

トンネルと地下 **7**

vol. 48
no. 7
2017

Tunnels and Underground

隣接する I 期線トンネルへの影響を考慮した割岩工法による施工
316m²の超大断面トンネルによる坑口ランプ部の施工
全断面早期閉合工法によるパターン化施工で低強度地山を掘削
泥土圧シールドによる道路函体近接直下と3本近併設掘進などの施工
めがねトンネルの施工過程における地表面沈下の進展に関する研究

日本トンネル技術協会誌



ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW
総質量 120ton



主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ10.5m（ケーブルハンガーを除く）
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅4.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とビック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444
 カスタマーサービス 〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586
 相模事業所 〒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
 大阪支店 〒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
 福岡支店 〒514-0396 三重県津市雲出長常町 1129 番地 11 TEL 059-234-4111
 三重工場

吸引ダクトが無くても全ての断面、全ての延長に対応

たった37kWで2,750m³/min イーダスコ270使用時

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO

イーダスコ240/イーダスコ270
ファン動力30kW ファン動力37kW

NETIS

公共工事等における新技術活用システム
登録番号: TH-100024-VE

経済産業省後援
第39回優秀環境装置
日本産業機械工業会 会長賞

全てのトンネルに適用可能!



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

吸引捕集方式にも対応



希釈封じ込め方式での計算例

- ① 粉じん発生量
Fo = 360 × 22m³/h × 0.75 = 5,940 (mg/min)
- ② 所要換気量
Q4a = $\frac{5,940}{3.0-0.07} = 2,027$ (m³/min)
Qa = 54.0 + 2,027 = 2,081 (m³/min)
- ③ 集じん機の選定
Qs = 1.2 × $\frac{2,081}{0.93} = 2,686$ (m³/min) ≤ 2,750 (m³/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みません。 ※2 台車および揚重用治具の高さは含みません。 ※3 機種により多少異なります。
 ※4 JIS Z 8808 並びに換気技術指針(H24.3)に定める試験方法に基づき第三者計量機関により測定した値です。 ※5 任意設定にて最大2,750m³/minまで可能です。

古河機械金属グループ
古河産機システムズ株式会社

URL: <http://www.furukawa-sanki.co.jp/>

本社 〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3 第三営業部 ☎03-3212-6575
 大阪支店 ☎06-6344-2532 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 小幡工場 ☎0285-23-8662

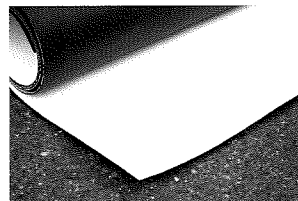
ウォータータイトトンネル 防水システム



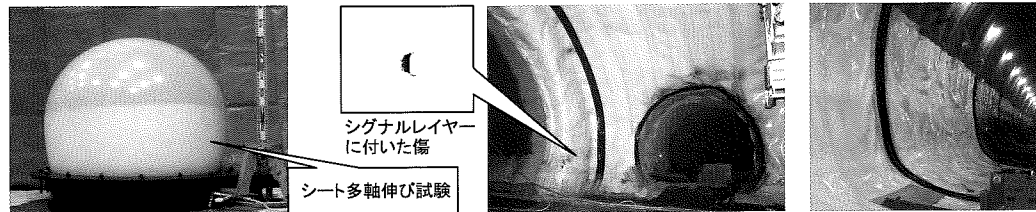
非排水型防水システム用メンブレン
KFCタイトライナー

シート防水材

- **KFCタイトライナー**
追随性・溶着性・耐破損性の優れた防水シート
- **シグナルレイヤー**
防水シート損傷部の発見が容易なシグナルレイヤー付防水シート
- **裏面緩衝材**
長繊維不織布から透水性の優れた立体網状体まで豊富なバリエーション



シグナルレイヤー付防水シート



シグナルレイヤーに付いた傷

シート多軸伸び試験

基本システム

- **ウォーターバリア**
打継目からの漏水防止および漏水範囲の限定
- **コンタクトグラウト**
被圧された地下水から防水シートの損傷防止

漏水対策システム

- **ストリップグラウト**
打継目からの漏水対策
漏水発生ブロックの特定
- **リペアシステム**
クラックや打継目からの恒久止水対策

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

土木資材事業部(東京) TEL(03)6402-8251 FAX(03)6402-8255
土木資材事業部(大阪) TEL(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755

1本1本が大切! だから

次世代 **防食** ロックボルト

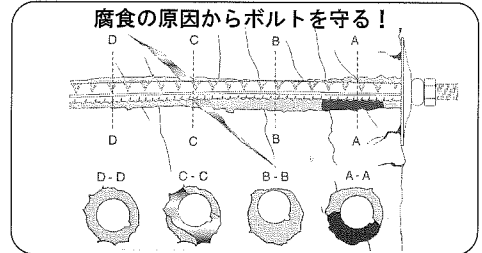
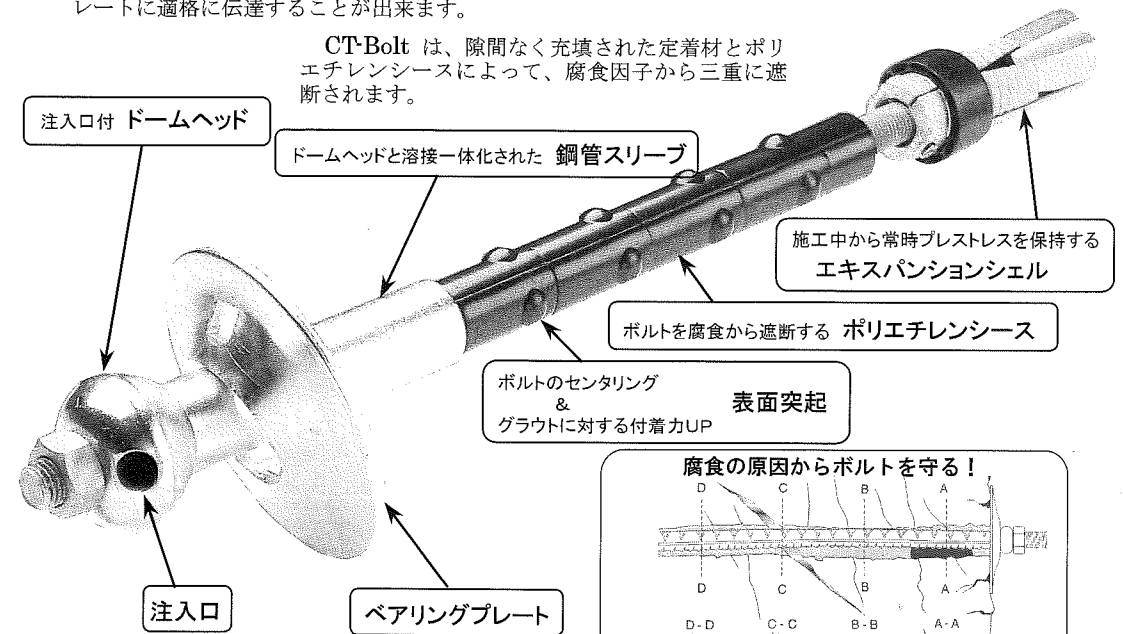
CT-Bolt



通常施工により超長期支保

CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適切に伝達することが出来ます。

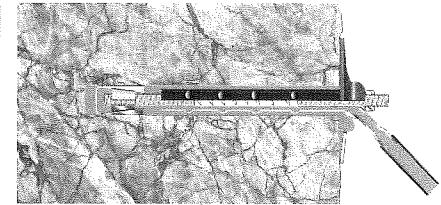
CT-Bolt は、隙間なく充填された定着材とポリエチレンシースによって、腐食因子から三重に遮断されます。



腐食の原因からボルトを守る!

CT-Bolt の定着は・・・

即時に支保効果をもたらす先端定着と、時期を選んで行える全面定着グラウト充填のコンビネーションです。施工直後から施工後長期にわたって、ボルト支保効果を最大限に活用することが可能です。ポリエチレンスリーブがボルトを覆う構造により、仮に空洞や偏芯、或いは湧水によって部分的にグラウトが逸失している場合にも、腐食促進成分がボルトと接触しません。



- 用途:
- 山岳トンネル・海底トンネルに立坑・地下空洞支保に
 - 石油備蓄基地等地下施設建設に
 - 斜面安定・補強土工に
 - その他 腐食対策の必要な地盤に

完全充填

CT-Bolt は、広い範囲の粘度のグラウト注入が可能です。グラウトはポリエチレンスリーブ内に充填された後、先端部から孔壁とスリーブの間を充填して戻り、リターンによって全面定着が確認出来ます。

総発売元 **Your Fastening Partner**

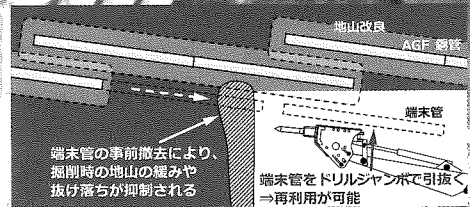
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

〒105-0011 東京都港区芝公園2丁目4番1号
お問い合わせ先 TEL: 03-6402-8256
技術部 FAX: 03-6402-8255

日本で生まれ、世界へ広がる。NATMの補助工法

掘削断面内の末端管を引抜き、掘削時の地山への影響を低減

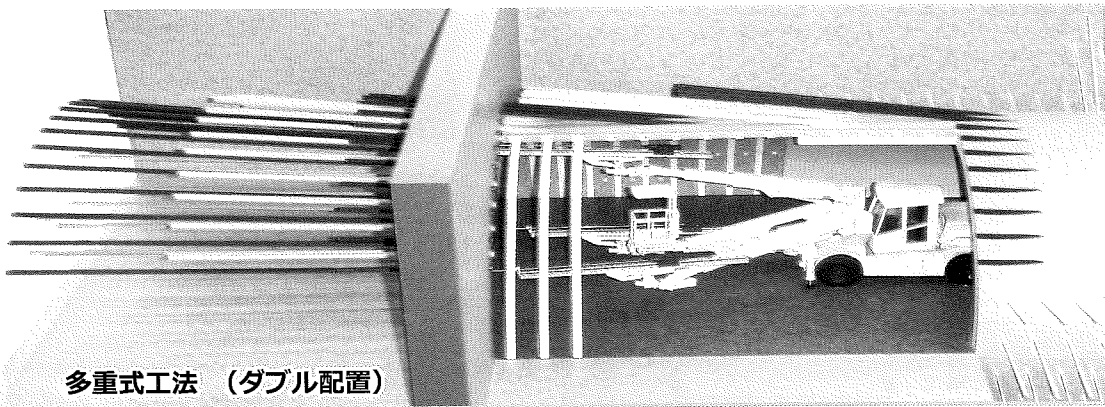
鋼管設置時に、専用の治具を使用して末端管を中間管から引抜く工法
掘削時の末端管切断撤去が不要なため、撤去の衝撃による
地山の抜け落ちや周辺の緩みなどの懸念がなく
末端管の再使用もできることから
コスト低減も可能となります



NETIS登録番号:CB-150001-A
AGF-Tk工法

多重式長尺フォアパイリング NETIS登録番号:CG-130024-A

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



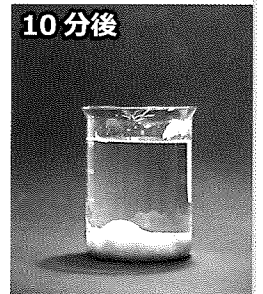
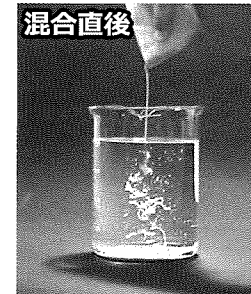
多重式工法 (ダブル配置)

▶ 補助工法ラインアップ 注入式フォアボーリング / 各種長尺フォアパイリング / エコリムーフ工法
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 / 高耐力ロックボルト / ロックボルト定着材 / 各種注入材 / コンクリート皮膜養生剤クラテキユア / 建設資材全般

KATECS

株式会社カテックス 建設資材事業部

〒460-8331名古屋市中区上前津1丁目3番3号

技術部・中部営業部	TEL 052-331-8821	FAX 052-332-0164
東京支店	TEL 03-3260-8321	FAX 03-3266-1648
東京支店(仙台事務所)	TEL 022-344-6041	FAX 022-344-6042
関西営業所	TEL 06-6578-3235	FAX 06-6578-3237
九州営業所	TEL 092-574-0856	FAX 092-574-0846
北海道地区 (株)エイチ・アール・オー	TEL 011-821-5868	FAX 011-821-6644

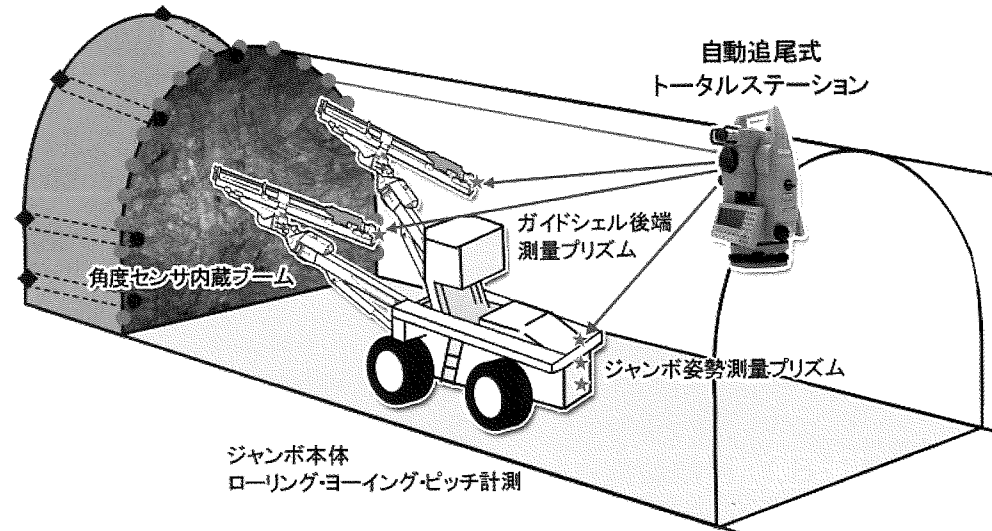
URL <http://www.katecs.jp/> email construction@katecs.co.jp

NETIS登録番号:KK-100049-A

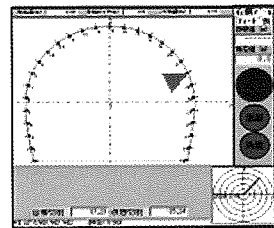
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷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

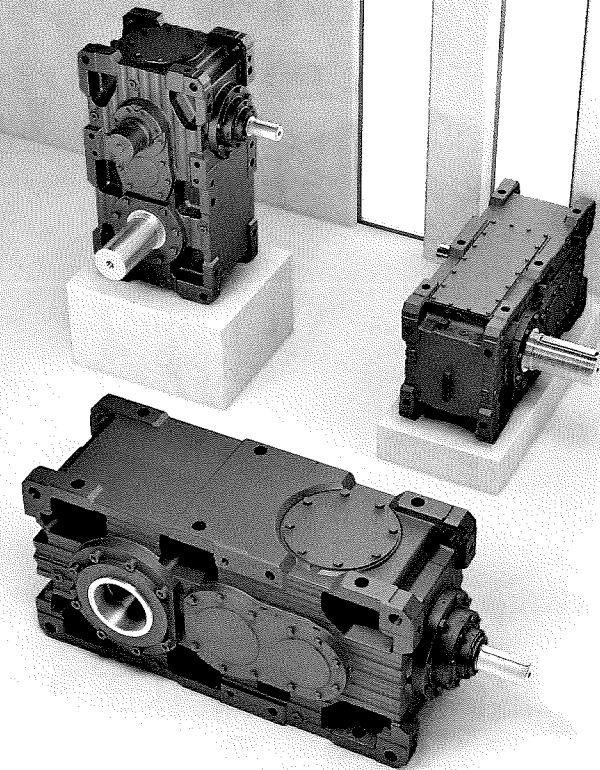
〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3
特機部

TEL:03-3231-6966 FAX:03-3231-6993

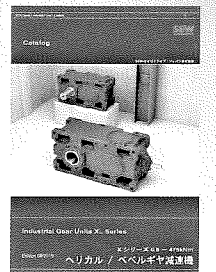
《京都工場組立開始!!》SEWのXシリーズ

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

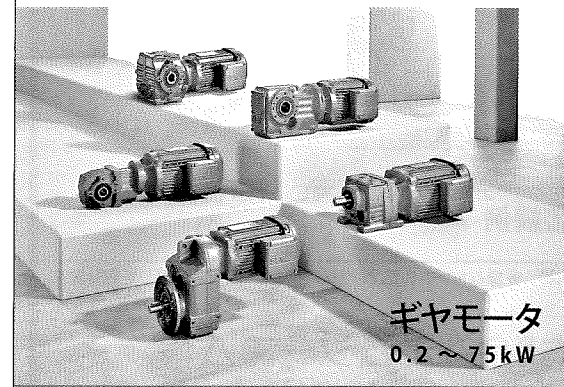
SEW
EURODRIVE



カタログ請求下さい



インダストリアルギヤ
Xシリーズ
23 枠番 ~ 475kNm



ギヤモータ
0.2 ~ 75kW

京都工場

SEW- オイロドライブ・ジャパン株式会社

SEW 検索

本社・磐田工場:静岡県磐田市 京都工場:京都府相楽郡精華町

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

最新型・電気集じん機

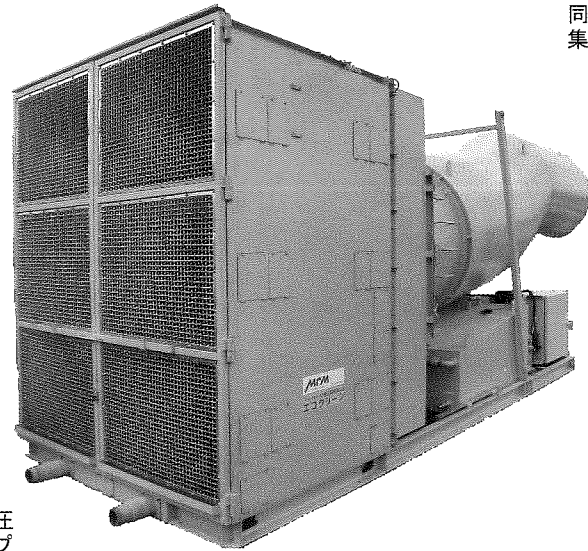
エコクリーンX

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

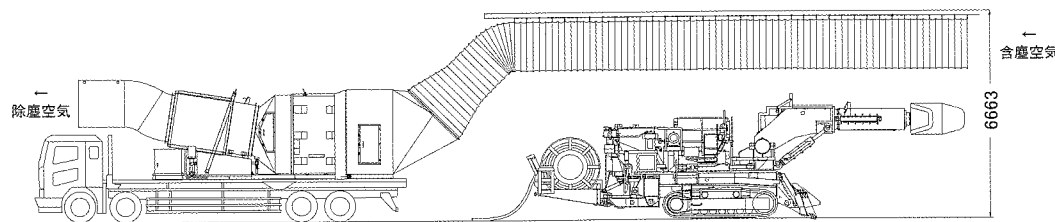
コンパクト
同クラス集じん機の中で最小

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

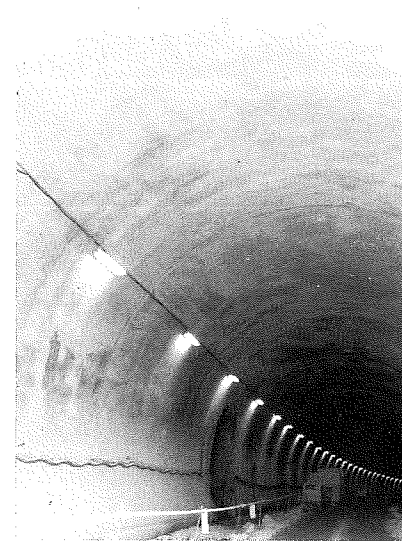
コンクリートの劣化、欠陥箇所の改修、補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法

〈工期短縮, 即日仕上り〉

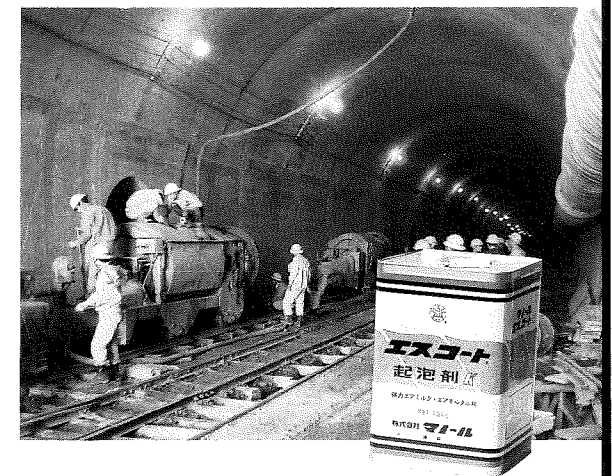
プレミックス急硬モルタルと特殊ラテックスの複合材で短時間で実用強度が得られる即日補修工法です。



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

エアモルタル裏込め注入……

エスコート L & K 起泡剤



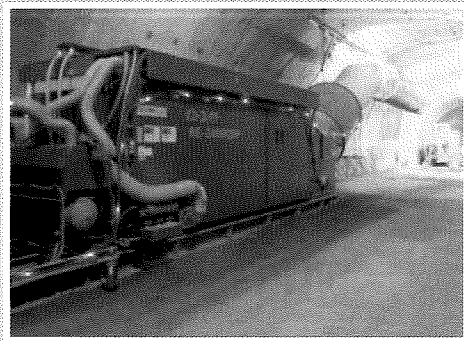
- 強力な分散性と安定した流動性
- ノーブリージング
- 任意の強度の選定
- セメント, 骨材の種類が任意

◆ 土木資材の総合プランナー ◆



株式会社 **マール**

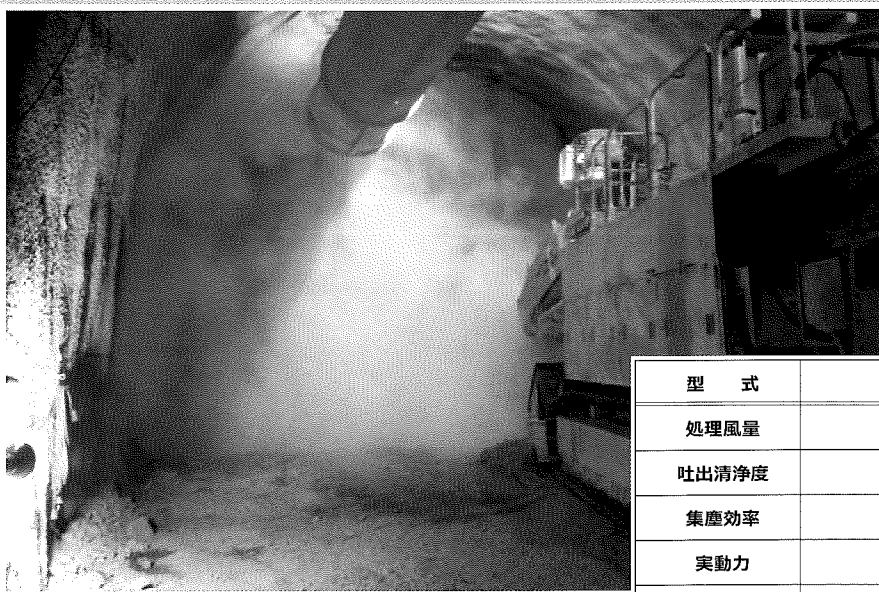
〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)



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&高浄度」を一度に実現した孤高のスペック



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

最適環境を創造する
株式会社 **流機** エンジニアリング

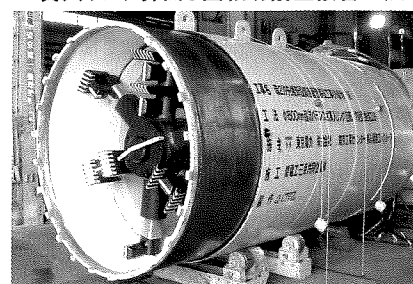
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2
TEL: 03-3452-7400
URL: <http://www.ryuki.com/>
E-mail: eigyobu@ryuki.com



超流バランスセミシールド工法

超流セミシールド協会

貫入リング押し回転切削型接合法



φ1500mm 貫入リング回転切削型掘進機 (接合切削時)

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

貫入リング回転切削型接合法の特徴

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

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法



φ1016mm鋼管対応リターン回収機能付掘進機

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

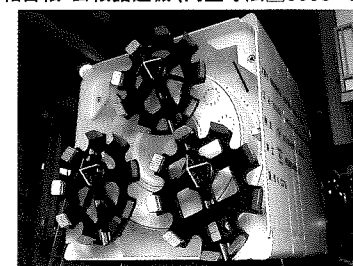
密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法の特徴

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

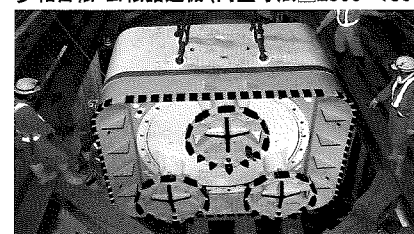
ボックス推進工法

ボックス推進工法協会 NETIS QS-100019-A

多軸自転・公転掘進機 (内空寸法□3000×3000)



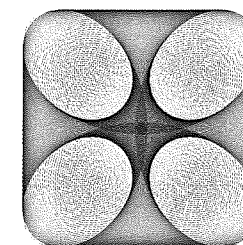
多軸自転・公転掘進機 (内空寸法□2800×1800)



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

ボックス推進工法の活用例

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



カッタービット軌跡

ボックス推進工法の特徴

- 低土被り推進が可能
- 長距離・曲線推進が可能
- PC-RCボックスカルバート函体および角鋼管に対応可能
- 密閉型のため切羽の安定性に優れ、地山の緩みを防止可能
- 高トルク掘進機のため、多様な土質に適用可能
- 工場製品のボックスカルバート函体を直接推進するため、迅速な施工が可能

協会事務局・技術本部 株式会社 **アルファシビルエンジニアリング**

αCIVIL

〒812-0015 福岡市博多区山王1丁目1番18号
TEL (092) 482-6311 FAX (092) 482-6363
E-mail: arfa@oregano.ocn.ne.jp
URL <http://www.alpha-civil.com>

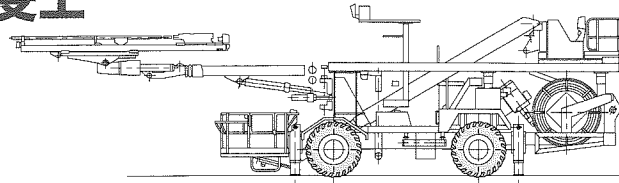
建設コンサルタント登録番号: 建23第8677号
測量登録番号: 登録第(2)-30507号
建設許可番号: 国土交通大臣許可(特-23)第19193号

※各工法協会員名簿については、ホームページをご参照下さい。

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

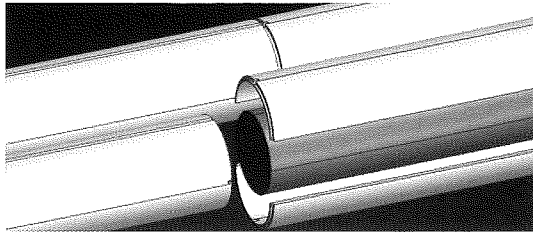
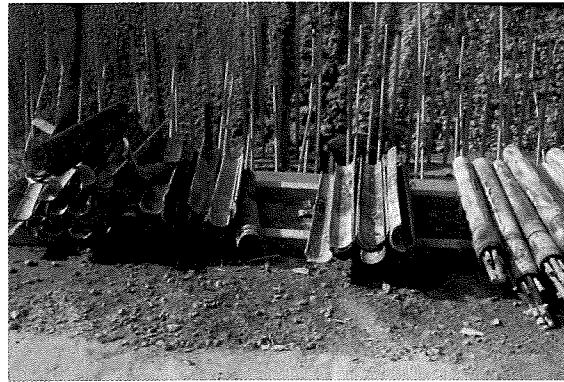
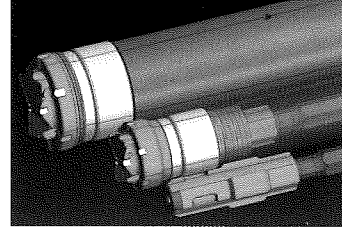
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



AGF-Me工法

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

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



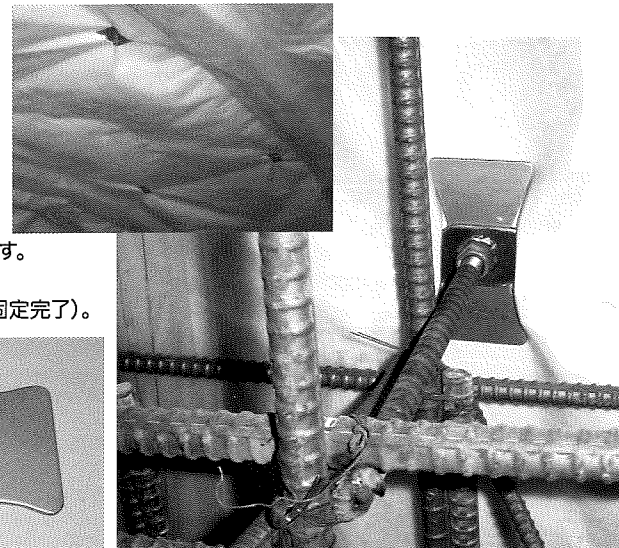
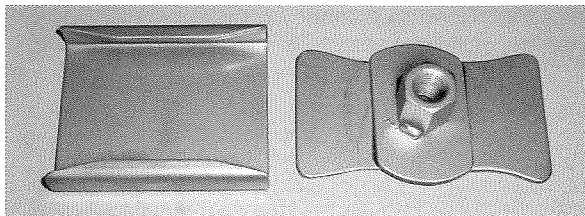
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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



東邦金属株式会社
TOHO KINZOKU Co., LTD

営業部

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

株式会社 トーキョーオール

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

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. 高性能破砕機で工期短縮

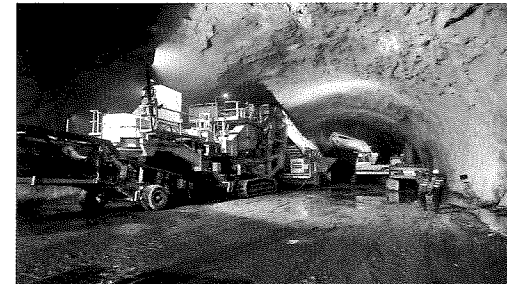
- 原料投入高さの低いエプロンフィーダ(2.4m)で投入時間短縮
- 高破砕力のCジョークラッシャーで硬岩(4000kgf/cm²)にも対応可能
- 簡単油圧セット調整で常に破砕粒度が小さく一定

3. ベルトコンベヤ搬送で安全

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

4. 粉塵・騒音・排気ガスを低減

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



1.5km 延伸ベルトコンベヤシステム概要

・延伸ベルトコンベヤシステム仕様

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

・主要構成機器

No	名称	仕様
1	移動式破砕機 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

(問合せ先)

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

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

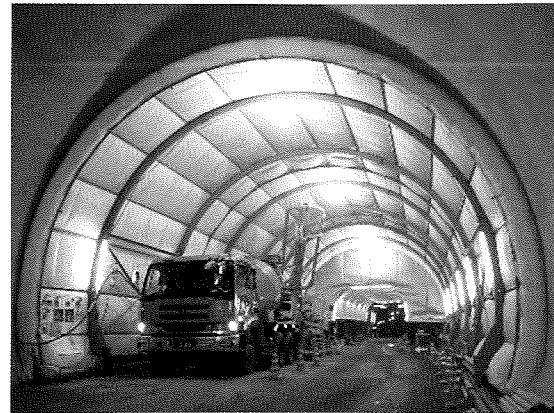
UBE 宇部興産機械株式会社
電力・インフラ営業グループ TEL(03)5419-6293

*トンネル勾配により変動致します
設置条件によっては専用設計が必要になります

バルーンの東宏です



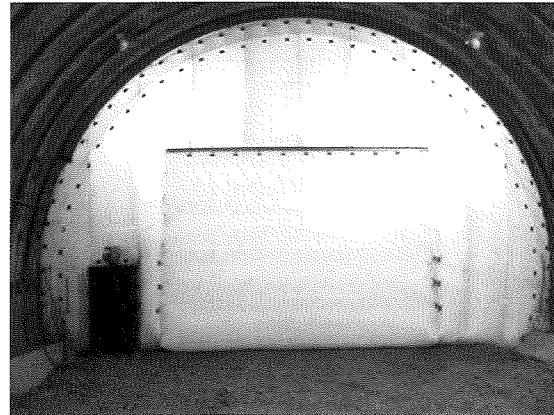
セントル養生バルーン(HR-04005VE)



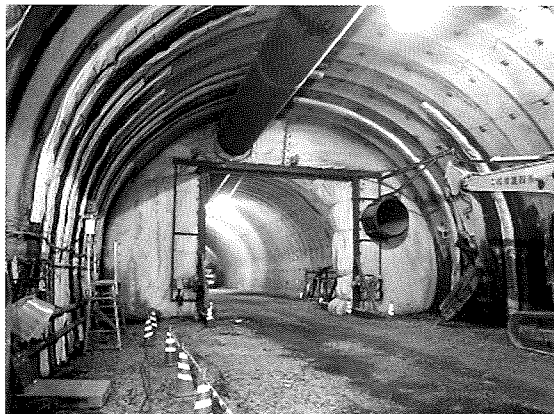
コンクリート養生バルーン(HR-04005VE)



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

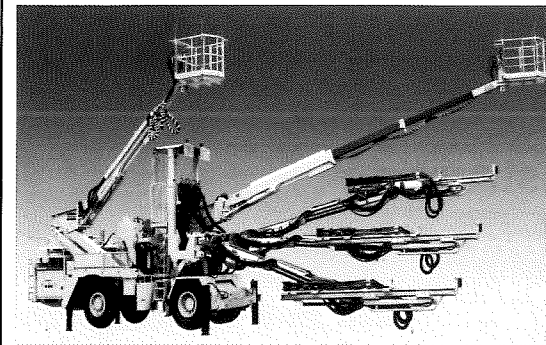
《取扱い製品》 積算温度管理システム、モイスチャータックプチ、トラミッキーカバー、バルコン昇降装置
キュアマイスター、モイストキュア、支保工スクレツパ、セントル、シート台車、棧橋、他

TOUKOU 株式会社 **東 宏**

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

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

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



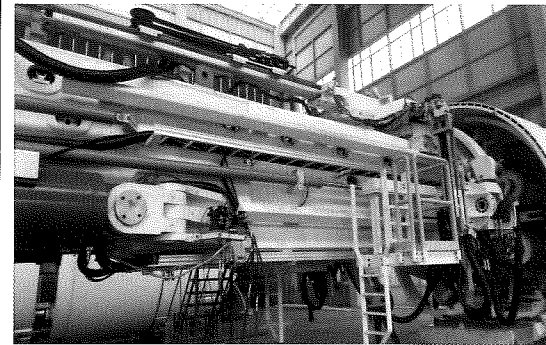
Jumbo ロックツールズ

DRISS®

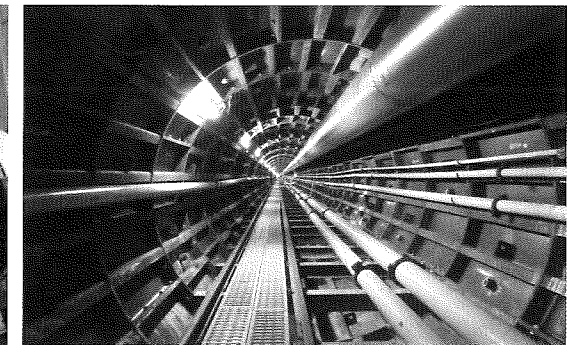
穿孔探査システム

Drilling Survey System

NETIS 登録番号：CB-020021-VE
切羽前方探査システム



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



一般仮設配管材



ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO., LTD.

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

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

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

九 州 営 業 所 〒830-0021 福岡県久留米市篠山町12-3-301
☎(0942)27-5992 fax(0942)27-5993 Email: kyusyu@drill.co.jp

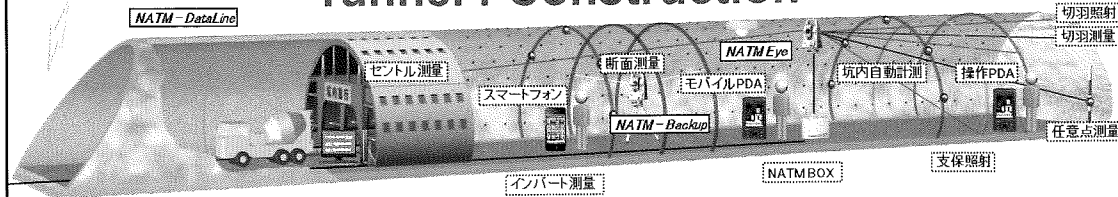
兵 庫 工 場 〒679-1332 兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端454-3
☎(0795)36-0461 fax(0795)36-0467 Email: hyogo@drill.co.jp

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

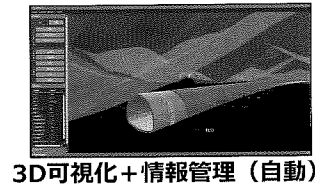
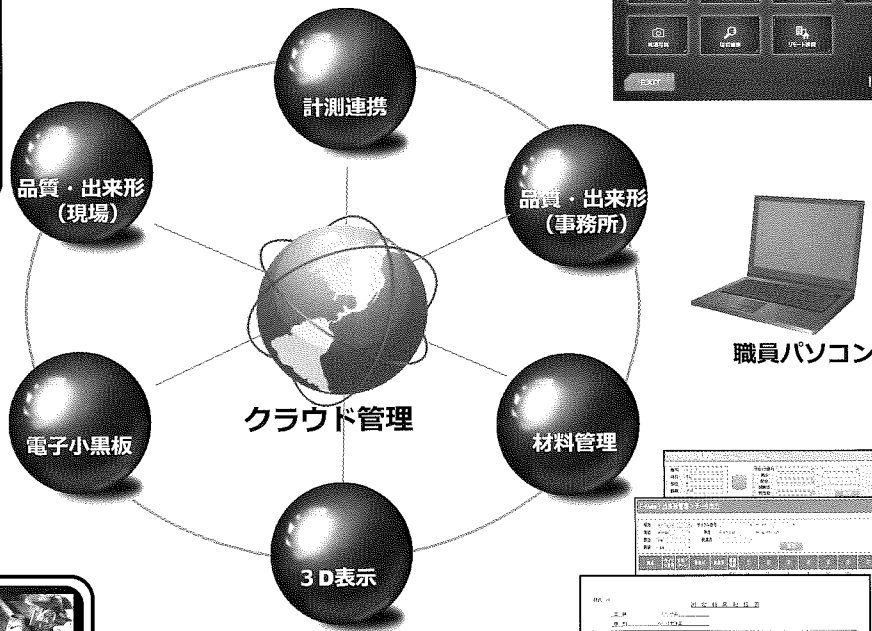
NEW

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



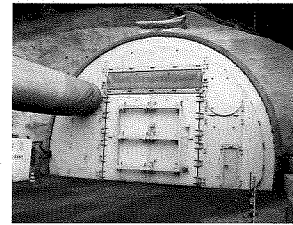
- ・現場で計測値を直観的な操作でタブレットに入力
- ・工事用小黑板で楽々撮影

↓
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



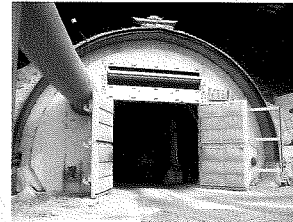
株式会社 演算工房
■京都本社 〒602-8268 京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地3
TEL:075-417-0100 FAX:075-417-0200

快適な作業環境を提供する騒音対策システム ～25年の実績が最大級の安心をご提供いたします～



【防音扉】

- HFS型 マーク II
- HFS型 マーク II 10s
- HFS型 マーク II 10c
- HFS型 マーク II 15c



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。

『防音扉マークII』の音響性能

対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	18 dB(A)	13 dB
2基設置	28 dB(A)	19 dB

『防音扉マークII 10s』の音響性能

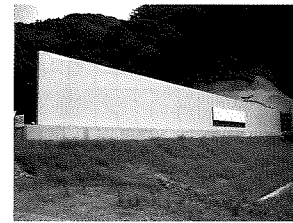
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	16 dB
2基設置	29 dB(A)	25 dB

『防音扉マークII 10c』の音響性能

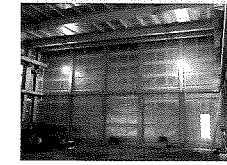
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	20 dB
2基設置	29 dB(A)	33 dB

『防音扉マークII 15c』の音響性能

対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	21 dB(A)	23 dB
2基設置	30 dB(A)	36 dB



【防音壁】 【防音ハウス】 【防音シェルター】 【防音ボックス】



Sタイプ(スタンダードタイプ)

Dタイプ(デラックスタイプ)

Hタイプ(ハイデラックスタイプ)



『防音パネルSタイプ』の音響性能

項目	1/1 オクターブバンド中心周波数【Hz】					
	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	14	18	29	36	43	49
吸音率【%】	33	80	89	84	81	76

『防音パネルDタイプ』の音響性能

項目	125	250	500	1k	2k	4k
	透過損失【dB】	22	32	37	38	37
吸音率【%】	51	77	75	81	71	62

『防音パネルHタイプ』の音響性能

項目	125	250	500	1k	2k	4k
	透過損失【dB】	32	32	38	46	50
吸音率【%】	57	48	61	76	86	91

防音設備の設計、製造、施工、リース

E₂₀₀₈ 株式会社ヒューズ

本社 〒132-0035 東京都江戸川区平井 6-35-5 TEL.03-3617-8111 FAX.03-3617-7565
大阪営業所 〒531-0072 大阪府大阪市北区豊崎 3-4-14 TEL.06-6359-2611 FAX.06-6359-2288

E-mail : info@fuse-ind.co.jp http://www.fuse-ind.co.jp

建設業登録：東京都知事許可(般-25)第130153号

【建設騒音対策協会】E-mail : souon@fuse-ind.co.jp

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

是非とも、本誌をご活用いただき合格していただければ幸いです。

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

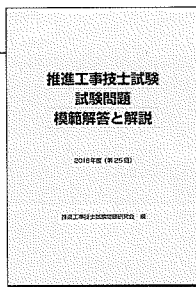
各年度単位 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

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

これらのことをインターネットでご案内しています。



新発売!!

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/annai>

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

好評発売中

山岳トンネル設計の考え方



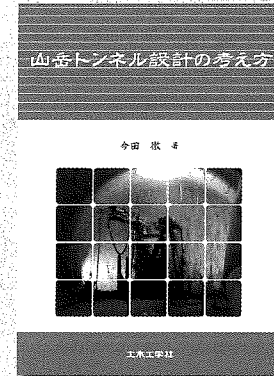
東京都立大学名誉教授

今田 徹 著

B5判 183頁 上製本 定価3200円+税

山岳トンネルを設計するうえでの考え方は勿論、設計の留意点などを平易にまとめている。

山岳トンネル工事に携わる諸兄の必携書である。



《主要目次》

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

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

株式会社 **土木工学社**

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



振動 マネージメント ソリューション

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

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

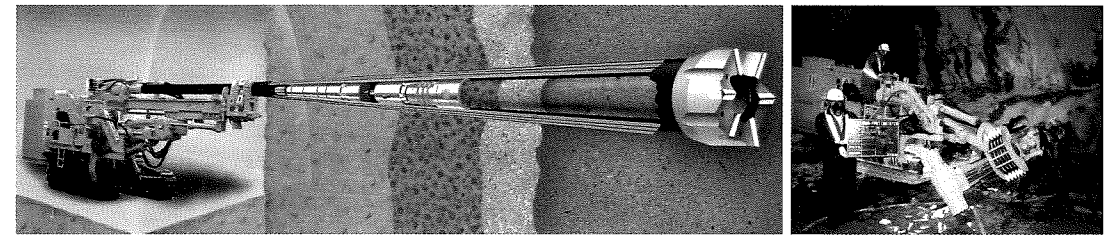
一日でも早く完工する為に、日々の発破のモデル化、計測そして効率化を図っております。オリカ社がどのような形で貴社のお手伝い出来るかについて orica.com/edevil にアクセスしてeDevil Case Studyのビデオをご覧になって下さい。

orica.com



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



KOKEN 鉦研工業株式会社

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

お問合せ先: 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 東北支店: (022) 762-6075 信越支店: (025) 275-6877 首都圏事業部: (03) -6907-7511
大阪支店: (06) 6385-0350 中国支店: (083) 972-8757 九州支店: (092) 924-5001 海外事業部: (03) -6907-7515

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』

安全性・操作性・機動力
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。

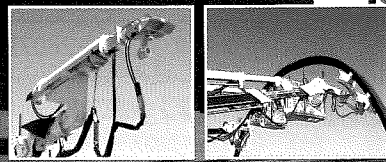


T&M Tunnel & Mining
ニシオティードエム株式会社
山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業
<http://www.nishio-tm.co.jp>

〈本社 商品開発部〉
〒567-0817 大阪府茨木市別院町1-21
丸屋ビルアネックス4階
TEL: 072-665-8715

〈東日本カンパニー〉
■ 北海道支店 TEL: 0133-72-3715
■ 東日本支店 TEL: 0268-62-1426
東北営業所 TEL: 0197-71-2405

〈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



道路, トンネル設計 (本体工, 換気, 防災, 照明, 施工管理他) トンネル現場診断



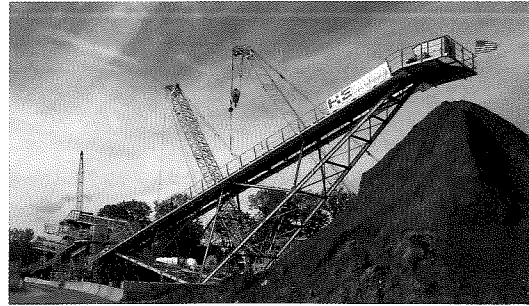
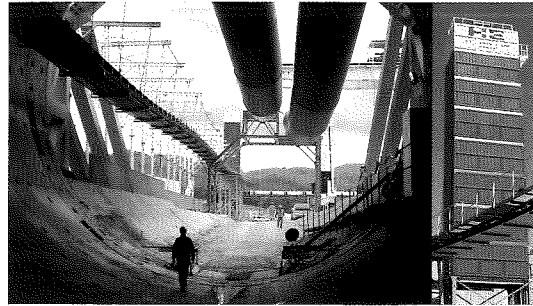
株式会社 ロード・エンジニアリング

会長 長田 島利男 代表取締役社長 清水 洋(技術士)
(技術士・土木学会フェロー会員)
顧問 関 菅原 幹夫 大阪支店長 亀田 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

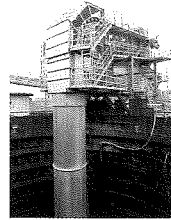


Clever Conveying



Tunnel Diameter: 7.10 m
 Min. Radius: 1,000 m
 Miner: 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
 Miner: 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

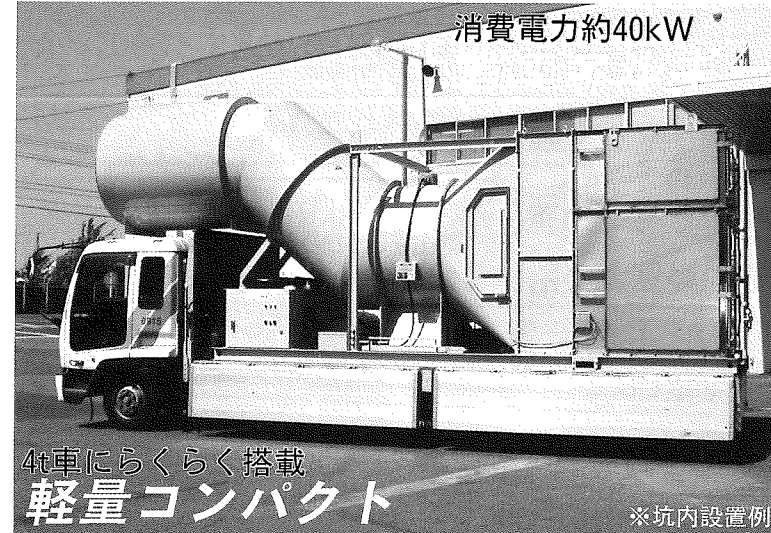
担当: 富樫

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



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)



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)

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

VOLVO 建設機械

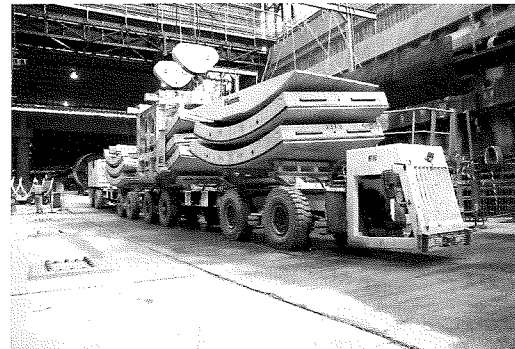


高い作業性とクールなデザインが人気
年々強化される排ガス規制にも対応



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

コストダウンを可能にする
Kリング・Kプレート

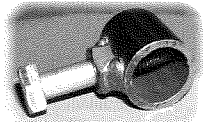
施工方法等詳細については下記までご連絡ください

製造・販売元 静岡スチール

〒436-0342 静岡県掛川市上西郷 765-1
TEL: 0537-24-3886 FAX: 0537-24-3859
Mail: ktk@r5.dion.ne.jp

①アーチ鉄筋組立金物(Kリング) 特許出願中(特願 2001-309314号)

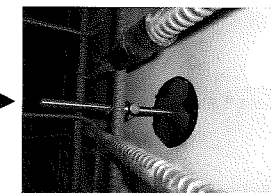
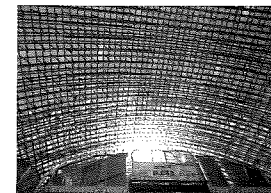
トンネル覆工工事におけるアーチ鉄筋組立金物。



②トンネル覆工鉄筋防水シート接着ジベル筋組立(Kプレート)

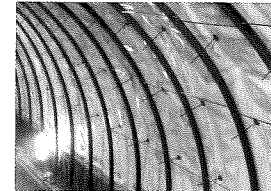
特許出願中(特願 2015-037746号)

円型プレートを直接支保工下地防水シートに接着して使用します。Kリングと併用します。

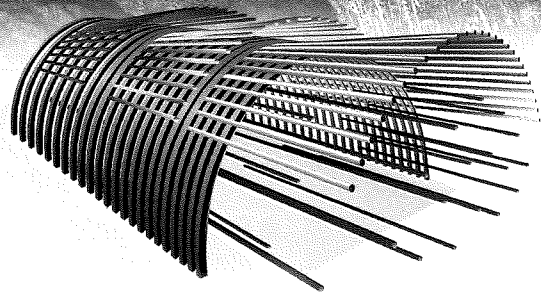


ウォータータイト(全周止水)トンネルにおいて覆工コンクリートの鉄筋を自立させることによって、鉄筋受け架台の鋼製支保工コストの大幅削減を可能にすることができます。

鋼製支保工を設置した場合もKプレートを使用することが可能です。



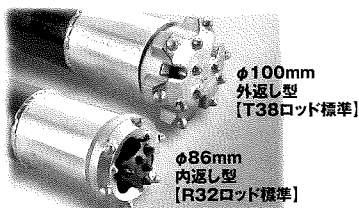
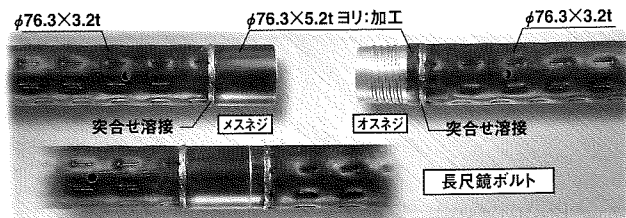
Kプレートで鋼製支保工を固定。架台の鋼製支保工の固定にも使用できます。



NETIS登録No.KK-160026-A

ストロング
FIXチューブ(S型)

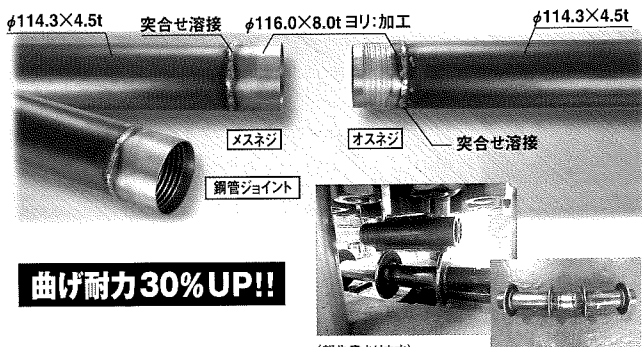
- ※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
- ※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



NETIS登録No.KK-150045-A

AGF-STD工法

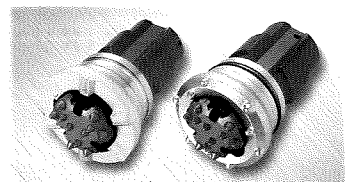
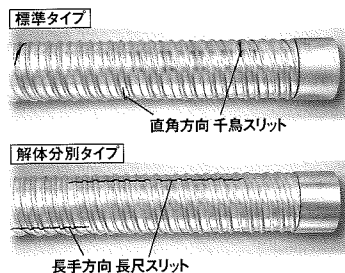
- ※軽量化による作業性とねじ強度の改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



曲げ耐力30% UP!!

(報告書あります)
接続部の抗折力試験

撤去管の選択



STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

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

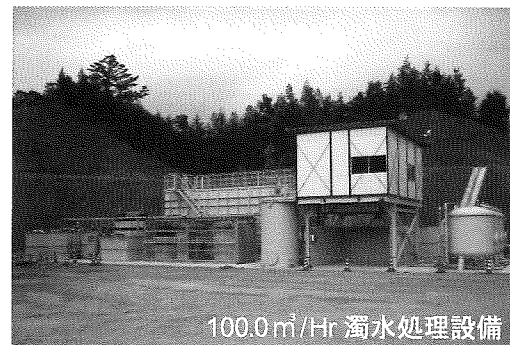


エステーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.072-990-0250 FAX.072-990-0251
http://www.st-eng.co.jp

濁水処理からズリ出しまで
トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ
小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0 m³/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

《汎用車両全般》



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



10T ミキサー



4.5 m³ ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車両 取り扱っております

株式会社 フジテックス

〒930-0821 富山市飯野 12-1 TEL (076)452-1616(代) FAX(076)452-1617

■巻頭言

いまこそ「技術の伝承」を

井上 基宏 5

■研究

めがねトンネルの施工過程における地表面沈下の進展に関する研究

小原 勝巳・進士 正人 57

■施工

隣接する I 期線トンネルへの影響を考慮した割岩工法による施工

—鳥取自動車道 佐瀨トンネル—

高橋 渉・浅井 律宏 7

316m²の超大断面トンネルによる坑口ランプ部の施工

—三遠南信自動車道 佐久間道路第 1 トンネル—

加藤 隆雄・伊藤 誠二・黒川 尚義・出口 大輔 15

全断面早期閉合工法によるパターン化施工で低強度地山を掘削

—中部横断自動車道 八之尻トンネル—

田丸 浩行・前田 崇文・谷村 浩輔・楠本 太 23

泥土圧シールドによる道路函体近接直下と 3 本近併設掘進などの施工 —シンガポール地下鉄ダウンタウン線 C929A 工区—

吉田 吉孝・星 光二郎・中野 文彦 47

■連載講座

トンネル新技術への挑戦(20)

—覆工(コンクリート)—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 65

■現場だより

新潟県最北の景勝地より

小川 泰元 22

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

シールド施工と対応技術の変遷

園田 徹士 35

■資料

土木情報

編集部 34

工法・技術・製品ニュース

編集部 77

トンネルジャーナル

編集部 76

■会報

会報

日本トンネル技術協会 78

ヤマモト かがんき 無騒音 無振動 静かな破碎
超大型油圧破碎機
YTB 1120
トンネルビッカー

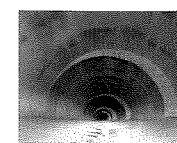
ヤマモトロックマシン株式会社
本社 東京都千代田区丸の内2丁目4番1号 丸の内ビル 903区 ☎ (03)3201-0701(代)

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

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

【表紙説明】

316m²の超大断面トンネルによる坑口ランプ部の施工
—三遠南信自動車道 佐久間道路第 1 トンネル—



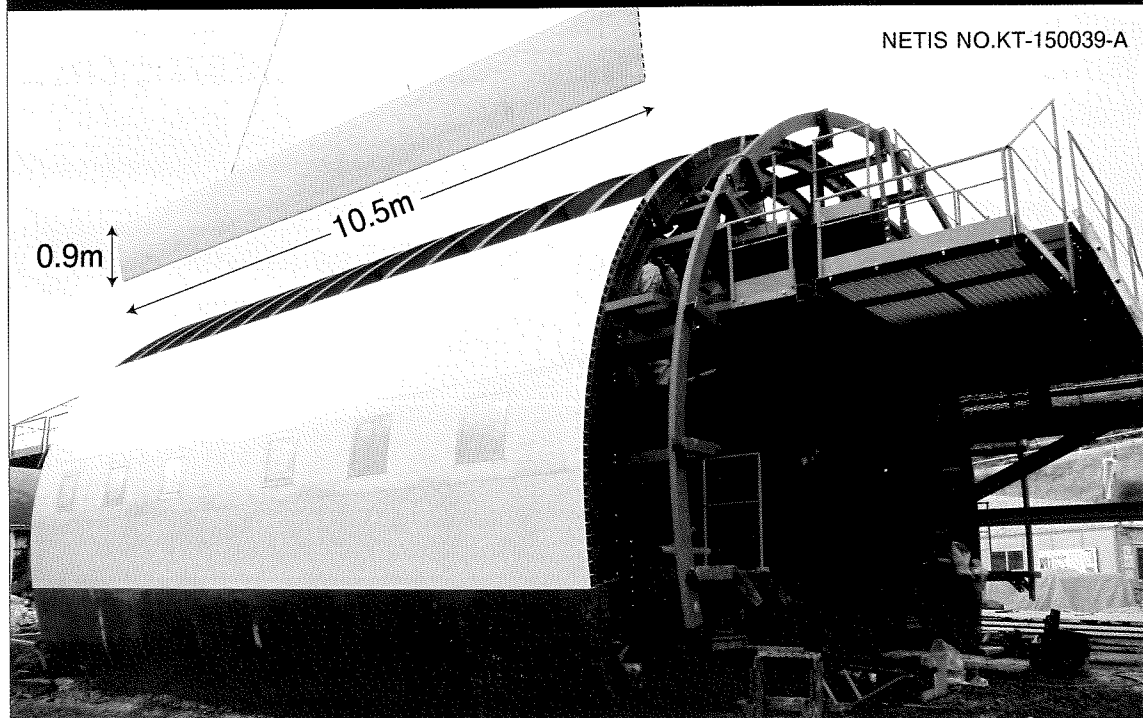
佐久間道路第 1 トンネルは、静岡県と愛知県の県境に位置する延長3,436mのトンネルである。工事は、坑口部にオフランプが計画されているため、坑口から約150m区間では断面を4段階に拡幅させ、坑口側で国内最大規模の掘削断面積316m²の大断面トンネルとなる。掘削中は、上部斜面の安定性を確保するため、先行変位、地表面傾斜、地中変位などの測定を行った。覆工は1.2mと厚く、鉄筋が過密に配筋されているためパイププレートによる締め固めが困難なことから高流動コンクリートを採用した。写真は坑口拡幅区間の完成状況である。

〔写真提供：国土交通省〕(本文15頁参照)

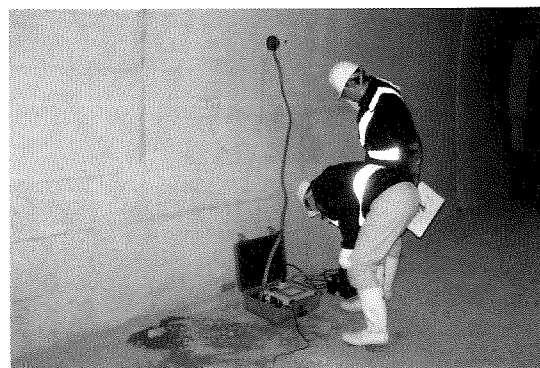
NEW

トンネル覆工初期養生FRP工法 ～ハイブリッドフォーム誕生～

NETIS NO.KT-150039-A



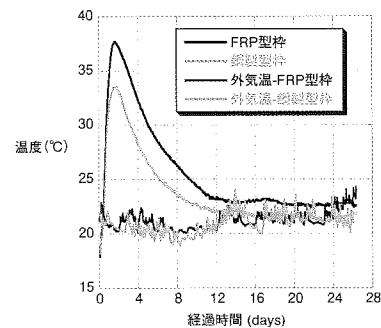
透気試験実施



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

覆工コンクリート温度の経時変化

[宮崎大学との共同研究により、験フジタ古江トンネル南にて測定]



◎3～4°Cの保温効果により、コンクリート強度が15～20%向上

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

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

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

(主 査)

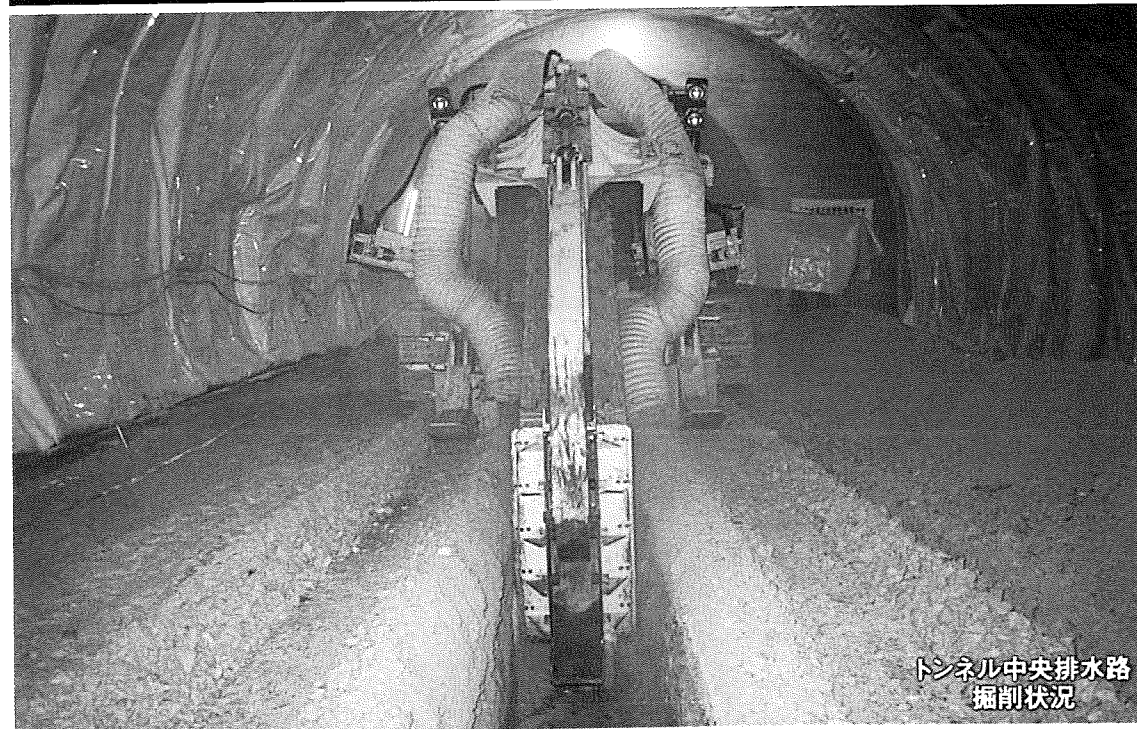
小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

(幹 事)

- | | |
|--|--|
| 伊藤 哲 男
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル研究担当部長 | 西岡 和 則
鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長
(兼)土木管理本部土木工務部トンネルグループ長 |
| 江戸川 修 一
清水建設株式会社土木技術本部副本部長
地下空間統括部長 | 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/>

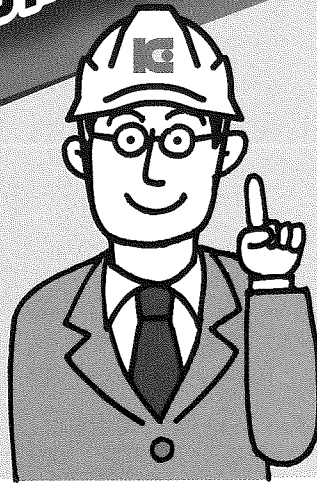
児玉株式会社の
『スマートセンサ型枠システム』

NETIS 登録5周年 記念キャンペーン
ご好評につき、平成29年9月末まで
キャンペーン期間延長!

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

※4年目以降は別途見積り

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



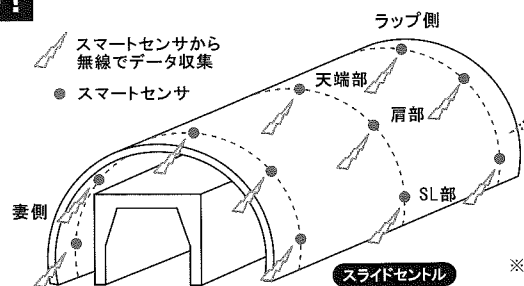
スマートセンサ型枠システム・セメント仕様

(1セット=1断面5台×3列=15台) ※セメント本体は別途

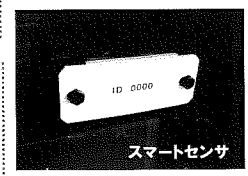
配線手間不要!



専用のSSリーダ



無線でデータ収集!



スマートセンサ

※スマートセンサはセメント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

掲載頁
7

隣接する I 期線トンネルへの影響を考慮した割岩工法による施工
—鳥取自動車道 佐測トンネル—

国土交通省 高橋 渉

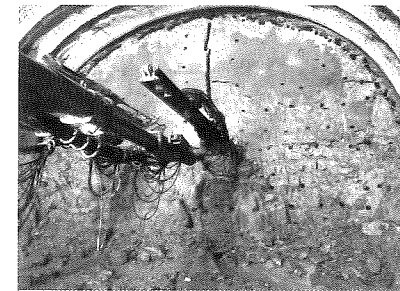
鳥取自動車道は2013年3月に暫定2車線で全線供用し、現在、大原IC～西粟倉ICの一部区間において付加車線の整備が進められている。佐測トンネル(II期線)は、2008年に竣工したI期線と並行して計画された。地山は花崗岩を主体とする中硬岩～硬岩で形成され、標準的には地山条件から発破掘削が選定されるが、発破による振動や衝撃的な発破音による隣接するI期線トンネルへの影響が懸念されるため割岩工法による掘削を選定した。

本稿は、I期線の安全を確保するためにトンネル掘削に採用した割岩工法ならびにI期線の挙動を計測した結果について報告する。

The Rock Breaking Method Taking Effect on Adjacent 1st Phase Tunnel into Consider—Tottori Expressway the Sabuchi Tunnel—

By Wataru Takahashi, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The Tottori Expressway has opened as two-lane expressway in March 2013 and construction works for additional lanes between Ohara and Nishi-Awakura Interchanges are currently underway. The Sabuchi Tunnel (2nd phase tunnel) was planned parallel to the 1st phase tunnel which is completed in 2008. The ground to excavate was composed of semi-hard to hard rock, mainly granite. Blasting is standardly selected to break ground for excavate due to the ground conditions but as there were concerns about the effects of vibration and the impact of the noise of the explosions on the adjacent 1st phase tunnel, the rock breaking method was selected.



写真は連続孔・割岩孔削孔状況

This report contains information on the rock breaking method employed in order to ensure the safety of the 1st phase tunnel as well as the results of behaviour of the 1st phase tunnel that had been monitored.

掲載頁
15

316m²の超大断面トンネルによる坑口ランプ部の施工
—三遠南信自動車道 佐久間道路第1トンネル—

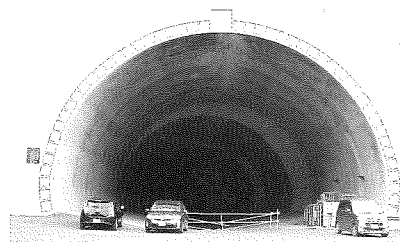
国土交通省 加藤 隆雄

佐久間道路第1トンネルは、静岡県と愛知県の県境に位置する延長3,436mの避難坑を併設するトンネルである。将来的には新東名高速道路いなさJCT(静岡県)から長野県飯田市を結ぶ「三遠南信自動車道」の一区間となる。本工事(浦川地区)は、このうち静岡県側から本坑1,555m、避難坑1,575mを施工するものである。工事の特徴は、坑口部にオフランプが計画されているため、坑口から約150m区間では断面を4段階に拡幅させ、坑口側で国内最大規模の掘削断面面積316m²の大断面トンネルとなることである。掘削では、上部斜面の安定性を確保するため、先行変位、地表面傾斜、地中変位などの測定を行い施工した。覆工は1.2mと厚く、鉄筋が過密に配筋されているためパイプレータによる締固めが困難なことから高流動コンクリートを採用した。本稿では、坑口ランプ部の施工について報告する。

316m² Super Large-Section Tunnel Containing Off-Ramp Lane at Portal—San-En Nanshin Expressway the Sakuma Road Tunnel No. 1—

By Takao Kato, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The Sakuma Road Tunnel No. 1 is 3,436m long with an evacuation tunnel, located on the border between Shizuoka and Aichi Prefectures. In the future, it will become a part of the San-en Nanshin Expressway that links the Shin-Tomei Inasa Junction (Shizuoka Prefecture) with Iida City in Nagano Prefecture. This project (Urakawa Lot) involves



写真は坑口部の仕上がり状況

tunneling 1,555 meter-long stretch of main tube and 1,575 meter-long stretch of an evacuation tunnel from the portal in Shizuoka Prefecture. A features of these works were: containing a off-ramp lane at portal, extending cross-sectional area of the tunnel in four steps from a point 150 meters away from the portal, and building a large-section tunnel with an area of 316m² at the portal, one of largest in Japan. In order to ensure the stability of the upper slope during excavation, we conducted excavation with monitoring preceding displacement, ground surface inclination and ground displacement. Lining was thick at 1.2m, and since there were difficulties with compaction using vibrator as rebar were densely arranged, high flowability concrete was used. This report contains information on the construction of the portal with off-ramp lane.

全断面早期閉合法によるパターン化施工で低強度地山を掘削
—中部横断自動車道 八之尻トンネル—

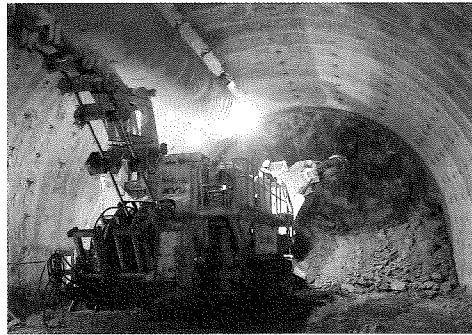
中日本高速道路(株) 田丸 浩行

中部横断自動車道の六郷IC～増穂IC間9.3kmが、2017年3月19日に開通した。この区間には3本の山岳トンネルが計画され、標準的な支保パターンによる施工を基本としたが、最初に着手した八之尻トンネルでは、地山強度比が0.5を下回る低強度の押し出し性地山が出現したため、全断面早期閉合法を採用して、トンネルの力学的安定を確保した。本稿では、低強度押し出し性地山のトンネル施工で採用した全断面早期閉合法によるパターン化施工の概要を述べるとともに、これまでに報告されている早期閉合法トンネルの力学挙動特性を概括し、合理的な山岳トンネル施工技術として紹介する。

Tunnelling in Weak Ground Using Patterned Method of the Full Face Excavation and Quick Closing of Invert
—Chubu Odan Expressway the Hachinoshiri Tunnel—

By Hiroyuki Tamaru, Central Nippon Expressway Company Limited

The Chubu Odan Expressway of 9.3km stretch between Rokugo and Masuho Interchanges opened on 19th March 2017. Three mountain tunnels for this stretch were planned to be



写真は全断面掘削状況

basically built using a standard support pattern but in the Hachinoshiri Tunnel, of which excavation was the first to be conducted, a method with the full face excavation and quick closing of invert was adopted in order to ensure the dynamic stability of the tunnel as squeezing ground with a competence factor of less than 0.5 had appeared. This report contains an overview of tunnelling using patterned method with the full face excavation and quick closing of invert arch adopted in a weak and squeezing ground as well as summarizing the dynamic behavioural features of tunnels which were tunneled using a technique of quick closing of invert and introducing it as a rational technique to construct mountain tunnels.

泥土圧シールドによる道路函体近接直下と3本近併設掘進などの施工
—シンガポール地下鉄ダウンタウン線 C929A 工区—

西松建設(株) 吉田 吉孝

シンガポール地下鉄ダウンタウン線は、全線が地下構造となっており、総延長42km、34の駅を合計35工区に分けて発注された。本工区は、市街地において、延長約6kmを4台の泥土圧シールドで掘進する工事であった。主な技術的課題として、①供用中高速道路トンネル直下の掘進、②大深度立坑内シールド通過、③3本併設シールド(最小離隔1.8m)などが挙げられた。①および③について、事前解析にて近接構造物に与える影響は小さいという検討結果は得ていたが、施工時において、地中の挙動をタイムリーに把握し、掘削土量、切羽圧および裏込め注入圧の管理に細心の注意を払う必要があった。

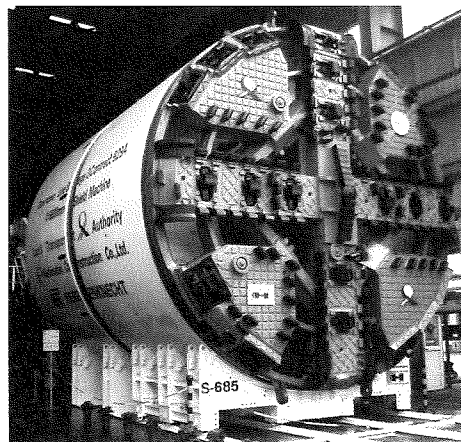
本稿ではこれらに対する事前の計画および実測計測データなどをもとにした考察について述べる。

Muddy Soil Pressure Balanced Shield TBMs Digging Directly Adjacent to Road Tunnel and 3 Close Parallel Tunnels—Singapore MRT Downtown Line Contract C929A—

By Yoshitaka Yoshida, Nishimatsu Construction Co., Ltd.

The Downtown Line, Singapore MRT is entirely composed of underground structures and the order of the whole project with 34 stations over 42km was divided into 25 lots. Our contract required to excavate around 6-km stretch with four muddy soil pressure balanced shield TBMs in an urban area. Major technical issues were:

1) excavation directly under an expressway tunnel without traffic closure, 2) TBM passage within a very deep shaft and 3) operation of three TBMs in parallel (minimum space: 1.8m). For 1) and 3), the results of investigations in prior analysis showed that the effects on adjacent structures were minimal but it was necessary to understand the underground behaviour on demand as well as paying close attention to the management of the amount of excavated soil, pressure at face and back-filling grouting pressure. This report contains information on advance plans for the above and discussion based on observed measured data.



写真は泥土圧シールド

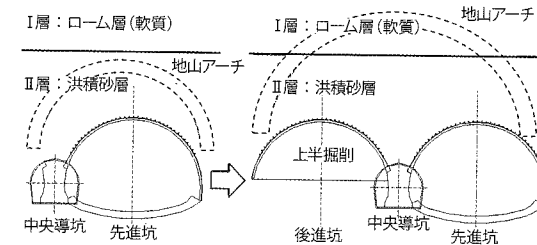
めがねトンネルの施工過程における地表面沈下の進展に関する研究

飛鳥建設(株) 小原 勝巳

めがねトンネルは、多くの事例において丘陵部の段丘下や洪積台地などの土かぶり度で民家などが近接する厳しい地表条件下で施工されており、掘削段階を追って地表面沈下量を正確に予測することが施工管理上の重要課題である。先進坑と後進坑の掘削による地表面沈下の増分の比率は土かぶり度によって変化することが知られているが、本研究では、地表面沈下の計測を精度よく実施した施工実績を用いて詳細な分析を行った。計測事例には掘削段階が進むにつれて地表面沈下の最大発生位置が土かぶりの大きい断面に移行することが認められ、施工条件から想定される要因として、土かぶり度とトンネル上部の地層構成の影響を考察した。

Growth of Surface Settlement in the Construction Procedure for Binocular Tunnels
By Katsumi Obara, Tobishima Construction

Most of binocular tunnels have been constructed under severe surface conditions such as residential area, shallow overburden under terraces or diluvial uplands. Accurately predicting surface settlement in the every excavation stage is an important task in construction management. It is well-known that the increment ratio of the settlement due to the excavation of the primary and secondary tunnels changes according to overburden and this research conducted detailed analysis using construction results where settlement precisely had been measured. As the stages of excavation progress, measurement data show that a section where maximum settlement occurred moved to a point with larger overburden. The effects of overburden and the stratum formation of the upper part of the tunnel were considered as causes estimated from construction condition.



図は掘削段階による地山アーチの変移概念図

管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

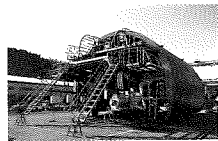
コンクリートトータル養生システム

セントル型枠

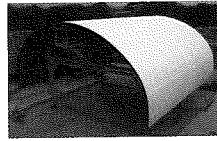
第二養生

第三養生

加温しながら初期強度を上げる
加温養生（型枠）



加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



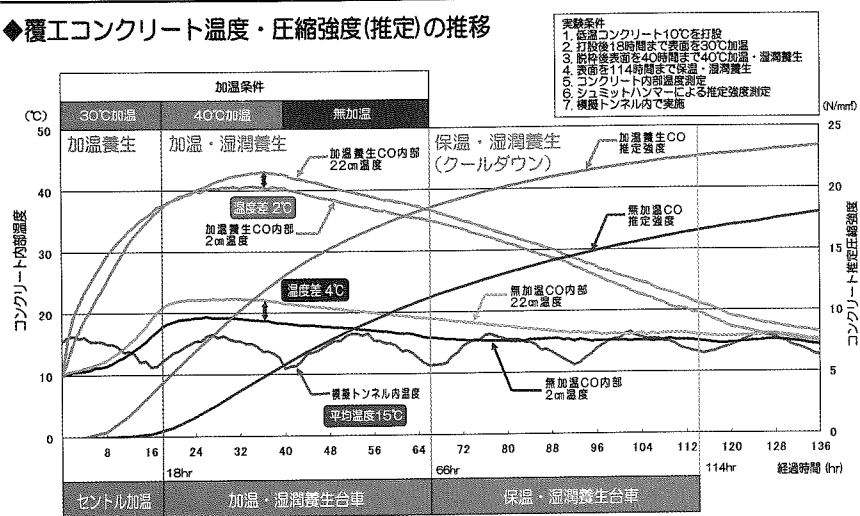
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

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

【製作・販売協力】
TECHNO
テクノプロ株式会社

TOUGOU
株式会社 東 宏

巻頭言

(題字 谷口博昭会長)

いまこそ「技術の伝承」を



(株)大本組取締役執行役員土木本部長(本協会評議員)

井上基宏

私が建設業界に身を投じた1977(昭和52)年当時、就職活動は、1973(昭和48)年の第1次石油ショックの影響で新規求人倍率が0.9倍と厳しい時期でした。経済情勢は、為替の変動相場制への移行により対ドル為替レートが1ドル=360円だったものが176円へ急騰したにもかかわらず、日本の国際収支の不均衡は解消されることなく貿易黒字が拡大し、実質経済成長率も5.5%を維持していました。われわれ建設業界も、公共投資の伸長や堅調な消費動向に支えられ、経済全体が着実な回復ぶりを示していました。

当時、私の故郷である岡山県でも田中角栄内閣が提唱した「日本列島改造論」の政策のもと、山陽新幹線の岡山以西への延伸工事が最盛期でした。そんな中、新幹線の工事現場でアルバイトをする機会があり、オープンな人間関係とリスクへも挑戦する生き様に憧れ、建設業界を選びました。就職した私に、父親が「トンネル掘りは大変危ない。炭鉱のように落盤事故があるだろう。」と心配していたことを思い出します。それから40年が経過し、そのような心配話とは無縁となりましたが、一方で技術の進歩とは裏腹に大きな事故が発生しているのも事実です。

入社後、シールド・推進工事、ニューマチックケーソン工事、高架橋工事、護岸工事などさまざまな現場を経験しました。そこで私が直面した危険や問題は、土質の変化や突発的な湧水などの現場条件の変化を見抜く工学的な知識や経験不足、機械・設備やシステムの不具合、現場に携わる一人ひとりのリスクに対する認識の甘さでした。安全施工は、現場の規模にかかわらず、類似の事故事例や過去の経験を結集した予防措置と現場の状況変化にタイムリーかつ的確に対応することが重要です。

高度成長期に急速に整備された社会資本ストックは、今後本格的な更新の時期を迎え、膨大な更新費用が必要になると報じられています。なかでも「トンネルと地下」にかかわる領域では、トンネルが10,000か所、下水道管渠は45万km、その他の電気・ガス・水道などのライフラインにおいても多数あり、これらの早急な耐震化やリニューアル、代替施設の築造が求められているところです。

さらには、東日本大震災などの大規模地震の発生、地球温暖化の影響によるスーパー

台風やゲリラ豪雨など、大規模な災害の発生確率が高まっています。われわれ建設業界は、官民を問わず国民の安心・安全や財産を守る使命が課せられているといっても過言ではありません。

また、わが国では労働人口の減少という国家的な課題が迫っており、建設業界でも技能労働者・若手技術者不足が社会的問題になっています。建設業界全体で「担い手確保」に取り組んでいかなければなりません。

そのような状況を踏まえ、建設業が社会貢献するためには、高い技術力を維持するとともに、i-Constructionにも積極的に取り組み、ドローンや人工知能(AI)などの先端技術を活用し、構造物の信頼性を確保するとともに、建設業界全体の生産性向上とより安全な施工方法を追求していかなければなりません。

とくに昨今では、2020年東京オリンピック・パラリンピックの開催に向けた渋滞緩和対策や利便性向上のための再整備、外国人観光客の急増によるインバウンド景気などの影響による土地利用の高度化が加速し、地上部だけでなく地下空間においても交通インフラやライフラインが過密化・大深度化しています。ますます施工条件が厳しくなる環境下で、NATMトンネルでの切羽剥落事故、シールドトンネルでの発進到達時の出水事故、セグメント脱落事故などが発生しています。

これらの事故を防止し、より人や環境に優しい「安心・安全で良質なトンネル」を築造するためには、先人の現場経験に裏打ちされた危険予知能力と先端AI技術などを取り入れた管理手法を駆使し、トンネル切羽や周辺地盤の変状防止、近接構造物への影響防止など、あらゆる予防措置を講じていかなければなりません。

私の会社では、災害危険地域で安全に作業できる遠隔操作技術や大深度地下空間におけるニューマチックケーソン工法の無人化施工技術の開発に取り組むなど、更なる安全性・信頼性の向上に努めています。

私自身の残る土木技術者としての人生は、世紀の事業となるリニア中央新幹線や東京外かく環状道路のトンネル工事に建設技術者の誇りを感じ、とくに大土かぶりでの長大なNATMトンネル、大深度で既設地下構造物が過密化した地下空間におけるシールドトンネルにおいて、品質確保と安全性の向上、省力化の推進などの課題克服に挑戦する「建設業の現場力」を見届けることだと思っています。また、現場特有の技術的課題や社会的な要求事項、地域住民・環境への負荷低減などの多種多様な問題に対応できるよう「技術の伝承」に傾注して参ります。その中で、私自身の経験のほんの一部でも次世代の技術者に引き継ぐことができれば技術者冥利に尽きる次第です。

施工

隣接するI期線トンネルへの影響を考慮した割岩工法による施工

一鳥取自動車道 佐瀨トンネル一

国土交通省中国地方整備局岡山国道事務所工務課長 高橋 渉
(株)大本組土木本部工務部次長 浅井 律宏

1 はじめに

中国横断自動車道姫路鳥取線は、兵庫県姫路市を起点とし、鳥取市に至る延長約87kmの高速自動車国道である。このうち、鳥取自動車道の区間については2013(平成25)年3月に暫定2車線で全線供用し、現在、大原IC～西粟倉ICの一部区間において付加車線の整備を進めている。

佐瀨トンネルは、当該区間に2008(平成20)年に竣工した佐瀨トンネルI期線と並行して計画されたトンネル(II期線)である。本トンネルの地山は花崗岩を主体とする中硬岩～硬岩で形成される。このため、地山条件からは、標準的には発破掘削が選定される。しかしながら、発破による振動や衝撃的な発破音による隣接するI期線トンネルへ

の影響が懸念されるため割岩工法による掘削を選定した。

本稿は、I期線の安全を確保するためにトンネル掘削に採用した割岩工法ならびにI期線の挙動を計測した結果について報告する。

2 工事概要

佐瀨トンネルは岡山県英田郡西粟倉村の吉野川右岸に位置する。この付近は頂部に小平坦面を有し、背後に鞍部を有する400m以下の尾根が連続する地形となっている。トンネル付近の地質は図-2に示すとおり基盤岩である中生代白亜紀の「花崗岩」とこれを貫く新第三紀の「ひん岩」から構成される。トンネル地表部には風化が進んだD級岩盤相当の地山(マサ化した地山)が分布するが、

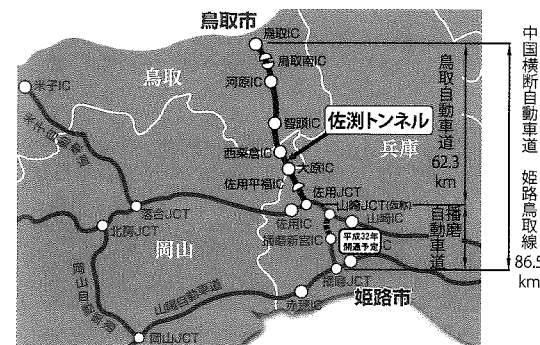


図-1 工事位置

表-1 工事概要

工 事 名	鳥取自動車道佐瀨トンネル工事
施 工 場 所	岡山県英田郡西粟倉村長尾地内
工 期	(自)2015(平成27)年1月17日～ (至)2016(平成28)年7月29日
トンネル延長	L=201.1m
掘削断面積	A=72.368～76.975m ² (インバート含む)
掘削工法	上半先進ベンチカット工法, 補助ベンチ付き全断面工法
掘削方式	機械掘削(自由断面掘削機), 割岩掘削

佐測トンネル（下り線） L=201.1m

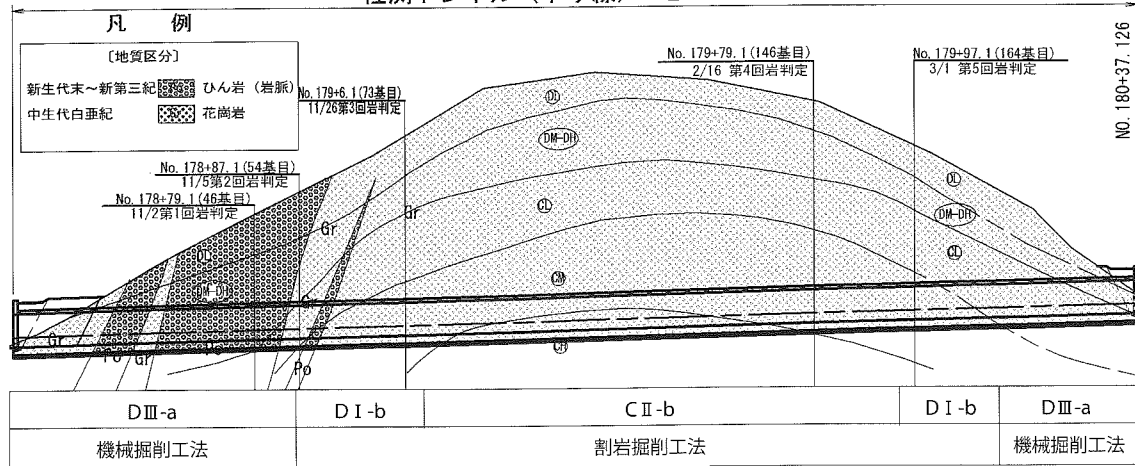


図-2 地質縦断面図

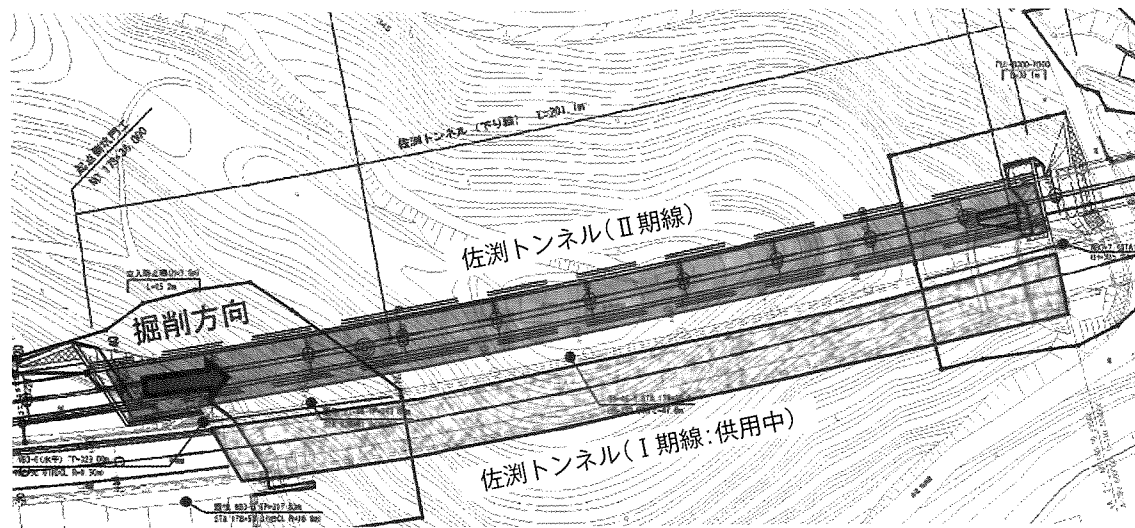
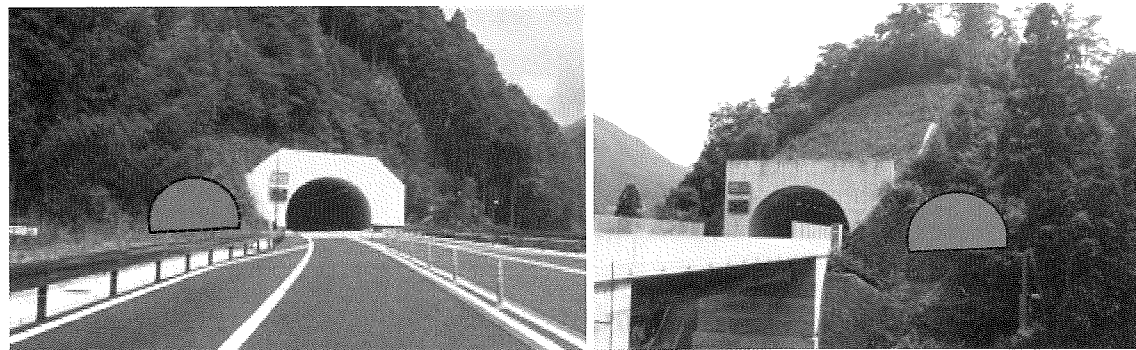


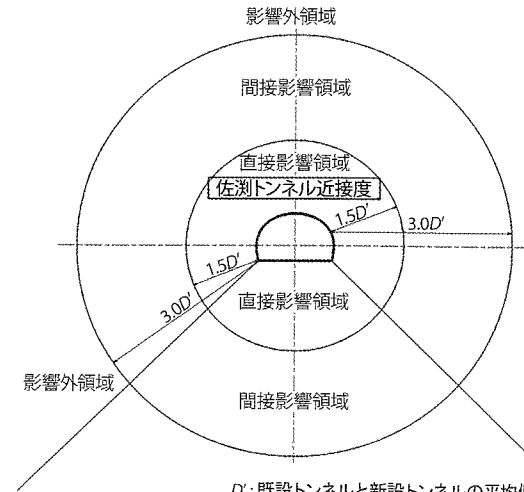
図-3 工事位置平面図



起点側坑口から鳥取方面

終点側坑口から佐用方面

写真-1 坑口部着手前写真



D: 既設トンネルと新設トンネルの平均値

図-4 近接度の区分¹⁾

山体中心部に向かって岩盤状況は良好となり、トンネル中心部付近にはCH級相当の新鮮硬質な花崗岩(最大で一軸圧縮強度150N/mm²と推定される)が分布している。

I期線とII期線の両者の純離隔距離は図-3および写真-1に示すとおり、最小で5m程度である。近接度は図-4に示す直接影響領域の1.5D(D: 両トンネルの平均外径)を大幅に下回る0.5D程度であり、非常に慎重な施工が要求される。このため、I期線への影響が最小限となる施工方法として、無発破による掘削を計画した。なお、I期線は竣工後8年ということもあって、点検の結果、覆工コンクリートの機能低下は認められなかった。

3 無発破掘削工法

3-1 掘削工法の選定

図-5に示す「掘削方式の選定フロー」によると、地山の一軸圧縮強度が50N/mm²以上では発破掘削が経済的であるが、I期線への発破振動の影響が懸念されたため機械掘削を選定した。しかしながら、機械掘削は花崗岩の堅硬な区間での自由断面掘削機による掘削能率の低下が想定されたため、自由断面掘削機と割岩掘削の併用とした。

3-2 割岩工法(FONドリル工法)の概要

割岩工法は、トンネル切羽に削孔した割岩孔に油圧クサビを挿入して割岩孔周辺地山に引張応力

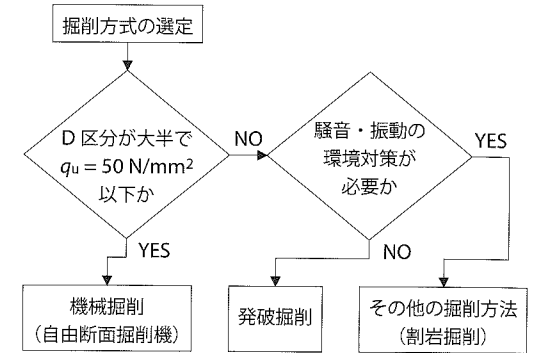


図-5 掘削方式の選定フロー²⁾

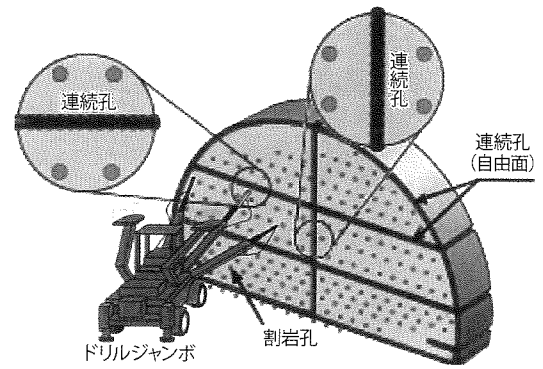


図-6 連続孔と割岩孔の関係

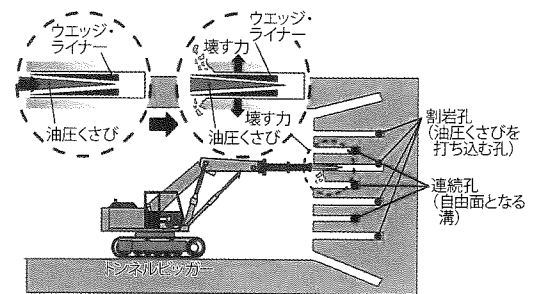


図-7 1次破碎の概要

を発生させることにより、亀裂を発生させ、この亀裂を利用してプレーカーで掘削する工法である。このとき、連続孔を削孔して自由面を形成する。自由面形成、割岩孔削孔および1次破碎に時間を要するが、振動や騒音の抑制効果は非常に大きく確実性の高い工法である。

本トンネルで採用した「FONドリル工法」は、図-6,7に示すとおり切羽の外周およびその掘削箇所単一孔を連続的に削孔して自由面を形成する工法である。本工法の特徴は、通常のドリルジャ

ンボに、図-8に示す「SABロッド」と呼ぶガイドロッドを取り付けるだけで連続孔削孔による自由面形成が可能になり、同作業用の専用機を必要としないことにある。

3-3 割岩工法の施工実績

実施工では、坑口からの掘進長が52mを超えた位置から一軸圧縮強度が50N/mm²を超え、自由断面掘削機から割岩掘削に切り替えた。図-9に示すとおりDI-b区間の一軸圧縮強度はおおむね

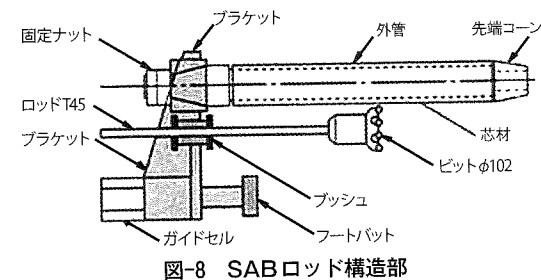


図-8 SABロッド構造部

60~100N/mm²であるのに対し、地山の中心部となるCII-b区間の一軸圧縮強度はおおむね100~160N/mm²とかなり硬質であった。

実際の割岩孔間隔、自由面の位置や数は地山状況に応じて適切に設定することが必要であるが、標準的には図-10のように設計している。割岩孔削孔長は「掘進長+油圧クサビのシリンダースト

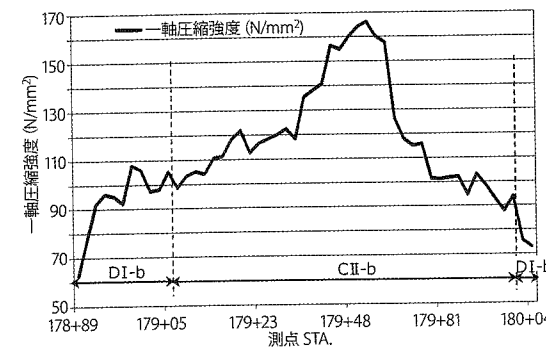


図-9 切羽岩石の一軸圧縮強度推定値

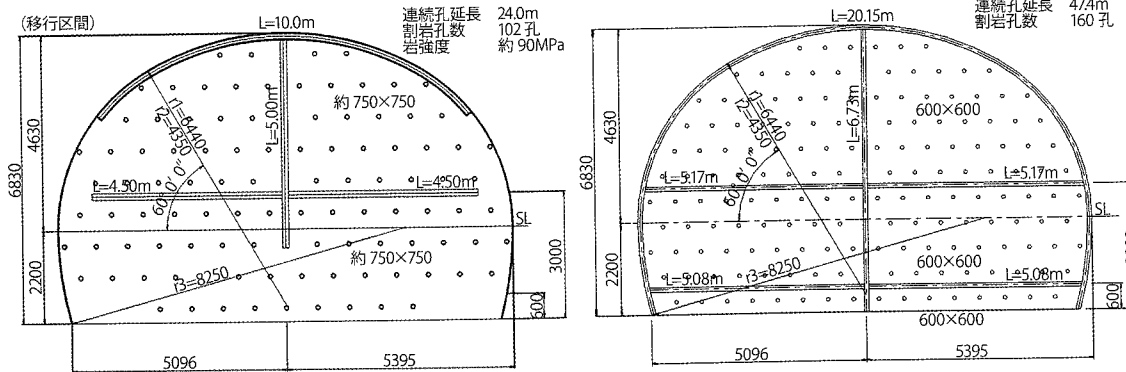


図-10 標準削孔パターン(左: DI-b, 右: CII-b)



写真-2 連続孔・割岩孔削孔状況(ドリルジャンボにSABロッドを付けて孔や溝を掘削)

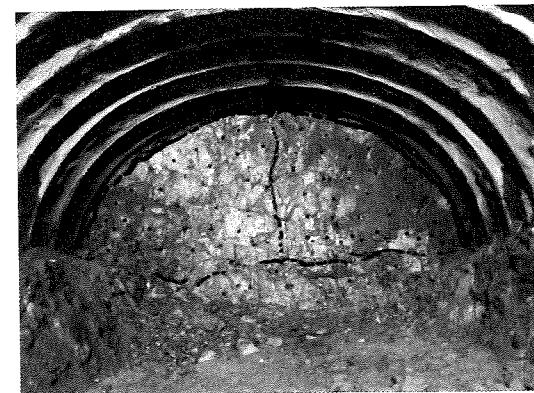


写真-3 連続孔・割岩孔完了

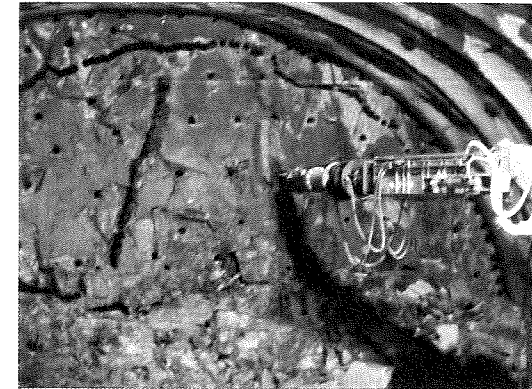


写真-4 1次破碎状況(掘削した孔に油圧くさびを差し込んで岩を破碎)



写真-5 2次破碎状況(割岩された岩盤を大型プレートでさらに破碎)

ロック長50cm+10cm」, 自由面となる連続孔の削孔長は「掘進長+10cm」であり、掘進長1.0mに対してそれぞれ1.6mと1.1mである。また、割岩孔間隔の標準値は50~60cmである。

写真-2~5に示すように、実施工では切羽全面が同一状態ではないため、比較的割れ目が多い範囲では自由面の延長を短くし、割岩孔の間隔を広げることによって掘削効率を上げている。

4 FEM解析

本解析は、II期線施工がI期線に与える影響を把握し、安全性を評価する目的で実施したものである。解析にあたっては、トンネル周辺地山の安定(変位、せん断ひずみ、破壊領域)およびI期線覆工コンクリートの増加応力の検討を行っている。このうち、せん断ひずみと破壊領域については局所的かつ非常に小さい数値であり、地山の安定が損なわれる危険は小さいものであった。

ここでは、変位と覆工応力の解析結果を以下に整理する。

4-1 I期線の変位

II期線の施工によって生じるI期線の変位は、最大でも3mm(水平変位)、1.5mm(沈下)程度と小さい。トンネル周囲の地山が硬質岩であるため、変

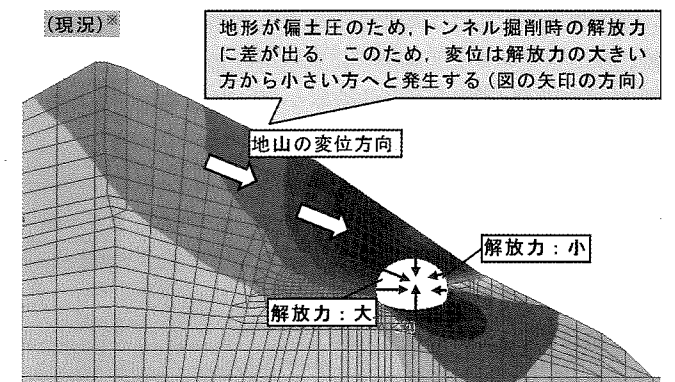


図-11 現況解析イメージ

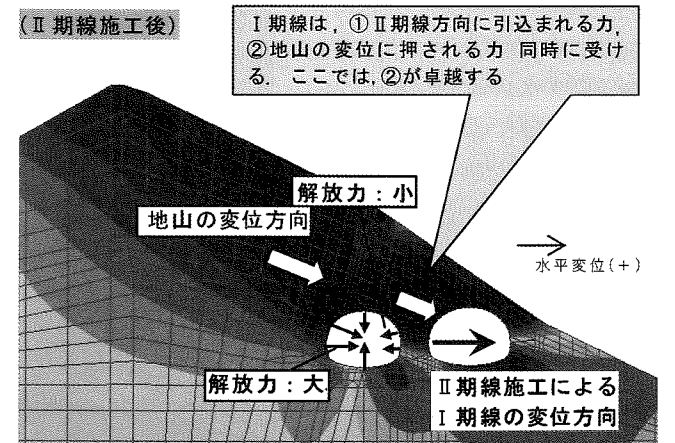


図-12 II期線施工後解析イメージ

位も小さい結果である。

変位の方向は図-12に示すとおりである。変位は、II期線が斜面地形の裾付近に位置していること、既に掘削完了のI期線周辺地盤の応力状態や

剛性変化の影響を受けていることなどの可能性があるが、その影響は小さい。

4-2 I期線覆工の増加応力度

II期線施工によってI期線に発生する増加応力度は、設計基準強度に対する比率から求められた許容値¹⁾以内に収まる結果であった。また、増加応力がもっとも厳しくなる箇所は、アーチ部(II期線側)で外側圧縮と内側引張が、また外側引張がアーチ部(II期線と反対側)で発生する傾向となった。

5 I期線の計測

II期線掘削によるI期線への影響を管理するため、覆工コンクリート表面の目視観察に加えて表-2に示す計測を行い、表-3にもとづいた管理を

行った。

計測箇所については、図-13および表-2に示すNo.178+80のひん岩貫入箇所およびNo.179+40の土かぶり最大箇所の2か所を主計測断面とし、それを補完する6断面を副計測断面とした。

管理基準値は、FEM解析の結果および各種機関の基準²⁾を参考として表-3に示すとおり設定している。

5-1 I期線覆工コンクリートの目視観察

I期線の目視観察は「車両巡回点検」と「覆工目地の段差計測」を実施した。「車両巡回点検」は主に落下物、漏水の有無の確認を目的とし、1日1回の頻度で実施した。「覆工目地の段差計測」は目地の段差を直接トンネル内で計測するもので、併せて覆工に生じた新たなひび割れの有無や計測

表-2 計測機器一覧(I期線)

計測項目	計測器	実施数量			
		主計測断面		副計測断面	
覆工コンクリート表面変位	レーザー距離計	天端沈下測定×1か所 内空変位測定×3測線	×2断面	天端沈下測定×1か所 内空変位測定×3測線	×6断面
覆工増加応力	ひずみ計	5か所	×2断面	—	—
温度	熱電対温度計	5か所	×2断面	—	—
振動速度	振動速度計	1か所	×2断面	—	—

表-3 I期線の計測値と管理体制一覧

管理区分	覆工変位(mm)	覆工応力(N/mm ²)		振動(cm/s)	主な対応/措置
		圧縮	引張		
通常体制	0~2.5未満	0~2.7未満	0~1.0未満	0~2.0未満	通常施工
準備体制	2.5~3.0未満	2.7~3.8未満	1.0~1.5未満	2.0~3.0未満	現場職員、作業員への周知
注意体制	3.0~4.0未満	3.8~5.4未満	1.5~1.9未満	3.0~4.0未満	掘削手順・補助工法などの検討
警戒態勢	4.0以上	5.4以上	1.9以上	4.0以上	トンネル掘削一時中止I期線の剝落対策工の検討

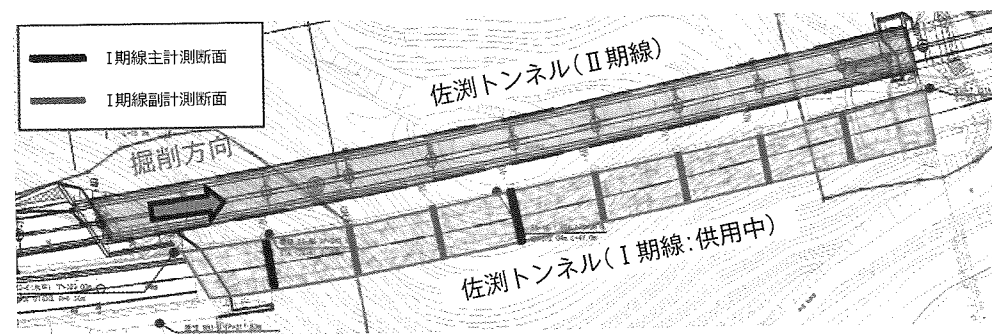
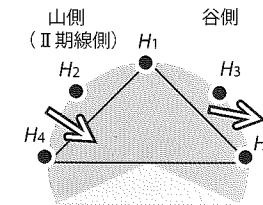


図-13 I期線計測器位置図

器のチェックも行った。段差計測の実施頻度は通常体制下で2回/週、準備体制下で3回/週の頻度である。両目視観察の結果、変状発生などの異常は認められなかった。

5-2 振動速度

本工事では発破掘削は行っていないが、ブレイカーにて割岩掘削での2次破碎を行うため振動速度の計測も行っている。振動速度計をI期線のSTA.178+80とSTA.179+40の山側(II期線側)覆工に設置し連続計測を行った結果を図-14に示す。STA.178+80で0.125cm/s、STA.179+40で0.149cm/s(いずれも最大値)であった。本地点では、上半切羽が計測点の1D距離まで接近した時点から0.5D距離を通過するまでの間、管理基準における「通常体制」の上限値(2.0m/s)よりもかなり小さい値であったことが確認されている。



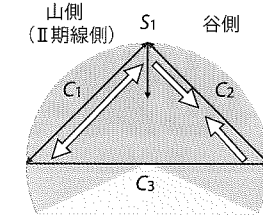
覆工応力計測結果(収束値: +引張, -圧縮(N/mm²))

測線 No.	計測点 No.				
	H1	H2	H3	H4	H5
STA.178+80	-0.87	-0.31	-2.19	+0.92	-1.11
STA.179+40	+0.13	-0.80	-0.90	+0.20	-1.03

図-15 覆工応力計測結果

5-3 覆工応力

図-15に覆工応力の収束値を示す。計測の結果、収束値は圧縮の場合で最大2.19N/mm²、引張の場合で最大0.92N/mm²であった。II期線側が引張、II期線反対側が圧縮となっており、山側から谷側への地山の変位に押されるというFEM解析と同様の傾向を示している。



変位計測結果(収束値: +伸長方向, -収縮方向(mm))

測線No.	計測点No.			
	S1	C1	C2	C3
STA.178+80	-2.64	+3.09	-3.03	+0.57
STA.179+00	-0.78	+0.54	-1.92	+0.83
STA.179+20	-0.33	-0.39	-0.84	+1.55
STA.179+40	-0.47	+0.71	-1.12	+0.80
STA.179+60	+0.07	+0.25	-1.12	-0.09
STA.179+80	-0.46	-0.68	-1.89	-0.52
STA.180+00	+0.77	+1.84	+0.78	+0.51
STA.180+20	-0.48	+0.17	+0.16	+0.16

図-16 内空変位と切羽位置の関係図

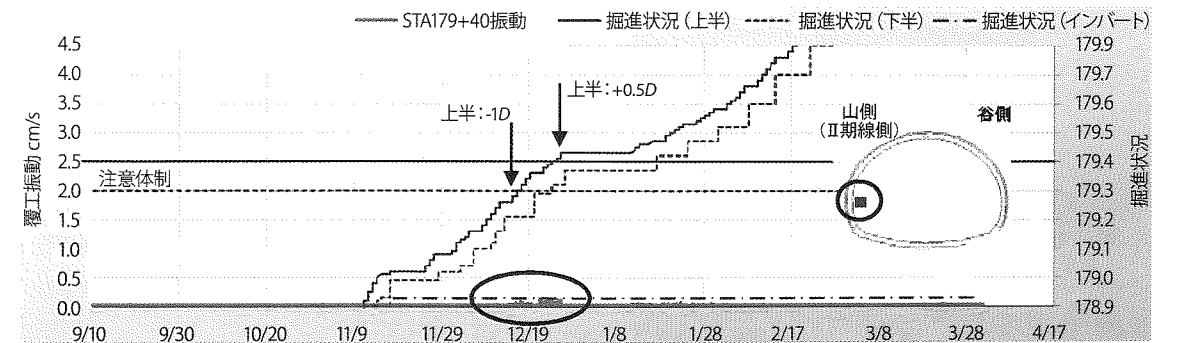


図-14 振動速度と切羽位置の関係図

している。

STA.179+00では12月23、24日に警戒態勢に該当する4.0mmに近づく変位増加が生じたが、切羽が離れるに従い減少傾向に転じた。上記2測点は風化の進行したひん岩層に当たっており、Ⅱ期線掘削においても比較的大きな変位を計測した区間である。これ以降の測点では、警戒を必要とする値は計測されていない。また、全測点を通じて応力と変位の両者が同時に警戒レベルに達することはなく、結果としてⅠ期線に損傷もしくはその可能性を示唆する影響は生じなかったと考えられる。

6 おわりに

本工事では既設トンネルからの純離隔距離5mでのトンネル掘削を行った。既設トンネルは建設後8年であり、覆工コンクリートも健全な状態であったが、供用中であることから通行車両の安全を最優先として機械掘削と割岩掘削を併用した施

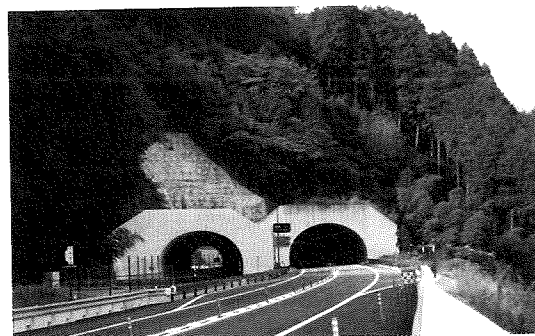


写真-6 起点側坑口全景

工を行った。また、各計測項目についておおむねFEM解析で想定した傾向を示すとともに許容値以下に収まり、施工完了後のⅠ期線点検においても変状などは発生していない。

参考文献

- 1) 西・中・東高速道路：設計要領，第三集 トンネル本工保全編(近接施工)2016.8.
- 2) 国土交通省：第5章トンネル工，土木工事標準積算基準書2016.4.

わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修

B5判 209頁 本体価格2,500円

主要目次

序編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは
2. トンネルと地質

第Ⅰ編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

1. 地球の構造
2. 地層や岩石の分類
3. 地質作用
4. 地質構造
5. 地形と地質との関わり
6. 日本の地質
7. 地下水

第Ⅱ編 トンネル工事と地質条件

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

第Ⅲ編 地質調査法

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

第Ⅳ編 工事を対象とした地質調査の進め方

1. 調査の基本
2. 地山条件の調査の流れ
3. トンネル工事のための地山評価法
4. 調査の成果

株式会社 **土木工学社**

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

施工

316m²の超大断面トンネルによる坑口ランプ部の施工

—三遠南信自動車道 佐久間道路第1トンネル—

国土交通省中部地方整備局浜松河川国道事務所警田出張所長 加藤 隆雄
国土交通省中部地方整備局紀勢国道事務所工務課設計係長 伊藤 誠二
(株)大林組佐久間浦川トンネル工事事務所現場代理人 黒川 尚義
(株)大林組佐久間浦川トンネル工事事務所監理技術者 出口 大輔

1 はじめに

佐久間道路(L=6.9km)は、現在国土交通省で整備中の新東名高速道路浜松いなさJCT(静岡県)から長野県飯田市を結ぶ延長約100kmに及ぶ高規格幹線道路「三遠南信自動車道」の一部を構成している(図-1)。そのうち、佐久間第1トンネルは、静岡県と愛知県の県境を跨ぐ延長3,436mの避難坑を併設したトンネルで、佐久間道路区間最長のトンネルとなる。

本工事は、静岡県側から本坑1,555m、避難坑1,575mを施工する。工事の特徴は、坑口部にインターチェンジの降り口(オフランプ)が計画されており、分岐車線の確保のためトンネル断面を4段階で拡幅する計画となっている。もっとも大きな断面は掘削断面積316m²(仕上がり内空196m²)と国内のトンネルでも屈指の大断面である。トンネル掘削については、側壁導坑先進工法にて行い、上部斜面への影響を監視するため地表面傾斜測定、斜面動態観測、先行変位測定、地中変位測定を行いながら常時監視のもと実施した。また、覆工については、設計厚1.2mと一般的な覆工コンクリートの厚さに比べ約4倍と厚く、さらに過密鉄

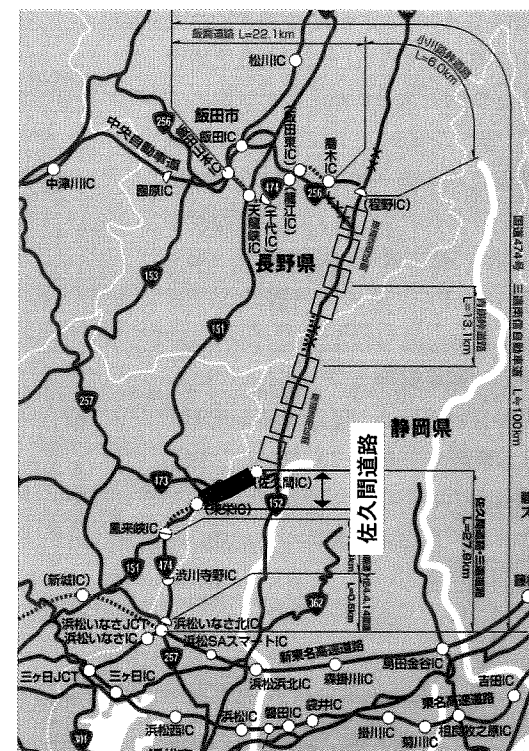


図-1 工事位置図

筋構造となっているため高流動コンクリートを採用して施工した。本稿では、上記施工について報告する。

2 工事概要

2-1 工事概要

佐久間第1トンネルは、2車線の高規格幹線道路で標準区間のトンネル掘削断面積は91m²である。坑口部のオフランプ構築区間の長さは150mであり、この区間で、標準断面91~316m²まで段階的に断面を拡幅する構造となっている。坑口部各区間の概要を表-1に、拡幅区間の完成イメージを図-2に示す。

本トンネルの掘削は、併設する避難坑を先行し、2014(平成26)年2月から開始した。途中、本坑へのアプローチとなる作業坑を構築したのち、到達側へ向け避難坑、本坑を併行して施工した。坑口部の掘削は、2015(平成27)年8月より坑内側からDIII a-L-2-s、DIII a-L-3-sを施工し、同年10月より、坑口側から最大断面となるDIII a-L-4-s区間の掘削に着手した。2015(平成27)年11月にDIII a-L-4-s区間の掘削を終え、拡幅区間全長150mのトンネル掘削が完了した。最大断面積を誇るDIII a-L-4-sの標準断面図および掘削加背割を図-3に示す。

2-2 地質概要

本トンネルは、日本列島を横断する大断層である中央構造線の北側約1.0kmの位置に、中央構造線と並行

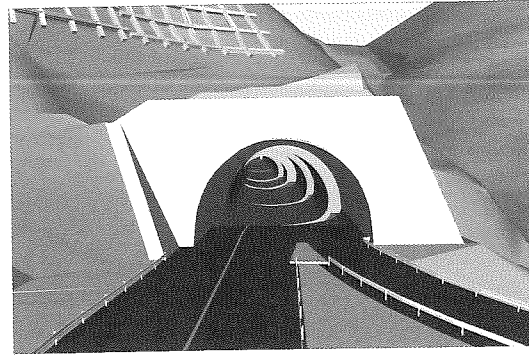


図-2 拡幅区間の完成イメージ

表-1 拡幅区間の詳細

支保パターン	DI-b	DI-L-1-s	DIII a-L-2-s	DIII a-L-3-s	DIII a-L-4-s
掘削断面積(m ²)	91	119	176	213	316
区間長(m)	標準断面	27.0	47.8	34.4	36.5
掘削工法	上半先進ベンチカット工法				側壁導坑先進工法
補助工法	—				AGF工

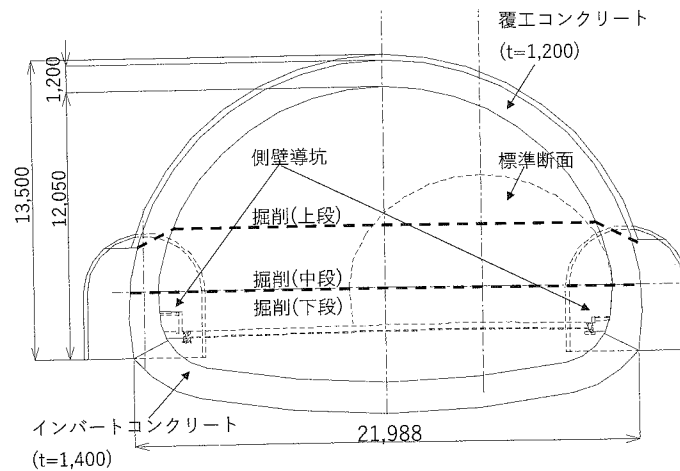


図-3 DIII a-L-4-sの標準断面図および掘削加背割

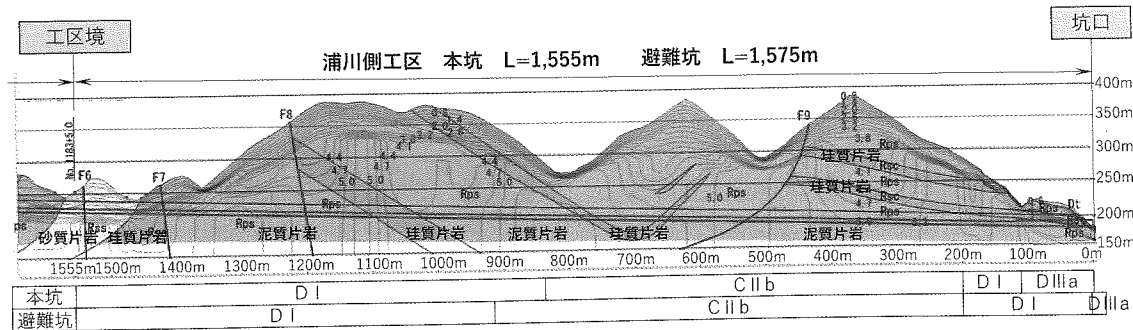


図-4 地質縦断図

する。地質は、領家帯変成岩類の泥質片岩を主体とし、珪質片岩が互層状に分布した付加体である。当工区の地質縦断図を図-4に示す。泥質片岩や珪質片岩は、日本海溝付近で日本側に付加された海底の堆積物であり、長い間日本列島の地下で地圧と温度作用を受けて変成岩となったもので、多くの破碎部や破碎されたブロックを介在するのが特徴とされる。本トンネルの掘削中においても、破碎されたブロックに遭遇し、予想を超える内空変位、吹付けコンクリートのクラック、ロックボルトの破断などの支保工の変状が発生し、縫い返しを余儀なくされた箇所があった。

3 トンネル掘削

3-1 計測工

坑口部DIII a-L-4-s区間の掘削に際し、急崖にトンネルと斜交する坑口斜面、お

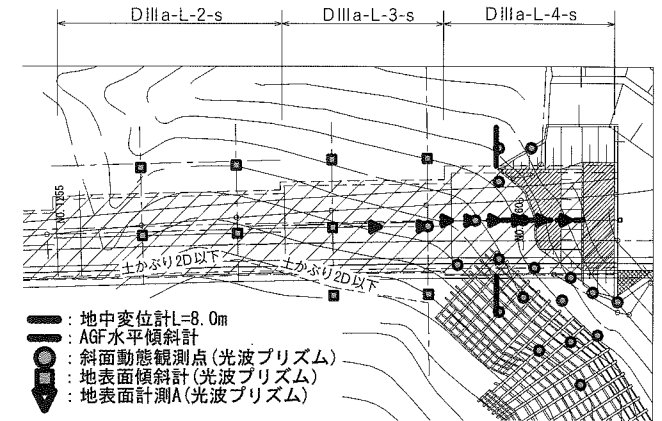


図-5 計測工B平面図

表-2 計測工B一覧

区分	測定項目	計測目的	計測仕様	数量
坑内計測B	地中変位計 (左右側壁導坑)	・側壁導坑掘削時の周辺地盤の緩みの範囲、量の把握 ・本坑トンネル掘削時の周辺地盤の緩みの範囲、量の把握	・地中変位計：L=8.0m ・計測深度：1m, 2m, 3m, 4m, 6m, 8m(計6点) ・自動計測システム：事務所PCで常時監視	2か所
	AGF水平傾斜計	・本坑掘削時の先行変位量の把握	・沈下計：L=20.0m(AGF：L=20m) ・計測点深度@2m(計10点) ・自動計測システム：事務所PCで常時監視	1か所
地表面計測B	斜面動態観測	・斜面3次元変位を計測し、変形モードを検査 ・斜面の安定性を把握して、対策工の有無を検査	・トータルステーションを使用して手動計測 ・警戒レベルが上がれば自動計測に変更	20か所
	地表面傾斜計	・本坑掘削時の土かぶりの小さい右側斜面の変位を監視	・無線式の傾斜計(計測頻度の変更可) ・自動計測	4測線 (傾斜計9台)

表-3 各計測の管理基準値および管理体制

観測項目	対応区分			
	管理レベルI	管理レベルII	管理レベルIII	管理レベルIV
地中変位測定(地中変位計) (AGF水平傾斜計)	点検・要注意または観測強化	対策工の検討	警戒・応急対策の実施	嚴重警戒・一時退避
斜面動態観測	1mm以上/10日	5~50mm/5日	管理レベルII以上	—
地表面傾斜計	5mm以上/10日	5~50mm/5日	10~100mm/1日	100mm以上/1日
	10 ⁻³ rad/日	10 ⁻⁴ rad/日	10 ⁻³ rad/日	10 ⁻² rad/日

※『地すべり危険地における動態観測施工に関する研究(その3)報告書』(財)高速道路調査会
『地表面傾斜計を用いた岩盤斜面の安定度評価の提案』応用地質技術年報

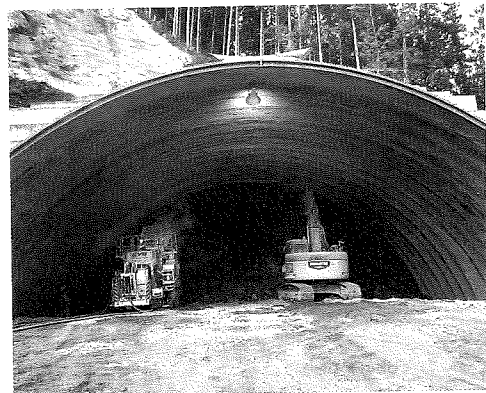


写真-1 掘削状況(上段)



写真-2 掘削状況(中段・下段)

ベルにに応じた管理体制を構築したうえで掘削に着手した。

3-2 掘削方法

DIII a-L-4-s 区間では、左右の側壁導坑を掘削後、側壁コンクリートの施工を行った。本トンネル天端部に、補助工法として天端部分 120° 範囲に 450mm 間隔で AGF 工(φ114.3mm, L=20m, n=51本)を施工したのち、上半、中段、下段の3段ベンチカット工法で掘削した。掘削方式については、余掘り低減、掘削面の平滑化による地山の安定性確保、周辺環境への騒音・振動の影響低減を目的とし、自由断面掘削機による機械掘削方式を採用した。使用した自由断面掘削機は、200kW 級のカヤバ 8J を使用した。DIII a-L-4-s 区間の上段掘削状況を写真-1に、中段・下段掘削状況を写真-2に示す。

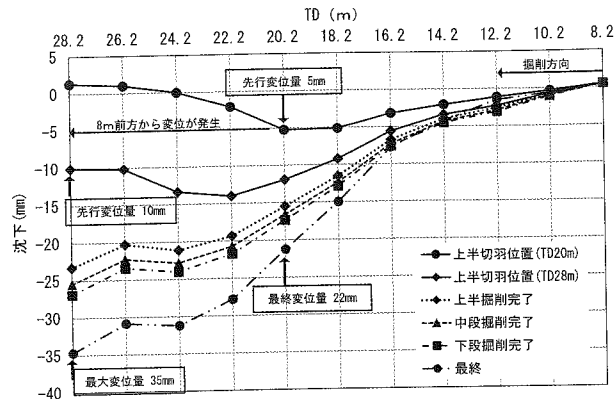


図-6 先行変位測定結果

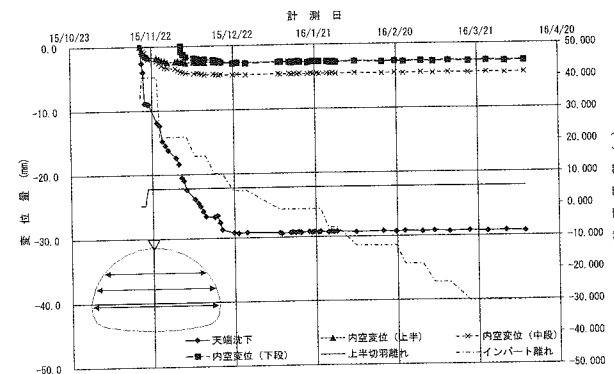


図-7 坑内A計測結果(TD28.0)

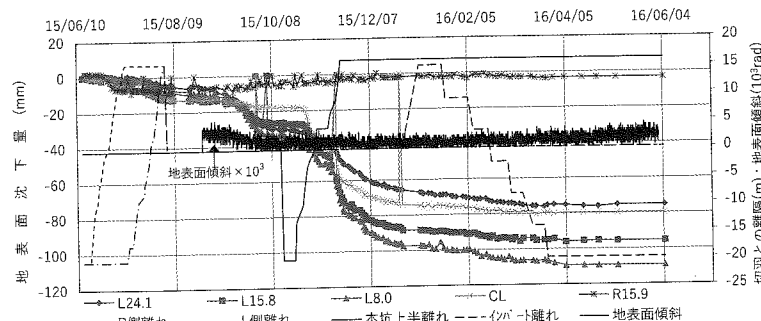


図-8 斜面動態観測結果(No.1260+0 TD20m)

3-3 計測結果および上部斜面への影響

AGF鋼管に設置した水平傾斜計より得られた各測点の沈下量の推移を図-6に示す。図中上半切羽位置(TD20m)のグラフから、先行変位は掘削位置より約8m前方から発生している。測点TD20.2mでは、先行変位量は5mmに対し、最終変位量は22mmであったことから最終変位量に対し約20%の先行変位が発生している。最大変位

量は、計測したもっとも深部(TD28.2m)の測点で発生しており、先行変位量は10mm、最終変位量は35mmであった。測点TD28.0mでの天端沈下測定結果は、最大沈下量は29mmであり、両者の結果はおおむね整合が取れている。トンネル内空変位・天端沈下測定結果を図-7に示す。天端沈下は、下段の掘削完了後もインバート施工による影響で緩やかな変位速度で増大していたが、インバート完了に伴い収束している。トンネル内空変位測定の結果、最大変位量は5mm程度と非常に小さく、当初設定した管理基準値の半分以下の変位量であった。

図-8に代表断面における斜面動態観測結果および地表面傾斜測定結果を示す。図-8は、斜面動態観測における地表面沈下量を左軸で、切羽との離隔距離および地表面傾斜角度×10³の値を右軸で示している。斜面動態観測については、沈下方向の変位が卓越し最大で100mm程度の地表面沈下が発生する結果となった。しかし、地表面傾斜測定の結果では、ほとんど地表面の傾斜は確認できず、トンネル掘削に伴う上部斜面の沈下は発生したものの、斜面崩壊につながる影響はなかったと考えられる。

4 トンネル覆工

4-1 覆工構造

坑口最大断面DIII a-L-4-sの覆工構造は、将来的に坑口周辺部の地山応力状態が変化したとしても覆工構造単体で全土圧を支持でき、トンネル内空断面が確保できるよう設計されている。そのため、側壁部はD29、天端部はD22の主鉄筋がダブルで125mm間隔にて配置される構造である。また、部材厚さは1.2mと標準部の覆工厚さ(300mm)の4

倍で、国内でもあまり例のない規模である。鉄筋の配筋状況写真を写真-3に示す。

4-2 高流動コンクリート

覆工コンクリート厚さが1.2mと厚く、また補強鉄筋が高密度に配置(複鉄筋断面、鉄筋のあきは約90mm)されており、一般的なトンネル覆工に用いられているコンクリート(スランプ15cm)では打込み・締固め作業および確実な充填が困難であることから、自己充填性を有する高流動コンクリートを適用することとした。本工事で用いた高流動コンクリートの目標とした品質を表-4に示す。自己充填性は、対象部材の配筋条件からランク2とした。室内試験により選定した配合を表-5に示す。部材が厚く、また覆工コンクリートの水

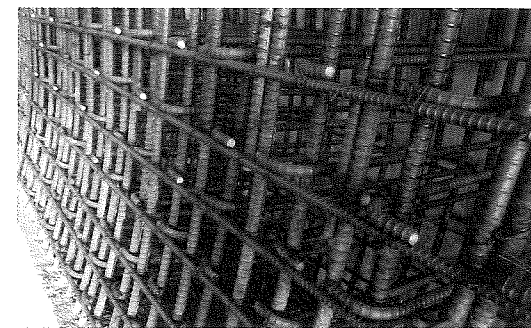


写真-3 高密度鉄筋状況

表-4 高流動コンクリートの目標品質

項目	要求性能および目標品質	準拠規準など
設計基準強度	30N/mm ²	設計図書
単位セメント量	450kg/m ³ 以上	設計図書
自己充填性	ランク2	文献1)に準拠
スランプフロー	650mm±100mm	同上
500mmフロー到達時間	3~15秒	同上
漏斗流下時間	7~13秒	同上
ブリーディング	認められないこと	—

表-5 高流動コンクリートの配合

自己充填性のランク	目標スランプフロー(mm)	目標空気量(%)	水結合材 W/B (%)	細骨材率 (%)	単位粗骨材絶対容量(m ³ /m ³)	単位量(kg/m ³)						混和剤 SP (C×%)	
						W	B		S		G		
							C	EX	S ₁	S ₂	G ₁		G ₂
ランク2	650	4.5	37.2	50.9	0.31	175	450	20	590	254	577	247	1.4

※C:普通ポルトランドセメント, EX:膨張材, S₁:川砂, S₂:砕砂, G₁:砕石1505, G₂:砕石2010, SP:高性能AE減水剤(増粘剤一液タイプ)

和熱で上昇した温度降下時にインバートの拘束によるひび割れの発生が懸念されるため、単位セメント量をできる限り少なくするため、混和剤に高性能AE減水剤(増粘剤一液タイプ)を用いた増粘剤系高流動コンクリートを採用するとともに、膨張材を添加した配合とした。また、試験練り時にブリーディング試験およびプロクター貫入試験を実施し、ブリーディングが生じないこと、プロクター貫入抵抗値が $0.1\text{N}/\text{mm}^2$ に達する時間から判断した許容打重ね時間間隔が約6.5時間であることについても確認した。

4-3 模擬部材による側圧実験

『土木学会コンクリート標準示方書施工編』によると、高流動コンクリートの場合、型枠には液圧が作用するとして型枠・支保工の設計を行うことを標準としている。本工事の施工高さは約13mにもなり、液圧として考慮すると型枠(セントル)への圧力は $0.3\text{N}/\text{mm}^2$ となり、非常に大がかりなセントルが必要となる。そこで、事前に模擬型枠による側圧実験を行い、型枠に作用する側圧の経時変化や最大値を測定し、セントルの設計耐力を設定した。実験で得られた側圧測定結果を図-9に示す。

実験結果より、セントルに作用する最大側圧は、200分後で液圧の50%に収束することから、打上げ高さが $1.0\text{m}/\text{h}$ の場合には $0.04\text{N}/\text{mm}^2$ 程度と推定されるが、実施工において外気温の変動によるコンクリートの凝結時間の変化を考慮し50%程度の安全率を見込んで、設計耐力を $0.06\text{N}/\text{mm}^2$ と設定した。この値は、中流動コンクリート施工時に一般的に用いられるセントル設計耐力と同程度である。

4-4 打設および側圧管理

実施工における、セントルの安全性を確認するため、セントルの下端付近の左右に圧力計を設置し、セントルに作用する圧力を測定しながら打設を行った。測定結果を図-10に示す。セントルに作用する圧力は、打込みから90分程度までは打上げ高さに応じ液圧として作用することが確認できたが、その後はほとんど増加することはなかった。

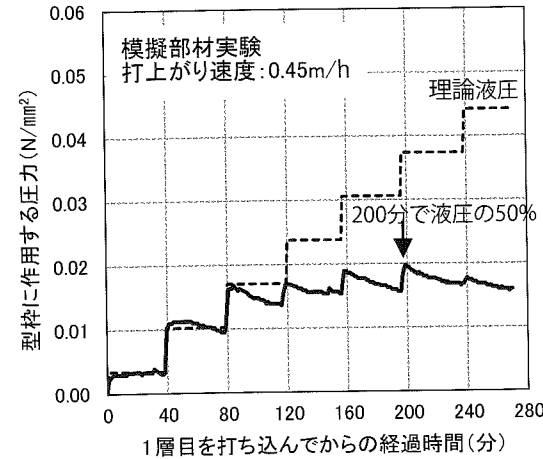


図-9 模擬部材実験側圧測定結果

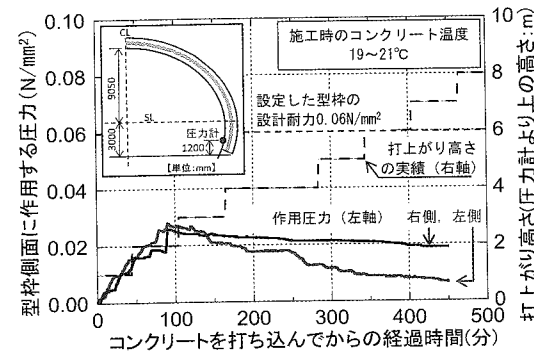


図-10 実施工時の側圧測定結果

作用した側圧の最大値は $0.03\text{N}/\text{mm}^2$ 程度であり、事前に実施した模擬部材による側圧実験結果よりも小さな値となった。実験では、鉄筋のない状態であったが、実施工時は鉄筋が高密度に配置されているため、鉄筋がコンクリートを拘束することにより、型枠に作用する圧力が小さくなったと考えられる。

高流動コンクリートの打設数量は、1スパン($L=6.0\text{m}$)あたり約 300m^3 と大量のため、昼夜体制で打上げ速度 $1.0\text{m}/\text{h}$ を守りながらポンプ車1台で20~24時間かけて連続打設した。

また、トンネル天端部にコンクリートが確実に充填できていることを管理するため、セントル天端部にも圧力計を設置し、セントルに作用する圧力が覆工巻厚に相当するコンクリート自重以上となることを確認した。高流動コンクリートの打設状況を写真-4,5に示す。

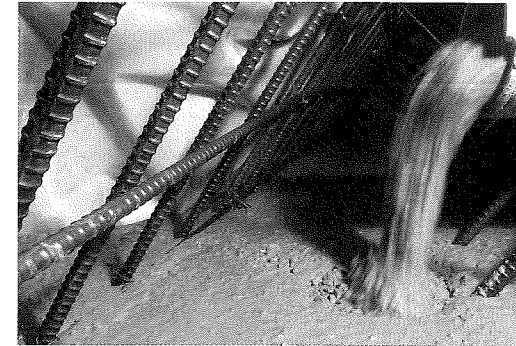


写真-4 高流動コンクリート打設状況

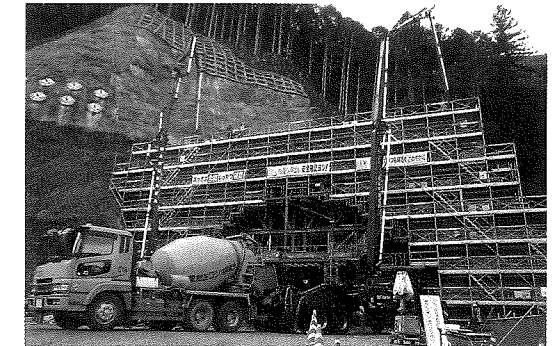


写真-5 打設状況(坑口)

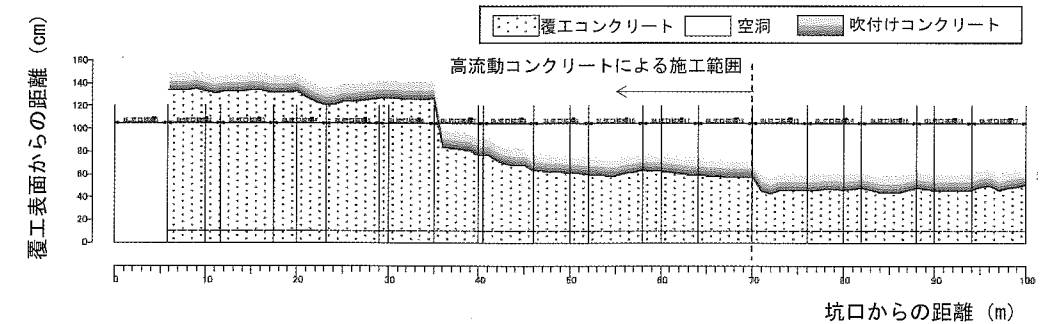


図-11 電磁波探査による天端部の充填確認結果(センター)

4-5 施工後の天端部充填確認

脱型後、覆工天端部の充填性を検証するため天端部の3測線において電磁波探査による空洞調査を実施した。探査方法は、直接接触法を採用した。天端部センターラインの測定結果を図-11に示す。施工したすべての区間において、覆工背面の空洞は認められず、確実に充填されていることが確認できた。また、表面の仕上がり状況も良好であった。仕上がり状況の全景を写真-6に示す。

5 おわりに

国内でも屈指の大きさを誇る大断面トンネルの施工を坑口部で行った。掘削工においては、上部斜面への影響を常時監視しながら施工を行い、地山の安定性を確保し、上部斜面への影響を最大限に抑制して掘削を完了することができた。覆工については、トンネルでは適用例の少ない高流動コンクリートを採用し、天端部に確実にコンクリートを充填した高品質な構造物を構築することができた。本工事は、2017(平成29)年1月に覆工コン

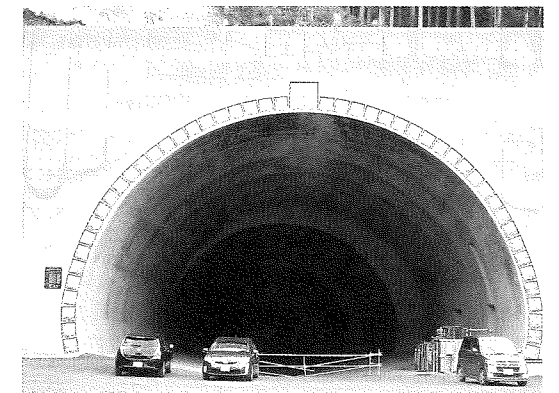


写真-6 仕上がり状況

クリートまで完成し、現在、供用開始に向け順次工事を進めている。

最後に、本工事にあたり貴重なご意見をいただいた関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 土木学会: 高流動コンクリートの配合設計・施工指針 [2012年度], コンクリートライブラリー136, pp.26-114, 2012.



新潟県最北の景勝地より

小川 泰元

新潟県村上市は、戦国時代は本庄氏、江戸時代は村上氏らによって整備された越後最北の城下町である。今も残る武家屋敷や小路などからは当時の風情が偲ばれる。また、1904(明治37)年開湯の瀬波温泉、平安時代には京都の王朝貴族にも献上されていた鮭、国内屈指のブランド牛である村上牛、良質な雪解け水と伝統を誇る蔵元による日本酒など、豊かな自然からの贈り物にも恵まれている。

村上市街地より北に位置する当該地、勝木は、さらに豊かな自然のなかに立地している。眼前には、美しく澄みきった日本海が広がっており、国指定名勝天然記念物で新潟県立自然公園にも指定されている「笹川流れ」も隣接している。「笹川流れ」は、見事な景観を誇る海岸線の名称であり、日本百景にも選定された県下有数の海岸景勝地である。ここでは、日本海の激しい荒波による浸食作用で形成された奇岩、孤島、洞窟などが連続しており、独特の風景を魅せている。その昔、源義経が奥州落ちする際、小舟にのって落ち延びたとも伝えられており、由来した奇岩の言い伝えも数多く残っている。

また、ドライブ、海水浴、キャンプ、釣りなど一年をとおして観光を楽しめるほか、「笹川流れマラソン大会」などのイベントも目白押しである。

この村上市勝木地区を経由する一般国道345号は、新潟市を起点とし山形県遊佐町に至る総延長約200kmの幹線道路である。当該地において、笹川流れを含む日本海とJR羽越本線に挟まれて並行しているため、線形不良や幅員狭小などにより、安全で安心な車両通行に支障を来している。2009(平成21)年には、急



トンネル起点坑口部全景

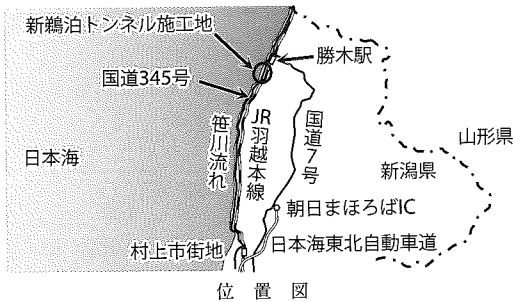
崖傾斜地からの落石により通行止めが余儀なくされる事態も発生した。

新鶴泊トンネルは、このような状況を解消すべく道路改築事業の一環として計画された延長282mの2車線道路トンネルである。地質は中生代白亜紀の黒雲母花崗岩を主体としており、新鮮部は塊状で堅硬なため、掘削は発破掘削方式で計画されていた。ただし、トンネルの日本海側では、全線にわたって崩落危険岩体が点在する急崖傾斜地と近接しており、とくに、もっとも崩落が懸念され、規模も大きな岩体の直下では現道が供用中であることから、この影響区間において発破振動の影響を回避するためFONドリル工法を用いた割岩工法を採用した。

一方、トンネルの山側では、大正時代に建設され現在も供用中のJRトンネルが近接していることから、割岩完了後も制御発破による振動低減と動態観測を実施している。厳しい管理基準値のクリアとJRの安全運行を大命題とし、慎重な施工を継続している。

現在、掘削の進捗は後半戦を迎えているが、JRとの再接近区間はこれからであり、より一層、慎重な施工が求められる。また、仮設ヤード周辺には地元集落が近接しているが、住民の方からのご理解により円滑な事業促進に協力をいただいている。今後とも良好なコミュニケーションを心掛けながら、無事竣工を目指す所存である。

((株)福田組新鶴泊トンネル監理技術者)



施工

全断面早期閉合工法によるパターン化施工で低強度地山を掘削

—中部横断自動車道 八之尻トンネル—

中日本高速道路(株)東京支社南アルプス工事事務所市川三郷増穂工事区工事長 田丸 浩行
 中日本高速道路(株)東京支社南アルプス工事事務所市川三郷増穂工事区 前田 崇文
 清水建設・岩田地崎建設特定建設工事共同企業体工事主任 谷村 浩輔
 清水建設(株)土木事業本部地下空間統括部担当部長 楠本 太

1 はじめに

2019(平成29)年3月に開通した中部横断自動車道の六郷IC～増穂IC間の9.3km間は、3本の山岳トンネルで計画し、標準支保パターンの標準的な施工法を基本として、トンネル工を進めた。トンネルの掘削断面積は約115m²、内空断面積は71m²であり、上半単心円構造の対面通行道路トンネルである。最初に着手した八之尻トンネルでは、地山強度比が0.5を下回る低強度で押し出し性地山の強風化泥岩の出現が予想され、標準支保パターンによるトンネルの安定性確保が困難と考えられ、早期閉合パターン化設計を試み、曲面切羽による全断面早期閉合工法を採用して、トンネルの力学

的安定を確保、施工を確実にした。

本稿では、3本の山岳トンネル群を概括するとともに全断面早期閉合工法による早期閉合パターン化施工を総括し、低強度地山の合理的な山岳トンネル施工技術として紹介する。

2 中部横断自動車道の概要

2-1 路線概要

中部横断自動車道は、静岡県静岡市を起点に、山梨県甲斐市を経由して長野県小諸市に至る延長約132kmの高速自動車国道である。今回の開通区間は、新東名新清水JCT～中央道双葉JCT間約74kmのうち、六郷IC～増穂ICの9.3kmであり(図-1)、富士川周辺の急峻な地形を通過するため

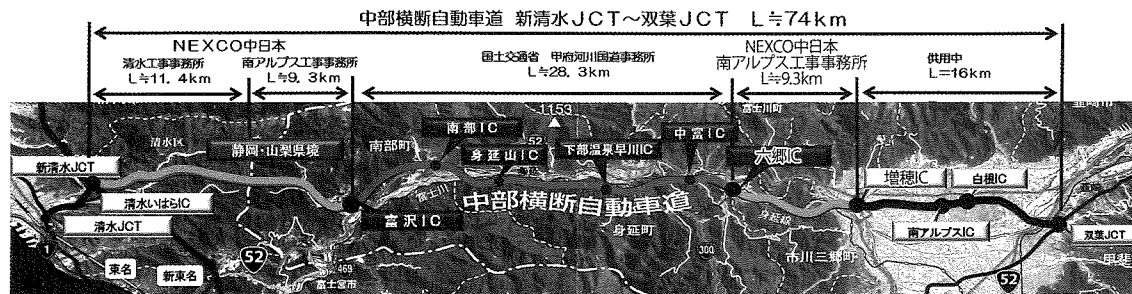


図-1 中部横断自動車道 新清水JCT～双葉JCT間の路線図

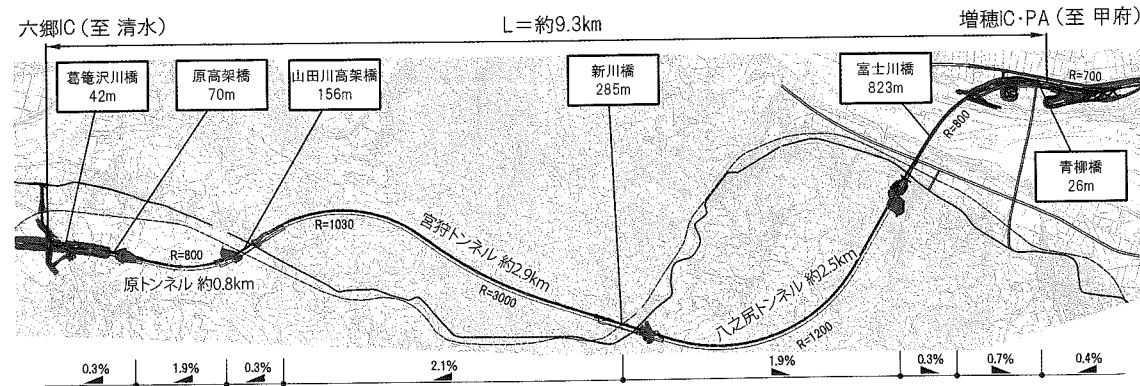


図-2 中部横断自動車道 六郷IC～増穂IC間の路線図



写真-1 八之尻トンネル全断面掘削状況



写真-2 開通式状況

構造物比率が約8割、うちトンネルが6割となる暫定2車線の山岳道路である(図-2)。写真-1に八之尻トンネル全断面掘削状況を、写真-2に六郷IC～増穂ICの開通式の状況を示す。

2-2 期待される整備効果

中部横断自動車道は、東名・新東名高速道路と接続し、さらに中央自動車道、上信越自動車道、北関東自動車道、東関東自動車道に連結されて、

表-1 構造物比

項目	延長(km)	比率(%)	備考
土工	1.8	19	
橋梁	1.4	15	6橋
トンネル	6.1	66	3チューブ
合計	9.3		

表-2 期待される整備効果

整備効果	内容
移動時間の短縮	全線開通すると、静岡市から甲府市への移動時間を大幅に短縮する。 ・今回の開通により5分短縮する。 ・新清水JCT～双葉JCT間全通時27分短縮する。
災害時の代替道路の確保	並行する一般国道52号は、災害や異常気象時などの代替ルートとして交通機能の確保が図れ、通過交通が転換することで生活道路としての機能を回復することも考えられる。
医療体制の確立	開通により、沿線に住む人たちが高次救急医療施設まで1時間以内に到着できる。
農・海産物の供給促進	開通により、海産物や農産物をより早く供給しあえるようになる。

東京から100～150km圏を環状に連結する「関東大環状連携軸」を形成するもので、表-2に示す整備効果が期待できる。

3 低強度地山の施工

3-1 八之尻トンネル工事概要

八之尻トンネルは、中部横断自動車道の増穂ICと六郷IC間に位置し、掘削断面積約115m²、内空断面積71m²、トンネル延長2,469mの対面通行道路トンネルである。トンネル掘削は、北側坑口か

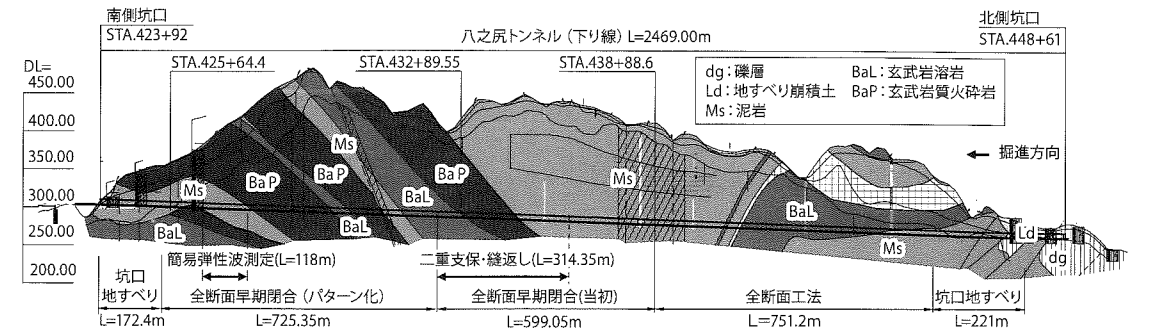


図-3 地質縦断面図(当初設計)

ら南側に向かって、330kW軟岩トンネル掘削機と連続ベルコンによる全断面工法機械掘削である。

地質は泥岩と玄武岩が主体で、トンネル中央付近は、強風化泥岩が分布しており、高耐力二重支保の試行や過大変位区間の縫返しなどを余儀なくされた(図-3)。強風化泥岩の一軸圧縮強度は $q_u = 0.26\text{N/mm}^2$ 、単位体積重量は $\gamma = 21.6\text{kN/m}^3$ である。ここでの土かぶり高は $h = 155\text{m}$ であり、地山強度比が0.1を下回る押し出し性地山である。

3-2 施工方針

地山強度比が1を下回る低強度押し出し性地山の多心円トンネル施工となるので、力学的安定と必要内空断面確保は困難と考え、以下の方針で計画した。

- ① 多心円道路トンネルの力学的安定確保の方法は、吹付けコンクリートで健全な多心円リング構造を切羽で形成させ、これの内圧力で土圧を保持する。覆工は、このリング状支保構造に耐荷力や靱性を余力として付加し、安定確保後の不確かな外力に対する供用中トンネルの健全性を担保する。
- ② 地山強度比 $c_t (= q_u / \gamma h)$ から吹付けコンクリート作用土圧 P_0 を想定し、厚肉円筒理論などを用いて必要支保耐荷力を算定、これを参考にして、早期閉合トンネルを設計、パターン化する。
- ③ 鋼アーチ支保工と鋼インバート支保工からなる鋼製支保工は、扁平や大きな土圧が作用すると降伏しやすいので、構造形状変化点は剛接続、曲げ応力が小さい位置で突合せ接続

とする早期閉合構造とし、吹付けコンクリートとの組合せで設計、多心円リング構造に靱性を付与する。

- ④ 330kW軟岩トンネル掘削機による機械掘削の全断面早期閉合とする。早期閉合距離は $L_i = 3 \sim 6\text{m}$ を基本とし、初期変位速度に応じて $L_i = 2\text{m}$ や切羽閉合を選択し、多心円トンネルの安定を確保する。変形余裕量は、施工余裕として、10cmを考慮する。
- ⑤ 掘削補助工法は、岩盤固結の注入式長尺先受け工を基本とし、支保工まで間の先端掘削素掘り面の自立を確保する。切羽鏡は、安定形状の曲面切羽を採用し、肌落、剝落に対する切羽作業の安全確保から、鏡吹付けを併用する。
- ⑥ 地山強度 q_u を推定、計測工A、Bを実施し、早期閉合トンネルの力学的安定性および変形挙動特性を把握、評価し、早期閉合パターンの選定や設計照査を行い、次施工を判断する。

3-3 全断面早期閉合パターン設計

(1) 土圧の想定

吹付けコンクリートに作用する土圧 $P_0(\text{N/mm}^2)$ は、 $P_0 = \gamma H$ (γ は地山の単位体積重量、 H は土圧の土かぶり相当高または掘削影響高)で定義する¹⁾。強風化泥岩の地山強度比は、岩石試験値などを参考にして算定すると、 $c_t = 0.1 \sim 0.5$ の地山等級Eとなる。この地山強度比に対する吹付けコンクリート作用土圧の土かぶり相当高 H は、図-4から、 $c_t = 0.3$ は $H = 60\text{m}$ 相当(Ec1)、 $c_t = 0.1$ は $H = 80\text{m}$ 相当(Ec9)の土圧を想定する(図-4中のEc1

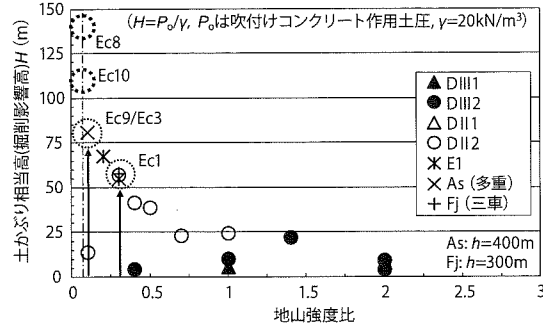


図-4 地山強度比 c_i と土圧土かぶり相当高 H

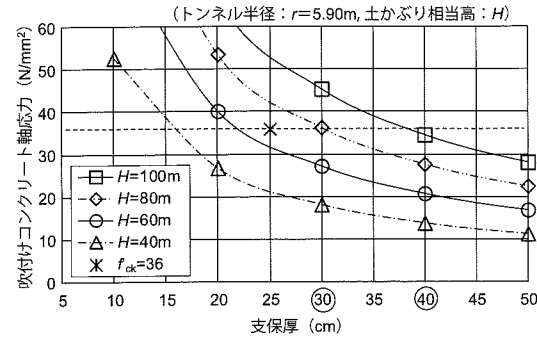


図-5 必要支保厚 t (トンネル支保構造, $r_1=5.90\text{m}$)

表-3 早期閉合トンネル構造諸元(設計)

パターン名	標準部*				非常駐車帯
	DIIc1	Ec1	Ec9(Ec3)	Ec10	
地山強度比 c_i (-)	$0.5 < c_i < 2$	0.5	0.1	< 0.1	< 0.1
土圧土かぶり相当高 H (m)	40	60	80	100	100
変形余裕量(m)	0	10	10	10	10
トンネル支保構造	吹付け厚(cm)	20	30	40	40
	圧縮強度(28d)	36	36	36	36
	鋼アーチ支保工サイズ	NH-150	NH-200	NH-250	NH-250
	ロックボルト長(m)	4	4	4	4
	ロックボルト耐力(kN)	170	170	290	290
早期閉合構造	構造半径比 r_3/r_1	2.0	1.5	1.5	1.2
	早期閉合距離 L_c (m)	6	6	6	3
	早期閉合単位 L_e (m)	3	3	3	2
覆工(インバート)厚(cm)	30(30)				40(40)
覆工強度 f'_{ck} (N/mm ²)と補強	30, SFRC(0.5% /vol.)				
最大土かぶり高 h (m)	174	179	180	141	182

*1 Ec3の鋼製支保工サイズはNH-200である。

やEc9などは早期閉合パターンを表す)。 c_i が0.1を下回る地山では、早期閉合構造半径 r_3 (=インバート半径 R_3 +インバートコンクリート厚, 図-6)が早期閉合トンネルの安定性に大きく影響すると考えられるので、 $H=100\text{m}$ 相当(Ec10)土圧を想定する。最大土圧として、土かぶり高 h 相当の土かぶり相当高 $H=140\text{m}$ を想定し、高耐力二重支保を試行する。

(2) 必要支保厚の算定

作用土圧の土かぶり相当高を $H=60, 80, 100\text{m}$ とし、支保厚(吹付け厚 t)と吹付けコンクリートに発生する軸応力(設計基準強度 f'_{ck})の関係を厚肉円筒理論を用いて求めると、図-5のようになる。設計基準強度が $f'_{ck}=36\text{N/mm}^2$ の高強度吹付けコンクリートを採用すると、土かぶり高 $H=80\text{m}$ 相当土圧を保持するのに必要とする吹付けコンクリート厚は $t=30\text{cm}$ 以上、 $H=100\text{m}$ 相当の土圧では $t=40\text{cm}$ 以上となる。

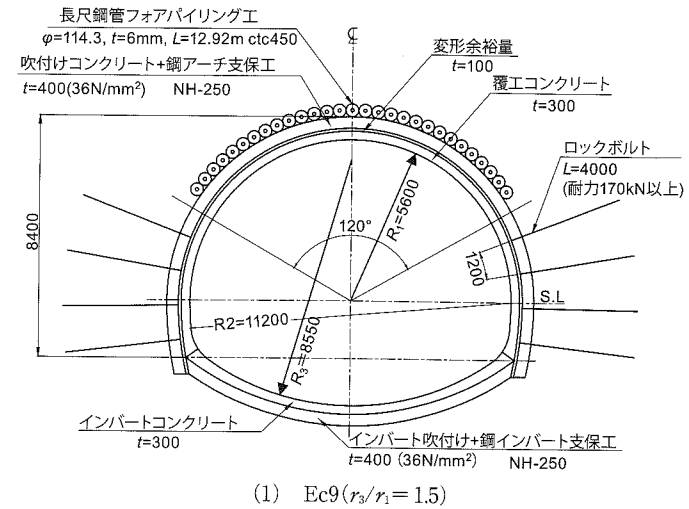
(3) 早期閉合パターン

主要支保部材の吹付けコンクリート仕様は、必要支保厚を参考にして定める。曲げ部材の鋼製支保工は、吹付けコンクリートとの組合せで定める。ロックボルトは、早期閉合までの間の周辺地山強度保持に有効であるので、早期閉合距離との関係

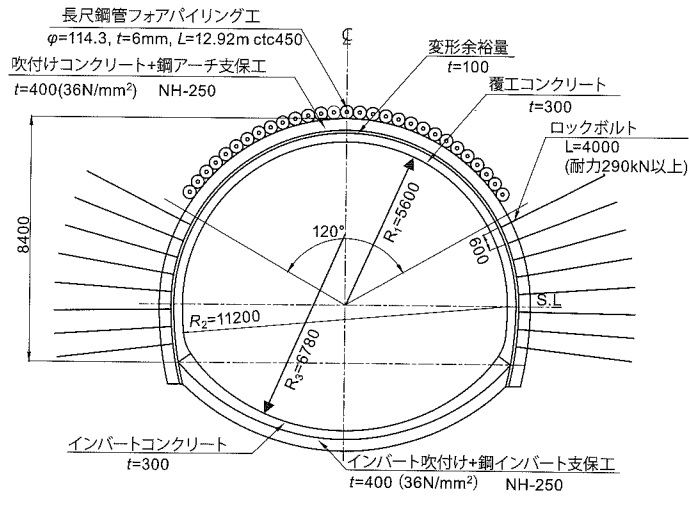
で設計する。インバート吹付けと鋼インバート支保工からなる早期閉合構造部材仕様は、トンネル支保構造と同様である。地山強度比 $c_i < 0.5$ の早期閉合構造半径比は、一般的な $r_3/r_1=1.5$ とするが、 $c_i \leq 0.1$ では $r_3/r_1=1.2$ を採用する。

設計パラメータを c_i とする早期閉合トンネル構造諸元²⁾は表-3のようになる。Ec10は、Ec9と同様仕様とし、 $r_3/r_1=1.2$ を採用して、単心円リング構造に近づけ、多心円トンネルの安定性を高めた。EcLは、上半3心円の非常駐車帯断面であり、 $r_3/r_1=1.1$ を採用して、単心円構造に近づけている。

早期閉合トンネル構造概要を図-6に示す。



(1) Ec9($r_3/r_1=1.5$)



(2) Ec10($r_3/r_1=1.2$)

図-6 トンネル構造概要

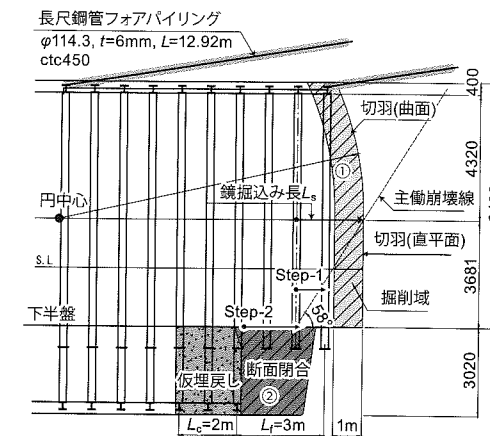


図-7 全断面早期閉合概要

3-4 全断面早期閉合施工方法

掘削方法は、曲面切羽による全断面早期閉合法³⁾の機械掘削である(図-7, 写真-3)。全断面掘削①と断面閉合②の2~3m進行ごとの交互施工であり、早期閉合距離は $L_c=3\sim 6\text{m}$ を基本とする。早期閉合施工単位 L_e は、施工性と施工速度を考慮し、 $L_e=2\sim 3\text{m}$ とする。曲面切羽は、曲面と直平面で形成され、鏡の前面は施工性を考慮し、直平面とする(図-7)。鏡掘込み長 L_s の目標は、 $L_s=2L$ を基本とし、1掘進長 L の2倍に支保工建込み余裕の0.3mを加えたものである。曲面形状の円中心は、トンネル中心縦断において、主働崩壊線と直平面の交点位置をとおり、下半盤に平行する直線上に設ける。

3-5 施工結果

(1) 地山特性

実施支保パターン別切羽評価点と地山強度比 c_i 、実施支保パターン別区間長から、以下のことが言える。

- ① 切羽評価点はおおむね20以下である。Ecにおいて、風化岩は15以下、強風化岩は10以下となり、切羽評価点が小さくなるに従い支保耐力の大きい早期閉合パターンが選定され、トンネルの安

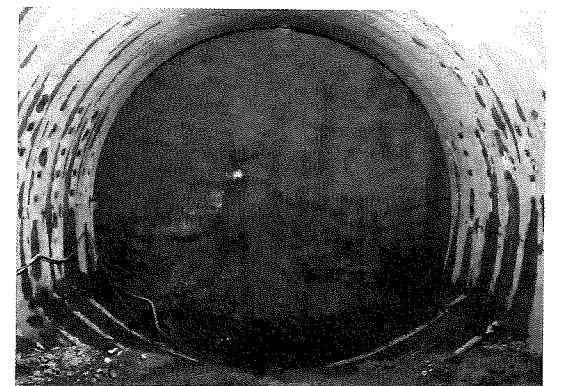


写真-3 全断面早期閉合施工状況(Ec10, $r_3/r_1=1.2$, $L_c=4\text{m}$, $L_e=2\text{m}$)

定が確保されている(図-8)。

② DIIcの地山強度比は、0.5~2である。Ecの c_t 平均値は、Ec10を除くと、1.1~1.2となり、 $c_t \approx 2$ と評価されている破碎質地山での針貫入試験値の影響を大きく受ける。Ec10は、0.3以下の採用であり、粘土質地山では、地山強度比に対応して早期閉合パターンが選定されている(図-9)。

(2) 早期閉合トンネル挙動特性

計測工A断面は、進行方向10m間隔に設ける。トンネル変位は、3次元自動測量計測システムを用いて、6~12時間ごとに自動測定する(図-10)。計測工B断面は、早期閉合パターンごとに設け、吹付けコンクリート応力と鋼製支保工応力を1時間ごとに自動測定する。 $L_t=3\sim 7$ mとする早期閉合トンネルの計測工Aによる変位測定データから、以下のことがいえる。

① 初期変位速度の天端沈下速度 dV_1/dt は-15mm/d以下の沈下、下半内空変位速度 dH_2/dt は-50mm/d以下の縮小であり、吹付けコンクリートによる健全な多心円リング構造が形成され、変形余裕量の範囲内でトンネルの安定は確保できている(図-11)。

② 下半内空変位 H_2 は、 dH_2/dt が-30mm/dを超えても、 dH_2/dt の2倍以下で収束する(図-12)。

③ dV_1/dt は、地山強度比の違いによる有意な差はない。 dH_2/dt は、地山強度比が小さくなるに従い大きくなり、地山性状の影響を大きく受ける。

以上から、 $L_t=3\sim 7$ mとする早期閉合トンネルの変形挙動として、健全なリング構造が形成され、トンネルの安定が確保されていれば、下半内空変位 H_2 が卓越し、地山物性分布の影響を大きく受けることが示された。

(3) 早期閉合トンネル力学的安定性

$r_3/r_1=1.2$ のEc10吹付けコンクリート軸応力の最大は、24N/mm²の圧縮となり、SL下を除くと滑らかに分布し、多心円リング構造の安定性は高い。 $r_3/r_1=1.5$ のEc1吹付けコンクリート軸応力の最

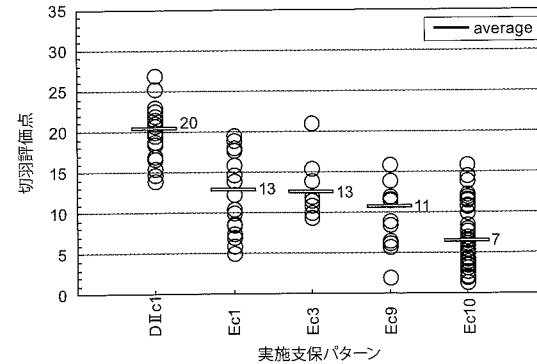


図-8 実施支保パターン別切羽評価点

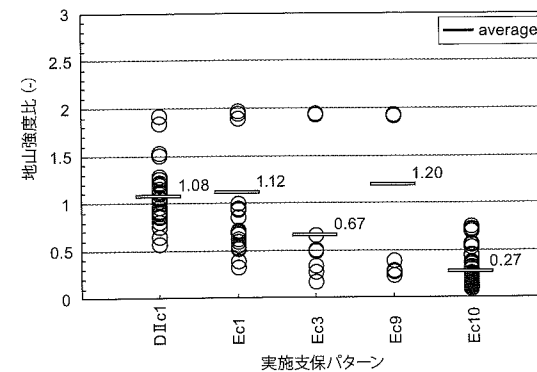


図-9 実施支保パターン別地山強度比

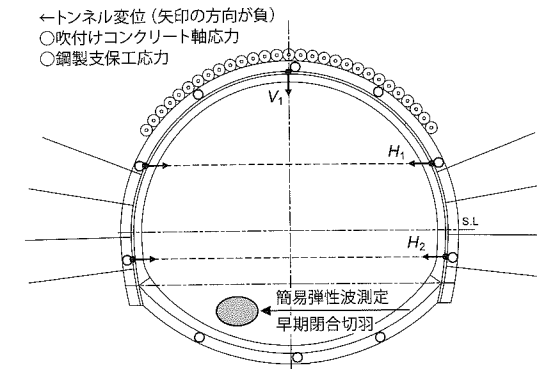


図-10 計測工概要

大は、25N/mm²の圧縮となり、地山物性分布の影響を受けて大きく変化する。 $r_3/r_1=1.5$ のEc3吹付けコンクリート軸応力は、12N/mm²の圧縮となり、小さく発生する(図-13)。

これらから、 $r_3/r_1=1.2$ の採用により、吹付けコンクリート軸応力は滑らかに分布し、最大24N/mm²の圧縮応力、リング構造全軸力の60~80%を

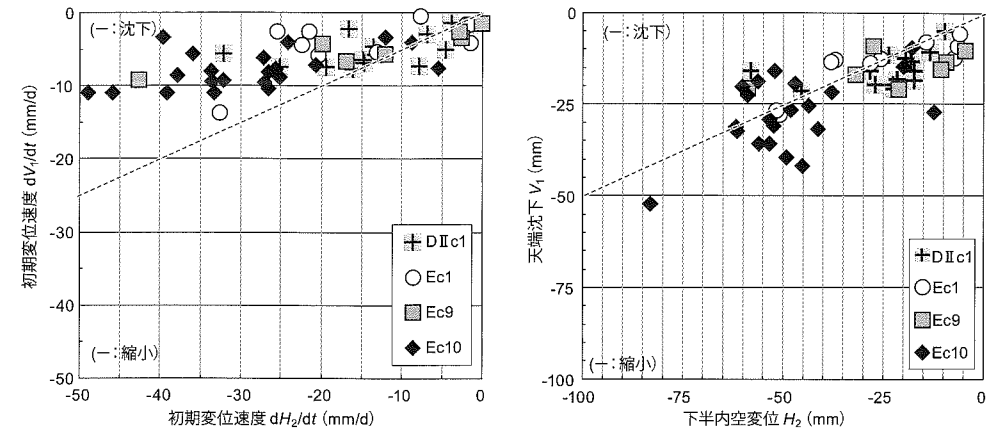


図-11 早期閉合トンネル断面の挙動

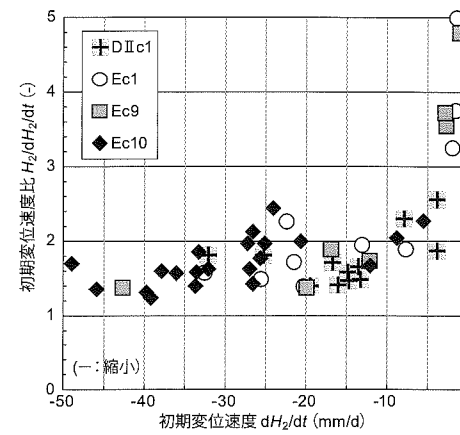


図-12 初期変位速度比

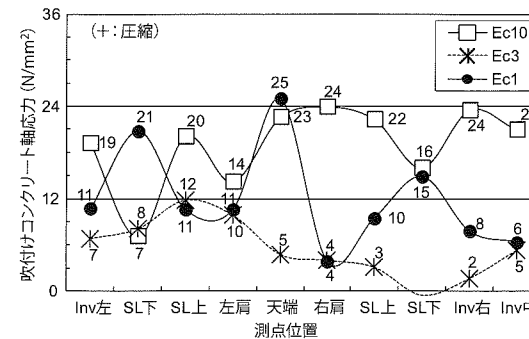


図-13 吹付けコンクリート軸応力 σ_c

分担、設計基準強度の2/3の応力レベルで健全なリング構造が形成され、 $L_t=3\sim 7$ mであっても、トンネルの安定が確保されている(図-14)。曲げ圧縮応力の鋼製支保工は、降伏強度を超えるが、吹付けコンクリートによる健全な多心円リング構

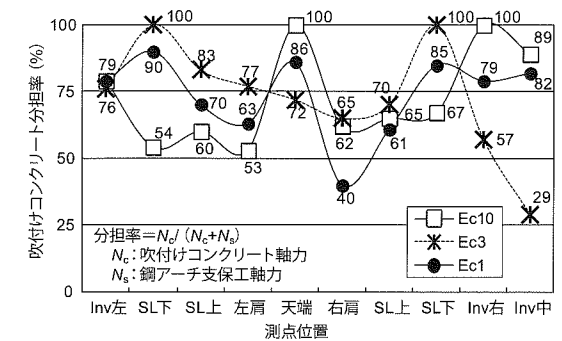


図-14 吹付けコンクリート軸力分担率

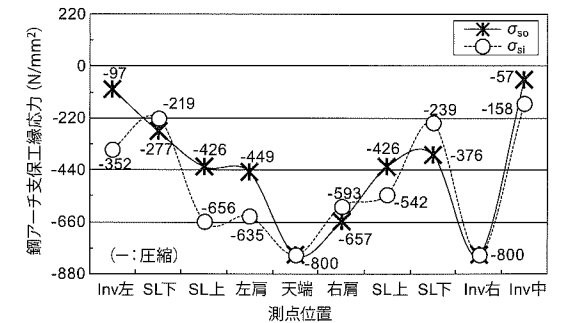


図-15 鋼製支保工縁応力(Ec10)

造が形成された状態では、部材の力学的安定は確保されており、多心円リング構造に靱性を付加し、トンネルの安定性を高める(図-15)。

3-6 作用土圧の推定

吹付けコンクリート軸応力から換算した吹付けコンクリート作用土圧の土かぶり相当高 $H_m (= N_c/r/\gamma)$ 、 N_c は吹付けコンクリート軸力、 r は支保

構造半径, γ は単位体積重量)を図-16に示す。 q_u と土かぶり高 h から土圧土かぶり相当高 H_m を推定する理論式⁴⁾を用いて, H_m に対応する q_u と c_t を逆推定したものを図-17に示す。

これらから,作用土圧の最大土かぶり相当高は $H_m=82\text{m}$, $c_t=0.1$ に対応し,地山強度比 c_t から吹付けコンクリート作用土圧 P_0 を想定する方法の有効性が示され,健全なリング構造が形成された多心円トンネルに作用する土圧 P_0 は,地山強度比 c_t ,すなわちトンネル形状の r_3/r_1 や支保性能,早期閉合距離 L_i などの施工方法の違いによる影響は小さく, q_u と解放地圧 γh の大きさで決まる。

一方, c_t による早期閉合パターン選定では,想定 H_d (図-4)と H_m (図-17)に差が生じており,切羽観察での q_u の高精度測定が重要である。

3-7 地山物性値と支保パターン選定

切羽評価点に加え地山強度比 c_t を切羽観察で推定し,これらをもとにして早期閉合パターンを選定する。粘土質地山の一軸圧縮強度 q_u (N/mm^2)は,針貫入試験(p_e)で推定する。応力解放された

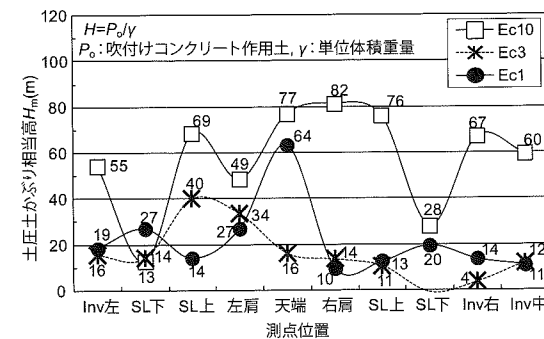


図-16 土圧土かぶり相当高 H_m

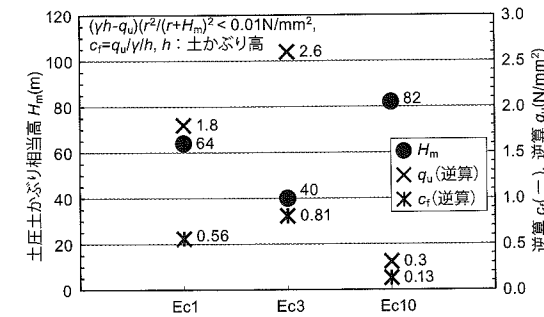


図-17 H_m と逆算(c_t, q_u)(理論解)

破砕質地山では,早期閉合切羽で地山の弾性波速度(V_p , km/s)を簡易弾性波試験で測定,割れ目指数を $k=V_p/V_L$ で算定, $q_u=k^2 \times q_u'$ で換算⁵⁾する。 V_L は応力解放以前の泥岩の弾性波速度で $V_L=2\text{km}/\text{s}$, q_u' は点載荷試験からの岩石強度である。

延長118mの簡易弾性波測定区間(図-3)における切羽観察データと実施支保パターン,早期閉合トンネル変位から,以下のことがわかる。

- ① 全断面切羽の針貫入試験からの q_u は, V_p が $0.6\text{km}/\text{s}$ を境にして, $0.3\sim 0.5\text{N}/\text{mm}^2$ と $1.0\sim 1.3\text{N}/\text{mm}^2$ に大別される。早期閉合切羽では,針貫入試験の q_u と割れ目指数からの地山強度の換算値は,同様の傾向を示しており, V_p が $0.8\text{km}/\text{s}$ 以下の破砕質地山の強度推定に有効で

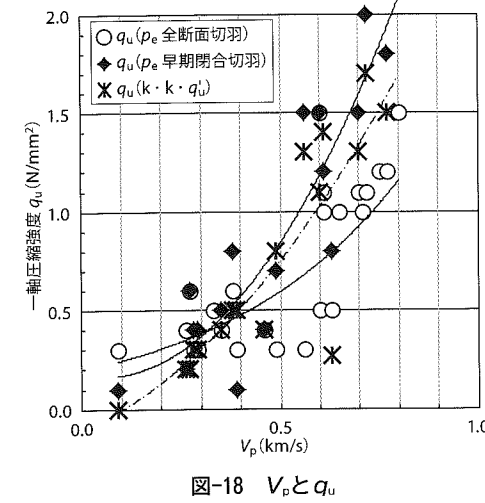


図-18 V_p と q_u

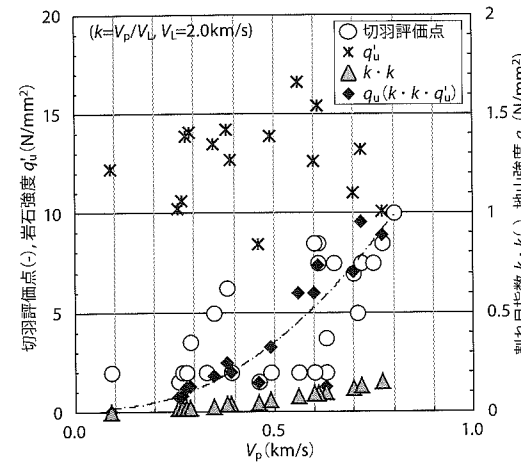


図-19 V_p と破砕質地山強度 q_u

ある(図-18)。

- ② 岩石強度 q_u' と V_p の相関はみられず, q_u' は $10\sim 15\text{N}/\text{mm}^2$ である。割れ目指数からの k^2 で換算すると, V_p に対応する地山強度 q_u が推定可能である(図-19)。
- ③ Ec10の弾性波速度 V_p の平均値は $0.4\text{km}/\text{s}$,地山強度比 c_t は 0.18 であり,土圧想定地山強度比 c_t と同程度である(図-20, 21)。

以上から,弾性波速度が $1\text{km}/\text{s}$ 以下の低強度破砕質地山の強度推定方法として,岩盤強度を割れ目指数で補正する方法の有効性が示され,早期閉合パターンとの対応で確認した。

3-8 早期閉合トンネル覆工

押し出し性地山のトンネル覆工は,剥落防止機能を有し,将来の不確かな土圧に対する余力を付加し,多心円早期閉合トンネルの高耐力,高靱性化を図り,トンネルの健全性を担保する。覆工仕様

は,早期閉合パターン耐荷力の約 $1.6\sim 1.8$ 倍とする早期閉合トンネルを設計し,標準部覆工巻厚は 30cm ,非常駐車帯は 40cm ,設計基準強度 $30\text{N}/\text{mm}^2$,鋼繊維混入率 0.5% の高強度鋼繊維補強コンクリートのSFRCリング構造⁶⁾を採用する(図-6,表-4)。コンクリート配合は,種別T3-3(s),C2-3(S)である(表-2)。セメントは普通ポルトランドセメント,混和剤は高性能AE減水剤(SP),鋼繊維サイズは $\phi 0.65 \times 35$ である。

SFRC覆工は,全断面早期閉合区間の延長 $1,300\text{m}$ 間で実施した(図-3)。押し出し性地山の覆工の機能や安定性,挙動特性は不明で,不確かであるので,早期閉合パターンの3断面で覆工コンクリート応力測定を実施した(図-22)。

すべてのパターンにおいて,Ec10と同様の傾向であり,覆工コンクリート軸応力は,土圧作用による明らかな変動はみられず,コンクリート硬

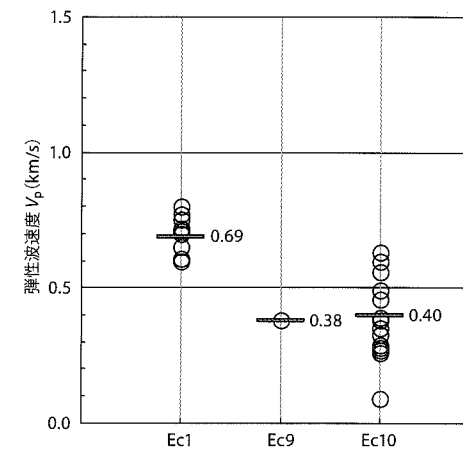


図-20 早期閉合パターンと V_p

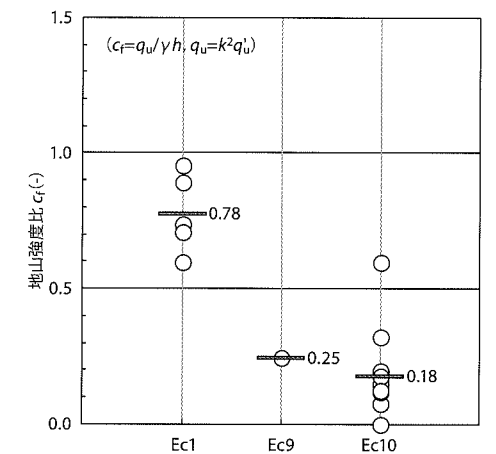


図-21 早期閉合パターンと c_t

表-4 早期閉合トンネル覆工のコンクリート配合

(1) 覆工(T3-3(s))									
材齢28日圧縮強度 (N/mm^2)	粗骨材最大寸法 (mm)	水セメント比 W/C (%)	粗骨材率 s/a (%)	単位数 (kg/m^3)				鋼繊維混入率 (%) (kg/m^3)	混和剤 SP ($C \times \%$)
				W	C	S	G		
30	20	47.3	52	175	370	904	849	0.50 39.25	0.7
(2) インバート(C2-3(s))									
材齢28日圧縮強度 (N/mm^2)	粗骨材最大寸法 (mm)	水セメント比 W/C (%)	粗骨材率 s/a (%)	単位数 (kg/m^3)				鋼繊維混入率 (%) (kg/m^3)	混和剤 SP ($C \times \%$)
				W	C	S	G		
30	20	47.3	54.5	173	366	951	809	0.50 39.25	0.7

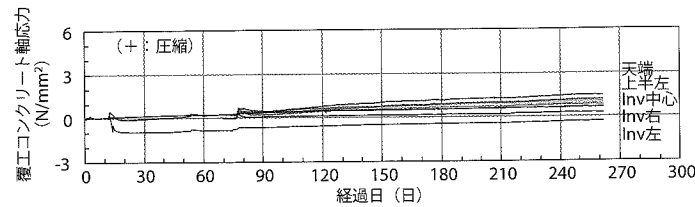


図-22 覆工コンクリート軸応力経日変化(Ec10)

化過程の影響を受けて微増減しながら変化する程度と推察され、おおむね収束傾向にある。応力レベルでは、設計基準強度の 30N/mm^2 に対して覆工耐荷力に十分な余裕を有し、早期閉合トンネルの力学的安定は確保されていることが確認された。

3-9 得られた知見

地山強度比 c_r を設計パラメータとして早期閉合トンネルパターン化を試み、切羽評価点と c_r 、初期変位速度にもとづいて、早期閉合パターンを選定し、 L_i を3~7mとする曲面切羽による全断面早期閉合法を採用して、低強度押し出し性地山を施工した。

得られた知見は、以下のとおりである。

- ① 地山強度比をパラメータとして吹付けコンクリート作用土圧 P を推定する方法の有効性が確認できた。
- ② 早期閉合距離 L_i の短縮で dV_1/dt を -15mm 以下、 dH_2/dt を -50mm/d 以下に抑制すると、多心円トンネルの健全なリング構造が形成され、トンネルの安定は確保でき、 H_2 は dH_2/dt の約2倍以下で収束する。変形余裕量 10cm を考慮すれば内空断面確保は可能である。
- ③ c_r が0.3を下回る押し出し性地山においても、 $r_3/r_1=1.2$ のEc10は、吹付けコンクリート応力が滑らかに分布し、健全なリング構造が形成される。曲げ圧縮状態の鋼製支保工は、降伏強度を超えるが、健全なリング構造が形成された状態では、部材の力学的安定は確保され、多心円リング構造に靱性を付加し、トンネルの安定性を高める。
- ④ 健全な多心円トンネルに作用する土圧 P は、トンネル形状の r_3/r_1 や支保性能、早期閉合距離 L_i などの違いによる影響は小さく、

地山強度 q_0 と解放地圧 γh の大きさ、すなわち地山強度比 c_r で決まる。

- ⑤ c_r による早期閉合パターン選定は、想定土かぶり相当高 H_d と土圧土かぶり相当高 H_m に差が生じており、 q_0 の高精度測定が必要であり、弾性波速度が 1 km/s 以下の破碎質低強度地山の強度推定方法として、岩石強度を割れ目指数で補正する方法の有効性が示され、早期閉合パターンとの対応で確認できた。

4 おわりに

中部横断自動車道の増穂IC~六郷ICの9.3km間は、山岳地形を通過する自動車専用道路であり、3本の山岳トンネルで計画され、標準支保パターンの標準的な施工法を基本とし、トンネル工事を進めた。

増穂IC側に位置する八之尻トンネルでは、低強度の風化岩や押し出し性地山の強風化岩が出現し、標準支保パターンによるトンネルの安定性の確保が困難と予想され、早期閉合トンネルを設計、全断面早期閉合法を採用して、トンネルの力学的安定を確保、施工を確実にできた。

2009(平成21)年12月より八之尻トンネル工事に着手し、8年後の2017(平成29)年3月19日15時に開通した。この開通により、交通の利便性が向上、道路交通の安全が確保され、港湾への所要時間短縮による生産性向上、周辺都市へのアクセス性が向上、救急医療活動の支援を可能としている。

最後に、低強度押し出し性地山を対象とする全断面早期閉合法の計画、実施にあたり、今田徹・東京都立大学名誉教授、西村和夫・首都大学東京都環境学部教授、佐藤淳・中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株)担当副部長、中日本高速道路(株)技術・建設本部および東京支社、(株)高速道路総合技術研究所トンネル研究室をはじめ関係各位にご指導、ご助言をいただき、ここに感謝の意を表します。

参考文献

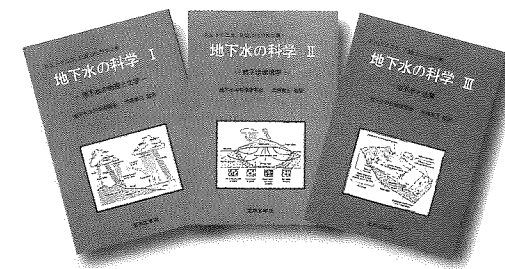
- 1) 西村和夫・城間博通・楠本太：早期閉合トンネル力学パラメータに関する考察，第66回年次学術講演会，JSCE，VI-395，2011.
- 2) 佐藤淳・楠本太・今田徹・西村和夫：低強度地山における全断面早期閉合法に関する実証的研究，トンネルと地下，Vol.46，No.9，pp.53-63，2015.9.
- 3) 佐藤淳・田丸浩行・楠本太・西村和夫：曲面切羽と全断面早期閉合の適用性に関する実証的研究，トンネルと地下，Vol.45，No.1，pp.49-51，2014.1.
- 4) 田丸浩行・前田崇文・谷村浩輔・楠本太：全断面早期閉合法の力学パラメータに関する考察，第25回トンネル工学研究発表会，報告I-32，2015.
- 5) 道路トンネル技術基準(構造編)・同解説，日本道路協会，p.84，2003.
- 6) 高橋俊長・垣見康介・楠本太：押し出し性地山の山岳トンネル覆工構造，第66回年次学術講演会，JSCE，VI-425，2011.

■図書案内

地下水の科学 — 全3巻 —

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

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



第I巻 地下水の物理と化学
4,078円+税 B5判

■序論■岩石における空隙の起源と透水性■地下水の動き■岩石の弾性的な性質と流れの方程式■水理試験(モデル、方法と応用)■溶質と粒子の輸送■汚染物質の水理地質学入門

第II巻 地下水環境学
4,272円+税 B5判

■地下水の化学■化学反応■物質輸送の数学理論■地下水による物質輸送(水質編)■地下水による物質輸送(地質編)■物質の輸送のモデル■輸送プロセスとパラメータ同定■水質浄化対策

第III巻 地下水と地質
3,689円+税 B5判

■水資源■堆積盆水循環における地下水■地殻における地下水■地下水流動における熱輸送

株式会社 土木工学社

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

土木情報 No. 529

今月の主な入札結果
(5月10日～6月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
関東地整	H28水戸立坑底盤部	柳田組	141
近畿地整	R26泉南T補修	旭工建	185
中国地整	静岡仁摩道路宅野T	大成建設	3,798.97
東日本高速道路	常磐道好間T	フジタ	4,436
〃	〃 大久北	竹中土木	2,505.6
都・交通局	三田線西巢鴨駅～板橋区役所前駅間T長寿命化	東亜グラウト工業	125.9
〃	〃 日比谷駅～春日駅間T止水	東亜グラウト工業	145.9
都・下水道局	北区十条台二丁目、十条仲原二丁目付近再構築その2	金寿建設	417.1
大阪府	寝屋川流域下水道中央(一)増補幹線分水施設築造(H29-3)	清田軌道工業	330.34
〃	〃 寺島貯留施設築造(H29-1)	国誉建設	408.7
大阪広域水道企業団	配水管布設(豊中正雀連絡管・吹田市)2工区	藤野興業	577.4
水戸市	国補公下那珂川第1排水区枝線(4-1工区)	秋山・東洋JV	250
宇都宮市	準用河川越戸川BP築造(分割1号)	中村土建	136.35
〃	〃 (分割2号)	アズマ原総業	133.34
〃	準用河川大久保谷地川BP築造(分割1号)	永神工業	142.31
〃	〃 (分割2号)	中村土建	134
新座市	公下平林寺第五幹線	戸田建設	204
千葉市	下水道排水施設(芦太雨水1号幹線29-1工区)	小柳・須崎JV	197
成田市	大栄地区小中一体型校舎建設に伴う雨水調整槽整備	関東機工建設	180
昭島市	昭島都計公下残堀川第3排水区枝線	飯田土建	198
国分寺市	(仮称)国分寺駅北口地下自転車駐車場整備	村本・多摩ふるさと協組JV	1,584
横浜市	都筑処理区川井本町地区下水道整備(その12)	宮内建設	112.87
川崎市	川崎港海底T本体改良その24	矢島建設工業	124.97
茅ヶ崎市	公下萩園地内(雨水)通常29-1	亀井工業	119
秦野市	第1号公下大根第10雨水幹線整備(H28継続費設定)	フジタ	550
大磯町	雨水管整備(その1)	木本建興	175
坂出市	H29公下(西部排水区)西部雨水幹線	大豊・建設テクニカJV	378.9

続 きの庭にも温泉が出る
その後の温泉開発と建設の考え方

石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 本体価格 1,200円



土木工学社

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

第九十一回
語り継ぎ
言ひ継ぎ行かむ

シールド施工と 対応技術の変遷

園田 徹士
(元)株間組

はじめに

1962(昭和37)年4月に(株)間組に入社し、1991(平成3)年3月まで主にシールド工事と技術開発を担当し、同年4月から退社する。1999(平成11)年1月までは、本社技術部長の立場でシールド関係に携わった。その後、(株)STDを設立し、現在は海外のシールド工事関係の業務を行っている。ここでは、経験してきた多くのシールド工事と技術開発について述べることにする。

初めてのシールド工事

1965～66(昭和40～41)年にかけて掘進を行った手掘り式圧気シールド工法によるトンネル外径3.70m、延長678mの東京都水道局の配水管工事¹⁾が、最初のシールド工事である。

■シールド測量

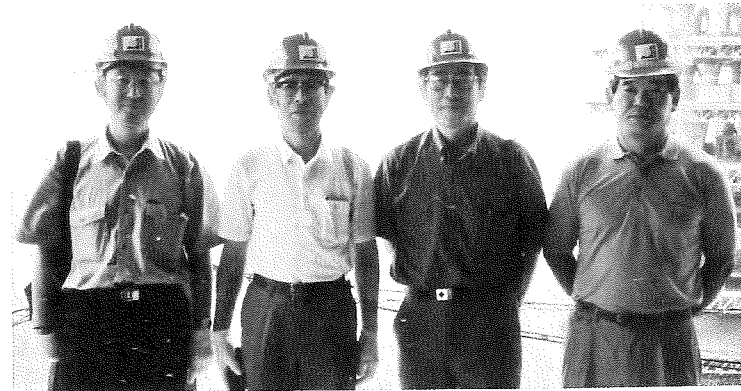
初めてのシールド工事で測量を担当した。シールドは地中を潜水艦のように3次元的に移動してト

ンネルを建設する。そこでシールド位置は3次元座標で測定する。当時の測量器具としてトランシット、スチールテープ、Yレベルと標尺を使用し、測量計算は7桁対数表(角度1分単位の三角関数を含む)、ソロバンと手回し加減算機(タイガー計算機)で行った。測量したシールドの位置座標をA1方眼紙に1/20の縮尺で書き込み、図上でシールドのずれ量と方向ずれ量を三角スケールで測定した。

そして、シールドと左右セグメントの離隔をスケールで測り、その差でセグメント面からシールドの水平面(ヨーイング)の方向を決めた。鉛直面(ピッチング)は下振りと底面に設けた目盛盤で行った。

■シールド掘進状況

中間に設けた両発進立坑から、まず南の丘に向かって335m掘進したのち、反対の北に向かい川の下と線路の下を掘進した。地盤は立坑を境にして南側が黄褐色の細粒分を20%以上含む砂礫層で、北側が細粒分の少ない礫層であった。



左から小山幸則先生、松本嘉司先生、1名おいて筆者(1995年 マレーシア・クアラランブルにて)

著者略歴

昭和37年	(株)間組入社
昭和39年	東京都水道局上高井戸3-5丁目配水本管(2700mm)新設工事
昭和43年	東京電力西武新宿線新設工事第6工区
昭和46年	日本鉄道建設公団京葉線羽田すい道(羽田空港北部附近)工事
昭和49年	神奈川県相模川流域下水道左岸幹線管きよ築造工事(第37-1工区)
昭和51年	台湾交通部中興トンネル修復工事
昭和52年	岩手県北上川上流流域下水道中央幹線築造2工区その1工事
昭和54年	東京電力京浜潮田線管路新設工事(第16工区)
昭和58年	土木本部技術部シールド関連技術開発
昭和60年	岐阜県木曽川右岸流域下水道(長良川幹線その2工区)
昭和63年	帝都高速度交通営団7号線飛鳥山B線工区土木工事
平成3年	(株)間組土木本部技術部長
平成8年	(株)間組土木本部都市土木統括部長
平成11年	(株)間組退職, (株)STD設立
平成11年	大韓民国釜山地下鉄230工区
平成12年	大韓民国ソウル地下鉄9号線909工区(設計)
平成15年	中華人民共和国天津地下鉄1号線1工区工事
平成16年	台湾高雄地下鉄CO4工区工事
平成17年	台湾台中科学園区污水管線3工区工事
平成23~25年	東京電力飯倉芝公園管路新設工事
平成13年~現在	シンガポールLTA(交通局)が認めた独立したセグメント型枠検査官

(次頁上図参照)。最初の南向きのシールド掘進は、順調に到達でき、シールドを引き上げ、北向きに再発進した。しかし、数m進んだところ、毎分約5tの湧水とともに切羽が崩れ、流出した土砂によってシールドは埋没した。

直上の幅6mの道路では大型車を通行止めにしていたが、たまたま木材を大量に積んだトラックが侵入し、その重みでシールド上部に生じた空洞上で舗装路面が割れ、後輪が脱輪した。直ちにトラッククレーンで吊り上げ、運転

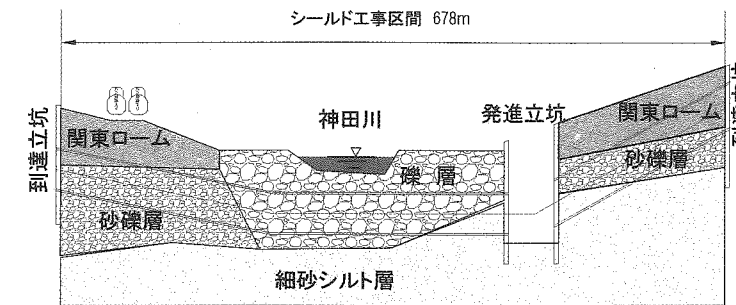
手は点検を行いトラックに破損がないことを確認して走り去った。

急きょエアロックを組み立て、トンネル圧気を開始したところ、坑内圧が0.6kg/cm²で切羽からの湧水が止まった。切羽は、上部が礫層で細粒分はほとんどなく、漏気が激しかった。一方、切羽の下部は、細砂シルト層で、湧水もなく安定していた。その後、切羽では礫層が厚くなり、漏気も激しくなった。そのため、切羽面に粘土を貼り付けて漏気を減らすなど、坑内気圧0.6kg/cm²を保つのに苦労した。「シールドはどんな地盤でも安全にトンネルが掘れる」と教えられていたが、同じ場所でも地質条件の少しの違いで、良い結果だったり苦労を重ねても悪い結果だったりした。

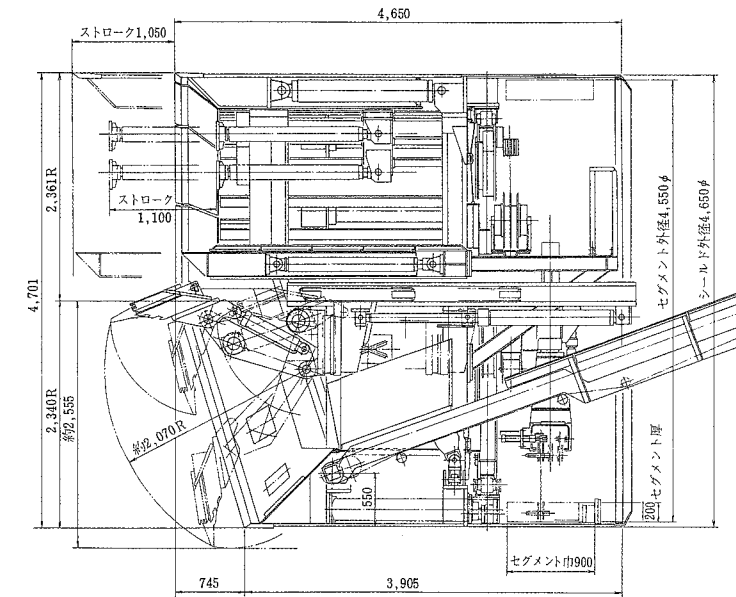
砂礫層におけるシールド掘進

1974~76(昭和49~51)年にかけて相模川流域下水道左岸幹線の管渠工事²⁾を担当した。開放型シールド工法でトンネル外径4,550mm、延長610mの工事である。相模川の扇状地に位置し、とくに海老名地域は、透水係数が $k=10^{-6} \sim 10^{-7}$ cm/minと細粒分がわずかな砂礫であった。地下水は豊富であるものの、その季節変動が6mと大きかった。そのため、無圧気の開放型シールド工法と地下水対策としてトンネル両側20mごとにディーブウェルが採用されていた。

発進立坑は、幸いにも相模川の蛇行による沼地跡の軟弱シルト地盤であったため、掘削に伴う湧水は少なく立坑築造は順調であった。



シールド掘進地盤の概要¹⁾



マイクロジョン式シールド²⁾

シールド掘進が60m進んだ6月に、切羽上部に砂礫地盤が現れるとともに大量出水に見舞われた。前述の経験から、この地盤に圧気しても漏気が多く、湧水を止めることは不可能と判断した。また、薬液注入法を採用した場合、工事費が倍増し、また、止水できる保証もなかった。

そこで、9月からの地下水位の低下にあわせて、6~8月はシールド掘進を中断した。その間に切羽前方30mに水抜き立坑を掘り、20mごとのディーブウェルを10mごとに増強した。9月に入り、

これらの効果により切羽からの湧水はなくなったので、シールド掘進を再開し、仮立坑を通過し一般部の掘進へ進んだ。切羽断面の上部2/3からの湧水はないものの、残りの下部から毎分5~10tの湧水があり、トンネル内には川が生まれた。

掘削では、ムーバブルジャッキで天端の崩壊を防ぎ、切羽上半の山留めを行いながら、下部は水中で掘削した。掘削はシールドに装備した「マイクロジョン」(全旋回型のショベル)で効率よく掘削できた(左下図参照)。一方、測量

計算には、新しく登場した「関数電卓」の利用により、7桁対数表が不要となった。

砂礫地盤における土質調査の重要性

■工事概要

1977~78(昭和52~53)年にかけて北上川上流流域下水道中央幹線のシールド工事を担当した。栗石川の氾濫原野の砂礫地盤で、圧気併用の内径2.2m、延長約1kmの開放型シールド工事であった。

■土質調査

前任地の台湾から帰国した翌日に盛岡に到着し、現場を見てから作業所に着いた。上司から明日10時から発注者の下水道事務所へ施工計画を説明するように指示を受けた。前任の土木担当に施工計画について確認したところ「全くできていない。今ある資料は発注者の設計図だけだ」とのことであった。設計図を見ると、路線の不規則な区間でトンネル上半に地盤改良が計画されていた。次に土質縦断面図には、土質とN値に加えてトンネル通過地層の「細粒分含有率」が記入してあり驚いた。前述の2つの工事で、細粒分の少ない砂礫地盤で圧気圧の保持に大変苦労したが、本工事では調査が困難な砂礫層の細粒分含有率を詳細に把握し、細粒分が不足する地盤(15%以下)には地盤改良が設計してあった。

翌日の発注者への説明の際、「設計はたいへん親切に細部にも配慮され、しかも必要と考えられる地盤には地盤改良が設計されていま

す。われわれは、本設計に従い施工します」と述べ、「遅れている仮設計画は急いで順次提出いたします」とお願いして会議を終えた。

■シールド掘進

シールドには「砂礫層におけるシールド掘進」の箇所で記述したムーバブルジャッキとマイクロジョンを装備した。切羽からの湧水は圧気で少なく(毎分0.5~1.0t)、掘削は上部の崩落をムーバブルジャッキで防ぎ上半を簡易な土留めで押さえ、下部の掘削はマイクロジョンで問題なく掘削でき、毎週70リングのペースで進み翌年の4月には到達できた。

■プログラム電卓を利用した測量計算

帰国後、電卓を買いに文房具店に行ったところ、新しく発売された「プログラム電卓」を見せられ購入した。その容量はメモリー10個、計算ステップ255で、シールド測量の計算プログラムを組み

めた。メモリーの容量が少ないので、定数化できる数値はあらかじめ計算して定数で入力し、測量計算(座標)ができるようにした。入力は、セグメント組立番号、シールド中心にある前後2つの測定の測量角度と距離で、出力は測定の座標値とした。そして、求めた座標値を方眼紙に記入してシールドの位置と方向を求めた。

シールド掘進時は私と土木係3名で、昼番1名は切羽(測量含む)、1名は井戸調査(半径1kmの範囲の井戸の確認)、1名は夜番とし、測量計算は事務所まで事務員が切羽からの電話を受け、プログラム電卓で計算し、方眼紙に記入し、結果を切羽に電話で伝えた。

はじめての密閉型シールドとFEM解析³⁾

■工事概要

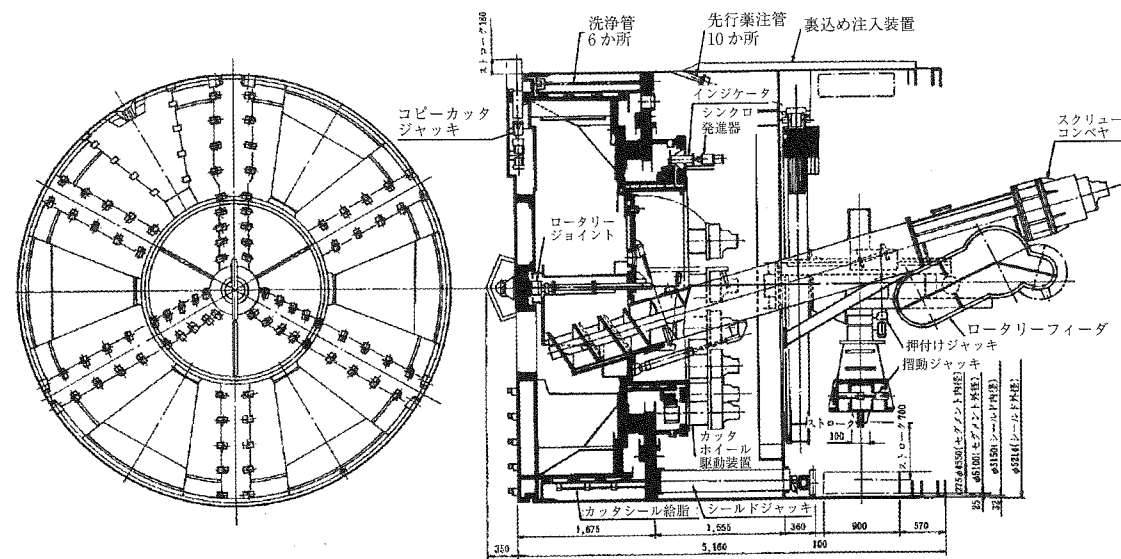
1979~83(昭和54~58)年に東京電力発注の京浜潮田線の大型管路

工事を担当した。超高压送電管路を設けるトンネル外径5.10m、工区延長2,050mの工事で、3か所の人孔を含む。路線は鶴見川に沿った低地にあり、軟弱な沖積層(砂、粘土)と土丹が交互に出現した。路線中間の両発進立坑から端部に向う2台のφ5.10mの密閉型機械式土圧シールドで計画した(下図参照)。

1号シールドの対象は、2つの立坑通過ともに、沖積砂層、ローム層、土丹層、沖積粘土層と多様な地盤からなる延長約1,400mの区間であった。2号シールドの対象は、反対方向の沖積砂質シルト層を中心とした延長約590mの区間であった。

■マイクロコンピュータを使用した測量

プログラム電卓の実績からマイクロコンピュータ(マイコン)を測量計算に利用するとともに、結果を画面上への表示と印字ができる



密閉型機械式土圧シールド³⁾

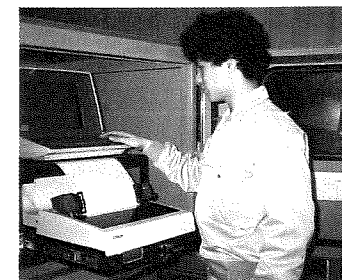
システムを考え、2,500万円でメーカーに製作を依頼した。内容は、前述の「シールド測量」と基本的に同じで、方向制御量(左右ジャッキストローク差)の入力で将来のシールドの位置をシミュレーションできる機能を加えた(下写真参照)。測量計算が短時間で誰にでもでき、現場事務所からA1方眼紙がなくなった。

■シールド掘進

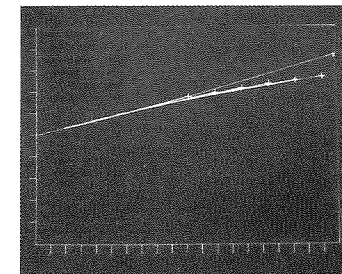
初めての土圧シールド施工に先立ち、地盤変状の要因分析を行い、その対策をまとめ、シールドの運転管理フローを作成するなど試行錯誤をくり返したのち、掘進を開始した。

(1) 1号シールドと限定圧気の採用

発進後、しばらく何ともなく進んだが、ローム層に入ったところ、ゲートを全開しスクリーを高速で回しても土砂が排出できず、



1) マイコン



2) シミュレーション結果
マイコンによる測量計算システム

シールドジャッキを全推力で押し、掘進速度も向上し、日進8~10リングと順調に掘進できた。

再発進後の土丹層には介在細砂層が多く、硬質地盤にもかかわらず、湧水が多いため、なかなか掘進できなかつた。経験から圧気で止水できると考えたが、トンネル圧気には大型設備が必要で、また、圧気内作業によって施工効率の低下が予想された。そこで、シールドのチャンバだけを空気で加圧する限定圧気を考案し、実施した。その結果、スクリーから水がない状態でスムーズに排土でき、掘進速度も向上し、日進8~10リングと順調に掘進できた。

(2) 2号シールドとコンピュータの利用

1、2号機を同時並行で掘進を行うために、増員を要請したところ、新入社員1名が配属された。2号シールドを担当するように指示し、皆で見守ることとした。シールドの操作もすぐに覚え、自ら掘進を行うとともに測量、マイコ

ンを利用した測量計算、裏込め注入の指示・確認などを行い、確実に毎日4リング掘進(昼のみ)し、計画より早く到達し、コンピュータを利用した施工の効率化を実感した。

■地盤変状計測とFEM解析

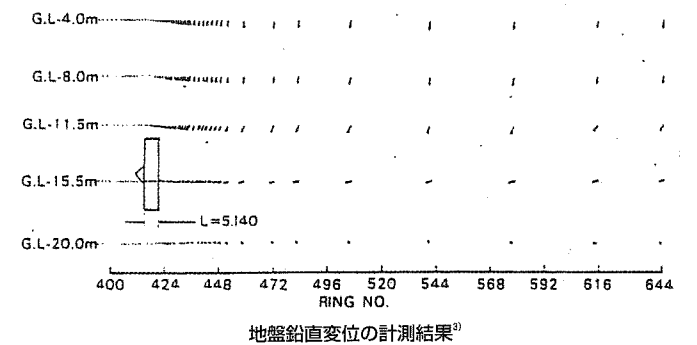
(1) 地盤変状計測

従来の開放型シールドでは地盤改良が必要とされてきた軟弱な沖積シルト層、洪積砂層に対して、密閉型機械式土圧シールドの地盤安定効果を知るために、1号シールドの沖積砂層区間に3か所の計測点を設け、地表面沈下と地中変位を計測した(下図参照)。

(2) 計測区間の施工を考慮したFEM解析

既往の知見にもとづく2次元FEM解析と計測結果とに大きな差異が生じた。この問題について設計部門と技術研究所とで検討を行い、2次元および3次元のFEM解析で計測結果を表す解析手法に取り組んだ。

その結果、従来のトンネル掘削の「地盤の初期応力がすべて解放される」という概念(次頁左下上段図2))に対して、密閉型シールド工法かつ同時裏込め注入を行っ



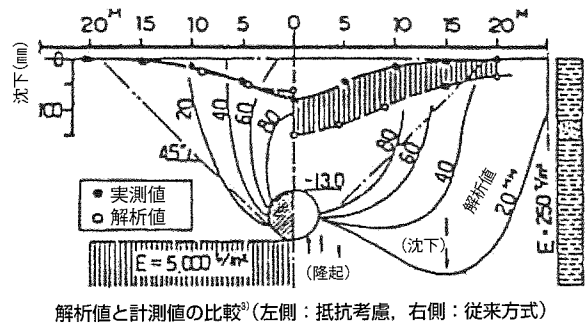
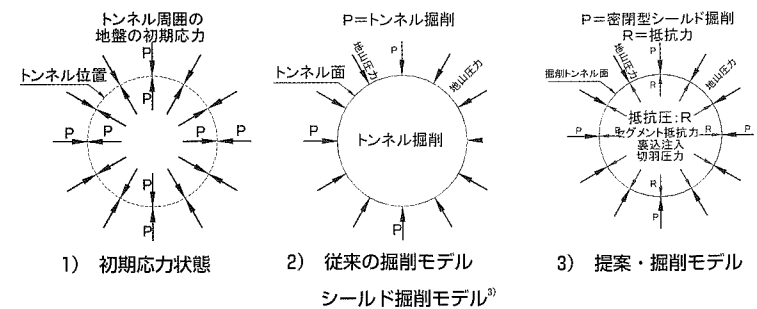
地盤鉛直変位の計測結果³⁾

たトンネル掘削では、「地盤初期応力に対し、切羽圧・セグメント・裏込め注入圧が抵抗する」との概念(左下上段図3))に至り、ケーススタディをくり返し、具体的な解析手法をまとめた。また、2次元と3次元解析とはほぼ同様な傾向を示したので、2次元解析で行うこととした。

これを検証するため、2号シールドの掘進区間に計測点を追加し、シールド掘進に伴う地盤変状を精密かつ詳細に計測し、JV職員と研究所とで計測結果とそれにもとづく地盤の動きをFAXでやりとりした。そして、その計測結果を用いて、上述の2次元FEM解析の妥当性が確認できた(左下下段図参照)。

SDACSの開発

1983(昭和58)年1月に、本社土木技術部に転任しシールド関連の



技術開発を担当することになった。この時期に、パーソナル・コンピューター(PC)が20万円程度で発売され始めた。前述の測量計算をPCでできると判断し、技術開発費でPCを購入した。しかし、メーカーに周辺ソフトウェアの問合せをしたところ、「メーカーはPCの製造販売まで。ソフトウェアは利用者が用意」との回答であった。

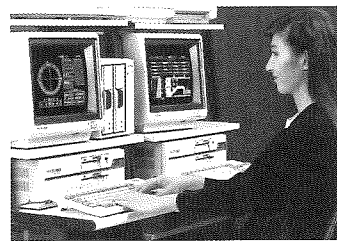
計算尺で育ち、プログラム電卓でのプログラムに苦労した経験から、プログラミングの自作は無理と考え、設計部門にシールド掘進管理システムの開発への協力を打診したところ、新入社員1名を割り当ててくれた。測量システムに引き続き、新たに1名の新入社員を追加し、計2名でシールド掘進管理システム(「SDACS」)の開発を行った。

現場でシステムの機能を確認し

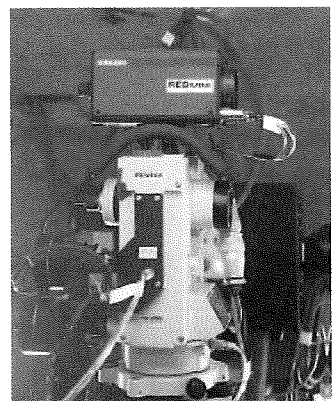
たところ、シールドと地上のPCとの通信に課題があることが判明した。

そこで、1984(昭和59)年に東京都下水道局から発注された大田幹線で、大断面・泥土圧シールド工事に向け、新たに光ケーブルを使用したテレメータ通信システムと自動測量装置(下写真)を開発し、現場で使用した。また、中小断面用に坑内用データ収集・出力用マイコンも開発した。システムの詳細と利用結果については参考文献4)に記述した。

その後も研究所、機電部、設計部門などから構成した社内グループで開発を継続し、現場、メーカーなどの協力を得ながらネットワーク技術を駆使したシールド掘進管理システムの展開と、セグメント



1) PCによる掘進管理システム



2) 自動測量装置
シールド自動掘進管理システム

の自動組立装置や自動搬送システムなどのシールド自動化技術の統合化へと進展させた。

Tunnelling Techniques in Singapore

1983(昭和58)年7月にシンガポールで開催された「Tunnelling Techniques」で「SDACS」を講演したが(下写真)、当時、トンネル理論の最高権威者であるB. B. Broms教授と、NATMのAM Muir Wood氏が出席されていて驚いた。B. B. Broms教授は、粘土地盤を長期間観察し、その特性として壁面の一部を押し込むと先行地盤の隆起が生じ、引き込むと

地盤が沈下することなどを説明した(右下上段図参照)。

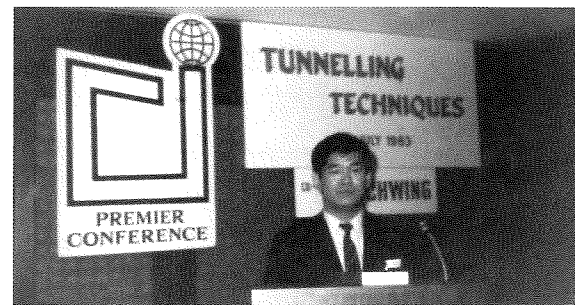
当時、早稲田大学の森麟教授が、地山圧力Pとチャンバ圧力P₀との圧力差と取込み土量の詳細な実験により明確にし、さらに、粘着力c₀の軟弱粘性土地盤における圧力差P-P₀とシールド切羽破壊限界を次のように提案していた⁵⁾。

$$|P - P_0| / c_0 \leq 5.5$$

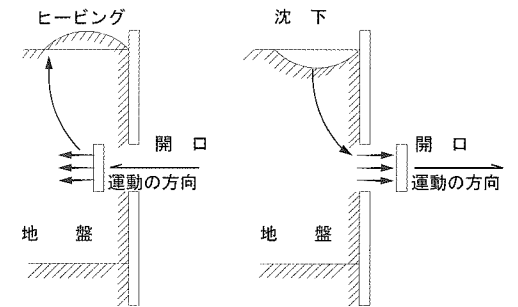
すなわち、圧力差|P-P₀|が掘進地盤の粘着力c₀の5.5倍以上になると切羽崩壊が生じることを示している(左下下段図参照)。

この考えを実際の施工管理に反映すると、B.B.Broms氏の押込

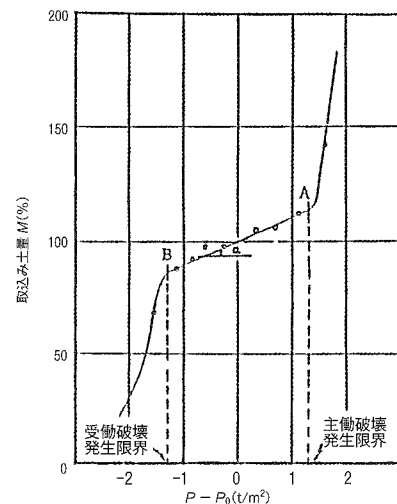
みも引込みも生じないP₀をシールド停止時のチャンバ圧とし、掘進に伴い変動するチャンバ圧Pを地盤の粘着力c₀の5.5倍の範囲に制御することが必要であることを示す。また、前述した「北上川上流域下水道中央幹線のシールド工事」の事例では、砂礫地盤であるが細粒分15%以上かつN値30以上の地盤はc₀が大きいことから、掘進で問題が生じなかった。一方、c₀が小さい細粒分15%以下の砂地盤や、N値10以下の砂・シルト地盤で深度が15m以上では、圧力の制御範囲が狭くなる。そのため、スクリーコンベヤに圧送ポンプを直結してスクリー排土



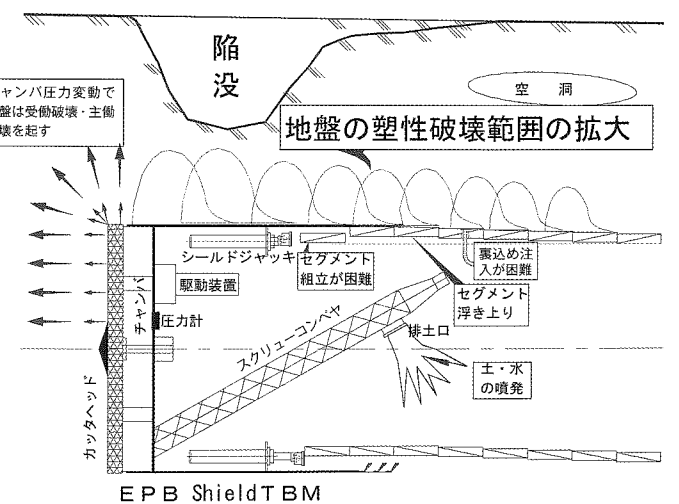
Tunnelling Techniquesでの講演



B.B. Broms教授の考え方¹⁰⁾



森教授のシールド切羽破壊限界⁵⁾



緩い砂層の前壊模式図¹⁰⁾

口からの噴発を防ぐか、変動が小さい泥水シールドを用いる必要がある(前頁右下下段図参照)。

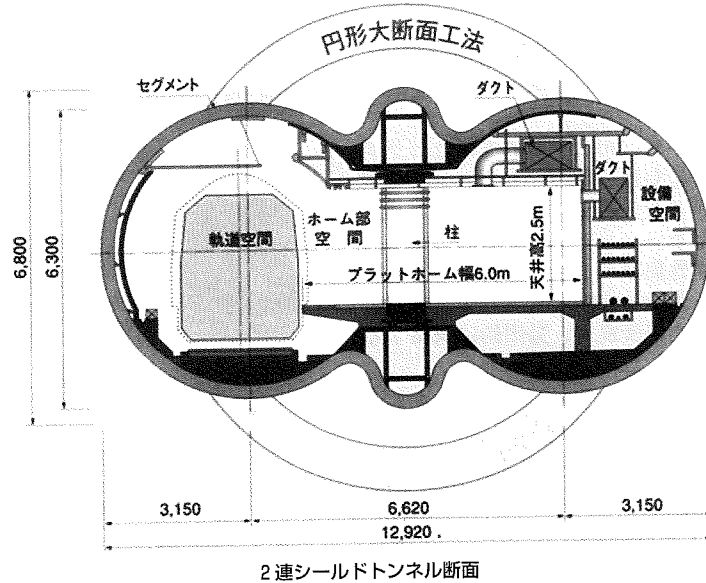
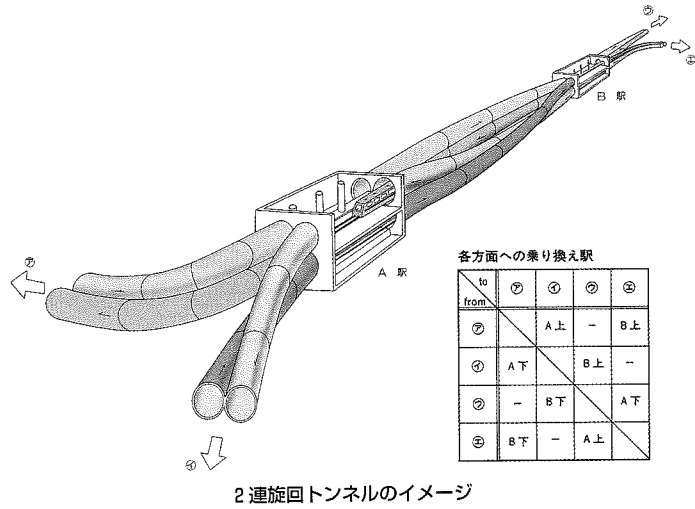
また、岩盤、礫、沖積砂層と掘進地盤が変化するトンネル路線では、前述の切羽安定の条件からEPB(泥土圧)シールドでは対応が困難で泥水シールドが必要であると考え。現在(2014年)、岩盤、礫、沖積砂の複合地盤のEPBシールドで掘進が進まず、大幅な工程遅れなどの問題が、シアトル、香港、ソウルで起き、対応に苦労している。

一方、海底下(河川横断)のシールド(中国語では潜盾)はまさに潜水艦で、止水性が高い泥水シールドでも、緊急止水パッキンなどを備えた高性能のテールパッキンシステムが必要である。なお、最近、ワンタッチ継手で、Kピースがシールドテールに引張られるなどして軸方向に抜け出す現象が多く生じているセグメントは、確実な締結ができる「ボルト締結」とすべきである。

H&Vシールド工法の開発と実用化

■H&Vシールド工法の発想

1983(昭和58)年シンガポールでは、地下鉄網建設の開始に先駆け技術展示会などが数多く開催された。当時、間組は交差する2本の路線が駅間で単線4本のトンネル位置を変化させることで乗客の乗換えを便利にしている点に着目し、単線2連シールド2本を巡回させて実現させる構想のパネルの展示を行った(右上図参照)。



さらに、2連シールドの各々の前胴を単独で制御できる中折れを装備したシールドの可能性をまとめ、特許を1988年に申請し、共同開発会社を募り研究会を結成して実証試験を行い、結果を公表した。こうして、H&Vシールド工法が一般に認められ、水平2連、鉛直2連などのシールド工事で採用された。

■上下2段の地下鉄駅への取組み

地下鉄12号線環状部は、早期開

業とコスト低減を目的に多くの民間技術提案が奨励された。間組JVは、担当した六本木駅、青山一丁目駅と駅間トンネルの中で、とくに大型の既設構造物により非開削施工が求められた上下2段の六本木駅の構造を合理化する方法に取り組み、右下図に示す中央に1本柱を設けホーム部と線路空間を一体化した2連シールドトンネルを提案した。

その断面は、ホーム幅、建築限

に制御するため、左右の大シールドには、独立した中折れを装備した(下段左写真参照)。また、施工時の坑内状況を下段右写真に示す。

KLセグメント開発と普及

■凸凹継手セグメントの発想

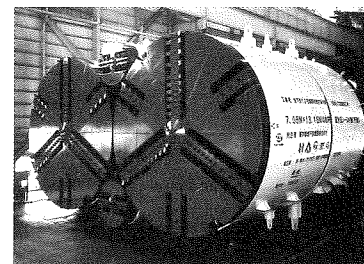
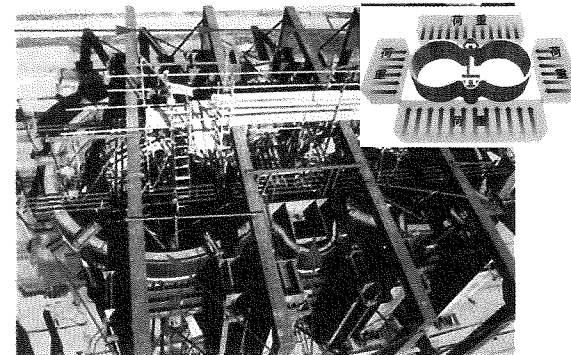
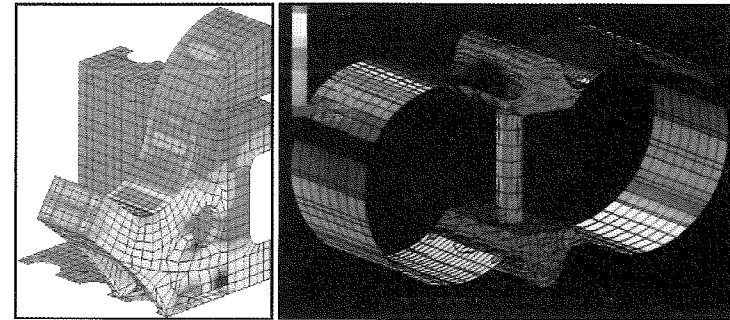
1990年代半ば、新しいセグメントの開発を各社が競っている中で、独自のセグメントを模索していた。あるとき、土木設計部門の構造解析担当者が、新たに購入した「継手面接触解析」ソフトの活用方法について聞きに来た。そこで、「驚張り」廊下に使われている「本実」(円弧状の凸凹)構造を参考にしたセグメント継手の図を描いて、解析を依頼した。3日後に円弧状の凸凹の大きさを変えた3ケースの接触面解析から「最適な凸凹」のサイズが得られた(次頁左上図参照)。この解析をベースに、新しい継手のセグメントの開発が始まった。

■円弧状の凸凹継手の基本性能試験

まず、従来型の金物ボルト継手と、クラシックな曲りボルトに円弧状の凸凹継手を設けた2つのタイプの平板形状の試験体を製作し、継手破壊までの載荷試験を行った。そして、円弧状の凸凹継手の効果と構造特性を把握した(次頁下図参照)。

■LRTシールドトンネルへの提案

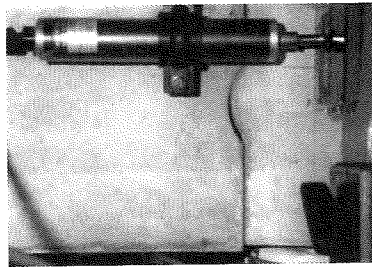
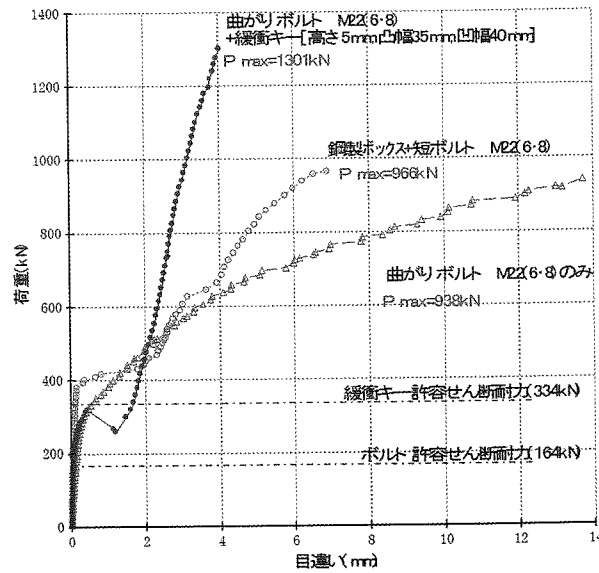
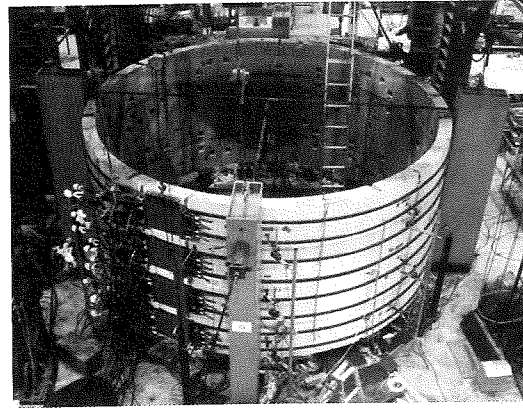
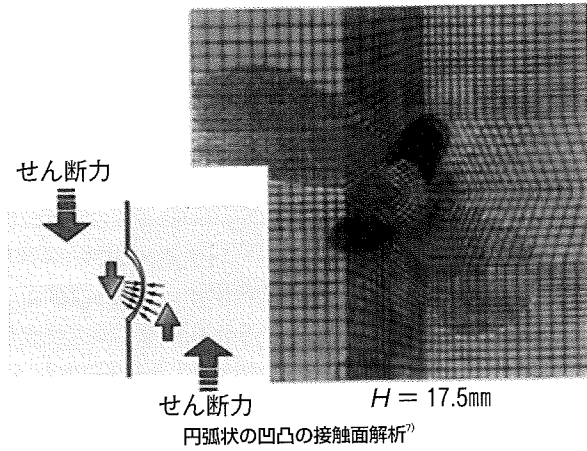
1994(平成6)年、設計・施工で受注したマレーシア・クアラルンプール(KL)のLRT工事(トンネル外径5,240mm、延長約3km)に、円弧状の凸凹継手のセグメントの提案が決まったので、その英語名



界などの規格に従い、2次覆工の余裕を加えてトンネル内径を決め、トンネル軸方向の縦桁は両トンネルの凹部を利用した中央部セグメントに縦桁を内蔵した1本柱構造とし、側部セグメントには共同開発と展開を進めていたNMセグメントを採用した。当時の鉄道総合研究所の小山幸則室長の助言と指導を受けて、3次元FEM解析により構造検討を進めた(上段図

参照)。また、中央セグメント(縦桁内蔵)を含めた実物大のセグメント載荷試験を行い、解析と比較しその妥当性を確認した(中段写真参照)。

駅シールドの検討では、H&Vシールドを基本に中央部セグメント部分に小径のカッタを装備する「4心駅シールド」をメーカーと考案した。また、±0.3°以内にローリングを収めシールドを水平



を「Key Lock Type Segment」として、試設計を行い、承認を受け、発注者およびコンサルの立会いの中で実大セグメントの載荷試験を実施した(右上写真)。

引き続き、国内において電力トンネルや共同溝トンネルを対象としたVE提案、技術提案などにより採用され、2000(平成12)年に先端建設技術・技術審査証明を獲得した。

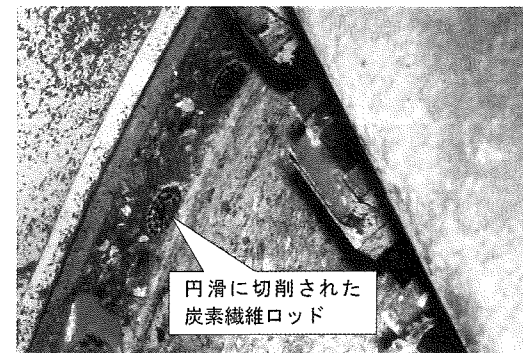
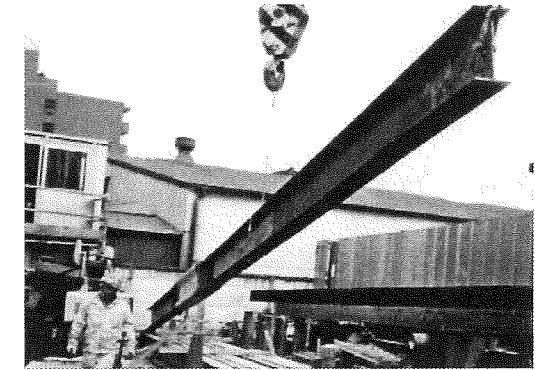
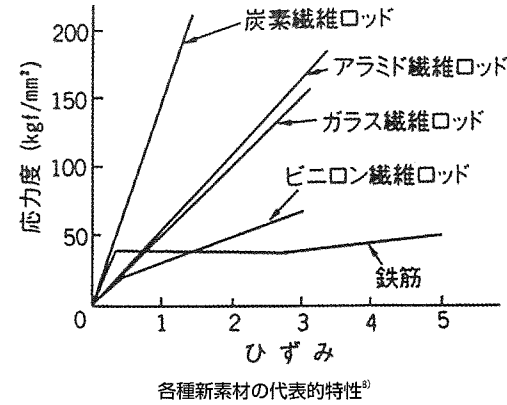
現在(2014年)では、鉄道、道路、下水道を含め23件、延べ42kmのトンネルで使用されている。

NOMSTのはじまり

開発の糸口

1990(平成2)年ごろ、東京大学名誉教授の松本嘉司先生とのシールド工事の現状に関する懇談会の中で「最近、発進時のトラブルを多く聞きます。シールドで土留め壁を削れませんか?」と質問があり、「コンクリートは削れます。しかし、鋼材(鉄筋、H形鋼、鋼矢板)は削れません」と答えた。その懇談会の中で「削れるコンクリート補強材」を皆で探そうということになった。

その後、新日本製鐵研究所から「カーボンワイヤー」の見本が提示され、「カーボンワイヤーの開発に成功したが、これを利用するアイデアを探している」と聞かされた。私は発進時のトラブルを説明し、カーボンワイヤーの詳細な物理的性質とコスト比較の資料を要請したところ、新日本製鐵研究所が開発に協力するとのことだった。

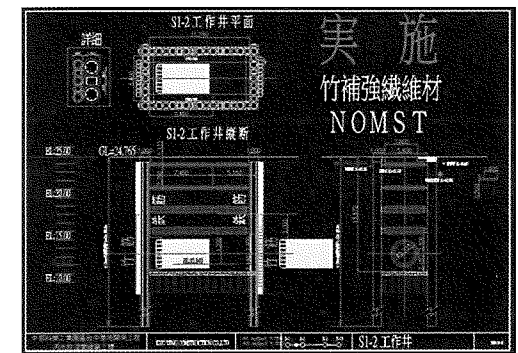


NOMST切削試験

た。この件を松本先生に報告するとともに、関心を示す会社に共同開発を打診し、松本研究室を含めて1991(平成3)年にNOMST研究会が発足した。

繊維補強材の選定と切削試験

補強材の切削性は、素材の物性により大きく異なることから、炭素、ガラス、アラミド、ビニロンの各繊維の基本的物性を調査し、実際に適用可能と考えられた炭素繊維とガラス繊維について切削試験を行った。切削状態は、ガラス繊維では引きちぎられるのに対して、炭素繊維では切断されていた。補強材としては炭素繊維が強度、剛性、切削性ともに優れていると判断した(左上図参照)。そして、鉄筋コンクリートと炭素繊維補強



竹補強繊維材の実施例

コンクリートとによる試験桁を作成し、載荷試験を実施し、炭素繊維補強コンクリートの桁は、鉄筋コンクリート製の桁と同等の耐力と破壊状態を示した。そしてシールド実機での炭素繊維補強材を使用した土留め壁切削試験を行い、周辺のコンクリートを傷めずに炭素繊維補強材が綺麗に切削されることを確認した(左下写真参照)。

はじめてのNOMSTの採用

東京電力の野方付近管路新設工事では、発進立坑の横に「お茶の教室」があり、「地下水を汚さない、井戸枯れを起こさない」がトンネル建設への同意条件であった。現場から「発進防護用の地盤改良だけでなく、ディープウェルでの地下水低下対策も不可」ということ

で、発進方法に関して相談がきた。研究所で実施した「シールド実機でのNOMST切削試験」の報告書を持参し、シールドで削れる炭素繊維補強材を使用した土留め壁を説明したところ、採用が決まった(右上写真参照)。

シールド直接切削壁の現状(2015)

シールドによる直接発進・到達に利用されるNOMSTは広く普及した。しかし、劣悪なGFRP繊維を用いた類似品が海外で使用されており、泥水シールドの配管閉塞などの問題が生じている。

海外の地下鉄シールドの経験が豊富なシールド工事主任に発進方法を尋ねたら、「シールドで土留め壁を切削して発進する設計だが、

GFRP補強材は、カッタで引きち切られて絡まり、泥水配管をたびたび閉塞させる。今は、発進部の土留め壁を先にこわし、GFRP補強材を人力で撤去してからシールドを発進させている」と答えてくれた。シールド直接発進・到達を行うために必要な補強材に求められる物性を参考文献8)で再度検討していただきたい。また、コスト低減を目的とするならば、竹の物性を理解し、実施例を参考にしたうえ「竹補強繊維材」を検討してほしい(前頁右下写真参照)。

現在とおわりに

1999(平成11)年1月に間組を退社し(株)STDを創立し、海外のシールド関連を行っている。まず、1999(平成11)年に釜山地下鉄230工区の技術提案型の入札でシールドトンネルを担当し、泥水シールドとKLセグメントを提案し受注に成功した。沖積砂層と岩盤の複合地盤であったものの、400mのUターン施工を通常の工程で完成することができた。

続いて2000(平成12)年には技術提案型入札のソウル地下鉄909工区でシールドトンネルを担当し、これも泥水シールドとKLセグメントで受注に成功した。工事は礫地盤400m往復と岩盤および沖積砂層の複合地盤で1,100m往復を1台の泥水シールドで工期内に掘進が完了した。

なお、シンガポール地下鉄工事の「Independent Authority for Segment Mould Inspector」として2002(平成14)年から現在もシンガポール地下鉄(LTA)のセグメント型枠検査を行っている。また、日本プロジェクトリサーチ主催の講習会で過去の経験をもとに話をしている(例えば、参考文献10)、11))。

シールド工事では、地盤を相手に土木・機械・電気とIT技術を駆使しながらシールドトンネルを建設する。われわれは、技術の進化に対応してシールドの手動から遠隔操作、さらに自動運転を目指してきた。とくにIT技術の発展は目覚しく、今後はシールド技術の発展に対応したアプリケーションの開発が望まれる。

参考文献

- 1) トンネル工学委員会：わが国シールド工法の実施例・第1集，土木学会，pp.234-235，1966.11.
- 2) 園田徹士・秋元忠雄・堀友優・山口忠美：崩壊性滞水砂れき層中の無圧気シールドによる掘削，間組技術年報(1977)，pp.305-327，1977.10.
- 3) 園田徹士：軟弱シルト地盤変状の予測とその対策，第19回シールド工法施工技術講習会シールド工法19，日本プロジェクトリサーチ，1982.
- 4) 園田徹士・藤本明生・名倉浩：シールド自動施工システムの開発，トンネルと地下，Vol.22，No.5，pp.35-42，1991.5.
- 5) 森麟・秋葉芳明：密閉式シールドにおける粘土性切羽地盤の破壊条件と取り込み土量の支配条件，トンネルと地下，Vol.15，No.8，pp.25-29，1984.8.
- 6) 福島昭男・小山幸則・園田徹士・左高茂樹・粥川幸司：多円形シールド覆工構造に用いる特殊セグメントの載荷実験・解析，トンネル工学研究発表会，Vol.4，pp.305-310，土木学会，1994.11.
- 7) 園田徹士・藤本明生・田中秀明・萩原勉・内田雅博：継手部に緩衝キーを設けたセグメントの開発，トンネル工学研究発表会論文・報告書Vol.6，土木学会，pp.291-296，1996.11.
- 8) 龍田昌毅・園田徹士・岸谷真・鈴木克博・遠藤南志：新素材コンクリートを用いた立坑およびトンネルライニング工法，トンネル工学研究発表会論文報告集Vol.1，pp.239-244，土木学会，1991.12.
- 9) 園田徹士・岸辰夫・萩原勉・新津強・宮内宏明：新素材コンクリートを用いたシールドの発進・到達方法の実施工結果報告，トンネル工学研究発表会論文報告集Vol.3，pp.293-298，土木学会，1993.11.
- 10) 園田徹士：シールド掘進の状況把握と対策，第57回シールドトンネル工法施工技術講習会「厳しい条件下のシールド技術対応と施工管理」，pp.49-70，日本プロジェクトリサーチ，2013.4.
- 11) 園田徹士：海外シールド工事の安全・安心で確実な施工計画の作成，第59回シールドトンネル工法施工技術講習会「シールド高度化施工への展開—新たな技術対応に向けて—」，pp.33-48，日本プロジェクトリサーチ，2015.4.

施工

泥土圧シールドによる道路函体近接直下と3本近併設掘進などの施工

—シンガポール地下鉄ダウンタウン線 C929A工区—

西松建設(株)国際事業本部地下鉄マリナベイ出張所副所長 吉田 吉孝
西松建設(株)国際事業本部シンガポール営業所土木工事課担当課長 星 光二郎
西松建設(株)関東土木支社外環本線シールド出張所所長 中野 文彦

1 はじめに

シンガポールにおける地下鉄プロジェクトは、1983年から始まった南北線および東西線建設工事(1987年開通)を皮切りに、2003年の東北線開通、2011年の環状線開通、そして、現在建設中であるダウンタウン線が2017年、トムソン線が2021年に全線開通となる予定である。また、将来線として島内横断線、ジュロン地域線が事業化あるいは計画されており、2030年には地下鉄の総延長が360km(現在200km)となる。西松建設(株)における施工実績は、1984年着工のCity Hall駅から、現在施工中の案件を含め10駅、シールドトンネル延長約23kmとなっている。

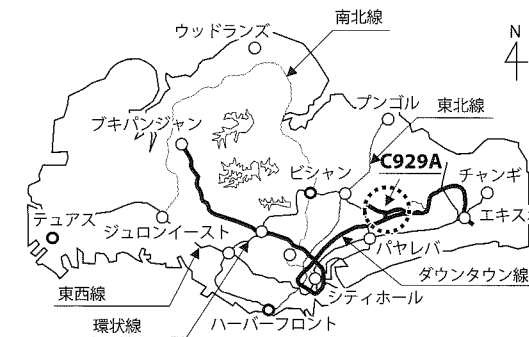


図-1 地下鉄路線図¹⁾

今回報告するC929A工区が属するダウンタウン線は、全線が地下構造となっており、総延長42km、34の駅を合計35工区に分けて発注されている(図-1参照)。本稿では、C929A工区における泥土圧シールド掘進に関する以下の技術的課題(位置関係は図-2参照)について、その対策および成果を報告するものである。

- ① 高速道路トンネル直下の掘進(離隔4m)
- ② 立坑内シールド通過
- ③ 3本併設シールド(離隔1.8m)

上記①および③について、事前解析を行い近接構造物に与える影響は大きくないという検討結果は得ていたが、施工時において、地中の挙動をタイムリーに把握し、掘削土量、切羽圧および裏込め注入圧の管理に細心の注意を払う必要があった。



図-2 929A工区全体平面図¹⁾

2 工事概要

工事名：ダウンタウン線第3期C929A工事
企業先：Land Transport Authority of Singapore

工期：2011年2月25日～2016年12月30日
施工者：西松建設(株)

工事延長：約6.3km
(シールド6km, 開削0.3km)

シールド部：土かぶり厚20～50m, 最小掘進半径190m, 単線のみのみ

開削部：本体兼用RC連壁, 一部トップダウン

2-1 土質概要

シンガポールの地層は大きく4つに区別され(図-3), 今回工事エリア付近はOld Alluvium(以下「OA層」と呼ばれる洪積土が支配的となつて

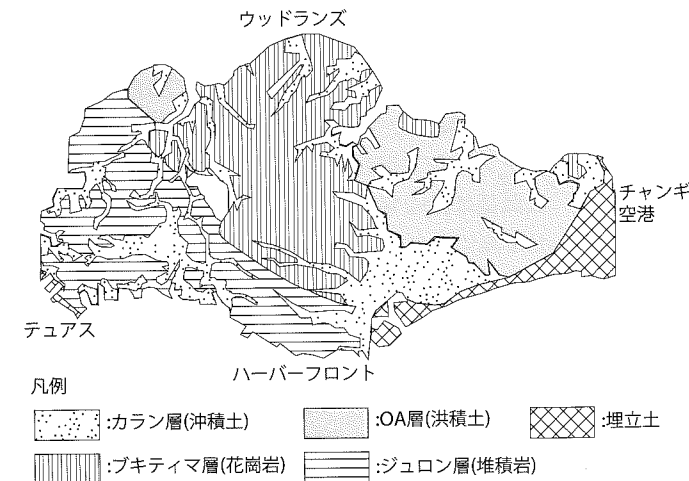


図-3 地層分布図¹⁾

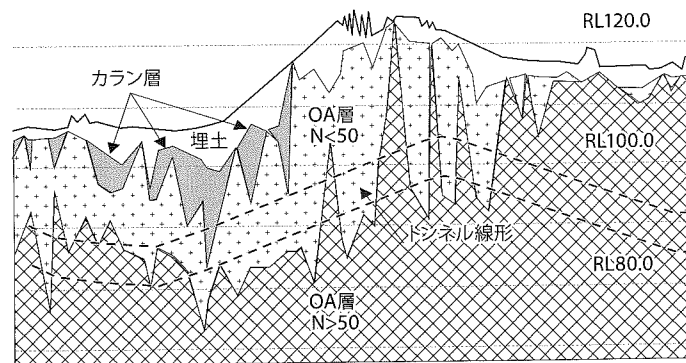


図-4 土質縦断面図¹⁾

おり, カラン層と呼ばれる沖積層が局所的に出現する。図-4に当工区の土質縦断面図を示す。なお, シンガポールでは海拔0mをRL100mと表記する。

OA層の一般的な特徴として, N値が高く, 均等係数が10以上, 細粒分含有率が20%以上という, 硬質で粒度分布が良く, 自立性の高い過圧密地盤である²⁾ことが挙げられる。そのため, シールド掘進に伴う先行沈下や後続沈下などの地盤変位は発生しにくい, 透水係数が $10^{-4} \sim 10^{-8}$ cm/sと幅を持っているため, 切羽圧の設定には注意を要する地盤でもある。

また, N値50以上の砂質OA層は石英分を多く含む^{3),4)}場合があるため, ビットの早期摩耗が懸念された。

2-2 シールド工事概要

シールド工に関する主要数量を表-1に示す。

シールドに関する主要諸元を表-2に, シールド全体写真を写真-1に, シールド全体図を図-5に示す。カタヘッドはスポーク形であるが, 企業先特記仕様書に則り, 通常使用するティースビットをローラカタへ交換可能な構造にする必要があったこと, チャンバ内からのビット交換時における切羽崩壊防止のため, 開口率が40%

表-1 シールド工主要数量

シールド	ルート	延長	リング数
1号機	TS⇒BDT	2,109m	1,508
2号機	UBI⇒TS	2,022m	1,446
3号機	UBI⇒KKB	909m	651
4号機	UBI⇒KKB	909m	651
合計		5,949m	4,256

表-2 シールド主要諸元

項目	諸元	備考
掘削外径	6.64m	胴体6.60m
機長	11.0m	本体のみ
機体重量	4,660kN	本体のみ
装備推力	46,000kN	ジャッキ32本
装備トルク	6,300kN・m	最大
カタ回転数	3.6rpm	—

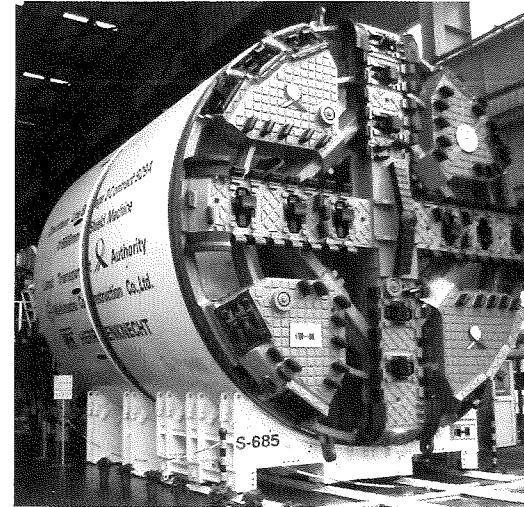


写真-1 泥土圧シールド

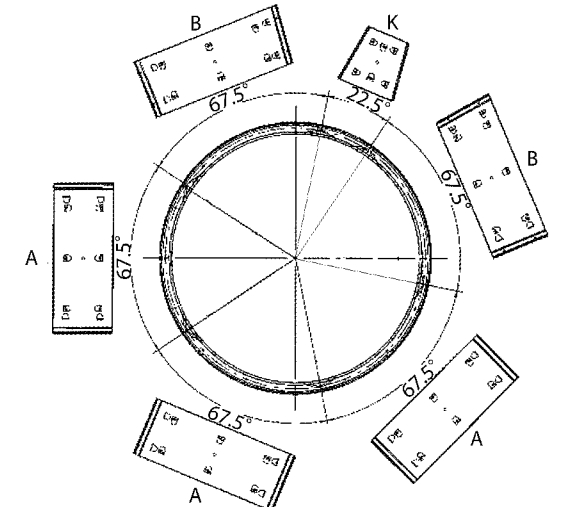


図-6 セグメント割付け図

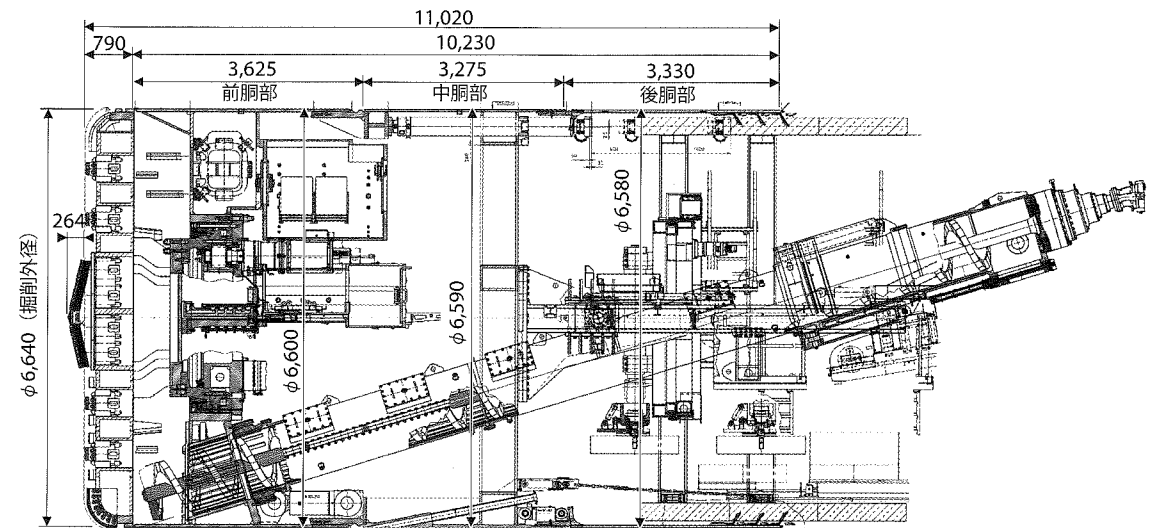


図-5 シールド形状寸法

弱と小さい設計となっている。本工事で使用するセグメントはすべてRC製であり, 分割数は6である(図-6参照)。形状寸法は, 幅1,400mm, 内径5,800mm, 厚さ275mmである。

3 高速道路トンネル直下の掘進

シールド1号機の初期掘進中および2号機の到達直前において, TS立坑より約40m離れた地点から Kallang Paya Lebar Expressway (以下「KPE」と呼ばれる高速道路トンネル(写真-2参照)の直下(離隔約4m)を約36mにわたり直交

差する形で掘進した(図-7参照)。掘進にあたって, 過小/過大な切羽圧あるいは裏込め注入量および注入圧による沈下や隆起とともに, 構造目地からの加泥材や裏込め材の噴発が懸念された。

3-1 トライアル計測

シールド1号機初期掘進時において, KPE直下におけるシールド掘進パラメータ設定のため, 発進立坑からKPEまでの約40m区間にトライアル計測を3断面設けた。計測項目は地表面および地中沈下量であり, 計測配置図を図-8,9に示す。なお, 地中沈下量はシールド直上2mの位置を計

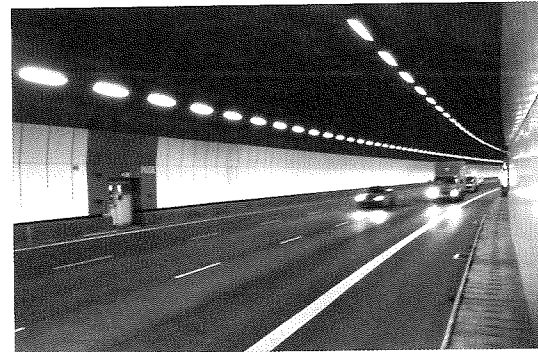


写真-2 KPEトンネル

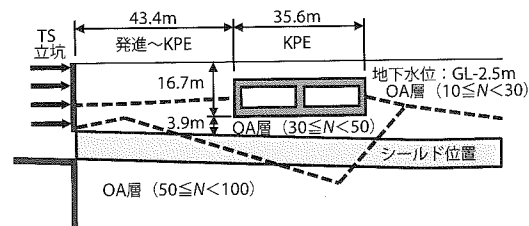


図-7 KPEトンネル付近縦断面図

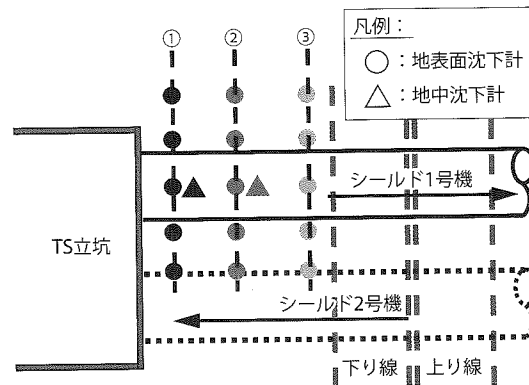


図-8 トライアル計測配置平面図

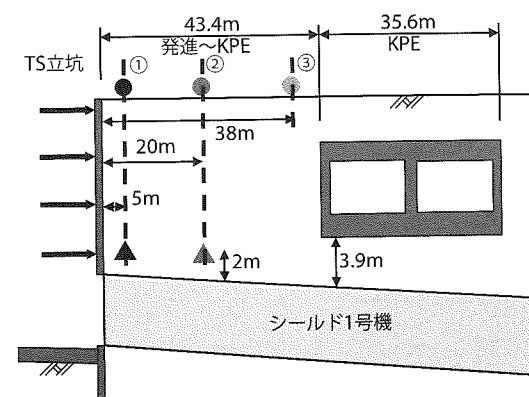


図-9 トライアル計測配置縦断面図

測している。

各計測断面のシールド掘進による地盤変位の経時変化を表したグラフを図-10(地表面沈下)および図-11(地中沈下)に示す。

トライアル区間においては、下記掘進パラメータを標準値として掘進管理を行った。

切羽土圧：200kN/m²

ジャッキ速度：15mm/min

総推進力：12,000kN

裏込め注入量：110%

裏込め注入圧：250kN/m²

X=0はシールド面板が計測断面に到達した状態を意味し、X座標が負の状態時に発生している沈下は先行沈下となる。また、シールドの機長が11mであるため、X座標が0~11mに発生している沈下は機上沈下、X=11mの直後に発生している沈下はテールボイド沈下となる。

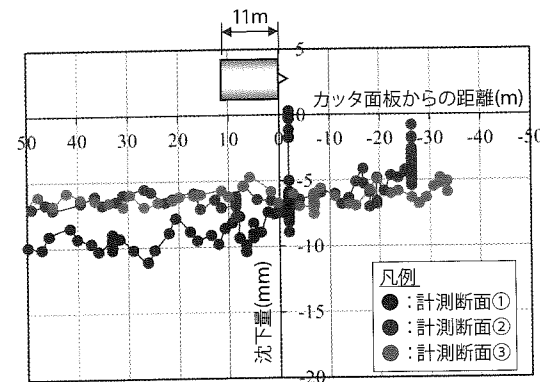


図-10 地表面沈下の経時変化

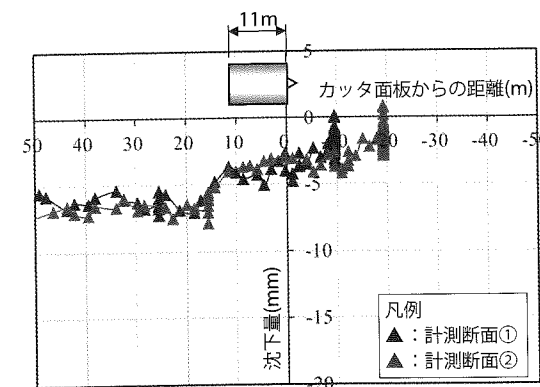


図-11 地中沈下の経時変化

地表面沈下について、地中沈下量より大きい結果となっている。両計測ともに発進立坑の掘削完了直後に計測が開始されており、トンネル掘進前に発生した沈下は立坑掘削による影響が現れた。すなわち、グラフ上では先行沈下が発生しているが、切羽圧不足あるいは土砂取り込み過多に起因したものではないと考える。シールド発進から計測断面通過までの間、地表面沈下量に顕著な変化は見られず、また、シールドが計測断面到達後における沈下もほとんど発生していない。

地中沈下に関しても、先行沈下が発生しているが、これも地表面沈下と同様、発進立坑掘削による影響であり、切羽圧不足あるいは土砂取り込み過多に起因したものではないと考える。機上沈下は0~2mm、テールボイド沈下は3~4mm、後続沈下は0mmとなっており、シールド掘進による沈下量は5~6mmである。

地盤沈下量の予測は、ボリューム・ロス(理論掘削土量に対する過掘り量)にもとづいて計算され、シールド直上2mにおける最大沈下量は30mm(OA層の場合は実績から1%と設定)となり、トライアル区間におけるボリューム・ロスは0.2%であった。

KPEトンネルは、ボリューム・ロスが1%という条件で事前に影響検討がされており、結果は4mmの沈下で収まると想定されていた(工事停止値は15mmの沈下)。このため、トライアル区間に採用した前述の掘進パラメータを標準値とすることで、KPEトンネルへ悪影響は及ぼさないと判断した。

3-2 KPEトンネルの実挙動

プリズムおよび自動傾斜計がKPEトンネル内100m区間に設置されており(図-12, 13参照)、シールド通過時はリアルタイム計測を行った。事前解析では2本のシールド掘削により8mmの沈下が想定されたが、両シールドとも、KPEトンネルへの影響は1mm程度に収まっており(図-14は2台通過後の最終沈下挙動を示す)、また両シールドの掘進方向は逆であるが、沈下挙動は同様であった。

大断面構造物直下の掘進であり、想定以上の沈

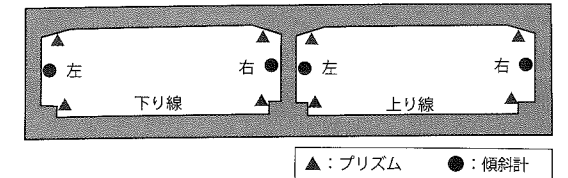


図-12 KPEトンネル自動計測横断面図

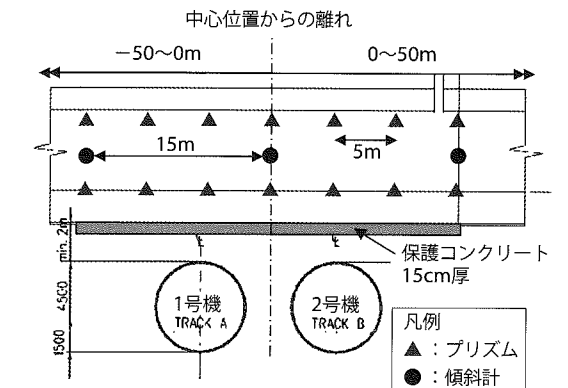


図-13 KPEトンネル自動計測縦断面図

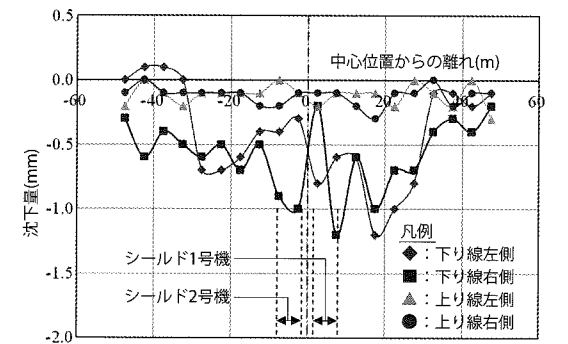


図-14 KPEトンネル自動計測結果

下が発生した場合の影響が非常に大きいため、対策工として、機上沈下抑制を目的とした中間充填材(クレーショック)の注入を実施した。また、土留め杭や中間杭といった予期せぬ障害物の撤去に備えるため、地盤改良(シールドからの注入が可能)を実施できる設備および体制を整えたが、実際に実施することはなかった。

4 立坑内シールド通過

シールド2号機発進後、約1,140m先のR190mカーブ区間内において、避難立坑構築用の円形立坑(掘削径14m)が位置しており(図-15参照)、

シールド掘進方向は、図面向かって右から左側となっている。なお、本立坑の掘削は、地山の状態が良いと想定されたため、バックホウで掘削し(1回の掘削深度は1~2m)、地山表面にコンクリートを吹付ける方法を適用した。

シールド掘進という観点からは、立坑掘削をシールド天端から2D(D:シールド外径)程度の位置で中断し、シールド通過後に立坑掘削を再開する手順が考えられた。しかし、シールド2号機の当該位置への到達時期が、立坑内底版スラブお

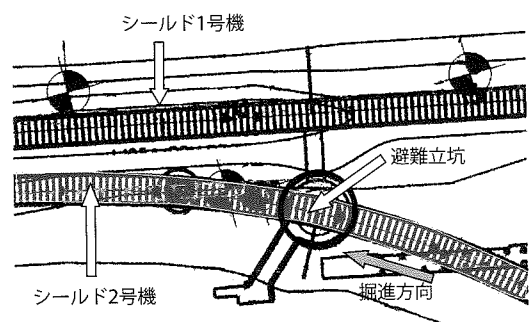


図-15 避難立坑位置平面図

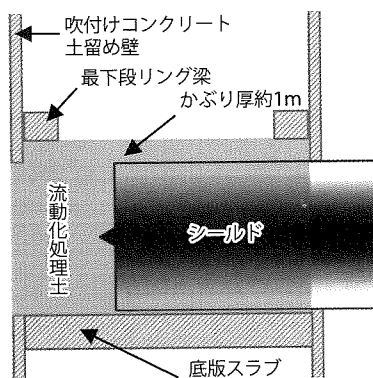


図-16 避難立坑断面図

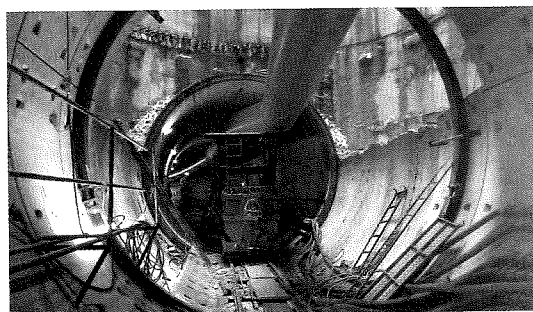


写真-3 立坑内セグメント撤去

よび躯体壁立ち上げ打設時期のあとになると予想されたため、立坑掘削を優先させることとした。

14m径立坑内、かつ、R190m内のシールド再発進は、シールド掘進用反力受けの設置に困難を伴うため、躯体構築後にシールド天端約1m上(実測は0.8~1.2m)まで流動化処理土で埋戻し、その中を通過する計画とした(図-16参照)。なお、シールド通過部の土留め用吹付けコンクリート(有筋、40cm厚)は、坑口部躯体構築後、流動化処理土の打設前に取り壊した。

立坑内セグメントについて、材質および配筋の変更は行わず、また、後続台車通過後に撤去することとした。具体的に、流動化処理土をトンネルのスプリングラインまで掘削し、上部のKセグメントからAセグメントまで順に撤去し、その後、残りの流動化処理土を掘削する手順とした。セグメント撤去後の状況を写真-3に示す。

4-1 施工管理

施工管理上、もっとも懸念されたのが流動化処理土表面へのひび割れの発生である。ひび割れ箇所から裏込め材が噴発し、シールドが立坑内通過後において裏込めの圧管理が不可となり、周辺からの水の流入、周辺地盤および構造物への悪影響を及ぼす可能性があった。

流動化処理土の配合は一軸圧縮強度で600kN/m²としたが、シールド通過後の再掘削作業手間を考慮し、かぶり厚を1m程度と小さくしたため、シールドテール部が坑内を通過する間の裏込め管理については量管理(テールボイド体積の100%)で行うこととした。なお、テール部が立坑を抜け、2リング分掘進後、グラウトの流出を目視確認しながら圧管理に切り替える計画とした。

切羽圧については、前方地山の安定が問題とならないため、チャンバ内を掘削土砂で充填させるだけで加圧しないこととした。なお、チャンバおよびスクリーコンベヤ内のセメント固結防止を目的とし、加泥材として遅延剤を使用した。

シールド坑内通過時においては、立坑内に監視員を配置し、シールドオペレータと無線連絡を常時取れる体制を整えた。

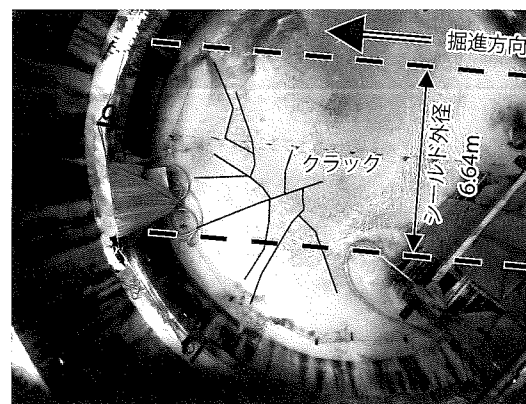


写真-4 流動化処理土表面ひび割れ発生状況

4-2 流動化処理土表面の挙動

シールド掘進に伴い流動化処理土表面に隆起が発生し、表面にひび割れが入ることが懸念されたため、シールド線形中心位置に沿って隆起計測を行った。

シールド面板が立坑内に進入後、隆起およびひび割れといった現象は起こらなかったが、シールドテール部が立坑中心位置を通過後、ひび割れ(最大幅10mm)が発生した(写真-4参照)。

原因は、裏込め材の量管理が注入過多だったことによる。その後、掘進を一時中断し、裏込め材の強度発現を待って掘進を再開した。

掘進再開後、裏込め材の流出といった事象は発生しなかったが、ひび割れ発生位置付近の表面が約10cm隆起した。なお、裏込め材注入管理を圧力管理に切り替え後においても、噴発といった事象は発生しなかった。

5 3本併設シールド掘進

UBI立坑からの発進は、シールド2号機、3号機、4号機の順に発進するが、最小分離は1.8mとなっており、3号機および4号機の掘進が2号機トンネルへ構造的に悪影響を与えることが懸念された。発進立坑基地の全景を写真-5に、UBI発進立坑下における正面写真を写真-6に示す。4号機の初期掘進は、発進立坑上部土砂ピットまで土砂圧送とすることで、狭い発進立坑内での、シールド3台の同時掘進を可能とした。



写真-5 発進立坑基地全景



写真-6 3台同時掘進状況

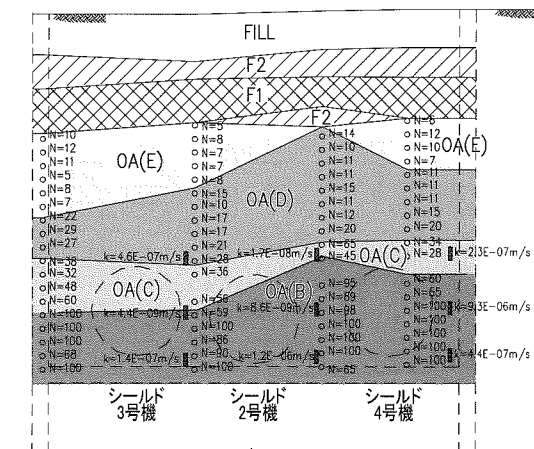


図-17 発進立坑付近土層構成

5-1 発進防護用地盤改良

発進立坑付近の土層構成を図-17に示す。シールド面板前面はN値30以上のOA層で、シールド直上はN値が20程度のOA層となっている。

シールド発進前、ジャンボ・ブレーカーで事前に連壁をはつる施工手順としたため(原設計はNOMST壁の切削)、シールド発進直前(連壁研り後)における地山の安定が問題となった。シールド直上付近のOA層について、安定計算上必要とされた一軸圧縮強度は250kN/m²であった。また、エントランス・パッキンの有無にかかわらず、発進立坑からシールド機長+2リングの区間において、シールド通過部の地山透水係数が1.0×10⁻⁵

cm/s未満であることを要求された。

これら設計要求事項を確認するため、発進立坑からシールド機長+2リングの区間において、追加ボーリング調査を実施し、現場透水試験およびN値20程度のOA層におけるUU試験を行った。その結果、発進から8mの範囲において、透水性($k=9.3 \times 10^{-4} \sim 4.9 \times 10^{-7}$ cm/s)および強度($q_u=164$ kN/m²)とも設計要求事項を満たさなかったため、発進防護工として地盤改良を実施した。

改良範囲は発進から8m区間におけるトンネル全断面が対象であり、補足注入が可能な二重管ダブルパッカー工法にて実施した。図-18に改良範囲平面図、図-19に改良範囲断面図および目的区分を示す。

地盤の強度増加を目的とする改良は、超微粒子の特殊スラグに硬化促進剤を反応させて水和結晶

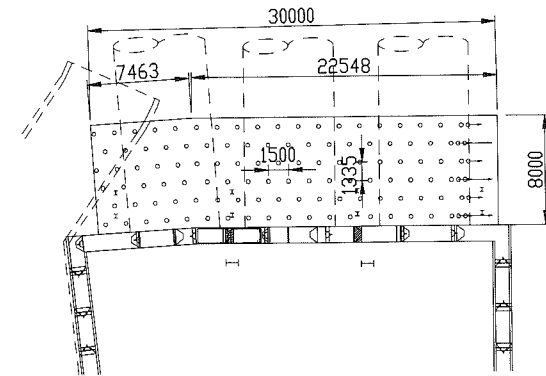


図-18 地盤改良平面図

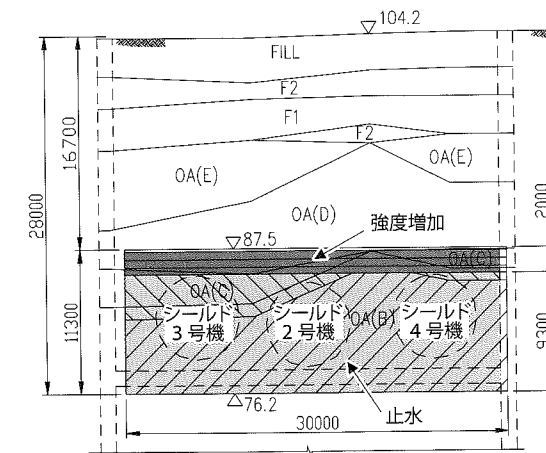


図-19 地盤改良断面図および目的区分

を生成させる注入材(シラクソル)を採用し、改良体の一軸圧縮強度 q_u が250kN/m²以上あることを確認した。

止水性の向上を目的とする地盤改良は、水ガラス系注入材としてシリカライザーを採用し、改良後の透水係数が 1.0×10^{-5} cm/s未満であることを確認した($k=9.5 \times 10^{-6} \sim 4.9 \times 10^{-8}$ cm/s)。

5-2 先行トンネルへの影響検討

企業先の設計指針⁵⁾によれば、隣り合うトンネルの間隔が1D未満の場合、後行シールド掘進による先行シールドトンネルへの影響を考慮する必要がある、今回は発進から30m区間が該当する。

今回採用しているすべてのセグメントは、トンネル近傍における将来工事などによる影響を見越し、セグメント直径方向に±15mmの変形を許容する構造として設計している。ゆえに、掘進前後の相対変位量が15mm以内に収まっていれば、後行シールド掘進による影響は問題とならない。

事前検討の結果、相対変位量はボリウム・ロスを1%と仮定して約4mmであったため、セグメント補強の必要はないが、用心部材としてH-150をリング状にセグメント内面へ縦断方向1.4m間隔(セグメント幅1.4mに合わせた)に設置した(写真-7参照)。

5-3 先行トンネルの実挙動

発進立坑から5リングごとに20リングまで、先行トンネルである2号機のセグメント内面にてプリズム計測を行った。計測位置は、頂部および両スプリングラインとした(図-20参照)。計測時期



写真-7 補強リング設置状況

は、3号機および4号機の初期掘進中とした。

発進立坑から5リング目地点におけるX軸方向の挙動について、3号機による影響を図-21に、4号機による影響を図-22にそれぞれ示す。

グラフX軸について、プリズム計測位置とシールド面板の位置関係を示している。「-」は面板が計測位置の手前、「+」は面板が計測位置を通過したことを意味する。Y軸について、3号機掘進用

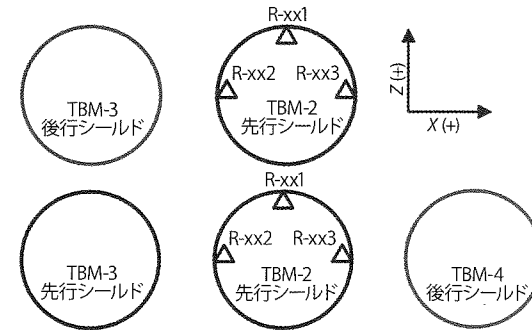


図-20 プリズム計測位置

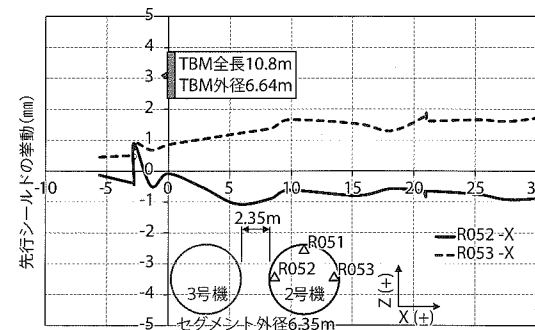


図-21 5リング目の水平挙動(3号機掘進)

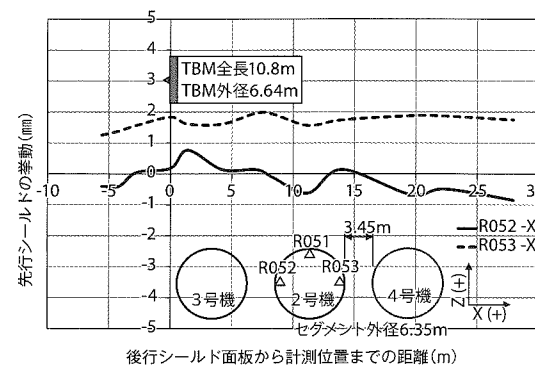


図-22 5リング目の水平挙動(4号機掘進)

グラフ上では「-」は後行シールドに近づく方向となり、4号機掘進用グラフ上で「-」は後行シールドから離れる方向となる。

シールド掘進による先行トンネルへの影響について、各掘進に近接するプリズムの挙動に注目すると、次のことがわかる。

- ① カッタの切削により地山が緩んだため、先行トンネルがいったん、シールド掘進側へ引き込まれる。
- ② 切羽圧により地山が先行トンネル側へ押される。
- ③ 地山とシールド胴体間に生じた空隙により再度シールド掘進側へ引き込まれ、
- ④ 裏込め注入圧により地山が先行トンネル側へ押される。

次に、15リング目地点におけるX軸方向の挙動について、3号機による影響を図-23に、4号機による影響を図-24にそれぞれ示す。

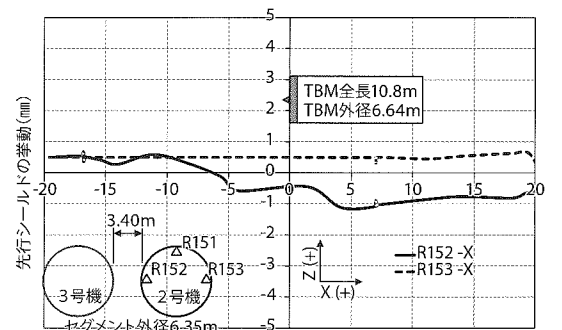


図-23 15リング目の水平挙動(3号機掘進)

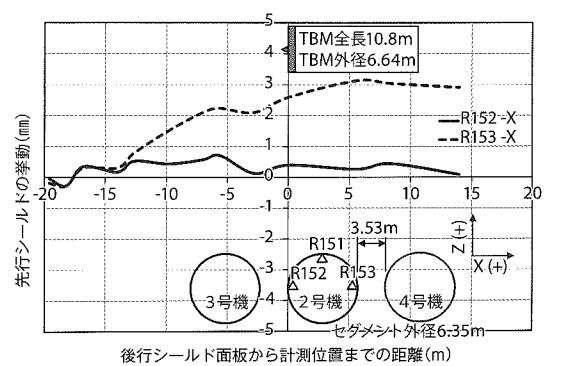


図-24 15リング目の水平挙動(4号機掘進)

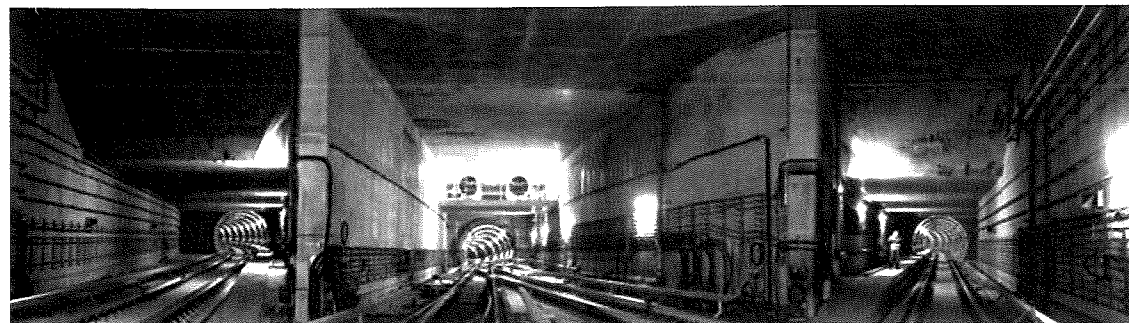


写真-8 発進立坑完成時

15リング地点におけるシールド掘進による先行トンネルへの影響について、各掘進に近接するプリズムの挙動は5リング地点における挙動と同じである。また、本計測結果から次のことが言える。

- ① 先行トンネルによる影響は1.5~2.0D手前から発生する。
- ② 後行トンネル側(図-23の場合はR152, 図-24の場合はR153)の挙動は反対側(図-23の場合はR153, 図-24の場合はR152)より大きい。

既述のとおり、OA層は自立性の高い地山であるため、胴体と地山の摩擦は生じづらく、かつ、裏込め注入後の地山挙動も非常に少ない。このため、小さい挙動ではあったが、影響度合いおよび傾向は把握できた。

6 おわりに

今回のシールド掘削で主体となったオールド・アルビウム層(OA層)は、地山の自立性は非常に高いが、土性の幅が広く、チャンバ内土砂をいかに上手く塑性流動化させるかが鍵であった。途中、砂質OA層掘進中における水の噴発、硬質粘土

OA層掘進中における面板閉塞、石英分を多く含む礫質OA層掘進中におけるビットの早期摩耗などのトラブルはあったが、シールド4台による約6kmの掘進を無事に終えることができた。

最後に、企業先であるLTA始め、関係各位に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 吉田吉孝・折田博生・草野孝三：シンガポール地下鉄プロジェクトに関する報告，地盤工学会誌，Vol.60，No.9，pp.8-11，2012.9.
- 2) K.S.Wong, W.Li, J.N.Shirlaw, J.C.W.Ong, D.Wen & J.C.W.Hsu：Old Alluvium：Engineering Properties and Braced Excavation Performance, *Proceedings of UNDERGROUND SINGAPORE 2001*, pp.223-233, 2001.
- 3) S.L.Chiam, K.S.Wong, T.S.Tan, Q.Ni, K.S.Khoo & J.Chu：The Old Alluvium, *Proceedings of UNDERGROUND SINGAPORE 2003*, pp.408-427, 2003.
- 4) LTA：Geotechnical Interpretative Baseline Report For Civil Contract C929A, pp.26-27, 2010.
- 5) LTA Engineering Group：Civil Design Criteria For Road And Rail Transit Systems, pp.DC/20/1-DC/20/2, 2010.

セグメントの新技术

小泉 淳 監修 B5判 132頁 本体定価 2,000円



株式会社 **土木工学社**

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

研究

めがねトンネルの施工過程における地表面沈下の進展に関する研究

飛鳥建設(株)土木事業本部土木技術部技術企画グループ部長 小原 勝 巳
山口大学工学部長 進 士 正 人

1 はじめに

高規格道路などの4車線道路が家屋の密集する段丘や洪積台地を通過する際、用地や道路線形の制約から上下線の2本のトンネルが接続した「めがねトンネル」が選定され、山岳工法(NATM)により施工されることがある。

めがねトンネルでは、導坑および2本の本坑を順次掘削し、切羽が通過するたびに地表面沈下が増加するため、掘削段階ごとの地表面沈下の増分を正確に予測し、計測管理を行うことが重要である。

めがねトンネルの地表面沈下の実計測結果にもとづく研究例は少ない。青木ら¹⁾は、37トンネルの現場計測データから先進坑と後進坑の掘削に伴う地表面沈下の最終沈下量に対する比率を分析した。

その結果、先進坑で約40%、後進坑で約60%となり、後進坑掘削の影響が先進坑に比べて大きいことを見出している。また、若狭ら²⁾は、めがねトンネルの地表面沈下量の分析に島田の式を適用し、先進坑掘削による地盤の剛性低下により後進坑掘削が単一のトンネルとして評価できないことを示している。

本研究では、めがねトンネルの地表面沈下の計測事例にもとづき、掘削段階ごとの増分に対する土かぶりや地層構成の影響を考察し、地表面沈下の計測管理を行ううえで留意すべき事項を示す。

2 本研究で用いる記号の定義

本研究で扱う地表面沈下量について、掘削段階(中央導坑、先進坑、後進坑)を添字により表現する以下の表記法を用いる(図-1)。

本研究では中央導坑直上の測点の計測値を統一的に用いる。

δ_s : 沈下累計

$\delta_{\Delta s}$: 沈下増分($\delta_{\Delta s} = \delta_s - \delta_{s-1}$, $\delta_{\Delta 0} = \delta_0$)

添字 s : 掘削段階(Stage of tunnel excavation)

$s = 0$: 中央導坑掘削後

$s = 1$: 先進坑掘削後

$s = 2$: 後進坑掘削後(最終値)

また、同一断面において最終沈下量に占める中央導坑、先進坑および後進坑の増分の割合を式(1)のように「沈下増分率」(P_s)と定義する。

$$\text{沈下増分率} : P_s = \delta_{\Delta s} / \delta_s \quad (1)$$

同様に、先進坑と後進坑の地表面沈下の増分を比較する「沈下増分比」($R_{\Delta 1}$)を定義し、式(2)のように表記する。

$$\text{沈下増分比} : R_{\Delta 1} = \delta_{\Delta 2} / \delta_{\Delta 1} \quad (2)$$

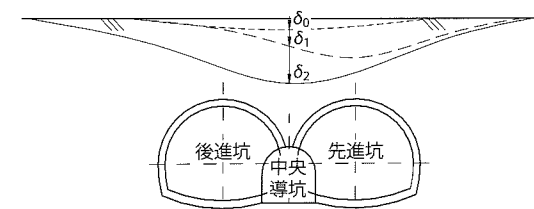


図-1 地表面沈下の掘削段階を表す記号

3 計測事例における地表面沈下の特徴

3-1 対象トンネルの概要

洪積台地において施工された1計測事例を用いて、めがねトンネルの地表面沈下の分析を行う。

(1) トンネルの主な諸元

図-2に対象トンネルの断面を示す。

掘削断面積：中央導坑 約20m²
本坑 約110m²

掘削方法：機械掘削によるNATM施工

掘削工法：ショートベンチカット工法

補助工法：注入式長尺鋼管先受け工法(全線)

掘進方向：全断面を起点側より片押し施工

(2) 地形・地質条件

トンネルは、地表部に民家と耕作地が分布する古期～新期段丘下を土かぶり5～24m(本坑断面天端～地表面)で通過する。

地質は、上位より、ロームおよび洪積粘土(以降は「I層」と表記, N値=3～10), 洪積世の海成未固結砂層(以降は「II層」と表記, N値=30～100)により構成される。

I層の層厚はおおむね10～20m程度であり, I層とII層の境界は本坑のSL付近から天端+15m程度まで連続的に変化する。

3-2 地表面沈下の計測結果

対象トンネルでは, 10mピッチで測点を設置し, トンネル全線で綿密な地表面沈下測定を実施した。以下にトンネル全線における中央導坑直上の地表面沈下計測結果の特徴を示す。

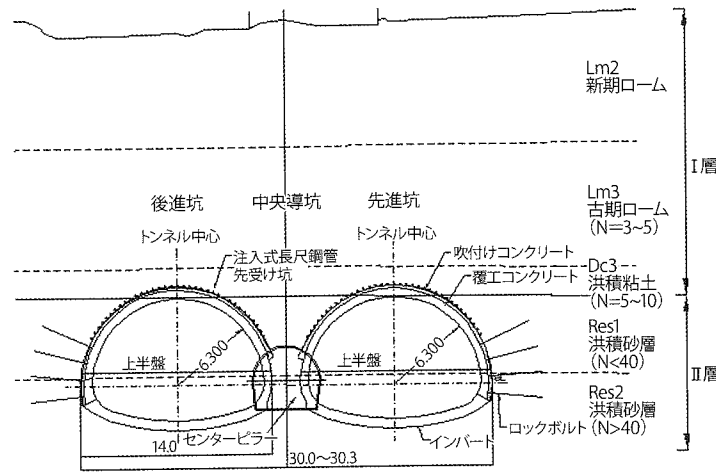


図-2 トンネルの断面と地層構成(例)

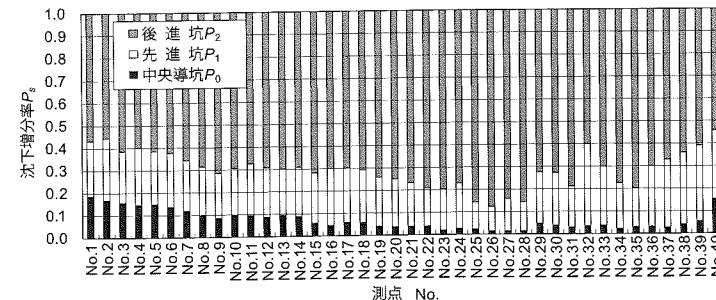
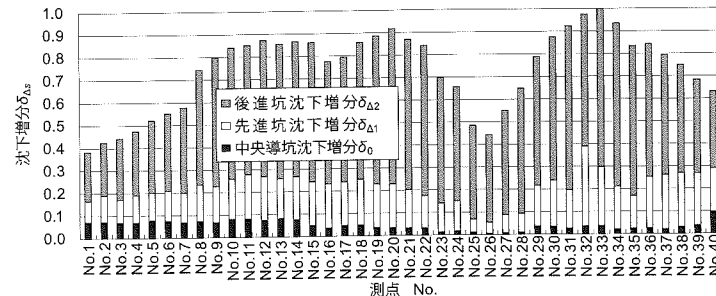
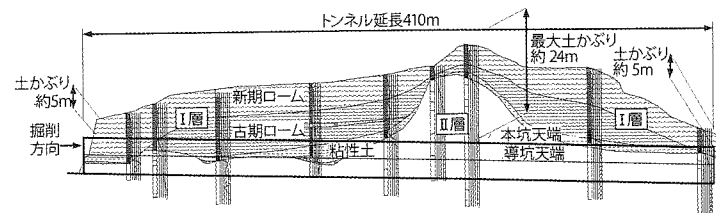


図-3 掘削段階別沈下増分(δΔs)と沈下増分率(Ps)

(1) トンネル縦断方向の地表面沈下の分布

図-3の上段に中央導坑, 先進坑および後進坑のそれぞれの沈下増分(δΔ0, δΔ1, δΔ2)を積み上げ棒グラフで示す。沈下増分の総和(δΔ0+δΔ1+δΔ2)は沈下累計(δ2)を表している。

これより, 以下に示すように, 地表面沈下は土かぶりと地層構成の影響により変化することがわかる。

- ① I層とII層の境界がトンネル断面内ではほぼ一定の範囲では, 土かぶりの増加に伴い沈下累計(δ2)も増加する(測点No.1～17, No.33～40)。
- ② I層とII層の境界がトンネル上方に離れII層のかぶりが大きくなると, 土かぶりが増加しても地表面沈下は減少する(測点No.20～30)。

また, 測点ごとの沈下増分率($P_0 = \delta_{\Delta 0} / \delta_2$, $P_1 = \delta_{\Delta 1} / \delta_2$, $P_2 = \delta_{\Delta 2} / \delta_2$)を図-3下段の積み上げ棒グラフに示す。これより以下のことがわかる。

- ① 後進坑の沈下増分率(P_2)は0.6～0.9に及び, 中央導坑(P_0)と先進坑(P_1)と比べて大きい。
- ② 後進坑の沈下増分率(P_2)は, I層とII層の境界がトンネル上方に離れ, より強度の大きいII層内にトンネル断面が包含されるNo.23～28区間において著しく大きくなる。

(2) 掘削段階ごとの最大地表面沈下の発生位置土かぶり(h)に対する沈下累計(δs)の関係を図-4に示す。また, 掘削段階ごとのピーク沈下量となる土かぶりを表-1に示す。

これらから以下のことがわかる。

- ① 沈下累計(δs)が最大となる土かぶりが存在する。坑口から土かぶりが増加する過程で地表面沈下が最大値を示す現象は, 単設トンネルにおいては従来から知られている。
- ② 掘削段階の進展に伴い, より大きな土かぶり位置で沈下累計(δs)が最大値となる。

(3) 掘削段階ごとの沈下増分率と土かぶりの関係掘削段階ごとの沈下増分率($P_s = \delta_{\Delta s} / \delta_2$)と土かぶり(h)の関係を図-5に示す。

これより, 以下のことがわかる。

- ① 沈下増分率(P_s)は, 土かぶりの変化に対して掘削断面ごとに異なる一定の変化率を有する。また, 土かぶりの増加に伴い沈下増分率(P_2)が増大し, 後進坑掘削による影響が支配的となる。

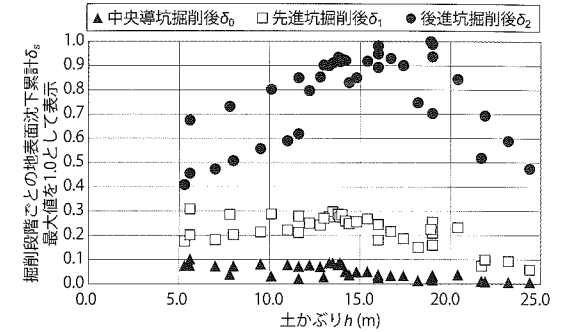


図-4 土かぶりによる沈下累計(δs)の変化

表-1 沈下累計(δs)が最大となる土かぶり

掘削段階	土かぶりh(m)
中央導坑掘削後(δ0)	0～5(推定)
先進坑掘削後(δ1)	12～14
後進坑掘削後(δ2)	16～19

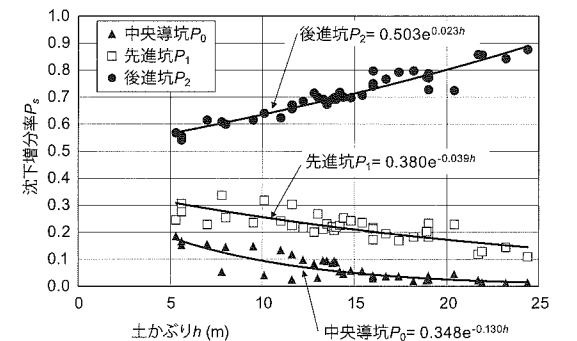


図-5 土かぶりによる沈下増分率(Ps)の変化

② 土かぶり20m程度以上ではトンネル断面上部までII層が上昇する(図-3)が, 上記①の変化率の連続性に対する地層構成の影響は見られない。

(4) 先進坑と後進坑の沈下増分の比較

掘削断面積が同じ先進坑と後進坑に着目対象を限定し, 沈下増分比($R_{21} = \delta_{\Delta 2} / \delta_{\Delta 1}$)と土かぶり(h)の関係を図-6に示す。両断面の掘削による沈下増分を比較することは, めがねトンネルの実現場での計測管理において, 先進坑掘削後に最終沈下量を予測するうえで重要な情報となる。

図-6より以下のことがわかる。

- ① 沈下増分比(R_{21})は, 沈下増分(δΔs)の大きさによらず土かぶりの増加に伴い単調に増加する。土かぶりの増加に伴い沈下増分比

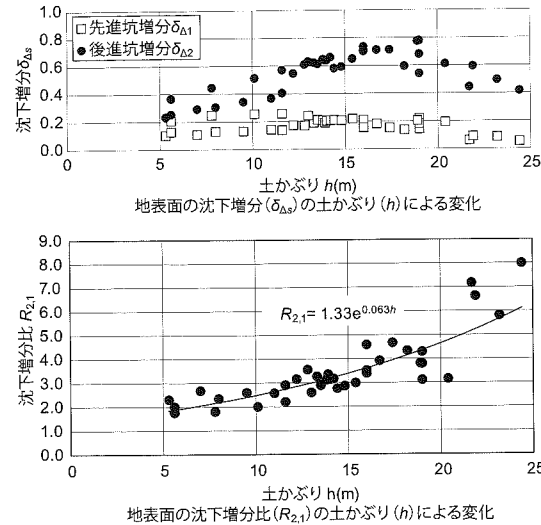


図-6 土かぶりによる沈下増分比($R_{2,1}$)の変化

($R_{2,1}$)が大きくなる現象は、他のめがねトンネルの計測事例からも確認されている¹⁾。

② 沈下増分比($R_{2,1}$)の土かぶりによる増加は指数関数で近似できる。この現象は、図-6上段のグラフに示す先進坑と後進坑の沈下増分(δ_{A1} , δ_{A2})の分布に起因していることは明瞭である。このため、沈下増分比($R_{2,1}$)が土かぶりにより変化する要因を解明するためには、先進坑と後進坑の沈下増分の違いを考慮する必要がある。

4 地表面沈下の影響因子に関する考察

4-1 沈下増分比と土かぶりの関連性

島田³⁾は、計測事例にもとづく地表面沈下と土かぶりの関係の分析から、個々のトンネルにおいて土かぶりの増加に伴い地表面沈下が最大値を示す断面が存在することを示している。対象トンネルにおいても同様な現象が見られることから、先進坑と後進坑の沈下増分(δ_{A1} , δ_{A2})、沈下増分比($R_{2,1} = \delta_{A2}/\delta_{A1}$)に対する土かぶりの影響について以下に考察する。

先進坑と後進坑の沈下増分(δ_{A1} , δ_{A2})と土かぶりの関係を図-7に示すモデルで模式化する。

図中の記号a~cは、以下に示す土かぶりを表す。

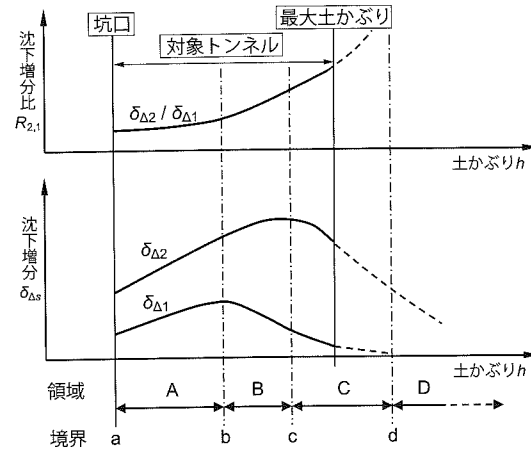


図-7 土かぶりと沈下増分比($R_{2,1}$)の関連模式図

a : 坑口部

b : 先進坑沈下増分(δ_{A1})の最大値発生

c : 後進坑沈下増分(δ_{A2})の最大値発生

また、a~cを境界とする領域A~Cにおける沈下増分比($R_{2,1}$)は、領域ごとに以下の解釈が可能である。

領域A : 先進坑と後進坑の沈下増分の変化率がともに正值であり、沈下増分比($R_{2,1}$)は土かぶりの増加に対して緩やかに増加する。

領域B : 先進坑の沈下増分(δ_{A1})の変化率が負に転じることにより、土かぶりに対する沈下増分比($R_{2,1}$)の変化率が大きくなる。

領域C : 後進坑の沈下増分(δ_{A2})の変化率も負に転じるが、先進坑の沈下増分(δ_{A1})が小さくなるため沈下増分比($R_{2,1}$)が増大する。

以上のように、先進坑よりも後進坑の方が、より大きな土かぶりでも沈下増分の最大値が発生し、より大きな土かぶりまで沈下増分が生じることにより、沈下増分比($R_{2,1}$)が土かぶりの増加に対して指数関数的に増加する現象を説明できる。

4-2 沈下増分比に対する全体掘削幅の影響

島田³⁾は、地表面沈下の推定方法に関する研究において、地表面沈下の大小を決定づける以下の要因を挙げている。

- a) 土かぶり
- b) 地質条件
- c) トンネル径
- d) 施工方法

対象トンネルにおける上記a)~d)の影響は、以下のように評価することが可能である。

- ① a)とb)は、図-3に示したように地表面沈下への影響が大きい。
- ② c)は、掘削済みの断面の合計幅と捉えると、めがねトンネルにおいては掘削段階ごとに増加する。
- ③ 全区間において補助工法を含めて同一の掘削工法で施工されているため、d)の影響は無視できる。

以上より、以降の検討においては、上記a)~c)を考慮する。

ここで、c)トンネル径に関する以下の定義を追加し、断面幅の変化を考慮するため、地表面沈下量は沈下累計(δ_s)を用いて検討する。

土かぶり断面比 : h/D_s

沈下累計断面比 : δ_s/D_s

ここに、

h : 掘削段階ごとの土かぶり(先進坑と後進坑は同じ)

D_s : 掘削段階ごとの全体掘削幅

ただし、 $s=0$: 中央導坑掘削後 $D_0 = 5.0\text{m}$

$s=1$: 先進坑掘削後 $D_1 = 17.7\text{m}$

$s=2$: 後進坑掘削後 $D_2 = 30.3\text{m}$

土かぶり断面比(h/D_s)に対する掘削段階ごとの沈下累計断面比(δ_s/D_s)の変化を図-8に示す。

この図から、以下のことがわかる。

- ① 中央導坑では全線で土かぶり断面比(h/D_0)が2.0以上と大きいため、沈下累計断面比(δ_0/D_0)の最大値を確認できないものの、中央導坑と先進坑における沈下累計断面比(δ_s/D_s)の最大値は約0.5と同程度である。一方、後進坑ではこれらの約2倍の値を示し、後進坑掘削においては相似性が成立していない。
- ② 沈下累計断面比(δ_s/D_s)は、先進坑が土かぶ

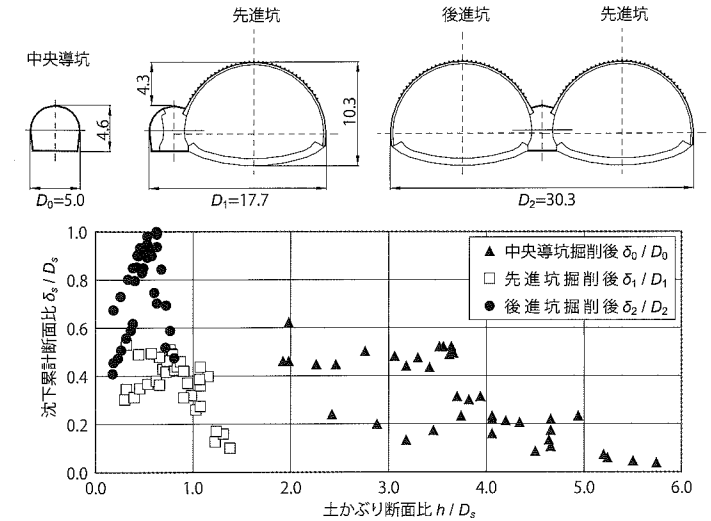


図-8 土かぶり断面比(h/D_s)と沈下累計断面比(δ_s/D_s)の関係

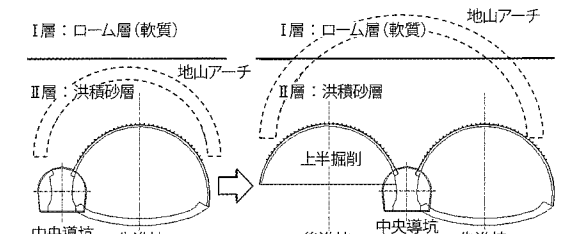


図-9 掘削段階による地山アーチの変移概念図

り断面比 $h/D_1 = 0.8$ 程度、後進坑がおおむね $h/D_2 = 0.5$ で最大値となる分布形状を示しており、相似性の観点から、地層構成の影響が無視できないと考えられる。

めがねトンネルの掘削段階ごとに変化する全体掘削幅(D_s)で除して土かぶり(h)と地表面沈下累計(δ_s)を無次元化して比較検討することにより、上記のように、地表面沈下量の掘削段階による変化は、地層分布や地山物性値などに対するスケール効果の影響を受けていることが明らかとなった。この原因を次のように考察する。

図-2に示したように対象トンネルの地質状況は上位よりI層(ローム層)とII層(洪積砂層)の2層構成となっており、I層はII層に比較して極端に軟質である。

このため、図-9に示すような地山アーチのイメージを想定すると、同一計測断面では後進坑掘削によるトンネル全体幅の拡大に伴い地山アーチ

の幅と高さが拡大し、トンネル上部に分布する軟質なI層による影響を受ける。これにより、先進坑に比べて後進坑の沈下累計断面比(δ_2/D_2)が大きくなると考えられる。

5 数値解析による地表面沈下に関する検討

対象トンネルを2層系地盤に建設されたためがねトンネルとしてきわめて単純にモデル化し、地層厚と地盤物性値を変化させた数値解析を行うことにより、土かぶりの変化に対する沈下累計(δ_s) (図-8)および沈下増分比(R_{21})の変化(図-6)を再現できるかを検討する。

なお、土かぶり断面比(h/D_s)1.0以下の比較を容易にするため、以降の解析結果では片対数図(図-10)により表記し比較を行う。

5-1 解析条件

(1) 解析に用いる3次元解析プログラム

本検討では、先進坑と後進坑の掘削時の変位挙動を比較するため、解析条件を可能な限り絞ったモデルを選択し、有限差分法にもとづく3次元解析プログラム「FLAC3D」(ITASCA)による3次元弾性解析を用いる。

(2) 解析条件および解析ケース

解析モデルの一例を図-11に、地山物性値を表

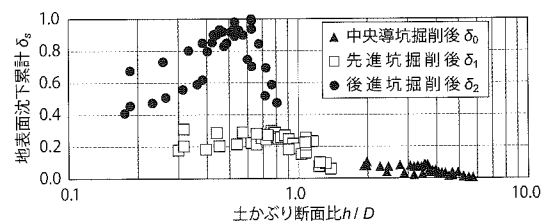


図-10 土かぶり断面比(h/D_s)と沈下累計(δ_s)

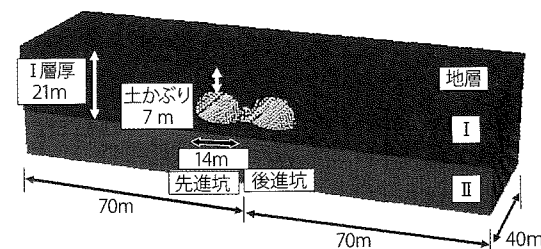


図-11 解析モデル(地層厚、土かぶりは変化)

-2、支保物性値を表-3に示す。また、表-4に示すように、以下の手順で解析を行う。

① I層の層厚を7~28mまで4段階で変化させ、さらに各々の層厚において土かぶり断面比(h/D_s)を8段階で変化させて沈下累計(δ_s)の分布を求め、計測値を再現できるI層の層厚を決定する。

② 次に、①で最適化したI層の層厚を用い、II層の弾性係数を3段階で変化させ、さらに各々の弾性係数で土かぶり断面比(h/D_s)を8段階で変化させて沈下累計(δ_s)の分布を求める。

なお、解析ステップは、①中央導坑掘削およびセンターピラーの施工、②先進坑掘削および支保工の施工、③後進坑掘削および支保工の施工の3ステップとし、全延長を一括掘削して同時に支保を作用させた。また、沈下量の着目位置はメッシュ上端中央のセンターピラー直上としている。

表-2 地山物性値

地山物性値	単位体積重量 (kN/m ³)	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比
I層	15	15	0.4
II層	15	30~60	0.4

表-3 支保物性値

支保物性値	単位体積重量 (kN/m ³)	弾性係数 (N/mm ²)	ポアソン比
吹付けコンクリート+鋼製支保工	24	3,920	0.2
センターピラーコンクリート	24	21,600	0.2

表-4 解析ケース

解析条件	I層の層厚 (m)	弾性係数 (N/mm ²)	
		I層	II層
I層の層厚の変化	7.0	15	40
	14.0		
	21.0		
	28.0		
II層の地山弾性係数の変化	28.0	15	30
			40
			60

5-2 解析結果と考察

(1) I層の層厚変化

I層の層厚を変化させた場合の沈下累計(δ_2)の土かぶり断面比(h/D_2)による変化を図-12に示す。I層の層厚が大きくなると沈下累計(δ_2)がピーク値となる土かぶり断面比(h/D_2)が小さくなり、層厚21~28mでもっとも計測値(図-10)に近い挙動を示す。対象トンネルのI層の厚さは約15m程度であるが、II層の上部の軟質化(N値の低下)していることを考慮すれば、計測結果の傾向を再現できている。

(2) 地山物性の変化

II層の弾性係数を変化させて得られた地表面沈下累計(δ_s)と土かぶり断面比(h/D_s)の関係を図-13に示す。

II層の弾性係数の変化により、以下の特徴が見出せる。

- ① 弾性係数を60N/mm²と設定した場合、土かぶり断面比(h/D_2)が約0.5において沈下累計(δ_s)が最大となる。これよりも大きな土かぶり断面比(h/D_2)では、沈下累計(δ_s)は小さくなり、実計測値にもっともよく似た傾向を示す。
- ② II層の弾性係数の影響は、ピーク値を超えた範囲($h/D_2 > 1$ の範囲)で沈下挙動に違いが生じる。これは、土かぶり断面比(h/D_2)の大

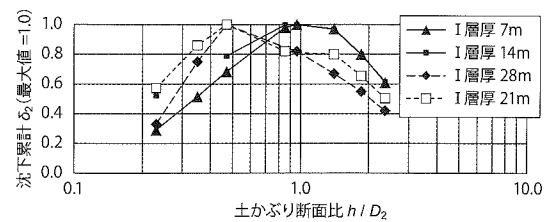


図-12 I層の層厚変化による沈下累計(δ_2)の分布

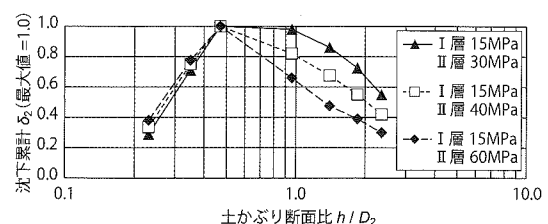


図-13 II層の弾性係数の変化による沈下累計(δ_s)の分布

きい範囲では、トンネル周辺地山の弾性係数が高い状況にあるため、トンネル周辺の変形量が小さくなるためと考えられる。

(3) 掘削段階別の比較

シミュレーション解析の結果、図-10をもっとも良く再現した条件(地層厚:28m、II層の弾性係数:60N/mm²)による掘削段階別の沈下累計(δ_s)を実計測値と比較する。

図-14~16にそれぞれ中央導坑、先進坑、後進坑掘削後の沈下累計(δ_s)と土かぶり断面比(h/D_s)の関係を示す。

これらの図から、実計測値と解析結果はほぼ同様な傾向を示し、掘削段階が進展するにつれて沈下累計(δ_s)の最大値を示す土かぶり断面比(h/D_s)が小さくなるのがわかる。すなわち、対象ト

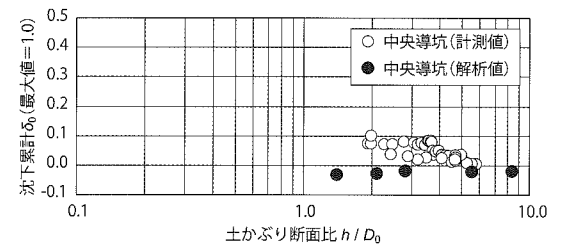


図-14 土かぶり断面比による計測値と解析値の比較(中央導坑)

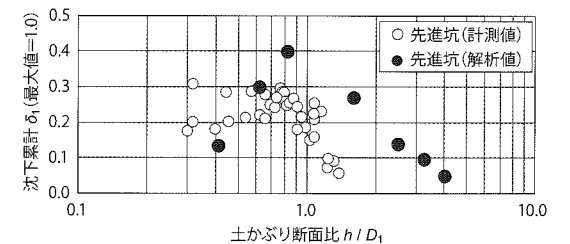


図-15 土かぶり断面比による計測値と解析値の比較(先進坑)

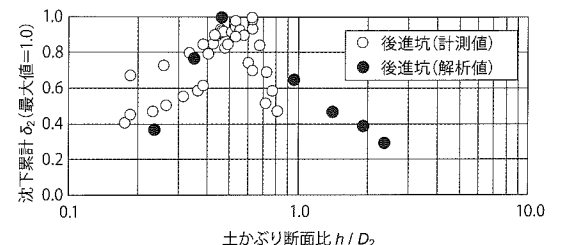


図-16 土かぶり断面比による計測値と解析値の比較(後進坑)

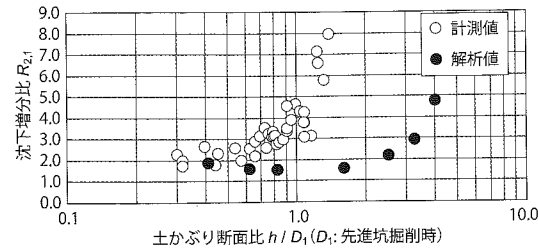


図-17 沈下増分比($R_{2.1}$)の計測値と解析値の比較

ネルにおいて地表面沈下の最大値をとる深さが土かぶり断面比(h/D_s)により変化するのは、地表付近の強度低下を示すI層(ローム層)の層厚とII層(洪積砂層)の弾性係数の違いと単純化してもある程度説明できることがわかる。

(4) 沈下増分比($R_{2.1}$)と実計測値との比較

図-10に示した計測値と解析により得られた沈下増分比($R_{2.1}$)の比較を図-17に示す。

これより、以下のことがわかる。

- ① 沈下増分比($R_{2.1}$)は全土かぶりにおいて $R_{2.1} > 1$ となっており、先進坑よりも後進坑の掘削による沈下増分が大きくなる計測結果の傾向を再現できている。
- ② 全体に計測結果に比べて解析による沈下増分比は小さく、実際の現象を正確に表現できていない。すなわち、地層構成の影響だけでは、後進坑掘削による沈下増分($\delta_{\Delta 2}$)が先進坑掘削による沈下増分($\delta_{\Delta 1}$)に比べて大きくなる現象を十分に説明できないことがわかる。このように、先進坑の沈下増分($\delta_{\Delta 1}$)から後進坑掘削後の沈下量(δ_2)を解析的に予測する場合に、予測値に比べて実際の後進坑掘削による地表面沈下が大きくなる危険性がある。

6 ま と め

本研究で得られた知見を以下に取りまとめる。

- ① めがねトンネルでは、土かぶりや地層構成がトンネル延長方向に変化する施工条件において、地表面沈下が最大となる土かぶりが発生することがあり、その最大沈下量を示す土かぶりが掘削段階の進行に伴い、より大きな

土かぶり高さに移行する(図-4)。このことは、めがねトンネルの計測管理を行う過程で予想を超えた範囲に沈下による被害を発生させるおそれがあり、注意が必要である。

- ② 地表面沈下と土かぶりを掘削の各段階でのトンネル断面幅で除して掘削段階ごとの地表面沈下の変化を比較した場合、トンネル上部の地盤が2層構造となっているため相似性が働かず、いわゆるスケール効果により掘削段階ごとに異なった沈下の発生傾向を示すことがわかった。このように、トンネル上部の地盤がトンネル周囲より軟質である場合には、掘削段階の進展に伴い想定以上の地表面沈下が生じることに注意する必要がある。

- ③ 簡単な弾性数値解析により、沈下増分比が $R_{2.1} > 1$ となる現象、すなわち後進坑掘削時の沈下増分が先進坑の沈下増分より大きくなる現象を表現できたが、実計測値の大きな沈下増分比($R_{2.1} > 5$)に対して解析値は小さな値となった。これより、精度良い沈下予測を行うためには、先進坑掘削による周辺地盤への影響(たとえば、地盤のひずみ軟化特性など)やグラウンドアーチの発生による地表沈下の抑制効果について、より詳細に考慮した数値解析が必要と思われる。

最後に、本研究においてご協力をいただいた、鎌田和孝氏((現)西日本旅客鉄道(株))と岸田展明氏((現)中電技術コンサルタント(株))に感謝いたします。

参 考 文 献

1) 青木宏一・若狭紘也・上村正人・進士正人・中川浩二：現場計測データに基づくめがねトンネルへの作用荷重と周辺地山挙動の評価，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.12，pp.371-376，2002.11。
 2) 若狭紘也・上村正人・青木宏一・進士正人・中川浩二：めがねトンネル施工における地表面への影響評価，土木学会トンネル工学委員会，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.13，報告，pp.281-286，2003.11。
 3) 島田隆夫：土かぶりの浅い山岳トンネルの地表沈下，土木学会論文報告集，No.296，pp.97-110，1980.4。

連載講座

トンネル新技術への挑戦(20)

—覆工(コンクリート)—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会

① はじめに

トンネル覆工に関する新技術は、最近の約10年の間に、コンクリート材料から打設・養生に関するものまで、多くの技術が開発されている。今回は、このトンネル覆工関連技術のうち、コンクリートの流動性に着目した新技術2例を紹介する。

覆工コンクリートの打設は、設計厚が30cm程度と薄く、全周をセンターで覆われているために狭小空間での窮屈な作業となる。打設はコンクリートポンプ圧送であり、側壁・肩部付近までは型枠窓からの打込みと棒状バイブレータによる人力締め、天端部は天端吹上げ口1~2か所からの打込みである。天端部窓の閉塞後は人力締めが困難な状態となり、打設と言うよりは閉鎖空間への充填となる。

このような施工条件のために、コンクリート吐出口の位置が限られることやバイブレータによる締め不足、ブリーディング水の巻き込みなどから、覆工コンクリートの密実性低下・背面空洞発生・品質のばらつきなどが課題として挙げられている。一方、狭小空間での苦渋作業や熟練作業員の減少などを解決するとともに、技量に左右されないばらつきのない品質確保や更なる品質向上も求められている。紹介する2つの新技術は、これらの課題克服をコンクリートの流動性に着目して開発された技術である。

新技術紹介の前段階として、現状のコンクリー

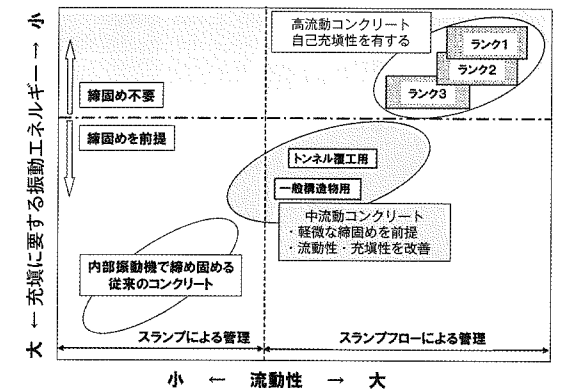


図-1 コンクリート種別と流動性¹⁾に加重

ト種別と流動性の関係を図-1に示す。高速道路3社(東・中・西高速道路(株))は、2003(平成15)年から「中流動コンクリート」の研究に着手し、2013(平成25)年にはこれをトンネル覆工コンクリートの標準としている。それ以外の道路や鉄道のトンネル覆工は、図中の「内部振動機で締め固める従来のコンクリート」が標準である。

2つの新技術の概要を以下に示す。

- (1) 覆工用高充填コンクリート(鉄道・運輸機構、大林組)

現在、汎用的に用いられている覆工コンクリートに対し、水量およびセメント量を同等としたまま、軽微な締めを行うことで天端部を容易に充填できる程度まで流動性を高めたコンクリートであり、図-1では中流動コンクリートとほぼ同じ所の位置づけとなる。

(2) 覆工用高流動コンクリート(鹿島建設)

近年実績が増えつつある中流動コンクリートの配合思想をベースに、無筋もしくは単鉄筋程度などの覆工コンクリート特有の条件において、締固めを不要とすることができる高流動コンクリートである。図-1では、高流動コンクリートのランク3に該当するものである。

② 覆工用高充填コンクリート

2-1 はじめに

覆工用高充填コンクリート(以下「高充填コンクリート」という)は、現在、トンネル覆工で汎用的に用いられているコンクリート(以下「従来コンクリート」という)に対して、同じ最大寸法40mmの粗骨材を用い、単位水量やセメント量を同等としたまま、増粘剤成分を有する減水剤もしくはフライアッシュを活用することで、材料分離抵抗性を確保しつつ、流動性をスランプ21cmに高めたコンクリートである(写真-1)。

2-2 開発の背景と経緯

2-2-1 それまでの状況

大半のトンネル覆工は無筋構造物であり、設計基準強度は18N/mm²程度である。このため、一般には、最大寸法40mmの粗骨材を用いた、水セメント比が55~60%程度のセメント量の少ない配合が適用されている。このような従来コンクリートは、材料コストが低い、硬化後の収縮ひび割れを抑制できる、セントルに作用する側圧が小さいなどの利点がある。

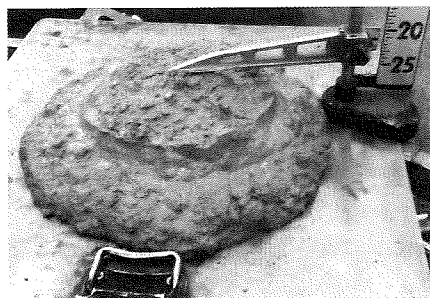


写真-1 高充填コンクリートの外観

一方で、比較的スランプが小さく、また低下しやすいため、トンネル覆工のような閉鎖空間内では締固め作業が行いにくいことや、セメント量が少なくブリーディングが増大しやすいことなどにより、充填不良や背面空洞が生じやすいという課題があった。

2-2-2 開発への取組み

上記の状況を踏まえ、高充填コンクリートの開発に際しては、以下の基本方針を設定した²⁾。高充填コンクリートの仕様および目標品質を表-1に、材料の構成割合の概念を図-2に示す。

(1) 単位水量およびセメント量

材料コストの増加、硬化後の収縮ひび割れの発生、施工時にセントルに作用する側圧の増加を抑制するため、単位水量およびセメント量は従来コンクリートと同等とする。このため、最大寸法40mmの粗骨材を使用する。

(2) 高い流動性と充填性の確保

天端部において、軽微な締固めにより型枠の隅々まで充填できるように、目標スランプは21

表-1 高充填コンクリートの仕様と目標品質

	従来コンクリート (代表的なもの)	高充填コンクリート	
		粉体系	増粘剤系
ス ラ ン プ	15±2.5cm	21±2cm	
充 填 高 さ(障 害 な し)	—	28cm以上	
粗 骨 材 の 最 大 寸 法	40mm	40mm	
単 位 水 量 の 最 大 値	165kg/m ³	165kg/m ³	
単 位 セ メ ン ト 量 の 下 限 値(目 安)	270kg/m ³	260kg/m ³	270kg/m ³
フ ラ イ ア ッ シ ュ 量 の 下 限 値(目 安)	—	60kg/m ³	—
水 セ メ ン ト 比 の 最 大 値	60%以下	60%以下	65%以下
設 計 基 準 強 度	18N/mm ²	18N/mm ²	

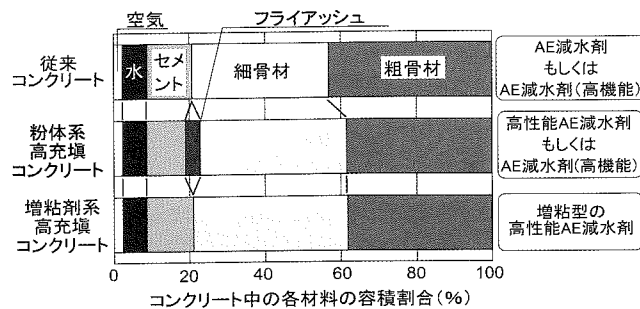


図-2 各種コンクリートの材料構成割合の概念

cm、充填高さ(障害なし)は28cm以上とする。また、設定した流動性を長時間保持させる。

(3) 材料分離抵抗性の確保

コンクリートの圧送による閉塞、打込み・締固め時の材料分離やブリーディングの発生を防止するため、適切な材料分離抵抗性を確保させる。

材料分離抵抗性の確保は、フライアッシュをセメントの一部もしくは粉体増量材として積極的に活用する方法(粉体系高充填コンクリート)と、増粘剤成分を有する高性能AE減水剤を用いる方法(増粘剤系高充填コンクリート)があり、生コン工場の設備条件などにより選択できる。

2-2-3 開発の経緯

高充填コンクリートは2012年度に開発に着手した。まず、北海道新幹線において室内試験により各種の品質試験を行ったのち、新幹線トンネルで試験適用して効果を検証した²⁾。その後、2014年度から北陸新幹線において同様の検討を行い、現在、新北陸トンネル(奥野々工区)のトンネル全線で適用中である³⁾。一方、高充填コンクリートが日本各地の生コン工場において安定的に製造・出荷でき、高品質なトンネル覆工が構築できることを検証するため、東海および九州地方の道路トンネルでも実適用を行っている⁴⁾。

2-3 開発の成果と実績

2-3-1 高充填コンクリートの品質

ここでは、現在施工中の新北陸トンネル(奥野々工区)における各種の試験結果を紹介する。

(1) 室内試験

高充填コンクリートの配合を表-2に示す。前節で示したように、高充填コンクリートは、従来コンクリートと同等の水量およびセメント量で製造できる。

充填試験結果を図-3に示す。高充填コンクリートの充填高さは28cm以上を十分満足しており、高い充填性を有している。また、ブリーディング率は、従来コンクリートに比べ半減しており、

表-2 高充填コンクリートの配合

コンクリート種類	目標スランプ (cm)	粗骨材 最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				混和剤*1	
					W	P		C		FA
						S	G			
従来コンクリート	15±2.5	40	59.1	43.7	165	279	—	780	1033	WR
粉体系高充填	21±2	40	64.8	50.3	164	253	63	902	904	SP
増粘剤系高充填		40	59.1	51.1	165	279	—	933	904	VA

*1 WR: AE減水剤, SP: 高性能AE減水剤, VA: 増粘型高性能AE減水剤

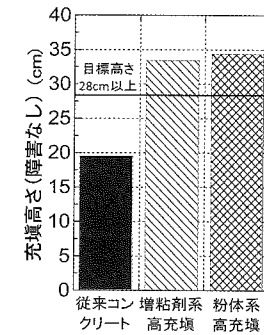


図-3 充填高さ

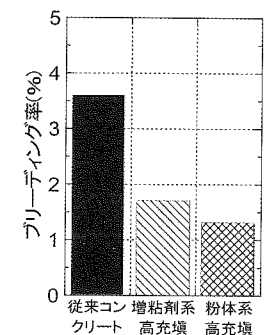


図-4 ブリーディング率

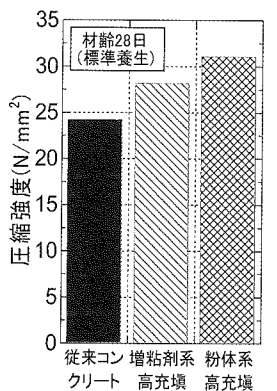
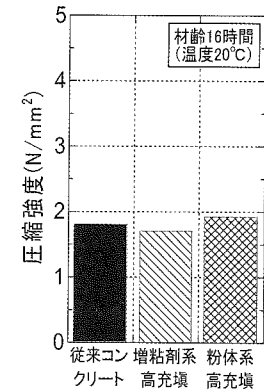


図-5 圧縮強度試験結果

施工に伴う砂すじ、材料分離および背面空洞の発生を抑制できる結果が得られている(図-4)。

また、図-5に示すように高充填コンクリートの若材齢における強度発現性は従来コンクリートと同等であり、従来と同様のサイクルで施工を行うことができる。管理材齢である28日では、従来コンクリートに対し高い強度が得られる。

(2) 実機試験

表-2に示す高充填コンクリートを生コン工場で作成して現場まで運搬したあとに、覆工の側壁部を模擬した試験体(幅0.3×高さ0.9m×長さ

5.5m)に打設する実機試験を行った。試験結果を図-6~8に示す。

高充填コンクリートは練り上がりから長時間にわたり所要の流動性を満足できていた。試験体の端部から打ち込んだところ、コンクリート自体の高い流動性により5.5m先の反対側端部まで容易に流動した。その後、上面が水平となるまで棒状パイプで締め固めたときの所要時間は、従来コンクリートに対し1/10程度であった。充填後に、打込み箇所と流動先端箇所を試料を採取し、試料中の粗骨材量を測定したところ、高充填コンクリートは流動前後での差が小さい結果が得られた。これらの結果は、高充填コンクリートが、型枠の各所に容易に流動できること、軽微な締め固めにより、均質な状態で充填できることを示す結果といえる。

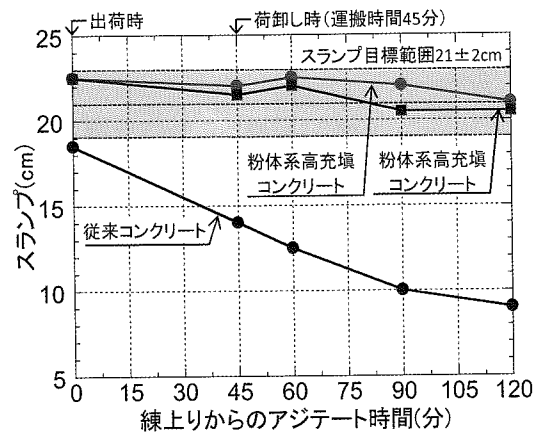


図-6 スランプの経時変化

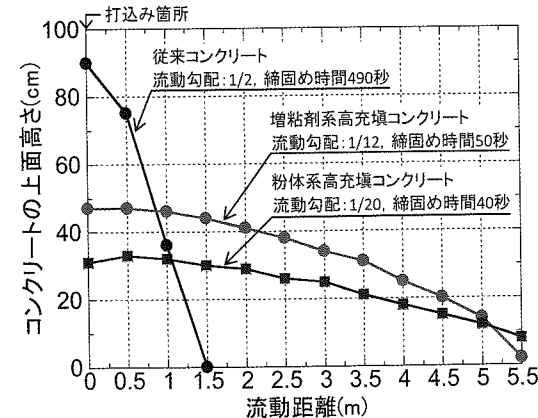


図-7 模擬試験体でのコンクリートの流動勾配

2-3-2 セントルに作用する側圧

トンネル覆工に限らず、流動性の高いコンクリートを用いると、型枠に作用する側圧が増大し、場合によってはセントルを補強する必要がある。そこで、

高充填コンクリートを用いた場合にセントルに作用する側圧を測定した。測定結果を図-9に示す。高充填コンクリートによる側圧は従来コンクリートと同様であり、標準的な設計耐力のセントルで施工できることがわかる。高充填コンクリートが、従来コンクリートと同様に、粒径の大きな粗骨材を用い、かつ単位水量・セメント量の少ないコンクリートであるため、いったん型枠内に充填されたあとでは、骨材のかみ合いによる影響が卓越するためと考えられる。なお、同様の結果が、ほかの適用現場においても確認されている^{2),4)}。

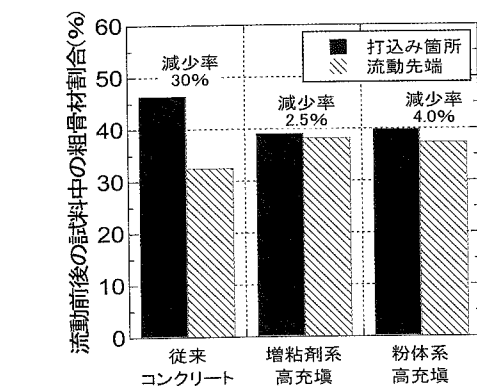


図-8 流動前後の試料中に含まれる粗骨材量

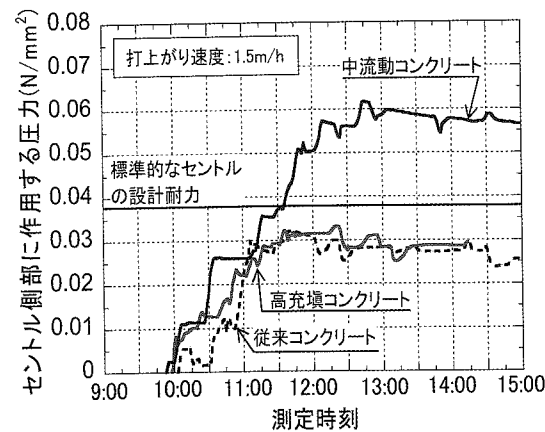


図-9 セントルに作用する側圧の測定結果⁵⁾

2-3-3 天端部での充填状況

高充填コンクリートを用いた場合の天端部の充填状況を検証するため、セントル天端部に圧力計を設置し作用圧力を計測した結果を図-10に示す。

各測定点での圧力の増加の推移は同様であり、天端部を一樣にコンクリートが流動していることを示す結果が得られた。また、施工終了段階では各測点において、覆工厚さ(設計40cm)のコンクリートが載荷したときの1.5~2倍程度の圧力が作用しており、各所において背面空洞を生じることなく、充填できていることが確認できた。

覆工施工完了後に、電磁波探査により空洞調査を行った結果の一例を図-11に示す。トンネル掘削に伴い吹付けコンクリートの仕上がりは凹凸形状となっているが、吹付けコンクリートと覆工コンクリートとの界面に空洞は存在せず、高充填コンクリートを用いることで、天端部においても確実に充填できる結果が得られた。

2-4 残された問題点

高充填コンクリートは、これまで5現場(約5,000m)の覆工に適用しており、技術的にはほぼ確立された状況にある。一方、高充填コンクリートは、減水性の高い混和剤を使用することやフライアッシュの供給・設備の観点から、材料コスト

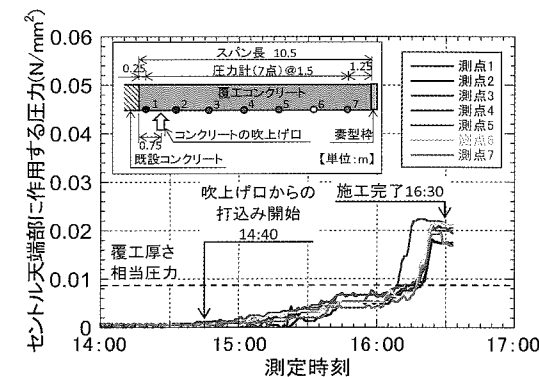


図-10 天端部各所での作用圧力の測定結果⁴⁾

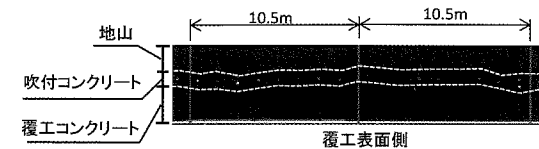


図-11 天端部における電磁波探査の測定結果²⁾

が従来コンクリートに対して割高となることが普及拡大に向けた課題として残されている。この対応策としては、すでに側壁部に従来コンクリートを用い、充填がとくに難しい肩部および天端部にのみ高充填コンクリートを用いるハイブリッド型の施工方法も検討されている⁵⁾。今後、より経済的に高充填コンクリートを製造する仕組み作りが望まれる。

2-5 おわりに

高充填コンクリートは、従来コンクリートに対して材料コストの増加をできるだけ抑制しつつ、中流動コンクリートと同様に、軽微な締め固めで充填できる高い流動性を有するコンクリートである。将来の維持管理、ライフサイクルコストまで考慮した高品質なトンネル覆工の構築が望まれる現在、高充填コンクリートはその役割を十分に担うことのできる技術であり、今後、さらに普及することを期待したい。

③ 覆工用高流動コンクリート

3-1 はじめに

覆工用高流動コンクリートは、覆工コンクリート用に開発した自己充填性を有する増粘剤系高流動コンクリートである。

写真-2に示すようにスランプフローは500~600mm程度であり、界面活性剤系(高性能AE減水剤と増粘成分が一液となったものを使用)とすることで、高い流動性と材料分離抵抗性を付与している。

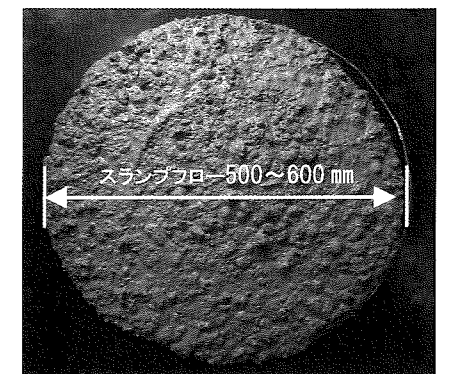


写真-2 覆工用高流動コンクリートの性状

3-2 開発の背景と経緯

3-2-1 それまでの状況

前述のとおり、閉鎖空間内での苦渋作業や充填不良の発生要因を解消するために、型枠面板に取り付けた型枠パイププレートで締固めを行うトンネル二次覆工用の中流動コンクリート^{6),7)}が開発されている。この中流動コンクリートの適用により、狭隘なセトル内の締固め作業を大幅に減少させることができ、覆工コンクリートの品質向上が図られている。更なる発展として、今後のトンネル作業員の高齢化による人手不足に対処するために、省人化や自動化による生産性の向上が課題となっている。

3-2-2 開発への取り組み

上記の状況を踏まえ、覆工における対策として締固めを完全に不要とする高流動コンクリートの適用を考えた。適用にあたって、高流動コンクリートの性能に関する各種の目標値を以下のように設定した。

覆工コンクリートは、無筋もしくは単鉄筋程度の配筋を有する構造物である。これを土木学会「高流動コンクリートの配合設計・施工指針⁸⁾」(以下「指針」と称する)に照らすと、高流動コンクリートとして必要となる自己充填性のランクは「3」に該当する。表-3に高流動コンクリートの評価試験の目標値を示す。ここで、指針では、ランク3のスランプフローとして550~650mmという目安を与えているが、著者らは、

- ・打ち込む空間の厚さが30cm程度
 - ・ポンプによるコンクリートの圧入が可能
 - ・型枠への負荷低減のため、側圧を低減
- という覆工コンクリートの施工上の特徴を踏まえてスランプフローを500~600mmに設定した。

表-4に配合要因と単位量の目標値を示す。指針では、界面活性剤系高流動コンクリートの単位セメント量は340~450kg/m³、単位水量は165~185kg/m³、水セメント比は35~50%、単位粗骨材絶対容積は290~320L/m³が目安とされている。これに対して、覆工用高流動コンクリートでは、一般的な覆工コンクリートの設計基準強度が18

表-3 評価試験の目標値

項目	配合設計・施工指針 ⁸⁾	覆工用高流動コンクリート
スランプフロー(mm)	550~650	500~600
U形充填高さ(障害なし)(mm)	300以上	300以上

表-4 配合要因と単位量の目標値

配合要因	配合設計・施工指針 ⁸⁾	覆工用高流動コンクリート
単位セメント量(kg/m ³)	340~450	300~400
単位粗骨材絶対容積(L/m ³)	290~320	290~320
単位水量(kg/m ³)	165~185	175以下

表-5 目標の流動勾配および側圧

項目	配合設計・施工指針 ⁸⁾	覆工用高流動コンクリート
流動勾配	—	1/11以下
液圧に対する側圧の比	1.0(液圧)	0.7以下

N/mm²であることから、できるだけ単位セメント量を少なくすることとし、340~400kg/m³と設定した。また、覆工コンクリートは、部材厚に対して表面積が大きく、乾燥収縮が大きくなりやすいことを考慮して、単位水量を175kg/m³以下とした。

表-5に覆工用高流動コンクリートにおける目標の流動勾配および側圧を示す。流動勾配は、一般的な1BLの延長である10.5mを流動させて10cm以下の高低差であれば施工上問題がないと考え、1/11以下を目標とした。また、高流動コンクリートの側圧は、液圧として型枠の設計を行うことが標準である。しかしながら、元々作業空間が狭隘なトンネル工事においては、補剛材を入れるスペースがなく、セトルの補強を行うことが容易ではない。

そこで、高性能AE減水剤の添加量をできるだけ少なくして覆工用中流動コンクリートと同程度の側圧とすることを目標とした。すなわち、側壁の高さ5mでの液圧120kN/m²程度に対し、中流動コンクリートを対象とした場合のセトルの設計上の耐力計算値が80kN/m²程度に設定されていることを参考に、液圧に対する側圧の比を0.7以下とすることとした。

3-2-3 開発の経緯

覆工用高流動コンクリートは、2014年度に開発に着手しており、まずは前述の性能の目標値を基に室内試験において混和剤メーカーと共同で高流動コンクリートの側圧低減方法⁹⁾、後添加での製造方法¹⁰⁾および単位粉体量が低い配合などを検討した。そこで得られた知見をもとに、覆工コンクリートにおいて締固め不要を実現するコンクリートの性能を確認するために、実際のトンネル覆工に適用した。

3-3 開発の成果と実績

ここでは、覆工用高流動コンクリートを、実際のトンネル覆工に適用した事例について紹介する。

3-3-1 適用現場の概要

覆工用高流動コンクリートを適用した現場は、図-12に示すようにトンネル断面が内空幅10m、内空高8m程度の開水路と車道が併設されたパイパストンネルであり、覆工厚は300mmの仕様であった。

また、一区間がR=80m程度の曲線であるため、構造上、一般的なセトルより1BLの延長が6m程度と短く、補剛材との取り合いの関係で検査窓が限られた特殊セトルを用いていた。そのため、締固め作業が困難で、覆工コンクリートの打込みには大変な労力が必要であった。このことから、坑口部など一部の区間については、当初計画の段階から中流動コンクリートが用いられることとなっていた。

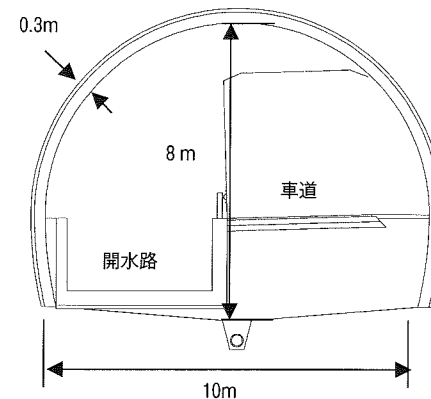


図-12 トンネル断面の仕様

3-3-2 覆工用高流動コンクリートの配合選定

(1) 使用材料およびフレッシュ性状の試験項目
表-6に使用材料を示す。セメントおよび骨材は、実施工で使用するレディーミクストコンクリート工場が常備する材料を用いた。

表-7に試験項目および試験方法を示す。配合選定にあたっては、覆工用高流動コンクリートとして必要な流動性を見極めることを目的に、スランプフローを500mmと600mmの2種類(以下、それぞれ「SF500」「SF600」と称す)に設定し、試験を実施した。

(2) 室内試験の結果

表-8にSF500およびSF600の覆工コンクリートの配合を示す。SF500は、中流動コンクリート

表-6 使用材料

使用材料	記号	種類	摘要
セメント	C	高炉セメントB種	密度: 3.04g/cm ³
細骨材	S	苫小牧市宇勇弘産砂	表乾密度: 2.68g/cm ³ 粗粒率: 2.80
粗骨材	G1	北斗市峨朗産石灰砕石2005	表乾密度: 2.70g/cm ³ 実積率: 59.0% 混合比: 70%
	G2	板木山地区砕石	表乾密度: 2.72g/cm ³ 実積率: 59.0% 混合比: 30%
混和剤	SP	高性能AE減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物と増粘性高分子化合物

表-7 試験項目および試験方法

試験項目	目標値	試験方法
スランプフロー	500±50mm 600±50mm	JSCE-F 503
空気量	4.5±1.5%	JSCE-F 513
温度	20±3°C	JIS A1156
50cmフロー時間	3~15秒	JSCE-F 503
U形充填高さ	300mm以上	JSCE-F 511

表-8 覆工用高流動コンクリートの配合

配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					混和剤C* (%)
			W	C	S	G1	G2	
SF500	45.5	54.0	157	345	976	587	253	0.90
SF600	41.3	55.0	157	380	978	563	243	1.00

と同程度の単位セメント量で、スランプフローを500mmまで大きくするために、細骨材率を中流動コンクリートよりも高くする必要があった。SF600では、材料分離抵抗性をさらに高める必要があり、細骨材率を55%まで高めるとともに、単位セメント量を380kg/m³とした。

表-9にフレッシュコンクリートの性状に関する試験結果を示す。スランプフローやU形充填高さなど、目標とするフレッシュコンクリートの性状を得ることができた。

(3) 実機試験の結果

実機試験は、実施工で使用するレディーミキストコンクリート工場で覆工用高流動コンクリートを製造し、その場にて各種試験を行った。

表-10に実機試験での経時変化を含むフレッシュコンクリートの性状の試験結果を示す。SF500、SF600ともに実機試験でも目標とするフレッシュコンクリートの性状を得ることができた。ただし、スランプフローの経時変化が大きく、練り上がりから30分後までしか目標値を満足しなかった。そのため、実構造物へ適用する際は、現場までの運搬時間30分を考慮し、SF500、SF600ともにそれぞれ現場に到着した時点でスランプ

表-9 室内でのフレッシュ性状に関する試験結果

配合	空気量 (%)	スランプフロー (cm)		500mmフロー到達時間 (s)		U形充填高さ (mm)	自己充填ランク	コンクリート温度 (°C)	外気温 (°C)
		1×2	平均	到達	停止				
SF500	5.3	50.0	50.0(50.0)	6.7(停止20.9s)	345(停止6.4s)	Ⅲ	22	23	
SF600	6.0	57.5	57.0(57.5)	3.5(停止26.4s)	352(停止8.4s)	Ⅲ	22	23	

表-10 実機試験でのフレッシュ性状に関する試験結果

配合	段階	スランプフロー (mm)		500mmフロー到達時間 (s)		空気量 (%)	U形充填高さ (mm)		充填停止 (s)	コンクリート温度 (°C)	外気温 (°C)			
		1×2	平均	到達	停止		1×2×3	平均						
		SF500	練直	530	500		515	5.4				15.8	5.1	340
SF500	練直30分経過	485	475	480	-	7.5	7.0	-	-	-	23	24		
	練直60分経過	425	420	425	-	5.2	6.8	340	345	335	340	5.3	24	24
	練直90分経過	380	375	380	-	2.8	6.4	335	335	330	333	3.2	25	26
	練直	600	600	600	3.3	25.6	5.5	350	350	350	350	6.9	24	23
SF600	練直30分経過	585	570	580	2.6	18.8	5.8	-	-	-	23	24		
	練直60分経過	525	520	525	3.9	11.4	5.7	355	350	345	350	5.4	24	25
	練直90分経過	480	460	470	-	8.7	6.6	345	350	345	347	5.0	25	27
	練直	600	600	600	3.3	25.6	5.5	350	350	350	350	6.9	24	23

ロー500mmと600mmが得られるように混和剤の添加量を調整することとした。

3-3-3 実構造物への適用

(1) 適用方法

図-13に検査窓の位置とSF500、SF600の打込み範囲を、図-14に縦断面図における打込み位置を示す。

覆工用高流動コンクリートの打込み手順は、覆工コンクリート側壁部のS.L.下から順にSF500を2層打ち込んでからSF600を2層打ち込み、それより上部はSF600で天端まで連続して打ち込むこととした。また、覆工用高流動コンクリートの側壁での打込みは、側圧が大きくなることが想定されたため、アジテータ車に積載された4m³のコンクリートを15分程度で打ち込んだのちに15分間隔を持たせるようにすることをくり返してコンクリートの打込みを行った。また、SF500とSF600ともに締固めは行わないこととした。

(2) 測定概要

スランプフローは、側壁に打ち込むSF500とSF600を積載したアジテータ車4台からそれぞれ試料を採取し、試験を行った。

流動勾配は、SF500、SF600を打ち込んだ側壁部

で、コンクリートを1層あたり4m³打ち込んだごとに、検査窓からコンクリートの打ち上がり面までをスケールで計測し算出した。計測位置は、コンクリートを打込み口から4.5m程度流動させたあとに打込み口と流動距離3mの位置で計測した。

側圧は、SF500を適用した箇所最下部となる底盤から1.6mの位置の地山側に荷重計を設置し測定した。

覆工コンクリートの品質評価としては、覆工コンクリートの表面水分率が5.5%程度以下となった時点でトレント法による現場透気試験を実施した。測定箇所は、SF500を用いたS.L.上部で縦断方向に3か所、SF600を用いた肩上天端でそれぞれ縦断方向に3か所の計6点とした。また、従来の覆工コンクリートを用いた区間でも同様にS.L.から天端まで計9点の計測を行った。

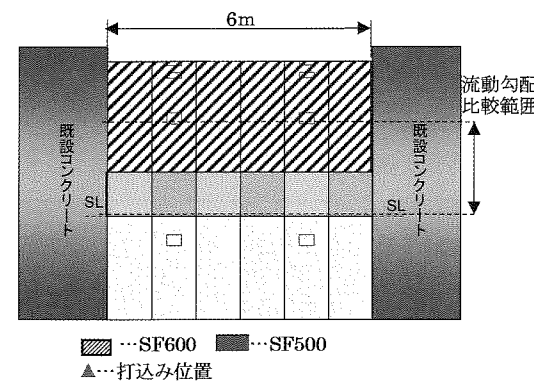
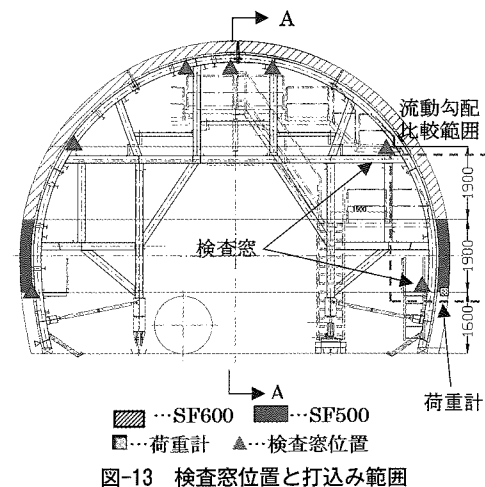


図-14 打込み位置(A-A面図)

(3) フレッシュコンクリートの性状

表-11に実施工でのフレッシュコンクリートの試験結果を示す。SF500-1は、SF500の1層目、SF500-2は2層目に打ち込んだフレッシュコンクリートの性状を示す。SF500、SF600のいずれの配合も粗骨材が分離するような傾向はなく、所定の性状が確保されていることを確認した。

(4) 流動勾配

図-15に、流動勾配の測定結果を示す。スランプフローが470mmであったSF500の1層目は、コンクリートを打ち込んでいくと、ある高さまではあまり流動せずに筒先付近で盛り上がり、さらに打込みが進行すると一気にコンクリートが崩れて急速に流末に流れる現象が観察された。その結果、流末において粗骨材の分離傾向が見受けられるとともに、流動勾配は約1/9で目標の勾配以上となった。スランプフローが520mmであった2層目は、コンクリートがスムーズに流動し、流動勾配も約1/16と目標以下となった。また、粗骨材の分離は観察されず、良好な打ち上がりであった。これらのことから、覆工用高流動コンクリートの適正なスランプフローとしては470~520mmの間

表-11 フレッシュ性状試験の結果

配合	スランプフロー (mm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
SF500-1	470	5.2	24
SF500-2	520	-	-
SF600-1	600	5.0	25
SF600-2	610	-	-

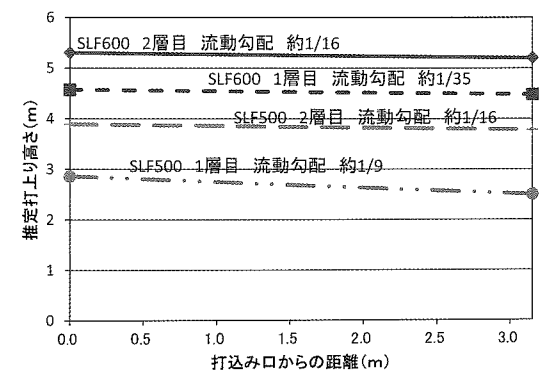


図-15 流動勾配の測定結果

に閾値が存在し、打込み時の目標スランプフローの値を500mmとすることには、施工性確保の観点から問題のあることが確認された。一方、SF600の1層目は、流動勾配が約1/35、2層目が約1/16であり、いずれも目標以下であった。SF600では、天端付近においても充填性が確保されており問題なく打ち上がる様子が確認できた。

(5) 側圧

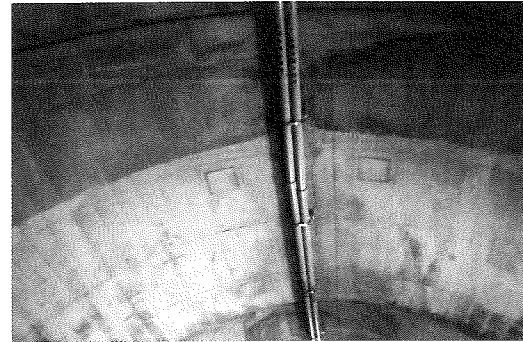
SF500の打込みを開始した直後は、液圧程度の側圧が生じたが、荷重計の位置から約2時間かけて3.8m打ち上げた時点においては、液圧計算では90kN/m²程度であるのに対し、40kN/m²程度の側圧となり、その後はほぼ一定となった。この理由としては、細骨材率がSF500で54%、SF600で55%と細骨材が多いため、一度流動が止まると骨材粒子が噛み合っ圧力が伝わりにくくなることや、高性能AE減水剤の添加率は1.0%であるものの、単位セメント量が少ないことからその絶対量が少なく、フレッシュコンクリートの経時変化が大きいことなどが考えられる。また、施工要因としては、1時間あたり4m³という比較的スローペースで打ち込んだことも影響したと考えられる。本施工では支障がなかったが、型枠に作用する側圧は、高流動コンクリートを適用するうえで重要な課題であり、今後さらなる検討を行う必要がある。

(6) コンクリート表面の仕上がり

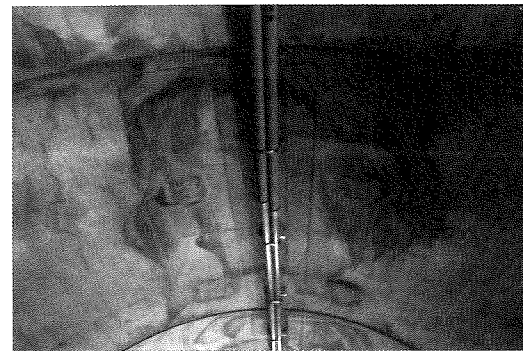
写真-3に示すように、覆工用高流動コンクリートを打ち込んだBLの表面は、目標スランプが15cmである従来のコンクリートを打ち込んだBLに比べて天端部の流動跡が非常に少なく、顕著な表面気泡等もなかった。また、打重ね線上で透気試験を実施した結果、打重ね線のない箇所と計測した結果と同程度であり、一体性が確保されていることを確認した。

(7) 透気試験

図-16に、含水率補正ノモグラムを用いた透気試験結果のグレード評価¹¹⁾を示す。図に示すように、従来の覆工コンクリートが「優」～「良」であるのに対して、覆工用高流動コンクリートでは、すべて「優」評価となった。また、そのばらつきも



高流動コンクリート



従来コンクリート

写真-3 覆工コンクリートの仕上がり比較

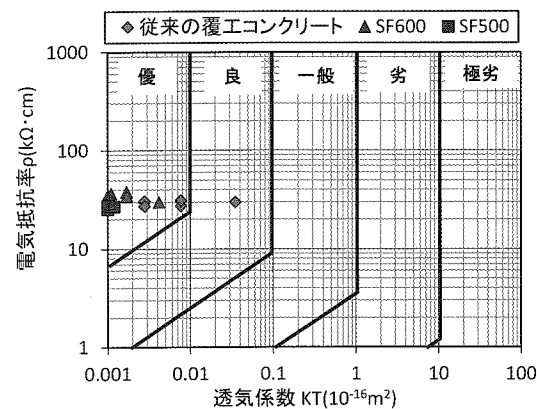


図-16 透気係数による品質のグレード評価

少なく均質な躯体を構築できたことが確認された。

(8) まとめ

以上の結果をまとめると、以下のとおりである。

- ① 覆工用高流動コンクリートでは、スランプフローの目標値を500mmに設定した場合、スランプフローが下限値側に振れたときに良好な施工性が得られない可能性がある。

- ② スランプフローが520mm以上の場合、打ち込んだコンクリートの流動勾配は約1/16～約1/35となり、良好な施工性を示した。
- ③ 側圧は当該リフトでは液圧になるが、打込みの進行とともに軽減され、最終的には液圧の0.5倍程度になった。
- ④ 覆工用高流動コンクリートを用いることで、天端部の流動跡は非常に少なくなり、良好な表面の仕上がりが得られた。
- ⑤ 透気係数はすべてが「優」評価となり、表層品質の向上が確認された。

3-4 残された問題点

本検討により、省人化や品質向上に対する覆工用高流動コンクリートの優位性を確認することができた。しかしながら、未だ実施例が少なく、管理値の設定や側圧の低減など、更なる確認を必要とする点が残っている。また、本格的に省人化や生産性の向上を達成するためには、材料的な工夫のみならず、型枠や打込み方法にも改良が必要であろうと思われる。コスト面も含め、標準的工法としての確立に向けて、継続的な検討が必要である。

3-5 おわりに

今後、高流動コンクリートのトンネル覆工への適用は、打込みの自動化や無人化の実現に向けて欠かせない技術になると考える。今回の実構造物への適用で得られた知見を踏まえ、山岳トンネル工事の生産性向上に向けた検討をさらに進めていく所存である。

(文責：居相好信・桜井邦昭/(株)大林組、萩原秀樹/鉄道・運輸機構、西岡和則・手塚康成・松本修治/鹿島建設(株))

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー136 高流動コンクリートの配合設計・施工指針 [2012年版]，資料-85，2012.6.
- 2) 佐藤貴史・萩原秀樹・秋田勝次・桜井邦昭：フライアッシュを用いた覆工用高充填コンクリートの開発，トンネルと地下，Vol.44，No.10，pp.43-52，2013.10.
- 3) 若林功起・萩原秀樹・三浦貴幸・小山武志：フライアッシュを用いた高充填コンクリートで覆工の品質向上を目指す，北陸新幹線 新北陸トンネル(奥野々工区)，トンネルと地下，Vol.48，No.1，pp.45-53，2017.1.
- 4) 鈴木成・永松雄一・黒川尚義・西野俊論・西浦秀明・桜井邦昭：高充填コンクリートの諸地域への展開，トンネル工学報告集，Vol.26，I-13，2016.11.
- 5) 三浦貴幸・秋田勝次・萩原秀樹・小林寛明・西浦秀明・桜井邦昭：高充填コンクリートを用いた場合にセントルへ作用する側圧に関する実験的検討，トンネル工学報告集，Vol.26，I-14，2016.11.
- 6) 高速道路総合技術研究所：NEXCO中流動覆工コンクリート技術のまとめ，2011.12.
- 7) 坂井吾郎・近藤啓二・安齋勝・菅保匠：特殊な混和剤を用いたトンネル覆工用中流動コンクリートの開発，セメント・コンクリート，No.787，2012.9.
- 8) 土木学会：高流動コンクリートの配合設計・施工指針，2012.6.
- 9) 小山広光・大野誠彦・西岡和則・坂井吾郎・松本修治：凝結促進剤を添加した中流動および高流動覆工コンクリートの各種性状について，土木学会 第70回年次学術講演会，VI-640，土木学会，2015.
- 10) 松本修治・坂井吾郎・林大介・坂田昇：締固めを必要としないトンネル二次覆工コンクリートに関する基礎的検討，VI-649，土木学会，2015.
- 11) 蔵重勲・廣永道彦：透気係数の含水依存性を考慮したコンクリートの表層品質の非破壊評価法の一提案，Cement Science and Concrete Technology, No.65，2011.

建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著 A5判 326頁 本体価格 4,300円



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

トンネルジャーナル

トンネル用新型移動式破碎機ロコトラックLT96EUG デモ見学会を開催

1985年に移動式破碎機を世界で最初に製造して以来、10,000台以上の納入実績を持つメッツォ社(フィンランド)がトンネル用に開発した移動式破碎機LT96EUGが国内に初上陸した。メッツォ社の国内総代理店である宇部興産機械(株)は日建リース工業(株)と日本コンベヤ(株)と共同で、4月17~21日の5日間、埼玉県入間市で同機のデモ見学会を開催した。

トンネル工事関係者ほか200名の参加者が来場し、エプロンフィーダへのサイドダンプによる原石投入の低さとCジョークラッシャの高い破碎性能を直近で確認した。エプロンフィーダでのジョークラッシャへの全量投入により不連続な搬送が解消され、

コンベヤからの荷こぼれがなくなり、蛇行も発生しにくくなるため、定量で安定したコンベヤ搬送ができるなど、本機の導入によるトンネル掘削工期の短縮や安全操業への期待が高い。



「マテリアル&プロダクト展2017」開催

アキレス(株)は去る5月16、17日の両日にベルサール新宿グランド(東京)にて「マテリアル&プロダクト展2017」を開催した。

会場内では最新の技術、素材、製品などを紹介するパネル展示やプレゼンテーションが行われ、開発営業部の展示エリアではトンネル覆工背面の空隙部の充填に有益な工法「アキレスTn-p工法」のパネルおよび発泡ウレタンの展示があった。

「アキレスTn-p工法」は山岳トンネルにおける覆工背面の空隙を発泡ウレタンで充填する工法で、施工性、軽量性、経済性、環境対応性などに優れている。

最近では多種の土木構造物の空洞注入に採用され、今後の用途拡大に期待されている。



平成27年度地盤工学会賞が授与

地盤工学会は6月9日に開かれた通常総会で平成28年度の地盤工学会賞と地盤工学会出版賞を授与した。地盤工学会賞は、下記の技術賞部門3件のほか、論文賞(和文部門)2件、論文賞(英文部門)2件、研究奨励賞3件に授与された。また、2年ごとに授与される出版賞は2件が受賞した。

■技術業績賞(事業)

鉄道・運輸機構:「命の道 つながる紀勢線」の完成に貢献した巨大法面建設時の岩盤評価手法および施工・管理技術。

■技術業績賞(技術)

国土交通省ほか:2011年東北地方太平洋沖地震により被災した仙台市の造成宅地の調査・復旧対策設計プロジェクト。

■技術開発賞

高橋英紀ほか:津波浸透力の効果を考慮した防波堤腹付工の設計および施工技術。

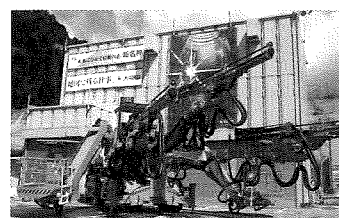
■出版賞

中井照夫: Constitutive Modeling of Geomaterials — Principles and Applications —

鴨井幸彦ほか:5万分の1地質図幅「新潟及び内野」地域

工法・技術・製品ニュース

技術 削孔パターンを最適化し 余掘りを大幅に低減



大成建設は、山岳トンネル工事での発破掘削の作業性や安全性を高めるため、コンピュータを活用して地山状況に応じて最適な削孔パターンを設定できる削孔支援機能を開発したと発表した。これを搭載した掘削機械に改良を加え試験導入した現場では、掘削断面の余掘りを約50%低減できたとしている。

この支援機能は、発破後の破碎状況や地山状況の目視情報に加え、測量機器による断面計測結果から図面

化、定量化を行い情報を作成する。この情報をもとに削孔パターンを見直して次の発破に移るといったサイクルをくり返すと、地山状況に応じた最適な削孔パターンをそのつど計画でき、掘削断面の余掘りを大幅に低減することが可能となる。

掘削機械にも改良を加え、ブーム操作に油圧制御を採用。一般的な電子制御を採用した削孔支援機能付きドリルジャンボに比べ、湧水や粉塵による故障を少なくした。

大成建設(株)
TEL.03-3348-1111(大代表)
<http://www.taisei.co.jp/>

技術 建設工事における動植物管理手法「いきもの見聞録」



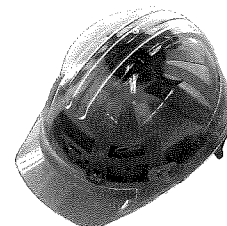
「いきもの見聞録」GISのイメージ

フジタは、建設現場に生息する動植物の情報をスマートフォンなどのGPS機能付き携帯情報端末を使用して、現地でGIS(地理情報システム)に記録し、オンラインで関係者に情報共有する動植物管理手法「いきもの見聞録」を開発したと発表した。同手法を、自然環境保全地域に隣接した津波被災地での震災復旧工事で適用したところ、建設工事における野生動植物やその生息環境の効果的な保全対策に活用できることを実証したとしている。

「いきもの見聞録」は、建設現場で見つかった希少種や外来種などの動植物の名前、出現位置、生息状況、保全対策の必要性、画像などの情報を、現地で携帯情報端末のインターネットとGPSを使用してサーバーに送信・保存し、地形図や衛星画像上に表示するオンラインGIS。職員はGIS上で、「いきものデータベース」「環境保全ルールブック」などの基本情報も閲覧できるため、環境専門スタッフと情報を迅速に共有して相互補完ができる。

(株)フジタ 広報
Tel.03-3402-1911
<http://www.fujita.co.jp/>

製品 見学者も案内者も、より明瞭・快適に「メットフォンⅢレシーバー」



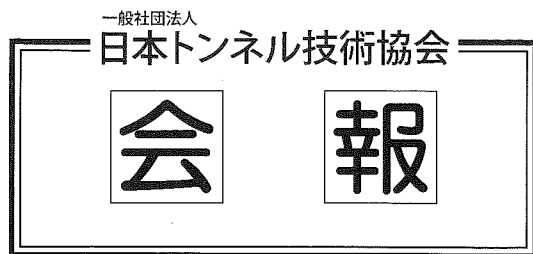
ヘルメットに装着されたメットフォンⅢ

ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) 技術営業部
Tel.03-6773-4445
Email. jrc-eigy@jrc.jregroup.ne.jp

ジェイアール東日本コンサルタンツが開発したワイヤレス音声ガイドシステム「メットフォンⅢレシーバー」の現場見学会などでの使用例が、このところ増えている。

同機は、ヘルメットの裏側に装着する小型・軽量の音声受信機。送信機からワイヤレスで受信した音声をヘルメット内に反響させて、装着者に伝える仕組みのため、騒音や強風などの悪天候下や、建設現場などの騒音のもとでも、音声も明瞭に伝わる

るのが特長。耳を塞がないため周囲の音や会話の音が遮断されないことや、装着者に直接触れるパーツがなく、衛生面で快適なことなどが、評価されているようだ。とくにシールドや洞道といったトンネル現場の見学会では、見学者が幅の狭い通路で長い列となって説明を聞くことになるため、拡声器が使いにくいこともあり、高評価を得ているという。販売価格は、20人対応セット(送信機1、受信機20)で、40万円。



1. 会員の現状

	5月31日現在
個人会員	879名
団体会員	204名
推薦会員	207名
特別会員	8名
名誉会員	5名
賛助会員	189名
合計	1,493名

2. 平成29年度第1回理事会、第1回顧問・評議委員会

日時：平成29年5月10日(水) 12:00~13:00

場所：弘済会館 4階 萩の間

出席者：理事12名、監事2名、計15名

顧問1名、評議員16名、その他3名、計20名

議事：①平成29年度理事、監事、評議員の構成

②特別会員の推薦について

③平成29年度定時総会議案

3. 委員会の開催状況(5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(5/10)

小山幸則主査ほか9名、6月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

・国際委員会(5/17)

中村武夫委員長ほか5名、平成28年度開催現況と平成29年度活動計画を検討

・ITA統括WG(5/17)

砂金伸治主査ほか15名、ITA年次総会・WTC 2017対応を検討

・海外文献小委員会

海外ニュースWG(5/24)

篠原慶二幹事ほか9名、海外文献を査読

計 4回開催 42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

シールドアセスメント検討WG(5/9)

清水健志主査ほか11名、改訂要望箇所を検討

山岳アセスメント検討WG(5/19)

清水健志主査ほか8名、改訂要望箇所を検討

◎受託研究特別委員会

・効率的点検特別委員会幹事会(5/9)

松岡茂幹事長ほか12名、データ分析結果を検討

・数値解析マニュアル検討特別委員会(5/26)

西村和夫委員長ほか22名、マニュアルなどを検討

計 4回開催 57名出席

合計 8回開催 99名出席

個人会員のメールアドレス登録依頼

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

①メールアドレス登録方法

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

②その他：協会からの情報を発信する場合は当面送信タイトルに「jta」を明記します。

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総会および世界トンネル会議「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総会および世界トンネル会議「Smart Cities: Managing the Use of Underground Space to Enhance the Quality of Life」	2018. 4.20~26	ドバイ (UAE)	Society of Engineers-UAE, ITA(国際トンネル協会) http://www.uaesocietyofengineers.com (論文概要募集中) 提出締切日：8月1日
第45回ITA総会および世界トンネル会議「Tunnels and Underground Cities: Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art」	2019. 5. 3~ 9	ナポリ (イタリア)	Italian Tunnelling Society, ITA(国際トンネル協会) http://www.societaitalianagallerie.it/Prj/Hom.asp

*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29年度催物開催現況

(平成29年5月現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
【現場見学会】 東京外かく環状道路トンネル建設工事現場研修会 —中央JCT北側ランプ改良工事—	2017. 6.20	25	東京	
【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	6.0
第81回(都市)「市街地における地下構造物の新設および改良工事—近接、拡幅、再構築等の施工事例—」	2017. 6.29	200	東京	3.8

催物の案内は逐次協会のホームページに掲載いたしますのでご覧ください。 http://www.japan-tunnel.org/event_japan

個人会員加入のお誘い

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

□個人会費：年12,000円(月1,000円)

□特典1：協会の機関紙『トンネルと地下』を毎月お届けします。

□特典2：協会刊行図書が個人会員価格で購入できます。

□特典3：協会開催の各種催物に個人会員価格で参加できます。

ご意見ご要望をお待ちしております

当協会のホームページ・情報開示や諸活動に対するご意見ご要望がありましたら下記へご連絡願います。担当委員会と協議し、できるだけ会員のニーズを反映した活動を実施したいと考えております。

TEL：03-3524-1755 FAX：03-5148-3655 E-mail：webmaster@japan-tunnel.org

8月号予告[8月1日発売予定]

- 地山-ボルト間の付着特性を考慮した鏡ボルトの設計モデルに関する研究
 - 国道220号 新海瀧トンネル
 - 新名神高速道路 川西トンネル
 - 東京外かく環状道路 京成菅野アンダーパス
 - 東京都下水道 江東区北砂五丁目、南砂一丁目付近再構築
- 【連載講座】
- トンネル新技術への挑戦(21)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆先日、「世界初の船専用のトンネル『The Stad Ship Tunnel』がノルウエーで建設」との記事を目にしました。イギリスなどヨーロッパでは運河トンネルがけっこう存在したはずなので、世界初は言い過ぎだろうと思ひ、ノルウェー政府のプレスリリースにあたってみたところ、「このサイズでは世界初」と断り付きのようです。すでにルート選定や断面寸法の検討は終わっており、全長1.7km、高さ50m、幅36mのトンネルを掘削し、着工から3、4年での完成を見込んでとのこと。同国の西海岸沿いを南北に走る高速道路の計画では、避けて通れないフィヨルドを克服するために、浮体橋、水中浮遊トンネルなどを技術的に高度な構造物を代替案として検討しているとの記事も読んだことがあります。かの国の国土は、氷河にえぐりとられた険しい山と深い谷で形成されていることから、国土の発展のために必要な交通体系を整備するには、相当な土木技術の力が必要なのだ、認識させられます。とはいえ、フィヨルドが湛える水面とそれを取り巻く断崖と森の風景は、これから最盛期を迎える日本の夏からみると羨ましいかぎりの涼を感じさせるもので、避暑に訪れるとどんなに素晴らしいかと想像します。ことしの夏も猛暑との予報があります。みなさまも十分な暑さ対策を施して、この夏をお過ごしください。

(K.K.)

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

★(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7号 (通巻563号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成29年6月20日 印刷

平成29年7月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会
会長 谷口 博昭

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒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

確実な保温・湿潤養生

トンネル覆工コンクリート給水養生工法

ウェットフォーム

NETIS登録 KT-160031-A

移動台車にて給水養生中 給水用分配盤

一步前進! ~限りない未来への挑戦~

 **大栄工機株式会社**

本社 〒526-0842 滋賀県長浜市春近町90番地 TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765
URL <http://www.daieikouki.co.jp/> 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

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。



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

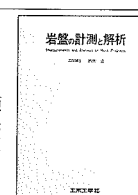
岩盤内に分布する不連続面と、掘削面など自由面の間の三次元的幾何学的関係から安定に影響する岩塊を見出す新手法を解説。



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200円+税 A5判

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



山岳トンネル設計の考え方

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・俣野恭寛 共著
1,200円+税 新書判

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



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。



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

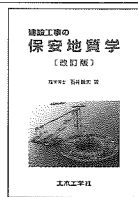
火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げ、また、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく解説。



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。



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

臼谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
3,200円+税 A5判

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



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

わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修
2,500円+税 B5判

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



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

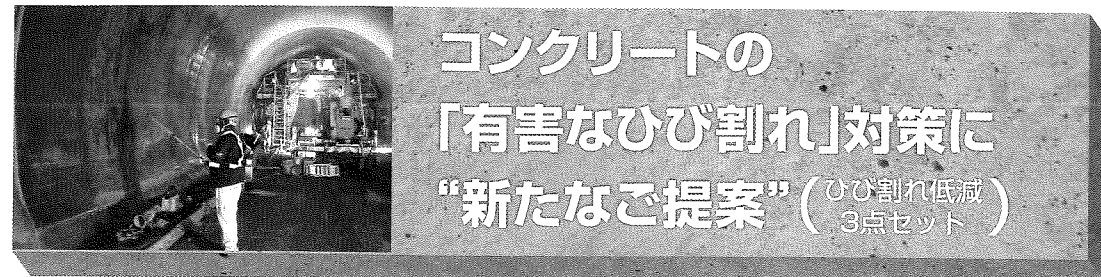
名古屋機材センター

大阪機材センター

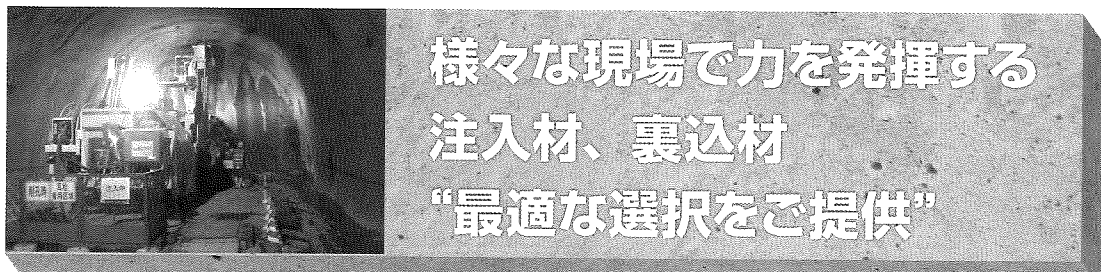
九州機材センター

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



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



様々な現場で力を発揮する
注入材、裏込材
“最適な選択をご提供”

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

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

デンカのトンネル関連技術

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

デンカが誇る信頼の急結剤「デンカナトミック」

驚異の低粉じん吹付けが可能！

『デンカクリアショット工法』

KT-080020VR

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

クリアショット吹付け状況（2ノズル吹付け）



写真提供：宮古盛岡横断道路 新区界トンネル工事

覆工コンクリートの品質向上技術

トンネル覆工ひび割れ抑制に

『デンカパワー-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06619-7



4910066190774

01500