京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

技術提案に好適!!
ンカの特殊混和材

優れた低粉じん吹付け
《デンカスラリーショット》
デンカナトミックUS-32
デンカナトミックUS-50
《粉じん低減剤》
デンカクリアップ2
・安定した低粉じん吹付けが可能
・確かな初期強度、長期強度発現性
・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

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

月1日発行(毎月1回1日発行) 第43巻第9号 通巻505号 ISSN 0285-631X

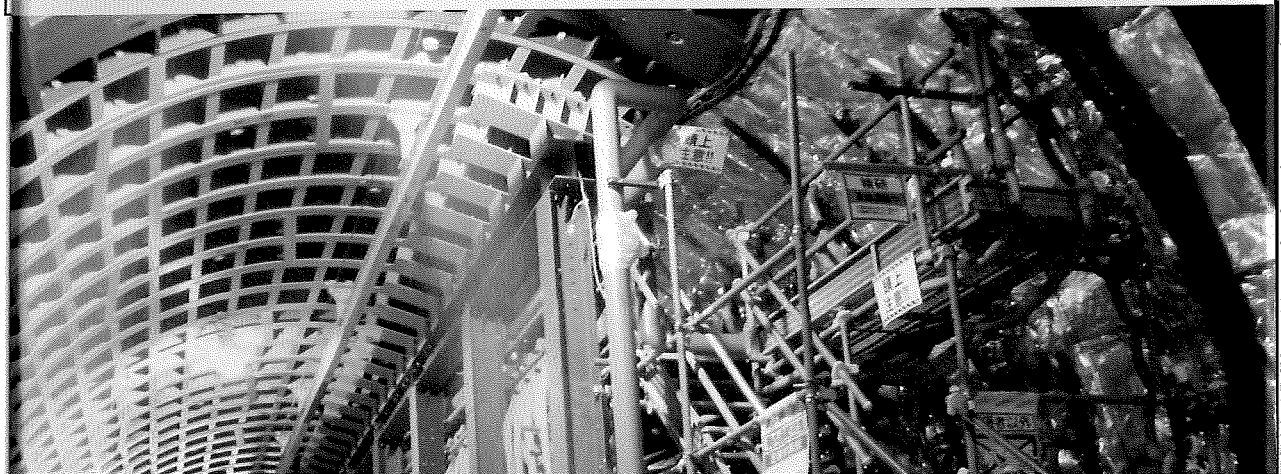
トンネルと地下 9

vol. 43
no. 9
2012

nnels and Underground

挙動解析を施工管理に活用し未固結地山を掘る
線直下のシールド切拡げを凍結工法で非開削施工
径6 m, 延長4.5kmのシールドで低地帯の浸水を防ぐ
形状が切羽安定性に及ぼす効果の解析的検証と試験施工
ント系薬液注入材の長期材料特性と性能の評価

日本トンネル技術協会誌



ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力　330kW
総質量　120ton





主な特長

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

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業　〒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
カスタマーサービス 相模事業所　〒252-0328　神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号　TEL 042-767-2586
大阪支店　〒564-0063　大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号TEK第二ビル　TEL 06-6387-3371
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　三重県津市雲出長常町1129番地11　TEL 059-234-4111

トンネル工事用 電気集じん器

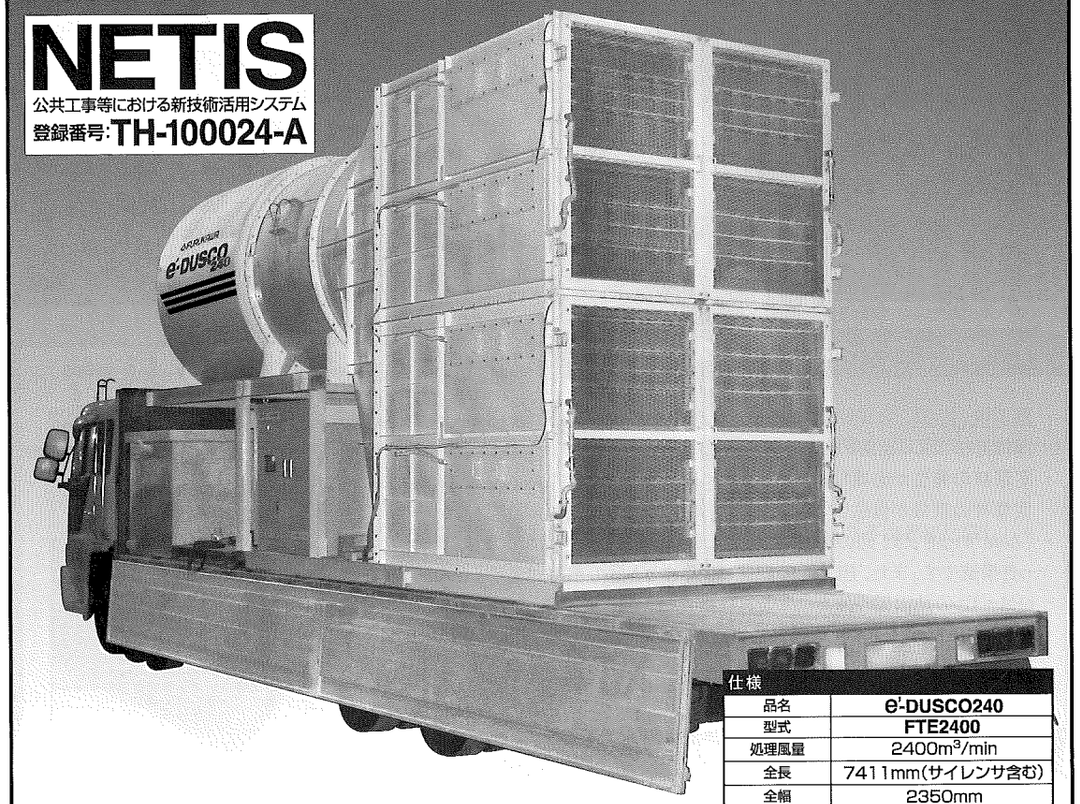
e-DUSCO 240

イーダスコ・ニーヨンマル

究極の省エネ

70%も節電

NETIS
公共工事等における新技術活用システム
登録番号:TH-100024-A



クラス最高の集じん効率95%
従来の電気式では達成できなかった
95%以上の高集じん率を確保。

微細粉じんも逃さない電気式
電気式だから人体に有害な微細粉じん
(0.2~5μm)も捕集できます。

現場メンテナンスは手間いらず
放電電極は丈夫で長持ちするブレード式により
断線故障無く安心して御使用頂けます。
捕集した粉じんもラクラク処理。

大風量と省エネを同時に実現
処理風量は20%増えたのにいっそう省エネ。
安定した処理風量でCO_2削減を実現する
エコ製品です。

仕様

品名	e-DUSCO240
型式	FTE2400
処理風量	2400m³/min
全長	7411mm(サイレンサ含む)
全幅	2350mm
全高※1	3700mm
本体重量	10t
電源仕様	3相3線400V58kVA
ファン動力	30kW
消費電力	33kW
洗浄水	2.4m³/回
捕集ダストの処理	湿式
集じん効率※2	95%以上

※1　車両高さは含まれていません。
※2　JIS Z 8808により測定した値です。

古河機械金属グループ
古河産機システムズ株式会社 URL:http://www.furukawa-sanki.co.jp/

本　社
〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3
営業第3グループ ☎03-3212-6575

大阪支店 ☎06-6344-2532　名古屋支店 ☎052-561-4580　札幌支店 ☎011-784-1179
東北支店 ☎022-221-3532　九州支店 ☎092-741-5193　小山工場 ☎0285-23-8662

高耐食性めっき「ZAM®」鋼管を採用した膨張型摩擦式ロックボルト

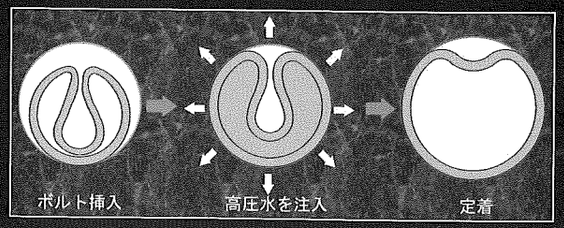
RPE ROCKBOLT

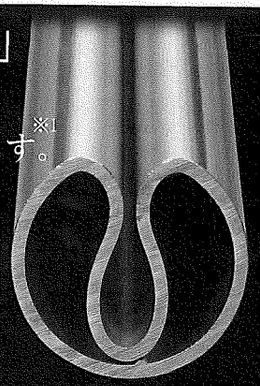
RPE ロックボルト

RUST PROOFING EXPANSIVE

「鋼管膨張型摩擦式ロックボルトの進化形」

即効性、耐湧水性、定着材不要による省力化。
高耐食性めっきによる半永久的な機能が期待できます。※1



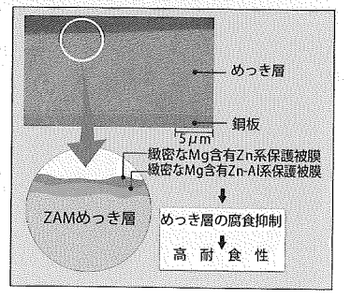


※1 地山条件によってめっき層の寿命は大きく変動します。

①「RPE ロックボルト」の特徴

- 施工後、直ちに地山支保性能を発揮します。
- 摩擦抵抗による定着のため、定着材は不要です。
- 定着材の養生が必要ないため、湧水時にも使用できます。
- 定着材の空袋が発生しないことから産業廃棄物の低減が図れます。
- 「ZAM®めっき」は、他の亜鉛めっきと比較し、硬度が高く傷が付きにくいめっき構造です。また、施工時の膨張によるめっき層の剥離はありません。
- pH4～12 の地山条件において優れた耐食性を発揮します。
- 耐力 180kN タイプには高張力鋼を使用、軽量化により取り扱いが容易です。

◎ZAMの耐食機構



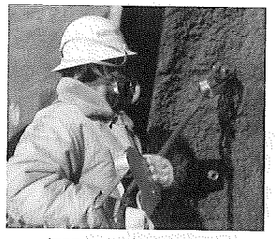
・「ZAM」は、日新製鋼株式会社の登録商標です。
・「ZAM」は、日新製鋼株式会社が開発した溶融亜鉛 Zn-アルミニウム Al-マグネシウム Mg 合金めっき鋼板の商品名です。

②「RPE ロックボルト」の仕様

■ RPE ロックボルトの種類

呼称	RPE120	RPE180
耐力(kN)	120 以上	180 以上
推奨穿孔径(mm)	φ 45～φ 51	φ 45～φ 51
鋼種	NTRB-400	NTRB-540
本体外径(母材鋼管)(mm)	φ 36(φ 54×2.0t)	φ 36(φ 54×2.3t)
単位質量(kg／m)	2.6	2.7
破断伸び(%)	35 以上	20 以上
標準長さ(m)	(2.0),3.0,4.0,(6.0)	3.0,4.0,6.0

※標準長さの( )内は、受注生産になります。



(RPE ロックボルト施工状況)

株式会社 ケー・エフ・シー
東京土木営業部:東京都江東区青海 2 丁目 4 番 32 号 TEL 03－3570－5223
大阪土木営業部:大阪市北区西天満 3 丁目 2－17 TEL 06－6363－1884
技術部 :東京都江東区青海 2 丁目 4 番 32 号 TEL 03－3570－5186

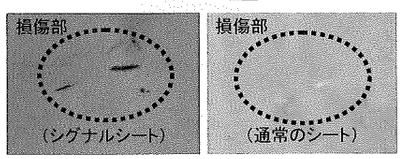
損傷を目視で確認できる防水シート

①シグナルシート

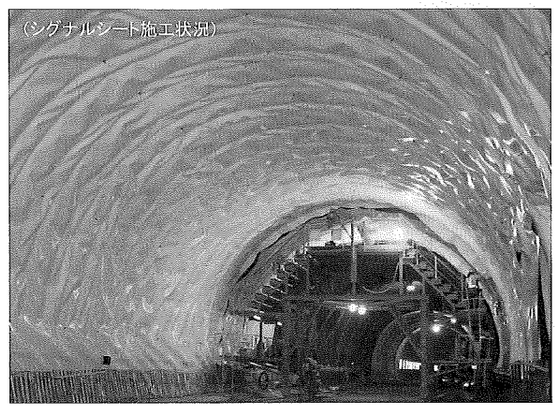
NETIS 登録番号
KK-100083-A

防水層に「シグナルレイヤー」を設けることにより目視で傷を容易にチェックできます。





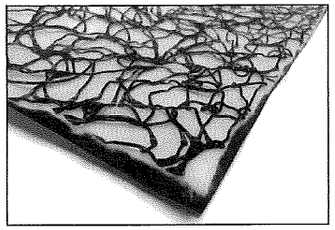
通常のシートに比較し、通常の明かりにおいて目視でたやすく損傷が確認できます。



「立体網状体」による高排水機能

立体網状体付き長繊維不織布

「立体網状体」の効果により、抜群の排水性能を発揮します。

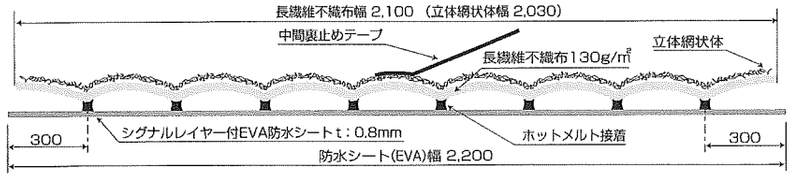


「立体網状体付き長繊維不織布」は通常の厚さ3mm の不織布に比較して約40倍の排水性能を有します。

排水能力比較結果 (試験方法 ISO12958 準拠)

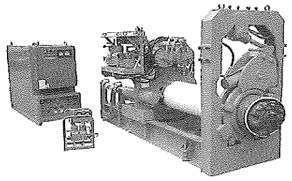
商品名		ハイパネルSSシート SS-8030	ハイパネルシグナルシート SGP-8013/20
		不織布3mm	立体網状体付き長繊維不織布
載荷重	0.05MPa	0.0354L/10分	1.3670L/10分
	0.10MPa	0.0180L/10分	0.8030L/10分

■「シグナルシート」と「立体網状体長繊維不織布」の組み合わせ



株式会社 ケー・エフ・シー
東京土木営業部:東京都江東区青海 2 丁目 4 番 32 号 TEL 03－3570－5223
大阪土木営業部:大阪市北区西天満 3 丁目 2－17 TEL 06－6363－1884
技術部 :東京都江東区青海 2 丁目 4 番 32 号 TEL 03－3570－5186

THパイプルーフ工法

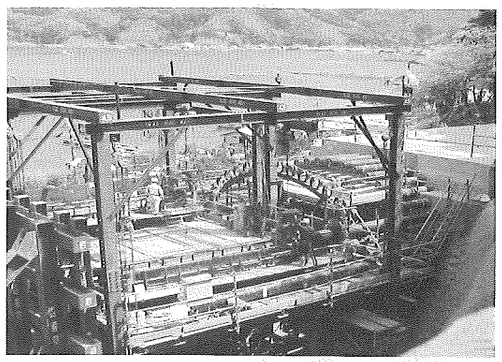


空間を確実に確保

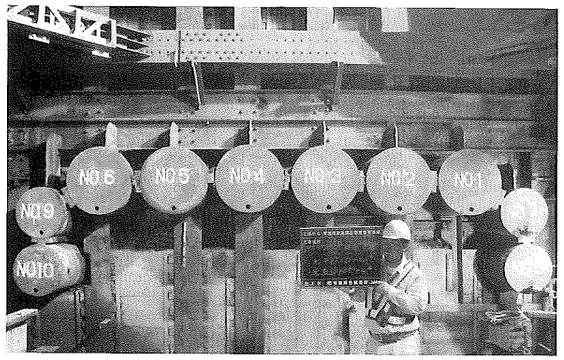
高精度・全地盤型　水平鋼管圧入システム

★特　徴★

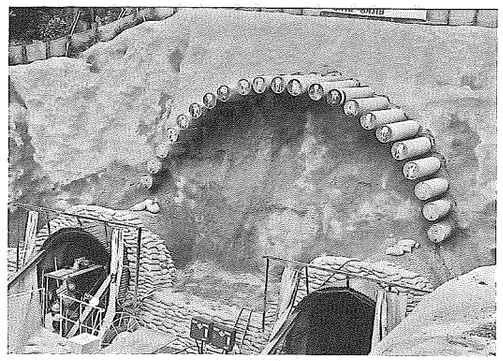
- 本体掘削時の沈下抑制補助工法です
- 常時管芯チェックが可能で，方向修正方式を採用（精度が良いため支保作業が容易）
- オーガ中堀り掘削，地山との空隙に同時注入も可能
- 推進途中でのビットの交換が可能で地層変化に対応
- 適応管径は，φ200A～φ1200A
- 最大推進長は，約70～100m
- 推進機は，推力1000kN(100t)2000kN(200t)3000kN(300t)



パイプルーフ施工状況



都市型地下道トンネル掘削に伴う防護



山岳トンネル坑口防護

〔会　員〕 ※会員 募集中 [お問い合わせは　下記　事務局へ]

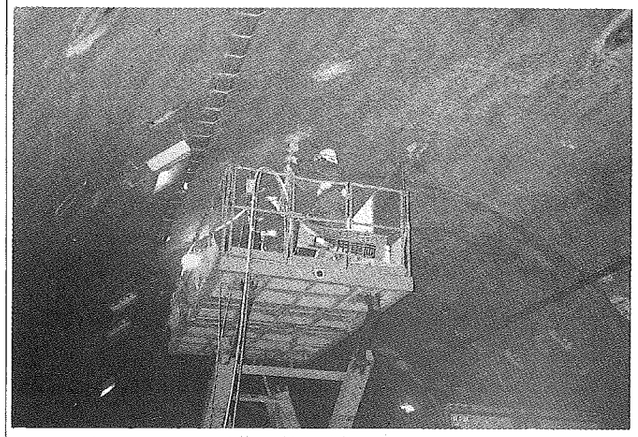
㈱小宮山土木	長野県	TEL 0267-56-1299	東邦地下工機㈱	東京都	TEL 03-3474-3143
東洋地工㈱	福井県	TEL 0776-53-5335	日本基礎技術㈱	東京都	TEL 03-3476-5701
日特建設㈱	東京都	TEL 03-3542-9299	㈱大阪防水建設社	大阪府	TEL 06-6762-5621
ケミカルグラウト㈱	東京都	TEL 03-5575-0511	多田建設㈱	福島県	TEL 024-535-6161
㈱最上機工	山形県	TEL 0233-23-1555	札幌黒澤工業㈱	北海道	TEL 011-215-7500
サン開発工事㈱	大阪府	TEL 072-641-4951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

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

THパイプルーフ技術協会

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

硬質発泡ウレタン
セットフォーム工法
急結性・高性能空隙充填材



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

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



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

ケミカルフォーム協会会員

アルス株式会社	〒950-0944	新潟市中央区愛宕 1-4-25	TEL 025-280-0337
株式会社内田工業	〒332-0032	埼玉県川口市中青木 2-12-2	TEL 048-257-0848
エコシビックエンジ株式会社	〒135-0047	東京都江東区富岡 1-12-4 み満きビル	TEL 03-3643-7241
エスイーリペア株式会社	〒811-1313	福岡県福岡市南区日佐 5-15-24	TEL 092-585-5133
MC山三ポリマーズ株式会社	〒103-0012	東京都中央区日本橋堀留町 1-2-10 イトーピア日本橋SA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
株式会社総合開発	〒768-0065	香川県観音寺市瀬戸町 2-14-16	TEL 0875-25-4162
日本綜合防水株式会社	〒171-0022	東京都豊島区南池袋 3-11-10 ベリエ池袋	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	〒062-0902	札幌市豊平区豊平 2 条 1-1-1	TEL 011-820-8688
株式会社マノール	〒120-0047	東京都足立区宮城 2-4-16	TEL 03-3927-1331
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

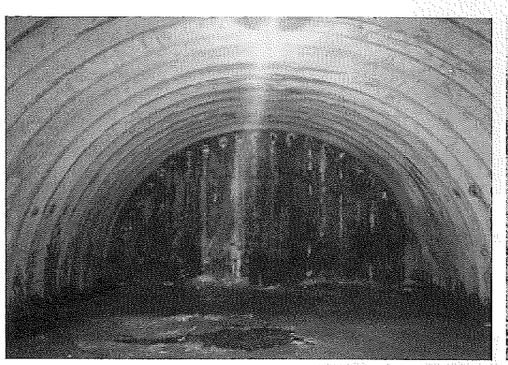
協会事務局

〒103-0012　東京都中央区日本橋堀留町 1-2-10 イトーピア日本橋SAビル　MC山三ポリマーズ(株) 内
TEL 03-3662-0253　http://www.chemicalfoam.jp

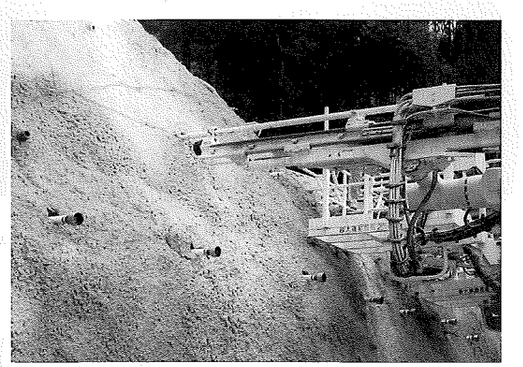
製造元　**日清紡ケミカル株式会社**　断熱事業部
〒289-2505　千葉県旭市鎌数9163-13　TEL 0479-60-3555

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

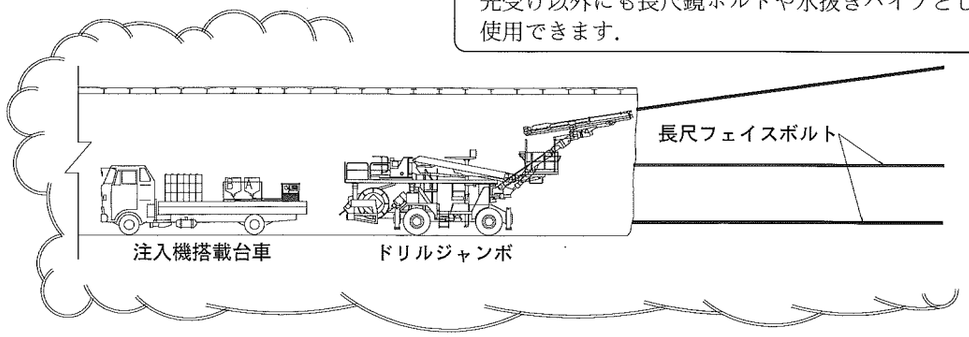
AGF工法のバリエーション

プロトタイプ
無拡幅タイプ
最小拡幅タイプ

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

小口径二重管削孔システム

鋼管径φ89.1㎜〜60.5㎜まで対応ができ，鋼管・スリット管・特殊樹脂管が選べます．
↓↓
先受け以外にも長尺鏡ボルトや水抜きパイプとして使用できます．



注入材のバリエーション

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

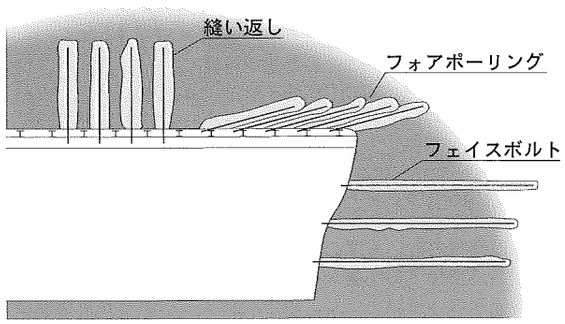
■ウレタン注入材
- ガンバンスーパーS

■無機系注入材
- シリカセーフ



（施工例）固結状況

注入ボルトのバリエーション



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

等があり，地山条件や使用目的に応じて選択できます．

主　要　営　業　品　目

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

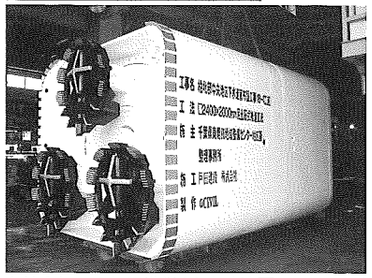
KATECS
株式会社 カテックス
建設資材事業部
ホームページ http://www.katecs.co.jp/

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

超流バランスセミシールド工法

ボックスカルバート推進工法

施工場所：千葉県柏市若柴地内



多軸自転・公転掘進機（内空寸法□2400×2000）

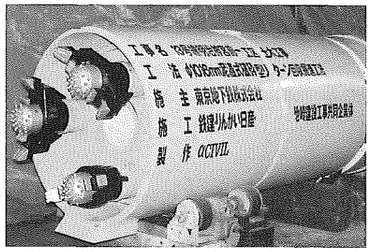
本工法は、有効断面を最大限に確保し、低土被り、長距離、急曲線の安全で迅速かつスムーズな密閉型矩形推進工法を確立しました。

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

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

リターン回収掘進工法

施工場所：東京都渋谷区神宮前



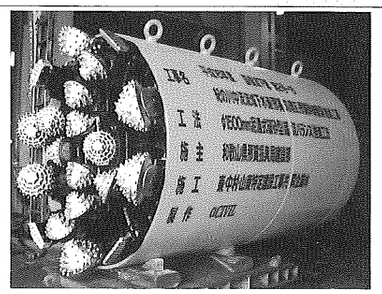
φ1016㎜長距離パイプルーフ掘進機（リターン回収型）

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

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

◆長距離・曲線パイプルーフとして適用可能
◆通常のJIS鋼管にて対応可能（鋼管φ812～φ1219㎜）
◆継ぎ手付鋼管においても先行継ぎ手カッターにてスムーズな掘進が可能
◆到達回収立坑が不要（発進側へ掘進機内部装置を回収可能）
◆密閉型掘進機構ゆえに無水層～滞水層まで対応可能

巨礫・岩盤破砕型掘進工法

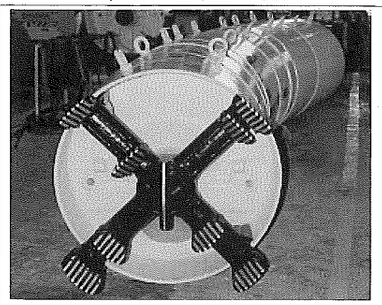


φ1500㎜破砕型掘進機

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

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

長距離・急曲線推進工法



φ800㎜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

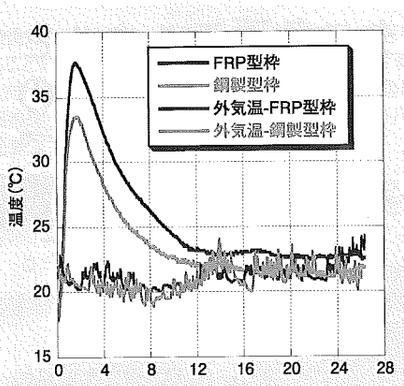
株式会社アルファシビルエンジニアリング（超流セミシールド協会）
〒812-0015福岡市博多区山王１丁目１番18号
TEL(092)482-6311　FAX(092)482-6363
E-mail:arfa@oregano.ocn.ne.jp
URL http://www.alpha-civil.com

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

覆工コンクリート革命

◎型枠脱型時の強度が15～20%向上
⇒コンクリート剥離の低減

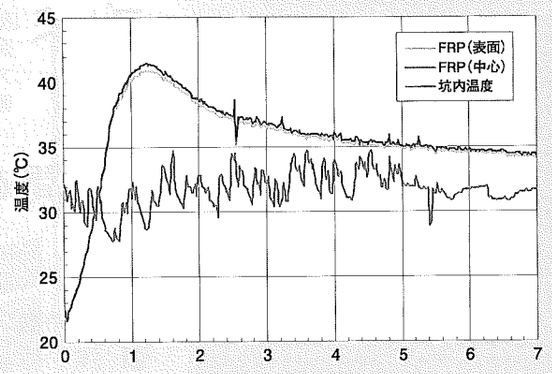
［宮崎大学との共同研究により、㈱フジタ 古江トンネル南にて測定］



■覆工コンクリート温度の比較

◎コンクリート中心温度と型枠背面の温度差が1～2℃
⇒温度ひずみによるクラック低減

［㈱フジタJV宮崎県野地トンネルにて計測］



■コンクリート中心温度と型枠背面の温度差

特　徴

1. すぐれた断熱効果により、保温養生を実現（鋼製型枠に対し熱伝導率1／150以下）
2. 外気の温度変化に対する影響が少なく、寒冷地でも最適
3. 剥離性がよく、ケレン作業が低減

保温養生FRPセントル ハイパーフォームG



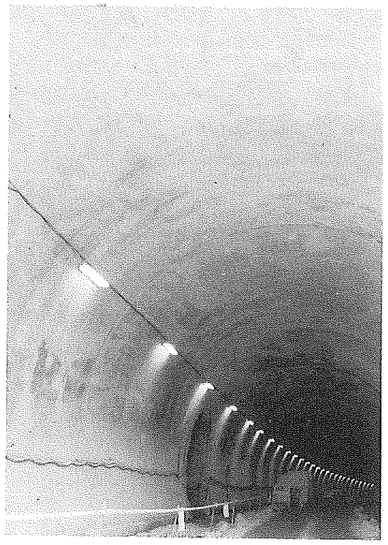
MKE 株式会社 エムケーエンジニアリング

■ 本　　社　〒553-0006　大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル　TEL:06-6443-7060
■ 九州営業所　〒812-0011　福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号　TEL:092-409-8008
■ 指定工場　〒919-0441　福井県坂井市春江町定重（森本工業）　TEL:0776-51-2410

コンクリートの劣化，欠陥箇所の改修，補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



〈工期短縮，即日仕上り〉

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

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

エアモルタル裏込め注入……

エスコート L&K 起泡剤



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

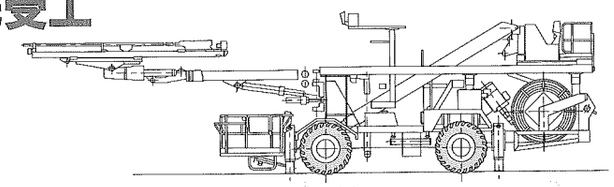
◆土木資材の綜合プランナー◆

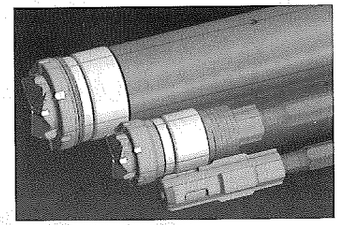
株式会社 マノール
〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

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

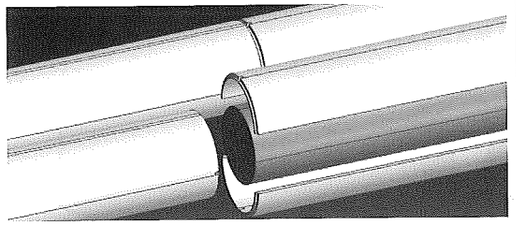


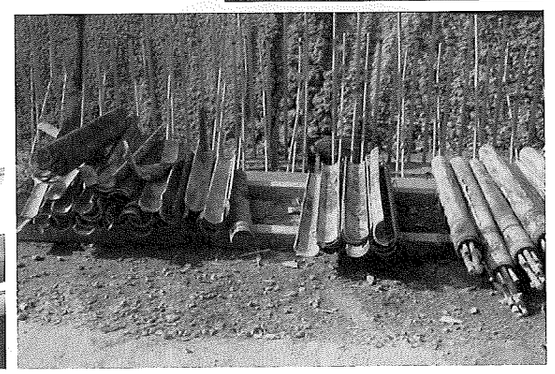


AGF-Me工法

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

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



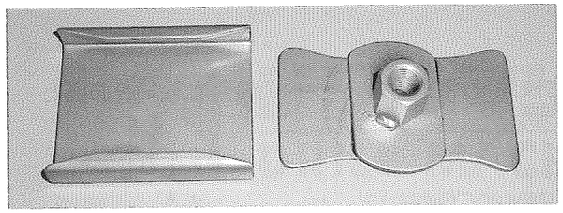


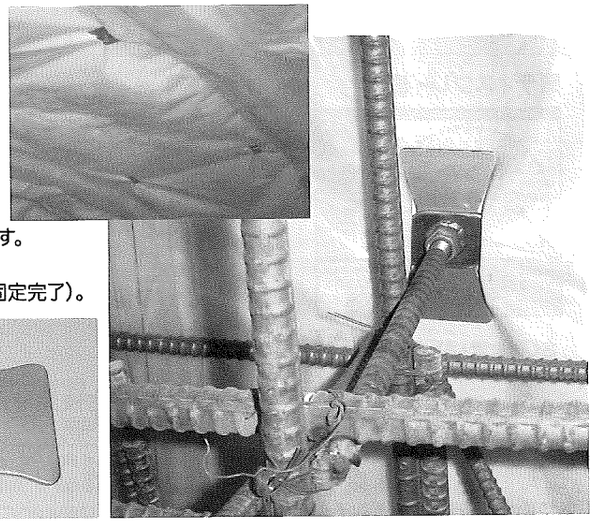
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

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





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

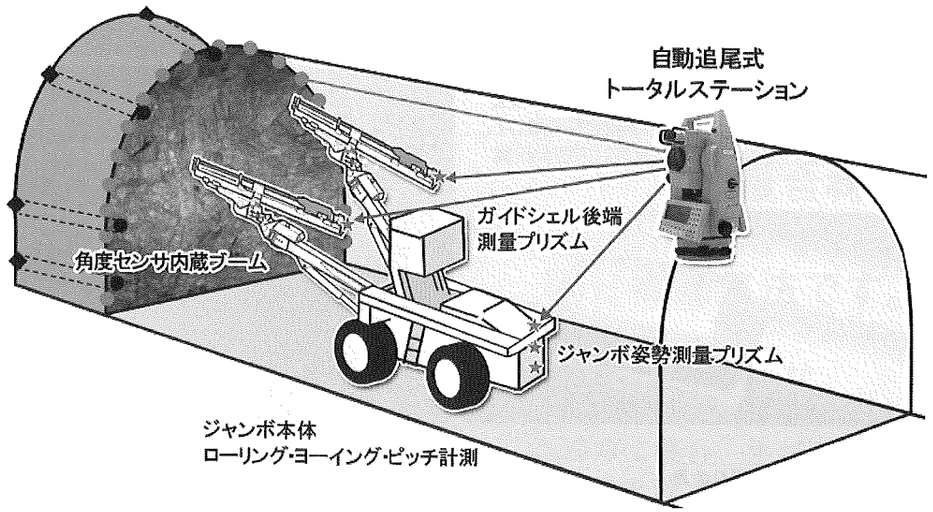
株式会社 トーキンオール
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel:044-333-0012 Fax:044-333-0321
（お問い合わせ先）

NETIS登録番号:KK-100049-A

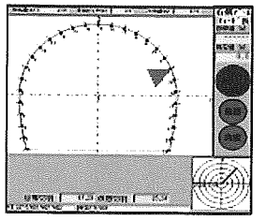
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省　公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

自動追尾式測量器(トータルステーション)との連動により、外周装薬孔の高精度さく孔を可能にしました。余掘量の低減に効果を発揮し、余吹き・覆工コンクリート量を低減することが可能です。



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

1. 最も重要な外周孔(追尾視準範囲)に限定することにより、従来のナビゲーションと比較し低コストを実現しました。
2. ガイドシェルの後端のターゲットを自動追尾することにより常に高い精度を得る事ができます。
3. 自動測量により本体セットアップが簡単に行なえます。
4. 操作方法が簡単でオペレータへの特別な教育を必要としません。

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社

〒272-0832　千葉県市川市曽谷8-16-3

TEL:047-371-3191　FAX:047-371-3190

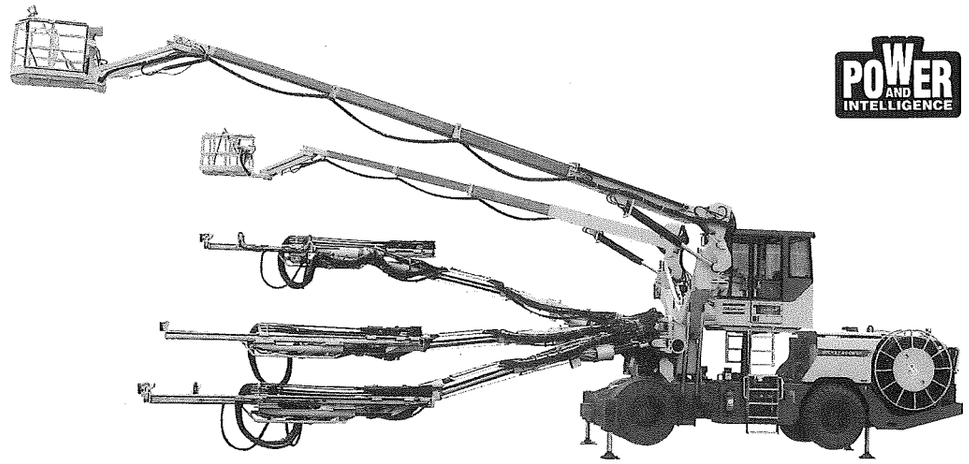
古河機械金属グループ
FRD FURUKAWA 古河ロックドリル株式会社

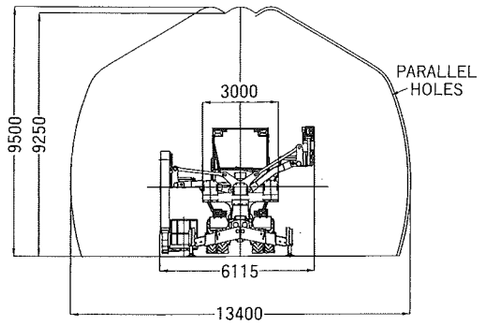
〒103-0027　東京都中央区日本橋1-5-3
特機部
TEL:03-3231-6966　FAX:03-3231-6993

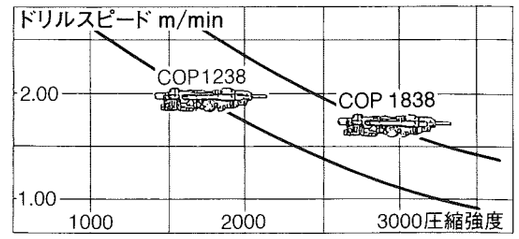
アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

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

POWER AND INTELLIGENCE







DRILL 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
広島出張所　〒739-2613　広島県東広島市黒瀬町楢原1336-1
TEL(0823)36-7787番　FAX(0823)36-7791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

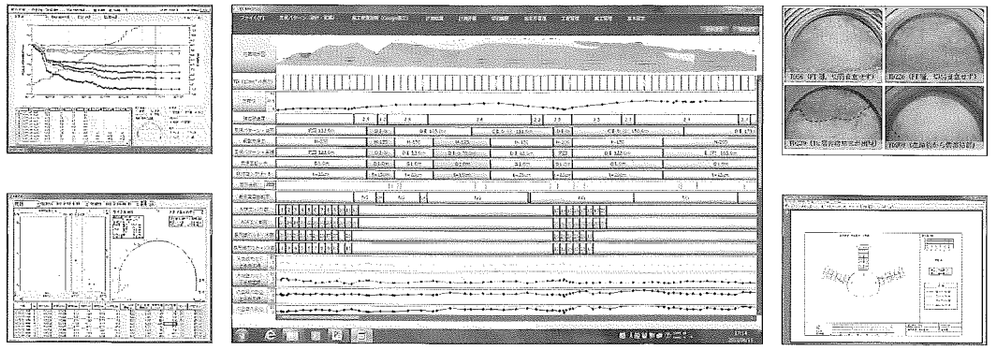
This August Debut

Cyber NATM 2nd Generation

新時代の切羽情報管理システム

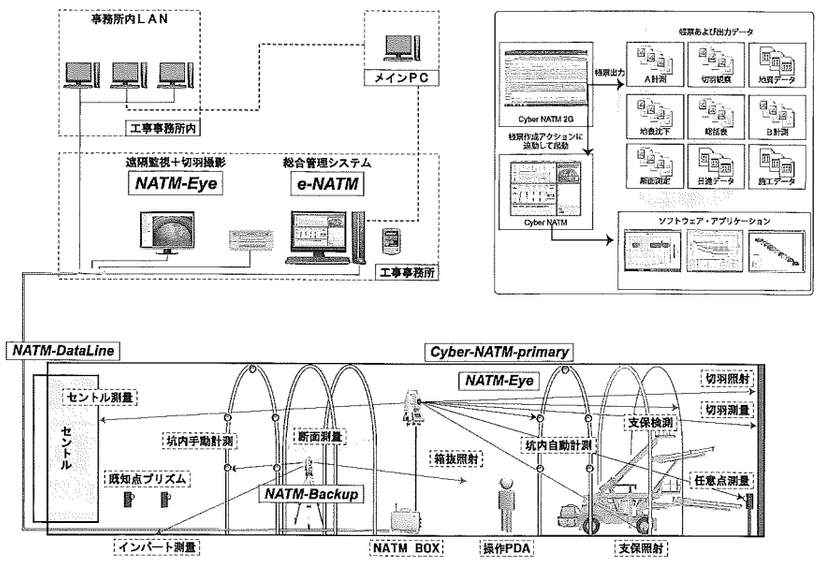
CYBER NATM　Horus

トンネル管理の原点はやはり巻物であった



トンネルアーカイブス
IT Scroll management

- トンネル連続情報を可視化する
- トンネル技術情報を共有化する
- トンネル施工情報を一元化する



enzan Koubou

株式会社　演算工房　ENZANKOUBOU CO.,LTD.

■京都本社　〒602-8268　京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地3

TEL：075-417-0100　FAX：075-417-0200

なんといっても低動力で大風量

電力もCO_2も抑えるために・・・　エコロジー＆テクノロジー

標準的なファン

定格：2000m³/min・4.9kPa

動力：110kW×2　400V



220kW(110kW×2)　ファンと同風量で・・・
動力も CO_2 も従来比（最大負荷時）の

省エネ型へ

32%の節電&削減！(150kW)

〔風管φ1500 使用時　中距離(0 ～ 1000m)〕

EZ－2000Q

風量・圧力	動　力	騒 音 値
2000m³/min・2.94kPa	150kW　400V	74dB(最小値)

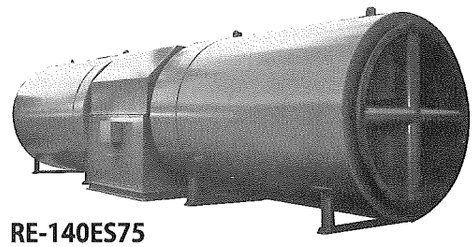


66%の節電&削減！(75kW)

〔風管φ1500 使用時　短距離(0 ～ 500m)〕

エアロMAX★uno

風量・圧力	動　力	騒 音 値
2000m³/min・1.5kPa	75kW　400V	78dB(最小値)



RE-140ES75

最適環境を創造する
株式会社流機エンジニアリング

〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI 聖坂ビル
TEL：0120-449-881
URL：http://www.ryuki.com/
E-mail：eigyobu@ryuki.com

(PC・スマホ専用)

月刊推進技術
定期購読のご案内



定期購読料金 **12,000円**（@1,000円/月×12ヶ月　税・送料込）

わが国のライフラインなどのインフラ整備またはその再構築や新たな地下空間の築造に、掘削残土量やCO_2排出量を抑制し、なおかつ耐震性の高い推進工法のニーズが高まっています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説をしております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管渠埋設の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっています。

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間購読料金12,000円（毎月1冊×12ヶ月　税・送料込）をお支払いください。

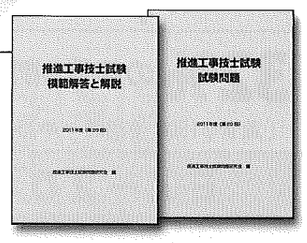
詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

定期購読のお申し込みは右のQRコードまたは本誌ホームページから

http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/　月刊推進技術　検索

お問い合わせ先
月刊推進技術 編集室
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/
〒135-0046　東京都江東区牡丹2-2-3-105　株式会社 LSプランニング内
電話 03-5621-7850　FAX 03-5621-7851　E-mail akasaka@lsweb.co.jp

推進工事技士試験　過去10年間（平成14～23年度）
試験問題と模範解答・解説集
推進工事技士試験問題研究会編



推進工事技士試験は、推進工法に係わる技術、技能を適正に認定することを目的に㈱日本下水道管渠推進技術協会（現㈱日本推進技術協会）が平成4年度より実施している制度で、管渠施工の安全性と品質を確保する上で有益な制度です。

解答付きの解説書に対する受験者の皆様からのご要望に応えて、この程、推進工事技士試験過去問題集を刊行しました。受験対策書としてご活用いただければ幸いです。

平成23年度版発売中!!

1．内容と特長
- ○過去10年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- ○各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- ○解説には設問に採用された図書（推進工法体系）の出典箇所を明記

2．価格

各年度単位に1set 2,000円（消費税・送料込）

3．申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

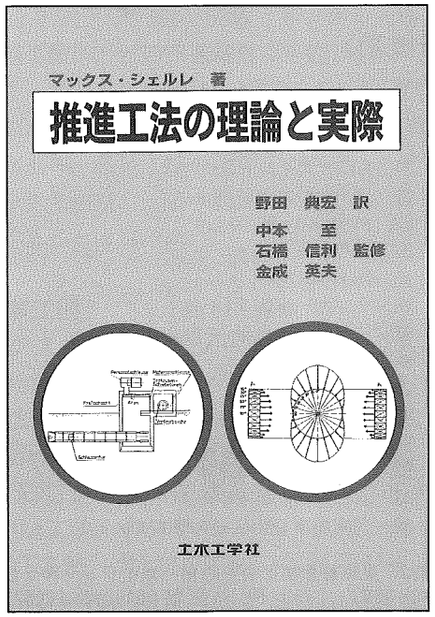
ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社（団体）名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。

これらのことをインターネットでご案内しています。　推進工事技士試験　検索

お問い合わせ先
株式会社 LSプランニング
http://www2.ocn.ne.jp/~ls_siken/
〒135-0046　東京都江東区牡丹2-2-3-105
電話 03-5621-7850　FAX 03-5621-7851　E-mail oda@lsweb.co.jp

推進工法の理論と実際

マニュアルを超えて
推進工法の理解を
さらに深める一冊



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
B5判　定価：8,500円＋税

推薦の言葉

中本　至・石橋信利・金成英夫

推進工法によって、下水道をはじめ多くの管渠が布設されている。下水道については一九六〇年にはわが国の普及率は十五％にすぎなかったが、今日では六〇％近くになっている。当初、一五〇〇キロしか施工実績がなかったが、近年の施工延長は年間一五、〇〇〇キロになっている。下水管渠の施工方法の選定にあたって、施工条件や建設環境、地下埋設物や地盤条件などの関係から、開削工法より推進工法などの特殊工法が選定されることが多くなり、その中でもとくに推進工法の適用は多くなった。ところが、わが国では推進工法に関する実務書は多いが理論面を記述したものはあまり見当たらず、推進工法の一層の発展のためにも理論書が求められていた。

本書では、ドイツで推進工法の研究開発で著名なマックス・シェルレ博士が推進工法における様々な疑問について理論的に解明した古典的な名著である。博士は理論面のみではなく、実際の施工にも従事し、実務にも精通していたので、実務面の良さも持っている。

私たちは、野田氏（訳者）の翻訳を監修したわけだが、推進工法の理論面と実務面を実に詳細に解説している点に驚いた。したがって推進工法に従事し、一層活躍しようとする人たちに本書を推薦したいと思う。

〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
tel: 03-3567-2888　fax: 03-3267-2807　http://www.tunnel.ne.jp
株式会社 土木工学社

【好評発売中】

セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B5判　132頁　本体価格 2,000円　送料 290円

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

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

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

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

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

〈セグメントの新技術〉

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

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

き―り―と―り―線

《ご　注　文　票》

セグメントの新技術＿＿＿＿冊　申込みます．

所 在 地　〒(　　)

事業所名　　☎

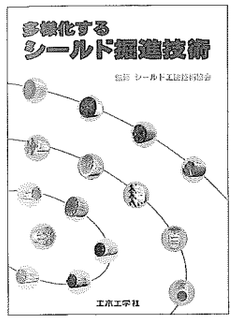
部 課 名　　申込者名　　㊞

好評発売中

多様化するシールド掘進技術

監修　シールド工法技術協会

B５判　141頁　　本体価格2,500円



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

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

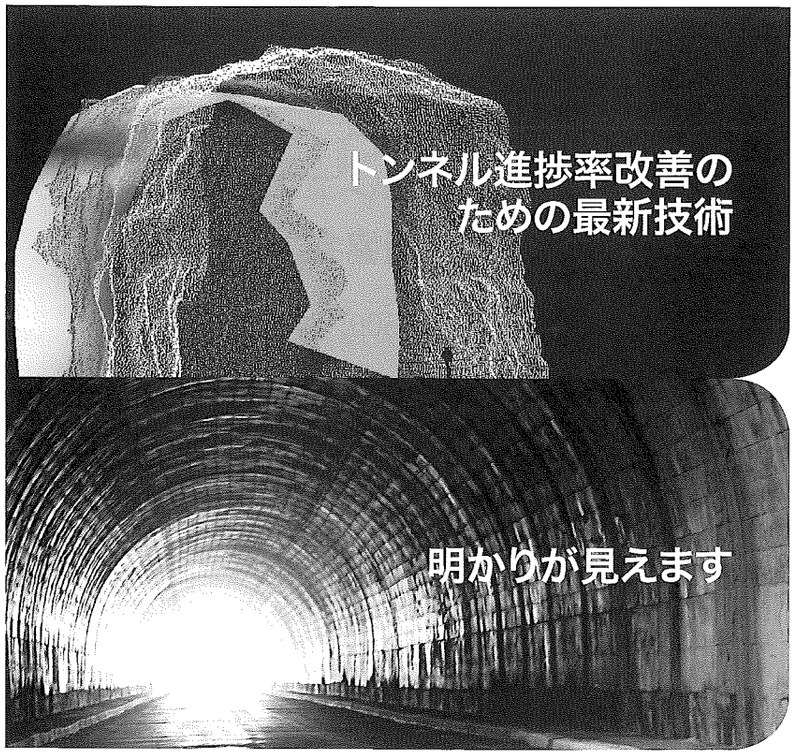
このため，読者の声に応えるべく，連載講座には掲載しなかった工法，技術などを整理，体系化するとともに，各種工法の境界，システム・考え方の違い，適用での留意点が，よりわかりやすいように手を加え再度，同名の図書「多様化するシールド掘進技術」をシールド工法技術協会が監修を行い，発刊することとなった．

〔掲載工法〕

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

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先
㈱土木工学社　〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
TEL：03-3267-2888　　FAX：03-3267-2807



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シ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。

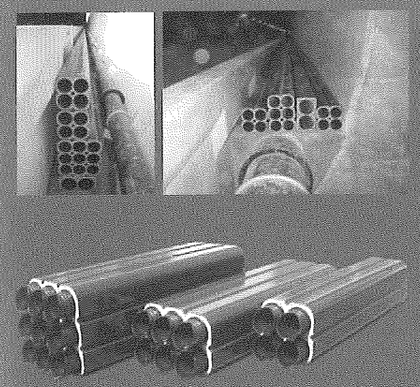
これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership（パートナーシップの力）」です。

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。

ORICA
MINING
SERVICES

万が一のトンネル火災でも
セラダクトAネオは燃える
ことはありません。
「安全・安心」な道路建設に
トンネル内地中埋設管路

セラダクトA（エース）ネオ neo
『不燃材』



－特長－
標準管の長さは65cmの新規格
接続はカップリング方式で
簡単スピーディー

杉江製陶株式会社
sugie
http://www.sugie.co.jp/

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

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）

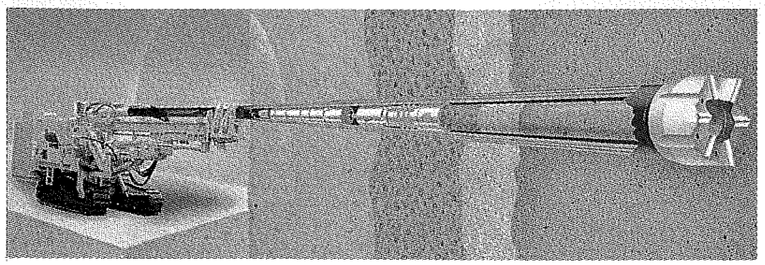
中濃産業株式会社
代表取締役　土田義式

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)



トンネル掘さくの安全施工に
アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■特長

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

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

KOKEN 鉱研工業株式会社

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

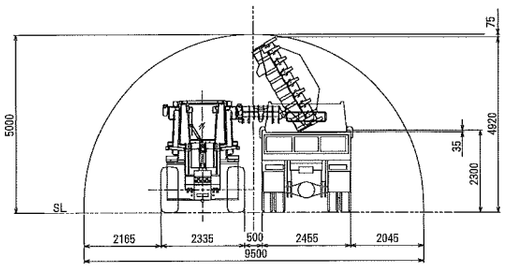
お問い合わせ先 : 工事営業本部
TEL. (03)6907-7512 FAX. (03)6907-7522
http://www.koken-boring.co.jp



サイドダンプ

CAT 924H

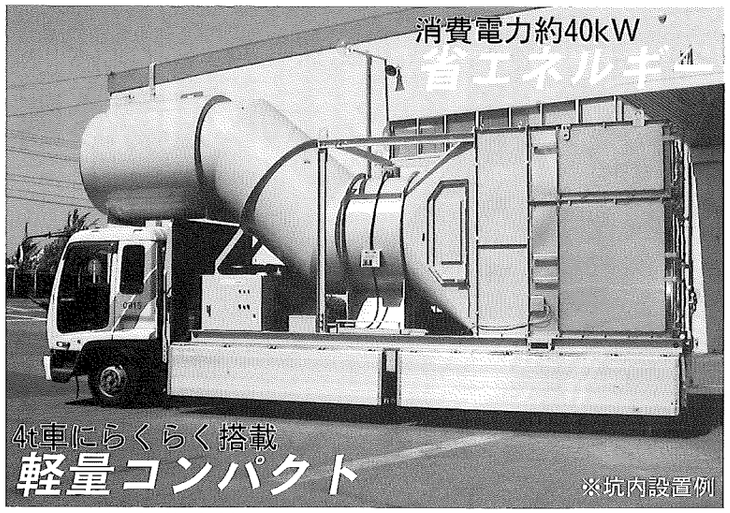
1.5m³



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



National電気集塵機クリンジェット(2,000m³/minタイプ)

RENT

取扱レンタル商品

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

株式会社 レ ン ト　　特機営業課　担当者　工藤

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-12-9 NIビル8階 TEL：03-5642-6750 FAX：03-3249-0415
URL：http://www.rent.co.jp E-mail：kudo.yuji@rent.co.jp

T&M
Tunnel & Mining

ニシオティーアンドエム株式会社
山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業
http://www.nishio-tm.co.jp
〒569-0836
大阪府高槻市唐崎西2-26-1

■北海道支店
tel：0133-72-3715
fax：0133-72-3716

■東北営業所
tel：0198-26-0240
fax：0198-26-0241

■関東支店
tel：0268-62-1426
fax：0268-62-1999

■大阪支店
tel：072-677-2101
fax：072-677-2109

■九州支店
tel：0982-26-2111
fax：0982-26-2290

快適な運転、優れた耐久性



坑内専用リジッドダンプ
FV50JJWD324

国土交通省排ガス3次トンネル工事用指定

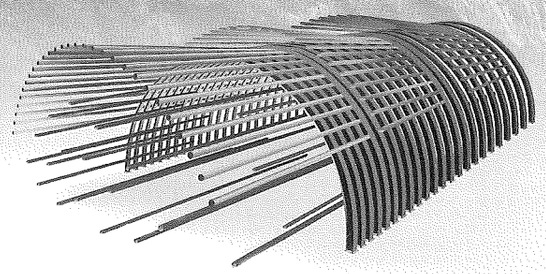
- 超耐磨耗性鋼板使用ベッセル
- 2重構造スーパーフレーム



【仕様】 三菱ふそう製 FV50JJWD324		
キャブ付シャシ	全長	7.310m
	全幅	2.880m
	全高	3.060m

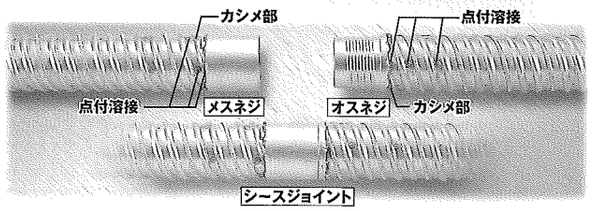
	一般ダンプ	FV50JJWD324
最大積載重量	10t	25t
ホイールベース	4,520m	4,520m
タイヤ&ホイール	11R22.5-14PR(8スタッド)	12.00-20-18PR(10スタッド)
エンジン	6M70T3	6M70-TL
	380PS/185kgf・m	370PS/154kgf・m
最高出力kw(ps)/rpm	279(380)/1,800	272(370)/2,000
最大トルクN・m(kgf・m)/rpm	1,810(185)/1,100	1,510(154)/1,600
	(JP05)	(産業用第3次排出ガス規制)
パワーステアリング	シングル	ツイン
フレーム	t7	t8+t8(二重フレーム)
その他	—	専用アスクル&サスペンション

ユニークな発想と高品質・自信の価格



FIXチューブ工法

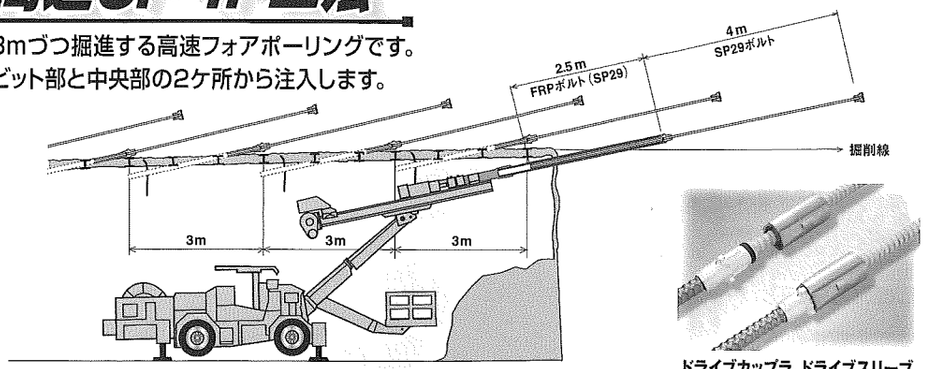
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと“**FIX**”します。

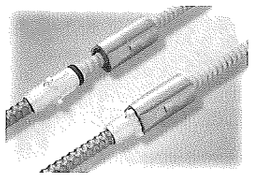




高速SP-IF工法

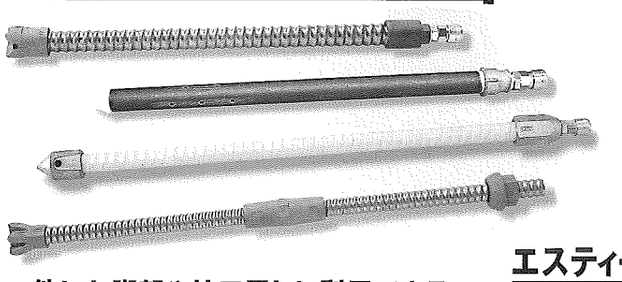
※3mづつ掘進する高速フォアポーリングです。
ビット部と中央部の2ケ所から注入します。

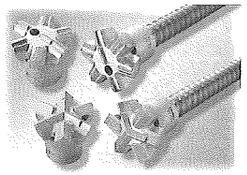




ドライブカップラ、ドライブスリーブ

自穿孔ボルト&注入管





φ65mm ロストビット(SP29)

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

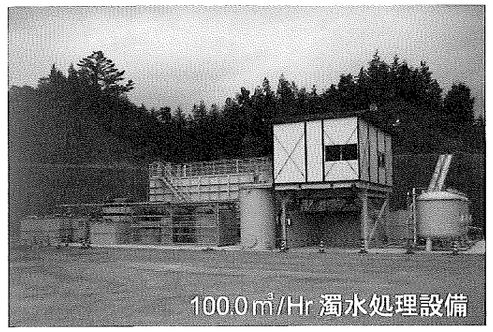
STE
エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251
http://www.st-eng.co.jp

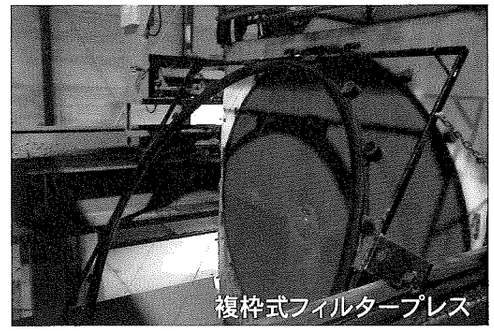
濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい

TWS型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します


100.0㎥/Hr 濁水処理設備


複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

1. シックナーを大型化し，沈降面積を増やし槽内流速を抑えています
2. 複枠式フィルタープレスにより，確実な自動運転を実現しています
3. 砂ろ過装置，高分子自動溶解装置等豊富なオプション設備で様々な条件に対応します

≪汎用車輌全般≫


VOLVO ダンプトラック (A25CTS,A25CTR,A20/30CT)





10T ミキサー


4.5㎥ベッセル搭載ダンプ


10T 低床ダンプ


10T ダンプ

各種車輌 取り扱っております

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

トンネルと地下　9月号目次　Vol.43, No.9, 2012 Sep.

■巻　頭　言

鉄道屋としてのトンネル保守
武藤　義彦……5

■研　　究

鏡の形状が切羽安定性に及ぼす効果の解析的検証と試験施工
佐藤　　淳・西村　和夫・楠本　　太……43

セメント系薬液注入材の長期材料特性と性能の評価
秋田　勝次・西村　直樹……53

■計　　画

内径 6 m, 延長4.5kmのシールドで低地帯の浸水を防ぐ
—東京都下水道　江東幹線—
大塚　文昭・今成　達郎・古澤　智章……27

■施　　工

地山挙動解析を施工管理に活用し未固結地山を掘る
—主要地方道宇都宮那須烏山線　高瀬トンネル—
齋藤　勇作・南原　晃隆・早津　隆広・山口　礼介……7



CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

営業線直下のシールド切拡げを凍結工法で非開削施工
—小田急小田原線　連続立体・複々線化事業—
小川　　司・吉田　裕介・大石　憲寛・尾関　孝人……17

■連 載 講 座

トンネル技術者のための地相入門(５)
—崖錐・沖積錐・扇状地に計画されたトンネル工事—
「地相入門」連載講座小委員会……61

■現場だより

「スカイツリーを見上げながら」墨田区より
堀　　浩之……15

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

汗の中から知恵を出せ！
小濱修一郎……35

■資　　料

土木情報
編　集　部……16

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……72

トンネルジャーナル
編　集　部……34

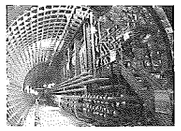
トンネルワールドニュース
JTA国際委員会……73

文献紹介
編　集　部……60

■会　　報

会　　報
日本トンネル技術協会……74

【表紙説明】　営業線直下のシールド切拡げを凍結工法で非開削施工
—小田急小田原線　連続立体・複々線化事業—



東京都と小田急電鉄が行っている複々線化事業(４線化)のうち，下北沢駅～世田谷代田駅間は，シールド工法と開削工法により２線２層構造のトンネルを築造する．換気塔部は，地上に営業線があることに加えて，橋上駅舎が直上に位置し，京王線に近接していることから凍結工法を採用し，シールドトンネル間の非開削切拡げ工を実施した．写真は，凍結設備全景である．　〔写真提供：小田急電鉄(株)〕(本文15頁参照)



山崎マシーナリー株式会社
ボルボ事業部　担当：浅野
住所：静岡県磐田市飛平松216番地1
電話：0538-66-1215　FAX：0538-66-6162

Yamazaki Machinery

ボルボ アーティキュレートダンプトラック

1955年、世界初のアーティキュレート式トラックの誕生以来、この画期的な搬送車は
瞬く間に世界に拡がり、その生産性の高さは常に業界をリードしてきました。
環境・安全・品質 ―― 設立以来揺るがぬボルボのコアバリュー。
長く、逞しく、自然と戦うためのマシンです。

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT

VOLVO

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大　島　洋　志　　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹　　事〕

居　相　好　信
株式会社大林組生産技術本部統括部長

岩　田　美　幸
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次長

大　津　敏　郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

金　山　洋　一
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

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

小　松　敏　彦
前田建設工業株式会社土木事業本部土木部
トンネルグループ長

志　岐　　寛
清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部
部長

福　家　佳　則
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
トンネルグループ長

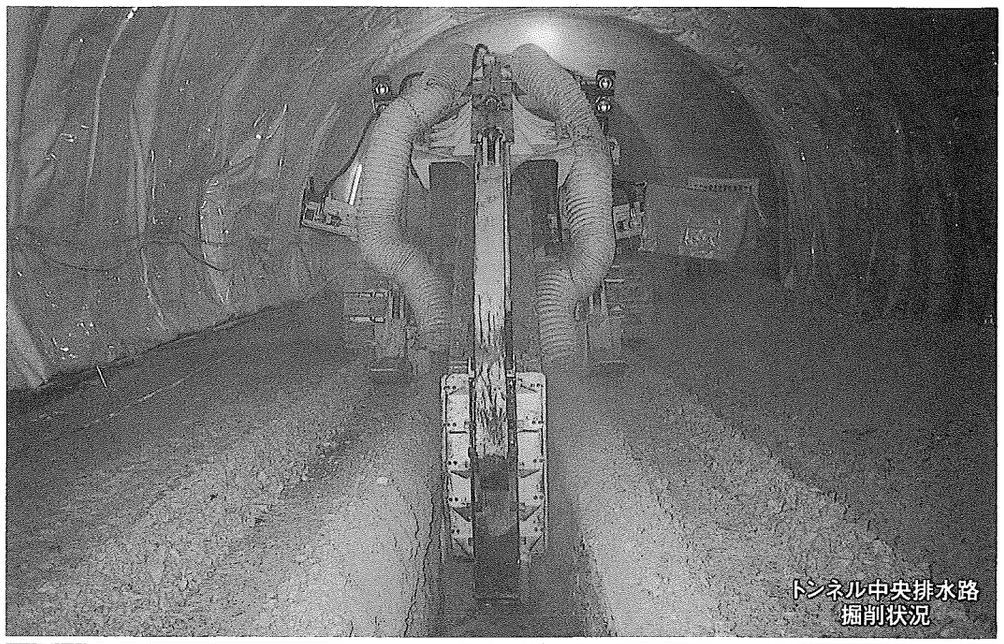
松　原　利　之
飛島建設株式会社建設事業本部
エンジニアリング事業推進部長

三　浦　　克
株式会社竹中土木常務執行役員

吉　富　幸　雄
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

トレンチャー

硬質地盤の溝堀はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路
掘削状況



施工例



トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

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

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

ワールド開発工業株式会社

●本社/営業部　〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484
☎(026)282-3671㈹ FAX(026)282-5803
http://www.wkk.co.jp/

編集委員会の構成（五十音順・敬称略）

〔編集委員長〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

木谷日出男
国際航業株式会社技術センター
地盤研究室長

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式会社専務取締役

橋本定雄
(元)東京都公営企業管理者下水道局長

濱建介
株式会社ANET取締役

三浦克
株式会社竹中土木常務執行役員

〔委員〕

大津敏郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

亀山勝
東京地下鉄株式会社鉄道本部鉄道統括部
移動円滑化設備推進担当課長

坂口淳一
東京都交通局建設工務部計画改良課長

佐原圭介
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

清水満
東日本旅客鉄道株式会社建設工事部兼設備部
構造技術センター次長

高田武
東京都水道局建設部工務課長

高橋晃
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

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

焼田真司
公益財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員

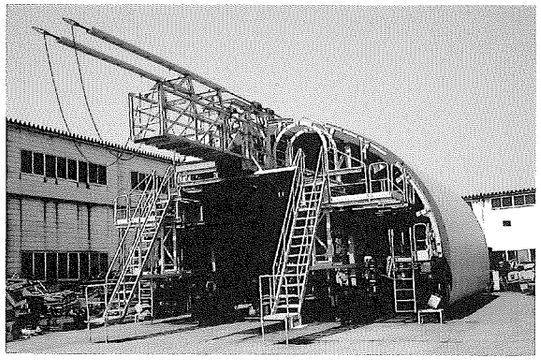
柳雄
東京都下水道局建設部設計調整課長

要求性能を満たす
覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレータ装置

NETIS 登録 No.HR-080001-A

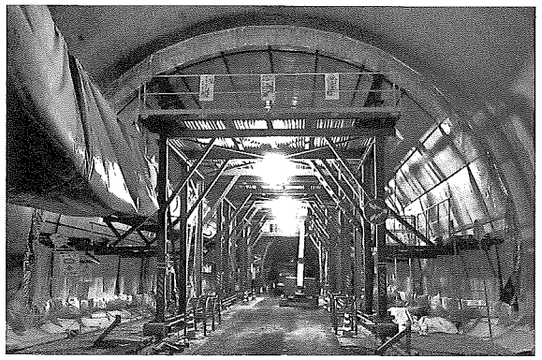


期待される効果・特徴

- トンネルクラウン部の締固めと密充填が出来る
- 高品質な覆工コンクリートが形成出来る
- 鉄筋区間で一部主筋をずらして使用することが出来る
  (但し，カーブ区間はケーブル式を推奨します)
- 覆工表面の縞模様を減らすことが出来る

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.HR-080002-A



期待される効果・特徴

- セントルと養生台車を連続してシートで覆い，坑内通気から遮断し，乾燥収縮クラックを防止する
- 脱型直後の覆工コンクリートに水(冬場は温水も可)を噴霧し，湿潤状態を保持し，初期強度を向上させる
- 養生中に追加噴霧することで湿潤状態を長期保て，覆工コンクリートの長期強度が増進する
- ３台連結することにより７日間の湿潤養生が出来る

北陸鋼産株式会社

(旧社名　株式会社 佐賀)

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

射水工場：〒934-0056 富山県射水市寺塚原 720 番 1　TEL0766(82)1500　FAX0766(82)1501

滑川工場：TEL076(476)0333　FAX076(475)9121　東北営業所・工場：TEL0223(32)2420　FAX0223(32)2423

東京支店：TEL03(3851)1016　FAX03(6908)6789　大阪支店：TEL06(4963)3520　FAX06(4963)3521

トンネルと地下　VOL.43　No.9　掲載概要

掲載頁 7

地山挙動解析を施工管理に活用し未固結地山を掘る
—主要地方道宇都宮那須烏山線　高瀬トンネル—

栃木県　齋藤　勇作

高瀬トンネル(仮称)本体建設工事は，県都宇都宮市と県東部地域の中心都市である那須烏山市を結ぶ主要地方道宇都宮那須烏山線におけるトンネル新設工事である．トンネル延長は430m，掘削断面積107m²で，掘削方法は機械掘削方式によるNATMである．

一般的にトンネル支保の設計は，地山の強度や土かぶりなどを考慮し，経験的になされることが多いが，本工事の掘削対象地山は脆弱な未固結地山であり，地山等級が全線Eであるため，設計にあたっては，２次元FEM解析を実施し支保や補助工法の選定を行った．

当トンネルの施工にあたっては，当初設計にFEM解析を使用したことに着目し，坑内計測値にもとづく数値解析手法を提案し，現場の施工管理に活用した．

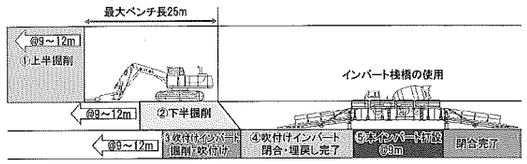
本報告では，計測データにもとづいたFEM解析の手法の概要と解析結果を施工管理に活用した事例について報告する．

Smart Tunnelling Unconsolidated Ground with Analyzing Ground Behaviour—Prefectural Road Utsunomiya –Nasu Karasuyama Line Takase Tunnel—

By Yusaku Saito, Tochigi Prefecture

The Takase Tunnel (provisional name) Works are to construct a new tunnel on the prefectural road Utsunomiya - Nasu Karasuyama Line to link the prefecture capital, Utsunomiya City and the major city in the eastern part of the prefecture, Nasu Karasuyama City. Its length is 430 m, excavation cross-section area is 107m² and the excavation method of is NATM with road header.

Generally, tunnel supports are empirically designed with conditions such as ground capacity and overburden height. However, the ground to excavate was weak and unconsolidated and, as ground grade was E for all lines, 2-dimensional FEM analysis was implemented to design the supports and auxiliary members.



図は断面の早期閉合をめざした掘削工法概念図

In the construction, we proposed to utilized the FEM analysis result in design process and on-site monitoring in numerical analysis method for the construction management,

This report gives an outline of FEM analysis methods using monitoring data and results utilizing analyzed data in construction management.

掲載頁 17

営業線直下のシールド切拡げを凍結工法で非開削施工
—小田急小田原線　連続立体・複々線化事業—

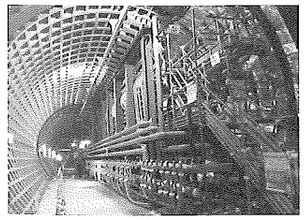
小田急電鉄(株)　小川　　司

東京都と小田急電鉄では，踏切での慢性的な交通渋滞の解消を目的とした道路と鉄道の連続立体交差事業と抜本的な輸送サービスの改善を目的とした複々線化事業(４線化)を行っており，2004年９月より，代々木上原駅～梅ヶ丘駅間約2.2kmの４線地下化工事を進めている．当地下化工事のうち下北沢駅～世田谷代田駅間は，シールド工法と開削工法により２線２層構造のトンネルを１期施工，２期施工に区分して施工する．本稿では，シールド内換気塔部の凍結工法を用いたシールドトンネル間の非開削切拡げ施工について報告するものである．

Underground Works of Air Ventilation Shaft with Artificial Ground Freezing beneath Operating Lines—Odakyu Odawara Line Grade Separation / Track Quadrupling Project—

By Tsukasa Ogawa, Odakyu Electric Railway Co., Ltd.

Tokyo Metropolitan Government and Odakyu Electric Railway Co., Ltd. precede a grade separation project with the aim of relieving chronic congestion at level crossings and track quadrupling project with the aim of drastically improving transportation services. Since September, 2004, the works of installing four tracks below ground is underway approx. 2.2 km between Yoyogi-Uehara and Umegaoka Stations.



写真は凍結設備全景

In the underground works of the section between Shimo-Kitazawa and Setagaya Stations, in first lower two tubes were built with shield TBMs, then box shaped two span tunnel was built with cut-and-cover above them. An air ventilation shaft was connected to the both two tubes after lower tubes were constructed. It was built underground to cut lining of shield tunnels with artificial ground freezing.

掲載頁 27

内径６m，延長4.5kmのシールドで低地帯の浸水を防ぐ
—東京都下水道　江東幹線—

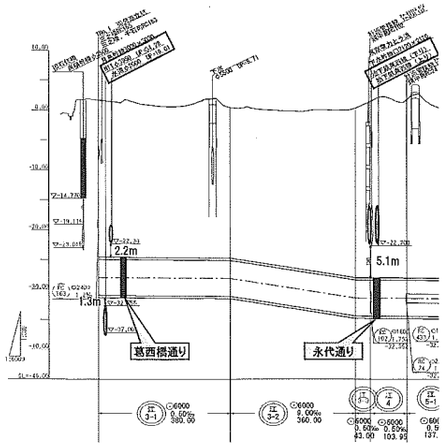
東京都下水道局　大塚　文昭

江東幹線は，東京都江東区内の広い範囲における浸水被害の軽減を図ることを目的に新設する雨水幹線である．

仕上がり内径6,000㎜の管渠を泥水式シールド工法により約4.5km敷設するものであり，路線途中には数多くの急曲線部(最小曲線半径30m)が存在する．シールドトンネル通過位置の地質は，ほぼ全線にわたり第四紀有楽町層粘性土であり，*N*値１程度の非常に軟弱な地盤である．また，計画地は東京ガス田に位置し，高ポテンシャルメタンガスの存在が確認されている．

本稿は，軟弱地盤かつ大深度という厳しい条件下において，大規模断面シールドを長距離掘進する江東幹線の計画・設計について報告するものである．

Avert Inundation in Lowland with Shield Tunnel of 6 m in diameter and 4.5 km in Length —Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government Koto Sewer Main—



図はコントロールポイント図

By Fumiaki Otsuka, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

The Koto sewer main is a new main storm drain with the aim of reducing inundation damage in a wide area in Koto city in Tokyo.

This line is approximately 4.5 km of pipes with an inner diameter of 6,000 mm which will be built by the slurry shield TBM and there are many sharp curves (smallest curve radius: 30 m) along the route. The geological condition along the route is cohesive soil of Yurakucho formation in Quaternary period and extremely weak ground with an N value of around 1 along almost the whole line. Further, the site is positioned in Tokyo Gas fields and the existence of high-potential methane gas was confirmed.

This report gives information on planning and design for the Koto sewer main for which the large shield will be driven over long distance under difficult conditions such as weak ground and deep underground works.

掲載頁 43

鏡の形状が切羽安定性に及ぼす効果の解析的検証と試験施工

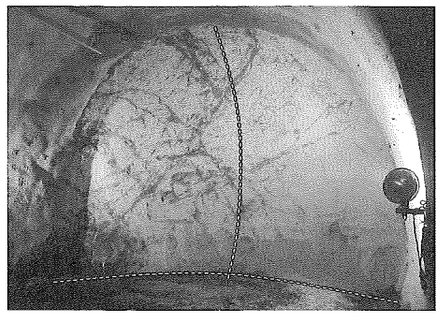
中日本高速道路(株)　佐藤　　淳

高速道路トンネルでは，標準支保パターンによる補助ベンチ付き全断面工法の標準施工が一般に行われている．最近では，一掘進長延伸によるサイクルタイム短縮，山岳トンネルの安定性確保における球面切羽の合理性などが報告されている．しかしながら，掘削工法や一掘進長，切羽形状などがトンネルの変形挙動や力学的安定性に及ぼす影響の定量的評価はなされていない．

本研究は，これらに対して，数値シミュレーションと試験施工を実施して，トンネル施工法とトンネル安定性の関係を明らかにした．さらに，より安全で合理的な球面切羽による全断面工法の有効性を実証した．

Analytical Verification of Face Stability Affected by Cutting Face Shapes and Trial Construction

By Jun Sato, Central Nippon Expressway Company Limited



写真は球面切羽全景

In general, expressway tunnels were built by use of full face cutting with short bench method and standard tunnel support. Recently, there have been reports of reductions in cycle time due to the extension of cycle length and rationality of spherical faces in ensuring the stability of cutting face. However, there is no quantitative evaluation of the effects of excavation methods, extension of cycle length and cutting face shape on tunnel deformation behaviour and dynamic stability.

This report discovered the relationship between tunnelling methods and tunnel stability by implementing numerical simulation and trial construction for the above. Further, it gave actual proof of the validity of full face cutting with spherical faces which are safer and more rational.

掲載頁 53

セメント系薬液注入材の長期材料特性と性能の評価

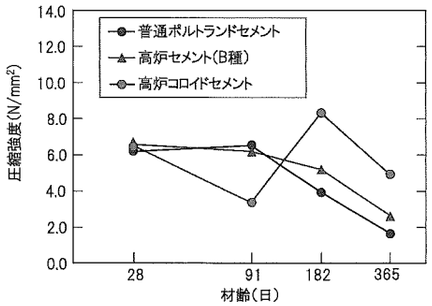
鉄道・運輸機構　秋田　勝次

山岳トンネルにおいて，高圧湧水や断層破砕帯への対策としてセメント系薬液注入材が数多く採用されてきた．これらの注入材では一般に仮設材料として位置づけられるため耐久性に関する評価はほとんど実施されておらず，長期材料特性を明確にすることが求められていた．本稿では青函トンネル，北越北線鍋立山トンネルで使用したセメント系薬液注入材のセメント水ガラス注入材および急硬性セメント注入材について採取した試料について各種試験を行い長期材料特性の評価を行い，さらに注入域における湧水圧などの測定により止水性，健全度といった性能の評価を行った．

Evaluation of Long-term Properties and Performance of Cementitious Chemical Grouting Material

By Katsuji Akita, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

Many types of cementitious chemical grouting material have been used as countermeasures to the inflow of high-pressure water or fault fracture zones in mountain tunnels. These grouting materials are hardly ever evaluated for durability because of their usage as temporary members and there was a demand to clarify their long-term properties. This report conducted various experiments on cementitious chemical grouting specimens of cement-water glass grouting and rapid-hardening grouting taken from the Seikan Tunnel and Nabetachiyama Tunnel as part of the hoku-hoku sen, and evaluated the long-term properties. Then it also evaluated the abilities of grouting such as permeability and soundness through measurements including water pressure in the grouting area.

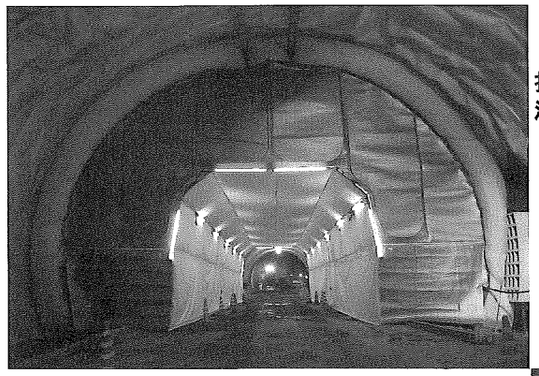


図は長期材齢と圧縮強度の関係(海水養生)

トンネルバルーン覆工コンクリート
トータル養生工法

長期耐久性に優れた高品質な覆工コンクリート施工を実現します！

NETIS登録
(No.HR－040005)



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。

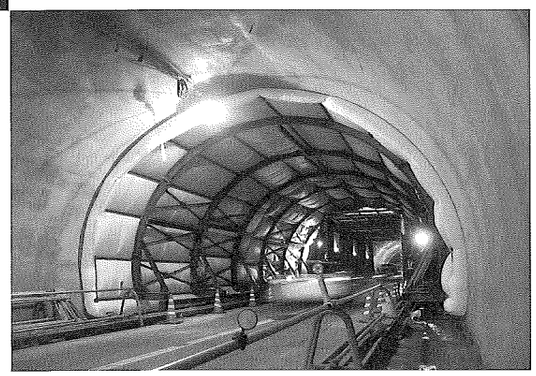
【特徴】
1．若材齢時に温度管理をすることで初期強度が向上します。
2．高品質コンクリートの確保が可能です。
（脱型時コンクリートの付着が減少します）
3．サイクルタイムの短縮が可能です。
4．洗い水が車両通行部に落ちません。

特許出願中

覆工養生バルーン

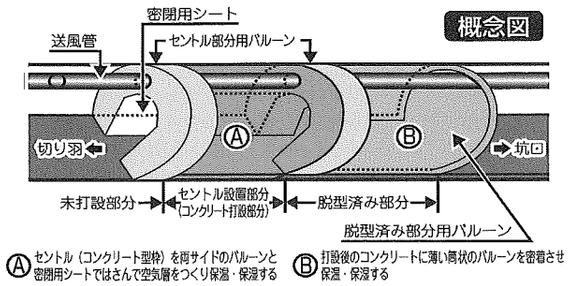
脱型後の覆工コンクリートを覆います。

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



特許3811478号

概念図



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

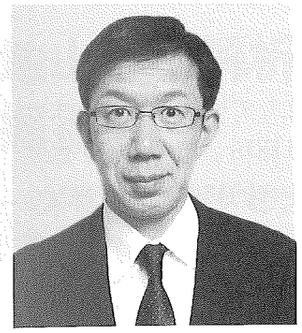
実　績	セントル温度養生	覆工養生バルーン
新幹線	５現場	２現場
高速道路	２現場	２現場
国土交通省	３現場	８現場
地方自治体	７現場	５現場
ＪＲ東日本	２現場	１現場
合　計	19現場	18現場

２００５年『日経ＢＰ技術賞　建設部門』受賞

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

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

巻頭言
（題字　佐藤信彦会長）



鉄道屋としてのトンネル保守

東京地下鉄(株)鉄道本部工務部長(本協会評議員)
武藤義彰

私は学生時代に土木工学を学び，研究室はシールドトンネルのセグメント設計を研究していた構造系であった．特別鉄道に興味があったわけではないが，指導教授の勧めもあって当時の営団地下鉄に入団した．昭和の終わりであり，営団は首都東京の地下鉄を整備するために積極的に新線建設を行い，私も建設に携わるものと考えていた．

しかし，配属されたのは工務部という営業線の線路や土木構造物を保守する部署であった．入団３年目には銀座線の保線区に配属となり，責任者として４日に１回の泊まりを２年間行った．仮眠を取った後，深夜０時前に起き出し，補修作業を行うために区員とともに終電車が終わったトンネルの中に，保守用車に乗り，入っていった．日夜休みなく実施する保守作業の大切さを身を持って体験した期間であり，この経験が鉄道屋としての私の原点である．保線区では列車運行に直接関係する線路の補修が最優先であった．今のようにロングレール化も進んでおらず，レール継目と言われる部分には小さいクラックが多くあり，ベテランの区員が適切な時期を見ながら計画的にレール交換を行っていたことを思い出す．

また，銀座線のトンネルは場所によっては大きなひび割れが横断的に入っている箇所もあったが，その後南北線の開業に合わせた溜池山王駅の新設時にトンネル部の作り替えを行った．それ以外にも漏水やひび割れは数多くあったが，当時50年以上経過していたが構造上は問題がなくしっかりとした状態であった．日常の補修として漏水を止めるために薬液の注入を行い，かぶりコンクリートが剥がれた箇所は劣化部分をきれいにはつりポリマーセメントモルタルで整形を行っていた．この補修方法は材料自体の進歩はあるが，作業としては今も変わらず行われている．

それ以外の路線にも一部ではあるが，トンネルの大規模な補強・補修が必要と判断された区間があり，適切な対応が行われている．代表的なものとして，東西線門前仲町駅・東陽町駅間のシールドトンネル区間においては変形が進んだことからトンネルの内側に厚さ150㎜の二次覆工を14年間かけて施工した．東西線木場駅や千代田線新御茶ノ水駅

のダクタイルセグメントにおいては発錆が著しいことから防錆工事を実施しており，現在も千代田線国会議事堂前駅で同様の工事を実施している．

近年社会資本である土木構造物の老朽化とそのメンテナンスが大きな課題となっている．トンネルに限らず，土木構造物は長い年月の経過に伴い劣化して補修・補強，またいつかは作り替えを行わなければならない．当社もトンネルでは昭和２年にアジア最初の地下鉄として開業した銀座線が85周年を迎えるなど，トンネルの約40％以上が建設から40年を経過している．トンネルの健全度を確認するために平成16～18年度に「銀座線トンネル検討委員会」を社内に設け，各種の試験を行い健全度の判定を行った．その結果現在も十分に強度を有しており，日常的なメンテナンスを続けていけば今後100年以上まったく問題がないことを確認した．地下という安定的な状態であったことと，漏水補修などの処理を確実に行っていたことで今の状態を維持できていると考えられる．さらに河川下などの横断部で漏水に伴って著しい鉄筋とコンクリートの劣化が発生しており，平成22年度から「トンネル塩化物検討委員会」を社内に設け，高塩分漏水による中長期的な塩害リスクについて検討を行っている．従来の補修方法では再劣化の危険が大きいことが判明し，塩害に対する補修工法を開発している段階である．

保守の基本は検査・点検であり，その結果をもとに計画を策定して確実に補修を実施することが重要である．そして補修結果の検証と定期的な検査・点検をくり返していかなければならない．維持管理には終わりがなく，常にトンネルの状態を把握していく必要がある．当社はトンネル内面の目視検査を行う通常全般検査を２年周期で実施し，その結果から問題となる不具合が認められた箇所では詳細な検査を実施している．さらに20年に１回は行わなければならない近接からの入念な目視と必要な箇所の打音検査を行う特別全般検査を今年度から銀座線で開始している．

維持管理の業務は非常に地道な作業である．鉄道の場合，検査・点検および補修作業は終電が終わった深夜１時すぎから，始発が走り出す４時すぎまでの約３時間の間に終わらせなければならない．準備・後片付けを除くと作業時間は正味２時間となってしまう．本当に時間との戦いであり，朝までに電車を通せる状態に戻すため，どのように補修などを行っていくのかを常に考えなければならない．

しかし，この作業があるからこそ，昼間毎日，電車を安全に走らせることができるのである．工務部というメンテナンス部門に配属となり，約30年間知恵を出し続けてきた．私たち保守部門の社員は今も電車が普通に動いていることを誇りとしている．私たち鉄道屋の保線部門が日夜保守を行っているからこそ，この状態があることを再度心に刻み，これからも当社に乗っていただけるお客様に毎日ダイヤどおりの電車の運行をお届けしたいと考えている．

施工

地山挙動解析を施工管理に活用し未固結地山を掘る

—主要地方道宇都宮那須烏山線　高瀬トンネル—

栃木県烏山土木事務所整備部係長　齋　藤　勇　作
戸田・桜岡・松本特定建設工事共同企業体高瀬トンネル本体建設工事作業所所長　南　原　晃　隆
戸田・桜岡・松本特定建設工事共同企業体高瀬トンネル本体建設工事作業所主任　早　津　隆　広
戸田・桜岡・松本特定建設工事共同企業体高瀬トンネル本体建設工事作業所工事担当　山　口　礼　介

1　はじめに

本トンネルは，図-1に示すように主要地方道宇都宮那須烏山線の那須烏山市内に位置し，峠部における急こう配，急カーブなどの交通隘路の解消を目的としたトンネルである．掘削対象地山が全線脆弱な未固結地山であることから，二次元FEM非線形弾性解析を実施し，トンネルの支保構造と補助工法の設計を行っている．そこで，当工事では，施工時においてもFEM解析を実施し，支保工や補助工法の妥当性を検証しながら掘削を進めてすることとした．

解析は，坑内計測データにもとづく二次元FEMの逆解析によって地山物性値の見直しを行い，未施工区間の順解析を行うものである．これを順次くり返すことで，地山挙動の予測精度を向上させて掘削工法や支保規模，補助工法の妥当性を事前に判定し，安全性と経済性の確保に努めたものである．

本報告では，逆解析を活用した施工管理手法について述べ，設計パターン変化点での運用結果や三次元FEMによる地山挙動の分析結果について報告する．

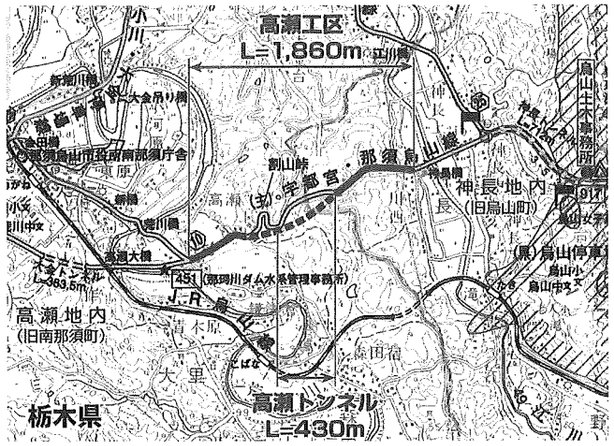


図-1　トンネル位置図

2　工事概要

2-1　工事諸元

表-1に高瀬トンネルの工事諸元を示す．延長430m，掘削断面積107m²の機械掘削方式のNATMトンネルである．

2-2　地形・地質条件

図-2に地質縦断図を示す．地層はおおむね水平

構造を呈し，最大土かぶり高さは39mである．

掘削対象地山は，起点側の一部で新第三紀の堆積岩である大金層泥岩が確認されていたが，大部分は第四紀の境林礫層である．この砂礫層は，湖床堆積土砂でSg 1 層とSg 2 層から構成され，一軸圧縮強度は68.8～161.3kN/m²と低強度で，地山強度比も0.1～0.4と低い値となっている．そのため，地山区分はトンネル全線にわたりE地山である．

また地下水位は，トンネルの天端上部４mの位置にあり，ほぼ全線が地下水位以下であった．

2-3　当初設計

当トンネルでは地山の脆弱性から掘削に伴う地山のゆるみが広範囲に及ぶことが想定されたため，地山の非線形的な挙動の再現性に優れた二次元FEM非線形弾性解析を用いて支保および補助工法の設計が行われていた．地山材料の非線形特性は電中研方式(林・日比野モデル，破壊近接度法)が採用され，設計の要点は地山の安定性と支保部材の強度上の安全性確保であった．地山の安定性は，地山の限界ひずみにもとづく限界せん断ひずみ，地山応力とモール・クーロンの破壊基準から定まる破壊安全率を判断指標とし，支保部材の安全性は材料の許容応力度が判断指標とされていた．

Sg 1 層とSg 2 層の限界ひずみは，砂礫地山のため満足なコア採取ができず，一軸圧縮強度のデータ取得が困難な状況から，原位置で実施した孔内水平載荷試験による地山の変形係数にもとづいて設定[1]されたものである．また，一軸状態や三軸状態によって変化する軸ひずみに代わり，地山のせん断ひずみに着目することで地山の応力状態に左右されずにその安定性を評価することができるものである．限界せん断ひずみγ_cと限界ひずみε_cの関係は，地山のポアソン比をνとすると，次式で与えられる．

$$\gamma_c = \varepsilon_c(1+\nu) \qquad (1)$$

表-1　工事概要

工事名称		主要地方道宇都宮那須烏山線 高瀬トンネル(仮称)本体建設工事
工事場所		栃木県那須烏山市高瀬地先
工期		平成21年６月～平成24年９月
発注者		栃木県
施工者		戸田・桜岡・松本特定建設工事共同企業体
工事内容	トンネル延長	430m
	掘削断面	107m²
	施工方法	NATM
	掘削方式	機械掘削
	掘削工法	早期閉合型上下半交互併進方式
	運搬方式	タイヤ方式
	補助工法	天端安定対策：長尺鋼管フォアパイリング (L=12.9m，ＥⅠ部@６m，ＥⅡ部@９m)
		脚部安定補強：脚部補強鋼管パイル (L=2.5m，3.0m，４本/m)

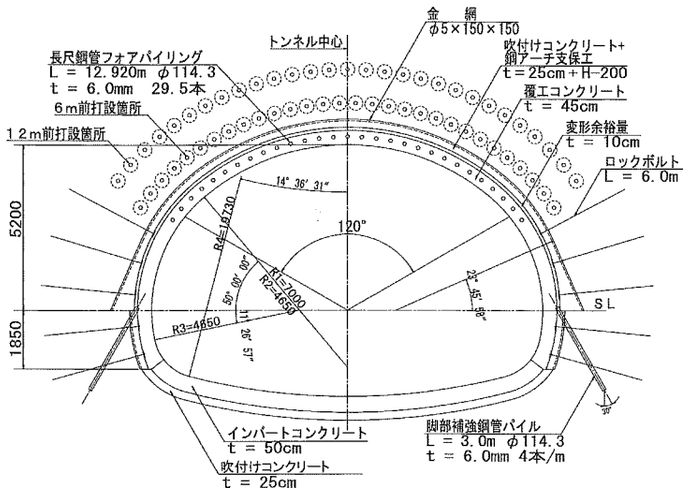


図-3　支保パターン図(ＥⅠ)

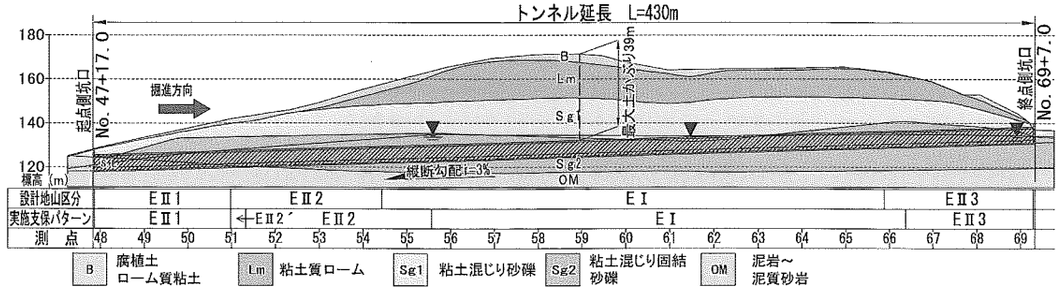


図-2　地質縦断図

図-3に地山区分ＥⅠにおける支保パターン図を示す．鋼製支保工は，H-200のウィングリブ付きである．補助工法として，長尺鋼管フォアパイリング(シリカレジン注入式，L=12.5m，ϕ114.3㎜，@6.0m，29.5本/６m(以下，AGF))，フットパイル(シリカレジン注入式，L=3.0m，ϕ114.3㎜，４本/m)が採用されていた．インバートは，本インバート(t=500㎜)の施工に先立ち，吹付けインバート(t=250㎜)による断面閉合を実施するもので，設計変形余裕量は100㎜であった．その他の支保パターンの諸元を**表-2**に示す．

ここで特徴的なのは，トンネル全線にわたるAGFのシフト長が２通りで設計されている点であった．

ＥⅡ1～ＥⅡ3(以下，ＥⅡ)パターンではAGF鋼管を９m掘削ごとに打設し，ＥⅠパターンでは６m掘削ごとに打設して先受け鋼管を二重構造とするものであった．このことは，支保パターンに応じて補助工法の数量が大幅に増減することを示しており，実施工において，パターンの変化点の決定が工事の経済性を左右する重要な課題であった．

2-4　掘削工法と計測工

掘削工法は，最大ベンチ長25mの上下半交互併進によるショートベンチカット工法とし，下半施工にあたっては引き続きインバート掘削，吹付けインバートによる断面閉合を実施した．その際，上下半の施工サイクルを@９～12mにすることで，上半掘削から吹付けインバート施工までの経過時間を短縮する早期閉合とし，地山の安定性向上に努めた．**図-4**に施工の概略図を示す．

一方，計測工については逆解析を行うことを念頭に入れて掘削５～10mごとにA計測を実施し，10断面において鋼製支保工と吹付けコンクリートの応力計測を主体としたB計測を実施した．これらの計測はすべて自動計測とし，インターネットを介して工事事務所にデータを通信して計測値を

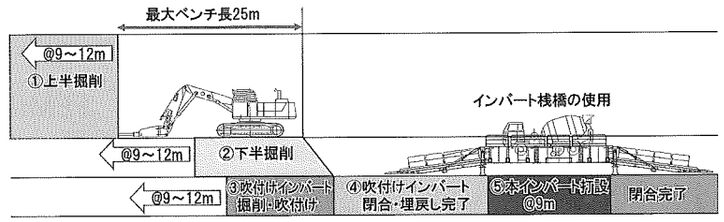


図-4　断面の早期閉合をめざした掘削工法概念図

表-2　支保パターン別諸元表

支保パターン	設計区間長(m)	AGF工 L(m)/ϕ(㎜)	AGF工シフト長(m)	鋼アーチ支保工	脚部補強鋼管パイル L(m)/ϕ(㎜)	金網	設計変形余裕量(㎜)	吹付けコンクリート厚(㎜) 上・下半	吹付けコンクリート厚(㎜) インバート	覆工巻厚(㎜) 上・下半	覆工巻厚(㎜) インバート
ＥⅡ1	62.3	12.92 114.3	9	H-200	—	上・下半	0	250	250	450	500
ＥⅡ2	69	12.92 114.3	9	H-200 WRあり	2.5 114.3	上・下半	100	250	250	450	500
ＥⅠ	229	12.92 114.3	6	H-200 WRあり	3 114.3	上・下半	100	250	250	450	500
ＥⅡ3	68.3	12.92 114.3	9	H-200 WRあり	2.5 114.3	上・下半	100	250	250	450	500

WR：ウイングリブ

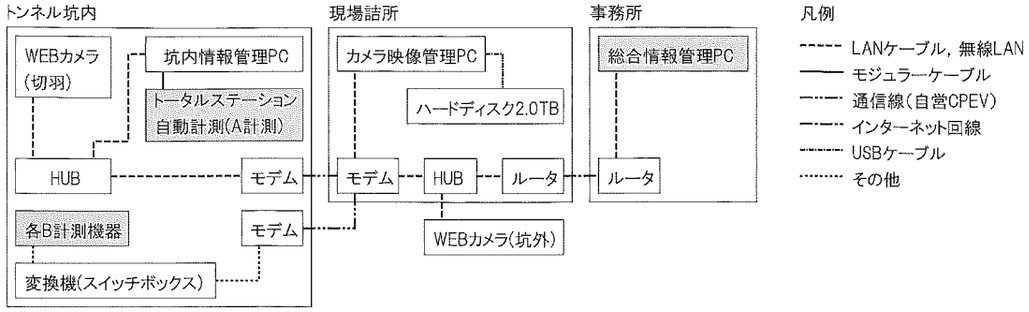


図-5　計測データ通信回線概略図

表-3　A計測管理基準値

	Sg 1 層		Sg 2 層	
	レベルⅠ 不安定 中間値	レベルⅡ 破壊 境界値	レベルⅠ 不安定 中間値	レベルⅡ 破壊 境界値
ひ ず み(%)	0.60	1.40	0.37	0.86
天端沈下(mm)	35	83	22	51
内空変位(mm)	70	166	44	102

表-4　B計測管理基準値

計 測 項 目	管 理 基 準 値			
	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ	
ロックボルト軸力(kN)	85	130	170	ロックボルトの降伏耐力
吹付けコンクリート応力(N/mm²)	6	9	12	吹付けコンクリートの許容応力度
鋼アーチ支保工応力(N/mm²)	122	188	245	鋼アーチ支保工の降伏応力度
長尺鋼管先受け工応力(N/mm²)	140	160	210	鋼管の短期許容応力度

常時確認できるようにするとともに，リアルタイムでの解析を可能とした．**図-5**に計測データの通信回路の概略図を示す．

A計測の管理基準値は，掘削位置での地質Sg 1層とSg 2層の限界ひずみから，**表-3**のように決定[1]した．

表中のレベルⅠは地山が不安定となる領域のひずみの中位値であり，レベルⅡは地山が破壊するひずみの境界値である．B計測の管理値は各部材の許容応力度を基本に，**表-4**のように定めた．レベルⅢが管理限界値であり，その75%をレベルⅡ，50%をレベルⅠとした．

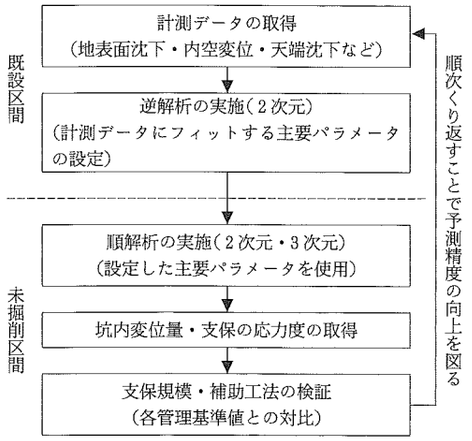


図-6　数値解析を活用した施工管理フロー

3　FEMによる地山挙動解析と施工管理

3-1　施工管理の基本

当工事の地質条件は，全線にわたって不安定な未固結地山であり，数値解析によって支保構造，補助工法の設計がなされている．したがって，計測データの的確な判定とともに，とくに未施工区間での支保，補助工法の妥当性を精度よく予測することが，工事の安全性と経済性を確保するために重要な課題であった．そこで，掘進長約50mごとに坑内計測データにもとづく逆解析を実施して地質モデルの見直しを行い，未施工区間の順解析により支保構造と補助工法の妥当性を検証し，それをくり返すことで地質モデルの精度を向上させ，合理的な施工を行うことに努めたものである．数値解析を活用した施工管理のフローチャートを**図-6**に示す．

3-2　地山挙動の解析手法

逆解析は，当初設計と同様に二次元FEM非線形弾性解析により実施し，A計測における天端沈下量と内空変位量の比率およびその絶対値を再現できる主要パラメータ(初期側圧係数と初期変形係数)をくり返し計算によって算出するものとした．さらに，支保部材応力度もB計測値と対比して，逆解析結果の妥当性を検証した．ここで，初期側圧係数とは，地山の水平応力と鉛直応力の比率を示すものであり，土かぶりが小さい場合，1.0未満になることが知られている[2]．

ここで，検討パラメータを初期側圧係数と初期変形係数に絞り込んだのは，未知数を少なくすることで取扱いを簡便にし，解析精度を向上させる狙いがあった．したがって各地層の内部摩擦角などのせん断強度は当初値から変化がないものとし，二次元掘削解析における初期応力解放率は慣用的な40%に固定した．

未施工区間を対象とする順解析では，逆解析により求められた主要パラメータを適用して地層構成をモデル化した．当初の地山物性値を**表-5**に示す．なお，最終変形係数は初期値の1/20，最終ポアソン比は0.48を仮定している．

解析の対象位置は，50mごとを基本とし，設計支保パターンの変化点，道路直下，沢部，最大土かぶり箇所など，特異点を中心に選定した．とくに設計支保パターンの変化点を解析対象とすることにより地山判定会議の資料としても活用した．逆解析・順解析の実施箇所を**図-7**に示す．

3-3　設計パターン変化点での運用

ここでは，数値解析を施工管理に活用した例として設計パターン変化点での運用例と三次元FEM解析の適用例について紹介する．

3-3-1　EⅡ2からEⅠへの移行

EⅡ2からEⅠへの移行位置を確定するにあたりNo.51＋0.0で逆解析を実施し，得られた地質モデルにより設計上のパターン変化点であるNo.54＋9.0にて順解析を実施した．土かぶりはNo.51＋0.0で14m，No.54＋9.0で28mである．**図-8**にNo.54＋9.0の解析モデルを示す．**図-9**はEⅠパターンのトンネル部詳細図である．

当該区間は土かぶりが比較的小さく，内空変位よりも沈下挙動が優勢になる傾向を示し，No.51＋0.0での天端沈下量は－32mm，内空変位量は－15mmであった．ここで，A計測データのうち天端沈下量の管理値としては，Sg 2層のレベルⅡ沈下量(破壊境界値)－51mm(表-3参照)を限界値とし，その80%の－41mmを判定基準値とした．

表-6に，No.51＋0.0での実測値とパターン変化点のNo.54＋9.0におけるEⅡ2とEⅠの順解析結果を示す．

逆解析の結果，初期側圧係数は0.88，初期変形係数の当初値に対する割合は1.9となった．これらを用いた順解析によって，EⅡ2では天端沈下量が－44.2mmとなり判定基準値の－41mmを超

表-5　当初地山物性値一覧表

地層名	変形係数(kN/m²)	ポアソン比	単位体積重量(kN/m²)	C(kN/m²)	φ(度)
B	700	0.45	14.0	6.0	0.001
Lm	2,800	0.40	14.0	24.0	5.0
Sg 1	29,000	0.40	19.5	8.0	10.0
Sg 2	104,000	0.36	20.0	93.7	19.6
OM	1,420,000	0.30	18.0	1,000.0	40.0

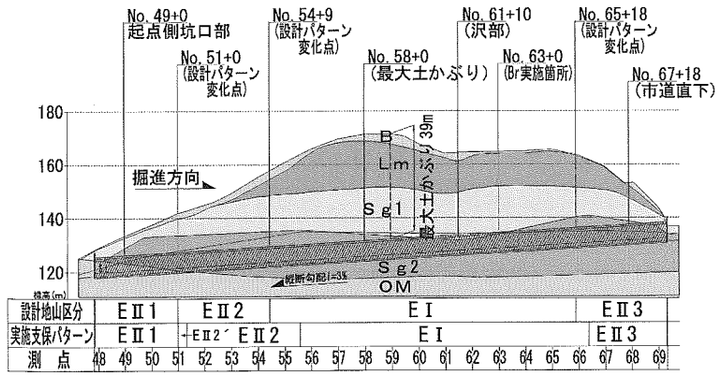


図-7　解析実施箇所縦断図

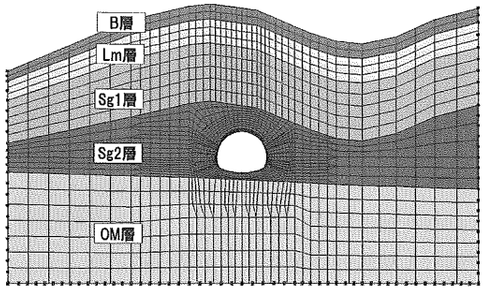


図-8　解析モデル図(No.54＋9.0)

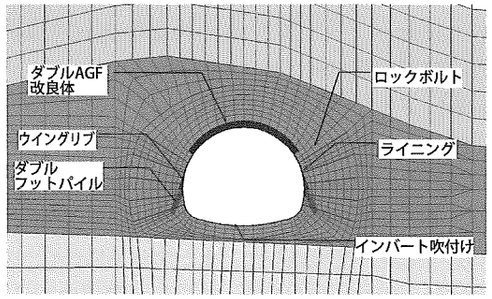


図-9　解析モデルトンネル部(No.54＋9.0，ＥＩ)

表-6　順解析結果

	No.51＋0.0 実測値	No.54＋9.0 解析値	
	ＥⅡ2	ＥⅡ2	ＥＩ
①上半施工完了時 天端沈下(㎜)	−30.4	−36.4	−32.9
②収束時 天端沈下(㎜)	−37.0	−44.2	−41.5
天端沈下比率 ①/②(%)	82%	82%	79%

え，ＥＩでは−41.5㎜とおおむね判定基準値になることが想定された．これより，解析的検討では，No.54＋9.0でのパターン変更は妥当なものであると判定した．

ここで，初期側圧係数が比較的小さな値となったのは土かぶりが小さな地山条件で水平変位より沈下挙動が卓越した状況を反映し，初期変形係数が孔内載荷試験などで定まる当初値より大きな値となったのは試験値が限られた位置のものであるなどの誤差的な要因も大きいものと考えられる．

一方，実施工では，計測データの推移を見極めたうえでパターン変更を決定することとし，早期

表-7　解析値と実測値の比較

解析ステップ	No.54＋9.0　ＥⅡ2			
	天端沈下		内空変位	
	解析値	実測値	解析値	実測値
上半施工完了時	−36.4	−30.8	−7.0	−15.6
インバート施工時(収束値)	−44.2	−41.1	−21.0	−20.9

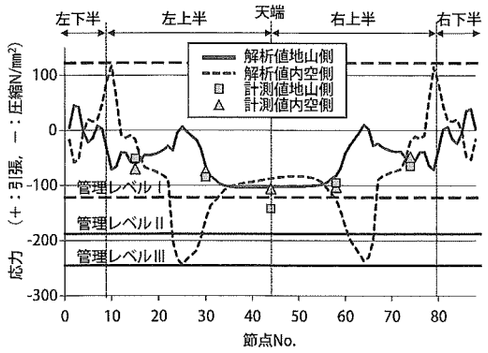


図-10　鋼製支保工応力度(No.54＋9.0，ＥⅡ2)

に最終沈下量を予測するために上半掘削段階の沈下量に着目した．表-6に示したように，上半施工完了時(①)と収束時(②)の天端沈下量の比率(上半沈下比率①/②)が，実測値，解析値とも約80%になっていることから，上半施工完了時の判定基準値を収束時の−41㎜の80%，−33㎜と定めた．上半施工完了時にこれを超える見込みとなった位置より，ＥＩに変更することとした．その結果，No.55＋11.8よりＥＩでの掘削を開始することとなった．これは，設計上の支保パターン変化点より約20m掘り進んだ位置からの移行となったものである．

表-7にNo.54＋9.0のＥⅡ2における順解析結果と実測値を示すが，インバート施工完了時(収束時)において，おおむね一致した結果が得られている．

また，**図-10**に鋼製支保工の応力度の解析結果と実測値を示す．実測値では，内外縁にほぼ均一な応力が発生しているが，解析値では左右の肩の位置で内外縁に大きな応力差が生じ，比較的大きな曲げモーメントの作用が想定される．これは支保部材と地山要素を一体化して評価する解析手法上の問題と考えられる．なお，他の解析断面では

必ずしもNo.54＋9.0のように解析値と実測値が十分に一致しない場合もあり，逆解析の実施頻度を増すなどの対応が必要であったと考える．

3-3-2　ＥＩからＥⅡ3への移行

ＥⅡ3パターンは，前出のＥⅡ2パターンと同一の支保パターンであり，ＥＩからＥⅡ3に移行することは，支保規模を低下させ，変位が増大することになるため，その位置の特定は安全性確保の面からも重要であった．

ここでは，支保パターンの設計上の変化点であるNo.65＋18.0で順解析を行い，それに先立つNo.63＋0.0で逆解析を実施した．No.63＋0.0の土かぶりは31mであり，No.65＋18.0の土かぶりは27mである．**図-11**にNo.65＋18.0の解析モデルを示す．

ＥⅡ3に移行するための実施工段階での判定基準を得るためにNo.65＋18での順解析結果に着目し，ＥＩでどこまで変位量が抑制されていれば，ＥⅡ3に移行できるかを判定することとした．

表-8にNo.65＋18のＥＩとＥⅡ3での順解析結果を天端沈下量と内空変位についてまとめる．ここで，ＥⅡ3の天端沈下量に対するＥＩの沈下量の比率78%をＥＩによる変位抑制率と見なすこととし，最終沈下量の管理値を，管理レベルⅡ(破壊限界値)である−51㎜に安全率80%と変位抑制率78%をかけて−32㎜とした．さらに，前節で示したＥⅡ2からＥＩへの変化時と同様に上半施工完了段階で支保パターンの変更を判断できるように，沈下比率80%をかけて−26㎜を判断基準値とした．つまり，上半施工完了時の天端沈下量−26㎜以下になった時点でＥＩからＥⅡ3(支保軽減)へ移行することとした．結果として，No.66＋7.8(設計変化点より約10m進んだ位置)よりＥⅡ3に移行し，実績データと数値解析の相互を活用した合理的な施工を実施することができた．

3-3-3　三次元FEM解析の適用

一般的に二次元FEM解析は，取扱いの簡便さや経済性の理由からトンネルの掘削解析などで多用されている．しかし，ベンチ長さの差異や長尺先受け工の先行変位抑制効果など，三次元的な挙動となるものをそのまま正確に再現することができず，応力解放率や改良体の等価剛性の概念を導入して本来の三次元挙動を擬似的に取り扱っている．

ここでは，ＥＩパターンの中間位置にあたるNo.61＋10.0を主断面とした区間で三次元FEM非

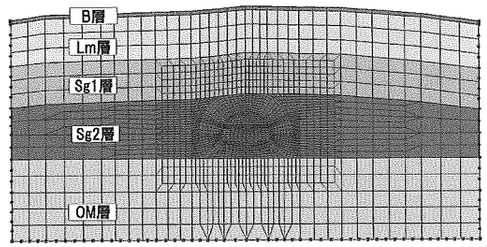


図-11　解析モデル(No.65＋18.0)

表-8　順解析結果(No.65＋18.0)

	No.65＋18(解析値)		
	ＥＩ	ＥⅡ3	ＥＩ/ＥⅡ3
天端沈下量(㎜)	40.5	52.0	78%
内空変位(㎜)	23.6	30.9	76%

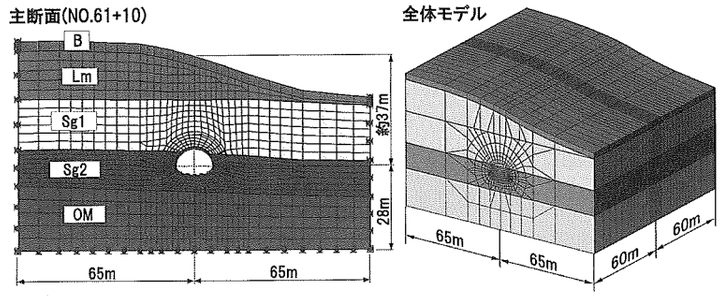


図-12　三次元解析モデル(No.61＋10.0主断面)

表-9　三次元解析の地山物性値

地層名	変形係数(kN/m²)	ポアソン比	単位体積重量(kN/m²)	C(kN/m²)	φ(度)
B	520	0.45	14.0	6.0	0.0
Lm	2,079	0.40	14.0	24.0	5.0
Sg 1	2.15E＋04	0.40	19.5	8.0	10.0
Sg 2	7.72E＋04	0.36	20.0	93.7	19.6
OM	1.05E＋06	0.30	18.0	1,000.0	40.0

表-10 解析ケース(三次元解析)

	支保パターン	フットパイル長(m)	AGF工打設ピッチ(m)
CASE-1	EII2	2.5	9
	ベンチ長さ：最小16～最大25m 上半9m施工＋下半・IV9m施工		
CASE-2	EI	3	6
	ベンチ長さ：最小13～最大25m 上半6m×2シフト＋下半・IV12m施工		

※その他の条件は同一である

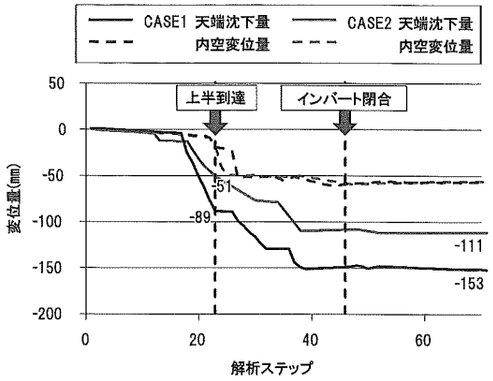


図-13 掘削ステップに応じた変位量の推移

線形弾性解析を実施し，支保構造やベンチ長，AGF剛性の差異などがトンネル構造に与える影響を確認することとした．**図-12**に解析モデルを，**表-9**にNo.54＋9において二次元逆解析により算定された三次元解析用の地山物性値を示す．

解析ケースは**表-10**に示す2ケースである．解析ステップは，補助工法の施工を含め，上半掘削，下半・インバート掘削と吹付けインバートの施工など，施工手順を忠実に再現したものである．

図-13に各ケースの解析ステップごとの坑内変位を示す．

上半到達時までの天端沈下量(先行沈下量)は，EII2において－89㎜で，EIにおいて－51㎜であることから，EIはEIIに対して43%の沈下低減効果があることがわかる．また，切羽到達後から収束までの天端沈下量(後続沈下量)は，EIで－60㎜，EIIで－64㎜と大きな差はなく，後続沈下はほぼ同等であり，パターンの違いは主に先行沈下の差異になって現れている．これは，通常の坑内計測おいては先行変位を把握できないため，両パターンの差異がそれほど明確にはならない可能性があるものと考えられる．しかし，以上の三次元解析から，先行沈下の抑制効果を含め，EIパターンは総合的な沈下抑制に対して有効であったといえる．

4 ま と め

当解析手法により切羽前方地山の挙動を予測し，その結果を支保パターン変更時の判断基準として活用することができた．また，三次元FEM解析を実施することにより，AGFの規模と脚部補強の違いによる先行変位の抑止効果の違いを検証することができた．よって，当施工管理手法は，E地山における管理手法として有効であったものと考える．

一方，当工事のトンネルの地層構成はおおむね一律であり，逆解析による地質モデルが安定したものであったが，今後，当手法を他の工事に活用するにあたっては，地層構成の変化や土かぶりの急激な変化にいかに対応するかが課題である．

参 考 文 献

1) 桜井春輔・足立紀尚編：都市トンネルにおけるNATM，鹿島出版会，pp.32-37，1992.4.
2) 鉄道・運輸機構編：山岳トンネル設計施工標準・同解説，pp.311-312，2008.4.

建設工事の地質診断と処方
石井康夫・矢嶋壮吉 共著　A5判326頁　本体定価4,300円(〒340円)
株式会社 土木工学社　〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代)　振替 00110-8-190072

現場だより 2012 トンネルと地下

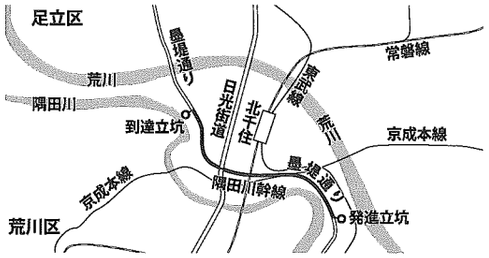
「スカイツリーを見上げながら」墨田区より

堀　浩之

今年5月，かねてより注目を集めていた東京スカイツリーが開業して以来，連日活況を呈している墨田区押上．最寄りの東京スカイツリー駅から電車で隅田川を渡れば一駅で台東区浅草へ，北に向かえば約10分で足立区北千住へアクセスでき，スカイツリーを新たなランドマークとして今後ますます発展していく可能性を秘めた注目エリアである．

新しいものだけではない．浅草と日光街道(国道4号線)を結ぶ墨堤通り沿いには，隅田川七福神が祀られている名所が点在する．なかでも毘沙門天ゆかりの多聞寺の山門は，江戸時代中期の建立と言われており，度重なる天災や戦火を免れ，現存する墨田区内最古の木造建築物として知られている．隅田川七福神巡りは七福神巡りの元祖とも言われており，旧き良き東京を知ることのできる全長約4kmのハイキングコースとして散策される人々も多い．休日には，北千住でランチ，七福神巡りで腹ごなし，スカイツリーでショッピング＆ディナーと，楽しみ方もさまざまである．毎年7月に真夏の一大イベントである隅田川花火大会が開催されるが，スカイツリーとの相乗効果もあって，今年は前年よりおよそ5万人多い95万人余りが見物に訪れた．娯楽や観光ばかりが関心を集めがちであるが，隅田川沿いには遊歩道が整備されており，スカイツリーを眺望できる都民の憩いの場となっている．ジョギングやウォーキングで健康増進を図りつつ，「春のうらの隅田川」を満喫できる．また，荒川区南千住には高層マンションが建ち並び，居住区としての価値もより一層高まっていくものと思われる．

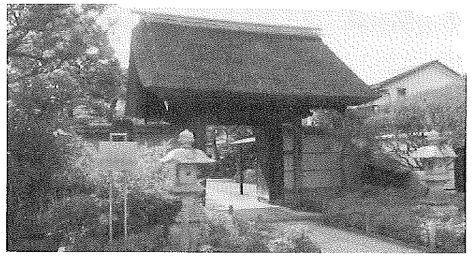
隅田川と荒川に挟まれたエリアは，都市化の進展で下水道への雨水流入量が年々増加し，これまで，たびたび浸水被害を経験しており，抜本的な対策が急務とされてきた．私どもが施工している隅田川幹線は，墨堤通り，墨田区墨田五丁目から足立区千住桜木一丁目に至る総延長3.1km，仕上がり内径4.75mの泥水式シールドトンネルである．シールド工事と並行して大規模ポンプ所の建設工事も施工中で，290ha余りの流域を浸水被害から守るビッグプロジェクトとして関心を集めている．



位 置 図



東京スカイツリー遠景



多聞寺山門

昨年8月のシールド発進より間もなく1年が経とうとしているが，これまでに約2kmの掘進を終えている．地下水中に溶存するメタンガス，土かぶり35mを超える大土かぶり・高水圧下での長距離掘進，径が200㎜を超える砂礫に起因する泥水輸送設備やカッタビットの摩耗など，数々の課題を克服しながらの工事であるが，残り1km余りとなったこれからが正念場だと言える．安心して暮らせるまちを望む住民の期待を背に，七福神の神々に見守られながら年内の到達に向けて鋭意施工中である．

(東急建設(株)隅田川幹線作業所現場代理人)

土木情報 No.471 今月の主な入札結果

（7月10日～8月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
東北地整	境ノ目T	大日本土木	430
関東地整	矢切函渠その10	大成建設	3,038
〃	堀之内地区函渠その5	鹿島建設	8,167
〃	H24川尻第6排水樋管新設	北野建設	182
〃	市川共同溝補強その1	工建設	242
〃	圏央道桶川北本地区函渠その1	大成・三井住友・大豊JV	12,200
北陸地整	梯川川田川樋管改築外	江口組	229.3
〃	能越道氷見第15T	東急建設	1,197.3
四国地整	H24-27金上野T	間組	3,756.2
西日本高速道路	新名神高速道路東畦野T	奥村組	7,695
北海道	道道美唄富良野線特定交付金(幌子T)	伊藤・宮坂・植村JV	4,358.6
〃	道道北進平取線特定交付金(メルクンナイT)	熊谷・西江・盛興JV	1,392.7
都・財務局	妙正寺川鷺の宮調節池(その4)	エムテック・大雄JV	1,116.5
〃	トンネル本体築造及び擁壁築造(24四-放35)	フジタ・西武・あおみJV	2,078.9
都・下水道局	江東区大島六，七丁目付近再構築	西松建設	920.5
〃	南元町幹線	戸田建設	1,875.68
〃	第二谷田川幹線その4	奥村組	538
都・交通局	大江戸線牛込柳町駅出入口新設(その1)	熊谷組	268.7
富山県	県営林道整備交付金祖父岳線桂原・谷折T	佐藤・北尾JV	985
岐阜県	公共社会資本総合整備交付金事業(仮称)伊岐津志T2期	大日本・TSUCHIYA・小池JV	1,590
愛知県	道路改良事業県道東三河環状線牛川T(仮称)建設	清水・名工・日立テクノスJV	1,860
大阪府	一級河川寝屋川西郷通調節池築造(大枝取水施設工)	久本・岸本JV	1,120
和歌山県	R480(仮称1号T)道路改良	淺川組	294.4
東京都新都市建設公社	西東京第4処理分区中央第3-1幹線築造	飛島・徳倉・奥山JV	1,370
高崎市	烏川左岸雨水8号幹線築造(第1工区)	カワナベ・山富士JV	399.46
所沢市	合流改善西新井町貯留施設築造	戸田建設	207
新座市	公下英幹線その2	エムテック	117
船橋市	臨海1号幹線管渠布設(その1)	大豊建設	109.34
〃	高瀬・金杉幹線管渠築造	西松・三和JV	1,062.7
松戸市	幸谷排水区雨水枝線(24-1工区)	京葉興業	113.7
習志野市	下水道災害復旧(23災第58号)	西松建設	123.8
品川区	北品川五丁目付近合流改善施設整備	大成・大旺JV	325
川崎市	丸子その1雨水幹線その2	大成・大豊・土志田JV	1,324
茅ケ崎市	公下萩園地内(雨汚水)通常24-3	浅岡建設	117.85
伊勢原市	H24公下事業第1工区	池田建設	118.65
浜松市	H24中央浅田幹線外1線管きょ築造(第1工区)	鹿島・須山・常盤JV	725.5

施工

営業線直下のシールド切拡げを凍結工法で非開削施工

—小田急小田原線　連続立体・複々線化事業—

小田急電鉄(株)複々線建設部課長　小川　司
小田急電鉄(株)複々線建設部下北沢工事事務所技術員　吉田裕介
大成・前田・西松・錢高・三井住友建設共同企業体所長　大石憲寛
大成・前田・西松・錢高・三井住友建設共同企業体主任　尾関孝人

1 はじめに

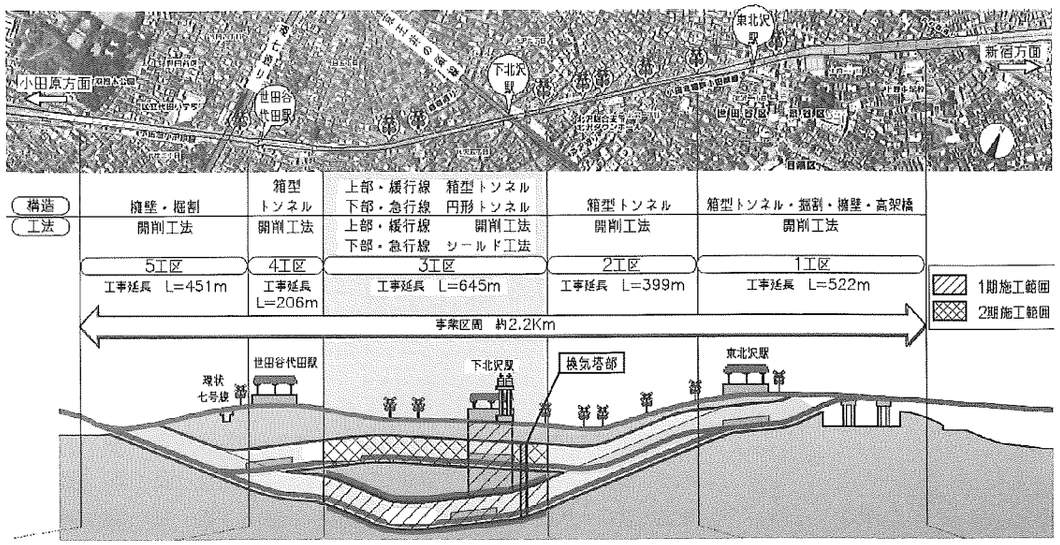
小田急線は新宿を起点とし，都心と神奈川県中部方面を結ぶ延長約120kmにわたる鉄道路線で，1日約195万人が利用する首都圏の重要路線である．そのため，最混雑区間である世田谷代田駅～下北沢駅間では，朝のラッシュ時には約188%の混雑率にまで達し，さらに過密ダイヤにより列車速度が低下するなど，輸送改善が必要となっている．また，これに関係する踏切は，1時間に約50分遮断し，周辺道路は慢性的な交通渋滞が生じている．



図-1　都市計画決定区間

これらの問題を解決するため，東京都と小田急電鉄は図-1に示すような連続立体交差事業と複々線化事業(4線化)を代々木上原駅～和泉多摩川駅間において一体的に進めており，すでに梅ヶ丘駅～和泉多摩川駅間8.8kmの4線高架化(一部掘割り化)が完成し，30か所の踏切が解消されている．現在，代々木上原駅～梅ヶ丘駅間の2.2kmを地下化工事で進めている．このうち下北沢～世田谷代田区間における地下化工事は，図-2に示すとおりシールド工法と開削工法により2線2層構造のトンネルを1期施工，2期施工に区分して施工する．

1期施工では，シールドにより現在営業中の小田急小田原線の直下を掘り進み，直径8.1m，延長645mのシールドトンネルを2本築造する．同時に下北沢駅部については約180mの軌道の仮受けを行い，その直下を掘削しシールドトンネルを



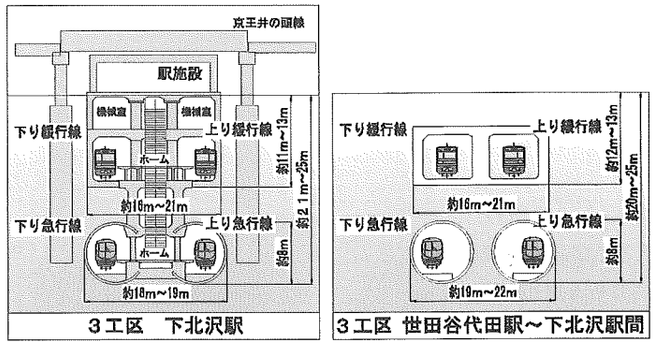


図-2　代々木上原駅～梅ヶ丘駅間線増連続立体交差工事

切拡げて，地下の駅構造物となる上部ボックスカルバートを構築する．工事完了後，既設路線を下部シールドトンネル内に切替え，道路と鉄道の立体交差化が完了し，事業区間全体で９か所の踏切が取り除かれる．

２期施工では，下北沢駅から新宿側約155mの区間と小田原側310m区間を地上から開削工法により，営業線が運行しているシールドトンネル直上を小土かぶりで掘削し，ボックスカルバートを構築する．緩行線が上部ボックスカルバート，急行線が下部シールドトンネルを運行し，複々線化が完了する．

これらの区間のうち，下北沢駅から新宿側に位置する換気塔部(施工区間：約10m)は，１期施工において地上に営業線があることに加えて，既存の橋上駅舎が直上に位置し，また京王線に近接していることから開削工法による上部ボックスカルバートの構築およびシールドトンネル間の切拡げができない．また２期施工においてシールドトンネル間の切拡げを行うことは，営業線間を切拡げることとなり，施工ができない．

上記の理由により，換気塔部については１期施工中に凍結工法による止水性の確保，パイプルーフによるシールドトンネルの安定性確保を行い，シールドトンネル間の非開削切拡げ工を実施した．

本稿は，この換気塔部の凍結工法を用いたシールドトンネル間の非開削切拡げ施工について報告するものである．

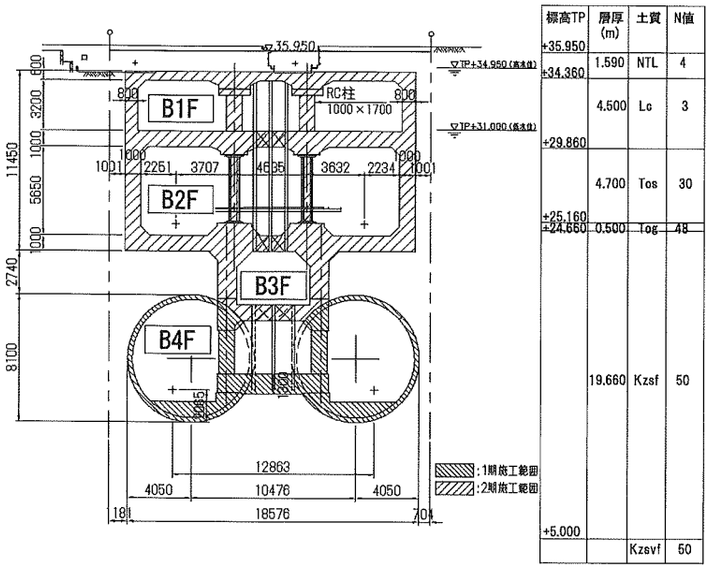
2　工　事　概　要

2-1　換気塔部構造概要

換気塔部は，施工区間が約10mであり，急行線階(B4F)からB1Fまでダクトスペースを確保するために，B4Fの壁とB3F～B1Fの床版に開口部を設ける構造となる．図-3に構造概要を示す．非開削工法を行うシールドトンネル間切拡げ部は，土かぶり約14mのB4Fであり，堅固な細砂層(*N*値50以上)に位置している．

2-2　換気塔部施工順序

施工手順は図-4に示すように，



標高TP	層厚(m)	土質	N値
+35.950			
	1.590	NTL	4
+34.360			
	4.500	Lc	3
+29.860			
	4.700	Tos	30
+25.160			
+24.660	0.500	Tog	48
	19.660	Kzsf	50
+5.000			
		Kzsvf	50

図-3　換気塔部構造概要図

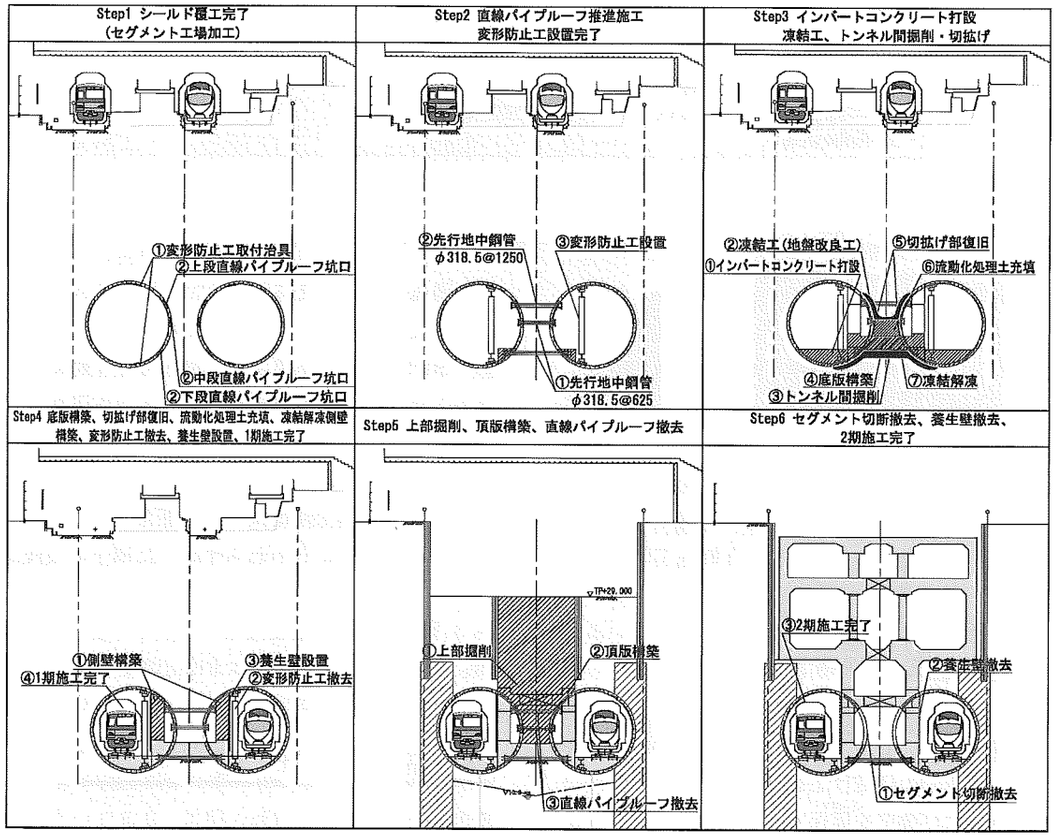
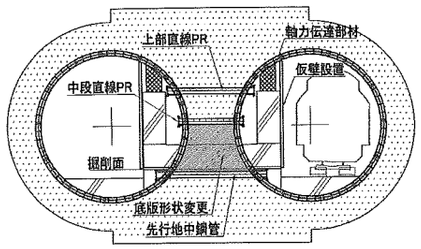
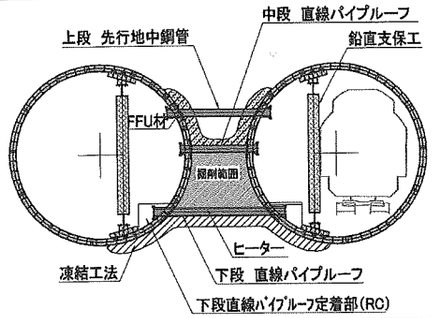


図-4　換気塔部施工順序図

表-1　シールドトンネル間非開削切拡げ工法比較

項　目		薬液注入(低圧浸透注入)工法案	凍結工法案
概　略　図			
工法の概要		注入孔口を設置し，注入孔の中をインナーロッドで削孔し，地山の状況を把握しつつロングゲルの注入を行う．	凍結管を坑内よりボーリングして埋設し，凍結基地内に設置した冷凍機で冷却されたブラインを各凍結管に循環して所定の凍土壁を造成する工法．
適用地盤	砂質土	N<50	とくになし
	粘性土	N< 5	
利　点		・設備が簡便である． ・砂質土に対する改良効果は高い．	・完全止水ができる遮水壁である． ・土質にかかわらず均一改良できる． ・壁体と密着し完全止水が得られる． ・改良範囲や強度の確認が確実にできる．
欠　点		・N値，土質によって改良にむらができる．とくに粘性土，礫層の場合，効果が得にくい． ・完全には止水効果が得られない． ・改良範囲が大きい．	・凍土造成後の工事期間，凍結運転管理を継続する必要があるため，コストが高くなる．
今回適用について		・対象土質は，N>50のため適用不可． ・切拡げ施工時におけるセグメント変形後に縁が切れ，止水を確保できないため適用不可．	・対象土質はすべて対応するため，適用可． ・切拡げ施工時におけるセグメント変形後も完全止水ができるため適用可．

1期施工にて凍結工法による止水性確保，およびパイプルーフによるシールドトンネルの安定性確保を行い，シールドトンネル間の非開削切拡げ工を実施する．その後B4F躯体の側壁と底版を構築し，シールドトンネル間の埋戻しを行う．営業線を地下化したのち，2期施工においては，開削工法によりB4F頂版から上部の躯体を構築する順序となる．1期施工時は地上で，2期施工時はシールドトンネル内で，それぞれ営業線を運行しつつ施工を行うため，営業線の運行に支障のないよう安全性を確保する必要がある．

2-3　凍結工法の選定理由

換気塔部は，安全で確実な非開削によるシールドトンネル間の切拡げ工を行うため，この区間の止水性および強度を確保する必要がある．そのような条件のもとで施工を行うためには，**表-1**に示すような工法が考えられる．

ここで，薬液注入工法については対象土質がN値>50の砂質土であること，切拡げ施工時にセグメントの変形により改良体とセグメントとの縁が切れ，止水性の確保が困難となることから，本工事には不適当であると判断した．

一方で，凍結工法は凍上・沈下などの懸念はあるものの，土質にかかわらず均一に凍土の造成が可能であること，凍土の造成範囲の確認が可能であり，完全に止水性を確保できることから，本工事に対してはもっともリスクの小さい工法であると判断し採用した．

3　施　工　計　画

3-1　仮設構造

非開削工法によるシールドトンネル間切拡げ時

には，シールドトンネル間の土が掘削されることにより，**図-5**に示すようにトンネルどうしが掘削側に変位することが予想される．

このようなトンネルどうしの掘削側への変位抑止を目的として，シールドトンネル間に先行地中鋼管およびパイプルーフを設置する．また，シールドトンネル内には掘削に伴う変形防止のため，鉛直支保工を設置する．上記の仮設構造物を設置したのち凍土造成を開始することとした．この換気塔部の仮設構造概要図を**図-6**に示す．

1期施工時においては，中段・下段パイプルーフ間を掘削し，B4F底版と側壁を構築したのち鉛直支保工を撤去する．また2期施工時においては，B4F頂版を構築したのち，上段の先行地中鋼管と中段の直線パイプルーフを撤去する．

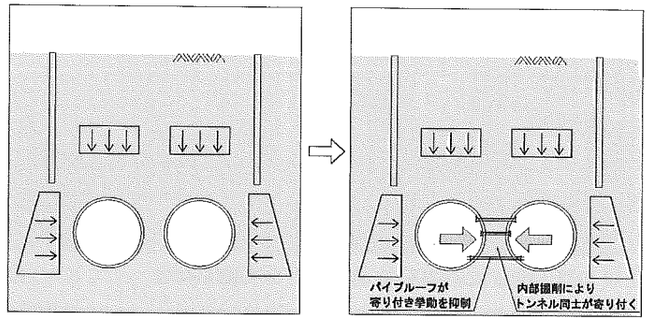
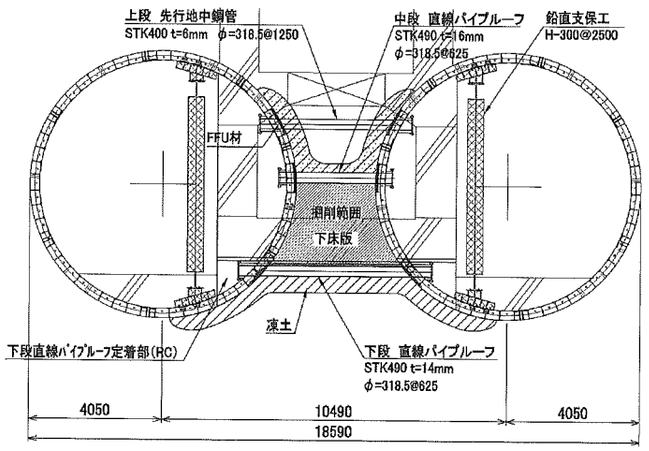


図-5　内部掘削によるシールドトンネルの寄り付き挙動



3-2　凍結工

凍土厚の設定にあたっては，0.625m間隔で配列されたパイプルーフが土水圧などの荷重を受け持つものとし，凍土に対してはせん断に対してのみ照査を実施し，必要凍土厚は0.5mと設定した．なお，凍結工の影響により下床版コンクリートの温度が5℃を下回った場合，打設コンクリートが凍害の影響を受けるおそれがあったことから，打設時のコンクリート温度が5～20℃となるよう打設箇所下部に防熱材およびヒーター(配置間隔：0.5m)を埋設することとした．

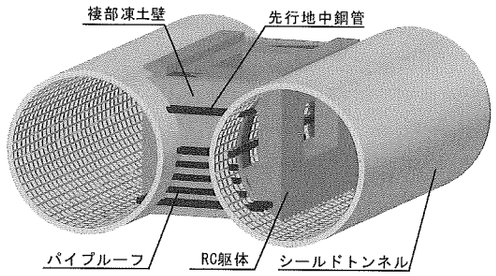


図-6　換気塔部仮設構造概要図

図-7に必要凍土厚，および凍土部断面図を示す．

3-3　想定されるリスクおよびその対策

本工事の凍結工および非開削工において，想定されるリスクおよびその対策を**図-8**に示す．

凍土造成に伴う凍上・沈下については，営業線が直上に位置するため，もっとも懸念される事象のひとつである．地盤の凍結を行った場合，地盤中に20μ以下の微粒成分を含むときは，凍結膨張

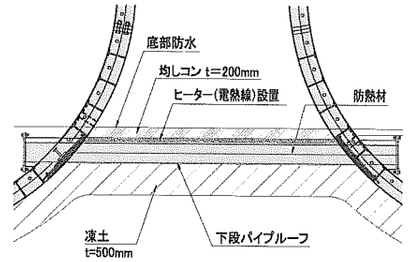


図-7　必要凍土厚および凍土部断面図

および解凍収縮が起こることは避けがたい[1]．これにより地表面の上昇・沈下が生じ，地表面・埋設物・付近の構造物などに影響を与えることになる．

本工事における凍結対象地盤は粘土・シルト分を含む細砂層であり，過去の実績およびサンプリングした試料を用いた室内試験にもとづき，この土層の凍上率・沈下率を設定し解析を実施したところ，地表面の上昇変位および沈下変位は２㎜と算定された．

また，凍土の融解により止水性が損なわれ，地下水の流入が生じる事象についても懸念される．

このようなトラブルを防止するため，凍土の温度管理を確実に行うことが重要となる．本工事では，必要凍土厚0.5mを確実に確保できるよう，温度上昇が確認された場合は，防熱の強化・ブライン(冷却された塩化カルシウム溶液)の循環管理の調整を行うこととした．さらに温度上昇する場合は，緊急時の対策として，作業の中止・防熱の再強化・貼付凍結管の増設を行うこととした．

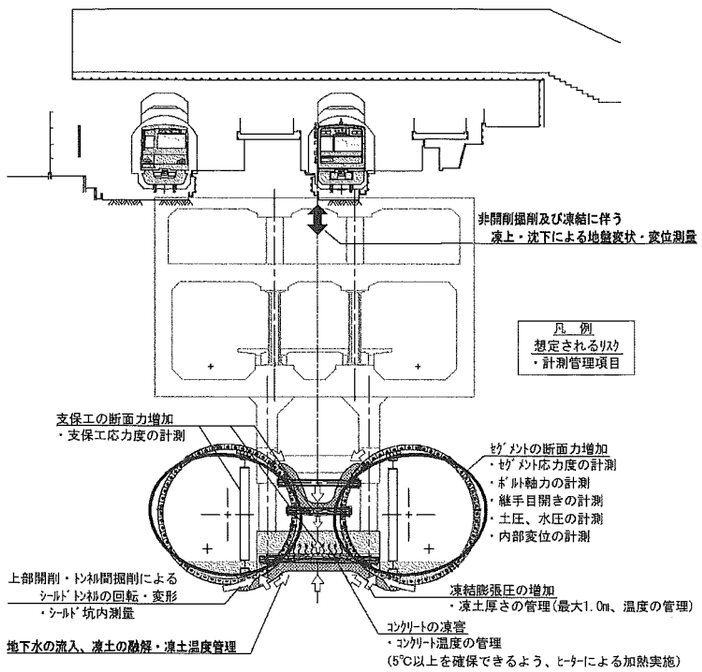


図-8　想定されるリスクおよび対策

4　施　工　概　要

凍土壁は，図-9に示すような，あらかじめ設置されたパイプルーフ(外径φ318㎜)内に挿入した凍結管および，切拡げ区間両褄部へ埋設された水平凍結管によって造成する．

パイプルーフ内凍結管は，写真-1,2に示すように，パイプルーフ設置完了後に挿入し，挿入完了後にパイプルーフ内に充填材を注入した．

水平凍結管・水平測温管・水抜き管はスキンプレート面にスリーブ管，バルブ，パッカーを取付け，ボーリングマシンを使

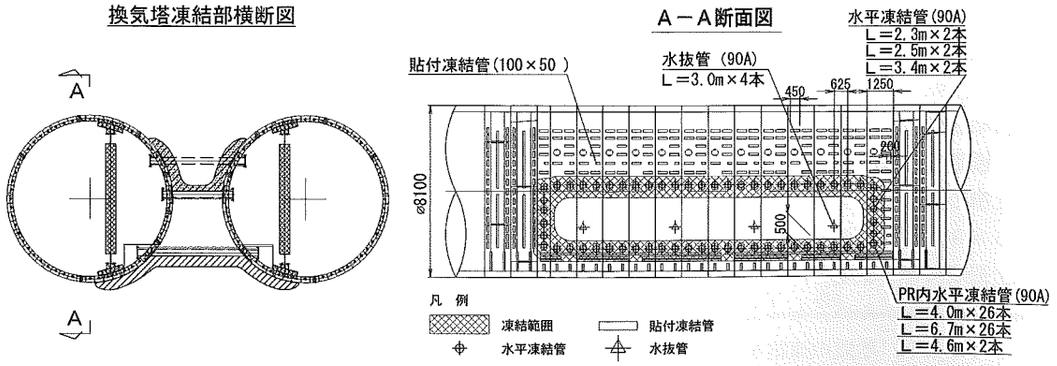


図-9　凍結管の配置

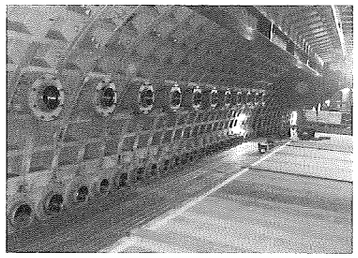


写真-1　パイプルーフ設置状況

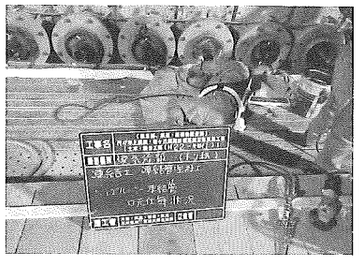


写真-2　パイプルーフ内凍結管

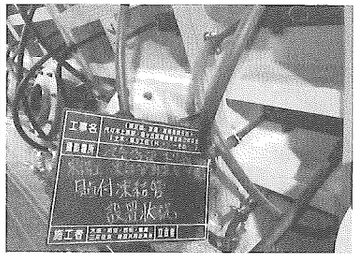


写真-3　貼付凍結管設置状況

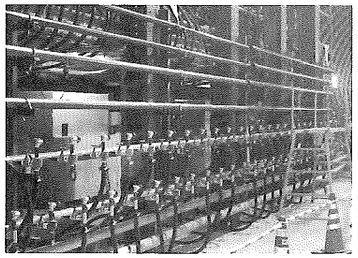


写真-4　ブライン配管状況

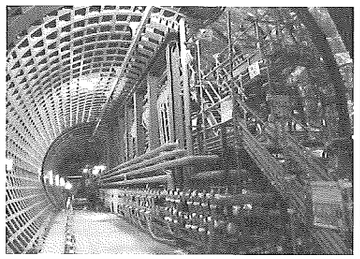


写真-5　凍結設備全景

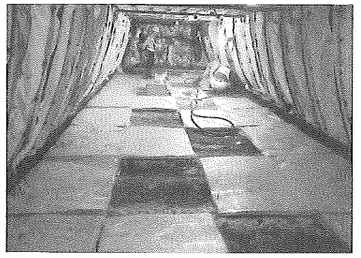


写真-6　シールドトンネル間掘削状況

用してシールド内から埋設した．

貼付凍結管は写真-3に示すように，アングルピースをセグメントに溶接し，アングルピースと貼付凍結管を溶接し設置した．上記の作業と併行して凍結基地仮設，凍結設備，ブライン配管，防熱および計測配線などを行い，凍結運転準備を進めた(写真-4,5参照)．

上記の仮設工事完了後，凍結設備で冷却されたブライン(塩化カルシウム溶液)を各凍結管に循環し，下り線側，上り線側の順に約1.5か月の運転期間で所定の凍土壁を造成した．凍土造成および維持運転期間中は，管理室内のモニタで地中温度を集中監視し，凍結設備の運転管理および冷却ブラインの循環管理などを行った．

凍土予想による所定の凍土壁造成を確認後，写真-6に示すように，シールドトンネル間の切拡げ作業を開始し，シールドトンネル間掘削・コンクリート打設を実施した．埋戻し・スキンプレート復旧完了後，凍結設備の運転を停止し，凍結設備の撤去を行った．

凍結運転停止後，凍結管・測温管は管内に充填材を中詰めして頭部を切断撤去後，口元に鉄板を溶接した．また，ブライン配管・防熱材などの撤去を行い，凍結工を完了した．

5　計　測　結　果

5-1　凍土造成状況

凍土温度についての測温点は計121点(測温管65点，凍着44点，その他12点)として温度管理を行った．図-10に，凍結区間中央部下段に配置された測温管中の６測点から得られた地中温度推移グラフを示す．まず凍結運転を開始した下り線側から温度が低下し，約１か月後には全測温点の温度が０℃を下回り，凍土が造成されていることが確認された．

また，凍結開始から約１か月後の，測温管および凍着測温点における温度から算定された凍土造成厚の想定断面図を図-11に示す．止水性が必要とされる中段・下段パイプルーフ部および褄部において必要凍土厚0.5m以上を有しており，十分な止水性が確保できていることが確認された．

5-2　凍上・沈下状況

凍上・沈下に対する計測は，凍結区間直上に位置する橋上駅舎柱，駅ホーム，軌道レール，坑内インバート位置において，レベル測量を凍結運転期間中，毎日実施した．図-12に，軌道レールレベルでの計測位置図および凍上・沈下のレベル計測結果を示す．

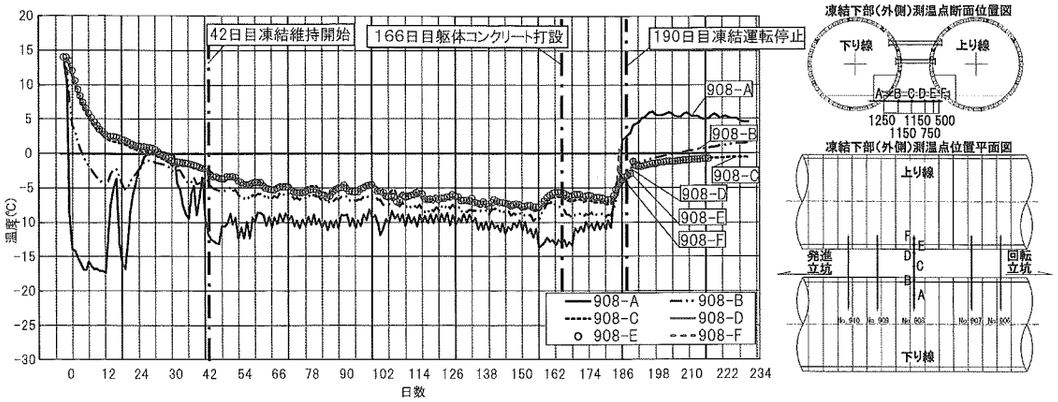


図-10　地中温度推移グラフ(凍結区間中央部，下段)

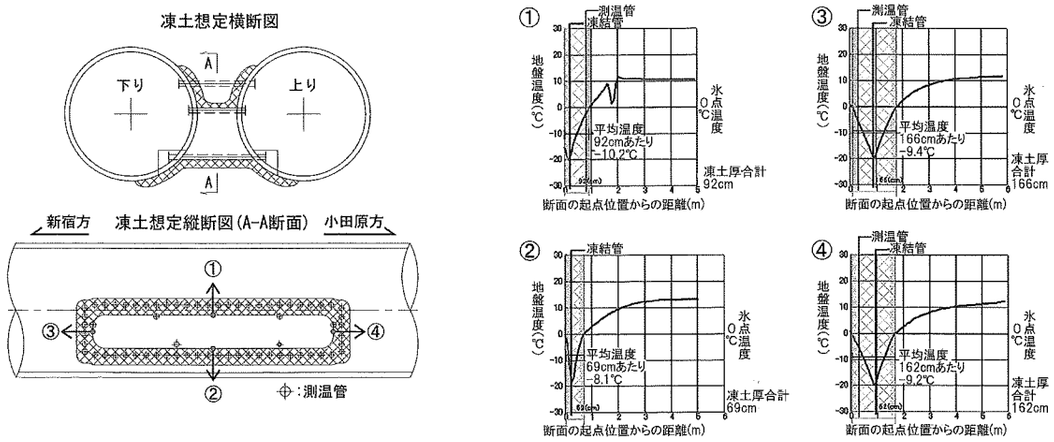


図-11　凍土造成状況想定図

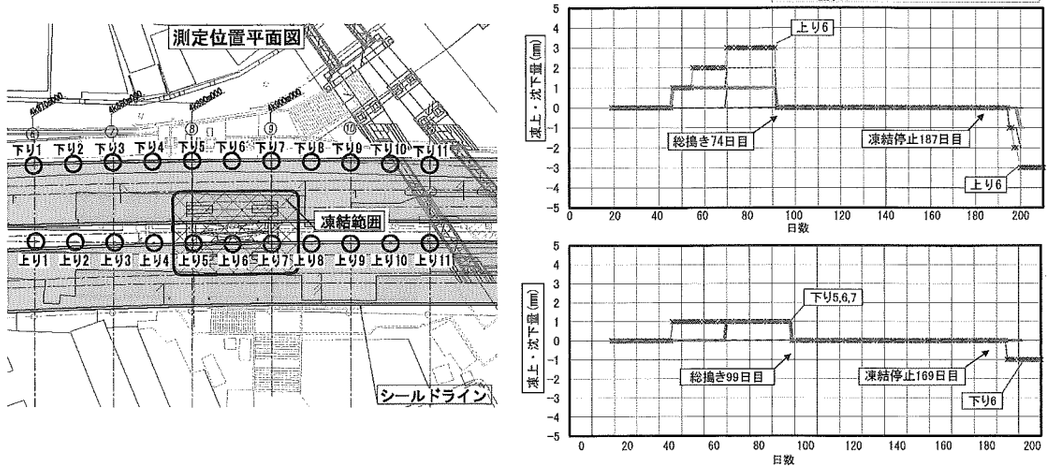


図-12　凍上・沈下状況

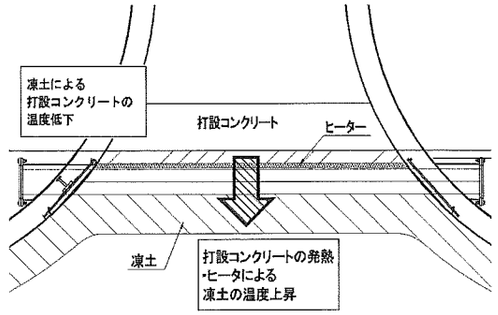


図-13　凍土が及ぼす下床版コンクリートへの影響

施工実施前の算定結果では最大＋2㎜の凍上が予想されたが，軌道レールレベルでの計測結果は凍結運転開始後，約60日目で＋2㎜，約80日目で＋3㎜と推定値以上の凍上が生じた．しかし，その後は＋3㎜で凍上は収まっており，軌道レベルの限界管理値として設定した8㎜以下の値であることが確認された．

なお，管理値以下であるものの，更なる凍上のリスクを回避するため，道床の総搗きを行い軌道レールレベルの調整を実施した．また，沈下については凍結運転停止後，約1週間で最大値−3㎜の沈下量を示すが，その後は−3㎜で沈下は収まっていることが確認された．

5-3　コンクリート温度

凍結工の影響により，図-13に示すように下床版コンクリートの温度が5℃を下回り，打設コンクリートが凍害の影響を受けるおそれがあった．一方で，上記のようなコンクリートの凍害を避けるため打設箇所下部に防熱シートおよびヒーターを埋設したが，そのことにより凍土が解凍され必要凍土厚が確保できない懸念もあった．

図-14に下床版コンクリートの養生温度経時変化グラフを示す．下床版コンクリートの温度は5℃以上を維持し，凍害の影響を受けることなく養生されていることが確認された．また，凍土中の測温管温度は下床版コンクリートの打設の影響をあまり受けず，凍結運転停止まで−5℃以下のほぼ一定値となっていることがわかる．

これらのことから，今回工事において凍土に対し，コンクリート打設・ヒーター線などの影響は小さく，凍土の温度管理を確実に行うことができたことがわかる．一方で下床版コンクリートに対しても，凍土の影響は小さく，凍害の影響を受けることなく下床版コンクリート構築を行うことができた．

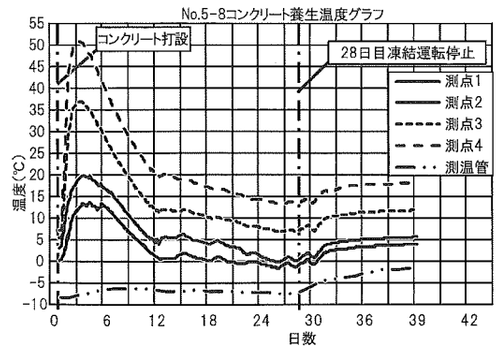


図-14　コンクリート温度

6　おわりに

本工事は営業線直下において，シールドトンネル間の切拡げを凍結工法により施工したものである．凍結運転開始後，凍土造成・シールドトンネル間掘削などの作業を経て，凍結運転停止までの

あいだ，大きなトラブルや工程遅延もなく，無事に施工を完了した．本工事の施工結果について以下にまとめる．

- 凍土の融解などのリスクに対して，凍土の温度管理を確実に行い，漏水などのトラブルもなく止水性を確保しつつシールドトンネル間の切拡げ作業を完了することができた．
- 凍上・沈下量については，当初予想された解析値と同程度であり，営業線に影響を与えることなく施工を完了した．
- 打設コンクリートへの凍害についても，確実に計測管理を行い，想定外のトラブルが生じることなく施工を実施した．

今後は2期施工において，上部掘削，ボックスカルバート構築，およびシールドトンネルとの接続などの換気塔部躯体の構築を行う予定であり，引き続き細心の注意を払い，安全かつ確実な施工に努めていく．

最後に，本工事は学識経験者によって組織された技術委員会を設立し工事を進めており，当該施工範囲についても委員長の小山先生をはじめ各委員の皆様の適切な指導のもと，無事に施工を完了することができました．この場をお借りして厚くお礼申し上げます．

参 考 文 献

1) 日本建設機械化協会：地盤凍結工法―計画・設計から施工まで―，1982.2.

シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編　代表　鈴木　　章

B5判 285頁　本体価格4,660円　〒340円

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

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

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

計 画

内径6 m，延長4.5kmのシールドで低地帯の浸水を防ぐ

―東京都下水道　江東幹線―

東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所設計課長　大　塚　文　昭
東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所設計課設計第二係長　今　成　達　郎
東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所設計課設計第二係主事　古　澤　智　章

1 はじめに

東京都下水道局では，平成22年2月に中長期的な経営方針である「経営計画2010」を策定した．本計画では，「お客さまの安全を守り，安心で快適な生活を支える」ことを経営方針の一つの柱に掲げ，その実現のために「施設の再構築」「浸水対策」および「震災対策」などの施設整備を今後加速することとしている．

この「浸水対策」の一環として，東京都下水道局では江東幹線の整備を進めることとしている．23区南東部に位置する江東区では，都市化の進展に伴う雨水流出量の増加などの理由により，豪雨時において区内の広い範囲で浸水被害が報告されている．本事業は，基幹となる下水道施設(江東幹線および江東ポンプ所)を新設し，対象流域における雨水排除能力を抜本的に増強することで，浸水被害の軽減を図ることを目的としている．本稿は，軟弱地盤かつ大深度という厳しい条件下において，大規模断面シールドを長距離掘進する江東幹線の計画・設計について報告するものである．

2 江東幹線の概要

江東幹線は，都立木場公園の一部に発進立坑を築造し，流末となる江東ポンプ所までの約4.5kmに内径6.0mの雨水幹線をシールド工法により敷設するものであり，途中には数多くの急曲線部(最小曲線半径30m)が存在する．江東幹線の概要を**表-1**に，位置図および将来流域図を**図-1**に示す．

永代幹線(平成14年より暫定貯留管として供用中)との接続のほか，8か所において既設下水道幹線などから雨天時合流下水を取水し，新設する江東ポンプ所から公共用水域へ放流する．これにより，流域内の整備水準を降雨強度50㎜/hr・流出係数80%相当にレベルアップが図られる(現行水準：50㎜/hr・流出係数50%)．

なお，現在，当該地区は，木場ポンプ所流域(486ha)，越中島ポンプ所流域(37ha)，東雲ポンプ所流域(234ha)の3つの流域に分割されている

表-1　江東幹線の概要

幹線名	江東幹線
流域面積	508ha
内　径	仕上がり内径　φ6,000㎜
延　長	今回対象　約4.5km
起　点	江東区千石二丁目(都立木場公園)
終　点	江東区東雲一丁目(江東ポンプ所)
線形要素	最小曲線半径　R=30m
土かぶり	約25～35m

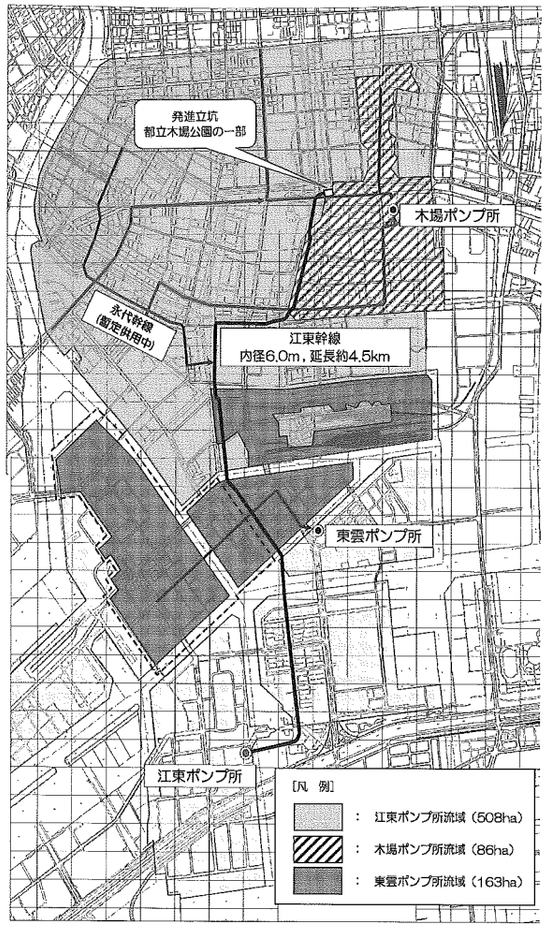


図-1　位置図および将来流域図

が，本事業の実施に伴い，将来的には江東ポンプ所流域(508ha)，木場ポンプ所流域(86ha)，東雲ポンプ所流域(163ha)へと再編される計画である．

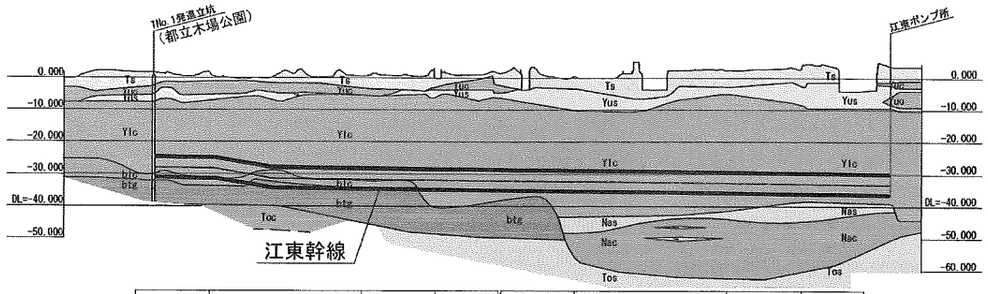
シールド工事に先立ち，平成22年度より「江東幹線立坑設置工事」に着手しており，今後，順次シールド工事，取水人孔設置工事などを進め，平成33年度末の事業完了を予定している．事業の全体スケジュールはおおむね下記のとおりである．

① 発進立坑設置工事(施工中)：
平成22～24年度
② シールド製作：平成24年度
③ シールド工事：平成25～29年度
④ 取水人孔設置工事：平成27～33年度
⑤ 供用開始：平成34年度～

3 線形計画

3-1 地形・地質概要

シールド通過位置の地質は，**図-2**の地質縦断図に示すとおり，ほぼ全線にわたり第四紀有楽町層粘性土でN値１程度の非常に軟弱な地盤となっている．また上流側の一部区間では第四紀有楽町層の下方に位置する第四紀埋没ローム層，第四紀埋没段丘層との層境を通過する計画である．



地質時代		土層区分		土質名	記号
第四紀	完新世	盛土・埋土		砂礫 粘性土	Ts
		有楽町層	上部	粘性土	Yuc
				砂質土	Yus
			下部	粘性土	Ylc

地質時代		土層区分	土質名	記号
第四紀	更新世	七号地層	砂質土	Nas
			粘性土	Nac
		埋没ローム層	粘性土	blc
		埋没段丘層	砂礫	btg
		東京層	粘性土	Toc
			砂質土	Tos

図-2　地質縦断図

計画地は東京ガス田に位置し，高ポテンシャルメタンガスが賦存している可能性が非常に高い地域である．とくに有楽町層粘性土と埋没ローム層，埋没段丘層の層境付近を通過する位置ではメタンガスが大量に賦存している可能性が高く，地中ガス調査の結果でもメタンガスの存在が確認されている．

3-2 平面線形

平面線形については，下記の５つの事項を考慮のうえ，決定した．

① 都立木場公園に発進立坑を築造する(ほかに適地なし)．
② 既設永代幹線流末部を通過すること．
③ 私有地占用を可能な限り少なくすること(原則，道路・公園などの公物占用として計画)．
④ シールド掘進が可能な線形であること(最小曲線半径30m以上)．
⑤ 上記，①～④の条件を満たしたうえで，もっとも経済性に優れる線形であること．

3-3 縦断線形

管渠の縦断勾配は，原則，標準勾配である0.5‰を採用した．しかし，一部区間については，下記に掲げるコントロールポイントの制約から9.0‰としている(**図-3**参照)．

① 都道葛西橋通り付近における，NTTとう洞(シールド外径φ4,550㎜)の上部通過(離隔約1.3m)．
② ①と同一箇所における，水道管(シールド外径φ3,000㎜)の下部通過(離隔約2.2m)．
③ 都道永代通り付近における，東京メトロ東西線(シールド外径φ6,750㎜×２連)の下部通過(離隔約5.1m)．

また，縦断線形の決定に際しては，新設する江東ポンプ所のポンプ揚程能力の制約から管底高をTP－37.0m以上にすることが求められた．

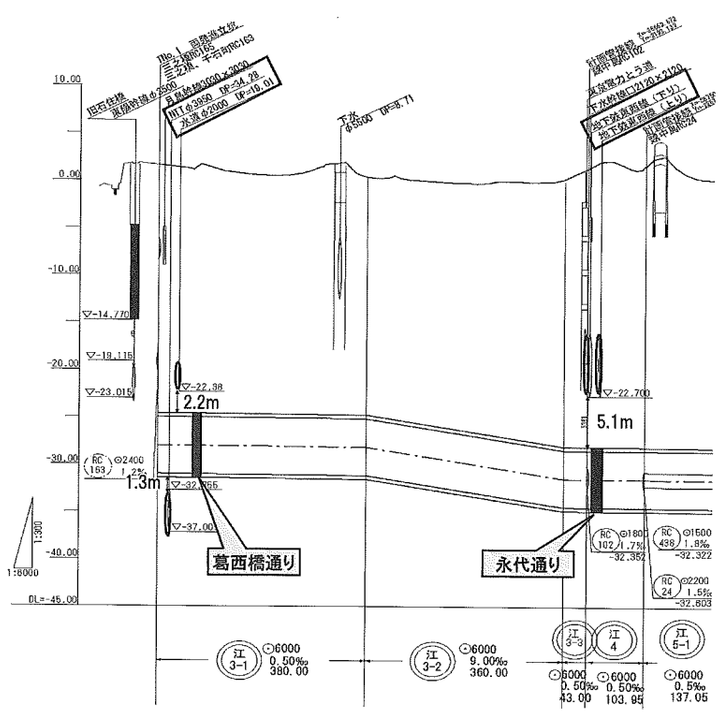


図-3　コントロールポイント図

表-2　主な近接協議対象構造物

管理主体	対象物
東京都建設局	河川護岸(大横川ほか) 橋梁(茂森橋ほか)
東京都港湾局	運河護岸(汐浜運河ほか) 水門構造物(辰巳水門)
東京都水道局	配水本管(外径3,300㎜) 配水本管(外径3,000㎜)
江東区	橋梁(白妙橋ほか)
ＪＲ東日本(株)	京葉線
首都高速(株)	９号深川線
東京地下鉄(株)	東西線，有楽町線
NTTインフラネット(株)	葛西橋とう道 三ツ目とう道
東京電力(株)	砂町洞道

3-4 近接する重要構造物に与える影響

江東幹線の線形決定に先立ち，公物管理者(道路管理者，河川管理者，公園管理者，港湾管理者)に対する占用協議はもちろんのこと，鉄道事業者

および各埋設企業者が管理する重要構造物に対する近接協議を整える必要があった．主な協議対象構造物を表-2に示す．

3-5 東京メトロ東西線に与える影響検討

江東幹線による近接影響検討の一例として，東京メトロ東西線への影響評価結果を下記に示す．位置図および解析断面図は図-4のとおりである．

3-5-1 地下鉄トンネルの変位量算出手法

江東幹線通過時における有楽町下部粘土層(Ylc層)の乱れに伴う圧密沈下量を，森・赤木式を用いて算定し，この地盤変位にもとづいて地下鉄トンネルに生じる変位量を算出した．具体的手法を以下に示す．

① シールド通過に伴い地盤に生じるせん断ひずみを，土水一体とした全応力の２次元弾性FEM解析により算出．

② このせん断ひずみを用いて，乱れに伴う圧密沈下量を森・赤木式により算出(Ylc層を検討対象とする)．

森・赤木式によれば，正規圧密粘土に非排水せん断変形を与えた場合に生じた乱れに起因して一度低下した有効応力が，再び乱れを受ける前の当初の有効応力に回復する過程で生じる圧密収縮率αは式(1)で与えられる[1]．

$$\alpha = \frac{C_c'}{1+e_0}\log_{10}(k\gamma_{max}+1) \qquad (1)$$

③ 地下鉄トンネルを弾性床上の梁としてフレームモデル化し，上記により算出したトンネル中心位置での地盤変位を作用させ，地下鉄トンネルに発生する変位を算出

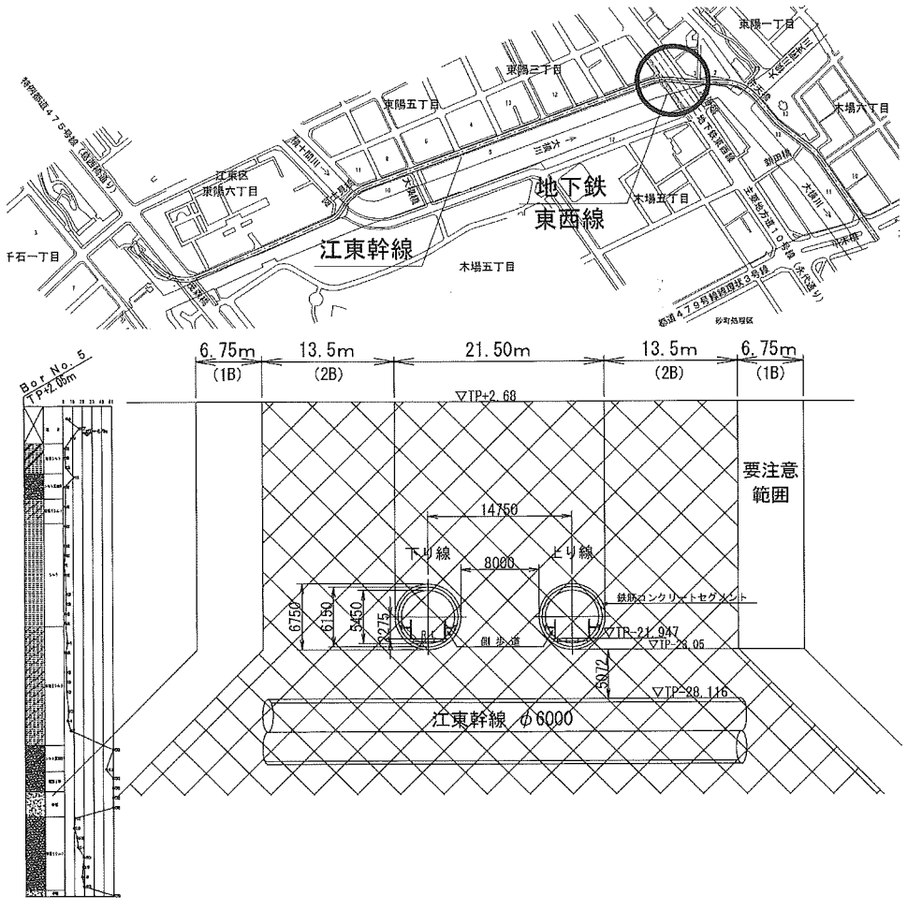


図-4 位置図および解析断面図

本検討の解析ステップを表-3に示す．

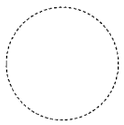
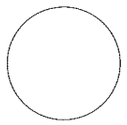
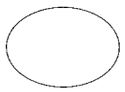
3-5-2 解析結果

地盤の最大せん断ひずみは図-5に示すとおり，トンネル掘削による最大せん断ひずみ(Step 2)に対し，森・赤木式による乱れを考慮することで，増大していることが確認できる(Step 3)．これらの値を用いて算出した，地下鉄トンネル中心位置における地盤変位量を図-6に，また，地下鉄トンネル躯体の変位量を図-7に示す．

江東幹線の通過により地下鉄トンネル躯体に生じる変位について，「森・赤木式」による通過後の後続沈下を考慮して算出したところ，その最大値は4.21㎜であった．

地下鉄トンネル軸方向10mあたりの相対変位量は0.96㎜となった．

表-3 解析ステップ

Step 1：初期自重荷重	Step 2：トンネル掘削	Step 3：森・赤木式
		
地山の初期応力解析	シールドトンネル掘削応力開放率 $\alpha'=10.0\%$	掘削後のYlc層の圧密収縮率α (1)式より算出

4 発進立坑の検討

シールド工事に先立ち，平成22年度から立坑設置工事に着手している．発進立坑の位置については，発進基地に求められる必要面積を確保可能な都立木場公園の一部を借地することとした．

借地した木場公園の面積は約2,300m²であり，今回規模のシールド発進基地としては狭隘である．

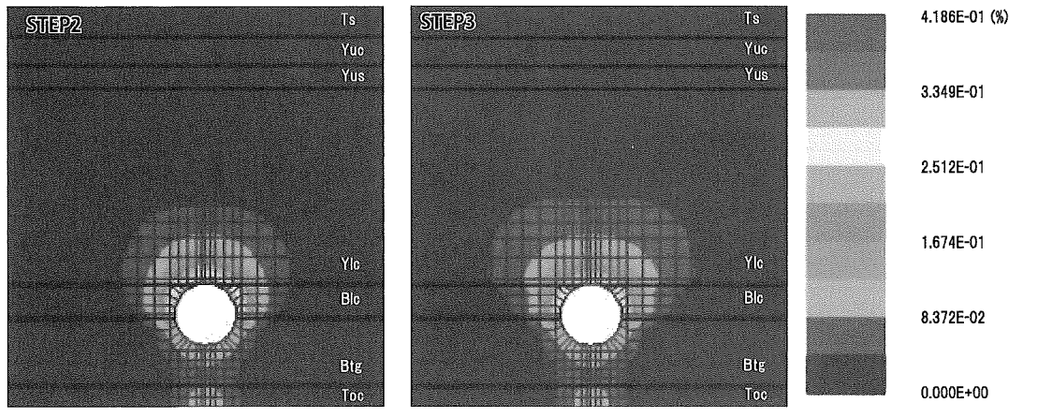


図-5 地盤の最大せん断ひずみ分布図

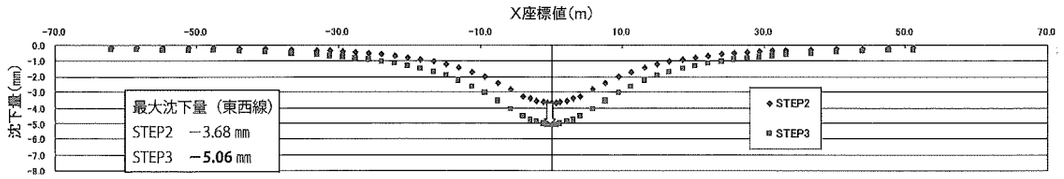


図-6 地下鉄中心位置の地盤変位図

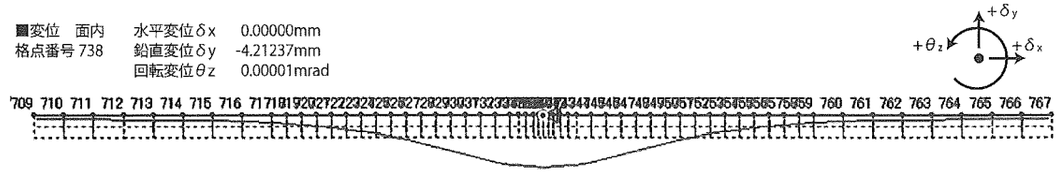


図-7 地下鉄トンネル躯体の変位図

また，敷地形状が細長い長方形を呈しており，施工性が高くないため，工事用設備の配置計画および資機材の搬出入計画などの立案に際しては深い検討が求められた．

4-1　施工方法の検討

主な立坑築造工法として，圧入オープンケーソン工法，ニューマチックケーソン工法，地下連続壁工法(本体利用)などが考えられる．選定にあたっては，当該箇所の施工条件【土質(有楽町層粘性土の軟弱地盤)，周辺環境に与える影響(マンションなどに隣接)，施工性(狭小な作業ヤード)，経済性】を総合的に判断し，騒音・振動が少なく，工期・経済性に優れた圧入オープンケーソン工法を選定することとした．

立坑の形状については，円形と矩形とで比較検討を行った．その結果，工期・経済性の両面で優位であり，また，1.5m幅セグメントの採用が可能であることから事業のトータルコスト縮減に資する矩形構造に決定した．発進立坑構造図を**図-8**に示す．

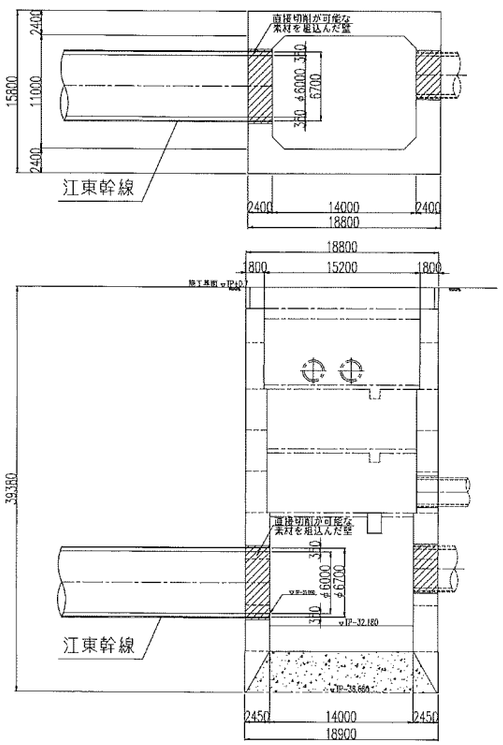


図-8　発進立坑構造図

4-2　立坑からの発進方法

発進立坑からのシールド発進は，約GL－30mの深度であり，高水圧下での施工となる．地盤改良を伴う鏡切り工法では，改良範囲が広くなるため経済性に劣る．そこで，立坑坑口部にシールドで直接切削が可能な部材を設置し発進する計画とした．

5　シールド工法の検討

5-1　シールドの設計

5-1-1　設計条件

今回の主なシールド設計条件を**表-4**に示す．

5-1-2　シールド工法の選定

シールド工法の選定にあたっては，泥土圧式シールド工法と泥水式シールド工法とを比較検討した．その際，もっとも重視した事項は可燃性ガスに対する安全性の確保である．シールド掘進に伴う掘削土は密閉された管渠で坑外に搬出する必要があるが，今回の場合，最長で4.5km程度の長距離圧送を確実に行うことができる工法の選定が求められた．

泥土圧シールド工法の場合，ポンプ圧送の途中で泥土が詰まり，管閉塞を起こす可能性がある．また，全国における泥土圧シールドの施工実績を調査したところ，泥土を4.5kmという長距離規模でポンプ圧送を行った実績がないことが判明した．そのため，施工の確実性を高く評価し，泥水式シールド工法を採用することとした．

表-4　シールド設計条件

セグメント内径	φ6,000㎜
セグメント外径	φ6,700㎜
セグメント幅	標準部：1,500㎜ 曲線部：750㎜，500㎜，300㎜
セグメント種別	合成セグメント 鋼製セグメント(*R*＝30m部，開口部)
掘進延長	4,486m(うち曲線1,240m) *R*＝30m：1か所，*R*＝50m：10か所，*R*＝60m：3か所，*R*＝80m：5か所，*R*＝100m：4か所
土かぶり	約25～35m
通過土層	・有楽町層粘性土：約3.5km ・埋没段丘層(一部砂礫層介在)：約1km ・可燃性ガスの賦存

5-1-3　シールドの要求性能

江東幹線は最大地下水圧350kN/m²の高水圧下において，長距離掘進するものであり，テールシール・土砂シールの耐久性およびカッタビットの摩耗対策に十分留意する必要があった．また，曲線半径60m以下の急曲線箇所が多いため，曲線施工でのセグメントの組立て精度の確保，さらには可燃性ガス対策についても対策が求められた．設計段階において想定する対応策を下記に示す．

(1)　テールシールの耐久性確保
- テールシールを多段(3段)装備することで地下水圧および長距離施工による摩耗や損傷に対応．
- テールシール用のグリースの自動給脂装置を装備することで裏込め材のテール内への浸入などを防止し耐久性を向上．
- 緊急時に備え，緊急止水シールを装備．

(2)　土砂シールの止水機能確保
- カッタ軸受けシールを地下水圧，泥水圧，添加材注入圧力に耐えうるものにするため，設計条件を考慮した材質，段数，摺動速度，潤滑油量および給油圧力などを詳細に検討．

(3)　急曲線部での施工精度の確保
- 急曲線部におけるセグメントの目開き・目違いの発生に伴う止水性の低下を防ぐため，また，余掘り量の抑制を図るため，シールド中折れ機構の装備．
- 曲線部(*R*＝50～100m)ではセグメント幅を500㎜および750㎜に縮小，急曲線部(*R*＝30m)では300㎜に縮小．

(4)　可燃性ガス対策

地中ガス調査の結果，メタンガス濃度は気液分離ガス測定箇所で37～70(VOL%)であった．また，地下水溶存ガス・コアガス分析でも最高で82(VOL%)を検出するなど，高濃度のメタンガスが確認されている．

シールドの設計・施工に際しては『メタンガス対策設計の手引き』(東京都下水道局)を順守し，防爆対応型の坑内電気機器類(シールド，シールド機械設備など)の採用，メタンガスの適正な管理(ガス検知・警報システムの設置，監視など)，換気による安全な濃度への希釈と排出などの対策を講じた．

5-2　セグメントの設計

5-2-1　セグメント構造の概要

本事業では，東京都下水道局として初めて1,500㎜幅のセグメントを採用することで，高速施工を図る計画とした．さらに，東京都下水道局で平成17年より本格導入されている二次覆工一体型セグメントを採用することにより，事業費の削減，事業効果の早期発現を図った．

また，事業に先立ち暫定貯留管としての暫定供用を計画していることから，内水圧に対応できるセグメント構造を検討した．

5-2-2　セグメント構造

軟弱地盤かつ大深度という厳しい設計条件のもと，セグメント構造については，RCセグメントと合成セグメントとで比較検討を行い，構造計算の結果，RCセグメントではセグメント桁高が450㎜になる一方，合成セグメントでは桁高350㎜(防食代含む)となった．

セグメントの材料費，掘削断面積の拡大に伴う発生土処分費の増加，私有地占用面積の縮小に伴う地上権設定費用の減少などについて総合的に経済比較を行い，優位性が認められた合成セグメントを採用することとした．

6　おわりに

長らく浸水被害に苦しんできた地元区および地元住民が，浸水被害の軽減に資する本事業に寄せる期待は大きい．東京都下水道局は，江東幹線および江東ポンプ所の早期供用開始を実現するため，着実に関連工事を推進していく所存である．

本稿が今後のシールド工事の設計の参考になれば幸いである．

参考文献

1) 森麟・赤木寛一：非排水せん断変形で生じた乱れに基づく正規圧密粘土の圧密現象，土木学会論文報告集，No.335，1983.

トンネルジャーナル

清水田島トンネルが貫通

石川県が整備する主要地方道金沢井波線の清水田島トンネルが貫通し，7月14日，貫通式が開催された．式には地元や工事の関係者約200名が参列し，事業の重要な節目を祝った．

同トンネルは延長802m，幅員10.75mの2車線道路トンネルで，上半先進ベンチカットを用いたNATMにより掘進．1工区を475m(宮下・北川・小山JV)，2工区を327m(北都・明翫・駒津JV)に分割して施工された．

地山は主に第四紀更新世の大桑層からなり，被圧地下水をもった固結度の低い細砂を多く含む．切羽に湧水が生じた場合，流砂現象による崩壊が懸念されたため，事前に観測井で地下水位を計測しながら水抜きボーリングを施工し，被圧地下水を排除したあと掘削することを基本とした．水抜きボーリングは43本，総延長約2,100mを施工している．

未固結砂層に対する崩壊対策や支持力不足への対策として，天端付近へはAGF工法，切羽へは鏡吹付けコンクリートと鏡ボルトの併用，脚部の支持力確保にはウイングリブ付き鋼製支保工を採用した．

これらの成果もあり湧水や崩落の発生はなく，最大日進8m，最大月進107mで，約10か月の掘進を無事に終えた．

同路線は，金沢市中心部と富山県南砺地方を結ぶことで両地域の交流を促進し，さらに東海北陸自動車道に接続することで，中部圏との連係を強化する重要な路線．同トンネルがこの路線の最後の未整備区間であり，完成により県境を越えて両地域の発展に寄与することが期待されている．北陸新幹線の金沢開業にあわせ2014年度内の供用を予定している．



写真提供：石川県

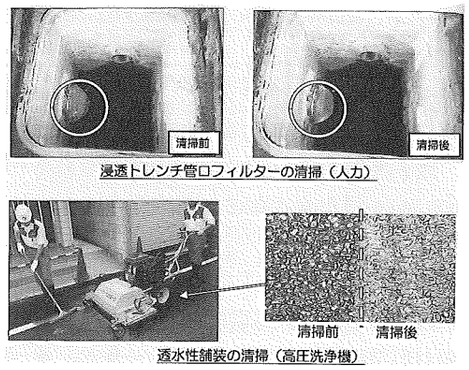
東京都　豪雨対策に一時貯留施設を普及・拡大

東京都は，『公共施設における一時貯留施設等の設置に係る技術指針』を策定した．局所的な集中豪雨に対策のひとつとして，学校，公園などの公共施設を活用した一時貯留施設の設置を効率的に進めるため，わかりやすい解説と実例などを紹介することで，設置に必要な情報を提供するもの．

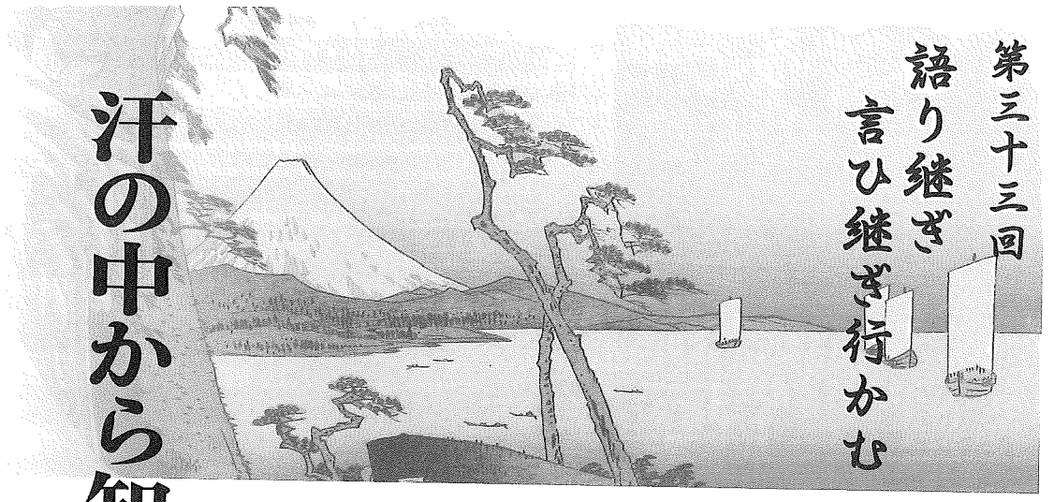
都では，2007年8月に「東京都豪雨対策基本方針」を策定し，局所的な集中豪雨に対する取組みを進めている．昨年11月には「緊急豪雨対策」をまとめ，対策の柱のひとつである公共施設を活用した一時貯留施設の設置を積極的に促進してきた．今回策定した指針は，設置に関する技術的な一般事項を示しながら，設置に必要な「調査」「計画」「設計」「施工」「維持管理」の各項目ごとに要件を整理した構成としている．

都と区市町村は，同指針を適切に活用することで，積極的に一時貯留施設などの設置を図り，豪雨による浸水被害の削減が効果的に進むと期待しており，実現のため「一時貯留施設等の設置促進協議会」をとおして関係局や関係市区と情報交換を行い，整備促進に向けた実施計画を取りまとめていく方針．

今年度以降は，都立大泉高校や世田谷区立桜木中学校，武蔵野市立第三小学校，都営住宅などで設置する予定としている．



維持管理方法を写真を用いて明示した例



汗の中から知恵を出せ！

(元)住友建設(株)
小濱修一郎

はじめに

橋をやりたくて入社したが，いきなり静岡支店の狩野川放水路関連工事のトンネル工事に配属された．「これぞまさしく男の中の男の仕事」と先輩たちと盃を交わしながら洗脳されて約30年．いろいろなことを飲みニュケーションで教わった．

鑿(飲み)，打(打つ)，交(買う)．人生の教訓と生き方を学び，仕事に対する情熱と汗をかきかき知恵を出せと叱咤激励された．先輩皆師匠であった．

せっかくの機会である．私からも，後輩たちに二つの訓戒を垂れされていただきたい．

一現一創：「一現場で何か新しいことに一つ，情熱をもって挑戦しろ」と有言実行の自慢話を後輩に贈る．

安全神話：隧道の安全四方山話について先輩たちからの言い伝えと独断と偏見で安全メッセージを贈りたい．

一現一創の自慢話

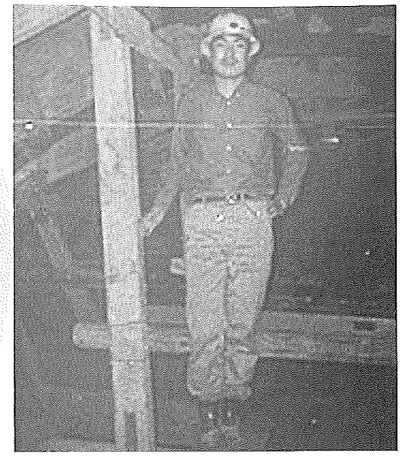
■ロックボルト施工

昭和39年入社当時，トンネル支保工が木製から鋼製支保工に，小断面から大断面へと変化していく時代であった．「隧道工事は，坑口付けが勝負だ．全知全能をもって取りかかれ．」先輩たちから教えられた．

亀裂の多い凝灰岩地山において，坑口部の崩壊を防ぐために外国のトンネル施工事例の翻訳本を読み，それまでの力対力から発想を変えてみた．径32㎜鉄筋丸鋼の先端を割り，くさびを入れる先端固定ロックボルトとモルタル注入を併用した．ヘアピンのイメージで地山を補強し，内部応力を増強させることで地山の崩落を防ぐことができた．これには先輩たちや坑夫連中も驚いた．

■簡易スライドセントル

昭和41年，覆工型枠も木製バラセントルから鋼製バラセントルに移行したが，相変わらず人力で組



新入社員の筆者

著者略歴

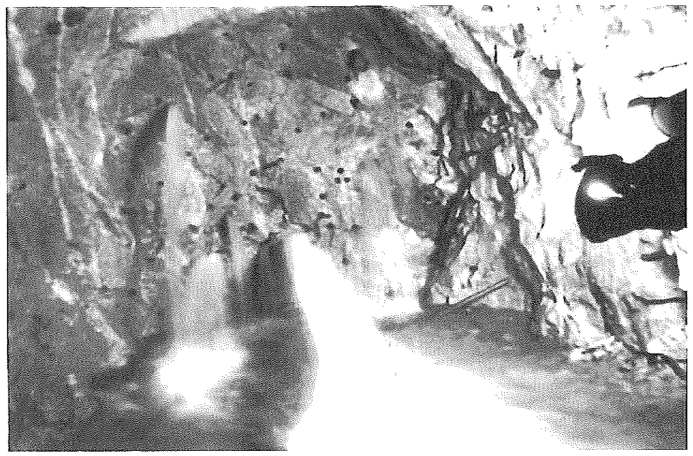
昭和39年３月	法政大学工学部土木工学科卒業
昭和39年４月	住友建設(株)入社
昭和39年５月	沼津土肥・伊東線道路トンネル工事
昭和46年７月	甲府精進湖有料道路トンネル建設工事主任
昭和49年２月	中部地建　岡部トンネル新設工事主任
昭和57年10月	静岡県梅ヶ島温泉昭和線森谷沢トンネル工事所長
平成元年10月	静岡県袋井春野線周知智トンネル工事所長
平成５年４月	静岡支店土木部長
平成７年４月	静岡支店土木営業部長
平成11年４月	執行役員静岡支店長
平成17年６月	退任
平成17年７月	キザイテクト(株)アドバイザー
平成24年６月	非営利特定活動法人グランドワーク三島理事

立て，解体し，移動しなければならなかった．

家の引き屋を応用してみた．セントル大引きの下に150Hのソリとパイプコロを入れてアーチバラセントルを乗せ，コンクリート打設後，大引きに入れた大楔を弛めダウンさせてチェーンブロックで引張った．これが非常にうまくいった．後に延長70mの車道アンダーパス・ボックスカルバートにも応用して，工期短縮とコストダウンに貢献する技術として賞賛された．

■簡易型枠

山間僻地のトンネル現場．掘削と覆工が終われば高賃金の出稼ぎ作業員は，金の成る木を求めて山を下りてしまう．地元の農家の人たちでもできるようにと工夫して，側溝の簡易型枠を作った．高さとセンターをしっかり決めれば，メタルフォームを幅留め金具で固定という流れ作業で毎日70m仕上げた．側溝工事だけで１か月短縮でき，工程が遅れている他社にも使っていただき，大変喜ばれた．



水アンコ

■水アンコ発破

電力会社の水路トンネル工事でのこと．硬岩被圧水帯で50気圧の突発水に悩まされた．水抜きトンネルを掘って本坑を掘り進むのがセオリーと先輩方からのアドバイス．しかし，時間と金が掛かるため，この湧水を利用して発破ができないかと編み出したのが「水アンコ発破」である．水抜き孔でダイナマイトを入れる孔の被圧を下げ，ダイナマイトを塩ビパイプに５～９本詰め，節抜き竹をアンコの代わりに詰めて楔で止める．中空なので湧水が竹孔から吹き出ている．これで発破．海抜1,600m，８℃の冷たい湧水の中での作業は，２時間おきに暖をとり，体を温めながらの作業であった．それでも１日に１～２mの進行が確保できた．水抜きトンネルよりも，はるかにロスタイムを少なくすることができた．

■AIトンネル診断システム

パソコンが普及しはじめた昭和55年ごろ，NECのPC9800で人工

知能ソフトを利用してトンネルの経験と知識を取り入れ，目視とハンマーによるトンネル診断ソフトを開発．静岡県内52か所のトンネルの診断を無償で行い，危険度の高いトンネルから順次補修計画を立てて提案したところ，採用された．発注者から，補修順位を決める手法として，おおいに役立ったと賞賛された．

■自動計測省力化システム

天竜阿蔵水路トンネル工事でのこと．このトンネルは，坑口から100mの位置で天竜浜名湖鉄道単線トンネルと土かぶり２mで交差する．地中変位計や応力計などの計測データを自動処理するソフトを表計算ソフトと通信ソフトを使って開発した．電話線を使った遠隔自動計測システムで，これをフル稼働させて無事交差部を通過することができた．トンネル掘削は，ブームヘッダーによる無発破無振動工法で施工した．

■補強土工法(SW，RP)

土の中にボルトを打込んで擬似擁壁とする補強土工法(SW工法)を坑口部の掘削に積極的に採用した．崖錐にロックボルトを打込み注入するため，注入パイプが切れたり，目詰まりすることがあった．そこで32㎜パイプの先端をプレスで潰し，矢じりのように尖らせ，９㎜の注入穴を空け，手元にねじを付けた自穿孔パイプボルトを開発した．単価も安く注入も確実にでき，効果があった．坑口付けには必ずSW工法を採用して，安全に掘削することができた．

小土かぶり部の掘削でもこのボルトをルーフパイル(RP)として打込んだ．クラウン上部の補強にも効果的であった．

■背面注入確認システム

導水トンネルの覆工コンクリート裏込め工事では，挿入したダクト管からエアモルタルを注入し，検査パイプからモルタルが流出した時点で充填完了とした．しかし，この方法では，掘削断面の凸部などの充填確認ができない．上流側の凸部に自作したセンサーを取付け，モルタルの接触により絶縁抵抗が下がることを利用してブザーを鳴らす充填検知システムを開発した．目視によるモルタル流出の確認とセンサーによる検知で，より確実に完全充填の証明ができるようになった．

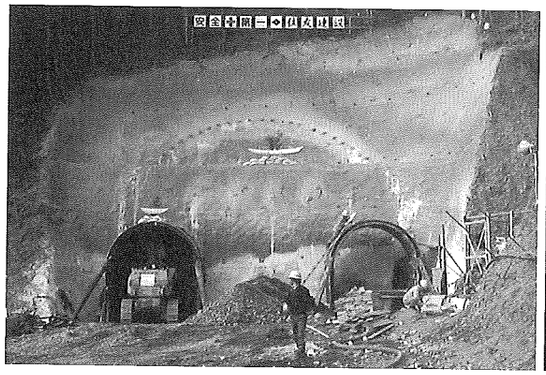
■内空変位測定システム

平成元年ごろに施工した相賀水路トンネルでは，内空変位測定システムを開発した．このシステムのおかげで，膨張性地山において，動態観測や内空変位など，膨大な計測データの整理と変更協議における理論武装がスムーズにできるようになった．

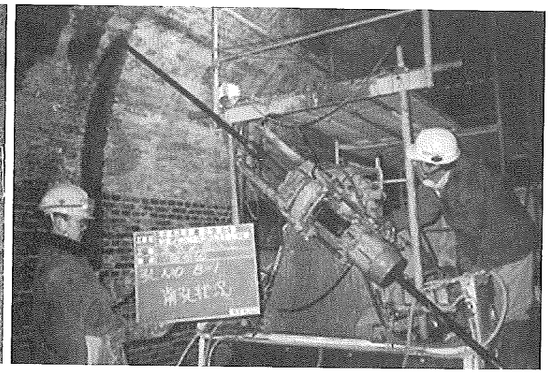
「汗の中から知恵を出せ」と先輩から始終やかましく言われて，一現一創を実践してきた自慢話である．今でこそ，現場の問題点の解決策をみんなで考え，知恵を出し合って省力化に努めて，金儲けに徹して会社や社会に貢献してほしいと願っている．

隧道四方山話

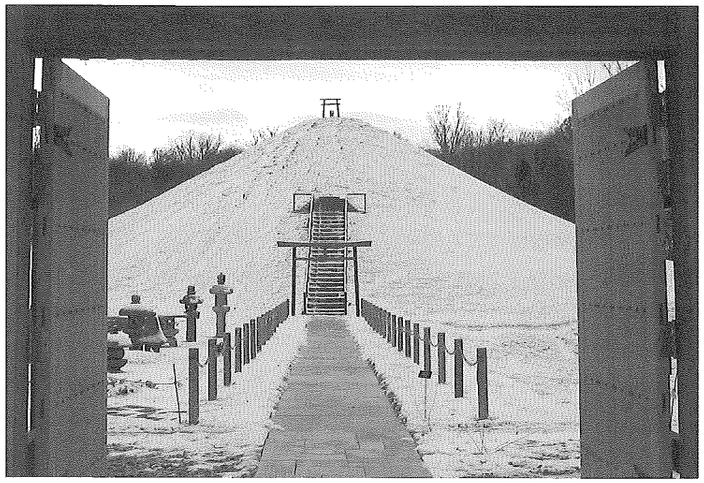
昭和40年代，隧道がトンネルへと呼び名が変わり，木製普請から鋼製支保工と掘削断面も大きくなり上部半断面工法が主流となった．ずり出しもトロッコからトラックに変化した．それでも，先輩たちからの言い伝えられてきた四方山話の教えは，おおいに参考になった．



補強土工法(SW工法)



トンネル補強注入



平成23年に著者がアメリカに築山した富士塚

隧道四方山話やトンネル十訓に私の独断と偏見を交え，安全メッセージとしてNATM世代の後輩たちに贈りたい．

■山の神

山の神は日本でもっとも古い民族神で，浅間大神には木花開耶姫と浅間大菩薩がある．富士山信仰は，古代，富士山を御神体としていた山岳信仰「冨士講」で，ミニ富士山を各地の住まいの近くに築上した．

富士山のレプリカを「富士塚」と呼び，江戸の町に数多く存在したという．今でも東京にも残っている．

■トンネルと隧道の違い

違いは，外来語と日本語である．

トンネルはtunnelで，〇〇トンネルと名が付けられるようになったのは昭和40年代からであると記憶している．東京オリンピック，新幹線，東名高速のビッグプロジェクトからであろう．

日本の高度成長期に隧道からトンネルに変わったと言える．現在はすべて〇〇トンネルと命名される．〇〇隧道と名が付けられたのは，昭和40年代前半までで，古いトンネルは，すべて〇〇隧道と命名されている．

■隧道のこじつけ語源

一説として，昔の横穴生活の時代に家長が亡くなったときに葬る棺を納める場所までの地中横穴通路を隧道(すいどう)と言った．後にこの横穴の通路を隧道と称したらしい．

もう一説．女性器に例えれば，子宮(棺を納める場所)までの膣(通路，すいどう)で子宮までの神聖の場所に通じる道を隧道と称した．

■トンネル作業現場に女性を絶対に入れてはならない

一説として，トンネルを掘る山の神は女性の神であり，女性を切羽に入れると神様がやきもちを焼いて地山を揺さぶり落盤を起こす．

またも女性器になぞらえて．子宮(切羽)につながる膣道(隧道)には男性(器)しか入れない．だから女人禁制である？？

さらにもう一説．トンネル現場は非常に過酷で，山の緩みは気の緩みからと言われるように緊張の連続で気を緩め油断すると落盤で命を落とす．

よって，うす暗い切羽に女性がいると作業員の気が散り，集中力欠乏で事故が起きる．

■トンネル内(坑内)で口笛吹いてはいけない

坑内で口笛を吹くと反響して地山を揺さぶり落盤を引き起こす引き金となる．また，気の緩みから事故が起きる．気が緩んでいるから口笛を吹く．仕事に集中せよ．

■ご飯にみそ汁をかけるな

ご飯にみそ汁をかけるのは，切羽が湧水で崩れるのとイメージが重なる．朝御飯のときに坑夫の前でやれば全員平九郎(休み)で現場は開店休業となる．朝から緊張感を持って仕事にかかれ！　みそ汁にご飯をいれるのは許されるとか．

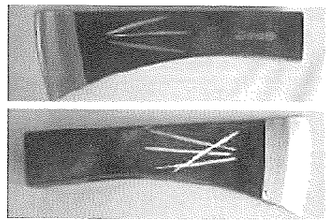
■坑口で小便をするな

坑口で小便すれば，坑口が崩壊し生き埋めとなる．絶対にしてはならない．入り口は神殿の真正面であり，神に小便をかけることと同じで罰が当たる．

支保工の倒壊防止として，坑口は「やらず」で補強されている．この根元に小便をかければ地山が水で緩み，やらずの効果がなくなり倒壊する．このため，禁止されていた．

■鉞や斧の表裏に3本と4本の筋が必ず入れてある

隧道掘削では補強に丸太を使用したので，斧(刃広，鯖斧)は加工



刃広

に必要な道具であった．この斧の表に3本と裏に4本の筋が入っている．鉞にも必ず入っている．これは身を避ける(3を4ける)という「怪我をしない」おまじないとのこと．

■安産守護石　安産の石の由来

一説．大和の国磯城郡に大三輪神社というのがある．この神社は，神殿だけで本殿すなわちご神体はなく，標高50mの安山岩質の山をご神体とし，戦前までは官幣大社であった．宮の拝殿の横には2 m³くらいの安山岩の岩があり，平たく，腰掛けにちょうど良いものであった．近隣の妊婦は月に一度必ずお参りして安産を祈る習慣があって，その際，必ず岩に腰掛けて帰るのである．

その昔，ある婦人が懐妊したのち，大三輪神社に参拝を続け，月満ちて玉のような男子が誕生した．この子の力が非常に強くなったので途中で多力男と名前を変えた．成人になるや十人力であったという．それ以来，神社にお参りしてご神体(岩)に腰を下ろしてくると良い子が安産できると，妊婦参拝が後を絶たないそうだ．石の名も産女石と呼ぶ習慣が残っている．

宮司は，夜，金槌で岩を欠いて持ち帰る人が多くて困ると話している．この産女石と同じように隧道の貫通石も昔から安産守護石という言い伝えがある．一本の隧道を貫通させるには，永い年月を掛け，地球誕生以来，人類だれもが足を踏み入れたことのない地中深き神聖なる大地の中，隧道掘削において，自然の地圧に命を懸けて戦い抜いた男たちが，心ある女に命を懸け娶り，子を産ませるに神聖なる隧道の貫通石を持たせたところ，男の苦労の想いが込められたせいか，無痛分娩の安産で強靱なる子を授かった．これ以来，隧道貫通石は，婦人の宿命である分娩の苦痛を，婦人に替わり男たちが隧道掘削により苦痛を全部背負い，汗と水に流したといわれ，安産守護石になったとされている．貫通石は，必ず貫通点をわたり，向こう側の石を拾いお守りとするがよし．

もう一説．その昔，神功皇后三韓征伐の砌，彼の地において敵を攻めあぐみ，ふと，間道に洞あり，三日三晩不眠の甲斐ありて，洞を突き抜き，敵の背より攻め大勝を得たという．この記念にと貫通点の石を持ち帰りて，角鹿の地に上陸，御自ら産気づき記念の石を枕辺にはべりたるところ，すこぶる安らかにして男子出産し給ふ．これより隧道貫通点の石を尊ぶ習いありて安産の石と称す．



中電中御所発電所導水トンネル貫通式(右側が著者，昭和53年)

■坑内で金槌と金槌を打つ音神嫌う

金槌と金槌をたたいて，かん高い金属音を出してはいけない．坑内で落盤などの事故で亡くなった遺体を搬出するときに，魂が宿るのを嫌い金槌(切刀)と金槌(切刀)をキーンキーンと打ちながら出てくる．

■坑内に犬を入れるな

山の神は，犬が嫌いで，とくに坑内での鳴き声はかん高い声で響き，共鳴し地山を揺さぶり落盤させる．また，坑内で働く人が仕事に集中できない．山の緩み(落盤)は，気の緩み．

■腹巻きは，さらし布使え！

隧道掘削の坑夫は必ず腹巻きに

さらし布を巻いていた．これは，おなかを冷やさないようにする健康管理である．万が一，事故があった場合に，紐に，包帯に，ターバンにして頭部の保護にも使える．坑内は暗闇であり行動を共にし，脱出するときの誘導紐として使うこともできる．

■濁り水が出てきたら逃げろ！

断層などで地山が動き始めたときに摩擦で水が濁る．落盤の前兆である．安全点検には湧水の濁りを調べると良い．常に点検を怠るな．

■水泡にガス，目に見えぬが油断するな！

切羽の溜まり水に泡が出たらガスと思え！　可燃性ガスは突然現れる．普段検知なしと油断すると爆発を招く．ガス山は換気を怠るな！　止めるな！

■坑口の頂点に神棚，化粧木を奉る

安全施工を祈願して，坑口部の頭にそりの良い，太くて3尺6寸5分の長さの地に生えている松，檜などの化粧木(皮をむいた)を横に角のごとく飾る風習がある．

山の神は女性であることから元気の良い男性のシンボルに似た化粧木を奉ることで，ご機嫌を損なわないように，安全に事が運ぶことを祈願するものであるとか？　ヨーロッパでも坑口に女神(セント・バーバラ，サンタ・バルバラ)を奉る風習あり．

■神棚の大きさは？

家内安全，安全施工など神棚を奉る場合の棚の大きさは，長さ3尺6寸5分(110cm)，幅1尺2寸(36cm)，板厚1寸2分(36㎜)が良いとされている．一年は，365日12か月12支に因んで決められたとか？　新入社員に神棚の献花，供え物，ご神酒の係をさせる．

■坑内レール固定の犬釘(スパイキ)は，ハの字に打て！

ハの字に打てば緩まない．ノの字その他は，すぐに緩む．トロッコのトンボ(脱線)の原因となる．

■坑内を歩くときは，片足レールの上を滑らせて歩け！

坑内に敷設してあるレールの上に湧水，トンネルずり，泥などが載っていると運搬用電車，トロッコが脱線(トンボ)する原因となる．この石を除けて歩くようにする．常にレールの点検に留意せよ．

■落盤！　騒ぐな！　じっと我慢をしろ！

落盤などで停電，閉込めに遭ったとき，救援が来るまでじっと我慢．お互いの確認，励まし合い体力消耗を極力避ける．空気は出し放しにせよ．空気が止まったら耳を傾けろ．救援隊を待て！

■道具は，命!!

刃広，よき(斧まさかり)，鯖よき(斧)，鋸など，坑夫，斧指は道具の手入れにより仕事にありつける．腕(技術)の証になり採用条件と賃金が決定される．道具は命!!　手前持ち!!　手入れは腕の証!!

■ノミと軍手は，犬猿の仲!!

削岩機のノミを紋取り位置までの支えに軍手で作業すると必ず巻き込まれ，腕の骨折事故が起きる．必ず革手袋などを使う．ボーリングなど削孔作業にも要注意．フード付きジャンパーも禁物．

■地相は人相，山は性状

人相によって性格が判断されるように，地相にも山の性状(たち)，形状，樹木により地質の状態を判断する．竹藪は粘土質の水気の多いところが多く，地山強度が低く要注意．松林は地山堅固なるや表土浅くやせ地で山が一般的に良い．

■山の緩みは気の緩み

地山は掘削とともに経時的に緩みが拡大する．点検を怠り，気を緩めると崩壊に繋がる．適切な処置を講じ安全作業をという戒め．常に緊張感を持って仕事に励め．命は大切にせよ！

■石は硬くとも山堅いとは限らず

石が硬く，鑿の損傷激しく，爆薬の消費も多いから安心しては駄目！　亀裂破砕帯が待ち受けている．楽あれば苦あり！　日本の山は，地層の変化が多く，断層，破砕帯，帯水が多く要注意．ガスにも注意．

■流感(汗)崩壊の兆し

掘削直後，水はないが，地山の緩みによって水(汗)を呼び地山崩壊となる．要注意．湧水箇所の崩壊あると見てよし．

■埃たたぬに水ないものか？

水のないトンネルだからといって貫通まで埃がたっていると思うな．山には必ず水があるのだから油断をしないこと．

日本の地質の複雑さ，地震大国．水，ガスあると思え．要注意．点検怠るな．

■肩のしまりは，身のしまり！

支保工の肩のところがウイークポイント．楔でしっかりと当たりをとることが大切である．人の肩と同様しっかりすれば支保工も安定する．手抜きをするな！　命を大切に！！　肩の点検，安全施工．

■坑口やらずは左右両方かえ

「やらず」は必ず坑口から切羽(奥)に向かってかう．逆のやらずも入れるのが鉄則である．前後固定され，支保工はきわめて安定する．木製支保工の場合は要注意．やらずを止らずは，山を呼ぶ！　坑口崩壊．

■担い(支保工)をつったら足下注意

木製支保工の担い(坑道枠)を組み立てたら柱の足下に，とくに注意を払え．とくに不等沈下に要注意．鋼製支保工にも同様．型枠支保工も不等沈下に注意．点検怠るな．

■鼻ばりと腰ひもは，きちんとしめれば，しゃんとする

小さな部材でも軽く見ずに，きちんと役目が果たせるようにきちんとはめること．人間の着物の腰ひもと同じである．手を抜くな！　このくらいならいいだろうが事故を呼ぶ．

■中心狂えば屋台は揺らぐ

センターレベル測量を間違えると会社が潰れる．手直しに膨大な費用がかさむので測量を間違えないように注意せよ．戒め．チェックには念には念を入れろ！　丁張りを気配りと思いやりで健全会社！！

■余掘りは贅肉，国の損

余掘りは，手間暇も掛かりコストアップになる．材料の食い込みが屋台骨揺るがす．ロスを少なく掘れば利益も出る．国の損は，会社の損，自分の損．

■わが家にも天井悪ければ建て直せ

トンネルは天端が大切な要であり，安全，安定面でも大切なところ．丁寧な仕事をせよ．戒め．天井が悪ければすべて悪し．見えるところはとくに気を使え．品質を保て．

■機械故障でおまんま食い上げ

機械の点検整備をよくしなければ，作業が中止となりロスが多くコストアップとなる．機械故障は，会社の損害，自分にも被る．機械を大切に使うこと．機械に思いやりを．機械は，生き物と思え．思いやりで健全経営．日常点検怠るな！

■坑内軌道は鉄道と思え

軌道は，現場の命である．点検管理をしっかり行い安全，効率向上とコストダウンにつなげること．日常の点検，保守整備を惜しむな．

■湧水注意苦労が水の泡

トンネル掘削の能率は，水に左右される．慎重に掘進すれど突発湧水が多ければ今までの苦労も水の泡と化す．コストアップになる．被害を最小限に抑えよ．緊急資材確保，迅速対応がコスト最小．

■常に点検と補強対策が安心を呼ぶ

地山，支保工の日常点検が必須．追跡調査，点検，計測で補強対策の事前準備をして安全，安心確保する．毎日の目視点検が大切．自分で汗を流せ！

■余掘りはいらぬが巻き厚確保

余掘りは，少なくする方が経済的である．設計巻き厚を侵さず確保必須．くれぐれも縫い返しのないよう，地山の性状をみて余裕高さを確保．コストアップ要注意．

■地山の診断，目視から

毎日，地山を計測して切羽状況を確認せよ．適切な診断が下せる．補助工法などの対策も適切な時期に対応でき，安全に施工できる．地山の変化は，危険予知予測．自分で汗をかけ．

■ロックボルトは，ヘアピン止め

ロックボルトは，女性のヘアピンであり，手を抜くと髪の毛が崩れる．地山に打つボルトも定着をしっかりしないと緩みが止まらず崩壊につながる．要注意．地質診断で安全施工．臨機応変対応が必須．手抜き厳禁．ボルトは正直．内部応力解放・応力集中に要注意．

■山津波，山仕事乗り込む前に過去を知れ

現地調査の際に沢を登り，沢の木を切って年輪で過去の山津波を知る．樹木の繁殖でどこまで来たか高さを知る．

■山津波　沢の木が過去語る

沢の樹木の太さ大きさで過去を知る．樹木の種類で沢の上流発生場所予測．堆積物で大きさ，上流地滑りの大きさを知る．

■山河の流れ急減後に山津波

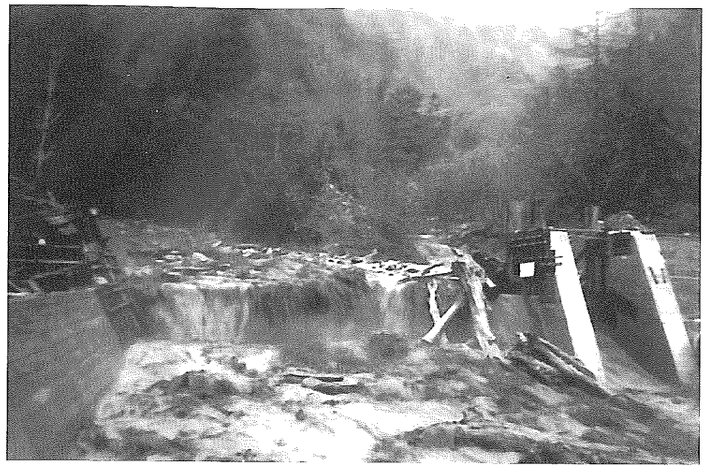
急峻な山中の川の流れが急に減ったとき，山津波や土石流が襲う．

■豪雨のなかヘリコプター音山津波

豪雨の中，材料片付け最中にヘリコプター音が聞こえた後，数十秒後にこの有様……．命からがら丘に登る．命拾い……．

■地すべり，谷下馬の背，要注意

山中地形調査で山肌が露頭した



中電中御所発電所導水トンネル　山津波の跡

下流部の馬の背地形，地すべり跡，天然ダムの跡は要注意である．

■雷さん，娑婆で落ちて天空は走るの？　雷管ちゃん，天敵雷，暴発昇天

山間での雷は，稲妻が横に走るため，穴ぼこに入れ．低い所に避難せよ．雷管は静電気に弱く，暴発の危険あり．坑内だからといって安心は，大間違い．誘導電流が坑内の明かり用の線路に誘導する．アースを必ずとることが重要．

■地すべり跡は，立木の曲がり

山中の樹木の生え具合で地すべり地形か，地すべり中かの判断材料となる．とくに大きく曲がっている杉檜の植林跡に要注意．

■先輩からの言い伝え

生きてるうちに頭を使え！　酒は大いに飲め，飲まれちゃならぬ！　仕事は繰越なし，その日に片付けろ！　何事も5W1H1C！　コストを考えろ！　弁当と怪我は手前持ち！　安全第一．みんなで築こう，ゼロ災・金字塔．

おわりに

わがトンネル人生は，水との闘いで明け暮れたような気がします．私の拙い体験と知恵を後輩に贈る機会を与えてくださったことに感謝御礼申し上げます．

安全施工と健康第一で笑顔のあるトンネルづくりの社会貢献に期待しています．

研　究

鏡の形状が切羽安定性に及ぼす効果の解析的検証と試験施工

中日本高速道路(株)東京支社南アルプス工事事務所副所長　佐藤　淳
首都大学東京都市環境学部教授　西村和夫
清水建設(株)土木技術本部地下空間統括部担当部長　楠本　太

1 はじめに

高速道路トンネルでは，標準支保パターンによる補助ベンチ付き全断面工法の標準施工が一般に行われている．最近では，切羽作業の施工性や安全性の向上が求められ，また，山岳トンネルの安定性確保における球面切羽の合理性などが報告[1]されてきているが，掘削工法や一掘進長，切羽形状などの違いがトンネルの変形挙動や力学的安定性に及ぼす影響，効果の定量的評価はなされていないのが現状である．本研究は，これらに対して，数値シミュレーションと試験施工をとおして，基礎データを取得，分析，評価することにより，トンネル施工法とトンネル挙動特性および力学的安定性のかかわりを明らかにし，より安全で合理的なトンネル施工法を検討，提案するものである．

2 研究方法

球面切羽形状をパラメータとする3次元Finite Difference Methodによるトンネル掘削解析を実施して，トンネル挙動と安定性を数値シミュレーションで評価する．さらに，地山等級，掘削工法，一掘進長などをパラメータとする試験施工を実施し，トンネル施工法の違いがトンネルの変形挙動や力学的安定性に及ぼす影響，効果を定量的に評価するとともに，解析結果との対比で，球面切羽による全断面工法の適用性を評価する．

3 調査トンネル概要

調査対象の八之尻トンネル[2]は，中部横断自動車道の増穂ICと六郷IC間に位置し，トンネル延長2,469mの2車線トンネルである．トンネル掘削は，下り線を北側坑口から南側に向けて，300kW級軟岩トンネル掘進機による全断面工法と補助ベンチ付き全断面工法の機械掘削とした．

3-1　地質概要

地質は，礫層，地すべり崩積土，泥岩，玄武岩溶岩，玄武岩質火砕岩からなる(**図-1**)．STA.446＋10から以奥の試験施工区間には，地山等級がDⅠとCⅡの泥岩，玄武岩が分布する．ここでの土かぶり高は40～110mである．

3-2　試験施工計画

地山等級と一掘進長，掘削工法と切羽形状をパラメータとする試験施工は，北側坑口STA.446＋10～STA.443＋20.6の延長289.4mで実施する(**表-1**)．

掘削工法は，「曲面や球面切羽は，施工性やトンネルの安定性が向上する」[1),3)]「全断面掘削は，ベンチでの切羽作業がなくなり，安全性が向上する」「高速道路2車線トンネル全断面の掘削高さは，3車線トンネル上半断面と同等である」などから，球面切羽の全断面工法を基本とし，直平面切羽の補助ベンチ付き全断面工法を併用する．トンネル掘削方式は，前述したように300kW級軟

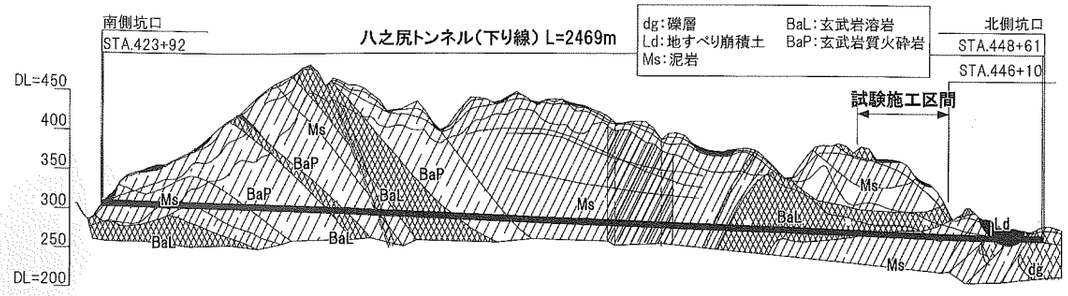


図-1　地質縦断図

表-1　試験施工要領

支保(設計)パターン*	区間延長(m) 設計	区間延長(m) 試験	掘進長(m)	掘削工法	切羽形状		Start Station Number	計測工B STA.
DI-b-H	95.00	5.00	1.00	全断面	曲面		446+10.00	
		30.00		補助ベンチ		直平面	446+ 5.00	
DI-b-H(E)		30.00	1.20	全断面	球面		445+75.00	STA.445+57
		30.00		補助ベンチ		直平面	445+45.00	
CIIi-b-H	144.00	36.00	1.20	補助ベンチ		直平面	445+15.00	
		36.00		全断面	球面		444+79.00	
CIIi-b-H(E)		36.00	1.50	補助ベンチ		直平面	444+43.00	
		36.00		全断面	球面		444+ 7.00	
CII-a-H	50.40	50.40	1.20	全断面	球面		443+71.00	

*(E)は一掘進長延伸パターンを示す.

表-2　支保構造諸元

地山等級	支保パターン名		一掘進長(m)	ロックボルト 長さ(m)	ロックボルト 耐力(kN)	ロックボルト 間隔(m) 周方向	ロックボルト 間隔(m) 延長方向	吹付けコンクリート厚さ(cm)	鋼アーチ支保工サイズ* 上・下半	覆工厚(cm) アーチ・側壁	覆工厚(cm) インバート
CII	標準	CII-a-H(f)	1.2	3.0	170	1.8	1.2	7	—	30	—
	標準	CIIi-b-H(f),(b)	1.2	3.0	170	1.8	1.2	7	HH-100	30	40
	延伸	CIIi-b-H(E),(f),(b)	1.5	3.0	170	1.5	1.5	7	HH-100	30	40
DI	標準	DI-b-H(f),(b)	1.0	4.0	290	1.8	1.0	10	NH-125	30	45
	延伸	DI-b-H(E),(f),(b)	1.2	4.0	290	1.5	1.2	10	NH-125	30	45

*CIIi-b の補助ベンチ付き全断面は上半に NH-125，全断面は上・下半に HH-100 である.

岩トンネル掘進機による機械掘削である.

3-3　支保パターン

試験施工区間で採用する支保パターンの支保構造諸元を**表-2**に示す.

掘削工法に対応させる支保パターン名は，これの後ろに，全断面工法は(f)，補助ベンチ付き全断面工法は(b)を付記する．全断面工法による標準支保パターンCIIi-b-H(f)のトンネル支保構造概要を**図-2**に示す.

4　球面切羽形状の設定

全断面機械掘削の球面切羽状況を**写真-1**に示す．この球面切羽形状は，主働崩壊線との関係で定める曲面切羽[9]と異なり，**図-3**を用いて，以下のように設定する.

① 切羽鏡は球面とし，これを施工済み位置から掘削方向に，一掘進長Lの数倍の長さで掘り込んだ球面形状とする.

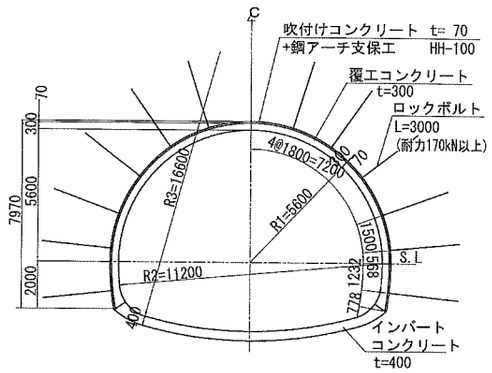


図-2　支保パターンCIIi-b-H(f)(標準，全断面)



写真-1　球面切羽全景(CII-a-H(f)，$L_s=2L$)

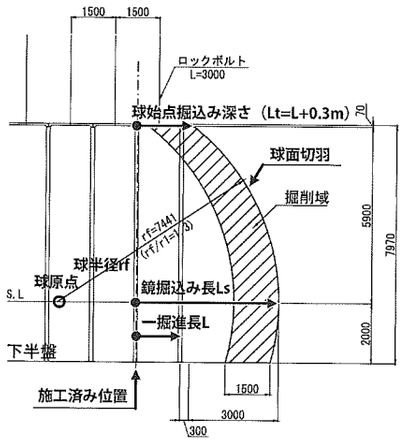


図-3　球面切羽形状用語

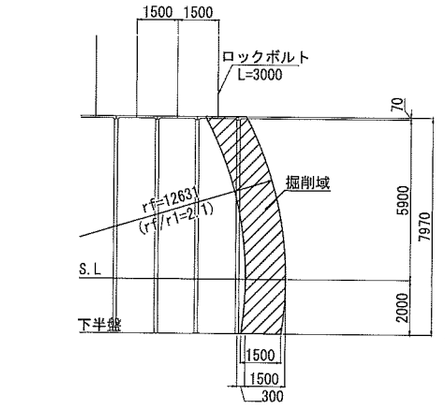
② 球の原点は，トンネル中心，SL高位置の下半盤に平行する直線上に設ける.

③ 切羽鏡前面の鏡掘込み長L_sは，SL位置において，一掘進長の2倍に施工余裕の0.3mを加えた$L_s=2L+0.3$mを基本とする．なお，L_sは，切羽鏡の自立性と切羽作業の安全確保を考慮し，$L_s=2L$または$3L$とする(図-3は$L_s=3L$).

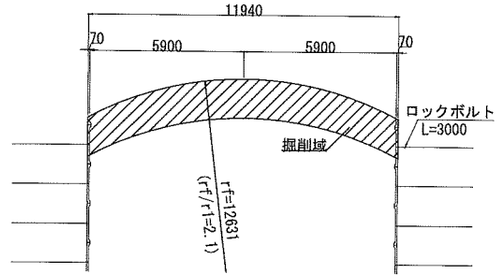
④ 球始点の掘込み深さは，天端掘削位置において，一掘進長Lに施工余裕の0.3mを加えた$L+0.3$mとする.

⑤ 一掘進長が$L=1.5$mの延伸パターンCIIi-b-H(E)(f)の球半径r_fは，支保構造半径をr_1とし，球始点掘込み深さの$L_t=L+0.3$mと鏡掘込み長L_s位置を通過する球を設定すると，$r_f/r_1=2.1$となる(**図-4**).

なお，実施工にあたり，切羽の地山性状に応じて，作業員の柔軟な対応に任せている.



(1)　トンネル中心縦断，$L=1.5$m，$L_s=2L=3.3$m



(2)　SL平面図($L_s=2L$)

図-4　CIIi-b-H(E)(f)球面切羽形状

5　数値解析的手法による評価

解析対象断面は，全断面工法標準パターンのCIIi-b-H(f)とする．土かぶり高は$h=100$mである．解析方法は3次元Finite Difference Methodによるトンネル掘削解析とする．解析コードは

FLAC3D-ver.3.0を使用する．

5-1　力学モデル

地山はMohr-Coulombの破壊規準を降伏条件とする完全弾塑性体でモデル化する．吹付けコンクリートは弾性体の薄肉シェル要素でモデル化し，鋼アーチ支保工は弾性体のはり要素とする．ロックボルトは力学モデルに考慮しない．

5-2　解析モデル

3次元解析モデルを**図-5**に示す．解析領域はトンネル中心を対称軸とする半断面とする．インバート部の掘削は解析に考慮しない．土かぶり高は100mである．境界条件は，側面はX方向固定，Y，Z方向フリー，底面はZ方向固定，X，Y方向フリー，手前奥行き面はY方向固定，X，Z方向フリーとする．

全断面掘削と支保部材設置の関係は，球面切羽$L_s=3L$について**図-6**に例示する．支保部材は切羽から一掘進長$L=1.2$mの後方で考慮し，この状態で全断面で1.2mを掘削する．

これを100回くり返し，トンネル延長方向120mを掘削する．

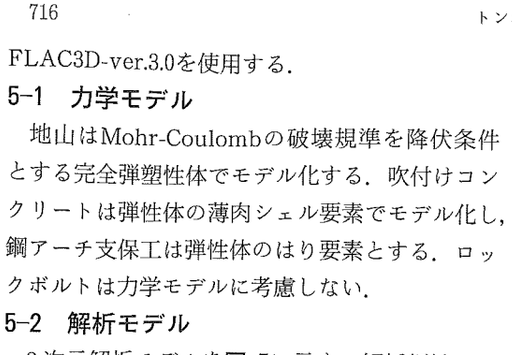


図-5　3次元解析モデル概要

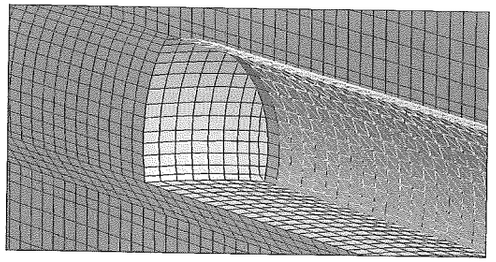


図-6　掘削ステップ概要($L_s=3L$)

5-3　入力物性値

地山物性値は『NEXCO技術資料』に記載されている地山区分CⅡのものを用いる(**表-3**)．標準パターンCⅡi-b-Hの支保構造部材断面性能を**表-4**に示す．吹付けコンクリートの設計基準強度は$f'_{ck}=36$N/mm²，鋼アーチ支保工は高規格鋼SS590である．

5-4　解析ケースの設定

解析ケースは，一掘進長を$L=1.2$mとする標準パターンCⅡi-b-Hの直平面切羽全断面掘削1ケースと，鏡掘込み長を$L_s=2L$, $3L$, $4L$とする球面切羽3ケース(**図-7**)の計4ケースである．

表-3　CⅡ地山物性値

パラメータ	代表値
変形係数 E (N/mm²)	1,000
単位体積重量 γ (kN/m³)	23
ポアソン比 ν	0.30
粘着力 c (N/mm²)	1.0
内部摩擦角 ϕ (deg)	40
側圧係数 K_0	1.0

表-4　支保部材断面性能(CⅡi-b-H)

支保部材	吹付けコンクリート	鋼アーチ支保工
仕様	$t=7$ cm	HH-100
要素モデル	薄肉シェル要素	はり要素
弾性係数E(MN/m²)	6.0×10^3	2.1×10^6
断面積A(cm²)	700	33.91
断面2次モーメント I(cm⁴)	—	636
断面係数Z(cm³)	—	118

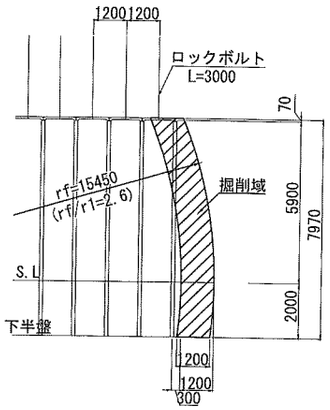
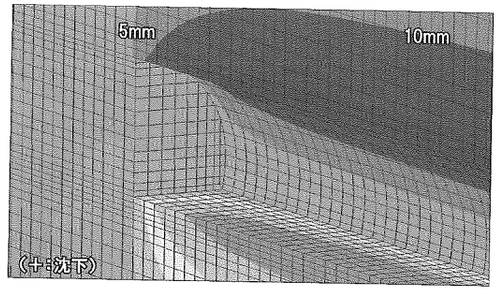
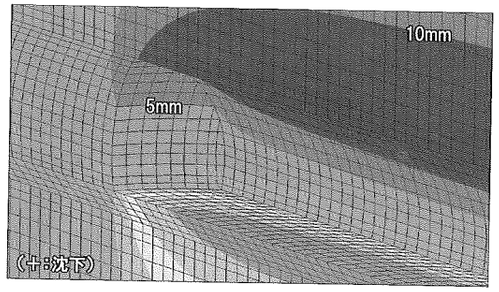


図-7　球面切羽例($L_s=2L$)



(1)　直平面切羽



(2)　$L_s=3L$球面切羽

図-8　鉛直変位δ_z

5-5　地山変位

直平面切羽と$L_s=3L$球面切羽における先行変位を含む地山の鉛直変位δ_z分布を**図-8**に示す．切羽周辺地山の鉛直変位δ_zは球面切羽より直平面切羽の方が小さい．球面切羽を$2L$から$4L$に掘込むと，切羽周辺の地山の変位は大きくなる．

5-6　トンネル変位

計測工Aで測定される天端鉛直変位δ_{zc}とSL水平変位δ_{xs}は，ともに球面切羽より直平面切羽の方が大きい(**図-9, 10**)．直平面切羽に対する$L_s=2L$球面切羽のδ_{zc}変位比は，切羽後方3m位置は0.88，60m後方は0.93倍であり，切羽に近いほど小さい．また，L_sを$2L$から$4L$に深く掘込むと，トンネル変位は小さくなる．

5-7　切羽鏡面変位増分

一掘進時の切羽鏡面における，トンネル中心トンネル軸方向変位増分$\Delta\delta_y$と，SLレベルでのものを，**図-11, 12**に示す．一掘進時の直平面切羽の$\Delta\delta_y$は，切羽鏡面全体が同等レベルで，掘削方向手前側に変位する．球面切羽$\Delta\delta_y$はトンネル中心

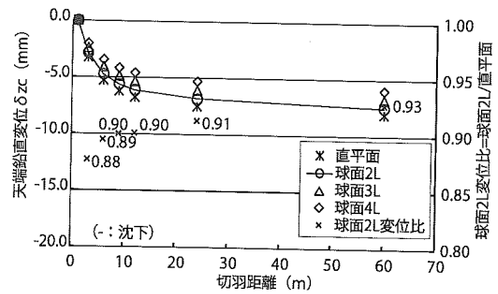


図-9　天端鉛直変位δ_{zc}

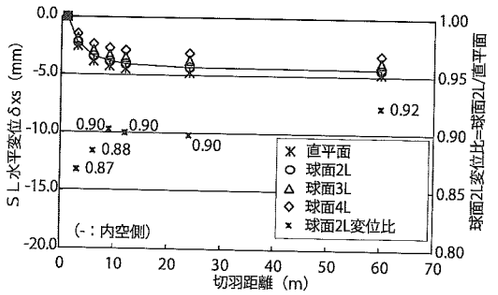


図-10　SL水平変位δ_{xs}

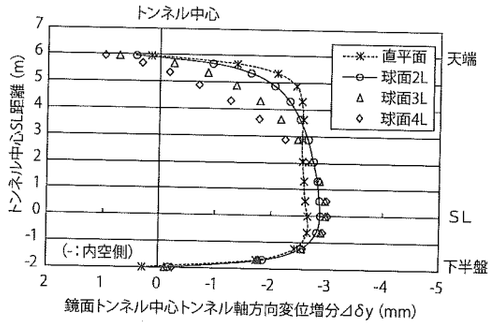


図-11　一掘進時$\Delta\delta_y$(鉛直面，切羽鏡トンネル中心)

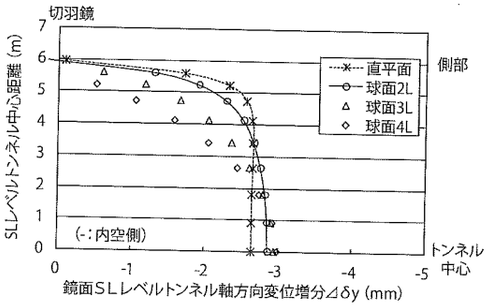
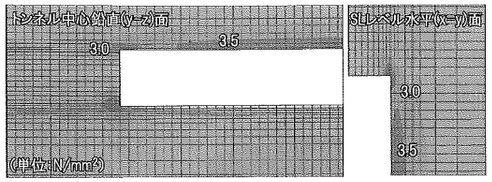
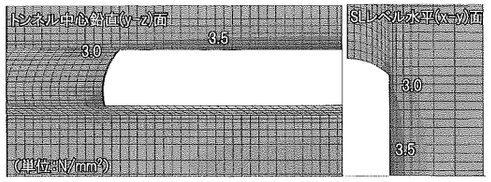


図-12　一掘進時$\Delta\delta_y$(SL水平面，切羽鏡SLレベル)

SL部がもっとも大きく変位し，この位置からトンネル掘削面側に近づくにつれ$\Delta\delta_y$は抑制され，切羽形状効果が現れる．L_sを$2L$から$4L$に深く掘



(1)　直平面切羽



(2)　球面切羽$L_s=3L$

図-13　最大主応力分布

込むと，この効果がさらに現われ，変位増分は小さくなり，切羽鏡の安定性は高まる．

5-8　周辺地山の安定性

トンネル中心鉛直(y-z)面，SLレベル水平(x-y)面における最大主応力分布を，グラウンドアーチ形成域として**図-13**に示す．トンネルの安定性は，グラウンドアーチが形成され，向上する．鏡掘込み長が$L_s=2L$より深くなると，切羽鏡周辺地山に高い主応力場が形成され，鏡の安定性はさらに高まる．

なお，直平面切羽と$L_s=2L$の球面切羽は，掘削面近傍に塑性域が現れる．

5-9　支保構造の安定性

直平面切羽の吹付けコンクリート応力は，天端で5.2N/㎟，SLで6.4N/㎟の圧縮である(**図-14**)．球面切羽$L_s=2L$の天端は4.9N/㎟となり，直平面切羽の0.93倍である．L_sを$4L$に深く掘込むと0.66倍となり，支保部材発生応力はさらに小さくなる．直平面切羽の鋼アーチ支保工応力は，天端で130N/㎟，SLで153N/㎟の曲げ圧縮である(**図-15**)．球面切羽$L_s=2L$の天端は119N/㎟となり，直平面切羽の0.92倍である．L_sを$4L$に深く掘り込むと0.68倍となり，吹付けコンクリートと同様，支保部材発生応力はさらに小さくなる．

5-10　考　察

3D-FDMトンネル掘削解析結果から，以下の知見を得た．

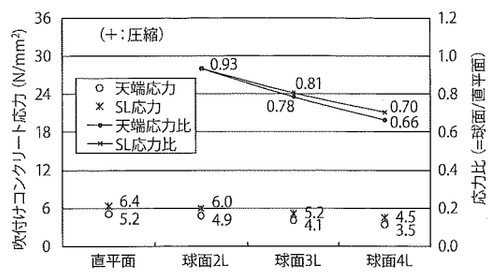


図-14　吹付けコンクリート応力

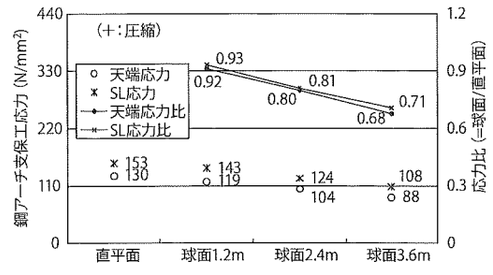


図-15　鋼アーチ支保工応力

(1)　地山変位

先行変位を含む地山変位は，直平面切羽がもっとも小さい．球面切羽のL_sを$2L$から$4L$に深く掘込むと，切羽周辺地山の変位はさらに大きくなる．

(2)　トンネル変位

計測工Aで測定されるトンネル変位は，直平面切羽がもっとも大きい．$L_s=2L$球面切羽の直平面切羽に対するδ_{sc}変化比は，切羽後方3m位置で0.88，60m後方で0.93倍であり，切羽に近いほど小さい．$L_s=2L$から$4L$に深く掘込むと，トンネル変位は小さくなる．

(3)　切羽鏡面トンネル軸方向変位増分

直平面切羽の一掘進時トンネル軸方向変位増分は，切羽鏡面全体が同等レベルで，掘削方向手前側に変位する．球面切羽ではトンネル中心SL部がもっとも大きく変位し，この位置からトンネル掘削面に近づくにつれ増分変位は抑制され，切羽形状効果が現れる．L_sを$2L$から$4L$に深く掘り込むと，この効果がさらに現れ切羽鏡の安定性は高まる．

(4)　周辺地山の安定性

球面切羽は切羽でグラウンドアーチが形成され，トンネルの安定性は向上する．L_sが$3L$より深くなると，切羽鏡の前面に高い主応力場が形成され，鏡の安定性が高まる．

(5)　支保構造の安定性

直平面切羽の吹付けコンクリート応力は天端で5.2N/㎟の圧縮である．$L_s=2L$球面切羽は4.9N/㎟となり，直平面切羽の0.93倍である．鋼アーチ支保工応力は，直平面切羽の天端で130N/㎟の圧縮である．$L_s=2L$球面切羽の天端は119N/㎟となり，0.92倍である．L_sを$2L$から$4L$に深く掘込むと，支保部材発生応力は小さくなる．

6　試験施工による評価

$L_s=2L$とする球面切羽による全断面工法と直平面切羽の補助ベンチ付き全断面工法試験施工の計測工A断面を，トンネル進行方向10m間隔に設けた．計測工Bは土かぶり高が$h=63$m，一掘進長が$L=1.2$mのDⅠ-b-H(E)(f)のSTA.445+57に1断面を設けた．測点配置と計測要領は，『トンネル施工管理要領』にもとづいて実施する．切羽形状測定は，3D-Laser scanner system(TOPCON, GLS-1500)を用いて，切羽画像として測定する．測定対象は鏡吹付け後の表面とし，測定精度は4㎜である．

6-1　地山状況

試験施工区間の切羽評価点の平均は，DⅠ-b-Hの補助ベンチDⅠ-b(b)は12，DⅠ-b-H(E)の全断面DⅠ-b(E)(f)と補助ベンチDⅠ-b(E)(b)は27である．CⅡi-b-Hの全断面CⅡi-b(f)は33で，補助ベンチCⅡi-b(b)は35，CⅡi-b-H(E)の全断面CⅡi-b(E)(f)は43で，補助ベンチCⅡi-b(E)(b)は37，CⅡ-a-Hの全断面CⅡ-a(f)は57である．

6-2　球面切羽の施工状況

CⅡi-b-H(E)(f)の$L_s=2L$とする全断面掘削の球面切羽画像を**図-16**に示す．$L=1.2$mのCⅡi-b-H(f)と$L=1.5$mのCⅡi-b-H(E)(f)のトンネル中心縦断における球面切羽形状は，それぞれ計測4断面のものを重ね合わせると，**図-17**のようになる．これらから，以下のことがいえる．

- $L_s=2L$球面切羽の全断面掘削は切羽の自立性が高く，施工中の肌落ちなどもなく，切羽

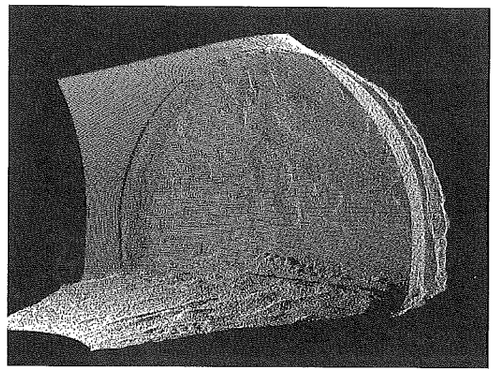
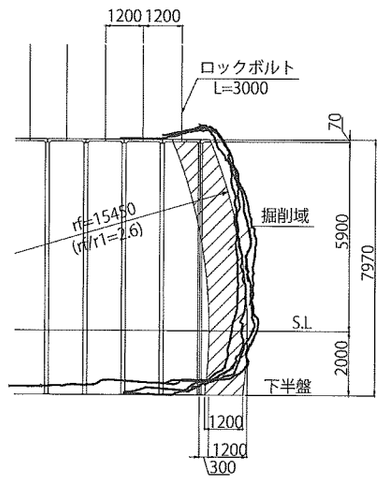
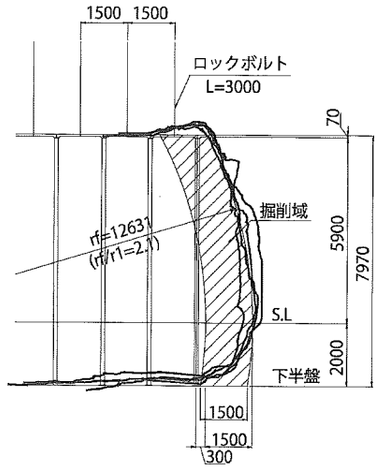


図-16　球面切羽画像(CⅡi-b-H(E)(f)，$L_s=2L$)



(1)　CⅡi-b-H(f)，$L=1.2$m，$L_s=2L$



(2)　CⅡi-b-H(E)(f)，$L=1.5$m，$L_s=2L$

図-17　球面切羽形状

は自立安定した．

・施工目標を$L_s=2L$とする球面切羽の全断面掘削は，SL下方では計画より若干掘込みが少ないが，$L=1.2$m，1.5mともに，計画どおりの球面形状による施工ができた．

・一掘進長を$L=1.5$mとする補助ベンチ付き全断面掘削のCⅡi-b-H(E)(b)は，掘進機の施工制約を受け，補助ベンチ長が2m程度と短い施工となった．

なお，$L_s=2L$球面切羽による全断面機械掘削に対する作業員の意見は**表-5**に示すとおりであり，切羽鏡の安定性は高まり，施工性が良く，安心感がある様子が示された．

表-5　球面切羽に対する作業員の意見

利点	・$L_s=2L$の球面切羽は，安定感がある． ・球面切羽の全断面掘削は，補助ベンチ付き全断面掘削に比べて，施工性がよい． ・切羽から離れた作業となり，鋼アーチ支保工建込みが容易で，安心感がある． ・鋼アーチ支保工根足掘削がしやすい． ・吹付けコンクリート，ロックボルトが施工しやすい．
留意点	・一掘進長が$L=1.5$mの補助ベンチ付き全断面掘削は，一掘進長が長いので，掘削とずり出しを2回に分けて行うなど，手間がかかる． ・CⅡi-b(f)，CⅡi-b(E)(f)の全断面掘削は，下半に鋼アーチ支保工を施工して，作業の安全性を確保した． ・固結度が低いと，ずり出し時に，鏡面からの肌落ちが生じやすい．

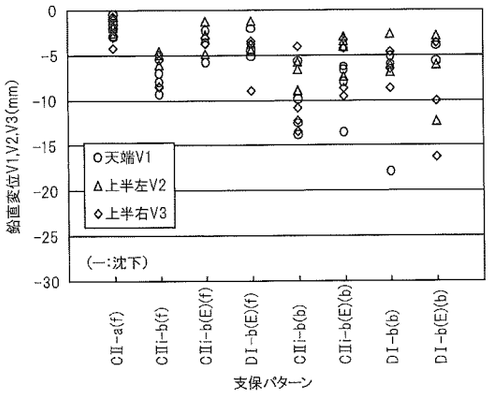


図-18　鉛直変位(V)

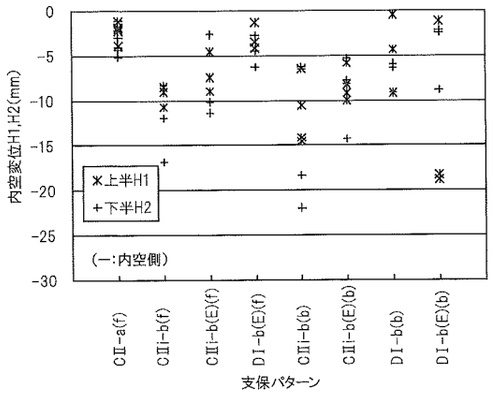


図-19　内空変位(H)

6-3　トンネル変位

6-1節の地山条件下における，計測29断面の鉛直変位Vと内空変位Hを**図-18, 19**に示す．これらから，以下のことがいえる．

・天端沈下V_1の最大は補助ベンチDⅠ-b(b)で発生し，−18㎜の沈下である．CⅡi-bでは補助ベンチCⅡi-b(b)で発生し，−14㎜の沈下である．

・内空変位Hの最大は補助ベンチCⅡi-b(E)(b)の下半H_2に発生し，−22㎜の縮小である．上半H_1は補助ベンチDⅠ-b(E)(b)が最大となり，−19㎜の縮みである．

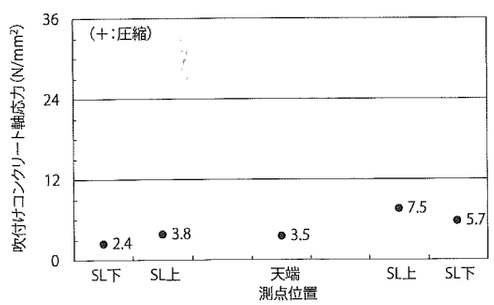


図-20　吹付けコンクリート軸応力

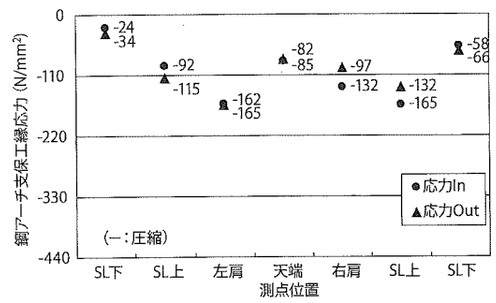


図-21　鋼アーチ支保工縁応力

・天端沈下V_1はCⅡi-b，CⅡi-b(E)ともに，全断面工法の方が小さく，測定値のばらつきも小さい．上半内空変位H_1も同様である．

・$L=1.5$mの全断面CⅡi-b(E)(f)の天端沈下V_1は，$L=1.2$mのCⅡi-b(f)の約1/2である．上半内空変位H_1もCⅡi-b(E)(f)の方が小さい．$L=1.5$mの補助ベンチCⅡi-b(E)(b)の天端沈下V_1は，CⅡi-b(b)も同様に，計測値は大きくばらつき，一掘進長の違いによる有意な差はない．上半内空変位H_1はCⅡi-b(E)(b)の方が小さい．

6-4　トンネルの安定性

DⅠ-b-H(E)(f)区間における吹付けコンクリート軸応力を**図-20**に示す．鋼アーチ支保工縁応力の地山側(Out)と内空側(In)を**図-21**に示す．

これらから，以下のことがいえる．

・吹付けコンクリート軸応力の最大は，右SL上に発生し，7.5N/㎟の圧縮である．これは圧縮強度の1/4以下であり，トンネル支保構造体の安定性は高い．

・鋼アーチ支保工縁応力の最大は，左肩の地山側に発生し，−168N/㎟の曲げ圧縮である．これは，降伏強度の70%以下であり，トンネル支保構造部材としての安定性は高い．

6-5　考　察

標準パターンのCⅡ-a-H，CⅡi-b-HとDⅠ-b-H，延伸パターンのCⅡi-b-H(E)とDⅠ-b-H(E)の5パターンを対象にして，鏡掘込み長$L_s=2L$とする球面切羽の全断面掘削と直平面切羽の補助ベンチ付き全断面掘削の計10パターンによる試験施工結果から，以下の知見を得た．

(1)　球面切羽の安定性

球面切羽$L_s=2L$の全断面掘削は切羽の自立性が高く，施工中の肌落ちなどもなく，切羽は自立安定した．SL下方では，計画より若干掘込みが少ないが，$L=1.2$m，1.5mともに，計画どおりの球面形状による施工ができた．

(2)　トンネル変形挙動

鉛直変位は20㎜以下，内空変位は25㎜以下であり，球面切羽による全断面工法の機械掘削および一掘進長延伸に起因する地山等級CⅡ，DⅠのトンネル変形挙動に関する施工上の課題はない．また，トンネル変位は全断面工法の方が小さく，安定性は向上する．

(3)　トンネルの安定性

DⅠ-b-H(E)(f)区間の吹付けコンクリート軸応力は圧縮強度の1/4以下である．鋼アーチ支保工縁応力は，降伏強度の70%以下である．これらから類推解釈すると，地山等級CⅡ，DⅠの$L_s=2L$球面切羽による全断面工法の機械掘削で施工した一掘進長延伸トンネルの力学的安定性は高く，技術課題はない．

(4)　全断面工法の適用性

全断面工法は，補助ベンチ付き全断面掘削に比べて支保工の施工性がよく，ベンチでの切羽作業がなくなり，安全性が向上する．また，補助ベンチ付き全断面工法の機械掘削は，一掘進長が$L=1.5$mに長くなると機械可動範囲の制約を受ける．全断面工法はこれがなくなり，効率的な施工ができる．

(5)　球面切羽の施工性

鏡掘込み長$L_s=2L$の球面切羽による全断面工法の機械掘削は，切羽鏡から離れた支保作業となり，支保工の施工性が向上する．また，切羽の安定性が高まり，安心感があるが，固結度が低いと，ずり出し時に鏡面からの肌落ちが生じやすい．

7　得られた成果

一掘進長を$L=1.2$mとする標準パターンCⅡi-b-Hの直平面切羽全断面掘削と鏡掘込み長を$L_s=2L, 3L, 4L$とする球面切羽の3D-FDMトンネル掘削解析から，以下のことが示された．

①　球面切羽の全断面掘削は，直平面切羽の補助ベンチ付き全断面掘削に比べて，また，球面切羽のL_sを$2L$より$4L$に掘り込むことにより，切羽周辺地山の変位は大きくなり，トンネル変位は小さくなる．また，切羽周辺地山のグラウンドアーチ形成は進行し，支保部材応力は小さくなる．

一方，鏡掘込み長$L_s=2L$とする球面切羽

の全断面掘削と直平面切羽の補助ベンチ付き全断面掘削の10パターンの試験施工結果から，以下の知見を得た．

② $L_s=2L$とする球面切羽の全断面掘削は，切羽の自立性は高く，切羽は自立安定し，計画どおりの球面形状による施工ができた．

③ トンネル変位は25㎜以下であり，全断面工法の機械掘削および一掘進長延伸に起因するトンネル変形挙動に関する施工上の課題はない．また，トンネル変位とこれのばらつきは全断面工法の方が小さく，安定性は向上する．

④ $L_s=2L$球面切羽による全断面工法機械掘削で施工した一掘進長延伸トンネルの力学的安定性は高く，全断面工法の機械掘削および一掘進長延伸に起因するトンネル安定性への影響はみられない．

⑤ $L_s=2L$球面切羽の全断面工法機械掘削は切羽鏡から離れた支保作業となり，施工性，安全性が向上する．また，切羽の安定性が高まり安心感がある．

⑥ 補助ベンチ付き全断面工法の機械掘削は，一掘進長が$L=1.5$mに長くなると機械可動範囲の制約を受ける．全断面工法はこれがなくなり効率的な施工ができる．

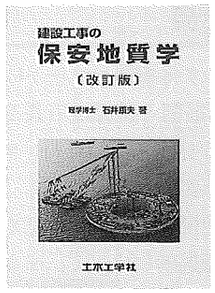
現在，八之尻トンネルでは$L_s=3L$球面切羽の全断面機械掘削による試験施工を計画中である．また，この球面切羽の全断面工法爆破掘削への適用性を調査するための試験施工を計画中であり，その成果は別の機会に報告する予定である．

最後に，球面切羽や全断面工法機械掘削などの試験施工実施にあたり，今田徹先生をはじめ関係各位にご指導，ご助言をいただき，ここに感謝の意を表します．

参 考 文 献

1) 今田徹：変化するトンネル技術NATM後の動向，JICE REPORT，Vol.14，pp.74-79，2008.
2) 佐藤淳・細野泰生・真下義章・木村厚之：曲面切羽で低強度地山の全断面掘削に挑戦，トンネルと地下，Vol.43，No.7，pp.13-22，2012.
3) 佐藤淳・細野泰生・楠本太：DⅡ地山における切羽の安定形状，土木学会第67回年次学術講演会，第Ⅵ部門，2012.

ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!



建設工事の
保 安 地 質 学
〔改訂版〕
理学博士 石井康夫 著
A 5判 上製本 475頁 価格6,300円 〒340円

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

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

研 究

セメント系薬液注入材の長期材料特性と性能の評価

鉄道・運輸機構新幹線部参与 秋 田 勝 次
鉄道・運輸機構新幹線部新幹線第二課 西 村 直 樹

1 はじめに

注入工法は，従来からトンネル補助工法として，山岳部，都市部を問わずトンネル工事に広範に使用されている．とくに山岳トンネルにおける注入工法は，高圧湧水や断層破砕帯などへの対策として用いられることが多く，相応のホモゲル強度を要求されるため，**表-1**に示すようにセメント系薬液注入材が数多く採用されてきた．

代表的なセメント系薬液注入材であるセメント水ガラス注入材を例に挙げれば，圧縮強度が比較的高いものの，水分が70%以上であり，一般に仮設材料として位置づけられることから耐久性に関する評価はほとんど実施されていない．しかし，近年，建設時のみならず構造物のライフサイクルコストの視点が重要視されるなか，セメント系薬液注入材の長期材料特性について明確にすることは，トンネル構造物に関する今後の設計のあり方に大きく寄与するものと考えられる．

表-1 主要な鉄道トンネルの注入施工例

トンネル名称	主な使用注入材料	施工時期	総注入量 (m^3)
青函トンネル	セメント水ガラス注入材	S.39～S.61	732,000
新関門トンネル	セメント水ガラス注入材	S.45～S.49	3,000
中山トンネル	セメント水ガラス注入材	S.47～S.57	190,000
飯山トンネル	急硬性セメント注入材	H.10～H.19	4,000
鍋立山トンネル	急硬性セメント注入材	S.60～H.7	49,000
葛老山トンネル	セメント水ガラス注入材	S.48～S.59	22,000

このため本稿では，青函トンネルおよび北越北線鍋立山トンネルで使用したセメント系薬液注入材のセメント水ガラス注入材および急硬性セメント注入材に着目し，切羽で採取した試料に対し各種試験を行い，長期材料特性について分析し評価を実施した．その結果，得られた知見について論述する．

2 セメント水ガラス注入材の長期材料特性

2-1 青函トンネル施工時のセメント水ガラス注入材の特性

青函トンネルに適用されたセメント水ガラス注入材については，**図-1**に示すように各種セメント

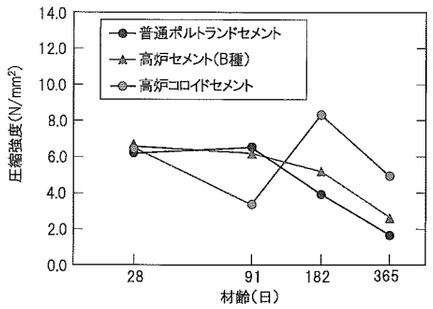


図-1 長期材齢と圧縮強度の関係（海水養生）

表-2　青函トンネルで使用した注入材の最適配合と特性

水ガラスのモル比	セメント		混合比	ゲルタイム	圧縮強度 σ_{28} (N/mm²)
	種別	セメントスラリーの水セメント比(%)	水ガラス/セメントスラリー		
2.2	高炉コロイドセメント(スラグ55%)	200	1.0	3分40秒	4.48

(普通ポルトランドセメント，高炉セメント(B種)，高炉コロイドセメント)を1年間海水養生させた結果[1]，なかでも**表-2**に示す耐久性に優れていた高炉コロイドセメントとモル比2.2の水ガラスを組み合わせた配合により実施工が行われた．要求性能としては，施工性を考慮してゲルタイム3分以上，軟岩相当の一軸圧縮強度4.0N/mm²以上を考慮している．

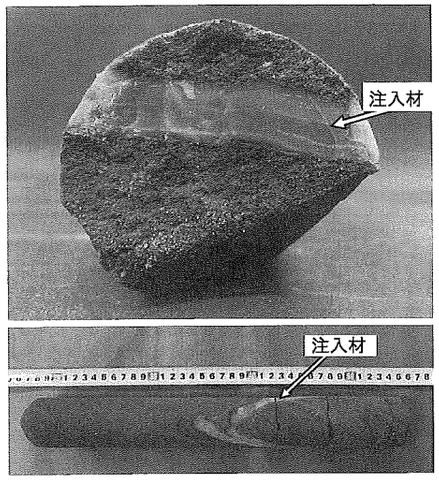
2-2　青函トンネル供用後のセメント水ガラス注入材の長期材料特性

2-2-1　施工後30年経過したセメント水ガラス注入材の観察と物理試験

注入域におけるセメント水ガラス注入材の長期材料特性を把握することを目的として，青函トンネル海底部の作業坑において側壁部からボーリング調査を実施し，採取したコアを用い，各種試験を実施した[2]．

注入施工後30年経過した箇所において実施したボーリングのコアから採取した直後の試料の状況を**写真-1**に示す．コアからは，岩盤の亀裂に脈状に密着した堅硬なグラウトが観察された．トンネル地山内のグラウトは大半が岩盤の亀裂に存在し密封され湿潤状態であるため，当初から想定されたとおりグラウトは崩壊することなく，安定した固結物となっている．

また，ボーリングコアから採取した試料中のグラウト部分を対象に，針貫入試験による強度推定を実施した．針貫入試験は，軟岩ペネトロ計を用いてグラウト部分に針を貫入し，その際の貫入長と貫入抵抗値の勾配から圧縮強度を推定する方法である．針貫入試験結果を**表-3**に示す．その結果，試料採取直後に試験を実施したものでは，注入材の要求性能である4.0N/mm²を上回る圧縮強度を有していることが確認できた．



試料キロ程16.870km(壁面から5.4～5.8m)

写真-1　施工30年後に採取した直後の試料の状況

表-3　針貫入試験結果

No.	針貫入試験の実施時期	コアリング位置	圧縮強度 (N/mm²)
1	試料採取直後	15.520km (壁面から1～2m)	5.3
2		15.520km (壁面から2～3m)	9.7
3		15.520km (壁面から8～9m)	8.7

2-2-2　セメント水ガラス注入材の化学分析結果の経年変化

セメント水ガラス注入材の経年による変化を検討するため，ボーリングコアからセメント水ガラス注入材を採取し，その組成の変化から劣化生成物の有無を調査した．ボーリングは青函トンネル海底部における作業坑ならびに先進導坑の注入ゾーン(壁面から最大15m)内ですべて実施しており，長さ10mのコアを採取したなかに観察されたグラウト硬化体の化学組成を分析した．セメント水ガラス注入材の配合組成の計算値および経年後(0.1年，10年，12年，17年，19年，30年)に採取したコアからグラウトの組成を分析した結果を**図-2**に示す．図中には，注入材の設計配合から算定した配合計算値をあわせて示している．

この結果を見ると，青函トンネルで注入されたセメント水ガラス注入材においては，注入直後からグラウトの骨格成分であるシリカ(SiO_2)およびアルミナ(Al_2O_3)が，実際に注入された平均的な配合(W/C=150%，200%)の配合計算値より30%程度大きい値を示し，とくにシリカ量は30年経過しても25%程度で変動せず安定している．一方，経年とともにNa_2OおよびCaO量が減少し，MgO量が増加する組成変化が認められる．このことから，セメント成分であるCa^{2+}と海水中のMg^{2+}の置換が注入実施後の早い段階から始まっているといえる．注入直後(0.1年)においては，CaOとNa_2Oの含有率は高い位置にあるが，10年経過以降のセメント水ガラス注入材の組成は，MgOが増加傾向を示すものの，おおむね安定した組成となっている．なお，MgOが増加傾向を示しているものの，前述のとおり表-3に示す針貫入試験結果からは，注入材は十分な圧縮強度を保持していることが確認されている．青函トンネル海底下におけるセメント水ガラス注入材と海水との反応は，通常認められる程度の反応であり，現在のところとくに問題になるものではないと判断してよい．

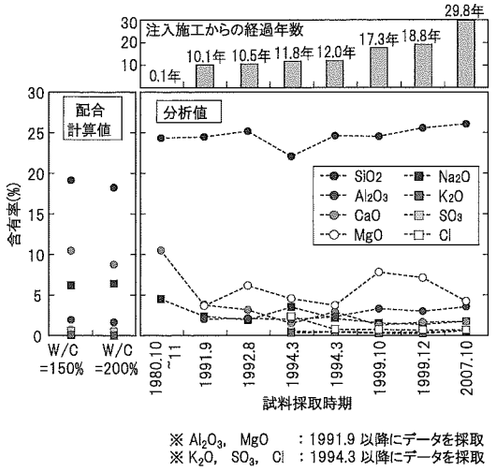


図-2　注入材成分分析結果の経年変化

2-2-3　加圧脱水と圧縮強度

針貫入試験により試料採取直後に試験を実施したものでは，注入材の要求性能である4.0N/mm²を上回る圧縮強度を有していることが確認できた．要求性能を上回る圧縮強度を示した要因として，青函トンネルの注入は高圧湧水下での注入であり，最終注入圧が湧水圧の3倍程度(2.5MPa×3倍≒7.5～8.0MPa)もの高圧で注入されていることから，グラウトが加圧され脱水現象が生じていることが推察される．

セメント水ガラス注入材の加圧脱水現象を再現するため，内空(ϕ50×100mm)のモールドを活用した簡易的な加圧脱水試験装置を用いて，ゲル化直後のグラウトを加圧し脱水させる試験を実施した．その結果を**図-3**に示す．水セメント比が150%の配合よりも200%の配合の方が脱水率は大きく，3.0MPa以上の高圧条件下では，水セメント比が150%の場合で25～27%程度，200%の場合で30～35%程度の脱水作用が確認できる．

加圧脱水時の圧縮強度の測定結果を**図-4**に示す．5.0MPaの加圧条件において，セメントスラリーの水セメント比が150%の場合で10～25%程度，

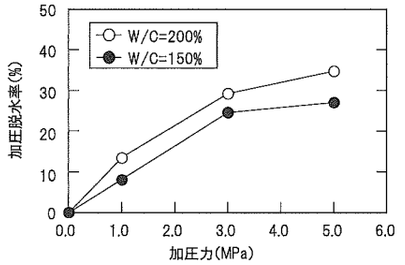


図-3　加圧脱水試験結果

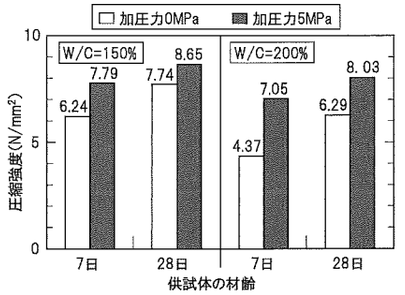


図-4　加圧脱水時の圧縮強度の測定結果

水セメント比が200%の場合で25～60%程度の圧縮強度の増加が確認できる．

注入材の加圧脱水現象により，2-2-2項の化学分析結果でシリカ(SiO_2)やアルミナ(Al_2O_3)が30%程度増量され，強度の増加に寄与したものと判断できる．

2-3　セメント水ガラス注入材で施工された青函トンネルの注入域の評価

2-3-1　注入域の湧水圧および湧水量の状況

青函トンネル海底部においては，維持管理業務の一環として，各種計測が供用開始時から継続的に実施されている．青函トンネル海底部の作業坑において，注入域およびその外側の地山部分における湧水圧の分布を測定した．測定方法は，壁面から地山側にボーリング孔(長さ5m，10m，15m，20m)を設け，壁面の口元管周囲を閉塞したうえで各孔に水圧計を設置するものである．**図-5, 6**に，作業坑の注入域における湧水圧測定を最大10年間測定した結果を示す．測定開始時点から現在まで，おおむね湧水圧の変動は小さく，注入域内の湧水圧は，海底下における本来の最大湧水圧である2.4MPaと比較しきわめて小さく，注入効果が良く発揮されていることを示している．また，注入域を超え注入半径の2倍近い深度となっても，湧水圧はさほど大きくなっていない．このことは，設計注入域を超えて注入材料が入り，止水性が高いことを示しており，トンネルとしては安全側の構造体となっているものといえる．青函トンネルの注入施工においては，圧力管理を主体とした注入方式をとっていたため，所定の最終注入圧になるまで，換言すれば，注入対象領域が所定の透水係数になるまで安全側に注入されたものと考えてよい．

湧水圧測定に使用したボーリング孔からの湧水量の経年変化について，作業坑2か所(16k870m付近，11k100m付近)の状況を**図-7**に示す．注入域内の湧水量は数ℓ/minオーダーと小さく，10年経過後も湧水量の変動は微量であり，注入域は健全性を保持しているものと考えられる．

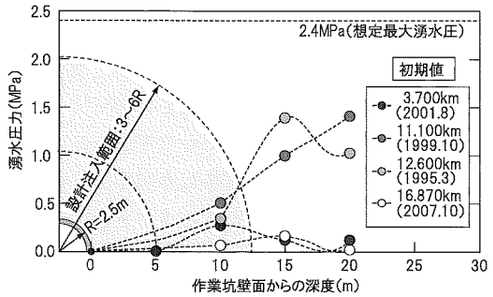


図-5　注入域における湧水圧の分布(初期値)

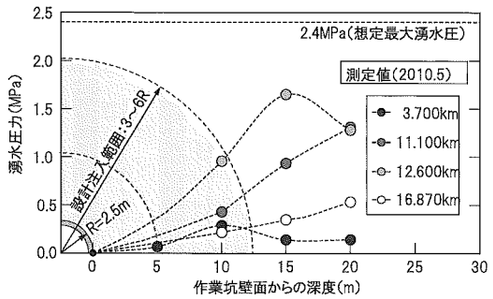


図-6　注入域における湧水圧の分布(2010.5時点)

2-3-2　海底部の坑内湧水量の経年変化

青函トンネル供用20年後までの湧水量の経年変化を**図-8**に示す．海底部の合計湧水量は，供用開始時に12m³/min程度であったものが，最近では8m³/min程度に減少している．1993年7月の北海道南西沖地震の際に，一時的に全体湧水量が12m³/min程度に増加してはいるものの，供用開始以降，継続的な減少傾向を示している．箇所別の湧水量に着目すると，作業坑海底部は2m³/min程度で長期的な変化は微小であるが，先進導坑および本坑の海底部については，先進導坑が5.6m³/min程度から4.0m³/min程度，本坑が3.4m³/min程度から2.3m³/min程度と，それぞれ約3割の減少を示している．このように，坑内湧水量が長期的に増加傾向を示していないことから，グラウト硬化体は劣化や破壊を生じておらず，注入域として健全な状態を保っていると考えられる．

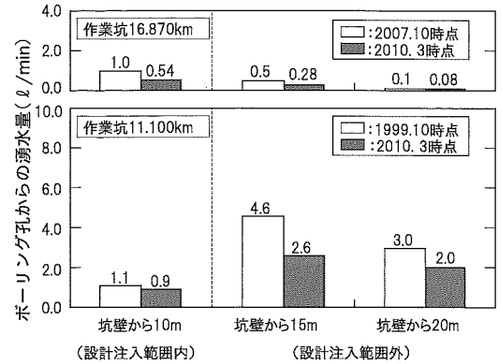


図-7　注入域における湧水量の変化

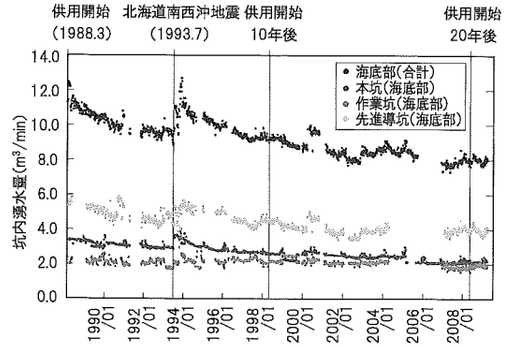


図-8　海底部における坑内湧水量の経年変化

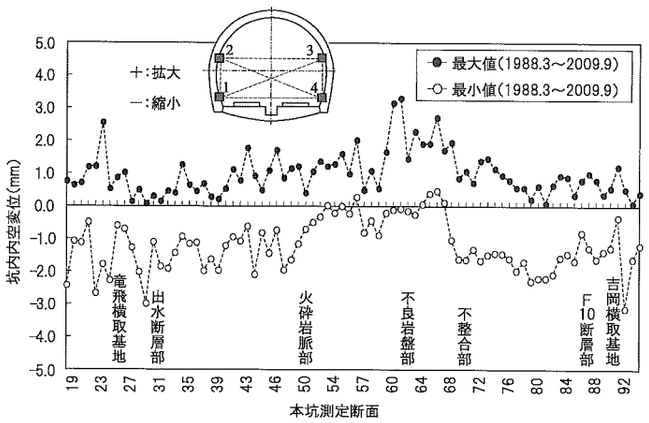


図-9　本坑における坑内内空変位の実績(4-1測線)

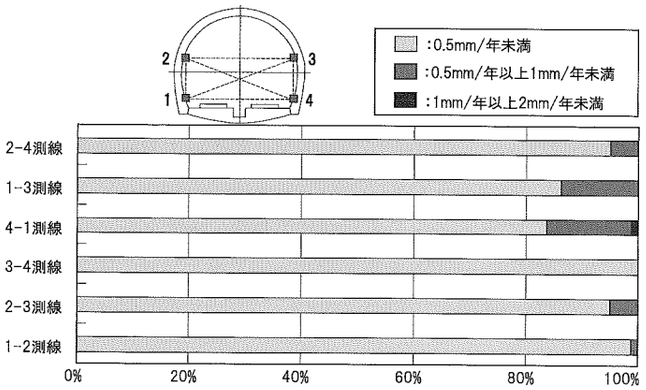


図-10　本坑における坑内内空変位速度の実績

2-3-3　本坑における坑内内空変位の経年変化

青函トンネル本坑では，海底部を含む80断面において坑内内空変位測定を供用開始時から約20年間にわたり2回/年の頻度で継続的に実施している．本坑における坑内内空変位の実績(4-1測線)を**図-9**に示す．これらの結果より，坑内内空変位は長期的にはごく緩やかな縮小傾向となっているものの，出水断層部をはじめとする地質不良箇所であっても最大で±3㎜程度の範囲内で推移しており，長期的に安定した挙動を示していると考えられる．また，2003～2005年の坑内内空変位測定の結果から本坑海底部における内空変位速度の算定を行った．その結果は，**図-10**に示すとおり，4-1測線の一部を除き，ほとんどの測定断面で内空変位速度は1㎜/年以下の目安[3]を下回っており，維持管理上問題となるような傾向は認められていない．青函トンネル海底部における各種計測データの経年変化から，注入域の劣化などを示すような結果は確認されておらず，注入域は長期的に健全な状態を保持している．

3　急硬性セメント注入材の長期材料特性と評価

急硬性セメント注入材は，セメント類に急硬性を付与するカルシウムサルフォアルミネート系混和材(以下，RCSA混和材)に水を加え懸濁状にした混和材スラリー(以下，A液)と，普通セメント，高炉セメント，微粒子セメントなどのセメント類に水を加え懸濁状にしたセメントスラリー(以下，B液)とを混合することで早期にエトリンガイトを多量に生成し，短時間で硬化体を形成する注入材である．硬化時間は，凝結遅延剤の使用量を調整することで，数十秒～数時間の範囲でコントロールが可能である．

表-4　建設当時の急硬性セメント注入材の標準配合

トンネル名	セメントの種類	W/C (%)	W/RCSA (%)	A液(kg/0.5m³)			B液(kg/0.5m³)			凝固時間(秒)	圧縮強度 (N/mm²) σ_{28}
				RCSA	W	遅延剤(RCSA×%)	C	W	減水剤(C×%)		
青函トンネル	高炉コロイドセメント	200	500	100	465	2.5	214	429	—	300～540	1.3
鍋立山トンネル	普通セメント	① 125	500	100	465	0.5	319	399	1.0	40～60	3.4
		② 93	500	100	465	0.5	400	370	1.0	40～60	3.9

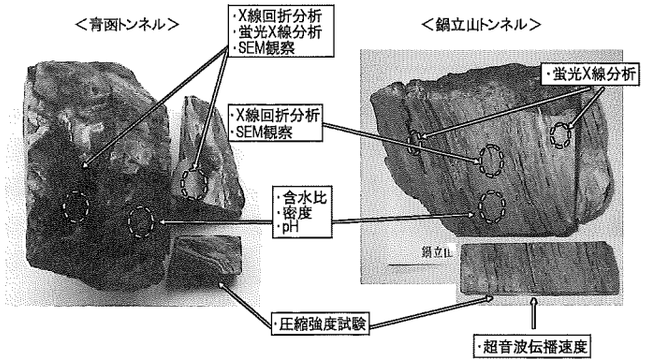


写真-2　各評価試験のサンプリング部位

急硬性セメント注入材の長期材料特性を把握すべく，注入施工後の掘削で採取された急硬性セメント硬化体を地中に長期養生した青函トンネル試料(材齢27年)および鍋立山トンネル試料(材齢17年)について，長期強度および化学的分析による特性評価を実施した結果について述べる．**表-4**に，建設当時に両トンネルで使用した注入材の標準配合を示す．また，**写真-2**に各評価試験を実施した部位の一例を示す．

3-1　SEM観察

写真-3は，青函トンネルにおいて，注入・掘削後に採取して27年間水中養生を続けた硬化体のSEM画像である．**写真-4**は，鍋立山トンネルにおいて，注入・掘削後に採取して17年間地中で湿空養生を続けた硬化体のSEM画像である．写真-3,4から，針状結晶であるエトリンガイトが明瞭に観察され，安定した硬化体となっていることが確認された．

3-2　硬化体の性状

表-5に青函トンネルおよび鍋立山トンネルで注入・掘削して採取した硬化体の性状に関するまとめを示す．

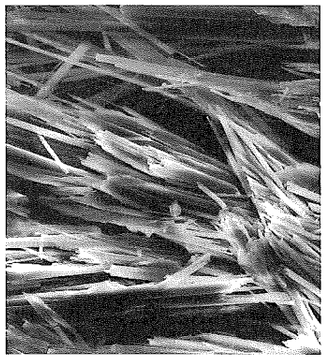


写真-3　硬化体のSEM画像(青函トンネル)

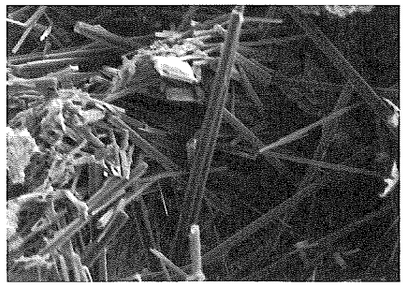


写真-4　硬化体のSEM画像(鍋立山トンネル)

① 青函トンネルおよび鍋立山トンネルで注入・掘削後に採取した硬化体は，所定期間養生後も硬化体自体の崩壊もなく採取時の形状を維持しており，圧縮強度(青函トンネル：27年，鍋立山トンネル：17年)は，注入・掘削時に測定した圧縮強度と同等以上の強度を維持していた．

② どちらのトンネルもホモゲルに比べ大きな圧縮強度を示しており，これは，注入時の圧力によって地山内で加圧脱水されたためと考える．青函トンネルで掘削後に採取した硬化体のホモゲルとの強度差が大きい理由は，青函トンネルでは高圧湧水下での注入であり，

表-5　硬化体の性状に関するまとめ

トンネル名	青函トンネル(27年)	鍋立山トンネル(17年)
硬化体の形状	崩壊なく採取時と同等	崩壊なく採取時と同等
一軸圧縮強度など	①ホモゲルの22倍 (1.3N/mm²→29N/mm²)	①ホモゲルの2倍 (3.7N/mm²→7.6N/mm²)
	②採取時より1.3倍 (22N/mm²→29N/mm²)	②採取時より1.2倍 (6.2N/mm²→7.6N/mm²)
	③脱水作用大 (含水率：74.0%→24.6%)	③脱水作用大 (含水率：67.3%，62.6%→38.1%)
	④密度 (1.21g/cm³→2.23g/cm³)	④密度 (1.31g/cm³→1.59g/cm³)
超音波速度	—	2.3～2.6km/sec
水和生成物	エトリンガイトを明瞭に確認	エトリンガイトを明瞭に確認
硬化体浸漬水のpH	8.9	10.1

鍋立山トンネルでは大きな圧力をかけない置換工法が主体であったため，加圧脱水の度合いに違いが生じたためといえる．

以上より，青函トンネルおよび鍋立山トンネルにおける急硬性セメント注入材の硬化体は，地中の養生条件下では17～27年以上にわたって安定した硬化性状を保持していると結論づけられる．

4　おわりに

セメント系薬液注入材に着目して述べるなかで，とくに青函トンネルの場合，高圧湧水という過酷な条件下ではあったが，注入施工後30年にわたりセメント水ガラス注入材は安定した性状を維持し，注入域も健全な状態であることは特筆すべきものであった．平成27年度末には青函トンネルを新幹線が走行する予定であるが，新幹線車両による高速走行に対しても，高圧海底下の青函トンネルは安全な構造物として位置づけることができるものと考えられる．

本研究で得られた知見から，セメント系薬液注入材は耐久性能に優れているということを考慮すると，今後トンネル地山注入などの対象にとどまらず，施工環境条件が整っている箇所においては，より適用の拡大を図ることは有効と考える．

参考文献

1) 足立貞彦：長大海底トンネル用グラウトの耐久性に関する研究，東京大学学位論文，1976.
2) 秋田勝次・井浦智実・朝倉俊弘：海底トンネルで施工されたセメント水ガラス注入材の長期材料特性と性能の評価，土木学会論文集F1，Vol.67，No.2，2011.
3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)トンネル，pp.158-162，2007.

E. フック・E. T. ブラウン共著
岩盤地下空洞の設計と施工
理学博士 小野寺透・工学博士 吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳
B5判・442頁・上製本　本体価格9,800円（〒450円）
株式会社 土木工学社
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888（代） 振替 00110-8-190072

文献紹介

解　　説

特集/我が推進技術海外進出に向けて，月刊推進技術，Vol.26，No.1，2012.1.

今田徹：日本のトンネル技術，トンネル技術を培った第2東名の建設，土木技術，Vol.67，No.1，2012.1.

中田雅博：新東名高速道路トンネルの開発技術と施工，技術開発から施工までを振り返る，土木技術，Vol.67，No.1，2012.1.

特集/非開削トンネル技術の現状と今後，地盤工学会誌，Vol.60，No.2，2012.2.

吉田陽市：立体道路制度を活用した再開発事業について，道路建設，No.731，2012.3.

奥村忠彦：最新の地下施設と今後の展開，建設機械，Vol.48，No.3，2012.3.

大津宏康：バンコク地下鉄駅部における洪水対策，地盤工学会誌，Vol.60，No.3，2012.3.

大津良司：トンネル内無人飛行船画像伝送，地下空間・狭隘空間における無人移動体通信技術，建設の施工企画，No.747，2012.5.

計　　画

特集/東・南アジアにおける都市鉄道プロジェクトと地盤，基礎工，Vol.39，No.12，2011.12.

吉原一彦：臨海部と都心を結ぶ環状第2号線整備，江東区豊洲から港区虎ノ門までの間で，都市の風景を変える街路整備が進められている，土木技術，Vol.67，No.3，2012.3.

施　　工

兜俊彦・伊藤健治・木元清敏・永谷英基：掘削土再利用地中連続壁工法，狭隘な都市部鉄道近接施工条件下での大規模地中連続壁の施工，建設機械，Vol.47，No.12，2011.12.

田中淳寛：未固結帯水地山をSENSにて機械化施工，北海道新幹線，津軽蓬田トンネル，建設機械，Vol.47，No.12，2011.12.

ズームアップ　高輪・三田共同溝工事(東京都)，75mの掘削にあえて推進工法採用，日経コンストラクション，12月12日号，pp.6-11，2011.12.

ズームアップ　小田急小田原線複々線化工事(東京都)，線路直下で初のシールド切り広げ，日経コンストラクション，12月26日号，2011.12.

特集/小断面並列施工で地下空間を築造，月刊推進技術，Vol.25，No.12，2011.12.

安田進・北谷康典：ガラス繊維鉄筋コンクリート内圧管を用いた急曲線推進工法の事例紹介，農村振興，No.744，2011.12.

田原徹也：狭隘な作業ヤード内における土留め壁の構築，クアトロサイドカッター機を使用したCSM工法による施工，建設機械，Vol.48，No.1，2012.1.

ズームアップ　中央環状新宿線大橋地区本線接続工事(東京都)，開削部に沿ってNATMで地中拡幅，日経コンストラクション，1月23日号，2012.1.

特集/土木再考　技術の粋を集めて，バックエンド争業のいま，土木学会誌，Vol.47，No.2，2012.2.

岩村忠之：厳しい施工条件を克服した都市部鉄道の連続立体地下化工事，土木学会誌，Vol.97，No.2，2012.2.

吉川直志：中央環状品川線・横浜環状北線のトンネル工事概要，建設の施工企画，No.744，2012.2.

特集/雨に強い都市づくりと推進工法，月刊推進技術，Vol.26，No.2，2012.2.

特集/地下掘削工事の課題と工夫，基礎工，Vol.40，No.3，2012.3.

人間ドキュメント　マレーシア　パハン・セランゴール導水トンネル建設所長　河田孝志氏，大胆な工事の前倒しで巨大現場のリスクを回避―東南アジア最長45kmのトンネル工事を指揮，日経コンストラクション，3月26日号，2012.3.

特集/自在型推進工法，管路構築方法の新しい時代を切り拓く，月刊推進技術，Vol.26，No.3，2012.3.

特集/非開削工法・機械の紹介，建設機械，Vol.48，No.4，2012.4.

ズームアップ　圏央道川尻トンネル工事(神奈川県)，開削から安価な開放型シールドに，日経コンストラクション，4月23日号，2012.4.

久米栄一：東京の下水道を支えるロボット技術，安全かつ効率的な維持管理，建設に向けて，土木技術，Vol.67，No.4，2012.4.

里優：土木分野における計測，リモートセンシング技術の高度化と自動化，土木技術，Vol.67，No.4，2012.4.

津坂仁和・杉田裕・工藤元：幌延深地層研究計画における地下施設の建設，土木技術，Vol.67，No.4，2012.4.

小西真治：日本初の大口径泥水シールドトンネル施工の意義―桑名正治，矢吹俊一「京葉線における泥水式シールド工事の概要」昭和46年9月号―，土木技術，Vol.67，No.4，2012.4.

特集/下水道再構築の切り札，改築推進工法，月刊推進技術，Vol.26，No.4，2012.4.

連載講座

トンネル技術者のための地相入門(5)

―崖錐・沖積錐・扇状地に計画されたトンネル工事―

「地相入門」連載講座小委員会

① はじめに

本講座の第1回目から第3回目においてさまざまな地形種とトンネルについて概説してきたが，今回はその中で斜面中腹から基部にかけてさまざまな規模で分布する「崖錐」と，多くの河川の谷口から下流に発達する「沖積錐」および「扇状地」について解説する．これらの地形種を構成する堆積物は，いずれも非固結の礫層で構成されているという共通の地盤状況を有している．

一般に山岳トンネルの坑口部は，上位の斜面から供給された落石によって崖錐が形成されていることが多く，坑口付けの切土時に斜面崩壊が生じたり，トンネル掘削時に切羽の崩壊が発生したりするため注意が必要である．また，谷口部に形成されている沖積錐や扇状地に計画されたトンネルの場合は，崖錐と同様に坑口切土時やトンネル掘削中に斜面や表層部の崩壊，大量湧水に伴う切羽の崩壊や地表面沈下などが生じやすい．このように崖錐，沖積錐および扇状地の分布域にトンネルを計画するうえでは，それらを構成する非固結堆積物と下位の基盤岩類の分布状況と，トンネル本体との位置関係がとくに重要な点となる．以下にその具体的な内容と事例を紹介する．

② 崖錐の特徴と工学的な問題点

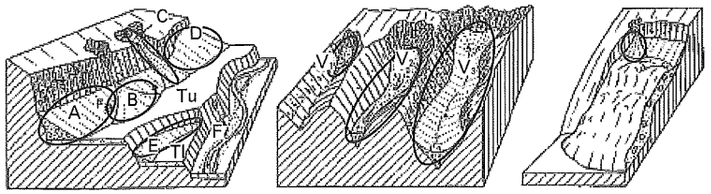
2-1 崖錐の地形の特徴

崖錐(talus cone，talus slope)は本講座第3回の図-20「崖錐の形成と地質状況」に示すように，上部斜面において重力落下で発生した落石や小崩落によって形成された地形である．鈴木[1]によると，その落石(rock fall，block fall)の現象は，発生域，移動域および定着域が明瞭に区分される集団移動で，以下のような過程で発生し終息するとされている．

① 斜面の最上層を構成する岩片(岩屑・岩塊)が，何らかの誘因によって安定を失う
② 重力のみによって地表から離脱
③ 個々の岩片がバラバラの状態で自由落下またはそれに近い運動形態で下方に急激に落下
④ 緩傾斜地(岩屑の安息角34度以下)または平坦地に至って停止・定着する
⑤ これら一連一回の現象が数秒以内で終息する

この落石のくり返しで発生した多量の転石の定着で形成された地形を崖錐(半円錐状ならtalus cone，それ以外はtalus slope)とよぶ．したがって崖錐は，他の地形種や地層が生成される過程に比べ，地質年代的に非常に短期間かつ最近形成された地形種であり，このことが崖錐の大きな特徴である．

このように崖錐は地形種名であり，その整形物質の崖錐堆積物(talus)とは厳密に区分される．Talus(テーラス：崖錐堆積物)は崖下や斜面基部の落石の堆積物であり，地形用語ではないことに注意が必要である(『地質工学』[2] 渡邊貫編(1935)

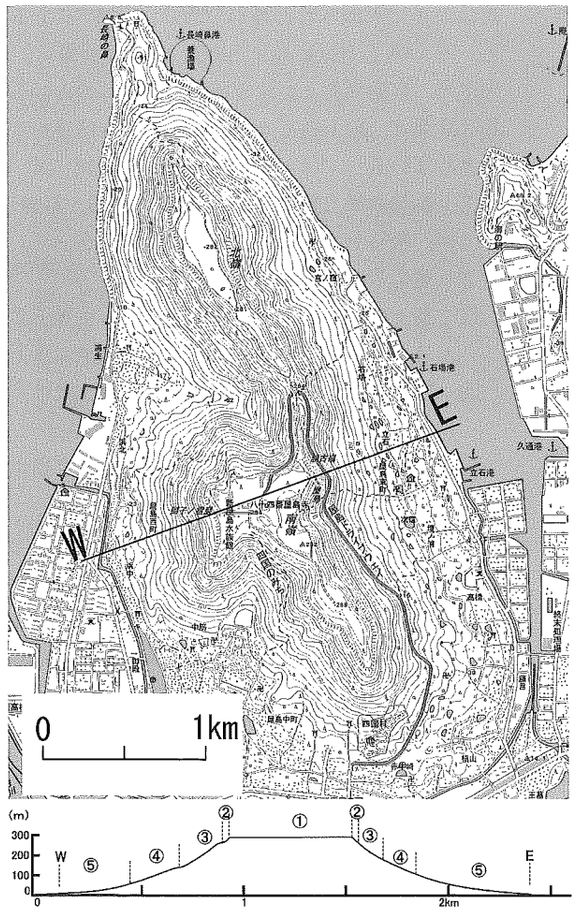


左図：谷壁斜面や段丘崖の基部に発達する崖錐．A：凹形直線型崖錐，B：凹型尾根型(円錐型)崖錐，C：浅い谷底の崖錐，D：急崖上部まで成長した崖錐，E：段丘崖基部の崖錐，F：大きな転石，Tu：上位段丘面，T1：下位段丘面

中図：谷頭・谷底部の崖錐であり，V_1～V_3の順に谷が深くなることに注意．土石流の発生源となる．V_1：ガレ場型崖錐，V_2：堆積型崖錐(V_1より下流まで堆積しているもの)，V_3：U字形崖錐(両側谷壁からの崖錐が堆積している)

右図：地すべり滑落崖の基部の崖錐

図-1　崖錐の主な類型(○：崖錐)[1]



(②：急崖(露岩)，③：急斜面，④：崖錐，⑤：麓屑面)

図-2　崖錐の平面図および断面図の例(四国　屋島)[1]

の誤認説明のため，以後，しばしば誤用されてきた)．

一方でトンネル工事の事前調査資料などによると，上部斜面から落石や小崩落により供給された崖錐堆積物以外に，斜面下部に分布する非固結の礫質堆積物を一括して崖錐堆積物と記載されている例も見られ，この中には土石流堆積物や地すべりや匍行(クリープ)により生じた崩積土，または段丘礫層なども含まれている場合がある．

個々の崖錐の三次元的形態は，落石の発生域・移動域・定着域の地形場ならびに落石の累積総量に制約されて多様である(**図-1**)．それらは，①山腹斜面，谷壁斜面，段丘崖，海蝕崖，断層崖などの急崖(自由面)の崖下に形成される類型と，②谷頭，崩落地や地すべり滑落崖などの谷型斜面の崖下，つまり谷底に形成されるもの，に大別される．谷底を埋積する崖錐堆積物が厚くなると，土石流が発生することがある．

崖錐の分布を地形図上および現地で見分けるポイントとしては，上記のように上部斜面で発生した落石が，斜面下部で停止，定着することによって崖錐が形成されることから，**図-2**中の縦断図の④の位置のように，急傾斜の斜面から傾斜が緩くなる遷緩線より下部の斜面が崖錐形成場となる．

このように崖錐を形成している斜面の断面形状は，一般に上端から末端へと次第に緩傾斜となる滑らかな凹形斜面を形成している．このような特徴は，地形図上では，上部が急傾斜(等高線が密で黒っぽい：図中の②，③：落石の発生域)で，その下部が急に緩傾斜(等高線が疎で白っぽい：④，⑤：落石の定着域・再堆積域)となる遷緩線から低地あるいは平坦面までの斜面部として判読される．このように崖錐は，落石発生源となる②，③の急斜面より緩傾斜の岩屑の安息角34度以下の④，⑤のような緩斜面を形成している．

現地で見分けるポイントとしては，大規模でかつ古い崖錐は森林を形成している場合もあるが，現在も礫が供給されている現成の崖錐斜面は，大半が植生のない荒地(裸地)となっており，その末端部は畑，桑畑，果樹園などに利用されている．崖錐が形成されている箇所は，落石災害の危険箇所であり，また高透水性の角礫層で構成されていることから通常は集落および水田はなく，崖錐からの二次的堆積物で構成された麓屑面には乾田や畑が見られる．

以上のように，比較的規模の大きい崖錐の場合には地形図から判読することが可能である．また，規模が小さい場合でもトンネル坑口の上部斜面に落石の発生が懸念され，かつその下位に堆積域となる緩斜面ないし平坦面が存在する場合には，大縮尺の地形図での判読や現地での確認が必要である．

2-2　崖錐の工学的な問題点

崖錐は，短期間に乱雑に堆積した角礫質の岩屑(非固結堆積物すなわち崖錐堆積物)から構成されている．岩屑の粒径分布は発生源の地質構成によって多様である．塊状の熔岩，厚層の硬岩質の熔結凝灰岩や花崗岩の風化核に由来する転石は直径が数mに及ぶものも存在するが，一般に崖錐堆積物の礫径は1m以下である．

崖錐堆積物の特徴をまとめると以下のようになる[1]．

①　乱雑な堆積構造である
②　粒径1m以下の角礫質である
③　非固結の堆積物である
④　一定均質な粒度分布を示さない
⑤　崖錐表層の勾配は，34度(岩屑の安息角)以下の緩傾斜斜面を形成している

このような崖錐分布域に坑口が計画され，坑口付けのための切土の傾斜角が34度を上回った場合は，斜面全体が不安定化しやすい．このため，崖錐堆積物の分布が厚い場合は坑口切土時に，斜面崩壊が生じたり，坑口部の掘削時に切羽の崩壊，トンネル底盤の脆弱化などが生じたりしやすい．

また崖錐では，その内部構造を反映して地盤の透水性が大きいため地下水面が深く，恒常流をもつ河川は存在しない．ただし，降雨時などに上流の沢などからの流水がある地区には，ガリーが発達していることがあり，トンネル工学的観点からは，以下の点に注意が必要である[1]．

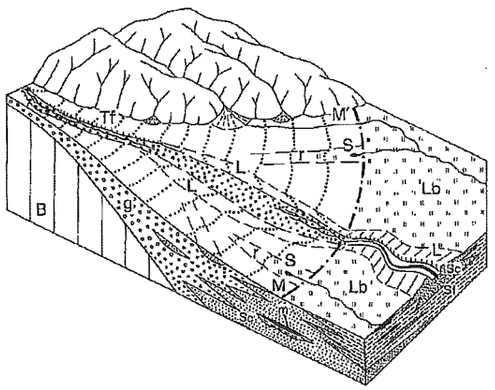
①　崖錐は非固結の礫の集合体で形成され，切土や掘削における地盤および切羽の安定・降雨時の雨水や沢水の浸透・切羽の流出の発生などの問題が発生する懸念がある．
②　不均質な礫径で礫径1m以上の巨礫(角礫)が含まれる場合は，掘削工法や掘削方式の検討が必要となる．
③　崖錐に坑口を設ける場合は，崖錐を形成している転石の供給源となっている上部斜面の状況を確認することが重要となる．その結果，上部斜面が不安定な場合には，坑口付近に落石防護策やロックシェードなどを設置したり，坑口を崖錐部より手前に突き出すなどの対策を講じることが必要である．

③　沖積錐および扇状地の特徴と工学的な問題点

3-1　沖積錐および扇状地の地形の特徴

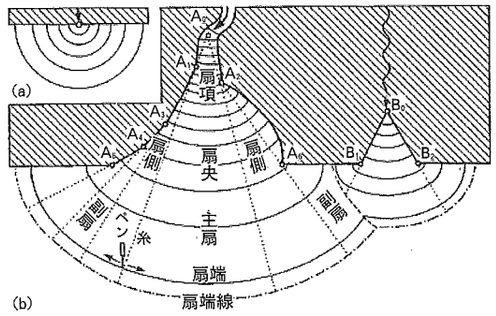
沖積錐(alluvial cone)および扇状地(alluvial fan)は，日本ではほとんどの河川の谷口から下流に発達し，もっともありふれた河成低地の上流部に発達する堆積低地である．この沖積錐の地形の特徴は，本講座第3回の図-17に示すように，渓流や河川が山地から平野に出る谷口を頂点として下流の低地に，扇状から舌状に広がる土石流起源の堆積物によって形成された地形種である．

一方，扇状地は，同様に谷口を頂点として下流の低地に，文字どおり扇状に広がり低下する半円形ないしイチョウ葉状の平面形をもつ凹形尾根型の極緩斜面を形成している．扇状地は，土石流により形成された沖積錐とは異なり，河川の形成営力によって掃流運搬された主として礫が堆積することによって形成された河成複式堆積低地であ



Tf：扇頂溝　L：現成の自然堤防　M–M′：扇端線　S：扇端湧泉　r：流路跡地　Lb：後背低地　B：基盤岩石　g：礫層　Sc：粗粒砂　Sf：細粒砂・泥層　m：泥層

図–3　扇状地の模式図[1]



(a)：直線的山麓線状に扇頂のある扇状地
(b)：山地に入り組んだ谷底に扇頂のある扇状地
A_0にピンで留めた糸の長さを変えずに，その先端にペンを結び，A_1～A_6のような障害点で糸が折れるままにペンを動かすと，主扇と副扇の等高線が描ける

図–4　扇状地の等高線群の模式図と扇状地各部の名称[1]

る[1](図–3)．沖積錐や扇状地には，扇状の半径で数十m～数十kmまで，種々の規模のものがあり，その規模によって若干の違いはあるが，一般的な形成過程はほぼ同様である[1]．

このように沖積錐と扇状地は，構成する堆積物がいずれも非固結の礫層で構成されているという共通の地盤状況を有しているが，地形学的には両者は明確に区分される．しかし，本講座の第３回目において述べたようにトンネル工学の面からはおおむね勾配が少しきつく，広がりが錐状に狭いものを沖積錐と呼び，両者を神経質に区分する必要はないと考えられる．

扇状地の分布を地形図上および現地で見分けるポイントとしては，**図–4**に示すように山地や丘陵地の河谷から高水時の河川で運搬された砂礫が谷口(下流の広い低地との境界部)で下流側に一気に広がり，あるいは洪水時ごとに転流しながら堆積することで形成される．そのため，地形図上では山地を表す急傾斜領域から低地に向かう河川流路の出口である谷口と，これを中心として同心円的に下流方に広がる緩斜面(等高線密度は疎で，かつ下流側に同心円的に広がる)を特徴とする．

このため地形図上では，

① 谷口を中心とする同心円的等高線群

② 同心円的等高線群に並走する同心円的な弧状の交通路と水路

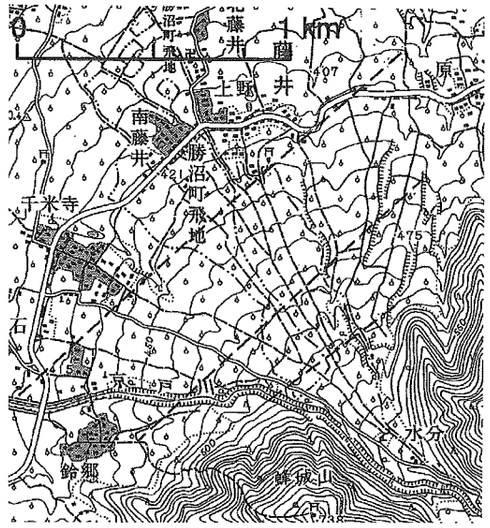
③ 谷口からみて放射方向にのびる水路(流路後地の名残川，灌漑用水路)道路，土地利用界

などの存在で扇状地と認定される．

ただし，扇状地は扇子の開き方や傾斜，面積，山麓線の平面形，他の扇状地との複合，土地利用などがきわめて多様であり，例えばその平面形は全体としてみると等高線群は谷口に対して必ずしも同心円的でない場合も多い．この平面形は，土砂が流出する場所(流路の中心)の移動，供給源となる斜面の変化，供給される岩種の変化，風化程度の変化，運搬する河川の流量や流速，２つの河川が形成する扇状地が隣り合うことなどによって，多様性が生じる．

また現地で見分けるポイントとしては，上記のような堆積物の分布形状のほかに，地盤の高透水性(低保水性)のために，小規模な扇状地では水田はほとんどなく(大規模な扇状地では水田がある)，林地，桑畑，果樹園，普通畑として利用されることが多い[1]．

扇状地を形成している砂礫層の厚さは，基盤岩石の表層の起伏に制約されて多様である．厚さを読図で予察する一つの方法として，次の扇央比高法[1]と呼ばれる便法がある(**図–5**)．まず，扇央部を通る数本の円弧状の等高線を選び，それぞれの扇側(副側を除く)の両端を弦のように直線で結ぶ．次に，その弦の上のもっとも高い地点の地表高度



扇状地礫層の厚さは，410m，450mおよび500m等高線を基準とした扇央比高法によると，図中に破線で示した３本の弦上の最高点との比高から，それぞれ約37m以上，約40m以上および約12m以上と推定される

図–5　扇状地礫層の最小層厚の読図による推定法(扇央比高法)[1]

を読み，弦を引いた円弧状の等高線との高度差を求める．扇央における扇状地礫層は，この高度差よりも必ず厚い．もし薄ければ，礫層の堆積によって同心円的な等高線群で表される扇形の堆積地形は生じない．曲率の大きな等高線で表される扇状地ほど扇央における扇状地礫層は厚いはずである．つまり，この方法は扇状地礫層の最小層厚を与えるにすぎないが，読図では有益である．この方法の適用に当たっては，副扇の部分を除外して計測することが肝要である．

一方，沖積錐は超小型扇状地に類似しているので，土石流扇状地と呼ばれることもある．確かに沖積錐は，縦断傾斜や等高線の配置において，円錐型崖錐と超小型扇状地に類似し，後二者の中間的な特徴を持っているが，傾斜，極微地形類，堆積物，河川などの諸点で異なっている．また，沖積錐と超小型扇状地は漸移的であり，両者の区別は実際にはしばしば困難である．

沖積錐には一般に水路が見られず，あっても水無川が多い．また，末端部を除き地下水面が深いため，沖積錐では林地や桑畑，果樹園，畑，荒地の場合が多い．水田はきわめてまれで，土砂流原に分布することがある．新しい沖積錐および土石流起源の谷底低地では数十年に１度は土石流に被覆されるので，古い集落はないなどの特徴がある[1]．

3–2　沖積錐および扇状地の工学的な問題点

工学的観点で沖積錐および扇状地を見ると，その地盤は厚い礫層で構成されており，地耐力の点では良好な地盤である．しかし河床変動が大きく，橋脚の洗掘や小規模な扇状地での土石流災害，トンネル施工においては湧水や崩落，落盤，地表面沈下などの問題が発生することが知られている．一般に大型の扇状地ほど礫層が厚く，数十mに達することもある．そのN値は50以上で，基礎地盤としての地耐力は優良であるとされている[1]．

一方，トンネル工学的観点からは，扇状地は粒径数cm～数十cm(まれに数m)の主として円礫ないし亜円礫の礫層から構成され，非固結で空隙率が大きいため，透水性はきわめて大きい地盤である．扇状地の地下水は自由(不圧)地下水と被圧地下水に区分され，自由地下水面の形態は扇状地の形態に類似しており，その地下水面勾配は扇状地面の勾配とほぼ１対１で比例している．

トンネル掘削においては，切羽の自立性が乏しく，事前の地山改良や切羽からの先受けや鏡ボルトなどの補助工法が必要となる．また，地下水面以下にトンネルが計画されている場合には，大量湧水の発生や地下水位の低下とそれに伴う地表面沈下が生じやすい．また，地下水の流速が大きく，細粒分の流出による規模な崩落が発生したり，周辺の地下水環境に大きな影響(井戸の枯渇，トンネルによる地下水流路の阻害，トンネルへの大量湧水の発生など)を惹起することがあり，事前の地下水環境の調査が必要となる．

④　施工事例にみる地相の読み方

事例１：平岩第一トンネル(国道148号)[3]【崖錐(坑口斜面対策)】

本トンネル(現トンネル名：山之坊トンネル)は，新潟県糸魚川市街地より南方約20kmにあり，糸魚川–静岡構造線の西縁に位置する．この付近の

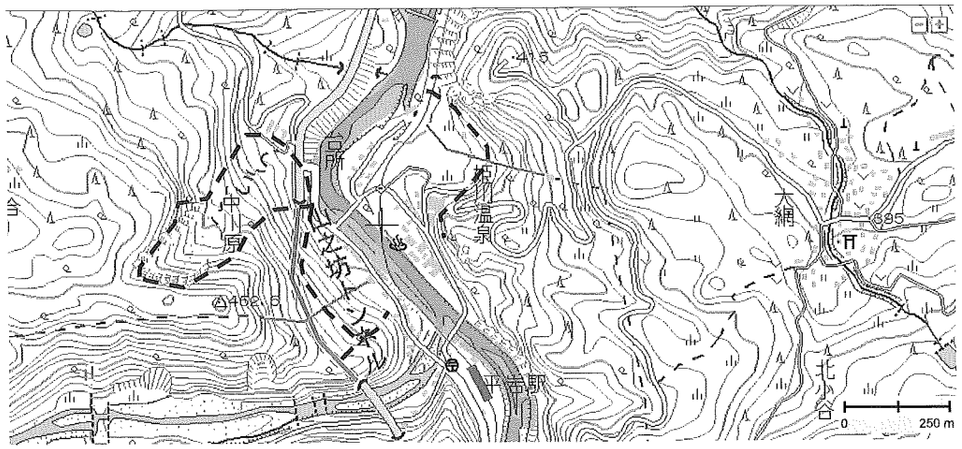


図-6　平岩第一トンネル位置図

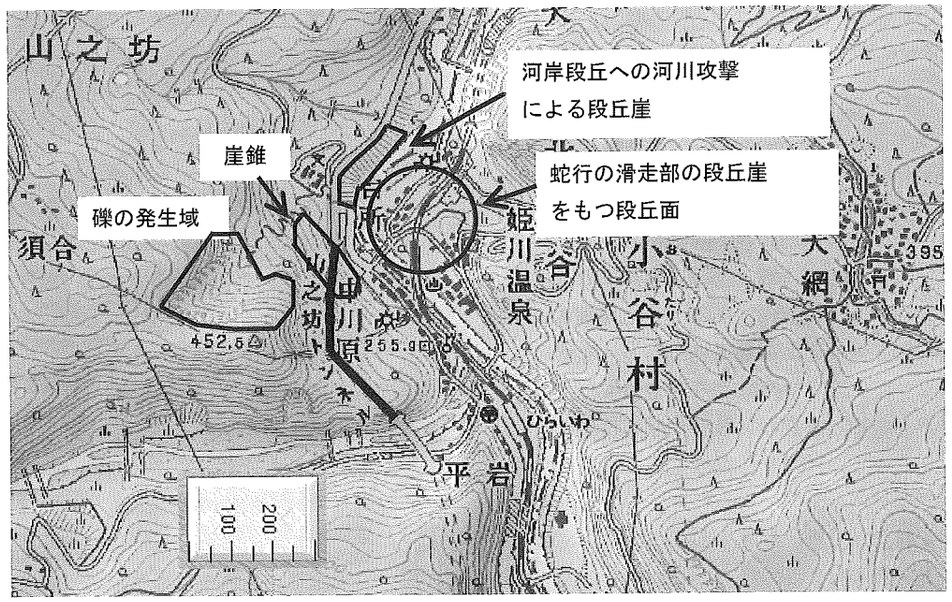


図-7　平岩第一トンネル南側坑口地形図

地形は一級河川姫川と急峻な山に囲まれた谷地形であり，地質は結晶片岩類とそれらに貫入した蛇紋岩からなる．

坑口付近には図-6, 7に示すように蛇紋岩を原岩とする強風化の崖錐堆積物が，固結度の低い状態で存在していた．トンネルの北側坑口の線形が斜面と斜交しており，初期掘進時の偏圧が想定された．

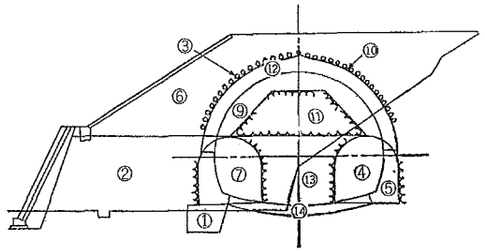
これらのことから，坑口付けから掘削初期段階の非固結の崖錐堆積物の緩みに起因する斜面の不安定化と，偏圧による変状防止を目的とした対策工が実施された．以下に実施項目を列記する(図-8)．

① トンネル脚部の谷側の崖錐堆積物を除去して置き換え工を行い，偏圧によるトンネル全体の谷側への変形が発生しないように支持地盤を強化した．

② 地すべり発生抑止のために，ソイルセメントによる押え盛土工を実施した．

③ 天端地山の崩落に伴う変状防止と切羽安定

対策として，トンネル線形と地山との位置関係を考慮して，山側にL=43m，谷側にL=15mのパイプルーフを，削孔長を順次変えながら計43本打設した．注入はCB溶液を先行させて空隙を間詰めし，セメント系に切り替えることで0.5MPaまで加圧した．



①基礎工(置き換え基礎)
②押さえ盛土(第1回)
③パイプルーフ工
④導坑掘削
⑤側壁コンクリート打設
⑥押さえ盛土(第2回)
⑦導坑掘削
⑧側壁コンクリート打設
⑨上半リングカット
⑩アーチ1次覆工
⑪中分掘削
⑫アーチコンクリート
⑬大分掘削
⑭インバート掘削コンクリート打設

図-8　平岩第一トンネル施工手順図

施工は1982年に着手し，掘削は当時の標準工法である側壁導坑先進工法とし，送り矢板によるリングカット工法で実施した．側壁導坑掘削は大きな肌落ちもなく無事完了したが，上半掘削時は掘削に伴う応力解放による脆弱化や湧水による路盤の泥濘化，支保工変状による縫い返しなど，蛇紋岩特有の現象が発生した．

事例2：川原湯トンネル[4]【崖錐(トンネル安定対策)】

本トンネルは，吾妻線線路付け替え工事区間(約10.4km)のほぼ中央にあたる川原湯地区から横壁地区白岩沢に至る延長1,870m(NATM区間：1,705m，開削区間：165m)の新設単線トンネルである(図-9)．

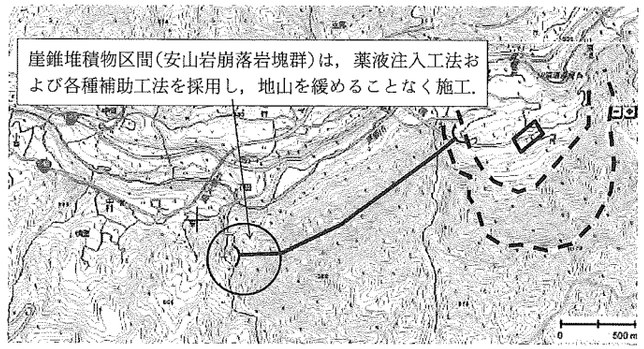


図-9　川原湯トンネル位置図

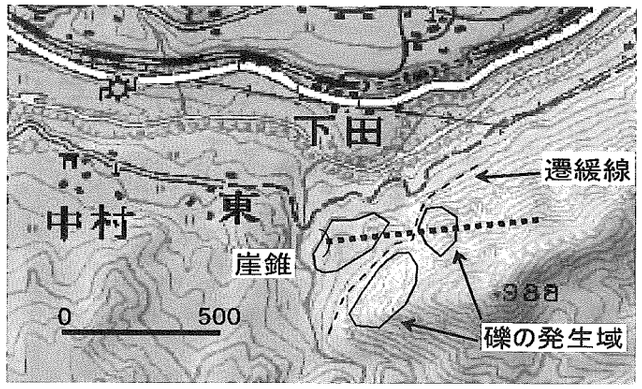


図-10　川原湯トンネル坑口地形図

当該地は，新第三紀以降の火成活動の激しかった地域であり，現在も活動を続ける浅間山と草津白根山が隣接している．急勾配河川により浸食地形と地すべり地形を形成し，地形は急峻である．

トンネル区間の地質は，事前の地質調査結果などにより両坑口付近は崖錐堆積物が分布し，横壁地区白岩沢坑口から約186m以奥の約74m区間には，崖錐堆積物中に不動岩安山岩が貫入し，全体的に破砕・変質を被っている．

白岩沢坑口付近に分布する林層凝灰角礫岩の上面は緩やかな谷地形をなしているが，これは白岩沢の旧流路と考えられ，崖錐堆積物はこの谷地形の上に堆積している(図-10)．上記以外の大半は新第三紀鮮新世後期の不動岩安山岩から構成され，露頭では柱状・板状節理がみられ，風化が進んでいるものの，大半は硬岩地山である．

2002年に機械掘削により横壁地区白岩沢(終点側)から川原湯地区(起点側)

に向かい掘削を開始した．

計画段階で懸念されたのは，横壁地区白岩沢坑口から約186m以奥の約74m間でトンネル天端付近に出現すると想定された崖錐堆積物(安山岩質の崩落岩塊群)である．崖錐堆積物直下(74m区間)の施工は，施工中の安全性および供用開始後の周辺地山の安定性向上を目的に，トンネル掘削前に崖錐堆積物間の空隙を薬液注入工により充塡し地山を安定させた後，長尺先受け工などの天端安定対策を組み合わせる工法を採用した．

掘削工法としては，切羽の安定性の確保およびトンネル掘削断面の早期閉合を行うため，補助ベンチ付き全断面工法を採用した．薬液注入工の1シフト施工長が15.5mであり，地山を緩めない慎重な施工を必要としたため，1掘進長は1mとし9m掘削を行い，再び薬液注入工を施工するサイクルとした．

掘削方式は基本的には機械掘削であるが，トンネル断面内に現れた崖錐堆積物に対し地山を緩めず限定的に小割するため，発破併用機械掘削とした．

当該崖錐堆積物区間の施工は薬液注入工と長尺先受け工法による天端安定対策，鏡ボルトおよび鏡吹付けコンクリートによる切羽安定対策などの相乗効果により崖錐堆積物を緩めることなく掘進を進めることが可能となった．

事例3：掛川第二トンネル[5]【崖錐(地すべり対策)】

静岡県掛川市に位置する第二東名高速道路掛川第二トンネル(現トンネル名：西郷トンネル)は，上り線L＝729m，下り線L＝1,152mである(図-11)．下り線西坑口には，崖錐堆積物が広範囲かつ厚く分布しており，トンネル掘削による地すべりの誘発が懸念されたため，崖錐堆積物に対して地すべり対策工を実施した(図-12)．

対策工の選定にあたって，崖錐堆積物と基岩の境界を把握するため，調査ボーリングBor.1～5を実施した．また，トンネル到達前の地山挙動を把握するための動態観測として，多段式傾斜計をBor.2に設置し，あわせて地下水位計測を実施した．

調査の結果，地すべり抑止工として押さえ盛土とグラウンドアンカー工を採用した(図-13)．さらに，地すべり領域での脆弱な地山における大断面トンネル掘削に際し，地耐力不足対策として，側壁導坑先進工法を採用した．

つぎに，現況の調査，計測および対策工の有効性を検証する．

① 事前に調査ボーリングを5本実施し，地すべりの要因となる崖錐堆積物の分布を精度よく確認した．

② 動態観測により地下水が地すべりに大きく関与していることが判明した．

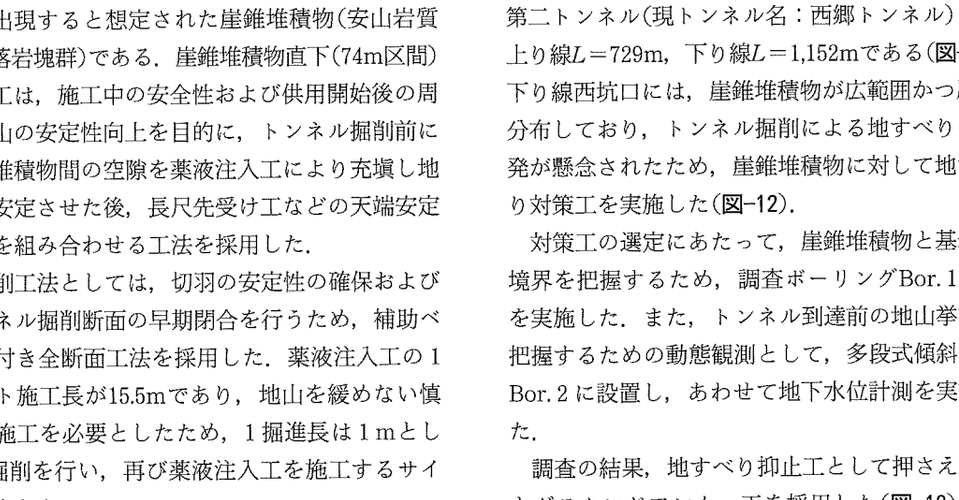


図-11　掛川第二トンネル位置図

③ 確実性，経済性に優れた押さえ盛土を主体とした対策工を実施することにより，側壁導坑を安全に掘削することが可能となった．

④ 側壁導坑の掘削により地下水位を低下させることができ，斜面の安定性を向上することが可能となった．

⑤ 地すべり抑止工としての押さえ盛土とグラウンドアンカー工および抑制工としての側壁導坑からの水抜き効果による崖錐堆積物中の地すべり対策を実施し，安全に扁平大断面のトンネルを施工できた．

以上の施工の結果，トンネル貫通後も地下水位上昇に伴う谷側への斜面変位が停止しており対策工の効果が明瞭に確認された．

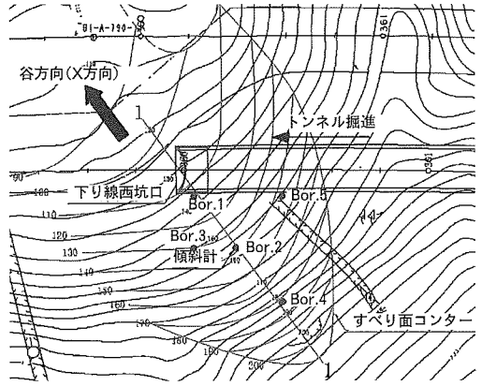


図-12　調査ボーリング結果から推定されたすべり面のコンター図

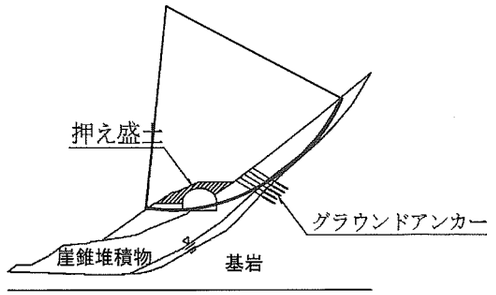


図-13　対策工概要図

事例4：氷川第二トンネル[6]【沖積錐(計画線形変更)】

小河内貯水池(小河内ダム)の築造に伴い，ダム工事現場までの資材輸送の方法について鉄道，自動車，索道による3案の審議を行った結果，鉄道案が採択され，氷川駅(現：奥多摩駅)～ダム現場間に専用鉄道を敷設することが決定された．氷川第二トンネルは，それに伴い栃久保地区に計画されたトンネルで，1950年に着工された．

当該地区の基盤は中生代の硬砂岩および粘板岩の互層から構成され，いずれも節理が発達して不規則な割れ目が多いため，トンネルの施工は逆巻工法を採用している．

このトンネルは図-15～17に示すように不安定な沖積錐堆積物を避けて，計画線形を変更した事例である．沖積錐堆積物は，構成される岩片，土砂の安息角に近い状態で平衡を保っている．

図-15は，沖積錐堆積物とトンネルもしくは坑口の位置関係と，安定度を示したものである．

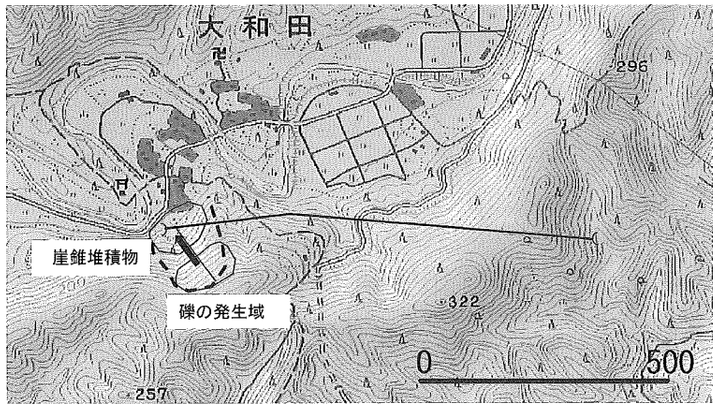


図-14　掛川第二トンネル西側坑口地形図

トンネルを計画するにあたっては，岩盤中にトンネルを設けることで掘削中から，長期の供用期間中にわたって安定を確保することができる．

氷川第二トンネルは，この沖積錐堆積物を避けるという教訓を活かした事例である．ボーリング調査にもとづき，約100mの掘削延長の増加にもかかわらず，沖積錐堆積物と岩盤との境界部にトンネルが位置しないよ

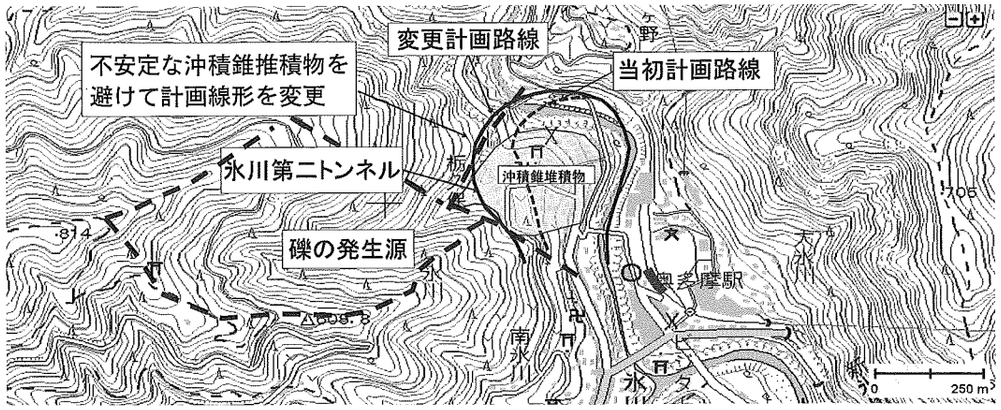


図-15　氷川第二トンネル位置図

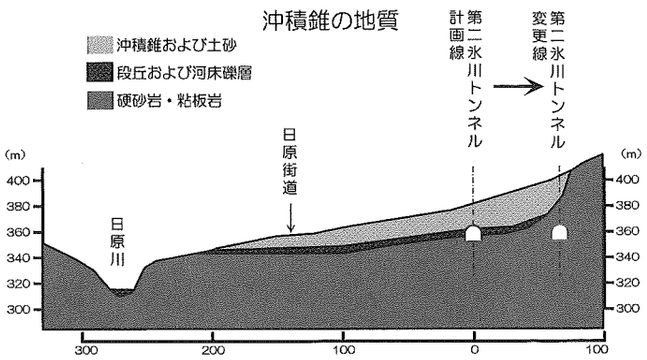


図-16　氷川第二トンネルの代表的な横断面図

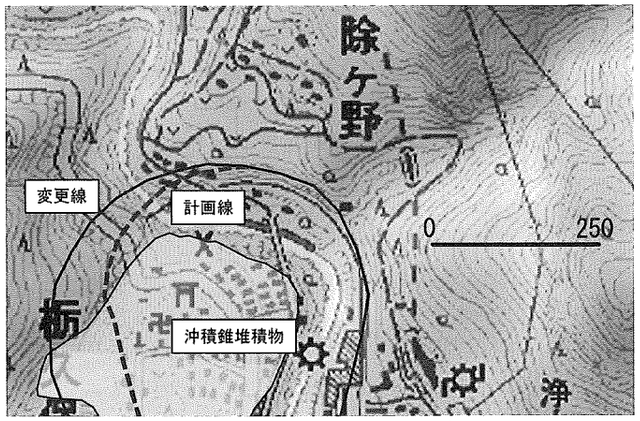


図-17　氷川第二トンネル地形図

うに路線が変更された．なお，当時は，この沖積錐堆積物が崖錐堆積物と誤認されていた．

事例5：福木トンネル[7]【扇状地・沖積錐(地表面沈下対策)】

広島高速1号線の福木トンネルは，市街地の北東約10kmに位置する．地形は北東-南西に連なる二ヶ城山山列と呉娑々山山列に挟まれた幅1.5km程度の丘陵性の山麓斜面地帯になっている(図-18(左))．

本トンネルは，扇状地堆積物および沖積錐堆積物中のトンネル掘削による地下水位低下に起因する地表面沈下量の増大に対して，薬液注入による坑内湧水量の抑制対策を実施した．

トンネル天端，切羽，脚部の安定にとって，地下水の量および存在形態は重要な要素である．ボーリングデータに現れる地下水位のみならず，その水頭を持つ帯水層，ならびに供給源を的確に把握することが重要である．図-18(右)には同地区の航空写真を示すが，土砂供給域と堆積領域とを一層明確に理解することができる．

本工事では，「扇状地・沖積錐の規模」に対する「トンネルの規模」がスケール的に同等であったことも，施工の影響が顕著となった一因ではないかと思われる．

(文責：端　則夫／服部弘通・大成建設(株))

参　考　文　献

1) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，全4巻，古今書院，1997-2000.
2) 渡邉貫：地質工学，増補6版，古今書院，1939.
3) 渡部博・小林章英：蛇紋岩地すべり地帯での坑口付け，一般国道148号線　平岩第一トンネル，トンネルと地下，Vol.15，No.5，pp.45-50，1984.5.
4) 齋藤貴・田口芳範・宇田誠・貝原登：崩落岩塊群直下を補助工法を駆使して突破，吾妻線付替工事　川原湯トンネル，トンネルと地下，Vol.34，No.7，pp.7-15，2003.7.
5) 大坪・高橋・浜野・緒方・篠田：地すべり地山を対象とした大断面トンネル坑口部の対策工について，土木学会第59回年次学術講演会，Vol.59，No.6，pp.735-736，2004.9.
6) 地盤工学会建設工事と地形・地質スライド編集委員会：建設工事と地形・地質，スライドライブラリー6.
7) 河村洋治・吉光康夫・尾畑洋・中川浩二：脆弱化地盤の地下水を制して変電所直下を突破，広島高速1号線(安芸府中道路)　福木トンネル，トンネルと地下，Vol.37，No.9，pp.7-15，2006.9.

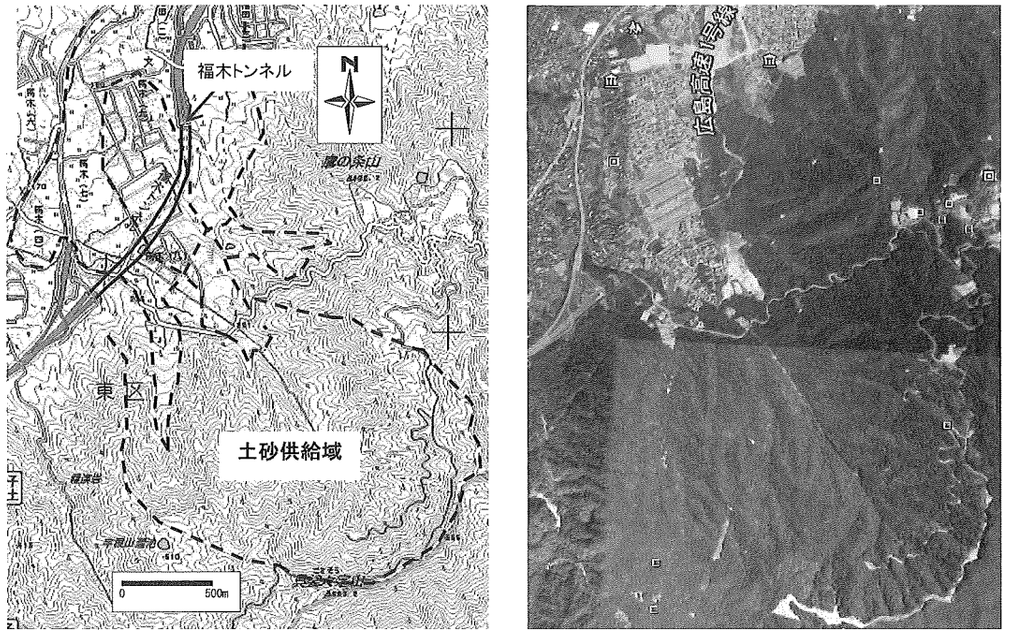
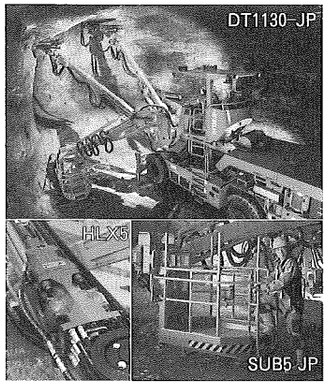


図-18　福木トンネル位置と地形図の判読結果(左)ならびに周辺の航空写真(右)

わかりやすい土木地質学
大島洋志 監修　B5判　209頁　本体価格 2,500円　〒340円
本書は，「トンネルと地下」に17回にわたって連載した「トンネル技術者のための応用地質学入門」をベースに，加筆および整理してまとめたものである．本書では，最新のトンネル技術，地質学，ならびに，地質調査法などを挙げ，学生から実務者まで広範に満足させる内容となっている．
株式会社 土木工学社　〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話　(03)3267-2888（代）　振替00110-8-190072

工法・技術・製品ニュース

製品 Sandvikから3ブーム2バスケットホイールジャンボ登場



サンドビック マイニング アンド コンストラクション ジャパン(株)
Tel 045-478-0662
http://www.miningandconstruction.sandvik.com/jp

サンドビックは3ブーム2バスケット油圧ジャンボDT1130-JPを発売した.

同機は大断面の掘削に適したドリルブームTB150を左右に搭載し，最大178m²(幅18.7m，高さ10.4m)の断面をカバーすることができる.

エンジンCumminsQSB6.7

走行用のエンジンはジャンボとしては国内初となる2011年基準に適合したカミンズQSB6.7を搭載．トンネル坑内環境の改善に配慮した.

ドリフターHLX5

キャリッジと一体構造になっており，穿孔中の振動によるボルト緩みなどが生じず，打撃エネルギーを確実に岩盤に伝えることができる．打撃出力は20kWを発生し，高い穿孔能力を有する.

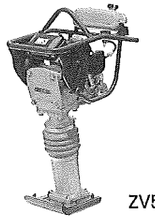
穿孔コントロールTHC561

日本特有の高温多湿な作業環境を考慮して，コントロールシステムには全油圧制御方式を採用した．穿孔中に岩盤状況の変化や空洞があっても常にフィード速度を一定に保つコンスタントスピードを搭載，また，穿孔終了と同時に孔に溜まったフラッシング水を自動的にエアーブローする機能も装備した.

バスケットブームSUB 5 JP

ケージ部分が車体後方に180°折りたためるようになっており，作業者は切羽側からではなく，車体側から乗り込むことができる.

製品 小型締固め機械の新型　ZV-RLシリーズをラインアップ


ZV55RL

(株)日立建機カミーノ営業本部
Tel 048-931-2411
http://www.hitachi-kenki.co.jp/camino/

日立建機の子会社である日立建機カミーノはZV55RL，ZV65RLランマ2機種を発売した.

両機は，2010年に発売を開始したZV-Rシリーズの軽量化仕様機．ZV-Rシリーズの基本性能を踏襲し，軽量化により運搬性を向上させたほか，メンテナンス性向上のため，パイプガードを採用し，エンジン部を保護するとともに，整備を行うアクセス性を向上．エアクリーナ清掃，ガバナ調整，キャブレター整備をより容易にした.

主な仕様

	ZV55RL	ZV65RL
機械質量(kg)	61	63
打撃周波数(Hz)	11.2	11.2
打撃力(kN)	16～28	20～36
打撃ストローク(mm)	26～43	39～59
走行速度(m/分)	10	10

製品 CAD/GISの高精細，高精度のA1線画を約30秒で高速印刷



SC-T3050

エプソン　インフォメーションセンター
Tel 050-3155-8066
http://epson.jp/surecolor/

エプソンは，大判インクジェットプリンター「SureColor」の新商品SC-T7050，SC-T5050，SC-T3050の3機種を発売する．それぞれB0プラス，A0プラス，A1プラスに対応したモデル.

図面出力に必要となる線画出力にかかわる機能を強化し，「細線の忠実な再現」「斜め線・曲線の滑らかな表現」「文字つぶれのない表現」などの高精細印刷を実現したほか，「線画モード」では距離精度±0.1%，最少線幅0.02mmを実現し，高精度に印刷することができる.

また，新開発のインクを採用し，高輝度・高精細な図面を出力するのに重要となる黒濃度の向上によるメリハリのある印刷を実現するとともに，耐水性に優れた顔料インクを用いることで屋外現場での雨濡れやマーキング時の擦れの心配がない図面を出力できる.

トンネルワールドニュース

(社)日本トンネル技術協会
国際委員会

イギリス政府がアジアへの輸出事業を奨励

先月，イギリスの大臣らは，イギリスからアジアへの輸出促進を訴えた．ヴィンス・ケーブル(Vince Cable)ビジネス大臣とウイリアム・ヘイグ(William Hauge)外務大臣は，アジアの高成長市場および新興市場へのイギリスの関与を促進するため，イギリス貿易・投資(UK Trade and Investment)キャンペーンを開始した．このプロジェクトは王立スコットランド銀行(Royal Bank of Scotland)と連携して実施され，アジアの12の地域の市場における「鍵となるビジネスチャンス」が示される.

2月にイベントが開催され，中国，香港，インド，インドネシア，日本，マレーシア，フィリピン，シンガポール，韓国，台湾，タイ，ベトナムに焦点が当てられる．同時並行で調査が開始され，現下アジアへの輸出で活況を呈している「おおいに刺激的な」イギリス企業を見出し，奨励することを通じて，アジア輸出の事例が示されるであろう.

ケーブル大臣は「このキャンペーンでの12の国と地域への市場へのわが国の昨年の輸出は390.1億USドル相当であったが，まだはるかに伸びる可能性がある．国際貿易促進のため，追加で7,021万USドルを計上するという政府の最近の決定は，より多くの中規模輸出業者の助けとなり，英国貿易投資総省が支援する中小企業の数も，25,000社から50,000社へと倍増する．私は，あらゆる分野の企業がこのキャンペーンに参加し，彼らにとってアジアにどのような機会があるのかを知ることを奨励する」と述べた.

ヘイグ大臣はさらに付け加えた.

「アジア市場の重要性には疑う余地がない．2030年までにアジアの消費者による支出は年間約32兆USドル，つまり世界の消費の約43%になると考えられている．そのため，イギリスの企業経済の羅針盤はしっかりと東を指しているべきであり，われわれは彼らの活動を支援するつもりだ.

これは実行中の外交活動である．わが国には，これらの市場で経験がある上級外交官や，これら地域でのビジネスの経験がある財界首脳が約20名いる．彼らはイギリス企業に直接助言を与えてくれるだろう」

(T&TI '12.1　担当：浅見均・鉄道・運輸機構)

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

(注：「現場だより」の投稿は受付けしておりません)

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

社団法人 日本トンネル技術協会

会報

1. 会員の現状

	7月31日現在
正会員	1,519名
団体会員	351名
個人会員	1,168名

2. 委員会の開催状況（7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(7/4)

大島洋志主査ほか12名，8月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会海外ニュースWG(7/26)

浅見均主査ほか8名，英文原稿を査読

計　2回開催　22名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

保守管理小委員会(7/27)

中井雅彦委員長ほか15名，作業方針を検討

◎受託研究特別委員会

長大山岳トンネル設備特別検討会(7/2)

中塚静夫委員長ほか9名，換気設備計画を検討

効率的掘削工法特別委員会補助ベンチWG(7/3)

鈴木雅行主査ほか12名，報告書原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会高速施工WG(7/5)

領家邦泰主査ほか9名，報告書原稿を検討

小田急下北沢地区線増連続立体交差事業技術委員会(7/15)

小山幸則委員長ほか26名，現場視察および計測結果を検討

長大山岳トンネル設備特別検討会(7/20)

中塚静夫委員長ほか10名，電気設備計画を検討

計　6回開催　87名出席

合計　8回開催　109名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第39回ITA総会およびコングレス「Underground －the way to future －」	2013. 5. 31～6. 7	ジュネーブ（スイス）	Swiss Tunnelling Society International Tunnelling and Underground Space Association（国際トンネル協会） http://www.wtc2013.ch/
第40回ITA総会およびコングレス*「Tunnels for a better living」	2014. 5. 9～15	イグアス（ブラジル）	COMITE BRASILEIRO DE TUNEIS International Tunnelling and Underground Space Association（国際トンネル協会） http://www.wtc2014.com.br/

＊論文募集に関する詳細は事務局(担当：関)までお問い合わせ下さい．　(社)日本トンネル技術協会　TEL：03-3524-1755　FAX：03-5148-3655

◆新刊図書案内◆

□Tunnelling Activities in Japan 2012	価格(税込)：会員 3,000円，非会員 3,600円
□トンネル年報2012	価格(税込)：会員 2,000円，非会員 3,000円
□トンネル年報-工事記録CD-R版(各年)	価格(税込)：会員10,000円，非会員15,000円

4. 平成24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)				
中部横断自動車道トンネル建設工事現場研修会	2012. 7.27	25	山梨県	3.2
東九州自動車道トンネル工事現場研修会	2012. 8.28	25	大分県	3.0
(施工体験発表会)				
第70回(山岳)「課題克服に貢献した新技術・創意工夫例」	2012. 6.26	154	東京都	5.1
第71回(都市)「困難な施工条件下での都市トンネル工事事例」	2012. 6.27	104	東京都	5.6
(講演，講習会)				
第14回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	**2012. 9.27, 28**	**24**	**東京都**	**17.3**
第15回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	**2012.11.21, 22**	**24**	**東京都**	**9.8**

催物の案内は逐次協会のホームページに掲載いたしますので閲覧くださいますようご案内します．一般検索サイトで〈トンネル技術協会　国内催物〉，あるいは下記URLの入力で辿りつけます．

http://www.japan-tunnel.org/event_japan

ステップアップ研修会のご案内

■第14回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)

本研修会では，シールド工法の計画から設計，施工，維持管理までの実務的な講義と参加者自ら取り組む具体的なプロジェクト計画に即した演習問題などによる研修を，7人の経験豊富な各種分野の専門技術者の方々を講師として実施する予定です．

開催日：平成24年9月27日(木)，28日(金)

会　場：(社)日本トンネル技術協会「会議室」

研修内容：初　日：調査・計画から施工までの講義，シールドの常識・非常識討論会

二日目：設計・維持管理の講義，グループによるシールド計画問題の実施と解答発表

定　員：24名(定員になり次第締め切りいたします)

参加費：会員36,000円，一般60,000円(教材代，消費税含む)

その他：研修内容のプログラム，申込方法，支払方法の詳細はwebサイトをご参照願います．

■第15回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)

本研修会は，単なる技術説明や工事報告ではなく，講師である8人の屈指の山岳トンネル技術者の方々が経験した，特殊条件における工事での失敗や苦労した事柄を伝えていただくとともに，これから類似のトンネルを担当したときにどうすべきかなどについて講義していただく予定です．

開催日：平成24年11月21日(水)，22日(木)

会　場：(社)日本トンネル技術協会「会議室」予定

研修内容：初　日：調査と実際の乖離，設計と実際の乖離，補助工法とトラブルなどについての講義と討論会(主として現場での課題について)

二日目：「膨張性地山，崩落性地山，大湧水地山，地質想定困難な地山でのTBM施工」におけるトンネル工事で学んだこと，類似工事で対応すべきことの講義

定　員：24名(定員になり次第締め切りいたします)

参加費：会員36,000円，一般60,000円(教材代，消費税含む)

その他：研修内容のプログラム，申込方法，支払方法の詳細はwebサイトをご参照願います．

10月号予告[10月1日発売予定]

●計測データを活用したトンネル変状の将来予測
●圏央道　高尾山トンネル
●東京都下水道　千代田区永田町一丁目付近枝線
●「ITA総会および世界トンネル会議(バンコク)」報告
【連載講座】
●トンネル技術者のための地相入門(6)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆4年に一度のオリンピック．深夜まで観戦し睡眠不足の日々が続いたのではないでしょうか．オリンピック種目は北島選手のいる競泳や内村選手の体操でさえ，オリンピックではじめて見たという方も少なくないようです．今回多くのメダリストが誕生しましたが，柔道男子に金メダルがいないのが残念でした．また，日本選手の活躍により，卓球・バトミントン・フェンシング・アーチェリーなどでいろいろな駆け引きや心理戦を楽しませてもらいました．
◆今回のオリンピックでは判定が覆る場面が多々ありました．確かに人間は間違いをする生き物ですが，一度上がった青旗がすぐに白旗に変更されたり，4位だった順位がすぐに2位に変更になるなど，4年に1度のオリンピックで『間違いでした』と簡単に言えるのでしょうか．出場している選手は表彰台の一番高いところに立って，国旗が掲揚され国歌が流れることを夢見て一生懸命努力し，国内の熾烈な戦いに勝ち上がり，やっとの思いでこの舞台に立てたのです．天国から地獄へ，地獄から天国へ行ったり来たりさせられたたらたまりません．また，無気力試合で失格になったバトミントン．女子サッカーでは次戦のことを考えて引き分けの指示をだしたとか．作戦だから良いのか賛否両論がありますが，個人的にはすべてに全力で戦ってほしかったと思います．
◆次回の開催地のリオデジャネイロ(ブラジル)では，総工費1,000億円をかけて地下鉄網の整備が進んでいます．機会があれば弊誌でも紹介したいと思います．

(K.Y)

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

トンネルと地下
第43巻 第9号〔通巻505号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成24年8月20日　印刷
平成24年9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
〒104-0045　東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)
TEL：03-3524-1755
FAX：03-5148-3655
http://www.japan-tunnel.org
発行所　株式会社土木工学社
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂
TEL：03-3267-2888
FAX：03-3267-2807
http://www.tunnel.ne.jp
発行人　山本 育徳
編集人　山本 勝誉
印　刷　新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は，書店または土木工学社へ直接お申し込みください．
■お申し込みの際は，誌名，購読期間，住所，所属，氏名などを明記のうえ，FAX(03-3267-2807)にてお申し込みください．後日，小社より振込用紙をお送りいたします．

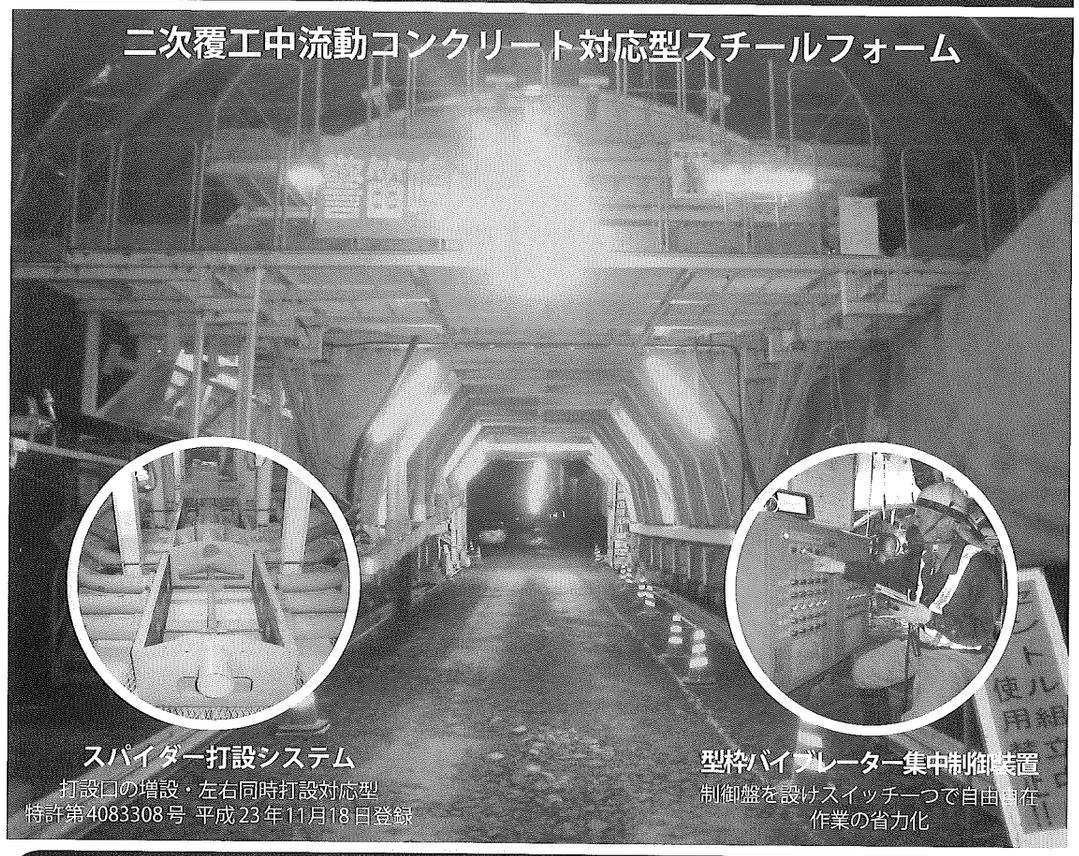
購読料
1冊　1,575円(送料108円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

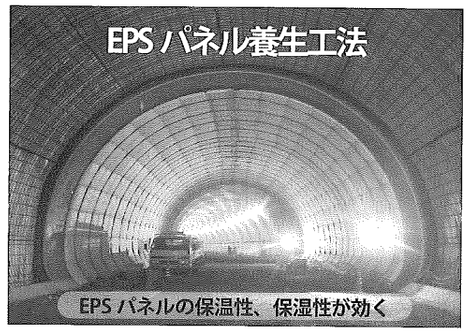
本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください．
TEL：03-3267-2888

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

トンネル二次覆工型枠総合メーカー



新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



実績および計画		
施主	実績	計画中
国土交通省	21	1
NEXCO	5	1
地方自治体	8	6
鉄道・運輸機構	1	1

平成24年4月30日　現在

実施権許諾第 10396 号
NETIS 登録　(No.CB-090003-A)

一歩前進！　～限りない未来への挑戦～
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 ／ URL http：//www.daieikouki.co.jp/
営業品目　各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売　※詳しくはホームページを御覧ください

図書案内

株式会社 土木工学社

山岳トンネル設計の考え方

今田　徹　著
3,200円＋税　B5判



地山の力学状態を表す理論式から導かれる地山挙動の特徴を図表などを用いて手際よく説明した．トンネル掘削における工学的な理解を深化させる一冊．

わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭　監修
1,500円＋税　B5判



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

多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会　監修
2,500円＋税　B5判



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

推進工法の理論と実際

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



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

わかりやすい土木地質学

大島洋志　監修
2,500円＋税　B5判



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

セグメントの新技術

小泉　淳　監修
2,000円＋税　B5判



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

続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛　共著
1,200円＋税　新書判



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

建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫　著
6,000円＋税　A5判



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

地質工学概論

菊地宏吉　著
4,757円＋税　B5判



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

シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会　編
4,660円＋税　B5判



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

地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全3巻）

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



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

第Ⅰ巻　地下水の物理と化学
4,078円＋税　B5判
第Ⅱ巻　地下水環境学
4,272円＋税　B5判
第Ⅲ巻　地下水と地質
3,689円＋税　B5判

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．

トンネル工事の衛生と環境保全

臼谷三郎・橋本康孝・友田　孝　共著
3,200円＋税　A5判



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

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．

山岳トンネルの新技術

ジェオフロンテ研究会　編
14,573円＋税　B5判



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

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．

ジオテキスタイル設計マニュアル

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



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

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．

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．

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．

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．

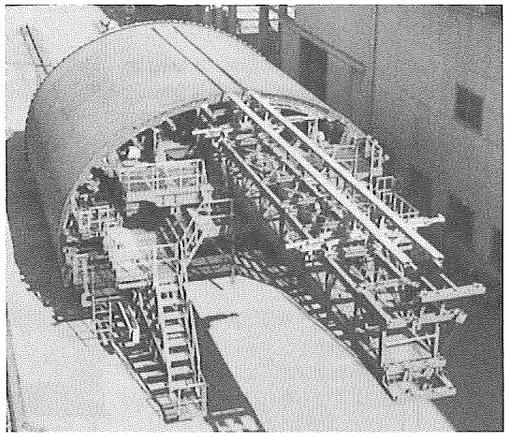
(株)土木工学社
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16　メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888　Fax: 03 3267 2807

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

東和機電工業株式会社 頴田（かいた）工場

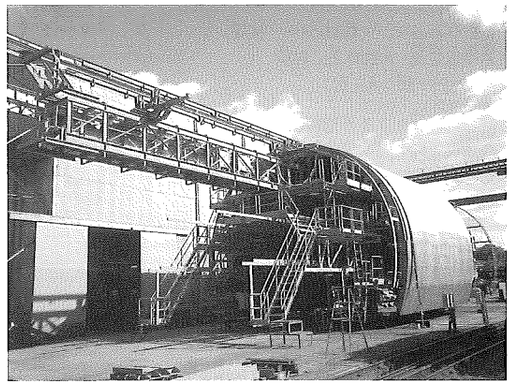
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田（せいた）2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

● 中流動コンクリート用ステンレスフォーム
　クラウン部締め固めバイブレーター

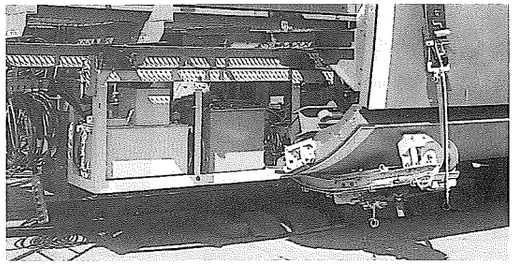


◎強靭なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは，前進後進同一の力で抜き差し出来ます．
◎円周方向にスライドするガイドセルは，クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます．
◎ガイドセルの上昇・下降により，任意の高さを締め固める事が出来ます．

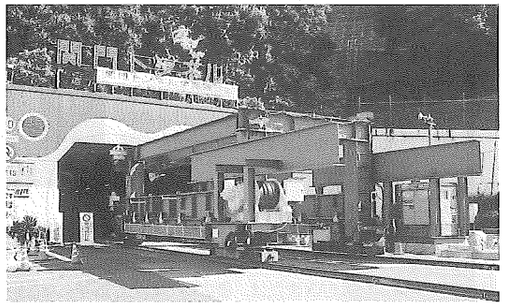
● 新幹線用ステンレスフォーム



● 自動ケレン装置

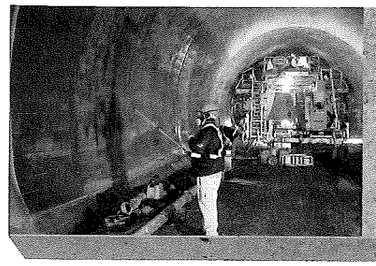


● トンネル床版撤去架台
　勾配対応四駆型（関門トンネル）



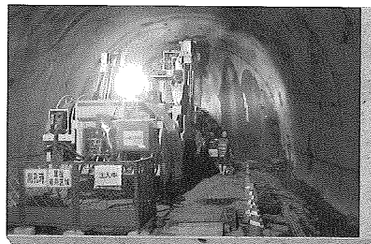
- ベルコン通過型スライドフォーム（特許）
- ロータリー式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサー及び警鳴装置
- クラック防止用ラップウレタンゴム
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充填センサー
- 2段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セントル
- 横移動式桟橋

常に顧客のニーズに応えるため，安全性と施工効率を追求し，
高品質な製品を納めさせて頂きます．



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）





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
〒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