トンネルと地下　平成30年4月1日発行第49巻第4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



ビットで杭を斬る！

JIMTの支障物切削技術は、シールドのカッターに杭切削用の特殊ビットを取り付けた円錐形状のカッターヘッドで、接触した支障物を中央部から外周部へと徐々に切削するシステムです。地中に残置されたH型鋼、鋼矢板、RC杭、PHC杭、既設セグメント及び松杭等の切削が可能です。

特　長

- 切羽に人が出る必要がなく安全性が高い。
- 泥土圧・泥水式どちらでも適用可能。
- 切削時の騒音、振動がほとんどなく、昼夜施工が可能。
- 周辺地盤の沈下などはほとんどなく、近接物への影響が小さい。

施工実績



φ2680泥土圧シールド
H型鋼(300H)×8本
鋼矢板(Ⅳ型)×2面



φ4240泥土圧シールド
H型鋼(350H)×6本
鋼矢板(Ⅵ型)×2面



φ4680泥土圧シールド
H型鋼(250H)×2本
鋼矢板(Ⅲ型)×2面



φ2780泥土圧シールド
RC杭(φ800, φ1000)×6本
PHC杭(φ350)×6本



φ2690泥水式シールド
鋼矢板(Ⅱ, Ⅲ型)×12面

JIMテクノロジー(株)の支障物切削技術

JIMテクノロジー株式会社
本社・川崎事業所　〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1番14号　TEL.044-201-8268　FAX.044-201-8636
神戸事業所　〒652-0864 兵庫県神戸市兵庫区笠松通7丁目2番25号　TEL.078-381-5100　FAX.078-381-6990
大阪営業所　〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島三丁目2番4号　TEL.06-7730-9850　FAX.06-7730-9851

定価 1,620円
本体価格1,500円
雑誌06619-4
4910066190484
01500

4
572号
トンネルと地下

平成30年4月1日発行(毎月1回1日発行)　第49巻第4号　通巻572号　ISSN 0285-631X

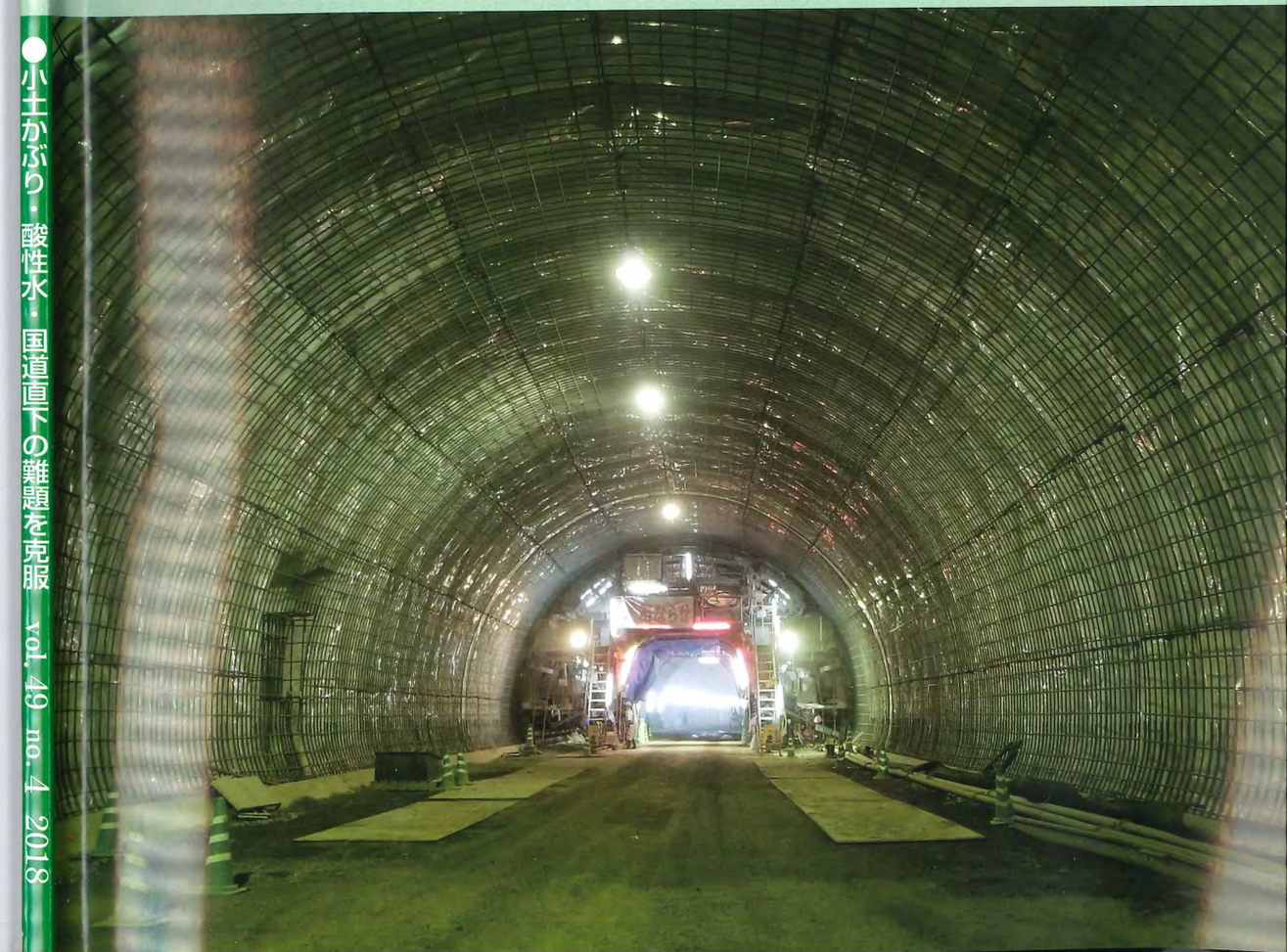
トンネルと地下 4

vol. 49
no. 4
2018

Tunnels and Underground

JES工法による仮橋台と工事桁を併用し在来線6線下を掘る
小土かぶり・酸性水・国道直下の難題を克服
周辺環境に配慮して自由断面掘削機と制御発破で硬質地山を掘削
1kmを超える泥濃式推進で土砂圧送の採用により日進量を確保
SENSによる1次覆工挙動に関する研究

日本トンネル技術協会誌



●小土かぶり・酸性水・国道直下の難題を克服

vol. 49 no. 4 2018

FRD FURUKAWA

新世代型 ホイール式ドリルジャンボ

JTH3200R-Ⅲ PLUS 3ブーム、2ケージ / **JTH3200R-Ⅲ** 3ブーム、2ケージ / **JTH2200R-Ⅲ** 2ブーム、2ケージ

FIDSⅡ制御&
油圧ドリフタHD220搭載

JTH3200R-VHシリーズ登場！
排ガス4次規制エンジン、
高効率75kW電動モータ&
最新型油圧ドリフタHD250搭載

様々なトンネル工事に挑戦し、そして築き上げられた
実績と信頼。
全国に広がる安心のサービス網がお客様をバックアップ。
各種機械の提供を通じて国内外のインフラ整備を支えています。



JTH3200R-Ⅲ PLUS ▶

国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事用建設機械)指定機

ドリルNAVI



統合せん孔支援システム<ドリルNAVI>

オートドリリング機能、せん孔ナビゲーションシステムがトンネル工事の急速施行を強力にサポート。
大断面での急速施行を「安心して、早くて確実、安全に」実施できる統合せん孔支援システムです。

ドリルNAVI
- ドリルNavigation ≪せん孔ナビゲーションシステム≫
- ドリルExplora ≪全断面穿孔実績・前方探査記録装置≫
- ドリルNet ≪技術支援システム≫

NETIS 国土交通省 新技術活用システム 登録番号: KK-100049-A

古河機械金属グループ
FRD FURUKAWA 古河ロックドリル株式会社
www.furukawarockdrill.co.jp

本　社　〒103-0027　東京都中央区日本橋一丁目5番3号　　特機部　☎03(3231)6966

札　幌 ☎011-786-2222　東　北 ☎022-384-8991　宮　古 ☎0193-77-4245　関　東 ☎027-326-9611
名古屋 ☎0568-77-7700　関　西 ☎06-6475-8221　中四国 ☎082-832-3542　九　州 ☎092-948-2010

長尺鋼管切羽補強工　　高付着型長尺鋼管切羽補強工

特許第 3882118 号
Me 工法
Metal eco

特許第 4942211 号
Me fix
Metal eco

エコロジー＆地山拘束効果。
新しい長尺鋼管切羽補強システム。





特徴①　分別回収による鋼材のリサイクル化　※特別仕様 NETIS 番号:KT-080027

「**Me** 工法」、「**Me-fix**」の切除管は、掘削時に鋼管と注入材を分別回収できる構造で、鋼管のリサイクルが図れます。

特徴②　接続部補強により鋼管の薄肉化

「**Me** 工法」、「**Me-fix**」は接続部拡径・縮径によりネジ部耐力の増強を図り、小口径薄肉鋼管(Φ76.3×4.2～4.5 ㎜)の使用を可能とし、軽量化に伴い経済性、施工性が向上します。

特徴③　長尺鋼管切羽補強工の付着耐力の向上

「**Me-fix**」はこれまでの鋼管による切羽補強工の弱点であった付着耐力の向上を図り、確実な地山拘束力が期待できる長尺鋼管切羽補強工です。適用条件によって「**type A**」、「**type B**」、「**type R**」の選択が可能です。

NEW!

	Me	Me-fix (typeA)	Me-fix (typeB)	Me-fix (typeR)
形状	φ76.3 (t=4.2)	φ76.3 (t=4.2)	φ76.3 (t=4.5)	φ76.3 (t=4.2)
概要図				
1m当り付着耐力 (kN/m)	50	150	500 以上	150

※付着耐力は室内試験結果。プレミックスモルタルは材令 24hr(qu≒12N/mm²)

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部:東京都港区芝公園芝パークビル B 館　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　:東京都港区芝公園芝パークビル B 館　TEL 03－6402－8257

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!



MIWA K-40N KIRUNA

《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

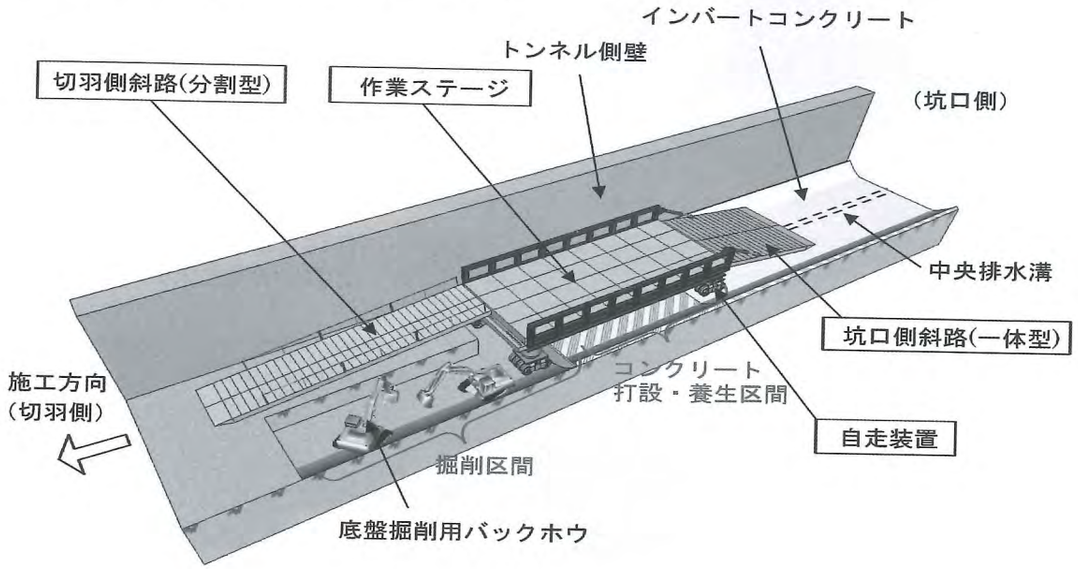
《東日本カンパニー》
■北海道東北支店
TEL:0133-72-3715
■東北営業所
TEL:0197-71-2405
■関東支店
TEL:0268-62-1426

《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

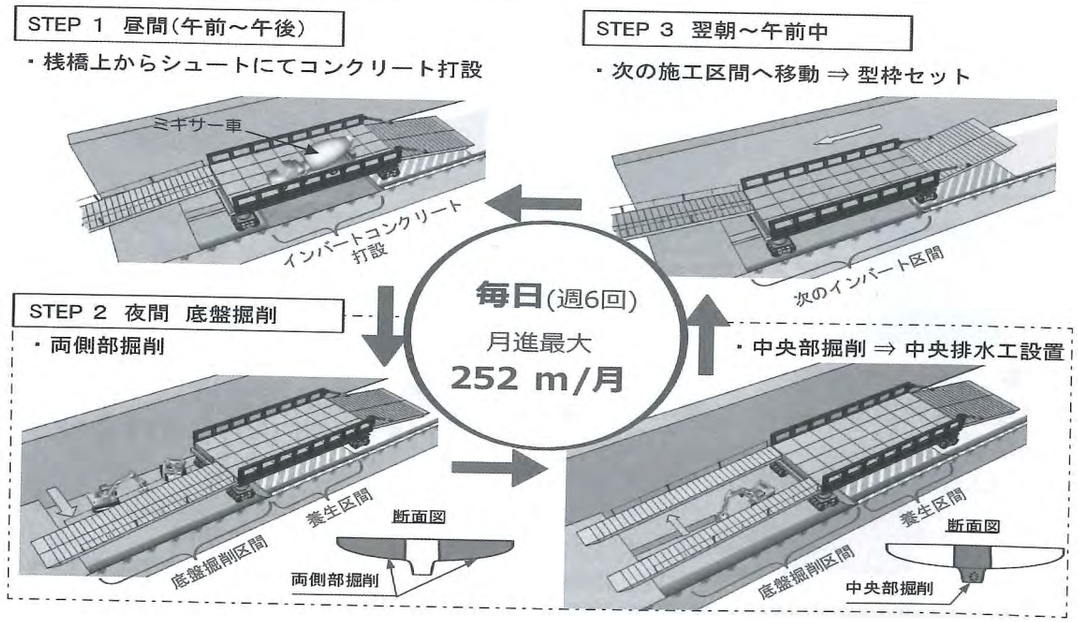
急速施工

切羽側斜路移動・分割型インバート桟橋

「急速施工用インバート桟橋」概要図



急速施工用桟橋使用のサイクル説明図



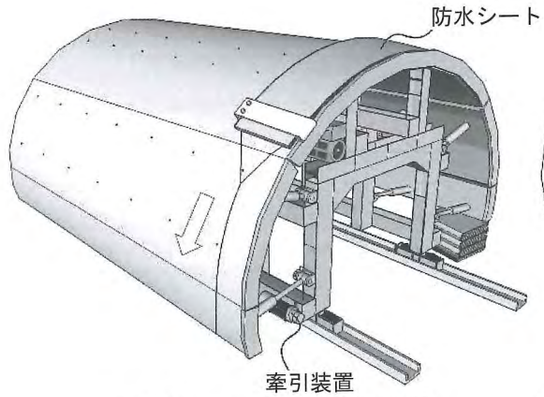
生産性向上

フィルム用長尺防水シート

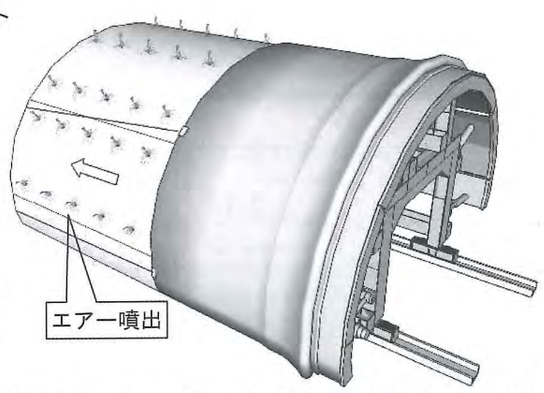
特徴

1. 長尺防水シートが可能(10.5, 12.0, 12.5m) ※蛇腹折り畳み方式を採用
2. 混載便での運送が可能(荷姿:1.0×1.0×H1.5m)
3. 施工性に優れている(エアーで防水シートを持ち上げる)

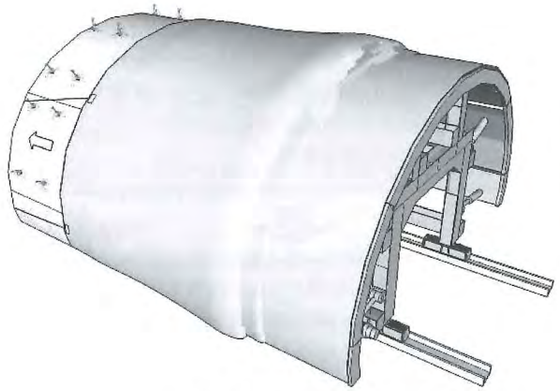
施工方法



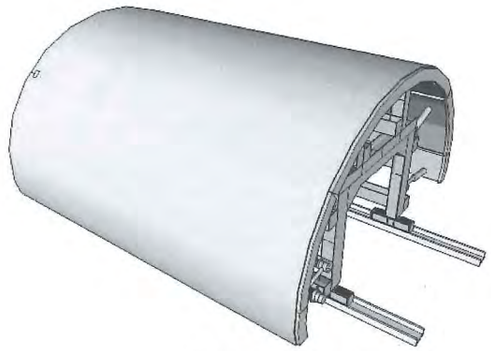
STEP 1　シートを端部に設置



STEP 2　エアーでシートを浮かせ縦断方向へ展張



STEP 3　更に展張



STEP 4　展張完了

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

Wバリアシート

～二重溶着式防水シート～

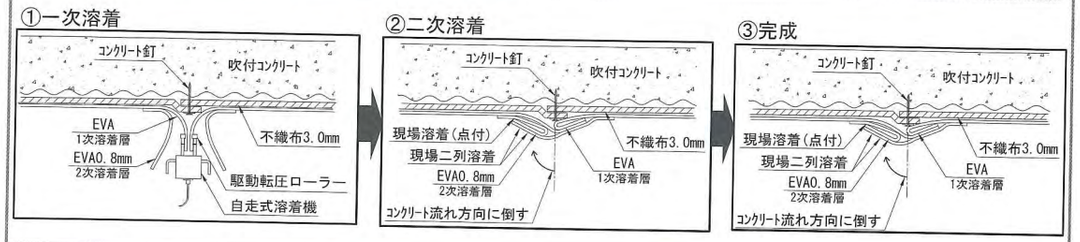
NETIS:KT-150067-A



【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！

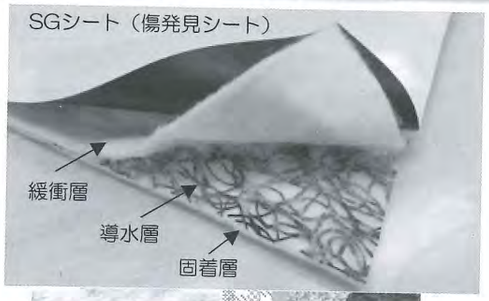
【破損部の傷発見機能】
本体部は傷発見型の白黒構造（SGシート）でヒレ部を透明にすることでシート表面の損傷が目視で発見！

【従来と同様の施工機械で対応可能】



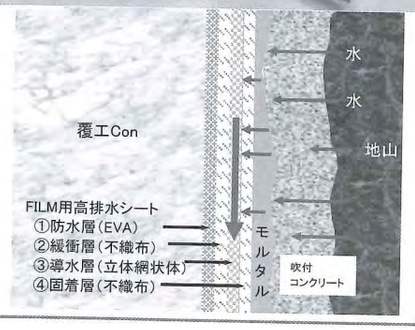
FILM工法用 高排水シート

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～

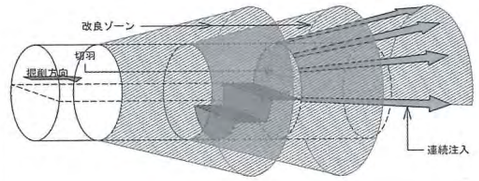
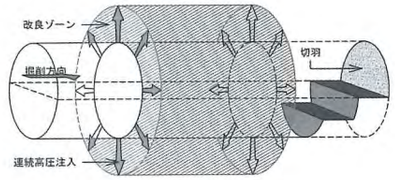
»「**Stronger**」による地山改良は湧水による様々な不具合を解消するリスクマネジメントです。



「**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〉

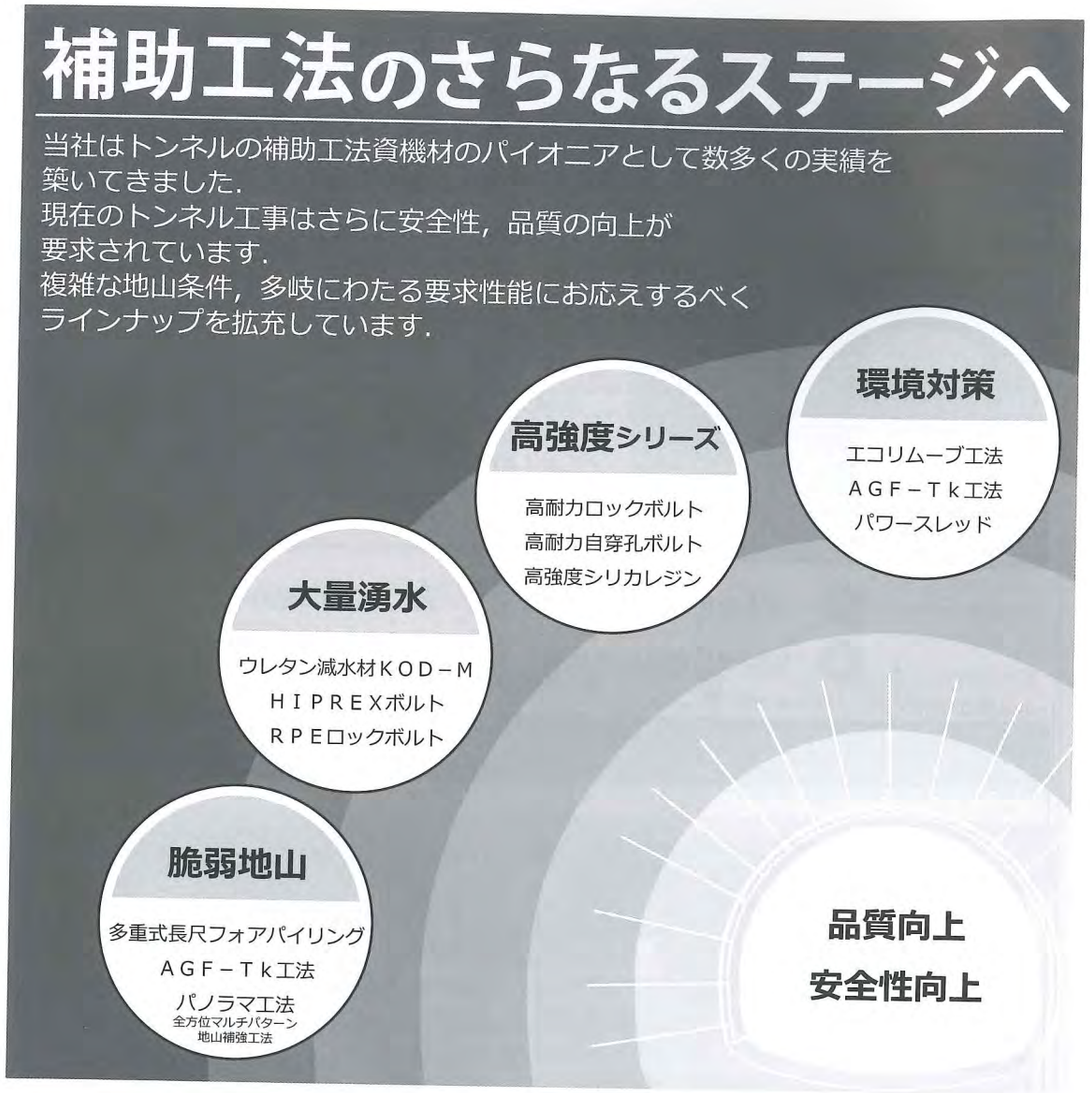
fujimori **フジモリ産業株式会社** http://www.fujimori.co.jp

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

補助工法のさらなるステージへ

当社はトンネルの補助工法資機材のパイオニアとして数多くの実績を築いてきました.
現在のトンネル工事はさらに安全性，品質の向上が要求されています.
複雑な地山条件，多岐にわたる要求性能にお応えするべくラインナップを拡充しています.



▶営業品目 各種注入材 / 各種長尺鋼管フォアパイリング / 全方位マルチパターン地山補強工法 / 切羽対策工全般 / 各種ロックボルト / ロックボルト定着材 / 防水シート / コンクリート皮膜養生剤クラテキュア / 建設資材全般

※特許，NETIS 登録されているものがありますので，お問い合わせください

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

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

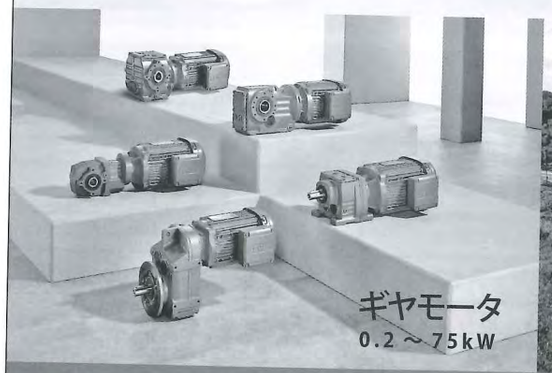
≪京都工場組立開始 !!≫ SEW の X シリーズ

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



カタログ請求下さい

インダストリアルギヤ
X シリーズ
23 枠番 ～ 475kNm



ギヤモータ
0.2 ～ 75kW



京都工場

SEW- オイロドライブ・ジャパン株式会社
本社・磐田工場：静岡県磐田市　京都工場：京都府相楽郡精華町
東京(営)03-5408-0521　名古屋(営)052-228-8608　大阪(営)06-6444-8330　福岡(営)092-291-3600

SEW　検索

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



【防　音　扉】

HFS 型　マ ー ク Ⅱ
HFS 型　マークⅡ10s
HFS 型　マークⅡ10c
HFS 型　マークⅡ15c



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。

『防音扉マークⅡ』の音響性能

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

『防音扉マークⅡ10s』の音響性能

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

『防音扉マークⅡ10c』の音響性能

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

『防音扉マークⅡ15c』の音響性能

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

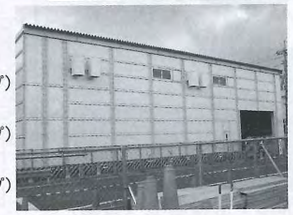


【防　音　壁】
【防 音 ハ ウ ス】
【防音シェルター】
【防 音 ボ ッ ク ス】





S タイプ(スタンダードタイプ)
D タイプ(デ ラ ッ ク ス タ イ プ)
H タイプ(ハイデラックスタイプ)



『防音パネル S タイプ』の音響性能

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

『防音パネル D タイプ』の音響性能

項　目	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	22	32	37	38	37	43
吸 音 率【%】	51	77	75	81	71	62

『防音パネル H タイプ』の音響性能

項　目	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	32	32	38	46	50	53
吸 音 率【%】	57	48	61	76	86	91

防音設備の設計，製造，施工，リース

株式会社ヒューズ

本　　社　〒132-0035　東京都江戸川区平井 6-35-5　　TEL. 03-3617-8111　FAX. 03-3617-7565
大阪営業所　〒531-0072　大阪府大阪市北区豊崎 3-4-14　TEL. 06-6359-2611　FAX. 06-6359-2288
E-mail：info@fuse-ind.co.jp　　http://www.fuse-ind.co.jp
建設業登録：東京都知事許可（般-25）第130153号
【建設騒音対策協会】E-mail：souon@fuse-ind.co.jp

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 Kobou 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

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

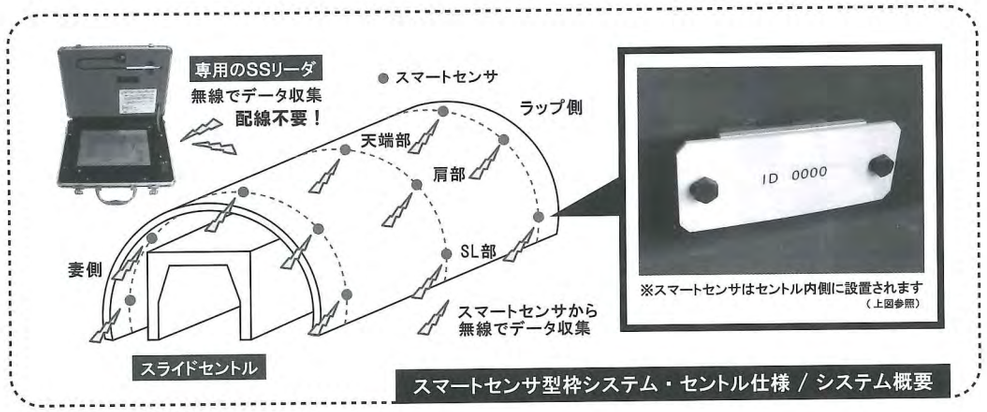
コンクリート表面温度を10分単位で自動計測し、脱型時の強度を記録！

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

児玉株式會社
EMAIL : engi.office@kodama-boss.jp

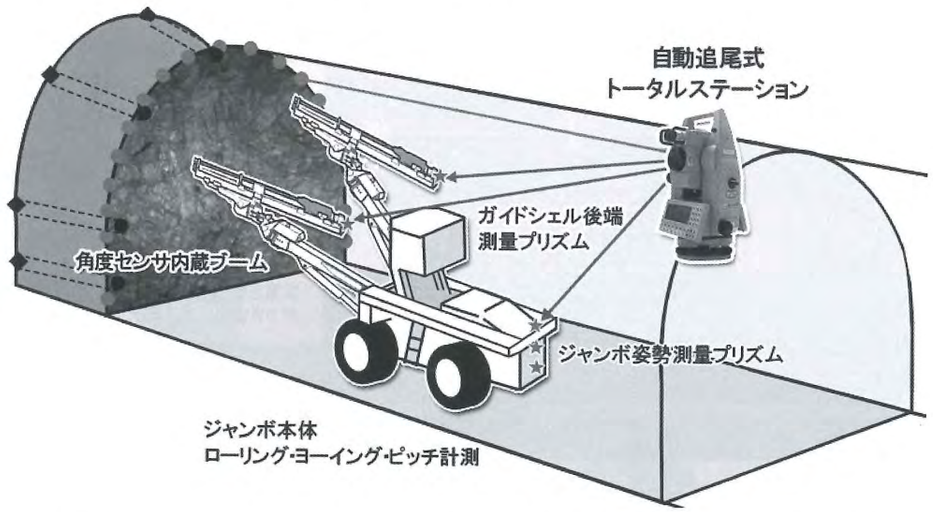
エンジニアリング事業部 ☎ 092-474-5360
〒812-0042 福岡市博多区豊 2-4-23
エンジニアリング事業部 東京事務所 ☎ 03-5524-2069
〒104-0031 東京都中央区京橋 1-14-6 京橋宏陽ビル 4F

NETIS登録番号:KK-100049-A

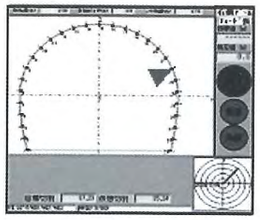
自動追尾式余掘り低減システム

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

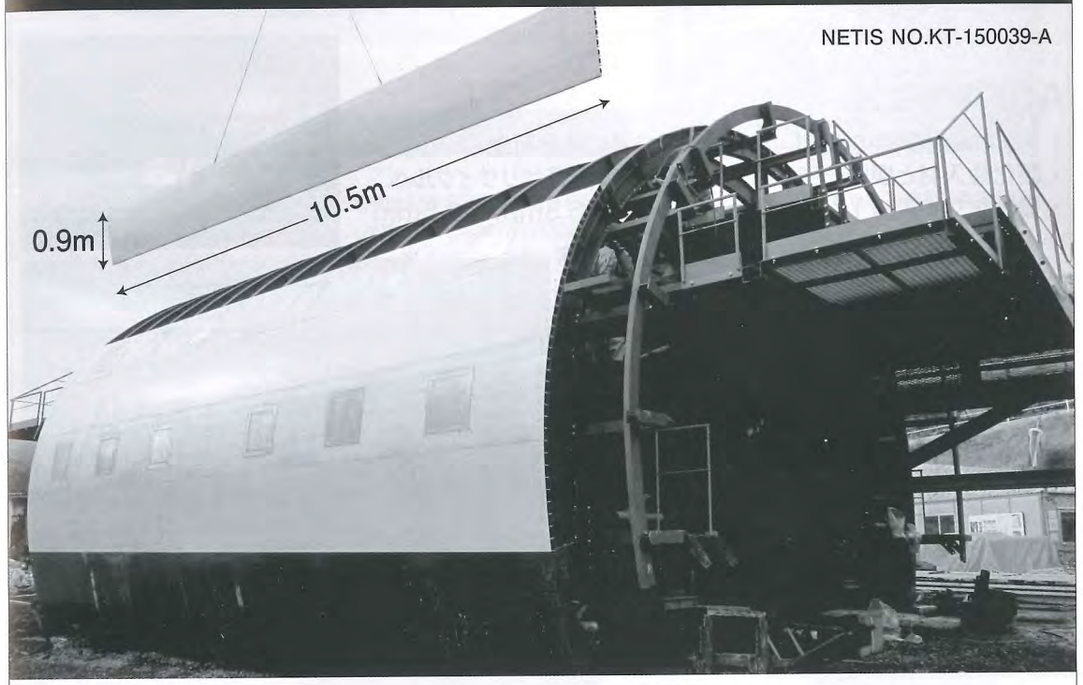
TEL:047-371-3191　FAX:047-371-3190

古河機械金属グループ
FRD FURUKAWA 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

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～



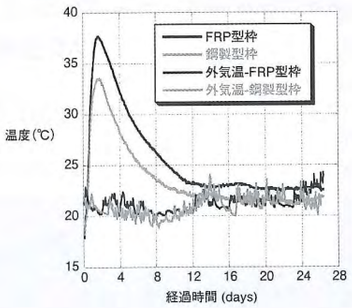
■透気試験実施



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

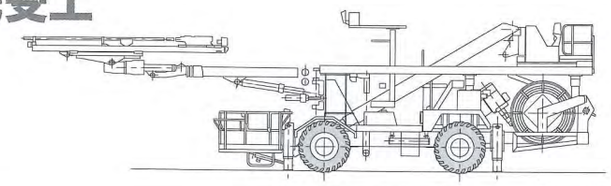
M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

■ 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

環境対応型長尺鋼管先受工

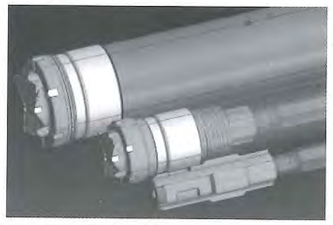
TOHO AGF System

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

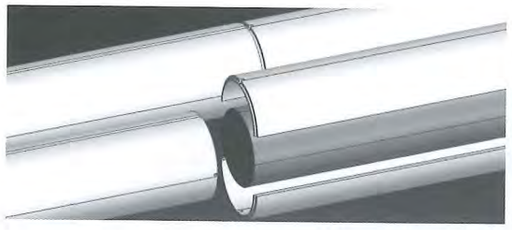


AGF-Me工法

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



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





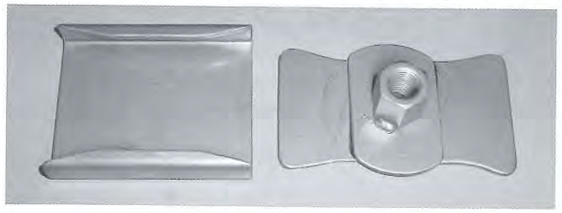
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

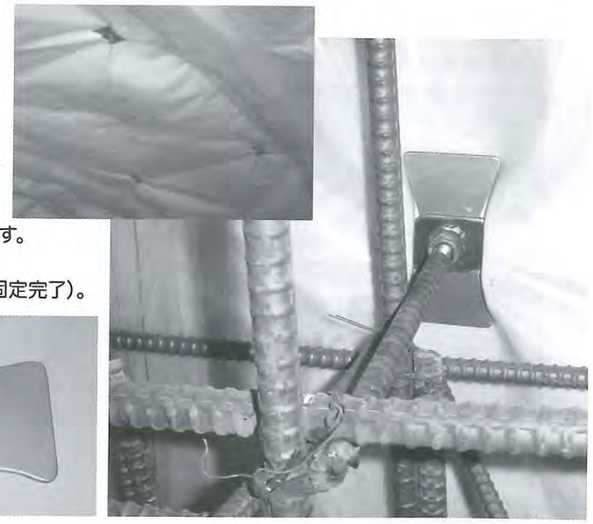
TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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





東邦金属株式会社
TOHO KINZOKU Co., LTD
営業部
〒541-0051
大阪府大阪市中央区備後町2-4-9 日本精化ビル 2 階
Tel: 06-6229-9881　Fax: 06-6229-8150
URL:http://www.tohokinzoku.co.jp

株式会社 トーキンオール
〒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)

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

お問い合わせ先
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

お問い合わせ先
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

山岳トンネル設計の考え方



決定版

東京都立大学名誉教授
今田　徹　著

B５判　183頁　上製本　定価3200円＋税

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

《主要目次》

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

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

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

好　評　発　売　中　**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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

トンネルの発破技術

監修 山田隆昭　　B５判　76頁　定価1,500円＋税（送料別途）

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで！

振動や騒音の環境問題を詳述!!

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

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

〈主要目次〉

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

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

株式会社 土木工学社

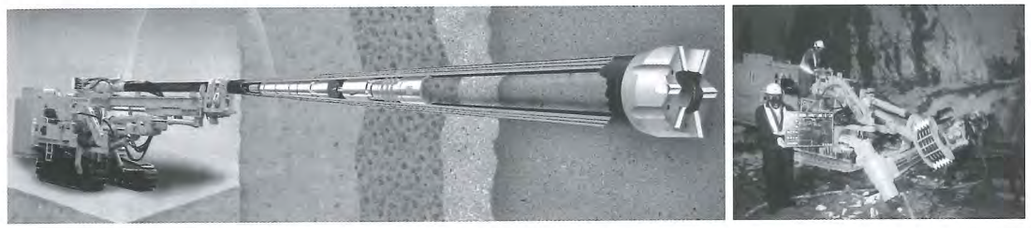
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
TEL　03-3267-2888　　FAX　03-3267-2807

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

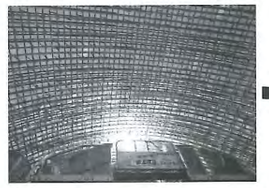
コストダウンを可能にする
Kリング・Kプレート

施工方法等詳細については下記までご連絡ください
製造・販売元 静岡スチール
〒436-0342　静岡県掛川市上西郷765-1
TEL：0537-24-3886　FAX：0537-24-3859
Mail：ktk@r5.dion.ne.jp

①アーチ鉄筋組立金物（Kリング）特許出願中（特願2001-309314号）
トンネル覆工工事におけるアーチ鉄筋組立金物。



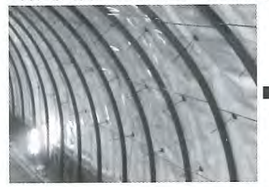
②トンネル覆工鉄筋防水シート接着ジベル筋組立（Kプレート）
特許出願中（特願2015-037746号）
円型プレートを直接支保工下地防水シートに接着して使用します。Kリングと併用します。





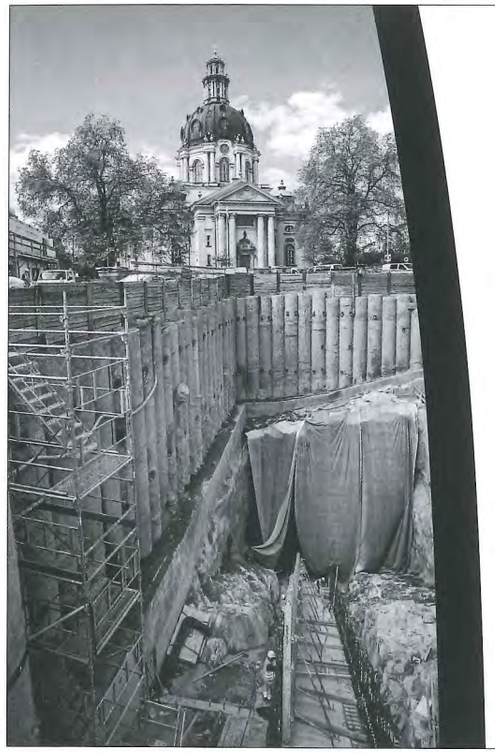
ウォータータイト(全周止水)トンネルにおいて覆工コンクリートの鉄筋を自立させることによって、鉄筋受け架台の鋼製支保工コストの大幅削減を可能にすることができます。

鋼製支保工を設置した場合もKプレートを使用することが可能です。





Kプレートで鋼製支保工を固定。
架台の鋼製支保工の固定にも使用できます。



振動・騒音マネージメント
ソリューション

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リュ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

〔好評発売中〕

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　〒340円

主要目次

序　編　トンネルと地質の関わり
1．地質学とは，応用地質学とは　2．トンネルと地質

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

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

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

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

お申し込みは，当社へFAXまたはお近くの書店にてお申し込みください．FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は，書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記のうえ，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
電話　(03)3267-2888（代）　振替00110-8-190072

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

山﨑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

VOLVO 建設機械

高い作業性とクールなデザインが人気
年々強化される排ガス規制にも対応



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

TMS Techni-Métal Systèmes

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

山﨑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

要求性能を満たす
覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレータ装置

NETIS 登録 No.HR-080001-V
（平成 26 年度活用促進技術）



期待される効果・特徴

- トンネルクラウン部の締固めと密充填が出来る
- 高品質な覆工コンクリートが形成出来る
- 鉄筋区間で一部主筋をずらして使用することが出来る
（但し，カーブ区間はケーブル式を推奨します）
- 覆工表面の縞模様を減らすことが出来る

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-VR （製造：株式会社マシノ）



期待される効果・特徴

- セントルと養生台車を連続してシートで覆い，坑内通気から遮断し，乾燥収縮クラックを防止する
- 脱型直後の覆工コンクリートに水を噴霧し，湿潤状態を保持し，初期強度を向上させる
- 養生中に追加噴霧することで湿潤状態を長期保て，覆工コンクリートの長期強度が増進する
- ３台連結することにより７日間の湿潤養生が出来る

北陸鋼産株式会社

URL http://www.hokuriku-kosan.co.jp

北野工場：〒936-0806 富山県滑川市北野新 888 番地　TEL076(476)2155　FAX076(476)2177

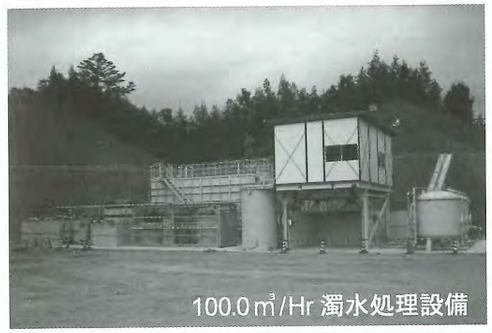
滑川工場：TEL076(476)0333　FAX076(475)9121　東北営業所：TEL0223(32)2420　FAX0223(32)2423
東京支店：TEL03(3851)1016　FAX03(6908)6789

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　4月号目次　Vol.49, No.4, 2018 Apr.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

トンネルをもっと知ってもらおう
今井　和美 …… 5

■研　　究

SENSによる1次覆工挙動に関する研究
玉井　達毅・杉本　光隆 …… 59

■施　　工

JES工法による仮橋台と工事桁を併用し在来線6線下を掘る
―信越線宮内・長岡間　柿川放水路―
吉田　直人・中島　純也・小山　幸寛・村山　幾雄 …… 7

小土かぶり・酸性水・国道直下の難題を克服
―東北中央自動車道　山形蔵王トンネル―
宮沢　一雄・福士　森政・保坂　浩寿・髙松　雅宏 …… 15

周辺環境に配慮して自由断面掘削機と制御発破で硬質地山を掘削
―八鹿日高道路　久斗トンネル―
松田　全良・大和田正樹・谷口　信博・八木　隆之 …… 39

温泉とは？　温泉の有効利用は？　この1冊であなたの疑問を解決します!!



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(税込1,260円)
【主要目次】1.バブル景気と『ふるさと創生一億円』　2.バブル崩壊後の温泉景気　3.温泉とは　4.温泉の分布と特徴　5.温泉の成因と寿命　6.温泉の探査技術　7.温泉談義アラカルト　8.外国の温泉　9.日本の地熱開発　10.将来の温泉開発と建設の考え方
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

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

1kmを超える泥濃式推進で土砂圧送の採用により日進量を確保
―秋田市下水道　長沼幹線―
今野　伝衛・泉田　恒光・生形　浩之 …… 49

■連 載 講 座

セグメントの新技術Ⅱ(5)
―機能付加セグメント(2)―
「セグメントの新技術Ⅱ」連載講座小委員会 …… 67

■現場だより

古の地から復興の手助けのため
森永　博 …… 38

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

嫌な思い出残すまい　やがて家族と通る道
落合　正和 …… 27

■資　　料

土木情報
編　集　部 …… 48

工法・技術・製品ニュース
編　集　部 …… 76

トンネルジャーナル
編　集　部 …… 58

■会　　報

会　　報
日本トンネル技術協会 …… 77

【表紙説明】

小土かぶり・酸性水・国道直下の難題を克服
―東北中央自動車道　山形蔵王トンネル―



山形蔵王トンネルは，NATMで建設された延長944mの高速道路トンネルである．本トンネルの直上には蔵王火山の下流に位置する強酸性河川である酢川と国道13号が交差している．土かぶりは，ほぼ全区間で1.5*D*以下，一番小さい箇所は，酢川および国道13号部の約1*D*程度であった．また，蔵王山系の山体崩壊を起源とする扇状地形に位置し，酢川泥流堆積物および凝灰角礫岩が主に分布しており，時には想定を超える転石も出現した．写真は覆工部鉄筋組み上がり状況である．

〔写真提供：東日本高速道路(株)〕(本文15頁参照)

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

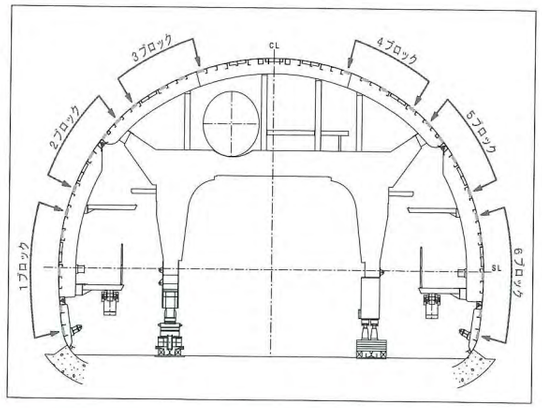
・表面と内部の温度上昇差を小さくし応力によるひび割れが防止できる

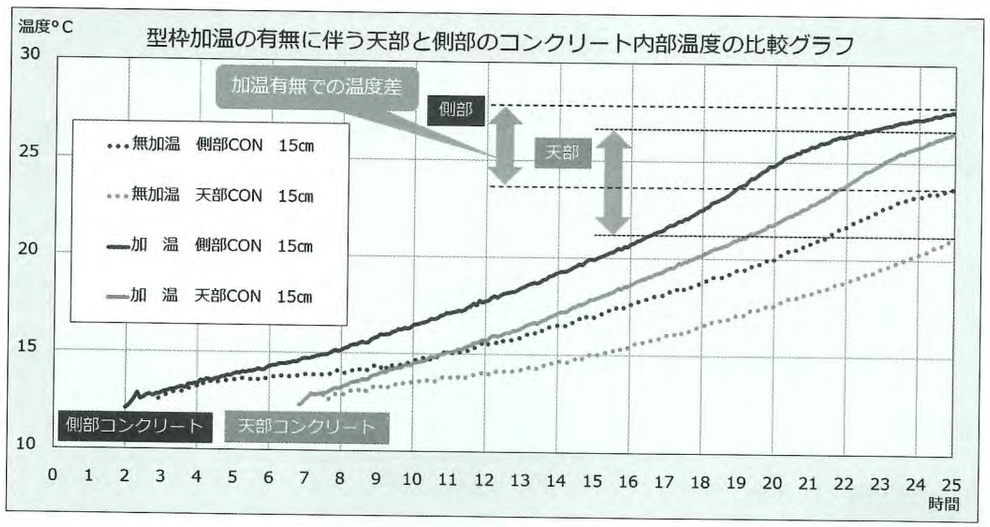
・表面の硬化を促進し表面強度と透気係数などの表層品質が向上し表面剥離が防止できる

・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

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

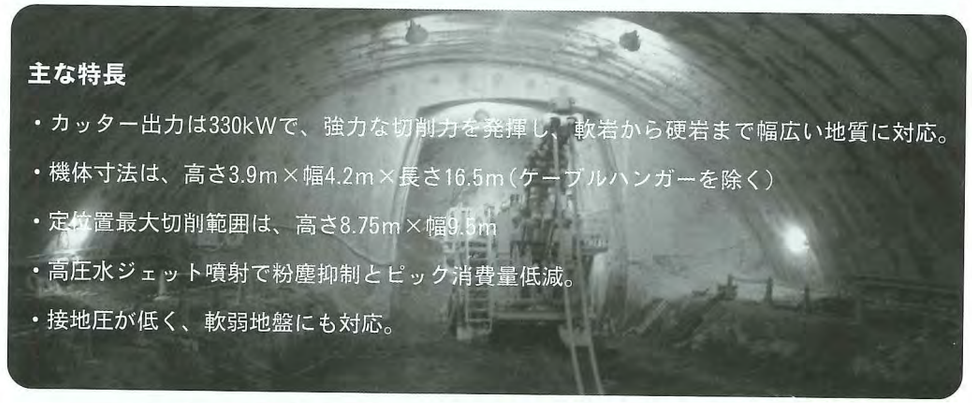
吉 富 幸 雄
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル室参与

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

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





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

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

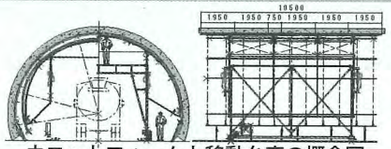
トンネル二次覆工型枠総合メーカー



新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



トンネル覆工コンクリート給水養生工法
ウエットフォーム


ウエットフォームと移動台車の概念図


ウエットフォーム移動中

一歩前進！　～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

トンネルと地下　VOL.49　No.4　掲載概要

掲載頁 7

JES工法による仮橋台と工事桁を併用し在来線6線下を掘る
―信越線宮内・長岡間　柿川放水路―

東日本旅客鉄道(株)　吉田　直人

本工事は，新潟県が実施する一級河川柿川床上浸水対策特別緊急事業に伴い，長岡駅付近において，上越新幹線に近接する区間，および在来線6線の線路下横断区間に，柿川放水路を構築する工事である．このうち，線路下横断区間は，信越線の上下線のほか，貨物線，入出区線の計6線の直下を横断する計画であり，放水路の計画断面を確保するため，小土かぶり条件下での施工が求められた．一方で，本事業は2017(平成29)年出水期での事業効果発現が求められていたため，工事桁を用いた開削工法と非開削工法の一つであるHEP&JES工法(JES橋台)を併用することで工期短縮を実現した．

Dig under Six Railway Tracks Using Temporary Abutments Built by JES Method and Temporary Girders― the Kakigawa Drainage Canal between Miyauchi Station and Nagaoka Station of the Shin-Etsu Main Line―

By Naoto Yoshida, East Japan Railway Company

The Kakigawa drainage canal was built near Nagaoka Station, close to the Joetsu Shinkansen line and under six railway tracks as part of the special emergency measure for above-floor inundation for the Kakigawa, a Class A river which has been promoted by Niigata Prefecture. At the crossing section to dig under the railway lines, the drainage canal intersect directly under the six tracks, including the up and down lines of the Shin-etsu Main Line, freight line and the sidings to/from rail yard. It was built under small overburden in order to ensure the planned river cross-section. On the other hand, this project was required to provide the effects in 2017 flood season, so the construction period was reduced by combining temporary girders using the cut-and-cover method and JES abutments using the HEP and JES methods, one of the non-open-cut methods.



図は在来線6線との交差部の状況

掲載頁 15

小土かぶり・酸性水・国道直下の難題を克服
―東北中央自動車道　山形蔵王トンネル―

東日本高速道路(株)　宮沢　一雄

東北中央自動車道山形蔵王トンネルはNATMで建設された延長944mの高速道路トンネルである．本トンネルの直上には，一級河川酢川，ゴルフ場と国道13号が交差している．なお，本トンネルは，ほぼ全区間にわたり土かぶりが1.5*D*以下であり，一番小さい箇所は酢川および国道13号部の約1*D*程度であった．また，本トンネルは蔵王山系の山体崩壊を起源とする扇状地形に位置し，酢川泥流堆積物および凝灰角礫岩が主に分布しており，時には想定を超える転石も出現した．さらに蔵王火山の下流に位置する酢川は強酸性河川でもあった．

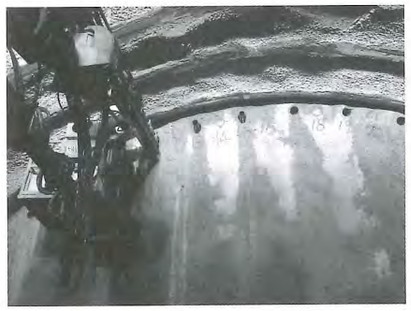
本稿では，これらの諸条件に対処すべく早期段階より施工対策委員会を開催し施工に臨み，無事貫通を迎えた工事について報告する．

Overcoming Tunneling Challenges beneath Small Cover, Acidic River and a National Route― the Tohoku-Chuo Expressway, the Yamagata Zao Tunnel―

By Kazuo Miyazawa, East Nippon Expressway Company Limited

The Yamagata Zao Tunnel of The Tohoku-Chuo Expressway is a 944m-long highway tunnel constructed using the conventional method. This tunnel passes under the Sugawa river of a Class A river, a golf field and National Route 13. The thickness of the overburden of this tunnel is under 1.5*D* along whole length of the tunnel, and the smallest overburden is approximately 1*D* under the Sugawa River and National Route 13. This tunnel is located at a fan area, which was derived from the sector collapse of Zao Mountains. Mudflow deposits from Sugawa River and tuff breccia are primarily distributed in the area, and some boulder stones that were larger than expected were found. Furthermore, Sugawa River, which is positioned at the downstream of Mt. Zao volcano, is a strongly acidic river.

This report contains the construction result which was executed with advices from the construction committee that will be held from an early stage in order to deal with these challenges.


写真は酢川直下の湧水状況

掲載頁 39

周辺環境に配慮して自由断面掘削機と制御発破で硬質地山を掘削
—八鹿日高道路　久斗トンネル—

国土交通省　松田　全良

久斗トンネルは，兵庫県北部に位置する２車線道路トンネルである．本トンネルは，坑口が閑静な住宅地にあり，さらに坑口から260m程度の地点で導水路トンネルと近接交差する計画となっていた．施工では周辺住民への発破騒音の配慮と導水路トンネルへの振動抑制が大きな課題であったため，硬質地山に対応した高出力自由断面掘削機と発破防音対策を導入した．しかし想定以上の硬質地山が出現したため，掘削機の掘削能力が低下し，通常の発破では防音対策後も発破騒音が周辺住民に与える影響が大きかったため，試験発破をくり返した結果，機械掘削を主体として補助的に制御発破を採用することで課題を克服した．

本稿では，掘削方式採用の経緯と制御発破時の導水路への振動伝達結果について報告する．

Excavating Hard Rock with Roadheader and Controlled Blasting in Consideration of the Surrounding Environment— the Yoka-Hidaka Road, the Kuto Tunnel—

By Masayoshi Matsuda, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The Kuto Tunnel is a two-lane highway tunnel located in the northern Hyogo Prefecture. There is a quiet residential area by a portal of the tunnel, it was planned to pass close to the headrace tunnel at around the 260m-point from the portal. Major challenges were to control the blasting noise which transmits to the residents and vibration which impacts on the headrace tunnel, so high-output roadheader for hard rock and soundproofing measures against blasting were deployed. However, harder rock ground than expected decreased the excavation capabilities of the roadheader, and noise of usual blasting with soundproofing measures would have high impact on the surrounding residents. As a result of repeated test blasts, the challenges were overcome by mechanical excavation assisted by controlled blasting.



写真は機械掘削状況

This report contains sequence of selecting the excavation methods and the vibration transmission results to the headrace during the controlled blasts.

掲載頁 49

1 kmを超える泥濃式推進で土砂圧送の採用により日進量を確保
—秋田市下水道　長沼幹線—

秋田市　今野　伝衛

秋田市では，中心市街地の度重なる浸水被害を解消するため，雨水管の整備を進めている．本工事は，JR秋田駅近くの市街地で，呼び径φ1,650㎜の鉄筋コンクリート管を泥濃式推進工法により約1,140m敷設して雨水管を構築するもので，そのうちの１区間が，推進延長1,030mという長距離施工であった．泥濃式推進工法では，掘削土をバキュームによる土砂吸引方式で搬出するが，このような長距離では排土を泥水状にしないと排土が間に合わず日進量が確保できなくなることが懸念されたため，土砂圧送ポンプによる掘削土の搬出を行った．

本稿では，泥濃式推進工事における土砂圧送計画と施工結果，長距離施工におけるトラブル防止対策について報告する．

Securing the Daily Progress in 1km-Plus Pipe Jacking Using a High Densify Slurry Type Method with Muck Pumping Pump— the Akita City Sewage System, the Naganuma Sewer Main—

By Den-ei Kon-no, Akita city

Akita city has progressed the improvement of storm sewer system to eliminate the repeated inundation damage in the city center. We has build storm sewer pipes by installing approximately 1,140m of reinforced concrete pipe with a nominal diameter of φ1,650mm at the city center near JR Akita Station using a high density slurry type pipe jacking. One of these works was pipe jacking along over 1,030m. With high densify slurry type method, the excavated soil is conveyed out with a vacuum using the suction device, but with distances this long, the had to must be turned into slurry or else we would run out of time to muck and would not be able to secure the required daily progress. Therefore, the excavated soil was carried out using a muck pumping pump.



写真は土砂圧送ポンプ設置状況（切羽）

This report contains the plans to pump muck and results of the high densify slurry type pipe jacking as well as the trouble prevention measures for the long-distance jacking.

掲載頁 59

SENSによる１次覆工挙動に関する研究

鉄道・運輸機構　玉井　達毅

SENS（シールドを用いた場所打ち支保システム）では，シールド工法とは異なり，内型枠と地山の間にコンクリートを打設し，その硬化後に内型枠を脱型することによりトンネルを構築する．著者らは，このようにシールド工法とは異なった施工過程を有するSENSの１次覆工の挙動を解明するため，主働側の有効土圧を用いて３次元で施工過程を考慮できる，時系列３次元解析手法を開発した．

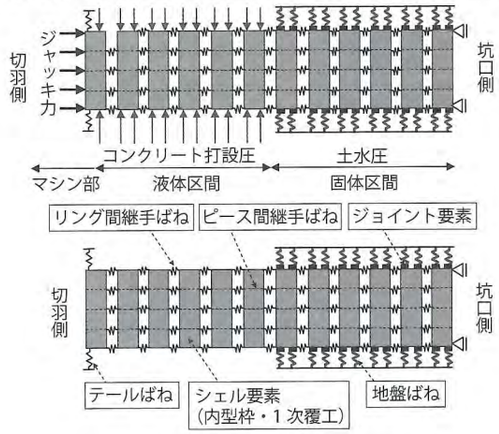
本解析手法を用いて，地盤条件に関するパラメータスタディを実施し，各パラメータが覆工挙動に与える影響を把握するとともに，得られた解析値と現場計測値とを比較し，妥当性を示した．さらに，施工条件が一次覆工の変位に及ぼす影響について検討し，解析結果からSENSの施工管理について考察する．

Study on Primary Lining Behavior of SENS

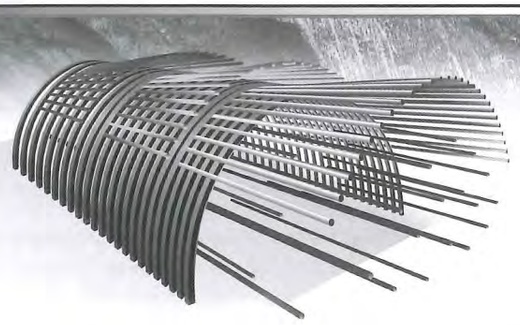
Tatsuki Tamai, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

Cast-in-place concrete lining system using TBM is called SENS. The characteristics of tunneling with SENS is the construction method of the primary lining, that is, the cast-in-place concrete is placed at the space between inner form and ground; and the inner form ring is removed after the placed concrete is hardened. In order to clarify the lining behavior of SENS with the said construction process in contrast to shield method of tunneling, a three-dimensional analysis model with phase analysis technique, which can represent construction process by means of active earth pressure, was developed.

A parametric study concerning ground condition was conducted to figure out the influence of each parameter on lining behavior, even as this model was validated through comparison between the calculated results and the site measured data. Furthermore, the influence of construction conditions on the displacement of primary lining was investigated and consideration for construction management were given through the analysis results



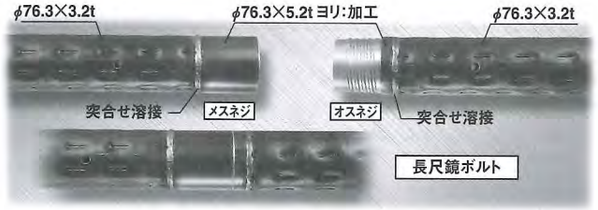
図は時系列３次元解析モデル概要図



NETIS登録No.KK-160026-A

FIXチューブ(S型)（ストロング）

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

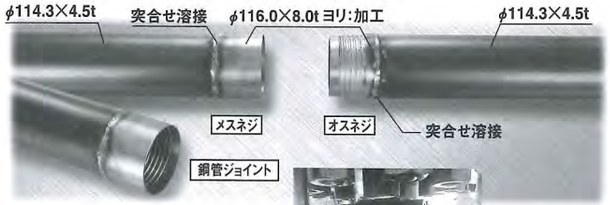




NETIS登録No.KK-150045-A

AGF-STD工法

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

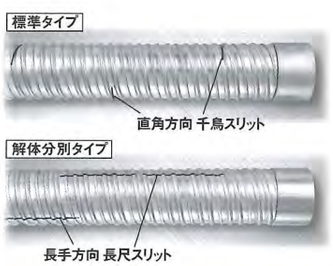


曲げ耐力30%UP!!



接続部の抗折力試験

撤去管の選択





STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

NETIS登録No.KK-110040-A

※ウレタン系空洞充填:NTR工法

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

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

巻頭言

（題字　谷口博昭会長）



トンネルをもっと知ってもらおう

大豊建設(株)取締役常務執行役員(本協会評議員)
今井和美

「トンネルとは何か」．こんな質問をしたら一般の人たちはどのように答えるでしょう．

一般市民が思い描くトンネルは，「鉄道や道路を通すために山や地下に掘られた通路」といったところがほとんどではないでしょうか．「トンネル」を辞書（広辞苑）で引いてみると「鉄道・道路・水路などを通すため山腹・河底・海底・地下に貫いて設けた通路」とあります．土木に携わる者には常識ですが，トンネルにはさまざまな用途があり，鉄道・道路などの交通用をはじめとして用水路，下水道，通信ケーブル，地下空間など多くの施設でその役割を担っています．身近なところで私たちの生活や産業に大きくかかわっているトンネルですが，地下街や上下水道施設までトンネルとして捉え，その役割や貢献度を理解している一般市民はあまり多くないように思います．

トンネルに限らず多くの土木構造物は完成し供用されると，時間の経過とともにその存在が当たり前になり，一般市民から意識されなくなってしまうという側面があります．ありがたさを忘れてしまうのです．これは土木の宿命と言えるかも知れませんが，仕方のないこととして受け入れるのは少し寂しい気がします．とくにトンネルは生活への密着度が高い施設であることから，多くの人たちにその存在と役割を理解してもらいたいものです．

これまで，一般市民に土木を知ってもらうための広報活動として，トンネルやダムなどの土木工事ごとに現場見学会が各地で開催されてきました．2002(平成14)年からスタートした「100万人の市民現場見学会」の参加者は，取組みから15年経った2017(平成29)年11月に300万人に達しています．このような地道な活動を継続していくことも重要ですが，最近はより土木を知ってもらうためにいろいろな活動が展開されるようになっています．

そのひとつに「インフラツアー」があります．これは既存のインフラや工事中のインフラを観光資源化することで幅広い層に参加してもらえるよう企画されたツアーで，民間の旅行会社が企画して有料で実施されるものもあります．土木に触れ合う機会を一般市民が参加しやすいかたちにして提供することで，ふだん意識することのないインフラへの理解が深まるものと期待されます．国土交通省では，民間主催ツアーや現場見学に関する情報を提供する「インフラツーリズムポータルサイト」をWeb上に設けて，開催

を後押ししています．また，魅せる土木を発信している「土木ウォッチング」のWebサイトでもインフラツーリズムの情報を入手することができます．そのほか，建設コンサルタンツ協会のホームページにも「土木ツアー」のサイトが設けられており，「行ってみたい土木施設」や「おすすめ土木探索ルート」が検索可能です．

このように土木の魅力を伝えるツアーが広がりをみせていますが，対象となる土木構造物，土木施設となるとトンネルは少し不利なようです．トンネルを対象としたものがあまり多くないのが現状です．国土交通省のサイトによれば，民間主催ツアーでは全15件中トンネルが1件，現場見学が250件中6件に留まっています．民間主催ツアーでみるとダムが40%にあたる6件を占め，次に空港・港湾が5件，続いて河川構造物が2件となっています．現場見学でもダムが87件でもっとも多く，河川構造物54件，道路33件，空港・港湾22件の順となっています．工事中も完成後も全体を見渡すことができ，周囲の景観ともマッチして見栄えのする構造物の人気が高いようです．

トンネルの場合は，そのような条件はなかなか望めません．完成した鉄道・道路トンネルのツアーであれば，開通前のタイミングか通行を一時止めるなどして実施することになり，しかも景色の変化がないトンネル内を移動するかたちになります．下水道やほかの施設のトンネルも景観という点からはハンディキャップがあるでしょう．

けれどもトンネルならではの特徴を活かしたツアーや現場見学の開催も可能ではないでしょうか．「トンネルを抜けたら雪国だった」というように起点・終点の景色の違いを体験してもらう，トンネル内のウォーキングでは長さを感じてもらうと同時に施工中の状況や地質の変化など伝えたい情報をポイントごとに表示する，などが考えられます．景観上不利でかつ日頃目に触れることの少ないトンネルを魅せるためには，いろいろなアイデアと工夫が必要です．トンネル技術者は，これらの要求に対応するとともに，自らが携わるトンネルの役割と効果をわかりやすく説明する能力が求められるのです．「このトンネルが完成したら何がどれだけ便利になるのか，効果が期待できるのか」「もしこのトンネルがなかったらどうなるのか」といった切り口も必要でしょう．ふだん目にしない，意識しないトンネルだからこそ，新たな発見はより強いインパクトを与えられるかも知れません．

近年，国内におけるトンネル新設工事では，技術の進歩によりリニア中央新幹線や東京外かく環状道路シールド工事に代表されるように長大化，大断面化が進んでいます．その一方で，既設トンネルの維持・補修，更新の必要性が高まっています．ふだん意識することなく利用されているトンネル施設のリニューアル工事を行うに当たっては，利用者や住民の協力が不可欠です．工事を円滑に進めるためにはそのトンネルの役割，存在意義を日頃からどれだけ理解してもらっているかが重要なポイントになります．

トンネルに携わる技術者には，技術の研鑽と併せて一般市民にトンネルをもっと知ってもらうための努力も必要なのです．

施工

JES工法による仮橋台と工事桁を併用し在来線6線下を掘る

—信越線宮内・長岡間　柿川放水路—

東日本旅客鉄道(株)上信越工事事務所新潟工事区助役　吉田直人
東日本旅客鉄道(株)上信越工事事務所新潟工事区施設技術主務　中島純也
東日本旅客鉄道(株)上信越工事事務所担当課(新潟)副課長　小山幸寛
大林・熊谷・東鉄共同企業体柿川放水路JV工事事務所所長　村山幾雄

1　はじめに

本工事は，新潟県が実施する一級河川柿川床上浸水対策特別緊急事業に伴い，長岡駅付近において上越新幹線の高架橋に並行する区間および在来線の線路下横断区間に柿川放水路を構築する工事である．このうち，線路下横断区間は，信越線の上下線のほか，貨物線，入出区線の計6線の直下を横断する計画であったため，線路内および線路下の作業可能な時間が非常に限られていた．また，柿川放水路の線路下横断区間は，計画断面を確保するため，小土かぶり条件下での計画・設計となっていた．一方で，柿川床上浸水対策特別緊急事業は2017(平成29)年出水期での事業効果発現が期待されており，放水路として暫定運用を開始できるよう工期短縮が求められた．

本稿では，在来線直下での放水路構築における工期短縮の取組みについて報告する．

2　事業概要

新潟県長岡市内を流れる一級河川柿川は，2年に1回経験するような降雨による洪水を流せる程度の治水安全度であるため，これまで長岡市内の

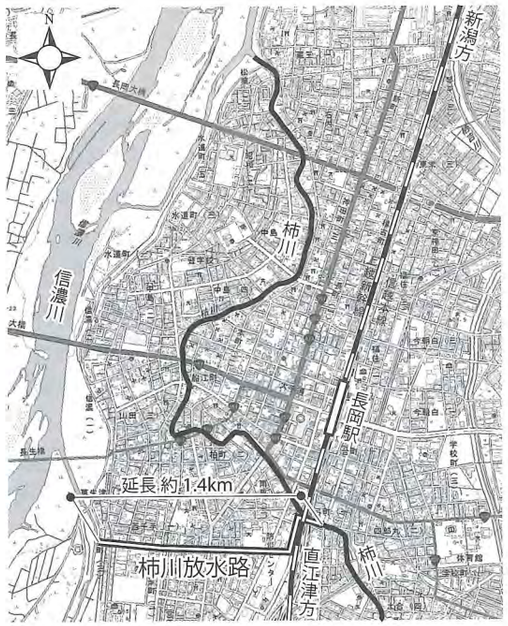


図-1　柿川放水路計画位置

柿川の流域の家屋は頻繁に浸水被害を受けてきた．そのため新潟県は，2008(平成20)年3月に柿川河川整備計画(図-1)を策定し，柿川放水路の整備を計画してきたが，2011(平成23)年7月に発生した新潟・福島豪雨災害により柿川流域も甚大な被害

（床上浸水147戸，床下浸水734戸，浸水面積163ha）を受けたため，床上浸水対策特別緊急事業として柿川放水路の整備を早期に実現することとなった．このうち，上越新幹線の高架橋と並行する区間（1工区）と在来線6線を横断する区間（2工区）について，新潟県よりJR東日本が委託を受け，施工を行うことになった．

3　在来線6線横断部の設計・施工

3-1　設計条件

柿川放水路は，信越線を挟んで柿川の上流側から分かれ，在来線6線とほぼ直交する位置に計画されている．現場の土質条件は，GLから−2.0m程度が砂礫混じりの粘土質シルト層，−2.0〜−4.0m程度の部分が粘土質シルトまたは砂質シルト層で構成されており，−4.0m以深ではN値が50を越える砂礫層となっている．そのため，線路下の放水路ボックスおよび後述するJES橋台は，この砂礫層を支持層として設計を行った．

柿川放水路の諸元は，内空断面が幅員3.05m×高さ1.8m×2連の2径間のボックス構造であり，縦断勾配は1/850である．線路下の放水路ボックスは列車荷重を受けるため，『鉄道構造物等設計標準・同解説』に準拠して設計を行っており，上載荷重として地山の死荷重だけでなく，列車荷重（EA-17，設計速度130km/h）を活荷重として付与している．そのため，線路下の放水路ボックスの壁厚は，一般部の放水路ボックスの壁厚より最大で100㎜程度大きくなっている．

3-2　施工条件

当該区間は，長岡車両センター，南長岡駅および長岡駅に挟まれた区間に位置するため，信越線の上下線のほか，JR貨物線，入出区線の計6線の直下となる（図-2）．そのため，昼夜問わず貨物列車が頻繁に往来し，南長岡駅や車両センターからの列車の出入りもあるため，夜間の作業可能な時間が非常に短く，作業時間の確保が困難であった．



図-2　交差部の状況

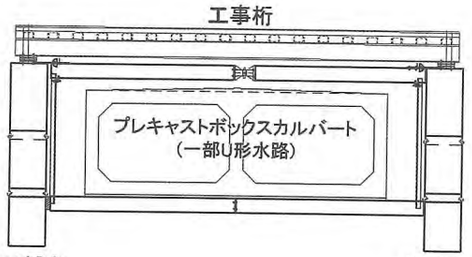


図-3　JES橋台を併用した工事桁工法

（図-3）

また，軌道管理の観点からレール温度の上昇する夏場（おおむね6月末〜8月末）は，レールの張出し事故の危険性が高く，軌道に影響のある作業が困難であることに加え，豪雪地帯である長岡市では，積雪の影響により冬季の軌道整備が困難であるため，夏場と同様に軌道に影響のある作業を行うのが難しく，工程上の大きな制約となっていた．さらに，流雪溝（線路内の積雪を排雪するための水路）や新幹線消雪用の導水管路なども新設する放水路に支障しており，とくに流雪溝は冬季（12〜3月）に機能を維持する必要があった．そのため，事前作業として流雪溝の撤去・切回しが必要となり，工程上の制約が非常に多い施工条件であった．

一方で，2017（平成29）年出水期の柿川放水路の暫定運用開始が求められていたため，工事着手から放水路の通水までが約3年半と非常に厳しい工期であった．

3-3　施工計画（計画見直し前）

在来線横断部の放水路ボックスは，工事桁（L=

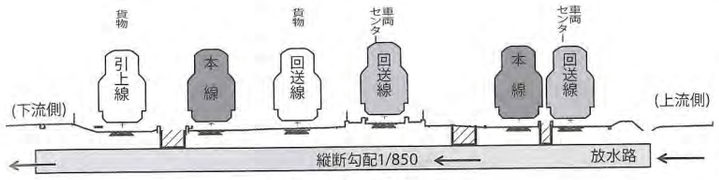


図-4　交差部断面図

10.3m）と，それを支持するJES橋台を併用した，開削工法で構築することとした（図-3）．ここでJES橋台とは，継手を有した箱形鋼製部材（以下「JESエレメント」と呼ぶ）を鉛直方向につなぎ合わせ，内部にコンクリートを充填することで構造体とした橋台で，非開削工法で線路下に橋台を構築することが可能である．工事桁は，掘削する範囲の軌道を一時的に支持するための工事用の橋桁を言い，主桁とマクラギを直接支持する横桁で構成されている．工事桁の構造形式は，マクラギ抱込み式工事桁としており，設計荷重は列車荷重EA-17，設計速度130km/hとし，許容応力度法で設計を行った．

線路直下の放水路ボックスの土かぶりは約0.8mと小さく，線路内の流雪溝と交差している（図-4）．そのため，軌道変状のリスク回避や，支障する流雪溝の撤去・新設のための工期・コストを考慮し，開削工法を採用して，プレキャストボックス（RC造）の放水路を構築する計画とした．

工事桁の架設にあたっては，鋼管杭などで主桁を支持する方法が一般的で，線路下の仮土留めには，親杭横矢板や柱列式連続壁などを用いることが多い．しかし，本工事では6線の線路下を横断するため，仮土留めの延長が41mと長く，夜間の短い作業時間帯の中で施工を行うことが困難であった．そのため，下部工は土留めを兼用できるJES橋台を採用した．なお，JES橋台に支障する流雪溝は，事前に仮切回し・撤去を行う計画とした．

4　本工事の課題

4-1　当初の施工ステップと工期短縮

本工事の当初の施工手順は，①仮設工・支障移転（電化柱，流雪溝など），②立坑構築，③JES橋台構築，④工事桁架設，⑤桁下掘削，⑥プレキャストボックス設置，⑦隣接工区接続（暫定通水），⑧流雪溝復旧・工事桁撤去，隣接工区接続部放水路構築，であった（図-5）．しかし，その場合，JR交差部の範囲の放水路が，機能発現可能となる時期が2018（平成30）年度になる見込みであった．当初の施工手順では，柿川床上浸水対策特別緊急事業の目標である2017（平成29）年出水期の暫定運用に間に合わないことから，JR交差部工事の工程短縮が必要となった（表-1）．

4-2　JES橋台の工期短縮検討

本工事の中で，JES橋台の施工方法に着目し，工期短縮を図ることを検討した．

1段目のJESエレメントの施工は，土かぶりが最小300㎜であることから，軌道変状のリスクが高く，列車の運行に影響を及ぼす可能性があるため，夜間などの列車が運行していない時間帯（以下「線路閉鎖間合い」と呼ぶ）での施工としている．本現場では，夜間の線路閉鎖間合いが非常に短く作業時間の確保が困難であること，夏季や冬季などの期間に軌道影響のある作業に制約を受けることから，JES橋台の施工は，17か月の工期を要する計画となっていた．

そこで，JES橋台を施工する範囲にスパンの短い工事桁（L=5.2m，以下「仮工事桁」と呼ぶ）を架設することで，JES橋台施工時の軌道変状リスクを回避し，列車運行時間帯での昼夜作業が可能になるよう施工計画の見直しを行った（図-6）．なお，仮工事桁の架設は，夜間の線路閉鎖間合いでの作業となるが，立坑などの作業ヤード工の施工と重複して作業が可能であるため，全体工程への影響はないと判断した．

5　施　工　報　告

5-1　仮工事桁の架設

仮工事桁は，昼間に十分な作業時間を確保できる貨物線を除く5線（全10連）に架設した．仮工事桁の支持杭には鋼管杭を採用した．支持杭打設の作業時間を確保するため，低空頭杭打ち機を使

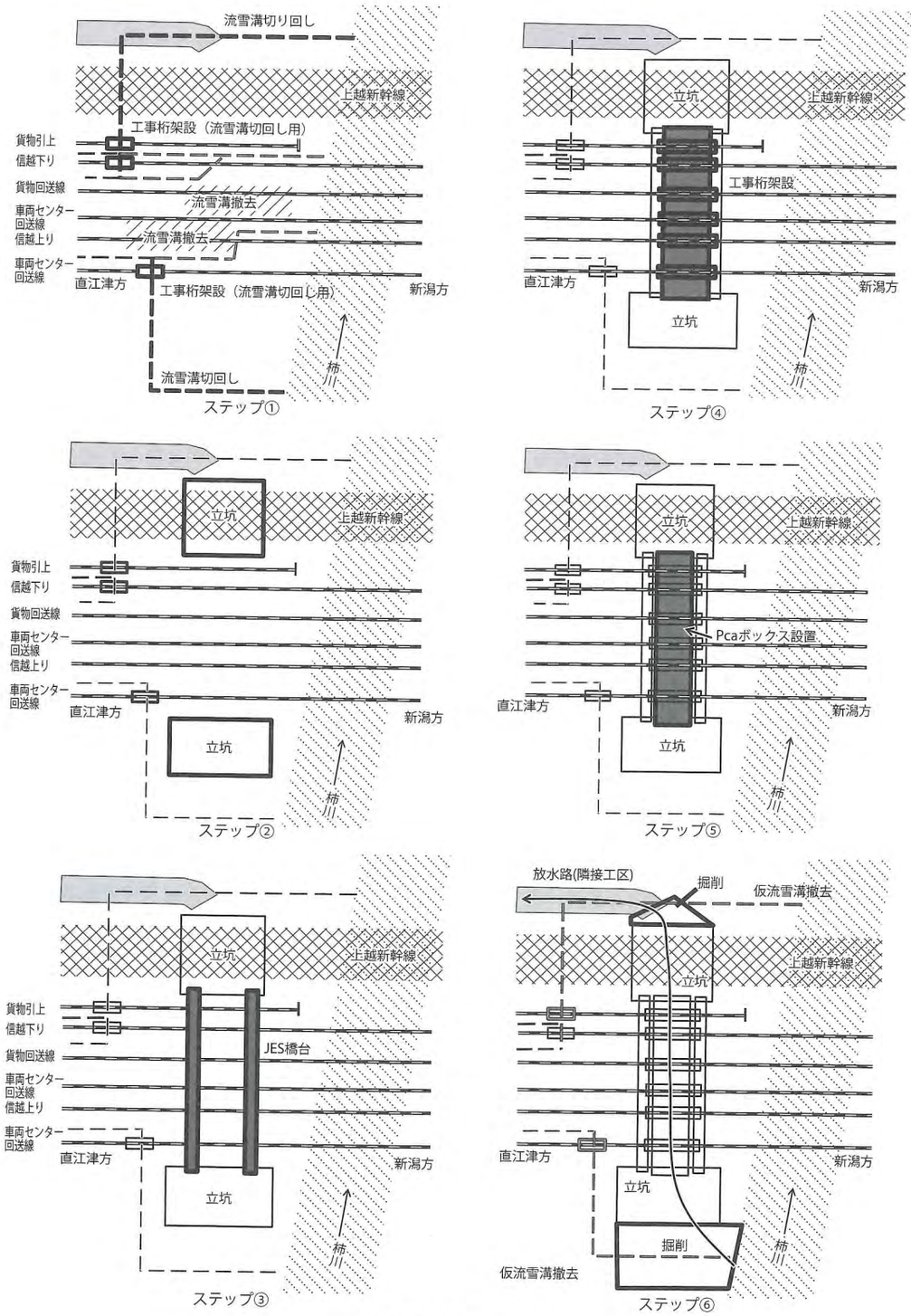


図-5　施工ステップ図

用して鋼管杭を分割施工することで，架空線の停電を不要として対応した(写真-1)．

仮工事桁は，作業時間の制約や高さ制限などからクレーンによる一括架設が困難であったため，分割架設(主桁，横桁などを分割して毎晩組み立てながら架設を行う方法)を採用した．分割架設は，作業の都度，路盤の掘削，埋戻しおよび軌道整備を伴うため，信越線の徐行(40km/h)を手配して施工を行った．分割架設の施工手順は，①バラスト土嚢置換え(軌間内)，②かんざし桁架設，③主桁架設(2本)，④横桁架設である(写真-2)．

表-1　全体工程(計画時)

	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度
仮設工・支障移転(流雪溝切回しなど)	■	■		通水目標時期	
立坑設置(掘削・土留め)		■	■		
工事桁(JES橋台)			■	■	
工事桁(桁架設)				■	
線路下掘削・水路敷設				■	
掘削・水路敷設(隣接工区接続)					■ 通水開始 2018.5ごろ

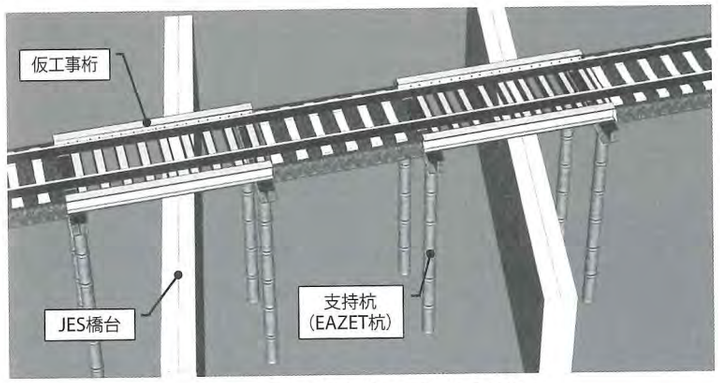


図-6　仮工事桁を併用したJES橋台

バラスト土嚢置換えは，当夜の掘削作業量を減らすことで施工時間の短縮を狙っており，軌間内の道床バラストを土嚢(どのう)で置き換えた．掘削作業は，0.2m³バックホウで行い，かんざし桁および主桁の架設は4.9tクローラークレーンを用いて行った．横桁は，バラスト土嚢を人力で撤去してマクラギを外したのち，0.2m³バックホウで軌間内に吊り降ろし，人力で所定の位置に配列し，レールと固定した．

なお，仮工事桁の架設の際，主桁などが流雪溝の一部に支障したため事前に撤去を行った．また，支持杭打設の際にも，地中に支障物(コンクリート塊)があることが判明したため，JES橋台施工前に仮工事桁下を掘削し，支障物の事前撤去を実施した(図-7)．



写真-1　低空頭杭打ち機(EAZET杭)



写真-2　仮工事桁架設状況

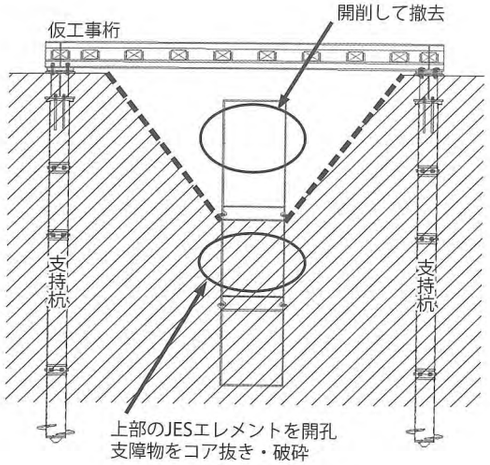
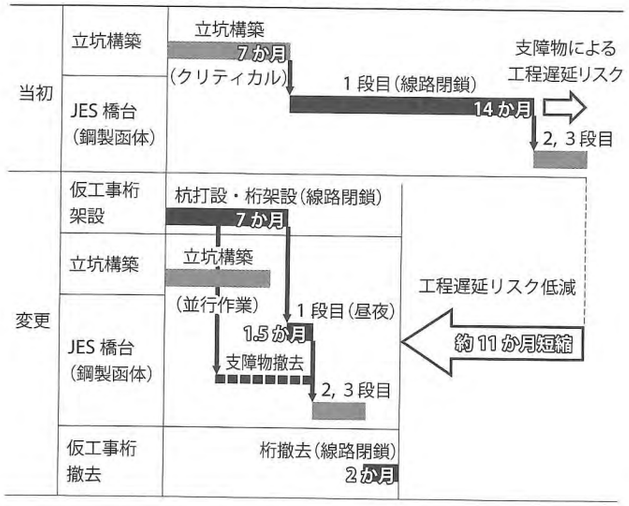


図-7　支障物撤去イメージ



写真-3　支障物撤去状況

表-2　施工方法見直しによる工期短縮



5線の線路下の施工を昼夜2交代体制とした．

仮工事桁を架設していない貨物線の直下は，日中の線路閉鎖間合いに非開削で施工を行った．

なお，JESエレメントは人力掘削で施工し，高流動コンクリートでJESエレメント内部を充填した．

ここで，JESエレメント施工時に，地中の支障物により一時作業不能となったが，後述する対応により工程の大幅な遅延を防ぎ，施工を実施することができた．以上の計画変更により，JES橋台の施工に要する期間を，約9か月に短縮することができた(表-2)．

5-2　JES橋台の施工

本現場のJES橋台(線路横断延長43m)は，支持層が地表面から約4mと比較的浅い位置にあったことから，JESエレメント3段で構成されている．なお，現場の地下水位はGLから−2.0〜−4.0mの間で変動するため，施工時期によってJESエレメント牽引高さや掘削床付け高さよりも地下水位が高くなる場合がある．そのため，必要に応じてディープウェルで地下水位を下げ，施工に支障しないよう対応した．

JESエレメントの推進は，仮工事桁を架設した

5-3　支障物の対応

本現場付近は過去に配線変更などを行った経緯があったことから，地中に支障物(水路，電柱基礎，建屋基礎などのコンクリート塊)があることが想定されていた．また，あらかじめ把握できていなかった支障物も仮工事桁架設時などに確認されていたため，事前に撤去を行っていた(写真-3，図-7)．しかし，2段目以降のJESエレメントを施工する際にも，JESエレメントの刃口前面に支障物(鉄筋コンクリート塊)が出現し，一時作業不能となった．支障物は当初，刃口前面からハンドブ

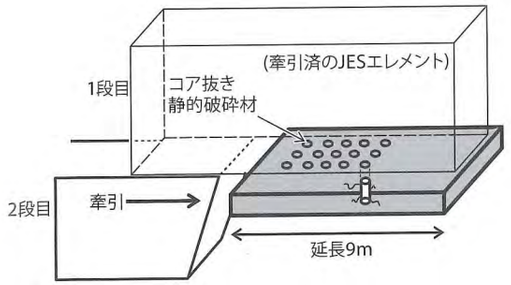


図-8　支障物撤去状況図(JESエレメント内)

レーカーなどで撤去を試みたが，牽引スピードを向上させることができなかった(日進量0.2m以下)．そこで，1段目JESエレメントの底面から支障物を削孔(ϕ42mm，L=300mm)し，静的破砕材を用いて破砕することで施工性を改善した(図-8)．本工事では，非常に多くの支障物が存在したが，施工の各段階で適切に対応することで，工程確保に努めた．

5-4　工事桁架設・プレキャストボックス据付け

JES橋台施工完了後，工事桁(L=10.3m)を架設した(写真-4)．工事桁の架設は仮工事桁の架設同様の手順で行った．JES橋台部の工事桁は，仮工事桁よりスパンが長いため，線路内の路盤の掘削土量が大きくなる．そのため，入出区線の作業時間を確保するため，列車の運用変更を行い，作業時間の拡大を行った(機走線：終日作業可能，東機走2番線：215分に拡大)．

工事桁架設後，工事桁下を掘削し，開削工法でプレキャストボックスの据付け作業を行った．ここで本工事では，品質向上と工期短縮の観点から，放水路ボックスにプレキャストボックスを採用している．

工事桁とプレキャストボックスの空頭の離隔は最小で120mmしかなく，片押しで施工する必要があったため，空頭が制限された条件下でもプレキャストボックスの運搬・据付けを行える特殊な台車(写真-5，ECO-C·L工法)を採用した．この台車は，プレキャストボックスの下床版を吊り下げた状態で運搬・据付けが可能な機構を備えている．また，プレキャストボックス据付け時は，台



写真-4　工事桁架設状況



写真-5　プレキャストボックス設置状況



写真-6　高さ制限ストッパー

車の車輪が隣り合うボックスの下床版に乗り上げることで，片押しでの施工が可能となっている．なお，台車には高さ制限ストッパー機能(写真-6)を設置し，操作誤りなどで工事桁に接触させ列車運行に影響を与えることがないよう配慮した．

以上のように非常に狭隘な施工条件下であった



写真-7　現場全景(2017(平成29)年８月)



写真-8　暫定運用開始(鋼矢板切断部)

が，列車運行などに影響を与えることなく，所定の精度(縦断勾配１/850)で施工を完了することができた．

6　おわりに

本稿では，在来線直下での柿川放水路構築にあたっての工期短縮の取組みについて報告した．在来線６線の直下であることに加え，非常に多くの制約条件の中，工程短縮や作業条件の緩和などの取組みを行い，施工を円滑に進めることができた．その結果，2017(平成29)年８月２日に柿川放水路暫定運用を迎えることができ，出水期での機能発現を実現することができた(写真-7，8)．今後もJES橋台部の工事桁撤去や越流堤構築などの作業が続くので，安全に工事を進めていきたい．



推進工法の理論と実際

B５判　437頁　本体価格8,500円

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

本書はドイツ人工学博士マックス・シェルレの著「Scherle Rohrvorieb」の翻訳本である．挿図を多く用い推進工法の理論をわかりやすく解説している．研究・開発，計画・設計，あるいは，施工に携わる多くの実務者に最適．

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

小土かぶり・酸性水・国道直下の難題を克服

―東北中央自動車道　山形蔵王トンネル―

東日本高速道路(株)東北支社山形工事事務所副所長　宮沢一雄
東日本高速道路(株)東北支社山形工事事務所蔵王工事区工事長　福士森政
東日本高速道路(株)東北支社山形工事事務所蔵王工事区　保坂浩寿
(株)熊谷組やまがたざおう工事所作業所長　髙松雅宏

1　はじめに

山形県の高速道路体系は，３本の道路で構成される．このうち東北中央自動車道は，福島県相馬市を起点とし，福島県・山形県・秋田県の内陸部の主要都市を結ぶ総延長約268kmの路線である．常磐・東北・山形・秋田自動車道と接続することから，南東北における高規格幹線道路網を形成し，地域間交流・緊急時における代替および迂回などネットワーク機能の強化を目的としている(図-1)．

本工事は，山形県上山市に位置する山形蔵王トンネル(上り線944m，NATM)と，橋梁下部工，門形カルバート工，本線切盛土工，インターチェンジを含め，延長約3,000mを施工する工事である(図-2)．

山形蔵王トンネル(以下「本トンネル」)は，一級河川酢川(すかわ)，ゴルフ場および国道13号下を通過し，既供用ICとの位置関係からほぼ全区間1.5D以下(D=12.3m)の小土かぶり，さらには，蔵王山系を起源とする地質・水質からなる施工条件を抱える．

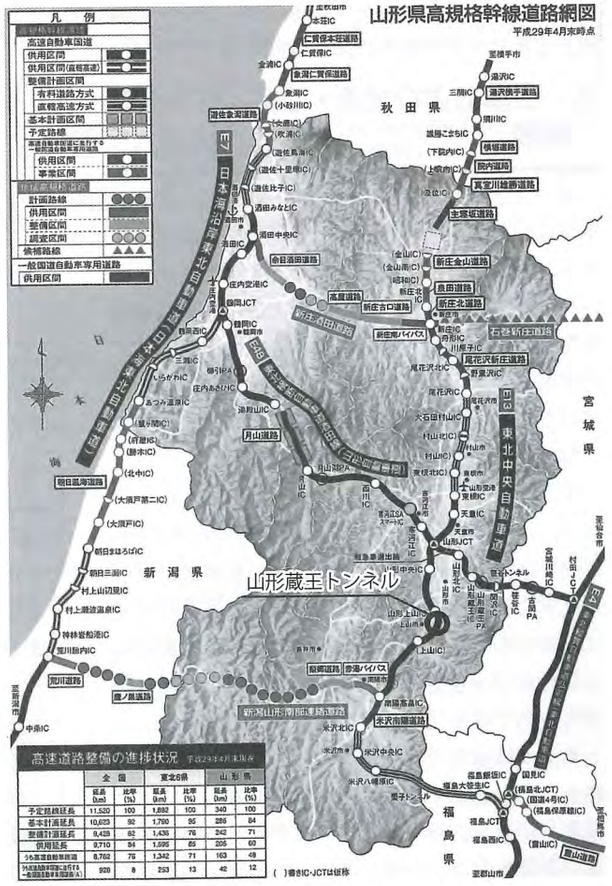


図-1　山形県道路網図



図-2　工事位置図

本稿では，これら諸条件を抱えながらも無事貫通を迎えた工事の施工状況を報告する．

2　工事および地形・地質・地下水の概要

本トンネルの工事概要を表-1に示す．本トンネルは，蔵王山系を起源とする扇状地に位置し，土かぶりは9.9～24.5mであり，ほぼ全線1.5D以下の小土かぶりである．地質は，上位より扇状地堆積物，酸性河川である酢川の伏流水の影響を受けた第四紀の酢川泥流堆積物，新第三紀鮮新世葉山層の凝灰岩・凝灰角礫岩から構成され，これらは一般的に固結度が低く軟弱である(図-3)．

また，本トンネル延長の約85％が酸性土壌からなり，とくに米沢側240m区間および山形側157m区間では強酸性土壌が分布する．山形側区間では熱変質を受けた凝灰角礫岩が分布し，事前調査では土壌汚染対策法第二溶出基準を超過する重金属(Cd，Pb，As)が検出されたが，実施工時に行った事前の水平ボーリングでは検出されていない．

地下水環境は，酸性河川である「酢川(pH2.1)」がトンネル直上を流下している．上流には「蔵王温泉」があり，河川水および地下水は強酸性温泉水の影響を受けている．また，山形側では民地に浅井戸が多数点在し，工事による水位低下も懸念された．

表-1　山形蔵王トンネル諸元

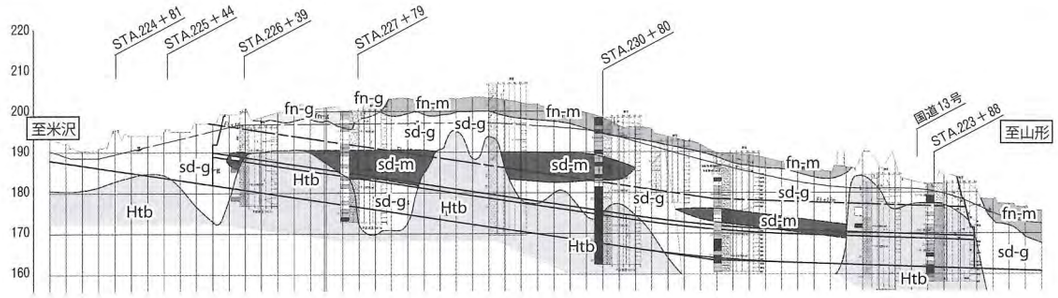
トンネル延長	944m，非常駐車帯左右2か所あり
道路規格	第1種第2級，B規格，暫定2車線
設計速度	100km/h
車線数	1方向，2車線
縦断勾配	3％，突込み掘削
掘削断面積	標準部80m^2，非常駐車帯97m^2
掘削方法	機械掘削，全断面早期閉合工法，補助ベンチ付き全断面工法
地質	新第三紀鮮新世葉山層(Htb) 第四紀更新世酢川泥流堆積物(sd-m, sd-g)

3　施工検討委員会

このような地山条件と小土かぶりでゴルフ場・河川・国道通過という立地条件のもと，トンネルを安全に施工するため，2012(平成24)年よりこれまで5回検討委員会を開催してきた．施工に先立ち，第1回委員会において，

①　強酸性地山における支保構造
②　小土かぶり・低強度地山における掘削工法
③　強酸性水および重金属通過部の排水処理

の3つの課題を抽出した．その後，当初設計を決定するとともに，現地状況および計測結果をもとに設計の変更を随時行い施工に臨んだ．



地質凡例

地質時代		地層名		地層記号	主な土質	特徴
第四紀	完新世	扇状地堆積物	礫質土層	fn-g	砂礫 シルト混じり玉石	酢川沿いに分布．礫はϕ10～60㎜．マトリックスは細礫を含む凝灰質粘性土．玉石はコア長は5～10cm，硬質な安山岩
			粘性土層	fn-m	礫混じりローム 粘土質ローム ローム質砂礫	ϕ5～40㎜の火山礫を含む二次堆積物．不規則に砂分多く，玉石点在． B1-3-5孔付近は玉石が多く，砂や火山礫の薄層も挟在．
	更新世	酢川泥流堆積物	礫質土優勢層	sd-g	粘土質砂礫 玉石混じり砂礫 玉石	礫はϕ5～100㎜，マトリックスは細礫，凝灰質の粘性土主体．玉石はコア長5～30cm，硬質な安山岩．ところどころ数m連続． B1-3-3上部およびB3-5-4下部では，基質が固結する．
			粘性土優勢層	sd-m	礫混じり粘土 粘土質砂礫	ϕ5～50㎜の礫混入．凝灰質で部分的に半固結状．不均質で砂分や細礫を含み，礫はクサリ礫状． B1-3-4では砂分・礫分優勢
新第三紀	鮮新世	葉山層		Htb	凝灰角礫岩 凝灰岩	基盤岩で安山岩礫を含む．新先負は短柱～長柱状でCL級．風化部は軟質化し，土砂～礫状でD級．起伏大きく，国道13号付近地表面付近に出現し，部分的に深い．

図-3　地質縦断図

3-1　強酸性地山における支保構造

強酸性区間では1次支保は仮設とし，2次覆工(RC)・防水工で対応するものとした．また，弱酸性区間では1次支保を本設とし，吹付けコンクリート材料に高炉セメントを使用するものとした．なお，当初設計は酸性水の引き込み要因とFEM解析結果からロックボルトは無用としたが，施工に際して，修正設計で転石の縫い付け効果，インバート掘削時の変形対策から追加採用している．対象地質，地表条件，酸性度，1次支保構造を考慮した支保パターン選定フロー(図-4)および一覧(表-2)を示す．

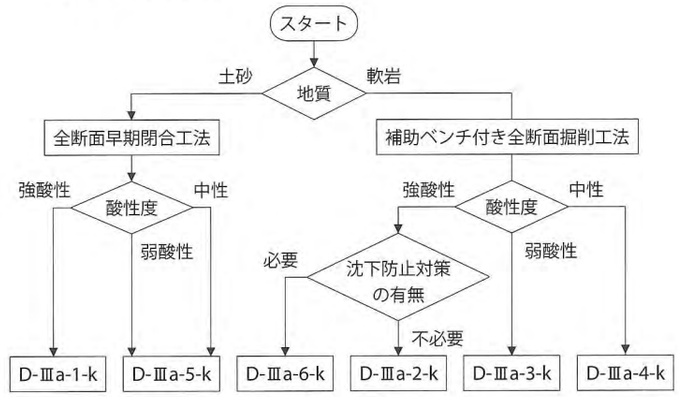


図-4　支保パターン選定フロー

3-2　小土かぶり・低強度地山における掘削工法

本トンネルの支保パターンは，小土かぶりのため全線坑口部のDⅢで計画し，地質的に軟質であるため機械掘削方式を採用した．掘削工法および補助工法については，酢川泥流堆積物の土砂および玉石・粘性土混じり砂礫では，切羽から1D以内でインバート吹付けを行う全断面早期閉合工法とし，注入式長尺鋼管先受け工(以下「AGF」)を採用した．葉山層の凝灰角礫岩では軟岩相当であ

るため，補助ベンチ付き全断面工法で充填式フォアポーリングとした．

3-3　強酸性水および重金属通過部の排水処理

「pH≦4.0：強酸性，4.0＜pH＜6.0：弱酸性，6.0≦pH：中性」と区分し，補足調査より酸性水の地下浸透を確認した．施工中は水抜きも兼ねた先進ボーリングにて地質・地下水を確認しながら対応した．

表-2　支保パターン一覧表(当初)

支保構造など ＼ パターン		標準部						非常駐車帯
		DⅢa-1-k	DⅢa-2-k	DⅢa-3-k	DⅢa-4-k	DⅢa-5-k	DⅢa-6-k	DⅢa-k(A)-L
近接構造物		農道・酢川・ゴルフ場	市道・ゴルフ場	ゴルフ場	ゴルフ場	ゴルフ場	国道	ゴルフ場
酸性度		強酸性	強酸性	弱酸性	中性	中性～弱酸性	強酸性	中性
一次支保構造		仮設	仮設	酸性化対策	通常	酸性化対策	仮設	通常
土質区分		土砂	岩			土砂	岩	
掘削工法		早期閉合	補助ベンチ付き全断面			早期閉合	補助ベンチ付き全断面	
吹付けコンクリート(36N/mm²)	厚さ	20cm						
	種類*	NまたはBB	NまたはBB	BB	NまたはBB	BB	NまたはBB	NまたはBB
ロックボルト		なし						
鋼アーチ支保工		HH154						
覆工コンクリート(30N/mm²)	厚さ	40cm						45cm
	種類*	BB	BB	BB	NまたはBB	BB	BB	NまたはBB
インバートコンクリート(30N/mm²)	厚さ	50cm	70cm (増厚20cm)	60cm (増厚10cm)	50cm	50cm	70cm (増厚20cm)	50cm
	種類*	BB	BB	BB	NまたはBB	BB	BB	NまたはBB
インバート吹付け(36N/mm²)	厚さ	20cm	—	—	—	20cm	—	—
	種類*	BB	—	—	—	BB	—	—
先受け工		AGF	充填式FP	充填式FP	充填式FP	AGF	AGF	充填式FP
覆工鉄筋	アーチ	D22@125	D25@250	単鉄筋(通常の坑口部補強鉄筋を配筋)			D25@250	D25@250
	インバート	D19@125	D19@250				D19@250	D19@250
防水工	アーチ	t=2mm	t=2mm	t=0.8mm	t=0.8mm	t=0.8mm	t=2mm	t=0.8mm
	箱抜き部	接着性シート	接着性シート	t=0.8mm	t=0.8mm	t=0.8mm	接着性シート	t=0.8mm
摘要		解析断面1，5		(緩衝区間)		解析断面2	解析断面4 (R13下)	解析断面3

＊　N：普通ポルトランドセメント，BB：高炉セメントB種

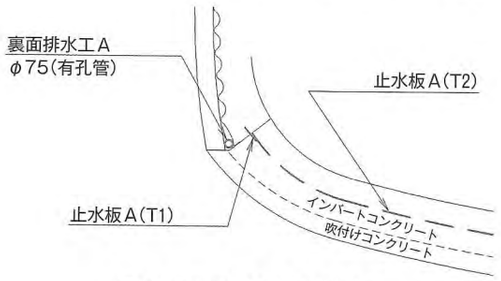


図-5　止水板図(拡大断面図)



写真-1　非貫通型吊り金具

また，中央排水工・横断排水工をインバート上に設置し，インバート内面側への酸性水の流入および流出を防止するため，排水管には無孔管を採用し，インバートコンクリート打継ぎ目には止水板を設置した(図-5)．また，当初設計では酸性度の違いで防水シートの厚さを0.8mmと2.0mmの2種類を使い分けていたが，修正設計にて全線2.0mmを採用した．なお，覆工は全線でRC構造のため鉄筋吊り下げ方法として非貫通型吊り金具を採用した(写真-1)．

4　施工報告

4-1　巨礫の出現

米沢側坑口部で切土を行った結果，酢川泥流堆積物に写真-2のような巨礫が確認され，過年度の地質調査結果と異なる状況が判明した．そのため，トンネル掘削時に天端や側壁部には現れず，掘削面から近い位置に巨礫が存在することを想定した場合，掘削時の緩みにより周辺地山の物性値が低下し，巨礫を支持できなくなることから，転石を含む地山が抜け落ちる状況が懸念された．とくに本トンネルは小土かぶりの条件であるため，地山の抜け落ちが地表面沈下や陥没に直結する大きな要因であること，また切羽作業での安全確保の観点からも抜け落ち防止対策は最重要事項であった．そこで掘削着手前に転石対策工フロー(図-6)を作成し，施工に臨んだ．

切羽が転石群に達したころ，天端および側壁部から50cm超の転石を確認したため，パターンボルトとは別のロックボルトで縫い付けた．その後，掘削が進むにつれ，切羽からの肌落ちもなく，転石を含んだ堆積物層は堅固で，想定していた緩みも観察されなかった．よって対策フローによらず，側壁部の転石についてはパターンボルトのみによる縫い付け効果に期待した．また，天端に施工したAGFは，地表面沈下対策・切羽安定対策だけで



写真-2　巨礫

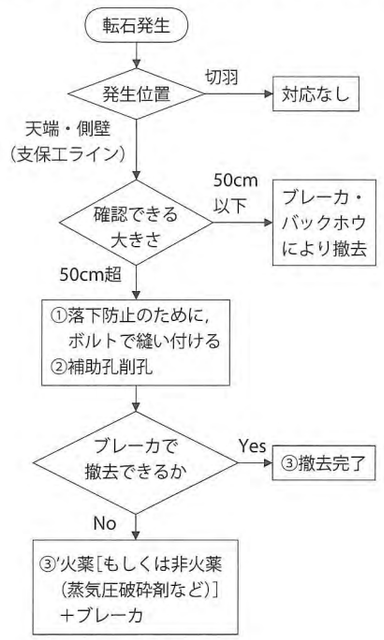
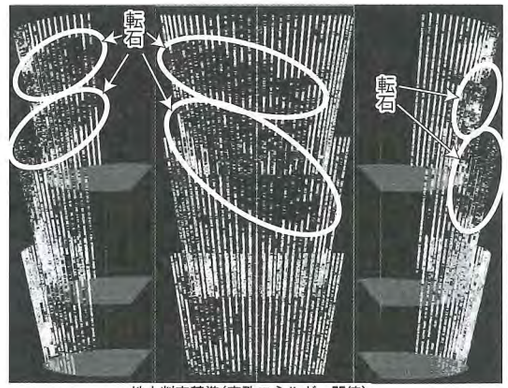


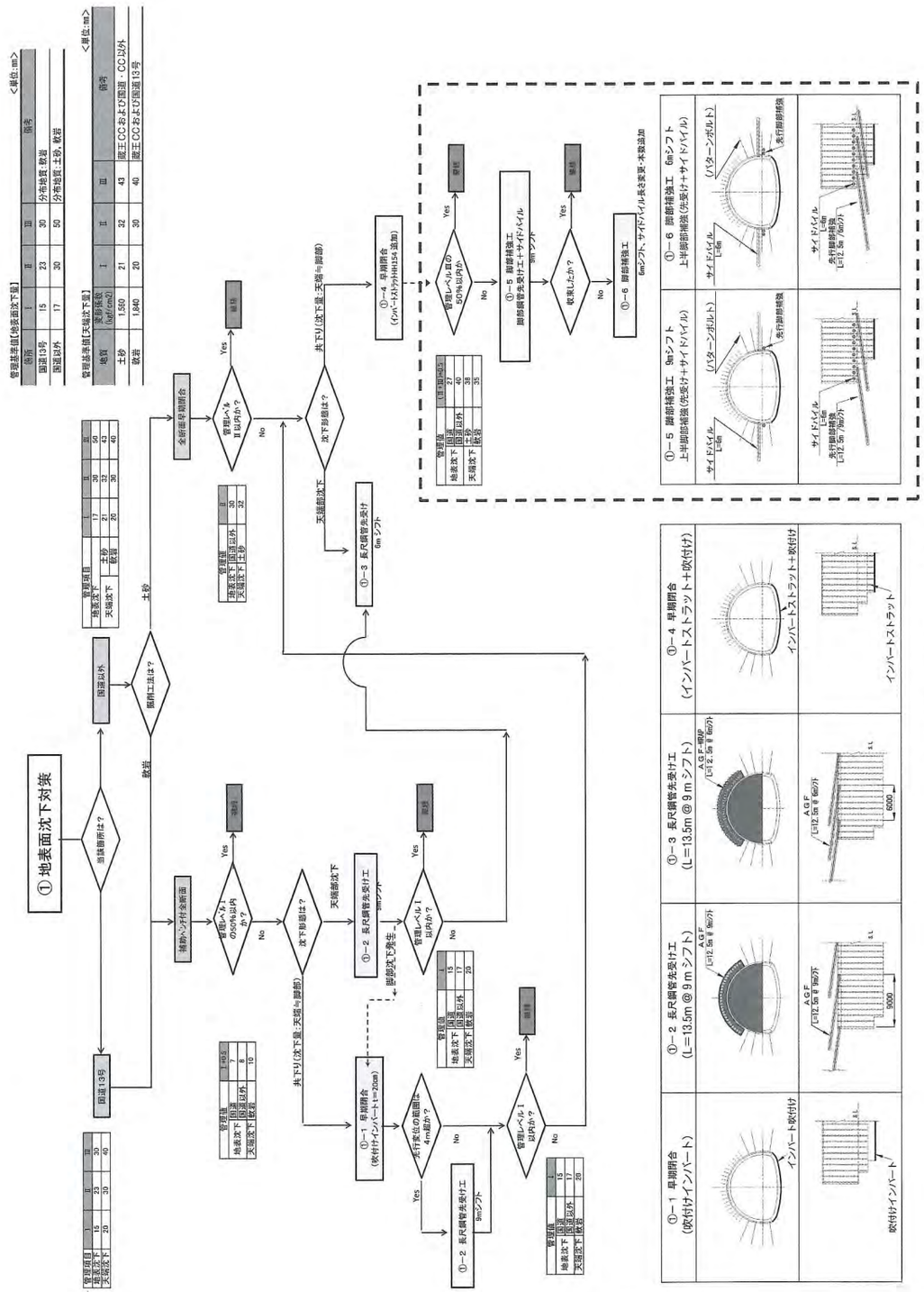
図-6　転石対策フロー



地山判定基準(穿孔エネルギー閾値)

	0-60	脆弱層
	60-80	礫混在層(軟)
	80-100	
	100-120	礫混在層(軟～中硬)
	120-140	
	140-160	
	160-180	礫混在層(中硬～硬)
	180-200	
	200以上	

図-7　転石出現状況



図−8 地表面沈下対策フロー

はなく，転石縫い付けにも非常に有効であった(図−7)．なお，ブレーカで破砕できない硬質で大きな転石の場合，出現場所にかかわらず火薬を準備し使用した．

4-2 補助工法の対応

補助工法については，不測の事象への対応を考慮し，①地表面沈下対策(図−8)，②トンネル内変位対策，③，④切羽安定対策(天端・鏡面)，⑤変状対策，⑥湧水対策，⑦転石対策について，手戻りなどを極力抑制するため対策工フローを作成し事前準備を行った．

4-3 酢川直下の通過

河川直下部の切羽湧水と酢川河川水とはpHと電気伝導率，水温が明確に違っていたこと(表−3)，また，既往の地質調査ボーリングでは酢川とトンネル天端の間に遮水効果が期待できる粘性土層があることから，現切羽の湧水は直接河川から流入してくる水ではないと推定していた．酢川から45°範囲を影響範囲と設定し，影響範囲に入る手前TD130m地点から酢川直下部(TD180m)を113mの先進(水平)ボーリングにより貫通させ，土質状況，水質状況の把握をした．この結果より第1段階判定として，河川水の引き込む可能性は低いとした．次に第2段階として9mシフトで行われる12.5mのAGFによる出水状況から，毎回水質調査し，河川水の可能性を判定した．

結局，酢川河川直下部のAGFの管内湧水は1孔あたり多くても3L/min程度であり，注入材にて止水できた．鏡面からの湧水は20L/minと若干多いものの，切羽の自立も良好で，河川水の引き込みは確認されず無事通過した(写真−3)．

表−3 酢川と坑内湧水水質状況

	pH	電気伝導度 (ms/m)	水温 (℃)
坑内湧水	7	30	15
酢川河川	3	150	21

(水温は7月時点)

4-4 国道13号直下の施工

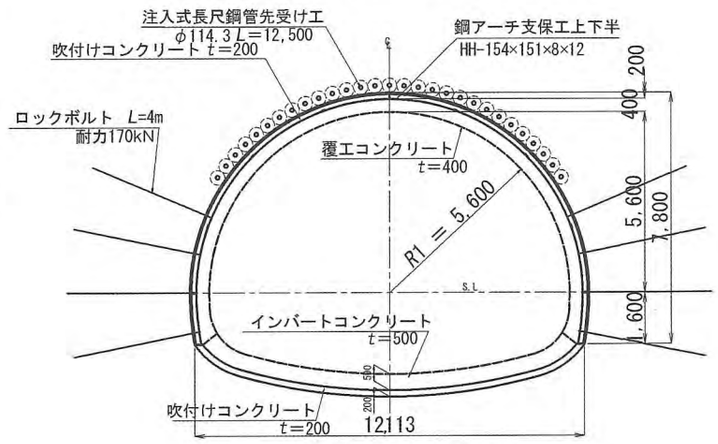
国道13号との交差部分は，土かぶり厚さ12.5mと小土かぶりであるため，当初設計においてはAGFを用いた補助ベンチ付き全断面工法(DⅢa−6−k，図−9)にて計画していた．

施工前検討で変形係数を30MN/mm²に見直しFEM解析を行い，地表面沈下量が23.4mmで許容値(30mm)を下回る結果を確認した．しかしながら，過年度の委員会での指摘および地質調査結果からも地山が不均質であるなどの要素があり，想定外の地表沈下に伴う工事の遅延，通行止めなど社会的に与える影響の大きさから，より安全な施工を目的とし地表から対策が可能な薬液注入による地盤改良が最適と判断し，対策工として採用した．

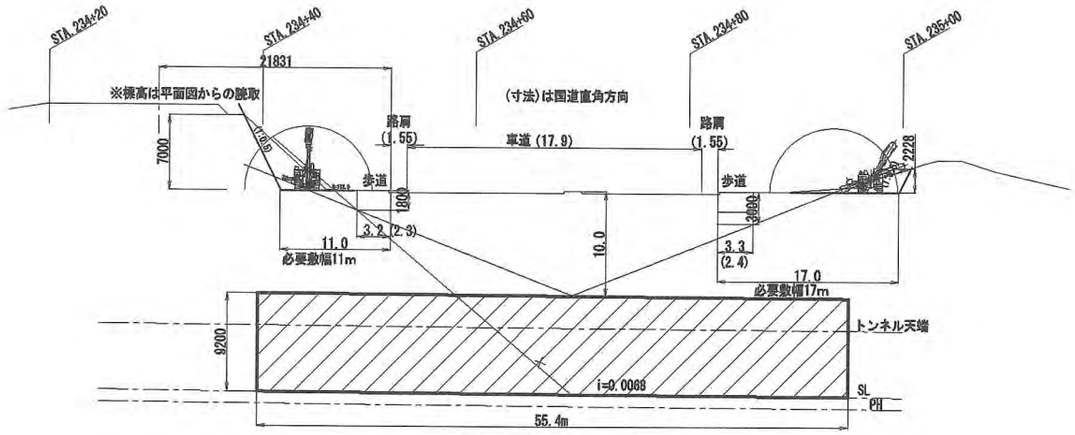
薬液注入による地盤改良の対策範囲は，幅18.4

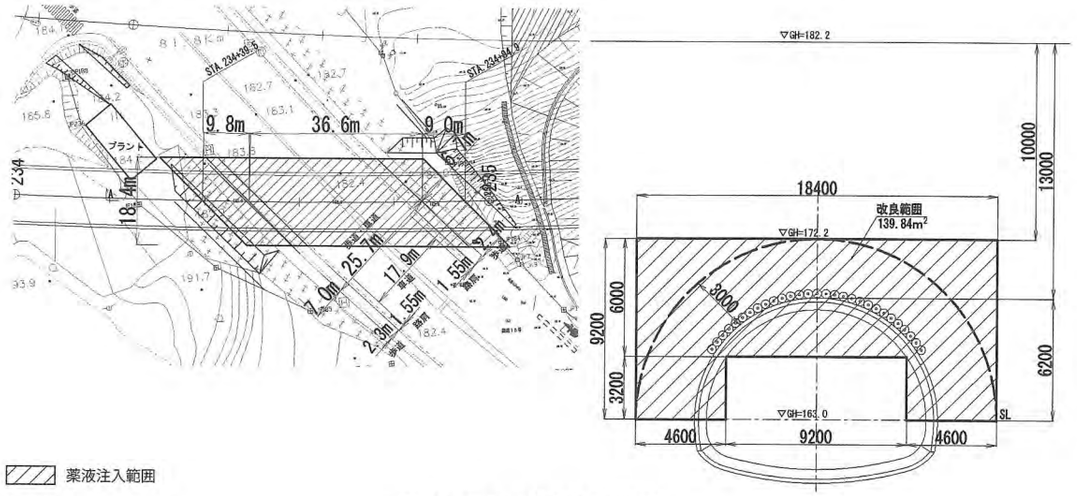


写真−3 酢川直下の湧水状況



図−9 支保パターン(DⅢa−6−k)





▨ 薬液注入範囲

図-10　国道地盤改良工(当初)

表-4　地表面沈下管理レベル(一般・国道)

箇　所	I	II	III	備　考
国道13号	15	23	30	軟岩(栗子トンネル実績)
国道以外	17	30	50	土砂，軟岩

m，高さ9.2m，国道車道端から45°の影響範囲の延長55.4mを対策範囲とした(図-10)．また，道路管理者との協議で類似工事の実績から路面変状の管理レベル(表-4)を設定した．

国道13号の地盤改良の設計については『土木工事積算マニュアル』(国土交通省)を参考に，過年度ボーリングデータから粘性土地山かつ，中位～締まった地山とし，注入率24.0%とした．薬液注入の薬剤については，密実な粘性土にも有利な超微粒子高炉スラグを使用したスラグ系懸濁液とし，設計本数444本，総注入量は約1,860kLとした

国道13号の薬液注入に際し，規定注入圧力を設定するために試験注入を行った．試験結果より隆起量は8㎜程度となったことから，突出量を9L/minを基本として，規定圧力を2.0MPaに設定した．注入は米沢側山形側で4台ずつ計8台の注入ポンプで行ったが，注入量が全体の16%程度の段階で，国道地表の一部が1次管理基準値15㎜を超過する値となった．初期の段階での想定以上の隆起となったため，図-11の4ブロックにおいて，原因追求と注入方法を再設定する目的でボーリングコア採取および第2回試験注入を行った．

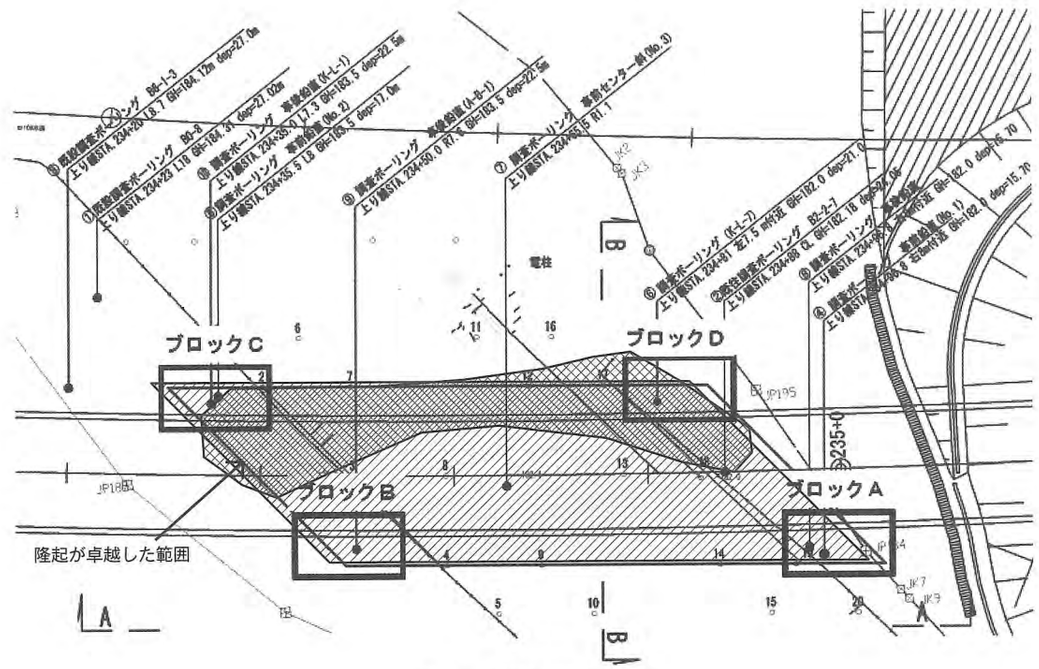


図-11　試験注入位置図

4つのブロックから採取したサンプリングコアにフェノールフタレイン溶液を噴射し，地中の状況を確認した．その結果，密実な粘性土が主体の部分には薬液が注入されておらず，亀裂や砂質層などの一部分に集中している状況であった．また，注入深度ごとの注入圧力の状況を確認したところ，圧力が他層と比較し小さい部分とフェノールフタレイン溶液が反応した箇所が，ほぼ一致している関係が見つけられた．

これらの結果から，薬液注入後初期の段階で隆起した原因は，想定より粘性土部分が密実であったために，薬液が満遍なく注入されず，地中の土質の亀裂やバラツキ部，砂礫周辺部などに集中し，局部的に過改良の状況となり，地表面の隆起が発生したと推察した．

第2回試験注入の結果から，地中の土質のばらつきや脆弱部を適切にとらえられたことから，弱線部2か所付近を対象とした限定的に注入する「限定注入」を行うこととした(図-12)．また注入ポンプを8台から4台に減らすことで緩慢な注入とした．

道路管理者とは，隆起の現状把握と調査結果からの原因を説明し，レベルIII(30㎜)を超過することがないよう最大限注入を効果的に行える限定注入を説明し，承認を得て施工を行った．併せて，国道13号の管理レベルIIIを1か所でも超過した時点をもって薬液注入を終了とし，トンネル坑内からの地表面沈下対策を行うこととした．

薬液注入については結果的にある部分が管理レベルIIIを超過したため終了となり，実際の注入量は当初設計注入量の約48%の注入結果であった．

薬液注入の品質確認方法として，①ボーリング孔を利用した坑内水平載荷試験，②水押し試験での透水係数(ルジオン値)，③コア採取による3軸圧縮強度試験の事前・事後調査において比較した．その結果，透水係数については，施工前の3倍程度の難透水性を示した．これは，ボーリングコアのフェノールフタレイン反応試験でも分かるように，層境の亀裂や地山の弱い部分に薬液が充填されたためと推察できるため，地表からの対策工を終了することとした．

また，坑内からの対応として，補助ベンチ付き

全断面掘削工法(DⅢa-6-K，図-9)から全断面早期閉合工法(DⅢa-1-K，図-13)に変更し施工した．

国道部のトンネル内空変位と地表面沈下の代表値は図-14のとおりである．

4-5　酸性土・重金属対策

既往調査からトンネルの約半分が酸性土ないし重金属含有の対策土である可能性があった．対策土は修正設計にて遮水シートによる遮水工を加え

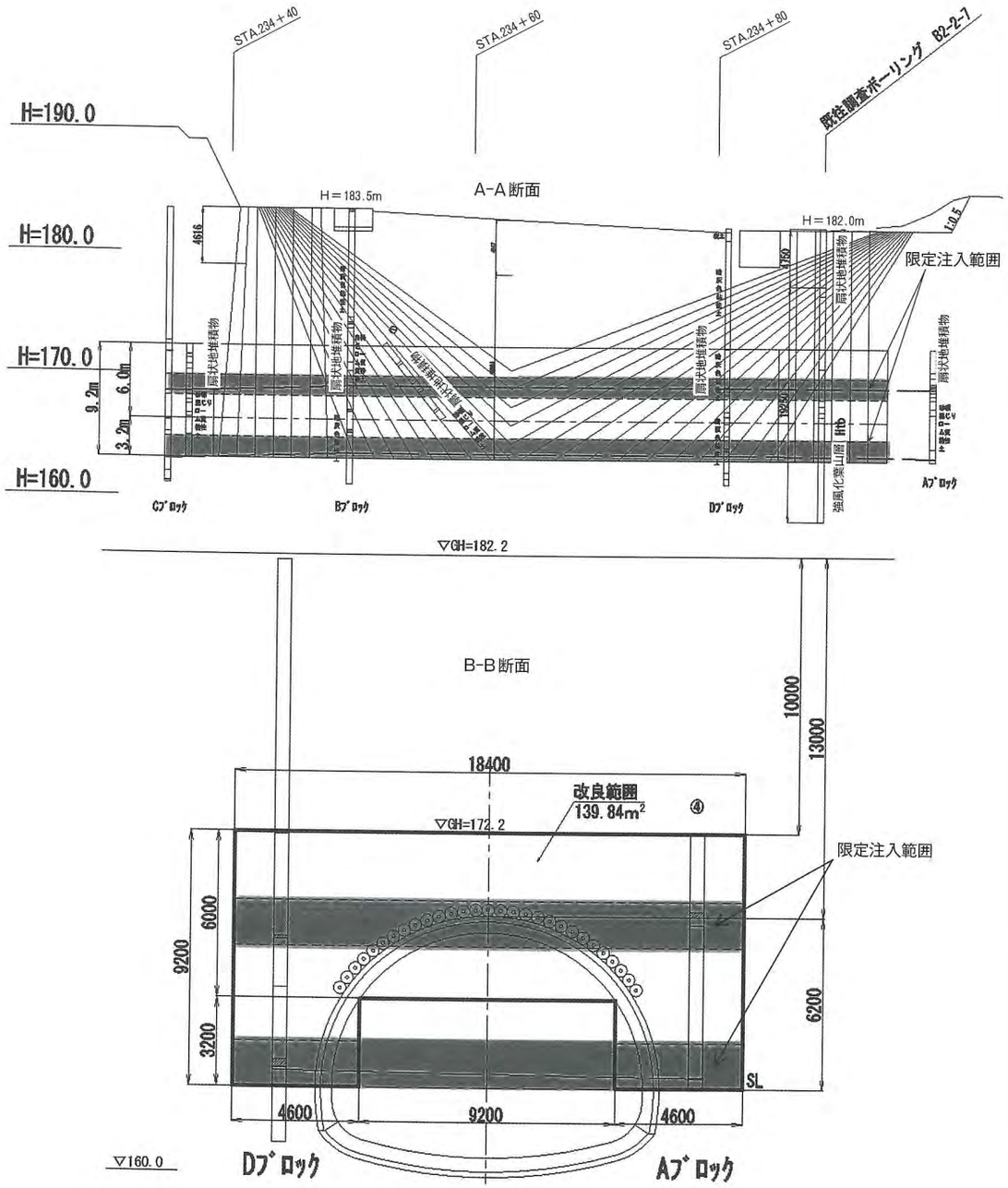


図-12　限定注入範囲図

た場内封じ込め(管理型)盛土を行った(図-15)．

対策土判定方法は全線坑内水平ボーリングによる1点コア採取を行い，10m区分でミックスした試料を分析試験で1次判定とした．トンネル切羽観察で2次判定を行い，コアと異質なものが確認される場合には分析試験を追試し2次判定を優先する形式を取った．そのため坑外には判定結果が出る間の約1週間分のずり仮置き場を用意した．

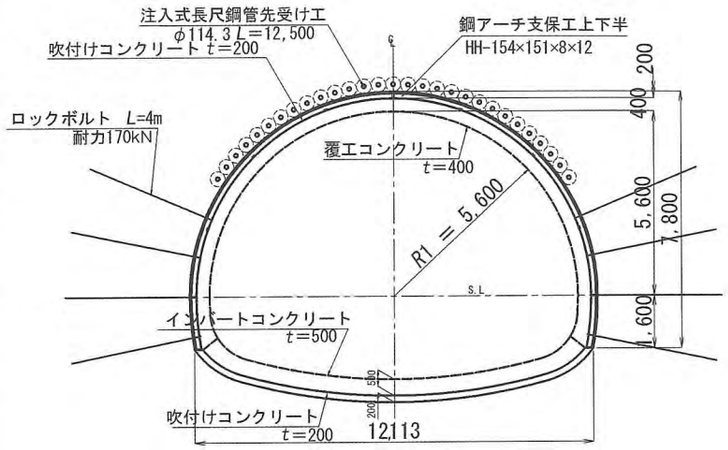
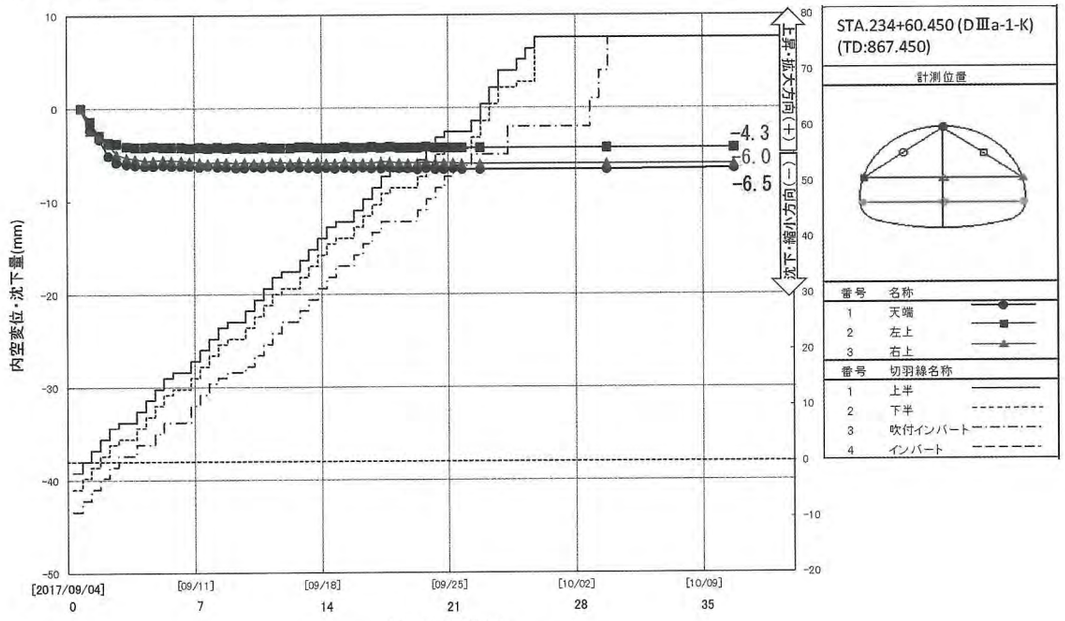


図-13　支保パターン(DⅢa-1-k)



内空変位・沈下量(mm)経時変化図

図-14　国道部の内空変位と地表面沈下量

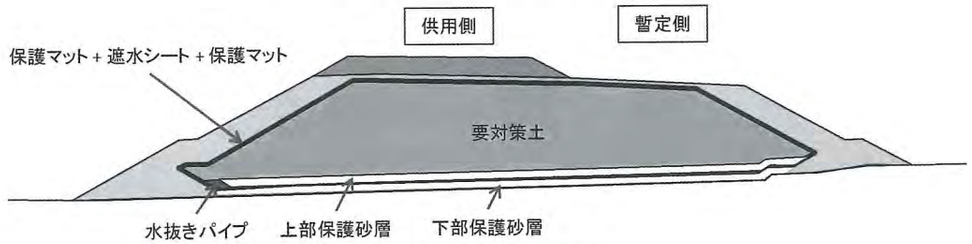


図-15　管理型盛土横断図

結果としてトンネル944mのうち対策土は386m区間で約38,000m^{3}を管理型盛土とした．

5 おわりに

山形蔵王トンネルは，小土かぶりよる地表面への影響をはじめ，酸性土壌・酸性水・巨礫対策など地形・地質からのさまざまな条件に対する対策が必要となった珍しいトンネルであったと言える．

2016(平成28)年3月末より掘削を開始し，約1年半後の2017(平成29)年9月末に無事実貫通を迎えることができた．

今回の報告が，今後の類似トンネルの参考となれば幸いである．最後に，本工事の貫通にあたり，地域住民をはじめ，ご協力いただいた関係各位に感謝を申し上げる．

■図書案内

地　下　水　の　科　学　— 全3巻 —

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

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

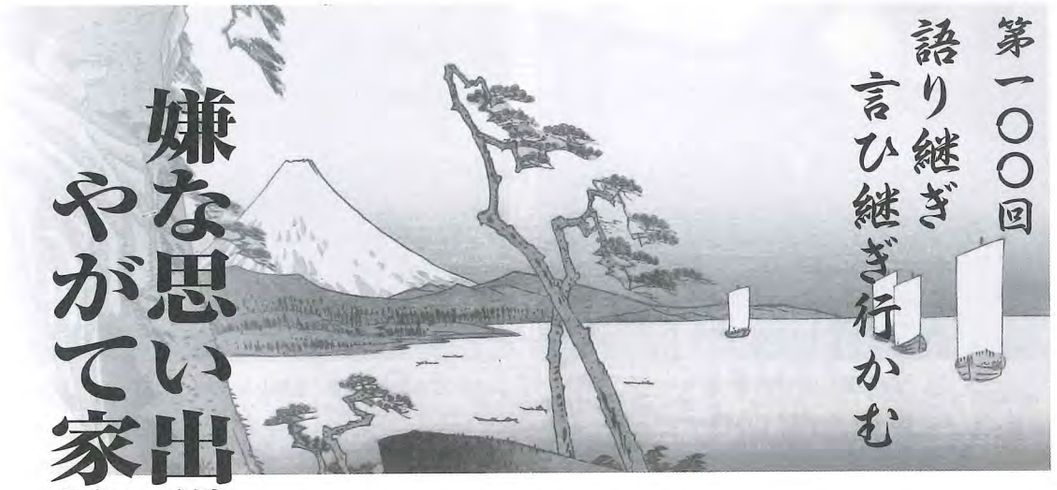


第Ⅰ巻　地下水の物理と化学
4,078円＋税　B5判
■序論■岩石における空隙の起源と透水性■地下水の動き■岩石の弾性的な性質と流れの方程式■水理試験（モデル，方法と応用）■溶質と粒子の輸送■汚染物質の水理地質学入門

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

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

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



嫌な思い出残すまい やがて家族と通る道

(元)大成建設(株)
落合　正和

はじめに

今から半世紀も前の高校時代，友人と信州旅行をした際に訪れた黒部第四ダムで，100名を超す犠牲者の慰霊碑に感銘を受け，のちに映画『黒部の太陽』を見たことが，私が土木を志すきっかけとなりました．

大学時代は部活動に力点をおいた硬派の体育会系学生で，就職に際しては，その運動部OBの「大きな仕事をやりたかったら大手へ行け」との助言を受けて一念発起，大成建設(株)へ入社いたしました．

そして新入社員として配属されたのが中央道恵那山トンネル工事で，ここから念願の山屋の人生が始まりました．以来，退職までの37年余月のうち，約30年をトンネル工事とそれにかかわる業務に従事して参りました．

このたび「語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ」の執筆依頼を受けました．しかし工事報告的な話は，これまでにも本誌等々の専門誌，あるいは「施工体験発表会」などにおいてご報告して参りましたので，ここでは工事管理の観点から，現在も各地でトンネル工事に携わっている若い技術者の皆様の一助となることを願って，私がトンネル工事に際して考えていたことを述べさせていただきたいと思います．

工事の基本的な考え

工事の計画から着手にあたり，われわれゼネコン社員の願いは，「無災害で確かな建造物を期日内に収め，儲けて帰る」ということに異論はないと思います．

ただし，ここで忘れてならないことは，発注者にとっても「うまく管理ができて良い工事だった」と思ってもらえることであり，専門工事業者にとっても「苦労もあったが結果として潤った」と思える工事でなければならないということです．「我良し人悪し」ではなく「我良し人も良し」となるような工事管理を心掛けて，地元住民も含めた工事関係者のすべて



著者近影　砥部焼き窯元にて



新入社員時代の著者　恵那山トンネルリングカット切羽にて

著者略歴

昭和49年４月	大成建設(株)入社
昭和49年５月	日本道路公団中央道恵那山トンネル工事
昭和50年１月	日本鉄道建設公団岡多線中水野トンネル工事
昭和54年４月	電源開発(株)佐久間第二発電所放水路トンネル工事
昭和58年１月	インドネシア・チラタ水力発電所工事
昭和62年４月	ネパール・マルシャンギ水力発電所工事
昭和63年４月	地下石油備蓄(株)菊間基地工事
平成５年４月	日本セメント(株)土佐山鉱山隧道工事
平成８年３月	土木本部土木技術部トンネル技術室
平成13年６月	(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構波方基地工事
平成17年７月	四国支店土木部長兼統括営業部長(土木)
平成20年６月	アルジェリア・東西高速道路工事CAMP5工事長
平成21年９月	四国支店副支店長
平成23年６月	大成建設(株)退社

が「やって良かった」と思えるような工事であるべきです．

しかし，私も若いころはそんなことを考える余裕もなく，切羽の進捗が第一で，「理屈はあとから付いてくる」とばかりに摩擦や軋轢を恐れない，どちらかと言うと猪突猛進の工事屋でした．それが現場全体を考える立場になるころに１つの言葉と出会いました．それは「嫌な思い出残すまい，やがて家族と通る道」という専門工事業者の安全標語に用いられていた言葉でした．またそのころ，私の在籍していた会社では「地図に残る仕事」というのがキャッチフレーズでした．しかしながら私の場合は，入社初期に携わった道路と鉄道のトンネル以外は，海外工事を含めすべて，水路トンネルや石油の地下備蓄基地建設という地図には残らない工事でした．しかし，家族も通らないトンネル，地図にも残らない仕事ですが，工事に携わった人々の記憶には残ります．そして日本列島を北から南，全国各地で一品生産の構造物を築き上げるわれわれ建設業者が，その至る所で「嫌な思い出」を残して良いものかと思うようになりました．

われわれ建設業に従事する者にとっての「嫌な思い出」とは，重大災害，施工不良，工期遅延，赤字工事等々になりますが，そのほかにも環境に関する近隣住民とのトラブルなどが考えられます．これらについて，問題を発生させることなく，少なくとも当初の予定どおり，あるいはそれを上回る成果を残して工事を終えることが，「嫌な思い出」を残さないことになると思います．

さて，ここで「問題」とはどういうことでしょうか．私たちは普段，何となく「それは問題だ」とか「これは問題が大きい」とか言っております．この「問題」とはどういうことなのか．これは昔，私が受けた社内の研修において，お名前は失念しましたが社外講師の方から教わったことで，「問題」とは「理想や目標と現実との差」をいうとのことでした．つまり，理想や目標があって現実がそれに追いついていないとき，問題が発生しているということになります．

そして両者の乖離が大きければ大きいほど，大きな「問題」を抱えているということになります．すなわち，問題の発生を自覚するためには，理想や目標を持ち，かつ現実を認識していなければなりません．したがって，理想や目標があっても現実を認識していなければ，あるいは現実を認識していても理想や目標がないときには，これら両者の間に乖離は生まれず「問題」は発生していないことになります．

作業所には目指すべき幾多の目標があります．工程表や予算書，あるいは安全目標であり品質目標等々です．ところがこれらの目標に対し，往々にしてできていないのが現状把握，現実認識です．これらは現場を巡視し，時間や量，あるいはそのかたちをしっかり観察することからできることで，事務所の中にいてはできないことです．現場を視て，その早さや数量が目標どおりであるか，あるいは作業の姿勢や設備の形が理に適っているのかと思いを馳せ，目標と現実の乖離を解消する努力を払うことが，嫌な思い出を残さないトンネルの建設につながると思います．

安　全　管　理

作業所における安全目標は言うまでもなく「無災害」で工事を完了することです．しかし工事にかかわるすべての者が願っているにもかかわらず，なかなかできないのが，この「無災害」ということです．確かに死亡や複数人がかかわる重大災害と呼ばれるものは，ひところよりは減少しているかも知れませんが，不休災害はもちろんのこと，休業災害は工事期間中に２件や３件，必ずと言っていいほど発生しているのではないかと思います．

月の初めの安全大会に始まり，日々の朝礼やKY活動など，ありとあらゆる機会に安全と名の付く，会議，教育，講習，打合せを行っているにもかかわらず事故や災害が発生し，時には死亡災害にも至ります．

これはある新聞のコラム欄に掲載されていた記事ですが，スイス航空ではパイロットに対する安全教育として，事故発生の要因として，次の３つのことが述べられていました．

① 無事故が長く続いているとき．いわゆる油断から事故が発生する．

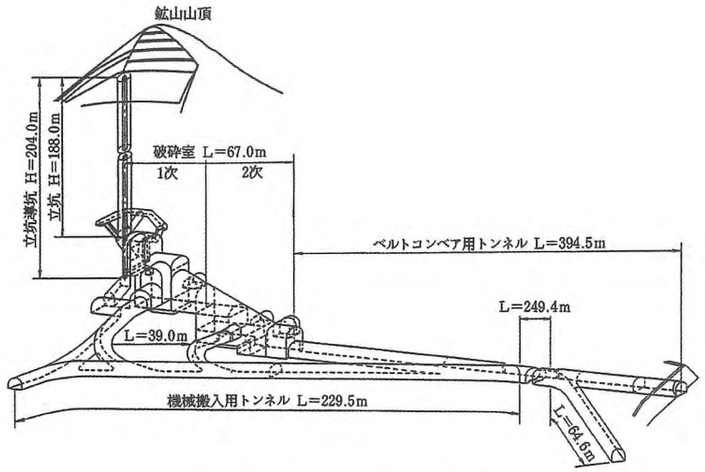
② 判断なく先導者に従ったとき．交差点で前の車に続いて右折した際，直進してきた対向車と衝突する場合と同じ．

③ 目的達成への過剰意欲があるとき．登頂を目前にした登山家が，天候異変に遭遇しても引き返さず遭難する場合と同様．

以上，これらの事柄はいずれも，油断や慣れ，自信過剰が事故や災害を招くと警鐘を鳴らしています．

そのような中で，私は応援のため配属された現場を含め，10現場に在籍しましたが，１つだけ完全な無災害で，絆創膏の１枚とて必要なかった現場があります．それはセメント会社の石灰石鉱山における輸送能力増強を目的とした，全延長7,700mのベルトコンベヤトンネルの建設工事で，全体が５工区に分割された中の第１工区を担当しました．この工区は石灰石鉱山内に位置しており，トンネル掘削が石灰石の採掘に該当するため，適用法令は労働安全衛生法ではなく鉱山保安監督部所管の鉱山保安法でした．

この工事は，内空断面23m^2，延



土佐山鉱山隧道工事(１工区)鳥瞰図

長約400mのベルトコンベヤトンネルを掘削したのち，幅7.5m，最大高さ35mの石灰石破砕室（L＝65m）を掘削し，さらにその奥に，地上で採掘した石灰石を破砕室に投入するための立坑（直径5m，高さ約200m）を建設するものです．立坑以外の掘削はNATM（覆工コンクリートなし）で施工し，立坑については，投入した石灰石に異物の混入を避けるため，吹付けコンクリート，金網やロックボルトを用いない，完全な無支保工（無普請）で行いました（前頁図）．

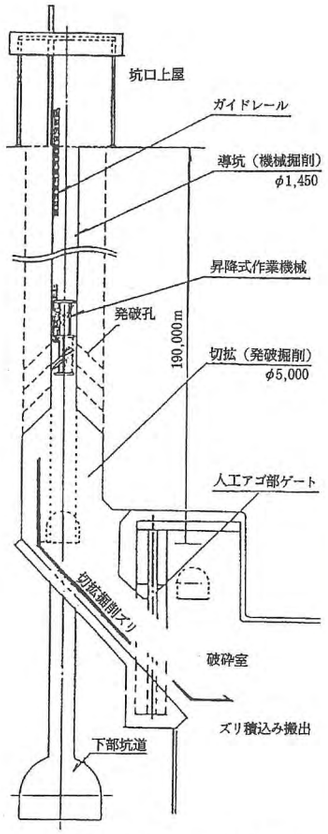
当時の立坑は標準的な施工方法として，立坑下部のトンネル（ここでは下部坑道）から導坑を掘削したあと，上部から切拡げ掘削を行いながら切下がり，掘削したずりは導坑を経由し立坑下部から搬出するというものでした．ここでは右図に示すように導坑掘削完了後に地上部からその導坑を進入路として利用し，導坑下部から順次発破を掛けて切り上がって行きます．その結果，発破で切拡げされた箇所は無支保工（無普請）であっても，作業員が決して入る必要のない所ですから安全な施工が可能になります．

立坑の施工は，現在ならば直径5m以上でのレイズボーラーによる機械掘削も可能となっていますが，その当時の最大掘削径は4.5mでした．また，レイズボーラーによる機械掘削では最初に行うパイロット孔の穿孔精度で立坑の位置が決まってしまいます．掘削延長が長くなるほどJカーブを描くように偏芯量が大きくなり，200mの立坑では最大2％の誤差が生じるとも言われていました．2％とは最大4mのずれが生じる可能性があるということで，立坑と破砕室とが計画どおりにつながらないことになります．

以上のことからレイズボーラーによる全断面掘削は行わず，導坑をアリマッククライマーによる切上がり掘削を施工したあと，先に述べたような方法で切拡げを行う予定でした．ところが，この施工方法は社内で許可が下りませんでした．そのときから遡ること十数年ほど前に，地下発電所の導水路斜坑で発生したアリマッククライマーによる導坑施工中の死亡災害がありました．原因は酸素欠乏症で，3名の作業員が亡くなりました．この災害以降，会社では国内工事でのアリマッククライマーによる導坑切上がり掘削は禁止されていたのです．

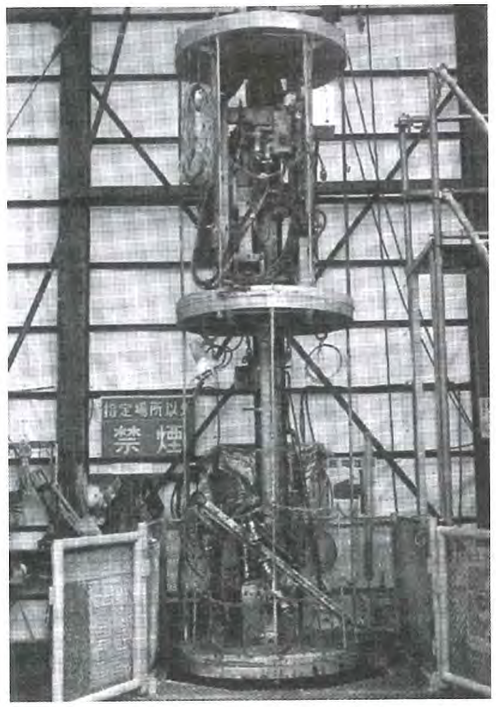
私はインドネシアのダム工事において，余水路トンネルの斜坑部をアリマッククライマーで施工した経験もあり，本社技術部に対し再度許可を求めましたが，「別の方法を考えよ」とのことで，受け入れられませんでした．

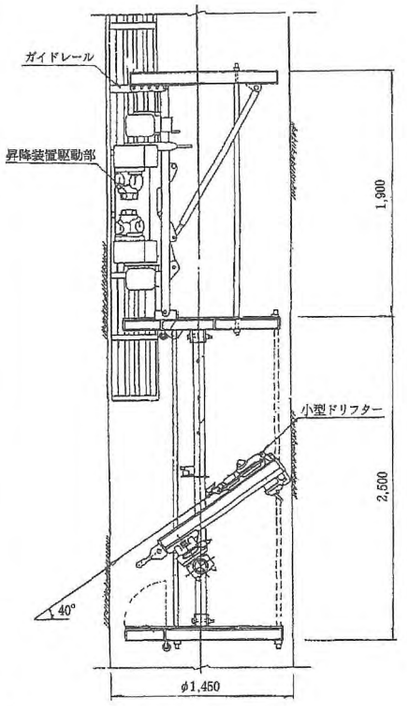
確かに別の方法がないわけではなく，アリマッククライマーの掘削断面（2.2m×2.0m）に匹敵するレイズボーラーによる機械掘削（D＝2.13m）を行えばできないわけではありません．心配される穿孔精度も1.5%以下に抑えれば，切拡げ掘削で吸収されます．また，機械掘削による導坑の壁面は，発破掘削による壁面よりはるかに円滑な仕上がりとなり壁面の安定が向上します．しかし工事費は約20%増加し工程も伸びることになります．海外での施工経験もあり，自らもアリマッククライマーに乗って点検パトロールを行い，その確実性を認識していた私は，アリマッククライマーによる導坑掘削が最上の施工方法だと信じて疑いませんでした．



土佐山鉱山　破砕室および立坑構造

そのとき，上司である支店の土木部長に言われたのが次の言葉です．「判断の基準は安全である」と．そして思い出したのが，先に書いたスイス航空の安全教育の一文でした．





昇降式作業機械

当時の私は，この工事で新任の作業所長となり意気揚々たる心境でした．立坑や斜坑，あるいは大空洞において複数の施工経験があり，軟岩であれ硬岩であれ，はたまた大量の湧水や，それに伴う地山の崩落・崩壊に幾度となく対処してきたため，トンネル工事に対する絶対的な自信がありました．そして冒頭に述べたような「無災害で工期内に確かな構造物を造り，発注者の信用を得るとともに，儲けて帰る」という思いがありました．これは無災害を願うとはいうものの，工程や収支への思いが先行していたことは否めません．これまでの経験が，判断なく先例にならうという油断や慣れ，そしてそれが自信過剰につながっていると感じました．

「判断の基準は安全である」ということは，「安全第一」とか「安全最優先」と同じようですが，後者は漠然としたスローガン的な感じであるのに対し，前者は思考指針としてすんなりと納得できるものでした．

「その方法は早くできるのか」とか「その方法は安くできるのか」と思う前に，まず「その方法は安全にできるのか」と考えて判断することです．

したがって，今回の導坑の施工は，この判断にもとづいてレイズボーラーによる機械掘削で行うこととしました．そのうえで工程や工費が同程度となる導坑の掘削径は，いかほどかと考え，直径1.45mのレイズボーラーを採用しました．掘削径を小さくしたことで工程と工費はアリマッククライマーで計画したときよりも，早くて安価に抑え込むことができました．ただし，掘削断面積がアリマッククライマーの4.4m²であるのに対し，直径1.45mのレイズボーラーでは1.7m²となり，当初計画した断面積の40%以下になりました．このため導坑内に設置する作業床も小さくなり，4.4m²の切拡げ掘削では3名の作業員がレッグドリルを用いて削孔・装薬・爆破の各作業を行う計画のところを，2名の作業員で行うことになりました．そこでこのハンデを補う方法として，上図に示すように，横方向に360°回転可能な空圧式小型ドリフターを中心支柱に装着した，作業足場と昇降設備併用の昇降式作業機械を製作しま

した．これにより立坑全体の施工は，工程，工費とも当初計画と同程度に収めることができました．

このほかにも破砕室の施工では，連絡坑の頂部から破砕室頂部までの高低差約14mを，2.0m×2.4mの導坑斜坑（仰角50°）を設けるため人力掘削で切り上がり，破砕室頂部に到達後はそのアーチ部の延長11mを，発破孔やロックボルトの削孔はレッグドリル，吹付けコンクリートは湿式の手吹き，ずり処理は手跳ねによる斜坑への投入で施工しました．アーチ部の完成後は同じ方法で1mの盤下げ掘削をくり返し行って完成させました．

人力切上がり斜坑は矩形の支保工の組立て，斜坑掘削中とその後の破砕室掘削において，上部半分を人道として作業員の昇降用に，下部の半分はずり抜き坑として利用しました．

これらの特殊な施工方法については私も全く経験がなく，古い時代の施工記録を調べたのち，社内にわずかに残っていた経験者である大先輩に，その要諦を教えていただいたりしました．

以上のように，この工事は通常のトンネル掘削に比較して，複雑で難しく危険に満ちた工事であったと思います．しかしこの章の冒頭に述べたとおり，工事に従事した者はかすり傷一つ負わず，完全な無災害で立派に工事を終えてくれました．

これが可能となったのは，専門工事業者の作業所長を含めた作業員全員が，当時の私と同世代の若い中堅の人々で，優秀なトンネル坑夫であったことがその大きな要因であると思います．しかしそれにも増して，工事が複雑で，彼らの誰もが今まで経験したことのない施工をしなければならなかったことで緊張感が生まれたこと．そしてそのために慣れや油断や自信過剰が排除され，指示や手順を遵守して，真摯な態度で山と向き合ったことが，この結果をもたらしたものと思います．

私も社内的には安全衛生法で管理する中，工事の適用法令が鉱山保安法であるため，慣れない法令の理解に努めました．さらには新任作業所長であるがゆえに，絶対に災害は起こさないとの強い気持ちとともに，目的達成への過剰な意欲を戒め，判断の基準を安全においた現場運営が功を奏したと考えています．

若いトンネル技術者の皆さんには，現場巡視に際してただ眺めて歩き回るだけではなく，作業の状況や設備をしっかりと視て，運転免許更新の講習などでよく言われるように「大丈夫だろう」と思うのではなく「危険かもしれない」との考えのもとに，致命的な災害は言うまでもなく，小さな災害の芽を摘んで欲しいと思います．

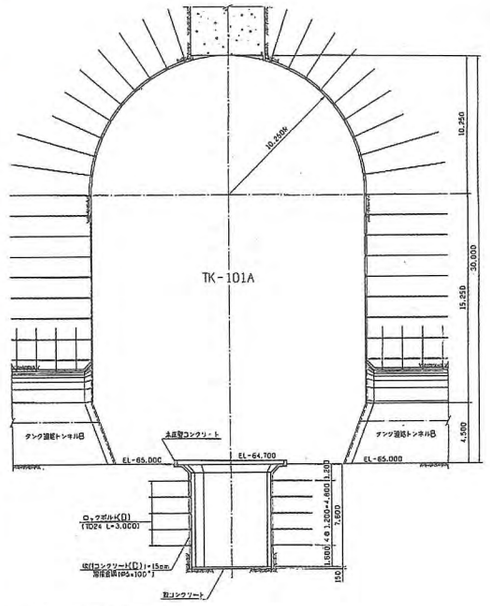
また，作業所において定められたルール，すなわち約束事は妥協なく守り，守らせることが大切です．そのうえで不都合なルール，例えばずり運搬のダンプカーの坑内走行速度が，安全の名の下に遅く設定されているときなどは，走行路の整備やずりの落下飛散防止などの安全対策を講じることにより，先例に従うことをなく改善・改革を行い，誰もが守りやすい安全なルール作りをすることが肝要であります．そうすれば必ず，嫌な思い出が残らない現場にすることができると思います．

品　質　管　理

完成した道路トンネルを車で通ると，巻立てコンクリートの天井部分に少なからずある，水あばたの縞模様が気になる程度で，その裏にある地山のことに思いを馳せることは滅多にないと思います．完成してしまえば，工事中に遭遇したであろう突発湧水や地山の崩落，そのほか諸々の出来事が巻立てコンクリートに覆われ，その覆工の良否でトンネルの評価が決まると言っても過言ではないと思います．いわゆる見た目の評価です．確かに見た目の美しさは大切なことで，水あばたの縞模様はともかく，クラックだらけのコンクリートでは醜いだけでなく，不安さえ覚えると思います．

さて，トンネル工事がNATMで施工されるようになってから，覆工コンクリートは化粧巻きと言われるほどに，支保としての働きはほとんど期待されていません．ならば，覆工コンクリートの奥にあり，表面からは見えない所にある支保工の吹付けコンクリートとロックボルトは，覆工コンクリート以上の品質管理が必要であることは言うまでもありません．わけてもロックボルトはトンネル地山に対して締め付け，拘束しアーチゾーンを形成するほか，堅固な地山からの吊下げ効果などの働きが期待されていることはご承知のとおりです．





菊間地下石油備蓄基地　岩盤タンク

ロックボルトの施工は地質に応じた設計パターンでの打設後，A計測，B計測などの計測結果をフィードバックし，変位の状況に対応して，より長尺のボルトを打設したり打設本数を増やしたりしますが，このときに1つのジレンマに陥ります．それは地質が悪いから長いロックボルトが必要であるということと，長いロックボルトの地山との定着は非常に難しく不確実であるということです．さらに長いロックボルトの削孔は継ぎロッドが必要となり，そのためにはロッドの継手の関係から削孔径も45㎜から64㎜となり，ますます定着には不利に働くということになります．鉛直上向きに打設するロックボルトの場合，長さが2mや3mでは定着材であるモルタルの密充塡は容易であっても，4m以上のものになると余程慎重に行わなければ密充塡はできません．

私が経験した菊間基地工事を例にとりますと，この工事は石油の地下備蓄を目的とした岩盤タンクをEL-50～-80mの間に構築するものですが，タンクは幅20m，高さ30mの食パン形断面で，岩盤タンク1本の長さが230～450mの長短7本からなる，総延長2,450mの地下大空洞掘削工事です（上図）．

岩盤タンクの掘削は，総延長1,200mの作業トンネルを岩盤タンク頂設部に取り付けたあとに行います．まず，高さ7.5mのアーチ部を掘削し，更に4.5mのベンチ掘削を5段施工して，高さ30mの地下空洞を完成させます．

アーチ部は中央に幅10mの導坑を掘削したあと，左右を切り拡げて完成させますが，このとき上向きに打設されるのがL＝4mのロックボルトです．

このロックボルトは支保材として，施工完了後の空洞に安定をもたらしますが，施工中はベンチの盤下げに伴い順次大きくなる空洞の下で，作業する者たちにとっての保護材でもあります．盤下げ工事中にアーチ部の支保に変状が生じても，その高さに対応可能な削岩機や足場がなければ迅速な手当ては不可能で，大きな事態を招きかねません．

大断面掘削に用いるロックボルトの品質は重要であるということを周知したうえで，岩盤タンクの施工に先立ちロックボルトの施工試験を，切羽の作業員を集めて

行ったことがあります．片方を鉄板で閉じた4ｍの単管パイプ(φ48.6)を鉛直に1列に並べ，それをロックボルトの挿入孔に見立て，それに定着モルタルの注入とロックボルトの挿入を行い，充塡の状態を確認しようとしたものです．

ロックボルト作業に従事する昼夜の作業員8名と世話役，それに私を含めた10名がそれぞれ2本ずつ，合計20本のロックボルトを施工しました．後日，高速カッタで単管パイプを切断してモルタルの注入状況を確認したところ，完全に注入されていたのは6本で，残りは長さ40～160cmの空洞がありました．あれほどロックボルトの重要性を説き，慎重かつ確実に施工するよう要望していたにもかかわらず，このありさまでした．

私の施工したものは2本とも密塡充されており面目を保ちました．その方法は注入ホースの先に取り付けた$L=4.5$mの注入パイプを孔尻までしっかりと挿入し，その先端から吐出されるモルタルの反力を感じつつ，ゆっくりと注入パイプを引き抜くという，至って基本的なことを忠実に行っただけでした．

注入パイプの長さが所定の長さより短い場合や，長くても注入パイプが孔尻まで完全に挿入されていない場合，あるいは注入パイプの引抜きが早く，注入途中のモルタルが連続していない場合などです．孔内に空気が残るとモルタル流出の原因にもなります．

ロックボルトの挿入は，長さ2ｍ程度のロックボルトならば人力でも可能ですが，4ｍともなれば抵抗が大きく機械に頼ることになります．しかし，機械の打撃力による挿入はバイブレーターを掛けているのと同じで，モルタルの流失を招くことになります．ロックボルトは油圧削岩機のガイドセルのスライドを用いるなど，静かに挿入することが大切です．

さらにモルタルの粘性も重要です．プレミックスされたドライのモルタルに水を加えてミキサーで混錬するわけですが，このときの水の計量も正しく行う必要があります．ドライなモルタル1袋につき，いくらとバケツなどに目印をつけ，正しい水量で混錬しなければならず，間違っても給水ホースから直接，勘や経験で注水するといった，手順を無視するような作業は許されません．

またモルタルポンプの公称能力ではなく，実吐出能力を知るための計量を行い，その結果から45㎜の削孔径では1ｍのモルタル注入には何秒必要であるかといった時間を算出し，注入パイプ引抜きの目安としました．

以上の事柄を再度周知徹底し，岩盤タンクのロックボルト施工を確実なものとしました．

ロックボルトは引抜き試験をもって有効性が確認されます．私はこの試験のとき，引抜きと定着の両方の試験を行いました．それは既にでき上がっている作業トンネル側壁の岩盤に，長さ1.0，1.5，2.0，3.0ｍのロックボルト用の削孔を水平に行い，モルタル注入とボルトの挿入をしました．孔が水平ですからモルタルは確実に密塡充されています．後日これを引き抜きましたが，結果として長さ1ｍ以外のロックボルトはすべて引抜き耐力10tを超えて合格となりました．そして更に力を加えた場合，ボルトの破断強度に達しました．

これは逆に言えば，モルタルの定着長が1.5m以上ありさえすれば，すべてのロックボルトが引抜き試験に合格するということです．地山強度から長いロックボルトが必要とされ，表面上そのように打設されたとしても，定着部の奥にモルタルのない空洞になっているとすれば，地山にはマイナスに作用するはずです．そして当座は何も変状がないとしても，盤下げによる断面形状の変化や経年劣化を考慮すると，あってはならないことです．

現在は中空ボルトが出現し，中空を注入パイプとして利用したものが，そのままロックボルトとして機能するようになり，確実性は格段に向上したことと思います．しかし通常ボルトと中空ボルトの分岐点をいくらにするのかということもあり，すべてのロックボルトが中空ボルトとはなりえるはずもなく，これまで記述してきたことを参考にしていただき，見えないところほど，より徹底した品質管理のもとに施工することを願うものです．

工　程　管　理

トンネル工事の工程管理は，たくさんの工種や工事箇所があるほかの土木工事に比べて，比較的管理が容易であると思います．すなわちトンネル工事では切羽の進捗がすべてであり，掘削の進行具合により工期が決まります．そのため掘削のサイクルタイムを作成しますが，これは単に工期を決定するだけに留まらず，次の項で述べる原価管理にもかかわる，工事の基本となる重要なものです．

サイクルタイムの作成には，工事に使用する重機や機械の機種選択とその能力を知る必要があり，一般的には削岩機の錐下がりや，ずり積込み機の1バケットの積込み容量，あるいはポンプ類の吐出量などです．これらの数値以外に，1工事単位(1発破)ごとの工事数量が必要ですが，1掘進長により単純計算で算出されるずり処理量や吹付け量のほかに，発破孔の削孔数のように発破パターンを作成して弾き出すものもあります．

近年は発破パターンの作成をしないのか，できないのか，m^2何個と単純に弾き出すケースや，爆薬メーカーや火薬商に作成させているように聞いています．しかし，トンネル技術者たる者は芯抜きや周辺孔をいかにするかを含め，岩種・岩質により異なる爆破効果を考慮し，効率的な発破パターンを作成できる力を養うことが大切です．

大型工事にはとくに有効でありますが，小さな工事であってもサイクルタイムの作成に際しては，単純に判断なく先例にならうだけでなく，工事に掛ける思いを込めて時間の短縮を意図したようなものであって欲しいと思います．

こうしてサイクルタイムの作成により，工事の進捗と原価管理の基本ができ上がります．しかしこれで終わりではなく，これから本当の工程管理が始まります．それはすなわち，目標のサイクルタイムに対して現実の施工が予定どおりに行われているかを検証する作業です．

削孔・装薬・爆破，ずり処理，吹付けコンクリート，ロックボルト，そのほか支保工の建込みや金網張り，準備作業といった切羽での一連の作業についてチェックします．しかし，1日中，あるいは1サイクルのすべてについて，時間計測のために切羽に張り付く必要はなく，まずは1日のサイクル数と1サイクルの所要時間について調べます．そして各々の作業時間に過不足があるとしても，トータルで目標時間に収まっていたならば，とりあえずは良しとします．そうでない場合はその原因を調べますが，そのほとんどが労務，材料，機械に起因するものです．

労務，材料，機械に起因するとは，例えば吹付けコンクリート作業の時間がオーバーしたときは，吹付けロボットを操作する作業員の技量不足から，多量のリバウンドが発生して時間を要する場合，または吹付け材料や急結剤に不具合があって付着が悪い，あるいは吹付けロボットの動きやポンプの調子が悪いなどの要因が考えられます．さらには吹付けコンクリート作業に先立つ掘削段階で大きな余掘を作り，これにより鋼製支保工への当たり付けに多くの吹付けを行わなければならないこともあります．このように切羽作業の一つ一つについて，目標と現状の乖離から問題を発見し，その改善を行うことで工程管理を行います．

しかしながら，問題が見つかっても，その改善の余地がない場合もあります．それはすなわち作成したサイクルタイムが非常に厳しく，目標値が現実から乖離していたということになります．めったにないことですが仮にこのようなことがあれば，先にも述べたとおりサイクルタイムは原価管理と密接にかかわっているため根本的な修正に迫られます．このことは次の原価管理において詳述したいと思います．

原　価　管　理

工事現場における収支管理の要諦は「入るを量りて出づるを制す」であることは言を俟たないことだと思います．しかし請負工事を行うわれわれにとって「量入」とは，単なる工事数量の増加や追加工事の発生によるものは当然としても，予期せぬ出来事による工事数量の増減や工期延伸などの特殊な場合にのみ考えられることです．したがって，ここでは「制出」の観点から原価管理について述べたいと思います．

作業所は工事を行う専門工事業者と工事請負契約書を交わしますが，このとき労務・材料・機械などについて費用分担を明確にします．例えば，現場の動力用水光熱費について，電動機械の電力料金

や工事用水費は元請け持ちとするが重機車両の燃料油脂は専門工事業者持ちとするなどです．

こうして各々の費用分担が決まったあと，元請け会社としては自分たちの責任分だけの数量や費用の管理を行えば良いというものではありません．元請け・下請けを問わず，工事で使用するすべての労務・材料・機械についての出費を管理するのが原価管理です．

費用分担が決まり契約書を交わしたならば，専門工事業者の収支など知ったことではない．儲けようが損をしようが関係ないという意見もあるかと思います．事実，明かり工事などでは，出来高数量×契約単価で月々の出来高金額を支払い，あとは一切関知しないというのが一般的なようです．

果たして本当にこれで良いのでしょうか．これで工事を管理していると言えるのでしょうか．私はトンネルの工事係時代に，上司から次のように教えられました．「いくら契約を交わしていても専門工事業者が工事を終えて赤字が出た場合，それは自分たちの責任だから，追加費用は一切いらないと言うような会社はない．設計変更の要求が必ず出てくる．だからすべての費用管理が必要だ．」と．以来，必ず作成したのが出来高調書と実費調書です．

材料，とくに主要材料などは納入業者と請書契約を交わし，必要なたびごとに発注を行います．このときその材料を納入した累計数量と，その材料を使用した工事の出来高数量を比率で比較します．例えば，納入数量が40%であるのに対し，出来高が30%しかないとすれば使い過ぎということになります．仮にその時点で未成材料として４%ほどの残があったとしたとき，この調子で推移すれば予測される最終使用数量は当初計画の20%増しとなります．これが出来高調書による管理です．

実費調書は材料の当日使用量を押さえて管理する方法です．例えば火薬類に関しては消費日報が毎日届けられますが，これを集計用紙に地山タイプ別，火薬類別にその使用数量と発破回数，掘削数量を入力します．これにより使用した雷管の数からm^2あたりの削孔数と，m^3あたりの爆薬量がわかります．そのほか吹付けコンクリート，急結剤，定着モルタル，燃料，錐鋼類などの資材の使用量を，同様に日報のかたちで報告させ入力します．これら日々入力した数量を月ごとに集計し，さらに累月の数量を集計します．そしてこれらの数値をもとに当初計画と現状の比較を行い，数量オーバーがあればその原因を求めます．計画が厳しいため増えたようになっているのか，単に作業員の未熟さの現れであるのかの検証は工程管理のサイクルタイムで述べたとおりです．その原因が後者の場合は改善の余地があり，早く対応すればそれだけ損出が少なくて済みますが，前者の場合は根本的な見直しが必要です．

労務費も実費調書を作成し検証するのは資材と同じですが，労務単価は１日あたりの作業人員から算出した労務費を，１日あたりの掘削量で除して求められるため，切羽の進捗，すなわちサイクルタイムと大いに関連します．切羽の作業人数は固定されていますから１日の労務費は一定ですが，進捗が上がり掘削量が増えれば１m^3あたりの労務単価は下がり，進捗が落ちて掘削量が減れば１m^3あたりの労務単価は上がります．したがって分母たる掘削量を大きくすること，すなわちサイクルタイムの短縮を図る努力をすることが肝要です．

以上のように実費調書を作成することで，工事の終わりのかたちをある程度予測できるようになります．

短い周期で一喜一憂する必要はないとしても，この調子で推移すればまずいとなればその時点での対応が可能です．そしてサイクルの短縮や資材使用の改善が望めないとすれば，元請け・下請けの費用負担の区別なく手当てが必要で，その増大分の費用を仮設工事や現場経費に求めるなどの措置を取ることになります．

私はまだ30歳にならないとき，初めて予算書の作成を命ぜられました．NATM前の在来工法時代で，電卓をたたき手書きのサイクルタイムと一位代価を作ることから始め，上司の助言や指導を仰ぎながらも，それまで自分なりに調べていた過去の工事実績が随分と役立ちました．

現在では作業所業務がコンピューター化され，予算書の作成も原価管理も数値の入力で簡単にできるようになっていることと思います．しかしそれなどソフトの成り立ちを理解していなければ，アウトプットも単なる数字の羅列に終始する可能性があります．

若いトンネル技術者は作業所において，測量業務や数々の報告書の作成に追われ，多忙な日々を過ごされていることと思いますが，自己啓発としてでも予算書を理解し，現場の実情と比較するようなことが大切です．それは決して難しいことではなく測量作業の帰りに，腕時計を見ながら１本の削孔時間や，ミキサー車１台分の吹付け時間を計ったりすることから始まります．

若い人たちには命ぜられた日常業務をこなすのみならず，常に情報のアンテナを張り巡らせ，進取の気性に富む技術者であって欲しいと願うものです．

おわりに

その昔，入社に際しての抱負を「土木を天職と考え，この道一筋に生きていきたい」と記しました．そしてそのとおりに会社人生を全うすることができたと思っています．少々の紆余曲折はあっても，嫌な思い出を残すこともなく，土木屋としての矜持を持って生き抜くことができました．

退職後は，多くの先輩や同輩が，それまでの経験を生かした第二の人生を歩まれている中，私は現役時代の反動からか過去の経歴の一切を封印し，人生を二毛作と考えて，陶芸と篆刻といった趣味の世界に浸っております．

そこは出来高や利益，納期の心配もなく，家族の健康と安全だけに思いを馳せ，枕を高くして眠れる，至って気楽で穏やかな世界です．それゆえに，数年前からこの執筆を依頼されておりましたが，現役時代に伝えるべきことはすべて伝えたとの思いがあり固辞しておりました．

そんな中，多くの産業社会で長時間労働に起因する数々の問題が発生している昨今，トンネルにおいては供用中，あるいは施工中にかかわらず芳しくない報道を見聞するにあたり，昔の自分を思い起こし，現場で働く若い技術者の苦労に思いを馳せるようになりました．そしてトンネル建設の苦労は苦労として，若いうちに早く工事の管理手法を覚え，工事全体を理解することで，苦労に倍加する遣り甲斐や面白さを感じていただく一助となることを願い，拙文を記した次第です．

若いトンネル技術者諸氏のご健闘を祈念しております．



古の地から復興の手助けのため

森永　博

奥州市と北上市は岩手県内陸の南部に位置し，古より独自の文化が発展してきた地域である．

大和朝廷時代は蝦夷と呼ばれ恐れられ，征夷大将軍・坂上田村麻呂に阿弖流為が征伐されるまで独立した地方国家であった．

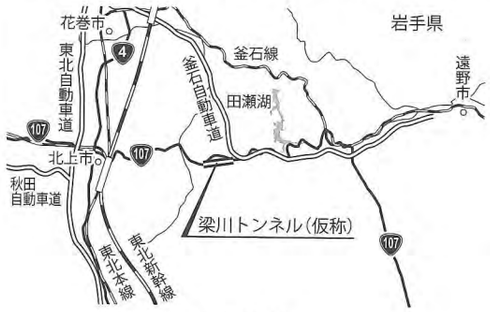
また，平安時代末期には藤原清衡が平泉を根拠地として独自の地方政権を打ち立て，約100年もの間，東北地方を支配し，中尊寺の金色堂に見られるように華やかな一時代を築き上げた地域でもある．

戦国時代後期には，伊達家の北の牙城として発展，現在も各地に出城の跡がある．また，この地方は奥州街道が南北を貫き，手倉街道と盛街道(東西)が交差する交通の要所であったため宿場町として栄え，商人の町として町人文化も栄えた地域でもある．

この地方は昔より独自の文化が栄えたためか今でも伝統芸能が多く残り，それを各地域で継承している．北上市の鬼剣舞は勇壮で見る者の心を奪う伝統芸能である．さらに周辺には民話で有名な遠野市，温泉で有名な宮沢賢治生誕の地・花巻市があり，温泉に入りながら近郊を散策し，悠久の歴史，民話の世界に触れることのできる地域である．

主な産業としては，岩手中部(金ヶ崎)工業団地132 ha，北上南部工業団地119.7ha，ほかにも10以上の工業団地地がこの地域に集中し，工場誘致もスムーズに進んだ工業団地が多いため，近年製造業が盛んになりこの地域は年々人口が増え活性化している．

また，ここ梁川トンネル(仮称)は，現在，誘致が騒がれているILC計画地の最北部に位置し，同じ地質を掘削するトンネルとして注目されている．さらにここは，1899(明治32)年に水沢に緯度観測所((現)国立天文台水沢VLBI観測所)が開設され，緯度観測所初代所長の木村栄博士が世界的偉業であるZ項を発見した功績により国際極運動観測事業の中央局となった経緯もあり，宇宙に関する研究がまた行われることに不思議な縁を感じている．



位　置　図

梁川トンネル(仮称)は，起点側を岩手県奥州市梁川，終点側を岩手県北上市口内と２つの町にまたがる国道107号の道路改良1,022mのトンネルで，最寄りのJR北上駅からは車で20分の位置にある．

内陸の工業団地から東北横断自動車道釜石秋田線の江刺田瀬ICまでの107号で冬季間交通の難所になっている，奥州市と北上市の境に位置する峠にトンネルを築造する．

国道107号は，起点を岩手県太平洋沿岸の大船渡市(国道45号起点)とし，住田町・遠野市・花巻市・奥州市・北上市(国道４号交差)・湯田町の岩手内陸の市町村を通過し，秋田県横手市(国道13号交差)を経て終点の秋田県日本海沿岸の本荘市(国道７号終点)に至る国道で，岩手県と秋田県を東西に結ぶ物流路線である．また並行する東北横断自動車道釜石秋田線の通行止め時には代替路線としての役割を果たす幹線道路にも位置づけられている．岩手県内では，内陸部と三陸沿岸部を結ぶ道路として復興支援道路のひとつとなっていて早期完成が望まれている．

工期は2018(平成30)年10月13日で，今年２月末で963mの掘削が進み，年度末には貫通する予定で，覆工も同時施工し最盛期を迎えている．地元の人々の協力があっての工事なので積極的に見学会を開催し理解を得，また，建設業の次世代を担う若者(工業高校の生徒など)の見学会も積極的に実施している．

今後も発注者・関係各機関の指導のもと，無事故・無災害で高品質の構造物を引き渡しできるよう作業所全員で鋭意頑張っていく．

(飛島建設(株)・(株)ピーエス三菱・佐藤工業(株)特定共同企業体梁川トンネル作業所長)

施工

周辺環境に配慮して自由断面掘削機と制御発破で硬質地山を掘削

—八鹿日高道路　久斗トンネル—

国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所建設監督官　松田全良
国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所建設監督官　大和田正樹
(株)大林組大阪本店久斗トンネル工事事務所現場代理人　谷口信博
(株)大林組大阪本店久斗トンネル工事事務所監理技術者　八木隆之

1　はじめに

北近畿豊岡自動車道は，図-1に示すように兵庫県豊岡市を起点とし兵庫県丹波市に至る延長約70kmの高規格幹線道路であり，但馬・丹波地域と京阪神都市圏との連携を強化し，地域の活性化を支援する自動車専用道路である．八鹿日高道路は北近畿豊岡自動車道の一部を形成する全長9.7 kmの高規格幹線道路であり，2017(平成29)年３月に暫定２車線により開通した．

久斗トンネル(以下「本トンネル」)は，兵庫県豊岡市の南部に位置し，八鹿日高道路のもっとも北側に位置する２車線トンネルである．坑口および仮設ヤードは閑静な住宅地に位置し，また，坑口から約260m地点では関西電力(株)岩中発電所導水路トンネル(以下「導水路」)と近接して交差している．

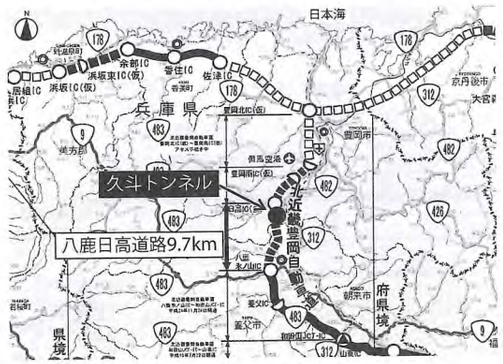


図-1　久斗トンネル位置図

本稿は，坑口周辺の環境保全を目的にトンネル掘削に高出力自由断面掘削機を適用したが，想定以上の硬質地山が出現したことにより，補助的に制御発破を適用した経緯と，制御発破時の導水路への振動伝達結果について報告する．

2　工事概要

2-1　工事概要

工事内容を表-1，標準断面を図-2に示す．

2-2　地形・地質概要

本トンネルは山地(標高100～250m)の中腹部を土かぶり約50～120mで通過し，地表面には本トンネルを横断する方向に小渓谷が存在する．坑口は，河川に面した急斜面の肩に位置しており，ほぼ直交型の取り付けである．斜面の勾配が非常に急峻で，とくに河床から坑口高さまでは急崖が形成されおり，この急崖部とその上部斜面には崩壊跡が多く見られた．

地質は，図-3に示すように北但(ほくたん)層群八鹿累層の安山岩質火砕岩(溶結凝灰岩，凝灰岩，凝灰角礫岩)が主体であり，地点によって岩相が頻繁に変化しているが，大きく見れば中央部の谷を境に起点側が安山岩質凝灰角礫岩，終点側が安山岩質溶結凝灰岩を主体とする地質構成である．地表面の小渓谷に沿って断層破砕帯がみられたがトンネル掘削に影響はなく，また湧水も少なかった．

本稿で報告する終点側坑口部から導水路付近までの地質縦断図を図-4に示す．

導水路周辺の地質調査結果は，溶結凝灰岩であり一軸圧縮強度が約70N/㎟，弾性波速度が3.7～4.4km/s以上，*RQD*が平均で80%であった．ただし，同じ溶結凝灰岩の調査結果でも，調査孔や深度により一軸圧縮強度(21～218N/㎟)，超音波伝搬速度(1.67～5.31km/s)ともに非常に変化に富んでいた．そのため，岩片自体は非常に硬質であるが岩盤の亀裂の発達度により変化し，トンネル掘削においても切羽に亀裂のある岩盤が出現すると想定した．

表-1　工事内容

工事名	八鹿日高道路久斗トンネル工事
路線名	北近畿豊岡自動車道八鹿日高道路
道路の幾何構造基準	道路設計規格：第1種　第3級 設計速度：80km/h 車線数：対面交通2車線
施工場所	自)兵庫県豊岡市久斗地先 至)兵庫県豊岡市浅倉地先
発注者	国土交通省近畿地方整備局
施工者	(株)大林組
工期	2014(平成26)年6月～2017(平成29)年3月
トンネル延長	L=1,469m(坑門工を含む)
掘削断面積	標準断面A=87m² 非常駐車帯断面A=110m²
掘削工法	NATM
掘削方式	機械掘削方式・発破方式

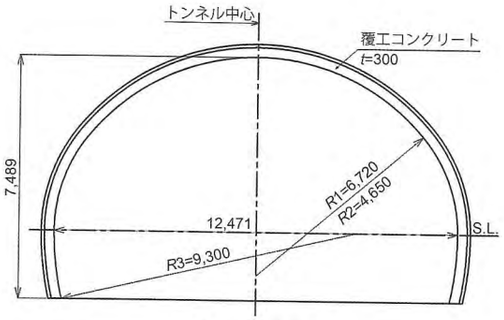


図-2　標準断面図

3　騒音抑制対策

3-1　坑口周辺環境

坑口周辺は，写真-1のように高齢者福祉施設や古い家屋が密集している閑静な住宅地であり，坑口は最近接家屋から約80mに位置していた．

3-2　施工上の課題1

トンネル工事を円滑に進めるためには，発破騒音をはじめとする工事騒音の抑制が課題であった．

そのため，発破騒音は設計にもとづき表-2のような騒音管理値を設定するとともに試験発破で主な家屋にて実測した．さらに，試験発破を体感した周辺住民から，発破使用の良否の意見聴収を行うこととした．

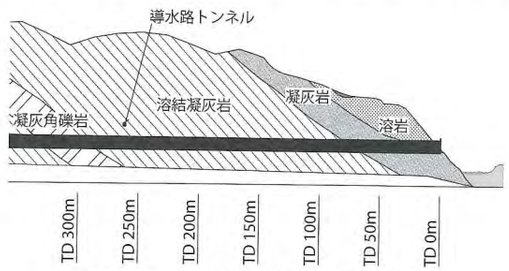


図-4　地質縦断図（坑口～導水路付近）

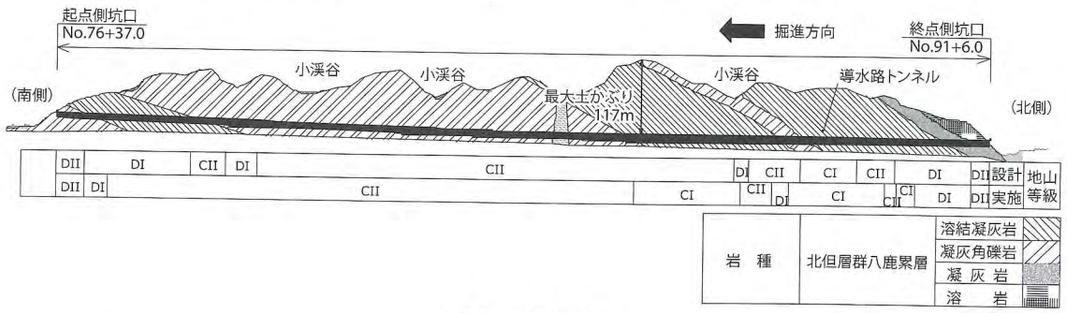


図-3　地質縦断図

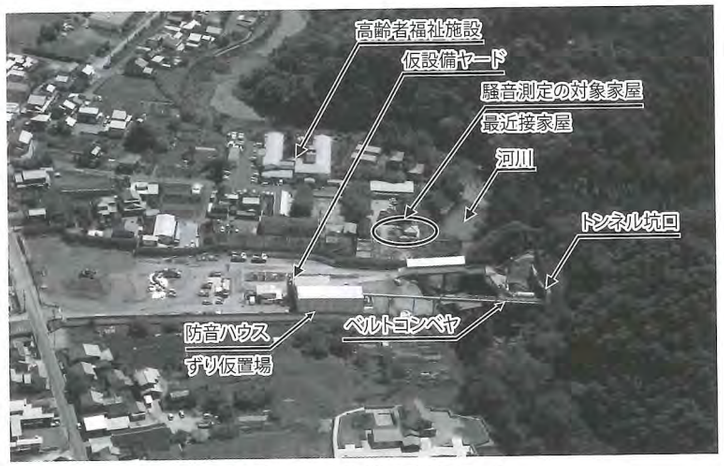


写真-1　坑口周辺と仮設備ヤード

このように発破使用に対して慎重を期したのは，工事着手前に地元から夜間作業中止の要望があったためである．

3-3　騒音対策

3-3-1　坑外設備の騒音対策

坑外設備は低騒音型を導入するとともに，さらに防音ハウス化する工夫をした．とくに，掘削ずりは坑口防音扉から防音ハウスにベルトコンベヤ(写真-2)で運搬し，夜間に掘削ずりを運搬する車両騒音が発生しないようにした．

3-3-2　トンネル掘削の騒音対策

トンネル掘削方式は，発破騒音を抑制する防音扉を設置し，

表-2　発破騒音の管理値

	昼間	夜間
騒音	75dB	60dB
低周波音	100dB	



写真-2　防音ハウスとベルトコンベヤ



写真-3　機械掘削状況

表-3　機械掘削工法の検討

工法検討項目	掘削能力	導水路への影響	検討事項	概算金額	評価
①自由断面掘削機(200kW，標準機)	地山強度が適応外	影響が小さい	掘削不能のため対象外	—	×
②高出力自由断面掘削機(330kW)	2.0m/日	影響が小さい	—	○	◎
③芯抜き導坑と制御発破	TBMによる先進導坑掘削＋3.0m/日	振動値の管理が必要	1 kineを超過した場合，施工方法を見直す必要がある	×	×
④外周スリットによる電子制御発破	2.0m/日	振動値の管理が必要	1 kineを超過した場合，施工方法を見直す必要がある	△	△
⑤割岩工法	0.5m/日	影響が小さい	操縦者の技能により掘進速度が左右される	△	○

試験発破で管理値を満足するまでは機械掘削とした．後述する導水路影響区間にも適用できるよう硬質地山(70N/㎟)に対応できる機械掘削工法を表-3のように比較検討した．

その結果，カッタヘッドのトルク(330kW)が大きく硬質地山に適したピックを有する，②高出力自由断面掘削機(以下「高出力機」)を採用し，坑口部から導入した(写真-3)．

3-3-3　試験発破結果

TD40mまでは機械掘削を行い，坑口に防音扉(吸音材型)を設置後，試験発破(第1回)を行った．その結果は，騒音・低周波音ともに管理値を超過し，周辺住民からも発破の同意を得られなかった．そのため，次の防音対策を講じるまでは機械掘削を継続した．以降の試験発破を含め，その概要を表-4に示す．

試験発破(第2回)は，TD85mで防音扉をコンクリート充填型に補強し2基とした．その結果は，試験発破(第1回)より騒音・低周波音ともに低減したが管理値を超過した．また，周辺住民の意見も前回と同様であった．

試験発破(第3，4回)は，TD113m，TD114mで総薬量を試験発破(第2回)の1/10以下とし，騒音・低周波音に対する許容値を周辺住民から意見聴収した．その結果，周辺住民からは昼間の発破を許容する意見が現れた．

3-3-4　機械掘削の問題点

坑口部では，切羽に亀裂が多く効率的な掘削ができていた．部分的に硬質地山が出現した場合には，亀裂の多い部分から掘削し，切り拡げが可能であった．しかし，TD105mからは地山の一軸圧縮強度が100N/㎟以上で亀裂が非常に少ない地山が出現し，ピックが地山を研磨するようになり，その結果，高出力機の掘削能力が低下した．

図-5は上半施工時の機械掘削の進捗を支保パターンごとに示したものである．

各パターンで標準歩掛よりも実績が著しく低下しており，とくにCII，CIは標準歩掛に比べ，実績が半分以下となった．

ピックの急激な摩耗，カッタブームの地山への押し付け力に比べ，反力となるアウトリガーが弱かった点，長時間連続稼働による高出力機の駆動力低下も進捗低減の原因となった．

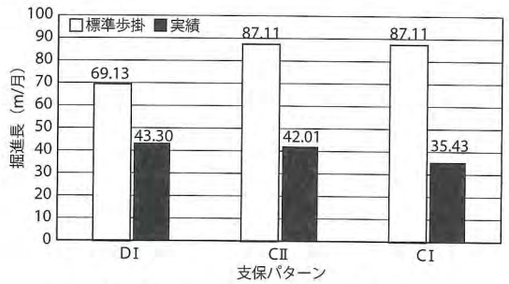
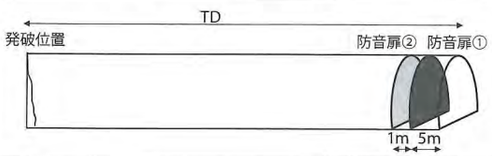


図-5　機械掘削区間の進捗(上半掘削時)

表-4　試験発破一覧表

防音対策模式図					
		試験発破(第1回)	試験発破(第2回)	試験発破(第3回)	試験発破(第4回)
発生源	TD(m)	40.4	85.4	113.4	114.4
	総薬量(kg)	34.4	35.0	2.3(芯抜き発破)	1.8(芯抜き発破)
防音対策	防音扉①	吸音材型	コンクリート充填型	コンクリート充填型	コンクリート充填型
	防音扉②	未設置			
騒音(dB)／判定		87/NG	73/NG	75/NG	62/NG
低周波音(dB)／判定		112/NG	106/NG	107/NG	89/OK
試験発破の結果		機械掘削方式の継続	機械掘削方式の継続	機械掘削方式の継続	機械掘削方式の継続

	管理値
騒音	60dB
低周波音	100dB

3-3-5　硬質地山での掘削促進の試行

掘削能力が計画(表-3)から大きく逸脱したため，進捗の促進が必要であった．そのため，写真-4のような先行削孔(間隔300㎜，約500孔)を試みた．



写真-4　先行削孔後の機械掘削状況

その結果，削孔が亀裂の代わりとなり掘削能力は改善したが，先行削孔に要する時間を加えると総掘削時間の改善にはならなかった(表-5)．

3-3-6　制御発破による分割発破の導入

硬質地山における掘削能力の向上と，周辺住民から発破掘削の同意を得ることを目的に，防音扉を増設(計3基)して表-6に示す試験発破を計画

表-5　掘削能力向上の試行結果

掘削方法＼所要時間(min)	削孔時間	掘削時間	総掘削時間
機械掘削	0	480	480
先行削孔＋機械掘削	180	420	600

表-6　制御発破による試験発破の概要と結果

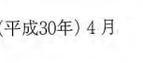
使用雷管(段数)	発破方法	総薬量(kg)	発破継続時間	周辺住民の評価		施工の評価		総合評価
DS(8段)	上下分割 	33.2	2秒	周辺住民の評価が悪い	×	2.4m/日 1進行長の掘削に2回の発破が必要	△	×
DS(7段)	上下分割	35.4	2秒					
DS(16段)	進行長分割	34.2	4秒	発破音継続時間が長い	×	2.0m/日 1進行長の掘削に2回の発破が必要	×	×
eDev II(111段)	上下分割	①37.4 ②37.6 計75.0	0.6＋0.6秒	周辺住民の評価が良い 発破継続時間が短い	○	2.8m/日 1発破で1進行長掘削可能	○	◎
eDev II(111段)	3分割	①30.4 ②18.6 ③23.8 計72.8	0.4＋0.3＋0.4秒	発破音が3回発生する	△	2.8m/日 1発破で1進行長掘削可能	○	△
EDD(111段)	進行長分割	36.4	4.4秒	発破音継続時間が長い	×	2.0m/日 1進行長の掘削に2回の発破が必要	×	×
EDD(59段)	上下分割	①37.2 ②32.8 計70.0	0.9＋0.9秒	周辺住民の評価が悪い	×	2.8m/日 1発破で1進行長掘削可能	○	×

表-7　試験発破に用いた雷管の比較

品　名	電気雷管 DS電気雷管	eDev Ⅱ 高精度電子雷管	EDD 電子遅延式電気雷管
写　真			
起爆間隔と卓越周波数	250ms 1,000/250= 4 Hz	10ms 1,000/10=100Hz	30ms 1,000/30=33Hz
特　徴	一般的によく用いられる段発発破用の電気雷管である．各段は通電から一定時間遅延して起爆する．	電気雷管にIC回路を搭載しており，1 ms刻みで任意の起爆遅延時間を設定できる．現場での時間設定が可能なため雷管の種類は1種類のみである．	電気雷管に電気エネルギー蓄積コンデンサーとICタイマを併せて密封した構造で，精密な発破が可能．各段は通電から一定時間遅延して起爆する．

した．試験発破の結果，発破継続時間が短い高精度電子雷管eDev Ⅱ（以下「eDev Ⅱ」）を用いた上下分割発破が，周辺住民から昼間限定で同意を得ることができた．

その結果，高出力機で掘削できない硬質地山では昼間限定で，制御発破を導入した．

eDev Ⅱとは，表-7に示すようなIC回路を内蔵した高精度で起爆を制御する雷管である．従来の電子遅延式電気雷管EDD（以下「EDD」）とは異なり1 ms刻みで20秒まで任意の起爆間隔が装薬後に設定できる．

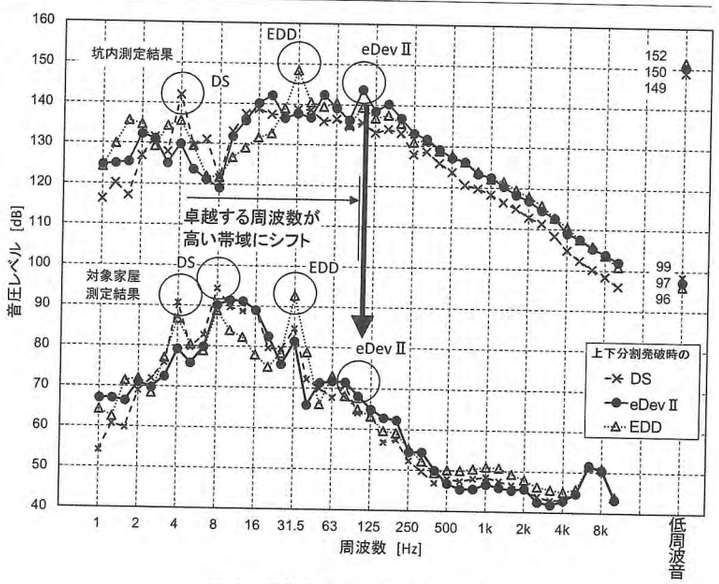


図-6　試験発破時の騒音測定結果

本トンネルでは，全111段，斉発薬量は0.8kg/段，起爆間隔は10msに設定した．

3-3-7　制御発破の騒音抑制効果

eDev Ⅱによる効果は以下の2点である．

① 発破騒音の卓越周波数を100Hzに移行し，防音扉の低減能力を発揮できる．

② DS電気雷管（以下「DS」），EDDに比べて発破継続時間を短くできる．

図-6に上下分割発破時のDS，eDev Ⅱ，EDDの騒音測定結果を示す．

上段のグラフは坑内，下段は対象家屋での実測結果である．両者の差分が防音扉（3基）による騒音低減効果である．eDev Ⅱの卓越周波数である100Hz付近の低減効果（約76dB）が大きいことがわかる．

低周波音はEDDがもっとも小さく96dBであったが，eDev Ⅱと比べて騒音の継続時間が長いため，周辺住民にはeDev Ⅱが好評であった．

その後，本格的な発破掘削開始までの区間はeDev Ⅱによる制御発破で騒音・低周波音を管理値以下に抑制し，周辺住民からも苦情を受けることなくトンネル掘削を進めることができた．

4　導水路との近接施工

4-1　導水路との位置関係と構造

導水路は，TD260mで図-7に示すように最少離隔7.8mで交差する．導水路の詳細な構造，施工記録は不明であったが，岩中発電所の稼働時期から1957（昭和32）年以前に築造され，矢板工法による施工と想定した．

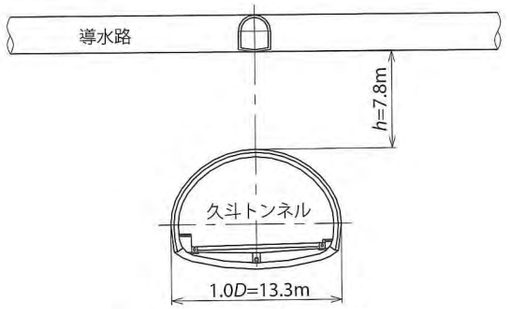


図-7　導水路との位置関係

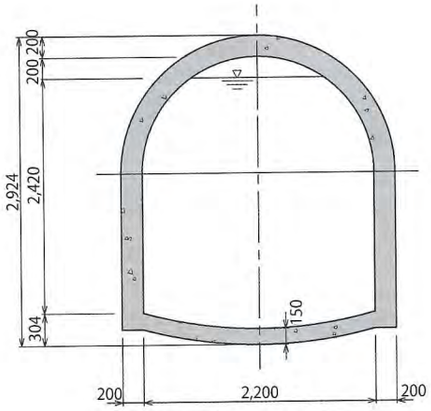


図-8　導水路断面図

導水路は，図-8に示すように断面積は約5 m²，無筋の覆工コンクリート構造である．本トンネル掘削前に導水路の健全度の調査をしたが，全体的に覆工の表面が脆弱化しており，とくにインバート部はコンクリートの剝離も見受けられた．導水路坑内の状況を写真-5に示す．

4-2　施工上の課題2

導水路はトンネルの掘削幅1D（=13.3m）以内に位置することから，本トンネルの掘削による静的[2]および動的[3]にも導水路へ影響を与えると考えた．また，導水路は発電用水路として使用されており，常時流水している．したがって，トンネル掘削による導水路への影響を抑制することが課題であった．

4-3　導水路への静的影響

導水路への静的影響は地山物性値などをもとに2次元FEM解析にて導水路の変位を算出した結果，最大沈下量は1.9㎜であった．既往の実績[4]などの許容値と比較しても微小な沈下量のため，トンネル掘削による静的影響は問題ないと判断した．



写真-5　導水路坑内

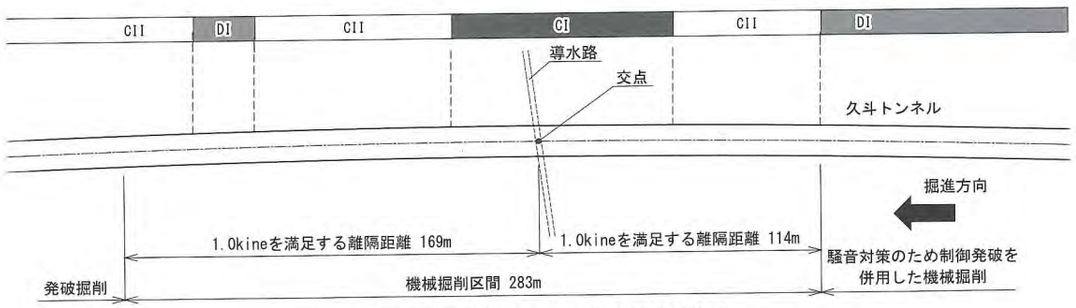


図-9　DS使用時の動的影響範囲検討結果

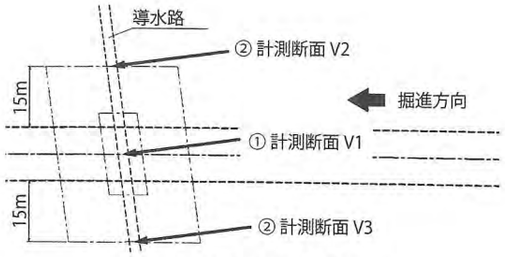


図-10　計測断面の位置図

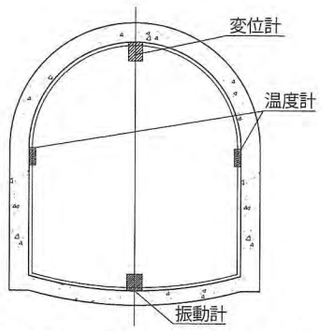


図-11　計測器の配置図(代表断面：図-10の①計測断面)

4-4　導水路への動的影響

4-4-1　発破による動的影響範囲の設定

導水路の動的影響は発破振動が主な発生源となるため，振動管理値を満足する離隔距離を算出した．発破振動伝搬式(式(1))を用いた検討結果を図-9に示す．なお，検討はDS使用時を想定したものである．

$$V = K\,W^{2/3}\,D^{-1.5} \qquad (1)$$

V：振動値(kine)
K：比振動係数
W：斉発薬量(kg)
D：離隔距離(m)

ここで，振動管理値は日本火薬工学会の発破振動の管理値(提言値)[4]から，1.0kineを管理値として設定した．

4-4-2　導水路の計測計画

トンネル掘削による静的・動的影響を実測するために導水路に計測工を計画した．設置位置は，

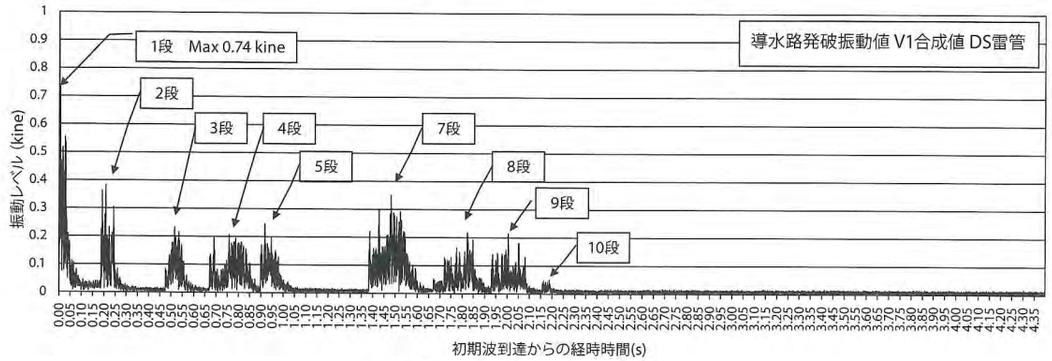


図-12　導水路での振動値(DS)

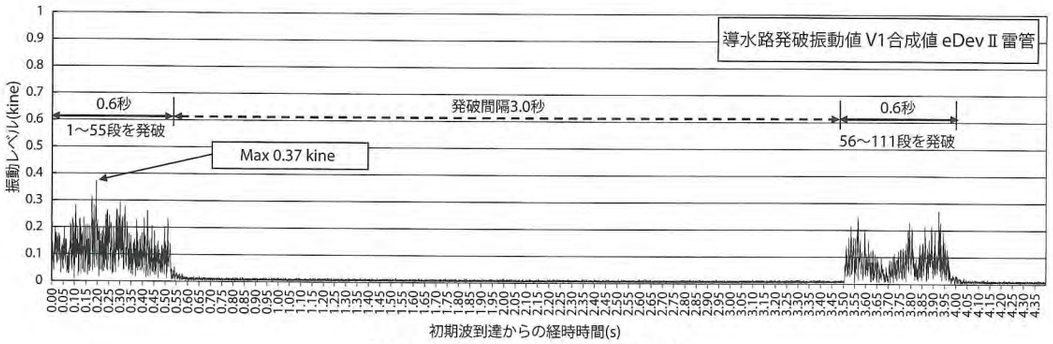


図-13　導水路での振動値(eDevⅡ)

図-10に示すように交差部と導水路の上下流15m地点の3断面を計測断面とし，図-11のように振動計，変位計，温度計および既設ひび割れに変位計を設置した．

4-5　導水路への振動抑制効果

前述のように，導水路影響区間に進入する以前から，高出力機で掘削できない硬質地山に対し，eDev IIによる制御発破を導入していた．

DSとeDev IIを用いたときの導水路での振動値(図-10の①計測断面，3成分の合成値)を図-12，13に示す．なお，両者は導水路からの離隔距離，総薬量は同等である．eDev IIは，多段(111段)にすることでDSに比べ斉発薬量が15～20%となり最大振動値が半減し，制御発破を導水路近傍まで使用することができた．

トンネル掘削は，制御発破を併用した機械掘削と計測工で導水路影響区間を無事通過した．

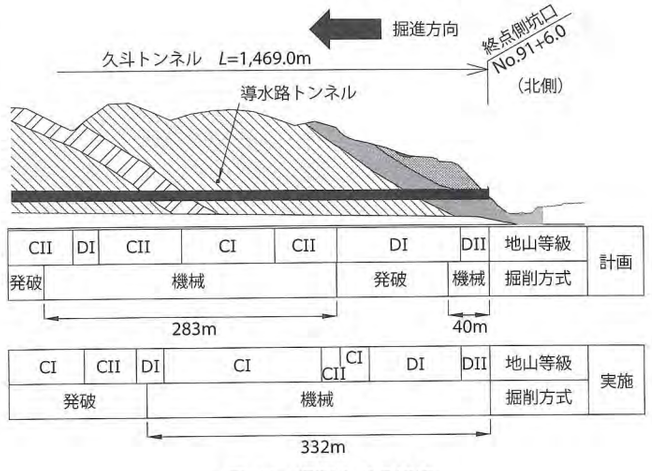


図-14　掘削方式の経緯

ことで，工事に対する理解を得ることができ，以降の本格的な発破掘削が円滑に進捗した．さらに，到達側からの迎掘りを追加することで，遅延を挽回し工程どおりに完成した．

本稿が今後の類似トンネルの参考となれば幸いである．

5　おわりに

本トンネルは，坑口周辺環境と導水路のために導入した高出力自由断面掘削機が，想定以上の硬質地山により進捗低下に陥ったが，制御発破を昼間作業のみに適用することで課題を克服した．機械掘削区間は，図-14に示すように計画に対し9m延長したが，その期間は計画に対し大幅に遅延し工期内の完成が危ぶまれた．

しかし，工事当初に周辺住民の意見を尊重することで，工事に対する理解を得ることができ，以降の本格的な発破掘削が円滑に進捗した．さらに，到達側からの迎掘りを追加することで，遅延を挽回し工程どおりに完成した．

本稿が今後の類似トンネルの参考となれば幸いである．

参考文献

1) 鉄道総合研究所：既設トンネル近接施工対策マニュアル，1996.9.
2) 東・中・西日本高速道路：設計要領第三集トンネル編(1)トンネル本体工保全編(近接施工)，2009.7.
3) 日本トンネル技術協会：構造物等に近接した山岳トンネルの設計施工に関する研究報告書，1992.3.
4) 日本化薬工業会：あんな発破こんな発破 発破事例集，2002.3.

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

土木情報 No. 538 今月の主な入札結果

（2月10日～3月10日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
近畿農政	和歌山平野農地防災事業六箇井水路(七瀬排水路)第1工区建設	アイサワ工業	665.3
東北地整	R7大岩川T	奥村組	3,538
〃	R7小繋T	東急建設	3,644.31
〃	R45気仙沼地区道路	三井住友建設	4,313.88
〃	〃 大峠山地区道路	戸田建設	4,587
関東地整	H29-32荒川宗岡副水路樋管新設	大成建設	1,605
近畿地整	大野油坂道路下山T	鉄建建設	2,112.7
〃	〃 新長野T	戸田建設	4,024.7
〃	〃 荒島第2T下山地区	西松建設	5,962
〃	〃 〃 西勝原地区	大成建設	5,088
〃	相生有年道路有年原地下道函渠他	坂本建設	229.5
〃	西脇北BP津万地区函渠	中林建設	240.48
〃	有田海南道路5号T	戸田建設	3,461.7
中国地整	鳥取西道路重山T	日本国土開発	544.68
四国地整	H29-32見の越T	五洋建設	3,462.5
〃	H29-30箸蔵第1T	岩田地崎建設	539.3
九州地整	熊本57号滝室坂T東新設(一期)	大成・杉本JV	6,031.4
〃	〃 西新設(一期)	清水・東急・森JV	6,600.7
水資源機構	豊川用水二期大野導水併設水路	大林・株木JV	6,785
鉄道・運輸機構	北海道新幹線，祭礼T他	三井住友・村本・中塚JV	4,720
日本下水道事業団	石巻市住吉1号幹線管渠他1施設復興建設	佐藤・橋本・遠藤JV	3,879
〃	〃 石巻中央排水ポンプ場他1施設復興建設その2	清水・大豊・遠藤JV	20,230
東日本高速道路	北陸道子不知Tはく落防止対策	日特建設	215
岩手県	二級河川明内川筋野田地区改修(函渠・分水工)ほか	北星鉱業	360
群馬県	住居附線農山漁村地域整備交付金(T)	佐田・田畑・黒沢JV	444
都・財務局	H29中防外1号線雨水管布設	大木建設	567
〃	仙台坂T長寿命化(その1)	戸田建設	330
都・交通局	新宿線森下駅及び大江戸線両国駅エレベーター設置等土木・建築その他	熊谷・森本JV	1,530
〃	大江戸線青山一丁目駅エレベーター設置土木・建築その他	安藤ハザマ	1,404
都・水道局	東村山市青葉町一丁目地内から新座市新堀二丁目地先間原水連絡管(2000㎜)T内配管及び立坑築造	森・中林・土志田JV	2,750
〃	練馬区下石神井一丁目地先から杉並区井草三丁目地先間配水本管(800㎜・600㎜)新設	りんかい日産建設	677.5
〃	多摩北部給水所(仮称)から東村山市恩多町一丁目地先間送水管(900㎜)新設(シールド)	奥村・TSUCHIYA JV	2,482.6
〃	砂川中部浄水所から昭島市美堀町四丁目地内間送水管(2000㎜)T内配管及び立坑築造	森・中林・土志田JV	3,150
都・下水道局	第二田柄川幹線その4	金寿建設	620
〃	第二桃園川幹線	村本建設	3,021.75
〃	京島幹線その2	東急建設	1,435
〃	杉並区上荻四丁目付近善福寺川流域貯留管その2	フジタ	718
富山県	鴨川河川総合交付金放水路	大鉄・関口JV	378
山梨県	山風呂地区水路T	天野・井口JV	420
大阪広域水道企業団	送水管布設(千里幹線BP管・吹田市ほか)3工区	日本国土・旭JV	2,745
牛久市	29社総交公下第1-4号，上町排水区雨水管渠布設	キムラ・喜久屋JV	112
野田市	雨水枝線管渠築造(その3)	上原建設工業	165.8
川崎市	等々力水処理センター建設土木その36	鹿島・馬淵・小雀JV	3,343
相模原市	公下境川第28BP雨水幹線整備	西松建設	4,050
新潟市	債管老幹29-2号配水幹線布設	福田組	238.9
〃	債管老幹29-3号 〃	新潟藤田組	197.7

施工

1 kmを超える泥濃式推進で土砂圧送の採用により日進量を確保

—秋田市下水道 長沼幹線—

秋田市上下水道局下水道整備課課長 今野伝衛
秋田市上下水道局下水道整備課下水道整備第二係主査 泉田恒光
大豊・中田・住建建設工事共同企業体現場代理人 生形浩之

1 はじめに

JR秋田駅西側に位置する八橋（やばせ）処理区は，人口が集中する中心市街地で，度重なる浸水被害が発生している．このため，秋田市ではこの地域の雨水処理能力を3年確率（35㎜/h）から10年確率（51㎜/h）対応とする工事を進めており，長沼排水区においては，増補管により雨水処理能力向上を図ることとした．

本工事は，JR秋田駅西口駅前の道路拡幅予定地を発進基地とし，地下埋設物が多く輻湊する幹線道路下に，雨水増補管（φ1,650㎜）を泥濃式推進工法にて築造するものである．延長約1.0kmにわたる推進区間の途中には，発進および到達立坑を設けることは困難であり，当該区間を分割せず，1スパンとして施工する．

本稿では，泥濃式工法による超長距離推進施工時における問題点と対策について報告する．

2 工事概要および地質概要

2-1 工事概要

推進路線は，幹線道路（大堰反線）に沿った計画となっている．秋田駅西口前を両発進し，南方面へ約1.0km，北方面へ約0.1kmである．とくに南方面への路線は，電力推進管路（φ1,350㎜）を，離隔約1.6mで下越しする超長距離推進である．図-1に路線平面図を，図-2に推進施工時のトンネル断面図を示す．

表-1 工事概要

工事名	公共下水道長沼幹線築造工事		
工期	2015(平成27)年9月7日～2017(平成29)年10月31日		
工事内容	管きょ工(推進)	鉄筋コンクリート管φ1,650㎜	
		泥濃式(超流バランスセミシールド工法)	
		推進延長	L6-1：113.74m L6-2：1,030.15m
		線形縦断	i=0.1%
		土かぶり	L6-1：3.10～3.36m L6-2：6.10～7.02m
	管きょ工(開削)	1か所	
	マンホール工	4か所	
	立坑工	5か所	

2-2 地質概要

本工事は，秋田市千秋久保田町から南通宮田の区間に位置し，「旭川」と「太平川」に挟まれた平野内で，各河川の氾濫によって形成された地域である．地質は，第四紀完新世の沖積低地堆積物で覆われ，沖積堆積物は，有機質土，粘土，シルト，砂，礫などから構成されている．

推進通過部の地層は，発進立坑から順に，粘性土層(Ac)，砂質土層(As)，粘性土層(Ac)，有機質粘性土層(Ap)と移り変わる．掘削対象土のN値は，0～13の範囲で「非常にやわらかい」粘土から「緩い～中位」の砂で構成されている．

また，両発進立坑掘削時には，推進施工深度で流木が確認されており，地層変化部の流木や大礫の存在が懸念される．流木の確認状況を写真-1に示す．また，地下水位は総じて高く，設計時の土質調査報告書では，砂質土層(As)を帯水層とする被圧水が想定されている．図-3に地質縦断図を示す．

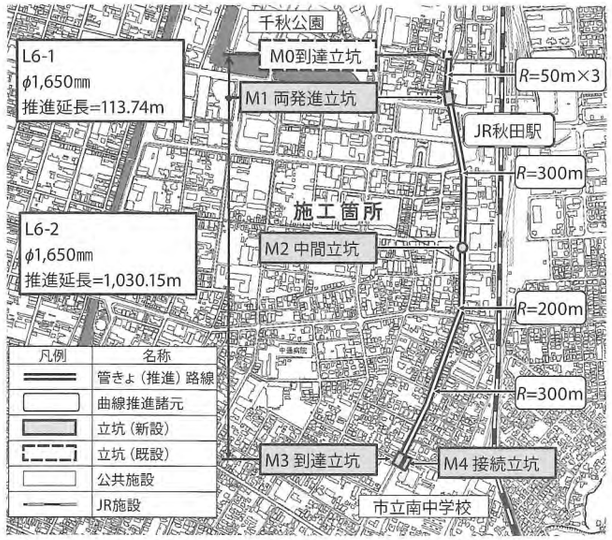


図-1　路線平面図

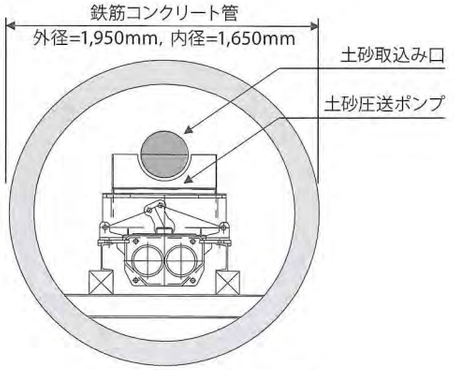


図-2　トンネル断面図



写真-1　立坑掘削時流木確認

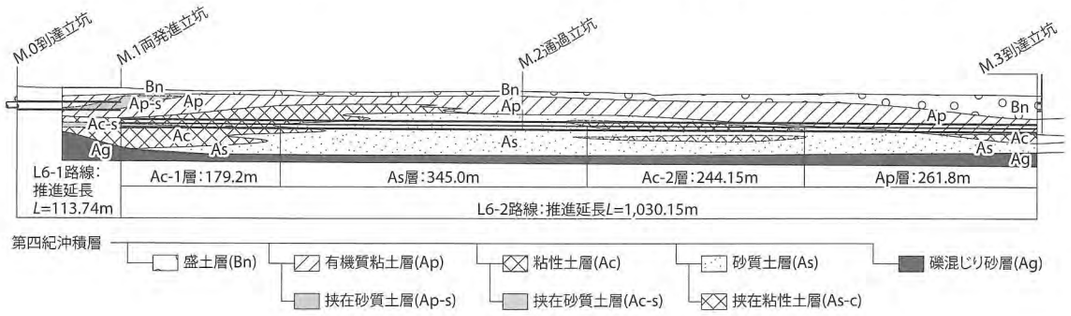


図-3　地質縦断図

3　本工事の課題

本工事を施工するにあたり，以下の課題を抽出し，対策の検討を行った．

3-1　適正な排土方式の選定

本工事は，泥濃式推進工法で施工するものであり，当初設計では掘削土砂を2次処理する排土計画であったが，実施工においては掘削土砂を建設汚泥として直接処理することとし，発進基地の工事騒音低減に配慮した排土方式とした(図-4)．

本工事の推進工事は掘削外径が約2mと推進工法としては比較的大きく，加えて掘削土の輸送距離が1kmを超えるため，泥濃式推進で一般的に行われる土砂吸引方式では，排土性状を通常より柔らかくして泥水状にしないと排土が間に合わず，日進量を確保できなくなることが懸念された．また，排土性状を泥水状にするには，高濃度泥水の使用量が増え排土量が増加するため，発進基地への土砂搬出車両の出入りが増えて周辺環境への影響も大きくなる．そこで，土圧式で使用される土砂圧送ポンプを採用し，日進量の確保と泥土搬出量の削減を行うことにした．

3-2　排土量管理

本工事は市街地で施工されるため，周辺家屋や地上交通に影響を与えるような地盤変状を発生させてはならない．そこで，地盤変状を防止する対策の1つとして，厳格な排土量管理を行うこととし，土砂圧送ラインに電磁流量計を設置して，リアルタイムで高精度の計測を行うことにした．

3-3　掘進トラブル防止

長距離施工を行うにあたり，事前に想定される掘進トラブルを以下のように抽出し，施工計画に反映させることにした．

① 推力上昇による掘進不能
② 流木によるカッタチャンバ閉塞
③ 大礫による推進管破損
④ 地中障害物による掘進停止

4　施　　工

4-1　泥濃式推進における土砂圧送

4-1-1　土砂圧送ポンプ計画

排土方式を土砂圧送方式に決定したが，泥濃式推進工法では排土方式に土砂圧送方式を採用した事例が少なく参考とする文献もなかったため，土圧式による土砂圧送を参考に排土計画を検討した．

その結果，Ac層およびAp層は図-5における「範囲A」，As層は「泥土改良の検討が必要な範囲C」と判断した．範囲Aは，適切な含水比とするため加水したり，添加材注入装置により土砂圧送管内に添加材を注入することにより，圧送を容易にできるとされている．As層は，一部の範囲が「範囲D」に位置するため，バインダー分が30%

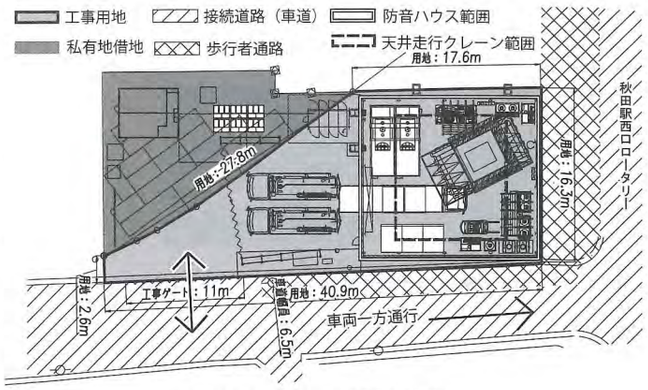


図-4　発進ヤード設備配置図

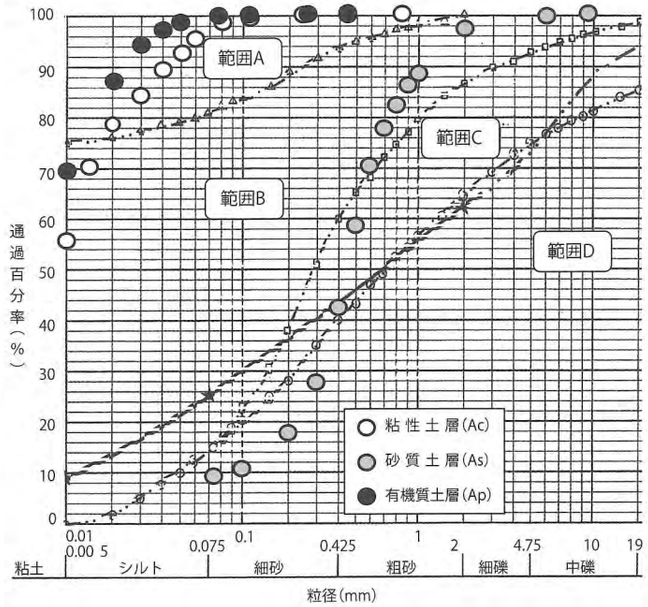


図-5　土砂圧送適用範囲[1)]

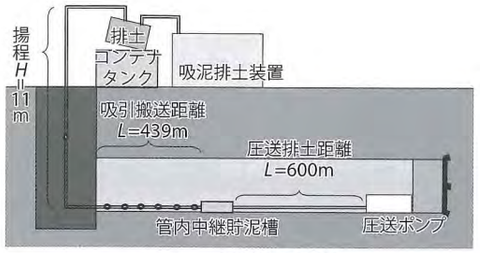


図-6　土砂輸送の略図

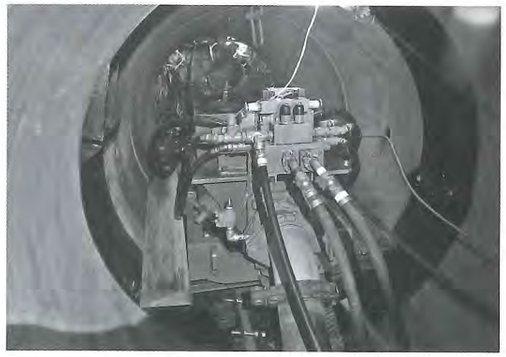


写真-2　土砂圧送ポンプ設置状況(切羽)

以上となるように，チャンバ内に保水性，浸透性の高い高分子系添加材を注入する必要がある．この際，添加剤の種類，性状，注入量などについて十分な検討が必要であるとされている．

次に長距離土砂輸送計画を示す．圧送可能距離を算定した結果，切羽に設置した土砂圧送ポンプの圧送可能距離は約600mで坑内に中継ポンプの設置が必要となった．しかし，呼び径φ1,650の管内に土砂圧送用の中継ポンプを設置すると，切羽への人の出入りや資機材の搬出入に支障をきたすため，圧送水平距離600mを分岐点とし，推進延長600m以降の日進量は低下するものの，600m以後は吸泥排土装置による吸引方式を追加併用する方式とした．土砂輸送の略図を**図-6**に，土砂圧送ポンプ設置状況を**写真-2**に，土砂輸送距離検討結果を**表-2**に示す．

高濃度泥水が混練された泥濃式掘削土は泥水状に近いため，土圧式掘削土砂と比較して土砂圧送に適していると想定されるが，適切な比重や粘性の判断基準に乏しく，脱水や沈降による閉塞の発生が懸念された．そこで，圧送に適した高濃度泥水配合と圧送土砂性状の判断基準が必要となった．

表-2　土砂輸送距離検討表

土砂輸送検討条件	掘削機外径	φ1,990㎜
	ヒューム管長さ	2,430㎜
	垂直圧送距離	11m
	掘進速度	50㎜/min
	土質	シルト・砂質土
土砂圧送ポンプ検討	型式	MSP1003F型
	検討吐出量	24m³/h
	最大吐出圧	4.68MPa
	泥土シリンダ径	180㎜
	吐出圧：油圧	1：4
	配管径	200A
	圧送水平距離	630m
吸泥排土装置検討	型式	CT-200A
	容量	52.7m³/min
	吸込み圧力	−80kPa
	回転速度	1,500rpm
	出力	110kW
	配管径	150A
	吸引水平距離	440m



作液直後　　1.0km圧送後　　1.0km圧送後

写真-3　試験状況

4-1-2　高濃度泥水の配合

長距離推進における高濃度泥水は，送泥配管内で分離沈降がなく，圧送土砂の流動性を確保する配合が要求される．低ブリーディングかつ粘性を確保できる高濃度泥水配合について，As層の土砂圧送に重点を置き，立坑掘削作業時の原位置土砂を使用した事前配合試験[2)]を行った．**写真-3**に試験状況写真を示す．

高濃度泥水を混練した掘削土砂が，土砂圧送ポンプに適した土砂の性状であることを確認するため，発進から中間立坑までの約450m区間を試験施工区間とし，高濃度泥水および圧送土砂の品質

表-3　高濃度泥水配合表

1m³あたりの平均配合(kg)	標準配合	試験区間の平均		試験施工後の配合	
	A	粘性土	砂質土	粘性土	砂質土
粉末粘土	120	80	133	75	120
増粘材	1.00	0.42	0.51	—	0.40
目詰め材	6	4	8	4	8
ケミカル泥水	—	0.24	0.41	0.20	0.40
付着防止剤1	—	0.22	—	—	—
付着防止剤2	—	—	—	0.40	—
ベントナイト	—	—	16	15	20
水	944.8	963.2	914.1	942.8	913.2
比重	1.07	1.05	1.07	1.04	1.06

表-4　試験施工区間の測定値一覧表

掘削地層		粘性土		砂質土	
測定項目	単位	平均	範囲	平均	範囲
施工時送圧	MPa	6.1	5~6	11.2	10~13
ファンネル粘性度	s	43	40~45	55	50~63
コーンフロー値	cm	44.7	40~49	53.4	51~56
ブリーディング(3h)	%	0	0	4	4
ブリーディング(6h)	%	2	1~2	9	8~10
ブリーディング(12h)	%	3	1~5	13	12~15
ブリーディング(24h)	%	—	—	13	12~15
ブリーディング(48h)	%	—	—	14	12~15

データを収集し，検証することとした．

高濃度泥水の配合を**表-3**に示す．

試験施工の粘性土区間では，付着防止剤1(エマルジョン型)を使用し，粘性土塊をほぐす効果が確認された．薬剤が粘土塊の粘着力を解放する効果が，圧送ポンプによるピストン動作により促進されたと推測された．

試験施工後の掘削土砂は，粘着力が到達に向けて増加する傾向にあるため，付着防止材1に替えて少量で効果の期待できる付着防止剤2(粉末型)を使用し，粘土塊による圧送配管内の沈降防止のため，ベントナイト材も使用することとした．

また，掘削土砂の土砂圧送適応基準を明確にするため，高濃度泥水の粘性と圧送土砂の性状について関連性を検証した．試験区間の高濃度泥水の粘性，圧送ポンプの圧送圧力，圧送後土砂のコーンフロー，ブリーディング，比重の測定値を**表-4**に示す．

試験施工区間の測定結果にもとづき，以降の長距離推進に向け，高濃度泥水と圧送後土砂の性状を次のように定めた．

① 高濃度泥水のファンネル粘度は，粘性土で40～45秒，砂質土で50～55秒

② 土砂のコーンフロー値は，50～60cm



高濃度泥水粘性確認

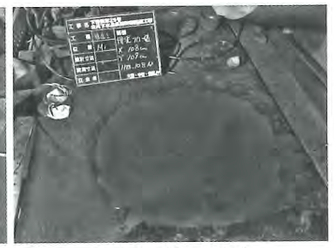


流下時間計測：43 s

写真-4　高濃度泥水のファンネル粘度試験



圧送適正が良い土砂



圧送適正が悪い土砂

写真-5　圧送後土砂のコーンフロー試験



圧送適正が良い土砂



圧送適正が悪い土砂

写真-6　圧送後土砂のブリーディング試験

③ 土砂のブリーディング値は，3時間経過で判断し，粘性土で0％，砂質土で5％以下

高濃度泥水のファンネル粘度試験，コーンフロー試験，ブリーディング試験を**写真-4～6**に示

す．

4-1-3　土砂圧送ポンプの長距離輸送結果

当初計画では，約600m掘進後，吸引排土装置を併用し，推進管内中継槽から吸引する計画であったが，到達までの全区間を1台の圧送ポンプで輸送することができる結果となった．これは，高濃度泥水の粘性を40～55秒とすることで圧送土砂の配管内での分離を防止できたためと考える．施工データ集計を表-5に示す．

表-5より，試験施工後の区間では，高濃度泥水の注入量を低減し，圧送圧力は上限値以内，掘進速度は試験区間を上回る結果で施工を終えている．これは，高濃度泥水に追加配合した付着防止剤2およびベントナイトにより圧送効率が向上した結果であり，試験区間の評価が有効であったと判断する．また，排土量も試験区間に対してはわずかではあるが低減できており，通常の土砂吸引方式に対しては，大幅な低減効果があったと考えられる．

表-5　施工データ集計一覧表

区　間		試験区間		試験施工後区間		
切羽位置	m	～264	～455	～558	～850	～1,030
掘削地質	—	粘性土	砂質土	砂質土	粘性土	有機質土
泥水注入率	%	49	78	60	37	42
対地山処分量	%	137	153	151	136	130
圧送圧力平均	MPa	7	13	12	11	12
圧送圧力最大	MPa	10	15	14	15	15
平均掘削速度	mm/min	47	42	50	59	58

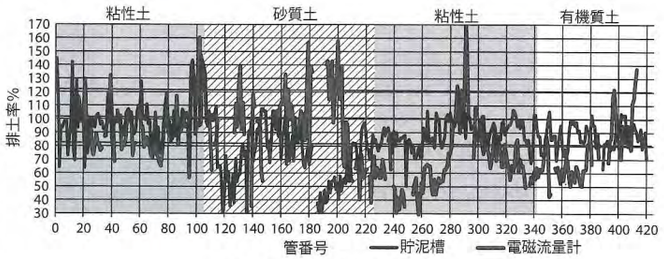


図-7　掘削土量管理図

4-2　排土量管理

本工事で実施した電磁流量計による排土量管理と貯泥タンク計測による排土量の計測データを図-7に示す．

図-7の排土率とは以下のように算定した．

排　土　率＝地山換算土量/理論掘削土量×100%

地山換算土量＝総排土量−高濃度泥水注入量

理論掘削土量＝掘削外径断面積×ジャッキストローク長

図-7より，電磁流量計による計測はバラツキが大きい結果となった．これは，ポンプ圧送を手動運転で行ったため，土砂圧送管が満管状態でない場合にも圧送運転を行ったことが大きな要因と考える．また，高濃度泥水の注入量が多く液状に近いため，圧送土砂の比重のバラツキが大きく，電磁流量計の比重補正が適切に行えなかったことも要因と考えられる．結果として，従来から実施されている貯泥タンクによる計測結果の方が計測値のバラツキは少なかった．

また，貯泥タンクの計測結果より排土率は，砂質土で80%前後，粘性土で90%前後となっており，100%を切っている．これは注入した高濃度泥水が地山内に浸透，または推進機周囲に充満されたためで，地山の取込み過多もなかったと言える．

地上の路面沈下測量結果も，最大−5㎜で適切な施工が行われていたと言える．

なお，電磁流量計による計測においては，不可視部である圧送管内部の土砂状況が，測定値の精度に影響するため，圧送管土砂充填率を一定とするためのホッパー部の土圧計によるポンプ自動運転や，ガンマ線密度計を併用した計測補正が，精度向上に必要と考える．

4-3　掘進トラブル防止対策

4-3-1　推力上昇防止対策

本工事では，超流バランスセミシールド工法を採用し，周面摩擦力の低減方法として，テールボイドを再拡張しながら滑材を2次注入する「テールボイド拡幅再構築装置(TRS)」を4基併用することとした．施工時の推力データを図-8に示す．

図-8において，計画総推力以下での推進工事を実施できたことがわかる．推進工法の選定および周面摩擦力の低減対策が有効であったことを確認できた．

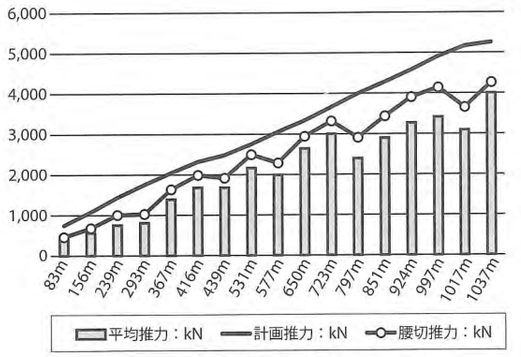


図-8　推力グラフ



写真-8　中押し装置の配置状況



掘進機全景写真　　TRS装置取付け状況

写真-7　掘進機とTRS装置全景

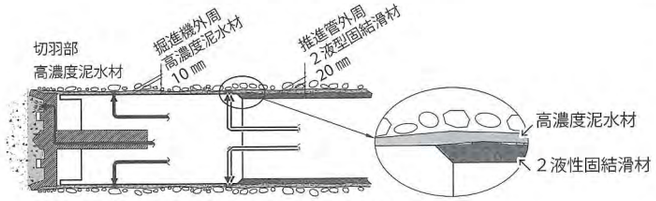


図-9　各種注入概念図

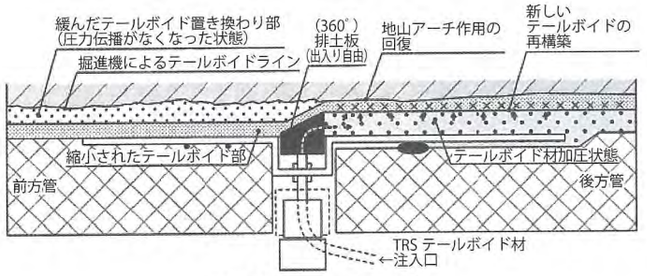


図-10　TRS装置概要図

掘進機とTRS装置の全景を写真-7に，各種注入概念図[3]を図-9に，TRS装置概要図[4]を図-10に示す．

また，想定外の推力上昇により，掘進不能の事態を招くことも考えられる．そのため，3基の中押し装置を配備した．本工事において，想定外の推力上昇は発生しなかったが，到達推進時の腰切推進時に1基を作動している．中押し装置の配置状況を写真-8に示す．

4-3-2　流木対策

推進深度では，ボーリング調査により有機物や木片の混入がAc層およびAp層において確認され，発進立坑掘削時には流木が確認された．掘進中に流木に遭遇した場合は，切削片でカッタチャンバが閉塞して取込み不足が発生し，推進抵抗力が増加する．

この対策として，流木を破砕できるカッタビットを備えた掘削機とした．センターカッタに超硬ビットを，スポークの外周および中間にシェルビットを増設し，ビットの軌跡が重ならないように配置してカッタが1回転すると全断面で流木を切削できるカッタヘッドとし，微速掘進を行える構造とした．しかし，実施工においては，流木との遭遇は確認されなかった．

流木対応カッタヘッドを写真-9に，流木対応カッタビットを図-11に示す．

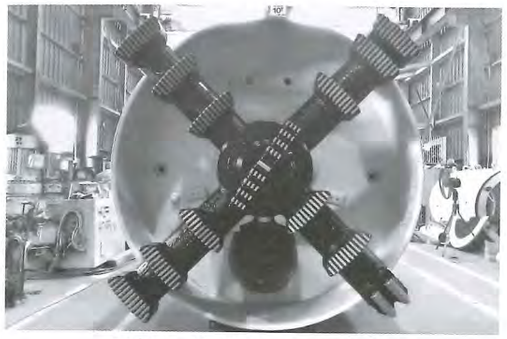


写真-9　流木対応カッタヘッド

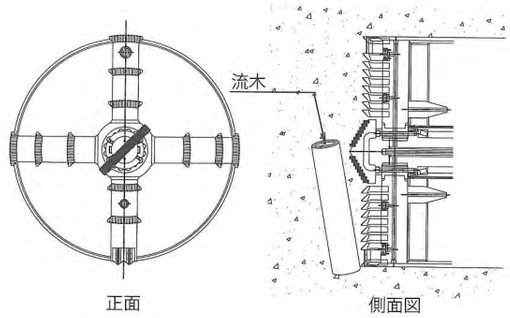
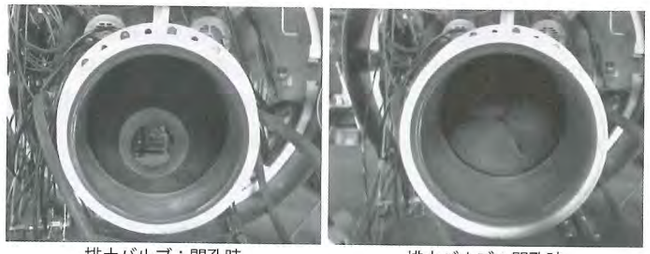


図-11　流木対応カッタビット図

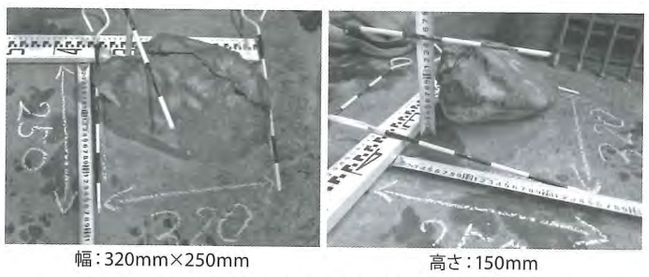


取込み孔：ϕ500　　排土孔：ϕ300



排土バルブ：開孔時　　排土バルブ：閉孔時

写真-10　排土バルブ装置



幅：320mm×250mm　　高さ：150mm

写真-11　回収した大礫形状寸法

4-3-3　大礫対策

ボーリング調査では，推進工事に支障となる径の礫は確認されていないが，氾濫による地層境の大礫が想定された．取り込めない大礫は，掘進機カッタヘッドと接触しながら掘削断面外周に押され，その後テールボイドに移動することで，推進管にくさび作用が働くことにより発生する集中荷重によって，管を破損させる可能性がある．

そこで，チャンバから大礫の取込みを容易にするため，ϕ500排土バルブを採用した．排土バルブは電磁弁を用いた圧縮空気により操作され，停電時などの異常時においては，自動的に密閉される．

排土バルブを写真-10に示す．

掘削地層が変化する区間（粘性土と砂質土）では，実際に大礫が点在していた．回収した大礫を写真-11に示す．

4-3-4　地中障害物対策

推進深度付近に埋設されている電力管（呼び径1,350㎜）および地中に残置されている地下道構造物について調査を行った．電力管は，地上からのボーリングにて深度を調査し，離隔約1.6mで直下を掘進することが判明し，支障とならない深度であることを確認した．

地下道構造物は，昭和初期に作られた「歩行者用地下横断道」で，跨道連絡通路の新設により道路下に残置されていたため，ライナー掘削による開削調査および水平ボーリングによる探査ボーリングを実施し，基礎杭や仮土留め壁の残置物がなく，残置構造物が支障とならない深度であることを確認した．

調査状況を写真-12に示す．



ボーリング調査

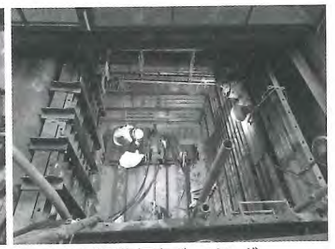


深度確認

東北電力埋設管路ϕ1,350



ライナー開削調査



残置物探査ボーリング

駅前旧地下道　残置構造物

写真-12　地中障害物調査状況

5　おわりに

本工事は，泥濃式推進工事で土砂圧送による排土方式を採用することで，1スパン1.0kmを超える超長距離施工を，施工効率を低下させず，また事故なく無事に終えることができた．最終到達精度は，左2㎜，下20㎜と，高い精度であった．これは，発注者，受注者，専門工事業者が一丸となってさまざまな問題点を1つずつ解決していった結果と言える．

推進工事は，シールド工事と比較して小規模の施工となるが，施工管理の重要性は同じである．本工事では，電磁流量計による土量管理方法に課題を残したが，シールド工事と同精度の土量管理手法を確立していくうえで，今後，同様な推進工事の参考として役立てば幸いである．

参考文献

1）日本トンネル技術協会：土圧式シールド工法における掘削土砂搬送方法の調査報告　平成7年度．
2）薬材開発センター：超流バランスセミシールド工法高濃度泥水事前配合試験．
3）超流セミシールド協会：超流バランスセミシールド工法　設計指針，平成22年度改訂版．
4）アルファシビルエンジニアリング：テールボイド拡幅再構築装置（TRS）　技術資料．



セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B5判　132頁　本体価格 2,000円

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

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

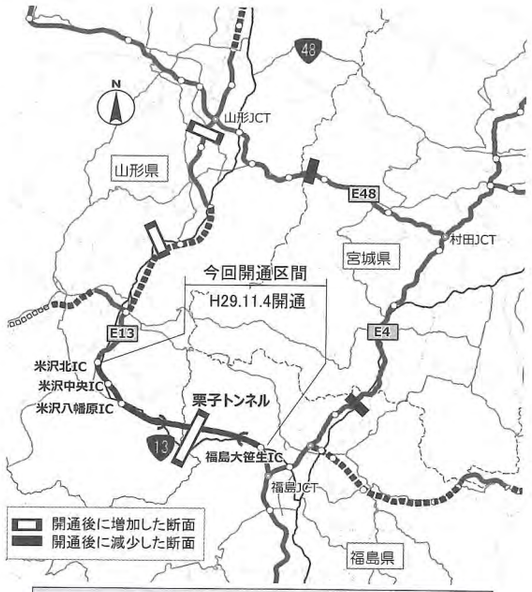
栗子トンネルの開通効果が発現

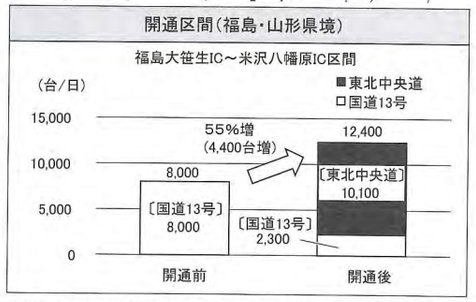
東北地方整備局福島河川国道事務所と山形河川国道事務所は，昨年11月4日に開通した，東北中央自動車道福島大笹生IC～米沢北IC間の，開通後1か月の交通状況と整備効果を発表した．

これによると，福島・山形県境を通過する，開通区間と国道13号をあわせた断面交通量は，55％増加し，山形道と東北道の県境部では交通量が5％減少したことが確認された．また，開通区間のICに近い主要観光地では，県境をまたいで訪れる来訪者の増加が認められるなど，観光交流が促進されている．

開通区間の交通量(全日)は県境部で約10,100台/日で，最大は19,200台/日(11月5日)だった．開通した区間の隣接区間では交通量(全日)が1.6～4.1倍に増加(約2,100～4,00台増加)した．福島・山形県境における国道13号と開通区間を合わせた断面交通量は，開通前に国道13号で約8,000台/日だったものが，開通後は国道13号が2,300台/日，開通区間が約10,100台/日へと変化した．福島・宮城県境，宮城・山形県境の断面交通量は，それぞれ，45,100台/日から43,900台/日，20,500台/日から19,400台/日へと減少している．

近接する主要観光地でのヒアリング調査では，開通後は福島・山形県境を跨いで訪れる観光客が増えているとの声が聞かれたほか，開通区間はカーブと勾配が緩く運転しやすくなったなどの意見もあった．開通にあわせて，福島市や米沢市の旅館関係者有志が連携して，誘客を図るといった取組みが行われ，客数が増加した効果も実感されている．開通に伴って，県を跨ぐ広域的な観光交流が促進されていることが確認されている．





【出典：NEXCO東日本提供交通量、国土交通省常時観測トラフィックカウンターデータ】
開通前：H28.11.6(日)～12.5(月)の日平均値
開通後：H29.11.5(日)～12.4(月)の日平均値（H29.12.2(土)データ欠損のため除外）

福島河川国道事務所・山形河川国道事務所，記者発表資料，2018年1月30日より

建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壮吉 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

研　究

SENSによる1次覆工挙動に関する研究

鉄道・運輸機構北海道新幹線建設局北斗鉄道建設所所長　玉　井　達　毅
長岡技術科学大学環境社会基盤工学専攻教授　杉　本　光　隆

1　はじめに

SENS(シールドを用いた場所打ち支保システム)は，山岳工法では切羽の不安定化が予測される，山岳工法とシールド工法の境界領域において，トンネルを安全かつ経済的に構築する工法である．SENSは，密閉型シールドで掘削することにより切羽の安定を図り，シールド掘進(Shield)と並行して1次覆工となる場所打ちコンクリートライニング(ECL)によりトンネルを支保し，1次覆工の安定を計測により確認したのち，防水シートと2次覆工を施工(NATM)してトンネルを完成させる工法(System)である[1),2)]．

SENSの掘進サイクルは，まず，切羽前方ではSENSマシンにより地山の掘削を行い，掘進と同時にマシン後方では妻型枠に設けたコンクリート打設口(**写真-1**)から地山の土水圧に負けない圧力でコンクリートを打設する．内型枠は全16リングを使用し，内型枠1リング分の掘進と1次覆工コンクリートの打設が完了すると，一番後方の内型枠を解体(脱型)し，前方に運び，組み立てる．組み立て完了後，再び1リング分の掘進と打設をくり返す(**図-1**参照)．

ここで，はじめに打設される1次覆工コンクリートは未固結であり，時間の経過とともに凝結が始まり，液体状態から固体状態に移行し，強度が発現していく．そのため，コンクリートが液体区間ではコンクリート打設圧が内型枠に作用し，コンクリートが硬化した区間では周辺地山からの水圧と有効土圧が，内型枠脱型前においては内型枠と1次覆工に，内型枠脱型後においては1次覆工のみにそれぞれ作用する．

また，地盤からの有効土圧に関して，飯田は，東北新幹線三本木原トンネル($L=4{,}280$m)における計測によって得られた1次覆工のひずみの平

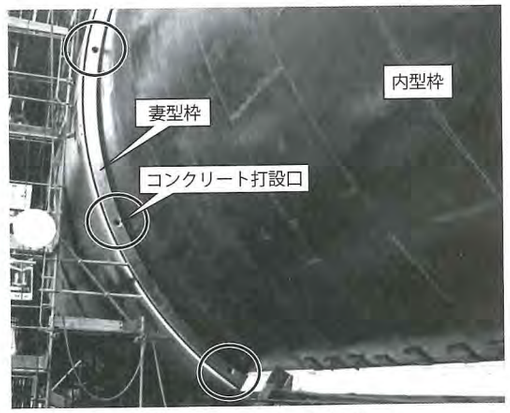


写真-1　コンクリート打設口

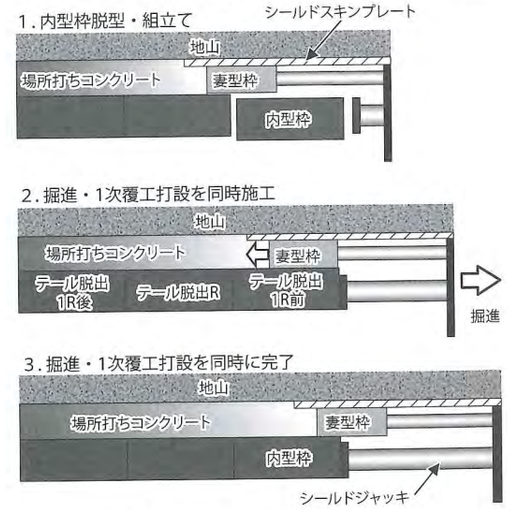


図-1　SENSの掘進サイクル

均値から求めた1次覆工の外径の収縮量と，解析によって得られた地山の変位量を比較し，トンネル下半部では1次覆工の収縮量が地山の変位量より大きくなることから，1次覆工に作用する有効土圧が減少し，水圧のみが作用する可能性があることを指摘している[3]．このため，1次覆工や内型枠に作用する有効土圧は，トンネル掘削面の初期変位やトンネル掘削面と1次覆工との相対変位により減少したり，地山が自立し0となることも考えられる．

著者らは，このような特殊な施工過程を有するSENSの内型枠および1次覆工の挙動を解明するため，主働側の有効土圧を用いて3次元で施工過程を考慮できる，SENSにおける時系列3次元解析手法を開発した[4),5)]．

本稿では，はじめに開発した時系列3次元解析手法について詳述し，地盤条件をパラメータとしたパラメータスタディを実施し，実トンネルの現場計測データと比較し同手法の妥当性を示す．さらに，現地の施工条件が1次覆工の変位に及ぼす影響について検討し，地山の緩みを少なくし，トンネルの長期耐久性に寄与することができるSENSの施工管理のあり方について述べる．

2 時系列3次元解析モデル

2-1 解析モデル概要

開発した時系列3次元解析モデルの概要図を図-2，解析モデルの全体鳥瞰図を図-3に示す．

内型枠外周面の境界条件，1次覆工コンクリートの硬化状況により，解析モデルを切羽側から坑口側に向けて，マシン部，液体区間および固体区間の3区間に分類した．

「マシン部」では，内型枠がシールドテール内にあり，内型枠に1次覆工コンクリート打設圧が作用しない区間である．ここでは，図-4のように内型枠をシェル要素で，内型枠のリング間継手を軸方向ばねとせん断ばね，ピース間継手を回転ばね，シールドと内型枠間のテールシールをばね要素でモデル化するとともに，内型枠切羽側端部にジャッキ力を作用させた．

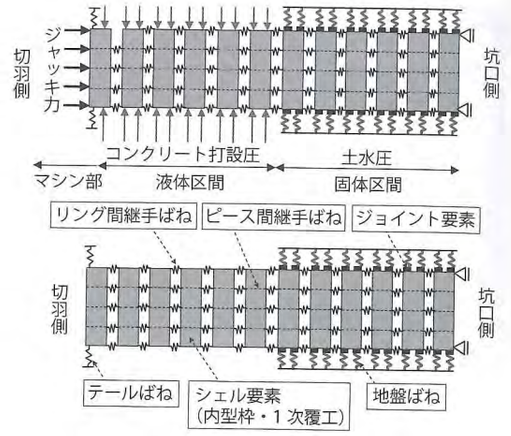


図-2　モデル概要図

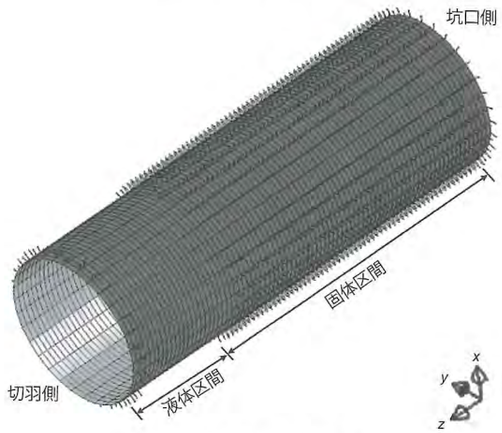


図-3　モデル全体鳥瞰図

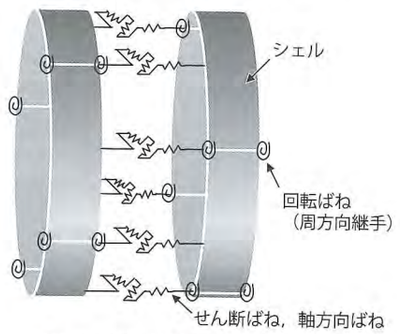


図-4　リング間継手とピース間継手

「液体区間」は，1次覆工コンクリートが硬化前で，内型枠に1次覆工コンクリート打設圧が作用する区間である．ここでは，内型枠を「マシン部」と同様にモデル化するとともに，シェル要素にコンクリート打設圧をトンネル半径方向に作用させた．

「固体区間」は，1次覆工コンクリートが硬化し，1次覆工に土水圧が作用する区間である．ここでは，地盤を1次覆工の全周にわたり設置した半径方向地盤ばねで，1次覆工の周面摩擦を1次覆工シェル要素と地盤ばねの間に設置したジョイント要素（Mohr-Coulombモデル）でモデル化した．また，「液体区間」で設置したシェル要素の厚さ，ヤング率，密度を，脱型前にあっては，内型枠と1次覆工を一体の合成梁とみなした値で，脱型後にあっては，1次覆工の値で更新するとともに，内型枠がなくなり1次覆工だけとなるため，内型枠のリング間継手およびピース間継手のばね定数を無限大に大きくし，剛結を表現した．さらに，1次覆工に深さに応じた土水圧をトンネル半径方向に作用させた．

2-2 逐次解析

本解析では，SENSの施工過程を表現するため，1ステップを内型枠1リング分として，逐次解析を実施した．逐次解析のモデル模式図を図-5に示す．施工ステップが進むにつれて，トンネル切羽側に新しい内型枠（Step $i+1$の22リング）を，液体区間後端部に新しい地盤ばねとジョイント要素をそれぞれ追加する（Step $i+1$の16リング）とともに，固体区間では，シェル要素の厚さ，ヤング率および密度を更新し，荷重を1リング分切羽側にシフトし，トンネル掘進を表現した．地盤ばねをこのように設置することにより，1次覆工コンクリートが硬化を開始してからの地盤と1次覆工の相対変位量に応じた地盤反力が1次覆工に作用することになる．

2-3 地盤の変形特性

地盤と1次覆工の相互作用モデルとして，軟弱地盤から硬質地盤にわたり，覆工作用土水圧，覆工の変位および断面力を合理的に表現できる地盤反力曲線[6),7)]を用いた．地盤反力曲線の特徴は以下のとおりである．

① 地盤反力（作用有効土圧）が引張側にならない範囲で作用する．すなわち，静止時有効土圧（初期有効土圧）と地盤ばねにより，受働側の有効土圧だけでなく，主働側の有効土圧も表現できる．

② 地山が自立し，有効土圧が0となり，水圧のみが作用するような状況も表現できる．

③ 1次覆工硬化時の掘削面変位（初期変位）を導入することで，切羽での先行変位，カッタフェイスによる余掘りや1次覆工の打設率などの影響を評価できる．

トンネル掘削前の初期掘削面から1次覆工までの距離uと土圧係数Kの関係を表す地盤反力曲線を図-6に示す．ここで，max，0，minはそれぞれ最大値，静止時，最小値である．図中u_{init}はトンネル掘削前の初期掘削面から1次覆工硬化時のトンネル掘削面への変位（初期変位）で，u_{init}が負であ

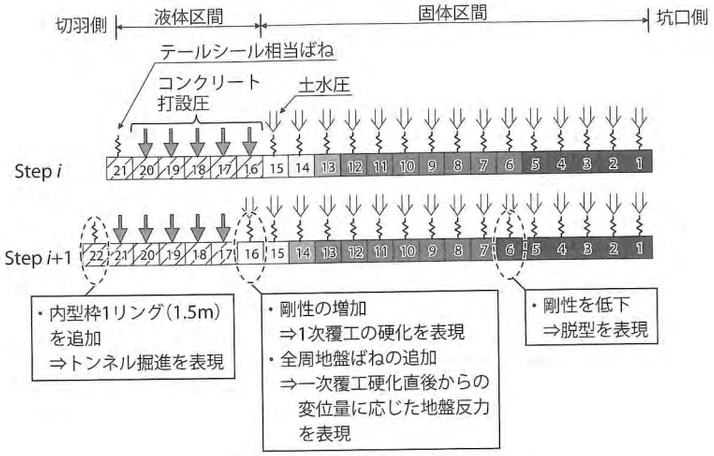


図-5　逐次解析モデル模式図

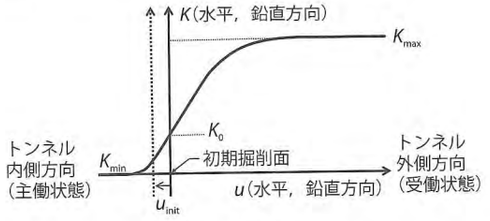


図-6　地盤反力曲線

ることは初期掘削面より１次覆工硬化時の掘削面がトンネル内側に位置することを意味し，地山が主働状態であることを示す．この地盤反力曲線を水平と鉛直方向に設定する．

3 解 析 条 件

3-1 解析に用いたパラメータ

今回の検討では，SENSによって施工した２例目のトンネルである北海道新幹線津軽蓬田トンネル（L＝6,190m）を解析対象とした．

解析対象断面の土かぶりは92.9m，地下水位は近傍の地質調査結果からGL-62.0m，地質構造は細粒砂岩を主体とする新第三紀鮮新世の蟹田層の瀬辺地タイプと砂川沢タイプから構成されている．

解析に用いたパラメータを表-1に，荷重を表-2に示す．

ここで，掘削面の初期変位が０の場合の初期鉛直有効土圧は，全土かぶり荷重とした．また，脱型前における固体区間では，内型枠と１次覆工からなる合成梁の軸剛性と曲げ剛性および自重と等価となるようにシェルのパラメータを設定した．

内型枠１リングの施工は標準施工サイクルの２時間とし，１次覆工打設から12時間が経過したのちに，１次覆工が硬化するとした．したがって，切羽から６リング目までに内型枠のみの剛性を，７リング目から16リング目までに１次覆工と内型枠の合成梁の剛性を，17リング目以降に１次覆工のみの剛性を設定した．図-7に，各施工状態におけるシェル要素の剛性を示す．コンクリート硬化による剛性の増加は短時間で収束することから，解析では，それぞれの施工状態において，図-7中に黒丸で示す代表値を用いた．

3-2 初期条件と境界条件

初期条件として，ステップ０では内型枠を１つだけ設置し，ステップが進むごとに切羽側に新しい内型枠を１リング追加した．総ステップ数は，トンネル掘進の定常状態が表現できるように，十分大きく設定した（総ステップ数30，解析長46.5m）．

境界条件は，内型枠のトンネル軸方向回りの剛体回転と，過大な鉛直方向への剛体変位を抑制するため，もっとも切羽側に位置する内型枠の天端１節点において，トンネル横断水平方向と鉛直方向を固定した．また，トンネル全体が軸方向へ剛体変位することを防止するため，トンネルのもっとも坑口側の位置でのトンネル軸方向の変位を固定とした．

表-1　解析に用いたパラメータ

地盤	水平土圧係数		K_{hmin}	—	0
			K_{h0}	—	0.50，0.75，1.0
			K_{hmax}	—	5
	鉛直土圧係数		K_{vmin}	—	0
			K_{v0}	—	1
			K_{vmax}	—	5
	地盤反力係数		k_h	MN/m^3	50，100，200
			k_v	MN/m^3	50，100，200
	初期変位（主働側）		u_{init}	mm	−5，−10，−20
内型枠	ヤング係数（等価剛性物性値）		—	GN/m^2	25.7
	ポアソン比		—	—	0.3
	単位体積重量（等価剛性物性値）		—	kN/m^3	11.75
	図心半径		—	m	5.366
	桁高（等価剛性物性値）		—	m	0.508
	幅		—	m	1.5
	トンネル周方向の要素分割数		—	—	32
	トンネル軸方向の要素分割数		—	—	4
	ピース間継手の回転ばね定数	正曲げ	M_s	kN-m	970
			k_{m2}	MN-m/rad	525
		負曲げ	M_s	kN-m	920
			k_{m2}	MN-m/rad	559
	リング間継手のばね定数	半径方向	—	MN/m	1,119
		接線方向	—	MN/m	2,156
		軸方向 圧縮側	—	MN/m	100,000
		軸方向 引張側	—	MN/m	3,984
マシンテール	圧縮側（0.04m以上）ばね定数		—	MN/m	100,000
	圧縮側（0〜0.04m）ばね定数		—	kN/m	167
	引張側ばね定数		—	kN/m	1.0

表-2　解析に用いた荷重

地盤	地下水位	GL-m	62
	土水の取り扱い	—	土水分離
	初期鉛直荷重	—	全土かぶり
１次覆工	単位体積重量	kN/m^3	23
	打設圧力（天端）	kPa	600
ジャッキ力	１節点あたりの荷重	kN	2,600

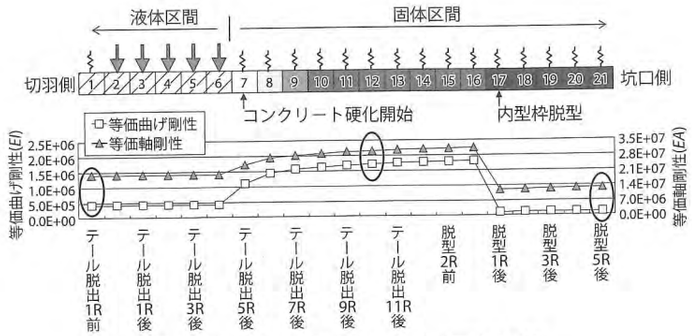


図-7　各施工状態におけるシェル要素の剛性

3-3 解析ケース

地盤反力係数，水平静止土圧係数および１次覆工硬化時の掘削面変位（以下，「初期変位」）は，１次覆工の変位と断面力に大きな影響を与えるが，これらのパラメータは一意に同定することは困難なことから，地盤反力係数，水平静止土圧係数および初期変位を変数としたパラメータスタディを実施することとした．

地盤反力係数は，現地の地質調査結果から推定される範囲を網羅するように50，100，200MN/m^3，水平静止土圧係数は0.50，0.75，1.0，初期変位は，主働側へ−5，−10，−20㎜のそれぞれ３パターンを設定した．これらの３つのパラメータのうち，地盤反力係数は地盤反力曲線の傾きを，水平静止土圧係数は静止時の鉛直有効土圧と水平有効土圧の比を表し，初期変位（主働側を負とする）は，初期掘削面から初期変位分だけ主働側へシフトした時点から解析を開始することを意味する．

4 解 析 結 果

4-1 地盤反力係数の影響

図-8に，水平静止土圧係数0.75，初期変位−10㎜で，地盤反力係数k＝50，100，200MN/m^{3}と変化させた時の脱型５リング後における１次覆工の変位，周方向の軸力およびトンネル軸方向周りの曲げモーメントを示す．これらの図から，地盤反力係数が大きくなると，軸力が小さくなり，横長変形が抑制されるとともに，曲げモーメントの分布は円形に近づき，０に近づくことがわかる．これらは，同じ初期変位でも地盤が硬質になると主働側の有効土圧の減少が大きくなるためである．

4-2 初期変位の影響

初期変位の影響を把握するため，初期変位の影響が大きくなる硬質な地盤の解析結果を示す．すなわち，地盤反力係数200MN/m^3，水平静止土圧係数0.75で，初期変位を−5，−10，−20㎜と変化させたときの脱型５リング後における１次覆工の変位，周方向の軸力およびトンネル軸方向周りの曲げモーメントを，図-9に示す．これらの図より，初期変位が大きくなると（初期変位がトンネル内向きで０に近づくと），鉛直上向きへの剛体変位が小さくなり，軸力が大きくなり，曲げモーメント分布は円形に近づき，０に近づくことがわかる．地盤が硬い場合（k＝200MN/m^3），初期変位が小さくなると，地盤が自立し，有効土圧がほとんど作用しなくなる．この状態で，コンクリート打設圧や水圧による浮力が作用すると，トンネル上半に有効土圧が作用し，力の釣り合いがとれるまでトンネルは鉛直上向き剛体変位する．さらに，この場合，トンネルは上部のみで地盤と接することから，横長変形し，その結果，曲げモーメント分布は横長となり，大きな値となる．

4-3 解析値と計測値の比較

図-8，９の解析値と計測値から以下のことがわかる．ここで，実施した計測に関する詳細については，参考文献8）を参照されたい．

① 解析値は，計測値と同様に横長変形を示す．

② 解析値は，計測値と同様に鉛直上向きの剛体変位を示す．これは，本解析モデルが主働

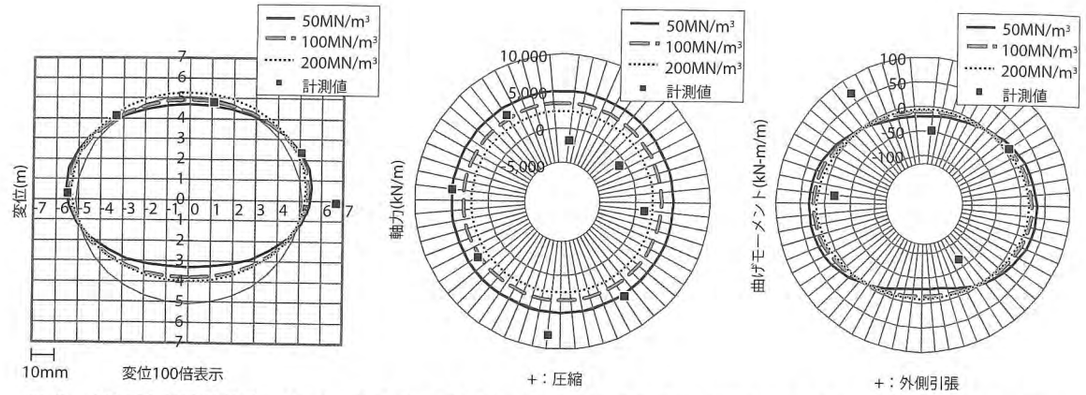


図-8　地盤反力係数が脱型5リング後の1次覆工の変位，断面力に与える影響(水平静止土圧係数0.75，初期変位−10㎜)

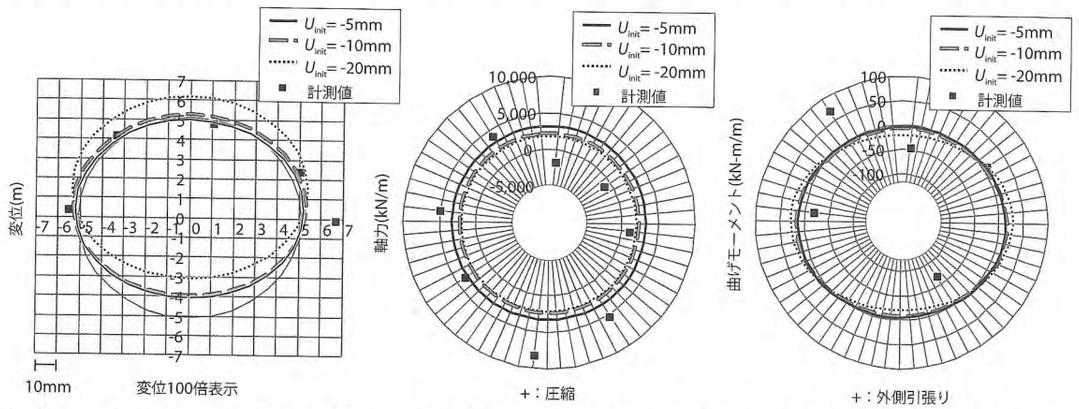


図-9　初期変位が脱型5リング後の1次覆工の変位，断面力に与える影響(地盤反力係数200MN/m³，水平静止土圧係数0.75)

側の有効土圧と初期変位を考慮できること，主働側への初期変位を導入していることから，コンクリート打設圧や水圧による浮力によって，覆工が浮き上がるためである．

③　地盤反力係数100MN/m³，水平静止土圧係数0.75，初期変位-10㎜で，解析値と計測値の整合性がもっとも高い．

4-4　1次覆工に作用する有効土圧

図-10に地盤反力係数100MN/m³，水平静止土圧係数0.75，初期変位−10㎜とした場合の，最終ステップでの1次覆工の法線方向の有効土圧を示す．ここで，横軸は1次覆工下端から時計回りの角度を示し，下端が0°，天端が180°，左右の側壁がそれぞれ90°，270°である．縦軸は坑口側から切羽側への距離である．この図から以下のことがわかる．

①　内型枠の脱型前にあっては，切羽に近い位置では，有効土圧は初期有効土圧に近い分布になっているが，時間が経過し，切羽から遠い位置になると，有効土圧はトンネル側壁部，天端で増加し，下部で減少する．これらは切羽に近い位置では，等圧的なコンクリート打設圧の影響により，内型枠は円形に近い形状のまま土水圧が作用し始める時点から大きく変位しないため，内型枠に作用する有効土圧は初期有効土圧に近い分布となり，一方，切羽から遠くなると，水平静止土圧係数の影響が支配的となり，内型枠は横長に変形するとともに，浮力により上方へ剛体変位し，内型枠にこれらに対応した地盤反力が働くためである．

②　内型枠の脱型に伴い，トンネル全周にわたり有効土圧が低下する．これはトンネルの剛性低下によって，1次覆工がトンネル内側へ変形するためである．

4-5　施工条件が1次覆工挙動へ与える影響

適切な線形管理と1次覆工の巻厚確保のためには，ジャッキパターンや施工サイクルなどの施工条件が内型枠および1次覆工の挙動へ及ぼす影響を把握する必要がある．そこで，前節まで，地盤条件がSENSのトンネル挙動に与える影響について検討してきたが，本節では，施工因子をパラメータとしたパラメータスタディを実施することにより，施工因子が1次覆工と内型枠の鉛直上向きの変位へ及ぼす影響について検討する．ここで，施工サイクルとジャッキパターンを施工因子とした．なお，地盤の条件のうち，地盤反力係数100kN/m³と水平静止土圧係数0.75は一定とした．また，ジャッキパターンの影響を把握するため，ジャッキパターンの影響が大きくなる初期変位−20㎜を用いた．

4-5-1　施工速度の影響

図-11に，ジャッキ全押しで，施工サイクルを240分/リング，120分/リング(津軽蓬田トンネルの標準施工サイクル)，80分/リングと変化させた場合におけるトンネルの天端の鉛直方向の変位量(上向きを正)を示す．ここで，横軸は切羽側から坑口側への距離を表している．施工サイクルが早い場合(80分/リング)，トンネル天端の上方への鉛直変位は，およそ8㎜で収束しているのに対し，標準施工サイクル(120分/リング)ではおよそ4㎜で収束しており，施工サイクルが早くなると鉛直変位量が大きくなることがわかる．

これは，施工サイクルが早くなると，1次覆工コンクリートが硬化するまでに未固結の1次覆工コンクリートによる浮力が内型枠に作用する距離が長くなり，内型枠が鉛直上向きに大きく変位するためである．したがって，施工において適切な施工速度を設定する必要がある．

4-5-2　ジャッキパターンの影響

図-12に，標準施工サイクルで，ジャッキパターンを全押し，下押しと変化させた場合におけるトンネル天端の鉛直方向の変位量(上向きを正)を示す．この図から，ジャッキパターンを下押しとすると，コンクリートが液体の区間で，内型枠

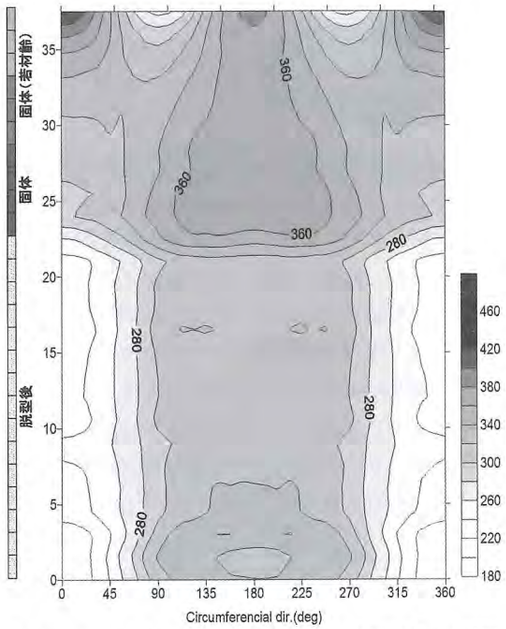


図-10　法線方向の有効土圧分布(kPa)(地盤反力係数100MN/m³，水平静止土圧係数0.75，初期変位−10㎜)

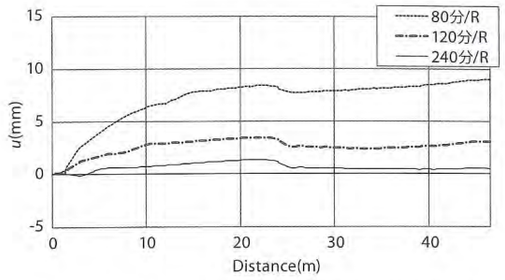


図-11　施工速度がトンネル天端変位に与える影響

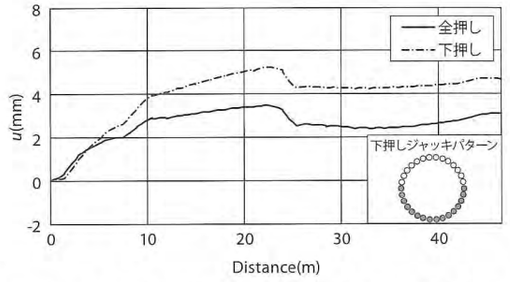


図-12　ジャッキパターンがトンネル天端変位に与える影響

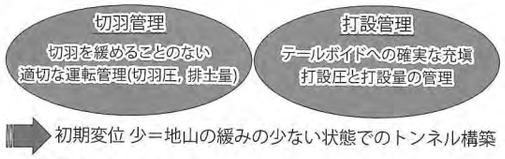


図-13　SENSの切羽管理と１次覆工の打設管理

は上方への変位量が大きくなること，１次覆工が硬化したあと，トンネル天端挙動に大きな変化はみられないことがわかる．

これは，内型枠が鉛直上向きに大きく変位した位置で，１次覆工が硬化するためである．以上より，施工時のジャッキパターンの選択がトンネル鉛直変位量に影響を及ぼすことがわかった．

5 結　　論

著者らは，主働側の有効土圧を用いて施工過程を考慮でき，SENSのすべての施工状態で，内型枠および１次覆工の挙動を解析できる時系列３次元解析手法を開発した．この解析手法を用いて，地盤条件および施工条件に関するパラメータスタディを実施し，各パラメータが覆工挙動に与える影響を把握するとともに，得られた解析値と現場計測値とを比較し，本解析手法の妥当性を示した．

本稿での検討結果から，SENSの施工管理のあり方について考察する．図-13は，SENSの施工管理に必要な掘進管理項目を記載したものである．本研究の検討結果から，初期変位が負の大きな値となった場合，すなわち，１次覆工が硬化した時点での掘削面変位が主働側に大きくなり，地盤が自立するような硬質な地盤では，鉛直剛体変位量が大きくなる傾向があることがわかった．したがって，SENSの施工管理では，初期変位が主働側に大きくならないように注意し，地山の緩みが少ない状態でトンネルを構築することが望ましいと考えられる．そのためには，切羽管理では，地山を緩めることのないよう，切羽圧と排土量を常に監視し，１次覆工の打設は，打設圧と打設率の双方で管理を行い，テールボイドに瞬時に密実な１次覆工の充填を行う必要があると考えられる．

図-14は，SENSの施工管理の留意点を示したものである．施工上，やむを得ずシールドジャッキを下押しにし，コピーカッタによる余掘りを大きくすると，鉛直上向きの変位量が大きくなることが本解析結果からわかった．したがって，このような施工条件となる場合，トンネルの変位量を十分な頻度で監視する必要があると考えられる．そのうえで，必要に応じて，掘進の施工サイクルの調整や，カーブライナーの使用などの対策を施すことが求められる．

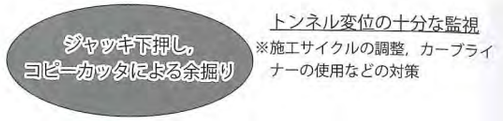


図-14　施工管理の留意点

参 考 文 献

1) 宮嵜俊彦・山本武史：山岳工法とシールド工法の境界領域における「SENS」の高速掘進，北海道新幹線津軽蓬田トンネル，日本鉄道施設協会誌，Vol.55，pp.573-575，2017.
2) 玉井達毅：SENSによる未固結地山の掘削，北海道新幹線，津軽蓬田トンネル，日本鉄道施設協会誌，Vol.49，pp.422-424，2011.
3) 飯田廣臣：含水未固結地山におけるシールドを用いた場所打ち支保システムに関する研究，早稲田大学博士論文，2008.
4) 玉井達毅・阿部広明・杉本光隆・田中淳寛・水原勝由：シールドを用いた場所打ち支保システムの時系列３次元逐次解析手法による内型枠挙動の解明，土木学会論文集F1(トンネル工学)，Vol.70，No.3(特集号)，pp.I_17-I_28，2014.
5) 玉井達毅・杉本光隆・黒橋群：時系列三次元解析手法による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の解明，土木学会論文集F1(トンネル工学)，Vol.73，No.2，pp.14-31，2017.
6) 杉本光隆・A.SRAMOON：施工実績に基づくシールド機動力学モデルの開発，土木学会論文集，No.673/Ⅲ-54，pp.163-182，2001.
7) 杉本光隆・A.SRAMOON・岡崎麻里：地盤反力曲線を用いた骨組構造解析によるトンネル覆工の解析法，土木学会論文集C(地圏工学)，Vol.67，No.1，pp.61-77，2011.
8) 玉井達毅：シールドを用いた場所打ち支保システムの時系列三次元解析手法による内型枠および一次覆工挙動の解明，長岡技術科学大学学位論文，2015.3.

連載講座

セグメントの新技術Ⅱ(５)

—機能付加セグメント(２)—

「セグメントの新技術Ⅱ」連載講座小委員会

1 はじめに

近年，トンネルはその用途によって，ひび割れ・剥離対策や一次覆工のみで防食性・耐久性などを高めることが求められている．ここでは，剥離対策として製作時にセグメント内表面に樹脂繊維メッシュの貼付したもの，下水道の防食性・耐久性を目的として内表面に樹脂パネルや樹脂シートを貼付したセグメントについて紹介する．

表-1　基礎検討の実験項目とその目的

実験項目	実験目的	測定項目	観察項目
圧縮実験	局部コンクリートの圧壊に対する繊維シートの抑止効果の確認	最大荷重 荷重と鉛直・水平変位	圧壊時の状況
押抜き実験	表面部コンクリートの脱落に対する繊維シートの抑止効果の確認	荷重と鉛直変位量 繊維シート剥離面積	繊維シート剥離状況

2 EXPセグメント

2-1　開発目的

近年，シールドトンネル工事では，工期短縮やコストの縮減などを目的として，従来から用いられてきた二次覆工を省略する傾向がある．二次覆工が省略されることにより，トンネル内面となるコンクリート表面部では，漏水や中性化などにより，鉄筋腐食などの劣化速度が急激に早まることが予想される．その一方で，ライフサイクルコストの観点に立つと，維持補修に関するコストの縮減が求められている．さらにまた，施工時におけるシールドの過大なジャッキ推力などによりセグメントの隅角部や稜線部に生じるコンクリートの欠けなどは，その直下にある設備や作業者に影響を与えることが懸念される．このような背景から，道路トンネルや鉄道トンネルでのコンクリート片の剥落を防止するために開発したセグメントである．

2-2　セグメントの特徴

コンクリート片の長期の剥落防止のため，あらかじめ耐アルカリガラス繊維シートをコンクリートセグメントの内表面に布設したものである[1)~3)]．

2-3　実験概要

2-3-1　基礎検討

表-1に基礎検討の実験項目とその目的を示す．基礎検討では，圧縮実験および薄版を用いた押抜き実験を実施した．

2-3-2　繊維シート

表-2に繊維シートの諸元を示す．繊維シートの選定は，アルカリ性を示すコンクリート中に繊維シートを直接布設するため，耐アルカリガラスとした．繊維シートの種別はその編目格子サイズ，繊維の織密度および単位面積あたりの重量の異なる４種類(写真-1)である．

2-3-3　基礎実験

圧縮実験は，施工時の過大なジャッキ推力などによりセグメントの隅角部や稜線部などの局部に生じるコンクリートの欠落ち現象を局部的なコン

クリートの圧縮破壊現象と捉え，ϕ100×200㎜の円柱供試体を用いた．**写真-2**に圧縮実験後の供試体の状況を示す．繊維シートを布設しない供試体では圧壊時にコンクリート片の欠落ちが生じたのに対し，繊維シートA～Dを布設した供試体では欠落ちはほとんど見られず，繊維シートによるコンクリート片の欠落ちを抑制する効果が認められた．

押抜き実験は，セグメント表面のかぶり部分のコンクリートの剝落に対する繊維シートの脱落抑止効果を確認するため，600×400×60㎜の薄板を用いて行った．その結果，すべてのケースで1～2㎜程度の鉛直変位時にコア部のコンクリートが押し抜かれた(**表-3**)．繊維シートのない供試体は破断と同時にコンクリートが脱落したのに対し，繊維シートを布設した供試体はコア部のコンクリートを保持したままシートの剝離が進行した．これは繊維シートの脱落抑止効果である．

表-2　繊維シートの諸元

No.	格子サイズ	引張強度 (N/25㎜)		繊密度 (本/25㎜)		単位重量 (g/m²)	厚さ (㎜)
		縦	横	縦	横		
A	□1.0×1.0	333	588	16×2	16	93	0.20
B	□7.0×5.0	1,750	1,500	2.7×17	33	430	0.85
C	□5.0×5.0	300	300	5.0×2	5	60	0.20
D	□5.0×5.0	550	550	5.0×2	5	130	0.35

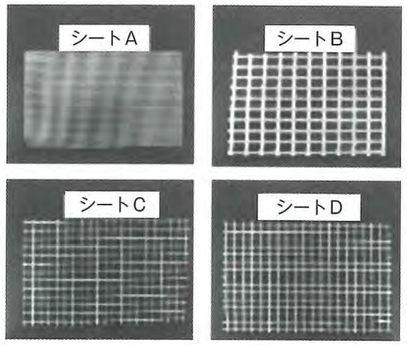
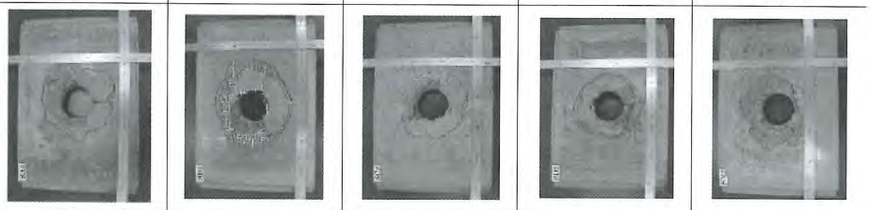


写真-1　繊維シート



写真-2　圧縮実験後の供試体状況(繊維シートの種別　左からA，B，C，D，N(なし))

表-3　押抜き試験破壊時の状況

繊維シートの種類	A	B	C	D	N(なし)
供試体の破壊状態					
最大鉛直変位量(m)	14.0	36.9	23.3	29.9	2.1
剝離面積(cm²)	379	495	407	409	192

2-3-4　実物大セグメントによる検討

前述した一連の基礎実験の結果より，繊維シートBが剝落防止の性能がほかの繊維シートよりも高かったため，繊維シートBを用いて実物大セグメントによる検討を行うこととした．実験は繊維シート「あり」と「なし」の2種類のセグメントについて偏圧載荷実験(ジャッキ推力の偏圧載荷を模擬した推力試験)を行い，破壊荷重の把握と破壊性状を確認した．この実験は，一般に行われているセグメントの推力試験を応用し，偏圧載荷はセグメント設置時にセグメントと反力フレーム底盤との間にϕ100㎜，厚さ3㎜程度の円形鉄製の調整板を挟み込み載荷する方法とした(**写真-3**)．

2-3-5　偏圧載荷実験結果

表-4に偏圧載荷実験の結果を示す．繊維シートを布設したセグメントの方が，それがないものに比べて破壊荷重が若干大きかった．

写真-4に破壊性状を示す．破壊性状には差が現れており，繊維シートなしのセグメントは爆裂を生じ，かぶり部分のコンクリートが剝落した．



写真-3　偏圧載荷実験状況

表-4　偏圧載荷実験結果

繊維シートの有無	あり	なし
ひび割れ発生荷重(kN)	1,290	1,090
破壊荷重(kN)	1,690	1,310
破壊性状[注]	表面剝離	表面剝落
破片の落下の有無	なし	あり
圧縮強度(N/m²)	65.5	68.4

注)：写真-4，5参照



写真-4　破壊性状の比較



写真-5　繊維シートの効果

一方，繊維シートありのセグメントは，破損したコンクリート片が繊維シートに包含され爆裂を防止していた．さらに，供試体を持ち上げてみるとその状況の違いが明らかに見られた．**写真-5**に示すように繊維シートなしはコンクリート片がすべて剝落していたが，繊維シートありはコンクリート片の剝落が認められなかった．これらのことから，ジャッキ推力などの偏圧荷重によりかぶり部分のコンクリートが破損しても繊維シートがその爆裂を抑制する効果と剝落を防止する効果が確認された．

2-3-6　実験のまとめ

繊維シートを布設した実験により得られた繊維シートの効果をまとめると次のとおりである．

① 繊維シートはコンクリートの圧壊時にコンクリートの爆裂を防止する効果がある．

表-5　施工実績表

発注者	工事名称
東京地下鉄(株)	13号線南池袋A工区土木工事
東京地下鉄(株)	13号線雑司ヶ谷停車場換気塔
京王電鉄(株)	調布駅付近連続立体交差工事(土木)第2工区
京王電鉄(株)	調布駅付近連続立体交差工事(土木)第4工区
東急電鉄(株)	(13号相互)東横線渋谷～代官山間地下化工事(土木第1工区)
東京地下鉄(株)	有楽町線小竹向原・千川間連絡線設置シールドトンネル工区土木工事
国土交通省	大坂北共同溝交野寝屋川地区工事



写真-6　シールドトンネルへの適用事例

② 繊維シートはコンクリートの押抜きに対して脱落防止効果がある．

③ セグメントに偏圧荷重が生じた場合，繊維シートにはコンクリート片の爆裂抑制効果と剝落防止効果がある．

2-4 施工実績

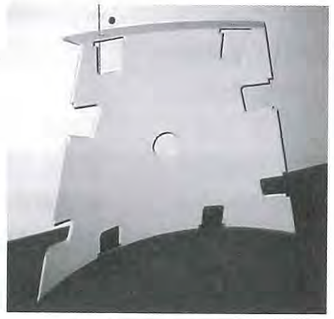
表-5に施工実績を示す．東京地下鉄(株)を中心に現在までに7件にEXPセグメントを設置した．写真-6はEXPセグメントを適用したセグメントの坑内写真である．繊維シートはコンクリート表面内に布設しているため，坑内においては一般部との景観的に差異は感じられず良好である．

(文責：荒井孝/(株)IHI建材工業)

③ HDライニングセグメント

3-1 開発の目的

シールドトンネル用のセグメントは，従来，下水や水を流す用途の場合，耐久性の向上や内面の平滑性を確保するために二次覆工を施工してきた．HDライニングセグメント(High Durability Tunnel Lining Segment)(以降「HDライニング」と称す)は，二次覆工の代替として，あらかじめ製造工場においてセグメントの内面を高耐久な樹脂パネルで被覆したセグメントである．これにより，二次覆工を施工する場合の問題点であるトンネル外径の増大を抑制することや二次覆工の工程を省略すること，更には粗度係数を小さくすることで主に導水路においてトンネル内径を縮小することなどを目的として開発したセグメントである(写真-7)．

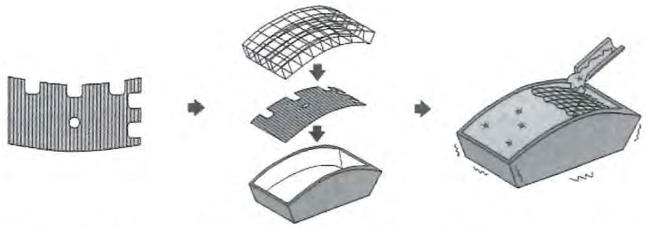


HDライニングパネル

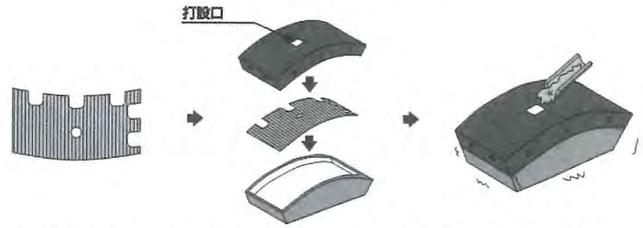


HDライニングセグメント

写真-7　HDライニングセグメント



(1) RCセグメントなど



(2) 合成セグメントなど

図-1　HDライニングの製造方法

3-2 HDライニングの概要

3-2-1 HDライニングの製造方法

HDライニングは図-1に示すように，あらかじめ製作したパネルをセグメントの型枠に固定し，鉄筋かごを挿入(もしくは鋼殻を固定)したあとにコンクリートを打設することにより製造する．これにより，内面被覆の精度確保やセグメントとの確実な一体化を実現している．

3-2-2 樹脂の材料特性

内面被覆材の要求性能と適応する試験を表-6に示す[4]．これらを満足する樹脂として，HDライニングではDCPD(ジシクロペンタジエン)用いている．DCPDは，炭素と水素だけで構成される液性の樹脂であり，一般のプラスチックと比べ省エネルギー性に優れたRIM成形法(Reaction Injection Molding：高圧噴射によって衝突混合させながら，密閉された金型内に注入することを特徴とする射出成形法)により，耐薬品性，耐摩耗性，耐衝撃性，耐熱性に優れた成形品が得られるという特徴を有する．本樹脂の材料特性を表-7に示す．

表-6　内面被覆材の要求性能と適応する試験

要求性能	適応する試験	試験の規格など
耐薬品性	長期硫酸水溶液浸漬試験 硫黄の浸透深さ測定(EPMAによる測定)	JIS K 5400(塗料一般試験方法/耐酸性)
セグメントとの一体性	付着試験	JIS A 6916(仕上塗材用下地調整塗材/付着強さ)
水密性	透水試験	JIS A 1404(建築用セメント防水剤の試験方法/透水試験)
変形性能	曲げ試験 ひび割れ追従性試験	日本道路公団規格(JHS 417-1999)
耐摩耗性	摩耗試験	ASTM D 968(落砂による有機コーティング材料の耐摩耗試験方法) JIS K 7204(摩耗輪によるプラスチックの摩耗試験方法)
耐衝撃性	耐衝撃性試験	JIS A 6916(仕上塗材用下地調整塗材/耐衝撃試験)

表-7　DCPD(ジシクロペンタジエン)の材料特性

項目	特性値	項目	特性値
比重	1.00g/cm^3	伸び	70%
硬度	95以上	圧縮弾性率	1,400N/mm^2
引張強さ	46N/mm^2	線膨張係数	7.5×10^{-5}/℃

3-3 性能確認試験

3-3-1 概要

表-6に示した性能確認試験として，耐薬品性試験と独自に実施した単体曲げ試験・継手曲げ試験，現地暴露試験および耐熱性試験について概説する．

3-3-2 耐薬品性試験

『コンクリート防食指針(案)』[4]では，D種の耐薬品性として耐酸性と耐アルカリ性について検討することが示されている．

ここでは，耐酸性の検討概要について述べる．耐酸性試験では，試験体を常温の10%硫酸水溶液に浸漬し，EPMA(電子線マイクロアナライザー)により浸透深さを測定した．検討ケースは，通常の状態，摩耗試験後の状態，補修後の状態の3ケースとした．1年間の測定結果と硫黄の浸透深さを拡散理論から10年，50年後を推定[5]した結果を表-8に示す．HDライニングのパネル厚さの4,000μmに対して浸透深さは十分小さいことを確認した．

表-8　試験結果

項目	試験結果			推定結果	
	120日	240日	240日	10年後	50年後
通常	7	40	40	92	205
摩耗試験後	0	0	0	30	67
欠損を補修	0	0	0	0	0



写真-8　単体曲げ試験の状況



写真-9　継手曲げ試験の状況

3-3-3 単体曲げ試験・継手曲げ試験

セグメント単体の耐荷力，セグメント継手の耐荷力およびパネルとの一体性を確認することを目

表-9　試験結果

項　目	単体曲げ試験		継手曲げ試験	
	規格値	実測値	規格値	実測値
設計荷重(kN)	53.0	—	54.9	—
破壊荷重(kN)	142.0	238.0	138.0	155.0

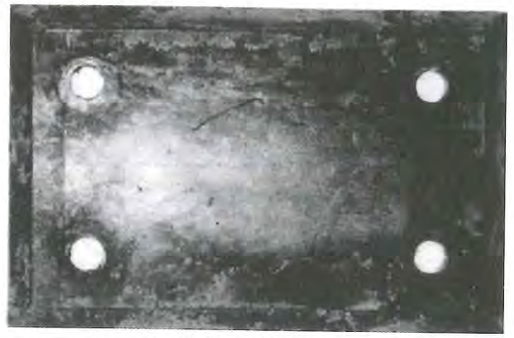


写真-10　試料の状況

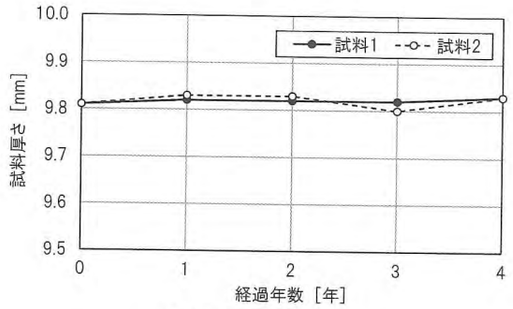


図-2　暴露試験結果

的として，単体曲げ試験と継手曲げ試験を行った(写真-8,9)．試験の結果，単体曲げ試験および継手曲げ試験とも規格値を有することをそれぞれ確認した(表-9)．セグメントとパネルの一体性については，単体曲げ試験および継手曲げ試験の各々において，セグメントの破壊荷重でもパネルの剝離が生じないことを確認した．

3-3-4　現地暴露試験

神戸市建設局・神戸市狐川改修工事において，試料を用いて現地暴露試験を行った．4年経過後の試料では，目立った変色や膨潤も見られず，また厚さに変化もなく異常のないことを確認した(写真-10，図-2)．

3-3-5　耐熱性試験

セグメントの製造時には，蒸気養生により高温環境下(一般に60～65℃)に曝される．そこで，耐熱性試験を行い，120℃でも異常がないことを確認した．また，過去の製造実績において実際のパネル温度を測定したところ，最高温度は約70℃であった．

3-4　今後の展開

HDライニングは，構造物の耐久性を飛躍的に向上させることが可能な技術である．また，粗度係数も小さいため，管渠の通水性能にも優れる．昨今，インフラの長寿命化や維持管理の容易性が求められており，そのニーズに対応できるものと考えられる．本稿が今後の同種工事や他工種の参考になれば幸甚である．

(文責：新井崇裕・鶴田浩一／鹿島建設(株))

④　アンカーシートセグメント

4-1　開発目的

下水道シールドトンネルでは，硫化水素に起因するコンクリートの腐食が問題となってきており，耐久性を要求されるシールドトンネルの構築には，防食性能の高いライニング工法の開発が不可欠である．アンカーシートセグメント(写真-11)は，品質・施工性・耐久性に優れたシールドトンネル内面防食被覆工法として開発された．

4-2　セグメントの概要と特徴

アンカーシートセグメント工法は高密度ポリエチレン樹脂製突起付き成形版(写真-12)を，シールドトンネル用RCセグメント製造用型枠内にあらかじめ設置し，コンクリート打設・硬化によってシートをコンクリートに固着させ，セグメント表面に防食被覆層を形成するシールドトンネル内面防食被覆工法である．

アンカーシートセグメント工法の特徴は以下のとおりである．

① シート裏面の一体成形によるハの字形突起がセグメントのコンクリートと一体化するため，施工性，コンクリートとの接着性に優れ，背面水圧による剝離がない．

② アンカーシートは『下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル』(日本下水道事業団)(以下「防食技術マニュアル」)シートライニング工法の品質規格「D_2種」に適合しており，耐酸性，耐アルカリ性，硫黄浸入に対する耐性などの耐薬品性に優れるほか，水密性，耐摩耗性，耐衝撃性にも優れる．

③ アンカーシート目地部は「防食技術マニュアル」塗布ライニング工法の品質規格「D_1種」に準じており，コンクリートとの接着性，耐酸性，耐アルカリ性，水密性に優れている．

④ シート表面の粗度係数が小さく，小断面の水路でも同じ流量を確保できるため，トンネルの仕上がり内径を縮小できる．

⑤ 製造工場でセグメント内面にシートライニングを施すことで二次覆工コンクリートの打設工程を省略できるため，工期の短縮が可能である．



写真-11　アンカーシートセグメント

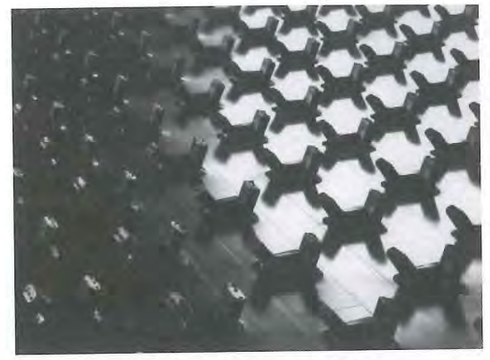


写真-12　アンカーシート裏面



接着性確認試験



耐摩耗性試験

写真-13　アンカーシートの性能確認試験

4-3　実験概要

開発にあたり，さまざまな性能確認試験を実施している．本稿では，以下に示す試験について詳述する．

4-3-1　アンカーシートの性能確認試験

アンカーシートの性能については，以下に示す項目に関して，「防食技術マニュアル」シートライニング工法の品質規格「D_2種」に適合することを確認する試験，および耐摩耗性，耐衝撃性を確認する試験を実施した．

(1)　被覆の外観試験

アンカーシートを500×500㎜に切断したものを供試体とし，アンカーシートの外観にしわ，むら，剝がれ，割れのないことを目視により確認した．

(2)　コンクリートとの固着性

500×500×200㎜のコンクリートにアンカーシートを固着したものを供試体とし，引張強度試験により固着強度が0.24N/㎟以上であること(平均0.73N/㎟)を確認した(写真-13)．

(3)　耐酸性試験

アンカーシートを100×100㎜に切断したものを試験体とし，10%硫酸水溶液中に60日間浸せき後，アンカーシートの膨れ，割れ，軟化，溶出がないことを目視によって確認した．

(4)　耐アルカリ性試験

水酸化ナトリウム飽和溶液中に60日間浸せき後，アンカーシートに膨れ，割れ，軟化および溶出がないことを目視によって確認した．

(5)　硫黄浸入試験

耐酸性試験で目視確認の終了した試験体を，引




写真-14 目地材の性能確認試験(耐酸性試験)




写真-15 セグメント取付け後の外観試験

続き10%硫酸水溶液中に120日間浸せきし，EPMA(電子線マイクロアナライザー)を用いて硫黄の浸入深さを測定した結果，浸入深さが1%以下であること(不検出)を確認した．

(6) 水密性試験

アンカーシートをϕ150㎜に切断したものを供試体とし，0.29MPaの水圧を1時間負荷した後，透水量を測定した結果，透水量の平均が0.15g以下であること(平均0.03g)を確認した．

(7) 耐摩耗性

寸法50×50㎜，厚さ2㎜のシートを用い，落砂量10kgの摩耗試験により摩耗量を測定した結果，摩耗量が0.001gとなり，硬質塩化ビニル管の摩耗量0.008gよりも低いことを確認した(写真-13)．

(8) 耐衝撃性

300×150×40㎜のコンクリートに固着させた試験体を用い，JIS A 6919 7.10項に規定する球形おもりを所定の高さから落下させる耐衝撃性能試験を実施し，表面にひび割れ，剝がれなどの異常がないことを確認した．

4-3-2 アンカーシート目地材の性能確認試験

目地材の性能については，以下に示す項目に関して，「防食技術マニュアル」シートライニング工法の品質規格「D_1種」に準じる品質を有すること



写真-16 コンクリートとの接着性・変形性試験

を確認する試験を実施した．

試験の結果，被覆(目地材)の外観に，しわ，むら，剝がれ，割れのないこと，コンクリートの接着性が1.5N/㎟以上であること(平均2.06N/㎟)，10%硫酸水溶液および水酸化カルシウム飽和水溶液に60日間浸せきしても被覆に膨れ，割れ，軟化，溶出がないこと，透水量が0.15g以下であること(平均0.10g)を確認した(写真-14)．

なお，硫黄浸入深さの項目に関しては，10%水溶液に120日間浸せきしたときの硫黄浸入深さが1,000μm以下であること(830μm)を確認した．

また，耐摩耗性，耐衝撃性についてもアンカーシートと同様の試験を行い，硬質塩化ビニル管の摩耗減量0.008gよりも低いこと(0.001g)，および耐衝撃性において異常がないことを確認した．

4-3-3 セグメント取付け後の外観試験

セグメント取付け後のシート表面の性状を確認するため，外径2,300㎜，厚さ150㎜，幅1,000㎜のアンカーシートセグメントをセグメント工場において製造し，外観試験を実施した．試験の結果，アンカーシートにしわ，むら，剝がれ，割れのないことを確認した(写真-15)．

4-3-4 コンクリートとの接着性・変形性試験

供用中の外荷重作用時のコンクリートとの接着性，変形性を確認するため，両端可動の単純支承としたセグメント載荷試験を実施した．その結果，設計荷重を載荷した状況においても，アンカーシートに剝離，破断のないことを確認した(写真-16)．




写真-17 粗度係数測定試験





写真-18 目地部の水密性確認試験

表-10 アンカーシートセグメント実績

No.	発注者	工事件名	内径(㎜)
1	横浜市下水道局	中部処理区北仲幹線下水道整備工事	2,350
2	伊丹市建設部	渕雨水ポンプ場建設工事	2,000
3	浜松市上下水道部	中央浅田幹線外1線管きょ築造工事(第1工区)	2,800

4-3-5 粗度係数測定試験

セグメント表面の平滑性を確認するため，可変勾配水路を用いて粗度係数測定試験を実施した．測定の結果，モルタルの平均粗度係数0.014に対しアンカーシートの平均粗度係数は0.010であり，粗度係数が小さいことを確認した(写真-17)．

4-3-6 目地部の水密性確認試験

アンカーシートセグメント目地部の水密性を確認するため，0.5MPaの外水圧を作用させ1時間保持する水密性確認試験を実施した．その結果，漏水は認められず，目地部が0.5MPaの外水圧に対して水密性を有することを確認した(写真-18)．

4-4 実施工への適用

アンカーシートセグメントはさまざまな試験により実用化され，これまでに3件の実績があり，いずれも，下水道トンネルに適用されている(表-10)．

ボルトボックスのあるセグメントを使用した場合，後工程で穴埋め作業が必要となるが，内面平滑型のワンパスセグメント(写真-19)を用いると穴埋め作業が不要になり，施工効率が格段に向上する．今後も厳しい腐食性環境条件の下水道トンネルを中心に，展開を図っていく所存である．



写真-19 ワンパスセグメントへの適用事例

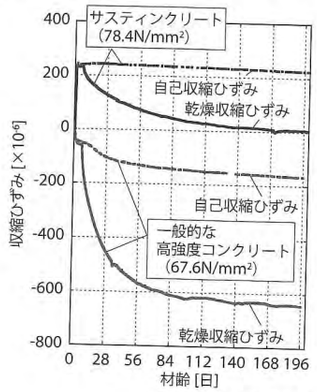
(文責：服部鋭啓・西森昭博/(株)大林組)

参考文献

1) 引間昭光・木村定雄・橋本博英・倉木修二・水上博之：コンクリート系セグメントの表面補強材としての繊維シートの適用(1)，土木学会第59回年次学術講演会，VI-6，2004.9.
2) 玉井攻太・木村定雄・菊弘樹・松浪康行・栗原陽一：コンクリート系セグメントの表面補強材としての繊維シートの適用(2)，土木学会第59回年次学術講演会，VI-7，2004.9.
3) 玉井攻太・木村定雄・松浪康行・倉木修二・水上博之：コンクリート系セグメントの表面補強材としての繊維シートの適用，トンネル工学報告集，Vol.14，pp.384-394，2004.11.
4) 日本下水道事業団：コンクリート防食指針(案)，1997.6.
5) 下水道新技術推進機構：下水道シールドトンネルの内面被覆工法技術資料，2002.3.
6) 下水道新技術推進機構：建設技術審査証明「アンカーシートセグメント工法」，大林組，タキロンエンジニアリング，2009.3.
7) 藤井亜紀・沖川雅春・守屋洋一：内面被覆セグメント〈アンカーシートセグメント〉の水路シールドトンネルへの適用，第43回下水道研究発表会講演集，2006.

工法・技術・製品ニュース

製品 高性能コンクリート「サスティンクリート™」を開発



収縮ひずみの測定例

三井住友建設(株)
TEL. 03-4582-3015
E-mail: information@smcon.co.jp

三井住友建設は，東京大学大学院工学系研究科野口貴文教授，東京理科大学理工学部兼松学教授と共同で，高性能コンクリート「サスティンクリート™」（特許出願済み）を開発したと発表した．

同製品は，「超低収縮」「超低発熱」「超低炭素」「高流動」「高強度」の5つの特徴を併せ持った高性能コンクリート．ひび割れのリスクがほぼゼロだけでなく，コンクリート構造物の生産性，デザイン性，環境配慮性も高めることで，建築物から社会インフラにわたる建設産業，さらには社会全体の持続可能性に貢献するコンクリートで，一般的なコンクリートに使用される材料で製造できるため，新たに特別な設備や材料を必要としないとしている．

高強度コンクリート（70N/㎟以上）で，かつ，ひび割れの原因となる，乾燥収縮と自己収縮のどちらもほぼゼロなほか，硬化時の発熱が極めて小さく，マスコンクリート対策が不要（温度ひび割れゼロ）となる．また，ポルトランドセメントを使用しない条件でも製造が可能であり，CO_2排出量の削減が可能．流動性も高く，充填不良による不具合の防止や，作業の省力化を図れるという．

同社は今後，サスティンクリートの性能をさらに高める研究開発を進め，適用範囲を広げてゆきたいとしている．

製品 オフロード法2014年基準をクリアするアーティキュレートトラック


Cat® 745

キャタピラー
GCI マーケティングイノベーション
TEL. 045-682-3553

キャタピラージャパンは，Cat® 745および740EJアーティキュレートトラックの発売を開始した．

両機は，オフロード法2014年基準に適合している．旧モデルから一新されたキャブや新型トランスミッションとホイストコントロール統合レバーの採用により，オペレータ環境が向上した．また，燃料生産性のアップ，燃料消費量の削減を実現している．過積載の防止などに効果的な積載量計測システムのCatプロダクションメジャメント（CPM）の装備も可能となっている．

ホイストコントローラーは従来のレバータイプから指で軽く操作可能なスイッチタイプに進化し，トランスミッションコントロールレバーに統合された．オートホイストコントロール機能によりスイッチ一つの操作で，ホイスト上げ，ギアニュートラル，エンジン回転アップが自動で行われ，オペレータの労力が大幅に低減されるだけでなく，スムーズな排土，復帰作業が可能になり作業効率が向上するとしている．

また，完全自動のデフロック制御によりオペレータの操作が不要になり，走行状態や操作状況に応じて最適なデフロックを最適な圧力で制御し，泥濘地や不整地においても優れた走行性能を発揮する．車両への負担やタイヤの摩耗を軽減することができ，また，乗り心地も大幅に改善した．車両の傾きを検知し，警告を発することで車両の転覆事故を低減するスタビリティアシスト機能を搭載しており，トラクタ，トレーラ，勾配のそれぞれの角度を監視することによって，車両が転倒する危険性をオペレータに認知させることができる．より危険なレベルの警告はログが記録され，VisionLink経由での確認が可能．

一般社団法人
日本トンネル技術協会
会　報

1. 会員の現状

	2月28日現在
個人会員	849名
団体会員	205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	1,503名

2. 委員会の開催状況（2月1日～28日）

◎総務委員会
・広報小委員会
会誌WG(2/7)
小山幸則主査ほか9名，3月号の会誌と3か月計画を検討

◎事業委員会
・事業委員会(2/26)
入江健二委員長ほか15名，催物開催結果報告と今後の開催を検討

◎国際委員会
・海外文献小委員会
海外ニュースWG(2/22)
篠原慶二幹事ほか7名，海外文献の査読

◎技術委員会
・山岳工法小委員会
地山評価WG(2/9)
木谷日出男主査ほか14名，Q＆A作成方針を検討
支保WG(2/16)
佐原圭介主査ほか17名，変状事例の情報交換

◎受託研究特別委員会
・既設・新設接合特別委員会(2/22)
二羽淳一郎委員長ほか30名，大規模設計時の耐震設計手法ほかを検討
・北海道新幹線施工技術委員会
非常時対応小委員会(2/27)
小山幸則委員長ほか29名，報告書(案)を検討

合計　7回開催　128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2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
横浜環状北西線シールド工事現場研修会(青葉行きトンネル)	2018. 2. 8	28	神奈川	2.0
新東名高速道路トンネル建設工事現場研修会(高取山トンネル)	2018. 2.16	20	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	48	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

2018施工体験発表会開催のお知らせ

事業委員会

恒例のトンネル工事に携わっている現場技術者による施工体験発表会は，下記のとおり開催することとなりましたので，多数ご参加くださいますようお知らせいたします.

なお，プログラム，申し込み方法などについては，4月上旬にホームページに掲載する予定です.

■第82回施工体験発表会(山岳)

テ ー マ：「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―」

近年，山岳トンネルは，新設，改良を問わず，難しい立地条件における高度な施工が求められているとともに，工事区域の住民や生態系などの環境への配慮も不可欠となってきており，各種補助工法や新技術，創意工夫などの技術を駆使して施工がなされている．また，一方では，合理的かつ品質の良い構造物の施工も求められている．このため，今回は「課題克服に取り組んだトンネル工事―新技術，創意工夫，周辺環境への配慮―」をテーマとして募集する.

開 催 日：平成30年6月27日(水)

開催場所：発明会館 地下ホール

■第83回施工体験発表会(都市)

テ ー マ：「市街地におけるトンネル・地下構造物の新設および改良工事」

開削，非開削を問わず，また，トンネル工事だけでなく，地下構造物工事の新設，改良・再構築，補修などにおいて，各種課題を克服した国内外における体験を幅広く募集する.

開 催 日：平成30年6月28日(木)

開催場所：発明会館 地下ホール

5月号予告[5月1日発売予定]

●樹脂注入による豆板補修工法を用いたトンネル覆工の補修事例
●国道106号　下川井トンネル
●横浜環状北線　馬場出入口シールド
●東北中央自動車道　三吉山トンネル
●東京電力　新座洞道
【連載講座】
●セグメントの新技術Ⅱ(6)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆2月9日，東京都台東区浅草2丁目のビル工事現場で，掘削作業中，凌雲閣（りょううんかく）の遺構とみられる煉瓦が見つかったとの新聞記事がありました．これを見た近代建築ファンなどが工事現場に集まりだし，煉瓦の一部が希望者に配られはじめると，それを受け取った人がSNSなどに投稿するなどして，煉瓦の配布の情報が拡散され，一時は多くの人が詰めかけたそうです．凌雲閣とは1890年に東京・浅草公園内に造られた12階建ての展望塔ですが，1923年の関東大震災で半壊し，その後，爆破処理されたということです．その記事の掲載から2，3日経ったころ，友人から，「件の煉瓦片を入手した．おまえも欲しがるだろうから余分に貰っておいた．ついては受け取り可能な日時を知らせよ．」との連絡が入りました．貰った煉瓦片は，モルタル(？)がところどころにへばりついた，5cm角ほどのものが数片で，じっさいのところ産業廃棄物として処理される寸前だった，ただ瓦礫です．ただ，手に取ると，明治の末，石川啄木が塔下苑と名付け，さまざまな欲望を抱えて彷徨した界隈の足元に埋まっていたものか思うと感慨深いものです．記録のない残置埋設物は，支障物としてできれば避けたいものとして扱われるのが常でしょうが，今回の発見にかぎっては，私にとっては，まれな経験をさせてもらった貴重な機会と思っています．

(K.K.)

★購読の申し込み，または，送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください．
★(一社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(一社)日本トンネル技術協会へご連絡ください．

トンネルと地下
第49巻 第4号〔通巻572号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成30年3月20日　印刷
平成30年4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．

吸引ダクトが無くても全ての断面、全ての延長に対応

たった37kWで2,750m³/min イーダスコ270使用時

トンネル工事用 電気集じん器
e-DUSCO
イーダスコ240/イーダスコ270
ファン動力30kW　ファン動力37kW

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

経済産業省後援
第39回優秀環境装置
日本産業機械工業会 会長賞

全てのトンネルに適用可能！



●クラス最高の集じん効率95%※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



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

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

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

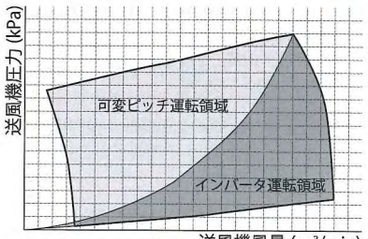
トンネル工事の必需品

可変ピッチ軸流送風機　ＢＩＧ－ＬＯＧ



BIG-LOG は当社の開発商品です

○可変ピッチとは……必要に応じ羽根の角度を変えて風量調整をおこなう方式　（右上図）
○風量を減らした場合でも圧力変動が少なくインバーター制御には無い幅広い運転領域を確保できます　（右図）
○風管抵抗に合わせて自動可変をおこない圧損調整をするため無駄な電力を消費しません
○風量設定が数値で出来るため一定風量で運転が可能（風量の見える化）



型　式	能　力	電　動　機	騒　音　値 機側 5m
CDH1120-30-60(4)W	1000m³/min × 3.92/4.9kPa 1500m³/min × 3.5/2.6kPa	60kW×4P×2 台 50/60Hz　400/440V	74 ｄＢ
CDH1250-26-80(4)W	1500m³/min × 3.92/4.9kPa 2000m³/min × 1.76/1.76kPa	80kW×4P×2 台 50/60Hz　400/440V	74 ｄＢ
CDH1250-26-110(4)W	2000m³/min × 4.11/4.9kPa 3000m³/min × 1.8/2.45kPa	110kW×4P×2 台 50/60Hz　400/440V	74 ｄＢ
CDH1400-30-175(4)W	3000m³/min × 4.6/4.9kPa	175kW×4P×2 台 50/60Hz　400/440V	77 ｄＢ

※2 段で記載の機種はどちらか選択ができます

長距離でも無駄な風量を自動制御できるという可変式の特性を活かした省電力システム「ｉ-Ｒｅｓ」を開発しました

SUGA スガキカイ

菅機械工業株式会社

URL http://www.suga-kikai.co.jp

本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町13番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460





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)