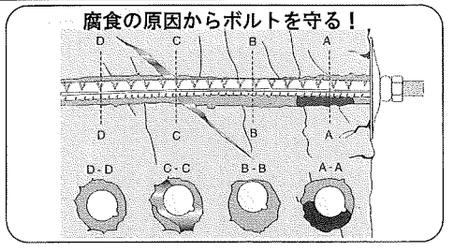
通常施工により超長期支保

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。

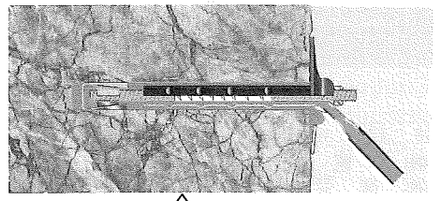


腐食の原因からボルトを守る！



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

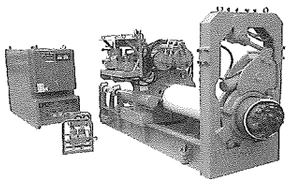
CT-Bolt は、広い範囲の粘度のグラウト注入が可能です。グラウトはポリエチレンスリーブ内に充填された後、先端部から孔壁とスリーブの間を充填して戻り、リターンによって全面定着が確認出来ます。

総発売元 Your Fastening Partner

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

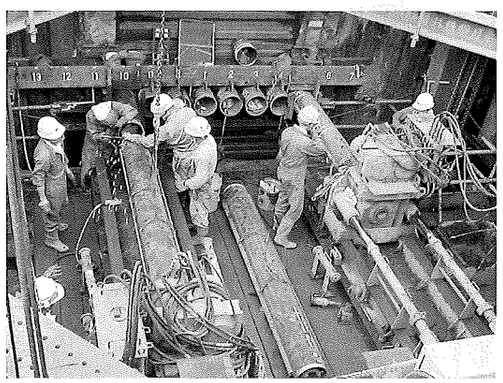
〒135-8073 東京都江東区青海2丁目45番タイム24ビル
お問い合わせ先 TEL：03-3570-5182
技術部 FAX：03-3570-5191

THパイプルーフ工法



空間を確実に確保

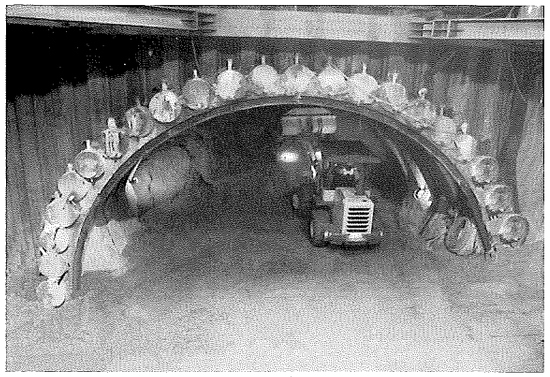
高精度・全地盤型　水平鋼管圧入システム



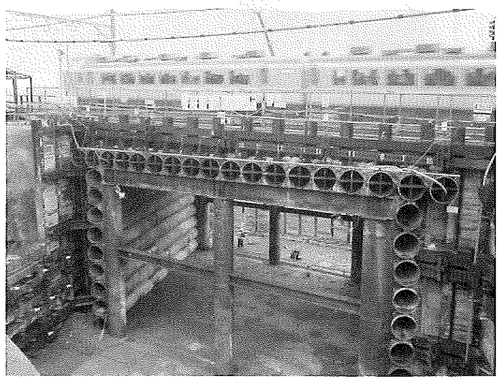
パイプルーフ施工状況(立坑内)

★特　徴★

- 本体掘削時の沈下抑制補助工法です
- 常時管芯チェックが可能で、方向修正方式を採用
  (精度が良いため支保作業が容易)
- オーガ中堀り掘削、地山との空隙に同時注入も可能
- 推進途中でのビットの交換が可能で地層変化に対応
- 適応管径は、φ200A～φ1200A
- 最大推進長は、約70～100m
- 推進機は、推力 1000kN(100t) 2000kN(200t) 3000kN(300t)



パイプルーフ完了後の掘削状況



パイプビーム工法

〔会　員〕 ※会員 募集中 [お問い合わせは　下記　事務局へ]

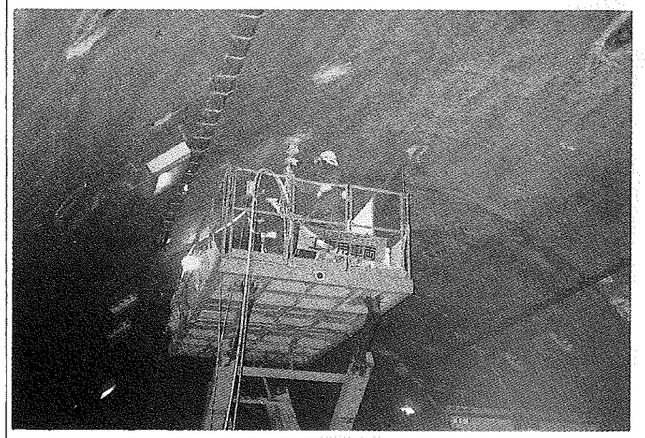
㈱小宮山土木	長野県	TEL 0267-56-1299	東邦地下工機㈱	東京都	TEL 03-3474-3143
㈱進栄機工	北海道	TEL 011-382-8048	日本基礎技術㈱	東京都	TEL 03-3476-5701
東洋地工㈱	福井県	TEL 0776-53-5335	㈱大阪防水建設社	大阪府	TEL 06-6762-5621
日特建設㈱	東京都	TEL 03-3542-9299	多田建設㈱	福島県	TEL 024-535-6161
ケミカルグラウト㈱	東京都	TEL 03-5575-0511	九州グラウト㈱	福岡県	TEL 092-583-3232
㈱最上機工	山形県	TEL 0233-23-1555	札幌黒澤工業㈱	北海道	TEL 011-215-7500
サン開発工事㈱	大阪府	TEL 072-641-4951			(順不同)

http://www.piperoof.jp　(ホームページです。ここから資料が取り出せます。)

THパイプルーフ技術協会

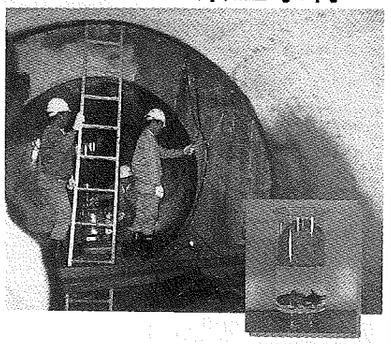
〒140-0002 東京都品川区東品川4丁目4番7号 東邦地下工機㈱内
TEL 03-3474-3143　FAX 03-3474-3163
E-mail : jimukyoku @ piperoof.jp

硬質発泡ウレタン
セットフォーム工法
急結性・高性能空隙充填材



- シールドにおける滞水層，軟弱地盤の全面裏込め注入
- シールド急曲線部の裏込め注入(即時地盤反力の効果)
- トンネル構造物などの背面空洞充填
- 深基礎工法の裏込め(止水,裏込め後の即時掘削可能)

漏水を瞬時にストップ!
SF-A工法
長期耐久性に優れた無溶剤タイプのウレタン系止水材



- 山岳トンネル，下水道，共同溝，地下鉄，地下室，その他地下構造物の漏水補修
- 地下構造物の背面空洞の充填
- 地盤や岩盤の止水，および固結安定

ケミカルフォーム協会会員

アルス株式会社	〒950-0944	新潟市中央区愛宕 1-4-25	TEL 025-280-0337
株式会社内田工業	〒332-0032	埼玉県川口市中青木 2-12-2	TEL 048-257-0848
エコシビックエンジ株式会社	〒135-0047	東京都江東区富岡1-12-4み満きビル	TEL 03-3643-7241
MC山三ポリマーズ株式会社	〒103-0023	東京都中央区日本橋本町3-6-2小津本館ビル	TEL 03-3662-0253
株式会社共和	〒462-0832	名古屋市北区生駒町 7-148-1	TEL 052-911-3984
四国リニューアル株式会社	〒780-0815	高知市二葉町 3-5	TEL 088-878-0050
ショーレジン株式会社	〒104-0032	東京都中央区八丁堀3-14-4直平ビル	TEL 03-3551-8391
成和リニューアルワークス株式会社	〒163-0610	東京都新宿区西新宿 1-8-1	TEL 03-5326-0720
日本綜合防水株式会社	〒171-0022	東京都豊島区南池袋3-11-10ペリエ池袋	TEL 03-5950-8211
林建設工業株式会社	〒998-0023	山形県酒田市幸町 1-6-6	TEL 0234-23-3322
フジモリ産業株式会社	〒141-0022	東京都品川区東五反田2-17-1オーバルコート大崎マークウエスト	TEL 03-5789-2206
前田産業株式会社	〒755-0032	山口県宇部市寿町 3-5-23	TEL 0836-21-2666
株式会社マシノ	〒733-0822	広島市西区庚午中 1-19-23	TEL 082-507-2737
株式会社松井商店	〒007-0870	札幌市東区伏古10条2丁目11-8	TEL 011-782-4441
株式会社マノール	〒142-0043	東京都品川区二葉 1-18-8	TEL 03-3787-1131
株式会社三原工業	〒531-0074	大阪市北区本庄東1-22-3四本ビル	TEL 06-6371-9947

協会事務局

〒103-0023　東京都中央区日本橋本町 3-6-2 小津本館ビル
MC山三ポリマーズ(株) 内　TEL 03-3662-0253

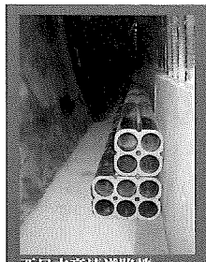
製造元　**日清紡ケミカル株式会社**　断熱事業部

〒289-2505　千葉県旭市鎌数9163-13　TEL 0479-60-3555

長年の多くの実績から得た豊富なノウハウという「宝物」を新しい技術に。
いらなくなった物で必要な物を作り出す。それが私たちの技術です。
トンネル、電線共同溝、空港、工場敷地内、ありとあらゆるニーズにお答え出来ます。
資源循環型リサイクル製品「セラダクトA(エース)」。

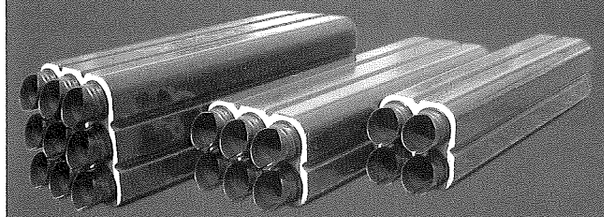
トンネル内専用として

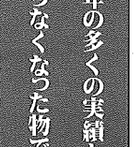
セラダクトA(エース) ネオ neo



熊本県 熊本3号トンネル
西日本高速道路㈱
第二名神 栗東トンネル

名四国道事務所
足助バイパス 足助トンネル

高山国道事務所
中部縦貫道 前原1号トンネル




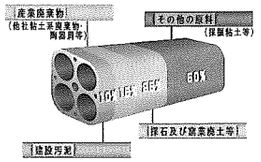
－特長－

標準管の長さは65cmの新規格
※従来のセラダクトAは60cm。

接続はカップリング方式で簡単
スピーディー
※従来のセラダクトAはパッキン介在ボルト締め

ちきゅうにやさしい
再生材料を使用
採石および高炉スラグ、陶磁器屑 50%以上
セラダクトAはエコマーク認定商品です
第 04 131 014 号

セラダクトAシリーズは「エコマーク認定基準」に適合し、財団法人 日本環境協会から「エコマーク商品」として認定されました。



ISO 9001:2000取得

杉江製陶株式会社
sugie

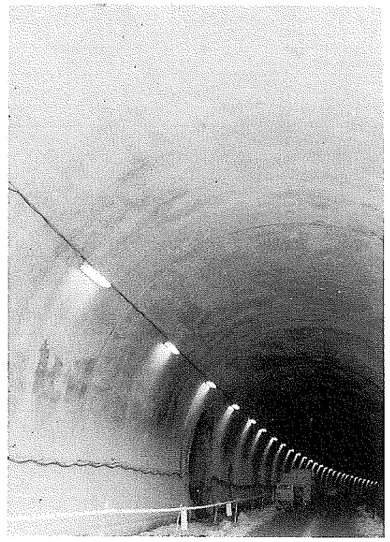
本社・工場　愛知県知多郡武豊町字上山一丁目76番地　〒470-2387
TEL(0569)35-2360(代)　FAX(0569)35-4087
東京支店　東京都渋谷区恵比寿一丁目21番8号セラ51ビル　〒150-0013
TEL(03)3442-6181　FAX(03)3442-1691
大阪支店　大阪市都島区御幸町1丁目3番1号　〒534-0012
TEL(06)6922-6991　FAX(06)6922-2498

http://www.sugie.co.jp/

コンクリートの劣化，欠陥箇所の改修，補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



〈工期短縮，即日仕上り〉

プレミックス急硬モルタルと
特殊ラテックスの
複合材で
短時間で実用強度が得られる
即日補修工法です。

- 短時間で高強度，即日仕上り
- 強力な接着力と収縮，ヒビ割れ防止
- 防水性，防錆力に優れ，中性化防止
- 既調合品で現場管理が簡単

エアモルタル裏込め注入……

エスコート L&K 起泡剤

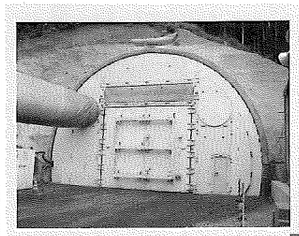


- 強力な分散性と安定した流動性
- ノーブリージング
- 任意の強度の選定
- セメント，骨材の種類が任意

◆土木資材の綜合プランナー◆

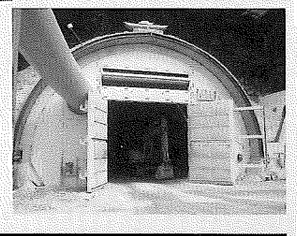
株式会社 マ-ル　〒142-0043 東京都品川区二葉1丁目18番8号
TEL 03(3787)1131(代)

快適な作業環境を提供する騒音対策システム
～25年の実績が最大級の安心をご提供いたします～



【防　音　扉】

HFS型 マークⅡ
HFS型 ロック式
HFS型 マークⅡ10c
HFS型 マークⅡ15c



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。

『防音扉マークⅡ』の音響性能

対　策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	13 dB
2基設置	28 dB(A)	19 dB

『防音扉ロック式』の音響性能

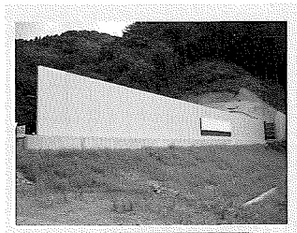
対　策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	17 dB
2基設置	28 dB(A)	26 dB

『防音扉マークⅡ10c』の音響性能

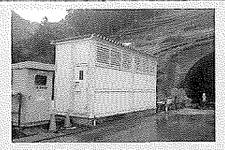
対　策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	20 dB
2基設置	29 dB(A)	33 dB

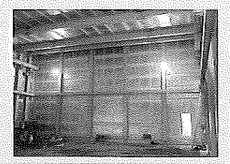
『防音扉マークⅡ15c』の音響性能

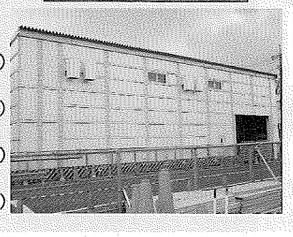
対　策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	21 dB(A)	23 dB
2基設置	30 dB(A)	36 dB



【防　音　壁】
【防音ハウス】
【防音シェルター】
【防音ボックス】







S タイプ(スタンダードタイプ)
D タイプ(デラックスタイプ)
H タイプ(ハイデラックスタイプ)
SU タイプ(ステンレスタイプ)

『防音パネルSタイプ』の音響性能

項　目	1/1 オクターブバンド中心周波数【Hz】					
	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	14	18	29	36	43	49
吸音率【%】	33	80	89	84	81	76

『防音パネルDタイプ』の音響性能

項　目	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	22	32	37	38	37	43
吸音率【%】	51	77	75	81	71	62

『防音パネルHタイプ』の音響性能

項　目	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	32	32	38	46	50	53
吸音率【%】	57	48	61	76	86	91

『防音パネルSUタイプ』の音響性能

項　目	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	20	28	44	54	59	64
吸音率【%】	61	100	100	100	100	100

【建設騒音対策協会】

株式会社 牛尾商店　株式会社 カテックス　株式会社 ティーエムシー　日豊 株式会社
株式会社 野佐和商会　株式会社 ビーエスアイ　古河ロックドリル 株式会社

E-mail：souon@fuse-ind.co.jp

◆ＩＳＯ９００１取得 ～ 防音設備の設計、製造、施工、リース
◆建設業登録　東京都知事 許可　般－２０　第１３０１５３号
土木工事業、とび・土工工事業、鋼構造物工事業

株式会社　ヒューズ

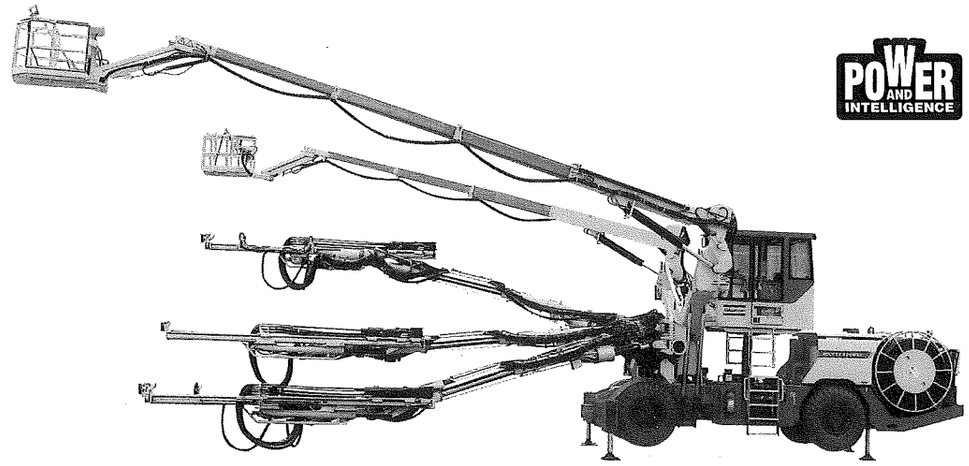
□本　　社　〒132-0035　東京都江戸川区平井6-35-5　TEL.03-3617-8111　FAX.03-3617-7565
□大阪営業所　〒531-0072　大阪府大阪市北区豊崎3-4-14 ショーレイビル　TEL.06-6359-2611　FAX.06-6359-2288

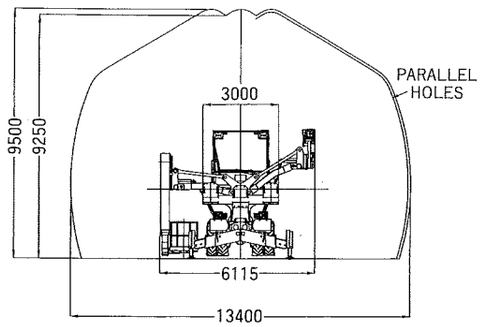
E-mail：info@fuse-ind.co.jp　http://www.fuse-ind.co.jp

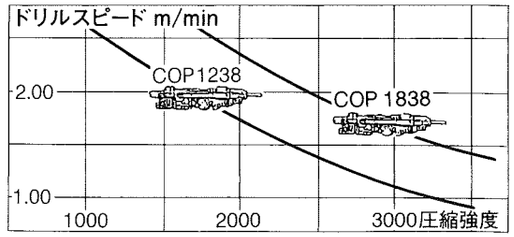
アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B
COP1838油圧ドリフター搭載
3ブーム・2バスケット

POWER AND INTELLIGENCE





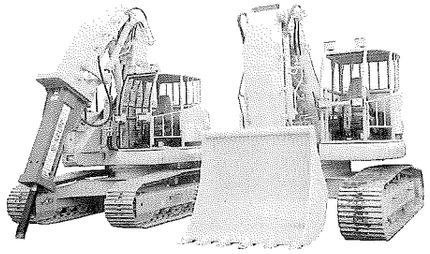


ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO.,LTD.

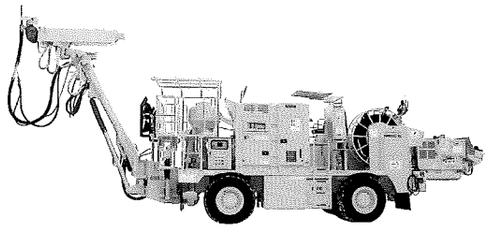
本　　社　〒116-0014　東京都荒川区東日暮里6-16-8桂ビル5階
TEL(03)3806-3377番　FAX(03)3806-8461番
関西支店　〒657-0864　兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4
TEL(078)802-5551番　FAX(078)802-5528番
九州支店　〒839-0841　福岡県久留米市御井旗崎1-6-14
TEL(0942)43-5315番　FAX(0942)43-5832番
焼津営業所　〒425-0072　静岡県焼津市大住638-1
TEL(054)620-7301番　FAX(054)620-7303番
兵庫工場　〒679-1332　兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端454-3
TEL(0795)36-0461番　FAX(0795)36-0467番

T&M
Tunnel & Mining

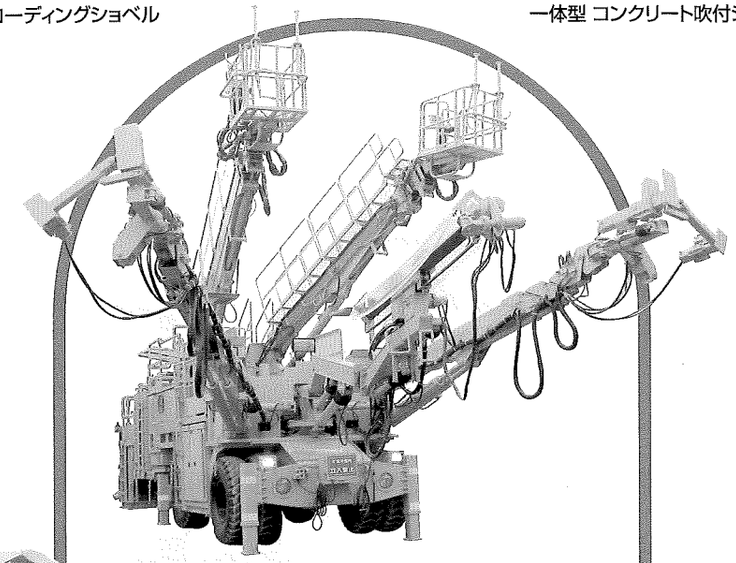
2009年1月 新会社誕生！
（旧三興レンタルと旧新ケービーシーが一体化）



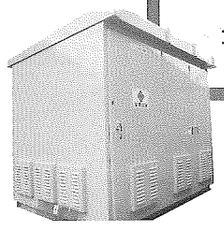
油圧ローディングショベル



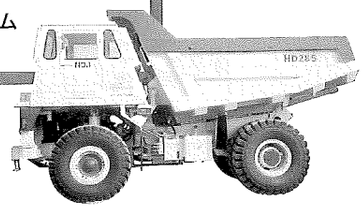
一体型 コンクリート吹付システム



コンプレッサー搭載型エレクター吹付システム
開発商品



フリッカ対策機（インバータ方式）:SVG
※西尾レントオールの旧本社営業課が電気機器営業部となります



ダンプトラック

山岳トンネル施工機械、鉱山・採石機械の総合レンタル企業

ニシオ ティー アンド エム株式会社

東日本営業本部
電気機器営業部 0133-75-8240
東北支店 0197-77-4101
関東支店 04-2928-3270

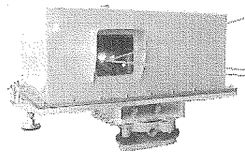
本社 大阪府高槻市唐崎西2-26-1
TEL 072-677-2127 FAX 072-677-2109
石狩工場 高槻工場 宮崎工場
0133-72-3715 072-677-4736 0982-22-8701

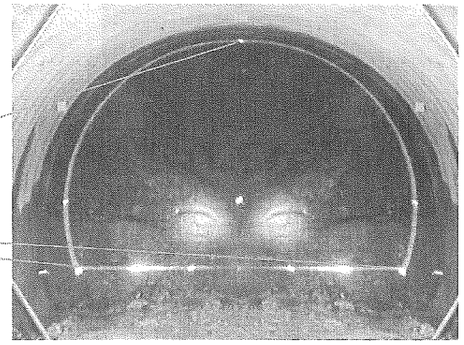
西日本営業本部
大阪支店 072-677-2101
九州支店 0982-26-2111

レーザーマーキングシステム

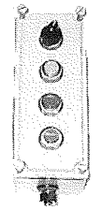
国内、海外特許取得済み

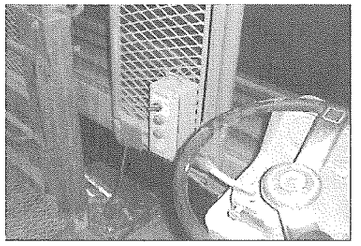
残像効果を使ったペイント不用
の連続高速照射を実現





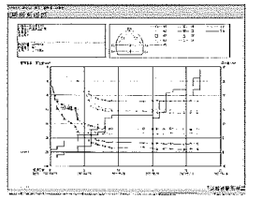
現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー



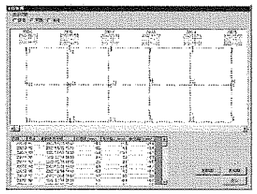


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

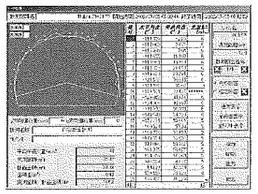
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



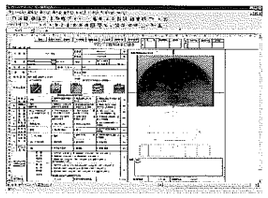
A計測データ処理



支保工立込精度、変形量



内空、巻厚検査



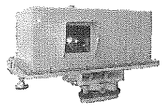
切羽観察、etc















豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

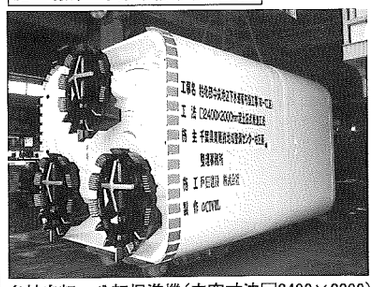
MAC マック株式会社
〒272-0832 千葉県市川市曽谷8−16−3
TEL (047) 371-3191 FAX (047) 371-3190

〔販売元〕
古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

超流バランスセミシールド工法

ボックスカルバート推進工法

施工場所：千葉県柏市若柴地内



多軸自転・公転掘進機（内空寸法□2400×2000）

本工法は、有効断面を最大限に確保し、低土被り、長距離、急曲線の安全で迅速かつスムーズな密閉型矩形推進工法を確立しました。

先行工事としての角鋼管水平土留工やボックスカルバートの密閉型推進工法に活用可能です。

◆低土被りが推進可能（H=1.5m程度まで可能）
◆PC・RCボックスカルバート函体および角鋼管にて対応可能
◆密閉型のため切羽の安定性に優れ、地山の緩みを防止可能
◆完全密閉型式多軸方式の高トルク掘進機のため、多用な土質に適用可能で迅速な施工を実現可能

リターン回収掘進工法

施工場所：東京都渋谷区神宮前



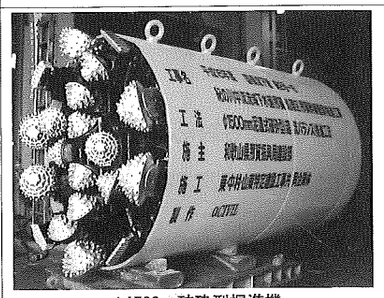
φ1016mm長距離パイプルーフ掘進機（リターン回収型）

本工法は、掘進機を発進基地に迅速に引き戻せる機構としたことで、到達立坑が不要となり、大幅なコスト縮減が可能となりました。

特に長距離、曲線パイプルーフ施工として有効なため、工期短縮およびコスト縮減が図れる画期的な工法です。

◆長距離・曲線パイプルーフとして適用可能
◆通常のJIS鋼管にて対応可能（鋼管φ812～φ1219mm）
◆継ぎ手付鋼管においても先行継ぎ手カッターにてスムーズな掘進が可能
◆到達回収立坑が不要（発進側へ掘進機内部装置を回収可能）
◆密閉型掘進機構ゆえに無水層～滞水層まで対応可能

巨礫・岩盤破砕型掘進工法

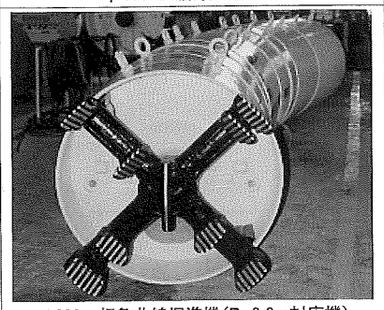


φ1500mm破砕型掘進機

本工法は泥濃式の取込方式の長所を生かしながら、破砕方式を兼ね備え、取込径以下の不要な破砕を行わないため、ビットの耐磨耗延長を従来の2倍以上とし、巨礫に対応しながら長距離推進を可能としました。

◆破砕型掘進機：呼び径φ600～φ1650に対応が可能
◆岩盤層実績　26件、延べ延長L＝10.0km
◆巨礫層実績　47件、延べ延長L＝15.6km
◆破砕型急曲線実績　R＝15m（φ800、巨礫層）
◆破砕型長距離実績　L＝619m（φ1000、巨礫層）

長距離・急曲線推進工法



φ800mm超急曲線掘進機（R=9.3m対応機）

本工法は泥濃式の中でも特に高トルク、超急曲線機能・超長距離安定機能の開発を進め、玉石砂礫層～軟弱層の広範囲の土質に対応できる画期的な掘進機を開発してきました。

◆呼び径φ600～φ2400に対応が可能
◆排土口径が大きいため、取込型掘進機でも管呼び径の40%程度の玉石等の摘出が可能
◆通常の泥濃式の送泥水注入と固結型滑材注入に加え掘進機外周からテールボイド安定材の注入、さらにテールボイド拡幅装置（TRS）を装着することで切羽の安定と良好なテールボイドの構築が可能
◆超急曲線掘進機は多段中折れ機構により管呼び径の40～15倍程度まで曲線施工が可能

認証取得
ISO 9001
ISO 14001

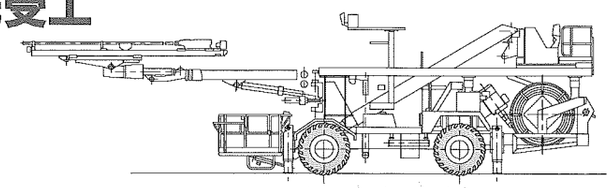
株式会社アルファシビルエンジニアリング（超流セミシールド協会）
〒812-0015福岡市博多区山王１丁目１番18号
TEL(092)482-6311　FAX(092)482-6363
E-mail:arfa@oregano.ocn.ne.jp
URL http://www.alpha-civil.com

建設コンサルタント登録番号：建18第8677号
測量登録番号：登録第(1)-30507号
建設許可番号：国土交通大臣許可(特-18)第19193号

環境対応型長尺鋼管先受工

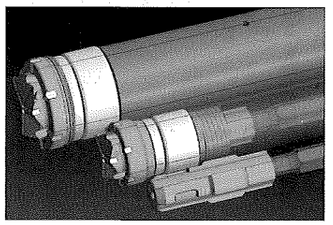
TOHO AGF System

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

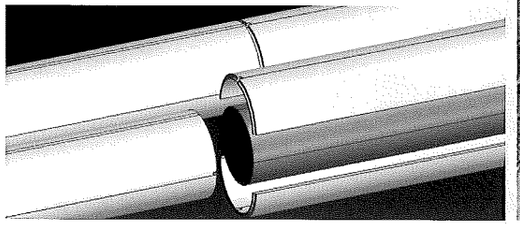


AGF-Me工法

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



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



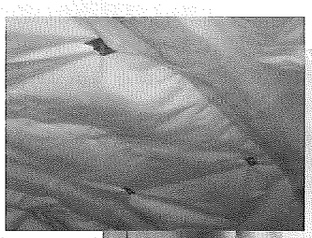


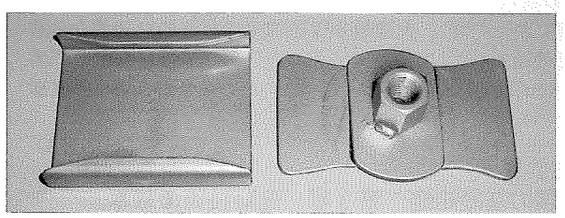
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

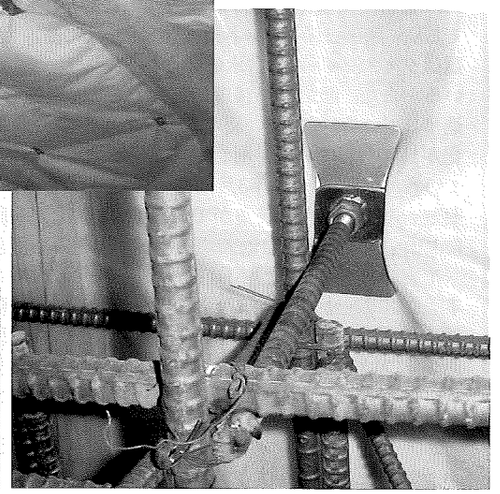
TKグリッパー

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

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







東邦金属株式会社　東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD
〒107-0052
東京都港区赤坂2-19-8　赤坂２丁目アネックス６Ｆ
Tel: 03-5545-7900　Fax: 03-5545-7905
URL:http://www.tohokinzoku.co.jp

株式会社 トーキンオール
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel:**044-333-0012**　Fax:**044-333-0321**
（お問い合わせ先）

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい トンネルの発破技術

監修 山田隆昭　　B５判　76頁　定価1,500円＋税（送料別途）

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで！
振動や騒音の環境問題を詳述!!

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

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

〈主要目次〉

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

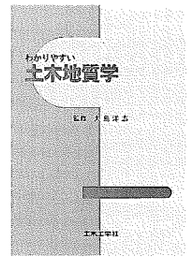
お申し込みは当社へFAX，または，お近くの書店にてお申し込みください．FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は，書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記の上，お申し込みください．

株式会社 土木工学社
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
TEL　03-3267-2888　　FAX　03-3267-2807

土木工学社の地質学書

〔好評発売中〕

わかりやすい土木地質学



大島洋志 監修

Ｂ５判　209頁　税込2,625円　〒340円

主要目次

序　編　トンネルと地質の関わり

1．地質学とは，応用地質学とは　2．トンネルと地質

第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第Ⅱ編　トンネル工事と地質条件

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

第Ⅲ編　地質調査法

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

第Ⅳ編　工事を対象とした地質調査の進め方

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

〔その他の既刊図書〕

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

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

地下水の科学　P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ　共著　大西有三　監訳

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

第Ⅱ巻　地下水環境学　B5判　252頁　税込4,485円　送料340円

第Ⅲ巻　地下水と地質　B5判　197頁　税込3,873円　送料340円

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

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

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

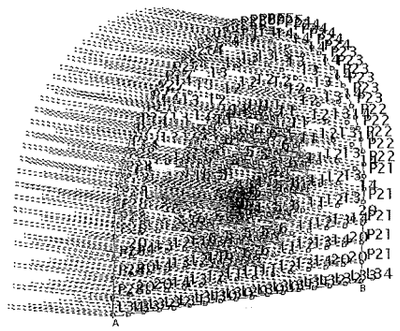
地質工学概論　菊地宏吉 著　B5判　276頁　税込4,994円　送料340円

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

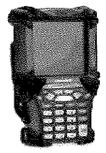
お申し込みは，当社へFAXまたはお近くの書店にてお申し込みください．FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は，書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記のうえ，お申し込みください．

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

トンネル専用電子雷管　eDev™









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

ORICA MINING SERVICES

オリカジャパン株式会社

代表取締役社長　安藤　宏

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

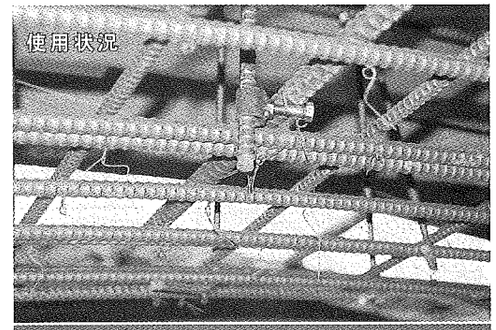
取扱品目：技術サービス・電子雷管・導火管付雷管・電気雷管・含水爆薬・産業爆薬用硝安

コストダウンを可能にする Kリング

特許出願中（特願2001-309314号）

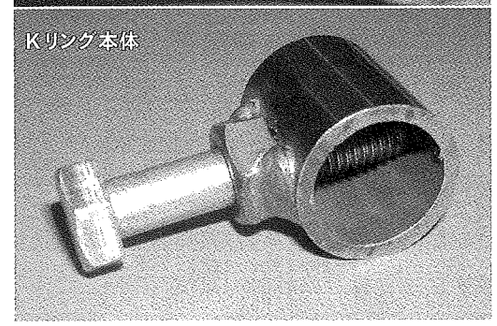
①アーチ鉄筋組立金物

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



②鉄筋加工業務

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



製造・販売元 **静岡スチール**

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

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

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

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

中濃産業株式会社

代表取締役　土 田 義 式

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



機械掘削ツインヘッダ

1.0m³クラス　322C 他

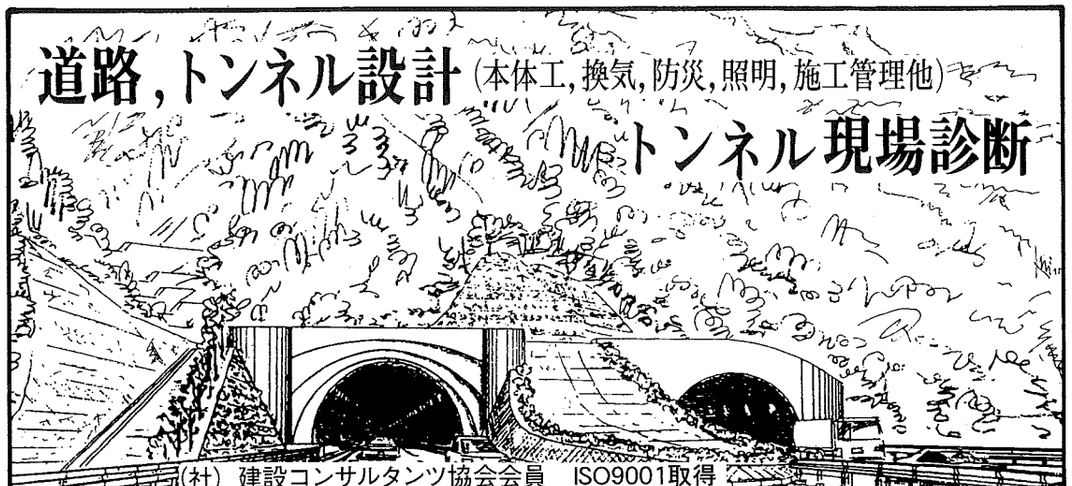
区分 Type	型式 Model	ピック型式 Tooth Type		ピック本数 Number of Teeth
標準型 Standard	MT-300S-F	HABCM-15	平ピック Flat	48
	MT-600S-F	HABCM-15		64
	MT-1000S-F	HABCM-15		72
	MT-2000S-F	HABCM-15		72
	MT-300S-C	RM5C-9	丸ピック Conical	52
	MT-600S-C	RM8B-15		54
	MT-1000S-C	RM8B-15		62
	MT-2000S-C	RM8B-20		68
	MT-4000S-C	RM8B-25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

klea 株式会社 ケイ・リー

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

URL　http://klea.catrent.com

道路，トンネル設計（本体工，換気，防災，照明，施工管理他）
トンネル現場診断

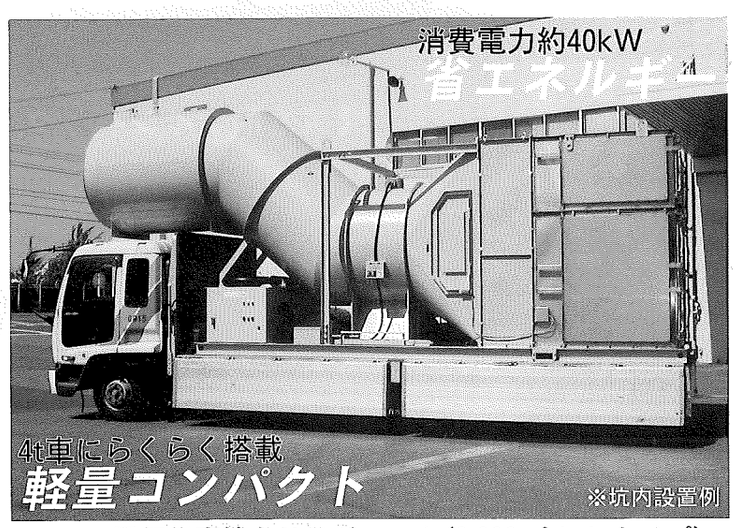


（社）建設コンサルタンツ協会会員　ISO9001取得

株式会社 ロード・エンジニアリング

会　　長　田　島　利　男　　代表取締役社長　清　水　　洋（技術士）
（技術士・土木学会フェロー会員）
常務取締役　堀　内　浩三郎（工学博士）　大阪支店長　亀甲谷　義　高（技術士）
福岡支店長　朽　網　　新

本　　社：〒116-0013　東京都荒川区西日暮里５丁目24番７号　電話(03)3891-0711
大阪支店：〒569-1133　大阪府高槻市川西町２丁目21番38号　電話(072)691-0711
福岡支店：〒812-0011　福岡県福岡市博多区博多駅前４丁目25番14号　電話(092)436-1588
沖縄営業所：〒901-2122　沖縄県浦添市勢理客４丁目16番９号　電話(098)870-6411



National電気集塵機クリンジェット（2,000m³/minタイプ）

RENT

取扱レンタル商品

- フリッカー対策器
- MACレーザーシステム
- オアシス（坑内休憩室）
- 発電機エコ装置（従来より小容量の発電機で施工できる為、省エネ効果）

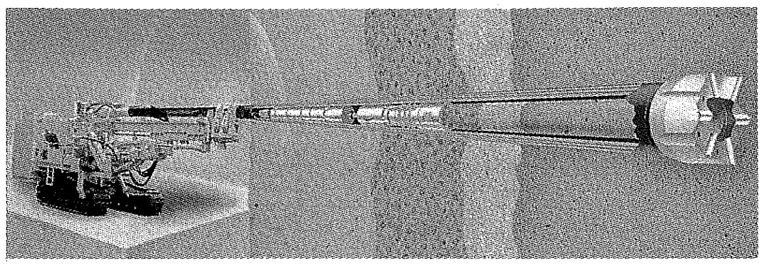
株式会社 レ ン ト

特機営業課　担当者　工藤

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 3-12-9 NIビル８階　TEL：03-5642-6750　FAX：03-3249-0415
URL：http://www.rent.co.jp　E-mail：kudo.yuji@rent.co.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　〒171-8572 東京都豊島区高田2-17-22 目白中野ビル１F
TEL（03）6907-7888（大代表）　FAX（03）6907-7527

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

■図書案内

地下水の科学　―全3巻―

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

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



第Ⅰ巻　地下水の物理と化学
4,078円＋税　B5判
■序論■岩石における空隙の起源と透水性■地下水の動き■岩石の弾性的な性質と流れの方程式■水理試験（モデル，方法と応用）■溶質と粒子の輸送■汚染物質の水理地質学入門

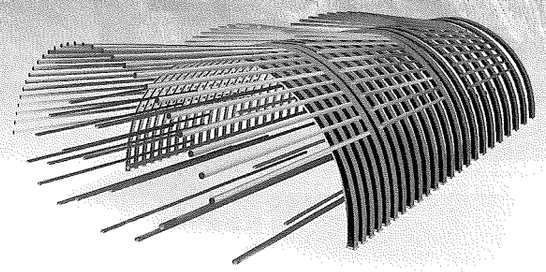
第Ⅱ巻　地下水環境学
4,272円＋税　B5判
■地下水の化学■化学反応■物質輸送の数学理論■地下水による物質輸送（水質編）■地下水による物質輸送（地質編）■物質の輸送のモデル■輸送プロセスとパラメータ同定■水質浄化対策

第Ⅲ巻　地下水と地質
3,689円＋税　B5判
■水資源■堆積盆水循環における地下水■地殻における地下水■地下水流動における熱輸送

株式会社 土木工学社

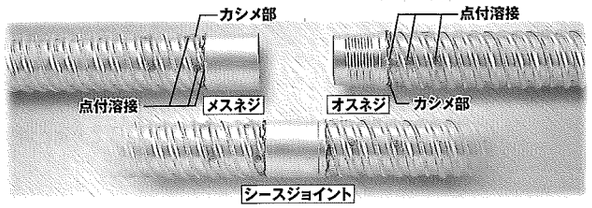
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888　FAX: 03 3267 2807　http://www.tunnel.ne.jp

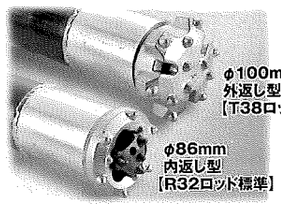
ユニークな発想と高品質・自信の価格



FIXチューブ工法

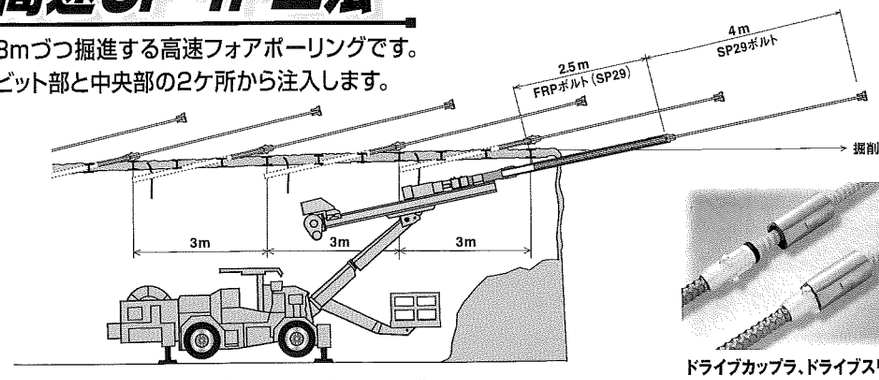
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと"**FIX**"します。

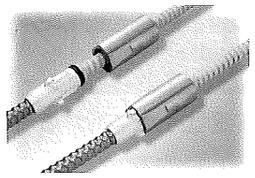




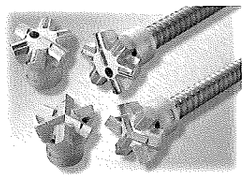
高速SP-IF工法

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



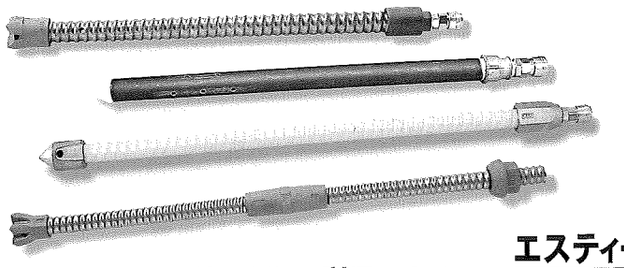


ドライブカップラ、ドライブスリーブ



φ65mm ロストビット(SP29)

自穿孔ボルト&注入管



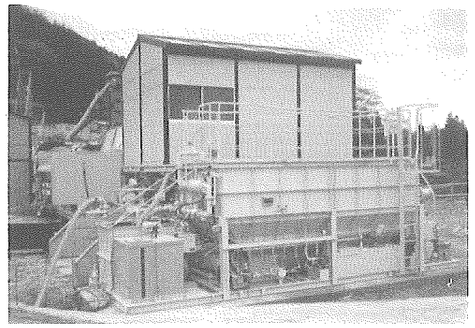
※他にも脚部や坑口周りに利用できる各種の補強土工法、マイクロパイル工法を準備しております。

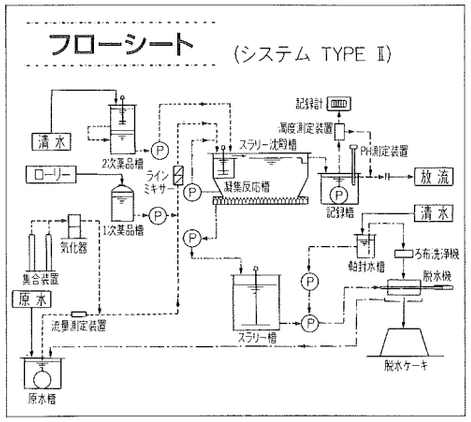
STE
エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251
http://www.st-eng.co.jp

TWS型シリーズ 濁水処理装置

Waste Water Treatment System

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。

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　1月号目次　Vol.41, No.1, 2010 Jan.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

年頭のご挨拶
佐藤　信彦……5

■研　　究

維持管理を目的とした開削トンネル設計・施工データベース
新井　　泰・有賀　貴志・蒲地　秀矢・大石　敬司……57

■施　　工

斜交型坑口を面壁式坑門で施工
―一般国道54号可部バイパス　大林トンネル―
砂堀　松男・河上　伸一・越智　辰彦・藤井　俊英……7

高耐力支保による早期閉合で押出し性地山に挑む
―北海道横断自動車道　穂別トンネル東工事―
高橋　俊長・向井　　隆・井上　孝俊・垣見　康介……15

自然由来の重金属を含む建設発生土の処理と対策
―仙台市地下鉄東西線―
谷畑　一行・菊谷　正己・髙橋　　靖……29

新幹線など重要構造物直下で高水圧下の長距離シールド
―東京都下水道　第二立会川幹線―
岡野　俊彦・仁禮　拓身・白井　健泰……51



CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■連 載 講 座

ずり処理入門(1)
―概　説―
「ずり処理入門」連載講座小委員会……65

■現場だより

「日本の100選」の宝庫・延岡市より
北村　徹雄……28

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

新連載「語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ」を始めるにあたって
大島　洋志……41

トンネル六十年の遍歴
―仕事は大きな夢を抱きながら楽しくやろう―
濱　　建介……43

■資　　料

トンネル千夜一夜(最終回)
小野田　滋……26

土木情報
編　集　部……40

トンネルジャーナル
編　集　部……50

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……75

海外文献速報
JTA国際委員会……78

■会　　報

会　　報
日本トンネル技術協会……79

【表紙説明】　高耐力支保構造による早期閉合で押出し性地山に挑む
―北海道横断自動車道　穂別トンネル東工事―



脆弱で自立度の低い粘板岩・緑色岩メランジュのトンネル掘削に標準パターンDⅡで施工を開始したところ大変位とトンネル支保構造体の破壊が生じ，縫返し施工を余儀なくされた．そのため，厚肉円筒理論を用いて必要支保耐力を算定し，支保部材の多重化による高耐力の二重支保構造を設計し，切羽から1D(D：掘削幅)以内で早期閉合する補助ベンチ付き全断面掘削を採用した．写真は，二重支保工による縫返し施工状況である．

〔写真提供：東日本高速道路(株)〕(本文15頁参照)

Kanaflex の電力・通信ケーブル保護管

都市部での電線集中化工事を省力化・効率化

電力・通信ケーブル用多条保護管　特許出願中

カナレックスML

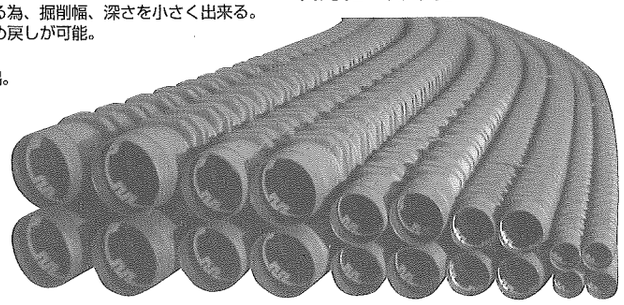
電線共同溝をはじめとする
電力・通信ケーブルの埋設管工事
情報化時代に伴う
光ファイバーの多条敷設
都市部での電線地中化工事を
省力化・効率化

1.独自構造（波付き管と管台一体型リブの連続構造）
- リブに平面部があり、管を密着させて敷設できる為、掘削幅、深さを小さく出来る。
- 従来品に比べ、良好な砂の充填ができ、一括埋め戻しが可能。

2.可とう性に優れる
- 上下左右に曲がり、既設物や障害物の回避が容易。

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

4.摩擦係数が低く曲直性が良い為通線がスムーズ



ハンドホール工事の工期短縮・工費削減に現場の加工作業を大幅に軽減できる

ワンタッチ継手付ハンドホール



※特許・意匠出願中



管路に継手差口をねじこみ　継手受口に差しこむだけ　これで接続完了。

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

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

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

カナフレックス コーポレーション株式会社　ISO 9001認証取得
株式会社 インテック

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

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大　島　洋　志　　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹　　事〕

池　田　豊　人
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

大　石　敬　司
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
改良建設企画課課長

久多羅木　吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

城　間　博　通
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

高　瀬　昭　雄
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部計画部計画課長

千　葉　　隆
清水建設株式会社土木技術本部
地下空間統括部部長

長　島　芳　雄
株式会社竹中土木常務取締役

濱　　建　介
(元)日本鉄道建設公団理事

福　家　佳　則
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
トンネルグループ長

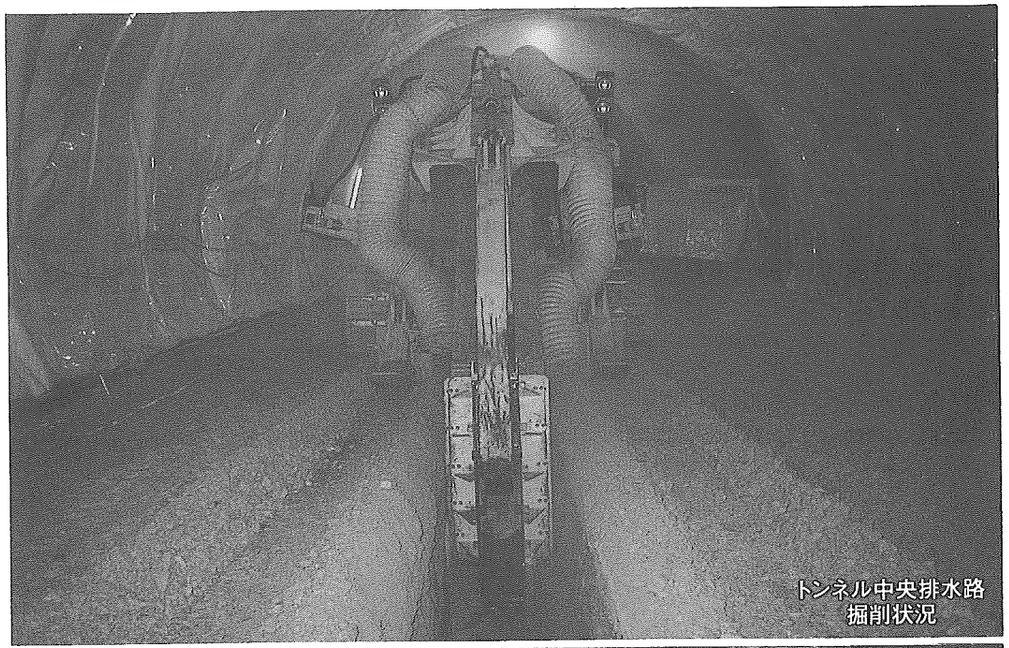
松　原　利　之
飛島建設株式会社土木事業本部土木技術部
トンネル技術グループ部長

山　道　哲　二
株式会社大林組東京本社生産技術本部
統括部長

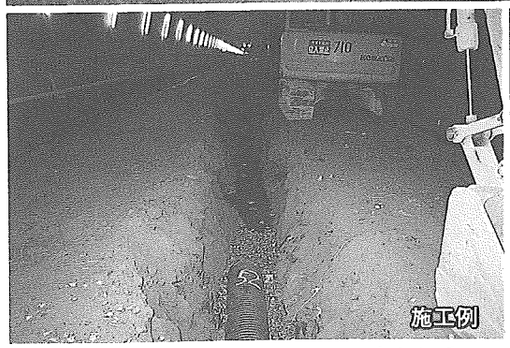
領　家　邦　泰
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室参与

トレンチャー

硬質地盤の溝堀はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路
掘削状況



施工例



トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D7	40/30	60/35
メーカー名	テスメック	テスメック	マステンブルグ	マステンブルグ
掘削幅（最小）cm	45	75	70	70
掘削幅（最大）cm	60	100	110	110
掘削岩の硬さ（最大）	500kg/cm²	700kg/cm²	700kg/cm²	1000kg/cm²
重量 t	36	53	50	59
長さ m	13.0	10.8	14.0	15.4
幅 m	2.5	3.2	2.95	2.98
高さ m	3.30	2.86	3.00	3.20
エンジンの出力 PS	300	402	450	600

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

ワールド開発工業株式会社

●本社/営業部　〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484

☎(026) 282-3671(代)　FAX(026) 282-5803

http://www.wkk.co.jp/

編集委員会の構成（五十音順・敬称略）

〔編集委員長〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

今田　徹
東京都立大学名誉教授

濱　建介
(元)日本鉄道建設公団理事

高橋良文
東京都下水道サービス(株)管路部長

三浦　克
株式会社竹中道路取締役社長

橋本定雄
(元)東京都公営企業管理者下水道局長

〔委員〕

池田匡隆
東京都下水道局建設部設計調整課長

清水　満
東日本旅客鉄道株式会社東京工事事務所
立体交差課長

今井　滋
東京都水道局建設部工務課長

城間博通
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

葛城真治
東京電力株式会社電力流通本部工務部
地中送電グループ課長

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

亀山　勝
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
計画担当課長

真下英人
独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ長

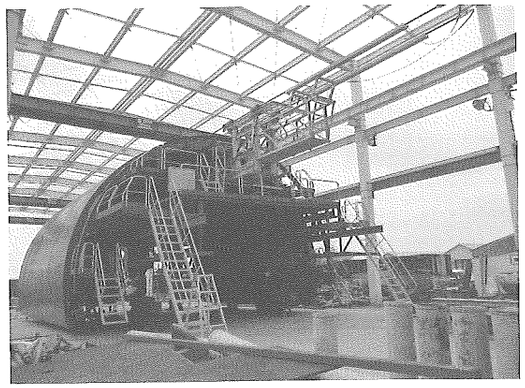
木谷日出男
財団法人鉄道総合技術研究所
防災技術研究部部長

両角幸範
東京都交通局建設工務部計画改良課長

コンクリートの品質向上する技術開発

天端引抜バイブレーター装置

NETIS登録No.HR-080001-A



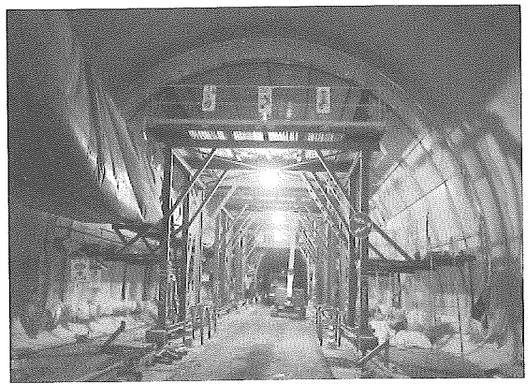
従来，人力での締固め作業での品質を懸念されていた天端部コンクリートに油圧式天端バイブレーター装置を採用することにより，高品質なコンクリートを施工出来ます．

① 打設中のコンクリートに棒状バイブレーターを妻側から挿入し，押し・引き動作を与えることにより，コンクリートを締固めると共に充填率を高めます．

② 天端部断面方向に２～４ヶ所設置させることにより，従来の人力施工と比べ，天端部全体のコンクリートを締固め，ブリージング水を抜きコンクリート表面の流れ縞模様をなくします．

コンクリート養生システム

NETIS登録No.HR-080002-A



本機養生台車は，二次覆工コンクリート打設後のコンクリート保温・保湿養生に使用することにより，高品質な仕上がりコンクリートが出来ます．

型枠脱型後の仕上がりコンクリートに散水し，エアーチューブ及び養生シートで仕上がりコンクリートを覆い湿潤状態に保つことでコンクリート養生環境を向上させます．

また，噴霧用ノズルをトンネル縦断部に４～６ヶ所設置し，養生中に追加散水を行うことにより湿潤状態を長期間保つことが出来ます．

☆セントル養生・覆工コンクリート養生の品質向上に有効です．

北陸鋼産株式会社
（旧社名 株式会社 佐賀）

URL http://www.hokuriku-kenko.co.jp

射水工場：〒934-0056 富山県射水市寺塚原720番１ TEL.0766(82)1500 FAX.0766(82)1501
滑川工場：〒936-0808 富山県滑川市追分3545番地５ TEL.076(476)0333 FAX.076(475)9121
東北営業所・工場：〒989-2301 宮城県亘理郡亘理町逢隈中泉八幡41 TEL.0223(32)2420 FAX.0223(32)2423
東京事務所：〒101-0024 東京都千代田区神田和泉町１番地６の１ インターナショナルビル５階 TEL.03(3851)1016 FAX.03(6908)6789

トンネルと地下 VOL.41 No.1 掲載概要

掲載頁 7

斜交型坑口を面壁式坑門で施工
―一般国道54号可部バイパス 大林トンネル―

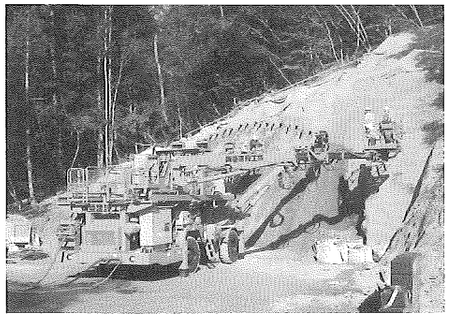
国土交通省 砂堀 松男

本工事の坑口地形は，斜面斜交型となっている．一般的に斜面斜交型の場合，置き換え基礎・抱き擁壁・押さえ盛土を施工するため，作業土工の数量が増える．そこで，切土永久法面がもっとも少なく，抱擁壁が不要となる斜坑門が考案された．斜坑門は，地山の改変を小さくできる利点がある坑門構造であるが，施工においては，特異な問題も明らかになった．

本稿では，これらの問題点について報告するとともに，鉄筋区間の覆工コンクリートの充填性向上を目的に中流動コンクリートの試験施工を行ったので併せて報告する．

Construction of Retaining-Wall-type Skew Tunnel Portal—National Highway 54 Kabe Bypass Obayashi Tunnel—

By Matsuo Sunahori, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism



写真は坑外補助工法施工状況

At the tunnel entrance, this tunnel is planed to penetrate the mountain slope on a skew. Generally, in such cases, the volume of earth work increases in order to construct footing for portal structure / enlarged retaining walls / counterweight fill. Accordingly, a skew portal which did not require enlarged retaining walls and which had the smallest permanent cut slope was planned. It is an entrance structure that has the advantage of being able to reduce earth work on mountainside but peculiar problems were discovered during construction.

This report, along with giving information on these problems, gives information on experimental construction with middle fluidity concrete with the aim of improving the pouring capability of the building RC lining.

掲載頁 15

高耐力支保による早期閉合で押出し性地山に挑む
―北海道横断自動車道 穂別トンネル東工事―

東日本高速道路(株) 高橋 俊長

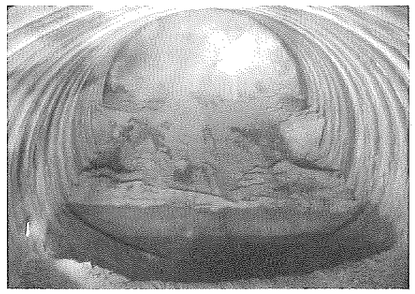
脆弱で自立度の低い粘板岩・緑色岩メランジュのトンネル掘削に標準パターンDⅡで施工を開始したところ大変位とトンネル支保構造体の破壊が生じ，縫い返し施工を余儀なくされた．この以奥には，粘板岩・葉片状蛇紋岩メランジュと大規模な粘土状蛇紋岩体が分布するので，厚肉円筒理論を用いて必要支保耐力を算定し，支保部材の多重化による高耐力の二重支保構造を設計し，切羽から1*D*(*D*：掘削幅)以内で早期閉合する補助ベンチ付き全断面掘削を採用した．

その結果，支保構造体の厚肉，高耐力化により，変形余裕の範囲内でトンネルの力学的安定が確保でき，この設計，施工方法の有効性が示された．また，縫い返し施工を含めた力学挙動特性が明らかになった．

Tackling Squeesing Ground using Quick Invert Building with High Strength Support—Hokkaido-Odan Expressway Hobetsu Tunnel East Section—

By Toshihisa Takahashi, East Nippon Expressway Company Limited

When the excavation of a tunnel with the DⅢ pattern in weak ground consited of mélange of slate and greenstone was conducted, large deformation and the collapse of the tunnel support structure occurred and replacing of support was unavoidable. As there was distribution of mélange of slate and spathic serpentinite and large-scale clay serpentinite mass in the back, the required support strength was estimated using the thick-wall cylinder theory, a high strength double support structure was designed through the multiplexing of support members, and full face excavation with an auxiliary bench that conducts quick invert building within 1*D* (*D*: excavation width) from the face was employed.



写真は早期閉合状況(閉合距離12m)

As a result of this, due to the thickening and strengthen of the support structure, it was possible to secure the dynamic stability of the tunnel within the allowable deformation, the effectiveness of this design and construction method was demonstrated and, in addition, dynamic behavioural characteristics including replacing of support were clarified.

掲載頁 29

自然由来の重金属を含む建設発生土の処理と対策
—仙台市地下鉄東西線—

仙台市交通局　谷畑　一行

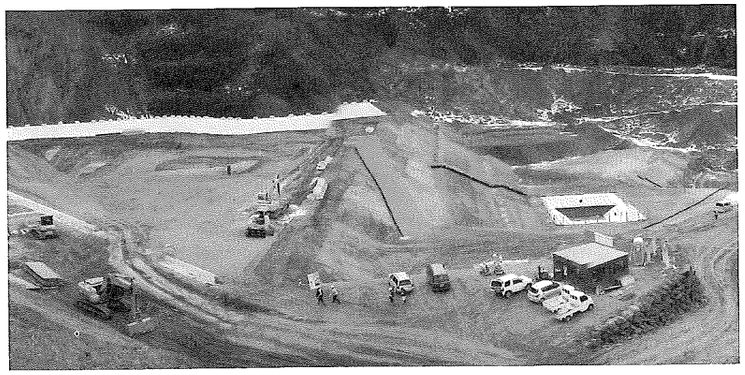
仙台市交通局で実施している東西線建設事業は，約14kmの路線で，ほぼ全線が地下トンネルである．掘削に伴い約125万m³の建設発生土を予定しているが，そのうちの4割にあたる約50万m³が自然由来の重金属などを溶出する可能性があることが判明した．これまでも市街地でこれほどの土量を処理した事例もないため，専門家を含めて処理対策方法を検討してきた．

本稿は，自然由来の重金属を溶出する可能性がある建設発生土の処理・対策について実施した検討結果と現在実施している対策工事の施工監理について報告するものである．

Treatments and Measures for Contaminated Muck Caused by Natural Processes—Sendai City Subway Tozai Line—

By Kazuyuki Tanihata, Transportation Bureau, City of Senda

The Tozai Line construction project that is being implemented by Transportation Bureau, City of Sendai includes approximately 14km of lines which are almost burried underground. Approximately 1,250,000m³ of muck is expected to produce but it was established that heavy metals, etc. of natural processes could potentially be eluted from approximately 500,000m³ (40%) of this. As there is no precedent for treating such a large volume of muck in urban areas, we investigated treating measures with specialists.



写真は砕石場跡地における要対策土の処理(盛土状況)

This report gives information on the results of investigations implemented for treatment and measures for contaminated muck caused natural processes and supervision of countermeasure works that are currently being implemented.

掲載頁 51

新幹線など重要構造物直下で高水圧下の長距離シールド
—東京都下水道　第二立会川幹線—

東京都下水道局　岡野　敏彦

東京都品川区の立会川流域は，大雨による浸水被害がたびたび発生している地域で，その対策となる第二立会川幹線などの下水道施設の整備が進められている．本工事は，第二立会川幹線の全体計画延長約7.1kmのうち，中流部となる約3.3km区間を先行的に整備し，暫定的に雨水を貯留する施設として活用することで，浸水被害の早期軽減を図るものである．本稿では，第二立会川幹線中流部事業として実施したシールドトンネルの施工実績について報告する．

Long Distance Shield Driving under High Water Pressure beneath Important Structures—Tokyo Metropolitan Sewerage, 2nd Tachiaigawa Sewer Main—

By Toshihiko Okano, Bureau of Sewerage Tokyo Metropolitan Government



写真は完成写真

The Tachiaigawa hydrographic basin in Shinagawa-ku, Tokyo is an area in which inundation disaster due to heavy rainfall occurs frequently and improvement of sewerage facilities such as the 2nd Tachiaigawa Sewer Main is in progress as a measure against this. In the approximately 7.1km of the overall plan of the 2nd Tachiaigawa Sewer Main, priority construction was conducted on a section of approximately 3.3km which is the mid-stream section and these works manage early reduction of inundation disaster by applying this as a facility that stores stormwater temporarily. This report gives information on shield tunnel construction results implemented as the 2nd Tachiaigawa Sewer Main mid-stream section project.

掲載頁 57

維持管理を目的とした開削トンネル設計・施工データベース

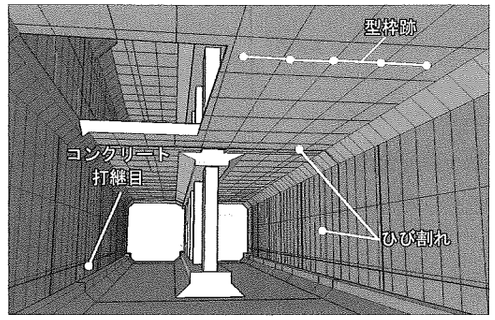
(財)鉄道総合技術研究所　新井　　泰

近年，日本国内においては社会資本整備が一段落し，各インフラを運営する事業者の関心は既存ストックの維持管理に移りつつある．シールドトンネルについては，品質や耐久性とシールド掘進時の施工時荷重との関連性について一定の考察がなされるようになってきたが，開削トンネルについてはそこまで到達していない．そこで筆者らは，開削トンネルの多岐にわたる施工記録の中から維持管理業務を円滑に進めるために保存すべき資料を具体的に示すとともに，それらの情報を積極的に活用するための方策として，三次元モデルをプラットフォームとしたデータベースを用いて，設計・施工情報および変状情報を体系的に管理する手法を提案した．

Cut-and-Cover Tunnel Design/Construction Database with the Aim of Operation and Maintenance

By Yasushi Arai, Railway Technical Research Institute

In recent years, the improvement of infrastructure has slowed down and the interests of the companies that operate each infrastructure are turning towards the operation and maintenance of what already exists. With respect to shield tunnels, a certain consideration has been given to the relationship between construction load of shield tunneling and quality or durability but the same has not yet been achieved with respect to cut-and-cover tunnels. Accordingly, the authors, along with specifically picking out and indicating documents from among construction records on a wide range of topics concerning cut-and-cover tunnels that should be stored in order to make smooth progress with operation and maintenance, proposed a technique for systematically managing design/construction information and deformation information using a database with a three-dimensional model platform as a policy in order to actively apply this information.

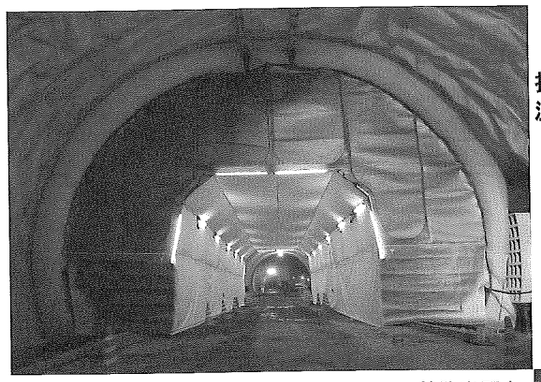


図は三次元変状管理図

トンネルバルーン覆工コンクリート
トータル養生工法

長期耐久性に優れた高品質な覆工コンクリート施工を実現します！

NETIS登録
(No.HR－040005)



特許出願中

セントル温度養生バルーン

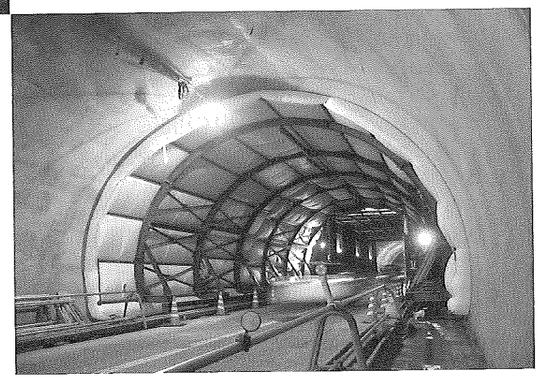
打設後から脱型までセントルをバルーンで覆い温度養生をします。

【特徴】
1．若材齢時に温度管理をすることで初期強度が向上します。
2．高品質コンクリートの確保が可能です。
（脱型時コンクリートの付着が減少します）
3．サイクルタイムの短縮が可能です。
4．洗い水が車両通行部に落ちません。

覆工養生バルーン

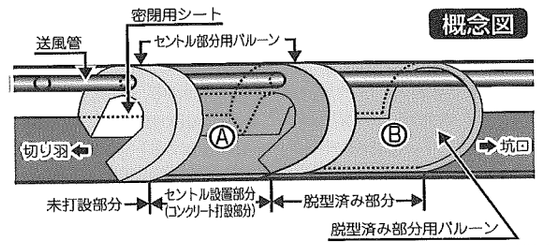
脱型後の覆工コンクリートを覆います。

【特徴】
1．長期材齢の強度アップ
2．覆工コンクリートの表面を湿潤状態に保ちます。
（乾燥収縮クラックの低減に貢献します）
3．断熱効果が期待できます。
（内部と表面の温度差が少ない⇒温度応力の低減）



特許3811478号

概念図



Ⓐセントル（コンクリート型枠）を両サイドのバルーンと密閉用シートではさんで空気層をつくり保温・保湿する　Ⓑ打設後のコンクリートに薄い筒状のバルーンを密着させ保温・保湿する

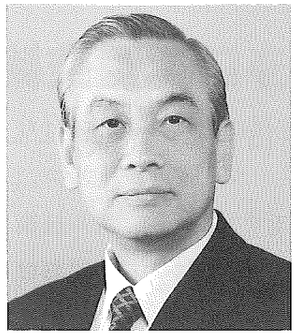
実　績	セントル温度養生	覆工養生バルーン
新幹線	５現場	２現場
高速道路	２現場	２現場
国土交通省	３現場	８現場
地方自治体	７現場	５現場
ＪＲ東日本	２現場	１現場
合　計	19現場	18現場

２００５年『日経ＢＰ技術賞　建設部門』受賞

岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO., LTD.
本社・工場　岐阜県本巣市十四条１４４番地
TEL 058(323)2000(代)　Fax 058(323)1176
東京支店　TEL 03(5836)0531　Fax 03(5836)0532
仙台営業所　TEL 022(259)2239　Fax 022(259)3664
九州営業所　TEL 092(713)5265　Fax 092(714)3028
URL http://www.gifukogyo.co.jp/

TOUKOU 株式会社 東宏
本　社　北海道札幌市東区北２０条東５丁目１番７号
TEL 011(742)3331　Fax 011(742)3333
東京支店　TEL 03(3683)8011　Fax 03(3683)8028
道東営業所　TEL 0155(34)6311　Fax 0155(34)8494
URL http://www.k-toukou.jp/

巻頭言
（題字　佐藤信彦会長）



年頭のご挨拶

(社)日本トンネル技術協会会長
佐藤信彦

年頭にあたり，新年のお祝いを申し上げます．また，皆様方には，日本トンネル技術協会(JTA)の諸活動について，格段のご支援，ご協力をいただきましてありがとうございます．本年も引き続きよろしくご指導，ご鞭撻を賜りますようお願いいたします．

昨年は，前年度からの金融不況をうけ，年当初より補正予算などを加えての財政出動による景気回復対策および失業対策などがとられてきたところです．現在徐々に景気も戻りつつありますが，雇用の面ではまだまだ厳しい状況のようです．そして昨年８月の衆議院選挙で，政権交代が行われました．

その結果，いろいろな政策が進められてきています．公共事業についても予算を含めて大幅な見直しが行われているところです．

公共事業費が削減される中で，トンネル工事費の推移をみてみますと，平成20年度のトンネル事業費は，ピークであった平成７年度の事業費に比べ，ほぼ６割程度に減少しているものの，公共事業費全体ではおそらく半減以下と言われている中で，トンネルのシェアは，少しでありますが増加しているものと考えられます．

トンネルは，山岳トンネルのNATM，都市トンネルのシールド工法などの技術革新により，トンネル建設単価を抑えたり(相対的には下がった)，施工可能分野の拡大を図るなどの方策が進められてきた結果だと思います．

トンネルの単価が相対的に下がり，一方橋梁単価の下げ止まりの結果，路線の縦断線形でフォーメーションを下げることになっていったことも聞いております．

また，国内の公共事業が縮減されるとともに，トンネル工事を含む建設事業それ自体は国内から海外への進出も図られてきています．バブル崩壊後，近年では国内のゼネコン各社によるトンネル建設分野での海外事業の量は増加傾向であり，その規模は全体の請負額の30%(約9,000億円)を占めています．

最近は，発展途上国におけるトンネル建設の需要が増大しています．中でも隣国中国では高速鉄道，高速道路などのネットワークの整備が著しく，注目に値する存在ではないかと思います(しかし，日本企業による請負は台湾，シンガポール，香港，トルコ，アラブ首長国連邦などで，中国(本土)はほとんどないのが現実ですが)．トンネル技術について世界をリードしてきた日本としては，この技術を通して，とくにアジアにおけるトンネル技術の拠点としての役割を担い，その発展に寄与することが期待されています．

当協会(JTA)としての大事な役割の一つとして，国際トンネル地下空間協会(ITA)に所属し，各国の協会との情報交換とコミュニケーションを図っていくこと，それによって，世界の(開発途上国も含めた)トンネル技術のレベルアップに努めています．

欧米は長い歴史の中で，技術のみでなく文化的な意味での交流が常時行われてきているので，ITAの活動の中からトンネルのビジネスチャンスを得られていることが紹介されたりしています．海外の工事は，なかなか厳しい面もあり，単に技術面のみで評価されるものではありませんので，難しい問題ではありますが，前向きに挑戦していくことも必要だと思います．

最後に，わが国において団塊の世代が定年を迎える時代となり，どこの分野でも頭が痛いのは，それぞれの技術を伝承すること，つまり，これを継承していく技術者育成の問題です．トンネルという特殊技術の分野では，若い技術者に継承していくことはとくに必要ですが，人員削減，職場環境の悪化などのため，伝承がなかなかうまくいっていません．

JTAとしては，

- トンネル技術スキルアップ研修(山岳部門，シールド部門)
- 施工体験発表会(山岳部門，シールド部門)
- 各種施工現場見学会

などを企画しています．これらの機会を積極的に活用して下さい．

今年は，国内，海外とも，日本トンネル技術協会にとってなかなか厳しい年ではないかと思いますが，諸先輩方の築き上げた技術をもとにして，新しい時代の要請に応じるよういっそうの努力をしていこうではありませんか．

施工

斜交型坑口を面壁式坑門で施工

——一般国道54号可部バイパス　大林トンネル——

国土交通省中国地方整備局広島国道事務所可部国道出張所所長 砂堀松男
国土交通省中国地方整備局広島国道事務所可部国道出張所技術係長 河上伸一
東亜建設工業(株)大林トンネル作業所所長 越智辰彦
東亜建設工業(株)大林トンネル作業所現場代理人 藤井俊英

1 はじめに

国道54号は，広島～三次～松江を結ぶ陰陽連絡道路の主要な幹線道路である．広島市北部地域では，慢性的な交通渋滞を呈するとともに交通事故が多発し，都市活動に重大な影響を及ぼしている．

可部バイパスはこれらの問題を解消し，幹線道路網を体系的に整備するために計画された，新太田川橋から上根バイパスを結ぶ9.7kmの4車線のバイパスである．

そのうち，大林トンネルは広島市安佐北区大林地内に位置する全長L＝389mの道路トンネルである(図-1)．

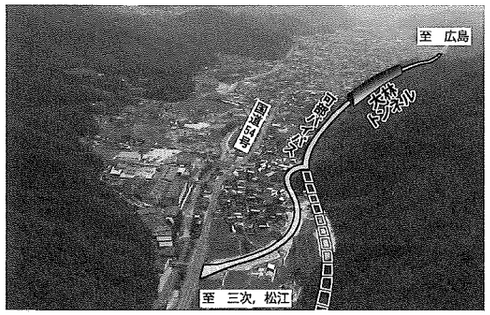


図-1 可部バイパス概略図

2 工事概要

工 事 名：可部バイパス大林トンネル工事
工事場所：広島県広島市安佐北区大林地内
発 注 者：国土交通省中国地方整備局
工 期：平成19年9月1日～
平成20年12月26日
工事内容：工事延長 L＝450m
トンネル延長 L＝389m

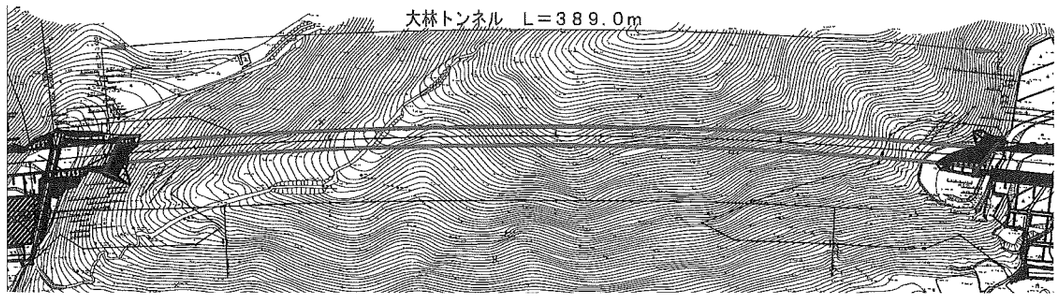
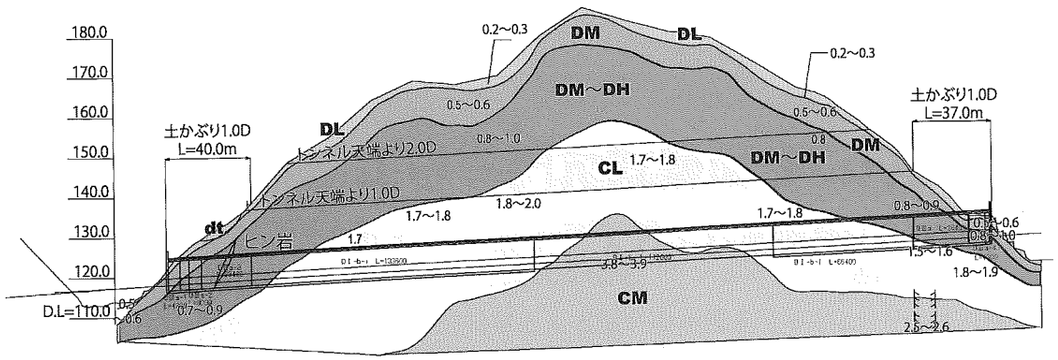


図-2 トンネル計画平面図



側点	No.73	+20	+40	+60	+80	No.74	+20	+40	+60	+80	No.75	+20	+40	+60	+80	No.76	+20	+40	+60	+80	No.77
	DⅢa-1'	DⅢa-1	DⅢa-2																	DⅢa-4'	DⅢa-4	
設計断面	坑門壁0.9		DⅢa-3			D Ⅰ-b-i					D Ⅰ-b					D Ⅰ-b-i				DⅢa		坑門壁0.9
延長(m)	5.4	4.3	23.4			137.0					98.0					77.0				26.4	4.3	5.4
	2.1	1.6																		7.6	2.1	

土軟硬区分凡例

土軟硬区分	岩級区分	ボーリングコアの状況，N値など
粘性土，砂質土，礫混じり土	—	未固結土砂(埋土，崖錐性堆積物，沖積層，扇状地性堆積物)
土　砂(砂質土)	DL	無水掘りで砂質土状コア主体に採取される．岩組織は不明瞭な部分もある．N値はおおむねN<30程度を示す．
	DM	指圧砕により容易に砂質土状にほぐすことができる軟質な棒状コア．N値はおおむね30≦N<150程度を示す．
軟岩Ⅰ	DH～CL	岩芯は硬いがコア形の残らない礫状コア，あるいは芯部まで風化しているものの，岩片～円柱状コアに採取されるもの．DHとCLの互層状を呈すもの．
	CL	岩芯は硬いがコア形を残す岩片状コアが主体のもの，あるいは芯部まで風化し脆くなっているものの亀裂が少なく短柱状コアに採取されるもの．

図-3　トンネル計画縦断面図

掘削工法：NATM上半先進ベンチカット工法
掘削方式：機械掘削
掘削断面積：73～77m²
平面線形：R=2,000m
縦断勾配：2.7/100(下り)

図-2にトンネル計画平面図を，**図-3**にトンネル計画縦断面図を示す．

本稿では，本トンネルが両坑口で採用した面壁式の斜め坑門の施工について報告する．

3　地形概要

当トンネルは広島市安佐北区大林地内に位置し，北西-南東方向から北東-南西方向に屈曲する派生尾根の先端部付近に位置する．大林トンネルは，この派生尾根の末端付近を斜面に平行して横切っている地形とトンネル軸線との関係から両坑口は斜面斜交型となっている．

トンネル計画区間では起点側坑口付近に小規模な崩壊跡地が認められるほかは，地すべりなどの大きな問題となる地形は認められなかった．また，リニアメントを航空写真より判読すれば，北東-南西方向(根之谷川)，およびそれに直交する北西-南東方向の線状模様が多く認められ，当該トンネルにも4条のリニアメントが取り囲むように近接している．ただし，トンネル区間を横断するようなものは認められなかった．

4　地質概要

当トンネル周辺の地質は，中生代ジュラ紀以前の堆積岩，中世代白亜紀の堆積岩類・流紋岩類，中生代白亜紀～新生代古第三紀の花崗岩類が分布し，基盤を形成しており，活断層の確実度Ⅱに分類される根之谷断層が北東～南西方向に分布している．

基盤岩(花崗岩)を被覆して，山麓緩斜面から低地にかけては，新生代第四紀更新世の扇状地性堆積物が，山麓斜面裾部や小渓の谷底部には崖錐性堆積物が分布する．根之谷川沿いの低地部には河川堆積物である沖積層が分布する．

当トンネル区間では，崖錐性堆積物(dt)，ヒン岩(Po)，および花崗岩(Gr)が確認されている．

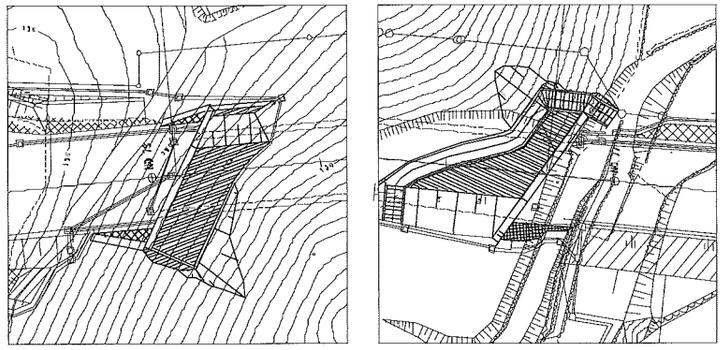


図-4　坑門平面図((左)起点側，(右)終点側)

5　斜坑門の当初設計

5-1　坑口位置の決定

図-4に起終点坑門位置平面図を示す．

起点側坑口部は斜面斜交型で，土かぶりが小さく偏圧層が比較的厚く，また，一度崩壊した痕跡を呈している．直角坑門にすると崩壊跡地がある箇所に大規模な切土法面が発生し，更に抱き擁壁と置き換え基礎まで必要となってくる．このため，切土永久法面がもっとも少なく，抱き擁壁が不要となる位置を設定し斜め坑門とした．

終点側坑口部は，トンネル軸線は斜面に対して70～80°程度の斜交型～平行型となり，土かぶりが小さく偏圧地形である．

坑口の位置決定に際しては，切土法面の規模が1段となること，および抱き擁壁が不要となるように用地を侵さない範囲でもっとも山側に寄せる位置を選定した．

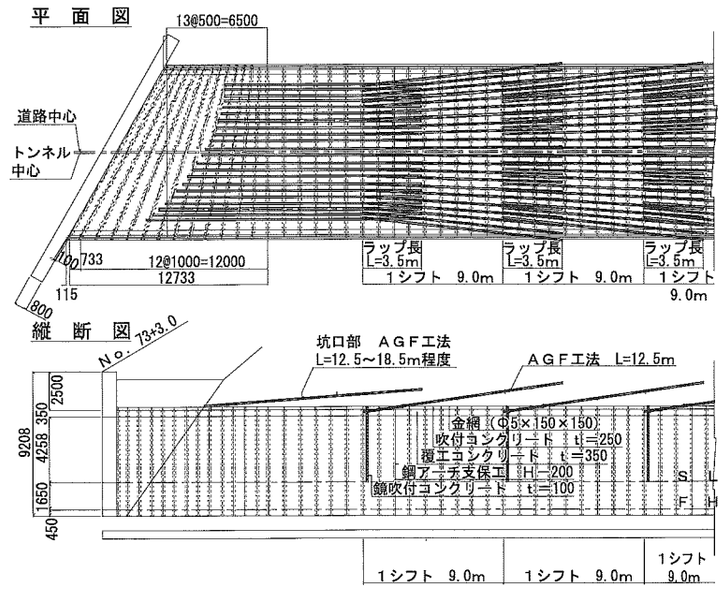


図-5　注入式長尺先受け工割付け図(起点側)

5-2　補助工法の選定

起点側坑口では，自然斜面の傾斜としては，30～35°と比較的急峻であり，表層崩壊跡地や小規模な崩壊跡地，変位地形が存在している．トンネル掘削時には小崩落や肌落ちによる影響が緩みを拡大させる可能性が高く，地山を緩ませないようにする必要がある．

地山の緩み防止対策として，モルタル充填式フォアポーリング工(長さ3.0m)では，補強材の曲げ剛性が小さいことから，天端素掘り面の崩落防止の効果はあるが，切羽安定対策としての効果はほとんど期待できない．このため，長尺かつ剛性の高い鋼管をトンネル掘削に先行して施工することが有効であると考えられ，更に，施工性と経済性の検討を行った結果，AGF工法(注入式長尺鋼管先受け工法，無拡幅)が最適であると判断し，採用した．

図-5に注入式長尺先受け工割付け図を示す．

6　斜め坑門の施工

6-1　補助工法の鋼管長

当初設計のトンネル掘削補助工法(坑外)は，最小先受け長(3.5m程度)を確保し，斜め坑門の切土位置および坑内施工(第２シフト)の施工開始位置を考慮して，全本数22本の鋼管打設長を標準長の12.5mから14.3mへと変化させていた．そのため，端末管が全数特注品となり，経済性に劣り，施工管理も複雑となっていた．

そこで，端末管に規格品を使用して鋼管長を12.5，15.5，18.5mの３種類に分け，合理的に施工した．

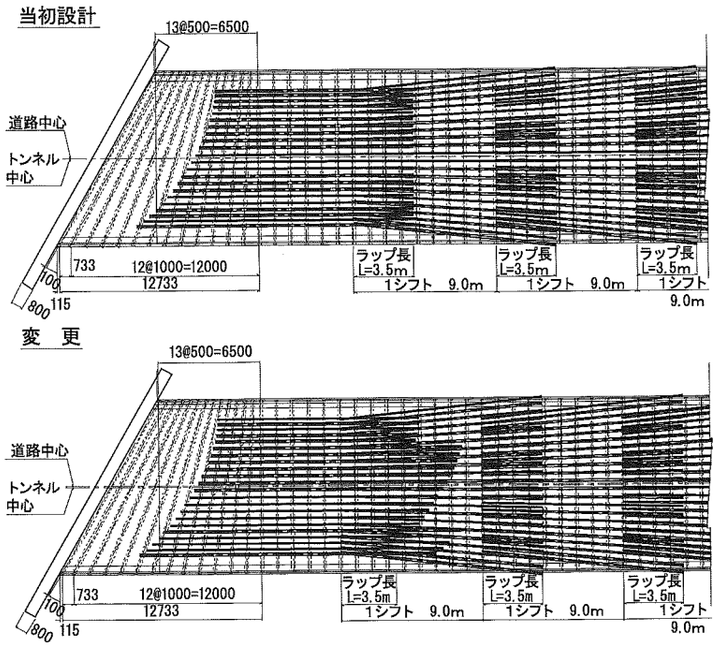


図-6　注入式長尺先受け工割付け比較図

図-6に注入式長尺先受け工割付け比較図を，**表-1**に当初設計と実施施工の比較を示す．

表-1 当初設計と実施施工との比較

項　目	当初設計	実　施　施　工	
鋼管打設長	14.3m(平均地山改良長) 22本	12.5m(鋼管長12.92m)	5本
		15.5m(鋼管長15.97m)	12本
		18.5m(鋼管長19.02m)	5本
		12.5m(鋼管長12.92m)	5本

6-2　補助工法施工機械位置

図-7にAGF施工機械配置図を示す．斜め坑門はトンネル軸線に対して30°傾斜している．坑外からの補助工法施工時に両ブームが使用できるドリルジャンボの据え付け位置を何通りか模索した．

(１)　トンネル軸線に平行

- 右側のブームで機械を据えると，左側のブームおよびカゴ(作業床)が施工位置まで届かない．
- 左側のブームで機械を据えると，右側のブームが切土法面に当たり，作業盤まで移動できない．

(２)　切土法面に垂直

- ブームとガイドシェルが接触し，回転できない(ブームとガイドシェルの最大角度45°)．
- 鋼管接続などの作業時の施工性が落ちる(ブームとカゴの位置関係)．
- ドリルジャンボを斜めに据えるので，坑口前に広いヤードが必要となる．

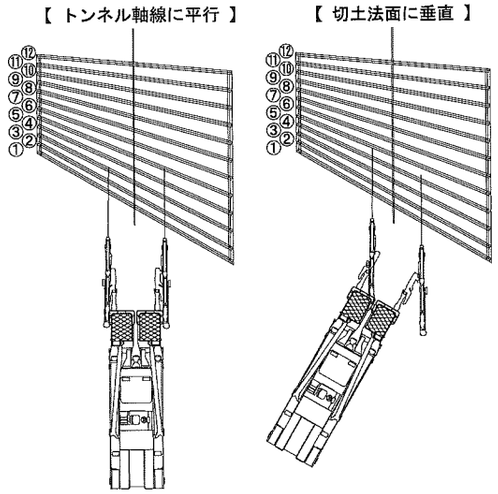


図-7　AGF施工機械配置

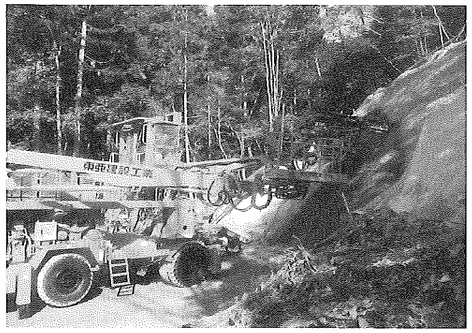


写真-1　据え付け位置選定状況

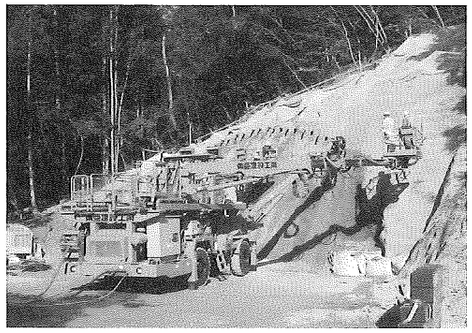


写真-2　(右)坑外補助工法施工状況

(３)　共　通

- 上記２通りの位置ともドリルジャンボの位置を３回程度移動しなくてはいけない．

最終的にブームとカゴの位置取りなどの施工性を考慮して，トンネル軸線に平行に据えて１ブームでの施工を選択したが，坑外補助工法の施工時間に通常の２倍の時間を要した．

6-3　斜め坑口部掘削

鋼アーチ支保については，**図-8**に示すとおり，斜め支保形式で左側50cm，右側100cmの建て込み間隔となる．

建て込み当初が角度が一番きつく，ドリルジャンボまたはエレクタ台車を斜めに据えることになり，施工性が落ちる．

鋼アーチ支保工の建て込み位置については，角度のきつい箇所でH形鋼フランジが内側に出てくるため，建て込み位置の調整が必要であり，更に，鋼アーチ支保工の加工については，断面を侵さないように加工することが必要である．また，H形鋼フランジは外側にも出るため，掘削範囲を拡げなければならない．

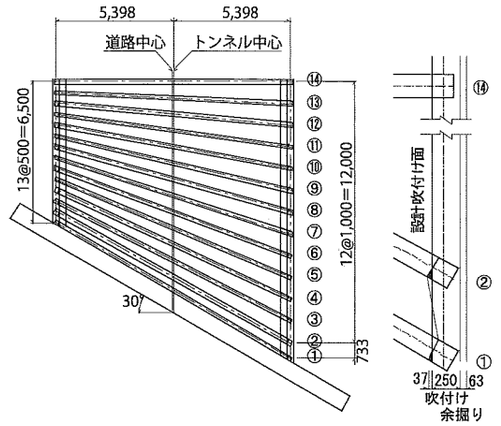


図-8　斜め坑口部(左)鋼アーチ支保工図

つなぎ材については，タイロッド方式での施工が困難であるため，さや管方式としたが，斜め坑口部の鋼アーチ支保工は１基ごとに角度が変化し，更に，つなぎ材の長さも１本ずつ異なるため，つなぎ材の取り付けに手間と時間を要した．鋼アーチ支保工とトンネル軸線の角度が徐々に変化していることやつなぎ材の位置によりつなぎ材の角度および長さが異なることなどのさまざまな工夫が必要となる．

吹付けコンクリートについても鋼アーチ支保工のフランジが斜めになることにより，H形鋼フランジ裏側が充填しづらく，ていねいな施工が要求される．また，吹付け後にはH形鋼面に付着したコンクリートを人力作業で撤去するしかなく，手間と時間を要した．

ロックボルトについては，基本は掘進１サイクルごとにトンネル軸線に対して直角に打設しなければならない．しかし，斜め坑口部であることと切羽安定策の核残し実施ということで無理やり打設すると斜め打ち状態となる．当トンネルでは，トンネル軸線に対して直角に打設することを優先として施工を実施し，斜め坑口部ではサイクルを遅らせて打設した．**図-9**にロックボルト打設状況図を示す．

6-4　覆工コンクリート

斜め坑門はトンネル軸に対し30度傾斜している

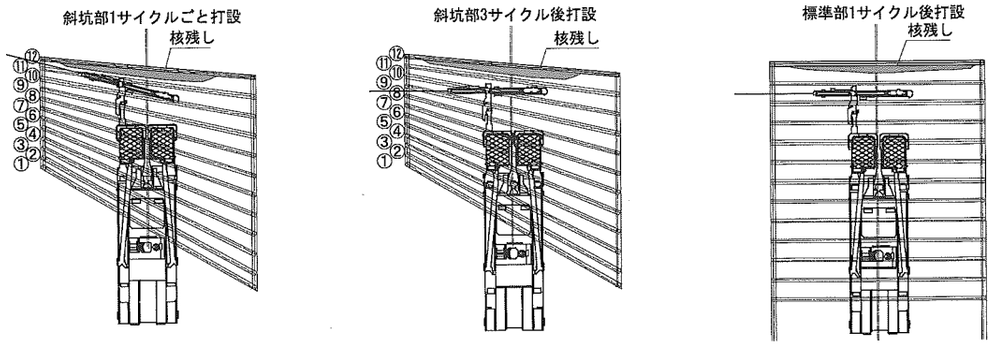


図-9　ロックボルト打設状況

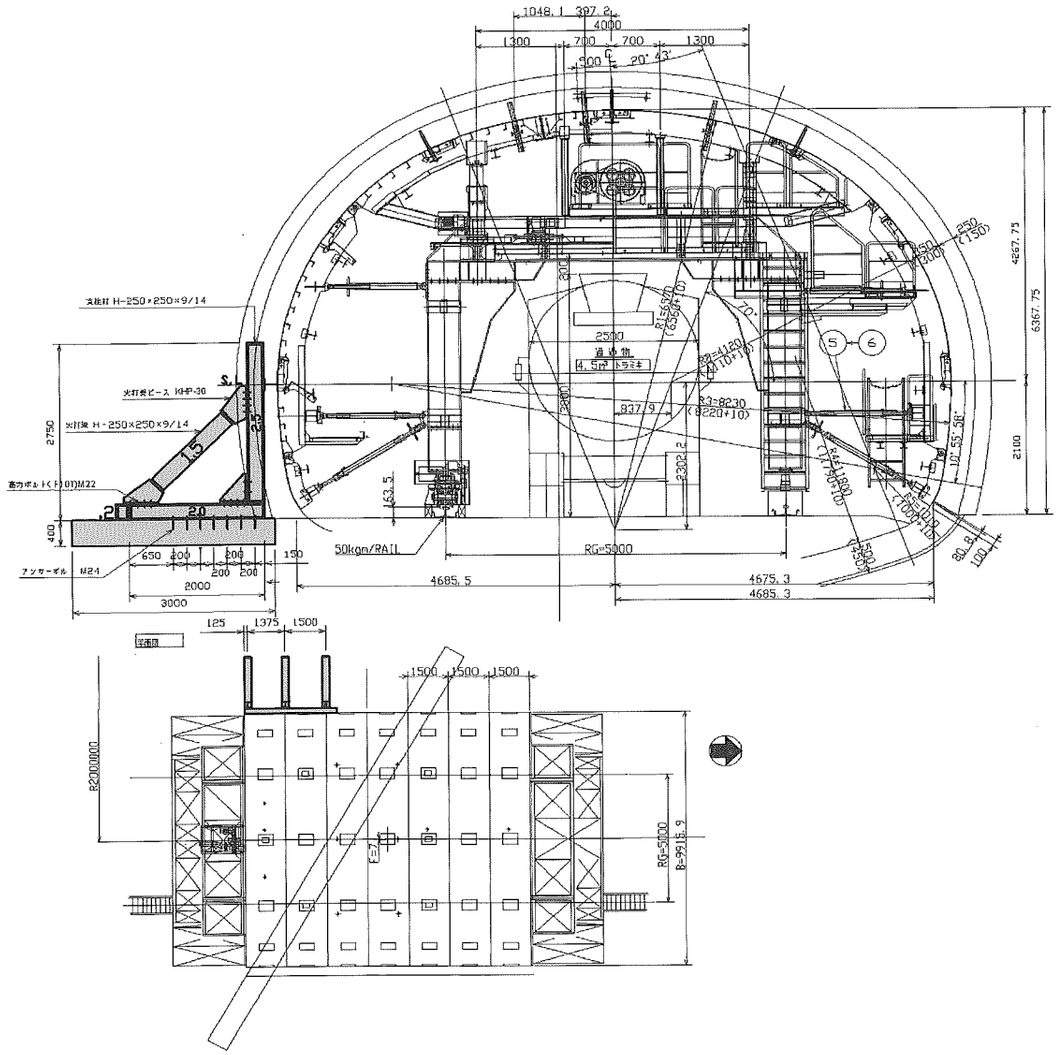


図-10　対策工概略図

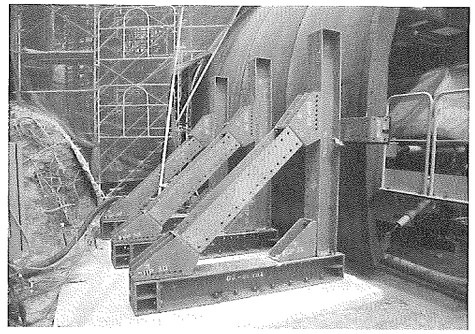


写真-3　(左)セントル設置状況(反力壁側面)

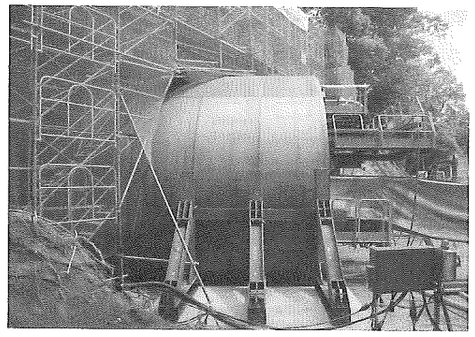


写真-4　(右)セントル設置状況(反力壁正面)

ため，覆工コンクリートスパン長は，右側10.5m，左側4.4mと左右で大きく異なり，覆工コンクリート打設時には，左右の側圧の違いによりセントルに変位(左右方向の滑動)が生じる恐れがあった．

そこで，反力壁として，左側(短辺側)セントル側壁部外側にコンクリート基礎を構築し鋼材によってセントルを押さえる反力構造物を構築した．

図-10に対策工概略図を，**写真-3, 4**にセントル設置状況(反力壁)を示す．

以上のセントル補強対策を実施し，覆工コンクリート打設中および打設完了後にセントルの変位計測を行った結果，コンクリートの変圧による変位，異常は認められなかった(**写真-5**)．

6-5　坑口部における斜坑門の適用性

6-5-1　地形条件

地山の傾斜が急峻でかつ「斜面斜交地形」である場合，通常坑門工を施工すると坑門施工位置において山側では大きな切土を伴い，谷側ではきわめて大きな土かぶりが小さくなるか一部明かり状態となる事例が多い．そのため，現況のまま施工

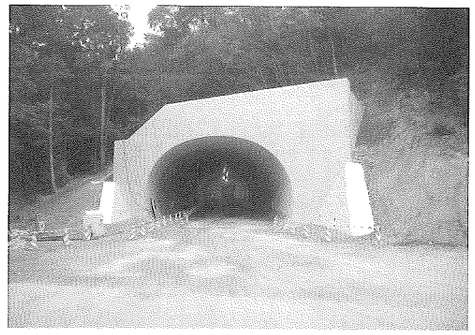


写真-5　面壁式斜め坑門完成

を行うと，偏圧状態の緩和を目的として，通常はソイルセメントなどを用いた人工地山をトンネル施工前に構築し，その中をトンネル掘削する工法がよく採用される．

しかし，とくに急傾斜である斜面斜交型地形の場合，人工地山を構築するために，谷側には深礎杭あるいは置き換えコンクリートなどの下部構造物を施工した上に抱き擁壁を構築し，さらに人工地山を構築することになり，トンネルを施工するための事前コストが増大する．それに対して，斜坑門を採用すると，谷側では地山方向に坑門を追い込むことになる．そのため，人工地山の構築規模ならびに基礎構造物の施工規模が通常坑門に比較して小規模で済むため，置き換えコンクリートの規模縮小や深礎施工本数を削減できる．

斜坑門とすることにより，同位置での直角坑門の場合に比べて抱き擁壁や置き換えコンクリートの規模を縮小でき，工事施工費用の縮減につながる場合もある．

6-5-2　施工性

通常支保形式では，斜角に合わせて支保工をそれぞれ施工後に切断する必要がある．一方，斜め支保形式では，支保工の建て込みが一基ずつ異なるため，支保工の準備やスペーサーの準備など施工が煩雑となる問題点を有する．

その一方，坑口切土法面では切土範囲や切土高さを小さくできるため，その施工範囲を縮小できる利点がある．これにより長大斜面の維持管理や永久法面の規模を縮小することができるため，周辺環境との調和が図りやすく，景観を損なうこと

が少ない．

6-5-3　構造安定性

斜め支保形式でトンネル掘削を行うと，掘削断面形状は通常断面に比較して楕円に近く扁平率が小さくなる．そのうえ，地表部に近接するためグラウンドアーチの形成が難しく，地山自身も風化影響を強く受け，地山強度が低下する．これらの要因により地山が不安定化しやすくなるため，坑門工や支保工自身の大きな偏圧荷重が作用する可能性や天端沈下の増加などが懸念される場合もある．また，坑門工の規模や坑門と覆工の支保剛性の違いなどによる地山挙動など力学的安定性の評価について課題がある．

しかし，現実には，斜坑門は一般的に急峻な斜面に用いられている事例がほとんどであり，地山はある程度風化しているものの，風化帯は薄く，堅硬な岩盤が出現するケースも多いため構造安定的問題は少ないと考える．

6-5-4　結　論

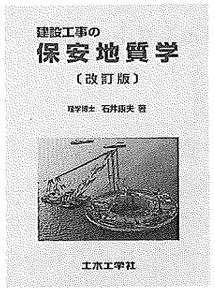
急峻斜面など周辺環境条件が厳しい道路選定において，斜坑門の持つ特徴を利用すれば，周辺環境に配慮した坑門設計が可能となり，基礎工あるいは切土工などの工事費削減の可能性を有している．

7　おわりに

斜坑門の持つ特徴をうまく利用すれば，周辺環境に配慮した坑門設計が可能となるだけでなく，基礎工あるいは，切土工などの工事費削減も可能である．

ただし斜坑門を採用すると，掘削断面の扁平率がさらに小さくなるため，外部荷重に対する支保および覆工の耐久性に若干の懸念を有することも事実である．今回は，AGF工法の採用により，大きな問題は発生しなかった．しかし，今後の施工においては，扁平による支保構造の詳細検討が必要と思われる．

最後に，本工事を施工するにあたり，ご指導，ご支援をいただいた関係各位に深く感謝の意を表す．



ユニークな手法を駆使!!　建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

建設工事の
保安地質学
〔改訂版〕

理学博士　石井康夫 著

A 5 判　上製本　475 頁　価格 6,300 円　〒 340 円

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

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

施工

高耐力支保による早期閉合で押出し性地山に挑む

—北海道横断自動車道　穂別トンネル東工事—

東日本高速道路(株)北海道支社千歳工事事務所穂別工事区工事長　高橋俊長
東日本高速道路(株)北海道支社千歳工事事務所穂別工事区　向井　隆
清水建設(株)・株木建設(株)穂別トンネル東(その２)工事現場代理人　井上孝俊
清水建設(株)・株木建設(株)穂別トンネル東(その２)工事監理技術者　垣見康介

1　はじめに

脆弱で自立度の低い粘板岩・緑色岩メランジュのトンネル掘削に標準パターンDⅡで施工を開始したところ大変位とトンネル支保構造体の破壊が生じ，縫返しを余儀なくされた．この以奥には，粘板岩・葉片状蛇紋岩メランジュと大規模な粘土状蛇紋岩体が分布するので，厚肉円筒理論を用いて必要支保耐力を算定し，支保部材の多重化による高耐力の二重支保構造を設計し，切羽から1D(Dは掘削幅)以内で早期閉合する補助ベンチ付き全断面掘削を採用した．

その結果，支保構造体の厚肉，高耐力化により，変形余裕の範囲内でトンネルの力学的安定が確保でき，この設計，施工方法の有効性が示され，また縫返しを含めた押出し性地山の力学挙動特性が得られた．

2　工事概要

北海道横断自動車道穂別(ほべつ)トンネルは，勇払(ゆうふつ)郡むかわ町～占冠(しむかっぷ)村に位置し，避難坑を併設する延長4,323mの高速道路トンネルである(**図-1, 2**)．これの東側工区にあたる穂別トンネル東工事の本坑は，平成18年４月より掘削を開始し，８月末時点で，延長2,372mのうち1,965mの掘削を終えて

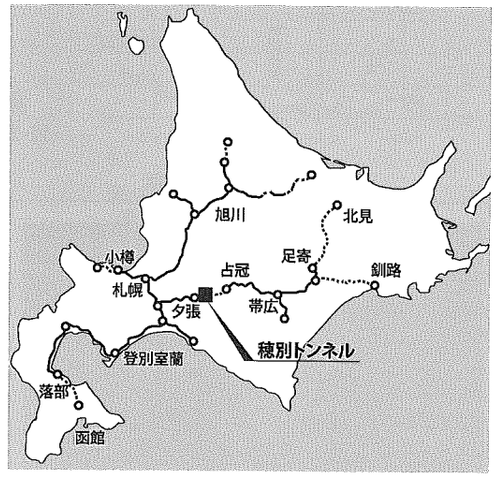
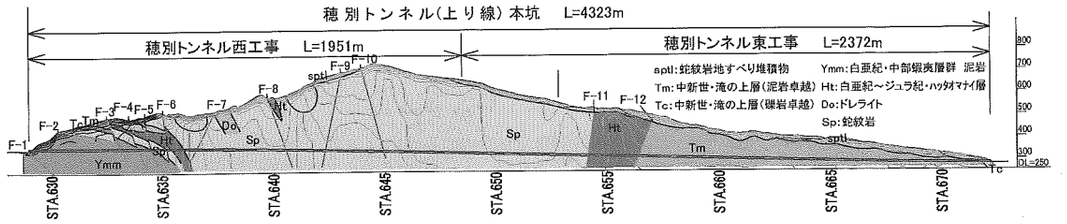


図-1　穂別トンネル位置図

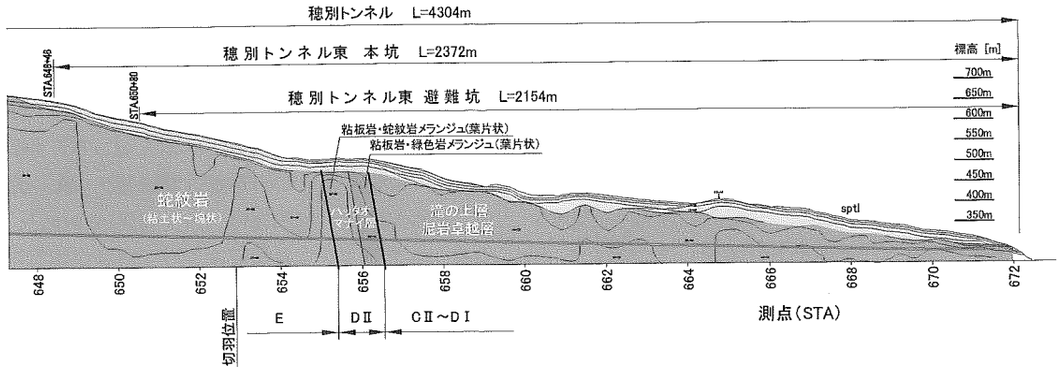
いる．東工事の延長2,154mの避難坑は，平成21年５月に貫通している．

3　地質概要

穂別トンネル東側の地質縦断図を図-2(2)に示す．東側坑口から1,600m付近までは安定した滝の上層泥岩が分布する．この以奥には，脆弱で自立度の低い粘板岩を主体とする付加帯と軟弱な葉片状～粘土状蛇紋岩体が広く分布する．東工事におけるこの脆弱地質区間は，延長約700mに及び，ここでの土かぶりは約200m以上と大きく，地山



(1)　穂別トンネル全体



(2)　穂別トンネル東側

図-2　地質縦断図

表-1　地山物性の代表値

岩　種	性　状	単位体積重量 γ_t (kN/m³)	一軸圧縮強度 q_u (N/mm²)	適用支保パターン名
ハッタオマナイ層粘板岩・緑色岩メランジュ	葉片状	26	2.7	DⅡ-6 DⅡ-1～4
ハッタオマナイ層粘板岩・蛇紋岩メランジュ	葉片状	23	1.4 針貫入試験	DⅡ-7，8

強度比は0.3～0.5である．また，切羽集中湧水はない．ハッタオマナイ層メランジュ地山の代表物性値を**表-1**に示す．本坑施工済み区間延長と地山強度比などを**表-2**に示す．

4　標準支保構造による施工

4-1　支保構造仕様と施工方法

ハッタオマナイ層メランジュのトンネル掘削では，標準支保パターンDⅡ[1]を基本にして，先行した避難坑での挙動特性を考慮し，DⅡ-2～4を設計した(**表-3，図-3**)．施工方法は，補助ベンチ付き全断面掘削の早期閉合とし，背面地山からの

表-2　実施パターン延長と地山強度比

実施支保パターン名	施工延長 (m)	土かぶり厚 (m)	地山強度比	備　考
標準パターン DⅡ-1～4	45.5	192	0.5	普通，高強度吹付け
厚肉支保 DⅡ-6	48.0	192	0.5	縫返し工パターン
厚肉支保 DⅡ-7，8	80.0	196	0.3	掘削工パターン

表-3　標準支保パターンDⅡ支保構造仕様

支保パターン名		DⅡ-2	DⅡ-3,4
地山強度比		0.5<	
1掘進長		1.0m	0.75m
変形余裕量		20cm	
支保部材	吹付け厚	SFRS，20cm	SFRS，30cm
	圧縮強度(28d)	36N/mm²	
	鋼アーチ支保工	H-150	
	ロックボルト工	L=6m，170kN，14 or 24本	
閉合部材	構造部材	上・下半と同様	
	半径比 R_3/R_1	16.90/5.90=2.86	
	閉合距離	10～12m	8～10m

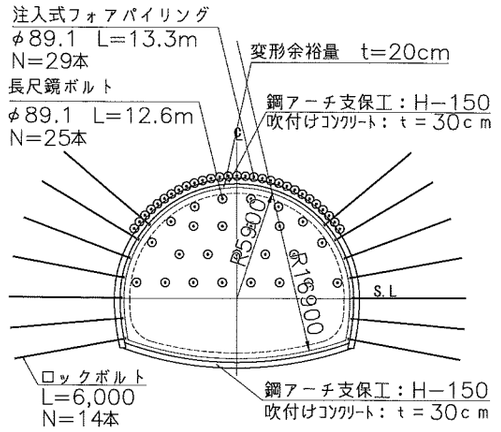


図-3　支保構造概要(DⅡ-3)

表-4　補助工法仕様

補助工法	仕　様
長尺先受け工	φ89.1，t=5.5，L=13.3m， 上半120°，p=450，シリカレジン
注入式フォアポーリング	打込み型ボルト，L=4 m， 上半120°，シリカレジン
長尺鏡ボルト	φ89.1，t=5.5，L=12.6m， 上半，シリカレジン
鏡吹付け	t=10cm，上・下半，インバート切羽鏡

土圧を内圧力で保持することにより，トンネル支保構造体の力学的安定を確保する．

4-2　補助工

地山強度比<0.4で q_u<2 N/mm²の脆弱地質では，補助工法なしでの上・下半掘削は困難であり，先抜けや切羽崩壊が生じやすい[2]ので，**表-4**に示すような補助工法を地山性状に応じて選定し，支保施工までの間の掘削面の自立を確保した．

4-3　施工結果

ハッタオマナイ層メランジュの脆弱地山は，高地圧下の応力再配分であるので，注入式フォアポーリングで施工したDⅡ-4の切羽は崩壊した(**写真-1**)．

また，地山強度不足により，断面閉合後も，周辺地山は不安定に推移し，**図-4**に示すように約390mm以上の上半脚部沈下，約250mm以上の上半内空変位が発生するようになり，支保耐力を超えた押出し性土圧が作用，トンネル支保構造体は破壊し，既施工区間DⅡ-1～4での力学的安定の確保

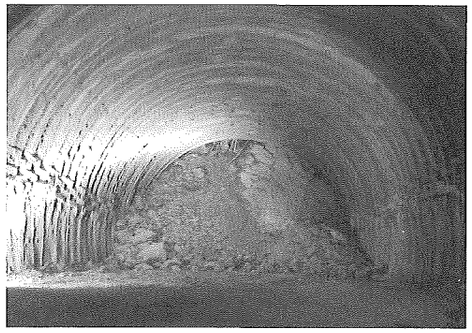


写真-1　切羽崩壊状況(DⅡ-4)

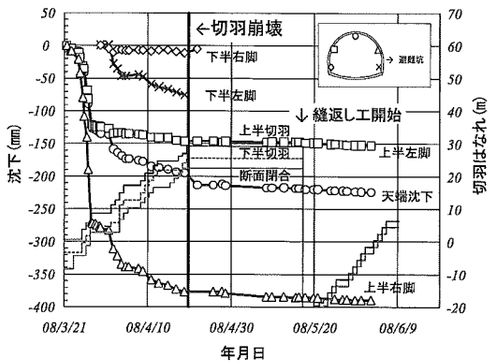


図-4　トンネル測点沈下(DⅡ-2)

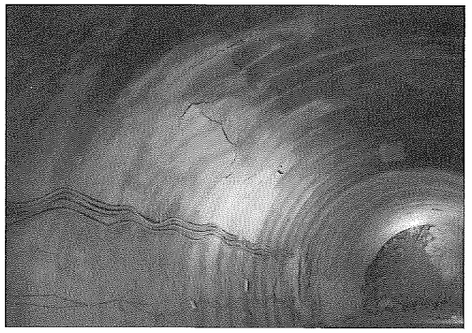


写真-2　増し吹付けコンクリートの剝離

は困難になった(**写真-2**)．

4-4　押出し性土圧の推定

トンネル支保構造体を破壊した押出し性土圧 P_oは，支保パターンDⅡ-3での支保耐力N_c(=吹付けコンクリート圧縮強度×断面積)を支保構造体半径 R_1で除して概算すると，P_o=36,000×0.3/5.9=1,831kN/m²となる．これを γ_tで除して，土かぶり相当厚Hに換算すると，H=1,831/26≒70 mとなり，トンネル支保構造体には，土かぶり厚

70m相当の1.8N/mm²以上の押出し性土圧の作用が推察された．

5　高耐力支保による施工

5-1　高耐力二重支保構造の概要

地山強度比が0.3～0.5のハッタオマナイ層メランジュのトンネル支保構造体には，土かぶり厚約100m相当（支保構造体破壊時の土かぶり相当厚70mの1.5倍）の土圧[3]を想定し，円筒構造物の周方向応力が作用外力との関係で計算できる厚肉円筒理論[4]を用いて必要支保耐力を算出，これをもとにして，吹付けコンクリートは高強度鋼繊維補強仕様とし，背面地山の強度保持に有効な側部ロックボルトの密配置を基本とする厚肉の二重支保構造体を設計した（**表-5, 6, 図-5**）．

5-2　二重支保工施工方法

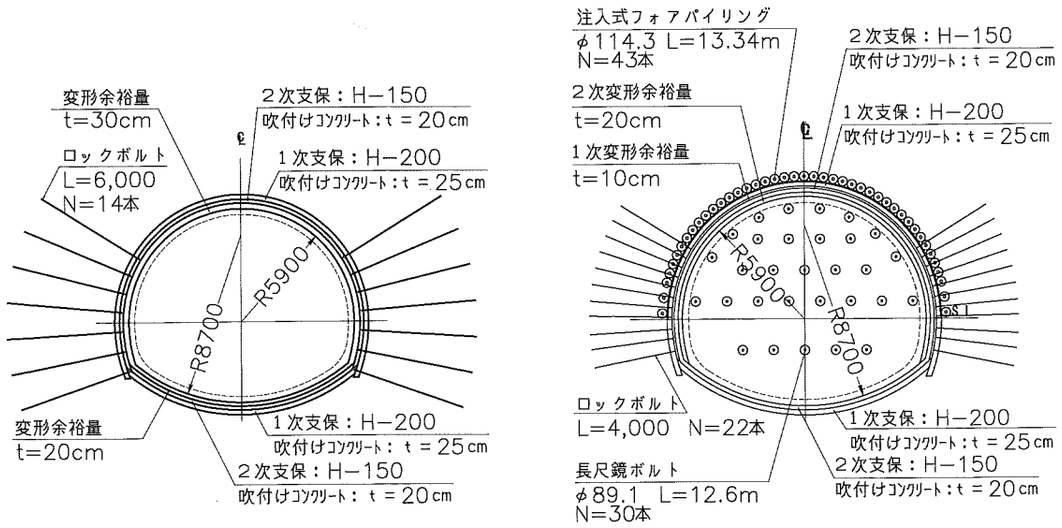
二重支保構造体の早期閉合掘削方法は，上半掘削，下半掘削，断面閉合の順に，各々2m進行で施工する．1掘進の施工単位は，上半掘削は1m，下半掘削は片側2m，断面閉合は2mである．上半2次支保の施工は，1次支保の2m後方である（**写真-3**）．下半と断面閉合の1次と2次は，同時施工である（**写真-4**）．早期閉合距離は，1倍掘削幅以内の閉合を基本とし，切羽の自立性に応じて10～12mを選択する（**写真-5**）．使用する主要施工機械は，吹付けコンクリート作業時間の短縮を考慮した機械編成とし，**表-7**に示すとおりである．

表-5　高耐力支保の仕様

支保パターン名		DII-6	DII-7	DII-8
適用対象		縫返し工	掘削工	
地山強度比		0.5	0.3	
1掘進長		1.0m		
変形余裕	1次	10cm		
	2次	20cm		
支保部材	吹付け厚（1次）	SFRS，25cm		
	吹付け厚（2次）	SFRS，20cm		
	圧縮強度(28d)	36N/mm²		
	鋼アーチ支保工（1次）	H-200	H-200W	H-200
	鋼アーチ支保工（2次）	H-150		
	ロックボルト工	L=6m，4m，170kN，14 or 18 or 22本		
閉合部材	変形余裕量	20cm	−	
	構造部材	上・下半と同様		
	半径比 R_3/R_1	8.70/5.90=1.47		
	閉合距離	4.0m	10.0m	

表-6　吹付けコンクリート圧縮強度

材齢	3 hr	1 day	28day
高強度タイプ	2 N/mm²	10N/mm²	36N/mm²



(1)　縫返し工，DII-6　　(2)　掘削工，DII-8

図-5　高耐力二重支保の構造

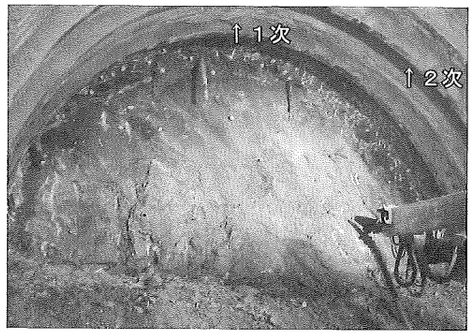


写真-3　上半施工状況

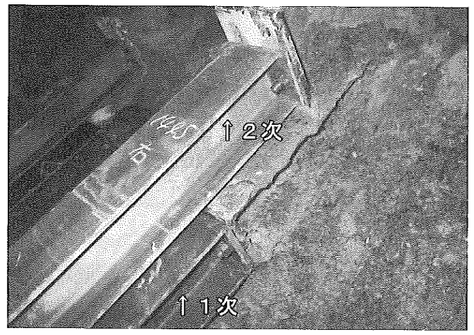


写真-4　インバートストラット施工状況（1次，2次の同時建て込み）

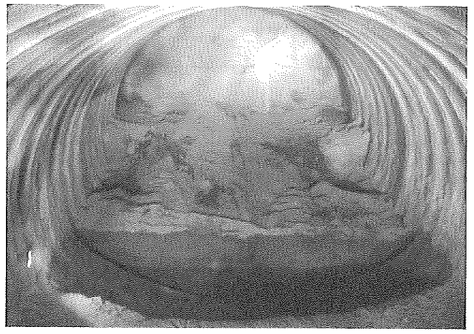


写真-5　早期閉合状況（閉合距離12m）

5-3　計測工概要

本坑支保構造仕様の照査と力学挙動特性の把握を主目的に，計測工A，Bを実施した（**図-6**）．計測工A断面は，トンネル進行方向10m間隔に設け，1断面あたり測点数は5点とし，三次元自動測量・計測システムを用いて，吹付けコンクリート表面に取り付けた測点の鉛直・水平方向変位を12～24時間ごとに自動測定する．計測工Bは，**図-7**に示すように，支保部材応力測定を基本とする計器配

表-7　主要施工機械（二重支保区間）

用途	機械名称	能力，出力	台数
掘削，補助	油圧ブレーカ	1.3t級	2
	油圧ショベル	0.45m³級	1
鋼アーチ支保工建て込み	支保工エレクタ	1 t級	1
ずり搬出	ホイルローダ	2.3m³	1
	ダンプトラック	23t	3
吹付けコンクリート工	コンクリート吹付け機	20m³/h	2
	トラックミキサ車	4.5m³	4
ロックボルト工 長尺先受け工 長尺鏡ボルト工	油圧ホイールジャンボ	3ブーム，HD190kg級	1

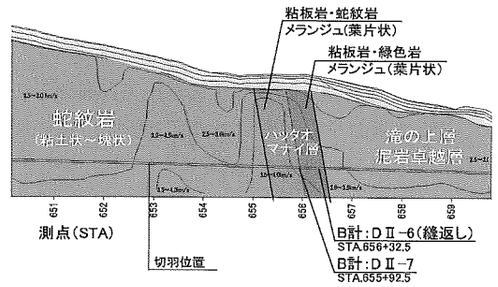
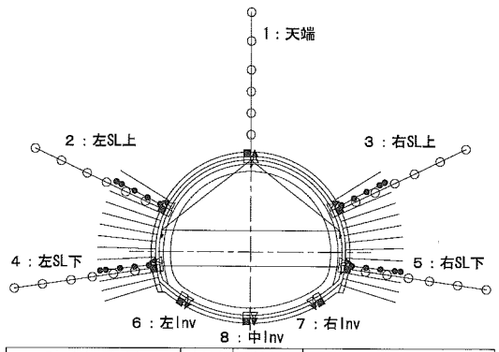


図-6　計測断面位置図



計測項目		記号	数量	備考
天端・脚部沈下測定		レ	5測点	
内空変位測定		△	4測線	
地中変位測定		⊖	5測線	L=10.0m（6測点：1.5, 3, 4.5, 6, 8, 10m）
ロックボルト軸力測定		●	4測線	L=4.0m（5測点：0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 3.9m）
鋼アーチ支保工応力測定	一次支保	■	8か所	軸力，曲げ，せん断
	二次支保	□	8か所	軸力，曲げ，せん断
吹付けコンクリート応力測定	一次支保	▲	8か所	有効応力計1台/箇所
	二次支保	△	8か所	有効応力計1台/箇所

図-7　計器配置概要

表-8　計測工B断面位置

支保パターン名	切羽からの離れ(m)	設置後日数(day)
DⅡ-6	343	410
DⅡ-7	303	369

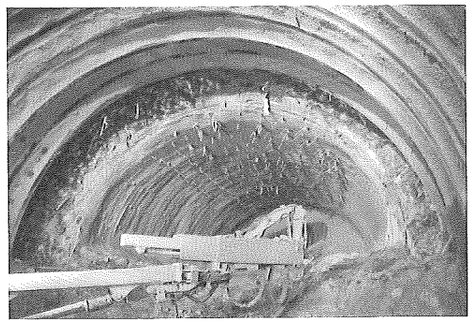


写真-6　二重支保工による縫返し施工状況(上半)

置とし，計測断面は縫返し工のDⅡ-6と掘削工のDⅡ-7の2断面を設ける．計測工B断面位置の現切羽からの離れを表-8に示す．

5-4　縫返し施工

(1)　施工状況

縫返し施工は，支保構造体の安定確保が困難となった既施工のDⅡ-1～4を含めた延長48mとし，この縫返し区間を上半盤まで埋戻してから，高耐力二重支保工施工方法に示す要領で施工した(写真-6)．なお，下半掘削は，断面閉合と同時施工とし，断面閉合距離は4mである．ここでの施工速度は，月進約46mであった．

(2)　支保構造体の力学特性

縫返し施工した厚肉支保構造体DⅡ-6の吹付けコンクリートに発生する軸応力を図-8に示し，鋼アーチ支保工縁応力を図-9に示す．1次吹付けコンクリート軸力N_{c1}と2次吹付けコンクリート軸力N_{c2}を加えた吹付けコンクリート軸力N_c(=$N_{c1}+N_{c2}$)を吹付けコンクリート断面積A_cで除して求めた吹付けコンクリート等価軸応力σ_{ec}(=N_c/A_c)を，N_cを支保構造体半径Rで除した換算土圧P_o(=N_c/R)とともに図-10に示す．支保構造体に発生する軸力に対する吹付けコンクリート軸力の分担率を図-11に示す．

これらから，以下のことがいえる．

①　吹付けコンクリート軸応力の最大値は，1次側インバート部中心に発生し，16N/㎟の圧縮である．トンネル周方向の軸応力は，1次，2次ともに，周辺地山の不均一性に支配

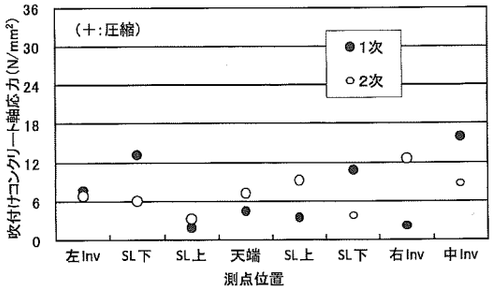


図-8　吹付けコンクリート軸応力(DⅡ-6)

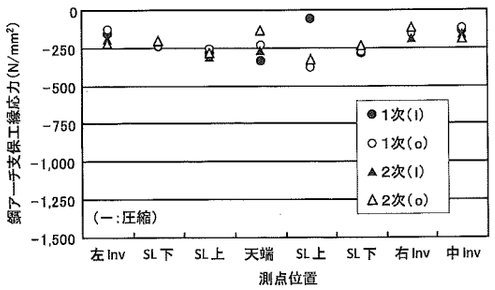


図-9　鋼アーチ支保工縁応力(DⅡ-6)

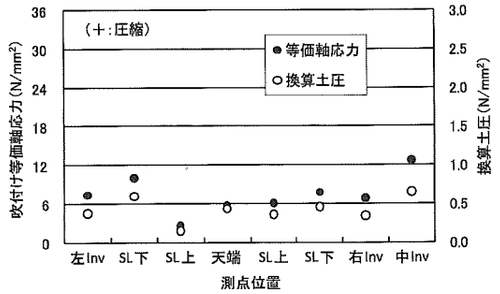


図-10　吹付けコンクリート等価軸応力と換算土圧(DⅡ-6)

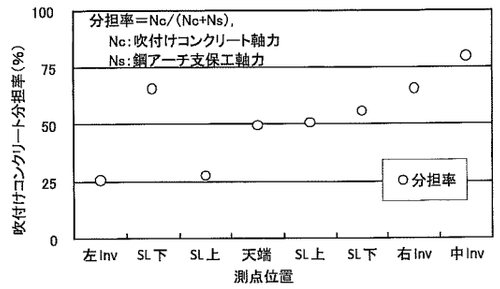


図-11　吹付けコンクリート軸力分担率(DⅡ-6)

され，不連続に分布する．

②　鋼アーチ支保工縁応力は，1次，2次ともに，同等レベルの圧縮応力が周方向に連続的に分布し，降伏強度を超えて発生するが，吹付けコンクリートによる変位拘束効果により安定している．

③　吹付けコンクリート等価軸応力は，おおむね6～7N/㎟の圧縮で周方向に連続的に分布し，最大値は13N/㎟の圧縮となり，1次，2次の2回施工の二重支保構造より1回施工のシングル支保構造の方が応力レベルは低く，安定性は高まる．

④　支保構造体作用土圧P_oは，吹付けコンクリート軸力からの換算土圧0.66N/㎟をここでの分担率0.8で除して概算するとP_o=0.66/0.8=0.8N/㎟となり，縫返し施工後も高い押出し性土圧が作用する．

5-5　粘板岩・蛇紋岩メランジュの掘削

(1)　補助工

地山強度比=0.3の脆弱地山では，補助工法なしでの上・下半掘削は困難であり，先抜けや切羽崩壊が生じるので，表-9に示す補助工法を地山性状に応じて選定し，支保施工までの間の掘削面の自立を確保した．

表-9　補助工仕様(掘削工)

補助工法	仕　様
長尺先受け工	ϕ114.3，t=6，L=13.34m，上半180°，p=450，シリカレジン
長尺鏡ボルト	ϕ89.1，t=5.5，L=12.6m，上半，上下半，シリカレジン
鏡吹付け	t=10cm，上・下半，インバート切羽鏡

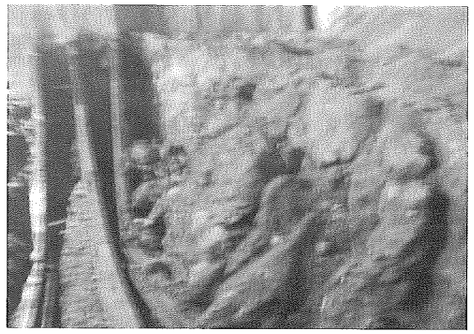


写真-7　早期閉合時鏡崩壊(下半鏡ボルト省略)

(2)　施工状況

下半鏡ボルトなしでのインバート掘削では，下半切羽は崩壊した(写真-7)．このため，下半鏡ボルトの施工も基本にした．このような補助工の併用により，切羽の崩壊がなく確実な施工ができるようになったが，DⅡ-7での施工速度は，月進約26mであった．

(3)　トンネル挙動特性

計測工Aの最終時のトンネル変位を図-12に示す．最終時に対する早期閉合直後のトンネル変位比率(閉合後/最終時)を図-13に示す．天端沈下V_1に対する上半内空変位H_1の比率H_1/V_1と下半内

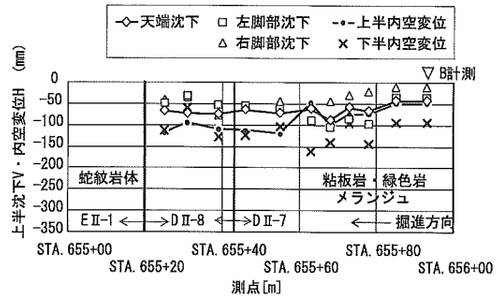


図-12　トンネル変位(最終時)

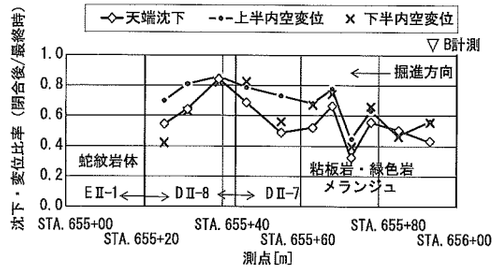


図-13　トンネル変位比率(閉合後/最終時)

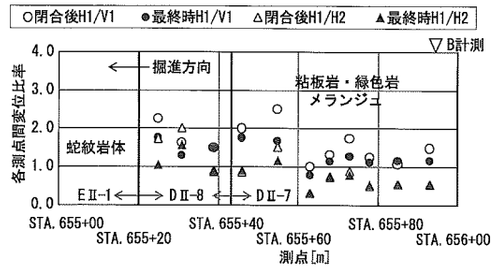


図-14　閉合後と最終時のトンネル変位比率(H_1/V_1, H_1/H_2)

空変位 H_2 に対する上半内空変位の比率 H_1/H_2 を，図-14に示す．

これらから以下のことがいえる．

① 天端沈下 V_1 は－50～－70㎜沈下する．上半内空変位 H_1 は－50～－120㎜内空側に変位し，変形余裕の範囲内で収束している．

② 最終時に対する閉合後の天端沈下 V_1 と上半内空変位 H_1 は，ともに0.4～0.8となり，地山物性分布の影響を受け，断面閉合後もトンネル変位は増加している．

③ 閉合後と最終時の内空変位比率 H_1/H_2 は，おおむね0.3～1.0であり，断面閉合の前後での差は小さい．

④ 天端沈下 V_1 に対する上半内空変位 H_1 の比率 H_1/V_1 は，閉合直後は1.0～2.5，最終時は0.8～1.8となり，断面閉合により上半内空変位の増加は抑制される．

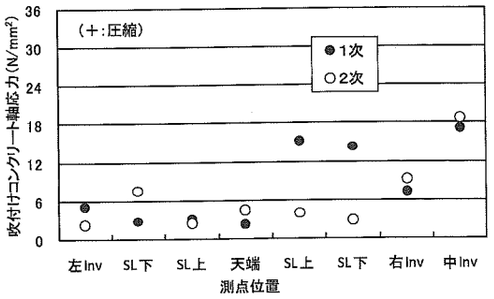


図-15　吹付けコンクリート軸応力(DⅡ-7)

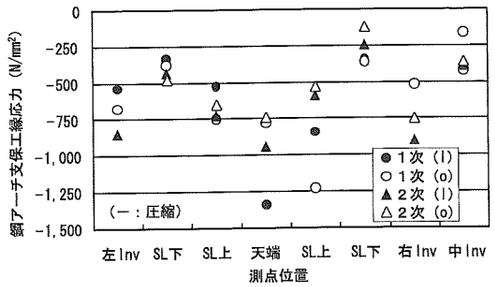


図-16　鋼アーチ支保工縁応力(DⅡ-7)

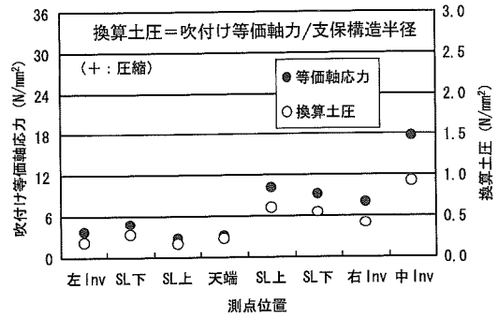


図-17　吹　けコンクリート等価軸応力と換算土圧(DⅡ-7)

③ 吹付けコンクリート軸応力，鋼アーチ支保工縁応力のトンネル周方向での差は，1次側の方が大きく現れており，周辺地山の不均一性の影響を受けやすい．

④ 吹付けコンクリート等価軸応力は，トンネル周方向に3～18N/㎟の圧縮で分布し，最大値はインバート部中心に現れる．また，吹付けコンクリートには，0.93N/㎟の押出し性土圧の作用が推定される．

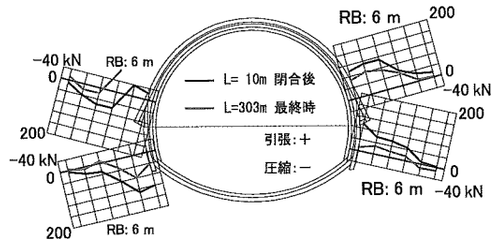


図-18　ロックボルト軸力(DⅡ-7)

⑤ ロックボルト軸力の最大値は，閉合前の支保構造体背面に現れ，120kNの引張りである．断面閉合後の背面地山は，高耐力支保構造体からの内圧力と押出し性土圧を受け，ロックボルト軸力は除荷される．

（4） 支保構造体の力学的安定性

厚肉支保構造体DⅡ-7の吹付けコンクリートに発生する軸応力を図-15に示し，鋼アーチ支保工縁応力を図-16に示す．吹付けコンクリート軸力 N_c を吹付けコンクリート断面積 A_c で除した吹付けコンクリート等価軸応力 $\sigma_{ec}(=N_c/A_c)$ を，N_c を支保構造体半径 R で除した換算土圧 $P_o(=N_c/R)$ とともに図-17に示す．

これらから，以下のことがいえる．

① 吹付けコンクリート軸応力の最大値は，2次側インバート部中心に発生し，約19N/㎟の圧縮である．1次側のトンネル周方向軸応力は，周辺地山の不均一性に支配され，不連続に分布する．

② 鋼アーチ支保工縁応力は，1次側の方が大きいが，1次，2次ともに全周にわたって降伏強度を超えて発生しているが，吹付けコンクリートの変位拘束効果により，高い圧縮応力でも安定しているものと考えられる．

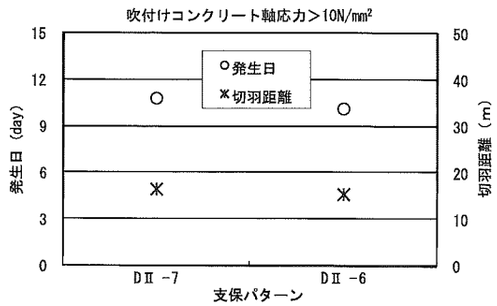


図-19　吹付けコンクリート軸応力10N/㎟発生状況

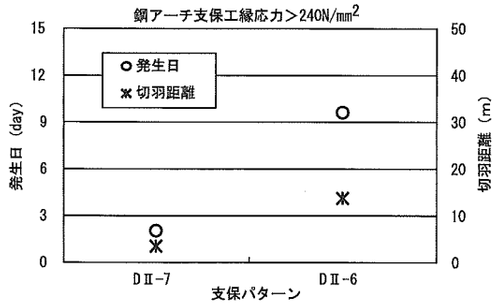


図-20　鋼アーチ支保工縁応力240N/㎟発生状況

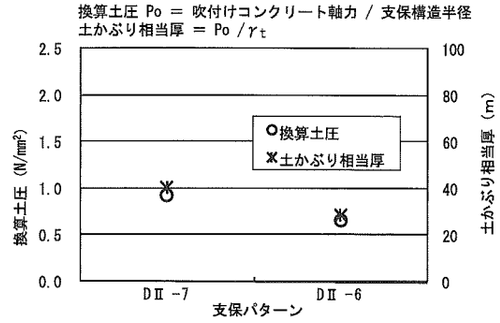


図-21　吹付けコンクリート作用土圧

（5） 掘削初期の安定性

吹付けコンクリートに高強度タイプ σ_{1day} の圧縮強度に相当する10N/㎟の軸応力が発生する吹付け後経過日と切羽距離を図-19に示し，鋼アーチ支保工に240N/㎟の縁応力が発生する建て込み後経過日と切羽距離を図-20に示す．これらから，以下のことがいえる．

① 吹付けコンクリートには，吹付け施工10日後に10N/㎟が発生する．切羽距離では，15.5m後方である．

② 鋼アーチ支保工には，支保工建て込み2日後に，鋼材SS400の降伏強度の240N/㎟が発生する．切羽距離では，3.5m後方である．

③ 脆弱地山では，吹付けコンクリートに比べて弾性係数が高い曲げ部材の鋼アーチ支保工には，上半施工時に，高い曲げ圧縮応力が発生する．また，高地圧下の脆弱地山では，応力再配分は広範囲に及ぶので，支保施工直後の支保構造体への押出し性土圧の作用は小さいと推察する．

（6） 押出し性土圧

吹付けコンクリートに作用する換算土圧 P_o は，1次と2次の吹付けコンクリート軸力合計値 N_c の最大値を支保構造体半径 R で除して概算する．これの土かぶり相当厚は，換算土圧 P_o を γ_t で除して算定する．

この結果を，吹付けコンクリート作用土圧とともに図-21に示す．これらから，以下のことがいえる．

① 地山強度比が0.3のハッタオマナイ層メランジュのDⅡ-7では，吹付けコンクリートには，土かぶり厚40m相当の0.9N/㎟の押出し性土圧の作用が推定される．

② 縫返し施工したDⅡ-6では，吹付けコンクリート作用土圧の0.66N/㎟にここでの軸力分担の0.8を考慮すると，トンネル支保構造体には0.66/0.8＝0.8N/㎟の押出し性土圧の作用が推察される．

6　ま　と　め

高耐力支保構造体の設計パラメータとして，地山強度比，作用土圧，必要支保耐力，支保部材仕様，閉合構造仕様と閉合距離，変形余裕などが考えられ，以下の知見が得られた．

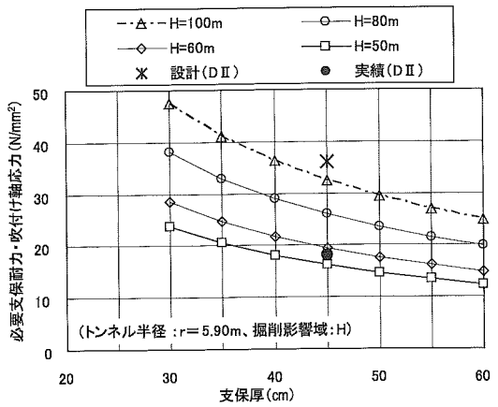


図-22　必要支保耐力と吹付けコンクリート等価軸応力

（1）　作用土圧

厚肉の高耐力吹付けコンクリートには，0.9N/㎟，土かぶり厚換算で約40m相当の押出し性土圧の作用が推察された．

（2）　必要支保耐力照査

厚肉支保構造体が作用土圧(P_o)と力学的にバランスできる必要支保耐力(σ_θ)の算定式は，掘削影響域(H)と支保厚($T=b-a$)をパラメータとして，厚肉円筒理論を用いて導くと，式(1)のようになる．

$$\sigma_\theta = \frac{a^2\cdot b^2(P_o-p_i)}{b^2-a^2}\cdot\frac{p_i\cdot a^2+P_o\cdot b^2}{b^2-a^2} \qquad (1)$$

a，b：内空半径と掘削半径

r：支保耐力計算位置($r=(a+b)/2$)

P_o：作用土圧($=\gamma\cdot H$ N/㎟)

p_i：内圧(=0 N/㎟)

支保厚に対する必要支保耐力は，掘削影響域Hをパラメータとして式(1)で計算すると，**図-22**のように求まる．これに，計測された吹付けコンクリート軸応力の最大値を吹付け厚との対応で図-22にプロットした．この結果から，地山強度比が0.3のハッタオマナイ層メランジュでは，掘削影響域は約60mに及ぶことが推定された．

（3）　高耐力二重支保構造体の支保効果

2次側支保部材を1次側の2m後方で施工する二重支保施工方法は，周辺地山の不均一性の影響を大きく受け，1次側，2次側いずれかまたはともに，吹付けコンクリートに高い軸応力が不連続に発生する傾向を示すが，それぞれ圧縮強度の範囲内で安定した．

鋼アーチ支保工は，曲げ構造部材として機能し，断面閉合までの間の早期に，縁応力が降伏強度を超える．最終時は，1次，2次ともに，おおむね全周にわたって降伏強度を超えるが，吹付けコンクリートによる変位拘束効果により，高い曲げ圧縮応力で安定しているものと考えられる．

ロックボルトは，断面閉合までの間の背面地山の強度保持に機能し，背面地山に内圧力と押出し性土圧が作用するようになると軸力は減少した．

（4）　高耐力支保構造体の初期挙動特性

高強度吹付けコンクリートには，吹付け施工10日後の切羽距離で15.5m後方で，1日圧縮強度の10N/㎟が発生した．鋼アーチ支保工には，支保工建て込み2日後の切羽距離で3.5m後方で，降伏強度の240N/㎟が発生した．このことから，弾性係数が高い曲げ部材の鋼アーチ支保工には，断面閉合以前に，降伏強度を超える高い曲げ圧縮応力が発生する．また，高地圧下の脆弱地山では，応力再配分は広範囲に及ぶので，支保施工直後の支保構造体への押出し性土圧の作用は小さいこと，などが推察された．

（5）　断面閉合構造

地山強度比が0.3～0.5の地山等級DⅡにおいて，断面閉合半径$R_3=1.47\times R_1$を採用し，円形状に近づけた厚肉高耐力の軸力構造体を設計した．これにより，断面閉合部材の軸応力とトンネル側部の軸応力は同等レベルが発生するようになり，トンネル支保構造体の力学的安定性が向上し，設計強度の範囲内で安定化できた．

（6）　変形余裕

トンネル変位の抑制は，早期閉合によるトンネル支保構造体の力学的安定確保が基本条件であり，地山強度比が0.3～0.5で$q_u<3$ N/㎟の当該地山では，閉合距離は10mとなり，天端沈下の最大は約100㎜，内空変位は約120㎜が発生し，変形余裕量の範囲内で安定化できた．

（7）　縫返し施工

ハッタオマナイ層メランジュでは，DⅡ-6で縫返し施工をした．この以奥の同様地質では，DⅡ-7で施工した．これらの結果を比較すると，縫返し施工での鋼アーチ支保工縁応力は，降伏強度を超える程度で連続的に分布する．DⅡ-7の施工では，1次，2次ともに，降伏強度を大きく超えて不連続に分布し，明確な差異が現れる．しかしながら，吹付けコンクリート軸応力と作用土圧は同等程度が発生し，縫返し施工においても，高い押出し性土圧が作用することが明らかになった．

7　おわりに

押出し性土圧に見合う厚肉高耐力の支保構造体を設計し，補助ベンチ付き全断面掘削の早期閉合で施工した．この方法は，地山強度比が0.3～0.5の脆弱なハッタオマナイ層メランジュのトンネル施工を確実にし，自立困難な山岳トンネルの設計・施工法としての有効性が示された．また，高耐力支保構造体の力学挙動特性が明らかになり，これの設計パラメータに関する基礎データと知見を得た．

今後は，これ以奥の粘土状蛇紋岩区間を含めて成果を取りまとめ，地山等級DⅡ，Eのトンネル設計，施工技術の高精度化を進め，報告する予定である．

最後に，NEXCO東日本北海道支社トンネル施工技術検討委員会(委員長：三上隆・北海道大学教授)ならびに関係各位より，貴重なご意見をいただいたことをここに記して，感謝する次第である．

参考文献

1) 東・中・西日本高速道路：設計要領第三集，トンネル編，p.79，2006.
2) 楠本太・恩田雅也・上岡真也：押出し性地山における大断面トンネルの力学パラメータに関する考察，土木学会第60回年次学術講演会，第Ⅲ部門，2005.
3) 早坂治敏・江戸川修一・楠本太：二重支保構造のトンネル挙動特性，土木学会第54回年次学術講演会，第Ⅲ部門，1999.
4) (社)電力土木技術協会：電力施設地下構造物の設計と施工，(株)山海堂，p.42，1986.

P.A.ドミニコ，F.W.シュワルツ著

地下水の科学　各B5判 全3巻

地下水の科学研究会　　大西　有三　監訳

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

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

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



■トンネルと物語

トンネル工事をテーマとした小説や映画が世界中にどのくらいあるのかわからないが，日本ほどトンネルに対して特別な感情を抱く国はほかにないように思う．もちろん，トンネル工事が盛んであるという国情もあるのだろうが，艱難辛苦を乗り越えて目標を達成するというプロットが，日本人の心を鷲づかみにして放さないのだろう．

トンネル工事を題材にした映画だけでも，この連載で紹介した『男』(東宝・1943)，『花咲く我が家』(松竹・1952)をはじめ，『黒部の太陽』(三船プロ＋石原プロ・1968)，『海峡』(東宝・1982)などがあり，これに感化されて土木技術者を志した方も多いと言われている．

中でも，丹那トンネルの工事を題材とした作品は数多く，そのひとつに劇作家・北條秀司(1902～1996)によって1942(昭和17)年に戯曲化された『丹那隧道』がある．この作品は，同年４月に前進座により舞台化され，東京の新橋演舞場で上演された(**写真-1**)．トンネルの開業は，今からちょうど75年前の1934(昭和９)年なので，開通から８年目に上演されたことになる．

■北條秀司の『丹那隧道』

戯曲『丹那隧道』は，第１幕「予算分科会会場」



写真-1　『丹那隧道』初演のパンフレット
戦時体制下であったためか，トンネルの延長が墨で消されている．
所蔵：長崎惣之助元国鉄総裁旧蔵資料

(大正13年３月)，第２幕「熱海線建設事務所の階上」(大正14年７月)，第３幕「三島工区現場詰所とその戸外」(昭和４年11月)，第４幕「三島口現場，坑口に近い空地」(昭和５年６月)，第５幕「三島坑道内」(昭和５年７月)，第６幕「熱海側隧道内の奥部」(昭和８年６月19日)からなる６幕物で，演出には，久保田万太郎(1889～1963)があたった．主演は中村翫右衛門(三島口詰所主任―鉄道省熱海線建設事務所大竹詰所主任・石川九五がモデル―・川西役)で，このほか，中村鶴蔵(建設局長・畑野役)，瀬川菊之丞(熱海口詰所主任・相原役)，加藤嘉(技師・島村役)，嵐芳三郎(川西の学友・岡部役)などがそれぞれ演じた(**写真-2**)．

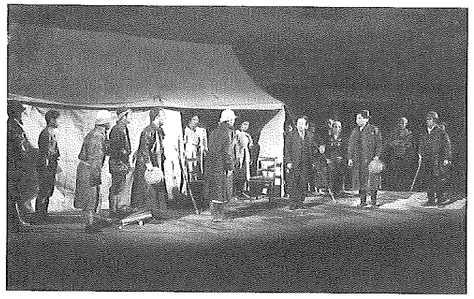


写真-2　新橋演舞場公演の第３幕より
所蔵：長崎惣之助元国鉄総裁旧蔵資料

作者の北條秀司は，『表彰式前後』『閣下』『王将』などの作品で知られ，劇作家として独立するまでは，箱根登山鉄道の社員をしながら岡本綺堂に師事していたので，鉄道と縁がないわけではなかった．北條はのちに，丹那トンネルの貫通の年に父親が亡くなり，丹那トンネル開通初日の特急「燕」でその遺骨を大阪へ運んだというエピソードを披露し，遺骨の客車内への持込みは許可されていなかったが，住み慣れた大阪を離れて小田原で晩年を過ごした生前の父親が，丹那トンネルの開通を心待ちにしていたことから，風呂敷に包んで隧道の見える窓際にそれを置いて偲んだと述懐した．

■緒形拳の出世作

『丹那隧道』はその後，1960(昭和35)年10月に，新国劇により再び舞台化され，明治座で上演された．

主役の川西役は，当時，新進気鋭だった緒形拳(1937～2008)が演じたが，この芝居における演技が認められ，同年の文化庁芸術祭賞(演劇部門)奨励賞に選ばれて，一躍注目を集めた．緒形はその後，NHKの大河ドラマ『太閤記』の主役に抜擢されるなど，わが国を代表する俳優となったことは，ここで紹介するまでもない．またその他の配役は，島田正吾(畑野役)，辰巳柳太郎(広山役)，大山克巳(相原役)，石山健二郎(飛田役)，秋月正夫(荒尾役)，吉田柳児(島村役)などであった．ちなみに，「緒形拳」の芸名は，北條秀司の夫人によって名付けられたと伝えられる．

丹那トンネルの工事を指揮した元鉄道省建設局長で熱海線建設事務所長だった平山復二郎(劇中における「畑野」のモデル)は，この舞台を鑑賞した直後の感想を雑誌「工事と事務」(1961年２月号)に『丹那トンネルの劇をみて』と題して寄稿したが，「私も何度か演出にひかれて，涙が出そうになる場面があった．しかし，かつて，この工事の当事者の一人で，事実をよく知っている関係からは，一般の観客のように，観劇の気分がどうも単純でなかった．」と，関係者としての複雑な心境を述べ，忠臣蔵や曾我兄弟の物語になぞらえて，「芝居や小説などに書かれている大筋の事柄は，大体あった事実なのだろうが，その細い内容となると，だいぶ芸術的におもしろく粉飾歪曲されているのではないか．そしてそれは，それで差し支えないのであろう．芝居や小説は，史実とは別個のものだと思えばである．」と述べ，「十六年を一時につづめてはかくなるものか興深く見る．体験せし事実の劇に感興も単純ならず思い出からみて．在りし事実も劇なる故に感情に訴えんためか内容たわめて．」と詠んで締めくくった．

トンネル工事をとりあげた舞台としては，2008(平成20)年10月に，中村獅童，神田正輝の主演により，大阪の梅田芸術劇場で演じられた『黒部の太陽』(関電トンネル開通50周年記念，映画化40周年記念)が記憶に新しく，有名な破砕帯の出水シーンが舞台上で再現されて話題となった．

大規模なトンネルが次々と完成し，人力施工から機械化施工の時代になると，作家の興味もトンネルから離れてしまった観があるが，これからも，舞台や小説，映画になるようなトンネル物語が生まれることを期待し，ひとまず筆を置きたい．

＊　　＊　　＊

2005(平成17)年１月号から，トンネルや地下空間に関する話題を中心に連載を続けてきた「トンネル千夜一夜」は，今回で最終回となります．先々月は，急病のため１回だけお休みをいただきましたが，５年間，60回にわたってご愛読いただき，ありがとうございました．誌上を借りて篤くお礼申し上げます．

トンネルと地下 2010 現場だより

「日本の100選」の宝庫・延岡市より

北 村 徹 雄

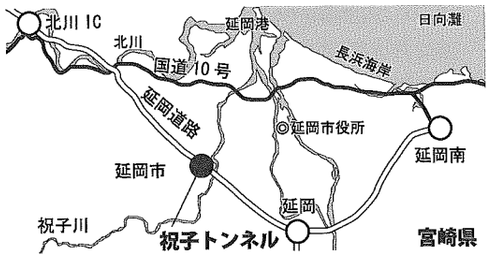
宮崎10号祝子トンネル新設工事の工事場所である宮崎県延岡市は県の北部に位置し，人口13万人で旭化成を中心とした産業と，海，川，山の自然に恵まれ，気候も温暖で安定した，生活に適した場所である．

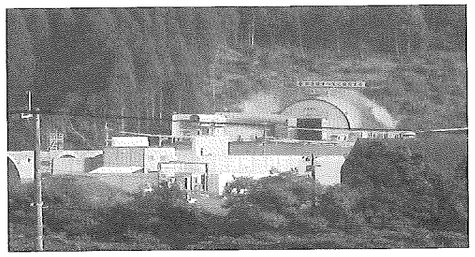
まず，始めに「祝子（ホオリ）」という地名を何人の方が間違いなく読めただろうか．ホオリとは日本神話に登場する神で，神武天皇の祖父になる．一般には山幸彦の名で知られ，ホオリが産湯として使った川が祝子川と言われている．

町内には「オリンピアロード」と呼ばれる道路があり，双子ランナーの宗兄弟や谷口浩美，増田明美など，多くの有名選手が，この道路を走ってトレーニングをした場所である．その影響か地元の方々もジョキングや散歩をしている姿をよく見かける．

次に延岡市について紹介する．九州では２番目に広い面積を有し，市内には「日本の100選」に選ばれた魅力ある景勝地が多数存在する．代表的なものとして「日本の歴史公園100選」の城山公園，「日本の滝100選」の行縢（むかばき）の滝，「快水浴場100選」の下阿蘇ビーチ，「夜景100選」の愛宕山，「日本の自然100選」の祝子川渓谷などがあり，歴史や文化，自然・風景が楽しめる地域である．

一般国道10号（延岡道路）は国道10号線（北九州～鹿児島）のバイパス機能を目的とした道路であり，市街地の交通混雑の緩和と現道が被災された場合の代替ルートとなり，宮崎市および大分市を結ぶ唯一の緊急輸送道路として，物流・経済活動を確保する信頼性の高い道路となり，早期開通（平成25年度開通予定）が望まれている路線である．





終点側坑口部



（左上）城山公園，（右上）行縢の滝，（中央）下阿蘇ビーチ，（左下）愛宕山，（右下）祝子川渓谷

延岡ICを中心とした高規格道路が整備されることによる延岡市からの各都市への所要時間は東九州自動車道として接続する宮崎市・大分市は現在の所要時間が２時間であるが，完成することで１時間10分の短縮，九州横断自動車道・延岡線として接続する熊本市は所要時間３時間が２時間の短縮となる．さらに福岡市までは高規格道路が整備されると，一般道で６時間30分かかっていたものが２時間10分に短縮される．このように高速交通ネットワークが完成することで，産業や経済の発展・文化交流など地域開発の促進，地域の活性化が期待されている．

（(株)間組九州支店・祝子トンネル作業所所長）

施工

自然由来の重金属を含む建設発生土の処理と対策

—仙台市地下鉄東西線—

仙台市交通局東西線建設本部建設部工事事務所副所長　谷 畑 一 行
仙台市交通局東西線建設本部建設部工事事務所主査　菊 谷 正 己
仙台市交通局東西線建設本部建設部工事事務所技師　髙 橋 靖

1 はじめに

仙台市地下鉄東西線は，仙台市南西部の住宅地である八木山動物公園付近から学術・研究施設のある東北大学を経由し，昭和62年に開業した地下鉄南北線の仙台駅を交差し，東部の流通業務地区を経て新市街地整備を行っている東部の荒井地区に至る約14kmの路線である（図-1）．このうち竜の口渓谷および広瀬川を横断する２か所を除き，ほぼ全線を地下トンネル形式としている．

東西線計画では，大断面が必要な駅部と土かぶりの少ない駅間トンネルは開削工法を，駅間トンネル部でも比較的地盤のよい丘陵部では都市部山岳工法（NATM）を採用している．また，東部の洪積世の砂礫が分布している比較的地盤の弱い区間および都心部で民間ビルの下を通過する部分などではシールド工法を採用している．

東西線事業で発生する建設発生土は，約125万m³を予定しているが，そのうちの４割にあたる約50万m³については，自然由来の重金属を含んでいる可能性がある．

本稿は，自然由来の重金属を含んでいる建設発生土の処理方法などについて報告するものである．

2 路線の地質概要

路線の地質構成は，連坊駅付近にある活断層長町利府線を境に二つに大分される．

起点部の動物公園駅から広瀬川・仙台駅を経由し連坊駅付近にある活断層長町利府線までの区間は新第三紀中新世～鮮新世の堆積岩が分布しており，そのうち，堆積岩分布域の約８割の区間（竜の口橋りょう部～連坊駅区間）には新第三紀鮮新

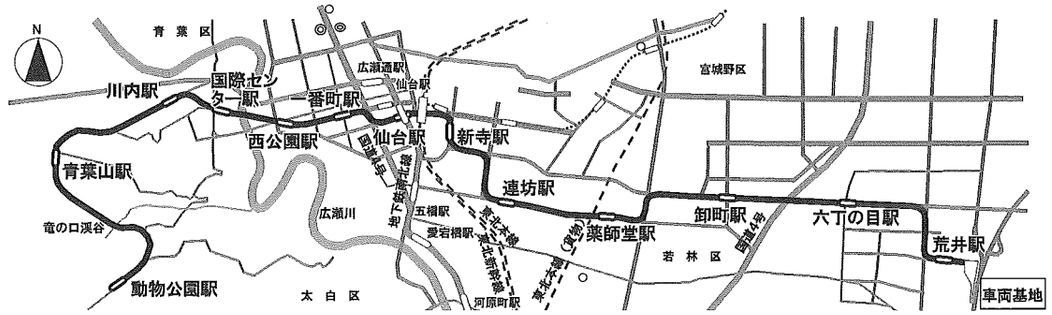


図-1　東西線路線図（駅名はすべて仮称）

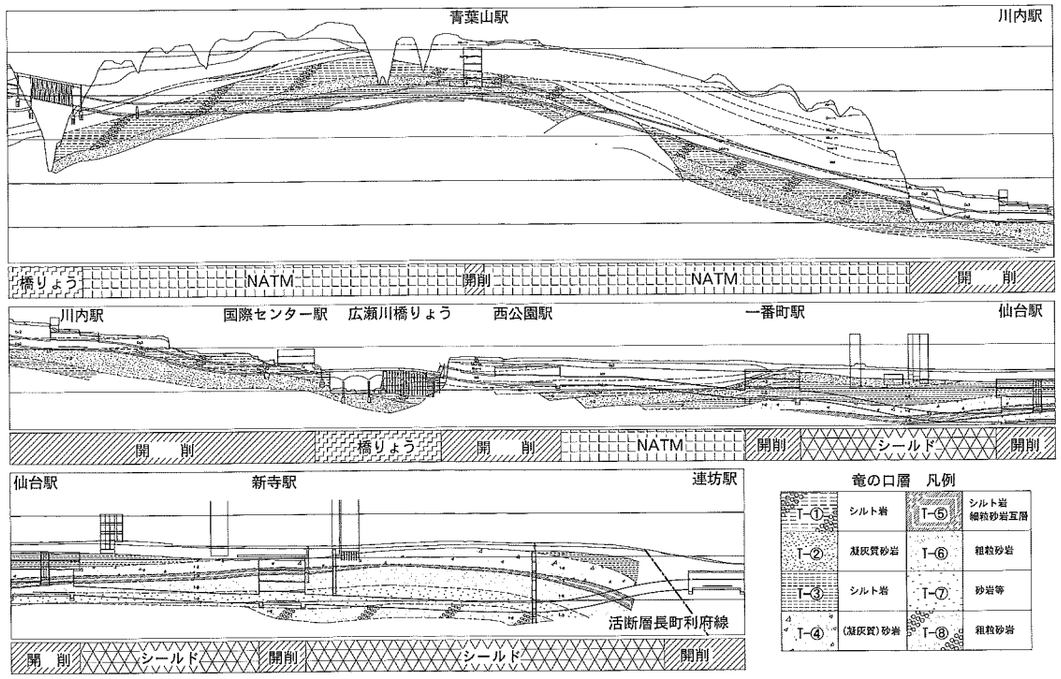


図-2　東西線路線地質概要(竜の口橋りょう部～連坊駅間)

世の海成層である竜の口層が分布している(図-2).

また，活断層長町利府線から終点部の荒井駅までの区間は，洪積世の砂礫が分布している.

このうち，新第三紀鮮新世の海成層である竜の口層については，平成18年に発行された『土壌・地質汚染評価基本図～1：50,000仙台地域～』[1]において，重金属(ひ素・カドミウム)が溶出する可能性があると記載されている.

3　処理・対策に至る経緯

3-1　自然由来による重金属含有土の対応

東西線建設工事においては竜の口層の掘削を予定していることから，施工に先立ち青葉山周辺から採取した資料を用いて平成18年度に自然的原因により含有する可能性があるといわれる項目(カドミウム・六価クロム・総水銀・鉛・ひ素・ふっ素・ほう素・セレン)について土壌汚染対策法における溶出量試験(環境省告示第18号溶出量試験)[2](以下「公定法溶出試験」という)，含有量試験(環境省告示第19号含有量試験)[3]を実施した.その結果，含有量試験ではすべての項目において定量下限値未満であったが，溶出量についてはカドミウムなどについて環境基準を超過するものがあった.

この結果を踏まえ，内部で検討を開始したが，約50万m^3という膨大な量の建設発生土が重金属を溶出する可能性があるという，これまで仙台市では経験したことのない大きな問題であった.

このことから，仙台市としては，公共工事の実施主体として，建設事業実施の段階および工事完了後のリスクを極力低減させるために処理対策が必要であると判断し，環境省からの通達[4]を踏まえ，次に掲げる方針を策定した.

「東西線建設ルートが軟岩層である竜の口層を通過し，大量の土砂の搬出を行う予定であることから，その建設発生土については，環境省通達にある『当該土壌に係る適切な対応』に準拠し，国などの対応事例などを参考に，外部の専門家によって構成する委員会を交通局に設置し，適切な調査手法や処理方法等について検討していく」[5]

3-2　検討委員会の設置

仙台市交通局では，地下鉄東西線の建設にあたり，技術的な専門事項について指導および助言を行う機関として「仙台市地下鉄東西線技術検討委員会」を設置しており，その委員会に新たに自然由来の重金属含有土(以下「要対策土」という)の取扱いについて，専門部会を設置し検討を行うこととした.

委員会は，平成19年10月から平成20年３月までの間に３回開催し，処理対策の方針を取りまとめた.

3-3　処理対策の方針

建設発生土については，工区内において「自ら」および「他の工事」で利活用することが望ましい.そこで，東西線事業で発生する要対策土についても利活用方法できるよう処理対策についての検討を行った.

3-3-1　工区内での利活用

要対策土の処理については，環境省の施行通知によると，「同一の地質分布域での埋め戻しであれば，新たなリスクが生じない限り無処理での埋め戻しが可能である」とされていることから，自ら利用が望ましい.しかし，土砂の発生と埋戻しの間にタイムラグがあるため，工程調整や仮置き場の確保および仮置き時の重金属溶出防止策などの検討が必要である.そこで，今後，開削トンネルの埋戻し時期などを踏まえ引き続き検討を行うこととした.

3-3-2　工区外での利活用

東西線事業における建設発生土については，シールド・NATMトンネルなど自ら利用が不可能な工区もある.そこで，考えられる要対策土の処理については，次の方法が考えられる.

- 他工事の埋戻し材・盛土材に利用
- セメント材料などに利用
- 最終処分場，土壌処理施設に処分を委託

しかし，発生する量が大量であること，処理施設の能力に伴う工程調整が難しいことなどを勘案し，「他工事の埋戻し材・盛土材として利活用」すべく，その対策についての検討を行うこととした.

交通局において，仙台市内および近郊で大量の要対策土を埋戻し材や盛土材として受け入れることのできる場所を探したところ仙台市南西部の砕石場跡地の森林復旧事業において，要対策土の受け入れが可能となったことから，要対策土を森林復旧事業の盛土に流用することを基本としたが，新たなリスクが生じる可能性があることから，以下の事項について検討を行った.

- 要対策土の判定方法
- 盛土工事における「封じ込め」方法
- 周辺住民へのリスクコミュニケーション
- 仮置き場での不溶化処理方法

3-4　リスクコミュニケーション

仙台市として方針を整理し，専門委員会を設置して処理方針を固めるなかでも，専門部会は公開として専門部会録もマスコミに発表することはもとより，搬出先である砕石場跡地周辺の住民の理解が何よりも重要であると考えた.

搬出先の周辺には，約70世帯が居住し，付近にある沢水を使用して稲作を行っている方や井戸水を利用している方もいる.そこで，砕石場跡地の森林復旧事業者と合意した後，仙台市交通局が事業者に変わって個々に訪問するなどきめ細かく住民説明を行い周辺住民の理解を得るとともに，町内会と運搬に伴う交通処理や盛土後の安全対策を議論しながら合意形成を図っていった.

説明に際し，「ひ素」「カドミウム」という言葉にカレー事件やカドミウム米というイメージを抱き反対する住民も見られたが，自然由来とはどういうことなのか，日常生活のなかでひ素やカドミウムがどのようにかかわっているのか，また，環境基準がどのように定められているのかなど，きめ細かい説明をすることにより，周辺住民の理解を得ることができた.

4　竜の口層の岩石の特性

4-1　竜の口層の溶出特性

竜の口層の溶出特性を確認するために，青葉山周辺から採取した資料を用いて平成18年度に行った調査においては，主にカドミウムの溶出が見られたが，平成19年度に国際センターから新寺駅の

間で採取した資料を用いて行った調査では主にひ素の溶出が見られた．平成18年度に行った試験では，事前に採取した資料(採取から分析まで3～7か月常温で保管)を用いて試験を行っていたことから，時間の経過に伴い，性質が変化するのではないかと推測した．

そこで，新寺工区で実施したボーリングコアを用い，採取直後と7か月経過後の資料で試験を行い，時間経過による溶出特性の違いについて確認したところ，次の結果を得ることができた．

(1)　採取直後の試料を用いた試験
- ひ素を検出
- 溶出水は中性からアルカリ性
- 電気伝導率は低い

(2)　7か月経過後の試料を用いた試験
- カドミウム，ふっ素を検出
- 溶出水は酸性
- 電気伝導率は高い

この試験結果により，竜の口層の岩石は時間の経過，すなわち酸化の進行により，溶出する重金属が変化し，酸性水が溶出するという二つの性質があることが確認された(図-3)．

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

4-2　方　針

竜の口層については，前述のとおりの二つの溶出特性を有することから，地下鉄工事に伴う建設発生土の処理にあたっては，「即時溶出リスク(掘削直後にひ素を溶出するリスク)」と「酸化溶出リスク(酸化の進行により酸性水とカドミウムを溶出するリスク)」の二つのパターンについて評価を行い分別する方針を定めた．

竜の口層の軟岩は時間の経過に伴う酸化により溶出特性が変わることから，即時溶出と酸化溶出について評価を行い，いずれかの評価で要対策と判定された地層についてはすべて要対策土として取り扱うこととした．

評価にあたっては，竜の口層を岩相から8層に細分化し，現場でのボーリングまたはつぼ掘りにより採取した資料を用いた試験結果から要対策となる細分化層を特定(分別判定)することとした．

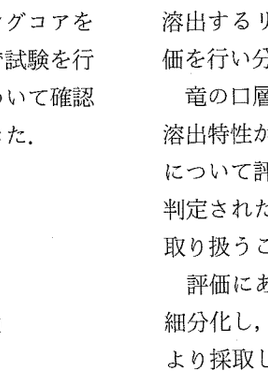
4-3　試験方法

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

当初，酸化溶出特性を把握する試験として地盤

新寺駅old　(H19年3月採取、同年10月分析)

地層	ｶﾄﾞﾐｳﾑ (mg/L)	鉛 (mg/L)	砒素 (mg/L)	ふっ素 (mg/L)	pH
T-④	0.056	0.007	－	0.92	3.4
T-⑤	0.002	－	－	0.4	4.3
T-⑥	0.009	－	－	0.44	3.3
T-⑥	0.004	－	－	0.17	3.7
T-⑦	－	－	－	－	6.0
T-⑧	0.003	－	－	0.12	4.1



新寺駅　(H19年8月採取、同年9月分析)

地層	ｶﾄﾞﾐｳﾑ (mg/L)	鉛 (mg/L)	砒素 (mg/L)	ふっ素 (mg/L)	pH
T-④	－	－	0.007	－	7.1
T-④	－	－	0.007	－	6.8
T-⑤	－	－	0.010	－	7.6
T-⑥	－	－	－	－	7.8
T-⑥	－	－	－	－	7.6
T-⑦	－	－	0.007	－	7.5
T-⑦	－	－	0.015	－	7.8
T-⑦	－	－	－	－	8.2
T-⑧	－	0.005	0.009	－	9.0

竜の口層の各層準について，岩相の違いによりT－①～T－⑧の8層準に分類した。
また，網掛けの分析値は，溶出量基準を超過していることを示す。

図-3　時間経過による溶出特性の違い

工学会の「地盤試験法」のpH試験の項で参考として示された「過酸化水素水によるpH試験」に準拠した試験を実施した．しかし，試験結果から自然状態で起こりうる酸化よりもさらに酸化が進行し，重金属の一部が過剰に溶出した可能性が考えられたことから，過酸化水素水の濃度および反応時間を変えて試験を行い，自然状態で起こりうる酸化に近い状態を検討した結果，3％過酸化水素水により4時間反応させた強制酸化試験により自然状態で起こりうる酸化に近いpH，電気伝導率の状態になったと判断した(図-4)．また硫酸イオン溶出量とpHおよび電気伝導率の間に強い相関関係が見られることから，長期的な酸化溶出の原因となる硫酸イオンは，3％過酸化水素水により4時間反応させた強制酸化試験後のpHにより把握できるものと判断した(図-5)[6]．

4-4　強制酸化試験による判断基準

前述のとおり，3％過酸化水素水により4時間反応させた強制酸化試験(以下「指標分析」という)が，自然状態で起こりうる酸化に近い状態であったことから，東西線事業における一般土・要対策土の判断を次のとおり定めることとした．

「指標分析の結果，検液のpHが4以下の場合，要対策土と判断する」．

5　掘削現場での土の分別

竜の口層の分別判定は，前述のとおり，事前ボーリングまたはつぼ掘りにより採取した資料を用いて公定法溶出試験および指標分析により判定することとしている．ここで，新寺工区で行ったつぼ掘りによる地層判定事例を報告する．

当初想定した地質縦断図より竜の口層付近まで掘削が完了した時点でつぼ掘りを行う．

そこで，指標分析および公定法溶出試験のための資料を採取するとともに地層の状況を記録することとした(図-6)．

採取した資料を用い，最初に指標分析を行い一般土，要対策土の判定を行う．次に，公定法溶出試験を行い，一般土・要対策土の判断を行う．なお，公定法溶出試験については，結果が出るまでに時間を要することから，公定法溶出試験(ひ素)の結果が出るまでの間は，竜の口層を要対策土として取り扱うこととする．

なお，公定法溶出試験(ひ素)の結果，重金属などが溶出基準に満たない場合は，公定法溶出試験(残りの7種)を行

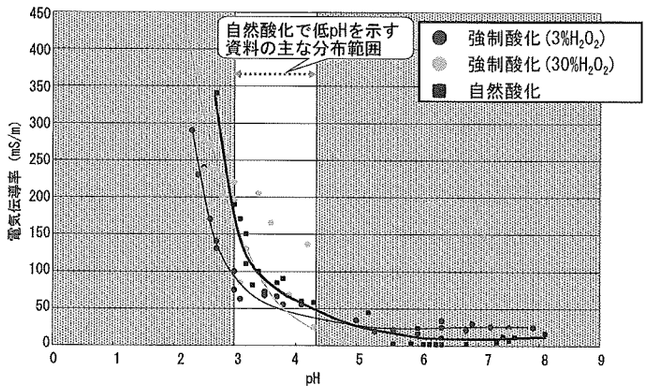


図-4　強制酸化試験と自然酸化資料のpH-電気伝導率の関係

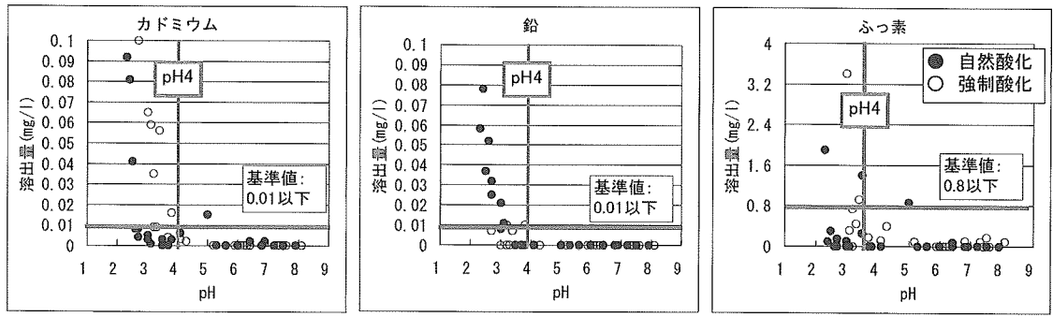


図-5　強制酸化試験と自然酸化資料のpH-重金属溶出量の関係

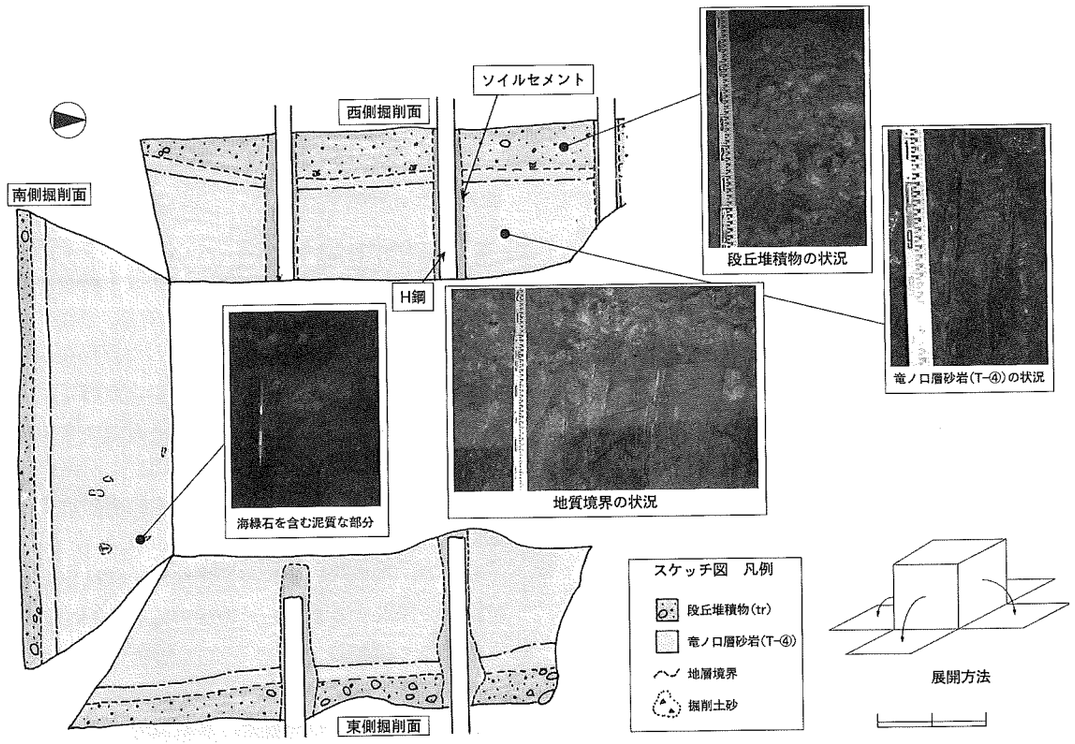


図-6　地層の記録

い計量証明を取得したうえで一般土として利活用を行うこととした．

6　要対策土の処理

前述した公定法溶出試験結果から，竜の口層の岩石は，掘削直後の未酸化の状態ではひ素が溶出し，長期間曝露されて酸化が進行した場合には酸性水とともにカドミウムやふっ素などが溶出することが明らかとなった．竜の口層が広く分布する仙台市内では，現状では地下水や河川水にこれらの重金属などの存在がほとんど認められないことから，掘削した土砂から重金属が溶出する理由として，地山内部では溶出に対しては安定的であったものが，掘削されることにより溶出性を発現するためではないかと考えた．

6-1　要対策土の処理方法

実際の処理については，仙台市郊外の砕石場跡地において森林復旧の一環としての盛土として行

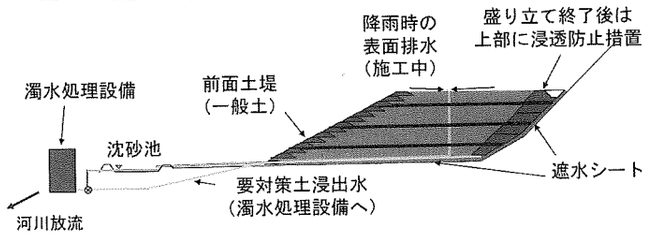


図-7　要対策土処理の模式図

うこととなったことから，処理対策の考え方は盛土として締め固めて覆土を行うことにより雨水の浸透ならびに酸素との接触を抑制し，還元的かつ水の浸透もある程度制限された地山の状態に戻すことで溶出を抑制することを基本とした．また，これらの重金属類や酸性水原因物質は，水を媒介として周辺に拡散していくことから，「雨水や表流水を極力浸透させないこと」「要対策土から浸出した水について処理を行うこと」が必要となる．さらに，搬入先周辺では地下水の飲用利用もあることから，盛土の施工基面には遮水シートによる浸透防止措置を施すほか，降雨時の養生や排水処理により，溶出した重金属については，処理プラントを設置して処理することにより，用地外に排出しない対策を講じることとした．

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

盛土の施行は，1層が30cm以下となるようにブルドーザ(21t)で敷き均し，タイヤローラ(8～20t)で十分締め固めることとした．

盛土の品質管理として，締め固め度を，85%以

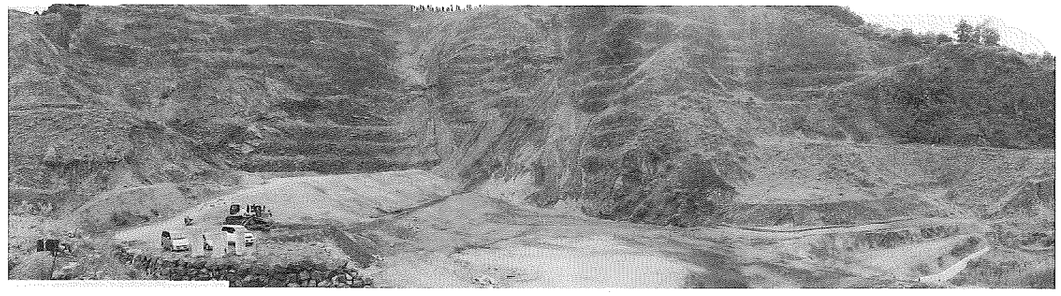


写真-1　砕石場跡地における要対策土の処理(着手前)

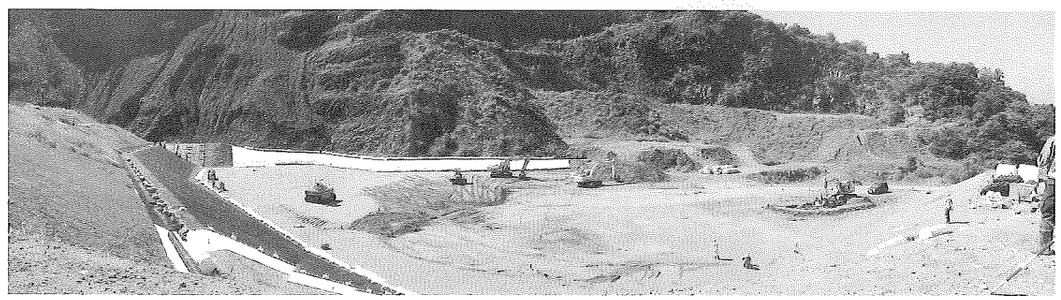


写真-2　砕石場跡地における要対策土の処理(底面遮水シート設置前　整地状況)

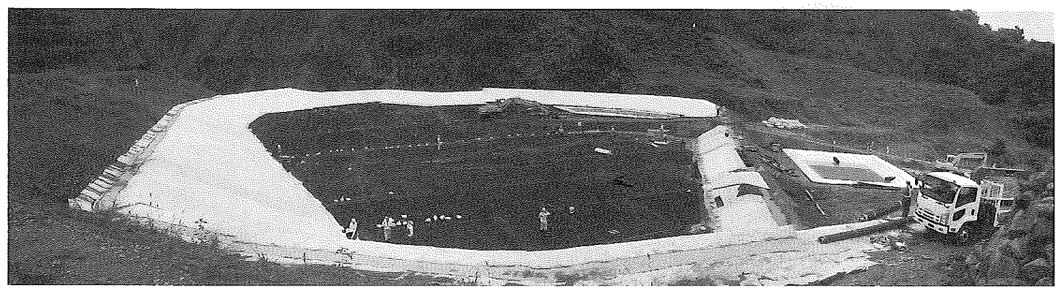


写真-3　砕石場跡地における要対策土の処理(底面遮水シート設置状況)

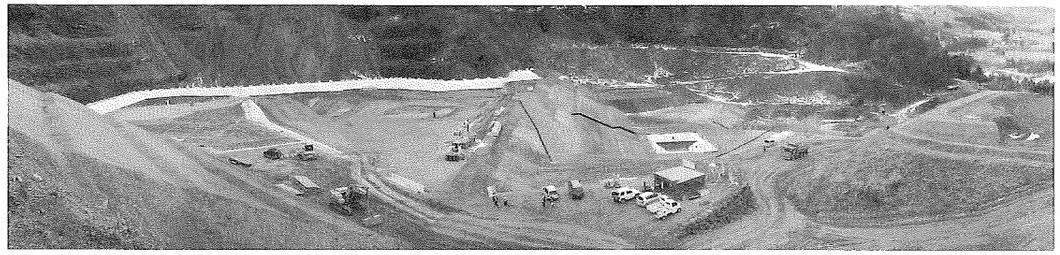


写真-4　砕石場跡地における要対策土の処理(盛土状況)

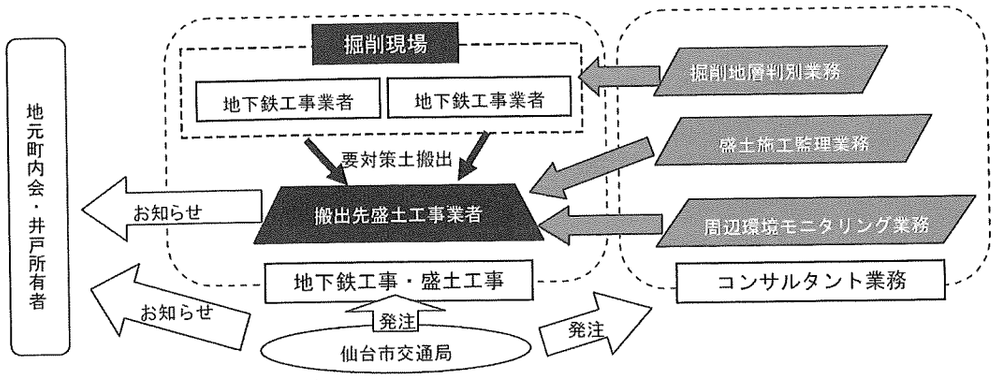


図-8　施工監理体制のイメージ

上と規定し，5,000m³ごとに密度試験を行うこととした．

遮水シートの施行に際しては，シートの破損を防止するため，シートの上下に緩衝材を設けることとした．遮水シートは，すべての継目で加熱圧着を行い，品質管理として，圧着部に0.1MPaを載荷する加圧試験を全箇所行うこととした．

遮水シートの下面には地盤の地下水に対する排水工，シート上面には要対策土に浸透した水の排水工としてそれぞれ暗渠管を設置し，後者の要対策土浸出水については，重金属対応型濁水処理プラントに導水して処理を行うものとした．

なお，施工中においては，要対策土の中心に鉛直方向の排水管を設置し，降雨時に表面排水を行うものとした．

また，通常の工程であれば要対策土は順次搬入され盛り立てられるため長期間曝露されることは生じないが，工事工程上，万一要対策土の搬入量が少ない時期が生じた場合には盛土表面が長期間曝露される可能性も考えられる．そのような場合には，一般残土で中間的な覆土を行うなど，表層の酸化を防止することとしている．

6-2　施工監理体制の構築

重金属溶出リスクを持つ建設発生土処理については，技術的に事例がないため，事業者，施工業者とも，技術的な蓄積がなされていないことから，実施に際して，掘削現場での発生土の判別や搬出先での周辺環境へ影響調査など，処理の段階ごとに，専門知識を有するコンサルタントに施工監理を委託することにより，適正な実施を確保することとした(図-8)．

また，工事業者とは別にコンサルタントに施工監理を委託することにより，地下鉄工事当事者だけの判断で処理を進めるのではなく，独立した技術者が判断に加わるという，透明性のある監理体制を構築することができた．

6-3　コンサルタントによる施工監理

コンサルタントによる施工監理は，盛土工事実施日に毎日現場を巡回し，次の項目について確認を行うこととしている(図-9)．

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

水質検査は，「メルコクァントひ素テスト」「ふっ素パックテスト」により，それぞれの項目，およびpHを測定している．試験の結果，基準を超過していた場合は，重金属対応濁水処理プラントで処理を行うよう盛土工事施工者に指示し，処理後の放流水について再度試験を行い，基準値を満たしていることを確認するとともに場内の沈砂地などの水質検査を行う．

また，毎週末に，発注者，施工者，施工監理コンサルタントの３者で次週の週間工程を確認し，監理計画を立案するとともに，毎日，管理業務日報を作成し，仙台市交通局に報告することとした．

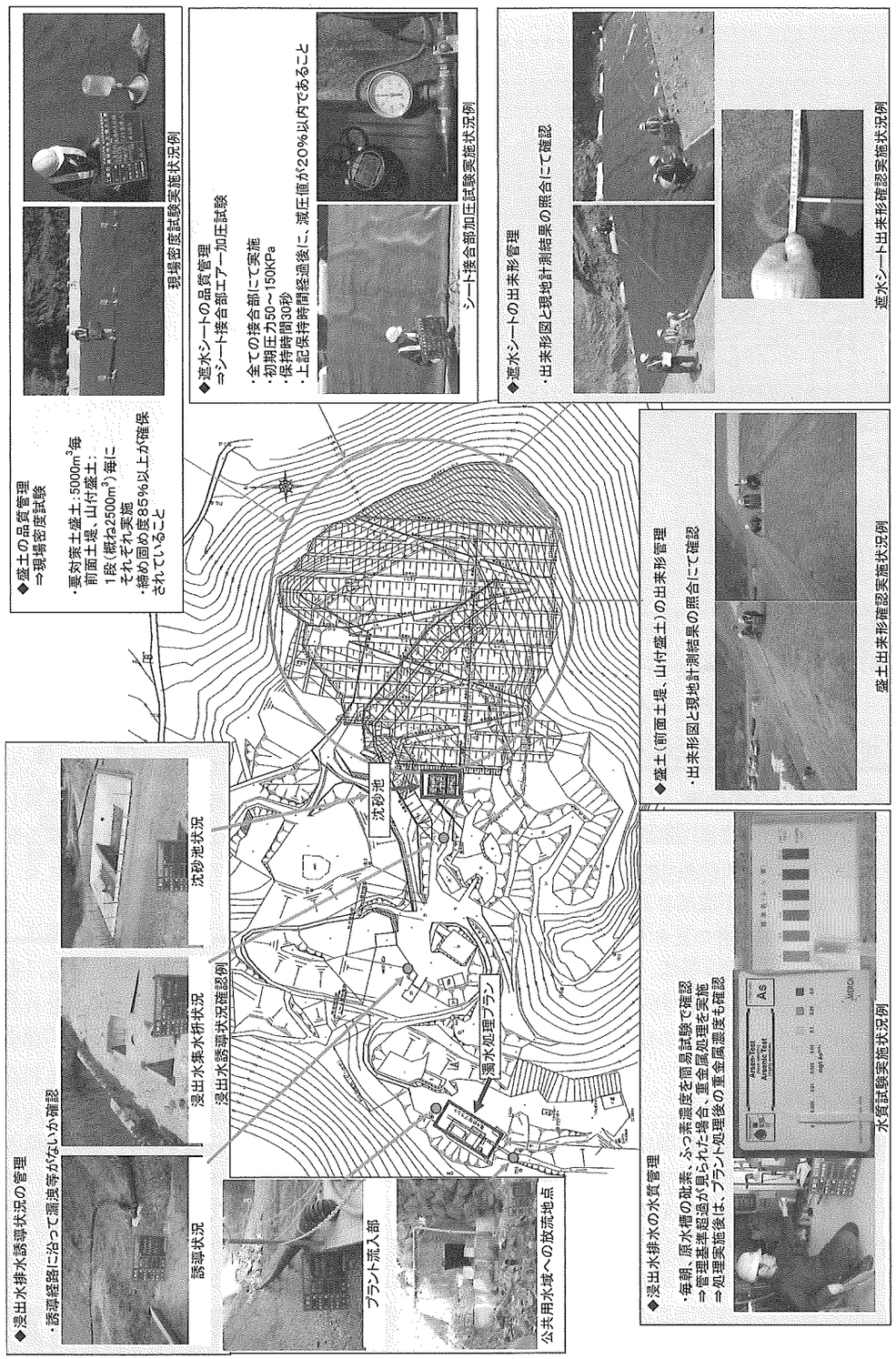


図-9　コンサルタントによる施工監理

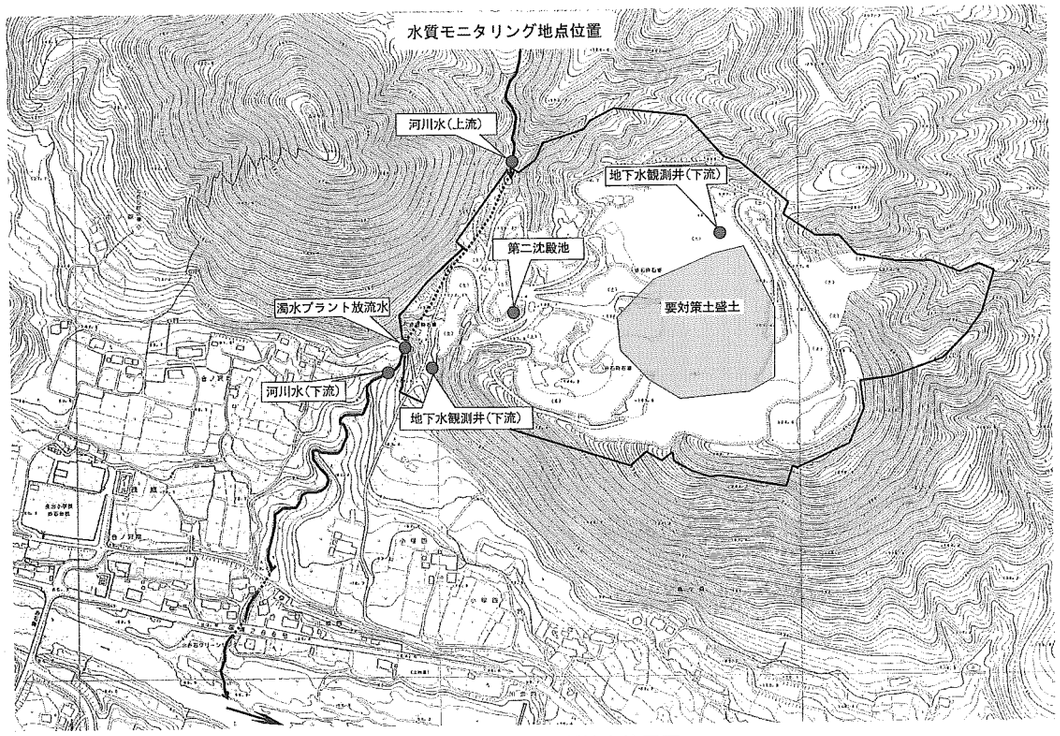


図-10　モニタリング地点位置図

7　地下水のモニタリング

7-1　モニタリングの位置

地下水のモニタリングは，盛土場内の第二沈殿池，重金属処理プラントの処理水のほか，盛土場所付近を流れる河川上下流部および盛土場付近に設置した2か所の観測井の計6か所(図-10)について，毎月採水し，カドミウム，鉛，ひ素，ふっ素，セレンの各項目とpHについて環境基準値を満足するかの確認を行い，その結果を付近住民にお知らせしている．

7-2　モニタリング結果

現段階においては，竜の口層からなる建設発生土は不溶化などの措置を施さなくとも，盛土し締め固めて雨水や酸素との接触を制限することで，重金属の溶出や酸性水の発生が抑制されているものと判断される．このような盛土による重金属溶出抑制効果の最終的な結論はより長期の浸出水の挙動を待たねばならないが，事前調査段階では半年程度で酸化した竜の口層の岩石が，同様に半年程度経過した盛土では中性付近を保っているという事実は，長期的にも有効であることを示唆していると考えられ，対策工として十分な効果を発揮していると評価できるのではないかと考える．

8　おわりに

仙台市の地下鉄工事は，14.3kmのうち，現在86%の区間で土木工事に着手しており，これから本格的に掘削工事に着手する予定である．建設発生土の処理については，普通土であっても利活用を含め，当現場のみではなく多くのトンネル現場で苦慮されている．さらに今回は，自然的原因ではあるが重金属を溶出する可能性があった．さらに，要対策土は，未酸化の状態ではひ素を溶出し，長時間暴露され酸化が進行した場合はカドミウムを含む重金属が溶出する二つの特性があることが明らかになった．そして，これまでの調査・施工のなかでは，海成泥岩からなる建設発生土の処理においては，盛土を十分に締め固めることにより雨水や酸素との接触を制限し，より自然状態に近づけることが重金属の溶出や酸性水の発生の抑制に効果的であることがわかった．

まだ，盛土を開始して1年，土量として1/3を処理したところであり，今後も引き続きモニタリングを実施して浸出水の安全性を確認するとともに，搬入先地元住民とのコミュニケーションを十分に図りながら工事を進めていく所存である．

なお，今回の対策検討にあたっては，東西線技術検討委員会の委員の皆さんや各関係機関の方々のご指導やご協力により東西線の本体工事を中断することなく盛土工事に着手することができた．ここに深く感謝する．

参考文献

1)（独)産業技術総合研究所地質調査センター：土壌・地質汚染評価基本図～1：50,000仙台地域～，2006.
2) 環境省：土壌溶出量調査に係る測定方法を定める件，環境省告示18号，平成15年3月6日.
3) 環境省：土壌含有量調査に係る測定方法を定める件，環境省告示19号，平成15年3月6日.
4) 環境省：土壌汚染対策法の施行について，環水土20号，平成15年2月4日.
5) 仙台市：自然的原因により重金属が環境基準を超える建設発生土の対応について，記者発表資料，平成19年8月23日.
6) 仙台市：仙台市地下鉄東西線技術検討委員会(第3回)建設発生土部会資料，平成20年3月4日.



多様化する
シールド掘進技術

監修　シールド工法技術協会
B5判　141頁　本体価格2,500円

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

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

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

土木情報 No.439 今月の主な入札結果

（11月10日～12月９日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
東北農政局	和賀中部農業水利事業農業専用取水工管理用道路建設	西松建設	237.5
北陸農政局	九頭竜川下流農業水利事業左岸幹線用水路松岡工区建設	大林組	2,278
九州地整	宮崎10号北川第３T新設	三井住友建設	681.8
森林総研	21美濃６工区農道用２号T	熊谷組	1,298.99
鉄道・運輸機構	九州新幹線（西九州），俵坂T（東）他	鉄建・竹中土木・深町JV	4,276
中日本高速道路	第二東名高速道路観音山T	清水建設	7,838
〃	中部横断自動車道樽峠T北	大林組	4,646
西日本高速道路	東九州自動車道中津T	大林組	1,855
千葉県	江戸川左岸流域下水道管渠築造（野田幹線106工区）	堀建設	171
都・下水道局	江東区南砂三，四丁目付近再構築	イケハタ・大峰JV	289.75
〃	〃　猿江二丁目付近再構築	石川徳建設	347
〃	〃　南砂三，四丁目付近再構築	イケハタ・大峰JV	289.75
〃	千代田区外神田一丁目，神田佐久間町一丁目付近再構築	三登建設	429.8
〃	港区南青山七丁目，西麻布四丁目付近再構築	真柄建設	450
都・港湾局	H21有明の丘雨水管布設替	東海工営	102.6
岐阜県	公共地域連携推進（道路改築）事業（仮称）伊岐津志T（２工区）	大日本・杉山・小池JV	1,307.25
大阪府	都計道大和川線雨水排水管敷設（その１）	旭工建	218
〃	〃　十三高槻線街路築造（正雀川西工区）	森本・岸本JV	1,220
〃	〃　〃　（〃　東工区）	鹿島建設	1,534
〃	一級河川寝屋川西郷通調節池築造（本体工）	奥村組土木興業	1,500
〃	寝屋川北部地下河川萱島立坑築造	森組	427.5
〃	一般国道480号道路改良（第２T）	熊谷・ヤスダJV	1,863
高知県	県道高知東インター線地域活力基盤創造交付金稲生T	大旺新洋・関西土木・清水新星JV	1,152
〃	国道439号道路改築（大植３号T・仮称）	晃立・西森JV	373.9
鹿児島県	道路改築（北薩Tさつま工区）	熊谷・丸福・森・丸久JV	3,230
仙台市	亀岡雨水幹線布設	橋本店・深松JV	292
水戸市	姫子１丁目都市下水路新設	東洋工業・藤和・和多屋JV	195
さいたま市	鴨川第１排水区下水道（北建-21-21）	ユーディケー・シン建工業JV	216.42
〃	芝川右岸第3-1排水区下水道（北建-21-17）	カタヤマ・大和道JV	248.95
坂戸・鶴ヶ島下水道組合	汚水管渠築造（藤金，共栄町）	徳江工業	189.8
横浜市	田谷線～上倉田線口径900㎜配水管新設（その９）	谷口建設	181.61
川崎市	五反田川放水路放流部立坑築造ほか（合併）	清水・青木あすなろ・藤木JV	918
〃	宮崎２号雨水幹線	大恵・重田JV	294.5
茅ヶ崎市	下町屋排水区雨水整備	亀井工業	320
新潟市	秋下23号新津西部排水区幹線南23-1下水道	秋葉建設興業	161.13
名古屋市	堀川左岸雨水幹線下水道築造	大林・不動テトラ・ジェイアール東海建設JV	2,439
岡崎市	下水道管渠改築	加藤組	134.93
稲沢市	公下管渠築造（北部汚水幹線第３工区）	山一建設	114
広島市	横川地区下水道築造21の２号	大日本土木	619.8
松山市	石風呂１号雨水幹線	フジタ・吉野JV	890

新連載「語り継ぎ　言い継ぎ行かむ」を始めるにあたって

トンネルと地下誌編集委員会委員長　大　島　洋　志

まえがき

『トンネルと地下』誌が表紙やデザインなどを一新した2005年１月号に，新たな企画として，鉄道総研の小野田滋氏の執筆になる「トンネル千夜一夜」をスタートさせました．なかなか好評の企画で，本号に至るまでの５年間にわたって計60回もの連載となりました．

しかし，いくら好評とはいえ，同じ執筆者が書き続けると，マンネリに陥りやすいものです．小野田氏と相談のうえ，60回を機にこの連載を閉じて別の企画を始めることにし，編集委員会で議論した結果選んだのがこの新連載です．

企画の狙い

多くの学協会で，「技術の継承」が課題として掲げられていますが当協会も同じ環境にあります．当協会の機関誌『トンネルと地下』には，技術の継承に関連していると思われる「巻頭言」と「連載講座」という二つの企画物ががあります．

前者は当協会の役員や学識経験者にご自身の意見を披瀝してもらうものです．後者はトンネルに関する諸技術を現場や技術開発にかかわっているバリバリの実務者に執筆してもらっているものです．

しかし，「技術継承」の対象となるべき，トンネル現場の諸技術を支えて来られた年輩の方々には，その場がほとんどないというのが実態でありました．

今回の企画はそういった趣旨で，現場を中心としてトンネルの建設に長く関与され，今なお廻りの方々に存在感を与え続けておられる，建設会社を中心として活躍してこられた先輩方に，「トンネルに関する思いの丈を，技術の継承を意識しながらつづってもらおう」というものです．

連載のタイトル

田子の浦ゆ　うち出てみれば
真白にぞ　富士の高嶺に　雪は降りける

は，富士山の美しさを歌った山部赤人の有名な和歌ですが，この歌は前段の

天地の　分かれし時ゆ
神さびて　高く貴き
駿河なる　富士の高嶺を
天の原　振り放け見れば
渡る日の　影も隠らひ
照る月の　光も見えず
白雲も　い行きはばかり
時じくぞ　雪は降りける
語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ
富士の高嶺は

という長歌を受けた反歌であります．

この新企画は，富士の高嶺の美しさを「語り継ぎ　言い継ぎいかむ」とした山部赤人の思いと同じく語り継ぎ，言い継いで行くべきトンネル技術の神髄を記録にとどめておきたいとのきもちから，この有名な長歌の一部をタイトルに借用することにしたものです．

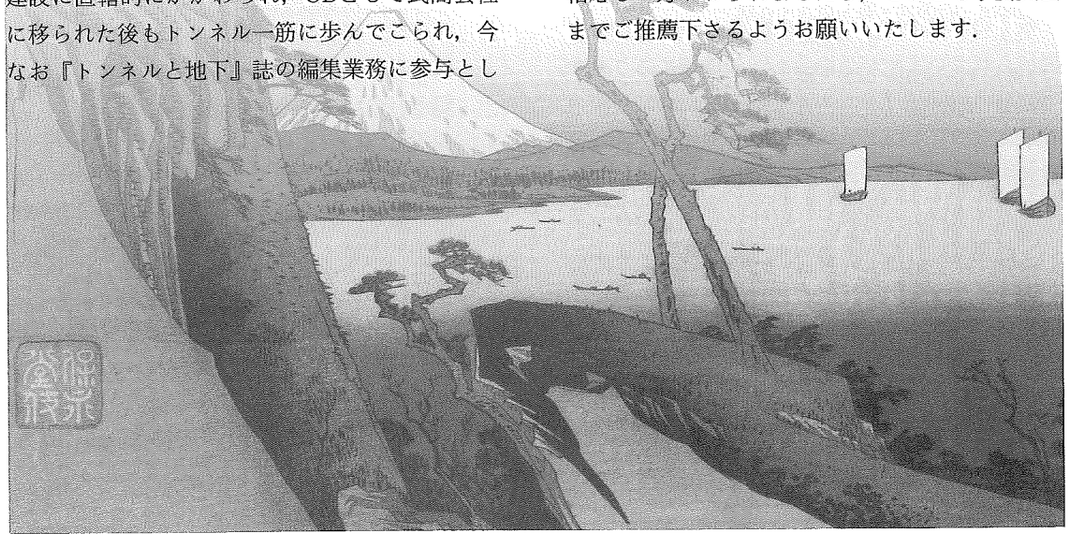
語り部人選小委員会 (50音順)

委員長	大島　洋志	トンネルと地下誌編集委員会委員長(国際航業(株)上席フェロー技術センター長)
委　員	荒川　賢治	(株)奥村組建設本部土木事業部土木部長
〃	伊藤　典彦	五洋建設(株)土木部門土木本部土木部部長
〃	伊藤　範行	鹿島建設(株)土木管理本部土木工務部専任部長
〃	上松瀬義人	(株)フジタ建設本部土木エンジニアリングセンタートンネルシールド部主席コンサルタント
〃	岡村　光政	戸田建設(株)土木工事技術部技術課長
〃	川原　一則	(株)熊谷組北陸支店新潟営業所所長
〃	久多羅木吉治	東亜建設工業(株)土木事業本部技術部長
〃	粂田　俊男	西松建設(株)土木施工本部土木技術部副部長
〃	小松　敏彦	前田建設工業(株)土木事業本部土木部トンネルグループ長
〃	鈴木　雅行	(株)間組土木事業本部技術統括部長
〃	城間　博通	(株)高速道路総合技術研究所道路研究部トンネル研究担当部長
〃	高橋　　浩	三井住友建設(株)土木本部土木技術部トンネル技術グループ部長
〃	千々岩三夫	鉄建建設(株)エンジニアリング本部技術企画部長
〃	千葉　　隆	清水建設(株)土木技術本部地下空間統括部部長
〃	富澤　直樹	(株)鴻池組土木本部工務管理部部長
〃	長島　芳雄	(株)竹中土木常務取締役
〃	端　　則夫	大成建設(株)土木本部土木技術部トンネル技術室参与
〃	松原　利之	飛島建設(株)土木事業本部土木技術部トンネル技術グループ部長
〃	水谷　敏則	(社)日本トンネル技術協会専務理事
〃	守山　　亨	佐藤工業(株)土木事業本部土木事業企画部技術課課長
〃	山道　哲二	(株)大林組生産技術本部統括部長

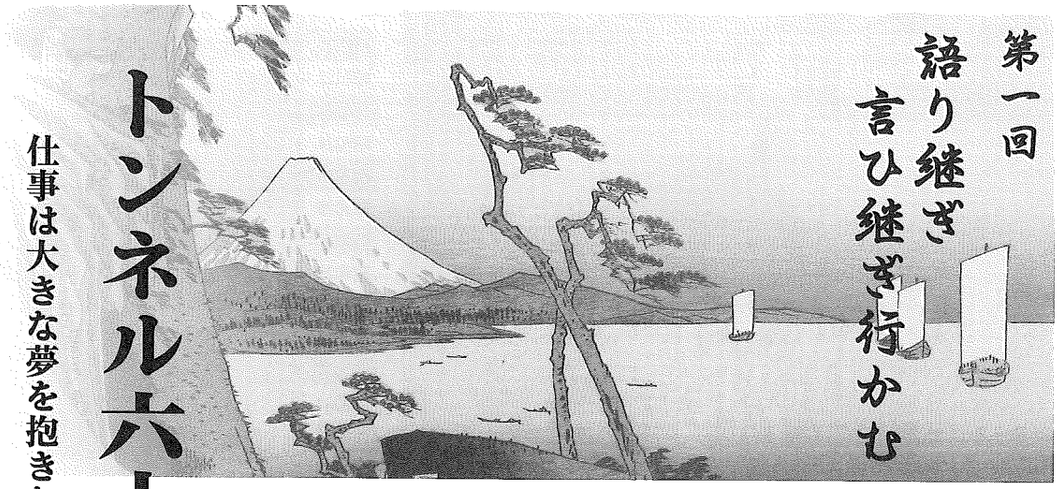
語り部の人選

この企画はマンネリにならぬ範囲でできるだけ長く続けたいと思います．この企画のトップバッターをどなたにお願いししようかと編集委員会で議論しました．その結果，発注者側の技術者ですが，青函トンネルの調査坑時代から同トンネルの建設に直轄的にかかわられ，OBとして民間会社に移られた後もトンネル一筋に歩んでこられ，今なお『トンネルと地下』誌の編集業務に参与として貢献しておられる濱建介さんがもっとも相応しいのではないかとの結論に達し，無理にお願いすることにしたものです．

後に続く語り部の人選は，新たに編集委員会の中に設けたジェネコンを中心とした語り部人選小委員会(上表)で行うことにしました．楽しく有意義な連載にしていきたいと考えておりますので，相応しい方がおられましたら，ぜひとも小委員会までご推薦下さるようお願いいたします．



第一回
語り継ぎ
言ひ継ぎ行かむ



トンネル六十年の遍歴

仕事は大きな夢を抱きながら楽しくやろう

濱建介
土木学会名誉会員

戦後すでに60年を越えた．この間わが国の土木工事の発展は各分野において誠にめざましいものがある．

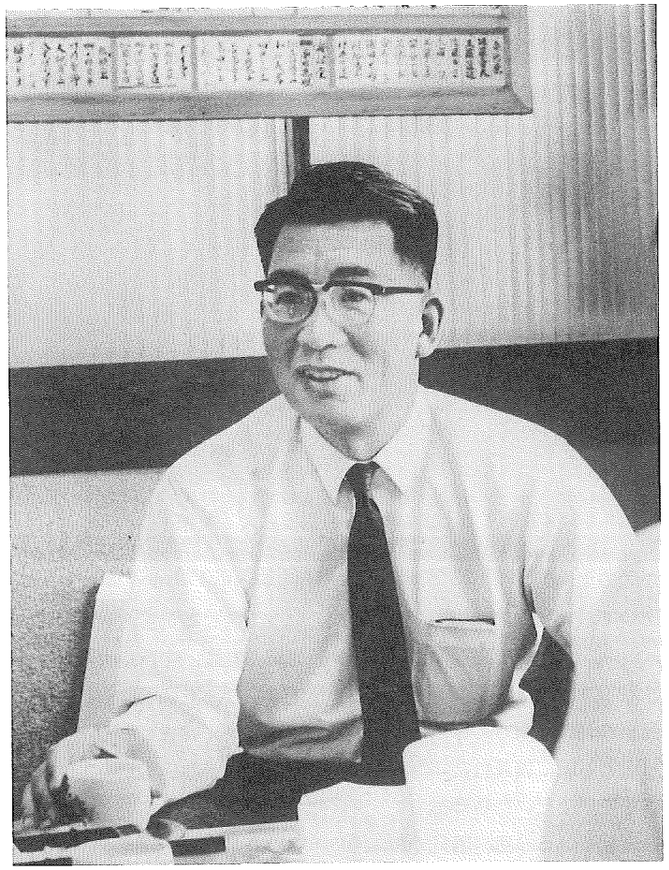
昭和22年，大学卒業以来その大きな発展の流れに乗ってきた過去を振り返ると誠に恵まれた年月を過ごさせていただいたものとつくづく感謝している．自分自身の歩んできた道がトンネル工事の発展の一部の姿を示しているように思え，その遍歴を追ってみた．

表面にでない真実を知っておこう！

大学を卒業後，当時の運輸省(昭和24年6月，日本国有鉄道となる)に入省した．翌年，それまで中止になっていた信濃川発電所の第3期工事が延長15.6kmの水路トンネルを10工区，16作業箇所に分け再開された．幸いにもこのうちの第6工区に配属され，これが私にとっての最初のトンネル現場となった．

トンネルの断面は，高さ，幅ともに7mの馬蹄形で内空40.6m²，勾配は0.6‰，掘削工法は新奥式といって底設導坑を先進させ，頂設導坑，丸型，中背，大背と上半を切り拡げ，支保工はすべて松丸太による後光梁式であった．この工法はすべて熟練した坑夫，斧指により行われた．また，一番慎重を期すのがアーチコンクリートの打設のときに山の荷を受けている桁，柱，梁をコンクリートの打設に伴って取り外す，いわゆる木外しの作業である．

このトンネルで記憶から離れないのが昭和25年9月に起きた死者44名をだした大崩壊事故である．日曜日夕方，たまたま隣り工区に遊びに行っていたときのことである．急遽担当の工区に戻り，1週間前に貫通していた底設導坑から隣り工区に入ると工区境から約100mの地点で崩壊現場に遭遇した．アーチコンクリート打設作業箇所で崩壊箇所から工区境に約10m，上半切り拡げの作業中であった．そのときの様子は頂設，丸型



青函トンネル建設時の筆者(昭和46年ごろ；トンネルと地下，Vol.2，No.6より抜粋)

著者経歴

昭和22. 9	東京大学第二工学部土木工学科卒業
昭和22.10	運輸技官鉄道総局施設局
昭和24. 3	信濃川地方施設部
昭和24. 6	法律第105号により国鉄職員となる
昭和24.11	芋坂工事区
昭和26. 5	東京工事事務所
昭和27. 8	施設局土木課
昭和29. 6	国鉄施設局土木課技師
昭和29. 6	鉄道技術研究所防災研究室
昭和29. 8	岐阜工事事務所名古屋在勤
昭和31. 8	岐阜工事事務所二木島工事区長
昭和33. 2	岐阜工事事務所敦賀出張所補佐
昭和36. 4	岐阜工事事務所線増課長
昭和37. 8	建設局線増課補佐
昭和39. 3	鉄道公団青函トンネル調査事務所長
昭和44. 3	鉄道公団青函調査課長
昭和45. 6	海峡線調査部長
昭和47.10	鉄道公団計画部長
昭和50.10	鉄道公団東京支社長
昭和54. 3	鉄道公団理事
昭和58. 6	前田建設工業(株)顧問
昭和59. 2	前田建設工業(株)常務取締役
平成 4. 6	前田建設工業(株)専務取締役
平成 6. 6	フジミコンサルタント会長 前田建設工業(株)顧問
平成 8. 6	フジミコンサルタント会長退任
平成13. 6	前田建設工業(株)顧問退任

いずれも柱，内梁桁が非常に細くいかにも不安定に思えた．また，掘削時に用いたと思われる発破の跡もあり，孔くりののみも残されていた．

とっさの判断で孔尻を削り，のみを持ち出し多少の補強を行った．担当工区では切り拡げにはすべてピックによる掘削を行い，発破を禁じていた．底設導坑貫通後１週間くらいだったが隣り工区で発破の音がすると坑夫が言っていたが現実のものであった．

後に事故調査委員会では，「掘削時ほとんど土圧もなく湧水もまた少量のため普通工法で施工していたが，上部に予測できなかった地質的欠陥を内蔵していた模様である．それが直接その他により平衡を保っていたため支保工にはなにも異状は認められなかった．したがって，ごくわずかなショックで均衡が崩れ，瞬時にして大崩壊になったものと推定される」との結論であった．

最初に現場を見たため当時から箝口令を受けていたが，もう60年の前のことで，関係者もほとんどいなくなった今なら申し上げても許してもらえるだろう．

新しいことにも積極的に取り組もう！

信濃川発電所の担当工区が大体終了し，昭和26年３月東京に戻り戦後初の営団地下鉄池袋−お茶の水間の工事に派遣された．担当工区は池袋−新大塚間の開削工法で二本子(にほんこ)(立てた２本の柱をガイドとして，もんけんを上下させて杭や矢板を打つ装置)をすべらせながらＩ形鋼の杭打ちを行った．この工事で初めて行ったのが生コンクリート支給で磐城セメントが池袋にプラントを設置し，ダンプ式



ダンプ式運搬車による生コンクリート搬入(営団地下鉄)

の運搬車で各工区に搬入された．また，池袋の巣鴨拘置所内の進駐軍のクラブハウスを仮受けして施工した緊張したときもあった．

日頃の維持持管理が大切！

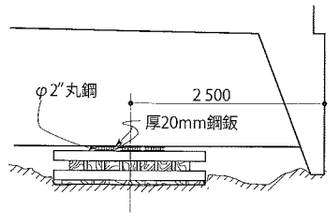
その後，本局の土木課に移っていた昭和28年６月に北九州地区豪雨によって市内の河川が氾濫し，関門トンネルの坑口より流入し，3.6kmのトンネルの約70％にあたる2.5kmが水没する事故が発生した．全国からポンプ，パイプを送りこみ両坑口よりポンプを移動させて排水に努めたが結果，21日間の不通の後，７月19日に開通した．トンネルの排水は常時は豆トンネルを通じて立坑の下のポンプにより排水されていたが，そのポンプが水没してしまったため排水に時間がかかった．実は，豆トンネルの立坑手前に防水扉の設計がなされており，また実際にも施工されていたが戦時中の開通後，維持管理が十分でなく役に立たなかったのが大きな原因であった．

知恵を働かせよう！

このあと，名古屋市初の地下鉄工事に派遣される．名古屋駅−栄町間のうち，市内を流れる堀川の下をくぐる箇所での圧気潜函工法を担当した．幅10m，長さ20m，高さ８mの潜函５基によって104mのトンネルを構築するもので，昭和29年11月着工，同31年３月竣工した．

線路勾配が20‰と33‰の変更箇所で作業室の高さを小さい方で1.50m，高い方を2.10mとし，中央壁を設けて作業室を２室とした．中央壁は周囲より30cm高くし，また中央に70cm×90cmの孔を設けた．シャフトは当時は人と物を共用で各作業室に１本設置した．この潜函は橋脚などと違い，線路を形成するので掘付け完了したときの高さ方向が重要である．

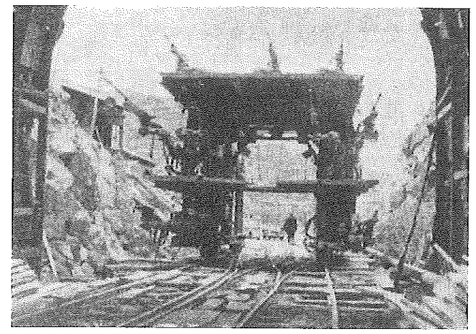
２号潜函で掘付け始めに８cmの偏倚を起こしその修正にちょっと変わった方法をとった．中央壁の下，寄せたい方の1/3ほどの所にサンドルを組み，その上に鋼板で２吋の鋼棒を挟んで設置，寄せる方向の刃口の下を余分に掘り越し送気を中断減圧する．すると刃口から水が出はじめ，ドスンと沈下する．そのときのショックとともに躯体の偏倚が修正される．実際には１回に１～1.5cmの修正を見て，８cmあった偏倚も無事修正完了できた．



偏倚修正サンドル(名古屋地下鉄)

現場主義に徹しよう！

名古屋の現場を終えた後，岐阜工事局でずっと続けてきたトンネルの直轄現場である紀勢線の二木島工事区に転勤となり，逢神坂トンネルに携わることとなった．このトンネルは石英粗面岩の堅硬な地質でそれまでの北陸地方での直轄工事と全く工法が異なる，機械化した全断面工法を勉強することになった．道具建ては佐久間ダムで付替えられた大原トンネルで使用したものをできるだけ譲り受けた．ドリフター，それを載せる11ブームジャンボ，アイムコ40H(0.38m³)，コウエイ100(0.76m³)，4.5m³ズリトロ，アーム式チップラーなど，支保工は30kgおよび37



11ブームドリルジャンボ(紀勢線二木島工区)

kg古レールのアーチ式支保工で施工した．請負業者が入らずすべて直轄のため職員40～45名，労務者250人程度で，日進14.7m，月進223mの記録も樹立している．この単線の経験から次の複線全断面のトンネルへと移る．

日本初の長大トンネルへの挑戦

北陸トンネルは13km870mの当時国内での最長トンネルで複線全断面掘削工法を目指して始まった．

従来の敦賀−今庄間は勾配25‰の連続でスイッチバック４駅，重連または三重連の単線運転の難所で昭和35年度には輸送限界に達するという状況の中で，初めての複線全断面で早期完成を課せられた．そのため両坑口のほか，中間に葉原，板取の２工区を設けた．始めは両方とも立坑を考えていたが，葉原は請負者の提案で斜坑に変更，その延長440m，板取立坑が深さ223mと大規模なものであった．また，このトンネルの着工にあたって特筆すべきことが行われた．それは貸与機械の多いことである．その主なものを下表に示す．

今ではこのような機械類の貸与など全く考えられないが，当時としては全断面工法のはしりであり，このことによって工期の飛躍的な短縮が図られたのも事実である．

このような準備をととのえ，あらゆる工夫をこらして全断面掘削の基本を貫く努力をしたが予想以上の軟弱な地質，噴出する湧水のため幾度も事故に見舞われ，その都度工法変更を余儀なくさせられた．その結果，施工された工法を分類すると次のとおりである．一番多いのは底設導坑先進の半断面工法でその後随所で採用されている．

全断面工法	4,567m	33.6%
底設導坑先進全断面工法	2,167m	15.6%
半断面工法	655m	4.7%
底設導坑先進半断面工法	5,172m	37.3%
その他の工法	1,213m	8.8%

学・協会ともつきあおう！

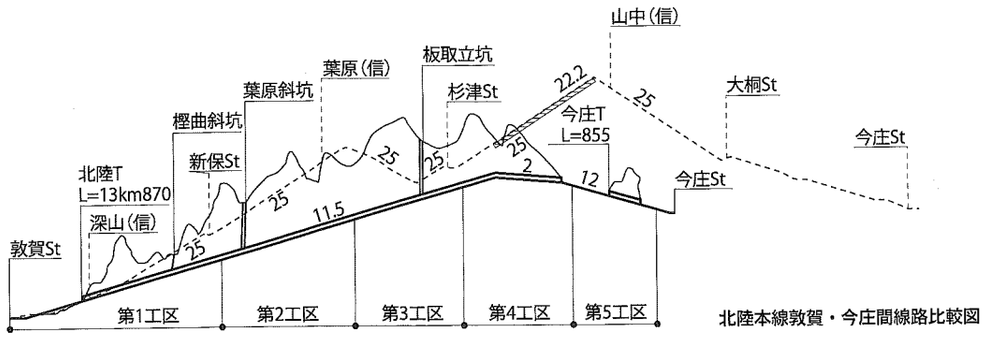
昭和36年12月土木学会にトンネル工学委員会が設置された．各分野の研究，経験を総合してトンネル技術をよりすみやかに発展させるべく組織的研究に着手した．その第一歩としてトンネル標準示方書を作成し，トンネル工事の規準を定め今後の研究の方向を見出すべく努力した結果，昭和38年３月にトンネル標準示方書が制定された．この委員会は藤井松太郎氏が委員長を務め，委員約50名の中に私も入れていただき原案作成に加わることができた．その後，技術の進展にあわせ，昭和44年に改訂版が刊行され，さらに52年版，61年版と改訂が続いた．この間，トンネル工学委員会の委員を続けさせていただき貴重な経験を得ることができた．

世界最長トンネルへ挑戦する気概

昭和39年３月，日本鉄道建設公団が鉄道新線建設のため設立され，

主要貸与機械一覧表

空気圧縮機175型	10台	ターボ送風機	8台
ずり積み機コウエイ100型	6台	立坑巻き揚げ機	3台
ずり積み機KR68	6台	スカフォード	1台
ずり積み機用変電機	4台	グライファー	1台
コンクリートポンプ	4台	斜坑用巻き揚げ機	1台
バッテリーカー10t	40台	ベルトコンベヤ42″ 485m	1台
バッテリーカー7t	6台	タービンポンプ	5台
水銀整流器	40台	ディーゼル発電機	5台



北陸本線敦賀・今庄間線路比較図



北海道・吉岡方作業坑切羽にて（トンネルと地下，Vol.2，No.6より抜粋）

青函トンネル調査のため，函館に調査事務所が設置された．半年ぐらい前からこの海底トンネル建設のための体制をいかにするか検討され，結局紀勢線から北陸の神岡線，北陸本線の親不知とつづいてきた直轄工事の体制で調査をすすめることが決定した．事務所の下に吉岡，竜飛の２建設所を設け，調査斜坑の掘削から始まった．調査斜坑の坑底から中央部にむけ，調査坑を延ばし，また両斜坑途中から将来考えられていた本坑に沿って補助調査坑を進めた．昭和45年本社に移り，調査線から工事線に格上げする重要な仕事についた．北海道方斜坑1,210mが昭和42年３月に，本州方斜坑1,315mが昭和45年１月に坑底に到達し，とくに本州方では斜坑での大出水事故の克服も終わり，両方とも先進導坑の掘削を進めていた．これまでの調査の結果をふまえトンネル掘削は可能と判断するという「青函トンネル技術調査委員会」の結論をもとに昭和46年工事線への指定ならびに将来新幹線が通り得るようにとの指示を受けることができた．

直ちに認可申請の後，昭和46年９月本工事に着手した．以後の工事に関しては種々報告されているとおりで，３回の出水事故も克服し，昭和63年無事開業となった．この工事でとくに開発された技術としては水平先進ボーリング（最長2,150m），止水注入，コンクリート吹付け，ロックボルト工など多岐にわたっている．

楽しい仲間をもとう！

昭和45(1970)年６月，OECDトンネル諮問会議がワシントンで開かれ，その際，５項目の勧告がなされた．その中の項目で各国政府は地下利用の調査と建設技術の改良を進めるため国家レベルの中心機関を設置し，それぞれ緊密な連携をとり国際協力を図ることとなった．運輸，建設両省連絡会のもと土木学会トンネル工学委員会が実務を進め，日本トンネル協会が昭和49年設立され，日本代表機関として，国際トンネル協会に登録されたものである．翌昭和50年社団法人として日本トンネル技術協会が設立された．

この５年前，OECDの勧告がなされたころと前後して月刊誌『トンネルと地下』が発刊された．トンネルならびに地下工事を専門とする月刊誌が未だなかったので関門トンネルの功労者でもある加納倹二氏，高坂紫朗氏などのご尽力により実現したものである．同誌は日本トンネル技術協会の発足に伴い，機関誌として選ばれ，第５巻より会誌として，この後ずっと続いている．この会誌の編集にずっと携わらせていただいているので，この年になっても各分野のトンネルの現状に触れることができ，ありがたいことである．

でっかい夢をもとう！

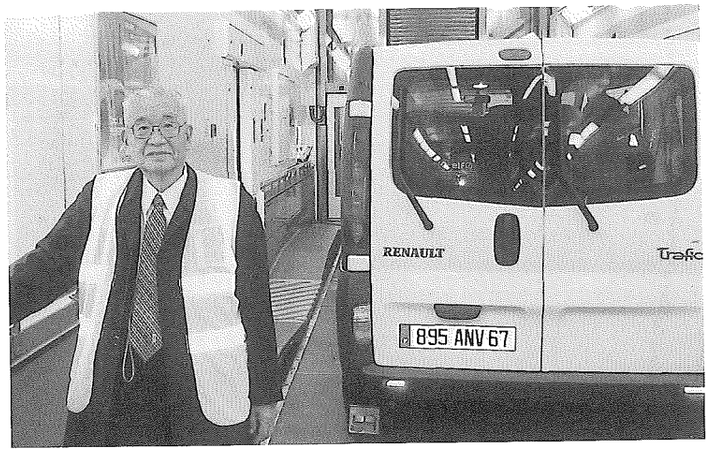
この協会の設立された年，東京支社に移り，東京航路の沈埋トンネル，泥水シールドの工事を担当した．かつての営団の開削から始まり，都市トンネルに分類されている工法を大体全部経験させて貰ったことになる．その後業界に席を

置くようになってからは初めて新幹線の工事に関係をもつことができた．上越，東北，九州，北陸でそれぞれ特徴のあるトンネルに遭遇，また地方線の単線トンネルや，各都市の地下鉄，私鉄のいわゆる都市トンネルにも多数出会えた．総じて感じていることは昔に比べ手を汚すことが少なく，マニュアルに頼ることが多くなった．とっさの動作がいかにうまくできるかは現場では大事なことであるが，いかに自分の眼で現地を現物をよく観，よく考え，これが最適な設計・施工法かと考えることが少なくなっているのではないかと危惧される．

私の時代は戦後の発展期にあたりトンネルの工事量が非常に多いよき時代であった．日本トンネル技術協会の年報に載っているトンネル工事一覧の総括表にある年ごとの施工延長は次のとおりである．設立後10年ごとに平均をとると，最近の４年間は急激に減っている．

昭和50年～昭和59年(10年間)
1,189km/年
昭和60年～平成６年(10年間)
1,478km/年
平成７年～平成16年(10年間)
1,517km/年
平成17年～平成20年(４年間)
1,144km/年

今後このトンネルの工事量がどのようになるかは想像し得ないが，これまでのように右肩上がりでゆくとは考えられない．このような状況下で今までの蓄積された技術の温存，さらに開発をいかにするかは今後の重大な課題である．



ユーロトンネルシャトルカー内で

とは言え，そう悲観ばかりしているわけにもゆかず常に未来に明るい夢を持ちつづけたいものである．

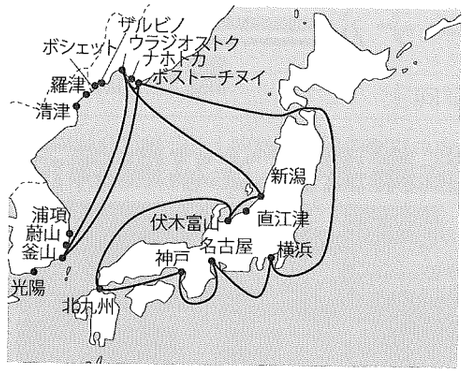
今，私の所属しているNPO日韓トンネル研究会は昔の弾丸列車計画時代の大陸鉄道への連絡と考えられていた日韓トンネルをいかに建設するかを研究している所である．当初任意団体であったが平成16(2004)年NPOの認可を受け，現在の会長は野澤太三氏である．

日本国内では，なかなか論が持ち上がらず残念であるが韓国においては(財)大韓土木学会，(社)韓日海底トンネル研究院，(社)韓日トンネル研究会，(財)釜山発展研究院などがそれぞれ活動しており，当NPOとも共同のセミナーを催したり，共同研究に参画したりしている．

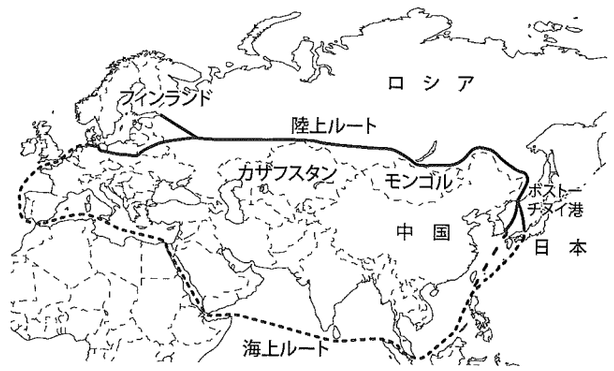
英仏間のユーロトンネルは1802年鉱山技師の発案をナポレオンが採り上げたことから始まったとされているが，その後200年ものあいだ息の長い取りくみの結果，平成６(1994)年に開業した．ユーロトンネルには次の３種類の列車が走っている．①シャトル(カートレイン)でトンネル区間のみ走行．自動車は自走で乗り降りする．②ユーロスター(高速列車)．ロンドン～パリ間などを結ぶ客車．③貸物列車．コンテナなどの貨物を運ぶ．

このうちユーロスターは1994年開業時，英国側終点はロンドンのウォータールーで，それまでフェリーを経由して，ロンドン～パリ間６時間55分がわずか２時間55分に短縮された．2003年高速第１区間完成で２時間35分となり，さらに2008年，終着駅をセントパンクラス駅に移すとともに高速第２区間の完成をみて２時間15分となり，ユーロトンネルがますます大きな役割を果たしている．

また，一昨年から実験を行ってきたシベリア鉄道の自動車輸送について辻久子氏((財)環日本海経済研究所特別研究員)の論文が『JREA』(Vol.52，No.1，2009)に掲載されている．それによるとマツダの生産拠点，広島と防府から



日ロおよび韓ロ間定期コンテナルート(辻久子氏論文より)



海上ルート対陸上(シベリア鉄道)ルート(辻久子氏論文より)

日本海を1,000台の車を船でウラジオストック近くのザルピン湾へ送り，そこから３回に分けて300台ずつ隔日にモスクワへ輸送された．モスクワまでの鉄道輸送日数は予定どおり約11日，日本の港湾を出発してモスクワまで18日間で到着した．従来のフィンランド経由に比べ輸送日数は30日間も短縮されたということである．費用はほぼ同じであったそうである．今後の北東アジアの経済圏の発展のためにも，また東西の輸送手段の確立のためにもぜひこの日韓トンネルを完成させたい．そのための着手に至るまで，政治的経済的に解決すべき問題，また施工のための技術開発などの問題も多々あるが，ユーロトンネルのように長い年月を経た例も参考にしながら，いつかは完成させたいという大いなる夢をいだいている．賛同者が多数集まることを切に願うものである．

トンネルジャーナル

汐留地区の利便性が向上

東京都が整備する港区画街路第４号線(JR交差部)延長約80m，幅員18～27mが完成し，10月14日，開通式典が催されたあと交通開放された．

再開発が進む東京・汐留地区に位置し，JR線(東海道本線・山手線・京浜東北線)下にトンネルを構築した．１層２径間のボックス構造の各径間に約３mの歩道部と幅員約４mの車道部を配している．東日本旅客鉄道への施工委託のもと平成14年度に工事着手し，JES工法を採用したエレメントを推進する方法で工事が進められた．

同トンネルの開通により，同地区東側の汐留駅周辺と西側のイタリア街区が結ばれることになり，汐留地区内の往来の利便性が向上し，地区全体の更なる活性化につながるものと期待されている．



(写真提供：東京都)

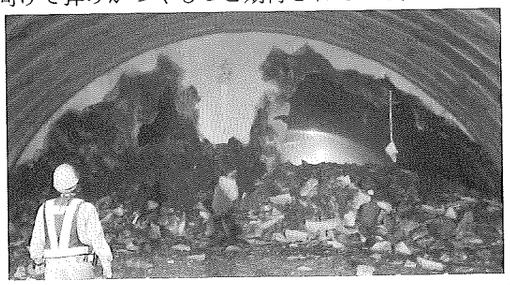
島田第１トンネル(上り線)が貫通

中日本高速道路が建設を進める新東名高速道路島田第１トンネル(上り線)が貫通し，11月18日貫通式典が開かれた．

同トンネルは，静岡県藤枝市谷稲葉と島田市大草を結ぶ，延長2,658mの３車線トンネル．掘削幅が18m，断面積が180m²と大断面となっている．

主な地質は新第三紀砂岩・泥岩互層の付加体で，鏡肌を呈する潜在的な亀裂が多くあり，脆弱な地山が広範に分布していた．そのため上半ベンチ長を短くした上下半交互掘進工法を採用し，断面の早期閉合に努めることで，トンネルの変位を抑制しながら，慎重な施工を行った．

開通により，静岡県内の新東名高速道路の69本のトンネルがすべて貫通したことになり，早期供用に向けて弾みがつくものと期待されている．



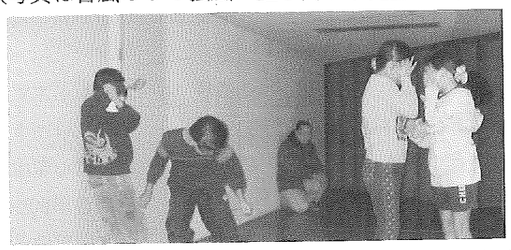
(写真提供：中日本高速道路)

平成21年度　土木の日

11月18日の土木の日にちなみ，土木学会をはじめ，各企業や自治体によりさまざまな催しが開かれた．

土木学会本部では『HANDS＋EYES，土木エンジニアドローイング展＋ヌーヴォー展』と題した展示を東京駅の地下通路などで実施した．「HANDS」として昨年に引続き学会図書館所蔵の資料を中心とした展示に加え，九州の歴史的な構造物の図面，写真を展示し，「EYES」として「東京駅復元プロジェクト」「石井樋歴史的水利施設の復元」など最近話題のプロジェクト事例を紹介した．

また，飛島建設では同社技術研究所のある千葉県野田市の小学生を研究所に招き，各実験施設の見学と体験学習を行った．大地震や台風の被害の説明を行い，体験や実験を通じて，土木の技術が防災や地球環境にどう役立っているかについて理解を深めた(写真は台風なみの強風に立ち向かう児童たち)．



(写真提供：飛島建設)

施工

新幹線など重要構造物直下で高水圧下の長距離シールド

—東京都下水道　第二立会川幹線—

東京都下水道局基幹施設再構築事務所工事第二課長　岡　野　敏　彦
鹿島・飛島・三井住友建設共同企業体現場代理人　仁　禮　拓　身
鹿島・飛島・三井住友建設共同企業体監理技術者　白　井　健　泰

１　はじめに

東京都品川区の立会川流域は，大雨による浸水被害がたびたび発生している地域で，その対策となる第二立会川幹線などの下水道施設の整備が進められている．本工事は，第二立会川幹線の全体計画延長約7.1kmのうち，中流部となる約3.3km区間を先行的に整備し，暫定的に雨水を貯留する施設として活用することで，浸水被害の早期軽減を図るものである．本稿では，第二立会川幹線中流部事業として実施したシールドトンネルの施工実績について報告する．

２　工事概要

シールド工事の概要は以下のとおりである．

工事場所：品川区勝島三丁目～
　　品川区中延五丁目(図-1)
内　　径：仕上がり内径3,750㎜

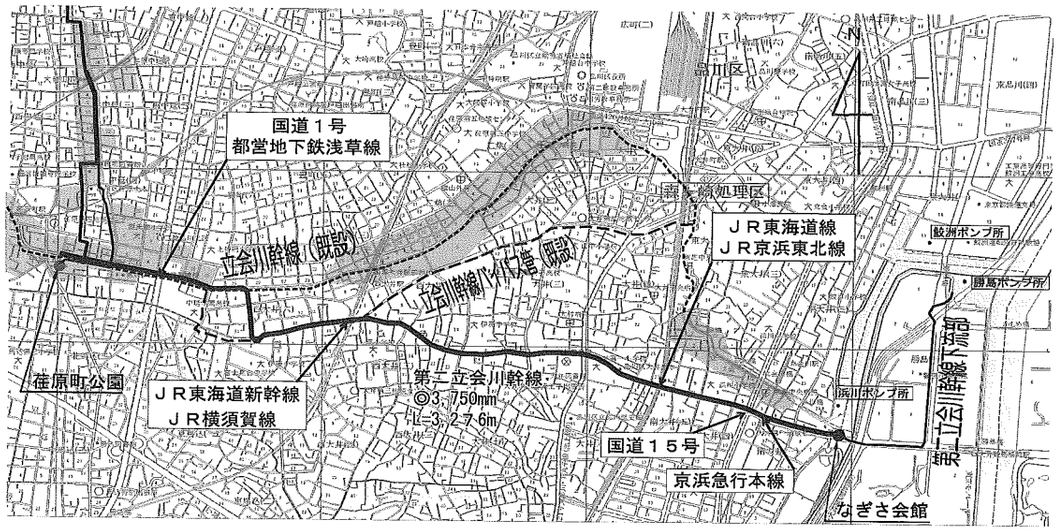


図-1　第二立会川幹線案内図

延　　長：3,276.45m
平面線形：直線および曲線（R＝30, 50, 100, 200, 300, 500m）
貯 留 量：約35,000m³（暫定貯留）
工　　法：泥水加圧式シールド
覆　　工：二次覆工一体型（一部，スチールセグメント＋二次覆工）

3　工　事　経　過

シールドトンネルの発進立坑は，平成13年度に工事着手し平成17年度に完了した．発進立坑の規模は内径21.3m，深さ36mで，勝島運河沿いの品川区所有地内に設置，シールド発進基地の作業ヤードは勝島運河上に桟橋形式で確保した．トンネル工事には平成17年12月に着手し，仮設備などを設置後，平成18年10月に掘進を開始，平成21年４月にトンネル本体および暫定貯留するための隔壁，排水管などが完了した．

現在，本トンネルの最上流部において，立会川幹線（既設）の雨水を第二立会川幹線に取り込むための工事を施工中である．

4　掘進ルートの見直し

本トンネルは，品川区勝島三丁目（区立なぎさ会館前）から品川区中延五丁目（区立荏原町公園）までの約3.3kmを泥水加圧式シールド工法で掘進するもので，住宅密集地の狭隘な道路下でかつ，京浜急行本線，国道15号（第一京浜，品川共同溝），JR東海道線・JR京浜東北線，JR東海道新幹線・JR横須賀線，国道１号（第二京浜）・都営地下鉄浅草線などの重要な都市施設の直下を通過する．そのため，工事着工に先立って支障物の有無についての入念な調査を実施した．その結果，国道１号内の都営地下鉄浅草線直下に土留め杭が残置されていることが判明した．また，浸水対策としての事業効果を早期に発現させるための工期短縮の検討の中で，超急曲線施工（R＝８m）となる区間の再検討を行うこととした．

検討の結果，縦断線形を見直し，残置杭の下を通過させることとした．また，R＝８mの超急曲線区間については，平面線形を一部公道から外れる形で公有地の下を通過するルートに変更し，最小曲率半径をR＝30mとすることで，本シールドの掘進ルートを決定した．

5　施　工　環　境

掘削対象土層は発進立坑から約2,400m地点まで東京砂層である．その後の約600m区間は東京礫層，東京粘性土層，江戸川砂層が介在し，到達部の約300m手前からは上総層である（**図-2**）．これらの土層中にはメタンガスの存在も懸念されたため，防爆型のシールド掘進機とした．また，前

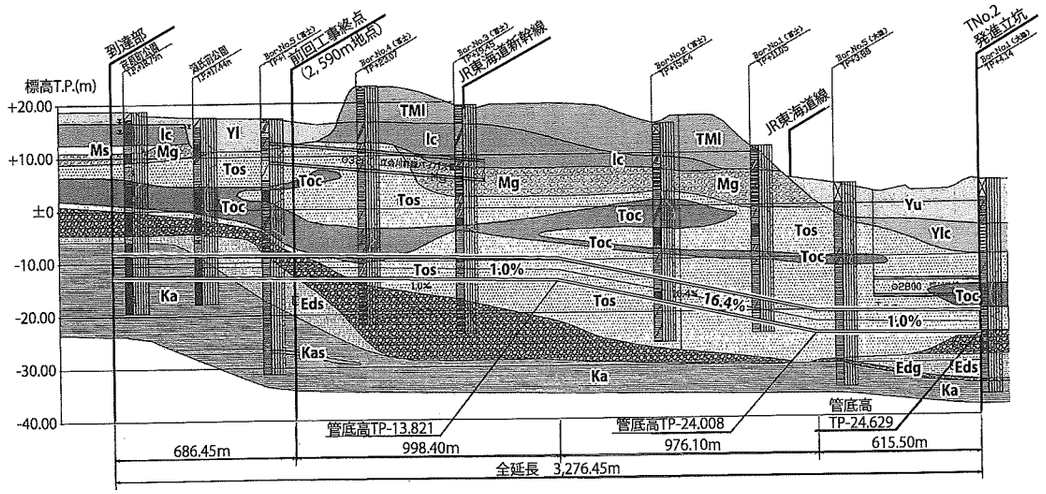


図-2　地質縦断図

述のとおり，本シールドは多くの重要施設の下を通過するため，掘進中の計測管理などについて各事業者と詳細な施工協議を行った．さらに，発進基地への出入り口は，京浜急行本線の立会川駅から大井競馬場へと続く道路に面しているため，歩行者の往来が頻繁となるレース開催日には工事用車両の出入り抑制などを行った．

6　掘進機などの仕様

6-1　掘進機

形　　式：泥水加圧式シールド（**写真-1**）
外　　径：4,530㎜
機　　長：7,096㎜
総 推 力：18,816kN
カッタトルク：1,643kN•m
中折れ角度：左6.0°，右18.5°，上下各1.0°
可燃性ガス対策：防爆仕様，可燃性ガス排気システム

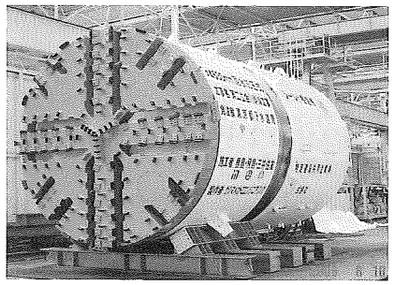


写真-1　泥水加圧型シールド

6-2　セグメント

直線部および緩曲線部は，組立てボルトの締め付け工程が不要な二次覆工一体型のRCセグメントを使用した．急曲線部（R＝30，50m）は，STセグメントを使用した．また，急曲線区間との接続部については，ジャッキの偏圧により曲線前後のRCセグメントにクラックが生じないよう，トンネル軸方向の構造解析を行い，大きな断面力が作用する範囲をSTセグメントとした．それぞれのセグメントの仕様を**表-1**に，RCセグメントの組立て時断面および採用した継手の概要を**図-3**に示す．

6-3　仮設備など

発進基地は，桟橋形式で作業ヤードを確保したため，運河への泥水の流出防止にはとくに配慮す

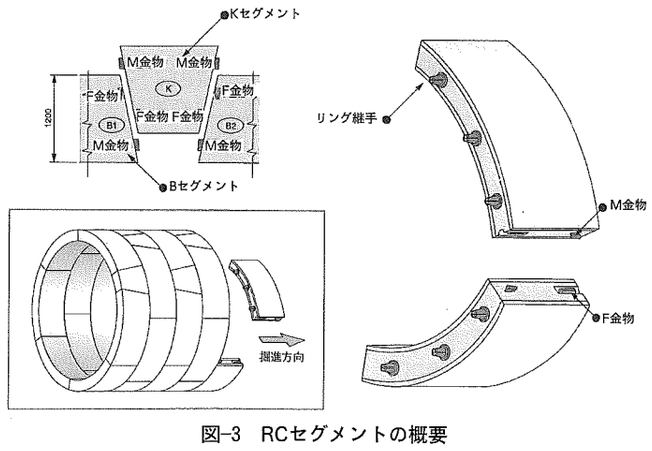


図-3　RCセグメントの概要

表-1　セグメント仕様

	名　　称	外径	幅	桁高	数量	セグメント延長	備　　考
直線部	コンクリートセグメント（一般部）	φ4,350㎜	1,200㎜	300㎜	1,905R	2,286.00m	SP継手30R，背面塗布30R含む
	鋼製セグメント幅1,000㎜	φ4,350㎜	1,000㎜	175㎜	62R	62.00m	R＝30，50m路線出入部，到達部
	鋼製セグメント幅1,000㎜	φ4,350㎜	1,000㎜	175㎜	15R	15.00m	刃口推進管・エア抜き管開口部
	鋼製セグメント幅300㎜	φ4,350㎜	300㎜	175㎜	28R	8.40m	R＝50m曲線出入部
	鋼製セグメント幅300㎜	φ4,320㎜	300㎜	175㎜	73R	21.90m	R＝30m曲線出入部
曲線部	コンクリートセグメント	φ4,350㎜	1,200㎜	300㎜	316R	379.20m	R＝200，300，500m曲線部
	コンクリートセグメント	φ4,350㎜	750㎜	300㎜	394R	295.50m	R＝100m曲線部
	鋼製セグメント幅300㎜	φ4,350㎜	300㎜	175㎜	103R	30.90m	R＝50m曲線部
	鋼製セグメント幅300㎜	φ4,320㎜	300㎜	175㎜	439R	131.70m	R＝30m曲線部
	鋼製セグメント幅300㎜ 袋付き	φ4,313㎜	300㎜	175㎜	107R	32.10m	R＝30m曲線部
合　　計					3,442R	3,262.70m	

る必要があった．主な対策としては，覆工板上に厚さ10cmのコンクリートを縦25m×横30mの大きさで打設し，その周囲に高さ20cmの逸泥防止用の堰を設けた．また，万一に備え，常時使用する泥水タンクに加え，予備の泥水タンク(55m³)を設置した．発進基地周辺への環境対策として，“振動ふるい”から発生する超低周波を抑制するため，防音ハウスの壁をコンクリート製とした．

7　高水圧下の対策

土かぶり30mを超える高水圧下での対策と工夫は，以下のとおりである．

① シールド発進時の安全性を確保するため，坑口エントランスを2段構造とした．

② NOMST壁の大割れを防止するため，コラムジェットで背面土を改良した．さらに，現場での工夫としてコラムジェットの背面に薬液注入工を追加し，止水性を向上させた．

③ シールドのテールシールを3段とし，最後の1段は発砲ウレタンでワイヤーブラシを包み込み，テール部の止水性・耐久性を向上させた．

④ シールド本体に注入用バルブを取り付け，出水時にシールド内部から止水注入ができるようにした．さらに，地山の状態を把握するための“探査装置”およびシールドとセグメントの隙間を把握するための“計測装置”を装備した．

⑤ セグメントは軸方向挿入タイプを採用するとともに，高水圧を考慮してセグメントシールは2段・全周貼りとした．

8　JR東海道新幹線直下の施工

本シールドは4か所で鉄道の直下を横断するが，影響を最小に抑えるための十分な施工管理を行うとともに，各施設の動態観測を行った．一例として，JR東海道新幹線の直下での施工状況などについて述べる．

8-1　影響解析

設計段階において，二次元弾性FEM解析により，シールド掘削時(応力開放率15，35%)とセグメント組立て後(応力開放率100%)の解析を行い，最大変位量を算定した結果，シールド掘削に伴う橋脚上部の変位量は，水平変位で1.0㎜以下，鉛直変位で1.5㎜以下であった．周辺地盤への影響が少ない結果となったのは，シールド通過位置がN>50以上の硬質な洪積層内(沖積層境界面より13m程度下方)であること，シールド施工法が密閉型シールド工法(泥水加圧式シールド工法)であることなどによるものと考える．

8-2　掘進管理計画

シールド掘進によって生じる地盤や近接構造物の変状を最小に抑えるためには，切羽でのバランスの確保が肝要である．そのため，切羽水圧，送泥流量，ジャッキスピード，推力などを適切に管理することで，掘削土量の過不足をなくすようにした．

切羽水圧の管理値としては，これまでの掘進管理実績や通過土層，ならびに掘進中の偏差流量や乾砂量，自然水圧などから判断して，シールド中心位置の切羽水圧を200～250kPaに設定した．この設定値により，切羽や流体のバランスも乱れることなく掘進することができた．

また，高架橋の影響範囲内に急曲線部(R=30，50m)があり，とくにR=30m曲線部においてはセグメントの外径が縮小されているため，テールボイドが一般部に比べて片側で15㎜大きく生じる．そこで，確実な裏込め注入を実施するため袋付きセグメントの併用とともに，裏込め材の計画注入量をテールボイド体積の130%以上とし，注入圧の上限は切羽水圧＋0.1MPaとした．

8-3　計測計画および管理基準

鉄道事業者から示された近接程度の区分は，「無条件範囲」「要注意範囲(3段階)」「制限範囲」となっている．本シールドは**図-4**に示すように，もっとも厳しい条件の制限範囲に位置するため，計測計画としては，**図-5**に示す位置に計測器(構造物の鉛直変位計，傾斜計ならびに温度計)を設置し，自動で計測するシステムを採用した．また，管理基準は，軌道管理目標値をもとに設定した管

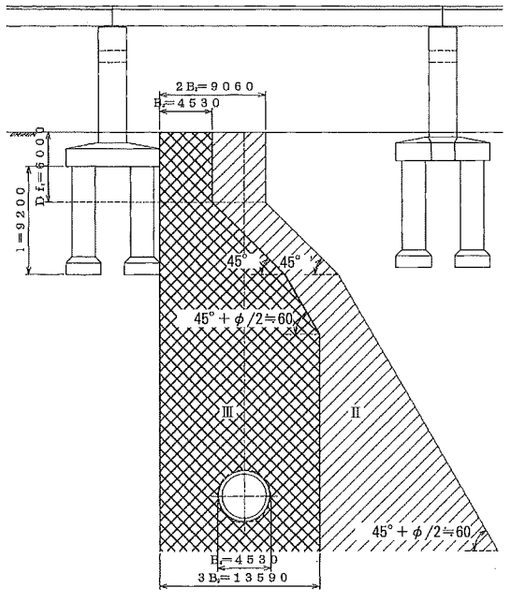


図-4　近接程度の区分

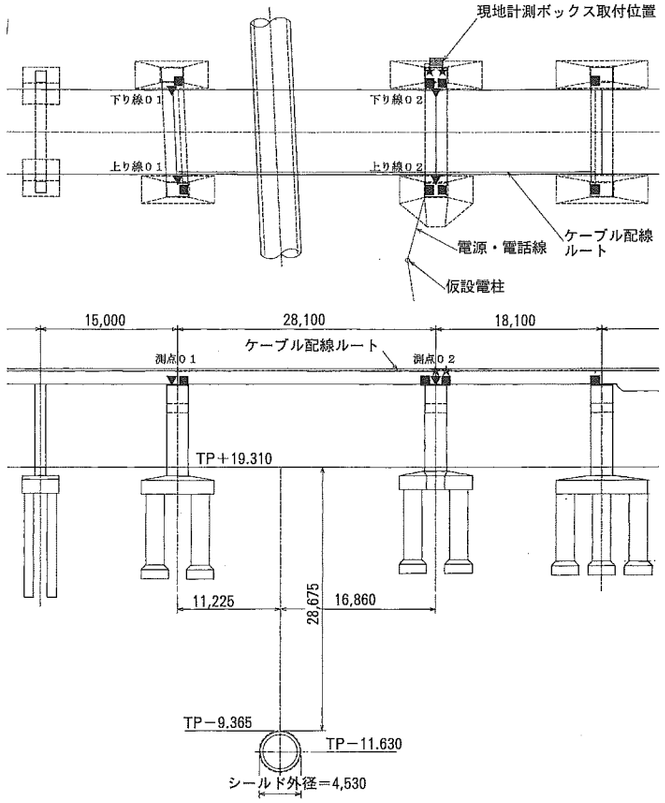


図-5　計測器設置箇所

理値を，事前計測結果により得られた計測器ごとの振れ幅(変動幅)で補正して設定されている．なお，事前計測時に変動幅が生じるのは，外気温の変化に伴う高架橋の日変動や列車振動などの影響によるものである．

本工事の管理体制としては，「警戒値」「工事中止値」「限界値」の3段階の値を設定し，測定値が「警戒値」を超えた場合には計測器の点検・自主監視体制の強化を実施する．また，「工事中止値」を超えた場合には，速やかに工事を中断し，監視体制の強化・施工条件の改善検討・軌道検測※の準備を行ったうえで掘進を再開する．さらに，「限界値」を超えた場合には，工事の即時中止・軌道検測の実施および整備・24時間体制の監視を実施することとした．

8-4　施工結果

シールド掘進は，昼夜および休日も連続して行うことで周辺地盤に与える影響を最小限にした．掘進中は，自動計測システムからのデータだけでなく，トランシットなどによる測量も並行して行うことで，それぞれのデータの妥当性を確認した．鉛直変位・傾斜変位ともに日変動(外気温の変化)や列車振動などによるものと考えられる挙動が多く見受けられた．鉛直変位については，列車振動に伴うバラツキが見られたが，おおむね±1.0㎜程度の変動であった．また，傾斜については，外気温の変化に伴う変動が多く温度補正の必要があり，その結果約0.70分となった．したがって，掘進中の新幹線高架橋の動きは，鉛直変位・傾斜変位ともに警戒値以内で推移し，無事に工事を完了することができた．

なお，別途，施工中の危機管理計画を策定し，WEBカメラによる目視管

※軌道検測とは，線路の品質を維持するために軌道のゆがみなどを把握すること(専用車両：ドクターイエロー)．

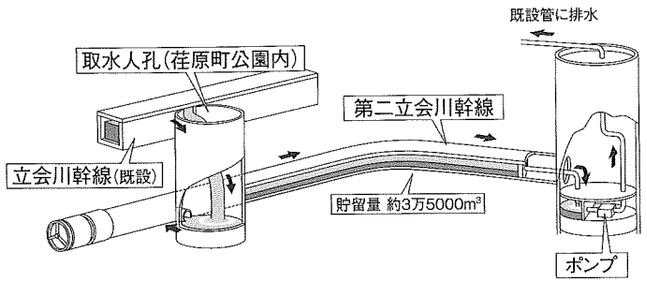


図-6 暫定貯留施設のイメージ

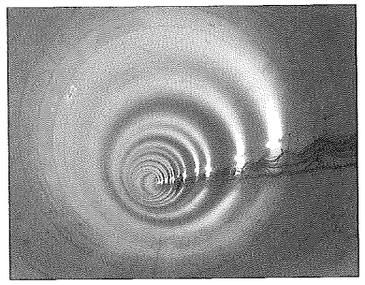


写真-2 完成写真

理と計測機器による計測管理により，リアルタイムで現場を管理した．

WEBカメラによる目視管理では，定点カメラを切羽，立坑の上・下，泥水処理プラントなどに設置して常時監視を行い，インターネット経由で発注者と施工者がその情報を共有した．

9 長距離掘進における二次覆工の施工

一般部では二次覆工一体型のRCセグメントを採用したが，急曲線部においてはSTセグメントを採用したため，コンクリート打設による二次覆工を施工することになる．本工事では，二次覆工の施工位置が発進立坑からもっとも遠いところで2.5kmとなっていたため品質確保が課題であった．

コンクリート標準示方書では，「練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は，原則として1.5時間を超えてはならない」と規定している．本工事では以下の方法で規定時間内にコンクリートを打設し，二次覆工の品質を確保した．

① 打設計画の策定にあたり，3.5m³積みのアジテータ車を2編成として，アジテータ車への荷卸し時間・坑内運搬時間・打設時間・アジテータ車の離合に伴うロス時間を机上でシミュレーションし，もっともロスの少ない位置に離合ポイントを設置した．

② 打設箇所ごとに定置式ポンプを移動し圧送距離を短くした．

③ 施工時の徹底した時間管理を行い，坑口から最大2.5km先の打設箇所においても，規定時間内にコンクリートを打設した．

④ 密実なコンクリートとするため，STセグメントの主桁や縦リブ間にエア溜まりが生じないよう，セグメントの天端部にはエア抜きパイプを，さらにスチールフォームの天端部にはエア抜き孔を設置した．

10 暫定貯留のための設備

暫定的に雨水を貯留するため，下流側(発進立坑付近：坑口から35m地点)に鋼製の隔壁を設置した．貯留した雨水は，隔壁に連結した送水管(ダクタイル管φ600㎜)を経由して，立坑下に設けた貯留室に導き，ポンプ(口径φ250，吐出量6.2m³/min，2台)で地上に送水し，既設の下水管に排水する．なお，排水ルートの中継点となるマンホールに水位計を設置し，常時水位を計測できるようにしている．暫定貯留施設のイメージを**図-6**に示す．

11 おわりに

本工事は，土かぶり30mを超える高水圧下でかつ，多くの重要構造物の直下を通過した長距離シールドであったが，徹底した計測管理により，無事に本体トンネルの掘進を完了することができた．また，二次覆工一体型セグメントの採用や長距離シールドにおける二次覆工コンクリート打設など，高品質でかつ施工時間を短縮する取り組みが効果を上げたと考えている(**写真-2**)．

今後とも，さまざまな工事実績をもとに更なる施工技術の向上を目指すとともに，本工事で得た経験やノウハウをトンネル技術の発展に生かしていきたい．

研 究

維持管理を目的とした開削トンネル設計・施工データベース

(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主任研究員 新井 泰
(株)コンポート代表取締役 有賀貴志
(株)ジェイアール総研情報システム解析本部数理解析部 蒲地秀矢
東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部改良建設企画課長 大石敬司

1 はじめに

近年，日本国内においては社会資本整備が一段落し，各インフラを運営する事業者の関心は既存ストックの維持管理に移りつつある．加えて，各事業者が擁するインハウスエンジニアや部外の経験豊富な技術者の減少に対応するための知的ストックの保存，活用という観点から，構造物および付帯設備に関する情報のデータベース化が活発になっている．とくに，都市部の地下構造物については，取り替えや再構築がきわめて困難な状況にあることから，恒久的に適切な維持管理を行っていくためには，施工時あるいは竣工時に得られる記録を初期値とし，経年に伴う構造物の変化を的確に把握することがとくに重要である．

シールドトンネルについては，杉本ら[1]がトンネルの品質や耐久性とシールド掘進時の施工時荷重との関連性について成果をまとめており，実プロジェクトにおいてもその観点から一定の考察がなされるようになってきた．

開削トンネルについては，トンネルの品質や耐久性がひび割れによって左右されるという観点から，構造ひび割れに関しては田辺ら[2]が，材料ひび割れに関しては諸橋ら[3]が，実現場の目視調査結果と数値解析あるいは経験式との整合性について言及している．しかし，変状に対する補強，補修の意思決定や優先順位の判断にそれらの知見を反映させるためには，設計，施工段階で作成された膨大な資料の中から有用な情報を選定するとともに，それらを維持管理業務において積極的に活用するためのスキームを構築する必要がある．

そこで筆者らは，開削トンネルの多岐にわたる施工記録の中から維持管理業務を円滑に進めるために保存すべき資料を具体的に示すとともに，それらの情報を積極的に活用するための方策として，三次元モデルをプラットフォームとしたデータベースを用いて，設計・施工情報および変状情報を体系的に管理する手法を提案した．

2 本研究の背景

2-1 維持管理に資する情報の必要性

事業者においては，構造物や設備の安全性および不具合に関する説明責任が非常に重要視されており，その一部である会計責任を果たすために，構造物の資産価値評価や維持管理に要する人的，金銭的リソースの最適化をアセットマネジメントやライフサイクルコスト分析などの金融・経済分野の手法を応用することにより解決しようとする試みがなされている．これを既設構造物，とくに高度成長期に築造された数多くの構造物に対して活用できれば，事業の安定性の確保に大きく寄与することは想像に難くない．

一方，これらの評価，分析手法を本格的に運用するためには，その当時の施工実態(正確な構造物の初期状態)を把握することが非常に重要であるものの，①高度成長期は新技術の開発時期とも重なり，施工法も千差万別であること，②それら施工法ごとの得失と施工上不可避な不具合に関する情報が十分に残っていないこと，③高度成長期特有の資材の逼迫や景気動向により，構造物の品質が必ずしも一定ではないこと，などの事情から，施工実態を十分把握できない状況下での将来予測を余儀なくされている．この傾向は，ITの発展目覚ましい中で施工された近年の構造物についても大きく変わっていない．

そこで，今後，事業者におけるインハウスエンジニアの減少が進んだ場合をも考慮して，既設構造物の施工実態を把握できる資料，すなわち維持管理に資する情報の収集，整理を推進するためには，①設計から維持管理にわたり一貫して必要となる情報の具体的な提案を，その根拠とあわせて行うこと，②設計，施工時に作成された図面を主体とする資料に，維持管理の担当者が必要としている内容も盛り込むこと，が非常に重要である．これが実現すれば，今日発展が目覚ましい材料劣化予測手法や数値解析評価手法に適用する構造物の初期状態を的確に設定でき，将来にわたるアセットマネジメントなどの評価，分析手法の本格的な運用と精度向上が現実のものになると考えることができる．

2-2 三次元モデルの優位性

施設の安全性に関する説明責任が重要性を増している事業者として，図面を主体とした構造物や設備に関する情報は，設計，施工，維持管理の各担当者のみならず，旅客流動，防災計画などを主たる業務とする担当者にも有用である．しかし，それ以前に各担当者間の情報共有化は，ITの発展が目覚ましい今日においても必ずしも十分ではない．これに対しては，情報の共有化，図面の集中管理と効率的な更新作業などが可能になれば，それらをさまざまな業務の利用へ拡大することが期待できる．

また，一般に開削工法が適用される駅部や立坑部の形状寸法は，線区の特性に応じて千差万別であり，当該図面から施工過程をイメージしながら空間把握を行うことは熟練技術者でなければ非常に困難である．したがって，当該情報の共有化の範囲を拡大するためには，空間把握の認識レベルや図面の判読精度のばらつきが大きくなるリスクについても考慮する必要がある．

一方，近年の家庭用ゲーム，テレビニュースにおける状況解説，プレゼンテーションなどでは三次元の模型やCGが多用されている．この事実から，将来，維持管理の実務において，担当者の空間把握は三次元モデルが前提となることは容易に想像できる．加えて，実構造物や諸設備はもともと三次元として構成されているので，図面が三次元モデルによって表現されているならば，担当者は従来の「二次元の図面」に関する技術的な背景にこだわらず，業務の目的に応じて対象構造物の全体像あるいは詳細を把握できる．また，ソフトウエアのインターフェイスの標準化や，ゲームコントローラの利用による操作性向上が進めば，空間把握の認識レベルや図面の判読精度のばらつきも平準化できる．さらに，実務上活用頻度の高い二次元の図面も容易に作成できる特性も考慮すれば，情報共有化の範囲拡大も可能な三次元モデルを事業者内のコミュニケーションツールとして利用することのメリットは非常に大きいといえる．

3 データベースの構築

3-1 対象現場の選定

本研究では，複数ある地下鉄建設現場から，供用開始後も建築仕上げなどが設置されず，将来的に変状の進展やコンクリート表面の観察が可能な範囲を選定し，その結果，延長が約52m，構造形式が2層1径間および2層2径間のRC箱型トンネルをその対象とした．

3-2 維持管理情報の選定と仕様

3-2-1 概 要

建設工事に際しては，多種多様な資料が作成されているが，これらの情報を維持管理業務へ活用するという観点で管理されている事例はきわめて少ない．その要因としては，それら資料の中から維持管理業務に資する情報を絞り込めず，必然的に保存しようとする資料の種類，量が多くなり，その管理が煩雑になることが挙げられる．

そこで，本研究では構造物の維持管理に資するもので，設計，施工，維持管理の各段階で作成，蓄積される情報を「維持管理情報」と定義し，維持管理情報として最低限必要となる情報を選定するとともに，その管理仕様を具体的に示すこととした．さらに，維持管理情報を，当該構造物そのものを表す構造物情報(**表-1**)と，構造物の経年変化を表す変状情報(**表-2**)に分類した．ここで，構造物情報は，情報源となる資料の作成意図を考慮し，設計計算書や設計図面など(以下，「設計図書」)，施工計画書や材料調書など(以下，「施工図書」)で構成するものとした．変状情報は，初回検査および供用開始後の検査において抽出される各種の変状に関する記録と，それらの変状の誘引と考えられている，あるいは誘引である可能性がある項目[3]に関する記録で構成するものとした．

3-2-2 構造物情報として管理する資料

構造物情報として管理する資料は，田辺ら[2]や諸橋ら[3]の研究成果を踏まえ，表-1に示す資料を選定した．設計図書からは対象構造物の仕様，形状寸法，環境条件に関する情報を，施工図書からは対象構造物の施工方法，材料，強度，環境条件に関する情報を取得することができる．なお，情報収集にあたっては，それにかかる作業を最小限とするために，設計，施工の各業務で作成される資料の流用を前提とした．

3-2-3 変状情報として管理する内容

変状情報として管理する内容は，表-2に示すとおりとした．いずれも鉄道構造物等維持管理標準[4]によって義務づけられている検査や措置の実施項目に準じており，その多くは，従前から各事業者が変状展開図の中に記載しているものである．

3-2-4 情報の管理形態

情報の管理形態は，情報の散逸を防ぐとともに，必要に応じて情報の検索と利用が容易に行えるような環境の構築を前提として考える必要がある．そこで，管理対象とする資料はすべて電子データ化することを原則とした．

3-3 維持管理情報の収集

3-3-1 構造物情報

構造物情報の収集にあたり，表-1に示した構造物情報，すなわち設計図書および施工図書は，その多くが電子データで作成，保存されていたため，比較的短期間に収集することができた．ただし，複数のアプリケーションソフトで作成されていた施工計画書や地質調査報告書などの資料，資材カタログ，コンクリート配合試験成績表およびコンクリート強度試験成績報告書などの印刷物で保存されていた資料は，スキャニングによりPDFで収集するものとした．

3-3-2 変状情報

変状情報の収集にあたり，初回全般検査と同様の目視調査を実施した．調査にあたっては，表-2

表-1 構造物情報一覧

	資料	取得情報
設計図書	設計仕様書，工事仕様書など	仕様，規格
	全体一般図，構造一般図，配筋図，設計計算書など	形状寸法
	掘削工法など仮設一般図，杭打ち平面図など	施工方法
	全体一般図，地質調査報告書，地質縦断面図など	環境条件
施工図書	竣工図面など	形状寸法
	コンクリート打設日報，誘発目地配置図など，施工記録写真	施工方法
	施工計画書，コンクリート配合試験成績表，コンクリート圧縮強度試験成績表，材料カタログなど	材料，強度
	地下水位観測記録など	環境条件

表-2 変状情報一覧

内容	具体的な項目
変状を示す情報	ひび割れ，漏水など
構造物の形状寸法を示す情報	構造部材(側壁，床版，ハンチ，桁，柱など)，開口など
施工時の状態を示す情報	工区境，コンクリート打継目，中間杭跡，型枠跡，誘発目地など
付帯情報	埋込みパイプ，建築，電気，機械設備など

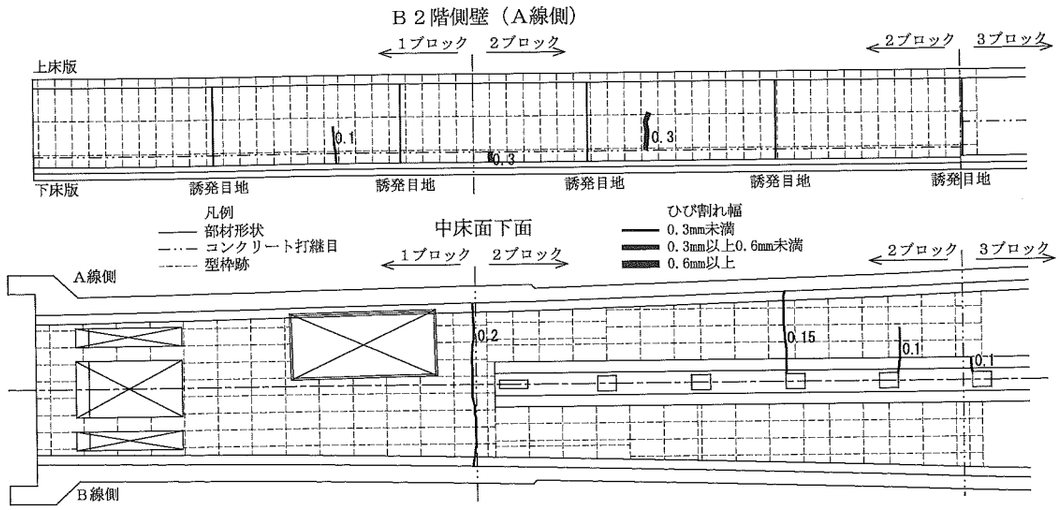


図-1　二次元変状管理図

の「変状を示す情報」を効率的に記録できるように，あらかじめ当該構造物の展開図を作成し，目視で確認した変状を当該図上に記録するとともに，変状およびその周辺の状況を撮影した．

また変状は，工区境，コンクリート打継目，中間杭跡などで発生しやすいという既往の知見を踏まえて，表-2に示される「施工時の状態を示す情報」にもとづいてその位置を確認し，当該図上に記録した．これら一連の作業の成果品として，図-1に示す二次元変状管理図が得られた．

3-4　三次元モデルの作成

3-4-1　三次元CADソフトの選定

建設分野で三次元モデルの利用が少ない要因として，三次元CADソフトは二次元CADソフトに比べて導入コストが高く，操作の習熟に時間を要することが挙げられる．とくに三次元モデルをコミュニケーションツールとして用いる場合は，三次元モデルを作成・閲覧できる共通のソフトウェアが複数必要となり，価格が高い三次元CADソフトの導入は，費用対効果の面で消極的にならざるを得ない．また，二次元平面であるPCのディスプレイ上に三次元空間を創造し，そのモデルを意図するとおりに操作するには，当該ソフトの習熟のみならず，相応の幾何学的素養や空間把握能力も必要となる．

これらの課題を解決する手段として，本研究では，無償あるいは低価格で入手が可能な三次元CADソフトとして，グーグル(株)から提供されているGoogle SketchUp（以下，「SketchUp」）の使用を試みた．SketchUpは，同社のホームページ[5]から無償でダウンロードできるほか，営利目的の利用も可能(2009年９月現在[6])である．また，インターフェイスが二次元CADソフトに近いこと，オブジェクト指向スクリプト言語「Ruby[7]」による機能の拡張ができること，などの特徴がある．このソフトを用いることにより，三次元CADソフトの導入コストは大幅に削減され，多くの担当者が三次元CADソフトに触れる機会も増えていくと考えられる．すなわち，数年前では技術的にも困難であった三次元モデルの活用が，SketchUpの導入により実現可能になったということができる．

3-4-2　統合三次元モデルの概要

「統合三次元モデル」とは，表-1に示した設計図書にもとづいて本体構造物，土留め杭および地層を三次元でモデル化すると同時に，図-1の二次元変状管理図も三次元でモデル化したもので，本研究において定義したものである．具体的なモデルを図-2に示す．

本研究では統合三次元モデルとして，コンクリート打設順序モデル，地層モデル，三次元変状管理図を包含させるとともに，維持管理情報を管理するプラットフォームの役割も持たせ，恒久的な維持管理業務への適用を志向した．

以下に各モデルの詳細を示す．

3-4-3　コンクリート打設順序モデル

図-3にコンクリート打設順序モデルを示す．開削トンネルのコンクリート打設は通常，躯体を複数の部分に分割し，計画された順序に従って行われる．このとき，先行打設ロットが後行打設ロットの収縮を拘束するためにひび割れが発生する[3]．当該モデルではこの打設ロット間の時間差とひび割れ発生状況が同時に把握できるように，表-1中のコンクリート打設日報などにもとづいて，コンクリート打設順序を打設時期ごとに色分けした．

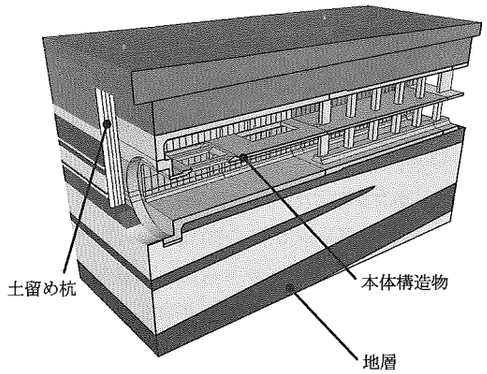
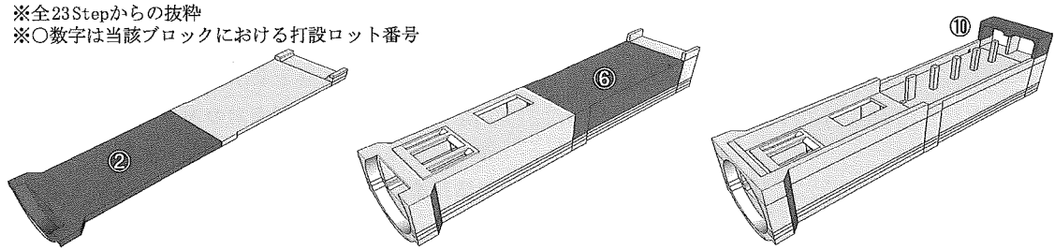


図-2　統合三次元モデル

※全23Stepからの抜粋
※○数字は当該ブロックにおける打設ロット番号



Step-6：1 ブロック下床版　　Step-16：2 ブロック中床版・側壁　　Step-21：3 ブロック上床版・側壁

図-3　コンクリート打設順序モデル

3-4-4　地層モデル

図-4にコンクリート打設順序モデルの内側から見た構造物の外側を取り巻く地層モデルを示す．当該モデルは，表-1中の地質縦断面図から地層境界面をSketchUpにインポートして作成したものである．これにより，例えば漏水といった変状と構造物背面の関連性が容易に把握できる．なお，地層の三次元化は，地層の変化を縦断方向だけではなく横断方向にも表現することが望ましいが，本研究では対象構造物の幅が十数メートルであり，横断方向の地層の変化は小さいと判断し，縦断方向のみ表現するものとした．ただし，構造物の幅が広い場合や，地層構成が複雑に変化している場合は，横断方向の地層の変化も考慮する必要がある．

3-4-5　三次元変状管理図

図-5に三次元変状管理図の作成結果を示す．当

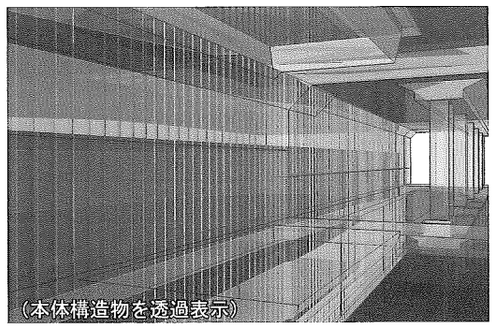


図-4　構造物内部から見た地層モデル

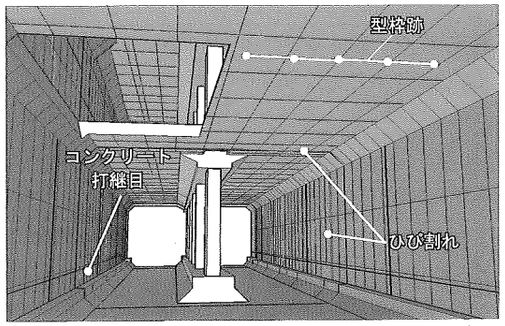


図-5　三次元変状管理図

該モデルは，図-1に示した二次元変状管理図にもとづいて図-3のコンクリート打設の順序モデルにひび割れを個別のオブジェクトとして作成した．また恒久的な維持管理業務への適用を前提とする場合，時間の経過(以下，「時間軸」)に関する変状の進展なども記録する必要がある．本研究では，その時間軸をCADのレイヤー(画層)により表現するものとし，変状の進展などが確認されるたびに，レイヤーを新規に作成し，そのうえに当該変状を記録する方法を採用した．

3-5 三次元モデルとデータベースとの連携

3-5-1 データベースの構築

三次元モデルだけでは表現できないコンクリートの配合や強度，使用材料などの情報は，何らかのルールで三次元モデルに関連づけを行うことによりデータベース化する必要がある．データベースの構築は，恒久的な情報の蓄積のほか，データベースと三次元モデルとを関連づけるための識別子の管理が目的である．データベースに格納する情報(以下，「格納情報」)は，その内容，利用目的あるいは画面に表示する際の処理方法に応じて分類し，それぞれに対応するデータベースのテーブルを作成するものとした．

データベースへの情報の格納形式(以下，「格納形式」)は，数値や文字列(以下，「テキスト形式」)，PDFなどの電子ドキュメント(以下，「ドキュメント形式」)，写真や画像(以下，「イメージ形式」)，個々のアプリケーション特有のファイル形式およびその他(以下，「その他の形式」)に分けられる．**表-3**に格納形式とそれらに対応する資料の具体例を示す．なおこれらの資料はいずれも表-1, 2に包含されている．

表-3 格納形式と対応する資料の例

格納形式	対応する資料
テキスト	コンクリート打設日報，地下水位観測記録
ドキュメント	設計仕様書，工事仕様書，地質調査報告書，施工計画書，コンクリート配合試験成績表，コンクリート圧縮強度試験成績表，材料カタログ
イメージ	工事記録写真
その他	全体一般図，構造一般図，配筋図，地質縦断面図，掘削工法等仮設一般図，杭打ち平面図，誘発目地配置図

三次元モデルと格納情報との関連づけるための識別子(ID)には，汎用一意識別子(UUID)の実装形式であるグローバル一意識別子(GUID)と呼ばれる疑似乱数を用いるものとした．GUIDは128ビットの2進数値で，理論上同一の番号が存在する可能性がきわめて少なく，多くのデータベースで利用されている．なお，本研究ではデータベースの構築にあたり，汎用データベースソフトの中で広く普及しているMicrosoft Accessを用いるものとした．このソフトの採用は，ユーザーによるデータベースの運用，維持などの利便性を考慮している．

3-5-2 リンクプログラムの作成

(1) リンクプログラムの機能

図-6にリンクプログラムとSketchUpの関係を示す．本研究で用いたSketchUpそのものは，三次元モデルと外部のデータベースを関連づける機能を標準で搭載していない．このため，SketchUpの拡張機能を利用して，三次元モデルと外部のデータベースを関連づけるためのプログラムを新たに開発することとし，本研究ではこれを「リンクプログラム」と呼ぶものとした．リンクプログラムは，三次元モデルと外部データベースの格納情報を関連づける機能(以下，「機能①」)，三次元モデルからの格納情報の呼出しと画面表示に関する機能(以下，「機能②」)で構成した．

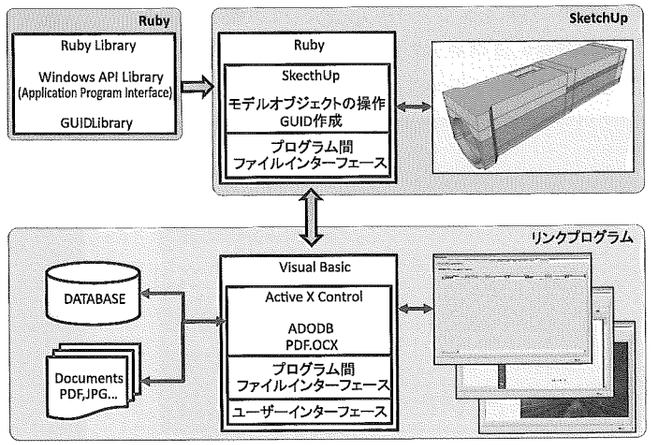


図-6 リンクプログラムとSketch Upの関係

(2) プログラミング言語

本研究では，プログラム開発にあたり機能①にはRuby，機能②にはMicrosoft Visual Basicを用いるものとした．

3-5-3 三次元モデルとデータベースの関連づけ

三次元モデルとデータベースの情報の関連づけは，①リンクプログラムを用いたGUIDの生成，②データベースへのデータ入力，の手順で行った．本研究では，データベースとの関連づけを行う三次元モデルの最小単位をコンクリート打設ロットあるいはひび割れなどのオブジェクトとした．データベースとの関連づけは，リンクプログラムの機能①に該当するもので，リンクプログラムを実行した状態においてSketchUpの操作により，GUIDの生成とGUIDおよび関連情報のデータベースへの送信を行った．データベースへの情報の格納については，格納形式に応じて手入力あるいはファイルのインポートで対応できるようにした．

3-5-4 格納情報の表示

三次元モデルに関連づけられた格納情報の表示は，リンクプログラムの機能②によって実現するもので，選択した三次元モデルに関連づけられた格納情報のみが表示される仕組みとした．また，その際，格納形式に適した表示方法が必要になると判断し，格納形式ごとのタブを表示画面左肩に用意し，インターフェイスの切り替えを行うものとした．**図-7～9**に情報の格納形式ごとのインターフェイスを示す．

テキスト形式の格納情報の表示(図-7)は，供用開始後に実施される検査結果などの追記を考慮して，表形式を用いるものとした．

ドキュメント形式の格納情報の表示(図-8)は，ドキュメントの効率的な閲覧を考慮して，ドキュメント選択ウインドウとドキュメントビューワーで構成した．ドキュメントビューワーは，Adobe社から無償で提供されているAdobeReader[8]を利用するものとし，インターフェイスは同社が提供する「PDF表示用ActiveXコントロール」を用いて作成した．なお，CADデータなどのオリジナルファイルが関連づけられている場合は，ドキュメントの表示と同じインターフェイスを用いるものとし，当該ファイルを選択するとオリジナルのアプリケーションが起動するものとした．

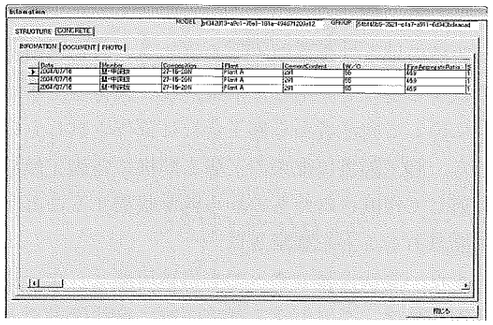


図-7 テキスト形式の格納情報の表示例

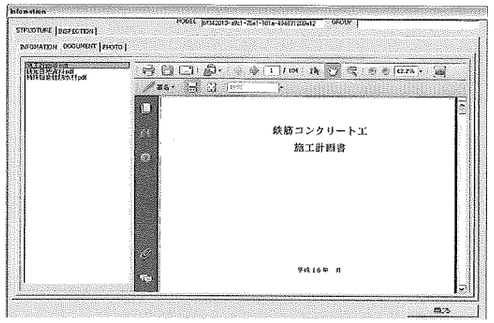


図-8 ドキュメント形式の格納情報の表示例

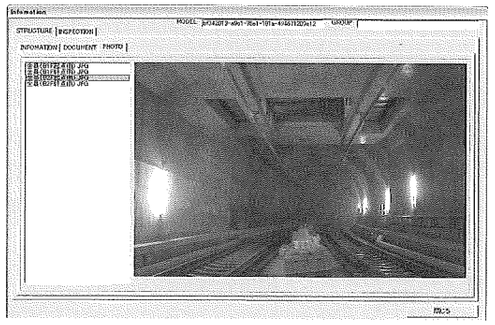


図-9 イメージ形式の格納情報の表示例

イメージ形式の格納情報の表示(図-9)は，デジタルカメラで撮影された工事記録写真の表示を想定し，主としてJPGに対応させるものとした．イメージファイルの表示は，必要に応じてBMP，TIFFに対応させることも可能である．

3-6 考 察

実際の地下鉄建設現場において，これらの情報の収集と整理を実施した結果，設計図書は工事着手に際して発注者から施工会社に貸与されたものから，施工図書は従来の工事と同様に各施工段階に応じて作成されたものから各々収集することが可能であることを確認した．

また，変状情報のすべてを格納可能な三次元変状管理図は，従来から工事完成時に維持管理用として作成しているひび割れ展開図と同程度の作業で作成できることを確認した．

4 ま と め

本研究から得られた知見を以下に示す．

① 維持管理に資する情報を維持管理情報と定義し，さらにそれを資料の特性によって，構造物情報と変状情報に分類した．

② 維持管理情報は，通常作成される図面や帳票類を流用することにより得られるものであり，本研究で示した情報管理仕様を用いることにより，コンパクトかつ合理的に当該情報を収集，管理できることを示した．

③ ①や②の方法により得られた維持管理情報を活用する一つの方策として，三次元モデルをプラットフォームとして当該情報を視覚化することにより，複雑な躯体の形状寸法や現場の状況を平易に把握できることを示した．

④ 三次元モデルと維持管理情報を格納したデータベースの関連づけは，三次元モデルから当該情報へのアクセスをSketchUpの拡張機能とプログラム言語Rubyを用いたリンクプログラムを作成することにより実現できることを示した．

以上により，このスキームに則って業務プロセスを構築する場合，その初期コストは三次元モデルの作成およびデータの入力に関するコストに集約されることから，コスト低減を実現しつつ，アセットマネジメントなどの評価，分析手法に必要不可欠な構造物の初期状態を的確に設定するための有力なツールとなりうる．また，事故や災害などに対する施設の安全性についての高精度な説明に対応していくうえでも，本研究で提案した三次元モデルをプラットフォームとした情報管理仕様は効率的かつ合理的であると考えられる．

今後の課題としては，①三次元モデルの作成には，二次元で作成された各種図面を読み解く能力が不可欠であり，当該構造物の成り立ちを理解でき，そのイメージを二次元から三次元に展開できる「三次元CADオペレータ」の育成と，その意義を理解できるエンジニアの養成，②三次元モデルの作成作業と修正作業の分担，③従前にない三次元モデルの作成業務に関する新たな歩掛の設定，などが挙げられる．

最後に，実現場における調査と資料提供にご協力いただいた関係各位に謝意を表する次第である．

参 考 文 献

1) 土木学会トンネル工学委員会技術小委員会シールドトンネル施工時荷重検討部会：シールドトンネルの施工時荷重，トンネルライブラリー第17号，2006.
2) 田辺将樹・大石敬司・山本努・本間実・松川俊介：開削トンネルの形状寸法および荷重条件と曲げひび割れの発生状況に関する一考察，トンネル工学報告集，Vol.16，pp.455-460，2006.11.
3) 諸橋由治・石川幸宏・瀬筒新弥・新井泰・有賀貴志：開削トンネルの材料ひび割れに関する一考察，トンネル工学報告集，Vol.17，pp.349-354，2007.11.
4) (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準，同解説(トンネル)，2007.1.
5) http://sketchup.google.com
6) http://sketchup.google.com/support/bin/answer.py?answer=36201&topic=13686
7) http://www.ruby-lang.org/ja
8) http://www.adobe.com

あけまして
おめでとうございます

平成22年 元旦

青木あすなろ建設株式会社
岩田地崎建設株式会社
株式会社大林組
株式会社奥村組
鹿島建設株式会社
木原建設株式会社
木部建設株式会社
株式会社熊谷組
佐藤工業株式会社
清水建設株式会社
新日本開発株式会社
大成建設株式会社
大豊建設株式会社
株式会社竹中土木
戸田建設株式会社
飛島建設株式会社
西松建設株式会社

日本基礎技術株式会社
株式会社間組
前田建設工業株式会社
吉岡建設株式会社

株式会社演算工房
川崎地質株式会社
国際航業株式会社
株式会社ダイヤコンサルタント
メトロ開発株式会社
株式会社ロード・エンジニアリング

アトラスコプコ株式会社
カヤク・ジャパン株式会社
カヤバシステムマシナリー株式会社
株式会社ケー・エフ・シー
株式会社小松製作所

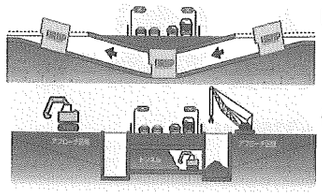
サンドビック マイニング アンド コンストラクション ジャパン 株式会社
ジャパン・ザイペックス株式会社
株式会社ジャペックス
株式会社スターロイ
大栄工機株式会社
株式会社ティーエムシー
電気化学工業株式会社
日豊株式会社
株式会社フジテックス
古河ロックドリル株式会社
株式会社マシノ
三菱重工メカトロシステムズ株式会社
三菱マテリアル株式会社
ヤマモトロックマシン株式会社

(掲載順)

謹　賀　新　年

青木あすなろ建設
AsunaroAoki
代表取締役社長　市木　良次
〒105-0014　東京都港区芝二丁目14番5号　Tel (03) 5419-1011

岩田地崎建設株式会社
IWATA CHIZAKI
代表取締役社長　岩田　圭剛
本　社　札幌市中央区北２条東17丁目２番地　TEL (011) 221-2221
支　店　東北・東京・名古屋・大阪・広島・九州
営業所　旭川・函館・帯広・釧路・苫小牧・横浜・千葉・新潟・神戸・四国・台湾
URL　http://www.iwata-gr.co.jp/

URUP
Ultra Rapid Under Pass
世界初！　環境に優しいアンダーパス施工法
●1/3の施工期間で渋滞を早期解消 ●工事によるCO_2発生量は1/2

URUP工法：工期10ヶ月
・工事による渋滞発生：短い
・騒音、振動の影響：小さい
・建設発生土量：少ない
従来工法：工期3年
・工事による渋滞発生：長い
・騒音、振動の影響：大きい
・建設発生土量：多い
OBAYASHI
株式会社大林組
代表取締役社長　白石　達
〒108-8502
東京都港区港南2-15-2
TEL.03-5769-1111
http://www.obayashi.co.jp


人と自然を、技術でむすぶ。
奥村組
OKUMURA CORPORATION
代表取締役社長　奥村 太加典
本社：大阪市阿倍野区松崎町2-2-2　TEL：06(6621)1101　東京本社：東京都港区芝5-6-1　TEL：03(3454)8111　www.okumuragumi.co.jp

100年をつくる会社。
鹿島
代表取締役社長　中村満義
本社　東京都港区元赤坂1丁目3番1号
電話　東京 03 (5544) 1111 (代)
http://www.kajima.co.jp/

謹　賀　新　年

木原建設株式会社
KIHARA CORPORATION SINCE 1899

代表取締役社長 塚谷秀男

本　　社／福井県越前市大虫町7号2番地　　TEL.0778・24・2200（大代）
東京支店／東京都港区芝大門2-6-7 木原ビル内（4F～6F）　TEL.03・3436・4900（大代）

木部建設株式会社

代表取締役社長 木部信敏

〒180-0005 東京都武蔵野市御殿山1丁目6番10号
TEL 0422-48-7221 FAX 0422-47-6967

人と地球の未来を考える

熊谷組

取締役社長　大田　弘

〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2番1号　TEL:03-3260-2111
http://www.kumagaigumi.co.jp

お渡しするのは「建設品質。」です。

佐藤工業

代表取締役社長　杉　晟

〒103-8639　東京都中央区日本橋本町4-12-19　TEL (03)3661-0502

子どもたちに誇れるしごとを。

清水建設

取締役社長 宮本洋一

〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3〈シーバンスS館〉　TEL (03) 5441-1111

謹　賀　新　年

新しい技術とコストの提案／次世代への挑戦

新日本開発株式会社
新日本エンジニア株式会社

グループ代表　箕井　伸

大阪本社　〒550-0012 大阪市西区立売堀 2-4-19　代表Tel06-6543-1175
東京支店　〒101-0041 東京都千代田区神田須田町 1-7　代表Tel03-3526-6660
（営業所／出張所）和歌山・兵庫・京都・沖縄　（工場／倉庫）兵庫・沖縄

大成建設株式会社

社長　山内隆司

〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1　電話 (03) 3348－1111

信頼に応える確かな技術

大豊建設株式会社

代表取締役　水島　久尾

〒104-8289 東京都中央区新川1丁目24番4号
電話 東京 03(3297)7000

人と地球の架け橋に

株式会社 竹中土木

取締役社長 竹中康一

〒136-8570　東京都江東区新砂1-1-1　TEL.03(6810)6200
http://www.takenaka-doboku.co.jp/

戸田建設株式会社

代表取締役社長　井上舜三

本社／〒104-8388 東京都中央区京橋1-7-1 ☎(03)3535-1354
http://www.toda.co.jp/

謹　賀　新　年

防災のトビシマ　建ててから始まる真のお付き合い

飛島建設株式会社

代表取締役社長　篠部　正博

本社／〒102-8332　東京都千代田区三番町2番地　Tel.03-5214-7297　URL http://www.tobishima.co.jp

西松建設

代表取締役　近藤　晴貞

東京都港区虎ノ門１丁目20番10号　TEL 03(3502)7648　〒105-8401

日本基礎技術株式会社

JAPAN FOUNDATION ENGINEERING CO.,LTD.

代表取締役社長　中原　巖

本　社　〒530-0037 大阪市北区松ヶ枝町６番22号 TEL 06(6351)5621　FAX 06(6355)2077
東京本社　〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町15番17号 TEL 03(3476)5701　FAX 03(5489)7821
URL : http://www.jafec.co.jp

Hazama

代表取締役社長　小野　俊雄

〒105-8479 東京都港区虎ノ門2-2-5　Tel.03(3588)5700

前田建設工業株式会社

MAEDA

代表取締役社長　小　原　　好　一

本　社／東京都千代田区富士見２－10－26　☎03(3265)5551(大代)

謹　賀　新　年

吉岡建設株式会社

代表取締役社長　吉　岡　隆　一

〒569-1136　大阪府高槻市郡家新町41番２号
TEL 072(681)1861(代)　FAX 072(681)1866

株式会社演算工房

演算ロボリューションで
お客様の“あったらいいな”を実現します

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

総合建設コンサルタント

川崎地質株式会社

代表取締役社長　内藤　正

本社：〒108-8337　東京都港区三田2-11-15　TEL03-5445-2071

国際航業株式会社

「地球とずっと。」語り合い、「地球とずっと。」生きる。

代表取締役社長　中原　修
上席フェロー技術センター長　大島　洋志

本　社　〒102-0085 東京都千代田区六番町２番地 TEL 03-3262-6221(代)

地球と人の調和を考える

株式会社ダイヤコンサルタント

DIA CONSULTANTS

代表取締役社長　杉江　謙一

本 社 〒101-0032 東京都千代田区岩本町 1-7-4 東急岩本町ビル　TEL:03-5835-1711(代)

謹　賀　新　年

都市トンネルの設計，近接施工の設計・計測管理，資機材の販売・リース

東京メトログループ

メトロ開発株式会社

代表取締役社長　矢萩秀一

〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11番9号日本橋小伝馬町ビル　電話03(5847)7800

トンネル本体工設計・設備設計，トンネル点検・補修設計，トンネル現場診断

株式会社 ロード・エンジニアリング

本　社	〒116-0013	東京都荒川区西日暮里5丁目24番7号	TEL 03(3891)0711	FAX 03(3891)0701
大阪支店	〒569-1133	大阪府高槻市川西町2丁目21番38号	TEL 072(691)0711	FAX 072(691)0711
福岡支店	〒812-0011	福岡市博多区博多駅前4丁目25番14号	TEL 092(436)1588	FAX 092(436)1589
仙台営業所	〒983-0803	仙台市宮城野区小田原3丁目4番43号	TEL 022(298)7311	FAX 022(298)7312
新潟営業所	〒951-8062	新潟市中央区西堀通3丁目719番1号4F	TEL 025(201)8143	FAX 025(201)8144
沖縄営業所	〒901-2122	沖縄県浦添市勢理客4丁目16番9号	TEL 098(870)6411	FAX 098(870)6412

アトラスコプコ株式会社
土木鉱山機械事業部

取扱製品：トンネルジャンボ，クローラドリル，ロッド・ビット，ロックボルト，油圧ブレーカ

〒105-0014　東京都港区芝2-13-4　住友不動産芝ビル4号館11F　☎(03)5765-7890

産業用火薬類の製造・販売

アルテックス、ランデックス、ＡＮＦＯ爆薬、ダイナマイト

耐静電気雷管、ＥＤＤ、導火管付き雷管、ＣＣＲ、黒色火薬

カヤク・ジャパン株式会社　東京都墨田区横網1-6-1　TEL. 03-5637-0901

北海道営業部:0125-55-2323　函館担当:0138-54-0790　東北営業部:022-265-0203　東日本営業部:03-5637-0903
名古屋担当:052-586-1373　西日本営業部:06-4863-7821　九州営業部:092-526-2112

カヤバ システム マシナリー株式会社
KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

代表取締役社長　羽生田信良

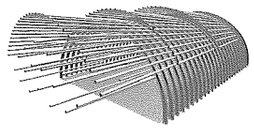
〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル　TEL(03)5733-9441

[取扱製品]　ブームヘッダー型トンネル掘削機，ミゼットマイナー型トンネル掘削機，
ブームカッターシールド掘進機，シャフトヘッダー(立坑掘削機)，ＨＥＰ

謹　賀　新　年

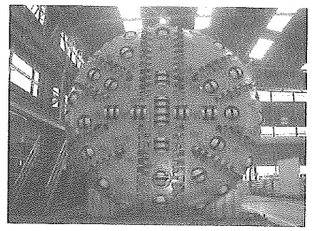
ロックボルト　FIT工法　Me工法　防水シート

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー
土木資材事業部



〒135-0064　東京都江東区青海2丁目4－32　TEL03-3570-5223　FAX03-3570-5233
〒530-0047　大阪市北区西天満3丁目2－17　TEL06-6363-1884　FAX06-6313-0755
http://www.kfc-net.co.jp/

地下空間を開拓するコマツのトンネル機械



国内販売本部地下建機営業部
〒107-8414東京都港区赤坂2-3-6
TEL03(5561)2725
FAX03(5561)2905

KOMATSU

SANDVIK サンドビック マイニング アンド コンストラクション ジャパン株式会社

〒222-0033　横浜市港北区新横浜2-15-12　共立新横浜ビル6F
TEL.045-478-0662　FAX.045-478-0661

取扱製品：トンネルジャンボ，クローラドリル，ブレーカ，ローダ，ロードヘッダ，ツインヘッダ，ロッド・ビット ほか

トンネルリニューアルのエキスパート!

ジャパン・ザイペックス株式会社

東京都港区南青山2丁目22番3号　TEL:03-3403-8511
http://www.xypex.co.jp　E-mail:info@xypex.co.jp

XYPEX®
CONCRETE ENGINEERING BY CRYSTALLIZATION

JAPEX 株式会社ジャペックス

取扱製品
爆薬：■含水爆薬 ■ダイナマイト ■硝安油剤爆薬
火工品：■電気雷管 ■導火管付き雷管 ■導爆線
発破用アクセサリー

URL：http://www.highjex.jp　お問い合わせメールアドレス：japex-staff@highjex.jp

【本 社】
〒105-0003 東京都港区西新橋1-11-5 新橋中央ビル4F
TEL. 03-3506-9061　FAX. 03-3580-8244

北海道営業部 TEL.011-241-6411　中部営業部 TEL.0569-73-7962
東北営業部 TEL.022-215-9001　関西営業部 TEL.06-6454-6561
東京営業部 TEL.03-3506-9061　九州営業部 TEL.092-735-2977

謹　賀　新　年

STARLOY　シールド、TBM、ローラカッタ、カッタビット

株式会社　スターロイ

営業本部　〒545-0053　大阪市阿倍野区松崎町2-10-22
TEL　06-6621-1734　FAX　06-6621-1867
本社・工場　〒709-3612　岡山県久米郡久米南町上弓削1317-1
TEL　0867-28-4511　FAX　0867-28-4512
HP／http://www.starloy.com/　E-mail／starloy@starloy.com

大栄工機株式会社

QJ 01466/ISO 9001:2000

代表取締役　古礒　信幸

本　　社　〒526-0842　滋賀県長浜市春近町90番地
TEL 0749-64-0246　FAX 0749-63-6765
仙台営業所　〒981-1104　宮城県仙台市太白区中田５丁目16-8-313号
TEL 022-796-4510　FAX 022-796-4505

トンネル補助工法・注入材のことなら

TMC　株式会社 ティーエムシー

代表取締役　岡元　頼明

〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-23-3-5F TEL:03-3891-8211
支店・営業所／大阪　仙台　名古屋　九州　URL／http://www.tmc-net.com/

DENKA　デンカナトミック　電気化学工業株式会社
DENKI KAGAKU KOGYO KABUSHIKI KAISHA

代表取締役社長　川端　世輝
本社セメント・特混事業部特殊混和材部長　辻　均

〒103-8338　東京都中央区日本橋室町2-1-1　電話(03)5290-5358

トンネル用機械販売・リース，土木資材販売

NIPPO　日豊株式会社

代表取締役社長　野﨑　正和

本社 ／〒150-0002 東京都渋谷区渋谷 2-12-12 三貴ビル 3F TEL03(3409)8041
西日本事業部 /〒841-0026 佐賀県鳥栖市本鳥栖町 615-6 アーバンコート 2F TEL0942(82)1703

謹　賀　新　年

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

詳細資料請求、お問い合わせは　株式会社　フジテックス

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

未来への確かな技術

次世代型ホイール式ドリルジャンボ・コンクリート吹付け機・トンネルワークステーションなど、様々なトンネル工事に挑戦し実績を積み重ねてきたトンネル各種製品。
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。

FRD FURUKAWA　古河ロックドリル株式会社

代表取締役社長　猿橋　三郎

〒103-0022　東京都中央区日本橋室町二丁目３番14号
特機部　TEL.03-3231-6966　FAX.03-3231-6993　URL: http://www.furukawarockdrill.co.jp/

トンネル補修工事・鋼アーチ支保工・ロックボルト

株式会社 マシノ

代表取締役社長　増野　裕人

本　　社: 〒733-0822 広島市西区庚午中1－19－23　TEL. (082)507－2737
大阪支店: 〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3－16－3　TEL. (06)6389－6400

ジオフロントに技術と実績で迫る
三菱トンネル掘削機(シールド,TBM)

三菱重工メカトロシステムズ株式会社
都市開発部
兵庫県神戸市兵庫区和田宮通五丁目４番22号　〒652-0863　TEL. 078(672)2873
東京都港区港南二丁目16番５号　〒108-8215　TEL. 03(6716)4092　三菱重工メカトロシステムズ株式会社

MITSUBISHI DIABIT　三菱マテリアルの建設工具
MEET YOUR REQUEST!!



東京支店 03-5819-5263　大阪支店 06-6355-1053　九州営業所 092-573-7372　海外グループ 0584-27-5011　岐阜製作所 0584-27-4334

謹　賀　新　年

HCD－101・301・401 油圧クローラードリル　YTB－1120 トンネルビッガー
ヤマモトロックマシン株式会社
代表取締役　山　本　勝　俊
東京都千代田区丸の内三丁目２番３号　富士ビル 713区
TEL(03)3201-0701　FAX(03)3201-5702
URL http://www.yrm.co.jp　E-mail: tokyo@yrm.co.jp

連載講座

ずり処理入門(１)

―概　説―

「ずり処理入門」連載講座小委員会

連載をはじめるにあたって

掘削したずりを坑外に搬出する作業をずり処理といい，ずり積み，ずり運搬，盛土場処理の三つの作業に分けられる．

トンネル切羽から掘削ずりを搬出する作業は，機械化の進んだ現在でも，掘進サイクルに占める割合は大きく，重要な作業の一つとなっている．

また，近年は社会の環境問題の高まりから，ずりの有効利用や自然由来の重金属の処理についても，トンネルのずり処理として重要な事項となってきている．このように，ずり処理の守備範囲が大きく広がり，社会への影響も無視できない現状を踏まえ，今回の連載講座においては，この技術を取り上げることとした．

筆者(木内)は，今を去る37年前に山陽新幹線の富田トンネル，第２桜谷トンネルに従事した．当時のずり搬出は，一部のトンネルで，ダンプによる搬出が行われていたが，ほとんどのトンネルではレール方式によっていた．現在と同じ新幹線トンネル断面のずりを，グランビートロと呼んでいた鋼車ですべて搬出したのである．

富田トンネルも，坑口部の小土かぶりで，脆弱な地山の部分をサイロット工法，その後の底設導坑先進工法区間を含めすべて，レール方式で掘削ずりを搬出した．ずりを満載したずりトロや，6 m^3のコンクリートを満載したスクリュークリートが「トンボ」(脱線)したときは，切羽進行の遅

「ずり処理入門」連載講座小委員会

委員長	大島　洋志	国際航業(株)上席フェロー 技術センター長
委　員	秋田　勝次	(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部新幹線部担当部長
〃	城間　博通	(株)高速道路総合技術研究所 道路研究部トンネル研究担当部長
〃	千葉　隆	清水建設(株)土木技術本部 地下空間統括部部長
〃	福家　佳則	鹿島建設(株)土木管理本部土木工務部 トンネルグループ長
〃	松原　利之	飛島建設(株)土木事業本部土木技術部 トンネル技術グループ部長
〃	山道　哲二	(株)大林組生産技術本部統括部長
〃	領家　邦泰	大成建設(株)土木本部土木技術部 トンネル技術室参与

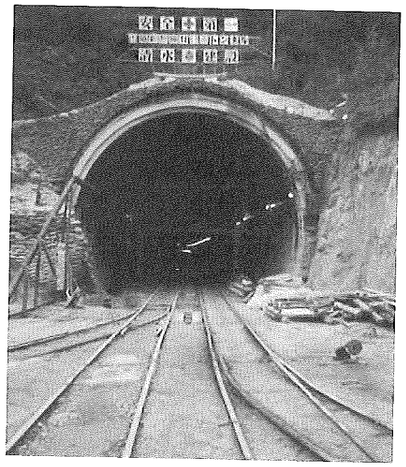


写真-1　レール方式によるずり出し
(山陽新幹線廿日市トンネル)

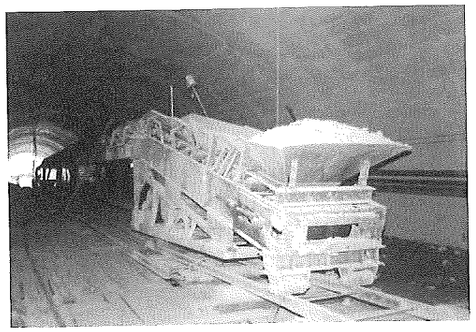


写真-2　上半ずり出し用トレンローダ[1)]

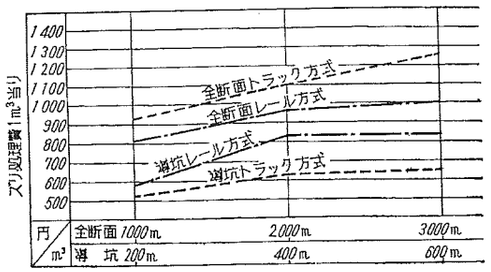


図-1　ずり処理費比較[2)]

れや，覆工コンクリートのコールドジョイントなどを心配しながら復旧作業にあたった．

あの頃は，タイヤ方式が理想的な運搬方式に思えた．当時のレール方式の様子を**写真-1, 2**[1)]に，当時のずり搬出についてのコスト比較を**図-1**[2)]に示す．

今から40年程前は，レール方式がトータルとして，経済的であったことがうかがえる．

さて，「トンネルと地下」では，過去2度にわたって「ずり処理」に関する連載講座が行われた．1度目の講座名は，「ずり処理入門」で，1973(昭和48)年6～8月の3回にわたって連載され，以下のような目次構成で執筆された．

1. まえがき
2. ずり積み
   2-1　ずりの増え
   2-2　ずり積み機械
3. ずり運搬
   3-1　ずり運搬方式
   3-2　ずり運搬車
   3-3　坑内機関車
   3-4　線路
   3-5　入れ換え
   3-6　ずり運搬の実例
   3-7　斜坑・立坑のずり運搬
4. ずり捨て

今から36年前であり，山陽新幹線などの鉄道新幹線トンネルの建設が盛んで，レール方式が全盛期なこともあり，トラック方式よりもレール方式を中心とした坑口までの「ずり積み」，「ずり運搬」，「ずり捨て」が詳細に記述されている．

2度目の講座名は「山岳トンネルにおける工事用機械の選定」で，2003(平成15)年10月から，全26回連載のうち，2004(平成16)年8月の第10回から11月の第13回まで計4回にわたって掲載され，以下のような目次で構成執筆された．

ずり出し

積み込み機械(大断面)

1. 概要
2. 大断面トンネルにおけるずり積み込み機械
3. 大型ホイルローダによる積み込み工事例
4. ローディングショベルによる積み込み工事例

積み込み機械(中小断面)

1. はじめに
2. 機械の種類と特徴
3. 機械選定のポイント
4. 特殊断面での施工事例
5. 中小断面積み込み事例

運搬機械(大断面)

1. はじめに
2. ずり運搬時の留意点
3. ずり運搬機械選定における留意点
4. 大断面に使用されるずり運搬機械
5. 大断面運搬機械事例：30tダンプトラック
6. 大断面運搬機械事例：トンネルコンテナ(TC)工法
7. 大断面運搬機械事例：連続ベルコン

運搬機械(小断面)

1. はじめに
2. 小断面レール式運搬機械
3. 小断面運搬機械事例：鋼車
4. 小断面ずり出し施工事例：シャトルトレイン

今から5年前の連載であり，新幹線や全国高速道路網，第2東名神などの工事が進行中であり，大断面から小断面までの代表的な積み込み，運搬手段が紹介され，機械選定に至るまでの考え方が詳述されている．

一方，『トンネル標準示方書(山岳工法・同解説)』は，現在までに，5回改訂されている．

「ずり処理」について第1回からの記述の内容をみてみると，

〈昭和39年トンネル標準示方書では〉

第72条　ずり処理

(1)　地質，爆破および積込方法などより適正なずりの増加率を考慮し，円滑なずり処理ができるようにしなければならない．

(2)　運搬途中ずりが落ちないように積込まなければならない．

(3)　土捨場は，必要な，排水，法面防護などをしなければならない．

〈昭和44年版(第1回改訂)では〉

第86条　ズリ処理

積み込み機械，ズリ運搬方式，運搬車の大きさ，ズリ捨て設備，等のズリ処理計画は，トンネルの掘進速度を支配する大きな要素であるから，工程に適合するよう十分検討して定めなければならない．

〈昭和52年版(第2回改訂)では〉

第101条　ずり処理一般

ずり処理の計画は，断面の大きさ，勾配，掘削工法，掘削方式，ずりの性状，等を考慮して定めなければならない．

〈昭和61年度版(第3回改訂)では〉

第92条　ずり処理計画

ずり処理計画は，地山条件，立地条件，トンネル断面の大きさ，延長，勾配，掘削工法，掘削方式，ずりの性状等を考慮して定めなければならない．

〈平成8年度版(第4回改訂)では〉

第103条　ずり処理計画

ずり処理計画は，地山条件，立地条件，トンネル断面の大きさ，延長，勾配，掘削工法，掘削方式，ずりの性状等はもとより，土捨場までの運搬距離，道路事情，土捨場での受入れ体制等の諸条件も考慮して計画しなければならない．

〈平成18年度版(第5回改訂)では〉

第105条　ずり処理計画

ずり処理計画は，地山条件，立地条件，トンネル断面の大きさ，延長，勾配，掘削工法，掘削方式，ずりの性状等はもとより，ずり搬出先までの距離，道路事情，搬出先での受入れ体制等の諸条件も考慮して計画しなければならない．

となっている．

昭和39年から平成8年の第4回改訂までは，「ずり処理」に関して，主にトンネル坑内における記述が中心であったが，第5回改訂では，盛土材やコンクリート骨材への有効利用といったニュアンスを込め「ずり搬出先」という用語に変り「土捨場」という用語は消えている．このことは，「掘削ずり」も資源であるという考えから有効活用しようという大きな流れとくみとれる．

ずりの最終のおちつき場所は従来「土捨場」，「残土捨場」，「ずり処分場」，「最終処分場」といった不用なじゃまもの扱い的な用語を用いてきたが，本連載では，ずりの積極的な活用という意味を込め，「盛土場」という用語を意識して使用するよう試みた．

また搬出先すなわち盛土場までは，一般道を通ることが多く，トンネル工事の中で第3者との接点がもっとも多く，環境対策等事業者，施工者にとっても，もっとも重要な工種となっている．

こういった現状をうけ，別表に示す連載講座小委員会を設け執筆を担当するものとした．目次構成は以下のように考えている．

1. はじめに(概説)
2. 掘削ずりの処理
3. 掘削ずりの活用と処理
4. 自然由来重金属含有ずりの活用と処分
5. 発生土の有効活用事例および環境対策等事例
6. おわりに(技術課題と将来展望)

3回目となる「ずり処理」の連載であるが，過去2回の連載で欠けていた坑外仮置き場から盛土場に至るまでの項目，自然由来重金属含有ずりの項目，ずりの有効活用の項目を加えた内容とした．

トンネルの切羽から坑外仮置き場までのずり処理については，過去の連載をもとに，土木的視点に立った技術論を中心にまとめる考えである．

次回から各テーマの各論について11回の予定で連載する．

① はじめに

トンネル技術の要素は，①地山を掘削(破砕)する技術，②掘削した地山を運び出す技術，③掘削した空間を保持する技術，④トンネル作業を進めるための環境を維持する技術，⑤生活環境，自然環境に対する影響を緩和する技術，⑥付属設備に関する技術などからなる総合技術である[3]．

本連載講座のテーマである「ずり処理」は，②の「掘削した地山を切羽から運び出す技術」である．ずり処理作業は，ずりの積み込み，ずりの運搬，盛土場での処理に分けられる．ずり処理の方法は，地山条件(地質，湧水など)，立地条件(周辺環境，運搬経路，盛土場など)，トンネル断面の大きさ，延長，勾配，掘削工法(全断面工法，ベンチカット工法，導坑先進工法など)，掘削方式(発破掘削，機械掘削など)，余掘り量，ずりの性状などを考慮し，なおかつ安全と衛生面にも配慮して積み込み機械，運搬方式，運搬機械，ずり処理設備などを検討する必要がある．ずり処理に要する時間は，発破掘削の場合トンネル掘削全体の約20～35%を占めており，掘削作業サイクルの中で占める時間が多いため，ずり処理をいかに効率的に行うかは，トンネル工事の全体工程に大きく影響を及ぼしてくる．したがって，いかに安全かつ迅速に切羽のずりを処理するかを考えなければならない[4),5)]．

また近年，坑内作業環境や安全に対する一層の改善および土壌環境汚染問題など，社会の環境に対する意識の高まりから，発生ずりの最終処分場である盛土場までの管理や，盛土場の選定，盛土場の構造，ずり処分後の盛土場のモニタリングも大切な項目となっている．したがって，ずり処理においても，④の「トンネル作業を進めるための環境を維持する技術」，⑤の「生活環境，自然環境に対する影響を緩和する技術」も避けて通れない重要な項目となってきている．

一方，そのほとんどが公共事業であるトンネル工事では，従来にも増して効率的なずり処理，地球環境にやさしいずり処理，資源の有効利用としてのずりの再利用などが求められている．

② ずり処理

2-1　ずり処理計画

ずり処理計画は，トンネルの掘進速度を支配する大きな要素である．ずり処理は，ずり積み(切羽での積み込み作業)，ずり運搬(切羽から仮置き場までの運搬作業，坑外における盛土場までの運搬作業)に分かれるが，基本となる作業はずり運搬である．一般に坑内から仮置き場までの運搬には主にタイヤ方式とレール方式が採用されているが，近年は，タイヤ方式が一般に採用されている．また近年ではTBM工法によるトンネルや延長の長いトンネルの作業環境改善のために連続ベルトコンベヤ方式が採用されている[6),7)]．

坑内でのずり積みでは，積み荷の姿を整えることが難しく，またタイヤ方式の場合には，坑内路面は一般道に比べて凸凹が大きいので，運搬中の荷こぼれ防止の観点から，余裕をもった積み込み量で計画する必要がある．

ずり運搬方式が決まれば，ずりの性状を考慮のうえ，ずり積み機，運搬機械，およびこれらの組み合わせを比較検討し，安全かつ能率的なずり処理計画を決定するとともに，ずり運搬方式に応じて，換気容量および換気方式に対する検討を十分に行う必要がある．また運搬方式によっては，坑内でのすれ違い設備やインバート施工のための桟橋設備やターンテーブルが必要なこともある．このようなずり処理計画にもとづく設備はトンネル掘進の施工能率や地山安定に大きな影響を及ぼすことがあることから，ずり処理計画にあたっては

注意を要する[6),7)]．

ずり性状とは破砕されたずりの大きさ，硬さ，吸水による変化および容積増加の割合などをいうが，これらは地山条件，掘削方式などに影響を受ける．また，ずりの大きさとその混合割合，硬さおよび吸水による変化は，ずり積み機，運搬方式，二次破砕設備などの決定に関係し，ずり容積増加はずり処理設備の容量の決定に関係する．増加率は運搬中のものと落ち着いたときの状態とでは異なる．ずり量は容量増加によるほか，余掘りによる増加もあるので，これらを考慮してずり量を見込む必要がある．

また，盛土場までの距離が長く，道路交通事情の悪化が見られる場合は，搬出経路などについて十分な検討を行う必要がある．とくに一般道においては，搬送時間帯の制約が夜間のみならず，通勤，通学時間帯にまで及ぶことが多くなっており，十分な検討を行っておく必要がある[6),7)]．

2-2　ずり処理機械

2-2-1　ずり積み機

ずり積み機の動力方式には，かつて圧縮空気駆動方式のものが多用されたが，近年は，ディーゼル機関駆動や電気駆動のものが用いられている．ディーゼル機関駆動のずり積み機を用いる場合は，坑内での作業環境保全，安全性の確保の観点から排ガス処理装置を装備したものを使用する必要がある．

走行方式は，ホイール式，クローラ式，レール式に大別される．大きさ，積み込み方式も各種のものがあり，機械の選定にあたっては，トンネル断面に適合し，積み込み能力が運搬機械の容量とバランスがとれたものを選定する必要がある．

トンネルでのずり積み込みは破砕岩などの積み込みを主としているため，一般のショベルに比べてその構造が頑丈なものを選定する必要がある．

積み込み方式は，断面の小さなトンネルでは，バケット式やギャザリング方式のものがあるが，断面が大きくなるにつれて，サイドダンプ方式を採用することが多い．大断面のトンネルでは，大型のホイールローダやショベル系掘削機(バックホウなど)あるいはローディングショベルなどによるフロントエンド方式などを選定することもある．

また，レール式の場合には積み込み補助としてトレンローダや中間コンベヤなどを用いる場合もある．自由断面掘削機などによる機械掘削の場合は，掘削機と連動で積み込む場合もある[7)]．

クローラ式またはホイール式ずり積み機を使用する場合，地質によっては湧水により路盤が劣化し泥濘化することがあるので，湧水処理の諸対策を考慮して施工する必要があるが，泥濘化しやすい路盤にはクローラ式が適しているようである．

ずり積み機の種類を**表-1**[8)]に示す．

2-2-2　ずり運搬

坑内のずり運搬には，通常，ダンプトラック，ずり鋼車が使用されているほか，タイヤ方式ではロードホウルダンプ，大型ダンプトラック(20～40t)，コンテナ式，レール方式では，シャトルカー，また近年では連続ベルトコンベヤ方式を採用する例も増えている．その他の特殊な方式として，空気カプセル方式などがあり，小断面のTBM工法では流体輸送方式が使用されている．ずり運搬機

表-1　ずり積み込み機械の種類[9)]

機種		積み込み方式	動力方式
トラクタショベル	タイヤ式(ロードホウルダンプを含む) クローラ式	フロントエンド式 サイドダンプ式	ディーゼル機関式 電動式
パワーショベル かき込みローダ (シャフローダ・ヘグローダ)	クローラ式 レール式 タイヤ式	ショベル式(バックホウ式) コンベヤ式	ディーゼル機関式 電動式
ロッカショベル	レール式 クローラ式	オーバヘッド式 サイドダンプ式	空気動式 電動式

※引用原文を一部加筆修正

械の選定にあたっては，トンネル断面の大きさ，ずり積み機の能力などを考慮して適切な大きさ，台数を決定する必要がある．

コンテナ式は，ずりを積み込んだ複数のコンテナを，ずり積み込み中は切羽作業に支障のない位置に仮置きし，ずり積み終了後，随時コンテナを坑外へ搬出する方法で，トンネルの延長にかかわらず一定の時間でずりを切羽から取り除ける利点があるため，大断面の比較的延長の長いトンネルで採用されることが多い．また，トンネル坑口近くに住宅が近接し，夜間のずりの搬出が制限されるような場合には，坑内にコンテナを仮置きできることから，夜間の騒音対策工法として採用されることもある．

レール方式の場合，ずり鋼車の大きさおよび編成台数が，機関車，軌道の構造，入替え方式を決定する要素となる．また，ずり鋼車の型式には固定箱型，サイドダンプ型，底開き型などがあり，ずり置き設備の条件により適切なものを選定する．

連続ベルトコンベヤ方式は，TBM工法はもとより延長の長いNATMトンネルにおいても採用例があり，坑内作業環境の改善，安全性の向上を主目的としている．システムとしては，切羽で発生したずりをベルトコンベヤにて連続的に輸送し，ずり仮置き場に搬出する．なお，ずりの大きさに制約を受けるためTBM工法以外においては切羽でずりを破砕する設備が必要となり，自走式クラッシャーと連続ベルトコンベヤシステムの組み合わせが一般的である．

特殊な方式である空気カプセル方式は，常設した管路の中に運搬車両(カプセル)を低圧空気流で無人走行させる方式である．ずり搬出先まで直送することも可能であり，周辺環境保全，安全性，効率性の観点から，トンネル工事にも採用された例がある．

斜坑を利用してのずりの搬出には，ずり鋼車を直接ウインチで巻き上げる方式，スキップカーによる方式，ベルトコンベヤによる方式などがある．ベルトコンベヤによる方式の場合は，坑底にクラッシャー，ブレーカなどを設備して，大塊を破砕する必要がある．

また，施工性，安全性の観点から，斜坑の勾配を緩くして，タイヤ方式を採用することが多い．この場合斜坑の勾配は，12.5%以内が望ましい．

立坑を利用してのずり搬出には，グラブバケットによる方式，キブルによる方式，定置式トレリフター，特殊なベルトコンベヤなどによる方式があるが，ずりの巻き上げ搬出中の落石による事故防止に十分な注意が必要である．

なお，立坑および斜坑を利用してのずり搬出では，搬出能力がトンネルの掘進速度を左右するため，余裕を持った設備とすることが望ましい．

ずり運搬機の分類を**表-2**に示す．

表-2　ずり運搬方式の分類

工　　法	ずり運搬車	付帯設備
レール方式	ずり鋼車 シャトルカー (シャトルトレイン)	(入れ替え設備，離合場所) (入れ替え設備，離合場所)
タイヤ方式	ダンプトラック 重ダンプトラック ロードホウルダンプ コンテナ式ダンプトラック	(方向転換設備) (方向転換設備)
連続ベルトコンベヤ方式	連続ベルトコンベヤ	ベルトストーレッジ， クラッシャ(中間ブースタ)
その他の運搬方式	カプセル スラリー(流体輸送) キブル	輸送インフラ設備 濁水処理設備 立坑巻上げ設備

2-2-3　ずり仮置き設備

タイヤ方式では，切羽から盛土場などまで直接ずりの搬出も可能であるが，道路交通事情，搬送時間帯の規制のために坑口付近に仮置きする場合が一般的である．また，坑口付近の騒音問題のため，夜間におけるずりの搬出が制約を受ける場合には，トンネル坑内でのずりの仮置き，コンテナ方式などによる坑内仮置き方式を採用することもある．

レール方式の場合では，軌道を盛土場まで延長して直接ずり置きすることができるが，盛土場が離れている場合には坑口付近にずりびんを設け仮置きする．ずりびんからの搬出は，ショベルなどによりダンプトラックへ積み込むほか，びん底部にフィーダーを設けたり，バケットコンベヤ，ベルトコンベヤなどの設備を持った特殊なずりびんを設置し，直接ダンプトラックに積み換えたりする方式が採用される．ずり鋼車の転倒装置には，ずり鋼車の型式によってチップラーとカーダンパーがあるが，ずり鋼車の構造に適合し，能率のよいものを採用する必要がある[7]．

ベルトコンベヤ方式では，通常は坑口にずりびんを設け，一時貯蔵するか，または野積みで仮置きする．ずりびんからの搬出は，びん底部にフィーダーを設けたり，バケットコンベヤ，ベルトコンベヤなどの設備を持った特殊なずりびんを設置し，直接ダンプトラックに積み換えたりする方式が採用される．

野積みの場合はショベルなどにてダンプトラックに積み換える．

曲線コンベヤを使用し，コンベヤに覆いを付けて直接盛土場まで運搬する場合もある[5]．

ずりの仮置きヤードの容量については，トンネルの掘削進行に支障が生じないよう，発生するずりの量，運搬方式，道路交通事情，受入れ体制などを考慮し，慎重な検討が必要である[6),7)]．

2-3　ずり積み作業

ずり積み作業中は危険区域を定め，当該作業員以外の立入りを禁止し，十分な照明と換気を行い，ずりの性状によっては粉じん対策を行う必要がある．また，運転手には熟練者をあて，支保工や配管類，電線などの仮設物を傷めないように注意する必要がある．発破方式の場合，とくに十分な照明を行い，作業前，作業中を通じて，残留爆薬の有無を十分確認しながら作業を行う必要がある．

過積みにより，運搬中にずりがこぼれ落ち，障害事故や脱線の原因となるほか，後方設備やジャンボなど他の施工機械に損傷を与えることがあるので，ずりは積み過ぎないように心がける必要がある．また岩塊が車体からはみ出していると，坑内の仮設備などに接触し，思わぬ事故を招くおそれもあるので，ずりは車体の外に出ないよう均等に積み込む必要がある．発破掘削での連続ベルトコンベヤ方式の場合は，掘削ずりをクラッシャーに投入可能な大きさまでブレーカなどにより，小割りする必要がある．

タイヤ方式による場合，設備機械や作業員が混在する箇所での後進運転や方向転換に際しては，誘導員の配置を行うことが望ましいが，回転場所を特定して後進運転を規制するなど，作業全体の安全に十分注意することが重要である．一般には，方向転換を避けるため，二つの運転席を装着したものや，運転席が回転する特殊なダンプトラックも使用される．トンネル断面によっては，坑内でのダンプトラックの方向転換にターンテーブルを用いたり，掘削断面の拡幅による待避所，方向転換坑などを設置したりし，利用することもある．

レール方式による場合，ずり鋼車の入替え作業の良否が工事全体に大きく影響することがあるため，効率的なものを採用しなければならない．一般に，シャトルカーなどにより入替えを行わない設備とすることが多い[6),7)]．

③ 坑内運搬

3-1　運搬方式

運搬方式には，タイヤ方式とレール方式が一般に採用されているが，近年，ベルトコンベヤ方式の採用も多くなってきている．

タイヤ方式は，ダンプトラックなどの車両により，積み替えすることなく坑内と坑外を運搬できるので，レール方式に比べて坑内および坑外の仮設備が簡単であり，比較的大きい断面のトンネルに適している．しかし早期のインバート閉合を必要とするトンネルでは，切羽への走路確保のために移動式の桟橋設備が必要となる場合がある．また坑内環境の改善と併せて，ディーゼル機関の排気ガスおよび，ばい煙に対する換気設備を選定する必要がある．

レール方式は坑道に軌道を設け，ずり鋼車などの車両を連結し，バッテリ機関車でけん引して運搬する方式である．トンネルの規模，地質などに制約されないが，トンネルの勾配に制約され，2

%程度以上の勾配では車両が逸走する危険度が高くなるので，十分な逸走防止対策を行う必要がある．逸走防止対策としては，逸走防止装置の設置，けん引重量制限，複数のブレーキ装置または非常停止制動装置を装備したバッテリーロコの使用などがある．

ベルトコンベヤ方式は，電動モーターなどの駆動により長距離の連続運搬を行うものであり，水平運搬，傾斜運搬および垂直運搬に使用される．排出ガスの発生がなく，低騒音，低振動で運搬能力が高く工程短縮の面からも採用される場合がある[6),7)]．採用にあたっては，ベルト延伸のためのストーレッジや中間ブースタの検討が必要となる．

表-3に坑内運搬方式の比較を示す．

3-2 路面，その他運搬設備

タイヤ方式を採用する場合は，排水，湧水の処理に対する注意を怠ると掘削中のトンネル内の路盤は荒れやすく，また，いったん路盤が荒れ，不陸が生ずると，たとえ湧水などの影響を受けていなくても加速度的に路盤の状態は悪くなる．とくに施工機械の大型化(重ダンプトラック，コンテナ式など)によって，その傾向は大きい．路面を荒らすと運搬能率が低下するばかりでなく，完成した構造物に悪影響を与える．そのために，路面の凹凸の低減(不陸の整正)や縦横断勾配と排水溝の維持に留意し，必要に応じてポンプによる強制排水を行い，さらに地質や湧水の状況，トンネル延長を十分考慮し，砂利，砕石，鉄板の敷設，仮舗装などを行い，路盤の維持管理の軽減，安全運行の確保および構造物の保全に留意する必要がある．とくにターンテーブル，指定回転場所の周辺は，資機材およびずりの片付け，不陸の整正，排水などを励行するなど，常に良好な状態に保持する必要がある[8)]．

ベルトコンベヤの設備計画にあたっては，ずりの性状(土塊の大きさなど)，通常運搬量と最大運搬量，水平部と傾斜部の組み合わせ，積み込みおよびずり搬出先の位置に配慮する必要がある．

また，斜坑を使用する場合は，斜坑底部付近には十分な排水能力を持つピットを設けるなど，各種検討を行う必要がある[7)]．

レール方式では，軌道状態が不良の場合，脱線，逸走などの障害を起こすおそれがあり，全体の作業能率を低下させるばかりでなく，安全面からも重大災害の発生が懸念される．軌道は，使用する車両の種類，重量などに適応した安全な構造で敷設し，常に十分な保守が必要である[6)]．

3-3 運搬車両

内空限度に近い運搬車両は，待避または，材料運搬などのとき非常に危険であるので，できるだけ使用を避けなければならない．一般に車両の大きさは，ガントリー式ジャンボ，型枠(移動式，組立て式など)，シート張り台車などの架台(ガントリー)を通過する際の余裕や運搬路，通路，固定仮設備(風管，エア管，給排水管，釜場，電力照明設備など)，排水溝および車両の離合などを考慮して決定する．その際，ガントリーと通過車両との余裕寸法が十分にとれない場合が多いので，その付近は路面および軌道の状態に注意する必要がある．また断面が大きく，延長の長いトンネルでは，逆にガントリー下の通過車両を決定した後に，型枠，シート張り台車などのガントリーの大きさを決定することもある．

タイヤ方式による場合で，工事中のトンネル内，工事用道路に限定して車両を運行する場合は，道路交通関係法規の適用を受けないが，車両整備不良による事故を防止するため，道路運送車両法および国土交通省令に定める保安基準に適合したもの，またはそれに準ずる車両の使用が望ましい．

表-3 坑内運搬方式の比較[7)]を加筆

項目	タイヤ方式	レール方式	ベルトコンベヤ方式
路盤走行路	路盤の排水，補強工の施工および泥濘化防止対策工として仮舗装，インバートの早期閉合などが必要 湧水が多い軟岩，未固結地山では一般に不向き	路盤を傷めない 硬軟いずれの地質でも可能 ポイント付近での路盤整備に留意	路盤を傷めない 硬軟いずれの地質でも可能 湧水が多い未固結地山では一般に不向き
勾配の制限	制限が少ない(12.5%以下が望ましい)	制限が生じる(5%以下)	水平，傾斜(15%以下)
断面の制限	小断面には適さない	タイヤ方式に比較して小断面でも可能	比較的小断面でも可能
換気	大型の設備が必要	タイヤ方式より小型でよい	タイヤ方式より小型でよい

レール方式による場合の機関車は労働安全衛生規則に定められたブレーキ，合図，照明，運転席，車輪などの装置および設備を備えたものでなければならない．複線の場合の車両の間隔は，その保守状態にも関係があるが，少なくとも20cm以上必要である．

運搬車両は，各車両に応じた車体検査，定期自主検査，始業点検などを実施し，各装置が常に正常に作動し，確実にその機能を発揮できるように整備する必要がある．バッテリーロコなどは定期自主検査を法令の定めに従って行い，作業開始前には各装置の始業点検を行って，異常を認めたときはただちに修理しなければならない．とくに狭い坑内での逸走事故はきわめて危険であるので，制動装置，連結器などは確実なものを使用することが重要である．

内燃機関を使用する場合，ガソリン機関およびLPG機関は，排気ガスの中に一酸化炭素が多いので，トンネル内においては原則として使用してはならない．ディーゼル機関を使用する場合は，換気設備は十分余裕のあるものとし，換気の管理を綿密に行う必要がある．またディーゼル機関によるばい煙では，硫黄酸化物(SOx)，窒素酸化物(NOx)，ばいじんに対する対策が主たるものとなるが，安全衛生，環境保全の観点から，排ガス処理装置を装備した車両を使用する必要がある[6),7)]．

④ 掘削ずりの活用と処理

リサイクルによる地球環境の保全や建設コスト縮減が推進されており，発生土の盛土材への利用，道路の路盤材やダムコンクリート用骨材などへの再資源化が進められている．例えば，ダムコンクリート用骨材への発生ずりの利用では，原石山の規模をできるだけ縮小するためダム建設に付随するトンネル工事による発生ずりをコンクリートダムの骨材に利用する計画がある．計画では，発生ずりは極力大塊の状態でストックすることを条件としている．このように，再資源化に際しては，用途，目的に応じてずりの性状や大きさなど，施工管理や品質管理が求められる[9)]．

坑外のずり仮置き場から利用箇所までの運搬手段は，ダンプトラックやベルトコンベヤが用いられる．発生土の搬出先の計画にあたっては，調査成果をもとに安全性や安定性を確認し，運搬が容易で運搬距離が短く，1か所でなるべく多量の掘削ずりの受け入れが可能な場所を選定しておくのがよい．また，公共工事の場合には，その視点からも極力公共用地である候補地を選択することが望ましい．ただし，ずり搬出先の決定には，関連法規上の手続きなどに時間を要し，工事工程に影響を及ぼす場合もあるので，事前の調査や協議が重要となる．

運搬路として狭隘な道路，歩行者の多い歩車道が分離していない道路，通学路などは極力避けるとともに，やむをえない場合は離合箇所の設置，道路の拡幅，舗装，信号機やカーブミラーの設置，見張り員の配置，運行時間や速度の制限などの対策が必要である[6)]．

トンネルが鉱化帯や鉱床跡に位置し，硫化鉱物による酸性水の発生や重金属の溶出が懸念される地山を掘削する場合は，事前調査結果にもとづき発生量を予測し，全量処理とするか分別処理とするかの処理方法，ずりの酸性化を防止するための中和方法や，ずり搬出先の構造について事前に決定しておく必要がある．分別処理とする場合は，分別基準を確立するために事前に溶出特性試験などを実施し，十分な検討が必要となる．また，トンネル掘削中においても，岩石資料の分析，湧水およびずり搬出先排水の水質分析など，モニタリングを継続して実施することが望ましい．

なお，重金属類の精錬，鉱山活動に伴うヒ素およびアスベストを含有する有害物質などを排出する地域についても，同様な検討が必要となる[6)]．

(文責：千葉隆・木内勉/清水建設(株))

参 考 文 献

1) 竹林亜夫：山陽新幹線(岡山－博多)トンネル写真集，清水建設社内資料，1972.1.
2) 斉藤徹・吉村垣・野沢太三・斉藤浩：トンネル工事ポケットブック，山海堂，1972.3.1.
3) 今田徹：トンネル技術の方向を考える，EXTEC講演会資料，2007.7.
4) (財)建設物価調査会トンネル施工積算研究会編：トンネルの施工と積算，2001.6.
5) (財)建設物価調査会トンネル施工積算研究会編：NATMの施工と積算，2006.9.
6) 土木学会編：トンネル標準示方書(山岳工法・同解説)，2006.
7) (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説，2008.4.
8) (社)日本トンネル技術協会：トンネル工事用機械便覧(山岳編)，1996.2.
9) 広島隆・大久保誠介・福井勝則・篭橋広文・西崎昌士：トンネル掘削における発破ずりの粒土分布，2006.11.

わかりやすい **トンネルの力学**

B5判　286頁　本体価格 5,825円　〒340円

福島啓一 著

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

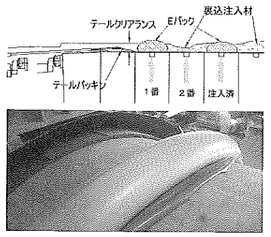
本書はトンネル力学の基礎的な事項に基づく問題点を経験則と理論則から説明し，設計・施工に携わる実務者がトンネルを掘るとき，また，計画・設計するときに考慮しなければならないトンネルの力学を主眼にした入門書である．

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

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

工法・技術・製品ニュース

工法 錢高組ほか「Eバッグ」を開発・初適用



(上)Eバッグ充填手順(下)実験による充填状況

錢高組技術本部技術研究所
TEL：03-5323-3861
http://www.zenitaka.co.jp

錢高組，芦森工業，スリーボンドユニコムは共同で，シールド工事の急曲線部などでセグメントの背面を充填するEバッグ(イーバッグ)工法を開発し現場に適用した．

同工法は，セグメントに充填用のEバッグを外周面に沿って取り付け，シールド内からエレクターで組み立てる．シールドが前進し裏込め注入孔がテールシールを抜けた直後に裏込注入材を充填し，セグメント外周にドーナツ状の袋体リングを形成するもの．

裏込め注入材は袋内で加圧されて地山に密着することで確実に背面充填され，テールシール位置での切羽へのまわり込み散逸を防ぐ．さらに，次工程でEバッグ間に注入する裏込め注入材も前方への流出が防止され，全体形として歩留まりが良い裏込め注入が可能となる．

今回適用した現場は外径φ6,150の泥土圧式シールド工事で，R=40mを掘進中に適用した．

製品 超小旋回型ミニショベル3機種をモデルチェンジ



ZX55UR-3

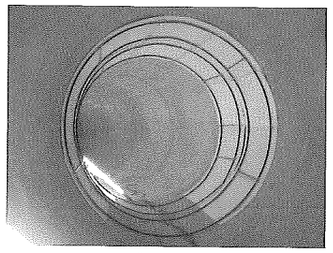
日立建機(株)
TEL：03-3830-8065
http://hitachi-kenki.co.jp

日立建機は，3～5tクラスの超小旋回型ミニショベル3機種をモデルチェンジし，ZX UR-3シリーズとして発売した．

同シリーズは，ZX30UR-3がバケット容量0.09m³，機械質量2.99tで，ZX40UR-3がそれぞれ0.11m³，3.6t，ZX55UR-3が0.22m³，5.3tとなっている．フロントやブレードの構造強化や操作性の改良，超小旋回型機に必要な干渉防止装置システムの信頼性の向上など，使用性を見直した．また，従来機の特徴であるチルトアップフロアやHNブッシュなど，メンテナンス性に優れた点は引き継いだ．排出ガスについても，最新の規制に適合したエンジンを搭載し，低燃費モードを設定するなどして環境性能を向上させた．

また，排土板の支柱をボックス構造にして外力に対する変形を起こしにくくしたほか，フロント構造物の強化(ZX55のみ)など，全体の信頼性を高めている．

工法 「うるおんマット・シールド養生工法」を初適用



うるおんによる養生状況

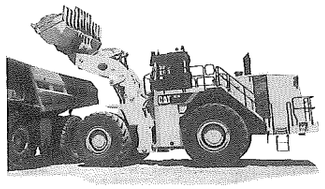
戸田建設(株)環境ソリューション部
(担当：田中　徹)
TEL：03-3535-1372
http://www.toda.co.jp

戸田建設，フジモリ産業，早川ゴムは共同で，シールドトンネル工事における現場打ち二次覆工コンクリートを対象に「うるおんマット」を用いた「うるおんマット・シールド養生工法」を開発し，シールドトンネルの現場打ち二次覆工コンクリート区間において初適用した．

同工法は，湿潤と保温性能を兼ね備えた「うるおんマット」背面にプラスチック段ボールを設置し，支保材としてFRPロッドを利用するもの．人力により容易に，短時間で設置可能であり，坑内を高温多湿にすることがなく作業環境を維持したまま，湿潤および保温養生が可能であることを確認した．また，コンクリート面から5cm程度の厚みしか必要ないため，作業員や資材の通行に支障がない．

通風防止シートや散水による養生では，坑内が高温・多湿となり作業環境が低下することや，養生効果の定量的評価が困難となっていた．

製品 バケット容量13.0/14.5m³の大型ホイルローダ国内導入



CAT®993K

キャタピラージャパン(株)
TEL：03-5717-1122
http://japan.cat.com

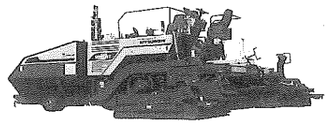
キャタピラージャパンは，鉱山現場などで使用する大型ホイールローダCAT993Kを国内導入した．

同機は，標準リフトアーム(14.5 m³バケット，運転質量134.5t)とハイリフトアーム(13.0m³バケット，同134.7t)の2種類が装着可能．

新世代環境対応型エンジンACERT®の搭載に加え，左ペダルの操作で状況に応じたパワー配分を可能としたインペラクラッチトルクコンバータと，掘削力に優れた積込み機構であるZバーンリンケージの採用により，高い生産性と耐久性を実現した．

また，大容量バケットとハイリフトアーム装着により90t積みから136t積みダンプトラックに合わせることができ，優れた積込み能力を発揮する．さらに新型キャブの採用により，ワイドな前方視界と快適な居住空間を実現するとともに，トレーナーシート，後方監視カメラを標準装備し，安全で快適な操縦環境を実現した．

製品 最大舗装幅6mのアスファルトフィニッシャ新発売



MF61WF

キャタピラージャパン(株)
TEL：03-5717-1122
http://japan.cat.com

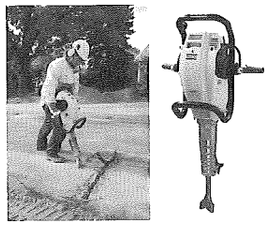
キャタピラージャパンは，道路舗装工事に用いるアスファルトフィニッシャMF61WFの販売を開始した．

同機は，2006年発売のMF61WE series IIのモデルチェンジ機．今回のモデルチェンジでは，新世代環境対応型エンジンACERT®を新たに搭載し，オフロード法に適応させた．同時にエンジンの出力も30%上昇，合材搬送能力を向上させた．

また作業性を向上させるため，合材の供給を受けるホッパの50cm以下のスペースを拡大し低床式としたほか，敷均し装置に温度センサーを設置し，自動的に着火・消火するバーナ温度監視システムを採用した．

メンテナンスについては，6m幅のアスファルトフィニッシャでは初となる遠隔管理システムを標準装備し，稼働位置，時間の遠隔管理が可能となり，軽油噴霧装置をエンジン停止状態でも使用可能とすることで，メンテナンス性に加え，現場周辺に対する騒音も低減させた．

製品 ガソリン駆動ドリル/ブレーカ Cobraシリーズ



(左)CobraPro使用状況，(右)CobraTT

アトラスコプコ(株)
土木鉱山機械事業部代表
TEL：03-5765-7890
http://atlascopco.co.jp

アトラスコプコはガソリン駆動ドリル/ブレーカCobraシリーズ新製品の販売を開始した．

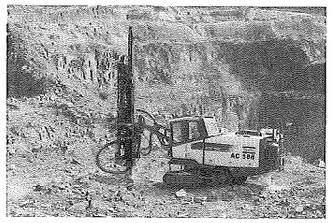
発売されたのは，同シリーズのCobraPro，CobraTT，CobraCombiの3モデル．

キャブレター，フィルターシステムを改良したのに加え，騒音低減システムと触媒装置の設計を一から見直すことで，世界でもっとも厳しい排出ガス規制といわれる米国の環境保護庁の基準を満たし，同社旧モデル比で炭化水素排出量を50%削減した．

また，操作性についても改善を加え，全モデルに電子式イグニッション，チョーク，新設計のタンクキャップを装備した．

そのほかには，高性能のエアフィルタを採用．大量の埃にも対応できるため，耐用年数が長く修理も簡単になるなど，信頼性を高めている．フィルタはすばやく交換可能なように設計されている．

製品 アトラスコプコ 初の国産クローラドリル



ROC T35M

アトラスコプコ(株)
土木鉱山機械事業部代表
TEL：03-5765-7890
http://atlascopco.co.jp

アトラスコプコは，初の国産，横浜工場での設計・製造・組立てとなるクローラドリルROC T35Mを発売した．

同機は，これまでのCDHシリーズのデザインコンセプトと，ROCシリーズの特色を融合した製品で，同社の次世代クローラドリル．エネルギー効率の良いドリフタを搭載し，同社同等機種とくらべて，打撃出力が11%向上した．

同機に採用されたCOP 1840ドリフタは高い穿孔性を実現し，新しいコントロールシステムを用いて，岩盤の状態に応じたフィードスピード・圧力，打撃圧力を最適な状態にリアルタイムで調整するため，岩盤状態の変化に即座に対応して，作業が継続できる．

またドリルロッドに対する衝撃を緩和し，孔ずれを軽減させたことにより，穿孔速度の向上とともに孔曲がり減少させ，生産量あたりのコストを改善させた．

シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編　代表　鈴木　章

B5判 285頁　本体価格4,660円　〒340円

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

〔目　次〕 **第一章　概説**　1．シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性○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

海外文献速報

(社)日本トンネル技術協会 国際委員会

ドイツ：ミュンヘンの鉄道トンネルについての続編/Driving of the Moosach Tunnel/D concluded

By P.Chiappa, M.Demmler, M.kirsten: Tunnel, November, 2008(2006/3, 2007/7号の続編)

ドイツのミュンヘン北部で，オリンピアショッピングセンター地下中央駅(以下，オリンピアSC駅)～Moosach駅間の鉄道トンネルを建設した．ここでは，2008年6月に完成したトンネルの施工について述べる．

【プロジェクト概要】

第2工区には，二つの地下駅(Moosach駅，ライプツィヒ通り駅)が含まれ，この間は平行な2本のトンネルで接続される．さらに東側で営業中のオリンピアSC駅につながる．

2007年5月に直径7.35mのトンネルを泥水式シールドにて掘進開始した．北トンネルは同年11月にオリンピアSC駅の地中連壁に接続し，シールドを回収した後にMoosach駅で再度組立てた．南トンネルは，ライプツィヒ通り駅を通過して2008年6月に全長2,400mのトンネル掘削を終えた．

【トンネル掘削と掘進速度】

Moosach駅～ライプツィヒ通り駅の土質は主に第四紀の砂礫で，平均掘進速度12m/日で施工できた．泥灰土からなる第3紀の地層に入ると閉塞が生じ，1.5mの掘進に5時間を要した．対策として，フラッシング機械を20%増やして，フラッシング中の掘進停止時間を短縮した．これにより，難しい地層ではあったがこの区間を平均掘進速度9.5m/日で施工できた．

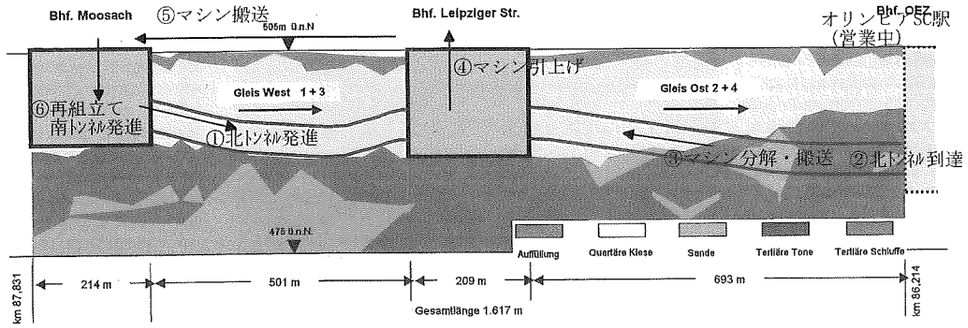
【シールド回収コンセプト】

オリンピアSC駅はすでに営業中であるため，到達したシールドを立坑から回収することができないため，「使い捨てシールドジャケット」のコンセプトでシールドを回収した．これは駅の地中連壁に到達した段階で，外殻カバーは地中に残したままシールド内部だけを回収して，新しいカバーの中に組み立てるものである．カッティングアームは連壁に4 m²程度の開口を作って，水平に倒してからシールド内へ運んだ．エレクタ，カッタヘッドなど各装置を，ライプツィヒ通り駅までトンネル内で搬送し，そこから組立てヤードのあるMoosach駅まで運んだ．

【その他(障害事例の紹介)】

- ベントナイトスラリーの状況は良いにもかかわらず搬送回路でのロスが生じ，掘進を中断した．対策として高分子系添加剤を入れたところ，流量限界が増大してロスが減った．原因は転石を含む地層と考えられる．
- TBMの主ベアリングのシーリングシステムにトラブルが生じた．

(文責：西村繭果・(株)竹中土木)



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
正会員	1,772名
団体会員	302名
個人会員	1,470名

2. 第197回理事会，第67回顧問・評議員会

日　時：平成21年11月26日(木)12：00～13：00
場　所：東京商工会議所8階「東商スカイルーム」
出席者：理事21名，監事3名，顧問2名，評議員20名
　　計46名
議　事：
①59名の入会と39名の退会を承認
②理事，評議員の交替を承認

1. 理　事

旧	新	所属役職
横田　耕治	廣瀬　輝	中日本高速道路(株)執行役員建設事業本部長
中村　益美	小川　健一	東京都下水道局技監
橋本　徳昭	大石　富彦	関西電力(株)土木建築室長
林　康雄	伊藤　泰司	東日本旅客鉄道(株)建設工事部長
香西　慧	野村　昇	戸田建設(株)専務執行役員
吉川　邦彦	齋藤　義信	西松建設(株)執行役員副社長

2. 評議員

旧	新	所属役職
山内　幸裕	雪本　雄彦	阪神高速道路(株)技術部長
中里　隆	中島　義成	日本下水道事業団東日本設計センターセンター長
小川　健一	宇田川孝之	東京都下水道局計画調整部長
森本　浩	吉津　洋一	関西電力(株)土木建築室土木部長
有賀　長郎	松田　一郎	(社)日本土木工業協会専務理事
小鷲　茂	有賀　長郎	(社)日本建設業団体連合会専務理事
市川　正美	飯塚　恒生	東急建設(株)専務執行役員

③規程の改定を承認
④第36回通常総会開催日を平成22年5月28日(金)とした．

3. 委員会の開催状況(11月1日～30日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会会誌WG(11/4)
大島洋志主査ほか11名，12月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

対外広報WG(11/11)
早坂治敏主査ほか6名，原稿執筆者を確認

海外文献小委員会海外ニュースWG(11/26)
早坂治敏主査ほか6名　海外ニュースを翻訳
計　3回開催　26名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

都市トンネル小委員会格言編集WG(11/5)
栗原謙一郎主査ほか6名，格言集を査読

◎受託研究特別委員会

耐震設計検討特別委員会幹事会(11/4)
蒋宇静幹事長ほか16名，作業方針を検討

効率的掘削工法特別委員会技術資料WG(11/4)
楠本太主査ほか5名，作業方針を検討

効率的掘削工法特別委員会補助ベンチWG(11/24)
鈴木雅行主査ほか5名，作業方針を検討

都道JR線立体交差特別委員会(11/11)
小山幸則委員長ほか29名，影響解析結果を検討

小田急立体交差特別委員会(11/24)
小山幸則委員長ほか34名シールド掘進結果を検討
計　6回開催　101名出席

合計　9回開催　127名出席

4. 国際会議の開催予定

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

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

5. 平成21年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(見学会)				
HEP&JES工法現場研修会	2009. 4.20	8	東京都	2.0
国道９号京都西立体交差現場研修会	2009. 4.27	17	京都府	2.0
首都高速中央環状新宿線現場研修会	2009. 6.25	18	東京都	2.0
新東名島田第一トンネル現場研修会	2009. 7.13	20	静岡県	4.5
調布駅付近連続立体交差現場研修会	2009. 7.17	25	東京都	2.5
北陸地区トンネル現場研修会	2009. 8. 7	20	福井県	7.0
仙台地区トンネル現場研修会	2009.10.16	19	宮城県	4.5
名古屋市地下鉄現場研修会	2009.11.20	18	愛知県	2.0
大阪地区トンネル現場研修会	2009.12.11	20	大阪府	2.0
(施工体験発表会)				
第64回(山岳)「新たな発想により課題を克服した施工事例」	2009.10. 7	109	東京都	6.6
第65回(都市)「都市トンネル工事における創意工夫・新技術」	2009.10. 8	88	東京都	6.8
(講演，講習会)				
第11回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2009.10.29，30	27	東京都	20.5
第12回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2009.11. 5，6	24	愛知県	13.0

施工体験発表会最優秀賞受賞論文

第64回(山岳)ならびに第65回(都市)施工体験発表会において最優秀賞を受賞した２編の論文をここに掲載し，紹介いたします．

第64回(山岳)施工体験発表会最優秀賞

発破振動に起因する地表建物内の騒音を制御した合理的なトンネル施工

前田・三幸建設工事共同企業体湯郷トンネル作業所所長 松原 健
前田・三幸建設工事共同企業体湯郷トンネル作業所工事課長 村瀬 晃
前田・三幸建設工事共同企業体湯郷トンネル作業所工事主任 芦田良太

1. はじめに

美作岡山道路は，岡山県が事業主体として行う地域高規格道路整備事業の一環で，岡山市東区瀬戸町～勝田郡勝央町を結ぶ延長約36kmの地域高規格道路である．

このうち湯郷第一トンネルは，岡山県美作市にある湯郷温泉の北西に位置し，第一期事業区間となっている湯郷IC～勝間田ICの間に，延長852m，掘削断面積77m²の道路トンネルを構築するものである(トンネル名，IC名は仮称)．掘削は上半先進ショートベンチカット工法および補助ベンチ付き全断面工法，NATM，発破掘削，タイヤ方式で行う．

本トンネル区間中央部の直上付近には宿泊施設があり，発破掘削を行うため，同施設直下を通過する際は振動速度(kine)に対する管理基準値が設けられ，宿泊施設およびこれに付随する温泉井戸近傍の前後約330m区間を制御発破などで施工するよう計画されていた．

発破振動の計測結果より，ほぼ計画どおりの位置から導火管付き雷管による制御発破を開始したが，同時期に，予期せぬ発破騒音が宿泊施設内に発生するようになった．切羽進行とともに騒音は次第に上昇し，振動に加え，騒音による宿泊客への影響が懸念された．

本稿は，工事を進めるうえで重要な課題となった宿泊施設内の騒音に対し，騒音発生のメカニズムの解明と対策工の提案，実施工における発破振動の制御ならびに工夫とその結果を報告するものである．

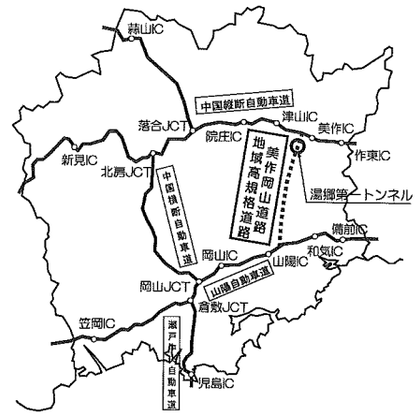


図-1 岡山県高規格道路路線

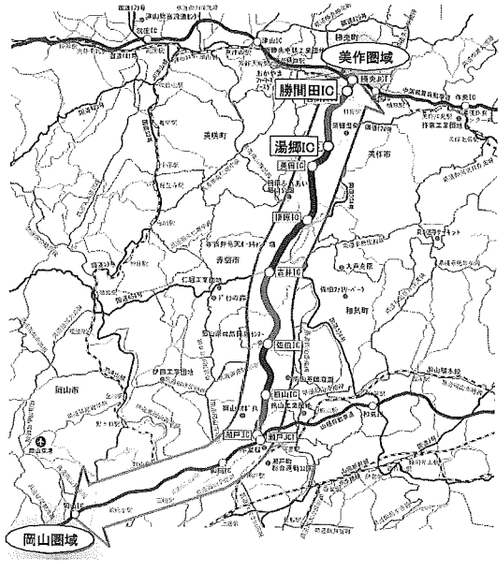


図-2 美作岡山道路路線図

2. 工事概要

工事名称：4-19-4 公共 道路工事
工事場所：岡山県美作市下大谷～中山地内
発注者：岡山県美作県民局
施工者：前田建設工業(株)・(株)三幸工務店建設工事共同企業体

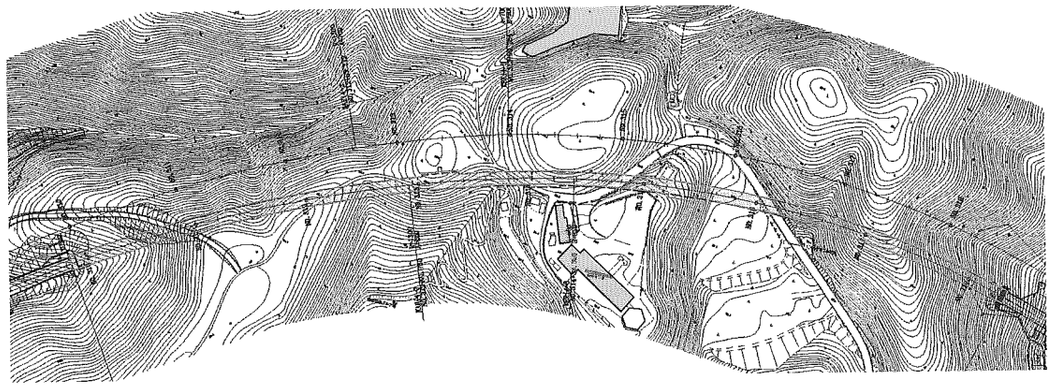


図-3　平面図

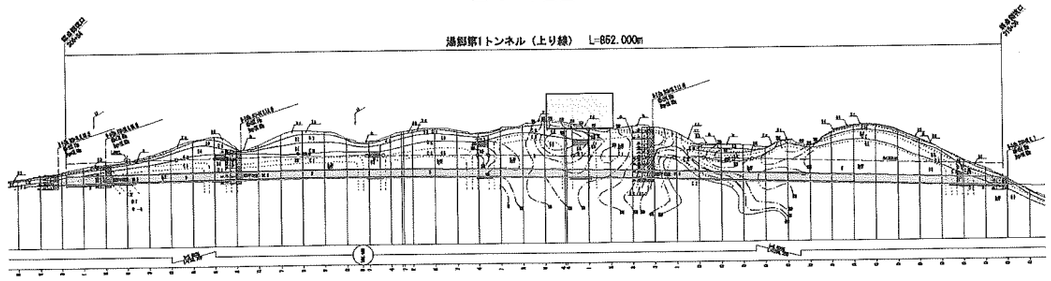


図-4　縦断図

工　　期：平成20年３月17日～
　　平成22年３月31日
工事内容：トンネル延長
　　L＝852m
　　掘削断面積
　　76.3～94.2m^2

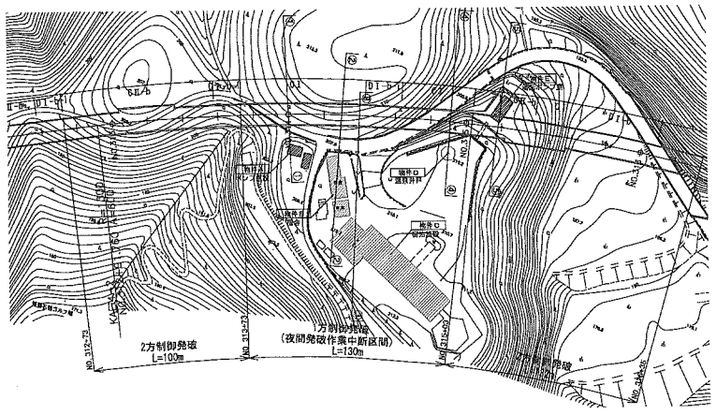


図-5　対象物件位置図

3.　地形・地質概要

本トンネルは全線が痩せた山地の中にあり，土かぶりは最小５m，最大約46mで比較的浅い位置に計画されている．

トンネル周辺の地質は中生代白亜紀の流紋岩質凝灰岩が主体で，劣化帯や破砕帯による低速度帯を谷部に挟むが，CM～CH級の岩盤が全体の７割を占める．また，地表部の所々に流紋岩質凝灰岩の露頭が見られ，全般に表土は薄い．

4.　騒音発生のメカニズムの解明

発破騒音は，発破により生じた音が空気中を伝搬して聞こえる場合が一般的である．本件のように発破騒音が空気中の伝搬によらずに，地上部の施設や家屋などに影響を与えた事例は少ない．また，他の事例とは立地環境も含めた施工条件も異なる．このため本トンネルで対策を検討するうえでは，騒音発生のメカニズムを明らかにすることが重要であると考えた．

4.1　対象物件とトンネルの位置

対象となった宿泊施設およびトンネルの位置関係を図-5, 6に示す．また，同施設に付属する温泉井戸(図-7)がトンネル側方11.5mを鉛直に貫いている．

このため当初設計において振動速度(kine)に対する管理値(宿泊施設：昼間0.2kine，夜間0.08kine，温泉井戸：2.5kine)が設けられ，宿泊施設および温泉井戸近傍の前後約330m区間は制御発破で施工するよう計画されていた．

とくに直近の130m区間は，宿泊客への影響を考慮し，昼間１方による制御発破での施工とされていた．

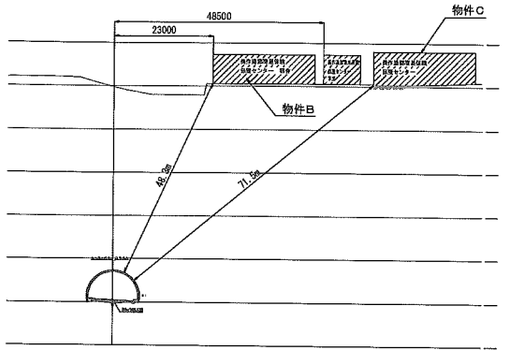


図-6　宿泊施設横断図

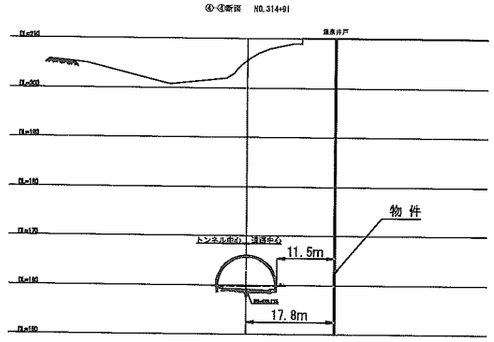


図-7　温泉井戸横断図

4.2　騒音発生のメカニズム

本トンネルでは，宿泊施設内に発生する発破時の騒音のメカニズムを解明するため，まず宿泊施設やトンネル中心線上の振動・騒音の発生状況の調査を行った．

宿泊施設での騒音レベルは，建物外部より建物内部の方が大きくなっている状況が確認された．トンネル中心線上の計測結果では切羽直上の騒音がもっとも大きく，坑口からの距離減衰による影響は確認できなかった．また，これまでの計測データからも切羽が宿泊施設に近づき，切羽が坑口から遠ざかる状況で建物内での発破騒音は大きくなっていることがわかった．

一般にトンネル発破時に切羽で発生する音はトンネル坑口から伝搬して行き，建物内に伝わるとされる．このため，建物内に伝わる発破音は切羽進行に伴う距離減衰，地形・建物の減衰性能によって建物外部の音より小さくなると考えられる．今回の調査結果はこれらと矛盾する結果となった．

建物内部の音が建物外部より大きくなる原因として次のことが考えられる．

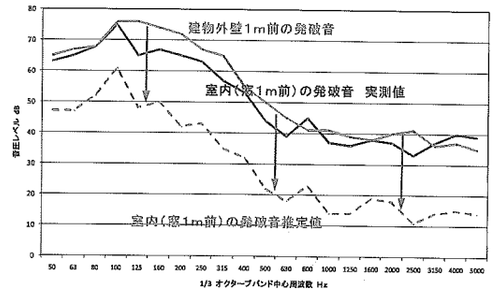


図-8　建物内外の周波数分布

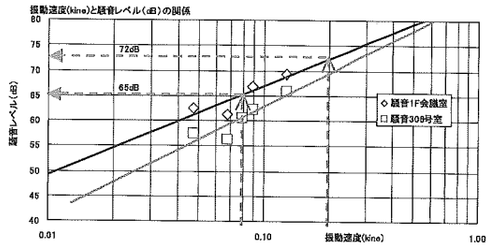


図-9　振動と騒音の関係

図-10　建物床面の周波数分布

① 建物内の共鳴により音が大きくなる．
② 特異な伝搬経路が建物内にあり，建物の遮音性能が著しく悪くなっている．
③ 発破振動が地盤から建物に伝わり，建物内の構造物から音が発生している．

騒音発生のメカニズムを解明するには，これらの原因を実測により確かめる必要があると考え，宿泊施設の建物内の共鳴，遮音性能，振動放射音の周波数分析などによる音響解析を実施した．その結果を以下に示す．

① 建物内の共鳴は40Hz，80Hz，120Hzで音が大きくなることが観測者の耳で確認できたが，騒音に影響を及ぼす特異的なものではない．
② 建物内外の騒音同時計測および建物の壁の音の透過損失計測から，建物内の騒音は，坑口からの騒音が室内に到達した場合の値より19～22dB程度大き

い(図-8)と推定できた．したがって，建物内の騒音は，坑口から空気中に放出された音が空気中を伝搬したものではない．

③　騒音レベル(dB)と建物床面の振動速度(kine)の間に明確な比例関係(図-9)が認められる．

④　建物の床面の振動速度(kine)と建物内の騒音レベルの周波数(Hz)分布が類似(図-10)し，とくにZ方向が良く似ていることがわかった．

なお，宿泊施設の施工記録などから建物は直接岩盤上に構築されていて，この基盤は地表踏査やこれまでの状況からトンネルと連続する岩盤であることが推察された．

以上のことから，宿泊施設内の騒音は，発破に伴う振動が地盤(岩盤)を伝搬して宿泊施設の建物に伝わり，壁や床面などが振動することにより空気を振動させ，結果的に騒音(固体伝播音)として人に認知されるということが確認できた．

したがって，振動速度(kine)と宿泊施設内の騒音レベルに明確な比例関係が認められることから，宿泊施設内の騒音を抑制するには，発破振動を抑制することがもっとも効果的な施工上の対策と結論づけられた．

5.　対策工の提案

5.1　振動・騒音の事前予測

建物内で発生する振動・騒音が今後どの程度までになるか予測するため，近似した条件で地表部における切羽位置前後の振動速度を試験計測し，切羽が近づくにつれどのような傾向を示すかを確認し，図-11に示す結果を得た．このデータにより回帰式を求め，建物から切羽までの距離と振動速度の関係を予測した．

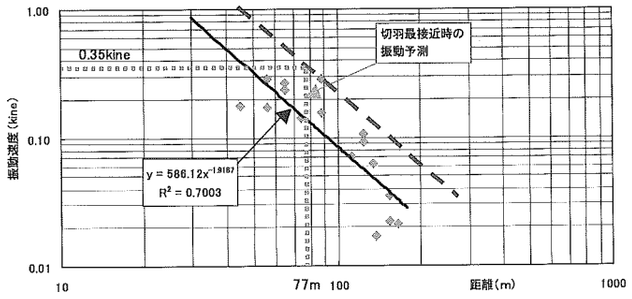


図-11　切羽までの距離と振動速度(kine)の関係

表-1　概略騒音予測と苦情の想定

1F会議室	3～4Fの客室	想定される影響	切羽からの斜距離	対　応
65dB	60dB	従業員の睡眠	125～145m	夜間制限
70dB	65dB	宿泊客の睡眠	65～125m	経過観察
75dB	70dB	会話の妨害	～ 65m	昼夜制限

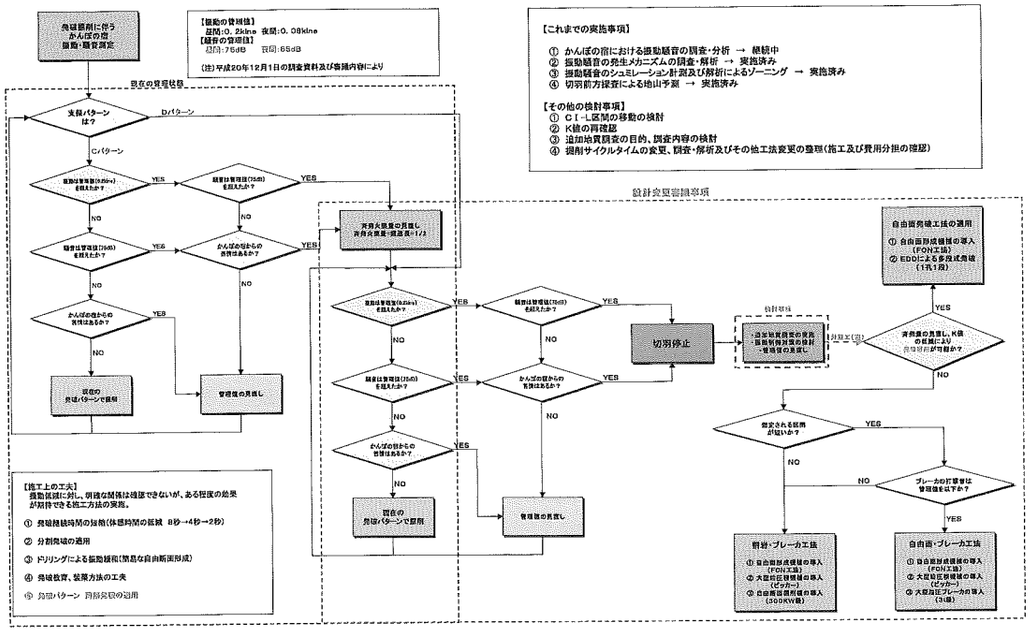


図-12　1方施工区間における振動・騒音計測にもとづく対策フロー図

5.2　管理目標値の設定

現在の発破振動の管理値は，昼間0.2kine，夜間0.08kineである．また，一般的な発破騒音の管理値は，建物の外部で昼間85dB，夜間65dBである．以上を踏まえ，宿泊施設の現状を考慮し，本トンネルでの管理目標値を以下のように設定することにした．

①　発破振動は，当初設定どおり昼間0.2kine，夜間0.08kineとする．

②　発破騒音は，客室内で苦情が出ないように管理する必要がある．

③　客室と1F会議室との騒音差が5dB程度である．

④　現在，夜間において1F会議室で65dB程度の騒音が測定されているが，宿泊客からの苦情は確認されていない．

⑤　昼間1F会議室での騒音が65～70dBで苦情が出ていないことを考慮すると，建物内部での昼間の受忍限度が65～70dB程度であると想定できる．

以上より，昼間客室で70dB以下を管理目標値とすると1F会議室で75dB以下を管理目標値として設定しておくことが妥当と考えた．夜間は，現状では宿泊客からの苦情が出ていないが，従業員からの苦情を考慮すると1F会議室で65dBとし，今後は1方で施工する必要があると考えた．また，振動と騒音との関係を整理すると振動値0.08kineで騒音値65dB，振動値0.2kineで72dB程度となり，夜間，昼間ともに発破振動の管理値で制御管理することが有効と考えた．

5.3　対策工の基本方針および施工フローの検討

施工法については，導火管付き雷管による多段発式制御発破工法を基本に，振動の管理基準値(昼間0.2kine，夜間0.08kine)および宿泊施設での現状の騒音の受忍値(1階会議室：昼間75dB，夜間65dB)以下での施工を原則とし，最終的に施設側の苦情がないことを確認しながら，段階的に発破規模を縮小する管理フロー(図-12)を計画した．

6.　発破振動および発破騒音の制御とその結果

6.1　発破振動の制御と施工時の工夫

実施工においては，振動自動計測通信システムと新たに自動騒音計測システムを施設内に設置し，モニタリングを強化して計測結果を都度発破作業にフィードバックできる管理体制をとった．

発破方法は，多段発化による斉発火薬量の制御を基本とした．図-13に示すように斉発火薬量の低減は，振動速度の制御に対し有効な対策である．しかし，通常の電気式雷管が3～4秒に対し，多段発化した場合，最大8秒程度と発破継続時間が長くなり，これまで以上に気になるという苦情が発生した．このため，従業員や宿泊客の心理影響を考慮して発破継続時間をこれまで同様の3～4秒にする必要が生じた．

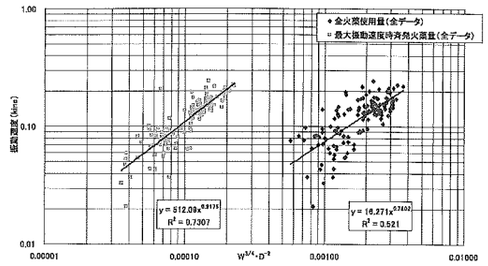


図-13　振動速度と火薬量の関係

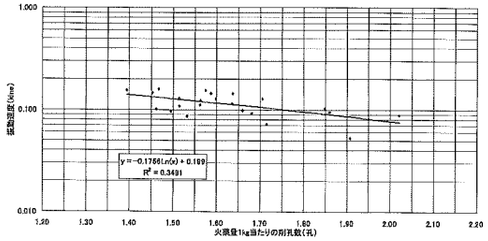


図-14　振動速度と火薬量1kgあたりの削孔数との関係

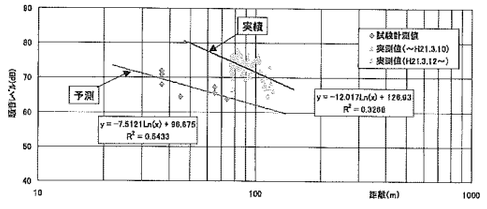


図-15　切羽からの距離と騒音の関係

多段発化による振動制御に変わる方法として次の3点を実施し，検証した．

①　分割発破による段数の低減

②　1発破進行長の低減

③　薄層発破の実施

分割発破は，安全性や施工性を考慮し，全断面発破から上下半分割発破に変更した．これにより段数を少なくしてもできるだけ斉発火薬量が増えないように配慮した．また，分割発破でも振動速度を制御できない場合は1発破掘進長を短くし，斉発火薬量をさらに低減した．

薄層発破は，最小抵抗線を短くすることにより，1段あたりの負荷を低減し，K値を抑えようとするものである．薄層にすることで孔数は多くなり，斉発火薬量は増えるが，図-14に示すように一定の効果を得ることができた．なお，K値での対策はK値のバラツキが大きく前述の対策を優先させることとした．

6.2 発破騒音の制御と施工時の工夫

対策工や施工時の工夫により振動速度は比較的容易に制御することが可能となったものの，図-15に示すように騒音は予想を超え大きな値を示した．そこで，振動速度および騒音レベルと火薬量の関係を対比した結果，以下のような傾向が確認できた．

① 斉発火薬量は振動速度に対し高い寄与率を示した．

② 総火薬量と振動速度の関係では，斉発火薬量に比べ1/2程度の寄与率となった．

③ 騒音レベルに対しては斉発火薬量，総火薬量ともに図-16にあるように比較的高い寄与率(R^2≒0.65)を示した．

以上のことから，発破騒音は斉発火薬量だけでなく1発破あたりの総火薬量とも関係が強いことが示された．総火薬量の低減に対しては，振動速度の低減対策と同様に分割発破や1発破進行長の低減が有効であるため，施工においては発破騒音が低減し許容レベルになるまで，前述の対策工(上下半分割の徹底と進行長の制限の組み合わせ)の強化，継続を行った．

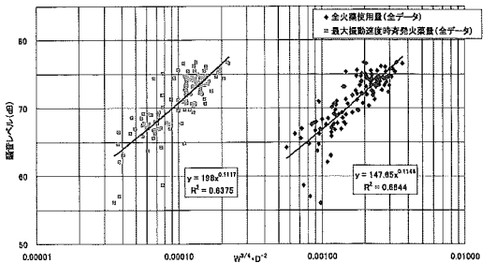


図-16 騒音レベルと火薬量の関係

6.3 施工の結果

結果として振動速度，発破騒音ともに影響範囲が増え，1方施工区間は当初130mに対し290mまで延長された．しかし，これらの対策の結果，図-17に示すように1方施工区間での管理目標値(振動速度：0.2kine，騒音レベル75dB)をほぼ満足し，施工を完了することができている．

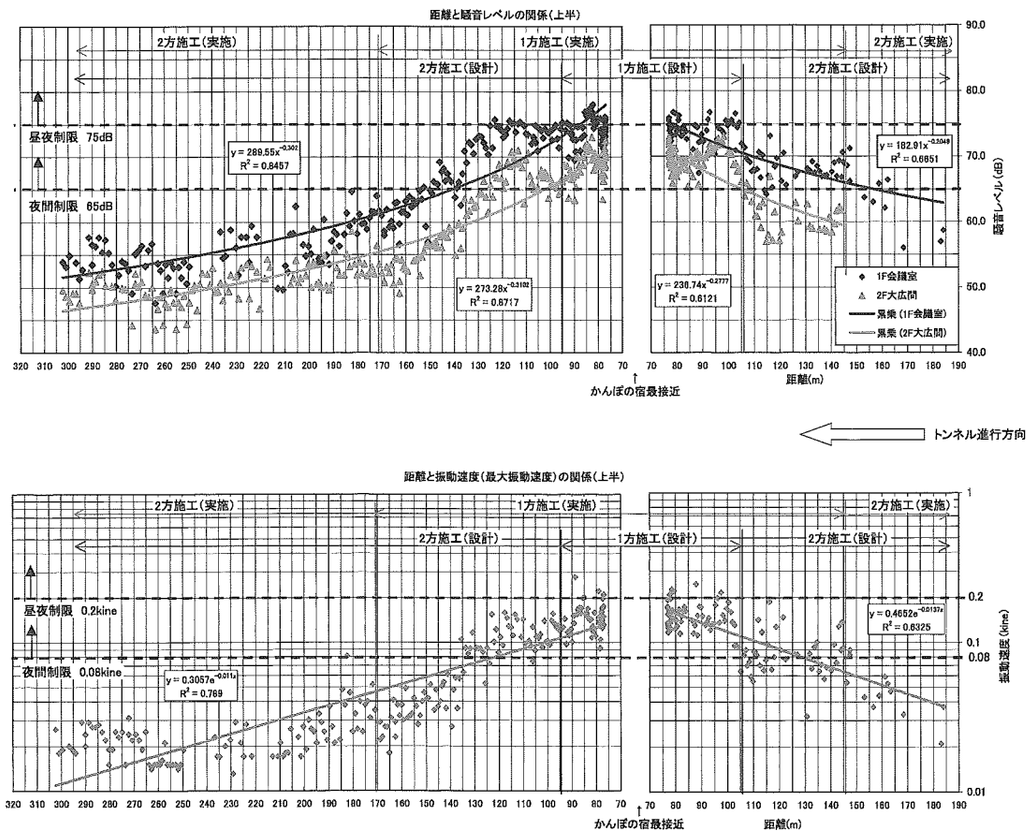


図-17 切羽からの距離と騒音・振動の関係

7. おわりに

本トンネルでは得られた計測データの分析結果を，施工へ忠実に反映することで予期していなかった発破騒音に対応できたと考えている．また，常に施設側との意見交換を行うなど，客観的データだけでなく主観的データも十分に考慮して施工を行った．結果として工期や経済的負担の大きい他の工法を選択することはなく，もっとも経済的で合理的な施工が選択できたと考えている．

最後に本トンネルの施工にあたり多大なご指導，ご協力を戴いた関係各位に，本誌面をお借りして，深く感謝の意を表します．

第65回(都市)施工体験発表会最優秀賞

シールド新工法による地下鉄工事の実績

—超近接併設シールドの諸対策とアポロカッター工法の開発—

西大阪高速鉄道(株)取締役計画部長　丸山忠明
阪神電気鉄道(株)都市交通事業本部工務部なんば線建設工事事務所所長　原田大
鹿島・清水・錢高・中村建設共同企業体西大阪延伸線汐見橋JV工事事務所所長　吉田潔
鹿島・清水・錢高・中村建設共同企業体西大阪延伸線汐見橋JV工事事務所副所長　今村宏
鹿島・清水・錢高・中村建設共同企業体西大阪延伸線汐見橋JV工事事務所工事課長　真鍋智

1. はじめに

阪神なんば線は，阪神西大阪線西九条駅と近鉄難波線難波駅間の3.4kmを接続し，大阪市南西部の鉄道ネットワーク形成と両線相互乗入れによる三宮と奈良の都市間連絡を実現する．当工事は，駅延長361mの開削と地下線路部576mの併設シールドを施工した．

開削部は，主要幹線道路を道路占用し，交通量の多い大交差点を挟み，店舗前の低空頭施工を含めたSMW工法による土留め壁施工後，地下2層構造の駅本体構築工事を行った．

シールド部は，工程短縮策として地下2階構築を先行し，地下1階の構築とシールド(地下2階より発進)の上下同時施工を行った．また，トンネル離隔60cmの超近接併設シールド施工では，後行シールド掘進時の地盤緩みの影響がトンネル相互に及ぶことが懸念された．そこで，特殊充填材によるシールドカッタ余掘り部への注入による緩み防止をはじめとする諸対策を講じ，慎重な掘進管理を行って無事完了した．一方，地上出入口と駅を結ぶ地下連絡通路の矩形シールド工事では，発進到達防護の硬質な改良体掘削に有利な，自転と公転を組み合わせたカッタによる掘削方式をもつアポロカッター工法を開発，導入した．

本稿は，厳しい施工条件に創意工夫で取り組んだ二つのシールド工事の実績を紹介する．

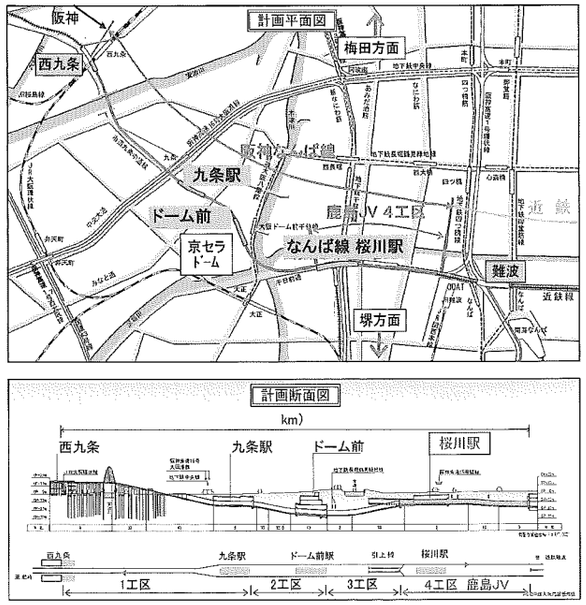


図-1　計画平面図・断面図

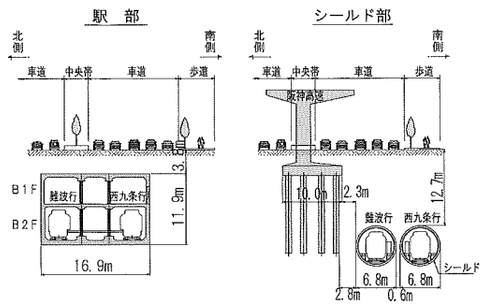


図-2　施工断面図

2. 工事概要

阪神なんば線3.4kmの事業最東端の当工区は，桜川駅部延長361mの開削区間と地下線路部576mの併設シールド区間を施工した．図-1, 2に計画図を示す．



写真-1　現場全景

開削部は，渡り線部103mの地下1層構造と駅部258mの地下2層構造からなり，道路占用を切替えての昼夜工事であった．

写真-1に開削工事全景を示す．

シールド部は，西から東へ緩やかな下り勾配で576m掘進した後，近鉄難波駅西端でUターンし，桜川駅へ戻る工事である．シールド外径φ6.94m，RCセグメント外径6.8m，内径φ6.2mである．また，土質は沖積粘性土が主体であるが，到達付近ではシールド下方から砂礫層が徐々に出現する．

工事名：西大阪延伸線建設工事のうち土木工事(第4工区)
発注者：西大阪高速鉄道(株)
施工管理：阪神電気鉄道(株)
工　期：2003(平成15)年6月19日～2009(平成21)年9月30日
工事場所：大阪市浪速区幸町3丁目～1丁目
施工者：鹿島建設・清水建設・錢高組・中林建設JV
工事内容：
開削部：地下2層構造
(W18m×H12m×L361m)
土留め工　21,296m²
路面覆工　8,231m²
薬液注入工　7,635m³
掘削工　108,449m³
躯体コンクリート工　20,729m³
シールド：576m×2(Uターン)
泥土圧式シールド(φ6,940㎜)
RCセグメント(外径6,800㎜)　938R
DCセグメント(外径6,800㎜)　21R
掘削土量　43,510m³

3. 施工条件

3.1 施工条件

駅部を構築する361mの開削区間は，主要幹線道路難波境川線(千日前通)上に位置しており，片側4車線で交通量が非常に多いことから，工事占用帯を中央部と南側半分に切替えながら路面覆工による施工を行った．また，地下埋設管も多数存在しており，ガス管以外は吊り防護による養生を行い，土留め壁欠損箇所も22か所に及んだ．

新設の桜川駅と既設の近鉄難波駅とを結ぶ576mの地下鉄シールド区間は，桜川駅開削部の東端部を起点にシールドを発進させ，近鉄難波駅の引上げ線西端部に設けた立坑(難波立坑)でUターンして再び桜川駅に戻る単線並列シールドである．掘進路線に沿って阪神高速高架橋脚が並んでおり，官民境界に挟まれていることから，全線にわたり，トンネル相互の離隔が60～140cmまで近接している．

また，桜川駅への地上からの出入口は，開削中央部の交差点四隅に設け，開削部から離れた北側の東西2か所の出入口開削部を方向転換立坑とする地下連絡通路を矩形シールド工法で築造した．

3.2 土質条件

土質縦断図を図-3に示す．開削部は，土留め根入れ位置の洪積粘土層が開削縦断方向中央付近で桜川撓曲と呼ばれる不連続面により分断されている．適切な根入れ層がない部分は，盤ぶくれ対策として薬液注入による地盤改良を行った．地下鉄シールド掘進地盤は，沖積粘土層A_{c1}が大部分を占め，東端部100m区間で砂礫層D_{sg2}が下半に徐々に現れる．

A_{c1}層は大阪臨海部のN値2～3の高鋭敏粘土であり，自立性はあるが乱されると急激に強度が低下し，粘性が上昇するため，泥土圧式シールド工法における適切な加泥材選定と，慎重な切羽土圧管理，排土量管理，裏込め

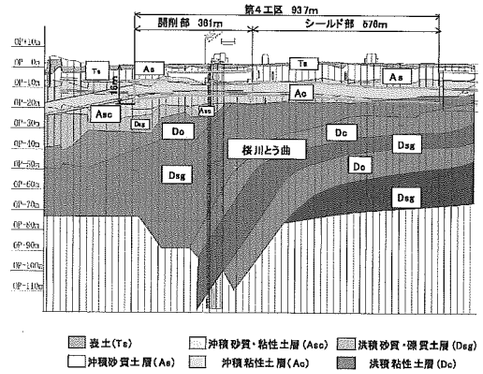


図-3　土層縦断図

注入管理が要求された．さらに，掘進対象地盤に対する事前調査で可燃性ガス(23.2Vol%)の存在が確認されたことから，シールドと坑内設備を防爆仕様とした．

また，出入口地下連絡通路となる矩形シールドは，地下鉄シールドより土かぶりの小さい地盤を掘進し，シールド下半が地下鉄シールドと同じ沖積粘土A_{c1}，上半がシルト混じり細砂(表層に近い地盤)となっており，地下鉄シールド掘進終了時の実績をもとに，管理土圧の設定や，加泥材選定を行った．

3.3　周辺環境

開削部と出入口工事は，交通量が非常に多い道路上であり，大半が夜間の工事占用帯拡張による施工であった．工事では，土留め芯材の搬入，掘削土搬出，コンクリート打設に至るまで，道路使用許可時間内での施工となることから，各工程で時間短縮が必要であった．また，開削部の東側半分の区間は，阪神高速堺線の高架下での施工となり，8.5mの空頭制限を受けた．さらに，同区間の南側土留めは，用地条件から近隣店舗の官民境界に接近しており，営業時間との調整を図りながらの施工となった．

地下鉄シールド区間では，掘進路線に残存杭100本があった．これは，シールド区間に併行する地下鉄千日前線桜川駅の開削工事の存置された親杭で，長さ約18mのH形鋼を掘進前に撤去することとなった．地下鉄シールド掘進では，開削工事と同様に，道路占用による発進基地のスペースや作業時間の制約があり，全体工程短縮の目的からも，開削駅部の地下２階構築が終了した区間から発進し(後続台車をすべて配置することで初期掘進を短期間で終了)，地下１階構築との上下同時施工とした．

また，出入口地下連絡通路の矩形シールドは，交通量の多い交差点直下で，重要な地下埋設管に近接していたことから，路面沈下防止を絶対条件とした施工計画を行った．

4.　施　工　計　画

4.1　シールド近接施工

4.1.1　地下鉄シールド計画概要

シールド施工条件を**表-1**に示す．掘進地盤は，沖積粘土層A_{c1}が大部分を占めることから，泥土圧式シールド掘進においては，粘着による掘進速度低下を抑える加泥材の添加と掘進後の後続沈下を抑える裏込め注入に管理の重点をおいた．セグメントは，ボルト継手を採用しており，真円度やテールクリアランスをはじめとする組立時の精度管理にも注力した．また，Uターン後は，上下線トンネル離隔が１m以下の区間が約150m続き，併設トンネル相互の影響軽減が重要課題であった．**写真-2**にUターン立坑で撮影した両トンネル近接状況を示す．

表-1　シールド施工条件

シールド	外径φ6,940㎜(機長7,200㎜) 泥土圧式(防爆仕様)
セグメント	RC：外径φ6,800㎜，内径φ6,200㎜，幅1,200㎜ 継手：リング間ボルト，ピース間ボルト
掘進延長	掘進延長　576m×２(Uターン) 最小曲線半径3,000mR，最大勾配1.2%
土かぶり	8.4～12.7m
土　　質	沖積粘土(N値2～3)，一部砂礫層あり

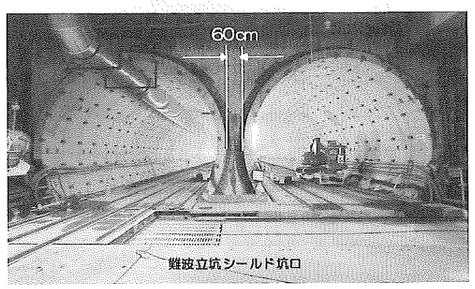


写真-2　近接併設トンネル

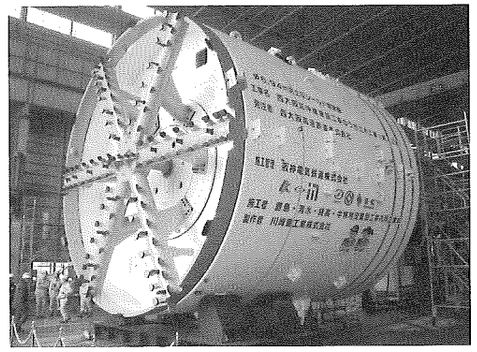


写真-3　φ6.94m泥土圧シールド

(１)　シールド

泥土圧式シールドの仕様は，極力シンプルにした．特徴は，防爆仕様であること，機内注入管を増設したことがあげられる．**写真-3**に工場検査時のシールドを示す．

(２)　セグメント

図-4にRCセグメント一般図を示す．ほぼ全線がRCセグメントで，既設地下鉄駅との連絡通路開削区間下部の21リングのみ強度の高いダクタイルセグメントを使用した．

4.1.2　近接併設施工対策

複路掘進では，**図-5**に示すように併設トンネル間の離隔が60cmであることから，以下にあげる３対策を施すこととした．

(１)　特殊充填材(ボイドキーパー)[1),2)]の注入

一般に，シールド工法ではシールド後方で裏込め材を注入し，余掘り部を充填して地盤を安定させている．しかし，大断面シールドでは，掘進から裏込め注入までのシールド通過の間に地山が緩み，掘進中の土砂の取り込み過ぎによる地表面沈下などのトラブル発生が懸念される．

本工事では，先行トンネルとの離隔が小さいことから，シールドカッタによるオーバーカット部分(隙間15㎜)への特殊充填材注入(φ6.94m外周で１リングあたり0.4m³相当)により，シールドと先行トンネルの変位を抑制することとした．**図-6**に近接区間の掘進断面図を示す．充

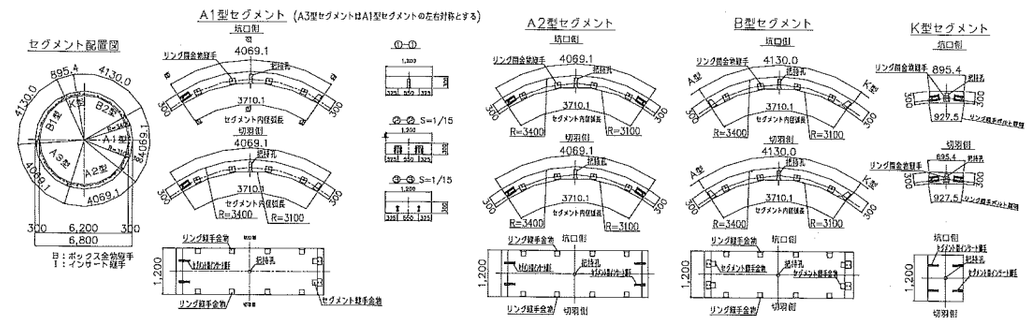


図-4　RCセグメント一般図

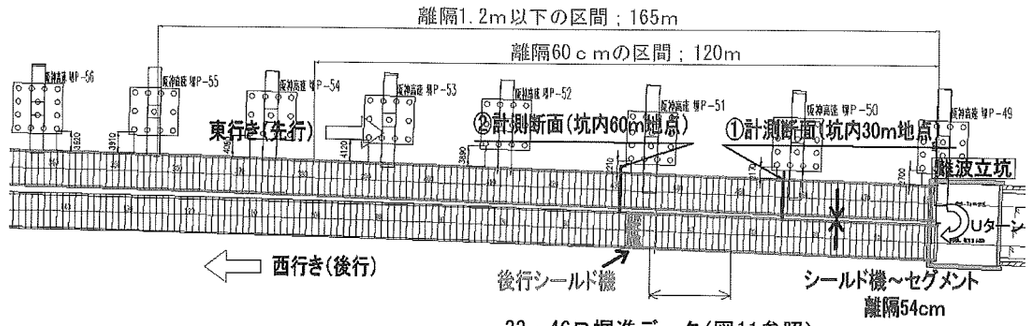


図-5　シールド掘進平面図(超近接区間)

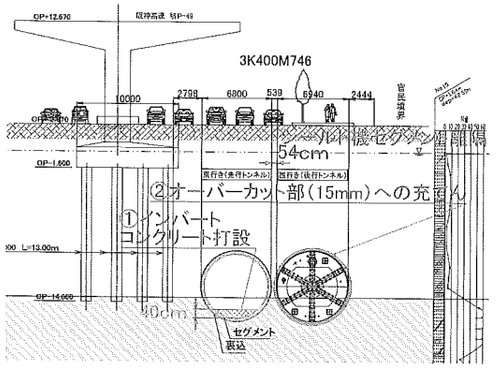


図-6　シールド掘削断面図

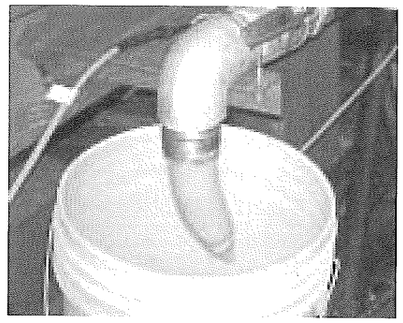


写真-4　特殊充填材(ボイドキーパー)

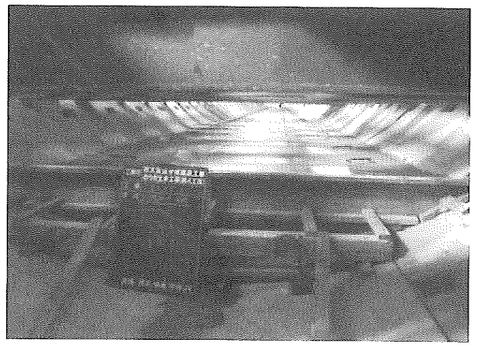


写真-5　インバート打設状況

塡材料は，適度な圧送性と水中不分離性，自硬性といった特性をもつ(**写真-4**参照)．

(2)　インバートコンクリート早期打設

全体的な先行トンネルの側方移動に対しては，復路掘進前にインバートコンクリートを打設し，トンネル剛性を少しでも向上させることで側方変位の抑制を図ることとした(**写真-5**参照)．

(3)　内空変位計による先行トンネル計測管理

近接区間内の2断面(Uターン立坑から30m，60m地点)に，セグメントのリング間ボルトのうち8か所に内空変位計を設置し，復路トンネル施工中の変位をリアルタイムで計測した．また，Uターン立坑に固定点を設け，レーザー測量による絶対変位測定も合わせて行った．

4.2　アポロカッター工法

4.2.1　アポロカッター工法の導入

施工条件を**表-2**に示す．施工場所は，主要幹線道路である千日前通のきわめて交通量が多い交差点内であり(**写真-6**，**図-7**参照)，交差点四隅にできる出入口の地下連絡通路構築において，開削工事に必要な道路占用スペースが確保できないこと，ガス管，水道幹線といった移設や吊り防護ができない地下埋設物があることから，非開削工法による施工が必要であった．また，地下部では，駅コンコースと出入口をつなぐ連絡通路であることから構造物として通路内空確保による高さ制限があると同時に，通路上部にある水道幹線を最小離隔で回避する必要があった．そこで，円形に比べ掘削断面が小さく，最適断面設計可能な自由度の大きい矩形シールド工法を採用することとした．

4.2.2　アポロカッター工法の概要

矩形シールド工法には，掘動式シールド工法をはじめさまざまな掘削方式[3]があるが，本工法は次の特徴を有する[4]．

①　矩形をはじめとする任意断面の掘削が可能

②　地盤改良体を含む硬質地盤の掘削に有利

ドラムカッター方式を採用した本工法は，岩盤切削に用いるロードヘッダーを連想するカッタ形状を有し，**写真-7**に示すように自転するカッタヘッドを掘動フレーム

表-2　矩形シールド施工条件

シールド外形	*H*4.76m×*W*4.42m(機長6.50m)
セグメント	*H*4.56m×*W*4.22m，スチール，幅600㎜
掘進延長	①13.8m＋②31.2m＋③16.8m＝61.8m(方向転換2回)
土かぶり	5～8m
土質	上半；シルト混じり細砂(*N*値7～9) 下半；沖積粘土(*N*値2～3)

と公転ドラムの回転により，矩形断面をはじめ任意断面の掘削を可能にした．また，硬質地盤掘削にも対応するために，回転部に十分な切削トルクを持たせ，油圧サーボ機構により，高精度な掘削位置の制御を実現した．掘削1周期に要する時間は3.3分で，掘進速度は30㎜/分に対応する．

4.2.3　矩形シールド施工計画概要

矩形シールドは，地下鉄シールド終了後に掘進を開始する計画とした．シールドは，新方式の掘削システムを採用しているが，基本は，泥土圧式シールドとした．セグメントは，8分割の鋼製セグメントを使用した．掘進

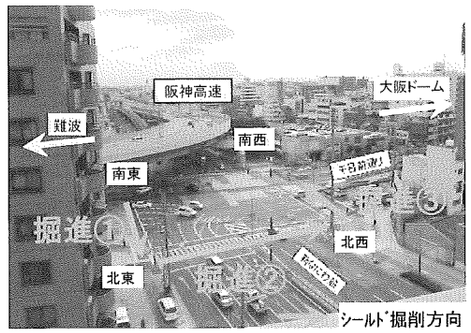


写真-6　矩形シールド施工場所

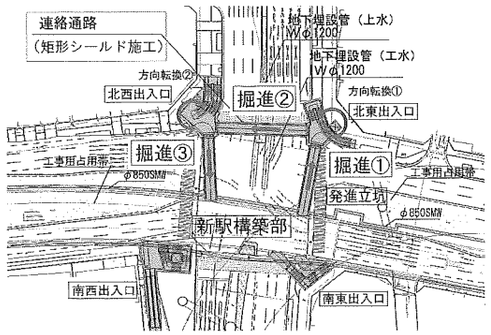


図-7　計画平面図

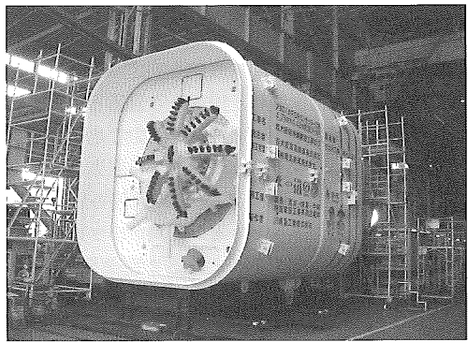


写真-7　アポロカッターシールド

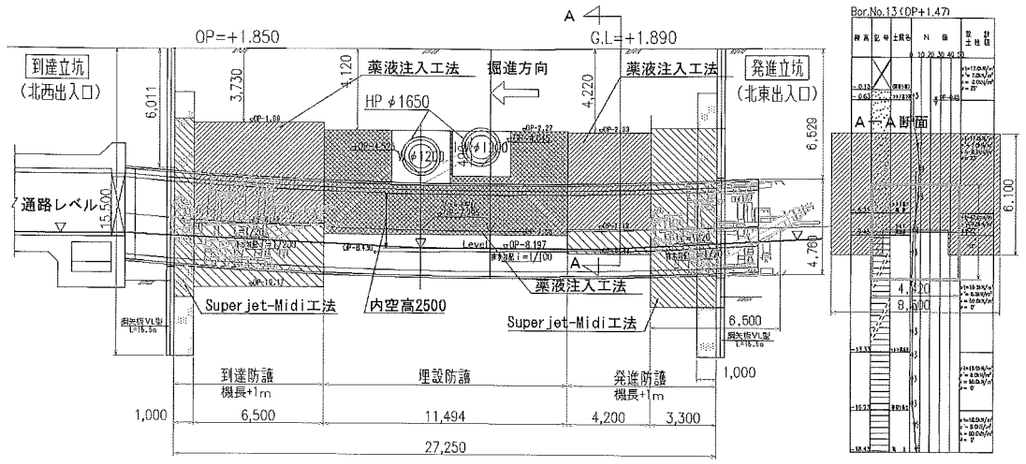


図-8　矩形シールド掘進断面図

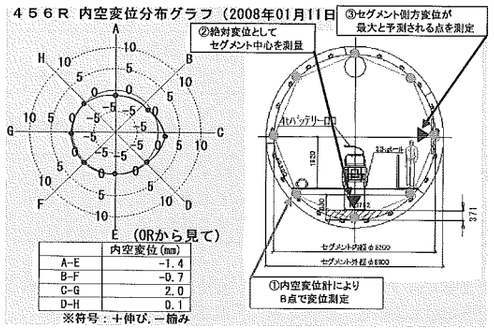


図-9　内空変位測定結果

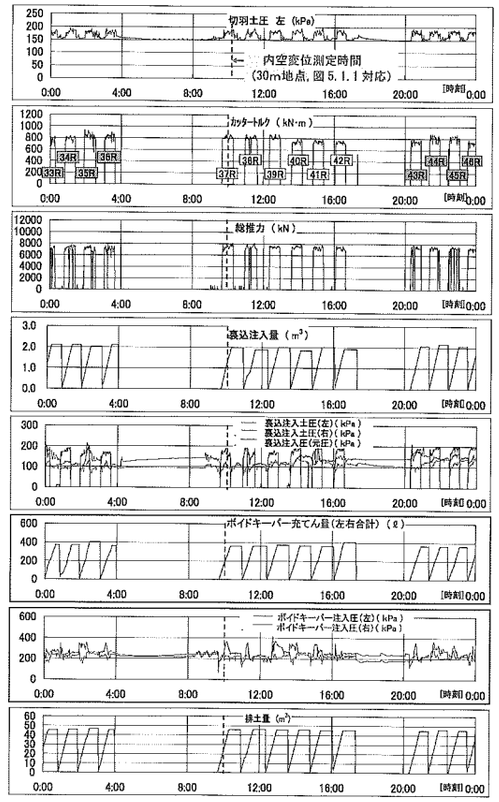


図-10　掘進データ(内空変位計測当日)

地盤は，土かぶり5～8mの沖積地盤で，掘進断面の上半がシルト混じり細砂，下半が*N*値2～3の高鋭敏粘土である．土かぶりが小さく路上交通量が多いことから路面沈下の防止が重要であり，発進・到達防護工のSuperjet-Midi工法に加え，掘進断面上半に薬液注入を施した(**図-8**参照)．

5.　実績と評価

5.1　シールド超近接併設施工の実績と評価

30m地点の内空変位計による挙動変化は，**図-9**に示すようにシールド掘進に伴う先行変位が若干生じた後，テール通過後に水平変位が後行トンネルに接近する方向に最大2㎜生じ，同時に鉛直方向にトンネル頂部が1.4㎜沈下した．この傾向は，60m地点でも同様であった．とくに注目すべき点は，トンネル底部の絶対変位が抑制されたことであり，これはインバートコンクリートによる固定効果があったものと推察できる．掘進に伴うセグメントの漏水，クラックも発生せず，近接施工が良好にできたものと評価する．Uターン立坑に設置したレーザー変位計による絶対変位量計測の結果からも，先行トンネルの変位がほとんど見られず，側方移動の抑止効果が認められた．

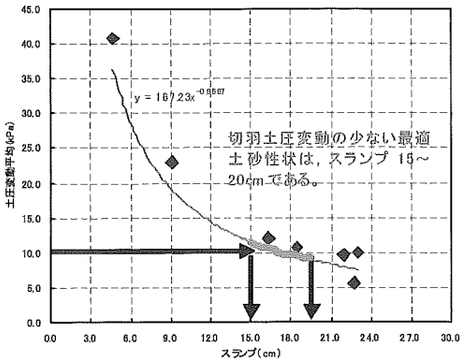
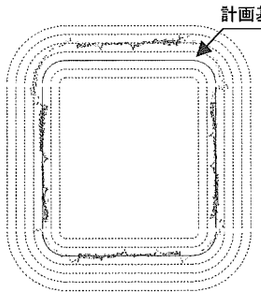


図-11　排土性状と土圧変動の相関



※目盛１マスあたり 5mm

図-12　アポロカッター掘削軌跡

図-10に前述の図-9の測定と同日の掘進データを示す．近接掘進時の切羽土圧や裏込め注入，排土量などが管理値内で施工できた．

また，掘進と同時にシールド先端から左右２系統で充填したボイドキーパーが，カッタのオーバーカット量相当の充填量であったことを確認した．

5.2　アポロカッター工法施工実績

切羽土圧の安定性を確認する目的で回収した掘削土のスランプとカッタ回転に伴うシールド中心部の土圧変動平均値の関係を図-11にまとめた．その結果，スランプ値が15cmまでは土圧の変動が10kPaと比較的小さいが，それ以下になると急激に土圧変動が生じることがわかった．そこで，排土のスランプ値が15～20cm程度になるよう，加泥注入率，濃度を調整して，安定した掘進を実現した．

また，掘進中のカッタ切削精度を，中央管理室に設けた掘削管理モニターで監視した．その結果，図-12に示すように，工場完成時と同様に，掘削精度５㎜を満足していることを実施工で確認した．

最後に，実施工後の本工法の評価を表-3にまとめた．地盤条件がほぼ同じで，円型の泥土圧式シールドで掘進した地下鉄シールドと比較し(図-13参照)，掘削能力と切羽安定性を評価した．この結果，本工法が，①硬質地盤への適応性に優れていること，②自由断面掘削への適応性が評価できる．

6. おわりに

本工事は，大阪市の高度利用されている市街地での地下鉄工事であることから，重要構造物との近接施工や，施工スペースの制約，道路占用，そして近隣との調整といった都市土木工事ならではの厳しい条件の解決を常に求められた．その中で，シールド工事では，自己近接による併設掘進にあたり，トンネル相互の悪影響を抑制する施工法を検討した．また，出入口地下連絡通路の矩形シールドでは，交差点直下での路面沈下防止の改良地盤掘進に適応するアポロカッター工法を新たに開発し，工事に導入した．本稿で紹介したこれらの取り組みは，周辺環境への適応や工程短縮といった課題を解決する手段として，新しい技術の導入を決断したものであり，目標達成への貢献が非常に大きい．

平成15年着工以来６年余りが経過し，平成21年３月20日に工期どおり阪神なんば線の開通を迎えられた．ここに当工事推進にご尽力いただいた関係者の方々に深く感謝する．

表-3　アポロカッター工法の評価

	アポロカッター（矩形シールド：H4.7m×W4.4m）		通常のシールド（地下鉄シールド；ϕ6.8m）	
	着目点	優位性 独自対策	着目点	優位性
カッタ構造の特徴	上部が平面であり，カッタがフードから出ている(60cm)．	－	カッタ面盤がフラットである(カッタリングあり)．	－
①切羽安定(土圧)	土圧計重視(６点，上下２ｍピッチ)，回転方向による安定差異はなし	上中下，左右計６個	土圧計２点(予備１点)設置して管理	中央２点
②排土性状，量管理	設計土量と対比 とくに流動性重要 (土圧変動抑制)	スランプ最適20cm	設計土量との対比	特別な対策なし
③掘削能力(発進到達防護)	10㎜/min掘進 硬質地盤に有利	◎	3 ㎜/min程度 硬質地盤には不利	△
③掘削能力(薬注地盤，地山)	23㎜/min掘進(77%) (30㎜/minで設計)	○	40㎜/min程度(80%) (50㎜/minで設計)	○

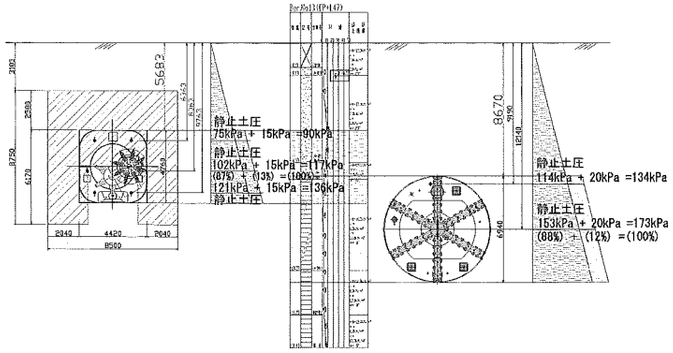


図-13　矩形と地下鉄シールドの比較

参考文献

1) 丸山忠明・久保田晃司・吉田潔・西川明宏・永森邦博・五十嵐寛昌：阪神なんば線併設シールドの近接施工その１(対策計画)，土木学会年次学術講演会，2008.9.
2) 松山大輔・仲田義弘・今村宏・真鍋智・石川勝久・吉迫和生：阪神なんば線併設シールドの近接施工その２(施工実績)，土木学会年次学術講演会，2008.9.
3) 吉川正・三井隆・真鍋智・福田昌弘・三谷典夫・中川浩二：揺動式掘削機構による矩形シールド掘削機の提案と実証，土木学会論文集，No.749/VI-61，pp.73-86，2003.12.
4) 奥平守幸・原田大・吉田潔・真鍋智・永森邦博・小田誠：地下連絡通路における矩形シールド工法(アポロカッター工法)について，土木学会年次学術講演会，2008.9.

2月号予告[2月1日発売予定]

- ●サイドパイルの沈下抑制効果に関する研究
- ●北陸新幹線　新呉羽トンネル
- ●首都高速横浜環状北線シールドトンネル
- ●阪神電鉄本線　三宮駅改良工事
- ●豊川用水のトンネル技術今昔

【連載講座】

- ●ずり処理入門(2)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

新年あけましておめでとうございます.

◆昨年末は「事業仕分け」が一世を風靡し，連日報道されていました．野党も「うらやましい」などと言っていたようなので，恒例行事になるのかもしれません．「仕分け」作業は三つの部会に分かれて行われていたようですが，わたしの記憶には，すべての仕分けをひとりの女性議員が行ったようにインプットされました.

◆「仕分け」の是非はともかく，それ自体はなかなか痛快な見世物だったと世間に受取られたようです．ショートカットに白いスーツという無駄を排した出で立ちで，事業から人の意見まで何でも切り裂いて行く，おんな仕分け人の粒の揃った前歯の輝きが，暗い世相を明るくする光のように錯覚されたのかもしれません.

◆仕分けを見ていてふと気になったのが，ひざ掛けでした．寒い日には隣にいる男性仕分け人も，ひざ掛けをしていることがありました．思えば仕分け会場は，広く天井の高いホールをパーテーションで区切ったところ．ずいぶん冷え込むこともあったでしょう．長時間すわって仕分けをしていると寒さが骨までしみてきたかもしれません．人の意見を聞かないのは多分に個人の資質でしょうが，寒さも影響したのでは，と思います．たとえばコタツにはいってみかんでも食みながら，という状態だとずいぶん仕分けの様子も変わったんじゃないかと想像します.

◆昨年は選挙の関係で仕分けの時期が遅くなったのかもしれませんが，今年は，気候の良い時期に友愛を感じられる仕分けがなされるといいなと思う次第です.

(K.K.)

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

トンネルと地下
第41巻 第1号〔通巻473号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成21年12月20日　印刷
平成22年1月1日　発行

社団法人日本トンネル技術協会
会長　佐藤　信彦
〒104-0041　東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)
TEL：03-3553-6174
FAX：03-3553-6145
http://www.japan-tunnel.org
発行所　株式会社土木工学社
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂
TEL：03-3267-2888
FAX：03-3267-2807
http://www.tunnel.ne.jp
発行人　山本 育徳
編集人　山本 勝誉
印　刷　新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は，書店または土木工学社へ直接お申し込みください.

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

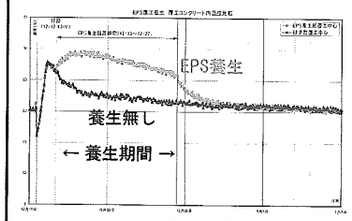
購読料
1冊　1,575円(送料108円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください.
TEL：03-3267-2888

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





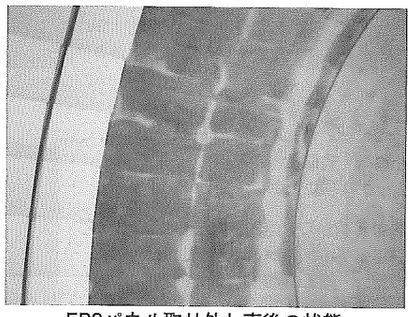
温度測定結果

	養生無し	EPS養生
反発度(平均)	33.8	36.3
推定強度 N/mm²	24.9	28.1
強度比	1.0	1.13

強度測定結果
(シュミットハンマー)

実績および採用決定(平成21年9月1日現在)

施主	実績	採用決定
国土交通省	4	4
NEXCO	3	2
地方自治体	5	2
合　計	12	8


EPSパネル取り外し直後の状態

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

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

特許登録番号第3977849号

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

実施権許諾第10396号

QJ 01466/ISO 9001:2000

図書案内

株式会社 土木工学社

わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭　監修
1,500円＋税　B5判



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

建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫　著
6,000円＋税　A5判



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

多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会　監修
2,500円＋税　B5判



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

地質工学概論

菊地宏吉　著
4,757円＋税　B5判



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

推進工法の理論と実際

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



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

シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会　編
4,660円＋税　B5判



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

わかりやすい土木地質学

大島洋志　監修
2,500円＋税　B5判



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

わかりやすいトンネルの力学

福島啓一　著
5,825円＋税　B5判



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

セグメントの新技術

小泉淳　監修
2,000円＋税　B5判



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

続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛　共著
1,200円＋税　新書判



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

地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全3巻）

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



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

第Ⅰ巻　地下水の物理と化学
4,078円＋税　B5判
第Ⅱ巻　地下水環境学
4,272円＋税　B5判
第Ⅲ巻　地下水と地質
3,689円＋税　B5判

ブロック理論と岩盤工学への応用

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



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

山岳トンネルの新技術

ジェオフロンテ研究会　編
14,573円＋税　B5判



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

ジオテキスタイル設計マニュアル

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



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

岩盤地下空洞の設計と施工

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



岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した.

建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉　共著
4,300円＋税　A5判



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

トンネル工事の衛生と環境保全

臼谷三郎・橋本康孝・友田孝　共著
3,200円＋税　A5判



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

岩盤の計測と解析

鈴木光　著
4,200円＋税　A5判



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

わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏　共著
2,800円＋税　A5判



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

海洋資源開発

稲田善紀　著
3,400円＋税　A5判



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

トンネルと地下

1,500円＋税　B5判　月刊（毎月1日発売）



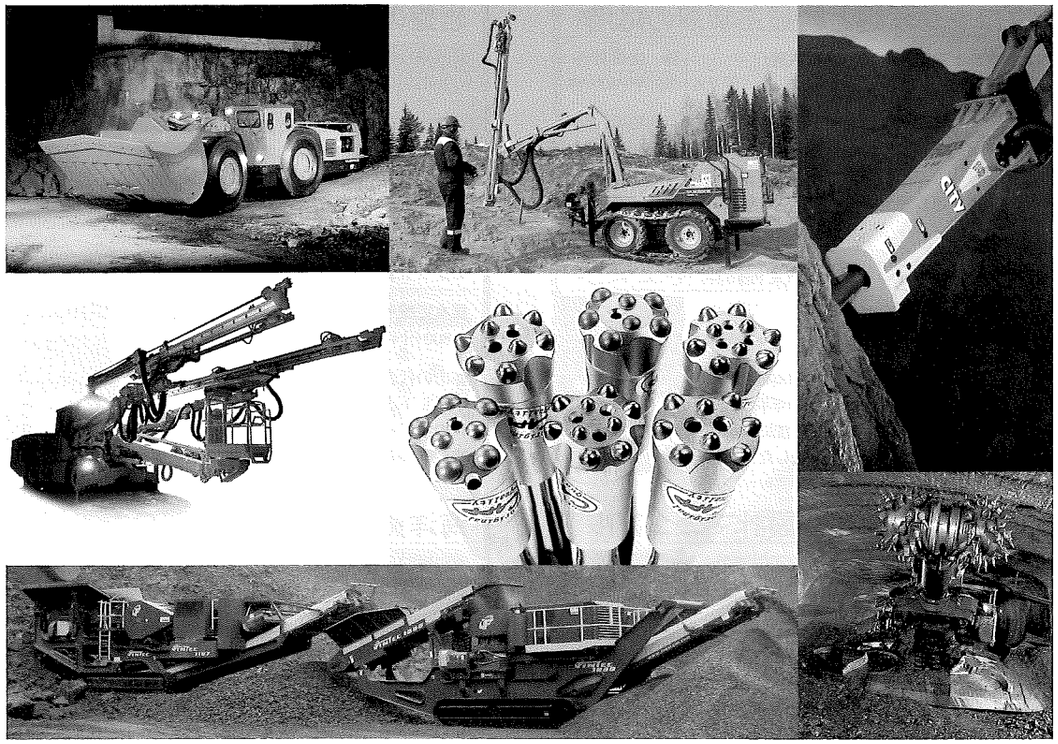
日本で唯一のトンネルと地下構造物の専門月刊誌．研究，調査・設計から施工にいたるまで，その時点での技術的問題点を中心に，業界の動向などをあわせて網羅しながら，新鮮な情報を提供する.

書籍のお申し込み

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

株式会社 土木工学社
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16　メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888　Fax: 03 3267 2807

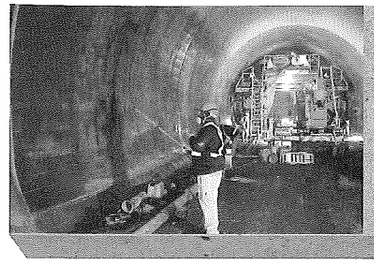
SANDVIK



Productivity
in Action

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

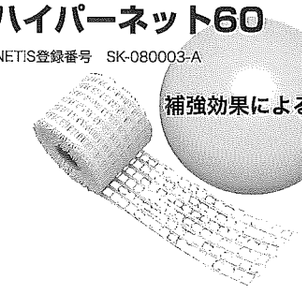
サンドビック マイニング アンド コンストラクション ジャパン株式会社
〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜2-15-12 共立新横浜ビル6階TEL045-478-0662/FAX045-478-0661
URL http://www.miningandconstruction.sandvik.com/jp/



コンクリートの「有害なひび割れ」対策に“新たなご提案”（ひび割れ低減 3点セット）

コンクリート混入・コンクリート用膨張材
ハイパーエクスパン
NETIS登録番号 QS-020033

コンクリート打設前設・耐アルカリ性ガラス繊維ネット
ハイパーネット60
NETIS登録番号 SK-080003-A



補強効果によるひび割れ幅低減

コンクリート収縮抑制

養生効果

硬化後塗布・塗布型高性能収縮低減剤
クラックセイバー
NETIS登録番号 SK-080001-A



様々な現場で力を発揮する注入材、裏込材“最適な選択をご提供”

注入材	超微粒子注入材	**太平洋アロフィクスMC**
	瞬結工法用無機懸濁型 土質安定材・下水道止水材	**太平洋アロフィクスMC2号**
	注入式長尺先受工法用注入材	**太平洋スーパーハード**
	注入式長尺先受工法用注入材	**太平洋スーパーファスナー**
裏込材	プレミックス裏込用充填材	**太平洋フォルトカバー**

太平洋マテリアル株式会社
営業本部 高機能建材営業部
〒135-0064 東京都江東区青海二丁目43番地 青海フロンティアビル15F
http://www.taiheiyo-m.co.jp
TEL.03-5500-7510 FAX.03-5500-7542