平成30年5月1日発行第49巻第5号
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

デンカのトンネル関連技術

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

デンカが誇る信頼の急結剤「デンカナトミック」

驚異の低粉じん吹付けが可能！
『デンカクリアショット工法』
KT-080020VR

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

クリアショット吹付け状況（２ノズル吹付け）



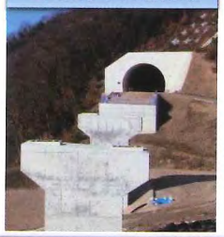
写真提供：宮古盛岡横断道路　新区界トンネル工事

覆工コンクリートの品質向上技術

トンネル覆工ひび割れ抑制に
『デンカパワーCSA TYPE-T』 KT-130059A
・トンネル専用膨張材
・乾燥収縮、温度ひび割れ抑制に

後添加型中流動コンクリート混和剤
『ADVA-PLUS』 JIS A 6204適合
・過大な粘性を与えることなく、分離抵抗性を向上します

『CSA』でひび割れ抑制



『ADVA-PLUS』を現場で投入



その他 トンネル関連技術・製品

可視型はく落防止工法（NEXCO規格対応工法）
『NAV－G工法』 KT-100023A
・アクリル系樹脂の特徴である速硬化性、低温硬化性で、寒冷地、時間制限のある工事で工期の短縮が可能
・透明度の高いFRPを形成し、施工後も目視観察が可能

トンネル中央排水工・裏面排水工 コルゲート管
『トヨドレン』
・ポリエチレン樹脂製で腐食に強く耐衝撃性に優れます

『NAV-G工法』可視化技術



繊維シート貼付け後も、
ひび割れの経過観察が可能です

トヨドレン



できるをつくる。 Denka

デンカ株式会社
東京都中央区日本橋室町2-1-1　日本橋三井タワー
www.denka.co.jp　Tel: 03-5290-5358

定価 1,620円　雑誌06619-5
本体価格1,500円

4910066190583
01500

5
573号
トンネルと地下

平成30年5月1日発行（毎月1回1日発行）　第49巻第5号　通巻573号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 5

vol. 49
no. 5
2018

Tunnels and Underground

斜め坑門などによる坑口部崖錐法面への安定化対策
重要構造物に近接した急曲線・急勾配の大断面シールドの施工
路盤下変位計測を活用した対策工により膨張性地山を掘削
火災により劣化した洞道コンクリート躯体の調査ならびに補修事例
豆板注入補修工法のトンネル覆工への適用

日本トンネル技術協会誌

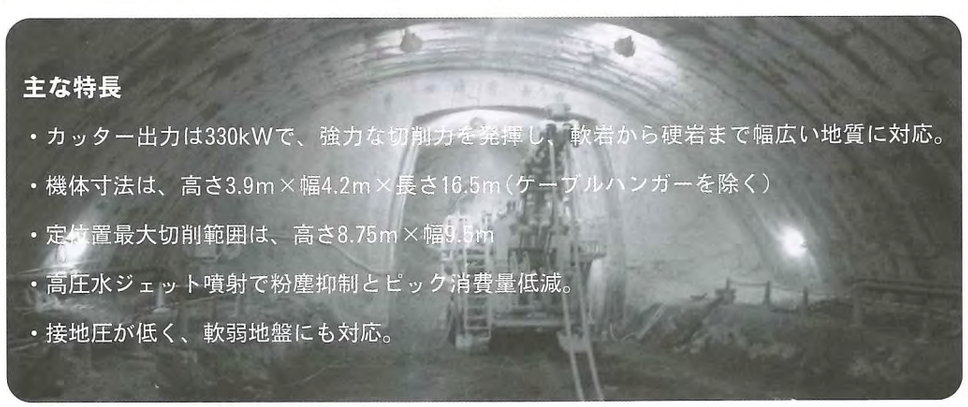


●路盤下変位計測を活用した対策工により膨張性地山を掘削　vol. 49　no. 5　2018

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー





主な特長

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

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

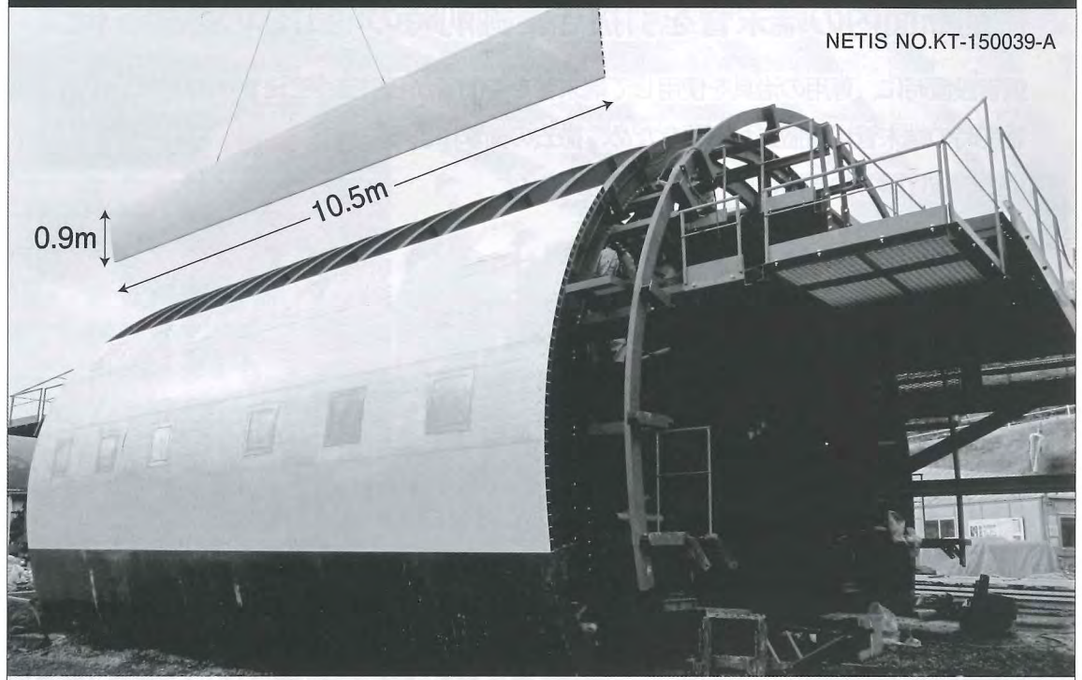
http://www.kyb-ksm.co.jp

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

NEW

トンネル覆工初期養生FRP工法
～ハイブリッドフォーム誕生～

NETIS NO.KT-150039-A



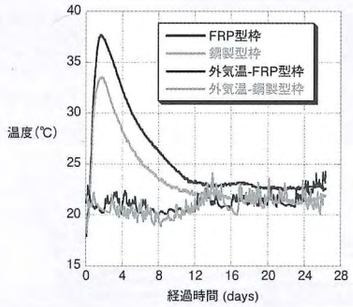
■透気試験実施



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

■覆工コンクリート温度の経時変化

［宮崎大学との共同研究により、㈱フジタ 古江トンネル南にて測定］



◎3～4℃の保温効果により、コンクリート強度が15～20%向上

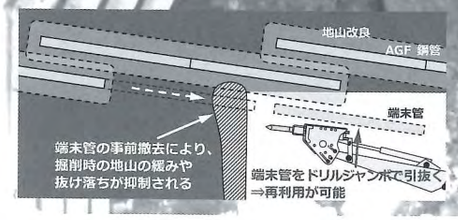
M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

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

日本で生まれ、世界へ広がる。NATMの補助工法

掘削断面内の端末管を引抜き、掘削時の地山への影響を低減

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

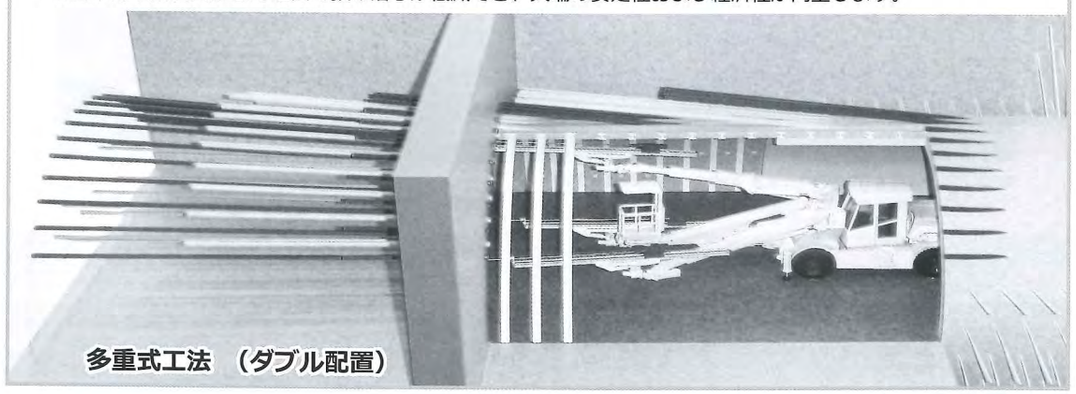


NETIS登録番号：CB-150001-A

AGF－Tk工法

多重式長尺フォアパイリング　NETIS登録番号：CG-130024-A

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



多重式工法　（ダブル配置）

▶補助工法ラインアップ　注入式フォアポーリング　/　各種長尺フォアパイリング　/　エコリムーブ工法
パノラマ工法（φ60.5MRS、φ76.7、φ89.1）



地山内の固結状態

スーパーＳＲＦ　シリカレジン系注入材

●地山改良効果に優れ、湧水下でも発泡・固結

●水に溶解しないため、白濁や泡立ちが発生しない



混合直後



10分後

KOD-M（カバード・エム）ウレタン系減水・止水材

●帯水地山でのトンネル掘削工事における切羽の安定

●帯水弱層における補強および減水、止水

●コンクリートクラックの漏水補修（トンネルや水路等）

多岐にわたり適用可能



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

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

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

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

高耐食性めっき「ZAM®」鋼管を採用した膨張型摩擦式ロックボルト

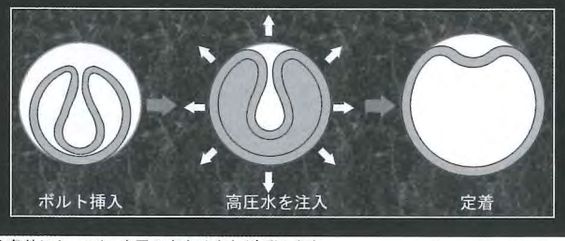
RPE ROCKBOLT

RPE ロックボルト

RUST PROOFING EXPANSIVE

「鋼管膨張型摩擦式ロックボルトの進化形」

即効性、耐湧水性、定着材不要による省力化。
高耐食性めっきによる半永久的な機能が期待できます。※1



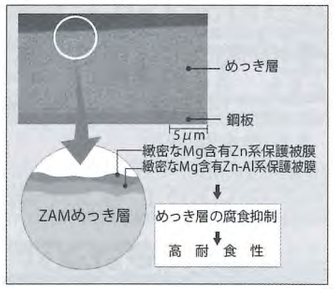


※1 地山条件によってめっき層の寿命は大きく変動します。

①「RPE ロックボルト」の特徴

- 施工後、直ちに地山支保性能を発揮します。
- 摩擦抵抗による定着のため、定着材は不要です。
- 定着材の養生が必要ないため、湧水時にも使用できます。
- 定着材の空袋が発生しないことから産業廃棄物の低減が図れます。
- 「ZAM®めっき」は、他の亜鉛めっきと比較し、硬度が高く傷が付きにくいめっき構造です。また、施工時の膨張によるめっき層の剥離はありません。
- pH4～12 の地山条件において優れた耐食性を発揮します。
- 耐力 180kN タイプには高張力鋼を使用、軽量化により取り扱いが容易です。

◎ZAMの耐食機構



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

②「RPE ロックボルト」の仕様

■ RPE ロックボルトの種類

呼称	RPE120	RPE180
耐力(kN)	120 以上	180 以上
推奨穿孔径(mm)	φ 45～φ 51	φ 45～φ 51
鋼種	NTRB-400	NTRB-540
本体外径(母材鋼管)(mm)	φ 36(φ 54×2.0t)	φ 36(φ 54×2.3t)
単位質量(kg／m)	2.6	2.7
破断伸び(%)	35 以上	20 以上
標準長さ(m)	(2.0),3.0,4.0,(6.0)	3.0,4.0,6.0

※標準長さの( )内は、受注生産になります。



（RPE ロックボルト施工状況）

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

高耐食性めっき「ZAM®」鋼管を採用した膨張型摩擦式ロックボルト

高耐力 RPE ロックボルト

ついに鋼管膨張型摩擦式ロックボルトの高耐力化を実現。

- **290KN** 耐力。
- 瞬時に定着力確保。
- ナット・ワッシャーによる締め付けが可能。



呼称	高耐力 RPE ロックボルト
耐力(kN)	290 以上
推奨穿孔径(mm)	φ58～60
本体外径 (mm)	φ45(φ63.5)
厚さ(mm)	3.85
標準長さ(m)	3.0,4.0,6.0

RPE-G

ＲＰＥロックボルトの可能性を広げた定着注入機構。

RPE-G を拡管定着させて、先端コーンを破裂させた後に

- 水抜き管として使用できます。
- 止水注入管として使用できます。
- 地盤改良管として使用できます。





（モルタル系注入イメージ）



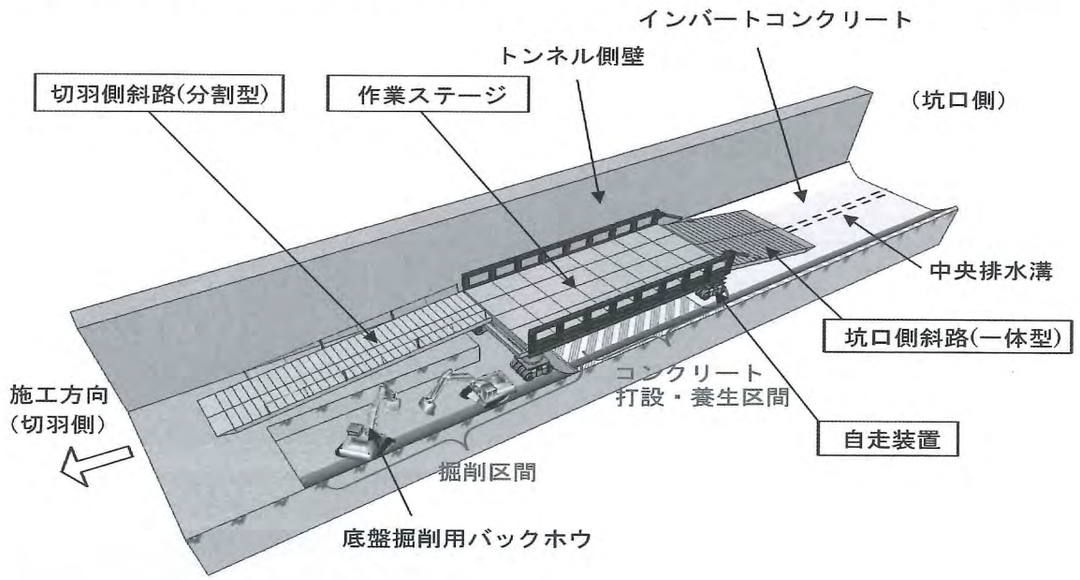
（排水カプラ設置状況）

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

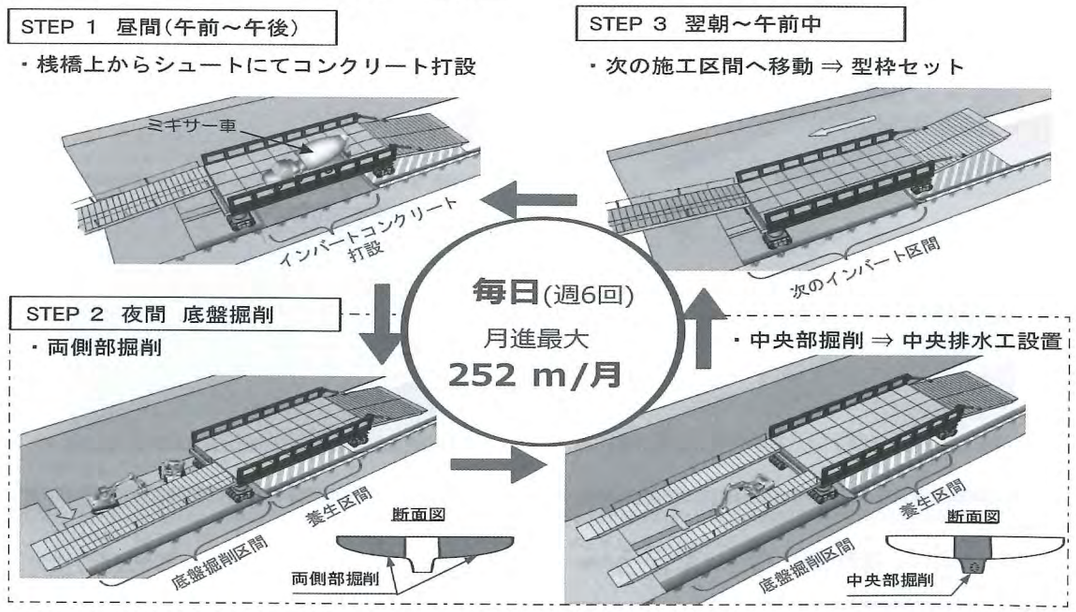
急速施工

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



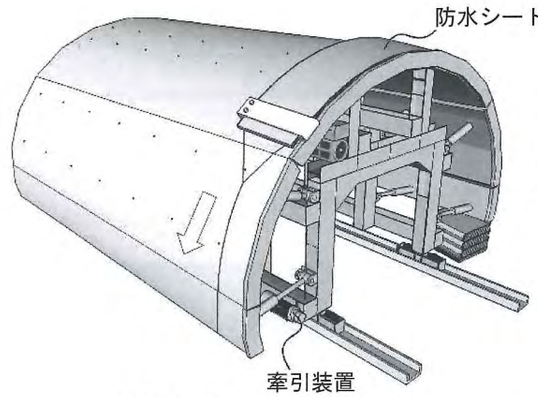
生産性向上

フィルム用長尺防水シート

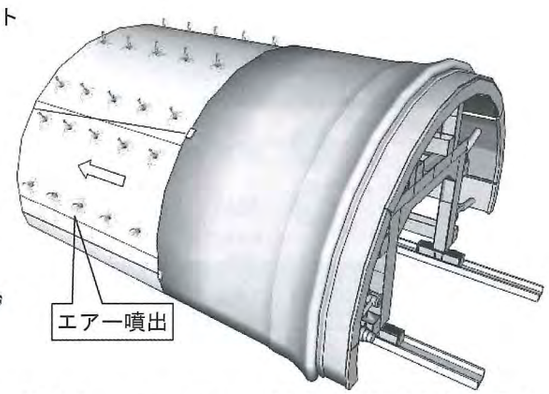
特徴

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)

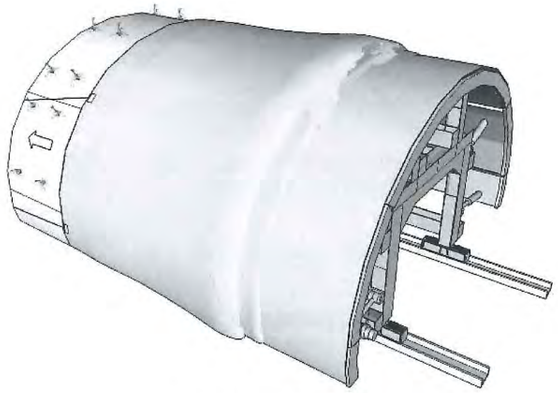
施工方法



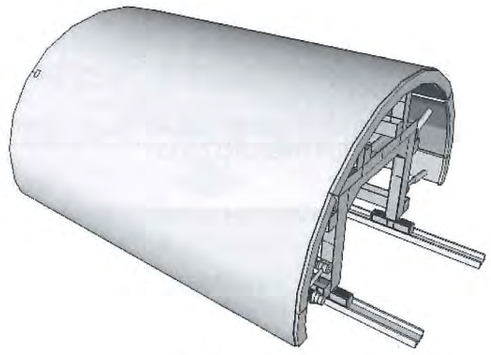
STEP 1　シートを端部に設置



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

Stronger（ストロンガー）～水発泡ウレタン系 湧水抑制材～

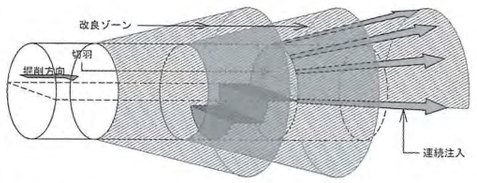
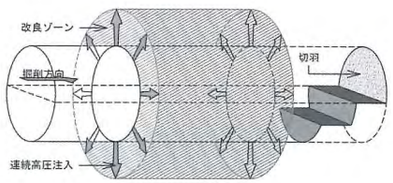
»「Stronger」による地山改良は湧水による様々な不具合を解消するリスクマネジメントです。



「**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>>

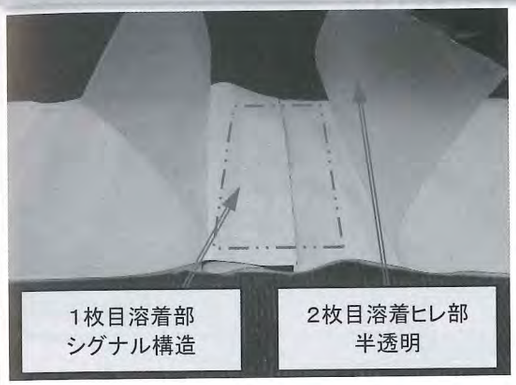
プレ-インジェクション（切羽前方の地盤改良）	ポスト-インジェクション（切羽後方の地盤改良）
	
》対象区間 トンネル内への湧水の引き込みにより、切羽の不安定化等が懸念される区間 》注入範囲 掘削前の切羽前方のトンネル周囲 》目的 切羽前方のトンネル周囲地盤の透水性を低下させ、掘削に伴う地下水の引き込みを抑制させる。	》対象区間 トンネル内への湧水の引き込みにより、周辺環境への影響等が懸念される区間 》注入範囲 掘削後の切羽後方のトンネル周囲 》目的 トンネル周囲地盤の微細な水みちを充填し、恒久的に続く地下水の引き込みを抑制させる。

<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

Wバリアシート ～二重溶着式防水シート～

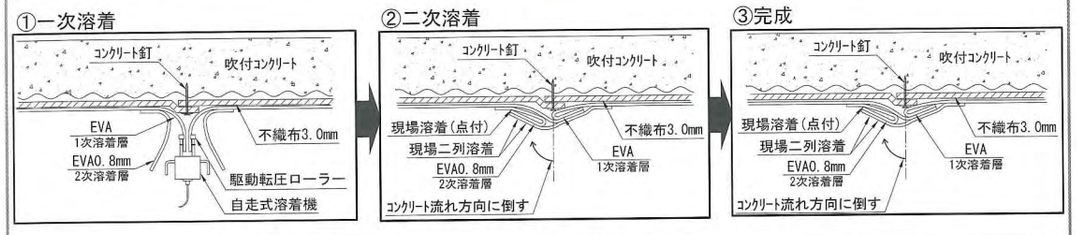
NETIS:KT-150067-A



【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！

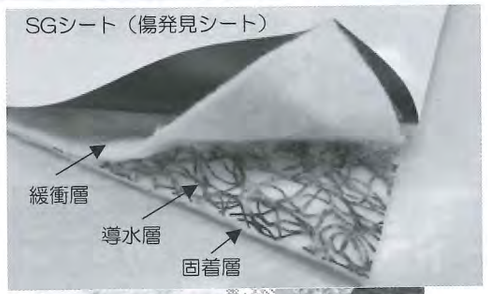
【破損部の傷発見機能】
本体部は傷発見型の白黒構造（SGシート）でヒレ部を透明にすることでシート表面の損傷が目視で発見！

【従来と同様の施工機械で対応可能】



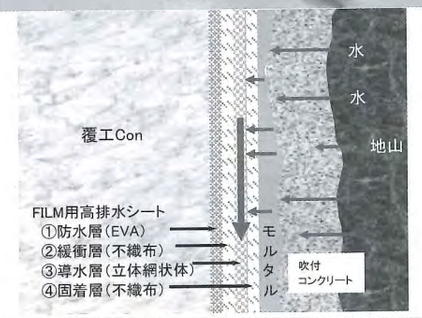
FILM工法用 高排水シート

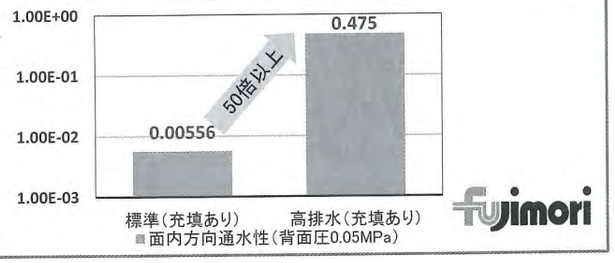
NETIS:KT-150067-A



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

貴社の〝やりたい〟を叶えます

大断面用新機種

超余裕の積込能力266㎥/h!

《PC450LC-11》
3.5㎥ローディングショベル



多彩な輸送パターンを演出!



《K-40NDT》
40t20㎥積コンテナ
着脱式ズリ運搬車

驚異の吹付範囲 (幅24m/高さ15m) を実現!



《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

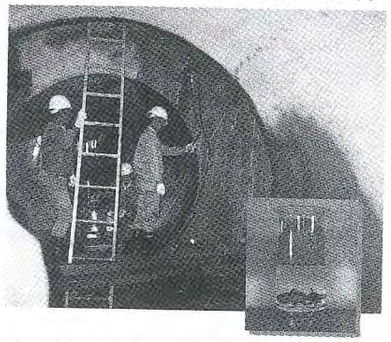
《西日本カンパニー》
■関西支店
TEL:072-677-2101
■九州支店
TEL:0982-26-2111
■福岡営業所
TEL:092-976-6331

急結性・高性能裏込注入材
セットフォーム工法
NETIS CB-040060-V



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

漏水を瞬時にストップ!
SF-A工法
長期耐久性に優れた無溶剤タイプのウレタン系止水材



●山岳トンネル,下水道,共同溝,地下鉄,地下室,その他地下構造物の漏水補修
●地下構造物の背面空洞の充填
●地盤や岩盤の止水，および固結安定

ケミカルフォーム協会会員

旭ケミテック株式会社	〒150-0002	東京都渋谷区1-9-8	TEL 03-3486-5471
アルス株式会社	〒950-0944	新潟県新潟市中央区愛宕1-4-25	TEL 025-280-0337
株式会社内田工業	〒332-0032	埼玉県川口市中青木2-12-2	TEL 048-257-0848
エコシビックエンジ株式会社	〒135-0047	東京都江東区富岡1-12-4み満きビル	TEL 03-3643-7241
エスイーリペア株式会社	〒811-1313	福岡県福岡市南区日佐5-15-24	TEL 092-585-5133
MC山三ポリマーズ株式会社	〒103-0012	東京都中央区日本橋堀留町1-2-10イトーピア日本橋SAビル	TEL 03-3662-0253
株式会社共和	〒462-0846	愛知県名古屋市西区浮野町91番	TEL 052-508-6927
四国リニューアル株式会社	〒780-8027	高知県高知市高見町325-6	TEL 088-832-3320
株式会社シーテクノ	〒371-0017	群馬県前橋市日吉町3-22-3	TEL 027-235-5498
ショーレジン株式会社	〒104-0032	東京都中央区八丁堀3-14-4直平ビル	TEL 03-3551-8391
株式会社総合開発	〒768-0065	香川県観音寺市瀬戸町2-14-16	TEL 0875-25-4162
ナトリ株式会社	〒060-0052	北海道札幌市中央区南2条東4-6-1	TEL 011-251-8151
日本綜合防水株式会社	〒171-0022	東京都豊島区南池袋3-11-10ペリエ池袋	TEL 03-5950-8211
株式会社デーロス・ジャパン	〒921-8005	石川県金沢市問明2-70	TEL 076-229-7260
林建設工業株式会社	〒998-0023	山形県酒田市幸町1-6-6	TEL 0234-23-3322
北陸エースコン株式会社	〒920-1303	石川県金沢市辰巳町ロ21番地	TEL 076-229-0050
北海道エースコン株式会社	〒062-0935	北海道札幌市豊平区平岸5条9-6-24	TEL 011-813-1818
前田産業株式会社	〒755-0032	山口県宇部市寿町3-5-23	TEL 0836-21-2666
株式会社マイティー	〒003-0822	北海道札幌市白石区菊水元町2条4-4-10	TEL 011-875-7030
株式会社マシノ	〒733-0822	広島県広島市西区庚午中1-19-23	TEL 082-507-2737
株式会社松井商店	〒062-0902	北海道札幌市豊平区豊平2条1-1-1	TEL 011-820-8688
株式会社マノール	〒120-0047	東京都足立区宮城2-4-16	TEL 03-3927-1331
株式会社三原工業	〒531-0074	大阪府大阪市北区本庄東1-22-3四本ビル	TEL 06-6371-9947

協会事務局
〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町1-2-10イトーピア日本橋SAビル MC山三ポリマーズ(株)内
TEL 03-3662-0253 http://www.chemicalfoam.jp

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

コンクリートの劣化,欠陥箇所の改修,補修……

急硬性改修モルタル
ドクターQ改修工法



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

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

エアモルタル裏込め注入……
エスコート
L&K起泡剤

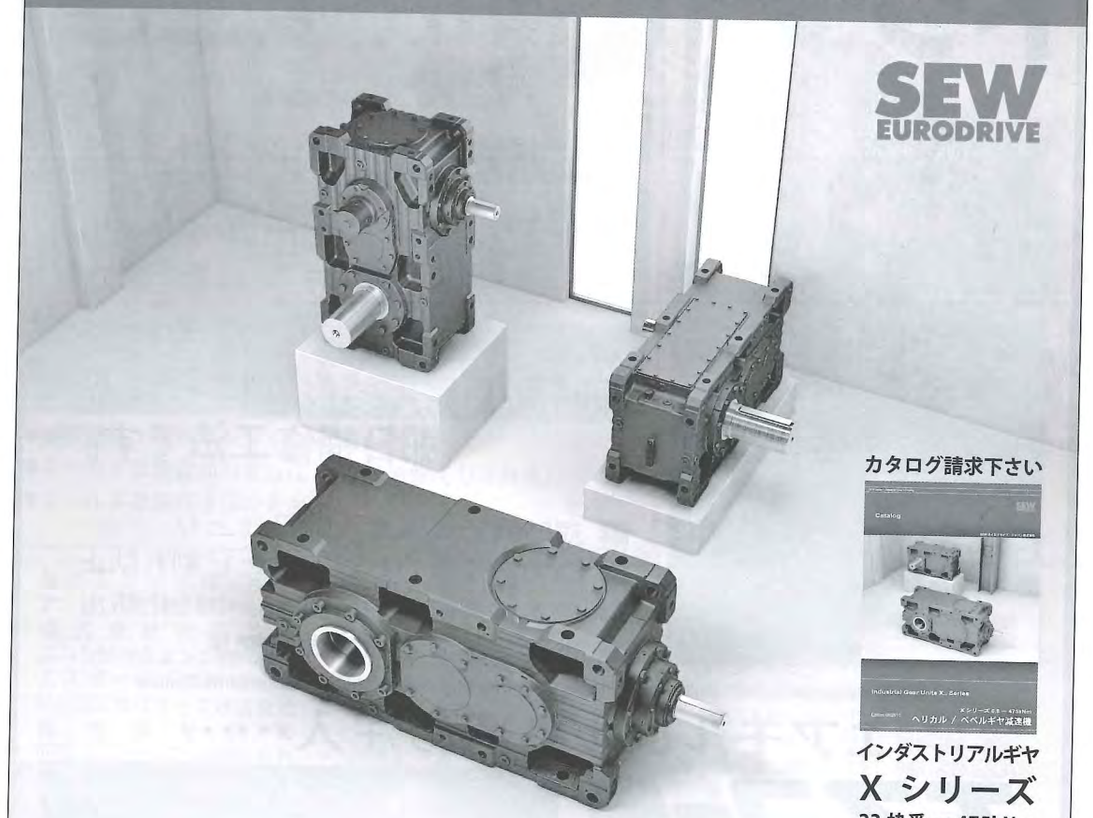


- 強力な分散性と安定した流動性
- ノーブリージング
- 任意の強度の選定
- セメント，骨材の種類が任意

◆土木資材の綜合プランナー◆
株式会社マノール 〒120-0047 東京都足立区宮城2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)

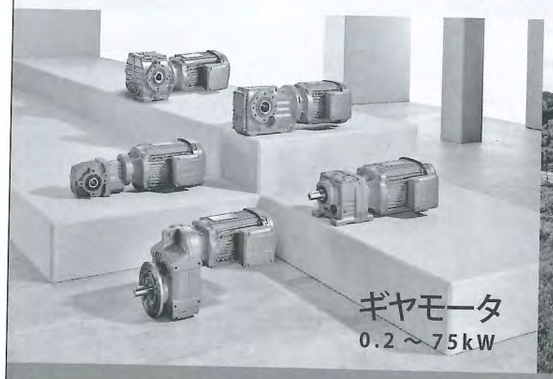
≪京都工場組立開始 !!≫ SEW の X シリーズ

・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

SEW 検索

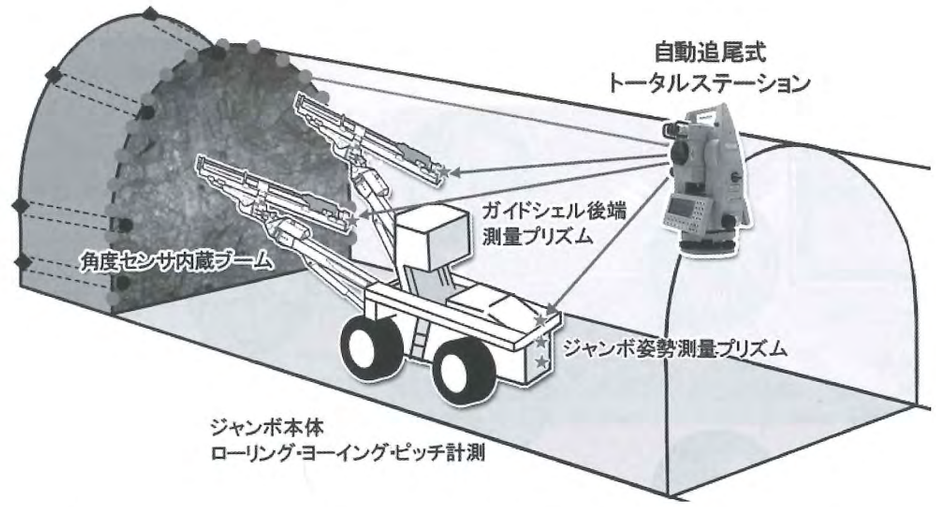
本社・磐田工場：静岡県磐田市　京都工場：京都府相楽郡精華町
東京(営)03-5408-0521　名古屋(営)052-228-8608　大阪(営)06-6444-8330　福岡(営)092-291-3600

NETIS登録番号:KK-100049-A

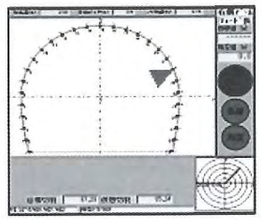
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省　公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社
〒272-0832　千葉県市川市曽谷8-16-3
TEL:047-371-3191　FAX:047-371-3190

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

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





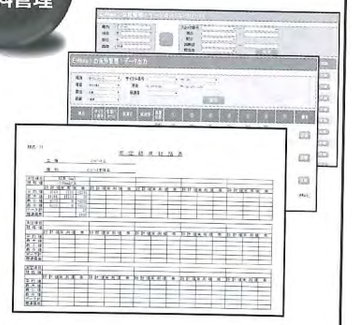


職員パソコン





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 演算工房
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



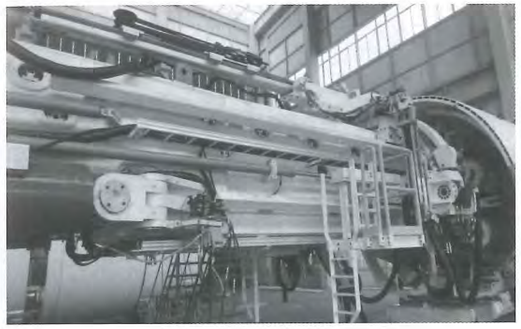
Jumbo ロックツールス

DRISS®

穿孔探査システム

Drilling Survey System

平成26年度　準推奨技術
（新技術活用システム検討会議（国土交通省））



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



一般仮設配管材

ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO., LTD.

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

本　　社　〒116-0014 東京都荒川区東日暮里 6-16-8
☎(03)3806-3377 fax(03)3806-8461 Email：tokyo@drill.co.jp
URL：http://www.drill.co.jp
関西支店　〒657-0864 兵庫県神戸市灘区新在家南町5丁目8番4号
☎(078)802-5551 fax(078)802-5528 Email：kansai@drill.co.jp
九州営業所　〒830-0021 福岡県久留米市篠山町 12-3-301
☎(0942)27-5992 fax(0942)27-5993 Email：kyusyu@drill.co.jp
兵庫工場　〒679-1332 兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端 454-3
☎(0795)36-0461 fax(0795)36-0467 Email：hyogo@drill.co.jp
千葉ＤＣ　〒270-1616 千葉県印西市岩戸 3578-1
☎(0476)99-0810 fax(0476)99-0817 Email：chiba@drill.co.jp

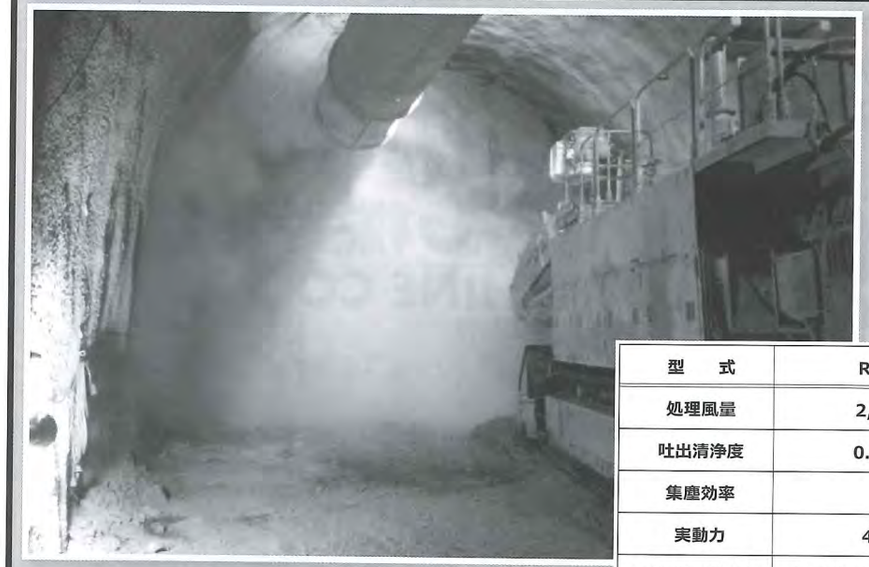




動力60%低減実現！（当社従来比）

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

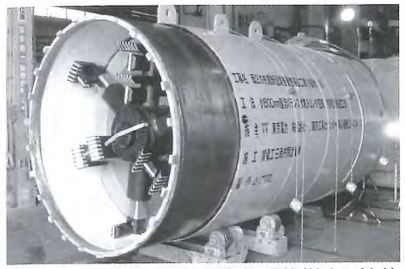
最適環境を創造する
株式会社 流機エンジニアリング

〒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)

超流バランスセミシールド工法　超流セミシールド協会

貫入リング押出し回転切削型接合工法



φ1500mm 貫入リング回転切削型掘進機（接合切削時）

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

貫入リング回転切削型接合工法の特徴

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

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法



φ1016mm鋼管対応リターン回収機能付掘進機

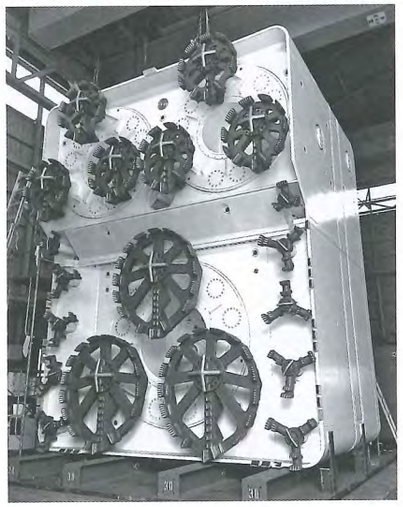
① 地下水位以下の施工が可能　② 高水圧対応
③ 長距離・曲線施工　④ 到達立坑不要

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法の特徴

- JIS鋼管φ812～φ1219に対応可能（角鋼管も対応可能）
- 密閉型掘進機のため、高水圧下においても施工可能
- 長距離・急曲線推進が可能
- 軟弱層～粘性土層～硬質土層に対応可能
- 到達回収立坑がない場合でも、迅速な引き戻し回収が可能

ボックス推進工法　ボックス推進工法協会　NETIS　QS-100019-A

多軸自転・公転掘進機（外寸□5000×6300mm）



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

ボックス推進工法の活用例

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



カッタービット軌跡

ボックス推進工法の特徴

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

協会事務局・技術本部　株式会社 アルファシビルエンジニアリング

αCIVIL

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

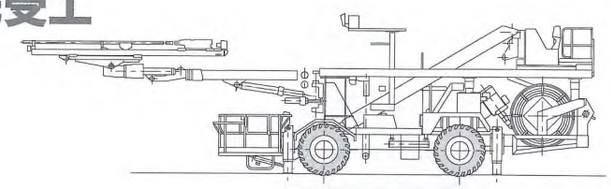
建設コンサルタント登録番号：建28第8677号
測量登録番号：登録第(3)-30507号
建設許可番号：国土交通大臣許可（特-28）第19193号

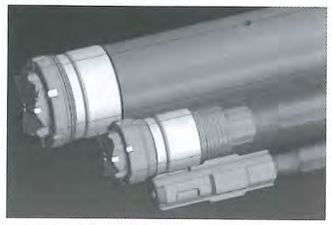
※各工法協会員名簿については、ホームページをご参照下さい。

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

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

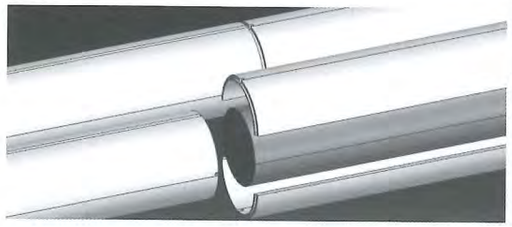




AGF-Me工法

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

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





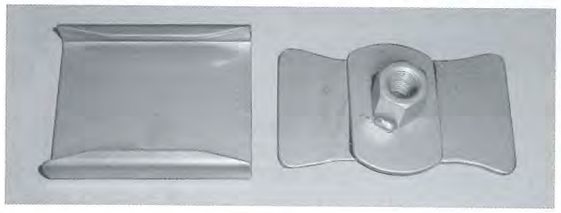
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

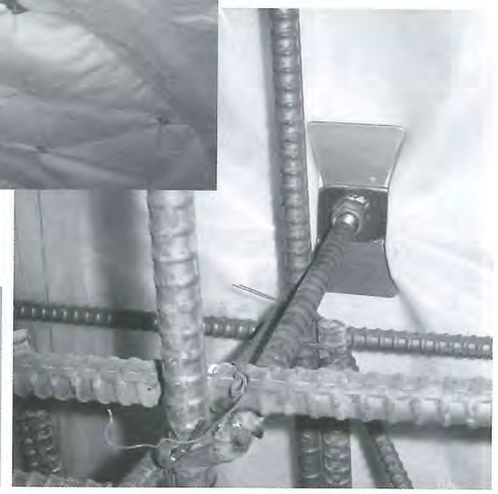
- 防水シートへの穴あけ不要
- 一人で容易に取り付けが可能
- 外れ防止機構付き、施工後の高い安全性

固定方法は3ステップ

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







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

株式会社 トーキンオール
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel:**044-333-0012** Fax:**044-333-0321**
(お問い合わせ先)

トンネル工事は新時代へ

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
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

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（2012～2017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。

2017年度版新発売!!

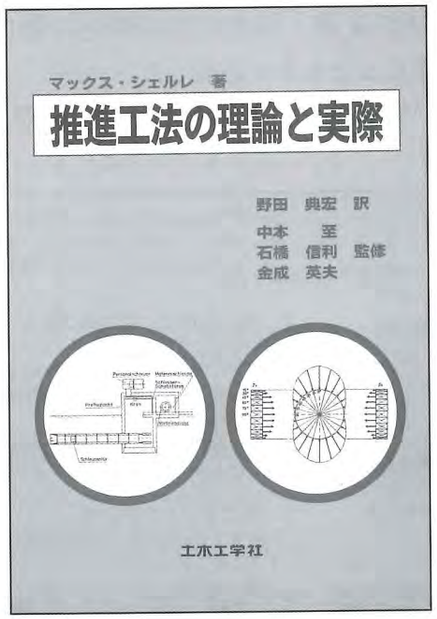
1．**内容と特長**
○過去6年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
○各年度の試験問題と模範解答・解説集は実力テストに最適
○解説には設問に採用された図書（推進工法体系）の出典箇所を明記
2．**価格**
各年度単位 2,000円（消費税・送料込）
3．**申込方法**
本図書のお申込は前金でお願いしています。
ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社（団体）名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。
これらのことをインターネットでご案内しています。 推進工事技士試験 検索

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

推進工法の理論と実際

マニュアルを超えて
推進工法の理解を
さらに深める一冊



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

推薦の言葉

中本 至・石橋信利・金成英夫

推進工法によって、下水道をはじめ多くの管渠が布設されている。下水道については一九六〇年にはわが国の普及率は十五％にすぎなかったが、今日では六〇％近くになっている。当初、一五〇〇キロしか施工実績がなかったが、近年の施工延長は年間一五、〇〇〇キロになっている。下水管渠の施工方法の選定にあたって、施工条件や建設環境、地下埋設物や地盤条件などの関係から、開削工法より推進工法などの特殊工法が選定されることが多くなり、その中でもとくに推進工法の適用は多くなった。ところが、わが国では推進工法に関する実務書は多いが理論面を記述したものはあまり見当たらず、推進工法の一層の発展のためにも理論書が求められていた。

本書では、ドイツで推進工法の研究開発で著名なマックス・シェルレ博士が推進工法における いろいろな疑問について理論的に解明した古典的な名著である。博士は理論面のみではなく、実際の施工にも従事し、実務にも精通していたので、実務面の良さも持っている。

私たちは、野田氏（訳者）の翻訳を監修したわけだが、推進工法の理論面と実務面を実に詳細に解説している点に驚いた。したがって推進工法に従事し、一層活躍しようとする人たちに本書を推薦したいと思う。

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

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
B5 判　280 頁　定価：4,660 円＋税

進化を続けるシールド工法．その誕生から技術の変遷，将来の技術開発の動向までをまとめ，最先端の技術について理論と実際にいたるまで記載した．
豊富な設計・施工例を掲載し，応用のしやすい的確な解説を加えた好評の一冊．

主 要 目 次

第１章　概説
1. シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性
シールド工法の歴史／わが国におけるシールド工法の歴史／今後の技術開発の方向性

第２章　調査・計画編
1. シールド工法の調査技術
シールド工事における調査の取り組み方／基本計画時の調査（予備調査）／設計時の調査（基本調査，詳細調査）／施工時の調査（確認調査，管理調査）／施工後の調査（追跡調査）
2. 断面および線形計画
断面および線形／鉄道用シールド／下水道用シールド／断面と線形における今後の展開
3. シールド機種の種類と選定
シールド機の構造と装備／現状のシールド機種の種類と選定方法
4. 新しいシールド工法
大断面化，大深度化，長距離化への展望

第３章　設計・施工編
1. 覆工
一次覆工の設計／二次覆工の設計と施工／シールドトンネルの防水技術
2. 立坑の設計と施工設備
立坑の設計と施工
3. 仮設備
仮設備の計画
4. シールド工事の自動化
掘進管理システム／方向制御システム／セグメント自動組み立てロボット／自動搬送システム／その他の自動化技術
5. 掘進と施工管理
シールド掘進と施工管理／シールド機の発進と到達／裏込め注入工法と注入効果／曲線施工と地中接合／補助工法の種類と選定
6. 近接施工と環境対策
近接工法と対策／アンダーピニングおよび支障物対策／シールド工事と環境対策
7. 新工法の現状と将来展望
自由断面シールド掘進（縦楕円断面）／異形断面シールド／分岐・接合シールド／球体シールド（ホルン）工法／複円形，矩形および拡大シールドの開発動向／ECL 工法
8. 切羽の安定と地盤変状防止
切羽安定の理論と実際／泥水式シールド工法の切羽安定／土圧式シールド工法の切羽安定／特殊条件下の切羽安定
9. 地盤変位の理論と実際
地盤変位の実態／地盤変位の予測解析

付録
1. セグメントの設計例
セグメントの設計例／外国の設計手法との比較／有限要素法を用いたシールド覆工設計例
2. 地盤変位予測解析手法の例
地盤変位の一般的性状／予測解析手法の例
3. シールド工事の施工計画
施工計画書とは／施工計画立案手順／シールド工事施工計画書の参考例

参考文献／索引

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

【好評発売中】

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

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

このような状況を受けてここ10年ほどの間に，急激にいろいろなセグメントが提案され実用化された．

これらのセグメントのうちにはよく似たものも多く，名称もバラエティに富み，その特徴や適用範囲などが明確でないため混乱が起きている例もある．

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

本書はこの連載講座をもとに新たに「セグメントの新技術」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．

〈セグメントの新技術〉

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

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

き---り---と---り---線

《ご 注 文 票》

セグメントの新技術 _____ 冊　申込みます．

所在地　〒（　　）
事業所名　　☎
部課名　　申込者名　　㊞



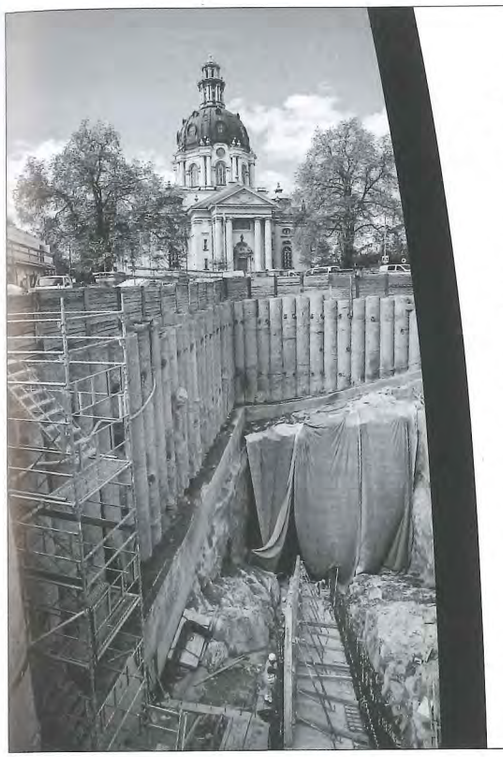
道路，トンネル設計（本体工，換気，防災，照明，施工管理他）
トンネル現場診断

（社）建設コンサルタンツ協会会員　ISO9001取得

株式会社 ロード・エンジニアリング

会　　長　田島利男　　代表取締役社長　清水　洋（技術士）
（技術士・土木学会フェロー会員）
顧　　問　菅原幹夫　　大阪支店長　亀甲谷義高（技術士）

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



振動・騒音マネージメント
ソルーション

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

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

Nitro Consult | ORICA

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

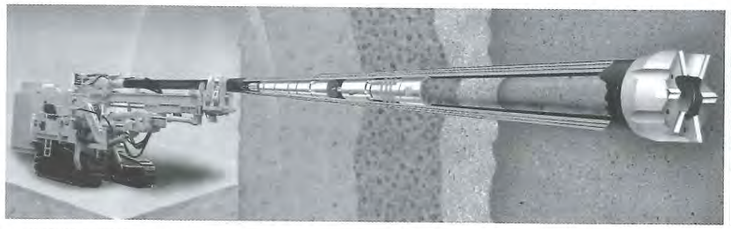
nitroconsult.se | orica.com

トンネル掘さくの安全施工に
アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法

■断層破砕帯や湧水をともなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行なえ、施工時間が大幅に短縮できます。

■2重管ワイヤラインサンプリングシステムにより、地質条件にかかわりなく、コアサンプルの採取率が従来と比べて大幅に向上しました。





地球にKOKEN する会社。 鉱研工業株式会社

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

お問合せ先：エンジニアリング本部　エンジニアリング部
TEL. 03-6907-7512　FAX. 03-6907-7522
http//www.koken-boring.co.jp

北海道支店：(011)561-4961　東北支店：(022)762-6075　信越支店：(025)275-6877　首都圏事業部：(03)-6907-7511
大阪支店：(06)6385-0350　中国支店：(083)972-8757　九州支店：(092)924-5001　海外事業部：(03)-6907-7515

好評発売中　**地形にも人相がある　地形の性質を知ろう！**



トンネル技術者のための
地相入門

大島洋志 監修　木谷日出男 編著
B5判　203頁　定価3,200円+税　送料別

図・表・写真 288点収録

《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

H+E LOGISTIK GMBH

Clever Conveying





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

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



H+E Logistik GmbH
日本代理店

Yamazaki Machinery

山崎マシーナリー株式会社　担当：森永

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

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

山崎マシーナリー株式会社
〒438-0216　静岡県磐田市飛平松 216 番地 1
代表 TEL0538-66-1211　FAX0538-66-6410

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　5月号目次　Vol.49, No.5, 2018 May

■巻　頭　言

首都東京における下水道トンネル工事の課題と展望
中島　義成 …… 5

■研　　究

豆板注入補修工法のトンネル覆工への適用
佐々木尚美・岩井　俊且・橋場　一富 …… 61

■施　　工

斜め坑門などによる坑口部崖錐法面への安定化対策
―国道106号　下川井トンネル―
河上　伸一・鈴木　光嘉・宮本　真吾 …… 7

重要構造物に近接した急曲線・急勾配の大断面シールドの施工
―横浜環状北線　馬場出入口シールド―
菊地　勇気・小島　太朗・西丸　知範・鹿島竜之介 …… 17

路盤下変位計測を活用した対策工により膨張性地山を掘削
―東北中央自動車道　三吉山トンネル―
宮沢　一雄・福士　森政・秋山　剛史・木梨　秀雄 …… 27



CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

火災により劣化した洞道コンクリート躯体の調査ならびに補修事例
―東京電力　新座洞道―
佐藤　克晴・和田　好史・内藤　幸弘・竹原　博登 …… 51

■連 載 講 座

セグメントの新技術Ⅱ（6）
―合成セグメント（1）―
「セグメントの新技術Ⅱ」連載講座小委員会 …… 73

■現場だより

「越前富士」のふもとより
唐戸　裕二 …… 37

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

歴史と経験に学び，現場に根ざした経験智を得よう
大島　洋志 …… 39

■資　　料

土木情報
編　集　部 …… 38

工法・技術・製品ニュース
編　集　部 …… 85

トンネルジャーナル
編　集　部 …… 72

トンネルワールドニュース
JTA 国際委員会 …… 86

■会　　報

会　　報
日本トンネル技術協会 …… 87

【表紙説明】　路盤下変位計測を活用した対策工により膨張性地山を掘削
―東北中央自動車道　三吉山トンネル―



東北中央自動車道三吉山トンネルは，延長2,980mの高速道路トンネルである．近年，長期間供用した道路トンネルが路面隆起によってインバートまで損傷するケースが発生していることから，工事中にインバート部の変位を計測できるシステムを新たに開発し，本トンネルに適用した．その結果，内空変位収束後に路盤だけが隆起していることが判明したため，その計測結果を活用した盤膨れ補強対策を検討・実施し，健全なトンネル構造物を構築することができた．写真は貫通掘削の状況である．

〔**写真提供**：東日本高速道路(株)〕(本文27頁参照)

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

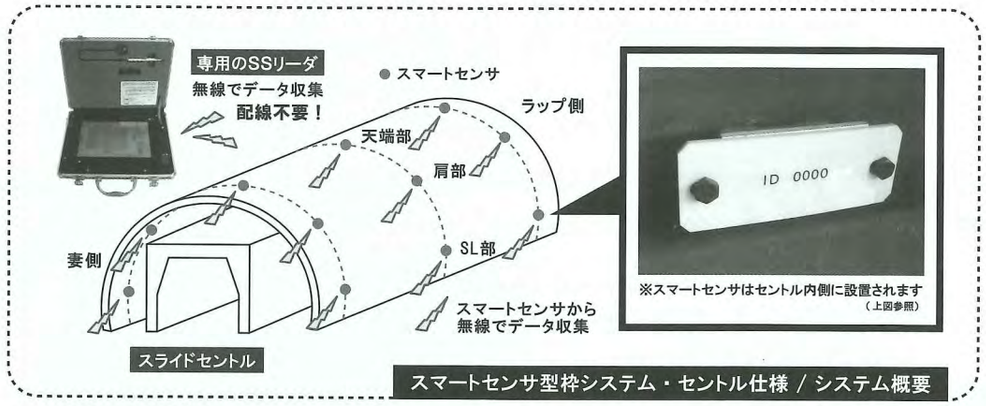
コンクリート表面温度を10分単位で自動計測し、脱型時の強度を記録！

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

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上席研究員

〔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

福 山 恵 夫
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

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

トレンチャー

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路
掘削状況



施工例



トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D6	M3
メーカー名	テスメック	テスメック	テスメック
掘削幅 cm	60	75	90
掘削岩の硬さ（最大）	500kg/cm²	700kg/cm²	800kg/cm²
重量 t	36	40	40
長さ m	13.0	10.8	11.2
幅 m	2.5	3.2	2.67
高さ m	3.30	2.86	3.41
エンジンの出力 PS	300	402	350

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

ワールド開発工業株式会社

●本社/営業部　〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484

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

編集委員会の構成（五十音順・敬称略）

〔編集委員長〕

小山幸則　立命館大学総合科学技術研究機構上席研究員

〔編集参与〕

砂金伸治
公立大学法人首都大学東京都市環境学部教授

大島洋志
国際航業株式会社技術本部最高技術顧問

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〕

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

大塚努
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
技術基準担当課長

岡野法之
公益財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部トンネル研究室室長

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

日下敦
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

清水満
東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長

武藤真
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
東京都交通局建設工務部計画改良課
改良担当課長

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

最新型・電気集じん機

エコクリーンX

NETIS登録番号：KT-040047-A

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

極板放電方式
放電線をなくし消耗品の
削減と断線トラブルの撲滅

少ない消費電力
同クラスのフイルター方式
集じん機に比べおよそ1/4



コンパクト
同クラス集じん
機の中で最小

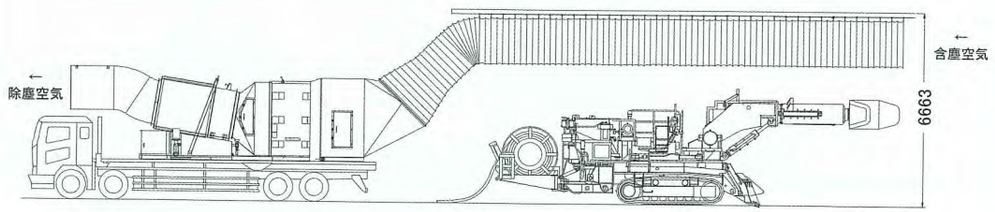
処理風量
750㎥/minから3000㎥
/minまで製作実績あり

貯水タンク
自動洗浄が
随時可能

高圧電源分割
集じんユニット毎の個別電圧
印加により集じん効率アップ

オプション
自走クローラ台車
自走ホイール台車
伸縮風管...etc.

伸縮風管(軽量型Φ1500,Φ1600製作実績あり)



伸縮風管接続例

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

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

トンネルと地下　VOL.49　No.5　掲載概要

掲載頁 7

斜め坑門などによる坑口部崖錐法面への安定化対策
―国道106号　下川井トンネル―

国土交通省　河上　伸一

国道106号下川井トンネルは，東日本大震災の「復興支援道路」として位置づけられている全長約100kmの宮古盛岡横断道路のうち，宮古市藤原～箱石間を結ぶ約33km区間の宮古箱石道路の一環として，下川井地区に新設された延長2,050mの自動車専用道路トンネルである．

本工事では事前の現地踏査の段階から，発進側坑口部の法面に崖錐が厚く堆積していることが確認された．この崖錐分布を正確に把握するため，施工に先立ちボーリングや弾性波探査などの追加地質調査を実施したところ，その厚さが10m程度にも上ることが判明した．当初設計では1：0.5勾配での多段切土が計画されていたことから，崖錐法面を切土する際の地山の安定性に与える影響が懸念されたため，切土範囲を最小限に抑え，地山の安定性を確保するための検討を行った．

本稿では，地質調査結果をもとに，崖錐の安定対策として実施した土留め擁壁工や，道路完成時に接続する交差点と土留め擁壁との位置関係を総合的に検討して斜め坑門に構造を変更した経緯について報告する．

Skew Portal and Others as Stabilization Measures for Talus Slope― the National Route 106, the Shimokawai Tunnel―

By Shinichi Kawakami, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The Shimokawai Tunnel of National Route 106 is a newly constructed 2,050m long limited-access highway tunnel in the Shimokawai district as part of the 33km-long Miyako-Hakoishi highway that connects Fujiwara and Hakoishi, Miyako City and is positioned within the 100km-long Miyako Morioka highway as a reconstruction assistance road for the Great East Japan Earthquake.

From the reconnaissance of the site before the start of the construction, it was confirmed that there was thickly accumulated talus around the starting portal. After implementing additional geological surveys using boring survey and seismic survey prior to the construction in order to accurately grasp the talus distribution, it was discovered that its thickness went up to approximately 10m. Large cut slope of 1:0.5 had been originally designed on talus, and there were concerns that cutting the talus slope on a large scale would affect its stability, investigations were conducted to minimize the cutting range and secure the stability of the slope.

Here we report the sequence of changes from cut slope, an original plan to the earth retaining wall as stability measures of talus slope and the skew portal dimensionally designed based on the intersection and the earth retaining wall.



写真は斜め支保工区間が完了した状況

掲載頁 17

重要構造物に近接した急曲線・急勾配の大断面シールドの施工
—横浜環状北線　馬場出入口シールド—

首都高速道路(株)　菊地　勇気

高速神奈川７号横浜北線(以下「北線」)は，第三京浜道路「横浜港北JCT」から首都高横羽線「生麦JCT」をつなぐ延長約8.2kmの自動車専用道路であり，本線は2017(平成29)年３月に開業している．本工事は，北線のほぼ中央に位置する馬場出入口(A～Dの４本のランプトンネルを開削工法およびシールド工法により構築)および馬場換気所を構築するとともに，大田神奈川線を整備・拡幅する工事である．本稿では，急勾配・急曲線・小土かぶりの施工条件が特徴であったBランプシールド，発進直後に送電鉄塔の直下を掘進したDランプシールド，北線の本線が開業した後に掘進および到達を行ったAランプシールドの対策と結果について記述する．

Construction of Large Shield Tunnels through Sharp Curves and Steep Slopes Close to Important Structures— the Yokohama North Line, Baba Entrance Shield—

By Yuuki Kikuchi, Metropolitan Expressway Company Limited

The Metropolitan Expressway Route K7 Yokohama North line (hereinafter referred to as "North line"), is an 8.2km-long expressway that connects from the "Yokohama-Kohoku JCT" of the Daisan Keihin Road to the "Namamugi JCT" of the Shuto Expressway Yokohane Line, and was opened in March 2017. the Baba entrance which is located in the center of North line (the four lamp tunnels from A to D were constructed using the cut-and-cover method and shield TBM), and the Baba ventilating station were installed, in addition to the building and widening works of the Ota-Kanagawa road. Here we describe the construction measures and results as below: B ramp way which was characterized by building a ramp tunnel through sharp slopes and sharp curves under small cover, D ramp way where shield TBM crosses just beneath a transmission line tower soon after launch, A ramp way where a shield TBM drilled and arrived close by the in-service North Line.



写真はプロテクタ設置状況

掲載頁 27

路盤下変位計測を活用した対策工により膨張性地山を掘削
—東北中央自動車道　三吉山トンネル—

東日本高速道路(株)　宮沢　一雄

東北中央自動車道三吉山トンネルは，延長2,980mの高速道路トンネルである．坑口から約2,300m地点において，膨張性地山の作用による切羽掘削時の変状が発生したが，対策工によりこれを無事に突破した．近年，長期間供用した道路トンネルが路面隆起によってインバートまで損傷するケースが発生していることから，工事中における路盤変位の計測・管理が求められている．そこで，工事中にインバート部の変位を計測できるシステムを新たに開発し，本トンネルに適用した．その結果，内空変位収束後に路盤だけが隆起していることが判明したため，その計測結果を活用した盤膨れ補強対策を検討・実施し，健全なトンネル構造物を構築することができた．

Excavating Swelling Rock with a Measure Using Displacement Measurement System under Roadbed— the Tohoku-Chuo Expressway, the Sankichi-Yama Tunnel—

By Kazuo Miyazawa, East Nippon Expressway Company Limited

The Sankichi-yama Tunnel of the Tohoku-Chuo Expressway is a 2,980m-long highway tunnel. At around the 2,300m point from a portal, deformations occurred due to the effects of the expansive ground while cutting tunnel face, but they were successfully broken through some measures. In recent years, there have been cases of damage occurrence in aged highway tunnels down to its invert concrete due to elevated roadbed, so measurement and management of the roadbed displacements during works are required. A new system that can monitor the displacements of invert concrete during the construction process was developed and applied for this tunnel. It was consequently discovered that only the roadbed was raised after displacement of the inner section was converted, so measures against swelling rock were considered and implemented based on those measurement results and we could construct a sound tunnel structure.



写真は鏡面崩落状況

掲載頁 51

火災により劣化した洞道コンクリート躯体の調査ならびに補修事例
—東京電力　新座洞道—

東京電力パワーグリッド(株)　佐藤　克晴

2016(平成28)年10月12日，東京電力パワーグリッド(株)が保有する新座洞道内において電気事故による火災が発生した．この火災による受熱時間は約３時間であり，躯体コンクリートに火害劣化特有の表面変状が確認されたことから，躯体の健全性評価を目的とした被害調査を実施した．そして，調査結果を分析・評価することで補修計画を立案し，ケーブル復旧工程に合わせて断面修復工法などによる躯体補修工事を実施した．本稿では新座洞道火災における躯体劣化調査の内容，健全性評価結果にもとづく補修計画および施工実績について報告する．

Investigate and Repair Concrete Structure of a Service Tunnel Damaged by a Fire— Tokyo Electric Power Company, the Niiza Service Tunnel—

By Katsuharu Sato, TEPCO Power Grid, Incorporated

On October 12, 2016, a fire caused by an electrical accident broke out inside the Niiza service tunnel owned by TEPCO Power Grid. Heat receiving time was approximately three hours and state changes in the surface of concrete structure unique to fire damage were confirmed, so a damage investigation was implemented for the purpose of evaluating the soundness of the structure. A repair plan was formed based on analyzing and evaluating the investigation results, and the structure was repaired using polymer cement mortar and others in accordance with power cable restoration process. Here we report the content of the investigation on the structure damage caused by the Niiza service tunnel fire, and the repair plans based on the soundness evaluation results and construction work experience.



写真は吹付け工法による断面修復施工状況

掲載頁 61

豆板注入補修工法のトンネル覆工への適用

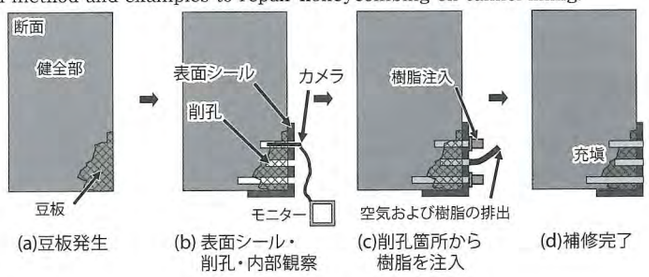
東日本旅客鉄道(株)　佐々木尚美

コンクリート構造物の初期欠陥の一つである豆板の補修は，豆板を取り除いて断面修復する方法が一般的である．豆板を取り除いて補修することによりできる連続的な補修境界面の存在は，剝離発生などの要因となり，将来的に剝離・剝落が生じる可能性がある．そこで，豆板を取り除かずに樹脂を注入することで，補修境界面を作らない補修方法の提案を行った．本稿では，提案工法の概要とトンネル覆工の豆板補修事例を報告する．

Application of Repair Method of Honeycombing Using Resin Injection to Tunnel Lining

By Naomi Sasaki, East Japan Railway Company

Honeycombing is one of the surface imperfections in concrete structures. In the conventional repair method of honeycombing, the bond compatibility of the repair material with the existing sound concrete is important issue. If it is not enough, it may cause spalling of the repaired part and could cause future spalling and peeling. In this study, we proposed a new repair method that the resin is injected without removing the honeycombed area. This report contains outline of the proposed method and examples to repair honeycombing on tunnel lining.



図は提案工法の補修手順

面状発熱体シートによるセントル加温養生システム

NETIS登録申請中

■ 特 長

・加温する事でコンクリートの硬化温度を２０%（約５℃）上げる事ができる

・コンクリートの水和反応を促進し脱枠時の必要強度が確保できる

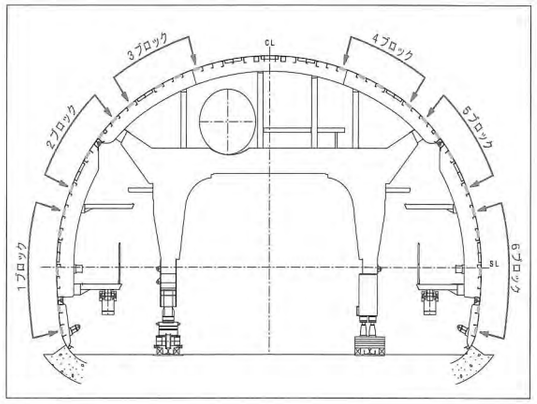
・表面と内部の温度上昇差を小さくし応力によるひび割れが防止できる

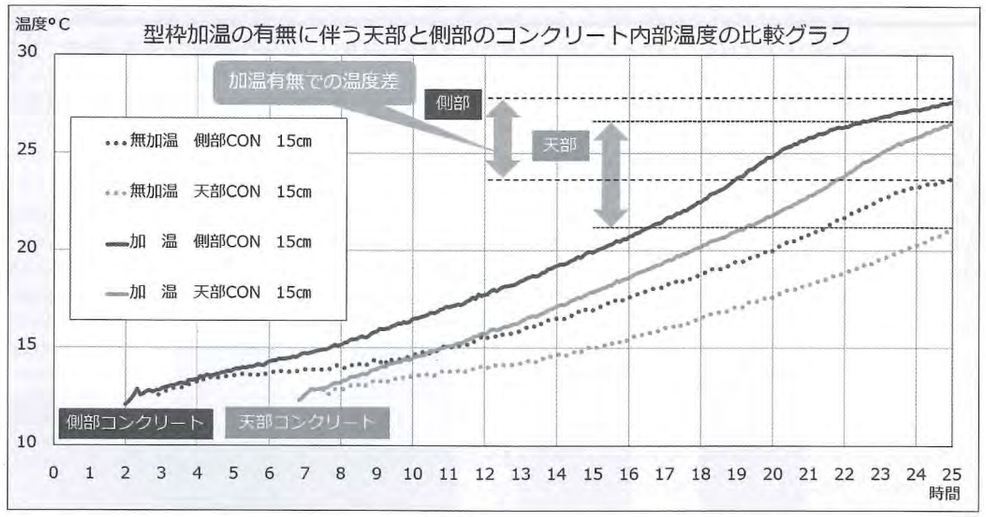
・表面の硬化を促進し表面強度と透気係数などの表層品質が向上し表面剥離が防止できる

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

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







岐阜工業株式会社

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

東京支店　TEL 03-5836-0531
札幌営業所　TEL 011-374-7027
仙台営業所　TEL 022-259-2239
九州営業所　TEL 092-918-3880

【製造元】
TECHNO
テクノプロ株式会社

AKT/O Group

巻頭言

（題字　谷口博昭会長）



首都東京における下水道トンネル工事の課題と展望

東京都下水道局計画調整部長(本協会理事)
中島義成

学生時代は衛生工学を専攻していたこともあり，土質や構造はやや不得手であった．東京都下水道局に入局してからも，処理場やポンプ場などの施設の設計を担当していたため，管渠すなわちトンネルとかかわったのは，施工管理の責任者として現場の課長になってからである．その事業は，地下50m以深の大深度かつ内径8,500㎜の大口径のシールド工事であり，下水道局でも最大の和田弥生幹線であった．現場は，密集市街地であることから，施工条件が厳しく，立坑用地の確保が困難であり，建設期間が長期にわたる一方で，建設中にも浸水被害が発生しており，早期の事業効果の発現が求められた．前例のないこのビッグプロジェクトが終盤に差し掛かった仕上げの段階で大きなトラブルが発生した．収束には，地元調整も含めて約１年もかかるという苦い経験をした．また，課題を解決するために数々の新しい技術を導入するなど，土質や構造の知識が浅かった私には大きな試練となったが，トンネル技術と真剣に向かい合う良い契機になった．

次の機会は，鉄道が近くを通る交差点の直下で，管を拡幅して地中接合を行うという難工事となる隅田川幹線の検討である．東京では，大深度においても，多くの地下鉄や電力洞道，高速道路などがはりめぐらされている．このため，詳細な調査・検討と高度な施工技術を用いてこれらの重要施設の間隙を縫って下水道幹線を整備するなど，都市土木が直面する典型的かつ困難な課題が多い．厳しい状況下であっても下水道は，都民生活と東京の都市活動を支えるという重要な役割を担っており着実な整備が必要とされている．

下水道局では，東京2020オリンピック・パラリンピック大会の開催とその後の東京のあり方を見据え，下水道サービスのさらなる向上に取り組むため，2016～2020(平成28～32)年度までの５か年を計画期間とする「経営計画2016」を策定し事業を推進している．

急速に進行する下水道施設の老朽化や近年多発する局地的な集中豪雨，今後発生が想定される首都直下地震などに対する取組みに加え，東京2020大会の大舞台となる東京湾

や河川などの水質改善に局職員一丸となって取り組んでいる．

また，下水処理の過程で大量に使用するエネルギーの削減や地球規模で推進すべき温室効果ガスの削減など，東京下水道が取り組むべき課題は多岐にわたる．

老朽化した下水道幹線の再構築に先立ち代替幹線を布設する場合，浸水対策のため雨水排除能力の増強を図る場合や降雨初期のとくに汚れた下水を貯留する施設を整備する場合など，新たに下水道管を布設する機会が多い．

こうした中，東京という稠密（ちゅうみつ）な都市において下水道工事を行う場合，建設コストだけでなく，交通渋滞などによる都民生活への影響や経済的損失などソーシャルコストの最小化を図る観点から，シールド工法，推進工法など非開削工法によるトンネル工事はもっとも現実的かつ効果的な整備手法となっている．

一方，都心部における施工上の制約，コスト縮減，工期短縮などに資する建設技術に加え，維持管理の時代に対応するため，将来を見据えた新たな技術の開発も求められている．このため，下水道局では，「技術開発推進計画2016」にもとづき，シールド工法や製管工法で築造された老朽化した幹線などを再構築する技術の開発などに取り組んでいくこととしている．

また，下水道事業を着実に推進するうえで，技術継承は避けて通れない課題の１つである．事業を熟知した団塊世代といわれる職員が退職する一方で，新規採用にも努めたことにより，経験年数が浅い若手が中心に事業を進めていく必要がある．高度な知識や経験にもとづいた多角的な検討ができる能力，他企業・管理者との調整能力や優れた品質を確保できる能力などを早く身に付け，発揮してもらう必要があるため，技術継承をしっかりと進めなければならない．このため下水道局では，「下水道局技術継承検討委員会」を設置し，技術継承を局の主要な事業の１つに位置づけて取り組んでいる．具体的な取組としては，ベテラン職員が若手職員とペアを組んで現場に足を運び，実地で技術を継承するほか，実務に活用できる技術情報などを簡単に検索できる「下水道局電子図書館」などが挙げられる．さらに，技術継承を専任とする再任用職員を本庁に配置し，各事務所を巡回しながら，若手職員の相談や支援を行うなど，きめ細かなサポートも行っている．

下水道工事はトンネル工事が主役である．2016(平成28)年度，区部の下水道管渠の再構築工事において，トンネルをはじめとした非開削工法の事業費は７割超を占めている．

今後とも，技術の向上が大深度施工や複雑な構造をはじめ，高度な技術を要する工事に大きく寄与することを期待するとともに，本協会との連携をさらに強固なものとすることで，将来にわたって下水道機能を安定的に確保し，質の高い下水道サービスを提供していきたい．

施工

斜め坑門などによる坑口部崖錐法面への安定化対策

—国道106号　下川井トンネル—

国土交通省東北地方整備局三陸国道事務所建設監督官　河　上　伸　一
大成建設(株)東北支店下川井トンネル工事作業所監理技術者　鈴　木　光　嘉
大成建設(株)東北支店下川井トンネル工事作業所工事主任　宮　本　真　吾

1　はじめに

宮古箱石道路は岩手県沿岸部の宮古市と，内陸部の盛岡市を結ぶ全長約100kmの宮古盛岡横断道路のうち，宮古市藤原から箱石間の約33kmの区間において，岩手県より権限代行で整備する地域高規格道路である．当該道路は2011(平成23)年３月11日に発生した東日本大震災に対する復興支援道路に位置づけられている．

下川井トンネルは宮古市古田地区から川井地区を結ぶ延長約２kmの山岳トンネルであり，宮古箱石道路としてはもっとも延長の長いトンネルとなっている．

本工事では，事前の現地踏査の段階から，発進側坑口部の法面に崖錐が厚く堆積していることが確認された．この崖錐分布を正確に把握するため，施工に先立ってボーリングや弾性波速度試験などの追加地質調査を実施したところ，その厚さが10m程度にも上ることが判明した．当初設計では１：0.5勾配での多段切土が計画されていたことから，崖錐法面を切土する際の地山の安定性に与える影響が懸念されたため，切土範囲を最小限に抑え，地山の安定性を確保するための検討を行った．

本稿では，地質調査結果をもとに，崖錐の安定対策として実施した土留め擁壁工や，道路完成時に接続する交差点と土留め擁壁との位置関係を総合的に検討して斜め坑門に構造を変更した経緯について報告する．

2　工事概要

国道106号下川井トンネル工事は，岩手県宮古市古田地区と川井地区を結ぶ全長L＝2,050mの山岳トンネル工事である．

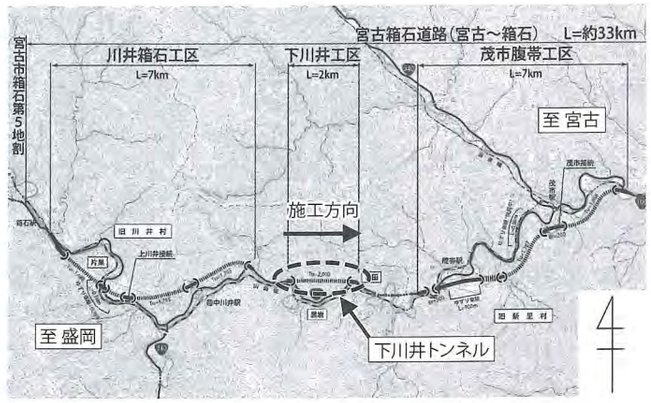


図-1　トンネル位置図



写真-1　切り回し道路完了時の状況

施工場所は，山間の谷部を流れる二級河川「閉伊川」沿いに位置し，現道(国道106号)と両坑口が鋭角に接続することで施工ヤードが非常に狭隘であることが特徴である．

本工事は2015(平成27)年4月に着手し，トンネル坑口前の施工ヤード確保を目的とした現道切り回し道路工事(河川工事)を2015(平成27)年12月までに完了させた．その後，2016(平成28)年1月から発進側坑口前の崖錐法面の安定化対策をはじめとする道路土工事にかかり，2017(平成29)年1月にトンネル掘削に着手している．現在(2017(平成29)年12月1日時点)の進捗状況は，掘削延長540m(26%)となっている．図-1にトンネル計画時地図を，写真-1に切り回し道路工事完了時の状況を示す．

3　地　質　概　要

本トンネルは岩手県東半部を南北に連なる北上山地の東部に位置し，葛巻-釜石帯からなる．地層は中古生層とこれに貫入する花崗閃緑岩で構成されており，主に粘板岩・砂岩・チャートからなる中古生層が分布する(図-2)．

発進側トンネル坑口部周辺は，法面勾配30°を超す急傾斜地となっており，現道沿いの落石防護柵には多数の落石が確認できた(写真-2，3)．

また，坑口部の基盤は亀裂の発達した粘板岩と砂岩の互層が分布し，これらを崖錐堆積物が覆っており，坑口斜面を踏査すると，崖錐堆積物が次々と崩れる状況であった．

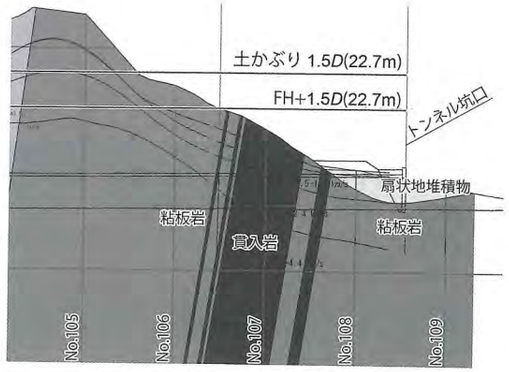


図-2　坑口周囲の地質縦断図



写真-2　崖錐堆積物



写真-3　現道防護柵の落石

4　坑口部の追加地質調査について

先述のように崖錐が厚く堆積する地質状態でありながら，当初設計段階における地質評価は文章による表記にとどまり，現地における詳細調査は実施されていなかった．

当初設計計画は，坑口部に1：0.5の急勾配切土を5段にわたって施工し，坑口付けを行うものであった(図-3)．しかし，この工法の根拠となる地質情報は，施工位置から50mも離れたトンネル直上のボーリング調査結果を引用しており，急勾配切土を行ううえで確かな情報とは言えなかった．また，妥当性の検証および代替案を提案するうえでも，詳細な地質データの収集が不可欠であり，坑口周辺部の着手前(2015(平成27)年7月)に追加の地質調査を実施することとした(図-4)．

内容は以下のとおりである．

① 切土区間の縦横断的地質分布把握を目的としたボーリング調査(N=4本，BV-1～4)

② ボーリング調査の点群を面的に把握するための弾性波探査(N=3測線，D-1～3)

③ 崖錐堆積物のトンネル本体への影響を確認するための弾性波探査(N=1測線，D-4)

5　追加の地質調査結果

5-1　ボーリング調査結果

調査の結果，地山の深部は粘板岩を主体とした北部北上帯の地層が分布しており，その上位を崖錐性の砂礫が覆う地質であることが確認された．崖錐性の砂礫は全体的に緩く，巨礫(落石と考えられる)の混入も見られた．また，粘板岩の特徴として，一般的に層相変化が著しいことが挙げられるが，坑口施工予定箇所の粘板岩についても，全体的には緻密，堅硬であり，岩片はハンマーの打撃音が高いものの，高角度の摂理が多く発達し軟質部を挟むことが確認された．各ボーリング結果の詳細を以下に示す．

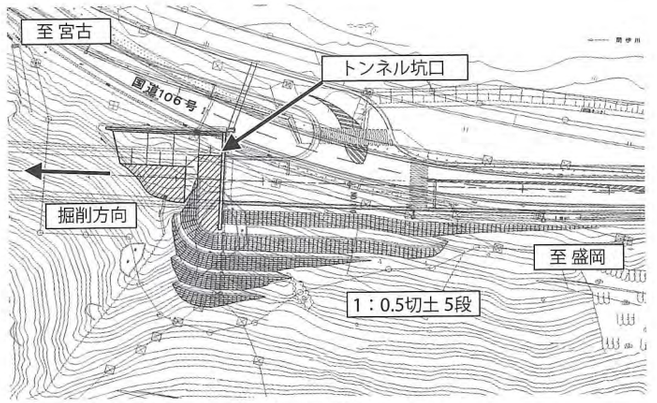


図-3　当初設計の坑口計画

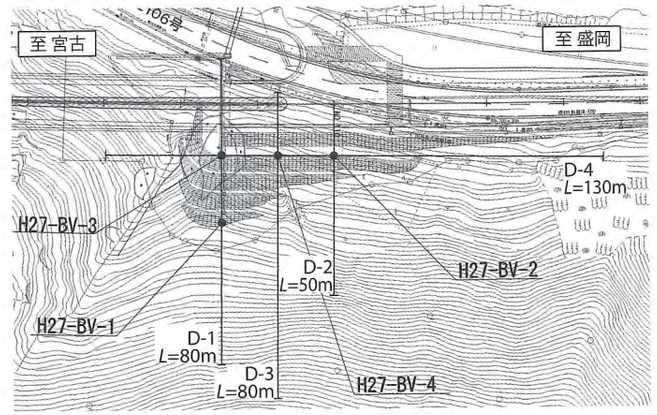


図-4　追加地質調査

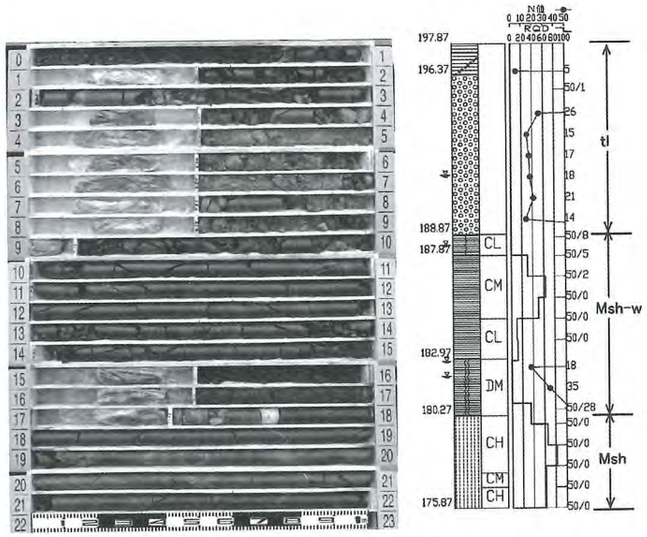


図-5　BV-1(dep=22m)

（1）　BV-1

上位に崖錐性の砂礫が深度９ｍ程度まで分布しており，その下位に粘板岩および砂岩が分布する．

砂礫は２cm以下の礫を多く混入するものの，表層部には玉石が多く分布する(図-5)．

（2）　BV-2

上位に崖錐性の砂礫が深度9.5m程度まで分布しており，その下位に粘板岩および砂岩が分布する．

砂礫は２cm以下の礫を多く混入するものの，表層部には玉石が多く分布する(図-6)．

（3）　BV-3

表層より粘板岩が分布しており，深度4.8m程度までは風化しているが，これより下位は非常に硬質で棒状コアとして採取される(図-7)．

（4）　BV-4

上位に崖錐性の砂礫が深度7.5m程度まで分布しており，その下位に粘板岩が分布する．

砂礫は２cm以下の礫を多く混入するものの，表層部には玉石が多く分布する．粘板岩は上部より新鮮な岩盤であり，硬質で棒状のコアが採取される(図-8)．

5-2　弾性波探査結果

調査の結果，弾性波速度は500～5,000m/sを示し，ほぼ地形に平行に分布して深度が深くなるほど弾性波速度が大きくなる傾向を示した．いずれの箇所もボーリング調査結果と高い相関性を示した．

（1）　D-1

崖錐堆積物の区間では1,600m/s以下の測定値が観測された(図-9)．

（2）　D-2

地形とほぼ平行に弾性波速度が分布するものの，切土予定箇所では極端に速度が落ち込んでいることが確認された(図-10)．

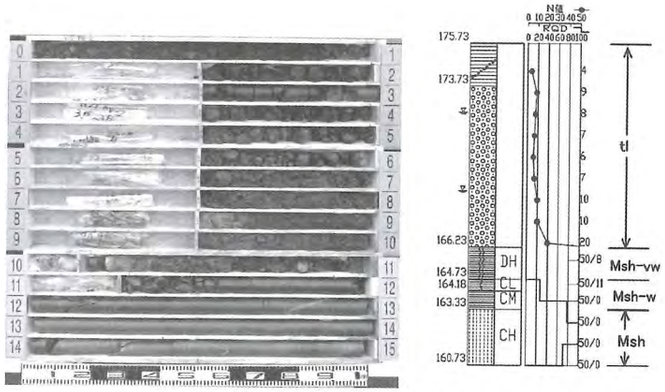


図-6　BV-2(dep＝15m)

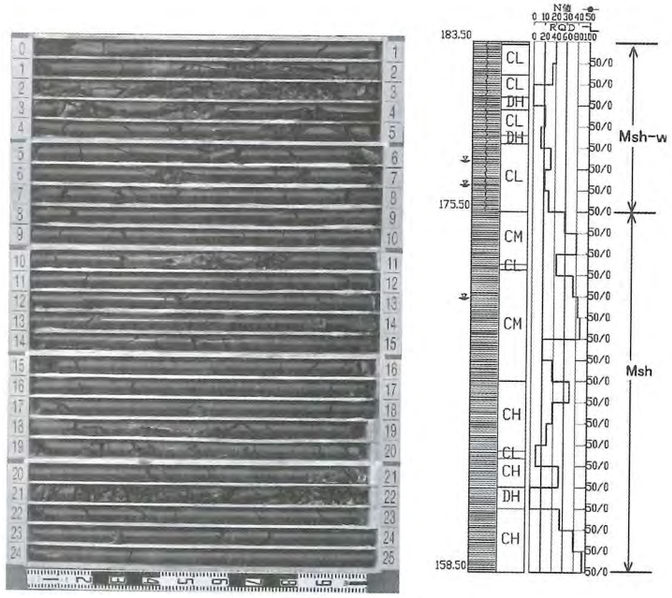


図-7　BV-3(dep＝25m)

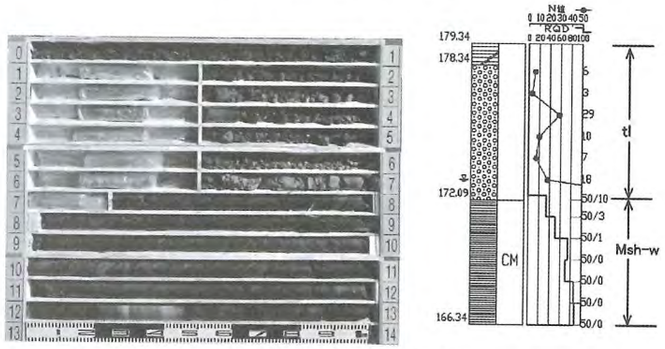


図-8　BV-4(dep＝13m)

（3）　D-3

地形とほぼ平行に弾性波速度が分布するものの，切土予定箇所から上方にかけて極端に速度が落ち込んでいることが確認された(図-10)．

（4）　D-4

トンネル坑口予定断面から盛岡側にかけて弾性波速度が急激に落ち込んでいることが確認された．坑口より宮古側にかけては弾性波速度が徐々に大きくなり，崖錐堆積物の影響が小さくなっていくことが確認された(図-12)．

6　崖錐法面への安定化対策の検討

先述のとおり，崖錐堆積物が広範囲かつ厚く堆積していることが判明したことから，地山の安定性はもとより，工事中の安全性・施工性の観点からも当初設計計画の急勾配(1：0.5)の切土は不可

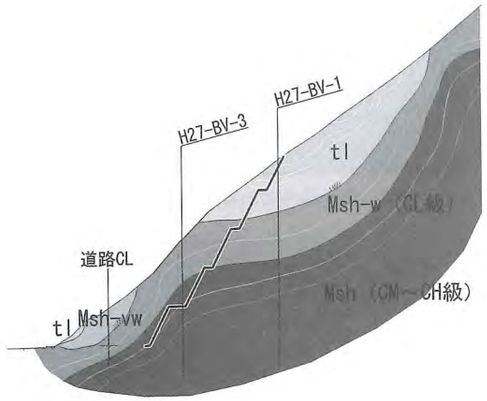


図-9　弾性波速度(D-1)

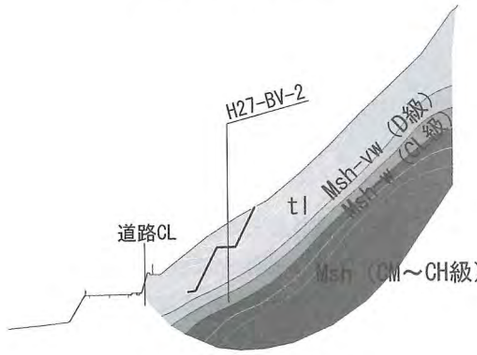


図-10　弾性波速度(D-2)

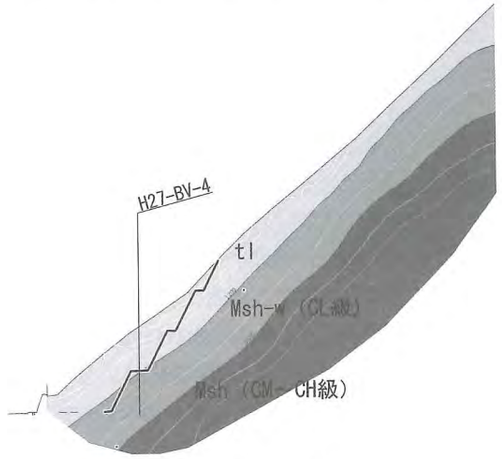


図-11　弾性波速度(D-3)

【地質凡例】

時代			記号	地　質	岩級区分
新生代	第四紀	完新世～更新世	dt	土石流堆積物	-
			tl	崖錐堆積物	
中生代	ジュラ紀		Msh-vw	北部北上帯　粘板岩　強風化部	D級
			Msh-w	北部北上帯　粘板岩　風化部	CL級
			Msh	北部北上帯　粘板岩，砂岩	CM～CH級

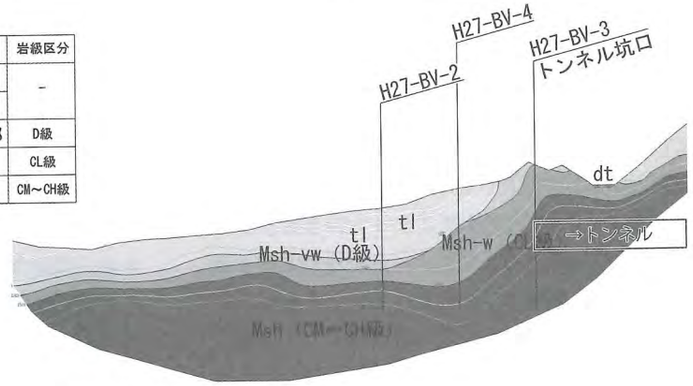


図-12　弾性波速度(D-4)

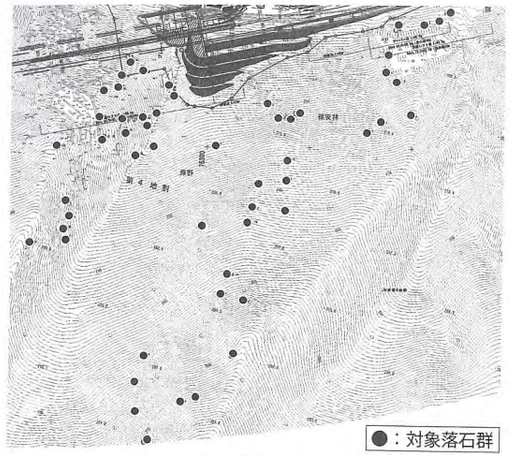


図-13　転石分布図

能と判断し，別工法への変更を検討することとした．検討のポイントとしては，崖錐堆積物の恒久的安定性はもとより，崖錐に多数の玉石が含まれることや，既設の落石防護柵に大量の落石が見られること，また，現地踏査でも多数の不安定転石が確認されたことから，落石対策についても併せて検討を行った．

6-1　落石対策工の検討

踏査の結果，非常に広範囲に無数の転石群が確認された(図-13)．これらの転石に対して，それぞれに対策を行うことは用地の制約上，非現実的と考え，落石予防ではなく落石防護での対応を行うこととした．

検討にあたっては，取得済用地範囲内で施工が可能なことに加え，広範囲・高エネルギーの落石に対しても防護効果があること，さらに将来の維持管理が容易なことなどを総合的に判断して高エネルギー吸収型落石防止網工(ハイジュールネット工法3,000kJ)を施工することとした(写真-4)．この工法の採用により道路縦断方向に広範囲に落石を補足することが可能となった．また，アンカーを地山に打ち込む性質上，トンネルとの干渉が問題になる箇所については，ネット工法により予防工を併用することとした(写真-5)．

6-2　切土に変わる工法の検討

崖錐堆積物は粘着力が乏しく，きわめて自立性



写真-4　高エネルギー吸収型落石防止網工



写真-5　密着型安定ネット工

が低いため，逆巻き施工で段階的に切土を行ったとしても，一時的な法面の安定を期待することも困難である．さらに，部分的に崖錐の裾部を切り取ることになるため，崖錐の滑動に対する安定性を損なうことになる．また，安定勾配での切土は用地の制約上難しく，用地問題が解決したとしても現況勾配が30°を超える急勾配であることから，切土が長大化する問題が発生する．

そこで，今回の検討では，切土そのものを行わず，道路計画箇所のみ地山を撤去できる土留め工法の採用を基本として工法選定を行った．

計画にあたっては，恒久的な土留めとなりうること，狭隘なヤードでも施工が可能なこと，移動土塊量が大きく自立型の土留めを採用することは現実的でないことを総合的に判断し，鋼管矢板とグラウンドアンカーを組み合わせた土留め擁壁を施工することとした(写真-6)．



写真-6　土留め＋グラウンドアンカー工



写真-7　土留め工(鋼管矢板工)



写真-8　マイクロジョイント



写真-9　グラウンドアンカーによる土留め

土留め工法にもさまざまな種類があるが，打設箇所は30°程度の斜面上にあり，3点式の杭打ち機や全旋回型の杭打ちによる施工を行うことは困難であった．また追加地質調査結果から，地山は上部が崖錐で，中途から硬質の粘板岩・砂岩に変わることが確認されていたため，不均質な地質条件に適応できる工法の選定が求められた．

これらの問題を解決する工法として，地上からクレーンを用いて斜面から離れた場所からダウンザホールハンマーによる削孔・杭打ちを可能とするPRD-ROSE工法を採用することとした．さらに，斜面での作業は鉛直度の精度確保が難しいことから打設する鋼管矢板同士を打設と同時に連結することで精度を確保できるマイクロジョイントパイル工法を併用することとした(写真-7，8)．

次にグラウンドアンカーは，恒久的な安定性を期待することを念頭に選定を行った，不均質な地質条件に対応が可能であり，テンションクラックが発生しにくい圧縮型のアンカーを採用することとした．さらに，アンカーの定着方法については鋼管矢板前面の掘削が逆巻き施工となるため，下段アンカー定着時にアンカー頭部の応力変化で脱落のリスクがあるくさび定着方式ではなく，ナットでの締め込み定着方式を採用した(タイプルアンカーU型)．頭部構造は，鋼管矢板に均等にアンカーからの応力を伝達することを目的として，一般的なH形鋼による構造とした(写真-9)．

6-3　斜坑門の検討

土留め擁壁とトンネル坑口部の位置関係から，トンネル坑口部はアーチアクションが期待できず，不安定化のリスクが懸念されたことから，土留め擁壁をトンネル軸方向に延長する必要が生じた．しかし，鋼管矢板を所定の位置に打設するためには作業半径の制約上，クレーンの規格を上げる必

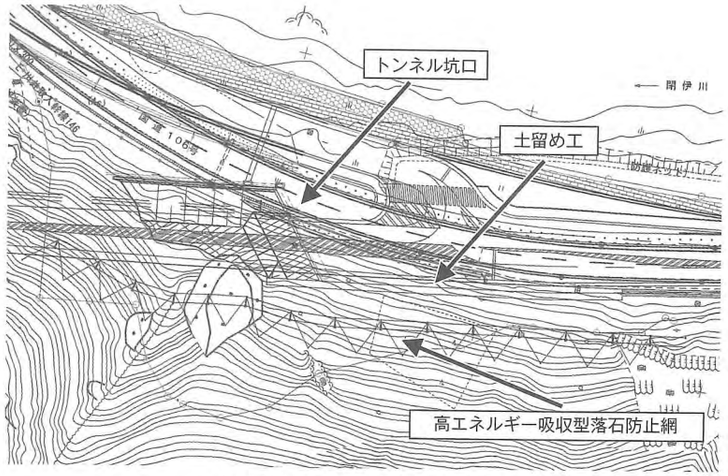


図-14　坑口部の修正設計平面図

要があるが，狭隘な施工ヤードではより大型のクレーンを配置することは不可能であった．そこで追加地質調査結果を見直したところ，当初の坑口計画位置の断面評価は比較的崖錐の影響が少さく，硬質な粘板岩が分布していることがわかった．

そこで，鋼管矢板をこの粘板岩露出位置で打ち止めとし，トンネル坑口を20m程度前に出す(盛岡側に延長)案を検討した．しかし，坑口を20mも延長することになると，川側の坑門の角

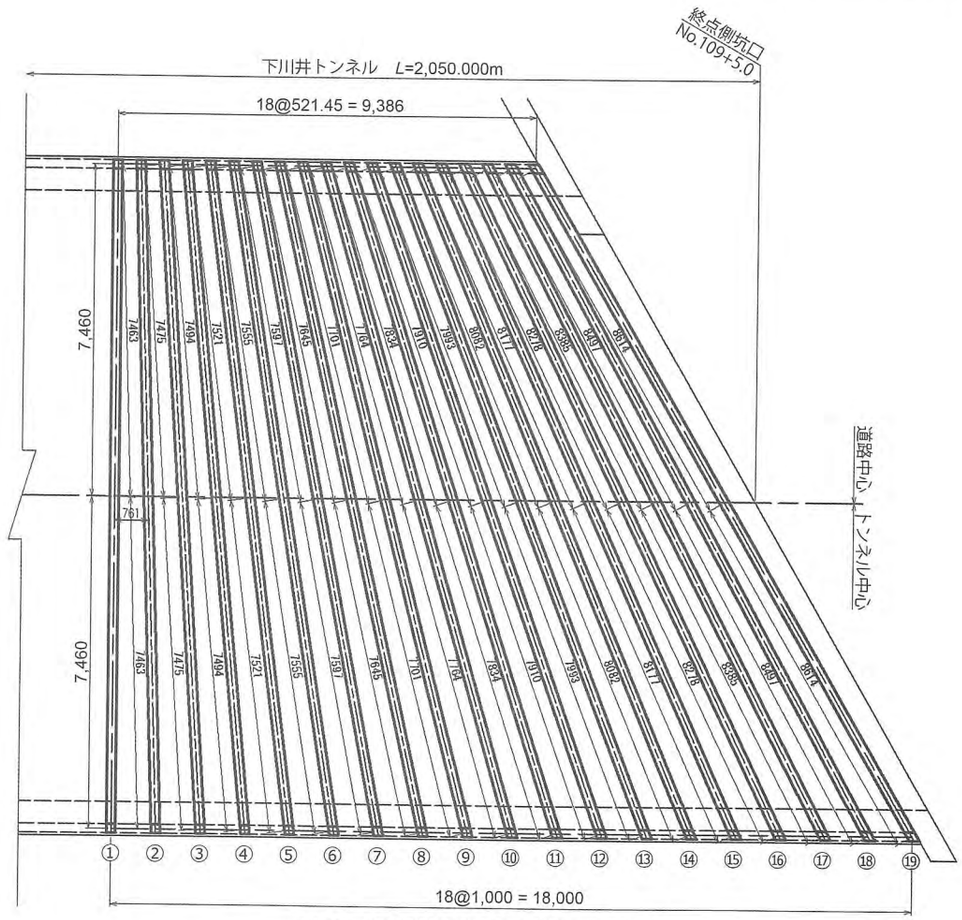


図-15　斜め支保工区間の支保工割付け図

部が将来的な付替え道路(切り回し道路と本線との接続交差点)と接近することになり，視認性の観点から開通後の安全性が懸念された．鋼管矢板をこれ以上軸方向に延長することは不可能であるため，山側の坑門計画位置を固定し，川側の坑門角を交差点からできるだけ離すように坑門を斜めに構築することを検討した(図-14，15)．取付け角度については道路走行時にドライバーに違和感を与えないことや，施工性を考慮して過去の文献でもっとも実績があった斜角30°を採用した[1]．

これにより崖錐の安定を目的とする土留め擁壁の施工と，崖錐分布を評価した土留め擁壁の最適延長，そして開通後の交差点との接続問題を解決でき，切土を施工しない工法を選定したことにより用地制約に余裕が生まれ，追加で検討した高エネルギー落石防止網は，その大部分を取得済用地内に収めることが可能となった．

7　施　工　結　果

施工については，計画段階から施工性を考慮しながら計画したこともあり，おおむね順調に進めることができた．とくに斜め区間の1次覆工(掘削・支保)では土留め擁壁で崖錐の影響を排除していたことと，露岩区間まで土留めを打設していたこともあって，偏圧の影響を受けることなく順調に施工を完了できた．

ただし，トンネル着手前に坑口の川側に計画されていた抱き擁壁の施工時に地山を切土したところ，表層に厚さ3m程度の崖錐堆積物が見られた．これらはすべて撤去し，抑え盛土により置換することでトンネル掘削時の安定性に影響を与えないよう対応した(写真-10)．当該箇所は小さな沢地形をなしており，弾性波探査断面とずれがあったことで直接的に評価できなかったことが原因として考えられる．

今回調査で確認された厚さ10m程度の崖錐は，元来は沢地形であった箇所に，長い年月をかけて大量の崖錐が堆積した結果であることが推測される．今回の事例から，複雑な地形や崖錐が見られる坑口部では，地形図や部分的なボーリング調査



写真-10　崖錐堆積物の撤去(沢地形部)



写真-11　坑口部全景



写真-12　斜め支保工区間が完了した状況

結果だけでなく，縦横断的に地質を評価できる弾性波探査測定とボーリング調査を併用して調査を行うことの有用性は高いと考えられる．

坑口部の安定化対策を終えた状況を写真-11に，斜め支保工区間が完了した状況を写真-12に示す．土留め擁壁の表面処理については現在検討中であ

るが，斜坑門との関係も考慮し，景観，走行安全性の双方を満たすような完成形を考えていきたい．

8 おわりに

坑口部の修正設計について，追加調査や検討に余裕をもって対応したことから，工事を中止することなく進められている．出口側(起点側)でも落石対策などの同様な事象が懸念されることから，早期に検討を行い，工事を中止することなく対策を行う予定である．

今後，道路トンネル工事は，坑口部の制約条件がますます厳しくなり，難易度の高い事象が数多く発生することが予想されるが，本工事で行った追加調査や設計変更が同種工事の参考となれば幸いである．

参考文献

1) NPO法人臨床トンネル工学研究所：臨床トンネル工学，特集号3，斜坑門トンネル特集，2008.9.

書籍紹介



トコトンやさしいトンネルの本

土門　剛・三浦基弘 著　2018年2月刊
A5判　160頁　本体価格1,500円　日刊工業新聞社

建造物として何千年もの歴史があるトンネルは，世界の国々の発展や文化と密接にかかわってきた．トンネルの造り方は場所や規模などによって多様である．また，これからの時代，トンネルの維持管理は重要な社会課題である．本書ではそんなトンネルの話題を幅広く紹介している．

【主要目次】

第1章　トンネルを知るためのはじめの一歩
第2章　トンネルの歴史を振り返る
第3章　トンネルはどのように通す？
第4章　様々な災害に備えるトンネル
第5章　トンネルの維持管理の秘訣
第6章　これからのトンネルと社会を考えよう

施工

重要構造物に近接した急曲線・急勾配の大断面シールドの施工

—横浜環状北線　馬場出入口シールド—

首都高速道路(株)神奈川建設局工事事務所主任　菊地勇気
首都高速道路(株)神奈川建設局設計課　小島太朗
清水・東急特定建設工事共同企業体工事長　西丸知範
清水建設(株)土木技術本部シールド統括部課長　鹿島竜之介

1 はじめに

高速神奈川7号横浜北線(以下「北線」)は，横浜市の交通ネットワークの骨格を形成する横浜環状道路の北側区間，第三京浜道路「横浜港北JCT」から首都高横羽線「生麦JCT」をつなぐ延長約8.2kmの自動車専用道路である．

本線は2017(平成29)年3月に開業している(図-1)．

本工事は，北線のほぼ中央に位置する馬場出入口(A～Dの4本のランプトンネルを開削工法およびシールド工法により構築)および馬場換気所を構築するとともに，大田神奈川線を整備・拡幅する工事である(図-2)．

本稿では，急勾配・急曲線・小土かぶりの施工条件が特徴であったBランプシールド，発進直後に送電鉄塔の直下を掘進したDランプシールド，北線の本線が開業したあとに掘進および到達を行ったAランプシールドの対策と結果について記述する．

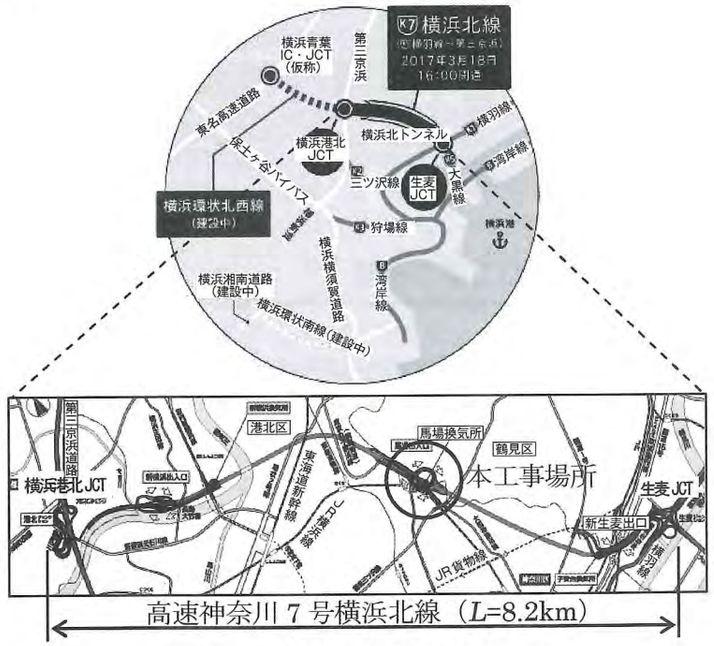


図-1　高速神奈川7号横浜北線位置図

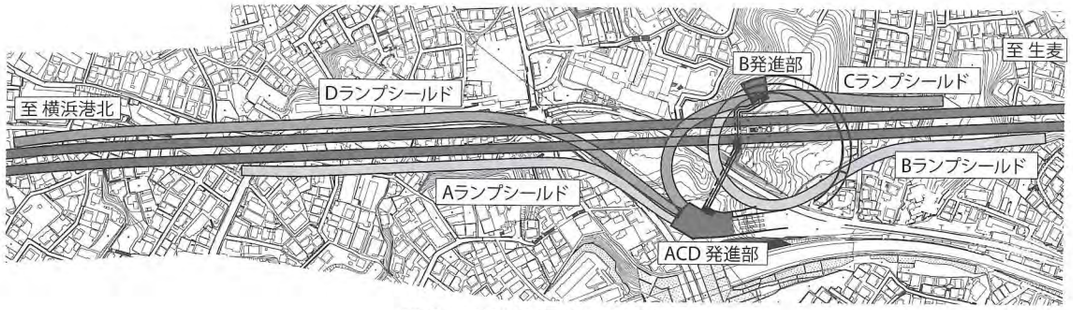


図-2　馬場出入口全体平面図

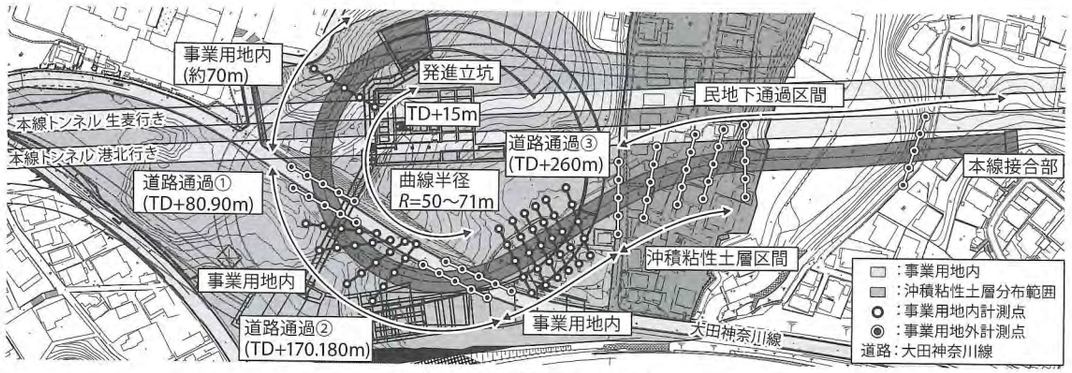


図-3　Bランプシールド平面図

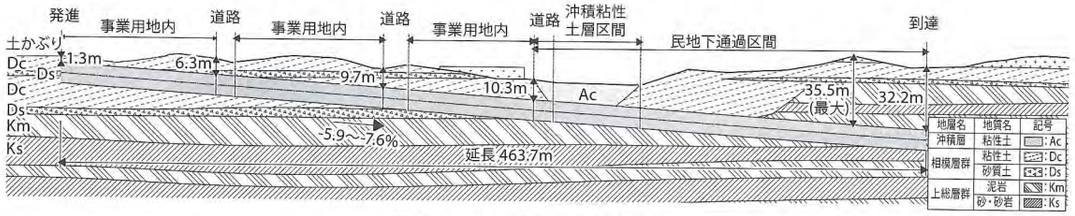


図-4　Bランプシールド縦断図

2　馬場出入口工事の概要

2-1　工事概要

工事件名：(高負)横浜環状北線馬場出入口・馬場換気所及び大田神奈川線街路築造工事
施工場所：横浜市港北区菊名５丁目～神奈川区西寺尾１丁目
発 注 者：首都高速道路(株)
施 工 者：清水・東急特定建設工事共同企業体

2-2　シールド工事の概要

2-2-1　Bランプシールドの概要

図-3，4に示すとおり，発進立坑から延長約70mの区間は事業用地内にある．事業用地を出ると，道路下を３度横断したのちに民地下を通過し，本線トンネルと接合する．縦断線形は，全線において5.9～7.6%の下り勾配であり，急勾配施工となる．また，平面線形は全延長の78%が曲線であり，最小曲線半径50mの急曲線区間を有する．土かぶりは，発進部で最小1.3m(0.12D)，到達部付近で最大35.5mである．

2-2-2　Dランプシールドの概要

図-5に示すとおり，発進立坑から約100mの区間は事業用地内を掘進し，事業用地を出ると綱島街道直下を約320m進み，民地下を通過し本線トンネルと接合する．発進から延長約15mの地上に写真-1に示す送電鉄塔(以下，「鉄塔」)があり，トンネルと鉄塔の基礎までの最小離隔は図-6に示すように，4.7m(0.48D)である．最小離隔となる地点での土かぶりは7.9m(0.79D)であり，地表からトンネルの天端まで軟弱なローム層が堆積している．

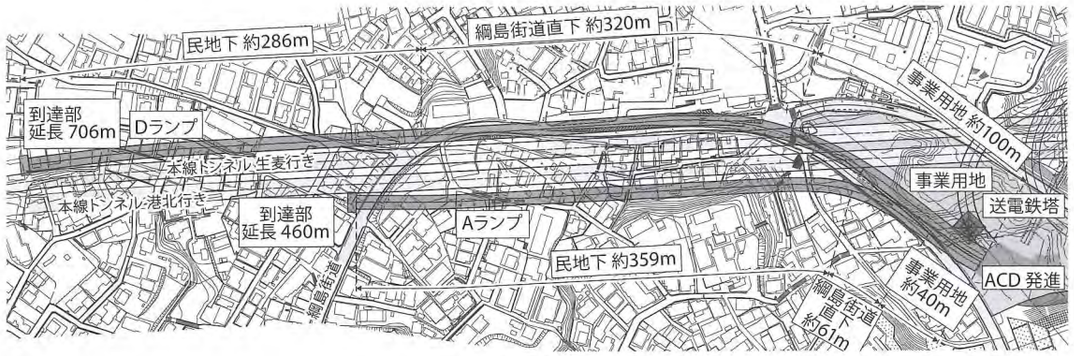


図-5　D，Aランプシールド平面図



写真-1　送電鉄塔

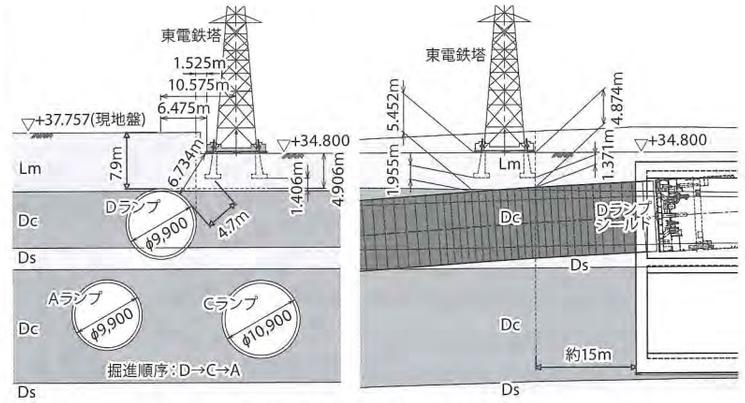


図-6　送電鉄塔とシールド位置

表-1　ランプシールド概要

	Aランプ	Bランプ	Cランプ	Dランプ
延　　長(m)	459.8	463.7	366.8	706.3
土 か ぶ り(m)	20.1～51.1	1.3～35.5	15.4～30.9	4.3～43.6
掘 削 外 径(m)	10.13	10.83	11.13	10.13
仕上がり内径(m)	9.10	9.80	10.10	9.10
最 小 曲 線R_{min}(m)	80	50	51	109
最 急 勾 配i_{max}(%)	-7.4	-7.6	-8.1	-7.5
工　　法	泥土圧(気泡)			
セ グ メ ン ト	RCセグメント，コンクリート中詰め鋼製セグメント			

2-2-3　Aランプシールドの概要

図-5に示すとおり，発進立坑から約40mの区間は事業用地内を掘進し，事業用地を出ると綱島街道直下を約61m進み，民地下を通過し本線トンネルと接合する．Dランプと同様，発進から延長約15mの地上に鉄塔があり，また先行して掘進を完了したDランプシールドと近接している(図-6)．

北線の本線は2017(平成29)年３月に開業しているため，供用している本線に近接しての掘進および到達となる．

3　施工上の課題と技術的対策

3-1　Bランプシールド

3-1-1　線形確保

全線において5.9～7.6%の下り急勾配であるこ

とに加え，平面線形は全延長の78%が曲線であり，最小曲線半径50mの急曲線施工となることから，シールドの線形確保が課題であった．この課題に対し，以下の対策を実施した．

（1） シールド

大断面シールドで急曲線区間においても高精度の線形管理を実現するために，F-NAVIシールド工法[1]の前胴首振りシステムを採用し，掘進途中での中折れ操作を可能にした．

（2） セグメント

急曲線区間のセグメントは，最小テールクリアランスを20㎜以上確保できる幅とするため，最小曲線半径R＜51mは幅500㎜，51m≦R＜103mは幅600㎜，103m≦R＜151mは幅1,000㎜，151m≦Rは幅1,500㎜とセグメント種類を細分化し割付けを行った．

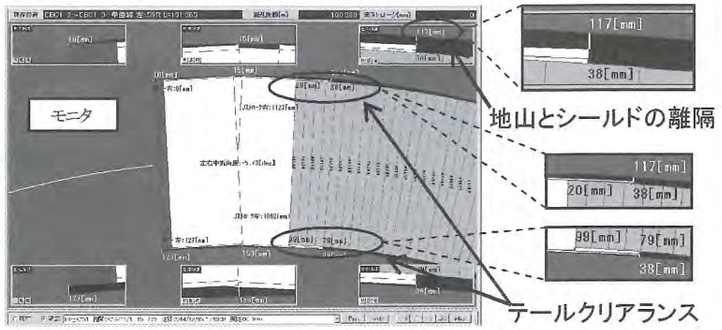


図-7　掘進状況可視化システムの表示例

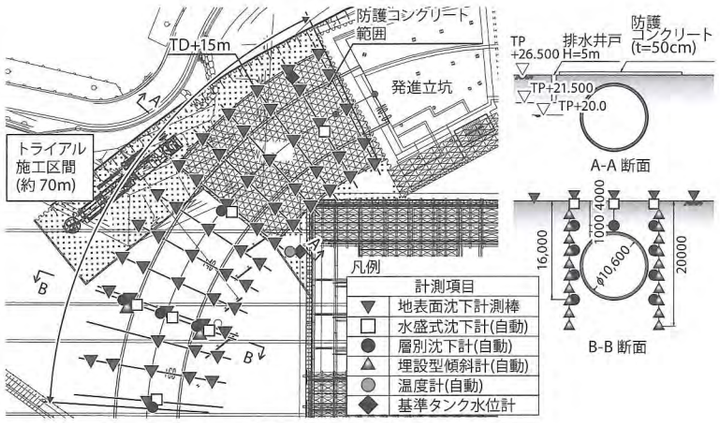


図-8　トライアル施工概要

（3） 線形管理

シールドの測量は，トータルステーションおよびジャイロコンパスによるリアルタイム自動測量システムを採用した．また，線形精度の向上を図るため，余掘り範囲とシールドおよびセグメントの座標を計算し，図-7に示すように地山とシールドの離隔およびテールクリアランスをリアルタイムかつ定量的に可視化できる掘進状況可視化システム[2]を採用した．

3-1-2　小土かぶり区間の施工[3]

Bランプシールドの発進部は最小土かぶり1.3mであり，発進直後の小土かぶり区間において，地下水位の条件によってはセグメントが浮き上がる可能性があることがわかった．対策としては，コンクリート中詰め鋼製セグメントを採用し，セグメント自体を重くした．また，シールド発進から延長約30m区間のトンネル直上に厚さ50cmの防護コンクリートを設置した．

以上の対策を実施したことで，トンネルの安定に対する安全率を1.2以上確保した．

3-1-3　地盤変状抑制[4]

図-4に示すとおり，供用中の道路下通過部および民地下通過部の最小土かぶりはそれぞれ6.3m(0.58D)，10.3m(0.95D)である．また，民地通過部の土質は，地表からトンネルスプリングライン付近までが高有機質土を含む沖積粘性土層であることから，シールド掘進に伴う地盤変状を抑制し，近接構造物への影響を低減することが課題であった．この課題に対し，以下の対策を実施した．

（1） トライアル施工による掘進管理値の設定

小土かぶり部においては，シールド掘進に伴う影響が即時に地表面に及ぶため，より慎重な掘進管理を行うことが重要となる．そこで，図-8に示すとおり，発進から約70mの事業用地内において

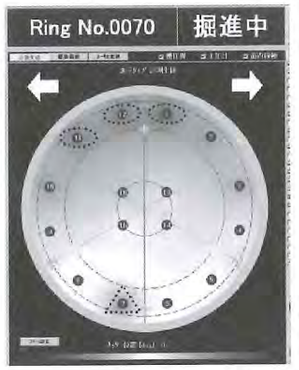


図-9　チャンバ内可視化

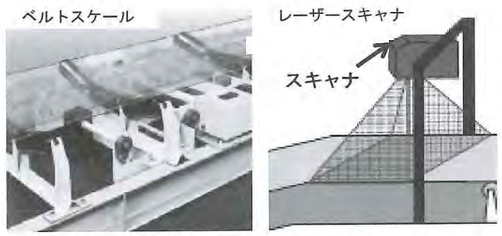


図-10　土量管理システム

トライアル施工を実施し，そこでの計測データにもとづいて切羽土圧，添加材注入，余掘り充填注入および裏込め注入の管理値を設定した．

（2） チャンバ内可視化による掘削土の塑性流動性確保

図-4に示すとおり，5.9～7.6%の下り勾配であり，かつ互層の土層構成であるため，掘進に従って切羽の土質が大きく変化する施工条件である．そのため，掘削土の性状をリアルタイムに把握することが重要となる．そこで，チャンバ内可視化技術を導入し，掘削土の性状をリアルタイムに把握するとともに，必要に応じて添加材(気泡)を注入し，塑性流動性を確保した．ここで，チャンバ内可視化技術とは，シールド隔壁に取り付けた土圧計データの標準偏差およびフーリエ振幅を指標値として，チャンバ内の土砂性状を面的に評価・可視化する技術である(図-9)．

（3） 土量管理システムによるリアルタイムの排土量管理

今回，現場条件を鑑み，ずり鋼車による排土方式を採用した．しかし，従来のずり鋼車の土量管理では，リアルタイムに排土量を管理することが困難である．そこで，ずり鋼車へ積込む前に通過するベルトコンベヤ上の掘削土の体積をレーザースキャナで，重量をベルトスケールで測定し，排土量をリアルタイムに把握し，掘進管理に反映した(図-10)．

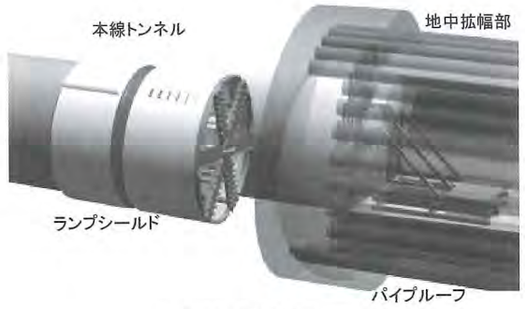


図-11　到達部概要図

（4） 余掘り充填材による地山の緩み防止

最小曲線半径50mの急曲線部では，シールドの方向制御のために最大230㎜の余掘りを確保する必要があったため，余掘り部の地山の緩みが懸念された．そこで，シールド鋼殻に設置した注入口から余掘り部に充填材(特殊ガラスに水と粘土鉱物系材料を混合)を注入し，地山の緩みを防止した．

（5） 初期強度発現型裏込め材による地山の緩み防止

小土かぶり施工において，テールボイドに起因する地盤変状を抑制するためには，裏込め材の確実な充填と早期の強度発現が重要である．そこで，道路・民地下通過区間では，初期強度発現型の裏込め材(材齢1時間の圧縮強度0.05N/㎟：標準配合0.02N/㎟)を使用した．また，急曲線部(R＜200m)の地盤反力の確保の目的でも使用した．

3-1-4　本線トンネルの影響低減[5]

本工事の到達は，図-11に示すように，パイプルーフ工法による本線トンネルの地中拡幅部にシールドを到達させる．Bランプシールドと本線トンネルの到達部での平面最小離隔は350㎜の超近接施工となる．

シールド掘進の影響による本線トンネルの健全性評価と掘進時の管理値を設定するため，梁-ば

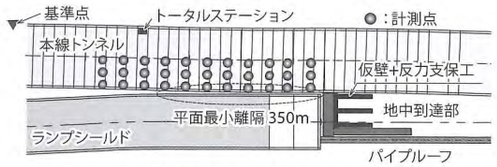


図-12　地中到達部(平面図)

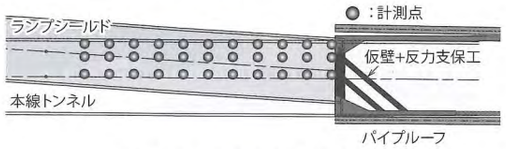


図-13　地中到達部(縦断図)



図-14　地中到達部(横断図)

ねモデルによる本線トンネルの構造解析を行った．また，構造解析で算出した変形量および応力度の関係から掘進管理値(切羽土圧，裏込め注入圧)を設定した．

シールド掘進時には，本線トンネルの変形量をリアルタイムに把握するため，図-12～14に示すようにトータルステーションによる自動計測を実施し，その計測結果を施工中の掘進管理に反映させた．さらに，本線側の到達部には，到達時の安定性を確保するため，仮壁および反力支保工を設置した．また，到達の切開き時における接合部の止水性確保のため，到達後に機内からの薬液注入を行った．

3-2　Dランプシールド[6)]

3-2-1　鉄塔の変状抑制

Dランプシールドは，発進から延長約15mの地上に位置する鉄塔の変状を抑制することが最大の課題であった．この課題に対して，以下の対策を実施した．



写真-2　送電鉄塔基礎の補強状況

(1)　鉄塔基礎の補強

既存の鉄塔基礎は，4本の基礎が独立していたため，不同沈下などの変状が発生しやすい状態であった．そのため，写真-2に示すように，4本の基礎をコンクリート盤で一体化する補強を行い，不同沈下などの発生を抑制した．

(2)　鉄塔の計測管理値の設定

写真-2に示すように，鉄塔基礎の4か所の変位をトータルステーションを用いて自動計測した．変位量の管理値は企業者と協議を行い，1次管理値，2次管理値，および許容変位量を設定した．

(3)　掘進管理値の設定

鉄塔付近は，小土かぶり(0.79D)であり，切羽土圧や裏込め注入量，注入圧の影響が即時に鉄塔や地盤の変状につながるため，慎重な掘進管理が必要であった．

先行のBランプでのトライアル施工区間では，小土かぶり区間における切羽土圧の管理値を静止土圧＋水圧＋変動圧としたところ，地盤の隆起傾向が確認された．この実績を反映し，Dランプシールドでは，切羽土圧の管理値を主働土圧＋水圧＋変動圧とし，沈下や隆起などの変状が発生した場合には，変状の発生位置を確認しながら，切羽土圧や裏込め注入量，注入圧などの管理値を調整する計画とした．

3-3　Aランプシールド

3-3-1　供用中本線トンネルの影響抑制

Aランプシールドは，本線トンネルが2017(平成29)年3月に開業したあとの掘進となった．そのため，供用している本線トンネルに影響を与えずに掘進を完了させることが最大の課題であった．この課題に対して，以下の対策を実施した．



写真-3　プロテクタ設置状況



写真-5　本線内計測器(トータルステーション)



写真-4　プロテクタ内作業状況



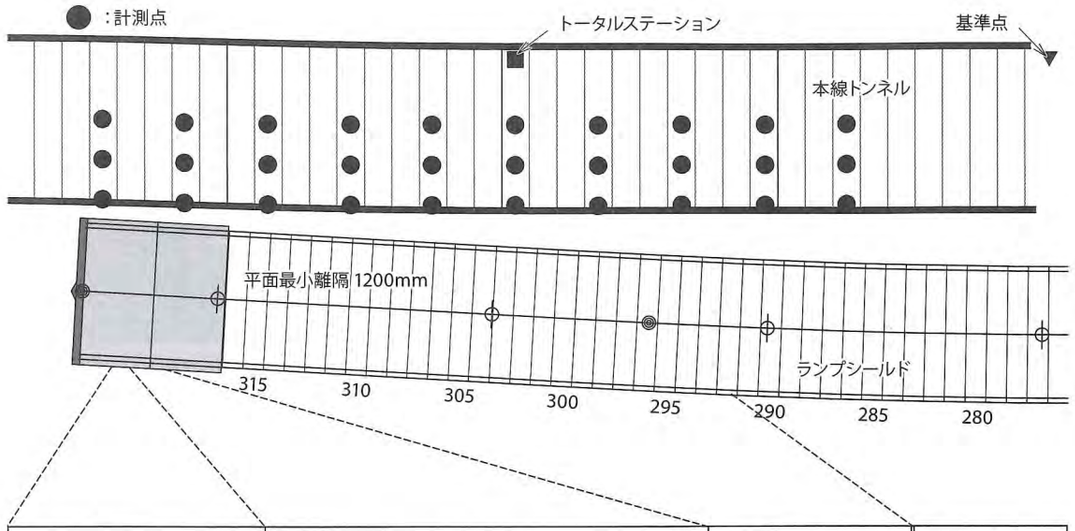
写真-6　本線内計測器(水レベル式沈下計測器)



写真-7　本線内監視カメラ

そこで，本線トンネル内の自動計測を計画，実施した．計測は，トータルステーションによるトンネル内面の変位計測と，水レベル式沈下計測器によるトンネル下半の鉛直変位計測の2種類を実施し，掘進時の本線トンネルの変状をリアルタイムに把握できるようにした(写真-5，6)．

また，本線内には監視カメラを設置し，監視員



0～1.5m	1.5～2.6m	2.6～45m	到達までの距離
ロックボルトに接触	薬注ゾーン侵入	到達掘進開始	位置
仮壁の変位を見ながら低減	平衡土圧+予備圧(0.03MPa) (マシン中心で管理)		切羽土圧
10mm/min 以下		10～25mm/min	掘進速度
注入位置の切羽土圧+0.2MPa			裏込め注入圧
目標値：テールボイドの130%			裏込め注入量
早期強度発見型(σ_{1hr}=0.05N/mm², σ_{28}=2.50N/mm²)			裏込め材配合

図-15 到達掘進管理

の配置と合わせて，掘進中の本線内状況を常時監視した(写真-7)．

(3) 到達部の掘進管理

到達掘進において，本線トンネルに与える影響を少なくするためには，掘進時の周辺地盤の緩みを極力減少させることが重要である．そのためには切羽土圧を安定させること，裏込め注入材を確実にテールボイド内に充填させ早期に硬化させることが必要であると考えた．上述の方針に従い，Aランプシールド到達掘進では，図-15に示す掘進管理を実施した．

表-2 トライアル施工区間の掘進結果

	計画値(理論値)	トライアル区間		
		区間1	区間2	区間3
土かぶり	—	2.0～3.5m	3.5～5.0m	5.0～6.3m
切羽圧	静止土圧＋水圧＋変動圧(0.02MPa)	計画値	計画値 −0.02MPa	計画値 −0.02MPa
余掘り充填率	余掘り量の50%	50%	0%	10%
裏込め充填率	110%以下	110%		
地盤変状	—	前面隆起 直上隆起	直上沈下	前面隆起

4 施工結果

4-1 Bランプシールド

掘進前に設定した計画掘進管理値およびトライアル施工区間における掘進結果を表-2に示す．計画の掘進管理値において掘進したところ，カッタ通過前および中折れ通過時に地盤の隆起が見られたため，切羽圧を計画切羽圧より0.02MPa下げ，さらに余掘り充填注入率を0～10%とした．

Bランプ掘進結果を表-3に示す．トライアル施工の結果，静止土圧ベースの切羽圧において隆起傾向が見られた．これを反映し，トライアル施工区間以降の掘進では，静止土圧ベースより若干下げた切羽圧において掘進を行い，かつ地盤変状の傾向に合わせ管理値を設定し掘進を実施した．その結果，いずれの測点においても1次管理値内に抑えて掘進を完了することができた．

また，本線トンネルと近接している到達部の施工結果を表-4に示す．3-1-4項に記した対策を実施した結果，本線トンネルの変形量を管理値内に抑制し，施工することができた．また，到達後の切り開き作業などを含めて，異常出水なども発生

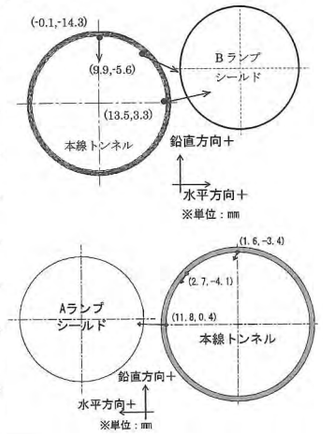
表-3 Bランプ掘進結果

	道路通過① TD＋80，90m	事業用地	道路通過① TD＋170，180m	事業用地	沖積粘性土区間 TD＋260m	沖積粘性土区間 TD＋275m	沖積粘性土区間 TD＋290m	土かぶり 1D以上
土かぶり(m)	6.3～7.2	7.2～9.7	9.7～13.0	13.3～9.4	10.3～12.0			12.0～32.2
切羽圧(MPa)	計画値 −0.03	計画値 −0.03	計画値 −0.04～−0.06	計画値 −0.06	計画値 −0.06～−0.05			計画値 −0.06
余掘り充填率(%)	10			0				0
裏込め充填率(%)	110					120		110

表-4 到達部本線トンネル計測結果(B，Aランプ)

計測位置	変位の方向	形状	1次管理値(2次×80%)	2次管理値	計測値(収束最大値)
本線トンネル スプリングライン (Bランプ)	—側	縦潰れ	−8	−15	−0.1
	＋側	横潰れ	8	15	13.5
本線トンネル スプリングライン (Aランプ)	—側	縦潰れ	−10	−12	−3.4
	＋側	横潰れ	14	18	11.8
本線トンネル インバート (Aランプ)	—側	沈下	−2	−3	−0.9
	＋側	隆起	4	5	0.9
超過時の対応			計測頻度増	掘進停止対策協議	管理値内で収束

(単位：mm)



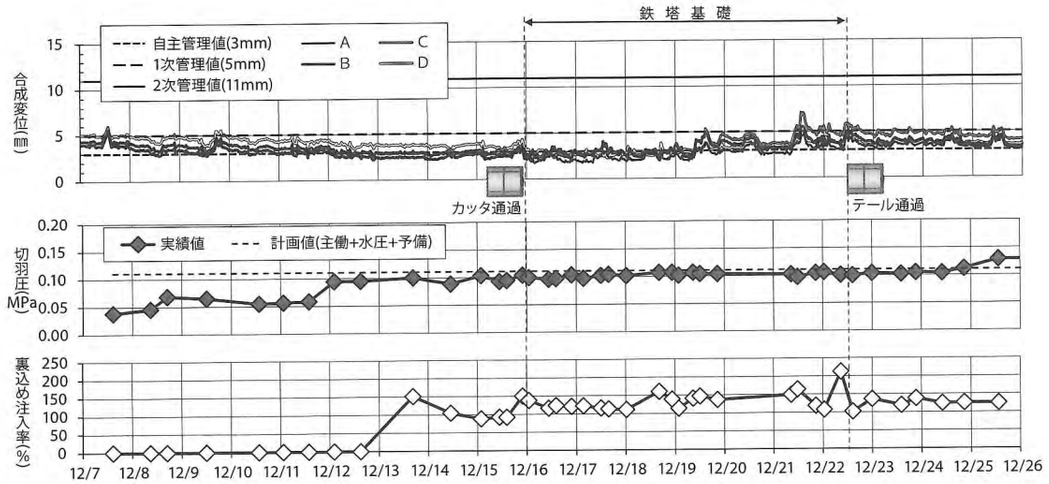


図-16 鉄塔基礎の変状計測結果

せず安全に施工を完了することができた．

4-2　Dランプシールド

鉄塔付近の施工結果を図-16に示す．3-2-1項に記した対策を実施した結果，周辺の地表面において若干の隆起傾向が見られたが，鉄塔への影響を抑制でき，協議により設定した管理値内で施工することができた．また，初期強度発現型の裏込め材の使用により，事後の変状も抑制することができた．

4-3　Aランプシールド

Aランプシールドは2017(平成29)年5月に発進し，8月末に到達した．3-1-4項に記した対策が奏功し，本線トンネルの供用に影響を与えることなく，本線トンネル計測についても，管理値以内の変位に抑えることができた(表-4)．

5　おわりに

急勾配・急曲線・小土かぶり施工，重要構造物の近接施工，本線供用中の掘進および到達施工と，さまざまな難条件における大断面のシールドの施工事例について紹介した．掘進前の入念な対策および施工管理計画に加え，掘進を重ねて得た施工実績を考察し掘進管理値に反映し，さらには掘進中の計測結果をリアルタイムにフィードバックし施工を実施したことで，周辺地盤および近接構造物への影響を抑制しながら掘進を完了することができた．本稿で述べた筆者らの経験が，今後の類似工事の一助になれば幸いである．

最後に，この場を借りて，多大なるご協力をいただいた関係各位に深く感謝の意を表する．

参考文献

1) 林裕悟・鹿島竜之介・島厚夫：F-NAVIシールド工法による高速施工の事例紹介，建設機械，2008.8.
2) 渡邊裕輝・副島直史・遠藤啓一郎：急曲線シールドにおける掘進状況可視化システムの開発，第71回年次学術講演会公演概要集，土木学会，2016.
3) 小野塚直紘・岸田政彦・副島直史：横浜環状北線ランプシールドにおける線形確保対策，第70回年次学術講演会公演概要集，土木学会，2015.
4) 溝口孝夫・遠藤啓一郎・塩出健二：横浜環状北線ランプシールドにおける地盤変状対策，第70回年次学術講演会公演概要集，土木学会，2015.
5) 副島直史・岩居博文・鹿島竜之介：横浜環状北線馬場出入口工事におけるシールド到達部の併設影響，第71回年次学術講演会公演概要集，土木学会，2016.
6) 溝口孝夫・遠藤啓一郎・西田充：横浜環状北線馬場出入口工事における送電鉄塔下のシールド掘進報告，第71回年次学術講演会公演概要集，土木学会，2016.

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

(注：「現場だより」の投稿は受付けしておりません)

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

施工

路盤下変位計測を活用した対策工により膨張性地山を掘削

—東北中央自動車道　三吉山トンネル—

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
(株)大林組東北支店三吉山トンネル工事事務所工事長　秋山剛史
(株)大林組本社土木本部生産技術本部トンネル技術部上級主席技師　木梨秀雄

1　はじめに

東北中央自動車道は，福島県相馬市を起点に福島市，山形県米沢市，山形市を経由して秋田県横手市に至る延長268kmの高速自動車国道であり，常磐，山形県内陸部と南東北，北東北相互の高規格道路網を形成するものである(図-1)．

三吉山(さんきちやま)トンネル(以下「本トンネル」と称す)は，JR奥羽本線山形駅の南方7～13kmに位置し，南陽高畠～山形上山区間において最長の2,980mを有する暫定2車線高速道路トンネルである．

本トンネルでは，切羽掘削中に膨張性粘土鉱物を多量に含む凝灰角礫岩が湧水とともに局所的に出現し，300㎜を超える内空変位が発生したが，対策を実施することで変状区間を無事突破することができた．

一方で，他の供用中トンネルでは，膨張性地山の作用を起因とする長期的な路盤隆起により，インバートの改築が必要となるケースが発生している．このことから，本トンネルにおいても新たに開発したインバート変位計

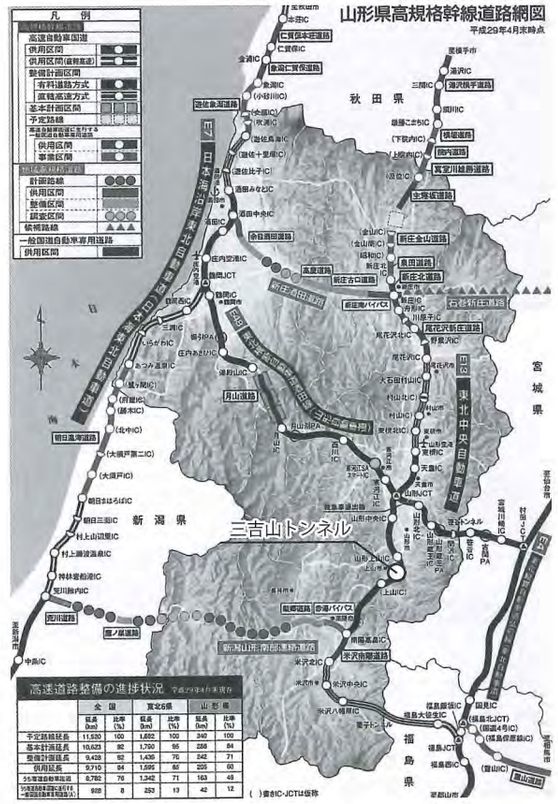


図-1　位置図

を用いてインバート部の変位を追加計測したところ，内空変位は収束傾向を示しているものの，路盤が急速に隆起していることが確認された．

本稿では，工事中におけるインバート部の変位計測結果と，その結果を活用した盤ぶくれ対策の施工実績について報告する．

2　工　事　概　要

工事概要を表-1に示す．また，本トンネルの標準断面図を図-2に示す．

3　地形・地質概要

本トンネルは，東北地方を東西に分断する奥羽山地の一員をなす蔵王山の西翼末端部に位置する．蔵王山は火山帯の総称で，これら火山山地の稜線の西翼部に分岐した尾根山麓部と，その谷間に形成された扇状地を小土かぶりで通過する．トンネル区間の最大土かぶりは156.3m，坑口部を除く最小土かぶりは14.5mである．

地質は，新第三紀中新世に属する吉野層と鮮新世に属する葉山層を基盤とし，第四紀層が表層部を覆っている．葉山層は，凝灰角礫岩層(Htb)と安山岩層(Han)が互層状をなし，これを切ってトンネル中間付近に吉野層流紋岩(Yry)の貫入岩が一部に分布する(図-3)．

安山岩は暗灰色を呈し，やや多孔質だが硬質で，柱状節理やブロック状節理などの冷却節理が発達していた．また，凝灰角礫岩は灰色を呈する塊状無層理な岩盤で，礫径が数cm～数十cmの安山岩礫と固結度の弱い基質部からなり，岩片は軟質だが切羽での自立性は良好な地山状況であった．

表-1　工事概要

工　事　名	東北中央自動車道三吉山トンネル工事
工事場所	山形県上山市関根～金谷
発　注　者	東日本高速道路(株)東北支社
施　工　者	(株)大林組
工　　期	2013(平成25)年5月～2018(平成30)年2月
トンネル延長	L＝2,980m(坑門工を含む)
掘削断面積	標　　準A＝ 80.3m^2 非常駐車帯A＝100.9m^2
掘削方式	機械掘削方式：　0～310m 発破掘削方式：310～2,980m
掘削工法	機械：上半先進ベンチカット工法 発破：補助ベンチ付き全断面工法

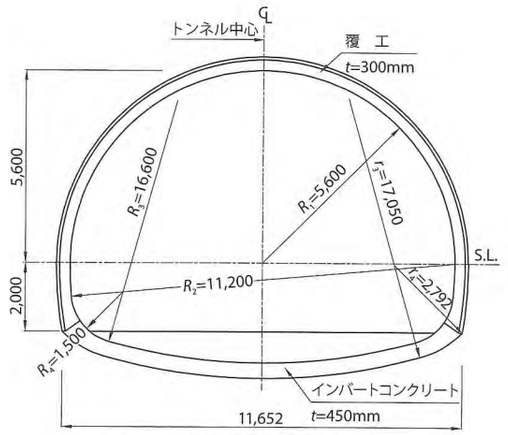


図-2　標準断面図

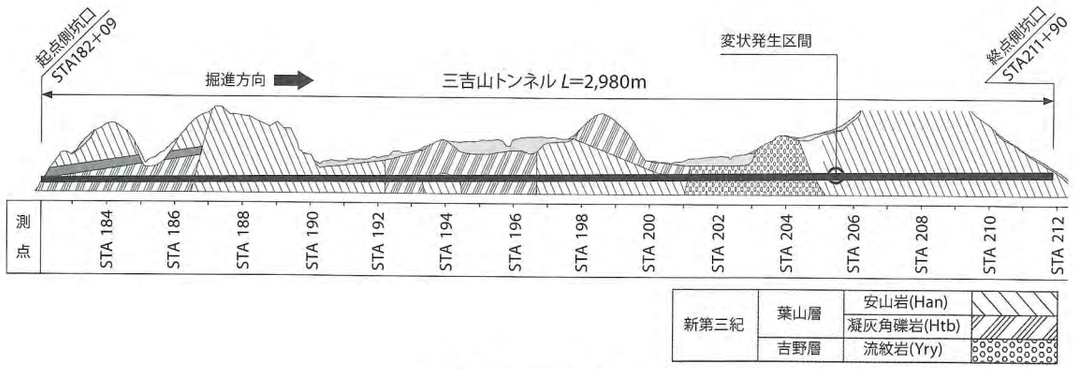


図-3　地質縦断図

4　切羽掘削時の状況

4-1　地形・地質

今回のトンネル変状は，坑口より約2,300m地点の延長65.4m間(STA.205＋16.80～STA.205＋82.75)で発生した．

この区間の最大土かぶりは66m，設計段階では弾性波速度が4.0～4.2km/sの硬質な安山岩で構成される地質であると想定され，支保パターンはCI-aで設計されていた．

しかし，切羽には設計段階では想定されていなかった凝灰角礫岩が局所的にトンネルと交差するように出現した(図-4)．この凝灰角礫岩は緑灰色を呈し，基質は熱水変質を受けて粘土化しており，先に出現した凝灰角礫岩とは明らかに異質であった．また，安山岩との層理面から発生した毎分約200Lの湧水とともに切羽の崩落がしばしば発生し，鏡面の安定性が著しく低下している状況であった(写真-1)．

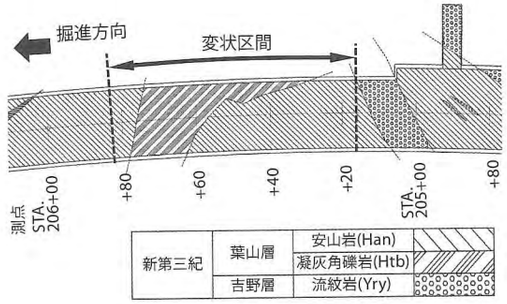


図-4　変状区間地質平面図(施工実績)



写真-1　鏡面崩落状況

4-2　切羽掘削時の変状と対策

2016(平成28)年11月に当該区間を掘削した直後には大きな変状は確認できなかったが，しばらくして吹付けコンクリートのひび割れやロックボルトプレートの曲がりなどのトンネル支保の変状が多数発生した(写真-2)．これら変状のほとんどは側壁部に集中しており，鋼アーチ支保工上半足元の建込み位置を計測したところ，最大で381㎜内空側に変形していることがわかった(図-5)．

当該区間における変状発生原因を考察するために，トンネル掘削時の地質や支保変状状況などを以下のように整理した．

① 当該区間の地質は新第三紀の凝灰角礫岩で多量の湧水が発生している．

② 凝灰角礫岩の分布域と鋼アーチ支保工変形範囲に相関がある．



写真-2　吹付けコンクリートのひび割れ

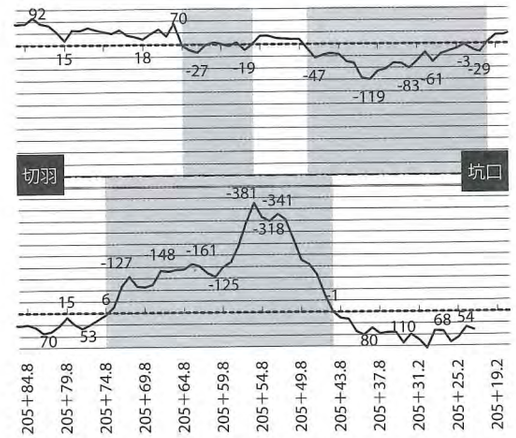


図-5　鋼アーチ支保工建込み位置測定結果

③　トンネル支保の変状は側壁部に集中しており坑内変位は天端沈下に比べて水平測線の内空変位が卓越している．

以上より，当該区間の変状原因は，新第三紀凝灰角礫岩での掘削による応力解放と，湧水の影響による吸水膨張やスレーキングなどの複合的な作用によるものと考えた．

ロックボルトは，膨張性地山に対しても効果的であり，できるだけ早期に打設して地山を拘束することが重要である．しかし，地山のゆるみ拡大に伴い，掘削中に打設したパターンボルト(3.0m)は十分な効果を発揮していないと考え，より長い増しロックボルト(6.0m)が必要であると判断した．水平測線の変位が卓越していることから，左右側壁部のパターンボルトの間に3本ずつ打設した．また，トンネル支保工は閉合されていない状態では十分な耐力や地山拘束力は望めない．したがって，早期に断面を閉合する必要があると考え，施工性がよく，支保機能の早期発現が可能な吹付けインバートによる断面閉合を採用した．吹付けインバートは，インバートコンクリートの下端に厚さ20cmで施工した．対策工を図-6に示す．

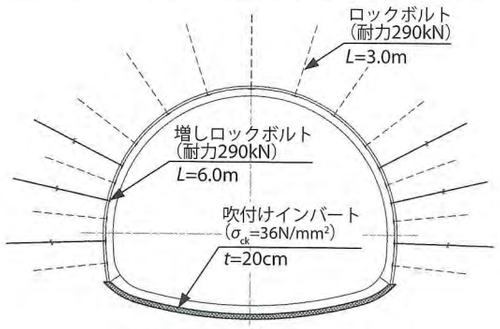


図-6　切羽掘削時の対策工図

図-7にSTA.205＋65の計測結果を示す．内空変位は，掘削直後から管理レベルⅢの50㎜を超える変位が発生した．増しロックボルトによって変位速度は若干低減したものの，切羽からの離れに関係なく依然としてクリープ的に変位が増大しているため，吹付けインバートによる断面閉合を行った．

最終的には内空変位は収束傾向を示し，トンネル掘削の再開後も変位は増加していない．したがって，地山の安定が確保されたと判断し，内空断面確保のために縫い返しを行った．

4-3　膨張性地山判定試験

膨張性地山のトンネルでは，一般的な地山とは特異な挙動を示すことが多いことから，工事中や高速道路供用後の検討資料として地山性状を詳細に調査しておくことが望ましい．

比較的硬質なCⅡ地山におけるインバート設置要否の判定手法において，膨張性の判定指標が提案されている[1]．本トンネルでは，参考文献1)を準用し，提案されている室内岩石試験を実施した．

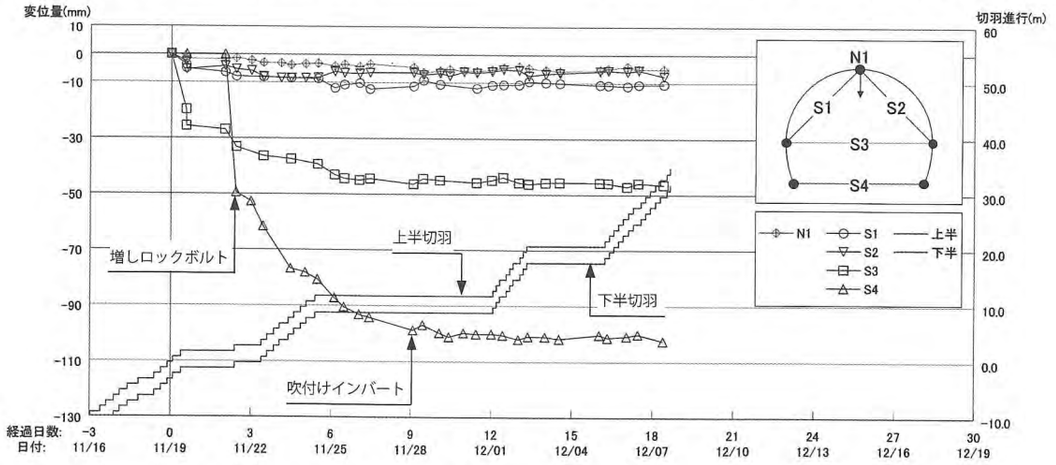


図-7　STA.205＋65計測結果

膨張性地山判定に関する試験項目および指標となる基準値を表-2に示す．本トンネルでは全項目の試験を実施し，オクトダイアグラムの形状により，水による影響度と粘土鉱物の含有量による膨張性地山の判定を実施した．室内試験を実施するための試料採取位置を表-3に示す．なお，試料は吹付けインバート施工時に原位置で岩石を採取した．

試験結果を図-8に示す．X線回折およびCEC試験どちらの試験結果も，全試料において極多量の膨張性粘土鉱物(モンモリロナイト：Ca型)が検出され，浸水崩壊度も基準値を超える結果となった．また，凝灰角礫岩(①，②)は吸水膨張率が基準値前後の値を示しており，安山岩よりも相対的に高い．以上より，当該区間の凝灰角礫岩は膨張性地山の可能性が高いと判断した．なお，安山岩は膨張性粘土鉱物を含有しているが，岩片強度が高いためトンネル変状は発生しなかったと考える．

表-2　試験項目と基準値

試験区分	項　　目	基準値
水による影響度を示す指標	自然含水比(%)	W_n≧20.0
	単位体積重量(kN/m³)	γ≦21.0
	浸水崩壊度試験	C，D
粘土鉱物の含有量を示す指標	塑性指数(%)	I_p≧60.0
	2μm以下の粒子含有量	含有量≧25.0
	吸水膨張率(%)	E_x≧2.0
	X線回折(スメクタイト含有量)	少量以上
	CEC試験(meg/100g)	CEC≧20.0

表-3　試料採取位置一覧

番号	採取位置	対象地質	採取方法	備　　考
①	STA.205＋54	凝灰角礫岩	原位置	左側壁 最大変状箇所
②	STA.205＋39	凝灰角礫岩	原位置	右側壁 最大変状箇所
③	STA.205＋12	安山岩	原位置	変状なし

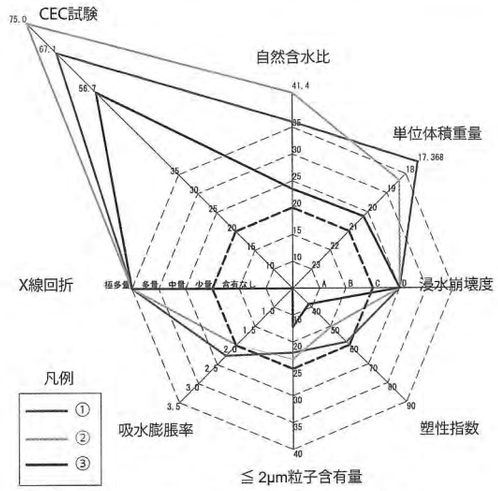


図-8　試験結果のオクトダイアグラム

5　インバート変位計測

5-1　追加計測の経緯

これまでに道路・鉄道ともに，供用中のトンネルにおいて膨張性地山の作用により路盤が長期間にわたって隆起したため，補強対策やインバートの改築が必要となるケースが発生している．高速道路トンネル内で盤ぶくれにより路盤にき裂が生じた例を写真-3[2]に示す．道路トンネルではインバートの改築や新設が必要となり，車線規制・通行止めなど利用者へ影響が及んでいる[3),4)]．

これらを防止するためには，トンネル施工中にインバートの隆起を把握し，補強対策を実施する必要がある．そのためには，通常の計測Aで実施している天端沈下・水平内空変位計測に加え，図-9のように鉛直方向の内空変位も観測して，補強の要否を判断するべきである．しかし，施工中は重機や車両の通行があるため，通常の基準点を設



写真-3　盤ぶくれで路面に発生したき裂[2]

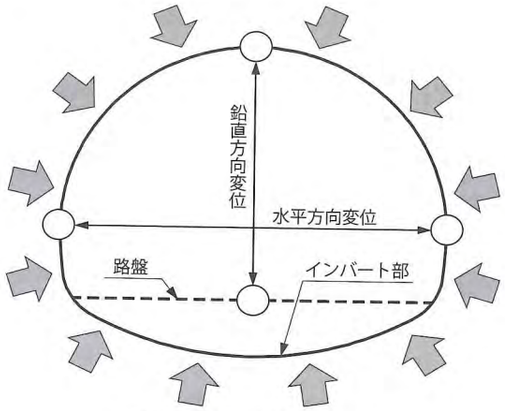


図-9　内空変位計測の概念

けて変位を計測する方法は困難である．また，これまでは計測Ａによりトンネル全体の変位収束を判断していた．

しかし今回報告するように，膨張性地山のトンネルでは計測Ａで変位収束が確認されていても，インバートの変位だけが著しく進展する現象を把握した．供用後に路盤の変状が顕在化するケースの多くは，施工中にも潜在的にインバートの変位が進行していたことが推定される．

このようなことから，施工時に重機や車両の通行に支障することなくインバート部の変位を計測できるシステムを開発し，本トンネルに本格適用した．

5-2　計測システムの概要と適用条件

5-2-1　システム概要

図-10に示すように，施工中の路盤下に水圧計と接続した水管を防護管内に埋設し，地上部に設置した基準水槽の水面との水頭差で隆起量を計測する．本システムにより，インバート部地山の鉛直変位を常時自動計測できる．また，基準水槽をトータルステーションなどによって計測することで，インバートの絶対変位量を把握できる．

5-2-2　計測器設置手順と計器の精度

インバート部の掘削を行い，地山もしくは吹付けインバートなどに埋設用の防護管を設置する．埋戻し後，防護管の中に計測器を挿入し，配線を行う．写真-4は，吹付けインバートに設置した例

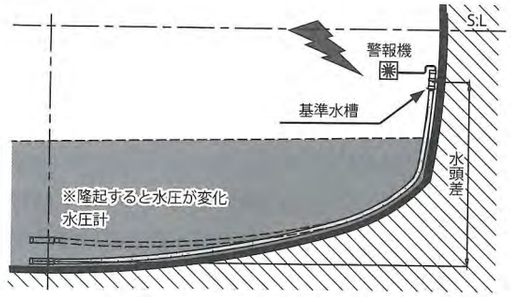


図-10　インバート変位計の概念



写真-4　保護管の設置状況

である．

微小な鉛直変位を上下できる装置を用いて計測精度について検証した．高精度のCDP変位計を真の変位とみなして段階的に変位を増加させたところ，100㎜の変位に対し，インバート変位計の誤差は0.5㎜(0.5％)未満であった．

5-2-3　適用ケースと計測事例

インバート変位計は，下半掘削後の路盤下などに設置するが，適用ケースとしては，主に以下のように分類できる．

（1）　設計にインバートコンクリートがあるケース

インバートコンクリート施工前に大きな内空変位が観測された場合に，インバート変位の計測結果から１次閉合の要否を検討できるとともに，インバートコンクリートの施工時期を判断できる．

（2）　設計にインバートコンクリートがないケース

切羽掘削中に大きな内空変位が観測された場合に，インバート変位の計測結果から１次閉合やインバートコンクリートの要否を判断できる．

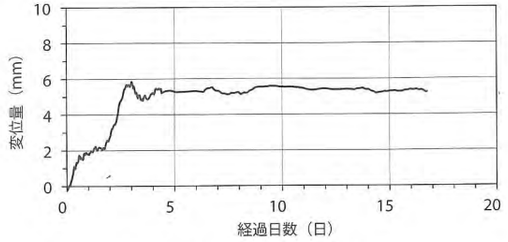


図-11　１次閉合後の計測事例

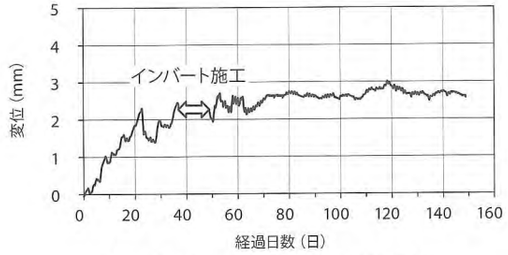


図-12　インバート施工前後での計測事例

なお，これらのケースにおいては，インバートコンクリート施工後も確認のために計測することが望ましい．

インバート変位計測は，これまで10例の計測実績があり，そのほとんどは１次閉合やインバート打設後の収束確認であった．図-11は，花崗岩変質帯地山において，ストラットと吹付けインバートで１次閉合したトンネルでの計測事例である[5]．計測直後に約５㎜の隆起が発生しているが，その後収束を確認した．また，図-12は頁岩地山において大きな内空変位が発生したトンネルでの計測事例[5]である．増しロックボルトで対策し，内空変位の収束を確認したのち，インバートコンクリートの施工前後で計測を実施した．インバートコンクリート施工前の1.5か月間に約２㎜の隆起が発生しているが，その後は収束傾向にあることから追加対策は不要と判断した．インバートコンクリート施工後は，３か月以上にわたり有意な変位はなく，収束を確認した．

6　本トンネルでの計測結果

本トンネルでは，切羽掘削時に変状が大きかった箇所に合わせてインバート変位計を２か所

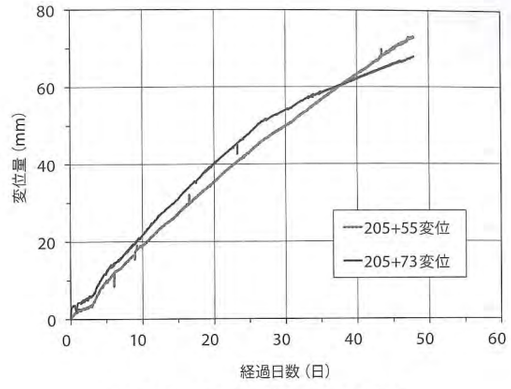


図-13　インバート変位計測結果



写真-5　吹付けインバートの破損状況

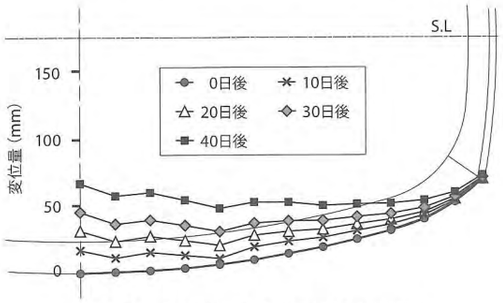


図-14　インバート部鉛直変位の分布

(STA.205＋55，STA.205＋73)設置した．計測結果を図-13に示す．約50日間に60㎜超の大きな隆起を確認しており，変位速度が大きかったため，変状区間の両端路盤下レベルで排水を実施したところ，変位速度が低減する傾向が認められた．しかし，すでに大きな変位が発生していたため，吹付けインバートの状況を確認したところ，ひび割れなどの損傷が確認された(写真-5)．

また，本システムの保護管内に加速度式変位計を併せて設置し，0.5mごとの鉛直変位の計測を試みた．

その結果，図-14のようにインバートのスパン中央部ほど変位が大きく分布していることがわかった．すなわち，本システムのように変位が最大となる中央部にセンサを設置して計測することは妥当であることがわかった．

7　盤ぶくれ対策工の検討

7-1　対策工の選定

これらの計測結果から，当該区間で盤ぶくれが進行していると判断し，このまま放置すれば供用後に対策が必要になることが想定されたため，対策工を実施することとした．

この盤ぶくれ対策としては，インバートに作用している荷重(膨張圧)に対抗できる構造に修正することが必要となる．まず，過去の同様なインバート変状対策の実績を考慮し，図-15のように掘削断面を，より円形に近づけるとともに，高規格支保工(HH-100)と吹付けインバート(厚さ150㎜)で閉合したうえで，最大厚約1.0mのインバートコンクリートの重量で変位を抑制する構造を選定した．

7-2　対策工検証の流れ

つぎに，本構造の妥当性について，解析により以下の手順で検証した．

① フォークト型の近似式を用いて対策前の1次閉合構造での残留変位を求める．

② フレーム解析において，アーチ部とインバート部に等分布荷重を外力として作用させ，①の残留変位が発生する荷重値を求める．

③ 対策後の構造に②で求めた荷重を作用させて部材の発生応力を照査する．

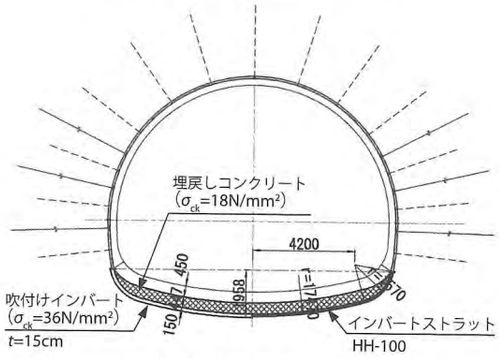


図-15　盤ぶくれ対策工図

7-3　残留変位量の予測

既往の計測結果から，インバート変位の経時変化のタイプは図-16のように分類することができる．Type Ⅰは，計測期間中に収束が確認できるものである．Type Ⅱは，変位速度の低下傾向はあるものの，長期にわたり収束確認が困難なケースである．Type Ⅲは，1次閉合などにより収束に向かう途中で耐力を超え，再び変位が加速するタイプである．いずれの場合も，時間が無限大になれば変位はある値に収束するものと考えられる．これらのような経時変化をたどるモデルとしては，ばねとダッシュポットを並列に配したフォークト型のモデル[6]で表現することができる．このモデルは，ある応力に対する時間依存型の弾性変形を表現しており，次式で表すことができる．

$$\sigma = E\varepsilon + \eta\frac{\mathrm{d}\varepsilon}{\mathrm{d}x} \qquad (1)$$

ここで，Eはばね定数，ηは粘性率を表す．

一定の応力σ_0が作用する場合の時間依存挙動は，以下の式で表される．

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E}\left(1-e^{-\frac{E}{\eta}t}\right) = \varepsilon_0(1-e^{-\alpha t}) \qquad (2)$$

ここで，ε_0は$t=\infty$におけるひずみを示す．また，αの逆数η/Eは緩和時間と呼ばれ，これが大きいほど変位の収束に時間を要することとなり，粘土鉱物を含む地山の挙動を表現できる．

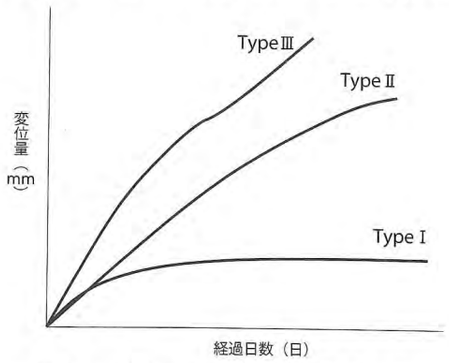


図-16　インバート変位の経時変化パターン

以上より，式(2)を用いることで経時的なインバート変位を予測することができる．以下の予測では，応力-ひずみを荷重-変位に置き換えて検討する．

今回の計測結果(図-13)は，変位速度が徐々に低減しており，時間tが大きくなると一定値に収束すると予想される．図-13のデータから変位速度の経時変化で示したものが，図-17である．2か所の実測データにもっとも近似する曲線をそれぞれ示している．供用後にインバートが改築されたケースでの計測事例によると，変位速度は数㎜/年～十数㎜/年程度であり，本トンネルにおける変位速度の1/10程度である．すなわち，施工中は変位量や変位速度が大きく，計測で捕らえやすいと考えられる．この変位速度の近似式を積分し，式(2)に対応する変位-時間関係の式を算出すると，図-18の点線で示す曲線のようになる．この結果から，将来インバートに発生すると考えられる最大の残留変位は，46㎜であるとわかる(図-19)．

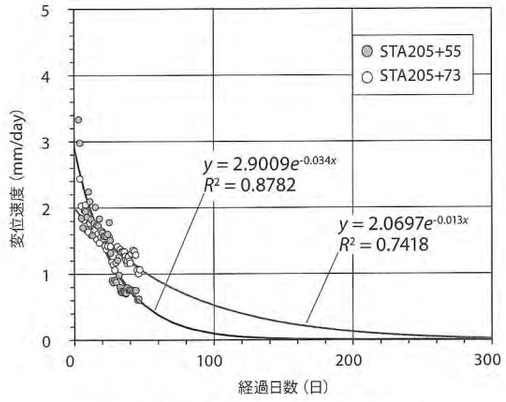


図-17　変位速度の経時変化と近似曲線

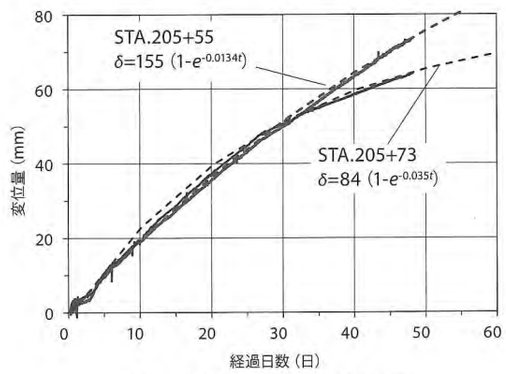


図-18　インバート変位の近似曲線

7-4　対策工の検証結果

フレーム解析において，支保に作用する等分布荷重を複数設定して解析すると，作用荷重-変位，および作用荷重-ストラット発生応力の関係は，ほぼ線形関係にあることがわかる(図-20)．この結果，予測した最大残留変位46㎜が発生したときのストラット発生応力は，降伏応力の60%程度であることがわかった．

また，吹付けインバートの発生応力は，設計基準強度の20%程度であり，本対策の妥当性が検証された．

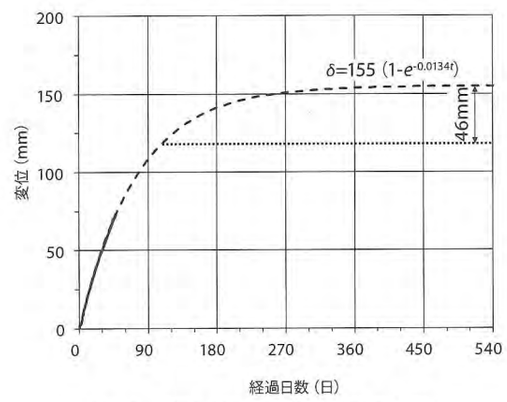


図-19　STA.205＋55残留変位の予測

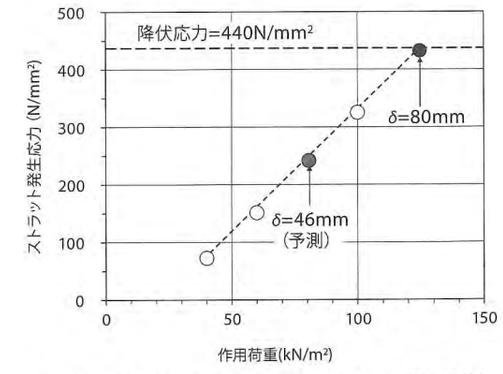


図-20　STA.205＋55ストラット発生応力(解析値)

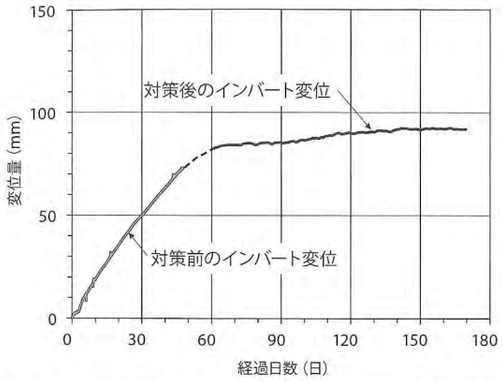


図-21　STA.205＋55対策後のインバート変位計測結果

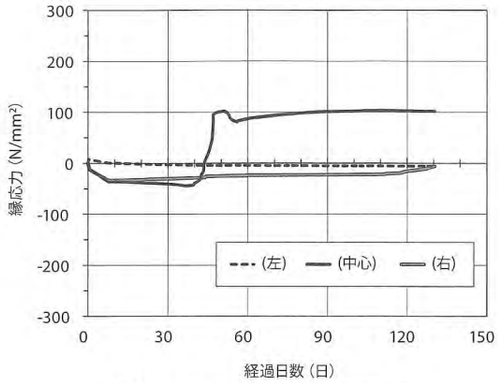


図-22　ストラット応力の経時変化

8　盤ぶくれ対策後の計測結果

その後，図-15の構造により盤ぶくれ対策工を施工した．切羽掘削時の対策工施工時に発生していた湧水は，排水により地下水位が低下した効果で，今回は確認されなかった．

盤ぶくれ対策工の施工完了後にはインバート変位に加え，インバートストラットの応力を計測した．図-21は図-13に示した盤膨れ対策施工前の著しい隆起傾向を示した計測結果に，対策施工後の計測結果を追記したものである．対策により，インバート変位が大きく抑制されていることがわかる．また，図-22に示すように，インバートストラットの内縁中央部に最大100N/㎟程度の曲げ引張応力が発生しているが，降伏応力の25%未満であり，かつこの値は図-20に示した予測値の38%程度であることから，対策工の効果が十分得られたものと評価できる．

9　おわりに

新たに開発したインバート変位計を用いて，膨張性地山における著しい路盤隆起を施工中に計測した．当該箇所は切羽掘削時に対策を実施して内空変位を収束させたが，その後，路盤だけが大きく隆起していることが本計測により判明した．従来は計測Aにより地山変位の収束を判断しているが，今回の事例によりインバート変位計測の重要性が明らかになった．また，供用後の路盤変状を防止するためには，切羽掘削中に大きな変位が発生した箇所ではインバート変位を計測し，その結果を反映させた対策を実施して変位を収束させることが重要であると考える．

本トンネルは，2017(平成29)年4月26日に実貫通を迎えることができた．東北中央自動車道の早期開通を願うとともに，本稿での知見が将来同種トンネル工事の参考となれば幸いである．

参考文献

1) 大嶋健二・城間博通・伊藤哲男・村地栄次・久保田龍郎：変状トンネルの要因分析に基づいたインバート設置基準の提案について，岩の力学国内シンポジウム講演論文集，Vol.11，No.1，pp.329-334，2001.
2) 宮沢一雄・安田賢哉・須山恭三・渡辺淳：昼夜連続通行止めによる全断面連続片押し工法でインバートを新設，磐越自動車道　鳥屋山トンネル，トンネルと地下，Vol.47，No.8，pp.7-18，2016.8.
3) 丸山勝・中野清人・天野浄行・下村哲雄：61日間連続車線規制によるインバート再構築工事，上信越自動車道　日暮山トンネル，トンネルと地下，Vol..44，No.12，pp.17-28，2013.12.
4) 佐久間智・菅原徳夫・多田誠・遠藤祐司：供用中に発生した急激な盤ぶくれ変状を復旧する，山形自動車道　盃山トンネル(上り線)，トンネルと地下，Vol.40，No.12，pp.27-37，2014.12.
5) 宮沢一雄・秋山剛史・木梨秀雄：インバート変位計による施工中の隆起観測と対策工，トンネル工学報告集，Vol.27，Ⅰ-23，2017.
6) 山口梅太郎・西松裕一：岩の力学入門，第二版，東京大学出版会，pp.37-41，1977.

現場だより 2018 トンネルと地下

「越前富士」のふもとより

唐戸裕二

福井県越前市(旧武生(たけふ)市)は越前の国府として栄え万葉集に深いゆかりをもつ街である．源氏物語の作者，紫式部がただ一度，都を離れて暮らした場所としても知られている．紫式部を偲んで紫式部公園が造られ，平安時代の貴族の館を模した3,000坪という広大な敷地に，武生盆地を囲む山々を借景に池や月山，橋を調和させて，美しく配置している．毎年，ゴールデンウィークになると藤の花が美しく咲き誇る．

秋には風物詩にもなった菊人形も有名である．「たけふ菊人形」は，毎年10月上旬から11月上旬にかけて，武生中央公園で開催されている秋のイベントである．開催期間中は，鮮やかな色彩の菊花が美しく咲き誇り，菊師の巧みな技で菊付けをした菊人形なども展示され，多くの観光客で賑わっている．

ご当地グルメとして「ボルガライス」なる食べ物をご存知だろうか．1980(昭和55)年以前に当地で登場した料理で，オムライスの上にカツをのせソースをかけた洋食である．店ごとに特色があり，オムライスの中身がチャーハンだったり，カツもメンチカツだったり，ソースはドミグラスやトマトソースといった具合である．気になる名前の由来は，ロシア料理説，イタリア地方説，ボルガ川連想説……と諸説あり，謎に包まれている．越前市に来る際にはぜひ，「ボルガライス」をご賞味ください．

本工事は，2015(平成27)年3月に金沢まで開業した北陸新幹線の延伸工事(路線延長125km)であり，南越



位置図



坑口全景

(仮称)駅近くの敦賀側にある武生トンネル(延長2,470m)を施工する．武生トンネルは，日野山(標高794.5m)から北西方向に張り出した尾根部を横断する．日野山は，越前市と南越前町(旧南条町)にまたがる山であり，越前平野が広がる北方から眺めると秀麗な景観をみせ，富士山に似た山容を示すため「越前富士」とも呼ばれている．古来から信仰の山であり，718(養老2)年に高僧・泰澄大師によって開かれたと言われている．トンネルは，日野山の福井側から南越前町に向かって掘削し，2018(平成30)年2月末時点で，本坑掘削は，840mまで達している．地質は，中生代白亜紀の火成岩類で構成されており，花崗岩，流紋岩が主体となっている．また，出口側は新生代第四紀の扇状地堆積物で構成されている．土かぶりは最大で約260mであり，日野山の前後には断層が想定されており，多量の湧水が懸念される．

現在，日野山に入る約40m手前，土かぶり約15mの区間を掘削しているが，マサ化した風化花崗岩と湧水により，長尺鋼管先受け工，鏡ボルトなどの補助工法を併用しながら慎重に掘削を進めている．今後も地質状況の急変や異常出水なども予想されるが，品質・安全・環境に配慮し，地元のみなさまの協力を得ながら施工する所存である．

(鉄建・五洋・田中特定建設工事共同企業体JV武生トンネル作業所長)

土木情報 No. 539 今月の主な入札結果

（3月10日～4月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
関東地整	H29富士川右岸手打沢排水樋管新設	新光土木	137.3
北陸地整	大石西山排水Tその３	会津土建	215.5
〃	朝日温海道路猿沢地区函渠	横井組	119
近畿地整	R9 観音T補修	ショーボンド建設	168
〃	大野油坂道路大野東IC函渠他	坪内建設	182
四国地整	H29-30日和佐出張所管内T補修	佐々木建設	117
〃	H29-30法華津ずい道補修	ショーボンド建設	128
〃	H29-30大豊T外補修	入交建設	117.6
九州地整	熊本３号中尾山T新設	熊谷・あおみ・味岡JV	4,199.2
東日本高速道路	首都圏中央連絡道青梅T内装版補修	ケー・エフ・シー	131
中日本高速道路	中央道瑞浪地区道路改良	飛島建設	905
茨城県	(仮称)北沢T本体(その１)	株木・根本・河北JV	2,040
〃	〃 (その２)	三井住友・岡部・日興JV	2,039.02
埼玉県	中川流域処理場汚泥消化棟管廊ほか	小川・星野JV	440
千葉県	江戸川第一終末処理場流出渠(その２)	今井組	140.97
〃	広域河川改修(復興)((仮称)一宮川第２樋門工)	片岡工業	146
都・交通局	浅草線西馬込駅～中延駅間T長寿命化	ボンドエンジニアリング	148.23
〃	〃 中延駅～五反田駅間T止水	化工建設	254.97
広島高速道路公社	高速５号線NATM T	西松・大之木T	1,727
神栖市	29国補北公共埠頭１号雨水幹線整備	戸田・大勝・菅谷JV	1,909.8
柏市	利根川第 6-1 排水区雨水枝線(29-23工区)	日進建設	115.53
墨田区	(仮称)錦糸町駅南口機械式地下自転車駐車場整備	技研施工	398.52
昭島市	昭島都計公下残堀川第３排水区枝線	飯和建設	238
名古屋市	高速度鉄道耐震補強(30-1)(一般土木)	清田軌道工業	350.52
〃	第１・3T改修およびT防水(とび・土工・コンクリート)	大阪防水建設社	108.54
〃	第５次中村中部雨水調整池流入管下水道築造	大豊建設	408.3
京都市	道阿弥幹線公下	ケイコン・吉川・山品JV	1,079.51
〃	新山科浄水場導水T築造	戸田・岩田地崎・昭建・益田・朝日JV	15,965
広島市	旭町地区下水道築造(29の５号)	淺沼・伏光JV	1,369
松山市	安全29機関14号給水２号導配水管布設替ほかおよび推進(中西外)	DAD	109.53

続 きみの庭にも温泉が出る
その後の温泉開発と建設の考え方
石井康夫・俣野恭寛 共著　新書判 217 頁　本体価格 1,200 円
株式会社 土木工学社　〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888（代） 振替 00110-8-190072



歴史と経験に学び、現場に根ざした経験智を得よう

国際航業(株)最高技術顧問
大島 洋志

はじめに

筆者は1965(昭和40)年に当時の日本国有鉄道(以下「国鉄」)に入社以来一貫して山岳トンネルとともに歩んできた．当誌とは，1973(昭和48)年に編集委員になって以降，45年のかかわりをもち続けている．

筆者が発案した当企画は編集委員長就任５年後の2010(平成22)年に始めた．先月号でちょうど100回目となったが，評判の良い企画として定着していることを嬉しく思う．これを思い立ったのは，トンネル一筋に仕事をされてきた先輩方のトンネルに関する思いの丈を語ってもらうことで，後に続く若い方々へ現場技術の継承を図ろうと考えたからであった．塩野七生の『ローマ人の物語』の中にある下記主張はそれを後押ししてくれた．

> 賢者は歴史に学び愚者は経験に学ぶ，という格言があるそうだが，私の考えでは，賢者の側にいたければこの両方ともが不可欠である．「歴史」を学ぶ利点は古今東西の多くの人々の思索と経験までも追体験できるところにある．一方，自身の「経験」は，追体験で得た知識を実際にどう活かすか，または活かせないか，を教えてくれる役に立つ．つまり机上で学んだことも，実体験とかみ合わせることで活きた知識になるのだ．
> (塩野七生『ローマ人の物語』より)

筆者は本連載の企画者であり，登場資格はないと考えていたが，満75歳の後期高齢者になったのを機に200回を目指した新たな出発にもなる101人目の語り部役を務めさせていただくことにした．

執筆は塩野女史の主張にしたがって，筆者が若いころ歴史に学び，その後現場経験で学び，両体験をもとにいろいろな経験智を得



筆者近影(2018年3月)

著者略歴

昭和40年	九州大学理学部地質学科卒，日本国有鉄道入社
昭和45年	本社山陽新幹線建設部課長補佐
昭和46年	下関工事局若宮工事区長(山陽新幹線福岡トンネルほか)
昭和48年	鉄道技術研究所地質研究室主任研究員(兼)本社建設局線増課課長補佐
昭和56年	外務部参事(中国鉄道部勤務)
平成2年	(財)鉄道総合技術研究所大島研究室長(地質・防災担当)
平成5年	同退職，国際航業(株)技師長
平成8年	国際航業(株)取締役
平成26年	国際航業(株)最高技術顧問 現在に至る

た，という流れで記述する．

執筆は，筆者がこれまでに国鉄，当誌，地盤工学会，日本応用地質学会などで発表してきたもの，またその集大成でもある古稀記念本(私家本)を参考とした．

歴史に学ぶ

東海道新幹線が開業し，東京オリンピックが開催された1964(昭和39)年に国鉄を受験した．地質屋としてどこへ就職するかと考えていたころ，本屋で『トンネル技術者のための地質学』『湧水と地圧』なる本を目にした．著者は鉄道技術研究所(以下「鉄研」)地質研究室の宮崎政三・高橋彦治とあり，地質屋が国鉄で活躍できる場があることを知った．九州博多まで延伸されることが確実な新幹線の建設にかかわれたらすばらしいなと思い，講座の松本達郎教授に話をしたら，宮崎さんは大学の1年後輩だから尋ねてみようということになり，受験の道が開かれた．面接で受験の動機を聞かれた際にこの本の話もした．国鉄入社のきっかけを作り，運も開いてくれたこの本，今も手元にある．

多くの文献を読み，多くの先輩からお話もうかがった．若いころはそれらの教えは自然に身に浸みたように思う．それらの中から六つを選び，簡単な解説を加える．

①見れどもみえず(卒業時，恩師 勘米良亀齢・九州大学助教授から)

経験を積むとそれまで見えなかったものがみえるようになるものだ．それまでは諦めることなく我慢しながら努力を重ねていきなさい．

②地相(もそう)は人相 山の性状(たち)(足立貞嘉の隧道十訓冒頭にある教え)

人間に人相や表情があり，それによってある程度人の性格や体質がわかるように，山にも山の相すなわち地相があって，よく観れば山の性質がわかるから，まず地相をもとに山の性状を慎重に診断するのが良いというもの．トンネル屋を目指す者は，地形を読む必要があるというこの教えは，地質技術者である筆者自身に一つの励みとなる好きな格言となった．

③トンネルセンターを歩こう(高橋彦治・鉄研地質研究室長から)

昔は工事責任者等自らが山を舐(な)めるように踏破し，問題点を実感しつつ路線選定をしていた．分業化が進んだ現在でもなお，工事の責任者たるもの，全域把握はともかくとして，せめて担当トンネルのセンター直上位は歩いて地形・地質を把握しておく必要がある．

④まず実行，理論は後からついてくる(直接仕えた島田隆夫・新幹線建設部長から)

トンネル現場ではいろいろな難問題が発生するが，「四の五のと屁理屈ばかり言わないでまず実行」という精神で応急措置をとらなければならない．もちろん学問的な知識をベースにしたものではあるべき．なお，これらの成功例と失敗例を後になって，なぜそうなるのかについて分析検討する必要がある．トンネル工学はこうした経験の積み上げでなりたっている面が多いので「経験工学」ともいわれてきた．ただ，経験の大事さをいい過ぎると，理論を軽んずることになりかねない．理論先行の部分も実際にはあるので，ここのバランスを保つことを忘れないことが大事だ．

⑤トンネル工学は輸送工学だ(斎藤徹新幹線建設局長から)

当時の筆者にとりトンネルの神的存在だった氏は，隧道十訓を鋼製支保工時代に合うように修正した新十訓を提案されていた．その最後，10番目に「坑内軌道は鉄道と思え」があった．あるとき「トンネル工事の能率は，坑内・外の運搬能力にかかっているので軌道保守の大切さを強調したく10番目を作ったが，トンネル工学は究極，輸送工学と言いかえた方が良いと思う」と直々に教わった．

⑥注入は最後の手段，やるなら徹底して(後に東大教授，樋口芳郎・鉄研構造物研究室長から)

注入工法はいろいろ考えてもほかに手段がない場合に選択すべき工法である．ほかに確実な方法があったら縦(たと)え高価についてもそちらを選ぶべき．注入と決めたら，中途半端はよくない．徹底してやらないと，その効果を上げられない．

現場経験に学ぶ

地質屋も現場を学ぶ必要があるという，国鉄建設陣の教育方針のもと，鉄研から離れ，本社や建設局で実務経験をさせていただいた．そのいくつかを紹介する．

■山陽新幹線建設現場

国鉄入社6年目に福岡県筑豊地区の山陽新幹線建設現場長(若宮工事区)を拝命した(下写真)．路線中に石炭採掘跡があり，炭鉱鉱害に詳しい九州大学に人脈をもつ地質屋がいると，重宝というのが配属の背景にあったが，福岡トンネル(8,488m)が大量の湧水で難航する事態となって以降，この解決が最大の課題となった．

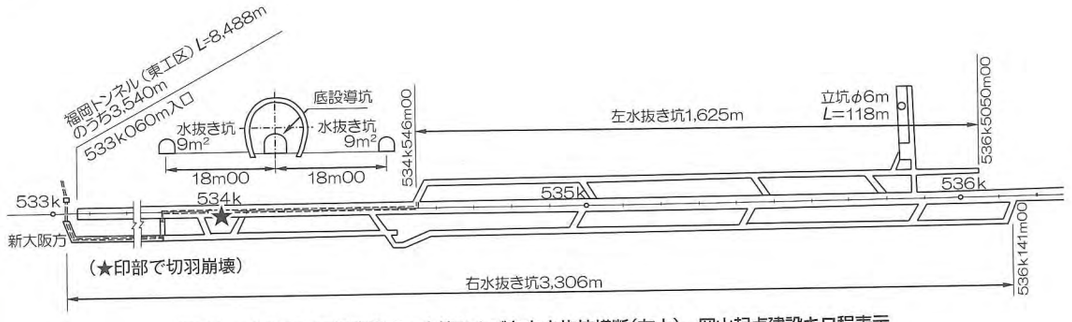
1975(昭和50)年春，博多開業という最終目的を果たすために，与えられた権限を駆使しながら強い気持で仕事に臨んだ．このときの2年半の現場体験は自分を随分逞しくさせてくれたし，現在の自分の基礎を作ってくれたのだと感謝している．2つの課題に絞って紹介する．

〈福岡トンネル水問題〉

・毎分23m³の突発湧水による切羽崩壊で工程が大幅に遅れ，当該工区が博多開業の最大のネックとなるという局面に置かされた．工程挽回のために，①本坑両側の水抜坑，②高速先進水抜きボーリング，③坑内強制排水を3点セットとする，工法の採用と，崩壊切羽から2.5km先の谷間に深さ118mの立坑施工を決断した(下図)．



5人で発足したての山陽新幹線若宮工事区長に着任(1971年2月)



福岡トンネル東工区掘削平面・本坑および左右水抜坑横断(左上)，岡山起点建設キロ程表示

・坑内への大量湧水が周辺の水利用へ影響を与え，その解決のための地元協議で悪戦苦闘．工事に起因する渇水問題の解決が工事の死命を制することを嫌になるほど実感した．また，この種の問題解決のためには，トンネル湧水を水収支的に捉える必要性と，現場の苦労を最小化するための技術開発や研究の必要性を強く意識した．

・工事を円滑に進めるためには，身内，施工業者，そして地元との人間関係を良好に保ちつつ，先手先手で，飴と鞭を上手に使い分けていかねばうまくいかないといった社会・人間学を体験した．

最後に，専用工事用道路を確保する必要があることも追記したい．

トンネルずりを本線盛土計画地域に運搬する道がところどころに待避所をもつ１車線程度の公道しか使えない状況で工事が遅延したため，約２kmの工事用道路を新設した．この道路は筆者が東京転勤後に発生した稲光トンネル（796m）の落盤事故対応で突貫体制になったとき，威力を発揮して感謝された．まさに「トンネルは輸送工学」だと思った．

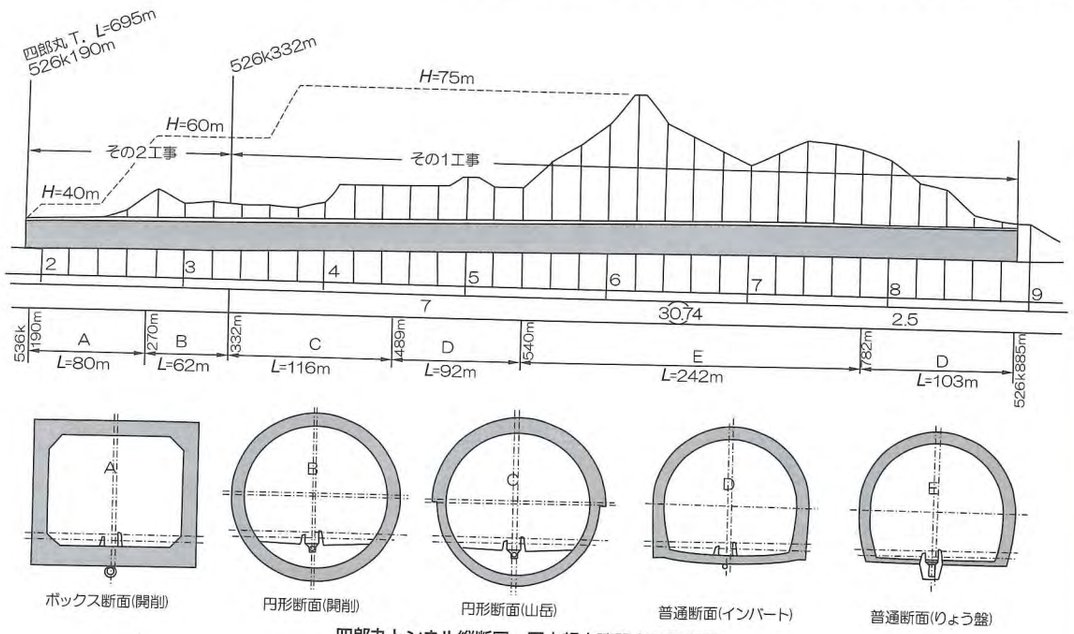
〈炭鉱鉱害地の構造物対策〉

日本が高度成長期に入った際，石炭から石油へのエネルギー転換政策がとられ，石炭は斜陽産業となり，筑豊地区に多数あった炭鉱も閉山に追い込まれた．赴任地にも陥没や沈下の恐れのある採掘跡が空洞（古洞）として地下に多数残った．

新幹線路線はこれらを極力避けた．それでも避けられなかった浅所の古洞は徹底的に充填し，盆状沈下が懸念された室木トンネル（1,163m）では断面の上部や左右に余裕を持たせるなどした．唯一露天掘りで石炭採掘中だった四郎丸トンネル（695m）では，採掘発生土をトンネル上部に最大約40m盛立てることを前提の設計・施工を行った（下図）．

開削工法区間（同図中A,B）ならびに土かぶり15m未満の区間（同図中C）は，全土圧がかかるとし，土かぶり厚に応じて函型，円形とした．土かぶり15m以上の区間（同図中D）では，地山のアーチアクションが期待できるとしてそのまま捨て土を許した．

施工面では，とくにB区間において下半と上半に２分割施工することとし，円形覆工のクラウン部以下の外周に雑石コンクリートによる人工地山を作るなど，地盤反力の確保に努めた．また，覆工完成後の周辺盛立てに際しては，全



四郎丸トンネル縦断図，岡山起点建設キロ程表示

区間，偏圧が作用しないよう，左右均等な土圧状態を維持しつつ十分に締め固めることや，C，D区間の覆工背面裏込め注入に意を払った．

アーチ構造は力学的に強いとされるが，そうなるには，①アーチ脚部を十分に固めることと，②覆土は左右均等な土圧になるように慎重に転圧処理する，という２つの勘所があることを教えてくれる貴重な経験であった．

■国鉄本社・鉄研の立場

何物にも代えがたい貴重な体験をしたのち，東京へ戻った．以降は鉄研と国鉄本社兼務の立場で，トンネルや，斜面の地質工学的諸問題にかかわる技術指導，ならびに今後建設予定の整備新幹線や中央新幹線の路線計画や学協会活動に地質・トンネル技術者として関わる機会が与えられた．30歳台後半には中華人民共和国の鉄道部に勤務するなどの海外業務も経験した（写真）．その間に経験した代表的業務４例を紹介する．

〈水文地質調査法の体系化〉

水問題で難航しつつあった中央本線岡谷・塩尻間を短絡する塩嶺トンネル（5,994m）の建設現場を地質技術者の立場で助けてやるよう命ぜられ，仕事の半分以上をこの現場に投入し，若さに任せて下記の諸問題に精力的に取り組んだ．

・地下水位や河川流量を坑内湧水量と降水量との関係で水収支的に捉える計測．

・減水深（水田用水量の尺度）や，pF値（土壌水分を表す指標）を計測項目に追加．



中国大瑶山トンネル貫通式（1987年５月，右端が筆者）

・地下水の器としての地質構造を把握するため，電気探査法や浅層反射法を試用．植生活力度調査にリモートセンシング手法も試用．

・大量湧水と渇水問題で難航した丹那トンネル（7,804m）周辺が竣工数十年後どのように変化しているかの現地調査と工事誌その他の文献調査を実施し，施工への参考として活用．

・それまでの業務を「トンネル掘削を対象とした水文調査法の研究」としてまとめ，地質調査の標準仕様にも組み込む．

・トンネル掘削に伴う周辺水収支の変化を予測する現場的なシミュレーション手法を開発し，上記調査法と併せてまとめた論文で理学博士号を取得．さらにその手法を，整備新幹線路線選定業務に用いつつそのレベルアップを図る．

余談ながら，当時日本地質学会会長だった杉山隆二先生と塩嶺山地をジープで調査中に崖下に転落という事故にあった．34歳であの世へ旅立ちかと観念したが，崖下の大木がそれ以上の転落を防いでくれたのは幸いだった．

〈トンネルの路盤噴泥対策〉

山陽新幹線岡山・博多間の軌道構造は維持管理の劇的軽減を目的にバラスト軌道からスラブ軌道へと変わった．ところが，1975（昭和50）年３月の博多開業間もなくして，山陽地区に広く分布するマサ地山中を貫くトンネル内の軌道に異常が出始めた．列車走行時に路盤コンクリート下にある水が路盤の打継目などから地山中の土砂を伴って噴き出すことで，路盤コンクリート下の隙間が徐々に拡大し，軌道狂いへと発展する現象であった．

土粒子限界流速の考え（後述する「トンネル技術者として」で詳述）で説明できる現象であり，足尾線の草木トンネル（5,242m）における同種の問題を解決した経験

をもとに，①路盤下の空隙を充塡，②中央通路下に排水溝を追加，という応急対策で当面の危機を回避させた．

〈しらす地帯の路線選定とトンネル路盤噴泥対策〉

九州新幹線鹿児島ルートには終点方約20kmに特殊地山しらすが分布していた．地元出身の筆者は35‰の縦断こう配と透水性水砕スラグ路盤の採用を主導することで，懸念されていた地下水面下トンネルの路盤噴泥問題を解決した．

35‰の採用で，地下水面下のトンネル延長11.5kmを7kmへ，最大水頭70mを20mへと改善できた．坑内水砕スラグ路盤もウェルポイントによる水位低下工法で容易に施工できた．

この一連の施策が土木学会から評価され鉄道・運輸機構は技術賞という栄誉を得た．現在もトラブルなく供用されており，関係者からも喜ばれる自信作となった．

（1）　余談1（35‰の縦断勾配）

山陽新幹線博多開業ごろまでは縦断勾配は最大12‰とされていた．それを30‰に変更することで長野新幹線軽井沢地上駅ルートを可能にした仁杉巖・日本鉄道建設公団総裁の決断がその後の流れを作ってくれた．

（2）　余談2（水砕スラグの採用）

提案したころは理解者が少なかったが，しらす地山の坑内路盤噴泥問題の解決にはこれしかないと主張し続けているうちに支援・協力者が現れ，執念でもってこの改良に取り組むという苦労があった．

〈筑紫トンネルの路線選定〉

九州新幹線は，博多駅から博多車両基地まで南下している既設路線をそのまま延伸させるため，福岡・佐賀両県を画する分水嶺，脊振山地を貫く必要があった．その山地は花崗岩からなり，周辺地域の良好な水瓶となっていた．

当初は真っ直ぐに貫く路線が考えられていたが，東側または西側の山裾沿いに迂回する案も比較検討した．その手段としては筆者開発の水収支法を用いた．最終的には西側に迂回しながら施工基面を上げて地下水頭を小さくできるようにすれば，水環境問題への影響を少なくできると判断し，これを採用してもらった．こうして路線が決定した筑紫トンネル（12,115m）の工事は決して楽だったわけではないが，孫子の兵法よろしく十分に情報を入手しながら進めたため，大きな渇水問題になることなく，無事に竣工し，工事関係者から感謝された．

両者に学ぶ（筆者の小さな経験智）

50歳で鉄研（国鉄改革後は（財）鉄道総合技術研究所と改称）を退職し，国際航業（株）に移って間もなく満25年になる．社業以外でも，地質や地下水を知っているトンネル技術者として多くの学協会活動に参画させていただきながら今日に至っていることをありがたく思う．

以下に筆者が永年の経験の中から得た種々の経験智を，適当に区分しながら列記せていただく．

■社会人として

〈歴史と経験に学ぶ努力〉

若いときは自分が従事している仕事に関し，見れどもみえずという教えを胸に，歴史に学ぶ（文献を良く調べ，先達の教えを良く聞く）ことに努力すべきと思う．

そのうえで，机上の学問がどの程度実用に供せるかを，実際の現場に学ぶ（経験に学ぶ）必要がある．

この経験はできるだけ多感な若いころに買ってでもすべきである．泣きたいほど苦しいこと，わからないことが山ほどあること，不条理な世界があることなど，凡そ学校では教わらない現実社会を実感することは大切だと思う．

〈記録・発表・交流の努力〉

経験したことは，記録として残すとか，機会をみて極力部外に発表する努力が必要である．その過程で，できるだけ部外の方々，専門外の方々との交流の場を拡げる努力も必要である．どれだけ多様な経験をし，どれだけ尊敬できる人々に出会えたかが，その人間の視野の広さと発想力の柔軟さとモラルの高さを決定するといっても過言ではないと思う．

筆者も多くの方々との有益な出会いがあったが，とくに還暦前に仁杉巖・（元）国鉄総裁とご縁ができたことは大きかった．その契機は氏の前でスイスのトンネル見学談をしたことだった．「地学は土木屋にとって必要な素養である」との主張，すこぶる旺盛な学習意欲，仕事への取り組み姿勢など多くのお教えをいただいたことに感謝している．

〈夢と気概を失わない努力〉

歳を取っても，サミュエル・ウルマンの詩「青春」にあるように，若い気持ちで夢と技術の進歩を追い求める気概を持続させることが必要と考える．また，自分が得た有益な智恵を「語り部」として継承して行く努力も必要と考える．

■地質工学者として

〈地質工学者の育成が必要〉

筆者がIAEG（国際応用地質学会）の仕事にかかわっていたころ，英国のJohn Knillがある講演会で「土木工学の分野では，優れた地質工学者の助言は不可欠とされているが，厳密にエンジニアとして同列に評価されている地質工学者は一握りしかおらず，大半は，専門的役割を持ったデータ収集者およびインタープリターとしてしか評価されていない．必要とされる地質工学的ニーズに応える能力がないのにこれにかかわろうとする一部地質学者の存在は，むしろ地質工学そのものの評価を貶（おとし）める危険性をもっている」といった主旨の話をしたのを見聞きし，日ごろそう感じていた筆者はわが意を得たりと嬉しく思ったものである．

地質工学の価値は，現場に観られる地質現象の観察から発想するという実学を大事にする姿勢にある．筆者は自身の経験から「地質学の素養をもった者が地盤にかかわる実際の工事現場などを数多く経験すれば，工学教育しか受けていない技術者では及ばない独自の有益な知識をもつ実務的な地質工学者となれる」と考えている．その差は，諸現象を時間軸も含めた4次元空間の中で考えようとする習性の有無から生まれるのだと思う．

地質学を学んだだけでは実務的な地質工学者にはなれない．意識的，計画的に多様な現場を経験させ，育てていく必要がある．なお，後述する「地相を観る目」は，優れた地質工学者が持つべき能力の一つと考える．

トンネルの計画や設計・施工の場に，上記のような有能な地質工学者がいると，仕事がうまく回転するようになると考える．

〈山岳トンネルの難易は湧水と地圧および路線選定で決まる〉

安定地塊上にある大陸の良好な地質である欧米諸国のトンネルと比較し，日本のトンネルは付加体地質で代表される劣悪な地質条件にある．中でも日本のトンネル施工を困難にする地質条件は湧水と地圧が両巨頭である．そして，そのことを理解したうえで，路線選定を真剣に行うか否かで，工事の難易は決まるといって良い．

この湧水と地圧に関しては，後述する「トンネル技術者として」で掘り下げて私見を述べる．

〈地質調査は路線選定段階に〉

わが国のトンネル技術発展の歴史をみると，日本人が持つすばらしい技術力と精神力があったればこそ，想像を絶する不良地山を悪戦苦闘しながらも突破できた！といった具合に，トンネル技術を賞賛するかたちで自分らの計画ミスを置き換えている面があると思う．

トンネル工事経験をもたない俗にいう計画屋が地形・地質条件を軽視してトンネル屋なら訝（いぶか）るような路線を怖いもの知らずに決めた後に体裁を繕うような地質調査を行っている例が多々ある．

路線を決めた後に悪地質が見つかってもそれは避けられない．それが路線計画段階で優れた地質技術者の参加が必要な理由である．

くどいようだが，上記に関する筆者の主張を以下に要約する．

- 路線選定段階では地形・地質も考慮した検討が必要で，優れた地質技術者の参加が必須である．
- この段階ではボーリングなどの徹底した調査は経費的には困難で，優秀な地質技術者による比較路線も含めた地質踏査主体で行う．
- 路線決定時に，地質条件を犠牲にしてでも優先させるべきものが出て来たら，重大な地質リスクの存在を忘れぬよう明記し引き継ぎが確実になされればそれで良い．

〈トンネル路線選定段階で考慮すべき地形・地質条件〉

路線選定に長らくかかわってきた筆者が考えるトンネル路線選定上の地形・地質上注意すべきトン要点を，要約・概説してみる．

①急がば回れ

一般論としては，路線は直線的な路線が有利であることは自明である．しかし，そうしたばかりに失敗した事例は山とある．前述「地質調査は路線選定段階に」の主張につながる警句である．

②断層地形は避けよう

断層鞍部地形や遷緩線（ある線を境に下方が緩傾斜に変化する地

形境界線）付近には断層があると考え，これは避ける．避けられないときは極力小土かぶりまたは直交させるなどで対応させる．

③極力山の芯　土かぶりは小さからず大きからず

一般論としては，山の芯部は地質も安定し，土圧的にもバランスしている．土かぶりは坑口付近を除き，3～5D（D：トンネル直径）以上とするのが望ましい．

一方，土かぶりが大きいほど良いとは限らない．筆者は山岳トンネルの場合，100～300m程度までを理想と考える．その理由は，高圧大量の湧水や膨大な地圧，ときには山はねなどの難題に遭遇する危険性，地質調査も実施しにくいという欠点などからである．

④地質構造の走向には極力直交

地質構造を横断する際の路線は，極力直交させるのが良い．断層破砕帯は直交させると不良地山の延長を短くできるし，地層の走向に直交させると偏圧状況を避けることができる．

⑤砂質地山は極力小さな水頭で

高水頭の砂質地山は切羽付近で流砂現象を起こしやすく，多額の補助工法が必要となる．また，維持管理段階にまで問題が継続する．

⑥坑口位置は災害や偏圧に注意

トンネル坑口は力学的に不安定な偏圧条件下にあり，その位置選定には細心の注意を要する．ギリギリに追いこんで造られた坑口，土かぶりが左右非対称のいわゆる斜坑門などは，後々土砂崩壊や雪崩など防災上の問題箇所となることを肝に銘じておくべきである．

⑦盆地や沢の直下を併行するのは避け，地下河川にも注意しよう

豊富な水の供給源をもった盆地や沢の直下を横断したり，沢と平行したりするような場合は大量の水が施工中だけでなく，竣工後も恒常的に続くので，できれば避けたい地形条件と考えている．

また，石灰岩分布域には，地下にできた洞窟内を流れる地下河川に遭遇することがある．こういう事態は路線選定段階で極力避ける配慮が望まれる．

⑧坑内の勾配変更点は行政界に

坑内に設ける拝み勾配の変更点は，極力行政界に設けるようにするのが良い．高度に水を利用している地域においては，(a)自分の行政内の水がトンネルを介して他へ行くことを容認するような雰囲気にないこと，(b)減・渇水が生じた場合でも，坑口に出てくる水を対象地に比較的容易に送水できる．

⑨付かず離れず下流側上位に

既設トンネル付近に2つ目の新トンネルを計画する場合，標記のように，掘削の影響が旧トンネルに及ばない程度に離し，旧トンネルの水位低下が及んでいる範囲の下流側上位に近づけるのを基本とすれば良い．

地質や施工上の問題を既設トンネルの実績をもとに精度良く想定し，軽減できるし，新たな渇水問題の発生も軽微なものに抑制できる．

⑩施工性も考えて

工程短縮の目的で，途中に複数の作業坑を必要とする長大トンネルの場合も含め，どこを作業ヤードに設けることができるか？という視点もトンネルの路線選定段階ではもって置くべきである．

筆者は人生最後の大仕事として東海旅客鉄道(株)が推進している中央新幹線プロジェクトにかかわっている．

そのうち，南・中央アルプス両トンネルの路線選定を上記に照らすと，下記1)，2)のように主に前述の①～④，⑩を配慮したものといえる．

1)　南アルプストンネル（25,019m）の東坑口へは甲府盆地から一度南下の後高度を稼いだうえで入る．

2)　中央アルプストンネル（23,288m）では，清内路峠・蘭川近くを通り，木曽川2回渡りを考える．

1)は①の警句どおりであるが，こうすることで，③(直行案よりは土かぶりを軽減)や⑩(途中に作業坑設置可能)を考慮できる路線となった．それでも土かぶり1,000m以上の区間が約4kmとなった．

急峻な南アルプス山地ゆえに，地表からの事前地質調査にも限界があり，大口径超長尺高速先進コントロールボーリング(後述する「大口径超長尺高速先進ボーリング技術を開発しよう」で詳述)を用いて切羽前方の地質情報を把握することで対処しようとしている．しかし，この技術も開発途上のもので，それほど簡単には行かないこともあろうと，謙虚・慎重に山と対峙する覚悟である．

2)は別の理由で飯田方が筆者推奨の路線とは異なるものとなったが，依然として②(阿寺・清内路峠断層との交叉)，③，⑦，⑩を考慮した良い路線であると考える．

〈地相を観る目を磨こう〉

トンネル十訓冒頭の教えであるが，これは興味をもって努力を積み重ねて行かない限りは磨けない．

〈弾性波・電気探査を併用〉

トンネル調査で便利に重宝されている弾性波探査には電気探査を併用するのが良い．こうすること両探査法の長所が活かされ，調査精度が向上する．例えば地下水に関係した不良地山は電気探査から見つかることが多い．

■トンネル技術者として

ここでは，湧水と地圧現象を中心に筆者の経験智を記述する．

〈トンネル湧水〉

（1）　先進導坑は重要な役割があった

NATM導入によって良質のトンネルが得られるようになったが，大量湧水を伴うトンネルでは旧来工法にも利点があったと思う．

土かぶりが大きく湧水量の多い山をNATMで施工する場合は，地下水が十分に低下しないうちに本坑の支保を必要とするので，どうしても過大な支保にならざるを得ない．旧来は導坑を先進し，上半断面が到達するころには導坑の水抜き効果が現れ容易に覆工打設ができていたことを忘れてはならない．

例えば，東海北陸自動車道の飛騨トンネル（10,710m）では，本坑右に避難坑を先行していたが，両坑とも進行が上がらず悪戦苦闘していた．そこで，筆者の経験をもとに，本坑左側にも作業坑を追加施工するよう提案し，採用された．足立紀尚委員長（京都大学名誉教授）からは「この導坑の効果は大きかった．提案者の名前を取って，僕はこれを“大島導坑”と呼んでいる」と高く評価いただいた．

NATMになって以降は，昔の導坑の役割は先進ボーリングが担うことになったが，地質調査の役割は果たせても，水抜き効果に関しては大きな期待はできない．そこで水抜き坑が欲しくなる事態が出てくるのだが，今や小断面掘削技術は残念ながら風前の灯火である．

（2）　大口径超長尺高速先進ボーリング技術を開発しよう

筆者は最近，切羽付近から行う方向制御可能な大口径超長尺高速先進ボーリング技術の導入に熱心に取り組んでいる．その狙いは本坑の下側に平行して1,000m級のボーリングを精度良く先行施工することで，昔の導坑がもっていた以上の役割を期待してのもので，それなりの実績と効果を発揮し，理解者も増えつつあることを嬉しく思うが，さらなる技術向上に努め，抵抗なく用いられるようになることを夢見ている．

（3）　水抜き効果を定量的に評価

掘削に伴うトンネル周辺の地山挙動や覆工に作用する土圧などは解析的手法で精度良く解けるようになった．しかし水抜き効果を併せて表現できるレベルにはない．例えば，①水抜き量および経過時間と地盤安定性増加との関係，②断層などの遮水層背面の水圧軽減による切羽安定性の増加，③最適含水比を境に砂質地山切羽安定性がともに低下する現象，などである．これら現象も表現できる手法を開発し，それをもとに，トンネルの設計・施工ができるようになればと願う．

（4）　渇水から活水へ（トンネルは地下に掘った横井戸だ）

丹那トンネルの湧水は丹那盆地一帯への渇水問題を引き起こしたが，湯の町熱海の発展は丹那トンネルの湧水なくしてあり得なかったと聞く．トンネル湧水を貴重な水資源として活用している事例はほかにも多々ある．

水資源問題が顕在化するようになった今日，渇水から活水への発想の転換をして，トンネルは地中に掘った横井戸でもあると捉え，水資源の開発も兼ねたトンネルを考えたらどうだろうか．これは筆者長年の夢である．

（5）　その他

1)　帯水した砂泥互層地山では「流れ盤」は天国，「受け盤」は地獄となる

一般に切羽の安定性に関しては，受け盤の方が流れ盤よりは優れている．しかし帯水した砂泥互層ではこれが逆となることが多々ある．掘削による地下水の集水範囲が切羽前方にも及ぶ流れ盤に対し，受け盤では地下水流の遮断層となる粘性土層が切羽後方にまで高い水頭を残すことになり，天端崩壊や流砂を起こしやすいからである．上越新幹線の浦佐トンネル（9,807m）の中工区で600m間の突破に

約6年を要した工事はその代表事例といえる．

こういう場合，縦え突っ込み施工でも，流れ盤となる方向に切羽を進める方が安全となる．

2)　静・動水圧現象を理解しよう

土かぶりの大きい山岳のトンネルにおいては，水を抜くのが基本となっている．これは，水を止めながら掘ることが物理的にも経済的にも現実的ではないからだ．

地盤中の水圧には，水の動きを封じた状態の水圧(静水圧)と，動いている状態の水圧(動水圧)とがある．下図はそれを説明できる実験装置である．水を止めようとしない限り動水圧状態にあるので，無限に供給される水がある海底下でも意外と楽にトンネルが掘れるという理屈である．

3)　限界流速・限界動水勾配の理解から水抜き効果を考えよう

土粒子の水流による限界流速(V_c)は土粒子の径(d)，真比重(G_s)，重力の加速度(G)との関係で，

$$V_c=(2/3(G_s-1)dG)^{1/2}$$

で表される．土粒子の径が小さく，比重が小さいものほど小さな流速で流れ始めることになる．

スラブ軌道トンネルで生じる路盤噴泥現象は，この理屈で説明できるものであった(前述した「トンネルの路盤噴泥対策」「しらす地帯の路線選定とトンネル路盤噴泥対策」参照)．

トンネル切羽の安定のために常用される水抜き工法が効果を発揮する理屈もこの考えを応用できる．

切羽が堅硬な岩盤であれば，自立は可能だが，破砕帯や，砂質地山の場合，その地山のもつ限界動水勾配以上の地下水環境であれば切羽が不安定になり，崩壊や流出を引き起こすことになる．勾配を緩くすることができれば，それら現象を防止できる．水抜き工法はその環境に改善する工法ということになる．

地山中を流れる流速は動水勾配(単位距離あたりの水頭差)で決まる．したがって，限界流速を「限界動水勾配」と置き換えて考えることもできる．切羽付近の水頭と，その奥(例えば，トンネルの幅1D分だけ奥)との水頭差が大きい場合は，水抜きボーリングを入れて水頭差を減じる(動水勾配を緩くする)ことで，切羽を安定にできるというわけである．

4)　ボーリングの難易や湧水量・水温も地質情報

切羽から行う先進ボーリングが順調に掘れる場合は良い地山，掘れない場合は悪い地山と考えても良い．孔内湧水量や水温も地質情報である．

地温は地下増温率にしたがって深部ほど高くなる．地下の水温もそれに追随する．地下深部の水温が低い場合，割れ目を介して地表とつながる地下水流動があって，坑内水が多量となる可能性があると考えてよい．

5)　砂質地山にはウェルポイント

帯水砂質地山のトンネル施工では，切羽自立性の確保のためにディープウェルやウェルポイント(以下「DW」「WP」)による水位低下工法がよく用いられる．

DWは切羽付近の水処理が不十分でWPの手助けを要することがあるし，切羽安定に無関係な遠方の水まで排除するという無駄もある．その点，WPは少量の揚水で切羽周りを限界動水勾配以下にできる利点がある．筆者は限界動水勾配なる考えを理解して以降，しらす地山などの砂質地山トンネルでWPを優先的に用いるようになった．

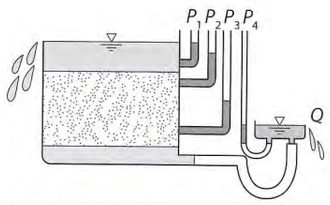
6)　地下水流動への影響

小土かぶり，土砂地山といった条件下のトンネルでは，トンネルが地下水流動を遮断し，ダムアップ，ダムダウン現象やトンネルに沿う地下水流を生じるなど，地下水の流向や流量に影響を及ぼす可能性がある．こういう場合に有効な手段の一つとして地下水流動保全工がある．

〈地　圧〉

(1)　アーチ構造は強い

前述の「炭鉱鉱害地の構造物対策」で紹介しているので，これ以上の解説は省く．



右の小皿を左の水槽の上水面と同じにした場合，$P_1=P_2=P_3=P_4$ となり，$Q=0$ のいわゆる静水圧状態（動水圧 =0）となる．

小皿を徐々に下げていくと，Q は徐々に増えてゆくが，水頭は $P_1>P_2>P_3>P_4$ というように水頭差（損失水頭）が形成されるようになる．この状態が動水圧状態である．

静水圧，動水圧を説明する水槽模型

(2)　トンネルは地震に強い

嵐のとき海上は大荒れでも海の深部は意外に静かである．地震による地盤の揺れもこれと同様で，土かぶりの小さな部分とか地形・地質不良部を除いて地下構造物であるトンネルは圧倒的に地震に強い．したがって，地震後の点検は坑口付近や施工で難航した地質不良部に限って行えば大きな外れはない．

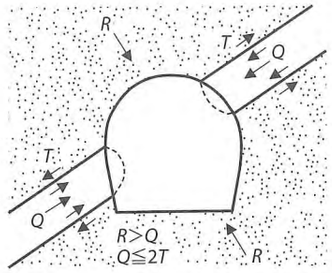
(3)　トンネル上部切取は要注意

トンネルの上部に近接工事を行う場合，盛土にはほとんど抵抗ないが，切り土には注文がつく例が多い．それは，前者はすでにできているグランドアーチ(免圧圏)を乱さない工事なのに対し，後者はそれを乱し，逆に土圧を増加させる可能性があるからだ．

(4)　堆積岩系C地山はインバートに

掘削段階で内空変位速度が比較的顕著な場合は，インバート構造にするなど，それに見合った支保や覆工で対応するので，竣工後・維持管理段階になっても問題となることは少ない．しかし，施工段階では変位が微少で，比較的軽めの支保・覆工で対応した堆積岩系C地山(粘性地山)では，維持管理段階になって，緩やかな盤膨れ現象で苦労している事例が多々ある．このような地山では初期変位の大小にかかわらずインバート構造にするのが良い．

地山中に空間を開けると，地山の応力状態は崩れ，時間とともに新たな応力状態へと変化していくのだが，再安定に要する時間は，

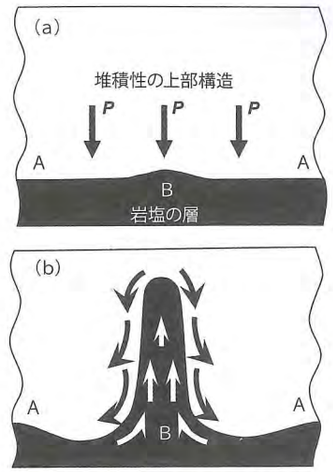


軟弱挟み層による素掘り面の変位が流動性の土圧として作用する(高橋彦治による)

硬質で小さな土かぶりの地山ほど短く，軟質で大きな土かぶりほど長くなる傾向にある．緩やかな盤膨れ現象を引き起こす地山は，再安定に時間を要する粒径が少し粗いシルト質軟岩に見られる現象と考えて良いだろう．

(5)　層状に挟まれた軟弱層は要注意

山陽新幹線六甲トンネル鶴甲工区の五助橋断層を掘削中の調査坑において，白っぽい粘土が坑内にジワジワと絞り出されてくるのを見た．九州自動車道加久藤トンネル下り線(6,260m)では四万十層砂岩・頁岩互層を不整合に被うえびの層の安山岩の下部に部分的に分布する泥質の凝灰岩類の薄層が塑性的に坑内に押し出される盤膨れ現象がみられた．北陸新幹線飯山トンネル(22,251m)の冨倉工区においては砂岩・頁岩の互層中に挟在するより塑性的な亜炭層部分が坑内に推し出されてくる現象があった．これらの事例から，硬質の地山中に層状に挟まれた軟質地山を掘ると，軟質部分が内空側へ押し出される現象(流動性の土圧現象，上図)が生じる．このような地質条件も，施工時の対応を誤



岩塩ドーム，泥火山などのダイアピルが形成される模式図

ると維持管理段階で問題を引き起こすことが多い．

膨張性地圧で難航した新潟県下のほくほく線鍋立山トンネル(9,117m)の膨圧現象は，ダイアピル(diaper/貫入，貫きの意)と呼ばれる地質構造を形成する軟質地山の塑性流動(上図)と同様な，破砕質泥岩の内空側への絞り出し現象であろうと筆者は考えている．

(6)　その他

1)　地下水は地圧の原因にもなる

トンネル周辺にある地下水は遮水性の地山を介して強大な地圧として作用する．この軽減を目的とするのが水抜き工といえる．

2)　膨張性地山か？と思わせる地質情報がある

以下のような状態が該当する．

・弾性波探査の地山速度はその地域で得られるボーリングコアの試料速度の最大速度よりも早い
・ボーリングコアが，円盤を重ねたような状態(コアディスキング)

・掘削長よりも長くなって試料がコア箱に納まらない

3)　凍結融解の力は無視できない

南国鹿児島の出身者には語る資格はない．注意喚起するに止める．

4)　微気圧変動も無視できない

坑内に列車が高速で突入すると，坑内には微気圧変動が生じる．列車が接近すると，それまであった漏水は細くなり，しまいには止まる．そして，列車が当該地点を通過するとともに水がすごい勢いで噴き出し，徐々に元の状態に戻っていく．この現象が列車の走行に併せて繰り返される．維持管理面からすれば，覆工に対し無視できない現象であると考えている．

5)　陥没はサイロ状に発生

トンネル担当者にとっては，陥没ほど嫌なものはない．陥没はグランドアーチが崩れた際に生じるが，ある程度の土かぶりがあると1*D*を過ぎた上部地山ではサイロ(円筒)状となり，地表に蟻地獄のようなすり鉢状の落ち込みができる．円筒状の内側は崩土で埋まっているが，その外周より地山側の乱れは意外に少ない．

おわりに

まだまだ伝えたき経験智は多々あるが，どうでも良いような蘊蓄(うんちく)と言われかねないので，ここらで止めます．これまでの語り部シリーズの執筆とはかなり異なったスタイルとなったが，これは，地質学を学んで国鉄に入社してトンネル技術者になったという特異人物がその思いの丈を綴ったものゆえとお許しを願いたい．

最後に，私に続かれる執筆者諸兄にもこの種の経験智を記していただけることをお願いし，私のごとき老骨に執筆の機会を与えていただいた編集子仲間に謝意を表して筆をおきます．

施工

火災により劣化した洞道コンクリート躯体の調査ならびに補修事例

—東京電力　新座洞道—

東京電力パワーグリッド(株)工務部流通土木グループ主任　佐藤克晴
東京電力パワーグリッド(株)工務部流通土木グループ管路設備保全担当　和田好史
東京電力パワーグリッド(株)埼玉総支社埼玉工事センター管路グループマネージャー　内藤幸弘
(株)奥村組東日本支社リニューアル技術部東電新座工事所所長　竹原博登

1　はじめに

2016(平成28)年10月12日，東京電力パワーグリッド(株)が保有する新座洞道(埼玉県新座市野火止付近)のマンホール内にて電気事故による火災が発生し，マンホール内に収容される6回線の275kVケーブルおよび接続部の一部が焼損した．この影響により，新座変電所と豊島変電所をつなぐ城北線3回線と，新座変電所と練馬変電所をつなぐ北武蔵野線3回線による電力供給が停止し，東京都の一部地域において約58万軒の停電が発生した(図-1)．

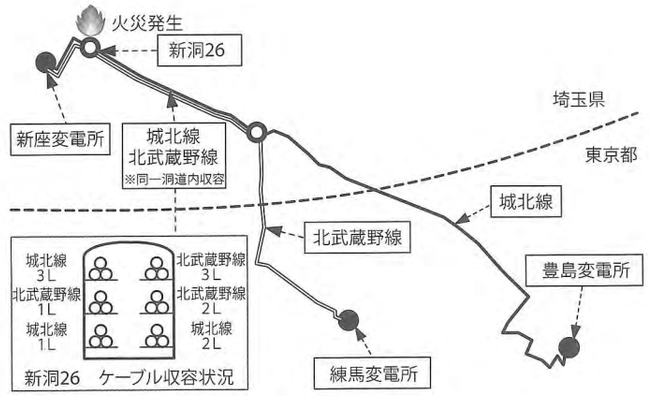


図-1　供給系統図

火災の原因はケーブル接続部の絶縁破壊事故によるものである．新座洞道に収容されているケーブルは重要路線であり，所定の供給信頼度を回復するために，北武蔵野線は2017(平成29)年6月までの早期復旧が必要となった．一方，新座洞道の躯体コンクリートには火害劣化特有の表面変状が確認された．そのため，ケーブル復旧工程に合わせ，2017(平成29)年3月までにマンホールなどの躯体の健全性を評価し，最低限必要な範囲についての補修工事を完了させる必要があった．

そこで，事故直後より躯体の健全性評価を目的とした各種劣化調査を実施した．ケーブル復旧工程を遅延させることができない状況であったことから，時間的制約がある中で躯体の劣化程度を適切に評価するための調査が求められた．とくに火災発生箇所に近い部位では躯体表面がポップアウトしており，断面修復による補修が必要であると考えられ，劣化範囲や劣化深さをいかに評価するかが課題であった．

本稿では今回の火災事故により実施した躯体劣

化調査の内容や，健全性評価にもとづく補修計画および施工実績について報告する．なお，火災事故の原因究明も含め，今回の取組みは社外専門家も交えた新座洞道火災事故検証委員会（委員長：東京電力パワーグリッド（株）社長）にて審議した内容にもとづくものである．

2　新座洞道の火害状況

2-1　劣化範囲

火災の発生箇所は図-2に示す新洞26マンホール（以下「新洞26」）の地下3階（以下「B3F」）にあるケーブル接続部である．新洞26では，隣接するマンホールより外気を取り込み新洞26より排気する換気の方向となっていたことから，火害による躯体の損傷は新洞26とこれに接続する両側の洞道の数mの範囲に限定された．

2-2　設備概要

新洞26と両側の洞道部は1978（昭和53）年に竣工した設備である．新洞26は開削工法，洞道部は非開削のメッセル工法により構築された．躯体寸法と地質条件を図-3に示す．地下水位はGL-10m程度であり，良質地盤内に建設されている．

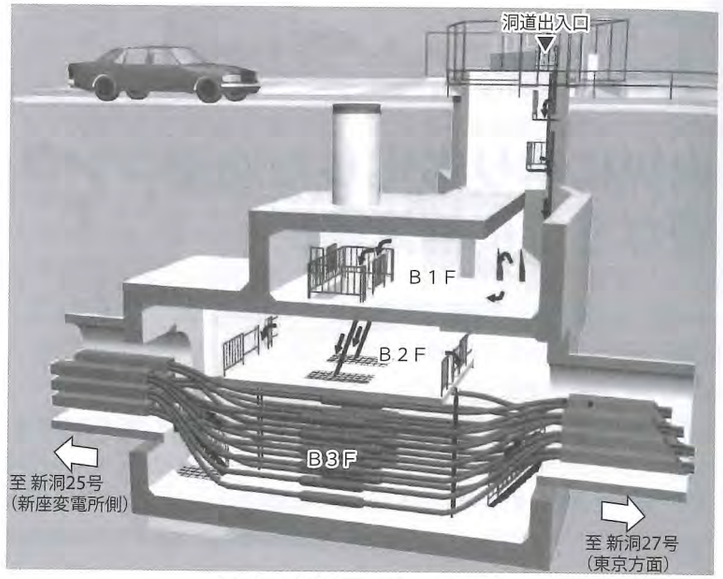


図-2　新洞26マンホール鳥瞰図

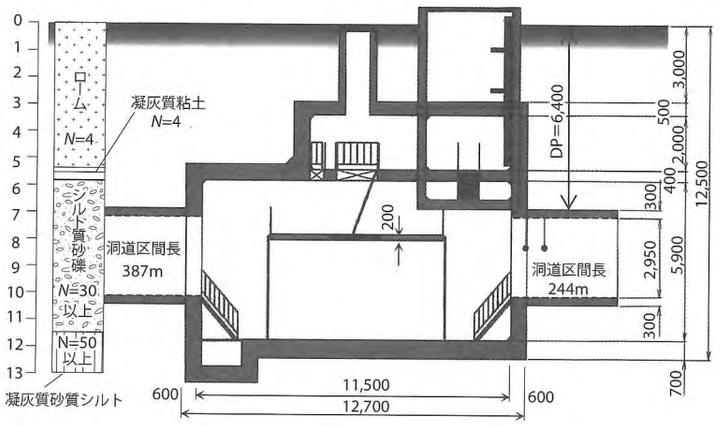


図-3　新洞26断面図と地質状況

2-3　躯体損傷状況

躯体の損傷程度は火災発生箇所であるB3Fに近いほど著しく，表面変状は大別するとポップアウト部（**写真-1**），ひび割れ部（**写真-2**），すす付着部（**写真-3**）の3区分とすることができる．

B2FとB3Fの表面変状はポップアウトとひび割れが大半を占めており，受熱の影響が大きいB3F-B2F間の中床版下面およびB3F側壁はとくにポップアウトによる損傷が著しい状況であった．B1Fではポップアウトは限定的であり，ひび割れと，すす付着が大半を占めている．また，B1Fから換気孔部（地上部）に近づくにつれて表面変状はひび割れから，すす付着へと変わっており，地上部に近いほど躯体の受熱温度は低いと考えられる．洞道部では坑口部付近でのみ，浮き・剝離やひび割れなどの変状が確認された．

2-4　受熱時間推定

火災発生から鎮火までの時系列を**表-1**に示す．



写真-1　ポップアウト部状況



写真-2　ひび割れ部状況

マンホール内の温度が上昇したのは，新洞26内部に設置した火災警報の発生前後（14：58ごろ）と想定される．一方，マンホール内が急激に冷却されたのはドライアイス投入後（17：32以降）であると想定される．よって，マンホール内が高温であった時間は2時間半～3時間程度であると推定した．

3　劣化調査の方針と項目

3-1　調査方針

一般的にコンクリートが火災などにより高温状態になると，セメント水和物は自由水の脱水により収縮し，骨材は熱膨張するため，両者の挙動の違いからコンクリート内部に微細なひび割れが発生し強度などの力学特性が低下することが知られている．また，受熱温度が500℃を超えるとセメント水和物の水酸化カルシウム（$Ca(OH)_2$）ならびに珪酸カルシウム水和物が熱分解し，アルカリ性が低下することが知られている[1)]．このアルカリ性の低下は，水和物の熱分解によるものであり，いわゆる炭酸化反応による中性化とはメカニズムが異なるが，ここでは中性化と呼ぶこととする．



写真-3　すす付着部状況

表-1　火災発生から鎮火までの時系列（2016（平成28）年10月12日）

時　間	状　　況
14：49	ケーブル事故情報受信（社内システム）
14：58	火災警報発生（社内システム）
15：05	近隣住民より新洞26における発煙の通報あり
15：44	換気孔部より消防による消火活動開始
17：12	マンホール鉄蓋を解放し放水開始
17：32	マンホール内へドライアイス投入
19：06	消防がマンホール内に入孔し残り火確認
24：21	鎮火宣言

このため，劣化調査は中性化による耐久性能と力学特性が影響する耐荷性能を確認することを目的とした．

3-2　調査項目

3-2-1　耐久性能の確認

耐久性の確認として，簡易に実施可能な表面はつり調査を行い，鉄筋の状態確認と併せてコンクリートはつり面におけるフェノール法による中性化深さ測定を実施した．調査は新洞26および洞道部の躯体表面にて多数実施した．また，コンクリート圧縮強度試験後のコアを活用した中性化深さ測定も実施し，はつり調査の結果と比較検討した．

また，フェノール法による中性化深さ測定では，$Ca(OH)_2$の消失深さと発色域に差がある，いわゆる中性化残りの可能性があったため，とくにポッ

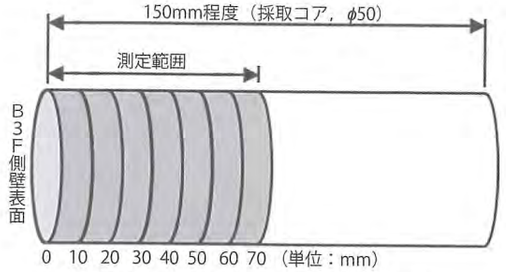


図-4　粉末Ｘ線回折測定概要（Ｂ３Ｆ側壁）

プアウトによる損傷の大きいＢ３F-Ｂ２Ｆ間の中床版およびＢ３Ｆ側壁については，粉末Ｘ線回折により$Ca(OH)_2$の消失状況を確認した．測定は，採取したコアを10㎜の厚さにスライス，粉砕し，深さ方向の$Ca(OH)_2$の分布状況を把握することとした．Ｂ３Ｆ側壁の粉末Ｘ線回折の測定概要を図-4に示す．

3-2-2　耐荷性能の確認

耐荷性能の確認として簡易に測定可能なリバウンドハンマー測定を行い，躯体損傷部における表面強度を確認した．調査は新洞26および洞道部の躯体表面にて多数実施した．

また，ポップアウト部，ひび割れ部，すす付着部，健全部の代表箇所にて採取したコアを用いて圧縮強度試験を行い，リバウンドハンマー測定の結果と比較した．

なお，試験結果の評価の際の比較データを収集するため，新洞26と同一工事で施工された，火害の影響のない隣接マンホールを健全部として調査対象とした．

4　劣化調査結果の分析・評価

4-1　受熱深さ推定

4-1-1　中性化深さ測定結果

はつり調査による中性化深さの測定結果を図-5に示す．グラフ横軸は受熱量が多いと想定される順に並べた．

火災による熱はＢ３ＦからＢ２Ｆ，Ｂ１Ｆ，地上部へと向かって進むので受熱量の多いＢ３Ｆほど，また，同一フロアでも上部ほど中性化は進行し，躯体の表面状態も悪いことがわかる．

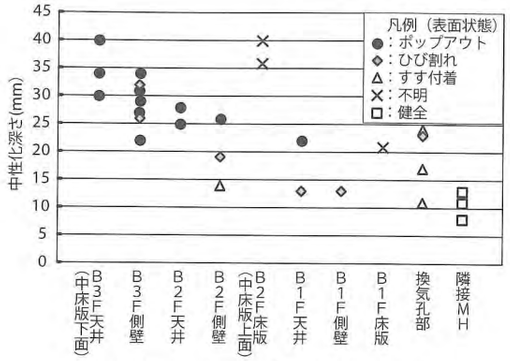


図-5　はつり調査結果による中性化深さ

表-2　ポップアウト部における$Ca(OH)_2$の検出深さ

測定箇所	粉末Ｘ線回折測定	中性化深さ（コア割裂面）	中性化深さ（はつり調査）
中床版上面（Ｂ２Ｆ床版）	40	33	38
中床版下面（Ｂ３Ｆ天井）	40	30	35
Ｂ３Ｆ側壁	25	39	29

（単位：㎜）

4-1-2　粉末Ｘ線回折測定結果

粉末Ｘ線回折の測定結果を表-2に示す．比較した中性化深さ測定結果は測定箇所における平均値である．

Ｂ３F-Ｂ２Ｆ間の中床版は上面・下面ともに躯体表面から40㎜の位置で$Ca(OH)_2$が検出され，これは中性化深さ測定結果とおおむね一致する．一方，Ｂ３Ｆ側壁は躯体表面から25㎜で$Ca(OH)_2$が検出され，はつり調査による中性化深さ測定結果には近いが，コア割裂面の測定結果は39㎜であり14㎜の差があった．

しかしながら，中床版下面とＢ３Ｆ側壁の表面状態はおおむね同様のポップアウトであり，Ｂ３Ｆ側壁のコア割裂面の中性化深さが39㎜であることから，ポップアウト部については躯体表面から40㎜の位置までが$Ca(OH)_2$の消失により中性化しているものと評価した．

4-1-3　既往文献との比較

図-6は受熱時間ごとのコンクリート深さ方向の受熱温度を示したグラフである[2]．新洞26内部が高温であったと推定される時間は前述のとおり

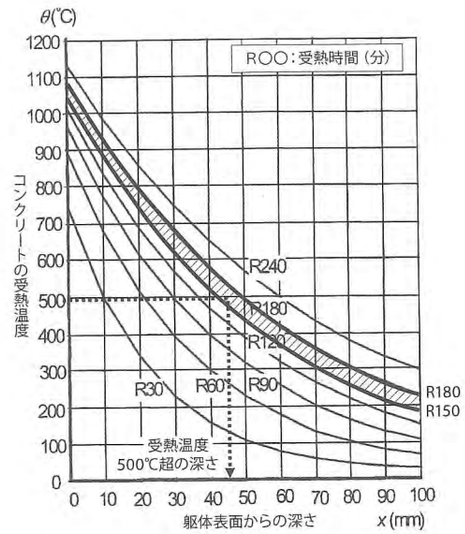


図-6　コンクリートの深さ方向の受熱温度

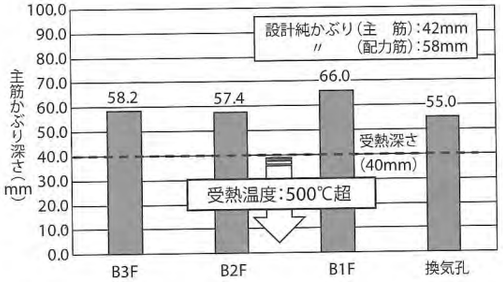


図-7　はつり調査による主筋かぶり（平均値）

2時間半から3時間程度であり，このグラフよりコンクリートの受熱温度が500℃以上に達するのは躯体表面から40～50㎜までの深さであることがわかる．これは粉末Ｘ線回折で評価した$Ca(OH)_2$の消失深さ40㎜とおおむね一致する結果であり，このことからもポップアウト部については躯体表面から40㎜の位置までが$Ca(OH)_2$が消失により中性化しているものと評価した．

4-2　鉄筋の健全性評価

はつり調査結果による各フロアの主筋かぶりの平均値を図-7に示す．鉄筋は加熱温度が500℃までであれば強度はほぼ回復するとされている[1]．ポップアウト部における500℃以上の受熱深さは，躯体表面から40㎜の位置までと評価したことから，それ以上の主筋かぶりである新洞26の鉄筋の

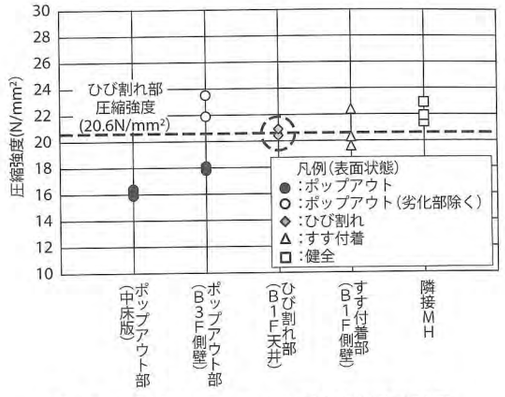


図-8　コンクリートコアの圧縮強度試験結果

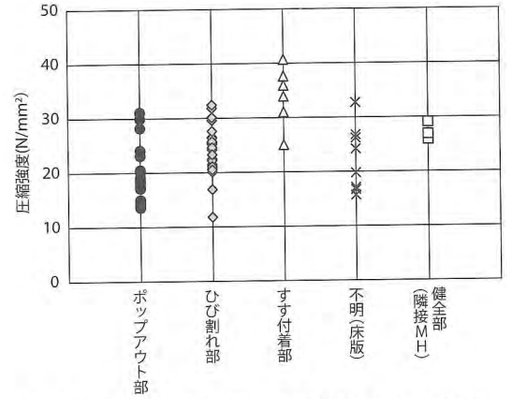


図-9　リバウンドハンマーによる圧縮強度測定結果

健全性は確保されているものと判断した．なお，実際に躯体表面のコンクリートをはつり，鉄筋径の計測や表面状態の目視確認をしたが，外観上の劣化も見られなかった．

4-3　コンクリートの健全性評価

コンクリートコアの圧縮強度試験結果を図-8に示す．このグラフより，ポップアウト部ほど圧縮強度が低下していることがわかる．また，Ｂ３Ｆ側壁においては表面劣化部を除去した状態での試験も実施したが，健全部と同程度の圧縮強度であった．このことからも受熱の影響による劣化は，躯体表面部のみであることがわかった．

図-9はリバウンドハンマー測定による圧縮強度を示したグラフである．コンクリートコアによる圧縮強度試験結果と同様，表面状態が悪いほど強度が低い傾向がある．ただし，躯体表面は測定

前にグラインダーなどで研磨しているものの，測定結果のばらつきは大きい結果となった．

4-4　躯体の構造安全性

新洞26の火害劣化後（補修工事開始前）の構造安全性を構造計算により評価した．モデルは図-10に示す3連ボックスとした．ポップアウト部が大半を占めるB3F-B2F間の中床版両面，B3F側壁およびB2F天井については，$Ca(OH)_2$が消失し圧縮強度が低下していると評価した躯体表面から40㎜を欠損させた状態で応力度照査を実施した．

表-3は発生応力がもっとも厳しい箇所における構造計算結果であるが，火害劣化後の状態においても長期許容応力度以内であることが確認できた．なお，コンクリートの許容圧縮応力度は，図-8よりポップアウト部を除き，もっとも圧縮強度の低いひび割れ部の実力値20.6N/㎟に対し，安全率3で除した6.8N/㎟とした．

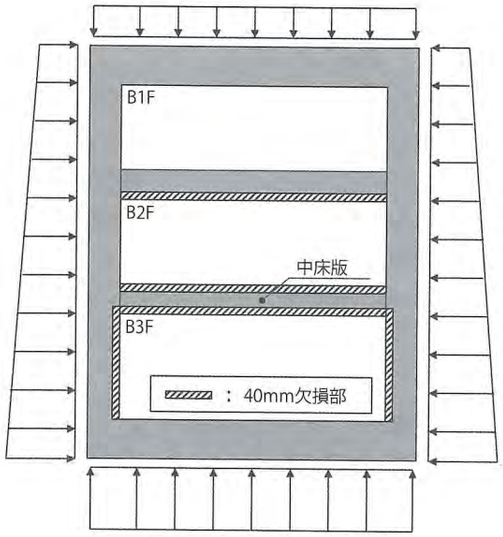


図-10　構造計算モデル

表-3　応力度照査結果

照査項目	発生応力	許容値	照査結果	照査箇所
$\sigma_{c\,max}$	6.6	6.8※	OK	中床版端部
$\sigma_{s\,max}$	111.0	180.0	OK	B3F側壁下端部
τ_{max}	0.39	0.45	OK	B3F側壁ハンチ部

※20.6/3=6.8　　（単位：N/㎟）

5　躯体補修計画

5-1　調査結果による評価

健全性評価結果を表-4にまとめた．耐荷性能については，火害による劣化深さを考慮した構造計算により躯体の構造安全性は確保されていることを確認した．また，鉄筋については主筋位置での受熱温度が500℃未満であり，健全性は確保されていることを確認した．よって，耐荷性能上の対策は不要とした．

耐久性能について，ポップアウト部は中性化測定および粉末X線回折の結果から，主筋付近での$Ca(OH)_2$の喪失による中性化が確認された．また，ひび割れ部については，ひび割れによって腐食因子（CO_2，O_2，水分など）が浸入しやすい状態であると考えられる．よって，ポップアウト部とひび割れ部は中性化による耐久性の低下に伴い，将来的な鉄筋腐食の発生および進展のリスクがあると判断し，対策を実施することとした．

5-2　補修計画

5-2-1　ポップアウト部

中性化したかぶりコンクリートは，セメント水和物の熱分解により生成した酸化カルシウム（CaO）などが水分の供給により再水和し，アルカリ性環境が回復することも考えられたが，新洞26は洞道換気により乾燥状態にあること，地下水位も低く外部からの水分の供給が少ないことを勘案し，積極的にアルカリ性を回復させることとした．

補修は躯体表面から40㎜までを除去し，珪酸塩系表面含浸材料を塗布することによりアルカリ性を回復させ，ポリマーセメントモルタルにて断面修復することとした．なお，既設コンクリートとの剝離が懸念されることから，アンカーなどによる剝離防止対策も実施する．

表-4　調査結果による健全性評価結果

要求性能	材　料	ポップアウト	ひび割れ	すす付着
耐荷性能	コンクリート	○	○	○
	鉄筋	○	○	○
耐久性能	鉄筋	×	△	○

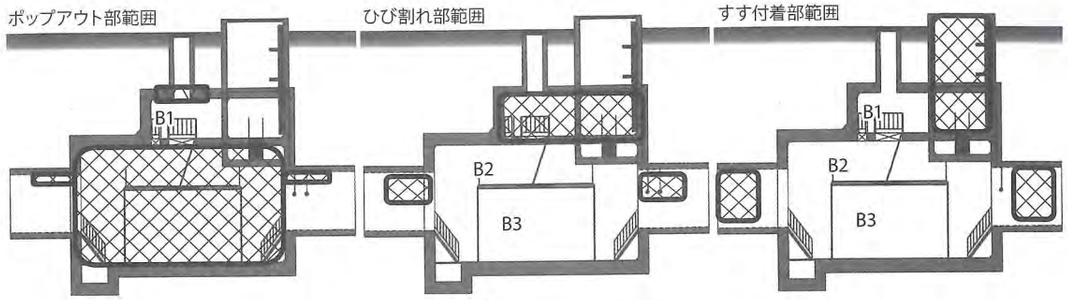


図-11　補修範囲図（斜線部が補修範囲）

5-2-2　ひび割れ部

ひび割れ幅が小さく，ひび割れ注入工の適用が困難であることから表面含浸材を塗布し，腐食因子の浸入抑制対策を実施する．

5-2-3　すす付着部

構造性能および耐久性能に与える影響はないと判断されることから，対策は表面洗浄のみとする．

5-2-4　補修範囲

各表面変状の補修範囲は図-11を基本とした．

6　補修工事実施状況

6-1　材料選定

ポップアウト部の躯体表面はつり後の断面修復材には，当社での使用実績が多く，無収縮モルタルなどに比べて付着強度も高い，亜硝酸塩系防錆材が含まれる断面修復用ポリマーセメントモルタルを選定した．

また，アルカリ性付与を目的とした表面含浸材については，一般的にコンクリート表面に留まって固化する珪酸リチウム系の含浸材と，コンクリート表面内に浸透して石灰分の再結晶化を促し緻密化させる珪酸ナトリウム系含浸材が存在する[3]．今回補修対象である構造物は火害により$Ca(OH)_2$を消失しており，石灰分の再結晶化には不確実性があると判断し，表面固化型の珪酸リチウム系の含浸材を選定した．この表面含浸材は，ポップアウト部の躯体表面はつり後において，断面修復材の水分が既設コンクリートに吸収されるドライアウト現象の対策としての効果も期待した．ひび割れ部においては表面含浸材を塗布し，躯体表面を固化することで，劣化因子の浸入抑制対策としての効果を期待した．

なお，ポップアウト部において，はつりにより鉄筋が露出した場合には鉄筋防錆材の塗布も行った．このため断面修復材，表面含浸材および鉄筋防錆材は相互の相性が良いものを選定する必要があり，今回はいずれも同一メーカーのものを選定した．

6-2　補修工事範囲

今回の新座洞道火災事故において，2017（平成29）年6月までの北武蔵野線の早期復旧が最優先であり，ケーブル復旧工程から逆算すると，2017（平成29）年3月までにマンホールなどの躯体補修工事を実施する必要があった．躯体すべての補修工事をこの期間内に完了させることは困難であったことから，補修工事を1期工事と2期工事に分けて実施した．工程表を表-5に示す．

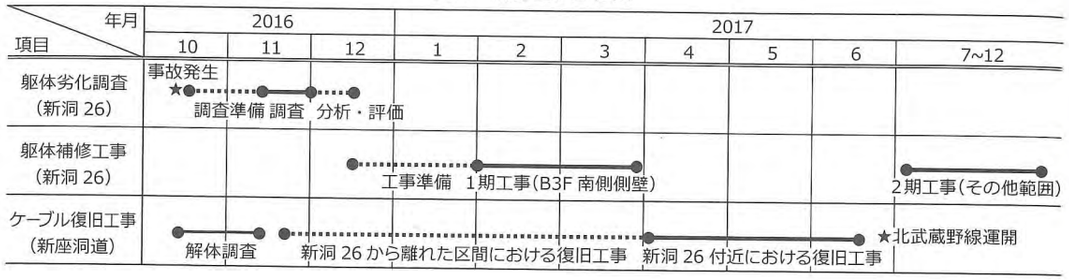
1期工事はケーブル復旧に最低限必要な範囲として，ケーブル接続部を設置する新洞26のB3F南側側壁のみを2017（平成29）年3月までに先行して補修した．その他の範囲については2期工事として北武蔵野線の運開後に行い，2017（平成29）年12月に完了した．

6-3　火害コンクリートのはつり

ポップアウト部における躯体表面コンクリートのはつりは，現場状況の制約などにより電動ピックで行った．火害を受けたコンクリートは脱水が著しく，通常のコンクリートに比べて脆い状態にあったため，電動ピックで問題なく，はつり取ることができた．

コンクリートはつり面の品質管理は，フェノール法によるアルカリ性の確認およびリバウンドハ

表-5　補修工事工程表



ンマーによる強度測定を実施した．フェノール法では，深さ40㎜付近においてはゆっくりと薄ピンク色に変色し，40㎜を超える部分においては即座に濃いピンク色への変色が見られ，調査結果と同様の傾向であった．

一方，はつり深さ40㎜付近においては，当初の調査では把握できなかった火害による微細なひび割れ・浮きが存在していた．１期工事の補修対象部は，超高圧ケーブルの接続部が設置され，補修後の壁面が重量物を支えなければならない．また，ケーブル接続部設置後の壁面の再補修は困難となる．そのため，このひび割れ・浮きを確認した箇所については，躯体表面から40㎜以上の深さまではつった．はつり面においてはリバウンドハンマーによる強度測定を実施し，圧縮強度試験で得られた強度を参考に，21N/㎟を合格基準として品質管理を実施した．

また２期工事においては，１期工事と同様のフェノール法によるアルカリ性の確認，ひび割れ・浮きの除去，リバウンドハンマーによる品質管理を実施したが，１期工事に比べはつり深さが浅くなる傾向が見られた．この理由として，２期工事の補修範囲の方が火元から遠くなる部位が多かったことや，火元近くでも中床版の陰となったＢ２Ｆ側壁部やアラミド繊維で覆われたケーブルの裏面の側壁部など，炎および熱を遮るものが存在した影響などが考えられる．

6-4　表面含浸材の塗布

表面含浸材はポップアウト部とひび割れ部において用いた．火害を受けたコンクリートは，通常のコンクリートと異なり脱水状態にあることから，

表-6　含浸材塗布量試験結果

試験部位	１回目	２回目	３回目	合　計
側壁上部	217	721	386	1,324
側壁下部	528	256	236	1,020
天 井 ①	214	177	143	534
天 井 ②	247	130	143	520

（単位：g）

表-7　リバウンドハンマー測定結果

測定箇所	含浸材塗布前	含浸材塗布後
側壁上部	29.6	31.3
側壁下部	25.6	35.1

（単位：N/㎟）

適切な塗布量を把握することを目的に，断面修復前に塗布量試験を実施した．ポップアウト部においては，一般的に含浸材は塗布量が少ないと断面修復材のドライアウトを防止できないが，多いと断面修復材とコンクリートの付着を阻害する要因となる．

試験は側壁部と天井部に分け，それぞれ２か所ずつ，はつり面に１㎡の試験面を用意して実施した．試験結果を表-6に示す．通常，コンクリートにおける含浸量は２回塗布で400g/㎡程度であるのに対し，新洞26の躯体コンクリートは脱水により表面含浸材の吸収量が多く，３回塗布により側壁上部で1,324g/㎡，側壁下部で1,020g/㎡が適正な塗布量となった．また，塗布方法はローラーより刷毛を用いた方が施工性が良いことを確認した．一方で天井部においては３回塗布によりそれぞれ，534g/㎡および520g/㎡が適正な塗布量となった．塗布量が側壁部と異なった理由として，天井部は鉛直上向きへの塗布となることから，側壁に比べ



写真-4　断面修復施工状況（左官）



写真-6　断面修復完了状況（１期工事）



写真-5　断面修復施工状況（吹付け工法）



写真-7　断面修復完了状況（２期工事）

て含浸材が浸透しづらいことが考えられる．なお，天井部の塗布方法は側壁部と異なり，ローラーを用いた方が施工性は良いことを確認した．

表-7にリバウンドハンマーによる含浸材塗布前後の強度試験結果を示す．躯体表面強度は，含浸材塗布後に上昇することも確認できた．

6-5　断面修復

ポップアウト部における断面修復については，前述のとおり亜硝酸塩系防錆材が含まれる断面修復用ポリマーセメントモルタルを用いて実施した．修復工法については一般に，コテ塗りによる左官仕上げと吹付け工法が存在するが，１期工事は修復範囲が約43㎡となる比較的小さい現場条件に合わせ，コテ塗りによる左官仕上げを採用し，２期工事においては修復範囲が約197㎡となることから，施工効率を考慮して吹付け工法を採用した．なお，断面修復は一度に厚く施工するのではなく，施工時の剝離防止を目的に，側壁部は１層あたり20㎜程度とし，天井部は１層目が10㎜程度，２層目以降が20㎜程度とし，１層ごとに１日程度時間を空けて複数回塗り重ねることで実施した．

また，側壁部においては剝離を防止する目的で，１ｍピッチでステンレス製の剝離防止アンカーを設置した．この剝離防止アンカーは，金属系アンカー方式で，10㎜のかぶりを確保して断面修復材に埋め込まれている．また，天井部においては剝離防止に加え，剝落も防止する目的でビニロン繊維シートを断面修復表面に接着し，トップコートを塗布した上からステンレス製のアンカー（打込み，樹脂接着併用式）を500㎜ピッチで打設した．

写真-4に左官仕上げによる断面修復の施工状況を，写真-5に吹付け工法による断面修復の施工状況を示す．断面修復の施工時および完了後の２週間においては，ミストマシンにより温度20℃以

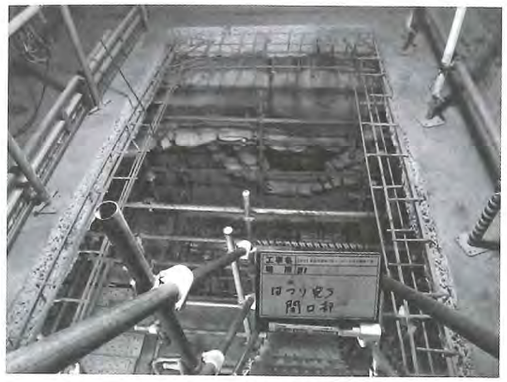


写真-8　B1F床版補修状況



写真-9　B1F床版補修完了状況

上，湿度50％以上の環境を確保して養生を行った．

以上の施工内容により，1期工事は2017(平成29)年3月までに，2期工事は2017(平成29)年12月までに，予定どおり断面修復を完了させることができた．**写真-6**に1期工事(左官仕上げ)の施工完了後の壁面修復状況を，**写真-7**に2期工事(吹付け工法)の施工完了後の壁面修復状況を示す．

6-6　床版開口部周辺の修復

B1FおよびB2Fの床版面(中床版)には，図-2に示したように昇降および資材搬入を目的とした開口部が存在する．これらは火災時において炎および熱の通り道となり，開口部による側面からも熱の影響を受けていることから，開口部周辺では鉄筋が露出するまでコンクリートが剝落している劣化状況であった．したがって，開口部周囲は表面40㎜程度の断面修復では機能回復が難しいことから，開口部から150㎜程度の範囲においてはコンクリートをはつり，鉄筋のみを残した状態とし，開口部に近い位置の鉄筋は新たに配筋または添筋をし，無収縮モルタルを用いて修復した．施工状況を**写真-8**に，修復完了後の状況を**写真-9**に示す．

7　おわりに

本稿では，新座洞道火災事故による新洞26マンホールの躯体劣化調査，調査結果の分析・評価にもとづく補修計画および施工実績について報告した．2016(平成28)年10月の事故以来，早急に躯体劣化調査に着手し，補修計画や施工計画の検討の結果，ケーブル復旧に最低限必要な範囲の補修工事(1期工事)を2017(平成29)年3月に完了することができた．また，ケーブル復旧工事においても2017(平成29)年6月に北武蔵野線が無事に運開したほか，同年8月より躯体補修工事(2期工事)を再開し，同年12月までに予定どおりすべての躯体補修工事を完了させることができた．

今回の報告が，火害により劣化した構造物の劣化調査や補修工事を実施する際の一助となれば幸いである．

最後に，本検討にあたり，新座洞道火災事故検証委員会にて小泉淳・早稲田大学教授をはじめとする社外専門家の方々より貴重なご指導，ご助言をいただきました．この場を借りて厚くお礼申し上げます．

参考文献

1) 日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術'14[基礎編]，pp.65-67，179-181，227，2014.
2) The European Union Per Regulation : Eurocode2 : Design of concrete structures-, Part 1-2 : General rules-Structural fire design, 2004.
3) 土木学会：表面保護工法設計施工指針(案)，コンクリートライブラリー119，pp.15-17，2005.

研　究

豆板注入補修工法のトンネル覆工への適用

東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所工事管理室副課長　佐々木　尚　美
東日本旅客鉄道(株)構造技術センター地下・トンネル構造グループ　岩　井　俊　且
東日本旅客鉄道(株)大宮土木技術センター大規模工事プロジェクト　橋　場　一　富

1　はじめに

コンクリート構造物に発生する初期欠陥の1つに豆板がある．豆板が発見されると，補修が行われるのが一般的である．通常の補修は，豆板を取り除き，取り除いた部分を断面修復する方法(以下「従来工法」)により行われる．

従来工法の補修手順の例を図-1に示す．従来工法では，豆板を完全に取り除き(はつり取り)，断面修復して補修が完了する．この場合，豆板を取り除くため，図-1(d)に示すように，健全なコンクリート部と補修部の間に，連続的な補修境界面(界面)ができる．既往の研究では，はつり処理後に断面修復した場合，健全であった既設コンクリートに微細なひび割れが多く発生することで，打継ぎ界面の付着強度が低下すること[2]や，界面に欠陥部があると，水や酸素が供給され，鉄筋の腐食が著しく速くなること[3]などが指摘されている．よって，補修によって生じる界面の存在は，将来的に剝離剝落を生じる可能性がある．

そこで，豆板を取り除かずに，樹脂を注入して補修することで，健全なコンクリートと同等以上の性能に回復させる工法(以下「提案工法」)を提案し，これまでに材料特性や部材性能確認試験，実構造物での試験施工などを実施してきた[1),4)~7)]．本稿では，提案工法の概要と材料特性および部材性能確認試験の一例について述べたあと，トンネル覆工に適用した補修事例を報告する．

2　提案工法の概要

提案工法の補修手順を図-2に示す．提案工法は，はじめに，豆板の空隙を充填する注入材の漏れ出し防止のために豆板表面にシール材(以下「表面シール材」)を塗布したうえで，硬化した表面シール材の上から直径10㎜程度の孔をドリルで削孔する．削孔後，孔内を清掃し，小型カメラ(直径5㎜程度)を挿入して内部の空隙状態を把握する(図-2(b))．次に，注入孔に注入器を，空気孔にはホースを先端に取り付けたパイプを挿入し

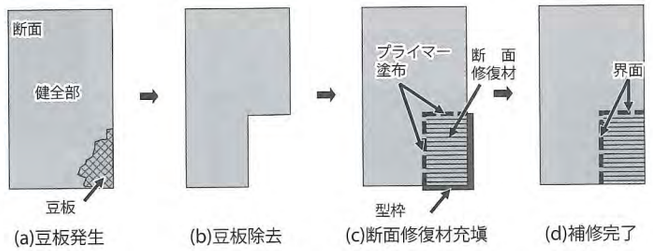


図-1　従来工法の補修手順の例[1)]

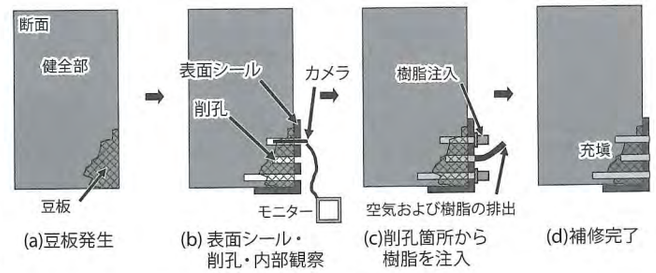


図-2　提案工法の補修手順[1)]

て取り付ける．空気孔から樹脂の排出を確認し，注入作業を終了する(図-2(c))．注入材の硬化後，再び小口径の孔を削孔し，カメラで充填状況を確認する．未充填箇所があれば再注入を実施し，未充填箇所が確認されなかった場合は，補修完了となる(図-2(d))．このように，提案工法の特徴は，豆板を取り除かないことで，新たな欠陥の要因となりうる界面を作らずに，補修を行うことである．

3 樹脂充填率の違いによる曲げ強度

これまで，材料レベルでの検証では，界面を模擬した供試体での直接引張強度や豆板補修部を有する供試体での曲げ強度試験を行い，提案工法を用いた供試体の界面剝離は発生せず，健全供試体と同等の強度を有したこと，従来工法を用いた供試体は界面での剝離が生じ，健全供試体の強度に及ばなかったことを確認している[1]．ここでは，トンネル覆工の補修を踏まえ，材料特性確認試験の中から，注入する樹脂の豆板空隙部への充填率と曲げ強度の関係について述べる．

3-1　試験概要

曲げ強度確認試験は，3等分点載荷(JIS A 1106に準ずる)により実施した．供試体の種類は，健全，補修した豆板供試体とした．補修した豆板供試体については，表面シール材および注入した樹脂の充填率の違いによる影響を確認するため，表面シールのみ，表面シールなしで補修前のコンクリート未充填率[1](コンクリートが十分に充填された健全供試体に対する豆板供試体のコンクリート未充填部の割合：15%)に対し，樹脂充填率を30, 50, 70, 100%に変化させたものとした．供試体の寸法は，角柱(幅100㎜×高さ100㎜×長さ400㎜)とし，各3体ずつ試験した．

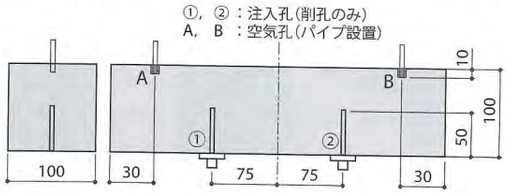


図-3　補修した豆板供試体の注入概要[1]

表-1　エポキシ樹脂の物性

物性値の例	樹脂の種類	
	注入材(低粘度系)	表面シール材(高粘度系)
圧縮降伏強さ(N/㎟)	88	50
圧縮弾性率(kN/㎟)	2.2	1.0
曲げ強さ(N/㎟)	69.3	30
引張強さ(N/㎟)	50.8	20
硬化収縮率(%)	2	2

補修した豆板供試体の注入概要を図-3に，使用した樹脂の物性を表-1に示す．図-3に示すように，供試体下面に注入孔，上面に空気孔を2か所ずつ設け，下面から注入を行った．豆板および補修した豆板供試体の例を写真-1に示す．

3-2　試験結果

曲げ強度と樹脂充填率の関係を図-4に示す．曲げ強度は各供試体3体の平均とした．補修した豆板については，載荷方向に対して，供試体の補修面(注入面)を下面位置と側面位置とした場合の試験結果も合わせて示した．

全面を表面シール補修した豆板供試体は，健全供試体以上の強度を有した．樹脂充填率を30～100%と変化させた供試体は，いずれも健全と同等以上の強度を示した．また，載荷方向に対して補修面を下面位置と側面位置に変えて試験した補修した豆板供試体は，同じ樹脂充填率の場合，ほぼ同じ強度を示した．載荷方向に対して補修面の位置を変えても曲げ強度に影響はなかった．これらは，充填した樹脂の強度が高いことが影響していると考えられる．



(a)豆板



(b)補修した豆板(樹脂充填率30%)



(c)補修した豆板(樹脂充填率100%)

写真-1　豆板および補修した豆板供試体の例

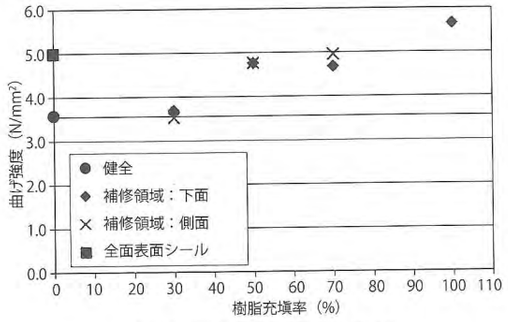


図-4　曲げ強度と樹脂充填率

4 くり返し載荷による部材性能確認試験

提案工法の実構造物での適用性を検討するため，RC梁試験体やRC柱試験体を用いて部材レベルでの載荷実験を行ってきた[4)~6)]．ここでは，RCラーメン高架橋の縦梁のかぶり部に豆板が発生した状況を想定し，くり返し載荷試験[4)]を行った内容について述べる．

4-1　試験体概要

試験体諸元を表-2に，試験体概要を図-5に示す．RC梁試験体の寸法は，幅300㎜×高さ500㎜×長さ5,000㎜である．

断面寸法は，近年設計されたRCラーメン高架橋の縦梁の1/3程度とし，鉄筋量は，近年のRCラーメン高架橋を参考に設定した．

試験体は，健全・従来工法・提案工法の3体とした．提案工法，従来工法ともに，試験体下面か

表-2　試験体諸元

試験体名	補修部	断面幅(㎜)	高さ(㎜)	長さ(㎜)	上側鉄筋と本数	下側鉄筋と本数	引張鉄筋比(%)	せん断補強鉄筋と間隔(㎜)	有効高さd(㎜)
健　全	—	300	500	5,000	D19-4本 2段	D19-4本 2段	上側1.83 下側1.90	D13-100	上側418 下側403
従来工法	あり								
提案工法									

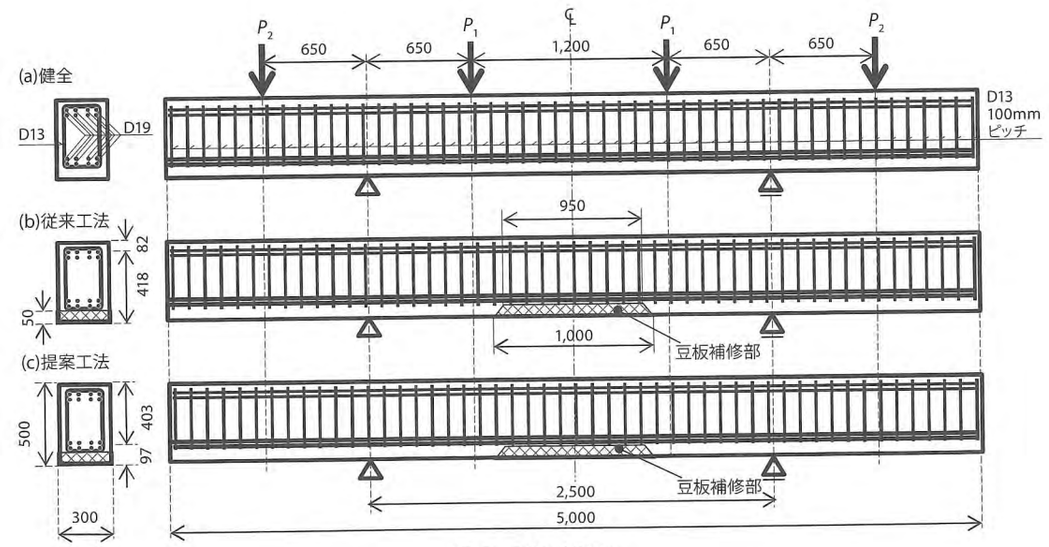


図-5　試験体概要

ら補修作業を行った．豆板補修段階の各試験体の状況を写真-2に示す．従来工法試験体は，梁下面から電動ハンマドリルや空気式高速タガネを用いて，健全部が確認できるまで豆板をはつり取った．はつり出した健全コンクリート面にプライマーを塗布し，型枠内に練り混ぜたポリマーセメントモルタル(一般的な補修材を選定)を押し付けるように充填し，補修部をシートで養生し補修を完了した．

提案工法による補修方法の概要を図-6に示す．

表面シール材の塗布範囲，注入孔および空気孔の配置を示した．表面シール材の塗布範囲は，豆板の範囲より50㎜大きい範囲とした．表面シール材の硬化後，豆板部に直径10㎜程度の注入孔と空気孔を削孔した．注入孔の削孔は，補修部から健全部へ50㎜程度入った位置までとし，削孔長は100㎜とした．空気孔の削孔は，豆板下面から40㎜程度までとした．空気孔には，ポリエチレンパイプを挿入し，空気およびエポキシ樹脂が豆板の奥から排出されるようにした．

4-2　試験方法

RC梁試験体の載荷方法は，補修部に正負の曲げモーメントがくり返し作用する状態を模擬した．これは，鉄道で多く採用されているビームスラブ形式のRCラーメン高架橋の縦梁を想定したためである．具体的には，図-5に示した一対のP1とP2の4点で載荷を行った．支点内側の載荷点P1と外側の載荷点P2を交互に載荷することにより，支点間に正負の曲げモーメントが作用するようにした．載荷荷重は，引張側の鉄筋応力度が目標とする応力度に相当する鉄筋ひずみ値となる荷重までとした．

また，くり返し載荷の途中で，鉄筋ひずみの計測値をみて，損傷が急激に進まないように載荷荷重を変更した．載荷は5段階(5ステップ)で行った．載荷ステップを表-3に示す．

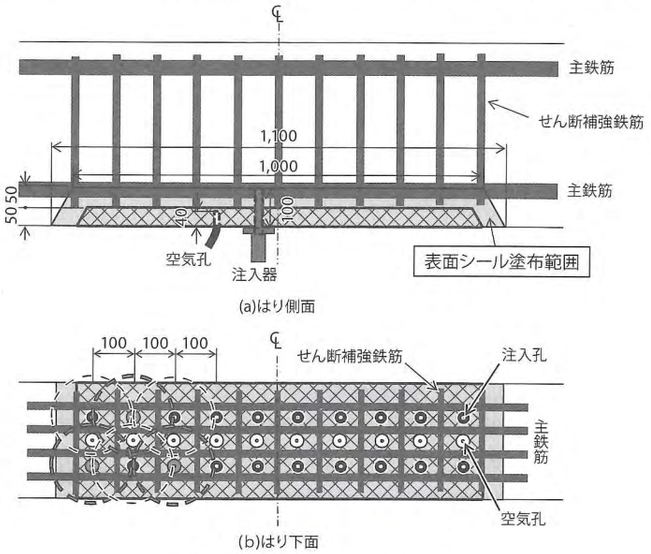


図-6　提案工法の補修概要[4]



写真-2　補修段階の状況

表-3　載荷ステップ[4]

載荷ステップ		1	2		3		4	5
最大載荷荷重時の引張鉄筋ひずみの目安		0.6ε_y程度(1,290μ程度)	0.9ε_y程度(1,950μ程度)		ε_y程度(2,150μ程度)		載荷ステップ1の荷重と同程度	剝落確認
載荷荷重(kN)	$2P_1$	600	830		780		630	1,000
	$2P_2$	-600	-850		-720		-630	—
載荷速度(kN/s)*1		A	A	664～680	A	576～624	A	504	A
通算載荷回数(回)		1～2	3	4～1,000	10,001	1,002～7,150	7,151	7,152～	—

ε_y：鉄筋の降伏ひずみ，*1：載荷速度　A：0.6~0.8(静的載荷)

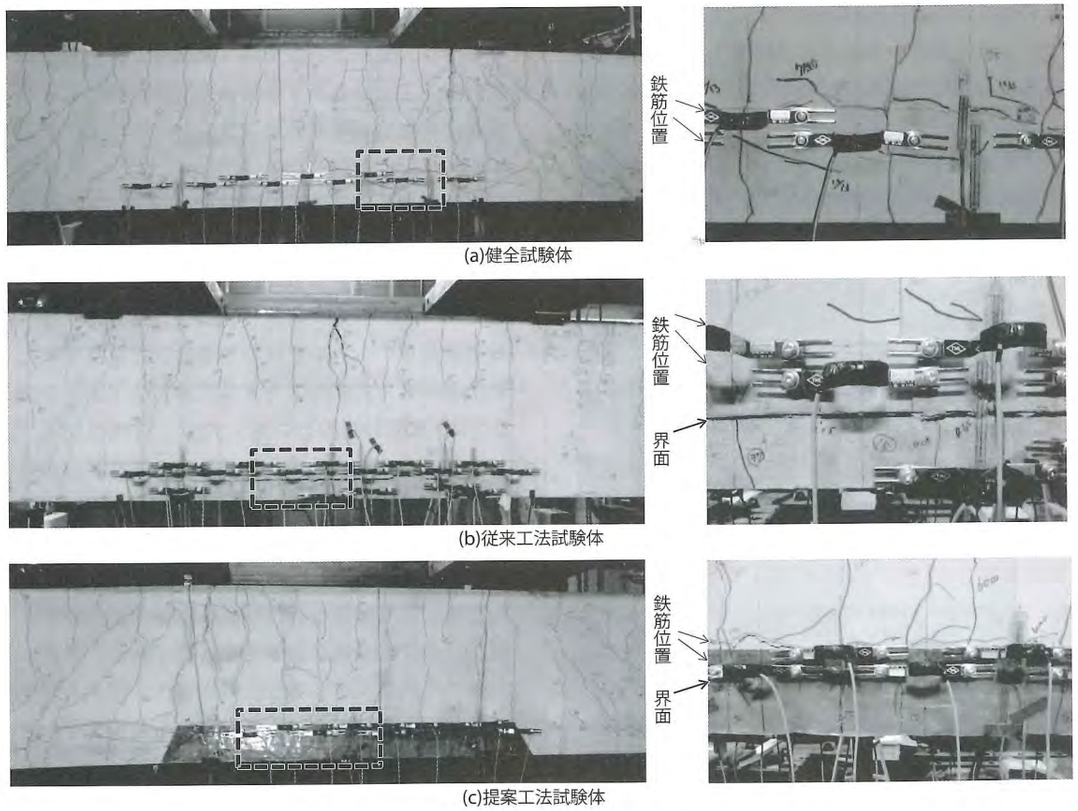


写真-3　載荷終了時点での各試験体の損傷状況

落について述べる．

載荷回数の増加に伴い，豆板補修部の損傷状態に相違がみられた．くり返し載荷終了時点での試験体の状況を**写真-3**に示す．右側に，各試験体の補修部(図中の破線枠内)を拡大して示した．従来工法試験体では，ステップ1($2P_1$)載荷時点で，水平界面で剝離が生じ，最終的には4㎜程度の隙間が生じた．提案工法試験体は，下側鉄筋位置の上側の健全部に水平にひび割れが確認されたが，従来工法試験体のような界面での剝離は生じなかった．また，破壊までのくり返し回数は，健全試験体が約215,000回，従来工法試験体が約231,000回，提案工法試験体が約353,000回となった．健全および従来工法試験体の回数がほぼ同程度であったのに対し，提案工法試験体は約1.6倍の回数であった．

載荷終了後，さらに正荷重($2P_1$)を載荷した．その結果，従来工法試験体では，補修部が剝落した．健全試験体のかぶり部，提案工法試験体の補修部での剝落は生じなかった．

RC梁試験体でのくり返し載荷試験を行った結果，提案工法試験体は補修部での剝離・剝落の可能性は低く，健全試験体や従来工法試験体と同等以上の性能を有することを確認した．

5 トンネル覆工コンクリートの補修事例

5-1 トンネル覆工コンクリート豆板補修の現状

供用中の鉄道トンネルの覆工コンクリートに補修されずに残置された豆板の多くは，NATMが広く普及する1980(昭和55)年以前に在来工法で建設されたトンネルに存在する．現存する豆板には，プレスクリートを使用した覆工コンクリート打設の際，材料分離した状態で打ち込まれたことが原因で発生した比較的規模が大きな豆板[8]から，覆工コンクリート打設時に締固めが不十分であったため発生した中小規模の豆板，型枠の部分的な変形などにより目地や型枠の隙間からモルタルやペーストが漏れ出たことに起因する比較的規模の小さな豆板まで，大小さまざまなものが存在する[9),10)]．

中小規模の豆板については，従来工法のほか，程度によってはそのまま残置したり，はつり落としにより豆板を取り除いて表面に風化防止材を塗布するなど，これまでも補修を実施してきた．また，比較的大規模な豆板については，豆板をはつりとっている間，覆工コンクリート自体の安定性を損ねることのないよう一部の豆板を残し，表面被覆や当て板などの剝落防止措置を行っている[11)]．しかし，この方法では覆工コンクリート内に豆板を残したままとなり補修完了後も覆工の弱点箇所となることが懸念される．

そこで，トンネル覆工コンクリートに生じた豆板を健全部と同等の性能に回復させることのできる有効な補修方法として，先述の提案工法を適用することとした．

5-2 試験施工での課題

トンネル覆工コンクリートに発生した豆板の補修に提案工法を適用するにあたり，課題として主に以下の3点が挙げられる．

5-2-1 時間的制約

供用中の鉄道トンネルの補修は夜間，列車運行時間外の限られた時間で行う必要がある．このため施工日あたりの作業時間が一般的な土木工事で想定する7～8時間と比べ大幅に短くなる．また，比較的規模の大きい豆板を補修対象としているため，短時間で大量の樹脂を注入する必要がある．

5-2-2 空間的制約

鉄道トンネル内の限られたスペースでは，トンネル覆工内側の空間に列車運行に支障するおそれのある仮設資機材を仮置きできない．

5-2-3 トンネルの構造的な問題

在来工法で建設された鉄道トンネルは，覆工と地山との間に背面空洞があることがある．また，豆板の規模が大きい場合，内空側覆工面から背面側まで豆板が連続して存在している可能性があり，トンネル覆工内側からシール工を行い樹脂注入を試みても，背面空洞から樹脂が漏出するおそれがある．

5-3 各課題への対応策

5-3-1 時間的制約への対応

これまで提案工法は，自動低圧注入工法を用いてエポキシ樹脂を注入していた[1),4)~7)]．エポキシ樹脂の硬化時間は36時間程度であり，1日以上，注入器を取り付けた状態で養生する．これは，低粘度で硬化時間の長い樹脂を低圧で充填することにより，豆板に発生した微細な空隙を樹脂で隙間なく充填し固結させるためである．しかし，鉄道トンネル内で硬化時間の長いエポキシ樹脂を使用すると，未硬化のエポキシ樹脂がトンネル内空側に漏出した場合，列車運行に支障が出るおそれがある．そこで，初列車通過までの間に，注入した樹脂が一定程度硬化する注入材として硬化時間の早いアクリル樹脂を用いることとした．**表-4**に従来使用していたエポキシ樹脂と今回使用したアクリル樹脂の物性値を示す．アクリル樹脂は硬化時間が短いため，豆板の微細な空隙に樹脂が浸透する前に硬化を始め，充填性が低下することが懸念された．そこで，今回使用したアクリル樹脂は，従来のエポキシ樹脂よりさらに低粘度のものを選定した．

一方で，トンネル覆工コンクリートの補修では比較的大規模な豆板の補修を行うことが求められ，短時間で多量の樹脂が注入できるようにする必要があった．前述のように，より低粘度のアクリル樹脂を採用したことにより充填性がより良くなることを想定し，時間あたりの樹脂注入量を増やすため，自動低圧注入工法の圧力(0.2MPa程度)をさらに増加させて樹脂を注入することとした．

5-3-2 空間的制約への対応

鉄道トンネルの場合，列車通過時の列車風圧や負圧による仮設物の飛散で列車運転支障を起こさせないため，列車運行時間帯は自動低圧注入工法で使用する注入器などを覆工面より内側に残置することはできない．この問題を解決するため，覆工面に最小限の口元治具のみ残し，注入機械器具は施工ごとに撤去できる注入ポンプを採用することとした．

5-3-3 トンネルの構造的な問題への対応

自動低圧注入工法で豆板を補修する場合，コンクリート表面の目視で確認できる豆板部は事前に表面シール材で塞ぐ．しかし，トンネル覆工コンクリートに発生した比較的規模の大きい豆板の場合，覆工表面から背面まで豆板が連続して発生していることも想定される．この場合，背面側のシール工の施工は難しいため，何らかの方法で覆工背面の空隙を塞ぐ必要がある．今回は覆工背面に事前に裏込め注入を行い，背面空洞の間詰めを行うことで，覆工背面側の豆板部のシール効果を期待することとした．

5-4 試験施工箇所の選定

試験施工は，在来工法で建設された新幹線トンネルで実施した．試験施工箇所を選定するため，1次調査としてトンネル覆工検査車(以下「CLIC」[12)])による覆工調査を実施した．計測状況を**写真-4**に示す．CLICとは電磁波レーダを用いて非破壊で覆工コンクリート内部の状態を確認できる検査車両である．レーダ概念図を**図-7**に示



写真-4 CLIC計測状況

表-4 エポキシ樹脂とアクリル樹脂の物性値の例

樹脂種別	粘度(mPa s)	接着強さ(MPa)	引張強さ(MPa)	破壊時伸び(%)	圧縮強さ(MPa)	硬化収縮率(%)	硬化時間(min)
エポキシ	562	7.6	50.8	9	67.6	2	2,160
アクリル	300	9.2	16.5	3	52	2.7	120

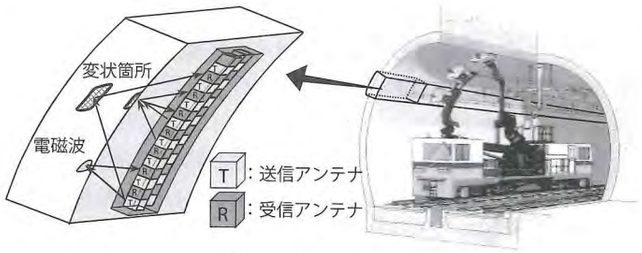


図-7　レーダ概要図[12]

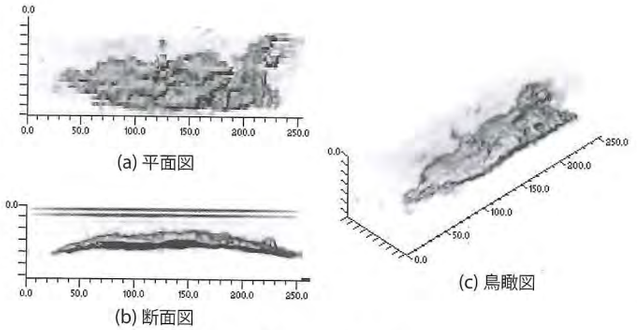


図-8　解析結果例

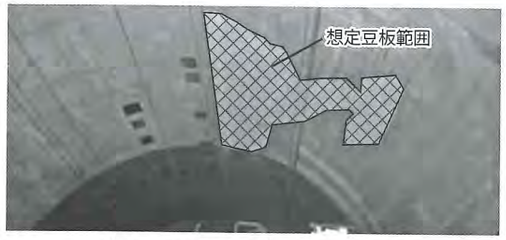


写真-5　覆工内部豆板の注入補修箇所

表-5　施工工程

施工日数	工程	施　工　手　順
1日目	1	準備工(資機材搬入)
	2	豆板補修範囲の把握(打音，鉄筋探査，φ10mm削孔→カメラによる内部確認)
2日目	3	表面シール材塗布
	4	樹脂注入孔，空気孔の削孔(φ10mm削孔，エアの抜け具合を確認→座金の取付け，排出パイプの設置)
3日目	5	樹脂注入(注入器により，注入量の確認→養生)
4日目	6	充填状況の確認，座金撤去，樹脂残量計測(注入孔，空気孔以外の箇所で充填確認孔を削孔(φ10mm)→カメラで内部確認)
	7	表面仕上げ，充填確認孔の充填，表面樹脂塗布
5日目	8	表面の清掃，片付け(資機材搬出)

す．CLICは専用解析プログラムを用いてコンクリート内部を立体的に表示・記録することができる．解析結果の例を図-8に示す．CLIC計測結果をもとに内部に豆板のある箇所を抽出した．試験施工箇所は覆工表面には豆板がなく，内部に比較的規模の大きな豆板が存在していると推定された．覆工内部の注入補修箇所を写真-5に示す．

5-5　試験施工手順

具体的な施工工程を表-5に示す．工程は調査から施工，充填確認まで8工程あり，現場での作業予定日数は5日間とした．施工は新幹線運行時間外における作業のため，現場での実作業時間は，1施工日あたり150分未満であった．

1次調査結果を踏まえ，1日目に現場でトンネル覆工を打音および削孔調査し，実際の豆板の位置や規模を確認するとともに，背面空洞や漏水，湛水などの有無，覆工コンクリートの品質などを確認した．また調査孔を削孔後，小型カメラによる豆板の確認を行い空隙量を推定した．

2日目は，表面シール材を塗布した後，注入孔，空気孔(直径10.5mm，削孔長400mm)を削孔し，各孔の間隔が250mm程度となるように配置した．今回抽出した試験箇所は表面豆板のない箇所であるが，覆工内部の豆板とつながった微細なひび割れなどを塞ぐ目的で，注入材と同様のアクリル樹脂を覆工表面に塗布した．

3日目に注入孔および空気孔に注入・排出パイプ(外径10mm)を覆工内の豆板中心部まで挿入して固定した後，アクリル樹脂を注入した．アクリル樹脂は2ショット方式で1.0MPa程度の圧力をかけて充填し，注入の終了判断は隣接の注入・排出パイプから樹脂が漏出されるまでとした．

4日目に覆工内部の樹脂充填確認のため，新たに充填確認孔(直径10.5mm)を削孔した．削孔数は0.25m^{2}あたり3孔とし全孔数は24孔となった．

このうち3孔は圧縮強度試験用の供試体採取を目的としてコア削孔(直径55mm，削孔長400mm)を行い，コア表面状態から充填状況を直接確認した．その他の孔は注入孔・空気孔と同様の仕様で削孔を行い，小型カメラを挿入して内部充填状況を確認した．すべての調査完了後，充填確認孔は注入したアクリル樹脂と同等以上の充填材で埋戻しを行った．

5-6　試験施工結果

1日目に調査で確認した削孔位置を図-9に，小型カメラで撮影した豆板内部の画像の例を写真-6に示す．内部画像と，表-6[13]に示す空隙率の推定表より，豆板の空隙率は20%程度と判断した．また，大きな背面空洞はなく漏水なども見られなかったほか，覆工表面には脆弱な部分やひび割れがなかったことから，樹脂のトンネル内空側への漏出などの可能性が低く，提案工法を適用できることを確認した．しかし，豆板調査範囲が広く，調査孔位置の選定に時間を要したため，豆板の分布範囲を正確に把握することができなかった．そのため豆板の範囲の特定は注入孔・空気孔を利用して再度，調査することとした．

2日目に注入孔・空気孔を削孔(深さ400mm前後)し，詳細な豆板範囲の調査を実施した．その結果，豆板はトンネル縦断方向3.4m×トンネル断面方向0.6m，覆工表面からの深さ70～385mmの間に分布していることが確認された．豆板の平均厚は約100mmであった．また，注入孔・空気孔のエア抜けを確認した．これにより覆工内部の豆板が連続したものであることを確認した．表面シール材は特定した豆板補修範囲より500mm程度広い範囲に塗布し，漏出防止とした．樹脂注入量は，先に判定した空隙率と合わせ約40Lと推定した．注入孔，空気孔の配置平面図を図-10に示す．

3日目に注入孔および空気孔にパイプを挿入して固定した．注入器はエアーガンに1,500mLのカートリッジとミキシングノズルをセットし，小型コンプレッサー〔圧力0.98～2.45MPa，吐出空

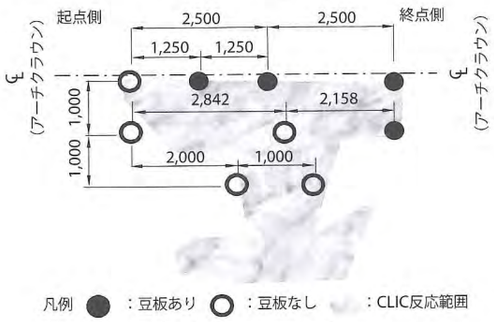


図-9　調査削孔位置



写真-6　豆板内部の画像の例

表-6　空隙率の推定表[13]

豆板の空隙ランク	ランク0	ランク1	ランク2	ランク3
健全なコンクリートに対する空隙率	健全0%	10%程度	20%程度	35%以上
内部状態(小型カメラによる撮影画像の例)				
コメント	空隙なし	一部に空隙が見られる	削孔は可能．空隙が多く見られる	削孔すると崩れ，孔壁が形成されない

＊コンクリート診断士資料，「等級別豆板の程度」を参考とした．

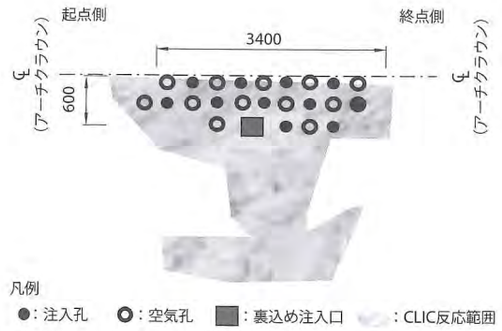


図-10　注入孔・空気孔平面配置図



写真-7　アクリル樹脂注入状況



写真-8　採取コア外観

気量100L/min(2.3MPa時)〕に接続した．注入は，注入器1台で1.0MPaを超えないようレバーを操作して行った．また，注入順序は，図-10に示した注入孔の左側から右側に向かって行った．これは，内部の豆板の奥行きが浅い左側から，奥行きの深い右側へと注入するためである．アクリル樹脂は，注入開始後，数十秒～数分間で隣接の注入・排出パイプから漏出が確認された．注入状況を写真-7に示す．注入はおおむね想定どおりのステップで終了し，総注入量は約20Lであった．

表-7　圧縮強度試験結果

供試体No.		圧縮強度(N/mm²)
健全部	B-1	50.2
	C-2	48.5
樹脂充填部	A-1	31.6
	C-1	22.2

4日目に充填確認孔を削孔した．圧縮強度試験用の採取コアを写真-8に示す．小型カメラ調査の結果，少数の独立した気泡を除き，いずれの確認孔においても覆工面から深さ約200㎜までは樹脂が充填され豆板は確認されなかった．しかし，約200㎜以深では，一部豆板が残存しているのが確認された．

5-7　採取コアの圧縮強度について

圧縮強度試験の結果を表-7に示す．結果は周辺の健全部と比べ低い値であった．しかし覆工コンクリート建設時の設計基準強度である16N/mm²を上回る結果を得ることができた．

5-8　補修後の覆工コンクリートの品質

今回の補修の目的は，剝落対策および覆工の強度回復である．剝落対策としては，3章で示したとおり，コンクリート未充填率15%の豆板供試体に対し30%の樹脂充填率でも健全部と同等の程度の曲げ強度を有していたことから，設計覆工厚500㎜に対して，内空側覆工面より200㎜程度の範囲の豆板充填・固結を目指した．さらに，覆工コンクリートと同等程度の密実度と圧縮強度を回復させることを目指した．

5-8-1　剝落対策

覆工表面から200㎜程度まで豆板の充填に成功し，樹脂充填部のコアの圧縮強度試験を行った結果，設計基準強度を上回る結果を得ることができたことから，剝落対策として豆板の充填・固結に一定の効果が期待できることが確認できた．

5-8-2　強度回復

覆工表面から200㎜以深に一部豆板の残存が確認されたこと，また健全部に比べ樹脂充填部の圧縮強度が低い結果であったことから，周辺の覆工コンクリートと同等の強度回復を達成するには至らなかった．

5-9　まとめと今後の課題

覆工表面から200㎜以深に樹脂を密実に充填できなかった原因は，上向きに近い状態で低粘度の樹脂を注入したため，排出パイプ先端よりも上部に樹脂を充填することができなかったと考えられる．今回の試験施工では，注入・排出パイプ先端を覆工コンクリート内部の豆板中心部に合わせ，覆工表面から一律180㎜挿入し固定していた．

また，健全部に比べ樹脂充填部を含む供試体の圧縮強度が低くなった原因として，豆板が内空側覆工面から背面まで連続して存在している箇所の背面シールが不十分であったため，注入圧力が逸散し，豆板周辺の微細な空隙まで樹脂を充填することができなかったと考えられる．事前調査時に覆工背面側に裏込めがなされていることを確認していたため，裏込め材による覆工背面のシール効果を期待したが充分ではなかった．

これらの結果から今後の課題として，覆工表面から200㎜までは樹脂が充填できたことから，パイプ先端を覆工表面から豆板の最深部まで到達させるなど，豆板の深さに応じて注入・排出パイプの長さや配置，注入順序などを検討する必要があること．また，覆工コンクリート背面および側面のシール方法を検討し，注入圧力の逸散を防ぐ必要があることがわかった．

6　おわりに

筆者らは，豆板を健全なコンクリートと同等以上の性能に回復させ，将来的な剝離・剝落の可能性を低減できる提案工法を開発し，新設および既設コンクリート構造物で試験施工をくり返し行ってきた．今回，供用中の鉄道のトンネル覆工コンクリートに残置された豆板について，材料選定や施工方法の確立を目指した試験施工を行い，課題の抽出を行った．その結果，剝落対策としては成果が得られたものの，覆工コンクリートの強度回復については課題が残った．

今後は，覆工コンクリート背面および側面のシール方法や注入・排出パイプ長および配置の調整，注入順序の検討，注入樹脂の改良を行い，健全部と同等以上の性能回復を目指し，試験施工を行っていく予定である．

参考文献

1) 佐々木尚美・小林薫・半井健一郎：樹脂注入による豆板補修工法の提案と各種材料強度の評価，土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造)，Vol.70，No.2，pp.252-271，2014.6.
2) 渡邉晋也・後藤昭彦・松本政徳・宮永憲一：打撃工法によるハツリ処理で生じた微細ひび割れの定量的評価方法と打継ぎ界面の付着強度に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.775-780，2013.
3) 飯島亨・工藤輝大・玉井譲：コンクリートの部分断面補修箇所周辺の鉄筋腐食機構，鉄道総研報告，Vol.24，No.8，pp.17-22，2010.8.
4) 佐々木尚美・小林薫・半井健一郎：正負繰返し載荷によるRCはり豆板補修部の界面剝離挙動の分析と提案補修工法の検証，土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造)，Vol.71，No.4，pp.365-384，2015.11.
5) 佐々木尚美・小林薫・半井健一郎：はりの下面の引張鉄筋位置に豆板補修部の補修境界面を有するRCはりのせん断破壊，構造工学論文集，Vol.61A，pp.715-724，2015.3.
6) 佐々木尚美・小林薫・半井健一郎：柱の基部に豆板補修部を有するRC柱の曲げせん断破壊，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.2，pp.1231-1236，2015.7.
7) 佐々木尚美・松田康紀・小林薫：豆板に樹脂を注入して補修する工法の試験施工，コンクリート構造物の補修，補強，日本材料学会，アップグレード論文報告集，Vol.16，2016.10.
8) 日本国有鉄道仙台新幹線工事局：東北新幹線(黒川・有壁間)工事誌，p.567，1983.3.
9) 日本コンクリート工学会コンクリート基本技術調査委員会不具合補修WG：コンクリート基本技術調査委員会　不具合補修WG報告書，2012.8.
10) 松田芳範・徳光卓・十河茂幸：施工中に発生した不具合の対処方法について，コンクリート基本技術調査委員会不具合補修WG活動報告，コンクリート工学，Vol.10，pp.807-813，2013.10.
11) 鉄道総合技術研究所：トンネル補修・補強マニュアル，pp.Ⅱ-25-Ⅱ-28，2007.1.
12) 大澤裕之・赤井司：トンネル覆工検査車の導入，日本鉄道施設協会誌，pp.911-913，2004.12.
13) 東日本旅客鉄道：土木構造物補修補強マニュアル，p.186，2017.3.

トンネルジャーナル

6月開通の外環道でマラソン大会開催

6月2日に開通を控える東京外かく環状道路(三郷南IC～高谷JCT)で，3月4日，「外環道工事区間マラソン大会」が開催され，約3,700人が参加して開通前の道路を走った．この日は，同区間に接続する道の駅「いちかわ」でも，4月7日のオープンを記念するイベントが催され，市川市の特産品や地元飲食店の品が販売されるなど，3万5千人を越える人でにぎわった．両イベントは，市川市と市川商工会議所がつくる東京外かく環状道路開通記念イベント実行会が主催した「外環道＆道の駅オープンフィールドinいちかわ」として開催された．


写真提供：市川商工会議所青年部

マラソン大会は，1km，3km，10km，ハーフ(約21.1km)の4種目で行われ，市川北IC内廻り入口をスタート．10kmとハーフは約5km先で折り返し，コースのすべてが半地下の掘割区間だった．当日は晴天に恵まれたが，半地下のため直射日光を浴びることはなく，また風の影響も受けないなかでのレースとなった．また，一般の立ち入りが制限されたため，ボランティア以外の応援はなく，周りの風景も見えないといった，未体験のコースでの走りを参加者たちは楽しんだ．

同道路は国土交通省と東日本高速道路が共同で事業をすすめており，外環道三郷南IC～高谷JCTの延長15.5kmと国道298号の国道6号～国道357号間11.4kmが6月2日に開通する．開通により外環道の約6割が完成し，4つの放射道路(東関東道・常磐道・東北道・関越道)が接続することになる．放射道路間での接続に時間短縮が見込まれるほか，沿線地域の渋滞緩和への期待が高い．

わかりやすい**土木地質学**

大島洋志 監修

B5判　209頁　本体価格2,500円



主要目次

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

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

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

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

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

株式会社 土木工学社

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

連載講座

セグメントの新技術Ⅱ(6)

—合成セグメント(1)—

「セグメントの新技術Ⅱ」連載講座小委員会

① はじめに

今回は，合成セグメントの第1回目として，5面鋼殻の「ICセグメント」「HCCPセグメント」「HBセグメント」および「NCPセグメント」について紹介する．5面鋼殻の合成構造であるが，鋼とコンクリートとの一体化にそれぞれの特徴がある．

② ICセグメント

2-1　開発目的

近年のシールドトンネル工事の傾向として，コスト低減，工期短縮を目的とした薄肉幅広化や二次覆工の省略化が挙げられる．高土水圧下や，特殊荷重部においても薄肉幅広化が可能なIC(IKK Composite(「I」には，Innovative，Infinite，Individualなどの意味合いが込められている))セグメントの開発を行った．

2-2　セグメントの概要

① トンネル横断面の形状：円形
② セグメントの平面形状：矩形
③ セグメントの材質：
　鋼板＋鉄筋コンクリート
④ 継手の構造：
　セグメント継手　ボルト，嵌合式
　リング継手　ボルト，楔式

図-1に示すような，5面を鋼板で覆われた鋼殻内部に鉄筋と鋼材を配置し，鋼材とコンクリートを一体化した合成セグメントである．各種継手に



図-1　ICセグメント概要図

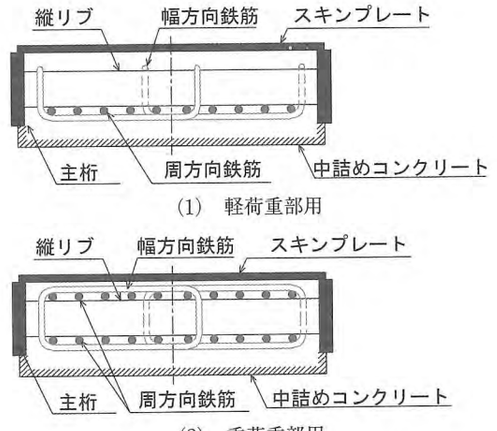


図-2　ICセグメント本体断面概念図

対応可能で，大断面トンネルはもちろん，曲線区間や開口区間などの幅広い分野に適応可能である．

図-2に合成セグメントの本体断面概念図を示す．鋼殻の縦リブとスキンプレートの間に空隙を設けており，コンクリートの充填性を高めている．図-2(1)軽荷重部用では，縦リブと周方向鉄筋をフック状に加工された幅方向鉄筋を用いて一体化させ，図-2(2)重荷重部用では，縦リブとスキンプレートの空隙に周方向鉄筋を配置して，内外の周方向鉄筋を幅方向鉄筋で一体化させている．

2-3　セグメントの特徴

以下にICセグメントの特徴を示す．

① 薄型化：RCセグメントに比べて覆工厚を薄型化でき，掘削断面の減少によりコストダウンが可能．

② 工期短縮：二次覆工が不要で，楔式継手や嵌合式継手を使用することで，工期短縮が可能．

③ 高止水性：5面を鋼板で覆い，組立時や推進ジャッキ加圧時などの割れ・欠けを防ぐほか，止水シール材の膨張圧が分散され高い止水性を発揮する．

④ 内水圧対応：曲げモーメントと軸引張力に強く，河川トンネルや貯留トンネルにも対応可能．

⑤ 高耐震性：鋼材とコンクリートの一体化により，変形追従性に優れているため，脆性的な破壊を防止できる．

2-4　載荷実験

ICセグメント本体の挙動を把握する目的で実施した単体曲げ試験を以下に示す．

2-4-1　実験概要

図-3に供試体の主断面概要図を示す．図-2に示す2タイプのうち内外面に周方向鉄筋を配置した重荷重部用とした．図-4に試験概要図を示す．載荷スパン3,380㎜，支持スパン900㎜の2点載荷，両端可動支持条件にて曲げ試験を行った．

載荷中は荷重・変位・各部材のひずみを計測して，耐力や剛性，鋼殻と鉄筋コンクリートが一体化して挙動しているかを検証した．

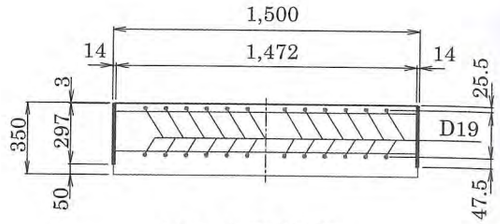


図-3　主断面概要図

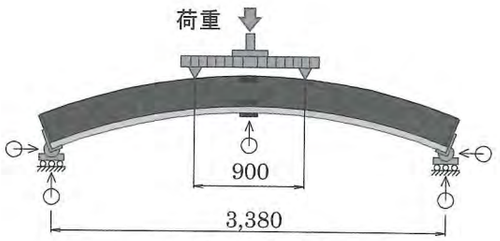


図-4　試験概要図

2-4-2　実験結果

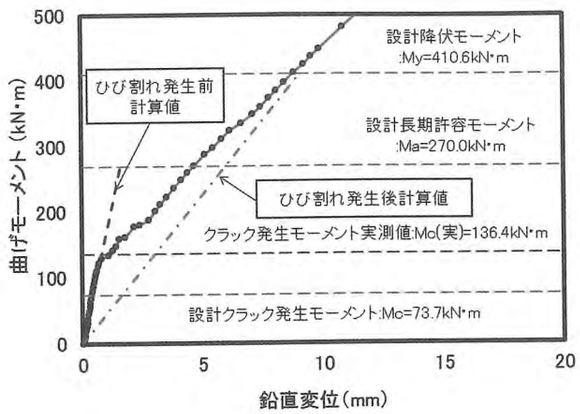
図-5に曲げモーメントと鉛直変位の関係図を示す．ひび割れ発生前は全断面有効として算出した計算値と近似した勾配を示し，ひび割れ発生と同時に勾配を変化させて引張側コンクリートを無視したひび割れ発生後の計算値へと推移している．計算上主桁が降伏する降伏モーメントまで計算値を上回る結果となり，設計手法の妥当性が確認できた．最大モーメントは計算値674.0kN·mを上回り，700.0kN·mであった．また，最大モーメント到達後も極端な荷重低下が発生せず，十分な変形性能を有していることを確認した．この変形性能によって地震時には脆性的な破壊を防ぐことが期待できる．

図-6に設計モーメント(M_a)時と降伏モーメント(M_y)時の主構造部材ひずみ分布図を示す．ひずみは直線上に分布しており，中立軸位置が計算値とほぼ一致していることから，平面保持が成立し鋼殻と鉄筋コンクリートが一体となって挙動していると言える．

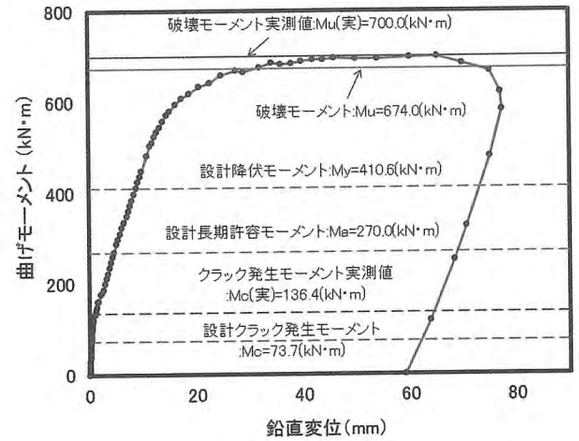
2-5　実施例

前述の実験によりICセグメントの設計手法の妥当性や，十分な耐力を有することが確認されたため，実施工を行った．概要を以下に示す．

発 注 者：東京都下水道局



(1)　載荷初期



(2)　全　体

図-5　曲げモーメント-鉛直変位関係図

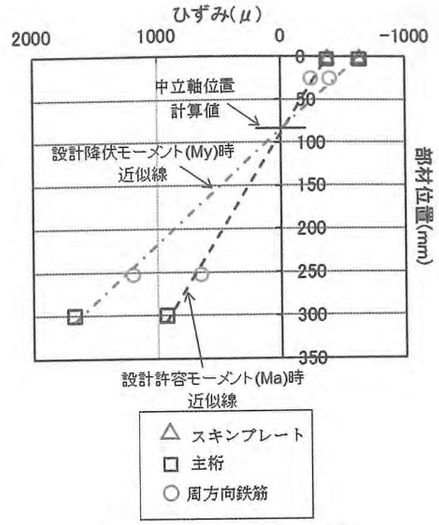


図-6　主構造部材ひずみ分布図



写真-1　江東幹線工事坑内組立状況

工事名称：江東幹線工事，江東幹線その2工事
施 工 者：大豊・錢高建設共同企業体(㈱)
セグメント外径：φ6,700㎜
仕上がり内径：φ6,000㎜
覆 工 延 長：4,242m
最大土かぶり：38.0m

本工事はN値5以下の軟弱地盤下であり，合成構造のICセグメントを用いることにより，RCセグメントよりも薄型化が可能になった．また，R=50mの急曲線区間を含んでおり，ICセグメントの適用範囲の広さを示すことができた．写真-1に坑内組立状況を示す．

(文責：山田晃司・小林一博/(株)IHI建材工業)

③ HCCPセグメント

3-1　開発目的

HCCP(Hybrid & Composite Concrete Packed)セグメントは，さまざまなトンネル荷重条件に最適なセグメントを提供すべく開発した「鋼-コンクリート合成セグメント」である．鋼殻と中詰めコンクリートを強固に一体化するために重要なずれ止めとして地山側スキンプレートや「くの字縦リブ」「孔開き縦リブ」を採用するとともに，中詰めコンクリートを要求強度に応じて適切に補強している．これらにより，コンクリートの抜け出しやセグメントの脆性的な破壊を防ぎ，合成セグメ

ントとして重要な高耐力，高い変形性能を発揮し得る安心・安全な構造を実現している．

3-2　セグメントの概要

セグメントの形状：矩形

セグメントの材質：鋼材，コンクリート

3-3　セグメントの特徴

HCCPセグメントの基本構造は，内空面を除く5面を覆う鋼殻と中詰めコンクリートで形成され，強固な一体性能ときわめて高い本体止水性能を実現している．さらに，要求強度に応じて2種類の異なる補強構造をラインアップしている．以下にそれぞれのタイプの特徴を示す．

3-3-1　HCCP-NS(軽荷重タイプ)

HCCP-NSセグメントは，比較的荷重条件が厳しくないトンネルに適用する合成セグメントである．トンネル半径方向のコンクリート抜け出しを抑えるために「く」形に曲げ加工した「くの字縦リブ」を採用し，さらに地山側スキンプレートと剛結することで，鋼殻と中詰めコンクリートの確実な一体挙動を達成している．一方，中詰めコンクリートに配置する主鉄筋は適用する荷重条件に応じて少量に抑えている．そのため中詰めコンクリートのせん断破壊を防止する補強も必要最小限に抑えることが可能となり，比較的低い製造コストで合成セグメントとして必要な性能を確保している(図-7，写真-2)．

3-3-2　HCCP-SS(重荷重タイプ)

HCCP-SSセグメントは，きわめて荷重条件が厳しいトンネルに適用する合成セグメントであり，太径の主鉄筋が貫通する「孔開き縦リブ」を合成構造化のずれ止めとして採用し，地山側スキンプレートと剛結することで，主鉄筋を強固に拘束している．さらに，中詰めコンクリートのせん断破壊を防止するために，M字に折り曲げたせん断補強筋を配置し，中詰めコンクリートを補強している．

これらにより，HCCP-NSセグメントよりも高い強度性能を発揮しつつ，脆性的な破壊を生じない高い変形性能も併せ持つ構造を実現している(図-8，写真-3)．

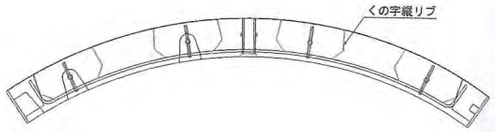


図-7　HCCP-NSセグメント

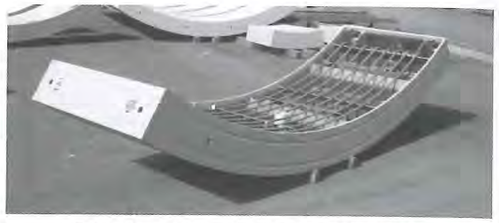


写真-2　HCCP-NSセグメント(鋼殻)

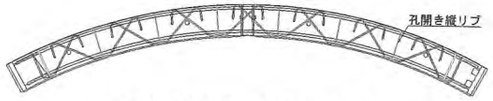


図-8　HCCP-SSセグメント



写真-3　HCCP-SSセグメント(鋼殻)

3-4　セグメントの試験

HCCPセグメントの構造性能を検証するために，単体曲げ試験を実施した．

3-4-1　HCCP-NSセグメント単体曲げ試験

(1)　試験概要

HCCP-NSセグメントの構造性能評価においては，「くの字縦リブ」による鋼-コンクリート間のずれ止め効果の検証が重要である．そこで，一般的なセグメント本体の性能検証で実施される2線載荷試験に加え，コンクリートの抜け出し有無を確認するために，水圧バッグを用いて中詰めコンクリート部にのみ局所的に面圧荷重を載荷する試験を実施した．また，地山側にはスキンプレートがあることから，コンクリート抜け出しの観点から

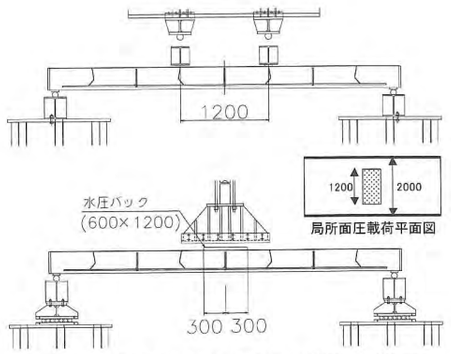


図-9　HCCP-NSセグメント載荷試験概要

らより厳しい条件となる正曲げ(内空側が引張となる)載荷とした．図-9に載荷概要図を示す．

また，試験体についても，コンクリートの抜け出しの観点においてもっとも厳しい条件となる平板(桁高300㎜，幅2,000㎜)とした．

(2)　試験結果

荷重と試験体鉛直変位の関係を図-10に示す．材料試験値を用いて合成構造として算出した終局耐力以上の耐力を発揮し，また，終局状態においても耐力が低下することなく高い変形性能を有していることが確認された．

主構造部材の周方向ひずみの桁高方向分布を図-11に示す．ひずみ分布から読み取れる中立軸位置は，構造計算から算出される中立軸位置と一致しており，合成構造として挙動している．また，面圧載荷試験では鉄筋のひずみが主桁ひずみよりも大きく生じているが，これは局所載荷荷重に対してセグメントが板として抵抗したためと思われる．

3-4-2　HCCP-SSセグメント単体曲げ試験

(1)　試験概要

より強度の高いHCCP-SSセグメントの構造性能評価においては，中詰めコンクリートの補強によるせん断破壊防止効果の検証が重要である．円弧状セグメントでは，平板状のセグメントと異なり，正曲げが作用した場合に主鉄筋に引張力が発生すると，副次的な法線方向力(腹圧力)が作用し，これに起因して中詰めコンクリートが損傷，せん断破壊を誘発する可能性があり，この傾向は主鉄

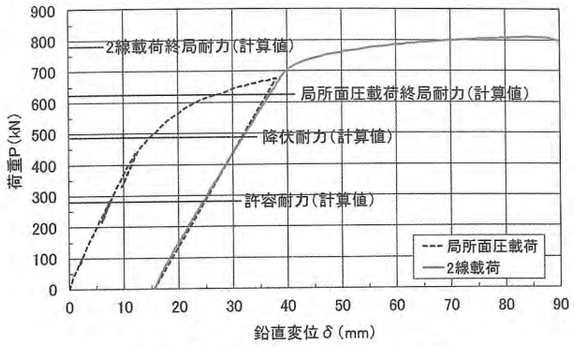
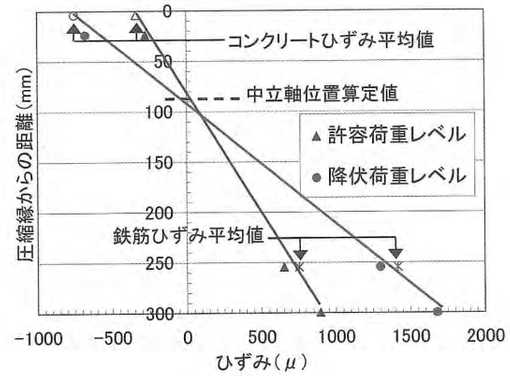
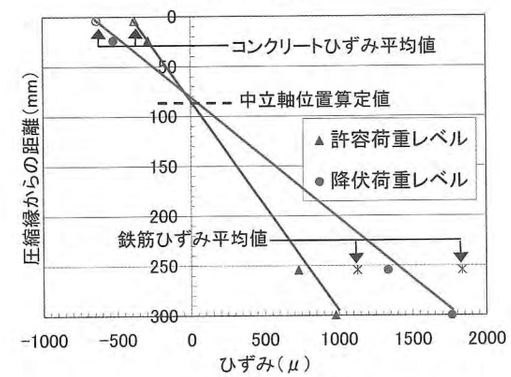


図-10　荷重-変位関係(HCCP-NS)



(1)　2線載荷



(2)　局所面圧載荷

図-11　ひずみ分布(HCCP-NS)

筋が太径の場合に顕著になる．以上を勘案し，HCCP-SSセグメントの載荷試験は，円弧状セグメント(桁高250㎜，幅1,200㎜，外径5,900㎜)を用いた正曲げを付与する2線載荷試験を採用した(図-12)．

また，比較対象として中詰めコンクリートの補

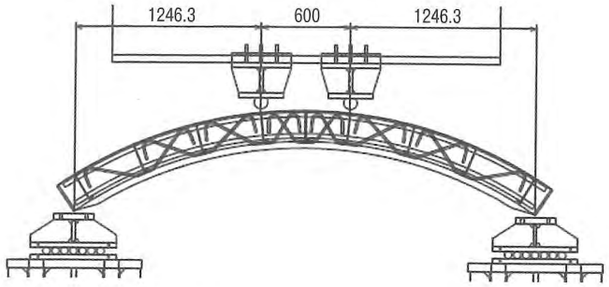


図-12 HCCP-SSセグメント載荷試験概要

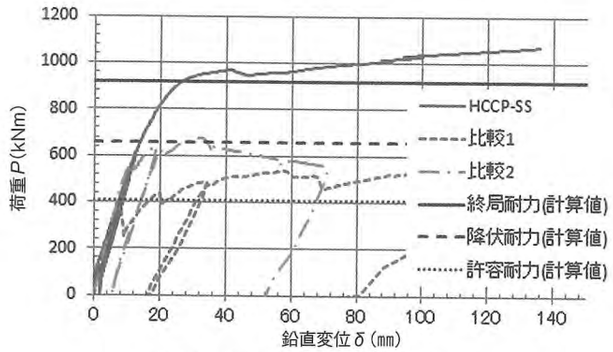


図-13 荷重-変位関係(HCCP-SS)

強仕様が異なる試験体2体も合わせて載荷試験を実施した．これらの詳細な結果は参考文献を参照されたい．

(2) 試験結果

荷重と試験体鉛直変位の関係を図-13に示す．

HCCP-SSセグメントは材料試験値を用いて合成構造として算出した終局耐力以上の耐力を発揮し，また，終局状態においても耐力が低下することなく高い変形性能を有していることが確認された．

一方，「孔開き縦リブ」を持たない比較対象のセグメントは，主鉄筋の拘束効果が不足したため，載荷途中で急激な耐力低下を示し，想定する終局耐力には到達しなかった．

HCCP-SSセグメント主構造部材の降伏レベル荷重載荷時の周方向ひずみの桁高方向分布を図-14に示す．ひずみ分布から読み取れる中立軸位置は，構造計算から算出される中立軸位置と一致している．また，主桁と主鉄筋のひずみはほぼ平面を保持している．以上より，HCCP-SSセグメントは合成構造として挙動していると判断される．

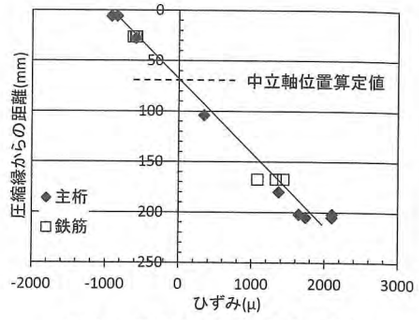


図-14 ひずみ分布(HCCP-SS)

3-5 実 績

2017(平成29)年12月現在までに，製造中も含めて計20件のHCCP-NS/SSセグメントを製造している．なお，セグメント継手，リング継手は，通常のボルト接合に加え，機械式継手を採用した実績もある．

(文責：中島正整/新日鐵住金(株))

④ HBセグメント

4-1 開発目的

HB(エイチビー)セグメントは，トンネルの大断面・大深度・長距離化に対応するために開発したコンクリート一体型鋼製セグメントであり，耐荷性・施工性・耐火性・止水性に優れている．

4-2 セグメントの概要

セグメント本体は，フランジとウェブで形成する溝形状の鋼材，継手板およびスキンプレートにて5面を覆う鋼殻と中詰めコンクリートで形成される合成構造(図-15)である．セグメント継手は，定着部をウェブに溶接するワンパス型継手(図-16)である[6]．リング継手は，リング面をフラットとしピン挿入型継手のみで連結する標準方式(図-15)とリング面を嵌合構造としピン挿入型継手と合わせて連結する嵌合方式(写真-4)がある．

4-3 セグメントの特徴

4-3-1 高耐力・高剛性

本体部は，鋼コンクリート合成構造によりRCセグメントに比べ高い曲げ耐力および高い変形性能を有するため，高層建築物などの大規模上載荷重の作用する箇所，地震の影響を受ける箇所，併設の影響を受ける箇所などの荷重条件の厳しいトンネルに適用できる．

4-3-2 高速施工が可能

セグメント継手にはワンパス型継手，リング継手にはピン挿入型継手を採用することにより，組立時間の短縮ができる．

4-3-3 異種セグメントとの接続が容易

標準方式リング継手は，リング面がフラットであるため，隣接するRC・鋼製セグメントと同じ継手が使用でき，接続部に特殊な構造が不要となる．



図-15 構造概要(標準方式リング継手)

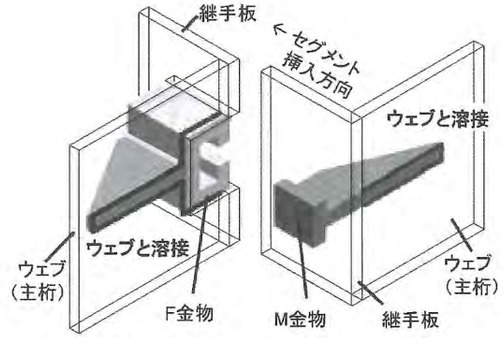


図-16 ウェブ溶接型セグメント継手

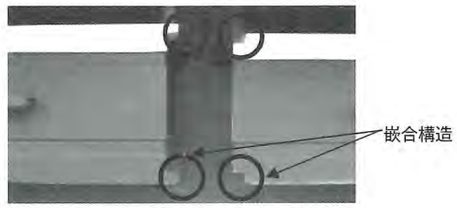


写真-4 嵌合方式リング継手

4-3-4 耐火性能を付加できる

耐火性能が要求される道路トンネルなどにおいては，ポリプロピレン繊維を混入させたコンクリートでセグメント内面を被覆することで，セグメント自体に耐火性能を付加できる．

4-3-5 内水圧に対応できる

地下河川トンネルでは，内水圧による軸引張力が卓越する状態で外荷重による曲げが生じ，セグメント継手にとって厳しい状態となる．そのような条件では，嵌合方式リング継手(写真-4)を採用することで，その高い添接効果によりセグメント継手に生じる断面力を減じ，地下河川トンネルに適用できる．

また，本体部は，鋼殻で覆われた構造のため，軸引張力が作用した状態においても高い止水性能を確保できる．継手部は，当該位置の状況に応じた止水材を用いることで止水性能を確保できる．

4-4 セグメントの試験

HBセグメントの開発では，部位ごとの要素試験および実物大試験を実施し，性能を確認している．本稿では，そのうち実物大単体曲げ試験および実構造系内水圧載荷試験について概要を示す．

4-4-1 実物大単体曲げ試験[7]

本試験は，外径13m相当のトンネルを対象とした実物大の曲げ試験(図-17)である．確認項目は，セグメントの耐力が鋼材を鉄筋としてモデル化したRC理論によって計算された耐力を上回ること，ウェブのひずみ分布が平面保持の仮定を満たすことの2項目である．試験結果は，設備の関係で破壊荷重まで確認できなかったが，試験終了荷重が設計終局荷重を超え1.2倍以上あること(図-18(1))，ウェブのひずみ分布が弾性範囲内では平面保持の仮定を満たすこと(図-18(2))を示している．これより，鋼材を鉄筋換算したRC理論にて設計する手法が適用可能であることが確認された．

4-4-2 実構造系内水圧載荷試験[8]

本試験は，HBセグメント(嵌合方式リング継手)が地下河川トンネルに適用できるかを確認するために行った．試験体は，実構造を1/2に縮小した形状・寸法とし，添接効果が評価できる3リ

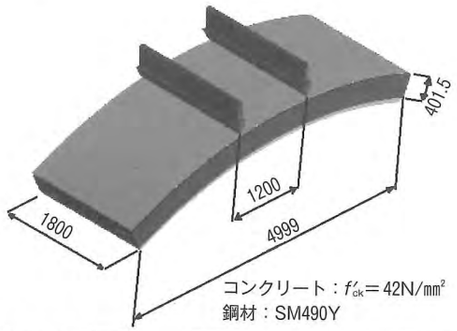
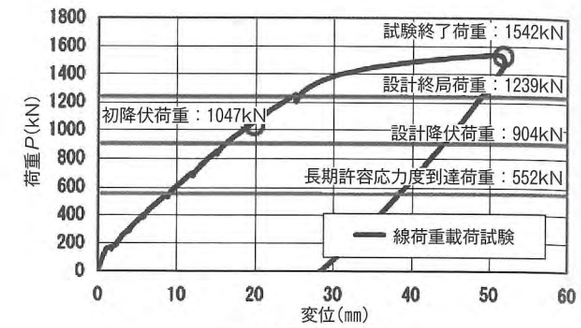
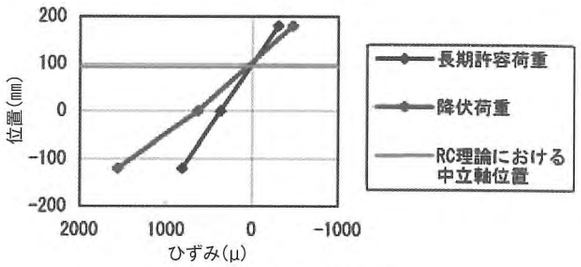




図-17　実物大単体曲げ試験概要



(1)　荷重-変位関係



(2)　ウェブのひずみ分布

図-18　実物大単体曲げ試験結果

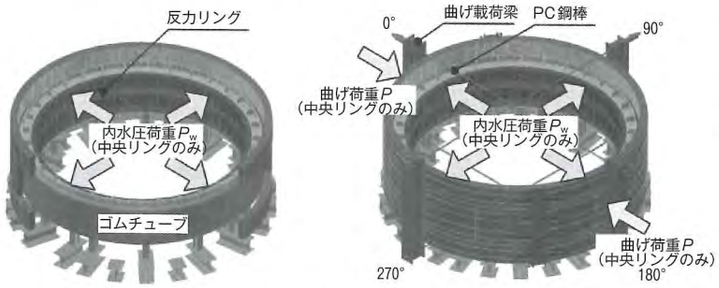


図-19　実構造系内水圧載荷試験概要

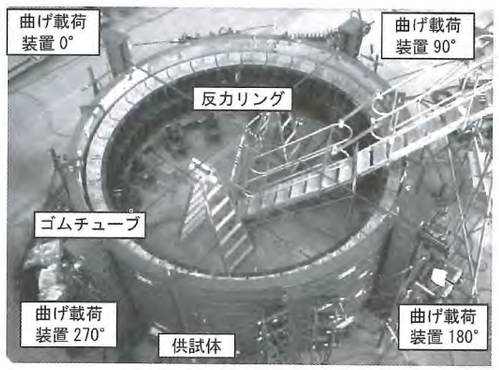


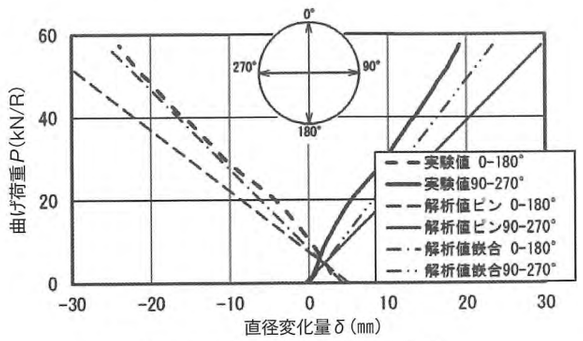
写真-5　実構造系内水圧載荷試験状況

ングとした．内水圧荷重P_wは，ゴムチューブへの注水により，曲げ荷重Pは，直交するPC鋼棒の緊張により中央リングに載荷した(図-19)．軸圧縮力の導入は，周方向に設置したPC鋼線の緊張により行った．試験状況を写真-5に示す．試験結果は，嵌合構造の高い添接効果により，リング剛性が高まることで変形しにくいこと(図-20(1))，セグメント継手への力の伝達が減少すること(図-20(2))を示している．これより，内水圧作用状態においても覆工全体の剛性が高いことが確認された．

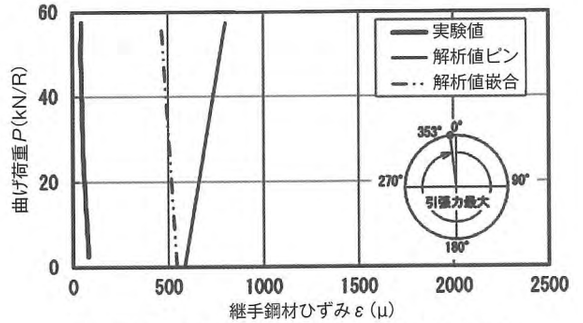
4-5　セグメントの実績

実績は，2018(平成30)年1月現在，施工済み4件，施工中4件ある．その概要は，外径：5.5～15.8m，厚さ：0.25～0.65m，幅：1.2～2.0mである．適用事例を写真-6に示す．また，各実績の採用理由を表-1に示す．

HBセグメントは，セグメントメーカーから提



(1)　曲げ荷重作用時の直径変化量



(2)　曲げ荷重作用時のセグメント継手鋼材ひずみ

図-20　実構造系内水圧載荷試験結果



写真-6　大規模開口部周辺の補強に用いた事例

表-1　各実績の採用理由

用　途	採用理由(荷重条件)	リング継手
道　路	・高層建築物などの大規模な上載荷重を受ける場合 ・軟弱地盤において大規模な地震荷重を受ける場合 ・併設トンネルの影響を受ける場合 ・開削工事などの近接施工の影響を受ける場合 ・大規模開口部周辺の補強が必要な場合	標準方式
地　下 調節池	・内水圧による軸引張力が作用する場合	嵌合方式

供されており，今後とも都市部の特殊条件下への適用に寄与していきたい．

(文責：岸山雄多佳・日高直俊／大成建設(株)，長岡省吾／JFE建材(株))

⑤　NCPセグメント

5-1　開発目的

背面側に鉄板を配置する5面鋼殻の合成セグメントは，高水圧下での止水性，耐久性の向上が期待されるが，厚いスキンプレートおよび特殊なずれ止めの材料・加工費，構造が複雑なことによる製作費の上昇などが要因で，コストが増大する傾向にある．そこで，量販品のスタッドジベルをずれ止めに使用し，そのジベルを効果的に配置することにより，スキンプレートを全断面有効とする，耐久性，製作性，経済性に優れる五面鋼殻のNCP(Nishimatsu Composite)セグメントを開発した(図-21)[9)-11)]．



図-21　NCPセグメントの概要

5-2　セグメントの概要

①　トンネル横断面の形状：とくに制限なし
②　セグメントの平面形状：とくに制限なし
③　セグメントの材質：鋼材，鉄筋，コンクリート

5-3　セグメントの特徴

NCPセグメントは，5面鋼殻で構成される合成セグメントである．ずれ止めであるジベルを効果的に配置することで鋼板を全断面有効とするとと

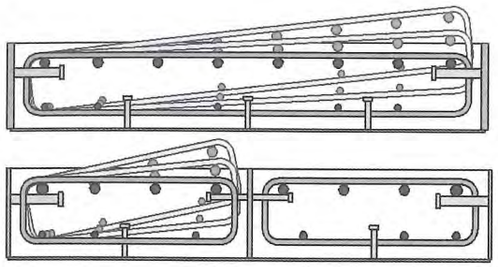


図-22　鉄筋籠の挿入性

もに，ジベルの径・本数を大幅に合理化することで，経済性に優れる．鉄筋かごの設置性の向上やジベルを鉄筋かごの位置決めに用いるなど製作性にも配慮している．また，5面が鋼殻に覆われているのでセグメント本体を貫通する漏水がなく，高い止水性を確保できるため，長期耐久性に優れる．

5-3-1　主桁のジベル本数

一般には，合成構造にするため「ずれ止め」が必要である．シールドトンネルでは，隣接したセグメントが拘束することで主桁とRCの間には摩擦力が発揮されるため，道路橋示方書などで算出される合成桁のジベル本数ほどは必要がないと考えた．外主桁には『鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)』[12]による必要量の50%程度のスタッドジベルを設置することとし，構造実験でその妥当性を確認することとした．また，3本主桁の場合，中主桁には量販されている最小径φ13㎜のスタッドジベルを1ピースあたり片側3本設置することとした．

5-3-2　スキンプレートのジベル本数

スキンプレートは主桁ほどではないが，5面鋼殻によるRCの拘束効果を考え，φ13㎜のスタッドジベルを300㎜間隔で設置することとした．

5-3-3　ジベルの配置

主桁のジベルは鉄筋かごの位置決めとし，中立軸より内面側に設置することとした(図-22)．これにより，本数が少なく，鉄筋かごの挿入性が高いだけでなく，製作性を向上させた．

5-4　実験概要

5-4-1　供試体

構造実験の供試体は，軽構造型(2本主桁)と重構造型(3本主桁)の2種類で行った．供試体の仕様を表-2に示す．また，鋼殻外観を写真-7に示す．

表-2　供試体の仕様

		軽構造型	重構造型
形状	長さ	4,500㎜	
	幅	1,000㎜	
	厚さ	220㎜	
外主桁	厚さ	16㎜	9㎜
	高さ	214㎜	
	材質	SM490	
中主桁	厚さ	−	12㎜
	高さ	−	214㎜
	材質	−	SM490
スキンプレート	厚さ	6㎜	
	材質	SM490	
外主桁のスタッドジベル	径	22㎜	16㎜
	高さ	130㎜	130㎜
	本数	30本	
中主桁のスタッドジベル	径	−	13㎜
	高さ	−	100㎜
	本数	−	6本
スキンプレートのスタッドジベル	径	13㎜	
	高さ	80㎜	
	本数	50本	32本
鉄筋	本数-径	8-D25	2-D29+6-D25
	鉄筋量	40.536cm²	43.25cm²
	鉄筋比	1.99%	2.12%
	材質	SD345	



軽構造型　　重構造型

写真-7　供試体鋼殻

5-4-2　試験方法

本体の単体曲げ試験を行うこととした．支持スパン4,000㎜，載荷スパン1,000㎜の2点載荷，両端可動支持の単純曲げ試験とし，軽構造型は正曲げのみ，重構造型は正曲げと負曲げの2ケースを実施した．トンネル縦断方向の拘束を考慮し，横拘束治具(鋼材+PC鋼棒+テフロン板)を用いて外主桁を拘束した状態で載荷を行った．鋼殻，鉄筋，スタッドジベルのひずみを計測し，鋼殻と鉄筋コンクリートの一体化による平面保持を確認した．写真-8に試験状況を示す．



写真-8　試験状況(重構造・負曲げ)

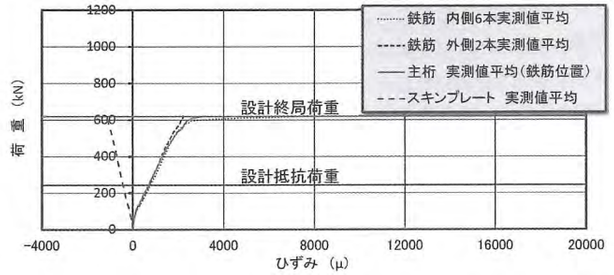


図-23　ひずみ-荷重図(軽構造・正曲げ)

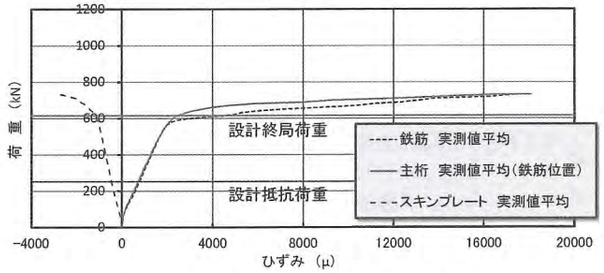


図-24　ひずみ-荷重図(重構造・正曲げ)

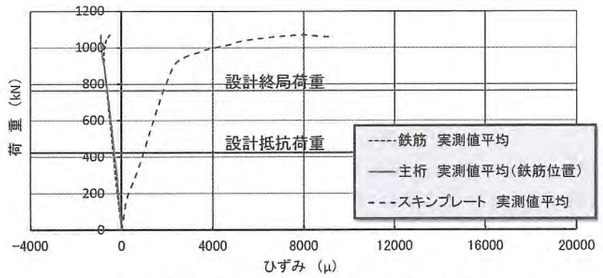


図-25　ひずみ-荷重図(重構造・負曲げ)

表-3　単体曲げ試験結果[1)]

	供試体	軽構造型	重構造型	
	試験ケース	正曲げ	正曲げ	負曲げ
ひび割れ	設計	59.2kN	59.2kN	68.7kN
	試験	97.1kN	58.6kN	—
破壊	設計	613kN	615kN	764kN
	試験	621kN[注2)]	732kN	1,070kN

注1)破壊設計荷重の算出では，材料係数などを1.0とした．
注2)試験器具の不具合により破壊に至らなかった．

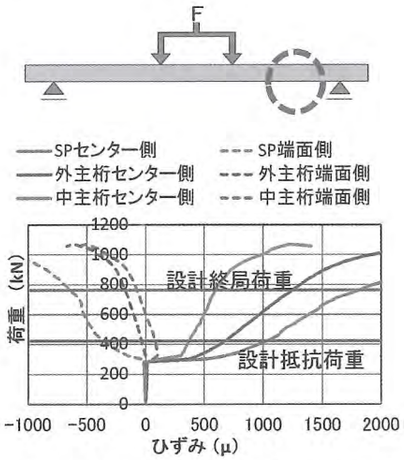


図-26　スタッドジベルひずみ(重構造・負曲げ)

5-4-3　試験結果

試験結果を表-3に示す．軽構造型の正曲げ試験は試験冶具の不具合により途中で試験を終了したが，設計終局荷重は超えた．重構造型については，設計終局荷重を大きく超える結果を得た．

荷重と鋼材に発生したひずみの試験結果を図-23～26に示す．鉄筋位置の主桁と鉄筋のひずみがおおむね一致していることから，鋼殻とRC間のずれがなく合成構造が成立したと判断した．また，軽構造タイプは，中主桁のない2本主桁構造であるが，8本の鉄筋のうち外側の2本と内側の6本の発生応力度にばらつきがないことがわかった．

5-4-4　試験などで得られた知見

①　同一位置の主桁，鉄筋の応力分布差はわず

かであることから，RCと鋼材間のずれはなく，隣接セグメントの拘束効果などを考慮した合成構造が成立したと判断した．

② 中主桁がない「幅/桁高＝約5.5」の比較的幅広な軽構造型セグメントでも，鉄筋のひずみにばらつきがないことがわかった．

③ 表-3の単体曲げ試験結果から，スキンプレートが全断面有効であったことを確認できた．

④ スタッドジベルの仕様(径，本数)の合理化を図ったが，図-26に示すようにスタッドジベルのひずみは小さいこと，図-25に示すように主桁，スキンプレートともに有効に機能していることから，その妥当性を確認できた[9),10)]．

5-5 今後の展開

実験では設計値を上回る十分な耐力を確認できた．また，別途行った非線形3次元FEM解析で実験時の挙動を再現できた．とくに，スタッドジベルに発生するひずみを解析で実験値を再現でき，実験供試体のスタッドジベルの量が妥当であることを確認できた[11)]．これまでの実験結果や解析結果より，本セグメントは十分に実施工に適用できる段階に至っていると考えている．

本セグメントは5面鋼殻であること，スタッドジベル本数，スタッドジベル配置の工夫による鋼殻内部への鉄筋かご挿入性の向上を可能にしたことなどにより，長期耐久性に優れ，コスト縮減を実現可能とした．今後は，この利点を活かして，大深度地下トンネルの切拡げ部や，避難路，横坑などの非円形または欠円断面など，大きな曲げモーメントと軸力が作用する条件に対して，当該合成セグメントの採用を提案したい．

(文責：大江郁夫/西松建設(株))

参 考 文 献

1) 山田晃司・小林一博・橋本博英：合成セグメント(鋼殻＋RCセグメント)の開発，土木学会第65回年次学術講演会，VI-229，2010.9.
2) 山田晃司・小林一博・山口隆一：FEM解析による合成セグメント評価手法の一考察，土木学会第71回年次学術講演会，VI-840，2016.9.
3) 佐野陽一・城大樹：鋼コンクリート製セグメントの合成構造化に関する実験的検討(その1)，土木学会第68回年次学術講演会，2013.9.
4) 石田宗弘・三宅正人：鋼コンクリート製セグメントの合成構造化に関する実験的検討(その2)，土木学会第68回年次学術講演会，2013.9.
5) 三宅正人・石田宗弘：鋼コンクリート製セグメントの合成構造化に関する実験的検討(その3)，土木学会第68回年次学術講演会，2013.9.
6) 日高直俊・伊藤潤：大断面・大深度道路トンネルに適用するためのコンクリート一体型鋼製セグメント(HBセグメント)の改良概要(2)継手構造改良，土木学会第71回年次学術講演会，2016.9.
7) 川島広志・服部佳文・三桶達夫・西田与志雄：コンクリート一体型鋼製セグメントの開発(その1)，構造実験，土木学会第64回年次学術講演会，2009.9.
8) 太田誠・立澤延泰・土橋功・山本亮太：白子川地下調節池工事(その5)への合成セグメントの適応について(3)実構造系載荷実験，土木学会第67回年次学術講演会，2012.9.
9) 大江郁夫・磯陽夫・浅野治仁：合成セグメントの合理化に関する基礎的研究(その1)，土木学会第68回年次学術講演会，pp.253-254，2013.9.
10) 井筒克美・三戸憲二・山本達也：合成セグメントの合理化に関する基礎的研究(その2)，土木学会第68回年次学術講演会，pp.255-256，2013.9.
11) 井筒克美・小林正典・大江郁夫：合成セグメントの合理化に関する研究，土木学会第69回年次学術講演会，pp.1193-1194，2014.9.
12) 土木学会：鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)，コンクリートライブラリー73，1992.7.

多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修 B5判141頁 本体価格2,500円

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

工法・技術・製品ニュース

製品 日立建機が4脚クローラ・双腕型のコンセプトマシンを開発



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

日立建機は，4脚クローラ方式を採用した双腕型コンセプトマシンを開発したと発表した．同機は，建設・土木，鉱山，解体，林業ほか，さまざまな業種で活用される建設機械の作業領域が将来的に拡大することを見据えて開発されたもの．従来の油圧ショベルにおける2クローラ方式で，機械本体を水平に保つことが困難であった傾斜地や不整地でも，安定した作業が行えるよう4脚クローラ方式を採用した．4つの各クローラユニットはそれぞれ独立して動くことができ，上部旋回体の安定性が向上する．

作業装置であるフロント構造物の軽量化にも取り組んだ．ブーム，アーム，フロントアタッチメントなどが耐久性向上のために年々重量が大きくなり，機械の安定性や作業性，燃費の面で負荷となっていることから，同機ではアームとアタッチメントにアルミ合金を用いて軽量化し，1クラス上の作業能力を発揮することができる．また，複雑な操作を求められる双腕の作業について，双腕クローラであるアスタコNEOと同様のジョイスティック方式の直感的な操作レバーを採用．4脚クローラの走行操作は1本レバーに集約して操作を簡便化した．

同社は，2005年に，製品開発，設計における経験やノウハウを生かし，油圧ショベルで，より複雑な作業を可能とするために，作業装置であるブーム，アーム，フロントアタッチメントからなるフロント機構を双腕化した「アスタコ」シリーズの第一弾を開発している．2012年にはZX135TF-3「アスタコNEO」を製品化するなど作業性の追求を進めてきた．



山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著

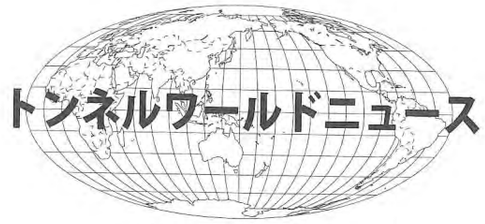
B5判 183頁 上製本 本体価格3,200円

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

主要目次

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

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



(一社)日本トンネル技術協会
国際委員会

XE-PIAN XE-NAMNOY計画が予定より早く完成

ラオス－南ラオスのXe-pian Xe-Namnoy水力発電プロジェクトによる，導水路トンネルが完成した．この偉業は，スケジュールよりも3か月早く，Seli Overseas社がTerratec社製のTBMを採用し達成された．

SK.E＆C(SKエンジニアリング＆コンストラクション)社は，このプロジェクトの技術開発，機材調達，そしてEPC契約の施工までの契約を請負った．さらに，イタリアのTBM掘削の専門企業SELI Overseas社が導水路トンネルの掘削を下請業者としてTBM掘削と施工管理，さらにトンネル現地でのプレキャストセグメントの製造も行った．

2017年3月18日，直径5.74mのダブルシールド型TBMは，延長11.5kmの導水路終点で発破工法によって掘削された到達坑で貫通した．掘削は2015年3月から始まり，主に泥岩，砂岩，シルト岩を掘削した．

Terratec社の広報は次のように付け加えた．

「TBMのカッタヘッドは39個の17インチ内取付式ディスクカッタと4か所の大型バケットが装備されている．またカッタ電動機出力は2,000kWの交流インバータ制御で，メインベアリングは硬岩層では最大毎分7回転できる．また断層破砕帯などの地層では8,000kNmのトルクを出せる設計である．断層破砕帯のような難しい地質では前方探査やグラウト注入が必要になるため高出力のドリフターも搭載されている．」

マシンとハニカム形セグメントライニングとのテールボイドには豆砂利を裏込め材料として注入する．マシンの高速掘進に豆砂利の裏込め注入を追従させるためにマシンの後続台車設備に次のような工夫を凝らしている．その工夫とは，空になった豆砂利運搬車を満載運搬車と素早く入れ替えるための油圧リフト装置を装備したことである．また砂利の圧送ポンプの能力も2倍とした．

マシンの最大掘進量は2016年7月に1,005m/月を達成した．マシンメーカTerratec社の記録の中でも高い．

(T&T　'17.5　担当：山﨑琢也・東京都交通局)

シールド工事が半分まで完了

Scottish Water社によると，Glasgowのシールド工事は半分まで完了している．クライアントは，5月上旬にポロックパークの下をTBMが通過したことを発表した．完成すれば，このプロジェクトはスコットランドで最長の排水トンネルになる．

トンネルの主な部分は，Aecom社が設計し，Costain-Vinci Construction Grands Projets合弁会社が設計した長さ5km，直径4.7mに並ぶトンネルとなる．

トンネルは，Herkerknecht社のスラリー式TBMで掘削され，約3,250個の菱形リングが駆動しており，長さは1.5mである．セグメントは，厚さ250㎜でBekaert Maccaferri社によって供給された4Dドラミックス繊維35kg/m^{3}で補強されている．設計者は5D製品を検討したが，4D製品の強度が約80N/㎟の圧縮強度を示し，基準値の60N/㎟を上回っていたと語った．

セグメントは，イギリスのミッドランドにあるFP McCann社のダービーシャー工場で製作されている．比較的平坦な地面に沿った地質は，粘土と砂岩および泥岩で構成されている．チームは何世紀にもわたるさまざまな規模の既存の炭鉱を粉砕しなければならなかった．JWHRoss社は，これら鉱山の正確な位置を示す地図を提供している．

(T&T　'17.6　担当：福田雅司・(株)安藤・間)

一般社団法人
日本トンネル技術協会
会　報

1. 会員の現状

	3月31日現在
個人会員	849名
団体会員	205名
推薦会員	208名
特別会員	9名
名誉会員	5名
賛助会員	221名
合　計	1,497名

2. 平成29年度第5回理事会

日　時：平成30年3月16日(金)　12：00～13：00
場　所：(一社)日本トンネル技術協会会議室
出席者：理事12名，監事1名，計13名
議　事：
①平成30年度定時総会議案要綱について
②平成30年度理事，監事，評議員の推薦依頼について

3. 委員会の開催状況(3月1日～31日)

◎総務委員会
・総務委員会(3/7)
　遠藤元一委員長ほか11名，平成29年度第5回理事会議題ほかを検討
・広報小委員会
　会誌WG(3/7)
　　小山幸則主査ほか13名，4月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会
・海外文献小委員会
　対外広報WG(3/12)
　　磯谷篤実主査ほか7名，原稿進捗状況と今後の作業を確認
　海外ニュースWG(3/22)
　　篠原慶二幹事ほか8名，海外文献の査読
　ITA統括WG(3/23)
　　砂金伸治主査ほか18名，ITA総会，WTC2018対応を検討

◎技術委員会
・山岳工法小委員会(3/8)
　　佐原圭介委員長ほか14名，平成29年度活動報告および平成30年度活動計画を検討
・安全環境小委員会(3/22)
　　豊澤康男委員長ほか18名，平成29年度活動報告および平成30年度活動計画を検討
・技術委員会(3/27)
　　西村和夫委員長ほか19名，活動報告および活動計画を検討
・都市トンネル小委員会
　セグメント実態調査WG(3/30)
　　三谷英司主査ほか9名，実態調査結果データおよび取りまとめ方針を検討

◎受託研究特別委員会
・数値解析マニュアル検討特別委員会
　幹事会(3/9)
　　蒋宇静委員長ほか17名，試計算結果目次などを検討
・東西線木場駅改良土木工事技術検討委員会(3/13)
　　小泉淳委員長ほか35名，施工報告および計画を検討
・効率的点検特別委員会
　幹事会(3/28)
　　松岡茂幹事長ほか25名，点検WG，中流動WGを検討

合計　　12回開催　　206名出席

平成30年度定時総会のお知らせ

定款第14条の規定により平成30年度定時総会を下記のとおり開催いたします．会員の皆様には5月上旬にはご案内をお送りする予定です．総会議案の議決には，正会員総数の過半数の出席がなければ，議案を議決することができません．総会にはご出席または委任状の提出による代理出席をお願いいたします．なお，総会議案は，ホームページ上に掲載いたしておりますのでご覧いただきますようお願いいたします．

日時：平成30年6月4日(月)　16：00開会
場所：弘済会館3階「萩」 東京都千代田区麹町5-1　TEL：03-5276-0333
議題：平成29年度事業報告および平成30年度事業計画ほか
＊総会終了後，17：00から懇親会を同階で予定しています．

4. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第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/ 論文募集中
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

5. 平成29年度催物開催結果

（平成30年３月現在）

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
【現場見学会】				
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	24	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

6. 平成30年度催物開催現況

（平成30年３月現在）

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
【施工体験発表会】				
第82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. 6.27	200	東京	申請中
第83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」	2017. 6.28	200	東京	申請中

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

第82回(山岳)および第83回(都市)施工体験発表会開催のご案内

恒例の施工体験発表会を下記により開催いたします．今回は第82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―」15件，第83回(都市)「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」９件について発表していただきます．プログラムにもありますように，トンネル工事関係者におかれましては，施工における種々の現場事例を通じ，技術力の向上を図るよい機会であると存じますので，多数ご参加くださいますようご案内申しあげます．

―記―

開催場所：虎ノ門発明会館「地下ホール」(90頁の案内図参照)

開催日時：第82回(山岳)施工体験発表会 平成30年６月27日(水) 9：30～17：00
第83回(都市)施工体験発表会 平成30年６月28日(木) 13：00～17：10

定 員：各200名(定員になり次第締切ります．)

参 加 費：第82回(山岳) 個人会員10,000円，団体会員12,000円，一般15,000円
第83回(都市) 個人会員 7,000円，団体会員 8,000円，一般10,000円

申し込み問い合わせ先：
申し込み用紙に記載のうえ，郵送またはFAXをもってお申し込みください．受領後受付番号をご連絡いたします．なお，電話での申し込みは受付けておりませんので，ご了承願います．
(窓口)(一社)日本トンネル技術協会施工体験発表会係
〒104-0045中央区築地2-11-26 築地MKビル６階
TEL：03-3524-1755 FAX：03-5148-3655

支払方法：上記申し込みののち，郵便振替用紙通信欄に行事名と参加者氏名，受付番号を記入のうえ下記へお振込願います．現金書留でも結構です．
郵便振替口座00160-7-196331 (一社)日本トンネル技術協会

そ の 他：①詳細なプログラムはホームページ上でご案内いたします．
②参加費の払戻しはいたしかねますが，代理参加は差し支えありません．
③テキストをCDで事前に送付いたしますので，住所などは必ずご記入願います．
※なお，当日は印刷されたテキストを配布いたしませんので各自必要箇所コピーのうえご持参願います．また，テキストのCDを受領し，参加費未納で欠席した場合は，テキスト代として￥5,000を請求させていただきますのでご了解願います．
④申し込みにかかわる個人情報につきましては，他に利用するものではありません．
⑤発表会は(公社)土木学会のCPDプログラムとして申請中です．認定後は，ホームページに掲載いたします．

【施工体験発表会参加申込書】

平成30年　月　日

(一社)日本トンネル技術協会
施工体験発表会係あて
Email：event@japan-tunnel.org.　　FAX：03-5148-3655　　TEL：03-3524-1755
下記のとおり申し込みいたします.

発表会名	□第82回(山岳)，□第83回(都市)(□に√印願います)		
参加者氏名(ふりがな)		年齢	
電話番号	—　　—		
会社名			
住所	〒		
所属役職			
会員種別	□個人会員，□団体会員，□一般(非会員)(□に√印願います)		



虎ノ門発明会館「地下ホール」
銀座線「虎ノ門」駅　3番出口より徒歩5分
〒105-0001　東京都港区虎ノ門2丁目9番14号
TEL：03-3502-5499

第45回ITA総会および国際トンネル会議(2019)の論文募集のお知らせ

国際トンネル協会(ITA)より標記会議の開催および論文の募集の案内がありましたのでお知らせいたします．奮ってご応募いただきますようお願いいたします．

—記—

開催日時：2019年5月3日～9日
場　　所：ナポリ(イタリア)
主　　催：イタリアトンネル協会(Italian Tunnelling Society－SIG)
　　国際トンネル協会(ITA)
会議テーマ：「Tunnels and Underground Cities；Engineering and Innovation meet Archaeology, Architecture and Art」
論文のトピックス：
(1)Archaeology, Architecture and Art in underground construction
(2)Environment sustainability in underground construction
(3)Geological and geotechnical knowledge and requirements for project implementation
(4)Ground improvement in underground constructions
(5)Innovation in underground engineering, materials and equipment
(6)Long and deep tunnels
(7)Public communication and awareness
(8)Risk management, contracts and financial aspects Ground engineering and risk management
(9)Safety in underground construction
(10)Strategic use of underground space for resilient cities
(11)Urban tunnels
論文概要および本論文提出のスケジュール(現地時間)：
手続きはオンライン投稿のみです.
論文概要提出受付締切り：2018年5月15日
論文概要採否通知：2018年6月20日
本論文締切り：2018年9月1日
最終論文提出締切り：2018年12月7日
執筆者会議登録締切り：2019年3月1日
提出先：
ホームページ：http://www.wtc2019.com/
問い合わせ先：(一社)日本トンネル技術協会　　TEL：03-3524-1755
担当：関(noriko.seki@japan-tunnel.org)

6月号予告[6月1日発売予定]

●覆工コンクリートのひび割れ分布と振動計測にもとづく健全性評価の試み
●国道45号　気仙沼第2号トンネル
●福井県　新大島トンネル
●東京下水道　芝浦・森ケ崎水再生センター間連絡管
●天ヶ瀬ダム再生事業
【連載講座】
●セグメントの新技術Ⅱ(7)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆年度が替わり，社会人として新たな一歩を踏み出した新入社員や，転勤や再就職によりトンネル関係の仕事に配属になった方で，弊誌にはじめて出会った方も多くいるのではないでしょうか．これからこの分野で活躍される皆さんには，弊誌を通じて何らかのお力になれると思いますので，簡単に紹介させていただきます．

◆本誌は国内唯一のトンネル専門誌として毎月1回，1日に発行しており，来年50巻の節目となります．今月号で通巻573号と半世紀近くトンネルに関して施工報告を中心に，研究，計画，報告などの論文を掲載しております．また，「連載講座」では一つのテーマを数回にわけてわかりやすく解説し，随想として諸先輩方からの技術の継承を図るために「語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ」を連載して好評を得ております．ほかに「現場だより」や入札，新製品，トピックスなどの情報を発信しております．ぜひ興味を持っていただき，購読をいただくとともに，論文への投稿もお待ちしております．

◆話が変わりますが，2年後の東京五輪のメインスタジアムとなる国立競技場の建設現場は競技場のおおよその外観が把握できるほど進んでいます．白い仮囲い沿いを歩くとその大きさに圧倒されるとともに，かつて3Kと言われていた工事現場は今ではその影もなく，とてもきれいに整っています．現在，2020年の東京五輪に向け各方面で準備が進んでおり，これを境に新しい東京に生まれ変わっていくのだと感じ取れます．弊誌もこの流れに負けないように皆様のお役にたてるよう誌面を充実させていきたいと思っております．

(K.Y)

★購読の申し込み，または，送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学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5号〔通巻573号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成30年4月20日　印刷
平成30年5月1日　発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会
会長　谷口　博昭
〒104-0045　東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)
TEL：03-3524-1755
FAX：03-5148-3655
http://www.japan-tunnel.org
発行所　株式会社土木工学社
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂
TEL：03-3267-2888
FAX：03-3267-2807
http://www.tunnel.ne.jp
発行人　山本 育徳
編集人　山本 勝誉
印　刷　株式会社新協

本誌の購読について

■購読をご希望の方は，書店または土木工学社へ直接お申し込みください．

■お申し込みの際は，誌名，購読期間，住所，所属，氏名などを明記のうえ，FAX(03-3267-2807)にてお申し込みください．後日，小社より振込用紙をお送りいたします．

購読料
1冊　1,620円(送料110円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

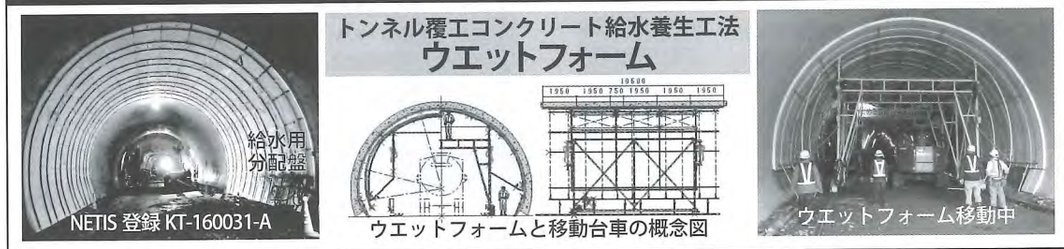
本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください．
TEL：03-3267-2888

本誌掲載記事を無断で複写(コピー)および転載することは，著作権上での例外を除き，禁じられております．本誌から複写または転載を希望される方は，小社(03-3267-2888)までご連絡ください．

トンネル二次覆工型枠総合メーカー



新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



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

図書案内

トンネル技術者のための地相入門



大島洋志　監修，木谷日出男　編著
3,200円＋税　B5判

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

山岳トンネル設計の考え方



今田　徹　著
3,200円＋税　B5判

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

わかりやすいトンネルの発破技術



山田隆昭　監修
1,500円＋税　B5判

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

多様化するシールド掘進技術



シールド工法技術協会　監修
2,500円＋税　B5判

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

推進工法の理論と実際



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

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

わかりやすい土木地質学



大島洋志　監修
2,500円＋税　B5判

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

セグメントの新技術



小泉　淳　監修
2,000円＋税　B5判

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

続 きみの庭にも温泉が出る



石井康夫・俣野恭寛　共著
1,200円＋税　新書判

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

建設工事の保安地質学〔改訂版〕



石井康夫　著
6,000円＋税　A5判

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

シールドトンネルの新技術



シールドトンネルの新技術研究会　編
4,660円＋税　B5判

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

地下水の科学Ⅰ～Ⅲ(全3巻)



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

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

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

株式会社 土木工学社

ブロック理論と岩盤工学への応用



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

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

山岳トンネルの新技術



ジェオフロンテ研究会　編
14,573円＋税　B5判

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

ジオテキスタイル設計マニュアル



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

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

岩盤地下空洞の設計と施工



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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した.

建設工事の地質診断と処方



石井康夫・矢嶋壯吉　共著
4,300円＋税　A5判

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

トンネル工事の衛生と環境保全



臼谷三郎・橋本康孝・友田　孝　共著
3,200円＋税　A5判

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

岩盤の計測と解析



鈴木　光　著
4,200円＋税　A5判

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

わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉



橋本定雄・松本崇義・松本正敏　共著
2,800円＋税　A5判

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

海洋資源開発



稲田善紀　著
3,400円＋税　A5判

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

トンネルと地下



1,500円＋税　B5判　月刊(毎月1日発売)

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

書籍のお申し込み

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

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

TKK

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


連続ベルトコンベア/移動式クラッシャー

東京機材工業は1978年7月の設立以来、国内外のプロジェクトにおいて資・機材の受注製作はもとより、各種多彩なリースや保守管理も担っております。

主な取扱商品

受注製作品　支保工材、架設架台
鋼構造物、風管 他

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


バッチャープラント


30tターンテーブル


配管材


タイヤ泥落とし装置


野田機材センター第一


野田機材センター第二


野田機材センター第三


東北第一機材センター


厚木機材センター


名古屋機材センター


大阪機材センター


九州機材センター

全国8か所の機材センターから、必要なものを必要なタイミングで提供する体制を整えています。

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

本社	〒103-0022 東京都中央区日本橋室町1-9-12 共同ビル3階	TEL 03-3245-1001 FAX 03-3245-0160
横浜支店	〒220-8109 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-2-1-909	TEL 045-664-7111 FAX 045-664-7101
大阪支店	〒541-0042 大阪府大阪市中央区今橋3-2-20 洪庵日生ビル8階	TEL 06-6121-6261 FAX 06-6121-6241
東北支店	〒980-0023 宮城県仙台市青葉区北目町1-18 ピースビル北目町4階	TEL 022-738-7011 FAX 022-748-7881
九州支店	〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前2-2-1 福岡センタービル8階	TEL 092-432-0501 FAX 092-432-0504
名古屋営業所	〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-9-27 NMF名古屋伏見ビル4階	TEL 052-228-6441 FAX 052-228-6442



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

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


補強効果によるひび割れ幅低減



コンクリート混入・コンクリート用膨張材
ハイパーエクスパン
コンクリート収縮抑制

養生効果



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



様々な現場で力を発揮する注入材、裏込材“最適な選択をご提供”

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

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