

トンネルと地下 **5**

vol. 48
no. 5
2017

Tunnels and Underground

精密機器を有する工場群に配慮したトンネル掘削

Ⅱ期線トンネル掘削と避難連絡坑の施工によるⅠ期線への影響を低減

石炭採掘跡の古洞対策と軟弱地山での大断面トンネルの施工

泥土圧シールドで高水圧下の急曲線($R15m$)と推力増大を克服

施工時荷重によるセグメントの損傷の原因と対策

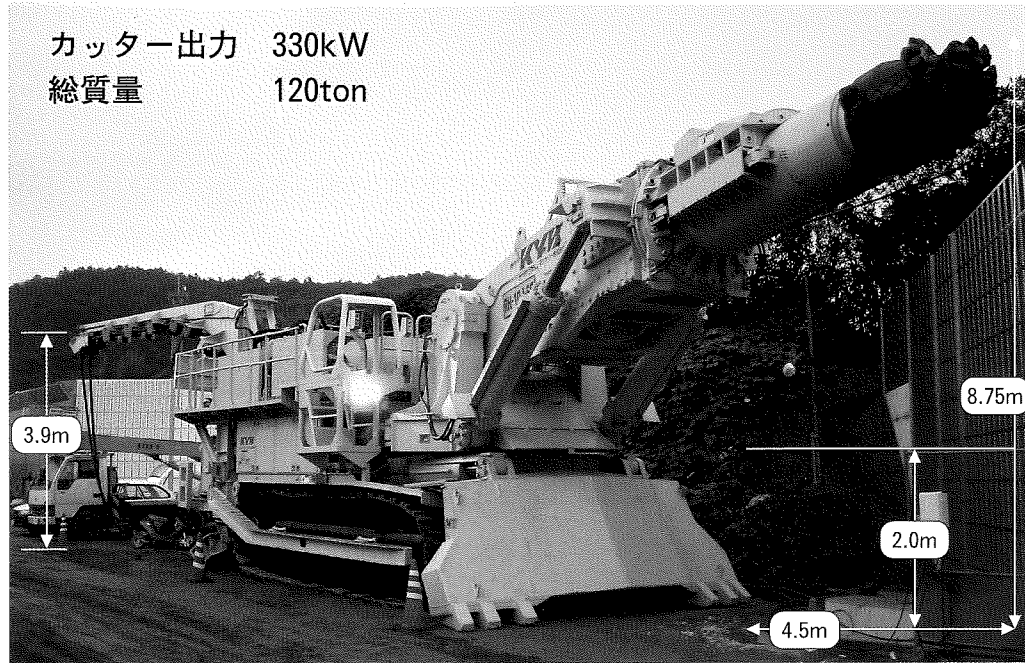
日本トンネル技術協会誌



ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW
総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m（ケーブルハンガーを除く）
- ・定格最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.0m
- ・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
 ガスターサービス 相模事業所 〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586
 大阪支店 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号TEK第二ビル TEL 06-6387-3371
 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

NETIS

公共工事における新技術活用システム

登録番号: **TH-100024-VE**

トンネル工事に用 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

経済産業省後援

第39回優秀環境装置

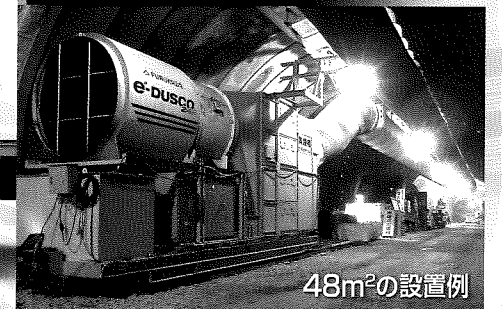
日本産業機械工業会 会長賞

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



希釈封じ込め方式での計算例

① 粉じん発生量

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

② 所要換気量

$$Q_{4a} = \frac{5,940}{3.0 - 0.07} = 2,027 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

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

③ 集じん機の選定

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

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 入口ダクト及び絞りダクトは含まれません。 ※2 台車および揚重用治具の高さは含まれません。 ※3 機種により多少異なります。

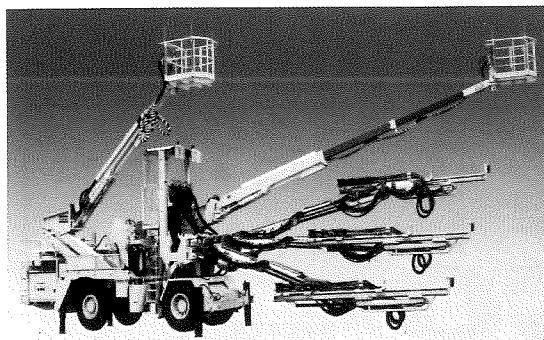
※4 JIS Z 8808 並びに換気技術指針(H24.3)に定める試験方法に基づき第三者計量機関により測定した値です。 ※5 任意設定にて最大2,750m³/minまで可能です。

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 名古屋支店 ☎052-561-4580 札幌支店 ☎011-784-1179
東北支店 ☎022-221-3532 九州支店 ☎092-741-5193 小浜木工場 ☎0285-23-8662



Jumbo ロックツールス

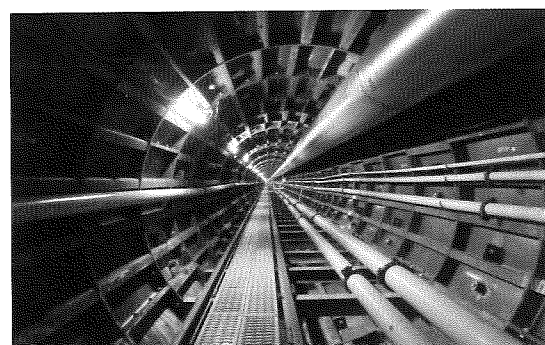
DRISS®

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

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ジョークラッシャーで硬岩(4000kgf/cm²)にも対応可能
- ・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
- ・搬出スリの滞積・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主仕様

・主要構成機器

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

No	名称	主仕様
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ロッド
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

*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

〈問合せ先〉



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



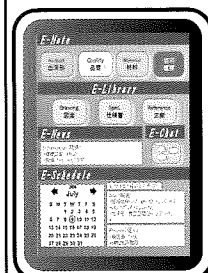
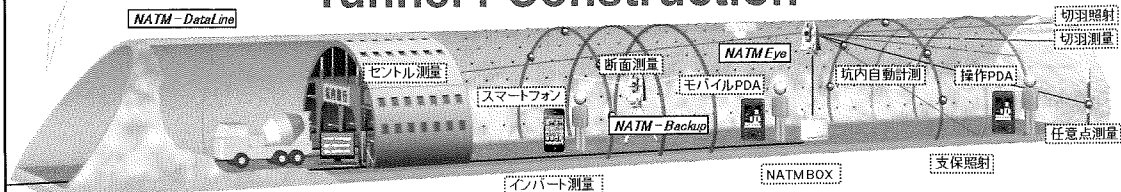
宇部興産機械株式会社

電力・インフラ営業グループ TEL(03)5419-6293

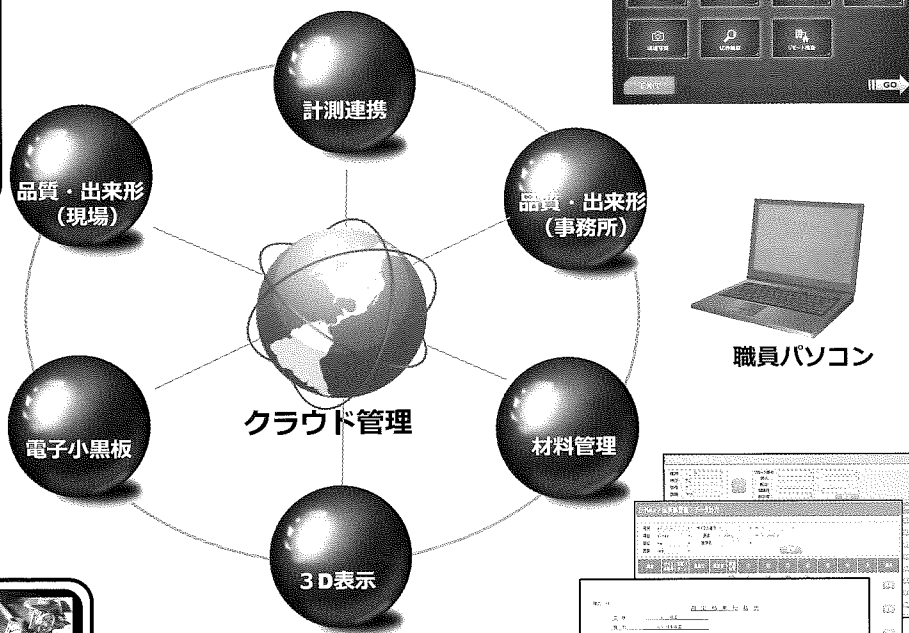
NEW

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

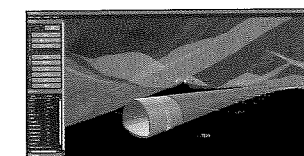
Tunnel i-Construction



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



3D可視化+情報管理 (自動)

・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

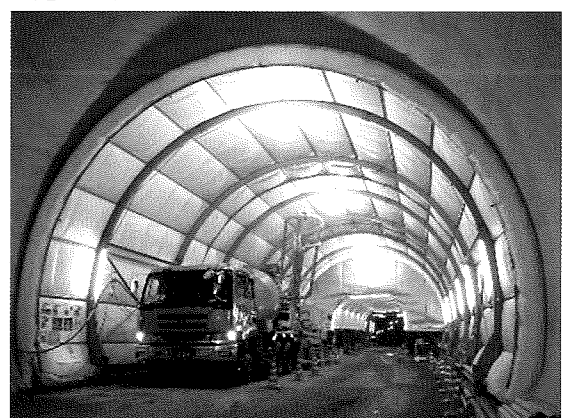


株式会社 演算工房
 ■京都本社 〒602-8268 京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地3
 TEL:075-417-0100 FAX:075-417-0200

バルーンの東宏です



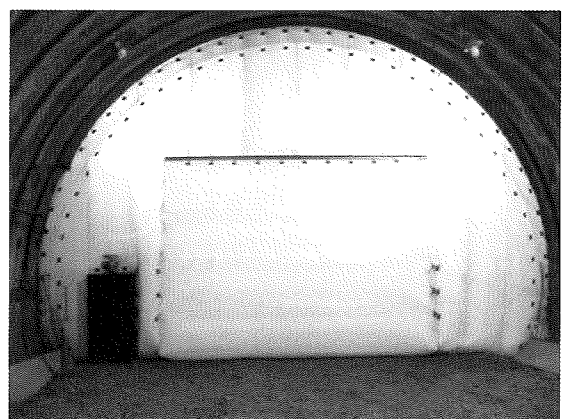
セントル養生バルーン(HR-04005VE)



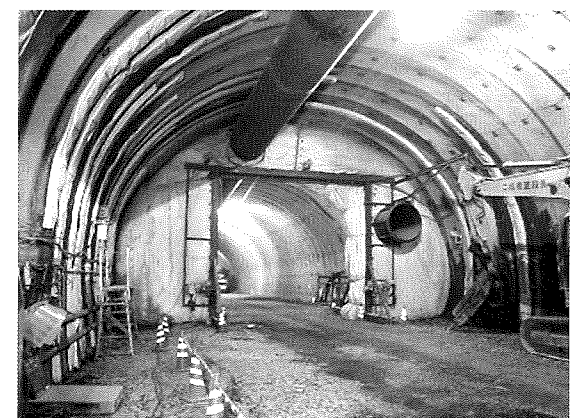
コンクリート養生バルーン(HR-04005VE)



アクアカーテン(HR-110011VE)



隔壁バルーン(HK-100007VR)



トラベルクリーンカーテン(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、支保工スクレツパ、セントル、シート台車、栈橋、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

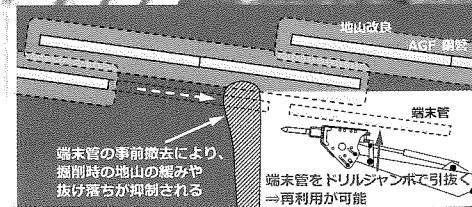
東京支店 江戸川区平井2丁目5番2号 平井ビル3F
 TEL03-3683-8011 FAX03-3683-8028

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

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

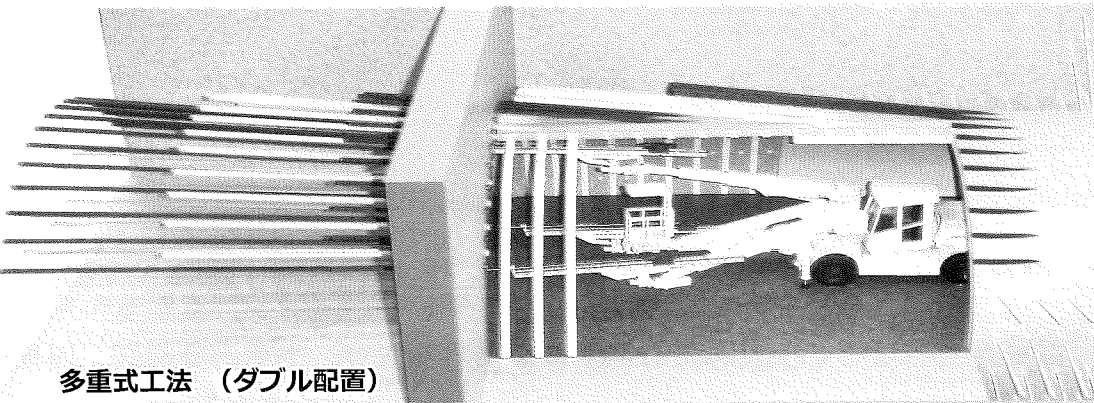
鋼管設置時に、専用の治具を使用して末端管を中間管から引抜く工法
掘削時の末端管切断撤去が不要なため、撤去の衝撃による
地山の抜け落ちや周辺の緩みなどの懸念がなく
末端管の再利用もできることから
コスト低減も可能となります



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。

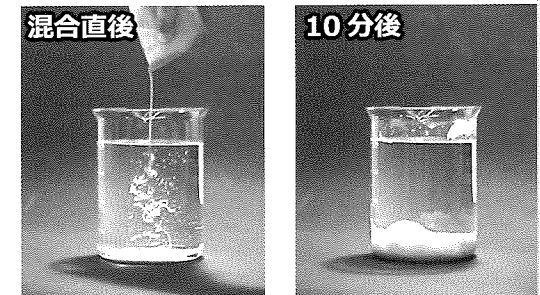


▶ 補助工法ラインアップ 注入式フォアボーリング / 各種長尺フォアパイリング / エコリムープ工法
パノラマ工法 (φ60.5MRS, φ76.3, φ89.1)



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



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)



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 / 高耐久ロックボルト / ロックボルト定着材 / 各種注入材 / コンクリート皮膚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名古屋市中区上り津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

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

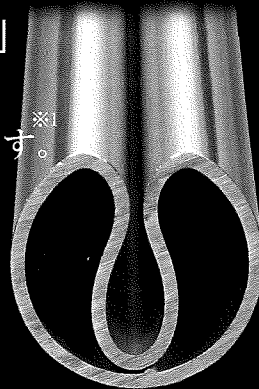
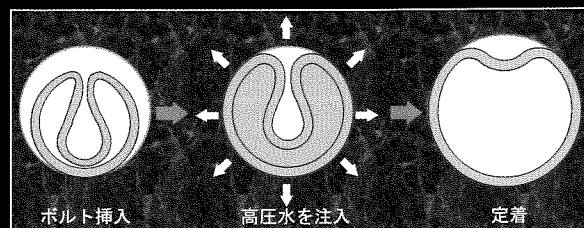
RPE ROCKBOLT

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。



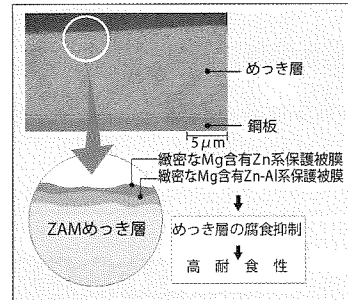
※1 地山条件によってめっき層の寿命は大きく変動します。

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、他の亜鉛めっきと比較し、硬度が高く傷が付きにくいめっき構造です。また、施工時の膨張によるめっき層の剥離はありません。
- ・ pH4~12の地山条件において優れた耐食性を発揮します。
- ・ 耐力 180kN タイプには高張力鋼を使用、軽量化により取り扱いが容易です。

・「ZAM」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。

◎ZAMの耐食機構



② 「RPE ロックボルト」の仕様

■ RPE ロックボルトの種類

呼称	RPE120	RPE180
耐力(kN)	120 以上	180 以上
推奨穿孔径(mm)	φ 45~φ 51	φ 45~φ 51
鋼種	NTRB-400	NTRB-540
本体外径(母材鋼管)(mm)	φ 38(φ 54×2.0t)	φ 38(φ 54×2.3t)
単位質量(kg/m)	2.6	2.7
破断伸び(%)	35 以上	20 以上
標準長さ(m)	(2.0),3.0,4.0,(6.0)	3.0,4.0,6.0

※標準長さの()内は、受注生産になります。



(RPE ロックボルト施工状況)

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

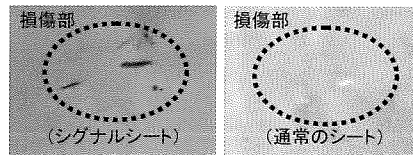
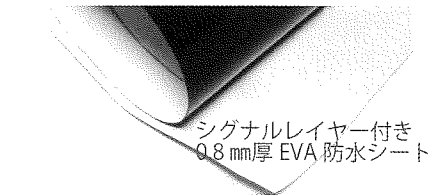
東京土木営業部: 東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 Tel. 03-6402-8251
大阪土木営業部: 大阪府北区西天満 3 丁目 2-17 Tel. 06-6363-1884
技術部: 東京都港区芝公園 2 丁目 4 番 1 号 Tel. 03-6402-8256

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。



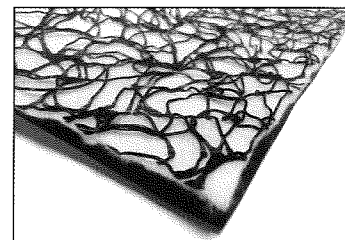
通常のシートと比較し、通常の明かりにおいて目視でたやすく損傷が確認できます。

「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。

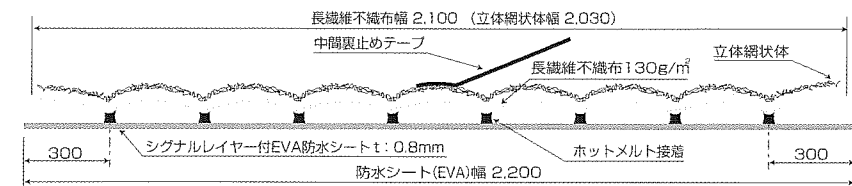
「立体網状体付き長繊維不織布」は通常の厚さ3mmの不織布に比較して約40倍の排水性能を有します。



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: 大阪府北区西天満 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

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

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

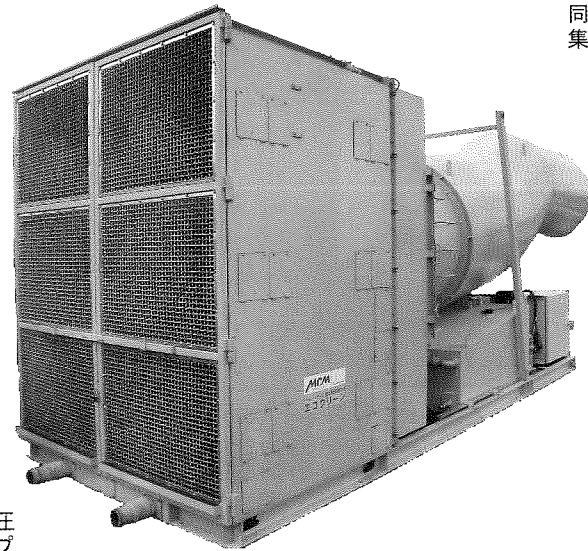
処理風量
750m³/minから3000m³/minまで製作実績あり

コンパクト
同クラス集じん機の中で最小

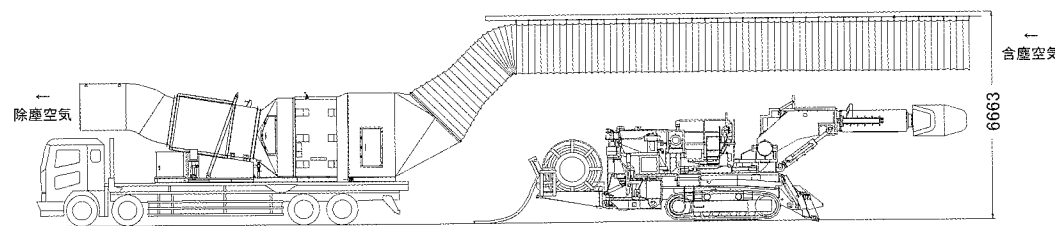
貯水タンク
自動洗浄が随時可能

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

オプション
自走クローラ台車
自走ホイール台車
伸縮風管...etc.



伸縮風管(軽量型Φ1500,Φ1600製作実績あり)



伸縮風管接続例

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



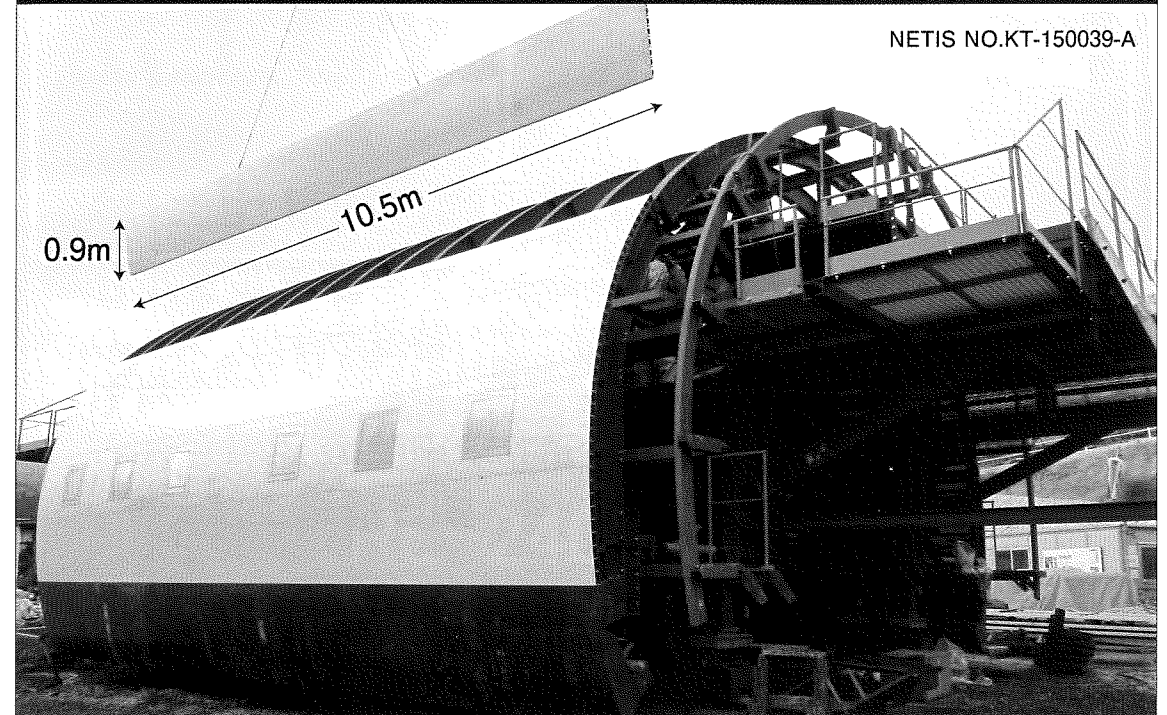
株式会社エムシーエム

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

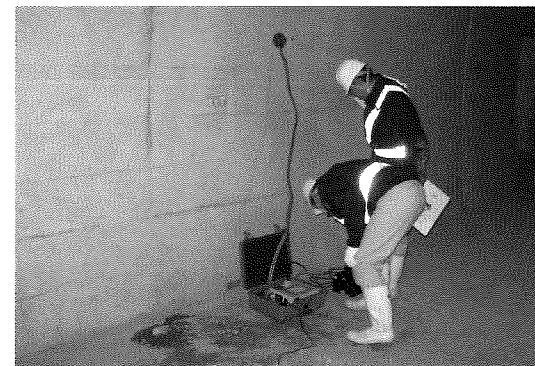
NEW

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



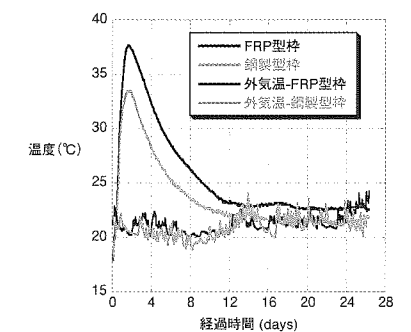
■透気試験実施



覆工コンクリートの表面部分を測定した結果、コンクリートの中酸化速度係数が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、㈱フジタ 古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
 ■ 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

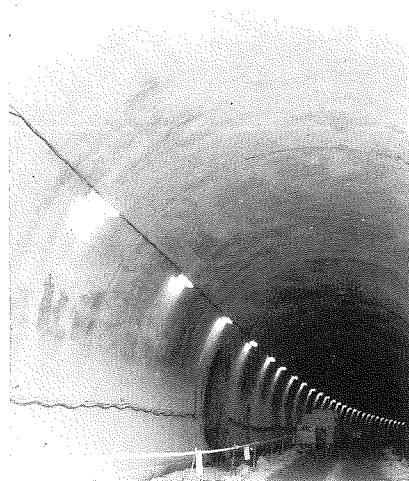
コンクリートの劣化, 欠陥箇所の改修, 補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法

〈工期短縮, 即日仕上り〉

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



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

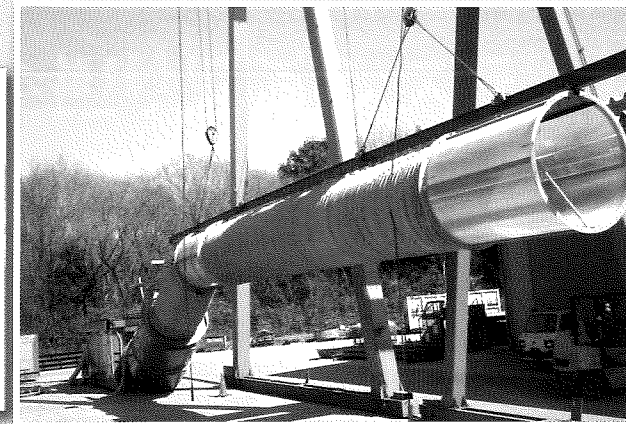
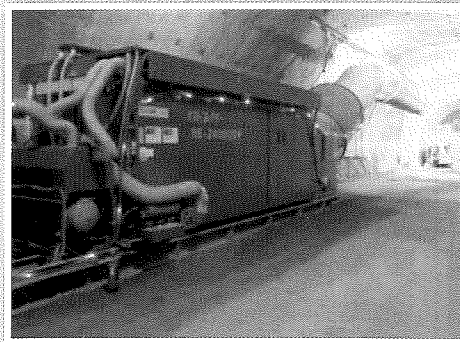
エアモルタル裏込め注入……

エスコート L & K 起泡剤

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



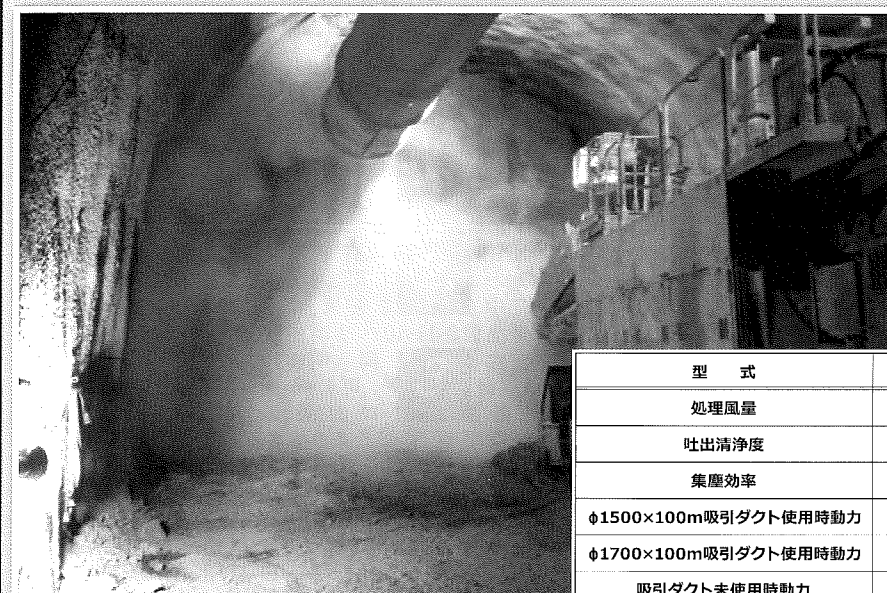
◆ 土木資材の総合プランナー ◆
株式会社 **マニール** 〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)



動力60%低減実現! (当社従来比)

吸引捕集換気システム **RE-2400QDP 新登場**

「コンパクト&低動力&高清掃度」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
吐出清掃度	0.1mg/m ³ 以下
集塵効率	99%以上
φ1500×100m吸引ダクト使用時動力	440V・83kW
φ1700×100m吸引ダクト使用時動力	440V・64kW
吸引ダクト未使用時動力	440V・58kW
寸法 (L×W×H)	2,869×12,963×3,387(mm)
重量	12,600kg

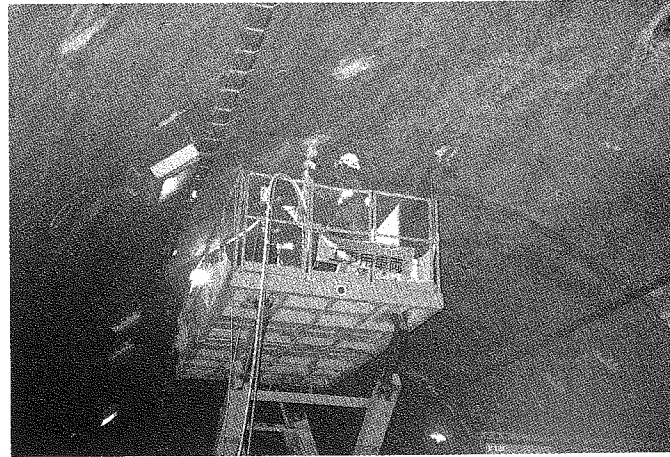
最適環境を創造する
株式会社 **流機** エンジニアリング

〒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



急結性・高性能裏込注入材 セットフォーム工法

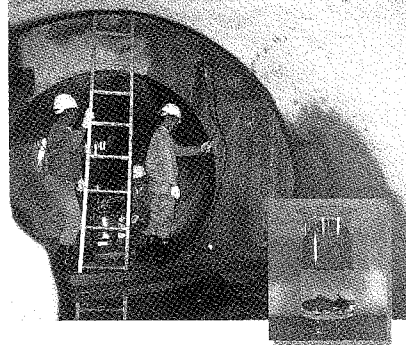
NETIS CB-040060-V



- 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>

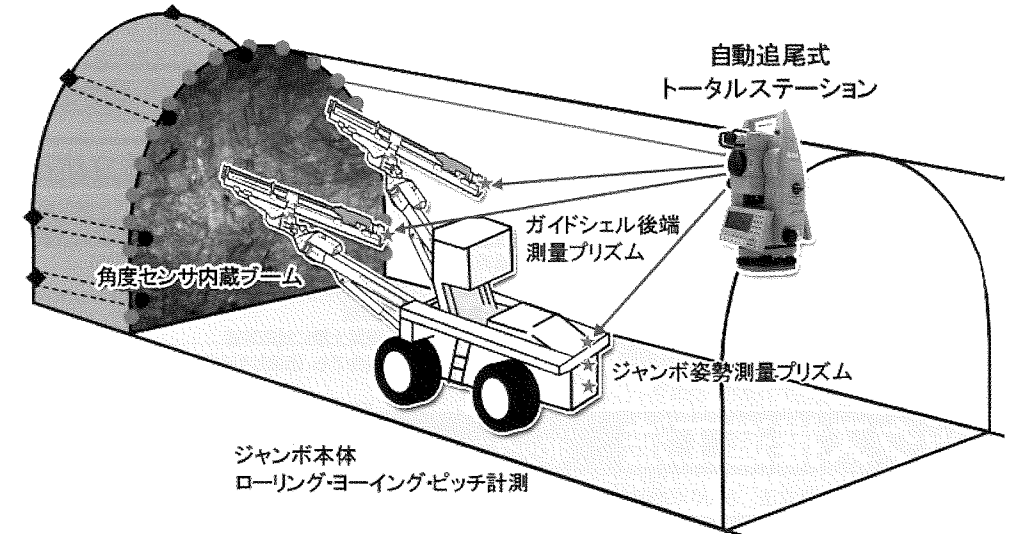
製造元 日清紡ケミカル株式会社 断熱事業部
〒289-2505 千葉県旭市鎌数9163-13 TEL 0479-60-3555

NETIS登録番号:KK-100049-A

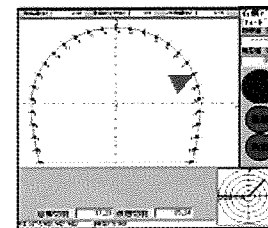
自動追尾式余掘り低減システム

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利用は

MAC マック株式会社

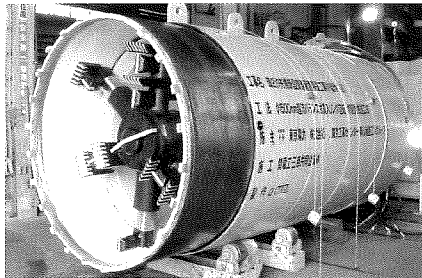
〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3
TEL:047-371-3191 FAX:047-371-3190

FRD 古河機械金属グループ
古河ロックドリル株式会社

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

超流バランスセミシールド工法 超流セミシールド協会

貫入リング押し出し回転切削型接合法



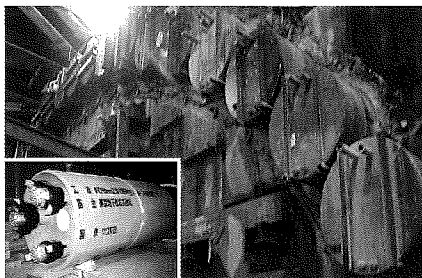
φ1500mm 貫入リング回転切削型掘進機 (接合切削時)

- 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

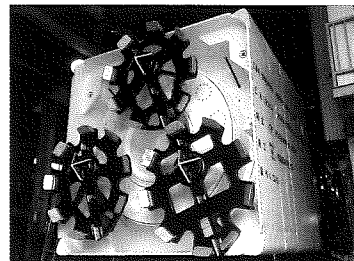
- ① 地下水位以下の施工が可能
- ② 高水圧対応
- ③ 長距離・曲線施工
- ④ 到達立坑不要

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法の特徴

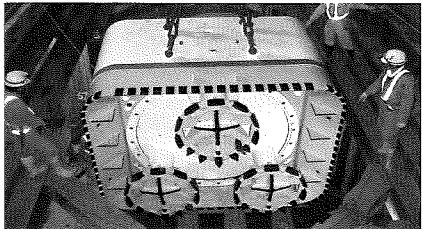
- JIS鋼管φ812~φ1216に対応可能(角鋼管も対応可能)
- 密閉型掘進機のため、高水圧下においても施工可能
- 長距離・急曲線推進が可能
- 軟弱層~粘性土層~硬質土層に対応可能
- 到達回収立坑がない場合でも、迅速な引き戻し回収が可能

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)



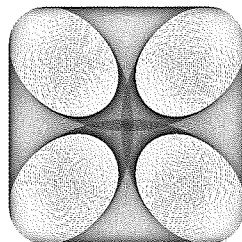
- ① 経済性
- ② 工期短縮
- ③ 狭路施工技術
- ④ 地表面への影響低減
- ⑤ 短距離からの施工

ボックス推進工法の活用例

- 電力路や通信路の構築
- 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

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



カッタービット軌跡

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



〒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

※各工法協会会員名簿については、ホームページをご参照下さい。

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 税76円 送料102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をしております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管路敷設に限らず、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おります。

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

検索



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 akasaka@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

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

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

新発売!!

1. 内容と特長

- 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

本書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

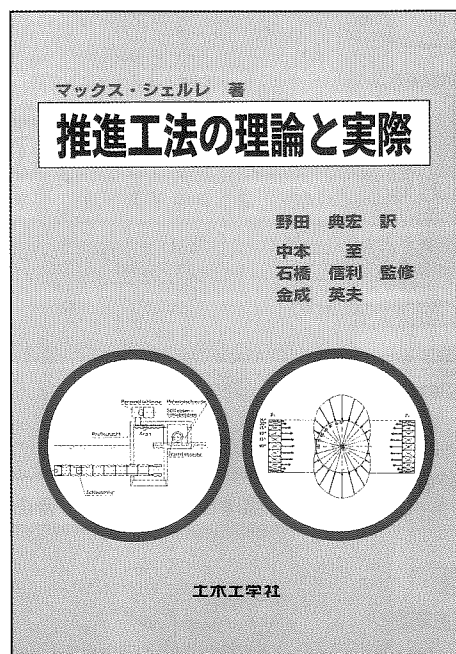


株式会社 LSプランニング
<http://www.lswb.co.jp/shiken/anna>

〒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 oda@lswb.co.jp

推進工法の理論と実際

マニュアルを超えて
推進工法の理解を
さらに深める一冊



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

推薦の言葉

中本 至・石橋信利・金成英夫

推進工法によって、下水道をはじめ多くの管渠が布設されている。下水道については一九六〇年にはわが国の普及率は十五%にすぎなかったが、今日では六〇%近くになっている。当初、一五〇〇キロしか施工実績がなかったが、近年の施工延長は年間一五、〇〇〇キロになっている。下水道の施工方法の選定にあたって、施工条件や建設環境、地下埋設物や地盤条件などの関係から、開削工法

より推進工法などの特殊工法が選定されることが多くなり、その中でもとくに推進工法の適用は多くなった。ところが、わが国では推進工法に関する実務書は多いが理論面を記述したものはあまり見当たらず、推進工法の一層の発展のためにも理論書が求められていた。

本書では、ドイツで推進工法の研究開発で著名なマックス・シェルレ博士が推進工法におけるいろいろな疑問について理論的に解明した古典的な名著である。博士は理論面のみではなく、実際の施工にも従事し、実務にも精通していたので、実務面の良さも持っている。私たちは、野田氏（訳者）の翻訳を監修したわけだが、推進工法の理論面と実務面を実に詳細に解説している点に驚いた。したがって推進工法に従事し、一層活躍しようとする人たちに本書を推薦したいと思う。

【好評発売中】

セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 送料 290円

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

このような状況を受けてここ10年ほどの間に、急激にいろいろなセグメントが提案され実用化された。これらのセグメントのうちにはよく似たものも多く、名称もバラエティに富み、その特徴や適用範囲などが明確でないため混乱が起きている例もある。

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

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

〈セグメントの新技术〉

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

株式会社 土木工学社

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

きりーとーりー線

《ご注文票》

セグメントの新技术 _____ 冊 申込みます。

所在地 〒 ()

事業所名

部 課 名

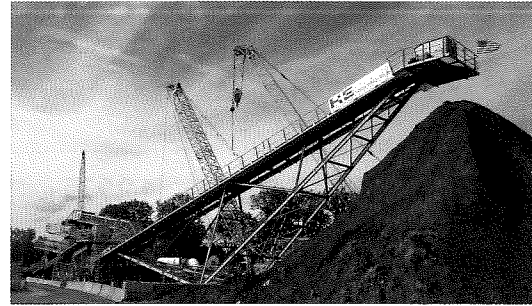
申込者名

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

株式会社 土木工学社

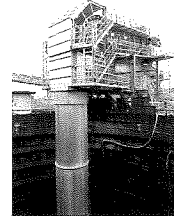


Clever Conveying



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

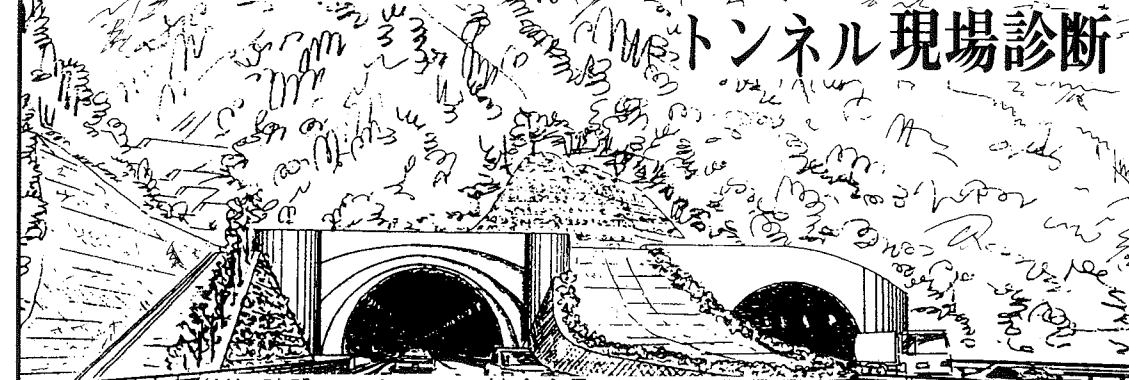


山崎マシーナリー株式会社

担当：富樫

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

道路,トンネル設計 (本体工,換気,防災,照明,施工管理他)



(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 長田 高利 男 代表取締役社長 清水 洋 (技術士)
 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

VOLVO 建設機械

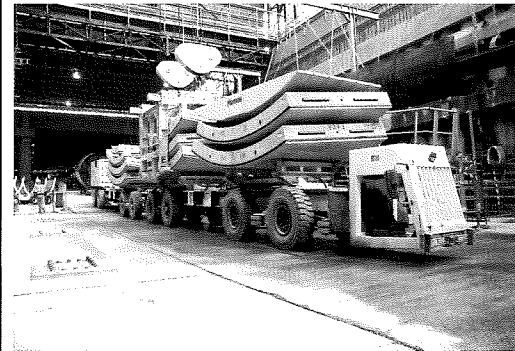


高い作業性とクールなデザインが人気
年々強化される排ガス規制にも対応



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



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

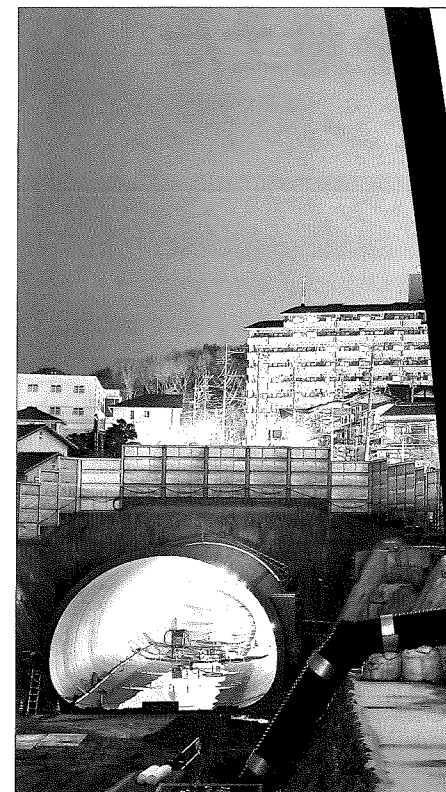
振動 マネージメント ソリューション

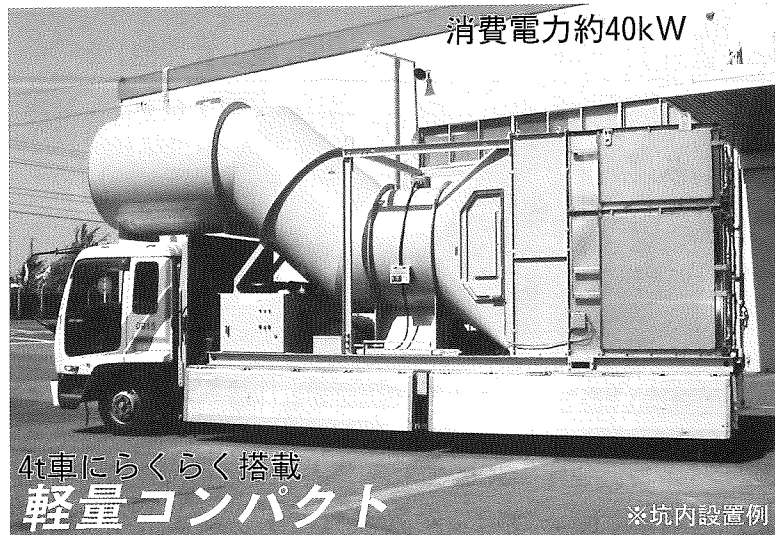
近接地に住居が存在する場合、振動の予測と管理を複雑高度な技術に頼らざるを得ません。利害関係は多岐にわたるので失敗をする余りは殆どありません。トンネル、道路、トレンチ、港湾、パイプライン等の掘削は、今後ますますコスト高となり、時間のかかる作業となってきています。

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+ また、各種の爆薬に表れておりご理解頂けるものと思います。

一日でも早く完工する為に、日々の発破のモデル化、計測を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/edevill 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





消費電力約40kW

4t車にらくらく搭載
軽量コンパクト

※坑内設置例

National電気集塵機クリンジェット(2,000m³/minタイプ)



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

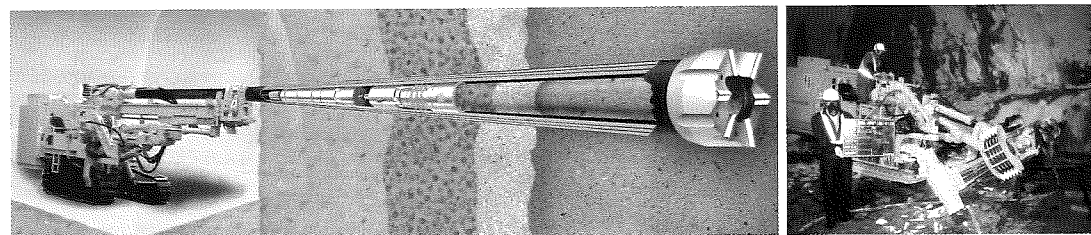
〒134-0093 東京都江戸川区二之江町1409-1 TEL: 03-5667-7803 FAX: 03-3804-6053

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

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う難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行なえ、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。



地球に
KOKEN 鉦研工業株式会社
する会社。

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

お問合せ先: 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
大阪支店: (06) 6385-0350

東北支店: (022) 762-6075
中国支店: (083) 972-8757

信越支店: (025) 275-6877
九州支店: (092) 924-5001

首都圏事業部: (03) 6907-7511
海外事業部: (03) 6907-7515

エレクター付 コンクリート吹付システム(ホイール式) 『新型EJS NEJS I-TN』



安全・操作性を
徹底的に追求した
次世代型吹付機!



- ◆シャーシからの開発機種
3種類の走行モードにより、
高い機動力を発揮。
- ◆最新の吹付ロボット
上下、左右の同調方式を採用し、
意のままの操作が可能。
- ◆優れたエレクター機能
1台で上、下半、インパートの
全支保工建込が可能。
- ◆トラベル式円形バスケット
車体からの直接乗込、
地山への密着が出来、安全性にも考慮。



Tunnel & Mining

ニシオティーアンドエム株式会社

山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業

<http://www.nishio-tm.co.jp>

〒569-0836

大阪府高槻市唐崎西2-26-1

《東日本カンパニー》

■北日本支店

北海道営業所 TEL:0133-72-3715

東北営業所 TEL:0197-71-2405

■東日本支店 TEL:0268-62-1426

浜松支店 TEL:0538-66-0166

《西日本カンパニー》

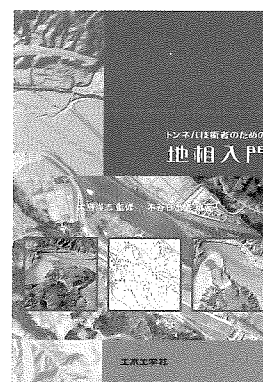
■大阪支店 TEL:072-677-2101

■九州支店 TEL:0982-26-2111

福岡営業所 TEL:092-976-6331

好評発売中

地形にも人相がある 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

《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

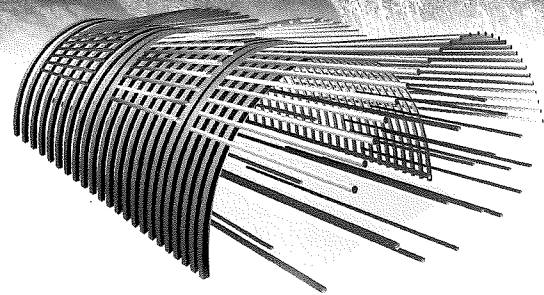
図・表・写真
288点収録

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

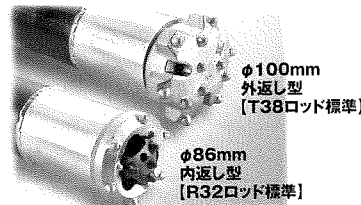
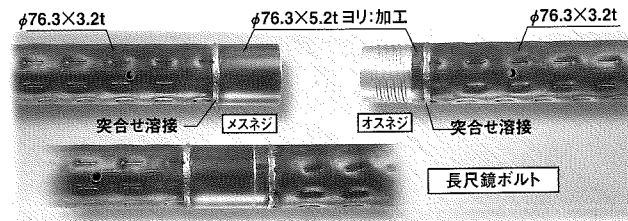
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807



NETIS登録No.KK-160026-A

FIXチューブ(スrong型)

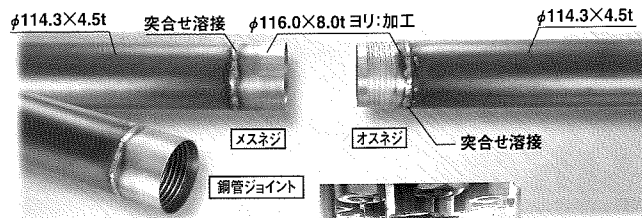
- ※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
- ※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



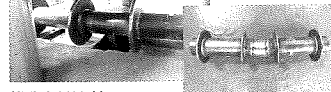
NETIS登録No.KK-150045-A

AGF-STD工法

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

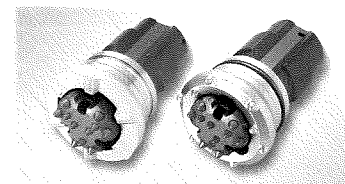
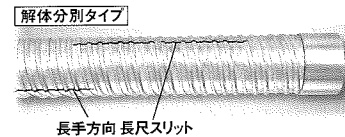
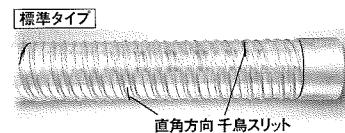


曲げ耐力30%UP!!



接続部の抗折力試験

撤去管の選択



STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングピット径
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

NETIS登録No.KK-110040-A

- ※ウレタン系空洞充填:NTR工法
- ※ウレタン系注入材:NEW-TSRF、NEW-TBU
- ※高速ルートパイル:SPフィックスパイル工法
- ※φ27.2注入管、自穿孔ボルト各種在庫あり

STE

エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2

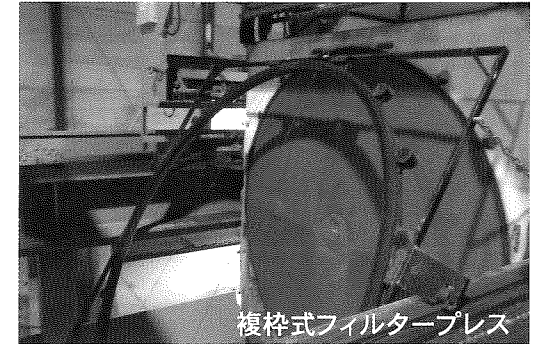
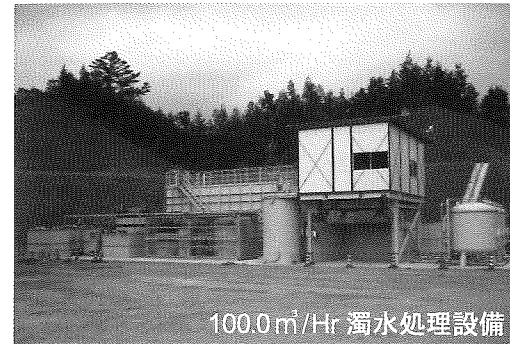
TEL:072-990-0250 FAX:072-990-0251

http://www.st-eng.co.jp

濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



【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

《汎用車輛全般》



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



10T ミキサー



4.5m³ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車輛 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

トンネルの神様

浅見 郁樹 5

■研究

施工時荷重によるセグメントの損傷の原因と対策

—東西連係ガス導管海底トンネル工事の事例—

斉藤 仁 59

■施工

精密機器を有する工場群に配慮したトンネル掘削

—九州新幹線西九州ルート 久山トンネル東工区—

福重 孝章・斉藤 道真・井元 大吉 7

Ⅱ期線トンネル掘削と避難連絡坑の施工によるⅠ期線への影響を低減

—高松自動車道 大坂トンネル—

久保井泰博・船田 靖智・檜垣 和明・石井 利治 15

石炭採掘跡の古洞対策と軟弱地山での大断面トンネルの施工

—国道497号伊万里松浦道路 平尾トンネル—

小辻 英俊・内山 定・木村 能隆・前田 潤治 27

泥土圧シールドで高水圧下の急曲線(R15m)と推力増大を克服

—名古屋市下水道 中村中部雨水幹線—

山田 高嗣・伊藤 寛基・関根 俊春 49

■連載講座

トンネル新技術への挑戦(18)

—小断面シールドによる大断面トンネルの分割構築—

「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

「永久不壊の石橋のように」長崎県諫早市より

一瀬 康弘 14

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

技術の進歩とともに、40年のシールド屋人生

三木 慶造 37

■資料

土木情報

編集部 26

トンネルジャーナル

編集部 36

文献紹介

編集部 58

工法・技術・製品ニュース

編集部 80

■会報

会報

日本トンネル技術協会 81

ヤマモト **まがんき** 無騒音 無振動 静かな破碎 超大型油圧破碎機 **YTB1120** **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)

【表紙説明】 石炭採掘跡の古洞対策と軟弱地山での大断面トンネルの施工

—国道497号伊万里松浦道路 平尾トンネル—

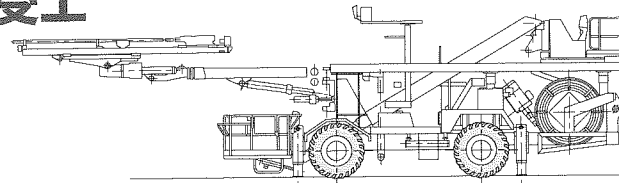
平尾トンネルの位置する長崎県松浦市調川・今福地域では、かつて石炭の採掘が盛んで、詳細な記録は残っていないが古洞と呼ばれる坑道や採掘跡が多数存在する。そこで、古洞を削孔検層と電磁波レーダで調査した結果、1か所で明確な空洞がトンネル直下に確認されたため、影響範囲にある空洞に発泡ウレタンを充填した。また、脆弱な泥岩に起因する変状も各所で発生したが、的確に対処することで無事に掘削を完了した。写真は、貫通式でロードヘッダによる貫通掘削を行っている状況である。

【写真提供：国土交通省】(本文27頁参照)

環境対応型長尺鋼管先受工

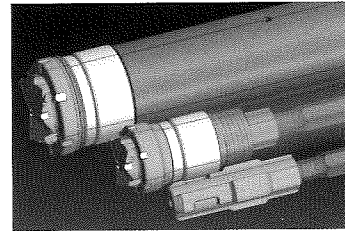
TOHO AGF System

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

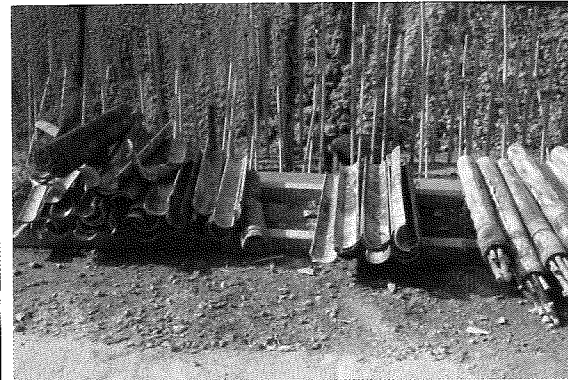
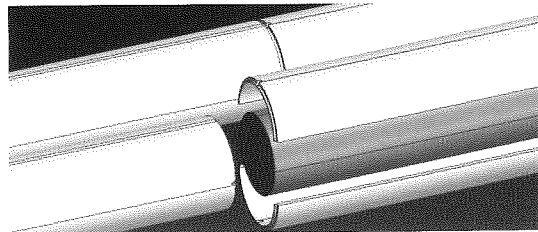


AGF-Me工法

- ・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。



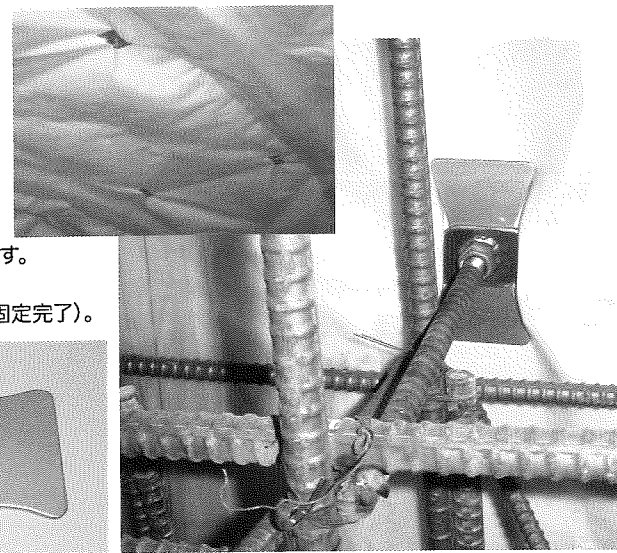
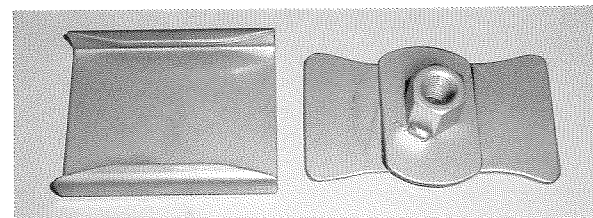
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

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

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



東邦金属株式会社
TOHO KINZOKU Co., LTD

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)

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)

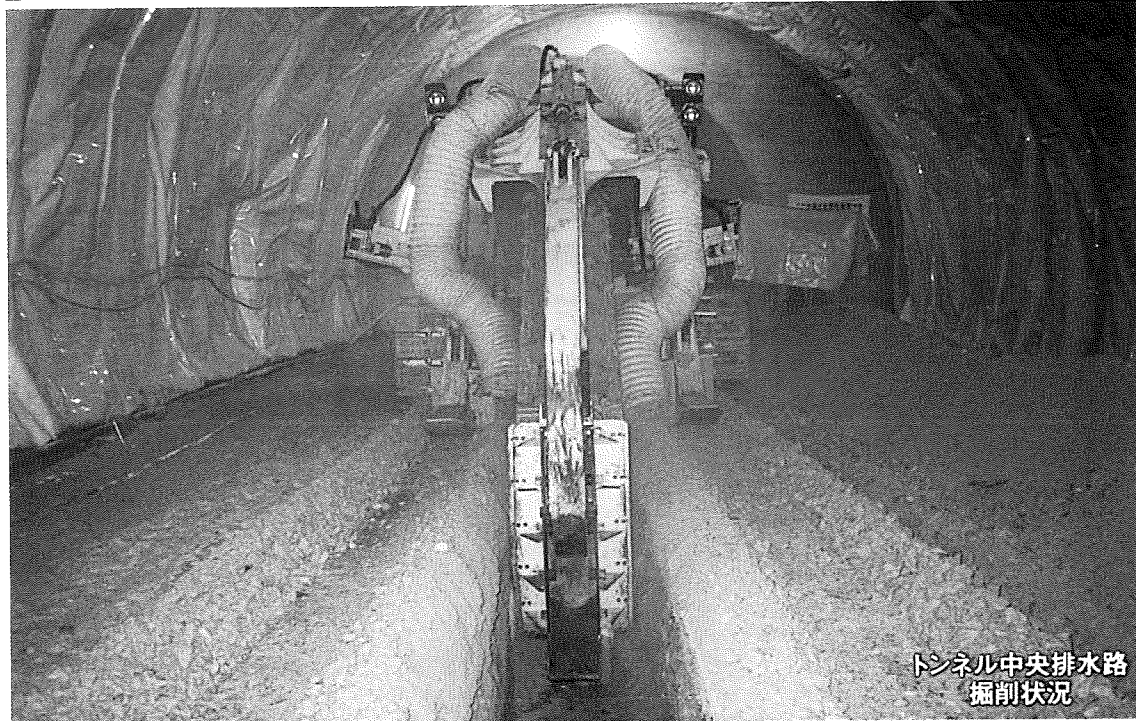
小 山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

(幹 事)

伊 藤 哲 男 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当) 道路研究部トンネル研究担当部長	西 岡 和 則 鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長 (兼)土木管理本部土工務部トンネルグループ長
江戸川 修 一 清水建設株式会社副本部長 地下空間統括部長	藤 井 義 文 株式会社竹中土木常務執行役員
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	松 原 利 之 飛鳥建設株式会社技術研究所所長
見 坂 茂 範 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	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 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
中 間 祥 二 株式会社大林組生産技術本部統括部長	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	テスメック	テスメック	テスメック
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参与(外環担当) 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/>

児玉株式会社の
『スマートセンサ型枠システム』

NETIS 登録5周年 記念キャンペーン

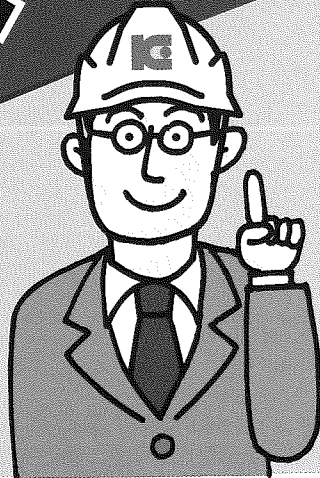
NETIS 登録番号 QS-110040-VE

キャンペーン期間は
平成29年
4月~6月
の3ヶ月間です。

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

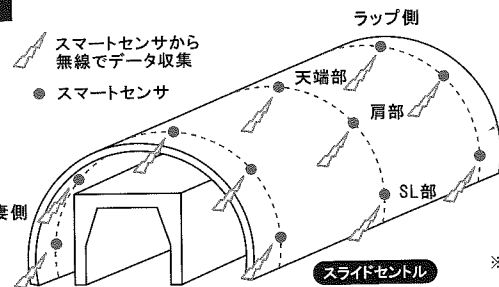
※キャンペーン特別価格は平成29年4月以降の公告工事より適用
※レンタル料に含まれるもの ⇒ スマートセンサ使用料、SSリーダー使用料、調整料、校正料
※レンタル料に含まれないもの ⇒ スマートセンサの取付・取外し費用、セントルの穴あけ・穴埋め、加工費用



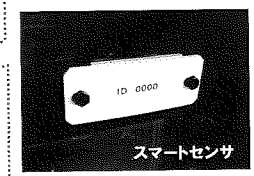
配線手間不要!



専用のSSリーダー



無線でデータ収集!



スマートセンサ

※スマートセンサはセントル内側に設置されます

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。

専用リーダー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.5 掲載概要

掲載頁

7

精密機器を有する工場群に配慮したトンネル掘削

—九州新幹線西九州ルート 久山トンネル東工区—

鉄道・運輸機構 福重 孝章

久山トンネルは、佐賀県武雄市と長崎県長崎市を結ぶ、九州新幹線西九州ルートでの武雄温泉起点48km405m~53km380m間に位置する延長4,980mのトンネルであり、そのうちの起点(諫早市)側2,550mの久山トンネル東工区を山岳工法にて施工した。本トンネルの掘削対象地質は、砂岩および砂岩を主体とした砂岩頁岩の互層である。

本トンネル起点方右側に、電子機器、半導体および航空宇宙関連などの企業が立地する諫早中核工業団地が近接しており、トンネル施工時に工業団地内の精密機器に影響を与えることが懸念された。そのため、精密機器への影響を把握するため、事前に各精密機器の仕様や振動に対する許容値などを確認し、予測モデルを用いてトンネル施工時の振動予測を行い、トンネル施工法を検討した。施工は非常に硬質の岩盤をロードヘッダ350kW級を用いて掘削した。

本稿では、精密機械工場近傍を通過する久山トンネル東工区における施工計画および施工状況について報告する。

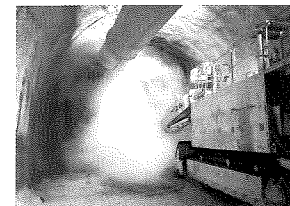
Tunnel Excavation Considering Precision Instruments in Plants—Kyushu Shinkansen Nishi-Kyushu Route the Kuyama Tunnel, East Lot—

By Takaaki Fukushima, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

The Kuyama Tunnel is 4,980m long and is located between 48km405m~53km380m from the Takeo Onsen Station on the Kyushu Shinkansen Nishi-Kyushu Route that connects Takeo City in Saga Prefecture to Nagasaki City in Nagasaki Prefecture. The east lot is charge of tunneling its 2,550m stretch from starting portal using conventional method. The geological condition to be excavated for the tunnel have sandstone and alternation of predominant sandstone and shale.

Located to the right of the tunnel starting point, Isahaya Core Industrial Park houses electronics, semi-conductor and aerospace-related companies and there was concern that there would be effects on precision instruments in the industrial park at the time of tunnel construction. For this reason, in order to understand the effects on precision instruments, we confirmed the specifications and allowable values for vibration of all the precision equipment in advance, predicted vibrations at the time of tunnel construction using a predictive model and investigated tunnel construction techniques. Excavation was consequently conducted with a 350kW load header in extremely hard rock ground.

This report contains information on the construction plan and status for the east lot of the Kuyama Tunnel project that passes close to plants equipping precision instruments.



写真は硬岩地山における機械掘削状況

掲載頁

15

Ⅱ期線トンネル掘削と避難連絡坑の施工によるⅠ期線への影響を低減

—高松自動車道 大坂トンネル—

西日本高速道路(株) 久保井泰博

大坂トンネルは、徳島・香川の県境に位置する延長L=2,119m(香川県側L=959m)の2車線高速道路トンネルを新設する工事である。トンネル中心の最小離隔が21.4mと近接しており、供用中の既設トンネルへの影響を最小限に抑える必要があったことから、各種事前検討を行い、坑口部補助工法、計測管理、避難連絡坑拡幅について計画を策定し工事に臨んだ。また、Ⅱ期線トンネルの施工に伴って、避難連絡坑を拡幅掘削して接続する必要があり、避難坑掘削による振動制限や既設覆工の取壊し方法などを検討し、Ⅰ期線トンネルや通行車両への影響低減対策を行った。本稿では、その計画と施工について報告する。

Reducing Impacts of Construction of 2nd Phase Tunnel and Cross Passage on 1st Phase Tunnel—the Takamatsu Expressway the Osaka Tunnel—

By Yasuhiro Kuboi, West Nippon Expressway Company Limited

The Osaka Tunnel is a new two-lane expressway tunnel of 2,119m in length (959m on the Kagawa Prefecture side) located on the border between Tokushima and Kagawa Prefectures. The smallest distance in the centre between the new tunnel and old tunnel is 21.4m and as it was necessary to control impacts on an in-service tunnel to a minimum during new tunnel construction, we conducted all kinds of investigations in advance and started the work having formulated plans for auxiliary methods for building a tunnel portal, measurement management and reaming adit for cross passage. In addition, due to the construction of the 2nd phase tunnel, it was necessary to ream an existing adit as cross passage so we investigated vibration limitations for reaming work and methods to dismantle existing lining and implemented measures to reduce the impacts on the 1st phase tunnel and passing traffic. This report contains information on the plan and construction.



写真はⅠ期線覆工コンクリート撤去状況

石炭採掘跡の古洞対策と軟弱地山での大断面トンネルの施工

—国道497号伊万里松浦道路 平尾トンネル—

国土交通省 小辻 英俊

平尾トンネルの位置する長崎県松浦市の調川・今福地域では、かつて石炭の採掘が盛んで、坑道や採掘跡が多数存在するが、詳細な記録は残っていない。そこで、古洞を削孔検層と電磁波レーダで調査しながらトンネルを掘削した。結果、1か所で明確な空洞がトンネル直下に確認されたため、影響範囲にある空洞に発泡ウレタンを注入して充填した。

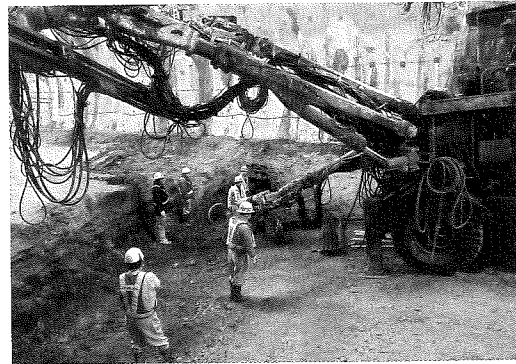
また、亀裂の発達した軟弱な泥岩層が出現して、上半ロックボルトおよび下半の支保工に変状が発生したため、増しロックボルトと吹付けコンクリートの再施工で対処した。

一方、膨張性を示すと考えられた泥岩がトンネル下に出現した区間では、盤膨れに対する長期的な耐久性を確保するために、試料を用いた膨張性試験およびFEM解析により検討してインバートを追加した。

To Dig Large Tunnel in Weak Ground Taking Measures against Old Coal Mine Adits—National Route 497 the Imari Matsuura Road the Hirao Tunnel—

By Hidetoshi Kotsuji, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

Many abandoned coal mines and adits exist in the Tsukinokawa/Imafuku areas of Matsuura City in Nagasaki Prefecture where the Hirao Tunnel is located and which flourished in coal mining in the past but there are no detailed



写真は空洞充填状況(注入用鋼管打設)

records of them. Consequently, we built the tunnel while surveying for old adits with drilling inspections and electromagnetic radars. As a result, as we were able to clearly confirm a cavity directly under the tunnel, we were able to fill the affected area with urethane foam.

In addition, deformation of upper rock bolts and lower supports caused by meeting weak fractured mudstone and, we dealt with this through re-installation of additional rock bolts and spray concrete.

Meanwhile, in the part where potentially swelling mudstone was found directly under the tunnel, invert concrete was installed in order to ensure long-term durability for swelling after investigating with swelling tests using samples and FEM analysis.

泥土圧シールドで高水圧下の急曲線(R15m)と推力増大を克服

—名古屋市下水道 中村中部雨水幹線—

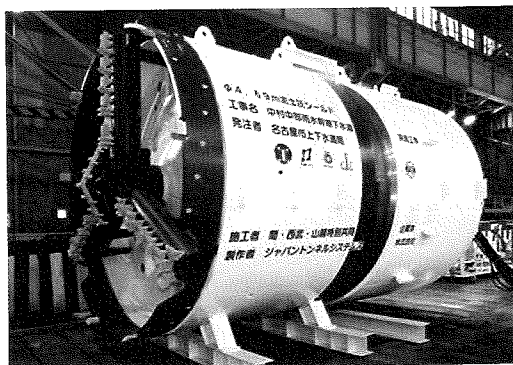
名古屋市 山田 高嗣

本工事は、名古屋市中村区中部流域の浸水対策として、上流工区(L=1487.1m)および下流工区(L=1090.5m)の2本のトンネルにて構成された雨水貯留管を泥土圧シールド工法にて築造するものである。1次覆工は、上・下流工区ともすべて完了し、現在、上流工区の2次覆工を進めている。本稿では、下流工区(土かぶり32.7~33.5m)における高水圧下での急曲線施工(R15m×2か所)に対応するための計画と実績、砂地盤での加泥材ミスマッチングや胴締めによる高推力への対応、掘進後に判明したカットおよびスクリーユコンベヤなどの異常な摩耗などについて報告する。

Overcoming Acute Curve (R15m) and Increase of Jacking Force under High Water Pressure Using EPB Shield—Nagoya City Sewerage Nakamura Central Storm Sewer Main—

By Takashi Yamada, Nagoya City

These works are to construct stormwater storage pipes consisting of two tunnels (upstream lot L = 1487.1m, downstream lot L = 1090.5m) with an EPB shield as inundation measures for the central basin in Nakamura Ward, Nagoya City. Primary lining were completed for both the upstream and downstream lots and secondary lining for both lots have been built since the completion. This report gives information on the plan and results of works in the downstream lot (cover of 32.7 - 33.5m) to respond to acute curve control (R15m in 2 places) in high water pressure, response to high propulsion in sandy ground due to mud-additives mismatch and being restrained, and abnormal abrasions from cutters or screw conveyors found after excavation.



写真はシールド全景

施工時荷重によるセグメントの損傷の原因と対策

—東西関係ガス導管海底トンネル工事の事例—

東京電力ホールディングス(株) 斉藤 仁

大深度トンネルは高水圧下でかつ良質な地盤中に構築されるため、一般に、土水圧や地震時の作用に対しては、セグメント厚さを薄くすることが可能となる。一方、高水圧に対応するため、ジャッキ推力やテールシールの拘束力などの施工時荷重が大きくなることから、薄いセグメントでは、割れや欠け、あるいはひび割れなどの損傷を生じる可能性が高くなる。

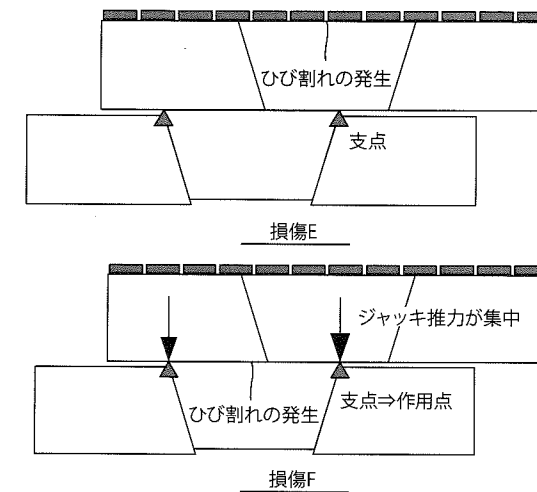
そこで、セグメントの組立て直後からマシントールを脱出するまでのセグメントの挙動計測結果および組立て過程を模擬した3次元FEM解析の結果から、損傷の原因とその対策について考察した。

Causes of and Measures for Segment Damage Originating from Construction Load—Example of Sea-Bed Tunnel for Gas Pipes to Connect from East to West—

By Jin Saito, Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.

As deep tunnels are constructed in good ground where high water load acts, in general, thickness of segments would be able to be reduced with respect to earth-water load or seismic load. Meanwhile, in order to respond to high water pressure, due to the fact that construction loads such as jacking force or confining force at tail seal increase, thin segments have a higher potential for damage such as cracks, fragments and fissures.

Consequently, the causes of damage and measures against them were discussed using the results of measurements of segments behavior from directly after assembly to passing of TBM tail and the results of three-dimensional FEM analysis simulating the assembly process.



図はKセグメントの支点とひび割れ

巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)

トンネルの神様

東日本旅客鉄道(株)執行役員建設工事部長(本協会評議員)

浅見 郁樹



土木工学科の授業に「トンネル工学」があった。講師は吉村恒先生である。吉村先生は当時、国鉄新幹線建設局長から転じて日本鉄道建設公団理事に就任されており、「卒業したら、吉村にNATMを習ったと言えば、一目置かれるはずだ」と仰せであった。無論、まじめに勉強して、学を修めてこそその話である。

トンネルを掘ると岩盤が変形する。その変形を観測していると、ここぞという支保のタイミングとやり方がある。恥ずかしながら、トンネルというものは無闇やたらに穴をあけているわけではないということを初めて知った。そして、吉村先生に引率されて訪れた「上越新幹線 中山トンネル」の工事現場。驚くべき出水を目にし、発破の爆風をじかに肌で感じた。「きちんと調査しないから、こんな難工事になるのでは」と質問したら、「君は自分の体の中がどうなっているか全部わかっているか」と真顔で叱られた。

一度読んでみたらいいと言われた『匠の時代』(内橋克人著)には、青函トンネルなど、国鉄の技術陣が何をし、何をしようとしているのか、そして、どんな苦勞をしているのかが生き生きと描かれていた。なんと、吉村先生も登場されていた。

これぞ男の仕事。土木の道を選んだ以上、国鉄に入ってトンネルを掘らなければならないと心に決めた。そして、首尾よく入社することができた。

しかし、現実はいとおりににはならないものである。

手始めに、「青函のように大きなトンネルを掘りたい」と偉い人との面談で希望を言ったら、「君は国鉄の現状を理解していないのか。だから、このような窮状に陥ってしまうのだ」と叱られた。

最初の任地は新潟であった。折よく、上越新幹線の開業を目の当たりにすることができた。東北新幹線の開業に遅れること約5か月だった。

国鉄本社では建設局線増課で涙も涸れるほど鍛えていただいた。線増課は国鉄のトンネル屋の総本山のようなところで、青函トンネルにかかわる仕事も所管していたが、すでに開発工事課と改称することを余儀なくされ、主に担当したのは国鉄債務返済のための用地売却に向けた準備だった。

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

加温しながら初期強度を上げる
加温養生(型枠)



第二養生

加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



第三養生

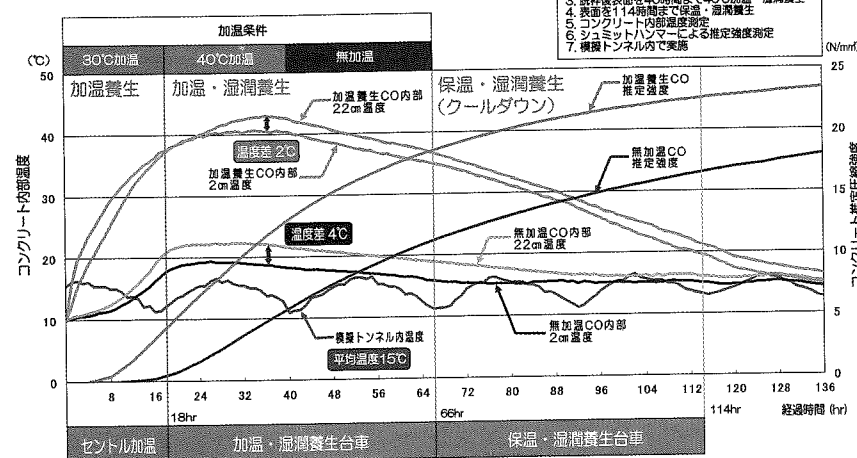
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



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

TOUJOU
株式会社 東 宏

そして、勇んで入った国鉄は5年でなくなってしまった。

拾う神のご加護でJR東日本に勤務することとなり、信濃川水力発電再開発工事をしていた新潟県小千谷の工事事務所で仕事をする機会に恵まれた。そこでは、なんと27kmにも及ぶ水路トンネルを掘っていた。工法はNATMである。

それなのに、担当したのは調整池ダムであった。これでは、吉村先生に授けていたはずの神通力が活かさない。それどころか、「国鉄はなくなっても電力会社に再就職できてよかったな」と同級生から誤解され、「入門書を片手にダム工事をするなんて、本当に大丈夫なのですか」と電力会社の方に心配された。

結局のところ、就職以来、身近にありながら、トンネル工事に直接従事する機会に全く恵まれないうまま35年余が過ぎた。この先も多分ないだろう、と容易に想像できる歳になってしまった。

その身が、日本トンネル技術協会のお役を仰せつかっているのは、たいへん畏れ多いことだと思っている。

さりながら、トンネルを掘りたいと意気込んで就職し、望み続けて叶わなかったから今日があるのだと思えなくもない。

自分自身でやりたいと思うことを定めること。そのために必要な理論や経験を自力で身につけ、さらに一目置かれるレベルに磨き上げること。自信と誇り、そして度胸をもって行動すること。課せられた使命を全うすること。どちらがより大切か、タイミングは今かを見誤らないこと。人の力には限界があることを悟っておくこと。想定外の現実も冷静に受け止め、計画を変更することを恐れないこと……。などなど。

世の中のお役にたつ技術者たらんと欲すれば、自ら求めなければならないことがいろいろあることに気づかされてきたと思う。

現在、JR東日本の建設工事全般を与かる仕事とともに信濃川水力発電所にかかわる仕事を担当している。そして、ほぼ毎週、上越新幹線に乗りし中山トンネルを通過している。そのたびに、列車が減速し、迂回軌道上を走行するのを実感している。

中山トンネルは、先人たちが心血を注いでもなお、減速を余儀なくされるほどルート迂回させる決断をしなければ、5か月遅れの完成に漕ぎ着けることができなかったからである。

天国の吉村先生が、還暦を間近にしても未だ至らざるを憂い、戒めの機会をくり返し与えて下さっているように思えてならない。

施工

精密機器を有する工場群に配慮したトンネル掘削

—九州新幹線西九州ルート 久山トンネル東工区—

鉄道・運輸機構九州新幹線建設局長崎鉄道建設所担当副所長 福重孝章

鉄道・運輸機構九州新幹線建設局長崎鉄道建設所所長 斉藤道真

東急・東鉄・大栄特定建設工事共同企業体監理技術者 井元大吉

1 はじめに

九州新幹線西九州ルートは武雄温泉・長崎間(工事延長約67km)の工事実施計画が2012(平成24)年6月に認可され、整備を進めている。久山トンネルは、九州新幹線西九州ルートの武雄温泉起点48km405m～53km395m間に位置し、長崎県諫早市と長崎市に跨る延長4,990mの新幹線複線断面の山岳トンネルであり、そのうち東工区では起点(諫早市)側の2,550mを施工する(図-1)。

2015(平成27)年1月より横坑(延長168m)の掘削を開始して本坑に到達後、起点方に向かって坑

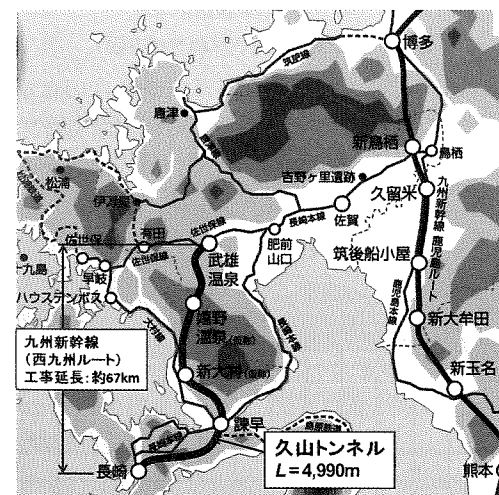


図-1 久山トンネル位置図

口部まで掘削を行い、現在は横坑交点から終点側へ向かって掘削を進めている。

本トンネルの起点方の地上部近傍には、電子機器、半導体および航空宇宙関連などの企業143社の工場群を有する諫早中核工業団地が立地しており、トンネル掘削に伴う振動により工場群の精密機器へ影響を与えることが懸念された(図-2)。そのため、本トンネルにおいては、掘削に伴う工場群への振動を事前に予測したうえで、その影響を最小限に抑制するための掘削方式を選定することが不可欠であった。

本稿では、事前の振動目標値の設定、振動予測およびその結果にもとづく掘削方式の選定経緯と、施工状況について報告を行う。



図-2 航空写真

2 地形・地質概要

本工区は北側の大村湾と南側の橘湾に挟まれた山地から丘陵地に位置しており、地形は南南東から北北西方向の山稜が主体で、標高約50~200mの低山地からなる。当該地質は、古第三紀に形成された諫早・矢上・長与層群の砂岩および砂岩頁岩互層で、一軸圧縮強さ20~100MPaの中硬岩~硬岩の出現が予想されている(図-3)。

3 振動予測

3-1 振動目標値の設定

工業団地内の各企業を対象にアンケート調査を実施し、精密機器などを使用していると回答された中から、久山トンネルに近傍した5社を選定し現状振動の調査を行った。その結果、平常時においては各社とも自社以外の外部環境による振動の影響は小さいということが判明した。

振動目標値については、各社からの申告、または文献1)を参考にした。申告のあった企業の中で、とくに振動制約が厳しかったのが、①目標値で「1/3オクターブバンドピークホールド分析の実効値が振動数 $1 \leq f \leq 100$ Hzで変位 $0.5 \mu\text{m}$ かつ加速度 $0.8 \text{gal}(\text{cm/s}^2)$ 以内を満たすこと」という厳しい条件である。また、そのほかにも、②目標値で「重故障変位 $60 \mu\text{m}$ 以上、軽故障変位 $40 \mu\text{m}$ 以上」という条件が示された。申告のなかった企業に関しては文献1)にもとづき、③目標値とし、住居コ

ンピュータークラスの振動加速度 $1 \text{gal}(\text{cm/s}^2)$ とした。各企業に対する振動目標値をグラフ化したのが図-4である。

この振動目標値を考慮したうえで、発破掘削および機械掘削それぞれの条件で振動予測を行うこととした。

3-2 振動予測

3-2-1 発破掘削時の振動予測

発破振動の予測は段あたり薬量(W)、発破位置からの距離(D)および発破条件や岩盤特性によ

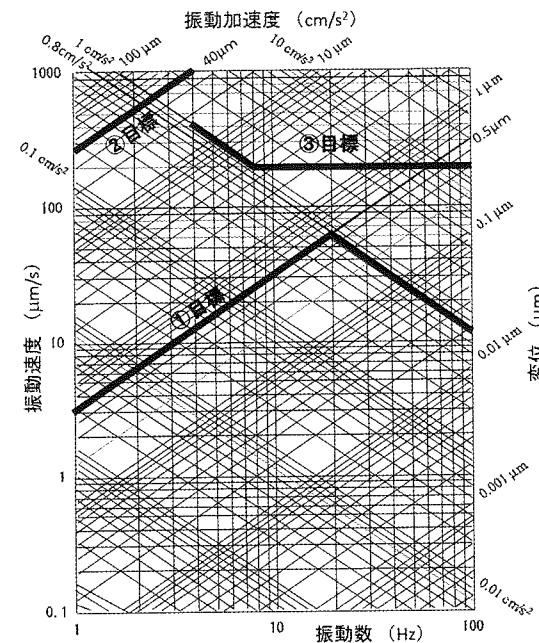


図-4 振動目標値(トリバタイド図)

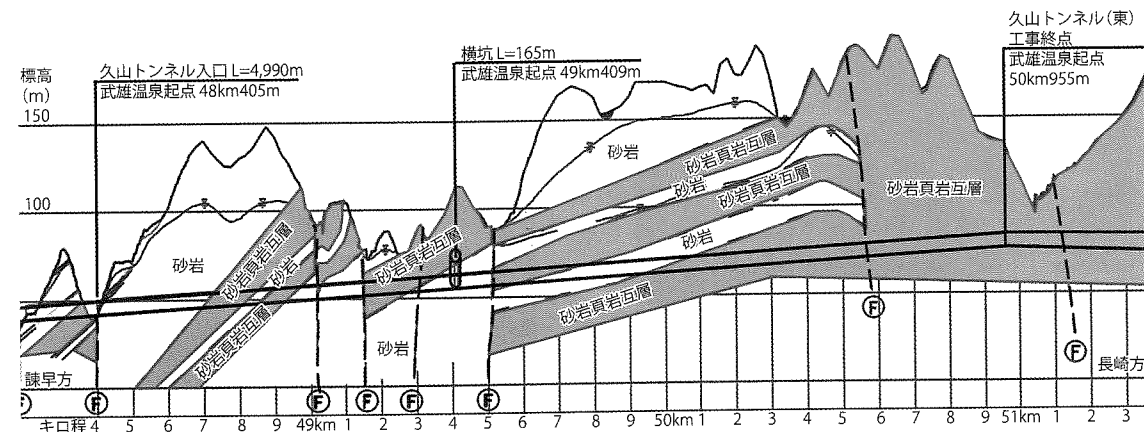


図-3 久山トンネル東工区の地質縦断面図

て変化する係数(K)を独立変数とし、従属変数を変位速度(V)とする予測モデルが一般的に用いられる。その式は、式(1)のとおりである。

$$V = KW^n D^n \quad (1)$$

m と n については、文献2)より $m = 0.75$, $n = -2$ とした。

また、発破条件や岩盤特性によって変化する係数である K 値については、文献などに目安値の記載はあるが地盤条件や施工上の要因により変動することが知られている。今回は九州新幹線西九州ルートで、地盤条件が類似していると考えられる三ノ瀬トンネルにて発破掘削時に振動計測を行い、その結果から算出した K 値(1,755)を用いて、本工区発破掘削時の振動予測を行った。

3-2-2 機械掘削時の振動予測

機械掘削時の振動予測は土木研究所提案の式(2)³⁾を用いて行った。

$$L(r_B), f_i = L(r_A), f_i - 20n \log_{10} \left(\frac{r_B}{r_A} \right) - 8.68 \cdot 2\pi \frac{h}{V} f_i (r_B - r_A) \quad (2)$$

$L(r_B), f_i$: B点における周波数 f_i の振動レベル
 $L(r_A), f_i$: A点における周波数 f_i の振動レベル
 n : 幾何減衰を表す定数(実体波は1, レイリー波は0.5)

r_B : 振動源からB点までの距離
 r_A : 振動源からA点までの距離
 h : 内部減衰定数
 V : 振動伝播速度
 f_i : 振動周波数

式(2)のA地点における周波数別振動レベルを九州新幹線西九州ルートで類似箇所の三坂トンネル機械掘削時に振動計測を行い、本工区での振動予測を行った。

3-3 振動予測結果

発破掘削時の振動予測では、類似箇所の三ノ瀬トンネルで得た最大振動発生時と同じ芯抜き薬量3.6kgでの発破を想定し、発破位置からの距離別に予測を行った。

予測結果は鉛直方向成分(z 方向)での振動が大きい結果となった。振動数10Hz以上で目標値を

超過する場合が多く、とくに振動数40Hzでの超過がもっとも大きいとされ、全周波数で①~③の目標値を満足するには1,200mの離れが必要であることが予測された(図-5)。

機械掘削時の予測は類似箇所の三坂トンネルに

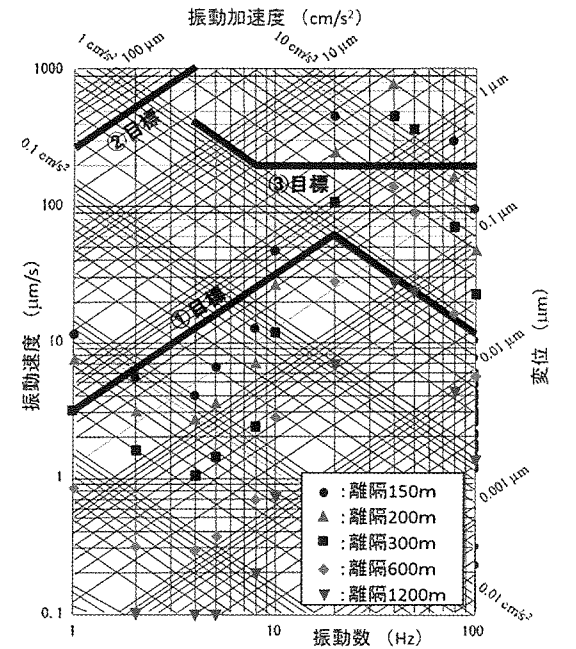


図-5 発破掘削振動予測結果

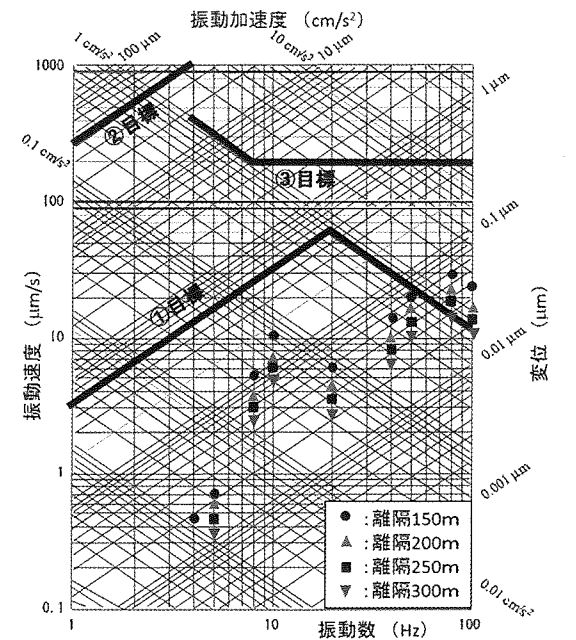


図-6 機械掘削振動予測結果

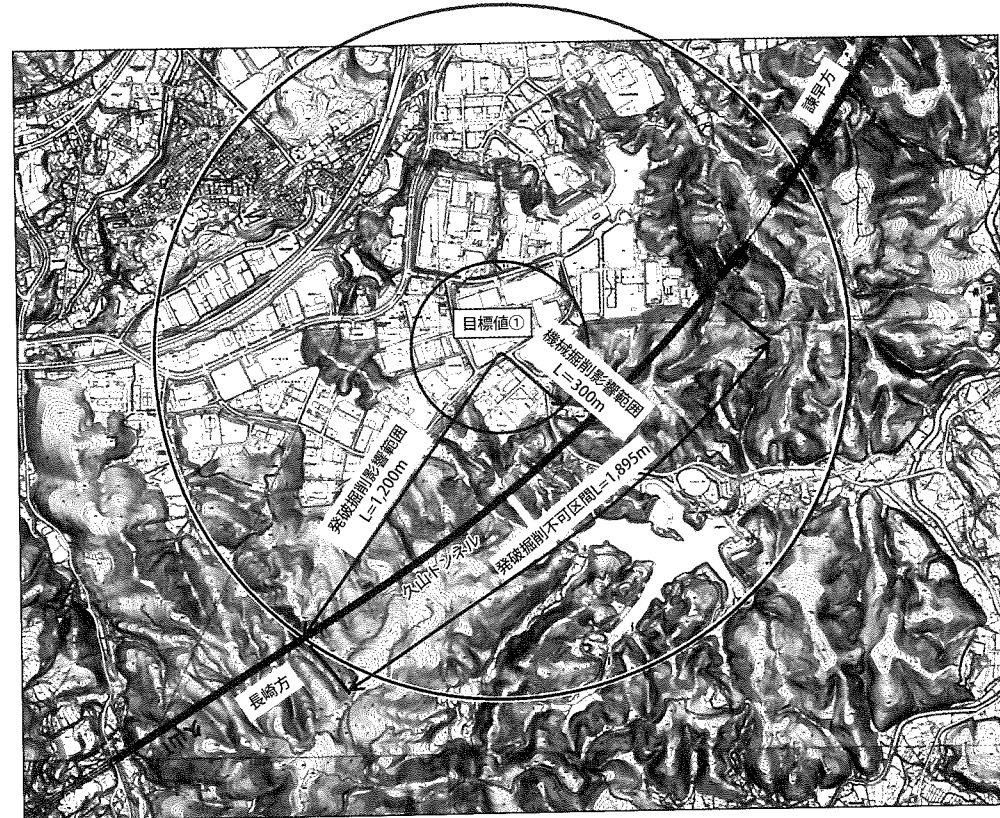


図-7 掘削影響範囲図

において振動のもっとも大きかった切羽を直接掘削する作業での水平方向成分(x方向)を対象に行った。①～③の目標値を満足するには300m以上の離隔が必要である予測となった(図-6)。

予測の結果を考慮すると、目標値のもっとも厳しい企業が久山トンネルと近接する距離は370m程度であることから、通常の発破掘削での対応は困難であり、機械掘削をはじめとする低振動方式の採用が必要である結果となった(図-7)。

4 施工計画

4-1 掘削方式の選定

久山トンネルの地山条件を考慮すると発破掘削が適するものの、発破掘削時の振動が工業団地へ大きく影響し、通常の発破掘削ができない区間が1,895m(工区延長の約74%)にも及ぶ結果となったことから、経済性を考慮し、制御発破の振動予測を行い、次に無発破工法の検討を行った。掘削

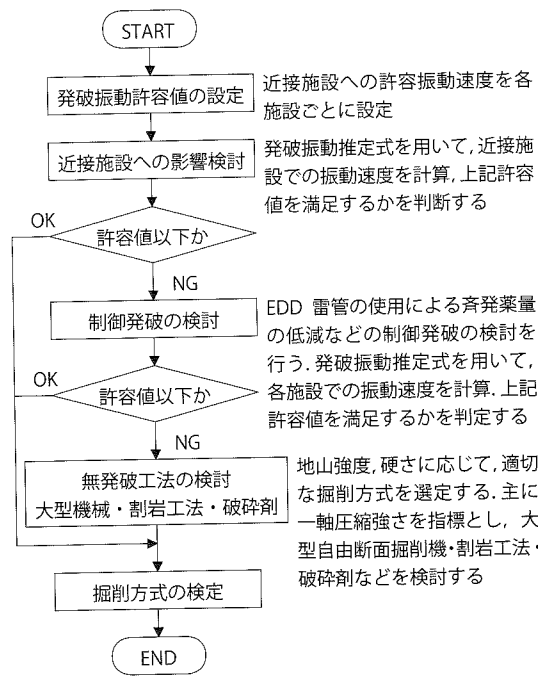


図-8 掘削方式選定フロー

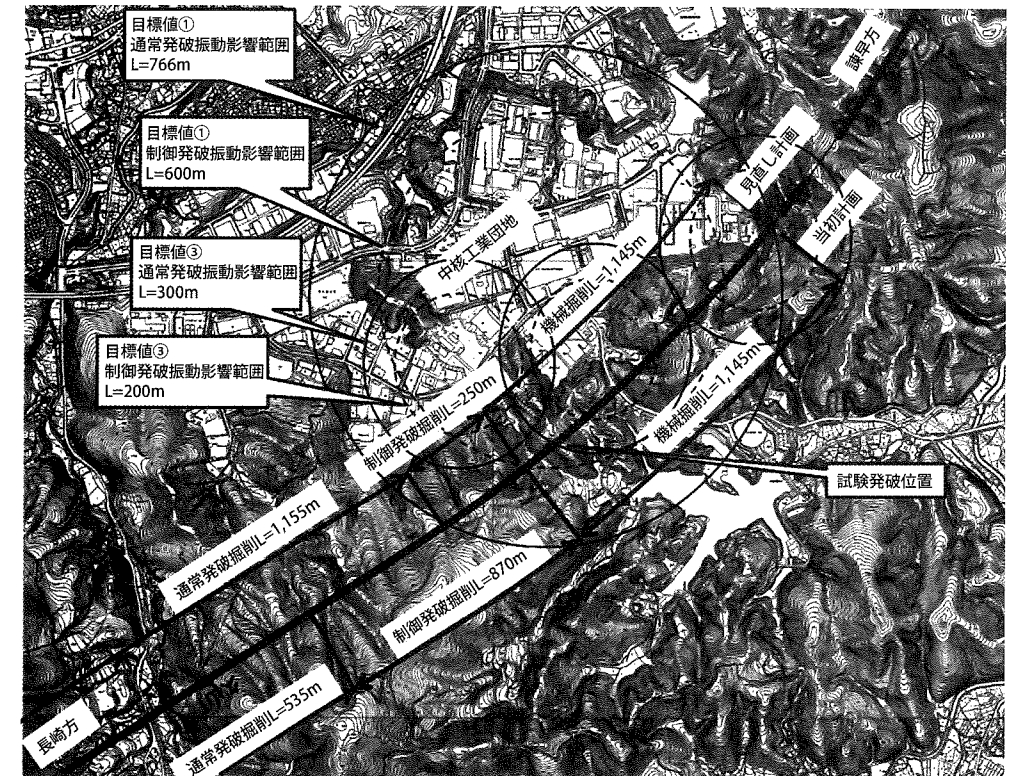


図-9 掘削方式の区分

方式の選定フローを図-8に示す。

制御発破(1段0.5kg)での振動予測の結果、一定以上の離隔条件では効果が認められたことから、一部の区間のみ採用することとした。

無発破方式は機械掘削、割岩工法、破碎剤による掘削の3方式を検討した。

割岩工法、破碎剤ともに過去の実績から一軸圧縮強さ100MPa以上の硬岩に対応できるが、割岩工法は自由面の形成が必要で、割岩孔以外に切羽の外周部や中央部に連続孔や大口径孔の形成に時間を要する。また、2次破碎に機械掘削が必要となる。

破碎剤による施工は爆薬に比べ低振動で岩盤の破碎ができるが穿孔数は多くなる。瞬間的なエネルギーで岩盤を破碎するものであるため、発破工法と同様に振動予測を行った。結果は一部の区間では目標値の振動速度0.02cm/sに対して0.046cm/sと超過する予測結果となった。

機械掘削については、一軸圧縮強さ100MPa以

下の岩盤であれば大型の自由断面掘削機を採用することにより対応できると判断した。

このことから、無発破区間の掘削は機械掘削とし、切削不能な硬岩が出現した場合にのみ割岩工法および破碎剤を採用することとした。

4-2 試験発破

類似箇所のデータを用いた振動予測では、実際の地質との差異が懸念された。そのため、目標値①の工場において、数年に1度行われる精密機器のメンテナンスを行う生産停止日に合わせて、実際の現地において試験発破を行うことで、より精度の高い予測値を算出し、施工計画に反映することとした。

試験発破は横坑と本坑の交差点部(土かぶり60m)で通常発破(掘進1.2m, 斉発薬量4.5kg)と制御発破(掘進1.0m, 斉発薬量0.45kg)の2ケースを実施し、振動計測を行った。

試験発破で得られたK値(通常発破484, 制御発破1,044)は、振動予測時に用いた三ノ瀬トンネル

発破掘削時のK値より小さい値となった。このK値を式(1)に用いて再予測した結果は、図-3の目標値①を有する工場から通常発破で766m、制御発破でも600mの離れが必要であり、目標値③を有する工場でも通常発破で300m、制御発破で200mの離れが必要との結果となった。

各掘削方式の区間を当初計画と比較して、機械掘削区間は1,145mで変わらない結果となったが、制御発破区間が250mと短くなり、その結果、通常発破区間が535mから1,155mと長くなった(図-9)。

4-3 掘削機の選定

掘削対象となる岩盤は、地質調査の結果から古第三紀の砂岩または砂岩頁岩互層であり、弾性波速度 $V_p = 3.0 \sim 4.8 \text{ km/s}$ 、一軸圧縮強さ $20 \sim 100 \text{ MPa}$ であり、中硬岩～硬岩の出現が予想された。一般的に使用される 200 kW 級の自由断面掘削機は適用範囲が 50 MPa 以下、実用的には 20 MPa 程度とされており、対応できないと予想されたため、本工区では 100 MPa 程度の岩盤にも対応できる国内最大級の自由断面掘削機 350 kW 級を採用することとした。また 350 kW 級自由断面掘削機でも、より切削能力の高いシングルブーム型を採用した。

5 施工経過

横坑との交点部より本坑を起点側に向かって機械掘削を開始したところ、 270 m ほど掘り進んだ $49 \text{ km}140 \text{ m}$ あたりから砂岩優勢の砂岩頁岩互層(一軸圧縮強度 45 MPa 以上)が出現し、その後、約 590 m は中硬岩～硬岩が続き、最大で一軸圧縮強さ 158 MPa の硬岩が出現した(写真-1)。支保パターンとしては III_{sp} (吹付けコンクリート 10 cm のみ)の施工である。

切羽は非常に硬質で、全般的に亀裂も少なかったため、小片に削り落とす切削となり、粉じんが著しい状態が生じた。そのため、エアカーテン式換気システムを導入することにより、換気の向上および視界の確保ができ、作業効率も上げることができた(写真-2)。

施工計画段階では、 100 MPa 以上の硬岩が出現



写真-1 硬岩出現切羽状況(48km660m)

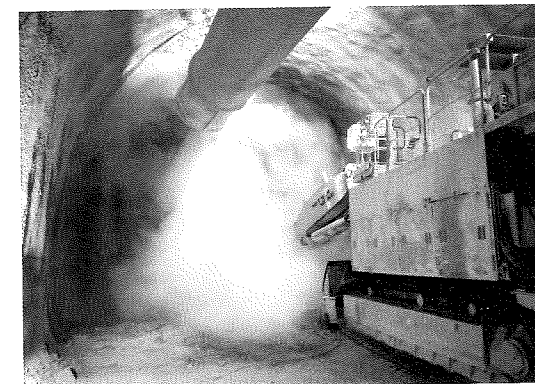


写真-2 硬岩地山における機械掘削状況

し、自由断面掘削機での切削が困難な場合は割岩工法および破砕剤の併用を計画していたが、自由断面掘削機が大型で、機械の入れ替えに時間を要し、また併用工法の削孔に時間を要することなどから自由断面掘削機のみで掘削することとした。

一軸圧縮強さと亀裂状況により作業能力やビットの損耗率に影響を受けるが、本工区においては 100 MPa 以上の砂岩を掘削した場合の自由断面掘削機 350 kW 級の作業能力は約 $5.8 \text{ m}^3/\text{h}$ で、ビットの損耗率は約 $0.69 \text{ 本}/\text{m}^3$ であった。

2016(平成28)年12月に機械掘削区間(1,145m)の掘削を終了し、その後、制御発破区間の掘削を開始した。

機械掘削から制御発破掘削へ切り替えた $49 \text{ km}550 \text{ m}$ 地点での発破振動と、制御発破掘削から通常発破掘削へ切り替えた $49 \text{ km}582 \text{ m}$ 地点での発破振動の測定結果を図-10に示す。距離はそれぞれ約 600 m 、約 630 m である。

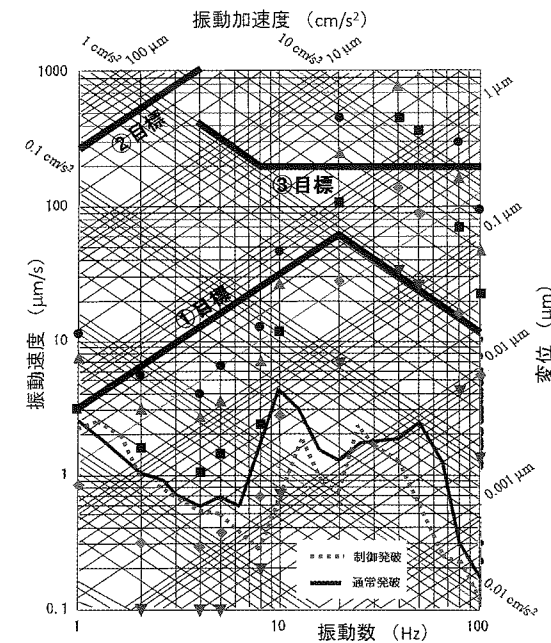


図-10 発破振動測定結果

毎回の制御発破振動測定を行い、工場への振動の影響がないことを確認し、次の制御発破の火薬量を徐々に増やしていくこととした。その結果、制御発破区間を 250 m から 30 m に短縮し、通常発破で掘削することとした。

実際の発破振動測定結果を図-5の発破掘削振動予測結果と比較すると、振動数 $1 \sim 10 \text{ Hz}$ 程度では、測定と予測の傾向はおおむね一致しているが、 $10 \text{ 程度} \sim 100 \text{ Hz}$ では、測定結果が予測を下回る結果となった。これは、予測では三ノ瀬トンネル切羽直上付近(土かぶり 70 m)における測定値を用いたため、高い周波数域の発破振動が大きな減衰を

せず測定されたと考えられる。実際の工場における発破振動測定とは、振動伝搬経路や発破位置から測定地点までの地盤状況が異なっており、高い周波数域での距離減衰の影響が予測より大きかったためと想定される。

なお、施工中は精密機械を有する工場のうち、近隣の4社に振動計を設置し、各工場の目標値を超過すると警報がメール配信される遠隔無人測定システムで監視を行った。現在まで、工事による振動超過は確認されていない。

6 おわりに

機械掘削区間を2016(平成28)年12月中旬に終了し、その後、制御発破区間を終え、現在は終点側に向かって、通常発破区間を掘削中である。精密機器を有する工場群に、トンネル掘削振動の影響を与えずに予定区間の掘削を終了することができた。

最後に、日ごろより多くの課題に対して貴重なご意見とご指導を賜っている「九州新幹線(西九州)トンネルの設計・施工に関する検討委員会」の委員各位に厚く感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 楠田裕：環境振動工学入門—建築構造と環境振動，理工図書，1997.1.
- 2) 日本火薬工業会編：あんな発破 こんな発破 発破事例集，2002.3.
- 3) 道路工事に係る振動予測技術の向上に関する研究，平成21年度 土木研究所成果報告書。

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

B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(¥450円)

株式会社 土木工学社

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



「永久不壊の石橋のように」長崎県諫早市より

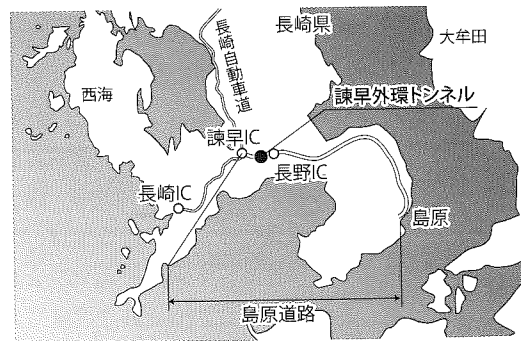
— 瀬 康 弘

諫早市は、長崎県のほぼ中央に位置し、東は有明海、西は大村湾、南は橘湾と特性の異なる3つの海に面し、雄大な多良岳の麓に広がる自然豊かなまちである。市の中央部には本明川が流れ、市街地を通過して諫早湾(有明海)に注ぎ、下流の諫早平野、諫早湾干拓地は県下最大の穀倉地を形成している。

本明川は地形の関係上、昔から「荒れ川」といわれ、大洪水をくり返してきた。そのため本明川に架かる橋という橋はことごとく流され、1810年の大洪水以来30年間は、橋のない川として住民の生活は不便を強いられていた。時の領主は住民の願いをかなえるため、「流れぬ橋」「こわれぬ橋」を架けよと指示し、2連式アーチ型の石橋「諫早の眼鏡橋」が架けられた。諫早人の全知全能をしばったこの石橋は、1839年に完成以降、一度も流出することはなかった。1958(昭和33)年、石橋としては日本で最初に国の重要文化財として指定されている。

現在は諫早公園内に移設され、その優美な姿を今も残し、「永久に壊れない」ということで、永遠に続く恋愛のパワースポットにもなっている。

眼鏡橋のように歴史ある史跡が多い諫早には、おいしい食べ物も多い。3つの海に囲まれた海の幸の宝庫で、なかでも牡蠣日本一決定戦の初代王者に輝いた小長井の牡蠣は、干満差日本一の有明海で鍛えられて育ち、味が濃厚で旨みや甘味が凝縮されている。また江戸時代からの伝統を持つ諫早の名物料理は、うなぎの蒲焼である。諫早のうなぎの蒲焼は、「焼き」のあと、



位置図



諫早の眼鏡橋

二重底になった楽焼の器を使い、仕上げに蒸すのが特徴である。蒸すことによって、ふっくらとやわらかくなり、とろけるような食感が生み出される。なお、うなぎが諫早の名物料理となっているのは、大洪水をくり返した本明川が、かつてうなぎの宝庫であったためである。

さて、一般県道諫早外環状線は、諫早IC～長野ICに至る延長約7kmの自動車専用道路で、島原道路の一部として、諫早市中心部の渋滞緩和ならびに諫早地域と島原半島地域の交流促進による地域活性化を目的として工事が進められている。

本工事は、外環状線の終点側に位置する全長1,594mのトンネル工事で、掘削断面積111.9m²(DI)の大断面トンネルを、国内最大級の自由断面掘削機(10J)を使用して掘削中である。全体的に土かぶり小さく、不良地山の出現や異常出水、硬質砂岩の出現など、地質の変化も著しいため、掘削に非常に難航し、現在ようやく半分の掘削を終えている。

今後も、地質状況の急変や異常出水なども予想されるが、地元のみならずの協力も得ながら、周辺環境へ配慮した施工を第一に心掛け、作業所一丸となって「永久不壊の石橋」のような、地域に愛される「健全なトンネル」づくりを進めていく所存である。

(清水・星野・荒木特定建設工事共同企業体諫早外環トンネル作業所所長)

施工

Ⅱ期線トンネル掘削と避難連絡坑の施工によるⅠ期線への影響を低減

—高松自動車道 大坂トンネル—

西日本高速道路(株)四国支社高松工事事務所工事長 久保井 泰 博
西日本高速道路(株)四国支社高松工事事務所主任 船 田 靖 智
鹿島建設(株)大坂トンネル北工事事務所所長 檜 垣 和 明
鹿島建設(株)大坂トンネル北工事事務所課長 石 井 利 治

1 はじめに

高松自動車道は、2003(平成15)年3月の暫定2車線の全通により、瀬戸内海東側の循環型高速交通ネットワークを形成し、四国の活性化に寄与している。現在、鳴門IC～高松市境間の交通集中による渋滞解消、災害時の代替機能強化などを目的とし完成4車線へ拡幅する事業を行っている。大坂トンネル北工事は、徳島・香川の県境に位置するトンネル延長L=2,119mのうち、香川県側L=959m(坑門工含む)の2車線道路トンネルを新設する工事である。

新設するⅡ期線トンネルはⅠ期線トンネルとのトンネル中心の最小離隔が21.4mと近接施工(間



図-1 大坂トンネル位置図

接影響領域)となることと、避難連絡坑を拡幅しⅠ期線に接続を行うため、供用中のトンネルへの影響を最小限に抑える必要があった。トンネル掘削にあたって、Ⅰ期線へ影響を与える要因として、坑口部における地質・地形、トンネル掘削に伴うゆるみ荷重や変位・変形(静的影響)、および発破掘削に伴う振動(動的影響)が懸念された。そこでⅠ期線の施工実績をもとに、事前にFEM解析などを用いた検討を行い、坑口部補助工法計画、計測管理計画(管理基準値)、避難連絡坑拡幅計画を策定し工事に臨んだ。

本稿では、その計画と施工について報告する。

2 工事概要

工事概要を表-1に示す。

3 Ⅰ期線トンネルへの影響検討

3-1 Ⅰ期線トンネルの施工実績

Ⅱ期線トンネルの掘削影響を評価するにあたっては、Ⅰ期線の掘削実績がもっとも有効な資料となる。

Ⅰ期線トンネルは坑口部を除き、ほぼ全線を「設計要領 第三集 トンネル本体内工」(以下「要領」

という)に定めるCII-bパターンにて掘削を行っている。最大土かぶり付近における内空変位は5mm程度であり、地山のひずみに換算すると0.04%と微小であった。図-2にI期線トンネルの施工

表-1 工事概要

工事名	高松自動車道大坂トンネル北工事
路線名	高速自動車道高松自動車道
施工場所	(自)香川県東かがわ市坂元地先 (至)香川・徳島県境
発注者	西日本高速道路(株)四国支社
施工者	鹿島建設(株)高松自動車道大坂トンネル北工事事務所
工期	平成26年3月~平成29年6月
トンネル延長	(全長)L=938m(掘削延長) (工事延長)L=1,441m
掘削断面積	標準断面:75.5m ² (CII-b) 非常駐車帯断面:97.7m ² (CII-L)

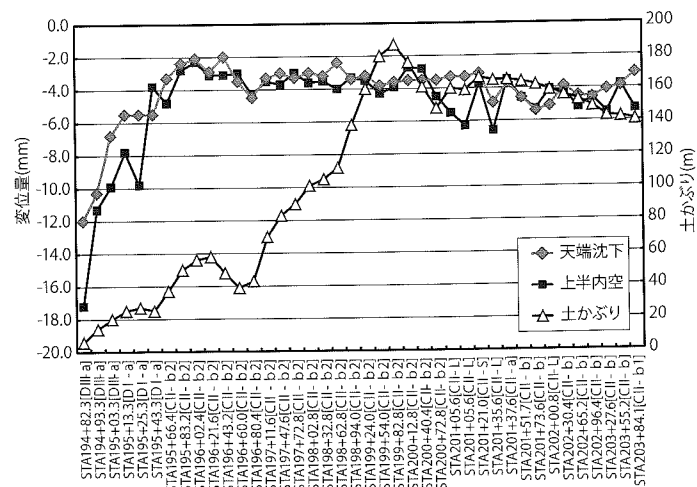


図-2 I期線トンネルの掘削実績

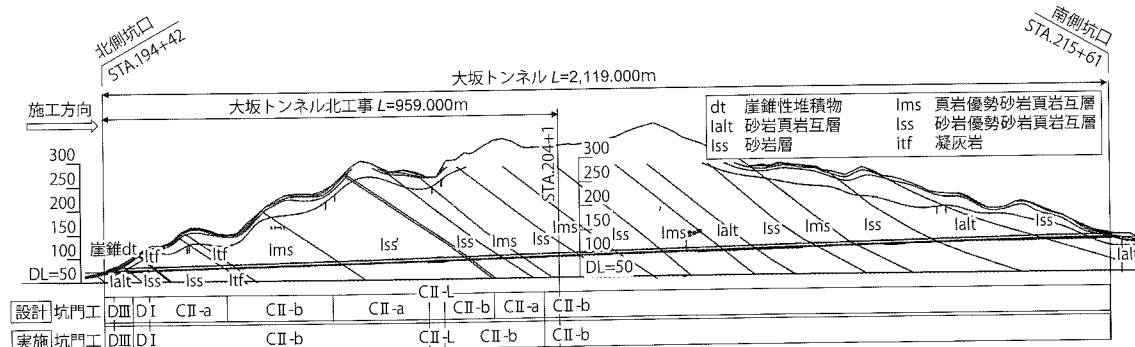


図-3 大坂トンネル地質縦断面

時における土かぶりに応じた坑内変位の一覧を示す。

一方、坑口部は礫質土からなる崖錐層と風化が進み茶褐色に変色した砂岩が出現し、坑内変位は全線を通じてもっとも大きい値を示すとともに、切羽では風化砂岩が複数回にわたって崩落した記録が残されている。これらのことから、II期線トンネルの掘削にあたっては、とくに坑口部の施工に留意が必要であると判断した。

3-2 地形・地質概要

大坂トンネルの基岩盤は中生代白亜紀の和泉層群で形成されている。山地の斜面は県境の尾根を境に香川県側で急傾斜となっている。最大土かぶりは245mである。

地質は、和泉層群の砂岩、頁岩およびこれらの互層よりなり、地層はトンネルとほぼ直交し、急傾斜の受け盤となっている。また層状破砕帯が発達し岩盤の強度異方性を有する。トンネル芯部での弾性波速度は3.8~4.4km/sを示し、支保パターンはCIIが主体的である。

大坂トンネル地質縦断面図を図-3に示す。

3-3 坑口部の地山安定対策

坑口部は、礫質土からなる崖錐堆積物が数mの厚さで分布し、偏圧地形を呈している。詳細点検においても、I期線坑門工に変状が見られていることから、II期線掘削時の課題とした。

事前に実施された鉛直ボーリングの

結果から、II期線トンネルの坑口部にもN値10程度の崖錐層が厚く堆積しており、掘削初期は脚部も含めて全断面が崖錐層内を通過することが確認された。そのため、トンネル掘削時にはトンネル天端・切羽の不安定化、支保工脚部地盤の支持力不足によるトンネル本体の不安定化、およびそれらに起因するI期線トンネルの変状発生が懸念された。そこで、天端および切羽の安定確保を目的に長尺鋼管フォアパイリング工と長尺鏡ボルト工を、支保工脚部の支持力確保を目的に1次インバートによる早期閉合を実施することとした。坑口部の支保パターン図を図-4に、トンネル縦断方向における補助工法の割付け図を図-5に示す。

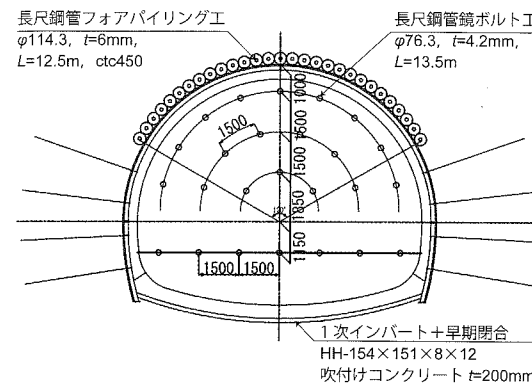


図-4 支保パターン図(坑口部)

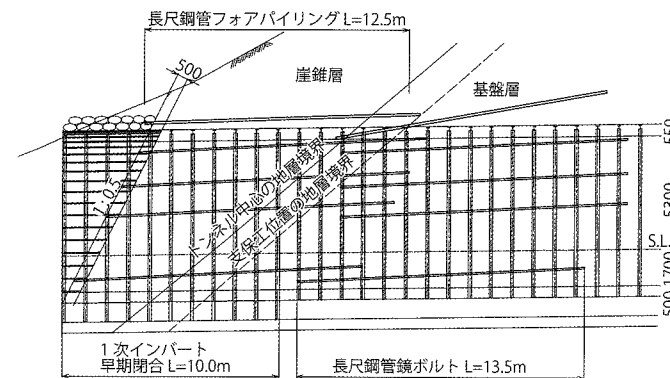


図-5 支保パターン割付け図(坑口部)

支保パターン	DIII a(H)-B(A)	
延長(m)	37.0m	
掘削工法	早期閉合(10.0m)11基	補助ベンチ付き全断面(28.0m)
補助工法	長尺鋼管フォアパイリング+長尺鋼管鏡ボルト(施工範囲22.0m) 充填式フォアボーリング(15m)	

3-4 I期線への影響管理

3-4-1 影響管理の方針

I期線トンネルへの影響管理にあたっては、I期線を直接計測し、II期線トンネル掘削の影響を管理することが望ましい。しかし、I期線とII期線はほぼ平行するため、供用中のI期線を全線にわたって計測・監視することは困難である。そこで、本工事では数値解析によりII期線トンネル掘削時の坑内変位と、それに伴い発生するI期線覆工の変形・応力の関係を算出し、その関係性にもとづいて、II期線トンネルの坑内変位に管理基準を設けることで、I期線トンネルへの影響を管理する方針とした。

加えて、I期線とII期線の両者を同一測線で計測する検証断面を2断面設け、数値解析の妥当性を検証し、必要に応じてII期線の坑内変位に関する管理基準値の見直しができる体制とした。計測断面はI期線の施工実績および地形・地質条件から坑口部と一般部の2断面とした。

I期線への影響管理フローを図-6に示す。

3-4-2 数値解析による影響予測

(1) 解析条件

I期線トンネルへの影響予測は、I期線を直接計測する検証断面の位置と同様に、図-7に示す坑

口部と一般部の2断面で実施した。当該地山の走向はおおむねトンネル軸と直交する。そのため、I期線トンネル掘削時の地質とほぼ同様の地質がII期線でも出現することが予想された。したがって、解析に用いる地盤物性値は、I期線トンネル掘削時の再現解析を実施し、坑口部・一般部それぞれの計測値を再現し得る値を選定した。地盤物性値の一覧を表-2に示す。

(2) I期線トンネルの許容値

近接施工がI期線トンネルに与える影響については、

- ① トンネル構造の安定
- ② 通行車両の安全走行
- ③ 建築限界や道路線形の確保

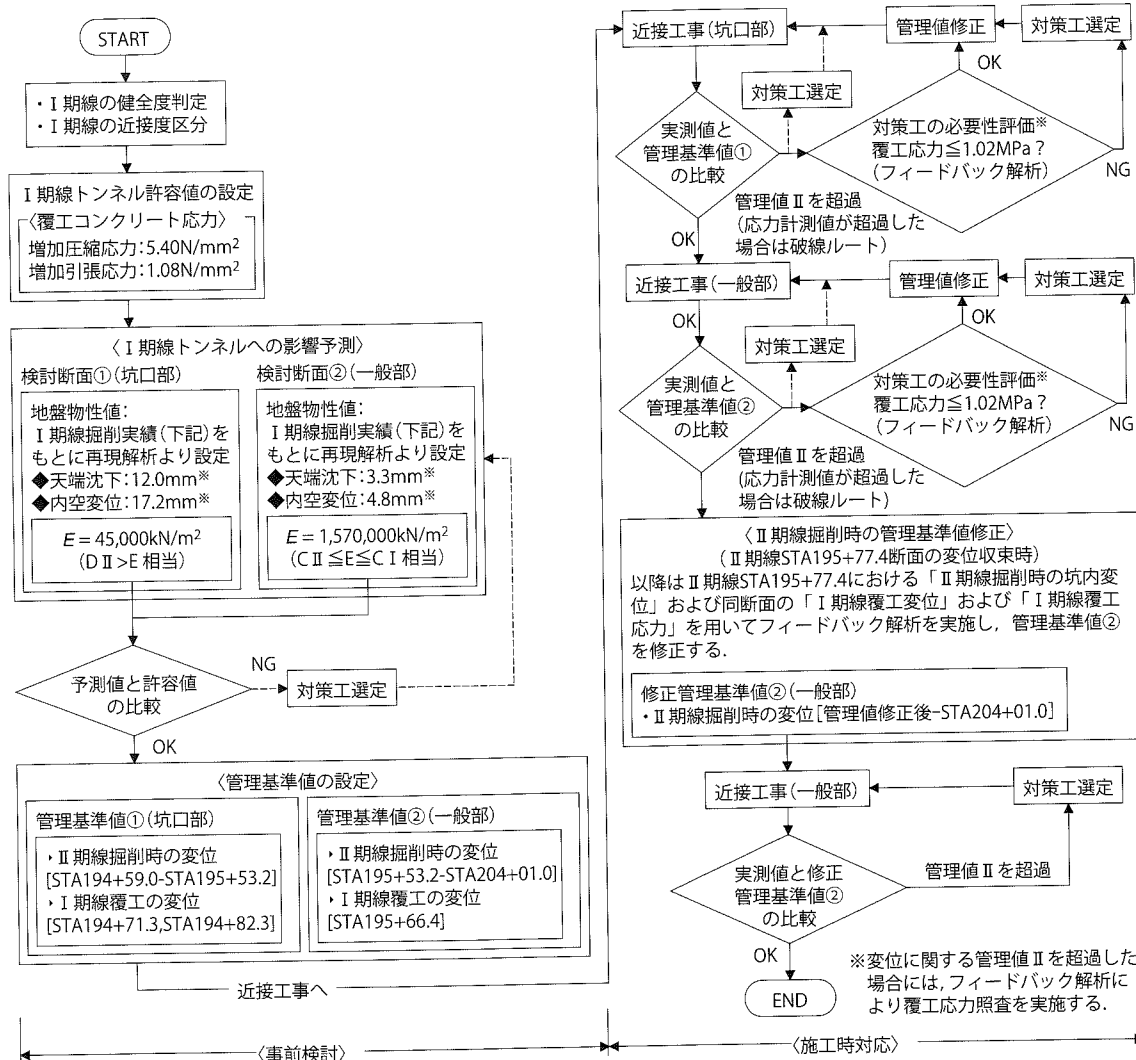


図-6 I期線トンネルへの影響管理フロー

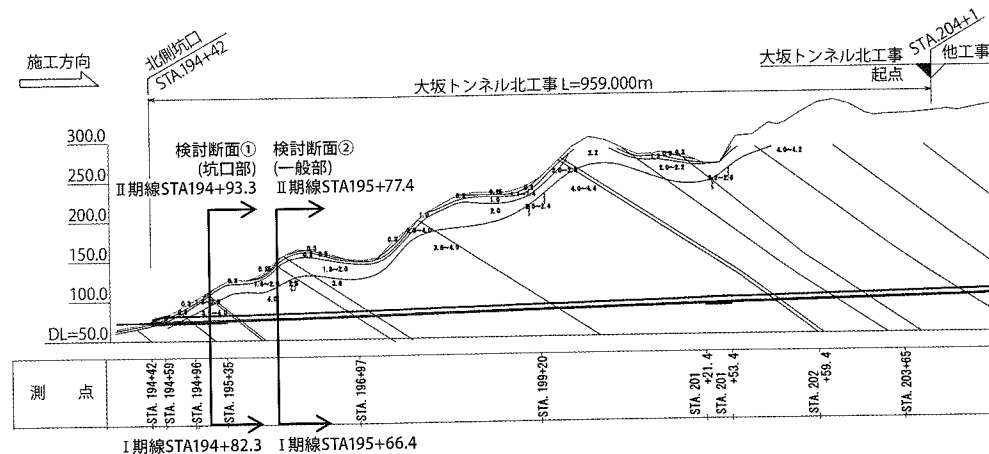


図-7 計測および解析断面位置図

を基本として検討を行う必要がある。

本工事では、トンネル構造の安定性に対し、『要領 保全編(近接施工)』にもとづき、覆工コンクリートの増加応力に対する許容値を設定した。そのうえで、許容値の95%を3次管理目標値と設定した。

覆工応力に対する管理目標値の一覧を表-3に示す。

(3) 予測解析結果

坑口部・一般部の各断面における予測解析結果の一覧を表-4に示す。

解析の結果、坑口部・一般部ともに、I期線トンネルの覆工コンクリートに発生する応力は3次管理目標値未満となることが確認された。また、II期線トンネル掘削時の坑内変位に対する管理基準値を設定することを目的に、管理目標値と一致するときのII期線トンネルの坑内変位を併せて算出した。

表-2 地盤物性値一覧

土層	単位重量γ (kN/m³)	変形係数E (MN/m²)	ポアソン比ν	せん断強度	
				粘着力c (kN/m²)	内部摩擦角φ(°)
崖錐堆積物	20.0	8.4	0.20	0	32.0
砂岩頁岩五層 (坑口部)	22.0	45	0.30	660	35.0
砂岩頁岩五層 (一般部)		1,570			

表-3 覆工応力に関する管理目標値

土層	1次管理値 (50%)	2次管理値 (75%)	3次管理値 (95%)
	圧縮応力	2.57	3.59
引張応力	0.51	0.71	1.02

(単位: N/mm²)

表-4 I期線への影響予測解析結果

II期線掘削変位	天端沈下(mm)	内空変位(mm)	天端沈下(mm)	内空変位(mm)
	掘削変位	68(↓)	18(←→)	3.3(↓)
縫み領域図				
I期線トンネル変形図				
I期線覆工応力・変位	最大引張応力 0.82N/mm² < 1.08...OK 最大圧縮応力 1.10N/mm² < 5.40...OK		最大引張応力 0.18N/mm² < 1.08...OK 最大圧縮応力 0.53N/mm² < 5.40...OK	
I期線覆工の限界状態(応力許容値の95%)				
II期線掘削変位	天端沈下(mm)	内空変位(mm)	天端沈下(mm)	内空変位(mm)
掘削変位	100(↓)	27(←→)	51(↓)	72(←→)
I期線覆工応力・変位	最大引張応力 1.02N/mm² < 1.08...OK 最大圧縮応力 1.38N/mm² < 5.40...OK		最大引張応力 1.02N/mm² < 1.08...OK 最大圧縮応力 1.17N/mm² < 5.40...OK	

表-5 計測項目と目的

計測項目	計測目的
〈II期線トンネル〉 坑内変位計測	・ I期線覆工コンクリートの計測が実施されない区間のデータを補完して、覆工コンクリートに生じる応力が許容値内であることを間接的に確認する。
〈I期線トンネル〉 覆工変位計測	・ II期線トンネル掘削によりI期線覆工コンクリートに生じる応力を間接的に把握し、覆工コンクリートの変形モードを確認する。 ・ 許容値の超過が予想される場合に、応力計測と合わせて対策工を検討するための資料を得る。
〈I期線トンネル〉 覆工応力計測	・ II期線トンネル掘削によりI期線覆工コンクリートに生じる応力をより直接的に把握し、許容値内であることを確認する。 ・ 許容値の超過が予想される場合に、対策工を検討するための資料を得る。

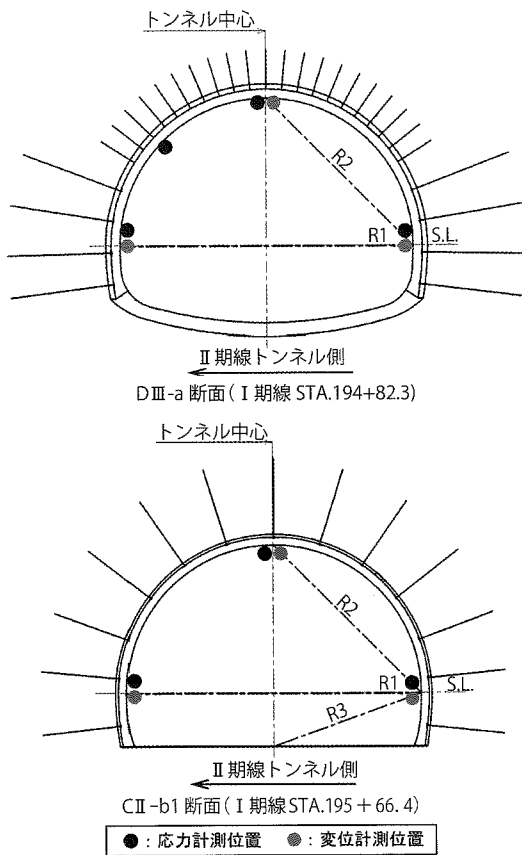


図-8 計測器の配置図

3-4-3 計測管理

(1) 計測項目と配置

計測項目の一覧を表-5に示す。II期線トンネルにおける通常の坑内A計測に加えて、管理対象であるI期線の覆工コンクリートの応力を直接的に計測する覆工応力計測と覆工の変形モードを確認する覆工変位計測を2断面設けた。

また、断面内の計測位置は天端1点、SL近傍2

表-6 計測管理体制

管理基準値	計測管理体制	施工管理体制
管理基準値 I	通常計測体制： 定時計測，坑内観察	通常施工
管理基準値 II	注意体制： 計測頻度強化，目視観察強化 要因の分析	通常施工 支保状況の点検強化
管理基準値 III	要注体制： 計測管理体制の強化 (計測頻度の増加・目視観察の強化) 要因の分析，対策工の検討	車内からI期線覆工の変状確認 地山の調査・観察 対策工実施(支保パターンの変更など)
	嚴重注意体制： 対策工の再検討	掘削中止 I期線覆工の変状確認(踏査) 対策工実施(補助工法追加，掘削工法の変更など)

点を基本とし、坑口部断面においては予測解析の結果、もっとも応力が卓越するII期線側の肩部に覆工応力計測の測点を追加した(図-8参照)。

(2) 影響管理の手法と体制

I期線トンネルへの影響は、覆工コンクリートに発生する応力が許容値を満たすよう、「①II期線掘削時の坑内変位」「②I期線覆工の変位」および「③I期線覆工の応力」について計測管理を行う。ただし、I期線覆工コンクリートの計測は断面数が限られるため、II期線掘削時の坑内変位による管理を基本とする。

その際、現状の予測解析ではI期線掘削時の変位をもとに再現解析を実施しているため、「II期線トンネル掘削時の坑内変位とI期線覆工コンクリートの変位との関係」や「I期線覆工コンク

リートの変位と覆工応力との関係」に不確定要素がある。

したがって、掘削初期段階(II期線STA.195+77.4)における上記①～③の計測結果をフィードバックして再度予測解析を実施し、「①II期線掘削時の坑内変位」に関する管理基準値の精度を向上することとした。また、I期線覆工コンクリートに発生する応力が許容値を超えることがないように、「①II期線掘削時の坑内変位」および「③I期線覆工の応力」に対して管理基準値を設け、表-6のような管理体制を設定した。

4 施工実績

4-1 トンネル坑口部の掘削

坑口部の掘削は、天端と鏡面の安定および早期閉合による脚部の安定対策を行い、本坑と供用線の計測工でトンネルの挙動を監視しながら掘進した。坑口部掘削の施工フローを図-9に示す。

4-1-1 天端・鏡面の安定対策(AGF, 鏡ボルト)

坑口部の切羽は、左側壁を除き大部分を崖錐層が占めた(写真-1)。とくに崖錐堆積物が分布する天端から右肩は空隙が多く、薬液の注入量は計画

の2倍(全体では約1.4倍、表-7)となった。

トンネル掘削は補助ベンチ付き全断面掘削(ベンチ長3m)で進め、切羽はAGF, 鏡ボルトの効果により全体的に安定した状態であった。一方、AGF最下端より下の側壁において崖錐堆積物未改良部の流出が発生したので、坑外からの注入式自穿孔ボルトによる改良やパターンボルトを自穿孔型ロックボルトに変更するなど追加対策を実施することとなった。

2シフト目については、崖錐層の範囲が右肩の一部に縮小されたことから、AGFのみ右半断面に施工し、抜け落ちもなく掘削を完了した。

4-1-2 脚部の安定対策(1次インバート)

1次インバート(L=10m)は、計測管理を行い



写真-1 坑口部切羽状況

表-7 AGF, 鏡ボルト注入実績

	計画	実績	計画比
AGF(kg/本)	149	202	1.36
鏡ボルト(L/本)	167	171	1.02

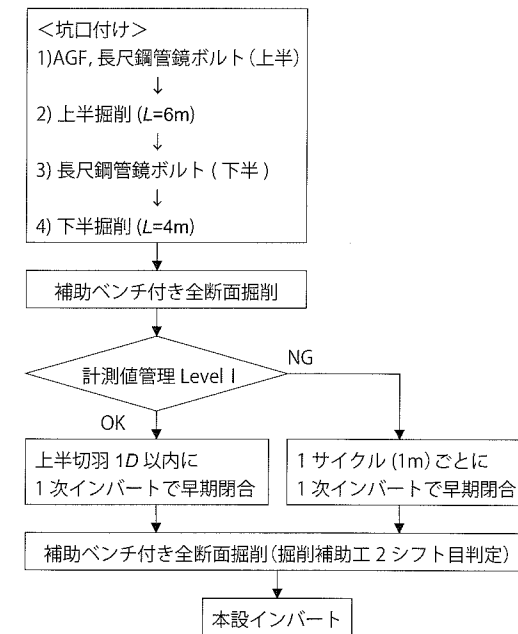


図-9 坑口部掘削施工フロー

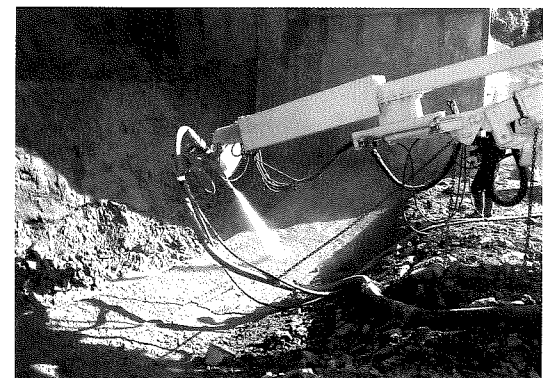


写真-2 1次インバート吹付け状況

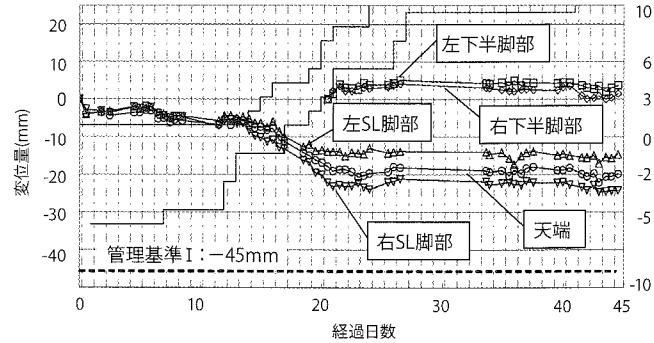


図-10 坑口部沈下計測結果

ながら、上半切羽との離隔1D以内に3回に分けて施工し、全断面を早期に閉合した(写真-2)。その後、引き続いて本設インバート(L=10.5m)を施工し、坑口部の安定を図った。

4-1-3 計測結果

掘削中のトンネルの挙動は、当初想定したとおり、天端と脚部の沈下が卓越したが、最大でも25mm(図-10)に抑えることができた。地表面沈下は約30mm、内空変位は2mmであった。その結果、I期線覆工の変形・応力計測でも継続的な増加傾向などは確認されず、収束に至った。

天端と鏡面の安定対策を併用し、さらに1D以内に1次インバートで早期閉合しながら掘進することで、先行変位・後行変位をともに抑制でき、供用線に影響を与えることなく掘削を完了した。

4-2 トンネル本坑の掘削

本トンネルは、坑口部を除き、トンネルの挙動に影響を及ぼす規模の地質不良部は少なかったが、和泉層群の性質である平滑で鏡肌をもつ層理と、それに直交して発達した系統的節理により、切羽の肌落ちがたびたび発生した(写真-3)。対策として鏡吹付け(3~10cm)を全切羽で実施することで切羽作業をより安全に実施でき、供用線にも影響を与えることなく掘削を完了した。

4-3 計測結果の評価

一般部断面におけるI期線およびII期線の計測結果を表-8にまとめる。I期線の覆工コンク

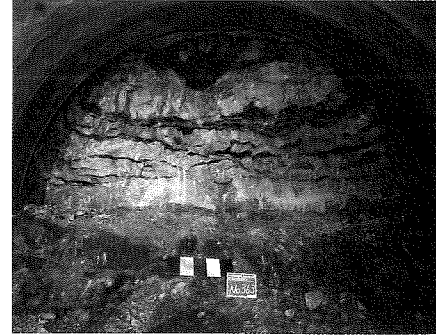


写真-3 層理、節理の発達した切羽

表-8 I期線・II期線の計測結果

変形モード概念図	
中心離隔：約2.5D	
変位計測結果	
II期線トンネル坑内変位	I期線トンネル覆工変位
天端沈下：-5.0mm(-3.3mm)	天端沈下：-0.7mm(-0.7mm)
内空変位：-7.3mm(-4.8mm)	内空変位：+0.2mm(+0.3mm)
応力計測結果	
—	-0.1~-0.6N/mm ² (-0.3N/mm ²)
()内は事前予測解析結果を示す	

リート応力や変位については、事前に実施した予測解析結果とおおむね整合する結果となった。一方、II期線トンネルの坑内変位は予測値をわずかに上回る結果となった。このことから、事前の予測解析と比較して、実現象ではII期線の変形に対するI期線の変形量が小さい傾向にあることがわかった。

この要因としては、「覆工コンクリートの厚さ(実際は設計厚よりも厚い)」や「覆工コンクリートと地山との微小離隔」などの影響が考えられる。しかし、掘削管理を行ううえでは、解析により設定した管理基準値を用いることで、II期線の坑内変位に対するI期線覆工の変位および応力を大きめに見積もることとなり、安全側の管理となる。したがって、事前に設定した管理基準値を用いて、掘削を継続し、施工を終えた。

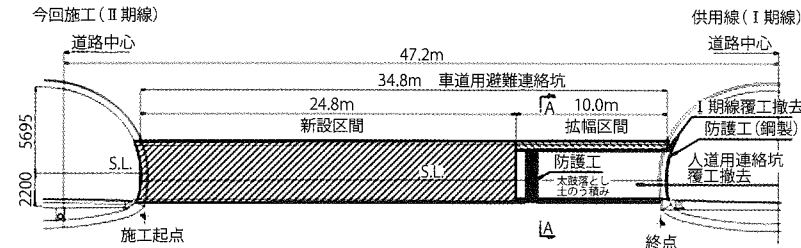


図-11 避難連絡坑縦断面図

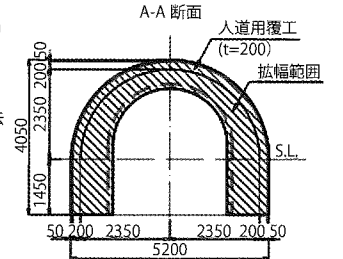


図-12 避難連絡坑拡幅部断面図

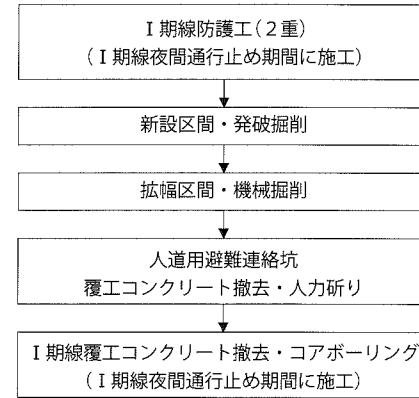


図-13 施工フロー

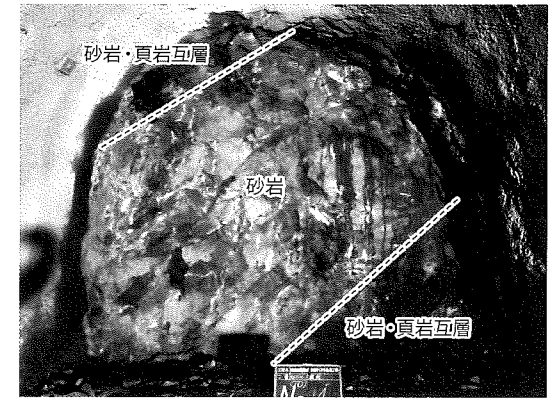


写真-4 避難連絡坑切羽状況

4-4 避難連絡坑の掘削

上り線と下り線をつなぐL=34.8mの避難連絡坑は、II期線側のL=24.8mを新規に掘削し、I期線(供用線)側のL=10.0mはI期線施工時に人道用として施工された断面を車道用の断面に拡幅する工事である。

避難連絡坑の縦断面図を図-11、拡幅部の断面図を図-12に示す。

供用路線としてのトンネルに配慮し、さまざまな対策を講じ、無事施工を完了したので、その実績を以下に述べる。

4-4-1 施工概要

準備工として、I期線側に2重の防護工を設置した(図-11)。掘削は、施工方法によるI期線交通と構造物への影響を考慮し、新設区間を発破掘削、拡幅区間を機械掘削で行った。その後、人道用避難連絡坑の覆工コンクリートを人力で斫り、I期線覆工コンクリートをオールコアボーリングでそれぞれ撤去した。

施工フローを図-13に示す。

4-4-2 地質状況

切羽は、比較的硬質な砂岩が大部分を占めた。地質区分はCII、走向はトンネル軸とほぼ平行し傾斜はほとんど見られない。そのため、硬質な砂岩が続く状況下での掘削となった(写真-4)。

4-4-3 新設区間の発破掘削

発破の振動管理基準値は過去の4車線化工事で実績のある2.5kineを採用し、I期線覆工コンクリートの壁面にX、Y、Z、3方向の振動速度計を設置した。本坑掘削時に実測したK値を用いて発破計画を行い、新設区間掘削初期に実測したK値で計画を修正した。

平行心抜きの採用とMS・DS雷管の使用、さらに斉発薬量を3kgに制限した発破により、1発破進行長1.2mを維持したまま掘削でき、最大振動速度は2.34kine(避難連絡坑横断方向)にとどまった。発破実績を図-14、15に示す。

4-4-4 拡幅区間の機械掘削

小断面で使用できる機械の能力が小さいうえ、地質が亀裂の少ない硬質な砂岩を主体とすること

などから、ブレーカだけでは施工性に劣ると判断しホイールジャンボ(ドルフター能力120kg級)を掘削補助として併用した。

まず、ジャンボで蜂の巣状に先行削孔(φ45mm)を行い、続いてブレーカ(250kg級)で叩き落とした。それでも地山の堅固な箇所や設備用に断面が

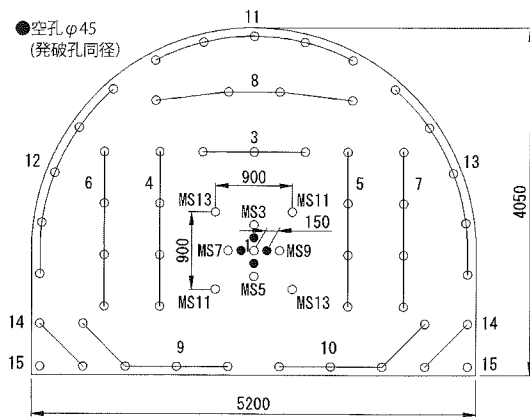
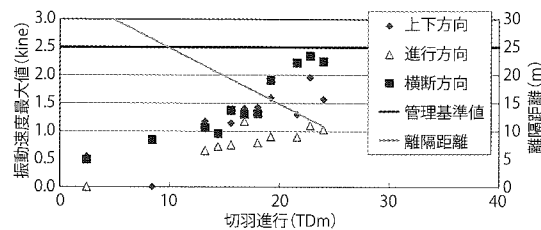


図-14 避難連絡坑発破パターン



	本坑K値	避難連絡坑K値
心抜き	710	360
払い	300	160

図-15 発破振動測定結果

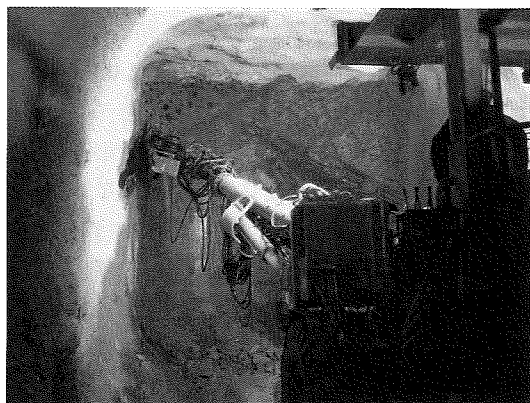


写真-5 先行削孔施工状況

大きくなる箇所では、進行が伸び悩んだ。その対策として、蜂の巣状の孔に静的破碎材を試みたが、期待する効果が得られなかったため、写真-5に示すようにホイールジャンボで大口径(φ130mm)の追加削孔を行うなどトンネル機械を活用し掘削を終えた。

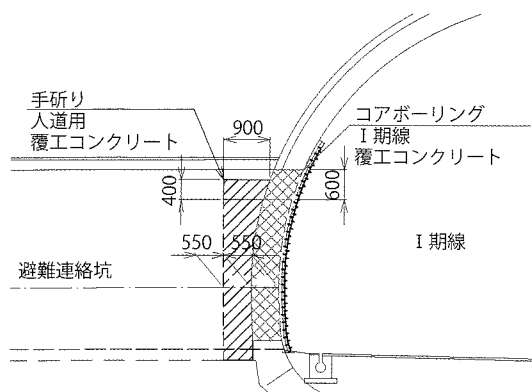


図-16 既設覆工コンクリート撤去概要

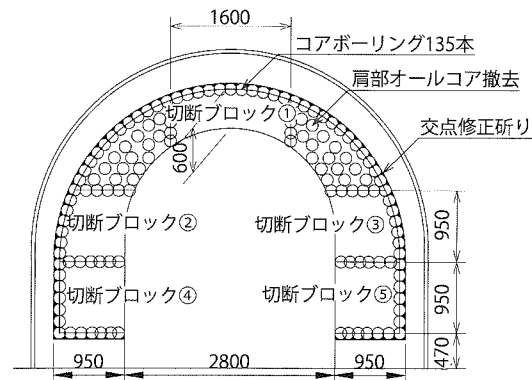


図-17 コアボーリング配置図

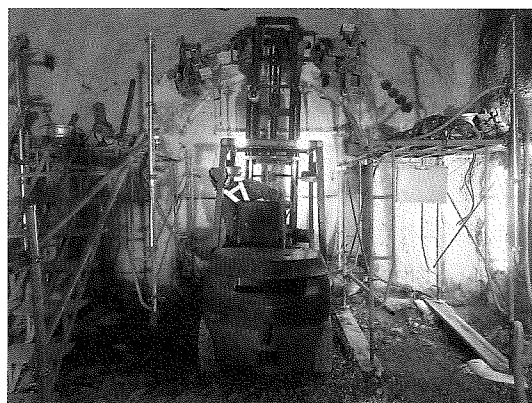


写真-6 I期線覆工コンクリート撤去状況

避難連絡坑の掘削は延べ32日(一方施工, 新設区間19日, 拡幅区間13日)を要した。ブレーカ掘削時の最大振動速度は0.7kine程度であった。

4-4-5 既設覆工コンクリート撤去

既設覆工コンクリートは、I期線覆工コンクリートと一体化された人道用避難連絡坑の覆工コンクリートを人力斫りで撤去し、I期線覆工コンクリートをコアボーリングで撤去した(図-16)。

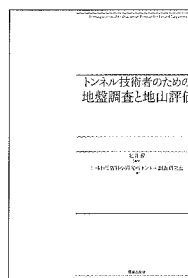
I期線覆工コンクリートの切断および撤去は、安全性を確保するため、I期線夜間通行止め期間(10日間)に実施した。切断は、コアボーリングとワイヤーソーイング工法を比較検討し、工期の確実性と切断後の撤去作業の安全性に優れたコアボーリングを採用した。コアボーリングと切断ブロックの配置図を図-17、施工状況写真を写真-6に示す。

上部から下部に向けて順に撤去し、コアボーリング交点を修正斫りして設計形状に仕上げた。削孔水のI期線への流出防止や切断ブロックの転倒防止措置を講じながら安全に切断・撤去を完了した。

5 おわりに

大坂トンネルII期線は、2016(平成28)年9月に無事貫通し、2018(平成30)年度の鳴門IC~高松市境間51.8kmの全線供用開始に向けて、現在も鋭意施工中である。供用中のI期線に隣接した施工という環境のもと、とくに第三者被害の撲滅という命題を掲げ、徹底した影響管理と施工方法の工夫により、II期線トンネル掘削影響の最小限化を図った。今後の同種工事の参考になれば幸いである。

図書紹介



トンネル技術者のための地盤調査と地山評価

松井 保 監修・災害科学研究所トンネル調査研究会 編 鹿島出版会
B5判 272頁 本体価格5,400円 2017年1月刊

山岳トンネルの調査・計画・設計・施工・維持管理に関わる技術者に向けたトンネル建設の安全性向上とコスト削減に役立つ実務解説書。山岳トンネル建設の計画・設計・施工における地盤調査手法と地山評価手法について、最新の物理探査技術と具体的な事例を混じえて系統的に解説している。地盤情報の把握という視点から、トンネル建設における事前調査から施工段階調査までを取扱い、より広い視点からまとめられた内容で、複数の地盤探査・調査手法を計画的に組み合わせる「複合探査」や施工段階調査としての「切羽前方探査」についても事例を掲載した。

主要目次

- 第1章 トンネル事業における地盤調査
- 第2章 地質解釈と地盤評価
- 第3章 地盤評価に基づくトンネル設計
- 第4章 トンネル施工時の地盤調査
- 第5章 トンネル切羽前方探査

土木情報 No. 527

今月の主な入札結果

(3月10日～4月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
関東農政	荒川中部農業水利事業導水幹線暗渠補強その1	徳倉建設	260
関東地整	R246渋谷駅西口地下道	東急・矢作JV	4,870
中部地整	H28 23号蒲郡BP豊沢T	戸田建設	1,199.6
〃	〃 豊沢道路	戸田建設	1,319.8
近畿地整	西脇北BP津万川函渠他改良	家島建設	201
九州地整	熊本57号災害復旧二重峠T(阿蘇工区)	安藤ハザマ・丸昭JV	11,110
〃	〃 (大津工区)	清水・福田・松下JV	10,300
鉄道・運輸機構	北海道新幹線、渡島T(台場山)	西松・植木・中山・戸沼岩崎JV	9,396.98
水資源機構	豊川用水二期東部幹線併設水路赤羽根下流工区	飛鳥建設	2,780
〃	〃 西部幹線併設水路相楽工区	フジタ	1,298
東日本高速道路	上信越道(落石対策)北野牧(その1)	大林組	14,698.8
西日本高速道路	湯浅御坊道路柳瀬T他1T	福田組	3,575
千葉県	江戸川第一終末処理場独立管廊	保戸田組	100.78
〃	〃 流出渠	工営建設	172
都・財務局	野川大沢調節池(その1)	戸田・林JV	1,240
都・都市整備局	下水道管布設(29六町-5)	新日本工業	131.55
都・交通局	環状第5の1号線地下道路荒川線併行部(南池袋工区)地盤改良(その2)	清水・東鉄・西武JV	1,679
〃	浅草線人形町駅～東日本橋駅間T長寿命化	化工建設	132
都・水道局	朝霞市膝折地内から練馬区大泉学園町四丁目地内間送水管(2600mm)用T架造	大日本・あおみ・せきどJV	3,362.24
都・下水道局	千川増強幹線立坑設置	フジタ	825.13
〃	蛇崩川増強幹線立坑設置	東急建設	811.96
〃	千住関屋ポンプ所建設その5	大林・大本JV	1,280
〃	北区赤羽台一丁目、岩淵町付近枝線	東急建設	2,409.8
〃	大田区仲池上二丁目、東雪谷四丁目付近枝線	五洋建設	2,155
山梨県	山風呂地区上野原用水路T掘削設備	天野・井口JV	280
さいたま市	芝川右岸第1-2排水区下水道(南建-28-2002)	杉本土建工業	135.31
〃	中尾排水区下水道(南建-28-2008)	斎藤工業	116.03
〃	鴨川第4排水区下水道(北建-28-204)	斎藤建設工業	109.66
横浜市	南部処理区大岡川右岸雨水幹線下水道整備(その5)	竹中・中鉢JV	1,033.59
川崎市	六郷遮集幹線その1	前田・名工・岡村JV	1,541.86
豊橋市	公下築造(1工区)	アイサワ・朝日JV	2,118
京都市	津知橋幹線公下	大成・金下・京都・寺尾JV	2,963
福岡市	唐の原第1雨水幹線築造	清水・松本・オカトクJV	1,201.32

施工

石炭採掘跡の古洞対策と軟弱地山での大断面トンネルの施工

—国道497号伊万里松浦道路 平尾トンネル—

国土交通省九州地方整備局長崎河川国道事務所建設監督官 小辻英俊
 (株)福田組土木部工事長((元)平尾トンネル新設工事監理技術者) 内山 定
 (株)福田組土木部工事所長((元)平尾トンネル新設工事現場代理人) 木村能隆
 (株)福田組土木部工事副所長((元)平尾トンネル新設工事担当技術者) 前田潤治

1 はじめに

西九州自動車道は、福岡市の福重ジャンクションを起点として唐津市、松浦市、佐世保市を經由して武雄市の武雄ジャンクションに至る延長約150kmの九州北部をつなぐ高規格幹線道路(一般国道の自動車専用道路)であり、全線が国道497号に指定されている。

伊万里松浦道路は、この西九州自動車道のうち、佐賀県伊万里市の伊万里西IC(仮称)を起点とし長崎県松浦市の松浦IC(仮称)に至る、延長約17.2kmの区間である。

本道路は、九州北西部の広域的な連携を図り、地域の活性化に大きく寄与するとともに、当該地域の主要幹線道路である国道204号の代替路線としての機能も有している。

2 工事概要

平尾トンネルは、今福ICと調川ICの間に位置する延長1,662mのショートベンチNATM機械掘削方式の自動車専用2車線道路トンネルである。中央帯に剛性防護柵を設置するために、内空幅14.1m、内空断面積94m²の扁平大断面トンネルであり、途中に4か所(左右2か所)の非常駐車帯(内空断面積111m²)がある。

2013年3月末にトンネル掘削を開始して、2015年2月上旬に貫通、2015年10月に工事を完了した。

トンネルの位置を図-1に示す。

3 地形・地質概要

当該地域は、標高150～200m程度の玄武岩溶岩台地をなし、その縁辺部は明瞭な馬蹄形をし

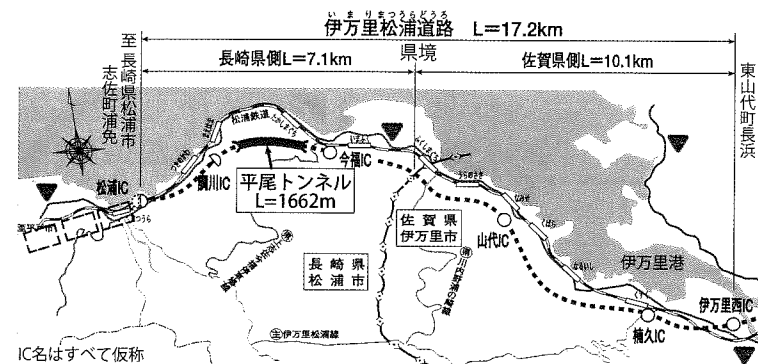


図-1 トンネル位置図

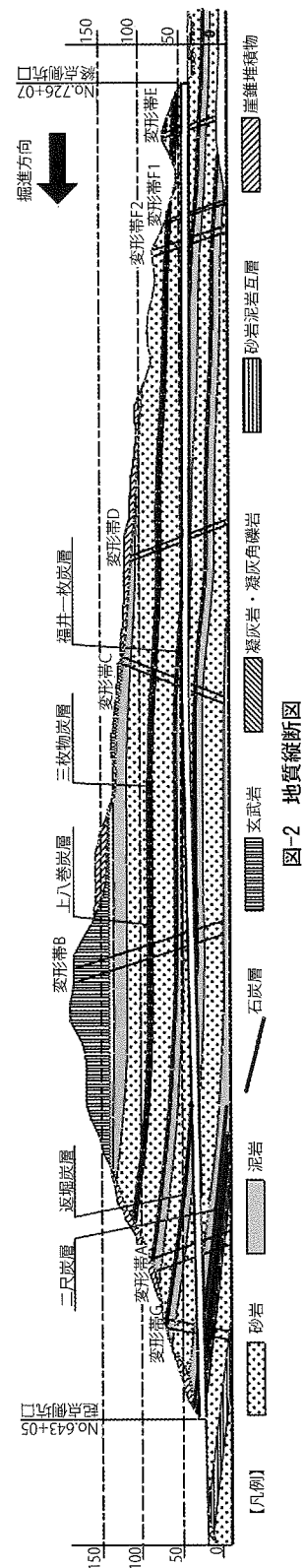


図-2 地質縦断面図

た急斜面であり、それより下側の斜面中腹には緩斜面が広く分布する。当箇所は「北松型地すべり」(中新世佐世保層群の上部を松浦玄武岩類が覆う溶岩台地で、この玄武岩類の柱状節理や縦亀裂などから供給された地下水により発生する特徴的な地すべり)の多発地帯であり、これらの地形は地すべり変動によって生じた特徴的なものである。トンネル起点側の山腹～山麓の緩斜面には仏坂集落が形成され、トンネル終点側の緩斜面は農地として広く利用されている。

地質は、砂岩を主体とし、石炭層や凝灰岩層を含む厚さ10～30mの泥岩層が数箇所に挟在する。これらの堆積岩は起点側から終点側に向かって5°程度で緩く傾斜し、いずれも軟質(圧縮強度2～20N/mm²)であり、亀裂は少ない。地山状況はおおむねCL級に相当し、砂岩新鮮部では一部CMに区分される。既往の電気探査(比抵抗2次元探査)と放射能探査(γ線測定)によって、弱層の存在が懸念される高角度の変形帯(撓曲)が8か所で推定されているが、終点側坑口付近のボーリング調査では変形帯とみられる脆弱部などは確認されていない。

泥岩層中にみられる石炭層はかつて採掘された記録が残っており、終点側坑口部ではボタ(採掘時に発生する無価値なため廃棄される土砂・岩石屑)で緩く充填された古洞(採炭跡の放置された地下空洞で「ふるとう」という)の存在が確認されている。また、トンネル付近には「坂野地区地すべり防止区域(林野庁所管)」と「平尾第二地区地すべり防止区域(国交省所管)」が存在し、多くの地すべり地形が認識されており、とくに起点側坑口部では古期崖錐堆積物の不安定化が懸念された。

泥岩・凝灰岩および砂岩の互層では、泥岩・凝灰岩を難透水層として、砂岩層中に異なった水頭をもつ地下水が存在するが、いずれも不圧地下水である。図-2に地質縦断面図を示す。

4 石炭鉱山跡(古洞)の調査と対策

今福町～調川町間では、九州経済産業局の採炭記録に関する資料調査の結果¹⁾、9か所の炭鉱が確

認された。また、松浦市の『炭鉱史』²⁾によると、石炭の採掘記録としては、旧今福町では1759年、旧調川町では1866年と江戸時代までさかのぼり、炭坑の数は185坑に達したと言われる。これらの炭鉱については、概略的な位置の記録があるが、採掘対象とした石炭層や、採掘範囲などの記録はなく、その詳細は不明である。

しかしながら、炭鉱の概略位置および採炭したとされる炭層から、トンネル起点側の「新今福炭鉱」と終点側の「江口炭鉱」がトンネル付近に出現する可能性が高い。なお『炭鉱史』によれば、「江口炭鉱」では長壁後進式採炭法により採掘したとされている。

既往地質調査成果によると、計画路線周辺には多数の坑口跡や、ボタの堆積箇所が点在しており、採掘記録が残されていない石炭層も採掘されていた可能性が高く、石炭層露頭沿いの地表近くには「狸ほり」的な採掘跡が存在することが考えられ、記録に残らない採掘跡が路線計画範囲内に存在する可能性があることに留意する必要がある。

また、事前の平尾橋のボーリング調査では、「江口炭鉱」の採掘範囲とされる場所で、空洞が確認されている。

トンネル付近の採炭跡の分布を図-3に示す。

4-1 採炭跡(古洞)の問題点

トンネル周辺に古洞が存在することによる問題は、以下の4点である。

- ① 古洞が空洞またはルーズな充填状態にある。
- ② 古洞周辺の地山が緩んでいる。
- ③ トンネル掘削の影響で古洞が崩落する可能性がある。
- ④ 古洞内に地下水(古洞水)と可燃性ガスが賦存する可能性がある。

これらの古洞の状況によっては、以下のような問題が発生することが考えられる。

- (1) 古洞がトンネル下にある場合
 - ・施工時の作業盤および完成後の路面の沈下・陥没。

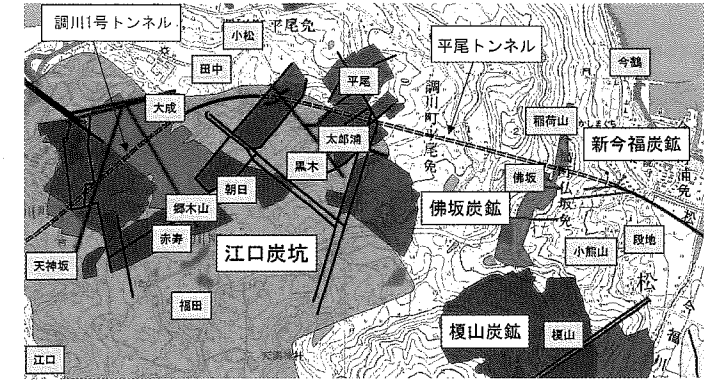


図-3 採炭跡の分布

- (2) 古洞がトンネル内あるいは側方にある場合
 - ・古洞充填物あるいは緩んだ周辺地山の崩壊および作用荷重の増加。
 - ・周辺地山の欠損による応力集中や地山の不安定化(分岐や交差トンネル同様)。
- (3) 古洞がトンネル上方にある場合
 - ・古洞周辺地山の緩みによる天端崩落あるいは切羽崩壊。
- (4) その他の問題
 - ・ロックボルトの定着不良(ロックボルト打設範囲内の場合)。
 - ・突発的な湧水、有害古洞水の湧出、ガスの噴出(既往の古洞のボーリング調査では古洞水や有害ガスの賦存はなく、当地では発生の可能性は小さいと考えられた)。

4-2 施工中の調査

トンネルの上方から側方に古洞が存在する場合の影響は、空洞あるいは非常に緩い充填物によりトンネル周辺地山のアーチアクションが阻害され、切羽崩壊の原因となることである。したがって、影響範囲はトンネル施工に伴う緩み範囲あるいはトンネル掘削に伴う応力再配分範囲(グラウンドアーチが形成される範囲)がひとつの指標となる。緩み範囲やグラウンドアーチ形成範囲としては、以下の範囲が挙げられる。

- ① 軟岩以上の地山でロックボルト(4～6m)が安定して打設できる範囲(トンネル周辺の10m程度の範囲)。
- ② グラウンドアーチ形成が可能な坑口部の土

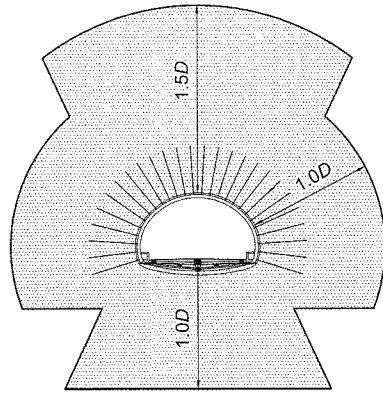


図-4 採炭跡空洞の対策対象範囲

かぶり範囲³⁾(1.0~2.0Dで軟岩では1.5D程度).

③ 近接施工の直接影響領域とされている範囲⁴⁾(上方2.0D, 側方1.0D).

以上から, 上方1.5D, 側方1.0D, 下方は近接施工影響領域とされている1.0Dを対策対象範囲に設定した.

設定した対策対象範囲を図-4に示す. ただし, 空洞高さが小さい場合や, ボタなどで密に埋戻されている場合には, 影響は限定的なので, それを考慮して対策を検討する.

空洞位置や規模がある程度想定できる場合には, ボーリングにより空洞の有無や深さ・空洞の状態を調査するのが確実であるが, 空洞の位置や規模が不明な場合には対象となる石炭層が存在する範囲を網羅的にボーリングしなければならず, 調査期間や調査費用で現実的ではない. また, ボーリング地点で空洞がなくとも, その近傍に空洞がないという保証はない. そこで, 施工中は削孔検層により空洞を探索することとし, 削孔検層では探索できない深度を電磁波レーダで探索することとした.

4-2-1 削孔検層

ボーリング調査にかわる比較的簡便な調査方法として, トンネル工事で使用するロックボルトジャンボを使用した削孔検層(探りノミにおける削岩機の各種データを取得して, 数値と削孔残土の目視で地山の評価を行うもの)があり, 多くのトンネル工事で切羽前方の地質性状を調査するのに利用されている.

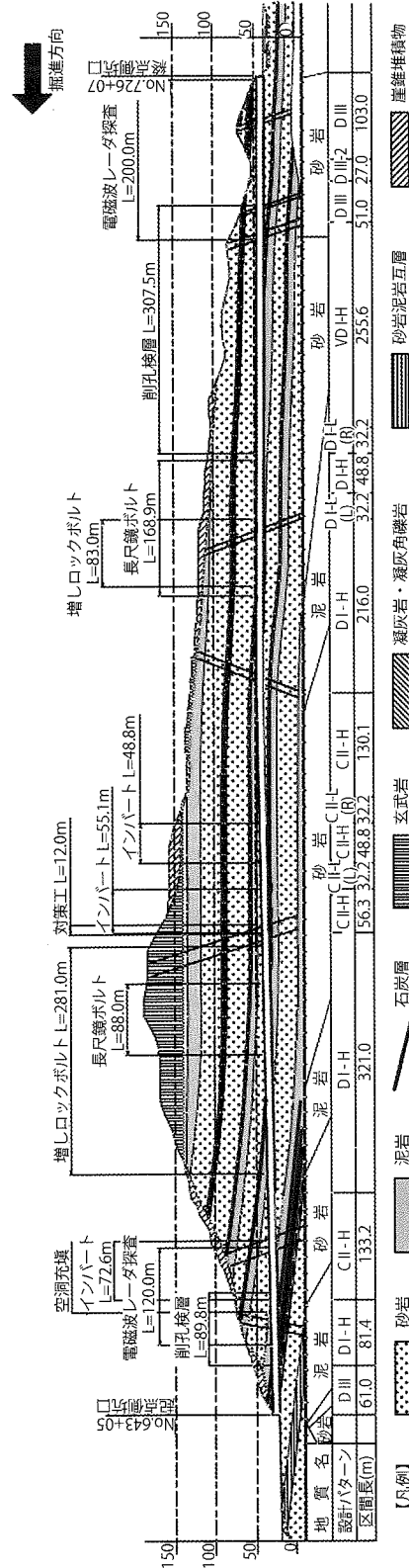


図-5 各種対策工の実施区間

この削孔検層を, トンネル周辺の空洞あるいは充填された空洞を探索するために利用した. トンネルの進行に合わせて, トンネル掘削完了後に横断方向3か所, 縦断方向は4mを越えない間隔で実施することとした.

削孔検層の下方探索深度は, エアー削孔としても4m(ロッド1本)がほぼ限界のため, 地質縦断面図より想定される石炭層が, 同深度に達する直前より開始し, 切羽面で石炭層が確認できた時点で調査を終了した. 削孔検層を実施した範囲および後述(5章)の対策工実施範囲を併せて図-5に示す. 掘削を開始した終点側では, No.702+18.5~No.718+6.0の約308m区間で削孔検層を実施した. この区間では, 削孔時にエアートともに排出される破碎岩片により石炭層は確認できたものの, 空洞や充填物・堆積物あるいは緩んだ地層は確認されなかった.

起点側では, No.646+6.0~No.650+15.8の約90m区間で削孔検層を実施した. 削孔検層により2か所, 空洞や堆積物による緩んだ地層を確認した. この2か所を試掘により確認したところ, No.649+3付近の空洞はボタで密に充填されていたが, No.649+13付近では下半盤からのかぶり1.2mの位置に高さ1.6m幅1.3mの坑道跡と思われる空隙および埋戻し跡が確認された.

写真-1は試掘した坑道跡とみられる空洞である.

4-2-2 電磁波レーダ探査⁵⁾

連続波地中レーダは深度が10~15mまでの探査が可能で, おおむね1.0D下方まで調査ができることから, 削孔検層の探索範囲より下方を探索することとした. トンネル幅をカバーするようにトンネル縦断方向に2測線とし, 石炭層の深い終点坑口側No.716+3.0~No.726+3.0の200m区間⁶⁾および起点坑口側No.649+10.0~No.655+10.0の120m区間⁷⁾で実施した. 波形照査の結果, 終点側5か所で空洞や堆積物による緩んだ地層と思わ



写真-1 採炭坑道跡

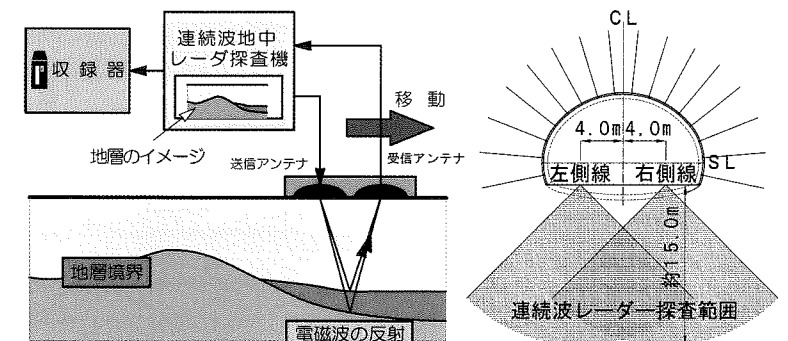


図-6 連続波地中レーダの概要

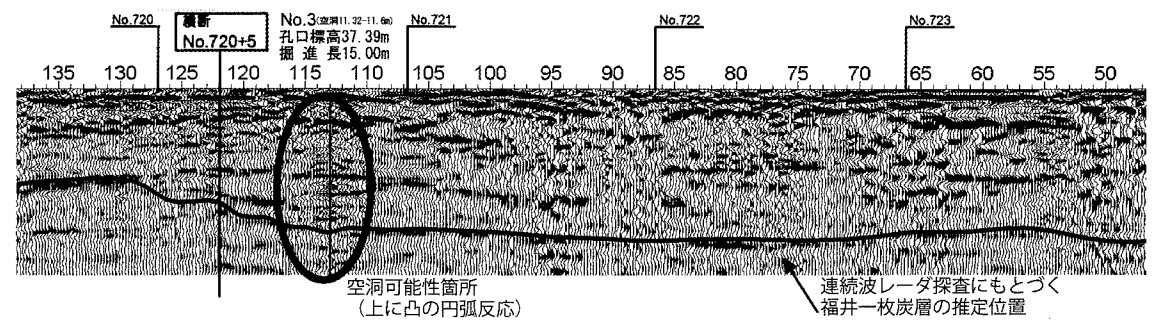


図-7 連続波レーダ探査深度断面図の一例

れる波形が確認された。そこでボーリング調査を坑内より実施した結果、ボタで埋戻された採掘跡が確認された。しかしながら、トンネル下10m以深であること、ボタで充填されていることから、トンネルへの影響はないと判断した。

連続波地中レーダ探査の概要を図-6に、終点側のレーダ探査深度断面図の一例を図-7に示す。

4-3 空洞対策工

空洞の対策は、連続した空洞が影響する範囲(1.0D)を確実に充填するために、比較検討を行い、以下の条件より発泡ウレタンを選定した。選定し

表-1 高発泡ウレタン注入材の仕様

注入方式	1.5ショット
ライズタイム(20℃)	80±30s
自由発泡倍率	30倍
フォーム密度	30±4kg/m ³
一軸圧縮強度(30倍発泡)	0.22±0.05N/mm ²
弾性係数	7.0N/mm ² 以上
曲げ強度	0.4N/mm ² 以上
せん断強度	0.12±0.03N/mm ²

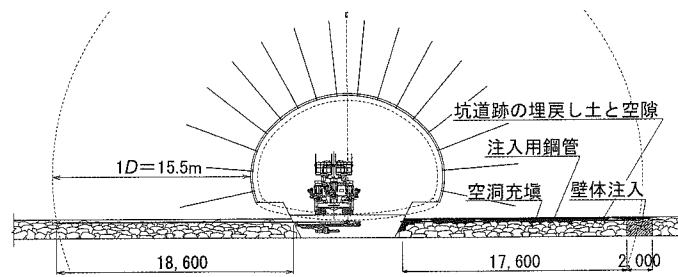


図-8 空洞充填の概要

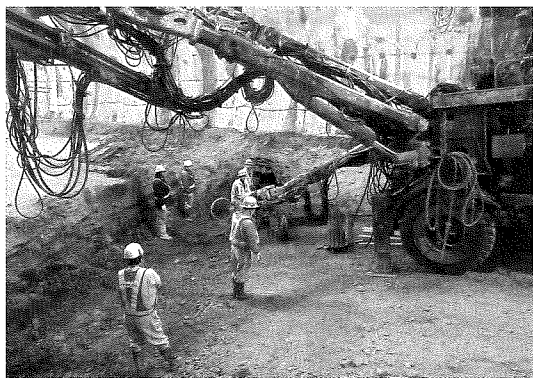


写真-2 空洞充填状況(注入用鋼管打設)

た高発泡ウレタン注入材の仕様を表-1に示す。

- ・周囲へ逸走せず、限定範囲に注入できる。
- ・狭い空間や崩落土砂あるいは埋戻しボタの空隙にも浸透注入あるいは圧力注入できる。
- ・崩落土砂あるいは埋戻しボタを一体化できる。
- ・水中あるいは湧水のある場合でも施工できる。
- ・空洞を保持するに必要な強度⁸⁾を有している。

- 作業手順は以下のとおりである。
- ① バックホウにて空洞確認高さまで掘削する。
 - ② ドリルジャンボで注入管とする鋼管(φ76.3mm, L=18.85m)をトンネル両サイドの坑道跡に打設する。
 - ③ 注入用鋼管の先端付近2mに発泡ウレタンを注入して逸走防止の壁体を構築する。
 - ④ 高発泡ウレタンを加圧注入する。注入量は228kg/本(想定空洞体積の2倍)とし、注入圧は初期注入圧+0.2MPa以上を目標とした。

この空洞充填の概要を図-8に、注入鋼管の打設状況を写真-2に示す。

5 不良地山対策

最終的には、当初想定した空隙容積の2.5倍の高発泡ウレタンを注入して、当該空洞の充填を完了した。

亀裂の発達した泥岩と脆弱な泥岩あるいは膨張性を示す泥岩で発生した種々の問題点と対策を以下に述べる。切羽で出現した亀裂の発達した脆弱な泥岩を写真-3に示し、この脆弱泥岩で



写真-3 上半切羽に出現した脆弱な泥岩(鏡ボルト施工)

実施した不良地山対策とその実施区間を前記の図-5に示す。

5-1 上半支保工の変状

トンネル上半断面に出現した泥岩により2区間でロックボルトおよび吹付けコンクリートに変状が発生した。No.694+13.2~No.698+16.2の83m区間では、ロックボルトのプレートが湾曲し始め、最終的には7本のロックボルトが破断した。この上半変状区間の展開図を図-9に示す。一方、No.658+4.6~No.672+5.6の281m区間でも同様の変状が発生し、14本のロックボルトが破断した。

5-1-1 上半支保の変状発生と原因および対策

切羽観察によれば対象区間の地層は、図-10に示すように上半切羽の下部に泥岩層があり、その上に石炭層を挟み、比較的良好な砂岩泥岩の互層が上部をしめる。この2区間の泥岩は、試験結果より水分を含むと強度が低下する。掘削後緩んだ泥岩に水が浸透して、地山強度が下がったと考えられる。地山強度が下がることにより支保工(吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼アーチ支保工)にかかる荷重が増加し、ロックボルトと吹付けコンクリートに変状が発生したものと考えられる。また、詳細

は不明であるが、ロックボルトの破断が石炭層の付近で発生していることから、石炭層あるいは地層境界が影響していることも考えられる。

No.694+13.2~No.698+16.2の区間では692本の増しロックボルトを打設し、No.658+4.6~No.672+5.6の区間では84本の増しロックボルトを打設した。これにより、変状の進行は収束した。

5-2 下半における脆弱泥岩

No.673+1.6~No.673+13.6の12m区間では、下半部に脆弱な泥岩が出現して、下半支保工に変状が発生した。

5-2-1 脆弱泥岩の出現と変状

当該区間は、上半断面では切羽全面が比較的良

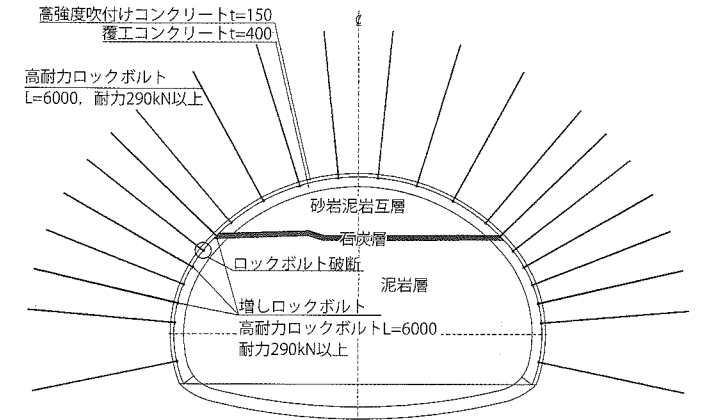


図-10 ロックボルト破断箇所の地質

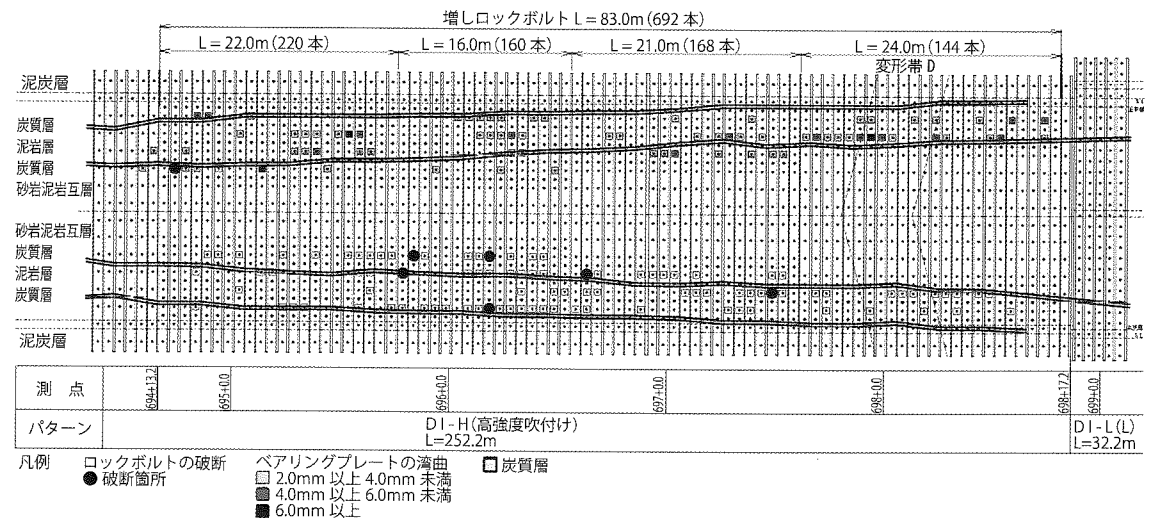


図-9 上半の変状と増しロックボルト打設範囲(No.694+13.2~No.698+16.2)

好な砂岩層であったことからCII区分と判定され、上半断面は問題なく施工された。その後の下半掘削で風化した砂岩と脆弱な泥岩が出現し、トンネル下半右側で吹付けコンクリートに明瞭なクラックが発生し、ロックボルトの破断が発生した。

5-2-2 支保工の変状対策

ひび割れた吹付けコンクリートを撤去しながら再び吹付けコンクリートを施工するとともに、新たにインバート隅角部に脚部補強吹付けコンクリートを施工し、増しロックボルトを打設した。

変状箇所の吹付けコンクリートを撤去後の地質状況を写真-4に示す。

下半に鋼製支保工を追加するなどの補強対策の提案もなされたが、対策工施工後は安定しており盤膨れ対策(以下の5-3節に記載)も兼ねてインバートを追加することで長期的な安定性が確保できると判断した。

5-3 盤膨れ対策

上半切羽では全面砂岩層なので切羽判定によりCIIパターンを実施したが、その後に下半断面に脆弱な泥岩層が出現した。この泥岩層がインバート下の浅い位置にある区間での、将来的な泥岩の吸水膨張による盤膨れが懸念された。

また、本トンネルは中央帯に剛性防護柵を設けた完成断面であり、盤膨れによる補修などが必要となった際には全線の通行止めを余儀なくされる。

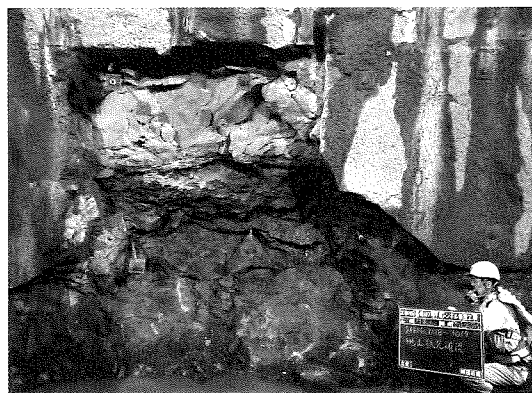


写真-4 下半変状箇所の地質(亀裂の発達した脆弱な泥岩)

トンネルと地下

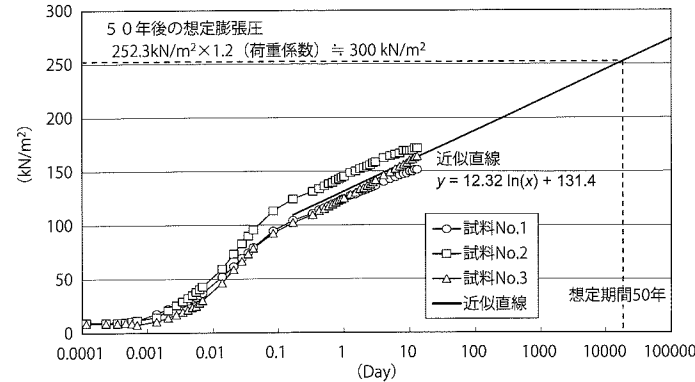


図-11 泥岩の膨張圧試験結果と近似直線(No.677付近)

そこで、盤膨れの懸念がある範囲には、インバートを追加して、トンネルの長期的な耐久性を確保することとした。このインバートの追加対象となる箇所は、膨張性を示す泥岩層との位置関係からNo.652付近とNo.677付近の2か所である。以下の検討は、No.677付近におけるものであり、No.652付近も同様に検討して対策区間を決定した。

5-3-1 盤膨れの検討

(1) 泥岩の膨張圧試験

切羽で対象となる泥岩試料を採取し、膨張圧試験を実施した。この試験結果を図-11に示す。この膨張圧を直線近似して、50年後を想定して最大300kN/m²の膨張圧が発生するものと想定した。

(2) FEM解析による検討

泥岩が吸水して膨張しようとしたときに、周囲の拘束圧が膨張圧よりも大きければ、膨張できずに盤膨れも発生しないと考えて、トンネル下方の地山応力をFEM解析で評価した。

解析モデルを図-12に、解析結果を図-13に示す。当該区間の土かぶり量が92~113mなので、土かぶり100mの解析結果から下半盤の下面から約2.8mより深くに泥岩層があれば、拘束圧が膨張圧を上回り、盤膨れは発生しないと考えられる。

5-3-2 対策と範囲

下半盤の下面から約2.8mより浅い位置に泥岩がある区間は盤膨れの懸念があるとして、本来インバートのないCIIパターンであるNo.673+1.6~No.675+17.9およびNo.677+10.1~No.679+18.9の計176.5m区間ではインバートを施工した。

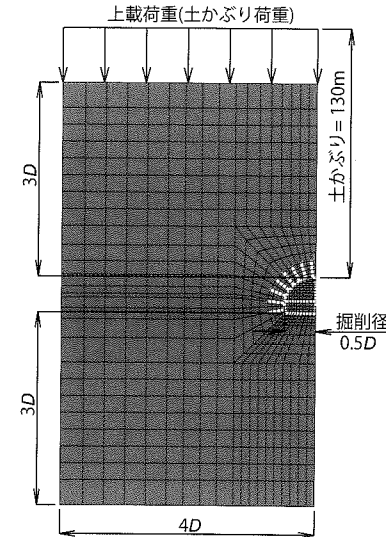


図-12 FEM解析モデル

なお、No.675+17.9~No.677+10.1の区間はCII区分であるが、非常駐車帯のため当初設計からインバートを施工する計画であった。

また、No.652付近においても同様の検討により、50年後の想定膨張圧600kN/m²で土かぶり約70mに対して、下半盤の下面から約5.7mより浅い位置に泥岩がある区間(No.650+7.4~No.654+0.0の72.6m区間)にインバートを追加した。

6 おわりに

未経験の石炭採掘跡地でのトンネル施工であったが、調査~検討~対策と慎重に対処したことで大きなトラブルもなく、採炭区間を施工することができた。また、脆弱な泥岩に起因する変状も各所で発生したが、的確に対処することで、無事にトンネルの施工を完了することができた。現在は2017(平成29)年度の今福インターチェンジ~調川インターチェンジの開通に向けて道路改良工事を進めている。

本稿が、今後のトンネルの設計・施工の参考となれば幸いである。本工事を進めるにあたり、中川浩二・NPO法人臨床トンネル工学研究所理事長には多大なる技術指導をいただいた。江崎哲朗・九州大学名誉教授には、石炭鉱山の古洞および中新世佐世保層群と松浦玄武岩に起因する「北

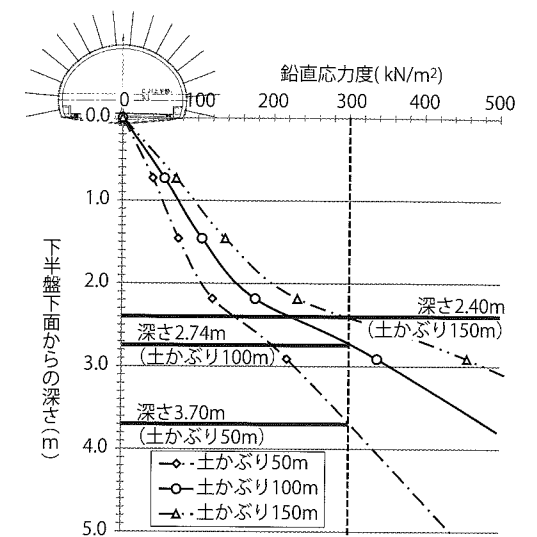


図-13 解析結果(No.677付近)

松型地すべり」について、有益なご助言をいただいた。砂金伸治・土木研究所道路技術研究グループ上席研究員には下半部の変状箇所をご確認いただき、ご助言・ご指導をいただいた。この誌面をお借りして心からお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 平成21年度長崎管内佐々・佐世保地区改築事業測量設計業務報告書, 2010.3.
- 2) 松浦市商工観光課: 炭鉱史, 1993.1.
- 3) 土木学会トンネル工学委員会編: 2016年制定トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説, pp.121-122, 2016.8.
- 4) 日本トンネル技術協会: 地中構造物の建設に伴う近接施工指針, pp.22-29, 1999.2.
- 5) 鈴木敬一・笠井弘幸・西山英一郎: ステップ式連続波レーダ探査装置を用いた地中レーダ探査, 地質ニュース, No.537, pp.44-52, 1999.5.
- 6) 9章 空洞調査, 平成25年度平尾トンネル水文調査業務報告書, 2014.3.
- 7) 9章 空洞調査, 平成26年度長崎管内改築事業地質調査業務報告書, 2015.3.
- 8) 川本眺万: 浅所陥没発生限界深度と発生防止に必要な空洞充てん物の強度に関する報告, 充てん, No.10, pp.1-9, 1985.
- 9) 小辻英俊・木村能隆・内山定: 工事報告書 長崎497号平尾トンネル新設工事, 臨床トンネル工学, No.46, pp.39-48, 2016.9.

トンネルジャーナル

首都高速道路 横浜北線が開通

首都高速神奈川7号横浜北線が、3月18日午後4時に開通した。これに先立ち記念式典が行われ、菅義偉・内閣官房長官や林文子・横浜市長、黒岩祐治・神奈川県知事ほか約260人が参加し、開通を祝った。

同線は、首都高速横羽線と大黒線の生麦JCTと第三京浜道路の横浜港北JCT間の約8.2kmを結ぶ往復4車線の路線。全線の約7割に及ぶ約5.9kmの区間は「横浜北トンネル」と名付けられたトンネル区間となる。このうち5.5kmの併設トンネル区間を2機の泥土圧シールドで施工した。

開通により新横浜を中心とする横浜北部と、横浜港、羽田空港といった交通拠点とのアクセス性の向上などが期待されている。開通前、新横浜から横浜港の本牧ふ頭まで約25分かかっていたものが約15分へと10分短縮されるなど、所要時間の短縮と定時性の確保が見込まれている。開通後、横浜市北部と



テープカットを行う参列者(写真提供：首都高速道路(株))

羽田空港を結ぶ一部のバス路線は同線を利用する運行経路に変更された。

同トンネルやランプ部における地中掘削の施工については、本誌Vol.41, No.2, Vol.42, No.9, Vol.45, No.9に報告されている。

建設工事の 保安地質学

〔改訂版〕

監修者 石井康夫 著



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

第八十九回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

技術の進歩とともに、 40年のシールド屋人生

三木 慶造
(元)株大林組

慶造

はじめに

1972(昭和47)年(株)大林組に入社以来、地下鉄横浜駅工区の開削トンネル、扇島の工場基礎の現場の約4年間を除き、2001(平成13)年51歳になるまで25年間国内外のシールド現場に勤務した。ブライントシールド現場に勤務した。ブライントシールド、開放手掘りに始まり、機械掘り、半機械掘り、最近大半を占める泥水、泥土圧シールドまで、トンネル標準示方書に分類されるすべての種類のシールドを9現場で11本経験した。各工事の特筆事項と、その後退職まで約15年、本社技術部門で携わった技術開発の一端を綴ることで、シールド工法の技術の変遷を読み取っていただき、読者の皆さんに、なんらかお役に立てれば幸いです。

内径2,300mm送水管布設工事 (その六)

(1976(昭和51)年～、ブライント、途中から手掘り圧気)

1977(昭和52)年に初めて携わっ

たシールドトンネルは、神奈川県内広域水道企業団発注の工事。当時、奈良建設のビルが1件あるのみの新横浜駅前の公園から発進し、すぐ100mRを曲がって鳥山川を渡り、小机町に到達する路線。前半の沖積粘土をブライントで、後半の土丹層を一部圧気の開放手掘りで掘進した。初めてのシールド現場ということで、とくに印象に残ったことが多い。

■先が見えない測量

わずか760m、最近では短い距離であったが、20秒読みのトランシットと鋼尺を使い、退職まで本社とともに働いた伊藤氏と2人で行った測量は、不安で一杯。立坑に下ろした短い2点間の直線を伸ばしていくのだが、誤差は先端では100倍近くになる。カーブの右左を間違えないようにと初歩の初歩を上司に指導されながら、日夜測量したものだ。途中、畑で沈下測量を行うと、シールドセンターを中心に、横断方向に見事な正規確率曲線が描かれ、測量線とシー



鴨井幹線到達後事務所にて(左から2番目が筆者、1984(昭和59)年)

著者略歴

- 昭和47年 3月 山梨大学工学部土木工学科卒業
- 昭和47年 4月 (株)大林組入社
- 昭和47年 4月 横浜市高速鉄道三号线横浜駅工区(第七工区)土木工事勤務
- 昭和51年11月 内径2,300mm送水管布設工事(その六)勤務
φ3.3m ブラインドシールドのち手掘り圧気シールド
- 昭和53年12月 神奈川処理区岩井地区下水道整備工事勤務
φ2.3手掘りシールド
- 昭和55年11月 港北処理区中之久保幹線下水道整備工事勤務
φ3m土圧式シールド
- 昭和56年10月 北部処理区市場末広町幹線下水道整備工事(その三)
φ7.1m土圧式シールド
- 昭和58年 9月 港北処理区鴨井幹線下水道整備工事(その二)
φ2.3m泥水式シールドおよび圧気併用機械式シールド
- 昭和60年 5月 シンガポール地下鉄109,304工区建設工事土木主任
φ6.3m半機械掘りシールドおよび高架工事
- 昭和62年 9月 福岡市高速鉄道1号線榎田中間換気所および地下一般部工事(榎田西工区)所長代理
φ10.2m泥水式シールド
- 平成4年 4月 東京湾横断道路中央トンネル木更津南(その1)(その2)工事所長代理、その後、所長
φ14.14m泥水式シールド
- 平成11年 2月 名古屋市高速度鉄道第4号線本山北工区土木工事所長
φ6.52×11.12mDOT泥土圧シールド
- 平成13年11月 土木技術本部技術第二部副部長、その後、シールド技術部長
- 平成20年 4月 大断面道路トンネルプロジェクトチーム部長兼務
- 平成21年 7月 土木本部戦略工務部、同プロジェクト部主席技師
- 平成29年 3月 (株)大林組退社

ルドセンターが合っていることが確認でき、安心したものだ。

■難しいシールドの制御

ブラインドシールドでは、回転

するカットがないのでローリングすると修正しようがなく、シールドの両横のスキンプレートを切断して、鉄板のスタビライザーを地

山に押し出して直した。みるみるローリングが直っていくのと、微妙な角度を経験で決める坑夫・吉田直土木の技量に驚かされた。土丹に入り切羽を解放した後半のほうが、かえってシールドの制御が難しかった。

この現場で、硬い地山を開放型で掘進する場合、インバート部を少し掘り残すとシールドが乗り上げ上に向き、たくさん掘り残すとブレーキになって下を向くこと、シールドを常にカーブの内側に入れておかないときれいな曲線施工ができないなど、制御についての基本を学び、組んだセグメントが即完成品なので、やり直しがきかない怖さを知った。

■坑内は大雨

裏込めは、麻生フォームクリートのエアモルタル1液で注入、当然、切羽に回り込むため、はるか後ろからの注入となる。シールドも昨今の水膨潤タイプではなくブチル性であり、沖積層から土丹への層変わり部では、セグメントからの漏水が多く、測量は傘をさして行った。LWを2次注入したところ、ピタッと止まったのにも驚かされた。

■サイクル化できると管理は楽

入社4年目のころだが、それまでに経験した開削での地下鉄横浜駅工区、工場基礎の現場の多忙さに比べ、サイクル化した仕事のらくさを初めて実感した。実は、地質を予測し、工法を選定してシールドを設計製作し、進行に見合う設備・要員をきちんと整えて、初めてサイクル化できると本当に

岩井幹線、中乃久保幹線
(1979(昭和54)年～、
開放手掘り、土圧)

岩井幹線は、保土ヶ谷駅前から保土ヶ谷橋まで国道1号下、約300mの手掘りシールド。大成建設さんスポンサーの新羽町・中乃久保幹線では土圧シールドを経験した。いずれも当時、幹線整備を急いでいた横浜市下水道工事で、(株)大林組横浜支店でも常に数箇所下水道シールド工事を施工している状況であった。当時の下水道はすべて二次覆工があったが、私は二次覆工工事を最後まで施工が終わると、事務所規模縮小に合わせ、次の現場の計画に向かうような状況であった。それほど当時1970年代後半～80年代にかけて、横浜市下水道シールド工事が多かった。

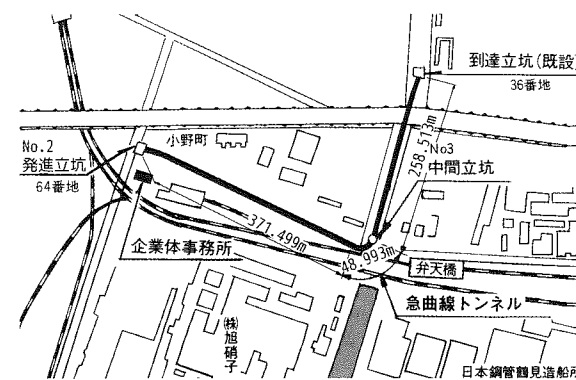
市場末広幹線
—泥土圧でない
土圧シールドの苦勞—
(1981(昭和56)年～、土圧)

中乃久保幹線の1次覆工を1981

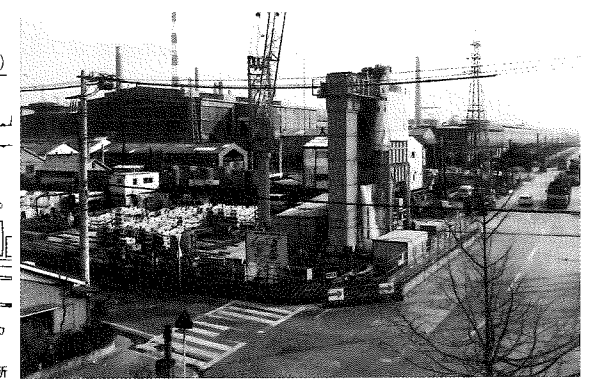
(昭和56)年に終え、同年同じ横浜市の北部処理区市場末広町幹線に計画時から赴任した。同じ土圧シールドで、今までで最大径のφ7.1m、初めてRCセグメントを経験する。地質は大半が土丹であり、当時は泥土圧シールドが開発される前で、チャンバに水を入れるしか塑性流動化の方法がなく、前の現場同様、面板閉塞が懸念された。事務所内で議論したが私の経験では上司を説得できず、シールド計画時点でこの点が克服されないまま発進したが、早々に閉塞し、ジェットの噴射で解除しながら掘進した。この現場では、いくつかの新しい工夫があったので以下に記載する。

■R=15m急曲線部山岳トンネル
築造、シールドを空推進

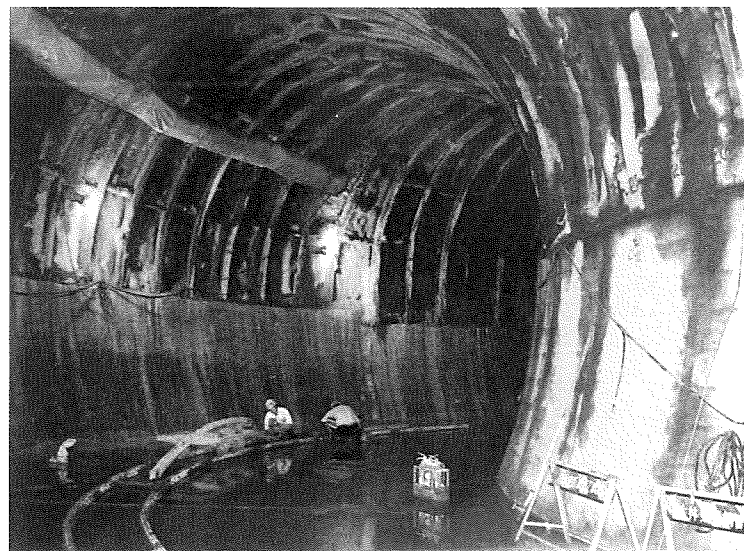
中折れの技術がまだない当時、シールド路線の折曲り部に立坑を築造してシールドを方向転換させる設計であったが、用地の関係で立坑が築造できず、φ4mの立坑からR=15m、長さ50m、断面約70m²の急曲線トンネルを側壁導坑先進上半断面切掘り工法で先掘りし、シールドを空推進させた。



市場末広幹線平面図(1982(昭和57)年)



市場末広幹線地上設備(元JTSC本社ビルが建つ、1982(昭和57)年)



市場末広幹線急曲線トンネル(1982(昭和57)年)

現場で唯一山岳トンネルを経験していた土田所長の計画である。立坑、側壁導坑前半の掘削には、コンクリート破砕器(CCR)を150~230g/地山 m^3 使用し、一軸圧縮強度 $q_c=25\sim 50\text{kgf/cm}^2$ の土丹を人力掘進し、側壁導坑の後半から、MRH-S45型のロードヘッダーを $\phi 4\text{m}$ の狭い立坑から坑内に入れて上半切掘げにも使用した。

同じころ、当社が成田のトンネルで初めて採用したNATMの吹付けを見学し、上半アーチ支保工1基建込むごとに吹付けた。このトンネル工事を立坑着手から11か月で完了し、380m掘進を終えたシールドを待ちなく迎え入れ、空推進、再発進させた。

■現場で工夫した2液タイプの裏込め注入

それまでのエアームタルによる裏込め注入が、切羽から遠く離れたの注入なので、テールボイドを同時に充填できず、大きな後続沈下を招いていた。この現場では、

裏込め注入材料を4週強度 60kgf/cm^2 と大きめ、しかも粘性のある材料を使用した。セメントにボゾラン系の混和剤を混ぜた固化材を使用し、珪酸ソーダを注入口でショットさせる急結裏込め注入を実施した。浮力対策にセグメントの外側に布性の袋を貼り付け、実用新案を取得した。上半に砂層が出現し、沈下が心配された産業道路通過部も、後続沈下をほとんど起こさずに通過できた。

竣工間近の1983(昭和58)年と記憶するが、大阪から現在の(株)タックの創業者・瀧川社長が透明の水槽をもって、可塑性注入材のプレゼンにきた。今では、日本のシールドはすべてこの種の材料になった。

■ユニバーサリトレリフターの付着防止に気泡剤

シールド残土を立坑下から地上の土砂ホッパーまで、ユニバーサリトレリフター(レールに取付けた鋼製のお皿(トレー))に土を載せ

ホッパーで反転)を使用した。粘性的な残土がホッパーに落ちず、トレーに付着したまま立坑下に戻ってしまふ不具合が発生し、本社の機械部門と技研の方が来て、お皿に気泡を少しずつ入れる装置を設置すると、完全に付着が防止できた。その後、このアイデアが泥土加圧シールドに次いで(株)大林組が世に出し、今でも添加剤として一番人気の気泡シールドに発展した。

鴨居幹線

一マンションに隣接する立坑両発進— (1983(昭和58)年～、泥水、 圧気オープンメカ)

大断面シールドのあとと同じく横浜市、仕上がり $\phi 1,500\text{mm}$ 、シールド外径 $2,230\text{mm}$ の泥水、圧気オープンメカによる鴨居幹線下水道工事の現場に赴任した。小机～鴨居に向かう県道脇にある空地に立坑を掘り、小机方面に向かって泥水シールド、鴨居方面に向かって圧気オープンメカシールドで掘進した。泥水シールドを初めて経験し、土圧と違って閉塞もなく、機電職員はお守りが大変だが、機械化が進んだ合理的な工法との印象であった。この現場で新しく経験したことを以下に記す。

■コピーカッタの故障

小机に向かう泥水シールドが発進後しばらくして、 100mR の曲線を掘進中、コピーカッタが故障した。土丹中であり、余掘りしないと所定のカーブを曲がれない。機内からの修理ができず、シール



鴨居幹線隣接マンション(1983(昭和58)年)

ドテールを抜けた直後の鋼製セグメントを、人間がかがんで入れるくらい切り開き、シールドの側面に狸穴を掘って前面に出て修理した。満足な止水注入もせず、道路下を簡単な普請のみでトンネルを掘ることは、やや無謀であったが無事故で切り抜けた。

■2液タイプの裏込め注入

このころになると、数多い横浜市周辺のシールド工事現場相手に、個人企業の裏込め注入屋さんが見え、2液タイプの材料を使い1日に数回現場に来ては、進行分を注入した。同時・即時注入ではないものの、テールに近いところから注入でき、従来の材料に比べて格段良い注入ができ、後続沈下も減った。

■地元対策

シールド工法が都市部の軟弱地盤を対象にしているため、地元対策は工事につきものであるが、この発進基地は新築マンションに隣接しており、工事着手前に住民

の方に納得していただくのは容易ではなかった。住民の方のご都合で、日曜日の夜に1人で模造紙に書いた計画図を持って何回説明に行ったことか。根気よく話し合いを続け、基地を狭めて緩衝地帯を設け、透明のパネルで仕切りをするなどの対策を施した。のちに圧気オープンメカで3交代まで行ったが、工事の苦情はほとんどなかった。

斜面の畑を借地した発進基地は、工事完了後、駐車場となるように階段状に整地し、地主さんに感謝された。ベテラン所長のアイデアで、今でもそのままの形で駐車場になっている。

シンガポールMRTC109工区 (1985(昭和60)年、 半メカ一部圧気)

1984(昭和59)年10月に鴨居幹線の貫通式が終わると、この年から始まった毎年10名ずつ海外要員養成の一員として、四谷の日米英会

話学校に半年通い、翌1985(昭和60)年にシンガポール初の地下鉄MRT109工区チョンバル～オートラムパーク～タンジョンパガール間のシールド現場に赴任した。当時はこの年9月に発表されたブラザ合意前の1ドル230円の時代で、まだ宮崎など国内の新婚旅行が全盛のころで、私生活も含め35歳にして初めての海外渡航であった。チャンギ空港に降り立ったときの、あの日本にはない独特の匂いと、高揚感が今でも忘れられない。高架のMRT304工区を含め約2年間のシンガポール勤務では、日本にはない信じられないほどの山の変化や、俗に言う文化の違いに驚かされることとなる。

■1リングごとに違う地質

赴任時は、チョンバルを発進した掘進中の単線のシールド2機がオートラムパークに着く直前であった。ロードヘッダーを搭載した半メカのシールドであったが、まず驚いたのは、火花が出るほど固い岩もあり、土留めをしないと脆く崩れる風化岩からマリクレイまで、極端に言うと1m掘ると全く違う山が出現する褶曲の激しい山の変化だ。

オートラムパーク駅からタンジョンパガール駅に向かう再発進後、立坑用地を出てすぐ、急に出現したマリクレイをフェースジャッキの土留めで止められず、夜中に大陥没を起こした。わがシールド人生、後にも先にも初めての陥没事故であった。

■初めて見た水膨潤シールド材

国内では、ブチル製のセグメン



MRT109工区オートラムパーク駅に半メカシールド到達(1985(昭和60)年5月)

トシールしか使っていなかったが、初めて日本製の水膨潤タイプのシールを見た。受注、計画に携わっていなかったので採用の経緯は不明だが、その後、私の知るかぎり、日本ではすべてこの水膨潤タイプになった。

■人生の糧となった異文化の体験

仕事のスタイルは、まったく違う。赴任早々オートラムパークの再発進準備を1人で任せられ、ローカルのサーバイヤーとフォアマンを手元に使い、自分で位置出し測量をしていると、そんなことをコストの高い日本人がしてはいけないと言われた。施主側の仕事はきちんと担当分けされ、われわれコントラクターとの物事の解決方法は、契約書にもとづいて行われる。現場の職員と同じくらいの数の工務係が、日々の地山の変化をこと細かく記録し、クレームの準備をしていた。

翌1986(昭和61)年から、同じMRT304工区ケンバンガンブ

トック間高架の現場に配属され、半年間シールドを離れた工事を経験した。各人の仕事範囲がはっきりしていること、すべてが契約書に則って決められることは新鮮で、雑多なことを考える必要がない分、仕事に没頭できると感じた。ただし、コントラクターの技術者が直接現場を指揮する当社の(日本の)仕事ぶりは品質確保上捨てがたく、海外でも基本的に同じであるべきと今でも思っている。

このシンガポールの2年間で、仕事に関する考え方も人生観も少なからず変わり、日本の良さも再発見できた。読者の若手技術者の皆さんにも、自身の幅を広げる意味で、積極的にチャンスを掴んで海外勤務を経験することをお勧めする。

福岡地下鉄榎田西工区

—複線断面—

(1988(昭和63)年～, 泥水)

1988(昭和63)年, 福岡市の地下

鉄空港線の現場に転勤した。セグメント外径φ10m, 当社では直前に施工した平野川に次ぐ大きさの泥水シールドの現場だ。九州の都市部の地質は、岩が主体なためシールド工法は元来少ない。シールド経験者の少ない現場で、なおかつ交通局としても初めての複線断面シールドなので、種々要求は厳しく多忙を極めた。

4年間福岡で過ごしたが、仕事が忙しい反面、小学生の子供2人、妻子を連れての社宅生活は、筆者の生涯を通じて一番楽しい時期であり、仕事を忘れさせてくれる家庭がありがたかった。

■風化花崗岩中の掘進で、発進早々ビットが摩耗

発進早々、カッタールクが上がって掘進スピードが出ない。発進立坑である中間換気所掘削では、未風化花崗岩は出なかった。なぜ掘れないのか、発進早々、悩む日々が続く。機械的には異常がないことを確認し、30Rほど進んだある日の夜、意を決して誰にも言わずに泥水を下げてハッチを開けて中を見た。さすがにチャンパの中には入らなかったが、目を凝らしてみると、ビット間に泥土が詰まっておき、ビットが減っている。シールドは既に倉庫の下に入っており、そこでは何もできない。祈るような気持ちで70Rほど掘進し、道路に出たところでビットを交換した。

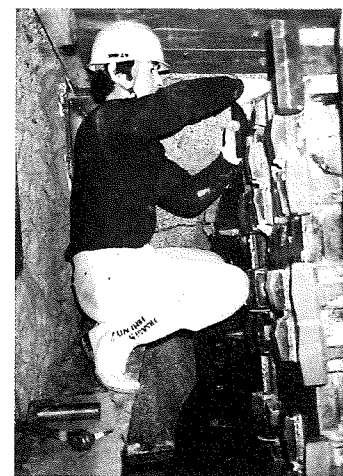
そんなに固いなら、ということで天端のみ薬注でカバーし、切羽限定圧気で交換を試みたが、今度は切羽前面が崩壊した。前に進め

ばまた民地。大阪から応援に来てくれた(故)児玉氏が経験した、必ず抜けるよう20mm厚の発泡スチロールを巻いたBH杭を切羽前面に建込み、緩んだ切羽を防護してようやくビットを交換した。「今後、交換しなくても済むようなビットを開発したい。」とは、筆者が当時の現場報告書の「あとがき」に記した切実な思いである。

■2液タイプ可塑性裏込め注入材と発進前手塗りのテールグリース

1983(昭和58)年に横浜で大阪の業者がプレゼンした、2液タイプ可塑性裏込め注入材を初めて使った。テールのすぐ後ろから注入でき、切羽にもほとんど回らず、水膨潤タイプのシール効果と相まって、今までで一番止水性の良いトンネルが完成した。

泥水シールドでは、掘進中テールからの漏水が心配されるため、発進前にシールドのテールブラシにやや硬めのテールグリースを手で塗り込み、その後一定量を注入



榎田西工区切羽限定圧気内ビット交換状況(1990(平成2)年)

2017年(平成29年)5月

した。昨今、テールシールの固結による事故を聞くにつけ、テールから漏水の苦勞を知らず、テールグリースの手塗りの大切さを知らない方々が大半になってきたことを実感し憂いている。

東京湾横断道路中央トンネル 木更津南工区 —世紀のプロジェクト— (1992(平成4)年, 泥水)

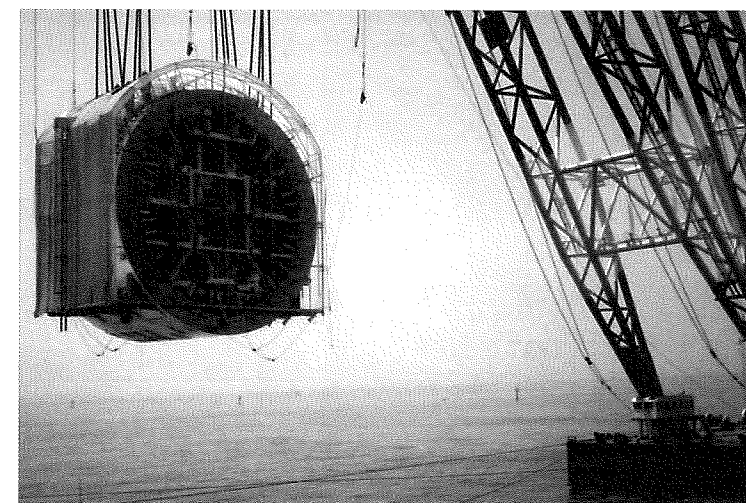
1992(平成4)年に東京湾横断道路中央トンネル木更津南工区受注と同時に配属となる。

■第3セクターによる今世紀最大のシールド工事プロジェクト

直径14.14mは当時世界最大径、また、今でこそ秋田、東京、横浜、大阪に建設されているが、シールド工法による道路トンネルはわが国初。しかも60mの高水圧がかかる海底を横断する。このビックプロジェクトは、国、地方自治体、民間が出資した第三セクター「東京湾横断道路(株)」により総事業費約1兆4,400億円を投じて

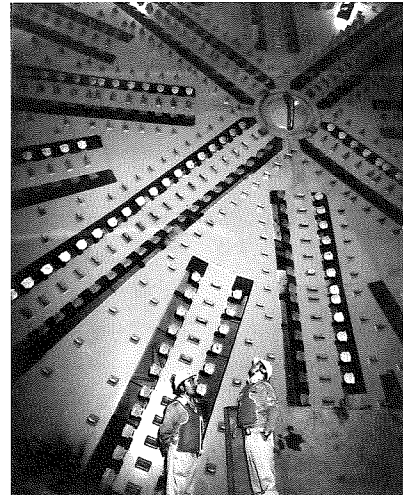
実施された。業者代表でくす開披に加わったことが良い思い出である。

東京湾横断道路計画の経緯については、「第60回 語り継ぎ言ひ継ぎ行かむ」に今田徹・東京都立



東京湾横断道路木更津南工区シールド海上輸送～水切り(1994(平成6)年5月)

— 43 —



東京湾横断道路木更津南工区シールド発進前
(筆者左側, (1994(平成6)年10月)



東京湾横断道路木更津南工区セグメントと二次覆工間に防水シート施工



東京湾横断道路木更津南工区貫通記念写真(筆者2列目中央, 1997(平成9)年3月)

大学名誉教授が詳述されている。また、数多くの新技術の詳細について、誌面の関係で紹介できないが、関係者から多くの発表がなされている。

**名古屋市地下鉄本山北工区
(1999(平成11)年, DOT 泥土圧)**

名古屋市で初となる地下鉄環状線の一部をなす7工区がDOT工法で発注となり、大林組JVは自由ヶ丘-本山駅間の工区を受注し、

筆者は所長として赴任した。西暦1999年、20世紀末を迎えて年が明けると、コンピューター制御に異常が発生し停電の可能性が各方面から指摘され、床付け間近となった中間換気所の揚水の確保に備え、年末年始は職員を張り付け、ゼネレーターを用意したが、幸い何事も起らなかった。

■発進前の勉強会

今まで経験したシールド現場の多くで、初期掘進時にトラブルが

発生した。その主な原因は、職員全員がそれぞれの仕事に多忙のため、全体を把握できていない状況で発進してしまうからだと考えていた。シールドトンネルは、組んだセグメントが即完成品なので、初期掘進は決して練習ではないとの思いから、発進前の超多忙期に毎晩勉強会を開いた。全員が共通認識をもって発進できたシールドに失敗はなかった。このことは、今でも行く先々の現場で話している。

■シールドで初めての連続ベルコン

距離1,260mの大半が民地の下を行く地下鉄のため、施主が工事中の坑内騒音にも神経質になっていたこともあり、当時、土砂山では誰も採用したことがない連続ベルコンを採用した。気泡土がベルコンにうまく載るか、ベルトの清掃がうまくでき坑内が汚れないかなどの懸念を山岳トンネル現場の見学で払拭し、採用は成功した。連続ベルコンをシールドに採用した成功例が、今では当たり前にな

なった長距離道路トンネルでの泥土圧・連続ベルコン採用に、少し貢献できたと自負している。

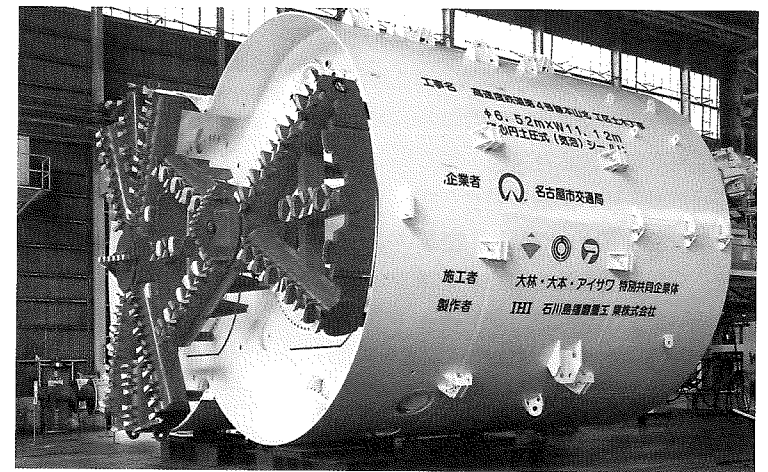
■「つき」という不思議(2000(平成12)年9月11日名古屋を襲った記録的大豪雨)

工事開始直後、1999(平成11)年のある日、坑夫の吉田直土木の富高職長がやって来て、「ところで所長とは初めてだけど、自分を『ついている』と思うか?」と聞かれた。不意にこれだけを聞きに来たのも不思議に思ったが、坑夫を束ねる者としてJVの所長は「つき」を持っているか気になったのであろう。

前述した保土ヶ谷岩井幹線の現場で、当時の坂村所長と2人であることで悩んだあげく、「つき」としか考えられないことで解決し、ずっと頭の片隅にあったので、「仕事では、『つき』がある方だと思うよ」と話した。

その後、2000(平成12)年9月11日夜半、名古屋市内のうちに東海豪雨と名が付いた、未曾有の集中豪雨に見舞われた。最大97mm/h、24時間で535mmの降雨量を記録し、名古屋市内の一部が水没した。最近各地で発生しているゲリラ豪雨のはしりである。発進式を数日前に済ませ、シールドは、立坑に据付けられていた。直前の8月の雷

雨で立坑に水を入れてしまい、危うく組立て中のシールドを水没させる目にあった経験を生かし、坂道の途中にある立坑の上流側にブロックと土嚢の止水壁を二重に築き、坂道を下ってくる雨水を迂回させる措置をとってあったので、当日の大雨では全く浸水被害がなく、地下鉄営業線の排水の応援に、一晩中、職員、坑夫を送りだす指



本山北工区DOTシールド(2000(平成12)年)



本山北工区にてシールド初採用の連続ベルコン(2000(平成12)年)



本山北工区貫通式(前列左から2番目が筆者, 2001(平成13)年)

揮をとることができた。あの8月夕立がなかったらと思うにつけ、これも「つき」であろうか。

本社転動間近の翌年、2001(平成13)年の同じ日、9月11日が、民間航空機による世界貿易センタービル破壊など「米国同時多発テロ」という不幸な事件の日になるので、筆者には余計に忘れられない9.11となっている。

本社ではURUP工法の開発 —開発工程も超急速—

2001(平成13)年11月に約30年の現場勤務を離れ、本社技術本部に赴任し、シールド工法に関する技術部門で働くことになった。営業支援、現場支援とともに、技術開発、とくに2003(平成15)年、横浜支店時代からの友人、横溝設計部長(当時)発案のURUP工法の開発に責任者として携わることになる。同工法は、シールドを地上発進・地上到達させることで、2車線の交差点アンダーパスを10か月で施工する工法で、URUPは“Ultra Rapid Underpass”の略である。

新聞発表の1年後、2004(平成16)年11月実験開始、翌年8月審査証明取得と開発工程も超スピードで進んだが、そのことは「シールド工事は、早く掘ることがすべてで、そのための設備を計画する。1日早く始めれば1日早く終わる。」という、筆者のシールド現場で体得した知識の集大成であったように思う。2008(平成20)年に首都高品川線大井地区工事を設計施工で受注して以来、現在5現場



URUP実験機地上到達後関係者全員で(前列左から2番目が筆者、2005(平成17)年3月)

目のURUP工法を名古屋市内で施工中だが、シールド工法の適用範囲が広がったとの評価があれば、開発に携わった皆の苦勞が報われる。

技術の詳細や開発の経緯は、土木学会創立100周年記念出版『行動する技術者たち—行動と思考の軌跡—』に掲載されているので、興味のある方はご一読を。

おわりに

約25年にわたるシールド現場の経験は、記載のようにシールド技術の進歩、変遷をたどったといえ、今さらながら先人の技術開発に対する努力に敬服するところである。

2006(平成18)年に業界では大きな時代の変化があり、一時、シールド工事は、各社の工事獲得競争にさらされ、セグメントの超スリム化など極端な低コスト受注があった。それに伴い、残念ながら一部では不具合や事故が発生し、シールド工法の安全性や将来の品質に対する懸念が広がった。この間、起きた事故を見て、施工に関

して言えば、各シールド工法それぞれがもつ基本に則り、忠実に施工することが何にも増して大事だと痛感している。

筆者は、本社勤務になった2001(平成13)年から、シールド工法に関して各協会や学会、国土交通省安全向上協議会などでの微力ながらの活動、あるいはURUP工法等の技術開発に携わってきたが、シールド工法の安全や品質にかかわるもっとも基本的なところに、まだ開発の余地が残っていると感じている。開発が進みにくい多難な時代を経て、今はまた普通の技術開発が進む土壌に戻りつつある。

今後2020年東京オリンピック開催に向けて、東京外環道路など多くの道路トンネルがシールド工法で施工されるなかで、さらにこのような技術開発が進むことを願っている。長年シールド工法に携わった筆者の経験が、今後シールド工法のさらなる発展に少しでも寄与できれば、ありがたいことである。

施工

泥土圧シールドで高水圧下の急曲線(R15m)と推力増大を克服

—名古屋市下水道 中村中部雨水幹線—

名古屋市上下水道局技術本部建設部建設工事事務所工事第二係長 山田 高嗣
安藤ハザマ・西武・山越特別共同企業体所長 伊藤 寛基
安藤ハザマ・西武・山越特別共同企業体副所長 関根 俊春

1 はじめに

名古屋市は、1979(昭和54)年に策定された「名古屋市総合排水計画」にもとづき1時間50mm降雨に対応する下水道施設の整備を進めてきたが、2000(平成12)年の東海豪雨、2008(平成20)年8月末豪雨などを受けて策定した「緊急雨水整備基本計画」などにもとづき「緊急雨水整備事業」を進めているところである。本市では、こうした豪雨により著しい浸水被害が集中した地域や都市整備機能が集積する地域を対象として1時間60mm降雨に対応できる下水道施設の整備を進め、名古屋

地方気象台における過去最大の1時間降雨量97mmの降雨に対しておおむね床上浸水を防ぐことを目的としている。

「中村中部雨水幹線下水道築造工事」は、2008(平成20)年8月末豪雨で著しい浸水被害が集中した、中村区中部流域の浸水被害を軽減する目的で、貯留量25,000m³規模の雨水調整池を整備する工事である。工事位置図を図-1に示す。

本工事は、地下鉄東山線を下越しするため土かぶり約33mの「大土かぶり」の条件下において、急曲線施工(R15m+R30m)を行う難易度の高い工事である。2016(平成28)年8月に1次覆工が

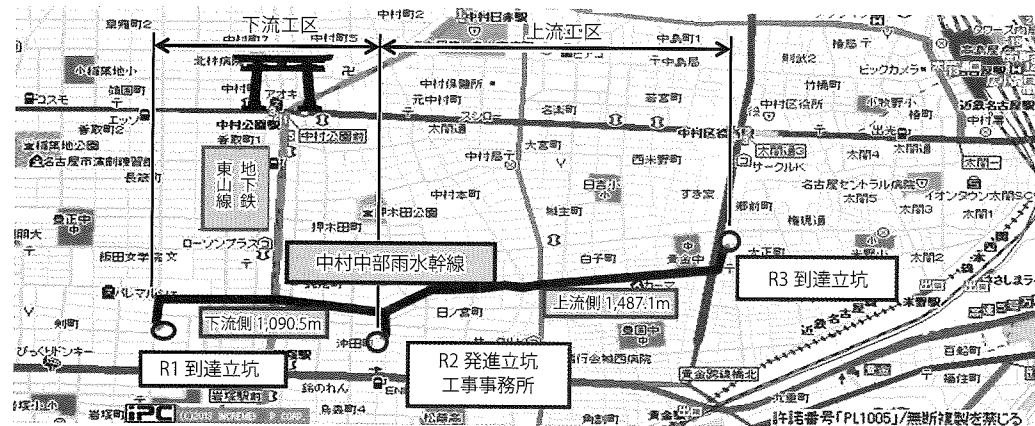


図-1 工事位置図

すべて完了し、現在は2次覆工を進めているところである。

本稿では、下流工区の1次覆工において発生したさまざまな課題への対応について報告する。

2 工事概要

本工事の工事概要(表-1)を以下に示す。

3 シールド工

3-1 土質概要

本工事の施工場所である名古屋市中村区は、濃

尾平野の東縁部付近に位置し、庄内川などの小川川群が多く分布する地帯に広がる沖積低地にあたる。図-2に本工事の土質縦断面図を示す。

下流工区は、「D3Us1」「D3Uc1」「D3Us2」層との互層区間に構築した。これらの土質は熱田層上部の洪積層に位置している。

D3Us1 および D3Us2 層は、主に粒子の不均一な砂を主体とし、部分的に細粒分含有率が10%以下、かつ、均等係数が5未満の崩壊性が高い箇所が存在している。ただし、平均N値は約40以上あり、比較的、密な状態を示している。

表-1 工事概要一覧

工 事 名		中村中部雨水幹線下水道築造工事	
発注者	名古屋市上下水道局	曲線施工	
施工者	関・西武・山越特別共同企業体	下流工区	R15m(R/D=3.20)×2か所 R30m×2か所, R200m×2か所
工事場所	名古屋市中村区米野町～二瀬町	上流工区	R30m×3か所, R60m×3か所 R200m×5か所
工 期	2013(平成25)年2月26日～ 2017(平成29)年3月15日	土かぶり・地下水圧・切羽設定土圧	
シールド工概要			
シールド工法	泥土圧シールド工法	下流工区	土かぶり 32.7～33.5m 地下水圧 329～348kPa 切羽設定土圧 444～452kPa
路線延長	上流工区:1,487.1m + 下流工区:1,090.5m	上流工区	土かぶり 11.0～12.4m 地下水圧 110～137kPa 切羽設定土圧 193～210kPa
縦断勾配	+0.6‰(上・下流工区とも)	立坑工概要	
シールド外径	φ4,690mm	立坑No.	深度(m)
セグメント外径	φ4,550mm(内径φ4,150mm)	R1(到達)立坑	44.317
仕上り内径	φ3,750mm	R2(発進)立坑	45.566
排土方式	土砂圧送方式	R3(到達)立坑	22.000
		形状(mm)	施工方法
		□-7700×7100	連続地中壁(柱列式)

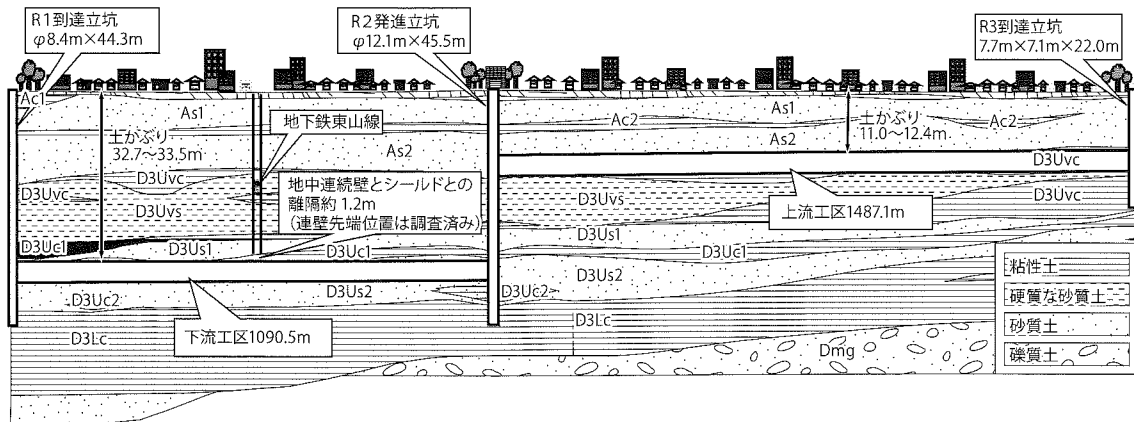


図-2 土質縦断面図

D3Uc1層は、砂質粘土やシルト、砂混じりシルトが主体の粘性土層で全体的に粘着力がやや強く、最大88kN/m²を示している。

3-2 シールド施工計画

3-2-1 シールド概要

本工事のシールドは、大土かぶりにおける崩壊性の高い砂層を掘進し、R15mを含む急曲線施工に対応することが条件となる。そこで、本工事で採用したシールドを、表-2、写真-1、図-3に示す。

3-2-2 急曲線施工への対応

過去の急曲線シールドトンネルの実績と本工事の急曲線施工(R15m)を、R(曲率半径)/D(シールド外径)を基準に比較した(表-3)。過去の実績と対比しても、R/D(=3.20)は最小に準ずる規模である。そこで、本工事のシールドでは、以下に示す急曲線対策を施した。

(1) 中折れ装置

中折れ装置は、中折れ角度が大きくなることより、「球面X中折れ型」を採用した。下流工区の急曲線(R15m, R30m)は、すべて左カーブであるため、左側に13.8°中折れする構造とした。また、上下中折れを±0.5°装備した。

(2) コピーカッター

R15m施工時の余掘り量は、余掘り量計算結果より理論余掘り値131mmが算出された。そこで、装備ストロークは、理論余掘り量×余裕率より、約1.5倍の200mmとした。

(3) セグメント

急曲線施工時の操作性を担保するために、セグメント外径の縮径(φ4,550mm→φ4,490mm)を採用した。また、リング間ボルトは、標準案のM22(4.6)からM24(10.9)に変更し、全断面増しボルトを採用した。さらに、目開きを防止するために、挟締

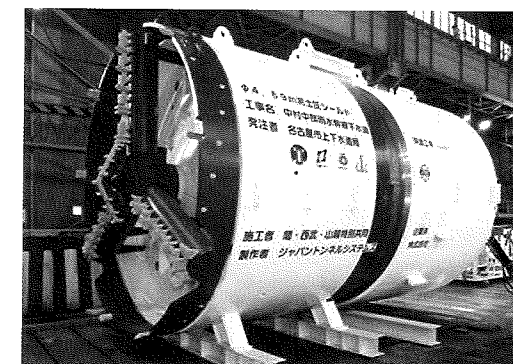


写真-1 シールド全景

表-2 シールド仕様一覧

項目	仕 様		項目	仕 様		
シールド	型式	泥土圧シールド	カット装置	支持方式	センター支持方式	
	外径	φ4,690mm		駆動方式	油圧駆動(モーター×8台)	
	掘削外径	φ4,710mm		装備トルク	低トルク時	1,263.5kN・m
	機長	6,325(本体)+1,010(カッター部) =7,335mm			高トルク時	2,103.8kN・m
テールシール	型式	ワイヤープラシ式	回転数	低トルク時	1.2rpm	
	段数	2段(後段はウレコンシール)		高トルク時	0.7rpm	
	斜辺長	前:300mm+後:320mm	ヘッド形状	スポークタイプ(開口率:約76%)		
シールドジャッキ	注入装置	自動給脂装置(注入管:6本)	コピーカッター	装備能力	195kN×200mm(最大220mm)	
	装備能力	1,200kN×16本(天地配置)		装備数	2本(常用・予備)	
	総推力	19,200kN	スクリーコンベヤ	形式	軸付型(アキュムレーター装備)	
	ストローク	L1,650×15本+L1,450×1本		寸法	フライト径φ470mm×ピッチ400mm	
中折れ装置	追従	全数追従回路方式	駆動方式	油圧駆動		
	形式	球面X中折れ型	装備トルク	17,589kN・m		
	角度	(下流)左:13.8°+上下:0.5° (上流)左右:7.3°+上下:0.5°	回転数	～22.8rpm		
	装備能力	1,200kN×12本	排土量	83.5m ³ /h		

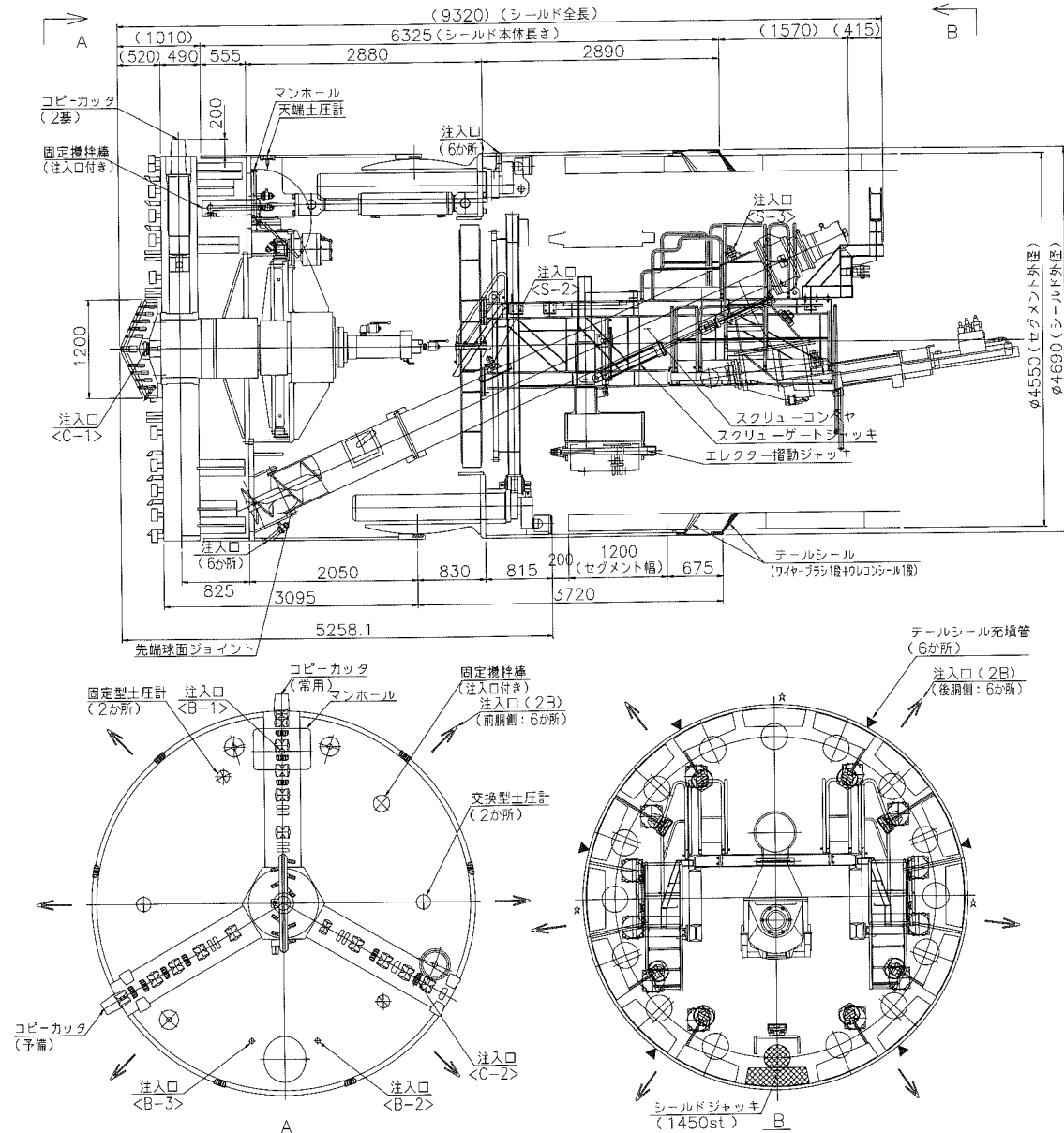


図-3 シールド構造図

金具(ブルマン)による補強を計画した。

(4) シールド機長(図-4)

シールド機長(L₁)は、シールドジャッキ長の調整によるテール部長(L_T)やフード長(L_H)を調整し、極力短くするように計画した結果、本体長さ(L_M:カッタを除くシールド本体長)は6,325mmとした(図-4)。

シールド外径に対するシールド本体長さ比(長

径比: L_M/D)は、1.35である。

(5) クレーショック充填孔の設置(図-5)

急曲線部に使用するコピーカッタによる余掘り部の地山の緩み、肌落ちや裏込め材の回り込みを防止するために、高粘性可塑状充填材(クレーショック)を充填できる注入孔を、シールド前胴部に6か所(左右均等に上部方向、真横方向、下部方向)設置した。

表-3 急曲線シールドトンネルの実績¹⁾に加筆

発注者	工事名	シールド	シールド外径 D	延長	土かぶり	地質	曲率半径 R	R/D
東京都	馬込幹線工事	土圧式	φ5.24	1,275	24.0~43.2	砂, 泥岩	8.0	1.5
東京都	飛鳥山幹線(その2, その3)工事, 第2岩淵幹線(その2工事)	泥水式	φ4.45	2,039	27.0~29.0	礫	10.0	2.2
堺市	福泉雨水幹線下水道敷設工事	土圧式	φ3.50	717	9.3~11.7	シルト, 砂	10.0	2.9
名古屋市	中村中部雨水幹線下水道築造工事	土圧式	φ4.69	1,080	32.7~33.5	砂, シルト	15.0	3.2
北九州市	初音町川代主要幹線管渠築造工事	泥水式	φ6.15	1,002	9.0~12.3	砂, シルト	20.0	3.3
東京都	東京都勝島ポンプ所連絡管渠工事	泥水式	φ8.99	386	6.3~15.8	粘土	30.0	3.3
新居浜市	中央雨水幹線築造工事	土圧式	φ2.89	481	6.6~7.1	砂	10.0	3.5
関西電力	学園豊崎間管路新設工事(第1工区)	泥水式	φ7.76	2,150	27.8~43.0	粘土, 砂	30.0	3.9
大阪市	平野川調整池築造工事4	土圧式	φ11.52	1,690	26.7~36.1	粘土, 砂	70.0	6.1
川崎市	江川雨水貯留管その3, 3-2工事	泥水式	φ9.45	4,435	51.7~56.1	粘土, 砂	80.0	8.5
横浜市	北部処理区新羽末広幹線下水道整備工事その3~8	泥水式	φ9.45	4,435	51.7~56.1	粘土, 砂	80.0	8.5
首都高速道路	SJ11(1-2)SJ13工区トンネル工事	泥水式	φ12.94	864	13.1~44.4	礫	123.5	9.5

(単位: m)

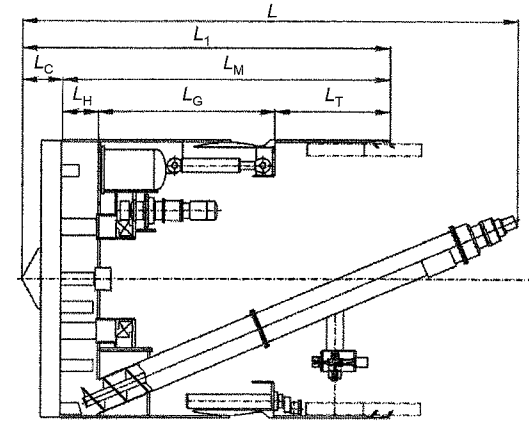


図-4 シールドの長さ²⁾に加筆

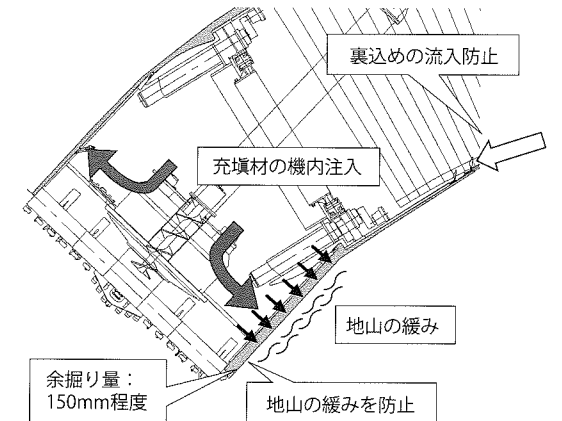


図-5 高粘性可塑状充填材概要図

(6) 早期強度発現型の裏込め材の選定

急曲線区間でのセグメントを早期に地山と固定および安定させ、ジャッキ推力によるセグメントの変形や移動を防止するために、裏込め材の発現強度は、標準案の2倍となる0.2N/mm²(1時間強度)が発現可能な配合とした。

3-2-3 高水圧下での砂層掘進への対応(止水対策)

(1) テールシール部の対応

本工事シールドでは、切羽設定土圧を約452 kPa、裏込め注入圧を650kPa程度と想定しているため、テールブラシは3段配置となることが多い。

しかし、テールブラシを3段にすると、シールド機長が伸び、急曲線施工時のシールドの操作性に支障となる。そこで、テールブラシ自体を強化して止水性を担保した(図-6)。具体的には、最大のテールクリアランスを想定し、通常よりもブラシを長く(前段:300mm, 後段:320mm)し、後段ブラシには、ウレコンシールを採用した。

また、前段ブラシには、ブラシ量自体を通常の5~10%増として、かつ、中間部に配置する鉄板を通常1枚配置のところ、2枚配置とし剛性を高め

た(図-7)。

さらに、前段ブラシと後段ブラシ間に連続的にテールグリスを給脂する自動給脂装置を装備した。

(2) 直接切削(FFU)工法の採用

発進立坑は、アーバンリング(鋼製セグメント)にて築造されているため、剛性が小さく、鏡切り

施工時に、変形が発生しやすい構造である。そこで、坑口部には、鏡切り施工時の地山露出による出水や地山崩壊のリスクを軽減させるために、シールドカッターで直接切削可能なFFU部材を組み込んだセグメント(写真-2)を配備した。

また、発進防護の地盤改良は、FFU部材背面地盤の支持力確保や、シールド発進時の安全性向上を目的として、薬液注入(ダブルパッカー)を採用した。

薬液注入改良範囲は、発進坑口に掛かる土水圧より算出した範囲とし、改良長さはシールド外径に対しD/3程度=1.5mとした(図-8)。

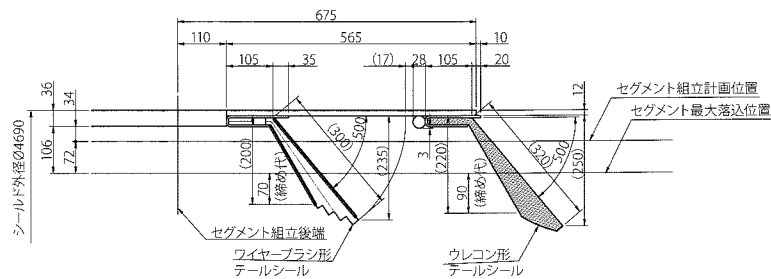


図-6 テールブラシ構造図

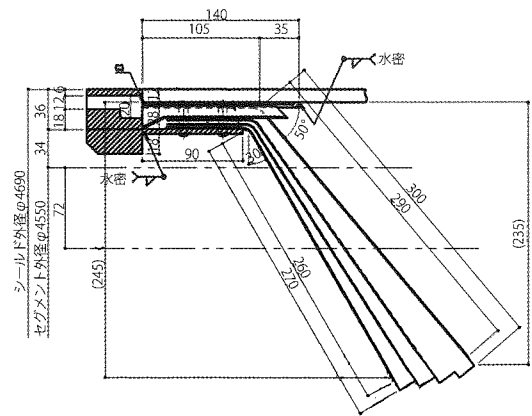


図-7 前段テールブラシ構造図

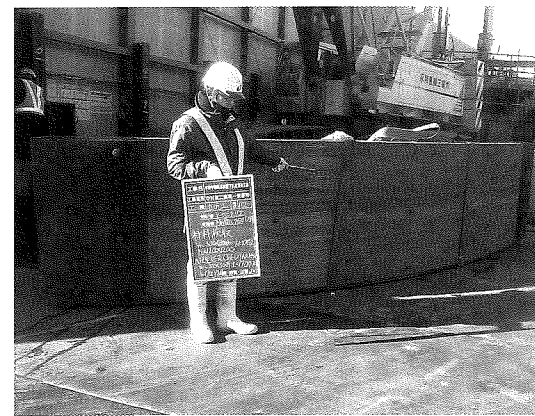


写真-2 FFUセグメント

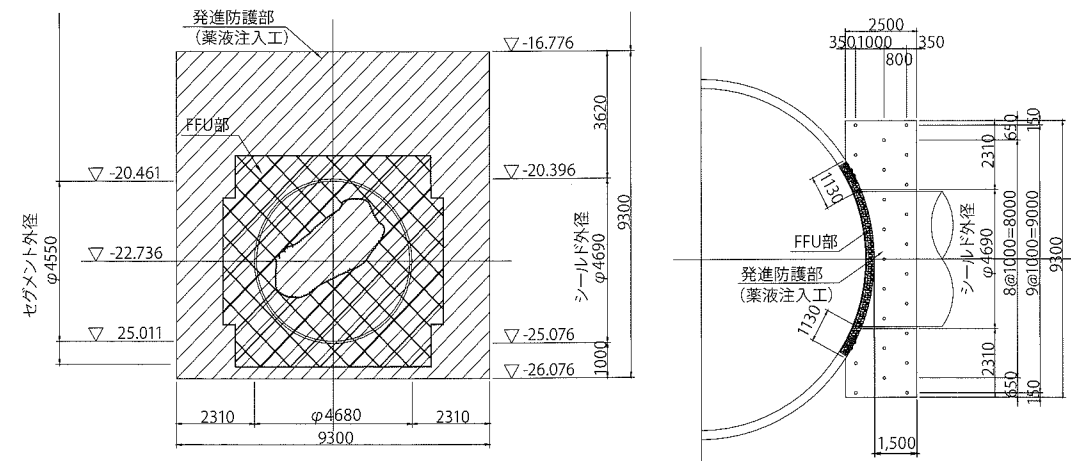


図-8 発進防護地盤改良図

(3) 発進坑口エンタランス2段パッキンの採用

本工事シールドは、急曲線施工により大きな中折れ角度を有するため、中折れ部のくびれが通常より大きい。このくびれ部やシールドテール部でのセグメント段替わり時は、パッキンの密着性が低下し、出水などのリスクが高くなるため、2段パッキンを採用した。また、地山側のパッキンは、加圧可能なチューブ式パッキンにて止水効果を高めた。

(4) 発進立坑の補強

アーバンリング(鋼製セグメント)は、発進、到達部の坑口解放状態およびシールド推力による変形が想定される。その変形量を事前に解析したところ、最大で20mm程度と算出され、本体(主桁)が降伏点に近い値であることが判明した。そこで、立坑継手部の目開きを防止するため、変形の大きい箇所に対して挟締金具(プルマン)にて補強を行った。

補強箇所は7リング(掘削断面对象リング+上下1リング)にわたり、各補強箇所にて4個ずつ設置した(図-9)。

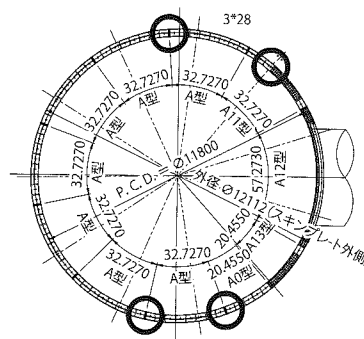
3-3 下流工区の施工実績

3-3-1 急曲線施工への対応実績

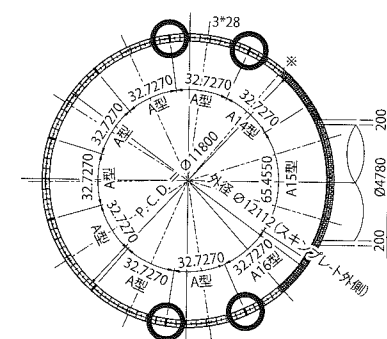
本工事急曲線施工は、事前対策の効果により、計画線形からの逸脱やセリによるセグメントの損傷などのトラブルもなく無事に完了した。

線形管理は、主に測量による数値(座標)管理とCAD(作図)によるダブルチェックを実施した。計画段階では、事前測量および計算結果により、

下部開口部リング①(戊1組)



下部開口部リング①(戊1組)



下部開口部リング②,④(丙組)

図-9 発進立坑補強箇所施工図

線形精査、セグメント割付け、曲線部における詳細なマシンの余掘り長、中折れ角度をおおむね設定できるが、改めてCADによるシミュレーションを行うことで、計算結果の正当性を担保することができた。

また、実施工では、日常的に実施する測量結果により得られたシールドやセグメントの位置を、数値上の管理のみならず、CADを利用することで、視認性をもって管理した結果、シールドやセグメント位置や方向、適正な中折れ角度、余掘り量、テールクリアランスとセグメントとのセリ量などが確認可能となり、規格値内での施工を達成した。

3-3-2 止水対策への対応実績

高水圧下での砂層掘進の施工条件であったが、発進・到達時や急曲線施工の出水などによる対策により、とくに大きなトラブルもなく完了した。

3-3-3 想定外のトラブル(高推力への対策)

下流工区の掘進施工期間は、2014(平成26)年11月~翌年10月までの約11か月を要した。平均月進量は、約100m以下と想定した進捗の半分程度まで落ち込んだ結果となり、予定工程より大きな遅延が発生した。この主な要因は、高土水圧下での施工、加泥材のミスマッチングによる総推力の増大などから、掘進速度が低下したことであった。

下流工区掘進データについて「カッター累積回転数」「カッタートルク」「総推力」「掘進速度」の項目をまとめたものを図-10に示す。

下流工区の発進時は、高水圧下による総推力を

算定し、アーバンリング(鋼製セグメント)への解析の結果により、総推力の上限値(総推力×56%)を設定し、計画どおりに発進した。しかし、その直後から約200m付近まで高推力が発生し、本掘進に入ったのちも、掘進速度が上がらない状態が続いた。

加泥材は、事前に立坑掘削土を使用した配合試験により、数

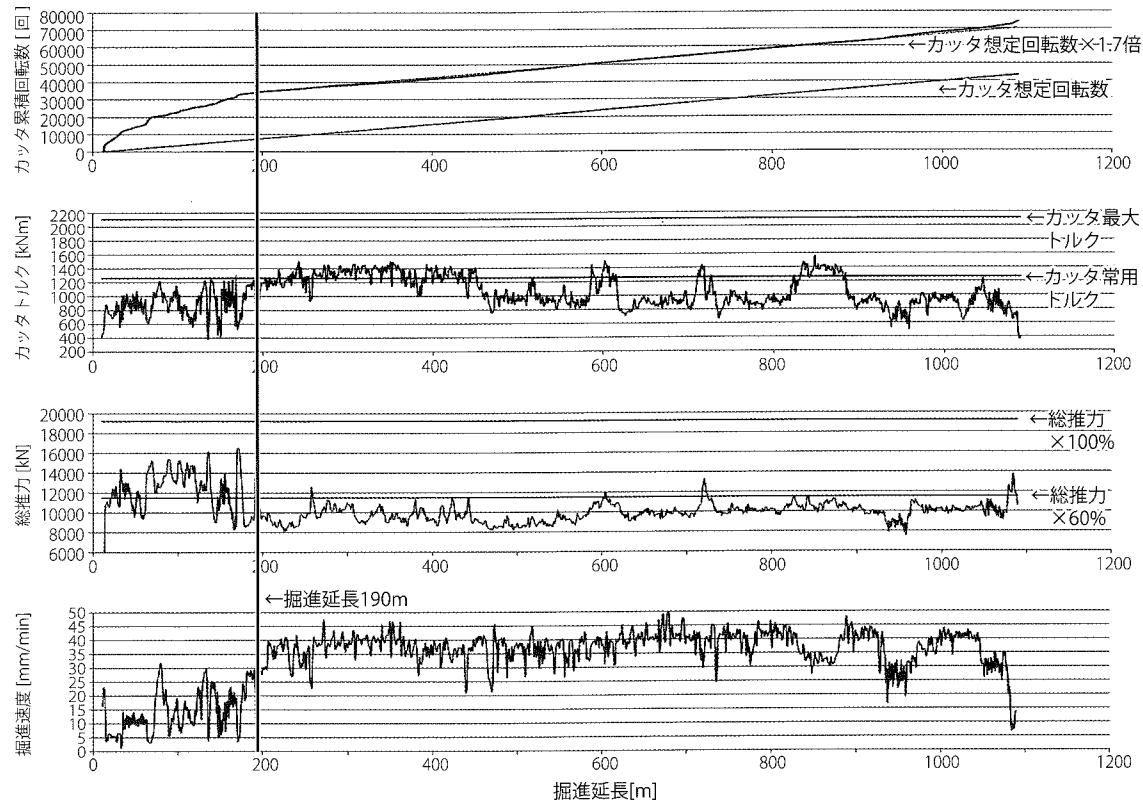


図-10 下流工区施工実績一覧

種類の材料の中から最適な結果が得られた高分子系の材料を選定したが、実際に掘進すると掘削土砂の塑性流動化がうまくいかず、排土口からたびたび噴発をくり返したことから、原因として加泥材と地山とのミスマッチングと考えた。

まず、事前試験で使用した材料のほかに、さらに数種類をテストした。しかし、状況は好転せず、高分子系のみでの配合ではマッチングしないと判断した。そこで、ベントナイトと高分子材の混合による配合に変更した結果、排土の塑性流動化は安定した状態になった。

この時点で、シールドはすでに発進立坑から約100m地点付近まで掘進していたが、なお総推力や掘進速度が不安定な状態が続いていた。発進立坑から約400m付近までの掘削断面は、ほぼ全断面「砂(D3Us2)層」であった。砂層の掘進では、シールド本体の胴締めが発生するケースが散見されるため、シールド鋼殻より直接滑材を注入する

方法に取り組んだ。滑材の注入は急曲線施工用に前胴に設置した注入孔より実施した。滑材の材料は、加泥材やクレーショック材などを試みたが、結果的には、クレーショック材の連続注入がもっとも効果的であった。

ちなみに、クレーショック材は、急曲線施工用に使用するために準備してあったので、試用した結果、功を奏した。約190m地点からは、クレーショックの連続注入を実施した結果、平均して総推力の60%以下にて掘進可能となり、それに合わせて掘進速度も上昇し、安定した掘進ができるようになった。なお、190m地点以降にカットトルクが上がったのは、掘進速度が上昇し切込み深さが大きくなったためと考えられる。

下流工区でのカットタ累積回転数は、当初想定回転数が43,622回に対して、実施工回転数は74,005回となり、実施工は当初想定約7割増しであった。

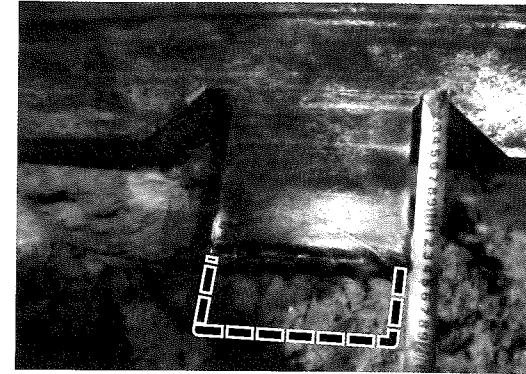


写真-3 最外周ビット摩耗状況

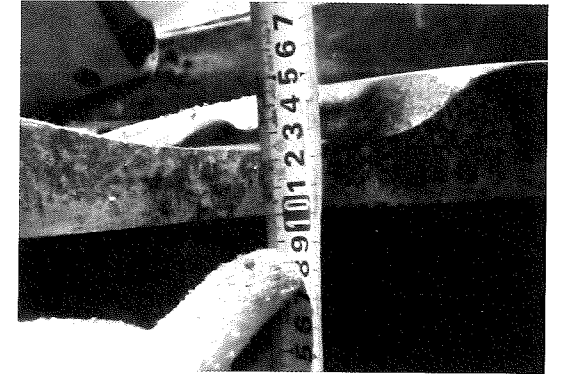


写真-5 外周リング摩耗測定状況

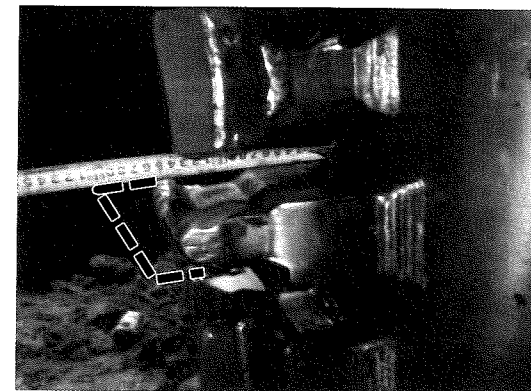


写真-4 先行ビット摩耗状況

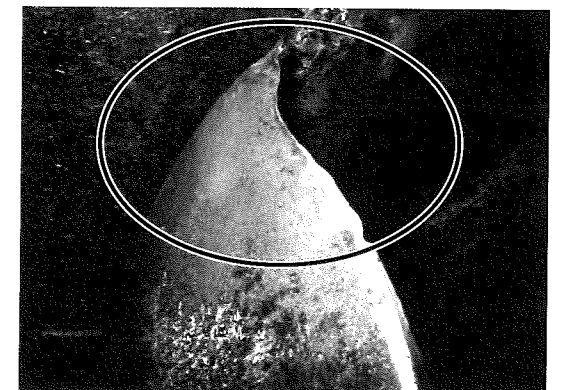


写真-6 フライト摩耗状況

図-10にカットタ累積回転数を示したが、約190m地点以降の累積回転数は、当初想定回転数とほぼ平行に推移している。したがって回転数の差は、高推力により掘進速度が低下した区間において発生したことがわかる。

3-4 下流工区掘進後のシールド損傷状況

本工事では、下流工区のシールド到達後(ただちに2次覆工に移行し)、上流工区の1次覆工の施工をするため、シールドは鋼殻を残置し、鋼殻以外の部品は、上流工区に転用する計画であった。

シールド到達後、シールドの摩耗状態を調査したところ、「カットタ」と「スクリュウコンベヤ」への大きな摩耗が判明した。

3-4-1 カッタの損傷状況

(1) カッタビットの摩耗

外周側の先行ビットは、強化型ビット(超硬チップ長:50mm(E5))を配置したが、チップがほぼなくなるほど摩耗が発生した。また、先行ビッ

トのみならず、メインビットも約30%程度のビットの摩耗が発生した(写真-3,4)。

(2) 外周リングの摩耗

外周リング(厚さ60mm)は、全体的に5~10mmの摩耗が発生したとともに、一部に筋状の大きな「えぐれ」が発生した。えぐれの深さは最大で37mm発生していた(写真-5)。

(3) コピーカッタの摩耗

コピーカッタ(常用)の先端部に約20mmの摩耗が発生していた。

3-4-2 スクリューコンベヤの損傷状況

(1) フライトの摩耗

最後段のフライト厚が19mmに対し、残置厚が1~2mmとなり、著しく摩耗していた(写真-6)。この摩耗原因は、高推力発生区間において、ゲート開度調整により切羽土圧制御を多用したことにより、スクリュウコンベヤ内掘削土が圧密・脱水したため摩耗が促進したものと考えられる。

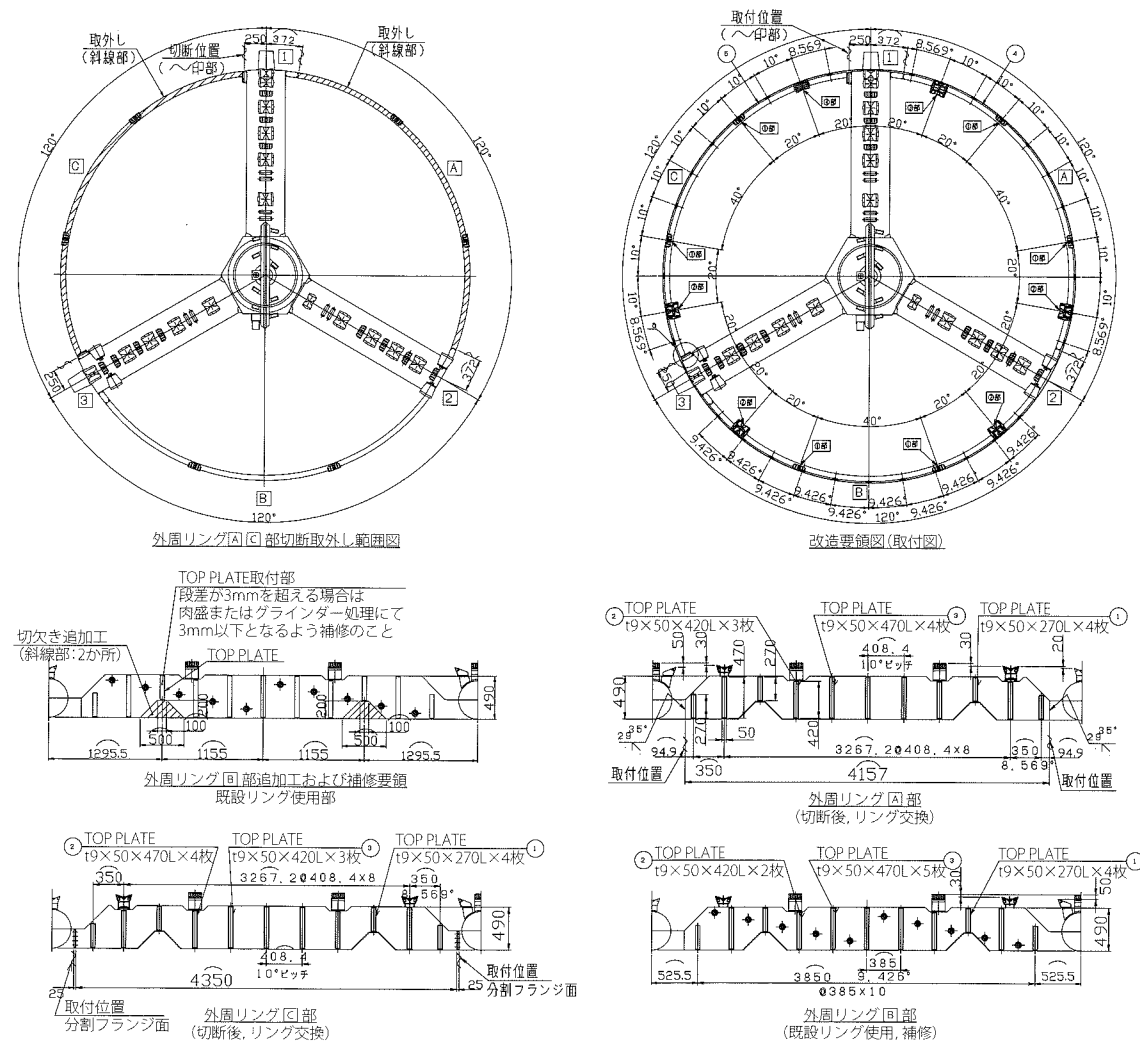


図-11 カッタ補修計画図

(2) その他の摩耗

スクリーコンベヤには、フライトのほかに軸の先端部やゲート本体、ゲート開閉部受け材などにも摩耗が発生していた。

3-5 シールド補修計画

上流工区のシールドは、下流工区での損傷状況を受けてカッタヘッドなどの補修および改良を実施した。主な補修および改良点を以下に示す。

(1) カッタビット

カッタビットは基本的にすべて交換した。また、最外周先行ビットは、メインビットと50mmの先行量を持たせ強化型ビットを配置していた。しかし、

ほぼ超硬チップがなくなるほどの摩耗が発生したため、強化型先行ビットのほかにメインビットと20mmの段差を付けたビットを配置した。

(2) 外周リング

摩耗対策として外周リングに保護ビット(丸形)を配置していたが、下流工区の掘進ではリング全体の摩耗や筋状の偏摩耗が発生した。これは、コピーカッタなどで緩めた砂や礫が、円滑にチャンバに入りきらずに外周リング部に滞留して発生したものと考えられた。また、保護ビットは、期待したほど効果がないと判断した。

そこで、外周リングの前胴側に切り欠きを設け

て取り込み効率を上げるとともに、リング全体に耐摩耗鋼板を取り付けた。以下に補修計画図(図-11)を示す。

また、スクリーコンベヤは、下流工区発進前の原形に復旧する補修を実施した。

4 おわりに

以上のように、本工事下流工区の1次覆工において発生したさまざまな課題への対応を述べた。下流工区の1次覆工では、約1.1kmの区間に対し約11か月を要したが、そこで得た経験・知見を上流工区での施工に活かした結果、約1.5kmの区間

に対し約6か月で掘進することができ、おおむね計画どおりに施工することができた。

最後に、大きなトラブルなく1次覆工を完了することができたのは、関係各位の皆様からのご指導、ご協力によるところが大きく、この場を借りて感謝を申し上げる。

参考文献

- 1) 地盤工学会編：シールド工法，地盤工学・実務シリーズ29，丸善出版，2012.2.
- 2) 土木学会編：2006年制定 トンネル標準示方書 [シールド工法]・同解説，丸善，2006.8.

多様化する
シールド掘進技術

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

文献紹介

解説

- 中田直樹・澤井充：穴堰の歴史と事業概要，技術レポート，*水土の知*，Vol.84，No.8，2016.8.
- 特集/鋼製管推進工法，お助けマン&最後の切り札，月刊推進技術，Vol.30，No.8，2016.8.
- 特集/ゲリラ豪雨から都市を救え，月刊推進技術，Vol.30，No.9，2016.9.
- 特集/深化するトンネル防水，防水ジャーナル，Vol.47，No.10，2016.10.
- 特集/推進工法進化の歴史，月刊推進技術，Vol.30，No.10，2016.10.
- 特集/地域社会の発展に貢献する推進業者，月刊推進技術，Vol.30，No.12，2016.12.
- 特集/東京大改造—TOKYO 2020に向けて，基礎工，Vol.45，No.1，2017.1.
- 特集/地下を見る・観る・診る，物理探査技術の最新動向，地盤工学会誌，Vol.65，No.1，2017.1.
- 山本六二郎，トンネルを活用したワインセラー，特集/お酒と土木，土木技術，Vol.72，No.1，2017.1.
- 特集/小説と土木，土木技術，Vol.72，No.2，2017.2.
- 千々岩三夫：NEW TULIP工法の概要と施工事例，建設機械，Vol.53，No.2，2017.2.

研究・開発

- 大木智昭：掘進中にシールド機外周部の介在砂層をリアルタイム探査，比抵抗センサーを用いた介在砂層探査技術，建設機械施工，Vol.68，No.8，2016.8.
- 木梨秀雄：トンネル切羽前方探査の新手法開発，掘進1カ月分，約200m先の地山状況を短時間の削孔により高精度で事前に把握，道路，Vol.906，2016.9.
- 加藤健治・長塚渉・古谷義信：連続ベルコン通過型テレスコピック式セントル，建設機械，Vol.52，No.10，2016.10.
- 内田正孝・足達康軌：硬岩トンネル掘削機TM-100の開発，ディスクカッターにより硬岩を自由断面に掘削，建設機械，Vol.52，No.11，2016.11.
- 加藤健治・折敷秀雄・大坪研二：東京外かく環状道路(千葉区間)における発生土の有効活用，「回転式破碎混合工法」を適用した掘削発生土の改良，建設機械，Vol.52，No.12，2016.12.
- 徳川和彦：ICTでトンネル等の点検効率化を図る計測技術システムを開発，トンネル覆工背面の空洞や覆工コン

- クリート厚さを走行型の非接触レーダーで把握，道路，Vol.909，2016.12.
- 輿石正己：高ひずみ樹脂による構造物の機能保持技術，タフネスコート，建設機械，Vol.53，No.1，2017.1.
- 船田哲人・小林正和：覆工セントルへの透水性シートの適用，覆工コンクリート表層部を緻密化し耐久性を向上，建設機械，Vol.53，No.2，2017.2.

施工

- 橋本勇・山下善幸：グラウンドアンカー薄型台座の開発・使用による狭隘施工の効率化，基礎工，Vol.44，No.7，2016.7.
- 佐藤潤・土屋幸弘：大深度刃口推進工事に伴う立坑内ステージ注入，基礎工，Vol.44，No.7，2016.7.
- 藤井哲也・金舛能史：山陽新幹線トンネル路盤支持杭の施工，基礎工，Vol.44，No.7，2016.7.
- 小滝勝美・上村稔：都市狭隘部における大深度ニューマチックケーソンの施工，基礎工，Vol.44，No.7，2016.7.
- 特集/急がれる下水道トンネル工事，月刊下水道，Vol.39，No.9，2016.8.
- 特集/最近のアジアの建設プロジェクト，基礎工，Vol.44，No.9，2016.9.
- 日平均掘進9.5m達成の確かな秘策，三陸道新線台トンネル工事(岩手県)，ズームアップ トンネル，日経コンストラクション，No.648，2016.9.26.
- 特集/鉄道・道路構造物のリニューアル，供用中の難工事，基礎工，Vol.44，No.10，2016.10.
- 今村肇：長距離シールドを異なる工法で2方向同時施工，*水土の知*，Vol.84，No.12，2016.12.
- 三原泰司・小木曾淳弥：早期復興に因るために取り組んだ現場運営の紹介，国道45号吉浜道路工事の事例，建設機械施工，Vol.68，No.12，2016.12.
- 安村博・谷尻孝雄・井上悟：大江南域地区のトンネル工事，技術レポート，*水土の知*，Vol.85，No.2，2017.2.
- 関静夫・山名宗之：ETCを活用した廃棄物運搬管理システム，阪神高速大和川線シールドトンネル発生土の運搬管理と透明性確保，建設機械，Vol.53，No.2，2017.2.
- 特集/地中障害物や既存杭の撤去，基礎工，Vol.45，No.2，2017.2.
- 泉千年・ユインヨンラッタナクル ナレントーン：アジアにおける地下鉄建設事例と地盤リスクへの対応，地盤工学会誌，Vol.64，No.9，2016.9.

研究

施工時荷重によるセグメントの損傷の原因と対策

—東西関係ガス導管海底トンネル工事の事例—

東京電力ホールディングス(株)土木・建築エンジニアリングセンター都市土木技術グループマネージャー 齊藤 仁

1 はじめに

大深度トンネルは高水圧下で、かつ良質な地盤中に構築されるため、一般に、セグメントは土水圧に対してはトンネル周方向の軸力が卓越し、地震時の作用に対してはその影響を無視できる程度であることから、セグメント厚さを薄くすることが可能となる。一方、ジャッキ推力やテールシールの拘束力などの施工時荷重が増大するため、薄いセグメントでは割れや欠け、あるいはひび割れなどの損傷を生じる可能性が高くなり、将来的にセグメントの耐久性に影響を及ぼすことが懸念される。

そこで、2つの手法により施工時に生じるセグメントの損傷の原因とその対策について検討を行った。ひとつは、大深度トンネルの実現場において、セグメントの組立て直後からマシントールを脱出するまでの、セグメントの挙動計測を行い、

その計測結果から評価した¹⁾。もうひとつは、セグメントの組立て過程を模擬した3次元シェルばねモデルによるFEM解析を行い、その解析結果から評価した²⁾。本稿は、これらの検討の成果を整理し、概要をまとめたものである。

2 挙動計測結果にもとづく損傷の原因と対策

2-1 挙動計測を行った実現場の施工条件

セグメントの挙動計測を行った実現場は、東京電力フュエル&パワー(株)が所有する東扇島LNG基地と富津LNG基地との間を東京湾の海底下で連係したトンネルで、図-1に示すように、全線の約70%が海面下50m以深に位置するため、大深度トンネルの代表例といえる。また、中央を境に富津工区と扇島工区に分かれ、各工区のセグメントおよびシールドの仕様は、表-1,2に示すとおりである。

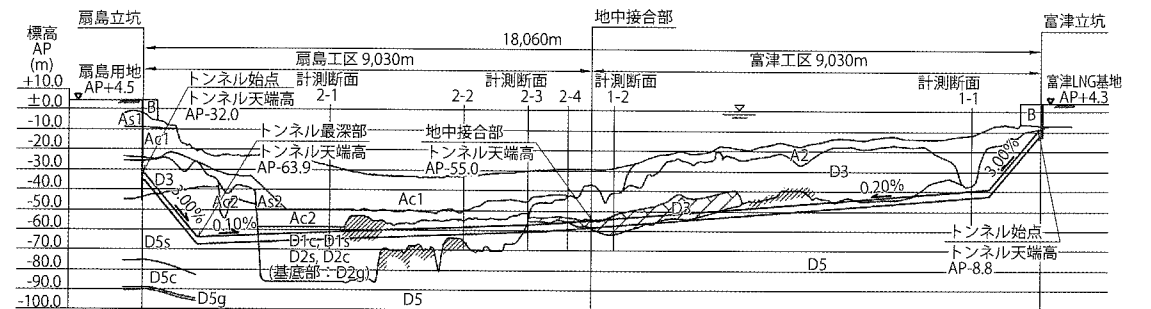


図-1 縦断線形と計測断面

表-1 セグメントの仕様


項目	扇島工区	富津工区
内径	3,000mm	3,000mm
幅	1,200mm	1,350mm
厚さ	220mm	220mm
分割数	等5分割	等6分割
重量	13.9kN/ピース	13.0kN/ピース
セグメント継手	 軸方向挿入型	 突合せ継手
リング継手	 軸方向挿入型	 軸方向挿入型
シールド段数	地山側 1段 内空側 1段	地山側 1段 内空側 1段

表-2 シールドの仕様

項目	扇島工区	富津工区	
型式	ロングジャッキ式 同時掘進対応機	内胴スライド式 同時掘進対応機	
外径	3,590mm	3,620mm	
機長	11,645mm	12,180mm	
シールドジャッキ	推力	1,680kN/本	1,225kN/本
	本数	20本	18本
シールドクリアランス	総推力	33,600kN	22,050kN
	テールクリアランス	25mm	30mm
テールシールド	全4段	全4段	

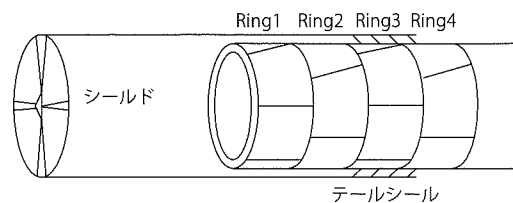


図-2 セグメントとシールドの相対位置関係

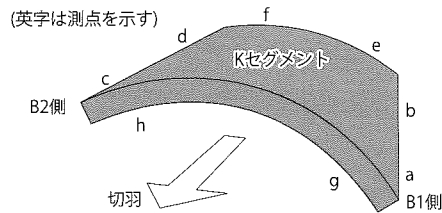


図-3 目開き計および目違い計の測点

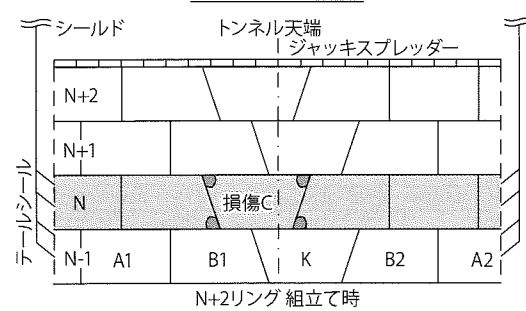
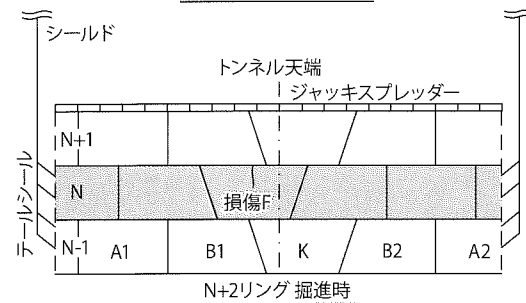
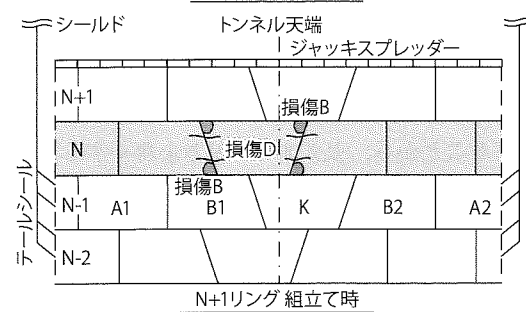
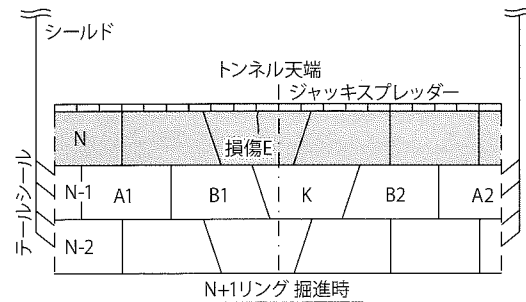
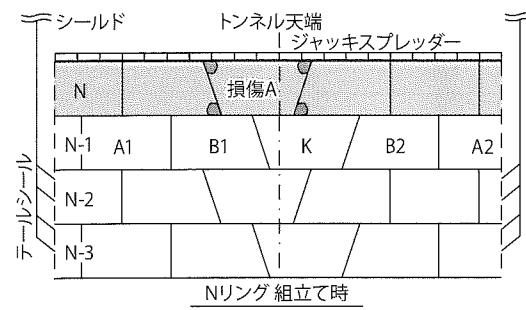


図-4 観察された損傷の部位と時期

図-2はセグメントとシールドの相対位置関係を示したもので、セグメント組立て位置(Ring 1)から2リング坑口側(Ring 3)の位置でテールシールドによる拘束を受け、3リング坑口側(Ring 4)の位置で地山による拘束を受ける。これはセグメント組立て同時掘進機構³⁾を採用したためであり、従来のシールドと比較すると、1リング坑口側(Ring 2)ではトンネル半径方向の拘束を受けない状態が存在する。

2-2 セグメントの挙動計測計画

計測断面は、図-1に示すとおりで、組立て直後からの挙動を把握するために、図-3に示す測点に、目開き計および目違い計を設置した。なお、計測はKセグメントのみに実施したが、これは事前の目視による挙動観察においてKセグメントの挙動が大きく、割れや欠け、あるいはひび割れは、図-4に示すように、Kセグメントあるいはそれに

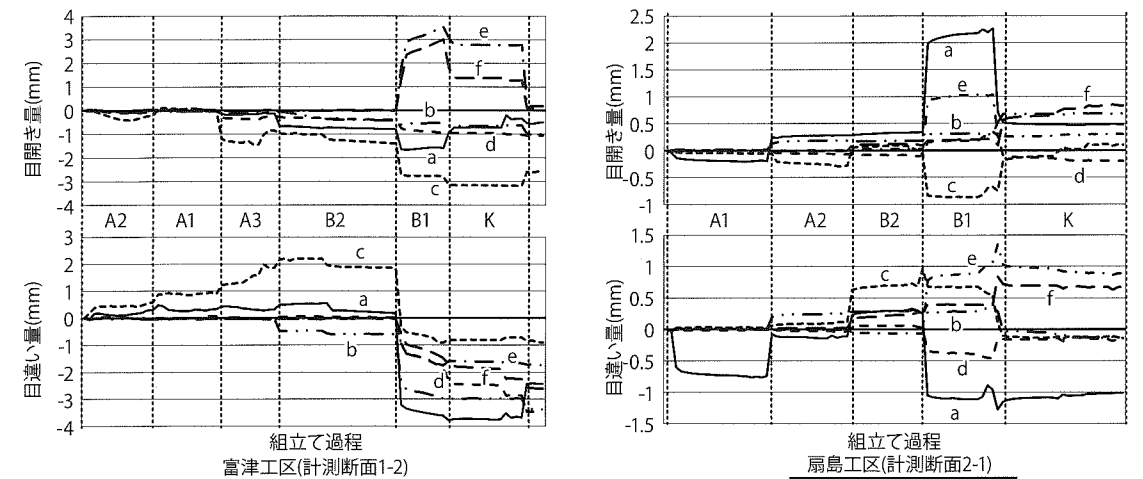
隣接するBセグメントに多く生じていたためである。

2-3 計測結果による挙動の分析

計測結果は両工区とも同様な傾向を示した。とくにKセグメントの計測値の変化が顕著であったのは、計測セグメントがRing 2の位置、つまりRing 1の組立て時であった。図-5にRing 1組立て時の各工区の代表的な計測結果を示す。

図-5より、組立てに応じたジャッキパターンの変化により、計測値も変化をくり返していることがわかる。とくに両工区とも、B1セグメントの組立て時の変化量が大きいことがわかる。この施工ステップでの計測値の変化量を表-3、ジャッキパターンの変化を図-6に示す。

表-3より、ジャッキが引き戻される過程では、測点e、f(扇島工区ではジャッキの引き戻し側である測点eのみ)において、富津工区で2.3~2.9mm、



符号
目開き量 +: 開く方向への変化
目違い量 +: BがKに対して内空側に変位する方向の変化
-: 閉じる方向への変化
-: KがBに対して内空側に変位する方向の変化

図-5 Ring 1組立て時のRing 2位置の計測結果

表-3 計測値の変化量(単位: mm)

施工ステップ	測点	組立て前→ジャッキ引き戻し時						施工ステップ	測点	ジャッキ引き戻し時→ジャッキ押しあて時					
		a	b	c	d	e	f			a	b	c	d	e	f
富津	目開き量	-1.4	-0.4	-0.9	-0.1	2.3	2.9	扇島	目開き量	-0.3	0.0	0.7	-0.1	-1.2	-0.5
	目違い量	-2.4	-1.3	-3.5	-2.1	-0.9	-1.3		目違い量	-0.1	0.4	0.2	0.0	0.2	-0.2
扇島	目開き量	1.7	0.2	-0.8	0.3	0.9	0.1	富津	目開き量	-1.8	0.3	0.6	-0.4	-0.6	0.4
	目違い量	-1.4	0.0	-0.1	-0.3	0.8	0.1		目違い量	0.1	-0.3	-0.7	0.3	0.0	0.3

測点、符号は図-5に示すとおり

扇島工区で0.9mmの目開き量を生じることがわかる。また、測点a～dは、すべてKセグメントがBセグメントに対して内空側に変位し、とくに切羽側の測点a, cは、坑口側の測点b, dに対して(扇島工区ではジャッキの引き戻し側である測点aとbの対比のみ)、1mm以上大きく内空側に変位し、目開き量を生じていることがわかる。

一方、ジャッキが押しあてられる過程では、測

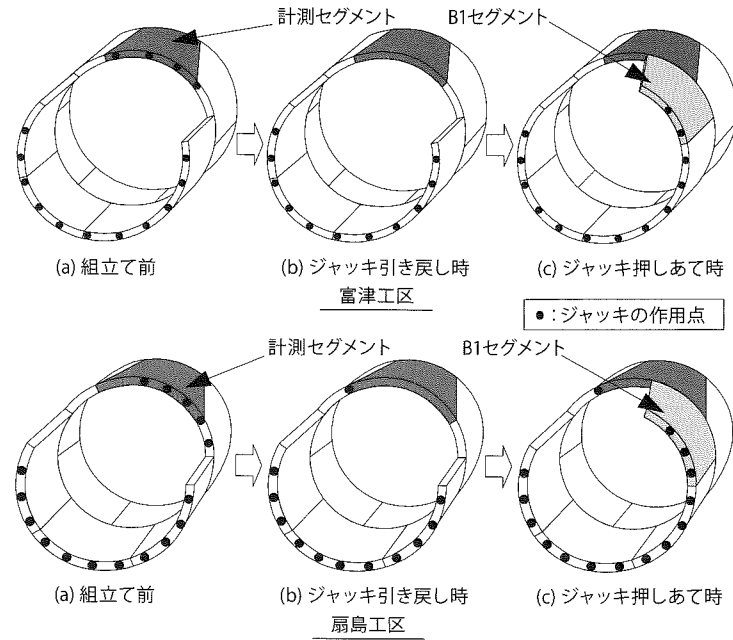


図-6 ジャッキパターンの変化

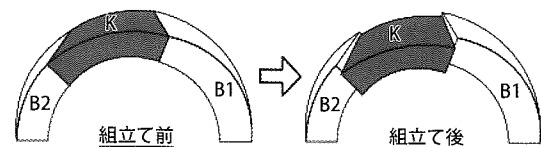


図-7 Kセグメントの出来形の変化

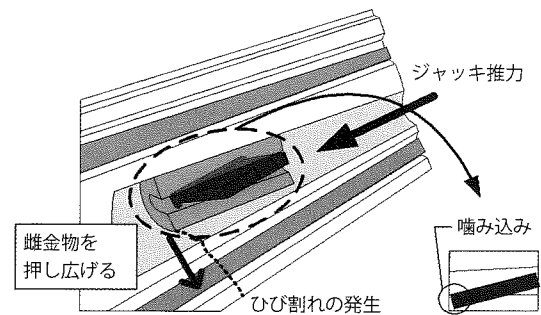


図-8 セグメント継手から生じるひび割れ

定e, f(扇島工区ではeのみ)の目開き量は、富津工区で0.5～1.2mm, 扇島工区で0.6mmほど戻すが、その値はジャッキ引き戻し時に生じた値の半分程度である。また、測点a～d(扇島工区では測点aとbのみ)で発生していた目開き量はほとんど変化していないことがわかる。

以上より、B1セグメント組立て終了時には、図-7に示すように、Kセグメントは切羽側に押し出され、かつBセグメントに対してとくに切羽側で内空側に変位した出来形になることがわかった。

2-4 損傷の原因

図-4に示した各損傷の原因について分析する。

図-7に示した目違いにより、KセグメントとBセグメントの鋭角部は点接触になる可能性が高く、この状態でジャッキ推力が作用することで、損傷A, B, Cが発生するものと考えられる。

また、損傷Dも同様に説明できる。図-8に示すように、Kセグメントの目違いに伴い、リング継手は雌金物に雄金物が噛み込むような状態になる。この状態でジャッキ推力が作用すると、雌金物が押

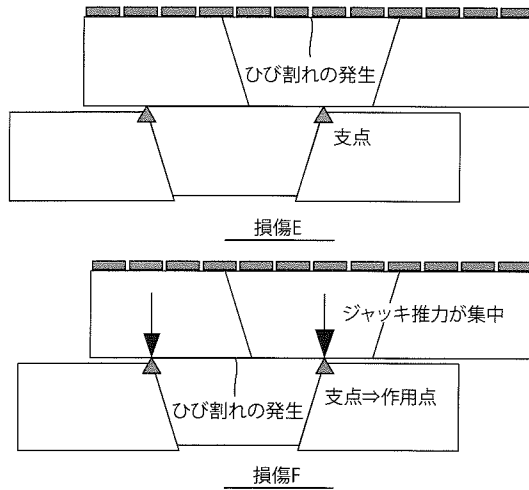


図-9 Kセグメントの支点とひび割れ

し広げられることでひび割れが生じるものと考えられる。

さらに、図-7の出来形により新たに組み立てられたセグメント(Ring 1)との間には、図-9に示すように支点が生じることになる。この状態でRing 1にジャッキ推力が作用すると、支点の反対に位置するRing 1のKセグメントからひび割れ(損傷E)が発生する。また、Ring 2では支点が作用点となることで、作用点の中央部からひび割れ(損傷F)が生じるものと考えられる。

以上のことから、観察された損傷は、発生部位や発生時期は異なるものの、その原因は図-7に示した挙動に影響されるものと考えられる。

2-5 損傷の対策

図-7に示す挙動のメカニズムは、施工時荷重の作用力および作用方向から説明できる。

図-10に示すように、ジャッキが引き戻されると、Kセグメントにはシール材の反発力と自重が作用する。この作用に対し抵抗する継手は、シール材を封入しておくほどの締結力を保有せず、とくにセグメント継手はトンネル軸方向に無拘束な形状であるため、Kセグメントは切羽側に押し出され、目開きが生じる。さらに、目開きが生じたことで、自重により内空側に落ち込むが、Kセグメントの重心は切羽側に位置するため、切羽側より大きな目開きを生じることになる。一方、ジャッキを押しあてた際には、その作用方向と一致する目開き量はもとの戻る傾向にあるが、目開き量は作用方向が一致しないため、変位が残留することになる。

以上のように、シール材の反発力を確実に封入しておくことが、ジャッキの引き戻し時のKセグメントの挙動を抑制するには重要となる。つまり、継手の締結力やKセグメントの形状とジャッキ

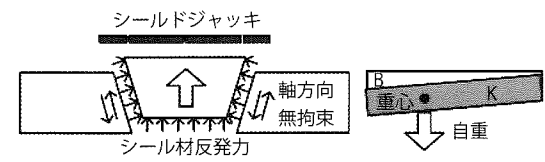


図-10 Kセグメントに作用する施工時荷重

パターンの組合せなどを総合的に評価することが有効な対策と考えられる。

3 解析結果にもとづく損傷の原因と対策

前節では、実現場のセグメントの形状およびジャッキパターンでの一例から損傷の原因と対策を考察した。

ここでは、とくにKセグメントの形状の違いにより潜在的に損傷する可能性が高い状態を解析的に評価し、その対策について考察する。

3-1 解析モデル

3-1-1 解析範囲および境界条件

セグメントの挙動計測によると、マシンテールを脱出し地山の拘束を受けると、挙動は収束する結果であった。そこで、解析範囲は図-2と同様に4リングとした。なお、Ring 4の坑口側は完全な固定条件として境界条件を設定した。

3-1-2 作用

Ring 4には土水圧、Ring 3にはテールシールの拘束力、およびRing 2, Ring 1にはジャッキ推力を作用させた。自重はすべてのセグメントで考慮した。ここで、土水圧およびテールシールの拘束力は、計測断面2-2で実施された土圧計測結果⁴⁾から、セグメントの幅方向の等分布荷重としてトンネル半径方向に0.5MPaとした。また、ジャッキ推力およびその作用点は、解析パラメータであり、そのパターンの一例は後述する表-6に示すとおりである。

3-1-3 構造モデル

構造モデルは図-11に示すとおりである。なお、継手面にはセグメント間の力の伝達を考慮するために、ジョイント要素としてノーテンションのばね要素を設定した。表-4は各要素の物性値を示したものである。

3-1-4 解析ケースの設定

Kセグメントの形状の違いを解析ケースとし、表-5のように設定した。なお、内径、幅、厚さ、および継手形式は扇島工区と同じとし、実際に施工可能と考えられる形状を設定したものである。

表-4 各要素の物性値

部	材	コンクリート				
ヤ	ン	グ	率 (kN/m ²)	4.5 × 10 ⁷		
ポ	ア	ソ	ン	比	0.17	
単	位	体	積	重	量 (kN/m ³)	26
部	材	リング継手	セグメント継手			
ば	ね	定	数	軸方向直ばね (kN/m)	1.5 × 10 ⁵	0
				直角方向回転ばね (kNm/rad)	0	0
				周方向直ばね (kN/m)	9.8 × 10 ⁴	1.0 × 10 ⁵
				周方向回転ばね (kNm/rad)	0	1.0 × 10 ³
				半径方向直ばね (kN/m)	9.8 × 10 ⁴	4.5 × 10 ⁵
半径方向回転ばね (kNm/rad)	0	0				
部	材	継手面				
ば	ね	定	数	圧縮時 (kN/m)	1.0 × 10 ⁵	
				引張時 (kN/m)	0	

継手のばね定数は実験結果による

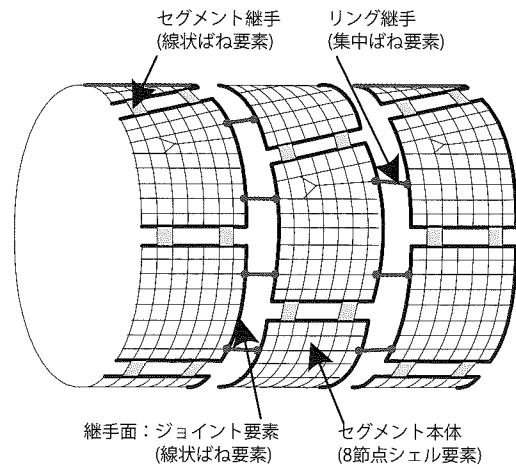


図-11 モデルの概念図

表-5 解析ケースの設定

解析ケース	1	2	3	4	5
分割数	等5分割	等5分割	等6分割	等5分割	等5分割
エレクター挿入代	500mm相当	500mm相当	500mm相当	800mm相当	800mm相当
平面投影した挿入角	11.9°	11.9°	11.9°	8.0°	8.0°
弧長 (切羽側)	2,276mm	2,023mm	1,939mm	2,192mm	839mm
弧長 (坑口側)	1,770mm	1,517mm	1,433mm	1,855mm	717mm

表-6 施工ステップごとのジャッキの作用点および作用力(解析ケース1の場合)

施工ステップ	1	2	3	4	5	
	Ring1掘進時	A1セグメント組立て		A2セグメント組立て		
作用点						
推力	415.0kN/本	442.9kN/本	326.3kN/本	442.9kN/本	310.0kN/本	
施工ステップ	6	7	8	9	10	11
	B1セグメント組立て		B2セグメント組立て		Kセグメント組立て	
作用点						
推力	476.9kN/本	364.7kN/本	516.7kN/本	413.3kN/本	442.9kN/本	310.0kN/本

※ ●: ジャッキ作用点

3-1-5 解析上の施工ステップ

解析を実施した施工ステップは、図-2に示したRing1の掘進時の1ステップと、ジャッキの押し引きを考慮した組立て時の10ステップとした。表-6は解析ケース1における施工ステップごとのジャッキ推力およびその作用点を示したものである。その他の解析ケースについても、表-6と同様に施工ステップごとのジャッキ推力およびその作用点を設定している。

3-2 解析結果にもとづく損傷の可能性

解析ケースの違いが顕著に現れた施工ステップのひとつとして、A1セグメント組立てジャッキ引き戻し時(施工ステップ2)を代表して説明する。

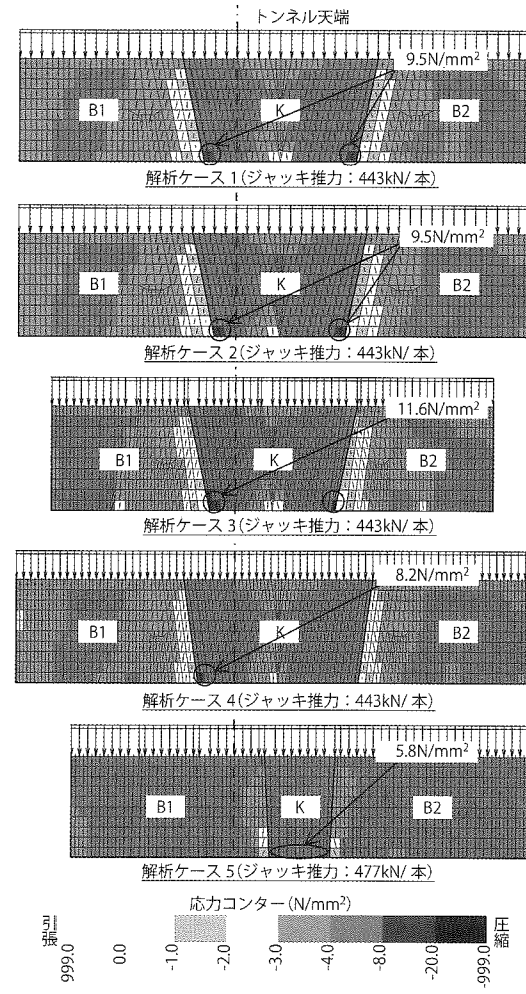


図-12 Ring 2での内空側の圧縮応力度分布

図-12,13は、Ring 2のセグメント内空側に作用する圧縮応力度と引張応力度の分布を解析ケースごとに示したものである。

図-12より、Kセグメントの坑口側の隅角部では、挿入角が等しい解析ケース1~3では応力集中がみられ、挿入角を小さくした解析ケース4,5では応力集中が緩和していることがわかる。また、隣接するBセグメントの隅角部では、解析ケース1~3では応力度が小さく、解析ケース4,5では大きくなっている。つまり、解析ケース1~3では、Kセグメントの隅角部では応力集中しやすい状態にある一方、隣接するBセグメントの隅角部は力の拘束がなく挙動しやすい状態と考えられ、

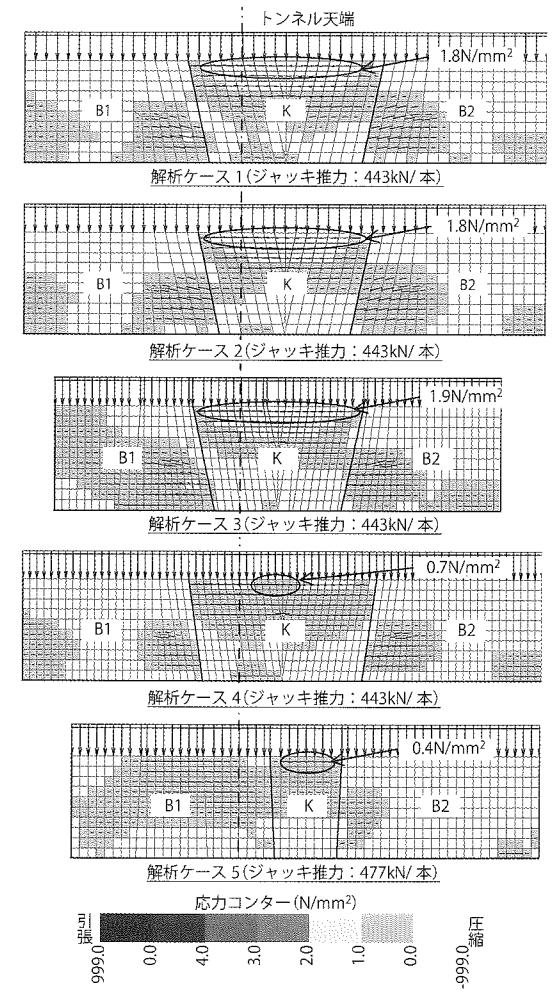


図-13 Ring 2での内空側の引張応力度分布

結果として、ジャッキ推力の作用により点接触により割れや欠けが生じやすい状態があるものと推察できる。

図-13より、Kセグメントの切羽側では、解析ケース1~3ではトンネル周方向に引張応力度が集中し、解析ケース4,5ではその引張応力度が緩和されていることがわかる。なお、解析ケースによらず、セグメントの地山側にはこのような応力集中はみられなかった。つまり、解析ケース1~3では、ジャッキ推力の作用によりKセグメントの切羽側の中央部の内空側にはトンネル軸方向のひび割れが生じやすい状態があるものと推察できる。

以上より、損傷の可能性は、Kセグメントの挿入角の大きさに強く影響されることがわかる。

3-3 損傷の可能性の原因

3-3-1 K・Bセグメント隅角部の割れや欠け

図-14は図-12で示した応力状態におけるKセグメントとBセグメントとの間のジョイント要素の状態を示したものである。ここで、ジョイント要素が有効な状態は圧縮側のばねが作用しセグメント間の力の伝達がある場合を示し、無効な状態は圧縮側のばねが作用せず力の伝達がない場合を示すものとした。

図-14より、解析ケースによらず、継手面のジョイント要素はほとんどが無効となっている。すなわち、ジャッキ推力が作用することで、継手面は目開きを生じ、それぞれのセグメントが単体で挙動している状態といえる。このことから、図-12に示したように、KセグメントからBセグメントへ圧縮応力度が伝播されていないことが説明できる。ただし、解析ケース4,5では、結果として、Bセグメント単体でジャッキ推力により作用する圧縮応力度がその鋭角部まで伝播される形状であったといえる。

3-3-2 Kセグメント切羽側のひび割れ

図-15は図-13で示した応力状態におけるKセグメントの外周節点のトンネル軸方向とトンネル周方向の平面による変位図を示したもので、図-16は切羽側の節点におけるトンネル半径方向の

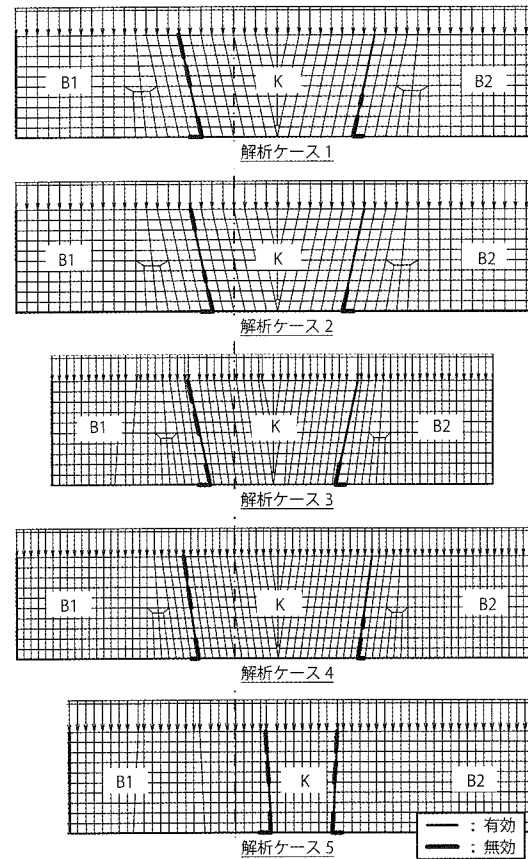


図-14 ジョイント要素の状態

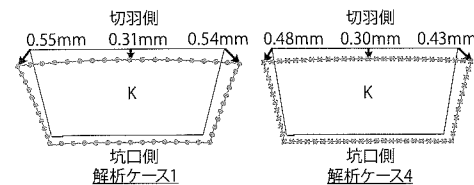


図-15 外周節点におけるトンネル軸方向-周方向平面の合成変位量

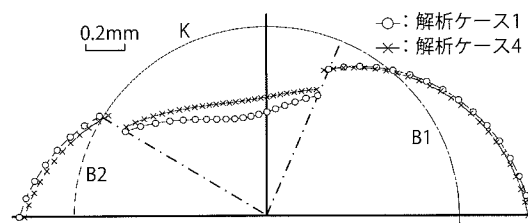


図-16 切羽側節点のトンネル半径方向の変位図を示したものである。

なお、両図ともに挿入角の違いによる結果を比較するために、分割形状がほぼ等しく、かつ

ジャッキ推力と作用位置が等しい解析ケース1および解析ケース4を代表して示している。

図-15より、切羽側の中央部の節点では両解析ケースの変位量はほぼ等しいが、両端部の節点では解析ケース1の方が大きくなっている。これは、図-14に示したように、ジョイント要素がほぼ無効な状態になっていることから、Kセグメントの両端部に作用するジャッキ推力をBセグメント側に伝播することができないため、当該部に発生する変位量が大きくなるものと考えられ、挿入角が大きくなるほどその影響が顕著になるものと考えられる。

また、図-16より、Kセグメントは自重の影響により内空側に変位するが、とくに解析ケース1では、中央部で局所的に大きな変位を生じていることがわかる。これは、前述したKセグメントの両端部の節点におけるトンネル周方向への変位が影響しているものと考えられ、挿入角が大きい場合には、Kセグメントの切羽側の中央部ではトンネル周方向に面外方向の曲げが大きく作用することが原因と考えられる。

3-4 損傷の対策

3-4-1 挿入角の大きさ

Kセグメントの挿入角の大きさが損傷の可能性に大きく影響することがわかった。ここでは、挿入角の大きさをどの程度にすることが望ましいかを考察する。

ジャッキ推力に対してコンクリートのポアソン比により発生するトンネル周方向の引張応力度は、解析ケース1~4では 0.66N/mm^2 、解析ケース5では 0.7N/mm^2 となる。

この応力度と図-14の応力コンターを比較すると、解析ケース1~3ではポアソン比により生じる応力度を超える引張応力度が生じていることがわかる。つまり、Kセグメントの挿入角は 8° 程度以下にすることが望ましいといえ、この場合には、ジャッキ推力に対してポアソン比により発生する

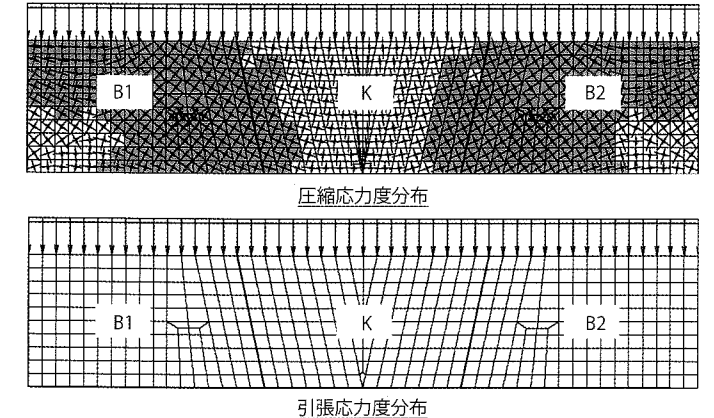


図-17 リング効果作用時の応力度分布

トンネル周方向の引張応力度を設計時に確認すれば良いことになる。

3-4-2 リング効果の作用

セグメント間の力の伝達や変形の拘束を与える方策を、ここではリング効果として定義し、リング効果の作用による損傷の対策効果について考察する。

リング効果を確認するために、セグメントの地山側にトンネル半径方向の外圧(0.5MPa)をセグメント幅全体に作用させ、施工ステップ2の状態を解析した。

その結果、図-17に示すように、図-12, 13に示した損傷を与える可能性が高い応力状態を抑制できることがわかった。つまり、トンネル周方向に軸力を発生させるような施工上の工夫、たとえばシールドテール内に埋め込まれたリングサポート機構⁹⁾などが有効な対策と考えられる。

4 まとめ

本研究から得られた知見は以下のとおりである。

- ① Kセグメントは組立てのためにジャッキが引き戻されると大きく挙動し、損傷を誘発する原因になる。これを抑制するには、継手の締結力、Kセグメントの形状とジャッキパターンの組合せなどを総合的に評価する必要がある。
- ② Kセグメントの挿入角が大きいほど損傷の可能性が高くなる。これを抑制するには、挿

入角を8°程度以下にするか、トンネル周方向の軸力が導入可能な施工上の工夫などが有効となる。

5 おわりに

本検討では、内径3.0m、深度50m程度のトンネルを対象に検討を行ったものではあるが、施工時にセグメントが損傷する原因とその対策のひとつの考え方を示すことができた。とくに、損傷を抑制するには、施工計画を含めた総合的な検討が必要であり、設計者と施工計画の立案者の連携が非常に重要になることを示唆することができた。本検討の成果が、今後の大深度シールドのセグメント設計の一助になれば幸いである。

最後に、本稿の内容は小泉淳・早稲田大学教授のご指導のもと学位論文⁶⁾としてまとめたものの一歩である。ここに、小泉教授をはじめとする関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 齊藤仁・黒崎秀・高橋晃・竹内友章・小泉淳：大深度シールドトンネルにおける施工時荷重作用時に発生するセグメントの損傷の原因，土木学会論文集F, Vol.63, No.2, pp.200-211, 2007.6.
- 2) 齊藤仁・黒崎秀・高橋晃・竹内友章・小泉淳：大深度シールドトンネルにおける施工時荷重作用時のセグメントの損傷抑制策に関する提案，土木学会論文集F, Vol.64, No.2, pp.173-184, 2008.6.
- 3) 佐藤東洋司・金森研二・齊藤仁・神崎正：シールドトンネルにおける掘進組立同時施工の実用化，第10回ロボットシンポジウム論文集, pp.415-420, 2004.
- 4) 齊藤仁・中島崇・竹林基・白井伸一：東京湾海底下七号地層におけるセグメントの荷重計測結果について，土木学会第60回年次学術講演会, pp.219-220, 2005.9.
- 5) 富所達哉・権守英樹・中川雅由・服部佳文：海底シールドの覆工設計，トンネルと地下, Vol.37, No.7, pp.18-25, 2006.7.
- 6) 齊藤仁：大深度シールドトンネルにおける施工時荷重作用時のセグメントの損傷に関する研究，早稲田大学学位論文, 2013.

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

1. 原稿は弊社ホームページ(<http://www.tunnel.ne.jp>)に掲載されている投稿規定により執筆して頂きます。
 2. 原稿のボリュームは、原則として刷上がりで8頁以内とします(図・表・写真含む)。
 3. 原稿掲載の採否は、本誌編集委員会で審査のうえ決定します。
 4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
 5. 原稿は、原則として返却いたしません。
(注：「現場だより」の投稿は受け付けておりません)
- 送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888(代)

連載講座

トンネル新技術への挑戦(18)

一小断面シールドによる大断面トンネルの分割構築—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会

1 はじめに

シールド工法によるトンネル構築においては、一般に円形断面が用いられることが多いが、近年トンネル構造物の大断面化に伴い、トンネル断面を多心円形(例えば、3心円形)、楕円形、馬蹄形、多連円形(例えば、三連円形)、矩形などの非円形で施工し、必要以上に断面を大きくせずに掘進、構築を行う工法も見られるようになった。

図-1に最近30年間の非円形シールド実勢の推移を示す。

本稿では、小土かぶり部や地下通路などの近接構造物への影響に配慮するため、非円形シールド工法の中でも、とくにトンネル構造物を小断面シールドで分割して施工する以下の3つの工法について紹介する。

(1) ハーモニカ工法マルチタイプ(大成建設)

大型のボックスカルバートの構築において、躯体の外側を単体の小型シールド掘進機(□2m)で分割して構築したのち、内側を掘削する工法であるハーモニカ工法をさらに進化させ、矩形掘進機を複数台縦横自在に組み合わせる掘削し、急速施工と低コスト化を図った工法である。

(2) R-SWING(鹿島建設)

都市部の地下立体交差や地下連絡通路などの構築において、ユニット化および汎用性を高めた矩形(四角形)断面の揺動型掘削機を組み合わせ、大型断面まで構築可能な工法である。転活用するこ

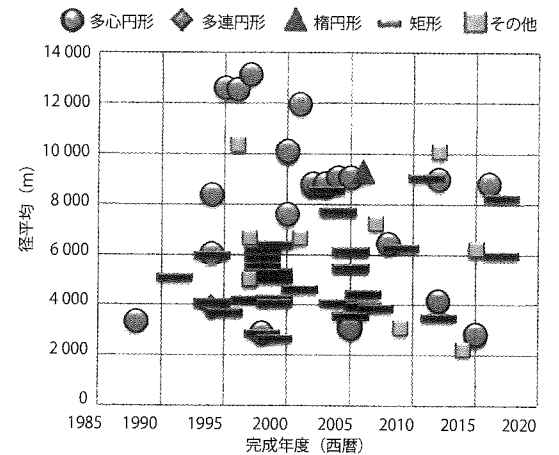


図-1 非円形シールド実勢の推移(注：一部加筆修正・変更)

とで、大幅な工期短縮と工事費の縮減かつ掘削中の安全性を確保した工法である。

(3) 自由断面分割シールド工法(大林組)

断面形状・線形が複雑に変化するトンネルを、地表面への影響や環境負荷を低減しながら非開削で施工することを目的に開発された工法である。まず、トンネル構造物を包含するように小さく分割した複数の先行シールドトンネルを施工する。次に、先行シールドトンネル間を切り開き、構造物を構築する。最後に先行シールドトンネルに囲まれた部分の地山を掘削し、トンネルを完成させる。分割した小さな断面をシールド工法にて掘削することで、周辺地盤への影響を低減できるとともに、必要な構造物部分のみを掘削するため、発生土量を低減できる。

② ハーモニカ工法マルチタイプ

2-1 はじめに

ボックスカルバートを非開削で施工する場合、マルチ・マイクロ・シールドトンネル工法(以後「MMST工法」(図-2))や大断面分割シールド工法(ハーモニカ工法(図-3))が存在する。MMST工法では躯体の外殻部を先行掘削するため、縦型シールドと横型シールドの最低2台の掘進機械が必要となり、機械設備費用が高価となっていた。また、ハーモニカ工法は、単一断面で分割掘削するため、大断面のボックスカルバートを構築する際には小断面トンネルの掘削回数が増加し、工程ならびに工事価格の増大が懸念されていた。ハーモニカ工法マルチタイプは、ハーモニカ工法をさらに進化させた工法であり、 $\square 2\text{m}$ の矩形掘進機を単体、もしくは複数台を縦横自在に組み合わせで掘削することを可能とした工法である。

2-2 開発の背景と経緯

2-2-1 それまでの状況

ハーモニカ工法は構築する断面形状に合わせて小断面トンネルを単一な断面で分割掘削するが、施工箇所ごとに構築断面が異なるため、そのたびに掘進機を製作する必要がある、工事価格の増大が難点であった。

2-2-2 開発への取組み

従来のハーモニカ工法施工実績より、 $\square 4\text{m}$ 程度の掘進機械が主流であることから、転用ならびに組合せを考慮すると、ベースとなる単体寸法は $\square 2\text{m}$ が最適であると判断した。また、従来の掘削機構はカッタに回転式または揺動式を採用し、4隅の部分にコーナーカッタを設け矩形断面に近い形状を掘削していたが、未切削部の発生が余儀なくされていたため、硬質地盤では掘進時の推力上昇も懸念されていた。ハーモニカ工法マルチタイプでは、あらゆる地盤での転用性を考慮し、カッタの駆動はルーローの三角形の定理を利用した掘削機構を採用したため、略正方形のカッタ軌跡が描け、コピーカッタを装備することで必要断面を確実に掘削できるため、組合せ使用した場合

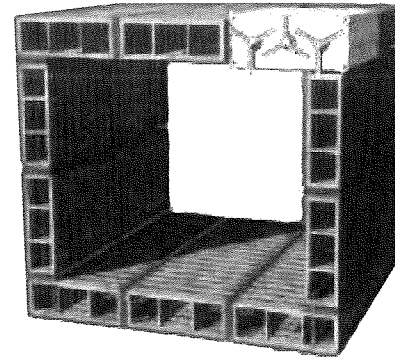


図-2 MMST工法

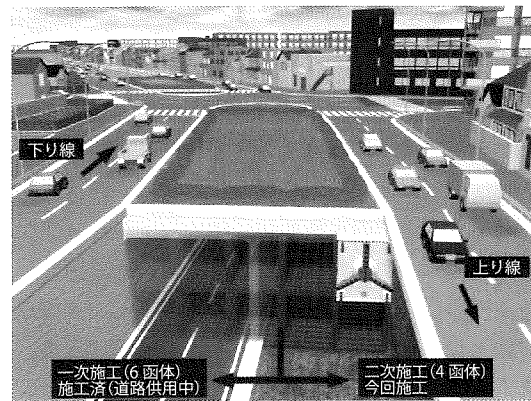


図-3 ハーモニカ工法

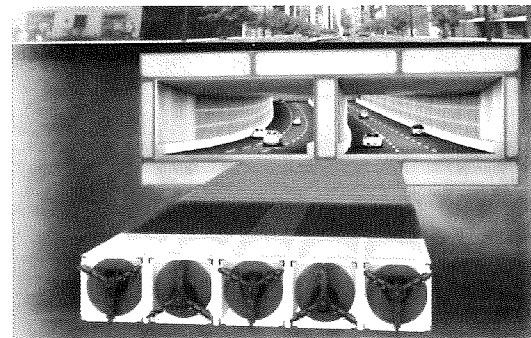


図-4 ハーモニカ工法マルチタイプ

にも未切削部を発生させないのが特徴である。また、組合せは上下左右方向に連結ピンで連結する方式を採用し、すべて同一の掘削機械にすることで、製作時の工場での管理や、使用時における予備品の転用の容易性を図った。

2-3 開発の成果と実績

2-3-1 開発の成果

本工法のマシンは、ルーローの三角形の定理を

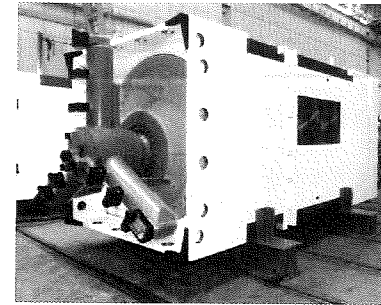


写真-1 $\square 2\text{m} \times 2\text{m}$ 小型掘進機

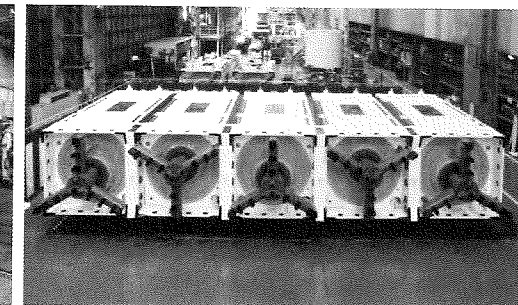


写真-2 横5連結掘進機

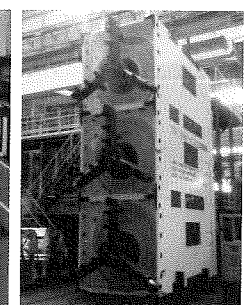


写真-3 縦3連結掘進機

利用した掘削機構を採用したことから、矩形断面に対して未切削部分をなくした掘削ができ、コピーカッタを装備することで姿勢制御に必要なオーバーカットが可能となった。

さらに、ハーモニカ工法のように施工箇所ごとにマシンを製作する必要はなく、必要掘削断面に合わせた組合せでのマシン転用を可能にした。また、 $\square 2\text{m}$ の単体マシンは $\square 2.4\text{m}$ までの掘削断面に対応が可能であることから、マシンを複数連結する際にも間隙を設けることで、施工箇所ごとの構築断面に合わせた組合せを可能とし適用範囲を向上させた。

2-3-2 圏央道桶川北本地区函渠工事での施工実績(1) 工事概要

組合せ自由な $\square 2\text{m}$ の小型マシンを工場では8基製作し、掘削断面に合わせて割り当てた。本工事では、中央を5基連結の基準函とし横 10m ×縦 2m の矩形トンネルを掘削した。その後、両サイドを4基連結として横 8m ×縦 2m の掘進機を両側の立坑から同時に掘削した。函体の側壁部は小型マシンを縦に3基連結して、横 2m ×縦 6m とし両側の立坑から同時に掘削した。底版は頂版と同じく5基連結と4基連結掘進機の組合せでトンネルを掘削し、閉合させた²⁾。

頂版・底版・側壁それぞれ3本、計9本のトンネルを掘削したのちに、隣接する鋼殻の接続部および躯体部の鉄筋を組み立て、自己充填型の高流動コンクリートを打設した。躯体部のコンクリートが十分な強度を発現したあとに、バックホウによって函体の内部を掘削し、トンネルを完成させた。この掘削土は建設発生土として取り扱われ、

STEP 1 頂版中央部(U1)掘進	STEP 2 頂版側部(U2, U3)掘進
STEP 3 側壁・中壁(M1, M3)掘進	STEP 4 側壁・底版中央部(M2, B3)掘進
STEP 5 底版側部(B2, B3)掘進	STEP 6 不要鋼材撤去・接続鉄筋配筋
STEP 7 鋼殻内部コンクリート打設	STEP 8 内部掘削

図-5 ハーモニカ施工ステップ図

従来のハーモニカ工法のように、すべての掘削土が建設汚泥とはならないため環境への負荷の低減にも寄与した。

(2) 最終出来形

組み合わせた掘進機が長細いため、横型では左右両端のマシンを、縦型では上下のマシンを、リ



写真-4 U1掘進機到達状況



写真-5 国道17号トンネル完成

アルタイムで測量し、推進を行った。その結果、基準函の推進精度は、 $\pm 30\text{mm}$ 以内を確保して掘削でき、後続函は基準函に沿って掘進をした結果、最終形として完全閉合することができた。

2-4 残された課題(長距離化)

推進工事はシールド工と違い、鋼殻および掘進機を元押しジャッキにより押し出すため、掘進距離が長くなるにつれ推力が大幅に上昇していく。本工事は大断面掘削を目的に多連掘進機を製作しているが、周面摩擦力による推力上昇が顕著に表れた。今後、長距離という条件に柔軟に対応する必要がある。

2-5 おわりに

今回の施工によりハーモニカ工法マルチタイプは大断面トンネルにおいて工期短縮・環境負荷の低減に有効であることを確認した。今後、ますます施工条件の厳しい現場が多くなると予測される中、小型マシンを組み合わせ、形状を変えられる

特徴のあるハーモニカ工法マルチタイプの需要が期待される。

③ R-SWING 工法

3-1 はじめに

新設ビルと地下鉄の駅を結ぶ地下連絡通路工事や鉄道・道路を立体交差化するアンダーパス工事のニーズは近年増加傾向にある。そこで今までの施工方法の問題点を解決した非開削工法である「R-SWING(Roof & SWING cutting)工法」を開発した。この工法は掘削機の簡素化・ユニット化およびマシンの汎用性を高めて転活用することで、大幅な工期短縮と工事費の縮減かつ掘削中の安全性の確保を可能にした。

3-2 開発の背景と経緯

3-2-1 それまでの状況

地下連絡通路工事やアンダーパス工事では、短距離の場合は工事費の関係で開削工法が採用されることが多い。しかし、交通規制が多く発生し、工事期間が長期化するなどの課題があった。一方、中距離以上では非開削工法が多く採用されるが、これまで用いられてきた掘削機では工事費全体に占める機械費用の比重が大きくなり、工事費全体を大きくしてしまう課題があった。また、交差点部のような狭隘な場所での持込み・組立て・解体・撤去をスムーズに行うという機動性を本格的に考慮したものいなかった。そのため、これらの準備や撤去に要する時間が掛かり、作業時間に制約のある路上作業では、交通規制期間の長期化という課題を持っていた。

さらに、地下通路やアンダーパス部に必要とされる形状の多くが矩形断面である。これは可能な限り小さい土かぶり条件でトンネルを構築したいという要求から生まれる仕様である。しかし、小土かぶり条件で矩形掘削を行う場合、同じ掘削幅の円形に比べて切羽や地表面への影響が出やすいという難点があった。

3-2-2 開発への取り組み

矩形断面のアンダーパス工事にもっとも適応する泥土圧式トンネル掘削機を開発し、都心の現場

に初適応するため主目的を以下に整理した。

- ・迅速：掘削期間のみならず、マシン投入、組立て、解体・撤去などすべてにわたっての工期短縮。
- ・安全：矩形断面でも切羽や地表面への影響を回避し安全に構築できる機構。
- ・経済的：矩形アンダーパスに特化した要求仕様を満足しつつ、転活用を行うことで工事費の縮減を実現できる機械設備。

3-2-3 開発の経緯

2006(平成18)年秋から開発に着手した。最初はワイパーのように左右に揺動するカッタを使用し、地盤変状抑制のためのルーフの活用を組み合わせ、さらにユニット化した機械ブロックを組み合わせて一式のマシンを組み上げる形状とした。適用地盤条件としては、アンダーパス工事は、比較的深度の浅い場所での条件が多いため、マシンのコストダウンを図るうえで、適用地盤としてのN値は20程度の粘性土・砂層、土かぶりは5~10m程度、地下水は0.1MPa程度と条件を限定した。

また、条件に応じて推進方式と、シールド方式のどちらでも対応できる工法とした。

3-3 開発の成果と実績

3-3-1 開発の成果

(1) 基本構造

図-6に基本型S-SWING機を示す。前後に1.5m伸縮する幅2.3m、高さ0.9mのルーフマシンを上部に、高さ2.7mの本体マシンを下部に配置したものを基本ユニットとした。

掘削はワイパーのように左右に振れる揺動カッタ方式を採用し、揺動する際にセグメントに掛かる反力を打ち消すためにルーフマシン、本体マシンともに幅2.3mのマシンを左右2基セット配置している。ルーフマシン、本体マシンとも必要に応じて上下左右に結合することができる構造になっており、大断面にも適用可能である。

(2) 工法・セグメントの適応性

マシン前方はそのまま、後方の函体受座を変更することで推進工法からシールド工法への対応を可能にした。また、鋼製セグメント、RCセグ

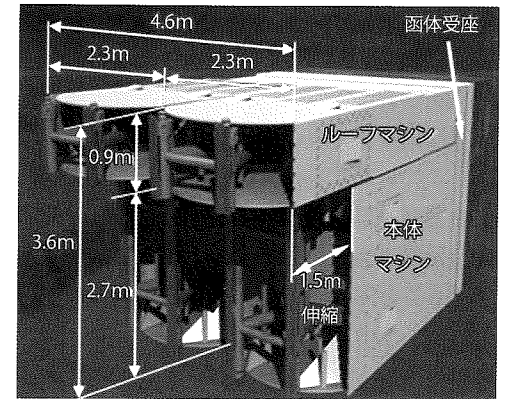
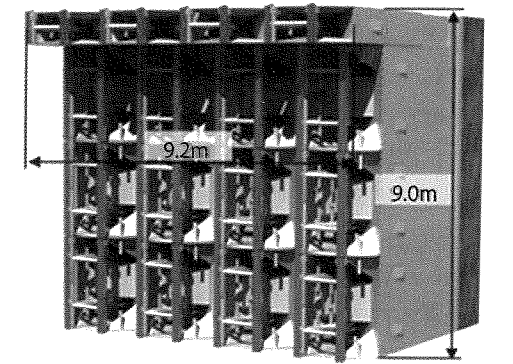


図-6 R-SWING機(基本型)



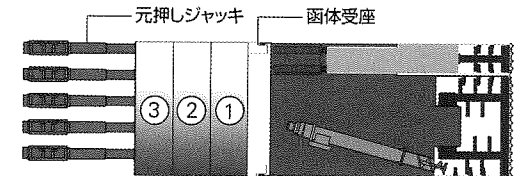
基本型(2×2)



最大拡幅型(4×4)

図-7 R-SWING機適応寸法

推進工法仕様



シールド工法仕様

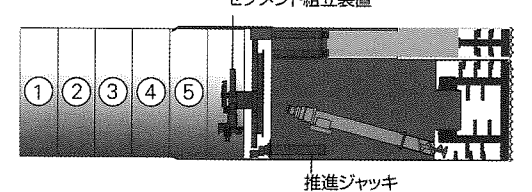


図-8 推進・シールド工法での適用イメージ

ントおよび合成セグメントにも適用でき、曲線施工や縦横断勾配の変化などあらゆる現場状況にも対応可能である。

(3) 地盤変状抑制と前方探査機構

ルーフマシンが先行掘進するため、直上の地盤沈下および隆起抑制に寄与している。さらに障害物などの探査機能としても活用でき、より安全に掘進することが可能である。

(4) マシンのユニット化

揺動カット方式の採用によって掘削機構が簡略化されマシンの製造コストの低減を可能とした。マシンはユニット化され、1つのユニットの幅を2.3mとして、トラックでの運搬を考慮したサイズとなっている。また、すべてのユニット間をボルトでの接合としたことで、溶接作業がほとんど発生せず作業環境に優しいとともに組立て作業期間の短縮に寄与している。さらに、ユニット内の揺動カットなどの可動部位もボルトやピン締結にして取り外せる構造としたことで使用後のメンテナンスを容易にした。

(5) 汎用性の高さ

一般的に矩形トンネルの場合、推進機やシールドはその用途によっては似たような大きさにはなるものの、現場ごとに微妙に幅・高さが異なるため、ほとんど単品生産である。その問題を解消すべく基本型マシンにスペーサなどを挟み込むことで寸法調整を容易にできる機構を持たせた。

(6) コスト

基本型マシンの汎用性を高め、転用することでのマシン費の大幅削減効果を見込んでいる。条件や規模によっては従来タイプのマシンを使用した場合の半額程度に縮減できる。

3-3-2 開発の実績

(1) 新御茶ノ水駅連絡出入口工事概要

本工事は地下鉄駅とビル地下部を地下連絡通路で接続する工事である。現場周辺では、日中の交通量や人出が多く、周辺住民への配慮から振動・騒音の低減が必要な場所での施工であった。

トンネル内空寸法：幅4.45m×高さ3.2m

掘削距離： $L = 26.5\text{m}$

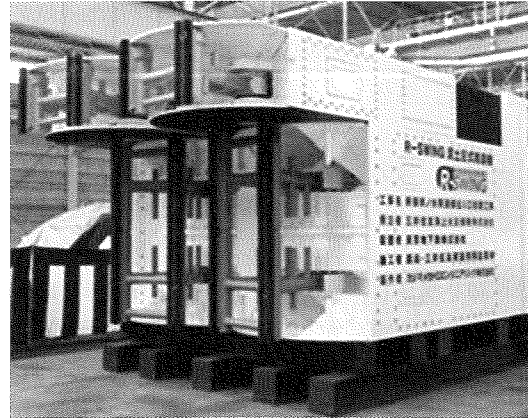


写真-6 R-SWING機全景(御茶ノ水)

平面線形：直線
 縦断線形：水平
 掘削土層：細砂礫混じり砂層
 地下水位以上
 N 値：3～20程度

推進機の形状は、幅がマシン中央部に120mm、側面に65mmのスペーサを配置して調整を行った。排土は、スクリーコンベヤを本体マシンに2基、ルーフマシンに1基装備した。

掘進は掘進時の適切な土圧管理とマシンの姿勢制御により、セグメント出来形および地表面変状も管理値以内に収まり、おおむね5～10mm/minという速度で掘進した。

(2) 日比谷連絡通路土木工事概要

本工事は、地下鉄のバリアフリールートと乗換えルートを整備する工事である。

トンネル内空寸法：幅6.55m×高さ3.575m

掘削距離： $L = 42\text{m}$

平面線形：直線

縦断線形：水平

掘削土層：軟弱シルト層

地下水位以下

N 値：1程度

推進機は前回工事で使用したマシンを一部使用し、ルーフマシン3機と本体マシン3機の各ユニットを組み合わせて一体化することにより、幅7.25m、高さ4.275mの断面を一度に構築できる泥土圧式推進機とした。

3-5 おわりに

都市部での地下通路工事やアンダーパス工事に適合する工法としてR-SWING工法の概要、施工事例などを紹介した。今後、都市地下開発はますます複雑化し、更なる高度な品質や安全性かつ低コスト化が求められてくると予測されるため、本工法への要望が増加すると考える。本稿が非開削工法の適切な選択の一助になれば幸いである。

④ 自由断面分割シールド工法

4-1 はじめに

自由断面分割シールド工法は、構造物の断面を複数に分割し、掘削断面を小さくした先行シールドトンネルを用いて大断面のトンネル構造物を構築する工法である。断面形状・線形が複雑に変化するトンネル施工に対し、小断面の先行シールドトンネルの配置を自在に変えながら、建築限界に合わせて施工できるため、周辺地盤への影響や掘削土量の発生を低減できる工法である。

4-2 開発の背景と経緯

4-2-1 それまでの状況

従来、アンダーパストンネルを構築する場合には、地表面への影響を低減するため、パイプルーフや鋼製エレメントにて先行して防護または外殻を構築する方法が採用されてきた。しかし、これら既存技術は、曲線施工が困難であり、道路トンネルに適用した場合、平面および縦断線形に対し、一様な向き、もしくは勾配で全区間の建築限界を網羅できるよう断面と線形を設定するため、不経済となる。また、3次元曲線線形に対応するため、断面を一括した全断面シールドで施工した場合には、地表面への影響が生じやすいこと、掘削土がすべて建設汚泥となることおよび延長が短いトンネルではシールド費用が割高となることなど、環境面や経済面で課題があった。

4-2-2 開発への取り組み

前述の環境面や経済面の課題を踏まえ、以下に示すコンセプトをもとに開発を進めた。

- ・地表面への影響を低減できること
- ・断面変化や、平面・縦断曲線を伴う複雑な3

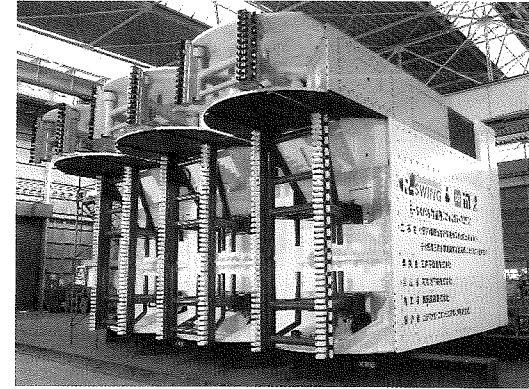


写真-7 R-SWING機全景(日比谷)

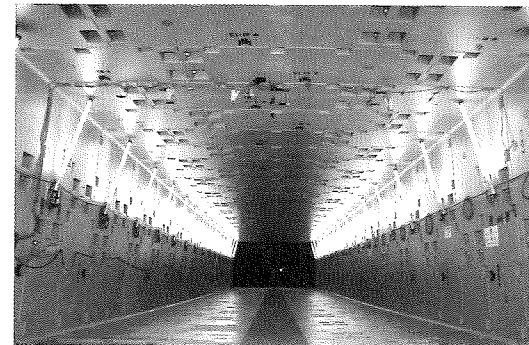


写真-8 トンネル構築完了状況

発進・到達防護部の地盤改良体部の掘進は、事前に切削実験を行い、ピット形状を変更し、一軸圧縮強度が2N/mm²の改良体を問題なく切削・掘進できた。方向制御については、本体右、本体中央が同一方向、本体左と全ルーフが反対方向に揺動させてローリングを抑制した。また、ローリング修正方向に揺動しているときのみ推進するように元押しジャッキを調整した。

今回は、油圧ジャッキとセグメントの間に押輪を設置せず16本の油圧ジャッキを配置し、単独で制御できるシステムにより推進機およびセグメントのバックリング防止やセグメントの組立て精度の向上、初期の方向制御を容易にすることができた。

3-4 残された課題

今後は、単一地盤だけでなく地盤改良体内または地山内でのそれぞれの特色に合わせた方向制御、すなわちピッチング、ヨーイングおよびローリングに対する制御システムの検討が課題となる。

次元線形を有するトンネルに対し、柔軟に対応でき、構造物のコンクリート量やトンネル全体の発生土量を必要最小限にできること
 ・掘削土は、可能な限り建設汚泥ではなく、建設発生土として搬出できること

4-2-3 開発の経緯

本工法は、2008(平成20)年より、本格的な検討を開始した。小土かぶり施工における地表面への影響を低減するとともに、経済的なトンネル断面とするため、トンネル構造物の建築限界に合わせて分割配置し、シールド工法にて掘削する小断面の先行シールドトンネルを用いることとした。また、先行シールドトンネルで囲まれた残りの部分の掘削(内部掘削)は、先行シールドトンネル内の本体構造物完成後に行うことで、掘削時の安全性を確保するとともに、建設汚泥量の低減を図ることとした。先行シールドトンネルは、その内部での本体構造物を構築するための作業空間を確保できる形状・寸法とし、隣接するセグメントの接続が容易な鋼製セグメントとした。さらに、シールドの転用を考慮し、同一の形状・寸法を基本とした。

4-3 開発の成果と実績

4-3-1 高速道路オフランプトンネルへの適用

谷津船橋インターチェンジ工事(発注者：東日本高速道路(株))のオフランプトンネルは、土かぶり約3.6mで東関東自動車道本線をアンダーパスする構造である。トンネルは、延長が約70mの1車線道路断面であり、平面曲線(最小曲線半径 $R = 50m$)と縦断曲線(曲線半径 $R = 790m$, 最大勾配 6%)が複合した3次元線形である。さらに平面線形は、全長が曲線であり、単曲線と緩和曲線で構成されているため、視距の関係より、トンネルの必要内空幅が一定ではない。このような複雑な断面および線形を有するトンネルを自由断面分割シールド工法にて施工した。

4-3-2 施工概要

(1) 施工方法

本工事では、6つの断面に分割した先行シールドトンネルとした。完成した先行シールドトンネルから随時、切開き・接続作業を行い、現場打ちコンクリートにて構造物を構築した。最後に、先行シールドトンネルに囲まれた部分の掘削および内側に残ったセグメントの撤去を行った³⁾。

(2) 断面変化への対応

トンネル内空幅が最大で1.3m変化するトンネル構造に対し、側壁部分に位置する縦型シールドの位置を側壁の位置に合わせた線形とした。これにより、構造物に必要な部分のみの掘削で施工が可能となり、掘削範囲を最小限にできた。このように、先行シールドトンネルの配置を構造物の形

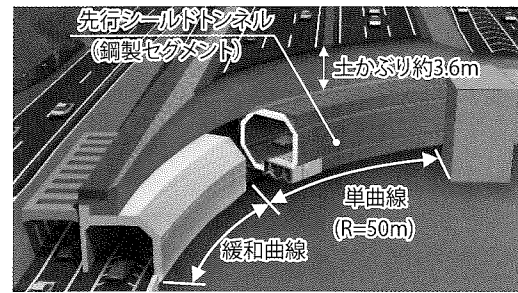


図-9 非開削区間のトンネルイメージ

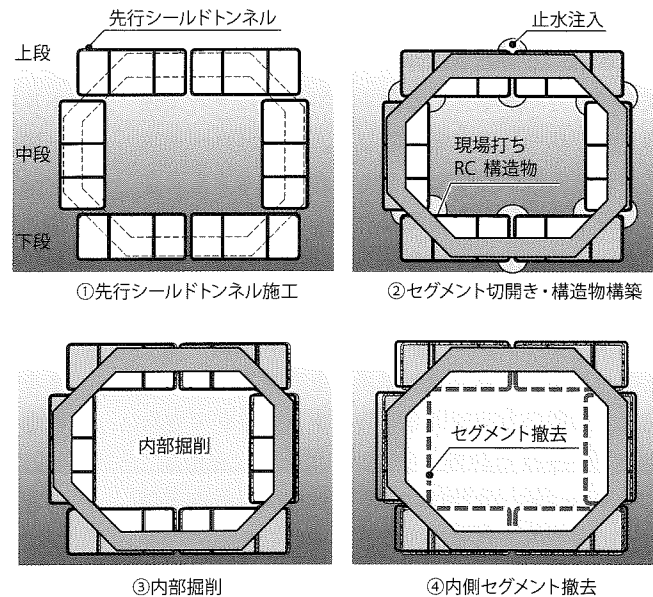


図-10 施工ステップ

状・線形に合わせて決定することで、断面が変化する構造に対しても柔軟に対応できる。

また、構造物の断面形状は、アーチ効果で各部材の曲げモーメントが低減され、合理的な設計が可能な八角形を採用することで、部材厚の薄肉化を図り、トンネル掘削断面を必要最小限に抑えた。

(3) 先行シールド工事

下段および中段シールドは密閉型とし、上段シールドについては、通過地盤に残置された障害物を人力で撤去するため、開放型とした。施工順序は、下段から順に行い、下段シールド施工後、90度回転させ、縦型シールドとした。上段シールドは、中段シールド施工後、前胴部を開放型に改造し、施工した。セグメントは先行シールドトンネル接続時の切断・加工が容易な鋼製セグメントとした⁴⁾。

(4) 躯体構築工事

1) セグメント切開き工

低圧浸透注入(ステップ注入)工法の薬液注入によるセグメント切開き部の止水と地盤強化を行ったあと、セグメントの主桁およびスキムプレートがガス切断により撤去した。その後、切開き部の措置として、土留め・止水用鉄板をセグメントに全周溶接するとともに、鉄板背面にLW材を注入することでセグメント切開きに伴う漏水と地盤変

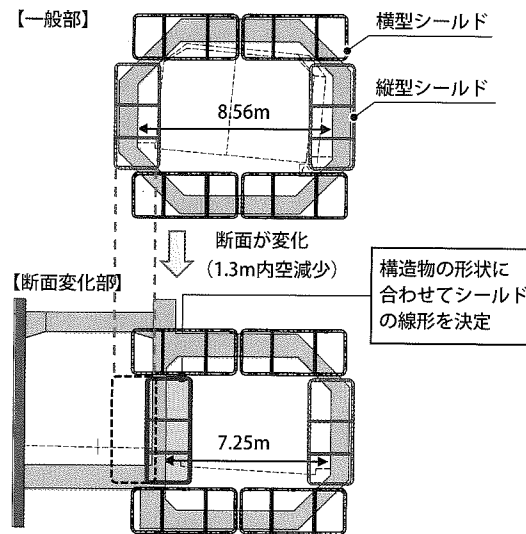


図-11 断面変化への対応

状を防止した⁵⁾。

2) 内部構築工

類似の施工実績と狭小な施工空間における施工性を考慮し、延長方向1ブロックを10mとした7つのブロックに分けた。頂版のコンクリートには、バイブレーターを使用する作業空間がないため、自己充填性を有する高流動コンクリートを採用した。

3) 内部掘削・セグメント撤去工

構造物構築後、汎用のバックホウにて先行シールドトンネルに囲まれた部分の掘削・集土を行った(内部掘削)。内部掘削完了後、上段から順にセグメントを撤去した。工程短縮のため、セグメン

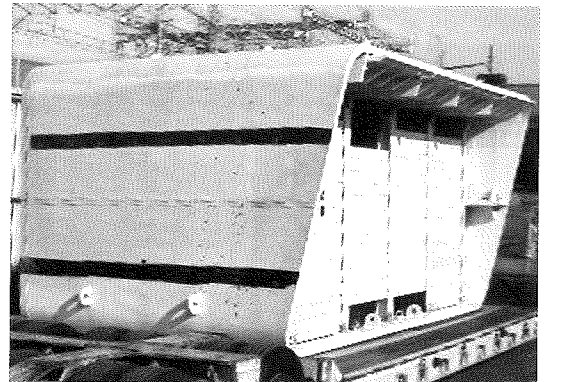
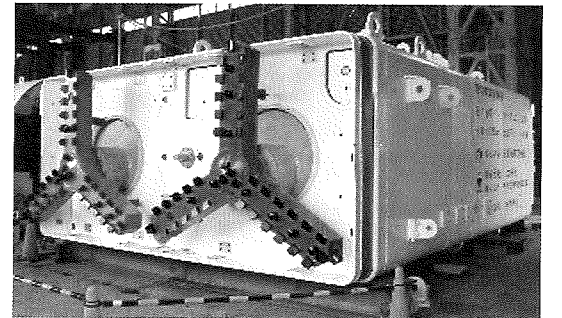


写真-9 シールド(上：密閉型、下：開放型前胴部)

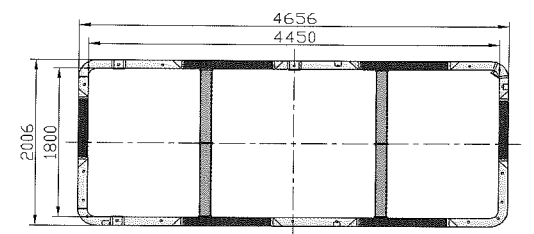


図-12 セグメント構造図

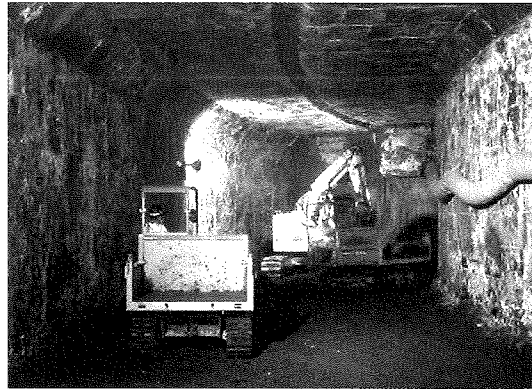


写真-10 内部掘削状況



写真-13 完成トンネル内(一般部)

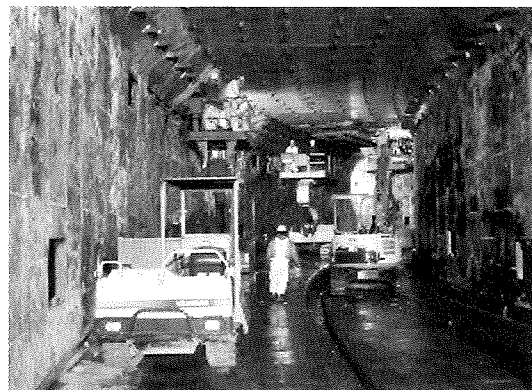


写真-11 セグメント撤去状況

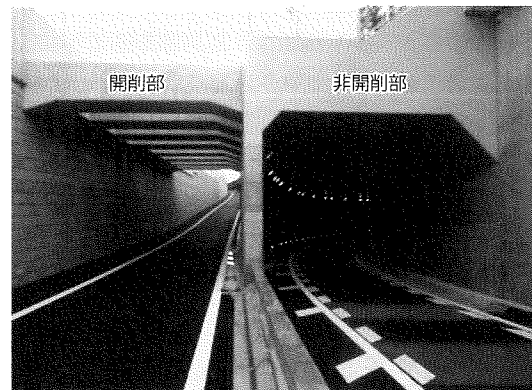


写真-14 完成トンネル坑口(断面変化部)

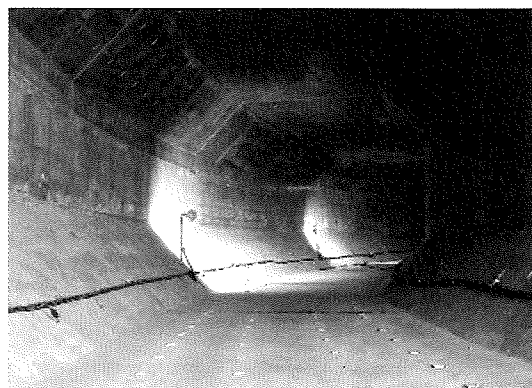


写真-12 施工後のトンネル

トを大分割で撤去できるよう、バックホウにフォーク型のアタッチメントを取り付け、セグメントを掴みながらガス切断を行った。内部掘削時およびセグメント撤去時も、路面変状の発生や、頂版および壁への有害なひび割れは確認されなかった。

4-3-3 施工結果

東関東自動車道の地表面計測として、本線道路脇に高さ12mの観測櫓を設置し、トータルステーションによる24時間自動計測を行った。地表面変位は3mm以下であり、シールド施工から最終工程のセグメント撤去完了まで、高速道路の健全性を確保し安全に施工できた。

4-4 実工事を踏まえた改善点

4-4-1 先行シールドトンネル本体利用

先行シールドトンネルのセグメントは、仮設材として設計している。セグメントの一部を本体利用とすることで、コンクリート量や掘削土を低減できることから、今後、設計手法など確立していく余地がある。

4-4-2 本体構造物のプレキャスト化

現状、先行シールドトンネル内で構築する本体構造物は現場打ちコンクリートによるRC構造で

ある。これをプレキャスト化すれば、省力化・工期短縮に寄与できることから、今後検討していく余地がある。

4-5 おわりに

本工法は、土かぶりの小さいトンネル、断面・線形が複雑に変化するトンネルを地表面への影響を与えることなく確実に施工できる工法である。分割する断面の組合せにより、道路トンネルのみならず、さまざまな断面および線形を有するトンネルへ対応できる工法と考えている。今回の報告が類似の工事の参考になれば幸いである。

(文責：菱田博之・吉富幸雄/大成建設(株)、中村佳大・西岡和則/鹿島建設(株)、日野義嗣・居相好信/(株)大林組)

参考文献

- 1) 日本トンネル技術協会, シールド技術変遷史, pp. 4-38-4-39, 2016.3.
- 2) 菱田博之・山田亨・片桐年弥: ハーモニカ工法マルチタイプの施工実績, 土木学会年次学術講演会, 第71回, VI-363, pp.725-726, 2016.
- 3) 加藤哲・江原豊・宮元克洋・丹下俊彦: 最小土かぶり3.6mで高速道路を横断するトンネルを分割シールドで施工, 東関東自動車道 谷津船橋インターチェンジ, トンネルと地下, Vol.45, No.5, pp.15-23, 2014.5.
- 4) 志農和啓・加藤哲・日野義嗣・村上真也: 高速道路直下における小土被り矩形シールドトンネルの施工について, 第67回土木学会年次学術講演会, VI-160, pp.319-320, 2012.
- 5) 加藤哲・江原豊・丹下俊彦・宮元克洋: 小断面シールドの切開きによる躯体構築施工, 第68回土木学会年次学術講演会, VI-222, pp.443-444, 2013.

図書案内

地下水の科学 一全3巻一

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、地下水の水利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>

工法・技術・製品ニュース

工法 打込まれるコンクリートの品質管理をシステム化



システムの適用事例

安藤ハザマは、計測管理システム開発などを手がけるムーヴの協力のもと、打込まれるコンクリートの品質管理情報をリアルタイムで管理・集計する「コンクリートの打込み管理システム」を開発し、実現場へ適用したと発表した。NETISにも登録(KT-160096-A)済み。

同システムは、打込まれるコンクリートの高さを、レーザー距離計を用いて連続的に自動測定し、1層の高さと打重ね時間間隔を、測定箇所や品質管理者のタブレットに自動表示するシステム。作業中の1層の高さや層数の変更にも自動で対応でき、品質管理担当者の省力化と同時に、品質管理情報の即時的で正確な測定・管理により品質管理の向上を実現できるとしている。

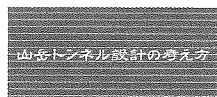
コンクリートの一体性確保には、

コンクリート打込み時の1層の高さ、および下層と上層との打重ね時間間隔の管理が重要で、このため各工事現場では管理台帳を作成して打込みを管理していたが、台帳の作成は手作業が中心であり、機器設置の煩雑さからシステム化は進んでおらず、省力化が課題となっていた。

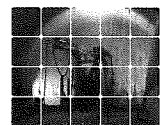
同システムは、タブレット3台、レーザー距離計2台、ルーター1台のみの小規模な構成で、コンクリート中に埋込むセンサーなどの消耗品がなく経済的であるほか、システムの設定は、1人で10分以内に完了するなど導入が容易。品質管理者だけでなく現場の作業員も管理情報を常時確認できるうえ、品質管理情報は正確に集計・保存され、帳票として出力でき、導入による生産性の向上が期待される。

安藤ハザマ CSR推進部
〒107-8658 東京都港区赤坂6-1-20
TEL.03-6234-3606
http://www.ad-hzm.co.jp/

山岳トンネル設計の考え方



今田 徹 著



工口 111

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メジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

一般社団法人

日本トンネル技術協会

会報

1. 会員の現状

	3月31日現在
個人会員	874名
団体会員	203名
推薦会員	208名
特別会員	8名
名誉会員	4名
賛助会員	218名
合計	1,515名

2. 平成28年度第5回理事会

日時：平成29年3月13日(月) 12:00~13:00
場所：一般社団法人日本トンネル技術協会会議室
出席者：理事10名、監事2名、計12名
その他の出席者：5名

議事：

- ①平成29年度定時総会の開催について
平成29年6月6日(火)に決定
- ②平成29年度定時総会議案要綱について
- ③諸規程について

3. 委員会の開催状況(3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(3/1)

小山幸則主査ほか10名、4月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

・海外文献小委員会

海外ニュースWG(3/21)

山口洋介幹事ほか9名、海外文献の査読

計 2回開催 21名出席

②調査研究委員会関係

◎技術委員会

・安全環境小委員会(3/23)

豊澤康男委員長ほか14名、平成28年度報告および29年度計画を検討

・技術委員会(3/24)

西村和夫委員長ほか14名、平成28年度活動報告および平成29年度活動計画を検討

・山岳工法小委員会

支保WG(3/24)

丸山修主査ほか21名、設計施工事例を検討

・都市トンネル小委員会

セグメント実態調査WG(3/28)

守屋洋一副主査ほか10名、実態調査項目を検討

◎受託研究特別委員会

・異高型トンネル耐震性能検討委員会(3/1)

前川宏一委員長ほか24名、実験結果を検討

・青函トンネル検討委員会(3/1)

小島芳之座長ほか28名、調査箇所と調査方法ほかを検討

・九州新幹線(西九州)トンネル検討委員会(3/1,2)

江崎哲郎委員長ほか26名、現地視察および各トンネル施工法の検討

・数値解析マニュアル検討特別委員会幹事会(3/7)

蔣宇静幹事長ほか15名、マニュアル改定方針を検討

・数値解析マニュアル検討特別委員会(3/16)

西村和夫委員長ほか20名、マニュアル改定方針を検討

・北鎌倉隧道安全対策検討委員会(3/16)

澤田正昭委員長ほか28名、保全方針と対策工法を検討

・効率的点検特別委員会・幹事会(3/8)

松岡茂幹事長ほか24名、現地視察、測定状況報告、調査分析結果を検討

・中央アルプストンネル施工技術委員会(3/13,14)

朝倉俊弘委員長ほか64名、設計施工上の課題を検討

計 12回開催 300名出席

合計 14回開催 321名出席

4. 国際会議の開催予定

会 議 名	開 催 日	場 所	主 催 者 等
第43回ITA総会およびコンGRESS 「Surface problems -Underground solutions」	2017. 6. 9~15	ベルゲン (ノルウェー)	Norwegian Tunnelling Association, ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc2017.no/
第44回ITA総会およびコンGRESS 「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 (論文概要募集中)
第45回ITA総会およびコンGRESS 「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

*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

5. 平成28年度催物開催結果

(平成29年3月現在)

催 物 名	開 催 日	人 数	場 所	CPD取得単位
【現場見学会】				
横浜市下水道トンネル現場研修会(磯子トンネル)	2016. 5.20	21	神奈川	2.0
新東名高速道路トンネル建設工事現場研修会(羽根トンネル)	2016. 6.28	25	神奈川	2.5
北海道トンネル建設工事現場研修会 (渡島トンネル(道路), 村山トンネル(鉄道))	2016. 7.28	22	北海道	4.8
新北陸トンネル建設工事現場研修会(葉原・大桐・奥野々工事)	2016. 8.26	24	福 井	4.0
福岡地下鉄建設工事現場研修会(七隈線博多駅(仮称)工区)	2016. 9.29	30	福 岡	2.0
東北中央自動車道トンネル建設工事現場研修会 (山形蔵王トンネル, 三吉山トンネル)	2016.11.11	19	山 形	3.0
環状5の1号線地下道路建設工事現場研修会 (雑司ヶ谷工区・南池袋工区)	2016.11.18	12	東 京	1.5
東京外かく環状道路トンネル建設工事現場研修会 (大和田工事Hランプ)	2016.12. 8	25	東 京	1.5
東京都下水道幹線工事現場研修会(隅田川幹線その3工事)	2017. 3.10	25	東 京	1.8
【施工体験発表会】				
第78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—」	2016. 6.22	169	東 京	5.9
第79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—」	2016. 6.23	111	東 京	4.3
【講習会・シンポジウム】				
都市トンネルのための地盤改良講習会	2016. 5.18	44	東 京	5.7
第2回トンネル維持管理業務講習会(基礎編)	2016. 9. 2	39	東 京	6.3
第3回トンネル技術者のための地相入門講習会	2016.10.31	36	東 京	6.3
第18回ステップアップ研修会「シールド部門」	2016.11.29,30	35	東 京	14.5
第2回トンネル維持管理業務講習会(応用編)	2017. 2.27	49	東 京	6.3

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

6. 平成29年度催物開催現況

(平成29年3月現在)

催 物 名	開 催 日	人 数	場 所	CPD取得単位
【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	200	東 京	
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	200	東 京	

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

第44回ITA総会および世界トンネル会議(2018)の論文募集のお知らせ

国際トンネル協会

拝啓 時下ますますご清祥のこととお慶び申し上げます。また、日ごろから国際トンネル協会(ITA)の事業活動には、種々ご支援、ご協力賜り誠にありがとうございます。

さて、このたび標記会議の開催および論文の募集の案内がありましたのでお知らせいたします。奮ってご応募いただきますようお願いいたします。

—記—

会議開催期間:平成30年4月20~26日

場 所:ドバイ(アラブ首長国連邦)

主 催:Society of Engineers - UAE

国際トンネル協会(ITA)

会議テーマ:「The Role of Tunnels in Building Future Sustainable Cities」

URL: <http://www.wtc2018.ae/>

論文のトピックス:

- (1) Multi-Utility Tunnels - The ultimate solution
- (2) Contractual Risk Sharing - a win / win arrangement
- (3) The right tunnelling construction method for the right application
- (4) Maintenance free design in sewer tunnels - Fact or Fiction
- (5) Urban dewatering and flood control with underground structures
- (6) Review of current tunnel design methods for mined tunnelling methods
- (7) Innovation in Tunnelling technologies
- (8) CAPEX vs. OPEX - how to define life cycle project cost
- (9) Sustainable use of underground space
- (10) Ground engineering and risks management
- (11) Advances in the material sector
- (12) Repair and maintenance of underground structures
- (13) Smart City - how can underground space contribute
- (14) The importance of Project Management in Project development
- (15) Case studies on TBM projects
- (16) Life Safety for underground structures

論文概要および本論文提出のスケジュール(現地時間):

手続きはオンライン投稿です。

論文概要提出受付締切り:平成29年8月1日

本論文締切り:平成29年12月15日

最終論文提出締切り:平成30年2月15日

論文概要の応募要領:

概 要:題名 20words, 概要本文 500words, 執筆者略歴

提 出 先: <https://mcime.eventsair.com/PresentationPortal/wtc18/abstract-submission/Presentation>

問い合わせ先:一般社団法人日本トンネル技術協会 担当:関(noriko.seki@japan-tunnel.org)

〒104-0041 東京都中央区築地 2-14-7 築地MKビル 6F TEL: 03-3524-1755

6月号予告[6月1日発売予定]

特集「海外の地下鉄建設」

- インドネシア地下鉄
- シンガポール地下鉄
- 台湾地下鉄
- 香港地下鉄
- 【連載講座】
- トンネル新技術への挑戦(19)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆本年2月より消費喚起策として始まった「プレミアムフライデー」が実施されています。今後のわれわれの休みの過ごし方や働き方が変わろうとしています。

◆政府が進める一億総活躍社会においても働き方が大きなカギであるとして担当大臣のもと「働き方改革実現会議」で長時間労働の是正や同一労働同一賃金の実現などを含め実行計画のとりまとめが始まりました。企業としても「長時間労働の根絶」「人口減少による優秀な人材の確保」「生産性向上」などが最重要課題となっています。人口の減少による労働者確保には、高齢者、女性、外国人さらにはロボットの進出がなくてはなりません。一方で、就職先を決めるポイントとして、「会社の雰囲気」「残業時間」「休暇」「福利厚生」など職種以外にウェットを置く学生が増えてきているようです。建設業においても、かつては3K(きつい、きたない、危険)と言われていましたが、技術の進歩や作業環境の改善などにより今ではほとんど聞かれなくなりました。多くの課題はありますが、時代の変化に柔軟に対応し、よりよい社会を築き、誰もが充実した生活を送れるように「休日の過ごし方」「働き方」について考えるときが来ているようです。

(K.Y)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学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5号〔通巻561号〕

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成29年4月20日 印刷

平成29年5月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会
会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学会社

〒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

新しいタイプの覆工コンクリート養生システム

一歩前進! ~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。



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。



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。



続きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・保野恭寛 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。



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200円+税 A5判

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



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修
1,500円+税 B5判

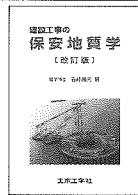
火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げ、また、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく解説。



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著
6,000円+税 A5判

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



山岳トンネルの新技术

ジェオフロント研究会 編
14,573円+税 B5判

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



わかりやすいトンネル技術入門(都市トンネル編)

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800円+税 A5判

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



ジオテクスタイル設計マニュアル

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

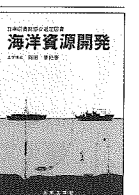
ジオテクスタイルの交通施設への利用について詳述された1981年の報告書を完訳。



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400円+税 A5判

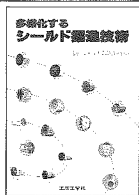
海洋の石油・天然ガス・石炭などのエネルギー資源と、マンガンノジュールの鉱物資源、また、海洋エネルギーなどの開発と利用についてまとめた。



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。



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囲にわたり掲載した。シールドトンネルの計画・設計・施工に用いるときに参照しやすくまとめた。



岩盤地下空洞の設計と施工

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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した。



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)

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



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。



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

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。



書籍のお申し込み

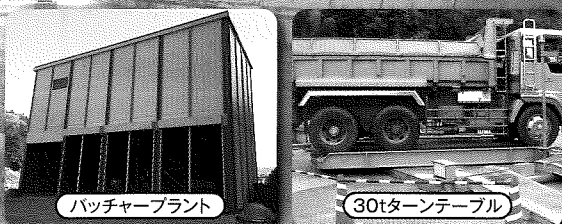
ご注文は当社へFAXまたは、書店にてお申し込みください。FAXでご注文の際は、書名、部数、送り先、氏名、電話番号を明記のうえ下記までお送りください。

(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

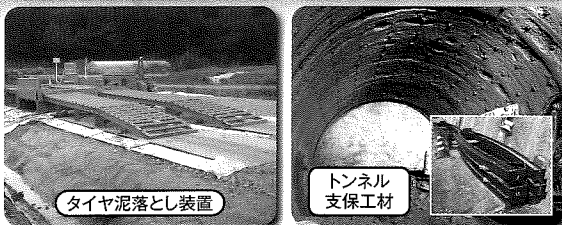
トンネル・地下工事で使用される 資・機材のリース・販売。 確かな技術と豊富な実績で 様々なニーズにお応えいたします。

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。



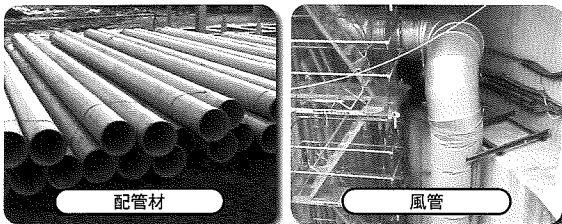
バッチャープラント

30tターンテーブル



タイヤ泥落とし装置

トンネル支保工材



配管材

風管

- 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。



野田機材センター第一

野田機材センター第二

野田機材センター第三

東北第一機材センター

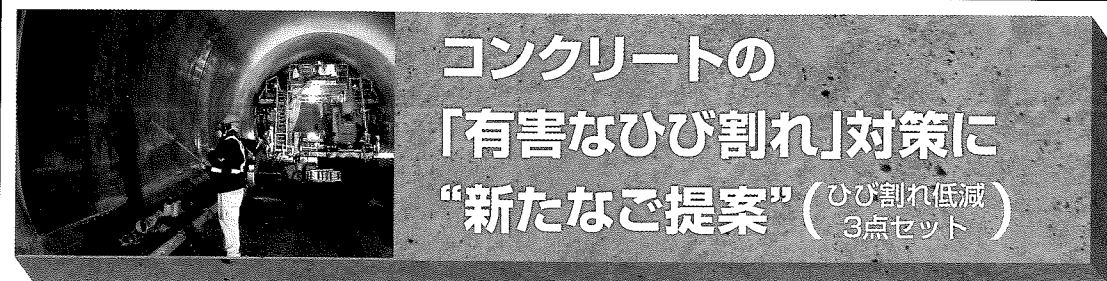
名古屋機材センター

大阪機材センター

九州機材センター

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 名古屋鴻池ビルディング13階 | TEL 052-228-6441 FAX 052-228-6442 |



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

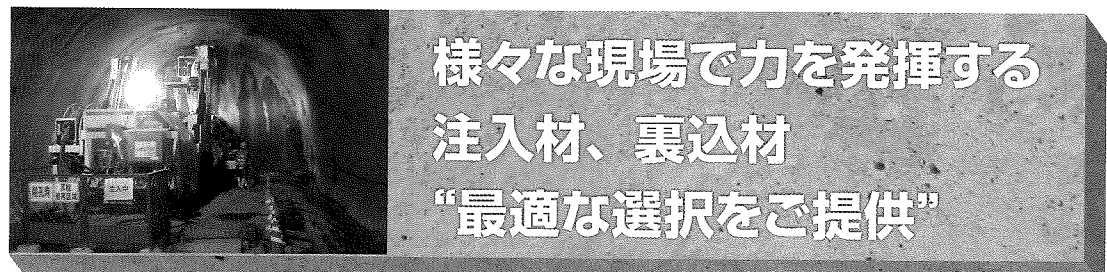
コンクリート混入・コンクリート用膨張材
ハイパーエクパン
NETIS登録番号 QS-020033-V

コンクリート収縮抑制

補強効果によるひび割れ幅低減

養生効果

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



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

太平洋マテリアル株式会社
営業本部 〒135-0064 東京都江東区青海 2-4-24 青海フロンティアビル 15F
<http://www.taiheiyo-m.co.jp>
TEL.03-5500-7510 FAX.03-5500-7542

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CSA TYPE-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

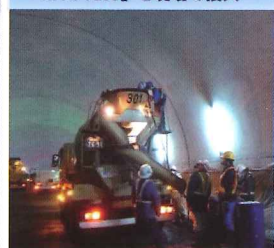
『ADVA-PLUS』JIS A 6204適合

- ・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

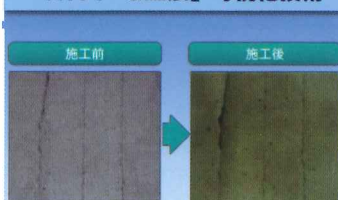
- ・アクリル系樹脂の特徴である速硬化性、低温硬化性で、寒冷地、時間制限のある工事で工期の短縮が可能
- ・透明度の高いFRPを形成し、施工後も目視観察が可能

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』

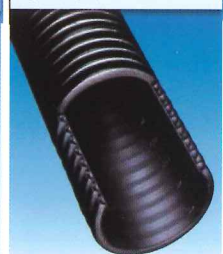
- ・ポリエチレン樹脂製で腐食に強く耐衝撃性に優れます

『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06619-5



4910066190576

01500