トンネルと地下　平成30年３月１日発行第49巻第３号
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

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年周年を迎えました。
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）



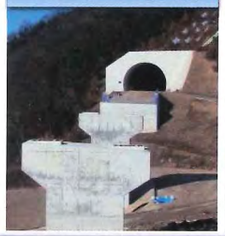
写真提供：宮古盛岡横断道路 新区界トンネル工事

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

『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



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

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06619-3
4910066190385
01500

3
571号
トンネルと地下

平成30年３月１日発行（毎月１回１日発行）　第49巻第３号　通巻571号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 3

vol. 49
no. 3
2018

Tunnels and Underground

既設トンネルから分岐した迂回トンネルにより地すべりを回避
付加体からなる四万十帯をトンネル群にて貫く
高精度電子雷管を用いた制御発破による振動・騒音対策
2函同時沈設による大型ニューマチックケーソン施工
世界で初めて液化CO_2凍結工法を海底シールド到達防護に採用

日本トンネル技術協会誌



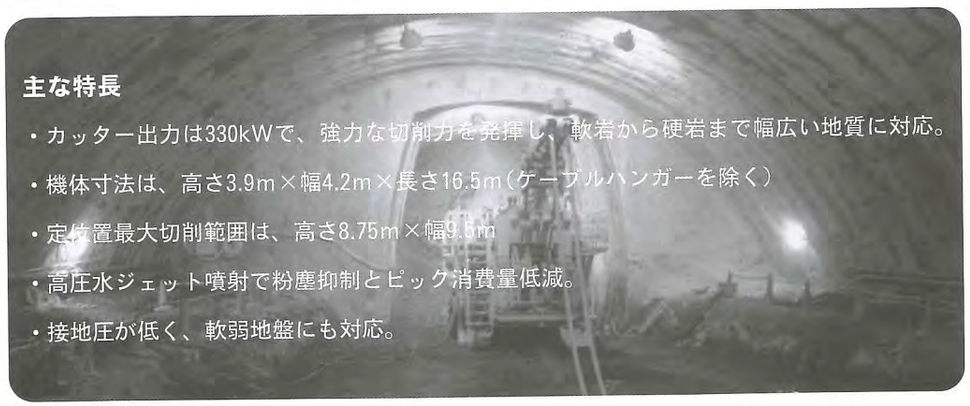
●世界で初めて液化CO2凍結工法を海底シールド到達防護に採用　トンネルと地下　vol. 49 no. 3 2018

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力　330kW
総質量　120ton





主な特長

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

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業　〒105-0012　東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル　TEL 03-5733-9444
カスタマーサービス 相模事業所　〒252-0328　神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号　TEL 042-767-2586
大阪支店　〒564-0063　大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号TEK第二ビル　TEL 06-6387-3371
福岡支店　〒812-0013　福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル　TEL 092-411-4998
三重工場　〒514-0396　三重県津市雲出長常町1129番地11　TEL 059-234-4111

吸引ダクトが無くても全ての断面、全ての延長に対応

たった37kWで2,750m³/min イーダスコ270使用時

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

トンネル工事用 電気集じん器

e-DUSCO

イーダスコ240/イーダスコ270
ファン動力30kW　ファン動力37kW

経済産業省後援
第39回優秀環境装置
日本産業機械工業会 会長賞

全てのトンネルに適用可能！



- クラス最高の集じん効率95%※4
- 有害な微細粉じんも逃さない電気式
- 現場メンテナンスは手間いらず
- 大風量と省エネを同時に実現

吸引捕集方式にも対応



48m²の設置例

希釈封じ込め方式での計算例

❶ 粉じん発生量

Fo＝360×22m³/h×0.75＝5,940(mg/min)

❷ 所要換気量

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

Qa＝54.0＋2,027＝2,081(m³/min)

❸ 集じん機の選定

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

品名	e-DUSCO240	e-DUSCO270
型式	FTE2400/FTE2400-E	FTE2700-E
集じん装置の容量	1800・2100・2400m³/min 任意設定の4モード	1800・2100・2700m³/min 任意設定の4モード※5
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（伸縮風管接続時も同じ）	23kW・28kW・40kW・任意（伸縮風管接続時も同じ）
洗浄水※3	2.4～3.2m³/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/

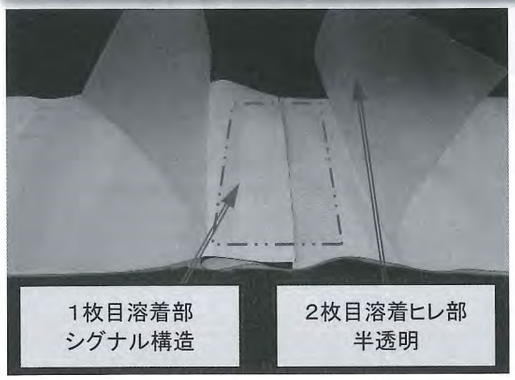
本　社
〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3
第三営業部 ☎03-3212-6575

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　小山栃木工場 ☎0285-23-8662

Wバリアシート

～二重溶着式防水シート～

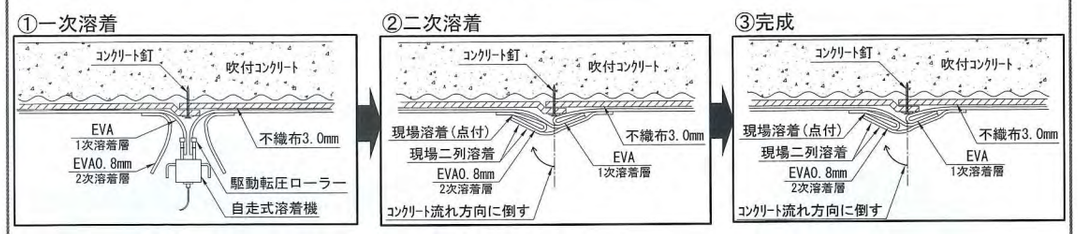
NETIS:KT-150067-A



【防水機能の確保】
従来のリスクポイントであった溶着部からの漏水を二重にガード！

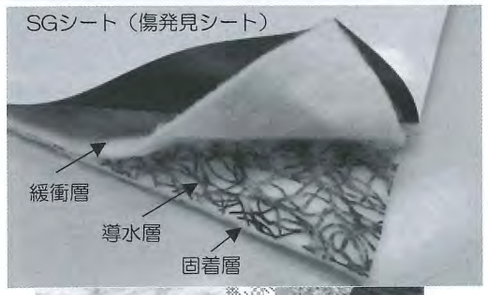
【破損部の傷発見機能】
本体部は傷発見型の白黒構造（SGシート）でヒレ部を透明にすることでシート表面の損傷が目視で発見！

【従来と同様の施工機械で対応可能】



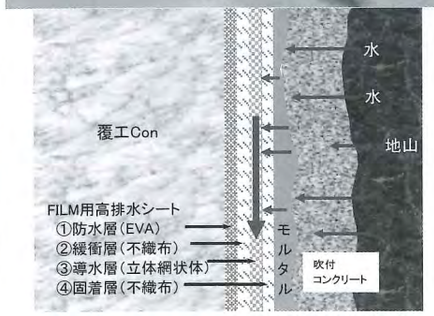
FILM工法用 高排水シート

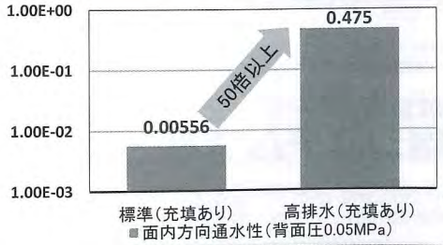
NETIS:KT-150067-A



防水シートを**4層構造（防水・緩衝・導水・固着）**とすることで、従来品に比べて**約50倍**（当社比）の導水性能を確保！

FILM工法（背面平滑型トンネルライニング工法）にて湧水量が多く、**長期的に安定した導水が要求される場合に有効！**





fujimori

ストロンガー Stronger

～水発泡ウレタン系 湧水抑制材～

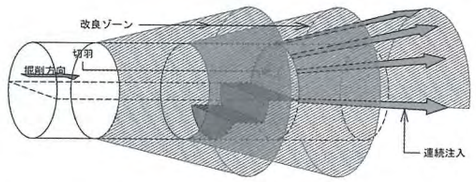
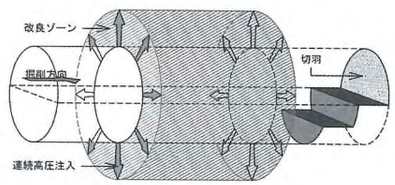
»「Stronger」による地山改良は湧水による様々な不具合を解消するリスクマネジメントです。



「**Stronger**」は、水と接触せずに反応した場合は気泡のない高強度な固結体を形成し、水と接触し反応した場合は発泡固結。
〝**土被りの薄い河川直下**〟や〝**破砕帯**〟などの異常出水帯や帯水弱層では、「**Stronger**」を連続注入することにより、**トンネル外周に湧水抑制を目的とした減水ゾーンを形成**し、**掘削に与える影響を軽減**させることが可能。

1. 減水効果に優れる
2. 地山改良効果に優れる
3. 湧水抵抗性に優れる
4. 施工性に優れる

<<施工例>>

プレ-インジェクション（切羽前方の地盤改良）	ポスト-インジェクション（切羽後方の地盤改良）
	
»» 対象区間 トンネル内への湧水の引き込みにより、切羽の不安定化等が懸念される区間 »» 注入範囲 掘削前の切羽前方のトンネル周囲 »» 目的 切羽前方のトンネル周囲地盤の透水性を低下させ、掘削に伴う地下水の引き込みを抑制させる。	»» 対象区間 トンネル内への湧水の引き込みにより、周辺環境への影響等が懸念される区間 »» 注入範囲 掘削後の切羽後方のトンネル周囲 »» 目的 トンネル周囲地盤の微細な水みちを充填し、恒久的に続く地下水の引き込みを抑制させる。

〈お問合せ先〉

fujimori **フジモリ産業株式会社** http://www.fujimori.co.jp

本社　東京都品川区東五反田2-17-1 オーバルコート大崎マークウエスト
東日本土木資材課 TEL:03-5789-2205 FAX:03-5447-2073

大阪支店 大阪市中央区道修町4-4-10 KDX小林道修町ビル
西日本土木資材課 TEL:06-6228-3864 FAX:06-6228-3886

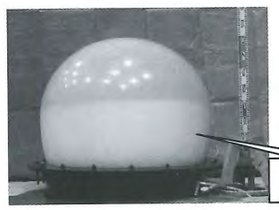
ウォータータイトトンネル 防水システム

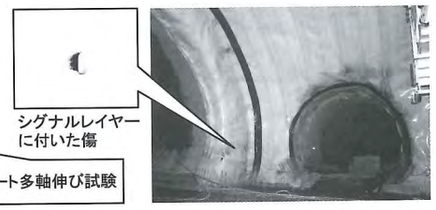


シート防水材

- **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







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

現場の省力化に貢献！新システム「スマートジャッキ」誕生。

SMART ジャッキ

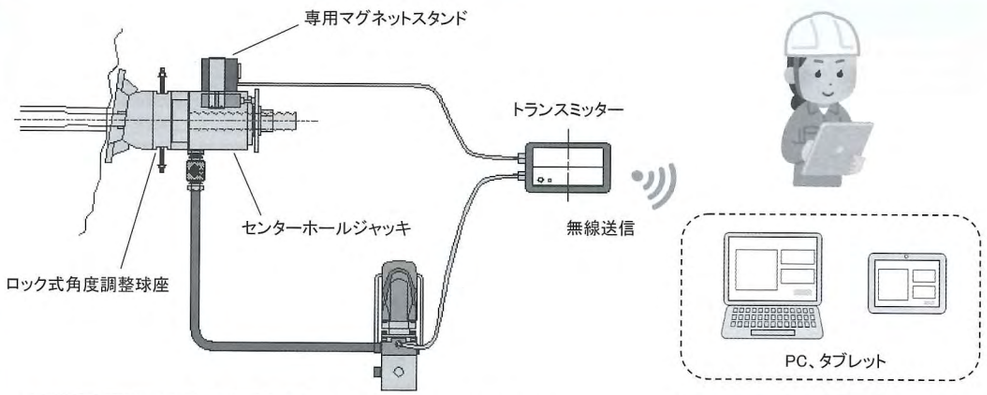
Simple Mobile Electronic Rockbolt Tester

特許出願中



現場の i-Construction をサポート！

ロックボルト引抜き試験を『**電子化**』『**無線化**』『**自動化**』『**軽量化**』。
トンネル日常管理の『**省力化**』に貢献します。




充電式ポータブル油圧ポンプ

トリガーを引くだけ！
らくらく操作

記録＆管理をサポート！
データ自動記録

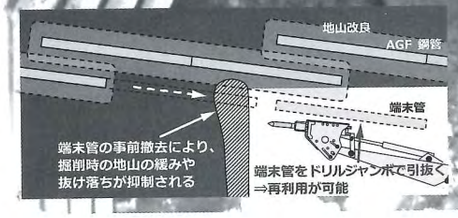


KFC 株式会社 ケー・エフ・シー
東京土木営業部 :東京都港区芝公園 2-4-1 芝パークビルB館 11F TEL 03−6402−8251
大阪土木営業部 :大阪市北区西天満 3 丁目 2−17 TEL 06−6363−1884
技術部 :東京都港区芝公園 2-4-1 芝パークビルB館 11F TEL 03−6402−8257

日本で生まれ、世界へ広がる。NATMの補助工法

掘削断面内の端末管を引抜き、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端末管を中間管から引抜く工法
掘削時の端末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
端末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

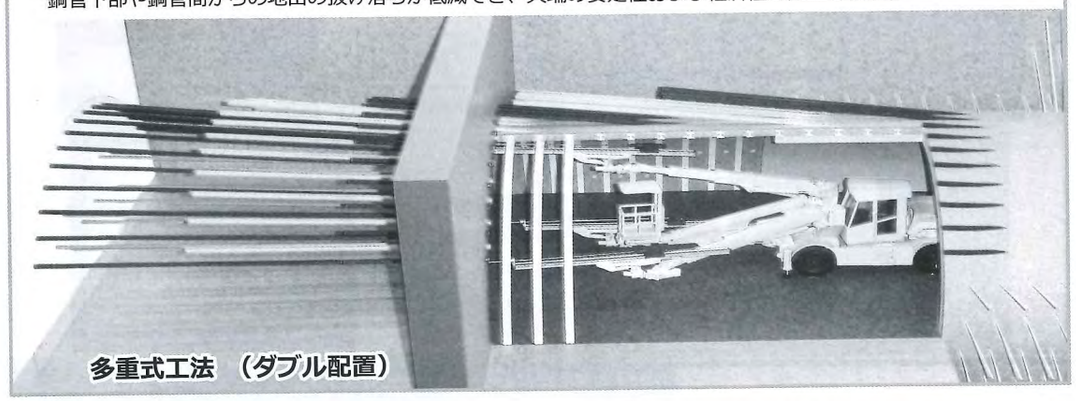


NETIS登録番号：CB-150001-A

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。

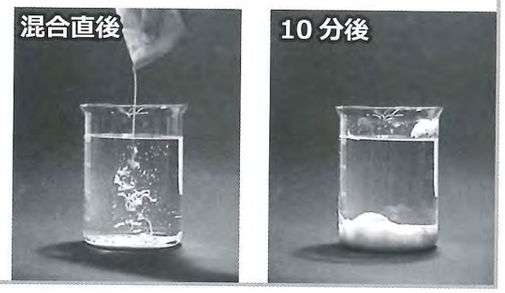

多重式工法　（ダブル配置）

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


地山内の固結状態

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ュア　/　建設資材全般

KATECS　株式会社カテックス 建設資材事業部
〒460-8331名古屋市中区上前津1丁目3番3号

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

貴社の〝やりたい〟を叶えます

大断面用新機種

超余裕の積込能力266㎥/h!

《PC450LC-11》
3.5㎥ローディングショベル



多彩な輸送パターンを演出!



《K-40NDT》
40t20㎥積コンテナ
着脱式ズリ運搬車

驚異の吹付範囲 (幅24m/高さ15m) を実現!



Atlas Copco
《MEYCO ME5》
大断面用吹付機

小～中断面用新機種

連続積込が躍動する“ヘグローダー” → 《10HR-B》 4.0㎥/min連続積込機

Atlas Copco



小～中断面に特化した“マイントラック” → 《MT2010》 20t9㎥積低床ダンプ

Atlas Copco



堅牢で小回りが利く“スクープトラム” → 《ST7》 3.1㎥ロードホールダンプ

Atlas Copco



T&M Tunnel & Mining

ニシオティーアンドエム株式会社

山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業 http://www.nishio-tm.co.jp

《本　社》
■技術開発本部
■営業推進部
TEL:03-6432-0898

《東日本カンパニー》
■北海道東北支店
TEL:0133-72-3715
■東北営業所
TEL:0197-71-2405
■関東支店
TEL:0268-62-1426

《西日本カンパニー》
■関西支店
TEL:072-677-2101
■九州支店
TEL:0982-26-2111
■福岡営業所
TEL:092-976-6331

加　温　セ　ン　ト　ル

『クラコン養生管理システム』 NETIS登録 KT-120109-A

自動制御による最適で均一な養生環境の保持

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



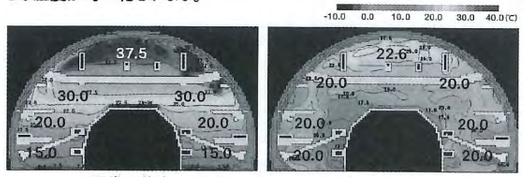
遠隔管理・リアルタイム監視が可能

遠隔地からでもリアルタイムで監視・管理が可能。本支店など離れた場所にいる技術者と現場技術者との連携により、適切な品質管理を行うことができます。

全体イメージ図＆写真

養生空間の温度均一化

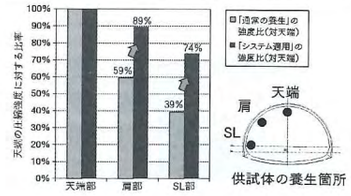
通常の養生では、約20℃の上下間温度差が発生します。システムの適用により温度が均一化されます。



通常の養生　　システム適用

コンクリート圧縮強度の増進

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



製造・販売

TOUKOU 株式會社 東　宏

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

製造

建設コンサルタント
計測技研株式会社

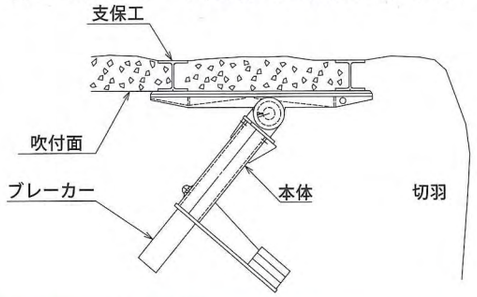
本社　尼崎市長洲本通1丁目14番1号
TEL06-6401-2288　FAX06-6401-2488
東京事務所　港区浜松町2丁目9番3号　NBC浜松町ビル3F
TEL03-5408-1915　FAX03-5408-1913
URL　http://www.keisokugiken.co.jp/

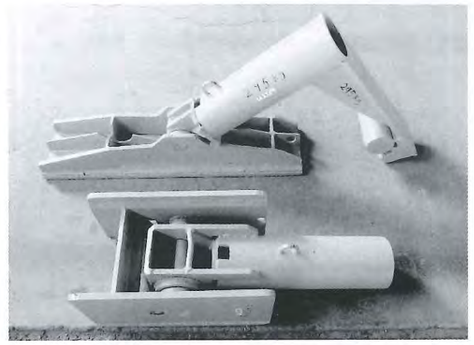
支保工スクレーパー

特許登録製品：特許第 4649420 号　NETIS 登録製品：HK-170013-A　(特許所有者は大建土木株式会社)

特徴

1．吹付面を容易に平滑にできます
2．防水シートの施工が容易になります
3．覆工コンクリート天端の空隙が少なくなります





施工状況



1．吹付け作業



2．吹付け完了（凹凸あり）

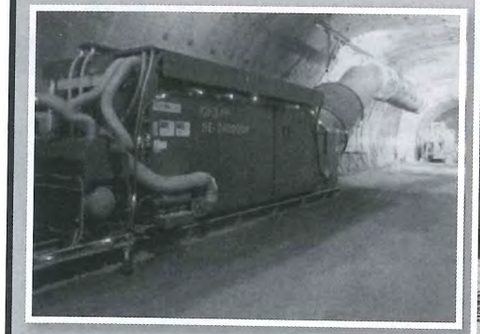


3．平滑化



4．作業完了（吹付面が平滑に仕上る）

製造・販売　TOUKOU 株式會社 東　宏
http://www.k-toukou.co.jp/
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 18-4 中尾ビル 4F　TEL03-6659-3841　FAX03-6659-3845

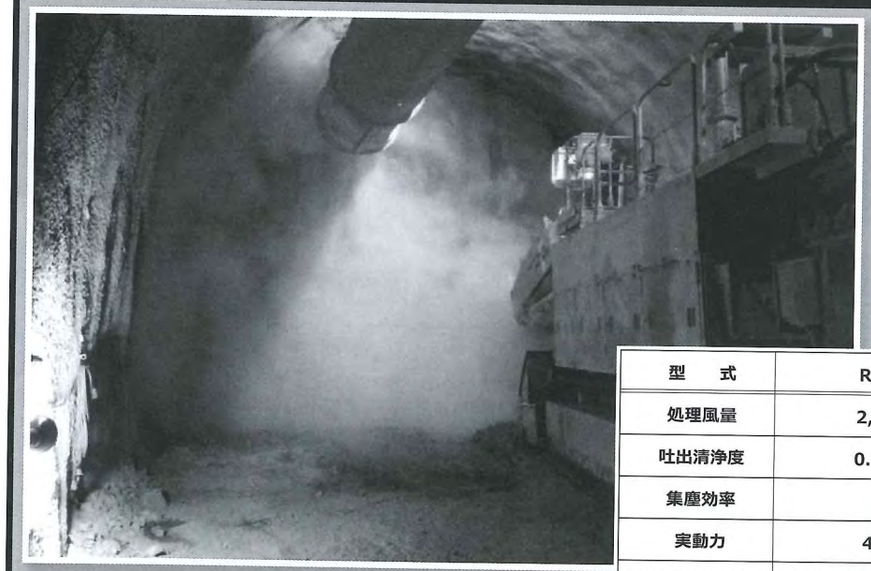




動力６０％低減実現！（当社従来比）

吸引捕集換気システム RE−2400QDP 新登場

「コンパクト＆低動力＆高清浄度」を一度に実現した孤高のスペック



型　式	RE-2400QDP
処理風量	2,400m³/min
吐出清浄度	0.1mg/m³以下
集塵効率	99%以上
実動力	440V･83kW
寸法（L×W×H）	2,869×12,963×3,387(mm)
重量	12,600kg

最適環境を創造する
株式会社 流機エンジニアリング

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

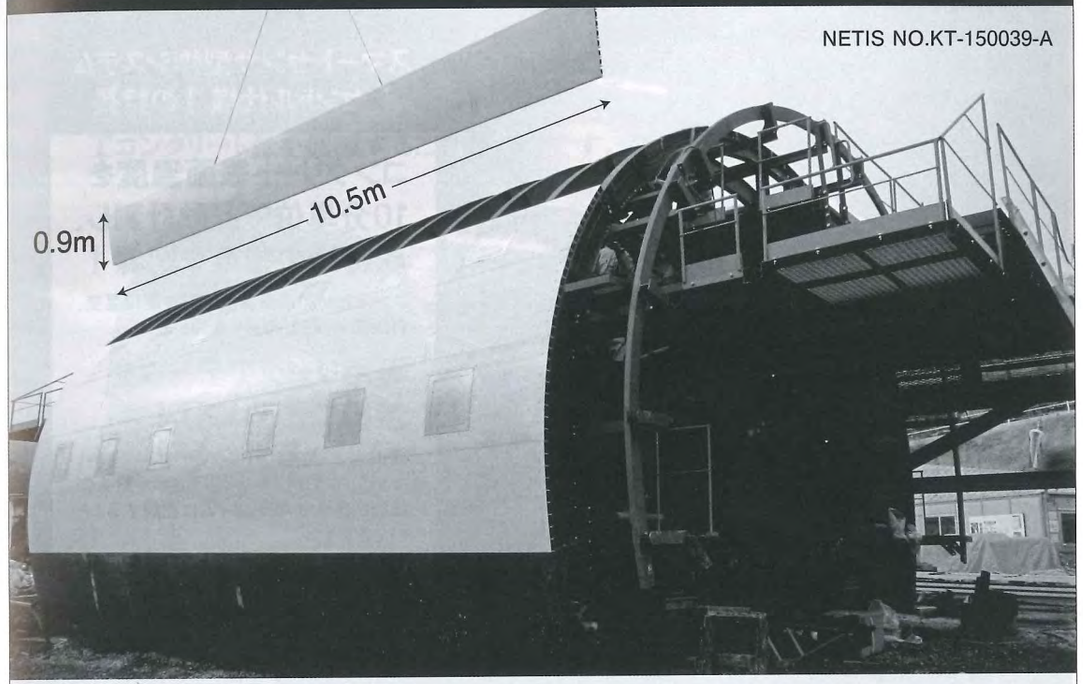
(PC･スマホ専用)

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



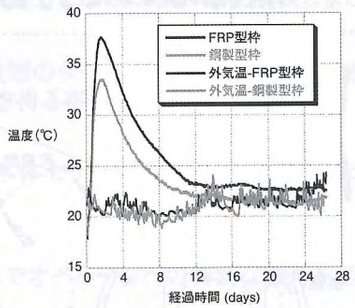
■透気試験実施



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、㈱フジタ 古江トンネル南にて測定］



◎3～4℃の保温効果により、コンクリート強度が15～20%向上

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

■ 本　　社	〒553-0006	大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル	TEL:06-6443-7060
■ 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ヌ1-1	TEL:0761-74-3070

スマートセンサ型枠システム・セントル仕様 / NETIS 登録番号 QS-110040-VE

二次覆工時の高度な品質管理を実現



スマートセンサ型枠システム【 セントル仕様 】の特長

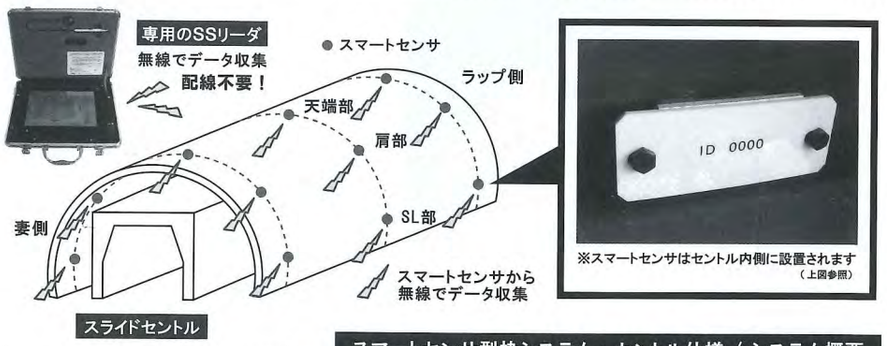
コンクリート表面温度を10分単位で自動計測し、脱型時の強度を記録！

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無線で読み取り！

表面温度や推定強度はグラフやカラーマッピングで解りやすく表示され、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。

無線なので打設毎の配線手間が不要！



スマートセンサ型枠システム・セントル仕様 / システム概要

児玉株式會社 & 東京大学 大学院 工学系研究科 共同研究開発 特許製品

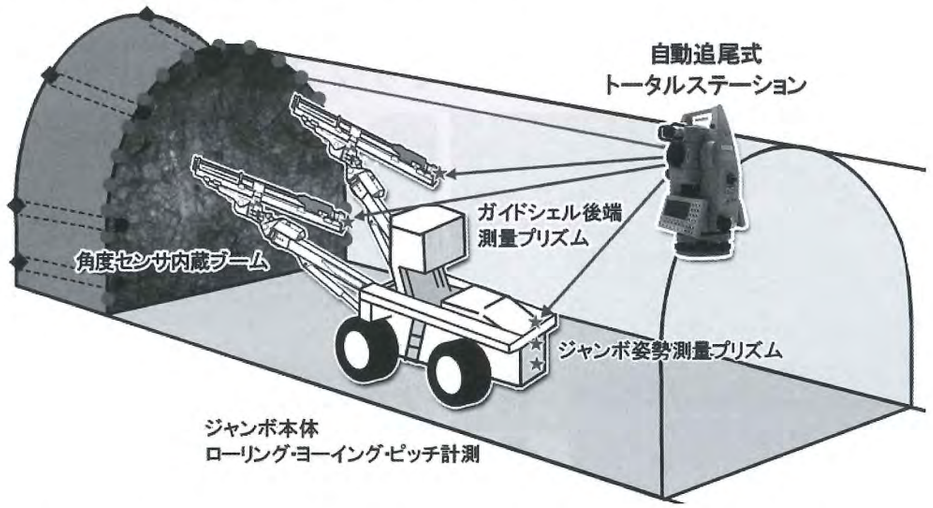
児玉株式会社エンジニアリング事業部
〒812-0042 福岡市博多区豊 2-4-23
TEL : 092-474-5360
EMAIL : engi.office@kodama-boss.jp

NETIS登録番号:KK-100049-A

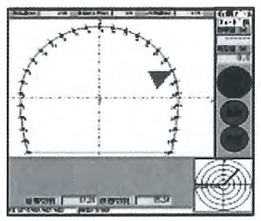
自動追尾式余掘り低減システム

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　千葉県市川市曽谷8-16-3
TEL:047-371-3191　FAX:047-371-3190

FRD FURUKAWA 古河機械金属グループ 古河ロックドリル株式会社
〒103-0027　東京都中央区日本橋1-5-3
特機部
TEL:03-3231-6966　FAX:03-3231-6993

コンクリートの劣化，欠陥箇所の改修，補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



〈工期短縮，即日仕上り〉

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

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

エアモルタル裏込め注入……

エスコート
L&K 起泡剤



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

◆土木資材の綜合プランナー◆

株式会社 マノール

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



Jumbo ロックツールス

DRISS®
穿孔探査システム
Drilling Survey System

平成26年度　準推奨技術
（新技術活用システム検討会議（国土交通省））



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



一般仮設配管材

ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO.,LTD.

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

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

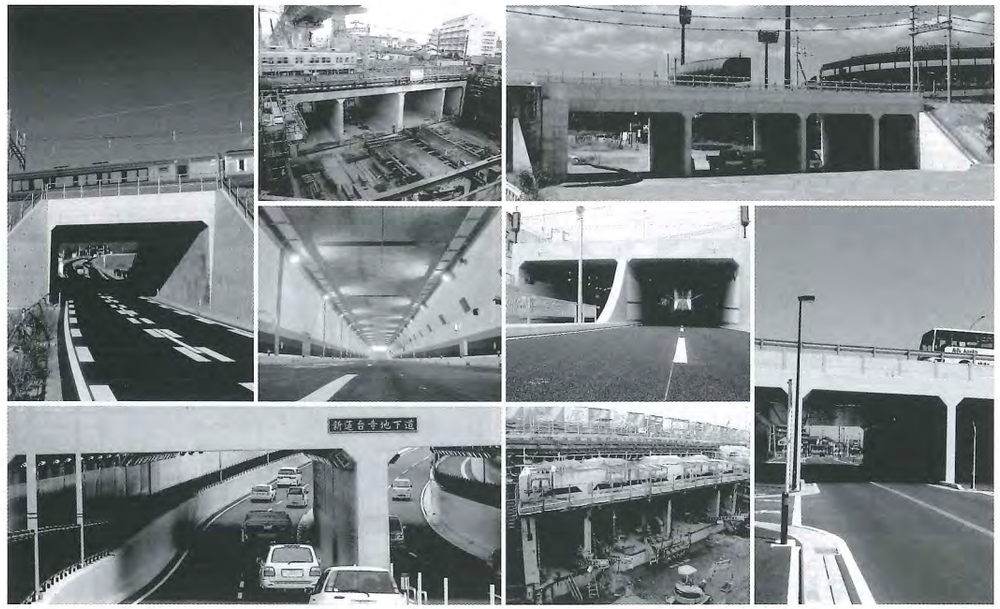
関西支店　〒657-0864 兵庫県神戸市灘区新在家南町5丁目8番4号
☎(078)802-5551 fax(078)802-5528 Email：kansai@drill.co.jp

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

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

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

非開削立体交差施工



R＆C工法

Roof & Culvert Method

箱形ルーフ (□800) を函体外縁に合わせて施工した後、函体を推進またはけん引によって置換設置する施工法です。縁切用鋼板により浅い土被りで地下構造物を設置できます。
NETIS KT-040015-A

SFT工法

Simple & Face-less method of construction of Tunnel

函体掘進中、切羽で掘削作業を行わずに施工します。箱形ルーフ材 (□1,000) を函体外縁に合わせて矩形に閉合配置し、箱形ルーフと函体を一体として推進する施工法です。
NETIS KT-050068-A

FJ工法

Fronte Jacking Method

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

ESA工法

Endless Self Advancing Method

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

アンダーパス技術協会

http://underpass.info/

事務局　〒185-0032
東京都国分寺市日吉町 2-30-7 植村技研工業㈱内
TEL 042-574-1180
分　室　〒108-8381
東京都港区芝 5-6-1 ㈱奥村組内
TEL 03-5439-5412

最新型・電気集じん機

エコクリーンX

NETIS登録番号：KT-040047-A

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

極板放電方式
放電線をなくし消耗品の
削減と断線トラブルの撲滅

処理風量
750㎥/minから3000㎥
/minまで製作実績あり

高圧電源分割
集じんユニット毎の個別電圧
印加により集じん効率アップ



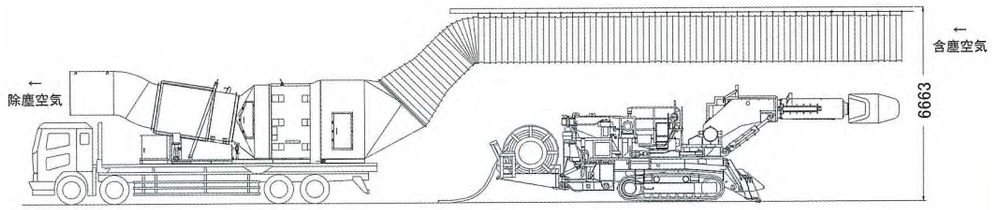
少ない消費電力
同クラスのフイルター方式
集じん機に比べおよそ1/4

コンパクト
同クラス集じん
機の中で最小

貯水タンク
自動洗浄が
随時可能

オプション
自走クローラ台車
自走ホイール台車
伸縮風管...etc.

伸縮風管(軽量型Φ1500,Φ1600製作実績あり)



伸縮風管接続例

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

株式会社エムシーエム

http://www.mcmcm.jp

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

環境にやさしく、施工性に優れたNETIS「活用促進技術」指定のトンネル補修工法

トンネル裏込補修用
ウレタン注入工法

Tn-p工法



n.nフロン
明日のために、ノンフロン。

NETIS 登録 KT-070035-VR「活用促進技術」新技術活用評価会議

1 超軽量で覆工への負荷軽減
2 注入設備がコンパクト
3 急速固化でリークの危険性が減少
4 環境対応型ノンフロン

「Tn-p工法」の品質・施工技術向上および業務拡大を目的とし、2016年4月「発泡ウレタン空洞注入協会」を設立いたしました。　会員数全45社（2017年2月9日現在）

発泡ウレタン空洞注入協会
https://tnp-method.com/

あなたの身近にいつも…アキレス
Achilles

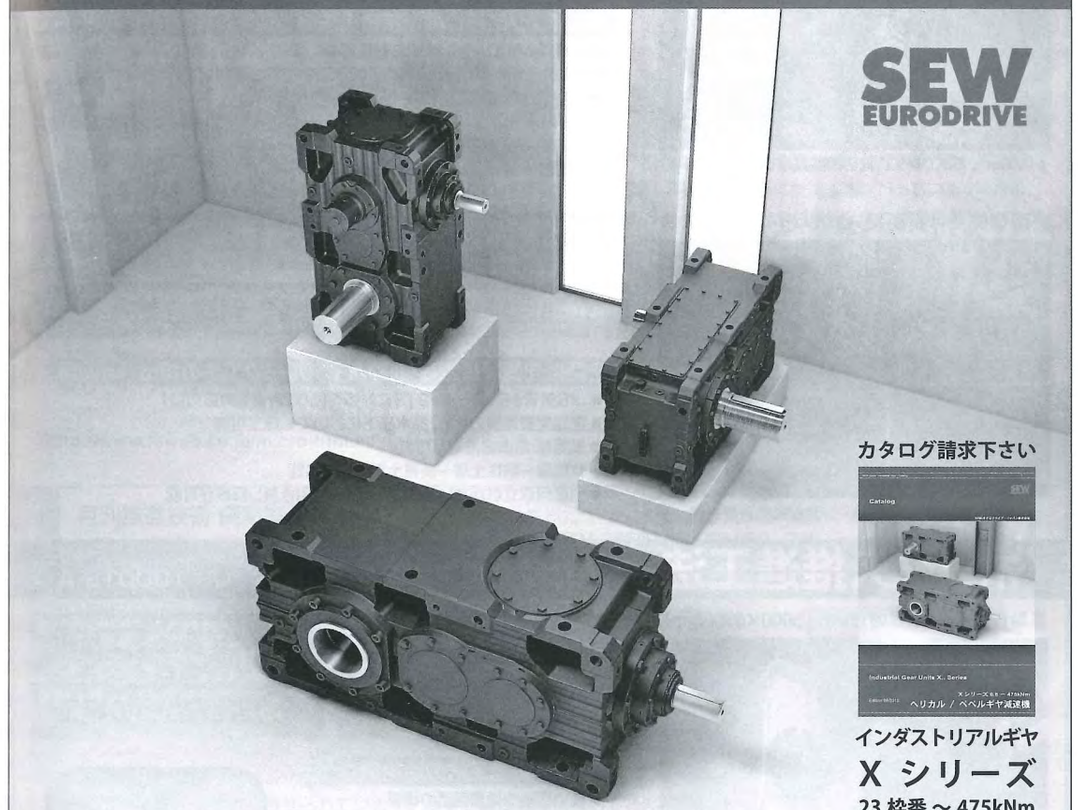
断熱資材販売部

本　　社	〒169-8885	東京都新宿区北新宿2-21-1 新宿フロントタワー	03-5338-9642
関西支社	〒530-0005	大阪府大阪市北区中之島2-2-7 中之島セントラルタワー	06-4707-2355
北海道営業所	〒061-3241	北海道石狩市新港西1-726-3	0133-73-9591
九州営業所	〒813-6591	福岡県福岡市東区多の津1-1-4	092-622-2871

≪京都工場組立開始 !!≫ SEW の X シリーズ

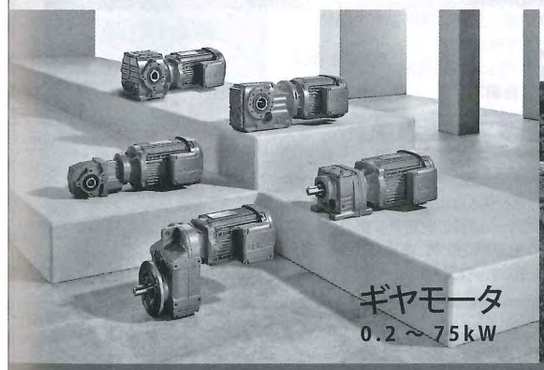
・減速機の世界トップブランド SEW がお届けするヘリカル / ベベル·ヘリカルギヤユニットです。
・ドイツ製高品質部品(ギヤ、シャフト、ケーシング等)を標準在庫して組立てる made in Japan 品です。ギヤモータ同様に、X シリーズも短納期でカスタマイズして納入致します。

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

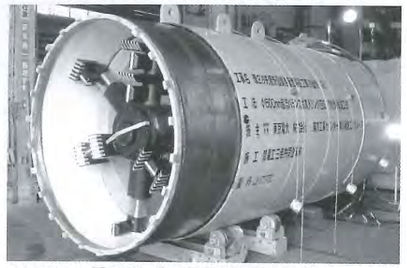


京都工場

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

超流バランスセミシールド工法　超流セミシールド協会

貫入リング押出し回転切削型接合工法



φ1500mm 貫入リング回転切削型掘進機（接合切削時）

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

貫入リング回転切削型接合工法の特徴

- 呼び径φ800～φ1500に対応可能
- 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

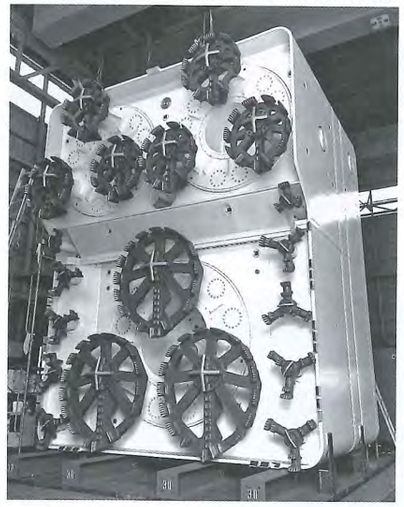
① 地下水位以下の施工が可能　② 高水圧対応
③ 長距離・曲線施工　④ 到達立坑不要

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～φ1219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（外寸□5000×6300mm）



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

ボックス推進工法の活用例

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



カッタービット軌跡

ボックス推進工法の特徴

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

協会事務局・技術本部　株式会社 アルファシビルエンジニアリング

αCIVIL

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

建設コンサルタント登録番号：建28第8677号
測量登録番号：登録第(3)-30507号
建設許可番号：国土交通大臣許可（特-28）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。

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CO_2排出量を抑制し、なおかつ耐震性の高い推進工法のニーズが高まっています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説をしております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管路敷設に限らず、地下インフラの再構築の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっています。

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間定期購読料金12,337円をお支払いください。

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

スマホで立読み PCでも スタート

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

お問い合せ先

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

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

2016年度版発売中!!

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。　推進工事技士試験　検索

購入方法はこちらから

お問い合せ先

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

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

好評発売中　**地形にも相がある 地形の性質を知ろう！**



トンネル技術者のための 地相入門

大島洋志 監修　木谷日出男 編著

B5判 203頁 定価3,200円+税 送料別

図・表・写真 288点収録

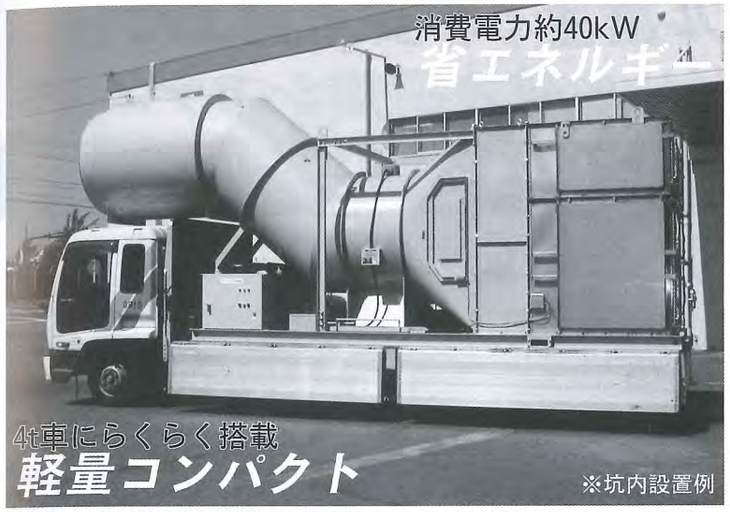
山にも人の人相のように山の相がある．地形の性質を知り，事前に危険な箇所を把握することはトンネルを施工する上で重要である．
本書のように地形中心にこれほどまとまったトンネル技術書は今までになかった．施工者には施工中に予測される地形上の危険把握のため，発注者にはもっとも安全に施工できる路線選定ため，本書を有効利用いただくことが執筆陣の願いである．
第Ⅰ編では地形図の読み方を平易にまとめ，第Ⅱ編ではそれぞれの地形種について施工事例を交え説明している．第Ⅲ編では監修者の経験を基に路線選定の注意点を施工事例とともに紹介している．

《主要目次》

序　編　まえがき
地相は人相　山の性状
第Ⅰ編　地形から読み取れる情報
地形から地相を読む方法 / 地形から得る具体的な情報
第Ⅱ編　地形種とトンネルの施工事例
段丘・台地 / 崖錐・沖積錐・扇状地 / 傾斜層 / 地すべり / マスムーブメント・滑落崖 / 断層（断層変位地形）/ 断層（断層削剥地形）/ 火山地形 / カルスト地形・残丘 / 地形改変
第Ⅲ編　路線選定
地相をよく観て路線選定を行う
あとがきにかえて
座談会

お申し込みは当社へFAX，または，お近くの書店にてお申し込みください

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



National電気集塵機クリンジェット(2,000m³/minタイプ)

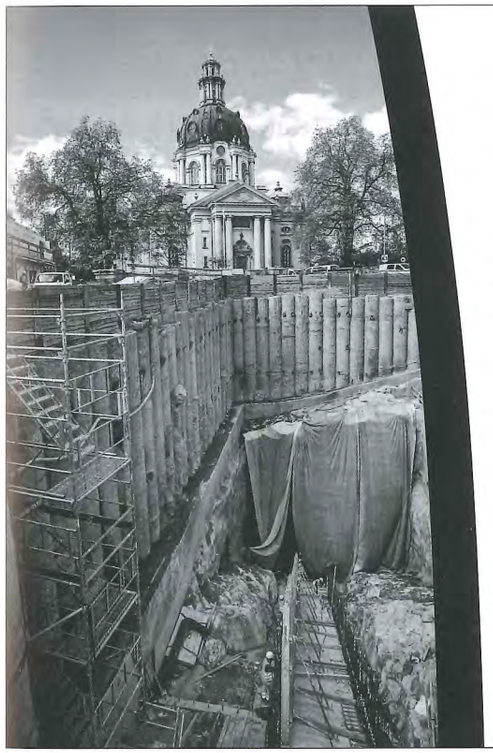
RENT

取扱レンタル商品

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

株式会社 レ ン ト　特機営業課　担当者　工藤

〒134-0093 東京都江戸川区二之江町1409-1　TEL：03-5667-7803　FAX：03-3804-6053
URL：http://www.rent.co.jp　E-mail：kudo.yuji@rent.co.jp



振動・騒音マネージメント ソルーション

オリカおよびオリカグループでは、世界中で直面するトンネル掘削に関する多種多様なニーズや課題に対して、日々技術開発に取り組んでおります。

電子雷管eDevIIや発破設計ソフトSHOTPlus-T、遠隔自動環境計測システムNCVIBはその主な成果であり、様々な形で振動や騒音に関するソルーションをご提供いたします。

Nitro Consult | ORICA

オリカジャパン株式会社
〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-7-11 虎ノ門三須ビル7F
Tel 03-5777-4681

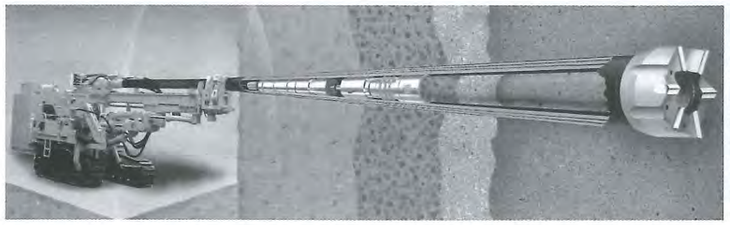
nitroconsult.se | orica.com

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





地球にKOKEN する会社。 鉱研工業株式会社

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

H+E LOGISTIK GMBH

Clever Conveying





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

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



H+E Logistik GmbH
日本代理店

Yamazaki Machinery

山崎マシーナリー株式会社 担当：森永

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



(社) 建設コンサルタンツ協会会員 ISO9001取得

株式会社 ロード・エンジニアリング

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

本 社：〒116-0013 東京都荒川区西日暮里 5 丁目24番 7 号 電話(03)3891-0711
大阪支店：〒569-1133 大阪府高槻市川西町 2 丁目21番38号 電話(072)691-0711
福岡支店：〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南 1 丁目15番12号 電話(092)436-1588
沖縄営業所：〒901-2122 沖縄県浦添市勢理客 4 丁目16番 9 号 電話(098)870-6411

VOLVO 建設機械

TMS Techni-Métal Systèmes

高い作業性とクールなデザインが人気
年々強化される排ガス規制にも対応



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

多目的運搬台車
4 次オフロード法取得 レールからの解放



TMS 社 日本代理店
担当：富樫

Yamazaki Machinery

山崎マシーナリー株式会社

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

NEW

究極のトンネル施工管理システム

生産性向上への挑戦！！ En-Note

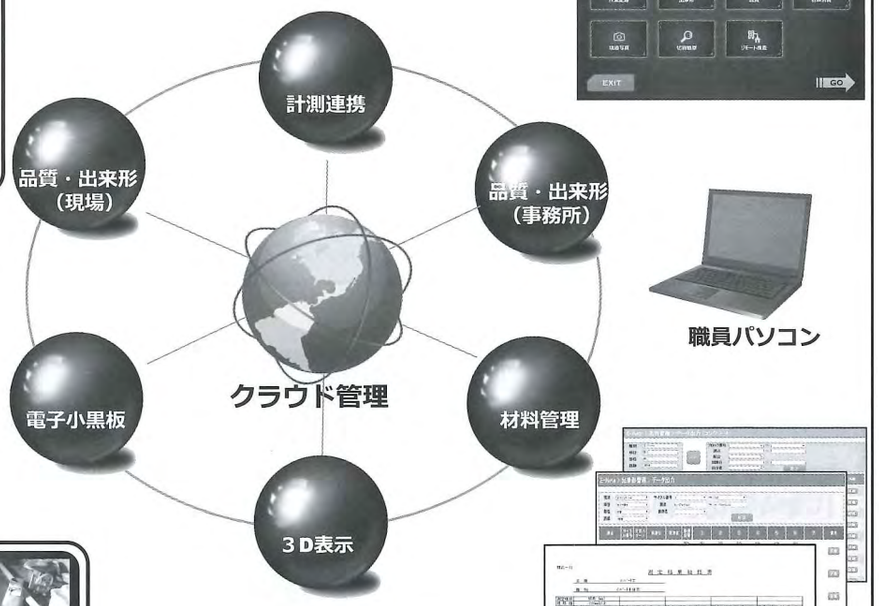
Tunnel i-Construction





タブレット端末
- 品質
- 出来形
- 材料
- 切羽観察
- 写真
- チャット
- 遠隔試験



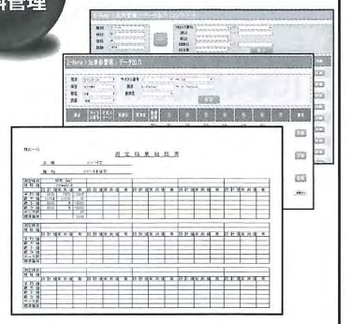


職員パソコン





3D可視化＋情報管理（自動）



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

↓

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

enzan Kouzou enzan

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

濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい

ＴＷＳ型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0㎥/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

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

≪汎用車輌全般≫



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





10T ミキサー



4.5㎥ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車輌 取り扱っております

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

トンネルと地下　3月号目次　Vol.49, No.3, 2018 Mar.

■巻　頭　言

地下鉄建設の原点
大石　敬司 …… 5

■施　　工

既設トンネルから分岐した迂回トンネルにより地すべりを回避
―国道445号　瀬目トンネル―
山本　清孝・立道　秀一・中藤　英樹・金本　淳史 …… 7

付加体からなる四万十帯をトンネル群にて貫く
―国道56号片坂バイパス　拳ノ川トンネルほか―
南原　道昭・吉田　正樹・鬼頭　夏樹・鈴木　健 …… 15

高精度電子雷管を用いた制御発破による振動・騒音対策
―宮古盛岡横断道路　手代森トンネル―
佐々木　稔・佐々木雄起・中島　賢・平野　宏幸 …… 35

2函同時沈設による大型ニューマチックケーソン施工
―東京下水道　千住関屋ポンプ所―
武見　敏靖・山下　徹・小野寺　彰・小山　一朗 …… 47



CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

世界で初めて液化CO_2凍結工法を海底シールド到達防護に採用
―石狩湾新港発電所１号機放水路トンネル―
畠田　大規・向井　昭弘・阿部　聡・塩屋　祐太 …… 55

■連 載 講 座

セグメントの新技術Ⅱ（４）
―機能付加セグメント（１）―
「セグメントの新技術Ⅱ」連載講座小委員会 …… 65

■現場だより

「札幌の奥座敷」定山渓温泉
古賀　善友 …… 34

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

先輩から語り継がれた心得
伊藤　範行 …… 25

■資　　料

土木情報
編　集　部 …… 46

工法・技術・製品ニュース
編　集　部 …… 75

トンネルジャーナル
編　集　部 …… 64

トンネルワールドニュース
JTA 国際委員会 …… 76

■会　　報

会　　報
日本トンネル技術協会 …… 78

【表紙説明】　世界で初めて液化CO_2凍結工法を海底シールド到達防護に採用
―石狩湾新港発電所１号機放水路トンネル―



北海道札幌市の北西約15kmに位置する石狩湾新港地域では，「石狩湾新港発電所１号機新設工事」が進められている．そのうち，放水路トンネル工事はシールドトンネルを泥水式シールド工法により施工し，海底下に沈設した放水口へ接続するものである．海底地盤中の到達では，世界で初めて液化CO_2凍結工法を海底シールド到達防護に採用した．写真はRCセグメント区間における放水路トンネル坑内の状況である．

〔写真提供：北海道電力(株)〕（本文55頁参照）

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

☆本システムの４大特長

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
・標準グリズリタイプとオプションとして エプロンタイプ(投入高2.5m)が選択可能
・高破砕力のCジョークラッシャで硬岩 (4000kgf/㎠)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、インバート工作業に対して安全

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





※写真はエプロンタイプです(LT96EUGJ)

1.5km延伸ベルトコンベヤシステム概要

・延伸ベルトコンベヤシステム主仕様

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
ベルト継足量	300m × 10ロール
ベルト貯蔵能力	450m

＊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

・主要構成機器

No	名　　称	主　仕　様
1	移動式破砕機 LT96E	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	150kW×4P×1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

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

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

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

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

中 間 祥 二
株式会社大林組生産技術本部統括部長

西 岡 和 則
鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長

藤 井 義 文
株式会社竹中土木常務執行役員

松 原 利 之
飛島建設株式会社技術研究所所長

森 正 彦
前田建設工業株式会社土木事業本部
トンネル担当部長

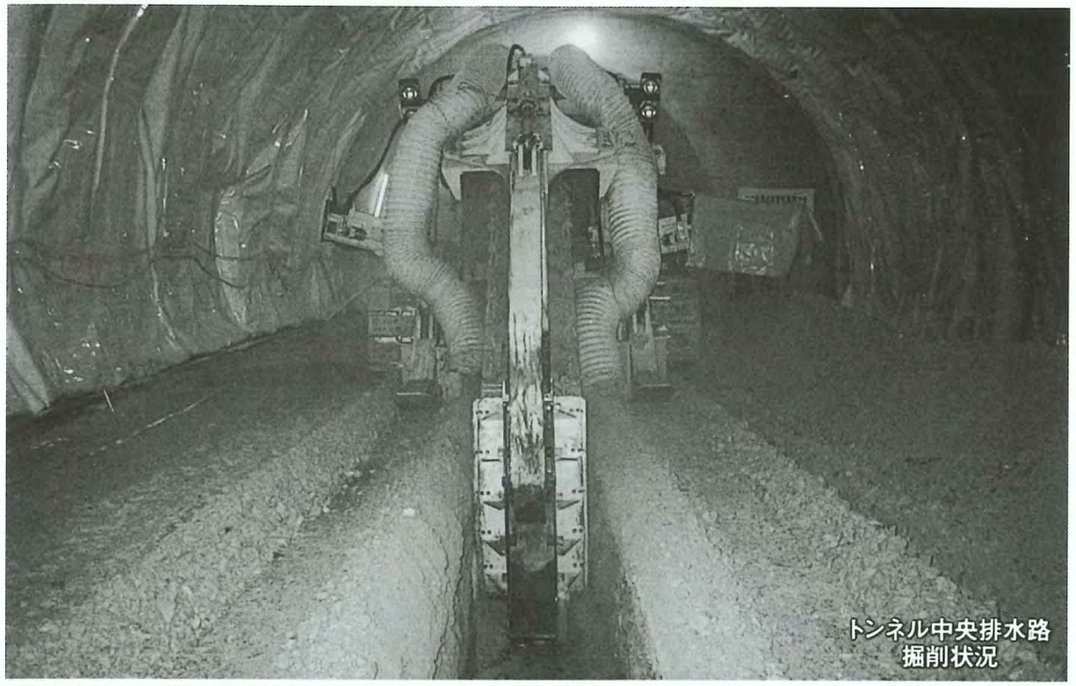
吉 岡 大 蔵
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

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

渡 邉 修
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
事業監理部計画課長

トレンチャー

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路
掘削状況



施工例



トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D6	M3
メーカー名	テスメック	テスメック	テスメック
掘削幅 cm	60	75	90
掘削岩の硬さ（最大）	500kg/cm²	700kg/cm²	800kg/cm²
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。

ワールド開発工業株式会社

●本社/営業部　〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484

☎(026)213-7024(代) FAX(026)282-5803　http://www.wkk.co.jp/

編集委員会の構成（五十音順・敬称略）

〔編集委員長〕

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

木谷日出男
国際航業株式会社フェロー技術本部
土木地盤研究担当

今田徹
東京都立大学名誉教授

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

松浦將行
地方共同法人日本下水道事業団理事

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

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

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

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

清水満
東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長

中井宏
東京都下水道局建設部設計調整課長

中谷誠一
東京都水道局建設部工務課長

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

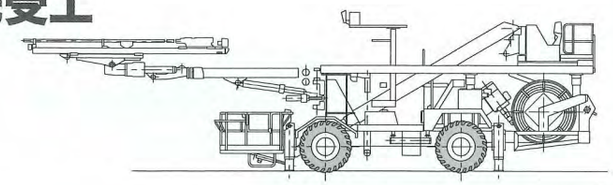
安田智
東京都交通局建設工務部計画改良課長

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

環境対応型長尺鋼管先受工

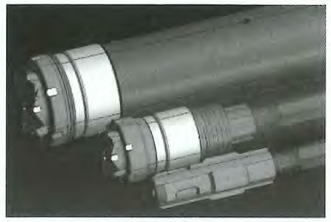
TOHO **AGF** System

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

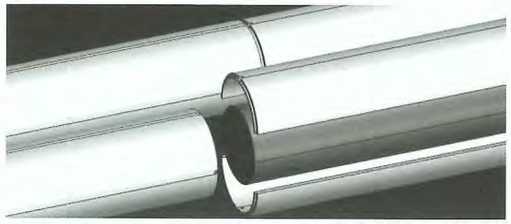


AGF-Me工法

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



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



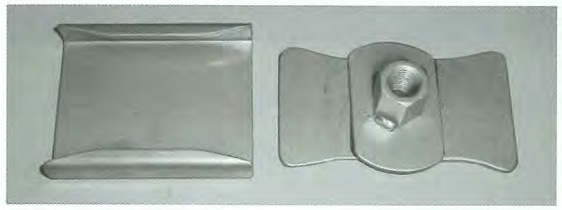


防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

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





東邦金属株式会社 営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD
〒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 トーキンオール
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel:**044-333-0012** Fax:**044-333-0321**
(お問い合わせ先)

トンネルと地下 VOL.49 No.3 掲載概要

掲載頁 7

既設トンネルから分岐した迂回トンネルにより地すべりを回避
—国道445号 瀬目トンネル—

熊本県 山本 清孝

1995(平成7)年に完成した国道445号瀬目トンネル(延長695m)は，供用開始後の2000(平成12)年に終点側坑口から約280m付近の覆工コンクリート側壁部に剝離が確認され，道路管理者である熊本県と国土交通省は，各種調査の結果，剝離などの変状の原因を地すべりによるものと位置づけ，監視体制を構築するとともに応急対策を講じつつ供用を続けてきた．しかしその間，変状の範囲は覆工区画15スパン(L=149m)までに拡がり変状の程度も顕著となったことから，一般交通の安全を確保するために迂回トンネルが計画された．

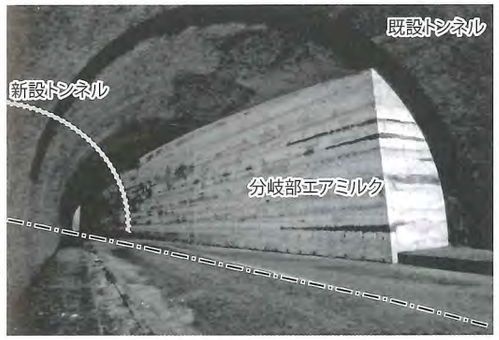
本稿は既存の起・終点坑口を存置し，かつ地すべり帯を避けるため，急曲線線形により新たなトンネルを構築する災害復旧工事の施工結果について報告するものである．

A Bypass Tunnel Diverged from an Existing Tunnel to Avoid Landslides— the National Route 445, the Seme Tunnel—

By Kiyotaka Yamamoto, Kumamoto prefecture

In 2000, after the opening of the Seme Tunnel (695m) in 1995, which carries the National Route 445, delaminations were confirmed on lining concrete of the tunnel walls approximately 280m from the portal of the exit side. As a result of various surveys, Kumamoto Prefecture and the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, the road administrators, assessed that the deformations such as delaminations were caused by landslides, and have continued the tunnel service while establishing a surveillance system and taking emergency measures. However, in the meanwhile, the range of the deformation expanded to up to 15 sections (L=149m) of the tunnel lining and the degree of deformation started to become more noticeable, resulting in a plan to construct a bypass tunnel to ensure the safety of general traffic.

This article will report the results of the disaster recovery for a new sharply curved bypass tunnel in order to maintain the existing tunnel portals and avoid the landslide zone.



写真は分岐部充填閉塞完了状況

掲載頁 15

付加体からなる四万十帯をトンネル群にて貫く
—国道56号片坂バイパス 拳ノ川トンネルほか—

国土交通省 南原 道昭

付加体からなる四万十帯におけるトンネル掘削時の変状事例は，これまで多く報告されており，四万十帯は当初の想定以上にトンネル施工時にさまざまな対応を要する地質帯の一つと言える．

本稿では，高知県西南地域における3トンネルの施工実績を踏まえ，同じ地質帯に属するトンネル掘削時の施工実績および得られた知見(設計と施工時の乖離)について報告するものである．

Building Tunnels through the Shimanto Belt Composed of an Accretionary Prism— the National Route 56 Katasaka Bypass, the Kobushinokawa Tunnel, Etc.—

By Michiaki Minamihara, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

Many examples of deformation during the tunnel excavation through the Shimanto belt composed of an accretionary prism have been reported until now, and the Shimanto belt is considered one of the geological zones that required various measures than initially expected during the construction of the tunnel.

In light of the construction results of the three tunnels in the southwest region of Kochi Prefecture, this article will report the results and knowledge (variance between design and construction) gained during the 3 tunnel excavations in the same geological zone.



写真は切羽崩落状況

掲載頁 35

高精度電子雷管を用いた制御発破による振動・騒音対策
—宮古盛岡横断道路　手代森トンネル—

国土交通省　佐々木　稔

宮古盛岡横断道路手代森トンネルの盛岡側坑口部では，約200mにわたって土かぶり20～35mで地表に複数の民家が存在したため，発破振動・騒音の抑制が課題であった．そこで，高精度電子雷管を用いた制御発破による振動・騒音対策を実施した．発破時に地表における振動・騒音測定と周辺住民へのヒアリングを行った結果，この対策により，発破振動の大きさと振動継続時間を抑制できるだけでなく，卓越周波数を制御することで体感上の振動レベルの低減が図れることがわかった．

本稿は，これらの施工時結果と振動・騒音測定結果から得られたさまざまな知見について報告する．

Measures for Vibration and Noise through Controlled Blasting Using High Performance Electronic Detonators —the Miyako Morioka Odan Road, the Teshiromori Tunnel—

By Minoru Sasaki, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

Due to the fact that multiple private houses existed on the surface of the ground 20 to 35m above the Teshiromori Tunnel, a part of the Miyako Morioka Odan road, within about 200 meters from its portal of the Morioka side, there were issues involving blasting vibration and noise control. To resolve these issues, measures against vibration and noise were implemented with controlled blasting using high performance electronic detonators. As a result of monitoring noise and vibration on the ground surface during the blasts as well as interviews of the local residents, it was revealed that these measures would not only control the vibration greatness and vibration duration time of the blasting, but also reduce the bodily sensation of the vibration levels through controlling the dominant frequency.



写真は高精度電子雷管装薬状況

This article will report the various knowledge obtained from these construction results and noise monitoring.

掲載頁 47

2函同時沈設による大型ニューマチックケーソン施工
—東京下水道　千住関屋ポンプ所—

東京都　武見　敏靖

千住関屋ポンプ所は東京都足立区千住地域に位置し，近年増加している局地的豪雨の発生などに伴う雨水流出量の増大に対応するために設ける新雨水ポンプ所で，千住地域の雨水を吸揚し隅田川に放流するための施設である．当該地はマンションなどの集合住宅に囲まれた地域であることから，地域住民と作業時間制限(8：00～18：00)，工事関係車両の搬入台数制限(200台以下/日)および工事関係車両の通行ルート制限などの工事協定を締結した．また，そのうえで事業成果の早期発現のために大幅な工事期間の短縮が要請され，西側(2,614m^2)と東側(2,289m^2)の大型ニューマチックケーソン2函体を離隔2.0mの近接で，50m以上の同時沈設を行う世界初の試みに挑戦することとなった．

本稿は，2函同時沈設による大型ニューマチックケーソン工事の概要と，種々の技術的課題を解決しながら短工期を実現した事例について述べたものである．

Simultaneously Sinking of Two Large-Scale Pneumatic Caissons— Tokyo Sewerage System, the Senju Sekiya Pumping Station—

By Toshiyasu Takemi, Tokyo Metropolitan Government

The Senju Sekiya Pumping Station, located in the Senju district of the Adachi city in Tokyo, is a new stormwater pumping facility that was established to take a measure for increasing stormwater outflow caused by heavy rain in the local region and to discharge rainwater into the Sumida River after temporary retention. Because the site was surrounded by housing complexes such as apartment buildings, a construction agreement was established with the local residents which restricted the working hours (8：00-18：00), number of construction-related vehicles that could be delivered (less than 200 vehicles/day) and traffic routes for the vehicles. In addition, a significantly reduced construction period was requested in order to start service early, and two large-scale pneumatic caissons on the west side (2,614m^2) and east side (2,289m^2) separated by a close proximity of 2.0m were simultaneously sunk more than 50m for the first time in the world.



写真は現場全景

This article will provide an overview of the simultaneous sinking of two large-scale pneumatic caissons and describe an example of a case where a short construction period was achieved while resolving various technical issues.

掲載頁 55

世界で初めて液化CO_2凍結工法を海底シールド到達防護に採用
—石狩湾新港発電所1号機放水路トンネル—

北海道電力(株)　畠田　大規

北海道電力(株)は，石狩湾新港発電所1号機新設工事を進めている．このうち放水路トンネル工事は，掘削外径ϕ5.44m，セグメント内径ϕ4.7mのシールドトンネルを泥水式シールド工法により施工し，海底面下に沈設した放水口へ接続する工事である．

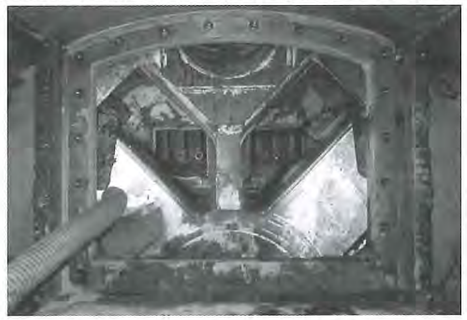
海底地盤中に到達するうえで，品質管理および安全管理の精度向上を目的として，トンネル内作業の位置検知システムの構築・運用，CIMを活用したシールド掘進管理システムの開発・導入，真円度自動測定システムによる組立て管理，到達位置探査およびCO_2を用いた新しい凍結工法などを採用した．本稿ではCO_2を用いた新しい凍結工法による到達防護工の施工実績について報告する．

The World's First Freezing Method Using Liquefied Carbon Dioxide Adopted for Protection at TBM Arrival — Ishikari Bay New Port Power Plant Discharge Tunnel—

By Daiki Hatakeda, Hokkaido Electric Power Co., Inc.

Hokkaido Electric Power Co. is progressing with the construction of the No.1 Ishikari Bay New Port Power Plant. The discharge tunnel works consist of building a tunnel with an excavation diameter of ϕ5.44m and a segment inner diameter of ϕ4.7m using slurry shield TBM and connecting it to a water outlet that was immersed down to the surface of the seabed.

In preparation for TBM arrival under seabed, we adopted the followings for the tunnel works: constructing and operating a position detection system, developing and installing a TBM excavation management system, assembly management with a circularity automatic measurement system, arrival position investigation and adopting a new freezing method using CO_2 for the purpose of improving the precision of the quality and safety control. This article will report the results of the arrival protection with the new freezing method using CO_2.



写真は放水口側凍結管接続部の状況

面状発熱体シートによるセントル加温養生システム

NETIS登録申請中

■ 特 長

・加温する事でコンクリートの硬化温度を２０％（約５℃）上げる事ができる

・コンクリートの水和反応を促進し脱枠時の必要強度が確保できる

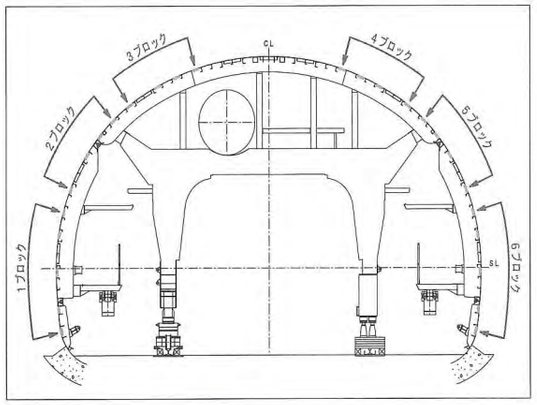
・表面と内部の温度上昇差を小さくし応力によるひび割れが防止できる

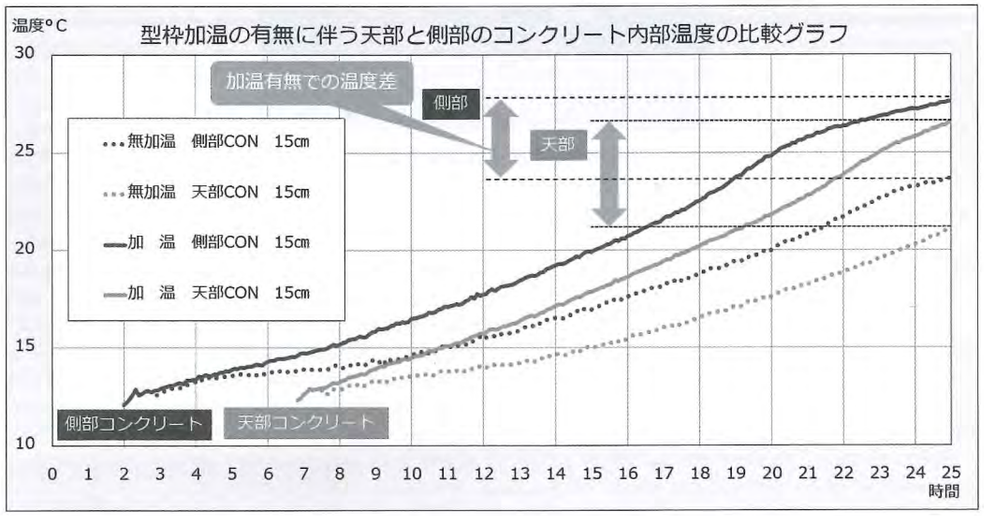
・表面の硬化を促進し表面強度と透気係数などの表層品質が向上し表面剥離が防止できる

・安全性（引火防止）、省人化（作業削減）、環境改善（CO_2減少)に優れている

シート1枚当たりの性能	
名称	規格
面状ヒーター	145×1,310 mm
抵抗値	494Ω ±20%　(396 ～ 592Ω)
電圧	200 V
消費電力	81.0 W
電流	405 mA
漏れ電流	0.10 mA
温度	70 ℃以上
絶縁耐圧	AC 1,500 V　　60 秒
絶縁抵抗	DC 500V　100 MΩ以上







岐阜工業株式会社

営業部本部　岐阜県瑞穂市宮田三舞越199番地
TEL 058-257-1001　FAX 058-257-1011
URL http://www.gifukogyo.co.jp/

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

【製造元】
TECHNO
テクノプロ株式会社

AKT/O Group

巻頭言

（題字　谷口博昭会長）



地下鉄建設の原点

東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部長(本協会評議員)

大石 敬司

昨年12月30日，東洋初の地下鉄として銀座線上野～浅草間が開通してから90周年を迎えた．東京メトロの前身となる東京地下鐵道を設立し，「地下鉄の父」と呼ばれる早川徳次(のりつぐ)氏は，数々の困難を乗り越え，日本初の地下鉄建設というプロジェクトを実現した．

早川氏が「地下鉄」と出会ったのは，1914年，鉄道省の嘱託として視察で訪れたロンドンである．ロンドンで市内に張り巡らされた地下鉄に衝撃を受けた早川氏は，東京に地下鉄を造ることを決意した．しかし，ロンドンに行っていた日本の学者や技術者からは，「東京は，昔，海であったから地盤が軟弱だ．莫大な建設費がいる．」と，口をそろえて反対された．しかし，早川氏は「私は，これらの意見によって，決して悲観しなかった．必要なことは，いつか必ず実現する．必要は，不可能なことすら可能に変えていく．この簡単な信条が私の頭脳に結論となり，確信となり，ついに信念となって，大勇猛心をふるいおこさせたのである」と述べている．

そんな早川氏の夢を実現するため，日本人が誰も経験したことのない地下鉄工事を中心となって進めたのが５人の土木技術者であった．

1920年に設立した東京地下鐵道の初代社長，古市公威(きみたけ)氏もその一人である．古市氏は，日本の近代土木工学の礎を築き，土木学会の初代会長も務め，幅広い人脈を生かして技術者の招聘などに尽力した．

1924年，２代目の社長となった野村龍太郎氏は，鉄道技師として東海道本線の建設に携わり，その後，鉄道院副総裁，南満州鉄道総裁などを歴任した土木界の重鎮であるが，社長に就任したのち，直ちに国内外から技術者を招聘し，日本初の地下鉄建設を推進する体制づくりを進めた．

野村は，技術顧問としてドイツのシーメンス・バウ・ユニオン社の技師，ルードルフ・ブリスケ氏を招聘．ベルリンの地下鉄建設の経験を買われたブリスケ氏は，未知の分野だった地下鉄工事を技術面で指導し，上野～浅草間の開業まで日本人技術者の育成に貢献した．

さらに，遠武勇熊氏が技師長に就任し，建設工事の陣頭指揮を執った．遠武氏は，鉄道院の技師として500kmキロ近くの建設工事に携わり，数々のトンネル，橋梁を手掛けた実績を持ち，その経験と知識を社長の野村氏が高く評価していた人物である．

その後，1925年には，遠武氏とともに建設工事を指揮・監督する建設課長に，愛甲勇吉氏を招聘．鉄道技師として山手線・中央線改良工事など，多くの経験を持ち，秋田建設事務所長を務めていた愛甲氏は，技術面だけでなく経営実務全般にその手腕を発揮していた．

こうして，5人の土木技術者を中心に，日本初の地下鉄建設を遂行する陣容が整い，着工からわずか2年3か月での開業を成し遂げた．後に早川氏が社員教育のために著した「社員讀本」の巻頭言には，「およそ如何なる世にも，仕事をするに大切なるものは人である．一も人，二も人，三も人であると思ふ．殊に大切なのは人の和である．協力一致の精神である」と述べている．

東京地下鐵道の上野～浅草間の工事着手からトンネルの完成に至るまでの記録映画を大倉土木(現在の大成建設(株))が残していた．この映画には，当時，国内外の英知を結集し，最先端の技術を駆使して地下鉄が建設されてゆく様子が記録されている．90周年の節目に，無声映画であったこの映像をベースに，地下鉄建設に尽力した5人の土木技術者を紹介するとともに，創業者早川徳次氏の想いなどを加え，新たな作品『東京地下鐵道工事乃実況で振り返る日本初の地下鉄建設』を土木学会と共同で製作した．この製作を通して，今回，地下鉄建設の軌跡と先人たちが懸けた情熱を振り返り，「原点」を再認識することで自己を確認する良い機会となった．とくに思い出されたことは，新線建設の時代から先輩方によく言われたことは，「早く，安く，良い品質のトンネルを建設する」という教えである．

現在，私の部署では，東西線の輸送改善や銀座線渋谷駅の移設，日比谷線虎ノ門新駅(仮称)の整備，全駅へのエレベーター1ルート整備といった数多くのプロジェクトを約束した期限までに完成させなければならない．これらのプロジェクトで，最近，仮設工事が過剰と感じるところがあるので，安全を第一に最適な設計を目指し，技術開発や新工法の採用に今後も挑戦することが大切であると考えている．また，今後は都市開発との連携や成熟した街を新たに結ぶ鉄道ネットワークが重要視される時代となっている．これらを実現するためにも地下鉄黎明期に土木技術者たちが培った建設技術を生かし，早川徳次氏の「一致協力と和の精神」を受け継ぎながら，首都東京の都市機能を支えるという課せられた役割を果たしていきたいと思う．

施工

既設トンネルから分岐した迂回トンネルにより地すべりを回避

—国道445号　瀬目トンネル—

熊本県土木部土木技術管理課主幹　山本清孝
熊本県県南広域本部球磨地域振興局主幹　立道秀一
戸田建設(株)九州支店土木工事部工事室作業所長　中藤英樹
戸田建設(株)九州支店土木工事部工事室工事主任　金本淳史

1　はじめに

瀬目トンネルを有する国道445号は，熊本市から人吉市に至る主要幹線道路(緊急輸送道路)であり，とくに五木村においては地域産業と住民生活を支える重要な基幹道路である(図-1参照)．瀬目トンネルは，1993(平成5)年7月から1995(平成7)年10月の間で川辺川ダム建設事業に伴い水没する旧国道445号((現)五木村道)の付替え道路として建設され供用が開始されたが，2000(平成12)年10月に地すべりの影響と思われるトンネル側壁コンクリートのひび割れ，剥離が発見されたため，道路管理者により調査，点検，応急対策が実施されてきた．これに伴い，高度で広範囲な専門知識を有する学識経験者，専門家などによる検討委員会が設置され，度重なる検討の結果，将来にわたって通行の安全性を確保するためには新たにトンネルを構築することが必要との結論に至った．



図-1　瀬目トンネル位置

本工事は，上記委員会の結論にもとづいて計画された迂回トンネルの線形により，既設トンネルの途中から分岐して新たなトンネルをNATMで構築するものであり，本稿では調査，設計，施工に関する概要を報告する．

2　既設トンネル

既設瀬目トンネルの断面図を図-2に，平面図を図-3に示す．当時，各種調査で把握されていた層厚40m級の地すべりの影響に配慮し，トンネルルートでこの地すべりを回避する案が採用されている．また，一般的には地すべり層とトンネルの離隔を2D程度とするケースが多いが，安全側を採用し3D以上離隔を取った位置にトンネルが設けられていた．

3　地　質　概　要

瀬目トンネル周辺の地質は，中生代白亜紀～新生代第三紀の四万十帯分布域に位置し，基盤岩は主に砂岩，砂岩・粘板岩互層，凝灰岩で構成される．

とくに，砂岩・粘板岩互層が広範囲に分布しており，詳細な地質調査結果から，凝灰岩層は北側（五木村側）の低標高部から南側（人吉市側）の高標高部にかけて連続して分布し鍵層となっている．層理面はおおむね東北東–西南西走向で，北側（上流側）へ40～60°で傾斜している（図-4，表-1参照）．

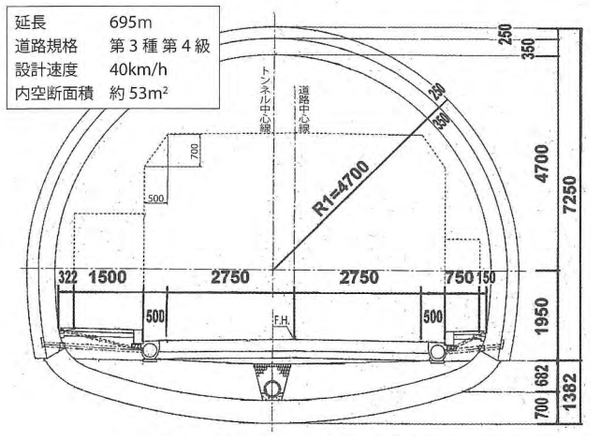


図-2　既設瀬目トンネル断面図

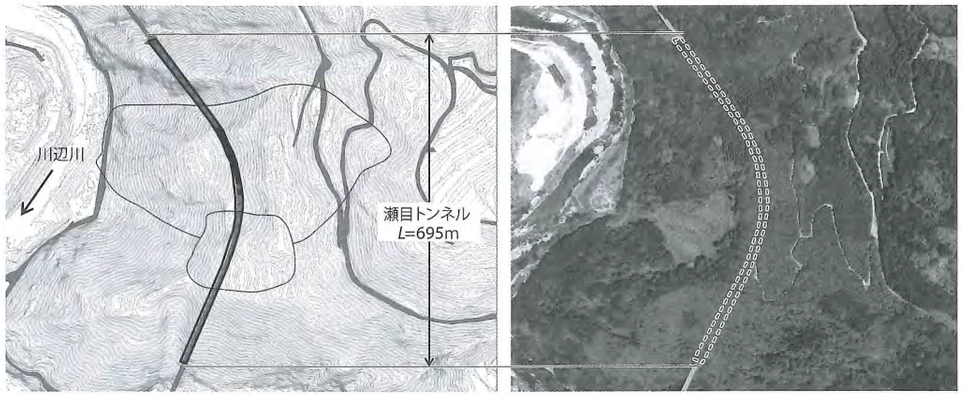


図-3　既設瀬目トンネル平面図

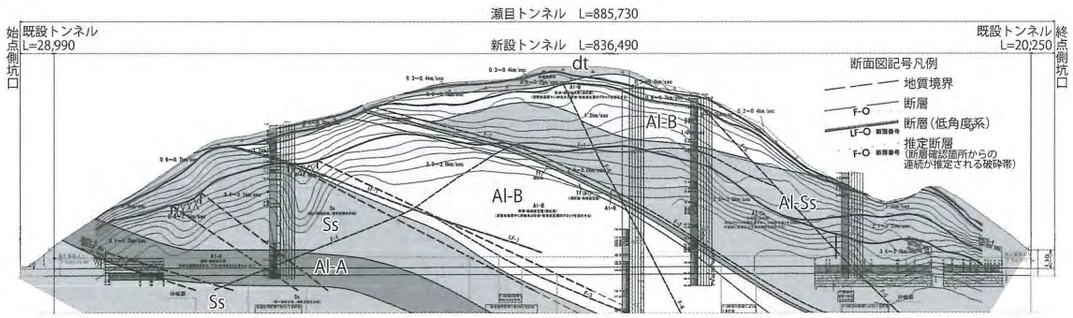


図-4　トンネル地質縦断図

4　既設トンネルの変状

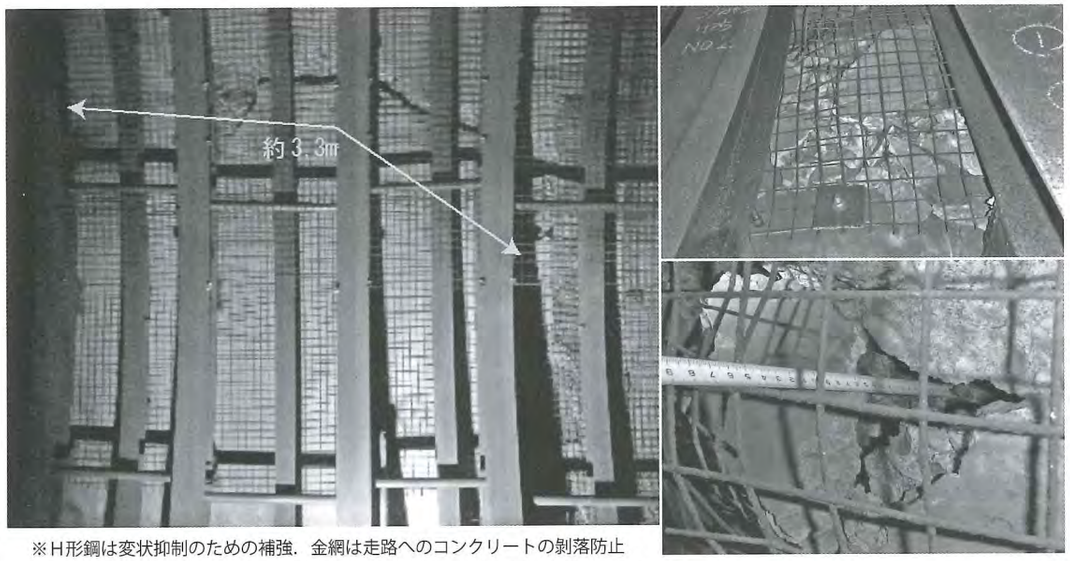
瀬目トンネルは供用開始後の2000（平成12）年10月に終点側坑口から約280mの地点となる，覆工41スパン目の左側（谷側）の側壁部にコンクリートの変状が発見された．その後，周辺のスパンにもひび割れ，剝落が順次拡大してゆき，道路管理者である熊本県により，金網，補強支保工（H形鋼）の設置（写真-1参照），水抜きボーリングなどの応急対策が実施され，巡視，点検，変状

表-1　地質層序表

時代			地層名		記号	岩相・層相	
新生代	第四紀	完新世	盛　土		ba	礫・砂・シルト	
			崖錐堆積層	土石流堆積物	dt	砂礫主体（沢部に分布）	
				崖錐堆積物		礫・砂・シルト（斜面崩落起源）	
				崩積土堆積物		崩積土砂・移動土塊（礫混じり土砂主体）	
			現河床堆積層		rd	砂礫	
		更新世	段丘堆積層		tr	砂礫	
			阿蘇4火砕流堆積物		Wt	中～弱溶結凝灰岩	
中生代	白亜紀	四万十帯	諸塚層群		Ss	粗粒～細粒砂岩	
					Sl	粘板岩	
					Al-A	互層A（整然相）	砂岩・粘板岩互層
					Al-B	互層B（混在相・破断相）	砂岩・粘板岩互層（粘板岩中に砂岩ブロック・互層Aブロックを含む）※砂岩ブロックは、b-Ssで示す。
					Ch	チャート（互層）	チャート・粘板岩互層
					Tf(Al)	凝灰岩（互層）	凝灰岩・粘板岩互層
					Tf	凝灰岩	
					Rs	赤色頁岩	

などの調査が行われた．表-2に対策の一覧を，表-3に調査ボーリング一覧を示す．

調査により，トンネル断面は山側上方より谷側下方へ押し出される傾向が確認されている．また，緩慢な地盤の変位も継続して観測されており，委員会において変状発生原因は，「トンネルの一部にすべり面が接していることが原因である可能性が高い」と判断され，瀬目トンネルに影響を与えている地すべりは，幅約310m，長さ約555m，層厚約100mと非常に大規模であることが特定された．図-5にトンネルと地すべり層の位置関係を示す．



※H形鋼は変状抑制のための補強．金網は走路へのコンクリートの剝落防止

写真-1　既設トンネルの被災状況

表-2　変状対応一覧

実施機関	項　目	内　容
共　同	瀬目トンネル検討委員会などでの検討 監視体制の確保	・「瀬目トンネル検討委員会」を設立 ・監視体制の確保（国土交通省による監視システムの構築）
国土交通省	変状調査・観測・測量の実施 恒久対策の検討	・瀬目トンネル内外（野々脇地区）に孔内傾斜計，自記水位計などの観測を実施 ・瀬目トンネル内外での測量を実施 ・「地盤検討委員会」を設立
熊　本　県	応急対策の実施 変状調査・観測・測量の実施 恒久対策の検討	・支保工（H形鋼），金網設置，集水ボーリング工の実施 ・2009年１月以降，トンネル内外の調査・観測を実施 ・国土交通省から引き継ぎ「瀬目トンネル検討委員会・地盤検討委員会」の運営

表-3　調査ボーリング，計測一覧

ボーリング品質	方向	削孔径（mm）	本数	削孔延長計（m）	設置計器	実施年度
通　常	鉛直	φ66 φ86	19	1,859.50	孔内傾斜計 垂直伸縮計 多段式傾斜計 水圧式水位計	2001年度 ～ 2008年度
高品質	鉛直	φ86	13	1,612		
通　常	鉛直	φ86	2	220	孔内傾斜計 多段式傾斜計	2013年度 2014年度
	水平	φ86	2	100		
高品質	鉛直	φ86	5	870		
	水平	φ86	2	200		
合　計			43	4,861.50		

表-4　抜本的対策工法比較案

1.地すべり対策（対策による復旧）	案 1-1	集水井工＋押え盛土工＋河川付替え（PF_s=1.20）
	案 1-2	切土工＋押え盛土工＋河川付替え（PF_s=1.20）
	案 1-3	シャフト工（PF_s=1.20）
	案 1-4	押え盛土工＋河川付替え（PF_s=1.20）
2.地すべり回避（ルート変更による復旧）	案 2-1	迂回トンネルルート
	案 2-2	現況トンネル迂回ルート（道路新設＋橋梁）
	案 2-3	歎願道路利用ルート（橋梁＋現道拡幅＋橋梁）

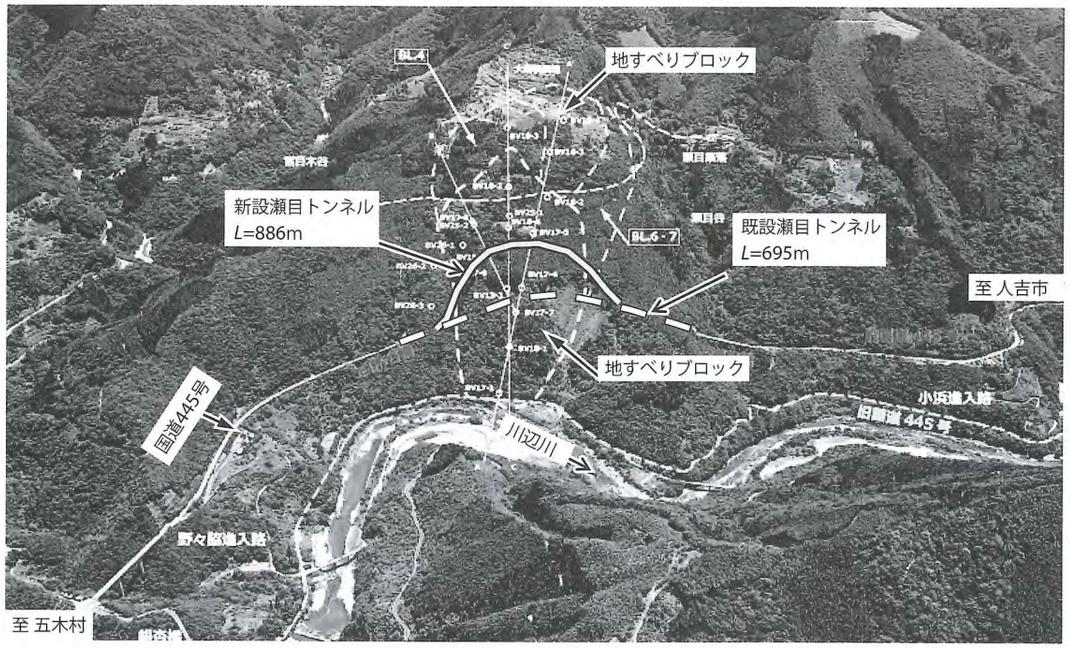


図-5　トンネルと地すべりの位置関係図

5　迂回トンネルの採用およびルート選定

被災したトンネルの抜本的対策として表-4に示す比較，検討を実施した結果，地すべり活動を停止させる規模の対策を実施する場合，地すべり規模が非常に大きいため，案 1-1～1-4 の 4 案では，工費，工期，周辺環境への影響の面から課題が多く，採用は難しいとの判断に至った．そこで，地すべりを回避する方針とし，案 2-1～2-3 の 3 案の中から，経済的かつ短期間で工事完了が見込まれる案 2-1 の迂回トンネルルート案を採用することとした．

迂回トンネルのルート選定では，一般的にすべり面からの離隔を 2D 以上とすることが目安とされているが，本トンネルでは委員会での提言をもとにすべり面からの離隔だけでなく，地すべりの影響範囲や将来地すべりに発展する可能性のある弱面層（Sh-4 層）を回避できるルートが採用された（図-6，7参照）．

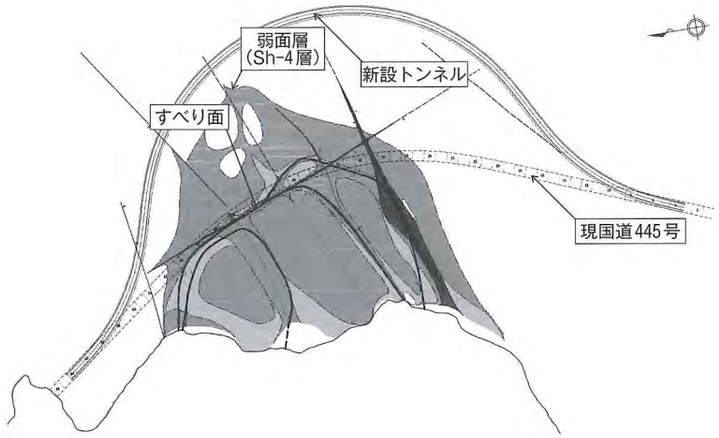


図-6　迂回トンネルルート平面図

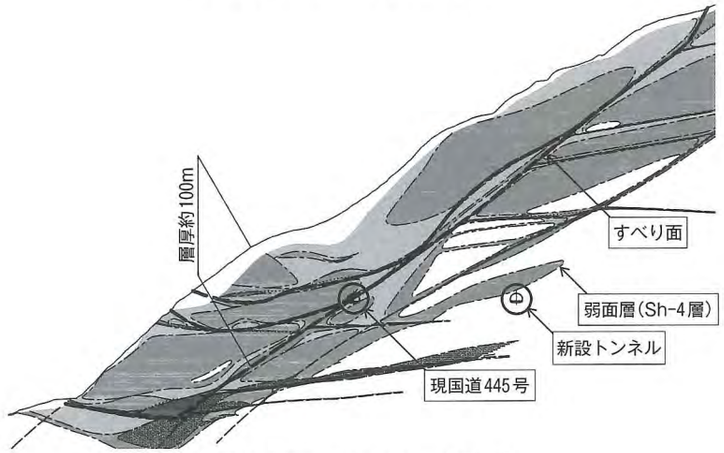


図-7　迂回トンネルルート断面図

6　既設トンネル坑内で分岐するトンネル掘削

6-1　新設トンネルの線形設定

既設の瀬目トンネルは両坑口部に近接してそれぞれ橋梁区間があり，新たに坑口を付け替えることは，橋梁区間の再構築や，大幅なトンネル延長の増加につながり，工期，工費の面で大変不利となる．よって，以下の条件に沿って，線形計画がなされた．

・平面線形は起点，終点の坑口位置を変更しないこととする．
・地すべりの影響を受けない位置としたうえで，できるだけ現況平面曲線径の R = 280m に近い R = 190m で新線形を計画し，両側をS字線形で現況坑口部に摺り付ける形状とする．

これらの検討の結果，決定した計画平面図を図-8に示す．なお，新設トンネルの工事については，供用中の国道を工事期間中，通行止めとせざるを得ないことから，通行止め期間を短くする目的で，起点，終点両方向からの迎え掘りによる計画とした．

6-2　既設トンネルからの分岐施工

トンネル内から分岐するトンネルの施工方法としては，大きく分けて以下の 2 案が考えられる．

① 既設トンネルに拡幅断面を設け新設トンネルを発進する方法．
② 既設トンネル内を埋め戻し，地山状態に戻してから新設トンネルを施工する方法．

①案の拡幅工法では 2 トンネル分を抱合する掘削断面が必要であり，新設トンネルの標準断面の約 4 倍となるため，工費のほか施工性，安全面で不利となる．また，この工法は現況の通行を確保しなければならない場合に採用されることが多く，本工事では既設トンネルを全面通行止めとして作業できる（迂回路が確保できる）こと，施工時の安全性が高いことや施工事例もあることなどから，②案の既設トンネルの充填閉塞方法が採用された（図-9参照）．

人工地山を構築する分岐部は新設トンネルの安全な施工と，既設トンネルへの影響を考慮した構造とする必要がある．既設トンネルは将来的にも

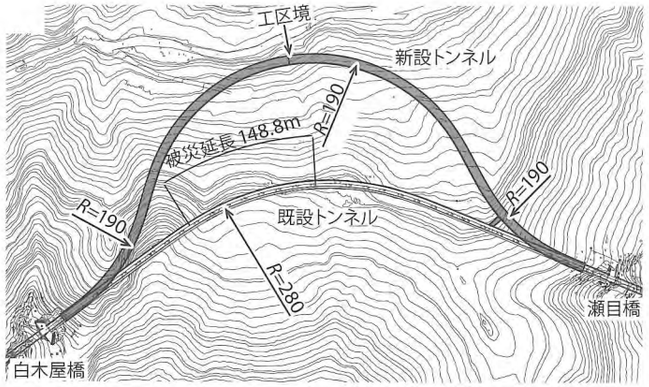


図-8　新設トンネル計画平面図

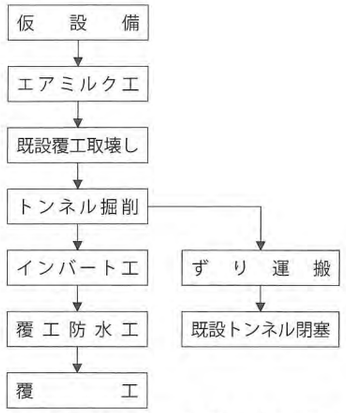


図-10　迂回トンネル施工フロー図

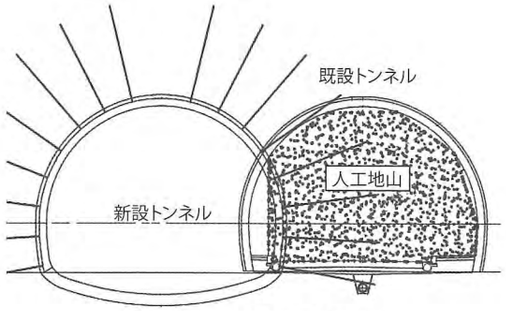


図-9　人工地山閉塞計画図



写真-2　分岐部充填閉塞完了全景

供用がないことを考慮し，両トンネル間の壁面間隔で1D(≒10.3m)が確保できるまでの区間を分岐部とし，既設トンネルの充填閉塞を行った．使用する閉塞材は土砂，砕石などでは均等な転圧が困難であり，掘削時の天端および切羽の安定が期待できないことからエアミルク(1,000kN/m^{2}程度)を採用した(図-10，写真-2)．

6-3　既設トンネル覆工コンクリートの取壊し

エアミルク充填による人工地山の構築後，起点，終点側の分岐部において1,300kg級の油圧ブレーカを用いて既設トンネルの覆工コンクリート取壊しを実施した．

取壊しの面積は約4,500m^{2}であり，取壊し後の防水シートの状態を確認したところ，コンクリートの充填圧力で発生したと思われる防水シートの破損が随所に確認された．とくに，ロックボルト頭部の突出，支保工の角部，支保工の底板，吹付けコンクリートの凹凸において防水シートの破れが顕著であった．当時のロックボルト頭部には四角の突起物がついており，吹付けコンクリート表面からの突出量が大きく，防水シートが破れやすい状況にあった(写真-3)．ロックボルト頭部は不織布のみで覆われ，ロックボルトカバーは設置されていないことも防水シート損傷の大きな要因であったと思われる．また，支保工の底板やH形鋼の接合部，端部など，吹付け面から鋭利な鋼材が露出する部位や，吹付けコンクリートに細かな凹凸(団子状)がある部分は，防水シートが破れやすい状況になることが確認できた．

6-4　分岐部のトンネル掘削

分岐部とされる既設トンネルと新設トンネルの交差区間では，既設トンネルの鋼製支保工，吹付けコンクリートおよび覆工コンクリートに加えて，今回造成したエアミルクによる人工地山などの構築物と，地山を同時に掘削しながら新たにトンネル支保を構築することとなる．また，人工地山の掘削量を低減するため，分岐部断面の中央部分は空洞が残るような複雑な断面となっている(写真-4参照)．

このような条件下では，新設トンネルの掘削による地山荷重の発生位置が不均一なため，支保工に作用する応力が局所的に大きくなり，変状が生じることが懸念された．そこで，過大な土圧が生じた場合でも確実に地山を支持し，変位の拡大を抑制するため，H-125からH-150にランクアップした高規格鋼製支保工(HH-154)を採用した．

掘削施工中に，亀裂への流入粘土の介在や，粘土化した頁岩層の出現により切羽が不安定となる状況もみられたが，前述の対策による効果と既設トンネルから施工されていたロックボルトが地山補強ボルトとして機能したこともあり，大きな変位，変状を発生させることなく分岐部を通過することができた．

7　既設トンネル内部の閉塞工

7-1　既設トンネルへの作業坑の設置

新設トンネルの施工により残置されることとなる既設トンネルは，分岐部を除く大半のトンネル区間の内空が永久に空洞となるため，さらなる地すべり変形の進行による崩壊や，地下水などの滞留によって，新設トンネルに悪影響を及ぼすことが懸念された．このため，切羽で発生する掘削残土を用いて内空の埋戻しを行う閉塞工を実施した．

既設トンネルの埋戻しに際して，新設トンネル内から既設トンネルへ作業坑を設置し，工事用車両の走路を確保した．作業坑の設置にあたっては地山状況を見定めたうえで，作業坑延長が短くなるように，既設トンネルとの分岐部に近い位置を選定した(図-11参照)．

作業坑の掘削に際して，トンネル断面形状の変化により地山荷重が支保に均等に作用せず，局所的に過大な地山荷重がトンネルに作用することも懸念されたことから，周辺地山の安定性および作業坑の安全性を確保するため，作業坑設置範囲(全幅D=4m)とその前後の2D(8m)区間に長尺ロックボルト(耐力176.5kN以上，L=6m)を事前に追加打設した．



写真-3　防水シート破損状況



写真-4　分岐部の掘削状況

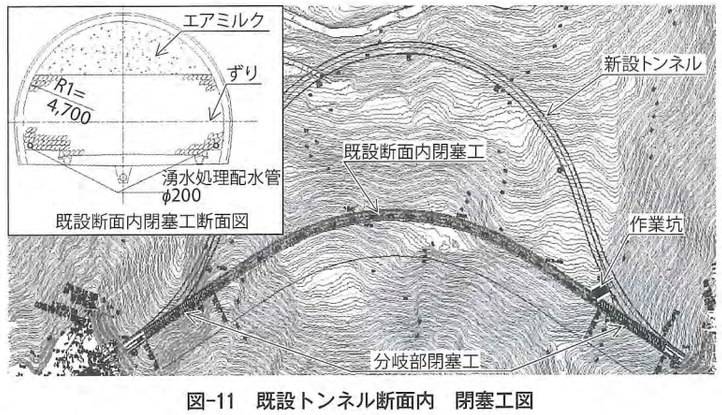


図-11　既設トンネル断面内　閉塞工図

作業坑の掘削においては該当地山がＣⅡであったこともあり地山状況も良好で，長尺ロックボルトによる補強効果も加わり，安全に掘削を進めることができた．

7-2　既設トンネル内部の埋戻し

既設トンネル内部への土砂の運搬は，トンネル掘削の10tダンプを使用し，切羽で発生したずりを直送するもので，運搬後，バックホウとブルドーザにて敷均しを実施した．

ずりによる埋戻しは重機作業が可能なトンネル天端から2.5m下までの部分とし，それより上部の残存部分については，転圧が不要で，確実な充填が可能なエアミルクを用いて閉塞を行った．

トンネルずりの上に直接エアミルクを施工した場合，ずりの空隙部へのエアミルクの浸透により，過大な施工ロスの発生が想定される．ずりの空隙率をもとに試算したところ，エアミルクのロス率は設計の185％となり，工費，工期の増大へとつながるため，対策としてずり充填部とエアミルクとの境界部分にブルーシートを敷設し，ずり盛土内部へのエアミルクの浸透防止を図った．

8　おわりに

本稿では迂回トンネルの施工にあたり，既設トンネル坑内からの分岐施工の手法について記載した．一連の手法を採用した結果，工期，工費ともに計画どおりの完成につながった．

また，トンネル施工においても，入念な地質調査が実施されていたこともあり，支保パターンの大きな変更もなく，安全に掘削作業が進められたと考えている．

本件は，地すべり変状を受けたトンネルの災害復旧であったが，同種の災害対策工事や既存トンネルの老朽化に伴うトンネルの新設工事は今後も想定され，既設トンネルの一部を再利用しつつ新たにトンネルを構築する本工事での施工手法は工期，経済性において有効な施工手法であると考えられる．既設トンネルを取り壊す際には，鋼製支保工，ロックボルトを切断する作業が発生し，一次吹付けを施してはいるが，鏡面の下での危険な作業が伴うため，これらの作業をより安全に行うための機械や施工方法の改善が今後一層求められる．

最後に，瀬目トンネル検討委員会，地盤検討委員会の委員の皆様からは，多くの助言，指導をいただき厚くお礼を申し上げます．また，本工事に関係したすべての皆様に感謝の意を表します．

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
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

付加体からなる四万十帯をトンネル群にて貫く

—国道56号片坂バイパス　拳ノ川トンネルほか—

国土交通省四国地方整備局中村河川国道事務所建設監督官　南原道昭
西松建設(株)四国支店拳ノ川トンネル出張所現場代理人　吉田正樹
西松建設(株)四国支店拳ノ川トンネル出張所監理技術者　鬼頭夏樹
西松建設(株)土木設計部設計２課副課長　鈴木健

1　はじめに

国道56号片坂バイパスは，高知県高岡郡四万十町金上野（きんじょうの）から幡多郡黒潮町拳ノ川（こぶしのかわ）までの延長約6.1kmの自動車専用道路である．国道56号片坂地区は，急カーブ（R＝80m以下７か所）と急勾配（最急縦断勾配7％）の連続により事故危険箇所となっているとともに，落石や法面崩壊などの災害危険箇所となっており，災害時の危険箇所の回避および南海地震・東南海地震に備えるための代替路線として整備が進められている．この事業により，安全で円滑な通行が可能となり，将来は四国８の字ネットワークの一端を担うとともに，高知西南地域における地域間交流の活性化に寄与することが期待されている（図-1）．

片坂バイパスには，起点側（高知市側）より「金



図-1　四国８の字ネットワーク

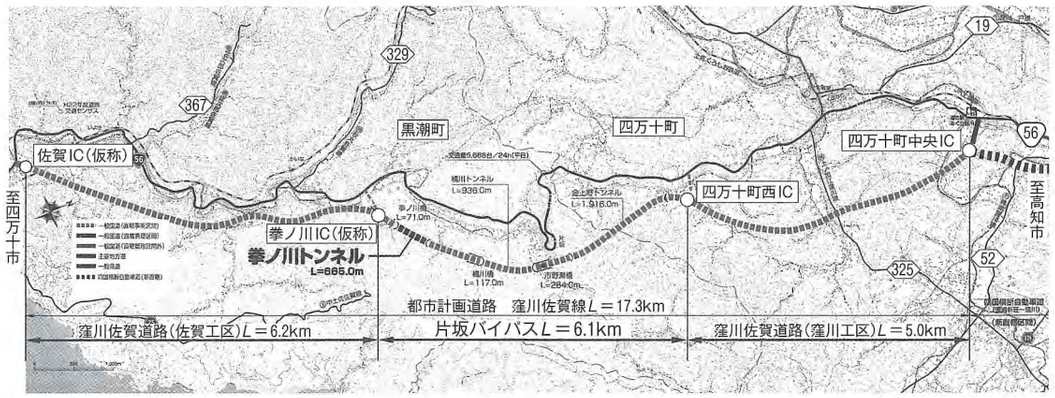


図-2　片坂バイパス全体図

上野トンネル」「橘川（たちばながわ）トンネル」および「拳ノ川トンネル」の計3本のトンネルが計画されており(図-2)，本稿では，もっとも終点側に位置する拳ノ川トンネルを中心に，同じ地質帯に属する，ほかの2本のトンネルの施工実績も踏まえながら報告する．

2　工事概要

片坂バイパスにおける3本のトンネルの工事概要を表-1に示す．

バイパスは尾根と沢が連続した山間部を貫くように計画されており，3トンネルの延長の合計は約3.5kmとなり，バイパス総延長約6.1kmの約60%を占める．トンネルはもっとも起点側に位置する金上野トンネルより順次発注，施工を実施した．

金上野トンネルおよび橘川トンネルには，路線全体での配置計画により非常駐車帯区間が設けられた．

一方，拳ノ川トンネルは設計変更により，トンネル終点側に中央分離帯の設置が追加されたため，終点側坑口部$L=57$m区間が拡幅断面に変更された(図-3)．

3　地形および地質概要

当該地域は四国南部の太平洋沿岸部に位置する．四国では北部に東北東-西南西方向の中央構造線が存在し，中央構造線の南側には急峻な四国山地が中央構造線と同方向に伸びている．四国山地は瀬戸内側と太平洋側の分水界をなす脊梁山地であり，北部に標高1,400mを超す高い山が連なる．また，中央構造線と同方向の谷が多く刻まれているが，大局的には南部ほど標高が低くなる傾向がある．また，当山地は太平洋沿岸部まで続き，沿岸部での平野の発達は少ない．

片坂バイパス周辺は標高200～400mの山地であり，対象地域周辺は隆起した地形面が強い浸食を受け形成された地形区で全体に山頂や稜線が狭く尖った山体形状を呈する．斜面は急峻であり，尾根から山麓までおおむね一様な傾斜を示す．

また，四国の地質は全体に東西の帯状配列をなし，中央構造線を境に北側を西南日本内帯，南側を西南日本外帯に区分される．西南日本外帯はさらに，北から三波川帯，秩父帯，四万十帯に区分され，対象地域は四万十帯に属する．

四万十帯は，白亜紀～古第三紀の砂岩，泥岩を主体とする付加体の堆積物であり，メランジュと呼ばれる砂岩，泥岩，チャート，石灰岩，玄武岩，凝灰岩の混在層を挟んでおり，四万十帯におけるトンネル掘削時の変状事例は多く報告されている．

4　各トンネルの設計・施工上の特色

ここでは各トンネルにおける設計・施工上の特色および施工実績について記載する．

表-1　各トンネル工事概要

工事名	平成24-27年度　金上野トンネル工事	平成25-27年度　橘川トンネル工事	平成26-28年度　拳ノ川トンネル工事
施工者	(株)安藤・間	(株)鴻池組	西松建設(株)
施工場所	高知県高岡郡四万十町金上野（いちのせ）～ 高知県幡多郡黒潮町市野瀬	高知県幡多郡黒潮町市野瀬～ 高知県幡多郡黒潮町橘川	高知県幡多郡黒潮町橘川～ 高知県幡多郡黒潮町拳ノ川
工期	2012(平成24)年7月19日～ 2016(平成28)年3月25日	2012(平成25)年10月1日～ 2015(平成27)年9月30日	2015(平成27)年1月29日～ 2017(平成29)年8月31日
トンネル延長	$L=1{,}916$m	$L=936$m	$L=665$m
掘削断面積	87.3～106.4m^2	86.3～104.8m^2	84.4～100.4m^2
掘削方式	発破掘削方式	発破掘削方式	発破掘削方式
運搬方式	タイヤ方式	タイヤ方式	タイヤ方式
主な地質	四万十帯野々川層砂岩・頁岩	四万十帯須崎層砂岩・頁岩	四万十帯中村層群砂岩・泥岩
最大土かぶり	約270m	約170m	約80m

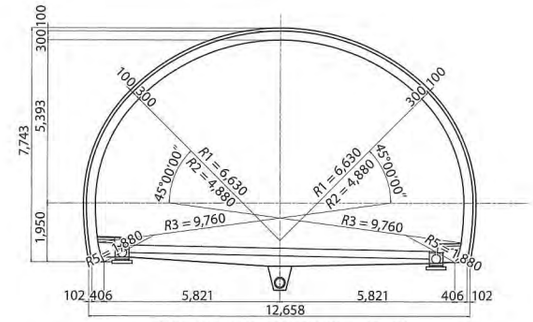


図-3　標準断面図

4-1　金上野トンネル

地質は砂岩・頁岩互層を呈しており，既往ボーリング調査結果により高い地下水位が確認され，集中湧水の可能性が懸念されていた．また，起点側坑口には土かぶり1.5m以下でトンネル上部に町道が供用されており，掘削時の補助工法としてセメント系注入材による注入式長尺鋼管フォアパイリングが設計された．掘削は起点側坑口より約300m区間が上り勾配での施工となり，それ以深は4%の下り勾配での掘削であった．

実際の掘削においては，TD200m付近より湧水量が増加し，TD1,250m付近では最大120t/h程度まで湧水量が増加したため(図-4)，随時，濁水処理設備の増設を行うとともに，ロックボルトには鋼管膨張型ロックボルトを採用した．下り勾配における大量湧水下での施工となり，排水処理に苦労を要したが，約30か月(平均月進65m程度)かけて掘削が完了した．

当初設計および施工時に実施した支保パターンの比較を表-2，掘削時の補助工法の比較を表-3，計測工Aにおける内空変位の管理基準値および最大変位量を表-4に示す．

実施工においては，CIパターンをすべてCⅡ-bパターンに変更して施工した．これは，岩質的には比較的硬質であったが，亀裂が発達しているとともに，湧水の増加による影響も確認されたため，支保パターンのランクを重くして施工した．なお，掘削時の補助工法については，注入材を変更したのみで当初設計どおりの施工を行った．

内空変位量については，DIパターンの天端

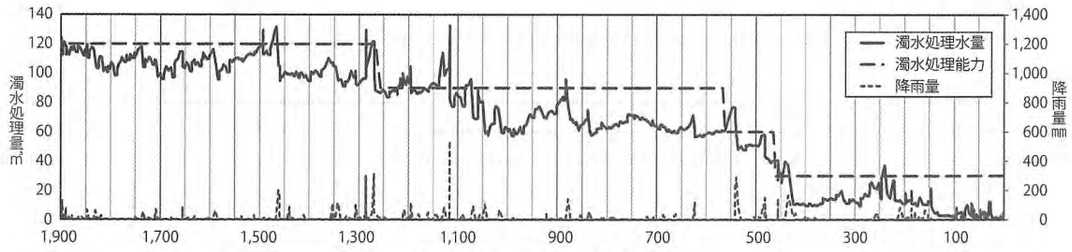


図-4　濁水処理水量の推移

表-2 支保パターン比較(金上野トンネル)

支保パターン	当初設計		実施施工	
	延長(m)	割合(%)	延長(m)	割合(%)
CI	333.0	17.5	0.0	0.0
CII-b	1,248.0	65.5	1,581.0	83.0
DI-b	262.0	13.8	262.0	13.8
DIIIa	61.8	3.2	61.8	3.2
計	1,904.8	100.0	1,904.8	100.0
坑門工	11.2		11.2	
合計	1,916.0		1,916.0	

表-3 補助工法比較(金上野トンネル)

掘削補助工	当初設計		実施施工	
	延長(m)	割合(%)	延長(m)	割合(%)
長尺鋼管フォアパイリング	61.8	100	61.8	100

表-4 管理基準値および最大変位量(金上野トンネル)

支保パターン	内空変位 管理基準値(mm)			最大変位量(mm)
	管理レベルI	管理レベルII	管理レベルIII	
CI	9.6(4.8)	19.4(9.7)	29.0(14.5)	—
CII	12.2(6.1)	24.6(12.3)	36.8(18.4)	11.8(12.1)
DI	16.8(8.4)	33.8(16.9)	50.6(25.3)	23.8(25.3)
DIIIa	33.2(16.6)	66.2(33.1)	99.4(49.7)	15.1(12.9)

※( )内の数字は天端沈下量を示す.

沈下量において管理レベルIIIが確認されたが，顕著な破砕帯や大きな変状はなかった.

4-2 橘川トンネル

地質は砂岩，頁岩および砂岩・頁岩互層で構成され，透水性が高い砂岩分布域や砂岩と頁岩の境界に形成された破砕帯などでは一時的な湧水の発生が懸念されていた．また，終点側坑口部では，トンネル計画路線と地層の走行がほぼ平行しており，砂岩と頁岩の岩層境界の劣化部が連続してトンネル断面に出現することが想定された.

掘削は終点側坑口より3％の上り勾配での施工となり，天端崩壊が懸念される両坑口部には掘削時の補助工法としてセメント系注入材による注入式長尺鋼管フォアパイリングが設計された．実際の掘削においては，終点側坑口より30m付近にて，砂岩と頁岩の岩層境界における劣化部が出現し，



写真-1 TD30m付近における崩落状況

集中湧水とともに約30m³程度の崩落が発生した(写真-1)．この対策として，鏡吹付けおよび注入式長尺鋼管フォアパイリングの追加施工を実施している.

その後，湧水量は60t/h近くまで増加したが，当初より濁水処理設備については60m³/hの仕様で設計されていたため，増設などの対応を行うことなく，約13か月(平均月進70m程度)かけて掘削が完了した．本トンネルにおいても，湧水区間のロックボルトには，金上野トンネルの実績を踏まえて鋼管膨張型ロックボルトを採用した.

当初設計および施工時に実施した支保パターンの比較を表-5，掘削時の補助工法の比較を表-6，計測工Aにおける内空変位の管理基準値および最大変位量を表-7に示す.

実施工においては，CIパターンをCII-bパターンやDI-bパターンに変更して施工した．また，CII-bパターンにおいても一部DI-bパターンに変更して施工している．掘削時の補助工法については，注入材を変更するとともに，終点側の崩落箇所の対応もあり，注入式フォアポーリングから注入式長尺鋼管フォアパイリングへの変更に加え，一部注入式長尺鋼管フォアパイリングを追加施工した．内空変位量については，CII-bパターンにおいて管理レベルIIIが確認された.

4-3 拳ノ川トンネル

地質は砂岩・泥岩互層を主体とし，トンネルの途中に土かぶり1.5D未満かつ断層を有する小土かぶり部の存在が確認されていた．また，空中電

表-5 支保パターン比較(橘川トンネル)

支保パターン	当初設計		実施施工	
	延長(m)	割合(%)	延長(m)	割合(%)
CI	54.0	5.8	0.0	0.0
CII-b	564.6	60.4	456.8	48.9
DI-b	215.0	23.0	376.8	40.3
DIIIa	101.3	10.8	101.3	10.8
計	934.9	100.0	934.9	100.0
坑門工	1.1		1.1	
合計	936.0		936.0	

表-6 補助工法比較(橘川トンネル)

掘削補助工	当初設計		実施施工	
	延長(m)	割合(%)	延長(m)	割合(%)
注入式フォアポーリング	47.3	58.9	0.0	0.0
長尺鋼管フォアパイリング	33.0	41.1	96.3	100.0
計	80.3	100.0	96.3	100.0

表-7 管理基準値および最大変位量(橘川トンネル)

支保パターン	内空変位 管理基準値(mm)			最大変位量(mm)
	管理レベルI	管理レベルII	管理レベルIII	
CI	9	12	18	—
CII	12	18	24	25.5(9.6)
DI	24	35	47	19.5(23.1)
DIIIa	68	101	135	8.9(53.3)

※( )内の数字は天端沈下量を示す.

磁探査結果においては，3本のトンネルのうち，もっとも地山条件が悪い結果となっており，露頭レベルで確認できる断層が5条存在すると想定されていた．さらには，終点側坑口部には既往地質調査結果より，緩み土塊が確認されており，掘削時の補助工法としてセメント系注入材による注入式長尺鋼管フォアパイリング(L=20m)が設計された.

掘削は終点側坑口より3％の上り勾配での施工となり，施工時の湧水量は最大で30t/h近くまで増加したが，ほか2トンネルの実績を踏まえ，あらかじめ60m³/h仕様の濁水処理設備を設置していたため，増設などの対応を行うことなく，約12か月(平均月進55m程度)かけて掘削が完了した.

表-8 支保パターン比較(拳ノ川トンネル)

支保パターン	当初設計		実施施工	
	延長(m)	割合(%)	延長(m)	割合(%)
CI	216.0	32.5	162.0	24.4
CII-b	204.0	30.7	258.0	38.9
DI-b	79.0	11.9	79.0	11.9
DIIIa	164.9	24.8	164.9	24.8
計	663.9	100.0	663.9	100.0
坑門工	1.1		1.1	
合計	665.0		665.0	

表-9 補助工法比較(拳ノ川トンネル)

掘削補助工	当初設計		実施施工	
	延長(m)	割合(%)	延長(m)	割合(%)
注入式フォアポーリング	6.0	2.9	0.0	0.0
長尺鋼管フォアパイリング	200.5	97.1	222.5	100.0
計	206.5	100.0	222.5	100.0

表-10 管理基準値および最大変位量(拳ノ川トンネル)

支保パターン	内空変位 管理基準値(mm)			最大変位量(mm)
	管理レベルI	管理レベルII	管理レベルIII	
CI	18(11)	27(17)	36(22)	28.8(19.5)
CII	28(17)	42(25)	56(33)	22.4(16.5)
DI	33(20)	50(29)	66(39)	20.9(15.6)
DIIIa	39(23)	58(35)	77(46)	18.3(12.7)

※( )内の数字は天端沈下量を示す.

当初設計および施工時に実施した支保パターンの比較を表-8，掘削時の補助工法の比較を表-9，計測工Aにおける内空変位の管理基準値および最大変位量を表-10に示す.

実施工においては，CII-bパターンの一部をDI-bパターンに変更して施工した．これは，変位量の増大および切羽の自立性の悪化が確認されたため，支保パターンのランクを重くして施工した．掘削時の補助工法については，注入材を変更するとともに，小土かぶり区間の断層部にて注入式長尺鋼管フォアパイリングを追加施工している．内空変位量については，CII-bパターンの内空変位量および天端沈下量において管理レベルIIが確認された.

5　挙ノ川トンネルにおける施工報告

5-1　終点側坑口部における「緩み土塊」

既往地質調査結果より，終点側坑口部において，弾性波速度や段差地形および旧崩壊の痕跡などから「緩み土塊」の存在が指摘されており，トンネル掘削により地すべりを誘発する可能性が懸念されていた．しかしながら，「緩み土塊」の規模や活動性に関する調査が不足しており，その詳細については不明な点が多かった．そこで，トンネル着手前に追加調査ボーリング（3か所）を実施し，その結果を用いてトンネル着手時の安定解析を行うとともに，実際のトンネル掘削時において動態観測を行った．ボーリング位置平面図および動態観測実施断面図を図-5，6に示す．

安定解析は坑口切土時およびトンネル掘削時の2ケース実施し（図-7），両ケースにおいて長期の計画安全率を確認した．また，上記解析結果より，トンネル掘削時における動態観測の管理基準値を表-11のとおり設定するとともに，各管理レベルにおける管理体制を表-12のとおり設定した．

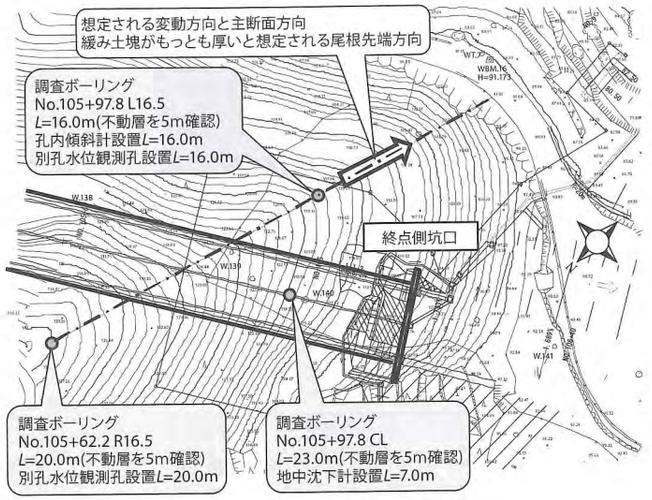


図-5　ボーリング位置平面図

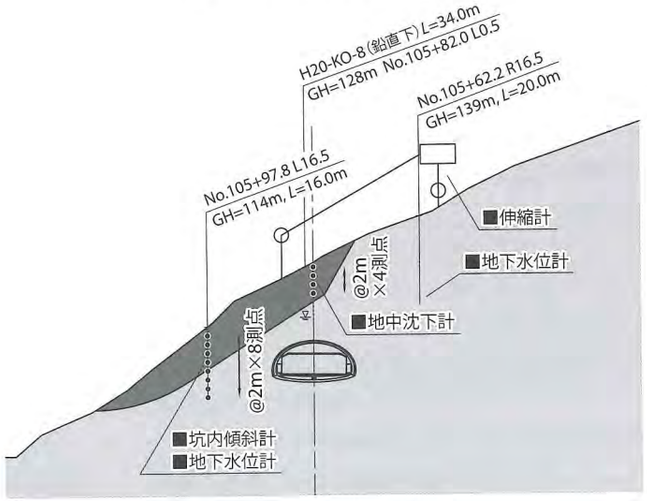


図-6　動態観測実施断面図

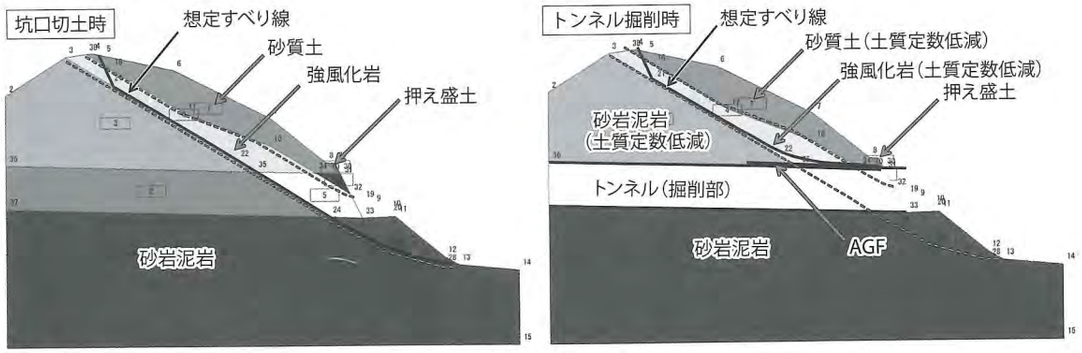


図-7　検討モデル

「緩み土塊」の影響範囲における掘削は機械掘削に変更するとともに，影響範囲の掘削完了後，即座にインバートの施工を実施し，インバートの施工中においても動態観測を継続した．このように慎重な観測施工を行った結果，トンネル掘削時に挙動を示した（図-8）ものの，計測値はすべてレベルⅠ以下で収まり，「緩み土塊」直下でのトンネル掘削を安全に施工することができた．

表-11　動態観測工管理基準値

	管理レベルⅠ（管理レベルⅢ×50%）	管理レベルⅡ（管理レベルⅢ×75%）	管理レベルⅢ
計測値（伸縮計，孔内傾斜計）	3㎜/1日	4㎜/1日	5㎜/1日

表-12　管理体制

管理レベル	管理値（㎜/1日）	体　制
Ⅰ未満	3未満	通常体制 計測頻度：1時間に1回
Ⅰ以上～Ⅱ未満	3～4未満	計測頻度の増加，目視点検の強化 計測頻度：30分に1回
Ⅱ以上～Ⅲ未満	4～5未満	計測頻度の増加，目視点検の強化，対策工の立案，協議 対策工の例：押え盛土・法面補強（ロックボルト打設）など 計測頻度：30分に1回継続
Ⅲ以上	5以上	対策工実施，必要に応じて掘削停止 計測頻度：30分に1回継続

5-2　5条の断層

本トンネルでは上述したとおり，5条の断層が露頭レベルで確認されており，トンネル掘削時における異常出水や切羽崩壊が懸念されていた．とくに，もっとも起点側に位置するF-1断層は，小土かぶり区間に存在するとともに，断層とトンネルが鋭角に交わることから施工への影響が大きいと想定されていた．

本トンネルの地質縦断図を図-9，地質調査結果より明らかになった各断層の詳細を表-13に示す．

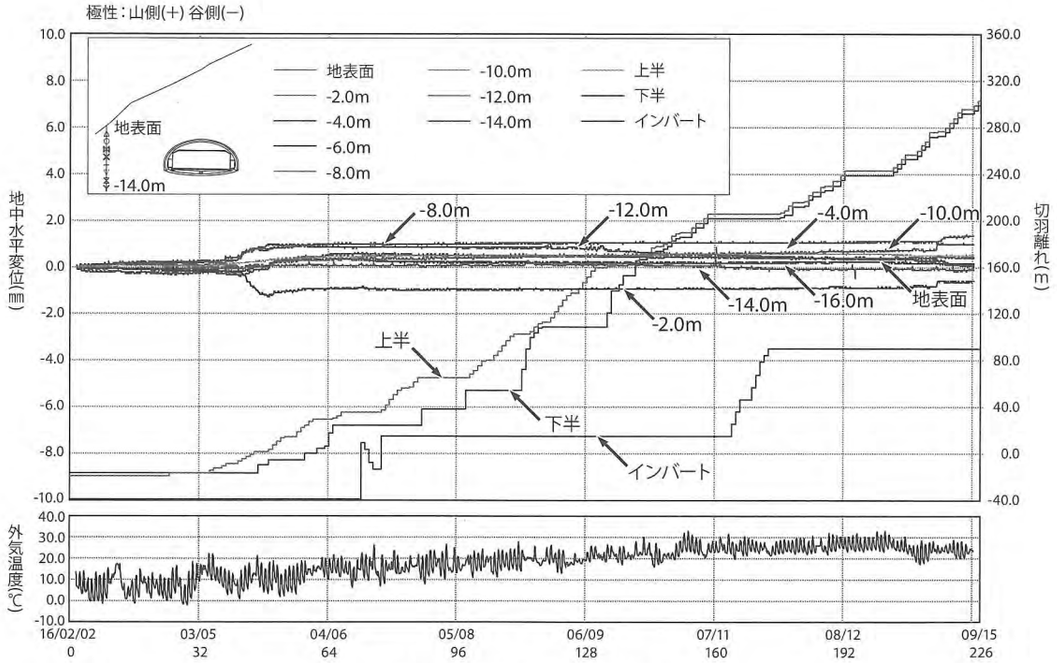


図-8　孔内傾斜計計測結果

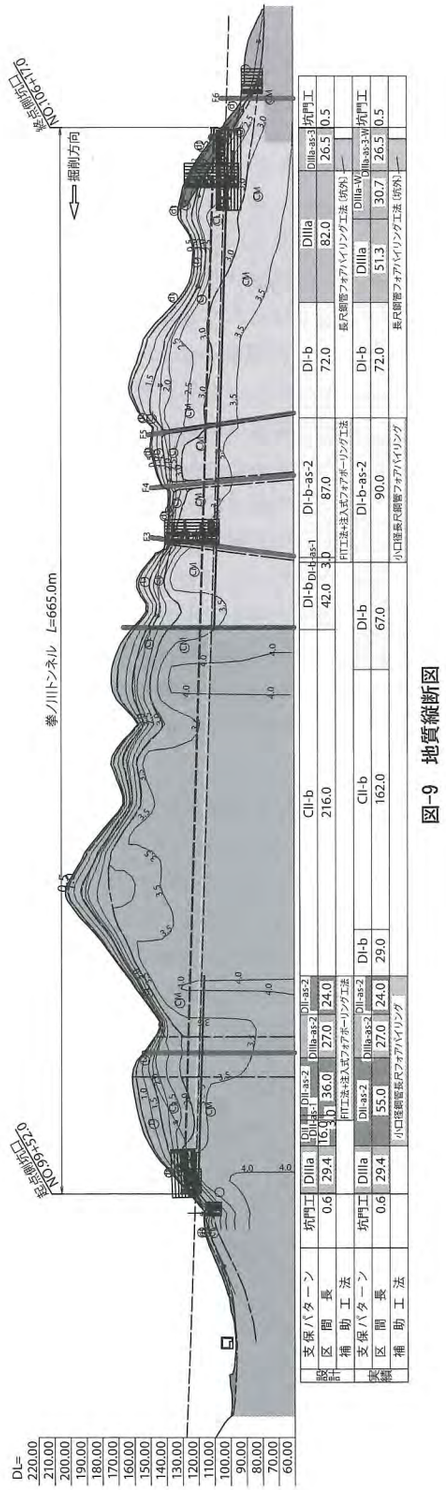


図-9　地質縦断図

表-13　断層詳細一覧

断層名	走行・傾斜	性状	破砕幅	露頭	弾性波の低速度帯	リニアメント	トンネルへの影響
F-1	N60E・90	粘土状～角礫状	約8m	あり	あり	あり	大
F-2	N50W・85N	不明	1m未満	なし	あり	なし	大
F-3	N80W・85N	粘土状～角礫状	3m	あり	なし	なし	中
F-4	N20W・80N	粘土状～角礫状	5m	あり	あり	あり	大
F-5	N20W・80N	粘土状～角礫状	2m	あり	あり	なし	大

（1）　CIMモデルの活用

施工への影響が懸念された5条の断層について，事前に断層出現位置や地質変化点を把握することにより掘削時の安全性を向上させることを目的として，CIMを採用し，地質構造や地質情報を反映させた3次元地質モデルを作成した(**図-10**)．モデルは，3次元地質モデルソフト『Geo-Graphia』を用いてソリッドモデルにて作成した．今回採用した3次元地質モデルの特徴について，以下に記載する．

①　任意の切羽位置における地質断面図の表示
②　各種前方探査結果，施工情報をフィードバックさせ地質構成の見直しを図ることで，切羽前方地山を高精度に予測
③　実際の地質情報，施工情報を保存して，将来の維持管理に活用

図-11に3次元地質モデルから任意間隔で作成表示したトンネル断面周辺の地質断面図と断層出現位置を示す．

このように3次元地質モデルの採用により，掘削時における断層の出現位置や地質変化を事前に予測確認できた．また，小土かぶり区間となるF-1断層においては，地表面までの土かぶりの確認が可視化できるようになり，偏土圧による影響の把握を事前に行え，計測点増加の検討や掘削時における注意喚起に活用できた．

実際の掘削においては，F-1断層が想定以上に切羽に残存したため，急遽長尺鋼管フォアパイリングの追加施工を実施した．このように，前方探査を実施しない場合，既往地質調査結果のみでは，3次元地質モデルによる予測にも限界がある．今後，ほかのトンネル工事においては，切羽評価結果や切羽における簡易試験データの結果を迅速に反映した地質予測を可能にするなどの改善が求められる．

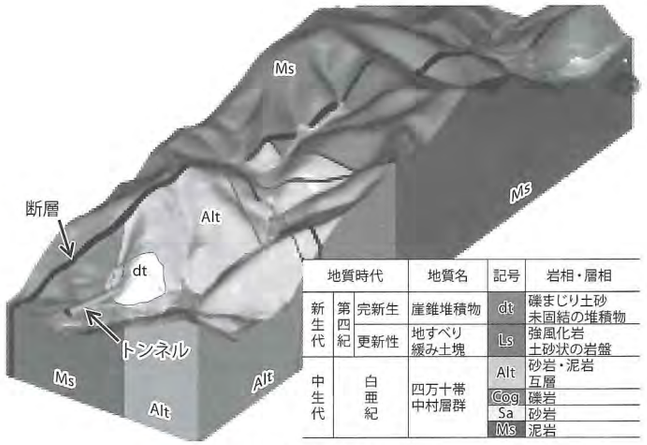


図-10　3次元地質モデル

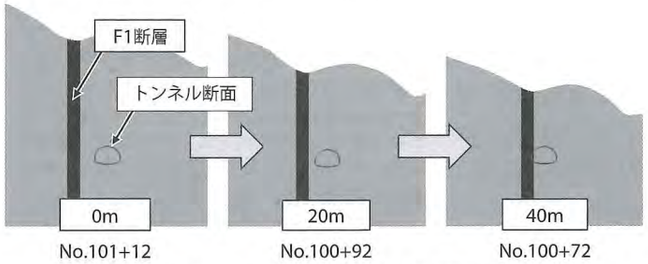


図-11　トンネル断面周辺の地質予測

F-1断層以外の掘削においては，途中，切羽の崩落(**写真-2**)や湧水の発生もあったが，3次元地質モデルを有効に活用することにより，断層が多数存在するトンネルにおいて，安全に掘削を行うことができた．

6　ま　と　め

今回，付加体からなる四万十帯における施工実績として，近傍の3本のトンネルについてまとめた結果，明らかになった共通事項を**表-14**に記載する．

これらは四万十帯におけるトンネル施工時の一つの指標と言える．とくに，亀裂を潜在的に多く含んでいる四万十帯の地質において，設計段階でその亀裂の評価をどのように反映させるかが今後の課題と思われる．今回の施工報告が，類似工事の設計および施工の参考になれば幸いである．

当バイパスにおけるトンネル工事は着手より丸5年かけ2017(平成29)年8月にすべてのトンネルを完成させるこ



写真-2　切羽崩落状況

表-14　全トンネルにおける共通事項

	共通事項	原因(推定)
支保パターン	・CIの施工実績なし ・設計CII-bは，一部DI-bにランクを重くして施工 ・計画変更を余儀なくされるような大規模な変状はない	・C級地山では，設計時の想定ほど実際には地山状況が良くない
補助工法	・掘削時の補助工法は設計時より増大 ・補助工法の注入材はウレタン系に変更	・坑口部，小土かぶり部においては，設計時の想定より地山状況が悪化する ・掘削による緩み範囲が設計時の想定より大きく拡がる
湧水	・湧水量は当初想定以上に増加 ・降雨時にはトンネル内の湧水量が大幅に増加	・設計時の想定より亀裂が発達している

とができ，現在2018(平成30)年度の供用開始を目指して工事を進めているところである．最後に，当バイパスの建設に際してご協力いただいた沿線地域の皆さま，各種委員会や検討会でご指導いただいた皆さま，また本稿の作成にあたって，貴重なデータをご提供いただいた工事関係者各位にこの場を借りまして改めてお礼を申し上げます．

参 考 文 献

1) 原久純・田中勉・鬼頭夏樹：3次元地質モデルを活用した山岳トンネルCIMの現場適用事例，土木学会第72回年次学術講演会概要集，VI-798，2017.9.

■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



先輩から語り継がれた心得

伊藤範行
(元)鹿島建設(株)

はじめに

2010(平成22)年1月，この連載が始まった当時には，語り部人選小委員会に私も名を連ね，約2年間先輩方に執筆をお願いする立場にいました．鹿島建設を退職されたトンネル工事経験豊かな70歳以上の先輩方に執筆をお願いしていましたので，自分がその年齢に近づいて，語り部に選ばれるとは思いも寄りませんでした．それだけこの連載が長く続いているということであり，大島委員長(本誌編集参与)はじめ委員の皆様のご尽力に敬意を表します．

私の工事経験は，ダム工事に始まり最後は火力発電所工事の5現場，通算21年間です．このうち，山岳トンネル工事の経験は，地下発電所工事と道路トンネル工事の2現場，10年間だけです．その後約13年間，本社の管理部門で山岳トンネル工事現場の支援業務を行いましたが，現場経験が少なく力不足にもかかわらず語り部に指名していただいたことに感謝しつつ，私の経験とあわせて，現場で先輩から語り継がれた心得を紹介します．

さまざまな施工方法と新技術を体験 ―本川発電所建設工事―

本川(ほんがわ)発電所は四国電力(株)が建設した最大落差567m，最大出力60万kWの純揚水式地下発電所で，鹿島建設は水圧管路の中間点から発電所本体を経て放水口に至る工区を担当しました．

発電所工区概要図(次頁)と主要トンネルの施工方法一覧(次々頁)のとおり，発電所本体に付随して色々な用途のトンネルが配置されています．発電所本体も含めた全掘削期間が19か月と厳しい工程で，それぞれ掘削断面，トンネル勾配，ずり搬出経路が異なり，斜坑や竪坑もありましたので，さまざまな施工方法と新技術を活用して施工しました．

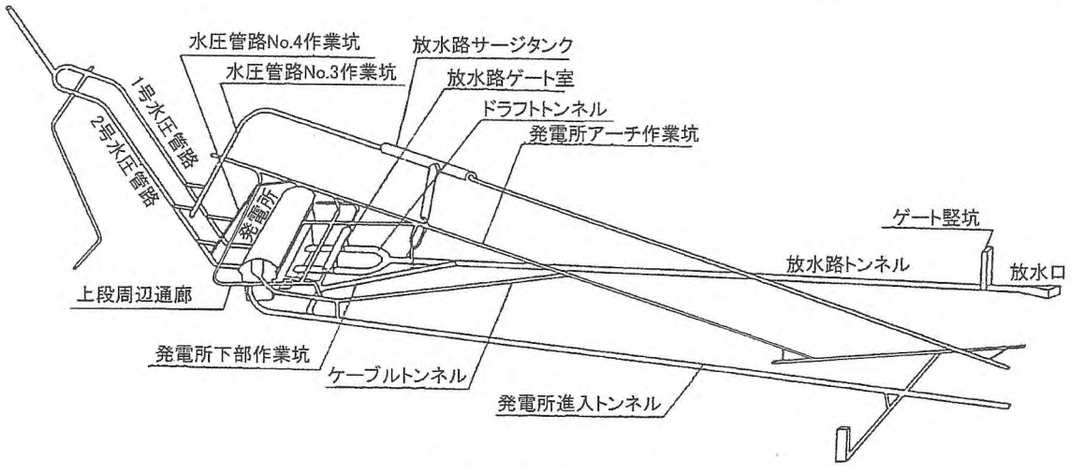
初めてのトンネル現場で，直接



寒風山トンネル愛媛側坑口にて(2017年4月)

著者略歴

昭和45年	鹿島建設(株)入社
昭和48年	徳島県正木ダム建設工事
昭和53年	四国電力本川発電所建設工事発電所工区
昭和60年	四国電力伊方原子力発電所3号機敷地造成工事
昭和63年	四国地方建設局寒風山トンネル工事
平成8年	電源開発 橘湾火力発電所石炭サイロ工事
平成11年	土木技術本部(土木管理本部)工務部
平成24年	四国支店顧問
平成27年	退職，現在に至る



本川発電所 発電所工区概要図

の担当ではないにしても，さまざまな施工方法を目の当たりにしたことが，その後の工事計画や現場支援の際に大いに役に立ちました．

■下部水圧管路の掘削方法

下部水圧管路は2条設置され，斜坑部の延長は400m，勾配は48°です．ずり抜きシャフトとして利用する2m×2mの導坑を切上がり掘削で貫通させたのちに拡幅切下がり掘削しました．

導坑掘削では，作業坑の取付き位置に応じて，斜坑部を267m＋96m＋37mに3分割して，上部2区間ではアリマッククライマーを使用し，下部では人力切上がりを行いました．アリマッククライマーは移動式作業台車で，ラックアンドピニオン方式のガイドレールにモノレール式に吊り下がって昇降します．作業員はケージに入って移動し，切羽ではケージの外に出て作業用プラットフォームの上で削孔・装薬などの作業をします．人力切上がりでは，松丸太と矢板を使用して削孔・装薬作業の足場を作り，それを1発破ごとに復旧・延伸しました．

拡幅切下り掘削では，それぞれ独立したウインチで昇降させる，空圧式4ブーム斜坑ジャンボと人荷共用人車を使用しました．人車には急勾配斜坑用に新開発した非常停止装置を装備しました．

■コンクリート運搬の新技術

下部水圧管路充填コンクリートの施工条件は，48°の勾配で最長流下距離400m，1回あたり打設量約250m³でした．コンクリートの流下速度を制御して分離を防ぎ，連続打設する方法として，新開発の斜めスネークシュート工法(ITP工法)を採用しました．

使用する装置は，移動式台車に搭載した自動制御式のコンクリート送り込み装置と，コンクリート輸送管で構成されています．輸送管は，直径200㎜の鋼管3m×3本とフレキシブルホース2m×1本の11mを基本パターンとしていて，フレキシブルホースの働きによってコンクリートの流下速度を抑制します．

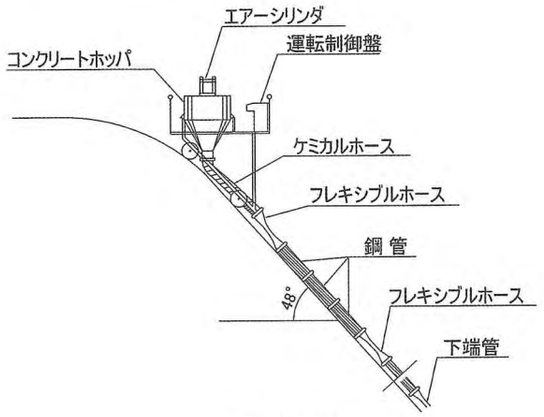
また，放水路サージタンク斜坑部でのコンクリート打設の際には，小断面トンネルを経由して，定置式コンクリートポンプで750mの水平長距離圧送を行い，斜坑部ではITP工法を組み合わせて運搬しました．

■油圧ドリフターの活用

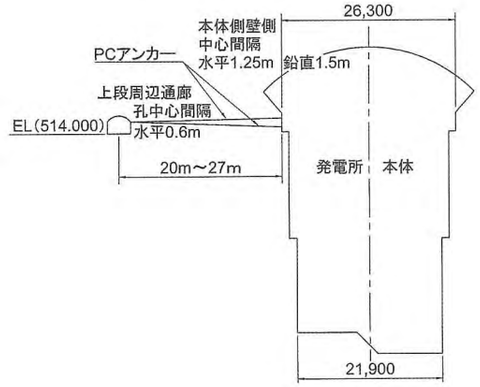
発電所進入トンネル，放水路トンネルの掘進には，国産としては初の油圧式3ブームクローラジャンボ(古河さく岩機)を使用しました．油圧ドリフターの削孔能力を生かしてバーンカットによる3mの長孔発破を行いました．クローラタイプを採用しましたので，黒色片岩で泥濘化の激しい1/10勾配の路盤での走行にも支障はありませんでした．装薬，ロックボルト打込みなどの作業足場としては大型リフタブルデッキを装備しました．

本川発電所 主要トンネルの施工方法一覧

トンネル名		諸元 掘削断面積(m²)	諸元 延長(m)	諸元 勾配	施工方法 掘削方法	施工方法 ずり搬出方法
下部水圧管路	1号	19.1	438	斜坑48°	①導坑切上り(アリマッククライマー) ②拡幅切下り	レール方式+インクライン
	2号		451			
発電所進入トンネル		40.4	819	1/10	全断面掘削	タイヤ方式
地下発電所		幅 24.3m 高さ47.4m	98	水平	底設導坑，頂設導坑，側壁導坑	レール方式+インクライン
					アーチ切拡げ，ベンチカット	タイヤ方式
ケーブルトンネル	水平坑部	14.5	473	水平，1/10	全断面掘削	レール方式+インクライン
	斜坑部	21.5	172	1/4	全断面掘削	インクライン
	竪坑部	30.2	31	垂直	①ずり抜きシャフト(クレーターカット) ②拡幅切下り	タイヤ方式+インクライン
放水路トンネル		41.4	859	1/18	全断面掘削	タイヤ方式
放水路サージタンク	上部水室	32.4	97	水平	導坑拡幅掘削	レール方式
	斜坑(内張管部)	16.1	39	58°	①導坑切上り(人力) ②拡幅切下り	タイヤ方式
	斜坑(覆工部)	58.6	82		①導坑切上り(アリマッククライマー)	レール方式
					②拡幅切下り	タイヤ方式
放水口ゲート竪坑		49.8	44	垂直	全断面切下り	クローラクレーン，バケット



ITP工法概要図



アーチアバット部PCアンカー配置図

地下発電所の壁面PCアンカーの削孔には，電動式油圧クローラドリル（三菱MCD７）を使用しました．とくに発電所アーチアバット部のPCアンカーについては，アーチ部掘削に先行して，発電所周辺の小断面トンネルから発電所側壁に向かって削孔する必要があり，20～27mの長孔を高精度で削孔しました．また削孔精度が良いことを利用して，深さ17mの換気竪坑掘削や深さ31mのケーブルトンネル竪坑の導坑掘削に採用したクレーターカット発破で，装薬孔の削孔にも使用しました．

〈切羽をとめない〉

トンネル掘削工事を担当していた当時，出勤して切羽で最初に確認するのは，夜番の進捗と昼番の作業状況でした．夜番の作業は予定どおり進捗したのか，切羽に異常はないか，作業員の不足，機械の故障はないかという点などです．作業が遅れている場合には，その原因，対応方法と見通しを上司に報告する必要がありました．

トンネル工事では，切羽の進捗が工程や損益に大きな影響を及ぼします．また，たとえ１日の遅れでも取り戻すのは容易ではありません．掘削工事の担当者は，切羽をとめずに予定どおり進捗させるように指導を受け，切羽作業に支障が出ないように管理することを求められました．

少なくとも１か月先の作業内容を想定して必要な資機材を準備すること，機械のメンテナンス状況を確認すること，電気設備，給水設備などの後続設備の延伸作業をできるだけ短時間で完了させるように万全の準備をすること，切羽作業を妨げないように休憩を待って切羽測量を行うことなどを心がけていました．

〈自分で払うつもりで調達する〉

現場での無駄をなくすべきだという意識はあったのですが，材料や仮設材を余らせることもありました．そのようなときの戒めの言葉です．自分の財布から支払うのであれば，できるだけ無駄をなくそうとして仕様や数量を吟味するはずであり，そのつもりで材料や仮設材を調達するべきだというわけです．

この心がけは品質管理や安全管理にも当てはまり，ひとごとではなく自分のことと捉えて対処すれば，細部まで気配りをした管理ができると考えていました．

〈工事記録を残す〉

社内では工事実績の報告・研究会が毎年開かれていて，この会で発表する報文をまとめるように上司から指示されました．「会社の施工実績として残し，他工事の参考とするために，工事記録を残すのは現場担当社員の務めである．時間が経てば記憶は薄れ資料も散逸するおそれがあるので，この機会を利用して，実績を整理して積極的に発表するべきである．工事完了時に工事誌をまとめる場合には，それを生かすこともできる」との理由でした．

現場業務が忙しく余裕のない中で，実績を整理して図表を作り，報文をまとめるのは負担だったのですが，その過程で課題を見つけて仕事のやり方を見直すこともできました．

急勾配・大土かぶり トンネルの課題を克服 ―寒風山トンネル工事―

寒風山トンネルは，国道194号の愛媛・高知県境で寒風山（標高1,763m）付近を貫く延長約5.4kmのトンネルで，作業坑が併設されています．鹿島建設JVが愛媛方約3.4kmの本坑・作業坑を担当しました．

■崖錐堆積地での坑口事前対策

坑口部斜面には崖錐堆積物が広範囲に分布していましたので，当初設計では抱き擁壁と押さえ盛土が計画されていました．しかし調査ボーリング，斜面動態観測などの追加調査の結果，崖錐層の分布範囲，層厚ともに当初の推定よりも大きく，本坑坑口部掘削の影響による地すべりが懸念されました．

坑口部掘削に先立って，当初設計案に加えて，切羽安定工として薬液注入による地盤改良工（注入対象土量2,200m^3），地すべり抑止工として深礎杭（D＝4m，４本）を施工しました．さらに坑口部崖錐区間では側壁導坑，抱き擁壁と側壁コンクリートを施工後，上半３ピース支保工を用いて，できるだけ地山を傷めないように，斜交する地山形状にあわせて仮巻きコンクリートを設置し，その上に掘削ずりで押さえ盛土を行いました．

坑口対策においては，現地条件と当初設計が適合しない場合でも，設計にもとづいて施工して，問題が発生した時点で対処するのが通例です．この場合，工期・工費の増加と手戻り・手待ちによる損失は避けられず，災害が発生することも懸念されます．事前に設計を変更して十分な対策を実施できれば良いのですが，その必要性を説明するためには多大な努力が必要です．

寒風山トンネルの場合は，寒風山道路の旧ルート計画で施工中に大規模な地すべりが発生して，ルート計画を変更した経緯があり，これもスムーズに設計変更ができた一因であったと思います．

■急勾配レール方式での改善策

作業坑掘進ではレール方式を採用しましたが，急勾配（34.5/1,000，実車下り）の長距離トンネル（3.4km）という車両の安全運行にとっては非常に厳しい条件であり，逸走や暴走の発生が懸念されました．

ずり搬出にはシャトルトレインと16tバッテリーロコを使用しました．バッテリーロコには，油圧ブレーキ，回生ブレーキ，トラックブレーキ，手動ブレーキを備え，さらに加速度検知停止装置（10km/hで自動的にトラックブレーキが作動する）も装備しました．また，シャトルトレインには逸走を防止するために駐車ブレーキを装備しました．

軌道については，等三線の出坑線では700mごと，入坑線では坑口付近に，脱線ポイント（常時開いていて列車が暴走した際に脱線させて停止させる）を設置しました．

これらで万全な対策と考えていましたが，掘進延長が1,000mを超えたときに２か月間に２回のずり搬出列車の暴走事故が発生しました．いずれの場合も数百mを暴走して，坑口付近の脱線ポイントで脱線停止しました．

事故調査結果と約１年間の運行経験から，レール面が濡れて滑りやすくなった場合に油圧ブレーキを操作すると，車輪がロックして滑走状態になることが主な原因であると推定されました．

改善策としては，シャトルトレインの２輪に装備されている駐車ブレーキを，運転席での操作によってエアで作動する走行用ブレーキに改造して４輪に装備し，下り実車走行時には回生ブレーキとシャトルトレインのブレーキだけを操作するようにしました．さらに脱線ポイントを出坑線で350mごと，入坑線で700mごとに増設しました．



仮巻きコンクリート支保工



坑口部掘削



シャトルトレインによるずり搬出



脱線ポイント

この改善策によって，一時的に滑走状態が発生した場合でも，シャトルトレインの４輪ブレーキの操作で確実に減速できるようになり，その後は暴走事故が発生することもなく掘進を完了しました．

着工時の社内検討会において，「油圧ブレーキを使うとブレーキ力が強くて車輪がロックしやすいので，エアブレーキの方が良い」との指摘がありました．しかし，回生ブレーキやトラックブレーキを併用すれば停止できると想定していて，実際に暴走事故が発生するまでは，バッテリーロコの車輪がロックして長距離滑走するという懸念を切実には受けとめていませんでした．

最終的にはエアブレーキを活用することで解決できましたので，経験者の助言には真摯に向き合い，湿気や汚れでレールが滑りやすくなることや移動式ポイント部では部分的に急勾配になることなど，最悪の条件を想定して計画するべきだったと反省しました．

■大土かぶり部での支保対策

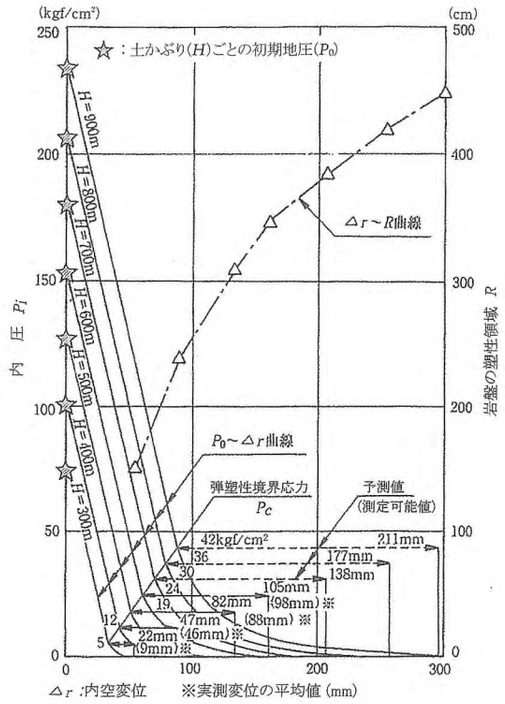
トンネル区間には三波川変性帯三縄層が分布し，坑口から1,000ｍまでは緑色片岩が，以奥では黒色片岩が出現し，2,850m（愛媛・高知県境）付近で最大土かぶりは900mに達しました．

本坑では，坑口から1,650m付近で土かぶりが400mに達して地山強度比が２以下となり，吹付けコンクリートのせん断クラック，ロックボルトの破断，鋼製支保工の座屈など支保工の顕著な変状が生じ始めました．早めの変更を行いながら，標準支保パターンで坑口から2,240m，土かぶりが600mの付近まで掘進しましたが，支保工の変状が連続して，ますます激しくなりました．

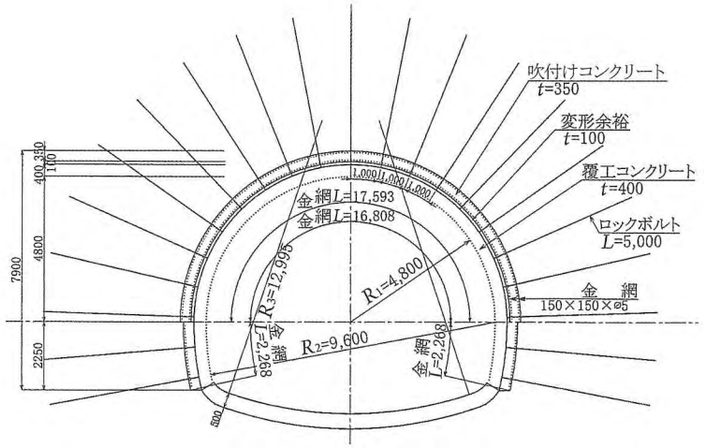
そこまでの計測データ，支保工の変状などの掘進実績を整理して，支保工の変状の原因と以降の支保パターンを検討しました．弾塑性解析・逆解析の結果，支保力の不足が原因で，標準支保パターンで施工する場合には最大土かぶり900mにおける内空変位量が200㎜を超えることも予測されました．

特殊支保パターンについては，変位を抑制するために，地山特性曲線から推定された，土かぶりに応じた必要内圧に見合う支保耐力を満たすように計画し，Hoek & Brownの式で算出しました．支保耐力を向上させる主な手段としては，吹付けコンクリート厚さを大きくするとともに高強度化を図りました．早期強度を増加することが必要なので，高強度化の手段としてシリカフュームを混入し，設計基準強度を材齢７日で規定して250kgf/cm²と290kgf/cm²の２種類としました．最大土かぶり900mに対応する支保パターンでは，H-250の鋼製支保工を使用し，鋼製支保工の前面と背面に金網を設置して吹付けコンクリートで包み込み，一体化を図りました．

以降の特殊支保パターンでの施工区間では，計測結果を整理して最大変位速度と最大内空変位量の関係を把握し，支保工の大きな変



標準支保パターンでの地山特性曲線



土かぶり900mに対応する特殊支保パターン

状が発生する場合の最大変位速度を管理基準として補強対策工や支保パターンの変更を実施し，変位を抑制することができました．

ここで適用した解析手法は，コンピュータを用いる計算を必要とする手法ではなく，手計算もできる比較的簡便な方法であり，現場での管理に適用しやすく非常に有効でした．

〈割出しに責任を持つ〉

下請け発注業務にもかかわるようになったときに上司から言われた言葉です．下請けに発注する場合に，単価・請負金額を元請けが算出して契約することを割出（わりだ）しと言っていました．

この場合，元請けの意向が反映されやすいのですが，適正な利益が見込める合理的な積算根拠にもとづいた請負金額で発注する．たとえ厳しい予算であっても，施工方法を工夫して，下請けが適正な利益を見込めるように発注をする．契約したあとも工事の順調な進捗を図り，下請けが利益を確保できるように管理する．このように私なりに理解して，下請けから見積りを徴収して発注する場合にも同じ姿勢で臨んできました．

〈土木工事は運送業でもある〉

土木工事には必ず運搬作業があり，とくにトンネル工事の場合はずり出し時間がサイクルタイムに大きく影響するので，ずり運搬作業の効率化を目指す必要がある．運搬路を十分に整備して，ずり運搬車両が支障なく走行できるようにするべきだということです．

黒色片岩の路盤は泥濘化が激しく，ダンプトラックの走行に支障がありました．砕石を敷いて路盤の維持を図りましたが，路盤の不陸は避けられず速度を抑えて走らざるを得ませんでした．切羽が進んで運搬距離が長くなるのにしたがって，腰痛を訴える運転手も出てきました．

そこで，坑内の片側１車線分だけアスファルトで仮舗装をして，実車ダンプトラックの優先レーンにしました．これによって，ずり



作業坑貫通式（左側が筆者）



坑内仮舗装



施工中の坑口付近

出し効率が良くなったばかりでなく，運転手の腰痛が減り，ダンプトラックの故障が減る効果もありました．

〈現場をきれいにする〉

山岳トンネル工事の現場は3K職場のイメージが強く，社内では「トンネル現場は暗くて汚い」と言われていました．寒風山トンネルでも路盤の泥濘化が激しく，泥はねで坑内が汚れ工事用車両も汚れていました．そこで，四国地方建設局が工事現場のイメージアップを図っていたこともあり，トンネル現場の暗くて汚いというイメージを変える対策に取り組みました．

路盤の泥濘化を防ぐために，仮排水管を埋設して路盤排水を行い，砕石を敷き均して整備しました．最終的には片側1車線分をアスファルトで仮舗装し，切羽の進行に伴ってその区間を伸ばしました．

安全通路にはコンクリートを敷き，単管パイプで車道との境界柵を設置しました．また，吊下げ水銀灯を増設して明るくしました．

換気については，本坑を入気坑道，先進している作業坑を排気坑道として利用する坑道換気方式を採用し，有圧換気扇も活用して大風量の換気を行って，切羽ばかりでなく坑内全体の環境を改善しました．

現場をきれいにすることで，トンネル現場のイメージが良くなったばかりでなく，作業環境が改善され，作業効率や安全性が向上し，さらに覆工の品質が向上する効果もありました．

おわりに

工事現場に従事する若い人材を確保することは建設業界の課題です．そのためには工事現場が魅力的な職場であるべきで，山岳トンネル工事について見ると，坑内を快適な作業環境に保つことが，魅力的な職場として必要な条件だと思います．

本社管理部門に在籍中，社内の現場支援や5団体（日建連）火薬類対策部会の活動を通して，社内外の多くのトンネル現場を訪問する機会がありました．総じて，私がトンネル現場に従事していたころに比べて，現場全体がきれいになり坑内環境も著しく改善されていました．これには低粉塵吹付け工法の開発，換気技術の進歩や建設機械の排出ガス規制が貢献していますが，現場に従事されている皆さんの，現場をきれいにするという意識が強くなったことも大きな要因であろうと思います．

皆さんの取組みによって，坑内の作業環境は改善されてきていますが，快適な作業環境とまでは言えない現状だと思います．これからもこのような努力を続けられて，山岳トンネル工事の現場を働きやすい魅力的な職場にしていただき，それが現場に従事する若い人材が増えることにつながるように願っています．

現場だより 2018 トンネルと地下

「札幌の奥座敷」定山渓温泉

古　賀　善　友

北の都，札幌市は現在人口190万人を超え，東京，横浜，大阪，名古屋に次ぐ巨大都市となった．しかし今から約150年前，本格的に開拓が開始されるときは，倭人（わじん）の人口わずか７人（記録上）であったとは驚愕するばかりである．「札幌の奥座敷」と呼ばれる定山渓（じょうざんけい）温泉も開拓の歴史と時を同じくし，開湯は1866（慶応２）年．2016（平成28）年には開湯150周年を迎えている．修験僧「美泉定山（みいずみじょうざん）」がアイヌの人々の案内で泉源と出会い，病気やケガに苦しむ人々を救おうと未開のこの地に移り住み，寝食を忘れて温泉を拓くことに苦心した．定山の熱意はやがて人を動かし道ができ，温泉は人々に知れわたるようになった．この定山の功績から，この地が「定山渓」と命名された．現在の定山渓温泉は，市内中心部から車で１時間もかからない気軽さで足を運ぶことができる．

林野庁「水源の森100選」にも選ばれた定山渓の豊かな森が抱える地下水が長い年月を経て，「定山渓温泉」「小金湯温泉」「豊平峡温泉」それぞれの源となって湧き出ている．定山渓温泉や小金湯温泉のような自然湧出をしている温泉には力があると言われており，その効能は未知数である．豊かな湯量と泉質をぜひ楽しんでいただきたい．

さて札幌市の水道水源の98％は，ここ定山渓から流れる豊平川の水で，温泉源ではない自然湧水にはヒ素，ホウ素などが含まれている．これらはできるだけ少なくする必要があり，自然湧水を導水路により迂回させ，浄水場取水地点より下流で放流することで浄水場ではいつでもきれいな水を確保しようという事業が，「豊平川水道水源水質保全」事業である．この事業のうち導水路新設工事はその１～３工事に分かれており，本工事はその３工事として定山渓温泉にもっとも近い最上流部を担当する泥土圧シールド工事である．２次覆工省略型で内径２ｍのセグメントを構築する工事で，トンネル先端は想像を超える狭さの中，日々施工中である．



定山源泉公園に鎮座する定山像



幻の「一の沢ダム」からの越流を現場から望む



位　置　図

最後に定山渓では，「かっぱ伝説」があり，「かっぱ大王」をはじめ，定山渓温泉から小金湯温泉にかけて市民のアイデアから生まれたかっぱ像が21体も点在している．定山渓観光協会で発行している地図を頼りに完全制覇を目指して，２度３度と足を運んで定山渓を満喫していただきたい．

（熊谷・田中・石山特定共同企業体定山渓シールド作業所現場代理人）

施工

高精度電子雷管を用いた制御発破による振動・騒音対策

—宮古盛岡横断道路　手代森トンネル—

国土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所工務第二課課長　佐々木　　稔
国土交通省東北地方整備局岩手河川国道事務所工務第二課建設監督官　佐々木　雄　起
清水建設（株）東北支店土木部手代森トンネル作業所所長　中　島　　賢
清水建設（株）東北支店土木部手代森トンネル作業所副所長　平　野　宏　幸

1　はじめに

山岳トンネルにおいて発破工法は効率的な掘削工法でありもっとも多く採用されている工法であるが，発破位置である切羽と居住区が近接する場合，発破の振動・騒音により近隣住民に不安を抱かせ睡眠を妨害するなどの影響を与えたり，家屋や構造物に影響を与えることがある．近年，道路や鉄道における路線全体のトンネルの占める割合が増加する傾向にあるとともに，社会的要求から極力直線を保つ線形とすることが重視され，トンネル坑口が民家などに接近して建設されることがしばしばある．このため，発破による振動・騒音抑制などの環境対策への取組みは，ますます重要な課題となっている．

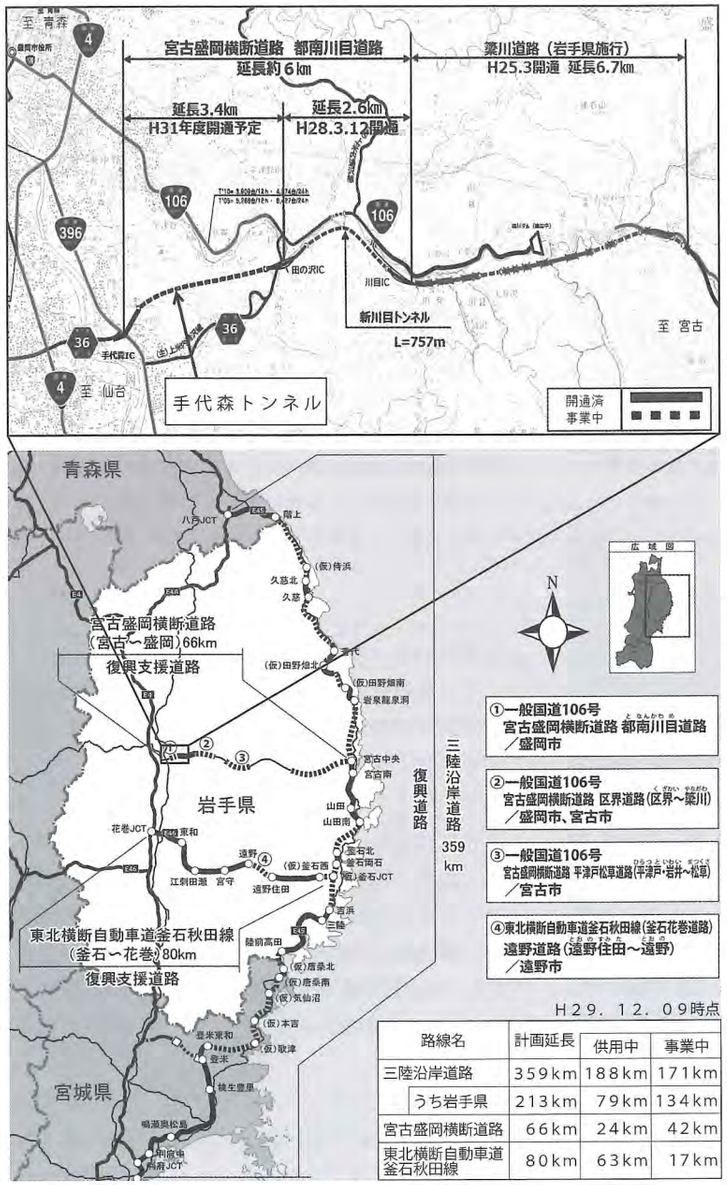
宮古盛岡横断道路手代森（てしろもり）トンネルの盛岡側坑口は約200mにわたって土かぶりが20～35mと小さく，地表には複数の民家や学校が立ち並ぶ集落があった．また，トンネル掘削部は一軸圧縮強度100MPaを超える硬岩が想定されていたため，掘削に使用する発破の薬量が増大することが予測された．このため，トンネル掘削時の発破の振動・騒音が周辺環境に与える影響を極力低減することが課題であった．

この課題克服のためには，発破を使用しない機械掘削工法や割岩工法などがあるが，硬岩に適用する場合，掘削工程が３～４倍かかる，もしくは施工不能となり，早期開通が急務である本トンネルの供用開始に遅れが生じる．このため，発破工法で振動・騒音を抑制し，掘削進行を極力落とさない方法を検討した．検討の結果，構造物の重要性，構造物との距離，硬岩掘削に必要な薬量を考慮し，最大500段まで可能な高精度電子雷管（オリカジャパン製eDev Ⅱ）を使用した制御発破を行った．

本稿は，手代森トンネルで実施した高精度電子雷管による制御発破の施工結果と，振動・騒音計測や住民ヒアリングから得られた，さまざまな知見について報告するものである．

2　工事概要

手代森トンネルは，宮古盛岡横断道路（約100km）の一部をなす都南川目（となんかわめ）道路の西端に位置しており（図-1），国道106号の線形不良区間解消や災害時の緊急輸送路の確保，緊急活動の支援を図るとともに，広域的な交流・連携の促進が目的の自



路線名	計画延長	供用中	事業中
三陸沿岸道路	359km	188km	171km
うち岩手県	213km	79km	134km
宮古盛岡横断道路	66km	24km	42km
東北横断自動車道釜石秋田線	80km	63km	17km

図-1　手代森トンネルの位置図

動車専用道路である．また，復興支援道路として位置づけられ，早期整備が急務とされている．トンネルの延長は2,625mで，内空断面積94.9m²（掘削断面積108～112m²），偏平率66％の偏平大断面トンネルである．

地形は，標高110～350m付近の丘陵から山地となっており，北部に鑪山（標高390m）があり，さらにその北部を簗川が西流する．宮古側坑口付近は県道35号線（主要地方道上米内湯沢線），盛岡側坑口付近は国道396号と接しており，盛岡市街地である．地質は複雑な構造を呈する早池峰構造体の北端付近であり，宮古側坑口より古生代「川目層（根田茂帯）」の粘板岩・チャート・砂岩など混在岩，凝灰岩，チャート，緑色岩，蛇紋岩，ホルンフェルスなどが分布し，一部，白亜紀の花崗岩が貫入する．岩質は比較的硬質であるものの，顕著な断層が数箇所確認されている．

3　盛岡側坑口部の地形・地質

手代森トンネルの盛岡側坑口部は約200mにわたって土かぶり20～35mのなだらかな地形で，図-2に示すようにトンネルは複数の民家の下を掘削する位置関係にあった．トンネル掘削部の地質は，弾性波速度V_p=4.5 km/s，一軸圧縮強度100～190 MPa，岩級区分CH～Bの新鮮硬質なホルンフェルスが分布する．このため，トンネルは民家近接での発破掘削となり，複数の民家が発破の振動・騒音の影響を受けることが予想された．図-2の破線の範囲は，人が振動を感じるとされる0.2kine以上の範囲を示している．

4　発破の振動・騒音対策

4-1　発破の振動・騒音対策検討

手代森トンネルの盛岡側坑口における発破振動を予測し，発破振動・騒音対策を検討した．なお，

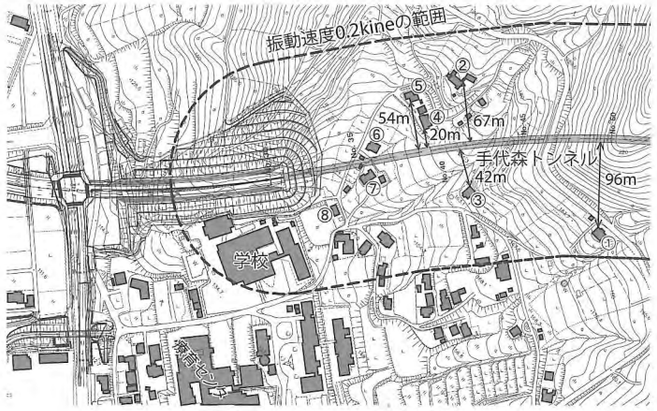


図-2　盛岡側坑口部の平面図

表-1　発破推定式とKの値

	推定式	区分	Kの値
日本火薬	$V=K\,W^{0.5}\,D^{-2}$	トンネル発破の心抜き	450～900
		トンネル発破の払い	200～500
		トンネル発破の踏まえ	300～700
		すかし発破	200～500
		大口径ベンチ発破	100～300
		盤下げ，ゆるめ発破	300～2,000
旭化成	$V=K\,W^{2/3}\,D^{-2}$	トンネル発破の心抜き	500～1,000
		トンネル発破の払い	200～500
		明かり発破	200～500
日本油脂	$V=K\,W^{0.5}\,D^{-1.5}$	トンネル発破	80±40
		大口径ベンチ発破	20±10
		小口径ベンチ発破	50±30
		明かり発破	50±30

本検討はトンネル貫通前の到達側における発破であることから，発破騒音は地盤などが振動することによって音を放射する個体伝搬音であるため，振動を低減することが騒音対策になると考えた．発破振動の予測式は，一般的に式(1)[1]で表される．

$$V = K\,W^{m}\,D^{n} \qquad (1)$$

V：振動速度(kine＝cm/s)
K：発破条件や岩盤特性によって変化する係数
W：段あたりの薬量(kg)
D：発破場所からの距離(m)

ここで，K，m，nは定数であり，表-1[1]に示すように火薬メーカーから提案されている．

本検討では，表-1の日本化薬の提案値を参考に，各定数を表-2のとおりとした．

表-2　本検討で使用する発破振動予測式の定数

定数		値
K	本芯抜き	700
	補助芯抜き	500
	払い	350
m		0.75
n		−2

発破振動対策の比較表を表-3に示す．発破振動対策として，①制御発破，②薄層発破，③機械掘削工法，④割岩工法が挙げられる．③は当該地山が硬岩であることで施工不能となり不採用とした．②，④は施工期間が長くなり復興支援道路の供用に遅れが生じること，施工費が高いことから不採用とした．よって，トンネル掘進速度を落とさず施工でき，もっとも安価な①を採用した．

次に，制御発破を検討した．式(1)からわかるように，発破振動は段あたりの薬量に比例する．制御発破は雷管の段発を増やし，段あたりの薬量を減らすことで発破振動を抑制するものである．また，表-2からわかるように定数Kは芯抜きがもっとも大きい．

本検討では段発を増やすとともに，補助芯抜きを設け，さらに芯抜き部の薬量を低減することとした．

発破振動予測では，もっとも近接する家屋(図-2の⑥，⑦)において，振動速度を家屋に影響を与える可能性のある最大値2.0kine以下(4-4節参照)に抑制するには，1孔1段の制御発破が必要となる結果となった．本トンネルは掘削断面積108m²を超える大断面であり発破の削孔数は170孔を超えるため，170段以上の段数を確保できる雷管が必要であった．

そこで本検討では，表-4に示すように一般的に制御発破で使用されるMS＋DS雷管(制御発破1)に加え，最大500段の段発が可能な高精度電子雷管(制御発破2)を採用し段階的に対応することとした．

表-3　発破振動対策の比較表

	標準発破	①制御発破	②薄層発破	③機械掘削工法	④割岩工法
概　要	一般にトンネルで使用されるDS雷管により15段の段発で発破をかける.	特殊な雷管を使用し，段発を増やして1段あたりの薬量を低減する.	掘削の1進行長を低減することで，1段あたりの薬量を低減する.	自由断面掘削機によりトンネル掘削を行う．岩盤の一軸圧縮強度49MPa以下で適用できる.	スリット削孔で自由面をつくり，割岩機(油圧くさび)で割岩したのち，ブレーカで崩して掘削する.
発破振動	大	小	中	なし	なし
施工期間(対象範囲282m)	4.9か月	4.9か月	8.9か月 (2分割の場合)	施工不能	17.2か月
施工費	1.0	1.2*	1.8	—	2.1
懸案事項	周辺家屋に影響を与えることが予測される.	発破振動を家屋に影響与えないレベルにまで低減するには1孔1段の制御発破が必要となる.	とくに芯抜き部で発破効率が落ちるため，1進行長を半分にしても薬量が半分とならない.	当該区間の岩盤は一軸圧縮強度が100MPaを超えるため，施工不能となる.	発破の振動・騒音は発生しないが，スリット削孔とブレーカ掘削の振動・騒音が常時発生する．また，施工期間が著しく伸びる.
評　価	—	○	△	×	△

＊高精度電子雷管使用．詳細については4-2節を参照.

表-4　制御発破による発破振動対策

対策工	標準発破	制御発破1(第1段階)	制御発破2(第2段階)
使用雷管	DS雷管	MS＋DS雷管	高精度電子雷管
概　要	一般にトンネルで使用されるDS雷管により15段の段発で発破をかける.	通常のDS雷管(3～15段)に特注のDS雷管の16～20段とMS雷管(1～9段)を組み合わせて最大27段の制御発破を行う．補助芯抜きにより芯抜き部の薬量低減を図る.	制御発破1と同じ発破パターンで高精度電子雷管により1孔1段の制御発破を行う．雷管に内蔵されるIC回路により起爆秒時を高精度に1ms刻みで設定できる．補助芯抜きにより芯抜き部の薬量低減を図る.
設定可能な段数	最大15段	最大27段	最大500段
起爆秒時の精度	±125～250ms以内	DS雷管：±125～250ms以内 MS雷管：±12.5～ 25ms以内	±0.2ms以内
秒時間隔の設定	250～500msで固定	DS雷管：250～600msで固定 MS雷管： 25～ 50msで固定	1ms刻みで自由に設定可能
発破継続時間	4.5秒	7.5秒	1.8～2.6秒 (175段で10～15msに設定)
発破振動の周波数	おおむね50Hz以下	おおむね50Hz以下	自由に制御可能 (一般的に66.7～100Hz)
予測される振動速度(民家⑥，⑦)	5.75kine	3.31kine	1.24kine
施工費	1	1.01	1.2

4-2　高精度電子雷管(eDevⅡ)

制御発破で使用する高精度電子雷管の構造を図-3に示す．この雷管はIC回路により最大500段の起爆秒時を1ms刻みで高精度に設定できるため(表-4参照)，発破継続時間の短縮と発破振動の卓越周波数の制御が可能である．よって，段発により発破振動を低減できるだけでなく，振動波を高周波帯へシフトさせることで，体感上の振動レベルの低減と構造物への影響の低減が図れる画期的な技術である.

高精度電子雷管の施工フローを図-4に示す．この雷管は起爆秒時を発破装薬後に設定できるため，作業員は装薬時に段数のことを考える必要がない．また，結線作業も専用のハーネスワイヤーにコネクタを接続するだけである(写真-1，2)．起爆秒時の設定は，専用スキャナで雷管のコネクタ部に付いているバーコードを読み取る順序で決定する(写真-3，4)．このように高精度電子雷管は施工性がよく，装薬・結線の作業時間は標準発破とほぼ同じである．また，専用発破器からの信号のみに反応するため迷走電流，静電気による誤爆がなく安全性も高い.



図-3　高精度電子雷管の構造

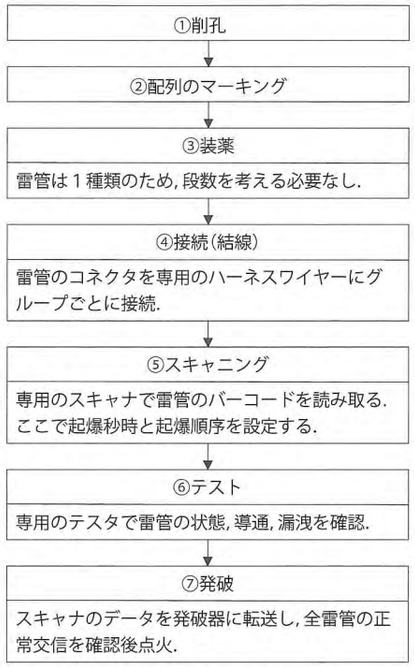


図-4　高精度電子雷管の施工フロー

4-3　試験発破

今回採用する高精度電子雷管は国内の実績[2),3)]が少ないことから，事前に試験発破を行って発破振動抑制効果を確認した．試験発破は，切羽が盛岡側坑口部に到達する前の非常駐車帯断面の上半掘削で行い，地表に観測点3点(S1～S3)設け，振動速度，振動レベル，騒音レベルを測定した．表-5に試験発破の内容を示す.



写真-1　高精度電子雷管装薬状況

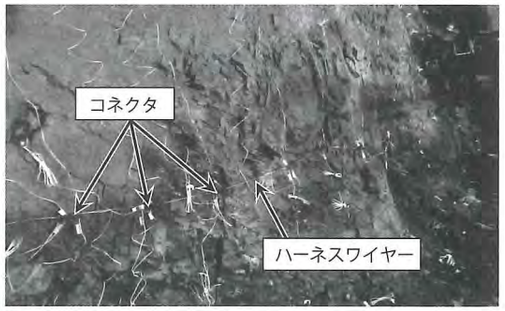


写真-2　ハーネスワイヤーとコネクタの接続状況

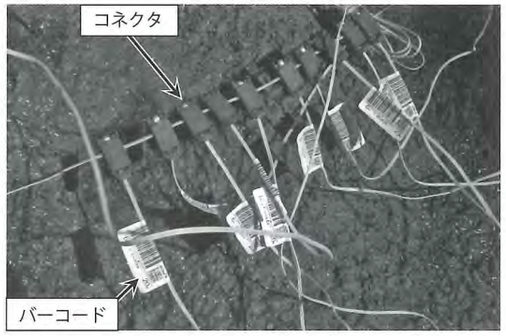


写真-3　雷管のバーコード



写真-4　スキャナによるバーコードの読み取り

表-5　試験発破実施内容

対策工	標準発破	制御発破1	制御発破2
使用雷管	DS雷管	MS＋DS雷管	高精度電子雷管
使用爆薬	含水爆薬200g	含水爆薬200g	含水爆薬200g
実施日	平成28年8月3日	平成28年8月4日	平成28年8月5日
実施回数	2回	2回	2回
支保パターン	CI-L(上半)	CI-L(上半)	CI-L(上半)
岩種	緑色岩優勢混在岩	緑色岩優勢混在岩	緑色岩優勢混在岩
掘削断面積	92.4m^2	92.4m^2	92.4m^2
掘進長	1.5m	1.5m	1.5m
破砕量	138.6m^3	138.6m^3	138.6m^3
段発数	15段	27段	1回目：170段 2回目：168段
孔数	1回目：154孔 2回目：163孔	1回目：171孔 2回目：172孔	1回目：170孔 2回目：168孔
1段あたりの最大薬量	14.4kg	8.6kg	1.2kg
薬量	1回目：165.2kg 2回目：185.0kg	1回目：194.6kg 2回目：197.0kg	1回目：168.4kg 2回目：174.2kg

試験発破の各観測点における振動速度を図-5に，振動レベルを図-6に示す．図中の振動速度と振動レベルは2回の試験発破の平均値である．騒音レベルは，発破位置と観測点の距離が離れていたため値が小さく，暗騒音に紛れてしまい測定できなかった．

図-5から，振動速度は標準発破，制御発破1，制御発破2の順で振動速度が小さくなっている．また，標準発破より制御発破1，制御発破2の方が距離減衰が大きく，観測点の距離が離れるほど振動速度抑制効果が大きくなっている．ただし，観測点S1では標準発破より制御発破1の方が若干大きくなり逆転現象が起きている．振動の波形を分析すると，制御発破1では段発と補助芯抜きの効果で

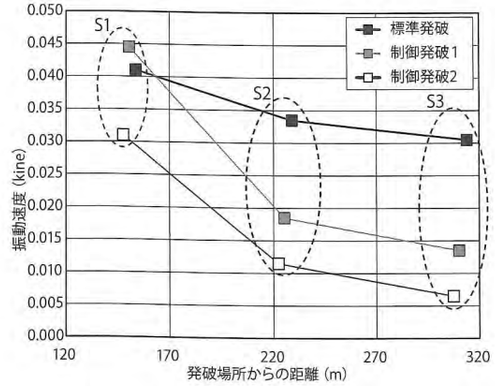


図-5　振動速度と発破場所からの距離の関係

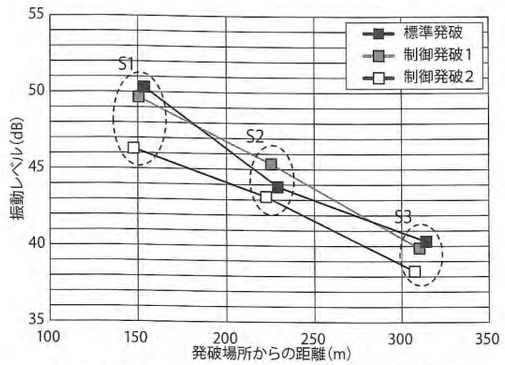


図-6　振動レベルと発破場所からの距離の関係

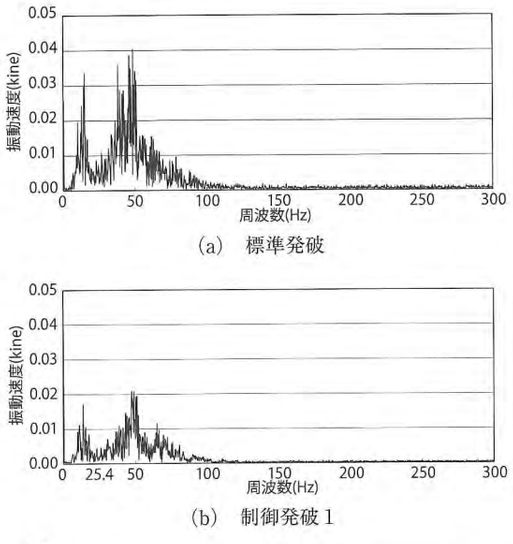


図-7　振動波形のFFT解析結果

もっとも大きい芯抜き部の振動速度は抑制できているものの，払い部で大きな振動速度が出ていることが確認された．地質が不均一で払い部が部分的に硬かった可能性が考えられる．

図-6より，振動レベルにおいても制御発破2の効果が確認できる．制御発破1においては，大きな効果は見られず，観測点S2においては逆転現象が起きている．これについては，振動速度の場合と同じく地質の不均一性が原因と考えられる．これらの測定結果より，制御発破2は振動速度，振動レベルの両方で大きな抑制効果が確認できた．

発破振動の卓越周波数を確認するために，振動速度の時系列波形をFFT(高速フーリエ変換)解析を行い，振幅スペクトルを求めた．図-7に観測点S1における各試験発破の1回目の測定結果の振幅スペクトルを示す．同図より，標準発破と制御発破1は卓越周波数が明確でないが，制御発破2は67，133，267Hzに明確なピークが確認できる．この値は，起爆秒時差15msの逆数(1/0.015≒66.7)の倍数と一致しており，高精度電子雷管により発破振動の周波数が制御できていることがわかる．

4-4　発破振動の管理基準値

現在，発破振動・騒音の法的な規制は存在しない．そのため，発破の施工現場においては自主管理値を設け，周辺住民の同意のもとに発破振動・騒音の管理を行っているのが現状である．本トンネルにおいては，4-1節で述べたように発破騒音は発破振動による個体伝搬音であるので，ひとまず発破振動にのみ管理基準値を設けて管理することとした．

発破振動の管理基準値は，表-6に示す火薬学会が提言する管理値[1]を参考に，民家を対象として，標準発破，制御発破1の場合は1.0kine，周波数が66.7Hzであることが確認されている制御発破2の場合は2.0kineとした．この管理基準値は民家に対する目安であり，人体に与える影響の方がさらに厳しく，個人差も大きいことから，周辺住民に日々ヒアリングを行いながら柔軟に対応することとした．

表-6　発破振動の管理値(火薬学会)

対象 ＼ 周波数		振動(周波数) 10Hz未満	10～50Hz	50Hz以上
人(dB)	昼間	73 暗振動＋30	79 暗振動＋30	85 暗振動＋30
	夜間	58 暗振動＋20	64 暗振動＋20	70 暗振動＋20
構造物(cm/s)	強度の明確な構造物	1.25	2.5	5.0
	一般構造物(民家)	0.5	1.0	2.0
	重要な構造物	0.25	0.5	1.0

※人を対象とした振動レベルは表中のいずれか小さい方の値を提言値とする
※周波数分析のできない場合は，10Hz未満の値を適用する

表-7　発破振動の体感レベル

体感レベル	振動の体感
レベル1	感じない
レベル2	多少感じる
レベル3	感じる
レベル4	強く感じる

住民ヒアリングは表-7に示すとおり体感レベルを1～4で数値化し，レベル4を苦情と考えて管理基準の目安とした．

5　制御発破の施工結果

盛岡側坑口部で行った制御発破の施工結果を図-8に示す．図中のA～Eは，振動速度と騒音レベルを自動計測した観測点である．

切羽が初めに接近する民家①は標準発破で通過した．民家①に設置した観測点Aでは，振動速度がおおむね0.8kine以下，騒音レベルは78dB以下であり，住民ヒアリングにおいても「発破音は聞こえるが我慢できないほどではない．」(体感レベル3)という結果であった．その後，民家②，③に接近し，No.43＋8.35m(2月1日)で制御発破1に切り替え，民家④に接近したNo.40＋16.75(2月20日)で制御発破2に切り替えた．民家⑥，⑦の直下は，制御発破2で通過した．

以下に，民家④に設置した観測点Bの計測結果と住民のヒアリング結果について詳細に述べる．

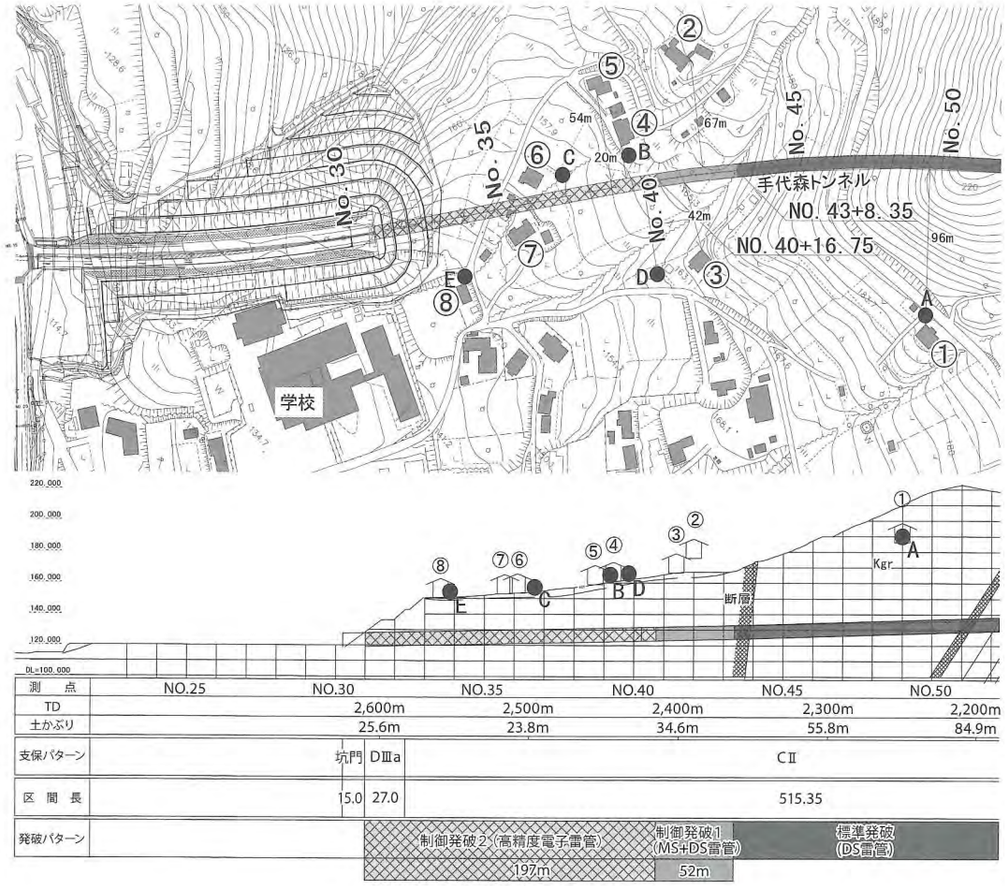
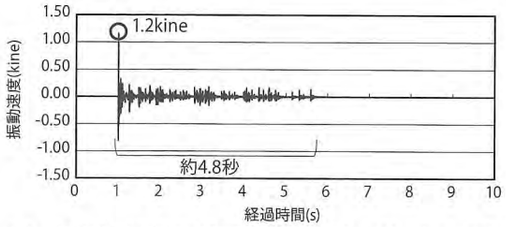
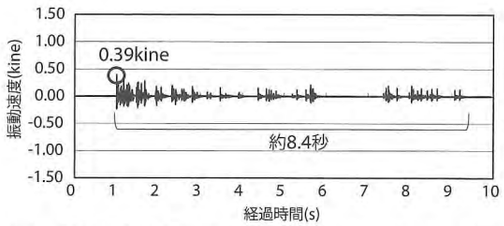


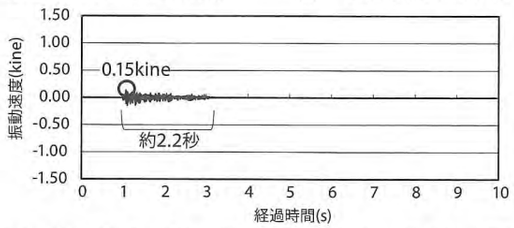
図-8　制御発破の施工結果



(a)　標準発破（薬量：189.2kg，距離：90m，No.43＋7.15）



(b)　制御発破1（薬量：217.2kg，距離：87m，No.43＋4.75）



(c)　制御発破2（薬量：191.2kg，距離：93m，No.35＋8.75）

図-9　振動速度の時系列波形

5-1　発破振動値の比較

図-9に各発破の切羽と観測点の距離がほぼ同距離（90m程度）の振動速度の時系列波形を示す．

同図の(a)と(b)を比較すると，標準発破の芯抜き部で振動速度が1.2kineとなっているが，制御発破1の多段化と補助芯抜きの効果で約33%の0.39kineに低減されている．ただし，制御発破1は多段化の影響で発破継続時間が約8.4秒と長くなっている．住民のヒアリング結果においては，発破継続時間が延びることにより不快感があるとの結果であった．

次に(c)に注目すると，制御発破2による1孔1段の効果で，振動が標準発破の約13%の0.15kineと無感レベルにまで抑制され，振動速度値の偏りも少ない．また，段数が多いにもかかわらず，発破継続時間は約2.2秒と短い．

以上のことから，それぞれの制御発破による振動速度抑制効果が確認できる．とくに，制御発破2は，標準発破では苦情が出るレベルの発破振動を無感レベルにまで抑制できることが確認された．

5-2　発破振動・騒音の経時変化

発破の振動速度の経時変化を図-10に，騒音レベルの経時変化を図-11に示す．図-10の下部のグラフは，民家②，③と④，⑤の住民の方のヒアリング結果を体感レベル1～4で表したものである．振動速度と体感レベルは，4-4節で示した管理基準値により制御発破の切り替えの目安とした．

図-10より，振動速度は切羽が観測点Bに近づくにつれて大きくなり，2017（平成29）年1月27日に最大値1.57kineに達した．このとき，民家②，③の住民ヒアリングで初めてレベル4の意見が出たため，2月1日から制御発破1に切り替えた．制御発破1に切り替えたあとは，振動速度が0.8kine以下に抑制され，住民ヒアリングもレベル3に低下した．ただし，5-1節でも述べたように，制御発破1では発破継続時間が長くなるため，住民の方々から「多少の違和感がある．」との意見があった．

制御発破1で振動速度はいったん抑制されたものの，切羽の進行とともにまた大きくなり2月16に1.22kineに達し，住民ヒアリングも民家④，⑤でレベル4となった．そこで，2月20日より制御発破2に切り替えた．これにより，振動速度は

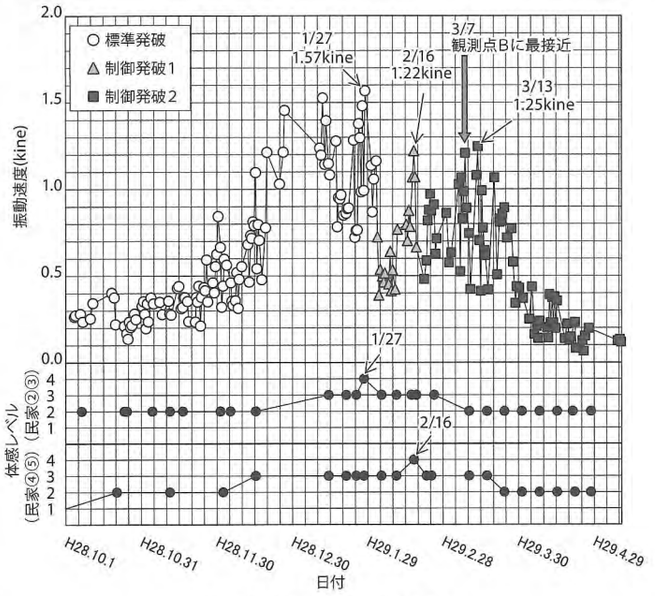


図-10　振動速度の経時変化

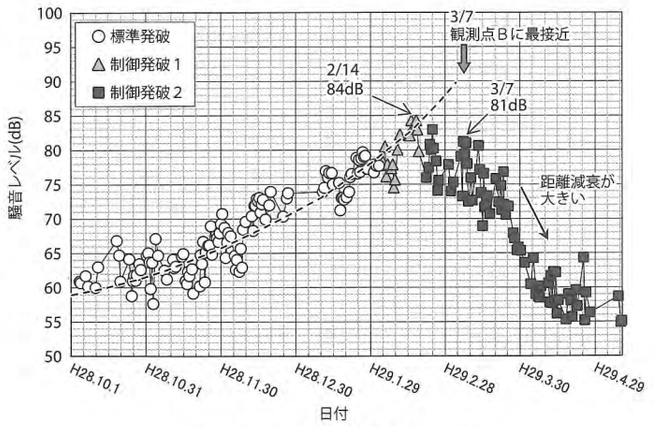


図-11　騒音レベルの経時変化

いったん0.7kine以下に抑制され，住民ヒアリングもレベル３に低下した．その後，振動速度は観測点Ｂに近づくにつれて増加し最大で1.25kineに達したが，住民ヒアリングではレベル３のままであり，個別の意見としても「前より振動・騒音ともに小さく，夜の睡眠に支障はない．」との意見が多かった．したがって，制御発破２では，振動速度が同じでも体感レベルが小さかったことがうかがえる．

一方，騒音レベルについては，図-11に示すように制御発破１に切り替えても抑制効果は見られず，観測点Ｂに近づくにつれて増大し最大84dBに達した．しかし，制御発破２に切り替えると，騒音レベルはこれまでの増加傾向は見られず低下し，観測点Ｂにもっとも近づいた３月７日の81dBをピークとし，その後の距離減衰も標準発破より大きいことがわかった．

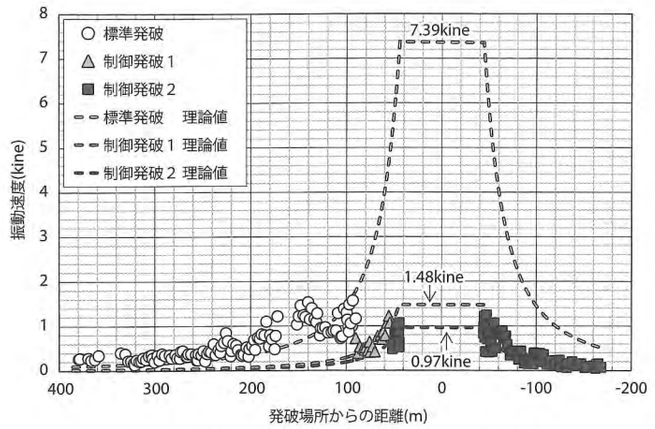


図-12　振動速度と発破場所からの距離の関係

5-3　計測結果の考察

図-10を発破場所からの距離と振動速度の関係に整理して図-12に示す．同図の破線は式(1)のK値を最小二乗法により同定した理論値である．図より，発破場所からの距離が観測点Ｂにもっとも接近した42mの位置で，標準発破が7.39kine，制御発破１が1.48kine(標準発破の20%)，制御発破２が0.97kine(標準発破の13%)となることがわかる．これは，5-1節で示した発破場所からの距離が90m程度の測定結果と同様の傾向であり，制御発破の振動抑制効果が大きいことを示している．

以下に，本施工実積より得られた各種計測結果の考察を示す．

① 振動速度は，制御発破１で標準発破の20～33%，制御発破２で標準発破の約13%にまで抑制される．

② 制御発破１は振動速度を抑制できるが，発破継続時間が長くなるため，不快と感じることがある．

③ 制御発破２は発破振動を抑制できるだけでなく，発破継続時間も短くできるため，体感的な不快感や不安感を抑制できる．

④ 住民ヒアリング結果から，発破振動の周波数を高周波帯にシフトさせた制御発破２では，同じ振動速度値であっても体感上の振動レベルを低減できる結果となった．また，表-6に示す火薬学会の人に対する管理値が64～79 dB(0.1～0.6kine相当)，同種工事の過去の事例における民家に対する管理基準値[4]が0.1～0.5kineであることを考慮すると，１kineを超えて昼夜の施工ができたことは，数値に表れない体感上の低減効果であると考えられる．

⑤ 騒音レベルに関しては，制御発破１では大きな騒音抑制効果が見られなかったが，制御発破２では騒音レベルが抑制され距離減衰も大きいことが確認された．

6　おわりに

本工事では，民家直下のトンネル掘削において，高精度電子雷管による１孔１段の制御発破により振動・騒音を抑制することで，昼夜を通してトンネル施工が可能であった．これにより，トンネル進行を落とすことがなく，周辺住民の「多少のことは我慢するから，早く通り過ぎてほしい．」という要望に応えるとともに，早期開通が急務である本トンネルの工程が遅延することなくトンネル貫通に至った．これは，振動・騒音の抑制に加えて，発破振動のヒアリングや発破時間の事前通知などの周辺住民との日々のコミュニケーションも重要であることを追記しておく．

また，振動・騒音計測結果から，制御発破の定量的な振動抑制効果が確認された．とくに，高精度電子雷管は，発破振動の周波数を制御することで，同じ振動速度値でも体感上の振動レベルを低減できることが確認された．これは，高精度電子雷管を使用する場合，振動の管理基準を大きくとることができることを示唆しており，大きな成果と言える．

最後に，本工事の成果は，工事周辺の住民の皆様のご理解，ご協力があればこその成果である．この場をお借りして，手代森地区の住民の皆様に心より感謝申し上げる次第である．

参考文献

1) 日本火薬工業会：あんな発破こんな発破　発破事例集，2002.3.
2) 勘定茂・前田佳克・渕先弘一・北村義宜：高精度秒時電子雷管を用いて地盤振動と低周波音を低減，新名神高速道路　箕面トンネル，トンネルと地下，Vol.47, No.9, pp.7-14, 2016.9.
3) 岩野圭太・越川俊幸・栗木欣也・落川崇征・福井勝則：高精度電子雷管を用いた住宅地直下における環境負荷低減発破，トンネル工学報告集，Vol.24, Ⅰ-35, 2014.12.
4) ジェオフロンテ研究会：現場技術者のための制御発破工法の実際，pp.141-143, 1996.11.



トンネル発破技術のバイブル!!

わかりやすい
トンネル発破技術

監修　山田隆昭

Ｂ５判　76頁　本体価格1,500円

本書は，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詳しく解説している．

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

土木情報 No. 537 今月の主な入札結果

（1月10日～2月10日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
北海道開発局	北海道縦貫道七飯町大沼T避難坑峠下工区	大成・伊藤・齊藤JV	3,687
〃	〃 西大沼工区	大林・岩田地崎・森川JV	3,368.94
〃	小樽市塩谷T	大林・福津JV	3,320.77
東北地整	R45芦ヶ沢地区道路	三井住友建設	2,776.5
〃	R106与部沢T	五洋建設	2,871
関東地整	H29-32荒川宗岡副水路樋管新設	大成建設	1,605
〃	H29・30 R357市川共同溝補強その10他	古谷建設	205.5
〃	稲荷山T	戸田建設	940
北陸地整	H29・30加賀拡幅西島2号函渠他	北都組	145.6
〃	H29-32金沢東環月浦T	大林組	4,555
〃	甚之助谷地すべり万才谷排水TⅢ期	飛島建設	817
近畿地整	相生有年道路有年横尾地区函渠	大給組	109.9
〃	〃 有年原地区函渠	神崎組	143.1
〃	下東地区佐織谷川樋門築造	鈴木建設	242
中国地整	三隅・益田道路土田T	東急建設	1,086.76
九州地整	熊本3号小田代T新設	戸田・橋口JV	2,576.68
水資源機構	大規模地震対策柴山サイホンほか耐震補強	近藤組	189.5
青森県	五戸川地震・高潮対策(古館1号樋門)	田名部組	360
宮城県	(仮)崎山T	丸本組	1,490
都・財務局	H29中防外3号線ほか雨水管布設	徳倉建設	380
都・下水道局	蛇崩川増強幹線	ノバック	4,056
〃	世田谷区玉川三丁目，瀬田四丁目付近枝線	日本国土開発	895.00
神奈川県	平塚市田村～浅間町地内基幹管路更新(第2工区)	フジタ・馬淵・テクノジャパンJV	2,010
愛知県	第2北部幹線第1工区(その2)配水管敷設	名工・近藤・泉JV	1,660
京都府	桂川右岸流域下水道洛西浄化センター建設(呑龍ポンプ場土木)	オリエンタル白石・金下・ケイコンJV	6,025
東松島市	下街道排水区(雨水排水)下水道管渠	フジタ	769.3
下野市	H29・30仁良川地区雨水管渠整備(18・19路線)	前原・小林JV	362.2
我孫子市	若松第3排水区雨水管布設(3工区)	津川興業	102
広島市	八木・緑井地区雨水渠築造(その1)	フジタ・アイサワ・河井JV	2,975

建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著　A5判 326頁　本体価格 4,300円

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

施工

2函同時沈設による大型ニューマチックケーソン施工

—東京下水道　千住関屋ポンプ所—

東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所工事第一課長　武見敏靖
(株)大林組生産技術本部設計第四部副部長　山下徹
(株)大林組千住関屋JV工事事務所所長　小野寺彰
(株)大林組千住関屋JV工事事務所工事長　小山一朗

1 はじめに

千住関屋ポンプ所は，東京都足立区千住地域に位置し，近年増加している局地的豪雨の発生などに伴う雨水流出量の増大に対応するために設ける新たな雨水ポンプ所で，千住地域の雨水を吸揚し，隅田川に放流するための施設である．

現場はマンションなどの集合住宅に囲まれた地域にあり，工事開始までに周辺住民との協議に十数年を要した経緯がある．さらに，早期に工事を完成させるよう地元からの強い要望があり，周辺住民との良好な関係を構築しつつ，厳格な工程管理を要求された．現場全景を写真-1に示す．



写真-1　現場全景写真

2 工事概要

本工事は，西側ケーソン(2,614m²)と東側ケーソン(2,289m²)の大型ニューマチックケーソン2函を離隔2.0mという近接した状況で同時沈設する世界初の工事である．表-1に工事概要，図-1，2に現場断面図および平面図を示す．

表-1　工事概要

項目	内容
工事名称	千住関屋ポンプ所建設工事
発注者	東京都下水道局
受注者	大林・大本建設共同企業体(特)
施工場所	東京都足立区千住関屋町10番地
工期	2010(平成22)年2月8日～ 2017(平成29)年3月9日(1～4期工事)
工事内容	ニューマチックケーソン2函沈設 西側：53.9m×48.5m(深さ53.8m) 最終圧気圧0.450MPa 東側：39.8m×57.5m(深さ50.1m) 最終圧気圧0.417MPa 土工事・築造工・仮設工
数量	掘削：281,494m³ コンクリート：114,018m³ 鉄筋：19,913t 刃口金物：504t 鋼矢板：2,083t 各種基礎杭：377t

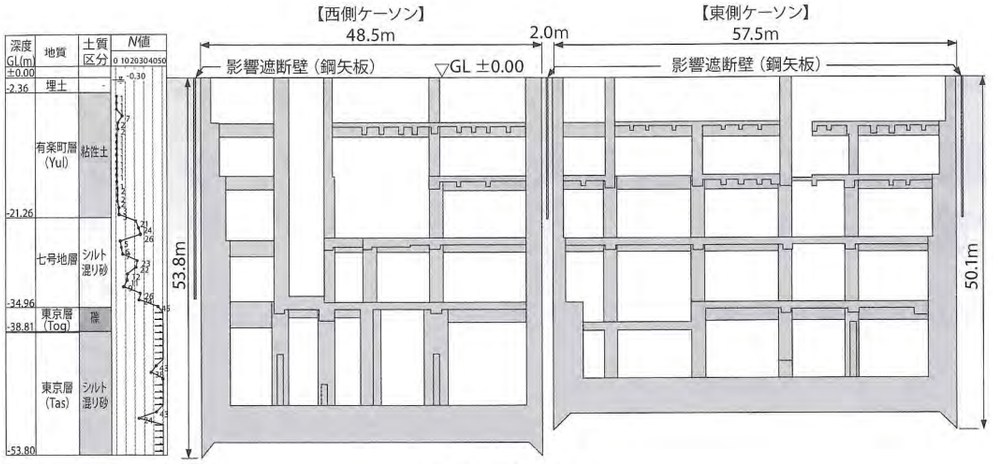


図-1　断面図

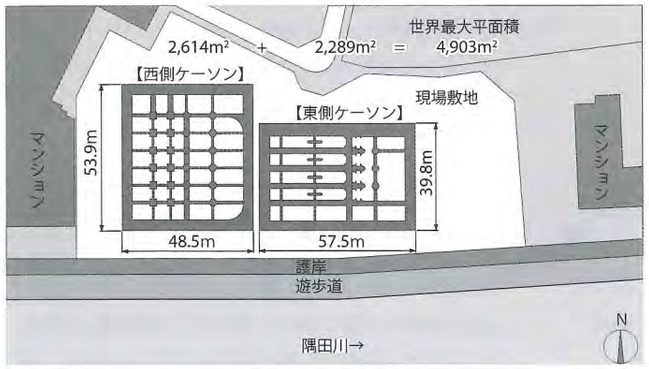


図-2　現場平面図

3　本工事の特徴

3-1　ニューマチックケーソン２函同時沈設施工採用の経緯

東京都下水道局の雨水ポンプ所新設工事は，低地の雨水を吸揚して放流することを目的としているため，とくに都内東部地区では，土質条件が悪く地下水位の高い箇所に建設されることが多い．さらに，本工事のように都市部での施工になる場合も多く，用地制限による躯体の大深度化，周辺住民への工事負担軽減のため，工期短縮に対応する必要がある．それらの課題に対応するため，ニューマチックケーソン工法が採用された．

本工事は，世界初の大型ニューマチックケーソン２函同時沈設施工となっているが，仮に１函体とした場合，掘削面積が4,983m²となり，世界最大の掘削面積となる．

１函体での施工を採用しなかった主な理由として，敷地用地の形状の問題がある．敷地用地の制限により，ポンプ所平面形状が正方形や長方形ではなく，それを合わせたような異形形状となっている．通常，異形ケーソンでの沈設施工では，検討手法が十分に確立されていない「ねじれ」などの現象が発生する場合があり，本工事では，世界最大の掘削面積を有することを鑑み，安全で確実な施工が可能となる２函分割施工が採用された．

また，本ケーソンは，沈設時の躯体の剛性を確保するため，底版と底版上部に格子状に配置した補強仮壁が一体化した逆Ｔ形状の吊り桁構造となっているが，工事完成後，補強仮壁は撤去しなければならない．１函体とした場合，この補強仮壁の寸法，数量ともに膨大となり，設置および撤去に伴う経済性の問題，また工期延長の問題を招くため２函体に分割しての沈設施工が採用された．

２函分割施工を実施するにあたり，同時沈設施工が採用された理由としては，冒頭に述べたように，周辺住民との協議により，早期に工事を完成させるよう強い要望を受けており，工期短縮が最大の理由として挙げられる．

3-2　周辺住民との工事協定

本工事は，マンションなどに囲まれた地域の中で行われるため，周辺住民の工事への関心が非常に高く，工事開始までに周辺住民との協議に十数年を要した．また，工事現場周辺の協議会と発注者，受注者であるJVの３者により，工事協定を締結し，工事を進めている．工事着手後も約４か月に１度の頻度で定例会を開催した．

主な工事協定内容を以下に記す．

①　作業時間制限(8：00～18：00)

②　工事関係車両の搬出入台数制限(200台以下/日)

③　工事関係車両の通行ルート制限

本工事は，①の条件により，夜間工事は行わず，躯体構築工事およびニューマチックケーソン沈設工事を昼間施工のみで同時施工を行った．また，②の条件により，工事関係車両の通行に伴う安全確保および振動・騒音・渋滞問題を考慮し，ポンプ所躯体工事の各ロットのコンクリート打設作業については，分割施工とした．③における工事関係車両の通行ルートについては，工事着手後も定例会による協議に非常に時間を要した問題であり，解決までに１年を要した．解決策として，生コン車などの車高の高い車両が通行できなかった道路の改良工事などを行い，新しい通行ルートを確保するなどして，複数の通行ルートの運行を選定することで，工事車両に伴う沿道住民への負担を地域で分散させることとした(図-3)．

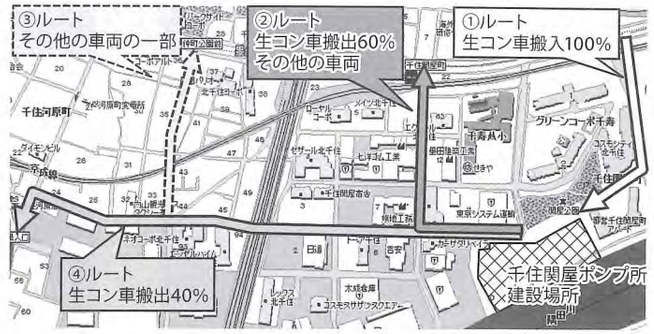


図-3　工事車両通行ルート

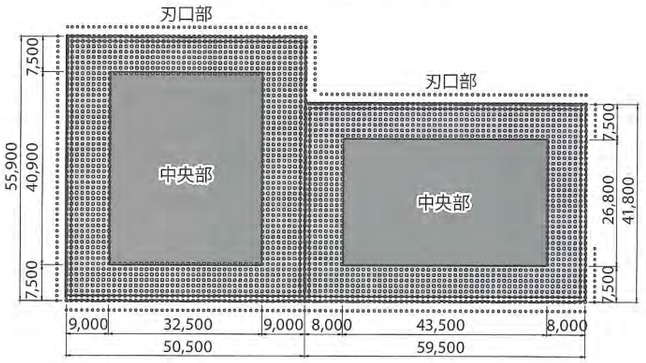


図-4　地盤改良範囲平面図

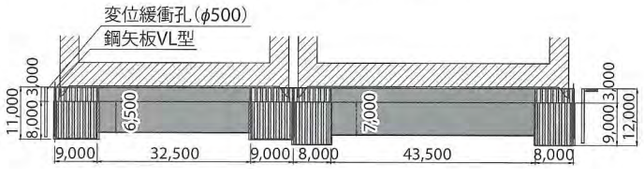


図-5　地盤改良範囲断面図

4　地盤改良工の概要

ニューマチックケーソン工事において，構造物の初期構築時の自重に対する地盤支持力強化と，初期沈設時の不等沈下・過沈下防止を目的として，２種類の工法による地盤改良を行った．当初設計では，ケーソン下全範囲において，静的締固め砂杭工法による地盤改良が採用されており，使用材料である砂(約20,000m³)の搬入台数は10tダンプトラックで約4,000台と非常に多かった．

そこで，砂杭の代替案として，セメントスラリー撹拌工法を検討した．ニューマチックケーソンの刃口部直下は，沈下掘削時の開口率の関係で，掘り残し部に相当するため，セメント改良などで固結すると，不等沈下や急激な沈下の原因となる．したがって，改良範囲を図-4，5のように刃口部と中央部に分けて，刃口部については静的締固め砂杭工法，中央部については，セメントスラリー撹拌工法の２種類の地盤改良工法を採用した．その結果，砂の使用料を削減し，粉塵発生源の抑制

を図ることができた．搬入車両台数に換算すると，約1,500台を削減することができ，その後の工事を円滑に進めることができた．

5　狭小敷地による構台設置

本工事の用地は，大規模ニューマチックケーソン工事を施工するには非常に狭小な敷地である．狭小な敷地に，躯体構築工事の鉄筋，型枠，型枠支保工の作業ヤード，ケーソン工事の排土に伴う一連の作業ヤードなどを確保しつつ，ニューマチックケーソン工事特有の多種多様な設備を設置しなければならない．さらに，躯体構築工事における生コン打設作業を週２～３回の頻度で実施しており，ポンプ車の配置場所，生コン車の動線を確保する必要がある．このような非常に厳しい施工条件を鑑み，本工事では，６基の構台を重層構造として設置し，敷地を立体的に有効活用した．(写真-2)

6　ディストリビューターの設置

コンクリート打設作業において，上記構台設置に伴い，コンクリートポンプ車の配置位置が限定された．そのため，圧送管の長距離配管および盛替え作業が必要となり，労務数の増大が懸念され，さらに鉄筋型枠工事との干渉により，構築工程に影響を与える可能性があった．そこで，各ケーソン全体をカバーできるブーム長を有するディストリビューター(定置型ブーム)を各ケーソン１基ずつの計２基設置した．これにより，事前の配管設置および盛替え作業がなくなり，躯体構築工程への影響を回避でき，さらに，技能工の確保が困難な昨今，コンクリート打設作業の省力化を図ることができた(写真-3)．

7　沈下掘削工の概要

7-1　無人掘削

沈下掘削における有人掘削が進み，作業室内の気圧が0.20MPaを超える前に遠隔操作による無人掘削に切り替えた．掘削面積が大きく，天井走行式ショベルの台数も多い(西側ケーソン：14台，

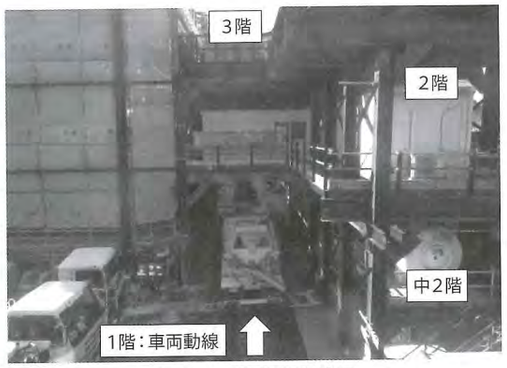


写真-2　構台設置状況



写真-3　ディストリビューター

東側ケーソン16台)ため，オペレーターが掘削箇所および掘削高さを把握しやすいように，天井走行式ショベルに搭載された小型カメラによる映像が映るTVモニターのほか，掘削補助システムとしてパソコンを併設し，自分のショベルの動きが，平面的・側面的にリアルタイムにモニター画面に映し出せる環境とした(写真-4，5)．

7-2　騒音対策

沈下掘削作業は，昼間のみで行っているが，掘削作業中の排気音やコンプレッサーの騒音に対して，周辺への対策が必要であった．以下に主な対策を記す．

①　防音壁
②　騒音対策型マテリアルロック(ワイヤーボックス消音装置，大型ロックマフラー，吐出口三連マフラー，写真-6)
③　ウインチ音低減型排土キャリア
④　ゴムライニング型アースバケット



写真-4　遠隔操作状況



写真-5　掘削補助システム



写真-6　騒音対策型マテリアルロック

⑤　コンプレッサー用防音ハウス

これらの対策を施した結果，掘削作業時の主な音源であるマテリアルロック周辺では，作業気圧0.20MPaのとき，対策なしでは117dBであったが，82dBまで低減することができた．また，約25m離れた敷地境界部では58dBまで低減でき，東京都環境確保条例の規制値を遵守することができた．

7-3　情報化施工システム

ケーソンの沈下管理の情報化施工として，ケーソン躯体内に設置した以下の自動計測器の測定



写真-7　情報化施工システム



写真-8　ヘリウム混合ガス使用状況

データを，パソコン上に10秒間隔でリアルタイムに表示を行い，急激な沈下や不等沈下，傾斜などを防止するための判断材料とした(写真-7)．

沈下計測管理項目として，①函体沈下(鉛直変位)，②傾斜，③刃口反力，④スラブ反力，⑤周面摩擦，⑥壁面土圧，⑦間隙水圧，⑧函内気圧，⑨函内水位，⑩送気流量，がある．

また，これらの情報について，２函それぞれの測定データを，関係者全員が即座に確認できるよう環境を整え，随時確認することによって，２函同時沈設施工特有の，お互いのケーソンへの変位および気圧差などに対する影響について確認することを可能にした．

7-4　ヘリウム混合ガス利用システム

本工事の沈設完了時における最終圧気圧は，西側ケーソンが0.48MPa，東側ケーソンでは0.45MPaであった．函内作業気圧が0.39MPaを超える高気圧下においては，窒素酔いや呼吸ガス密度

の増大による呼吸困難のような高気圧障害が発生しやすく，安全性において大きな問題がある．これらの障害を回避し，安全な函内作業を実現するため，本工事では，ヘリウム混合ガス利用システムを使用した．

天井走行式ショベルの点検およびメンテナンス，地耐力試験の実施，沈設完了後の設備解体時など，作業員による函内作業実施時に，呼吸ガスとして空気の組成の約80%を占める窒素の一部をヘリウムに置き換えた混合ガスを吸いながら作業することにより，高気圧障害の防止を図った(写真-8)．

8　2函同時沈設による技術的課題と解決策

8-1　2函同時沈設による技術的課題

ケーソンの沈下メカニズムは，沈下力である躯体自重(W)が，揚圧力(P)，周面摩擦力(F)および刃口抵抗力(Q)を足した沈下抵抗力を上回るとケーソンが沈下するというものである(図-6)．

本工事では，累積沈下量がGL-15m付近の地盤が，軟弱粘性土から過圧密粘性土および礫層・砂層となる深度において，両ケーソン間の壁面のみ，土圧と周面摩擦力が増加し始めた．これは，ケーソン沈設時のくり返しせん断作用による地盤の体積膨張(正のダイレイタンシー)が原因であると考えられた(図-7，8)．

そこで，地盤のダイレイタンシーを考慮できる非線形力学モデル(Drucker-Pragerの破壊規準)

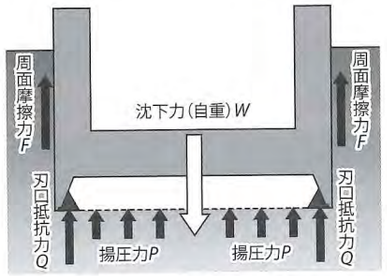


図-6　沈下メカニズム

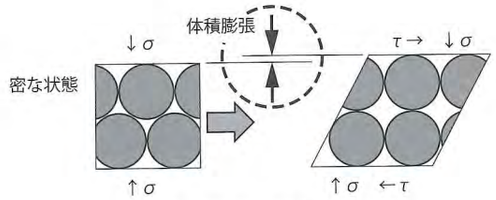


図-7　ダイレイタンシー

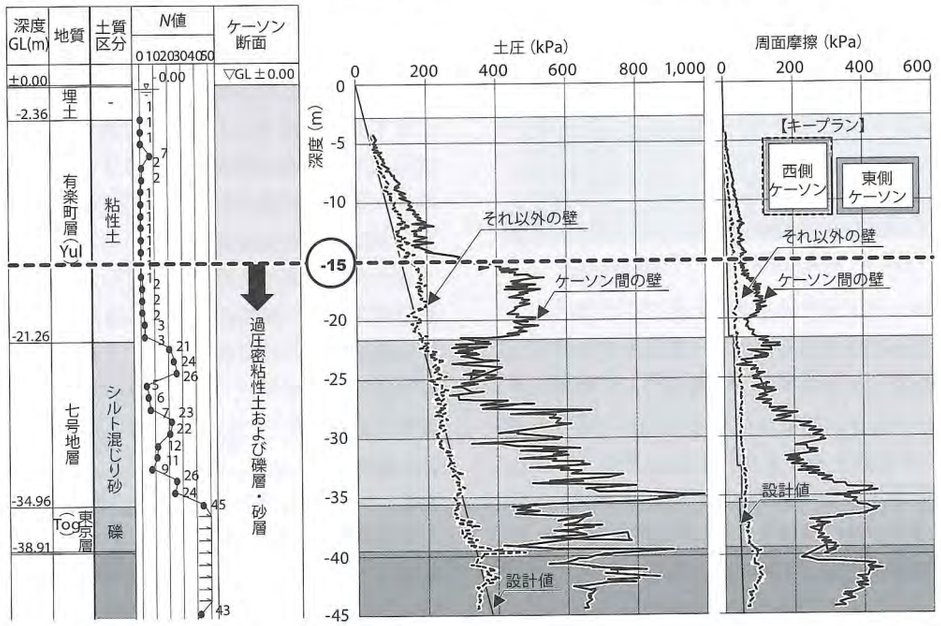


図-8　ケーソン間の各種実測値

を用いた土圧再現解析を行い，原因の妥当性を確認した．その結果，ケーソン沈設時のせん断速度が速いこと，隣接面が広く(約40m)近い(2m)こと，地盤が堅固であることから，ダイレイタンシーの影響は，想定を超えるものであることが確認できた．

周面摩擦力の増加に伴い，沈下抵抗力が増加するため，沈下関係図におけるGL-45m以深の最終沈設時において，沈下力が669,300kN不足し，沈下不能が懸念された(図-9)．

8-2　2函同時沈設による技術的課題の解決策

解決策として，沈下力の増加および沈下抵抗力の減少が挙げられる．本工事では，沈下力の増加として，約57,000m³の水をケーソン躯体内に注水し，自重を増加させた．また，沈下抵抗力の減少として，高圧切削機により，40MPaの高圧水でケーソン間の地盤を緩め，摩擦力を低減することにした．その結果，周面摩擦力を242,800kN減少させることができ，最終的に沈下力が沈下抵抗力を上回り，対策の妥当性を確認した(図-10)．

9　最終施工精度

上記情報化施工システムによる各種計測管理お

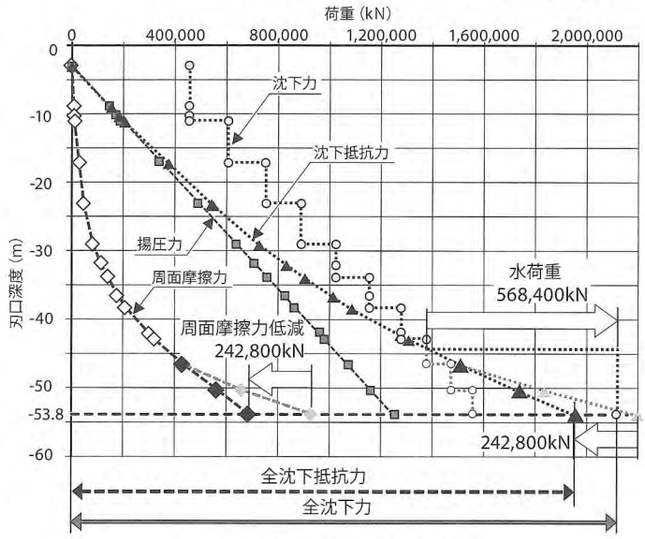


図-10　沈下関係図(対応策立案後)

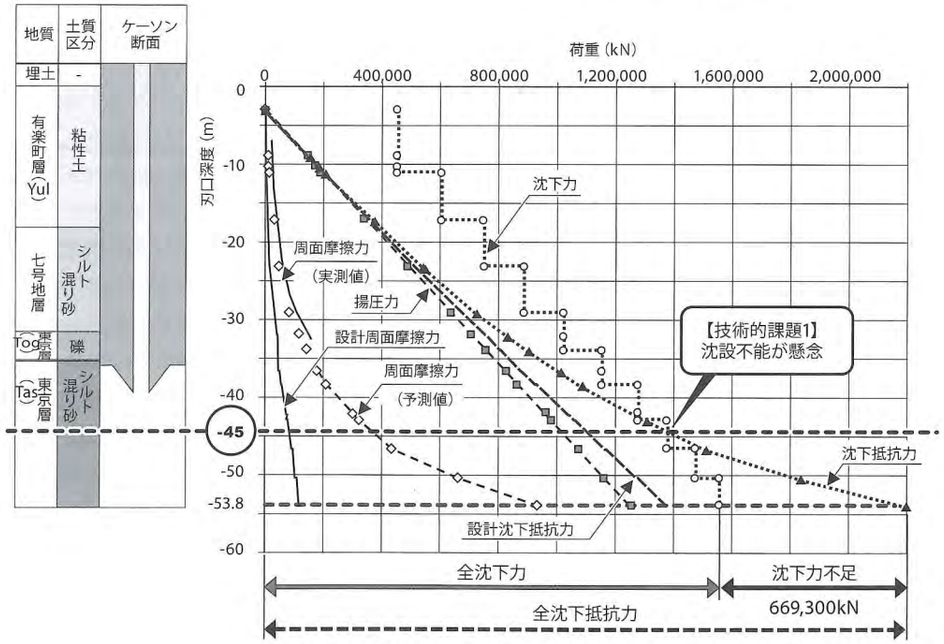


図-9　沈下関係図(対応策立案前)

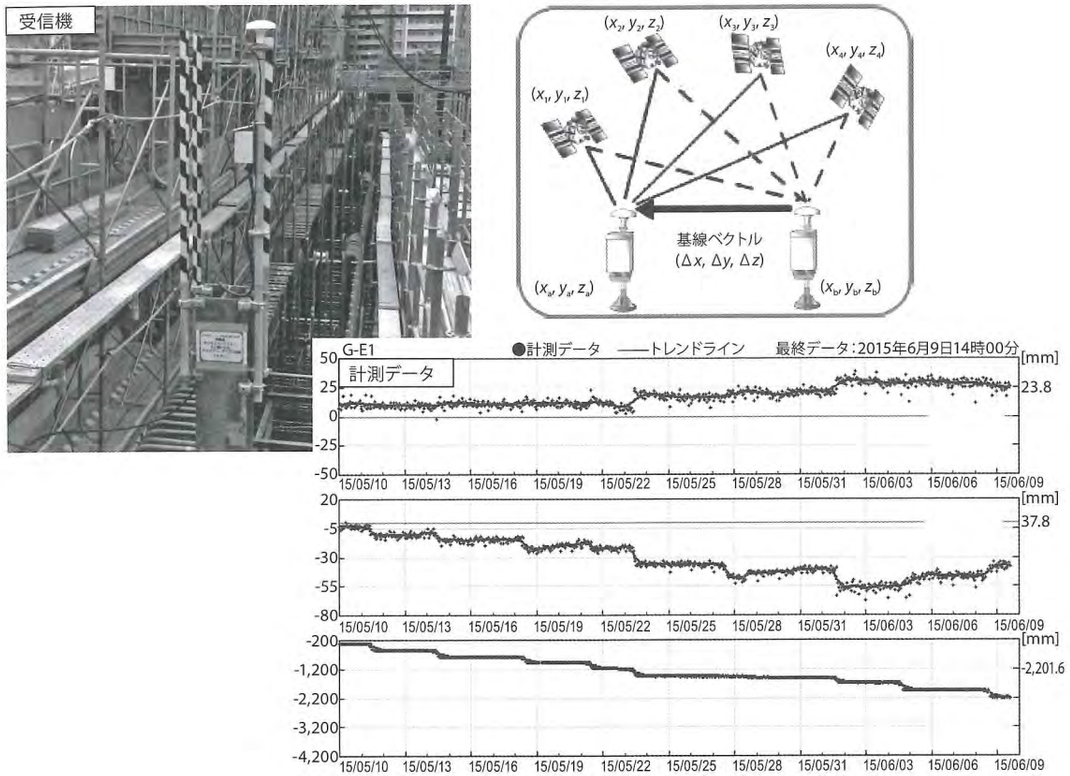


図-11　GPS自動変位計測

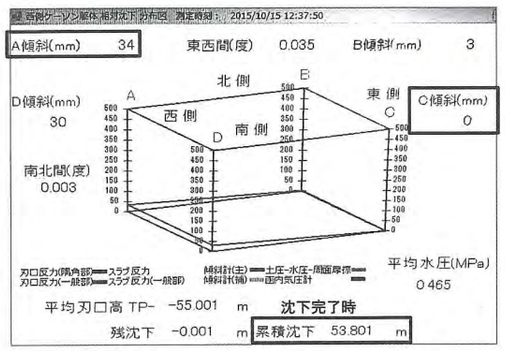


図-12　最終沈設時西側ケーソン傾斜データ

よびGPSによる自動変位計測により，両ケーソンのリアルタイム計測を実施した．とくにGPSによる自動変位計測は，衛星により30秒に1回のデータ取得が可能であり，沈設に伴うケーソンの挙動を随時把握することができるため，沈設方針の決定に大いに役立った．その結果，最終傾斜1/2,000(34㎜)の高精度で2函同時沈設を完了することができた(図-11，12)．

10　おわりに

2函同時沈設による大型ニューマチックケーソン沈設工事は，2017(平成29)年3月に完了しているが，引続き千住関屋ポンプ所建設工事の5期工事を施工中である．同時沈設を完了した2函ケーソンの離隔2.0m部を掘削し，両ケーソンを連結させる工事である．狭小部における大深度掘削工事であり，こちらも世界初となる難工事であるが，綿密な施工計画にもとづき，安全管理・品質管理に妥協することなく無事故・無災害での竣工を目指している．

今後ますます大平面・大深度である大型ニューマチックケーソン工事の採用が見込まれる中，本工事の施工実績が参考となれば幸いである．

施工

世界で初めて液化CO_2凍結工法を海底シールド到達防護に採用

—石狩湾新港発電所1号機放水路トンネル—

北海道電力(株)石狩湾新港火力発電所建設所土木課((現)水力部土木グループ)　畠田大規
鹿島・熊谷・五洋・伊藤共同企業体石狩湾新港発電所放水設備工事事務所所長　向井昭弘
鹿島建設(株)北海道支店土木部特定プロジェクトグループ　阿部聡
ケミカルグラウト(株)技術本部技術開発部　塩屋祐太

1　はじめに

北海道電力(株)は，石狩湾新港(しんこう)発電所1号機新設工事(北海道小樽市)を進めている．札幌市の北西約15kmの石狩湾新港地域に位置する石狩湾新港発電所は，北海道初の液化天然ガス(LNG)を燃料とするコンバインドサイクル発電方式を採用した火力発電所である[1]．

発電所の放水設備は，主に循環水管(放水管)，放水池，放水路蓋渠，放水路立坑，放水路トンネルおよび放水口(以下，「J管」)から構成され，本工事では放水路立坑，放水路トンネルおよびJ管の構築を行う(図-1)．

このうち放水路トンネルは，泥水式シールド工法により構築し，海底面下に沈設したJ管へ接続する，内径ϕ4.7m，全長1,045mの海底トンネルである．

図-2に放水路トンネル概要図を示す．

海底地盤中に到達するうえで，品質管理および安全管理の精度向上を目的として，①トンネル内作業の位置検知システムの構築・運用，②CIMを活用したシールド掘進管理システムの開発・導入，③真円度自動測定システムによる組立管理，④機内からの到達位置探査および⑤CO_2を用いた新しい凍結工法などを採用した[2]．

このうち新凍結工法では，シールドの到達防護として，世界初となるNH_3，CO_2を冷媒とした凍結工法を採用し，シールドの解体作業と並行してJ管へのシールド接続作業を行った．本稿では，この放水路トンネル工事におけるシールド解体工およびCO_2を用いた新しい凍結工法による到達防護工の施工実績について報告する．



図-1　石狩湾新港放水設備工事概要図

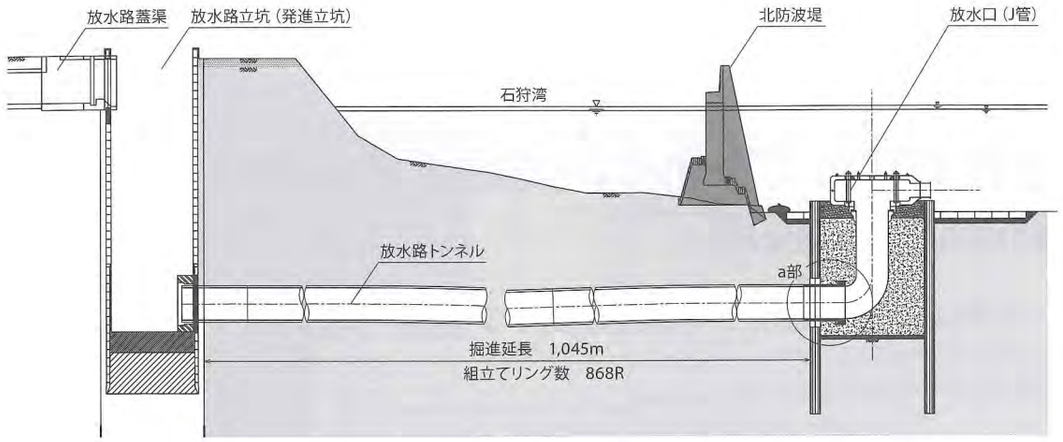


図-2　放水路トンネル概要図

2　全体工事概要

工 事 名：石狩湾新港発電所1号機新設工事のうち土木本工事（第3工区）
工事場所：北海道小樽市銭函
工　　期：2014（平成26）年3月12日～2018（平成30）年8月24日
発 注 者：北海道電力（株）
施 工 者：鹿島・熊谷・五洋・伊藤共同企業体
主要工事数量：
〈放水路トンネル〉
泥水式シールド工法
掘削延長：1,045m
セグメント：外径5.3m，内径4.7m，幅1.2m
RCセグメント：685R
コンクリート中詰め鋼製セグメント：183R
土かぶり：最小11.9～最大27.7m
縦断勾配：上下3.0％
最大地下水圧：0.39MPa
近接構造物との離隔：
北防波堤8.7m（＞1.5*D*）
〈放水路立坑（発進立坑）〉
内面平滑型RCプレキャストブロック圧入工法
外径13.4m，内径12.0m，有効深さ39.75m
〈放水口（J管）〉
没水型鋼管矢板井筒工法
内径15.2m，掘削深さ18.5m

3　基　本　計　画

3-1　海底到達後のシールド解体工概要

本工事では，海底下におけるJ管とシールドの接続および解体作業を安全に行うため，シールド側とJ管側から二重の凍結工を実施した．

図-3にシールド到達・解体工の施工イメージ図（図-2のa部詳細）を示す．シールドがJ管フード部に到達したのち，余掘り部およびシールド側の凍結管が内蔵されている斜板部を裏込め材により充填する．充填後は，シールド1次解体として隔壁より坑口側の機内解体を行うと同時に，シールド側の3本の凍結管を運転することで，J管フード部とシールドとの間に凍土を造成する（1次凍結）．

1次解体完了後，隔壁にカッタヘッドなどの切羽解体部材の搬出を目的としたマンホールを増設する．その後，シールド2次解体として切羽のモルタルの斫りおよびカッタヘッドの解体・搬出作業を行う．このとき，わずかな水みちも完全に止水することを目的として，シールド側の1次凍結と並行して，J管側にある3本の凍結管を運転し，凍土を造成する（2次凍結）．

カッタヘッド解体後は，シールド側およびJ管側双方の凍結運転を維持しながらJ管とシールド間に止水鉄板を溶接することで，J管とシールドスキンプレートの一体化を図るとともに完全に止水する．その後，測温管を閉塞し，凍結運転を解除する．最後に，3～4次解体として駆動部および隔壁などのスキンプレート内部付帯品を撤去する．

STEP 1　シールド到達・後退防止装置取付け
↓
STEP 2　余掘り部充填
↓
STEP 3　シールド1次解体（隔壁より後方部．後部デッキ・ジャッキなど）
シールド側1次凍結運転
↓
STEP 4　隔壁部マンホール増設
↓
STEP 5　シールド2次解体（隔壁より前方部．カッタなど）
J管側2次凍結運転
↓
STEP 6　止水鉄板溶接・測温管閉塞
↓
STEP 7　凍結運転停止
↓
STEP 8　シールド3～4次解体（隔壁・駆動部など）

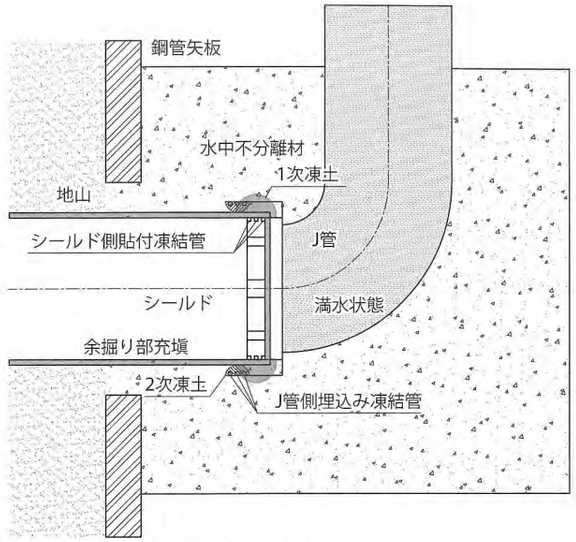


図-3　シールド到達・解体工の施工イメージ図（図-2のa部詳細）

表-1　地球温暖化係数（GWP）一覧表

分　類	代表例	GWP	使用制限
CFC（フロン）	R-12	10,900	2009年廃止
HCFC（フロン）	R-22	1,810	2020年廃止
HFC（代替フロン）	R-404A	3,920	検討中
自然冷媒（NH_3）	R-717	<1	
自然冷媒（CO_2）	R-744	1	

3-2　液化CO_2を用いた凍結工法

3-2-1　概　要

表-1に地球温暖化係数（GWP）一覧表を示す．GWPとはCO_2を基準とした場合の地球温暖化への影響を評価する係数であり，従来の凍結工法で使用しているフロン（HCFC）は，2020年に製造中止となる．代替フロン（HFC）も地球温暖化対策の観点から今後規制される見込みである[3]．新しい凍結システムでは，1次，2次冷媒ともに自然冷媒を採用していることから，環境負荷低減の効果が高く将来性のある工法である．

図-4　従来システムとの比較図

図-4に従来システムとの比較図を示す．従来の凍結システムでは，凍結管に塩化カルシウム水溶液などの不凍液を循環させ，送りと戻りの温度差による顕熱を利用して凍土を造成していた（顕熱凍結）．冷凍機では，フロンによる冷凍サイクルで地盤から奪った熱を冷却水に移し，冷却塔から大気へ放熱する．

一方，自然冷媒を使用した新しい凍結システムは，液体で送られたCO_2の一部が地盤の熱により気化して気液混合状態となって冷凍機に戻る．このCO_2が一部気化して戻ってくる際の潜熱で地盤

から熱を奪い，凍土を造成することが可能である（顕熱＋潜熱凍結）．気化したCO_2はNH_3と熱交換して再液化され，常に液体CO_2が供給される．このように，ブラインをCO_2に変えることで，温度差分の顕熱だけでなく，状態変化に伴う潜熱も使えるようになる．また，CO_2の潜熱は従来工法の不凍液の顕熱よりも大きいので，従来方式の1/10程度の流量で同等の凍土を造成することが可能である[4),5)]．

図-5にCO_2の状態図[6)]を示す．CO_2は大気圧下では液体で存在しないが，圧力を0.7～0.8MPaに維持することで，気体と液体の相変化が可能となる．温度は-45℃となり，従来の運転温度である-30℃よりも低温となる．また，CO_2の粘性は従来のブラインの1/90程度であることから，配管径およびポンプ動力の縮小や長距離圧送が可能となる．表-2に本工事で採用した液化CO_2凍結工法と従来工法の比較一覧表を示す．

本工事での凍結工法は，シールドとJ管フード部との間に凍土を造成し，接続部構造を構築するまでの止水を目的とした到達防護工である．本工事では海底下でのシールド接続・解体作業を止めることなく施工可能な作業性と，凍土造成期間半減による工程短縮を期待して液化CO_2凍結工法を採用した．

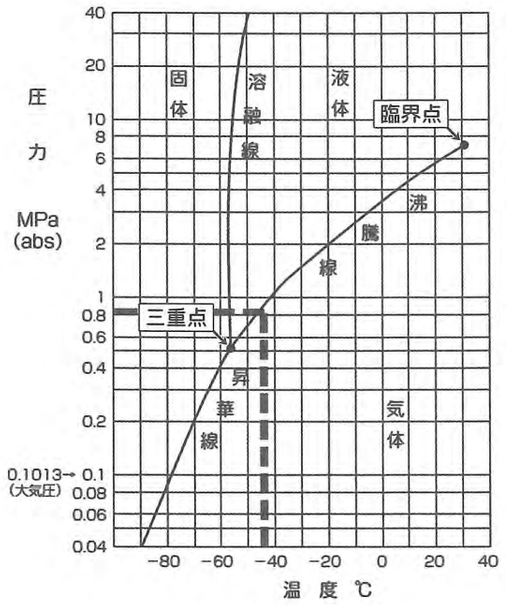


図-5　CO_2の状態図[6)]

3-2-2　凍結設備の仕様と配置

分割ユニット型の凍結設備を立坑上からシールド坑内に搬入し，バッテリーロコで運搬した．凍結設備はCO_2リザーブタンク，冷凍機，ドライクーラー，NH_3除害器で構成される．NH_3除害器は消防法（高圧ガス保安法）により設置が義務づけられている．図-6に坑内凍結プラント配置図，表-3に使用機械一覧，表-4に凍結設備の仕様一覧を示す．シールド側凍結管は3本で構成されており，斜板部内に内蔵している．一方，J管側凍結管はバルクヘッド中央部に取り口があり，J管フード部に3本の凍結管が設置されている．図-7に凍結管断面図を示す．

凍土造成状況の確認には測温管を利用した．測温管はシールド1次解体後に打設し，J管フード

表-2　液化CO_2凍結工法と従来工法の比較一覧表

	液化CO_2凍結工法	従来工法
冷却温度	-45℃	-30℃
1次冷媒	NH_3	フロン・代替フロン
2次冷媒	CO_2	塩化カルシウム水溶液
供給流量	2～5L/min	20L/min
配管径	メイン配管50A程度 枝配管12A程度	メイン配管100A程度 枝配管25A程度
配管方法	フランジ・ねじ接続	溶接
ポンプ動力	1.1～2.2kW	22kW
特徴	・冷却温度が低いため，凍土造成速度が早い（工程短縮）． ・潜熱を利用するため，冷却効率が高い． ・自然冷媒のため，地球環境負荷を大幅に低減できる． ・配管径が小さく，設備がコンパクト（省スペース化）． ・配管接続が容易で，施工の迅速化が図れる． ・ポンプ動力が小さく，電力消費量を大幅に低減できる．	・建設工事において施工実績が多い． ・薄肉配管での施工が可能．

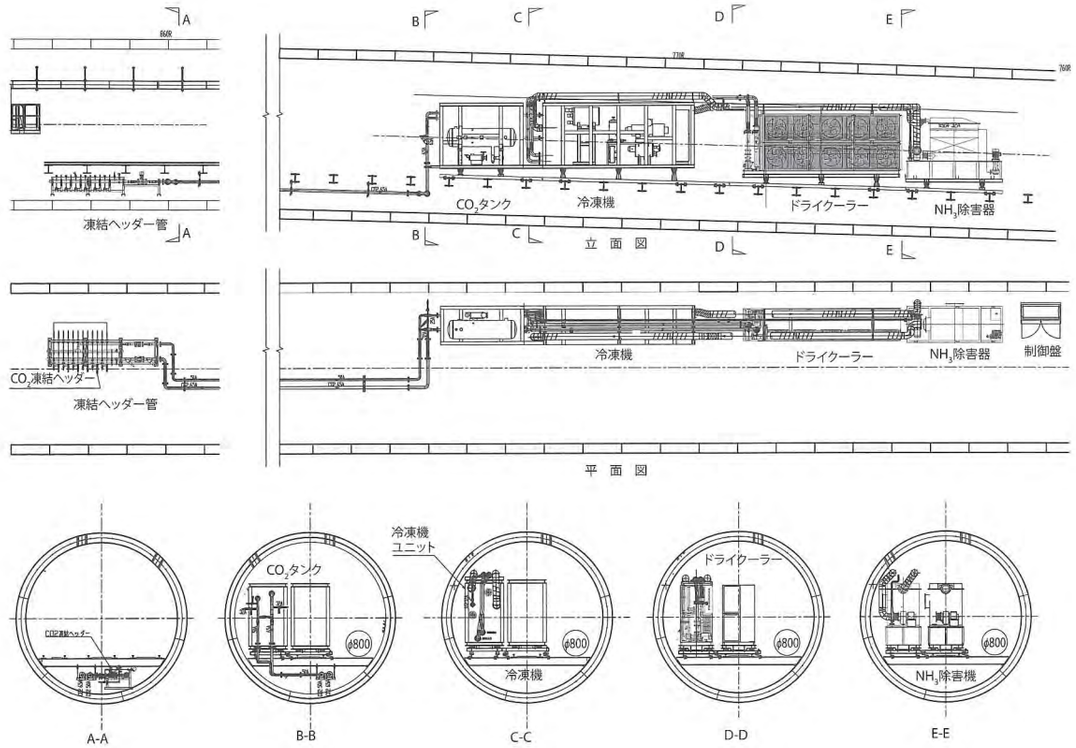


図-6　坑内凍結プラント配置図

表-3　使用機械一覧

冷凍機（レシーバー側）	冷凍機（圧縮機側）	ドライクーラー	NH_3除害器
			
4,700㎜×1,200㎜×2,030㎜	7,210㎜×840㎜×1,200㎜	4,900㎜×1,000㎜×1,879㎜	1,120㎜×2,970㎜×1,900㎜

表-4　使用機械一覧

項目	仕様	数量	単位
冷凍機	ユニット2分割	1	台
凍結管	シールド側：50㎜角パイプ J管側：50A丸パイプ	各3	本
ヘッダー管	6系統	1	台
メイン配管	送り配管：50A 戻り配管：65A	各100	m
測温管	φ40.5単管ロッド 各3点計測	8	本

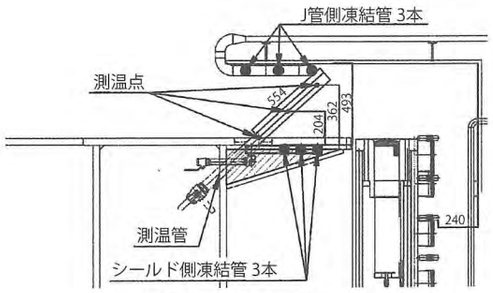


図-7　凍結管断面図

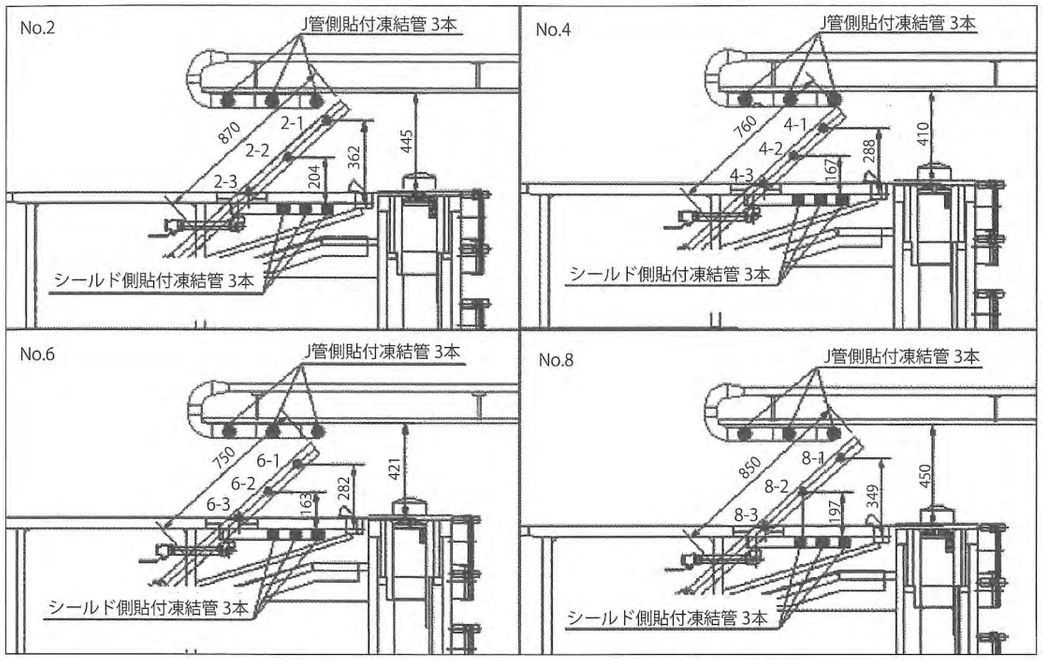


図-8　凍土造成状況の判断に用いた測温管の熱電対配置図

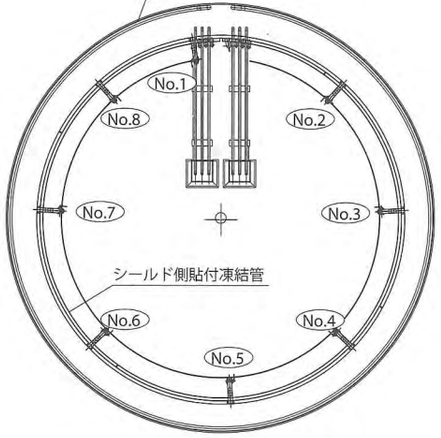


図-9　測温管配置図（n＝8 か所）

部分に 8 か所設置することで，温度変化を測定した．各測温管は先端，中間，根本の 3 か所で温度を測定することができる．**図-8** に凍土造成状況の判断に用いた測温管の熱電対配置図，**図-9** に測温管配置図を示す．測温管 No.2，4，6，8 の 4 本を判断基準として，シールド解体中の凍土造成状況を確認することとした．

4　施　工　実　績

4-1　凍結設備の設置とシールド側 1 次凍結工

シールド到達後，切羽から 118～130m の後続台車後方に凍結設備を設置した．シールド 1 次解体作業中のバッテリーロコ走行の妨げにならないよう，通常一体物である凍結設備を分割式にすることにより幅を 1.2m 以下とした．さらに，冷凍機内の配管の配置を工夫し，坑内運搬時の高さ制限に対応した．また，後続台車が存在したため，凍結プラントからシールド切羽まで約 100m の距離があったが，バッテリーロコの軌道の枕木下にブラケットで CO_2 のメイン配管を設置した．

これにより，シールド 1 次解体に伴い発生した解体材を搬出するスペースと動線を常に確保することができた．なお，ヘッダー管は切羽から 10m 地点の枕木下に設置し，各配管には独立気泡断熱材を巻き付けることで防熱処理を施した．また，断熱材の上には防炎シートも巻き付けて解体作業で発生するガス切断作業などの火の粉対策を行った．凍結プラントの設置作業は，シールド到達後



(a)　メイン配管（枕木下）



(b)　冷凍設備

写真-1　各設備の設置状況

約 1 週間で完了することができた．**写真-1** に各設備の設置状況を示す．

凍結配管完了後，窒素ガスで配管内に 2.5MPa の圧力をかけて漏気確認を行った．**写真-2** に 1 次凍結配管完了状況を示す．漏気がないことを確認したのち，内部の湿気を除去するために配管内を -0.1MPa の真空状態にした．その後，冷凍機に NH_3 をチャージし，配管内に CO_2 をチャージしながら冷凍機の運転を開始した．冷媒チャージ時は，ガス検知器を使用して周囲の NH_3 濃度，CO_2 濃度を測定していたが漏洩はなく，安全に作業できた．

1 次凍結運転開始から 5 日後にチャンバ内水抜きを実施した．その際の切羽湧水量は約 1.2L/min であった．その後の切羽湧水量は，運転開始から 1 週間後で約 0.05L/min と大幅に減少した．解体中は，シールドと J 管フード部間の凍結による止水効果を確かめるために，駆動部のバルブよ

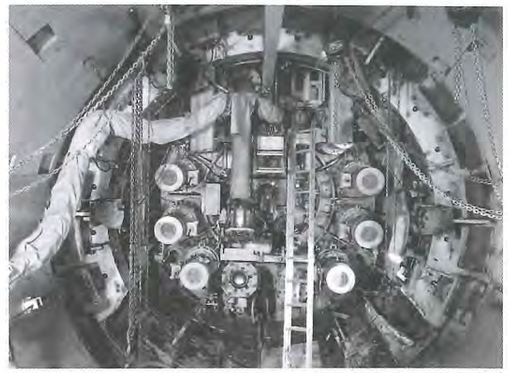


写真-2　1 次凍結配管完了状況

り作業開始時と完了時に毎日湧水量の測定を行った．凍結運転は凍結管 1 本あたり CO_2 を約 3～5 L/min 循環し，凍土を造成した．

4-2　シールド 2 次解体工と 2 次凍結工

チャンバ内の水抜きを実施したのち，作業性と安全性の観点から，隔壁の中央および下部にマンホールを増設した．これはシールド 2 次解体であるカッタ切断に先立ち，チャンバ内のモルタルを斫り，下部マンホールから搬出するためである．その後，モルタルの中から J 管側凍結管の取り口を斫り出し，2 次凍結を開始した．J 管側からも挟み込むように凍結維持運転を行うことで，カッタ切断などの火気使用中も凍土を維持することができ，海底でのシールド解体作業を安全に行うことができた．**写真-3** に J 管側凍結管接続部の状況，**写真-4** にチャンバ内の凍土造成状況を示す．

1 次凍結のみの運転では切羽湧水量が 0.05L/min であったが，2 次凍結を開始したことで湧水量は 0 L/min となり，滲み程度の湧水も確認できない状態となった．2 次凍結運転直後に測温管の温度が約 -30℃まで急激に低下したことからも，急速に凍土が成長し，1 次凍結時に存在していた水みちを遮断したことが推測できた．例として，**図-10** に No.2 測温管の温度データを示す．

4-3　J 管側止水鉄板溶接と凍結解除

2 次凍結運転後，シールドスキンプレートと J 管間に造成された凍土を止水鉄板設置位置まで斫り出し，その間に止水鉄板を溶接した．**図-11** に J 管側止水鉄板取付施工図を示す．シールド側と J



写真-3　J管側凍結管接続部の状況



写真-5　止水鉄板溶接箇所の加温状況



写真-4　チャンバ内の凍土造成状況



写真-6　取付後の止水鉄板

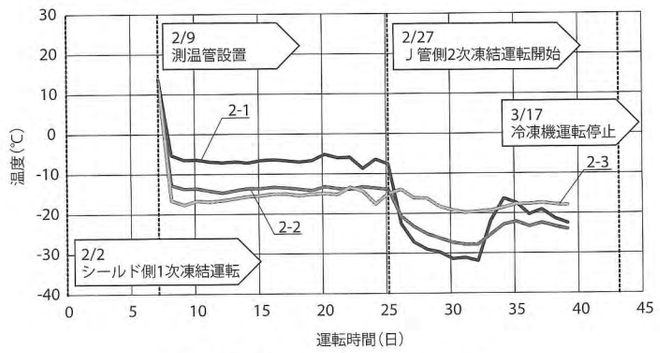


図-10　No.2 測温管の温度データ

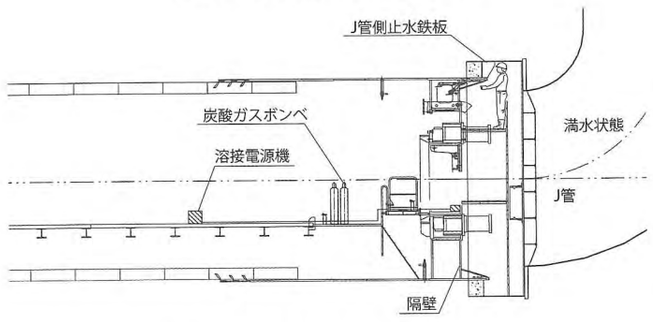


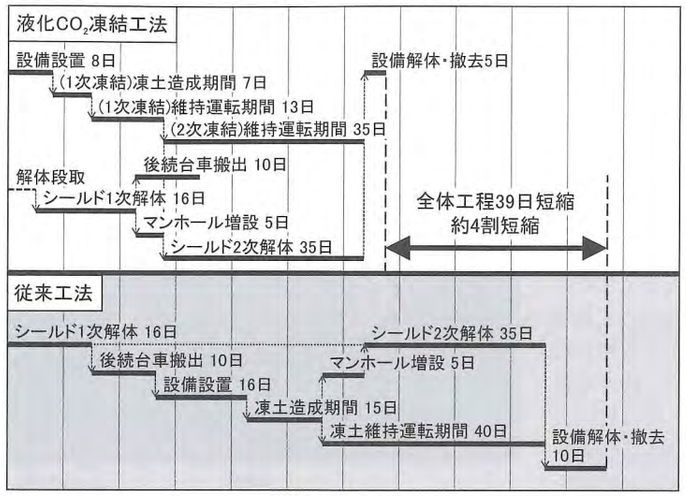
図-11　J管側止水鉄板取付施工図

管側の溶接予定箇所については，プロパンガスバーナーで融解し，温度チョークで管理しながら溶接作業を行った．これと同時に，測温管で凍結温度を常時監視しながら作業を行った結果，凍土の融解による出水はいっさい発生しなかった．**写真-5**に止水鉄板溶接箇所の加温状況，**写真-6**に取付後の止水鉄板を示す．J管側止水鉄板溶接後，測温管を閉塞し，1次および2次凍結運転を停止した．

5　工程短縮効果

先述したとおり，シールド到達後，約1週間で凍結プラントの設置作業を完了し，シールド解体作業と干渉することなく円滑に凍結運転を実施することができた．**表-5**に従来工法との工程比較表を示す．従来のフロン・塩化カルシウム水溶液を使用する工法と比較して，約1か月の工程短縮を実現し

表-5　従来工法との工程比較表



た．これは，専有面積の大きい凍結設備を切羽付近に設置する必要がある従来の凍結工法に対して，本工法では凍土造成期間中にシールドの1次解体を行うことができたため，1次解体終了後からスムーズに2次解体作業に移行できたことに起因する．また，工程短縮に伴い，消費電力についても約40%削減することができ，本凍結工法はコストダウンと環境負荷低減にも大きく貢献した．

6　おわりに

本工事では，シールド到達部となるJ管が海中に没していることから，シールドとJ管の接続，シールドの解体作業を高水圧下で安全に行うことが大きな命題となっていた．

そこで，建設業では世界初適用となる液化CO_2凍結工法を採用し，シールド解体作業と到達防護凍結工を並行して実施した．その結果，約1か月の工程短縮を実現し，迅速で安全な接続・解体作業を実現することができた．また，冷凍機の効率向上とポンプ動力の削減により，約4割の消費電力を削減し，地球温暖化緩和へも貢献することができた．

本稿が同種工事の参考となれば幸いである．

参考文献

1) 遠藤勉・齋藤寿秋・畠田大規：石狩湾新港発電所新設工事における放水路トンネルの設計と施工，電力土木，No.398，pp.50-54，2017.
2) 阿部聡・山崎信一・向井昭弘・高柳哲・渡邉和英・畠田大規：高品質・高精度の海底シールドトンネル構築に向けた取り組み，第27回トンネル工学報告集，Vol.27，Ⅱ-9，2017.
3) 始関修一：コールドチェーンを構成するインフラ，冷凍，Vol.92，No.1079，p.11，2017.
4) 相馬啓・有泉毅・塩屋祐太：CO_2気液混合流体による地盤凍結工法の開発，第26回トンネル工学報告集，Vol.26，Ⅱ-10，2016.
5) 塩屋祐太：世界初CO_2気液混合流体を使用した凍結工法，石狩湾新港発電所放水設備工事シールド到達防護，土木施工Vol.59，No.1，pp.99-102，2018.1.
6) 日本産業・医療ガス協会　炭酸ガス分科会：液化炭酸ガス取扱テキスト，p.4，2009.

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

トンネルジャーナル

宮古盛岡横断道路 新区界トンネル(仮称)が貫通

東北地方整備局岩手河川国道事務所が整備する宮古盛岡横断道路の新区界トンネル(仮称)が貫通し，1月11日，同トンネル内で，施工を担当する鹿島・東急特定JVの主催のもと，宮古市長，盛岡市長をはじめ工事・地元関係者ら約270名が参加して貫通式が催された．式典では宮古市指定無形民俗文化財の田代念佛剣舞保存会が剣舞を披露するなどして貫通を祝うとともに開通に向けた工事の安全を祈願した．

同トンネルは，岩手県盛岡市と宮古市に跨がる区界峠を貫く4,998mのNATMトンネル．幅員12mの本坑と幅員5mの避難坑(延長5,045m)の2本のトンネルから構成される．2014年11月20日に掘削を開始．連続性が乏しく，複雑な地層を構成する付加体(根田茂帯)の地山を発破工法により掘進した．粘板岩と蛇紋岩からなる破砕帯区間では大規模な支保工の変状や天端崩落が発生したほか，2016年8月30日に岩手県に上陸した台風10号による停電に伴う掘削作業の中止などを経て，昨年11月22日に本坑の貫通に至った．最大月進は本坑164m/月，避難坑201m/月．

本坑の早期貫通を実現するため，掘削が先行する避難坑から作業坑を分岐させて掘削し，本坑を同時に4か所の切羽から掘削したほか，1人のオペレータで4つのブームを操作できるフルオートコンピュータジャンボを導入．生産性を上げるとともに，


写真提供：鹿島・東急特定JV



(上)式典で披露された剣舞．(下)4切羽での掘削イメージ

自動で収集された削孔データを用いて，切羽前方の地質を評価し，合理的な支保工の選定に用いた(本誌Vol.49，No.1，pp.15-25参照)．

宮古盛岡横断道路は，宮古市から盛岡市に至る延長約66kmの地域高規格道路．東日本大震災で被災した沿岸部と内陸部との強力な連携を推進することによる被災地の早期復興支援や，平常時も含めた緊急輸送圏域の拡大などによる安全・安心を確保するため，復興支援道路として整備が進められている．

志賀姥ケ懐トンネルで貫通式

宮城県が整備し，安藤ハザマ・橋本店・上の組JVが施工する，県道岩沼蔵王線志賀姥ケ懐(うばがふところ)トンネルの貫通式が1月24日に開催された．式典には関係者ら約150名が参加し，通り初めなどで祝った．

同トンネルは1,285mの片側1車線の道路トンネル．主に砂岩・シルト岩からなる地山を機械掘削のNATMで施工した．管径1,000㎜の上水道用のさや管がインバート下部に敷設されるため，さや管施工中の変状が予測された区間では，変状の早期発見と対策実施に努め，観測と観測結果をフィードバックする体制を強化したほか，さや管とインバートの施工では，インバート桟橋にさや管設置用クレーンを装備するなど施工方法を工夫し，進捗を確保した．



写真提供：安藤ハザマ・橋本店・上の組JV

同道は，仙台空港周辺の沿岸部と東北縦貫道など内陸部を結ぶ重要路線．線形の悪い狭隘な峠道区間があり，東日本大震災時に復旧車両の通行に支障を来したことから，災害時にも有効に機能するよう，同トンネルほか約1.9kmの改良を進めている．

連載講座

セグメントの新技術Ⅱ(4)

—機能付加セグメント(1)—

「セグメントの新技術Ⅱ」連載講座小委員会

1 はじめに

今回は，耐久性や耐火性の向上を目的として機能を付加したセグメントである「高機能SFRCセグメント」「RSFセグメント」「耐火セグメント」および「耐火型NMセグメント」を紹介する．

2 高機能SFRCセグメント

2-1 開発目的

高機能SFRC(Steel Fiber Reinforced Concrete)セグメント(以下「SFRCセグメント」)は，厳しい環境条件や荷重が作用するシールドトンネルにおいて，耐久性に優れた高品質な覆工を提供することを目的として開発されたセグメントである．

2-2 セグメントの概要と特徴

SFRCセグメントは鋼繊維(写真-1)を混入したコンクリートを用いて製作する鉄筋コンクリート製セグメントである．

SFRCセグメントの特徴は以下のとおりである．

① 鋼繊維の混入により，通常の鉄筋では補強が難しいセグメントの隅々まで補強できるため，施工時荷重に起因するセグメント端部の剝離，剝落を防止できる．

② ひび割れ発生後も鋼繊維が引張力を伝達するため，コンクリート断面にも曲げ・引張に対する耐荷力が残存する．これにより，主断面の補強効果があり，また，変形追従性に優れた高いじん性を有する．



写真-1 鋼繊維



写真-2 PP繊維

③ 鋼繊維の分散によりコンクリート断面が受け持つせん断耐力を向上でき，スターラップ，フープ筋の補強効果を有する．

④ 鉄筋の配置が困難なはぞ継手部において，補強筋を用いずに押抜きせん断耐力を向上できる．

⑤ ひび割れの発生を分散させる効果があり，ひび割れが発生した場合にもひび割れ幅を小さくすることができ，耐久性を向上できる．

⑥ 鋼繊維のランダムな存在により腐食電流の流れを妨げ，鉄筋腐食の進行を遅延させることができる[1]ため，耐久性に優れる．

⑦ 高流動コンクリートを使用した場合，テーブルバイブレータによる締固め作業が不要になり，製作設備の簡略化が図れる．さらに，製作時の環境負荷が低減できるためセグメントの現地製作が可能になり，積込み，輸送にかかわるコスト縮減が期待できる．

⑧ PP(ポリプロピレン)繊維(写真-2)を追加混入することで，セグメント自体に耐火機能

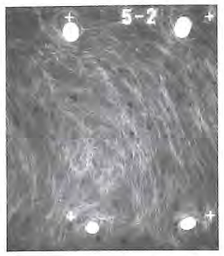
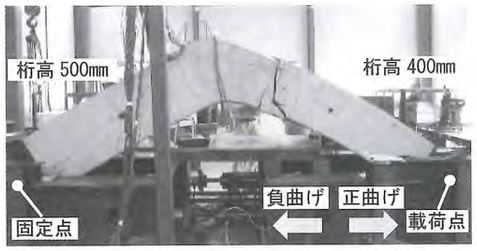


写真-3　鋼繊維分散状況



【載荷装置の説明】
桁高500mm側をヒンジ支承の固定点とした．
桁高400mm側をヒンジ支承＋水平ローラーの載荷点とし，水平方向に載荷した．

写真-5　単体曲げ試験載荷状況



従来型RCセグメント



SFRCセグメント

写真-4　端面剥離誘発試験後供試体

を付与することが可能となる．

2-3　実験概要

開発にあたり，さまざまな性能確認試験が実施されている．本稿では，鋼繊維分散状況確認試験，端面剥離誘発試験，単体曲げ試験，単体せん断試験，ほぞ継手押抜きせん断試験，および耐火試験について詳述する．

2-3-1　鋼繊維分散状況確認試験[1)]

SFRCセグメントでは，コンクリートの配合を調整して材料の分離抵抗性を高めるとともに，適切な練混ぜ・打設方法を採用することで鋼繊維が偏ることなく充填性が確保される製造方法を確立している．本試験では，打設後のセグメントを切断し，切断片のX線写真により，鋼繊維の分散状況を確認した．

繊維が塊となるファイバーボールの発生もなく，鋼繊維が隅角部を含めて全断面にわたり均等に分散していることを確認した(写真-3)．

2-3-2　端面剥離誘発試験

端面剥離誘発試験には，セグメント端部にφ100mm，$t = 1.5 \times 2 = 3.0$mmの剥離誘発板を設置し，他端の面に載荷することで端面を剥離させる方法を採用し，剥離荷重および剥離状況を確認した．比較のため従来型RCセグメントとSFRCセグメントの2体について実施した．

表-1　降伏荷重および最大荷重の比較

		降伏荷重(kN)		最大荷重(kN)	
		正曲げ	負曲げ	正曲げ	負曲げ
実験値	正負交番	290	−401	319	−495
	単調載荷	307	−419	398	−529
設計値（鋼繊維考慮）		253	−375	259	−401

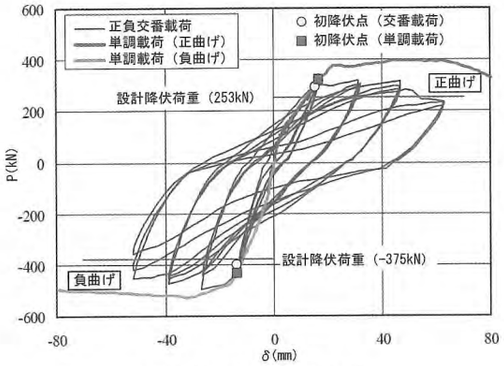


図-1　荷重P-変位δ関係

試験後の供試体を写真-4に示す．端面に剥離が生じた荷重は，従来型RCセグメントが400kN，SFRCセグメントが500kNであった．従来型RCセグメントでは，剥離面がセグメントの断面中央付近まで深く達しているのに対し，SFRCセグメントでは，剥離箇所が端部に限定されており，剥離に対する抵抗性の向上を確認した．

2-3-3　単体曲げ試験[2)]

単体曲げ試験は，幅12m×高さ8m規模の複合アーチ形シールドトンネルを想定し，厚さ500mmから400mmに断面変化する隅部セグメントを模擬した幅850mmの供試体を用いて実施した．コンクリートは設計基準強度42N/mm²，鋼繊維混入率0.6vol%とした．単調載荷(正曲げ)試験に加え，隅部に作用する単調載荷(負曲げ)試験および地震時のくり返し荷重を考慮した正負交番載荷試験を実施した(写真-5)．

降伏荷重および最大荷重の比較を表-1に，荷重P-変位δの関係を図-1に示す．

単調載荷試験，正負交番試験のいずれにおいても，降伏荷重，最大荷重が鋼繊維の補強効果を考慮した設計値を上回っており，高い曲げ耐力を有することを確認した．

また，いずれのケースでも，鉄筋降伏後の変位に対しても荷重を維持できており，変形追従性に優れ高いじん性を有することを確認した．

2-3-4　単体せん断試験[2)]

単体せん断試験は，桁高500mm，幅850mm，長さ3,500mmの平板供試体を用いた2点載荷による単体せん断試験を実施した(写真-6)．

載荷荷重1,950kNで載荷点と支点を結ぶ斜め方向のせん断ひび割れが発生したがすぐにはせん断破壊せず，2,655kNまで荷重を維持しせん断破壊に至った．実強度を考慮したRC棒部材の設計せん断耐力V_{cd}に対して約2.5倍のせん断耐力を有することを確認した(図-2)．

2-3-5　ほぞ継手押抜きせん断試験[3)]

桁高500mm，幅1,400mmの分割された3ピースからなる平板供試体を用いたほぞ継手の押抜きせん断試験を実施した(写真-7)．

最大荷重983kNに達したあとも，直ちにせん断破壊することなく，ピーク時変位の約2倍の変位量に達するまで900kN以上の荷重を維持した．実強度を考慮したRCほぞ部材の設計押抜きせん断耐力V_{pcd}に対し，約1.8倍の押抜きせん断耐力を有することを確認した(図-3)．



平板供試体せん断破壊状況

写真-6　単体せん断試験

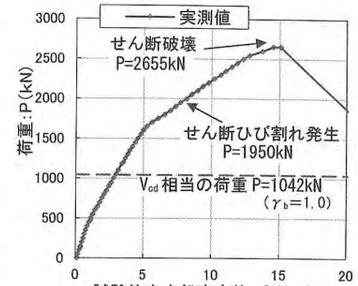


図-2　荷重P-変位δ関係



ほぞ継手押抜きせん断破壊状況

写真-7　押抜きせん断試験

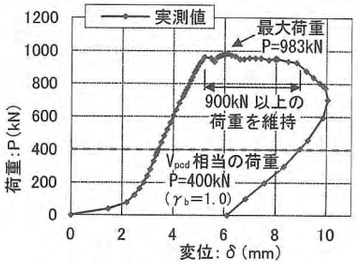


図-3　荷重P-変位δ関係



写真-8　耐火試験状況



本体部　　継手部

写真-9　供試体表面

2-3-6　耐火試験[4)]

耐火試験は，幅2,000mm×厚さ400mmの平板型とし，本体部および継手部の2種類の供試体を作成し，爆裂に対し厳しい条件となるよう断面力を導入して耐火試験を行った．なお，供試体には0.2vol%のPP繊維を混入し，加熱にはRABT曲線を使用した(写真-8)．

試験の結果，いずれの供試体にも過大な変形が生じることなく，表面に爆裂が生じることもなかった(写真-9)．また，内部の鉄筋，継手面の継手金物，継手アンカー筋，地山側シール材も基準の温度以下であることを確認した．

2-4　実施工への適用

さまざまな試験によりSFRCセグメントの構造

性能を確認し，2008(平成20)年に(財)国土技術研究センターの建設技術審査証明(一般土木工法)を取得している．その後も実験，改良を重ね，鉄道，道路，下水道，共同溝など，これまでに11件の実績がある．

いずれのトンネルにおいても，従来型RCセグメントに比べ施工時荷重による剝離・剝落やひび割れの発生の減少が確認されている．最近では，施工時荷重への抵抗性の向上，ひび割れ幅の抑制，鉄筋腐食進行の遅延効果といった品質や耐久性の向上を主目的とした，鋼繊維混入率0.3vol%の配合の適用も可能となっている．引続き，耐久性が必要とされる厳しい条件のトンネルを中心に，幅広い用途への展開を図っていく所存である．

(文責：西森昭博・菅野静/(株)大林組)

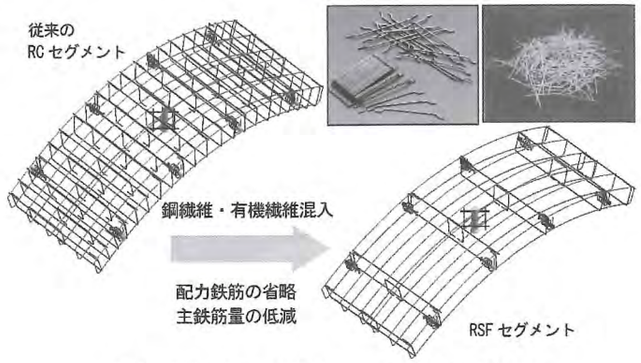
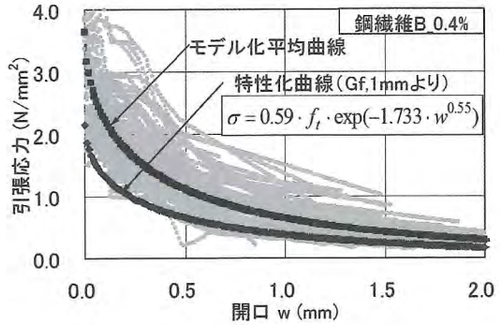
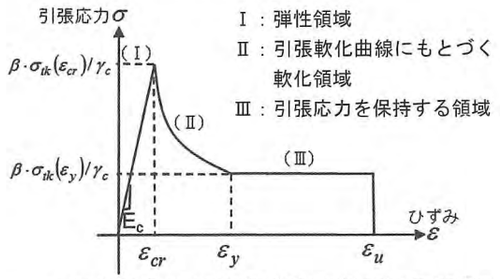


図-4　RCセグメントとRSFセグメントの比較



(a)　引張軟化曲線の特性化曲線



(b)　引張応力-ひずみ曲線

図-5　引張応力-ひずみ関係へのモデル化

③ RSFセグメント

3-1　開発目的

RSF(Reinforced concrete with Steel Fiber)[5]セグメント(以下「RSFセグメント」)は，省力化・コスト縮減を図るためにセグメントの薄膜化・幅広化，継手の簡略化が採用され，施工時荷重によるひび割れ・欠けなどの品質劣化に対応するために開発された．開発の目標は，これらの施工時荷重の問題を解消し，また，鋼繊維の持つ特性を有効活用し，合理的なセグメントを設計・製作できるようにすることである．

3-2　RSFセグメントの特徴

3-2-1　構造概要

RSFセグメントは，繊維の補強効果を考慮し，従来のRCセグメントの配筋に対し，図-4に示すように，配力鉄筋を省略し，主鉄筋量を低減でき，またはすべてを繊維(鋼繊維，有機繊維)に置き換えたシールドトンネル用のセグメントである．

3-2-2　設計手法の概要[6,7]

RSFセグメントは，補強コンクリートの引張軟化特性を適切に評価し，従来のRCセグメントと同様に土木学会トンネル標準示方書［シールド工法編］に準じた設計が可能である．また，設計マニュアルも整備されている[7]．その特徴を以下に示す．

(1)　引張軟化特性を適切に反映

RSFセグメントの設計では，図-5に示すように，

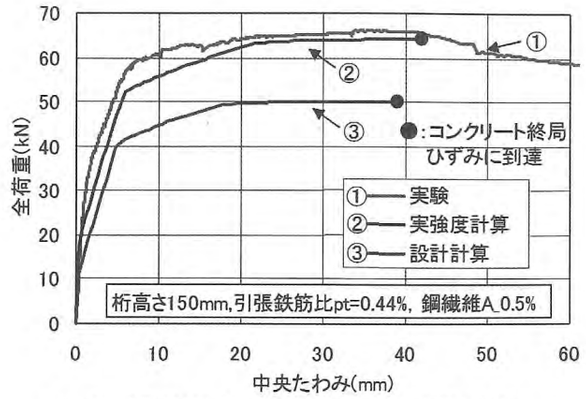


図-6　実験結果と設計法にもとづく解析結果の比較

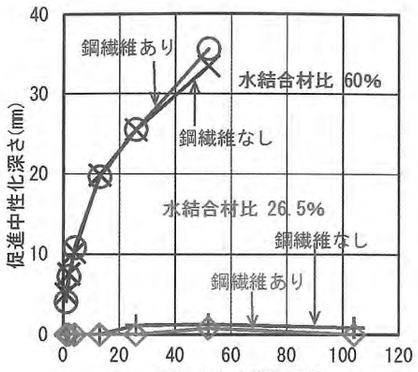


図-7　促進中性化試験の結果

繊維補強効果をモデル化した引張応力-ひずみ曲線を考慮し，設計断面耐力，ひび割れ幅，曲げモーメント-曲率関係を算定する．

(2)　限界状態設計法にて設計が可能

RSFセグメントは図-6に示すように，荷重作用時の挙動を精度よく評価することができる．これにより，限界状態設計法の終局限界状態，使用限界状態での安全性を確保した設計が可能である．

(3)　耐久性の照査

繊維補強効果により，組立時のひび割れや，角欠け・剝離に対する抵抗力が向上する．また，繊維混入の有無を要因とした促進中性化試験，および塩水浸漬試験を実施し，繊維の混入により炭酸ガスや塩分のコンクリート中への浸透に違いのないことを確認した(図-7)．よって，中性化や塩害などの耐久性に及ぼす繊維の影響を適切に照査できる．

(4)　耐火性

耐火用の有機繊維を混入することで，爆裂を抑制し，火災に対する抵抗性を確保することができる．

3-2-3　製作についての特徴

従来のRCセグメントとほぼ同等の手法で製作できる．使用するコンクリートの配合は，従来のRCセグメントで使用しているスランプ仕様の配合(スランプ3cm程度)でも，高流動コンクリートの配合でも対応可能であり，繊維の分散も良好である．



写真-10　共同溝工事適用事例

3-3　RSFセグメントの実績

RSFセグメントは，共同溝工事・電力洞道工事に適用されており，従来のRCセグメントと比較して，組立時のひび割れ，角欠け・剝離の発生を大きく減少させることができた．写真-10に共同溝の本線と立坑(土木学会賞技術賞受賞)に適用した事例を示す．

④ 耐火セグメント

4-1　セグメントに対する耐火対策

近年，主に自動車交通を用途とするシールドトンネルにおいて，掘削土量の低減，施工の合理化

の観点から，二次覆工を省略することが多くなっている．その一方で，従来は二次覆工によりトンネル内での火災から本体構造であるセグメントは守られていたが，この省略によりセグメントに対する耐火機能が期待できなくなった．このようなことから，二次覆工を省略した道路用途のトンネルでは，火災による本体構造の損傷を防ぐ耐火対策が別にとられるようになっている[8]．

シールドトンネルのセグメントに対する耐火対策は，大別して二つあり，一つはセグメント表面に耐火板と呼ばれるボードを設置して，火災時の熱をセグメントに伝達しない方法である．もう一つは，コンクリート製セグメント表面の熱による劣化は許容するが，火災時であっても耐荷力を失わないようにする方法である．前者は，珪酸カルシウム系やセラミック系のボードをセグメント表面に設置することで，火災時の熱による有害な劣化を生じさせない方法である．一方後者は，あらかじめ熱による表層の劣化範囲を耐火しろとして設定し，それより内部は所定の温度以下になるように規定する方法である．後者のようなセグメントは，コンクリート自体に耐火性が付与されていることから，耐火セグメントとも呼ばれている．これ以降で，この耐火セグメントの概要を紹介する．

4-2　耐火セグメントに要求される耐火性

耐火セグメントは，トンネル火災時の熱を受けても，セグメント表層の耐火代を除く範囲が，鉄筋コンクリート構造として十分な耐荷力を保持する必要がある．これは具体的には，セグメント内部のコンクリートと鉄筋の温度が許容値以下となるようにすることで，耐火性を担保している．

耐火セグメントの耐火性は，**写真-11**に示すような実物大のセグメントを模した試験体の加熱試験により確認する[9]．また，このときの加熱条件として，**図-8**に示すような複数の加熱曲線があるが，道路トンネルでの火災を想定したRABT曲線（道路トンネルの設備と運用に関する指針，ドイツ交通省）によるのが一般的である．このRABT曲線は，加熱開始から5分間で1,200℃まで急激に炉内温度を上昇させて，その後は55分間（加熱開始から60分まで）1,200℃を保持する過酷な試験条件である．



写真-11　実大試験体の加熱試験状況[9]

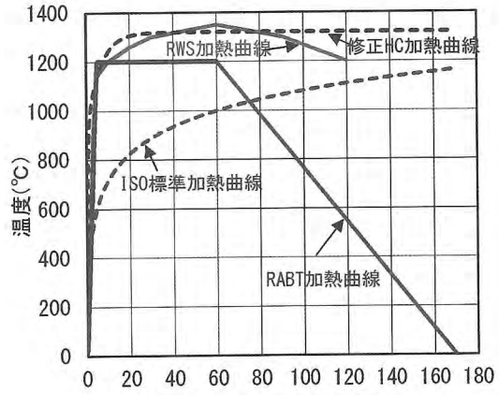
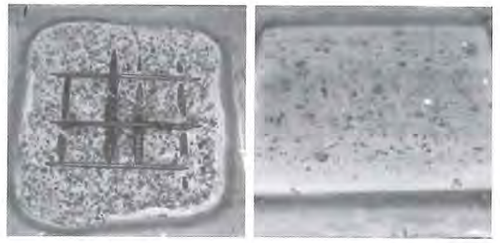


図-8　火災を想定した加熱曲線

耐火セグメントは，製造時のコンクリートに有機繊維を混入することで，加熱によるコンクリートの爆裂を抑制している．コンクリートの爆裂を抑制することで，耐火代のコンクリートは熱による劣化を生じるが，断熱層として機能するため，耐火代より内部のコンクリートと鉄筋を高温から保護することができる．有機繊維としては，ポリプロピレン（PP）繊維や，ポリビニルアルコール（PVA）繊維，ポリエチレンテレフタラート（PET）繊維などが用いられている．これらの繊維は，いずれも加熱の初期に溶融，蒸発することにより，コンクリート内部の水蒸気を外部に放出することに寄与し，水蒸気圧を低減することで，



PP繊維なし　　PP繊維あり

写真-12　PP繊維混入の有無によるコンクリートの耐火性の相違[8]



写真-13　実大セグメント試験体のRABT加熱試験後の外観[8]

コンクリートの爆裂を抑制できると考えられている．

4-3　耐火セグメントの加熱試験

写真-12にPP繊維混入の有無によるコンクリートの耐火性の相違を示す．コンクリートにPP繊維を混入することで，RABT加熱曲線にもとづく加熱を受けても，コンクリート表面の変色は生じるものの，著しい爆裂は生じていない．一方，PP繊維を混入していないと，コンクリート表面が著しく爆裂して欠損し，内部の鉄筋が露出している[8]．

写真-13にPP繊維を混入した実大セグメント試験体を，RABT加熱試験した後の外観を示す．この試験では，実際にセグメントに作用する圧縮応力をPC鋼材により導入して，より爆裂の生じやすい条件を再現したが，PP繊維を混入することで爆裂が抑制され，十分な耐火性を有する耐火セグメントであることが実証された．

このようにRABT加熱試験を通じて，耐火セグメントの耐火性は実証されており，既に多くのシールドトンネルで適用されている．

（文責：服部佳文・堀口賢一・馬場重彰／大成建設（株））

⑤　耐火型NMセグメント

5-1　開発目的

耐火型NMセグメントは，道路トンネルに要求される厳しい耐火性能に応えるべく開発した「耐火一体型鋼-コンクリート合成セグメント」である．伝熱性に優れる鋼製主桁が火災面から地山面への熱伝達性能を高めてコンクリートなどに求められる要求温度をクリアし，更に地山側スキンプレートによる強固な拘束効果によりコンクリートの破壊や抜落ちを抑止する安心・安全な構造を実現すべく開発した．

5-2　概　要

セグメントの形状：矩形
セグメントの材質：鋼材（鋼殻）
　　繊維混入コンクリート
　　不定形耐火材

5-3　特　長

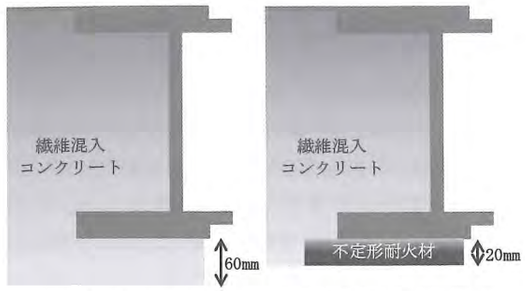
従来のNMセグメントは，内空面を除く5面を覆う鋼殻と中詰めコンクリートで形成される．また，セグメントの切羽側および坑口側端部に配置される主桁には，独自の嵌合機能付き形鋼をフランジとするビルドH形鋼構造を採用している．NMセグメントは，①鋼-コンクリート合成構造による高耐力性能，②独自4条止水構造による高止水性能，③「遊び」を持つ独自嵌合リング継手構造による高耐震性能，④ボルトレス継手による高速施工および安全な組立作業性，などの特長を



図-9　NMセグメント



写真-14　嵌合リング継手構造（独自形鋼）



コンクリートタイプ　　不定形耐火材タイプ

図-10　耐火型NMセグメント

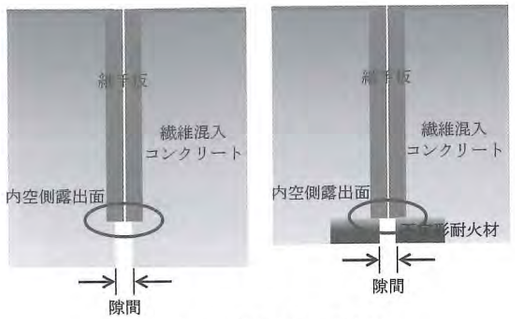


図-11　継手面の鋼材露出部



写真-15　試験体

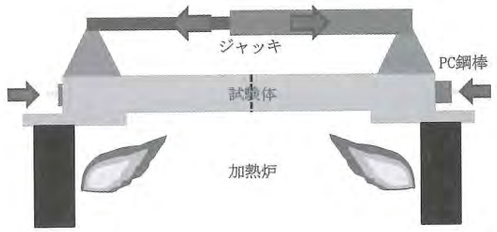


図-12　加熱試験概要

もつ(図-9，写真-14)．

耐火型NMセグメントは，上記NMセグメントの特長はそのままに，さらに耐火性能を付与したセグメントである．具体的な仕様としては，①コンクリート部の爆裂防止，②鋼材や継手部シール材の温度上昇の抑止，を目的にポリプロピレン(PP)繊維を混入したコンクリートを中詰めすることを基本に，内空側の鋼材表面を上記コンクリートで被覆する「コンクリートタイプ」と，不定形耐火材で被覆する「不定形耐火材タイプ」がある(図-10)．

5-4　試　験

耐火型NMセグメントの耐火性能を検証するために，実大加熱試験を実施した．

5-4-1　試験概要

（1）　試験ケース

試験は，継手部シール材および継手面にわずかに内面側に露出する継手鋼材(図-11)の温度上昇も評価するためにセグメント継手部を対象とし，前述した「コンクリートタイプ(ケース1)」および「不定形耐火材タイプ(ケース2)」2種類の性能を確認することとした．

なお，図-11に示した継手面の隙間は，内面側コンクリートや不定形耐火材がセグメント現場組立時などにおいて隣接セグメントに接触し，割れ・欠けが発生することを防ぐ目的で設けられている．しかし，火災時においては，隙間が大きいほど露出部鋼材温度が上昇する可能性があるため，適切な鋼材端部からの控え量を設定する必要がある．耐火型NMセグメントでは，セグメント組立時の目開きの影響なども考慮して独自の控え量を設定し，要素加熱試験などでその妥当性を検証している．

（2）　試験体

試験体は，道路用トンネルは大口径であることおよびPC鋼棒による軸力導入を考慮して平板型とし，桁高300㎜(＋耐火被覆)，幅2,000㎜，長さ1,900㎜の試験体を中央で連結してセグメント継手部を再現した．試験体を写真-15に示す．

（3）　試験条件

試験体を貫通して配置したPC鋼棒および試験体上面に配置したジャッキにより圧縮軸力と曲げモーメントを作用させて道路トンネル供用状態を再現し，耐火性能検証に多く採用されるRABT60加熱曲線(ピーク温度1,200℃を60分保持)に従って加熱した．試験概要を図-12に示す．

表-2　耐火性能評価指標

着目部位	許容温度	爆裂有無
主桁鋼材	350℃	—
継手鋼材	350℃	—
地山側シール材	100℃	—
コンクリート	350℃※	ないこと

※　耐火犠牲層以深の温度

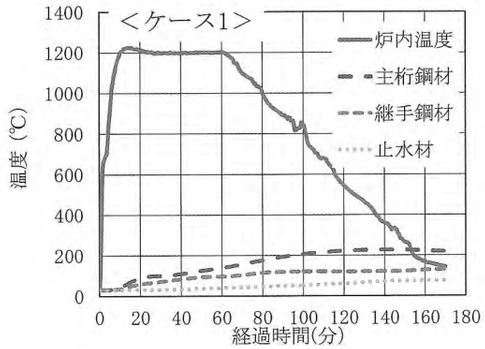


図-13　鋼材温度履歴

耐火性能を評価する指標として，『トンネル構造物のコンクリートに対する耐火工設計施工指針(案)』(土木学会)[10]に記載されている事例を表-2に示す．なお，爆裂などの表面性状は目視にて評価し，各部材温度は熱電対にて計測した．

5-4-2　試験結果

（1）　部材温度

図-13に各ケースの鋼材温度履歴を，表-3に鋼材の主要測定点における最高温度を示す．いずれのケースにおいても，鋼材の最高温度は350℃以下，地山側シール材の温度は100℃以下となり，許容温度以下であった．

表-3　鋼材最高温度

着目部位	ケース1	ケース2	許容温度
主桁鋼材	226℃	206℃	350℃
継手鋼材	130℃	178℃	350℃
地山側シール材	76℃	82℃	100℃

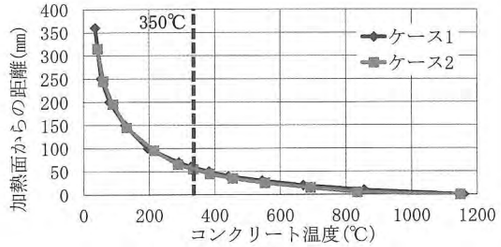


図-14　コンクリート温度分布



写真-16　加熱後試験体(ケース1)

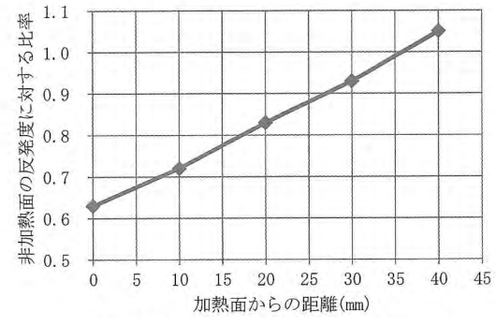


図-15　加熱後のコンクリート強度

また，コンクリートの温度分布を図-14に示す．加熱面から60㎜以深において，許容温度350℃以下となる結果が得られた．

（2）　加熱面状況

ケース1の加熱後試験体の内面側状況を写真-16に示す．耐力に影響を及ぼすコンクリートの爆裂は全く発生しなかった．また，ケース2もケース1とほぼ同様の結果であった．

（3） 加熱後の材料劣化（強度）

加熱試験後のケース1試験体を用いてコンクリート強度の劣化状況を調査した．図-15に，シュミットハンマー法によって測定したコンクリート深さ方向の反発度を，非加熱面の反発度を1.0とした場合の比で示す．加熱面からの深さに比例して反発度比は増加し，加熱面から40㎜以深では非加熱面と同等の強度が残存していることがわかった．

（4） まとめ

2種類の耐火型NMセグメントの耐火性能を実大加熱試験により評価した結果，部材温度，コンクリート表面の爆裂性状，加熱後のコンクリート材料劣化の観点においていずれも問題ないことが確認された．

本試験により，要素試験などを経て独自に設定した耐火型NMセグメントにおける混入繊維，耐火層厚，継手間隙間量などが適切であったことが示された．

5-5 実 績

2017（平成29）年10月現在までに，製造中も含めて計8件の道路用シールドトンネル向けに耐火型NMセグメントを製造している．また，これまでに同様の耐火性能検証試験をさまざまな仕様（寸法，コンクリート配合）の耐火型NMセグメントに対して実施してきたが，いずれも問題は生じなかった．

（文責：中島正整／新日鐵住金（株））

参 考 文 献

1) 吉田公宏・藤井亜紀・林成卓：鋼繊維補強コンクリートを用いたセグメントの実大性能試験，トンネル工学論文集，Vol.14，2004.11.
2) 吉田公宏・土橋浩・津野和宏・屋代勉：シールドトンネルへの適用例（鋼繊維補強コンクリートセグメント），コンクリート工学，Vol.50，No.5，2012.5.
3) 屋代勉・吉田公宏・蛭子延彦・西森昭博・岡山奨：URUP工法に用いるSFRCセグメントの開発(2)，土木学会第65回年次学術講演会，2010.9.
4) 林成卓・森健太郎・松原健太・屋代勉：SFRCセグメントの耐火性について，第15回地下空間シンポジウム，2010.1.
5) 土木学会コンクリート委員会SFRCを用いたRC柱部材の設計方法研究小委員会：鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針（案），コンクリートライブラリー，Vol.97，1999.7.
6) 三桶達夫・堀口賢一・福浦尚之・丸屋剛・服部佳文：繊維補強鉄筋コンクリートを用いたシールドセグメントの設計手法，コンクリート工学，Vol.48，No.10，pp.18-26，2010.10.
7) 土木学会技術推進機構：「繊維補強鉄筋コンクリート製セグメントの設計・製作技術」に関する技術評価報告書，技術推進ライブラリーNo.6，2010.6.
8) 水野敬三・堀口賢一・武田伸児・小原伸高・丸屋剛・小林裕・新藤竹文：耐火トンネルのニーズ拡大と当社の取り組み，大成建設技術センター報，Vol.39，pp.14-1-14-8，2006.12.
9) 水野敬三・馬場重彰・服部佳文・小林裕：多目的炉における急速加熱実験，大成建設技術センター報，Vol.37，pp.32-1－32-4，2004.12.
10) 土木学会：トンネル構造物のコンクリートに対する耐火工設計施工指針（案），コンクリートライブラリー，Vol.143，2014.6.

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 B5判141頁 本体価格2,500円

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

工法・技術・製品ニュース

工法 マルチスペクトル画像を用いた地質状況自動評価システム



開発中の風化度の自動評価画像

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

安藤ハザマは，秋田大学，筑波大学と共同で，トンネル切羽や掘削法面における地質評価の高度化・自動化を目指した「マルチスペクトル画像を利活用した地質状況自動評価システム」（特許出願：2017-083872）を開発し，施工現場における試験運用を開始したと発表した．

同システムは，掘削面の地質状況を特殊なカメラで撮影して得られた，紫外線～近赤外線域の波長帯の電磁波が記録されたマルチスペクトル画像を，人工知能の画像認識技術を用いて，岩盤の工学的特性を自動的に評価するもの．岩石種や風化程度などを自動的に判定する．火山岩と深成岩から各3種類，合計6種類の岩石供試体でスペクトル強度特性の形状を取得し，人工知能を用いて岩石種を自動判定すると90%以上の正答率が得られたとしている．

地質状況の適切な評価には多くの場合，地質専門技術者の知見が必要となるが，適切なタイミングですべての評価に地質専門技術者が立ち会うことは難しく，施工中の地質評価を適切かつ効率的に進めることが最適な現場運営の課題となっていた．

同社では，岩石供試体での検討結果をもとに面的に地質状況を自動判定する手法の開発に着手しており，現状では地質専門技術者に委ねられている地質図作成の自動化の検討を進めている．

製品 ミニショベル排土板の半自動制御システム



日立建機（株）ブランド・コミュニケーション本部広報戦略室広報IR部広報グループ
TEL. 03-5826-8152
https://japan.hitachi-kenki.co.jp/

日立建機は，上下動作に加え，チルト，アングル動作も可能とした排土板（PATブレード）を3次元的にコントロールできるミニショベルシステムを開発したと発表した．

同システムは，各測量機器メーカーのセンサーやコントローラなどの機器を搭載することで，自動追尾機能を持つトータルステーションから得た機械の位置情報をもとに，3次元設計データに従ってPATブレードをリアルタイムで半自動制御し，施工目標面の仕上げにおいて，効率的な作業を可能としたもの．従来の建設現場で行われていた検測作業などの作業工程を削減するとともに，整地作業の効率化や現場の安全性の確保に効果があるとしている．

小規模舗装工事における上層路盤の整地には，オペレーターの高い運転技術が必要だが，今後，進んでいく日本国内の建設業就労者の減少に伴う熟練オペレーターの減少により，施工量をこなせなくなっていくことが，建設業界では大きな課題となっている．

続 きみの庭にも温泉が出る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判217頁 本体価格1,200円

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

トンネルワールドニュース

(一社)日本トンネル技術協会
国際委員会

推進工法協会が推進工法に関する手引書を出版

英国の推進工法協会(PJA)は，推進工法と小断面トンネル掘削工法に関する最新の手引書を出版した．全24ページの出版物には50以上の最新のコンピュータグラフィックスやイラストが付属し，推進工法のあらましやその利点が収録されている．主題は，適用可能な掘削システムの詳細，推進管や推進ジャッキの長さ・荷重・耐力などを含め，当工法の適用性や利点，現地調査方法ならびに設計・施工方法などについてである．PJAのウェブサイトでは，本書の内容を網羅しているパワーポイントのプレゼンテーション資料も入手可能であり，そこではまたダウンロード可能な講義ノートと一緒に，CPDプログラムの一部を取得することも可能となっている．

推進工法は，幹線道路や高速道路，鉄道・河川・運河などの支障物下に適用されるほか，都市部における自然流下式の下水道や排水路などの非開削の公共トンネルの設置技術としても広く使用されている．本工法はまた，ガス，水道，電気およびその他の公益事業のための導管供給としても使用されている．

推進工法は，開削による管の設置工法と比較して渋滞を緩和させ，排出ガスを最大75%削減できるとともに，既存インフラへの長期的影響もほとんどなくすことができるため，環境に大きな利点をもたらす．

推進工法と小断面トンネル掘削工法のイントロダクションは，協会HP(www.pipejacking.org)から入手できる．費用は25英ポンドで，PDFのコピーはウェブサイトからダウンロード可能となっている．

(T&T　'17.3　担当：法橋亮・戸田建設(株))

サンドビック社とIBMによる生産性向上とメンテナンスシステムの共同開発

データドリブン生産性(データ駆動型(データをもとにした)生産性)と予知保全システムが機械製造会社サンドビック社とコンピュータ関連会社IBMにより，トンネル業界に導入される見込みだ．サンドビック社は，この動きを鉱工業に優れた分析方法を導入するためのコラボレーションであると説明した．

サンドビック社の広報担当者は「重機の機内計測器とテータ収集能力の向上させることにより，生産性を低下させる問題点の特定や，解決のための高度な分析や複雑なモデルを用いて，生産性を最大限に引き出すことができる」と付け加え，また，次のように述べた．

「この情報の統合サービス，遠隔情報収集，データ分析は生産性を向上させ，コストを削減し，時間の無駄を減少させることにより，効果の増大を可能にする．それは鉱工業会社を生産計画や保守計画に関して，より正確に意思決定することを助け，モニターによるチェックと設備の総合的な運転状況を向上させる機会を提供する．」

Sandvik Mining and Rock Technology社の社長のLars Engstromは，本件について次のように語った．「サンドビック社は鉱業会社とともに採掘機械と機械の遠隔モニタリングに20年以上にわたり取り組んでいる．われわれのOptiMineとAutoMineソリューションもまたデータ収集と整理に非常に重要であり，IBMの分析手法で好調な出だしをきるためのすばらしい基盤として活用される．このように，われわれにとってIBMといった認知・コンピューティングとそのモデルを使用した高度な分析の専門会社とコラボすることは顧客に対してより多くの価値を創造するためには自然なステップである．」「このコラボレーションはわれわれのサービスポートフォリオとよく適合し，これは従来のライフサイクル，技術の強化，ビジネスサービスにもとづいており，これらすべてを統合させることによって，安全性と能力を向上させ採掘作業者と顧客の生産性に寄与する．」

(T&T　'17.4　担当：八鳥雄介・鉄道・運輸機構)

Femern社はコンサルタント契約に署名した

Femern社は，顧客コンサルタントサービスの提供についてはRamboll-Arup-TEC JVと，社内コンサルタントサービスの提供についてはAF-HansenŠtHenneberg社と契約を締結した．この契約には，Fehmarnbelt海峡連絡線建設のコンサルティングサービスと技術サポートが含まれている．

計画中の18kmの沈埋トンネルは，デンマークのRødbyhavnとドイツのPuttgardenを結ぶ予定である．それは世界最長の沈埋トンネルであり，水中の世界最長の道路および鉄道トンネルとなる．

Femern社のテクニカルディレクターであるHenrik Christensen氏は2つの契約について，「当社は2つの入札に参加していたコンサルタント企業から熱烈なオファーをいくつも受けてきた．2社と交わしたコンソシアム契約は，施工前に現在のドイツの承認過程に関するわれわれの業務を支援する堅固な技術基盤への自信を強調している．」と述べた．

(T&T　'17.4　担当：笹田俊之・八千代エンジニヤリング(株))

STAD船舶用トンネル工事着工が決まる

ノルウェーの交通省Ketil Solvik-Olsenは世界で初となる船舶航行用トンネルSTADプロジェクト着工の承認を得た．この発表の後に2018～2029年の国土交通開発白書が発表されたが，STADプロジェクトは国土開発費全体の半期分の予算を計上されている．したがって，プロジェクトは2019年には開始されることになる．STADトンネルは全長1.7km，高さ49m，幅36mで，工期は3～4年が見込まれる．工費は2億9,300万ユーロとなる．工費は2010年当時の試算によるものだ．トンネル掘削は発破工法で施工され約800万tのずり運搬が必要となる．ノルウェーの地形と潮流が海上輸送を悩ましてきた．また高波による航海は危険極まりない．気象の悪化時緊急に航海ルートを回避できることがこのトンネルの役割である．プレス関係者はこのトンネルなら「バイキング達でさえ利用したいだろう」とジョークを言っていた．

(T&T　'17.5　担当：篠原慶二・前田建設工業(株))

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

(注：「現場だより」の投稿は受付けしておりません)

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

一般社団法人
日本トンネル技術協会
会報

1. 会員の現状

	1月31日現在
個人会員	846名
団体会員	204名
推薦会員	209名
特別会員	9名
名誉会員	5名
賛助会員	226名
合　計	1,499名

2. 委員会の開催状況（1月1日～31日）

◎総務委員会

・広報小委員会

会誌WG(1/10)

小山幸則主査ほか12名，2月号の会誌と3か月計画を検討

ホームページWG(1/30)

須藤敏明主査ほか6名，会員サイトを検討

◎国際委員会

・海外文献小委員会

対外広報WG(1/26)

磯谷篤実主査ほか6名，原稿進捗状況と今後の作業を検討

海外ニュースWG(1/24)

篠原慶二幹事ほか8名，海外文献の査読

◎技術委員会

・保守管理小委員会

打合せ会(1/11)

大津敏郎幹事ほか9名，山岳Q＆A原稿作成方針を検討

小委員会(1/23)

大西精治委員長ほか15名，講習会報告と予定およびQ＆A作成方針検討

◎受託研究特別委員会

・神奈川東部方面線トンネル検討委員会

開削駅検討WG(1/26)

舘山勝主査ほか27名，施工法を検討

・効率的点検特別委員会

中流動WG(1/17)

松岡茂幹事長ほか11名，原稿作成方針を検討

中流動WG(1/31)

松岡茂幹事長ほか13名，原稿作成方針を検討

点検WG(1/31)

松岡茂幹事長ほか12名，原稿作成方針を検討

合計　10回開催　129名出席

会員の皆様へお願い
—異動が決まったら—

会誌の送付先など変更が生じた場合は速やかにご連絡くださいますようお願いします．

変更や入会の申し込み様式はホームページに掲載していますのでご参照ください．

入会の案内→入会・変更手続き→様式

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

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第44回ITA総会および世界トンネル会議「Smart Cities：Managing the Use of Underground Space to Enhance the Quality of Life」	2018．4.20～26	ドバイ（UAE）	Society of Engineers-UAE, ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc2018.ae/
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.wtc2019.com/
第46回ITA総会および世界トンネル会議「Innovation and Sustainable Underground Serving Global Connectivity」	2020．5.15～21	クアラルンプール（マレーシア）	The Institution of Engineers, Malaysia, ITA(国際トンネル協会)

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

4. 平成29年度催物開催現況

（平成30年1月現在）

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
【現場見学会】				
東京外かく環状道路トンネル建設工事現場研修会(中央JCT北側ランプ改良工事)	2017．6.20	25	東　京	2.0
北海道新幹線トンネル建設工事現場研修会(後志トンネル)	2017．8.25	24	北海道	1.8
相鉄・東急直通線工事現場研修会(新横浜駅，羽沢トンネル)	2017．9．7	24	神奈川	3.5
北陸新幹線トンネル現場研修会(加賀トンネル)	2017.12．7	23	福　井	2.8
新東名高速道路トンネル建設工事現場研修会(高取山トンネル)	2018．2.16	25	神奈川	3.5
東京都下水道幹線工事現場研修会(立会川幹線雨水放流管工事)	2018．3．6	25	東　京	2.0
【施工体験発表会】				
第80回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事―新技術，創意工夫，周辺環境への配慮―」	2017．6.28	167	東　京	6.0
第81回(都市)「市街地における地下構造物の新設および改良工事―近接，拡幅，再構築等の施工事例―」	2017．6.29	116	東　京	3.8
【講習会・研修会】				
第3回トンネル維持管理業務講習会(基礎編)	2017.11.20	38	東　京	5.5
第19回ステップアップ研修会「シールド部門」	2017.11.28，29	36	東　京	16.0
第2回トンネル維持管理業務講習会(応用編)	2018．2．6	50	東　京	6.3

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

4月号予告[4月1日発売予定]

●シールドを用いた場所打ち支保システムの一次覆工挙動に関する研究
●信越線宮内・長岡間　柿川放水路
●東北中央自動車道　山形蔵王トンネル
●八鹿日高道路　久斗トンネル
●秋田市下水道　長沼幹線
【連載講座】
●セグメントの新技術Ⅱ(5)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆平昌オリンピックが開催され熱戦が繰り広げられました．そして，多くの日本人選手が日ごろの練習の成果を発揮しておりました．個人的には男子モーグルの堀島行真選手を応援していました．堀島選手の高校のときの担任が私と高校のときのクラスメイトだったからです．今回は惜しくもメダルには届きませんでしたが次回オリンピックでは金メダルを目指してがんばってもらいたいと思います．
◆先日何気なくテレビをつけてみると，『「菊池」と「菊地」はどちらが主流』と番組で取り上げていました．諸説あるようですが最も有力な説は「きくち姓」の祖は藤原則隆なる平安時代の人物で，その末裔が肥後国(熊本県)で「菊池姓」を名乗り出したのが起源だそうです．その後，菊池氏の一部が関東や東北に移りわたり，その中で「菊地」を使うものが現れ，現在に至っているとのことです．
◆「菊池」と「菊地」ですが編集者にとっては注意が必要な語句のひとつです．同音の漢字はよく著者の方が入力ミスをされることが多いです．当社発行だった「地質工学概論」の著者は菊地宏吉先生です．この書は地質や土木関係の論文の参考文献によく挙げられています．先だっても他誌で「菊地」が「菊池」の表記のまま印刷されておりました．番組中に解説がありましたが人口的には現在は「菊地姓」のほうがが多いそうです．しかし，「菊池寛」をはじめとする有名人が「菊池姓」に多いなどの理由から「きくち」を入力する際の第一候補が「菊池」となるケースが多いそうです．
◆4行上の「人口」ですが，こちらも入力ミスの多い漢字のひとつで，入力の第一候補は「人工」でした．編集後記を書きながら編集者として一瞬身を引き締まる瞬間でした．こういった入力ミスは文字入力に慣れている方のほうが多い傾向です．本誌に投稿予定の皆様も投函前に再度語句のチェックをお願いいたします．

(I.Y)

★購読の申し込み，または，送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学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49巻 第3号〔通巻571号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成30年2月20日　印刷
平成30年3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

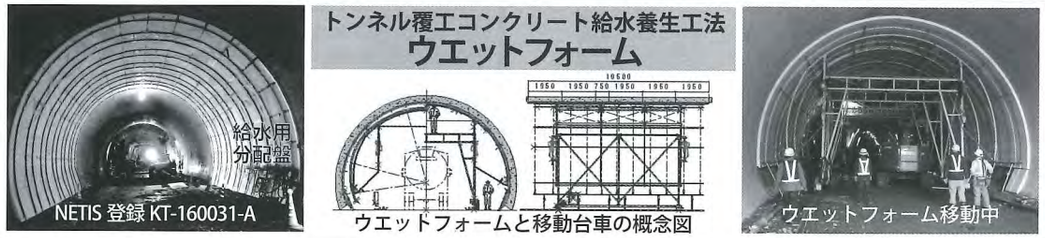
本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください．
TEL：03-3267-2888

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



一歩前進！　～限りない未来への挑戦～
大栄工機株式会社
本社　〒526-0842　滋賀県長浜市春近町90番地　TEL 0749-64-0246　FAX 0749-63-6765
URL http：//www.daieikouki.co.jp/　E-Mail：daiei-co@minos.ocn.ne.jp
営業品目　各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売　※詳しくはホームページを御覧ください

図書案内

トンネル技術者のための地相入門



大島洋志　監修，木谷日出男　編著
3,200 円＋税　B5 判

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

山岳トンネル設計の考え方



今田　徹　著
3,200 円＋税　B5 判

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

わかりやすいトンネルの発破技術



山田隆昭　監修
1,500 円＋税　B5 判

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

多様化するシールド掘進技術



シールド工法技術協会　監修
2,500 円＋税　B5 判

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

推進工法の理論と実際



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

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

わかりやすい土木地質学



大島洋志　監修
2,500 円＋税　B5 判

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

セグメントの新技術



小泉　淳　監修
2,000 円＋税　B5 判

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

続 きみの庭にも温泉が出る



石井康夫・俣野恭寛　共著
1,200 円＋税　新書判

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

建設工事の保安地質学〔改訂版〕



石井康夫　著
6,000 円＋税　A5 判

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

シールドトンネルの新技術



シールドトンネルの新技術研究会　編
4,660 円＋税　B5 判

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

地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全 3 巻）



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

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

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

株式会社 土木工学社

ブロック理論と岩盤工学への応用



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

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

山岳トンネルの新技術



ジェオフロンテ研究会　編
14,573 円＋税　B5 判

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

ジオテキスタイル設計マニュアル



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

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

岩盤地下空洞の設計と施工



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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した.

建設工事の地質診断と処方



石井康夫・矢嶋壯吉　共著
4,300 円＋税　A5 判

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

トンネル工事の衛生と環境保全



臼谷三郎・橋本康孝・友田　孝　共著
3,200 円＋税　A5 判

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

岩盤の計測と解析



鈴木　光　著
4,200 円＋税　A5 判

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

わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉



橋本定雄・松本崇義・松本正敏　共著
2,800 円＋税　A5 判

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

海洋資源開発



稲田善紀　著
3,400 円＋税　A5 判

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

トンネルと地下



1,500 円＋税　B5 判　月刊（毎月 1 日発売）

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

書籍のお申し込み

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

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

TAK

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1978年7月の設立以来、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。


連続ベルトコンベア/移動式クラッシャー


バッチャープラント


30tターンテーブル


配管材


タイヤ泥落とし装置

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


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


厚木機材センター


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

全国8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。

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
横浜支店	〒220-8109 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-2-1-909	TEL 045-664-7111　FAX 045-664-7101
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 ピースビル北目町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2-9-27 NMF名古屋伏見ビル4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）

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



補強効果によるひび割れ幅低減

コンクリート混入・コンクリート用膨張材
ハイパーエクスパン

コンクリート収縮抑制

養生効果

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



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