

トンネルと地下

9

vol. 48
no. 9
2017

Tunnels and Underground

土かぶり1.3mで発進する大断面泥土圧シールドの施工
坑口法面変状への安定化対策を施しトンネルを施工
建築構造物と一体となった地下鉄トンネルのリニューアル
想定外の巨礫によるシールド日進量の大幅な低下と進捗改善の取組み
山岳トンネルの路盤隆起メカニズムと対策工の効果に関する研究

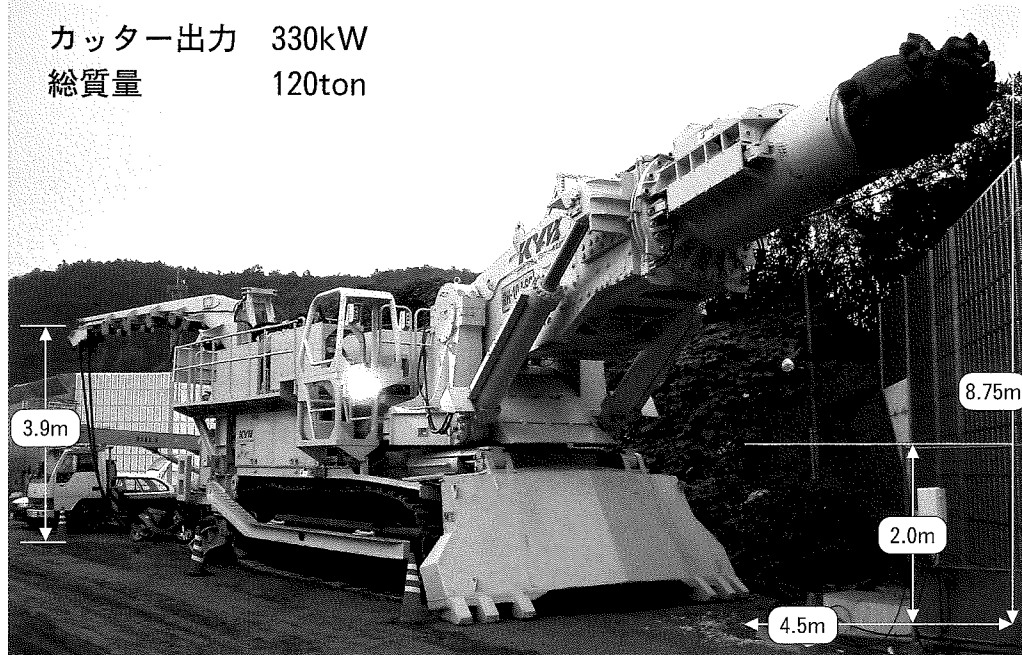
日本トンネル技術協会誌



ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW
総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な掘削力を発揮し、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（ケーブ吊ハンガーを除く）
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅4.5m
- ・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 〒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
 相模事業所 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
 福岡支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998
 三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出長常町 1129 番地 11 TEL 059-234-4111

吸引ダクトが無くても**全ての断面、全ての延長**に対応

たった**37kW**で**2,750m³/min** イーダスコ270使用時

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO

イーダスコ240/イーダスコ270
ファン動力30kW ファン動力37kW

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-VE

経済産業省後援

第39回優秀環境装置

日本産業機械工業会 会長賞

全てのトンネルに適用可能!



- クラス最高の集じん効率95%*
- 有害な微細粉じんも逃さない電気式
- 現場メンテナンスは手間いらず
- 大風量と省エネを同時に実現

吸引捕集方式にも対応



48m²の設置例

希釈封じ込め方式での計算例

① 粉じん発生量

$$Fo = 360 \times 22\text{m}^3/\text{h} \times 0.75 = 5,940 (\text{mg}/\text{min})$$

② 所要換気量

$$Q4a = \frac{5,940}{3.0-0.07} = 2,027 (\text{m}^3/\text{min})$$

$$Qa = 54.0 + 2,027 = 2,081 (\text{m}^3/\text{min})$$

③ 集じん機の選定

$$Qs = 1.2 \times \frac{2,081}{0.93} = 2,686 (\text{m}^3/\text{min}) \leq 2,750 (\text{m}^3/\text{min})$$

品名	e-DUSCO240	e-DUSCO270
型式	FTE2400/FTE2400-E	FTE2700-E
集じん装置の容量	1800・2100・2400m ³ /min 任意設定の4モード	1800・2100・2700m ³ /min 任意設定の4モード
全長 ^{※1}	7411mm (サイレンサー含む)	
全幅	2350mm	
全高 ^{※2}	3700mm	
本体重量	10t	11t
電源仕様	3相3線400V58kVA	3相3線400V107kVA
ファン動力	30kW	37kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)	23kW・28kW・40kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)
洗浄水 ^{※3}	2.4~3.2m ³ /回	
捕集ダスト処理	湿式	
集じん効率 ^{※4}	95%以上	93%以上
吸引捕集方式	対応可	

注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

※1 入口ダクト及び絞リダクトは含みません。 ※2 台車および揚重用治具の高さは含みません。 ※3 機種により多少異なります。

※4 JIS Z 8808 並びに換気技術指針(H24.3)に定める試験方法に基づき第三者計量機関により測定した値です。 ※5 任意設定にて最大2,750m³/minまで可能です。

△ 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
第三営業部 ☎03-3212-6575

大阪支店 ☎06-6344-2532
東北支店 ☎022-221-3532

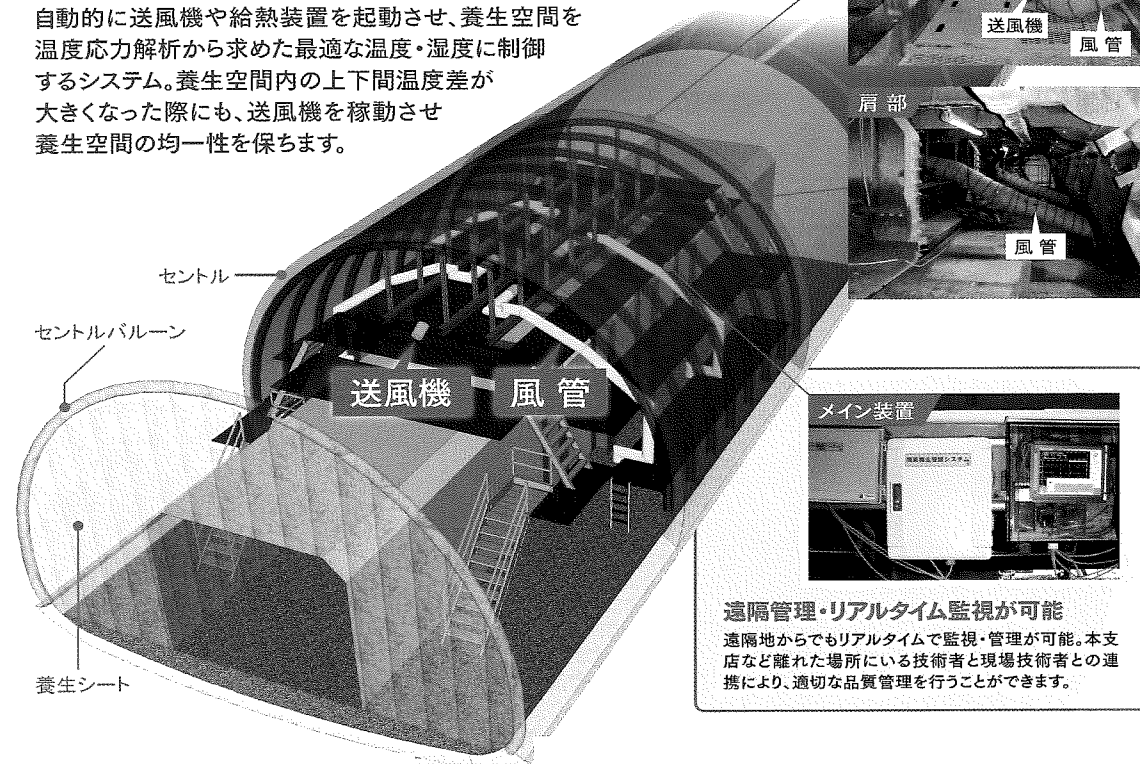
名古屋支店 ☎052-561-4580
九州支店 ☎092-741-5193
札幌支店 ☎011-784-1179
小浜工場 ☎0285-23-8662

クラコン養生温度管理システム

NETIS登録 KT-120109-A

自動制御による最適で 均一な養生環境の保持

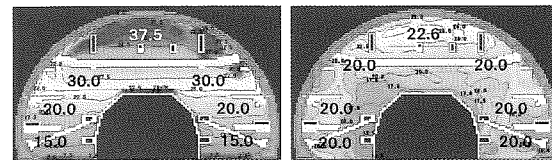
自動的に送風機や給熱装置を起動させ、養生空間を温度応力解析から求めた最適な温度・湿度に制御するシステム。養生空間内の上下間温度差が大きくなった際にも、送風機を稼働させ養生空間の均一性を保ちます。



全体イメージ図&写真

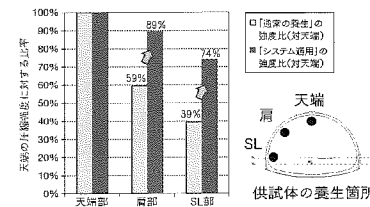
養生空間の温度均一化

通常の養生では、約20℃の上下間温度差が発生します。システムの適用により温度が均一化されます。



コンクリート圧縮強度の増進

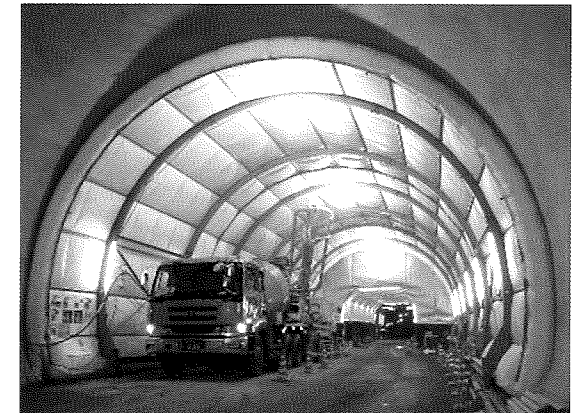
天端、肩、SL部の脱型時強度が均一化され、養生低温部の強度が増進。安全性の高い脱型強度管理が可能となります。



バルーンの東宏です



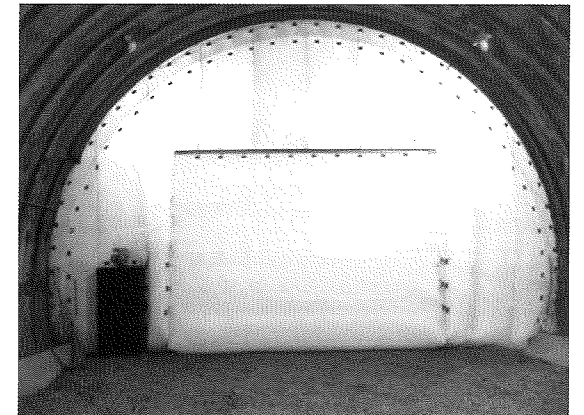
センター養生バルーン(HR-04005VE)



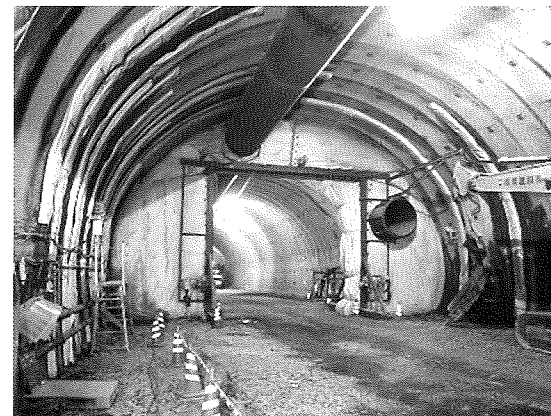
コンクリート養生バルーン(HR-04005VE)



アクアカーテン(HR-110011VE)



隔壁バルーン(HK-100007VR)



トラブルフリーカーテン(HK-120040A)



肌落防護マット

《取扱い製品》 積算温度管理システム、モイスタータックプチ、トラミッキーカバー、ベルコン昇降装置
キュアマイスター、モイストキュア、支保工スクレップ、センター、シート台車、棧橋、他

TOUKOU 株式会社 東宏

本社 札幌市東区東雁来9条3丁目2番3号
TEL011-792-3000 FAX011-792-3333

東京支店 墨田区両国2丁目18番4号 中尾ビル4F
TEL03-6659-3841 FAX03-6659-3845

URL <http://www.k-toukou.co.jp/>

製造・販売

TOUKOU 株式会社 東宏

本社 札幌市東区東雁来9条3丁目2番3号
TEL011-792-3000 FAX011-792-3333
東京支店 墨田区両国2丁目18番4号 中尾ビル4F
TEL03-3683-8011 FAX03-3683-8028
URL <http://www.k-toukou.co.jp/>

製造

計測技研株式会社

本社 尼崎市長洲本通1丁目14番1号
TEL06-6401-2288 FAX06-6401-2488
東京事務所 港区浜松町2丁目9番3号 NBC浜松町ビル3F
TEL03-5408-1915 FAX03-5408-1913
URL <http://www.keisokugiken.co.jp/>

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

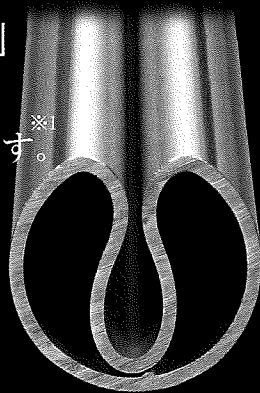
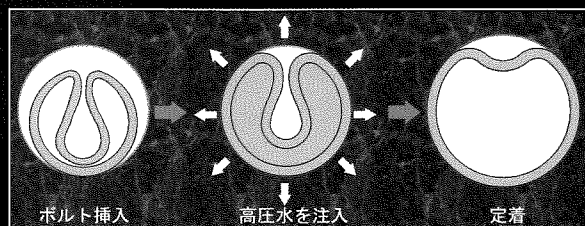
RPE ROCKBOLT

RUST PROOFING EXPANSIVE

RPE ロックボルト

「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。

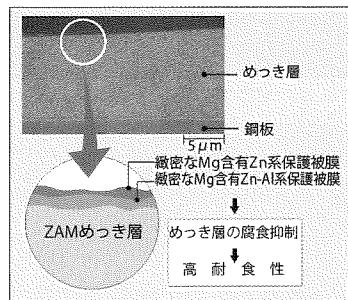


※1 地山条件によってめっき層の寿命は大きく変動します。

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、他の垂鉛めっきと比較し、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



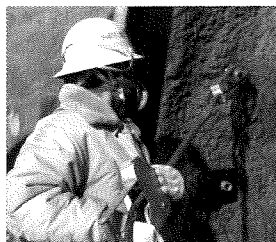
・「ZAM」は、日新製鋼株式会社の登録商標です。
・「ZAM」は、日新製鋼株式会社が開発した溶融亜鉛 Zn-アルミニウム Al-マグネシウム Mg 合金めっき鋼板の商品名です。

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)	φ45~φ51	φ45~φ51
鋼種	NTRB-400	NTRB-540
本体外径(母材鋼管)(mm)	φ36(φ54×2.0t)	φ36(φ54×2.3t)
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

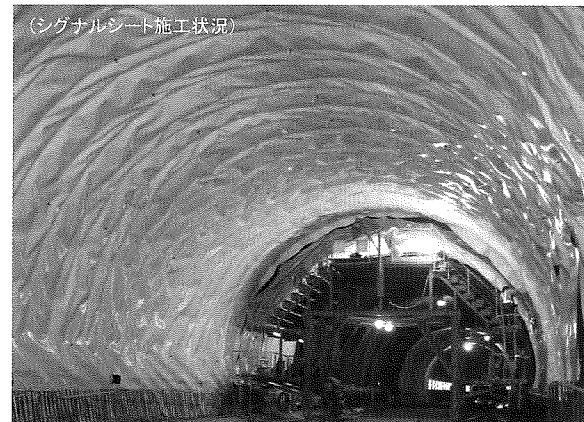
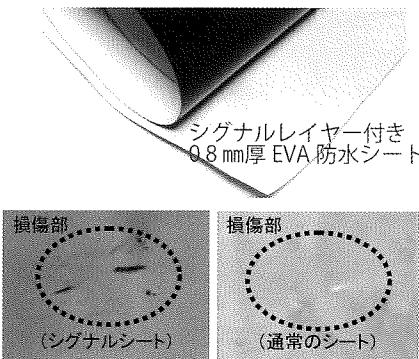
東京土木営業部: 東京都港区芝公園2丁目4番1号 TEL 03-6402-8251
大阪土木営業部: 大阪市北区西天満3丁目2-17 TEL 06-6363-1884
技術部: 東京都港区芝公園2丁目4番1号 TEL 03-6402-8256

損傷を目視で確認できる防水シート

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。



通常のシートと比較し、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

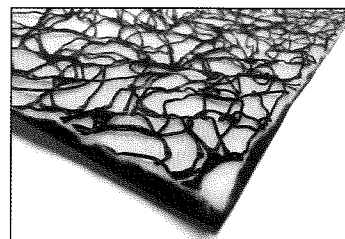
立体網状体付き長繊維不織布

「立体網状体」の効果により、抜群の排水性能を発揮します。

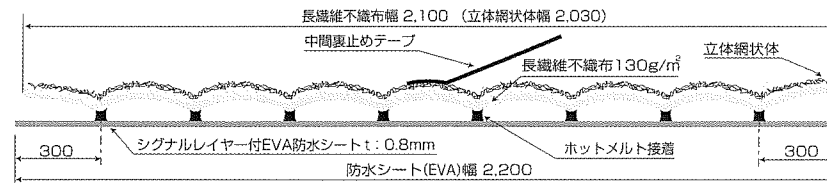
「立体網状体付き長繊維不織布」は通常の厚さ3mmの不織布に比較して約40倍の排水性能を有します。

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



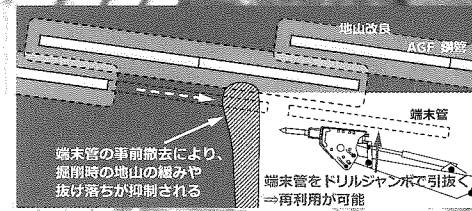
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

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

掘削断面内の末端管を引抜き、掘削時の地山への影響を低減

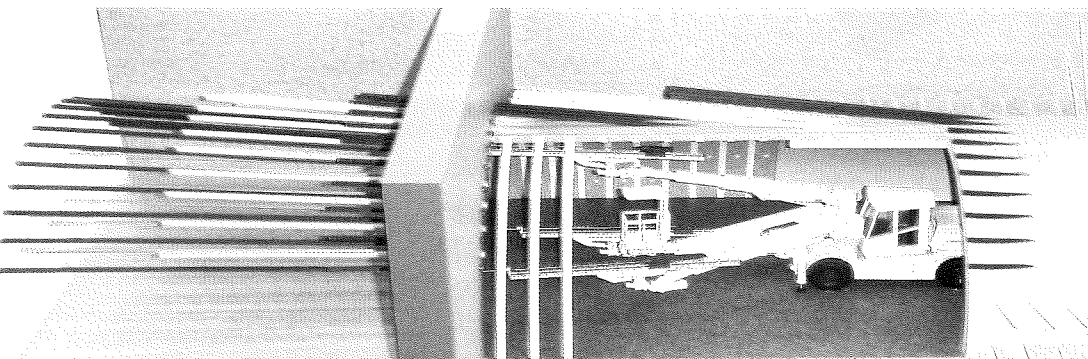
鋼管設置時に、専用の治具を使用して末端管を中間管から引抜く工法
掘削時の末端管切断撤去が不要なため、撤去の衝撃による地山の抜け落ちや周辺の緩みなどの懸念がなく
末端管の再使用もできることから
コスト低減も可能となります



NETIS登録番号:CB-150001-A
AGF-Tk工法

多重式長尺フォアパイリング NETIS登録番号:CG-130024-A

多重式工法とは奇数管と偶数管の施工断面をずらし、鋼管あるいは改良体が常にダブル配置となる工法です。
鋼管下部や鋼管間からの地山の抜け落ちが低減でき、天端の安定性および経済性が向上します。



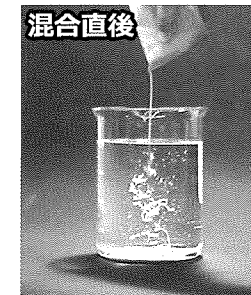
多重式工法 (ダブル配置)

▶ 補助工法ラインアップ 注入式フォアボーリング / 各種長尺フォアパイリング / エコリムープ工法
パノラマ工法 (φ60.5MRS、φ76.3、φ89.1)

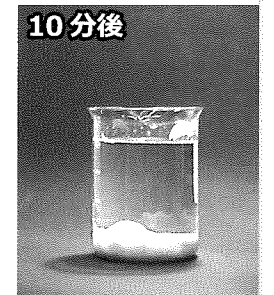


スーパーSRF シリカレジン系注入材

- 地山改良効果に優れ、湧水下でも発泡・固結
- 水に溶解しないため、白濁や泡立ちが発生しない



混合直後



10分後

地山内の固結状態

KOD-M (カバード・エム) ウレタン系減水・止水材

- 帯水地山でのトンネル掘削工事における切羽の安定
- 帯水弱層における補強および減水、止水
- コンクリートクラックの漏水補修 (トンネルや水路等)



水と接触
(7倍発泡)

水と非接触
(無発泡・圧縮強度60MPa)

多岐にわたり適用可能

▶ 営業品目 各種ロックボルト / GRPロックボルト / 高耐力ロックボルト / ロックボルト定着材 / 各種注入材 / コンクリート皮膜養生剤クラテキュア / 建設資材全般

KATECS

株式会社カテックス 建設資材事業部

〒460-8331名古屋市中区上前津1丁目3番3号

技術部・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

東京支店(仙台事務所)

TEL 022-344-6041

FAX 022-344-6042

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 (株)エイチ・アール・オー

TEL 011-821-5868

FAX 011-821-6644

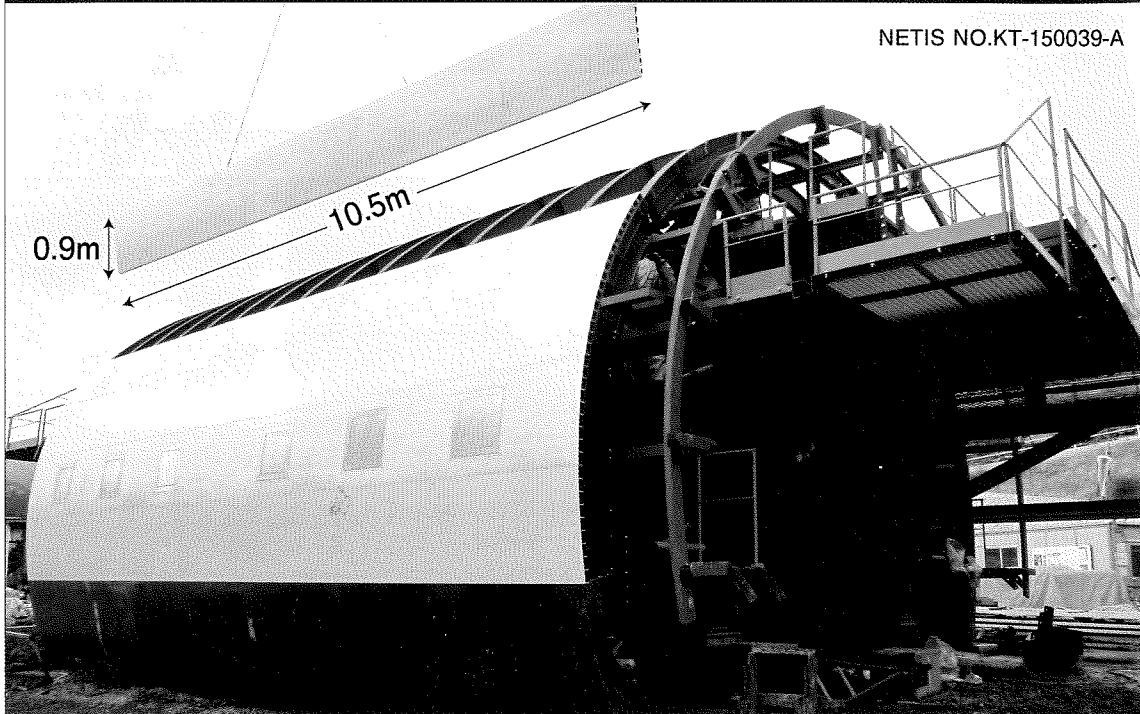
URL <http://www.katecs.jp/>

email construction@katecs.co.jp

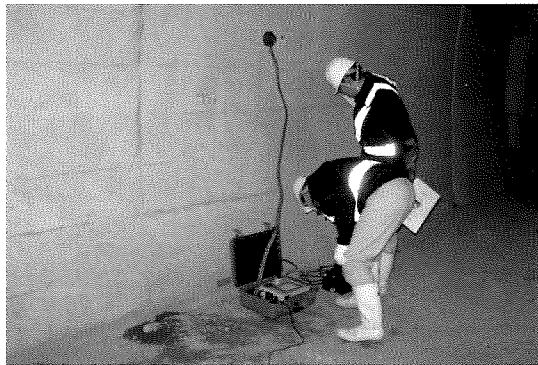
NEW

トンネル覆工初期養生FRP工法 ～ハイブリッドフォーム誕生～

NETIS NO.KT-150039-A



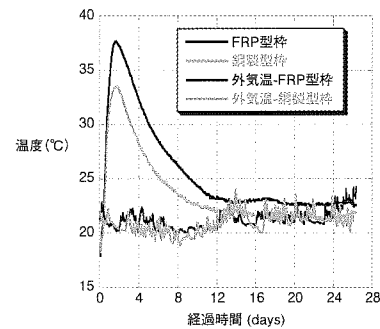
■透気試験実施



覆工コンクリートの表層部分を測定した結果、コンクリートの中性化速度係数が30%～50%程度低下し耐久性が大幅に向上することを確認した。

■覆工コンクリート温度の経時変化

[宮崎大学との共同研究により、横アジタ 吉江トンネル南にて測定]



◎3～4℃の保温効果により、コンクリート強度が15～20%向上

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

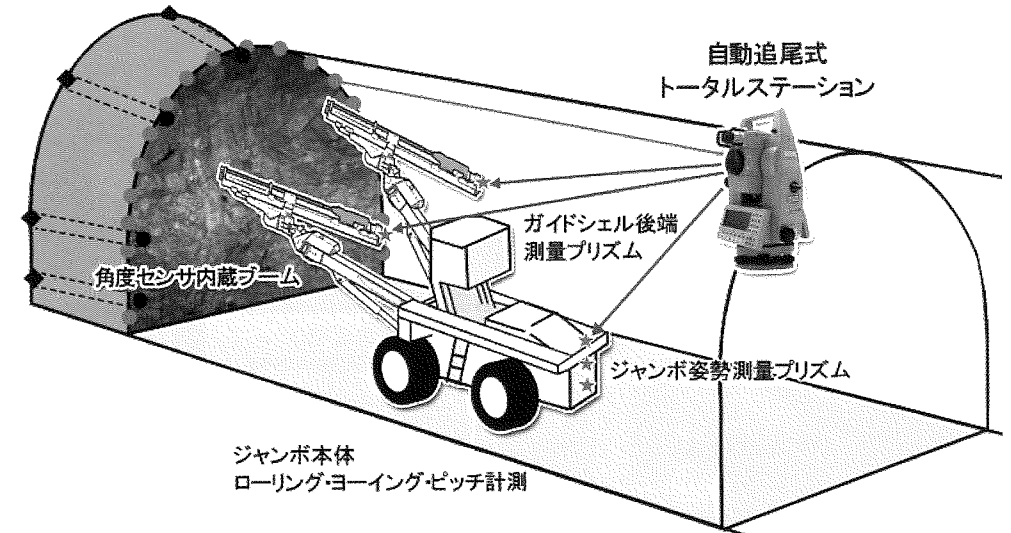
■ 本社	〒553-0006	大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル	TEL:06-6443-7060
■ 東京営業所	〒103-0022	東京都中央区日本橋室町1-12-12 水島ビル3	TEL:03-6860-7796
■ 九州営業所	〒812-0011	福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号	TEL:092-409-8008
■ 分校工場	〒922-0304	石川県加賀市分校町又1-1	TEL:0761-74-3070

NETIS登録番号:KK-100049-A

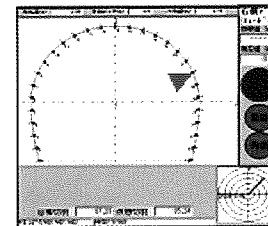
自動追尾式余掘り低減システム

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、外周装葉孔の高精度さく孔を可能にしました。余掘り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. ガイドシエ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 千葉県市川市曾谷8-16-3

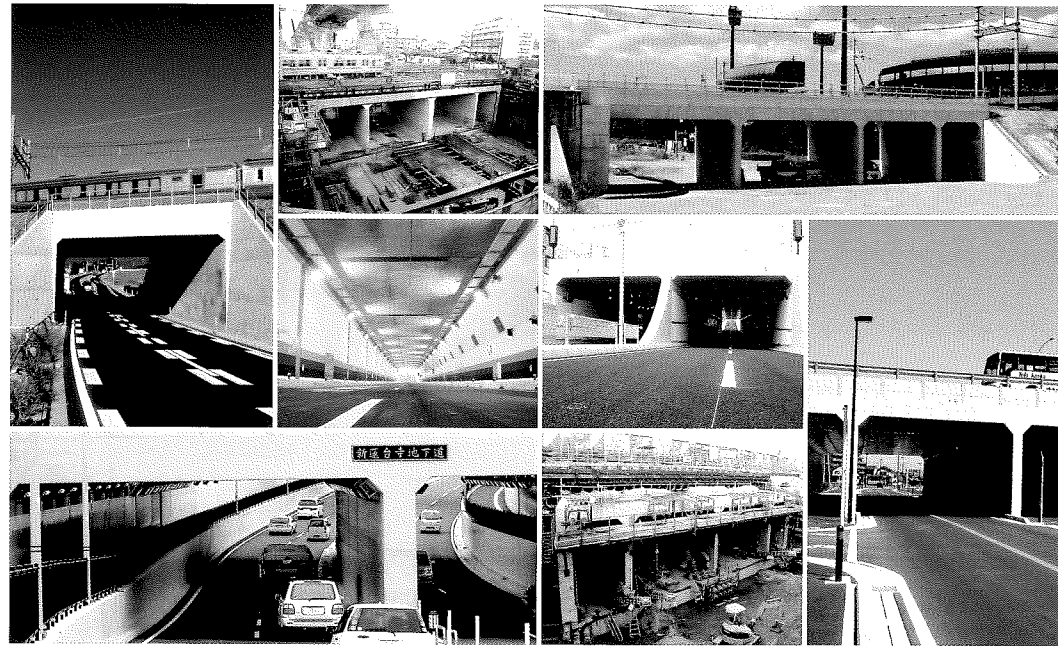
TEL:047-371-3191 FAX:047-371-3190

FRD 古河機械金属グループ 古河ロッドドリル株式会社

〒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

非開削立体交差施工



R & C 工法

箱形ルーフ (□800) を函体外縁に合わせて施工した後、函体を推進またはけん引によって置換設置する施工法です。縁切用鋼板により浅い土被りで地下構造物を設置できます。

NETIS KT-040015-A

SFT 工法

函体掘進中、切羽で掘削作業を行わずに施工します。箱形ルーフ材 (□1,000) を函体外縁に合わせて矩形に閉合配置し、箱形ルーフと函体を一体として推進する施工法です。

NETIS KT-050068-A

FJ 工法

非開削アンダーパスのパイオニア的施工法。パイプルーフなどの防護工で囲まれた中を、PC鋼線によって函体をけん引し、地下構造物を設置する施工法です。

ESA 工法

地下構造物 (函体) を長距離施工します。外部に反力を取らず、複数の函体で構成した函体群とESA設備によって、大断面の函体を掘進する施工法です。曲線施工が可能です。

アンダーパス技術協会

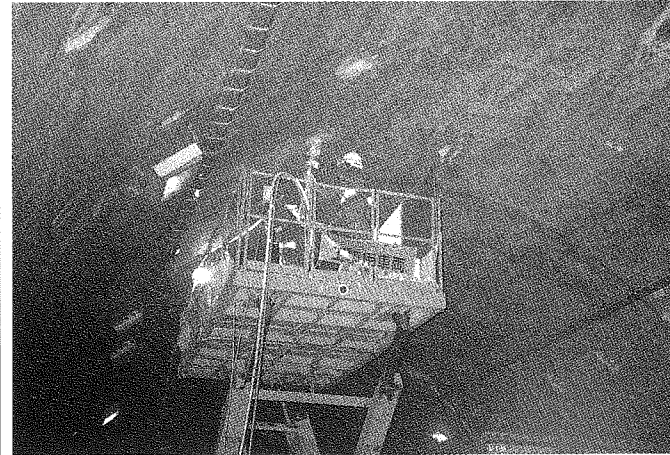
<http://underpass.info/>

事務局 〒185-0032
東京都国分寺市日吉町 2-30-7 植村技研工業(株)内
TEL 042-574-1180

分室 〒108-8381
東京都港区芝 5-6-1 (株)奥村組内
TEL 03-5439-5412

急結性・高性能裏込注入材 セツトフォーム工法

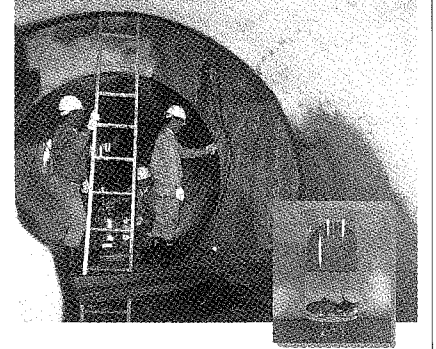
NETIS CB-040060-V



- 既設道路・水路トンネルの裏込注入工法
- シールド急曲線部の裏込注入(即時地盤反力の効果)
- シールド発進到達部の止水

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

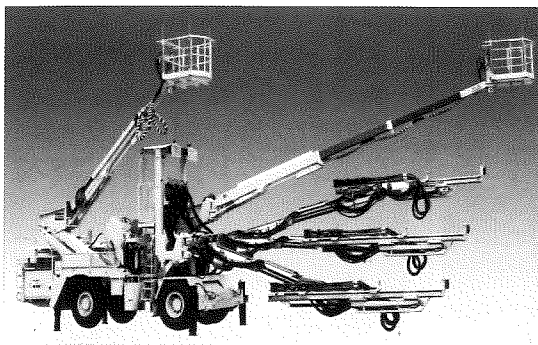
ケミカルフォーム協会会員

旭ケミテック株式会社	〒150-0002	東京都渋谷区1-9-8	TEL 03-3486-5471
アルス株式会社	〒950-0944	新潟県新潟市中央区愛宕1-4-25	TEL 025-280-0337
株式会社内田工業	〒332-0032	埼玉県川口市中青木2-12-2	TEL 048-257-0848
エコシビックエンジニアリング株式会社	〒135-0047	東京都江東区富岡1-12-4み満きビル	TEL 03-3643-7241
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	〒462-0846	愛知県名古屋市中区浮野町91番	TEL 052-508-6927
四国リニューアル株式会社	〒780-8027	高知県高知市高見町325-6	TEL 088-832-3320
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
ショーレジック株式会社	〒104-0032	東京都中央区八丁堀3-14-4直平ビル	TEL 03-3551-8391
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
ナトリ株式会社	〒060-0052	北海道札幌市中央区南2条東4-6-1	TEL 011-251-8151
日本総合防水株式会社	〒171-0022	東京都豊島区南池袋3-11-10ペリエ池袋	TEL 03-5950-8211
株式会社デーロス・ジャパン	〒921-8005	石川県金沢市間明2-70	TEL 076-229-7260
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
北陸エースコン株式会社	〒920-1303	石川県金沢市辰巳町口21番地	TEL 076-229-0050
北海道エースコン株式会社	〒062-0935	北海道札幌市豊平区平岸5条9-6-24	TEL 011-813-1818
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
株式会社マイティ	〒003-0822	北海道札幌市白石区菊水元町2条4-4-10	TEL 011-875-7030
株式会社マシノ	〒733-0822	広島県広島市西区庚午中1-19-23	TEL 082-507-2737
株式会社松井商店	〒062-0902	北海道札幌市豊平区豊平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	大阪府大阪市北区本庄東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

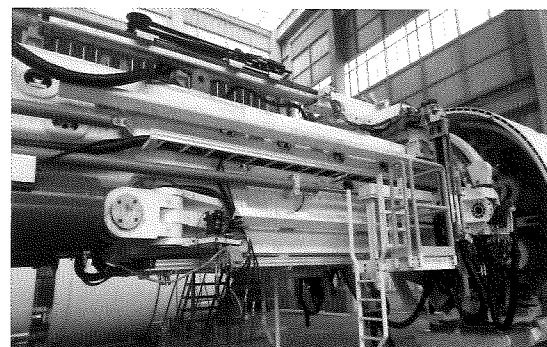


Jumbo ロックツールズ

DRISS®

穿孔探査システム
Drilling Survey System

NETIS 登録番号：CB-020021-VE
切羽前方探査システム



TBM 搭載型先進ボーリングマシン
Probe Drilling System



一般仮設配管材



ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO., LTD.

お客様に真に信頼される企業をめざし更なる技術・サービスの発展に邁進いたします。

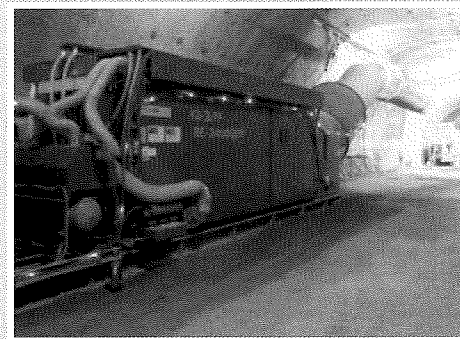
本 社 〒116-0014 東京都荒川区東日暮里 6-16-8
☎(03)3806-3377 fax(03)3806-8461 Email: tokyo@drill.co.jp
URL: http://www.drill.co.jp

関西支店 〒657-0864 兵庫県神戸市灘区新在家南町5丁目8番4号
☎(078)802-5551 fax(078)802-5528 Email: kansai@drill.co.jp

九州営業所 〒830-0021 福岡県久留米市篠山町 12-3-301
☎(0942)27-5992 fax(0942)27-5993 Email: kyusyu@drill.co.jp

兵庫工場 〒679-1332 兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端 454-3
☎(0795)36-0461 fax(0795)36-0467 Email: hyogo@drill.co.jp

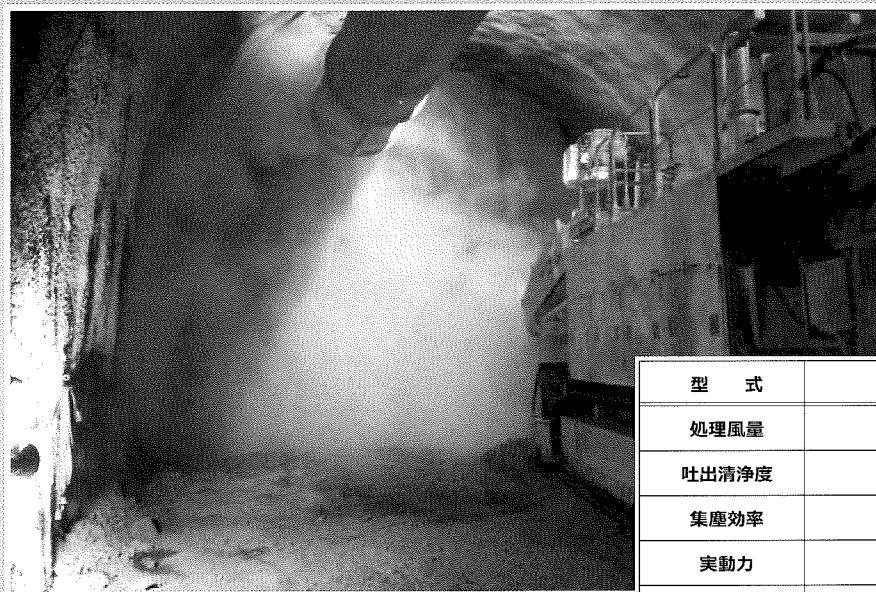
千葉 D C 〒270-1616 千葉県印西市岩戸 3578-1
☎(0476)99-0810 fax(0476)99-0817 Email: chiba@drill.co.jp



動力60%低減実現! (当社従来比)

吸引捕集換気システム **新登場**
RE-2400QDP

「コンパクト&低動力&高清浄度」を一度に実現した孤高のスペック



型 式	RE-2400QDP
処理風量	2,400m ³ /min
吐出清浄度	0.1mg/m ³ 以下
集塵効率	99%以上
実動力	440V・83kW
寸法 (L×W×H)	2,869×12,963×3,387(mm)
重量	12,600kg

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
TEL: 03-3452-7400
URL: http://www.ryuki.com/
E-mail: eigyobu@ryuki.com

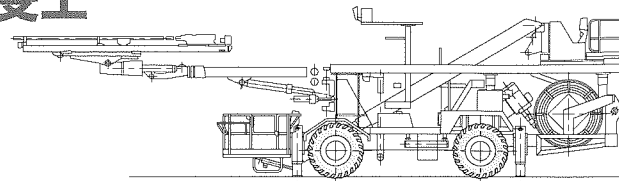
(PC・スマホ専用)



環境対応型長尺鋼管先受工

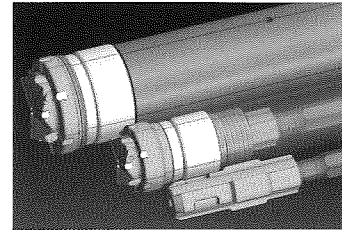
TOHO **AGF** System

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

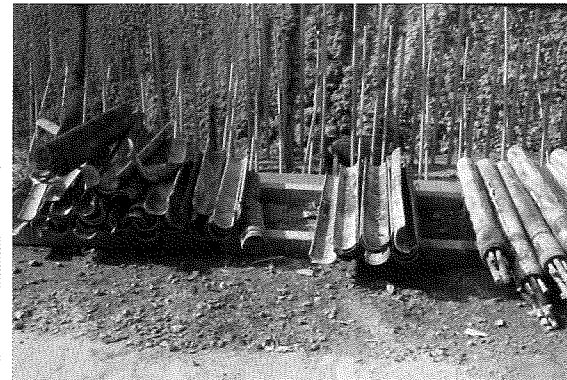
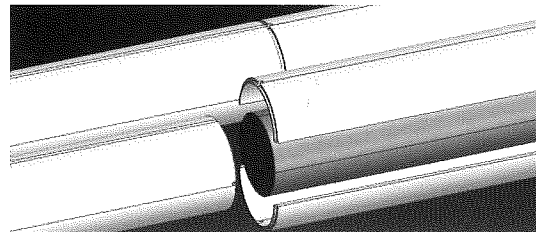


AGF-Me工法

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



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



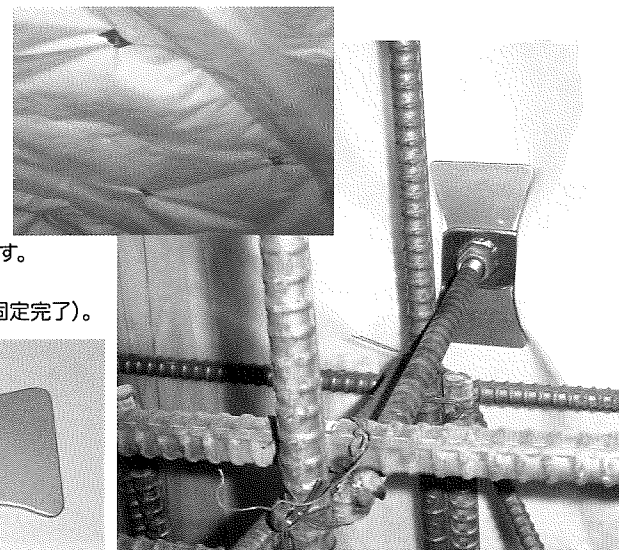
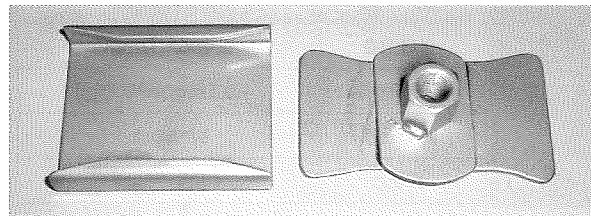
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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



東邦金属株式会社
TOHO KINZOKU Co., LTD

営業部

〒541-0051
大阪府大阪市中央区備後町2-4-9 日本精化ビル2階
Tel: 06-6229-9881 Fax: 06-6229-8150
URL: <http://www.tohokinzoku.co.jp>

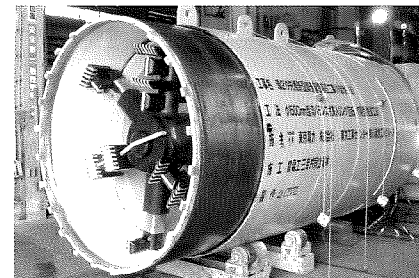
株式会社 トーキョーオール

〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel: **044-333-0012** Fax: **044-333-0321**
(お問い合わせ先)

超流バランスセミシールド工法

超流セミシールド協会

貫入リング押し回転切削型接合法



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

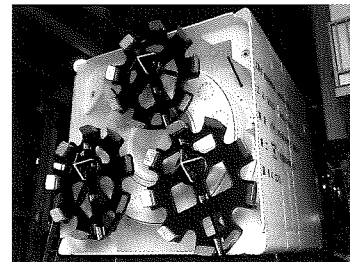
密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法の特徴

- 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

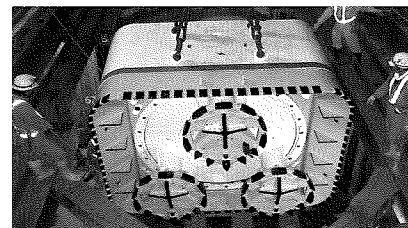
ボックス推進工法

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)



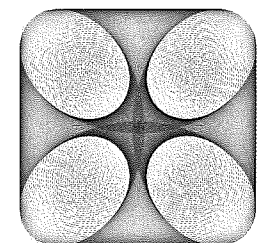
多軸自転・公転掘進機(内空寸法□2800×1800)



- 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、多様な土質に適用可能
- 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。

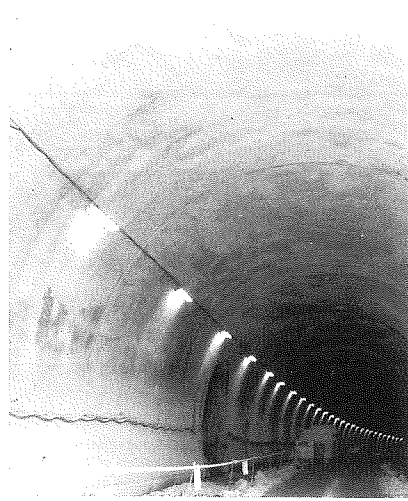
コンクリートの劣化, 欠陥箇所の改修, 補修……

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



◆ 土木資材の総合プランナー ◆
株式会社 **MAIL** 〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)

トンネル工事は新時代へ

1000~2000mトンネルに1.5km延伸コンベヤシステムを
パッケージでレンタルをスタート

Mole Stretch Conveyor の4大特長

モール・ストレッチ・コンベヤ

1. パッケージのレンタルで安心

- ・ レンタルシステムによる初期費用の軽減
- ・ 資産計上の必要無し (損金処理)
- ・ ユニット、パーツの共通化で休転期間短縮

2. 高性能破碎機で工期短縮

- ・ 原料投入高さの低いエプロンフィーダ (2.4m) で投入時間短縮
- ・ 高破碎力のCジョークラッシャで硬岩 (4000kgf/cm²) にも対応可能
- ・ 簡単油圧セット調整で常に破碎粒度が小さく一定

3. ベルトコンベヤ搬送で安全

- ・ ダンプ輸送の事故リスクを低減
- ・ 搬出ズリの滞積・横持ち・再処理が簡単
- ・ 覆工、インバート作業に対して安全

4. 粉塵・騒音・排気ガスを低減

- ・ ベルトコンベヤにより坑内作業環境が改善
- ・ 路盤補修の削減によるコスト削減



1.5km 延伸ベルトコンベヤシステム概要

・ 延伸ベルトコンベヤシステム仕様

項目	仕様
時間当たりの搬送能力	300t/h (最大)
コンベヤ機長	1,000m~2,000m *
コンベヤ総揚程	45m
ベルト速度	150m/min
ベルト幅	600mm
駆動部総出力	150kW
メインドライブ出力	75kW × 2
ベルト継足量	300m × 10ロール
ベルト貯蔵能力	450m

・ 主要構成機器

No	名称	仕様
1	移動式破碎機 LT96EUGJ	300t/h、160kW
2	テールピース台車	自走式クローラ、アウトリガ4ロード
3	ベルトストレージ	ベルト貯蔵能力最大450m
4	ベルト接合架台	300mロール用、レール方式
5	メインドライブ	75kW × 4P × 2台、インバータ制御

〈問合せ先〉

✦ 日建リース工業株式会社
本社 トンネル営業推進部 TEL(03)3295-9111

日本コンベヤ株式会社
本社 コンベヤ営業部 TEL(03)6859-3511

UBE 宇部興産機械株式会社
電力・インフラ営業グループ TEL(03)5419-6293

* トンネル勾配により変動致します

設置条件によっては専用設計が必要になります

最新型・電気集じん機 エコクリーンX

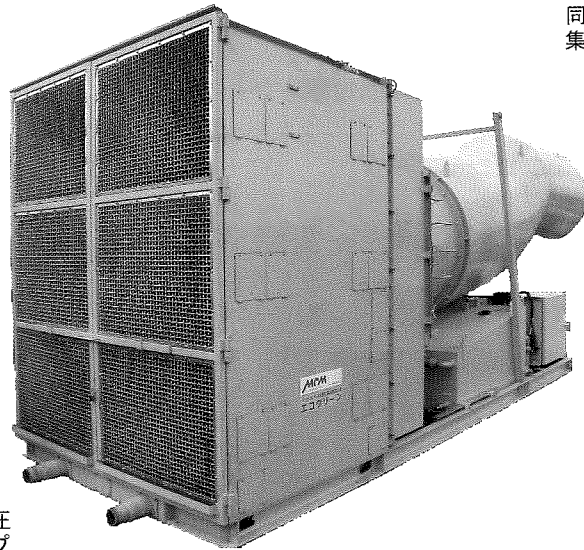
NETIS登録番号:KT-040047-A

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。

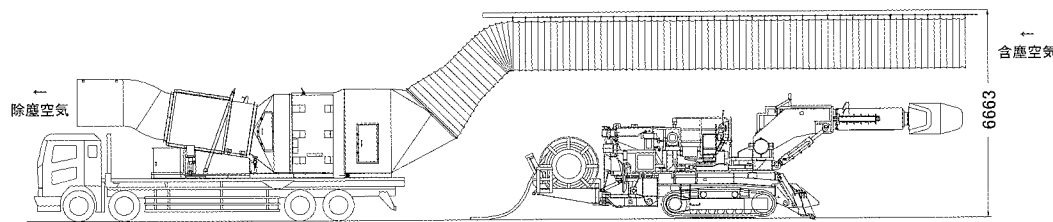
極板放電方式
放電線をなくし消耗品の削減と断線トラブルの撲滅

処理風量
750m³/minから3000m³/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



伸縮風管(軽量型Φ1500,Φ1600製作実績あり)



伸縮風管接続例

少ない消費電力
同クラスのフィ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.

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。



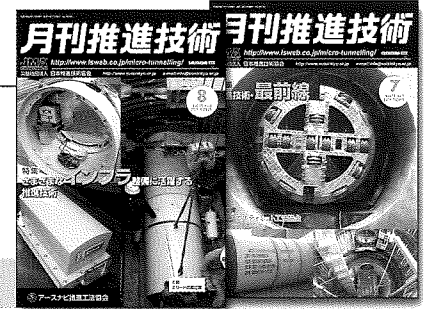
株式会社エムシーエム

<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

月刊推進技術

購読のご案内



年間定期購読料金 **12,337円** (1冊1,130円(本体952円巻76円送料105円))

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CO₂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しております。また、推進関連のニュースはどよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管路敷設に限らず、地下インフラの再構築の計画・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定期購読料金12,337円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。

<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/> 月刊推進技術



お問い合わせ先

月刊推進技術 編集室
<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/>

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201 株式会社 LSプランニング内
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail info@lswb.co.jp

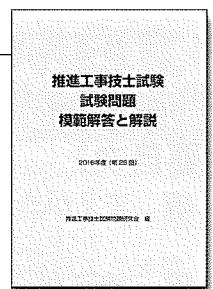
推進工事技士試験 過去6年間(2011~2016年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編

推進工事技士試験「合格への近道」は、過去問題を「実際に解いてみることだ」と多くの合格者からの声が寄せられています。本書では模範解答はもちろん、その問題が工法体系のどこから出典されたのかが記載されています。出典箇所がわかるので、学習するポイントが明確化され「効率的な学習ができ合格できた」との声も多く寄せられています。

是非とも、本誌をご活用いただき合格していただければ幸いです。



新発売!!

1. 内容の特長

- 過去6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 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](#)

購入方法は
こちらから



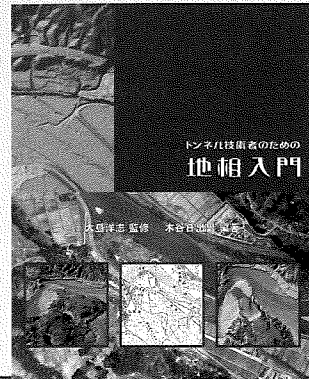
お問い合わせ先

株式会社 LSプランニング
<http://www.lswb.co.jp/shiken/annai>

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail info@lswb.co.jp

好評発売中

地形にも相がある 地形の性質を知ろう！



トンネル技術者のための 地相入門

大島洋志 監修 木谷日出男 編著

B5判 203頁 定価3,200円+税 送料別

図・表・写真 288点収録

山にも人の人相のように山の相がある。地形の性質を知り、事前に危険な箇所を把握することはトンネルを施工する上で重要である。

本書のように地形中心にこれほどまとまったトンネル技術書は今までになかった。施工者には施工中に予測される地形上の危険把握のため、発注者にはもっとも安全に施工できる路線選定ため、本書を有効利用いただくことが執筆陣の願いである。

第I編では地形図の読み方を平易にまとめ、第II編ではそれぞれの地形種について施工事例を交え説明している。第III編では監修者の経験を基に路線選定の注意点を施工事例とともに紹介している。

《主要目次》

序編 まえがき

地相は人相 山の性状

第I編 地形から読み取れる情報

地形から地相を読む方法 / 地形から得る具体的な情報

第II編 地形種とトンネルの施工事例

段丘・台地 / 崖錐・沖積錐・扇状地 / 傾斜層 / 地すべり /

マスマーブメント・滑落崖 / 断層 (断層変位地形) /

断層 (断層削剥地形) / 火山地形 / カルスト地形・残丘 / 地形改変

第III編 路線選定

地相をよく観て路線選定を行う

あとがきにかえて

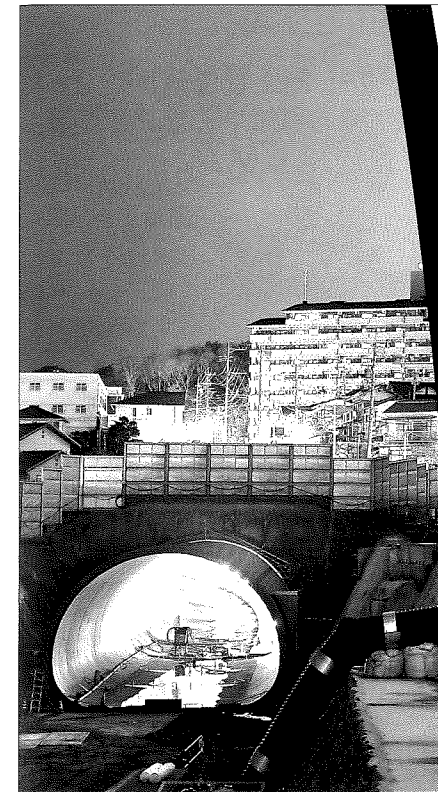
座談会

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



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



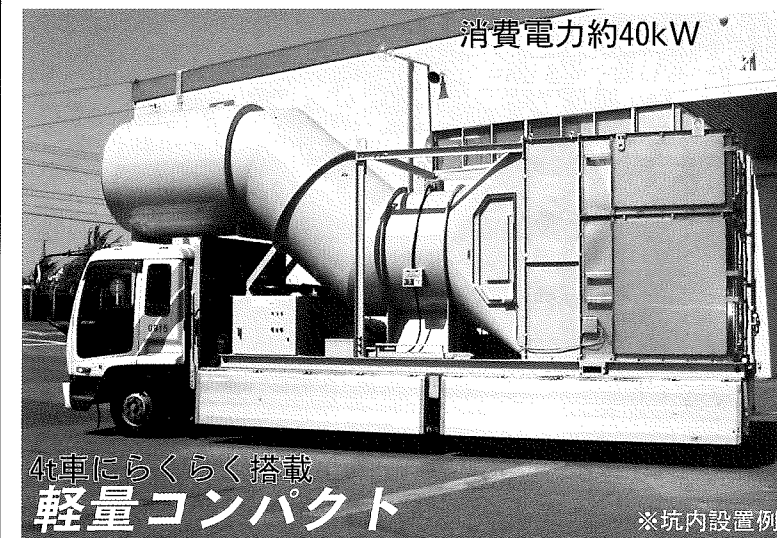
振動 マネージメント ソリューション

近接地に住居が存在する場合、振動の予測と管理を複雑高度な技術に頼らざるを得ません。利害関係は多岐にわたるので失敗をする余地は殆どありません。トンネル、道路、トレンチ、港湾、パイプライン等の掘削は、今後ますますコスト高となり、時間のかかる作業となってきました。

オリカ社は、日々直面するチャレンジに対する方策を見出す為に、全世界の技術研究所と技術力を使って前向きな考え方で取り組んでおります。その成果は電子雷管eDevilや発破デザインソフトであるShotPlus-T また、各種の爆薬に表れておりご理解頂けるものと思っております。

一日でも早く完工する為に、日々の発破のモデル化、計測そして効率化を図っております。オリカ社がどの様な形で貴社のお手伝い出来るかについて orica.com/edevil にアクセスしてeDevil Case Studyのビデオをご覧になって下さい。

orica.com



National電気集塵機クリンジェット(2,000m³/minタイプ)



取扱レンタル商品

- 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

〒134-0093 東京都江戸川区二之江町1409-1 TEL : 03-5667-7803 FAX : 03-3804-6053

URL : <http://www.rent.co.jp> E-mail : kudo.yuji@rent.co.jp

道路,トンネル設計 (本体工,換気,防災,照明,施工管理他)

トンネル現場診断




(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

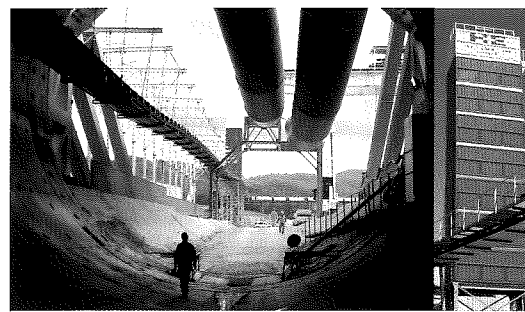
会 長 田 島 利 男 代表取締役社長 清 水 洋 (技術士)
(技術士・土木学会フェロー会員)
 顧 問 菅 原 幹 夫 大阪支店長 亀甲谷 義 高 (技術士)

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

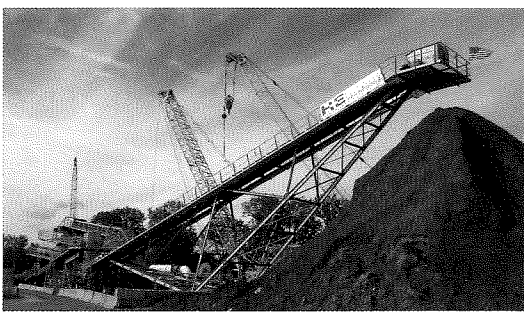


H+E LOGISTIK GMBH

Clever Conveying




Tunnel Diameter :	7.10 m
Min. Radius :	1,000 m
Minera l :	EPB
TBM Supplier :	Herrenknecht
Conveyor Length :	2,500 m
Belt Width :	1,200 mm
Capacity :	2,000 t/h
Installed Power :	2×355 kW
Belt Storage Capacity :	400 m / vertical



Tunnel Diameter :	11.30 m
Min. Radius :	> 457 m
Minera l :	EPB, Hard Rock
TBM Supplier :	Herrenknecht
Conveyor Length :	5,410 m
Belt Width :	1,000 mm / 1,600 mm
Capacity :	1,200 t/h
Installed Power :	4×160 kW, 2×90 kW
Belt Storage Capacity :	2×300 m / horizontal

H+E Logistik GmbH
日本代理店



Yamazaki Machinery

山崎マシーナリー株式会社 担当: 森永

〒438-0216 静岡県磐田市飛平松216番地1
代表 TEL0538-66-1211 FAX0538-66-6410

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

- 断層破砕帯や湧水をとまな難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行なえ、施工時間が大幅に短縮できます。
- 2重管ワイヤーラインサンプリングシステムにより、地質条件にかかわらず、コアサンプルの採取率が従来と比べて大幅に向上しました。




KOKEN 鉦研工業株式会社

本 社 〒171-8572 東京都豊島区高田2丁目17番22号 目白中野ビル1階
TEL(03)6907-7888(大代表) FAX(03)6907-7527

お問い合わせ先: エンジニアリング本部 エンジニアリング部
TEL. 03-6907-7512 FAX. 03-6907-7522

<http://www.koken-boring.co.jp>

北海道支店: (011) 561-4961

東北支店: (022) 762-6075

信越支店: (025) 275-6877

首都圏事業部: (03) -6907-7511

大阪支店: (06) 6385-0350

中国支店: (083) 972-8757

九州支店: (092) 924-5001

海外事業部: (03) -6907-7515

VOLVO 建設機械



Techni-Métal Systèmes

高い作業性とクールなデザインが人気
年々強化される排ガス規制にも対応



ボルボ建機社 日本代理店 担当: 浅野
(直通) TEL0538-66-1215 FAX0538-66-6162

多目的運搬台車
4次オフロード法取得 レールからの解放



TMS社 日本代理店
担当: 富樫



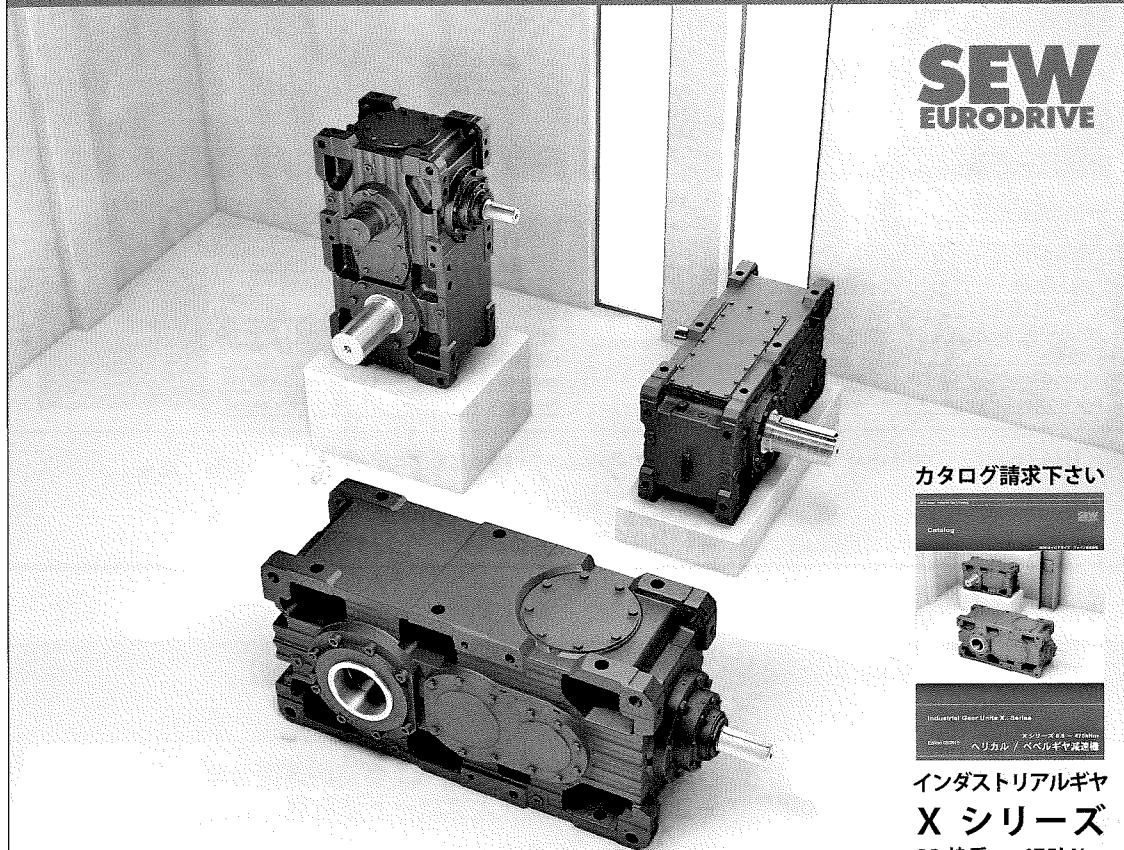
Yamazaki Machinery

山崎マシーナリー株式会社

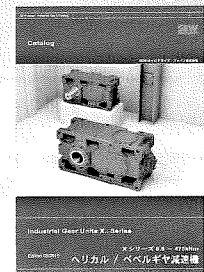
〒438-0216 静岡県磐田市飛平松216番地1
代表 TEL0538-66-1211 FAX0538-66-6410

《京都工場組立開始!!》SEWのXシリーズ

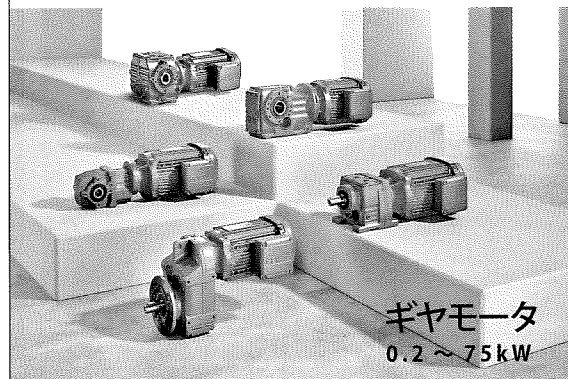
- ・減速機の世界トップブランドSEWがお届けするヘリカル/ベベル・ヘリカルギヤユニットです。
- ・ドイツ製高品質部品(ギヤ、シャフト、ケーシング等)を標準在庫して組立てる made in Japan 品です。ギヤモータ同様に、Xシリーズも短納期でカスタマイズして納入致します。



カタログ請求下さい



Industrial Gear Units X-Series
 Xシリーズ 0.2 ~ 475kW
 ヘリカル / ベベルギヤ減速機
**インダストリアルギヤ
 Xシリーズ**
 23 枠番 ~ 475kNm



ギヤモータ
 0.2 ~ 75kW



京都工場

SEW- オイロドライブ・ジャパン株式会社

本社・磐田工場：静岡県磐田市 京都工場：京都府相楽郡精華町

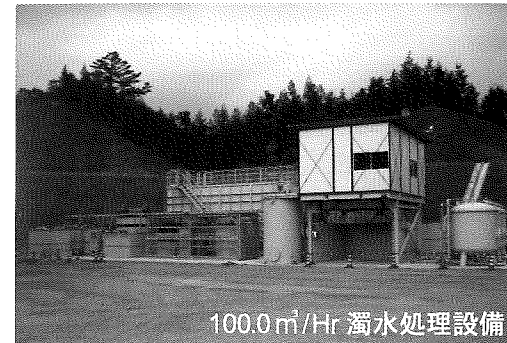
東京(営)03-5408-0521 名古屋(営)052-228-8608 大阪(営)06-6444-8330 福岡(営)092-291-3600

SEW 検索

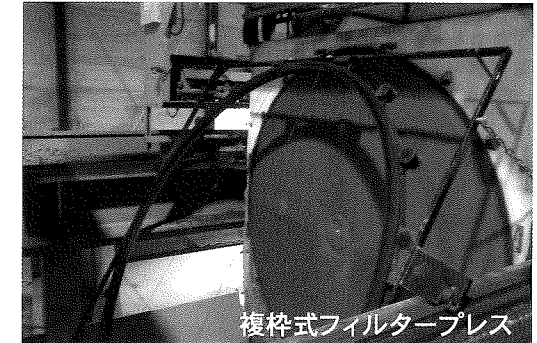
濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

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 m³/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

《汎用車両全般》



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



10T ミキサー



10T ダンプ



4.5m³ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車両 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

■巻頭言

フロンティアスピリットは永遠なり

菊地 眞 5

■研 究

山岳トンネルの路盤隆起メカニズムと対策工の効果に関する研究

嶋本 敬介 59

■施 工

土かぶり1.3mで発進する大断面泥土圧シールドの施工

—東京外環自動車道 京葉ジャンクションAランプ—

小島 裕隆・石垣 博将・田村 憲・金野 正一 7

坑口法面変状への安定化対策を施しトンネルを施工

—国道45号 豊間根トンネル—

木村 匠・安野 雅志・満尾 淳・村田 和哉 19

建築構造物と一体となった地下鉄トンネルのリニューアル

—東京メトロ銀座線 上野通路線改良工事—

小野 孝・嶋田 知由・宮武 英治・三輪 理 27

想定外の巨礫によるシールド日進量の大幅な低下と進捗改善の取組み

—東京都水道局 第二朝霞東村山線—

田原 功・齊藤 恭央・安田 梨花・松井 秀夫 49

■連載講座

トンネル新技術への挑戦(22)

—覆工(養生および剥離・剥落対策)—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 69

■現場だより

「二十世紀梨の産地」鳥取より

北条 義隆 18

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

現場管理は創意と工夫を!

端 則夫 37

■資 料

土木情報

編集部 35

工法・技術・製品ニュース

編集部 58

トンネルジャーナル

編集部 36

トンネルワールドニュース

JTA 国際委員会 80

■会 報

会 報

日本トンネル技術協会 82

【表紙説明】

坑口法面変状への安定化対策を施しトンネルを施工

—国道45号 豊間根トンネル—



国道45号豊間根トンネルは、東日本大震災の「復興道路」として位置づけられている三陸沿岸道路工事の一環として新設される工事延長1,080mのトンネルである。

本工事では、トンネル掘削に伴い終点側坑口付近に変状をきたしたことから、その後の施工に対する安定性判断および法面への影響を最小限に抑える施工法が求められた。検討の結果、下半、インパートの施工法として改良型のフットパイルおよび早期閉合による支保工脚部の沈下抑制対策を行うことにより、無事施工を完了することができた。写真は終点側坑口の完成状況である。 [写真提供：国土交通省] (本文19頁参照)

ヤマモト **くがんき**

無騒音 無振動 静かな破碎
超大型油圧破碎機
YTB 1120
トンネルビッカー

ヤマモトロックマシン株式会社

本社 東京都千代田区丸の内2丁目4番1号 丸の内ビル 903区 ☎ (03) 3201-0701(代)

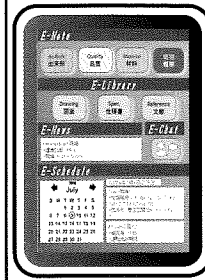
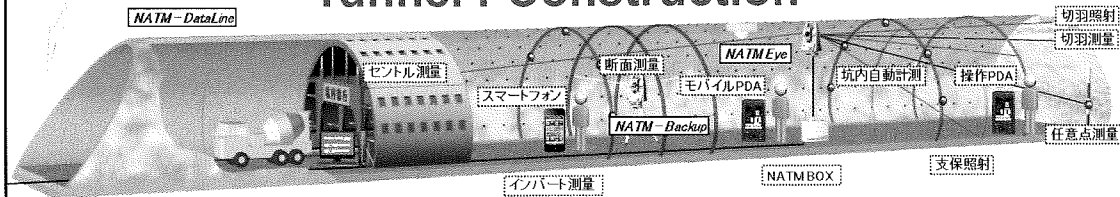
工場 広島県庄原市東城町川西424-1 ☎ (08477) 2-2137(代)

仙台営業所 (022) 792-4534(代) 大阪営業所 (06) 6531-1571(代) 高知営業所 (088) 892-4048(代) 九州営業所 (092) 471-0381(代)

NEW

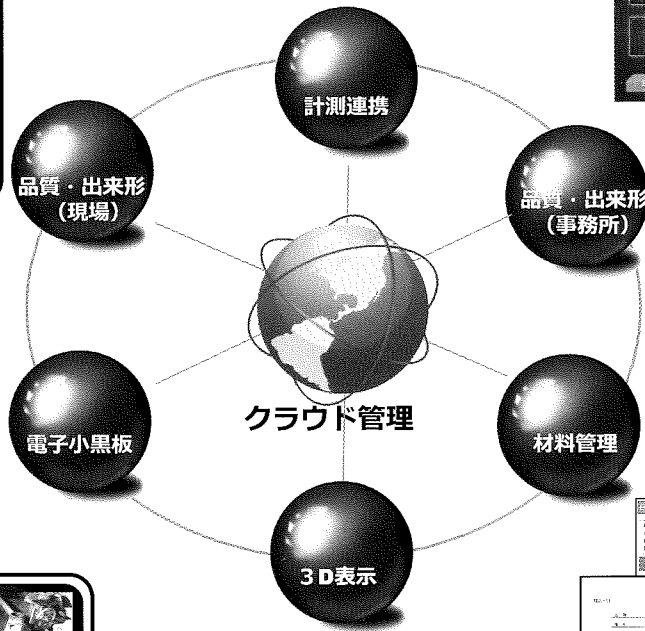
究極のトンネル施工管理システム 生産性向上への挑戦！！ En-Note

Tunnel i-Construction

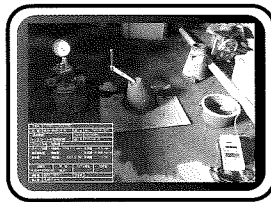


タブレット端末

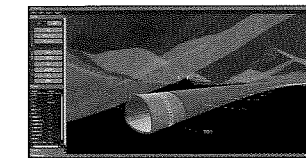
- ・品質
- ・出来形
- ・材料
- ・切羽観察
- ・写真
- ・チャット
- ・遠隔試験



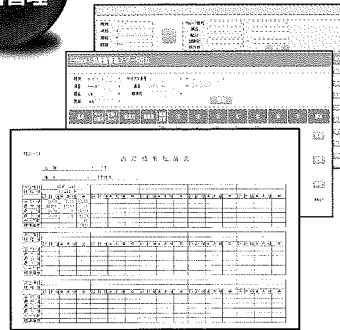
職員パソコン



電子小黑板



3D可視化+情報管理(自動)



材料管理

クラウド管理

3D表示

- ・現場で計測値を直観的な操作でタブレットに入力
- ・工事用小黑板で楽々撮影



黒板、野帳要らずで、現場の作業のみで各種情報はデータサーバへ保管



株式会社 演算工房

■京都本社 〒602-8268 京都府京都市上京区智恵光院通中立売ル山里町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〕

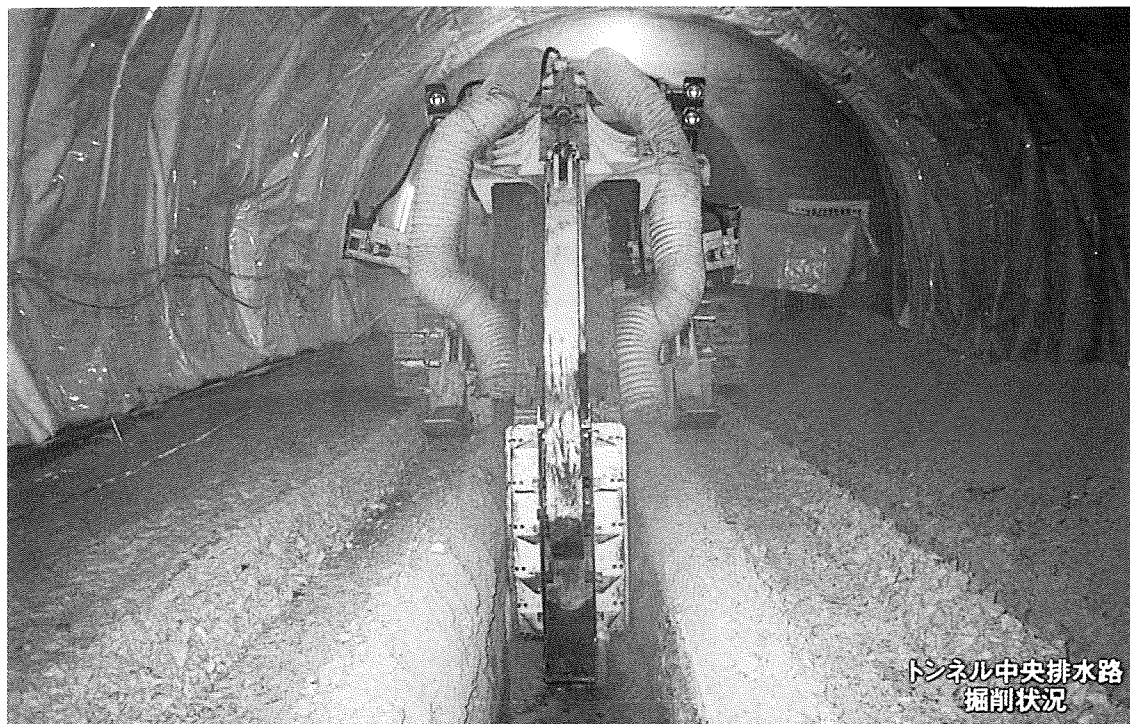
小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

〔幹 事〕

- | | |
|---|---|
| 伊 藤 哲 男
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル研究担当部長 | 藤 井 義 文
株式会社竹中土木常務執行役員 |
| 江戸川 修 一
清水建設株式会社土木技術本部副本部長
地下空間統括部長 | 松 原 利 之
飛鳥建設株式会社技術研究所所長 |
| 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 | 森 正 彦
前田建設工業株式会社土木事業本部
トンネル担当部長 |
| 坂 田 聡
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
改良建設企画課長 | 吉 岡 大 蔵
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官 |
| 中 間 祥 二
株式会社大林組生産技術本部統括部長 | 吉 富 幸 雄
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル室参与 |
| 西 岡 和 則
鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長
(兼)土木管理本部土木工務部トンネルグループ長 | 渡 邊 修
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
事業監理部計画課長 |

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	M3
メーカー名	テスマック	テスマック	テスマック
掘削幅 cm	60	75	90
掘削岩の硬さ(最大)	500kg/cm ²	700kg/cm ²	800kg/cm ²
重量 t	36	40	40
長さ m	13.0	10.8	11.2
幅 m	2.5	3.2	2.67
高さ m	3.30	2.86	3.41
エンジンの出力 PS	300	402	350

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

〔編集参与〕

大島 洋 志 国際航業株式会社技術本部最高技術顧問 首都大学東京客員教授	真下 英 人 一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所所長
木谷 日出男 国際航業株式会社フェロー技術本部 土地地盤研究担当	松浦 将 行 地方共同法人日本下水道事業団理事
今田 徹 東京都立大学名誉教授	山田 隆 昭 東日本高速道路株式会社参与 (シニアエキスパート)

〔委員〕

砂金 伸 治 国立研究開発法人土木研究所つくば中央研究所 道路技術研究グループ(トンネル)上席研究員	中井 宏 東京都下水道局建設部設計調整課長
伊藤 哲 男 株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部 トンネル研究担当部長	中谷 誠 一 東京都水道局建設部工務課長
河村 和 信 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 技術企画部技術企画課総括課長補佐	平野 隆 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 技術基準担当課長
岡野 法 之 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室長	安田 智 東京都交通局建設工務部計画改良課長
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長	吉本 正 浩 東京電力パワーグリッド株式会社 工務部管路土木技術担当

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/>

コンクリート情報化施工の決定版!

NETIS登録番号 QS-110040-VE

『スマートセンサ型枠システム・セントル仕様』

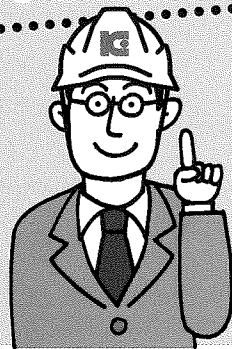
NETIS登録5周年記念キャンペーン

ご好評につき、平成29年9月末まで キャンペーン期間延長

- 1年レンタル 3,000,000円
- 2年レンタル 4,000,000円
- 3年レンタル 5,000,000円

※4年目以降は別途見積り

※キャンペーン特別価格は平成29年4月以降の公告工事より適用
 ※レンタル料に含まれるもの ⇒ スマートセンサ使用料、SSリーダ使用料、調整料、校正料
 ※レンタル料に含まれないもの ⇒ スマートセンサの取付・取外し費用、セントルの穴あけ・穴埋め、加工費用



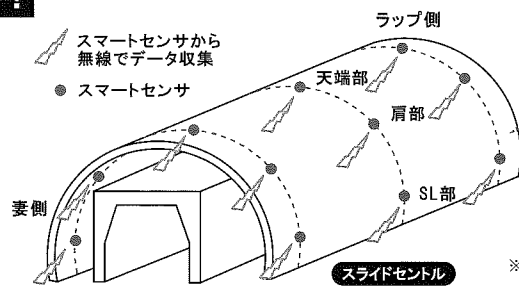
スマートセンサ型枠システム・セントル仕様

(1セット=1断面5台×3列=15台) ※セントル本体は別途

配線手間不要!



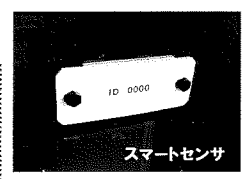
専用のSSリーダ



スライドセントル

※スマートセンサはセントル内側に設置されます

無線でデータ収集!



スマートセンサ

コンクリートの表面温度を自動計測!

コンクリートの表面温度や型枠周辺温度、打設開始・脱型時期を記録します。

専用リーダでデータを読み取り!

表面温度や推定強度はグラフやカラーマッピングで分かりやすく表示され、躯体の状態を現場でリアルタイムに把握することができます。

児玉株式会社 エンジニアリング事業部

〒812-0042 福岡市博多区豊2-4-23

TEL : 092(474)5360 / FAX : 092(474)5366

EMAIL engi.office@kodama-boss.jp

児玉株式会社 エンジニアリング事業部 東京事務所

〒104-0031 東京都中央区京橋1-14-6 京橋宏陽ビル4F

TEL : 03(5524)2069 / FAX : 03(3561)6460

EMAIL syoji.yamada@kodama-boss.jp

トンネルと地下 VOL.48 No.9 掲載概要

掲載頁
7

土かぶり1.3mで発進する大断面泥土圧シールドの施工

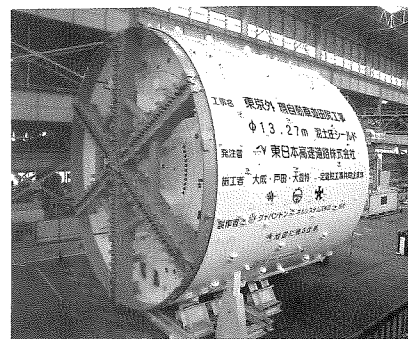
—東京外環自動車道 京葉ジャンクションAランプ—

東日本高速道路(株) 小島 裕隆

東京外環自動車道と京葉道路が交差する京葉ジャンクションAランプは、供用中の京葉道路を横断する必要があることからシールド工法を採用した。シールドは泥土圧工法で外径は13.27mである。シールド線形は京葉道路をアンダーパスするため、縦断勾配は下り6%から上り6%まで変化し、平面線形は半径500mの右カーブとなっている。また、京葉道路の市川インターチェンジB流出ランプとの距離の関係で、発進部では土かぶり0.1D(1.3m)の小土かぶりとなる。なお、覆工構造は合成セグメントとRCセグメントであり、耐火仕様として耐火セグメントとセラミック製耐火板を使用している。本稿では、シールド掘進、小土かぶり区間での路面変状防止対策、覆工構造、坑内耐火仕様、近接施工などについて報告する。

Large EPB Shield TBM Launch under Overburden of 1.3m—the Tokyo-Gaikan Expressway, Keiyo JCT, A Ramp—

By Hirotaka Kojima, East Nippon Expressway Company Limited



写真はシールド

In the construction of the A Ramp tunnel of The Keiyo JCT where the Tokyo-Gaikan Expressway intersects with the Keiyo Road the shield TBM was selected to use in order to drill under the Keiyo Road which is in service. The shield TBM was a mud soil pressure balanced shield with an outer diameter of 13.27m. The vertical alignment of the ramp as underpass shifts from -6% to +6% and the horizontal alignment is a curve to the right with a radius of 500m. In addition, due to the distance from B off ramp of Ichikawa IC on Keiyo Road, the starting section had shallow cover of 0.1D (1.3m). It should be noted that lining is consisted of composite segments and RC segments and fireproof segments and ceramic fireproof boards are used as fireproofing specifications. This report contains information on an operation of TBM, measures to control surface settlement under shallow cover, lining structure, fireproofing specifications in the tunnel and adjacent constructions.

掲載頁
19

坑口法面変状への安定化対策を施しトンネルを施工

—国道45号 豊間根トンネル—

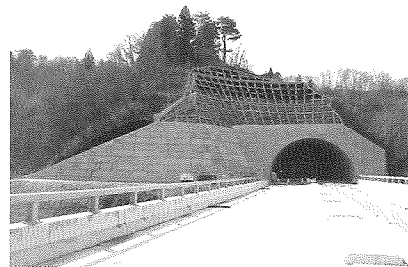
国土交通省 木村 匠

国道45号豊間根トンネル工事は、東日本大震災の「復興道路」として位置づけられている三陸沿岸道路工事の一環として工事延長1,080m(明かり区間371m、トンネル区間709m)の自動車専用道路を新設するものである。

本工事では、終点側坑口付近において、トンネル掘削に伴い、坑内における天端沈下および吹付けコンクリートの亀裂、地表面沈下、地山の亀裂発生、法枠および仮設吹付け法面の変状などが生じた。このことから、法面の安定性が懸念され、下半・インバート掘削を約45m残して工事を一時中止し、坑口法面の安定性判断および法面への影響を最小限に抑えるための対策工法の検討を行った。

本稿は、法面挙動のメカニズム解明および対策工についての検討内容、および実際の施工について報告するものである。
 Tunneling with Measures to Stabilize Slope over Portal—the National Route 45, the Toyomane Tunnel—
 By Takumi Kimura, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The national route 45 Toyomane Tunnel project was to build a new expressway tunnel of 1,080m in length (road: 371m, tunnel: 709m) as part of the Sanriku Expressway that is positioned as a reconstruction road for the Great East Japan Earthquake.



写真は終点側坑口完成状況

In these works, some failures occurred near the end portal, such as settlement of crown in tunnel, cracks on tunnel lining, surface settlement, cracks on surface ground and deformation of slope protection frames and temporary shotcrete slope protection. These caused the suspension of works with approximately 45m of the bottom section and the invert to excavate. it became a central issue to investigate construction methods for slope stability over the portal and limiting effects to a minimum.

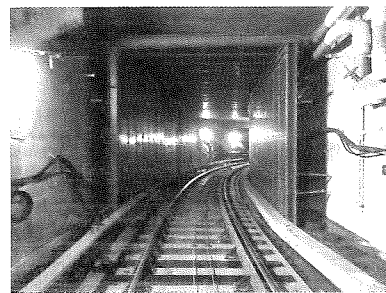
This report contains an explanation of the mechanisms of slope behavior, the process and result of the investigation of measures to stabilize the slope as well as actual construction result.

東京メトロ銀座線の上野通路線は、銀座線上野駅と車両基地を結ぶ連絡線で、銀座線開業時に建設され、将来の移設を考慮した仮設構造となっていた。戦後、昭和40年代に通路線を包含する形態で営団別館ビルが建設され、建設から約90年間仮設構造のまま残ったため改築の必要性が高まった。通路線は車両基地と本線をつなぐ銀座線の動脈部分であることから、営業を継続しながら改良工事を実施することとした。本工事はビルの抱込み部分を撤去し、通路線を新設構造物に置換える改良工事であり、列車運行に支障することなく安全に工事を進めるため、さまざまな対策を実施した。本稿では活線での地下鉄のリニューアル工事について運転支障防止対策を中心に報告する。

Renewal of Metro Tunnel beneath a Building Structure—the Tokyo Metro Ginza Line, the Ueno Siding Improvement Project—

By Takashi Ono, Tokyo Metro Co., Ltd.

The Ueno siding on the Tokyo Metro Ginza Line is a connecting line linking Ueno Station on the Ginza Line and the rail yard; it was constructed at the same time as the Ginza Line opened and it was built as a temporary structure that



写真は通路線防護設置状況

was considered for relocation in the future. After the WWII, a new building of the operating company was constructed on the siding in the 1960s and the need for reconstruction of the siding increased because the temporary structure still remained approximately 90 years after its initial construction. As the siding is an important line of the Ginza Line that links the rail yard and the main line, it was decided to implement the improvement works without stopping the siding. These improvement works are the replacement of the tunnel for the siding after dismantling the part of the tunnel in the building. Various measures were implemented in the works in order to safely progress with the works without affecting train operation.

This report focuses on measures to prevent effects on railway operation during the metro renewal works without stopping operation.

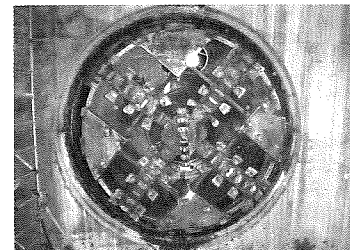
東京都水道局では、朝霞浄水場と東村山浄水場との間に原水の相互融通を目的とした第二朝霞東村山線(仮称)(通称:第二原水連絡管)を整備している。第二原水連絡管は、総延長約16kmを5工区に分割して整備を進めており、第1工区トンネルは、施工延長3,597mともっとも長距離であり、掘削対象土層の約8割が礫質土で最大礫径は粒径350mmと想定された。そこで、この巨礫に対応可能な排泥装置を装備した泥水式シールドにて施工に挑んだが、粒径350mmを超える想定外の巨礫が多数出現し、シールド掘進の進捗が大幅に低下した。

本稿では、水道局・受注者・専門事業者が一丸となって、さまざまな進捗改善に取り組みながら、巨礫の閉塞解除作業を安全かつ慎重に行い掘進を継続した施工実績について報告する。

Significant Reduction in Daily Shield TBM Progress Due to Unexpected Large Boulders and Approach to Progress Improvement—the Second Asaka/Higashi-Murayama Water Tunnel, Tokyo Metropolitan Government Bureau of Waterworks—

By Isao Tahara, Tokyo Metropolitan Government

Tokyo Metropolitan Government Bureau of Waterworks is constructing the Second Asaka / Higashi-Murayama Water Tunnel (Common name: Secondary Raw Water Connecting Tunnel) to achieve mutual connectivity between Asaka water purification plant and Higashi-Murayama water purification plant. The Second Asaka / Higashi-Murayama Water Tunnel has a total 16km length and has been divided into 5 sections to successive development. The



写真はシールド到達状況

3,597m length tunnel of the 1st section is the longest among 5 sections. 80% of the excavated soil was assumed to be gravelly soil with boulders of diameter max 350mm. A slurry TBM which is equipped with a special slurry circuit system which is able to handle such boulders was selected, however, this the tunnel progress rate fell significantly due to encounter of the unexpected large boulders.

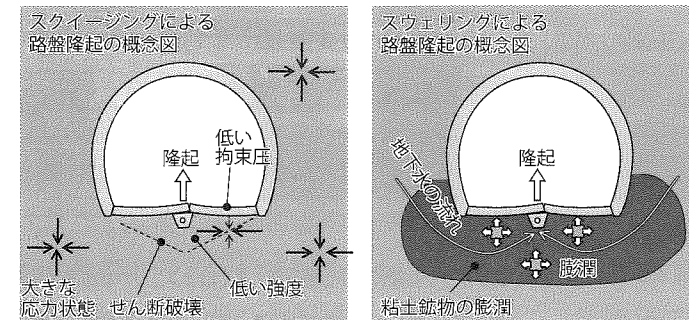
This manuscript reports that the close cooperation among Bureau of waterworks, the main contractor and special subcontractors is necessary for this tunnel construction between to improve the progress and ensure excavation continuously while maintaining safety during removal works of large boulders.

供用中の山岳トンネルで、経年とともに路盤隆起が発生し、何かしらの対策が必要となることがある。鉄道トンネルでは下向きロックボルトの適用が多いが、その仕様は経験的手法により選定されることが多く、必ずしも合理的でない場合もあった。そこで本研究では、模型実験により考えられる路盤隆起メカニズムを再現し、その時のロックボルトの効果を確認した。また、掘削時から供用後の路盤隆起発生、対策工の実施、その後の効果の確認までを数値解析で一貫してモデル化する手法を開発した。本手法を用いて検討した結果、強度が小さい地山では十分なロックボルト長を確保しておくことが、強度が大きい地山ではボルト径を大きくすることが重要となることなどを明らかにした。

Study on the Heaving Mechanism and Effects of Its Measures in Mountain Tunnels

By Keisuke Shimamoto, Railway Technical Research Institute

Some aged mountain tunnels suffered from ground heaving requires some measures in service, downward rockbolting is mainly used as this measure in railway tunnels. these design specifications often depend on empirical methods. Some of them are not always reasonable measures. In this study, at first, we have reproduce a mechanism of ground heaving that we supposed with model tests to confirm the effects of rockbolting. Second we have developed a method that excavating, floor heaving during service, conducting measures and reviewing the effects are consistently modeled in the numerical analysis. As the result using this method, we have revealed that it is important to secure enough length of rock bolts in weak ground and to use larger bolts in stiff ground.

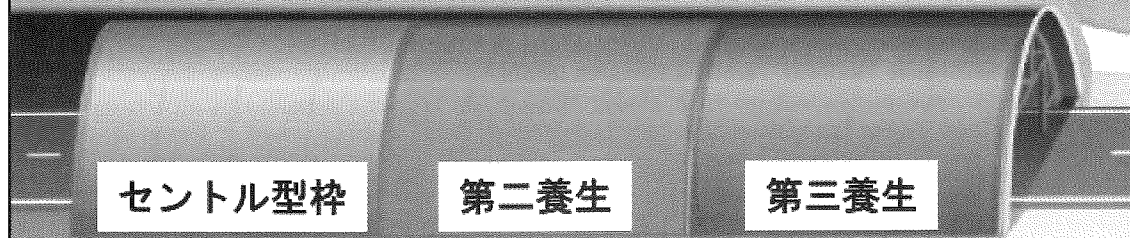


図は想定される路盤隆起メカニズム

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

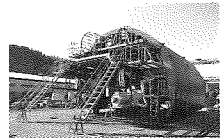


セントル型枠

第二養生

第三養生

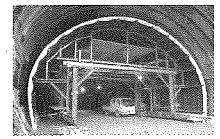
加温しながら初期強度を上げる
加温養生（型枠）



加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



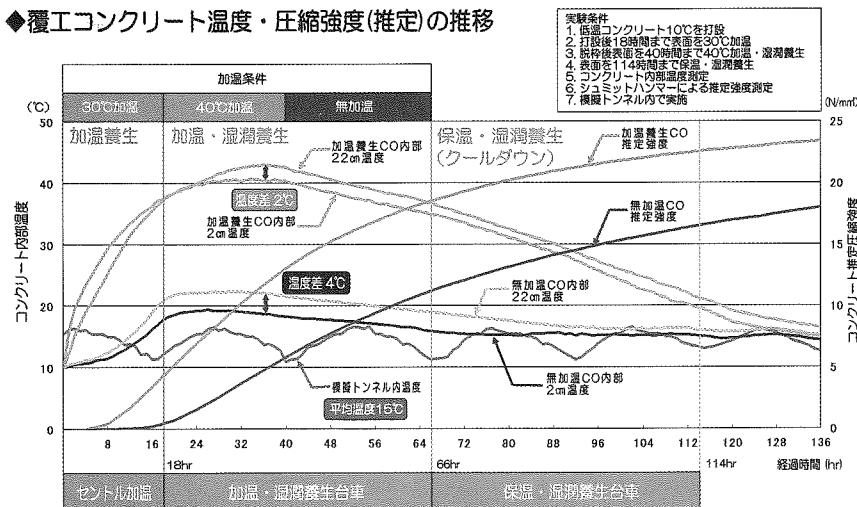
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



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 岐阜県瑞穂市田之上 811 番地 TEL 058-257-1000(代) FAX 058-257-1013
営業部本部 TEL 058-257-1001 東京支店 TEL 03-5836-0531 札幌営業所 TEL 011-374-7027
仙台営業所 TEL 022-259-2239 九州営業所 TEL 092-918-3880 宮古出張所 TEL 0193-77-5472

【製作・販売協力】
TECHNO
テクノプロ株式会社

TOUKOU
株式会社 東 宏

巻頭言

(題字 谷口博昭会長)



フロンティアスピリットは永遠なり

鉄建建設(株)取締役専務執行役員土木本部長(本協会評議員)

菊地 真

私が最初に体験した建設中のトンネルは上越新幹線中山トンネルです。入社した1976(昭和51)年は、前年に山陽新幹線が博多まで開通し、上越、東北新幹線の建設が最盛期であり、新入社員の現場研修の中に、中山トンネルの当社工区の見学がありました。坑内に迷路のように掘られた導坑、天井から降り注ぐ水、坑口から音をたてて流れ出る水、トンネルは自然との厳しい戦いであることを実感しました。ヘルメットに落ち続ける水滴を気にかける様子もなく、発注者の方や当社社員が平然と現場説明をしていた姿、また、この難工事を今後どのように克服するか熱く語っていたことが思い出されます。研修後、私は新幹線の高架橋工事への配属となりましたが、後日、中山トンネルが幾多の困難を克服し、突貫工事を経て開業に漕ぎ着けたことを聞き、工事関係者の強い意志と努力に敬服いたしました。

2番目に携わったトンネルは延長約500mの田沢湖線の鉄道単線トンネルの拡幅工事です。1979(昭和54)年に7か月間のバス代行期間中に電化する計画でした。覆工コンクリートに発破をかけると覆工とともに緩んだ地山が崩落し、予想以上に工程が遅延し、終盤は突貫工事となりました。NATMを導入して間もない時期であり、吹付けコンクリートの安定した施工が課題でした。吹付け作業が終了するたびに、協力会社、吹付け機械メーカーの方々と当社社員がトンネル内に集まり意見を戦わせ、改良をくり返し、早期に安定した吹付け作業を実現させることができました。

3番目に携わったトンネルはシールドトンネルです。1985(昭和60)年、私は橋梁技術の研修のため、西ドイツの建設会社に在籍していました。同時期に、当社は同国の別の建設会社から、ECL工法の技術導入を行っており、現地の窓口として、日本からの技術者とともにECL工法の施工現場や本社を訪れ、技術情報などの収集を行っていました。当時、施工中のフランスのリヨン地下鉄工事は、シールド工事としても難しい地盤条件の中、ECL工法の適用という大きな課題を克服して無事到達したところであり、関係者は大きな自信と誇りを持っていました。現地の技術者からは、ECL工法の技術的課題と

その解決方法など時が過ぎるのも忘れて語っていただき、技術者の挑戦意欲、開拓者精神に国境はないことを感じました。

1987(昭和62)年、ECL工法は信濃川発電所水路トンネルに本格的に導入され、1990(平成2)年には、北陸新幹線の秋間トンネルに採用されました。秋間トンネルではブームカッターを装着した馬蹄形断面の最新のECLマシンに加え、ずり搬出とコンクリート搬入を連続的に行える新技術の空気カプセル搬送システムが採用されました。これにより、掘削からコンクリート打設まで半自動で連続的に行える夢のようなシステムを構築する計画でした。しかし、多くの技術者が寝食を忘れ日夜奮闘し、改良、改善をくり返しましたが、小さな不具合でもシステム全体に大きな影響を与えてしまうこともあり、残念ながら夢のシステムの構築までには至りませんでした。その後、ECL工法は、多くの技術者により改良され、SENS工法へと発展し、採用実績も増加しています。

私のトンネル、シールドへ携わった期間は短かったですが、関係者からは、あふれ出る挑戦心、開拓者精神、いわゆるフロンティアスピリットを感じ取ってきました。歴史的難工事の丹那トンネル完成から80年強が経過し、また、NATMの日本導入から40年が経過しました。海外でシールド工法が考案されてから約200年、日本初の採用となる奥羽本線折渡トンネル完成から、今年がちょうど100年となります。この間、多くの技術者の旺盛な開拓者精神に支えられ、また、機械、電気、制御、コンクリート技術などの周辺技術の進歩に伴い、その施工方法は大きく様変わりしてきました。NATMやシールド工法の考案者が、今の現場を見たらどのような感想を持つか、ぜひ聞いてみたいところです。

これから更に100年、トンネル、シールドの施工方法がどのように進化しているか想像しがたいですが、おそらく、驚くべき進化を遂げているものと思います。しかし、「努力なければ、進歩なし」であり、これをけん引するのはトンネル、シールド技術者であり、彼らの持っているフロンティアスピリットです。少子高齢化や就職先の多様化などにより、建設業の担い手確保が社会問題となっています。魅力ある建設業を目指し、労働環境の整備が急がれていますが、さらに、若者たちが夢を抱ける未来へ向けて挑戦している建設業の姿も重要です。

「フロンティアスピリットは永遠なり」、私は技術者が夢に挑戦できる環境作りに、今後とも微力ながら貢献していきたいと思っています。

施工

土かぶり1.3mで発進する大断面泥土圧シールドの施工

—東京外環自動車道 京葉ジャンクションAランプ—

東日本高速道路(株)関東支社千葉工事事務所稲荷木工事長 小島 裕 隆

東日本高速道路(株)関東支社千葉工事事務所稲荷木工事区 石垣 博 将

大成・戸田・大豊特定建設工事共同企業体田尻工事事務課長 田村 憲

大成・戸田・大豊特定建設工事共同企業体田尻工事監理技術者 金野 正 一

1 はじめに

1-1 東京外環自動車道について
東京外環自動車道(以下「外環」という)は、都心から半径約15kmの地域を環状に結ぶ計画延長約85kmの幹線道路である。首都高速道路中央環状線および首都圏中央連絡自動車道(圏央道)と併せて首都圏3環状道路を形成し、9放射道路と連絡することで、首都圏の慢性的な渋滞の緩和・環境改善、都市間の円滑なネットワークの実現などを目的に計画されている(図-1)。

1-2 田尻工事の概要

田尻工事は、外環と京葉道路が交差する京葉ジャンクション(仮称)部の施工で本線部分およびランプ部を構築する工事である(図-2)。

工事件名：東京外環自動車道田尻工事

工事期間：2010(平成22)年9月22日～

2017(平成29)年10月31日

発注者：東日本高速道路(株)関東支社

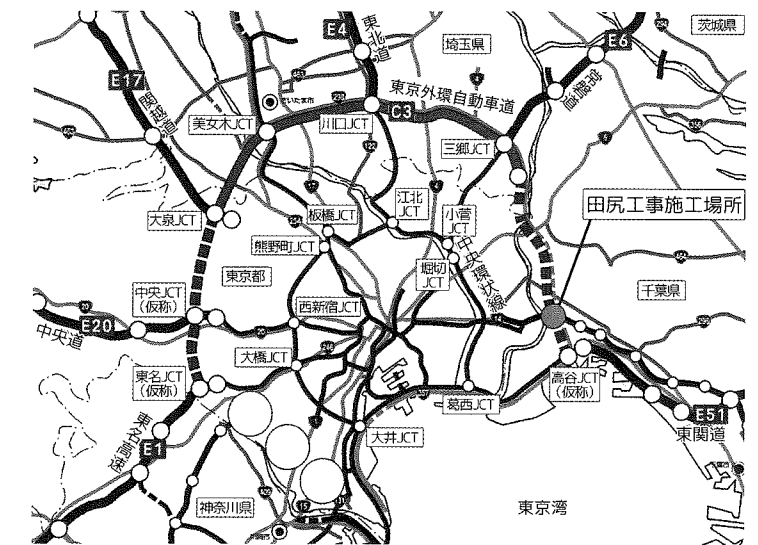


図-1 外環道路計画図

施工者：大成・戸田・大豊特定建設工事共同企業体

本稿では、田尻工事のうち、京葉道路千葉方面から外環松戸方面へ接続するAランプにおいては、京葉道路を横断する必要があるため、非開削工法である泥土圧シールド工法を採用した。本稿では、主に小土かぶり掘進およびトンネル覆工について報告する。

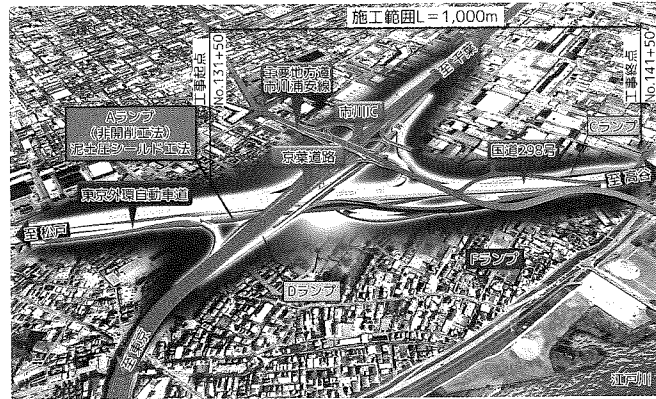


図-2 田尻工事概要図

2 Aランプシールドの概要

Aランプシールド工事は泥土圧シールド工法(シールド外径13.27m)により延長506mのランプの構築を行う。シールド縦断線形は下り6.0%勾配から発進し、京葉道路直下のサグ点から上り6.0%勾配に変化し、平面線形はR=500mの右カーブを描く3次元曲線となる(図-3)。また、京葉道路の市川IC-B流出ランプとの距離の関係で、発進部では土かぶり

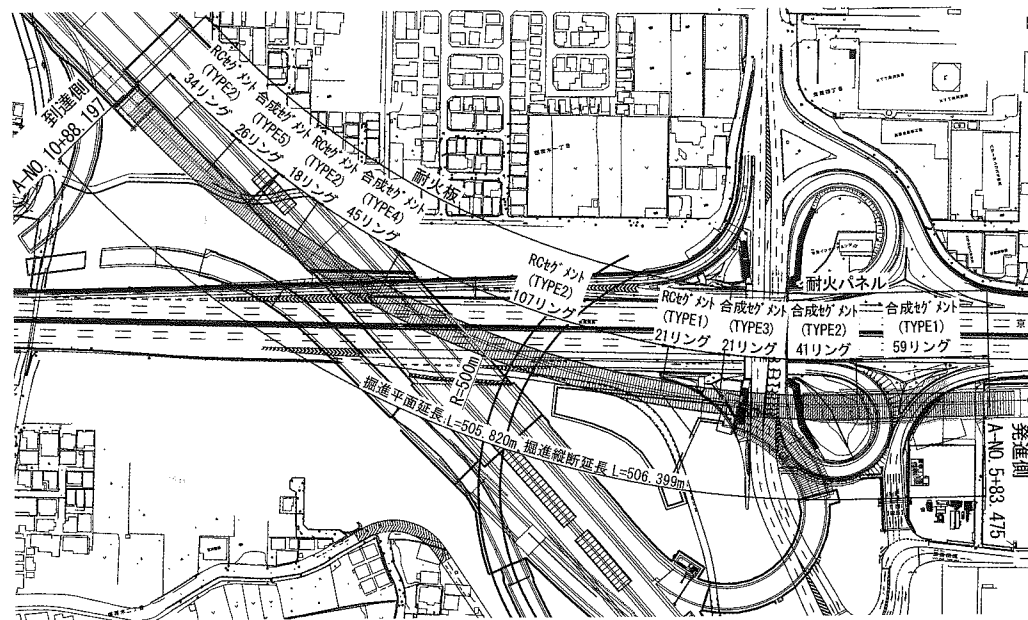


図-3 平面・縦断線形図

0.1D(1.3m)の小土かぶりとなる。

2-1 シールドトンネルの概要

- セグメント内径：12.15m, 12.03m(耐火仕様)
- セグメント外径：13.07m
- トンネル延長：506m
- 平面線形：直線および曲線(R=500m)
- 縦断線形：-6.0~+6.0%
- 土かぶり：約1.3~20m
- 工法：泥土圧シールド工法
- 覆工：合成セグメント
- RCセグメント
- 耐火工：耐火板, 耐火セグメント

2-2 地質概要

地質は、シールド発進側から延長100m以上にわたりN値が1程度の軟弱な沖積粘性土であるAc1層, Ac2層が堆積するおぼれ谷が存在する。シールドトンネルは、おぼれ谷に堆積する沖積層から下層の洪積層に向かって入り込むものとなっており、軟弱な不整形地盤をトンネルが通過する特徴を有する。洪積層の粘性土層はN値11程度と締まった状態を呈している。洪積層の砂層はN値50程度とよく締まった地層からなっている。地下水位は、おおむねGL-5.0m程度である(図-4)。

3 施工計画

3-1 泥土圧シールド工法の採用

Aランプシールドは京葉道路本線と併設・交差するだけでなく、市川IC-B・Eランプの直下を小

土かぶり掘進するため、路線への泥水噴発や陥没といった急激な路面変状に至るトラブルを発生させてはならない。

本工事では小土かぶり部で路上に泥水噴発のリスクが少なく、安全性に優れ周辺環境への影響も少ない泥土圧シールド工法を採用した。

3-2 シールド仕様

本工事で使用する泥土圧シールドの仕様を表-1に、構造図を図-5に、シールドを写真-1に示す。

3-3 沈下抑制対策装備

シールド掘進中に想定される沈下の要因として、①切羽圧の低下、②シールド周囲のフリクションカットによる余掘り部沈下、③テールボイド部における応力解放、が挙げられる。

これらの対策として、シールドに以下の対策を実施した。

表-1 シールド仕様

項目	詳細項目	仕様
シールド本体	外径	φ13.270mm
	機長	16.765mm
	テールシール	ワイヤブラシ3段
推進装置	シールドジャッキ	3,000kN×48本 総推力144,000kN
	掘進装置	装備トルク 28,072kNm カット回転速度 0.34~0.91rpm カット支持方式 中間支持方式 カットモータ 250kW×6P×16台 カットヘッド スポーク主6 余掘り装置 コピーカット3基

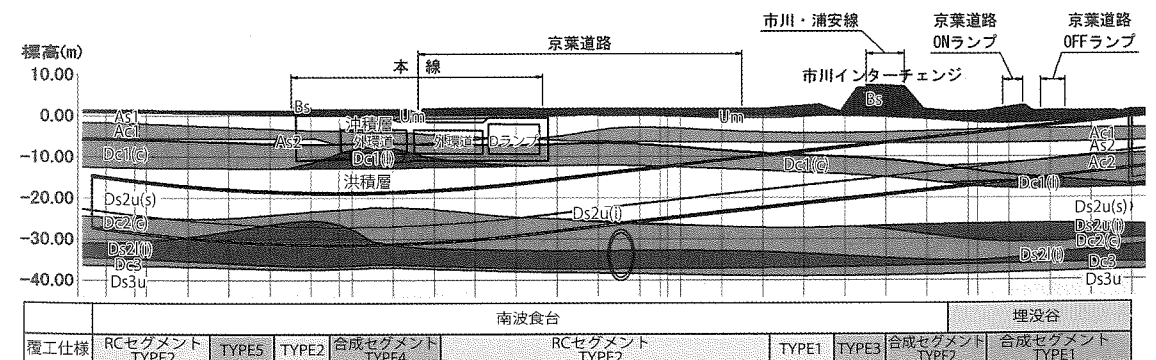


図-4 地質縦断図

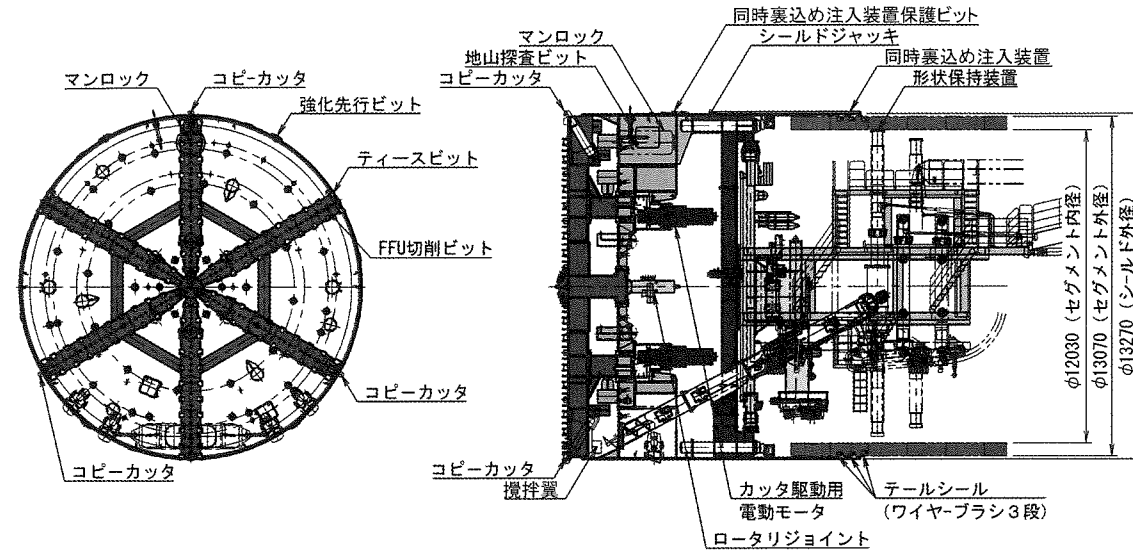


図-5 シールド構造図

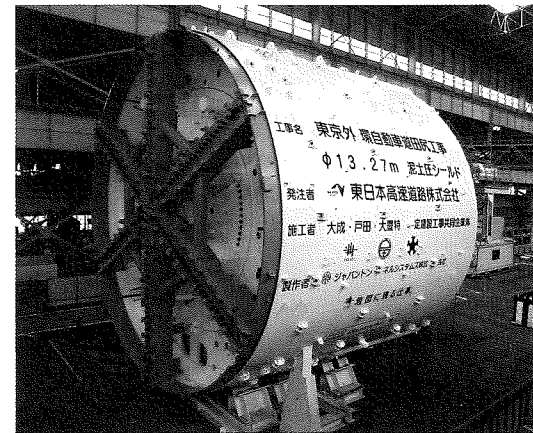


写真-1 シールド

3-3-1 掘進停止時の切羽圧力保持

掘進停止時のチャンバ内圧力の低下による地山の緩みの発生を防止するため、切羽圧力自動保持装置による添加材自動注入装置を装備した。

3-3-2 シールド胴体部充填注入

掘進時はシールド胴体部と地山との摩擦低減のため5mm程度のフリクションカットを行い、地山の乱れを防止する。しかし、余掘りは沈下の要因にもなるため、早期に胴体部から固結滑材の充填注入を行って、地山の緩みを防止した(図-6)。

3-3-3 全方向形状保持装置

小土かぶり区間では鉛直荷重が小さく側圧が卓

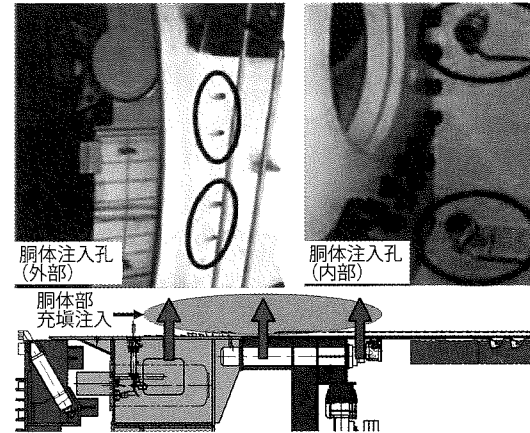


図-6 シールド胴体注入孔

越するためセグメントが縦長に変形する。そこで側方からのつぶれにも対応可能な全方向形状保持装置を装備した(図-7)。

3-3-4 土砂搬出設備

土砂搬出方式は、噴発による土砂の取込み過剰を原因とする沈下などのリスクを減らすためスクリーコンベヤから閉回路で土砂搬出ができるポンプ圧送方式とした。

圧送ポンプは1次圧送ポンプ(吐出量100m³/h)と坑内に中継ポンプとして2次圧送ポンプ(吐出量120m³/h)を2台設置し、地上土砂ピットまで圧送した。

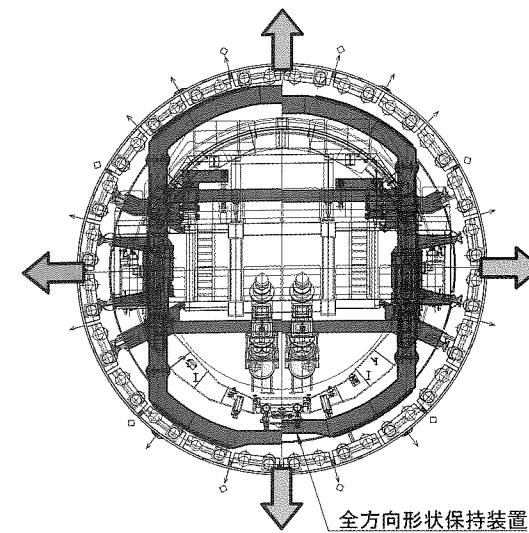


図-7 全方向形状保持装置

掘削土砂は、0.7m³級のバックホウを用いて積込みを行いダンプにて搬出した。

3-3-5 トラブル対応装備

山留め壁芯材である直接切削可能なFFU部材を切削する区間がある。その切削片などがスクリーコンベヤ内で詰まり、閉塞することを防止するために、下記の装備を実施した(図-8)。

- ① FFU部材切削用の専用ビットを装備
- ② スクリュー先端遮断ゲートを装備
- ③ スクリューコンベヤの2本並列配置
- ④ チャンバ部に薬液注入管とマンロックを装備

3-4 シールド掘進停止期間の短縮

本シールドでは、沈下の要因となるおそれのある初期掘進から本掘進への段取り替えによるシールドの長期間停止を避けるため、Aランプの開削

区間を先に完成させ、そこに後続台車をすべて並べ本掘進編成で掘進を開始した。これにより段取り替え期間をなくし地山を緩める要因を排除した(図-9)。

3-5 小土かぶり対策工

小土かぶり区間においては地表面の変状発生に加えて地下水位も高いことからセグメントの浮上がりも懸念された。これらの対策として、以下の4工種の対策工を行った(図-10, 11)。

3-5-1 RC床版工

RC床版は、厚さ1,800mmの鉄筋コンクリート版を地表面に設置し、重量により浮上りを防止した。

また、シールド組立て時の500tクローラークレーンの作業床としても利用した。

3-5-2 パイプルーフ工

供用中の流出ランプである市川IC-Bランプ直下にφ800mmのパイプルーフを26本施工し、鋼管内に無収縮モルタルを充填す

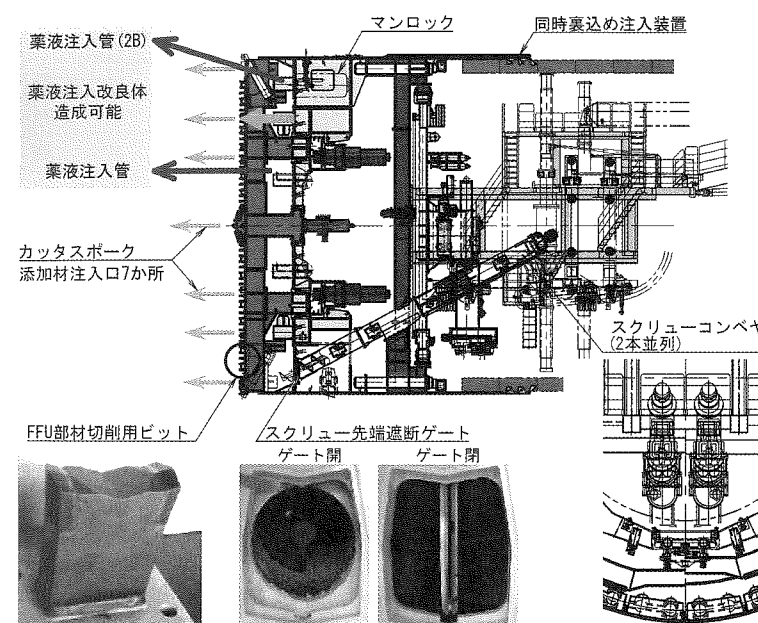


図-8 シールド主要装備全体図

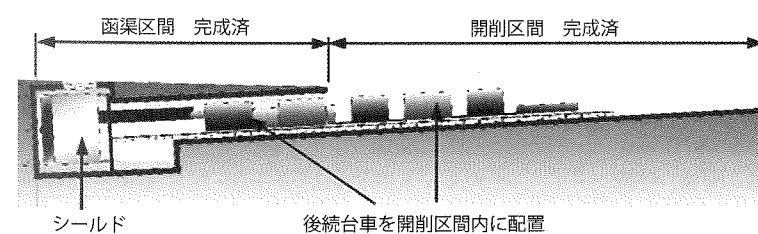


図-9 シールド発進時編成

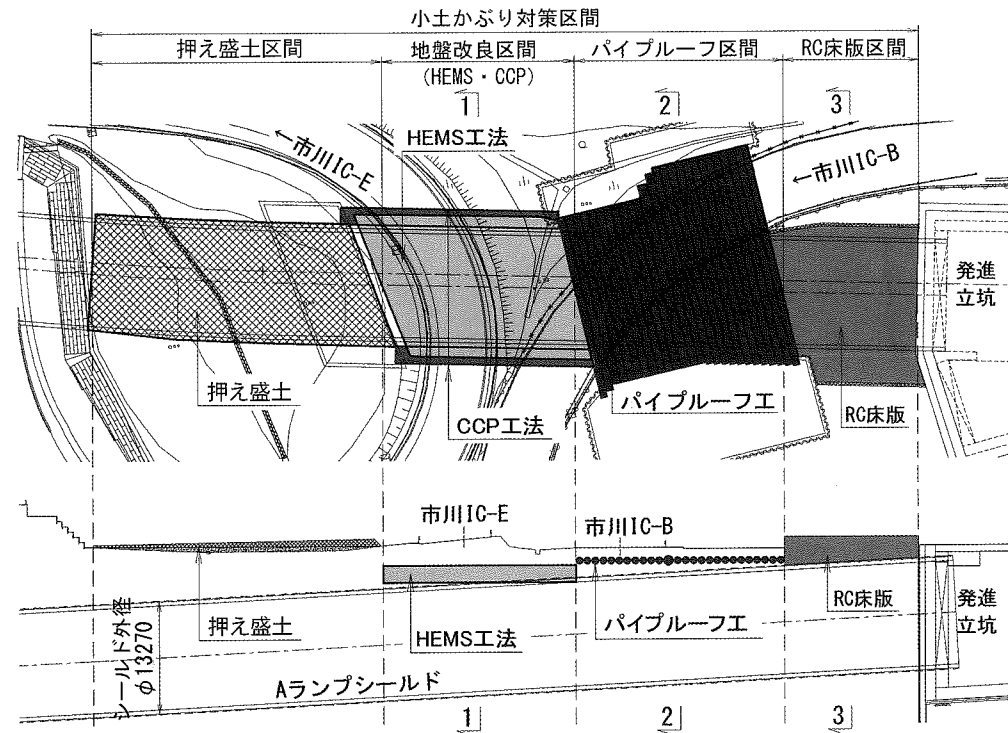


図-10 小土かぶり対策工(平面・縦断面図)

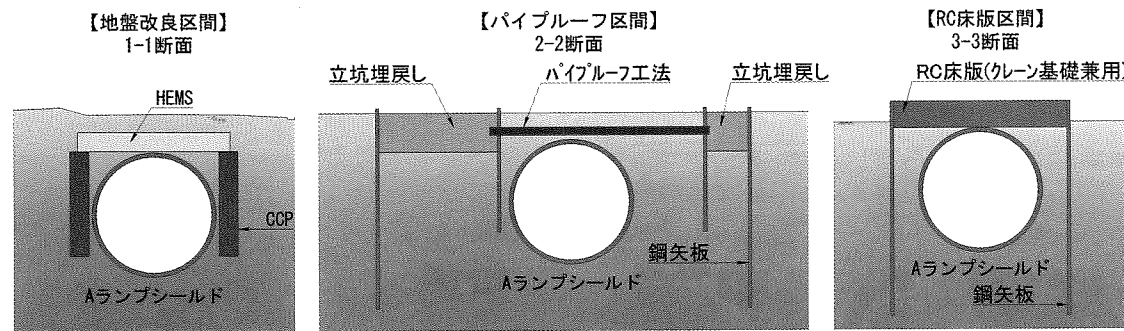


図-11 小土かぶり対策工(断面図)

ることで重量により浮上がりおよび地盤変状を防止した。

3-5-3 地盤改良工(HEMS工法・CCP工法)

供用中の流入ランプである市川IC-Eランプ直下に門形の地盤改良体を施工し、浮上がりおよび地盤変状を防止した。地上部からの施工が困難な場所であるため、門形の天井部分は機械攪拌による水平地盤改良が可能なHEMS工法で実施、壁部分は高圧噴射攪拌工法のCCP工法を採用、斜打ちにより施工を実施した。

3-5-4 押え盛土

市川IC-Eランプのループ内ではセグメントの浮力に対し不足分の重量を確保するため盛土を設置することにより浮上りを防止した。

4 セグメント

4-1 覆工構造

セグメント構造の諸元を図-12に示す。セグメントの種類は合成セグメント(図-13)およびRCセグメント(図-14)の2種類とし、断面力の違い

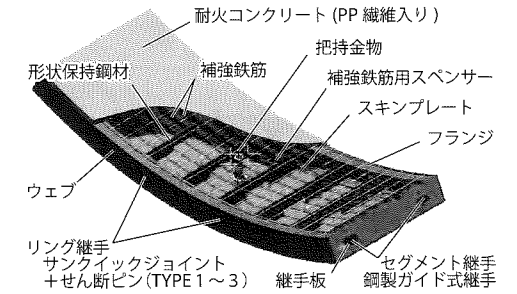
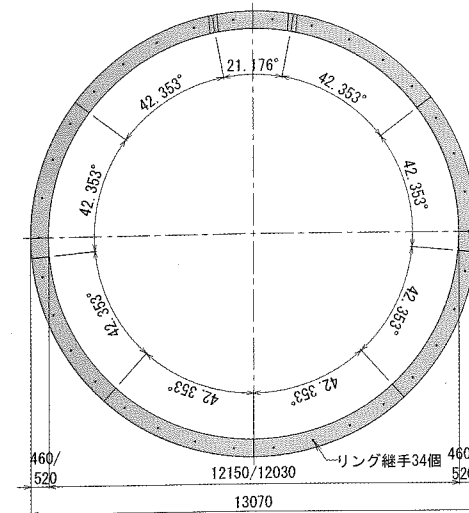


図-13 合成セグメント

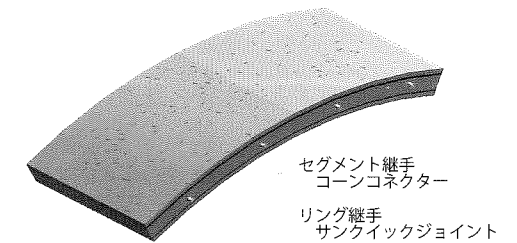


図-14 RCセグメント

セグメント種類	合成セグメント		RCセグメント
タイプ	TYPE 1~3	TYPE 4, 5	TYPE 1, 2
耐火仕様	耐火板	耐火セグメント	
内径	12,150mm	12,030mm	
外径	13,070mm		
桁高	460mm	520mm	
幅	1,200mm		1,500mm
分割	9分割		
セグメント接手			
リング接手			

図-12 セグメントの構造諸元

により合成セグメント5タイプ、RCセグメント2タイプのセグメントを使用した。

セグメントリングの分割数は9分割とし、地震時の影響が大きい小土かぶりの範囲には、リング

継手部に発生するせん断力に対して有効に働くせん断ピンを配置した。

4-2 セグメントの設計の特色

4-2-1 設計概要

小土かぶりで軟弱地盤に位置する本シールドは、地震時の影響を大きく受ける。とくに、軟弱地盤と硬質地盤の境界あるいはその近傍にトンネルがある場合、トンネルに作用する地震時の影響が過大となる(図-15)。

今回のシールド工事の発進部小土かぶり区間の覆工仕様は上記理由により地震時検討により決定した。

4-2-2 断面力算定

地震時の断面力算定は、トンネル上下間の地盤相対変位がもっとも大きくなる断面(No.6+27)について行った。レベル2地震動作用時の断面力算定結果、およびセグメント継手に発生する引張力を表-2に示す。

当該断面のように、土かぶりが小さい区間では覆工に発生する軸力が小さく、その状態で地震力作用による曲げモーメントが卓越するため、セグメント継手金物に発生する引張力がとくに大きくなった。

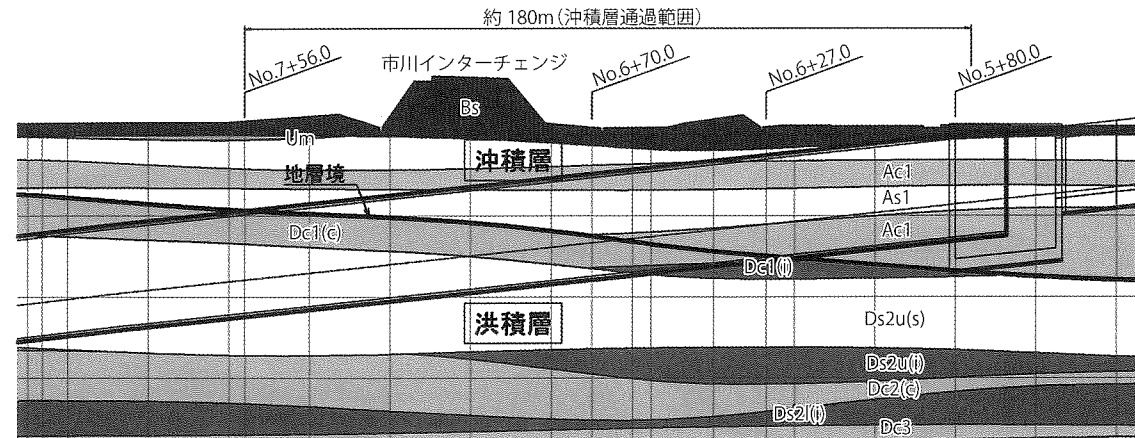


図-15 縦断線形と地層の関係

表-2 セグメント継手部の断面力および引張力

項目	常時	レベル2
		地震動作用時
最大曲げモーメント (kNm)	351 [-331]	1,465 [-1,226]
軸力(最大曲げ発生点) (kN)	1,103 [1,643]	660 [1,982]
継手部最大引張力 (kN)	211 [全圧縮]	2,854 [1,673]

[]は負曲げによる断面力および引張力を示す

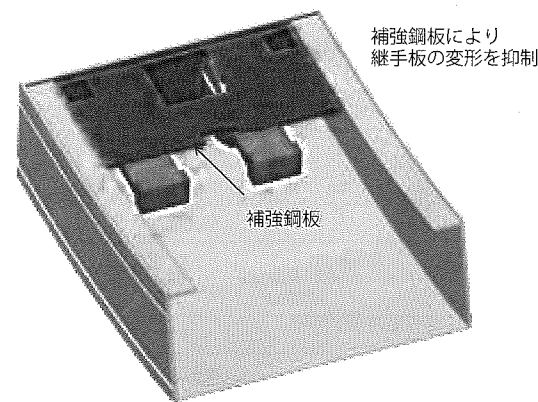


図-16 補強鋼板による概略図

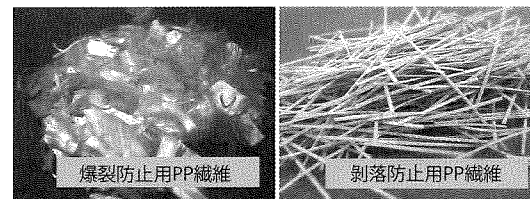


写真-2 爆裂防止用および剝落防止用PP繊維

4-2-3 検討結果

シールドの発進側の区間では、セグメントは合成セグメントを採用し、セグメント継手は、地震時に発生する高引張力に対応するため、補強リブを設けた鋼製ガイド式継手を採用した。

また、継手部コンクリートの内空面側に補強用の鋼板を設置し、継手板を4辺支持構造とすることで継手板の変形を抑制する構造とした(図-16)。

4-3 耐火方式

発進坑口から140mの小土かぶり区間を耐火セグメントとして地震時の検討を行った結果、覆工厚(耐火代を含む)、断面力、コストはいずれも著しく増加することが判明した。そのため、経済性を含む総合的な判断により小土かぶり区間(合成セグメントTYPE1~3)では耐火方式としてセラミック製の耐火板方式を採用した。

また、その他の区間(合成セグメントTYPE4, 5, およびRCセグメントTYPE1, 2)については

耐火セグメント方式を採用した。

4-3-1 耐火セグメント

耐火セグメントの耐火代は、耐火試験の結果より60mmとし、耐火セグメントには写真-2に示すように爆裂防止用および剝落防止用PP繊維を混入している。

4-3-2 耐火板

耐火板は、ボードタイプの耐火被覆材とする。以下に耐火板仕様を示す。

耐火板寸法：741×1,200×27mm

曲げ強度：1.132N/mm²以上

衝突落球：飛散しない

供用後に、万一、通行車両が耐火板に接触した場合、耐火板が飛散して2次災害を誘発することを防止するため、飛散防止対策として背面に落下防止ワイヤーを設置する(写真-3)。

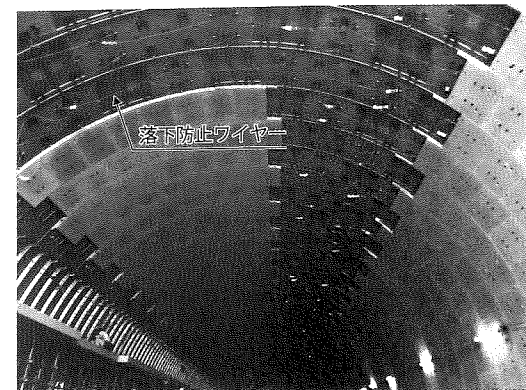


写真-3 耐火板

5 施工実績

シールド掘進は2016(平成28)年5月に開始した。

本工事では前述のように、発進部においては小土かぶり0.1D(1.3m)からの発進となるため、地表面の変状抑止とシールドの浮上がり防止の目的で4種類の対策工を施した。また、京葉道路の市川IC流入・流出ランプ直下を通過するため自動計測による路面変状計測を常時行った。

5-1 路面変状計測

小土かぶり区間の直上にある京葉道路市川IC流入・流出ランプおよび県道市川浦安線については、シールド通過に伴う路面変状をトータルステーションにて24時間自動計測を行った(図-17)。管理値は道路管理者と協議のうえ、表-3に従って管理し、管理値をオーバーした場合は施工職員の携帯に自動で連絡が入るシステムとした。

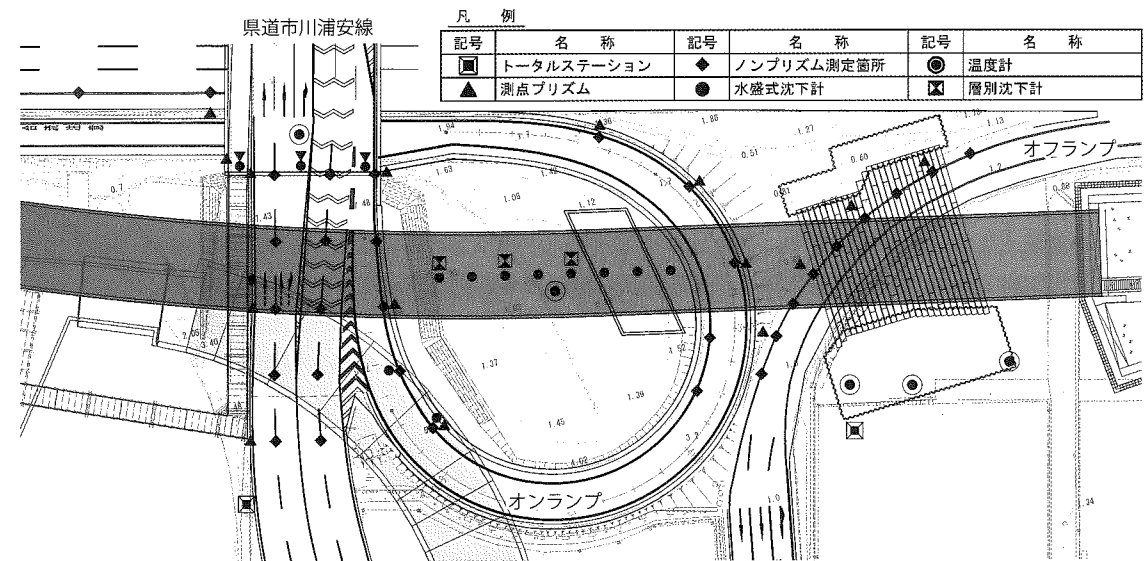


図-17 計測位置図

表-3 リスク管理表

	1次管理値	2次管理値	3次管理値
京葉道路ランプ部	±15mm未済	±15mm ≤ 計測値 < ±24mm	±24mm ≤ 計測値 < ±30mm
県道市川浦安線	±20mm未済	±20mm ≤ 計測値 < ±32mm	±30mm ≤ 計測値 < ±40mm
対応策	<ul style="list-style-type: none"> 現場関係者への注意喚起 施工方法の再検討 	<ul style="list-style-type: none"> 現場関係者への注意喚起 施工方法の再検討 復旧対策検討 	<ul style="list-style-type: none"> 現場関係者への注意喚起 路面変位箇所の注入、舗装補修の検討実施

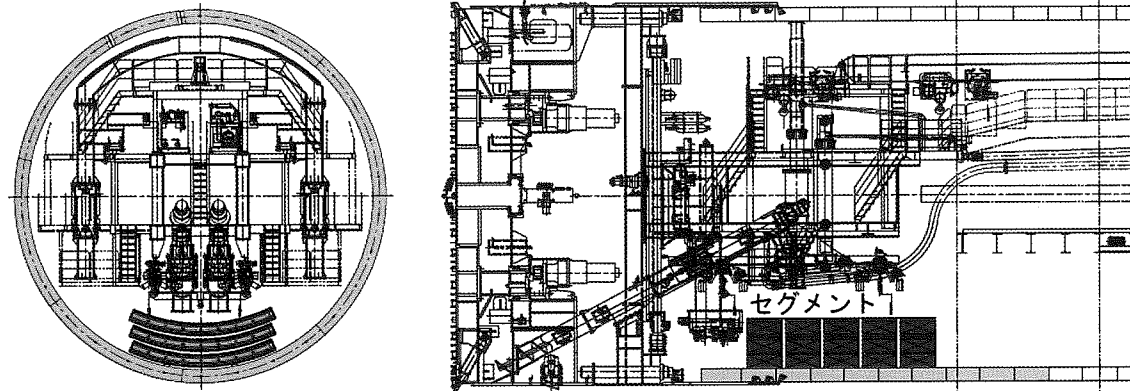


図-18 セグメント浮上がり対策工

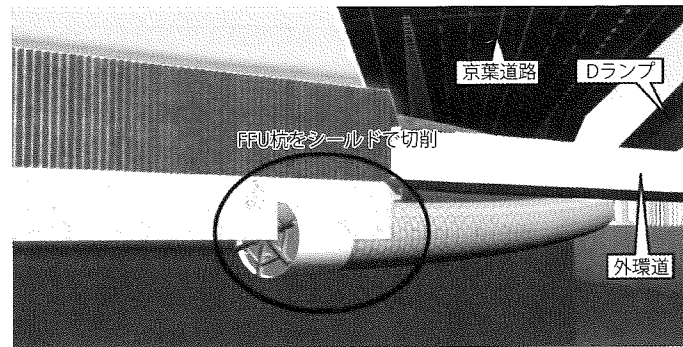


図-19 外環本線構築に伴うFFU杭切断

5-2 掘進施工管理

小土かぶり区間において、もっとも重要なポイントは管理土圧の設定と排土量および裏込め注入量の管理である。管理土圧については初期圧＋予備圧を上限値とするが、土かぶりが小さいため圧力過剰による加泥材の地上への逸泥を懸念し、通常予備圧を20kPaとするところを10kPaとした。

また排土量管理は、圧送管の途中に設けた電磁流量計および密度計から算出した結果と、圧送ポンプのピストン回数の圧送量から算出した結果とのダブルチェックを実施した。裏込め注入については注入量と注入圧力の両方で管理し、テールボイド量の130%の注入率を目標に実施した。

排土量および裏込め注入量はともにほぼ計画どおりとなり、路面変状についても最大沈下量-12.8mmと1次管理値内で収まったことから管理土圧設定も適切であったと考える。

また、小土かぶり区間ではセグメントの浮上が

りが懸念されるため、後方のインバート部には浮上がり防止対策として、インバートコンクリートを掘進の進捗に合わせて順次打設した。また、シールド直後についてはインバート打設が困難なため、1ピースあたり約10tのセグメントを約15ピース程度仮置きし、浮上がり防止対策を行った(図-18)。

曲線施工($R=500\text{m}$)については、シールドの回転中心位置とコピーカッ

タの余掘り量、シールドの蛇行量、テールクリアランス量を管理して曲線部の掘進を行った。

出来形としては上下左右方向ともに蛇行量は管理値内の $\pm 50\text{mm}$ 以内で施工できた。

また、掘進路線のうち京葉道路直下部においては外環本線躯体構築に伴う山留め壁となる切削可能部材(FFU)の連壁芯材を切削したが、スクリーコンベヤの閉塞を防ぐため切削片をできるだけ小さくするように掘進速度を1~5mm/minまで下げ通過した(図-19)。

掘進状況全般についてもスクリーコンベヤの閉塞や大きなトラブルもなく2016(平成28)年12月に全掘進を終え無事到達した。

6 おわりに

本シールドは大断面、小土かぶりに加え供用中の京葉道路本線およびランプ部の直下を曲線で掘進する施工であったため、とくに地盤変状と線形

管理に留意し掘進を行った。

小土かぶり部に関しては事前に施した前述の対策工がとくに有効であったと考える。

線形管理については縦断線形、平面線形ともに曲線という3次元曲線線形であったため掘進指示とセグメントの蛇行修正がポイントであった。しかしながらセグメントの種類が合成セグメント5タイプ、RCセグメント2タイプと種類が多く、そのうち蛇行修正セグメントはRCセグメント1タイプのみであったため蛇行修正セグメントを使用

できる範囲が限定されていたところが施工上の難点であった。

今後、本シールドの線形のように3次元的に複雑な曲線の場合には極力セグメント種類を少なくし、蛇行修正セグメントを臨機応変に使用できるよう計画することが必要と考える。

最後に、本工事の計画および施工に際して、ご指導とご支援をいただきました関係各所の皆様に深く感謝の意を表します。

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章

B5判 285頁 本体価格4,660円



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

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

株式会社 土木工学社

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



「二十世紀梨の産地」鳥取より

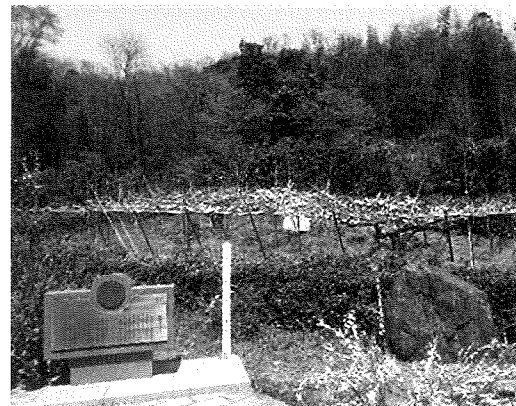
北条義隆

鳥取といえば？ 思い浮かぶのは、鳥取砂丘と二十世紀梨と言ったところだろうか。

鳥取砂丘は、中国山地から流れる千代川と風が運ぶ砂を十万年の歳月の中で積み上げた砂の丘で、その言葉の失うほどの雄大さは年間130万人もの観光客を魅了している。

鳥取市から京都府京丹後市の約120kmのエリアに位置する山陰海岸ジオパークは、ユネスコ世界ジオパークに認定されている。ジオパークとは科学的に見て特別に重要で貴重な、あるいは美しい地質遺産を複数含む大地の公園のことである。鳥取砂丘はその代表的なジオパークのひとつである。

鳥取名産の二十世紀梨は、1904(明治37)年、北脇永治が二十世紀梨の発見者である千葉県松戸覚之助から苗木10本を購入し、鳥取市桂見の地に植えたのが始まりである。当時は日露戦争の混乱の真っ只中で、傾斜地や山林を切り開き地場産業の振興の対象に果樹栽培を選んだことを「金持ちの道楽」と揶揄されることもあった。しかし、北脇永治は栽培・試作・研究を続け青梨の二十世紀梨が鳥取の地に向いていると確信し、地元紙に「果樹栽培にかかれ。果樹は農村を貧しさから救う。特に二十世紀梨を植えよ」の広告を出すなどして鳥取県下への積極的な苗木の普及を啓蒙した。1985(昭和60)年、鳥取県はこの記念すべき親木を県の天然記念物に指定した。そして113年たった今でも

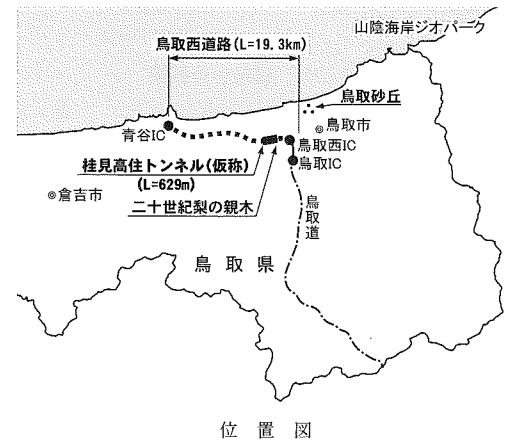


二十世紀梨の親木

「とっとり出会いの森公園」にはその親木3本が生存しており、現在施工中のトンネル坑口は、なんと、その親木のすぐ横70mの近さにある。

ここで、鳥取県西部の日野群江府町にある苦塔トンネルにまつわる心暖まる話を紹介する。1948(昭和23)年、8km離れた米沢小学校に通学するため、険しい山を越えなければならない児童たちを思い、地元に住人たちが山をトンネルで掘り抜くことを計画した。そして、住民の鍬やスコップによる奉仕活動が始まり、2年の歳月をかけ、幅1.5m、高さ2.0m、延長200mの杭木を組んだ素掘りトンネルを貫通させた。当時の新聞は「愛の通学トンネル」と名付け、父兄の努力をたたえた。

本工事は、鳥取市本高から青谷町青谷を結ぶ延長19.3kmの鳥取西道路の東部に位置する桂見高住トンネル(仮称)(L=628m)を施工するもので、一般国道9号の交通混雑の緩和および災害時の代替路線の確保に期待が寄せられている。地質は中生代古第三紀の鳥取花崗岩類が主体で、偏圧地形の坑口部および坑内小土かぶり部(最小土かぶり12m)は小口径長尺鋼管フォアパイリングなどの補助工法を採用し、3月25日に無事貫通した。現在、覆工を施工中で国土交通省・地元住民の皆様のご指導・ご協力を得ながら10月の竣工に向けて安全に工事を進めているところである。(大豊建設(株)桂見高住トンネル作業所長)



位置図

施工

坑口法面変状への安定化対策を施しトンネルを施工

—国道45号 豊間根トンネル—

国土交通省東北地方整備局三陸国道事務所建設監督官 木村 匠
 東急建設(株)東日本支店土木部国道45号豊間根トンネル作業所所長 安野 雅志
 東急建設(株)土木部土木技術設計部 満尾 淳
 東急建設(株)土木部土木技術設計部 村田 和哉

1 はじめに

国道45号豊間根トンネル工事では、終点側の坑口部付近において、上半掘削の貫通を目前に、坑内では管理レベルⅡに達する天端沈下および吹付けコンクリートの亀裂、坑外では150mmを超える地表面沈下、地山の亀裂、法枠および仮設吹付け法面などに大きな変状が生じたことから、法面の安定性が懸念され、下半、インバートを約45m残して工事を一時中止とし、坑口法面の安定性判断および法面への影響を最小限に抑える対策の検討が命題となった。

本稿は、法面挙動のメカニズムの解明および法面への影響を抑制する対策工法についての検討内容および実際の施工についてとりまとめ報告するものである。

2 工事概要

本工事は、東日本大震災の「復興道路」として線形不良区間および津波浸水区間の回避および救急医療施設への速達性向上を目的とした三陸沿岸道路工事の一環として工事延長1,080m(明

表-1 工事概要

工事件名	国道45号豊間根トンネル工事
発注者	国土交通省東北地方整備局
工事場所	岩手県下閉伊郡山田町豊間根第3地割地内
工期	2013(平成25)年12月14日～2017(平成29)年3月27日 (当初：2015(平成27)年11月13日)
工事概要	【明かり工事】 延 長：371m 路体盛土工：163,500m ³ 橋台工：3基 ボックスカルバート：4基
	【トンネル工事】 延 長：709m 掘削断面：108m ² 仕上がり内空断面：89.5m ²

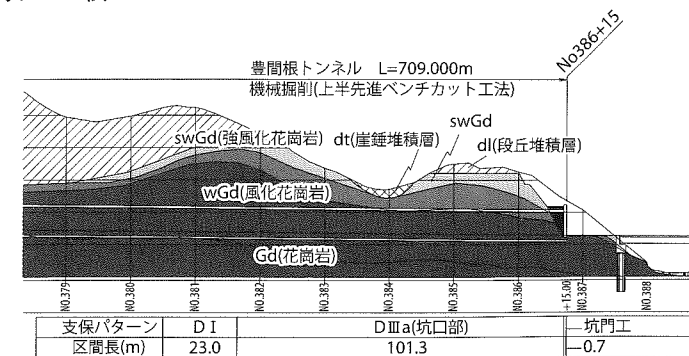


図-1 トンネル終点側の地質縦断面図

かり区間371m, トンネル区間709m)の自動車専用道路を新設する工事である。

地質としては, 中世代白亜紀の北上花崗岩類(宮古岩体)に属し, 大部分において強風化~風化花崗閃緑岩の出現が予想された。地山区分は, 全線にわたりD区分となっており, 掘削方式は機械掘削が採用された。工事概要を表-1に, トンネル終点側の地質縦断面図を図-1に示す。

3 法面の挙動

3-1 変状の発生

終点側の坑口に向け上半掘削中に, 貫通30m手前からトンネル内部での切羽崩落や吹付けコンクリートのひび割れおよび支保工の沈下が発生し, 明かり部においても地表面, 法枠に亀裂などの変

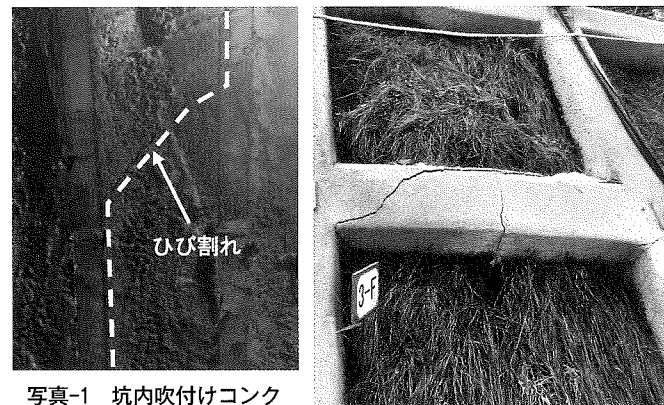


写真-1 坑内吹付けコンクリートひび割れ状況

写真-2 法枠亀裂発生状況

表-2 計測項目および管理基準一覧

計測項目		箇所数	管理基準
坑外計測	法面変位	23か所(手動計測)	10mm/日以下(手動計測)
	法枠変位	11か所(自動計測) 6か所(手動計測)	5mm/時以下(自動計測) 10mm/日以下(手動計測)
	伸縮計	5測線	5mm/h
	孔内傾斜計	4か所	100秒/日または50秒/時
坑内計測 A		4断面	天端沈下(レベルⅢ) 55mm 内空変位(レベルⅢ) 111mm
坑内計測 B	支保工応力・吹付け応力	3か所×4断面	支保工応力 235N/mm ² 吹付け応力 18N/mm ²
	亀裂変位計(吹付けコンクリート)	2か所	3mm
	天端水平傾斜計	15か所	7mm

状が生じた。上半掘削は, 支保工の横つなぎやロックボルトの増打ちなどの応急対策を実施することで, 貫通することができた。

しかしながら, 地表面の変位計測の結果より沈下が各法面小段から山頂まで広がり, 坑口上部の地表面においては最大で150mmを超えることが確認されたことから, 法面の大規模なすべりが懸念された。そこで, 工事を一時中止としたうえで, 終点側の坑口法面および坑内の計測管理体制を強化し, 変状メカニズムの解明および法面への影響を最小限に抑える下半, インバートの施工法の検討が必要となった。上半掘削中に生じたトンネル坑内の吹付けコンクリートのひび割れ状況および明かり部における法枠の亀裂発生状況を写真-1, 2に示す。

3-2 計測・管理計画

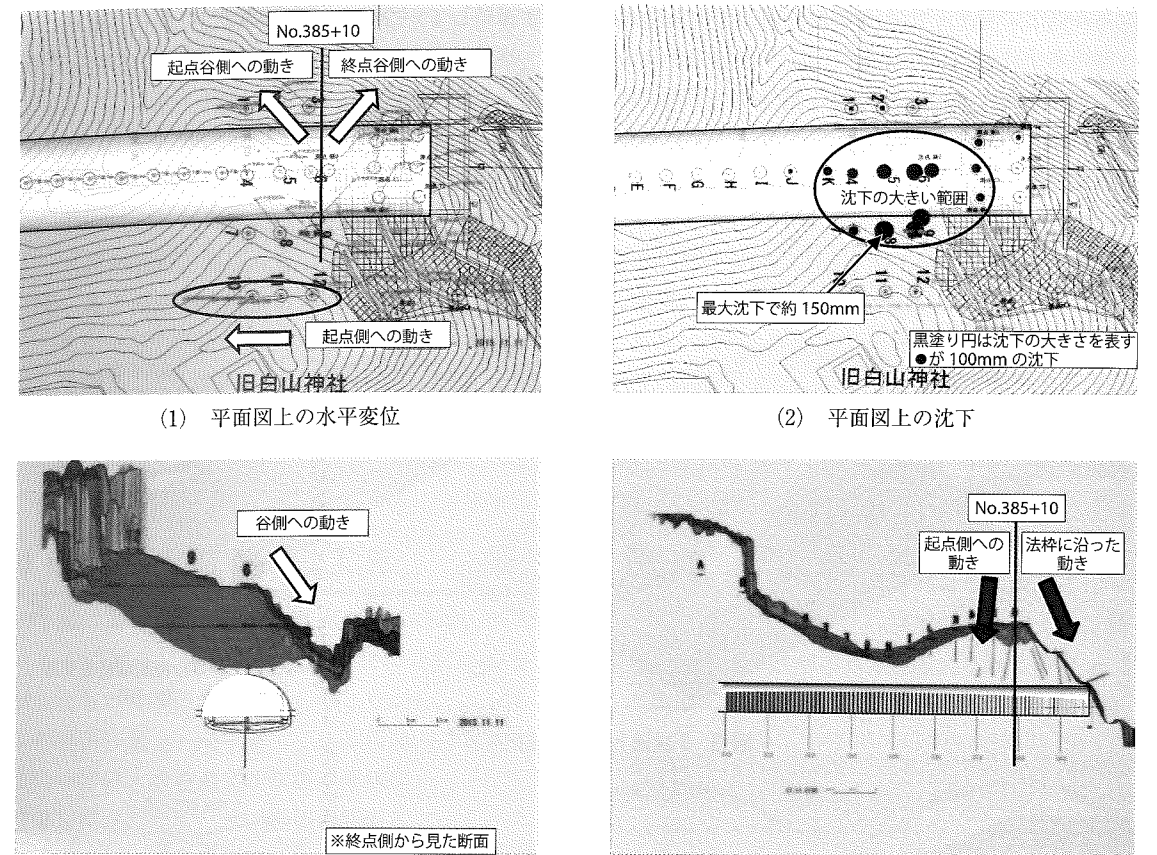
変状の経過観察およびすべり面の特定のため, 新たに計測機器の設置および増設を行った。計測項目一覧および施工再開時の作業員の安全確保のために設定した管理(退避)基準を併せて表-2に示す。退避の周知方法としては坑内外にパトライト, サイレンを3か所設置した。

3-3 計測結果

計測の結果確認されたトンネル掘削時の法面挙動を図-2に示す。

図-2は, 無人航空機(UAV)撮影をもとに3DCADにより作成した3次元図面に法面および地表面の沈下, 変位履歴をプロットすることで, 3次元的な法面挙動を再現したモデルである。ここで, 計測結果から後述する挙動を確認した。

- ① 各計測点のトンネル縦断方向の変位ベクトルは, No.385+10付近を境に起点側向きと終点側向きに分かれる動きをしている(図-2(1))。
- ② 地表面沈下は, No.385+10を中心としてやや起点側で局所的に



(1) 平面図上の水平変位

(2) 平面図上の沈下

(3) 横断図(No.385+10)上の沈下・水平変位

(4) トンネル中心縦断図上の沈下・水平変位

※図中の数字・アルファベットは計測点番号を表している

図-2 トンネル掘削時の法面挙動

- 最大約150mmの沈下を生じている(図-2(2))。
- ③ 横断図上の変位は, 全体として谷側へ流れる動きをしている(図-2(3))。
- ④ 縦断図上の変位は図-2(1)と同様にNo.385+10付近を境に終点側への動き(法枠に沿う動き)と起点側への動きに分かれる(図-2(4))。

3-4 メカニズムの解明

3-4-1 法面挙動の再現解析

3次元弾性トンネルの掘削解析により, トンネル内部の挙動から法面挙動の再現性を確認した。具体的には, 内空変位および脚部沈下から逆解析により地山の弾性係数, ポアソン比を決定し, 法面挙動の評価を図った。解析モデルを図-3に示す。解析モデルでは, 支保工(吹付け $t=250\text{mm}$, 鋼製支保H-200)および先受け工(鋼管 $\phi 114.3\text{mm}$, t

$=6\text{mm}$, $L=12.5\text{m}$)を梁要素によりモデル化した。掘削解析による横断方向および縦断方向の変位ベクトル図を図-4に示す。図-4より, 沈下がかもとも大きいNo.385+10における横断面において, 地表面の動きは谷側へ向かう動きとなっており, 図-2に示した計測値とほぼ一致する傾向を示した。一方, トンネル中心軸を通る縦断面において, 地山の動きは全体として終点側へ向かう動きとなっており, No.385+10を境に異なる方向への動きを見せた図-2の計測値とは傾向が異なっている。また最大地表面沈下量も, 計測値の150mmに対して解析では87mmと非常に小さくなった。

3-4-2 メカニズムの解明

表-3に計測値と解析値の挙動の比較および考察を示す。解析結果を計測値と比較した結果, ト

ンネル直上で発生した大きな地表面沈下あるいは一部の水平変位について解析により再現できない事象が存在した。その一方で谷側への水平変位あるいは法枠に沿った終点側への変位などはおおむね計測値と解析値は一致し、法面の地すべりなどは誘発していないと判断できた。

検討結果より推定される法面挙動のメカニズムを以下に示す。

- ① 小土かぶり区間に入り、かつ脆弱な地山において全土かぶりに近い荷重が切羽前方から

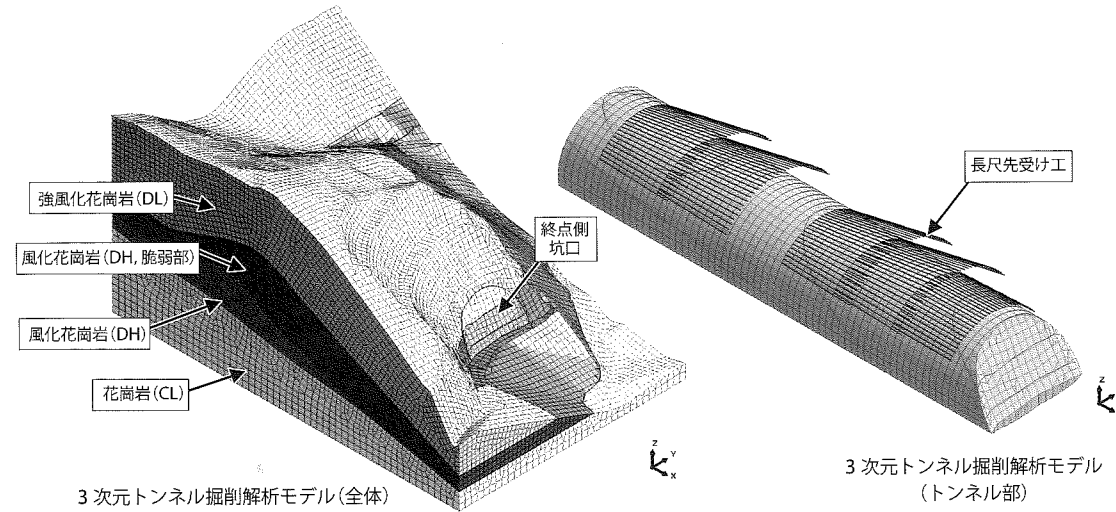


図-3 3次元トンネル掘削解析モデル

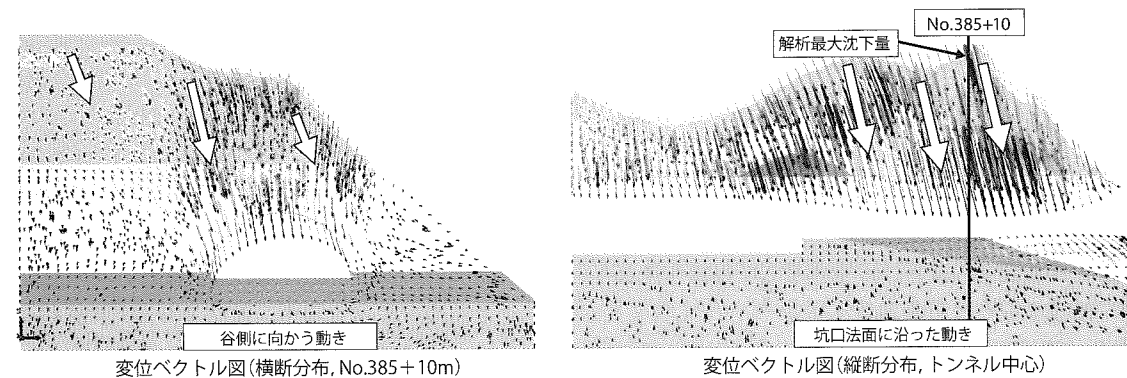


図-4 3次元トンネル掘削解析による変位ベクトル図

表-3 計測値と解析値の比較

比較項目	計測値と解析値の挙動の比較	判断
地表面沈下	計測されたNo.385+10付近の最大地表面沈下(150mm)に対して、解析では87mmとなり大きな地表面沈下を再現できていない。	トンネル直上の局所的な大きな沈下については弾性解析では再現できず、トンネル掘削時の上方の緩み域の拡大により沈下が増大したと判断できる。
縦断方向水平変位	縦断方向水平変位は、計測値ではNo.385+10を境に異なる方向への動きを見せたが、解析ではすべての測定で終点側へ向かう動きとなった。	No.385+10より起点側の測点で計測値が解析値と変位方向が異なる理由は、上記掘削時の緩みによる沈下の影響を受けたためと考えられる一方、法枠に沿った終点側への動きは弾性解析の範疇の動きであり、大きなすべりなどは誘発していないと判断できる。
横断方向水平変位	測点の多くは谷側への動きとなっており、解析と一致する。	谷側への動きは解析と一致しており、弾性挙動の範疇であり大きなすべりなどは誘発していないと判断できる。

作用した。

- ② さらに、支保工脚部の地盤が脆弱な強風化岩であったため、大きな土荷重が作用することにより脚部沈下、天端沈下が増大した。
- ③ その結果として緩み域が増大し、直上の地表面において大きな沈下が発生した(最大沈下量が解析と異なる理由)。
- ④ 地表面沈下の増大に伴い、それが周辺地盤を引き込む形となり、周辺地表面の水平変位を誘発した(水平変位が解析と異なる理由)。
- ⑤ ただし、法枠方向への規模の大きい水平変位は発生せず、大きなすべりは誘発していない。

4 対策工および補助工法

今回の変状は、もともと脆弱であった地山がトンネルの掘削により緩み、地表面の変状につながったものと考えられる。しかしながら、トンネルの掘削作業を一時中断している期間については、坑内および法面の変状は収束していたため、地山を極力緩めることなくトンネルの下半およびインバートを施工することが、変状の抑制に効果的であると判断した。

下半、インバートの掘削時において留意しなければならない事象として、

図-5に示すようにすでに施工されている上半支保工の脚部沈下および側壁部掘削面の崩壊に伴う緩みが考えられる。そこで、支保工脚部の沈下抑制および側壁部の地山安定のための対策工法を検討した。

下半、インバートの掘削時に生じる沈下抑制対策として代表的な工法を本工事への適用性ととも表-4に示す。

当該区間は、終点側の橋台部の施工時に岩盤層が確認されており、フットパイルを施工することで上半支保工軸力がフットパイルを通して岩盤支持層まで伝達され、脚部沈下の抑制が可能と判断できる。

また、フットパイル施工の際に、鋼管内から地山に対してウレタン系注入材にて地山改良を行うことにより、下半掘削時に側壁部からの土砂の崩壊を抑制することができると考えられる。

当該区間は、地山が脆弱であり、下半掘削後か

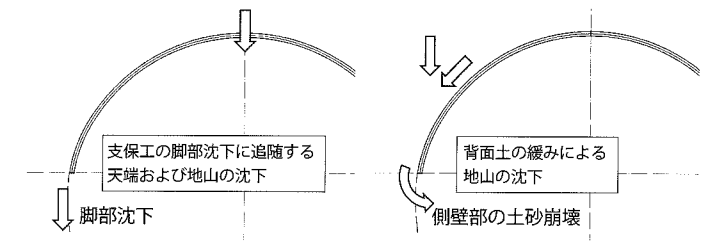


図-5 地山の緩みを生じる要因

表-4 支保工の沈下抑制方法の比較

補強方法	サイドパイル	フットパイル	支保工の横つなぎ	下半仮インバート(早期閉合)
特徴	鋼材のせん断抵抗による沈下抑制および水平変位に対する内圧効果が期待できる。	鋼材の軸力・せん断抵抗による支保工軸力に対する脚部沈下抑制および注入による地山改良が期待できる。	支保工どうしを溶接連結することで、局所的な沈下の抑制が期待できる。	支保工の脚部沈下および沈下に伴う地山の緩み抑制に効果がある。早期閉合による地山の安定性確保が可能。
略図				
経済性	△	△	◎	○
適用性	○	◎	(○)	◎
	強風化地山でのせん断抵抗が不明。	本トンネルでは支持層の存在が明確であり、また鋼管からの注入により下半掘削時の側壁安定を確保できる。	従来、緊急対策として適用される(施工済み)。	実績も多く、閉合後の沈下抑制およびトンネル構造の安定化が期待でき、本トンネルへの適用性が高い。

表-5 トンネル沈下抑制対策の仕様と効果

工 法	仕 様	効 果	選 定 理 由
フットパイル	<ul style="list-style-type: none"> ・支保工671~695基 ・N=50本(片側25本) ・φ114.3, L=6.5m ・ウレタン系注入材 	<ul style="list-style-type: none"> ・上半鋼製支保工の脚部反力を支持層に伝達することによる沈下防止効果 ・下半側壁部地山の改良効果 	<ul style="list-style-type: none"> ・ボーリング結果より、支持層が明確であるため ・側部改良効果が見込めるため
早期閉合	<ul style="list-style-type: none"> ・支保工670~695基 ・下半・インバート同時掘削 ・インバート吹付け(t=20cm) ・インバート鋼製支保工(H-200, SS400) 	<ul style="list-style-type: none"> ・沈下防止効果 ・トンネル構造の安定効果 	<ul style="list-style-type: none"> ・沈下防止対策としての実績が多いため ・閉合により掘削後のトンネル構造が安定するため

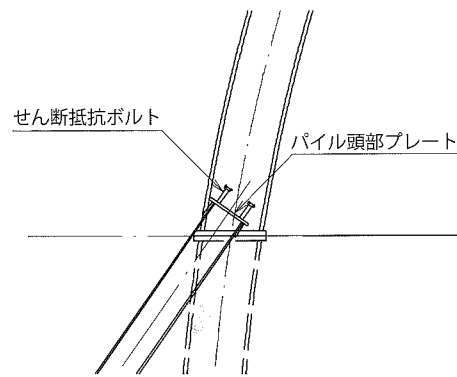


図-6 改良型フットパイル概略図

らインバート施工までに施工間隔が空いた場合に地山の緩みや支保工の脚部沈下を生じるおそれがある。また、下半支保工の設置後にインバート掘削を行う場合、支保工脚部の掘削が再度必要となり、支保工の脚部沈下を助長することになる。そこで、下半、インバートの掘削を同時に行い、インバートストラットを設置する早期閉合法を採用することにより、支保工脚部の沈下抑制および早期のトンネル構造の安定を図ることができると考えた。

以上より、下半掘削時の脚部の沈下防止、下半側壁部の崩壊防止および下半、インバート施工後のトンネル構造の早期安定を図るためにフットパイル工法と早期閉合法を組み合わせて採用することとした。選定した対策工の仕様と効果を表-5に示す。

なお、一般的にフットパイルを施工する場合には、脚部の支保工にウイングリップを使用し、ウイングリップにフットパイル頭部を固定することで、支保工に作用する荷重をフットパイルに伝達することが多い。しかし、本工事においては、フット

パイルの採用が上半掘削完了後に決まったこともあり、ウイングリップを使用せずにフットパイルと支保工を一体化する必要があった。そこで、図-6に示すようにパイル頭部にせん断抵抗ボルトを配置した改良型のフットパイルを用いることで、支保工からの荷重をフットパイルに効率よく伝達し、支保工の脚部沈下および側壁の崩壊に抵抗するものとした。

5 対策工の効果

下半、インバートの施工法として改良型のフットパイルおよび早期閉合による支保工脚部の沈下抑制を行うことによりトンネル施工は可能と判断して工事を再開、無事施工を完了した。

施工中は、前述した計測機器による計測管理を実施し、リアルタイムで施工と計測結果との相関性を確認しながら、掘削作業を行うことで坑内、法面の状態を把握したうえで安全な作業を行うことができた。

上半掘削時の天端・脚部および地表面の沈下量と下半、インバート掘削時に発生した増分沈下量を表-6に示す。なお、()内の値は最終沈下量である。表-6より、最終的な天端および脚部の沈下量は管理基準値(レベルⅢ)として設定した55mm以下に留まった。また、地表面沈下についても下半掘削中に最大で26mmの沈下が確認されたものの、法面のすべりを誘発することはなかった。

フットパイルには、3断面の左右計6本に1本あたり3か所(深度2m, 4m, 6m)合計18か所の軸力計を設置し、フットパイルに作用する軸力の測定を行った。685基のフットパイルについて打

表-6 トンネル天端・脚部と地表面の沈下量

計 測 断 面		665基	675基	685基	695基
		(No.384+15.65)	(No.385+5.65)	(No.385+15.65)	(No.386+5.65)
上 半 掘 削 時	左脚部	10.3	31.3	20.6	7.3
	右脚部	14.6	31.3	39.3	16.0
	天端	14.3	48.6	20.5	9.2
	地表面	64.0	123.0	126.0	—
下 半 ・ イ ン バ ー ト 掘 削 時 増 分 ()内は最終	左脚部	1.2(11.5)	6.8(38.1)	8.4(29.0)	6.4(13.7)
	右脚部	1.7(16.3)	10.5(41.6)	12.7(52.0)	20.6(36.6)
	天端	1.9(16.2)	4.2(52.8)	20.5(41.0)	10.3(19.5)
	地表面	4.0(68.0)	26.0(149.0)	21.0(147.0)	—

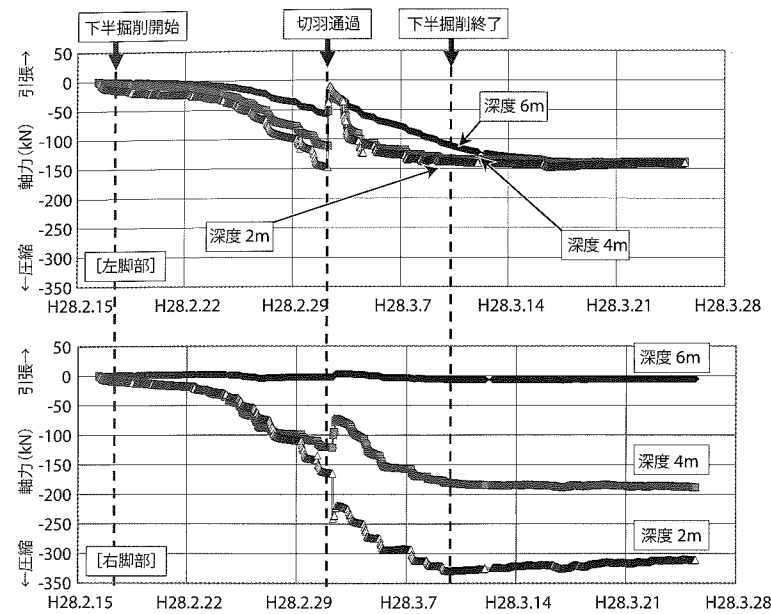


図-7 フットパイル軸力経時変化図(685基)

設完了後から下半、インバート掘削完了までの軸力計測結果を図-7に示す。

図-7よりフットパイルの軸力は、下半切羽が測定位置に到達する前から上昇する傾向にあった。すなわち、上半脚部の先行沈下を抑制する役割を果たしていたと考えられる。下半切羽の通過時のパイル頭部の解放により、いったんは軸力が低下するが、下半、インバートの閉合により再び上昇した。計測した軸力は、事前検討で予測した値を大きく上回るものであり、非常に大きな荷重が作用したことが伺え、フットパイルが上半から伝わる荷重を負担していたことがわかる。

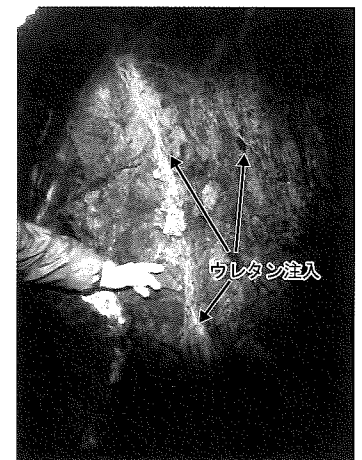


写真-3 ウレタン注入状況

下半切羽は、前述のように亀裂が発達あるいは土砂化した地山であり、下半掘削あるいは支保工建込み時など切羽内作業に

おいて安全を確保する必要があった。本施工ではフットパイル注入材としてウレタン系注入材を使用したところ、写真-3に示すように脈状に注入され、掘削面の肌落ちや崩壊を防止することができた。

以上より、今回、フットパイルおよび早期閉合を併せて採用することにより、沈下抑制効果としても、また安全面でも確実な施工を行うことができた。

6 おわりに

トンネル掘削に伴い終点側の坑口付近に変状を

きたしたことから、その後の施工に対する安定性判断および法面への影響を最小限に抑える対策工法の検討が命題となった。

そこで、坑口法面の安定性の判断のため、種々の坑内・坑外計測器を追加設置してその後の挙動監視体制(3次元図化によるビジュアル化)を確立し、さらにトンネル上半掘削時の3D-FEM解析

を行い計測値との比較を行った。その結果、下半、インバートの施工法として改良型のフットパイルおよび早期閉合による支保工脚部の沈下抑制対策を行うことにより、無事施工を完了することができた。

これらの検討が、類似した条件下でのトンネル掘削の一助になれば幸いである。

■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>

施工

建築構造物と一体となった地下鉄トンネルのリニューアル

—東京メトロ銀座線 上野通路線改良工事—

東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部工事課課長補佐 小野 孝
東京地下鉄(株)鉄道本部工務部土木工事所土木第四課主任 嶋田 知由
(株)奥村組東日本支社東京メトロ上野工事所監理技術者 宮武 英治
(株)奥村組東日本支社東京メトロ上野工事所現場代理人 三輪 理

1 はじめに

東京地下鉄(株)は、9路線、総営業延長195.1kmの施設を保有している。これらの路線は、1日724万人の方に利用いただき、日本の首都東京の都市機能を支える重要な社会資本となっている。

本工事は、東京地下鉄銀座線における通路線地下構造物のリニューアル工事である。通路線構造物は移設することを想定し、銀座線開業時に仮設構造で築造されていた。戦後、昭和40年代にこ

の通路線を包含する形態で建築構造物(営団別館ビル)が建設された。当該部分は建設から約90年間仮設構造のまま残ったため、改築の必要性が高まった。この通路線構造物と建築構造物の地下部分からなる当該箇所を施工位置図を図-1に、施工箇所全体写真を写真-1に示す。

通路線は車両基地に列車を出入りさせる単線で、車両基地と本線をつなぐ唯一の路線であり、通路線の運転に支障が発生すると本線への影響は大きい。さまざまな対策を施すことで通路線の運転に支障することなく、既設通路線地下構造物(以下



図-1 施工位置図

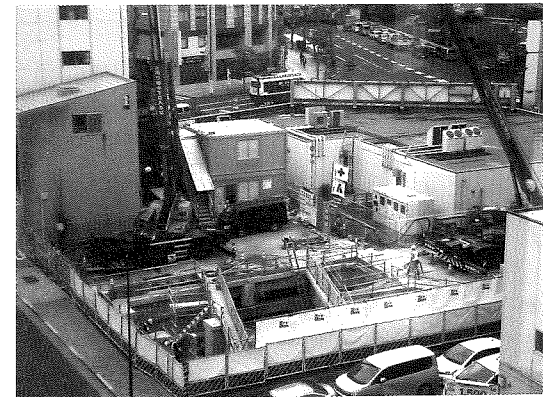


写真-1 施工箇所全体写真

「既設構造物」と呼ぶ)を撤去し、新設構造物を築造した。

本稿では活線での地下鉄トンネルのリニューアル工事について、運転支障防止対策を中心に報告する。

2 工事の概要

2-1 工事概要

本工事において新たに築造する地下構造物の延長は13.6mで、レールレベルはGL-6.9mであった。

当該箇所の既設構造物は、銀座線開業当時の通路線構造物とその後構築した建築構造物が一体となっていた。銀座線開業当時の構造物は鋼矢板を側壁とし、道床および上床版は鉄筋コンクリートであった。建築構造物は地上10階建の鉄骨鉄筋コンクリート造で、地上部分は既に解体されていた。地下部分は銀座線開業当時の構造物と一体化していたため、解体ができずにそのまま残置されていた。

本工事は、通路線部分の既設建築構造物ならびに通路線構造物を撤去し、新たな新設構造物を築造するものである。

2-2 施工手順

施工は以下の手順で行った。まず、鉄道活線近接作業に先行して、通路線を防護するための仮設物(以下「通路線防護」と呼ぶ)を設置した。次に、既設構造物を囲うかたちで鋼矢板を打設し、掘削しながら既設構造物を撤去して立坑を築造した。なお、道床コンクリートと下床版は状態が良好であったため、そのまま利用した。立坑の築造後、基礎杭を打設し新設鉄筋コンクリート構造物を築造し、最後に立坑内を埋戻し復旧した。

施工箇所における新旧構造物の横断面図を図-2に示す。

通路線防護は延長16.2mで、建築限界から約45mmの離隔距離とした。銀座線は第三軌条からの送電であり上部に吊架線がないため、通路線防護は門形で道床コンクリートに固定する構造とした。通路線防護の横断面図を図-3に示す。

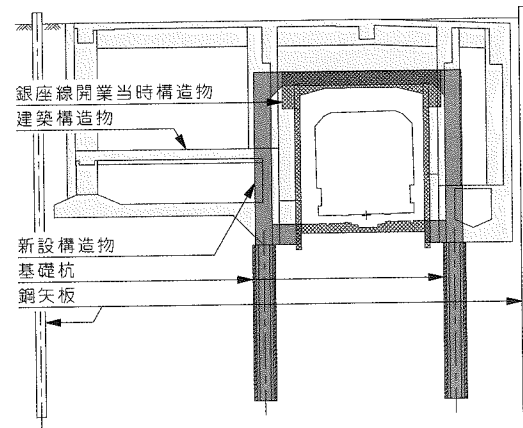


図-2 新旧構造物横断面図

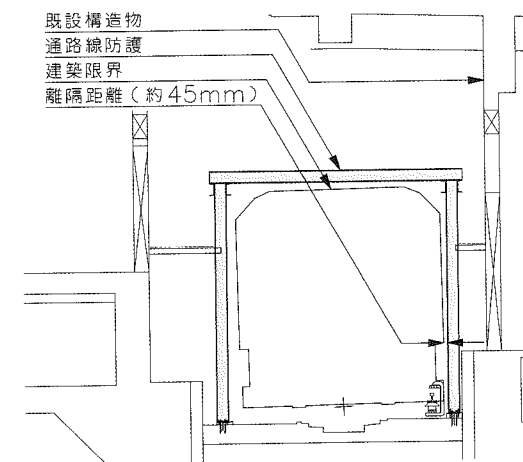


図-3 通路線防護横断面図

鋼矢板を土留め遮水壁とする立坑は、13.2m×17.2mの矩形とした。この立坑内を既設構造物が横断しているため、遮水壁が連続していない箇所が2か所存在することになる。立坑平面図を図-4に、既設構造物横断側の鋼矢板正面図を図-5に示す。

既設構造物は鉄骨鉄筋コンクリート造であり、撤去は主にワイヤーソー、補助的にコアドリル、ウォールソー、コンクリートカッターを採用した。構造物の撤去数量は580m³であった。

新設構造物の基礎杭は、通路線の両側に各14本、合計28本の場所打ち杭とした。基礎杭は径が800mmで、長さが5.5mの接点柱列配置とした。なお、杭は構造物の撤去が完了しなければ施工できないため、立坑床付け後の施工となった。

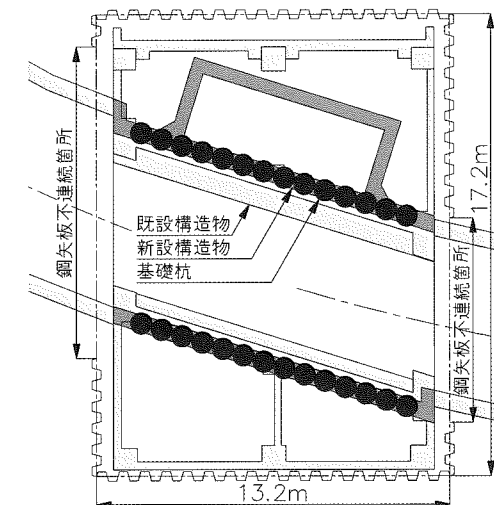


図-4 立坑平面図

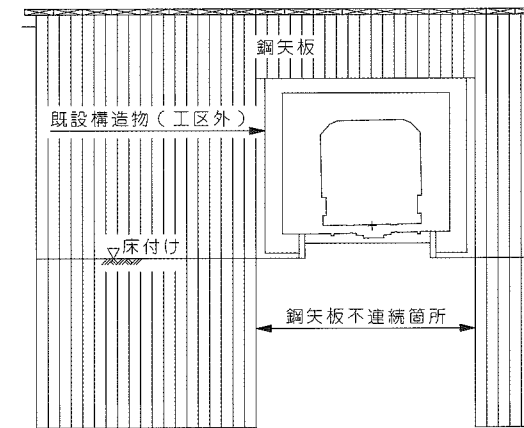


図-5 鋼矢板正面図

3 鉄道活線近接工事における課題

本工事の特徴は、地下鉄の活線における構造物のリニューアル工事である。したがって、運転支障を防止するために以下の課題があった。

課題1：列車運転終了後のき電停止時間内で行う通路線防護設置作業が遅延し、運転支障を発生させるおそれがある。

課題2：通路線防護と建築限界の離隔が約45mmと近接しており、支柱などが建築限界を侵し、運転支障を発生させるおそれがある。

課題3：地下水が立坑から通路線内に流入し、運転支障を発生させるおそれがある。

課題4：既設構造物撤去の際に切断塊を落下させ、運転支障を発生させるおそれがある。

課題5：新設構造物の場所打ち杭打設時に地盤変状を生じさせ、運転支障を発生させるおそれがある。

4 リニューアル工事における通路線の防護

4-1 通路線の防護

通路線防護の構造は延長16.2mで、主にH形鋼(200mm×200mm)で支柱および梁などの骨組みを構成し、それに防護板として鋼板(6mm)を張付ける構造とした。通路線防護設置状況を写真-2に示す。

通路線防護の設置は建築限界内で行う作業のため、1日約2時間30分のき電停止時間内で行う必要があった。き電停止時間内で片付け、作業終了点検、退場を完全に終わらせなければ、通路線の運転に支障する。遅延が絶対に許されない条件のため、作業開始から退場までの作業をどのようにして確実に効率よく行うかが課題であった。

さらに、既設構造物内部は狭隘で、構造物内に通路線防護を設置すると、支柱と建築限界の離隔距離はもっとも狭い箇所約45mmであった。そこで、建築限界を侵さないために、どのようにして施工誤差を最小にするかが課題であった。

4-2 通路線防護設置作業の効率化

4-2-1 プレントロリの使用

通路線防護設置作業において、坑内の材料運搬と組立てを効率よく行うためにレールを走行する吊下げ治具であるプレントロリを使用した。プレントロリおよびチェーンブロックを写真-3に示す。

既設構造物内には、通路線防護の材料を組立て箇所に仮置きすることができなかった。そのため、使用する材料をその都度運搬し、組み立てることとした。構造物内は狭隘で重機を使用することは不可能で、チェーンブロックや台車を使用した人力作業となる。チェーンブロックで構造物内に搬



写真-2 通路線防護設置状況



写真-3 プレントロリおよびチェーンブロック

入後、台車で組立て箇所へ移動しチェーンブロックで組み立てる方法は、チェーンブロックの掛外しの高所作業や第三軌条近くでの材料の扱いが多く発生する。

対策として既設構造物にH形鋼(100mm×100mm)を軌道と平行に2列固定した。これらをレールとしてプレントロリ(定格荷重0.5t)をそれぞれに取り付け、これらのプレントロリにチェーンブロック(定格荷重0.5t)を吊り下げようとした。これにより、吊上げと坑内の移動を一つの作業工程で行うことが可能となった。材料の吊上げ運搬作業状況を図-6に示す。

チェーンブロックは毎日の作業開始時にプレントロリに掛け、作業終了時に取り外した。これにより、掛外しの作業が1日1回となり、チェーンブロックの掛外しに伴う高所作業を削減できた。また、チェーンブロックで構造物内に搬入し、吊

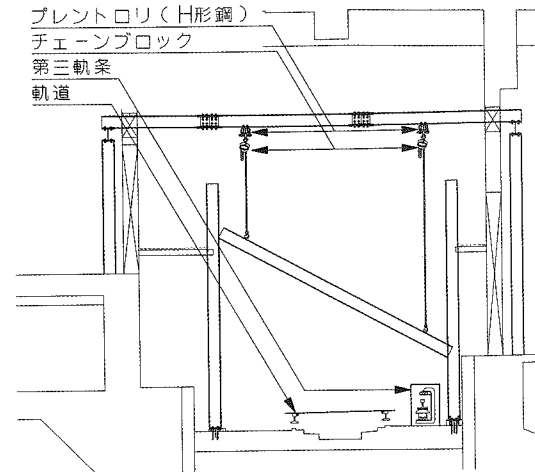


図-6 吊上げ運搬作業状況

り上げたままプレントロリで移動するので軌道近くでの材料の取扱いが減り、第三軌条への接触の危険性も低減できた。

4-2-2 位置出しプレートの採用

支柱の組立てを効率よく、さらに精度よく行うために、支柱の下部に位置出しプレートを配置した。位置出しプレート設置状況を写真-4に示す。

通路線防護の支柱は、既設道床コンクリートに2本のケミカルアンカーを打設し固定する構造であった。そのため、ケミカルアンカーの削孔位置を道床コンクリート上に墨出しする必要があった。既設構造物内部は狭隘なうえ鉄道設備が配置されており、測量が効率よく行える条件ではなかった。また、既設道床コンクリートの表面は不陸があり、測量で位置を出すには不陸整形や清掃を行う必要があった。

対策として位置出しプレートを採用した。位置出しプレートは6mmの鋼板で、あらかじめ支柱の位置を出しケミカルアンカーの箇所を削孔しておくことで、道床コンクリートへのケミカルアンカー削孔時は測量することなく作業が行えた。既設構造物内に搬入するため、1枚の位置出しプレートの長さは4.0m未満となったが、支柱5本分のアンカー位置を示すことができた。

これにより、ケミカルアンカー打設位置の測量作業を大幅に減らすことができた。さらに、アンカーの打設精度が向上することで、支柱の設置精

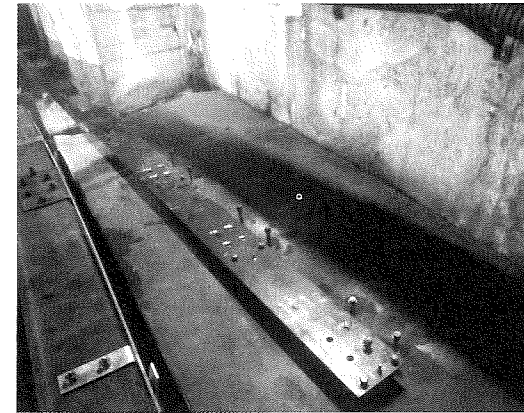


写真-4 位置出しプレート設置状況

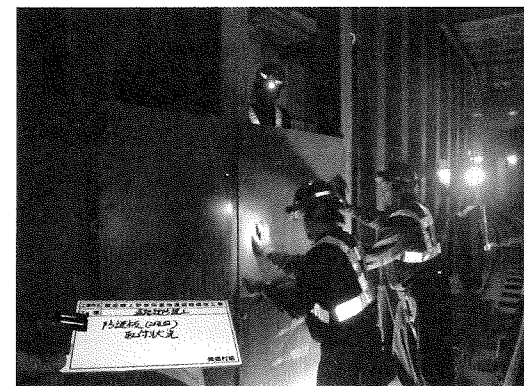


写真-5 防護板取付状況

度が向上した。

また、この位置出しプレートはレベル調整機構も装備しており、支柱の高さ調整も省力化できた。

4-2-3 ボルト固定の採用

骨組みへの防護板の取付けを効率化するために、ボルトによる固定(以下「ボルト固定」と呼ぶ)を採用した(写真-5)。ボルト固定は全面溶接に比べて作業速度が速く、火気を使わない利点があった。

通路線防護の防護板を支柱などの骨組みに、防護板1枚あたり4本のボルト(M-16)で固定する構造とした。ボルト固定は溶接に比べ作業が速いうえ、溶接作業の場合に毎日30分程度かかる作業終了時の残火確認を省略することができた。ボルト固定の作業速度は、溶接固定に比べて約2倍となった。

位置出しプレートの採用により精度よく骨組みが組み立てられていたこともあり、骨組みと防護



写真-6 支柱上部固定状況

板間のボルト孔のずれもなく円滑に取り付けることができた。防護板取付け後は、止水性確保のため防護板の全周にシーリングを行った。

4-3 通路線防護設置作業の建築限界管理

4-3-1 支柱の固定

支柱は道床コンクリートにケミカルアンカーで固定されているが、毎日の作業終了時は上部も既設構造物に固定した。支柱上部固定状況を写真-6に示す。

通路線防護の骨組みを組み立てる過程で支柱が単独で建つことになり、通路線内の列車風により支柱が揺動し建築限界を侵すおそれがある。

対策として作業終了時に単独の支柱があるときは、上部を等辺山形鋼で隣り合う支柱と接続するとともに既設構造物に固定した。これにより、組み立てる過程においても、支柱が揺動することなく堅固な状態を維持することができた。

4-3-2 建築限界離隔距離の確認

通路線防護と建築限界の離隔距離は約45mmと狭く、施工誤差により建築限界を侵すおそれがあった。そのため、新たに骨組みを設置したときは建築限界に支障していないことを確認したうえで作業を進める必要があった。建築限界確認状況を写真-7に示す。

対策として建築限界定規による確認作業を徹底した。建築限界定規は当該箇所の軌道曲線に合わせ拡大したものを作成した(写真-8)。さらに、建築限界支障の有無だけでなく、建築限界からの離

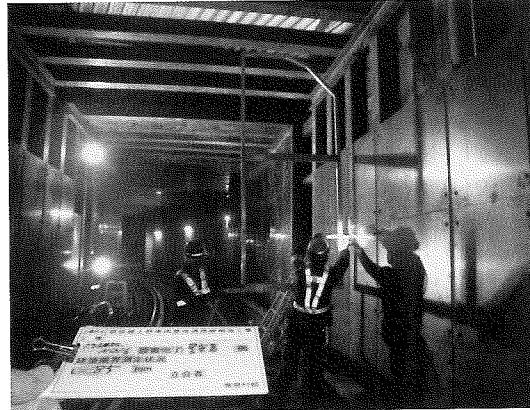


写真-7 建築限界確認状況

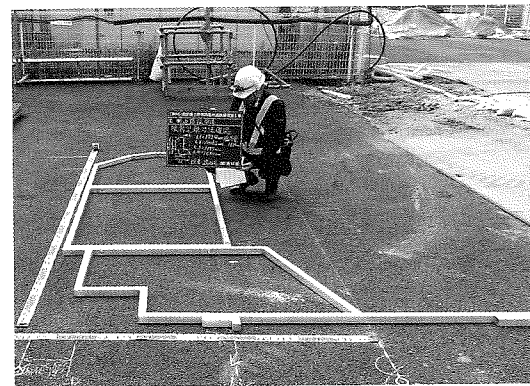


写真-8 建築限界定規

隔距離も測定した。測定結果は建築限界チェック表に記録し関係者で共有した。

離隔距離を記録することで、工事の進捗状況による通路線防護の変動をきめ細かく管理することができた。

5 通路線への地下水流入防止

5-1 立坑築造(構造物撤去)

立坑内に既設構造物が横断しており、既設構造物下部は遮水壁である鋼矢板が不連続であったことから、床付け面より高い位置に存在する地下水が立坑内に流入するおそれがあった。そのため、通路線への地下水の流入対策をどのように行うかが課題であった。

5-2 ディープウェル工法の採用

対策案として薬液注入工法、高圧噴射攪拌工法、ディープウェル工法を検討した。

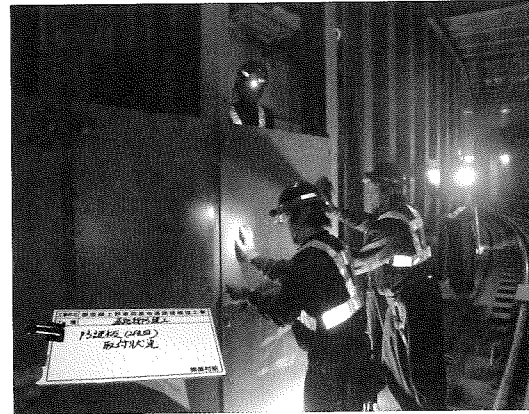


写真-9 構造物内3次元測量

薬液注入工法は道床コンクリートを削孔する必要があるとともに、注入時の通路線隆起の危険性があった。高圧噴射攪拌工法についても道床コンクリートを削孔するとともに、通路線内でスライム処理をする必要があった。

それに対し、ディープウェル工法により地下水位を低下させる方法は、道床コンクリートを損傷させることなく確実に地下水の流入を防止できる。なお、事前の圧密沈下計算の結果、通路線および周辺地盤に有害な影響を与えないことも確認できた。

以上の検討から、ディープウェル工法を採用した。ディープウェルを立坑近傍に2か所設置し、非常電源として発電機を用意した。地下水位低下の確認は、観測井や既設構造物底板に圧力計を設置することで確認した。約400L/minの揚水により床付け面まで地下水を低下させ、立坑内の作業を行った。

立坑作業中、通路線および周辺地盤への影響はなく、計測値に異常値が認められることもなかった。影響の管理は、日常的に行う「通路線地下構造物の沈下管理」「周辺路面の沈下管理」と、詳細管理として行う「構造物内の3次元測量管理」(写真-9)「軌道計測管理」とした。

「構造物内の3次元測量管理」とは、通路線防護の外から構造物内に設置した測点を3次元測量で管理するものである。なお、構造物内の測点は20点設置した。

6 切断塊の落下防止

6-1 構造物撤去

構造物の撤去数量は580m³で、ワイヤーソーを中心とした解体手段を用いて実施した。切断塊は地上に配置した揚重機でダンプに積み込み、切断塊のまま搬出した。切断塊の割付けは工程短縮の観点から極力大きくする必要があり、切断塊落下防止は重要項目であった。

日常的な対策として、玉掛けには吊り治具を使用せず、コアドリルで通し穴をあけ吊り上げた。また、吊り上げた切断塊が通路線上空を通過しないように作業計画を立てた。

通路線の直上および近接箇所での切断・揚重は、き電停止時間内に行った。

切断塊が通路線防護上に落下した場合は、通路線防護の変形や破損により通路線の運転に影響が出る懸念された。銀座線開業当時の構造物と建築構造物が一体となっている箇所については分離のおそれがあるため、詳細に境界面の位置を確認し、切断塊の落下を防止することとした。

6-2 境界面での切断

工事記録により銀座線開業当時の躯体形状を調査し、一体となっていると思われる箇所を確認した。この確認結果から予期せぬ剝離を防止するために、境界面が切断面になるように切断塊の割付けを行った。通路線直上部の構造物撤去状況を写真-10に示す。切断面の下部は銀座線開業当時の通路線構造物であり、上部はその後に構築した建

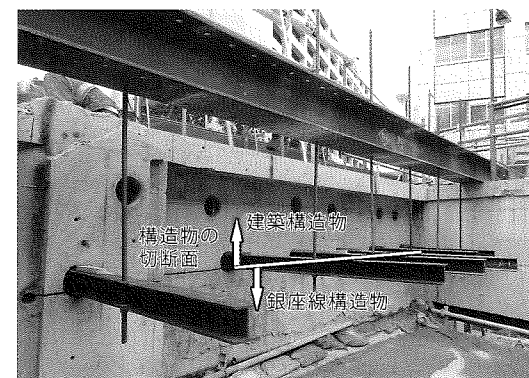


写真-10 通路線直上部構造物撤去状況

築構造物である。

境界面には防水工が施されており容易に剝離する構造であったが、このような対策により切断塊を落下させることなく安全に構造物の撤去を完了した。

7 場所打ち杭打設における地盤変状防止

7-1 場所打ち杭打設

新設構造物の基礎杭打設は立坑床付け面を施工基面としたため、中間杭と通路線防護間の施工幅員が約1.9mと非常に狭大な条件でTBH工法を行った(図-7)。TBH工法は安定液により孔壁を保持しながら機械掘削し、安定液の逆循環により掘削残土を流体輸送する工法である。削孔後は鉄筋かごを建て込み、生コンクリートを打設し、場所打ち杭とする。

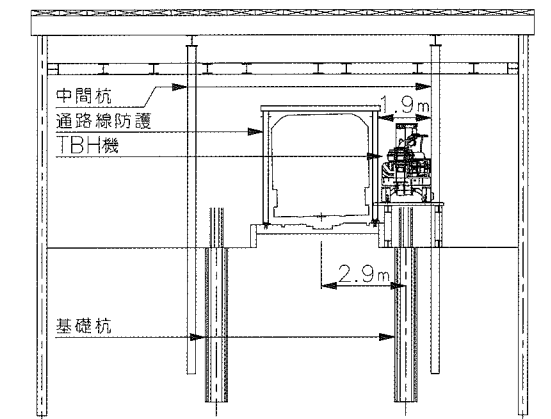


図-7 場所打ち杭横断面図

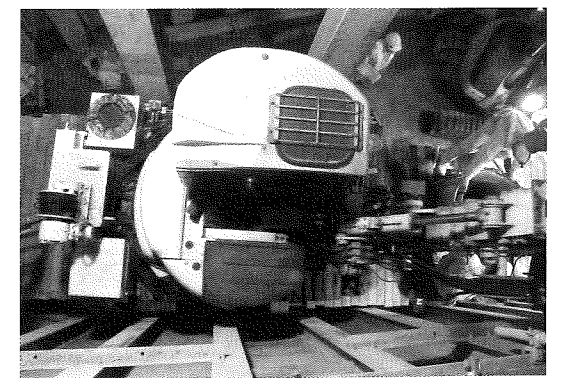


写真-11 TBH機掘付け状況

当工事では小型のTBH機を採用するとともに、リレーボックスやアウトリガーシューなど取り外し可能な部品を取り外して施工した(写真-11)。杭径は800mm、杭長が5.5mであった。基礎杭と通路線の中心離間は、近い箇所約2.9mであり、杭の孔壁が崩壊すると通路線の運転に支障することが懸念された。

日々の対策として場所打ち杭はコンクリートを打設して、毎日の作業を終えるように施工管理した。やむを得ず削孔の途中で作業を終える場合は、流動化処理土を埋戻して作業を終了した。

TBH工法は安定液により孔壁を安定させるが、削孔ビットの振れなどにより杭径は設計より少し大きくなる。基礎杭を接点柱列配置としたため隣接する杭が接しており、杭径より大きくなった隣接する杭を削りながらの削孔となる可能性が高く、削孔に多くの時間を要するおそれがあった。削孔時間が長くなることは周辺地盤に与える影響が大きくなることであり、どのようにして削孔時間を短くするかが課題であった。

7-2 杭削孔箇所の先行置換

対策として場所打ち杭打設に先行して、杭を1本おきに流動化処理土に置換のうえ、置換していない場所打ち杭を先に打設する方法を採用した。

両側の杭を流動化処理土に置換しておくことで削孔ビットの振れを抑止でき、流動化処理土に置換した杭を削孔する際には、先行した杭を削る量が少なくなり削孔時間を短縮することができた。これにより、削孔からコンクリートを打設までを1日のサイクルで完了することができた。

このような対策により通路線および周辺地盤に影響することなく、場所打ち杭の打設は完了した。影響の管理は、日常的に行う「通路線防護変動管理」と、詳細管理として行う「構造物内の3次元測量管理」「軌道計測管理」とした。

8 おわりに

東京地下鉄(株)の路線は、首都東京の都市機能を支える重要な役割を担っており、どの路線においても供用を停止してリニューアル工事を進めることは難しい。

今回の工事では、記述した対策により銀座線通路線の運転に支障することなく、通路線地下構造物のリニューアル工事を安全に完了することができた。

今回の工事にあたって、多くの関係者から協力をいただいたことに誌面を借りて感謝の意を表す。本稿が今後の類似工事の一助となれば幸いである。

土木情報 No. 531 今月の主な入札結果 (7月10日~8月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単 位 百万円
関東地整	東関東築地地区函渠	石井工業	229
〃	〃 四鹿地区函渠その2	日東エンジニアリング	230
〃	〃 その3	新みらい	153.9
〃	〃 その4	細谷建設工業	125.2
中部地整	河津下田道路河津T逆川地区	大林組	4,181
水資源機構	小石原川ダム付替国道1号T	梅林建設	398.2
鉄道・運輸機構	北海道新幹線、渡鳥T(上二股)	清水・岩倉・新谷・高橋JV	12,229.23
東日本高速道路	北陸道正善寺T補強	鉄建建設	555
茨城県	29国補地道第285-3号、地盤改良・竹原農道BOX築造	昭和・クボタJV	282
千葉県	国道道路築造(坂本6号函渠工)	畔蒜工務店	154.5
都・下水道局	江東幹線その3	大豊建設	1,773
〃	港区虎ノ門三丁目、芝公園三丁目付近再構築その2	新日本工業	238.26
山梨県	一般県道高畑谷村停車場線金井T(仮称)建設	天野・山英・秋山JV	1,150
岐阜県	公共防災・安全交付金事業(仮称)宮川2号T	大日本・市川・H・C JV	2,100
鳥取県	R181江府道路宮ノ谷T	三井住友・福井JV	1,172.7
高知県	R493道路災害関連(小島T)	西松・関西新洋西山・東山・大宮JV	2,612.7
東京都都市づくり公社	中野中央地区区画道路築造第3号並びに下水道築造	バンナム	106.84
愛知中部水道企業団	三ヶ峯幹線送水管敷設その2(県補)H29~H32	フジタ	2,199.27
牛久市	29社給交公下第1-2号、下町第三雨水幹線管渠布設	樋口・桂JV	180.56
小山市	横倉第一雨水幹線新設その2	板橋・斉藤・いなばJV	1,020
所沢市	岩岡雨水1号幹線築造	西武・平岩JV	1,048
上尾市	29-2 公共(補)雨水管渠築造	千代本興業	155
横浜市	西部処理区南瀬谷地区下水道整備(その6)	宮本土木	276.06
相模原市	国道413号(仮称)横山T道路改良	入江・防長JV	591
厚木市	H28公下中津川右岸第2排水区幹線8工区	大勝建設	118.55
岡崎市	下水道管きょ築造	飛鳥・朝日・大伸JV	1,539.2
津市	天神ポンプ場(下部土木)築造	日本・東海JV	491.14



セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円

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「セグメントの新技术」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。

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

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 本体価格 4,300円

株式会社 土木工学社

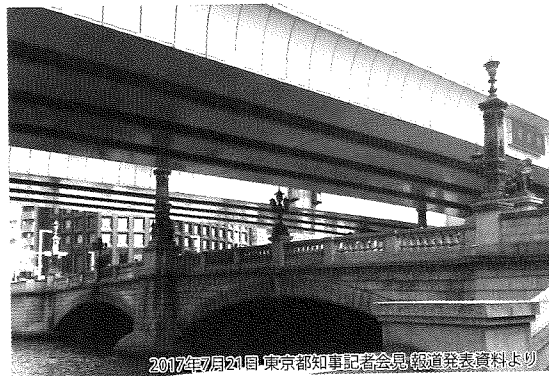
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

トンネルジャーナル

日本橋上空の首都高区間 地下化の検討開始

国、東京都、首都高速道路(株)は共同で、日本橋(東京都中央区)周辺のまちづくりと連携して、首都高速道路の地下化に向けて取り組み、今後、関係者で線形・構造、対象区間などの計画案について検討していくと発表した。

日本橋は1603年に江戸幕府の開府とともに木造の太鼓橋が架橋されたのがはじまりで五街道の起点とされた。現在のものは1911年に作られた2径間の石造アーチ橋で、国の重要文化財に指定されており、その中央には「日本国道路元標」が埋め込まれている。戦後、1964年の東京オリンピック開催に向け、東京都心の交通混雑を解消することを目的に首都高速道路が河川空間などの公共空間を活用して急ピッチに整備されたことに伴い、1963年に日本橋上空に首都高都心環状線が架設された。これについては、国土交通相が会見で、「緊急的に整備された首都高速道路は首都・東京の大動脈として大きな役割を果たしてきたものの、現在の視点からは、既存の河川上空などを無理に活用した結果、老朽化が進む一方で、貴重な水辺空間を消失するなど、都市の景観や快適さを損なうこととなった」と指摘している。



2017年7月24日・東京都知事記者会見(報道発表資料より)

架設から50年が経過した2014年には、首都高速道路が同道の大規模更新計画を発表し、日本橋上空を含む竹橋～江戸橋2.9km区間を約1,400億円かけて上・下部工を撤去・新設する計画としていた。また、2016年には日本橋周辺で検討が進んでいたまちづくりの取り組みが国家戦略特区の都市再生プロジェクトに追加され、東京都では周辺を東京国際金融センター構想の軸として位置づけている。

会見で国土交通相は、工事着手は早くても2020年東京オリンピック以降としている。

建設工事の 保安地質学 〔改訂版〕



土木工学社

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 本体価格6,300円

本書は、多くの人々が『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

第九十三回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

現場管理は 創意と工夫を！

はじめに

私は1973(昭和48)年に大成建設(株)に入社しました。本社での入社後、名古屋支店に配属となり、中央道の駒ヶ根工事で約1か月の研修を受けました。当時、名古屋支店に配属になった10人とは「十駒会」なるものを結成し、定年になった今でも年に2回程度集まって懇親を深めています。

研修終了後、同じ中央道の恵那山トンネル工事に配属となりました。中央西線中津川駅に下車し、迎いの車に乗って山の中を走りながら周りの景色を見ていると、不安と期待が混ざった複雑な気持ちになったことを、今でもはっきりと覚えています。

恵那山トンネルに配属になったことが、私の地下空間人生の始まりでした。その後、高速道路トンネル工事が4現場、鉄道トンネル工事が1現場、発電所工事が海外を含めて3現場、最後に本社勤務となり、42年にわたる会社勤務が

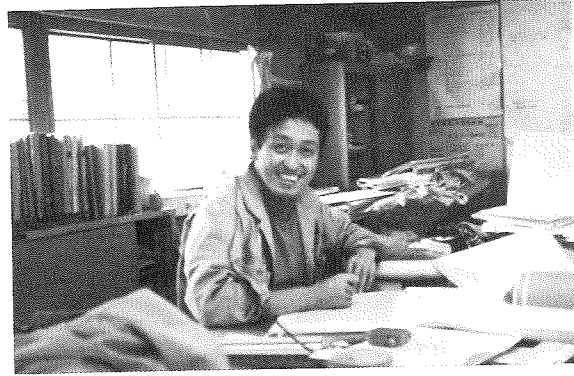
一昨年終了しました。その間、名古屋支店、関西支店、国際支店と3支店の経験しかありませんが、恵那山トンネル、東山トンネルや奥矢作地下発電所などの勤務により、長大トンネル、付加体地山、未固結地山、小土かぶり、大断面など、多種多様なトンネル工事を経験してきました。

この原稿を執筆するにあたり、私が実践してきた現場管理の「創意」と「工夫」を述べさせていただきたいと思います。現場管理とは一般的に品質管理、工程管理、原価管理、安全管理と言われていますが、それに加え発注者対応、地元対応、企業体対応、自己啓発、若手社員の教育も現場管理を行ううえで大事な要素になります。すべてがうまくいったわけではありませんが、皆様の参考にできれば幸いです。

恵那山トンネル一期線工事

恵那山トンネルは、岐阜県中津川市～長野県伊那郡阿智村にある、

端
則夫
(元)大成建設(株)

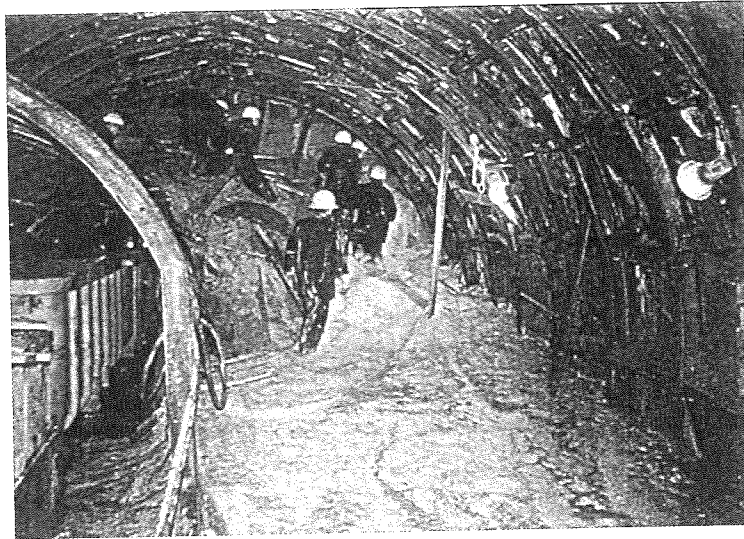


恵那山トンネル作業所現場事務所での筆者

著者略歴

- 昭和48年 4月 大成建設(株)入社
- 昭和48年 5月 日本道路公団中央自動車道恵那山トンネル工事
- 昭和51年 11月 中部電力(株)奥矢作発電所工事
- 昭和54年 4月 インドネシア・アサハントンガ水力発電所工事
- 昭和58年 4月 日本国有鉄道福知山線第二名塩トンネル工事
- 昭和60年 7月 中部電力(株)新上麻生発電所工事
- 平成 5年 10月 日本道路公団東海北陸自動車道名血部工事
- 平成 8年 10月 名古屋道路公社東山トンネル(植田山区)工事
- 平成11年 4月 土木本部土木技術部トンネル技術室
- 平成27年 12月 大成建設(株)退社

延長8,489mの高速自動車道トンネルであり、担当工区は中津川方4,231mでした。地質は、飯田方は花崗岩、中津川方は濃飛流紋岩が主体でした。掘削工法は、坑口より400m区間は側壁導坑先進工法、それ以降は底設導坑先進工法で当初計画されていましたが、阿寺断層の派生断層の影響もあり、全線側壁導坑先進工法に変更されました。運搬はレール方式で、電車に乗って入坑するという初めての経験をし、とても衝撃的でした。



恵那山トンネルでのカッパを装着しての作業

名古屋支店で恵那山トンネルの辞令を渡された際に、トンネルはあと500mなので、すぐに終わると言われましたが、それから3年あまり現場にいることとなりました。現場に到着するや否や、ヘルメット、長靴、軍手、耳栓、防塵マスクと分厚くて重い雨カッパを支給されました。毎朝、坑外の現場見張りで雨カッパを装着(まさに右写真のような感じ)し、入坑しました。所長には、入坑する際は、1年間は必ず先輩が専門工事業者の作業長と同行するように釘をさされました。

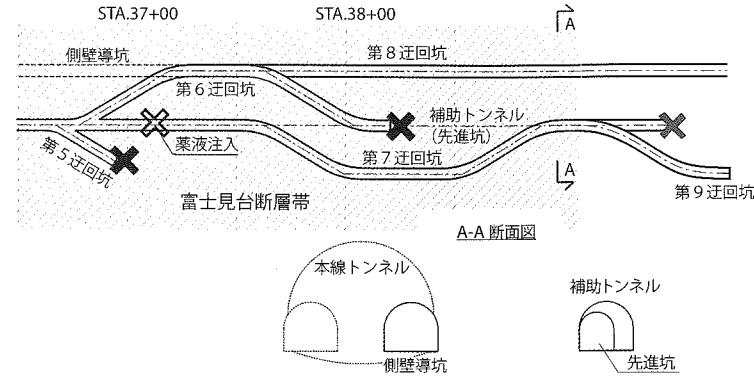
私の担当は本坑ではなく補助ト

ンネルであり、当工事の最先端でした。中津川方の断層は七十数箇所、それに起因する切羽崩落災害は二百数十回あり、そのうち実に90%以上が補助トンネルでの出来事でした。その対策として水抜きボーリングの実施と迂回坑掘削工法が採用されていました。配属当時はまさに第9迂回坑の掘削中でした。次頁左上に迂回坑設置例を示します。

補助トンネルの掘削は、ほぼ全線にわたり、各断面1~2本の水抜きボーリングを施工していま

た。当時は機械式のボーリングマシーンが一般的でしたが、恵那山トンネルでは途中からビューラという当時最先端の空圧式のマシンを採用することになりました。次頁表に穿孔実績を示します。

あとで聞きましたが、このビューラは、本誌編集参与の大島洋志氏が国鉄下関工務局の若宮工事区長時代に大量の高圧湧水で難航していた山陽新幹線福岡トンネルで採用したのが国内最初だったということです。鉄道トンネルと道路トンネルの技術は横でつな



恵那山トンネル 迂回坑設置例

恵那山トンネル 水抜きボーリング施工実績

工種	全穿孔長 (m)	穿孔本数 (本)	平均穿孔長 (m)	補助トンネル1m当りの ボーリング長(m)
水抜きボーリング	9,171	332	28	2.2

がっていることを知り、感慨を覚えました。

しかし、当機は穿孔能力は抜群でしたが騒音がひどく、当機を担当したお陰で「内緒話ができない端さん」と冷やかされるほどになってしまいました。

ある日、作業長と2人で補助トンネルを先進坑切羽に向かって歩いていたら、「先進坑切羽で何かが起きているので急ごう」と言われました。私は、先進坑の500m手前での、その発言にびっくりしました。何かが起きていると、どうしてわかるのかと聞きました。彼は下を指さしながら、「湧水がさっきまでは濁っていなかったが今は濁っている」と言いました。切羽に行ってみると、はたして切羽が崩落していて作業員の方がその対処に大忙しの真最中でした。結論を聞くと簡単ですが、新入社員に毛が生えた程度の私には、見えませんでした。まさに「見えても見えず」とはこのことだと

気づかされました。このときが、現場で観察眼を磨き、「早く一人前の技術者になる」と思った瞬間でした。

朝から晩まで、ほとんど坑内での生活でした。切羽近くの休憩所で弁当を食べ、二日酔いの朝はコンプレッサー室やセントルの上が休憩所に早変わりしたものでした。その際、近くで働いている坑夫さんに多くのことを教えてもらいました。こうしたことが、自分の成長に大いに役立ったと思います。

新入社員の主な業務の一つに、測量があります。狭い先進坑にトランシットを据え、電車が通過する合間に日常測量を完遂させます。当時は、今のような優れた測距器というものはなく、50mテープの盛り替えです。

測量に絶対的な自信(?)があっても、貫通が迫ってくると夜も眠れなくなります。現場にいますと、反対工区側の削孔音がどこからともなく響いてきます。それが予定

外と思われるような位置から聞こえてくるように感じると、不安感がさらに高まります。相手側の削孔のノミ先が、切羽の所定の位置につき出てくるのを確認すると全身の力が抜けてホッとします。

この現場で学んだ測量についての注意事項を少し述べます。「ピッタリ」とはどのレベルを言うのでしょうか。10mm/1kmの誤差であれば実用上問題はないと思われませんが、実は「ピッタリ」といえない事例も結構あるのです。まずは、勘違いです。設計図は常に起点側から見た図面となっています。起点側からの右カーブは終点側から見ると左カーブであり、左右を振り間違ふ事例もあります。交換パトロールで反対工区に行ったときに箱抜き位置が左右反対だったことがあります。幸いにも早く気が付いて事なきを得ましたが、道路トンネルの場合には、トンネル中心と道路中心が一致しない場合が多く、この場合も終点側から掘る場合はミスを起こしやすいので注意が必要です。

また、単純な測量ミスは論外として、坑口のトンネル基準点は工事用の重量車両が行き来しますので、振動や極端な場合に踏まれて移動することがあります。地震では大きな変位が出ますが、凍上や霜柱によっても基準点の変位します。坑内の基準点もわかりずらく、とくに先進坑の場合は地山の変位はもとより、レール工法を採用していましたが、地ダボではなく、天ダボを設置しなければならず精度に問題が発生します。したがっ



恵那山トンネル開通前に数本の桜を記念植樹

て、相当の頻度で坑口の基準点からの基本測量で確認する必要があります。

開通式が目の前に迫った時期に、所長の発案により職員全員で坑口の上部に桜を数本植えました(写真)。今から数年前に現地を訪ねたところ、その桜は、大木に成長しており見事な花を咲かせていました。小生も桜とともに成長できたかは甚だ疑問ですが、苦労した現場に何か記念碑を残すのは大切なことかもしれません。

トンネル貫通点で破碎された岩石を、「安産岩」と言い、わが子や孫の無事な出産を祈願する縁起物として大切に保管されます。私も、ずっと恵那山トンネルの貫通石を大事に保管していて、娘が初孫を出産する折にお守りにとプレゼントしました。

新上麻生発電所工事

飛驒川は古くから電源の開発が進み、現在百万kW以上の発電設

備があり、中部地方における電源の宝庫と言われています。

新上麻生発電所は、中部電力(株)により既設の名倉ダム調整池内に設ける取水口から、延長約10.9kmの導水路トンネルで発電所まで導き、88.5mの有効落差を得て、最大出力61,400kWの発電を行うものです。

この工事は6工区に分割されており、当社は導水路トンネル部の4工区(4号下口トンネル、延長L=3,362m)を担当しました。このうち、とくに3工区(牧横坑)~4工区(洞野横坑L=167m)間のトンネル延長は6.4kmの長大トンネルであり、新上麻生発電所工事全体のクリティカルパスとなり急速施工を余儀なくされました。

さらに、地元からの工事に対する制約が種々ありました。

- ・洞野横坑全区間と本坑L=500mまでの発破時間は7:00~20:00
- ・ずり出し作業は7:00~18:00
- ・今ではトンネルの施工もマニユ

アル化が進み、本を開けば「ジャンボはコレですよ、ずり出しはコレを使いなさい」と書いてあります。サイクルタイムや月進は、その結果として算出されるもの、となっています。新上麻生では「200m以上の月進を確保しよう」と、まず目標とする月進を打ち立てました。そして「そのためにはどのような機械編成とすればよいのか」と計画を組み立てていきました。急速施工の両輪は、「サイクルタイムの短縮」と「長孔発破」です。それぞれの施工計画の概要を示します。

■穿孔設備とずり出し設備の検討

1発破進行は最長で4.0mとしました。月進200m以上を確保するためには、1日2サイクルではダメです。3サイクルは回せるように計画しなくてはなりません。したがって、「1サイクルを420min(7h)に収めるように」これが命題です。サイクルに占める時間割合を、穿孔発破作業:40%、ずり出し作業:40%、支保作業その他:20%として、穿孔設備やずり出し設備に求められる機械性能を決めていきます。

穿孔設備(ジャンボ)の決定

穿孔時間には、420min×0.4~60min(装薬・発破・換気など)≒100min使えます。穿孔長を4.5mとし、穿孔数2.5孔/m²×31m²≒78孔として、ノミ下がりには4.5m×78孔÷100min≒3.15m/minが求められます。油圧削岩機1台のノミ下がりが1.2m/minなので、油圧削岩機の台数は3.15m/min÷1.2m/min≒3台必要

です。

31m²の断面で長孔穿孔(L=4.5m)を行うには、芯抜きはバーンカット工法を採用することとなります。バーンホール2孔を穿孔するために約40min費やすため、バーンホール用に削岩機が1台必要となります。したがって、油圧削岩機は合計4台となります。さらにロックボルト専用の削岩機を1台追加しました。ジャンボの形式は、ガイドシェル長が6.5m必要となり、小断面のため、ほかの機械と入替えが可能なガントリー式としました。

ずり出し設備(積込み機械)の選定

ずり出し時間には、420min×0.4~40min(コンクほか)≒130min使えます。1発破ずり量は31m²×4m×1.7≒211m³なので、積込み能力は211m³÷130min≒1.6m³/min≒96m³/h必要となります。積込み可能機種としては、

- ・RS200ロッカーショベル
- ・バケット容量1.0m³, 120m³/h
- ・CAT963サイドダンプ式トラクターショベル
- ・バケット容量1.8m³, 150m³/h

が考えられますが、両者の比較として

〈RS200〉

長所

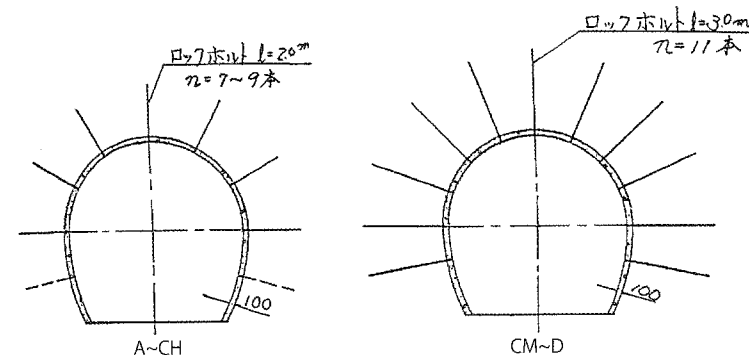
- ・エア一式であり燃料費不要(電力支給)。
- ・排気ガスがなく換気設備が縮小可能。

短所

- ・工事の実績が少ない。
- ・トンネルセンター上でずりの積込みを行うため、ほかの機械に

岩盤分類と1掘進長

支保工標準パターン	砂岩が主体	砂岩+粘板岩 粘板岩	チャート 主体	チャート +粘板岩
A~B	3.0~4.0 m		3.0 m	
CH	2.4~3.0 m	3 m	2.5~3.0 m	3.0 m
CM	2.4 m	2.4~3 m	2.0 m	2.5~3.0 m
CL		2.0 m		2.0 m
D				



標準支保パターン

入替えが困難。

- ・鋼車を1台ごと入替えなければならない。
- ・隅踏前のずり処理が困難。
- ・切羽面のコンクが一部に限られる。

〈CAT963〉

長所

- ・他の機種との入替えが容易。
- ・連結したままの鋼車で積込み作業が可能。
- ・隅踏前のずり処理が容易。
- ・切羽面、天端面のコンクが可能。

短所

- ・燃料費が必要。
- ・排気ガスがあり換気設備が必要。
- ・機械の維持費増大。

から、急速施工の面からCAT963を採用しました。

このように、ジャンボや積込み機の仕様を、目標とする月進から導き出していきました。

■岩盤分類と標準支保パターンの設定

さて、長孔発破の機械編成は計画できましたが、いかにして安全性を確保するのかという課題がまだあります。どのような地質であれば、何mの長孔発破まで許されるのか。安全性を保ちつつ長孔発破の採否を検討するため、当トンネルの1掘進長と標準支保パターンは、パートのQシステムと電研式岩盤分類を併用し決定



新上麻生発電所工事での労働大臣進歩賞表彰(筆者左)

することにしました。Qシステムの採用理由を下記に示します。

- ・新愛本トンネルでの使用実績が良好であり、類似した岩盤である当トンネルにおいても適用しやすい。
- ・当該地質は中硬岩が主体であるが、層理・節理が発達しており、ジョイントの状況が正確に把握可能であった。
- ・層理・節理を基準として、地山の特性が把握しやすい地質であった。

さらに、岩盤を砂岩主体、砂岩・粘板岩互層、チャート主体、チャート・粘板岩互層の4タイプに分類し、各々について1掘進長およびQ値の範囲を決定しました。前頁の表に岩盤分類と1掘進長を、図に標準支保パターンを示します。

この支保パターンは、新愛本トンネルでの施工実績をもとに、先行した洞野横坑掘削や導水路掘削

初期に改良を加えて確立したものです。

以上を踏まえた結果、導水路トンネルの進捗は、

- ・平均月進220m
- ・最大月進346m
- ・最大日進15.7m

を記録し、無事工程を確保することができ、労働大臣進歩賞を拝受という名誉をいただきました(上写真)。

東海北陸自動車道名田部工事

東海北陸自動車道平山トンネルは大和ICから白鳥IC側へ約4km北上した長良川の右岸に位置し、標高315~350mの山腹を通過する延長1,413mの暫定2車線トンネルです。掘削は北側坑口からの片側施工です。

地質は中古生層の「美濃帯」からなる、砂岩・粘板岩・チャートの互層、いわゆる付加体でありま

す(当時この概念は広く知られてはおらず、小生も知りませんでした)。とくにチャートの岩体は亀裂が多く全体的に空隙が多い状態を示していました。

約600mの明かり工事区間は、乗込み後すぐに着手が可能でしたが、坑口付近は、用地の買収が遅れており、掘削開始は6か月後でした。この現場で初めて所長を拝命し張り切っていた矢先のことでした。

坑口付けができないこの時期、事前に発注者から付与された何冊もの地質報告書を、時間をかけ隅々まで目を通しました。さらに、若手を引き連れて両坑口間の地表踏査を実施しました。坑口直上の地質調査ボーリングの結果に唾然としました。踏査時は枯れていましたが、ボーリング時には毎分60~70Lの自噴湧水があり、地山の多量の地下水が貯留されている可能性があること記載されていました。この地下水が被圧されていた場合、トンネル掘削により、突発湧水の発生が懸念されます。そのことは、坑口付けが遅れていることに加え、トンネルの掘削工程に多大なる影響を及ぼすこととなります。

私は、道路公園の工事長にその結果を報告するとともに、対策会議の開催を提案しましたところ、幸いにも対策会議開催の了解を得ました。対策会議のメンバーには、私の新入社員当時に恵那山トンネルの道路公園所長をされていた故長友茂樹氏がおられ、長友先生に紹介されて初めて大島洋志先生にお会いしました。先生方のご指導

により、まず300mの長尺水抜きボーリングを実施し、その結果を踏まえ500mのボーリングを追加することが決定しました。

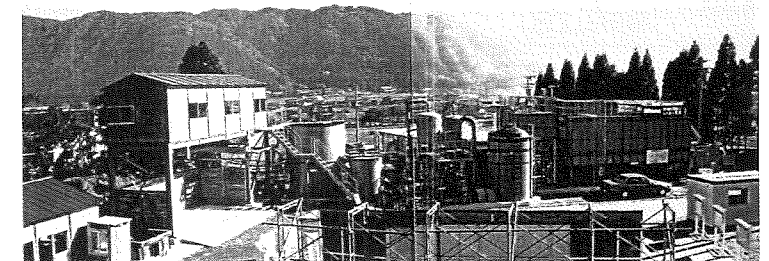
ボーリング掘削中の湧水は、破砕帯を破りチャート層に入った時点で湧水圧、湧水量が急激に増大し、最大値は湧水圧が6.4kgf/cm²、湧水量が2.5m³/minを記録しました。最大湧水量はビット交換時に7.2m³/minを記録しました(右上写真)。なお、湧水は赤褐色の濁水であるため、300t/hの濁水処理設備と1,250m³の調整池を増設しました(右中・下写真)。調整池の周りには立入り禁止柵を設置しましたが、正月明けに現場を巡回したところ、水面に半分凍結した狸が横たわっておりゾーとした記憶があります。直ちに柵を嵩上げしました。

トンネル掘削前に坑口からの長尺水抜きボーリング(300、500m)の実施により、坑口から400mのチャート主体の区間では、地下水位の低下が図られ、湧水による掘削への支障はなく、それ以奥の砂岩・粘板岩互層の区間は、短尺の水抜きボーリングを実施することにより安定した進捗が確保できました。

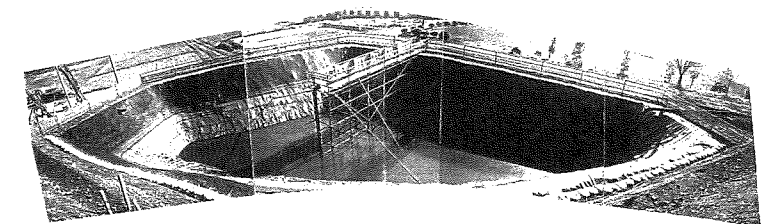
幸いにも、トンネル掘削着手時期が約半年遅れたことにより、地質・地形の把握はもとより、過去の調査記録を詳細に検討することが可能となり、事前の対策工を立案し実施することができました。その結果、トンネル掘削前に地山の水位低下を図ることが可能となり、トンネル掘削の進捗が確保さ



ボーリング状況



濁水プラント全景(処理能力300t/h)

濁水調整池全景(最大貯水量1,250m³)

れました。

この現場に乗り込んだ際に、今まで考えていた新たな取組みを実施しました。それはラジオ体操終了後、全員が事務所に集まり朝会をすることでした。コーヒーを啜りながらです。所長をはじめ全員がその日の予定などを述べます。

・所長：今日は午後から支店に行きます、その際は次席〇〇さ

んに統括管理などの所長の代行をお願いします。

・職員A：今日は朝から覆工コンクリートの打設です。〇〇時に発注者の立ち合いがあり、その後プラントへ行き強度試験に立ち合います。生コン車が9時に到着し、総打設量は〇〇m³の予定です。

・職員B：今日から足場を組立て

まず、作業主任者は〇〇さんです。関係する労働安全衛生法や社内基準を説明する。すなわち担当職員によるOJTの実施です。このことは、所員全員が発注者、地元、企業体、連業者などの情報を共有することが大事だと思い、始めたことでした。また、新しい業種に取り掛かる際は、法律違反がなく、安全に作業に取り掛かれるように、所長を含め全員が勉強しスキルアップを図るためでした。

名古屋道路公社東山トンネル (植田山工区)

名古屋高速道路高速1号線は名古屋市を東西に横断する約17kmの高速道路であり、名古屋の東西交通の新たな幹線道路となっています。東山トンネルは、名古屋市東部の閑静な住宅街で、市民の憩いの場所である東山動物園や名古屋大学のある東山丘陵地を通過する片側2車線で、延長約2.6kmの2つの並行したトンネルで、上下線とも100m²を超える大断面ト

ンネルです。

この東山トンネルのうち植田山工区は、緑橋換気所からトンネル発進坑として利用する2号立坑に至る、上り線457m、下り線433mのトンネルを構築する工事です。

植田山工区の地形は東山丘陵と呼ばれる海拔50m前後のなだらかな丘陵地です。その東山丘陵地の地質は新第三期鮮新世矢田川累層に属する未固結の砂質土層と、比較的固結度の高い粘土土〜シルトの互層です。とくに2号立坑坑口付近ではシルト・粘土層に挟まれたN値20の砂層が上半部に存在し、その細粒分含有率は一部10%以下を示していました。

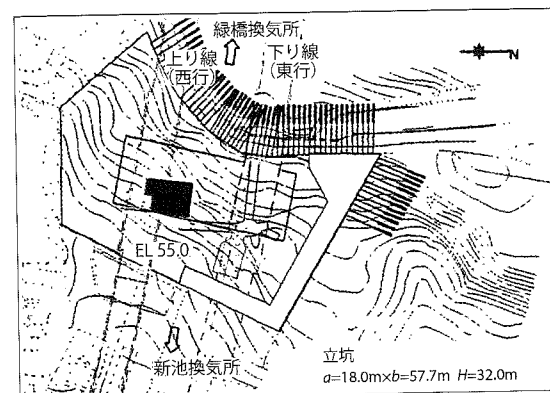
この工事は、私にとって初めての都市部山岳トンネルの施工でしたが、今回は立坑の縮小に伴う、立坑近傍の施工計画について述べます。

用地の関係により、現場乗込みから実に18か月の長きにわたり工事待機を命じられました。この作業用地には下図に示すように、当初立坑(a=18.0m, b=57.7m,

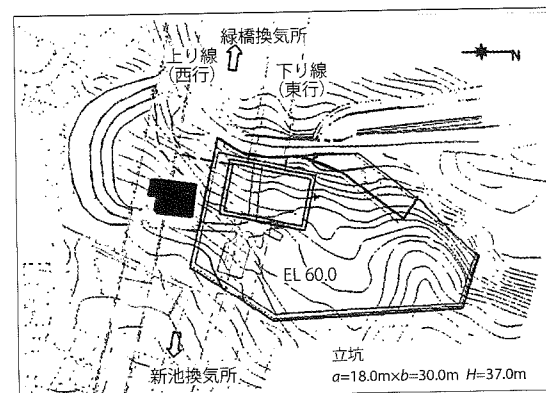
H=32.0m)の大きさは上り線・下り線の2本のトンネルを包括するように計画されていましたが、住居がまだある中での施工のため、同図右に示す変更案のように立坑の大きさを(a=18.0m, b=30.0m, H=37.0m)とし、長さを27.7m縮小しました。それに伴い工事用進入路の変更(北側→南側)と施工基盤高さの変更(EL=55m→EL=60m)が生じました。

当工区の最大の課題は、立坑が小さくなったことにより、下り線トンネルは立坑内からの掘進は可能ですが、上り線トンネルは、連絡坑を介しての施工を余儀なくされたということです。立坑は連続地中壁で計画されていましたが、施工数量が少なくなったとはいえ、それに伴って作業ヤードも狭くなり、同時に稼働できる重機のセット数が減ったため、連続地中壁の工程は大差がありませんでした。工程短縮の施策は立坑内の掘削をいかに早くするかと、上り線トンネルの掘削工程をいかに確保するかということです。

当初設計案



変更案



立坑ヤード(当初設計案と変更案)

■立坑の施工

工期の短縮、施工性および安全性を検討し下図に示すように、立坑下部を鋼製切梁工からグラウンドアンカー工に変更しました。地中連続壁を構築したのち、立坑内部の掘削を開始しました。上部支保工4段目までは中間杭および鋼製切梁支保工にて施工し、下部5段以降はグラウンドアンカーにて支保を行いながら立坑内を順次掘削し、掘削完了後底盤コンクリートを打設しました。

立坑の掘削に伴う湧水の対処するため、立坑内の地下水をディープウエルにより強制的に排水し地下水位を低下させました。底盤コンクリートを打設後、立坑下部を下り線の3段ベンチに対応可能な構造のトンネル発進架台を組立て、覆工板などで路面覆工を行い一部資材のストックヤードとして利用しました。

■立坑からの上り線の施工

地形・地質特性により本トンネルの施工上の主な留意点を下記に

示します。

- ・立坑付近では土かぶり厚さが2D以下で民家の一部が主動崩壊面内に存在。
- ・軟質あるいは未固結状態の堆積地山内に施工する大断面NATM。
- その結果、
- ・地表面の沈下防止
- ・トンネル自身の沈下防止
- ・トンネル天端上方地山の緩みの拡大と切羽崩壊の防止が施工上の留意点でした。

一般的に粘性土地山がトンネル支保の脚部にある場合は、トンネル全体の沈下を抑制する対策が必要であり、天端に砂層がある場合には、天端や切羽からの崩壊や緩みを防止することが重要であります。

大断面掘削工法においては、ベンチカット工法と側壁導坑などの加背分割り工法に大別されますが、本トンネルは地質条件などを加味し、作業効率が良く地質の変化に対応が容易なベンチカット工法を

採用しました。下り線のトンネル高さは、H=11.0~12.0mもあるため、上半の施工高さを約6mとし3段ベンチカット工法としました。上り線のトンネル高さはH=8.0~9.0mであるため2段ベンチカット工法としました。

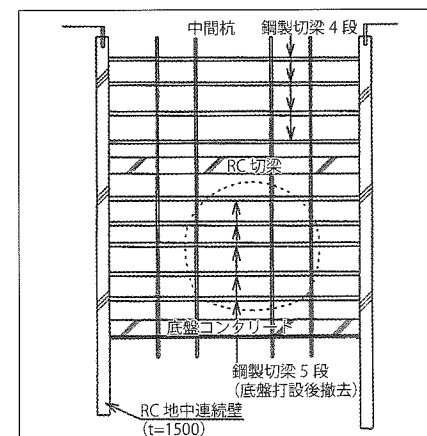
天端上方の緩みの拡大防止や切羽崩壊対策としては、トレビチューブ工(L=30m)、注入式長尺鋼管先受け工、注入式フォアポーリング工、長尺鏡ボルト工が有効でありました。

また、地質は粘土層と砂層の互層であり、帯水層が存在するため、水平水抜き工(20~60m)やウエルポイント工を採用しました。その結果、水位低下が図られ施工性が向上しました。

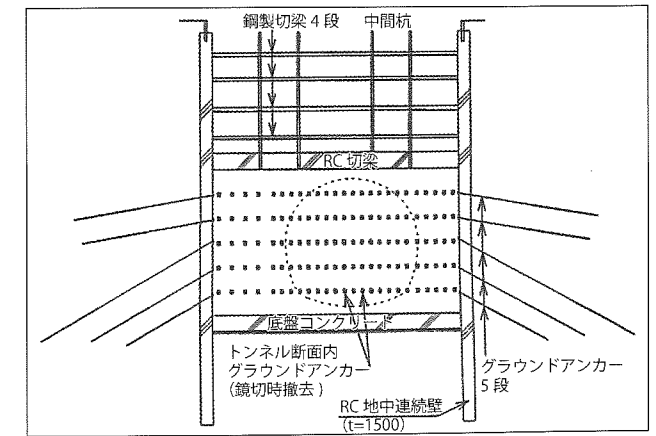
次頁の左上図に立坑周辺部の施工概要図を、施工フローを左下図に示します。

工程短縮に重点的に取り組んだ上り線トンネルの施工手順により、一部3切羽体制を敷いたものの、上下線トンネルを立坑より発進し

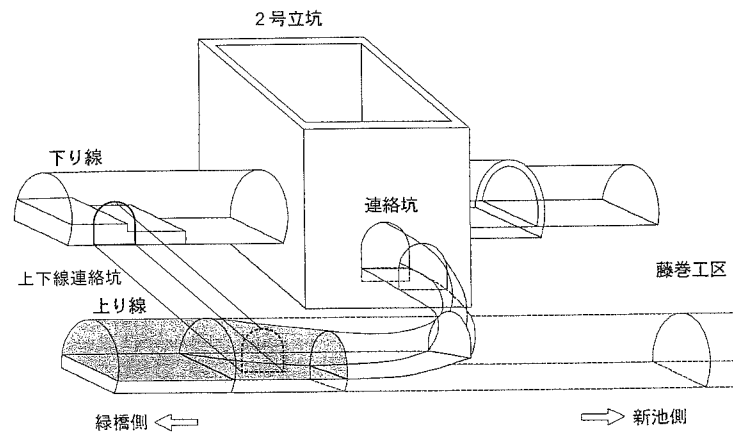
当初設計案



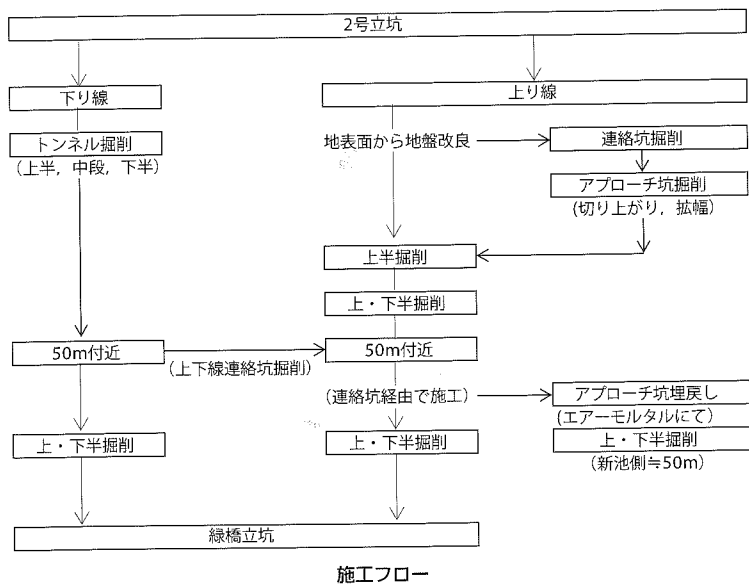
変更案



立坑下部構造(当初設計案と変更案)



立坑施工概要図



施工フロー

た当初工程とほぼ同じ13か月で掘削を終了することができました。

本社土木本部トンネル技術室

1999(平成11)年4月に本社トンネル技術室勤務の辞令をいただきました。トンネル技術室の主な業務は現場支援とそれに伴う発注者と地元対応、各種委員会対応、若手社員の教育です。

上記の件につきまして記憶に残った事例をお話します。

現場支援

2車線道路トンネルを坑口から1kmほど掘削したところ、突然、異常な天端沈下と内空変位が発生し、トンネル断面を通過するような地すべり挙動に見舞われました。そのため、早期の断面閉合、補強ボルトの打設、水抜き導坑の施工と水抜きボーリングの実施および動態観測網の設置など、現場支援に苦慮したことがありました。

対策工が一段落したのち、改め

て現地の地形図を眺めてみますと、地形と土かぶり厚さを考慮すれば偏圧が想定される箇所であることが判明しましたが、大縮尺の地形図を見てみましても、これを事前に判読するということが、かなり難しいことであると感じました。しかし、恒久対策としての押さえ盛土を実施するにあたり、地元の人に話を伺ったところ、「あなたがトンネルを掘っている山は、しょっちゅう地すべりを起こしている場所だよ、だからトンネルのすぐ下を通っている鉄道はトンネルにせず、橋梁で通過しているのだよ」と教えていただいたことがありました。地元の人の方が「山の相」に精通していた事例だと思えます。もし事前にこのことを把握していれば、動態観測の実施や集水井の施工など、技術者として災害を未然に防止することが可能だったかもしれません。

若手社員の教育

新技術の情報を得よう

本社業務の一つに若手社員の教育があります。私は、所長研修と次席研修を年に1回ずつ実施してきました。大断面空洞や4連メガネトンネル、大断面TBMなど代表的な現場での研修です。研修して感じることは、両方合わせて100人ほどのトンネル屋の研修で、現場経験の豊富な社員ばかりですが、とくに優秀だと感じる所長や次席は、そのうち10~15名程度に限られます。何を持って優秀かという、それは各人の持っているアンテナの高さ(情報量の多さ)です。自ら経験できるトンネルの数は

は6~7程度であり、総延長も精々15km程度です。情報量が多いということは、施工計画立案の方策が増え、最適化の選択肢が増えるということです。

全国で自社、他社を含めると相当数のトンネル現場が計画され稼働しています。本社にいと特殊な現場や記念碑的な現場の情報はある程度簡単に入手できますし、伝手をたどって現場見学や施工計画の入手も容易となります。しかし、現場に配属されていても、タイムリーに情報を入手し、その現場見学を行うことも可能です。要は本人の努力次第です。日本トンネル技術協会の機関誌である『トンネルと地下』も情報源の一つです。大いに活用していただきたいと思えます。

前述した平山トンネルで、300mと500mの長尺水抜きボーリングを実施しましたが、青函トンネルにて、超長尺水抜きボーリング実施の記事を拝見しておりましたので、ボーリングを担当した(株)利根工事のK氏に連絡をとり、直ちに施工に着手することが可能となりました。このことは、短いアンテナを張った結果の一つの例かもしれません。

トンネルのセンターを歩こう

若いころ、先輩の所長から、しばしば「自ら担当するトンネルのセンターを歩いて、掘削時に注意すべき点や事前に手当てをしなればいけない箇所を考えたものだ」という話を聞かされました。最近GPSを利用した測量技術の進歩とともに、実際にトンネルセ

ンターを歩くということはきわめて少なくなっているのが現状です。

われわれトンネル屋は補助工法の発達に支えられ、トンネル切羽での現象のみにとらわれ、問題のある切羽に遭遇して初めて手当てを考えるとというように、ある面、思い上がった状況になっていると思われ。初心に帰って、事前に地形図、地質横断面図や航空写真を手にトンネルのセンターを歩くことにより、地表に現れている地すべりの発生している箇所や崖錐堆積物の発達している箇所を発見し、不良地山の分布と程度が把握できたりすることが可能と思われ。

歩掛を取ろう

若手の教育に携わり必ず思うことは、若手の皆さんが積算に不安を感じているということです。このトンネルは一体いくらで完成するのかわからない、将来それがわかるようになるのだろうか、ということです。

若手社員の不安に対して研修でいつも言っていることは、施工計画を立案できる能力を身に付ければ大丈夫だということです。施工計画を立案できれば、あとはそれぞれの会社の独自の仕様や考えなどの違いはありますが、ほんの少しのテクニックを覚えるだけで、お金に換算するのはそんなに難しいことではありません、ということです。

現場に配属になって、まずしなければいけないことは、担当する作業の歩掛を取るということです。材料を例にしますと、例えばこの

切羽だと火薬、雷管の使用量は〇〇kg/m³、〇〇個/m³、ロッド、ビットの使用量は1本、1個あたり〇〇m/m³、吹付けコンクリートの使用量は〇〇m³/m²と把握することです。労務、機械についても同様です。これらの歩掛を支保パターン別に調査し、まとめれば、自分の財産になり、それを活用できるということです。

発注者、例えば国土交通省の積算要領などが販売されていますが、それはあくまでは発注者の標準積算です。現場で実際にかかる金額(実施予算)は技術者個人の積算要領から算出しなければなりません。現在、国土交通省では、サイクルタイムが積み上げではなく、掘削断面積で一律に決まってしまうようになっています。しかし、道路や鉄道以外のトンネル、たとえば水路などでは掘削断面積は大小さまざまであり、時には急速施工が求められる場合があります。それに対応できる能力を身に付けることが重要です。

おわりに

若いときに配属された恵那山トンネルで、側壁導坑先進リングカット工法、レール方式、矢板工法(在来工法)などを経験したつもりになっていたあと、大断面空洞の奥矢作発電所に転動になりました。ちょうど日本にNATMが普及されようとしていた時期でした。奥矢作発電所でもNATMを採用するという本社の指導もあり、コンクリート吹付け機なるものが現場に到着しました。まず、機器搬

入トンネル(延長L≒1,000m)で試験施工するということになりましたが、作業員と相談した結果、「山がまだ悪いのでもっと奥の無普請の岩盤が出現してから試験施工をしよう」という作業長の話に企業体を含め全員が納得したものでした。確かに在来工法でトンネルを施工してきた全員が、吹付けコンクリートやロックボルトで地山が安定するののかという疑問に誰も答えることができませんでした。青函トンネルでは、吹付けコンクリートを使用していましたし、恵那山トンネルでも一部ロックボルトを使用した実績もありました。しかし、それらを体系的にとらえるNATMまで経験と頭脳が追いついていませんでした。

いよいよ安定した地山(無普請地山)の出現により、NATMなるものに挑戦しようということになりました。ある作業員が「吹付けコンクリートとロックボルトはどちらが先に施工するのか」。誰かが曰く「ロックボルトはまとめて数m区間いっぺんに施工した方

が、出来高が上がるので吹付けコンクリートが先だ」。[いやロックボルトのプレートを隠すために吹付けコンクリートが先だ]云々。その後、皆も勉強しましたが、今では笑い話のような会話が当時は実際に行われていたのです。

奥矢作発電所工事のあと、4年間、インドネシアの発電所工事で海外勤務を経験させていただきました。ここでも、仕事上の貴重な体験をさせていただきましたが、仕事とは無関係の懐かしい思い出として、終わりに無駄話の一つさせてください。

インドネシアに赴任してようやく現地の生活に慣れてきたときの出来事です。現地の作業員が足を怪我して私のところに何か薬はないかと尋ねてきました。怪我の具合を見ますと、傷に細菌が入り化膿していました。日本から持参した当時の三大家庭常備薬である、オロナイン軟膏、ピオフェルミン、正露丸のうち、試しにオロナイン軟膏を彼の指に付け、自分で塗るように言いました(膿が多く私に

は直に傷口に触れることができませんでした)。オロナイン軟膏の効果はすばらしく、化膿した傷は瞬く間に完治しました。インドネシアの細菌は、薬への耐性がほとんどなく、そのときひょっとして歯磨き粉でも効果があるかもしれないと感じました。そのようなことがあり、家庭用常備薬を用いたにもかかわらずその効果のすばらしさに、やがて現地作業員から「ドクターハタ」と呼ばれるようになり1日数人の患者(?)が訪れるようになったという笑い話です。

閑話休題。今後NATMに代わるような新技術もきっと現在の要素技術の集大成や少しの進歩など、そのようなところに答えがあるのかもしれませんが。今後も長大トンネルで大土かぶり、高圧・多量湧水、重金属などが発生するトンネルが予定されています。それらのトンネルを安く、早く、安全に完成するには、皆様方の発想の転換と未知なる技術への挑戦に期待しつつ、私の語り継ぎを終わらせていただきます。

施工

想定外の巨礫によるシールド日進量の大幅な低下と進捗改善の取組み

—東京都水道局 第二朝霞東村山線—

東京都水道局西部建設事務所工事第一課長 田原 功
 東京都水道局西部建設事務所工事第一課課長代理 齊藤 恭央
 東京都水道局西部建設事務所工事第一課工事第二担当主任 安田 梨花
 大成・不動テトラ建設共同企業体東村山シールド作業所長 松井 秀夫

1 はじめに

東京都水道局では水資源の有効活用を目的に利根川水系の朝霞浄水場と多摩川水系の東村山浄水場との間に朝霞東村山線(通称：原水連絡管)φ2,200mmを設置しており、原水の相互融通を図っている。本事業は、原水連絡管の二重化により、将来にわたり相互融通機能を強化し、給水の安定性を向上させるため、第二朝霞東村山線(仮称)(通称：第二原水連絡管)φ2,000mmを整備するものである。

第二原水連絡管は、総延長約16kmを5工区に分割して整備を進めており、本工事は図-1に示す第1工区(施工延長3,597.0m)に第二原水連絡管(2,000mm)新設用の立坑およびトンネルを築造する工事である。

本稿では、トンネル築造工事における、巨礫出現地層における泥水・土圧併用式シールドの長距離掘進の施工実績について報告する。

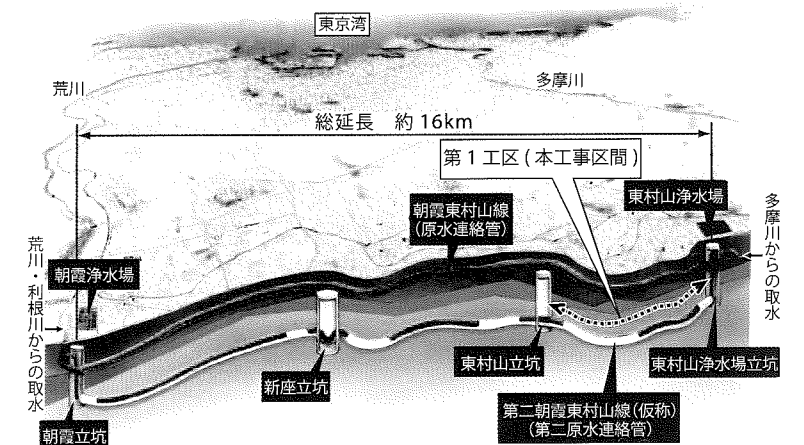


図-1 第二朝霞東村山線(仮称)整備事業概略図

2 工事概要および地質概要

トンネル標準断面図を図-2に、当該路線の地質縦断面図を図-3に示す。

2-1 工事概要

(1) 発進立坑築造工事

- ① 寸法：幅5.5m×長さ10.3m×深さ16.6m
- ② 土留め形式：柱列式地中連続壁(ECW工法)

(2) トンネル築造工事

- ① 泥水・土圧併用式シールド

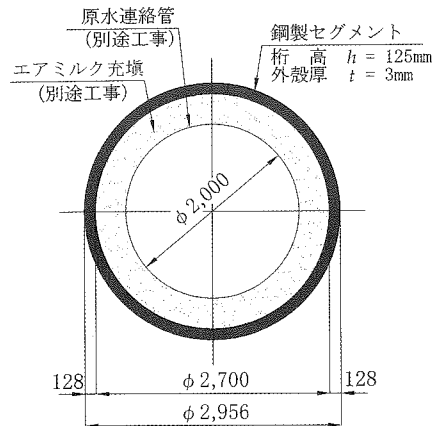


図-2 トンネル標準断面図

- ② 地上からの補助工法によるピット交換なし
- ③ シールド外径3,080mm
- ④ 施工延長3,597.0m
- ⑤ 土かぶり13.2~35.4m

当該路線は、東村山浄水場内の発進立坑から市道(通称：鷹の道)ほか、都道の直下を東村山市青葉町の到達立坑まで掘進するルートである。発進立坑から509~2,465m地点の水道東久留米線(東久坑1・東久留米線φ1,100mm・東久坑2)および下水道柳瀬幹線φ1,650mmを下越すため、発進直後は4.9%の急勾配にて下降する。また、西武鉄道新宿線・国分寺線、都道(通称：府中街道)、JR

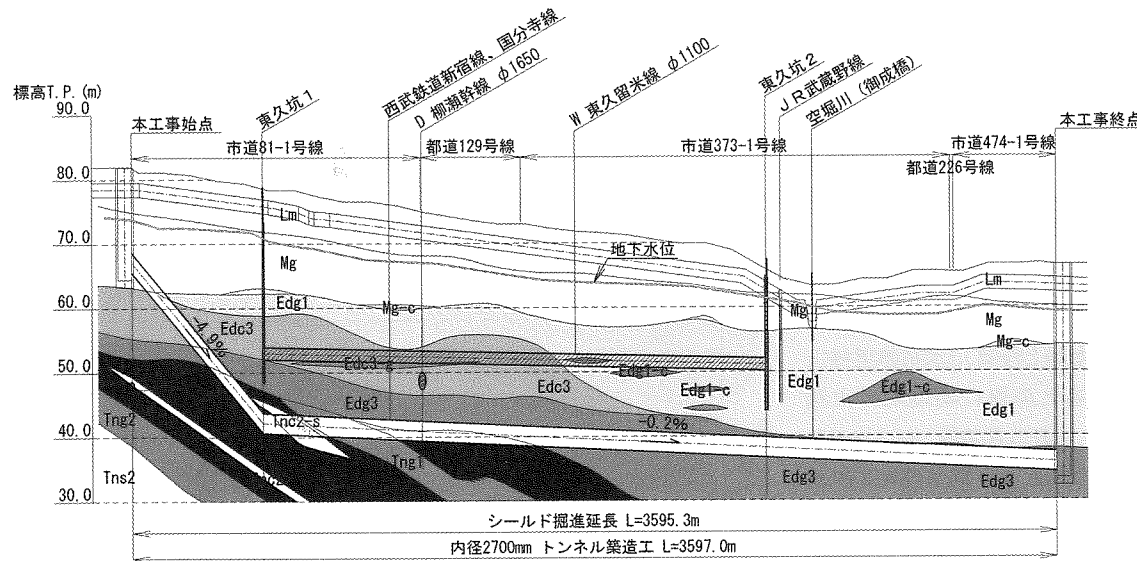


図-3 地質縦断面図

地質時代	地層名	土質名	記号	N値(回)
第四紀更新世	立川・武蔵野ローム層	ローム 粘土質ローム		1~6 (3.0)
	武蔵野礫層	砂礫 粘土混じり砂礫	Mg	21~50以上 (47.6)
		挟在層 粘性土層	粘土 砂混じり粘土 礫混じり粘土	Mg-c
	礫質土層	粘土混じり砂礫 粘土質砂礫	Edg1	10~50以上 (44.0)
		挟在層 粘性土層	粘土 砂混じり粘土 砂質粘土	Edg1-c
	粘性土層	シルト・粘土 砂質シルト 有機質シルト	Edc3	3~44 (13.2)
		挟在層 砂礫土層	砂礫 粘土混じり砂礫 細砂	Edc3-g
	礫質土層	粘土混じり砂礫 粘土質砂礫 (くさり礫)	Edg3	18~50以上 (47.2)
		第1層	粘性土層 砂質シルト シルト質細砂	Tnc1
	前・中期更新世	第1層	礫質土層 粘土混じり砂礫 礫混じり砂	Tng1
第2層		粘性土層 砂質シルト シルト質細砂	Tnc2	16~50以上 (36.8)
		挟在層 砂質土層	細砂 シルト混じり細砂 シルト質細砂	Tnc2-s
第2層		礫質土層 粘土混じり砂礫 礫混じり砂	Tng2	23~50以上 (44.9)
前・中期更新世	砂質土層	細砂	Tns2	28~50以上 (48.2)

武蔵野線、空堀川(御成橋)と交差・近接する。

2-2 地質概要

施工地域は武蔵野台地に位置しており、立川・武蔵野ローム層(Lm)、武蔵野礫層(Mg)が表層部分を覆い、以深は江戸川層相当層(Edg)および粘性土(Edc)が続き、下位は舎人層相当層の粘性土(Tnc)、礫質土(Tng)ならびに砂質土(Tns)が互層状に位置している。

本工事の掘削対象土層は、発進立坑から順に武蔵野礫層(Mg)、江戸川層粘性土(Edc3)、江戸川層礫質土(Edg3)、舎人層粘性土および砂質土(Tnc2・Tnc2-s)、舎人層礫質土(Tng1)、江戸川層礫質土(Edg3)と舎人層粘性土(Tnc1)の互層、江戸川層礫質土(Edg3)となっている。

3 施工計画

3-1 本工事の特徴

本工事では以下の特徴への対応が不可欠であった。

3-1-1 多様な土層への対応

掘削対象土層は、礫質土層3,153.3m、粘性土層266.0m、砂質土層176.0mであり、多様な土層への対応が必要であった。

3-1-2 発進部の崩壊性の高い地盤への対応

発進立坑部の武蔵野礫層(Mg)はシルト・粘土分の含有率が7.8%と10%以下であり、泥水式シールドによる掘進では泥水の逸泥対策が困難なうえ、地盤の粘着力も低く切羽の崩壊を生じやすかった。

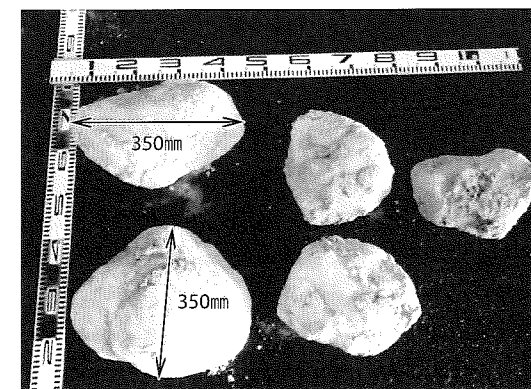


写真-1 到達立坑築造時に出現した巨礫

3-1-3 巨礫を有する地盤への対応

発進立坑および到達立坑築造時に掘削対象土層である武蔵野礫層(Mg)および江戸川層礫質土(Edg3)から長径350mmの巨礫が出現している(写真-1)。巨礫の一軸圧縮強度は、65.8N/mm²あった。

3-1-4 カッタビット延命化への対応

発進・到達方法ともに仮壁(合成木材)の直接切削工法である。とくに、到達立坑においては、合成木材および無筋コンクリート(厚さ800mm)を切削する必要があり、カッタビットの延命化が求められた。

3-2 最適なシールドの選定

以上の条件より種々検討した結果、泥水・土圧併用式シールドを採用することとした。シールドの前面および全景を写真-2、3に、概要図を図-4に、基本仕様を表-1に示す。

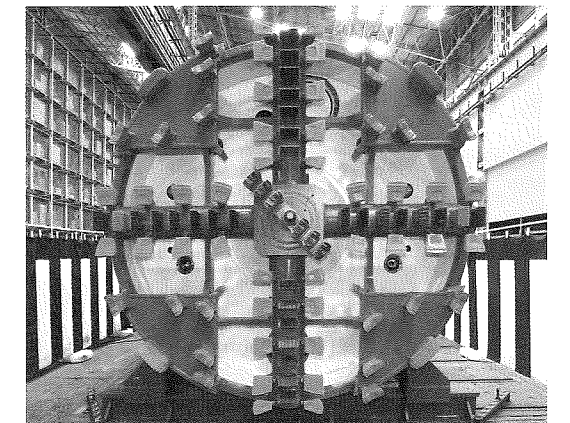


写真2 シールド前面

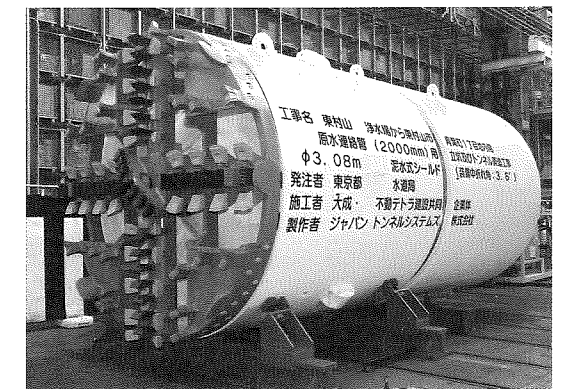


写真3 シールド全景

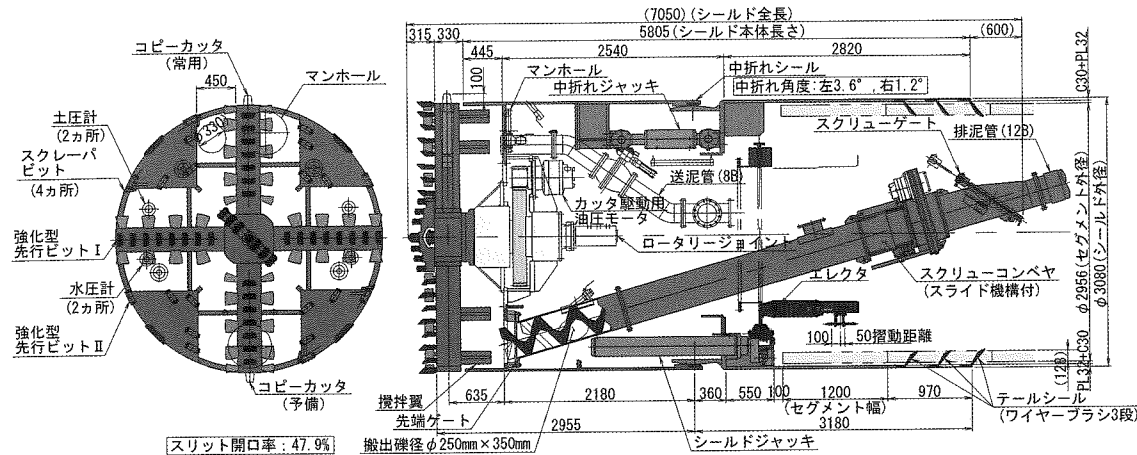


図-4 泥水・土圧併用式シールド概要図

表-1 シールド基本仕様

シールド外径	φ3,080mm	
シールド全長	(7,050)mm	
シールド本体長さ	5,805mm	
シールドジャッキ	800kN×34.3MPa×1,350mm×12本	
中折れジャッキ	800kN×34.3MPa×250mm×10本	
シールドジャッキ伸長速度	55mm/min(全数作動時)	
形式	リングギヤ式	
最大取り扱い質量	0.2t	
回転数	1.9rpm	
回転角度	±200°	
昇降ジャッキ	43kN×13.7MPa×75mm×2本	
摺動ジャッキ	17kN×13.7MPa×150mm×1本	
旋回用油圧モータ	2.036Nm×13.7MPa×1台	
駆動方式	油圧駆動	
使用圧力	20.6MPa	34.3MPa
装備トルク	409.5kNm (α=14.0)	681.8kNm (α=23.3)
カット回転数	~1.9rpm	~0.9rpm
駆動用油圧モータ	27.272kNm×34.3MPa×5台	
駆動方式	油圧駆動	
形式	RA370型(リボン式)	
スクリュー径×ピッチ	φ370mm×p420mm	
排土量	36.0m³/h	
スクリュー回転数	~18.2rpm	
旋回用油圧モータ	3.22Nm×32.3MPa×1台	
スクリュートルク	13.363Nm×32.3MPa	

3-2-1 カッタヘッド支持方式

カッタヘッド支持方式は、土砂取り込み口を下方に配置できるため、礫質土層においてはチャンバ内の礫を取り込みやすく、また、粘性土層においてもチャンバ内の攪拌性が良いことからセンターシャフト支持方式とした。

3-2-2 カッタビット

巨礫の破碎にはローラーカッタが有効であるが、耐久性に劣ることから交換作業が必要となる。しかし、既設の朝霞東村山線が当該路線上部(土かぶり1.6~3.2m)に布設されており、地上からの補助工法によるビット交換は不可能であった。このため、先行ビットで礫を掻き落としチャンバ内に積極的に取り込むことでビットの損傷を軽減することとした。また、ビットの材質は耐久性(韌性)に優れるE5種を選定し、さらに、高さを変えたビット配置とすることで延命化を図るとともに油圧式の摩耗検知装置を装備した。カッタビットの配置図を図-5に示す。

3-2-3 礫処理を考慮した排泥装置

発進立坑および到達立坑築造時に出現した最大礫径(長径350mm)の巨礫を効率的に取り出すため、排泥装置としてφ370mmのリボン式スクリューコンベヤ(搬出礫径φ250mm×350mm)を装備した。また、スクリューコンベヤ内からの巨礫の安全な回収、長距離施工における保守点検を考慮し、スクリューを240mmまで後方にスライドさせ、先端

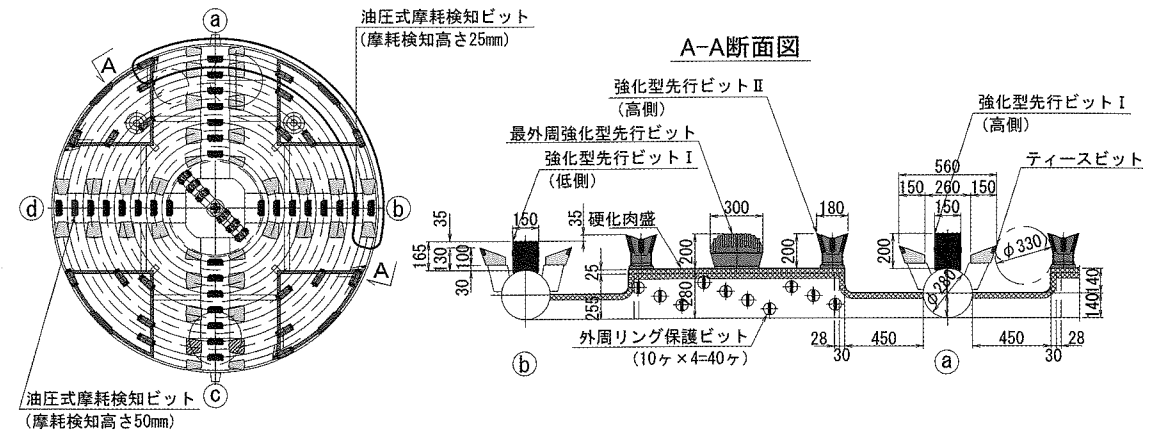


図-5 カッタビット配置図

ゲートを閉鎖できる構造とした。また、スクリューコンベヤを装備することで、発進部のシルト・粘土分の含有率が低い地盤における土圧式による切羽の安定確保が可能となった。

3-2-4 カッタヘッドの開口

巨礫の長径方向350mmの規制はできないが、ビットの負担を軽減できること、また、粘性土層掘進において土砂の取り込み性が良いことからスリット幅を330mm、開口率を47.9%とした。

4 施 工

4-1 泥水・土圧併用式によるシールド掘進

4-1-1 土圧式シールドによる発進

発進立坑部の武蔵野礫層(Mg)はシルト・粘土分の含有率が少なく崩壊性を有するため、仮壁(合成木材)の直接切削による発進から35.2mまでは切羽保持を土圧式(泥土圧)、掘削土砂搬出を鋼製バケットにて行う土圧式シールドによる掘進を行った。添加材には、鉍物系(ベントナイト)を使用した。

延長35.2m以降は、礫破碎装置、泥水輸送系の後続台車を投入し掘進延長115.6mまで切羽保持を土圧式(泥土圧)、掘削土砂搬出を泥水輸送にて行う掘進を行った。礫破碎装置の切羽側に設けた混合槽にて掘削土砂を循環泥水と混合させ輸送した。

土圧式シールドにおける泥水の流れを図-6に示す。

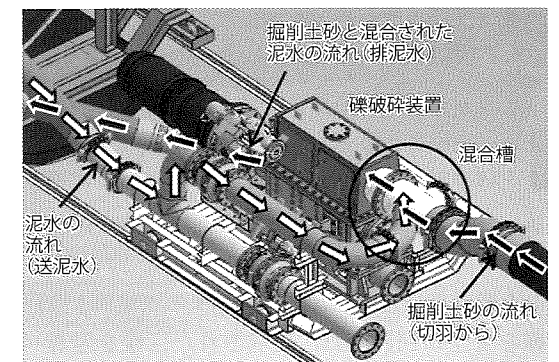


図-6 土圧式シールドにおける泥水の流れ

4-1-2 泥水式シールドによる掘進

掘進延長115.6m地点にて、シールドを江戸川層粘性土層(Edc3)に完全に貫入させ、切羽保持を泥水式、掘削土砂搬出を泥水輸送にて行う泥水式シールドに移行した。以降、到達立坑の仮壁(合成木材および無筋コンクリート)直前まで泥水式シールドによる掘進を行った。泥水式シールドにおける泥水の流れを図-7に示す。

4-1-3 土圧式シールドによる到達

到達立坑の仮壁0.8mの切削は、排泥管閉塞による切羽圧力の急上昇を回避するため、再度、切羽保持を泥水式から土圧式に移行した。切羽保持を土圧式(土圧)、掘削土砂搬出を泥水輸送にて行う土圧式シールドによる到達掘進を行った。

4-2 想定外の巨礫の出現

江戸川層礫質土層(Edg3)掘進時に長径350mm超の想定外の巨礫が多数出現、チャンバ内(スク

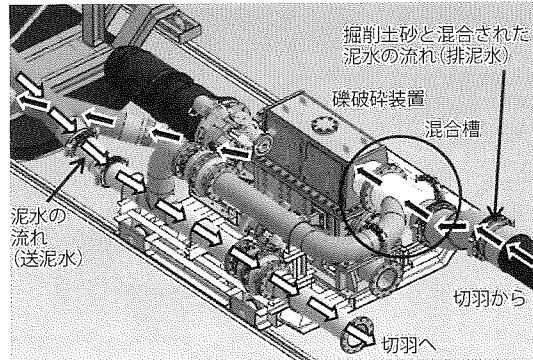


図-7 泥水式シールドにおける泥水の流れ

リューコンベヤ取込み口)にて閉塞し、シールド掘進進捗が大幅に低下した。

4-2-1 チャンバ内で閉塞した巨礫の回収

泥水の正送・逆送およびスクリーコンベヤの正転・逆転のくり返しによる巨礫の取り込み・引き上げが困難な場合には、スクリーコンベヤを坑口側へ230mmスライドさせ、土砂取込み口の先端ゲートを閉鎖することで地山と隔離されたゾーンを形成し、スクリーコンベヤの点検口より巨礫を安全に回収した。回収された巨礫を写真-4に、巨礫の短径と長径の関係を図-8に示す。

長径350mm超の想定外の巨礫は65個であった。礫質土の最大礫径の設定は、経験則からボーリングコア径の3倍(長径 a /短径 $c=3$)とされることが多い。今回の巨礫における、(長径 a /短径 c)はばらつきが大きく、最大で4.67、最小で1.21、平均で2.14であった。

4-2-2 シールド掘進進捗改善への取組み

進捗改善対策としてソフト面(掘進管理値)とハード面(排泥装置)の改善に取り組んだ。ハード面の対策を図-9に示す。

(1) 泥水性状の改善

掘削しない状態での泥水の正送・逆送およびスクリーコンベヤの正転・逆転のくり返しにより希釈された泥水の性状を購入泥水により改善し、泥水の浮力効果により巨礫の排出性向上を図った(表-2)。

(2) 切羽圧力の増大

自然水圧+50kPa程度で管理していた切羽圧力

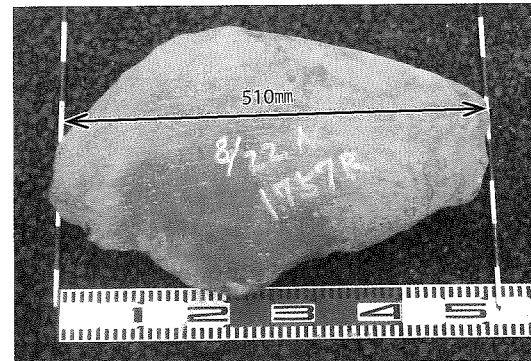


写真-4 回収された巨礫(長径最大510mm)

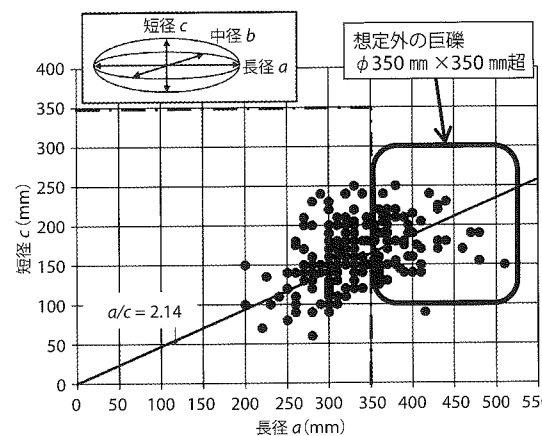


図-8 回収された巨礫の短径と長径

を管理上限値付近まで増大させ、チャンバ内からの押し出し効果により巨礫の排出性向上を図った。

(3) スクリュースライドさせた状態での掘進

当初は、巨礫の取込み性を考慮してスクリー先端をチャンバ内に突出させていた。しかし、チャンバ内で閉塞した巨礫回収の都度、スクリーを後方にスライドさせる必要があったため、その状態で掘進し、チャンバ内閉塞時には直ちに先端ゲートを閉鎖し、巨礫を回収することでチャンバ内回収時間短縮を図った。

(4) スクリューゲート部の改造

段差を有するスクリーゲートを撤去しφ350mmの配管(点検口付き)とすることで巨礫の滞留防止を図った。

(5) スクリューコンベヤの羽根間隔拡大

スクリーコンベヤの搬出礫径φ250mm×350mm(羽根間隔420mm/羽根外径370mm=1.2)を上回る

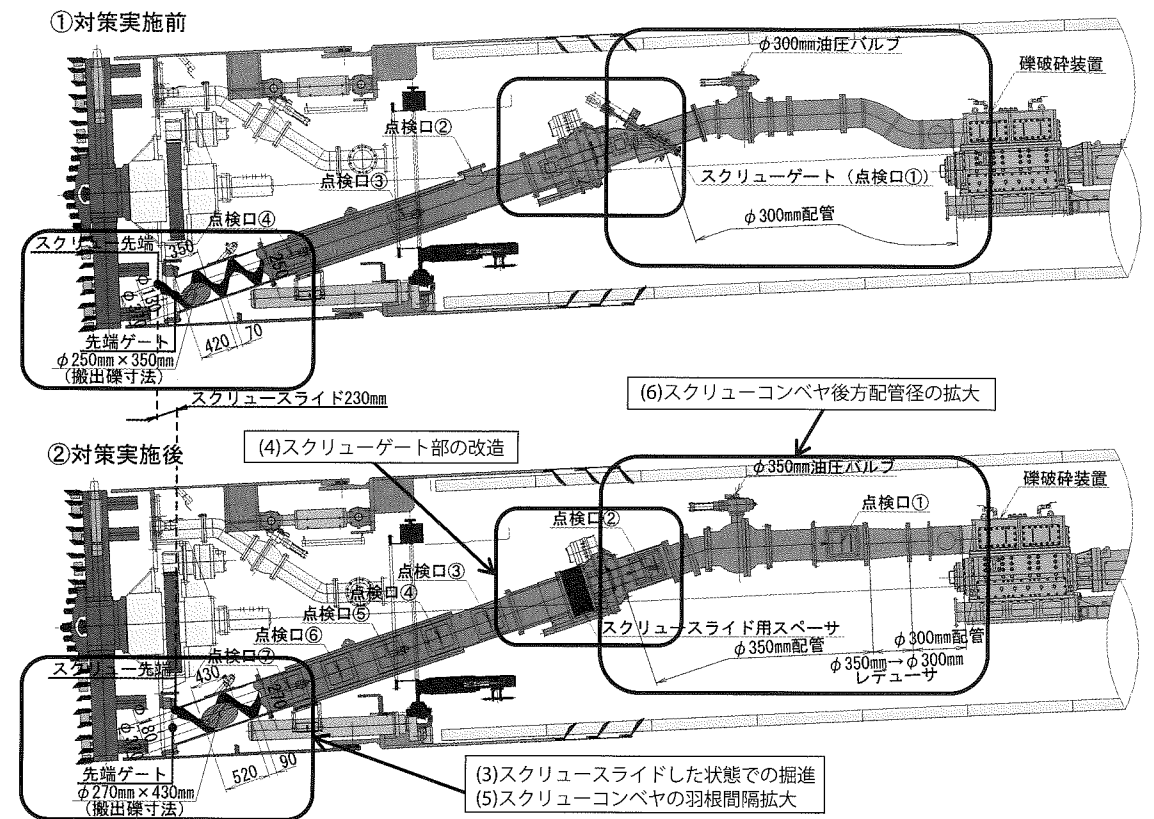


図-9 シールド掘進進捗改善へのハード面対策

表-2 泥水性状の改善対策

管理項目	対策前	対策後
比重	1.21	1.25
ファンネル粘性	26秒	36秒
シールドバリュー	26Lb/ft ²	28Lb/ft ²

巨礫が出現したため、羽根間隔を拡大し、搬出礫径をφ270mm×420mm(羽根間隔520mm/羽根外径370mm=1.4)とすることで巨礫の排出性向上を図った(写真-5)。残すところの掘進距離は1,200mであったが採用に踏み切った。この改造に合わせ、点検口の増設やスライドストロークの改造(240mmから355mmに拡大)を実施した。また、この改造により「(3) スクリュースライドさせた状態による掘進」を可能としている。

(6) スクリューコンベヤ後方配管径の拡大

スクリーコンベヤ後方から礫破砕装置間の配

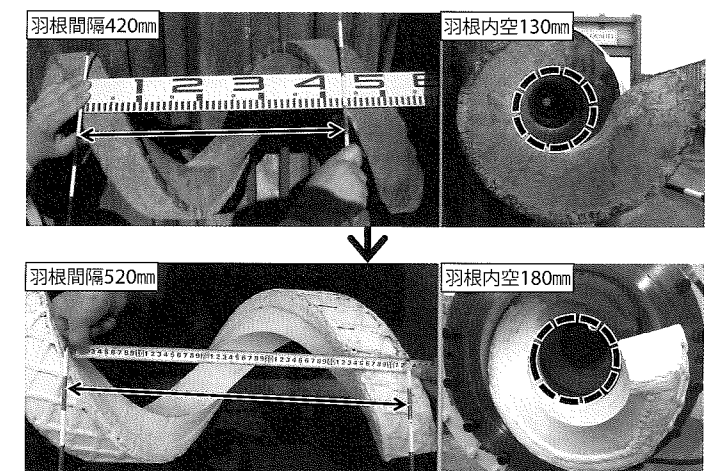


写真-5 改造前(上)と改造後(下)のスクリーコンベヤ

管径をφ300mmからφ350mmに拡大するとともに油圧バルブから礫破砕装置間の配管形状も直線とし、巨礫の更なる排出性向上を図った。

4-2-3 進捗改善への取組みの効果

4-2-2 項の取組みのうち、(5)は巨礫の排出性

を格段に向上させ、劇的な改善効果をもたらした。シールド掘進の進捗は、約6m/dから約12m/dへと2倍に改善された(図-10)。

4-3 3.6kmの長距離施工

2014(平成26)年8月19日に発進したシールドは約20か月の歳月を経て、到達立坑の最終位置に停止した(写真-6)。

到達後、カッタビットの状況を検証した結果を示す(写真-7)。

4-3-1 強化型先行ビットII(高側)の効果

面板の三角部に配置した強化型先行ビットII(高側)は、中央部のチップ形状が維持できており、礫に対する耐久性に優れていた。このため、ほかのビット、とくに、最外周強化型先行ビットおよび強化型先行ビットIの延命対策に大きな効果があり、長距離施工に貢献したと考えられる。

4-3-2 ティースビットの破損

ほとんどのティースビットに礫通過時に叩かれ欠けたものと思われる破損が見られた。また、母材の摩耗も見られ過酷な施工条件であったことがうかがわれる。

4-3-3 最外周に配置されたビットの摩耗

掘進延長2,990m付近からシールド推進力が増加し、余掘り装置(コピーカッタ)によるフリクションカットを行うとすぐに低下の傾向が見られた。これは、最外周強化型先行ビット外周面側の摩耗により、周面摩擦力が卓越したことで説明できる。

4-3-4 カッタビット摺動距離の増加

カッタの総回転数は、340,968回転(左171,001回転, 右169,967回転)であり、当初カッタビット摩耗計算時の252,334回転と比較すると約1.35倍多

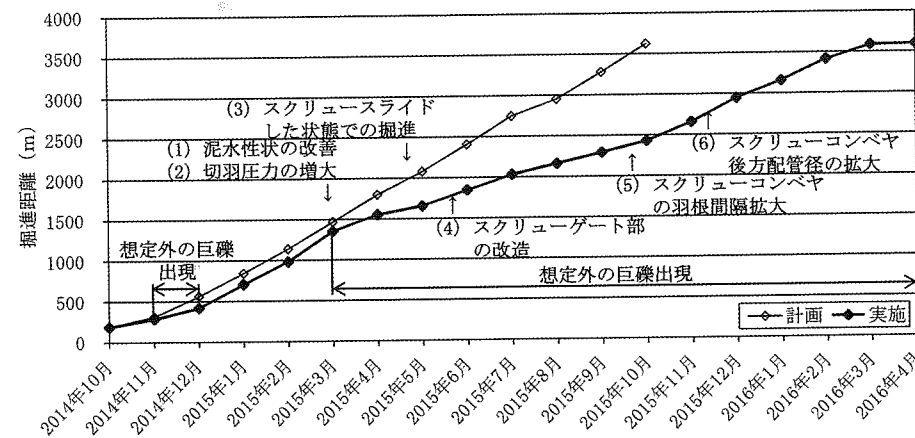


図-10 進捗改善への取り組みの効果(本掘進以降)

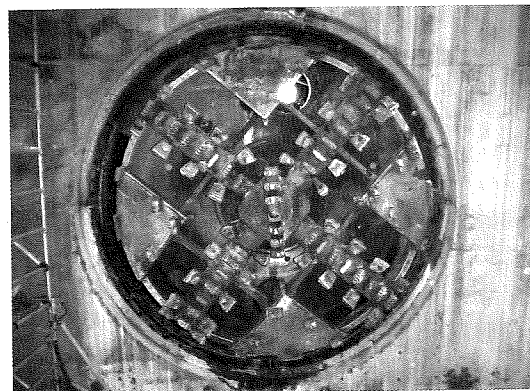


写真-6 シールド到達

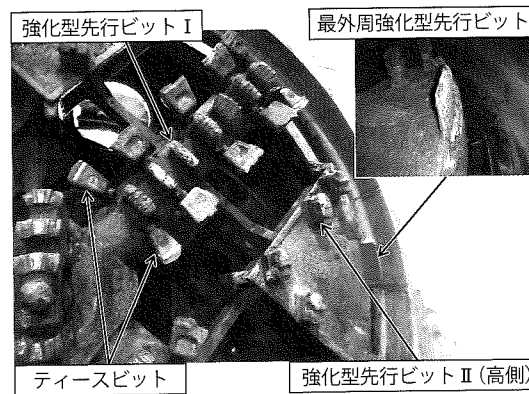


写真-7 カッタビットの状況

くなっている。これは、巨礫を含む礫層掘進における平均掘進速度の低下、ならびに、巨礫の取込み性を向上させるため、シールドを停止させた状態でスクリーコンベヤの回転とともにカッタを積極的に回転させたことが影響しているものと考えられる。

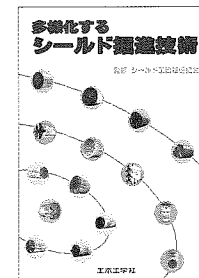
5 おわりに

本工事は、事前の土質調査で確認できなかった想定外の巨礫が多数出現し、シールド掘進進捗が大幅に低下した。一軸圧縮強度平均273.2kN/mm²を有する巨礫(回収礫にて調査)は、チャンパ内の攪拌翼4本すべての脱落、スクリーコンベヤのケーシング摩滅、礫破碎装置の礫割りビットの破

損を招き、いく度も掘進停止を余儀なくされた。このような困難な状況において、水道局・受注者(共同企業体構成会社の本支店含む)・専門工業者が一丸となって、さまざまな進捗改善への取り組みを試みながら、巨礫の閉塞解除作業を安全かつ慎重に行い掘進を継続した。

進捗改善への取り組みのうち、スクリーコンベヤの羽根間隔拡大は、劇的な改善効果を発揮し、掘進進捗は大幅に改善され、2016(平成28)年4月23日に無事、到達することができた。

今後、同径クラスのシールド工事中において、多様な土層の長距離掘進における最適なシールドの選定や巨礫を有する礫層の掘進における施工の参考となれば幸いである。



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

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

〔掲載工法〕

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

株式会社 土木工学社

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

工法・技術・製品ニュース

製品 オフロード法2014年適合 中型油圧ショベル3種を新発売



ZX200。

日立建機(株)ブランド・コミュニケーション本部 広報戦略室 広報 IR 部 広報グループ

Tel.03-5826-8152

URL <https://japan.hitachi-kenki.co.jp/>

日立建機は、オフロード法2014年基準に適合した新型油圧ショベルZAXIS[®]シリーズのZX200[®](標準バケット容量0.8m³、運転質量20.4t)、後方超小旋回機ZX225US[®](同0.8m³、24.1t)、後方小旋回機ZX225USR[®](同0.8m³、23.7t)の3機種を発売した。

同機は、3つのポンプそれぞれに電磁弁を追加した最新油圧システム「TRIAS II」を採用して各部位に応じた油量の調整をすることで高い操作性を実現したほか、オートアイドル

リングストップ機能の採用により低燃費を実現した。

また、車体点検時の転落リスクを低減するため、車体上にハンドレールを新設し、メンテナンス作業時の安全性の向上を図った。さらに、国土交通省が推進するi-ConstructionをはじめとしたICT施工に対応するため、マシンガイダンス仕様機をオプション設定するとともに、計測機器の取り付けを容易にする「マシンガイダンス対応マルチブラケット」をオプション設定した。

製品 建設業向けクラウドサービス Weplat 財務応援 R4 工事台帳



セイコーエプソン(株) 会計ソフト インフォメーション
Tel.050-3155-8170
URL <http://www.epson.jp/>

エプソンは、仕訳入力から工事台帳まで簡単に作成できる、建設業向けクラウドサービス「Weplat 財務応援 R4 工事台帳」を発売した。

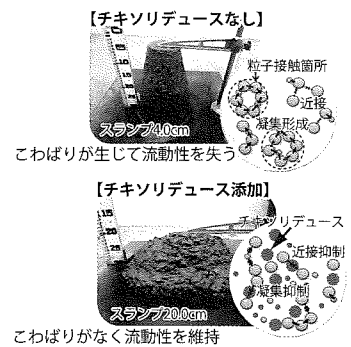
同サービスは、企業での導入実績の多い「Weplat 財務応援 R4」に、工事台帳作成など建設業が必要とされている機能を追加したクラウドサービス。仕訳入力時に工事コードを入力するだけで工事台帳などの作成が可能のほか、リース料のような毎月発生する伝票を事前に作成し、

期日が到来すると本伝票に反映できる先行伝票機能などがあり、建設業の会計に特化させた。仕訳入力画面には、手書き感覚ですぐに入力業務を始められる帳簿入力画面と伝票画面が用意されるとともに、画面が紙の帳簿や伝票類のレイアウトをもとにデザインされているなど、新規の導入が容易となるような機能が充実している。

サービス利用料金は、年間ライセンス料50,000円(税別)。

製品 コンクリートのこわばりを低減する混和剤を開発

スランブコーンにコンクリートを入れ1時間静置後



清水建設(株)
<http://www.shimz.co.jp/>

清水建設と混和剤メーカーのフローリックは共同で、コンクリートのこわばりを低減する混和剤「チキシソリデュース」を開発したと発表した。練り混ぜ直後のコンクリートに添加することで、静置時もコンクリートの流動性を保持する。

同製品は、特殊ポリマーを配合した粉末状の混和剤で、水溶性の紙袋に梱包した状態で使用する。コンクリート1m³あたり1袋をミキサーに投入し、攪拌・分散させると、均一に分散した特殊ポリマーがセメン

ト粒子間に入り込み、静置時のこわばりの原因となるセメント粒子の凝集や沈降を抑えることで、こわばり低減効果を発揮するという。

効果検証実験では、練り混ぜ直後にチキシソリデュースを添加したコンクリートを1時間静置したあとも、静置前の流動性が維持されていることが確認されている。ポンプ施工における圧送再開時の配管閉塞や未充填などの不具合を未然に防止するなどコンクリートの施工性向上が期待できるとしている。

研究

山岳トンネルの路盤隆起メカニズムと対策工の効果に関する研究

(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副主任研究員 嶋本 敬介

1 はじめに

供用中の山岳トンネルの路盤部に地圧が作用し、長期にわたって徐々に路盤が隆起することがある。この路盤隆起は何らかの対策をしない限り、その進行が自然と収束することはほとんどない¹⁾。

トンネルの路盤隆起対策としては、インバートのないトンネルではインバートの新設、インバートが損傷を受けた場合はインバートの打替えが非常に効果的ではあると考えられるが、そのためには路盤部を掘削してインバートを構築する必要がある、大規模な工事となる。供用中のトンネルにおいて長時間の作業間合いを確保することは、社会的影響を考えると現実的に困難であることが多く、インバートによる対策と比較して短い作業時間で施工可能なロックボルトによる対策を実施するケースが多い²⁾。

そこで、本研究³⁾では、路盤隆起メカニズムの解明、路盤隆起対策工の仕様を選定するうえでの考え方や建設時のインバート半径が供用後の路盤隆起に与える影響などを、模型実験、数値解析により検討した。

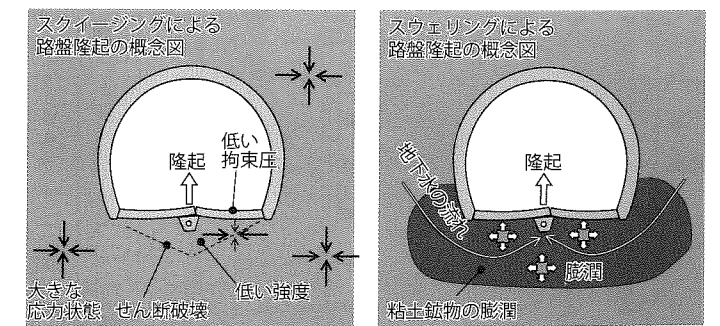
2 路盤隆起メカニズム^{1),2)}

地質的な要因による供用開始後の路盤隆起のメカニズムは、基本的にスクイーディングかスウェリング、あるいはそれらが複合して発生する場合が多い

と考えられる。スクイーディング、スウェリングによる路盤隆起のメカニズムの模式図を図-1に示す。

スクイーディングは、地山の強度に対して土かぶり圧が大きい場合に、とくに拘束圧の小さい路盤部において水平方向応力に対して鉛直方向応力が小さくなり、すなわち路盤部において最大主応力と最小主応力の差である軸差応力が大きくなるためせん断破壊し、路盤が隆起するものと考えられる。スウェリングは、山岳トンネルは排水管のある路盤部に地下水が集まりやすいために路盤部にある膨張性粘土鉱物が吸水し膨張することで路盤が隆起するものと考えられる。

図-1に示したとおり、路盤隆起のメカニズムはスクイーディングとスウェリングで大きく異なり、メカニズムの違いで対策工の効果や作用メカニズムが違ってくる可能性も考えられる。よって、本研究では、スクイーディングとスウェリングを区別して検討する。



(1) スクイーディング (2) スウェリング

図-1 想定される路盤隆起メカニズム

3 地山のスクイーピングに伴う路盤隆起²⁾

本章ではとくにスクイーピングを想定した模型実験とその数値解析を実施し、対策工としての下向きロックボルトの作用メカニズムや合理的な仕様の考え方を検討した。

3-1 検討方法

図-2に示すとおり、新幹線トンネル標準断面の1/50サイズのモルタル製のトンネル模型を使用して、トンネル模型の周りには低強度モルタルを打設し、側方からジャッキで載荷する模型実験を実施した。側方からの載荷により、路盤部では水平方向応力が卓越し、せん断破壊し、路盤が隆起する。すなわち、地山の破壊に伴う押し出し圧、スクイーピングを再現した模型実験となっている。

実験ケースを図-3に示す。また、本模型実験の数値解析も実施した。

3-2 得られた結果

実験結果として各ケースの路盤鉛直変位の結果を図-4に示す。本模型実験の数値解析の結果も含めて、得られた知見を以下にまとめる。なお、詳細については、文献2)を参照されたい。

- ① スクイーピングを想定した模型実験の結果、路盤下へのロックボルトが、路盤隆起の抑制に効果が

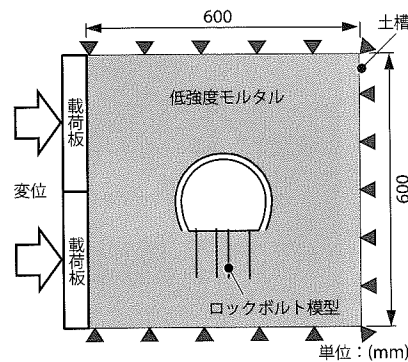


図-2 スクイーピングを想定した模型実験の模式図

あることが確認できた。また、インバートは路盤隆起を実験上では完全に抑えるとともに、水平内空縮小の抑制効果も高い。

- ② ロックボルトは、その打設範囲でせん断帯が発達するのを防ぎ、路盤部が一体として挙動するようになることで隆起を抑制するというメカニズムで作用する。
- ③ ロックボルトの配置としては、変状箇所だけを集中して補強をするとその周囲で変状が

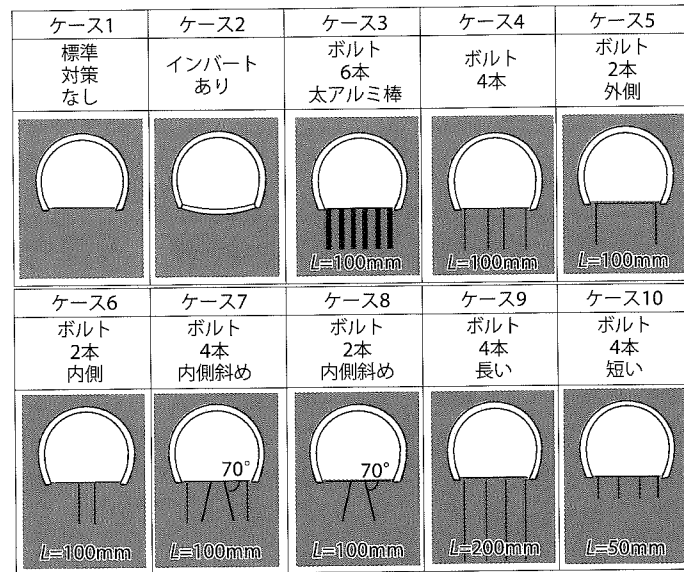


図-3 実験ケース

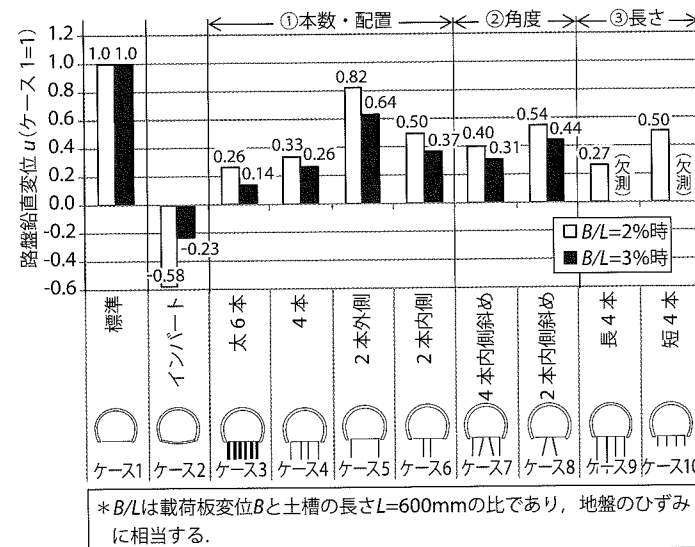


図-4 実験結果(各ケースの路盤鉛直変化)

進行する可能性があるため、バランス良く打設することが重要である。

- ④ ロックボルトは曲げ抵抗ではなく、引張材として効果を発揮する。
- ⑤ ロックボルトの打設角度は、20°程度であればそれほど大きな影響は及ばさないが、打設角度を変えることで定着長が不足しないようにすることが重要である。
- ⑥ ロックボルトの長さとしては、隆起領域深さの2倍が1つの目安となり、ボルトが降伏しないようにボルト長、ボルト径を設計する必要がある。

4 地山のスウェリングに伴う路盤隆起¹⁾

本章ではとくにスウェリングを想定した模型実験とその数値解析を実施し、対策工としての下向きロックボルトの作用メカニズムや合理的な仕様の考え方を検討した。

4-1 検討方法

図-5に示すとおり、1/50スケールのトンネル模型を使用して、インバート下に膨張モルタルを配置することで、地山のスウェリングを表現する模型実験を実施した。実験はロックボルトがある場合と、ない場合の2ケースを実施した。また、本模型実験の数値解析も実施した。

4-2 得られた結果

実験結果を図-6に示す。横軸を膨張開始からの経過時間として、ロックボルトありの場合と、

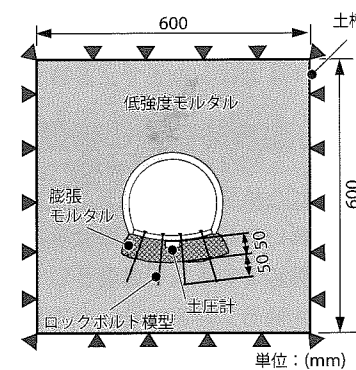


図-5 スウェリングを想定した模型実験の模式図

なしの場合について、インバートへの作用土圧とインバート隆起量の経時変化を示している。本模型実験の数値解析の結果も含めて、得られた知見を以下にまとめる。なお、詳細は文献1)を参照されたい。

- ① 膨張モルタルを使用した模型実験の結果、時間とともに持続的に進行する隆起現象が表現でき、ボルトによるインバート隆起の抑制効果を把握した。
- ② 膨張モルタルを使用した模型実験の結果、ロックボルトによる隆起速度の低減効果は、ある程度隆起が進行すると確認できなくなったが、変位が急激に進行することを抑制する効果は最後まで継続する。
- ③ 模型実験の数値解析の結果、ひび割れ発生時にはボルトの軸力が急増することにより、インバートの急激な隆起、インバートに作用する地圧の急激な低下を防ぐ。
- ④ 下向きロックボルトは地山の塑性化による路盤隆起に対してだけでなく、地山の吸水膨張による路盤隆起にも効果的である。
- ⑤ 下向きロックボルトは、地山の塑性化に対しては主に路盤部地山を補強し、せん断帯の発生・拡大を防ぐこと、吸水膨張に対しては

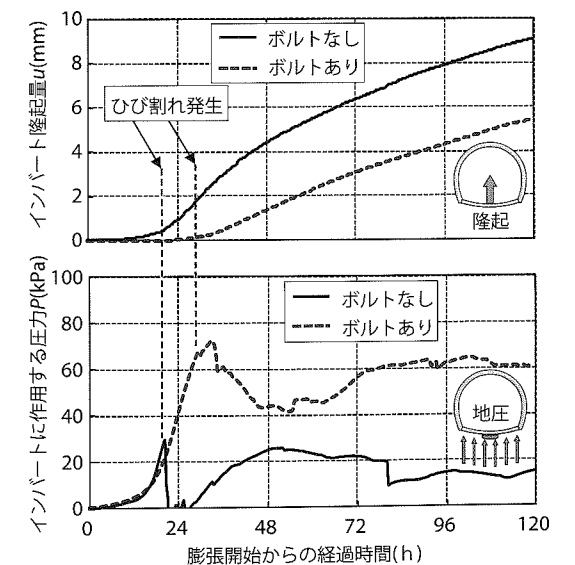


図-6 実験結果(作用土圧と隆起量の経時変化)

主にインバートの見かけの剛性を向上させることにより路盤隆起抑制効果を発揮する。

⑥ 下向きロックボルトの仕様が路盤隆起抑制効果に与える影響はスクイーミングとスウェリングで極端に変化するものではない。

ここまでは、スクイーミングとスウェリングに分けて検討してきたが、事例分析結果によると、全事例で地山強度比が小さかったことから想像されるように、基本的には地山の強度低下に伴うスクイーミングに起因して路盤隆起が発生する場合が多いと考えられること、スクイーミングとスウェリングで下向きロックボルトの仕様が路盤隆起抑制効果に与える影響は極端に変化するものでないことなどから、以降の章では、スクイーミング、地山の強度低下によって発生する路盤隆起を対象として数値解析的に検討する。

5 数値解析による実トンネルの路盤隆起の評価⁴⁾

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。路盤隆起は地山の強度低下によって発生すると考え、強度劣化モデルで表現する。

5-1 検討方法

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。時間経過とともに進行する路盤隆起は、時間経過とともに地山の強度を低下させる強度劣化モデルにより表現した。強度劣化モデルは、トンネルの継続的な変状の進行を段階的な静的解析の連続によって表現するものであるともいえる。つまり、変状の進行を、それを引き起こす外因の段階的な増大によるものと捉え、段階ごとに静的解析を行って、

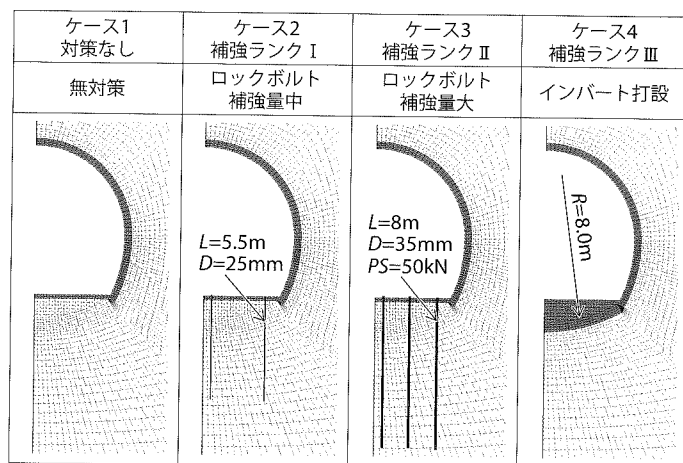


図-7 解析ケース

それをつなげて経時的なトンネルの変状進行をシミュレートするものである。

Aトンネルにおいては、約1.1mm/年と一定速度で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、路盤隆起量が1.1mm/年の一定速度で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評価することとした。

解析ケースを図-7に示す。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とした。

5-2 得られた結果

図-8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。せん断強さ c と時間経過の関係も併せて示している。

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。

本章で得られた結果を以下にまとめる。

- ① 数値解析により、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可能とした。
- ② 強度劣化モデルによる解析でも路盤隆起発

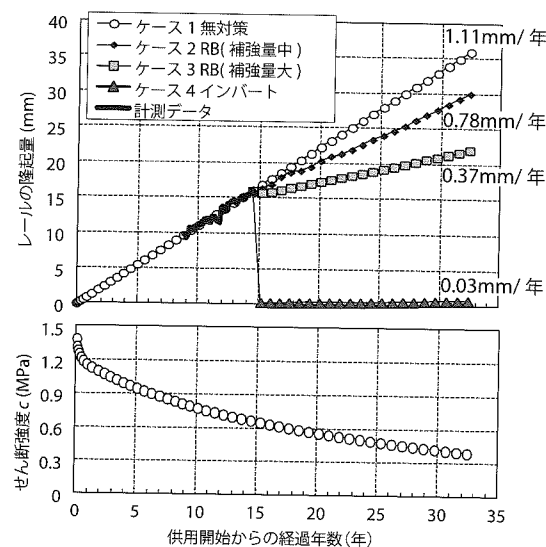


図-8 路盤隆起量の経時変化

生時に、路盤下にせん断帯が発生するものの、ロックボルトによりこのせん断ひずみを軽減できるという、第3章で得られた結果と整合の取れた結果が得られた。

③ 強度劣化モデルにより、インバートのないトンネルの路盤隆起に対する対策工としてインバートを新設する場合の効果を数値解析で表現でき、インバートの新設が路盤部の安定化にきわめて効果的であることがわかった。

本章は、指定した範囲の地山のせん断強さを一様に低下させている。しかし、実際には地山の強度低下は全地山で発生するわけではなく、掘削の影響を受け、地山が緩んだ範囲で強度低下がしやすいと考えられる。そこで以降の章では、トンネルの掘削解析からモデル化し、緩みが大きい要素ほど強度低下が大きいとして、要素ごとに強度を低下させることとする。

6 建設時の影響を考慮した路盤隆起に関する検討⁵⁾

本章では、トンネルの掘削から供用後の路盤隆起発生およびその対策工までを一貫して表現する手法を提案する。また、本研究の主要な検討対象である下向きロックボルトの仕様が路盤隆起抑制効果に与える影響について、インバートがある場

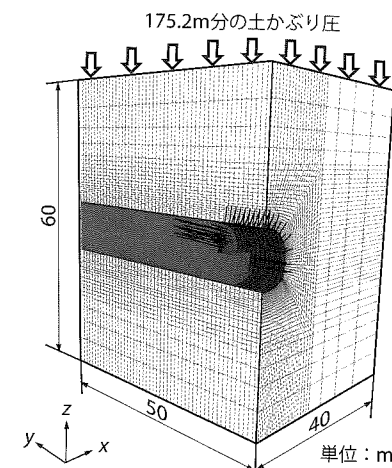


図-9 解析モデル

表-1 解析ケース(掘削時の検討)

解析ケース	地山強度比	掘削工法	支保パターン
1	0.5	補助ベンチ付き全断面工法	重
2	0.5	ミニベンチカット工法	中
3	1.0	ミニベンチカット工法	中
4	1.0	ミニベンチカット工法	軽

表-2 支保パターン

支保パターン	場所	鋼製支保工	吹付けコンクリート	ロックボルト
重 (ケース1)	上下半	200H	250mm	3m×14本
	インバート	200H	250mm	なし
中 (ケース2,3)	上下半	150H	150mm	3m×14本
	インバート	なし	なし	なし
軽 (ケース4)	上下半	100H	100mm	3m×14本
	インバート	なし	なし	なし

合と、ない場合の影響に着目して整理した。

6-1 掘削時の解析

6-1-1 解析手法

解析モデル図を図-9に示す。土かぶりを200mとし、トンネル延長50mをモデル化して掘削解析を実施した。トンネル断面は新幹線トンネル複線断面を想定している。解析ケースを表-1に、支保パターンを表-2に示す。

1掘進長は1mとし、上半掘削、下半掘削、インバート部掘削のあとには、そのたびに収束計算に

より、つり合い状態を求め、その状態で支保を設置し、次の掘削へと移っている。ケース1の補助ベンチ付き全断面工法では、ベンチ長を3mとして、インバート部は上半切羽との相対距離が7mとなったときに3m分を掘削し閉合するというサイクル(早期閉合)とした。

6-1-2 解析結果

図-10にy=23m位置での上半と下半の境界(以下「SL」)の内空変位量の推移を示す。横軸には上半切羽とy=23m位置との相対距離を取っている。これより、ケース1とケース2は同じ地山物性であるが、ケース1ではインバート部掘削、支保工(早期閉合)以降は変位が大きく抑制されていることがわかる。

ケース2では相対切羽距離が25mとなってもまだ緩慢な変位が継続発生し、さらにグラフ下に記載のとおり、この後のインバート掘削時にさらに内空変位が発生する結果となった。

ケース3はケース4と同じ地山物性であるが、鋼製支保工と吹付けコンクリートがランクアップしており、それにより最終変位が99mmから93mmへと約6%抑制されている。しかし、この後のインバート部掘削で、ケース3の方が掘削量が大きく、大きな変位が発生し、最終変位としてはケース3,4で同程度となっている。

6-2 供用後の変状に関する検討

6-2-1 解析手法

スレーキング(岩石の乾湿くり返しによる劣化)の性質は、地山の強度や空隙特性に深くかかわっており、トンネルの掘削に伴ってトンネル周辺地山の応力状態が変化し、割れ目が発達したり間隙比が増加した場合には、スレーキングの性質が発揮されやすくなると考えられる。

そこで本章では、前節の掘削時の解析結果を使用して、全地山要素について、それぞれの要素の破壊接近度に応じてせん断強度を50の解析ステップに分けて徐々に低下させる手法とした。このように掘削時の緩みの影響を考慮したモデル化とすると、ケース1のような早期閉合を実施したケースでは、緩みが抑えられているため、強度低

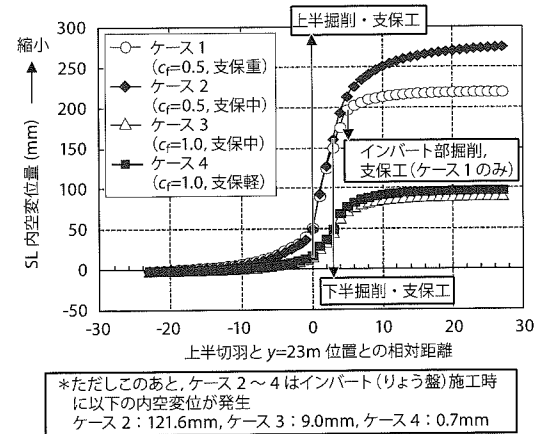


図-10 SL内空変位量の推移(y=23m位置)

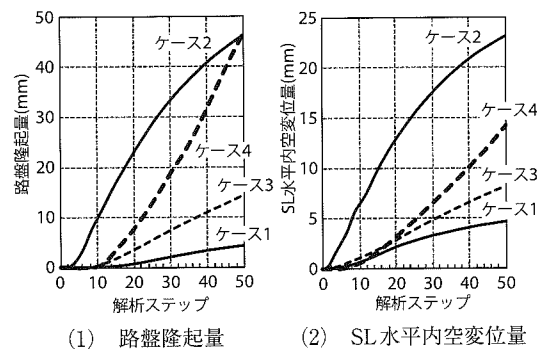


図-11 解析ステップと変位量の関係

下の程度も小さくなる。

6-2-2 解析結果

図-11に解析ステップとトンネルセンターライン(以下「CL」)における路盤隆起量、SLにおける水平内空変位量の関係を示す。

ケース1とケース2を比較すると、地山は同じでも、ケース1では重い支保を用いて早期閉合したことにより、供用中に発生する変位が抑えられていることがわかる。

すなわち、早期閉合は、建設時の変状抑制のみならず、供用中の変状抑制にも効果的であることが確認された。

ケース3とケース4を比較すると、ケース3はインバートがあることで、路盤隆起、SL水平内空変位ともに大きく抑えられていることがわかる。以上より、建設時にインバートを施工しておくことで供用中の変状が抑えられることが確認できた。

表-3 解析ケース

略称	ロックボルト本数(本)	打設ピッチ(m)	ロックボルト直径(mm)	ロックボルト長さ(m)	プレストレス(kN)	
ケース2-1	基準仕様	4	1.0	25	5.5	0
ケース2-2	6本/断面	6	1.0	25	5.5	0
ケース2-3	0.5mピッチ	4	0.5	25	5.5	0
ケース2-4	径50mm	4	1.0	50	5.5	0
ケース2-5	長さ8m	4	1.0	25	8.0	0
ケース2-6	PS 50kN	4	1.0	25	5.5	50
ケース2-7	高仕様	6	0.5	50	8.0	50

*ケース4-1~4-7についてもケース2-1~2-7と同様

6-3 供用中の路盤隆起に対する対策工に関する検討

6-3-1 解析手法

本節では、前節において地山に合ったトンネル構造でなかったため、供用中に大きな路盤隆起が発生したケース2,4について、下向きロックボルトによる対策工を実施した場合について、ロックボルトの仕様をパラメータとした解析を実施した。ケース2,4について、路盤隆起が20mmに達した時点で下向きロックボルトによる対策工を施工するという解析を実施する。

解析ケースはロックボルトの仕様をパラメータとして表-3に示す7ケースを、ケース2,4のそれぞれについて実施した。

6-3-2 解析により得られた結果

ロックボルトの本数や径を大きくすることにより、ケース2,4ともにロックボルトの隆起抑制効果が増加した。本数や径の増加は合計の定着力の増加につながり、効果が増したと考えられる。ロックボルトの長さを長くすることは、塑性領域が広くて地山の強度が小さいケース2では、より長期にわたって路盤隆起抑制効果が発揮できることとなり効果が大きかったが、塑性領域が狭くて地山の強度が大きいケース4では、ロックボルト長5.5mですでに十分であり、それ以上長くしても効果は見られなかった。ロックボルトの長さは想定される定着力がボルト材の降伏耐力を超えないように、決定する必要があるといえる。

プレストレスの導入については、打設初期の効

表-4 地山条件に応じたロックボルト仕様向上の考え方

	向上させるロックボルトの仕様			
	本数	径	長さ	プレストレス
強度が小さい地山(付着切れの防止)	○	○	◎	△
強度が大きい地山(ボルト材降伏の防止)	○	◎	×	△

◎:非常に有効, ○:有効, △:やや有効, ×:効果なし
 果は向上することが確認されたものの、ケース2では付着切れに至るまでの期間が、ケース4ではボルト材降伏に至るまでの期間が、それぞれ短くなり、最終的な路盤隆起量はプレストレスなしとあまり変わらない結果となった。

高仕様としたケースについては、ケース2,4ともにいずれももっとも大きな隆起抑制効果を発揮した。1つの仕様だけを向上させるより、このように複数の仕様を組み合わせることで向上させることにより、より一層効果が大きくなるのがわかる。

地山条件に応じたロックボルト仕様向上の考え方を表-4のようにまとめられる。すなわち、強度が小さい地山では付着切れを防ぐことが、強度が比較的大きい地山ではボルト材の降伏を防ぐことが重要となる。

プレストレスを導入すると付着切れやボルト材降伏に至る期間が短くなるため、即効性を期待してプレストレスを導入する場合は、強度が小さい地山では十分な長さを確保しておくことが、強度が大きい地山では径を大きくすることが重要となる。このように、バランス良く仕様を向上させることが重要であると考えられる。

7 インバート半径が路盤隆起に与える影響に関する検討⁶⁾

7-1 解析手法

本章では、第6章と同様の手法により、トンネル掘削から供用後の路盤隆起およびその対策工までを一貫してモデル化する手法により、インバート半径が供用後に発生する路盤隆起に与える影響などを評価した。解析ケースを図-12に示す。

7-2 解析結果

図-13に経過時間とインバート変位量の関係を示す。インバート半径が大きいほどインバート隆起量が大きいことがわかる。

図-14に50年後の時点でインバートに作用する応力とインバートの変位量の関係を示す。ケース1~5のほかに、覆工とインバートを剛とした解析も実施し、この結果もプロットしている。これより、本解析では0.7MPa程度(初期地圧4MPaの2割弱に相当)の内圧をインバートに与えることができればインバートの変位を押し止めることができる。

図-15にインバート中央通路部直下の地山要素の最小主応力、最大主応力の経時変化を示す。ここで、最小主応力は水平方向応力、最大主応力は鉛直方向応力(インバートに作用する応力)に該当する。これより、インバート半径が大きい場合、

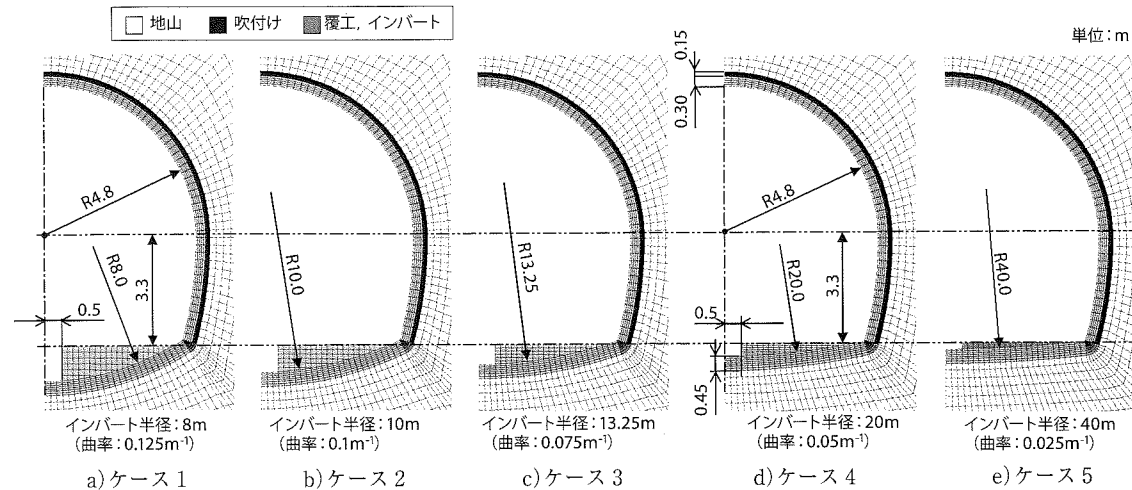


図-12 解析ケースとトンネル断面図

最小主応力は経年とともに大きく低下する一方で、最大主応力の増分は比較的小さいことがわかる。すなわち、図-16の模式図に示すとおり、インバートの剛性が小さい(インバート半径が大きい)場合、地山の強度が低下すると、インバート下地

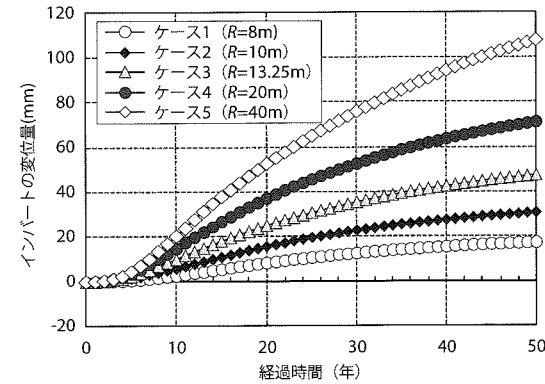


図-13 経過時間とインバート変位量の関係

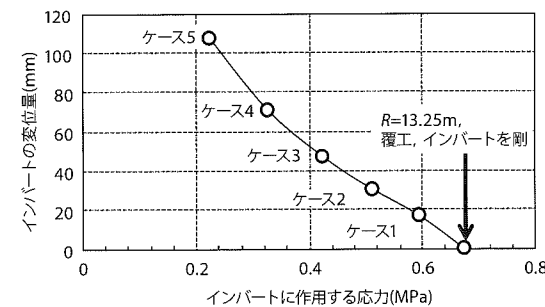


図-14 インバートに作用する応力と変位量の関係(50年後)

山からインバートに荷重が作用するが、インバートが容易に隆起するため、最大主応力の増加は大きくはならず、最小主応力が大きく低下することがわかる。

なお、最小主応力、ここでは水平方向応力が低下すると、その分の水平方向応力は深部の地山で負担することになる。すなわち、インバート剛性が低いほど深部地山への応力再配分により塑性領域が広がりやすいと考えられる。

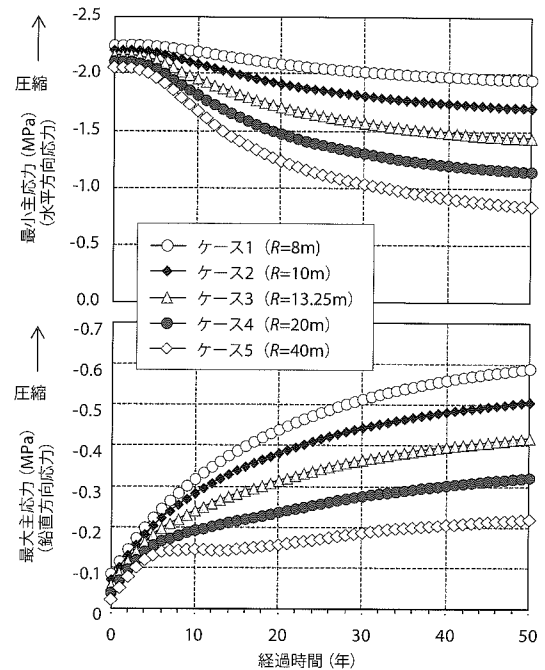


図-15 地山強度が低下するときの時間経過とインバート下の地山の応力状態の関係

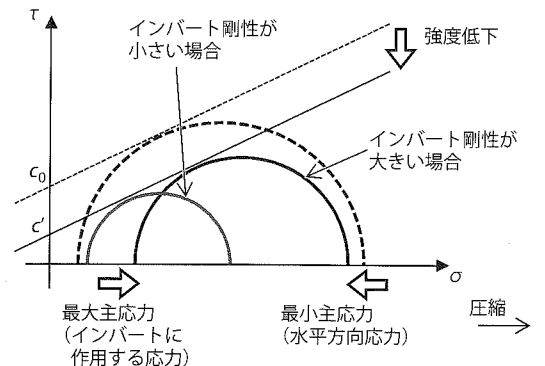


図-16 供用中の地山強度低下による路盤隆起発生時のインバート下地山の応力状態変化の模式図

8 おわりに

本研究では、路盤部の隆起現象とその対策工としての下向きロックボルトに着目し、路盤隆起メカニズムおよび対策工の仕様の選定法について、模型実験や数値解析により検討し、一定の答えを導き出した。NATMではインバート部が上下半と比べ相対的に弱い傾向にあり、路盤隆起の事例は今後も見られる可能性も考えられ、路盤隆起対策工の考え方について、共通の認識を作ることがますます重要になると考える。

また、現状のインバートの設計・施工の基準も必ずしも最適であるとはいえず、今後は、地山に対応したインバート構造の選定法を研究していく必要がある。とくに、現状の設計法では供用後の地山の強度劣化が見込まれていない点に問題があると考えられる。

現状では、掘削時の変位を安定化させるために、地山によって支保パターンを変化させるものの、掘削時の変位収束後に施工する覆工やインバートについて構造を変化させることはまれである。変位収束後に覆工やインバートを施工するのであれば、覆工、インバートには自重以外の外力が作用しないという概念が根本にあり、一律の巻厚があればどんな地山でも長期安定性が確保できると考えているのが現状の設計である。しかし、掘削時の変位が大きい場合の方が当然、残存支保耐力は小さく、地山の緩みは大きく、劣化しやすい地質では将来的に変状が発生しやすいため、よりしっかりとした覆工、インバートが必要となるはずである。

今後、地山の長期安定性評価にもとづく供用後のトンネルへの作用荷重の算定法を確立し、供用後に変状が進行するようなトンネルを減少させることに寄与できればと考えている。

末筆ながら、本研究に関して、ご指導、ご協力いただいた関係各位に深甚なる感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 嶋本敬介・野城一榮・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，Vol.68，No.3，pp.65-79，2013.3.
- 2) 嶋本敬介・野城一栄・小島芳之・中西祐介・塚田和彦・朝倉俊弘：地山の塑性化に伴う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，Vol.69，No.1，pp.54-72，2013.3.
- 3) 嶋本敬介：山岳トンネルの路盤隆起現象およびその対策工に関する研究，京都大学学位論文，2014.3.
- 4) 嶋本敬介・野城一栄・鈴木尊・朝倉俊弘：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，トンネルと地下，Vol.44，No.5，pp.51-59，2013.5.
- 5) 嶋本敬介・野城一栄・小島芳之・塚田和彦・朝倉俊弘：建設時の影響を考慮した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，Vol.69，No.2，pp.105-120，2013.9.
- 6) 嶋本敬介・野城一栄・小島芳之・朝倉俊弘：インバート半径が路盤隆起に与える影響に関する数値解析的検討，トンネル工学報告集，Vol.23，pp.239-246，2013.11.

山岳トンネル設計の考え方

山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著

B5判 183頁 上製本 本体価格3,200円

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読書である。

主要目次

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

株式会社 **土木工学社**

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

連載講座

トンネル新技術への挑戦(22)

—覆工(養生および剝離・剝落対策)—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会

① はじめに

トンネルの覆工は一般的な2車線断面トンネルや鉄道複線トンネルにおいては，坑口部，都市部のトンネル，特殊大断面区間を除けば，一般的な構造として巻き厚30cm程度の無筋構造である。また，その施工は2日に1スパン約10.5m程度の打設をくり返していくため，十分な養生条件とは言いがたい状況である。

1999(平成11)年の鉄道トンネルを始めとする覆工コンクリートの剝落事故を契機に，覆工の品質が社会的に大きな問題となった。当該トンネルは矢板工法により施工されたトンネルであり，当時の施工方法，トンネル覆工構造，トンネルの施工機械などに起因する多くの要因が含まれていたものと考えられる。現在，山岳トンネルの標準工法としてのNATMの覆工についても，これを契機に品質に影響を与えるコンクリート材料，型枠，打設方法，養生，施工機械などトンネルの覆工を長期耐久性のある構造物とすべく，さまざまな改良や研究開発が進められている。

今回はこれらの技術のうち，覆工の養生と供用後の覆工コンクリート剝離・剝落対策としての新技術を3例紹介する。

(1) アクアカーテン(安藤ハザマ)

アクアカーテンは，養生シートと覆工コンクリートとの間の空気を吸い出し，養生シートを覆工コンクリート面に密着させ，さらに密着した空

間に水を供給することにより，コンクリート表面に水膜を形成させる養生工法である。

(2) モイストキュア(大林組)

モイストキュアは，超音波加湿器で生成された飽和水蒸気と高断熱性養生シートで，脱型後の覆工コンクリートを加湿・保温する養生システムであり，トンネル構造物の高品質化と耐久性向上を実現するものである。

(3) タフネスコート(清水建設)

タフネスコートは，覆工表面にポリウレアという樹脂を吹付け，覆工コンクリートの剝落防止性や耐久性を向上させる技術である。

② アクアカーテン

2-1 開発の背景と経緯

2-1-1 それまでの状況

覆工コンクリートは，一般構造物のコンクリートの養生条件と異なり，打込み翌日に脱型する施工サイクルとなる。トンネル坑内は温度および湿度が安定しているという考え方により，一般には付加的な養生は行っていない。しかし，近年では坑内環境を改善するため大型換気設備の導入が進み，坑内温度および湿度は低下しており，コンクリートに対する坑内環境は悪くなっている。また，トンネルの大断面化などの要因も重なり，乾燥収縮が原因とされるひび割れが発生している。

2-1-2 開発への取り組み

覆工コンクリートは，早期に脱型されるという

不可避的な条件にあるが、給水を行い湿潤養生することで、逆に大きな養生効果を期待することができる。コンクリート養生を単に覆工コンクリートの強度発現不足の対策としてではなく、更なる耐久性向上を目指した養生として捉えていくことが重要である。

これらの課題を解決するため、トンネル掘削の施工サイクルを確保しつつ、覆工コンクリート表面に常に水分を供給できる湿潤養生を適用することが理想である。スラブ面のような水平面は容易に湿潤養生を行えるが、覆工コンクリートはその形状から養生を行うことが難しく、実際は不十分な湿潤養生や養生環境が劣悪な中での気中養生状態となっている。

以上のような背景から、覆工コンクリートに理想的な養生が可能となるアクアカーテン養生システムを開発した¹⁾。

2-1-3 開発の経緯

アクアカーテン養生システムは、図-1に示すように養生シート、給水装置、吸引装置から構成される。養生シートは気泡緩衝シートを採用し、凸側をコンクリート面に向けて使用する。

展開した養生シートとコンクリートと間の空気を吸引機により吸い出し、シートをコンクリート面に密着させる。養生水は、給水タンクからポンプにより天端まで汲み上げられ、給水ホースから自然流下させる。これにより、覆工コンクリート

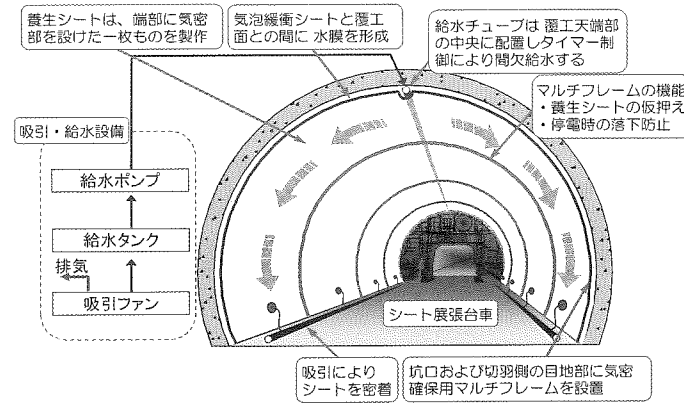


図-2 覆工コンクリートへの適用例

表面に常時水膜を形成させることができる。

トンネルにアクアカーテンを適用する場合のシステム構成を図-2に示す。なお、一般構造物と比較してトンネル工事の特殊性を考慮し、以下の工夫を行っている。

- ・養生水が天端から左右両脚部へ均一に流下するように吸引装置は両脚部に設置する。
- ・養生シート落下防止用に塩ビパイプを用いたフレーム材を設置する。
- ・養生シートの展開に際しては、トンネル通行車両に影響を与えないよう専用の養生シート展開台車を利用する。

2-2 開発の成果と実績

2-2-1 給水状況の確認

写真-1に養生シート展開完了状況と水膜形成状況を示す。1スパンの養生面積は約200m²であり、左右に設置した2台のファンにて吸引を行った結果、給水開始後30分程度で覆工全面に水膜が形成された。

2-2-2 養生効果の確認

覆工コンクリート表層の品質を定量的に評価するため、現在多くの機関で使われている現場透気試験(トレント法)²⁾を採用し、透気係数により評価した。トレント法による透気係数の評価基準は、表-1に示すスイス規格(SIA262/1-E)に従った。

ここで使用している透気係数は、1測定箇所あたり5回測定し、最大および最小の値を棄却した3回の測定結果の対数平均値を基本とした。また、

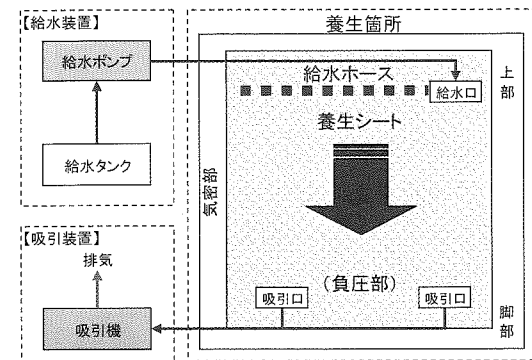
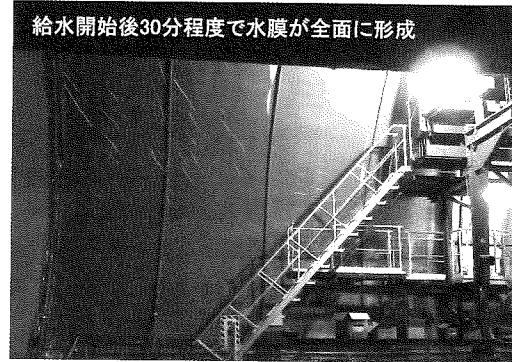


図-1 アクアカーテン養生システムの構成



シート展開完了, 吸引前



給水開始後30分程度で水膜が全面に形成

写真-1 養生シート展開完了と給水状況

透気係数は含水率の影響を大きく受けるため、含水率も併せて計測した。

覆工コンクリートの養生方法は、養生なし、水分逸散抑制養生および給水養生の3種類とし、養生期間は4週間である。表-2に示すように、養生なしの透気係数は $2.133 \times 10^{-16} \text{m}^2$ (ランク4)だが、無給水のシートによる水分逸散抑制養生の場合は $0.113 \times 10^{-16} \text{m}^2$ (ランク3)と改善する。さらに、アクアカーテンによる給水養生を材齢4週間まで実施した場合、透気係数は $0.007 \times 10^{-16} \text{m}^2$ (ランク1)となり養生効果が確認できた³⁾。

2-2-3 現場適用実績

アクアカーテンは、2017(平成29)年1月時点で施工中も含めると72本のトンネルに採用され、養生面積も100万m²を越えている。今後も54本のトンネルで採用予定である。

2-3 残された問題点

覆工コンクリートの養生の必要性やその効果については、アクアカーテンだけでなくその他の養

表-1 透気係数の判定基準(SIA262/1-E)

ランク	透気係数($\times 10^{-16} \text{m}^2$)	評価レベル
1	<0.01	非常に良い
2	0.01~0.1	良い
3	0.1~1.0	普通
4	1.0~10	悪い
5	>10	非常に悪い

表-2 透気試験結果

養生方法 期間	測定箇所	透気係数 ($\times 10^{-16} \text{m}^2$)	ランク	測定深さ (mm)	含水率 (%)
なし	SL付近	2.133	4	56	5.5
水分逸散 抑制養生 4週間 ^{#1}	SL付近	0.113	3	13	6.5
給水養生 4週間 ^{#2}	SL付近	0.007	1	8	6.9

※1: コンクリート保水養生テープによる養生
※2: アクアカーテンによる養生



写真-2 ユニットタイプ



写真-3 バルーンタイプ

生工法についても多くの報文が発表されている。

しかし、現場適用実績のほとんどは、総合評価落札方式における技術提案の履行のために採用されているのが現状である。

また、覆工コンクリートについては、近年技術開発が進み、材料、型枠、打設、締固め、養生の各工程において現状と標準工法との乖離が見受けられ、とくに養生については隔たりが大きい。覆工コンクリートの品質確保や向上のため、養生工法を標準化し、養生費用を適切に設計価格に計上していく必要がある。

2-4 おわりに

本システムは、シートの展張方法や固定方法により、ユニットタイプとバルーンタイプがある(写真-2, 3)。養生期間、養生規模に応じてタイプ選定を行う必要がある。

③ モイストキュア

3-1 開発の背景と経緯

3-1-1 それまでの状況

従来、移動式型枠を取り外したあと(以降「脱型後」と称す)の覆工コンクリートの養生としては、夏期の坑内散水や貫通後のシート遮断以外はとくに付加的な養生は行われていなかった。この理由は、明かり構造物に比べてトンネル内は坑口を除き温度が安定し、湿度も高いからである。しかし、近年、坑内作業環境の改善の取組みの一つとして、大型の送風機による坑内換気が増え、坑内が以前に比べ低温、低湿度状態となったことから、脱型後のコンクリート表面に急激な乾燥や温度降下が生じ、ひび割れ発生が問題視されていた。

3-1-2 開発への取組み

1999(平成11)年に発生したトンネル覆工コンクリートの剥落事故などによる被害を契機に、覆工

コンクリートの高品質化、高耐久化が強く求められた。そこで、脱型後の覆工コンクリート表面に、高断熱性の養生シートによって外気と遮断された密閉空間を構築し、この空間内を保温するとともに、超音波加湿器で生成した飽和水蒸気を循環・供給することで、空間内を高湿度な状態に維持する超音波加湿養生システム(図-3)の開発に着手した。

3-1-3 開発の経緯

本システムは、風量調整機能を備えた送気口と吸気口を多数配置しているため、空間内の各所で湿度が均一化されるので、密閉空間内全域で湿度を90%以上の高い状態に維持することができる(図-4)。また、脱型後の覆工コンクリート表面を断熱性の高い養生シートで覆うため、空間内は保温性が高く、急激な乾燥や温度降下を防止できる。

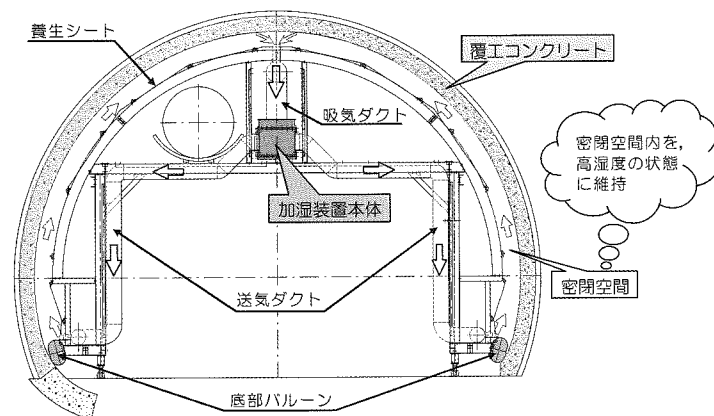


図-3 超音波加湿養生システムの概要

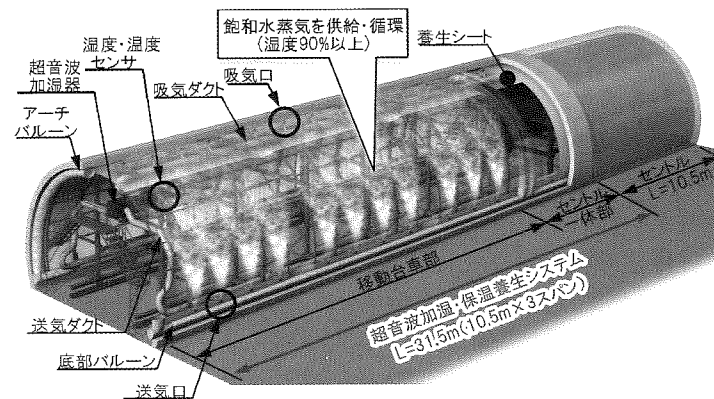


図-4 超音波加湿養生システムの構成

さらに、飽和水蒸気の供給により空間内の湿度を高めてコンクリートの水和反応を促進させることにより、コンクリートの強度増進や緻密化を実現できる。なお、散水やミスト噴霧による養生では、その気化熱によりコンクリートが冷却され逆効果となる。一方、超音波加湿器で生成されたミストは数μmと微小粒子なので、加湿装置内で速やかに蒸発する。この飽和水蒸気で養生するため、コンクリートの温度は低下しない。さらに、水蒸気は循環して使用するため、消費水量が60~120L/日と少なく路盤の泥濘化が生じない、密閉空間内のみで加湿養生を行うためトンネル内の視界不良は生じない⁴⁾。

3-2 開発の成果と実績

3-2-1 基本性能の確認

2008(平成20)年に2車線道路トンネルで行った実証実験より基本性能を確認した。本システムを適用した場合、コンクリートの内部(覆工巻き厚の中央部)と表面の温度差は2℃程度となった。適用しない場合(無養生)は8℃程度であり、温度応力が問題となる場合に有効である(図-5)。

一方、密閉空間内の湿度は、場所によるばらつきが大きく(湿度差25%)、平均値は88%に留まった。この結果を受け、ダンパーによる風量調整機能を備えた送気口と吸気口を多数配置するなど、システムの改良を行った。改良後のシステムを第2宇遠別トンネル工事で適用した結果、密閉空間内の湿度を均一化(湿度差10%)することにより、平均湿度を94%と高い状態に維持できた(図-6)。

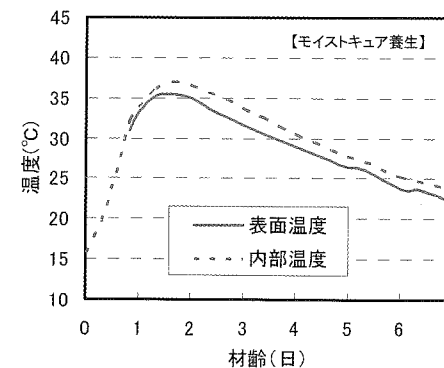


図-5 コンクリート温度の経時変化⁵⁾

3-2-2 養生効果の確認

第2宇遠別トンネル工事では、本システムの養生効果を確認した。脱型後7日間に本システムを適用した場合としない場合の試験供試体(φ125×250)による圧縮強度試験結果(材齢28日)を図-7に示す。同図より、本システムを適用した場合、

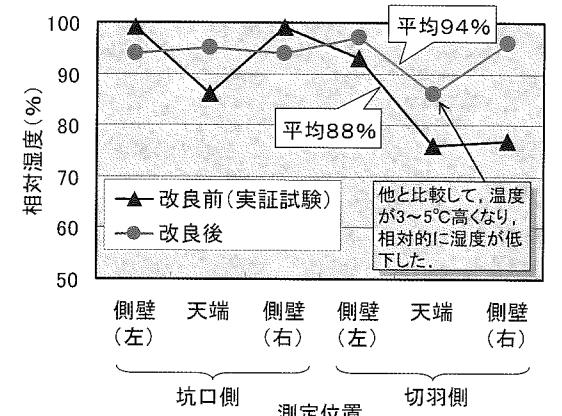


図-6 密閉空間内の湿度⁵⁾

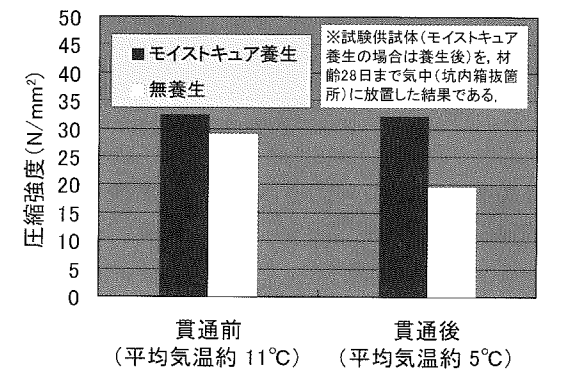
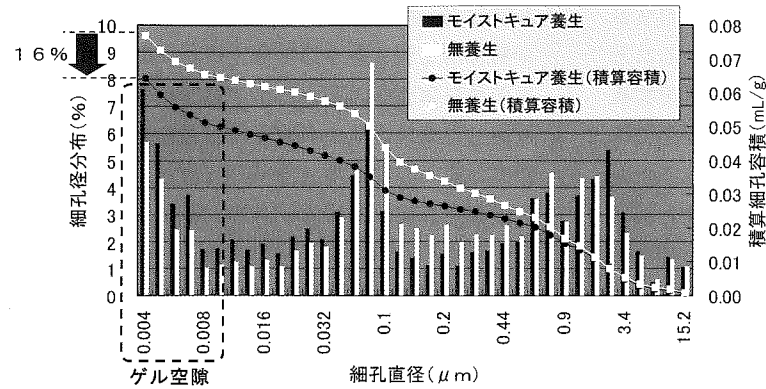


図-7 圧縮強度試験結果⁴⁾

図-8 細孔径分布測定結果⁹⁾写真-4 実施工での加湿養生状況⁹⁾

圧縮強度は増加しており、どくに、貫通後に坑内環境が低湿度・低温となった場合に効果的である。

また、試験供試体のコンクリート表面付近のモルタル部分を採取して行った細孔径分布測定結果(水銀圧入法, 材齢28日)を図-8に示す。同図より、本システムを適用した場合、孔径15.2 μm 以下の積算細孔容積は低減する一方で、孔径0.01 μm 以下の微細なゲル空隙量は増加する結果が得られた。このように、加湿養生を継続的に行うことで、コンクリートの水和反応が促進され、水和組織を緻密化できる。

3-2-3 現場適用実績

本システムは、これまで38本のトンネルで採用しており、今後さらに7本のトンネルで採用予定である。

3-3 残された問題点

本システムは、一定距離を有する標準断面のト

ンネルへの適用を念頭に開発したため、道路トンネルの非常駐車帯部への適用は困難である。

3-4 おわりに

本システムは、脱型後のコンクリートの乾燥収縮や温度ひび割れを大幅に抑制し、トンネル構造物の高品質化と耐久性を向上する技術である。さらに、坑内車両の走行安全性を向上するため、2015(平成27)年よりシ

ステム全体の移動方法を台車方式からサイドレール方式に変更している(写真-4)。

4 タフネスコート

4-1 開発の背景と経緯

4-1-1 それまでの状況

鉄道や道路などのトンネルの覆工については、コンクリートの剝落を防止するために定期的な検査が行われている。また、予防策として繊維シート接着工法やネット工法などの剝落防止対策工が開発され、すでに実施されているが、施工性や耐久性に課題が残されていた。

4-1-2 開発への取組み

著者らはライニング材料⁷⁾でコンクリート構造物を被覆することにより、大変形に追従できかつ耐荷力を保持できる技術「タフネスコート」を研究開発中である。ここでは、研究開発成果の一部としてタフネスコートに用いるライニング材料の特徴、コンクリートの剝落防止性能⁸⁾、およびトンネル覆工の剝落防止を目的とした試験施工による実用化検討⁹⁾に関する知見を報告する。

4-2 開発の成果と実績

4-2-1 ラニング材料の概要

タフネスコートでは、ライニング材料としてポリウレタ樹脂⁷⁾を用いているが、同種のライニング材料に、エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂などがある。図-9に樹脂材料の力学特性の比較を示す。この図より、ポリウレタ樹脂は引張強度が24MPaと大きく、破断時のひずみは200%程度であ

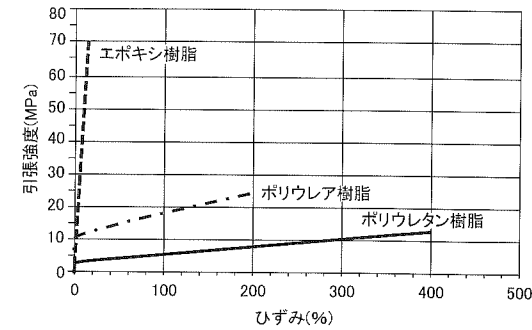


図-9 樹脂材料の力学特性の比較

る。エポキシ樹脂は引張強度70MPaと非常に大きいですが、破断時のひずみは5%程度と小さい。また、ポリウレタン樹脂は破断時のひずみは400%程度と大きいですが、引張強度は10MPa程度と小さい。そこで今回、引張強度と伸び性能に優れたポリウレタ樹脂に着目し研究開発を開始した。ポリウレタ樹脂は反応性に富むイソシアネート($\text{O}=\text{C}=\text{N}-\text{Q}-\text{N}=\text{C}=\text{O}$)とポリアミン($\text{NH}_2-\text{R}-\text{NH}_2$)を2液混合スプレーでウレタ結合させ、構造物表面に塗布するものである。その特徴として、①施工直後に瞬間的に硬化する、②早期に強度を発現する、③毒性がない、④耐候性(紫外線)、耐酸性、耐アルカリ性に優れる、などが挙げられる。

構造物のライニング材料としては大きな変形性能とひずみが大きい領域での復元力を確保できる強度が必要で、破断時のひずみが小さいエポキシ樹脂、引張強度が小さいポリウレタン樹脂は適していない。一方、ポリウレタ樹脂は従来の樹脂材料になかった引張強度と伸び性能を併せ持った材料であり、タフネスコートはこのポリウレタ樹脂の持つ力学特性を利用して、コンクリート構造物の剝落防止および耐久性向上を図る技術である。

4-2-2 剝落防止性能の検証

まず、タフネスコートのトンネルにおける剝落防止性能を確認するため、大型トンネル覆工模型実験装置を用いた載荷実験を行った。

(1) 実験概要

実験装置の縮尺は新幹線複線標準断面の1/5相当である。実験装置は、図-10に示すように載荷用油圧ジャッキ、反力用油圧シリンダ、反力フ

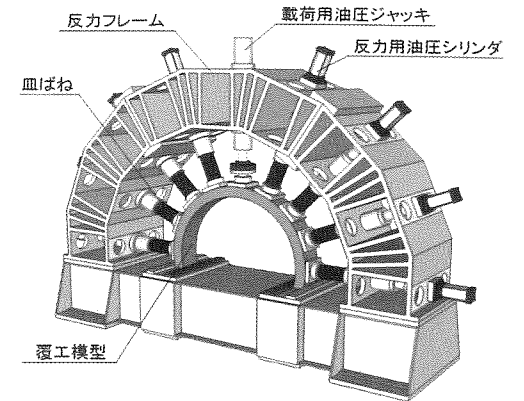


図-10 載荷装置図

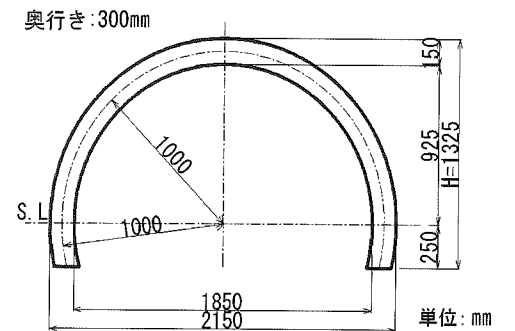


図-11 試験体の構造図

レームなどで構成され、模型覆工の周囲に取り付けられた皿ばねにより覆工と地盤との相互作用を模擬することができる。試験体の構造を図-11に示す。

覆工は矢板工法による新幹線トンネル(巻き厚70cm)を想定し、材料は無筋コンクリートとした。実験ケースはケース1(無筋)とケース2(樹脂被覆)の2ケースとした。ケース2(樹脂被覆)は覆工の内面にポリウレタ樹脂を厚さ1.35mmで吹付けた。載荷実験は変位制御により、覆工天端を鉛直下向きに最大70mm変位させることにより行った。この際、破壊状況、載荷重 P 、載荷点変位 δ 、ひび割れ位置、ひび割れ幅の計測を行った。

(2) 実験結果

図-12に覆工天端の鉛直変位が $\delta=20, 40\text{mm}$ 時におけるひび割れ状況を示す。2ケースとも $\delta=2\text{mm}$ 程度で曲げ引張りひび割れが天端内側および肩部外側に発生したのち、 $\delta=16\text{mm}$ (ケース1)、 $\delta=20\text{mm}$ (ケース2)で天端に曲げ圧縮破壊が発生した。

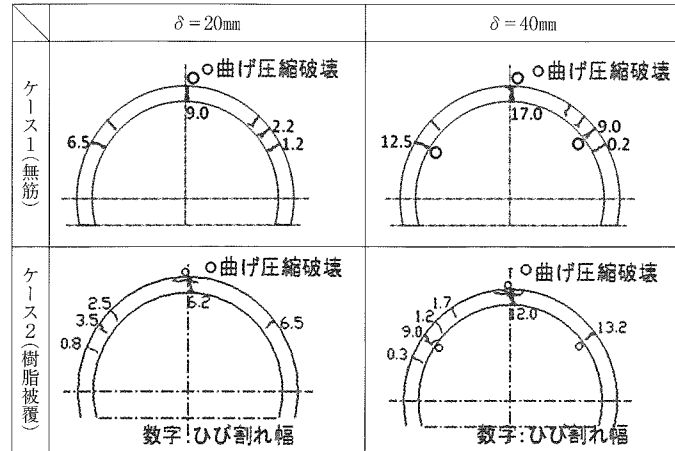
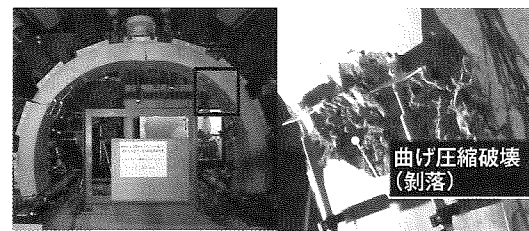


図-12 ひび割れ状況図



ケース1(無筋) delta=40mm



ケース2(樹脂被覆) delta=70mm
写真-5 試験体の破壊状況

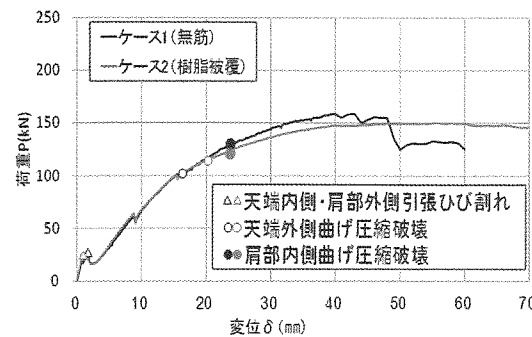


図-13 荷重-変位曲線

写真-5に天端変位が進んだあとの曲げ圧縮破壊箇所の状況を示す。ケース1(無筋)ではdelta=40mm時点で掌大の塊状剥落が発生しているのに対

し、ケース2(樹脂被覆)では、delta=70mmに到達しても、曲げ圧縮破壊箇所においては樹脂の表面に凹凸が見られるものの樹脂で被覆されていることにより覆工の剥落はなく、また樹脂自体の剥離や破断が発生することもなかった。

図-13に各ケースの荷重Pと載荷板の変位deltaの関係を示す。いずれのケースも、delta=2mm程度で引張りひび割れが発生して3ヒンジアーチ状態となった際に荷重がいったん低下した。その後地盤ばねにより支持されたアーチ構造

であるため、delta=16mm(ケース1)、delta=20mm(ケース2)で天端にdelta=23mm前後(ケース1、2)で肩部に曲げ圧縮破壊が発生し、トンネルとしての剛性が低下したが、両ケースとも耐力を失うことはなかった。

さらに変位を増加させると、ケース1(無筋)はdelta=48mmで荷重が急激に低下した。これは、曲げ圧縮破壊箇所コンクリートが剥落し断面欠損を生じたためと考えられる。ケース2(樹脂被覆)ではこのような荷重の急激な低下は観察されなかった。これは樹脂で被覆された試験体では剥落が生じないため、コンクリートには破壊が生じるものの荷重伝達が行われているためと考えられる。

以上のことから、タフネスコートの優れた剥落防止性能が確認された。

4-2-3 試験施工

次に、実際のトンネルにおいて施工性と付着性能の確認を行った。

(1) 試験施工のケースと実施方法

試験施工は北海道旅客鉄道(株)の協力を得て、休止線となっている在来線単線トンネル(内空幅約4.8m、内空高さ約5.4m)で実施した。試験ケースは、閉鎖空間における施工性の確認に加え、漏水状況と下地処理に着目し、表-3に示す6ケースを実施した。Case4~6については、施工終了後に背面から水が回ってきた状態を模擬するために、写真-6に示すように漏水箇所止水セメントに

表-3 実施ケースの一覧表

Case	漏水	下地処理	Case	漏水	下地処理
1		ウエス拭き	4		ウエス拭き
2	なし	圧搾空気	5	あり	圧搾空気
3		ディスクサンダ	6		ディスクサンダ

※漏水ありの箇所は止水セメントで止水後に施工

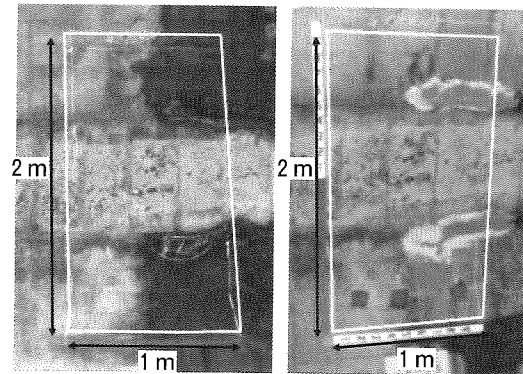


写真-6 仮止水状況

よる仮止水を実施したのち施工した。

ポリウレタ樹脂の仕様を表-4に、施工手順を図-14にそれぞれ示す。準備工を実施した後に、仮止水工、下地処理工をそれぞれ実施し、その後にプライマー塗布、樹脂吹付け(厚さ1.5mm)を実施した。また、施工完了1週間後、1か月後、5か月後、1年後の合計4回、建研式付着力試験により付着力を確認した。試験施工時の機械配置は、トンネル内の施工箇所にクローラ式高所作業車と鉄道工事用クレーン付きトラック、トンネル坑口部に発電機と資材などを配置した。

(2) 試験施工の結果

写真-7に施工状況、写真-8に施工完了状況をそれぞれ示す。発電機やユニットハウスの設置などの準備工から片付け工までのすべての工程を実働7日で完了した(図-15)。

施工に要した時間は当初計画よりも短く、施工完了後に実施したポリウレタ樹脂の目視検査において品質上の問題がなかったことより、トンネル内の閉鎖空間における施工は十分に可能と判断された。各ケースのサイクルタイムを図-16に示す。

図中の値は、高所作業車などの資機材が配置さ

表-4 ポリウレタ樹脂の仕様

吹付け厚さ	1.5mm
主 剤	TC-100 A材
硬化 剤	TC-100 B材
混合比(容積)	1 : 1
ゲルタイム	2~3秒
指触乾燥時間	6~8秒

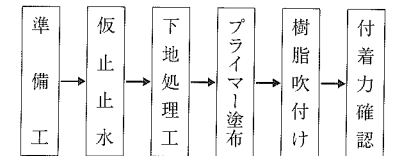


図-14 施工手順図



写真-7 施工状況

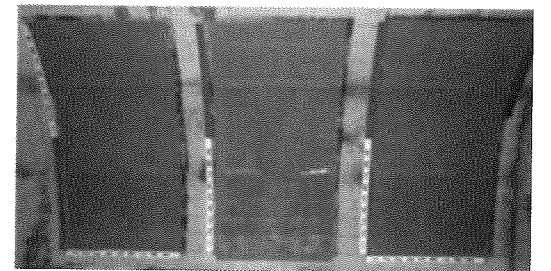


写真-8 施工完了状況

れ、施工準備が整った時点から施工完了までの所要時間を示しており、各工程における準備・養生・片付けなどの時間は含まれていない。3種類の下地処理を比較すると、圧搾空気、ウエス、ディスクサンダの順に施工時間が長くなっているが、その差がもっとも大きいのは、Case 5、6の4分であり、試験施工程度の施工面積では有意な差は確認されなかった。また、ポリウレタ樹脂の吹付け時間は各ケースとも2分であり、下地処理時間やプライマー塗布時間より短く、吹付け工法の利点を確認された。

図-17に施工完了1週間後、1か月後、5か月後、

	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目	7日目
準備工	■	■	■	■	■	■	■
漏水処理				■			
下地処理					■		
プライマー						■	
現場養生							■
ポリウレタ塗布							■
片付け・搬出							■

図-15 施工工程

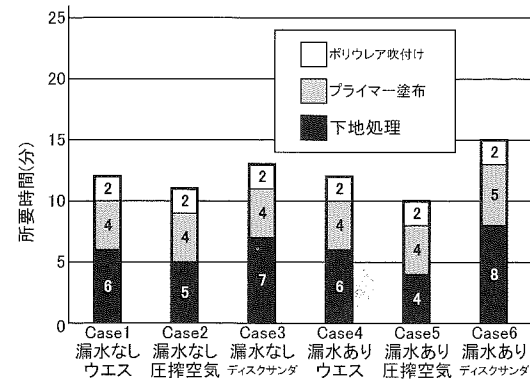


図-16 サイクルタイム

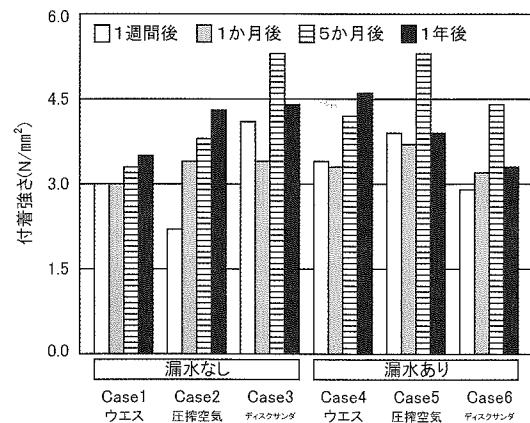


図-17 付着強度試験の結果

1年後の付着強度を示す。漏水なしに比べて漏水ありの付着強度が若干大きくなっているケースもあるが、下地処理の違いによる有意な差は確認されなかった。また、経時的な付着強度の変化に関しては、全ケースにおいて明確な強度低下は確認されなかった。東・中・西日本高速道路(株)における『トンネル施工管理要領』¹⁰⁾では、剥落対策工

(小片剥落)の付着強度の基準値は1.5N/mm²以上となっており、今回の試験施工では全ケースにおいて基準値を上回っており、十分な付着強度を有していることが確認された。

4-2-4 得られた知見のまとめ

研究開発をとおして以下の知見が得られた。

- ① トンネル覆工に関しては、ポリウレタ樹脂を塗布することにより曲げ圧縮破壊箇所における剥落防止が確認された。また、この際に樹脂自体には剥離や破断も発生せず、覆工への高い追随性が確認された。
- ② トンネル覆工において曲げ圧縮破壊が発生した断面におけるコンクリートの剥落を防止できることにより、大変形時においても荷重の急激な低下が発生しないことが確認された。
- ③ 実トンネルにおける試験施工の結果により、吹付け作業は下地処理時間やプライマー塗布時間より短く短時間で施工が終了し、良好な施工性を有することを確認した。
- ④ 剥落防止対策工としてもっとも重要な付着強度に関しては、施工完了1週間後、1か月後、5か月後、1年後の合計4回、建研式付着力試験により付着力を確認した。その結果、今回の試験施工では全ケースにおいて基準値(1.5N/mm²以上)を満足しており、十分な付着強度を有していることが確認された。

4-3 残された課題

今回試験施工を実施したトンネルは休止トンネルであり、施工制約が少ない条件であったため、将来的には活線トンネルにおける施工を目指した短時間でかつ安全な施工方法の研究開発が急務であると考えられる。

4-4 おわりに

現在までの研究開発によりタフネスコートによるトンネル覆工の剥落防止対策は十分可能と判断される。今後、引続き付着強度の経年変化に関するデータを取得する予定である。

(文責：鈴木雅行・古川幸則/(株)安藤・間、秋好

賢治/(株)大林組、奥石正己/清水建設(株)、野城一栄/(公財)鉄道総合技術研究所)

参考文献

- 1) 古川幸則・福留和人・庄野昭：コンクリートの浸水養生システム-型枠取りはずし後の給水養生工法の実用化と効果, コンクリート工学, Vol.49, No.3, 2011.3.
- 2) Torrent, R. J.: A Two-chamber vacuum cell for measuring the coefficient of permeability to air of the concrete cover on site, *Materials and Structures*, Vol. 25, No.150, July, pp.358-365, 1992.
- 3) 新居秀一・白岩誠史・川中政美・庄野昭：現場透気試験によるコンクリートの表層品質調査, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.2037-2042, 2016.
- 4) 松野徹・平川泰之・長谷川宏・永久和正：超音波加湿器を用いた覆工コンクリート養生システムの開発, 第28回日本道路会議論文集, 35P02, 2009.10.
- 5) 平川泰之・松野徹・白旗秀紀・永久和正：超音波加湿器を用いた覆工コンクリート養生システムの開発・実用化, 土木学会第64回年次学術講演会, VI-275, pp.549-550, 2009.9.
- 6) 手間本康一・泉水大輔・赤間友哉・桜井邦昭：トンネル覆工の改善および耐久性向上に関する取組み, 国道45号吉浜釜石道路 荒川・唐丹第1トンネル, トンネルと地下, Vol.47, No.10, pp.17-27, 2016.6.
- 7) スウェールスプレーシステム(ポリウレタ樹脂防水防食材スウェール)：三井化学産資(株)技術資料
- 8) 奥石正己・野城一栄・井出一直：ポリウレタ樹脂で表面被覆したトンネル覆工の剥落防止技術「タフネスコート」, 土木学会第70回年次学術講演会 第VI部門, 2015.9.
- 9) 伊藤直樹・野城一栄・奥石正己・井出一直：ポリウレタ樹脂を用いた吹付け型剥落対策工の開発, 土木学会第71回年次学術講演会 第V部門, 2016.9.
- 10) 東・中・西日本高速道路(株)：トンネル施工管理要領, p.14, 2014.7.

わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修
B5判 209頁 本体価格2,500円

主要目次

序編 トンネルと地質の関わり
1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学
1.地球の構造 2.地層や岩石の分類 3.地質作用 4.地質構造 5.地形と地質との関わり 6.日本の地質 7.地下水

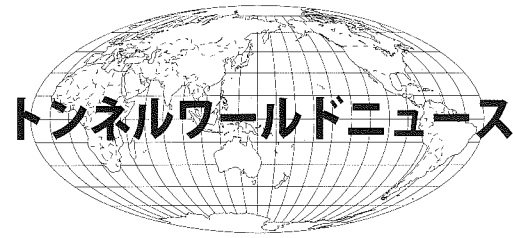
第II編 トンネル工事と地質条件
1.路線選定と地質条件 2.トンネル工法・掘削工法と地質条件 3.掘削方式と地質条件 4.トンネル掘削に伴う地質的現象

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

第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方
1.調査の基本 2.地山条件の調査の流れ 3.トンネル工事のための地山評価法 4.調査の成果

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



(一社)日本トンネル技術協会
国際委員会

エンジェルシー・パイプラインが 完成

ヘレンクネヒト社は豪州の小規模掘削プロジェクトの一つについて発表をした。プロジェクト内容は、延長700m、直径355mmの高密度ポリエチレン管パイプラインをビクトリア州のエンジェルシーに設置するものである。受注者のダンスタン社は、ドイツのヘレンクネヒト社製のHDD Rig(水平方向掘削機：牽引力250t、トルク90kNm)を使用した。

本パイプラインは、発注者パーウォン水道公社の汚水処理施設からの排水に使用される。2015年の落石により既存の設備が破壊されたため必要になった。現地の地質は泥岩である。

ヘレンクネヒト社の広報担当は進捗について以下のように詳述した。

作業員は、まず汚水処理施設から沿岸および海底へ掘削した。そして、掘削孔は陸側から拡張された。掘削孔が完成したのち、ダンスタン社は本プロジェクトによる1つの難関を越えることになった。それは、延長700mの製品パイプを、豪州のもっとも賑わっている港の一つであるポート・フィリップから海路で輸送することであった。通常の輸送はこの非常に長いパイプラインにより妨げられることはなかった。

設置を完了するために、ダンスタン社はパイプラインを海上に浮かべ、事前に掘削した孔に合わせ汚水処理施設まで引き込んだ。牽引力250tのHDD Rigにより、この作業は手際よく、きれいに遂行された。パイプラインと汚水処理施設の接続はクリスマス前に完了する。エンジェルシーは

夏の観光最盛期に向けて準備を整えた。
(T&T '16.8 担当：山口洋一・鉄道・運輸機構)

推進工法協会が論文を発表

英国の推進工事工法協会は協会のWebサイトに「推進工法掘削土の分離性と分級性について」なる論文を掲載している。ロンドン市立大学の地質工学リサーチグループでは論文の発表者であるNeil Phillips氏に博士号授与を推薦した。

この論文は協会のWebサイトからダウンロードできる(www.pipejacking.org)。

論文の概論は以下のような記載である。推進工法はインフラ設備やユーティリティ設置においてその管渠布設の段階でもっとも周辺環境に影響なく、通行の妨げとならない工法である。都市における管渠布設工事でもっとも重要なことは交通の妨げが高額な産業コストを発生させることである。変化に富む都市部の地質下でのトンネル施工が求められており、泥水式推進工法によるマシンの需要が増えている。泥水掘削工法は切羽の安定や掘削土の坑内搬送に利点がある。

この論文は「土粒子同士の分離性」や「掘削土の分級性」について詳細に述べられている。主旨は二つあり、その一つは泥水分級設備の仕様を決定すること。もう一つは土質ごとの分離性の違いを明確化することである。このため土のミキシングテストにより土の分級性や分離性を解析する。

今回の土質試験方法で実施されるのは Atterberg limits(コンシステンシー試験)や粒度分析、一軸圧縮強度試験、更には鉍物X線回析(XRD)や化学組成分析(XRF)がある。土のミキシング試験は、通常、水と土をHobart式ソイルミキサーによりミキシングすることで行う。このテストをLondon clay層、Upper Mottled層、Beds層、Fleetwood Silts層のサンプルから実施し、トータルで71試験体をKaolin白土と比較した。また、さらに試験片の中から10種類の粘土試験体をスライスし、水分を蒸発させて、ふるいにかけて沈殿試験を行った。

その結果Upper Mottled層の試験体はもっとも

分離性が高いことが判明した。そしてFleetwood Silts層の試験体は分離性が低いことがわかった。これらの土質試験結果で、土粒子の分離性はシルト、粘土分子の微細な形状に起因するものであることがわかった。Fleetwood Silts層の土粒子を除く、ほかの土粒子の液性指数と初期強度と分離性とは基本的に深い関係にないことも判明したが、Fleetwood Silts層の試験体は、一軸圧縮強度は低く、分離性も低いことが判明した。各粒子のミキシング試験後の断片サイズ別定量化や断片の形が土の分離性との関係が深いことがわかった。それらミキシング後の断片サイズは4.75mm以上と63μm以下に分かれ、連続的なサイズではないことも判明した。試験土に水を加えたミキシング試験が完了したので、今度はこれらの土に泥水添加剤である「HydoroCut CF」という高分子添加剤を添加してミキシング試験を行った。その結果、高分子添加剤と混合したどんな粘土もシルトも63μmのふるいを通りしなかった。だからと言って、これらの試験体の分離性が失われたわけではなく、また、泥水がふるいを通りする時間が増加したこともない。

(T&T '16.9 担当：篠原慶二・前田建設工業(株))

オタワLRTでトンネル掘削が再開

オタワ鉄道局交通サービス部門のディレクター Steve Cripps氏は、6月8日にRideau通りで陥没があったLRT計画において、トンネル掘削を今

週再開するという通達を市長と市議会に送付した。同氏は、「今週、Rideau Transit Group(RTG)がRideau駅とSussex Drive東側の間のRideau通りの地下で作業を再開する。翌週初めの再開に向けて準備中である。全長2.5kmのトンネルのうち約50mの掘削が残っている。」と述べた。

作業の大半は、すでにRideau通り周辺で再開されており、水道管と施設物の復旧はRideau通りとSussex通りの地域で完了している。Rideau駅西口は既に修復され、歩道および車道も解放され、また、公共交通機関とタクシーの通路も再開されている。Rideau駅および東西の出入口も施工中である。

通達では、進捗管理とリスク低減のため、以下の措置を講じるとしている。

- ・オタワ市、RTGおよび施工者は地上およびトンネル内で監視を行う。
- ・SEM工法によって小規模な掘削が行われる。
- ・トンネルの強度を上げるため、パイプルーフを含む支保工、ラチスガーダー、ボルトが設置される。緩いまたは不安定だと思われる地盤に対応するためシステム化された排水とグラウト注入が行われる。
- ・新設される水道管を含めて、地盤沈下や漏水を検知するため地盤と近接する建物の監視が続けられる。

結果として、LRT Confederation線計画はスケジュールどおりに進めることができるという。

(T&T '16.9 担当：安井真太郎・東京都交通局)

続 きみの庭にも温泉が出る

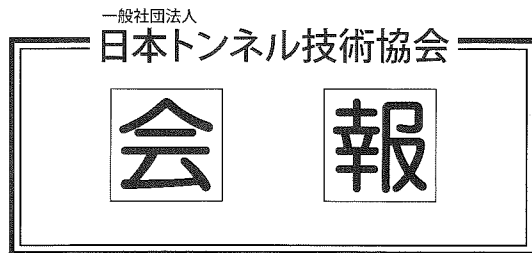
その後の温泉開発と建設の考え方

石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 本体価格 1,200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



1. 会員の現状

	7月31日現在
個人会員	874名
団体会員	204名
推薦会員	209名
特別会員	9名
名誉会員	5名
賛助会員	211名
合計	1,522名

2. 委員会の開催状況(7月1日~31日)

①運営広報委員会関係

◎総務委員会

- ・ 広報小委員会
- ・ 会誌WG(7/5)

小山幸則主査ほか10名, 8月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

- ・ 海外文献小委員会
- ・ 対外広報WG(7/18)

磯谷篤実主査ほか9名, 『トンネル工事の現況2018』の作成方針を検討

- ・ 海外ニュースWG(7/26)

篠原慶二幹事ほか8名, 海外文献の査読
計 3回開催 30名出席

②調査研究委員会関係

◎技術委員会

- ・ 保守管理小委員会(7/27)

大西精治委員長ほか18名, Q & A 編集方針ほかを検討

◎受託研究特別委員会

- ・ 小田急下北沢地区線増連立事業技術委員会(7/6)

小山幸則委員長ほか22名, 計測結果を報告

- ・ 効率的点検特別委員会幹事会(7/4)

松岡茂幹事長ほか17名, 報告書原稿を検討

- ・ 効率的点検特別委員会(7/28)

西村和夫委員長ほか25名, 経過報告および報告書原稿を検討

・ 北海道新幹線特別委員会

機械化施工小委員会(7/26)

小山幸則委員長ほか43名, 羊蹄トンネルと札幌トンネルの施工法を検討

防災小委員会(7/25, 26)

小山幸則委員長ほか27名, 委託主旨説明および各種トンネル非常時対応を検討

計 6回開催 158名出席

合計 9回開催 188名出席

個人会員に加入しよう

技術の習得のために個人会員に加入しましょう。協会ホームページの申込書で簡単に入会手続きができます。

□個人会費：年12,000円(月1,000円)

□特典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。

□特典2：協会刊行図書が個人会員価格で購入できます。

□特典3：協会開催の各種催物に個人会員価格で参加できます。

協会活動に一言

協会の諸活動に対するご意見ご要望がありましたら下記へご連絡願います。担当委員と協議し、できるだけ会員のニーズを反映した活動を実施したいと考えております。

TEL：03-3524-1755 FAX：03-5148-3655

E-mail：webmaster@japan-tunnel.org

積極的に情報を得よう

積極的な情報提供を行うため、団体会員の窓口および個人会員のメールアドレスを登録していただいております。協会の催物をはじめ各種の連絡事項などの発信に活用させていただいております。積極的にご登録をお願いします。なお、登録後変更が生じた場合はご連絡願います。

メールアドレス登録方法：送信タイトルを「JTA アドレス登録」とし、氏名・所属・TEL・E-mail アドレスを記載のうえ、webmaster@japan-tunnel.org まで送信願います。

その他：協会からの情報を発信する場合は送信タイトルに「jta」を明記します。

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第44回ITA総会および世界トンネル会議「Smart Cities: Managing the Use of Underground Space to Enhance the Quality of Life」	2018. 4.20~26	ドバイ(UAE)	Society of Engineers-UAE, ITA(国際トンネル協会) http://www.uaesocietyofengineers.com
第45回ITA総会および世界トンネル会議「Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art」	2019. 5. 3~ 9	ナポリ(イタリア)	Italian Tunnelling Society, ITA(国際トンネル協会) http://www.societaitalianagallerie.it/Prj/Hom.asp
第46回ITA総会および世界トンネル会議「Innovation and Sustainable Underground Serving Global Connectivity」	2020. 5.15~21	クアラルンプール(マレーシア)	The Institution of Engineers, Malaysia, ITA(国際トンネル協会)

*会議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

4. 平成29年度催物開催現況

(平成29年7月現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
【現場見学会】				
東京外かく環状道路トンネル建設工事現場研修会 —中央JCT北側ランプ改良工事—	2017. 6.20	25	東京	2.0
北海道新幹線トンネル建設工事現場研修会(後志トンネル)	2017. 8.25	25	北海道	1.8
相鉄・東急直通線工事現場研修会(新横浜駅, 羽沢トンネル)	2017. 9. 7	25	神奈川	1.8
【施工体験発表会】				
第80回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」	2017. 6.28	167	東京	6.0
第81回(都市)「市街地における地下構造物の新設および改良工事—近接, 拡幅, 再構築等の施工事例—」	2017. 6.29	116	東京	3.8

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ご覧ください。 http://www.japan-tunnel.org/event_japan

好評頒布図書の案内

都市部近接施工ガイドライン(図書番号：201504)

A4判, 370頁, 平成28年1月刊, 頒布価格：個人会員4,500円, 団体会員5,000円, 一般6,000円(税込み, 送料実費)
平成11年2月発刊の『地中構造物の建設に伴う近接施工指針』の改訂版として、最新の事例・技術を反映し『都市部近接施工ガイドライン』を刊行したものです。主な改訂点は、初めて手にした技術者でも理解しやすいようにわかりやすい表現としました。また、近接施工に関する独自の基準を持たない発注者や施工方法、計測方法等を検討するコンサルタント、施工業者が活用できるよう、既存の他の基準書との整合をとりながら独自の考え方を盛り込んで、さらに近接施工事例を充実化しました。

第80回施工体験発表(山岳)テキスト(図書番号：201702), 第81回施工体験発表(都市)テキスト(図書番号：201703)

CD-R版, 平成29年6月, 頒布価格 各5,000円(税込み, 送料実費)
山岳は、「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」, 都市は、「市街地におけるトンネル・地下構造物の新設および改良工事—近接, 拡幅, 再構築等の施工事例—」として開催された当日のテキストである。タブレットに取り込めばどこでも閲覧できます。

※お申し込み方法などの詳細は協会ホームページをご参照ください

10月号予告[10月1日発売予定]

- 覆工コンクリートの剝落に対する保全予防技術
- 東京外環自動車道 京葉ジャンクションランプ
- 函館江差自動車道 渡島トンネル
- 九州発電 船間・大川・一ノ谷発電所
- 第43回ITA総会報告
- 【連載講座】
- トンネル新技術への挑戦(23)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆先日、福島県郡山市へ伺う機会がありました。JR郡山駅から車で2,30分走った郊外では今でもいたるところで除染作業を行っておりました。ただし、JR郡山駅近辺の街中では全く除染作業を見ることはありませんでした。除染作業は側溝の泥などのかき集めが主な作業に見受けられました。「猛暑の中、ご苦労様です」と声をかけたい心境でした。

◆最近になってはじめて知りましたが、よく利用している環状八号線(通称:環八)と目黒通りが交わる場所に冠水を注意喚起する標識が設置されておりました。いつから設置されていたか今まで全く気づきませんでした。交差点は目黒通りを環八がアンダーパスして抜けるものとなっております。大雨が降ると多少水はけが悪いとは思っておりましたが、調べてみますと過去に冠水して通行止めになったこともあるようです。

◆国土交通省関東地方整備局のホームページ(http://www.ktr.mlit.go.jp/road/bousai/road_bousai00000001.html)には関東地方各県の冠水注意箇所を紹介します。もちろん、上記の環八と目黒通りの交差点も該当箇所となっております。まだまだ、台風などで豪雨となる可能性が高い季節が続きます。冠水の危険のある箇所を事前に把握することは災害に見舞われないための重要な準備だと思います。近隣で冠水の危険のある箇所を皆様方も調べられることをお勧めいたします。(I.Y)

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

★(一社)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(一社)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48巻 第9号(通巻565号)

ISSN 0285-631 X

Tonneru to chika

平成29年8月20日 印刷

平成29年9月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会
会長 谷口 博昭

〒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 株式会社土木工学会社

〒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 株式会社新協

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会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 1,620円(送料110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

NETIS 登録 KT-120099-A
特許 第 4863308 号

NETIS 登録 KT-130066-A

NETIS 登録 KT-130037-A
特許 第 5247491 号

NETIS 登録 KK-120003-A

NETIS 登録 KT-160031-A

NETIS 登録技術
覆工コンクリートの品質向上


新しいタイプの覆工コンクリート養生システム

トンネル覆工コンクリート給水養生工法
ウエットフォーム

ウエットフォームと移動台車の概念図

ウエットフォーム移動中

一步前進! ~限らない未来への挑戦~

 **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/> E-Mail: daiei-co@minos.ocn.ne.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

トンネル技術者のための地相入門

大島洋志 監修, 木谷日出男 編著
3,200円+税 B5判

トンネルの計画・設計・施工にあたって留意すべき“地相”について、施工事例をもとに、豊富な図版と地形図を用いて、ていねいに解説した、画期的な入門書。



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

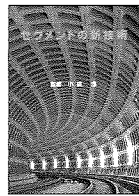
土木工事にかかわりのある地質学の基礎知識を盛り込み、土木工事において問題となる地質事象や、各種地質調査の原理についてわかりやすい解説を与えた。



セグメントの新技术

小泉 淳 監修
2,000円+税 B5判

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



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。



シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会 編
4,660円+税 B5判

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



地下水の科学 I～III (全3巻)

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

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



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

ブロック理論と岩盤工学への応用

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

岩盤内に分布する不連続面と、掘削面など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术

ジオフロンテ研究会 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。



ジオテクスタイル設計マニュアル

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

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



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

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
3,200円+税 A5判

トンネル工事の際の労働衛生と環境保全の検討に有用な項目について、医学分野の知見から職業性疾病や有害環境条件、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

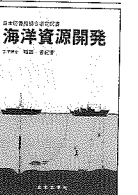
都市の代表的な地下施設である地下鉄、上水道、下水道の各トンネルについて、それぞれの主だった工法ごとに計画から施工まで事例をまじえてわかりやすく解説した。



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

TKK

トンネル・地下工事で使用される 資・機材のリース・販売。 確かな技術と豊富な実績で 様々なニーズにお応えいたします。

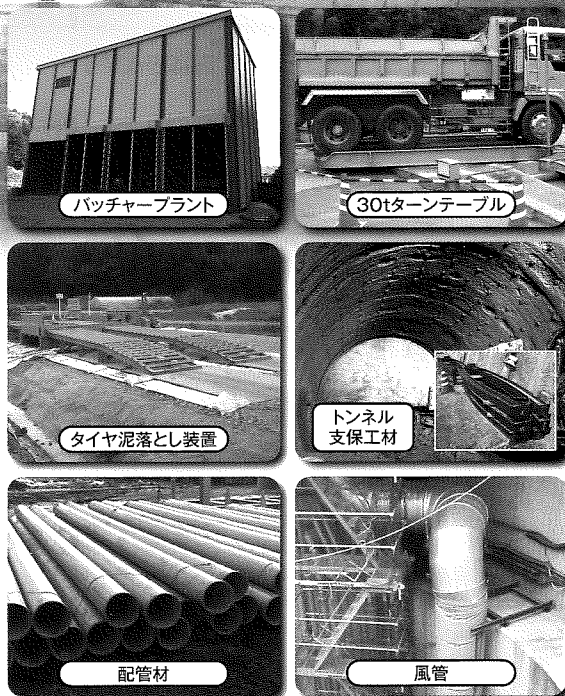
東京機材工業は創業以来、国内外のプロジェクトにおいて資・機材の受注製作はもとより、各種多彩なリースや保守管理も担っております。ご要望や用途に応じた資・機材の検討から納品まで一貫体制をとっており、的確できめ細か、かつ迅速に対応できる体制を整えております。

主な取扱商品

受注製作品 支保工材、架設架台
鋼構造物、風管 他

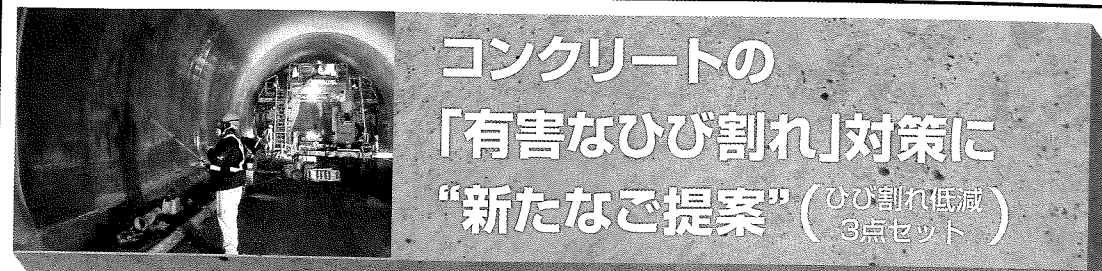
リース商品 バッチャープラント、ターンテーブル
タイヤ泥落とし装置、水処理装置
配管材、汎用機材各種 他

全国7か所の機材センターから、必要なものを必要なタイミングで提供する体制を整えています。

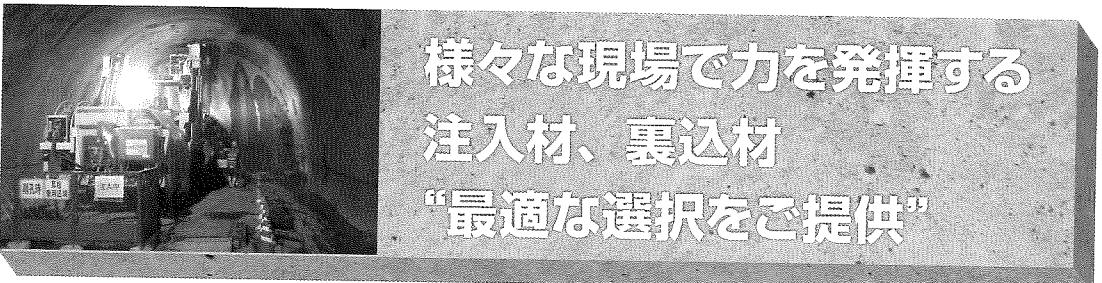
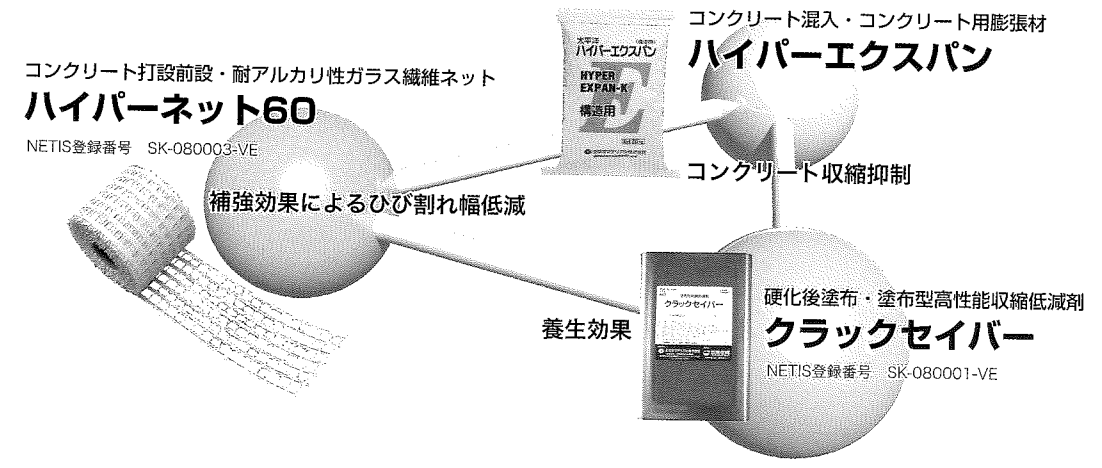


TKK 東京機材工業株式会社
<http://www.t-kizai.co.jp>

- | | | |
|--------|---|-----------------------------------|
| 本社 | 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町1-9-12 共同ビル3階 | TEL 03-3245-1001 FAX 03-3245-0160 |
| 大阪支店 | 〒541-0042 大阪府大阪市中央区今橋3-2-20 洪庵日生ビル8階 | TEL 06-6121-6261 FAX 06-6121-6241 |
| 東北支店 | 〒980-0023 宮城県仙台市青葉区北目町1-18 ビースビル北目町4階 | TEL 022-738-7011 FAX 022-748-7881 |
| 九州支店 | 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前2-2-1 福岡センタービル8階 | TEL 092-432-0501 FAX 092-432-0504 |
| 名古屋営業所 | 〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-19-1 名古屋蒲池ビルディング13階 | TEL 052-228-6441 FAX 052-228-6442 |



コンクリートの
「有害なひび割れ」対策に
“新たなご提案” (ひび割れ低減
3点セット)



様々な現場で力を発揮する
注入材、裏込材
“最適な選択をご提供”

注入材	超微粒子注入材	太平洋アロフィクスMC
	瞬結工法用無機懸濁型 土質安定材・下水道止水材	太平洋アロフィクスMC2号
	注入式長尺先受工法用注入材	太平洋スーパーハード
	注入式長尺先受工法用注入材	太平洋スーパーファスナー
裏込材	プレミックス裏込用充填材	太平洋フォルトカバー

太平洋マテリアル株式会社
営業本部
〒114-0014 東京都北区田端6丁目1番1号 田端ASUKAタワー 15F
<http://www.taiheiyo-m.co.jp>
TEL.03-5832-5218 FAX.03-5832-5254

デンカのトンネル関連技術

おかげさまでデンカは昨年創立100周年を迎えました。
 私たちデンカのしごとは化学のチカラでさまざまな「できる」をつくりだすこと。
 人に、社会に、世界に貢献するものづくり企業として次の100年へと前進していきます。

デンカが誇る信頼の急結剤「デンカナトミック」

驚異の低粉じん吹付けが可能！

『デンカクリアショット工法』

KT-080020VR

- ・ハイブリッド急結剤により、「低粉じん」と「確かな初期強度発現性」を両立！労働環境、作業性、安全性が向上！
- ・再利用可能なリターナブルコンテナを使用するため、廃棄物削減による環境負荷を低減します！
- ・付着性が高く、跳ね返りが少ない！
- ・日本国内ですでに数十本ものトンネル工事現場で採用実績のある信頼性の高い吹付け工法です！

クリアショット吹付け状況（2ノズル吹付け）



写真提供：宮古盛岡横断道路 新区界トンネル工事

覆工コンクリートの品質向上技術

トンネル覆工ひび割れ抑制に

『デンカパワーCSATYPE-T』KT-130059A

- ・トンネル専用膨張材
- ・乾燥収縮、温度ひび割れ抑制に

後添加型中流動コンクリート混和剤

『ADVA-PLUS』JIS A 6204適合

- ・過大な粘性を与えることなく、分離抵抗性を向上します

『CSA』でひび割れ抑制



『ADVA-PLUS』を現場で投入



その他 トンネル関連技術・製品

可視型はく落防止工法（NEXCO規格対応工法）

『NAV-G工法』KT-100023A

- ・アクリル系樹脂の特徴である速硬化性、低温硬化性で、寒冷地、時間制限のある工事で工期の短縮が可能
- ・透明度の高いFRPを形成し、施工後も目視観察が可能

トンネル中央排水工・裏面排水工 コルゲート管

『トヨドレン』

- ・ポリエチレン樹脂製で腐食に強く耐衝撃性に優れます

『NAV-G工法』可視化技術



繊維シート貼付け後も、ひび割れの経過観察が可能です

トヨドレン



できるをつくる。

Denka

デンカ株式会社

東京都中央区日本橋室町2-1-1 日本橋三井タワー

www.denka.co.jp

Tel: 03-5290-5358

定価 1,620円

本体価格1,500円

雑誌06619-9



4910066190972

01500