トンネルと地下　平成25年5月1日発行第44巻第5号
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

信頼の品質

技術提案に好適!!
デンカの特殊混和材

デンカの液体急結剤
初期強度発現がバツグン
《デンカクリアショット》
NETIS:KT-080020
液体急結剤　デンカナトミックLSA
粉体助剤　デンカナトミックUSS
・脅威の低粉じん吹付けが可能
・確かな初期強度、長期強度発現性
・付着性が大きく、跳ね返りが少ない
・粉体急結剤と同様の吹付け性状
・湧水、低温にも強い

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

実績の粉体急結剤
一般吹付け・高品質吹付け
デンカナトミックTYPE-5
高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10
瞬結吹付け・初期高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10S
デンカΣショットS
・安定した初期強度・長期強度発現性
・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

覆エコンクリート
ひび割れ抑制・耐久性向上
コンクリート用膨張材
デンカパワーCSA
有機無機複合型被膜養生剤
デンカクラッコフ
コンクリート補強用合成繊維
STRUX 85/50L
・高品質な覆エコンクリートが得られます

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

DENKA
電気化学工業株式会社
セメント・特混事業部　特殊混和材部
東京都中央区日本橋室町2-1-1
電話 03-5290-5558

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-5
4910066190538
01500

5年5月1日発行(毎月1回1日発行)　第44巻第5号　通巻513号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 5

vol. 44
no. 5
2013

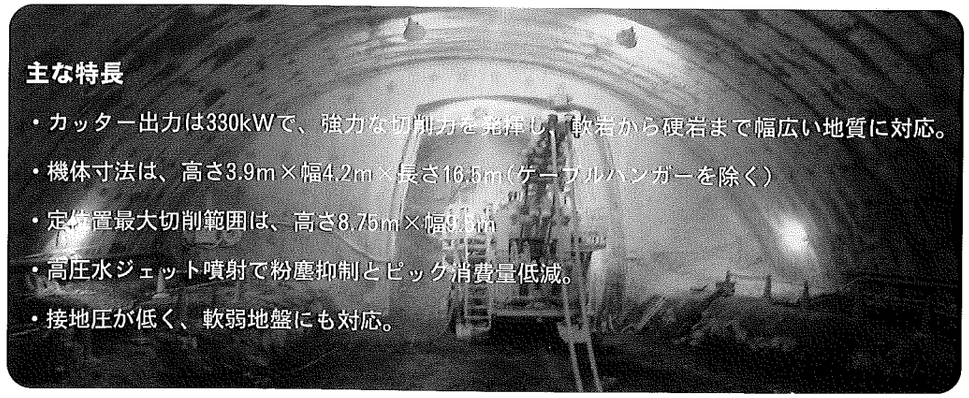
Tunnels and Underground

勾配・小土かぶり条件下における函体推進(R&C)工法の施工
例を生かし水抜きボーリングを駆使して未固結砂質地山を掘る
楽町・副都心線並行区間の線路交差を2本の単線連絡トンネルで解消(その3)
外におけるトンネル支保工の事例調査
用中の山岳トンネルで発生する路盤隆起現象とその対策工の効果

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



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ピック消費量低減。
- 接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業 〒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

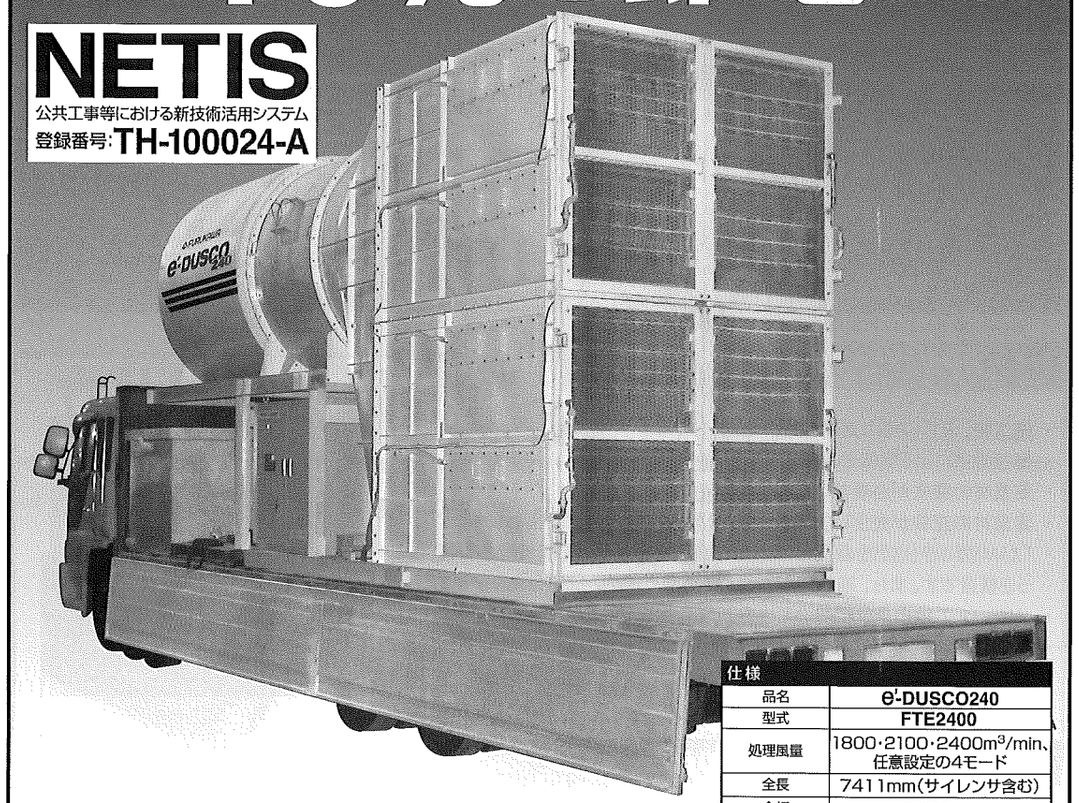
e-DUSCO 240

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	1800・2100・2400m³/min、任意設定の4モード
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	23kW・28kW・33kW・任意
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
第二営業部 ☎03-3212-7804

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

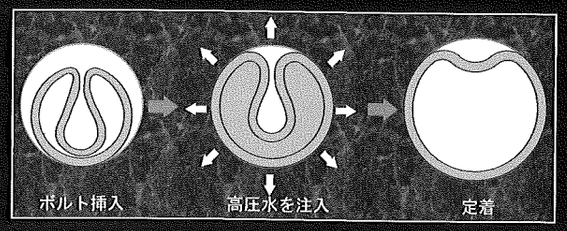
RPE ROCKBOLT

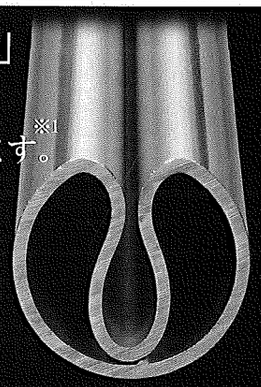
RPE ロックボルト

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



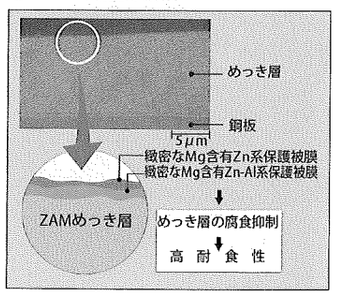


※1 地山条件によってめっき層の寿命は大きく変動します。

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



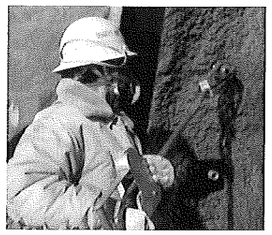
・「ZAM」は、日新製鋼株式会社の登録商標です。
・「ZAM」は、日新製鋼株式会社が開発した溶融亜鉛 Zn-アルミニウム Al-マグネシウム Mg 合金めっき鋼板の商品名です。

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）

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

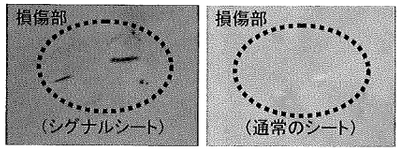
東京土木営業部：東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 TEL 03－6402－8251
大阪土木営業部：大阪市北区西天満 3 丁目 2－17 TEL 06－6363－1884
技術部 ：東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 TEL 03－6402－8256

損傷を目視で確認できる防水シート

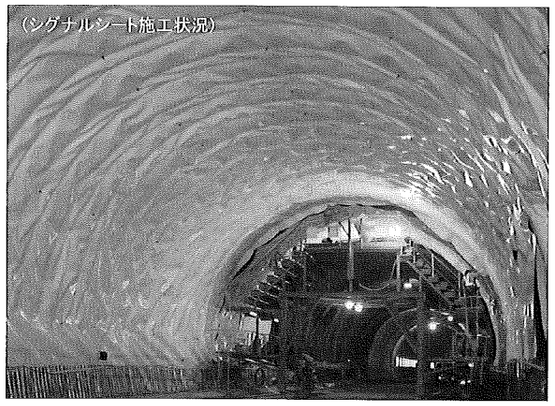
①シグナルシート

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。



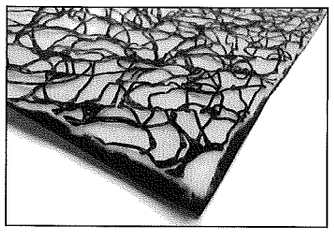
通常のシートに比較し、通常の明かりにおいて目視でたやすく損傷が確認できます。



「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。

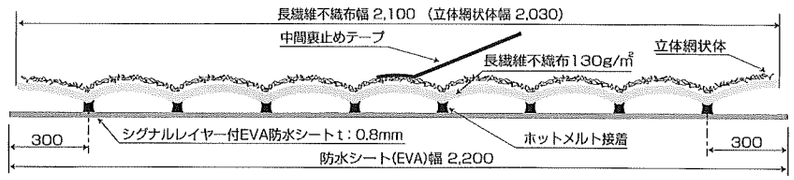


「立体網状体付き長繊維不織布」は通常の厚さ3mm の不織布に比較して約40倍の排水性能を有します。

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

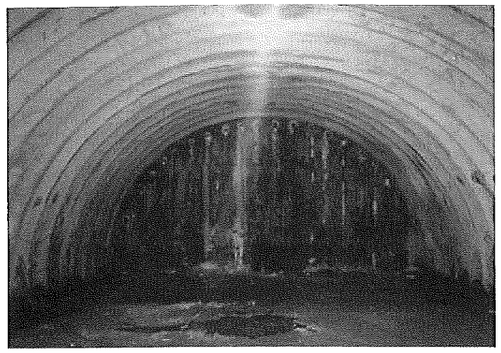


KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部：東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 TEL 03－6402－8251
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 ：東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 TEL 03－6402－8256

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

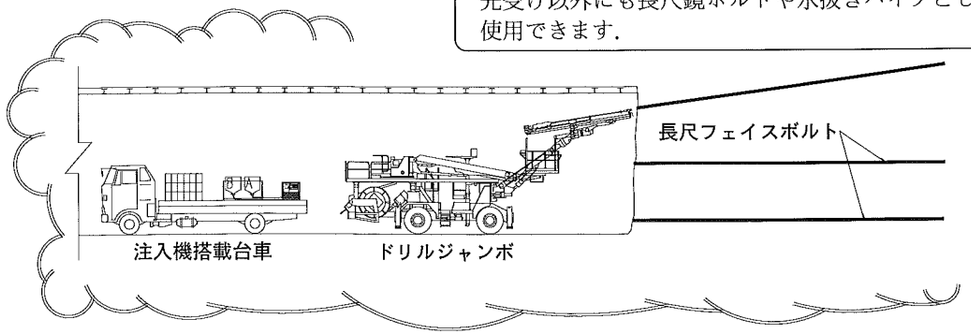
AGF工法のバリエーション

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

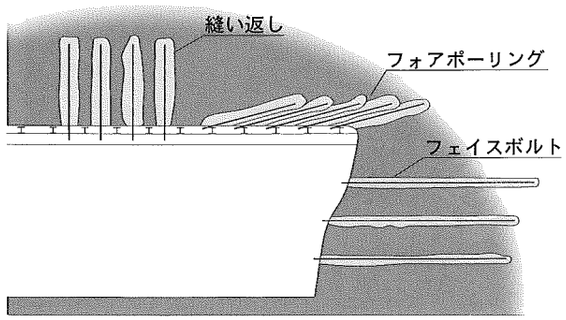
■シリカレジン注入材
- スーパーSRF（標準タイプ）
- スーパーSRF（Sタイプ）
- スーパーSRF（低粘度タイプ）

■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/

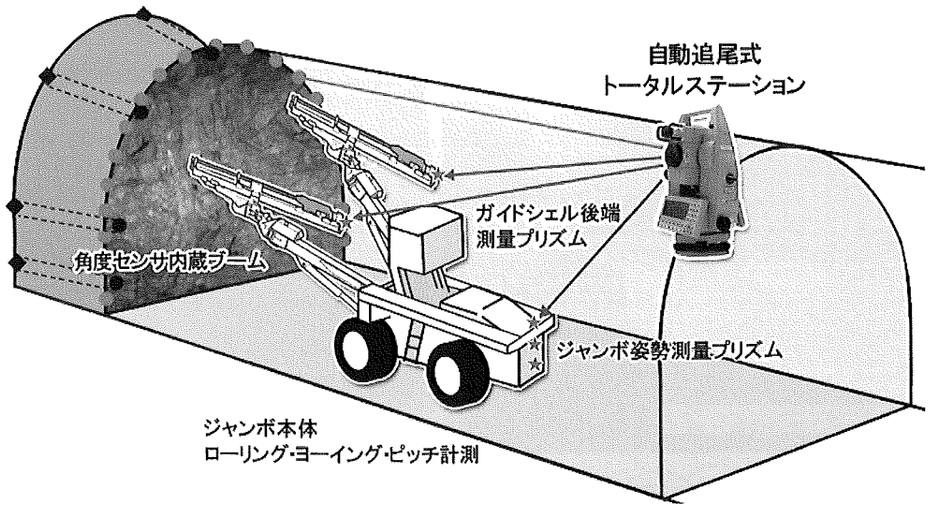
技術営業部
TEL）052-331-8821　FAX）052-332-0164
中部営業部
TEL）052-331-8821　FAX）052-332-0164
東京支店
TEL）03-3260-8321　FAX）03-3266-1648
関西営業所
TEL）06-6578-3235　FAX）06-6578-3237
九州営業所
TEL）092-574-0856　FAX）092-574-0846
北海道地区（㈱エイチ・アール・オー）
TEL）011-821-5868　FAX）011-821-6644

NETIS登録番号:KK-100049-A

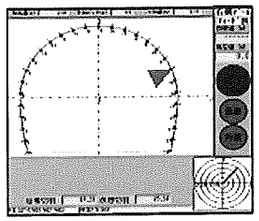
自動追尾式余掘り低減システム

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。

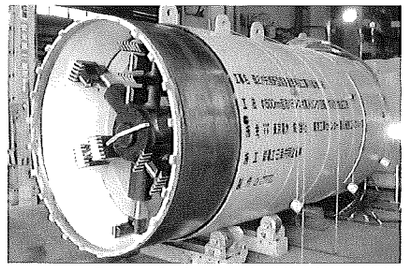
多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

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

FRD FURUKAWA 古河機械金属グループ 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

超流バランスセミシールド工法　超流セミシールド協会

貫入リング押出し回転切削型接合工法



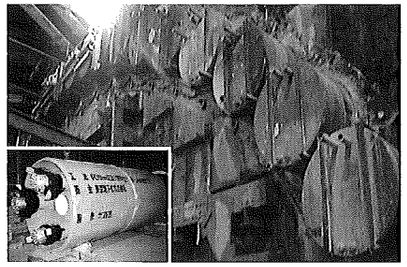
φ1500mm 貫入リング回転切削型掘進機(接合切削時)

① 人孔直接到達　② 到達作業省略形
③ 到達地盤改良省略　④ 急曲線・高深度施工

貫入リング回転切削型接合工法の特徴

- 呼び径φ800～φ1500に対応可能(それ以上はMELIT)
- PC・RC・鋼製セグメント等の既設構造物を直接切削接合可能
- 大規模な到達地盤改良が不要(掘進機内注入可)
- 人孔等の直接到達後、内部駆動装置を発進側へ迅速に引戻しが可能(駆動装置引き戻し再設置可能)
- 急曲線・高深度施工に対応可能
- 軟弱層～玉石・砂礫層に対応可能

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法



φ1016mm鋼管対応リターン回収機能付掘進機

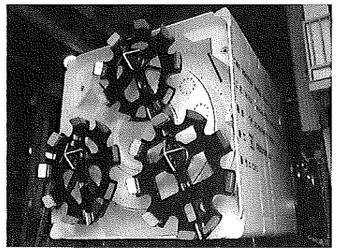
① 地下水位以下の施工が可能　② 高水圧対応
③ 長距離・曲線施工　④ 到達立坑不要

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法の特徴

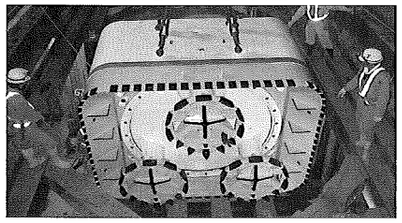
- JIS鋼管φ812～φ1216に対応可能(角鋼管も対応可能)
- 密閉型掘進機のため、高水圧下においても施工可能
- 長距離・急曲線推進が可能
- 軟弱層～粘性土層～硬質土層に対応可能
- 到達回収立坑がない場合でも、迅速な引き戻し回収が可能

ボックス推進工法　ボックス推進工法協会　NETIS　QS-100019-A

多軸自転・公転掘進機(内空寸法□3000×3000)



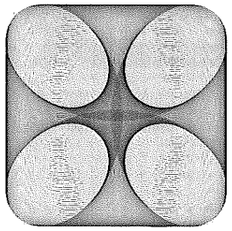
多軸自転・公転掘進機(内空寸法□2800×1800)



① 経済性　② 工期短縮　③ 狭路施工技術
④ 地表面への影響低減　⑤ 短距離からの施工

ボックス推進工法の活用例

- 電力函路や通信函路の構築
- 開かずの踏切の解決策として、軌道下の人道通路の構築
- 高速道路盛土区間の横断通路の構築
- 必要流量を確保した下水函渠・雨水函渠の構築
- 先受け大断面アンダーパス工事の構築



カッタービット軌跡

ボックス推進工法の特徴

- 低土被り推進が可能
- 長距離・曲線推進が可能
- PC・RCボックスカルバート函体および角鋼管に対応可能
- 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
- 高トルク掘進機のため、多用な土質に適用可能
- 工場製品のボックスカルバート函体を直接推進するため、迅速な施工が可能

協会事務局・技術本部　株式会社 アルファシビルエンジニアリング
αCIVIL
〒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

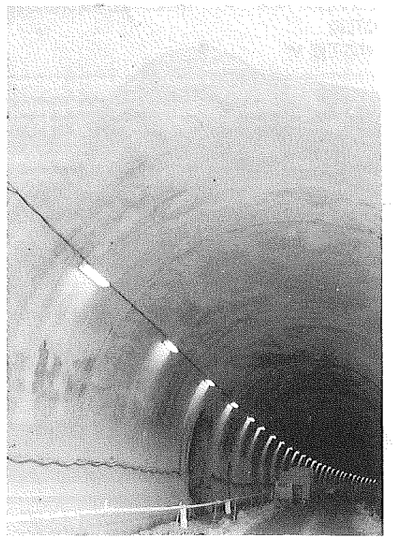
建設コンサルタント登録番号：建23第8677号
測量登録番号：登録第(2)-30507号
建設許可番号：国土交通大臣許可(特-23)第19193号

※各工法協会員名簿については、ホームページをご参照下さい。

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◆

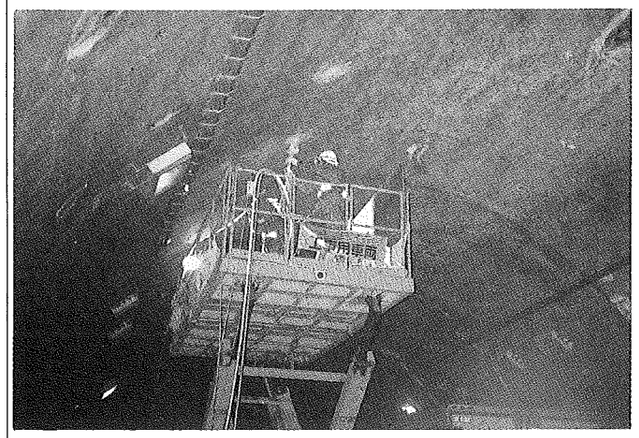
株式会社 マノール

〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)

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

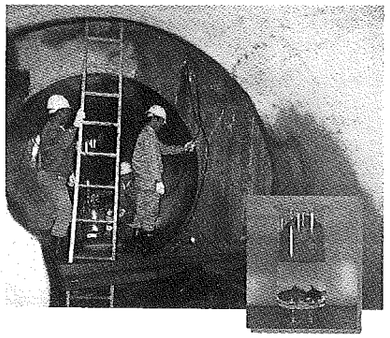


- シールドにおける滞水層，軟弱地盤の全面裏込め注入
- シールド急曲線部の裏込め注入（即時地盤反力の効果）
- トンネル構造物などの背面空洞充填
- 深基礎工法の裏込め（止水,裏込め後の即時掘削可能）

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
株式会社シーテクノ	〒371-0017	群馬県前橋市日吉町 3-22-3	TEL 027-235-5498
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

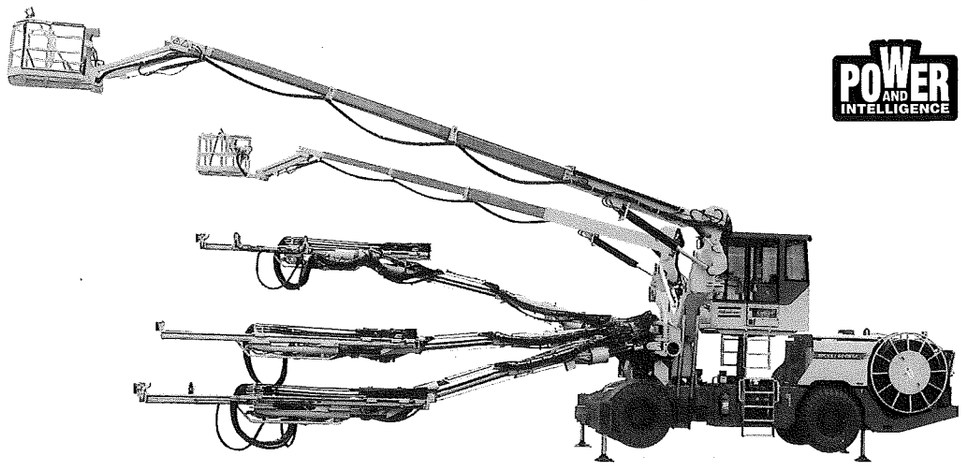
〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町 1-2-10 イトーピア日本橋SAビル MC山三ポリマーズ（株）内
TEL 03-3662-0253 http://www.chemicalfoam.jp

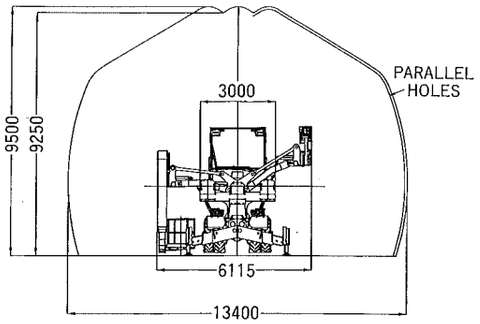
製造元 日清紡ケミカル株式会社 断熱事業部

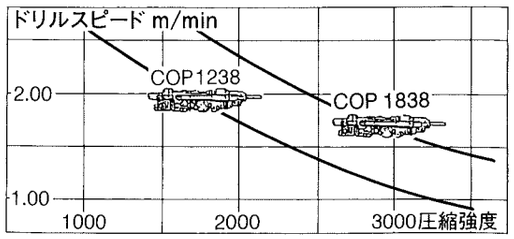
〒289-2505 千葉県旭市鎌数9163-13 TEL 0479-60-3555

アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

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



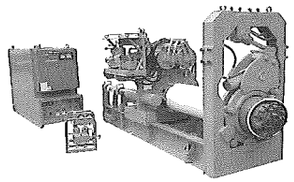




ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO.,LTD.

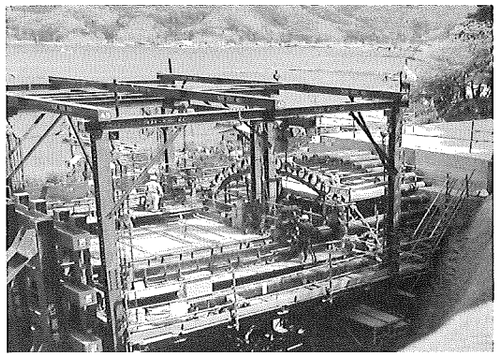
本　　社　〒116-0014　東京都荒川区東日暮里6-16-8桂ビル5階
TEL(03)3806-3377番　FAX(03)3806-8461番
関西支店　〒657-0864　兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4
TEL(078)802-5551番　FAX(078)802-5528番
九州支店　〒839-0841　福岡県久留米市御井旗崎1-6-14
TEL(0942)43-5315番　FAX(0942)43-5832番
広島出張所　〒739-2613　広島県東広島市黒瀬町楢原1336-1
TEL(0823)36-7787番　FAX(0823)36-7791番
兵庫工場　〒679-1332　兵庫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

THパイプルーフ工法

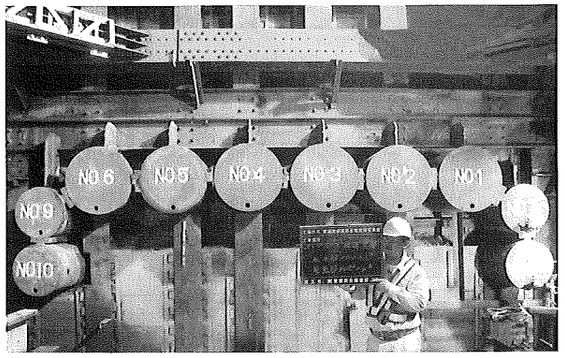


空間を確実に確保
高精度・全地盤型　水平鋼管圧入システム

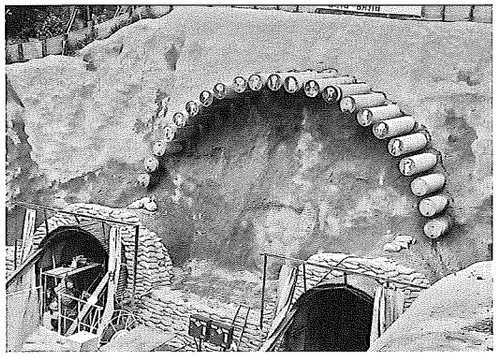
★特　徴★
- 本体掘削時の沈下抑制補助工法です
- 常時管芯チェックが可能で，方向修正方式を採用（精度が良いため支保作業が容易）
- オーガ中堀り掘削，地山との空隙に同時注入も可能
- 推進途中でのビットの交換が可能で地層変化に対応
- 適応管径は，φ200A～φ1200A
- 最大推進長は，約70～100m
- 推進機は，推力1000kN(100t)2000kN(200t)3000kN(300t)



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

最新型・電気集じん機

エコクリーンX

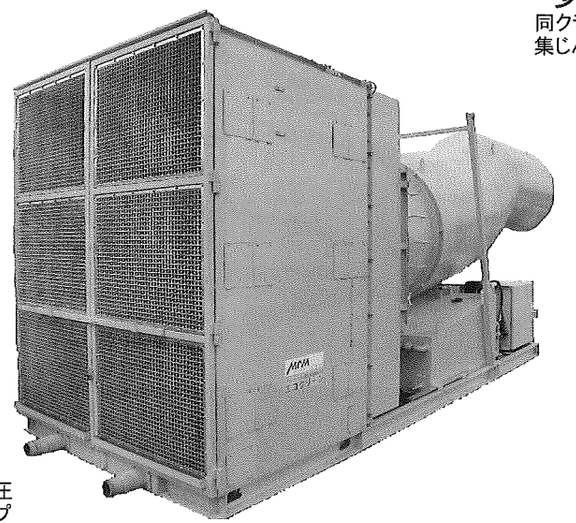
NETIS登録番号：KT-040047-A

このたび、弊社エムシーエムは1999年にクリンジェット1号機を現場納入して以来、
培ってきたノウハウを結集し、電気集じん機の大幅な性能アップを図った
「エコクリーンX」を開発いたしました。

極板放電方式
放電線をなくし消耗品の
削減と断線トラブルの撲滅

処理風量
750㎥/minから3000㎥
/minまで製作実績あり

高圧電源分割
集じんユニット毎の個別電圧
印加により集じん効率アップ



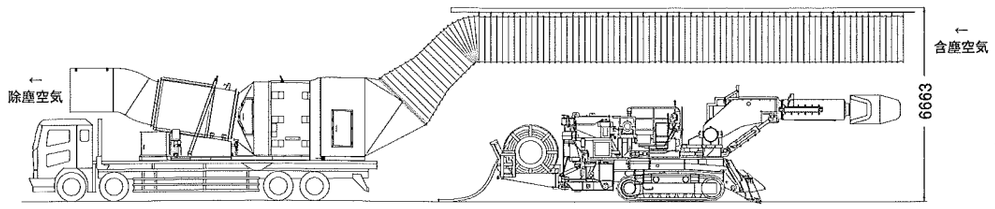
少ない消費電力
同クラスのフイルター方式
集じん機に比べおよそ1/4

コンパクト
同クラス集じん
機の中で最小

貯水タンク
自動洗浄が
随時可能

オプション
自走クローラ台車
自走ホイール台車
伸縮風管...etc.

伸縮風管(軽量型Φ1500,Φ1600製作実績あり)



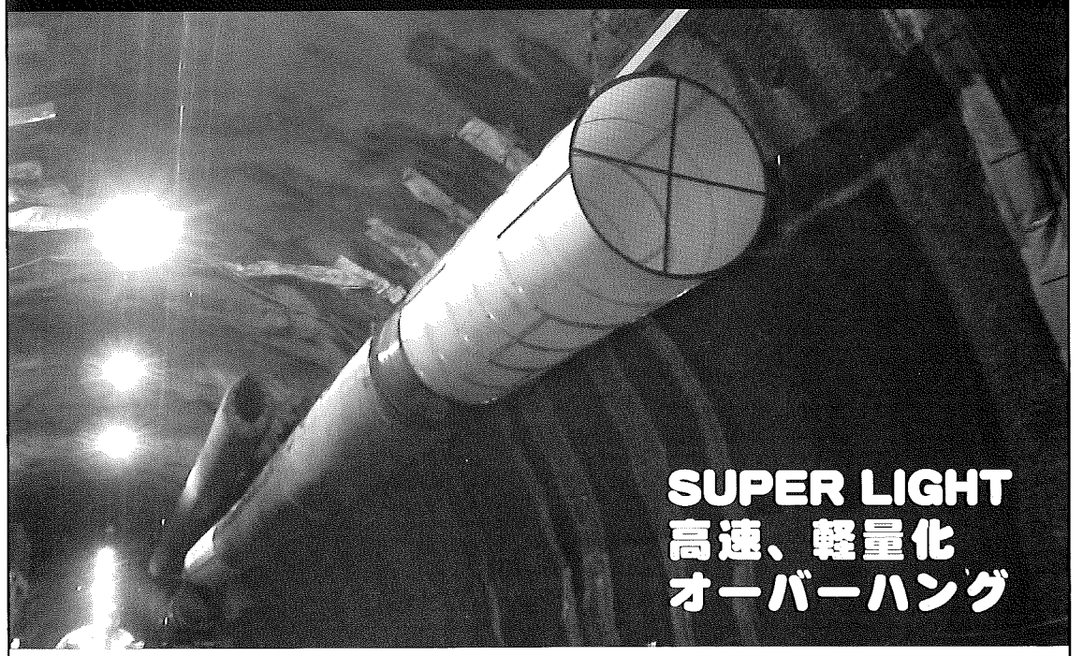
伸縮風管接続例

弊社では「エコクリーンX」以外にTBM用吹付け"サブショットシステム"等、多様なトンネル工事用システムを開発ご提供しております。
機器に関するお問合せはご遠慮なく下記までどうぞ。

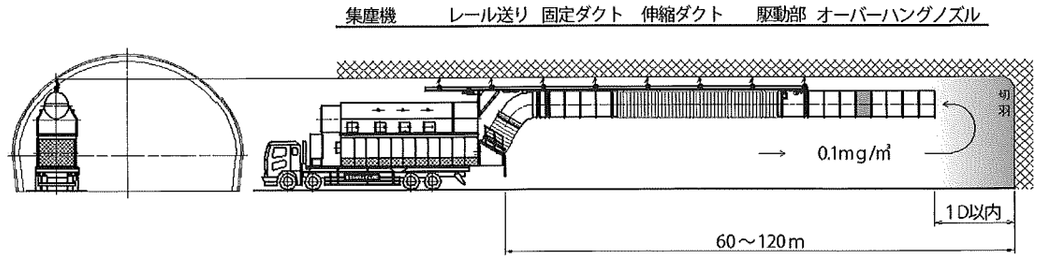
株式会社エムシーエム
http://www.mcmcm.jp
本　　社：愛知県名古屋市天白区植田東2丁目1014番地
tel.052-804-9633　　fax.052-804-1505
北陸センター：富山県高岡市福岡町下老子43番地2号
tel.0766-64-0351　　fax.0766-64-0352

時代は吸引捕集方式へ･･･

トンネルじん肺を根絶できる最良の方法です



- 吸引捕集方式は切羽直下で粉じんを吸引し、切羽の作業員を守ります。
- フィルタ式集塵機で大気レベルに清浄化、トンネル全域をきれいにします。
- 発破後の換気時間を短縮、余掘防止など生産性も向上します。
- 国際トンネル協会 (ITA) も推奨している方式です。



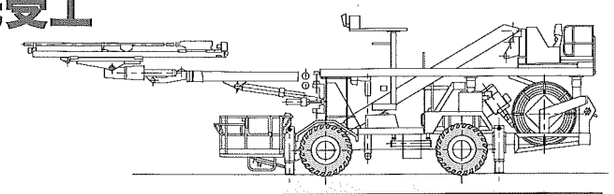
最適環境を創造する
株式会社流機エンジニアリング

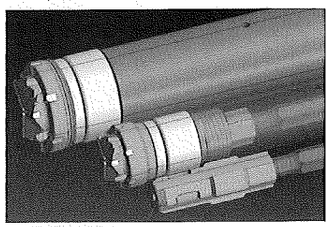
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI 聖坂ビル
：0120-449-881
U R L：http://www.ryuki.com/
E-mail：eigyobu@ryuki.com
(PC･スマホ専用)

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

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

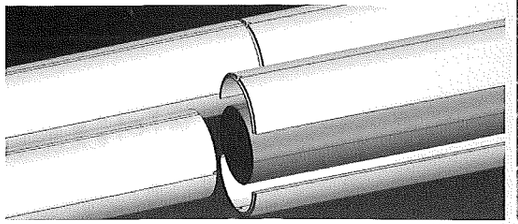


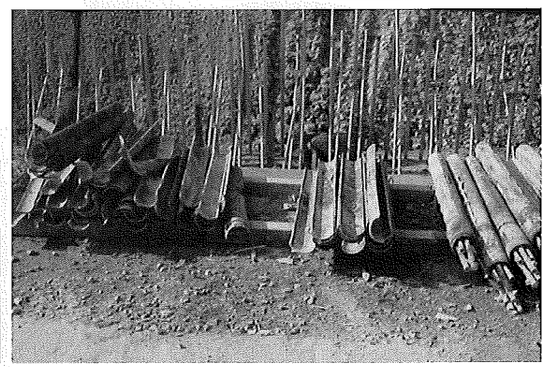


AGF-Me工法

- 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。



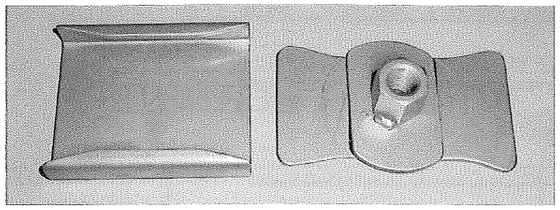


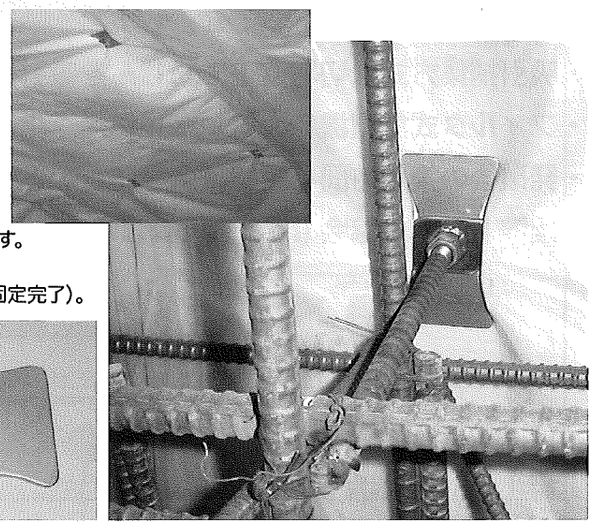
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

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)。





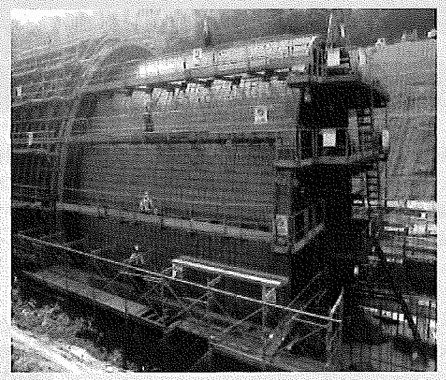
東邦金属株式会社 TOHO KINZOKU Co., LTD 東京営業部
〒107-0052
東京都港区赤坂2-19-8 赤坂２丁目アネックス６Ｆ
Tel: 03-5545-7900 Fax: 03-5545-7905
URL:http://www.tohokinzoku.co.jp

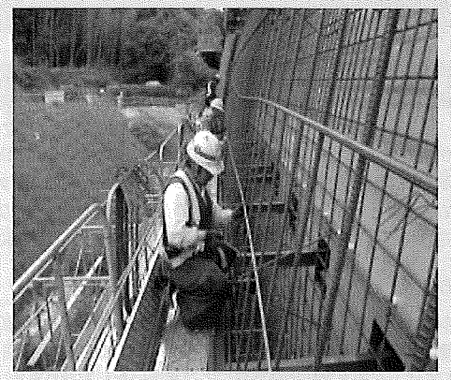
株式会社 トーキンオール
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel:**044-333-0012** Fax:**044-333-0321**
(お問い合わせ先)

(明かり巻き)

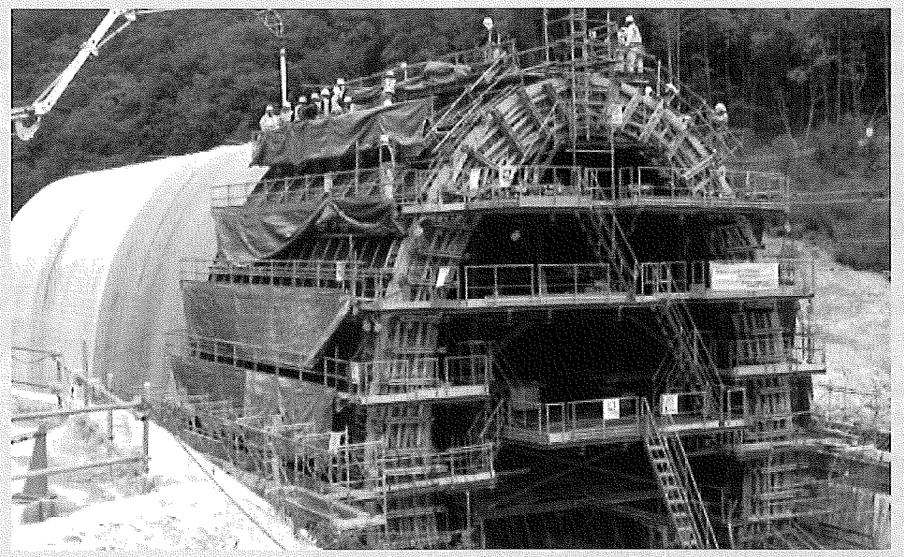
アーチカルバート用セントルの新工法

<画期的な構造により大幅にコストダウン>





IN側セントル窓から鉄筋工事用足場をスライドし、ケレン・鉄筋組立て工事を完了。
(スライド足場収納式IN側スライドセントル:特許品)



①移動式OUTセントルをセット → ②セパ取り付け → ③裸作業 → ④コンクリート打設
(左右スライド脱型式OUT側セントル:特許品)

M.K.E 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

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

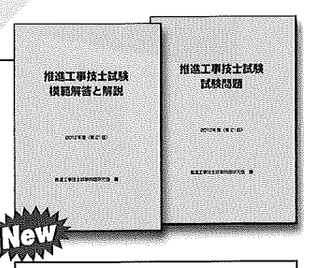
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/　月刊推進技術　検索

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11年間(平成14～24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



平成24年度版発売中!!

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。

1．内容と特長
- ○過去11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。

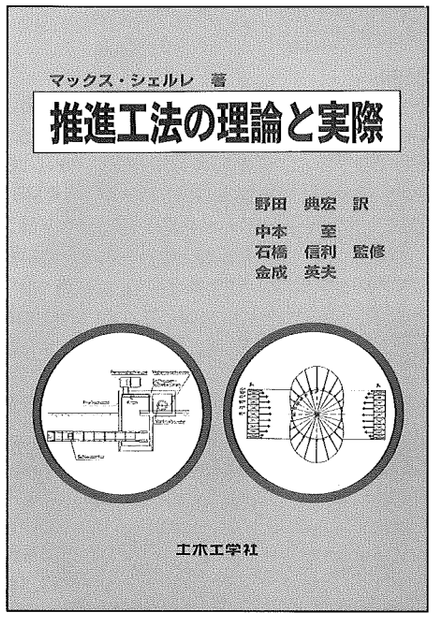
ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社(団体)名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。

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いろいろな疑問について理論的に解明した古典的な名著である。博士は理論面のみではなく、実際の施工にも従事し、実務にも精通していたので、実務面の良さも持っている。

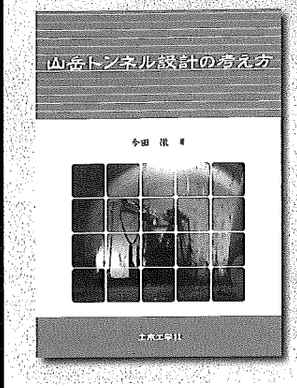
私たちは、野田氏（訳者）の翻訳を監修したわけだが、推進工法の理論面と実務面を実に詳細に解説している点に驚いた。したがって推進工法に従事し、一層活躍しようとする人たちに本書を推薦したいと思う。

〒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

山岳トンネル設計の考え方



決定版

東京都立大学名誉教授
今田　徹　著

B５判　183頁　上製本　定価3200円＋税

山岳トンネルを設計するうえでの考え方は勿論，
設計の留意点などを平易にまとめている．
山岳トンネル工事に携わる諸兄の必携書である．

《主要目次》

第 1 章　山岳トンネル技術の要素と変遷
第 2 章　トンネル掘削による周辺地山の挙動
第 3 章　岩石の特性
第 4 章　トンネルと地質
第 5 章　トンネルの線形
第 6 章　断面の設計
第 7 章　支保構造物
第 8 章　吹付けコンクリート
第 9 章　ロックボルト
第 10 章　鋼アーチ支保工
第 11 章　覆工
第 12 章　切羽の安定
第 13 章　掘削工法・掘削方式の選定
第 14 章　併設トンネルの設計
第 15 章　特殊地山
第 16 章　坑口の設計
第 17 章　環境対策

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

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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

トンネルの発破技術

監修 山田隆昭　　B５判　76頁　定価 1,500 円＋税（送料別途）

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで！
振動や騒音の環境問題を詳述!!

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

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

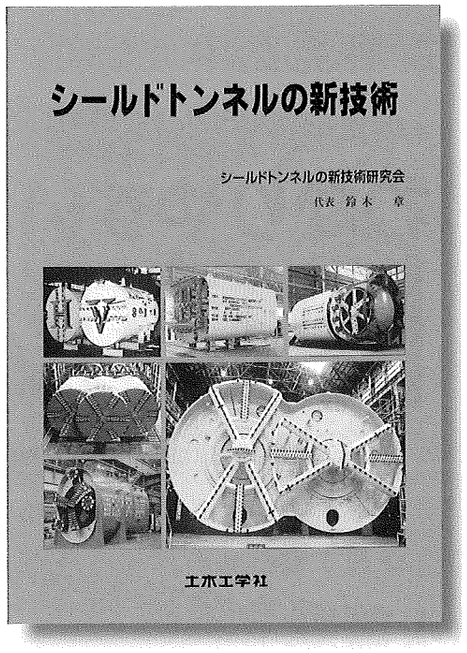
〈主要目次〉

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

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

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

シールドトンネルの新技術



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

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

主要目次

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

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

第3章　設計・施工編
1. 覆工
　一次覆工の設計／二次覆工の設計と施工／シールドトンネルの防水技術
2. 立坑の設計と施工設備
　立坑の設計と施工
3. 仮設備
　仮設備の計画
4. シールド工事の自動化
　掘進管理システム／方向制御システム／セグメント自動組み立てロボット／自動搬送システム／その他の自動化技術
5. 掘進と施工管理
　シールド掘進と施工管理／シールド機の発進と到達／裏込め注入工法と注入効果／曲線施工と地中接合／補助工法の種類と選定
6. 近接施工と環境対策
　近接工法と対策／アンダーピニングおよび支障物対策／シールド工事と環境対策
7. 新工法の現状と将来展望
　自由断面シールド掘進（縦楕円断面）／異形断面シールド／分岐・接合シールド／球体シールド（ホルン）工法／複円形，矩形および拡大シールドの開発動向／ECL工法
8. 切羽の安定と地盤変状防止
　切羽安定の理論と実際／泥水式シールド工法の切羽安定／土圧式シールド工法の切羽安定／特殊条件下の切羽安定
9. 地盤変位の理論と実際
　地盤変位の実態／地盤変位の予測解析

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

参考文献／索引

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

道路，トンネル設計（本体工，換気，防災，照明，施工管理他）
トンネル現場診断
（社）建設コンサルタンツ協会会員　ISO9001取得
株式会社 ロード・エンジニアリング
会長 田島利男　代表取締役社長 清水 洋（技術士）
（技術士・土木学会フェロー会員）
常務取締役 堀内浩三郎（工学博士）大阪支店長 亀甲谷 義高（技術士）
本社：〒116-0013　東京都荒川区西日暮里5丁目24番7号　電話(03)3891-0711
大阪支店：〒569-1133　大阪府高槻市川西町2丁目21番38号　電話(072)691-0711
福岡支店：〒812-0011　福岡県福岡市博多区博多駅前4丁目25番14号　電話(092)436-1588
沖縄営業所：〒901-2122　沖縄県浦添市勢理客4丁目16番9号　電話(098)870-6411

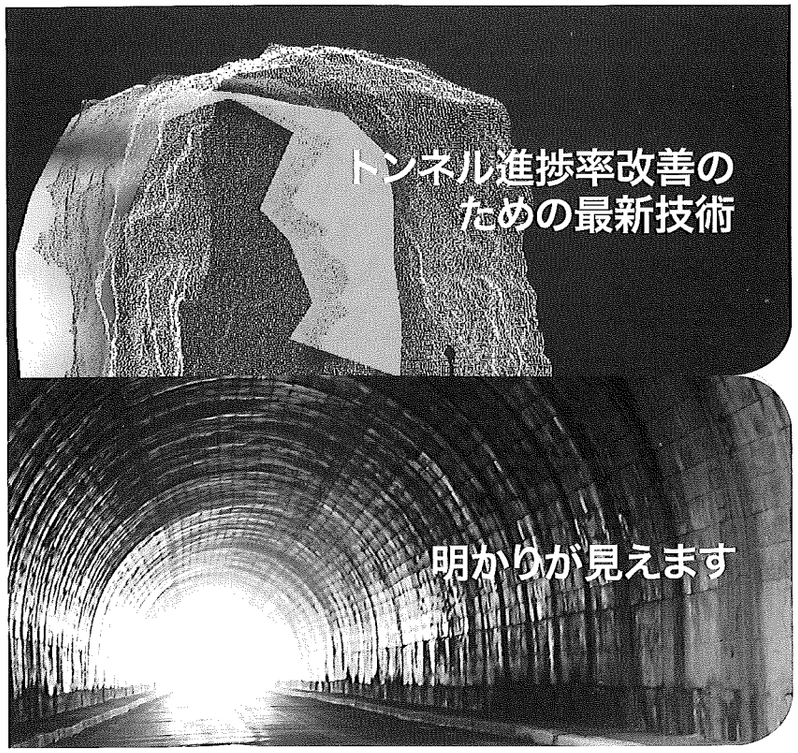
トンネル工事からパンクを追放
坑内用特殊複層タイヤ
特許第1610830号

建設車両のタイヤのパンク、磨耗、破損を大幅に低減、車両の有効利用、修理に伴う人件費の削減等、工事の進捗に大いに貢献します。
- タイヤ間の間隙が無いため石を噛まない
- サイドの切断に強い
- 石および普通釘に強い
- 弾性波

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

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

中濃産業株式会社
代表取締役 土田義式
本社　〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241㈹　FAX(0581)38-3383
営業所　〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990㈹



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。

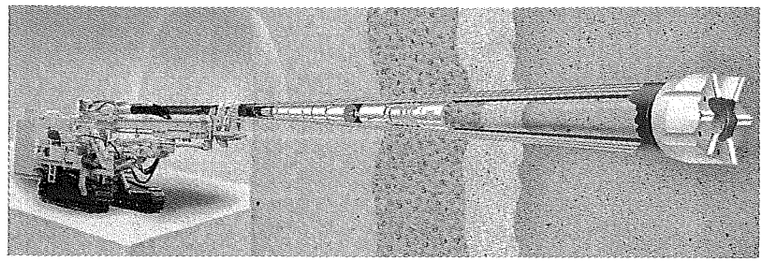
これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership（パートナーシップの力）」です。

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

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

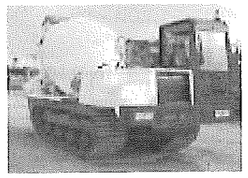
ゴムクロ・ミキサー車

国土交通省排ガス2次トンネル工事用指定

クローラーだから小旋回
斜路、軟弱路盤等悪路に強い!!
後部運転席付。小断面でも前後進が可能!!

【仕様】	ゴムクローラ式ミキサー車 TGM-MR45T 上部ミキサー：カヤバ製（混合容量4.6m³）		
全長	7,500mm	タンブラ中心間距離	3,870mm
全幅	2,690mm	クローラ全長	9,800mm
全高	3,620mm	クローラ幅	700mm
最低地上高	530mm		（100ピッチ×98リンク）
空車質量	11,000kg	セメント積載時質量	22,000kg
形　式	三菱6D-TLE2B	定格出力	165kw/2,700min
排気量	7,545cc	最大トルク	700N・m/1,300min
速度1段	最大 7.6km/h		
速度2段	最大 20.0km/h		
空車時接地圧	20kpa	搭載時接地圧	40kpa

【TGM-MR45T Ⅱ 仕様】
- ドラム回転電動式（オプション）
- 生コン荷下時使用後部アウトリガー
- ドラム回転&アイドルアップ機構
- オフロード法少数特例承認機（承認番号） NS-641



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

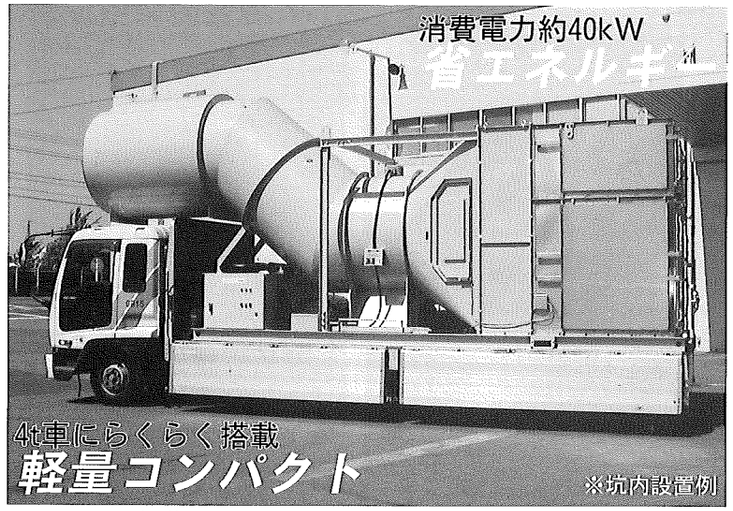
■北海道営業所
tel：0133-72-3715
fax：0133-72-3716

■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



National電気集塵機クリンジェット（2,000m³/minタイプ）

RENT

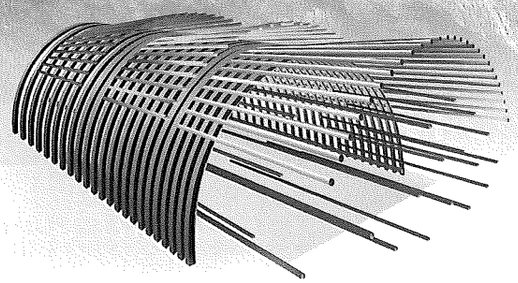
取扱レンタル商品

- 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

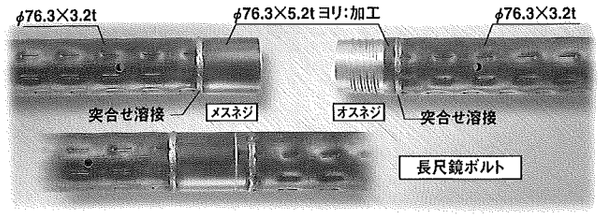
〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-12-9 NIビル8階　TEL：03-5642-6750　FAX：03-3249-0415
URL：http://www.rent.co.jp　E-mail：kudo.yuji@rent.co.jp

ユニークな発想でVEを提案



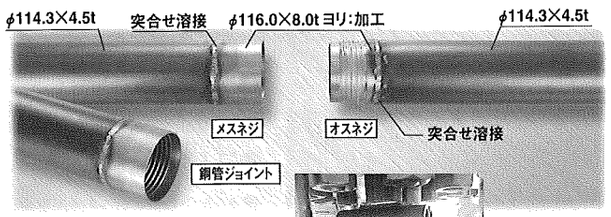
FIXチューブ(S型)（ストロング）

※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!

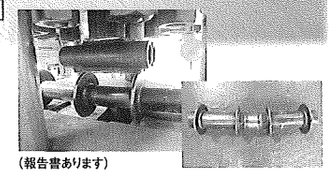


AGF-STD工法

※軽量化による作業性とねじ強度の改善!
※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



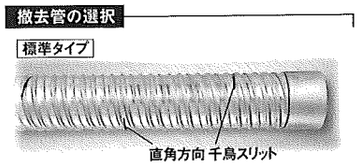
曲げ耐力30%UP!!



（報告書あります）

接続部の抗折力試験

撤去管の選択



STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

※ウレタン系注入材：NEW-TSRF、NEW-TBU
※セメント系注入材：コロイダルスーパー、デンカES
※セメント系充填材：デンカPモル
※高速フォアボーリング：SP-IF工法
※高速ルートパイル：SPフィックスパイル工法
※φ27.2注入管、自穿孔ボルト各種在庫あり

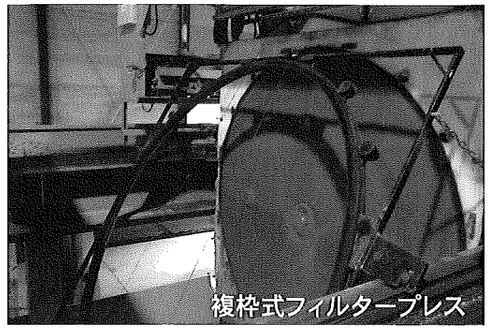
STE
エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0833　大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.072-990-0250 FAX.072-990-0251
http://www.st-eng.co.jp

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

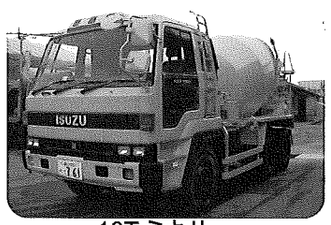
100.0㎥/Hr 濁水処理設備


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　5月号目次　Vol.44, No.5, 2013 May

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

鉄道トンネルの現状と技術開発
中井　雅彦……5

■研　　究

供用中の山岳トンネルで発生する路盤隆起現象とその対策工の効果
嶋本　敬介・野城　一栄・鈴木　　尊・朝倉　俊弘……51

■報　　告

海外におけるトンネル支保工の事例調査
JTA山岳工法小委員会支保ワーキング……41

■施　　工

急勾配・小土かぶり条件下における函体推進(R&C)工法の施工
―関西線平野駅改良　馬場地下道新設―
太田　浩史・氷上　洋一……7

前例を生かし水抜きボーリングを駆使して未固結砂質地山を掘る
―主要地方道金沢井波線　清水田島トンネル―
宮本　義浩・川村　國夫・本野　圭司・筒井　弘之……17

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

有楽町・副都心線並行区間の線路交差を2本の単線連絡トンネルで解消(その3)
―東京メトロ　小竹向原駅～千川駅間連絡線シールド工事―
伊藤　　聡・嶋田　　司・山上　　享・根岸　秀男……27

■連載講座

トンネル技術者のための地相入門(13)
―地形改変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

日本一「すみたいまち」をめざす岩手県住田町から
藤原　正雄……16

「水のふるさと」相模原市緑区より
川口　幸治……26

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

トンネルの旅に魅了されて
猪俣　　正……35

■資　　料

土木情報
編　集　部……50

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……60

■会　　報

会　報
日本トンネル技術協会……73

【表紙説明】　有楽町・副都心線並行区間の線路交差を2本の単線連絡トンネルで解消(その3)
―東京メトロ　小竹向原駅～千川駅間連絡線シールド工事―

東京メトロ有楽町線と副都心線が並走する小竹向原駅～千川駅間において，列車本数の増加に対応するため，線路を立体交差にすることを目的に有楽町線の連絡線を建設した．このうち，池袋方面連絡線を縦長形状の複合円形断面の泥土圧シールドにて築造した．写真は，シールドの発進坑口である．〔**写真提供**：東京地下鉄(株)〕(本文27頁参照)

This May Debut

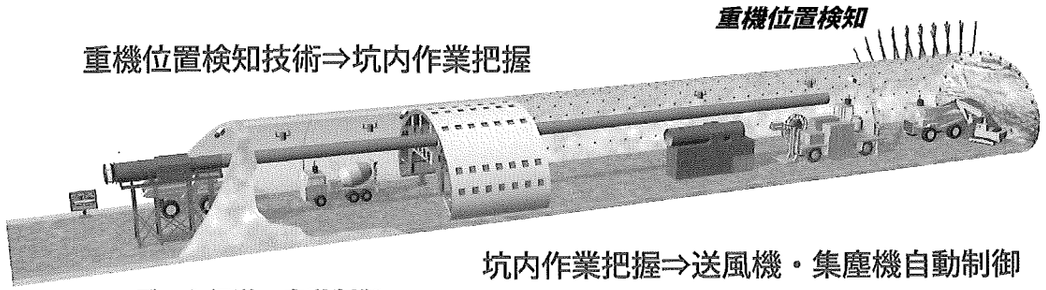
TAG Navi－V（換気自動制御）

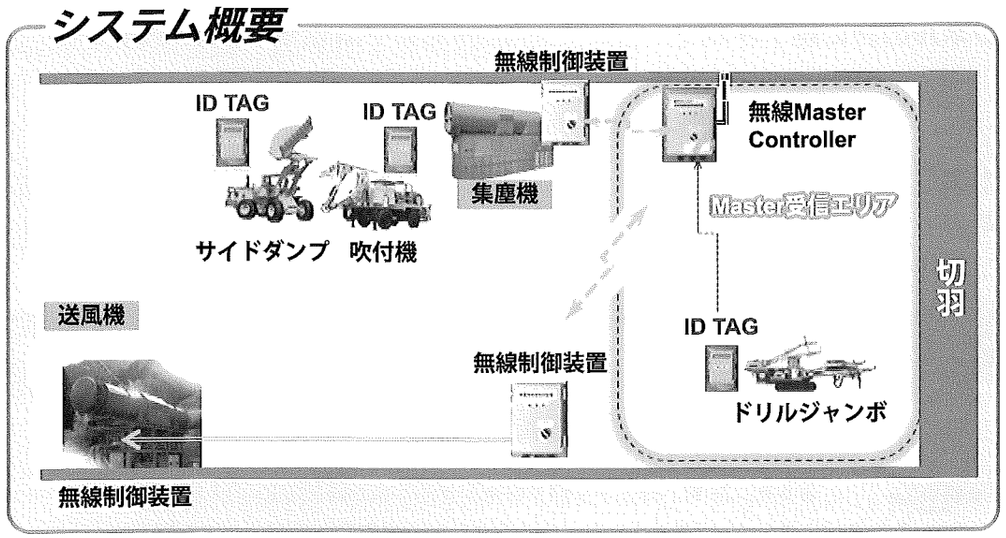
Automatic Ventilation Control System

CYBER NATM

TAG Navi - V（換気自動制御）は坑内作業（削孔作業・ずり出し作業・吹付作業等）を切羽付近で自動検知し、作業データを坑外に設置しているコントラファンに無線伝送し、自動的にインバーター制御を行い、電気量とＣＯ2排出削減を目標とする新しい省エネルギー換気システムです

地球の為に出来ること





株式会社流機エンジニアリング

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

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

西　岡　和　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

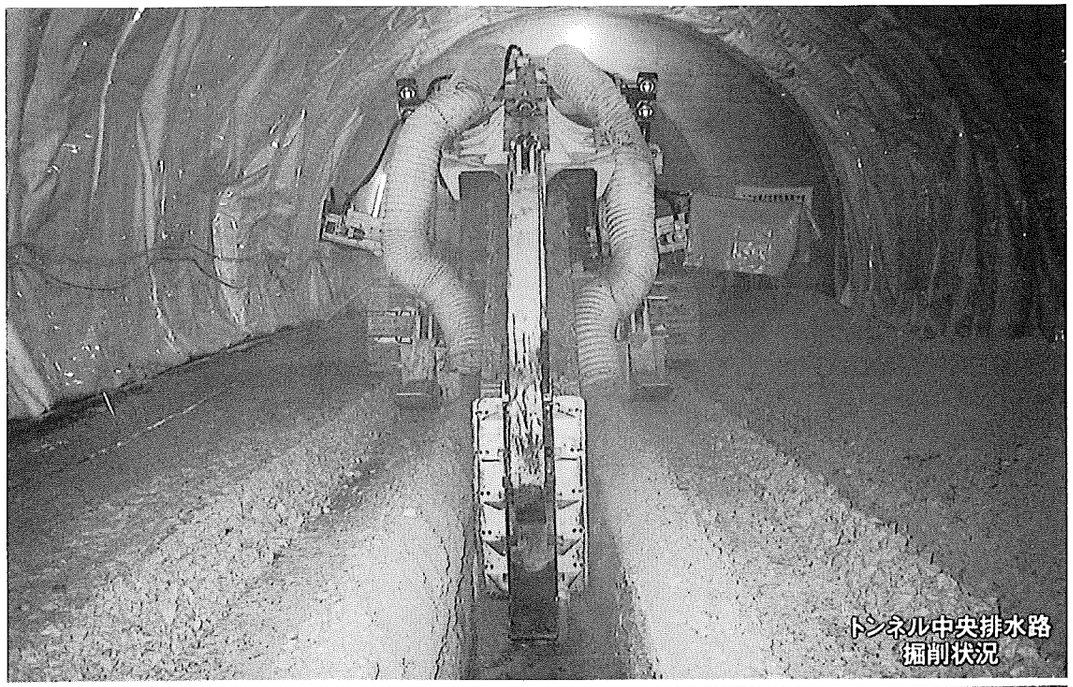
藤　井　義　文
株式会社竹中土木執行役員

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

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

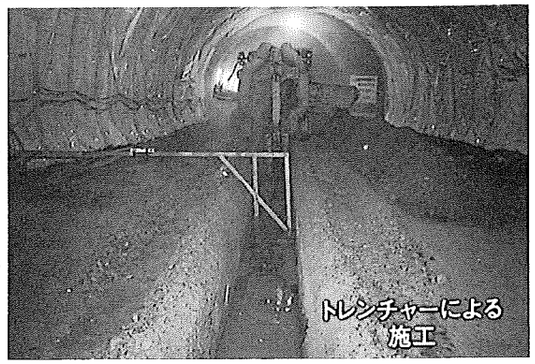
トレンチャー

硬質地盤の溝掘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/D6	40/30	60/30
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 cm	60	75	70	70
掘削岩の硬さ(最大)	500kg/cm²	700kg/cm²	700kg/cm²	1000kg/cm²
重量 t	36	40	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)213-7024(代) FAX(026)282-5803 http://www.wkk.co.jp/

編集委員会の構成（五十音順・敬称略）

〔編集委員長〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

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

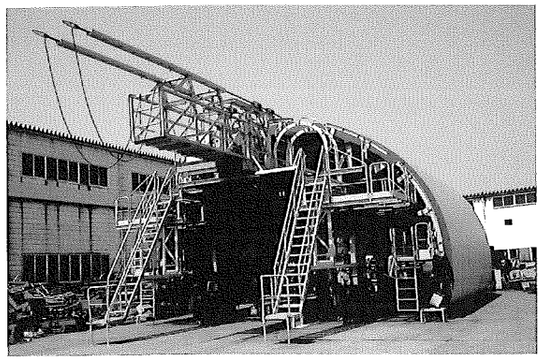
柳雄
東京都下水道局建設部設計調整課長

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

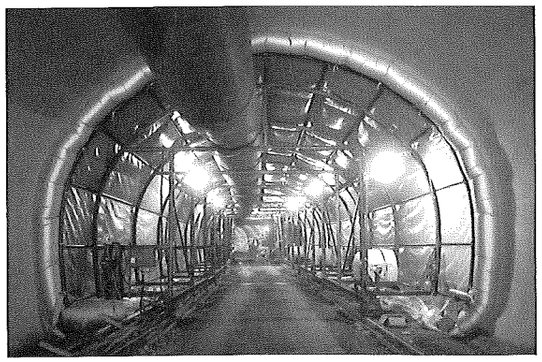


期待される効果・特徴

- 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.CG-080012-A （製造：株式会社マシノ）



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. 44　No. 5　掲載概要

掲載頁 7

急勾配・小土かぶり条件下における函体推進(R&C)工法の施工
—関西線平野駅改良　馬場地下道新設—

西日本旅客鉄道(株)　太田　浩史

鉄道・運輸機構が進める梅田・吹田信号場基盤整備事業の一環として，梅田貨物駅の機能の半分が百済貨物駅へ移転される．そのなかで，貨物トレーラーの走行ルート確保を目的とした地下道新設工事が計画され，JR西日本では関西線直下部分について地下道新設工事を受託施工している．地下道新設のうち当社受託範囲は延長15mであるが，ボックス推進勾配8.5%と鉄道直下におけるR&C工法では施工事例がないほど急勾配となっており，最小土かぶりについても331㎜ときわめて小さい．

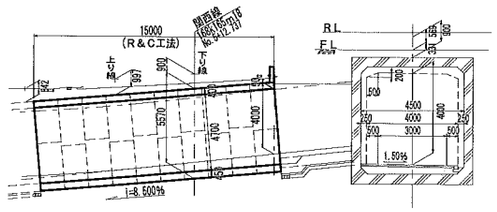
本稿では，上記条件下における施工方法選定，軌道狂い，推進精度の確保について実施した対策と施工結果について報告する．

Box Culvert Jacking with Condition of Steep Incline and Small Cover—Installation Works of Baba Underpass, Kansai Line Hirano Station Improvement Project—

By Hirofumi Ota, West Japan Railway Company

As part of the Umeda/Suita freight station development project being conducted by the JRTT, half of the function of Umeda Freight Station will be relocated to Kudara Freight Station. In order to do this, the construction of an underpass was planned to secure a route for freight trailer trucks. JRTT entrusted JR-West to conduct the section of this underpass works directly underneath the Kansai Line. The section is 15 m long but it has a steep slope of incline 8.5%, but there is no construction precedent of box culvert jacking under railway tracks with the condition of such steep inclination and small cover of 331 mm at the minimum.

This report gives information on the selection process for construction techniques adapting to the above conditions, measures against track irregularity and securing jacking accuracy as well as construction results.



図はボックスカルバート側面図・断面図

掲載頁 17

前例を生かし水抜きボーリングを駆使して未固結砂質地山を掘る
—主要地方道金沢井波線　清水田島トンネル—

石川県　宮本　義浩

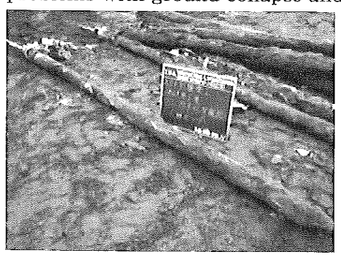
石川県金沢市東部地域には，第四紀更新世の未固結砂質地盤が分布しており，1990年代からいくつかのトンネルを施工してきた．そこでは，この未固結性状に加えて，被圧地下水による地山崩落や流砂などさまざまなトラブルが，ほとんどのトンネルで発生した．このたび，この地域で新たに石川県による主要地方道にて「清水田島トンネル」(延長802 m，掘削断面２車線道路89.0～97.0m²)が計画，施工された．そこで，これまでに経験したいくつかの掘削トラブルを教訓に，調査時および施工時ともに，入念な地層状態の把握，入念な未固結地盤の物性の確認，そして，入念な地下水性状の推定に最善を尽くし，手戻りのないトンネル工事を目指した．その結果，約10か月間で延長327m(第２工区)を何のトラブルもなく，貫通できたことから，それらの経緯をここに報告する．

Excavate Unconsolidated Sandy Ground with Drainage Boring Utilizing Lessons from Previous Cases —Major Prefectural Road Kanazawa-Inami Line Shimizu-Tanoshima Tunnel—

By Yoshihiro Miyamoto, Ishikawa Prefecture

Pleistocene unconsolidated sandy soil is distributed in the eastern part of Kanazawa City, Ishikawa Prefecture. A number of tunnels have been constructed there since the 1990s. Almost all of these tunnels had various problems with ground collapse and quicksand caused by artesian water in addition to unconsolidated ground.

The Shimizu-Tanoshima Tunnel (2-lane road tunnel, length: 802 m, excavation area: 89.0-97.0 m²) on a major prefectural road of Ishikawa Prefecture was constructed in that place. Therefore, we learned the lessons of the excavation problems experienced previously. Throughout surveying and building, we gained a detailed understanding of the condition of geological structure, verified the physical properties of the unconsolidated ground and estimated underground water characteristics in detail with the aim of no construction rework. As a result we excavated the second section of the tunnel in length of 327 m and had penetrated in ten months with no rework. This report contains their process.



写真は改良体形成

掲載頁 27

有楽町・副都心線並行区間の線路交差を２本の単線連絡トンネルで解消(その３)

—東京メトロ　小竹向原駅～千川駅間連絡線シールド工事—

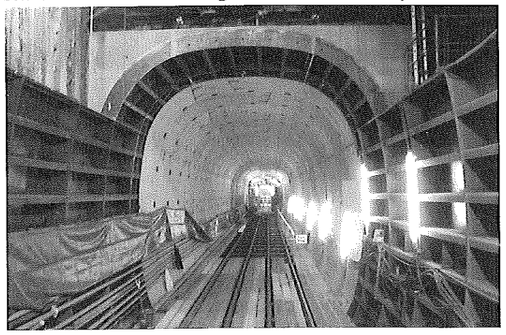
東京地下鉄(株)　伊藤　聡

東京メトロ有楽町線と副都心線は，和光市駅から池袋駅まで並走している．この両線は，小竹向原駅で西武有楽町線と，和光市駅で東武東上線と相互直通運転を行っており，平成25年３月16日に副都心線渋谷駅において東急東横線，および横浜高速みなとみらい線との相互直通運転を開始した．この相互直通運転開始後の列車本数の増加に対応するため，さらに平面交差部における列車の通過待ちを解消し輸送の安定性を向上させるため，小竹向原駅から千川駅間において，線路を立体交差にすることを目的に有楽町線の連絡線を建設している．本稿は，この有楽町線連絡線設置工事のうち，池袋方面連絡線のシールドトンネルを，縦長形状の複合円形断面を採用した泥土圧シールドにて築造した工事事例について報告する．

Resolve Level Crossing of Yurakucho Line/Fukutoshin Line with Two Connecting Tunnels (part 3)—Tokyo Metro Kotake-Mukaihara Station - Senkawa Station Connecting Line Shield Works—

By Satoshi Ito, Tokyo Metro Co., Ltd.

The Tokyo Metro Yurakucho line and Fukutoshin line run side-by-side from Wako-shi Station to Ikebukuro Station. These two lines operate a mutual through service at Wako-shi Station with the Tobu Tojo Line and at Kotake-Mukaihara Station with the Seibu Ikebukuro Line / Yurakucho Line. Further more, the Fukutoshin line started a mutual through service at Shibuya station with the Tokyu Toyoko Line and the Minato-Mirai Line on 16th March, 2013.



写真は発進坑口

In order to respond to the increase in the number of trains after the start of these mutual through services and in order to resolve the problem of waiting for trains to pass through at the level crossing sections, a Yurakucho Line connective tunnel is being built between Kotake-Mukaihara station and Senkawa station with the aim of creating a grade separation for the tracks.

This report gives information on works of the shield tunnel on yurakucho line in direction of Ikebukuroto. It was built in composite circular cross section with the slurry shield TBM.

掲載頁 41

海外におけるトンネル支保工の事例調査

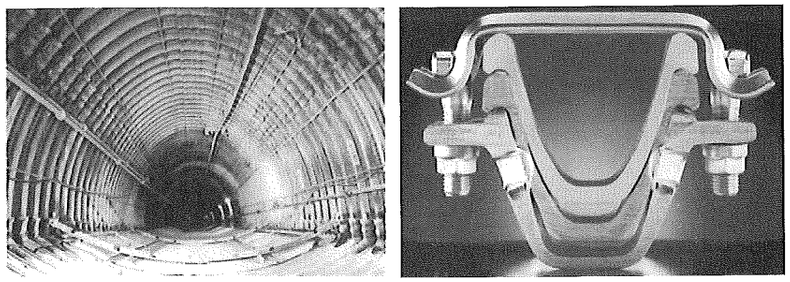
JTA山岳工法小委員会支保ワーキング

近年，山岳トンネルではトンネルの品質向上を目的として，吹付けコンクリート，ロックボルト，鋼製支保工に代表される支保工に関するさまざまな技術が開発されている．本WGでは，山岳トンネルにおける支保工のあり方や今後の検討の方向性を探るために，海外トンネルの岩盤分類や指針，支保パターン事例などを調査した．

Survey of Tunnel Support in the Other Countries

By JTA Mountain Tunnelling Subcommittee Support Working Group

In recent years, various support techniques has been developed, in particular in shotcrete, rock bolts and steel supports, with the aim of improving mountain tunnel quality. In order to explore the future of supports and direction of investigation in mountain tunnels, our working group researched rock classifications, specifications and examples of support structures, etc. regarding tunnels in the other countries.



写真はGotthardトンネルで採用された従来型(U形)の可縮支保工(C-4)

掲載頁 51

供用中の山岳トンネルで発生する路盤隆起現象とその対策工の効果

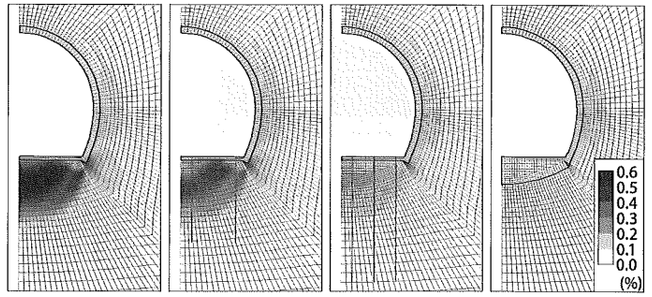
(公財)鉄道総合技術研究所　嶋本　敬介

山岳トンネルにおいて，供用後に路盤隆起(盤ぶくれ)が発生し，対策が必要となることがあるが，対策工の選定は経験に頼ることが多く，その合理的な設計は重要な課題となっている．そこで本研究ではまず，供用後に発生した路盤隆起事例およびその対策工の事例を整理した．続いて路盤隆起現象を再現する模型実験を実施した．模型実験においては，対策工の仕様をパラメータとし，路盤隆起の発生メカニズムや対策工の効果について検討した．さらに，実際に路盤隆起が発生した山岳トンネルの再現解析を実施し，路盤隆起が発生した状態に対して，下向きロックボルトやインバートといった対策工を実施した場合の効果を数値解析により検討した．

Base Heave in In-service Mountain Tunnel and Effects of Countermeasures

By Keisuke Shimamoto, Railway Technical Research Institute

Base heave will occur in mountain tunnels in service and measures will be required. But the selection of countermeasure works relies on experience, and the logical design process of the countermeasures is an important subject. Therefore, first of all, this research organized examples of base heave that occurred in service and countermeasure works implemented against them. Then we conducted model test that simulated the base heave phenomena. Generating mechanism of base heave and the effects of countermeasure works were investigated in these tests using specifications of the countermeasure works as parameters. Furthermore, we implemented analytical simulation of mountain tunnels in which base heave had actually occurred and we investigated effects of countermeasure works such as downward rock bolts or invert concrete casting which would be took against situations where base heave would generate using numerical analysis.



(a)　ケース１　対策なし　(b)　ケース２　RB(補強量中)　(c)　ケース３　RB(補強量中)　(d)　ケース４　インバート打設

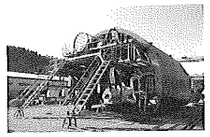
図は対策工実施後に発生したせん断ひずみのコンター図

管理しながらコンクリートを育てる

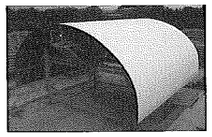
NETIS登録No.CB-120032-A

コンクリートトータル養生システム

加温しながら初期強度を上げる
加温養生（型枠）



加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生

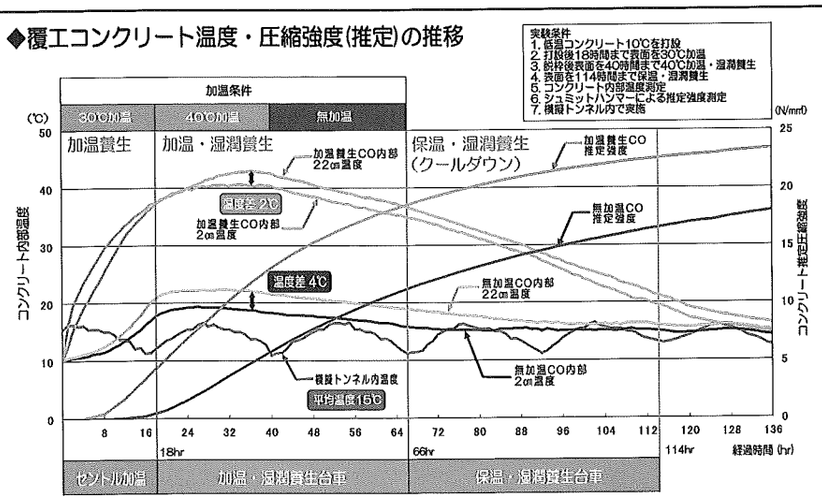


保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生

コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

コンクリート打設完了から養生完了までのコンクリート内部温度及び推定強度を表示します
必要なコンクリート強度から使用者の判断で任意に加温設定が可能です

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

本社 岐阜県本巣市十四条 144 番地
TEL 058-323-2001 FAX 058-323-1176
URL http://www.gifukogyo.co.jp/

東京支店 TEL 03-5836-0531
仙台営業所 TEL 022-259-2239
九州営業所 TEL 092-918-3880

【製作・販売協力】
テクノプロ株式会社
株式会社 東宏

巻頭言

（題字　佐藤信彦会長）

鉄道トンネルの現状と技術開発

東日本旅客鉄道株式会社執行役員建設工事部長
中井雅彦

最近の土木分野を取り巻く情勢として，構造物の老朽化の問題があげられます．1960年代の高度経済成長期から建設が進められてきたわが国のインフラストラクチャー(社会基盤)は，半世紀を経過するものが急増してきており，今後は老朽化に伴う更新，あるいは大掛かりな補修が想定される状況となっています．そのような状況はこれまでも十分予測されていましたが，昨年末に発生した道路トンネルの天井板崩落事故などの落下事象により，改めて構造物の更新，検査方法を含めた維持管理の必要性・重要性などがクローズアップされている状況です．

鉄道は1872(明治５)年に新橋～横浜間の開通後，全国に鉄道ネットワークが形成されてきました．その中で弊社の保有するトンネルは，山岳，シールド，開削，沈埋，地下駅と多種にわたり，水路トンネルも含めると1,000km近いトンネルを保有しています．トンネル種別では山岳トンネルが圧倒的に多く，1950(昭和25)年以前に建設された経年50年を超えるトンネルが全体の25%近くを占めています．このような膨大なトンネルのメンテナンスを効率的に行うためには，最新の診断技術を駆使した検査方法が必要となります．弊社ではトンネルの覆工展開写真を定期的に撮影し変状の進行程度を把握する覆工表面撮影車，マルチパスレーダーにより非破壊で覆工内部を検査するトンネル覆工検査車などを開発し実用化することにより，これまで経験によるところの大きかったトンネル検査を定量的かつ効率的に実施しています．

鉄道トンネルの補修・補強工事は，列車運行時間帯を避けた夜間の終電から初電までのわずかな時間に限られ，資機材などの搬出入箇所も限られるなど制約条件が非常に多いことが特徴です．このため，補修・補強工事に要する期間や費用は，新設時の数倍から数十倍を要することになります．供用開始後の補修・補強の困難さを考慮し，設計・施工の各段階において細心の注意を払い厳格な品質管理を行い，より良い構造物を造ることがとくに重要であると考えています．日本最古のトンネルである東海道線保土ヶ谷～東戸塚間清水谷戸トンネル(1887(明治20)年)は126年を経過した現在も供用中です．これは，建設時の初期欠陥のない確実な施工と日々の点検，補修を含めた適切な維持管

理の賜物であることを示す貴重な事例であると考えます．

一方，建設の立場からみると，駅と鉄道は鉄道事業者にとって重要な経営資源であり，この資源の有効活用のため施設の新設・更新を行っています．とりわけ今後は，線路上空および線路下空間が貴重なスペースと考えられます．これらの工事も補修・補強と同様，輸送の安全性を最優先とするため，列車運行時間帯を避けた短時間で行うことが前提であり，施設の完成まで長期間となりサービスの低下や有効な投資効果の妨げとなっています．弊社では，これらの課題を解決するため新たな技術開発に取り組んでいます．

線路下横断構造物の構築法を一例として紹介すると，弊社の非開削工法においては，特殊な鋼製継手を有した角型鋼管を地盤内に挿入し，鋼管内にコンクリートを充填し本体構造とするJES工法を開発してきました．近年，線路下を横断する道路のアプローチ長を短くしたいという要望により，線路直下の土かぶりを極力小さくしなければならない事例が増えています．これに伴い，線路直下の角形鋼管の施工は，隆起や沈下といった軌道変状リスクを考慮し夜間の終初電間での施工となり施工が長期間にわたるようになっています．そこで，地盤に挿入する角形鋼管先端の刃口上部に地盤および支障物を切削可能なワイヤーを装備した軌道変状リスクを低減した工法を開発し，実現場にて列車運行時間帯での施工を行い良好な結果を得ています．今後は，列車運行の安全性と施工期間の短縮の両立を図る工法として，広く水平展開を図っていく予定です．

鉄道事業者のみならず，土木分野あるいは社会全体の課題として，2011(平成23)年3月に発生した東日本大震災を教訓に自然災害への備えも急務となっています．弊社においては，鉄道施設に広範囲で被害が発生しました．しかし，東北新幹線では，高架橋，橋りょうなどの明かり構造物においては，落橋や倒壊などの大きな損傷がなく，トンネルにおいても覆工コンクリートの崩落などの大きな被害が生じなかったため早期に復旧することができました．これは阪神・淡路大震災，新潟県中越地震などを踏まえ予期せぬ自然災害に対して，これまで技術開発により取り組んできた高架橋柱，橋脚，トンネルなどの耐震補強対策により一定の効果を上げることができたものと考えています．今回の東日本大震災を契機として，弊社においても首都直下地震などを想定し，これまで以上に耐震補強対策を加速させている状況です．

土木分野を取り巻く周辺環境や社会的なニーズの変化は多様かつ複雑でありスピーディーです．このような変化に柔軟に対応し，効果的な構造物の構築方法あるいは過去の災害を教訓にした維持管理に必要な技術開発を進めていくことが，鉄道事業者のみならず多くの土木技術者に求められ期待されるところです．

施工

急勾配・小土かぶり条件下における函体推進(R&C)工法の施工

—関西線平野駅改良　馬場地下道新設—

西日本旅客鉄道(株)大阪工事事務所天王寺工事所施設管理係　太田浩史
大鉄工業(株)土木支店平野作業所主任　氷上洋一

1　はじめに

鉄道・運輸機構が進める梅田・吹田信号場基盤整備事業の一環として，梅田貨物駅が廃止され貨物駅機能の半分が吹田貨物ターミナル駅に，残りの半分が百済貨物駅へ移転される．基盤整備事業の概要を図-1に示す．

百済貨物駅への機能移転に伴い，貨物トレーラーが走行するルートの確保を目的として，現状一方通行となっている馬場地下道(以下，地下道)を対面通行化することが必須条件となっている．そこで，既設地下道に隣接して新設の地下道を構築する計画となっている．本稿で，この地下道新設工事のうちJR西日本が受託した関西線直下の施工における課題と対策について報告する．

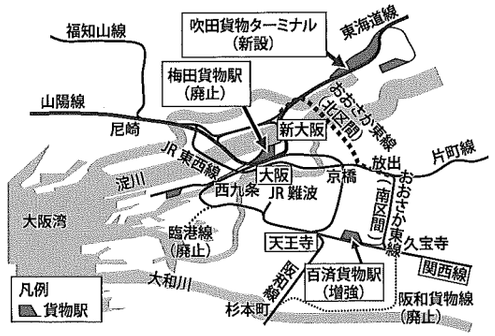


図-1　基盤整備事業概要図

2　工事概要

2-1　地下道全体概要

今回新設する地下道は全長68.65mの1車線道路ボックスカルバートであり，JR西日本の受託

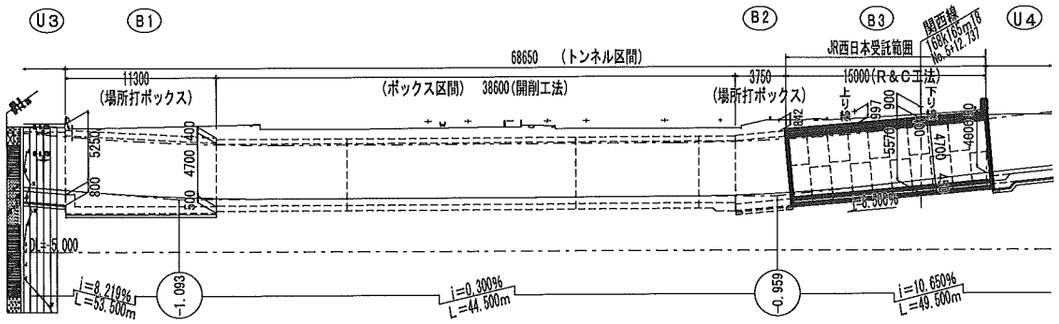


図-2　地下道全体図

表-1　施工条件

内空寸法	幅4.5m×高さ4.7m
延長	受託区間15m(全延長68.65m)
部材厚	上床盤400㎜，下床盤450㎜
縦断勾配	8.5%(取付け道路10.65%)
最小土かぶり	331㎜

範囲は関西線直下部分の15mである．地下道全体図を図-2，施工条件を表-1に示す．

現地は，南側の国道25号線，北側の百済貨物駅構内貨物専用線に挟まれた区間であり，現地施工条件として，以下の特徴がある．

① 関西線から国道25号までの取付け道路区間が約30mときわめて短い

② 関西線はアーバンネットワークを形成する主要路線であり，他の2路線が合流する大規模ターミナルである天王寺駅に近い

③ 作業ヤードは鉄道と国道に挟まれ，既設地下道に隣接しており，きわめて狭隘である

2-2　R&C工法の選定

新設する地下道について，既設道路縦断勾配と同程度の勾配を確保するため，2-1節①の理由により，可能なかぎり土かぶりを小さくする必要がある．

土かぶりを小さくする方法としては，開削工法である工事桁工法がある．この場合，新設ボックスを跨ぐ10m程度の工事桁が必要となるが，既設～新設ボックスカルバートの離隔は小さく，ボックスカルバート間に工事桁を支持する杭を打設することが困難であった．また，既設～新設ボックスカルバートを跨ぐ工事桁も考えられるが桁高が増加して1,000㎜以上となり，レール高さから新設ボックスカルバートまでの離隔が不足する．さらに工事桁工法においては，施工途中における仮受けおよび本受け時などにおいて列車徐行が必須となり，2-1節②の理由により列車運行への影響が大きくなるため，非開削工法を選択した．

非開削工法は数種類存在するが，可能なかぎり土かぶりを小さくでき，取付け道路の縦断勾配が小さくできるR&C(Roof & Culvert)工法を選定した．R&C工法とは，軌道などの防護工として矩形断面のパイプルーフ(箱形ルーフ)を用い，これを設置するボックスカルバートの外縁に合致するように横断区間の全長に貫通設置し，その後端にボックスカルバートを据付けて前進させることにより，箱形ルーフと置換設置する工法である．

また，百済貨物駅側は貨物専用線と関西線が近

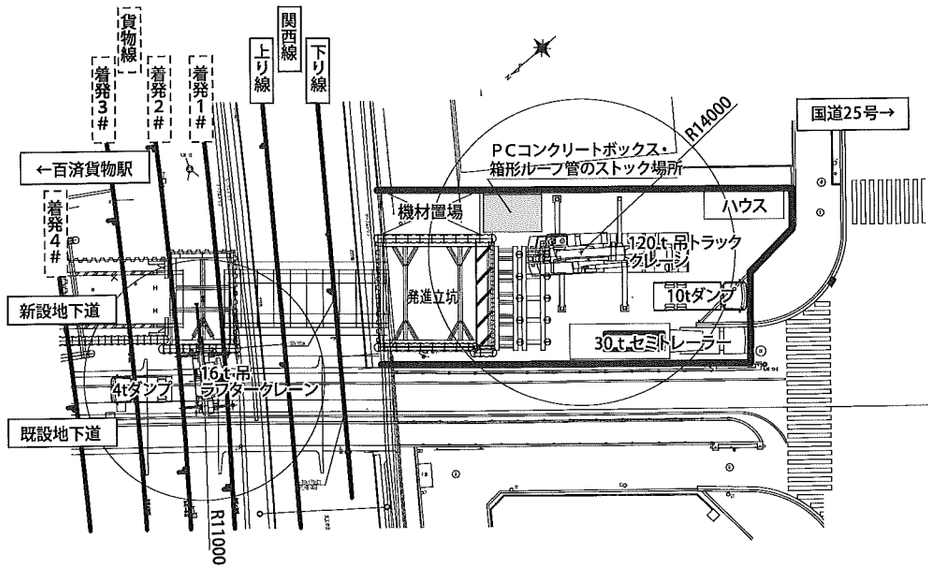


図-3　施工ヤード状況図

表-2　施工方法検討表

施工項目	立坑築造工	ルーフ推進工	函体製作工
概要	発進・到達立坑の同時掘削	箱型ルーフの並列推進	現場製作を工場製作へ変更
安全性	適切な軌道監視のもとに施工すればとくに問題はない【○】	軌道への影響範囲が集中するとバラスト陥没の危険性が増加する【×】	現地施工における軌道への影響は少ない【○】
工期短縮	発進立坑側の架台組立て時に到達立坑が掘削可能なため工期短縮への寄与は小さい【×】	工程の中でもっとも時間を要するルーフ推進が約半減するため工期短縮への寄与が大きい【○】	ボックス製作期間がすべてなくなるため工期短縮効果がきわめて大きい【○】
コスト	立坑掘削の編成人員が2倍必要となる【△】	推進設備が2台必要となるが編成人員はほとんど増加しない【○】	二次製品の使用となるため材料費が増加する【△】
評価	工期短縮が期待できない【×】	工期短縮効果は大きいが安全性の観点から採用にあたっては別途対策工を要する【△】	費用の増加が見込まれるが安全性を低下させることなく工期短縮が期待できる【○】

接しているため，工事用ヤードが小さく資機材の運搬が困難であることから，国道25号側からの推進工法を採用した．施工ヤード状況を図-3に示す．

2-3　プレキャストボックスカルバートの選定

本工事においては，工期短縮が必要であったため，R&C工法における施工手順を精査し，安全性，工期短縮，経済性の点から採用の可否について検討を行った．検討結果を表-2に示す．

関係者との協議の結果，多少のコスト増となるが，製作期間としての工期短縮が見込まれ，かつ安全性に影響が少ないことからボックスカルバート製作について現場製作を見直し，プレキャストボックスカルバートを採用した．この見直しで，ボックスカルバート製作に必要な立坑内の作業スペースについても省略可能となり，立坑の縮小が図れるという利点も発生した．

一方で，プレキャストボックスカルバートを採用するにあたり，現場への搬入方法の検討が必要となった．製作工場からの運搬においてはセミトレーラーを使用することとなるが，道路交通法で許容される高さ3.8mと幅2.5m以内にする必要がある．また，作業ヤードから立坑内部への取卸しにおいて，2-1節③の理由により，現地において使用可能なクレーンは120tクレーンまでという制約があった．運搬および取卸しという両者の観点から検討を行い，上下2分割プレキャストボックスカルバートを採用した．ボックスカルバートの側面図および断面図を図-4に示す．

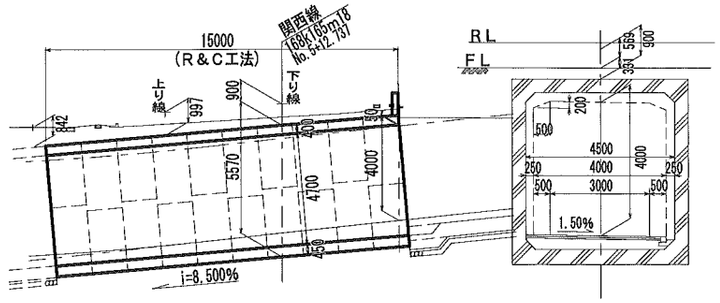


図-4　ボックスカルバート側面図・断面図

3　施工における課題と対策

地下道の施工に対する課題は，以下のとおりである．

① 急勾配条件における推進精度確保(ボックスカルバート勾配8.5%)

② 小土かぶり条件における軌道への影響(最小土かぶり331㎜)

③ 上下2分割プレキャストボックスカルバート採用における接続部への影響

鉄道直下のR&C推進工事でこれらの条件が揃った施工例はなく，対策を組み合わせて実施する必要がある．本工事ではそれぞれの項目について検討を行い，以下の対策を実施した．

3-1　推進精度の向上

ルーフの推進施工は，推進中に発進側から到達

側へ向けて沈下していく傾向が強いことが知られている．今回は，下り勾配での推進であるため，さらに下方へ施工誤差が生じることが想定された．

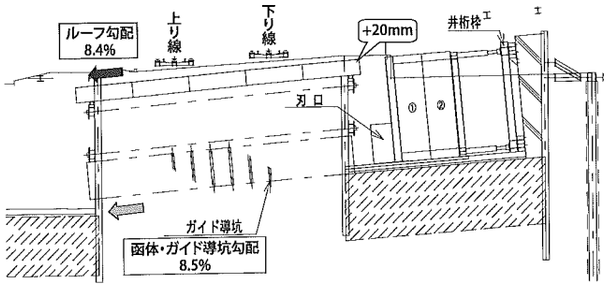


図-5　ルーフ推進計画値概略図

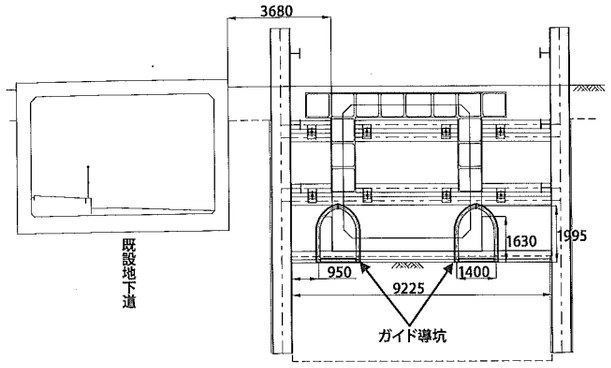


図-6　ガイド導坑配置図

そこで，ルーフの発進側設計高さを＋20㎜上げ越しした．また，ボックスカルバート勾配が8.5%であるが，ルーフの計画勾配8.4%で推進することとした．ルーフ推進計画高さの概略図を図-5に示す．

また，急勾配条件においては推進圧に対して下部路盤からの摩擦抵抗を受けて，ボックスカルバート左右方向のズレおよび推進方向に対するねじれの発生が考えられる．そこで一般的に本工事程度の規模の場合，配置しないガイド導坑を左右2か所に配置し，ズレ・ねじれが発生しない構造とした．ガイド導坑配置図を図-6に示す．

3-2　路盤沈下・軌道狂い対策

小土かぶり条件下においては推進圧力に伴って推進方向へ軌道が横移動することが考えられた．そこで，図-7に示すように通り狂い対策を実施した改良型簡易工事桁をレールと並行に設置することとした．

また，施工中における軌道状態の把握は，デジタルカメラを用いた自動計測管

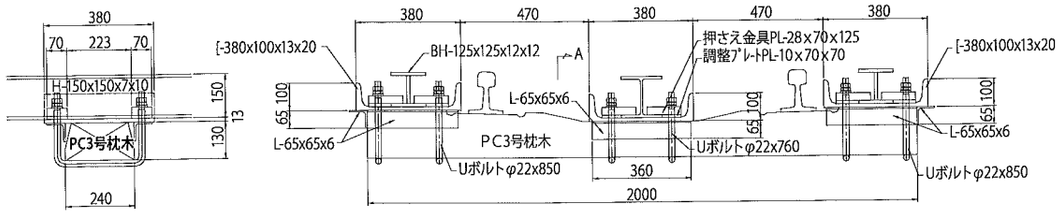


図-7　軌道防護桁詳細図

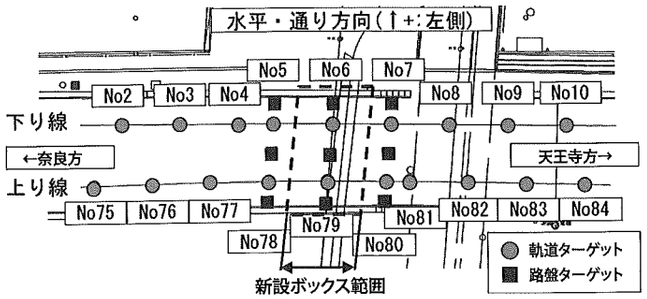


図-8　自動計測ターゲット配置図

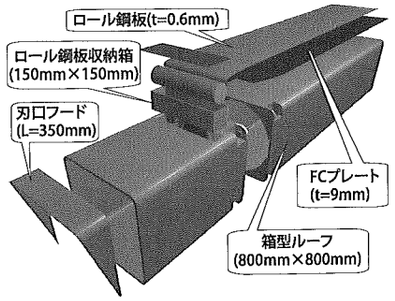


図-9　ルーフ刃口部モデル図

理システム(以下，自動計測)により行った．これはレールおよび路盤にターゲットを設置し，固定したデジタルカメラにより一定時間間隔で撮影を行い，その撮影写真におけるターゲット中心座標の変化から軌道および路盤の変位を計測するものである．軌道および路盤ターゲットの配置図を図-8に示す．

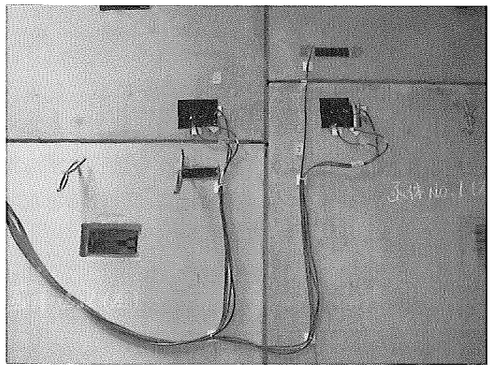


写真-1　ひずみゲージ設置状況

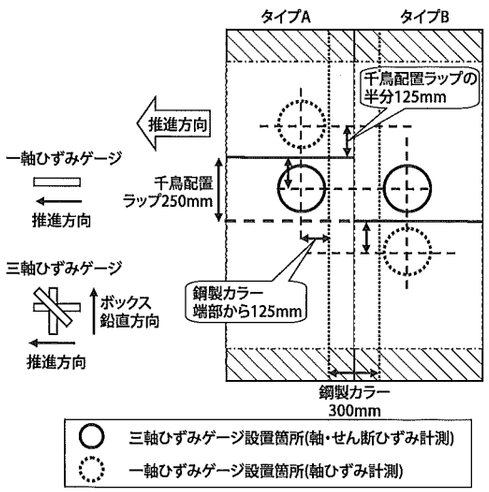


図-10　ひずみゲージ配置概要図

さらに小土かぶり条件においては，推進中の水平部ルーフと路盤(バラスト)との摩擦力の作用により軌道の通り狂いの発生が考えられた．そのため，ルーフ推進時における摩擦力低減を目的として，ルーフ上部にロール鋼板を設置した．ルーフ刃口部のモデル図を図-9に示す．

3-3　推進圧によるプレキャストボックスへの影響

本工事では，上下に分割したプレキャストボックスを千鳥配置とした．これにより推進圧が千鳥配置箇所へ集中することが考えられた．そこで，ひずみゲージを設置し推進圧とボックスのひずみを計測した．ひずみゲージの設置状況および概要図を写真-1，図-10に示す．

このひずみ計測を用いて，ボックスカルバート間に発生するひずみの状況を確認するとともに，工事中止値としてコンクリートの弾性限界となるひずみ0.002を設定した．

4　施工結果と考察

4-1　推進精度の向上について

水平部ルーフ推進の施工精度はボックスカルバート推進の施工精度および軌道狂いに対して大きく影響することから，水平部ルーフは慎重に施工を

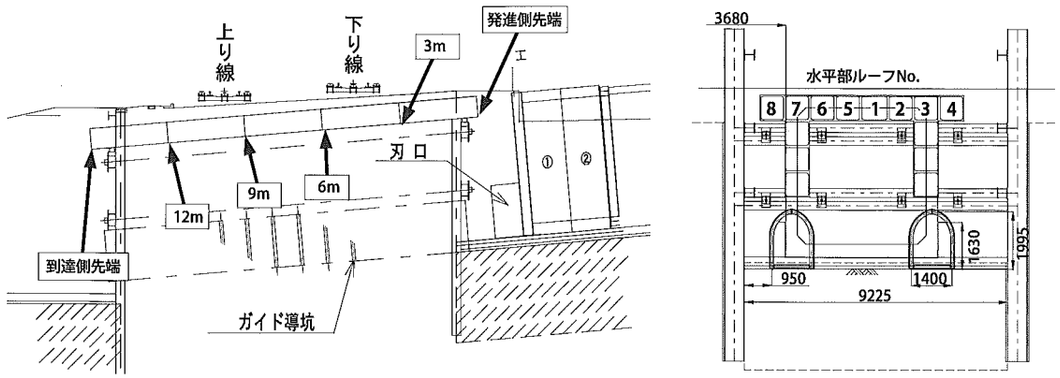


図-11　水平部ルーフ高さ計測位置図

進める必要があった．今回の施工においては，土かぶりが小さく上部反力が取れないことから，ルーフ刃口のソリに底面地盤が接触しすぎないように掘削を進めた．水平部ルーフ施工後の高さ計測位置および設計値からの差を**図-11**および**表-3**に示す．

計画段階においては発進側から到達側へ向けて沈下傾向が出ると思われたが，おおむね発進側の設計値＋20㎜の計画値を維持し，最大10㎜沈下し設計値に対して＋10㎜となり，設計値以上の値を確保して施工を完了することができた．

次に，ボックスカルバート推進施工後の高さ計測位置および設計値からの差を**図-12**および**表-4**に示す．ガイド導坑底盤高さは設計値どおりで施工したが，ガイド導坑の沈下も見られず，推進完了後のボックス高さはほぼ設計値となった．

表-3　水平部ルーフ推進施工精度表(単位：TP)

ルーフ		No.7	No.6	No.5	No.1	No.2	No.3
発進側ルーフ先端	設計値	4.334					
	実測値	4.357	4.356	4.358	4.357	4.358	4.355
	差	0.023	0.022	0.024	0.023	0.024	0.021
発進側から3m（ジョイント部）	設計値	4.087					
	実測値	4.102	4.107	4.113	4.107	4.110	4.109
	差	0.015	0.020	0.026	0.020	0.023	0.022
発進側から6m（ジョイント部）	設計値	3.832					
	実測値	3.849	3.848	3.856	3.853	3.854	3.855
	差	0.017	0.016	0.024	0.021	0.022	0.023
発進側から9m（ジョイント部）	設計値	3.577					
	実測値	3.591	3.589	3.597	3.596	3.601	3.600
	差	0.014	0.012	0.020	0.019	0.024	0.023
発進側から12m（ジョイント部）	設計値	3.322					
	実測値	3.339	3.339	3.334	3.341	3.344	3.342
	差	0.017	0.017	0.012	0.019	0.022	0.020
到達側ルーフ先端	設計値	3.067					
	実測値	3.077	3.083	3.088	3.083	3.079	3.084
	差	0.010	0.016	0.021	0.016	0.012	0.017

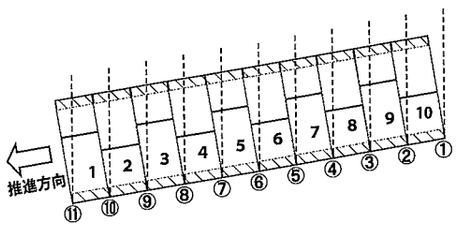


図-12　ボックスカルバート高さ計測位置図

4-2　路盤沈下・軌道狂い対策

土かぶりが小さく，もっとも施工に伴う影響が大きくなる下り線側について，水平部ルーフ推進時における自動計測結果を**図-13**に示す．高低狂いについて，ルーフ推進施工当夜における著しい軌道狂いは生じないものの，長期間にわたって少しずつ狂いが進行していることがわかる．また今回の施工において，施工当夜および長期間にわたる通り狂いの進行性は全く見られず，軌道防護桁による通り狂い抑制効果およびロール鋼板による摩擦力低減効果が発揮されていることが確認された．

次に，ボックスカルバート推進時における自動計測結果を**図-14**に示す．今回の施工では表-3のとおり水平ルーフの中弛みがなく，ほぼ直線の施工精度となったことから，ボックスカルバート推進時の刃口付近における軌道こう上はあまり発生しなかった．しかしながら，先端および先端から2番目のボックスが下り線軌道直下を推進中に著しい軌道こう上が見られ，その後，下り線側の軌道こう上が収束する一方で，上り線側の軌道こう上が発生しはじめた．通常，刃口先端部において一時的にFCプレートで軌道・路盤を支持する段階で大きく軌道狂いが生じることが知られているが，その傾向とは異なる結果となった．

なお，4月12日以降に上り線側に比較的大きい通り狂いが発生していることについては，以下の理由によると考えられる．

表-4　ボックスカルバート推進施工精度表(単位：TP)

計測箇所	設計値	函体通過時の高さ(函体番号)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
①	0.064	0.059	0.059	0.061	0.060	0.058	0.056	0.063	0.062	0.055	0.059
②	−0.048	−0.054	−0.050	−0.054	−0.054	−0.053	−0.052	−0.054	−0.048	−0.050	−0.050
③	−0.175	−0.175	−0.177	−0.181	−0.184	−0.184	−0.177	−0.179	−0.177	−0.181	
④	−0.302	−0.307	−0.306	−0.308	−0.305	−0.308	−0.307	−0.306	−0.309		
⑤	−0.429	−0.435	−0.436	−0.430	−0.438	−0.430	−0.436	−0.437			
⑥	−0.556	−0.556	−0.566	−0.559	−0.558	−0.565	−0.557				
⑦	−0.683	−0.690	−0.693	−0.685	−0.691	−0.686					
⑧	−0.810	−0.818	−0.819	−0.817	−0.820						
⑨	−0.937	−0.944	−0.941	−0.938							
⑩	−1.064	−1.068	−1.069								
⑪	−1.177	−1.176									

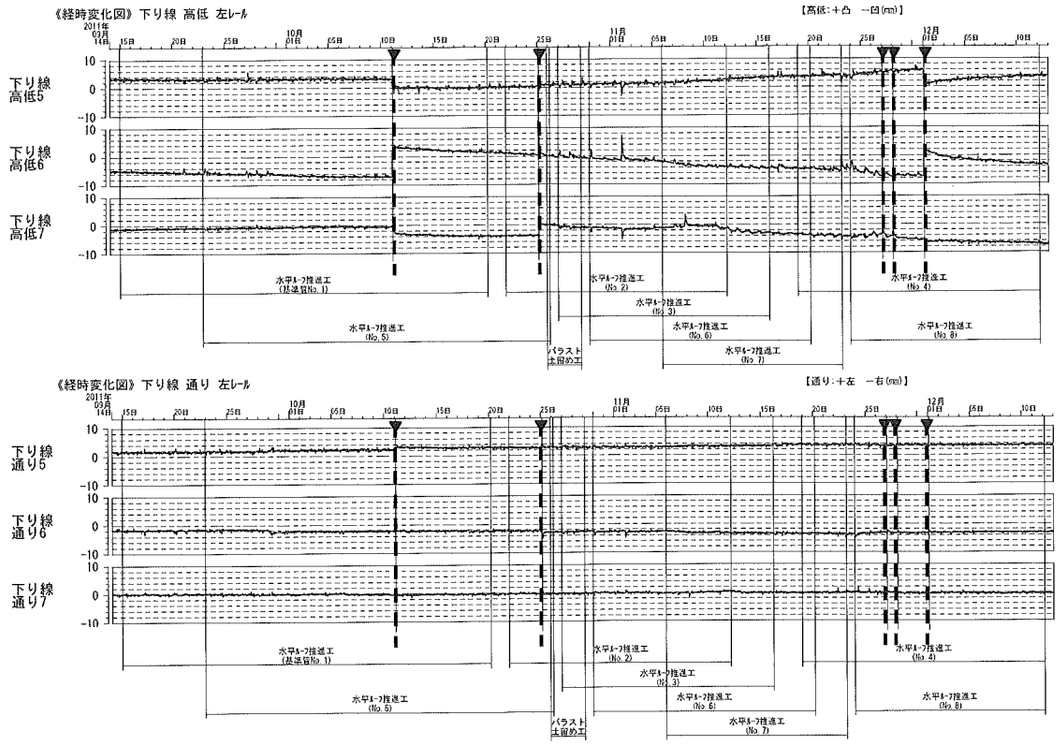


図-13　水平部ルーフ推進軌道計測結果(▼：軌道整備)

今回の施工では著しい軌道狂いなどが発生した場合を想定し，線路閉鎖間合内に軌道整備などで対応可能なサイクルタイムを検討した．そこで，ルーフ収納管ジャッキのストローク長の最大値である45cmの推進を1サイクルとし，当夜施工においては45cm以上の推進を行わないこととして施工を進めた．

しかしながら，推進実施期間中の前半においてはあまり軌道狂いが発生しなかったことから，工期短縮のため推進作業を1サイクルから3サイクル，つまり通常の3倍程度の推進を実施した．そのため当夜施工中に軌道狂いが蓄積したためであると考えられる．したがって，通常のサイクルタイムどおりに施工すれば，著しい通り狂いは発生しないと考えられる．

4-3　推進圧によるボックスカルバートへの影響

プレキャストボックスカルバート第1セットにおける千鳥配置部分のひずみ計測と推進ジャッキ

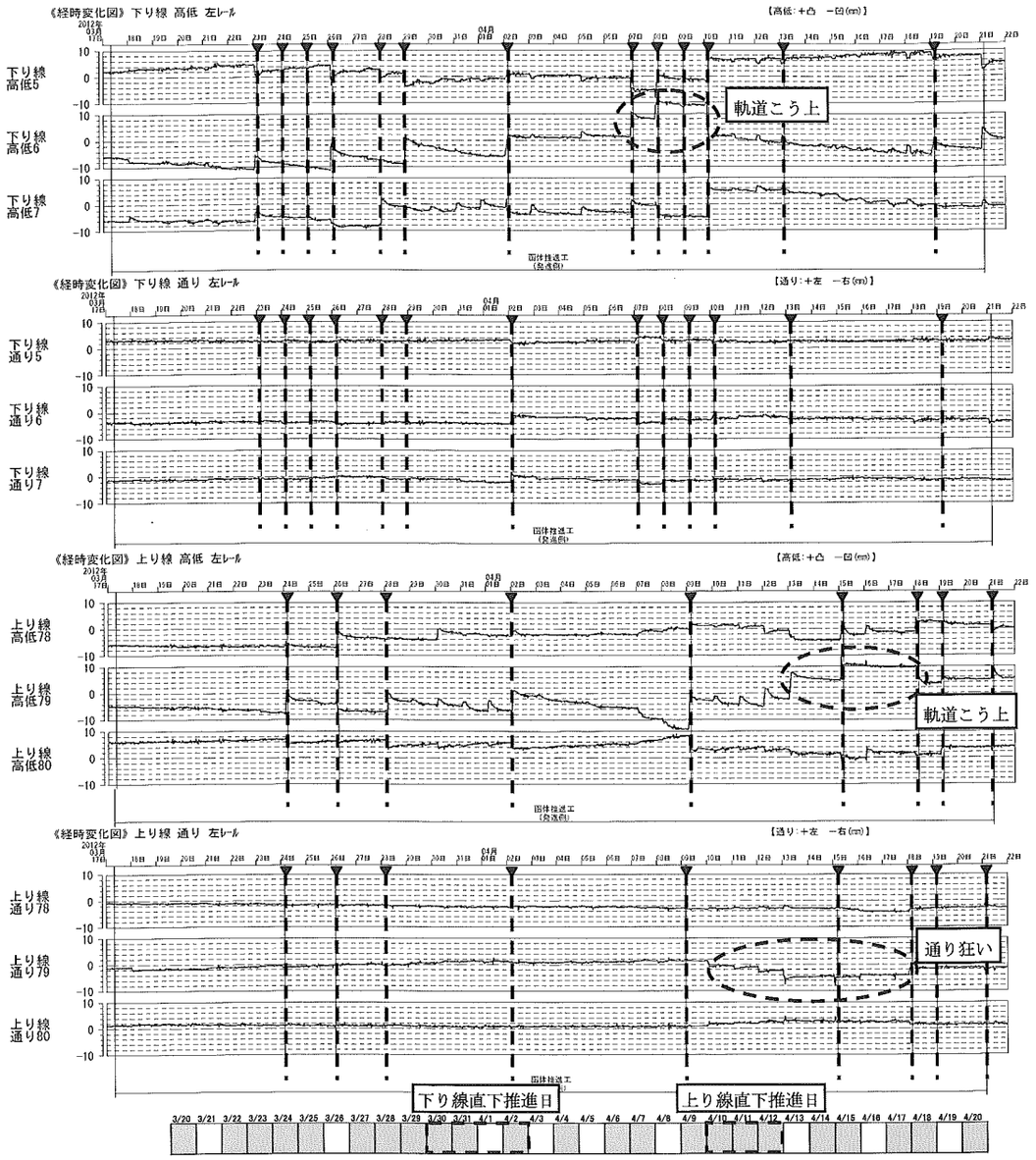


図-14　ボックスカルバート推進時軌道計測結果(▼：軌道整備)

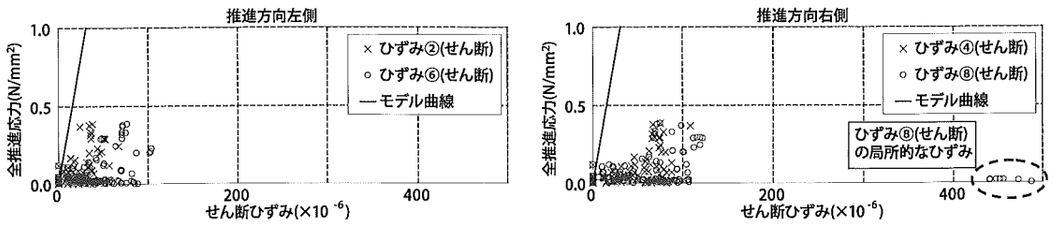


図-15　ボックスカルバートせん断ひずみ計測結果

圧との相関関係を図-15に示す．コンクリートの応力-ひずみ曲線と比較して，発生しているひずみは総じてきわめて微小であり，通常の推進作業においてはボックスカルバートには問題がないことを確認できた．

局所的なひずみが発生している場合には偏圧が作用していることが考えられるが，上下で対となる一軸ひずみの計測結果にわずかながら差があり，また，ボックスカルバート推進における最終作業となる位置調整において局所的なひずみが発生していることから，少なからず偏圧が作用していることがわかる．

本施工においてはガイド導坑があるため推進中の局所的なひずみ，つまり偏圧が作用せず推進精度への影響は少なかったが，ガイド導坑がない場合においては，偏圧の発生により推進精度へ影響を及ぼす可能性があると考えられる．

5　まとめと今後の課題

小土かぶり・急勾配条件下におけるR&C工法の施工において，両端へのガイド導坑設置によりボックスカルバート推進精度の向上が図れた．

軌道防護桁およびロール鋼板により通り狂い対策として一定の有効性が確認されたものの，なお高低狂いが発生した．

ひずみ計測結果から，推進圧によるプレキャストボックスカルバート千鳥配置箇所への有害な影響はないことが確認されたが，偏圧の発生による推進精度への影響については今後検証を深めていく必要がある．

わかりやすい
トンネルの力学
B5判　286頁　本体価格 5,825円　〒340円
福島啓一 著

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

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

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

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

現場だより 2013 トンネルと地下

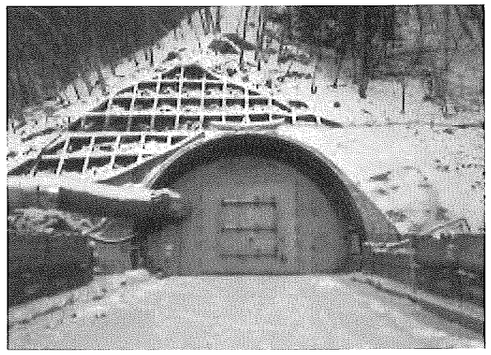
日本一「すみたいまち」をめざす岩手県住田町から

藤 原 正 雄

住田町は，北上山地の南東部に位置し，日本一「すみたいまち」をめざしている自然豊かな林業の町である．古くは，奥州藤原氏の繁栄を支えた金を産出し，近年は，民家，寺院造営から建具，細工までこなす多能工の大工集団「気仙大工」を輩出した地でもある．町の花・アツモリソウは，淡い紅色の花を咲かせるラン科の山野草で，5月上旬，かっこうが鳴き始めるころに咲くので，地元では「かっこう花」「かっこ花」と呼んでいる．

山あり，川あり，洞窟ありの自然の宝庫・住田町．山の代表は，五葉山と種山高原だ．五葉山は標高1,351mで，北上山地の中ではもっとも海に近く，頂上からは三陸沿岸を一望できる．豊かな自然が育くむ貴重なヒノキアスナロの原生林やシャクナゲの群落が茂り，カモシカやニホンザル，北限のホンシュウジカが生育している．一方，種山高原は北上山地の中央部に位置し，標高600～800mの隆起準平原である．雄大な自然景観と満天の星空の眺望と森林浴を満喫できる．岩手を代表する詩人・宮沢賢治も，たびたびこの地を訪れており，のちに彼の代表作となる『風の又三郎』や『銀河鉄道の夜』などの作品の原点のひとつとなったと言われている．

次に，川の代表は気仙川である．五葉山の北西に位置する高清水山に源を発し，途中，幾多の支流と合流しながら東日本大震災で壊滅的な被害を受けた陸前高田市の名勝・高田松原の南側で太平洋にそそぐ，岩手の清流を代表する川である．アユ，ヤマメ，イワナなどの川魚の宝庫で，全国から太公望が訪れる．



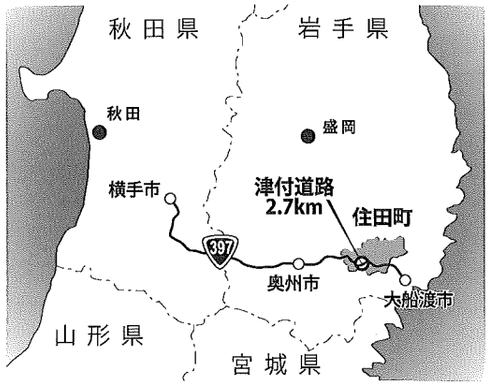
坑口全景

最後に，洞窟の代表は滝観洞（ろうかんどう）である．滝観洞はこれまでの調査で全長3,635m，高低差115mにもおよぶ国内屈指の鍾乳洞であることがわかっている．洞内には，洞窟内滝の落差日本一の「天の岩戸の滝」や映画「八ツ墓村」のロケ地の一つとなった所など，さまざまな見所がある．

さて，津付（つづき）道路は，岩手県の内陸部と沿岸部を結ぶ国道397号のダム付替道路で，3本のトンネルと3か所の橋梁で構成されている．われわれは，このうち子飼沢（こがいざわ）トンネル901mを施工中である．トンネルの地質は，約2億5千万年前の古生代ペルム紀の泥岩と砂岩の互層で，花崗岩類の貫入の影響を受け，非常にクラッキーな岩質となっている．平成24年9月に掘削を開始し，平成25年2月15日現在，353mまで掘削が進んでいる．

津付道路は，ダム付替道路として事業に着手したが，東日本大震災後，岩手県内陸部と沿岸部を結ぶ重要路線から三陸沿岸の「復興支援道路」と位置づけられ，平成26年度の供用開始を目指し，事業が前倒しで進められている．当JVも沿岸地域の期待に沿うよう，1日でも早くトンネルを完成させ，三陸沿岸の復興の一助となるよう鋭意施工中である．

（熊谷組・樋下建設特定共同企業体所長）



位 置 図

施工

前例を生かし水抜きボーリングを駆使して未固結砂質地山を掘る

—主要地方道金沢井波線　清水田島トンネル—

石川県県央土木総合事務所道路建設課第一係係長 宮 本 義 浩
金沢工業大学環境建築学部環境土木工学科教授 川 村 國 夫
北都・明翫・駒津特定建設共同企業体所長 本 野 圭 司
中部地質(株)常務取締役 筒 井 弘 之

1 はじめに

石川県金沢市東部地域には，第四紀更新世の砂質地盤，通称，大桑（おんま）層や卯辰山層が分布しており，その一部は未固結を伴う性状をもつ．従来であれば，これら未固結地盤は明かり工事の対象になりこそすれ，トンネル対象地盤とはみなされなかった．最近の土砂トンネルの掘削技術の進歩もあり，この地域でも1990年代からいくつかのトンネルが施工されてきた．しかしながら，地盤の未固結性状からの均一粒度や低強度，加えて，被圧を持つ地下水圧などによって，地山崩落，切羽崩れ，流砂など大小規模さまざまなトラブルが，ほぼいずれのトンネルでも発生した．なかには，掘削途中で大規模な地山崩落からトンネル埋戻しを余儀なくされ，掘削やり直しのトンネル施工例もあった[1),2)]．

このたび，石川県主要地方道金沢井波線でも新たなトンネル(清水田島トンネル，延長：802m，掘削断面：2車線道路89.0～97.0m²)がこの地域の未固結砂質地盤下で計画された．したがって，過去に経験したいくつかの掘削トラブルを教訓にして，入念な地層状態の把握，入念な未固結地盤の物性の確認，入念な地下水性状の推定を，事前調査および施工時ともに最善を尽くし，決して手戻りのないトンネル施工を目指した．

本稿では，貫通までに本トンネル掘削が遭遇した未固結砂質地盤に対する課題やその解決策についての知見を述べ，とくに，トンネル掘削の安定性を強く脅かす区間については，言わば，地山の特徴(顔)をよく知り，掘削中の地山からの信号(声)にはよく耳を傾け，地山全体(体調)を把握しつつ行った掘進について報告したい．

2 入念な事前調査

2-1 未固結砂質地盤

本トンネルの線形決定のため，約100m間隔で10本の当初ボーリング調査の結果，懸念された未固結砂質地盤を掘削する区間は，トンネル終点側から起点側への約400m(本トンネル2工区)と判断した．したがって，着工直前には，この区間でさらに9本の調査ボーリングを追加して，より詳細な地質層序の確認や断層の位置，掘進時の安定に及ぼす未固結砂質地盤の範囲や物理・力学特性の把握に努めた．

図-1は得られた本トンネル2工区を中心とした

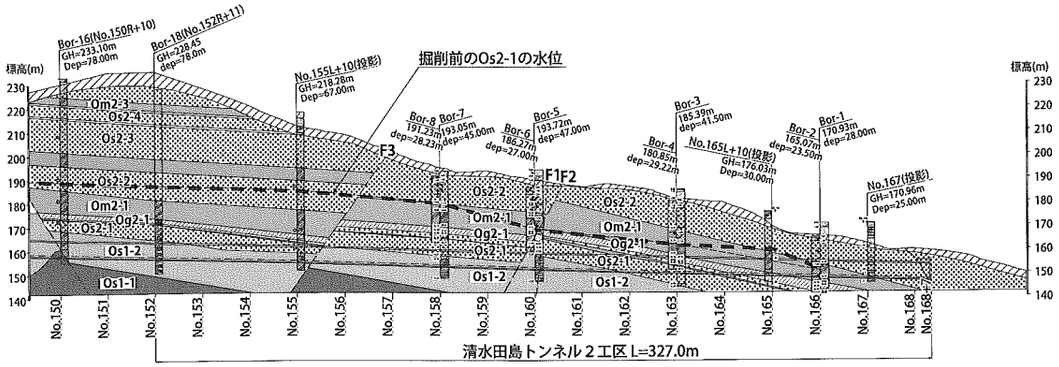


図-1　清水田島トンネル２工区地質縦断図

表-1　各層の物理特性・力学特性

地層区分	湿潤密度 ρ_t(g/cm³)	乾燥密度 ρ_d(g/cm³)	自然含水比 W_n(%)	粒度特性(%) 礫分	砂分	シルト分	粘土分	細粒分含有率 %	均等係数 U_c
Os2-2	1.920	1.526	25.8	0.0	79.4	15.5	5.2	20.7	1.4～11.8
Om2-1	1.979	1.578	25.4	0.5	38.2	51.9	9.7	61.6	1.7～18.2
Og2-1	—	—	20.1	13.6	66.3	13.9	6.8	20.7	19.7～47.7
Os2-1	1.991	1.595	24.8	0.1	83.5	11.5	5.0	16.4	1.5～34.0
Os1-2	2.017	1.603	25.8	0.0	46.4	49.4	4.3	53.6	1.9～9.9

地層区分	土質分類分類記号	現場透水試験 (m/sec)	変形係数 E(kN/m²)		粘着力 c(kN/m²)		せん断抵抗角 ϕ(°)	
Os2-2	細粒分質砂(SF)	2.38×10^{-6} 1.27×10^{-6}	20,500～52,396	23,000	0.0～12.1	5	35.5～39.8	38
Om2-1	砂質シルト(MS)	—	142,900～235,100	223,000	170.4～632.5	410	26.6～41.4	33
Og2-1	細粒分質礫質砂(SFG)	2.50×10^{-6} 2.93×10^{-7}	64,700	65,000	—		—	
Os2-1	細粒分質砂(SF)		120,100～290,100	125,000	11.7～217.5	148	32.6～41.8	37
Os1-2	砂質シルト(MS)	—	78,500～286,300	286,000	53.4～290.9	182	31.6～39.4	37

地質縦断図であり，図中から，本トンネルの安定性は大桑層上部層の未固結砂層Os2-1，Os2-2 に強く影響されること，また，主断層は３本，とくに，工区境よりのF3 断層のずれの大きいことが確認できた．

表-1には，図-1に示した各地層の物理・力学試験の結果をまとめた．とくに，注目したOs2-1 層，Os2-2 層は約80%と砂分が卓越し，所々で均等係数U_cや強度定数 c，ϕも小さく，典型的な未固結性状を呈した．両層とも自然状態の未攪乱では，N値が10以上あり，透水性も低いが，いったん水浸され，攪乱されればたちまち崩れだし，泥濘化に至る．つまり，掘進中の両層では，そこに流れる地下水状態が安定性に強くかかわることになる．

それらの地下水調査結果の一例[3]を**図-2**に示す．場所は図-1中のNo.155L＋10ボーリング孔で，２工区トンネル断面で主に現れる未固結砂層Os2-1にボーリング掘削孔底が到達した以降の地下水位の推移である．調査日２月３日にGL－50～60m付近にあるOs2-1 層下端まで掘進し，ケーシング挿入時での地下水位はGL－2.11mまで急上昇した．その後，経時的に低下するものの，２月９日のケーシング抜管時，およびOs2-1 層を対象とした有孔管の設置時でも，GL－30m付近に水頭を持っていた．これはOs2-1 層上端より約20m以上も高く，明らかに被圧状態を示した．

この結果にもとづき，Os2-1 層の水位がトンネル天端より高くなるNo.166＋10から，左右１本

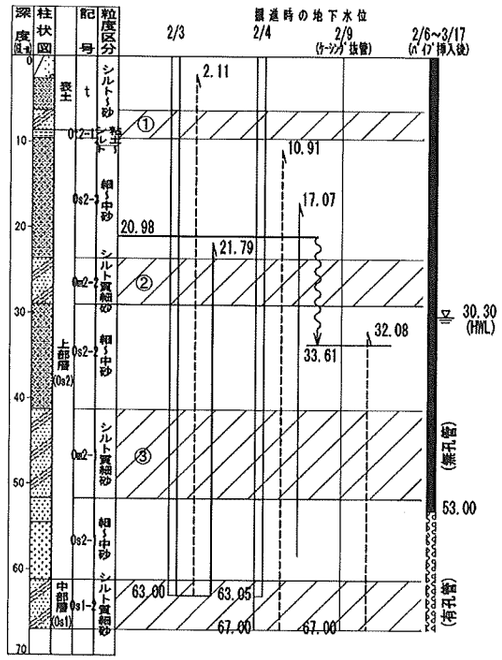


図-2　No.155L＋10地下水調査結果

ずつ70m長の水抜きボーリングを，おもにOs2-1 層，Os2-2 層を目がけて実施したところ，合計で約100L/minの排水量を観測した．さらに，この先からのトンネル掘進にさいして，調査時のボーリング孔や着工直前の追加ボーリング孔，また，必要に応じて掘った新たなボーリング孔などを駆使して，つねに掘削切羽前方の地下水位を注視しながら，後述する地下水対応策を心掛けた．

2-2　基本的な支保パターン

本トンネル２工区の標準的な支保パターンを決定するため，『トンネル標準示方書［山岳工法］・同解説』[4] の地山の特殊条件，①断層破砕層の存在，②含水未固結地山，にもとづいて設計した．とくに，未固結性状が明らかとなったことから，切羽の自立性が低く，流動化の可能性も高いと判断され，また，弾性波速度や地山強度比からの地山分類でも，地山等級Eと判定された．この結果，支保パターンは，２工区坑口部付近(TD０～117 m)では，**図-3**(a)に示すDⅢa-2 とし，また，補助工法として天端対策に長尺鋼管フォアパイリング(以下「AGF」と略す)，支持力対策にウイングリブ付き鋼製支保工，切羽対策に鏡吹付けコンクリート＋鏡ボルトを採用した．一方，土かぶりが大きくなる一般部(TD138～327 m)では，同図(b)のDⅡ-3とし，補助工法はAGFと鏡吹付けコンクリート＋鏡ボルトなどを採用した．

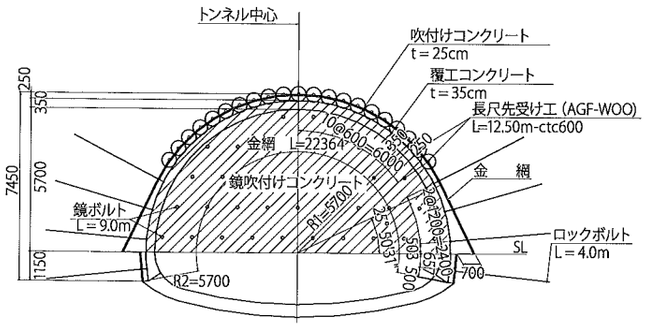


図-3　トンネル支保パターン

2-3　入念なAGF注入固化材の選択

本トンネル地山，とくに，未固結砂層Os2-1 を対象としたAGF注入固化材を，**図-4**のフローに示す現地試験および室内試験から決定した．

第１回現地試験では，シリカレジン(標準・低粘度・効果遅延) 3 種類と無機系(水ガラス系) 4 種類の注入試験を行い，その結果，すべての注入材で改良径600㎜が確保できなかったが(**写真-1**参照)，シリカレジン(低粘度)だけが，打設鋼管間の地山に連結状況を確

図-4　AGF検討フロー図

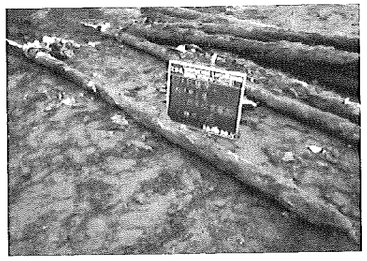


写真-1　改良体形成

写真-2　鋼製砂箱

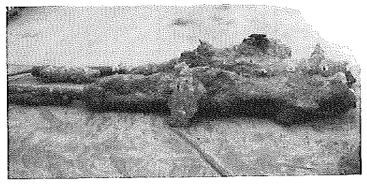


写真-3　吐出孔径12㎜の改良体全景

認できた．

そこで，改良点として，

① シリカレジン(低粘度タイプ)のさらなる粘度低下による浸透性の向上(低粘度タイプ改善品の開発)

② 口元リーク防止のバルクヘッド形成

などを試みるため，**写真-2**に示す鋼製砂箱(H=0.8m，B=0.6m，L=4.0m)に模擬地盤(現地砂1層20cm撒出し，振動プレート転圧，模擬地盤の締固め度は現場地山の91%)を作成した．ここでの第２回試験施工の結果，シリカレジン(低粘度タイプ改善品)によって300～500㎜の改良体が形成できた．ただ，この改良体はまだ先端部が細く，いびつな形状となった．

そこで，鋼管の吐出ピッチを150㎜，300㎜に，吐出孔径を９㎜，12㎜，15㎜に変化させた第３回試験施工(模擬地盤)を実施し，その確認のための第４回現地試験施工にて，注入後の改良体を観察した．その結果，以下の仕様がもっとも大きな改良径で平均化できたことを確認した(**写真-3**)．

注　入　材：シリカレジン(低粘度タイプ改善品)

使用鋼管：吐出孔ピッチ　150㎜
　　吐出孔径　12㎜

注入速度：5 kg/min

注入方法：バルクヘッド式

注入管理方法：奇数孔量管理＋偶数孔圧管理

鋼管打設ピッチ：600㎜

2-4　入念な管理基準値の検討

本現場で用いた管理基準は，限界ひずみ法で決定した．Os2-1層，Os2-2層は前述したように未固結状態であり，一軸圧縮強度で限界ひずみを評価することが困難なため，着工前の追加ボーリング孔で実施した孔内水平載荷試験から得た変形係数を用いて限界ひずみを求めた．**図-5**は櫻井・足立[5]が示した限界ひずみと弾性係数の関係である．

管理レベルについては，管理レベルⅢを図-5のB線(不安定領域の上限値)，管理レベルⅡをC線(やや不安定領域の上限値)，管理レベルⅠをD線(安定領域の上限値)とし，また，これらを基本に

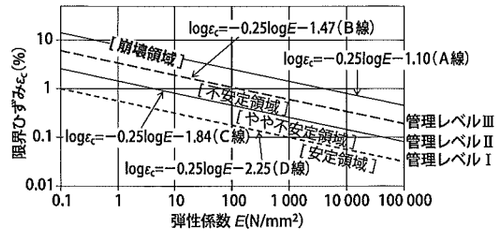


図-5　限界ひずみと弾性係数との関係

表-2に示すA計測管理基準値を設定した．

表-2　A計測管理基準値(㎜)

支保パターン	管理基準値					
	天端沈下			内空変位		
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
DⅡ-3	10	25	55	20	50	110
DⅡ-4	10	25	55	20	50	110
DⅢa-2	10	25	55	20	50	110

3　掘削時の未固結砂質地盤内地下水への対応

本トンネル掘削にかかわる未固結砂層，とくにOs2-1層内を中心とした地下水について，

① 被圧を抜くこと

② トンネル天端からの限界動水勾配水位線以下に水位を下げること

③ 局部的な地下水だまりや地層乱れなどによる地下水圧の不確実性に対処するため，基本的に地下水位をトンネル天端付近まで下げること

を原則とした．

そこで，本トンネル２工区327m間では，地下水特性の把握とトンネル安定を目的に，掘削中７回に及ぶ水抜きボーリングを実施した．

水抜きボーリングの実施は，Os2-1層(一部ではその上層のOg2-1層も含む)を対象にした未固結砂層の地下水を，今までの調査ボーリング孔を使って常時観測し，その結果にもとづいて判断した．このため，掘削進行中は，水抜きボーリング作業と切羽掘削や補助工法作業との調整をくり返し行い，切羽前方の状況の見極めに注視した施工展開となった．

表-3には，この７回の地下水に対する水抜きボーリングの諸元などをまとめた．この区間のボーリング総延長は1,560mに達した．

以下には，実際の地下水観測結果とその低下を目指した水抜きボーリングの実施，その結果の評価，掘削再開の判断などについて具体的に述べる．

表-3　水抜きボーリング数量

	測点 No.	TD	長さ(m)	本数(本)	設置直後排水量(L/min)	定常常態排水量(L/min)
第１回	166＋10～163＋ 0	37～107	70.0	2	100	18
第２回	163＋ 3～159＋13	104～174	70.0	2	22	8
第３回	161＋ 7～157＋17	140～210	70.0	2	95	2
第４回	160＋ 9～156＋19	158～228	70.0	2	133	43
第５回	159＋11～155＋ 1	176～266	90.0	4	73	23
第６回	157＋ 6～153＋16	221～291	70.0	4	191	62
第７回	155＋ 1～150＋11	266～356	90.0	4	200	74
合　計			1,560.0		814	230

3-1　第１～４回の水抜きボーリング

図-6には，第１回水抜きボーリングから第４回水抜きボーリング(No.166＋10～No.156＋19)までの各延長とそれによる未固結砂層Os2-1に注目した地下水位の変化を示す．

トンネル切羽の安定性に強く影響するOs2-1層内の地下水位を，切羽前方の地下水観測孔で捉え，基本的にここの地下水位を上述の①～③の原則に沿って低下させ，これを確認しながら掘削施工を図った．坑内から切羽前方に向けての水抜きボーリングは，φ120㎜，70m/本のケーシング掘りで，VP50有孔管挿入を左右１本ずつ，約３日以内での施工を基本として，それらからの排水量を観測した．

図-6から，トンネル掘削断面にかかわるOs2-1層の被圧状態をできるだけ正確に捉え，水抜きボーリングにより確実に被圧を解いて，次の掘削作業に取り掛かっていることがわかる．

例えば，第３回水抜きボーリングによって，地下水位は低下したものの，No.160より先では依然トンネル天端より高い水位を示していた．そこ

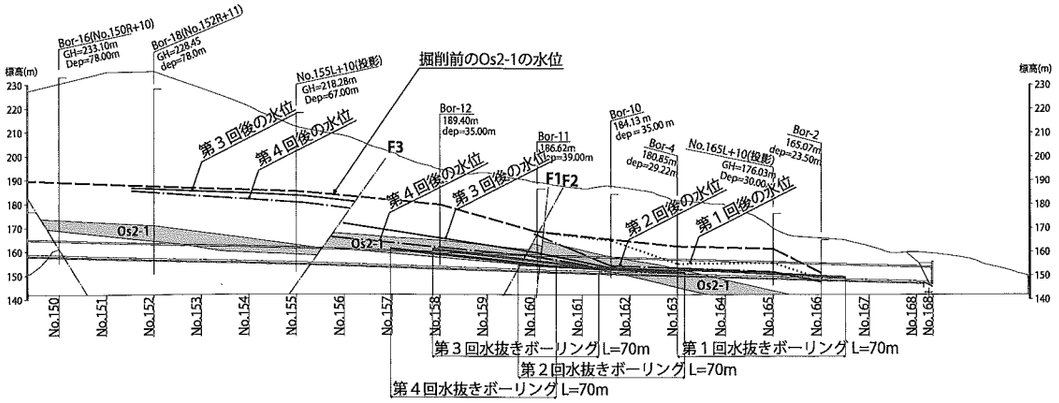


図-6　第１～４回水抜きボーリング結果

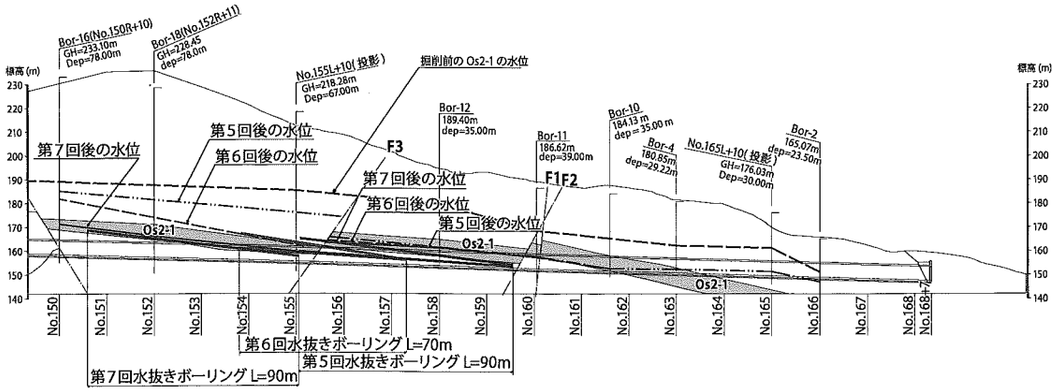


図-7　第５～７回水抜きボーリング結果

で，図-1に示すF1，F2断層からの地下水供給も考慮して，第４回水抜きボーリングをNo.160＋9にて実施した．その結果，直後で排水量133L/minを記録し，No.160より先のNo.159付近まで，地下水位はほぼトンネル天端付近まで低下し，No.160までの掘削を確実にした．

一方で，その先No.158付近の観測水位はいまだ天端より1.8m高く，①～③の原則を満足しないため，次の第５回水抜きボーリングを計画した．

3-2　第５～７回の水抜きボーリング

とくに，事前に予想していたF3断層からの地下水供給に留意して，No.158より前方の(F3断層を突き抜ける)位置までOs2-1層内の水位を低下させること，また，F3断層のずれからトンネル天端付近へ近づくOg2-1層内の水位低下も目指して，第５回水抜きボーリングを，F3断層より先のOs2-1層へ向けて左右１本ずつ，加えて，Og2-1層に対しても同様に左右１本ずつ，計４本(90m/本)をNo.159＋11から実施した．

図-7にこれらによる水位低下を示す．Os2-1層を対象とした水抜きボーリングの排水量が左側23L/min，右側３L/minと少なく，一方，Og2-1層からは，左右それぞれ47L/min，20L/minを得た．これにより，F3断層より手前では地下水位はほとんど低下しなかったが(No.158観測孔で0.38mの低下)，F3断層より先の区間であるBor-13水位観測孔(No.155)では4.8mの低下を確認した．

したがって，F3断層までの区間でOs2-1層の水位がその層内にあり，①の被圧を呈していないこと，また，②の限界動水勾配以下であることから，トンネル掘削の再開を判断した．結果的には，

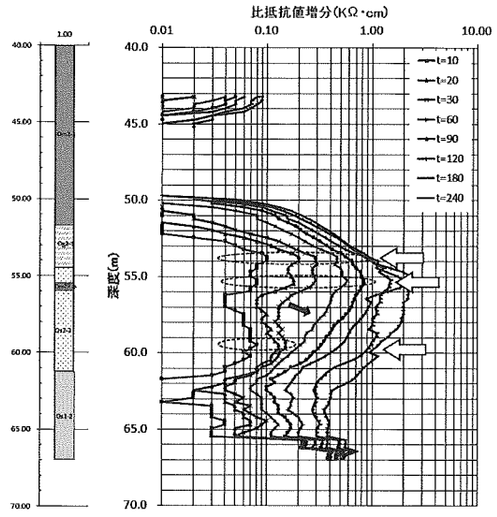


図-8　Bor-13の地下水検層結果

No.157＋6(AGF25シフト)まで切羽およびAGF，鏡ボルト施工にて水のにじみは見られたが，顕著な湧水はなく，順調な施工であった．

つまり，水抜きボーリングを用いて，①，②の水位低下が図ることができれば，湧水やそれに伴う流砂は発生せず，また，補助工法の地山改良効果も確保できるなど，未固結砂質地盤トンネル掘削に対する大きな知見を得た．

一方で，F3断層より先の区間では，いまだ被圧状態にあることから，図-7に示す第６回水抜きボーリング(左右２本ずつ，70m/本)に挑んだ．このときF3断層先の地下水状況を把握するため，Bor-13(No.155)およびBor-16(No.150＋10)の観測孔にて地下水検層を行い，砂層内で地下水の流れが卓越する水みちを探った．

図-8はBor-13孔内の検層結果である．予想どおりOs2-1層およびOg2-1層内で卓越した水みちが存在することが確認できる．加えて，同位置(No.155)で行った新たなBor-14，15を用いて，Os2-1層とOg2-1層の地下水位を別々に観測した結果，**図-9**のように，Os2-1層で圧力水頭14.15m高，Og2-1層で19.38m高など，両層で被圧状態を確認した．また，その差が5.23m高とOg2-1層水頭の意外な大きさが観測できた．この経緯を踏まえて第６回水抜きボーリングを実施した．

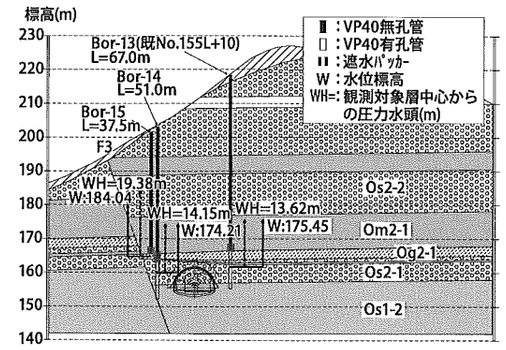


図-9　Os2-1層とOg2-1層の地下水位(No.155)

第６回水抜きボーリングの結果，図-7から，F3断層前方のNo.155(Bor-13～15の位置)までの区間で，Os2-1層の地下水はトンネル天端付近まで低下し(排水量左右１本ずつの合計138L/min)，被圧が解けたといえる．一方で，Og2-1層の水位は3.2m低下したが(排水量は同様に48L/min)，この両層間に介在する粘土層Om2-1の影響もあり，依然，被圧状態であり，掘削継続に対しての課題となった．

掘削を進めるにあたり，実際の判断は以下に留意した．Os2-1層に関しては今までの知見から問題はない．Og2-1層の被圧に対しては，AGF削孔の際に湧水が予想されるが，砂礫層であり未固結砂層ほどの不安定性や流砂がない．また，たとえ湧水してもその層厚や位置を考慮するとドリルジャンボにより切羽後方から水抜きが可能となる．これらの点から，AGF30シフト(No.155＋1)まで掘削可能と判断した．予想どおり，湧水は少なく，掘削はなんら支障なく順調な進行となった．

工区境より前方の本トンネル１工区に位置するBor-16観測孔の結果では，この位置より手前のBor-18(No.152)付近までの被圧地下水がこれまで下げられなかったため，新たに第７回水抜きボーリングを行った．第６回ボーリングの状況とまったく同様の地下水対応の知見にもとづき掘削を進めた．なお，１工区内にあるBor-16付近に残った最後の被圧地下水は，１工区の掘削がNo.150付近に達したさい，１工区側から水抜きを行って被圧を解いた．

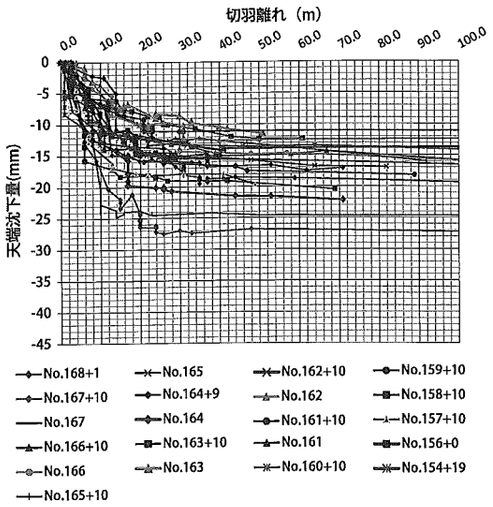


図-10．天端沈下と切羽離れの関係

以上，本トンネル２工区の掘削は湧水などによるトラブルはまったくなく，両工区間貫通までの予定工期内で，手戻りのない順調な施工が達成できた．

また，この間，順次観測してきたトンネル天端沈下量や坑内変位は，上記のような丁寧な地下水対応によって，切羽通過約20m程度までででほぼ収束し，それらの大きさも事前に定めた管理レベルⅠ～Ⅱ以内となった．一例として，**図-10**に，各測定点でのトンネル天端沈下量と切羽離れの関係を示す．

3-3　水抜きボーリングの効果に関するシミュレーション

以上の水抜きボーリングが行われなかったら，どんな状況になっていたのか，仮想ではあるが，シミュレーションを行った．対象断面は，F3断層の影響が強いNo.155位置付近を採用し，この断面上にあるBor-13～15の地下水データを用いて，FEM弾性解析によるトンネル周辺の部分安全率（要素安全率）を求めた．

図-11, 12はOs2-1層に向けて行った第６回水抜きボーリング実施後およびBor-14の被圧地下水位をもった水抜き前の状態に関して，それぞれの部分安全率の分布を示す．なお，解析は（自重解析）→（トンネル断面40%（図-10参考）先行応力解放）→（支保工（吹付けコンクリート，ロックボルト含む）およびAGF施工）→（残り地山応力60%掘削解放）の手順で計算した．また，解析パラメータとして，各地層の弾性係数Eは着工直前の調査ボーリング孔LLT試験結果の値から，ポアソン比は砂質・礫層0.33，シルト質・粘性土質層0.45，また，各地層のせん断強度定数をN値から推定して，例えば，Os2-1層では飽和状態で$c' = 0$ kN/m^2（実際の計算上10kN/m^2），$\phi' = 38°$と設定した．

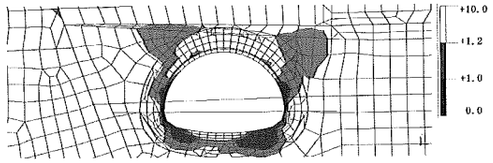


図-11　第６回水抜きボーリング実施後

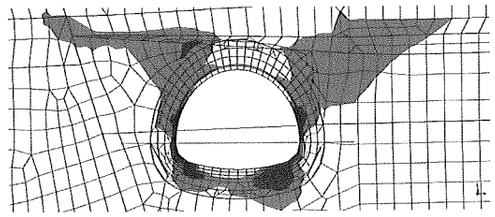


図-12　第６回水抜きボーリング実施前（想定）

図-11, 12の安全率は以下の定義に従った．

安全率＝（地下水を考慮した有効応力解析による各要素の平均有効主応力に応じたクーロン規準値）/（全応力解析による各要素の最大せん断応力）

両図を見比べてみれば，明らかにトンネル周辺，とくに，Os2-1層内で安全率の分布が異なっている．

とくに，トンネル天端AGF改良部の両側近傍では水抜きボーリング実施前と実施後では部分安全率分布に大きな変化が見てとれる．実施前の安全率低下領域の広がりが大きく，この状態でのトンネル掘削ではその安全性が損なわれ，トラブル発生の可能性が強いことを予想させる．

このように，今回の水抜きボーリングの効果は大きく，Os2-1層内地下水対応の妥当性を表している．

4　おわりに

今回，過去に経験したいくつかの未固結砂質地盤の掘削トラブルを教訓にして，入念な地層状態の把握，入念な未固結地盤の物性確認，入念な地下水性状の推定に最善を尽くし，決して手戻りのないトンネル施工を目指した．その結果，延長327mの２工区を，坑口付け後から約10か月にて，なんのトラブルもなく貫通できた．このことは，今後の未固結砂質地盤のトンネル掘削に対して一石を投じ，実績とともに明るい展望を与えられたと信じている．

最後に，今回の未固結砂質地盤トンネル掘削に関する課題の検討に対して，「清水田島トンネル技術検討委員会」が組織され，率直な事実確認と，課題の発掘，解決などの対応を担った．本稿中のデータや資料もこの委員会報告から一部引用している[6]．ここに，本委員会を組織し，データを提供いただいた石川県土木部および示唆に富み的確な助言を多くいただいた真下英人・（独）土木研究所道路技術研究グループ長には深甚なる謝意を表します．

参考文献

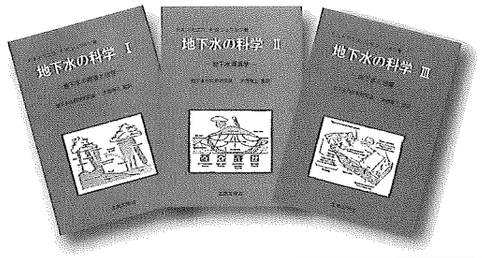
1) 金沢市土木部：釣部トンネル建設工事掘削時変状発生に関する報告書，2000.5.
2) 石橋建夫・宮川実：金沢東部環状道路卯辰トンネル施工報告（半固結砂層地山における大断面トンネルの施工），国交省北陸地方整備局管内技術研究会論文集，pp.397-400，2001.7.
3) 石川県県央土木総合事務所：主要地方道金沢井波線いしかわ広域交流幹線軸道路整備工事（調査）業務委託（その３）報告書，p.24，2005.3.
4) 土木学会編：トンネル標準示方書[山岳工法]・同解説，2006.7.
5) 櫻井春輔・足立紀尚：都市トンネルにおけるNATM，鹿島出版会，1988.12.
6) 清水田島トンネル技術検討委員会：清水田島トンネル技術検討委員会報告書，第１回～第６回，2011.6～2012.7.

■図書案内

地　下　水　の　科　学　— 全３巻 —

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

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



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

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

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

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

現場だより トンネルと地下 2013

「水のふるさと」相模原市緑区より

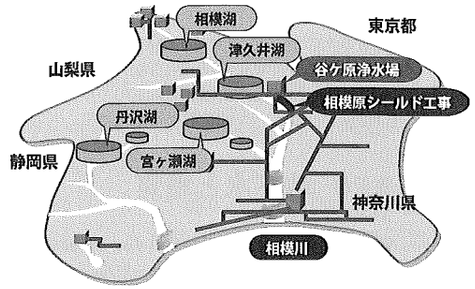
川口幸治

「日本は訪れる人だれもがその魅力にとりつかれてしまうことで知られている．それも束の間の感傷にとどまらず，日本を深く知るにつれてこの感情は着実に大きくなる」

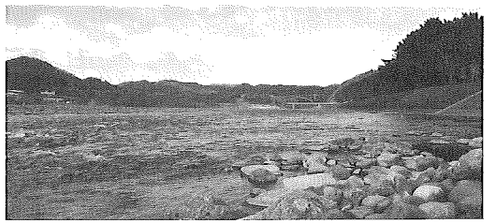
神奈川県が英国軍将校の技師ヘンリー・スペンサー・パーマーを顧問として迎え，日本初の近代水道の建設に取りかかったのは1885(明治18)年のことである．幕末の開港以来，人口が急増した横浜は良質な水に恵まれず，伝染病の蔓延に悩まされていた．パーマーは水質，水量などさまざまな状況から，遠く相模川の上流に水源を求め，1887(明治20)年９月，全長44kmにわたる水道を完成させる．河岸段丘での工事は困難を極めたが，完成以降，相模川の水は多くの命を救い，「横浜港で給水した水は赤道を越えても腐らない」と外国航路の船乗りたちにその水質を称賛されたという．

その後，給水人口の増加にともない揚水方式から自然流下方式への変更によって，取水口も移設される．その際に築造された1915(大正４)年完成の城山ずい道(当時日本で２番目の長さ4,358mを誇るトンネル，レンガ巻き馬蹄形管路)は，100年近く経った今でも変わらずに，人々に清らかな水を送り続けている．

こんにち相模川水系は神奈川県内，各市町村の水源となっている．ここ相模原市は相模川の豊かな流れ，道志川の清流，相模湖や津久井湖など首都圏の水がめを有し，戦後に誕生した都市としては初めて2010(平成22)年４月，全国で19番目の政令指定都市となった．豊かな自然環境とともに，さがみ縦貫道など広域幹線道路の整備やリニア中央新幹線の駅誘致も進行中の活気溢れる都市である．



位　置　図



相　模　川

その相模原市のほぼ中央，津久井湖の下流に神奈川県営水道の基幹浄水場，谷ケ原浄水場はある．「相模原市大島～城山町谷ヶ原地内送水管布設(シールド)工事」は，神奈川県営水道が「災害や事故に強い水道づくり」を目指して計画的に実施する「水道施設相互融通化整備事業」の一環として，谷ケ原浄水場から緑区大島を経由し相模原市，厚木市，愛川町の約６万８千世帯に水道水を供給する基幹管路の整備事業である．

当工事では，泥土圧シールド工法にて延長2.7km，セグメント外径φ2,006㎜のトンネルを築造し，内部にφ1,100㎜の鋼管を布設する．上流側1.6km，下流側1.1kmの両発進立坑から，上流側は平成23年１月～24年４月にて掘進を完了．シールドを引上げて整備を施したあと，再投入して下流側を平成24年７月～25年１月で掘進した．途中，直径１m超の高硬度の巨礫の頻出によるビットやシールド面板の損傷，また固結粘土層の出現による面板開口の閉塞などで掘進が難航したが，発注者・施工者一丸となって難局を乗り切り，現在は来年３月の竣工に向けて鋼管布設，二次覆工を鋭意施工中である．

冒頭の言葉は，来日から1893年に没するまでわが国のインフラ整備事業に尽力したパーマーが記したものである．異国の土地で彼の目に映ったもの，感じたものに想いを馳せる．彼の情熱の源はその土地や人を想う心だったのではないだろうか．われわれも社会資本整備の一翼を担う技術者として，大切な心を忘れずに地域のため，人のために日々全力を尽くしたいと思う．

(西松・エム・テック・奈良特定建設工事共同企業体所長)

施工

有楽町・副都心線並行区間の線路交差を２本の単線連絡トンネルで解消(その３)

—東京メトロ　小竹向原駅～千川駅間連絡線シールド工事—

東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部第二工事事務所所長　伊藤　聡
東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部第二工事事務所第三担当技術課長　嶋田　司
熊谷・佐藤・大日本建設工事共同企業体現場代理人　山上　享
熊谷・佐藤・大日本建設工事共同企業体監理技術者　根岸秀男

１　はじめに

東京メトロでは，現在９路線179駅で195.1kmの営業運転をしている．そのうち，有楽町線は和光市駅から新木場駅間において，また，副都心線は和光市駅から渋谷駅間において営業運転をしており，小竹向原駅では，有楽町線と副都心両線の相互乗り入れも行っている．

この両線は，和光市駅から池袋駅までの間において並走しており，小竹向原駅で西武有楽町線と，和光市駅で東武東上線とおのおの相互直通運転を行っている．さらに，平成25年３月16日に副都心線渋谷駅において東急東横線および，東急東横線経由で横浜高速みなとみらい線との相互直通運転を開始した．

この相互直通運転開始後の列車本数増加に対応するため，さらに有楽町線と副都心線両線の相互乗り入れに伴い発生する平面交差部における列車の通過待ちを解消し，輸送の安定性を向上させる

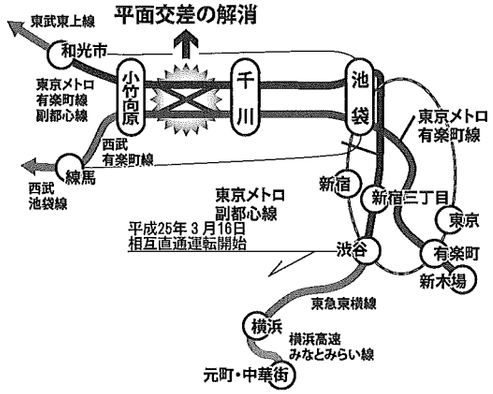


図-1　路線概要図および平面交差部・工事位置

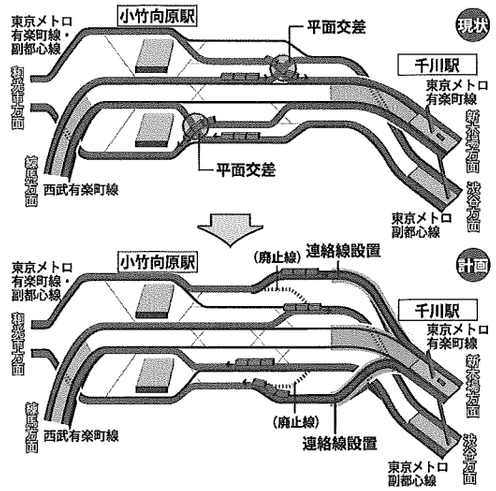


図-2　小竹向原駅と千川駅間の現状と計画

ため，小竹向原駅から千川駅間において，列車の平面交差を解消して立体交差にすることを目的に有楽町線の連絡線を建設している．**図-1**に路線概要および平面交差部・工事位置を示す．

この工事は，平成22年度に開始し，平成24年度内の池袋駅方面行(以下「A線」と記す)の供用開始，そして，平成27年度内の和光市駅方面行(以下「B線」と記す)の供用開始を目指している．**図-2**に小竹向原駅と千川駅間の有楽町線と副都心線の平面交差の現況と有楽町線連絡線設置工事の計画を示す．

本稿では，この有楽町線連絡線設置土木工事のうち，A線におけるシールドトンネルを，縦長形状の複合円形断面を採用した泥土圧シールドにて築造した工事について報告する．

2　工　事　概　要

有楽町線連絡線設置土木工事は，延長410mの工事区間を3つの工区に分割して，小竹向原駅方の向原工区と千川駅方の千川工区は開削工法を採用し，両工区をつなぐ中央の工区はシールド工法を採用している．**図-3**に工事概要図を示す．

工事場所は，板橋区向原1丁目4番地先から豊島区要町3丁目45番地先の都道441号(通称：要町通り)上である．

シールドトンネル工区は向原工区区間を発進基地とし，千川工区に向けて延長175mのトンネルを縦長形状の複合円形断面を採用した泥土圧シールド(6.8×5.7m)にて築造するものである．平面線形は曲率半径R＝500mの区間を36%(63m)有し，縦断線形は＋2‰の勾配区間を35%(始端部50m，終端部11m)，＋24‰の勾配区間を65%(中間部に114m)有している．

3　地　質　概　要

当該付近は，豊島台(洪積台地)に区分され，その第四紀層は江戸川層を基盤とし，東京礫層，東京層，段丘礫層，ローム質粘土層(凝灰質粘土層)，ローム層の順に重なるものである．

シールドトンネル掘削部地盤は，発進部が全断面が段丘礫層，到達部が段丘礫層，東京層砂層である．N値は段丘礫層で40以上，東京層砂層は50以上である．地下水位はGL－3.5m付近に存在する．

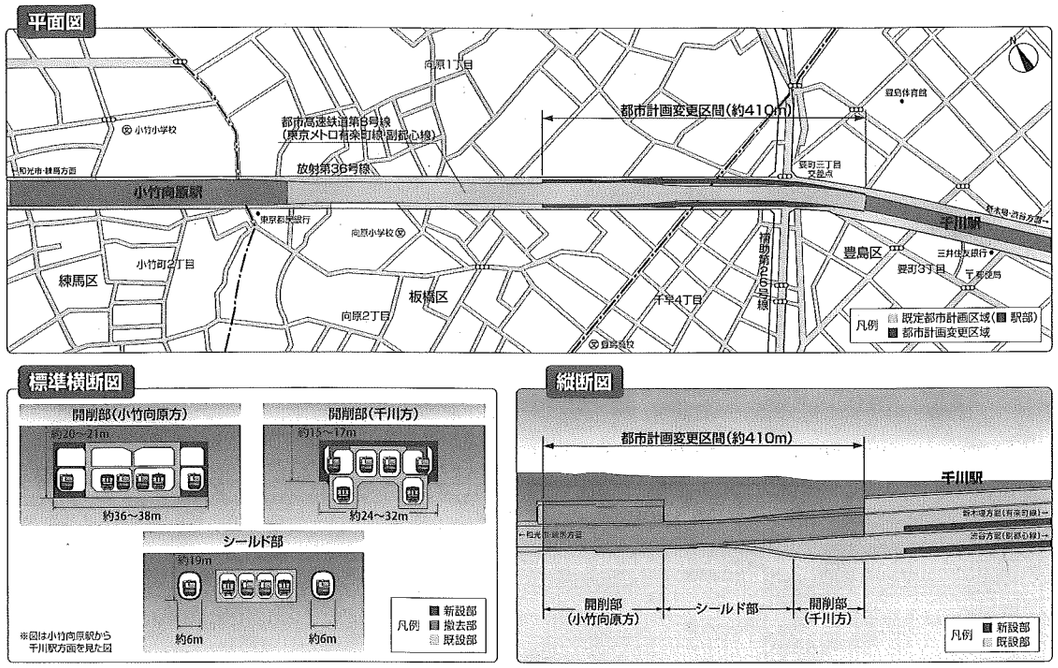


図-3　工事概要図

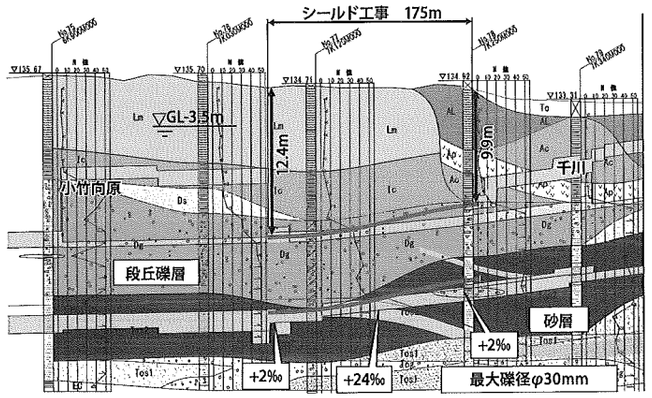


図-4　地質概要

図-4に地質概要を示す．

4　複合円形断面の採用

当該地は，緑の多い閑静な住宅街となっており，都道441号(要町通り)にはアンダーパスなどがある．そのため，線形を道路内に納め，有楽町線・副都心線への影響を最小限にし，地上への影響を極力減らす工法を選定することに注視し計画範囲を決定した．

その結果，計画範囲を約410mとして，両端を開削部，中間をシールド部とした．さらに，シールド部においては，民地部および既設構造物との離隔を十分に確保し，地下鉄運行に必要な空間を確保するため，副都心線で施工実積のある複合円形シールドを採用した．これにより掘削断面が円形に比べ約10%減ることになり，環境負荷低減にも貢献する．

写真-1に施工時路上写真を示す．

5　セグメント

複合円形断面の特徴は，3つの曲率半径(R＝2,000㎜，5,500㎜，7,800㎜)の曲線を組み合わせることで，円形の力学的特性を最大限に生かした形状かつ鉄筋コンクリート製セグメントで構築可能な形状となり，トンネル幅とセグメント厚さは円形シールドと同一で，地下鉄の運行に必要なト

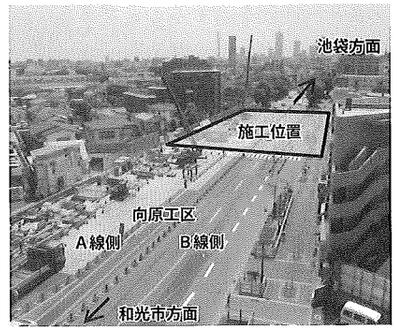


写真-1　施工時路上写真

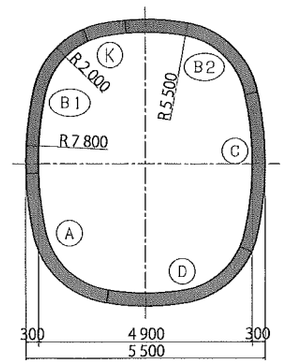


図-5　セグメント構造図

表-1　セグメント諸元

名　　称	平板(300)型セグメント
材　　質	鉄筋コンクリート
寸　法(外　径)	6,600㎜×5,500㎜
分　　割	6分割
K セ グ メ ン ト	軸方向挿入式
セグメント幅/セグメント厚	1,500㎜/300㎜
継手(セグメント間/リング間)	アーチ型インサート継手/DUET継手
設 計 基 準 強 度	48N/㎟

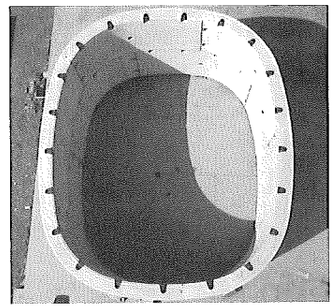


写真-2　セグメント仮組立て状況

ンネル内空間を有することである．

図-5にセグメント構造図，**表-1**にセグメント諸元，**写真-2**にセグメント仮組立て状況，**写真-3**に現場搬入状況，**写真-4**にDUET継手を示す．

写真-3　現場搬入状況

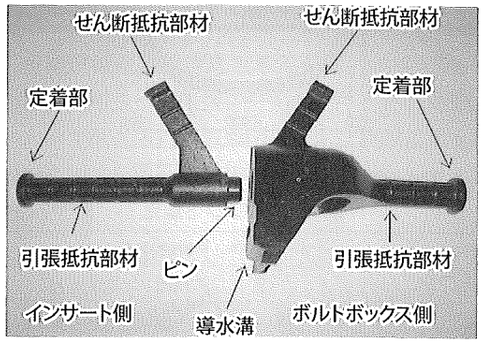


写真-4　DUET継手

6　シ　ー　ル　ド

当工区の掘削断面は複合円形断面としたため，円形カッタで切削を行うと掘り残しが発生する．そのため，3本の伸縮カッタを装備して，未掘削部分が発生しないように伸縮カッタのストロークを管理した．また，円形断面でないためマシンローリングが問題となる．ローリング対策としてローリング修正ジャッキを8本装備した．**図-6**にシールド構造図，**表-2**にシールドの仕様，**写真-5, 6**にシード全景と現地組立て状況を，**図-7**に伸縮カッタ，**図-8**にローリング修正ジャッキを示す．

表-2　シールドの仕様

項　目	詳　細	仕　　様
本体シールド	外径	6,800㎜×5,700㎜
	機長	8910㎜
	テールシール	ワイヤブラシ型×2段
推進装置	シールドジャッキ	2,000kN×2,550st×21本
	総推力	42,000kN
カッタ装置	スポーク本数	3本
	支持方式	中間支持方式
	装備トルク	5,321kN・m
	カッタ回転数	0.77rpm
	余掘り装置	コピーカッタ3本
裏込め注入	注入方式	同時注入方式

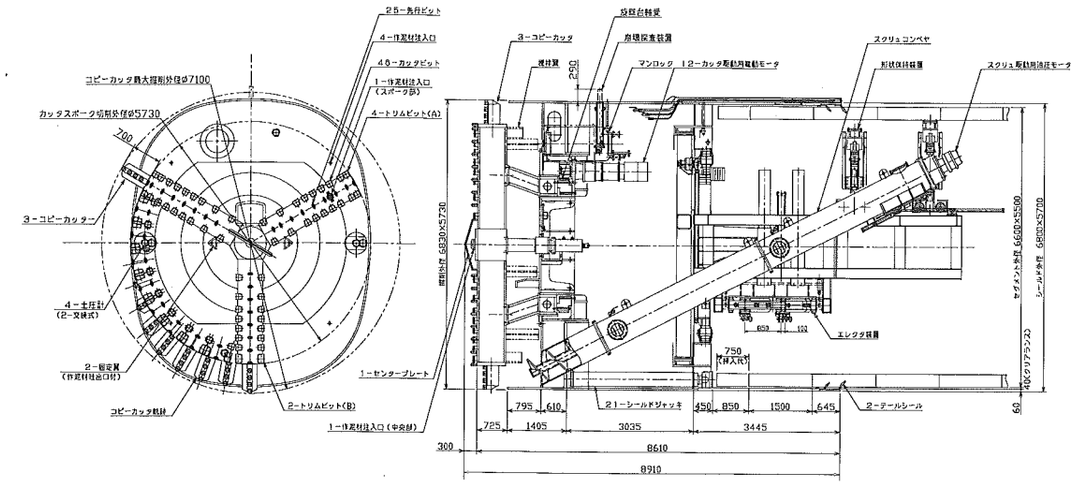


図-6　シールド構造図

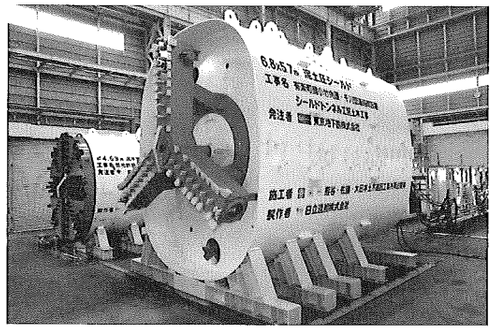


写真-5　シールド全景

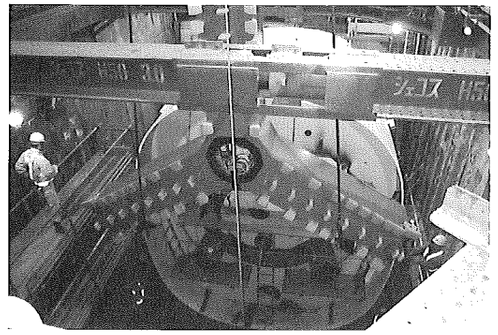


写真-6　現地組立て状況

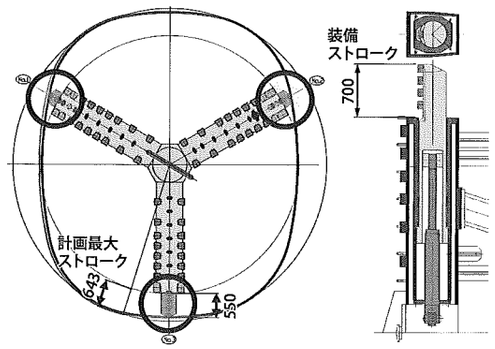


図-7　伸縮カッタ

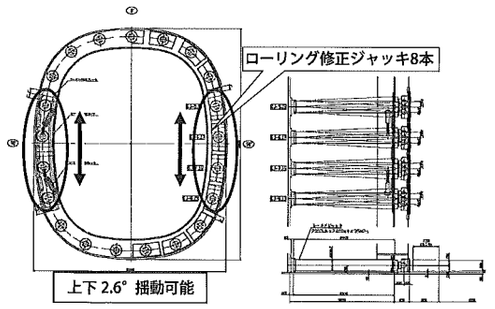


図-8　ローリング修正ジャッキ

7　加泥注入材料

当工区の掘削対象土は礫混じり細砂で，塑性流動化が難しいことから，塑性流動性確保のためベントナイトを採用した．あわせて不透水性確保のため吸水効果と増粘効果をもつポリマー系加泥材を採用した．ベントナイトとポリマー系加泥材を混合することにより切羽の安定，塑性流動化の確保を行うことができた．**図-9**に加泥材注入口配置図を示す．

加泥材の配合，注入率は事前に試験練を行い決定した．**表-3**に加泥注入材の使用実積を示す．

8　裏込め注入材料

裏込め注入は，掘進スピードと連動した注入制御を行う同時裏込め注入方式とした．**図-10**に同時裏込め注入装置を示す．

裏込め注入材は2液性の可塑性裏込め注入材を使用した．目標注入率は130%とし，注入率管理を基本としたが，注入圧力管理も今回のセグメント構造では重要なため，注入圧力を切羽土圧＋0.1MPaとした．**表-4**に裏込め注入材の使用実積を示す．

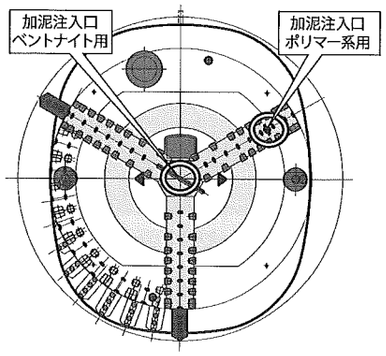


図-9　加泥材注入口配置図

表-3　加泥注入材の使用実績

項　　目	注入実積
ベントナイト（#250）	160kg/m³
ポリマー系加泥材	10kg/m³
ベントナイト：ポリマー系加泥材	8：2
注　　入　　率	10%

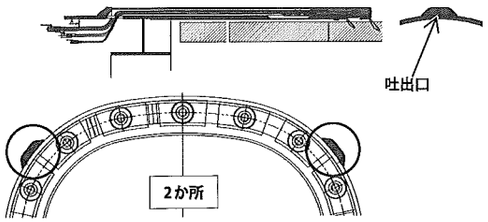


図-10　同時裏込め注入装置

表-4　裏込め注入材の使用実績

品　名		注入実績
A 液	固化剤	240kg/m³
	助剤	60kg/m³
	安定剤	2 L
	水	820L
B 液	急硬剤	75L

9　近　接　施　工

近接施工について，φ300㎜のガス管が離隔8.7mで上方に並行している．また，到達部で水道管φ1,100㎜が離隔5.9m，下水人孔が離隔6.5m，千川上水が離隔8.0mで交差している．真横には既設有楽町線・副都心線が並走している．

近接構造物への影響を最小限とするためには，切羽土圧の設定および排土量，裏込め注入量・圧の管理が重要である．切羽土圧については，主導土水圧＋変動圧で管理した．**図-11**に土圧計配置を示す．

排土量管理については，電磁流量計とγ線密度計を設置しリアルタイムに計測を行った．さらに，ずり鋼車搬出台数，掘削土搬出台数を記録し，排土量を確認した．**図-12**に排土量の管理を示す．

裏込め注入量・圧の管理についても，路面変状，近接構造物の沈下管理を行うことにより，最適な管理が行えた．

既設有楽町線・副都心線の計測は，軌道の鉛直変位，水平変位を自動計測することにより，リアルタイムで変位を計測した．その結果，近接構造物に影響を与えるような変位を発生させることなく，シールド掘進を完了することができた．

また，線形管理については，平面線形R＝500m，縦断線形R＝4,000mの複合曲線内での到達となり，精度の高い線形管理が要求されるため，ジャイロコンパスをシールドに搭載し，レーザートランシットによる測量を行って，管理基準値±50㎜以内で掘進制御ができた．

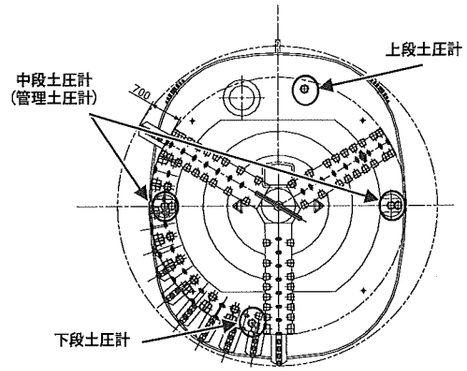


図-11　土圧計配置

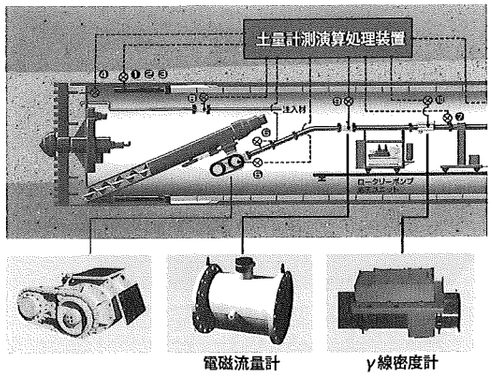


図-12　排土量の管理

10　進　捗　実　積

土砂搬出方法は，マシンスクリューからロータリーポンプで土砂を圧送し，後続台車後方でずり鋼車に土砂を受ける工法を採用した．初期掘進では，ずり鋼車とセグメントの投入・搬出開口が1か所のため3m/日であった．本掘進では，セグメント開口およびずり鋼車用開口を設置し，掘進スピードは25㎜/分以下で，最大7.5m/日（5リング/日）で掘進できた．

その結果，全長175mを稼働日43日，暦日52日で掘進を完了することができた．今回の掘進では，到達部付近でロータリーポンプに支障物を取り込み，ポンプが故障するなどのトラブルはあったが，

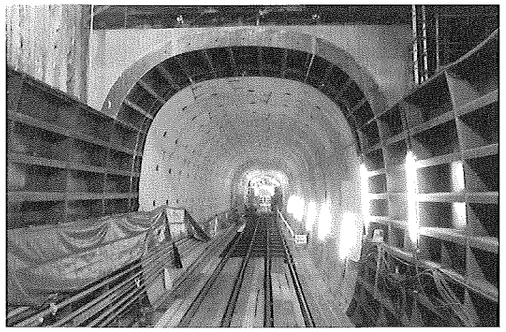


写真-7　発進坑口

写真-8　坑　内

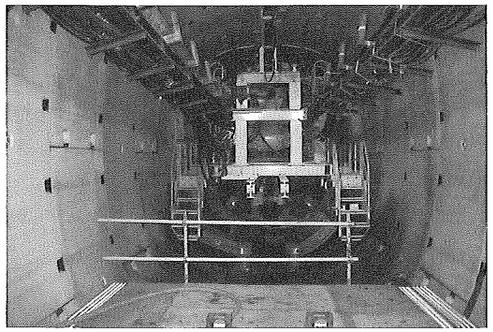


写真-9　切　羽

写真-10　セグメント投入

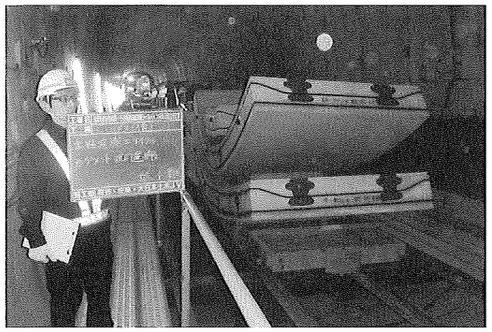


写真-11　セグメント運搬

写真-12　セグメント組立て

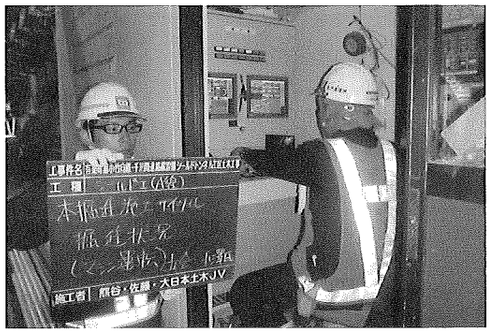


写真-13　掘進

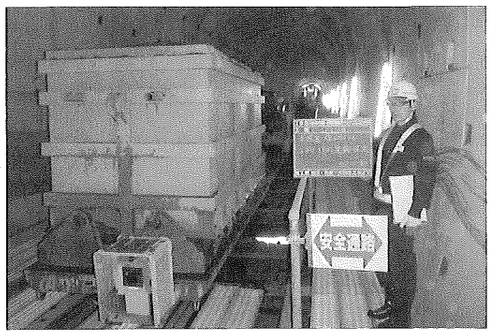


写真-14　掘削土砂運搬

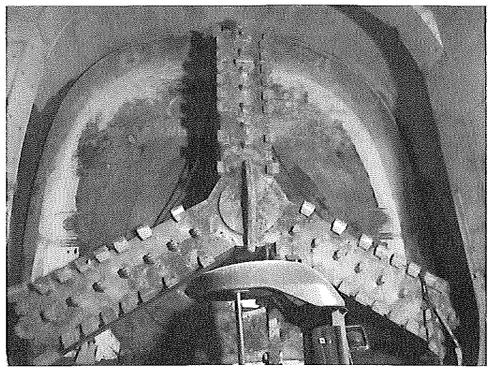


写真-15　到達状況

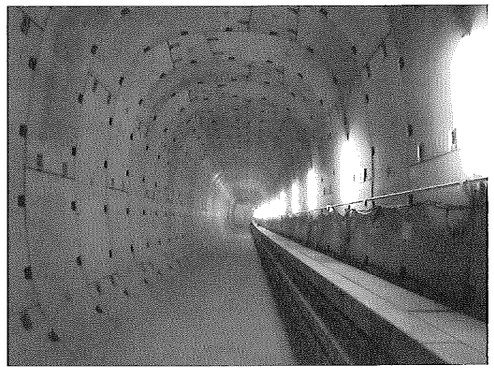


写真-16　施工完了時のトンネル坑内

おおむね順調に掘進作業を完了できた．

写真-7に発進坑口，**写真-8**に坑内，**写真-9**に切羽を示す．施工状況写真として**写真-10～15**にそれぞれ，セグメント投入，セグメント運搬，セグメント組立て，掘進状況，掘削土砂運搬を示す．また，**写真-15**には千川工区側から撮影した到達状況を示す．最後に施工完了時のトンネル坑内を**写真-16**に示す．

11　おわりに

本工事においては，シールド完了後の発進部構造物築造工事は計画どおりに進捗し，A線側地下2階については，次工程となる軌道工事を施工する工務部への引渡しを7月末日に遅延させることなく行った．

現在，A線側の有楽町線連絡線設置工事は，軌道工事，電気・通信設備工事を行っており，平成24年11月4日に千川駅付近の部分的な軌道切替工事が無事完了し，平成24年2月中旬に予定されている有楽町線の連絡線への切替工事，さらに平成25年3月16日の東急東横線・横浜速みなとみらい線との相互直通運転の開始に向けて，順調に工事は進捗している．

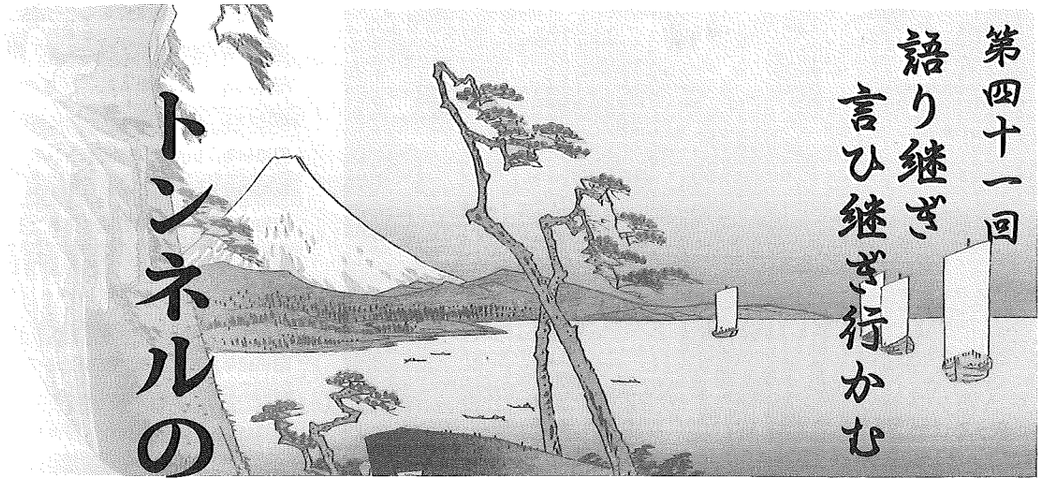
一方，本工事は，B線側工事に支障する埋設物の移設工事を行っている．

今後も長期にわたる施工となるが，発注者，施工者で関係各機関および沿道住民の協力が得られるよう鋭意努力するとともに，A線を施工した経験を踏まえ，より安全に工事の完成まで無事故・無災害を達成させるべく努める所存である．

多様化する
シールド掘進技術

監修　シールド工法技術協会
B5判　141頁　本体価格2,500円

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



トンネルの旅に魅了されて

猪俣正（元）飛島建設（株）

はじめに

子供のころ，仙台は広瀬川の河畔に育ち，いろいろな川遊びをしたが，水を堰き止めたり流れを変えたりする「ダム工事」がとりわけ好きだった．そんな思いも残ってか，土木の道に進み飛島に入社．そこでたまたま出会ったトンネルに深入りし，以来，現場24年，本社15年と，そのほとんどをトンネルとともに過ごしてきた．

面倒な配筋図もなく，断面と延長だけで掘れるシンプルさ．素材が不均一で，亀裂と水と時間に支配される超力学の地山．限りある事前調査から最後は出たとこ勝負となる迫力と魅力．なによりもそこにはヤマと折り合いをつけ，新たな空間を創り出し拡げてゆく楽しみがあった．

ヤマの神が御座した

■坑口のり面崩壊

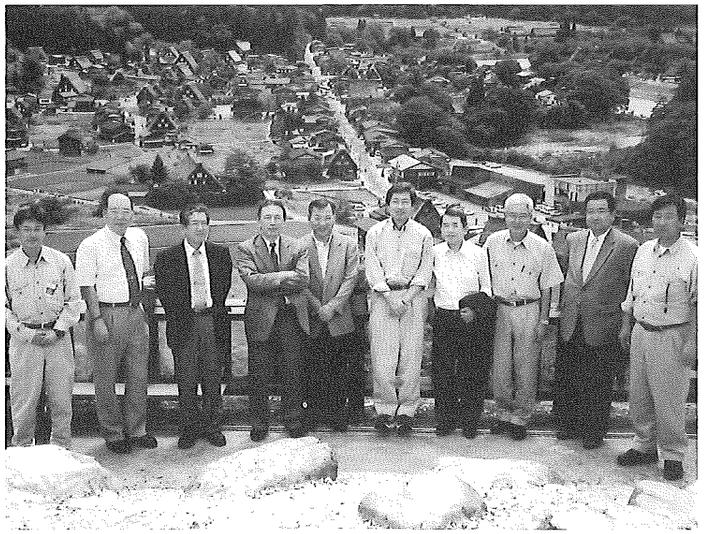
昭和50年，石川県．霊峰白山を源流とする手取川で，発電所の取水塔と導水路トンネルを施工した．

トンネル本体は取水塔との競合を避け，横坑を設けて先行し，呑口部は取水塔切取り工事の完了を待って坑口付けに着手した．準備が整い，当日より2方編成とし，1の方で捨枠3基を建て込み，引き続き2の方で坑口固めをする予定でいたところ，夕刻の定例打合わせ時に雨が降り出した．トンネル掘りは水を避けて通れないので，明かりで雨が降っても作業は継続するのが常だが，それいけどんどんの私にしては珍しく，この日はなにか気が進まず気力も湧かない．不思議と協力会社のオヤジも同じ気持ちだったらしく，夜勤初日からの雨はゲンが悪いということで，2の方は先行トンネルの後向き作業にまわした．

夜半，坑口直上法面が，幅20m，高さ30mにわたって崩落し，1,000 m³の土砂で坑口が埋没した．

■落　盤

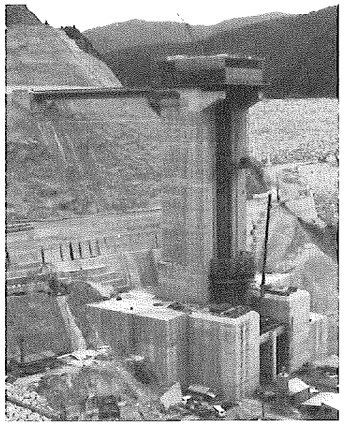
先行トンネルが残り120mとなって，地山が悪化したので，それま



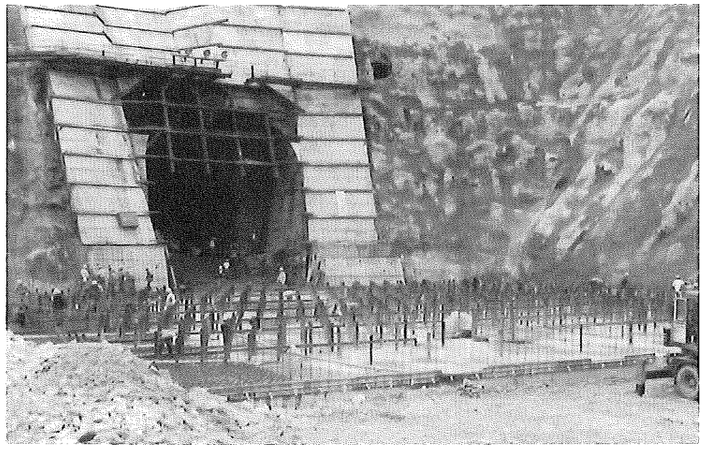
白川村合掌造りの奥が飛騨トンネルの坑口(右から３番目の白髪頭が著者)

著者経歴

昭和41年	東北大学工学部土木工学科卒
昭和41年	飛島建設入社
昭和45年	気仙沼線折立トンネル
昭和46年	山陽新幹線安芸トンネル
昭和48年	可部発電所導水路トンネル
昭和50年	手取発電所導水路トンネル
昭和52年	中呂発電所放水路トンネル
昭和53年	国道156号線内ヶ戸トンネル
昭和54年	高速鉄道３号線岸根トンネル
昭和58年	国道158号線安房トンネル
昭和60年	信濃川発電所水路トンネル
昭和63年	道平ダム導水トンネル
平成2年	土木本部トンネル担当部長
平成14年	執行役員技師長
平成17年	飛島建設退社



手取川ダム(右上：ダム堤体，中央：取水塔，左下：作業横坑坑口)



導水路トンネル呑口と取水塔基礎(正面は法面崩壊部の鉄骨コンクリートによる仮押さえ)

での全断面掘削から上半先進に切替えて貫通点に到達した．二次覆工は，掘削完了後の全周同時巻立てなので，上半支保工を根固め，仮巻きで補強し，大背掘削を開始した．あと一昼夜で大背完了かという日，朝から所用で現場を留守にし，夕方に戻ってトンネルに入ったところ，なにかいつもとは様子が違った感じで，漠とした強い不安に襲われた．その後の打合わせで，いつになく強引にオヤジを説き伏せ，２の方より足付け作業に変更した．

その夜，上半先進箇所120mの中ほどで落盤が発生し，トンネルが埋没して坑奥とに分断されたが，坑夫衆は全員手前におり，事なきを得た．

ほどなく，相手方が貫通点に達し，反対口から入って調べたところ，上部に大空洞ができており，崩落原因は，掘削後に地山の緩みが進行し，天端上部を横切る断層に水が廻り，岩盤群の付着が切れ，一気に支保耐力を超える荷がかかって落盤に到ったと推察された．

■切羽に身をさらす

今回，落盤の原因となったトンネルに近接する断層の存在は，経験を積んだ技術者でも察知するのは難しいことと思われるが，まだまだ未熟だった私には，到底及ばぬことだった．それでも終日，坑夫衆とともに切羽に張り付き，少しずつトンネルの具合も肌で感じられるようになってきてはいた．

運よく，この２度のトラブルを無事に乗り切れたのは，ひたすら切羽に身をさらしていた私に，ヤマの神が合図を送ってくれたおかげと今でも思っている．

断層破砕帯を掘る

■阿寺断層

昭和52年，岐阜県．下呂温泉近くの飛騨川沿い中呂で発電した水を一山越した馬瀬川の岩屋ダムまで運ぶ，放水路トンネル工事．

当初，延長6,600mのトンネルを両口から２社で掘り進んだが，双方とも阿寺断層に遭遇し，１年半無進行状態が続き，代わって当社が施工を引き継いだものである．

阿寺断層は，恵那から下呂の間約60kmにわたる日本有数の活断層で，当トンネルはその北端にかかり，扇状に分岐した３本の主断層と無数の派生断層を横切っていた．

地質は火砕流堆積物の濃飛流紋岩．最大で，土かぶり520m，坑口湧水量計24t/分，湧水圧26kg/cm².

■ヤマの癖をつかみ，折り合いをつける

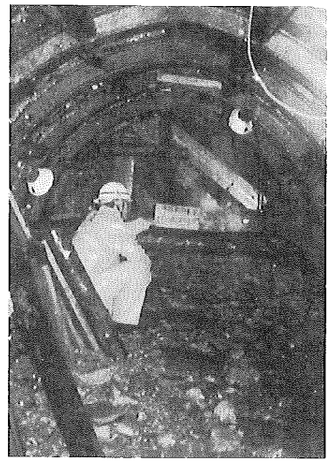
馬瀬方切羽は，すでに岩屋ダムが湛水しているため，放水路ゲートの戸当たり金物の隙間から漏水が噴出しているのを横目に見ながら立坑を30m下り，さらに３km坑奥に入ったところだった．

さっそく廃坑となっていた水抜き坑跡に見張り(詰所)を設け，以来，貫通までの１年，この場を活動基地とした．

天端に鐘木を吊るし，トレンチシートを打ち込みながら隙間を矢板でカバーする．鏡は縫い下がり，ヘソは流失させぬようヘソ枠を盛替えて押さえ込む．とくに根掘りは流水中の作業となり困難を極めた．ようやく底盤まで掘り下がっても，下に行くほど鏡が押し出され，なんとか支保工が建つ間しかとれないことがしばしばあった．こうしてようやく破砕帯を一つ越えてヤマが良化しピックの刃が立たなくなると，発破に切り替えてしばらく進む．

次の断層が近づいてくると，どこかで土水圧のバランスが崩れ，前方不透水層を突き破った被圧水が，突然，山鳴りとともに岩盤の目を押し拡げて走りまわり，大量の湧水を伴って切羽が崩壊する．ヤマが落ち着くのを待って，少し退った右か左に迂回坑を出す．同様の経緯でまた切羽が潰される．また迂回を出す．そうこうしているうちに水圧が下がり，水量も減って，どの切羽かが向こう岸にたどり着いた．

湧水が少なく，ピックで容易に掘ったヤマでも，掘削後じわじわと地圧が増し，担いを吊ったり後光を組んだり，受けても受けても押され，とうとう人が這って歩くほどのスペースになってしまった．これ以上押してきたら中にコンクリートを詰めるのみと思い定めたとき，ヤマとのせめぎ合いに夢中で，空間確保の目的を忘れた己に，笑いが込み上げてきた．急に肩の力が抜け，ヤマもそこで治まった．



阿寺断層を掘る一治まっている間に写真撮影(黒板ならぬ矢板を持つ著者)

ヤマにはそれぞれの癖がある．どんな難しいヤマでも，切羽に張り付き，始めは用心しながらも，ヤマとやり取りしているうちに，しだいにヤマの癖を感じ取り，折り合いがつくようになるものと思われる．

■水抜き工

断層破砕帯の掘削は，いかに湧水を処理するかにつきるとも言える．高圧大量湧水下の注入は，技術的にも難しく，工期，費用も多大となるので，特殊なケースを除いては，まず，水抜きボーリングとなる．

通常，岩盤の裂か水は，その量が多く，圧があってもボーリングで比較的素直に水が抜ける．しかし，このヤマのような破砕帯となると，ボーリングそのものが難しいうえ，孔から突出する土砂がかみ込んですぐに閉塞してしまい，なかなか水が抜けない．

当現場では，前任者が当時の新鋭機と思われるTOP-Lを手当て

して，水抜き坑切羽に配置していた．さっそくボーリング屋を手配して掘ってみたが，ビットのジャーミングやロッドの締め付けで，なかなかうまくいかない．気負って乗り込んだばかりでもあり，そうそうに見限って外に運び出し鏡を開いた．

以来，水抜きボーリングは機動性の良い台車式１ブームドリフタにとどめ，しばしば土砂を連行するが，大量の水が流出し，早期に水圧を下げる水抜き導坑に専念した．

なお，このTOP-Lには，その後あちこちの水現場で助けられ，破砕地山の水平ボーリングでは，今でも最強の機械の一つと考える．

ボーリングは孔が小さく遠隔操作のため，トンネル以上に職人の技量が物を言うが，今思えば猫の私が，せっかくの小判に目もくれず通り過ぎていたようである．

■トンネルを掘る覚悟

反対口，中呂側からの掘削もほぼ同様な経緯をたどって進み，丸１年で残された1,300mの断層群を掘りきった．最後は水抜き迂回坑どうしの貫通だったが，早期発電のため，そのまま切拡げ，本坑に変更された．

当トンネルの掘削は，なにか特別の工法を用いたわけでもなく，昔からのやり方を，果断に，そして根気よく続けただけである．確かに，会社としての経験の積み重ねに支えられもしたが，なによりも，トンネルを専門とする協力会社の層の厚さと，先代から培ってきた彼らとの信頼関係が大きかったのではないかと思っている．

私自身はこのヤマと付き合って，なにかトンネルを掘る覚悟のようなものができたと感じている．

70℃超の熱水帯に遭遇する

■安房トンネル

昭和58年，岐阜県．飛騨高山と信州松本を結ぶ，中部山岳国立公園の安房峠直下を通過する国道トンネル．

安房峠は穂高や乗鞍などの日本アルプスに囲まれた標高1,790mの峠で，焼岳の噴煙が一望できる火山地帯に位置する．峠は，冬は雪に埋もれ，半年間通行止めとなるため，延長4,350mの安房トンネルが計画された．

計画にあたり，熱源を避けるよう15年にわたる事前調査で慎重にルートを選定したのち，本坑施工に先立ち，主として高圧湧水帯と高熱帯の地山状況の確認のため調査坑に着手した．

当JVは，このうち，旧谷地形の古生層に火山噴出物が厚く堆積した大量高圧湧水帯（平湯低速度帯）を目指して，高山方平湯坑口より掘削を開始した．

■熱水の出現

工事用道路に張り出してきた枝を払って，環境省からお叱りを受ける失敗もあったが，トンネルは火山砕屑物からDⅢ級砂岩粘板岩の古生層へと順調に掘り進んだ．

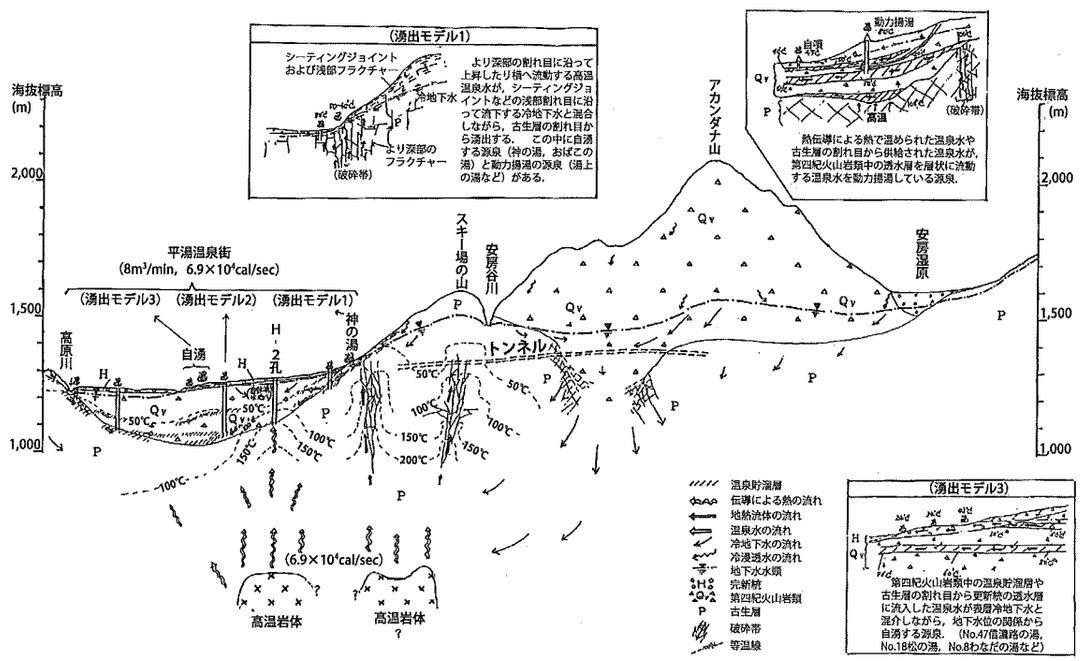
ところが，それまで13℃だった湧水温度が，TD350m付近から上昇しはじめ，TD465mでは52℃にまで達した．この間，換気の増強，沢水の散布，作業時間の短縮などを行ってきたが蒸し暑さは増すばかりで，熱中症，火傷の危険も考えられ，掘削をいったん中止した．

前方地山のボーリング調査の結果，地質は粘板岩の断層破砕帯で，湧水温度は最大73℃で，50℃を越える熱水区間は120mあり，この間の孔口湧水量1.6t/分，湧水圧9.2kg/cm²であることが判明した．

■先達に学ぶ追体験

ひとたび熱水が流下すると，熱を放出し，切羽雰囲気もすぐに同調する．先の調査ボーリングは，

安房トンネル調査坑掘削状況



安房トンネル平湯温泉地区の地熱-温泉系の概念図

温泉が飛び散る蒸し風呂状態でのコアリング作業となり，難渋を極めた．仮に後方よりボーリングで集水したとしても，切羽にも湧水は残り，熱水下での作業は有効な防護の手立てもなく，事実上不可能である．したがってここでは，注入で熱水を止め，風を送ってトンネル内を冷やして掘削を可能にする，薬液注入工法が採用された．

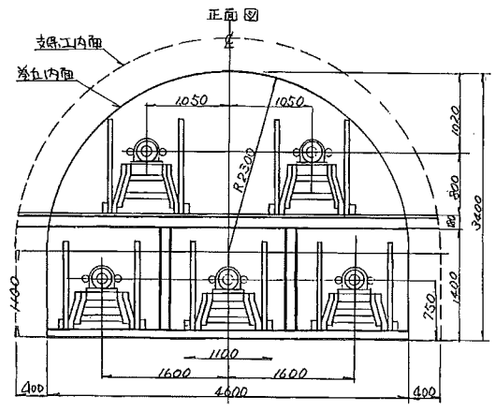
過去，施工事例がほとんどない破砕帯における高温泉水の止水注入に当たり，注入で優れた実績を残した，青函トンネルと上越新幹線中山トンネル，そして九州地方の鉱山の事例を手本とし，以下のように事を進めた．

① 注入範囲は2Rとし，120mの熱水区間を３ブロックに分け，注入掘削を行った．

② 注入方法は破砕地山でも有効な高圧注入（ここでは60kg/cm²）が可能なケーシングパッカー工法の前進式ステージ注入とした（ステージ長９m，後に12m）．

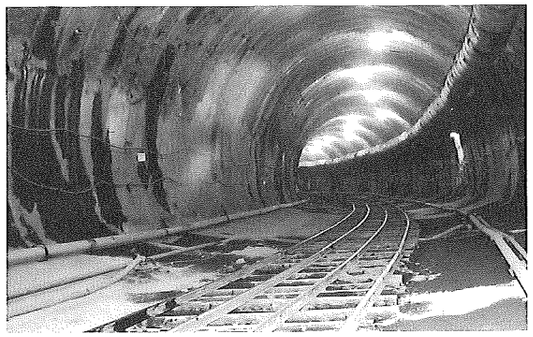
③ 注入完了後のチェック孔で0.5L/m・分をクリアするため，注入はLWとシリカゾルの複合注入とした．LWのセメントは温泉水に耐性のある高炉B種，水ガラスはゲルタイムが長くとれるⓈ１号（青函トンネルで開発）を使用した（３ブロック目は３号水ガラス）．

④ 削孔機はロータリータイプのトンネル専用機SN-76（中山トンネルで開発）を使い，プリベンダで熱水の噴出を防



注入機械配置図（安房トンネル）

道平ダム導水路トンネル(下流から合流坑，本線(左)，支線(右)および段差部を観る)



高速鉄道３号線岸根トンネル掘削状況(深さ30mの立坑より在来工法から変更したNATMで施工)

ぎ，注入機械も含め５セットを設置して時短を図った．

当時，止水目的の注入圧は経験的に湧水圧の３倍程度が目安とされ，当初最大30kg/cm²を想定したが改良目標値をクリアできず，60kg/cm²まで昇圧させることで連続注入が可能となり，目標に届いた．

この120mの熱水区間では，送風断面に限度があるため，掘削時の環境維持には苦慮したが，区間湧水量を80L/分に押さえ込み，岩温最大64℃のほぼドライな地山に改善し突破することができた．

これまで私は注入に対して経験不足もあってか，今ひとつ確信を持てずにいたが，業界トップクラスの面々の熟練した技量を目の当たりにし，その効果を体感することで得心することができた．

一人が現場で携われるトンネルはたかだか十数本．未経験のヤマはそれこそ山ほどある．どんな不測の事態に直面しても，必ずや，過去，だれかが経験し，あるいは研究している．臨機の対応には，先達の知恵に学ぶ追体験も必須であることを痛感した現場である．

その後，高山方調査坑は先進させた水抜き坑が火山堆積層に入ったところで崩壊し，180t/分の湧水と3,000m³の土砂が流出した．この水抜き効果で前方水位が大幅に低下し，さらに水抜き坑を増すことで水位を下げ，700mの高圧湧水帯を突破した．

一方，松本方の中の湯調査坑は，懸念された火山性ガスや熱水の突出はなかったものの，岩温最大75℃で，50℃を越える900mの過酷な高熱帯を克服して掘り進み，平成３年に両切羽が貫通した．その後，本坑の完成を待って，平成９年に供用され，ようやく通年通行が可能となった．私が調査坑の坑口を付けてから，14年目のことである．

おわりに

平成18年３月，９年あまり携わってきた東海北陸自動車道飛騨トンネル(10.7km)の先進導坑の役割を果たした避難坑が貫通した．これをもって私は「トンネルの旅」を終えた．

これまで私がどの現場でも心掛けてきたことの一つは，「仕事は段取り八分」のとおり，ここ一番で十二分の力が出せるよう，仮設に徹底してこだわり，きばって張り込み，それを維持することである．機械，設備は無論，とくに換気，照明，路盤(軌条)の維持に腐心した．

また，段取りは石橋をたたいて渡るわけでもなく，先進技術を取り入れもしリスクも介在する．私も過去，痛い目にあったが，現場で不都合が明らかになったとき，その度合いを見極め，未練を断ち切った，期を逸せぬ段取り替えも大事なことである．

さらには実際に手を動かすオヤジ，坑夫衆の動機付け．「指示」ではなく「相談」．なによりも出来高報酬だけではない，職人の矜持に訴えて仲間内の志気を高める日ごろの気づかいを大切にしてきた．

大自然を前にして人間のできることは決め手を欠いた微々たるものである．今も昔も事に臨み，手を尽くした後は，ヤマと正対し，自然の意を問うてこれに従うのみである．もともと安定しているヤマを人間の都合で掘り乱しているという謙虚な心と，大自然への畏怖を忘れてはならないと思っている．

報　告

海外におけるトンネル支保工の事例調査

JTA山岳工法小委員会支保ワーキング

1 はじめに

近年，山岳トンネルではトンネルの品質向上を目的として，吹付けコンクリート，ロックボルト，鋼製支保工に代表される支保工に関するさまざまな技術が開発されている．本WG(**表-1**)では，山岳トンネルにおける支保工のあり方や今後の検討の方向性を探るために，海外トンネルの岩盤分類や指針，支保パターン事例などを調査した．

2 調査結果

調査にあたっては，基準類に関する文献(インターネットからダウンロードできるものや委員の所属会社が保有しているもの)，ならびに，2006～2010年に出版された海外文献(論文や雑誌など)を対象とした．この中から岩盤分類や支保パターン事例について記載している文献を抽出し，支保工(補助工法を含む)にかかわる記載事項の概要を取りまとめた．**表-2**に収集した文献一覧を示す．

2-1 岩盤分類

海外の岩盤分類はQシステムやRMR法が有名で，国内でも複数の文献で紹介されている(A-1，A-2，A-3)．例えば，『道路トンネル観察・計測指針』(日本道路協会)ではQシステムやRMR法を国内トンネルに適用した事例が紹介されている(A-1)．

表-1　委員名簿

(平成22年４月～平成24年３月)

主　査		藪沼　慶正	(独)鉄道・運輸機構
〃	※	深沢　成年	〃
委　員		日下　敦	(独)土木研究所
〃		小川　澄	(株)高速道路総合技術研究所
〃		冨田　敦紀	東京電力(株)
〃		浅野　剛	(株)奥村組
〃		永久　和正	(株)大林組
〃		須藤　敦史	岩田地崎建設(株)
〃		横尾　敦	鹿島建設(株)
〃		森崎　泰隆	(株)熊谷組
〃		富澤　直樹	(株)鴻池組
〃		浅川　敏似	五洋建設(株)
〃		桑原　嗣	佐藤工業(株)
〃		石井　三郎	清水建設(株)
〃		中塚　静夫	大成建設(株)
〃		柳　博文	鉄建建設(株)
〃		徳留　修	東急建設(株)
〃		内藤　将史	戸田建設(株)
〃		森脇　丈滋	飛島建設(株)
〃		岡井　崇彦	西松建設(株)
〃	※	玉井　靖広	日本国土開発(株)
〃		丸山　貴久	〃
〃	※	古川　幸則	(株)間組
〃		稲葉　秀雄	〃
〃		野間　達也	(株)フジタ
〃	※	水谷　和彦	前田建設工業(株)
〃		菊池　晃徳	〃
〃	※	中込　正貴	三井住友建設(株)
〃	※	鷹觜　智司	〃
〃		山本　信幸	〃
〃		國村　省吾	応用地質(株)
〃		石田　積	電気化学工業(株)

※前任者を示す

表-2 海外収集文献一覧表(1/3)

A 海外の岩盤分類

NO	題　　名	出版元	発刊	国名
1	道路トンネル観察・計測指針	日本道路協会	2009	日本
2	岩盤分類(応用地質特別号)	日本応用地質学会	1984	日本
3	岩盤分類とその適用	土木工学社	1989	日本
4	RMR and Q-Setting records straight	Tunnels & Tunelling	February, 2008	—

B 各国の指針やガイドライン,マニュアルなど

NO	題　　名	出版元	発刊	国名
1	Engineering and Design TUNNELS AND SHAFTS IN ROCK	U.S. Army Corps of Engineers	1997	USA
2	Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels —Civil Elements	U.S.Department of transportation Federal Highway Administration	2009	USA
3	Rock Support in Norwegian tunnelling(No.19)	Norwegian Tunnelling Society	2010	Norway
4	隧道工程設計準則與解説	中華民国土木学会	1999	Taiwan
5	山岳隧道工程設計與実例手冊	中華民国土木学会	2001	Taiwan
6	韓国トンネル標準示方書	韓国土木学会	2009	Korea
7	Practical Use of the Q-method	Norwegian Geotechnical institute	1997	Norway
8	Norwegian Tunnelling Publication No.14	Norwegian Geotechnical institute Society	2004	Norway
9	Specification for tunnelling	The British Tunnelling Society and The Institution of Civil Engineers	2010	UK
10	Guideline "Sprayed Concrete"	The Austrian Concrete Society	2006	Austria
11	ACI 506.1R-08 Guide to Fiber-Reinforced Shotcrete	American Concrete Institute	2008	USA
12	Recommendations for the Design of Sprayed Concrete for Underground Support	AFTES	2000	France

C WTC (World Tunnel Congress)論文

NO	題　　名	発刊	国名
1	Design and Construction of the Qingdao Jiaozhouwan Subsea Tunnel	2010	China
2	The Key for an Appropriate NATM Verification Process: The Observational Method during Construction of the Devil's Slide Tunnel, California	2010	USA
3	Low overburden underpasses in urban areas without traffic limitations—some examples	2009	Italy
4	Design methods with yielding support in squeezing and swelling rocks	2009	Switzerland
5	Design of the Patnitop tunnel	2008	India
6	Challenges in design and construction of HRT of Nathpa Jhakri hydroelectric project (1500 mw) —A case study	2008	India
7	Recent development of tunneling techniques in Taiwan	2007	Taiwan
8	Design and construction of the longest road tunnel with eight-lane in China	2007	China
9	Stability Analysis of an Urban Tunnelling In Difficult Ground Condition	2006	Korea
10	Interactions of Four Tunnels Driven in Squeezing Fault Zone of Wushaoling Tunnel	2006	China
11	The addressStreetPanenska Highway Tunnel Construction in the Krusne Hory Environment (the Erzgebirge Mountains)	2006	Czech
12	Construction of Long & Large Twin Tube Tunnel in Korea - Sapaesan Tunnel	2006	Korea

表-2 海外収集文献一覧表(2/3)

D Tunnelling & Trenchless Construction

NO	題　　名	発刊	国名
1	Central mountain twins transform South Korean motorway network	March, 2000	Korea
2	Czech twins on course to meet builds schedule	May, 2005	Czech
3	Bypassing Bratislava	July&August, 2005	Slovakia
4	Dulles: an airport for the future	December, 2005	USA
5	Final breakthrough on six-face headrace tunnel in the north	July&August, 2006	India
6	Ground control for major tunnel scheme	July&August, 2007	Greece
7	Designs on Kallidromo	July&August, 2007	Greece
8	Fault finding in Turkeys Bolu tunnels	July&August, 2007	Greece

E World Tunneling

NO	題　　名	発刊	国名
1	Building Lausanne's new m2 metro	May, 2008	Switzerland

F Tunnels & Tunnelling

NO	題　　名	発刊	国名
1	Microcement pre-injection in Norway	March, 2006	Norway
2	country-regionSingapore tests NATM at Fort Canning	May, 2006	Singapore
3	Finding fault at Hanekleiv	March, 2007	Norway
4	Shotcrete in Brazil	May, 2007	Brazil
5	Planning and design of the Hindhead Tunnel	June, 2007	UK
6	Bribane's quiet achiever nears end	September, 2008	Australia
7	Supporting Tauern's 2nd tube	November, 2008	Austria
8	saving sustainably-polymeric binders for tunnel support	March, 2010	—

G Tunnelling and Underground Space Technology

NO	題　　名	発刊	国名
1	The role of umbrella arch and face bolt as deformation preventing support system in preventing building damages	September, 2010	Turkey
2	Design and construction of road tunnel in Korea including application of the Decision Aids for Tunneling—A case study	March, 2008	Korea
3	Control of surface settlements with umbrella arch method in second stage excavations of Istanbul Metro	November, 2008	Turkey
4	A methodology for evaluation and classification of rock mass quality on tunnel engineering	July, 2007	Taiwan

H 吹付けコンクリート関連国際会議の論文

NO	題　　名	書籍	発刊	国名
1	Design and construction of a permanent shotcrete lining—The A3 Hindhead Project	Proceedings of the third international conference on engineering developments in shotcrete, 2010	2010	UK
2	Shotcrete application on the Boggo Road Bussway driven tunnel		2010	Australia
3	Sprayed concrete as permanent support for Qingdao subsea tunnel in China	Fifth international symposium on sprayed concrete—Modern use of wet mix sprayed concrete for underground support, 2008	2008	China
4	Design of NATM road tunnels for Kashmir		2008	India
5	Patnitop tunnel—the longest road tunnel in India		2008	India

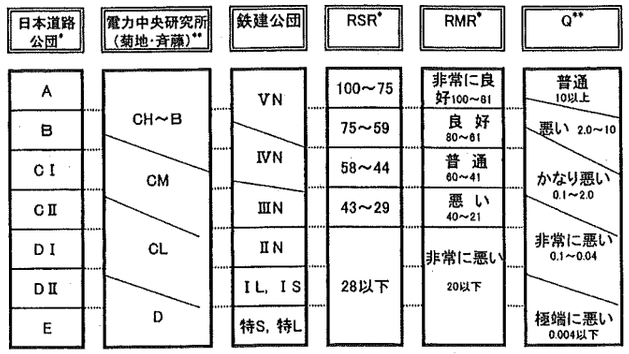
表-2 海外収集文献一覧表(3/3)

I 可縮支保工に関する文献や資料

NO	題　　名	出版元	発刊	国名
1	At the mercy of the mountain	Tunnels & Tunnelling	October, 2008	Italy
2	Convergency compatible support systems		June, 2008	Switzerland
3	DSI カタログ	DSI	—	—
4	Hidcon カタログ	AG	—	—

J ラチス支保工に関する資料

NO	題　　名	出版元
1	DSI カタログ	DSI



*「全断面掘削工法に関する調査研究(その3)報告書」平成4年2月 日本トンネル技術協会
**「BartonのQ値と日本の岩盤分類および弾性波速度との関係」谷本親伯 第37回土木学会年次学術講演会 1966

図-1 国内外の岩盤分類の比較[1)]

なお，QシステムやRMR法はヨーロッパの硬岩地山を対象に作成され各国に普及したものであるため，国内のD～E区分に相当するような不良地山ではその値の範囲が狭く詳細な地質区分が難しいと思われる(図-1)．

2-2 各国の指針における支保

指針については欧米およびアジアのもの(マニュアル，仕様書，推薦書なども含む)を収集したが，以下の事項について確認できなかったため，参考とする際には，留意が必要である．

① 最新版か否かが不明

収集した指針は協会や会員各社が保有しているものやインターネットでダウンロードしたものであり，これらが最新バージョンか否かの確認はなされていない．

② 拘束力が不明

収集した指針が具体的なプロジェクトでどのレベルまで準拠されているかが不明である．

次に，収集した資料に掲載されている掘削順序，支保工，補助工法についてまとめる．

(1) 掘削順序

海外も国内と同様，掘削は，①上半掘削，②下半掘削，③インバート掘削の順序で行っており，地質が悪い場合にインバートコンクリートを施工し，さらに悪い場合はインバート早期閉合を行うという記載が多かった(B-2，B-3，B-5)．

なお，インバート早期閉合は，吹付けコンクリートやインバートストラットで早期閉合するものであり，国内で採用事例がある本設インバートによる早期閉合の記載は見当たらなかった．

(2) 支保工

支保構成は吹付けコンクリート，ロックボルトが主体で，地質が悪い場合にラチスガーダーや鋼製支保工が採用されている．また，イギリスの仕様書ではロックボルトを，spiling，dowelling，rockboltingと3つの名称に分け，それぞれについて記載している(B-9)．

アメリカの道路トンネルマニュアルにはシングルシェルの標準構造が掲載されている(図-2，B-2)．

(3) 補助工法

補助工法は，鏡ボルトや先受け工法など国内でも一般的に用いられる工法がアメリカや韓国の指針に掲載されていた(B-2，B-6)．また，シングルシェルが一般的なノルウェーでは，地下水対策工として事前止水注入が標準となっている(B-8)．

(4) その他

イギリスの仕様書には吹付けコンクリートのノズルマン技能検定が規定されている(図-3，B-9)．

2-3 海外の支保パターン実績

収集結果を地域別に分類して取りまとめる．

2-3-1 アジア

(1) 中　国

中国の収集文献は道路トンネル，鉄道トンネル，海底トンネル(道路)の事例である．そのなかでもLongroushanトンネルは掘削断面積が230m²で，分割掘削によるセンターピラーをボルトで締結し変形を抑制している(図-4，C-8)．

(2) インド

インドの収集文献は高速道路トンネルおよび水力発電所の放水路トンネルの事例である．地質不良部では補助工法として水抜きボーリングや仮インバート閉合，長尺先受けを実施している(C-5，C-6，H-5)．Pantinopトンネルでは覆工とインバートの接続部にケーブルダクトを設置するなど特徴的な構造であった(図-5，C-5，H-5)．

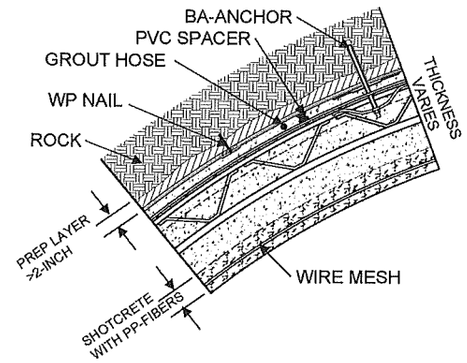


図-2 アメリカの道路トンネルマニュアルに掲載されているシングルシェルの標準構造(B-2)

ノルズマンは，請負者により発行された技能の関連証明書，または，EFNARC Nozzleman認証制度以前の良好な作業の証拠書類，または，ACI 506R-03やエンジニアの承認する同様の国家規格に関する技能関連証明書を保有していなければならない．

図-3 ノズルマンに関する条文(B-9)

(3) 韓　国

韓国の収集文献は道路トンネルおよび地下鉄トンネルの事例である．支保工はラチスガーダーを使用し(D-1，D-2)，補助工法には鏡ボルトや長尺先受けなどが採用されている(C-9)．地表面への影響予測を目的とした3次元解析を実施している事例もあった(C-9)．

また，Sucheonトンネルでの事例ではRMRと比抵抗の関係を整理し，地山等級に比抵抗値を加えている(表-3，G-2)．

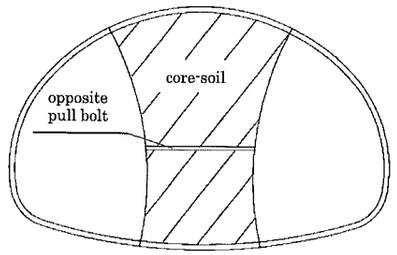
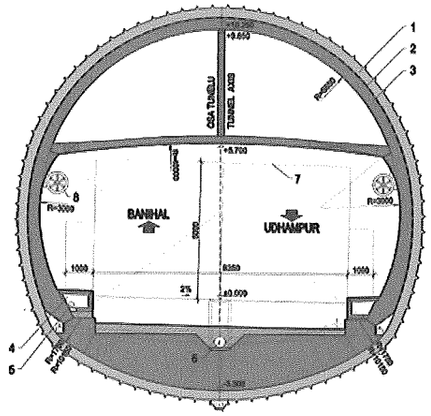


図-4 分割掘削によるセンターピラー部をボルトで締結(C-8)



Tunnel cross-section: 1 – primary lining, 2 – waterproofing layers, 3 – secondary lining, 4 – cable duct, 5 – fire main, 6 – central tunnel sewer, 7 – clear profile, 8 – longitudinal jet fan

図-5 Pantinop高速道路トンネルの標準断面図(C-5，H-5)

表-3 地山等級に比抵抗値を加えた事例(G-2)

	GCI	GCII	GCIII	GCIV	GCV
RMR	81–100	61–80	41–60	21–40	<20
Q-value	>40	10–40	4–10	1–4	<1
Resistivity (Ω m)	>3000	1000–3000	300–1000	100–300	<100

（4）　シンガポール

シンガポールの収集文献は都市部の道路トンネルの事例である．支保工はラチスガーダーを使用し，補助工法には長尺先受けや早期閉合を採用している(F–2)．

（5）　台　湾

台湾の収集文献は道路トンネルの事例である．岩盤分類はQシステムやRMR法をベースに台湾独自の方法を採用しているようである(C–7)．

（6）　トルコ

トルコの収集文献は地下鉄の事例である．補助工法として長尺先受けや鏡ボルト，早期閉合を採用している(G–1，G–3)．

2–3–2　欧　米

（1）　イタリア

イタリアの収集文献は道路直下のトンネル事例である．補助工法として長尺先受けやサイドパイルが採用されている(C–3)．

（2）　スイス

スイスの収集文献はGotthardトンネルで可縮支保工を採用した事例(C–4)と石積みトンネルのリニューアル事例である(E–1)．

（3）　チェコ

チェコの収集文献は道路トンネルの事例である．支保工はラチスガーダーを使用している(C–11)．

（4）　ギリシャ

ギリシャの収集文献は道路トンネルと鉄道トンネルの事例である，可縮性のロックボルトを採用している事例があった(**図–6**，D–7)．

（5）　ノルウェー

ノルウェーの収集文献は道路トンネルと鉄道トンネルの事例である．湧水対策としてのグラウト注入事例があった(F–1)．

（6）　イギリス

イギリスの収集文献は道路トンネルの事例である．補助工法に長尺先受けと鏡ボルトを採用している(F–5，H–1)．

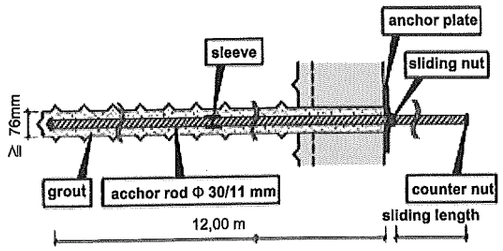
支保工はシングルシェルであり，そのなかには吹付けコンクリートの配合や要求性能が記載されている(**図–7**，H–1)．

（7）　スロバキア

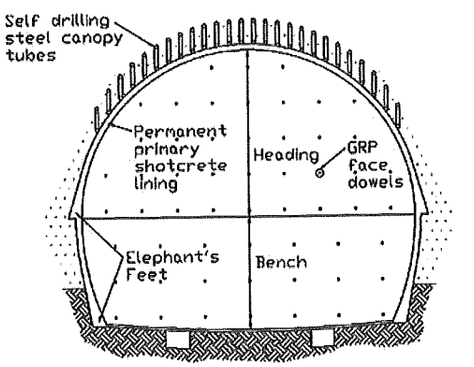
スロバキアの収集文献は，補助工法として長尺先受けを採用した双設道路トンネルの事例である(D–3)．

（8）　オーストリア

オーストリアの収集文献はでは土かぶり1,000mを超える押出し性地山で可縮性支保を用いた事例である(F–7)．



図–6　可縮性ロックボルトの事例(D–7)



図–7　イギリスのシングルシェル道路トンネルにおける補助工法の例(H–1)

（9）　アメリカ

アメリカの収集文献は道路トンネルおよび鉄道トンネルの事例である．支保工はラチスガーダーを採用し，支保パターンごとに鏡吹付けの厚さを規定している(C–2)．

2–3–3　その他の地域

（1）　ブラジル

ブラジルの収集文献は吹付けコンクリートの施工事例である．シングルシェルも多く採用されている(F–4)．

（2）　オーストラリア

オーストラリアの収集文献は，市街地直下のバス専用道路トンネルの事例である．補助工法として長尺先受けを採用し，支保工はラチスガーダーを採用している(H–2)．

2–4　新しい支保工

（1）　可縮支保工(C–4，F–7，I–1～4)

Gotthardトンネルでは大きな変形が予想されたため，可縮支保工が使用されている(C–4)．

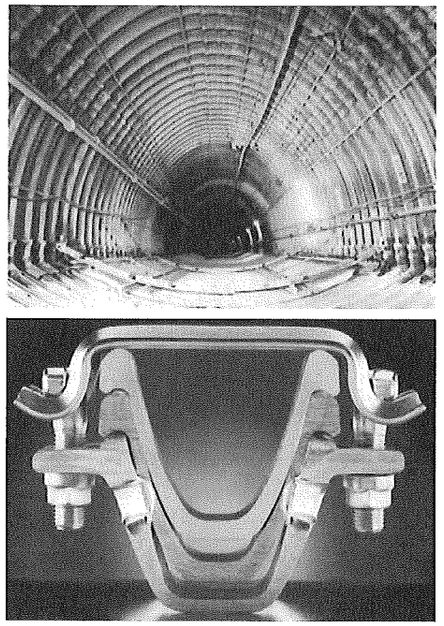
また，従来(**写真–1**)のように単に縮小するだけの支保工ではなく，支保内圧(剛性)を維持しながら縮小する支保工が開発されている．具体的には吹付けコンクリートに「支保応力制御器」を設置する構造で，以下の①，②が利用されている．

① AT-LSC Elements：円柱の内部に特殊モルタルを充填したタイプで，50%の圧縮が可能．圧縮強度を1～5MPaの間で調整することができる．(F–7　Tauernトンネル，I–2　Gotthardトンネル，I–2，I–3)

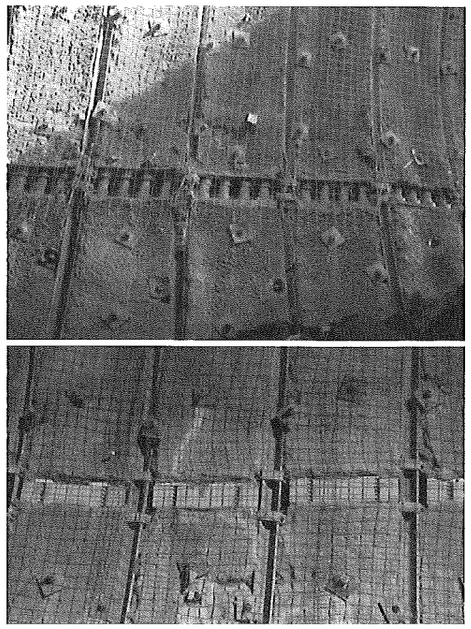
② hiDCon：ビームタイプの高圧縮性コンクリートで，50%まで変形可能．(C–4，I–1　Lyon-Turin高速鉄道，I–2，I–4)

①，②とも内部は圧縮性の特殊モルタルで配置の仕方によって，対応できる内空変位(縮径)が異なるものと考えられる．

ただし，この可縮支保工の実用性や効果についてはこれらの文献のみではわからないところが多い．例えば，Lyon-Turin高速鉄道SMLP作業坑の黒色片岩，砂岩，粘土状頁岩，挟在石炭層からなる不均質な破砕帯(土かぶり350m以上)で可縮支保工を採用した事例(I–1)では，切羽からの距離に応じて支保工の剛性を上げていく「マルチフェー



写真–1　Gotthardトンネルで採用された従来型(U形)の可縮支保工(C–4)



写真–2　新しい可縮支保工(C–4)(上が①のタイプ，下が②のタイプ)

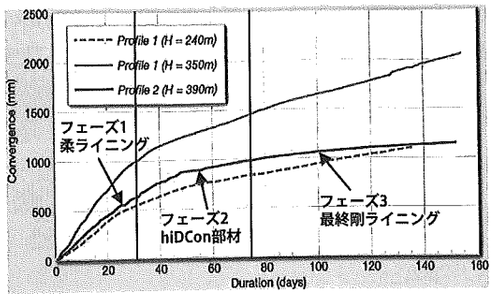


図-8　Lyon-Turin高速鉄道作業坑での内空変位の経時変化(I-1)

ズ支保工」の効果として図-8(Profile 2)が示されている．

掘削直後は柔ライニングとして通常の吹付けコンクリートを施工し(フェーズ1)，切羽後方30mで半剛性2次ライニングとして高圧縮性のhiDCon部材を挟んだ吹付けコンクリートを使用して400㎜内空変位を許容し(フェーズ2)，切羽工法80mで1m厚の剛ライニングを実施し(フェーズ3)，変位をうまくコントロールしたとしている．しかし，これらの変位は，内圧が不足したための変位増加の側面もあり，この支保工システムの合理性の証明にはなっていないとも考えられる．著者らは，押出し性の地山における剛性の高い支保ライニングの限界を250mの土かぶりと考えているようだが，このような地山条件のトンネルに，国内で採用されている多重支保工を適用した場合どうなるのか興味深い．

(2)　ラチスガーダー

ラチスガーダーについては，ヨーロッパで一般的に使用されているもののカタログを入手した(J-1)．ラチスガーダーは複数の鉄筋を組合わせたものであるが，強度や仕様は各国によって異なると思われる．

2-5　調査結果のまとめ

支保に関する海外指針や事例を調査した結果，おおむね以下のようなことがわかった．

(1)　日本とあまり変わらない部分

- 加背割り(上半・下半・インバートが基本)
- 補助工法(先受けや鏡補強を主体としている)
- 変位を抑制する場合は早期閉合

(2)　日本と異なる部分

- 岩盤分類(QシステムやRMR法が多い)
- 吹付けコンクリートは複層吹きで金網2層とする場合などがある
- 支保工はラチスガーダーが多い
- 大土かぶりトンネルで可縮性支保工を採用している事例があった
- ノズルマン技能検定がある

3　調査結果にもとづく考察

海外の支保工に関する特徴的な項目について以下に考察する．

3-1　岩盤分類

海外の岩盤分類は主にQシステムやRMR法が用いられているが，Qシステムについては，World Tunneling誌上でWalter WittkeとNick Bartonが議論している．Walter WittkeがQシステムにもとづく設計法について，①Qシステムは*RQD*を重視するが，*RQD*はコアの採取法や亀裂の方向性に依存するため客観的なデータとはいえない．②同じ*Q*値でも例えばロックボルトの打設間隔に幅があり，あいまいな設計となる．③Qシステムは基本的に岩盤の節理の方向性を考慮しないため，節理性岩盤に対する設計法としては不十分である，といった批判をしている[2),4)]．

これに対してNick Bartonは，①そもそもWalter Wittkeが引用したQシステムは1974年作成時のものであり，1993年以降は繊維補強吹付けコンクリートを使用した新しい支保パターンにもとづくQシステムとなっている．②*RQD*や設計手法についての解釈は，岩盤分類の本質を理解していないことによる誤りである．③Qシステムを採用したトンネルでは崩壊した事例がない，と反論している[3)]．これにADECO-RSの考え方を加えれば[5)]，欧州でも，地域によって岩盤分類や支保設計の考え方が異なっていることが推察される．

3-2　吹付けコンクリート

わが国の吹付けコンクリートは厚さ5～25cmの1層吹きであるが，海外では同じ厚さを2～3層に分けて吹付けている場合が多い．これは，わが国では主に粉体急結剤を使用しているのに対し，海外の多くの国では液体急結剤を使用していることと関連があると思われる．

急結剤の使い分けについては各国の基準や調達環境などによると考えられるが，海外の吹付けコンクリートに関する考え方について今後さらに掘り下げて研究することも有意義だと考える．

3-3　ラチスガーダー

わが国の鋼製支保工はH形鋼が主体であるのに対し，海外ではラチスガーダーが主体である．ラチスガーダーは，吹付けコンクリートと組合わせることで鉄筋コンクリートとして地圧に抵抗できるなどH形鋼とは異なる抵抗メカニズムである．よって，採用する際には，これらを考慮した設計手法を取り入れる必要があると思われる．

3-4　可縮支保工

可縮支保工については，従来と異なり支保内圧(剛性)を保持したまま可縮する構造を海外メーカーが開発し，Gotthardトンネルなどの大土かぶり地山で適用している．

一方，わが国では膨張性地山などの大変位対策として「多重支保工」が一般化されつつある．変位抑制効果だけでなく施工性・経済性・耐久性などの観点からどちらの支保工が合理的なのか検討してみる価値はあると考える．

4　ま　と　め

今回，60件の海外の基準類や論文などの文献を収集・整理し，海外トンネルにおける支保工の考え方についてその概要を把握することができる基礎資料を作成した．具体的には，文献タイトル，発行者，発行年，文献の位置づけ，総ページ数，目次，概要などを表形式でまとめた．これらの資料から支保工に関連する海外の特徴的な事項などについて，今後の検討の方向性を見出すころができた．

建設産業もグローバル化が叫ばれるなか，国内外のトンネル指針や施工事例を包括的に検討し，より合理的なトンネル施工を追求していくことは非常に重要であり，支保WGの活動目的の一つでもある．今回の検討が，今後のトンネル技術の発展への一助となれば幸いである．

最後に，作成した基礎資料は，(一社)日本トンネル技術協会が保管しており，会員は協会にて閲覧することができます．

(文責：横尾敦・鹿島建設(株))

参　考　文　献

1) 日本トンネル技術協会：TBMハンドブック，p.65，2000.
2) Walter Wittke and Rene Sommer: Designs in jointed rock, *WORLD TUNNELLING*, July / August, pp.30–34, 2011.
3) Nick Barton: A measured response, WORLD TUNNELLING, September, pp.13–17, 2011.
4) Walter Wittke and Rene Sommer: Rock classification debate continues, *WORLD TUNNELLING*, October, pp.5–7, 2011.
5) 例えば，Fulvio Tonon: Sequential excavation, NATM and ADECO: What they have in common and how they differ, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Vol.25, pp.245–265, 2010.

『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)

土木情報 No.479 今月の主な入札結果

（3月10日～4月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
東北地整	R45南三陸道路1号T	前田建設工業	1,216
〃	〃 4号T	不動テトラ	1,303.5
〃	東北中央自動車道栗子T換気坑	前田建設工業	2,731
〃	R45田老第6T	西松建設	1,186
〃	R45大槌地区T	前田建設工業	5,205.15
〃	R45小槌地区T	西松建設	4,145
関東地整	日本橋室町共同溝	名工建設	253.8
北陸地整	R8米山T他補修	日特建設	115
中部地整	302号鳴海共同溝	大林・東急JV	4,090
高エネルギー加速器研究機構	高エネ研KEKB高度化施設(PF－AR直接入射T)新営土木	飛島建設	480
〃	〃 (MR機械棟等)新営その他(その2)	飛島建設	250
鉄道・運輸機構	九州新幹線(西九州)，大草野T外1カ所他	東亜・あおみ・森永JV	4,175
〃	北海道新幹線，村山T他	岩田地崎・熊谷・不動テトラ・相互JV	10,615
〃	北陸新幹線，新北陸T(奥野々)	大林・東亜・本間・塩浜JV	9,870
西日本高速道路	新名神高速道路原荻谷T東	前田・鴻池JV	4,831
山形県	H24債務負担行為工事ダム整備事業(最上小国川建設)最上小国川ダム仮設備(トンネル)	姉崎工務所	342.8
都・財務局	H24晴海四丁目雨水管布設	新井・内田JV	359.3
都・交通局	環状第5の1号線地下道路荒川線併行部(雑司が谷工区)建設	大成・戸田・東武谷内田JV	2,320
〃	〃 (南池袋工区)建設	清水・東鉄・西武JV	3,750
都・水道局	美住給水所から東村山浄水場間送水管(2000㎜)新設及びトンネル用到達立坑築造	東急建設	597
都・下水道局	立会川幹線雨水放流管	清水建設	3,294.08
〃	勝どきポンプ所放流渠吐口建設その3	間・大豊・安藤JV	483
〃	王子西一号幹線その2	フジタ	1,283
新潟県	緊地改122-5号主地上越新井線(山麓線BP)地頭方排水路・農道BOX	田中産業	135.2
川崎市	中野島地区下水枝線第53号	ヤマチョウ	101.1
京都市	山科三条雨水幹線(その1)公下	熊谷・村本・協栄JV	1,329
〃	吉田1号分流幹線(その2)公下	暁新日本・山崎JV	492

建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 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

研　究

供用中の山岳トンネルで発生する路盤隆起現象とその対策工の効果

(公財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部トンネル研究室研究員　嶋　本　敬　介
(公財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員　野　城　一　栄
東日本旅客鉄道(株)設備部検査管理グループ主席　鈴　木　　尊
京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻教授　朝　倉　俊　弘

1 はじめに

山岳トンネルでは，供用後にトンネル覆工に作用する地圧が増加し，覆工のひび割れ，内空の縮小といった変状が発生することがある．このような地圧による変状は，時間の経過とともに徐々に進行していくことが多く，何らかの対策をしない限りその進行が止まることはあまりないということが知られている[1]．この特徴は，側壁の押出しに限らず，路盤隆起(盤ぶくれ)に関しても同様であり，とくに，地山条件が良くないトンネルにおいて多数報告されている[例えば2),3)]．

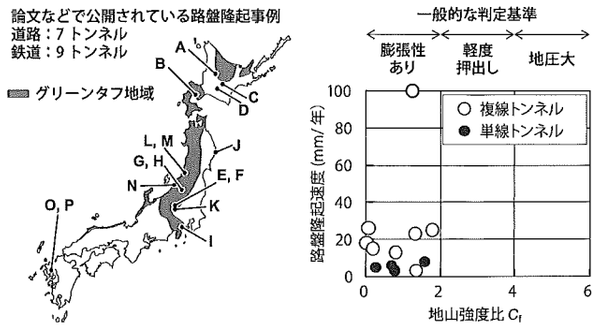
路盤隆起は，鉄道トンネルでは列車が高速でレール上を走行することから，列車の走行安定性に影響があり，さらに，鉄道トンネルは建築限界と覆工との離隔が小さく許容できる路盤変位量が小さいことなどから，とくに注意を払わなければならない変状であるといえる．また，路盤隆起が発見された場合には，とくにバラスト軌道ではなくスラブ軌道のような直結軌道の場合には軌道低下工事は難しく，路盤部の隆起対策は重要な課題となっている．

そこで筆者らは，路盤隆起事例の分析，路盤隆起に関する模型実験，数値解析により，路盤隆起対策工の作用メカニズムやその効果について検討を行ってきた[4),5)]．本稿では一連の研究の成果の一部について紹介する．

2 事例分析

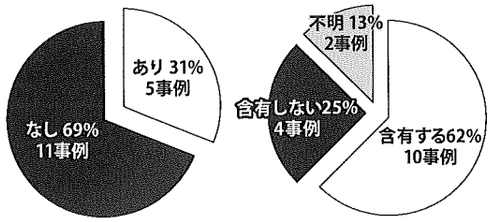
本章では，山岳トンネルの路盤隆起やその対策事例を整理する[4),5)]．

図-1(a)に路盤隆起を生じたトンネルの分布を示す．路盤隆起を生じたトンネルは，グリーンタフ地域にその多くが位置していることがわかる．図-1(b)に地山の地山強度比$C_f=q_u/\gamma H$(q_u：一軸圧縮強度，γ：地山の単位体積重量，H：土かぶり)と，路盤隆起速度との関係を示す．図より，膨張性があると判定される$C_f \leqq 2$に多く分布しており，路盤隆起は地山強度比の小さい地山で多く発生していることがわかる．



(a) トンネルの分布　(b) 地山強度比

図-1 路盤隆起を生じたトンネルの分布



(a)　インバートの有無　(b)　膨潤性粘土鉱物の有無

図-2　路盤隆起発生トンネルの分類

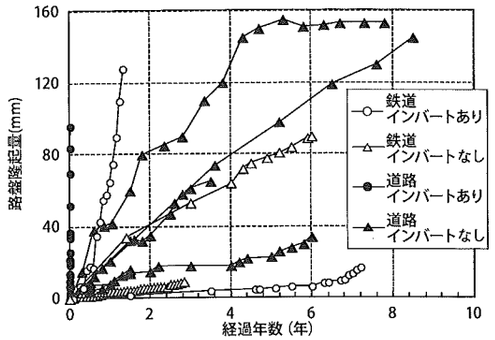


図-3　対策工実施前の路盤隆起と計測開始からの経過年数の関係

図-2(a)にこれらのトンネルのインバートの有無を調べた結果を示す．これより，インバートがあっても路盤隆起が発生していることがわかる．図-2(b)に路盤隆起が発生したトンネルの，膨潤性粘土鉱物の有無を調べた結果を示す．これより，路盤隆起が発生したトンネルの6割以上で膨潤性粘土鉱物が含まれていることがわかる．

文献1)では，供用中に地圧による変状が発生し，継続して内空変位を計測した事例を集め，対策工実施前までの水平内空変位と経過年数の関係をまとめている．それによると，基本的には内空の縮小が時間とともに長期にわたって線形的に継続することが多いことが示されている．文献5)では同様の整理を，路盤隆起についても実施した．ここでは文献調査により10トンネル分の計測データを得て整理している．その結果を図-3に示す．縦軸に対策工実施前の路盤隆起量，横軸に計測開始からの経過年数を取っている．これより，基本的には時間の経過とともに長期にわたって線形的に隆起が継続しており，ひとつの事例を除いて，対策工実施前に路盤隆起が自然と収束することはないことがわかる．

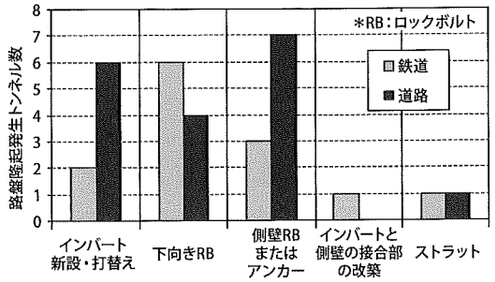


図-4　路盤隆起トンネルに実施された対策工

図-4に路盤隆起が発生したトンネルに実施された対策工を示す．1事例で複数の対策工が実施されている場合は複数カウントしている．このグラフより，道路トンネルではインバートの新設・打替えが多く，また，それに付随する路盤部掘削に伴い側壁が押出すことを防ぐ目的で，側壁へのロックボルトやアンカーの事例も多いことがわかる．一方で鉄道では終電から始発までの夜間作業で実施可能な下向きのロックボルトにより対策をしている事例が多いことがわかる．

3　模　型　実　験

本章では，路盤隆起現象を模型実験により再現し，下向きロックボルトやインバートといった路盤隆起対策工の効果や作用メカニズムについて検討する[4]．

3-1　実験方法

実験には，載荷模型実験装置[6](図-5)を用いた．トンネル模型を模擬地山中に埋設し，ジャッキにより模擬地山を介してトンネルに変位を与えることにより実験を行うものである．

図-6に土槽とトンネル模型の寸法を示す．トンネル模型は新幹線標準断面を想定した1/50スケールのモルタル製(一軸圧縮強度は約26MPa)で，トンネル軸方向を鉛直方向として土槽中央部に設置した．模擬地山には，軟岩を想定し一軸圧縮強度が約0.5MPa程度の低強度モルタルを用いた．

載荷は変位制御により実施し，載荷板変位量B＝18㎜まで(地山のひずみB/L＝3％まで，定義は図-7参照)載荷した．実験においては，ジャッキの変位，載荷板の変位，覆工の内面・路盤の変位を計測したほか，観察窓およびWebカメラから覆工のひび割れ状況も観測した．

実験フローを図-8に示す．載荷は変位制御により実施し，トンネルに対して左側から変位を与えた．実験は，ジャッキ載荷速度0.2㎜/分のもとで5分間載荷し，1㎜のジャッキ変位を確認後に載荷を停止し，その状態で5分間覆工内面の観察を実施する．このステップを，載荷板変位が18㎜に到達するまでくり返した．

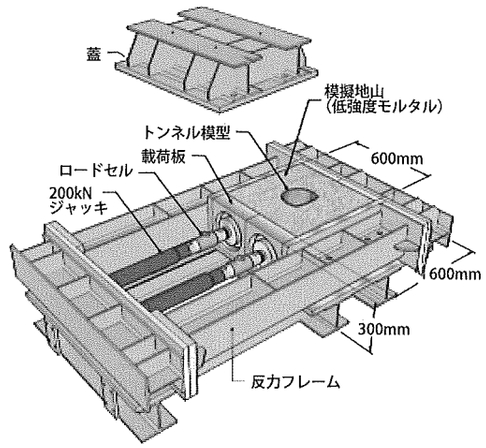


図-5　実験装置

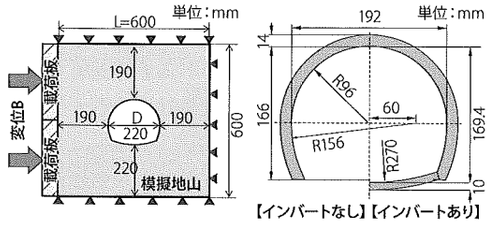


図-6　土槽とトンネル模型の寸法

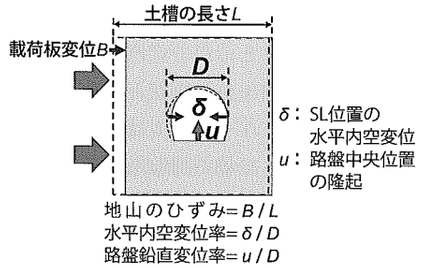


図-7　地山のひずみB/L，水平内空変形率δ/D，路盤鉛直変位率u/Dの定義

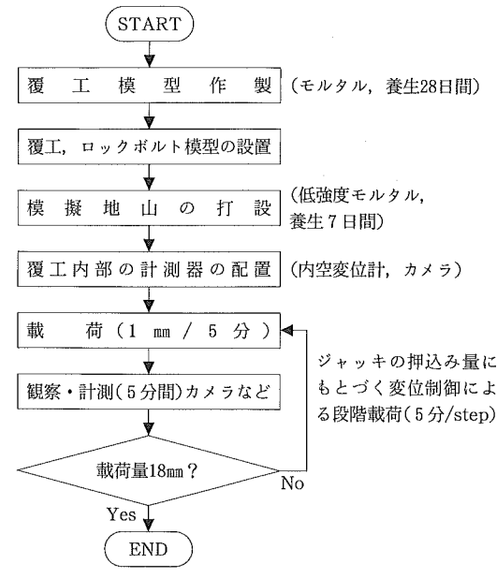


図-8　実験フロー

図-9　実験ケース

図-10　ロックボルト模型

図-9に実験ケースを示す．ケース2，3で使用したロックボルト模型の概要を図-10に示す．ケース2は直径1㎜，ケース3は直径3㎜のロックボルト模型を使用した．直径3㎜のものにはアルミニウム棒を使用し，直径1㎜のものにはステンレス棒を使用した．ロックボルトの地山との付着力を表現するため，ロックボルト模型の表面にエポキシ系接着剤により硅砂6号を貼り付けてある．ケース4のインバートについては，覆工とインバー

トは別々に作製しており，インバートと側壁脚部との３㎜程度の隙間を低粘度のエポキシ樹脂で充填した．なお，本実験においては実験後もインバートと側壁の接合部で破壊やずれが生じることはなかった．

3-2　実験結果

3-2-1　路盤隆起

図-11(a)に地山のひずみB/Lと路盤鉛直変位率u/Dの関係を示す．ケース１において，$B/L=1$％程度までは路盤隆起は発生しないものの，１％を超えたあたりから隆起が始まり，以降，地山のひずみの増加とともに加速度的に路盤隆起が進行することがわかる．ケース２,３については，ケース１と同じく，$B/L=1$％程度から路盤隆起が発生しているが，路盤の隆起量は地山のひずみに対して線形的であり，ケース１と比較して隆起が大きく抑制されていることがわかる．ケース２については，ケース３と比較すると$B/L=2$％以上の大変形でやや隆起の抑制効果は劣るものの，$B/L<2$％においては十分に効果を発揮した．

ケース４においては，$B/L=0.3$%程度から，インバート部が下向きに変位した．ケース４は，トンネルがリング構造となっているため，水平内空が縮小した分，天端が隆起，インバートが沈下という縦長の変形となったと考えられる．供用後に作用する地圧による典型的な変状として，側壁の押出し，路盤の隆起が挙げられるが，適切に施工されたインバートがある場合には，側壁が押出されると，その形状からインバートは下に凸に変形しようとするため，インバートの下から大きな圧が作用しない限り，側壁の押出しと路盤隆起は同時には起こりにくいことを示している．

3-2-2　水平内空変位

図-11(b)に地山のひずみB/Lと水平内空変位率δ/Dの関係を示す．ケース１とケース４を比較すると，インバートにより，水平内空変位は半分程度に抑制されていることがわかる．またケース１とケース２,３を比較すると，$B/L=1$％程度から水平内空変位に差が出始める．

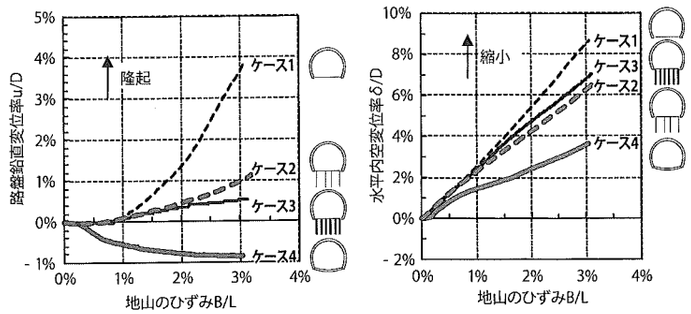
これは，図-11(a)からわかるとおり，ケース１では$B/L=1$％程度から路盤部の隆起が始まっており，ボルトのないケースでは路盤部の破壊によりリング構造の効果を発揮できなくなったのに対し，ボルトのあるケースでは，路盤部の破壊，隆起を抑制できており，路盤部がストラットのような役割を果たし，リング構造の効果を若干発揮できているためと考えられる．

3-2-3　地山の破壊状況と地山とロックボルトの付着状況

実験終了後に土槽の蓋を外し，地山の路盤部を取り出して，路盤隆起の状況や，地山の破壊状況，地山とロックボルトとの付着状況を観察した．

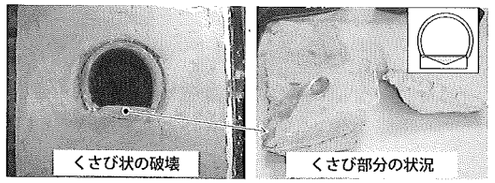
実験終了後の路盤部の破壊状況を**写真-1**に示す．写真に示すとおり，ケース１では，路盤部にせん断面が発生し，くさび状の路盤部が取り出されたが，ほかのケースでは，路盤部に明瞭なせん断破壊面は生じず，実験後にボルト打設範囲が塊として取り出された．これより，ロックボルトと地山間の付着，周面摩擦による地山補強効果により，路盤隆起のきっかけとなる地山のせん断破壊を抑制できたものと考えられる．

地山とロックボルト間との付着状況について詳細に観察すると，写真-1(b),(c)に示すとおり，ケース３ではボルト-地山の滑りはほとんど見られないが，ケース２ではボルト頭部が若干地山側にめり込み，地山-ロックボルト間で滑りが発生していた．このようなボルトの作用の違いにより，ケース間で，路盤鉛直変位に差が生じたものと考えられる．

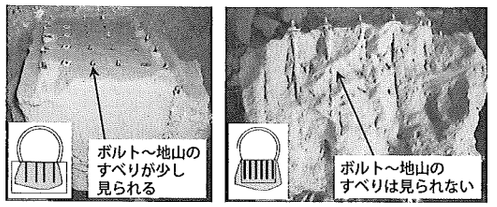


(a)　路盤隆起　　(b)　水平内空変位

図-11　実験結果



(a)　ケース１(無対策)



(b)　ケース２（ボルト細４本）　　(c)　ケース３（ボルト太６本）

写真-1　実験終了時の路盤部の状況

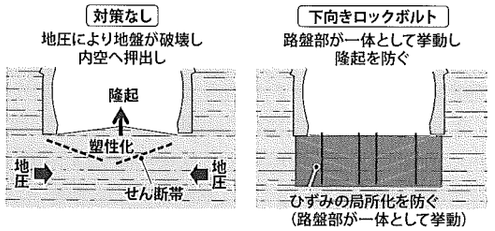


図-12　実験から想定されるボルトの効果

3-3　路盤隆起に対するロックボルトの作用メカニズム

以上のことより，路盤隆起とロックボルトの作用メカニズムに関して以下のような知見が得られた．すなわち，ケース１から，路盤部にインバートがない場合，水平力が作用することにより，路盤部の地山がせん断破壊し，路盤隆起が生じるものであることがわかった．また，写真-1に示したケース２,３の路盤部の破壊状況から，ロックボルトによりせん断破壊が防止できること，図-11に示したケース２,３の路盤鉛直変位の挙動から，ロックボルトと地山間の付着強度が大きいほど，大きな地圧にまで地山が破壊せず路盤部が一体として挙動することなどがわかった．

図-12に以上のメカニズムを模式的に示す．

4　数値解析による路盤隆起対策工の効果の検討

本章においては，実際に路盤隆起が発生したトンネルの再現解析を実施し，さらに路盤隆起が発生した状態に対して，下向きロックボルトやインバートといった対策工を実施した場合，変状をどの程度抑制できるかについて検討する．

4-1　再現解析対象トンネルの概要

検討対象としたAトンネルはNATMにより建設された新幹線複線断面のトンネルである．工事誌によれば，地質は新第三紀の凝灰角礫岩が主体である．掘削はほぼ全線にわたりミニベンチカット工法により行われ，一部地質不良区間のみ上半先進工法により掘削が進められている．支保パターンは，ほぼ全線にわたり軽めの支保パターン(ロックボルト３m×６本，吹付けコンクリート厚10cm)が採用されていることや，インバートではなく，りょう盤コンクリート構造が採用されていることから，建設時には地山状況は比較的良好と判断されたと考えられる．

このトンネルにおいて，いくつかの区間で路盤隆起が確認されており，今回対象とした変状区間では，約1.1㎜/年という緩慢な速度で隆起が進行している．この区間の土かぶりは約200mである．**図-13**に軌道検測車により計測した隆起量の経時変化を示す．

4-2　解析モデル

図-14に解析モデル図を示す．変状の表現手法

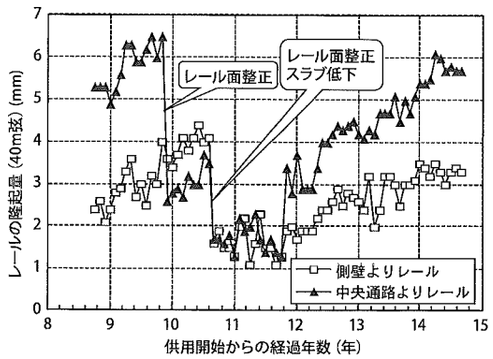


図-13　隆起量の経時変化

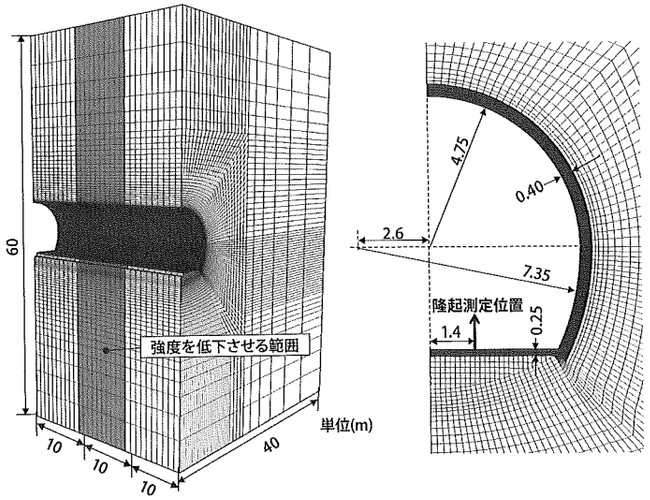


図-14　解析モデル

表-1　地山，コンクリートの解析入力物性値

	地　山	コンクリート
変形係数 E (MPa)	600	22,000
ポアソン比 ν	0.32	0.2
粘着力 c (MPa)	初期：c_0=1.39 最終：c_r=0.39	6.35
内部摩擦角 ϕ (°)	30	30
引張強度 σ_t(MPa)	0.6	1.75 引張破壊後0.03

表-2　ボルトの解析入力物性値

項　目		単位	物性値
弾性係数	E	GPa	210
単位長さあたりのせん断ばね剛性	k_g	MN/m²	定着材の剛性，周辺要素の強度，ボルト径などから設定[9]
単位長さあたりの付着強度(kN/m)	c_g	kN/m	
摩擦角	ϕ_g	°	0
降伏応力	σ_t	MPa	407

として，地山の強度を低下させて，トンネルや周辺地山の変形を表現する「地山劣化モデル」[1]を用いた．地山の強度を低下させると，地山の応力状態に対して強度が小さくなることで，破壊に近い要素から順に塑性化し，応力が周囲に再配分され，その結果，トンネル内空に向けて押出しが発生する．すなわち，数値解析において地山強度を徐々に低下させることにより，実際のトンネルで供用後に作用する地圧(塑性圧)を表現することができる．

本解析の入力物性値を表-1に示す．地山はMohr-Coulombの破壊規準に従う弾完全塑性体としてモデル化した．地山の強度の初期値は，路盤隆起が生じない最小の強度として設定した．ほかの物性値は軟岩における一軸圧縮強度と各種の物性値の相関関係[7),8)]を参考にして，表-1のように設定した．地山の強度はせん断強度 c のみを低下させた．

Aトンネルにおいて，とくに隆起が発生しているのは，10m程度の区間であったため，図-14に示すように，トンネル線路方向で，とくに中央の10m区間について地山の強度を低下させることとした．

ボルトのモデル化にはCable要素[9)]を使用した．ボルトの入力物性値を表-2に示す．ボルトと地山の間で作用するせん断力が付着強度c_gを超えると，すべりを生じるモデル化となっている．ここで，Cable要素の付着強度 c_g は周辺要素のせん断強度に依存するモデルとなっており，地山のせん断強度は徐々に低下させることから，それに伴いボルトの付着強度 c_g も低下させている．ベースプレートは，Cable要素の頭部と路盤コンクリートの上面との間に相対変位が発生しないようにすることで表現している．

解析結果はせん断強度低下の解析ステップとそのステップにおける変位などの物理量として得られるが，実務で対策工の施工時期や対策工の効果を評価するうえでは，解析結果に時間軸を導入することが望まれる．ここで，図-3で示したとおり，路盤隆起量は時間とともに線形的に増加していくことが多く，Aトンネルにおいても，図-13に示したとおり，中央通路よりレールで約1.1㎜/年と線形的に隆起が進行している．そこで，本研究においては，対策工を実施しない場合，隆起量が1.1㎜/年で線形的に進行すると仮定して，解析ステップと実時間を関連づけ，解析結果を時間軸で

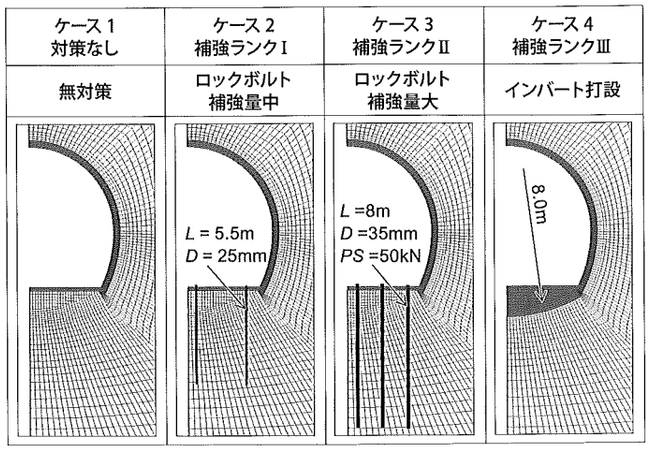


図-15　解析ケース

評価することとした．

図-15に解析ケースを示す．ケース1は対策なし，ケース2は下向きロックボルトによる補強(長さL=5.5m，ボルト径D=25㎜，削孔径65㎜，プレストレスなし)，ケース3は下向きロックボルトによる補強(長さL=8.0m，ボルト径D=35㎜，削孔径72㎜，プレストレス50kN)，ケース4は，もっとも大規模な補修として，路盤コンクリートを取壊してインバートを新設するケースとした．インバートの物性値は覆工コンクリートと同じとしている．

ケース2～4は，供用開始から15年までは無対策で，15年経過時に対策工を実施するモデル化とした．ケース2，3ともに，ロックボルトの奥行き方向の打設ピッチは1mとし，強度低下範囲である中央10m範囲にモデル化した．ケース4は同じく中央10m範囲において1mずつ路盤部掘削，インバート打設のステップをくり返してモデル化した．

4-3　解析結果

図-16に路盤隆起量の経時変化について，実トンネルでの計測データと解析結果を比較する．せん断強度 c と時間経過の関係も併せて示している．図-16において，計測データはデータの存在する供用開始から9～15年の間のみをプロットしており，図-13の中央通路よりレールの隆起量からレール面整正やスラブ低下の影響を除去したデータとしている．解析結果の隆起量も，図-14に示したとおり，中央通路よりレール位置の隆起量としている．

図-16より，まずレールの隆起量の計測データがケース1とよく一致しており，線形的に隆起が進行するという仮定が妥当であったことがわかる．また，ケース2，3より，下向きのロックボルトによる路盤隆起の抑制効果が数値解析によっても確認され，さらに補強量が多いほど効果が大きい結果となった．ケース4では，今までに累積した隆起量がリセットされ，さらに長期的に大きな隆起の抑制効果を発揮していることがわかる．

図-17に水平内空変位量の経時変化について，

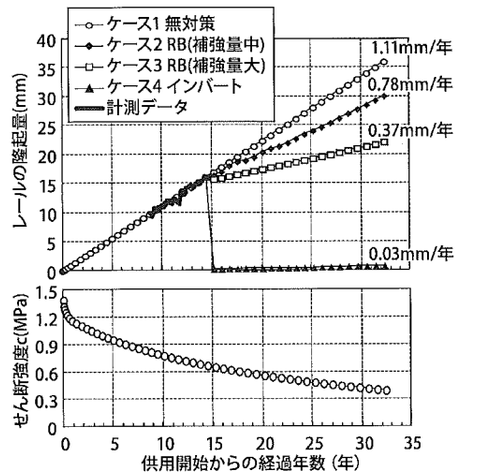


図-16　隆起量の経時変化

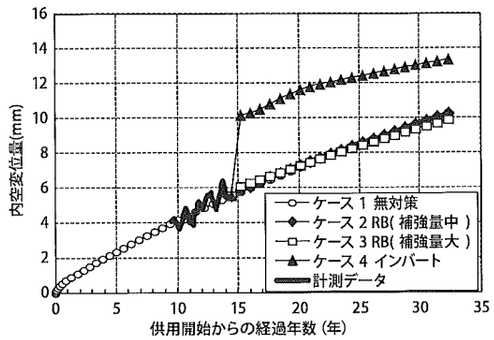
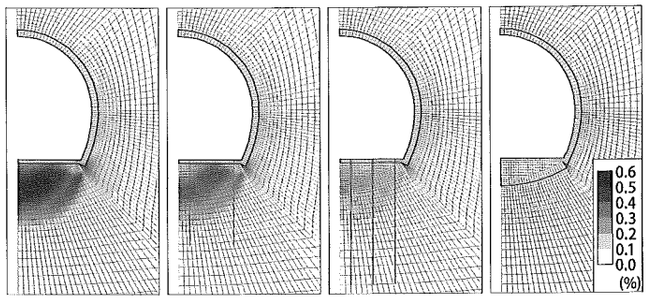


図-17　内空変位量の経時変化

実トンネルでの計測データと解析結果を比較する．内空変位は縮小を正としている．

Aトンネルにおいては，路盤隆起量が1.1㎜/年であったのに対して，内空変位量は季節変動があるものの，平均すれば0.43㎜/年であった．この路盤隆起と内空変位の比は側圧係数(初期地圧における鉛直方向応力に対する水平方向応力の比)によって調整した．側圧係数が大きいほど，路盤部の応力状態が水平応力卓越となり，路盤部地山の破壊に伴う隆起が発生しやすくなる．



(a) ケース1 対策なし　(b) ケース2 RB(補強量中)　(c) ケース3 RB(補強量中)　(d) ケース4 インバート打設

図-18 対策工実施後に発生したせん断ひずみのコンター図

今回は側圧係数1.1としたときに，計測されたような路盤隆起と水平内空変位の比となり，図-17において，ケース1と計測データがよく一致する結果が得られた．ケース2では，非常に小さいが水平内空変位の抑制効果が見られる．ケース3では対策工施工直後，プレストレスを導入することにより，逆に水平内空変位が若干進行したが，その後はロックボルトにより路盤部が補強されることにより，水平内空変位を抑制できている．ケース4では1mずつではあるが側壁の脚部を取り払ってインバートを施工したため，インバートの施工時に大きな内空変位が発生してしまっている．

図-4で示したとおり，インバートの新設は，側方にロックボルトなどの対策をしてから実施される事例が多いが，今回の解析では側方のロックボルトはモデル化していない．この結果より，側方のロックボルトが重要であることがわかる．しかし，インバートによりトンネル構造が閉合してからは，水平内空変位は大きく抑制されている．

図-18に供用開始から15年後の対策工実施から32.4年経過時までの間に発生したせん断ひずみのコンター図を示す．ケース1も供用開始から15年以前に発生したひずみは除いて示している．ケース1～3より，対策なしのケースでは路盤下に鋭角のせん断帯が発生しているが，ロックボルトがある場合にはこれが軽減していることがわかる．このことは，模型実験より得られた図-12のメカニズムと整合した結果となっている．さらに，インバート打設をしたケース4では，ほとんどせん断ひずみが発生していないことがわかる．

5 おわりに

本研究では，供用開始後の山岳トンネルで発生した路盤隆起について事例を分析し，模型実験，数値解析により，路盤隆起対策工の効果を検証した．数値解析では，実際に路盤隆起が発生している新幹線トンネルを対象として変状の再現解析を実施し，対策工効果の予測評価を行った．解析対象としたトンネルでは，現在対策工を施工中であり，監視強化により安全を確保している．

鉄道トンネルにおいて，供用開始後の変状対策工の実施は，少ない間合い時間で作業を完了する必要があり，インバートの新設はもちろん，下向きロックボルトの施工であっても大きな困難を伴う．対策工の合理的な設計に資するように，今後とも研究を深度化させていきたいと考えている．

参考文献

1) 松長剛・野城一栄・朝倉俊弘：地山劣化モデルによるトンネル変状の進展予測に関する研究，土木学会論文集C，Vol.65，No.2，pp.467-479，2009.
2) 渡邊康夫・藍郷一博・鈴木尊：供用中の新幹線トンネルで発生した路盤隆起の原因とその対策，トンネルと地下，Vol.38，No.9，pp.7-16，2007.9.
3) 佐久間智・菅原徳夫・多田誠・遠藤祐司：供用中に発生した急激な盤ぶくれ変状を復旧する，トンネルと地下，Vol.40，No.12，pp.27-37，2009.12.
4) 野城一栄・嶋本敬介・中西祐介・小島芳之：山岳トンネルの路盤隆起補強工の効果とその設計手法，鉄道総研報告，Vol.26，No.4，pp.41-46，2012.
5) 嶋本敬介・野城一栄・小島芳之・塚田和彦・朝倉俊弘：地山の吸水膨張による山岳トンネルの路盤隆起現象とその対策工に関する研究，土木学会論文集F1特集号，2012.
6) 野城一栄・小島芳之・深沢成年・朝倉俊弘・竹村次朗：地質不良区間における山岳トンネルの地震被害メカニズム，土木学会論文集C，Vol.65，No.4，pp.1045-1061，2009.
7) アイダン オメール・赤木知之・伊藤孝・川本眺万：スクイーズィング地山におけるトンネルの変形挙動とその予測方法について，土木学会論文集Ⅲ，No.448，pp.73-82，1992.
8) 蒋宇静・江崎哲郎・横田康行・禿秀和：地山特性曲線に影響を及ぼす要因の定量的分析，第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp.767-772，1994.
9) ITASCA Consulting Group, Inc.: FLAC3D Version 4.0 Structural Elements, 2009.

研究論文募集のお知らせ

弊誌「トンネルと地下」では，研究論文（実験，技術開発など）を募集いたします．大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい．とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので，平易・簡潔にまとめていただくようご配慮のほどお願い致します．なお，応募方法の詳細につきましては49頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ，ご応募下さい．

問い合わせ先　株式会社 土木工学社 編集部
〒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）

トンネルジャーナル

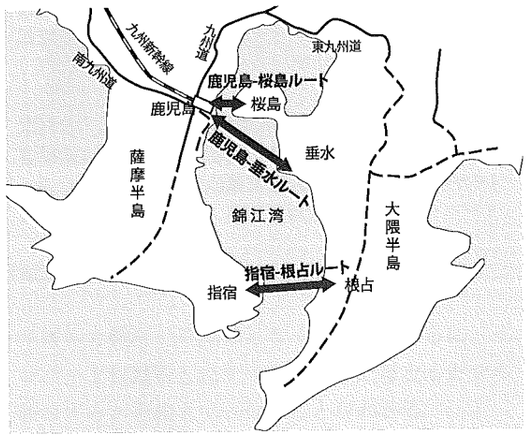
錦江湾横断海底トンネル　実現にはPFI導入が有利

鹿児島県は，2009年から調査を行っている「錦江湾横断交通ネットワーク可能性調査」で，PFI導入の可能性についてその結果を発表した．

同調査は，錦江湾(鹿児島湾)により隔てられている同県の薩摩地域と大隅地域を結ぶ交通ネットワークの実現性について行われているもので，両半島の一体的な発展への寄与や地域の産業活性化や救命救急医療などの観点から評価され，錦江湾を横断する交通ネットワークについて，どういう条件のもとにプロジェクトが成立するかについての詳細な可能性調査を続けている．

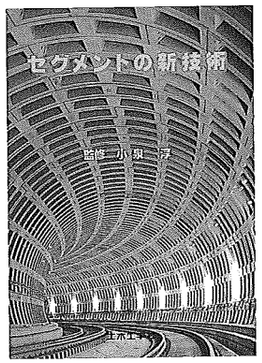
2011年の調査では，湾の横断ルートとして，①鹿児島–桜島，②鹿児島–垂水，③指宿–根占の３案を挙げ，開通効果と施行可能性を評価して，①案のルートをトンネルで結ぶ案が，唯一，費用対便益比が１を超え，もっとも効率的と結論づけた．2012年には，同案のトンネル構造の調査を行い，φ約13mのシールドトンネルを前提に，最急縦断勾配を3,4,5％とした３案を代替案として提示．概算工事費をそれぞれ，1,200億円(約6.4km)，1,000億円(約5.4km)，900億円(約4.8km)と算出した．検討により換気はいずれもジェットファン方式としている．

今回の調査では，最急勾配を５％とし，概算工事費が900億円となる案をもとに，各種条件のもとでPFIの導入可能性を検討した．検討した条件下では



有料道路事業としては事業に要する費用を通行料金収入で賄うことが難しかったことから，PFI効果の導入可能性効果を計るVFMを用いた評価は，無料道路として整備した場合と合併施行方式(一般道路事業：有料道路事業を３：７として算定)を採用した場合とに対して行った．

その結果，国の直轄事業または合併施行方式としてPFI手法を導入する場合が，同県にとって負担が少なく相対的に有利であると評価された．無料道路をPFIを導入した県単独事業として整備した場合もVFMは6.8％と評価されている．



セグメントの新技術

監修　小泉　淳

Ｂ５判　132頁　本体価格 2,000円　〒290円

本書は「トンネルと地下」の連載講座として，過去10年間に開発され，実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し，また，土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し，同じフォーマットで紹介したものをもとに，新たに「セグメントの新技術」編纂委員会を作り，個々のセグメントに加筆，修正を加え，より充実した内容にまとめたものである．

連載講座

トンネル技術者のための地相入門(13)

—地形改変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

これまでの講座では，自然に形成された地形を取り扱ってきたが，今回の講座では，それらの地形を人間が意図的に変化させた「地形改変」をテーマに記述する．

地形改変地におけるトンネル工事は，トンネル地山の安定化および地表面への影響回避を行うために，規模の大きい対策工を実施している例が多い．そのため，できる限り地形改変地を通らざるを得ないケースがある．都市部近郊の丘陵地帯の開発や，都市部地下空間の活用機運の高まりにより，今後ますます地形改変地におけるトンネル工事は増加すると予想される．このような背景を踏まえて，トンネル工事と「地形改変」の問題を整理して記述する．

② 地形改変の特徴と問題点

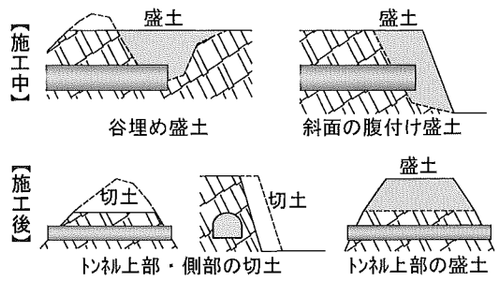
2–1　地形改変とは

本講座で扱う「地形改変」とは，人為的に地形を変化させた行為と定義する．地形改変によって作られた地形は「地形改変地」と呼び，自然に形成された地形と区別する．一般的に建設工事を行う際は，工事の目的にあわせて切取りや盛土を行うが，この行為は地形改変である．ダムや人工島・海岸の埋立地などは地形改変の代表例である．また，直接的に地表面を改変する切土や盛土とは別に，地下資源の採掘や地下水の過剰な揚水により，間接的に地表面が改変される事例もある．本講座では取り扱わないが，このような事例も地形改変の一種である．なお，本連載(１)には地名の由来を記載しているが，地名から地形改変地を推定できるケースがある[1]．中央卸売市場がある「築地」は「埋立地」を意味する一般名詞であり，大阪の梅田は「埋田」に梅の字を当てた地名とされている．

2–2　地形改変の特徴

図–1に一般的な地形改変のパターンを示す．地形改変は盛土と切土に大別できるが，トンネル施工中に問題が生じやすいのは，盛土に関する地形改変であろう．

盛土の地形改変は沢・谷部・沼地など，周囲に対して凹地形をなす土地を「埋め」て平坦化するケースと，斜面に対して「腹付け」するケースがある．前者のケースでは，旧地形が集水地形であるため，しばしば水にかかわるトラブル・災害が



図–1　地形改変のパターン

発生しやすい．兵庫県南部地震では，旧沢地形やため池を埋めた盛土造成地で地盤災害の発生が複数報告されている[2]．このような箇所は，地下水位が高くなるため，盛土内部の地山強度が低下する傾向にある．適切な排水処理の有無が，造成盛土の強度を左右する可能性が指摘されている．

また，施工後のトンネルに対しては，盛土・切土によりトンネルに変形が生じる可能性が指摘されている．とくに切土による地形改変は，比較的小規模な対策に留められることが多く，盛土に比べ影響が生じる例が多いことが報告されている[3]．

2-3　旧地形の喪失による問題

地形判読を対象とした本連載の目的は，地形から地下の地質情報を読み解く（本連載（1）参照）ことにある．しかしながら，地形改変地においては，本来の地形（旧地形）が失われていることから，地質情報を読み解くことが困難となる．

地形改変により地質情報の読み取りが困難になった事例として，大規模な宅地造成の事例を示す（**図-2**）．新旧地形図を見比べてわかるように，旧地形図中央部に引かれている等高線は現在の地形図では見事になくなり，造成されて平坦な地形に改変されていることがわかる．

この地形改変により，現在の地形図だけでは読み解くことができない地質情報として，以下の2点が挙げられる．

① 沼地や沢部における盛土地盤・軟弱地盤の分布

② 地すべり堆の存在

①は地形改変地の盛土範囲における問題であり，対象地域を小土かぶりで通過するトンネル掘削においては重要な問題となる．**図-3**に同一箇所の断面図を示すが，新地形図だけでは，盛土の位置や深度，風化影響深度を想定することはできず，対策工区間の選定に問題が生じる．

②は地形改変地全体の地質を捉えた問題である．旧地形図の地形判読では，多数の凹地や小突起の存在などにより点線で示す範囲が地すべり堆であることが読み取れる[4]．しかしながら，新地形図では，それらの情報が喪失しているため，地すべり堆を判読できず，地すべり堆の影響を大きく受ける箇所にルートを選定してしまう可能性がある．このように，地形改変では旧地形が失われることにより，トンネルの計画・施工を行ううえで重要な地質情報を判断できないことが問題となる．

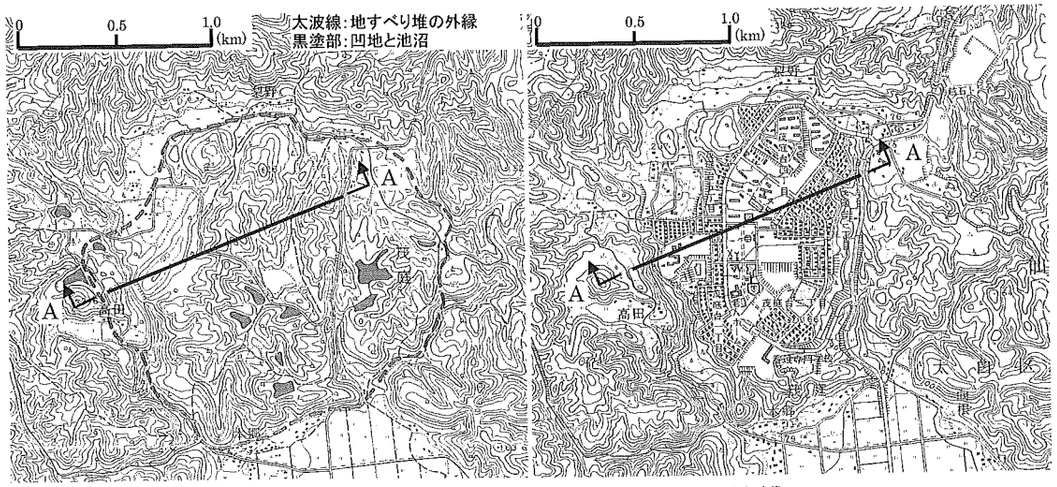


図-2　大規模宅地造成箇所における新旧地形図比較[4]に加筆

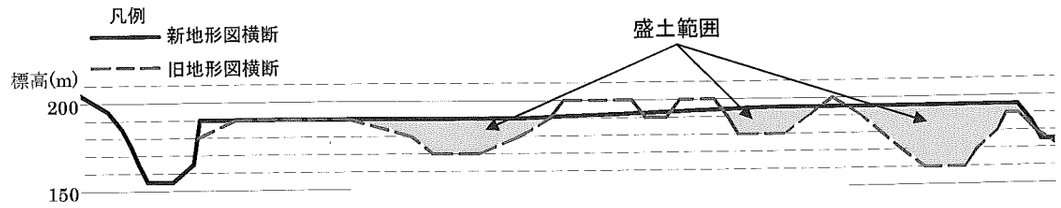


図-3　図-2 A-A断面による新旧地形比較

③　施工事例に見る地相の読み方

事例1：吉井トンネル[5]【盛土造成地下を土かぶり約10mで掘削】

本トンネルは神奈川県横須賀市を通る横浜横須賀道路の浦賀IC～佐原IC間に位置する延長346.5mの道路トンネルである．周辺一帯は，昭和40年代初頭までは，急斜面で構成される丘陵地が広がる地域であったが，宅地開発によって今では多くの住宅が建ち並ぶ地域となっている．トンネル直上は平成10年ごろに開発が始められた新興住宅地であり，トンネルは宅地開発後に施工された．トンネルは宅地造成のために埋め戻された区間を土かぶり約10mで通過するとともに，市道や鉄塔の下を掘削することから，慎重な施工が求められた（**図-4**）．

施工はプレライニング工法の一つであるNEW PLS工法を採用し行われた（**図-5**）．土かぶりが小さいことや，ルーズ（平均N値13）な盛土地山を掘削することから，地表面沈下が懸念されていたが，おおむね－20㎜以内に収まった．なお，盛土区間の一部では崩落が発生している．原因は片側脚部の急激な沈下によるものとされ，当初の調査では確認できなかった泥岩強風化部が分布していたことが後に判明した．

図-6に本トンネル周辺の新旧地形図を示す．旧地形図では比高70m程度の

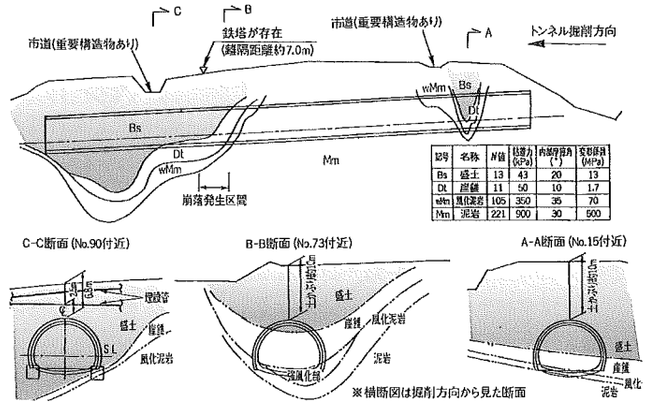


図-4　トンネル縦断図および盛土区間の横断図[5]に加筆

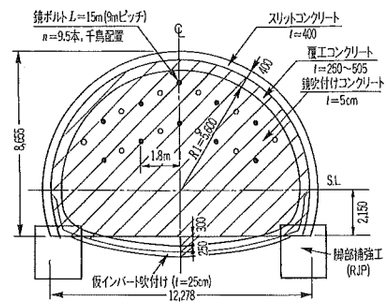


図-5　盛土区間における支保パターン図[5]

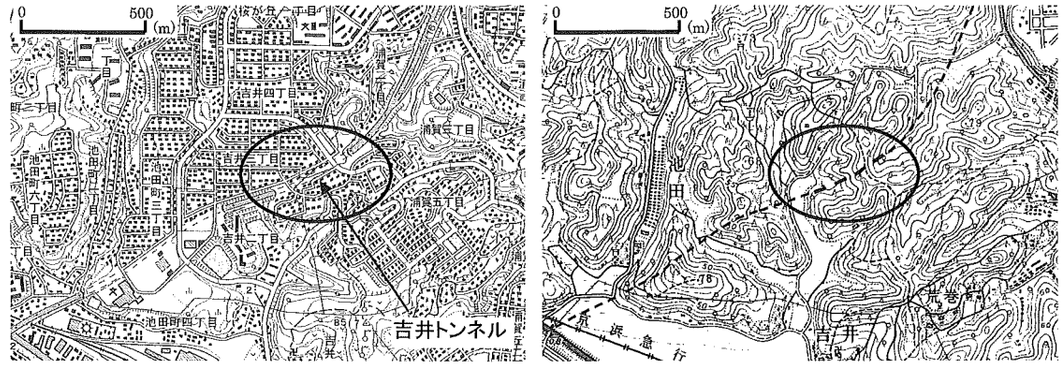


図-6　吉井トンネル周辺の新旧地形図比較（国土地理院1：25,000地形図「浦賀」「横須賀」，左：平成20年発行，右：昭和45年発行）

丘陵地が広がるとともに，斜面にはいくつもの沢地形が形成されている．一方，新地形図では住宅地が広範囲に広がり，地形改変により標高50m程度の平坦地が形成されている．そのため，旧地形における沢部を読み取ることができない．施工を行ううえでは，強度の低い地山の範囲を詳細に把握することが重要であるが，盛土下の崖錐やその下の岩盤風化部を正確に把握することは非常に難しい．地形改変により盛土で覆われた範囲の調査は，通常に比べ，より密に行う必要があるといえる．

事例2：笠森トンネル[6]【土取り場跡地の盛土地帯で発生した切羽崩壊と地表面陥没】

本トンネルは圏央道の千葉県木更津JCT～茂原長南IC間に位置する延長2,420mの2車線道路トンネルである．周辺は標高50～160m程度の緩やかな丘陵地形を形成しており，一部の区間ではトンネル直上に水田や荒れ地などの平坦地が広がる．地質は砂質泥岩とその上部に半固結の砂層が分布し，それらの地質境界はトンネル天端周辺に位置する．地下水位は泥岩と砂層の境界付近に位置することから，透水性の高い砂層が掘削時に不安定化することが当初より懸念されており，施工時の課題となっていた．なお，砂層の下位層である砂質泥岩は難透水性であり，地下水による地山の影響はほとんどないことが明らかとなっていた．

施工当初は，想定どおり泥岩層は安定を維持した状態で掘削を進めることができたが，帯水層となる砂層が切羽天端に出現した後は，先受け工を削孔するたびに，鋼管から多量の湧水が発生し，地山の安定を維持することが困難な状態に陥った．そのため，補助工法を変更(無拡幅型注入式長尺先受け工，φ76，シフト長9m⇒拡幅型注入式長尺先受け工，φ114.3，シフト6m)するとともに，水抜きボーリングを採用し，地下水位を低下させながら掘削を継続した．しかしながら，坑口から811m地点において，先受け工削孔時に切羽から毎分8t/minもの湧水が発生するとともに大量の土砂が切羽から流出し，瞬く間にトンネルが土砂で埋め尽くされた．その影響は18m上部の地表面まで及び，直径約13mの範囲にわたり陥没が生じてしまった(**写真-1**)．

その後に行った調査により，崩壊発生箇所は，以下の特徴を有することが判明した．

- 本地域は土取り場の跡地であり，その後の耕作地利用のために，跡地に盛土が行われていた(**図-7**)．
- 旧地形は沢地形であったため，盛土下には旧地形の集水域から継続的に地下水が供給され，るとともに，陥没発生前2か月の降雨で，地下水位が上昇していた．
- トンネル右上方部付近に細粒分含有量10%未満，均等係数5未満の自立困難とされる砂が存在していた．

写真-1　地表面陥没箇所の状況写真[6]に加筆

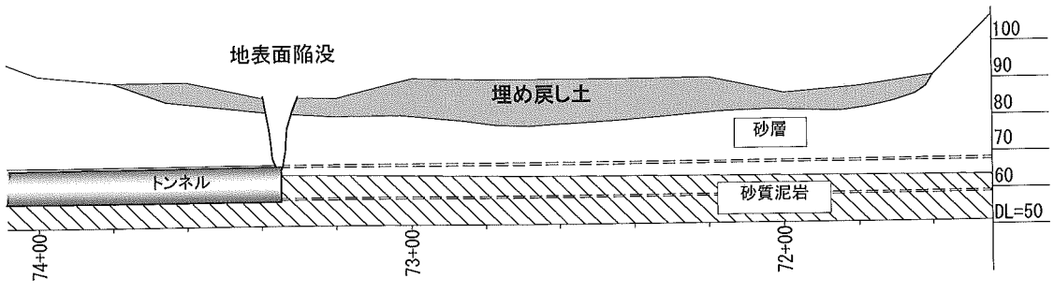


図-7　地表陥没箇所の縦断図[6]に加筆

これらの特徴を踏まえ，同様な条件が続く区間の対策として，地下水位低下を目的とした「水抜き導坑からの水抜きボーリング工法」を採用した(**図-8**)．この対策工により，トンネル周辺の地下水位を，地質境界が位置する天端付近まで低下させ，安全に本坑の掘削を行うことができた．

図-9に本トンネル周辺の新旧地形図を示す．旧図面では，右下のゴルフ場を除き，等高線が複雑に入り組んでおり，尾根と谷が比高50～60m程度で構成されていることがわかる．主要な尾根は標高130～180m程度と低く，周辺一帯は比較的緩い斜面をもつ丘陵地帯であることがわかる．一方，新図面では，崩壊が発生した○印周辺とその西側

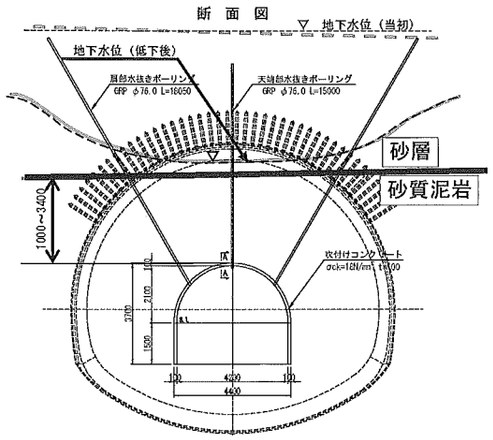


図-8　対策工断面図[6]に加筆

において，平坦地の存在が確認できる．平坦地は周囲に比べ標高が低く，また平坦地周囲にはがけ(土)の記号が記載されていることから，数十年のうちに尾根部が切り崩されて平坦地が造成されたものと推察できる．当地域周辺は，昭和40年代頃から羽田空港・東京湾の埋め立てや首都圏の建設資材として，良質の山砂を大量に供給してきた地域であり，その跡地が平坦地として残っている．地表面陥没以降行った地質調査や聞き取り調査により，陥没箇所は造成の最終段階で不良土を窪地に埋設した形跡があることが判明している．

不自然な平坦地の分布から，新地形図だけを見ても○印周辺は改変地形であることがおおむね予見できるところであるが，新旧図面を比較すると，改変地形であることは一目瞭然である．また，本工事の崩壊の要因となった旧地形の水みちは，旧図面と比較することで，存在や正確な位置を特定することができる．本工事は，新旧地形図の比較を行うことにより，小土かぶり部の掘削における問題点をより正確に抽出できた可能性があり，地形判読の重要性を感じることができる事例である．

事例3：薩摩田上トンネル[7]【シラス盛土で造成された住宅団地直下を掘削】

本トンネルは鹿児島県鹿児島市を通る九州新幹線の最南端に位置する延長約3.3kmの鉄道(新幹線)トンネルである．本地域にはシラス台地を造

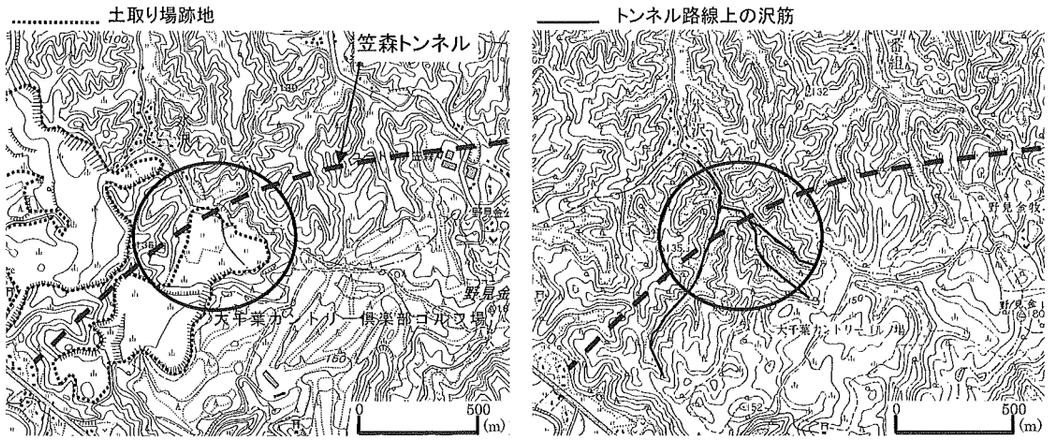


図-9　笠森トンネル周辺の新旧地形図比較(国土地理院1：25,000地形図「鶴舞」，左：平成17年発行，右：昭和46年発行)

成した大規模な住宅団地が広がり，トンネルはその直下を通過する(図-10)．造成範囲には旧沢部をシラス土で盛土した区間があることから，当初よりトンネル計画・施工上の技術的課題となっていた．

トンネルが通過するシラス盛土区間は，事前調査より以下の特徴が挙げられていた．

- 区間中央部はトンネルSL付近までシラス盛土が分布する．
- 盛土はN値6～30とばらつきが大きい．
- 盛土部の地下水位はトンネル天端上部約7mに位置する．
- 盛土部下部には沢部に沿って軟弱堆積物が分布し，その下には一次シラスが分布する．

以上の特徴を踏まえ，地下水処理(止水・遮水)として「鋼管内からの凍結工法および止水薬液注入による地下水処理」を行うとともに，先受け工として「セミシールドによる推進鋼管を用いたパイプルーフ工法」を採用した(図-11)．その結果，盛土区間の地表面変位を，管理基準値内に収めることができた．

図-12, 13に本トンネル周辺の新旧地形図を示す．旧地形図では，丘陵地に大小の沢地形が発達していることが読み取れる．また，北西地域には斜面の崩壊を示すがけ(土)の記号が記載されている．これは当地域を構成するシラスが降雨の影響で崩壊・浸食されている状態を表しており，丘陵地を刻む沢地形の形成が確認できる．なお，丘陵地の斜面上部は土地利用がほとんどなく，河川沿いの平坦地のみの土地利用となっている．一方，新地形図では，丘陵部の開発が周辺地域のいたるところで大規模に行われているのが確認でき，沢部の盛土や丘陵地上部の切取りを行うことで平坦地となった丘陵地の土地利用が読み取れる．また，丘陵地の宅地造成に伴い道路などの交通網も整備されており，田上川沿いの低地を利用した線形を採用するとともに，鉄道と同じく宅地造成地直下にトンネルを建設していることが確認できる．

新地形図のみでも周囲の地形との対比により，住宅団地直下に沢部の存在を類推することは可能であるが，その範囲を特定することは困難である．このように，丘陵部の地形改変地で工事を計画する際は，新旧地形図の対比により，改変地を正確

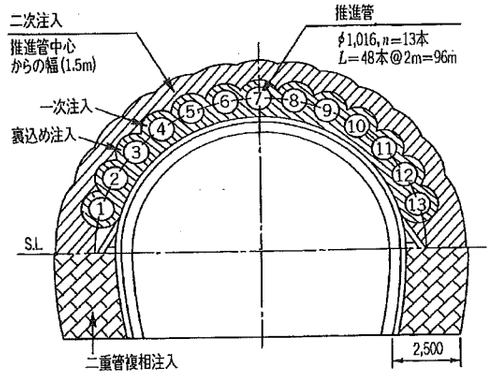


図-11　対策工断面図[7]

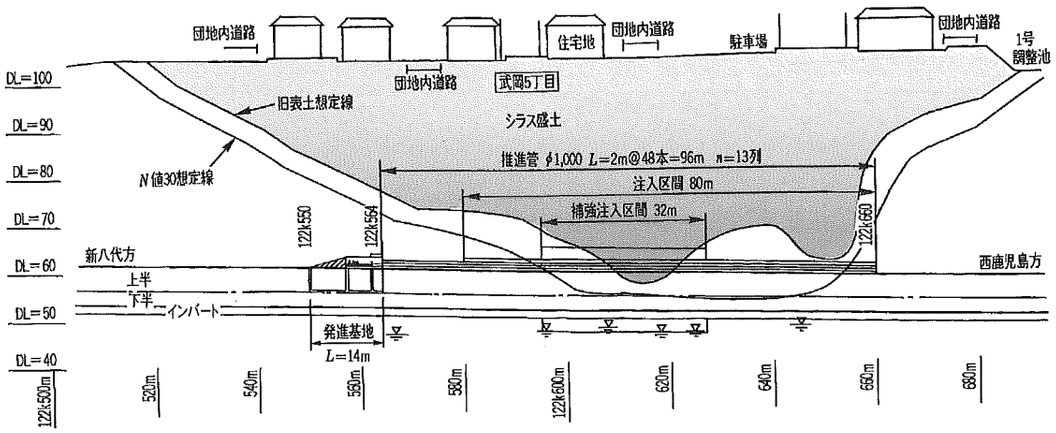


図-10　住宅団地直下通過区間のトンネル縦断図[7]

丘陵地の大規模な宅地造成による地形改変箇所

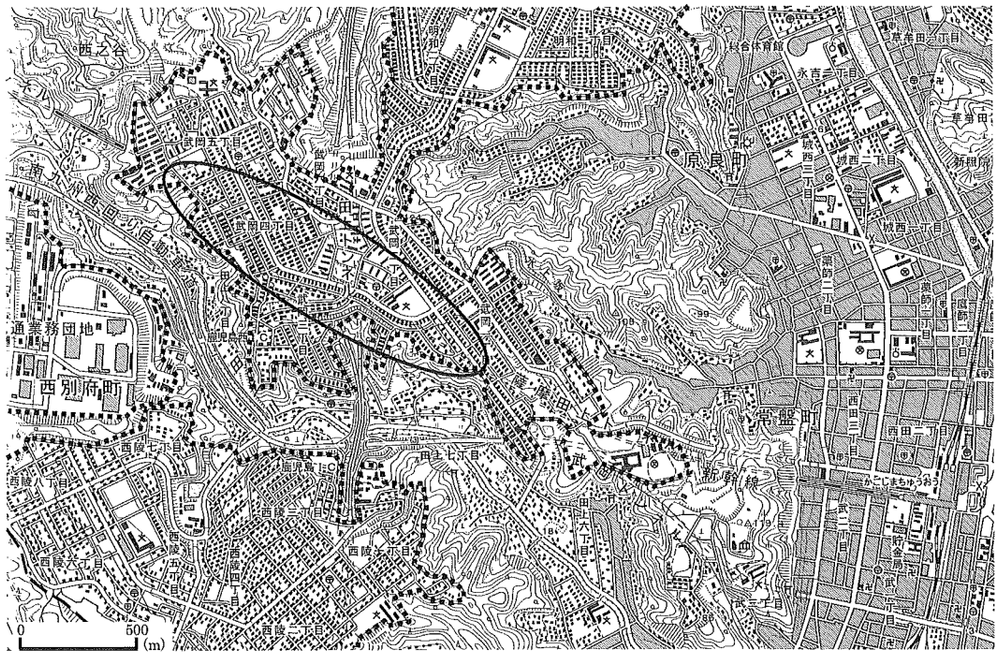


図-12　薩摩田上トンネル周辺の地形図(国土地理院1：25,000地形図「鹿児島北部」平成16年発行)

がけ(土)の発達　　トンネル路線上の沢筋

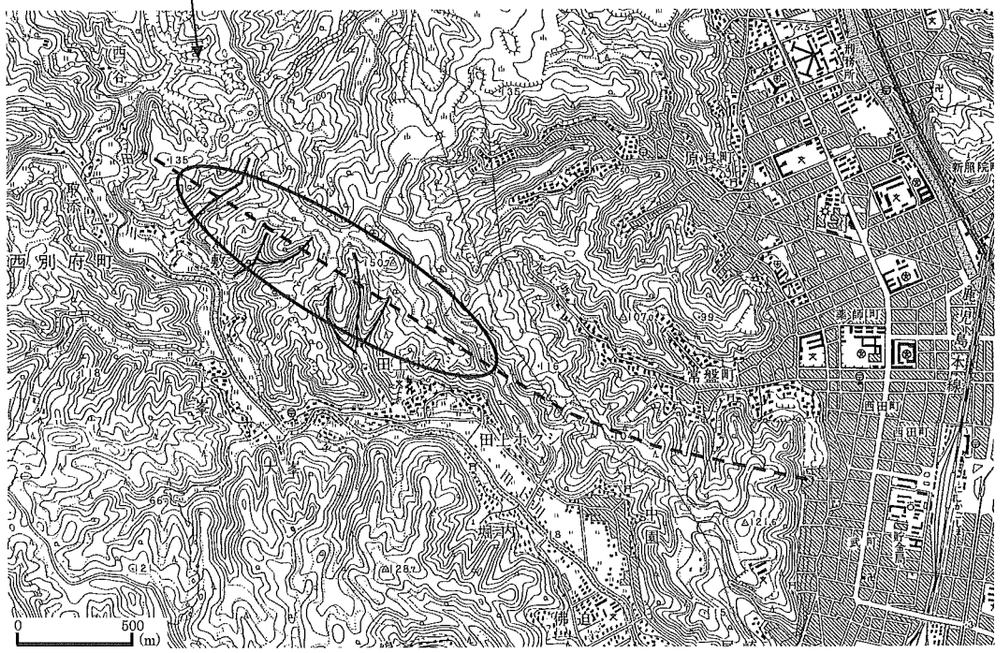


図-13　薩摩田上トンネル周辺の旧地形図(国土地理院1：25,000地形図「鹿児島北部」昭和46年発行，「鹿児島南部」昭和45年発行)

に把握し，詳細な調査を実施することが重要である．

事例4：旭川トンネル[8]【盛土上に構築された国道直下を土かぶり4.7mで掘削】

本トンネルは北海道旭川市を通る国道12号の環状バイパス「旭川新道」の一区間であり，延長約800mの2車線道路トンネル(上り線)である．交通量の多い国道直下を小土かぶり(5～7m)で通過する計画であったことから，地表面の沈下抑制が課題であった．**図-14**にトンネル周辺の地形図を示す．

当初は坑内からの補助工法により，地表面沈下を抑制する設計であったが，国道交差部の手前の区間で，想定以上の地表面沈下が発生したことから，作業は一時中断となった．施工方法を再検討する中で，現地踏査および当時の設計図の確認により，現国道は旧沢部を盛土し造成されたことが判明した(**図-15**)．そのため，国道交差部の追加地質調査と抜本的な対策工の検討を行うこととなった．なお，工事は反対側坑口からの掘削作業に切り替えた．

追加地質調査の結果，国道交差部は地表面から深さ5m程度まで盛土とN値10以下の脆弱な粘土層(沢床堆積物)が堆積していることが判明した．対策工は，坑内からの補助工法と地上からの地山改良工を比較検討した結果，地上部からの表層混合処理(SCM工法)，高圧噴射攪拌混合処理(JPE工法)とした．また坑内からも対策工を実施し，その結果，国道交差部を問題なく通過することができた．

トンネル周辺の地形図(図-14)を確認すると，本トンネルの北西から南東方向に丘陵地が存在し，その上に形成された住宅地の下を通るかたちで路線が計画されている．住宅地南側を通る国道は，丘陵地中央部のピークを両側切取斜面により切り開いて東西方向に走っているのが確認できる．国道は東側から丘陵部を上ったのち，住宅地南西境界付近から，両側斜面となる小規模の沢部と読み取れる地形上を通っていることが確認できる．

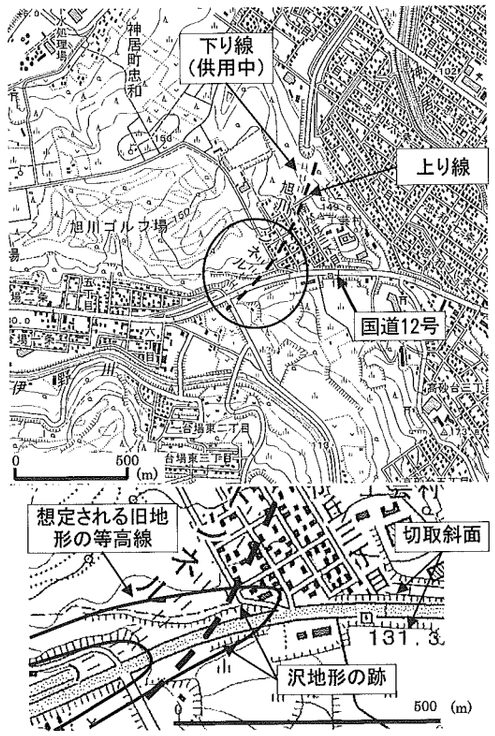


図-14　旭川トンネル周辺の地形図(国土地理院1：25,000地形図「旭川」)

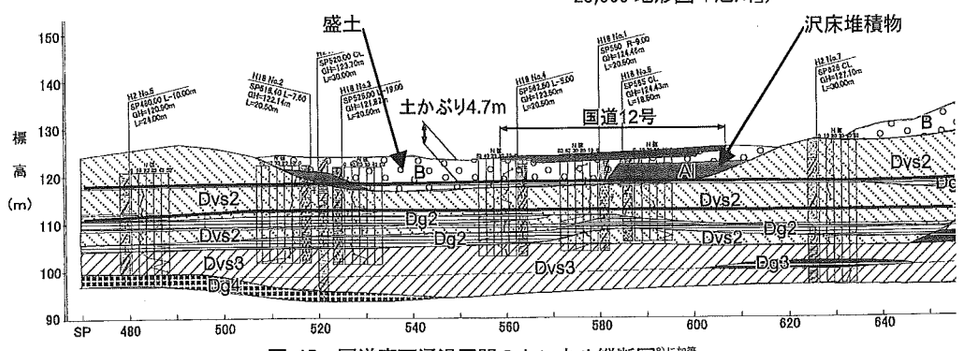


図-15　国道直下通過区間のトンネル縦断図[8]に加筆

住宅地などの地形改変により，現地形図からは本来の地形を正確に読み取ることは非常に困難ではあるが，周囲の地形から，ある程度の旧地形を予想することはできる．このような地形判読を行うことができれば，国道下の地盤が盛土であると判断することができなくても，周囲の地質に比べ軟弱な地質で形成されている可能性を指摘することができるものと思われる．

事例5：ユーパロトンネル(楓トンネル)[9]【ルーズな炭鉱ずりを掘削】

本トンネルは北海道夕張市を通る北海道横断自動車道の一区間であり，延長約2.0kmの2車線道路トンネルである．かつて日本を代表する石炭採掘地であった夕張には，石炭採掘時に排出された岩塊混じり土砂(炭坑ずり)が廃坑周辺に存在している．本トンネル路線上には旧沢部を埋めるように炭鉱ずりが堆積しており，その区間を地山の安定を維持しながら掘削することが課題の一つであった．

一般的に炭鉱ずりは転圧がなされておらず，ルーズな状態で堆積していることが多い．当該箇所の炭鉱ずりも無転圧状態で堆積しており，事前調査で把握した地山性状は，シルト混じり砂質礫(礫混入率70～80%)で間隙率は40%程度であるとされた．対策工は地表部から薬液注入工法(二重管ダブルパッカー工法)にて事前に地山改良を行う設計であり，トンネル掘削に先立ち2回の試験施工を実施した．二重管ダブルパッカー工法は，1次注入材による空隙の粗詰めと2次注入材による地山への浸透を行うことでトンネル外周部の改良体を形成する計画であった．しかしながら，実際の炭鉱ずりは間隙率や土砂の性状にばらつきが大きく，注入材の逸走や，浸透せずに未改良部が残ってしまう結果となった．そのため，対策工を再検討し，地表部からは1次注入のみとし，坑内から2次注入(注入式長尺先受け工法)を行った(**図-16, 17**)．その結果，切羽・天端の自立性は非常に良好で，対象区間72mのトンネル変位は天端沈下30mm，内空変位20mm程度で収まり，安全・確実に施工を行うことができた．

図-18にユーパロトンネル周辺の地形図を示す．トンネル東側坑口付近の地形を確認すると，沢部

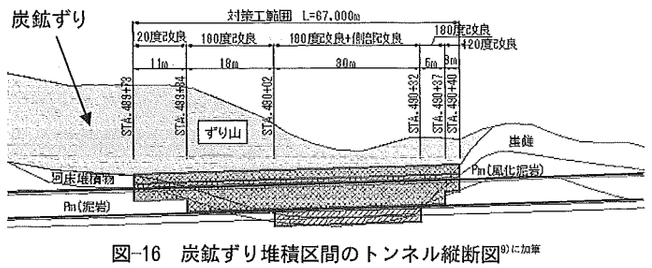


図-16　炭鉱ずり堆積区間のトンネル縦断図[9]に加筆

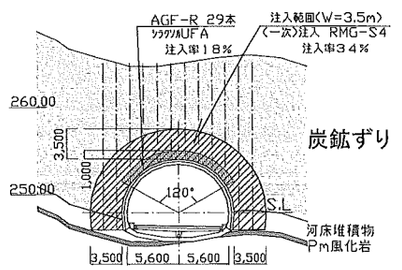


図-17　対策工断面図[9]に加筆

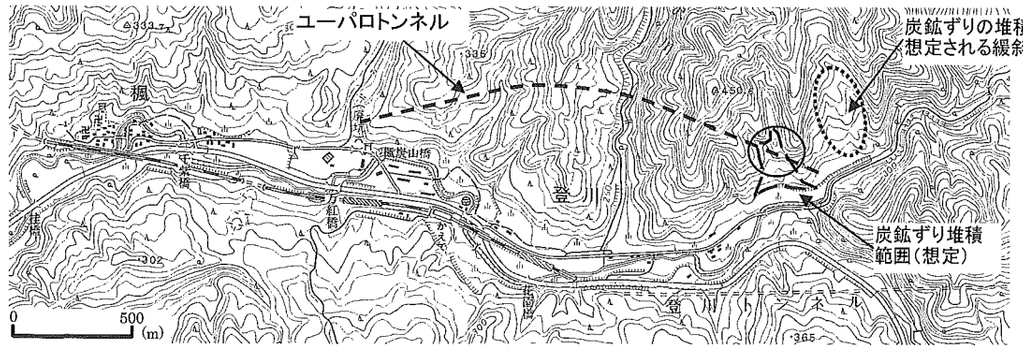


図-18　ユーパロトンネル周辺の地形図(国土地理院1：25,000地形図「紅葉山」)

は下流部に緩斜面を形成しており，一見すると土石流の堆積場とも読み取れる．地形図のみで炭坑ずりの堆積を判断することはきわめて困難ではあるが，地形の判読を行うことで，非固結堆積物の分布を予想することは可能である．

また，周辺には沢沿いの緩斜面が複数確認できるが，これらの斜面にも炭坑ずりが堆積している可能性が高い．

④ 技術的課題と留意点

前章において紹介した５つの事例を踏まえて，地形改変地に関する地形判読のポイントと，施工上の課題・留意点を整理する．なお，地形改変地のトンネル工事は設計段階において回避することが望ましいことは言うまでもないが，事前に把握されないまま工事が着工するケースは今後も少なからず発生するものと思われる．そのためにも，工事関係者は地形判読のポイントを十分理解し，地形改変の有無を自ら検討する意識を持つことが必要であろう．

4-1 地形判読のポイント

（１） 地形改変を判読するためのもっとも重要なポイントは，地形の連続性を意識して地形判読を行うことである．地形改変地では，周囲の地形と比較して等高線が示す傾斜や谷密度などの連続性が失われていることが多い(事例２，図-9参照)．そのため，自然の地形に比べて明らかに違和感を感じる不自然な地形として地形図に表現されていることが多い．

（２） 建設工事では大なり小なり地形改変が行われている地区に遭遇することが少なくない．とくに，都市部や新興住宅地，道路や鉄道などの交通施設が通る箇所は，地形図から旧地形の等高線が失われている可能性が高い．とりわけ，沢部の埋立地は，その直下を掘削するトンネル工事にとって影響の大きい地形改変地であるため，細心の注意が必要である．

上記２点をもとに地形改変の疑いがある箇所については，旧地形図を入手して地形を比較することが重要である．

4-2 旧地形図の入手方法

明治時代以降，複数回も改版された旧地形図は国土地理院から入手することができ，窓口購入に加え郵送にも対応している．旧地形図の発行年は国土地理院のホームページにて検索可能である(http://www.gsi.go.jp/tizu-kutyu.html)．また，同サイトでは，戦後から現在までに撮影された空中写真を閲覧することができる．地形図と併せて活用することで，地形改変の詳細が把握できる．なお，地形図作成以前(江戸時代など)の地形改変地は新旧地形図の比較により確認することはできない．本稿で紹介した事例４と５は，まさにそのケースである．そのようなケースは，地形学的観点で不自然な地形と認識されることから，現地での聞き取りなどにより，過去の地形を把握する必要がある．

4-3 施工上の課題・留意点

（１） 地形改変地における地山性状は自然地山に比べてばらつきが多いことから，対策工を検討する際に使用する地山の物性値は，ばらつきを考慮して決定することが必要である．

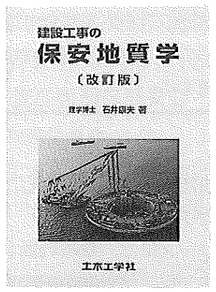
（２） 地山性状のばらつきが大きい中で対策工を実施せざるを得ないことから，本施工に先立ち，対策工の施工性や効果を現地盤にて検証することが望ましい．地形改変地におけるトンネル工事は，事例が少ないことに加え，工事ごとに諸条件が異なることから，実施例が少ない(またはない)対策工を検討・施工する必要がある．そのため，要求された効果を確実に発揮するためには，事前の検証(例えば，試験施工)を行い，本施工時のリスクを低減することが望ましい．

（３） 地形改変地は地表面に住宅などの構造物が立ち並ぶケースが多いため，トンネル周辺地山の影響だけでなく，地表面への影響を十分考慮したうえで施工を行う必要がある．とくにトンネルが地下水位より下に位置する場合は，掘削による地下水位低下が地表面沈下を引き起こす可能性があるため，事前に周辺への影響を十分検討する必要がある．

(文責：松原利之，兼松亮・飛島建設(株))

参 考 文 献

1) 大島洋志：増補 私の地質工学随想 国鉄・隧道とともに，pp.49-50，2012.3.
2) 日本応用地質学会阪神・淡路大震災調査委員会：兵庫県南部地震，応用地質学からの視点，日本応用地質学会，pp.94-106，1996.10.
3) 小島芳之：盛土と切土による既設トンネルの挙動の実態と予測，トンネルと地下，Vol.35，No.7，pp.45-54，2004.7.
4) 鈴木隆介：火山・変動地形と応用読図，建設技術者のための地形図読図入門，第４巻，古今書院，pp.1268-1269，2004.
5) 遠藤元一・及川淳・青山昌二・篠崎秀敏：盛土造成地を改良New PLS機で施工，横浜横須賀道路 吉井トンネル，トンネルと地下，Vol.33，No.5，pp.17-25，2002.5.
6) 窪田達也・小川渉・藤本克郎・濱西将之：先進導坑から上部帯水砂層を水抜きで切羽安定化，圏央道笠森トンネル，トンネルと地下，Vol43，No.2，pp.17-28，2012.2.
7) 松本雄二・神笠自然・黒瀬信弘・井上司：シラス盛土を新しい先受け工法で克服,九州新幹線 薩摩田上トンネル，トンネルと地下，Vol.31，No.12，pp.7-15，2000.12.
8) 和田芳明・館山孝利・桶谷強・後藤隆之：国道直下を地上からの地山改良で掘削，一般国道12号 旭川トンネル，トンネルと地下，Vol.31，No.3，pp17-25，2010.3.
9) 計良清隆・森俊介・信田俊文・野崎克博：脆弱な強風化泥岩と炭鉱ずり山のトンネル掘削，北海道横断自動車道 ユーパロトンネル，トンネルと地下，Vol.40，No.8，pp7-15，2009.8.



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

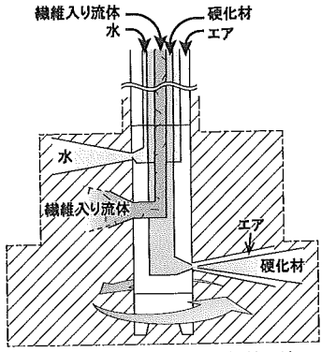
Ａ５判 上製本 475頁 価格6,300円 〒340円

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

工法・技術・製品ニュース

工法　構造物の耐震補強などに効果を発揮する強靭な地盤改良



新開発の４重管式高圧噴射撹拌工法の概念図

ハザマ(現)安藤ハザマ)と東興ジオテックは共同で，河邑眞・豊橋技術科学大学教授の指導のもと，高圧噴射撹拌工法によって短繊維を混合した地盤改良体を造成するファイバージェット工法を開発し，実大施工実験により実用化に目処をつけた．

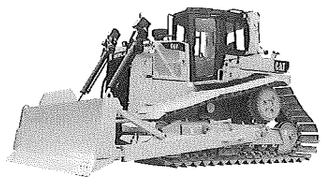
同工法は，新開発の４重管式(特許出願中)のロッドを用い，超高圧水を噴射して緩めた地盤に短繊維を圧入する．その後，超高圧硬化材をエアと一緒に噴射することで地盤をさらに大きく切削しながら，短繊維と硬化材を均一に混合させて地盤改良体を造成するもの．短繊維には，直径10～20μm，長さ10㎜程度のビニロン製ファイバーを使用し，適度な粘性を持つ流体などと混合してグラウトポンプで地中に圧送する．

短繊維を混合した改良体は，従来工法と比べ，引張強度と曲げ強度は最大２倍となり，圧縮強度も最大30％程度向上するなど，ねばり強さが向上する．それにより，改良範囲を最大３割低減できるなど，効率的な地盤補強が可能となる．また，従来工法の施工機械と設備が使用できて施工手順もほぼ同等であるため，施工管理も容易で信頼性も高いとしている．

今後は，現場での試験施工等も行いながら，より合理的な設計・施工方法を確立し，引張強度や靱性に優れた地盤改良として，シールド発進・到達壁防護など，多様な用途に提案していきたいとしている．

安藤ハザマCSR推進部
Tel 03-6234-3606
http://www.ad-hzm.co.jp

製品　オフロード法2011年基準に適合した中型ブルドーザを新発売


Cat® D6T

キャタピラージャパンは，中型ブルドーザCat D6Tブルドーザ(湿地車(運転質量22,300kg)/乾地車(同21,850kg))を新発売した．同機はCat D6R3のフルモデルチェンジ機．

今回のモデルチェンジでは，クリーンな排出ガスと燃料消費量低減を両立したCat C9.3ディーゼルエンジンを搭載し，オフロード法2011年基準に適合させた．また定評ある電子制御テクノロジーに加え，NRS(NOx Reduction System)や最新のアフタートリートメント技術の導入により，高い環境性能を実現している．

新たに，オートアイドルストップ機能を搭載し，一定時間アイドリング状態が続くと，自動的にエンジンが停止するシステムを搭載することで，さらなる燃料消費量やCO_2排出量を低減する．

キャタピラージャパン(株)広報グループ
Tel 03-5717-1122
e-mail: ojl-public.cat.com

製品　ホイールローダ　ZW-5シリーズ６機種を発売

ZW220-6B

日立建機は，新型ホイールローダZW-5シリーズを順次発売すると発表した．

このたび投入されるのは，ZW220-6B(標準バケット容量3.4m³，運転質量17.3t)，ZW250-6B(同3.7m³，同19.7t)，ZW310-6B(同4.2m³，同23.8t)，ZW330-6B(同4.6m³，同25.4t)，ZW370-6B(同5.6m³，同32.9t)，ZW550-6B(同6.1m³，同46.2t)の６機種．全機がオフロード法2011年基準に適合し，同社とKCMが共同開発した．

同シリーズには，機械の動きを判断し，エンジン回転数を制御するシステムを採用し，燃料消費量低減を実現する．これにより，ZW220-6B，250-6B，310-6B，330-6Bは，従来機比約10％の燃費低減を実現．ZW370-6B，550-6Bは，さらに装備を加え，約20％燃費を低減させた．

日立建機(株)広報戦略室広報・IRグループ
Tel 03-3830-8065
http://www.hitachi-kenki.co.jp

一般社団法人
日本トンネル技術協会
会　報

1. 会員の現状

	3月31日現在
正会員	1,447名
団体会員	335名
個人会員	1,112名

2. 第212回理事会

日　時：3月１日(金)　12：00～13：00
場　所：東京商工会議所８F「東商スカイルーム」
出席者：理事34名中19名，監事３名中２名　計21名
議　事：
①入退会について
団体会員６名，個人会員12名の計18名の入会と団体会員２名，個人会員61名の計63名の退会を承認．
②新法人への移行に際しての「特別会員の推薦について(案)」「賛助会員について(案)」「理事，監事，評議員の任期について(案)」「一般社団法人移行に伴う経過措置に関する規程(案)」について説明，承認された．
③移行に伴う理事・監事の確認および顧問・評議員候補者の推薦依頼について確認，了承された．
④平成25年度定時総会の開催および進行計画を検討
⑤平成25年度定時総会議案要綱を検討

3. 委員会の開催状況(３月１日～31日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会会誌WG(３/５)
大島洋志主査ほか９名，４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(３/27)
浅見均主査ほか７名，英文原稿を査読

ITA統括WG(３/19)
石田積主査ほか９名，ITA副会長，事務局長との会談

◎事業委員会

40周年記念事業準備会(３/７)
久多羅木吉治主査ほか７名，実行委員会の設置を検討

計　４回開催　36名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

安全環境小委員会(３/14)
豊澤康男委員長ほか17名，24年度作業報告および25年度作業計画を検討

山岳工法小委員会支保WG(３/25)
蓼沼慶正主査ほか21名，鋼製支保工と繊維補強吹付けコンクリートの効果などを検討

◎受託研究特別委員会

小断面掘削工法特別検討会(３/６)
吉富幸雄委員長ほか11名，検討条件を検討

中流動覆工コンクリート特別委員会幹事会(３/８)
松岡茂幹事長ほか16名，配合試験結果および長期耐久性を検討

大深度シールド設備特別検討会泥水WG(３/６)
河本武士主査ほか13名，検討条件を整理

大深度シールド設備特別検討会泥土圧WG(３/11)
守屋洋一主査ほか11名，検討条件を整理

大深度シールド設備特別検討会打合会(３/21)
守屋洋一委員ほか４名，検討条件を整理

大深度シールドトンネル技術検討委員会(３/18)
今田徹委員長ほか48名，設計手法を検討

補修補強調査特別検討会(３/21)
鈴木尊委員ほか８名，実態調査項目を検討

補修補強調査特別検討会海外文献調査WG(３/26)
横尾敦主査ほか９名，海外文献収集状況および内容を確認

北海道新幹線(本州方)委員会機械化施工WG(３/22)
小山幸則委員長ほか36名，施工結果および計測結果の検討

計　11回開催　205名出席

合計　15回開催　241名出席

4. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第39回ITA総会およびコングレス「Underground -the way to the 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/ 論文募集中
第41回ITA総会およびコングレス「Promoting Tunnelling in South East European (SEE) region」	2015.5.22～28	ドヴロヴニク（クロアチア）	Croatian Tunnelling Association International Tunnelling and Underground Space Association（国際トンネル協会） http://wtc15.com/

＊論文募集に関する詳細は事務局(担当：関)までお問い合わせください．TEL：03-3524-1755 FAX：03-5148-3655

5. 平成24年度催物開催結果

（平成25年３月現在）

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(現場研修会)				
中部横断自動車道トンネル建設工事現場研修会(八之尻，醍醐山)	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(赤尾第一，中津)	2012. 8.28	22	大分県	3.0
横浜環状北線シールド工事現場研修会	2012. 9.21	24	神奈川県	1.8
新東名高速道路トンネル工事現場研修会(雁峰，稲木)	2012. 9.24	21	岐阜県	2.5
清滝生駒道路清滝トンネル工事現場研修会	2012.10.26	24	大阪府	2.0
阪神高速大和川線トンネル工事現場研修会	2012.11.26	20	大阪府	2.8
（大和川線シールド，三宝第４工区(その１)開削および換気所）				
仙台市地下鉄東西線現場研修会	2012.12. 7	12	宮城県	3.5
下水道工事現場研修会(第二溜池幹線および勝どき幹線工事)	2013. 1.24	19	東京都	2.5
東北・道路トンネル現場研修会(国道45号是川)	2013. 2. 6	19	青森県	2.0
九州新幹線(西九州ルート)トンネル現場研修会	2013. 2.18	18	長崎県･佐賀県	3.2
(施工体験発表会)				
第70回(山岳)「課題克服に貢献した新技術・創意工夫事例」	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	19	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．http://www.japan-tunnel.org/event_japan

個人会員加入のお誘い

一般社団法人日本トンネル技術協会

技術の習得のために個人会員に加入してはいかがでしょうか．協会ホームページの申込書で簡単に入会手続ができます．

□個 人 会 費：12,000円/年(1,000円/月)
□メリット１：協会の機関紙「トンネルと地下」を毎月，無料でお届けします．
□メリット２：協会刊行図書が会員価格で購入できます．
□メリット３：協会開催の各種催物に会員価格で参加できます．

平成25年度施工体験発表会のお知らせ

事業委員会

恒例の現場技術者による施工体験発表会は，下記のとおり開催いたします．詳しくは協会ホームページをご参照ください．

■第72回施工体験発表会(山岳)

開 催 日：平成25年６月25日(火)
開催場所：発明会館地下ホール
テ ー マ：「課題克服に取り組んだトンネル工事 —周辺環境への配慮，創意工夫，効率化—」
趣 旨：近年，難しい立地条件下において品質を確保するため合理的かつ高度な施工が求められているとともに，工事区域の住民や生態系などの環境への配慮が従前にも増して要求されており，各種補助工法や新技術，創意工夫などの技術を駆使して施工がなされています．今回はこれらを体験した方々に発表していただく予定です．

■第73回施工体験発表会(都市)

開 催 日：平成25年６月26日(水)
開催場所：発明会館地下ホール
テ ー マ：「都市における創意工夫・新技術による地下構造物の施工事例」
趣 旨：都市部の地下は，既存の各種地下施設物が輻輳するなど，トンネルに限らず新たな各種地下構造物の建設は，これらを避けるため近接施工や大深度施工などの厳しい条件下での工事を余儀なくされている．さらには，環境に対する関心がこれまで以上に高くなっており，周辺住民やリサイクルなどへの配慮も不可欠です．今回はこれらを含めた各種課題を克服するために行った施工体験を発表していただく予定です．

ITA副会長らが来訪

去る３月19日，ITA(国際トンネル協会)のM. Thewes(筆頭副会長)，S. Eskesen(副会長)およびO. Vion(事務局長)が来日し，当協会の佐藤会長はじめ国際委員会のITA統括ワーキングのメンバーと意見交換をした．

来訪の目的は，トンネル技術の先進国である日本に対して，ITAの活動への積極的な参画を要請するものであった．新たに立ち上げることになっているWG21：Life Cycle Management や昨年発足したITA-tech(技術情報委員会)に，日本からの参画・貢献が期待されており，さらに，日本からの理事の立候補も検討されたいとのことであった．また，日本の技術を発信する手段のひとつとして，ITA-CET(教育・訓練委員会)の活用事例の紹介があった．

なお，当協会からは，日本におけるトンネルを取り巻く最近の情報として，大型プロジェクトの紹介や昨今のトンネル関連事故の説明をした(WGや委員会などのITA活動については，本誌Vol.43，No.10(2012年10月号参照)．

6月号予告[6月1日発売予定]

●事前補強材料としてのケーブルボルトの作用効果と適用性
●予讃線　石手架道橋
●京都第二外環状道路　北春日トンネル
●天満堀川　抽水所雨水滞水池
●アンケート結果にもとづくトンネル支保工に関する定説と実際の乖離(1)
【連載講座】
●トンネル技術者のための地相入門(14)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆今年の4月は桜の開花が早かったせいか，あまり季節感を感じなかった月となってしまいました．そんな中，先月は2つのチャリティーイベントに参加するはずでした．2つのイベントのうち，PARACUP(http://www.paracup.info/)という世界の子供たちを支援するチャリティーマラソンが残念なことに中止となってしまいました．中止の理由は4月6～7日に日本を縦断した台風並みの低気圧のせいです．大会当日の7日は風があったもののまずまずの天気だったのですが，前日に降った雨がメイン会場を水没させあえなく中止となってしまいました．もうひとつはマリンエイド(http://marine-aid.com/)というイベントです．こちらは東日本大震災で被災された海に従事する人たちを支援するイベントです．ミニコンサートや水中写真家によるトークショー，スライドムービーショーなど盛りだくさんのイベントです．昨年から行われるようになったイベントで今年も大盛況でした．どちらも共通しているのは参加型のチャリティーイベントで支援先が明確になっていることです．自分も楽しんで支援したいところに支援できるイベントなので個人的に共感しています．
◆トンネル，あるいは，少し範囲を拡げて道路，鉄道，ライフラインに絡むチャリティーイベントを企画されている方がいらっしゃれば編集部の方へご連絡ください．当誌でも告知などでできるだけ支援させていただきます．

(I.Y)

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

トンネルと地下
第44巻 第5号〔通巻513号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成25年4月20日　印刷
平成25年5月1日　発行

一般社団法人 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．

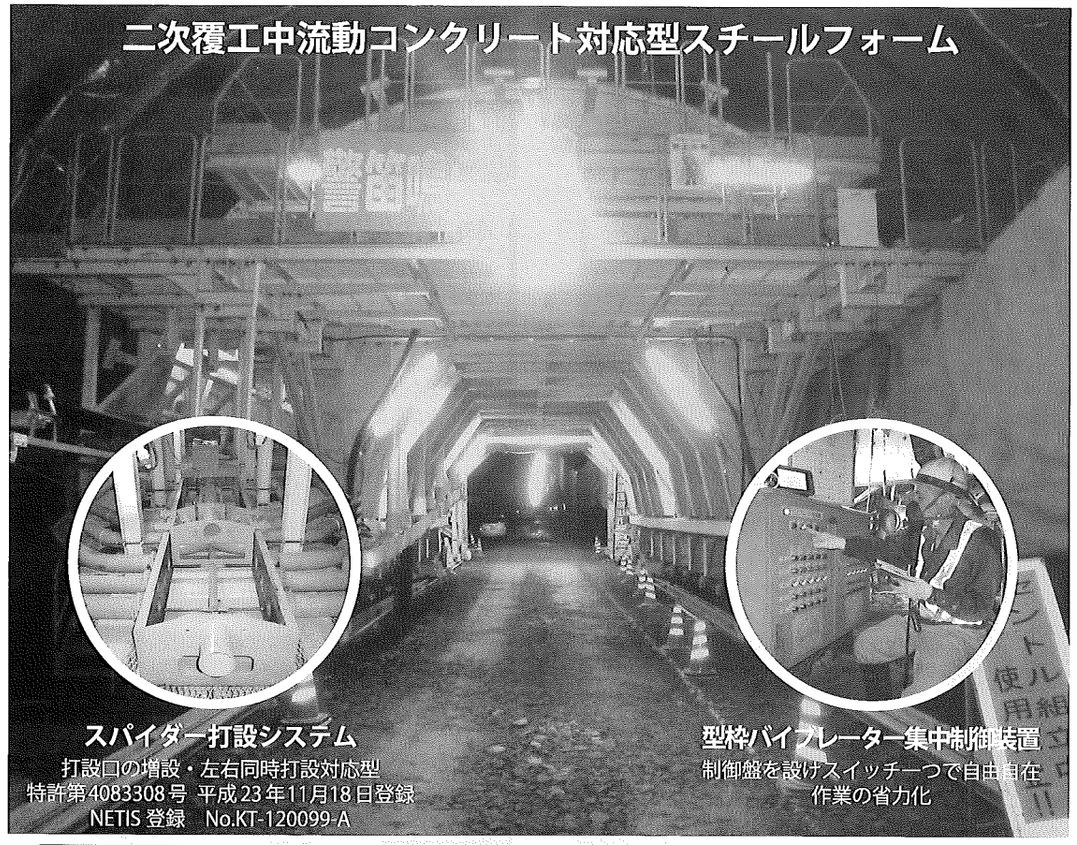
購読料
1冊　1,575円(送料108円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

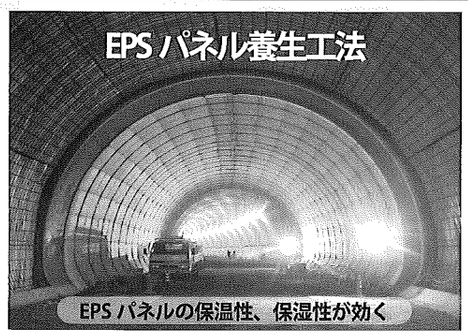
本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください．
TEL：03-3267-2888

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	24	0
NEXCO	6	1
地方自治体	12	2
鉄道・運輸機構	1	0

平成25年1月31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

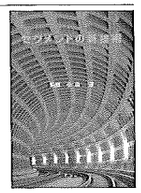
推進工法の理論を，多くの挿図を用い解説した．日本の現在の推進工法の基本となった原著を斯界の権威が翻訳・監修．

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

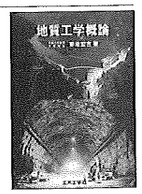
温泉開発における一般論から探査技術についてまとめ，今後の温泉開発の考え方を，外国の事例も交えながらわかりやすくまとめた．

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．

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．

山岳トンネルの新技術

ジェオフロンテ研究会　編
14,573円＋税　B5判

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

ジオテキスタイル設計マニュアル

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

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

岩盤地下空洞の設計と施工

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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した．

建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉　共著
4,300円＋税　A5判

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

トンネル工事の衛生と環境保全

臼谷三郎・橋本康孝・友田　孝　共著
3,200円＋税　A5判

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

岩盤の計測と解析

鈴木　光　著
4,200円＋税　A5判

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

わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏　共著
2,800円＋税　A5判

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

海洋資源開発

稲田善紀　著
3,400円＋税　A5判

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

トンネルと地下

1,500円＋税　B5判　月刊(毎月1日発売)

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

書籍のお申し込み

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

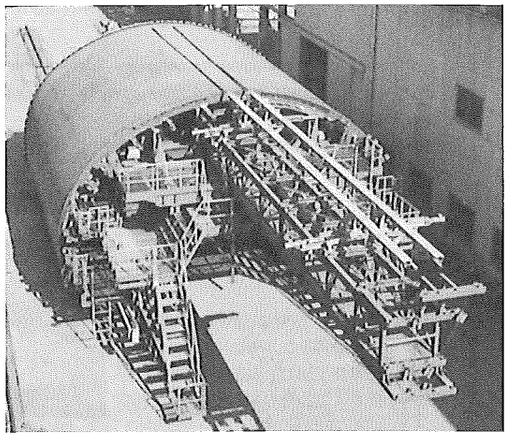
(株)土木工学社
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16　メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888　Fax: 03 3267 2807

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 顕田（かいた）工場

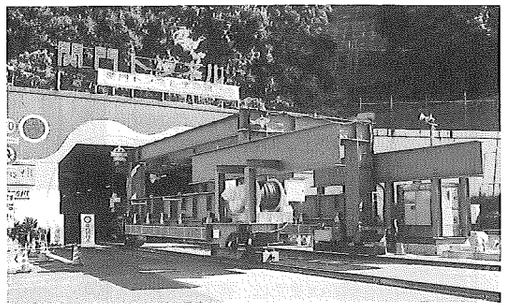
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田（せいた）2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

● 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

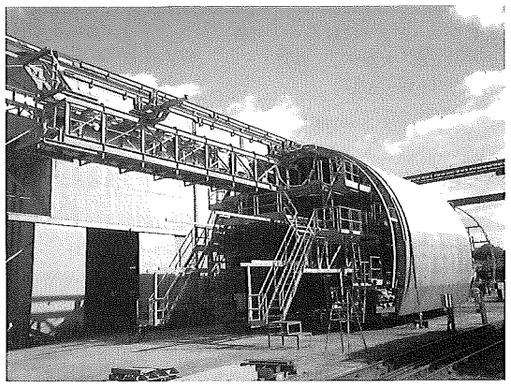


◎強靭なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは，前進後進同一の力で抜き差し出来ます．
◎円周方向にスライドするガイドセルは，クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます．
◎ガイドセルの上昇・下降により，任意の高さを締め固める事が出来ます．

● トンネル床版撤去架台
勾配対応四駆型(関門トンネル)



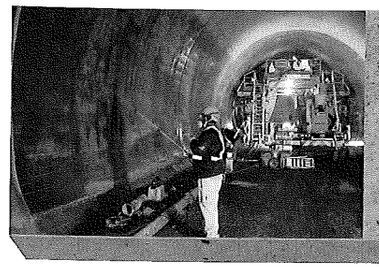
● 新幹線用ステンレスフォーム



● 自動ケレン装置

- 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

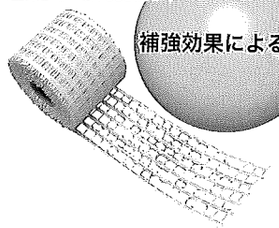
常に顧客のニーズに応えるため，安全性と施工効率を追求し，高品質な製品を納めさせて頂きます．



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）

コンクリート混入・コンクリート用膨張材
ハイパーエクスパン
NETIS登録番号　QS-020033-V

コンクリート打設前設・耐アルカリ性ガラス繊維ネット
ハイパーネット60
NETIS登録番号　SK-080003-V

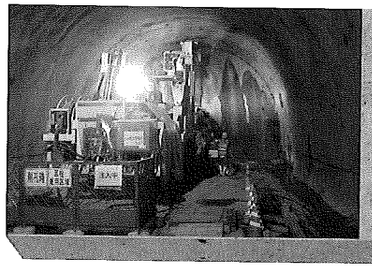


補強効果によるひび割れ幅低減

コンクリート収縮抑制

養生効果

硬化後塗布・塗布型高性能収縮低減剤
クラックセイバー
NETIS登録番号　SK-080001-V



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