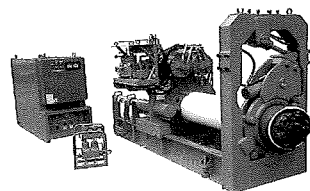


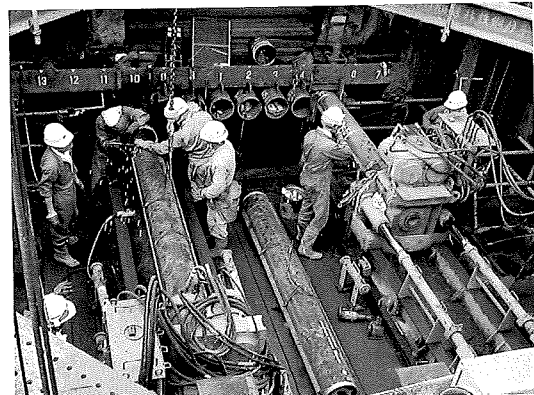
THパイプルーフ工法



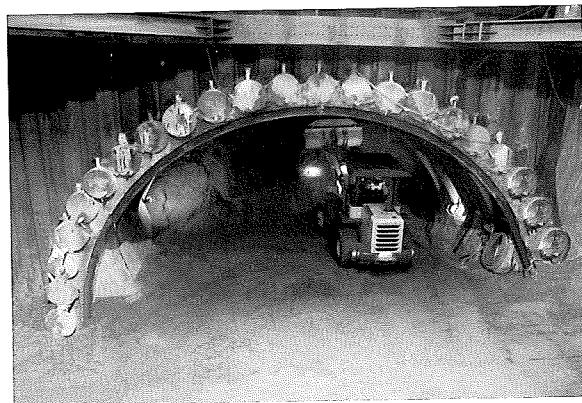
空間を確実に確保 高精度・全地盤型 水平鋼管圧入システム

★特徴★

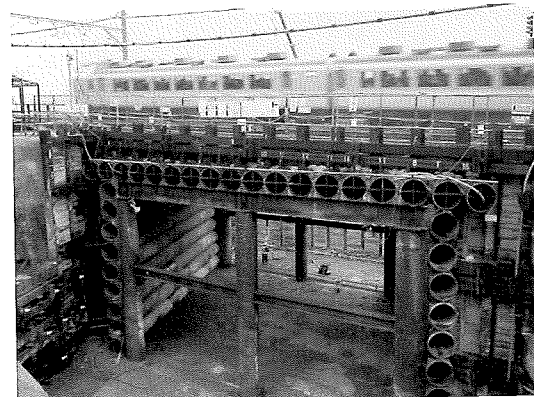
- ・本体掘削時の沈下抑制補助工法です
- ・常時管芯チェックが可能で、方向修正方式を採用(精度が良いため支保作業が容易)
- ・オーガ中掘り掘削、地山との空隙に同時注入も可能
- ・推進途中でのビットの交換が可能で地層変化に対応
- ・適応管径は、φ200A～φ1200A
- ・最大推進長は、約70～100m
- ・推進機は、推力 1000kN(100t) 2000kN(200t) 3000kN(300t)



パイプルーフ施工状況(立坑内)



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]

(株)小宮山土木	長野県	TEL 0267-56-1299
東洋地工(株)	福井県	TEL 0776-53-5335
日特建設(株)	東京都	TEL 03-3542-9299
ケミカルグラウト(株)	東京都	TEL 03-5575-0511
(株)最上機工	山形県	TEL 0233-23-1555
サン開発工事(株)	大阪府	TEL 072-641-4951

東邦地下工機(株)	東京都	TEL 03-3474-3143
日本基礎技術(株)	東京都	TEL 03-3476-5701
(株)大阪防水建設社	大阪府	TEL 06-6762-5621
多田建設(株)	福島県	TEL 024-535-6161
九州グラウト(株)	福岡県	TEL 092-583-3232
札幌黒澤工業(株)	北海道	TEL 011-215-7500

(順 不同)

<http://www.piperroof.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(株)内
TEL 03-3474-3143 FAX 03-3474-3163
E-mail: jimukyoku@piperroof.jp



定価 1,575円 雑誌06619-5
本体価格1,500円



4910066190507
01500

トンネルと地下 5

vol. 41
no. 5
2010

Tunnels and Underground

蛇紋岩地山を早期閉合と二重支保で変位制御
付加体地山における先行トンネルへの掘削影響と対策工
鉄道高架直下を2連矩形シールドで掘進
開通75年を迎えた丹那トンネル難工事を振り返る
地表面沈下抑制効果を考慮したパイプルーフの設計法

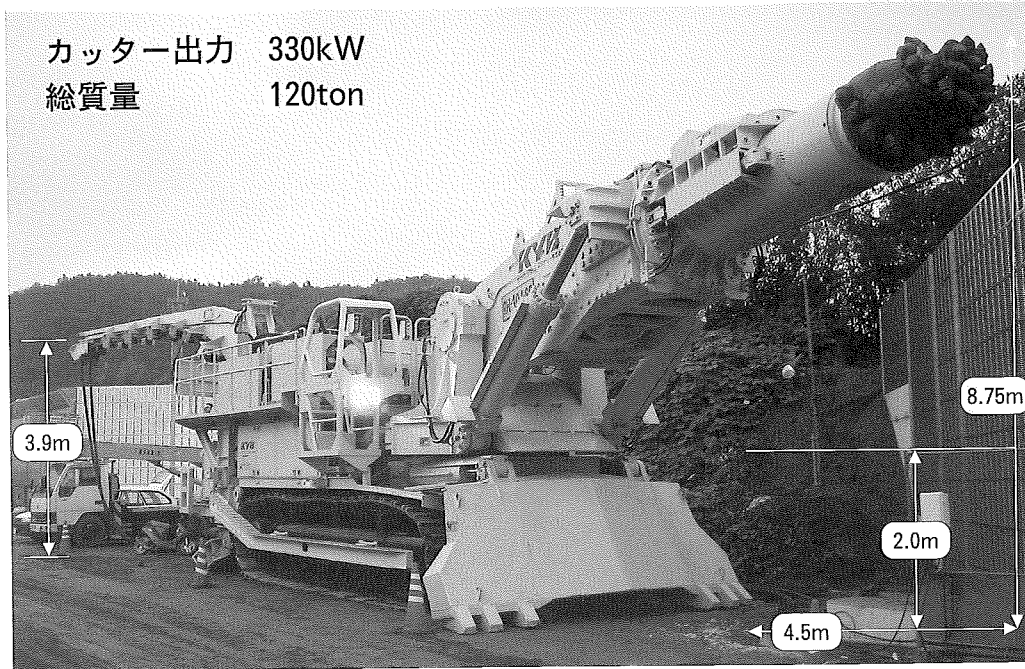
日本トンネル技術協会誌



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10.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定格最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とビック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業
カスタマーサービス 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444

中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町6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

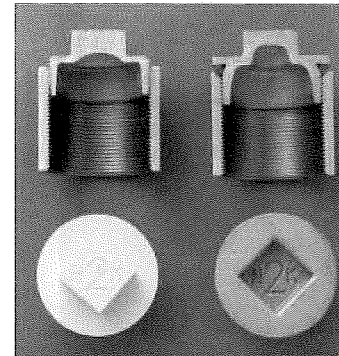
三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町6番地2 TEL 059-234-4111

日之出鋼管株式会社

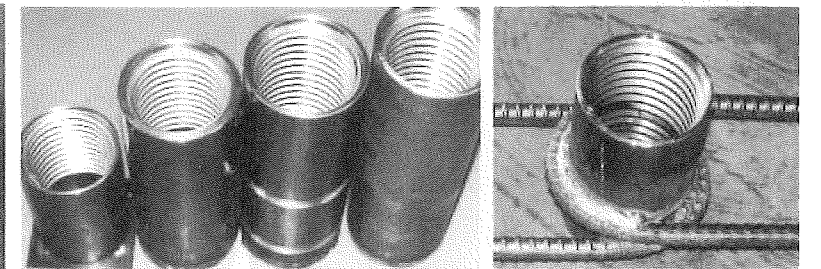
セグメント用注入孔・把持金物 鋼製用2B品・RC用台形ネジ品

30年の実績で高められた精度

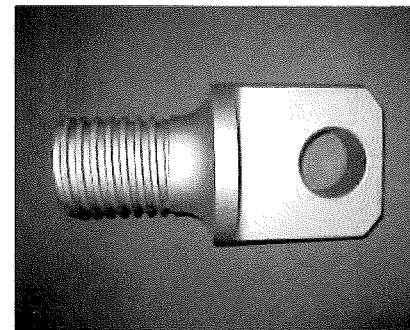
高速道路、地下鉄、下水道の基礎を支えるシールドトンネル。その注入孔には高い精度が求められます。当社の製造実績は30年です。永きにわたり数多くの現場に実績があり、お客様より絶大なる信用を得ております。注入孔への鉄筋取り付け、RC用吊り金具の制作をいたします。すべての製品は検査後、検査成績書を提出いたします。



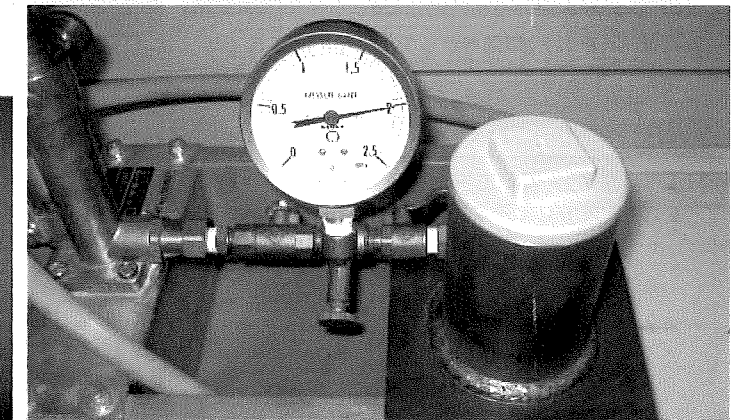
鋼製セグメント用注入孔・製品例



RCセグメント用注入孔把持金物・製品例



吊り金具



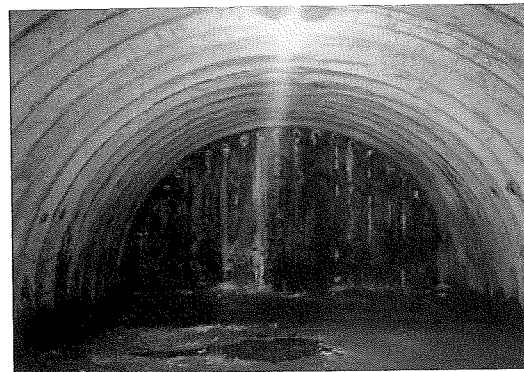
水圧試験 (物件ごとに2MPaで実施し、試験報告書を提出いたします)

所在地

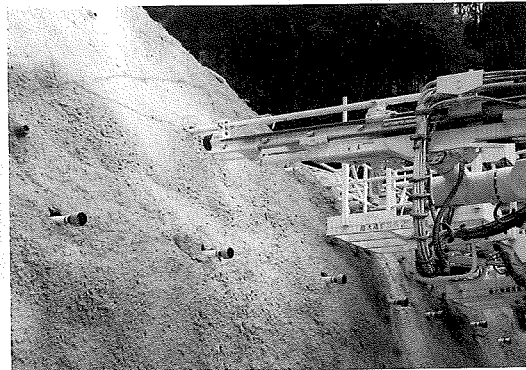
- 本社
〒103-0026 東京都中央区日本橋兜町20番5号 兜町八千代ビルディング5F
TEL.03-5651-8231(代表) FAX.03-5651-8255
- 名古屋支店
〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-15-22 りそな名古屋ビル5F
TEL.052-231-8001(代表) FAX.052-231-8004
- 春日井加工センター
〒486-0965 愛知県春日井市味美上ノ町2008番地の3
TEL.0568-35-1755 FAX.0568-35-1769
- 小牧センター
〒485-0059 愛知県小牧市小木東1丁目61番
- 群馬工場
〒376-0132 群馬県桐生市新里町鶴ヶ谷

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

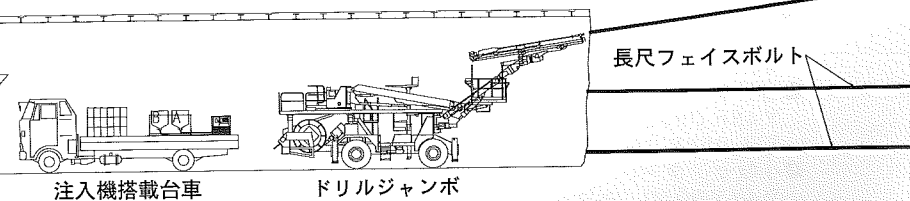
プロトタイプ
無拡幅タイプ
最小拡幅タイプ

小口径二重管削孔システム

鋼管径φ89.1mm～60.5mm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。

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



長尺フェイスボルト

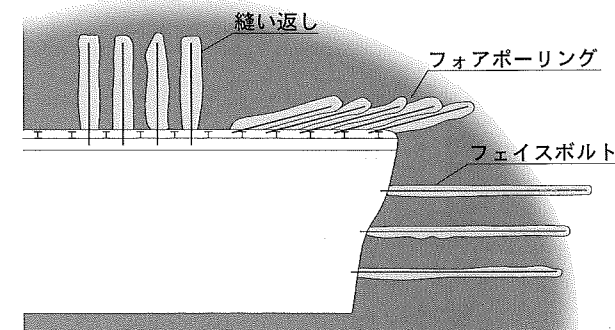
注入材のバリエーション

- 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



注入式フォアボ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
- ・注入式フォアボーリング
- ・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/>

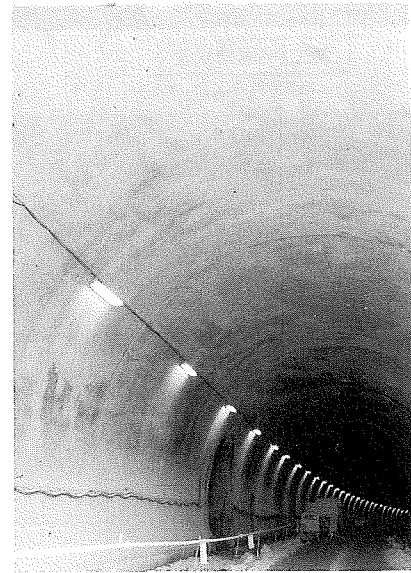
技術営業部
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164
東京支店
TEL)03-3260-8321 FAX)03-3266-1648
九州営業所
TEL)092-574-0856 FAX)092-574-0846

中部営業部
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164
関西営業所
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237
北海道地区(㈱エイチ・アール・オー)
TEL)011-821-5868 FAX)011-821-6644

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

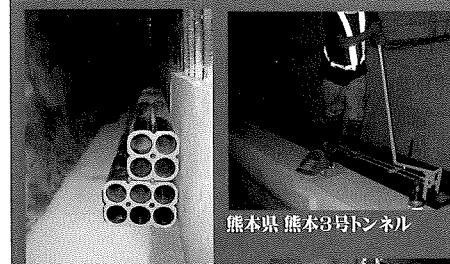
- 強力な分散性と安定した流動性
- ノーブリージング
- 任意の強度の選定
- セメント，骨材の種類が任意



◆ 土木資材の総合プランナー ◆

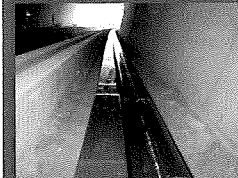


株式会社 **マール** 〒142-0043 東京都品川区二葉1丁目18番8号
TEL 03 (3787) 1131 (代)



熊本県 熊本3号トンネル

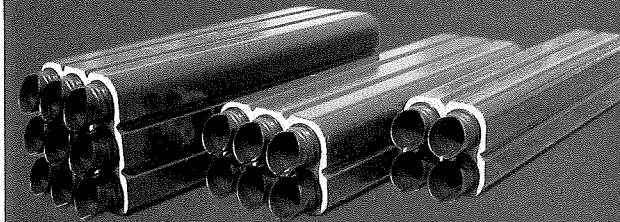
西日本高速道路株
第二名神 栗東トンネル



名四国道事務所
足助ハイパス 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

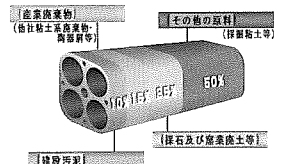
トンネル内専用として セラダクト A^{エース} ネオ neo

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、ありとあらゆるケースにお答え出来ます。
資源循環型リサイクル製品「セラダクトA」。



再生材料使用
採石および高炭素土、均質割合 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



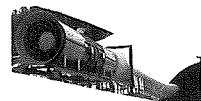
杉江製陶株式会社

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(FAX) 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 大阪府都島区御幸町1丁目3番1号 〒534-0012
TEL(06)6922-6991 FAX(06)6922-2498

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

ホンモノしか残らない...

...1960~ 1970~ 1980~ 1990~ 2000.....



大容量ファン



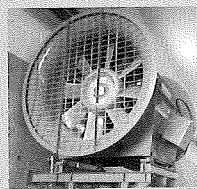
二軸反転
サイレントファン



可変翼やインバーター
での風量制御ファン



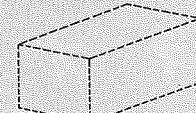
中型集塵機
ノッカー払落し式



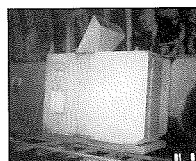
単段ファン



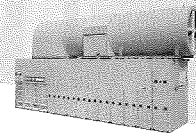
中型集塵機湿式



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

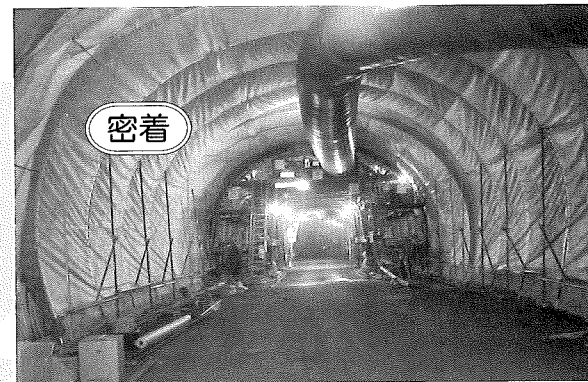
吸引ダクト SUPER LIGHT〔新型〕

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



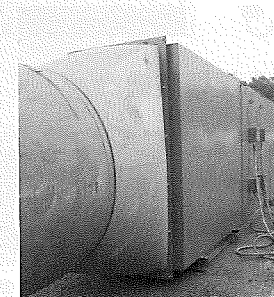
換気・環境技術は進化しています

2009.....



密着

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



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

重量1/2に半減!!

漏れない風管シリーズ〔新型〕

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

2010.....



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

最適環境を創造する

株式会社 流機 エンジニアリング

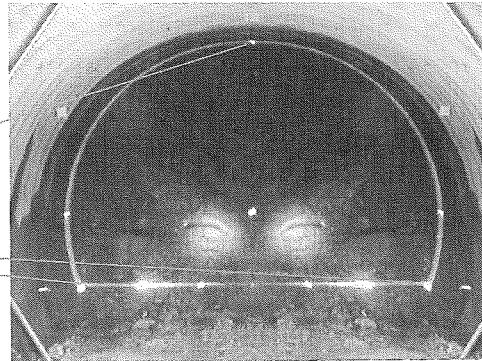
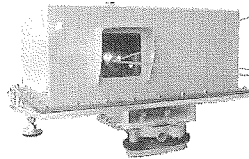
URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: eigyobu@ryuki.com

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

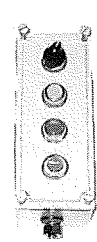
レーザーマーキングシステム

国内、海外特許取得済み

残像効果を使ったペイント不用
の連続高速照射を実現

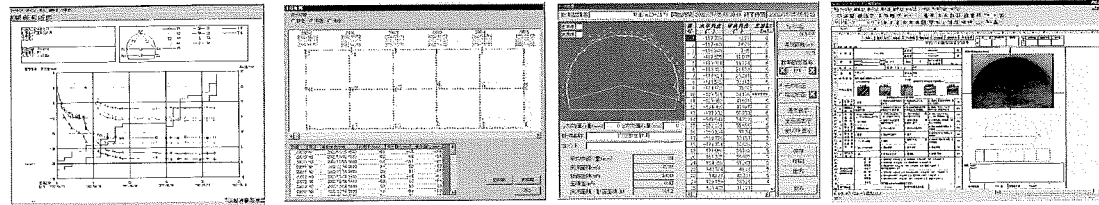


現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー

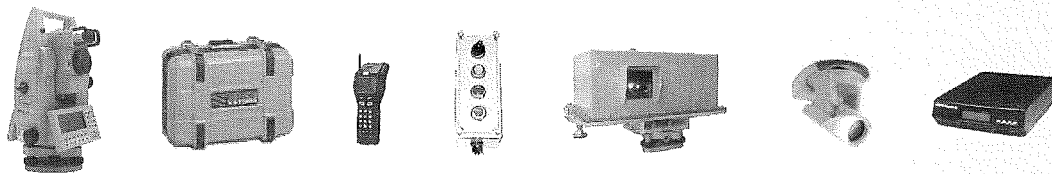


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



A計測データ処理 支保工立込精度、変形量 内空、巻厚検査 切羽観察、etc



豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

MAC マック株式会社

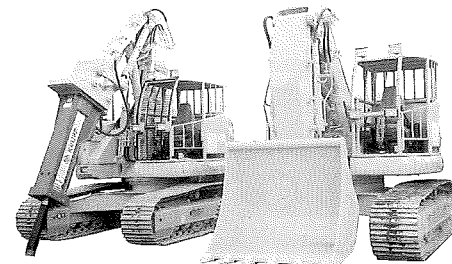
〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3
TEL (047) 371-3191 FAX (047) 371-3190

〔販売元〕

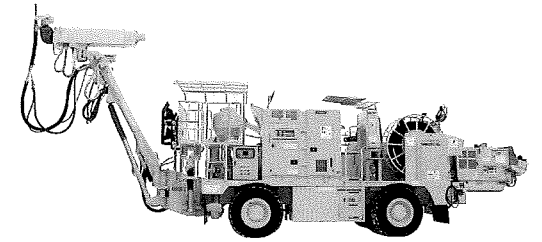
古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

T&M
Tunnel & Mining

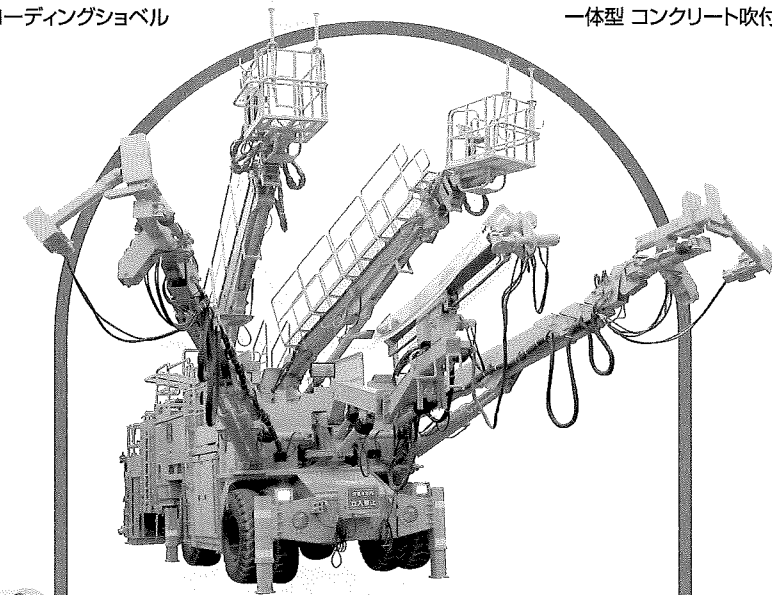
〔2009年1月 新会社誕生！〕
〔旧三興レンタルと旧新ケービーシーが一体化〕



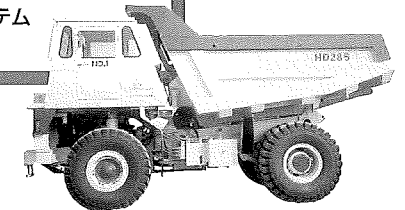
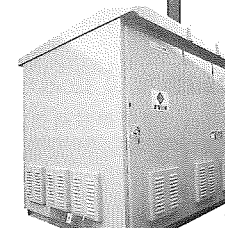
油圧ローディングショベル



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トラ吹付システム
開発商品



ダンプトラック

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

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

— NATM を支える —

技術と信頼!

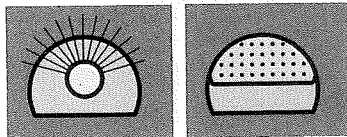
ケー・エフ・シーの ロックボルト

全ネジFRP ロックボルト

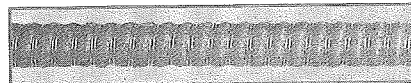
CG22S



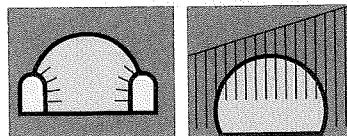
(中実タイプ)



CGR32

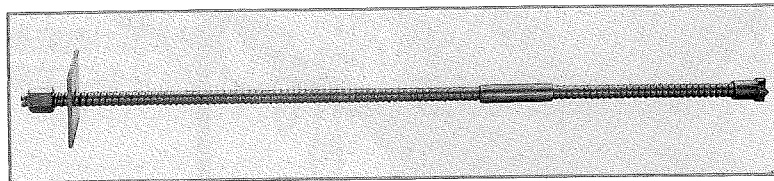


(中空タイプ)

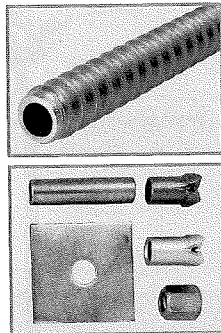


FRP ボルトに全ネジ加工することによって、ナット取付け、カプラー接続が簡単にできます。

自穿孔 IBO アンカー

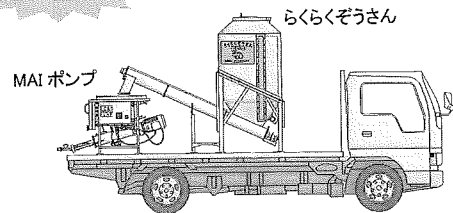


現場での取扱いが非常にし易い R32 ネジを全長にわたって転造した中空ロックボルトです。

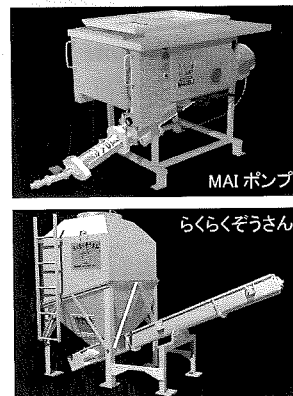


MAI ポンプ & らくらくぞうさん (モルタル投入システム)

ECO システム!



現場ゼロエミッションに貢献します。



特許第 3256532 号
(らくらくぞうさん)



環境にやさしいパッケージ
「ふたたびくん」

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

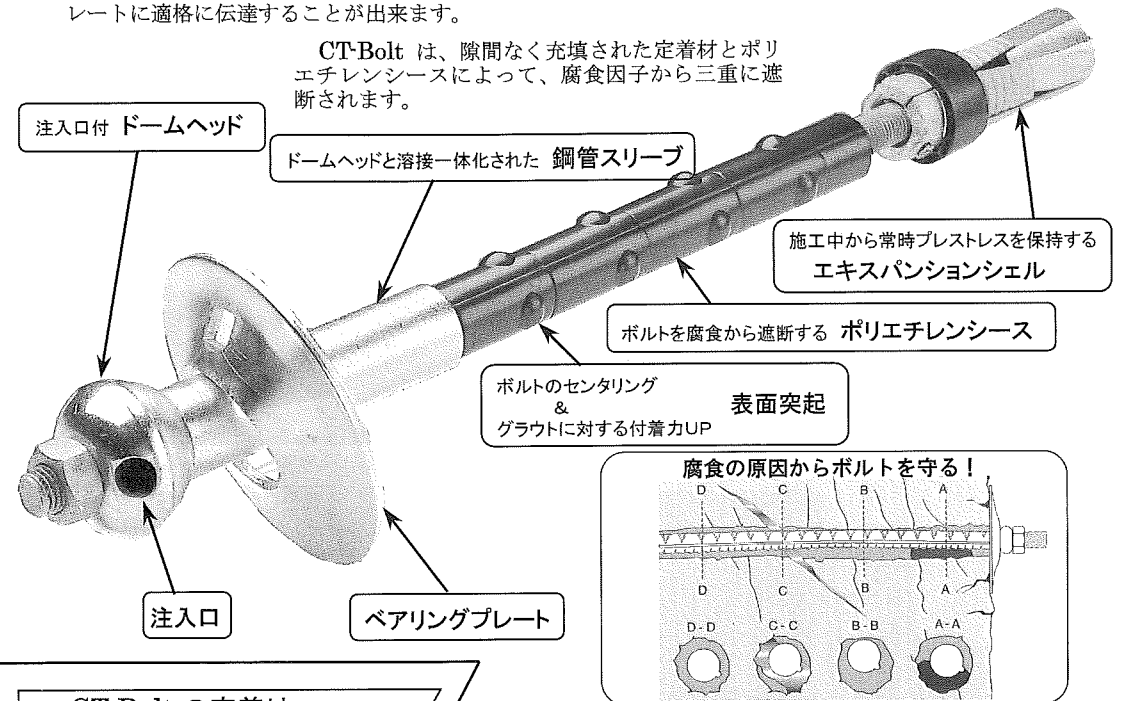
CT-Bolt



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。

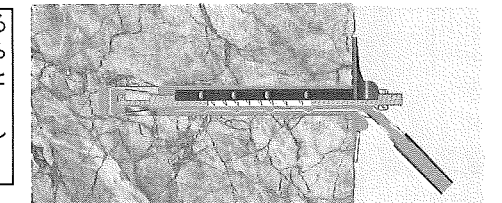
CT-Bolt は、隙間なく充填された定着材とポリエチレンシースによって、腐食因子から三重に遮断されます。



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に充填して戻り、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

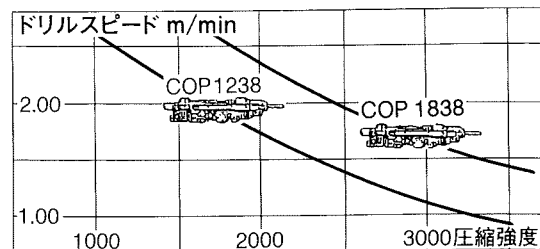
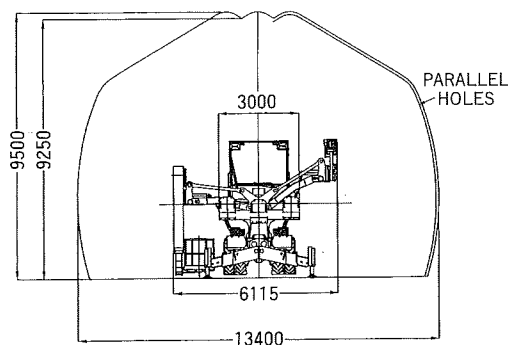
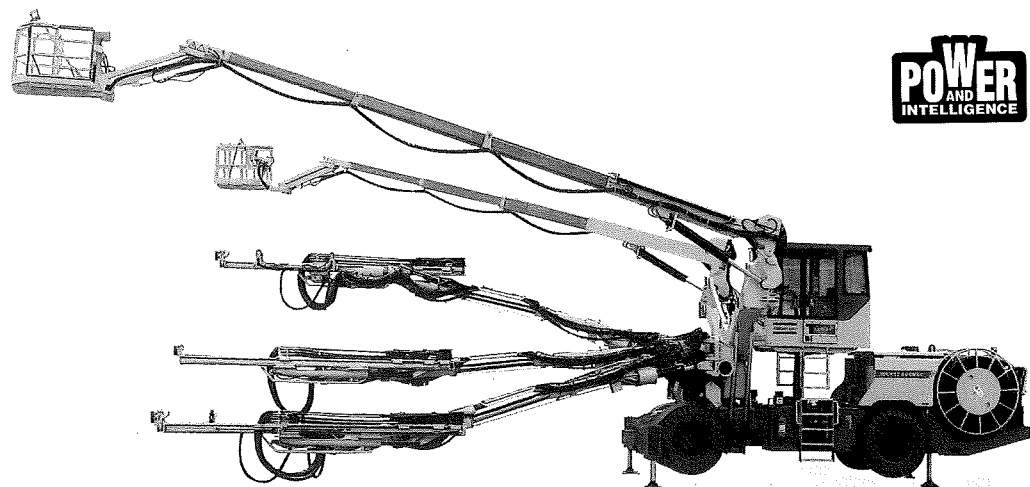
〒135-8073 東京都江東区青海2丁目45番タイム24ビル
お問い合わせ先 TEL: 03-3570-5182
技術部 FAX: 03-3570-5191

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



ドリルマシン株式会社

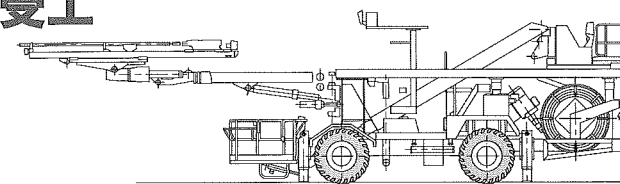
DRILL MACHINE CO., LTD.

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

環境対応型長尺鋼管先受工

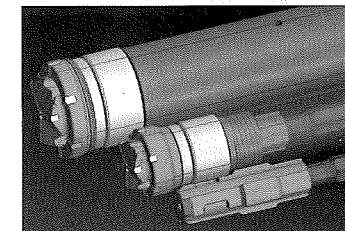
TOHO AGF System

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

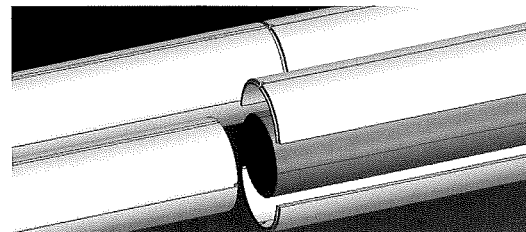


AGF-Me工法

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



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



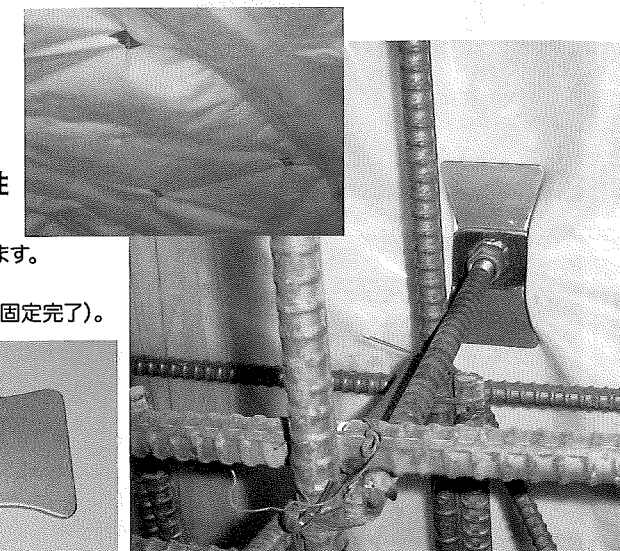
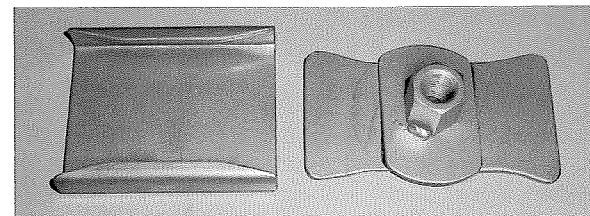
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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



東邦金属株式会社

TOHO KINZOKU Co., LTD

東京営業部

〒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>

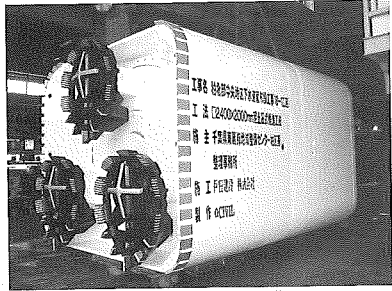
株式会社 トーキョーオール

〒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)

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：千葉県柏市若葉地内



多軸自転・公転掘進機(内寸法□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
- ◆完全密閉型多軸方式の高トルク掘進機のため、多様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



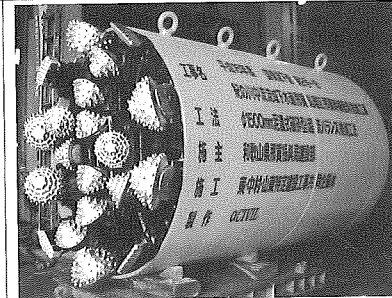
φ1016mm長距離パイプルフ掘進機(リターン回収型)

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・岩盤破碎型掘進工法

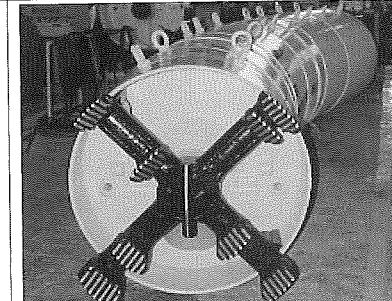


φ1500mm破碎型掘進機

本工法は泥濃式の取込方式の長所を生かしながら、破碎方式を兼ね備え、取込径以下の不要な破碎を行わないため、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。

- ◆破碎型掘進機：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
- ◆破碎型急曲線実績 R=15m(φ800、巨礫層)
- ◆破碎型長距離実績 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

シールド トンネルの 新技術

シールドトンネルの新技术研究会 編
B5判 280頁 定価：4,660円+税

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

主要目次

第1章 概説

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

第2章 調査・計画編

1. シールド工法の調査技術
シールド工事における調査の取り組み方/基本計画時の調査(予備調査)/設計時の調査(基本調査、詳細調査)/施工時の調査(確認調査、管理調査)/施工後の調査(追跡調査)
2. 断面および線形計画
断面および線形/鉄道用シールド/下水道用シールド/断面と線形における今後の展開
3. シールド機種の種類と選定
シールド機の構造と装備/現状のシールド機種の種類と選定方法
4. 新しいシールド工法
大断面化、大深度化、長距離化への展望

第3章 設計・施工編

1. 覆工
一次覆工の設計/二次覆工の設計と施工/シールドトンネルの防水技術
2. 立坑の設計と施工設備
立坑の設計と施工
3. 仮設備
仮設備の計画
4. シールド工事の自動化
掘進管理システム/方向制御システム/セグメント自動組み立てロボット/自動搬送システム/その他の自動化技術
5. 掘進と施工管理
シールド掘進と施工管理/シールド機の発進と到達/裏込め注入工法と注入効果/曲線施工と地中接合/補助工法の種類と選定
6. 近接施工と環境対策
近接工法と対策/アンダーピニングおよび支障物対策/シールド工事と環境対策
7. 新工法の現状と将来展望
自由断面シールド掘進(縦横円断面)/

- 異形断面シールド/分岐・接合シールド/球体シールド(ホルン)工法/複円形、矩形および拡大シールドの開発動向/ECL工法
8. 切羽の安定と地盤変状防止
切羽安定の理論と実際/泥水式シールド工法の切羽安定/土圧式シールド工法の切羽安定/特殊条件下の切羽安定
 9. 地盤変位の理論と実際
地盤変位の実際/地盤変位の予測解析

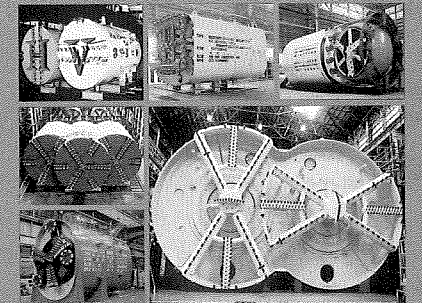
付録

1. セグメントの設計例
セグメントの設計例/外国の設計手法との比較/有限要素法を用いたシールド覆工設計例
2. 地盤変位予測解析手法の例
地盤変位の一般的性状/予測解析手法の例
3. シールド工事の施工計画
施工計画書とは/施工計画立案手順/シールド工事施工計画書の参考例

参考文献/索引

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会
代表 鈴木 章



土木工学社

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

【好評発売中】

セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 送料 290円

いわゆるバブルがはじけたここ数年、コスト削減はすべてに優先する至上命題となっており、シールド工事もその例外ではない。シールド工事の直接費に占めるセグメント費の割合は約4割程度と言われているが、シールド工事費の削減のためにはセグメントの製造コストの削減は避けて通ることのできない課題の一つとなってきた。

このような状況を受けてここ10年ほどの間に、急激にいろいろなセグメントが提案され実用化された。

これらのセグメントのうちにはよく似たものも多く、名称もバラエティに富み、その特徴や適用範囲などが明確でないため混乱が起きている例もある。

このため「トンネルと地下」の編集委員会では過去10年間に開発され、実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し、また、土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し、「セグメントの新技术」の連載講座を設けてこれらのセグメントを順次紹介した。セグメントの名称、特徴、開発目的、適用範囲などは同じフォーマットで掲載され、また、最終回では、そこで紹介されたセグメントを整理分類し、新しいセグメントの開発の動向や今後の展望を総括した。

本書はこの連載講座をもとに新たに「セグメントの新技术」編集委員会を作り、個々のセグメントに加筆、修正を加え、より充実した内容にまとめたものである。

〈セグメントの新技术〉

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. 薄型化・高強度セグメント | 18. シンプロセグメント |
| 2. サンドイッチ型合成セグメント | 19. WB セグメント |
| 3. 矩形トンネル用合成セグメント | 20. リングロックセグメント |
| 4. NM セグメント | 21. KL セグメント |
| 5. 二次覆工省略型ダクタイルセグメント | 22. コーンコネクターセグメント |
| 6. リングシールド工法用セグメント | 23. FRP-Key 継手 |
| 7. コンクリート中詰め鋼製セグメント | 24. ほぞ付きセグメント |
| 8. DNA シールド | 25. HOT セグメント |
| 9. ガイドロックセグメント | 26. インサート継手(その1:アーチ形) |
| 10. ウイングセグメント | 27. インサート継手(その2:NF型) |
| 11. ハニカムセグメント | 28. CPI セグメント |
| 12. CONEX-SYSTEM | 29. PPC セグメント |
| 13. スパイラルセグメント | 30. FBR セグメント |
| 14. コッター・クイックジョイントセグメント | 31. NRT セグメント |
| 15. ワンパスセグメント | 32. タイドアーチセグメント |
| 16. AS セグメント | 33. 遠心力締固め RC セグメント |
| 17. マルチブレード式継手セグメント | 34. 高流動コンクリートセグメント |



株式会社 土木工学社

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

きりーとーりー線

《ご注文票》

セグメントの新技术 _____ 冊 申込みます。

所在地 〒 ()

事業所名 _____

部 課 名 _____

申込者名 _____



トンネル進捗率改善のための最新技術

明かりが見えます

トンネルが貫通するまでの長い道のりの中で、工事完了までの間に大いなる違いを生む原動力となるのは、トンネル進捗率における日々改良の積み重ねです。もちろん、発破のたびに進捗度を上げたいとご希望されることでしょう。

オリカ社は、今まで積み重ねてきた研究開発と技術力を駆使して、お客様が毎日直面する課題の解決策をご提供することができます。自由に延時設定可能なトンネル専用電子雷管eDev、トンネル発破デザインソフト New SHOTPlus-T™、高エネルギーエマルジョン爆薬の結果をご覧になることができます。これらはすべて、お客様のご要望に沿って全てのプロジェクトに最適な技術サービスとサポートをご提供した結果です。

これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership (パートナーシップの力)」です。

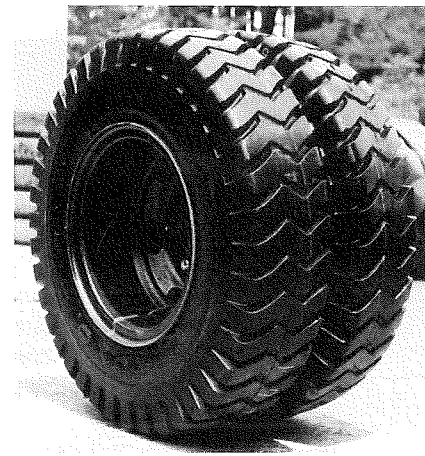
www.oricaminingservices.com にアクセスして頂ければ、トンネル現場の最新技術をご覧になることができます。



トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

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

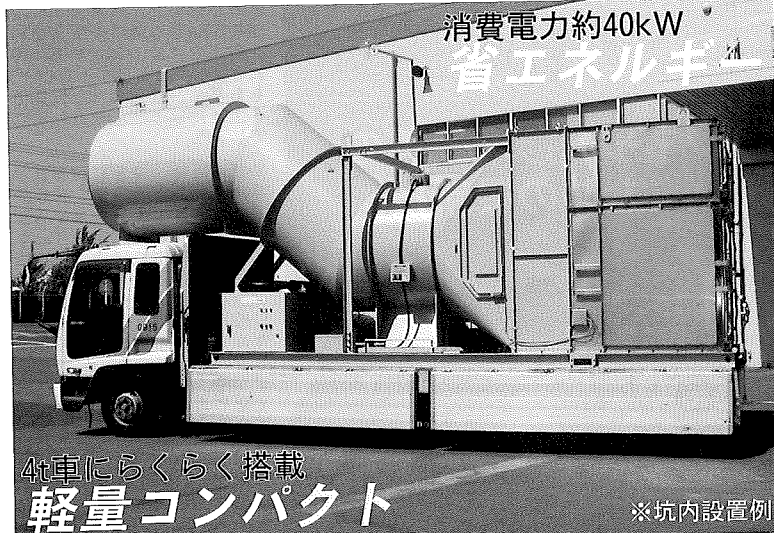
【営業品目】 複層タイヤ/油圧ホース/マテリアルホース/各種中古車/触媒/線路 (中古)



中濃産業株式会社

代表取締役 土田 義 式

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



消費電力約40kW
省エネルギー



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)

4t車にらくらく搭載
軽量コンパクト

※坑内設置例

National電気集塵機クリンジェット(2,000m³/minタイプ)

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



機械掘削ツインヘッド

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	48
	MT-600S-F	HABCM-15	64
	MT-1000S-F	HABCM-15	72
	MT-2000S-F	HABCM-15	72
	MT-300S-C	RM5C-9	52
	MT-600S-C	RM8B-15	54
	MT-1000S-C	RM8B-15	62
	MT-2000S-C	RM8B-20	68
	MT-4000S-C	RM8B-25	80
			平ピック Flat
		丸ピック Conical	

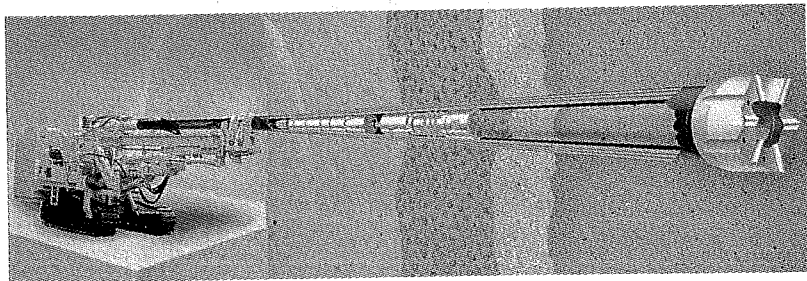
klea 株式会社 ケイリー

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

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

**トンネル掘さくの安全施工に
アロードリル前方探査システム**

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■ 特長

- ①断層破砕帯や湧水をとま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、地質条件にかかわらず、コアサンプルの採取率が従来とくらべて大幅に向上しました。

KOKEN 鉦研工業株式会社

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>

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

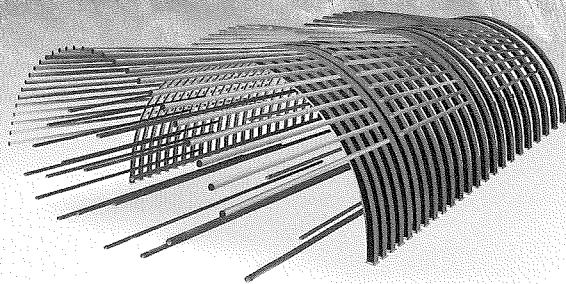


株式会社 ロード・エンジニアリング

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

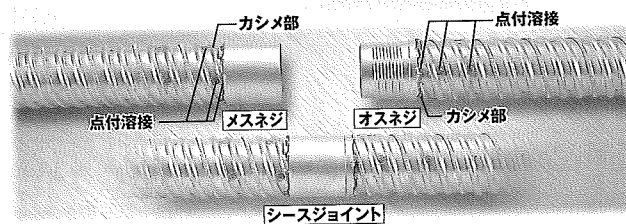
本 社 : 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目24番7号 電話(03)3891-0711
大 阪 支 店 : 〒569-1133 大阪府高槻市川西町2丁目21番38号 電話(072)691-0711
福 岡 支 店 : 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前4丁目25番14号 電話(092)436-1588
沖 縄 営 業 所 : 〒901-2122 沖縄県浦添市勢理客4丁目16番9号 電話(098)870-6411

ユニークな発想と高品質・自信の価格



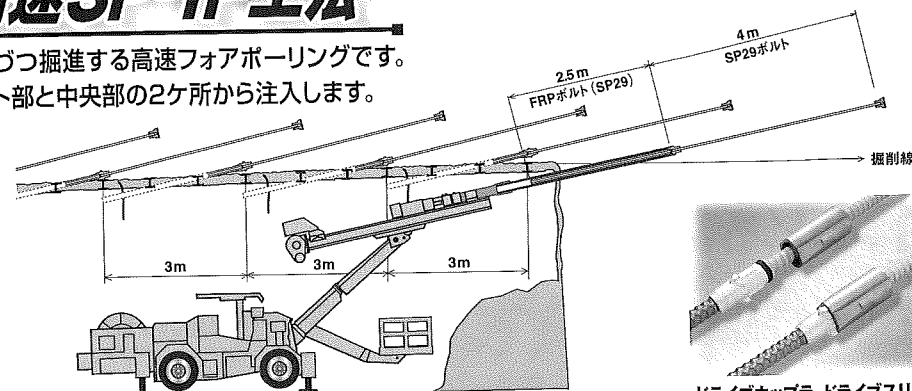
FIXチューブ工法

※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。



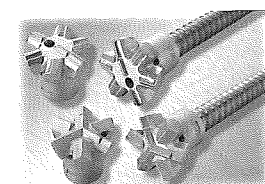
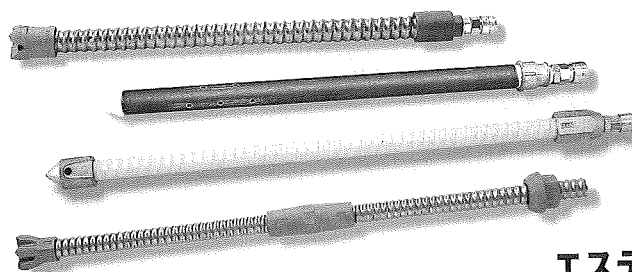
高速SP-IF工法

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



ドライブカップラ、ドライブスリーブ

自穿孔ボルト&注入管



φ65mm ロストビット (SP29)

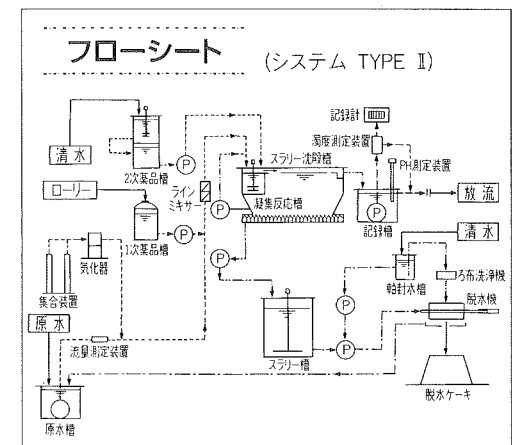
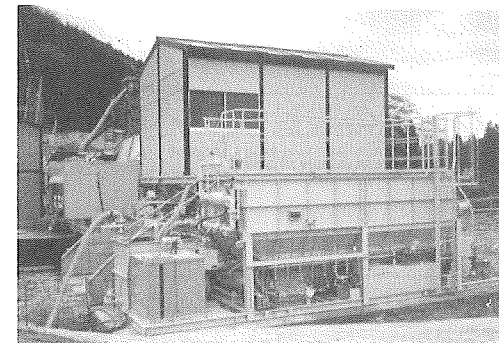
※他にも脚部や坑口周りに利用できる各種の補強土工法、マイクロパイル工法を準備しております。

STE
エステ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

コンパクトながら 大きな処理能力



特長

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

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

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

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

詳細資料請求、お問い合わせは

株式会社 フジテックス
本社 〒930-0821 富山市飯野12-1
TEL (076)452-1616(代) FAX (076)452-1617

Waste Water Treatment System

■巻頭言

仮排水トンネルと試験湛水

山口 温朗5

■研究

地表面沈下抑制効果を考慮したパイプルーフの設計法

大谷 達彦・進士 正人・千々和辰訓59

■解説

開通75年を迎えた丹那トンネル難工事を振り返る

—環状凹地で発生した最大200m³/分の突発湧水—

大島 洋志47

■施工

蛇紋岩地山を早期閉合と二重支保で変位制御

—北海道横断自動車道 穂別トンネル西工事—

高橋 俊長・大村 修一・高田 篤・山田 浩幸7

付加体地山における先行トンネルへの掘削影響と対策工

—新東名高速道路 島田第一トンネル下り線—

大川 了・板垣 克利・金丸 信一・亀谷 英樹19

鉄道高架直下を2連矩形シールドで掘進

—東急東横線 渋谷～代官山—

津守 澄男・角田 貴昭・山崎 仁・新原 亨31

■連載講座

ずり処理入門(5)

—発生土の運搬方法・タイヤ方式(2)—

「ずり処理入門」連載講座小委員会71

■現場だより

「ラーメンと名水の郷」出流原より

牛口 美信46

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

トンネル施工技術の継承

服部 一夫39

■資料

土木情報

編集部70

工法・技術・製品ニュース

編集部80

トンネルジャーナル

編集部79

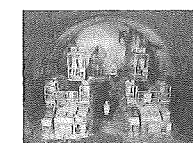
■会報

会報

日本トンネル技術協会82

【表紙説明】

蛇紋岩地山を早期閉合と二重支保で変位制御
—北海道横断自動車道 穂別トンネル西工事—



穂別トンネルは、全長4,323mの山岳トンネルである。このうち、西工事では土かぶり250m以上の大土かぶりにおける脆弱地山(蛇紋岩)の施工において、数値解析の結果を参考に変位を制御した高規格二重支保の早期閉合を実施するとともに、切羽の安定性を確保する目的で補助工法を駆使して施工を完了した。

写真は、補助工法施工状況である。

(写真提供：東日本高速道路(株))(本文7頁参照)

ヤマモト **かくがんき** 無騒音 無振動 静かな破碎

超大型油圧破碎機
YTB 1120
トンネルビッカー

ヤマモトロックマシン株式会社

本社 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号富士ビル ☎(03) 3201-0701(代)

工場 広島県庄原市東城町36番地 ☎(08477) 2-2137(代)

仙台営業所 (022) 262-4531(代) 大阪営業所 (06) 6531-1571(代) 高知営業所 (0888) 22-1367(代) 九州営業所 (092) 471-0381(代)

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。

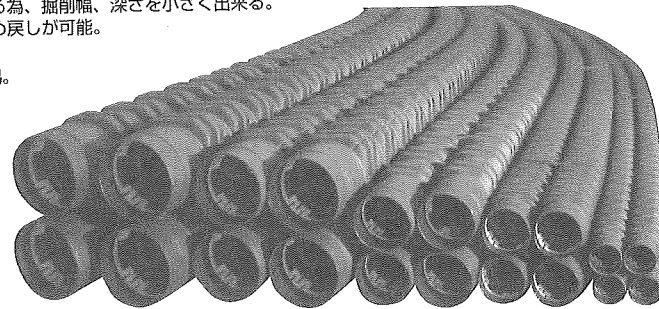
2. 可とう性に優れる

- ・上下左右に曲がり、既設物や障害物の回避が容易。

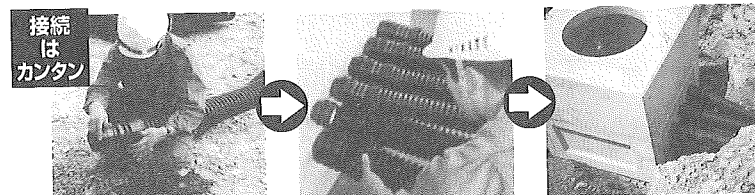
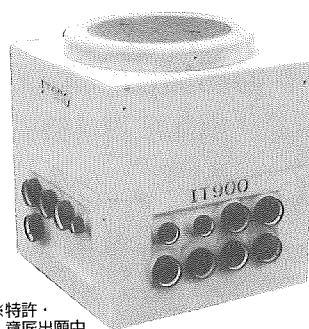
3. 優れた性能

- ・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. 摩擦係数が低く直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



管路に継手差口をねじこみ 継手受口に差しこむだけ これで接続完了。

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

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

※特許・意匠出願中

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

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

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

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

大阪本社 〒530-8017 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〕

居 相 好 信

株式会社大林組東京本社生産技術本部
 トンネル技術部部長

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事業本部工事監理部
 上席エンジニア

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

飛鳥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

三 浦 克

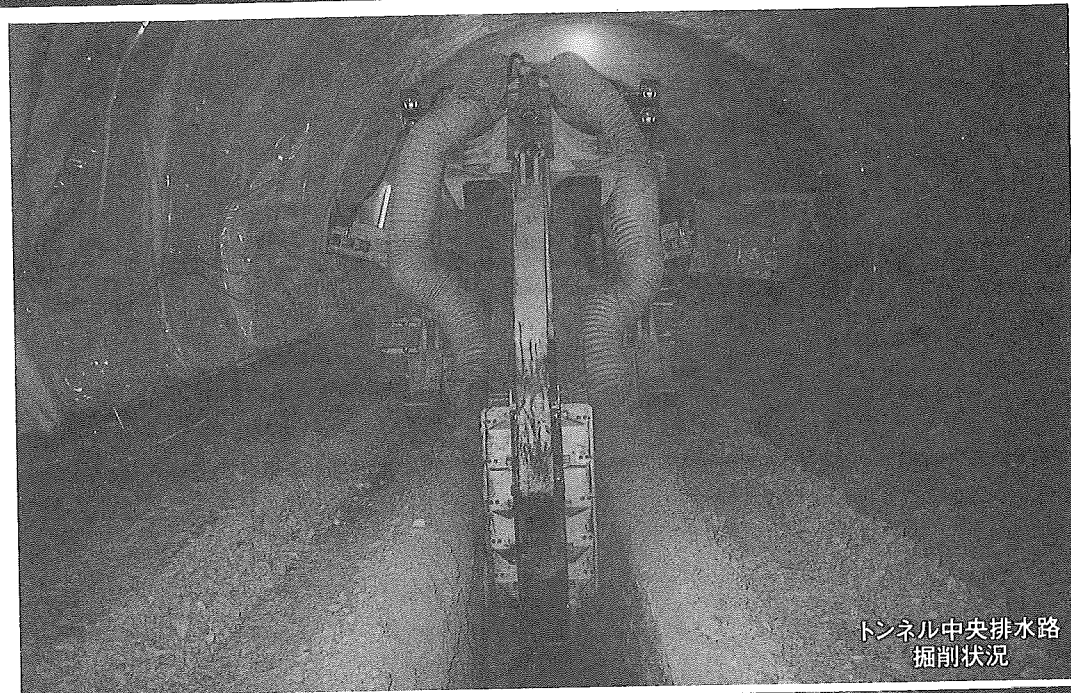
株式会社竹中土木常務執行役員

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

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



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	マステンブルク	マステンブルク
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/cm ²	700kg/cm ²	700kg/cm ²	1000kg/cm ²
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。

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

高橋 良文
東京都下水道サービス(株)管路部長

橋本 定雄
(元)東京都公営企業管理者下水道局長

濱 建介
(元)日本鉄道建設公団理事

三浦 克
株式会社竹中土木常務執行役員

〔委員〕

池田 匡隆
東京都下水道局建設部設計調整課長

今井 滋
東京都水道局建設部工務課長

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

亀山 勝
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
計画担当課長

木谷 日出男
財団法人鉄道総合技術研究所
企画室長

清水 満
東日本旅客鉄道株式会社東京工事事務所
立体交差課長

城間 博通
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

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

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

両角 幸範
東京都交通局建設工務部計画改良課長



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/>

掲載頁
7

蛇紋岩地山を早期閉合と二重支保で変位制御
—北海道横断自動車道 穂別トンネル西工事—

東日本高速道路(株) 高橋 俊長

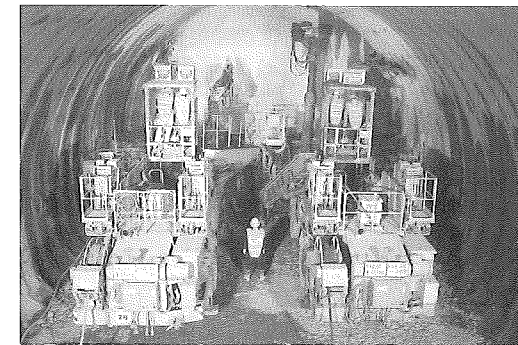
穂別トンネルは、全長4,323mの山岳トンネルである。西工事では西側の延長1,951mをNATMで掘進している。本工事のうち、土かぶり250m以上の大土かぶりにおける脆弱地山(蛇紋岩)区間で、数値解析の結果を参考に変位を制御した高規格二重支保の早期閉合を実施した。また、EIIパターンの191mを、切羽の安定性を確保する目的でトンネル前方外周にグラウンドアーチを形成する「トンネル外周補強工」および「長尺鏡ボルト」などの補助工法を駆使して施工した。

本稿は、変位制御による高規格二重支保の支保構造の設計の考え方と施工結果について報告する。

Control over Tunnel Displacement in Serpentine Ground by Early Building of Double Full Circumference Steel Rib Support—Hokkaido Odan Expressway Hobetsu Tunnel West Section—

By Toshihisa Takahashi, East Nippon Expressway Company Limited

Hobetsu Tunnel Project is to build a mountain tunnel of a total length of 4,323m and Its West Section is in the process of excavating a length of 1,951m by NATM on the west side. In construction in soft ground (serpentine)



with a large cover of over 250m, along with early building of double full circumference steel rib support of high-standard steel that controlled displacement in reference to the results of numerical analysis, construction was completed with a 191m (E II pattern) using auxiliary methods such as “tunnel exterior circumference reinforcement” and “long face bolts” which forms a ground arch in the front exterior circumference of the tunnel with the aim of ensuring face stability.

This report gives information on principle for the structural design of double full circumference tunnel support of high-standard steel that control displacement of tunnel and on construction results.

写真は補助工法施工状況

掲載頁
19

付加体地山における先行トンネルへの掘削影響と対策工
—新東名高速道路 島田第一トンネル下り線—

中日本高速道路(株) 大川 了

山岳工法において、併設する道路トンネルを構築する場合には、中心離隔を掘削幅の3倍程度としている場合が多い。新東名高速道路島田第一トンネル下り線工事では、この離隔を確保していたが、後行トンネルの掘削の影響を受けて、先行トンネルに沈下が生じ、支保工脚部およびインパルト端部にひび割れなどの変状が発生した。

本稿は、併設トンネルにおける掘削影響の変状特性、数値解析による変状メカニズムの推定、計測結果および対策工の設計・施工とその効果について報告するものである。

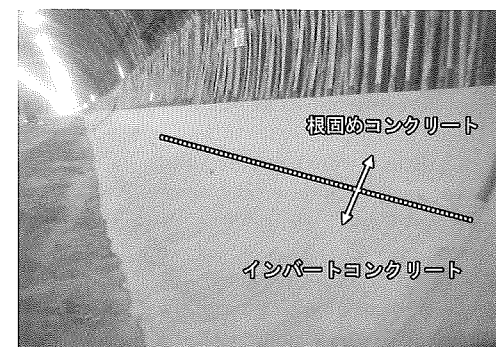
Excavation Effects on Preceding Tunnel in Accretionary Wedge Ground and Countermeasures—New Tomei Expressway Shimada 1st Tunnel Southbound Lane—

By Ryo Okawa, Central Nippon Expressway Company Limited

There are many cases in which the offset distance between each center of parallel tunnels is around 3 times the excavation breadth in the case of the mountain road tunnel.

In the New Tomei Expressway Shimada 1st Tunnel Southbound Lane works, this distance was ensured but it was affected by the excavation of a later tunnel, settlement of the preceding tunnel occurred and there was deformation such as cracks in support feet and invert ends.

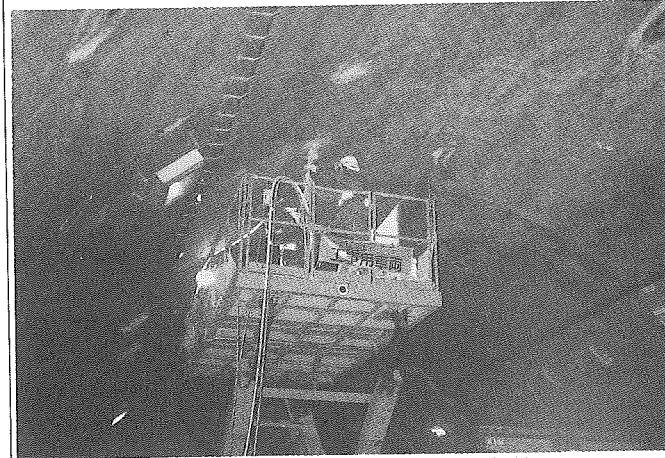
This report gives information on deformation characteristics of the excavation effects on the parallel tunnel, estimates of deformation mechanisms through numerical analysis, measurement results and countermeasure design and construction.



写真は根固めコンクリートの施工完了状況

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

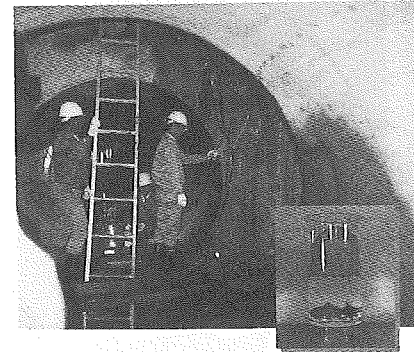


- シールドにおける滞水層、軟弱地盤の全面裏込め注入
- シールド急曲線部の裏込め注入(即時地盤反力の効果)
- トンネル構造物などの背面空洞充填
- 深基礎工法の裏込め(止水,裏込め後の即時掘削可能)

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ニアリング株式会社	〒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
日本総合防水株式会社	〒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

鉄道高架直下を2連矩形シールドで掘進 —東急東横線 渋谷～代官山—

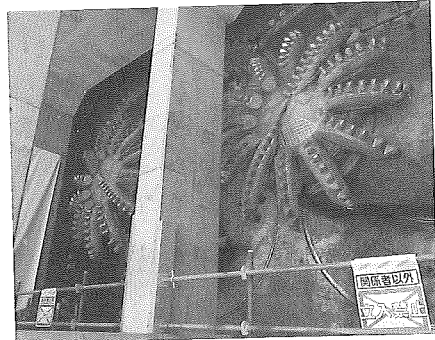
東京急行電鉄(株) 津守 澄男

東急東横線渋谷駅～代官山駅間地下化工事は、首都圏の広域的なネットワークの形成を目的とした2012年度の5社(東武東上線・西武池袋線・東京メトロ副都心線・東急東横線・横浜高速鉄道みなとみらい線)の相互直通運転開始を目指して、渋谷駅～代官山駅間の約1.5kmを地下化するものである。

本地下化工事延長のうち約1/3がシールド工事区間で、シールドは昨年4月に明治通りから発進し、営業線の高架橋直下を掘進し、今年1月に掘進が完了したところである。本稿ではシールド工事の報告を中心に記述する。

Excavation directly under Railway Viaduct with Twin Rectangular Shield—Tokyu Toyoko Line Shibuya—Daikan-yama—

By Sumio Tsumori, Tokyu Corporation



写真はシールド到達状況

The underground works between Shibuya and Daikan-yama Stations on the Tokyu Toyoko Line are to make the approx. 1.5km between the stations underground with the aim of beginning mutual through services with 5 railway companies (Tobu Tojo Line, Seibu Ikebukuro Line, Tokyo Metro Fukutoshin Line, Tokyu Toyoko Line, Yokohama Minatomirai Railway Company Minatomirai Line) in FY2012 with the goal of forming a wide network in the Tokyo metropolitan area.

Approx. 1/3 of the length of these underground works is a shield tunneling section. The shield began to excavate in April last year from Meiji-dori, excavated directly under railway viaduct of lines that are in service and shield excavation was completed in January this year. This report focuses on the shield works.

開通75年を迎えた丹那トンネル難工事を振り返る —環状凹地で発生した最大200m³/分の突発湧水—

国際航業(株) 大島 洋志

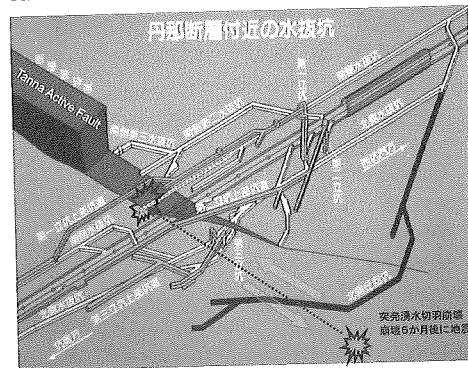
御殿場経由だった東海道本線が丹那トンネルの貫通によって1934年12月1日に熱海経由に変更されてから75年が経過した。丹那トンネルは約200m³/分の大出水が発生するなど16年の長年月を要する難工事となった。筆者は、以前この大出水は凹地に到達したころに始まったようであるとして、丹那盆地西横にある環状凹地地形の存在を指摘したことがある。その後、文献調査により大量湧水に関する坑内の地質記述や地表部の地形・地質を対照し、現地調査や空からの観察などを行った結果、指摘はほぼ間違いないと確信できた。

本稿では、下丹那地区直下で発生した突発的大量湧水量を中心に振り返りつつ、地形・地質を認識することの大切さを考えてみる。

Looking Back on the Difficult Works on Tan-na Tunnel at the 75th Anniversary of Opening—Sudden Water Inflow of Up to 200m³/min That Occurred beneath a Circular Depression—

By Hiroshi Oshima, Kokusai Kogyo, Co., Ltd.

It is 75 years since, thanks to the opening of Tan-na Tunnel on 1st December in 1934, the Tokaido Line which ran via Gotemba was changed to run via Atami. The Tan-na Tunnel works were difficult and required a long 16 years for completion due to the occurrence of a large water inflow of approx. 200m³/min, etc. The author had pinpointed the existence of circular topographic depression in the west side of the Tan-na basin and that it seems that great water inflow began when excavation reached under the depression. Following this, through the document investigation of geological features in the tunnel concerning the large-volume water inflow and geography and geology of ground surface were compared and, as a result of conducting field investigations and aerial observations, etc., it was possible to prove that these indications by the author were almost certainly correct.



図は丹那断層付近の水抜き坑施工状況と断層変位部との関係図

This report considers the importance of recognizing geographical and geological features while looking back particularly on the sudden large volume water inflow that occurred directly under the Shimo-Tan-na district.

地表面沈下抑制効果を考慮したパイプルーフの設計法

西松建設(株) 大谷 達彦

パイプルーフ工法は、都市部でのNATM施工の増加に伴い採用件数が増加してきた。しかし、設計手法がまだ確立されておらず、地表面沈下を予測できる実用的な設計法がないため、大規模な現場計測を実施して地表面沈下をたえず監視しながら施工する事例がほとんどである。また、パイプルーフ鋼管自身を設置する際に地表面沈下を引き起こす可能性がある。

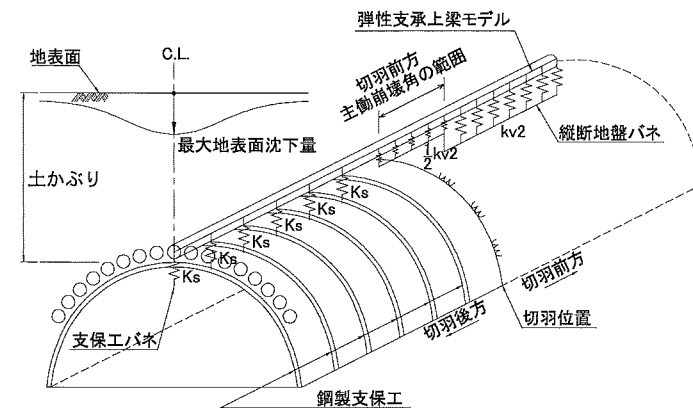
本稿では、パイプルーフ工法適用時の地表面沈下量を予測できる新しい設計法として弾性支承上梁モデルを用いた簡便な設計法と、櫻井が提案した逆解析(DBAP)を活用してパイプルーフ鋼管設置後、早期に最終的な地表面沈下を予測する情報化施工法を提案する。

Design Method of Pipe Roof Tunnel Support considering Surface Settlement Control Effects

By Tatsuhiko Otani, Nishimatsu Construction Co., Ltd.

The number of adoption of pipe roof tunnel support method has increased as NATM tunnels in urban areas increase. However, its design method has still not been established and, as there is no practicable design method that can evaluate surface settlement, most examples are of implementing large-scale in-situ measurements and constructing while monitoring ground surface settlement. Further, it is possible that surface settlement occurs at the time of installing pipe roof steel pipes themselves.

This report proposes a simple design method using a model of beam on elastic bearings as a new design method that enables evaluation of the amount of surface settlement at the time of employing the pipe roof support and a observational procedure of settlement prediction that evaluate final surface settlement at an early stage after the installation of pipe roof steel pipes based on back analysis (DBAP) which was proposed by SAKURAI.

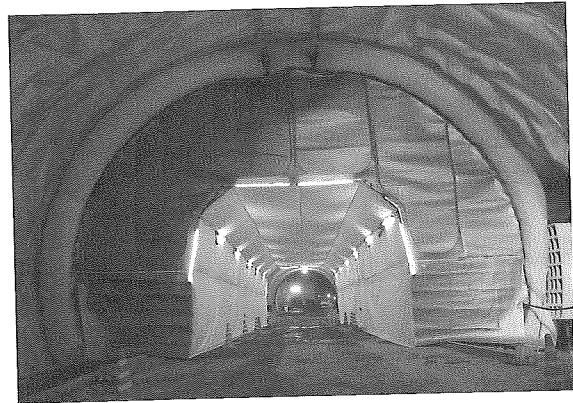


図は弾性支承上梁のモデル図

トンネルバルーン覆エコンクリート
トータル養生工法

長期耐久性に優れた高品質な
覆エコンクリート施工を実現します！

NETIS登録
(No.HR-040005)



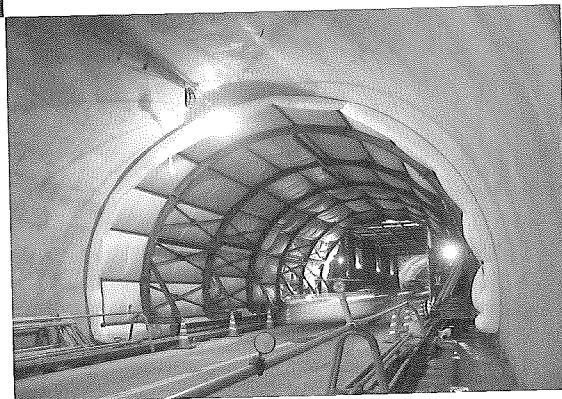
特許出願中

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。



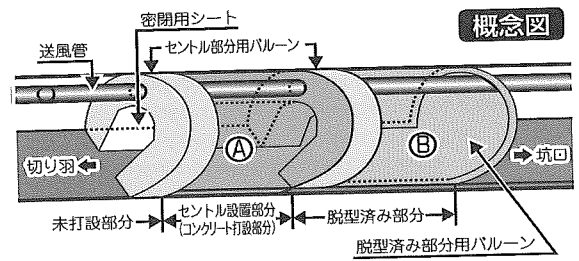
特許3811478号

覆エ養生バルーン

脱型後の覆エ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. 覆エ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)



概念図

① 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囲って空気層をつくり保温・保湿する
② 打設後のコンクリートに薄い高気圧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	覆エ養生バルーン
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/



仮排水トンネルと試験湛水

(独)水資源機構ダム技術監(本協会評議員)

山口 温朗

ダムの施工では、本体工事(基礎掘削、コンクリート打設あるいは材料盛立をいう)に先行して、川を切り替えて施工現場をドライにすることが行われる。これが転流工工事である。日本では河岸の地山にトンネルを掘り、川を締め切ってトンネルに流し込む方法が一般的である。これを仮排水トンネルという。仮排水トンネルの対象流量は大きいほど安心して工事ができるが、コストも増大する。コンクリートダムでは1年に1、2回発生する確率流量、フィルダムでは堤体を越流したときの被害がコンクリートダムに比べ格段に大きいので、20年に1回程度発生する確率流量を対象としている。また、フィルダムでは流量規模にもよるが、通常上下2本のトンネルを掘る。下段を1号仮排水トンネル、上段を2号仮排水トンネルと呼ぶ。2号トンネルは工事中の上下流連絡用道路として兼用させるとともに、その一部を工事完成後の放流設備として利用することも多い。

木曾川水系揖斐川に水資源機構が建設し、2008年3月に完成した徳山ダムの仮排水トンネルの対象流量は20年確率の1,600m³/sec、そして1号および2号のトンネル規模はそれぞれ延長が1,445mと1,111m、断面形状が円形と3心円馬蹄形(いずれもインバートは水平)、掘削断面積が89m²(D=9.3m)と77m²(D=8.7m)であり、日本最大級の仮排水トンネルである。徳山ダムは、2000年3月に本体工事に着手以来、2005年11月には堤体盛立を完了、早期の治水効果発現のために洪水期である2006年9月25日から試験湛水を開始、2008年4月21日には最高水位であるサーチャージ水位に達し、その後10mの水位低下を行って2008年5月5日に試験湛水を終えた。

試験湛水は1号仮排水トンネルの呑口に締切ゲートを挿入し、水を遮断することで開始される。その後は上昇する水位との競争である。速やかに仮排水トンネルをコンクリートで充填する必要がある。これをプラグという。プラグは周辺岩盤と一体化して水密を保たなければならないので、ライニングを撤去してプラグコンクリートを打設する。ラ

早期閉合の採用を実施するとともに、施工時の切羽安定確保の目的で「長尺外周補強工」および「長尺鏡補強工」などの補助工法を駆使して大土かぶりの脆弱地山(蛇紋岩)区間L=191m(Eパターンの)施工を完了している。

表-1に工事概要を、図-1に工事位置を示す。

今回、土かぶり250m以上の大きな土かぶりにおける脆弱地山(蛇紋岩)での支保構造(二重支保工)などの設計の考え方と施工結果について報告する。

2 穂別トンネル西避難坑工事施工実績¹⁾

調査坑としての位置づけで先行施工された避難

坑は、延長L=2,150m、掘削断面が19~26m²(小断面)であり、施工方法はNATM、全断面掘削工法、レーン方式(地山状況に応じて発破・機械掘

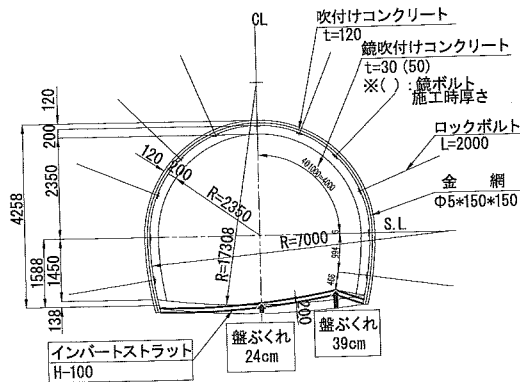


図-3 避難坑変状状況

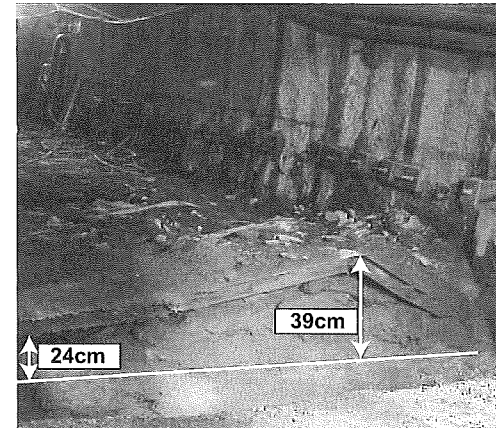


写真-1 避難坑変状状況

表-2 嵐山トンネル土かぶり地山物性値一覧⁴⁾

断面番号	地盤高 (m)	天端高 (m)	土かぶり (m)	単位体積重量 (t/m ³)	ポアソン比
⑧	257.978	129.318	128.66	2.95	
⑦	268.057	130.624	137.433	2.55	
⑥	260.921	135.318	125.603	2.42	0.37
⑤	244.115	131.106	113.009	2.33	0.35
④	241.254	131.106	110.148	2.32	
③	173.662	125.892	47.77	2.24	0.34
②	151.821	122.283	29.538	2.31	0.32
①	148.046	121.17	26.876	2.39	0.34
				平均	2.4

削)であった。なお、図-2に示すように蛇紋岩区間は4回出現し、掘削延長2,150mのうち約500m分布していた。

とくに3回目の蛇紋岩区間においては、図-3および写真-1に示す吹付けコンクリートの変状、盤ぶくれが発生したため、支保の剛性を高めたEII-1-K-Pパターン+鏡ボルト(図-2)とし、鋼繊維高強度吹付けコンクリートに変更している。なお、蛇紋岩の地山試料試験結果では膨張性鉱物は含まれておらず、蛇紋岩特有の潜在亀裂の進展による緩みの増大が大きな変位発生の原因と考えられる。

表-3 解析に用いた地山物性値^{4),6)}

項目	変形係数 (N/mm ²)	ポアソン比	単位体積重量 (kN/m ³)	粘着力 (N/mm ²)	内部摩擦角 (deg)	引張強度 (N/mm ²)
採用物性値	150	0.34	24	0.2	30	0.04
G6 (DII相当)	150	0.35	21	0.2	30	0.04
嵐山試験値	-	0.34	24	-	-	-

■: G6(DII相当)を採用, □: 嵐山試験値を採用

質(道央道嵐山トンネル)における施工実績^{4),5)}(表-2)や穂別西避難坑の試験値をもとに設定した。最終的には、表-3に示すとおり、避難坑の内空変位計測結果や実際の避難坑の変状状況、切羽(鏡面)の状況などと照合しながら最適であると判断したケースの物性値(変形係数)を予測解析に用いた。

3-3 再現解析結果と分析

図-4は、トンネル変位に関して、計測結果と解析結果(再現解析)を比較したものである。

変位量としては解析結果のほうが若干大きくなったが、変位モードとしてはいずれの結果に関しても全体的に縮みながら沈下している状況であり、よく一致していることがわかる。

地中変位の測定結果から緩み領域を推定すると、天端で1.5~2.5m、左側壁部で1.0~2.0m、右側壁部で2.0~3.0mであった。また、表-4に解析値と計測値の緩み領域と変形モードの比較を示す。

また、表-5に示すように解析結果では破壊領域は天端で1m、側壁で2.2m程度となった。これ

3 本坑支保構造の設計

3-1 検討方針

検討はFEM解析(非線形弾性モデル)^{2),3)}により、避難坑施工時に大きな変位を生じ、盤ぶくれやインバートストラットの変状が発生した3回目蛇紋岩区間を対象に実施した。検討では、まず再現解析により避難坑の計測データにもとづく地山物性を逆算し、同定された地山物性を用いて、予測解析により本坑での支保構造の安定性を評価した。

3-2 地山物性の評価

解析に用いた地山物性は、旧日本道路公団のトンネル数値解析マニュアルにもとづき基本物性(G6:地山区分DII)を設定し、これまでの同種地

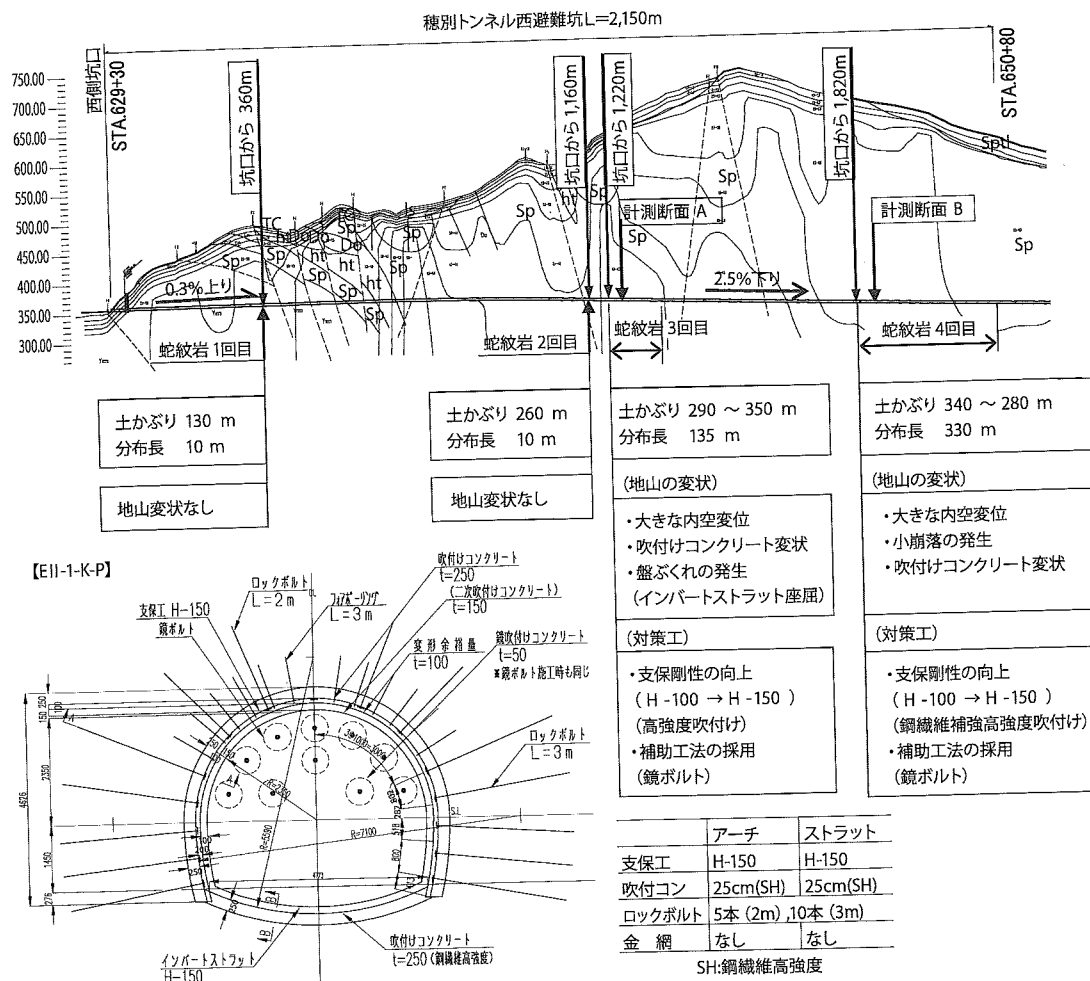
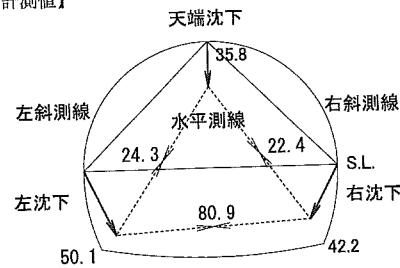


図-2 避難坑施工実績¹⁾

【計測値】



【解析値】

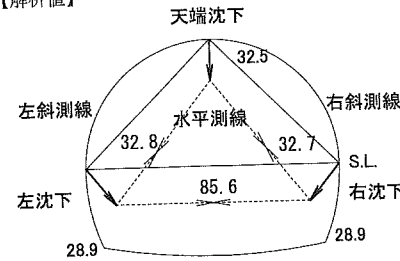


図-4 解析値と計測値の比較(変位モード)⁶⁾

表-5 再現解析結果(緩み領域と変形モード)⁶⁾

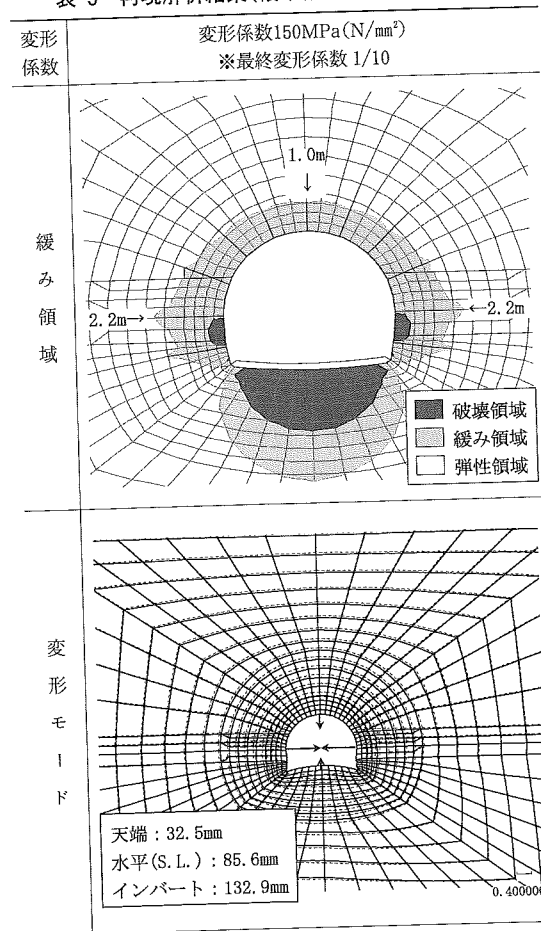


表-4 解析値と計測値の比較(変位)⁶⁾

		解析値	計測値
緩み領域	天端	1.0m	1.5~2.5m
	左側	2.2m	1.0~2.0m
	右側	2.2m	2.0~3.0m
変形モード	天端	32.5mm	35.8mm
	水平	85.6mm	80.9mm

表-6 本坑予測解析(検討ケース)⁶⁾

検討ケース	
①	全断面(補助工法なし)
②	上半, 下半, インバート(補助工法なし)
③	全断面(二重支保同時施工)
④	全断面(二重支保: 二次支保設置時解放率10%)
⑤	全断面(二重支保: 二次支保設置時解放率15%)
⑥	全断面(アーチ 2m改良, $D=4,500\text{N/mm}^2$)
⑦	全断面(アーチ 6m改良, $D=3,000\text{N/mm}^2$)
⑧	全断面(全周改良, $D=4,500\text{N/mm}^2$)

表-7 予測検討結果(緩み領域と変形モード)⁶⁾

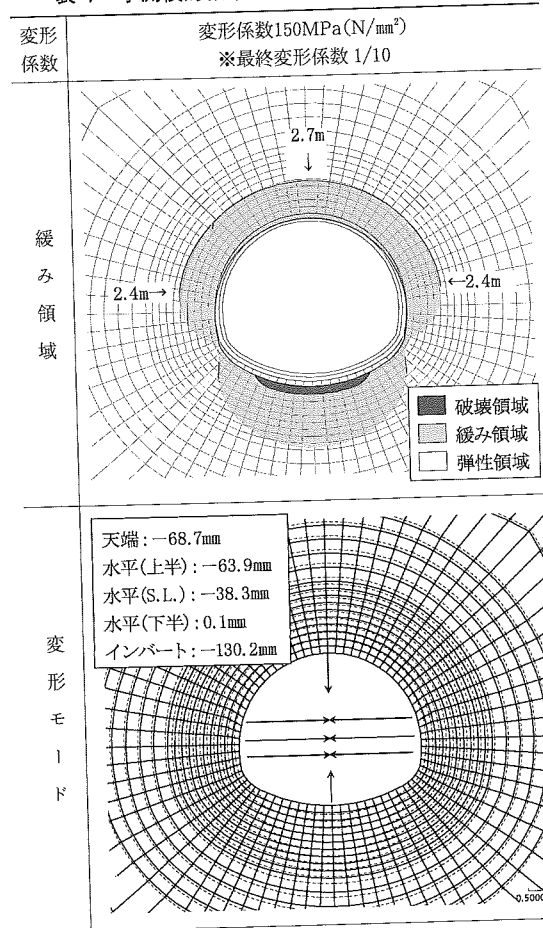


表-8 検討結果(鋼製支保工応力)⁶⁾

検討ケース	①天端部	②右肩部	③左肩部	④インバート部	判定	
						□内は成立の可能性のあるケース
①	IN	1,501.9	1,526.5	1,522.0	1,419.5	×
	OUT	1,485.7	1,508.8	1,507.0	1,564.5	
②	IN	1,463.6	1,060.8	1,051.7	391.7	×
	OUT	1,279.0	706.6	703.6	297.5	
③	IN	729.2	708.6	708.6	339.2	△
	OUT	736.1	728.2	728.2	568.0	
④	IN	157.6	154.1	154.1	78.1	○
	OUT	159.0	157.2	157.2	116.4	
⑤	IN	236.2	231.0	231.0	118.5	○
	OUT	238.3	235.6	235.6	173.8	
⑥	IN	470.3	545.9	539.6	1,687.4	×
	OUT	493.8	555.2	550.3	1,886.3	
⑦	IN	349.9	533.5	529.5	1,748.0	×
	OUT	402.0	528.1	524.5	1,912.3	
⑧	IN	313.1	382.5	380.5	180.0	△(×)
	OUT	316.2	379.2	377.4	202.0	

符号: 正が圧縮応力
許容値: 支保工 440N/mm^2 (降伏応力)
終局値: 支保工 590N/mm^2 (圧縮強さ)
△: 終局値内に収まり許容値の考え方によっては成立
■: 不可 □: 終局応力以内 □: 設計値以内

らの解析結果は避難坑施工時に得られた計測結果とよく一致していた。

以上のとおり, 変形モード, 緩み領域についても比較的良好一致が見られたことから今回採用した地山物性値が妥当であると判断した。

3-4 本坑予測解析結果と分析

再現解析で同定した地山物性値を用いて本坑施工時の支保構造の検討を行った。なお, 補助工法の効果に関しては, 施工範囲の変形係数を向上させることでモデル化した。表-6に検討ケースを示す。

表-7に二重支保工による解析結果(解放率40(先行):50(一次支保):10(二次支保))の1例を示す。また, 解析結果の一覧を表-8, 9に示す。

解析結果では支保発生応力が許容値内に収まるのは二重支保構造による施工のみであり, ケース①, ②, ⑧は施工が困難と判断した。

なお, 発生する支保応力が大きいことや二重支

表-9 検討結果(吹付け発生応力)⁶⁾

検討ケース	①天端部	②右肩部	③左肩部	④インバート部	判定
①	46.4	47.2	47.0	43.8	×
②	47.6	37.5	37.2	13.3	×
③	22.8	22.6	22.6	18.5	△
④	4.7	4.6	4.6	3.8	○
⑤	7.0	7.0	7.0	5.7	○
⑥	14.4	16.7	16.5	52.1	×
⑦	12.1	16.5	16.4	53.8	×
⑧	9.6	11.8	11.8	5.6	△(×)

符号: 正が圧縮応力
設計値: 吹付け 13.5N/mm^2 (許容応力)
終局値: 吹付け 36N/mm^2 (設計基準強度)
△: 終局値内に収まり許容値の考え方によっては成立
■: 不可 □: 終局応力以内 □: 設計値以内

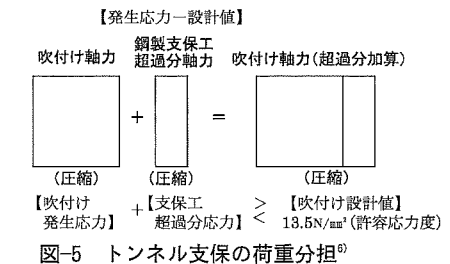
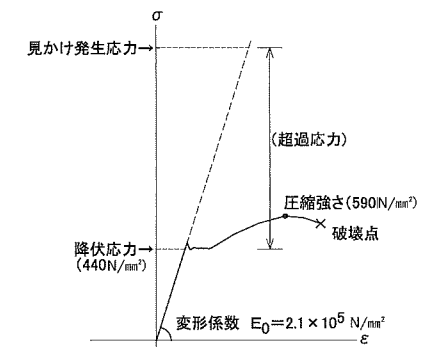


図-5 トンネル支保の荷重分担⁶⁾

保構造を採用することを考慮して設計照査では, トンネルの支保部材のうち, 鋼製支保工(高規格支保工)と吹付けコンクリート(高強度)の荷重分担に関しては, 図-5に示すとおり, 鋼製支保工の設計値(終局値)を超過する発生応力を吹付けコンクリートの設計値(終局値)で分担可能かどうかで照査した。

3-5 支保構造の選定と対策工の方針

本坑予測解析の結果を踏まえて, 本坑の支保構

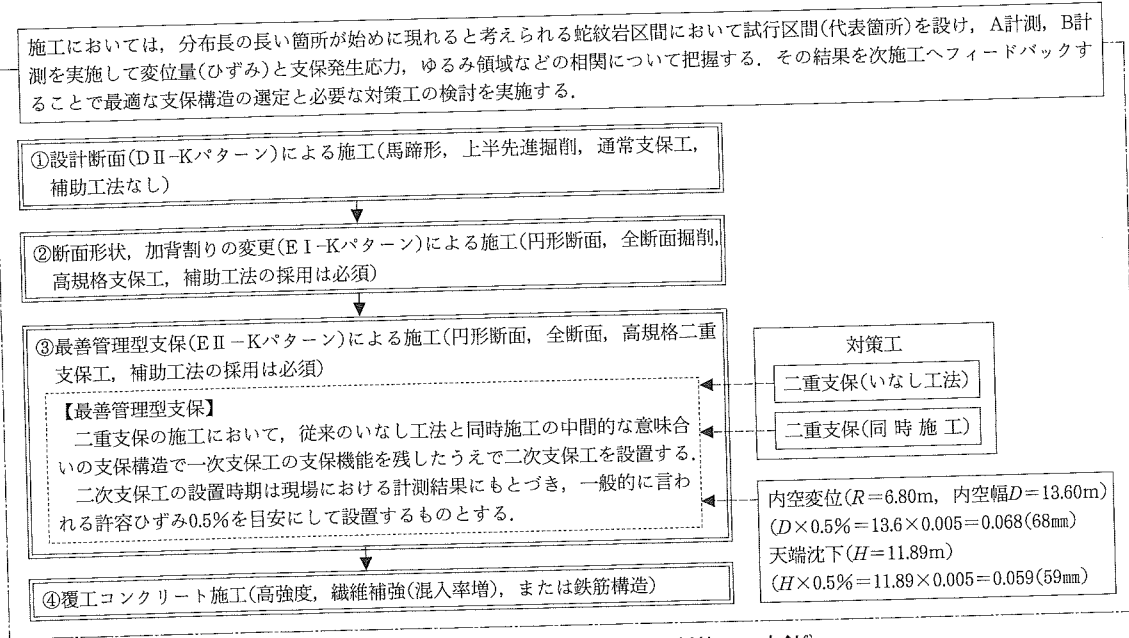


図-6 変位制御型二重支保の選定と対策工の方針⁶⁾

造の選定と対策工の方針に関して図-6に示すフローを作成し, 大土かぶりの脆弱地山(蛇紋岩)における施工に対して, とくに, 断面形状, 支保剛性, 早期閉合, 補助工法に配慮して実施した。

ここで, 本トンネルでは従来の二重支保「いなし工法: 一次支保では変位を許容して二次支保でしっかり押さえる」という考え方を発展させて綿密な計測管理にもとづき変位を制御して早期閉合を実施することで, 一次支保にも耐力を残した状態で二次支保を設定する「変位制御型二重支保」とした。なお, 二重支保設置の目安は, 周辺地山の破壊ひずみを1.0%と想定し, 許容ひずみ0.5%と設定した。

4 本坑施工実績

4-1 施工方針と実績

図-6に支保パターン選定と対象方針を示す。

計画では支保パターン選定フローにしたがって, 脆弱な蛇紋岩が部分的に出現した段階でDIIパターン(馬蹄形断面, ノーマル支保工, 上半先進工法)による施工を始め, 計測結果にもとづき, 断面形状(円形断面)の変更, 高規格支保工の採用, 加背割りの変更(補助ベンチ全断面閉合)による高規格

支保工による一重支保のEIパターン(二重支保へ移行できるような変形余裕量考慮)を採用し, さらに切羽状況が全面的に蛇紋岩となった段階でEIIパターンへの移行をすみやかに実施する方針であった。

実際の施工では, DIIパターンの施工後, ノーマル支保工による二重支保工を試行的に実施した後, 施工時の計測工A(内空変位, 天端沈下)および計測工B(地中変位, ロックボルト軸力, 鋼製支保工応力, 吹付け応力)の結果を踏まえ, EIパターンを経て, 変位制御型二重支保(EIIパターン)の採用へと移行した。なお, EII採用前に試行したノーマル支保工による二重支保構造では, 発生応力および発生変位が想定を越える結果となった。

二次支保工の施工時期は前述のとおり許容ひずみで0.5%(変位量60~70mm)を目安とした。

なお, 補助工法としては, 既往の文献7)を参考にして長尺外周補強工と長尺鏡補強工を採用した。

4-2 計測結果(計測工A)の分析と評価

4-2-1 DII-4パターン(ノーマル二重支保)

DII-4パターンにおけるA計測結果を図-7に示すが, 初期変位速度が速く(50mm/日程度), 掘削直後に大きな変位を生じ, すみやかに二次支保

(NH-150+吹付けコンクリート(高強度・鋼繊維補強))を施工しても変位は増大していた。このことより, DII-4パターンでは, 初期の支

保剛性が不足しており, 切羽離れ4Dを越えても, 変位は完全に収束せずに塑性化進行の傾向が見られ, 結果的に縫い返しを強いられた。なお, 脚部

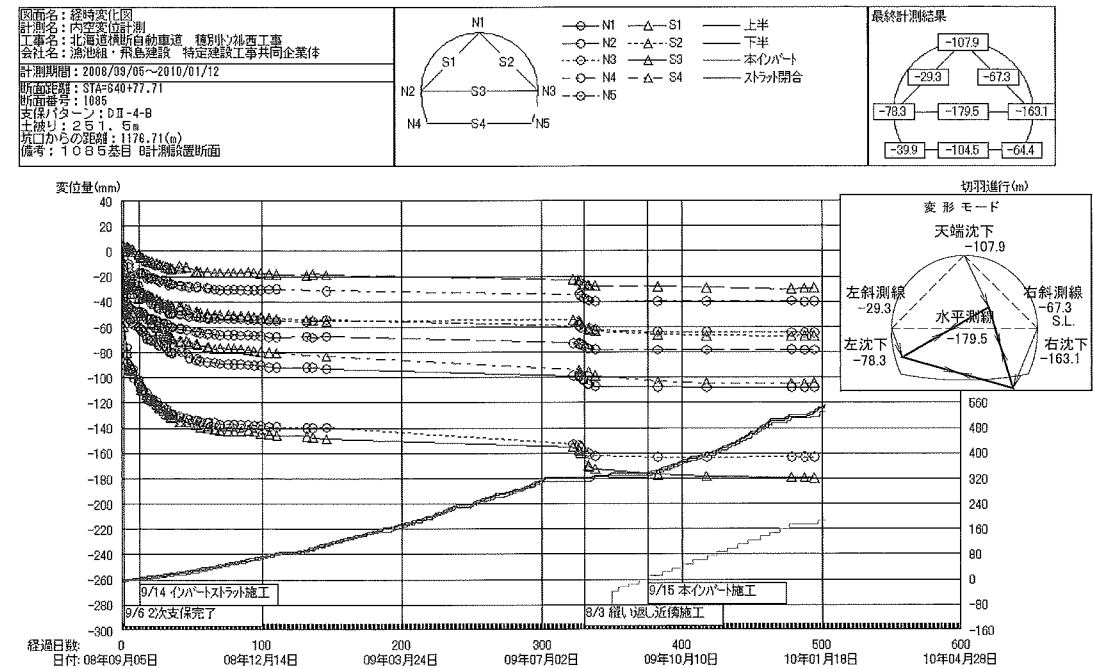


図-7 計測工A測定結果(DII-4パターン)

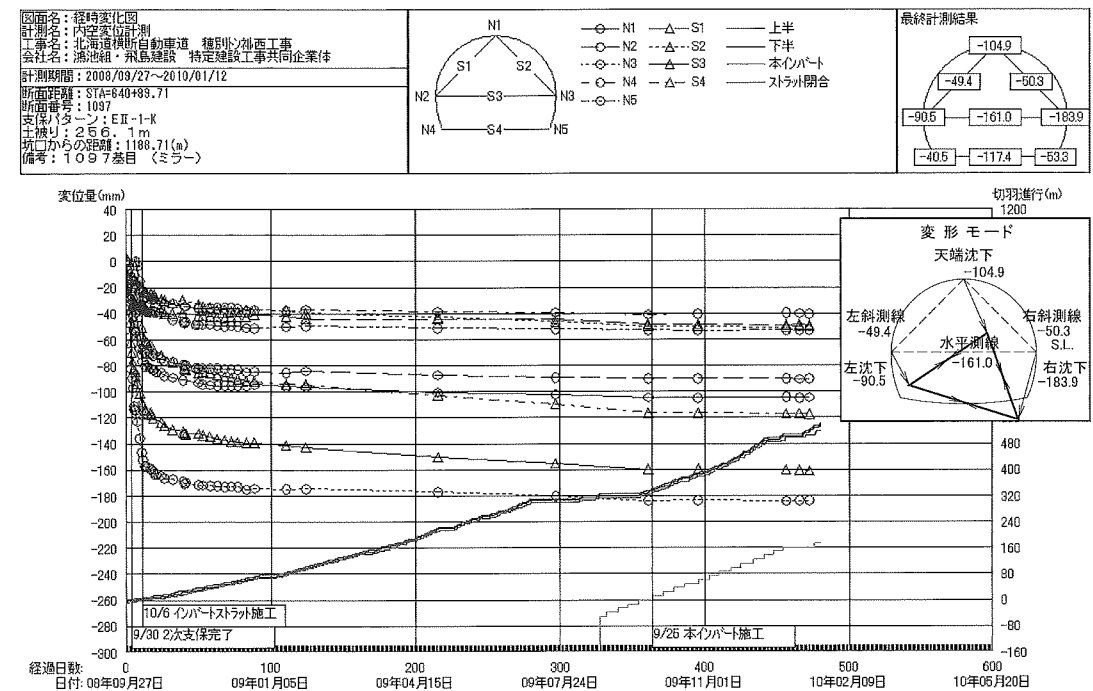


図-8 計測工A測定結果(EIIパターン)

沈下に関しては、地山状況を反映して右上半脚部の沈下が大きい(163.1mm)。

以上の計測結果にもとづき、鋼製支保工の剛性向上が必要であると考え、当初設定していたE Iパターン(高規格支保工による一重支保)を最小限区間としてすみやかにE IIパターンの採用へ踏み切った。

4-2-2 E IIパターン(高規格二重支保)

図-8にE IIパターンの計測結果を示す。

初期高剛性支保(高規格支保工)を用いることで初期変位速度が20mm/日程度に押さえられている。また、二次支保(HH-150)設置後も収束傾向が見られないが、インバートストラット+吹付けコンクリートによる全断面閉合により収束傾向が見られた。なお、他の施工パターン同様、地山状況を

反映して右側上半脚部の沈下量が大きい(183.9mm)。

図-8のとおり、掘削時の計測結果では覆工コンクリートの打設基準である収束傾向(1mm/週以下、連続2週)と判断されたものの、長期の計測結果によれば、30mm/10か月が観察されており、完全に収束していないことが確認できる。

4-3 計測結果(計測工B)の分析と評価

E IIパターンにおいては、高規格鋼製支保工を採用したが、ここでは、施工時に得られた鋼製支保工の計測結果を示し、その考察を述べる。

4-3-1 E IIパターン(高規格二次支保構造)

図-9に鋼製支保工応力(一次)を、図-10に吹付け応力(一次)を示す。

一次鋼製支保工応力は、掘削後早い段階(切羽離れ3m程度)で急激な応力増加が見られ、上半

内側応力は、降伏点(440N/mm²)を越え、天端が最大となり、1,000N/mm²(実際はひずみだけが增大)となっていた。

なお、応力の発生傾向は計測工A同様、二次鋼製支保工施工後もガラガラと漸増し、現状でも収束したとはいえない。図-9の応力分布図を見ると全体的なモードは圧縮となっている。

図-10に示す吹付けコンクリートの発生応力(一次)は両側下半(T4, T5)で大きく、T5で最大となり、許容値内(13.5N/mm²)を越える15N/mm²となり、天端部では6.5N/mm²程度であった。

また、地質状況を反映して、アンバランスな応力分布となっていることが確認された。

4-3-2 E IIパターン(二次支保)

図-11に鋼製支保工応力(二次)を、図-12に吹付

け応力(二次)を示す。

一次鋼製支保工同様、二次鋼製支保工内側応力は掘削の進行に伴い、ガラガラと応力の増加が見られ、内側応力はS4(左側壁部)を除く、上半部分(天端部から右肩部)にかけて計測結果が降伏点(440N/mm²)を越え、600~700N/mm²となっている。

図-11の分布図を見るとアーチ部で全体的には鋼製支保工は圧縮となっている。なお、外側応力についても全体的には圧縮であることを確認している。

一方、図-12に示すように、吹付けコンクリートの発生応力は全体的に圧縮応力を示している。

なお、発生応力は長期にわたり漸増しており、天端(T1)で6.0N/mm²程度、側壁部(T5)で7.0N/mm²程度となったが、高強度吹付けコンクリート(σ_{ck}

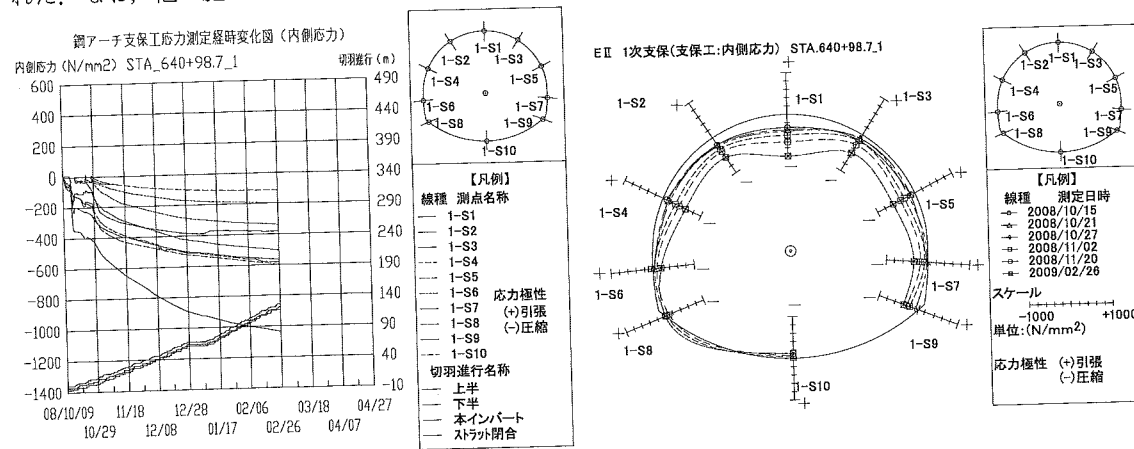


図-9 計測工B測定結果(E II: 鋼製支保工(一次))

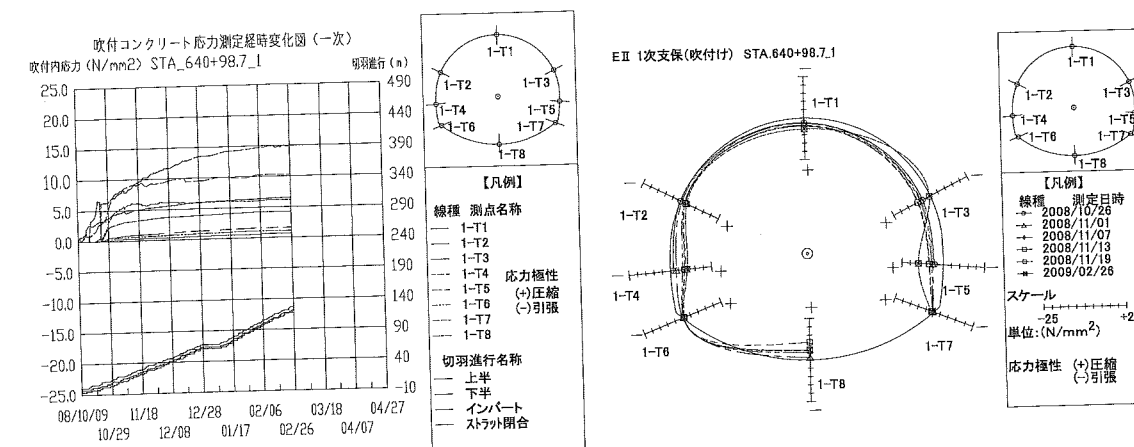


図-10 計測工B測定結果(E II: 吹付けコンクリート(一次))

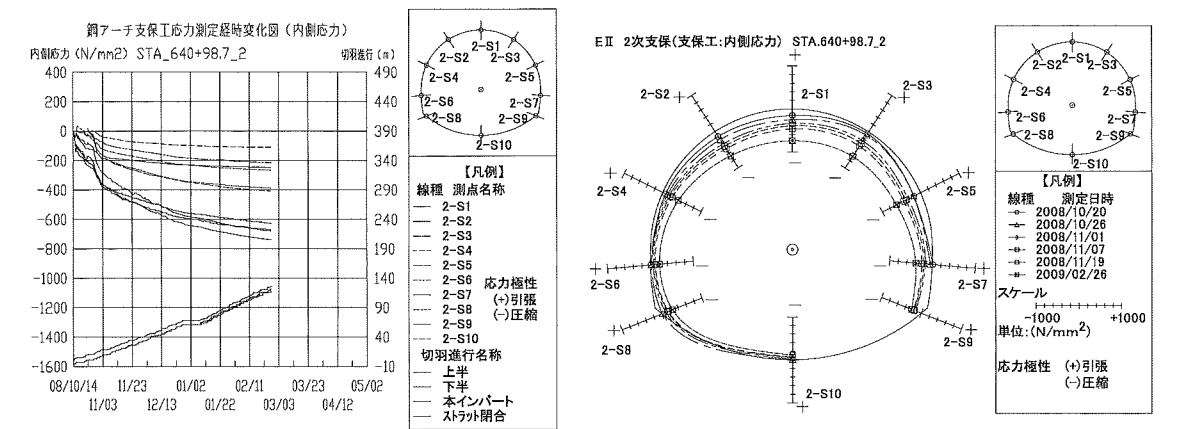


図-11 計測工B測定結果(E II: 鋼製支保工(二次))

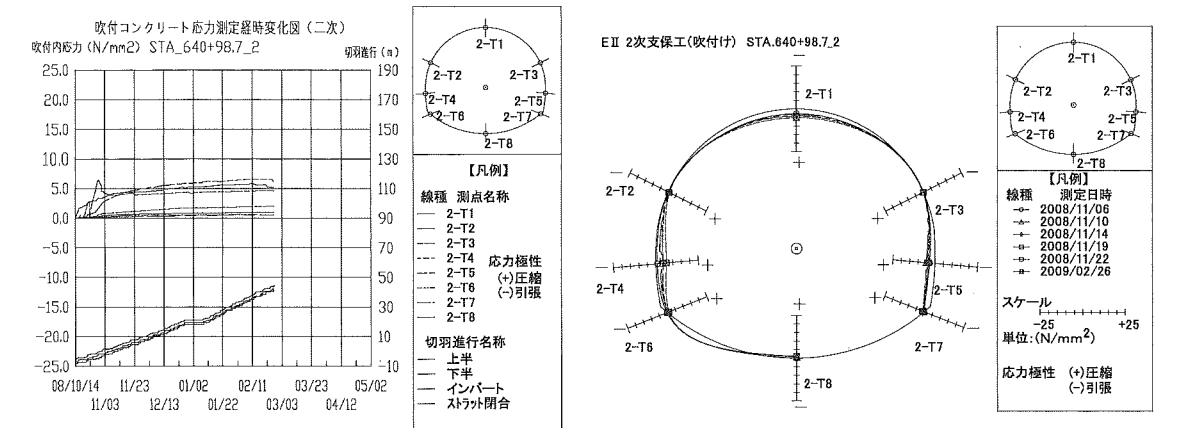


図-12 計測工A測定結果(E II: 吹付けコンクリート(二次))

=36.0N/mm²の設計値(許容応力:13.5N/mm²)で収まっている。

以上の結果から、二次鋼製支保工の応力は結果的には降伏応力に達しているものの、高規格鋼製支保工の採用により初期の剛性が確保され、最終的に支保の安定に寄与する吹付けコンクリートの発生応力が低減されたものと判断された。

5 EIIパターン(変位制御型二重支保)の施工^{8),9)}

5-1 施工概要

二重支保の施工は以下に示すサイクルで実施した。

- ① 補助工法の施工(図-13)
- ② 上半掘削(1.0m)で一次支保2基分施工
- ③ 上半二次支保(1.0m)を2基分施工
- ④ 下半片側掘削(2.0m)で一次支保工2基分施工
- ⑤ 下半片側二次支保工2基分施工
- ⑥ インバート掘削(2.0m)で一次、二次ストラット2基分同時施工

なお、トンネルの全断面閉合を早期に実現するアーチアクションの形成 地山の変位を拘束

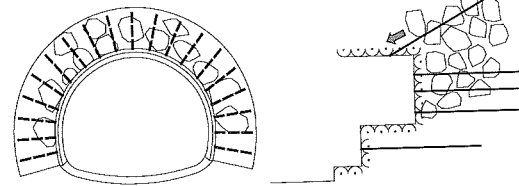


図-13 長尺外周補強工作用効果模式図^{8),10)}

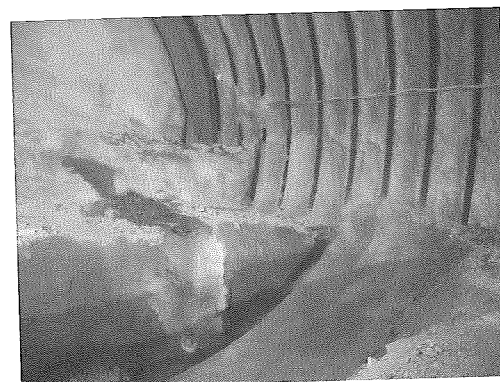


写真-2 変位制御型二重支保の施工状況⁸⁾

目的でサイクル向上のための促進案として、トンネル施工設備(ドリルジャンボ、吹付け機械、吹付けプラント)を2セット準備した。このことにより、トンネル切羽離れ8mで全断面閉合を完了している。

5-2 補助工法の検討

当該施工区間の蛇紋岩は塊状蛇紋岩の周辺を葉片状蛇紋岩が取り囲むような状況で存在しており、トンネル掘削時の緩みの影響で1m程度の塊状蛇紋岩がごろごろと崩れてくるような脆弱な状況であった。採用した「長尺外周補強工:FIT工法」は、図-13,14のように前方地山を長尺のGFRP管(L=12.5m, t=8mm, φ76mm)を打設し縫い付け、地山の一体化を図る補強を行うものである。

従来の「長尺鋼管先受け工:AGF工法」との相違点は、比較的高角度(20°前後)に打設することで、広い範囲の補強効果を図り、地山の変形を拘束する点にあり、AGF工法が片持ち梁的に緩

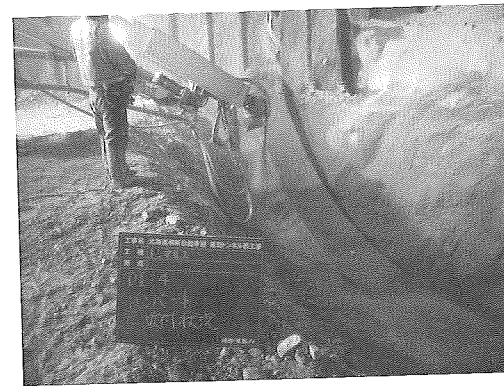


写真-3 インバート同時施工状況⁸⁾

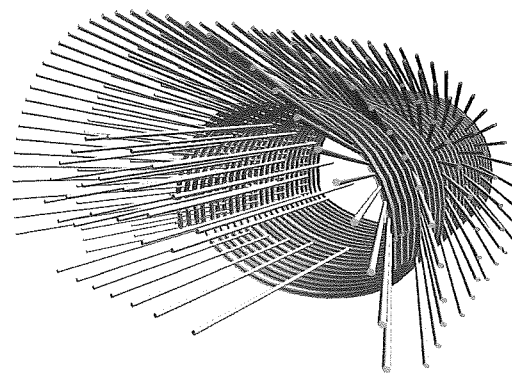


図-14 長尺外周補強工+長尺鏡補強工模式図^{8),10)}

6 まとめ

土かぶり250mを越える大土かぶりの蛇紋岩区間の施工という支保工の剛性に対抗するには限界ともいえる特殊条件下の山岳トンネル工事において、一次支保にも耐力を残したうえで二次支保を施工するという、変位制御型二重支保構造を採用して蛇紋岩区間L=191mの施工を完了した。

今後、さらに300mを越える大きな土かぶりを有する蛇紋岩区間が控えており、長期変位に対する覆工コンクリ

ートの補強対策の検討も必要となる。

これまでの実績をもとに、工期内での竣工に向けて安全に留意して施工を進める所存である。

最後に、本工事の施工にあたっては、北海道支社管内トンネル施工技術検討委員会において、委員長である三上隆・北海道大学工学部教授をはじめ、各委員の方々の貴重な助言をいただいた。最後に誌面を借りて厚く感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 椋山孝司:蛇紋岩特有の押し出し性地山の掘削時の挙動について,(社)日本トンネル技術協会,第60回施工体験発表会(山岳)講演集,pp.33-40,2007.
- 2) 日本道路公団試験研究所:トンネルの標準設計に関する研究報告書,p.51,1986.
- 3) 日本道路公団試験研究所:トンネル数値解析マニュアル,pp.3-26,1998.
- 4) 稲葉英憲・西谷直人・手塚洋・新田訓弘:神居古潭蛇紋岩地帯にトンネルを掘る,道央自動車道嵐山トンネル,トンネルと地下,Vol.19, No.6, pp.25-36, 1989.6.
- 5) 稲葉英憲・西谷直人・手塚洋・新田訓弘:神居古潭蛇紋岩地帯にトンネルを掘る(その2),道央自動車道嵐山トンネル,トンネルと地下,Vol.20, No.5, pp.15-23, 1989.5.
- 6) 山田浩幸・佐々木正博・大村修一・高田篤:土被りの大きい脆弱地山(蛇紋岩)におけるトンネル設計と施工に関する一考察,2009トンネル技術研究発表会講演集,pp.81-92,2009.
- 7) 天津敏郎・廣瀬雅明・澤田和也・徳留修:衝上断層の影響を受けた押し出し性地山における切羽対策,

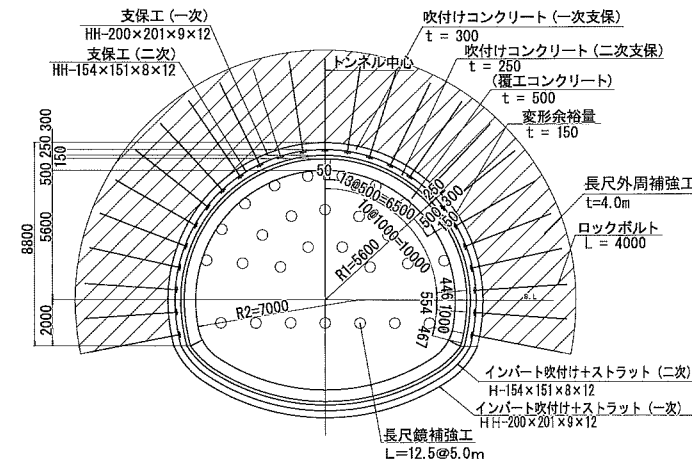


図-15 EII-Kパターン(二重支保:補助工法施工)

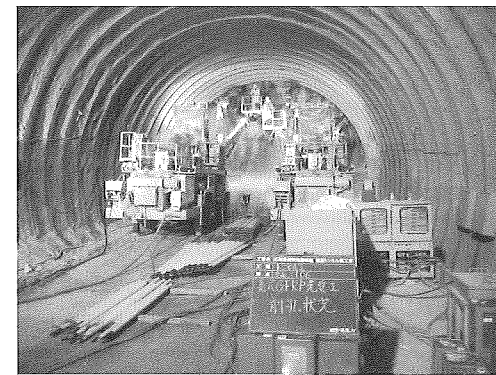


写真-4 施工状況(補助工法)⁸⁾

み荷重を支えることで先行変位を抑制するのに対して、FIT工法では地山の一体化を図ることによりアーチアクションの形成を促し、先行変位の抑制を図るという点にある。

図-15に補助工法の打設パターンを示す。

補助工法の仕様としては以下のとおり計画した。

- ① 天端安定対策:長尺外周補強工(GFRP管, L=12.5m@0.6m, 5.0m打設, 改良範囲4.0m)
- ② 鏡面安定対策:長尺鏡補強工(GFRP管, L=13.5m, 5.0m千鳥打設)

ここで、GFRP管の打設ピッチに関しては、①従来の実績,②アンブレラ形状の考慮,③塊状蛇紋岩の規模(1m超)といったことを踏まえ、4m改良範囲で確実な補強が可能となるよう打設ピッチ0.6mに設定した。なお、補助工法の施工状況を写真-4に示す。

日本海沿岸東北自動車道 二古トンネル, トンネルと地下, Vol.38, No.4, pp.19-27, 2007.4.

- 8) 古瀬裕司・高橋俊長・大村修一・高田篤・山田浩幸：大土被り蛇紋岩地山における最善管理型二重支保の適用, 第64回施工体験発表会(山岳)講演集, pp.41-50, 2009.
- 9) 山田浩幸・高橋俊長・大村修一・高田篤：大土被り

の蛇紋岩地山における最善管理型二重支保の設計と施工, トンネル工学報告集, Vol.19, pp.81-88, 2009.

- 10) 森本真吾・高橋俊長・大村修一・山田浩幸：土被りの大きい脆弱地山における切羽前方補強に関する検討, トンネル工学報告集, Vol.19, pp.89-95, 2009.

■ 図書案内

地下水の科学 — 全3巻 —

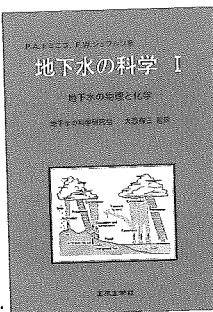
P. A. ドミニコ・F. W. シュワルツ 共著
地下水の科学研究会・大西有三 監訳

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

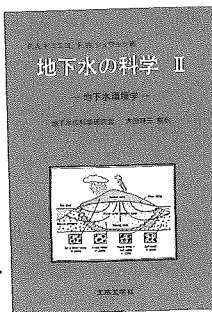
水理地質学を学ぶうえでの基礎的な事項を記載した。水理地質学の理論と人間の社会活動における水理地質学の適用範囲を理解することができる。理論に立脚した水理地質学の使い方を、計算例を用いながら効率よく学ぶことができる。



第II巻
地下水環境学

4,272円+税 B5判

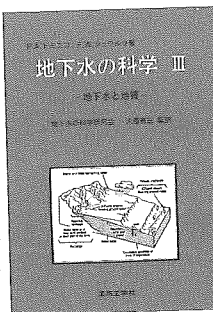
第II巻では、さまざまな地質環境の中での汚染物質の地下水による輸送に関する問題を取り扱っている。水理地質学が環境問題とどのような関連性を持っているか、また利用可能かを知ることができる。



第III巻
地下水と地質

3,689円+税 B5判

第III巻は、地下水の地質学的側面について、工学的に取扱うための事項について記述している。さまざまな土木工事で重要な検討事項となる地下水圧の問題や、地層処分における地下水による熱輸送の問題などについて理解できる。



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
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807 http://www.tunnel.ne.jp

施工

付加体地山における先行トンネルへの掘削影響と対策工

—新東名高速道路 島田第一トンネル下り線—

中日本高速道路(株)東京支社静岡工事事務所藤枝島田工事区工事長 大川 了
中日本高速道路(株)東京支社静岡工事事務所藤枝島田工事区 板垣 克利
西松建設(株)関東土木支店企画部調査課係長 金丸 信一
西松建設(株)土木設計部設計課係長 亀谷 英樹

1 はじめに

山岳工法において、併設する道路トンネルを構築する場合には、中心離隔を掘削幅の3倍程度としている場合が多い。

新東名高速道路島田第一トンネル下り線工事(施工場所:図-1参照)では、この離隔(約55m)を確保していたが、後行の上り線トンネルの掘削の影響を受けて、先行の下り線トンネルに沈下が生じ、支保工脚部およびインバート端部にひび割れなどの変状が発生した。

そこで、当該工事では、追加地質調査や数値解析によって変状メカニズムの解明を行った。また、

その後の上り線トンネルの掘削影響を、下り線トンネル掘削時の施工情報や数値解析をもとに予測し、下り線トンネルに事前の対策工を施工した。

本稿は、併設トンネルにおける掘削影響の変状特性、数値解析による変状メカニズムの推定、計測結果および対策工の設計・施工とその効果について報告するものである。

2 工事概要と変状経緯

2-1 工事概要

工事名：新東名高速道路島田第一トンネル下り線工事
発注者：中日本高速道路(株)東京支社
工事場所：静岡県島田市大草～藤枝市谷稲葉
工期：平成14年9月26日～平成22年11月1日(予定)
施工者：西松建設(株)・(株)鴻池組・(株)フジタ共同企業体
工事諸元：トンネル延長 2,675m
土工延長 10m
避難連絡坑(人道用)10m×2か所
避難連絡坑(全車両用)30m×1か所

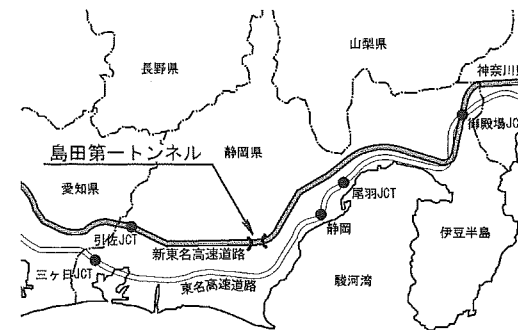


図-1 トンネル位置図

坑門工2基 その他
 掘削断面積：約180m²(平均断面積)
 掘削工法：TBM導坑先進上半拡幅掘削工法
 (爆破方式)
 上半先進拡幅工法(機械方式)
 中央・側壁導坑先進上半拡幅掘削工法(機械方式)
 中央導坑先進上半拡幅掘削工法(機械方式)

2-2 地形・地質概要

当該トンネルは、静岡県島田市市街地から北方約4kmの山地に位置している。この山地は、大井川と瀬戸川に囲まれた標高200~300m程度の中~小起伏山地であり、トンネルの土かぶりには20~200m程度である。

地質は、四万十層瀬戸川層群により構成されており、砂岩・泥岩および砂岩泥岩互層を主とし、チャート・石灰岩・塩基性火成岩を伴う第三紀始新世~中新世の地層である。本層群はフォッサマグナに近く、地質変動の活発な地域に分布する。そのため、多数の褶曲

や断層の存在により、全体的に破碎されており、山地全体が地すべり地形・崩壊地形を呈する脆弱な地質となっている。

当該地層は付加体に属しており、切羽には土砂化した地山や亀裂面を多く含んだ地山が不連続に出現し、下り線トンネル掘削時に、大きな変形や支保工の変状が発生することが頻繁にあった。また、比較的硬質な岩石でも軽打により潜在的な亀

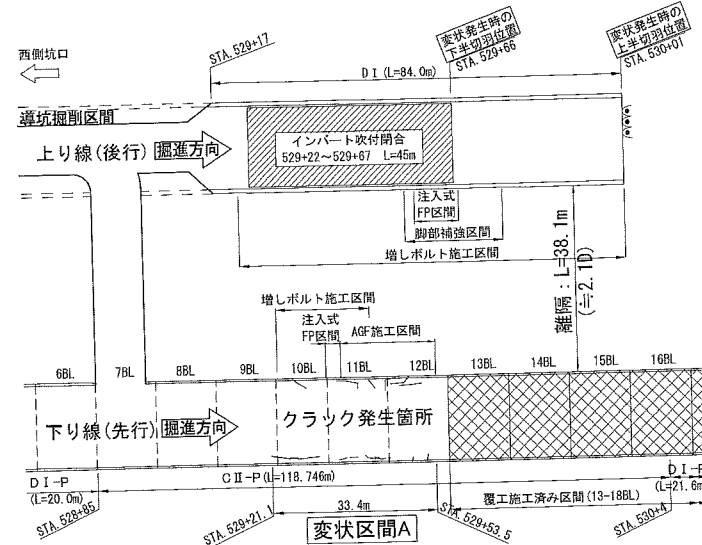


図-3 変状部(A区間付近)のトンネル平面図

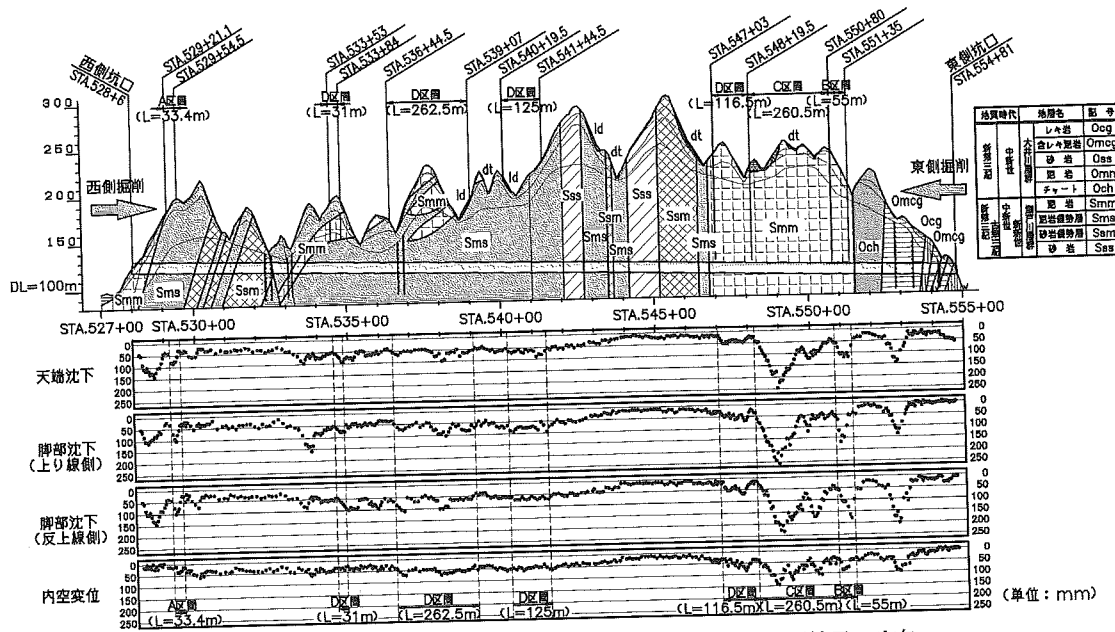


図-2 トンネル地質縦断図と下り線トンネル掘削時のA計測結果の分布

裂面に沿って容易に破壊し、その亀裂面は鏡肌を呈している場合が多かった。

2-3 下り線トンネルの施工状況と変状経緯

下り線トンネル(先行)の拡幅掘削時のA計測結果は、トンネル全線を通して沈下卓越型であった(図-2参照)。すなわち、天端や脚部の沈下は最大

で約250mmと大きかったが、内空変位は比較的小さい傾向にあった。トンネルの沈下や内空変位は、岩片強度が高くても前述した鏡肌を有する亀裂性地山が出現すると大きくなる傾向にあり、変位収束性も悪くなった。

一方、上り線トンネル(後行)は、下り線トンネル(先行)の全線のインバート施工がおおむね完了した段階で、東西両坑口より掘削を開始した。上り線トンネルの掘削影響が最初に確認されたのは図-2, 3のA区間であり、掘削長が数百mの初期段階であった。図-2より、A区間のA計測結果は、他区間に比較してとくに大きな値ではなかったため、その後の上り線トンネルの掘削においても、同様の変状が懸念された。当該工事の変状対策の概略的な流れを図-4に示し、以降にその内容を詳述する。

3 A区間における下り線トンネルの変状状況

A区間に発生した上り線側のインバート端部のひび割れ発生状況を写真-1に示す。ひび割れ幅は最大13.8mmであり、インバートの目地では最大17.0mmの段差が発生した。

変状発生時の下り線トンネルと上り線切羽の位置関係を図-3に示す。当該箇所の土かぶりは、下り線で約68m(約4D)であり、下り線の支保パターンはCII，上り線の支保パターンはDIであった。

上り線通過前後における下り線トンネルのA計測結果を図-5に示す。当該計測断面ではインバートコンクリートを打設し変位も収束していたが、上り線トンネルの上半・下半切羽の通過に伴ってひび割れが発生し、支保工脚部において約10mmの沈下が発生した。沈下増分は、上り線側の脚部が大きい傾向にあった。

上り線トンネルでは、当該区間の掘削において、下半掘削時の沈下量(約170mm)が大きいためいったん下半掘削を停止し、インバート吹付けコンクリートによる早期閉合を開始していた。

変状区間におけるA計測結果の代表例を表-1、

下り線トンネルの変状状況の整理(A区間)(本稿3章)

- 下り線トンネル(先行)はインバートまで施工が完了していた(A計測は収束完了)。
- 上り線トンネル(後行)の掘削開始により、下り線A区間(図-2参照)でインバートにひび割れが発生した。上り線の沈下量は約170mm、下り線の沈下増分は約10mmであった。
- 上り線の未掘削部がL=2.57kmも残っているため、その後も同様の変状発生が懸念された。

追加地質調査と数値解析による原因推定(A区間)(本稿4章)

- A区間において、ボーリング調査、孔内水平載荷試験、室内試験(一軸、三軸)、インバートコンクリートのコア抜き調査などを実施した。
- 数値解析によりA区間の変状を再現し、そのメカニズムを推定した。

【変状メカニズム】
 ゆるみ域の干渉や下り線トンネル脚部周辺(上り側)の地山の塑性進行により、下り線トンネルの支保工脚部の断面力(軸力、曲げ)が増大し、ひび割れが発生したと推定された。

掘削影響の対策工の検討と施工状況(本稿5章)

- 上り線トンネルの掘削影響に対して、管理基準値を設定し監視体制の強化を行った。
- 数値解析や地山条件の再検証により、上り線トンネルの未掘削部における影響を予測し対策工を検討した(B~D区間)。
- B区間(図-2参照)：薬液注入工を対策工として施工した。⇒試験施工の注入作業中において変状が発生したため、代替案の検討を行った。
- C区間(図-2参照)：上記代替案として根固めコンクリートを施工した。⇒脚部沈下を抑制することはできたが、SL付近の吹付けコンクリートが圧壊した。⇒増し吹付けコンクリート、増しロックボルトおよび覆工構造の補強を実施した。
- D区間(図-2参照)：上記区間よりも地山条件が比較的良好なため、インバート補強ロックボルトを施工した。⇒大きな沈下や変状は発生しなかったが、支保工脚部に軽微なひび割れが発生した。⇒支保工からの軸力伝達機能を向上させるためにブラケット補強を行った。
- A区間(当初変状部)：支保構造のランクアップを実施した。⇒CIIからDIへ支保ランクをアップした。支保工脚部直下となるインバート端部には、せん断補強筋を配置した。

図-4 併設トンネルの掘削影響検討の流れ

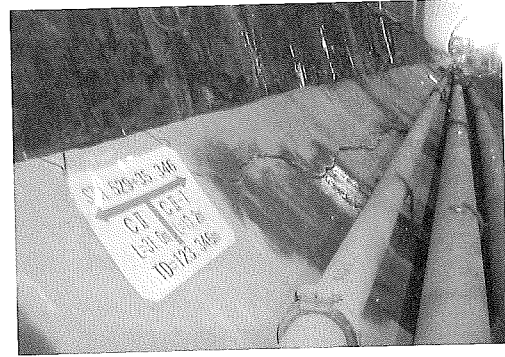


写真-1 上り線側のインバート端部(A区間)

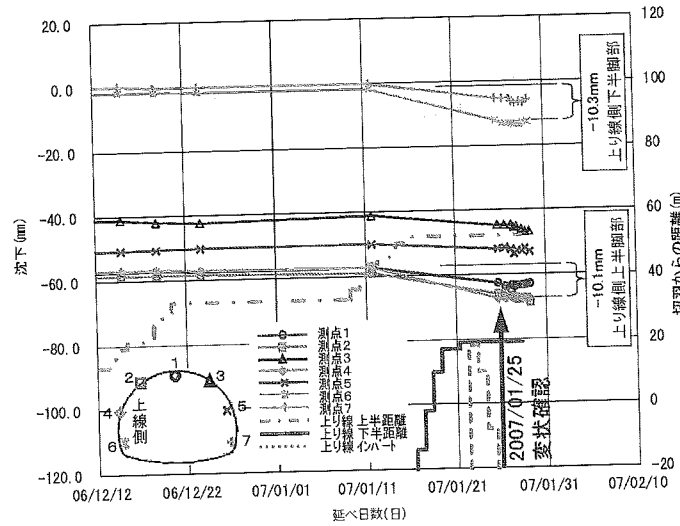


図-5 下り線トンネル(STA.529+43)のA計測結果(沈下量)

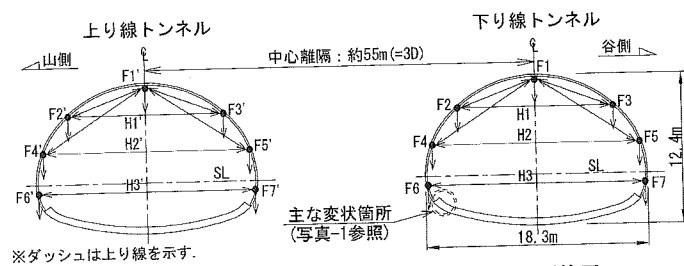


図-6 上下線トンネル断面図とA計測工の計測位置

表-1 A区間変状部における計測変位の代表例

	上り線トンネルの変位(mm) (括弧内は上り線上半掘削後の増分)				下り線トンネルの変位(mm) [括弧内は下り線T完成後の増分]			
	F1'	F4'	F5'	H2'	F1	F4	F5	H2
下り線完成	—	—	—	—	80	100	100	40
上り線上半掘削	100	100	120	40	80[+0]	101[+1]	99[-1]	40[+0]
上り線下半掘削	120(+20)	150(+50)	150(+30)	50(+10)	90[+10]	116[+16]	104[+4]	42[+2]
上り線インバート掘削	140(+40)	170(+70)	170(+50)	60(+20)	90[+10]	116[+16]	104[+4]	42[+2]

図-6に示す。同表より、上り線トンネル通過時の下り線トンネルの変位増分は沈下卓越型の変形モードであったことがわかる。すなわち、内空変位の増分は約2mmと比較的小さかったが、上り線側の支保工脚部と天端の沈下増分は約10~15mmと大きかった。

このように、上り線トンネルの掘削影響を受けて、下り線トンネルの上り線側支保工脚部(写真-1参照)に沈下が発生し、当該部のインバート端部にひび割れが発生したと考えられた。

4 A区間における追加地質調査と数値解析による原因推定

4-1 A区間での追加地質調査

前述のA区間において、下り線トンネルSL付近から両トンネルの中間部へ地質調査ボーリング(L=30m)を実施した。その結果、コアは全体的に破碎性状(砂・粘土状~礫混じり粘土状)を呈しており、下り線トンネル掘削時において切羽に出現した地山よりも脆弱であった。また、原位置試験および室内試験結果は、潜在的な亀裂面の影響を強く受けて、ばらつきが大きく、不均一な不良地山であることがわかった(表-2参照)。

インバートのひび割れの深さや方向についてコア抜き調査を実施した(図-7参照)。その結果、主なひび割れは、図-8の3パターンに分類することができた。すなわち、支保工脚部の押し込

表-2 変状部(A区間)の追加地質調査結果

変形係数 $D \times 10^6$ (kN/m ²)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (deg)	孔内弾性波速度 V_p (km/s)
0.184~1.735 [エラストメータ: 8カ所]	11~330 [3軸:4個]	8.9~38.3 [3軸:4個]	D~E級:1.4 C _L ~D級: 1.9~2.1

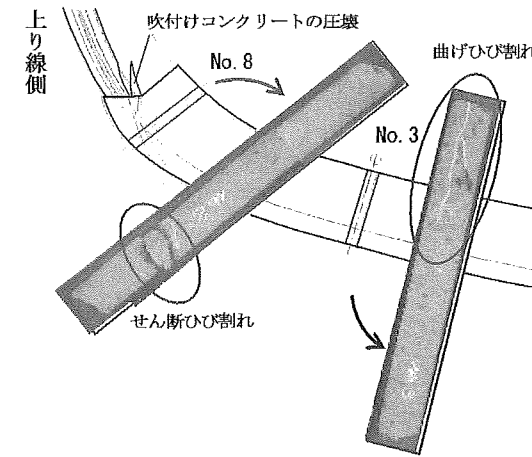


図-7 インバート端部におけるコア抜き調査結果

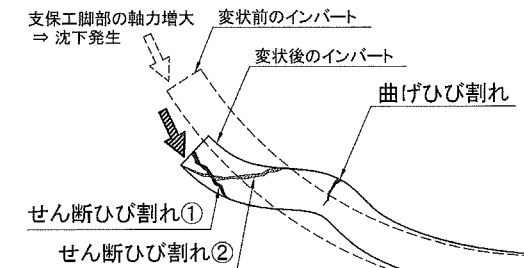


図-8 インバート端部におけるひび割れの形態

みによる二つのせん断ひび割れと内空側引張の曲げひび割れの全3パターンである。

また、脚部沈下の大きい区間では、上り線側の支保工脚部やSL付近の内空側の吹付けが圧壊し、アーチ部の吹付けにもひび割れが発生していることを確認した。

4-2 逆解析による変状状況の模擬

4-2-1 解析条件

変状メカニズムの把握と対策工の設計を合理的に行うために、前述した変状を数値解析で模擬することとした。この逆解析では、トンネルの沈下を精度よく表現する必要があった。しかし、従来の有限要素法では、共下がりなどのトンネルの全

表-3 逆解析により得られた地山物性値

	地山変形係数 $D \times 10^6$ (kN/m ²)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (deg)
逆解析結果	0.270	300	10

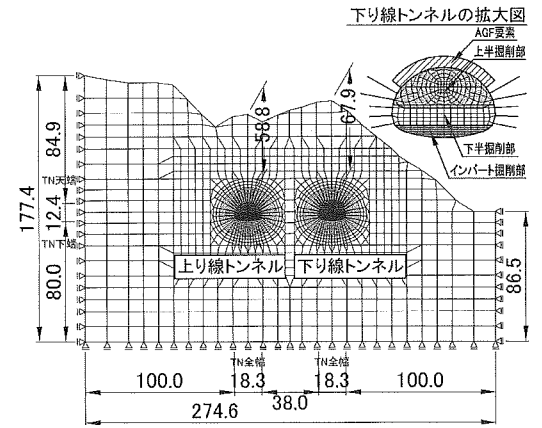


図-9 解析モデル図

体的沈下を表現することは困難であることが知られている²⁾。

そこで、本検討では、沈下現象や塑性領域の拡大の評価に優れた有限差分法であるFLAC3Dを用いて、問題を単純化するために二次元平面ひずみ問題として解析を行った^{2),3)}。本検討の解析モデルを図-9に示す。解析領域は、トンネル側壁から水平方向へ5D程度とし、鉛直方向はインバート下端から4D程度と設定した⁴⁾。数値解析に用いる地山の構成則は、降伏条件をMohr-Coulomb則とした完全弾塑性モデルとした。

逆解析パラメータは、地山変形係数 D 、粘着力 c 、内部摩擦角 ϕ の3変数とし、前述の変位量や変状状況について現場状況と解析結果がおおむね等しくなるまでくり返し計算を行った。

4-2-2 解析結果と考察

逆解析により得られた地山物性値と沈下・変位量を表-3,4に示す。実際の地山は、比較的良好な箇所と潜在的亀裂が卓越した箇所や土砂化した弱層が混在する複雑な地山であったが、表-3より、逆解析により得られた地山物性値は、粘着力を除くと、地質調査結果(表-2参照)の中でもかなり低い範囲にあることがわかった。とくに、内部摩擦角は塑性領域の拡大に与える感度が高く $\phi =$

表-4 計測変位と逆解析結果の変位

対象トンネル	計測時期	天端沈下F1(mm)	脚部沈下F4(mm)	脚部沈下F5(mm)	内空変位H2(mm)	
下り線トンネル	下り線掘削完了時	計測値	80	100	100	40
		解析値	110	103	92	19
	上り線掘削完了時	計測値	90(+10)	116(+16)	104(+4)	42(+2)
		解析値	131(+21)	128(+25)	104(+12)	20(+1)
上り線トンネル	上り線掘削完了時	計測値	140	170	170	60
		解析値	132	126	128	74

※括弧内数値は上り線掘削による増分量を示す。

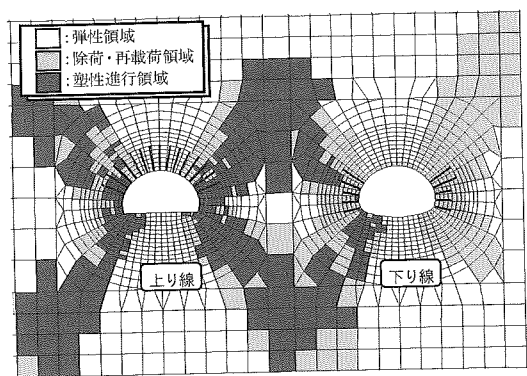


図-10 上り線トンネル下半掘削中の塑性領域の分布図
10°となった。

表-4のトンネル変位量に関しては、天端沈下の計測値と解析値との差異がやや大きいものの、下り線トンネルの主要な変状原因と推察される脚部沈下は比較的良好に再現できた。一方、上り線トンネルの沈下量は、計測結果の方がかなり大きくなった。これは、本解析では、地山を単一層とし、上下線掘削時に地山物性値を統一したことなどに起因していると考えられる。すなわち、地質の不均一性や先行トンネルの掘削影響などによって、上り線周辺と下り線周辺の地山では、見掛けの地山物性値が異なっていると考えられる。また、実際には、下り線の支保部材が大きく損傷したが、解析では線形材料としてモデル化したことも一因として考えられる。

上り線トンネル下半掘削完了時の地山塑性領域の分布状況を図-10に示す。図中において、白色は弾性領域、薄灰色は塑性後の除荷・再載荷領域、濃灰色は塑性進行領域を示している。上り線トンネルが掘削されると、下り線トンネルの上り線側の側壁部およびインバート端部の地山において塑

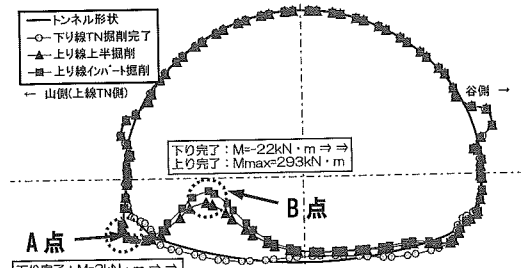


図-11 下り線トンネル支保工とインバートの曲げモーメント図

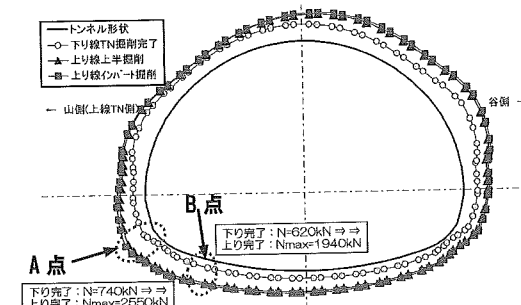


図-12 下り線トンネル支保工とインバートの軸力図

性の再進行が確認できた。すなわち、上り線の掘削影響によって、下り線トンネルの塑性領域が若干拡大・干渉し、下り線近傍での地山の塑性化が進行することによって偏圧が作用したと考えられる。

図-11, 12に、下り線トンネルの支保工とインバートの断面耐力図を示す。また、図-13, 14には、設計断面耐力による部材耐力照査結果を示す。同図において、支保工の設計断面耐力(終局限界状態)は、鋼アーチ支保工のフランジを鉄筋として考慮したRC構造として計算した⁹⁾。インバートは無筋コンクリートとして計算した⁹⁾。なお、極限耐力は、これら終局限界状態の安全係数をすべて1.0とし

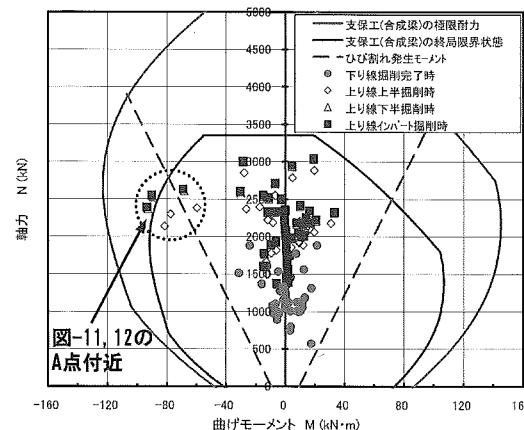


図-13 下り線トンネルの支保工の設計断面力と設計断面耐力

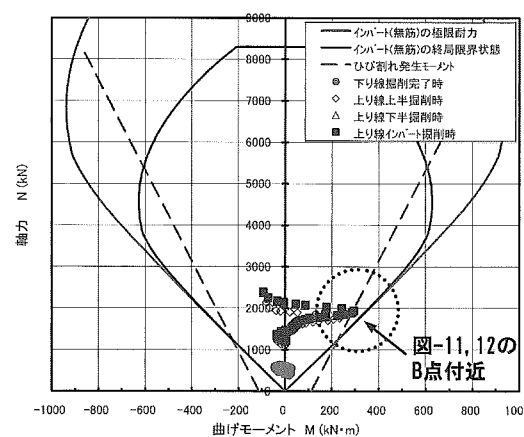


図-14 下り線トンネルのインバートの設計断面力と設計断面耐力

た場合の耐力曲線を示すものである。

図-13, 14より、下り線完成時においては、支保工およびインバートともに断面耐力は小さく、終局限界状態およびひび割れ発生モーメントに対して余裕があることがわかる。しかし、上り線トンネルの掘削により、これらの断面耐力は急増する。図-11より、曲げモーメントは、上り線上半掘削後から、上り線側の支保工とインバートとの接続部(外側引張[A点]: $M=94\text{kN}\cdot\text{m}$)およびインバート端部(内側引張[B点]: $M=293\text{kN}\cdot\text{m}$)で急激に大きくなる。これは、上り線掘削によって偏圧が作用した際、インバート端部(A, B点付近)の地山が塑性化したため、地山変形係数の低下によって支保部材の拘束力が弱くなったため、曲げモー

メントが集中したと考えられる。

図-13, 14より、これらの箇所では、コンクリート応力度が終局限界またはひび割れ発生モーメントを超過している。実際の現場においても、これらの箇所にひび割れや圧壊が発生しており、数値解析と実現象の傾向はおおむね一致していると評価できる。

また、図-12より、上り線トンネルの掘削によって、上り線側の支保工脚部とその反対側肩部の軸力の増加が顕著になっている。これは、上り線側からの偏圧の作用によって、部材軸力が卓越したと考えられる。

このように、インバート端部へ支保工脚部の押し込み力が増加し、さらに前述した曲げモーメントの増大も加わって、当該部の破壊を引き起こしていると考えられる。解析上では、当該部の軸力増分は $\Delta N=1,810\text{kN/m}$ ($=2,550-740$: 図-12[A点]参照)であった。インバートが無筋構造であることも考慮すると、図-8中のせん断ひび割れ①および②は容易に発生すると評価できる。

以上から、A区間における支保工とインバートの損傷箇所と応力状態をおおむね解析的に再現することができたと考えられる。

4-3 変状メカニズムの推定

付加体の一部である当該地山は、比較的良好な地山と土砂化した弱層や潜在的亀裂面などが混在しているが、地山全体としての挙動は、亀裂面や弱層の特性に強く支配されていると考えられる。これは、逆解析結果が、複数の原位置試験や室内試験のうち亀裂などの影響で極端に小さくなった値に一致していることから推察できる。

また、実施工においても、潜在的な亀裂面を含み鏡肌が卓越している区間では、インタクト部分が比較的硬質な地山でも、大きな変位や沈下が発生したり、後荷によって変位の収束性が悪化するなどの現象が発生している。

このように内部摩擦角が小さく、塑性領域が大きくなりやすい地山において、上り線トンネル掘削時に両トンネルの塑性領域が干渉し、下り線トンネル側壁近傍の地山が再載荷・塑性化進行状態

となり、上り線側からの偏荷重が発生した。これにより、下り線トンネルの支保工には、上り線側脚部とその反対側肩部で軸力が増加した。

また、上り線側のインバート端部において、地山の塑性化が進行したことによって、当該部の地山拘束力が低下し、支保工脚部の軸力増加(押し込み力)に加えて曲げモーメントが集中的に増加したと考えられる。これは、インバート接続部は部材曲率が大きいため、構造上の弱点となりやすいことも影響していると考えられる。

以上から、支保工脚部とインバートとの接続部付近の断面力が増加し、部材損傷が発生したと推定される。

5 掘削影響の対策工の検討と施工状況

5-1 管理基準値の設定と監視体制の強化

下り線トンネルでは、インバート打設後において変位収束を確認した後、A計測工を終了していた。しかし、上り線トンネルの掘削影響を監視するために、上り線トンネルの上半切羽前方約100mよりA計測工を再開し、上り線インバート施工後において変位の収束確認が行われるまで継続した。

計測点は、通常のA計測工の測点(7点)にインバート両端部(2点)を加えて1断面9点とした。計測断面の間隔は、地山不良区間(地山等級D I, D II)では5m, 比較的良好な地山区間(地山等級C II)では10mとした。

下り線トンネルの管理基準値は、前述したA区間での計測結果でひび割れが発生していなかったデータより設定し、下半の沈下管理値を5mm, 天端・肩部の沈下管理値を8mmとした。なお、上り線トンネルでは、前述したA区間での施工状況から、掘削管理基準値として沈下量を120mmと設定した。

5-2 対策工の設計・施工方針

対策工法として、上り線トンネル掘削時の変形・沈下を抑制する方法と、上り線通過前に下り線トンネルを事前補強する方法が考えられた。しかし、

上り線トンネルの掘削工程が当該事業全体のクリティカルパスになっていることや地山があまりに不良であるため上り線トンネル掘削時の変形抑制のみで、下り線への影響を制御するには限界があるとの判断から、下り線トンネルを事前に補強することを設計・施工の基本方針とした。

5-3 薬液注入工(B区間対策工)

対策工として複数案を検討したが、下り線トンネルの内空に新たな補強構造体を施工することが困難であったことや数値解析による検討結果から、上り線側の支保工脚部の周辺地山に薬液注入工を行うこととした。

そこで、数値解析により薬液注入工の仕様を設定して、試験施工を実施した。薬液注入工の範囲、仕様を図-15、表-5に示す。

薬液注入範囲は数値解析により、D I区間でL=5.0m, D II区間でL=6.0mとし、下半部からインバート部にかけて注入した。注入材は、上り線トンネル工事で実績のあったスラグ系超微粒子懸濁型注入材(シラクソル-UFA)を採用した。注入管

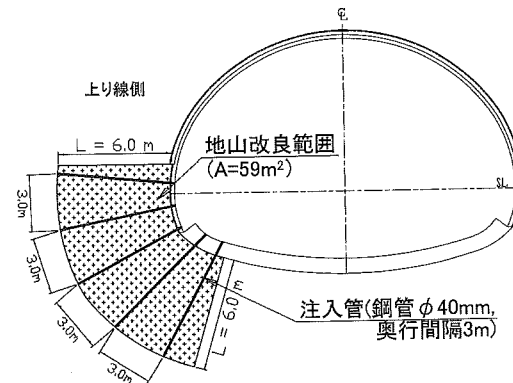


図-15 地山改良範囲(B区間, DIIパターン)

表-5 薬液注入工の仕様

項目	仕様・数量
注入管	マンシュエッチューブ(鋼製, φ40mm)
スリーブ材	セメント・ベントナイト, 12ℓ/m
注入材	シラクソル-UFA, 注入率10%
注入速度	6~15ℓ/分
管理方法	定量管理
管理圧力	初期圧+2.5MPa
注入方式	ダブルパッカー方式

理は定量管理とし、管理圧力は初期圧+2.5MPaとした。

試験施工はトンネル東側のB区間(図-2参照, 延長55m)で実施した。試験施工では、鋼管削孔作業が98%, 注入作業が70%完了した時点でインバートに変状が発生した(写真-2参照)。当該変状は、前述したA区間での変状形態に類似しており、変状範囲はトンネル延長方向に約30mで、最大ひび割れ幅は約10mmであった。

注入作業において、注入圧は所定の管理基準値に対して十分小さい値で推移しており、当該変状が注入作業のみに起因しているとは考えがたかった。一方、上り線上半切羽は約0.5D手前を施工していたが、そのときの沈下量は10mm程度と非常に小さく、上り線トンネルの掘削による影響が強い影響を与えているとも考えられなかった。そのため、付加体の特徴である掘削解放に伴う地山のゆるみや亀裂面に発達した鏡肌などの影響により、わずかな注入圧力や変位によっても変状が引き起こされると判断し、薬液注入工を中止して代替案

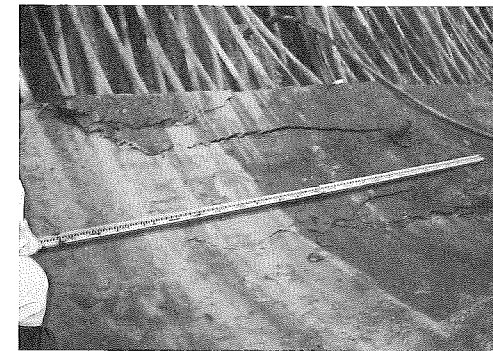


写真-2 薬液注入区間の変状状況

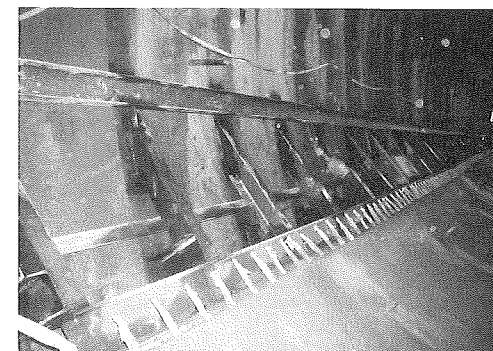


写真-3 応急対策工の施工状況(ブラケット設置後)

を検討することとした。

当該変状区間の応急対策工として、溝形鋼([-200×80])により補強ブラケットを設置(写真-3参照)し、そこへ吹付けコンクリートを施工した。さらに、ひび割れには無収縮モルタルを注入し、自穿孔ボルトでインバート端部の縫い付けを行った。

5-4 根固めコンクリート工(C区間対策工)

5-4-1 根固めコンクリート工の概要

前述した試験施工区間(B区間)よりも以奥の対策工は、根固めコンクリート工法を採用することとした(図-2中のC区間)。これは、前述した試験施工区間での応急対策と同様に、支保工脚部に溝形鋼([-200×80])でブラケットを設置した後、これを巻き込んで覆工コンクリートの一部を先行打設し、インバート端部に作用する支保工脚部の押し込み力を分散させるものである(図-16, 写真-4参照)。

当該工法は、仕上がりとなる覆工本体の一部を

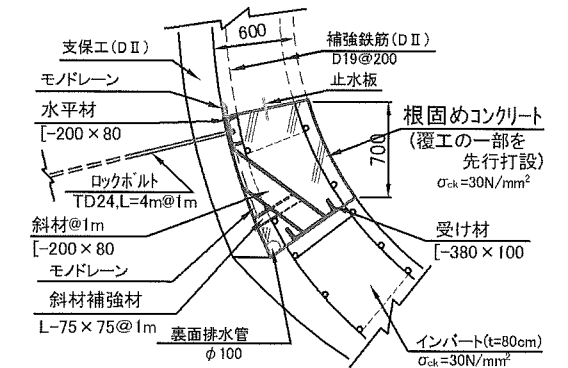


図-16 根固めコンクリート工の拡大図(DIIの支保工脚部)

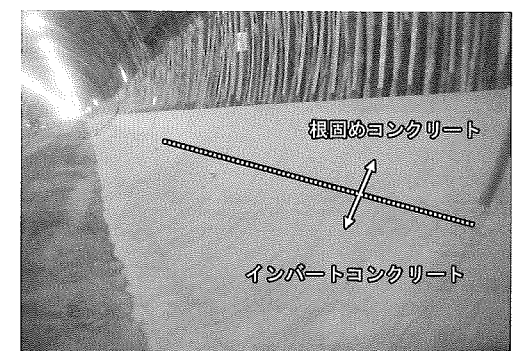


写真-4 根固めコンクリートの施工完了状況

補強構造とするため、覆工の品質低下や更なる追加対策を必要とするリスクも含んでいた。そのため、支保工脚部の押し込み力や補強構造は、数値解析結果をもとにして安全側に設計し、その後の計測工で補強構造の効果と健全性を検証しながら施工を行った。

5-4-2 対策工の効果と計測結果の考察

当該対策工によって、インバートおよび支保工脚部に変状は発生しなかったが、支保工SL付近において吹付けコンクリートが圧壊した。また、周辺のロックボルトも破断もしくはプレートが変状した。破断したロックボルトの中には、PCボルト(耐力490kN)も含まれていた。

このアーチ部の変状対策として、増し吹付けコンクリート($t=10\text{cm}$, 金網入り)と増しロックボ

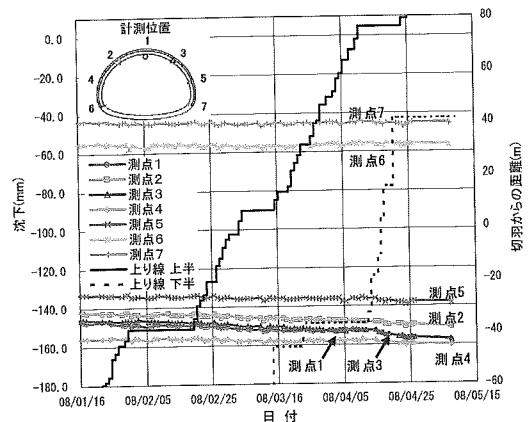


図-17 上り線トンネル通過時の下り線トンネルの沈下量の計測結果

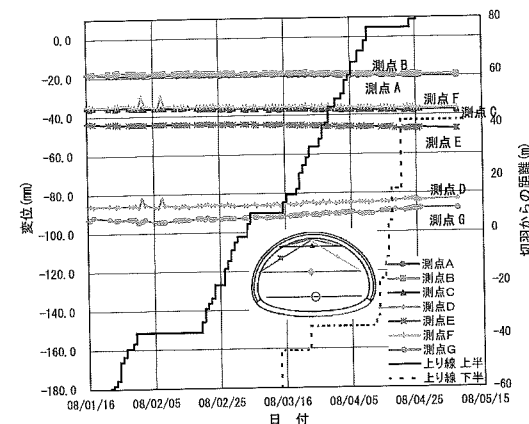


図-18 上り線トンネル通過時の下り線トンネルの内空変位の計測結果

ルトを追加施工した。増し吹付けによって、覆工厚さが設計値よりも10cm不足となった。そのため、当該区間の覆工は、設計強度と補強鉄筋の増強によって、 $t=10\text{cm}$ の巻き厚不足を考慮しても覆工耐力が当初設計と同等以上になるように設計した。

(1) A計測結果と考察

根固めコンクリートを施工した区間での沈下と内空変位の代表的な計測結果を図-17, 18に示す。同図は、下り線トンネルの計測データにおいて、上り線トンネルの通過時に着目したものである。

図-17より、支保部材の沈下は上り線の上半切羽前方約50mから発生している。沈下増分は上り線側の方が大きく、天端から脚部へ下るに従って小さくなり、無対策時とは逆傾向となった。また、

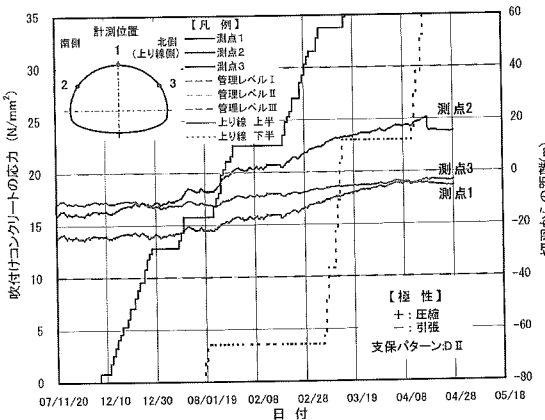


図-19 上り線トンネル通過時の下り線トンネルの吹付け応力度の計測結果

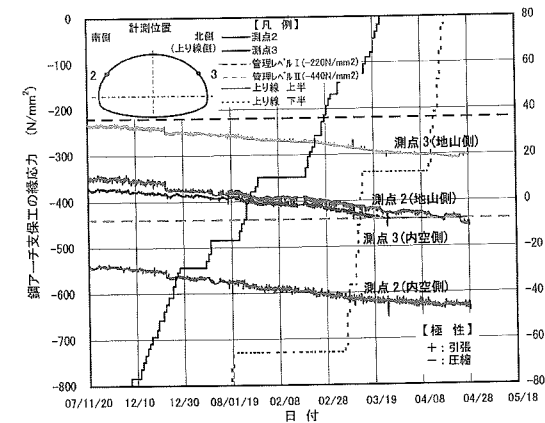


図-20 上り線トンネル通過時の下り線トンネルの鋼アーチ支保工の縁応力の計測結果

図-18より、上り線の上半通過後から水平測線が伸張する傾向が確認できた。

以上から、根固めコンクリートによって、脚部沈下を抑制したが、鉛直方向の荷重増加によって、トンネルが横方向に伸張した。その結果、SL付近に曲げ(外側引張)や軸力が集中し、当該部の吹付けコンクリートが圧壊したと考えられる。

(2) B計測結果と考察

前述のA計測結果と同様に、代表的なB計測結果として、吹付けコンクリートと鋼アーチ支保工の応力度分布を図-19, 20に示す。

図-19より、数値解析と同様に、上り線と反対側の吹付けコンクリートの応力度に著しい増加傾向が確認できた。

また、上り線と反対側の肩部では下半通過後60m程度で応力減少傾向を示している。これは、この頃からSL付近の吹付けに損傷が発生し始めたためと考えられる。

一方、鋼アーチ支保工に関しては、図-20より、内外側の縁応力度の増加量がおおむね等しいため、上り線通過前後において両肩部の軸力は増加しているものの、曲げモーメントはほとんど変化していないと評価できる。ただし、鉄筋補強区間におけるインバートの鉄筋応力計の計測結果によると、図-11, 12のB点付近で内側引張の曲げモーメントの増加を確認できた。

また、根固めコンクリート中の鋼製斜材($[-200 \times 80]$)の応力を計測したところ、上り線通過に伴って応力増加傾向が確認できた。これにより、根固めコンクリートが支保部材の軸力の一部を負担して、インバート全体に軸力を分散・伝達したことにより、脚部沈下を抑制したと評価できた。

以上の結果と、他断面での計測結果を合わせて総合的に評価すると、計測結果は事前の解析結果と定性的に近い傾向を示した。しかし、支保工(肩部)の軸力増分は解析値の25~50%程度と小さくなるなど、計測値は全体的に解析値よりも小さくなった。これらの結果から、根固めコンクリートに対しても安全側の設計が行われたと評価できた。

5-5 インバート補強ロックボルト工(D区間対策工)

根固めコンクリート区間(C区間)以奥のD区間(図-2参照)では、インバート補強ロックボルトを施工した。これは、それまでの根固めコンクリートの計測結果、解析結果および掘削時の地山状況を再検証し、より簡易な対策工で対応が可能であると判断したためである。

ロックボルトは解析結果より、片側4本/mと6本/mの2タイプを選定してインバート端部に施工した。また、孔壁が安定しなかったため、当該部では自穿孔ボルト(耐力170kN, $L=4.0\text{m}$)を採用した。

当該補強区間の一部では、上り線トンネルの上半切羽通過後において、支保工脚部に比較的軽微な縦断方向へのひび割れが発生したが、他区間のような大規模な変状に至ることはなかった。これは、事前のインバート補強ボルトの効果によるものと考えられる。ただし、ひび割れの発生によりインバートへ支保工からの軸力を伝達させる機能が低下していることが懸念されたため、前述した溝形鋼($[-200 \times 80]$)のブラケットを設置して、覆工を打設することとした。

5-6 支保構造のランクアップ(A区間対策工)

A区間の変状に対する恒久対策工として、支保パターンをCIIからDIにランクアップした。また、インバートは複鉄筋構造とし、とくにインバート端部には、支保工脚部の押抜き対策として、せん断補強筋を配置した(図-21参照)。

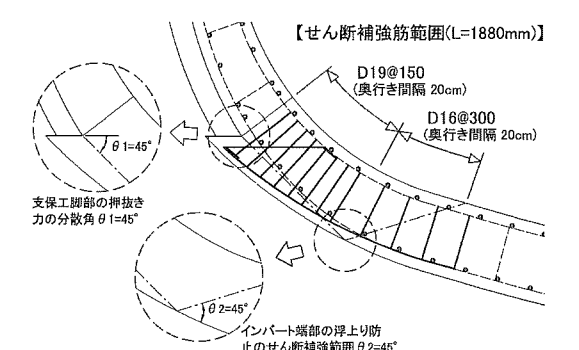


図-21 支保工脚部におけるインバートのせん断補強構造(A区間対策工)

6 ま と め

本工事では、付加体地山の特殊性に起因して、一般的な離隔を確保しているにもかかわらず併設トンネルの掘削影響を受けた。

変状発生時における両トンネルの変形は沈下卓越型の特異なモードであったが、弾塑性モデルを適用した逆解析により、変形モード、支保部材の断面力および損傷状態をおおむね再現することができた。その解析結果と地質調査結果から、当該地山の全体的挙動は、亀裂面や弱層の存在とその性状に強く支配されていることがわかった。

対策工の設計・施工においては、上り線トンネルの掘削工程を優先したため、さまざまな制約を受けた。また、地質が不均一でばらつきが大きいため、追加対策工を必要とする場合もしばしばあった。しかしながら、計測結果や現場状況などから、このような複雑な地山条件の中でも最終的には安全側の設計・施工を行うことができたと考えられる。

本工事で実施した対策工の特徴を以下に整理する。

- ① 薬液注入工は、トンネル断面内に補強構造体を残さないことや補強効果の面で優れていると考えられるが、当該工事のような特殊地山においては、わずかな注入圧でも変状につながる危険性がある。
- ② 根固めコンクリートは、支保工脚部沈下の抑制効果が高かった。しかし、覆工本体の一部を補強構造体とするため、覆工品質の低下や追加対策を必要とするリスクを含んでいる。また、脚部沈下を抑制するとSL部やアーチ部に変状が発生する危険性もある。
- ③ インバート補強ロックボルトにも沈下抑制効果が認められたが、根固めコンクリートのような支保工軸力の分散効果がないため、支

保工脚部にせん断ひび割れ②(図-8参照)が発生する危険性がある。しかし、当該工事では、ロックボルトの縫い付け効果により、ひび割れ発生後も軽微な変状にとどまった。なお、補強効果がやや低い原因として、ロックボルトが待ち受け式の構造であることも一因と考えられる。

- ④ 新たにインバートを構築する場合において、掘削影響が懸念される際には、支保工脚部直下のインバート端部にせん断補強筋を配置することが効果的であると考えられる。

本報告は、特殊な事例であり、今後の工事において同様な現場条件が出現することは少ないと考えられる。しかし、何らかの要因により、インバート施工後に支保工脚部の沈下が懸念される場合などには参考になると考えられる。本稿が、そのような特異条件下における一助になれば幸いである。

最後に、本工事と検討業務を進めるにあたり、ご指導・ご協力いただいた関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 例えば、東・中・西日本高速道路(株)：設計要領、第三集トンネル編、(株)高速道路総合技術研究所、pp.5-6, 2009.
- 2) 土木学会：山岳トンネルにおける模型実験と数値解析の実務、トンネルライブラリー16, pp.135-139, 2006.
- 3) Cundall, P.A. and Board M.: A Microcomputer Program for Modeling Large-Strain Plasticity Programs, Proc. of the 6th International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, 1988.
- 4) ジェオフロンテ研究会編：山岳トンネルの新技术, 土木工学社, p.52, 1991.
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書[構造性能照査編], 丸善, pp.60-63, 2002.
- 6) 日本鉄道建設公団：併進工法設計施工指針(案)山岳トンネル編, 鉄公サービス, pp.79-82, 1994.

施 工

鉄道高架直下を2連矩形シールドで掘進

—東急東横線 渋谷～代官山—

東京急行電鉄(株)鉄道事業本部工務部第一工事事務所長 津 守 澄 男
 東京急行電鉄(株)鉄道事業本部工務部第一工事事務所課長補佐 角 田 貴 昭
 東京急行電鉄(株)鉄道事業本部工務部第一工事事務所主事 山 崎 仁
 鹿島・西松・鉄建設共同企業体東急渋谷工事事務所現場代理人 新 原 亨

1 は じ め に

東急東横線は渋谷～横浜間を結ぶ延長24.2kmの路線で、2008年度は1日あたり約113万人のお客様にご利用いただいております。田園都市線と並ぶ東急線の基幹路線である。

東横線と他社線との相互乗り入れの歴史は古く、1964年に東京メトロ日比谷線との相互直通運転を開始し、2004年には横浜～桜木町間を廃止するとともに横浜高速鉄道みなとみらい線との相互直通運転を開始して、鉄道ネットワークの拡充を図ってきた。

また一方では東横線の混雑緩和を目的として1987年には特定都市鉄道整備事業計画の認定を受けて東横線複々線化工事に着手した。2000年に目蒲線の運行システムを目黒～多摩川～武蔵小杉間の目黒線と多摩川～蒲田間の多摩川線の2系統とし、目黒線と東京メトロ南北線・都営地下鉄三田線との相互直通運転を開始し、2008年には目黒線を日吉まで延伸している。

東京急行電鉄では、東横線のさらなる混雑緩和と利便性向上を図るべく、運輸政策審議会答申第18号の整備路線のひとつとして盛り込まれた東横線と東京メトロ副都心線との相互直通運転を行うため、2005年に東横線渋谷～横浜間改良工事の特

定都市鉄道整備事業計画の認定を受けて、本稿で述べる東横線渋谷駅～代官山駅間地下化工事を進めている。

東横線が東京メトロ副都心線と相互直通運転を開始すると、東武東上線・西武池袋線から東京メトロ副都心線を経て、東横線および横浜高速鉄道みなとみらい線までがひとつの路線として結ばれることとなり、東横線は新たな首都圏の広域的な鉄道ネットワークの一翼を担うこととなる(図-1)。

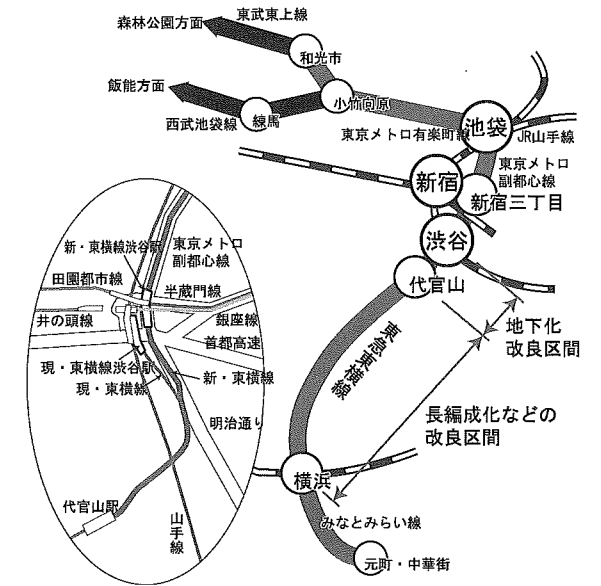


図-1 ネットワーク図

2 地下化工事概要

本工事は新設する渋谷駅から国道246号線、民有地、渋谷川およびJR線と交差し、現東横線の高架橋および盛土直下を通過して代官山駅にて現在線と接続する工事総延長約1.5kmの大規模改良工事である(図-2)。

なお、渋谷駅～代官山駅間の唯一の踏切である渋谷1号踏切道は、東横線が地下化されることにより除却される。

東京急行電鉄と東京メトロの共同使用駅となる

渋谷駅は東急文化会館跡地前の明治通り下に位置し、2008年6月から東京メトロ副都心線渋谷駅として供用を開始している。なお、駅の運営管理業務は東京急行電鉄が行っている。渋谷駅建設工事はホーム中心を境に東京メトロと事業範囲を分けており、当社事業範囲は311mでホーム中心から89mの範囲はすでに供用を開始し、残りの222mの範囲が建設中であり、2012年度の東横線と東京メトロ副都心線との相互直通運転時に供用を開始する範囲である。

代官山駅までの駅間工事は、渋谷駅建設工事端

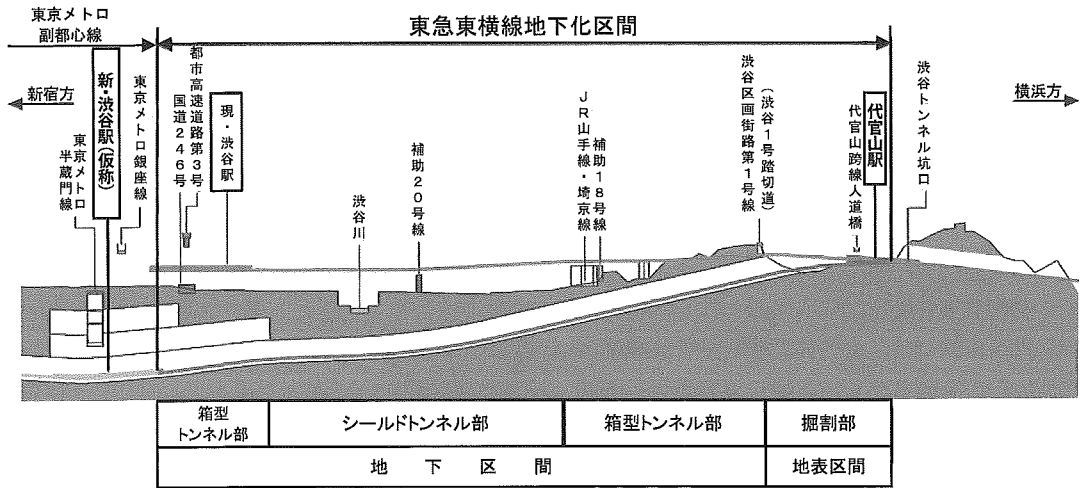
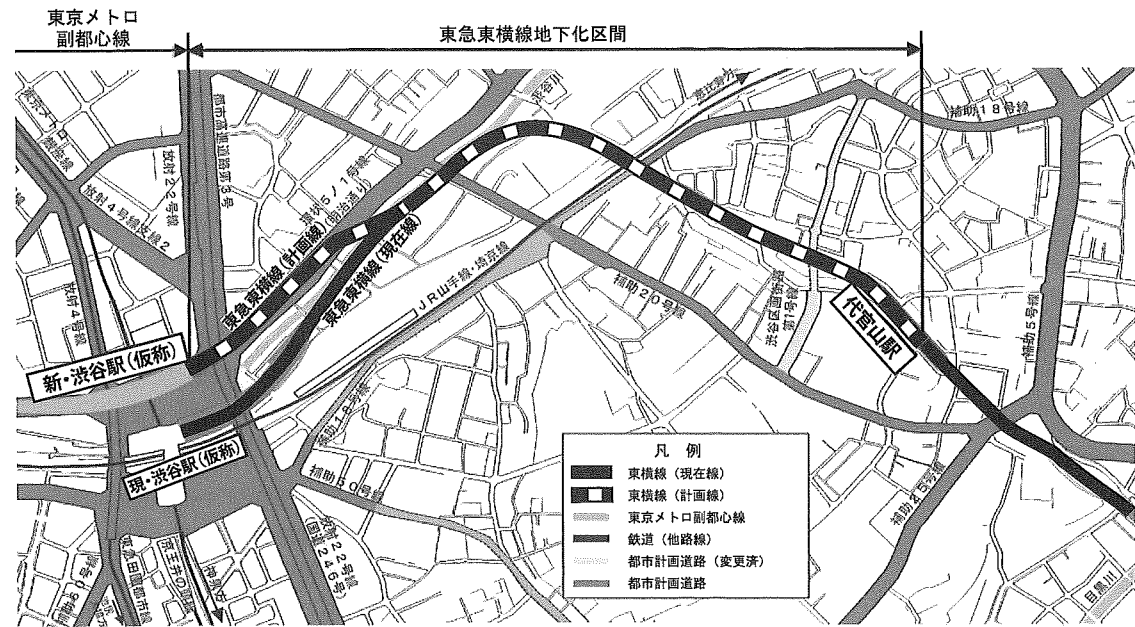


図-2 渋谷駅～代官山駅間地下化工事概要図

部の発進立坑からJR線交差部手前の到達立坑までのシールド工事区間約508m、シールド到達部からJR線交差部までの開削工事区間約80m、東横線の軌道を仮受けする代官山駅までの開削工事約600mに分けられる。地下躯体構築後に渋谷1号踏切道から代官山駅の範囲に地下切替え設備を設置し、一晩で軌道を地下に切替える予定である。本稿では今年1月に掘進が完了したシールド工事の報告を中心に記述する。

3 シールド工事

本シールド工事は、泥土圧シールド工法による掘進延長約508m、最大土かぶり約15.4m、最小土かぶりが1D以下の約4.5m、最小曲線半径160m、最急勾配35%、掘削断面積72.1m²(2連矩形断面)の複線トンネルを構築するものである(図-3、写真-1)。

新渋谷駅南端の明治通りに位置する発進立坑から代官山に向かって約350m(320リング)までの区間には上層層粘性土、残りの区間には想定最大礫径450mmの東京層礫層、東京層砂層および粘性土が広がっている。

路線は現東横線の高架橋直下を掘進するため、営業線の運行を妨げることがないように、あらかじめ高架橋の防護工事または仮受け工事を施工したうえで、シールド掘進を行った。

3-1 シールド

本工事では、小土かぶり、急曲線、礫層の存在などの条件を考慮して、機長8,950mm、高さ7,440mm、幅10,640mmのシールドに中折れ装置を装備し、掘削機構としてアポロカッター工法(APORO-CUTTER工法: All [あらゆる] Potential [可能性を秘めた] Rotary [回転式] Cutter [カット])を採用した。その掘削機構は、公転ドラムと呼ばれる土台部分が低速で回転し、その上の揺動フレームと呼ばれるアーム部がスイングし、カッターヘッドが4.7min⁻¹で高速に自転しながら所要断面を掘削する方式である(図-4、5)。

カッターヘッドの形状により、掘削断面の外周部がドーム形状となることで、土かぶり1D以下の施工でもアーチ効果により掘削断面の安定を図る

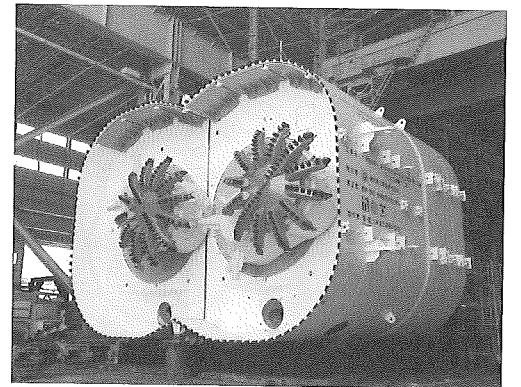


写真-1 2連矩形シールド

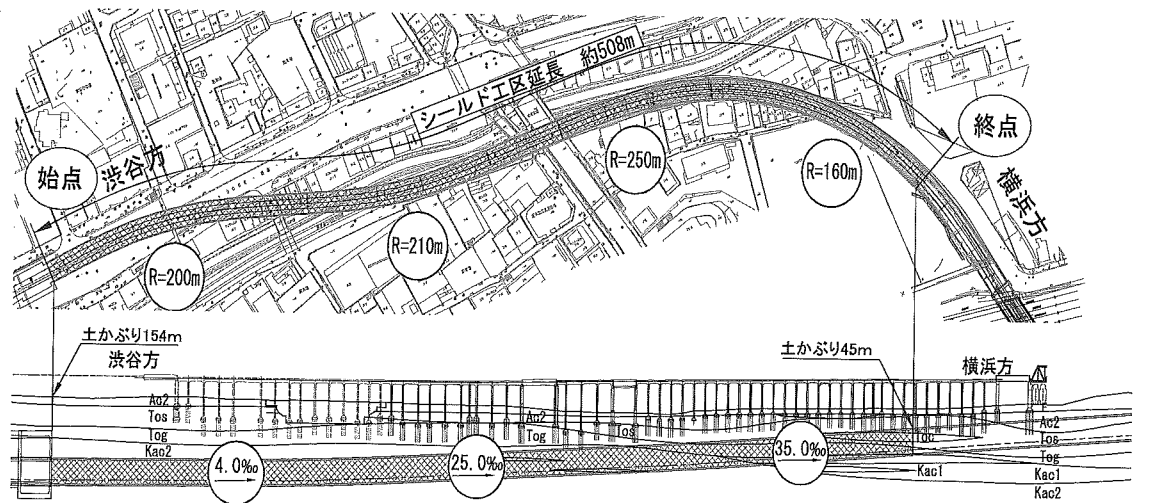


図-3 シールド工事区間平面および縦断面図

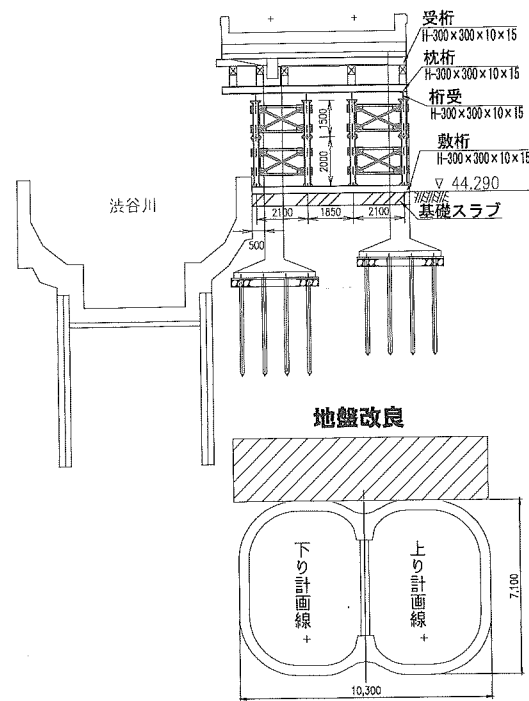


図-8 高架橋防護②(基礎スラブ・仮受け鋼材+地盤改良)

地盤で、かつ土かぶり大きいところでは、既存高架橋の地上部に連続した基礎スラブを構築し、その上部に高架橋荷重を支持する仮受け鋼材(ベント)を設置して高架橋を補強した。

- ② 礫層が存在する箇所では上述の基礎スラブ・仮受け鋼材に加え、礫・砂層の崩壊を防ぐため、シールド通過上部に地盤改良を連続的に実施した(図-8)。
- ③ 到達立坑付近は土かぶりが小さく、仮受け杭打設用地の確保が可能であるところでは、仮受け杭を打設し、その上部に添え梁を構築し、仮受けを行った。

4 施工実績

4-1 切羽土圧管理

掘進時の切羽管理土圧の範囲は、静止土圧に間隙水圧と予備圧(20kN/m²)を加えた値を上限値とし、主動土圧に間隙水圧と予備圧を加えた値を下限値として、各土質条件により区間ごとに設定

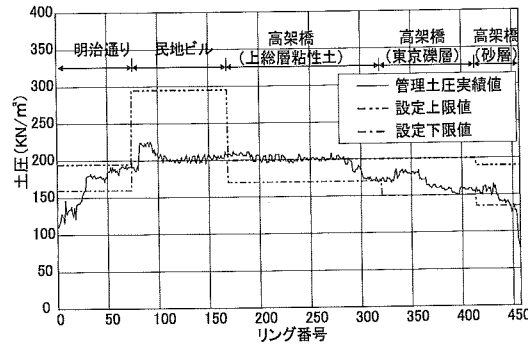


図-9 土圧管理結果

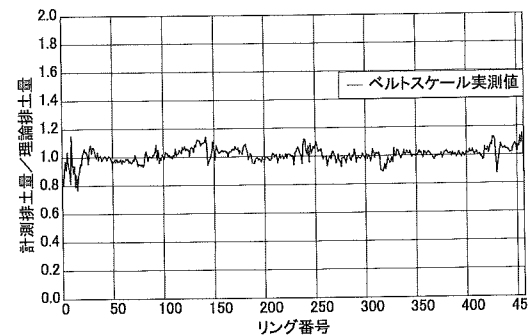


図-10 排土管理結果

した。切羽土圧計測はシールドチャンパ内に設置した10個の土圧計のうち、揺動フレームの移動の影響を受けない土圧計の平均値で土圧管理を行った。土圧管理は、発進時は間隙水圧を下回らないように、また上総層粘性土層を通過する明治通りでは、管理土圧範囲の中間値から上限値の間で土圧管理した。明治通りを通過した後の切羽土圧は、民地ビルや東横線高架橋などの重要構造物の直下を掘進することから、各変状計測結果にもとづき沈下などを抑制するように管理土圧を設定した(図-9)。

4-2 排土管理

初期掘進区間(88m)の排土量管理は、ベルトスケールおよびダンプスケールによる重量型管理を採用した。本掘進からは、トンネルの上昇に伴い土層が変化するため、レーザースキャナによる容積型計測管理も併用することとした。掘進開始当初20リングまではベルトコンベヤを積む後続台車をS字状に配置していたため、ベルトスケールの計測誤差が発生していたが、後続台車がシールド

坑内に入り直線状になるにつれて、安定した計測結果が得られるようになり、計測排土量を理論排土量で除した値は平均1.03であった。また、ダンプスケールの同値も平均1.02といった結果で、良好な排土管理を行うことができている(図-10)。

4-3 裏込め注入

今回のシールドには、沈下抑制のため同時裏込め注入装置を採用している。注入量管理としては、オーバークット量20mmのテールボイドを考慮して上総層粘性土層は100%以上、東京礫層・砂層では110%以上の注入率を確保した。注入圧は裏込め注入口横に装備した土圧計で計測し、圧力制御を行った(図-11)。

4-4 加泥注入

切羽安定のためには、チャンパ内の塑性流動性の確保が重要になる。上総層粘性土の掘進時は気泡材を30%添加する予定であったが、地山の粘性

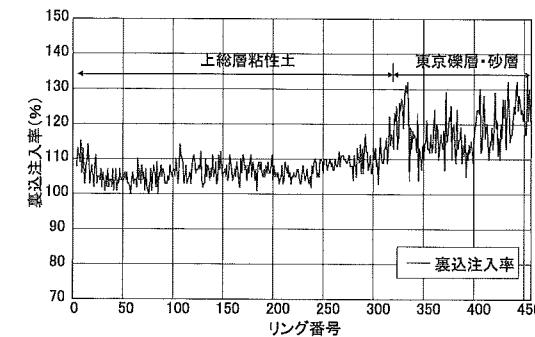


図-11 裏込め注入実績

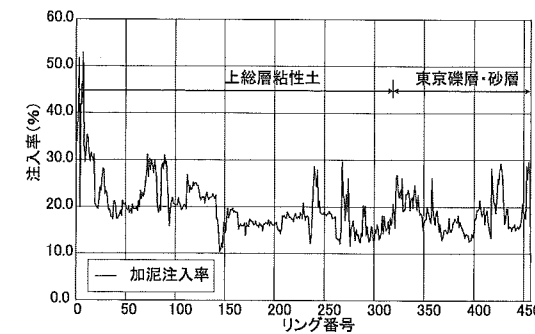


図-12 加泥注入実績

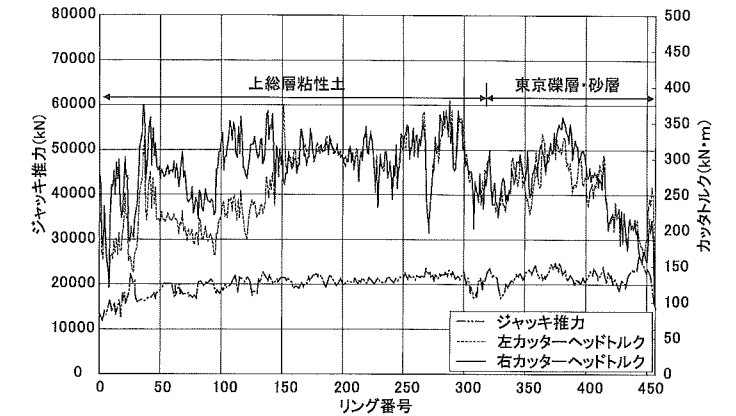


図-13 カッタートルクとジャッキ推力

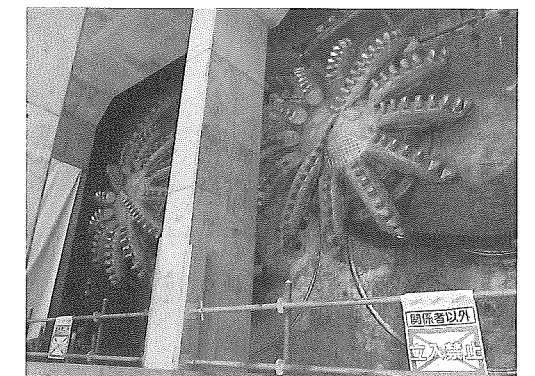


写真-3 シールド到達状況

が想定以上であったため、気泡材の使用と併用して加水を実施した(図-12)。東京礫層・砂層においては、ベントナイト系加泥材とポリマー系加泥材を使用し、設計注入率を27%と設定した。結果としては、上総層粘性土では加水が寄与し、また東京礫層では地盤改良体部の掘進に伴う粘性の増加により実績注入率約20%で塑性流動性を確保できている。

4-5 カッタートルクと推力管理

設計カッタートルクは450kN・mで装備カッタートルクに対して1.60の安全率を有している。掘進時のカッタートルク平均値は272kN・mであったが、東京礫層の地盤改良部では礫強度によりカッタートルク高で掘進停止することもあった。

設計ジャッキ推力は61,048kNで装備ジャッキ推力に対して1.46の安全率を有している。掘進時のジャッキ推力平均は20,374kNであった。ジャッ

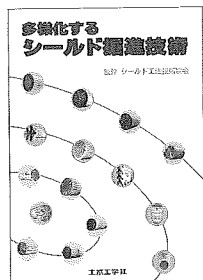
キ推力平均が設計値の1/3程度と小さかったのは、設計時に民地ビルの上載荷重を考慮してその荷重を見込んでいたが、実際には切羽土圧を上限値まで上げる必要がなかったためである。

4-6 シールドの姿勢制御

今回のシールドには、ローリング対策として前胴斜め下方向(左右)に可動ソリを装備しており、曲線施工時に、ローリングが最大0.1°程度発生したが、可動ソリを使用することで良好に修正することができた。

5 おわりに

本シールド工事は東横線の高架橋直下での掘進や小土かぶり・急曲線などの条件下での施工であったが、地盤および路上などに大きな変状を発生させることなく、また東横線の運行にも影響を及ぼすことなく掘進を完了することができ、適正な施工管理・防護工事であったと捉えている。今後も引き続き、関係各所や近隣の方々のご理解ご協力を賜り、安全第一で施工を進めていきたい。



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

第五回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

トンネル施工技術の継承

服部 一夫

(元)清水建設(株)

はじめに

団塊の世代が大量に定年退職するため、日本が戦後、経済成長とともに育んできた技術が失われていく問題は、三つに分けられます。一つは多くの退職者に対して少ない技術継承者しかいない問題です。二つ目は先輩から後輩への技術の継承が十分でなかった問題です。三つ目はマニュアルや標準類では表せない、言葉で教えるのも難しい技術が失われていく問題です。

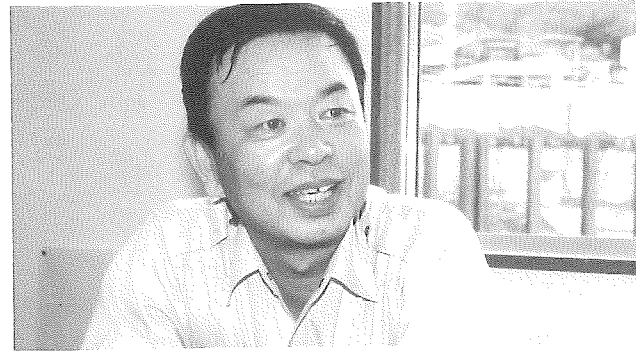
それぞれの問題には原因があって、大雑把に言えば一つ目は少子化であり、二つ目はシステム(社会の仕組み、マニュアルなど)の活用不足であり、三つ目はシステム万能主義の考え方です。最近テレビで造船の溶接技術や機械の旋盤技術、警察の捜査技術が後輩に十分に引き継がれていないため、今マンツーマンで教えているドキュメントドラマが放映されました。このドラマで取り上げられていたのは三つ目の技術です。

マニュアルや標準類だけでは取得できない、先輩の背中を見て技術を盗むとまでは言わないが、三現主義(現場で、現物を見て、現実に対処)によって得られる技術です。このような問題をトンネルに当てはめて考えてみることにします。

トンネルの施工技術

トンネル技術というと大きく分けて、計画、調査、設計、施工、維持補修の技術です。ここでは施工の技術に絞って考えます。

施工には、掘削、支保、覆工、補助工などの工種があり、それぞれの工種に要素作業があります。例えば、掘削には穿孔、装薬、発破、ずり積み、ずり搬出などがあります。要素作業すなわち要素技術の穿孔は、孔径、孔長、配置(発破パターン)が地質によりある程度標準的に決められます。しかし、発破ごとに変化する地質では、岩石の硬軟、亀裂の多少や位置、湧水の状況により、穿孔の位置や



北陸新幹線 里見トンネル工事のころの筆者

著者略歴

- 昭和45年 山陽新幹線福山トンネル東工区
- 昭和47年 上越新幹線堀之内隧道(北)その他工事
- 昭和52年 津軽海峡線青函隧道(三岳)工事
- 昭和53年 新小原水力発電所工事(関西電力)
- 昭和56年 琴音トンネル(国土交通省)
- 昭和59年 北陸自動車道泊トンネル(日本道路公団)
- 昭和61年 関越自動車道関越トンネル上り線水上側工事(日本道路公団)
- 平成2年 北幹・里見トンネル工事(鉄道・運輸機構)
- 平成4年 北幹・御牧原トンネル工事(鉄道・運輸機構)
- 平成8年 インドネシア・ムシ地下発電所建設工事

角度、穿孔機械の回転数や押し込み力を微妙に変化させて坑夫さんが穿孔しています。この要素技術のレベルにはその熟練度によってピンからキリまであり、最高のレベルになると、マニュアルや標準類では表せないその上を行く技術です。この技術は先輩によるマンツーマンの教育か、経験を多く積んだ自己研鑽でしか取得は困難です。

われわれゼネコンのトンネル技術者は、上記の要素技術を組み合わせさせて掘削や覆工といった工種管理を行い、おのおのの工種を組み合わせさせてトンネル工事を管理しています。またトンネル工事全体を管理するには、土木のほかに機械、電気、通信、地質といった技術も必要になってきます。このように現場を管理する技術があるとすれば、われわれトンネル技術者は要素技術の最適な組み合わせにより、管理項目の管理値を達成する管理技術を継承しなければなりません。管理項目にはQ(品質)、C(コスト)、D(工程)、S(安全)の四つがあり、最近ではM(モラル)、E(環境)の二つが加わって六つになっています。要素技術も管理技術も前述した

ように、日進月歩、進歩発展し姿を変えて継承されてきたと思います。われわれが先輩から引き継いだ技術は現在の技術者にも引き継がれていると確信しています。もし技術の衰退が危惧されるのであれば、技術の継承には仕事の継続が大前提です。トンネル技術は実用技術であり、重要無形文化財のような技術ではないのです。トンネルの工事が継続されれば技術は間違いなく継承され、工事がなくなれば技術も消えてなくなるのは致し方ないことです。そのためにもトンネル技術者は、海外に雄飛したり、今までトンネル工事が不可能であった難条件の工事でも可能にする新技術を開発し、費用対効果が上がる低価格で品質の良いトンネルを作る努力をしなければなりません。

私が取得した技術はすべて後輩に引き継ぎ、未だ引き継ぎ残した技術はないと思っています。しかし技術を継承した後輩は私と仕事をともにした特定の人達であるので、ここで読者の皆さんに私の経験したトンネル現場を紹介することによって、少しでも技術の継承になればと思います。

経験したトンネル現場

■堀の内トンネル(含水未固結砂層の切羽崩壊)一自然の厳しさを知る一

5年前発生した中越地震の震源地、越後川口の南部に位置する上越新幹線のトンネルです。工期が当初の3年6か月から6年3か月になった難工事です。施工延長は3,190mのうち北工区2,190mで、底設導坑先進・上部半断面工法(矢板工法)です。掘削方式としては、導坑を発破、上半を自由断面掘削機、下半をバックホーで計画しました。ずり出し方式はレールとしました。

信濃川と魚野川に挟まれた魚沼丘陵の北端に位置し、両河川の合流点のすぐ南が坑口です。地形は段丘地形で土かぶりが70~110mの高位段丘と50m以下の中位段丘があります。中位段丘は坑口から1,350mの地点から1,600mの範囲で、土かぶり13mの大沢川まで続いていました。

地質は坑口から1,350mまでは、泥岩、砂、礫互層の灰爪層で、地質構造は単斜構造で走向はトンネルに直交、傾斜は切羽に45~50度

の受け盤です。1,350m以奥は礫を主体とした泥岩、砂の互層の魚沼層で1,500m付近の向斜軸から先は水平層です。

坑口から1,000m付近まではトンネルの両側に沢があり、底設導坑先進方式で順調に掘削してきました。そのときの坑口湧水量は約1,000ℓ/minです。

最初の崩壊が発生したのは坑口から1,037mの全面泥岩の導坑切羽で、天端付近から大量の水とともに背後の含水未固結砂層が流出してきました。断続的に流出した量は累計270m³になりました。崩落も落ち着いてきたので切羽に2m²の水抜き坑を掘ったところ再び土砂流出が始まり流出量は約500m³となりました。このままでは掘削ができないため、空洞をエアモルタルとLW(水ガラス+セメント)の注入で充填し掘削を再開しました。

ここで勉強したことは今では常識かも知れませんが地質調査の重要性です。当時の導坑掘削は空気圧式のレグドリルであるため、現在のように油圧式ドリフタで容易に前方の地質を調査したり、水を抜くことができませんでした。そこで、注入作業で使用したボーリングの機械を短尺(φ65mm)用に

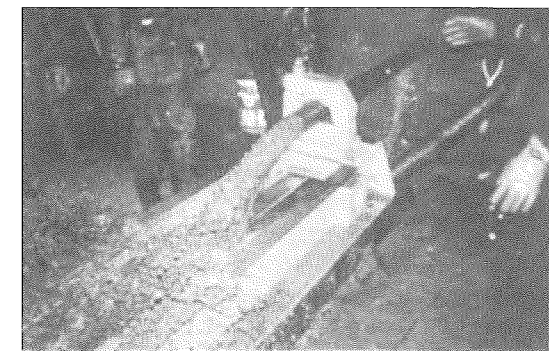
残し、新たに長尺用の水平ボーリング機械(φ105mm)を切羽に用意しました。

次の砂層は湧水と多少の崩壊はありましたが何とか掘削できたので、前方調査と水抜きのため、長尺用水平ボーリング機械で放射状に50m前後の水抜き孔を数本削りました。削孔中には1,000ℓ/minの出水とともに土砂の流出があり、前方に被圧帯水砂層が存在することがわかりました。各孔からの出水は最終的には100~300ℓ/minの量に減少し、流出土砂がボーリング孔を閉塞したのか、水抜きが完全ではないように思われました。

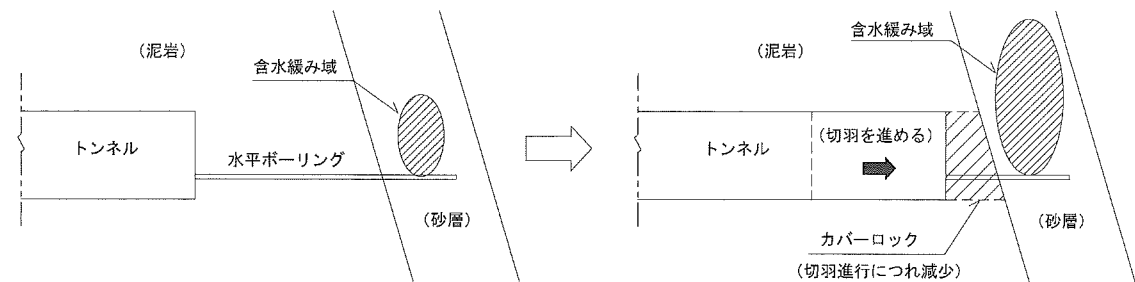
2回目の崩壊は打つ手は打ったつもりで突っ込んだ底設導坑の砂層で発生しました。1回目ですんだつもりでしたが、山を甘く見すぎていた結果です。1回目と同様、鏡面は泥岩でしたが、泥岩の厚さが薄くなった天端付近から2,000

ℓ/minの出水とともに土砂が流出、切羽には泥岩や砂の塊が積み重なりました。土砂の流出も止まり湧水も澄んできたので、切羽にあった泥岩の塊を取り除いたところ、今度は3,500ℓ/minの出水とともに山が轟音をたてて崩落、ロッカーショベルとトレンローダーを押し流し、後方70mでロッカーショベルが脱線、横向きになり流出土砂を押し留め導坑は埋没しました。流出土砂は1,000m³に達しました。

この切羽崩壊を振り返ると、以下のようなであったと考えています。切羽前方の含水未固結砂層に水平ボーリングを行うと、ボーリング孔を通して土砂が湧水とともに濁水状に流出する場合があります。この状態はボーリングで切羽前方地山に土砂の流動化(ボイリング現象)を誘発したことを意味し、ボーリングから土砂が流出するとその体積の10倍程度の含水緩み域



砂を含んだ湧水



切羽接近による崩壊危険度の増大

が切羽前方地山の含水未固結層に形成されます。

このように水抜きボーリングで土砂を流出してボーリングが閉塞するような場合には、流出土砂の約10倍の含水緩み域(液状化状態)が形成されていると予想して、地下水位を徐々に低下させるなどの対策が必要で、それを怠って掘削するとカバーロックが薄くなった段階で含水緩み域が崩壊します(図参照)。崩壊量は含水未固結層と間隙水圧および地下水量の関係で形成される含水緩み域によるもので、ときには数千 m^3 に達することがあり、危険予知を行う必要があります。

ここで勉強したことは、ボーリング孔も自立できない地山では掘削加背内にはボーリングをしないことです。その後ボーリングからの土砂の流出を防ぎ水だけを抜く努力を重ね工夫してみましたが、ボーリング孔が自立しない砂層(透水係数が 10^{-4} オーダーの細砂層および砂礫層)では結局うまくいきませんでした。現在では二重管による穿孔方法やストレーナーなど新しい技術が開発されているものと思います。

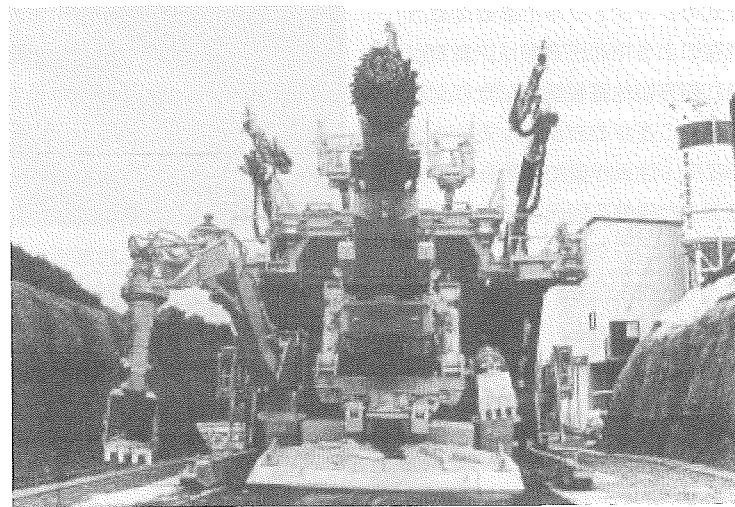
二度の崩壊により改めて地質調査を実施し、その先にも約30枚の砂層が分布していることが判明したので、崩壊箇所は放置し左右に迂回坑を300m掘削して灰爪層を抜け魚沼層で側壁導坑に取り付けることにしました。崩壊箇所はその間に時間を掛けて処理することとしました。

迂回坑は短尺や長尺のボーリン

グをこまめに実施し何とか側壁導坑に取り付き、湧水と小崩落はあるものの崩壊するまでには至りませんでした。そのような箇所では、導坑掘削による砂層の緩み域は上半切羽の天端付近まで達していたこともありましたが、

3回目の大崩壊は上半で発生しました。かぶり50mの中位段丘の魚沼層で、上半の鏡押さえが持たなくなり、天端から生コン状の未固結砂礫層が流出、地表部に約1,000 m^3 の陥没が生まれました。導坑掘削時の緩みに上半掘削の緩みが加わって、上半の5~6m上部にあった泥岩の薄層(不透水層)に亀裂が入って耐えきれなくなり、向斜軸面内の被圧水とともに坑内に流れ込んだものと思われます。

これ以降はディープブエルと上方斜めボーリングを組み合わせ、水位低下を確認してからの施工を行い、地質にも恵まれて無事貫通点に到達しました。今考えてみると反省の多い私の青春が凝縮したトンネルです。



自由断面掘削機とガントリージャンボ

■里見トンネル—技術を磨け—

冬季オリンピックが長野で開催されることになり、高崎~長野間の北陸新幹線が発注されました。当時の日本鉄道建設公団が、経済的な新幹線を旗印に、NATM設計施工指針を見直したローカル支保パターンによるトンネル群を発注しましたが、そのもっとも高崎方に位置するのが里見トンネルです。

1992年7月の本誌に「大型自由断面掘削機でミニベンチ掘削」と紹介した全長2,488m、8か月の中断を挟み5年3か月を要したトンネルです。利根川の支流烏川の右岸榛名町から、標高300~400m最大土かぶり180mの秋間丘陵を抜けて安中市に至っています。

地質調査報告書によると地質は新第三紀中新世~鮮新世の秋間層と板鼻層からなり、孔内弾性波速度は1.5~2.3km/secで、高崎方坑口から1,500mが秋間層です。秋間層も板鼻層も礫岩、凝灰角礫岩、砂岩、泥岩の互層で、秋間層の礫はこぶし大からまれに数十cmの

ものが含まれ、板鼻層の礫は5~10cmのものが主体と記されていました。

軟岩であり坑口に住宅があることから機械掘削を計画し、坑口付近に出現する大礫についてはジャイアントブレイカーによる掘削を想定していました。そこでわたしの長年の懸案であった作業箇所を1か所に集約して作業環境を改善し、安全・品質の向上を図る計画を実施しました。その方策として、全断面对応型の自由断面掘削機と各種作業機械を搭載したガントリージャンボを組み合わせたミニベンチ工法で計画し、上半・下半の同時作業を可能にすることで作業サイクルの短縮と省力化を図りました。自由断面掘削機には上半盤のずりをギャザリングに落とす0.3 m^3 のバケットを両側に搭載し、ガントリージャンボには移動足場を設置し、吹付け機、揚重機、モルタルポンプも搭載しました。

作業環境の改善は十二分に達成しましたが、礫岩層では想定以上の大量の礫と巨礫(ϕ 200cm)の出現、そしてマトリックスの凝灰岩と砂が未固結であったため、省力化の目標は達成できませんでした。

ブームによる切削でなく礫を叩き落す状態になったため、ビットの折損が多くなりました。また礫が競り合ってコンベヤ上で詰まりました。ヘドロ状の土砂はギャザリングで集められません。巨礫は小割りが必要なためいったん仕事を止めて小割り発破をしました。両側に搭載したバケットは動きが遅く使い物になりませんでした。

かようにいろんな問題が発生し悪戦苦闘しましたが、それぞれの対策を実施し礫岩層を抜けてからは順調にいったと思っています。ここでの反省は巨礫の出現が予想できなかったため、巨礫処理を考えた施工機械の計画をしなかったことです。近くの小さな沢の河床部の礫を見て思い巡らせることができなかったのが真に残念です。

次に土かぶりが140mを超えた強度の低い凝灰岩と泥岩に断層が出現した膨張性地山について紹介します。一軸圧縮強度が13~45kg/cm 2 、地山強度比は0.5~1.5、浸水崩壊度も泥状化を示し内空変位が400mmを超え縫い返しを余儀なくされた箇所です。膨張性地山に突っ込んでいった支保パターンは、掘進長1.2m、上半支保工100H、吹付け厚10cmで、ロックボルトは上半 $L=2m@4$ 本、 $L=3m@4$ 本、下半はなしでした。

内空変位が増大し、吹付けにクラックが入り、ロックボルトの座金に変形するに従って増しボルトなどの補強対策工を実施しましたが、支保パターンの変更まではしませんでした。

しかし、初期変位速度が更に大きくなったので、膨張性地山に25mくらい進んだ地点で支保パターンを変更しましたが内空変位は収まらず、10m進んで再び変更しました。

しかし、初期変位速度は大きく更に10m進んだところで上下半支保工を150Hに、吹付け厚を15cm、ロックボルトは上下半 $L=3m@8$ 本、 $L=4m@12$ 本、インバー

ト吹付け15cm、変形余裕量20cmに変更しました。これでやっと変形が100mm以内で収束するようになりました。

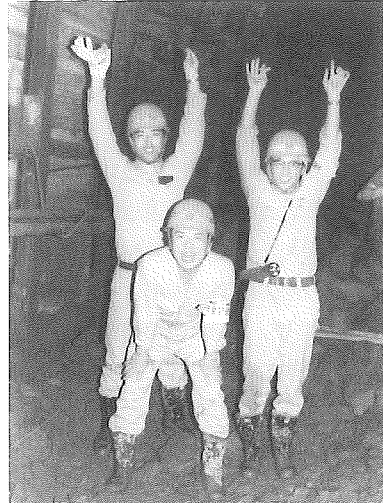
支保剛性を上げて初期変位を抑制し、早期閉合によって最終変位を抑えたことが効果を発揮しました。自由断面掘削機と多機能ガントリージャンボの採用がミニベンチ工法を可能とし、早期閉合での膨張性地山の克服に結びつきました。しかし、もっと早く膨張性地山を察知して、思い切って高剛性の支保パターンに変更し早期閉合を図っていたら、40mもの縫い返しをしないで済んだのではないかという思いは残っています。

■インドネシアムシ水力発電所—海外工事で直面すること—

現役最後のビッグプロジェクトであり、海外初体験の工事でした。昨年民主党政権が発足したとき、前原国交省大臣が国内の新規建設工事はすべて見直し抑制する方針であること、そのため大手ゼネコンは海外工事のシェアを増やして対処するよう話がありました。

しかし、海外工事は国内工事に比べて数段に厳しい。日本のゼネコンは海外工事の歴史が浅いため人脈が少なく、受注にも施工にも他国に比べて遅れを取っています。そのうえ言葉の問題、発注が発展途上国であり経済金融の不安定による出来高不払いのリスクがあります。そんな海外工事にこれから出ていこうとしている技術者に、私の初体験で感じた思いを話したいと思います。

ムシプロジェクトはスマトラ島



(左)津軽海峡線青函隧道(三岳)工事のころ、貫通点にて、中央が筆者。(右)著者近影、リスボンにて

中央部を北西から南東に走るバリサン山脈の南部を横切る水力発電所工事です。バリサン山脈の東側を流れるムシ川から取水して西側のシンパングワ川に放流する計画で、両河川の落差を利用するものです。スマトラ、ジャワ島に平行して南西にジャワ海溝があり、それに向かってインド洋プレートが潜り込んでいます。日本と似た火山国で温泉が各所にあり、地下発電所掘削時には温水が湧出しサウナ状態になり苦労したものです。

工事概要としては、最終的に建築土木工事で200億円に達したビッグプロジェクトで、地下発電所による発電機3基×70,000=210,000kWの水力発電工事です。トンネル延長12,147m、総掘削量110万³m(発破50万³m³、明かり60万³m³)、最終工期は1996年7月～2003年3月の6年9か月になりました。ムシ川の取水ダムから導水路(2,578m)、調圧水槽(φ10m、深さ53m)、水圧管路(斜坑50°、652m)を経て地下発電所(幅18.5m×長さ132m×高さ42.5m)で発電

し、放水路(3,995m)でシンパングワ川に放流、最下流部に逆調整ダムがあります。

日本の工事との違いを思い付くままに羅列します。

- (1)工事は発展途上国が多く金融経済が安定しないため不払いのリスクがある。
- (2)契約金の種類によって為替差益(差損)が発生する。
- (3)クレームするためには毎日原価(資機材、労務数量)を日報で報告しておく。
- (4)資機材は早急に手に入らないのでストックの必要がある。
- (5)日本人と現地技術者の給料の格差が大きいので現地技術者の募集と育成に努める。
- (6)機械類は高価なので省力化はあまり考えない。
- (7)トンネル関係の下請け会社がなく作業員は直雇である。
- (8)技術者、作業員とも仕事の範囲は明確にしてやる。進んでグレーゾーンに手を出すことはない。
- (9)不具合は前工程のせいにし、

次工程のことはあまり考えない。(10)油断すると頻繁に資機材の盗難が発生する。例えば火薬類、測量機械、機械部品、燃料、電線など。

- (11)警察、軍隊に現場をパトロールしてもらう。
- (12)より良い給料を得るため積極的に技術を取得しようとする意欲がある。
- (13)金さえ出せば3K仕事でも厭わない。
- (14)測量技術者には優秀な者が多い。

以上思い付くままに仔細なことを述べましたが、一番の違いはこのような大プロジェクトを一JVで施工できるやり甲斐であり、達成感です。

現場での体験を通して

このような施工体験を通して次代を担うトンネル技術者に伝えたいことを以下に列記します。

- (1)ボーリング孔も自立せぬ地山では掘削加背内にはボーリングしない

- (2)崩落箇所では二次崩落を考慮して、あと処理を急ぐな
- (3)現状に満足するな、常に改善の意欲を
- (4)山の中だけ見ないで、表も含めて山全体を良く見ろ
- (5)熟慮して、素早く決断せよ
- (6)周到に準備し、勇気をもって海外へ飛躍せよ
- (7)山を制するには水を制御せよ
- (8)トンネル掘削は運送業である。安全に早く搬出するため、路盤に投資せよ

あ と が き

トンネルの地山条件は千差万別であり、各切羽でも毎回同じ地山が連続することは少なく、系統立

てて技術を標準化することが難しいため、未だトンネルが経験工学と言われていました。そんななか、長年のトンネル工事で先輩から後輩に継承されてきた技術を集めた標準類が協会や工事発注者から発行されています。

少なくともマニュアルや標準は最低限守られるべき事項であり、それを守れば良しとするのではなく、地山に合わせて施工技術を駆使し、安全に工程を守り環境に配慮した品質の良いトンネルを作る必要があります。

前にも述べましたがトンネル工事ではとくに、三現主義が大切です。最近現場に張り付く技術者の数が少ないため、事務所や対外で

の仕事が多く切羽に出向くことが少なくなっていると聞きますが、心配です。

技術の継承とは現状維持ではなく進歩発展することです。そのためにも、要素技術を持つ専門業者と管理技術を持つ元請業者が車の両輪となって、トンネル技術の継承に努めなければなりません。

トンネル工事の継続なくして技術の継承はありません。国内だけではなく全世界に打って出ようではありませんか。

最後に、僻地での昼夜工事が当たり前のトンネル技術者の皆さんが、ご家族にあまり迷惑を掛けることなく活躍できるように祈念します。



「ラーメンと名水の郷」出流原より

牛口美信

栃木県佐野市に位置する出流原トンネルの南東約500mのところに、磯山弁財天はある。現在の本殿は鎌倉時代に切り立った石灰岩の中に建立され、釘を使わない昔ながらの建築様式を保ち、貴重な文化財として大切にされている。

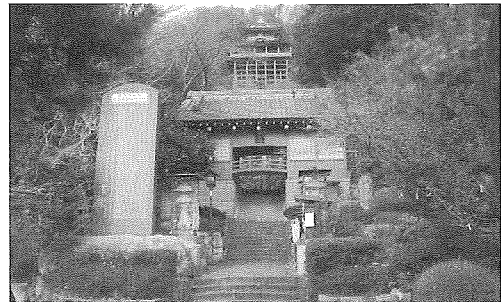
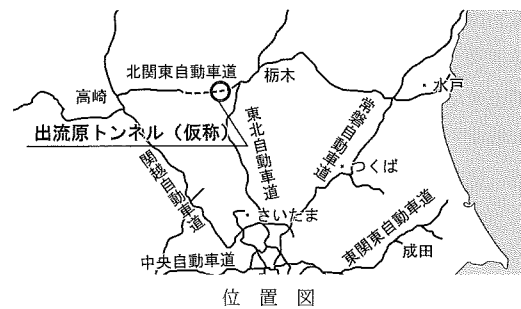
また、そのふもとの出流原弁天池は、古生層石灰岩の割れ目から清水が湧きだし、浅く澄んだ水中を鯉が悠々と泳いでいる。とても厚い土の層をフィルターとして濾過された水は、年間を通し約16℃を保ち、豊かな水量を誇っている。

池底には、地下洞窟の存在することを暗示しており、県指定天然記念物であると同時に名水百選にも選ばれている。

そして、出流原弁天池に代表される豊富な名水は旨い物を育む。もとより、佐野市周辺は、ゴルフ場が多く、このゴルフ客が口コミで伝え、評判を呼んだのが『佐野ラーメン』である。スープは弁天池の清水を思わせる透明感のあるさっぱりした味でしつこくなく、リピーターも多いことから、全国的にも知られるようになった。

なんでも、二百軒余りのラーメン屋さんがあるらしく、競ってひしめきあう様子は、まさに地域に根ざした「町おこし」の成功例と言える。

北関東自動車道は、群馬県高崎市から栃木県を經由し茨城県ひたちなか市に至る、全長約150kmの高速道路で、東京を中心とした100~150km圏で関越自動車道・東北自動車道・常磐自動車道を結ぶことにより、北関東地域から各地方への高速交通ネットワークを形成しようというものである。



磯山弁財天



出流原弁天池

物流の拠点になる港湾として注目される常陸那珂港と北関東3県を直結し、東京に依存しない独立した物流ネットワークを構築することで、地域の物流効率を高めるほか、医療機関へのアクセス向上、アウトレットモールをつなぐ『ショッピング・ネットワーク』の形成、周遊観光の活性化など、さまざまな方面から期待が寄せられている。

出流原トンネルでは、特殊な地山条件であることから、さまざまな検討がなされた。その結果、上下線合わせて467mの内、約60%を深層混合処理による大規模な地盤改良を行った。中でも、約100m区間は、トンネル断面のすべてが改良体をくりぬく形で掘進した。綿密な事前検討の効果が発揮され、トンネル本体掘削は、大きな変位もなく完了した。現在はインバートコンクリートと覆工コンクリートの施工中である。

今後、地域の方々からも早期開通が望まれるなか、期待に応えるべく一日でも早い無事故・無災害の竣工を目指している。

(鴻池組・本間組・矢作建設工業特定建設工事共同企業体出流原工事所長)

解説

開通75年を迎えた丹那トンネル難工事を振り返る

—環状凹地で発生した最大200m³/分の突発湧水—

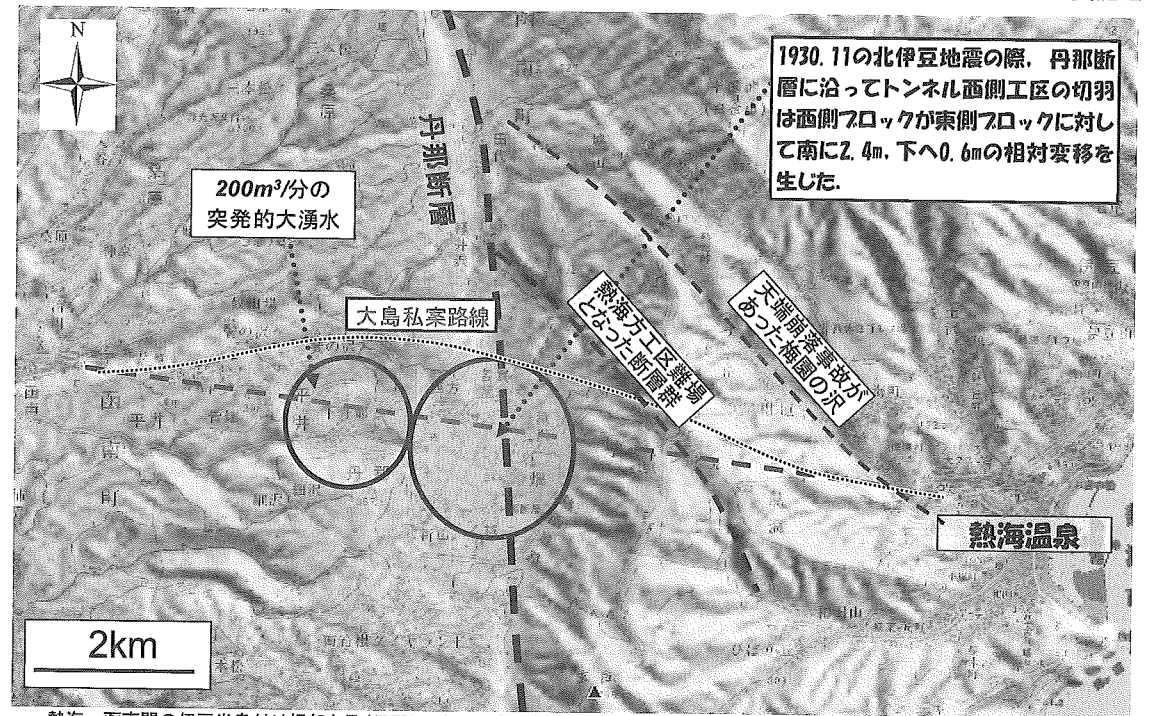
国際航業(株)上席フェロー技術センター長 大島洋志

1 はじめに

筆者は以前から興味の対象であった丹那トンネルの大出水について「湧水で苦労した丹那トンネルの最大湧水量は1925年始め頃の約200m³/分です。丹那盆地の西側にはそれよりも小規模な下丹那の環状凹地がありますが、大出水はこの凹地に到達したころに始まったようです。」として、丹

那盆地西横にある環状凹地地形の存在を指摘したことがある¹⁾(図-1)。

その後、池田俊雄・長崎技術科学大学名誉教授から質問があったことと、2009年中国四川省成都でのIAEG(国際応用地質学会)の国際シンポジウムでトンネル地質に関する基調講演を頼まれたのを機に丹那トンネルに関する文献調査を行っていたところ、上記大量湧水に関する坑内の地質記述



熱海～函南間の伊豆半島付け根部を貫く丹那トンネルは中央部の丹那盆地を南北に走る丹那断層突破時の苦労で有名であるが、その西隣にある下丹那の環状凹地直下に入った時の200m³/分に及ぶ大量湧水でも大変な苦労を強いられているのである。

図-1 丹那トンネル付近平面図

を確認できた。この記述に興味があったので、地表部の地形・地質を対照し、さらに現地調査や空からの観察などを行ってみた。その結果、以前の指摘はほぼ間違いないと確信できた。

御殿場経由だった東海道本線が丹那トンネルの貫通によって1934年12月1日に熱海経由に変更されてから75年が経過した。

当トンネルの難工事の状況を下丹那地区直下で発生した突発的大量湧水量を中心に振り返りつつ、地形・地質を認識することの大切さを考えてみる。

2 丹那トンネルの難工事

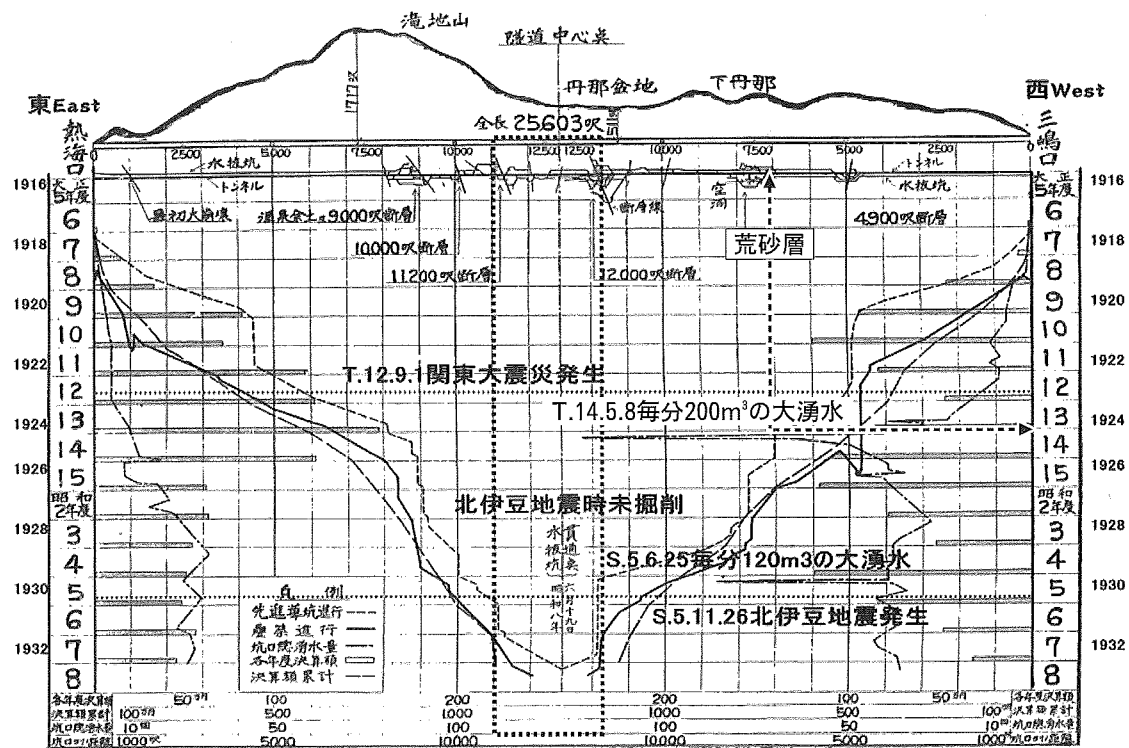
2-1 難工事の概要

図-2は『丹那トンネルの話』²⁾の末尾近くに示されている工程図表に筆者が書き込みをしたものである。上段に示された縦断面図は左側が熱海口(最寄り駅は伊東線来宮駅)、右側が三島口(最寄り駅は函南駅)となっている。中央左側の標高約

650mの高まり(滝地山：この部分で土かぶりは約500m)は芦ノ湖から南へ続く伊豆半島の稜線であり、その右側の凹みは丹那盆地で(この部分の土かぶりは約150m)ある。縦断面図の下にはトンネル施工時の水抜き坑や断層などの坑道図が示されている。さらにその下は工事工程図であり、横軸は上の縦断面図に併せた距離で、縦軸は大正5(1916)年～昭和8(1933)年までの時間である。

この図をよく見れば、約8kmのトンネルの施工に16年もの長年月を要した難工事の様子がおよそ想像できるが、この図に付けられた文章は難工事の実態をわかりやすく表現しているのので、以下に転載する。

……この先進導坑の進行曲線を見ますと、丹那トンネルの難工事が、6大難場に起因していることが良く分かるのですが、熱海口では大正13年に温泉余土に掘り当てたのが、ま



8kmの掘削に16年の歳月を要した／施工期間中関東大震災、北伊豆地震という2つの大地震を経験した(北伊豆地震では切羽面を境に2.4mもの水平変位が生じた)／西口から2,137m入ったところで毎分200m³もの突発的な湧水に遭遇した。

図-2 丹那トンネル縦断面図と工事工程、主なイベント関連図

た三島口では大正11年に4,950呎(約1,509m)の断層に出会ったのが皮切りで、丹那トンネルは初めて本式の難工事時代に入ったのです。しかし図上から分かれるとおり三島口が4,950呎の断層で苦しんでいる間、熱海口では非常に順調な進行を続けたのであります。しかるに大正13年から14年にかけて、熱海口は温泉余土、三島口は火山荒砂層に掘り当てて、東西両坑口同時に全く行き詰まってしまったのであります。しかも、その難関突破が容易に見込みがつかなかったのでありますから、その時代は丹那トンネルとして、全く闇黒時代……

次にこの難工事時代に入ってから東西両口の工事状況を、……比較して見ますと、……三島口では……停頓した3難場間の距離が離れておいてその箇所での停頓期間が長かった代わりに、その途中は曲線の傾きが緩いすなわち進行が早かったことが分かります。これに反し、熱海口では、遅く難場に出会った代わりに、3難場間の距離が近く……全体的に進行が遅かったことが分かります。

次に湧水の関係を図から見ますと、三島口の方が熱海口より一般に湧水量が多かったことが分かります。また120個(約200m³/分)とか、90個(約150m³/分)というような記録破りの大湧水も三島口の方で出会っています。……

(引用文中下線は引用者による。()内は引用者注。以下同)

文中呎とか、個、第3章では坪という単位が出てくる。「呎」「個」や「坪」は当時用いられていた、長さや量を表す以下のような単位である。「呎」1尺≒0.303mと1foot≒

0.3048mがほぼ等しい長さであることから、feetを表す漢字として、尺に口偏をつけた「呎」なる漢字を明治の先達が創作したと聞く。同様に「吋」はinchに当てた漢字である。

「個」1尺立方/秒という単位。1個≒0.0278m³/秒≒1.67m³/分となる。

「坪」1間平方を表す面積単位であるが、1間立方≒6m³の土砂の体積を表す単位として用いられることもある。前者と区別して「立坪」と表記することもある。

2-2 施工中に北伊豆地震で丹那断層が変位

上記の解説文からもわかるように、三島方は3回の難場を経験している。最後の難場は有名な丹那断層の突破部分で、ここで水抜き先進坑が断層

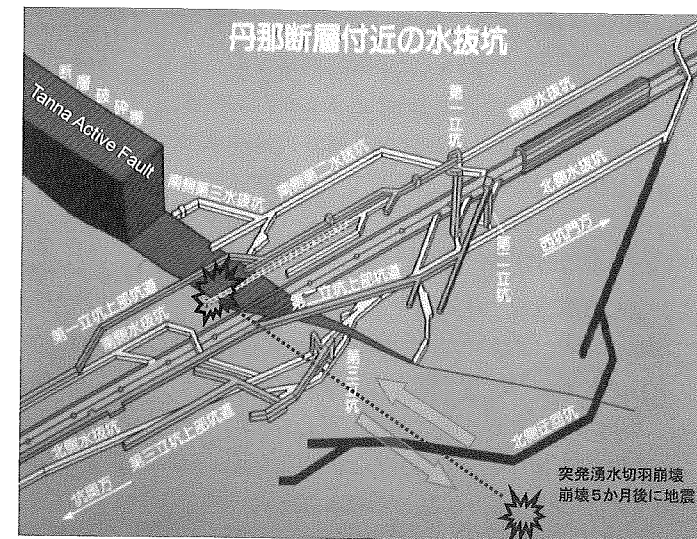


図-3 丹那断層付近の水抜き坑施工状況と断層変位部との関係図

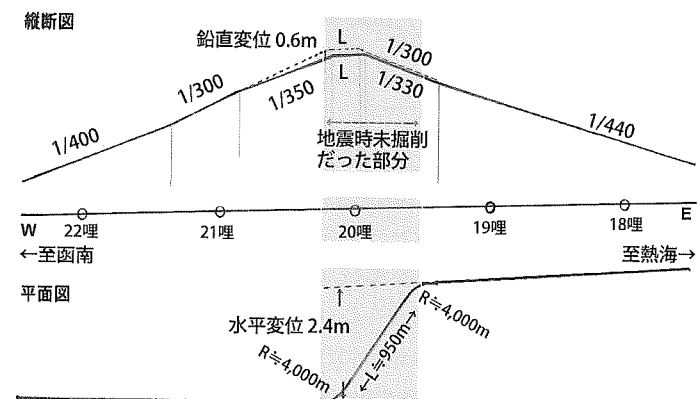


図-4 丹那断層の変位に伴う平面・縦断面形の変更

を突破したときに大量の湧水とともに先進坑が崩壊埋没し、あれこれと算段をしているときに北伊豆地震が発生して2.4mに及ぶ左横ずれ(鉛直には0.6m西側が沈下)を生じてしまったのである(図-3)。

ただし、変位があったのは三島方の切羽付近であり、熱海方との間に約1kmの未掘さく部分があったため、この区間で図に示すような半径4,000mのS字曲線を挿入し、縦断勾配を変更するなどできたのは不幸中の幸いであったといえよう(図-4)。

2-3 三島方の大量湧水箇所は二つ

上記の解説文から、三島方の三つの難場のうち大量湧水があったのは二つで、その最大が200m³/分の突発湧水があった2番目の難場(7,080呎付近)で、もう一つは150m³/分の突発湧水があった3番目の難場(丹那断層部分)であることがわかる。

私の先の発表¹⁾は、3番目の難場の大量湧水は断層で遮断された背面の水として予想できるので特段の驚きはないが、丹那トンネル最大の湧水を記した2番目の難場に関しては、泥岩黒砂互層と背後の火山荒砂層の存在というだけでは腑に落ちず、図-2の最上段に示された縦断図に「下丹那」の地名があることから、国土地理院の地図を見てみたところ、特徴ある環状凹地の存在に気付いたことに端を発したものであった。

以下、ここでは、2番目の難場に関してその後調査検討した結果について記述する。

3 丹那トンネル7,080呎の大量湧水

3-1 難工事の概要

文献2)の「十六章. 水との戦ひ 三島口の地下洪水」には次のような記述がある。

大正14年5月8日底設導坑が7,080呎(約2,158m)の所に達し、発破をかけました所、湧水が刻々増して来て、ついには坑口の総湧水量は120個(坑口毎分約200m³)に達し、同時に土砂600坪(約3,600m³)を流出しました。

此の時の勢いは素晴らしいもので、手のつけようありませんでした。坑内一面になって流れ出てくる湧水は、坑門近くでも深さ1呎(後では「尺」単位を用いるなど混同使用されている)余もありました。時ならぬ洪水に見舞われて、坑内も坑外も大あわてです。……このため着手したばかりの水抜き坑の完成を急ぎ、これに水をはかし、出てきた土砂を漸次取り除いて、大水の起こった場所にたどり着いたのは事故から13ヶ月目のことでした。水も120個が絶頂で、日増しに減って行きましたが、事故前の40個に落ち着く迄にはやはり一年以上かかりました。この1年間の作業中はどうしてもあふれた水の中を坑内に入らねばなりません。途中この水の深い所は3~4尺もあって、ヘソまで水に浸かります。……

3-2 大量湧水箇所の地質・湧水概要

同じく文献2)の「八章. トンネルの地質 掘った後の地質」には次の記述がある。

……く忘れぬ4,950呎(三島方第1の難場)では大断層に出会って、非常な苦しみを受けた。それを抜けてから7,000呎迄はとてもひどい湧水でしたが、水に苦しみながらも工事は進みました。所が7,080呎に進んだ時、一度に120個という大水が出てきて坑内は大洪水に見舞われました。これはここから奥8,000呎位迄火山荒砂の堆積した層で、非常に水を含んでおりましたのが、手前の集塊岩で充分出きらなかったで、……

丹那隧道工事誌³⁾のp.349から始まる「第4章 西口7,000呎工事」の「第1節 大湧水」には次の記述がある。先の記述と重複するところがあるが、できるだけカットせずに掲載する。

大正14年5月8日、……7,080呎に到達した時、爆破と同時に大湧水が一時に湧出してその量は最大123個(坑口総湧水量毎分約205

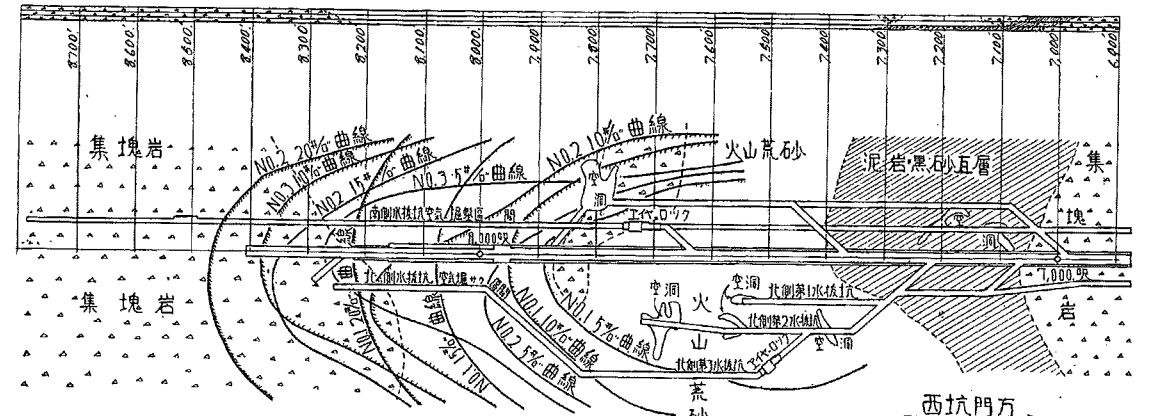


図-5 泥岩黒砂互層出現箇所付近地質平面図³⁾

m³)に達し、工事は一頓挫した。……

この地点まで土砂の浚泥や湧水の仕末をして再び底設導坑に着手できるようになったのは、1年後の大正15年6月21日であった。この湧水量は丹那トンネルの最大なもので、この際、800余立坪(約4,800m³)の土砂を流出した。……このような大湧水すなわち地下洪水と呼ばれる大量の水は一体どこから来るのであろうか?

大湧水箇所までは地質は集塊岩であって、掘れば掘るほど水が増加し、42個(毎分約70m³)に達していた。しかし大湧水箇所直前はあまり増加がなかった。大湧水箇所地点に到達してみると、空洞が諸所に出来ていて、坑奥の地質は約1,000呎の間砂地で、その境は泥岩と黒砂の互層であった。ここに称する泥岩は極く微細な火山灰の沈殿堆積固結したもので、tuffaceous shaleと称しても良いようなものである。……

地質図(第327図(図-5))に明瞭である様に、上部から泥岩黒砂の互層が下りて来て施工基面の高さから緩く坑奥に傾斜し、その奥が全部砂である。

依って、この不浸透層たる泥岩層に奥の地下水は遮られ、非常に多量に貯蔵されており、

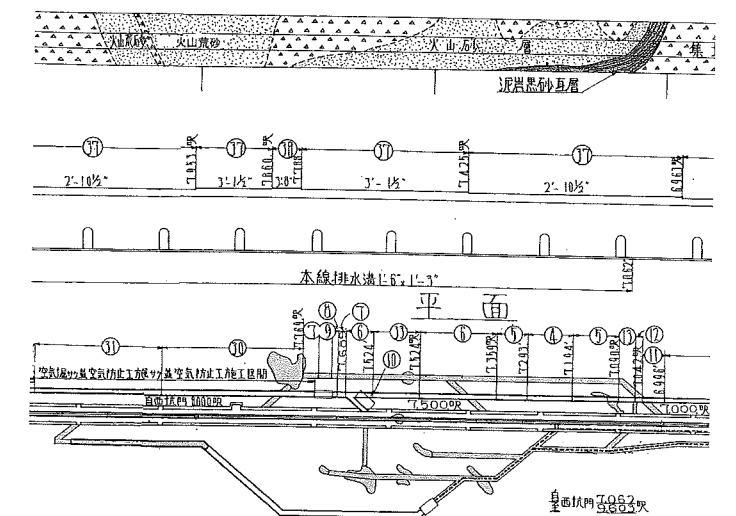


図-6 泥岩黒砂互層出現付近の丹那トンネル平面・縦断図³⁾

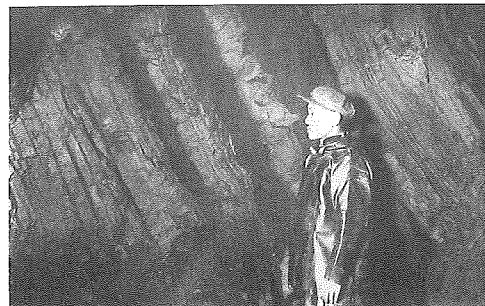
泥岩層の壁の厚さが薄められた時、坑奥の地下水圧に破られて水は砂と一緒に流されて来たのである。ちょうど水桶の底を割ったようなもので、然もこの水桶が非常に大きなものである。

同様に文献3)のp.82には図-6の図面とともに地質に関する次のような記述がある(ただし、東から順になされている記述を掘さく順に修正した記述とする)。

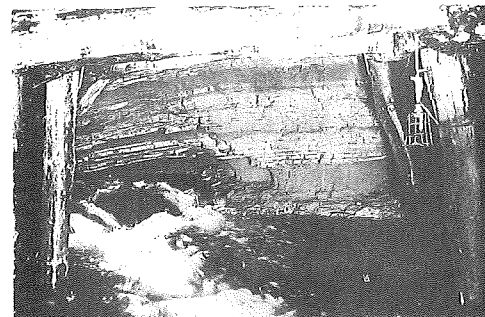
4,500呎から7,040呎(約1,372~2,146m)までは全部集塊岩層であり、7,040呎において垂直なる(鉛直なるor直立したの間違いか?)

泥岩層となる。

泥岩層は淡褐色の軟弱なものであって、1 吋～3 吋程度の厚さに層積みわめて明瞭に成層し、7,040 呎においては垂直となっているが、急激なる皺曲を以て東に傾斜し、7,300 呎(約2,225m)付近において施工基面下に下り、坑内砂層となっている。すなわち砂層の下層をなしている。泥岩内には黒色の砂層の薄きものを挟有しており、湧水と共に崩壊を



坑内7,022呎頂設導坑における泥岩と黒砂の互層火山噴出物なる火山灰と火山砂とは水の二次作用によりて写真の如く互層状態を形勢せるものにして頂設導坑には水平層をなしたり。尚本地層内より木材木葉を発見せり(大正15年3月3日写す)



底設導坑7,216呎に達し泥岩と黒砂の互層より自噴する湧水に出会せり水量毎秒2.8立方呎なり(大正15年7月28日写す)



第74圖 西口7,392呎附近土平泥岩黒砂互層状態

写真-1 文献3)に記載のある泥岩黒砂互層の写真

伴ったのである。

7,040 呎より8,000 呎(約2,438m)までは火山荒砂層である。黒色の粗砂層であって、全然固結せず著しく火山性であり、かつ粘土質を全然含まない。しかしながらまれに安山岩の大岩塊を含んでいる。地下水の流動性は著しく、これがために大湧水を伴い、その都度崩壊して空洞を生じたる部分であって、空気掘さくをなしたる部分である。

「空気掘さく」とあるのは、圧気工法のことである。日本の山岳トンネルにおいて、圧気工法を用いたのは恐らく丹那トンネルが初めてなのではなかろうか。

文献3)およびその別冊の西口写真帳の中から、この問題地質の写真3枚を選び、写真-1に示す。急傾斜の地層が、徐々に緩傾斜になり、水平へと変化した状況や、不透水性の遮水壁となっていた急傾斜の泥岩層が、傾斜が緩かつ壁厚が薄くなったときに大量湧水が始まったことを理解できる写真である。

3-3 大量湧水に伴う埋め木の噴出

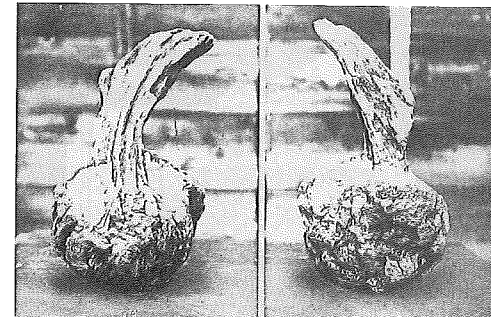
文献3)の別冊にある西口写真帳の中に火山荒砂到達時の突発湧水の孔から噴出してきた埋め木や木の葉の化石4葉が掲載されている。そのうちの2葉を写真-2に示す。

これらの埋め木や化石は出現の状況からして、泥岩黒砂互層とその上位の火山荒砂層中に存在したものと考えられる。

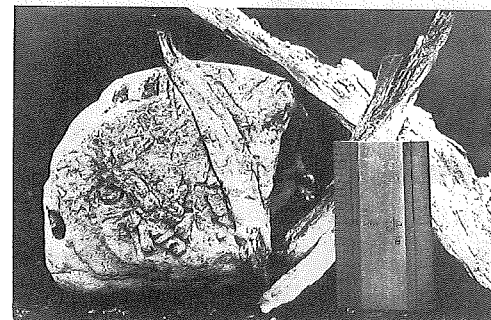
文献2)のp.37には、次のような記述がある。

大正十三年丹那盆地で施行したボーリング結果から見て……よく分かります。大体盆地の地下百呎位迄は湖水のあとで、其の証拠にはボーリングした時に埋め木等も出てきました。しかしそれから下は集塊岩に所々安山岩を含んで居て且つ、4本のボーリング(後に斜めボーリングを2本追加)に示された地層は御互い連絡のないことから沢山の断層のある事も判りました。

この記述をもとに考えれば、大量湧水箇所分布する泥岩黒砂互層の奥に存在し、大量の地下水を胚胎していた火山荒砂層などは、丹那盆地の表層部百呎位を構成する埋め木を含む地層と同時代の新しい堆積物の可能性もある。



底設導坑切羽7080呎の大湧水孔から噴出せる埋木(長1.6呎、幅0.85呎、厚0.4呎)第三紀後期新世の植物。名称不明



底設導坑切羽7080呎の大湧水孔より噴出し泥岩に付着したる埋木第三紀後期新世の植物。名称不明

写真-2 7,080呎の大湧水孔から噴出した埋木類②

3-4 大量湧水区間の終点

この大量湧水は図-5,6に明らかなように、火山荒砂層から集塊岩に変わる部分までの約340m間続き、集塊岩になって収束している。すなわち大量湧水の胚胎層となったものは泥岩黒砂互層の奥(東側)に分布していた火山荒砂層であったことになる。

荒砂層の分布を地形図に照らし合わせて見ると、図-1で示した、下丹那の環状に見える凹みの内側に見事に収まっていることがわかる。しかし、東側の境には泥岩(頁岩)層はなく、突然集塊岩に変わっている。

3-5 新丹那トンネルの同一区間の地質状況

東海道新幹線の新丹那トンネルは旧丹那トンネルが完成した約30年後に完成している。新トンネルは、旧トンネルの50m北側で約5m高く設定された施工基面高さでほぼ平行に設定されている。火山荒砂が出現した付近の新旧トンネルの関係は文献4)によれば、図-7に示すようになるという。

この火山荒砂部分に関しては次の記述がある。

2. 地質および湧水

- (1) 地質
- (2) 函南方

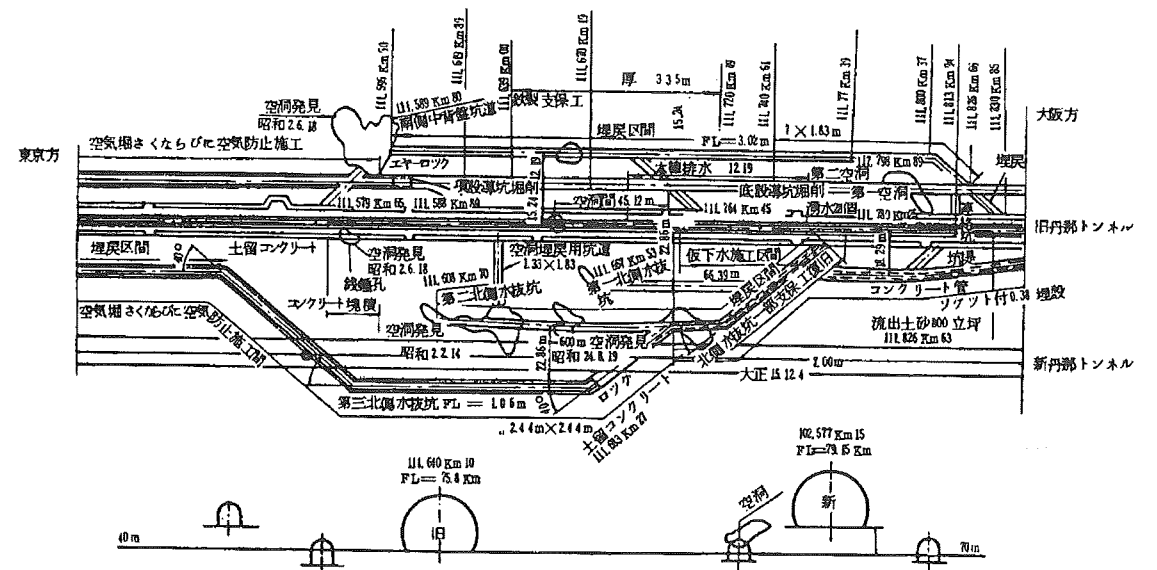


図-7 火山荒砂出現箇所付近の新旧トンネル平面・縦断関係図④

……(102k450m)付近は、旧ずい道で最大123個を記録したところであるが、水抜坑によって完全に地下水水位が低下しており、本工事では湧水はなかった。しかし、新丹那ずい道の下を横断している第3北側水抜坑を調査した結果、40ℓ/sec(2.4m³/min)の流量を確認した。

5. 102k450m付近(火山荒砂区間)

(1) 底設導坑

35年10月19日、102k570mで火山荒砂層に入り、適度に締まった地質のため、非常に作業が容易で、日進7~10mであった。10月31日、488m切羽で非常にルーズな砂層に突入し、鏡は勿論、矢板の間とか、矢返しの間からも、一寸した振動で砂が抜け出て、どうしても止め様がなく、機械類の使用を一切中止して人力で掘進しようとしたのであるが、旧丹那ずい道を通過する列車の響きで、砂が抜け出る始末で、さらに上部の空洞の肌落ちが発生し、山鳴りが12時間以上も続いた。

11月4日から補強のために、切羽付近10m間の仮巻きコンクリートを施工した。その後は鉄矢木を使用して掘進し、直ちに仮巻きコンクリートを打設した。470mからは地山もやや締まり、比較的作業は容易になったが、火山荒砂層が続いたので安全を期し、523mから403mまで120m間の仮巻きコンクリートを実施した。

(2) 側壁導坑

地山の地耐力が、半断面アーチ支保工を支えるのに不足と考えられたので、導坑仮巻きコンクリート区間の切り上げ掘削には、側壁導坑方式を採用した。……

(3) 切り上げ掘削及び覆工

側壁コンクリート完了と同時に、102k366m地点の切上がりより大阪方に半断面掘削を進めた。473mでルーズな砂層が露われたので掘削を一時中止し、470mまでアーチコンクリートを延長した。……頂設は……砂の流出を防ぎながら進み、……495m地点の締まっ

た地山で打ち切った。

丸型掘削のとき、470m~475m付近上部の空洞から肌落ちを生じ、山鳴りが続いたので、473m~483m間は、50cmの仮巻きコンクリートを打設出来る掘削断面をとって、レール支保工を建込み、仮巻きコンクリートを打設し、475mまでアーチコンクリートを進めた。

5月2日から14日までの間に480m~489.5m間の200H……上部アーチを11基建込んだ。5月14日、空洞肌落ちのショックでこの11基の支保工が1.2m沈下し、仮巻きコンクリートにもクラックが発生した。とりあえず474m~480m間のアーチコンクリート(巻厚90cm)を実施し、続いて484mまでは70cmの鉄筋コンクリートを打設した。

上記の記述を見るかぎり、荒砂層の出現は在来線と比較して約180mほど奥から始まったことになる。荒砂層は在来線では文献3)の竣工図其の3による限り、8,200呎までの約340m間続いていたことになっている(文献2)や3)では既述のとおり8,000呎まで続いたとなっているが、ここでは竣工図の記載を優先する)。

しかし、新幹線トンネルに関しては砂層の終点は、102k403m付近までは続いていたと考えてよさそうな曖昧な記述があるだけである(これが正しいとすれば、在来線の地質変化点とほぼ同じ付近となる)。

これらから総合して、新幹線側の火山荒砂層は①環状凹地の範囲内にあり、②在来線側の半分ほど短い(環状凹地の縁に近い分だけ短い)分布となっているようである。

なお、文献4)のトンネル縦断・平面図には簡単な地質の記載があるが、本文中で用いられている「荒砂」と明記されたものはない。また、「泥岩黒砂互層」という記載は本文中にもない。該当する付近(102k610~650m付近)に灰色安山岩ないしは黒色玄武岩という記載がある。黒色玄武岩と一括されている中に泥岩黒砂互層と同様の地質があるのかもしれない。

4 下丹那の環状凹地の地形・地質

4-1 環状凹地地形

図-8は地理調査所(現国土地理院)が明治18~19年に測図縮図し、大正5年に修正した2.5万分の1地形図から丹那盆地を含む当該地を示したものである。この地図によれば、丹那盆地やその北の軽井沢、田代へと断層地形も明瞭に図示されているだけでなく、本論が対象としている柿沢川本流から下丹那で北側へ弧状に分岐する環状凹地もはっきりと表現されている。計画当時は概略計画の使用に耐える精度の地形図はなかったのだと思っていた私にとって、これは意外な発見であった。

しかし、丹那トンネル工事誌をはじめとするいくつかの文献の中にこの種の地形記述は全くない事実からして、地形から地質を考えてみようという意識は全くなかったことになる。トンネル十訓の中にある「地相は人相、山の性状」という教えはこの当時の技術者たちには未だ芽生えていなかっ

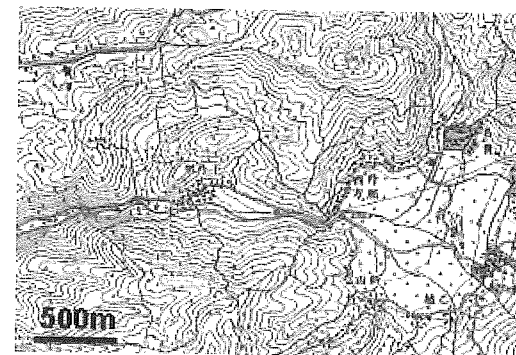


図-8 丹那・下丹那付近の大正時代地形図



写真-3 1947年米軍撮影の当該地空中写真(写真は図-8とほぼ同じ範囲をカバー)

たのだろう。

さて、その地形を空中から見ればどう見えるのだろうか。写真-3は太平洋戦争後の1947年に米軍撮影の空中写真から図-8とほぼ同じ範囲をトリミングしたものである。丹那盆地左側の環状凹地の特徴が良く捉えられている写真である。

写真-4の3枚一組の写真は上空約2,000mのへ

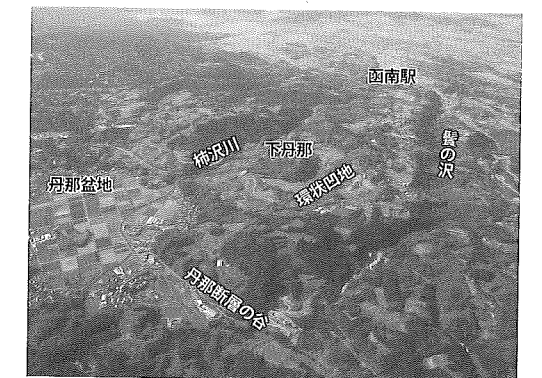
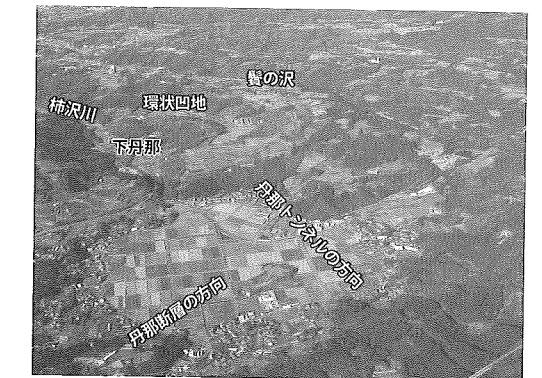


写真-4 空から見た下丹那の環状凹地と丹那盆地(上:丹那盆地南東から、中:丹那盆地北東から、下:凹地の西から丹那盆地を奥に望んだもの)2009.12大島撮影

リコプター機上から環状凹地を眺めたものである。丹那盆地との位置関係でその大きさや凹みの程度が理解できるであろう。

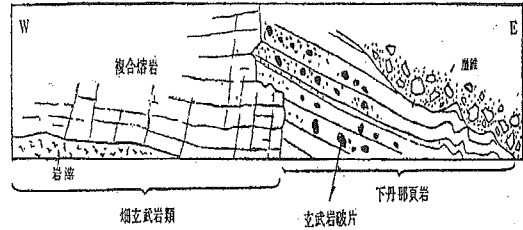
この環状凹地の特徴は、丹那盆地と違って、中央部に弧状の高まりがあることと、南側を東西に貫く丹那断層の南北方向の谷地形(丹那盆地を含む)を源とする柿沢川本流が横断している点である。施工中の大量湧水の供給源はこの柿沢川からの表流水であったろうと考えられるような水文地形環境にある。

なお、丹那盆地中央東寄りに南北に100m程度の細長い台地状の高まりが見える(写真-3, 4(上)参照)。丹那断層は当地地の西端部長軸方向に存在しているが、この地質の詳細は不明である。

4-2 下丹那頁岩層

久野久は地質調査所から発行された7.5万分の1地質図「熱海」図幅の中で、筆者らが特異な地形ではと思った盆地状の部分に局所的に分布する下丹那頁岩層(SS)なる地質を記載している⁵⁾。その記載を以下に要約略記する。

- ① この地質の初記載者は津屋弘達(1937)である。
- ② 下丹那西方自動車道路(熱海図幅西縁よりわずかに西寄り、沼津図幅内)に(柿沢川本流から北へ弧状に分岐した谷底に沿って)局所的に露出する灰色～黄色の頁岩。
- ③ 分布は熱海図幅西縁のわずかに西方までであり、層厚も50mを著しく越えることはない。
- ④ 頁岩中には白色軽石、火山礫の層が介在。さらに、木片、木の葉、珪藻などを含む湖底堆積物。
- ⑤ この位置の直下、丹那トンネル内でも西口から2,150m(約7,054呎)の地点付近に下丹那頁岩の続きと考えられる凝灰岩質頁岩および火山砕屑岩などが露出(Tsuya: 1937)。ここでも木の葉および珪藻を含む。
- ⑥ 本層は局所的な転位を受けている。下丹那では東に40度、その西では東に20度傾斜。丹那トンネル内では直立に近いところがある。
- ⑦ 畑玄武岩類と不整合の関係にある本層中に



第17図 下丹那西方道路における畑玄武岩類と下丹那頁岩との不整合。頁岩は凝灰岩に接する付近で多量の玄武岩破片および同岩層を含み、東方では局所的にもっている。

図-9 文献5)に示されている下丹那頁岩層露頭スケッチ図

は下位の玄武岩などの破片や、玄武岩質岩滓のみよりなる薄層さえある(図-9参照)。以上から、畑玄武岩の噴出終了後にこれに浸食が働き、その凹所に頁岩の堆積が行われ、基盤の玄武岩類の岩屑がこの堆積湖盆中に流れ込んできた。

- ⑧ 多賀火山溶岩(Tv₅)が下丹那頁岩を不整合に覆っている。その理由は、頁岩層に見られる局所的に大きく傾斜した程の変動はこの付近の多賀火山溶岩には見られないこと。
- ⑨ 津屋(1937)は下丹那頁岩をその岩質(とくに火山噴出物の岩質)および上下岩層との関係から古期更新世であろう、としている。

丹那トンネルとの関係で注目すべきは、下丹那頁岩は坑内に出てきた泥岩黒砂互層と同じものと見なし(⑤の記述)、畑玄武岩(ここでは三島方の集塊岩)とは不整合で接しており(⑦の記述および図-9)、これらは湖底堆積物である(④の記述)としている点である。

すなわち丹那トンネル最大の湧水の遮水壁となった泥岩黒砂互層は、その約200m直上部的下丹那地区地表部に分布する湖底堆積物の下丹那頁岩層と同じものとしているのである。

4-3 遮水壁となった泥岩黒砂互層、帯水層となった火山荒砂層の分布

これまでに述べてきたことをもとに、突発的大湧水の原因となった泥岩黒砂互層とその上位に堆積していた火山荒砂層の分布を、下丹那の環状凹地地形との関係で整理してみると、おおむね次のようになる。

- ① 丹那トンネルでは西坑口から約2,160mから泥岩、荒砂層に変わり、それは約2,500mまで続く。
- ② 丹那トンネルの北側50mに位置する新丹那トンネルでは、同層は旧丹那よりも約180m奥から出現し始め、ほぼ同じ位置で終わる。
- ③ 両トンネルにおける同層の始・終点は、おおむね環状凹地内を走る、環状道路の内側に一致する。

5 下丹那環状凹地を避けた路線を選んでいたら?

以上の展開から、丹那トンネル最大の湧水を記録した三島口7,080呎の大量湧水は下丹那の環状凹地の湖底堆積物に起因したものであったという考えに読者はおおむね賛成していただけたと思う。筆者は長年鉄道トンネルの路線選定にかかわってきた。そして、地質技術者の注意すべき路線選定上のポイントとして九つの事項を取り上げている¹⁾。

今回の下丹那の例は、そのうちの、「⑤盆地や沢の直下を併行するのは避けよう」に相当する。

そこで、熱海、三島方の両坑口位置はそのままとして、下丹那の環状の凹地を北に避け、ついでに丹那断層が走る盆地も北側に極力避けたトンネル路線を考えてみた(図-1参照)。この私案路線は、現路線より北へ最大約450m迂回している分、延長は約100m長いという欠点があるが、逆に地質的問題(第2章で述べた六つの難場など)が次に記載のように軽減される利点も考えられる。結果的にもう一つの路線選定上のポイント、「①急がば回れ」、も考慮したことになる。

(1) 熱海方難場

- ・熱海方の9,000、10,000、12,000呎断層の3難場(難工事の度合いは、土かぶり約500mの9,000呎断層が最大で、土かぶりが小さくなっていく後者ほど少し楽だった)は、滝地山を過ぎてすぐの鞍部(熱函道路の箱根の稜線を貫く鷹ノ巣山トンネル西坑口付近から和田山に沿ったNW-SE系統の沢部; 図-1参照)に

発達した断層群に伴う難工事と見なされる。私案路線ではこの断層群に対し、最大土かぶりを約250mと小さくできているので、かなり有利といえるかもしれない。

(2) 三島方難場

- ・第1の難場(4,950呎)に関してはここに想定されている断層に対し、鬢の沢側へ振った分だけ土かぶりが幾分小さくできており、路線変更の効果が若干なりとも期待できるかもしれない。
- ・第2の難場(7,080呎、下丹那の凹地地形部)に関しては、丹那トンネル最大の湧水の原因ともなった湖底堆積物層を避け得ているため、集塊岩の中を比較的順調に掘削できたものと考えられる。併せて、恒常的な大量の恒常湧水の源となっているとみなされる柿沢川からの引水を抑えているため、下丹那および丹那盆地の南側に大規模に発生した漏水現象もこれほどのものにはならなかったと考えられる。
- ・第3の難場(12,000呎)に関しては、盆地直下の通過距離が1/5程度と短くなっている効果はトンネル施工や漏水問題(とくに盆地南側)などに対して悪い方には作用しないと考える。もし、私案のような地形地質に考慮した路線で計画し、施工され、上記のような利点が発揮されていたら、工事は10年程度で竣工できたかもしれないと考える。

6 おわりに

数十年の間、丹那トンネルの工事誌やそれに関する読み物を地形図や空中写真などを横に置きながら、何故こんなに難工事となったのだろうと思いつつ何度も読み返し、現地まで出向いたり、空から現地を眺めたりしてきた。今回の記述は、その思考の過程も含め、現時点での私の考えを整理したものである。

トンネルの路線選定はトンネル十訓の中の「地相は人相、山の性状」をもとに概略の前作業を行うべきだと考え、実行してきたつもりだが、今回の作業で、その教えの正しさを改めて実感できた

ような思いがする。

ただし、私案のように丹那トンネルが建設され早い時期に竣工していたとしたら、2-2節で紹介した北伊豆地震を開業後に体験することとなり、トンネルが丹那断層を境にずれ、その復旧に大きな苦勞が伴うことになったかもしれない。このことが私案路線を強く主張できない弱点となっている(余談だが、当時から「膨大な水を抜いたのが北伊豆地震の最後のトリガーになったのだ」という説を述べる地震学者達がおられた。その観点では、私案路線は漏水問題だけでなく、地震の軽減にも一役買えたかも知れない)。しかし、地震発生時期までを考慮したトンネルの路線選定や施工時期の決定は実質不可能なことを考えれば、私のような検討は十分価値あることではなからうか。

最後に、現地調査や、地形図・空中写真などの入手に関し終始協力いただいた国際航業(株)の向山栄フェロー、下丹那の異常地形に関する質問や意見をいただいた池田俊雄・長岡技術科学大学名誉教授、鈴木隆介・中央大学名誉教授の三氏に謝意を表し結びとする。

付 記

作家、吉村昭の著になる「闇を裂く道」⁹⁾は丹那トンネルの難工事の様子を市民に教えてくれる良い教材だと思う。この作品は15の節からなっているが、その中の3～5節(文庫本pp.68～176)では大正9年4月2日、熱海方坑口から317m付近で覆工作業現場の大崩壊(導坑切羽は1,363mまで達していた)で20数名が亡くなり、17名が奇蹟の生還をした事故を記している。以下はその文庫本p.176の4～7行目まで続く注目すべき文章である。

(大正9年)5月7日……大雨に見舞われたが、その直後、熱海の梅園の一部が陥没した。約一坪の広さで1mほどの深さのくぼみであった。この報告をうけた熱海建設事務所では、

測定の結果、そこがトンネルの崩壊事故現場の真上であることを確認した。つまり、崩壊してゆるんだ土石が徐々にしまり、そこにくぼみが生じたのである。

この現場は熱海方三つの難場には属さないが、3難場となった、滝地山西方のNW-SE系断層が作る断層谷と平行する初川という名の谷がが起点(熱海)方にあるのがわかるであろう(図-1参照)。梅園はこの谷の下流左岸方でそれへ合流する支流に沿ったトンネル直上部にあり、土かぶりには数十mしかなく、地質もそれほど良くなく、沢からの浸透水も適当にあったはずである。今だったら当然こういう箇所通過には十分留意する箇所であることを思えば、当時のトンネル技術者は、地形・地質条件を考慮しながら設計や施工をしていなかったのかな? と疑わせる事例であろう。こういうレベルであったから、下丹那や丹那盆地の特殊な地形が、トンネルに及ぼす影響なんて想像もできなかったと言えるのかもしれない。

丹那トンネルの難工事もとで、トンネル工事には地質学の知識が必要と認識した鉄道省土木技術幹部の判断で、着工5年後の1923(大正12)年に東京帝大の地質理学士3名が入省することとなったという。「地相は人相、山の性状」なる教えはこういった多くの失敗事例をもとに生まれたのであろう。やはり、トンネル工学は机上の学問ではないのである。それは今もなお同じであるのだと思う。

参 考 文 献

- 1) 大島洋志:私のトンネル路線選定秘伝, 応用地質, Vol.45, No.4, pp.197-209, 2004.10.
- 2) 鉄道省熱海建設事務所:丹那トンネルの話, 1933.12.
- 3) 鉄道省熱海建設事務所:丹那隧道工事誌, 1936.3.
- 4) 国鉄静岡幹線工事局:東海道新幹線工事誌一静岡幹線工事局編一.
- 5) 久野久:7.5万地質図熱海図幅・同説明書, 地質調査所, 1947.
- 6) 吉村昭:闇を裂く道, 文春文庫, 文藝春秋, 1990.7.

研 究

地表面沈下抑制効果を考慮したパイプルーフの設計法

西松建設(株)土木設計部設計課課長代理 大谷達彦
 山口大学大学院理工学研究科教授 進士正人
 西松建設(株)技術研究所土木技術課 千々和辰訓

1 はじめに

近年、経済性の面から都市部のトンネル施工にNATMを適用する事例がみられるようになってきた。NATMは、十分な土かぶり確保でき、地山の強度が大きい山岳部のトンネル施工を対象に発展してきた工法である。そのため、都市部のトンネル施工に適用する場合には、切羽の安定確保や地表面沈下対策のための補助工法が必要となる。これが、都市部でNATMを適用する際の大きな問題であり、地山条件や施工条件によっては、多くの補助工法が必要となり経済面での優位性が失われる事例もある。よって、都市部においてNATMを適用する場合には、補助工法を適切に

選定し、効率よく施工することが重要である。

パイプルーフ工法は、地表面沈下対策のための補助工法のひとつであり、都市部でのNATM適用件数の増加に伴い、その採用件数も増加してきた。しかし、パイプルーフ工法の設計手法はまだまだ確立されておらず、適用時の地表面沈下を予測できる実用的な設計法がないという問題点がある。そのため、止むを得ず大規模な現場計測をあわせて実施し、地表面沈下をたえず監視しながらトンネルを施工する事例がほとんどである。また、パイプルーフ工法の抱えるもうひとつの問題として、パイプルーフ鋼管自身を設置することにより地表面沈下を引き起こす可能性がある。このように、パイプルーフ工法には、設計時および施工時に解

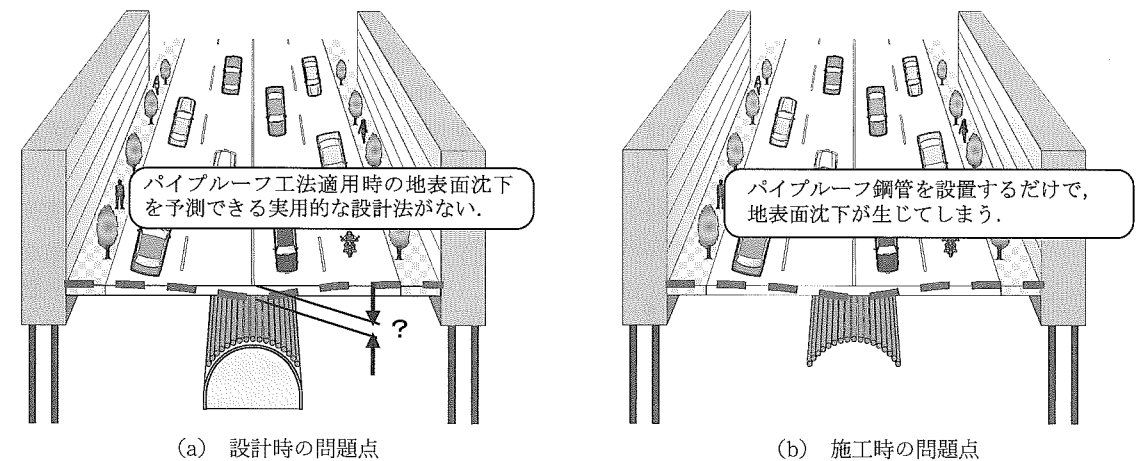


図-1 パイプルーフ工法の問題点

決すべき問題点がみられる(図-1参照)。

本論文では、まず、パイプルーフ工法適用時の地表面沈下量を予測できる新しい設計法を提案する。提案にあたっては、実用的な設計手法とすることに主眼をおき、弾性支承上梁モデルを用いた簡便な設計法とした。

次に、パイプルーフ鋼管設置開始後、早期に、最終的な地表面沈下を予測する情報化施工法を提案する。この情報化施工法では、櫻井が提案した逆解析(DBAP)¹⁾を活用する。

2 パイプルーフ工法の現状と課題

2-1 既往の施工実績

既往の176件のパイプルーフ工法適用事例について文献調査を実施した^{2)~32)}。パイプルーフ工法が山岳トンネル工事に初めて適用されたのは、1963年の東海道新幹線熱海第一トンネルである。その時期は、矢板工法が主流であり、現在のNATMに比べて支保工と地山との密着度が低かったために、地山のゆるみが増大しやすい状況であった。そのため、天端崩壊が発生し、地表面へ重大な影響を与える事例がしばしば起きていたようである²⁾。このような状況のなか、天端崩落防止効果を期待してパイプルーフ工法が用いられた。

ところが、1976年に上越新幹線中山トンネルで

初めて採用された後、山岳トンネル工事の主流はNATMとなった。NATMでは、地山との密着度の高い吹付けコンクリートを直ちに施工するため、矢板工法に比べて天端の安定性が向上した。そのため、パイプルーフ工法よりも軽微なフォアポーリング工法などの補助工法で対処できるようになった。とくに、1992年以降、長尺鋼管フォアポーリング工法(AGF工法)が普及した後は、重要構造物がトンネル直上に存在する場合など、確実な地表面沈下抑制効果が要求される場合に限定して、パイプルーフ工法が採用されるようになってきている。

ここで、図-2にパイプルーフ工法の施工年と鋼管径の関係を示す。図から明らかのように、1960年代は、200mm以下の鋼管径であったが、1970年代は300~400mm程度、1980年代は600mm程度の径の鋼管が用いられるようになってきた。そして、1990年代以降は、800mmを超える大口径鋼管を用いる事例が増加している。大口径を採用した理由として、鋼管設置時の施工条件が要因であると明記されている施工事例が8件あった。その内訳は、転石・巨礫混じりの地山において、鋼管内での人力による転石撤去が可能である管径とした事例が5件(図-2中 ◆)、脆弱な地山、地下水位の高い地山に対して、密閉型の推進工法での鋼管打設が必要であった事例が3件(図-2中 ■)である。このことから、パイプルーフの設計では、施工条件も鋼管径決定の要因のひとつとなるケースがあることがわかる。

2-2 パイプルーフ設計法の現状と課題

パイプルーフ設計法としては、従来から、一端固定梁の計算が用いられている。図-3にその概念図を示す。この一端固定梁構造モデルは、矢板工法の本最終期1982年に斎藤によって紹介されたものである²⁾。図からわかるように、パイプルーフ鋼管は、トンネル切羽にもっとも近い鋼製支保工と、前方地山

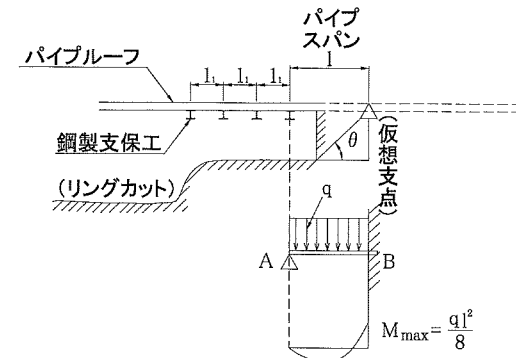


図-3 従来のパイプルーフ工法の設計手法²⁾

中の仮想支点到に支持される一端固定梁としてモデル化される。この設計法は、矢板工法の施工実績を踏まえた設計法である。パイプルーフ工法を天端崩壊防止を目的とした補助工法と捉えていて、トンネル掘進後、新しい鋼製支保工を設置するまでの間、パイプルーフ鋼管が地山荷重を支持するという考え方にもとづいている。そのため、この方法では、現在の主目的である地表面沈下抑制効果を評価することはできない。

最近では、パイプルーフ工法の沈下抑制効果を予測するために、三次元数値解析がしばしば用いられている。三次元数値解析は、パイプルーフ工法のトンネル軸方向の梁効果を評価できる有効な手法である。しかし、解析時間、解析費用に対する負担が大きく、すべてのパイプルーフ適用工事で採用するには難しい状況である。

そこで、二次元数値解析を用いて地表面沈下を予測することがある。このとき、パイプルーフ工法の三次元的な効果をバネとしてモデル化する事例^{33),34)}、パイプルーフ設置領域の地山弾性係数を向上させる事例^{19),35)}がある。二次元数値解析では、先行応力解放率の設定値が解析結果に大きく影響する。しかし、地表面沈下が問題となる小土かぶりのトンネルにおいては、この設定方法が明確になっていないことが問題となる³⁶⁾。

また、パイプルーフ工法の沈下抑制効果を評価できる計算法として、弾性支承上梁モデルが用いられることがある^{15),37)}。この弾性支承上梁モデルは、実用性の高い簡便な計算方法である。しかし、パイプルーフ鋼管を支持する地盤バネや支保工バ

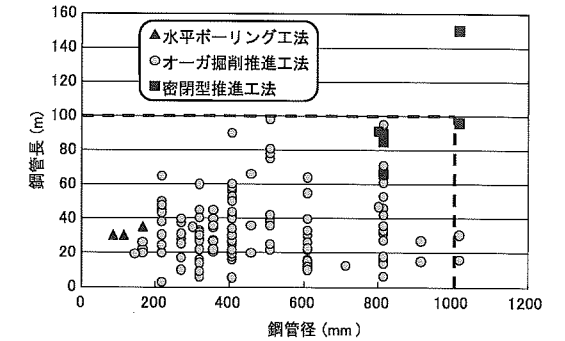


図-4 パイプルーフ鋼管設置方法の実績

ネ、作用荷重などの設定方法が確立していないために、弾性支承上梁モデルの普及が妨げられている状況である。また、鋼管沈下量は算出できるものの、地表面沈下量は算出できないという決定的な問題点を有している。

このように、パイプルーフ工法適用時の地表面沈下を実用的に評価できる設計法がないのが現状である。

2-3 パイプルーフ鋼管設置法の現状と課題

パイプルーフ鋼管設置法の実績を図-4に整理する。この図から、オーガ掘削推進工法による施工事例が非常に多いことがわかる。これは、オーガ掘削推進工法が、鋼管径1,000mm、鋼管長100m程度までの広い範囲に適用できるためである。

ところが、オーガ掘削推進工法では、パイプルーフ鋼管設置時に、問題となる大きな地表面沈下が発生した事例が報告されている^{30),38)}。これは、パイプルーフ工法の本来の目的が地表面沈下抑制効果であるにもかかわらず、パイプルーフ鋼管自身を設置する際に、地表面沈下が発生する可能性があることを示唆している。

3 地表面沈下抑制効果に着目したパイプルーフ設計法の提案

3-1 設計フロー

地表面沈下抑制効果を考慮したパイプルーフ設計法の提案フローを図-5に示す。この設計手法では、弾性支承上梁モデルを用いて鋼管沈下量を算出し、その後、鋼管沈下量から地表面沈下量を推定する。このとき、三次元有限差分法解析を実施

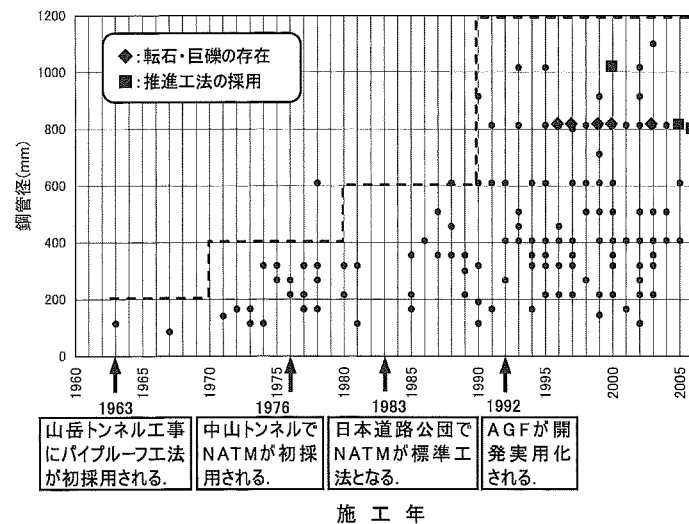


図-2 パイプルーフ工法の施工年と鋼管径の関係

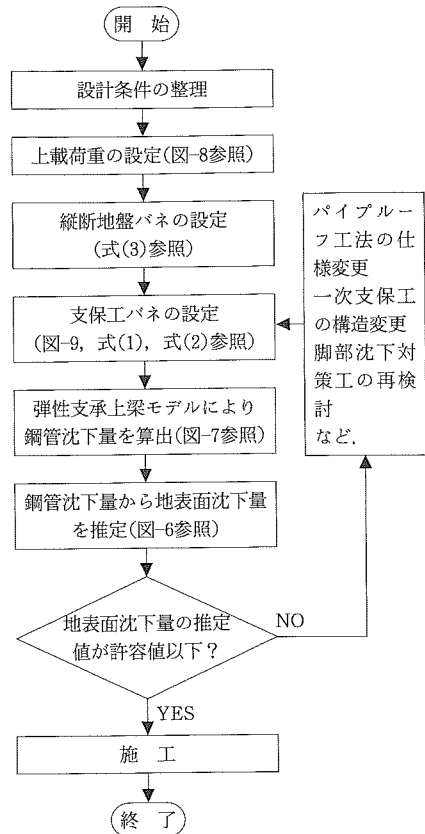


図-5 パイプルーフ工法の提案設計フロー

して作成した鋼管沈下量と地表面沈下量の関係図³⁹⁾を用いる(図-6参照)。そして、この推定値が地上構造物の許容沈下量を超える場合には、パイプルーフ工法の仕様、一次支保工の構造などを見直して、再度、地表面沈下量を推定する。この計算をくり返して、地表面沈下量が許容沈下量以下となるパイプルーフ工法を決定する。

このパイプルーフ設計法では、パイプルーフ鋼管径や鋼管間隔のみに着目するのではなく、一次支保工や脚部沈下対策にも着目して、総合的にパイプルーフ工法を設計することが重要であると考えている。

3-2 弾性支承上梁モデル

パイプルーフ鋼管沈下量を算出するために、天端部のパイプルーフ鋼管を弾性支承上梁としてモデル化する(図-7参照)。そして、切羽前方に地盤バネ(k_{v2})、切羽後方に支保工バネ(K_s)を設置する。以降に、これらの設計パラメータの設定方法

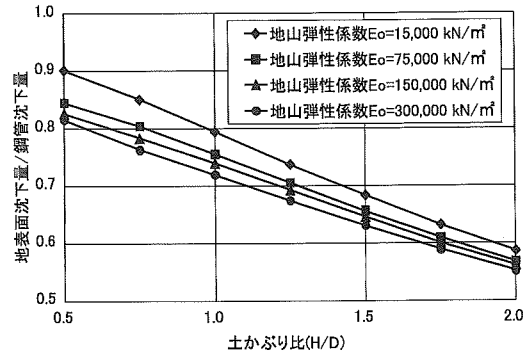


図-6 地表面沈下量の鋼管沈下量に対する比率

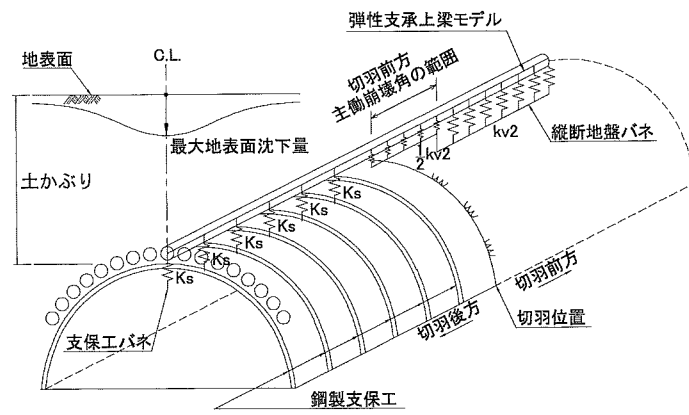


図-7 弾性支承上梁のモデル図

を示す。

3-3 設計パラメータの設定方法

3-3-1 上載荷重の設定方法

提案手法では、パイプルーフ鋼管に作用する上載荷重は、図-8に示す荷重分布図を用いて設定することとした。この図は三次元有限差分法解析で求めたパイプルーフ鋼管の沈下曲線と相似形としたものである³⁹⁾。また、切羽後方の十分離れた位置(切羽後方 $2D$)では、全土かぶり荷重がパイプルーフ鋼管に作用すると考える。

3-3-2 支保工バネの設定方法

本設計法では、支保工バネを設定するために、図-9に示す横断面骨組み構造解析モデルを用いる。この計算モデルでは、周辺地山の地盤バネは式(1)を用いて算出する⁴⁰⁾。以降、 k_{v1} を「横断地盤バネ」と呼ぶ。

$$k_{v1} = \{1/0.3 \times \alpha \times E_0 \times (B_1/0.3)^{-3/4}\} \times P_s \quad (1)$$

ここに、

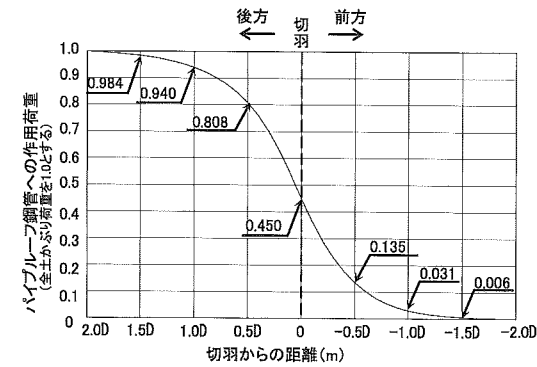


図-8 パイプルーフ鋼管に作用する荷重分布図

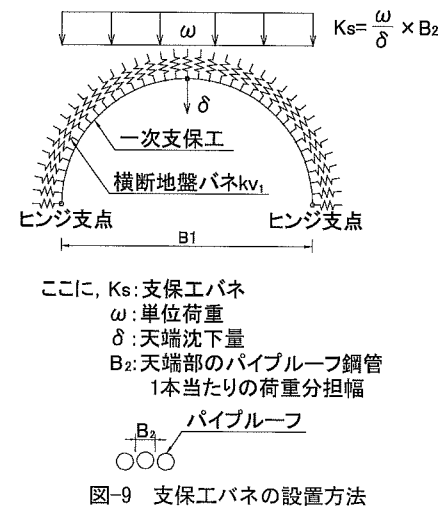


図-9 支保工バネの設置方法

k_{v1} : 横断地盤バネ (kN/m/m)

α : E_0 の測定または推定方法による係数⁴⁰⁾
 平板載荷試験で測定: $\alpha=1$
 孔内水平載荷試験で推定: $\alpha=4$
 供試体の圧縮強度試験で測定: $\alpha=4$
 標準貫入試験の N 値より推定: $\alpha=1$

E_0 : 地山の弾性係数 (kN/m²)

B_1 : 単位荷重の載荷幅 (m)

P_s : 鋼製支保工建込み間隔 (m)

単位鉛直荷重($\omega = 1$ kN/m)を作用させ天端沈下量 δ を算出した後、式(2)を用いて支保工バネを算出する⁴¹⁾。

$$K_s = \omega / \delta \times B_2 \quad (2)$$

ここに、

K_s : 支保工バネ (kN/m)

ω : 単位荷重 (=1.0 kN/m)

δ : 天端沈下量 (m)

B_2 : 天端部のパイプルーフ鋼管1本あたりの分担幅 (m)

このように、支保工バネの値は、一次支保工の構造および建込み間隔、パイプルーフ鋼管の設定間隔がパラメータとなっている。よって、適切な支保工バネが決定できれば、支保工やパイプルーフの仕様も決定できる。

また、図-9に示した支保工バネを設定するための横断面骨組み構造解析では、トンネル脚部をヒンジ支点として、脚部沈下が生じないモデルとした。このように、本設計ではパイプルーフ工法を適用する際は、脚部沈下対策を十分に検討して脚部沈下を生じさせないことが前提条件と考えている。

3-3-3 地盤バネの設定方法

切羽前方地山の地盤バネ k_{v2} は、式(3)に示す杭に対する地盤バネの算出式⁴²⁾を用いて、設定する。これは、パイプルーフ鋼管に上載荷重が作用したときの挙動は、杭の挙動と同様と考えたためである。以降、 k_{v2} を「縦断地盤バネ」と呼ぶ。

$$k_{v2} = \{1.21 \times (\alpha \times E_0)^{1.103} \times D_p^{-0.310} \times (E \times I)^{-0.310}\} \times D_p \quad (3)$$

ここに、

k_{v2} : 縦断地盤バネ (kN/m/m)

D_p : 鋼管径 (m)

E : 鋼管の弾性係数 (kN/m²)

I : 鋼管の断面二次モーメント (m⁴)

3-4 提案手法の適用

3-4-1 新湊川トンネルの概要

提案する設計パラメータの設定方法の妥当性を確認するために、パイプルーフ工法を用いた新湊川トンネル工事²¹⁾の計測データを適用した。

新湊川トンネルは、供用中の鉄道軌道部の直下を小土かぶり(約13.5m)で施工した(図-10参照)。このトンネルでは、トンネル掘削時の鉄道軌道部の沈下を抑制することが重要な課題であり、地表面沈下抑制対策としてパイプルーフ工法(鋼管径812.6mm、鋼管長85m)を適用した。また、トンネル施工中の軌道部および周辺地山の沈下挙動を監視するために、鉄道軌道部沿いに水管式沈下計、

トンネル沿いに地中沈下計、多段式傾斜計を設置した。さらに、パイプルーフ鋼管内(天端部)に、パイプルーフ沈下計(ELビームセンサ)を設置して3.0mピッチで鋼管沈下量を計測した。

3-4-2 鋼管沈下量の算出

新湊川トンネルの弾性支承上梁のモデル図および入力値を図-11および表-1に示す。解析モデルの長さは、パイプルーフ鋼管長と同じ85mとし、モデル中央付近(坑口より40m)に切羽が位置する状況を想定した。

この弾性支承上梁モデルで算出したパイプルーフ鋼管沈下量を図-12に示す。この図から明らかのように、弾性支承上梁の計算によって求めたパイプルーフ鋼管の沈下量は計測データとよく一致する結果を得た。この結果から、設計パラメータの設定方法は妥当であると考えられる。

3-4-3 地表面沈下量の推定

次に、地表面沈下量を推定する。このとき、新湊川トンネルの土かぶり厚は13.5m、掘削幅は14.0mであるため、土かぶり比は0.96(13.5m/14.0m)となる。

また、地山弾性係数は $E_0=50,000\text{kN/m}^2$ であるため、図-6中の $E_0=15,000\text{kN/m}^2$ および $75,000$

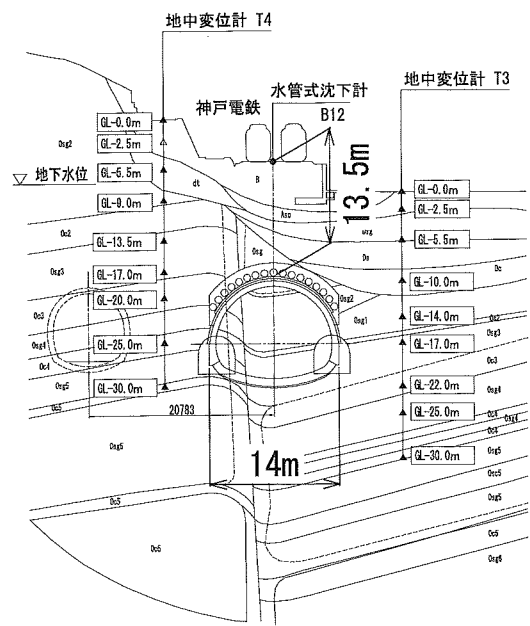


図-10 新湊川トンネル断面図

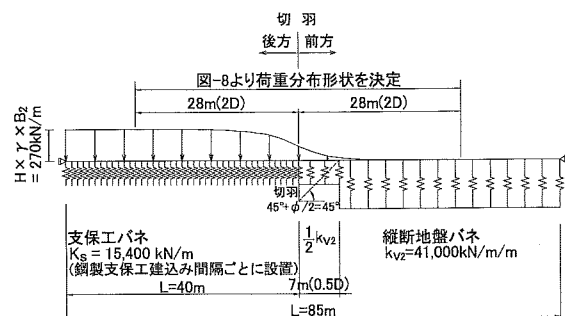


図-11 新湊川トンネルの弾性支承上梁モデル図

表-1 弾性支承上梁モデルの入力値

項目	入力値	備考
土かぶり (m)	13.5	
地山の単位体積重量 (kN/m³)	20.0	
地山の弾性係数 (kN/m²)	50,000	
支保工パネ (kN/m)	15,400	$K_p = \omega / \delta \times B_2$ ω : 単位荷重 (=1.0kN/m) δ : 図-9の方法で求めた天端沈下量 (=0.000065m) B_2 : 天端部の鋼管1本あたりの荷重分担幅 (=1.0m)
縦断地盤パネ (kN/m/m)	41,000	$k_{v2} = \{1.21 \times (\alpha \times E_0)^{1.103} \times D_p^{-0.810} \times (E \times D)^{-0.103}\} \times D_p$ D_p : 鋼管径 (=0.8126m) E : 鋼管の弾性係数 (=210,000,000kN/m²) I : 鋼管の断面二次モーメント (=0.00256m⁴) E_0 : 地山の弾性係数 (=50,000kN/m²) α : E_0 の測定または推定方法による係数 (=1)

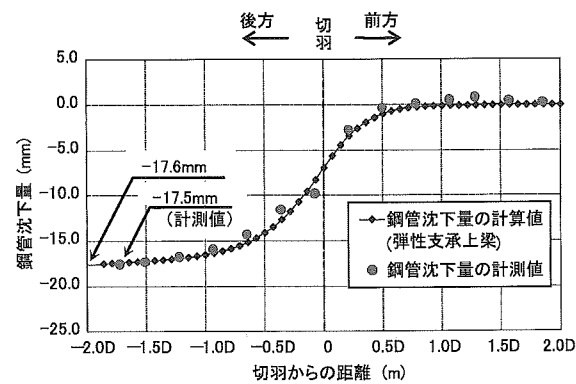


図-12 鋼管沈下量の算出結果

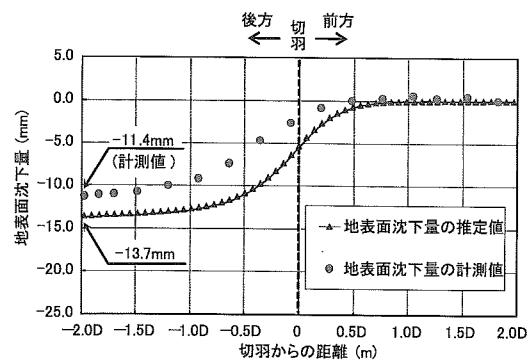


図-13 地表面沈下量の推定結果

kN/m^2 のラインから内挿して、地表面沈下量と鋼管沈下量の比率は78%と読みとることができる。この比率にもとづき、図-13のように地表面沈下量を $17.6\text{mm} \times 0.78 = 13.7\text{mm}$ と推定した。この推定値と実測値11.4mmとの差異は約20%程度であり、地表面沈下の推定値としては、十分な精度であると考えられる。

4 パイプルーフ鋼管設置時の情報化施工の提案

4-1 情報化施工フロー

パイプルーフ鋼管径に対して、鋼管先端シューが大きくなっていて、鋼管周辺に余掘りが生じる(図-14参照)。そこで、パイプルーフ鋼管挿入直後に裏込め注入を行い、余掘り部を充填すれば地表面沈下抑制に効果的と考えられる。そのため、地表面沈下に対する制約が非常に厳しい場合には、各鋼管挿入後、直ちに裏込め注入が行われる。しかし、状況によっては作業効率も合わせて考慮して、数本の裏込め注入を同時に実施することも考えられる。

オーガ掘削推進工法を用いたときに大きな沈下量が生じる原因は、この裏込め注入の施工時期の影響が大きいと考えられる。

本章では、パイプルーフ鋼管設置時の地表面沈下を抑制するために、図-15に示す情報化施工を提案する⁴³⁾。この情報化施工では、パイプルーフ鋼管設置時の地山変位計測データを用いて逆解析(DBAP)を実施し、地山の弾性係数を評価する。そして、この弾性係数を入力値としてFEM解析

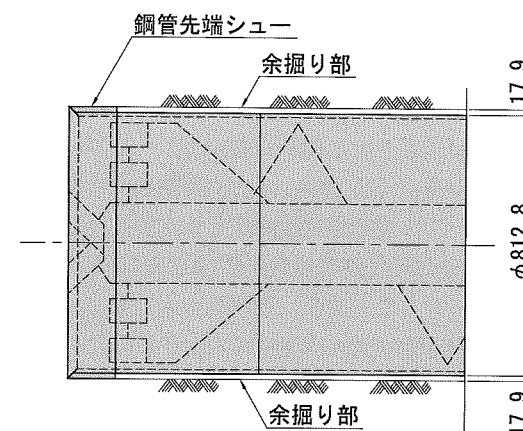


図-14 パイプルーフ鋼管周辺の余掘り

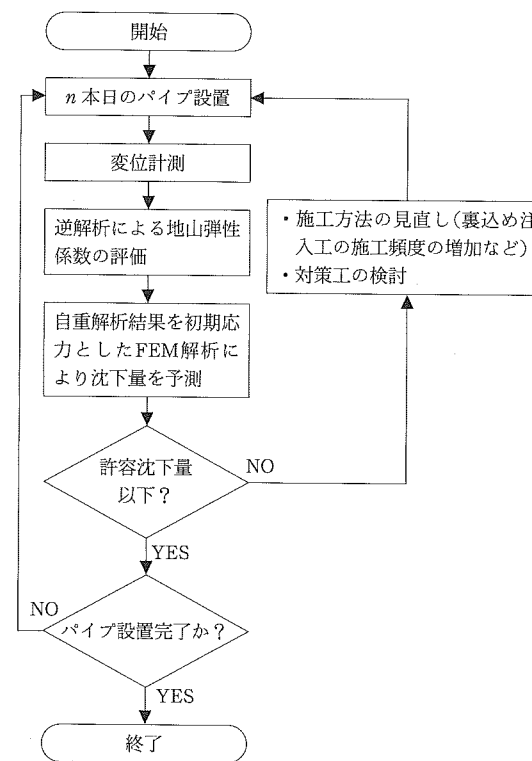


図-15 鋼管設置時の情報化施工の提案フロー

を行い、その後のパイプルーフ鋼管を設置するときの地表面沈下量を予測する。その予測値が地表面沈下量の許容値以上となる場合には、裏込め注入工の施工頻度を増加するなど、施工方法の見直しを行う。

本章では、第3章と同様に新湊川トンネル工事の計測データを適用して、提案する情報化施工法の妥当性を検証した。

4-2 FEM解析による沈下量の予測方法

4-2-1 地山弾性係数の評価

地山弾性係数を評価するために逆解析を実施する際、パイプルーフ鋼管設置のモデル化が重要な課題となる。ここでは、オーガ掘削による応力解放によって、地表面沈下が生じると考え、パイプルーフ部を円形の素掘り掘削(応力解放率100%)でモデル化した。また、逆解析の入力値として、水管式沈下計、地中変位計(T3, T4)の計測データを用いた(図-10参照)。

逆解析から得られたパイプルーフ鋼管設置段階ごとの地山弾性係数を図-16に示す。この図のように、パイプルーフ鋼管1本目の逆解析で得られた地山弾性係数と、17本すべてを設置完了したときの地山弾性係数はほぼ同じ値を示す。また、その間の施工段階(2本目設置~16本目設置)についても、地山弾性係数の値は、ほぼ同じ値となった。このことは、パイプルーフ鋼管設置開始後の早い段階において、地山の弾性係数を評価でき、それを用いて鋼管設置最終段階の沈下量を予測できることを示唆している。

4-2-2 初期応力の設定

図-17に、逆解析で求めた地山の初期応力を示す。この図から、パイプルーフ鋼管1本目設置完了時では、主応力の傾斜角は $\theta = 2.3^\circ$ と小さいことがわかる。それに対して、17本目設置完了時には、主応力の傾斜角は $\theta = 32.8^\circ$ と大きくなり地表面傾斜とほぼ等しくなっていることがわかる。これは、パイプルーフ鋼管の設置範囲が広がると、設置時の地山挙動が地表面形状の影響を受け

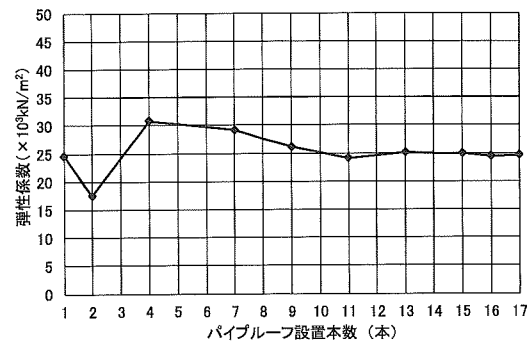


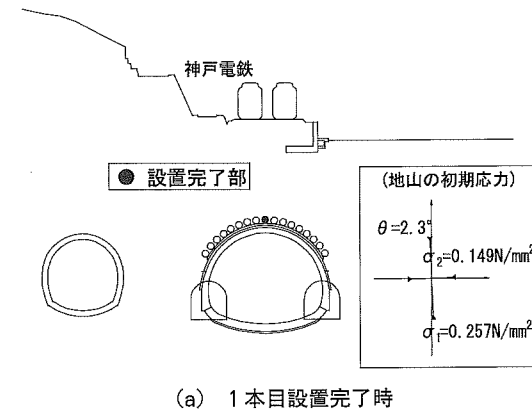
図-16 逆解析による弾性係数の変化

るようになるためであると考えられる。

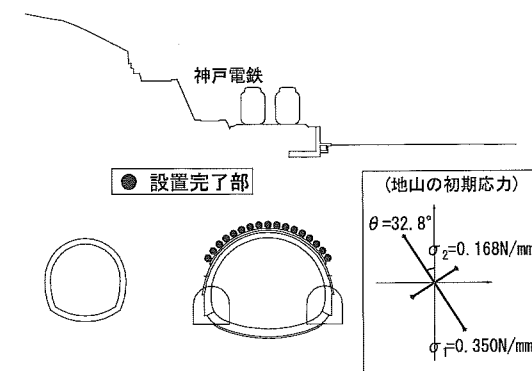
そこで、地表面形状を考慮した自重解析を実施して、17本目設置完了時の逆解析結果と比較した。その結果、図-18のように、自重解析で求めた初期応力は、17本目設置完了時の逆解析結果とほぼ一致する結果となった。この結果から、パイプルーフ設置時の地山挙動は、地表面形状から決まる地山の初期応力に強く依存することがわかる。

4-3 提案手法の適用

新湊川トンネルの実際のパイプルーフ鋼管設置

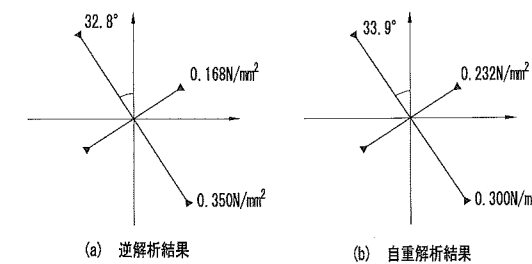


(a) 1本目設置完了時



(b) 17本目設置完了時

図-17 逆解析による初期応力



(a) 逆解析結果 (全パイプルーフ(17本)設置完了時)

(b) 自重解析結果

図-18 初期応力の比較

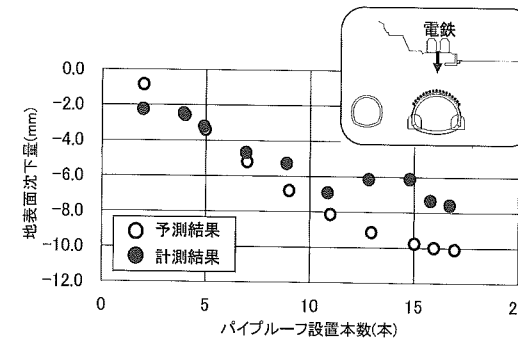


図-19 鋼管設置時の地表面沈下量の予測結果

順序を考慮して、鋼管設置時の地表面沈下量を予測した。予測解析では、鋼管1本目の逆解析で求められた地山弾性係数(25MPa)を用いて、2本目以降の地表面沈下を予測した。予測解析では、地山の初期応力を自重解析で算出した。図-19にパイプルーフ鋼管設置時の地表面沈下の予測結果を示す。この図から、5本目までの予測結果は、実施工時の計測結果とよく一致していることがわかる。それに対して、7本目以降は、計測結果が予測結果より小さい値となった。これは、実施工時において、5本目までは数本のパイプルーフ鋼管挿入後にまとめて裏込め注入を行ったものの、6本目以降は1本ごとに裏込め注入を行ったことが理由と考えられる。このように、提案する情報化施工フローを適用し最終沈下量を予測することによって、迅速な対応が可能となり、鋼管設置時の地表面沈下を抑制することができた。

この適用結果から、提案する情報化施工により、鋼管設置時の地表面沈下を監視できることがわかった。また、裏込め注入頻度を増加することによって、鋼管設置時の地表面沈下量を抑制できることが確認できた。

5 おわりに

都市部へのNATMの適用事例が増加している中、地表面への影響を抑制するためのパイプルーフ工法の必要性も高まっている。しかしながら、従来は、パイプルーフ工法の主目的である地表面沈下抑制効果を評価できる実用的な設計法が確立されていなかった。

この問題を解決するために、本論文では、地表面沈下抑制効果を評価できる新しいパイプルーフ設計法を提案した。提案にあたっては、実用的な設計手法とするために、弾性支承上梁モデルを用いた簡便な設計法とした。そして、三次元数値解析の結果を踏まえ、弾性支承上梁モデルで算出した鋼管沈下量から、地表面沈下量を推定する方法を提案した。

また、パイプルーフ工法の本来の目的が地表面沈下抑制効果であるにもかかわらず、パイプルーフ鋼管設置時に大きな地表面沈下が生じる可能性があった。この問題を解決するために、本論文では、逆解析(DBAP)を活用して、鋼管設置開始後の早い段階で計測結果をフィードバックし、設置最終段階の地表面沈下量を予測する情報化施工法を提案した。

今後、都市部のNATM施工を行ううえで、本論文で提案したパイプルーフ設計法が役に立てば幸いである。

最後に、貴重な計測データを提供していただくとともに、本研究を進めるにあたりご指導をいただきました。佐々木良作氏・(元)兵庫県、前田昌彦氏・(株)アーバンエースに対し感謝いたします。また、数多くの数値解析を実施していただきました田中信次氏・(株)熊谷組(元山口大学大学院生)、平田亮氏・鉄建建設(株)(元山口大学大学院生)、岸田展明氏(山口大学大学院生)には心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 櫻井春輔・武内邦文：トンネル掘削時における変位計測結果の逆解析法，土木学会論文報告集，No.337，pp.137-145，1983.
- 2) 斎藤重治：トンネルにおけるパイプルーフ工法・地盤，理工図書，pp.57-82，1982.
- 3) THパイプルーフ技術協会：パイプルーフ工事施工実績表，2005.
- 4) 大野公男：山岳トンネルによる地下鉄工事，神戸市高速鉄道第1次線，トンネルと地下，Vol.5，No.12，pp.39-51，1974.12.
- 5) 高松光雄・相模晃：転石地帯でのパイプルーフ工法，新潟県青海町・うわのトンネル，トンネルと地下，

- Vol.8, No.11, pp.17-22, 1977.11.
- 6) 中島弘：仙台西道路・青葉山トンネルにおけるパイプルーフ工法, 施工技術, Vol.10, No.9, pp.46-48, 1977.
- 7) 大川孝・横山治郎・石原久・小島巨：トンネル補助工法としてのパイプルーフ効果の計測と考察, 土木学会論文集, No.355/VI-2, pp.100-107, 1985.
- 8) 伊藤輝一・岩田始典・八木吉信・益田光雄：地すべり直下でのNATM施工, 篠ノ井線第2白坂トンネル(1), トンネルと地下, Vol.18, No.3, pp.27-34, 1987.3.
- 9) 土井俊二・黒田孝次：富士山麓を掘る, 東富士五湖道路籠坂トンネル, トンネルと地下, Vol.18, No.8, pp.33-39, 1987.
- 10) 石岡廣一郎・大本隆司・佐藤恒一：大口径長尺パイプルーフの限界に挑む, 八戸市3・4・11街路トンネル, トンネルと地下, Vol.19, No.11, pp.21-27, 1988.11.
- 11) 窪田雅文・斉藤小弥太・太田裕之：転石地帯をNATMで掘る, 広域農道浅間山麓 松井トンネル, トンネルと地下, Vol.20, No.5, pp.25-30, 1989.5.
- 12) 水本明喜・飯豊日出男・清沢健一・天野光也：住宅密集地における地下水下での土砂NATM, 国分川分水路下流トンネル工区, トンネルと地下, Vol.22, No.2, pp.17-23, 1991.2.
- 13) 田口善文・古賀重利・香川和夫・川畑則雄：土被りの薄いトンネルの掘削時における地山挙動, フジタ工業技術研究所報, No.26, pp.55-60, 1990.
- 14) 荻野幸男・渡辺光捷・日下部信一：パイプルーフ併用一次閉合式NATMで第三京浜道路下を抜く, 横浜地下鉄3号線北の谷工区, トンネルと地下, Vol.22, No.12, pp.25-33, 1991.12.
- 15) 唐沢尚紀・岩村巖・後藤有志・山路茂樹：重交通道路下のトンネルをパイプルーフで拡幅, 一般国道246号下瀬田アートトンネル, トンネルと地下, Vol.25, No.3, pp.45-51, 1994.3.
- 16) 豊里栄吉・岩島保・五十嵐瑞穂・梨本裕：土かぶりの薄いメガネトンネルを掘る, 第二神明道路(改築)小束山トンネル, トンネルと地下, Vol.28, No.9, pp.27-40, 1997.9.
- 17) 野村耕司・鈴木教義・中山裕治：都市NATMによる大断面双設トンネル, 名古屋高速1号線 東山トンネル, トンネルと地下, Vol.30, No.4, pp.21-29, 1999.4.
- 18) 吉田紘一・小野田雅樹・玉村良：糸・静線の蛇紋岩地帯を掘る, 一般国道148号 北小谷トンネル, トンネルと地下, Vol.28, No.11, pp.13-21, 1997.11.
- 19) 田村彰男・竹内耕司・佐藤富士弥・守屋洋一：有料道路直下に小土かぶり超大断面トンネルを貫く, 広島市古江上田方区画整理事業 古江トンネル, トンネルと地下, Vol.28, No.5, pp.17-25, 1997.5.
- 20) 青木祐司・相馬英敏・鈴木敏充：巨礫混じり地盤におけるφ800のパイプルーフ, 札幌市地下鉄東西線 寒川横断工区, トンネルと地下, Vol.28, No.7, pp.31-37, 1997.7.
- 21) 佐々木良作・高山努・塚田昌基・木村正樹・鳥居敏：鉄道直下の大断面トンネル施工時の計測管理, トンネル工学研究論文・報告集, Vol.10, pp.131-136, 2000.
- 22) 岡邦彦・丸山功・鈴木昌次・中川浩二：大口径連結式パイプルーフ工施工時の計測結果について, 土木学会第55回年次学術講演会, pp.146-147, 2000.
- 23) 松本雄二・神笠自然・黒瀬信弘・井上司：シラス盛土を新しい先受け工法で克服, 九州新幹線 薩摩田上トンネル, トンネルと地下, Vol.31, No.12, pp.7-15, 2000.12.
- 24) 瀬戸口嘉明・山田正一・栢分国治・青木俊彦・小原伸高：住宅密集地下における低土被り沖積層部の施工法, 阪神高速道路公団 換気ダクトトンネル工事, トンネル工学研究論文・報告集, Vol.11, pp.227-232, 2001.
- 25) 上川裕之・大本英輝・武藤修資・石川恭義：小土かぶり地山に大断面メガネトンネルを貫く, 四国横断自動車道 大代古墳トンネル, トンネルと地下, Vol.33, No.7, pp.19-29, 2002.7.
- 26) 竹下安司・恩塚和信・千場登・福田浩二：産業廃棄物最終処分場直下の近接施工, 九州新幹線 小塚トンネル, トンネルと地下, Vol.34, No.4, pp.7-13, 2003.4.
- 27) 木村岸夫・高橋広幸・進藤敏則・小林孝行：箱根新道直下を小土かぶりで掘る, トンネルと地下, Vol.29, No.12, pp.19-25, 1998.12.
- 28) 奥谷正・川田昭彦・毛利浩徳・日高英治：地すべり地帯の国道直下を土かぶり3mで掘削, 国道33号越知道路 野老山トンネル, トンネルと地下, Vol.36, No.12, pp.7-14, 2005.12.
- 29) 吉田良勝・林雄一郎・田澤次雄・山田伸夫・坂本欽司：高速道路直下のトンネル坑口部補助工法(パイプルーフ施工)について, トンネル工学報告集, Vol.14, pp.153-160, 2004.
- 30) 栗田幸男・石川和彦・高橋幸久：車両基地直下にパイプルーフで道路トンネルを施工, 綾瀬車両基地立体交差工事, トンネルと地下, Vol.35, No.12, pp.15-25, 2004.12.
- 31) 武友憲重・久保田英雄・西村誠一・安田亨：未固結地山における超大断面トンネルの施工, 箕面有料道路 箕面トンネル南工区, トンネルと地下, Vol.36, No.5, pp.7-15, 2005.5.

- 32) 飯島興二・梅木信夫・高橋聖二・千代谷朝男：幹線道路直下を90mのパイプルーフで克服, 東北新幹線 市川トンネル, トンネルと地下, Vol.37, No.6, pp.7-16, 2006.6.
- 33) 田口善文・後藤哲雄・香川和夫：都市NATMにおける補助工法の効果に関する疑似三次元FEM解析, フジタ工業技術研究所報, No.25, pp.49-54, 1989.
- 34) 諸戸靖史・石岡廣一郎・小坂明・大本隆司：長尺パイプルーフを使った大断面市街地トンネルの施工, 土と基礎, Vol.36, No.4, pp.15-20, 1988.
- 35) 毛利祐二・田村博邦・吉田良勝：合戸トンネル JH磐越自動車道交差部 2次元FEM解析について, トンネル工学報告集, Vol.14, pp.47-53, 2004.
- 36) 田中信次：数値解析によるパイプルーフ工法のモデル化と合理的な施工法の検討, 山口大学大学院理工学研究科博士前期課程修了論文, p.95, 2003.
- 37) 田中俊作・西村昭彦・森長正美・白石誠一：地下道建設におけるパイプルーフの応力解析(解析結果), 土木学会第48回年次学術講演会論文集, pp.334-335, 1993.
- 38) 平原光彦・占部徹・木本博・河野謙二・富田正浩：パイプビーム工法による函体構築(その2), 西松建設技報, Vol.17, pp.136-141, 1994.
- 39) 大谷達彦・進士正人・千々和辰訓：パイプルーフ設計法としての弾性支承上梁モデルとその設計パラメータの提案, 土木学会論文集F, Vol.64, No.4, pp.450-462, 2008.
- 40) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説, IV下部構造編, pp.255-256, 2002.
- 41) 土木学会：トンネル標準示方書, 開削工法・同解説, p.181, 2006.
- 42) 矢作樞・五十嵐功・田中英明：新版よくわかる杭基礎の設計, 山海堂, p.60, 1999.
- 43) 大谷達彦・佐々木良作・前田昌彦・進士正人・櫻井春輔：地山変位計測結果の逆解析に基づくパイプルーフ工法施工時の情報化施工, 土木学会論文集, No.714/VI-56, pp.239-244, 2002.

わかりやすい トンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 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, 球形空洞周りの応力と変位 ○弾性論による解析／弾性力学の基礎, 軸対称円形トンネル, 線対称円形トンネルの弾性解, 円形トンネルで地山の自重を考えた弾性解析 ○弾性解以外の検討／トンネルの大きさの影響, 時間の影響, 表面の影響, 山はね, ゆるみと締めり, 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 東京都新宿区若戸町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.443

今月の主な入札結果

(3月10日～4月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単 位 百 万 円
北陸農政局	佐渡(二期)農業水利事業外山幹線水路羽茂工区(その4)	加賀田組	177.8
〃	〃	(その5) 中川建設	122.2
東海農政局	新濃尾(二期)農地防災事業宮田導水路1号サイホン	鹿島建設	4,830
九州農政局	H21筑後川下流白石平野(一期)農業水利事業佐賀西部導水路白石線(下分南工区)	三幸建設工業	223.3
〃	〃 (二期) 〃 山脚導水路(六角川横断工区その3)	西松建設	338.8
〃	H21筑後川下流農業水利事業幹線水路佐賀西部高域線(川上上流工区)	若築建設	241.7
東北地整	R13号上院内T	前田建設工業	2,200.4
〃	R108号花洲山1号T	安藤建設	482.5
関東地整	さがみ縦貫葉山島T	大成建設	10,178.5
〃	新笹子T補修	長田組土木	151.8
〃	H21日本橋地下歩道建築	イズミコンストラクション	162.5
北陸地整	両鬼函渠その2	笠原建設	128.4
近畿地整	近畿自動車道紀勢線平間T	森本組	498
九州地整	熊本3号津奈木T新設	大林組	3,958
〃	鹿児島3号新武岡T新設(2期)	ハザマ・銭高JV	4,696.3
水資源機構	思川開発付替県道1号T	りんかい日産建設	1,310
〃	川上ダム付替県道青美線T	清水建設	628
〃	大規模地震対策東部幹線併設水路東ヶ谷工区	大豊建設	1,137
群馬県	利根川上流(県央処理区)高崎安中2号幹線補助公共未普及解消下水道事業管渠築造第2工区	高長・カワナベJV	353
〃	利根川佐渡(佐渡処理区)伊勢崎幹線補助公共未普及解消下水道事業管渠築造第1-1工区	関東建設工業	161.15
都・下水道局	港区西新橋三丁目付近再構築その2	日興建設	178.88
〃	港区芝浦二丁目付近再構築	ノバック	362
〃	練馬区中村一、三丁目付近枝線	鹿島建設	1,125.46
〃	王子西一号幹線	フジタ	2,091.6
〃	隅田川幹線	東急建設	2,598.9
〃	小松川第2ポンプ所建設その9	清水建設	3,409.21
三重県	R167号第二伊勢道路2号T(仮称)堅神工区国補道路改良	ハザマ・山野・亀川JV	3,360
〃	〃 河内工区 〃	熊谷・徳倉・中島JV	2,669
京都府	R307号道路新設改良(仮称)新奥山田T	吉村・杉山JV	349.9
札幌市	国庫補助事業豊平川処理区I-100下水道新設	清水・勇JV	1,648
さいたま市	鴨川右岸第2-1排水区下水道	佐伯工務店	127.06
〃	鴻沼第23排水区下水道	とだか建設	103.56
新潟市	西下115号五十嵐排水区第6雨水枝線143~148他下水道	中元組	134.6
大阪市	高速電気軌道第3・4号線車両回送用連絡線設置	銭高・大本・名工JV	4,120
〃	天満堀川抽水所雨水滞水池(その1)	ハザマ・青木マリンJV	1,767
広島市	八幡地区下水道築造21の8号	銭高・鴻治JV	1,447.7

連載講座

ずり処理入門(5)

—発生土の運搬方法・タイヤ方式(2)—

「ずり処理入門」連載講座小委員会

① 前回までの概要

ずり処理は、切羽で発生したずりの積み込み、坑内運搬、(積み替え作業)、仮置き場での排土・再積み込み、一般道運搬、盛土場処理の作業に分かれ、坑内運搬方法としては、レール方式とタイヤ方式が一般的で、最近ではベルトコンベヤ方式もある。

前回、タイヤ方式による坑内運搬方法について各機械の種類と特徴、組み合わせおよび選定する際に配慮する事項について説明した。

今回は前回に引き続き、タイヤ方式によるずりの坑内運搬方法について施工事例および方法選定の要素を説明する。

② 施工事例

タイヤ方式によるずり運搬機械には、以下のものが使用されており、それぞれの事例工事を下記に説明する。

【ずり運搬機械】

- ① 小型ダンプトラック 2~4t 積み
- ② 坑内用普通ダンプトラック 10t 積み
- ③ 坑内用重ダンプトラック 20~40t 積み
- ④ コンテナ式ダンプトラックあるいはローダ
- ⑤ ロードホウルダンプ

各事例において、下記内容を記述する。

【施工事例記載内容】

- ① 工事概要

② 地質概要

③ 工事の特徴

④ ずり処理概要

2-1 天神川広域基幹河川改修工事(かき込みローダ+4t積みダンプトラック)

2-1-1 工事概要

一級河川園部川の支流天神川の洪水による南丹市園部町の市街地浸水被害を解消するための放水路を築造するものである。表-1に工事概要を、図

表-1 工事概要

工事名	一級河川桂川(園部)天神川国庫債務負担行為広域基幹河川改修工事
発注者	京都府
工事場所	京都府南丹市園部町美園町~小山東町地内
工期	平成18年12月1日~平成23年3月10日
延長	631.5m
掘削断面積	22.24m ²
掘削方法	NATM・機械掘削
ずり出し方法	タイヤ方式(4t積み小型ダンプ)



図-1 工事位置図

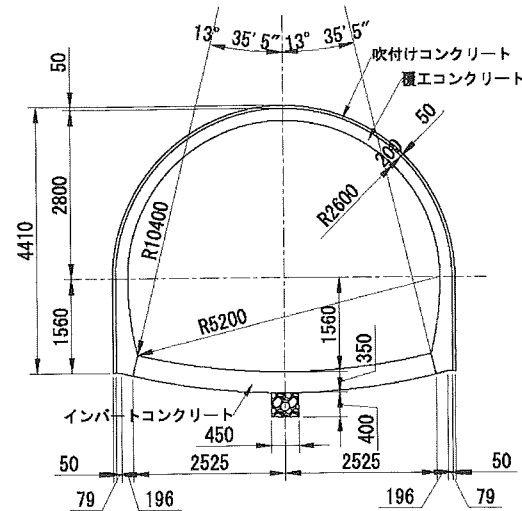


図-2 横断面図¹⁾

-1)に工事位置図を、図-2)に標準断面図を示す。

2-1-2 地質概要

本トンネル掘削部を構成する地質は中生代～古生代・ジュラ紀～石炭紀・基盤岩丹波層群の凝灰岩層、頁岩層からなり、まれに砂岩、チャート層が含まれる。この区間には頁岩層が主体をなして分布するものと考えられ、深部にある部分は風化を強く受けていないため、岩級層区分としてはCM層を主体とする。

2-1-3 工事の特徴

- ① 全長の約45%が、b岩種丹波層群頁岩層主体のCII等級地山である。
- ② トンネル線形は坑口より直線部が100m、単曲線(R=200)で114.1m、残りの終点部までの約417mが直線となる。縦断勾配は掘削起点側より0.4%の一定の上り勾配である。
- ③ トンネル施工法は機械掘削による「補助ベンチ付き全断面掘削工法」で施工する。
- ④ 起点坑口は、ボーリングデータより、崩積土が分布し、下部の粘土化した基盤岩の上面をすべり面とするすべりの発生および天端崩落・地表面沈下が懸念される。また、坑口付近の天端上方9mに国道9号線が走るため、坑口の施工に対しては十分なる検討および計測が必要とされる。坑口部の補助工法として、パイプ工およびAGF工を実施する。

表-2 ずり処理機械

機械名	性能・型式	台数
積み込み機械	かき込みローダ(シャフローダKL-20) (ずり積み機/クローラ式・バックホウ・コンベヤ付き150m ³ /h)	1
運搬機械	4t積み小型ダンプトラック	2

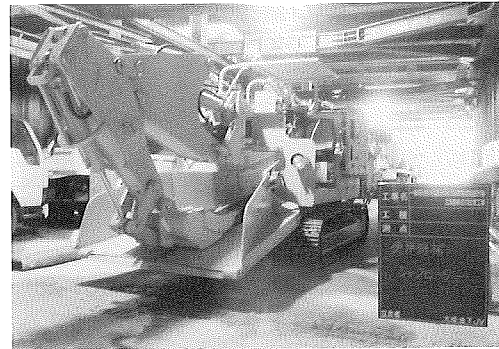


写真-1 積み込み機械(ずり積み機)¹⁾



写真-2 ずり積み状況¹⁾



写真-3 ずり仮置き場での積み込み状況¹⁾

- ⑤ 施工箇所周辺には民家があるため、トンネル施工による周辺家屋への影響を極力抑えるよう配慮した設備にして、夜間は作業せず昼間のみ作業にする。

2-1-4 ずり処理概要

図-2)に示すようにトンネル坑内は非常に狭隘なため、ずり積み込みにはかき込みローダ(シャフローダKL-20)を採用した。

ずりは、坑口脇の仮置き場までは、坑内での離合可能な4t積みダンプトラックで運搬、いったん仮置きした後、昼間に10t積みダンプトラックにて指定の盛土場に搬出した。ずり処理機械を表-2)に示す。

2-2 高取山工区(北行)トンネル工事(硬岩自由断面掘削機+10tおよび20t積みダンプトラック)

2-2-1 工事概要

大規模住宅団地開発や各種施設の整備の進む神戸市西部地域において、阪神高速3号線と7号北神戸線を南北に結ぶ神戸市道高速道路2号線(神戸山手線)に位置する。

当該工事は全長約2kmのトンネルのうち、北側の神戸市須磨区～同長田区に至る延長1,243mのトンネルである。

表-3)に工事概要を、図-3)に工事位置図を、図-4)に標準断面図を、図-5)に地質縦断面図を示す。

表-3 工事概要

工事名	高取山工区(北行)トンネル工事
発注者	阪神高速道路公団
工事場所	神戸市須磨区～長田区
工期	平成6年9月29日～平成14年3月31日
延長	510m(山岳部)(全長1,243m)
掘削断面積	86.7m ²
掘削方法	NATM・機械掘削
ずり出し方法	タイヤ方式(10t積み坑内用普通ダンプ、20t積み坑内用重ダンプ)

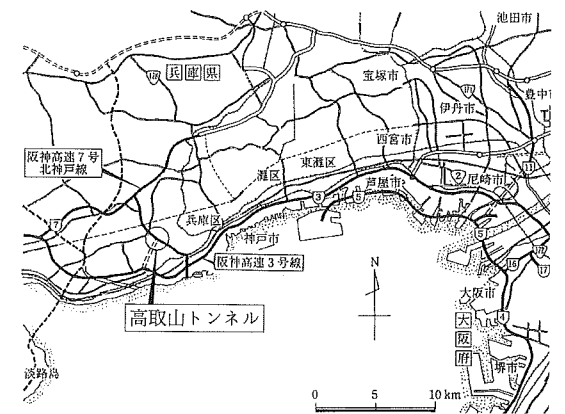


図-3 工事位置図²⁾

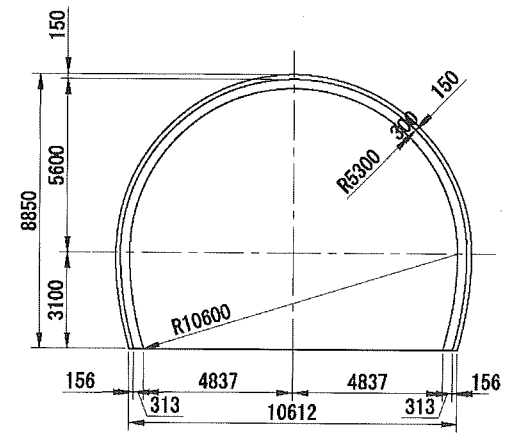


図-4 横断面図²⁾

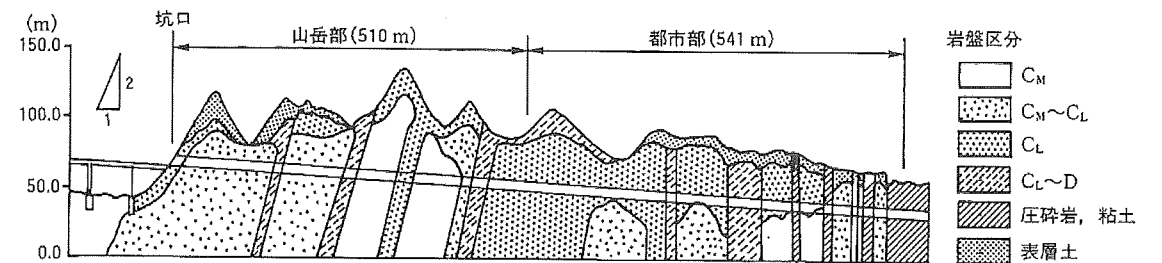


図-5 地質縦断面図²⁾

表-4 ずり処理機械

機械名	性能・型式	台数
積み込み機械	硬岩自由断面掘削機MM130R	1
運搬機械①	10t積み坑内用普通ダンプトラック	2
運搬機械②	20t積み坑内用重ダンプトラック	1

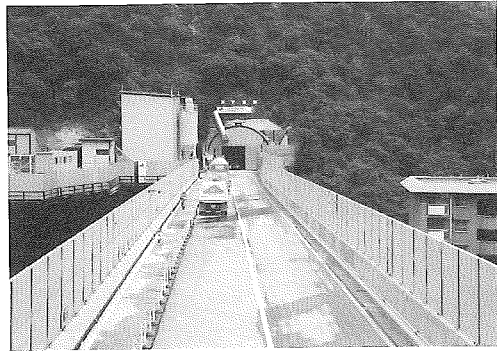


写真-4 坑外状況

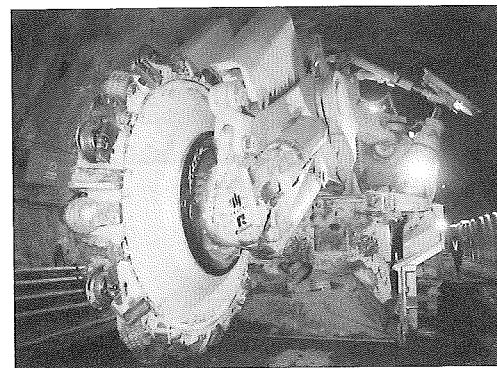


写真-5 硬岩自由断面掘削機前方

無発破工法が要求されている。

- ② 硬質な六甲花崗岩において、機械掘削を可能にする硬岩自由断面掘削機を採用する。

2-2-4 ずり処理概要

硬岩自由断面掘削機はベルトコンベヤを有しているため、掘削機から直接10tおよび20t積みダンプトラックに積み込んだ。ずり処理機械を表-4に示す。

ずりの仮置き場は坑口から約300m離れた隣接する既設トンネル内であり、運搬距離は最大800mであった。掘削機の掘削能力とダンプトラックの運搬サイクルタイムから10tダンプトラック2台と20t積みダンプトラック1台で運搬、一時的にストックした後、昼間に10t積みダンプトラックにて所定の盛土場まで搬出した。

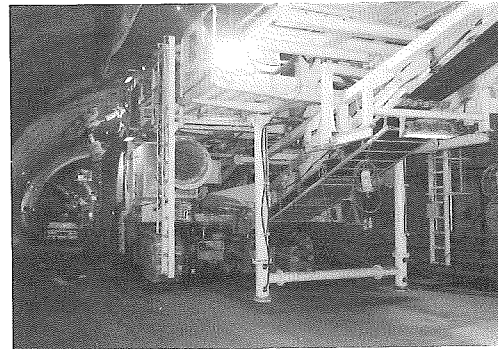


写真-6 掘削機後方(ずり積みコンベヤ)

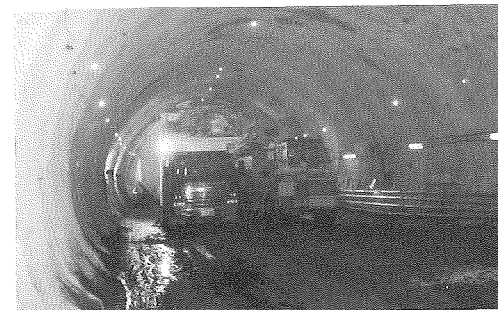


写真-7 ずり積み状況

2-3 焼坂第一トンネル工事(トラクタショベル+22t積みダンプトラック)

2-3-1 工事概要

四国横断自動車道は阿南市を起点として高松市・高知市を経由し、大州市に至る延長441kmの路線である。当工事は四国横断自動車道(高知自動車道)の延伸工事で高知県須崎市安和より高岡郡中土佐町久札までのトンネル2か所を含む延長3,383mの新設工事である。表-5に工事概要を、図-6に工事位置図を、図-7に標準断面図を示す。

2-3-2 地質概要

四国の地質帯のうち四万十帯に属し、中生代白亜紀に形成された安和メランジと下津井層が分布する。メランジとは、地層としての連続性がなく、地質時代・規模の異なる岩石が複雑に混在した、ひとまとまりの岩体である。

2-3-3 工事の特徴

- ① 岩層の層理面傾斜が90°に近く、掘削時の応力解放による肌落ちの危険性がある。
- ② 土かぶり最小14mまた小学校直下では17mと沈下や振動防止の対策が必要である。

表-5 工事概要

工事名	焼坂第一トンネル工事
発注者	西日本高速道路(株)四国支社
工事場所	高知県須崎市安和
工期	平成18年2月21日～平成21年9月2日
延長	2,040m+1,123m(トンネル延長3,163m)
掘削断面積	81m ²
掘削方法	NATM・機械掘削、発破掘削
ずり出し方法	タイヤ方式(坑内用重ダンプ)

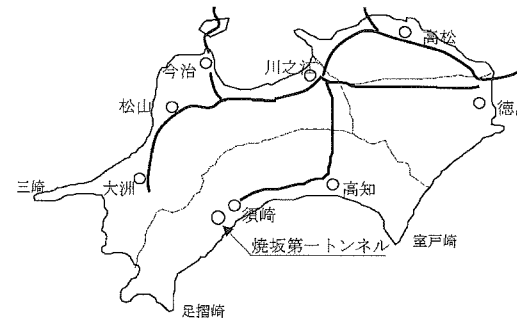


図-6 工事位置図^①

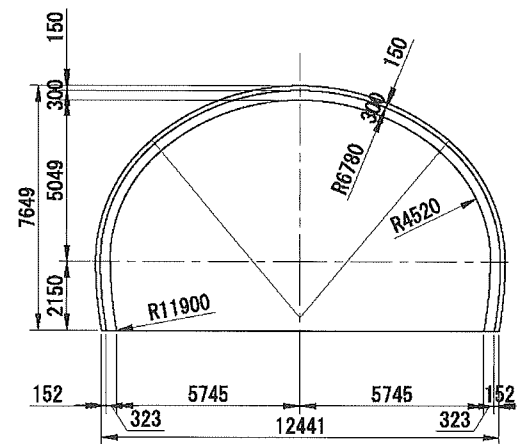


図-7 横断面図^②

- ③ 押さえ盛土部や坑口付近の小土かぶり区間では機械掘削(大型ブレーカ)を適用する。

2-3-4 ずり処理概要

トンネル断面が2車線高速道路断面であること、延長が2,000mを超えることから、ずりは坑外の仮置き場まで22t積みダンプトラックで運搬、一時ストックした後、昼間に10t積みダンプトラックにて自工区内の盛土場に運搬した。ずり処理機械を表-6に示す。

表-6 ずり処理機械

機械名	性能・型式	台数
積み込み機械	トラクタショベル(タイヤ式・サイドダンプ式)3.1m ³	1
運搬機械	22t積み坑内用重ダンプトラック	2



写真-8 22t積み重ダンプトラック

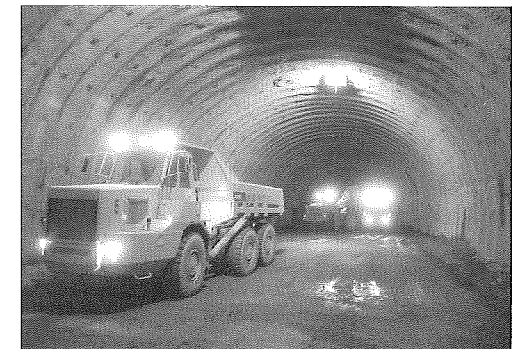


写真-9 坑内ずり運搬状況

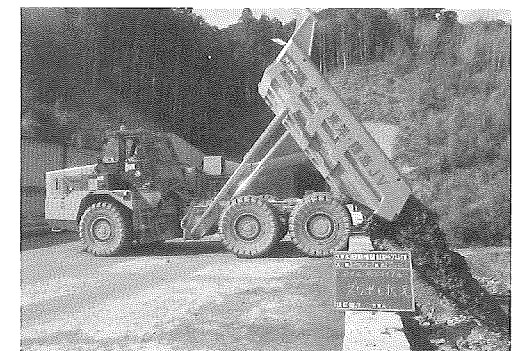


写真-10 坑外ずり仮置き場状況

2-4 滝観洞トンネル工事(トラクタショベル+コンテナ式ローダ)

2-4-1 工事概要

滝観洞トンネル工事は、国道283号の仙人峠道路区間(釜石市～遠野市)改築事業18.6kmのうち

2,996mを新設する工事である。表-7に工事概要を、図-8に工事位置図を示す。

2-4-2 地質概要

本トンネルの地質は、南部北上帯地質区に含まれ、中世代白亜紀の馬木の内層(凝灰岩を主体とし、安山岩、礫岩、粘板岩の互層)、古生代二畳紀の金山層(粘板岩を主体とし、砂岩・礫岩の互層)、および甲子層(粘板岩)からなる。

2-4-3 工事の特徴

- ① 延長3,000mに及ぶトンネル掘削において、サイクルタイムの短縮を図り、工期短縮が要求される工事である。
- ② ずりは、隣接する工区の盛土材として使用される。

2-4-4 ずり処理概要

掘削サイクルに大きく影響するずり処理時間の短縮を、限られた人員で対応するためにコンテナによるずり出し方法を採用した。ずり処理機械を表-8に示す。

3.0m³トラクタショベル(サイドダンプ式)によりコンテナにずりを積み込み、運搬機(コンテナ

表-7 工事概要

工事名	滝観洞トンネル工事
発注者	国土交通省東北地方整備局
工事場所	岩手県気仙郡住田町上有住地内
工期	平成15年2月21日～平成18年3月24日
延長	2,996m
掘削断面積	78m ²
掘削方法	NATM・発破掘削
ずり出し方法	タイヤ方式(コンテナ式)

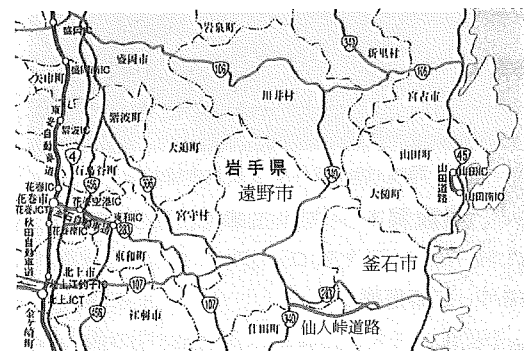


図-8 工事位置図

式ローダ)で坑内中間部へ運搬、コンテナごとに仮置きし、サイクル中のずり処理以外の時間に坑外のずり仮置き場へ、同じ運搬機の組み合わせで運搬、放出した。

表-8 ずり処理機械

機械名	性能・型式	台数
積み込み機械	トラクタショベル (タイヤ式・サイドダンプ式)3.0m ³	1
運搬機械	コンテナローダ14m ³ 積み コンテナ14m ³ (25t)	2 20

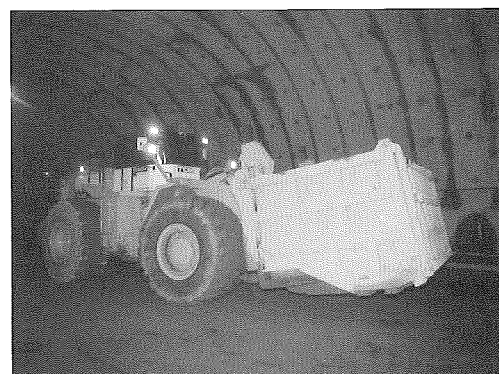


写真-11 コンテナ式ローダ14m³

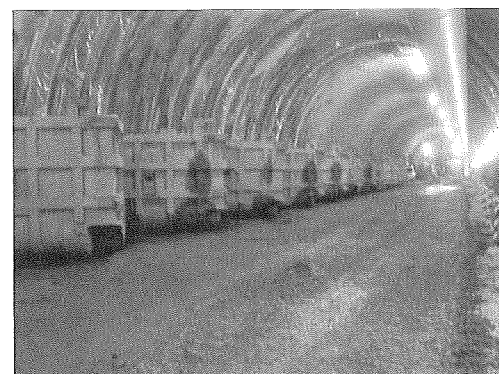


写真-12 コンテナ坑内仮置き状況

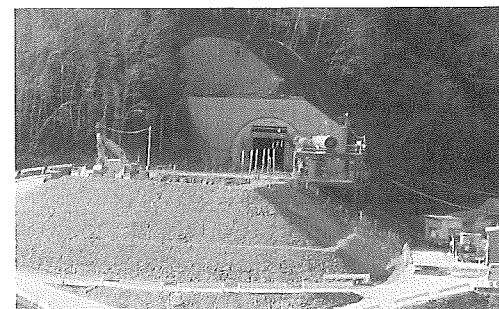


写真-13 坑外状況

運ばれたずりは、10tダンプトラックに積み替えて、起点側坑口と既に完成している仙人トンネル終点側坑口との盛土区間(約700m)まで運搬し、路体盛土として使用した。

2-5 飛驒トンネル工事(ロードホウルダンプ+10t積みダンプトラック)

2-5-1 工事概要

飛驒トンネルは関越トンネルに次ぐ国内2位の10.7km長大トンネルで、名神高速道路と北陸自動車道をつぶ東海北陸自動車道(185km)の中間に位置する。

当初、白川方(北陸側)からTBMによる掘削を開始したが、トンネルの早期貫通のために、予定されていなかった迎掘りが河合方(東海側)から実施され、本坑をNATMで掘削した。

河合方NATM断面は下部を換気ダクトとして利用できなかったため、本坑トンネルと平行して換気坑を施工することになった。

表-9に工事概要を、図-9に工事位置図を、図-10に標準断面図を示す。

表-9 工事概要

工事名	飛驒トンネル工事
発注者	中日本高速道路(株)
工事場所	岐阜県大野郡河合村
工期	平成9年12月27日～平成19年3月20日
延長	3.75km(河合方換気坑)(本坑10.7km)
掘削断面積	22.3m ² (河合方換気坑)(本坑129m ²)
掘削方法	NATM・発破掘削(本坑TBMおよびNATM)
ずり出し方法	タイヤ方式(ロードホウルダンプ)

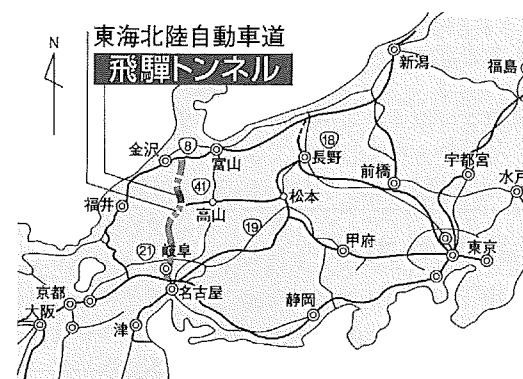


図-9 工事位置図⁹⁾

2-5-2 地質概要

初糠山(標高1,744m)を抜けるトンネル部は主として2種類の岩盤からなる。

- ① 濃飛流紋岩類：火成作用で形成された溶結凝灰岩。
- ② 飛驒片麻岩類：日本でもっとも古く、日本の基盤をなす岩質である。

2-5-3 工事の特徴

- ① 土かぶり量が1,000m以上である。
- ② 当初予定していなかった、TBM発進側に対して反対側の河合方からの掘削である。
- ③ 本坑とは別の換気を目的としたトンネルであり、必要最小限の断面である(TBM区間は、断面内の車道下に換気ダクトを設ける)。

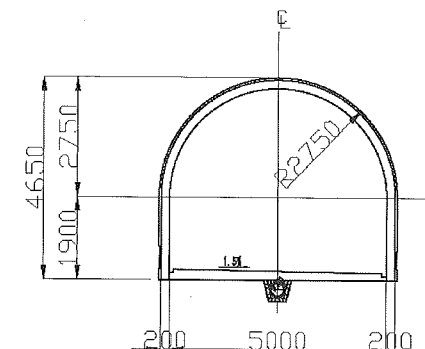


図-10 換気坑断面

表-10 ずり処理機械

機械名	性能・型式	台数
積み込み機械	トラクタショベル (ロードホウルダンプ)3.0m ³	3
運搬機械①		
運搬機械②	10t積み坑内用普通ダンプトラック	4

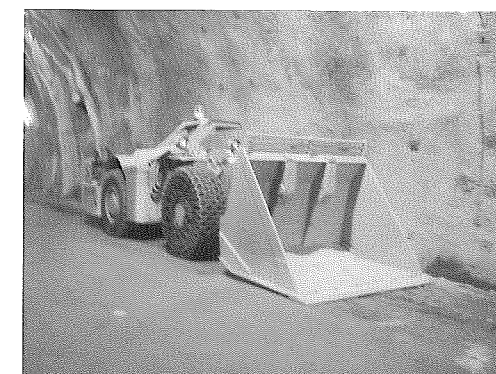


写真-14 ロードホウルダンプ

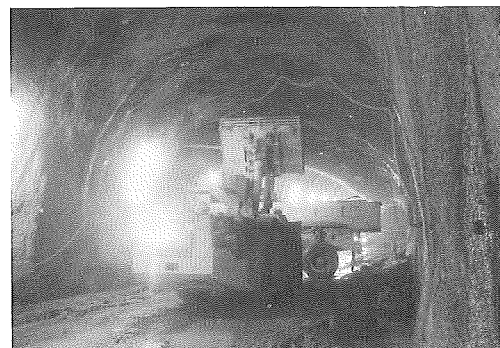


写真-15 ダンプトラックへ積み替え

2-5-4 ずり処理概要

換気坑の断面は狭隘なため、通常のサイドダンプによるずり積みができない。しかも、本坑との連絡坑が150mピッチに設置されるため、1次的なずり運搬距離は150mである。これらの施工条件からロードホウルダンプによる積み込み、運搬が最適と判断した。ずり処理機械を表-10に示す。

具体的には、切羽においてロードホウルダンプで積み込み、中間に設置したダンプの旋回場所までの約150m間を走行し、そこで10t積みダンプトラックに積み込んだ。その後ダンプトラックは坑外のずり仮置き場までずりを運搬し、放出した。

㊦ ずり処理方法の選定要素

今回、事例として挙げた工事において、掘削断面積と延長でグラフ化すると図-11のようになる。

明確な境界は言えないが、小断面で延長が長い場合はロードホウルダンプで中間部まで運搬し、拡幅部でダンプに積み替え、短い場合は小型ダンプトラックであり、2車線道路断面以上では、延長が長い場合は重ダンプトラックあるいはコンテナ式が、短い場合は10t普通ダンプトラックが選

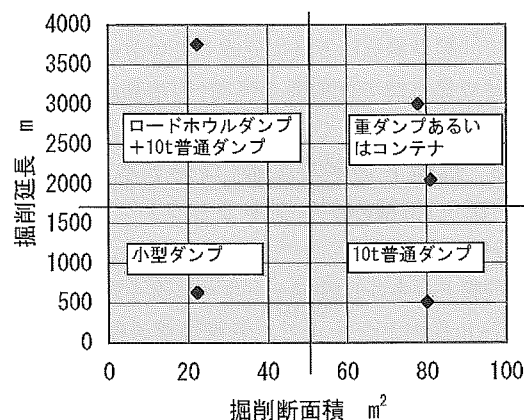


図-11 ずり運搬機械の適用範囲例

定されている。

ベルトコンベヤの編で述べられるが、延長の長い場合には、ベルトコンベヤの選択肢も現状多く採用されている。

以上の事例を参考に、ずり処理方法の選定に役立てていただきたい。

(文責：領家邦泰・内田正孝/大成建設(株))

参 考 文 献

- 1) 大成建設・金下建設特定建設工事共同企業体：天神川河川改修工事概要書。
- 2) 領家邦泰・佐藤和男・内田正孝：硬岩自由断面掘削機(MM130R)の開発と施工，建設の機械化，1996.8。
- 3) 大成・飛鳥建設工事共同企業体：神戸市道高速度路2号線 高取山工区(北行)トンネル工事パンフレット。
- 4) 西日本高速道路(株)四国支社：四国縦断自動車道 焼坂第一トンネル工事パンフレット。
- 5) 守山守・寺田光太郎・小林伸二：世界最大級(φ12.84m)のTBMで地下1000mを掘削(設計編)，トンネルと地下，Vol.38，No.10，pp.15-25，2007.10。
- 6) 日本道路公団：東海北陸自動車飛驒トンネル パンフレット。

続 きの 庭 に も 温 泉 が 出 る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 本体定価 1,200円 (〒210円)



〒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

トンネルジャーナル

平成21年度地盤工学会賞が決定

地盤工学会は、平成21年度地盤工学会賞を決定した。5月27日開催の通常総会で授与される。

同賞は、環境賞、技術賞、研究・論文賞の3部門。環境賞は、地盤工学分野において環境負荷低減や環境保全・創造に貢献をした事業や社会活動などに、技術賞は地盤工学の進展に顕著な貢献をした事業や技術に、また、研究・論文賞は、地盤工学に関する学術および技術の進展に顕著な貢献をした業績に対して授与される。各部門の受賞は下記のとおり。

- ・環境賞部門
国土交通省関門航路事務所：浚渫脱水処理土を活用した新しい環境負荷低減型海洋築堤工法の開発
- ・技術賞部門
中央開発：地質データ整理の効率化及び情報化の推進を目的とした柱状図・断面図作成ソフトと簡易液状化判定ソフトの無償公開及びその普及事業
- 富澤ら：杭と地盤改良を併用した複合地盤杭基礎の開発
- 田邊ら：地盤補強型基礎工法の開発及びその合理的

設計法の確立

田中ら：世界最長150mのパイプルーフを用いた大断面箱型トンネルの全断面掘削工法の開発

・研究・論文賞部門

林：古代地盤技術の工学的考察と現代への展開

清田ら：Aging Effects On Small Strain Shear Moduli And Liquefaction Properties Of In-Situ Frozen And Reconstituted Sandy Soils

野田ら：Soil-Water Coupled Finite Deformation Analysis Based On A Rate-Type Equation Of Motion Incorporating The Sys Cam-Clay Model

日比ら：Multi-Component Migration In The Gas Phase Of Soil: Comparison Between Results Of Experiments And Simulation By Dusty Gas Model

小林：低重力下にある月面土(レゴリス)の変形・強度特性とその支持力評価に関する研究

DUTTINE：砂礫材料の変形強度特性における粘性挙動の実験的解明とその理論化

相鉄・JR直通線建設工事が起工

相模鉄道と鉄道・運輸機構は3月25日、共同で相鉄・JR直通線建設工事の起工式を行った。式典は、横浜市にある西谷地区センターで催され、神奈川県知事や横浜市長など約150名の関係者が出席し、起工宣言や鉄入れなどを行い工事の安全を祈った。

同工事は、相鉄本線西谷駅(横浜市保土ヶ谷区)とJR東海道貨物線横浜羽沢駅付近(同神奈川県)を結ぶ約2.7kmの区間に連絡線を施工するもの。このうち約2kmが地下に設置され、大半がシールド工法で構築される計画。

同線は都市鉄道等利便増進法にもとづいて整備されるもので、昨年10月に工事施行認可を受けた。鉄道・運輸機構が整備・保有し、相模鉄道がJR線との相互直通運転を行う計画となっている。3月15日に都市計画決定が告示されるとともに、環境影響評価報告書が公告され、実質的な着工の準備が整ったことからこのたびの起工式の開催に至った。

今後は用地取得や建設工事などを進め、平成27年4月の開業を予定している。供用されると、朝ラッ

シュ時に相鉄二俣川駅からJR新宿まで現在1時間近くかかるところが約15分短縮されるなど、横浜市西部や神奈川県中部と東京都心部が直結され、両地域間の速達性が向上するほか、交流の促進や沿線地域の活性化などの効果が期待されている。

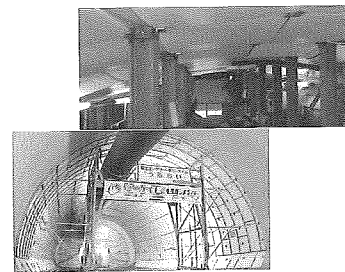
また、相模鉄道では平成31年までにJR東海道貨物線横浜羽沢駅付近と東急東横線日吉駅間に相鉄・東急直通線(約10km)を新設し、相鉄線と東急線が相互直通運転を行うことも計画している。



写真提供：相模鉄道(株)

工法・技術・製品ニュース

工法 覆工コンクリート品質向上技術「温めく」「うるおい」



(上)温めく養生、(下)うるおい養生

西松建設(株)技術研究所
Tel : 03-3502-0273
<http://www.nishimatsu.co.jp>

西松建設は、覆工コンクリートの品質向上を目的に開発した養生技術、「温めく」と「うるおい」を大断面トンネルの現場に導入した。

温めく養生は、セントル型枠の内面にポリプロピレン製の中空構造板を配置し、コンクリートから発生する熱を利用して保温養生する技術。コンクリートの初期強度発現を促進し、型枠の脱型に必要な強度を所定の材齢までに確保する。

うるおい養生は、脱型直後の覆工

コンクリート表面に、独自に開発した養生パネルを塩ビ製の支保材を用いて密着するように一定期間設置して養生する。若材齢期におけるコンクリート表面での急激な乾燥や温度降下を防止でき、強度発現の増進や収縮ひび割れの発生低減、覆工表面の緻密化といった耐久性品質の向上を期待できる。

両技術はこれまで、単独で各工事現場で採用されていたが、併用して採用するのは今回が初めて。

工法 モールグラウト工法で3kmの超長距離圧送性能を実証



三井住友建設広報室
Tel : 03-5332-7230
<http://www.smcon.co.jp>

三井住友建設は、超長距離圧送により短時間で覆工背面空洞を充填できる「モールグラウト(MOLE-Grout)工法」について、可塑性充填材を超長距離かつ大容量で圧送する実証試験を3月10日に公開実施し、性能を安定的に発揮できることを確認した。

同工法は超長距離圧送による覆工背面空洞充填工法で、坑外のプラントから延長3km程度の圧送が可能。実証試験は、約3kmを配管、90°を

含む12か所の急曲部を設置し、実際の現場条件よりもはるかに厳しい条件設定とした。

可塑性充填材を18m³/時で圧送した結果、安定して圧送できることを確認するとともに、管内圧力、流量などの計測を実施して、機器・配管設計の妥当性も検証した。さらに、吐出口から採取した充填材の品質確認試験を行い、水中不分離性能など覆工背面空洞充填材としての要求性能を満たしたことも確認した。

工法 山岳トンネルの切羽前方探査システム「トンネルナビ」



トンネルナビ実施状況

大林組技術研究所
Tel : 042-495-1015
<http://www.obayashi.co.jp>

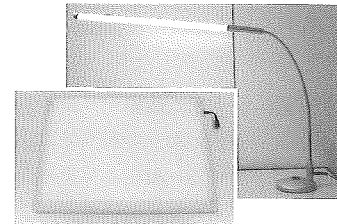
大林組は、山岳トンネルの切羽前方の地質を高い精度で予測するノンコア削孔切羽前方探査システム「トンネルナビ」を開発し、各地のトンネル工事に導入している。

同システムは、今までの施工および各種実験データの分析や、さまざまな地質条件下での計測と検証にもとづいて、掘進速度と掘削時のフィードバックを組み合わせた新しいパラメータによるノンコア削孔切羽前方探査システム、断層破砕帯や風化変質帯の

検出、地山の硬軟の判定、地山分類の判定を行うなどさまざまな地山特性を高い精度で予測評価する。これにより支保部材を最適な仕様で無駄のない数量を発注することができる。とともに、最適な補助工法の選定によって切羽の崩落や変状を未然に防止するなど、コストの縮減、工程ならびに安全性の確保を実現する。

現在4か所のトンネル工事で施工管理手法として導入し、適用総延長は約13kmに及んでいる。

製品 ムトーからLED照明製品2種



(右上)2WAY STYLIGHT CLE-36
(左下)SLT-B44
(株)ムトーエンジニアリング
営業センター
Tel : 03-5740-8211/8220
<http://www.mutoheng.com>

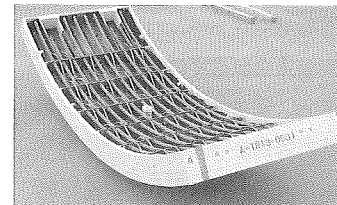
ムトーエンジニアリングは、LEDライト「2WAY STYLIGHT」およびトレース台「SLT-B44」ライトボードスリムを発売した。

「2WAY STYLIGHT」はCLE-36とCLE-36Cの2製品。CLE-36が台座式でCLE-36Cがクリップ固定式の汎用型のLED照明。固定式のデスクライトとは異なり、発光部分を本体から取り外し、本体で使用するACアダプタを差し替えることで、ハンドライトのように使用できる。製品

に用いられるLED照明部分は取り外しを考慮して直径10mmの円筒管形に成形し、発熱を抑えたLED照明を採用したため、発光部分を直接持ってもやけどなどの心配はない。

「SLT-B44」は本体の厚みを9.8mmにまで抑え、従来製品に比べて約50%(同社比)のスリム化を実現した。光源に高輝度のLEDを拡散発光させているため、チラツキがなく、デザインやトレースの理想的な作業環境を提供する。

製品 コンクリート中詰め合成セグメントが道路トンネル分野で初採用



コンクリート中詰め合成セグメント鋼殻

新日本製鐵建材開発技術部
土木加工建材技術グループ
Tel : 03-6867-6392
<http://www.nsc.co.jp/>

新日本製鐵は、大阪府の「都市計画道路大和川線ランプシールド工事」に、同社が技術開発、市場開拓を進めている「コンクリート中詰め合成セグメント」が採用されることが内定したと発表した。

同セグメントは、鋼殻内部に配した特殊リブと鉄筋を介して鋼殻と中詰めコンクリートを一体化した鋼・コンクリート合成構造セグメント。特殊リブの形状と鉄筋の配置や本数を変えることにより必要耐力に応じ

た設計が可能になる。引張に強い鋼殻と、圧縮に強い中詰めコンクリートを一体化することにより高耐力化を実現し、非合成タイプと比較して使用鋼材量を20~40%削減可能。

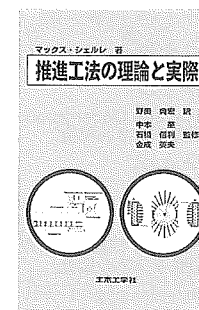
適用予定の断面は通常の18倍近い上載荷重の影響を受ける区間。従来はダクタイルセグメントが適用されてきたが、製造メーカーの撤退にともない新たな重荷重部用セグメントとして同セグメントの性能が評価された。

推進工法の理論と実際

B5判 437頁 価格8,925円 送料450円

マックス・シュルレ 著

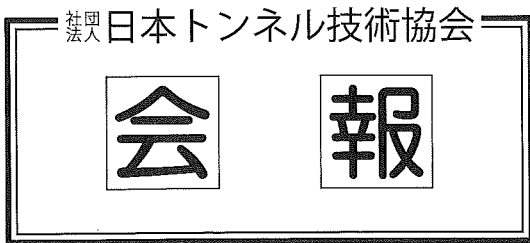
野田典宏 訳 中本 至・石橋信利・金成英夫 監修



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

株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072



1. 会員の現状

	3月31日現在
正会員	1,704名
団体会員	304名
個人会員	1,400名

2. 委員会の開催状況(3月1日~31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(3/3)

大島洋志主査ほか13名, 4月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

国際委員会(3/4)

猪熊康夫委員長ほか7名, 22年度活動方針を検討

海外文献小委員会海外ニュースWG(3/23)

早坂治敏主査ほか8名, 海外ニュースを翻訳

海外文献小委員会対外広報WG(3/24)

早坂治敏主査ほか8名, 原稿を査読

◎事業委員会

打合せ会(3/4)

久多羅木吉治委員ほか5名, 施工体験発表会(都

3. 国際会議の開催予定

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

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

4. 平成21年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(見学会)				
HEP&JES工法現場研修会	2009. 4.20	8	東京都	2.0
国道9号京都西立体交差現場研修会	2009. 4.27	17	京都府	2.0
首都高速中央環状新宿線現場研修会	2009. 6.25	18	東京都	2.0
新東名島田第一トンネル現場研修会	2009. 7.13	20	静岡県	4.5
調布駅付近連続立体交差現場研修会	2009. 7.17	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	18	大阪府	2.0
城山八王子トンネル現場研修会	2010. 1.28	19	東京都	2.0
仙台市地下鉄建設現場研修会	2010. 3.19	19	宮城県	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
2010トンネル技術の特別講演と技術研究発表会プログラム(北海道土木技術研究会との共催)	2010. 2.26	177	北海道	5.5

第36回通常総会のお知らせ

第36回通常総会を下記のとおり開催いたしますので、お知らせいたします。

- 日時:平成22年5月28日(金) 16:00~17:00
- 場所:東京商工会議所(東商ビル)7階「国際会議場」
- 議事:第1号議案 平成21年度事業報告について
第2号議案 平成21年度事業収支決算について
第3号議案 平成22年度事業計画について
第4号議案 平成22年度事業収支予算について
第5号議案 役員の選任について(辞任に伴う補充選任)

※総会開催にあたってのお願い

- 総会は会員組織である本会の最高議決機関であります。会員の皆様には総会への出席をお願いいたします。
- 総会に出席いただけない場合は、必ず4月下旬に発送の総会開催通知書の委任状に署名・押印のうえ、ご提出お願いいたします。

6月号予告[6月1日発売予定]

- 北陸新幹線 魚津上中島トンネル
- スイス ゴッタルドベーストンネル
- 新東名高速道路 清水第二トンネル
- 京王電鉄調布駅付近連続立体工事
- 都下水道 王子西1号幹線

【連載講座】

- ずり処理入門(6)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆年度が変わり新しい職場、または、新社会人として今までとは環境の異なる場所で新生活を迎えている方も多いと思います。1か月が経ち、少々落ち着かれことはないでしょうか。そこで、当誌への投稿をご検討されてはいかがでしょう。下記に過去に掲載された論文のデータを載せました。ご自分の所属先の投稿数が少ないと思われた方はぜひご投稿ください。

◆「トンネルと地下」は本号で477号となりました。これまでに掲載された論文は2724論文です(ただし、連載講座は除く)。内訳は「施工」が1818件、「研究」が331件、「報告」が223件、「解説」が255件、「計画」が97件となっております。所属別に見ますと発注者側では、旧国鉄を含むJRが288件、旧JHを含むNEXCOが278件、東京都271件、旧日本鉄道建設公団を含む鉄道・運輸機構が248件、旧建設省・運輸省を含む国土交通省が169件、旧営団を含む東京地下鉄が131件、以下東京電力の83件と続きます。施工者側はトップが大成建設で150件、続いて清水建設の118件、熊谷組117件、鹿島建設114件、大林組104件、西松建設98件、佐藤工業89件、前田建設工業79件、飛鳥建設76件、奥村組65件となります(ただし、JVのサブも含む)。

◆当誌では皆様方からのご投稿を随時受け付けております。投稿規定は当社ホームページ(<http://www.tunnel.ne.jp>)にて閲覧できます。トンネル業界を活気づけるようなご投稿を編集部一同お待ちしておりますのでよろしくお願いたします。

(I.Y)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください。

★(社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(社)日本トンネル技術協会へご連絡ください。

トンネルと地下

第41巻 第5号 [通巻477号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成22年4月20日 印刷

平成22年5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、本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本社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

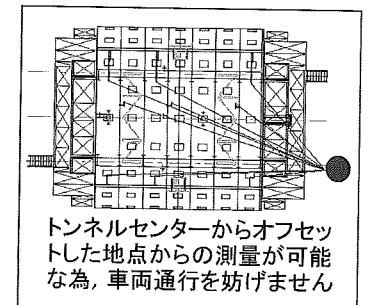
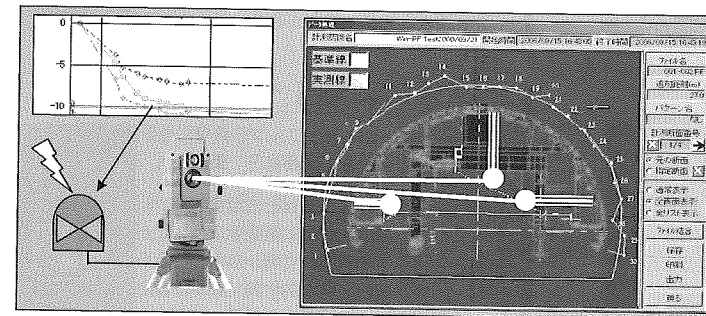
TEL: 03-3267-2888

本誌掲載記事を無断で複製(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。本誌から複製または転載を希望される方は、本社(03-3267-2888)までご連絡ください。



セントル面板にセットされたプリズムを打設開始～終了まで自動計測することにより

- ・セントルの設置位置測定の自動化
- ・打設中の沈下、変位の自動計測
- ・変位量の管理値設定と、警報出力(パトライト)機能
- ・実測セントル位置とノンプリズム断面測定結果を基準としたボリュームの算出が可能となりました。



トンネル用機材一般/土木資材の販売

大栄工機株式会社

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

MAC マック株式会社

〒272-0832 千葉県市川市首谷8-16-3
TEL 047-371-3191 FAX 047-371-3190

わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修
1,500円+税 B5判

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



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著
6,000円+税 A5判

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



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



岩盤の計測と解析

鈴木光 著
4,200円+税 A5判

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



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修
2,500円+税 B5判

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



地質工学概論

菊地宏吉 著
4,757円+税 B5判

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



山岳トンネルの新技术

ジェオフロント研究会 編
14,573円+税 B5判

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



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・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。



推進工法の理論と実際

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

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



シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編
4,660円+税 B5判

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



ジオテクスタイル設計マニュアル

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

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



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400円+税 A5判

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



わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修
2,500円+税 B5判

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



わかりやすいトンネルの力学

福島啓一 著
5,825円+税 B5判

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



岩盤地下空洞の設計と施工

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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した。



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)

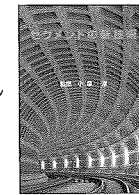
日本で唯一のトンネルと地下構造物の専門月刊誌。研究、調査・設計から施工にいたるまで、その時点での技術的問題点を中心に、業界の動向などをあわせて網羅しながら、新鮮な情報を提供する。



セグメントの新技术

小泉淳 監修
2,000円+税 B5判

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



地下水の科学 I~III(全3巻)

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

地球という複雑なシステムを循環する水、とくに地下水循環を考え、汚染地下水など環境問題を地下水物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

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

白谷三郎・橋本康孝・友田孝 共著
3,200円+税 A5判

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



書籍のお申し込み

ご注文は当社へFAXまたは、書店にてお申し込みください。FAX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。

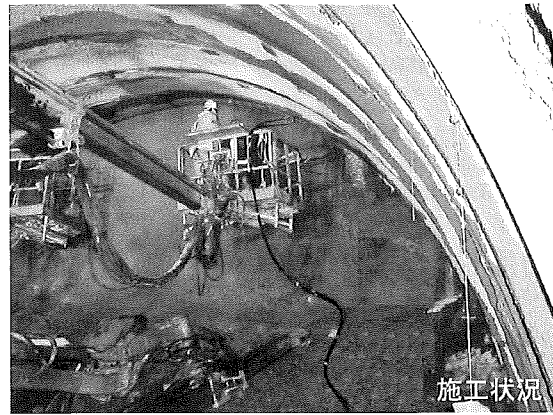
株式会社 工本工学社

〒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

補助工法・注入材のことならティーエムシー

■AGF-OFP工法

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



施工状況

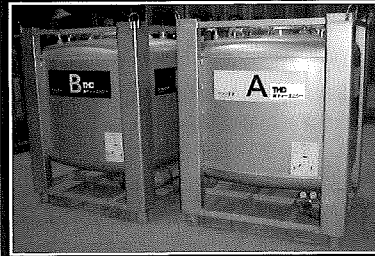
■各種注入材

NEW-TSRF
(シリカレジン)
NEW-TBU
(ウレタン)

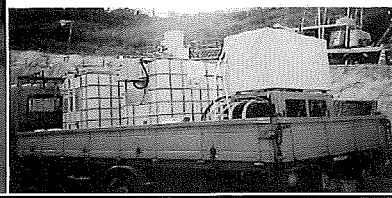


※その他各種工法、セメント系注入材など、詳しくは当社ホームページをご覧ください。

環境に配慮したリサイクルコンテナシステム



◎リサイクルコンテナ(左)と現場への搬入風景

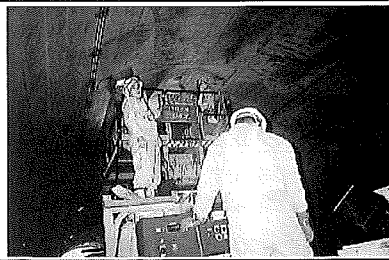


当社のリサイクルコンテナシステムなら、一斗缶の産業廃棄物処理がなくなるため、工事もスムーズに進みます。現場にも環境にもやさしいシステムです。

トンネル補修もティーエムシーにお任せください

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

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



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

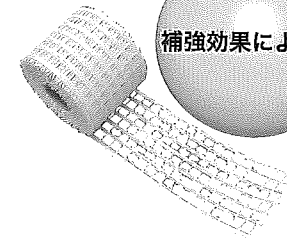
TMC 株式会社ティーエムシー ホームページ : <http://www.tmc-net.com/>
お問合わせ・お見積のご相談はお近くの当社事務所まで

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: 022-206-5111
名古屋支店	〒486-0844 愛知県春日井市島居松町4-165 春日井中央ビル4F	TEL: 0568-56-4288
大阪支店	〒578-0903 大阪府東大阪市今米1-2-1 中辻第3ビル3F	TEL: 072-966-6280
富山営業所	〒933-0806 富山県高岡市赤祖父707 古川ビル2F	TEL: 0766-28-8355
九州営業所	〒839-0809 福岡県久留米市東合川3-12-40 アイソリューションビル1F	TEL: 0942-40-8151

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



コンクリート混入・コンクリート用膨張材
ハイパーエクパン

NETIS登録番号 QS-020033-V

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 2-4-24 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