

# トンネルと地下

# 3

vol. 48  
no. 3  
2017

Tunnels and Underground

3 mの土かぶり地で地盤切削ワイヤーを用いた非開削工法により小断面函体を構築  
斜面斜交型坑口で斜め支保工を採用しトンネルを貫通  
電力ケーブルが輻輳するトンネルの埋設型枠を用いた補強対策  
地下鉄4線と送水管2本に並列近接したシールド施工と切羽での支障物撤去  
噛合せ(JES)継手構造物の耐震性能の評価と設計法

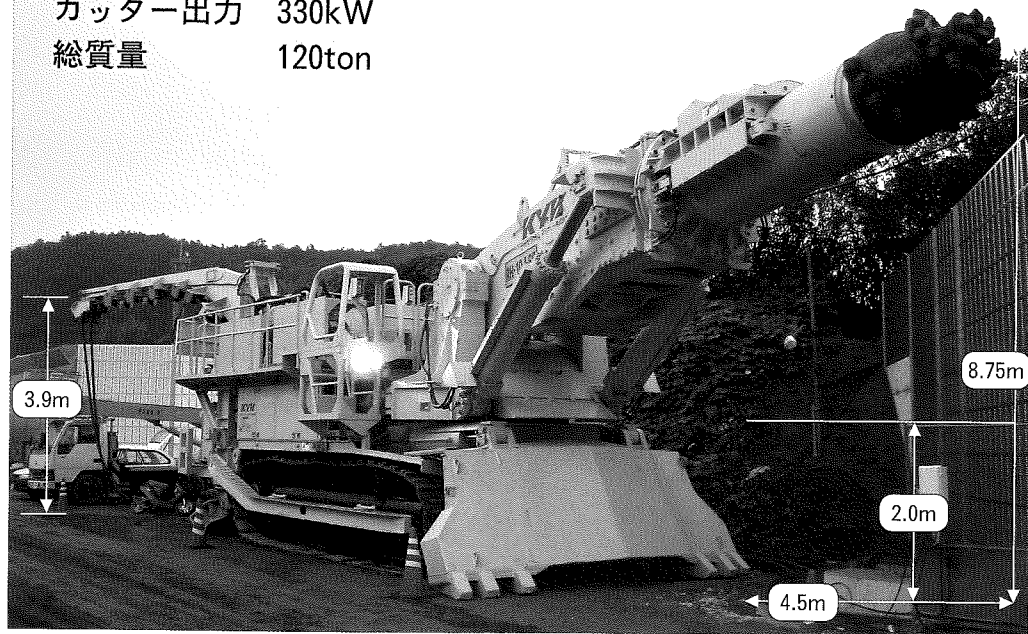
日本トンネル技術協会誌



ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

# RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW  
総質量 120ton



## 主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定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ビック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

## KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業 千105-0012 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 千252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586  
 相模事業所 千564-0063 大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号TEK第二ビル TEL 06-6387-3371  
 大阪支店 千812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998  
 福岡支店 千514-0396 三重県津市雲出長常町1129番地11 TEL 059-234-4111  
 三重工場

## 吸引ダクトが無くても全ての断面、全ての延長に対応

たった37kWで2,750m<sup>3</sup>/min イーダスコ270使用時

# NETIS

公共工事における新技術活用システム

登録番号: TH-100024-VE

## トンネル工事用 電気集じん器

# e-DUSCO

イーダスコ240/イーダスコ270  
ファン動力30kW ファン動力37kW

経済産業省後援

第39回優秀環境装置

日本産業機械工業会 会長賞

## 全てのトンネルに適用可能!

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



## 吸引捕集方式にも対応



## 希釈封じ込め方式での計算例

### ① 粉じん発生量

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

### ② 所要換気量

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

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

### ③ 集じん機の選定

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

品名	e-DUSCO240	e-DUSCO270
型式	FTE2400 / FTE2400-E	FTE2700-E
集じん装置の容量	1800・2100・2400m <sup>3</sup> /min 任意設定の4モード	1800・2100・2700m <sup>3</sup> /min 任意設定の4モード*
全長*	7411mm (サイレンサー含む)	
全幅	2350mm	
全高**	3700mm	
本体重量	10t	11t
電源仕様	3相3線400V58kVA	3相3線400V107kVA
ファン動力	30kW	37kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)	23kW・28kW・40kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)
洗浄水**	2.4~3.2m <sup>3</sup> /回	
捕集ダスト処理	湿式	
集じん効率**	95%以上	93%以上
吸引捕集方式	対応可	

注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

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

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

## 古河機械金属グループ 古河産機システムズ株式会社

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

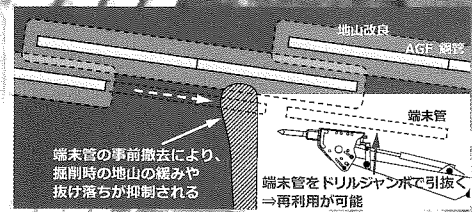
大阪支店 ☎06-6344-2532 名古屋支店 ☎052-561-4580 札幌支店 ☎011-784-1179  
東北支店 ☎022-221-3532 九州支店 ☎092-741-5193 小浜工場 ☎0285-23-8662

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

# 日本で生まれ、世界へ広がる。NATMの補助工法

## 掘削断面内の末端管を引抜き、掘削時の地山への影響を低減

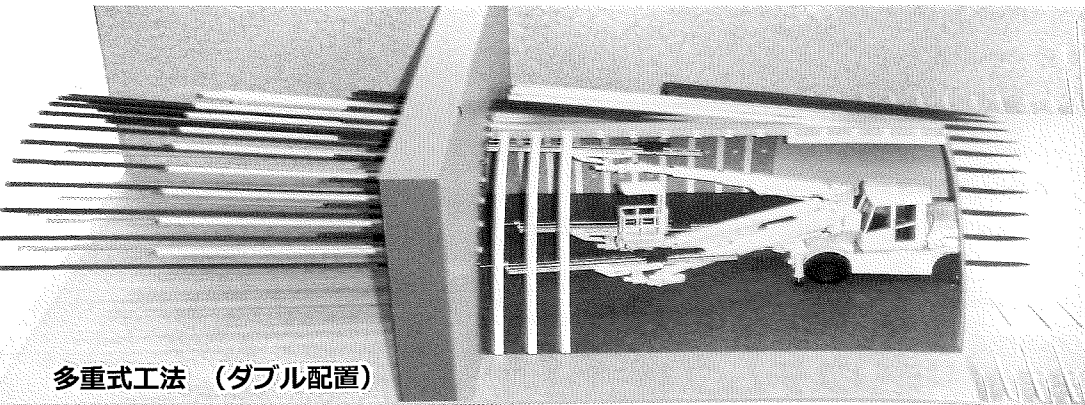
鋼管設置時に、専用の治具を使用して末端管を中間管から引抜く工法  
掘削時の末端管切断撤去が不要なため、撤去の衝撃による  
地山の抜け落ちや周辺の緩みなどの懸念がなく  
末端管の再使用もできることから  
コスト低減も可能となります



NETIS登録番号:CB-150001-A  
**AGF-Tk工法**

## 多重式長尺フォアパイリング NETIS登録番号:CG-130024-A

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



多重式工法 (ダブル配置)

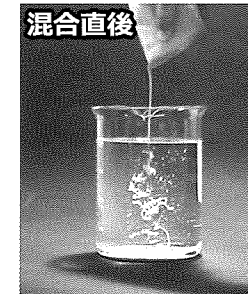
▶ 補助工法ラインアップ 注入式フォアボーリング / 各種長尺フォアパイリング / エコリムーブ工法  
パノラマ工法 (φ60.5MRS, φ76.3, φ89.1)



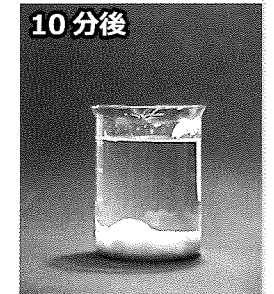
地山内の固結状態

## スーパーSRF シリカレジン系注入材

- 地山改良効果に優れ、湧水下でも発泡・固結
- 水に溶解しないため、白濁や泡立ちが発生しない



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)



水と接触  
(7倍発泡)

水と非接触  
(無発泡・圧縮強度60MPa)

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(株エイチ・アール・オー)	TEL 011-821-5868	FAX 011-821-6644

URL <http://www.katecs.jp/> email [construction@katecs.co.jp](mailto:construction@katecs.co.jp)

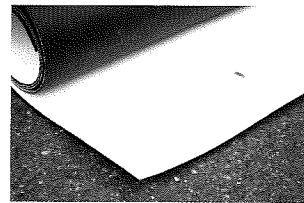
# ウォータータイトトンネル 防水システム



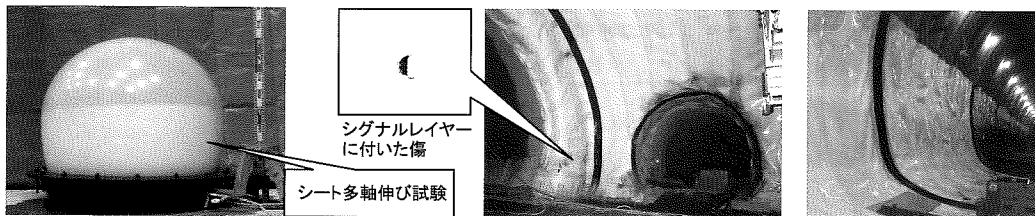
非排水型防水システム用メンブレン  
**KFCタイトライナー**

## シート防水材

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



シグナルレイヤー付防水シート



シグナルレイヤーに付いた傷

シート多軸伸び試験

## 基本システム

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

## 漏水対策システム

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

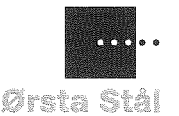
**KFC** 株式会社 **ケー・エフ・シー**

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

1本1本が大切! だから

次世代 **防食** ロックボルト

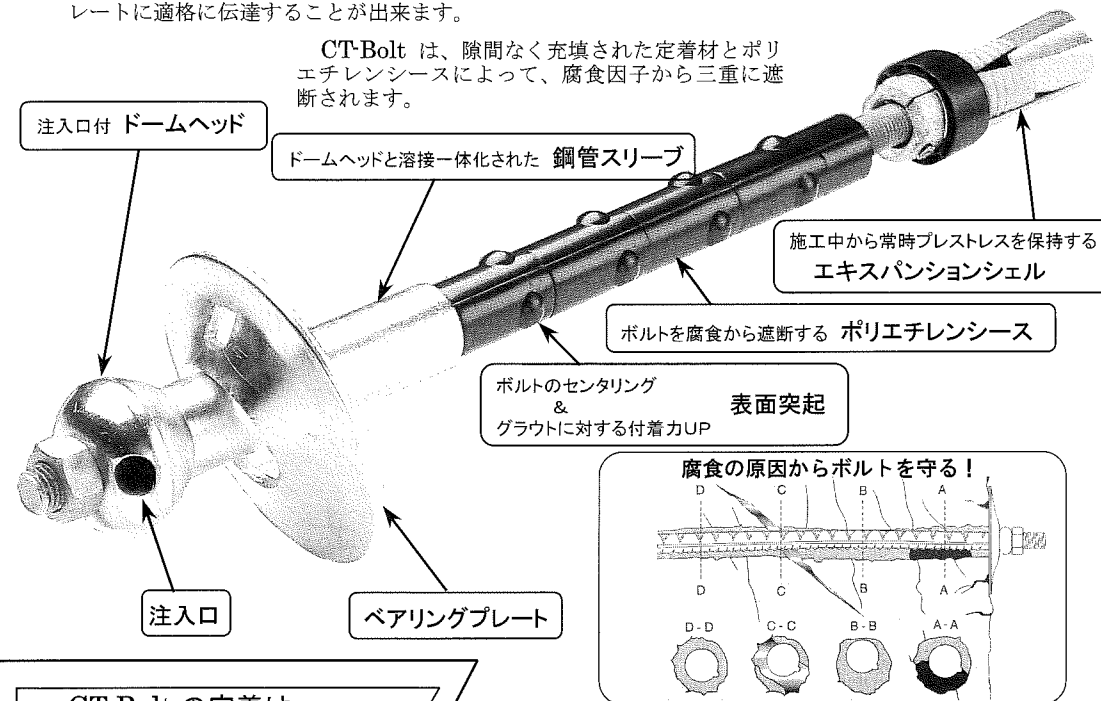
# CT-Bolt



**通常施工により超長期支保**

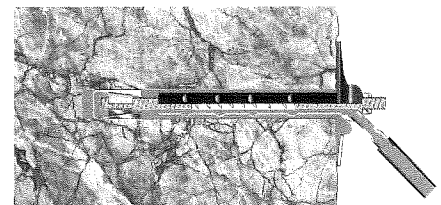
CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適切に伝達することが出来ます。

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



## CT-Bolt の定着は・・・

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



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

**完全充填**

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

総発売元 **Your Fastening Partner**

**KFC** 株式会社 **ケー・エフ・シー**

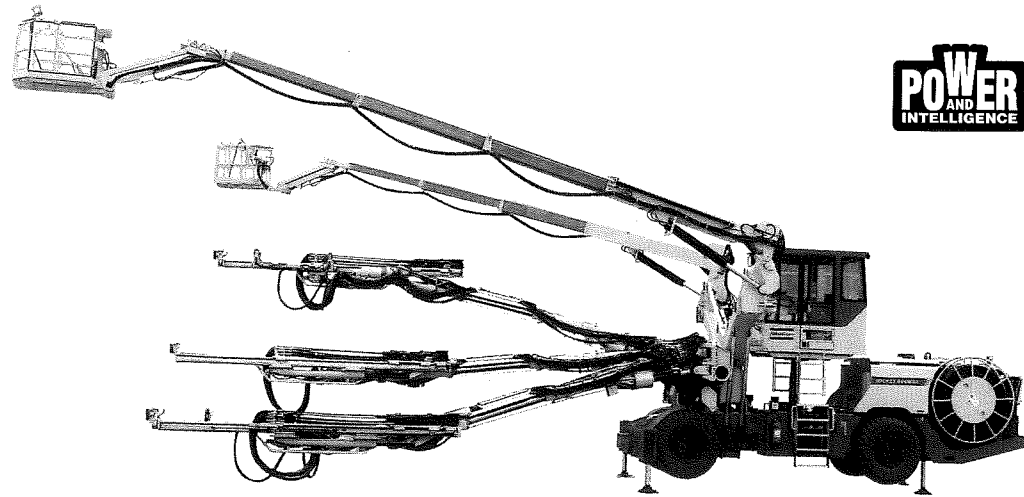
〒105-0011 東京都港区芝公園2丁目4番1号  
お問い合わせ先 TEL: 03-6402-8256  
技術部 FAX: 03-6402-8255

# アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

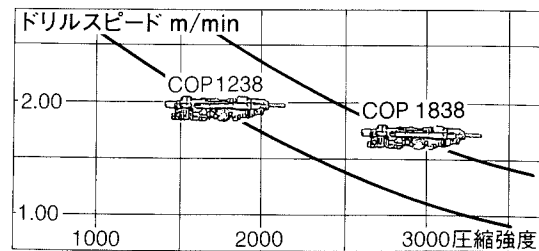
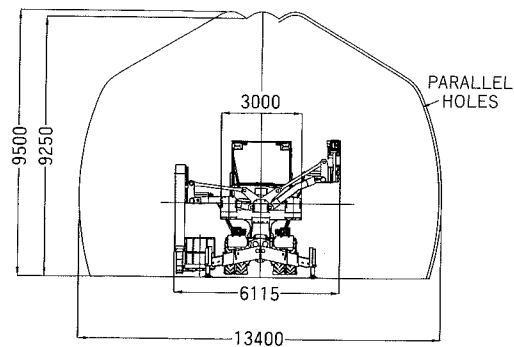
## The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B

COP1838油圧ドリフター搭載

3ブーム・2バスケット



POWER AND INTELLIGENCE



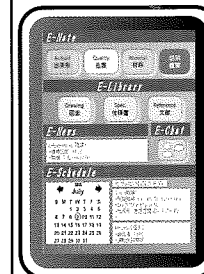
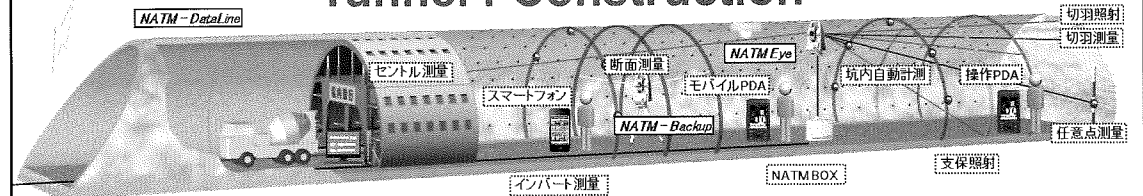
## ドリルマシン株式会社 DRILL MACHINE CO., LTD.

本社 〒116-0014 東京都荒川区東日暮里 6-16-8 桂ビル5階  
 TEL (03) 3806-3377 番 FAX (03) 3806-8461 番  
 関西支店 〒657-0864 兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4  
 TEL (078) 802-5551 番 FAX (078) 802-5528 番  
 東北営業所 〒024-0055 岩手県北上市大堤南 2-1-36  
 TEL (0197) 72-7416 番 FAX (0197) 72-7418 番  
 九州営業所 〒830-0021 福岡県久留米市篠山町 12-3-301  
 TEL (0942) 27-5992 番 FAX (0942) 27-5993 番  
 兵庫工場 〒679-1332 兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端454-3  
 TEL (0795) 36-0461 番 FAX (0795) 36-0467 番

NEW

## 究極のトンネル施工管理システム 生産性向上への挑戦！！ En-Note

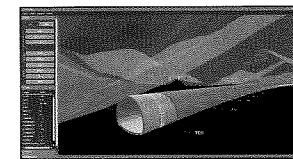
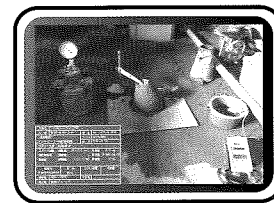
### Tunnel i-Construction



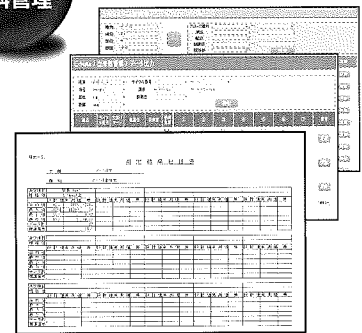
タブレット端末  
 ・品質  
 ・出来形  
 ・材料  
 ・切羽観察  
 ・写真  
 ・チャット  
 ・遠隔試験



職員パソコン



3D可視化+情報管理 (自動)



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



黒板、野帳要らずで、現場の作業のみで各種情報はデータサーバへ保管

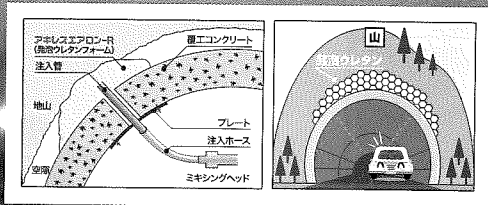


株式会社 演算工房  
 ■京都本社 〒602-8268 京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地3  
 TEL: 075-417-0100 FAX: 075-417-0200

NETIS登録番号 KT-070035-VR

# アキレスTn-p工法

トンネル裏込補修用ウレタン注入工法 老朽化したトンネルを災害から守る新しい工法です



- 1 超軽量で安全性向上
- 2 注入設備がコンパクト
- 3 急速固化でリーク減少
- 4 環境対応型ノンフロム

NETIS 平成26年度 活用促進技術(新技術活用評価会議)に指定!

「活用促進技術」とは

- 総合的に活用の効果が優れている技術
  - 特定の性能又は機能が著しく優れている技術
  - 特定の地域のみで普及しており、全国に普及することが有益と判断される技術
- に該当する技術から選考されます。

NETISに登録された新技術を活用することにより

- 入札・契約時 総合評価方式での提案で加点対象
  - 完成時・完成後 工事成績評定において加点対象
- になる場合があり、さまざまな利点があります。



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

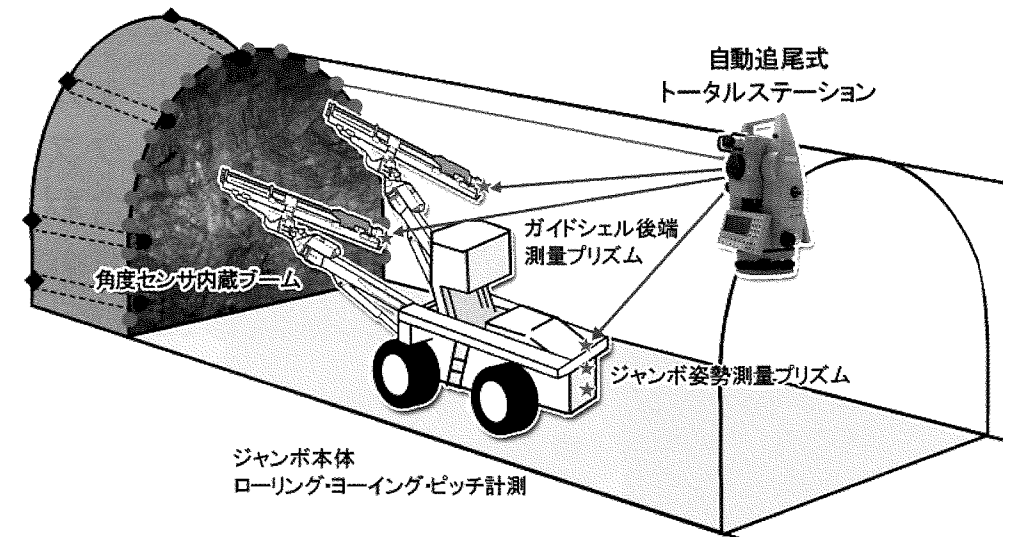
Tn-p工法 検索  
<http://www.achilles-foamsystem.com/>

NETIS登録番号:KK-100049-A

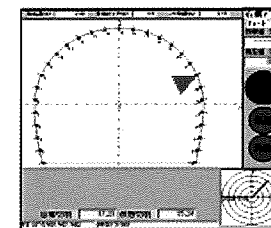
# 自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

**MAC** マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

TEL:047-371-3191 FAX:047-371-3190

**FRD** 古河機械金属グループ  
古河ロッドドリル株式会社  
FURUKAWA

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3

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

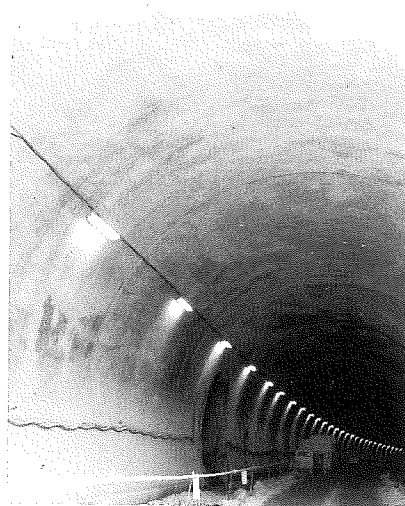
コンクリートの劣化, 欠陥箇所の改修, 補修……

急硬性改修モルタル

# ドクターQ改修工法

〈工期短縮, 即日仕上り〉

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



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

エアモルタル裏込め注入……

## エスコート L & K 起泡剤

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



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

最新型・電気集じん機

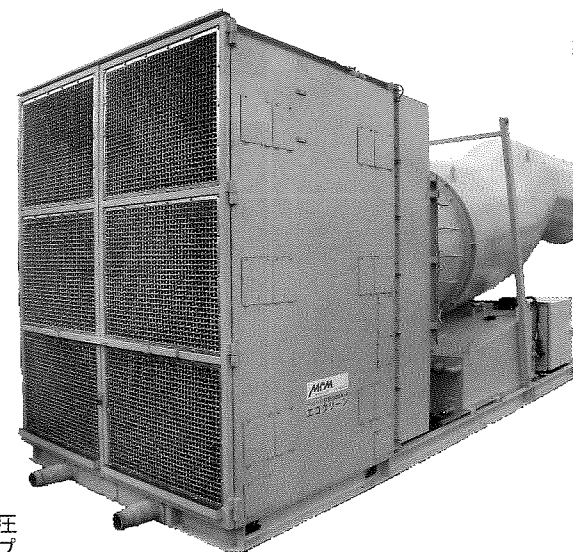
# エコクリーンX

NETIS登録番号:KT-040047-A

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

極板放電方式  
放電線をなくし消耗品の  
削減と断線トラブルの撲滅

少ない消費電力  
同クラスのフィルター方式  
集じん機に比べおよそ1/4



処理風量  
750m<sup>3</sup>/minから3000m<sup>3</sup>  
/minまで製作実績あり

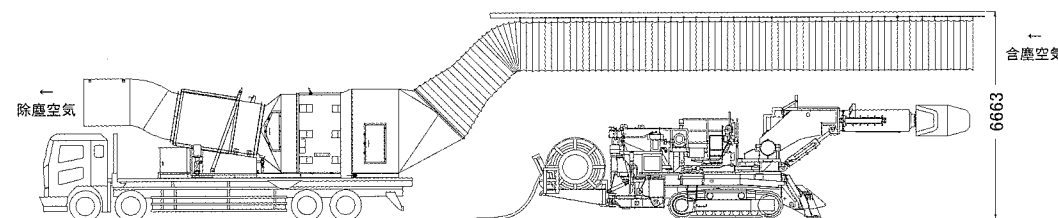
コンパクト  
同クラス集じん  
機の中で最小

貯水タンク  
自動洗浄が  
随時可能

高圧電源分割  
集じんユニット毎の個別電圧  
印加により集じん効率アップ

オプション  
自走クローラ台車  
自走ホイール台車  
伸縮風管...etc.

伸縮風管(軽量型Φ1500,Φ1600製作実績あり)



伸縮風管接続例

弊社では「エコクリーンX」以外にTBM用吹付け「サブショットシステム」等、多様なトンネル工所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 : 愛知県名古屋市長区植田東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

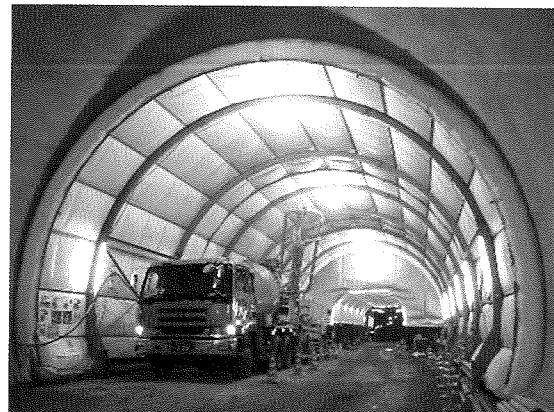


株式会社 エムシーエム

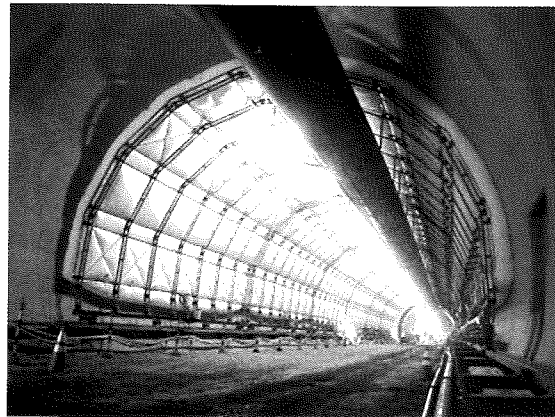
## バルーンの東宏です



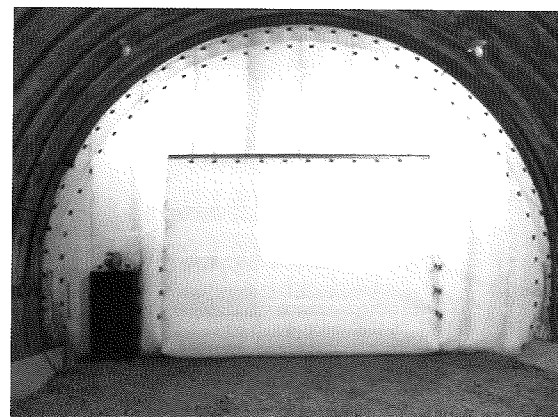
セントル養生バルーン(HR-04005VE)



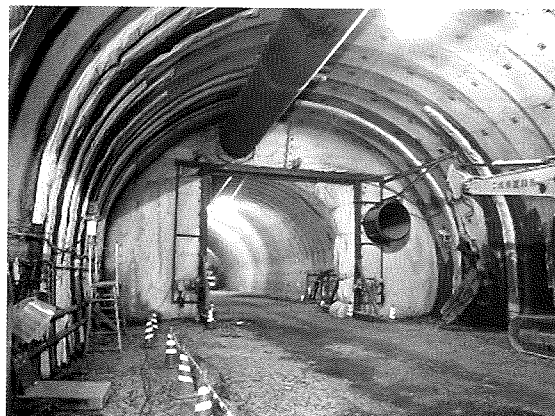
コンクリート養生バルーン(HR-04005VE)



アクアカーテン(HR-110011VE)



隔壁バルーン(HK-100007VR)



トラベルクリーンカーテン(HK-120040A)



肌落防護マット

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

**TOUKOU** 株式会社 **東宏**

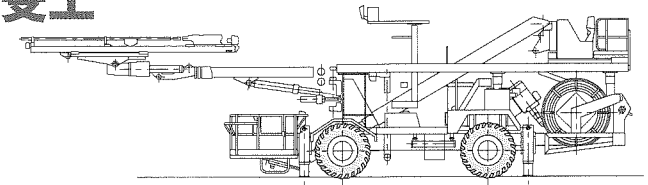
本社 札幌市東区東雁来9条3丁目2番3号  
TEL011-792-3000 FAX011-792-3333

東京支店 江戸川区平井2丁目5番2号 平井ビル3F  
TEL03-3683-8011 FAX03-3683-8028  
URL <http://www.k-toukou.co.jp/>

## 環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

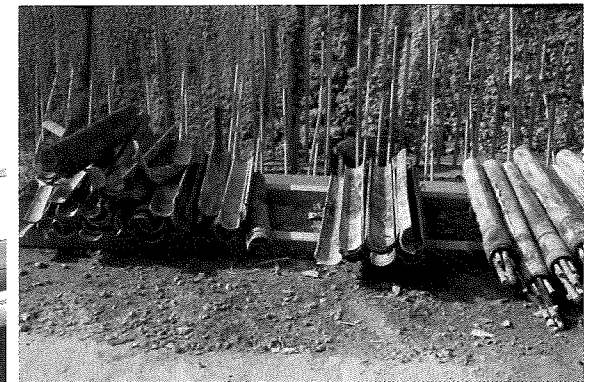
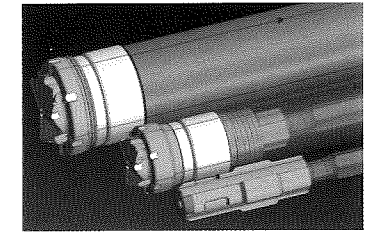
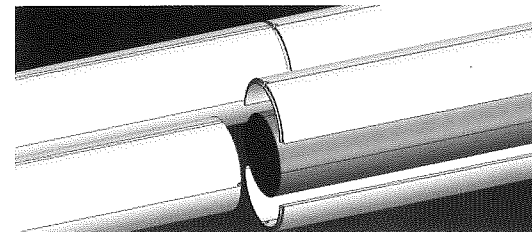
All Ground Fastening;  
Long-Distance, Fore-Filling Method



### 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。



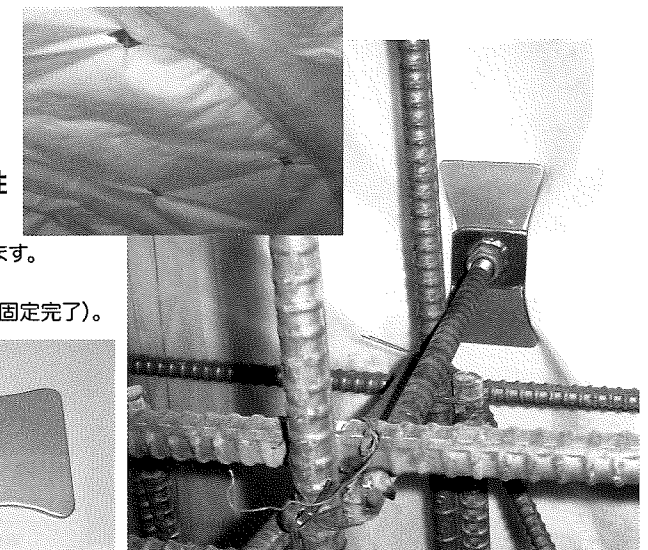
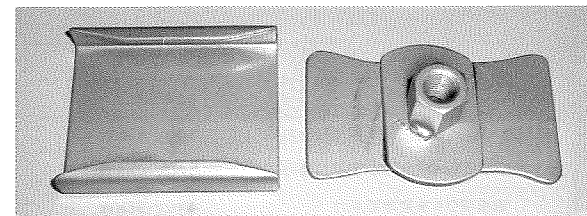
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

### 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パーに防水シートを当てます。
2. 回転プレートを押し込みます。
3. ナットを回し、止め位置まで90度右回転します(固定完了)。



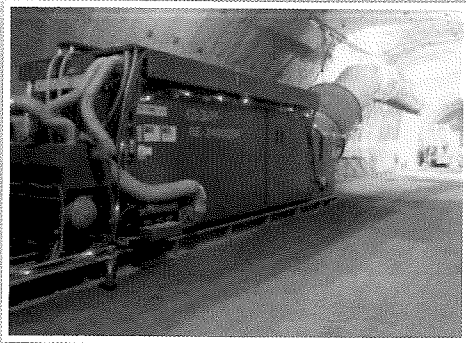
**東邦金属株式会社**  
TOHO KINZOKU Co., LTD

営業部

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

**株式会社 トーキョーオール**

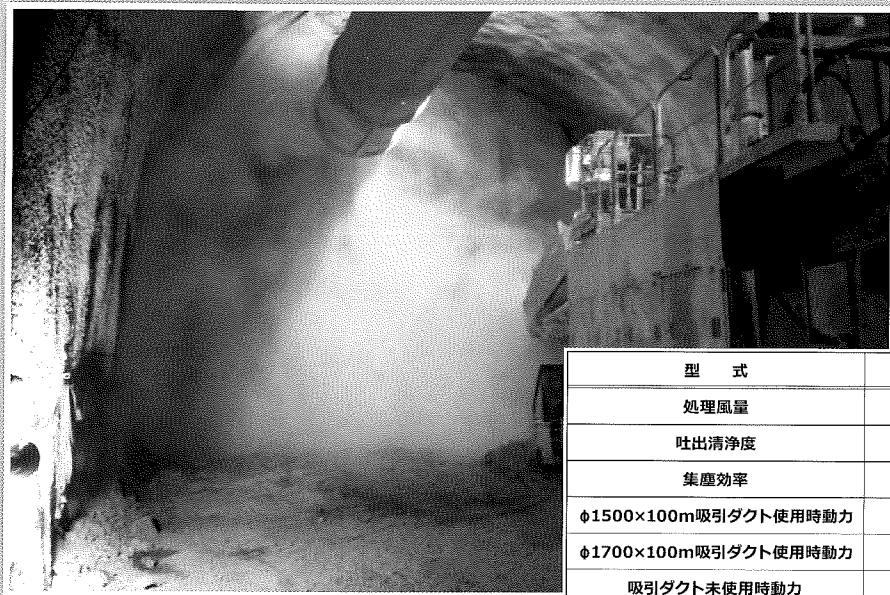
〒210-0854  
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11  
Tel: **044-333-0012** Fax: **044-333-0321**  
(お問い合わせ先)



動力60%低減実現！(当社従来比)

吸引捕集換気システム **RE-2400QDP 新登場**

「コンパクト&低動力&高浄度」を一度に実現した孤高のスペック



型 式	RE-2400QDP
処理風量	2,400m <sup>3</sup> /min
吐出浄度	0.1mg/m <sup>3</sup> 以下
集塵効率	99%以上
φ1500×100m吸引ダクト使用時動力	440V・83kW
φ1700×100m吸引ダクト使用時動力	440V・64kW
吸引ダクト未使用時動力	440V・58kW
寸法 (L×W×H)	2,869×12,963×3,387(mm)
重量	12,600kg

最適環境を創造する  
株式会社 **流機** エンジニアリング

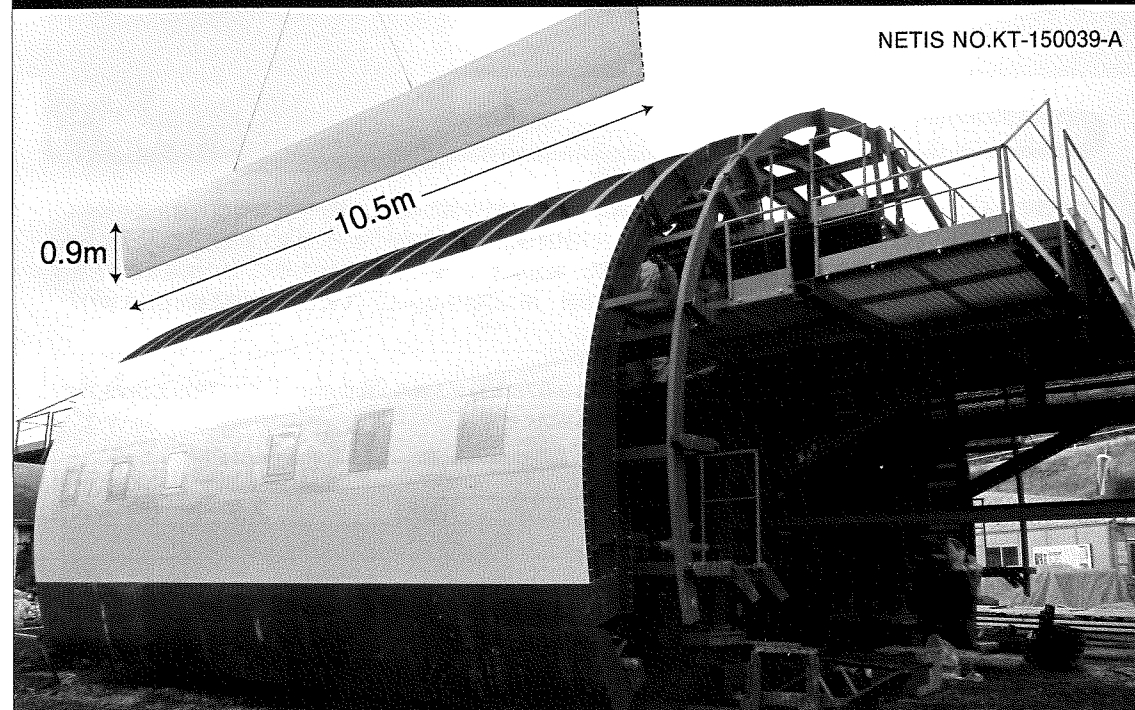
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2  
TEL: 03-3452-7400  
URL: <http://www.ryuki.com/>  
E-mail: eigyobu@ryuki.com



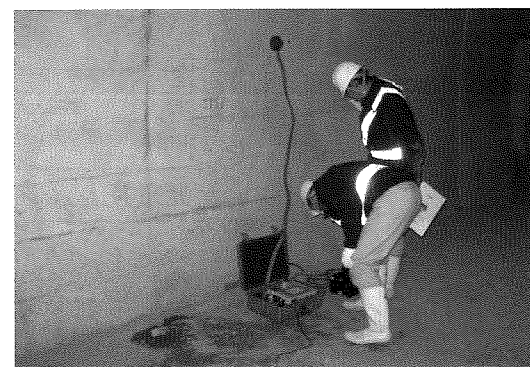
NEW

## 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



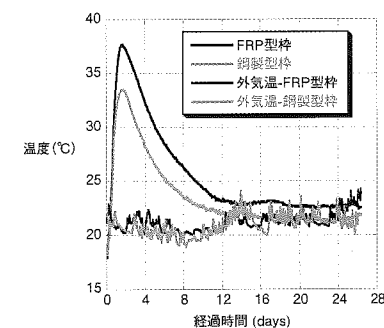
### ■ 透気試験実施



覆工コンクリートの表層部分の透気係数を測定することにより、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

### ■ 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、熊アジタ 吉江トンネル南にて測定]



◎3~4℃の保温効果により、コンクリート強度が15~20%向上

### M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

■ 本 社 〒553-0006 大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル TEL:06-6443-7060  
■ 九州営業所 〒812-0011 福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号 TEL:092-409-8008  
■ 指定工場 〒919-0441 福井県坂井市春江町定重(森本工業) TEL:0776-51-2410

# 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<sub>2</sub>排出量を抑制し、なおかつ耐震性の高い推進工法のニーズが高まっています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説しております。また、推進関連のニュースはどよりも早く、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ます。

<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/>

月刊推進技術

検索



月刊推進技術 編集室

<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/>

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

推進技術

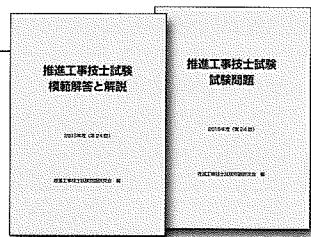
## 推進工事技士試験 過去6年間(2010~2015年度)

### 試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編

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

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



発売中!!

#### 1. 内容と特長

- 過去6年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- 各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出版箇所を明記

#### 2. 価格

各年度単体に1set 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。

株式会社 LSプランニング

<http://www.lswb.co.jp/shiken/annai>

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201

電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail oda@lswb.co.jp

推進技術

# 推進工法の理論と実際

## 推薦の言葉

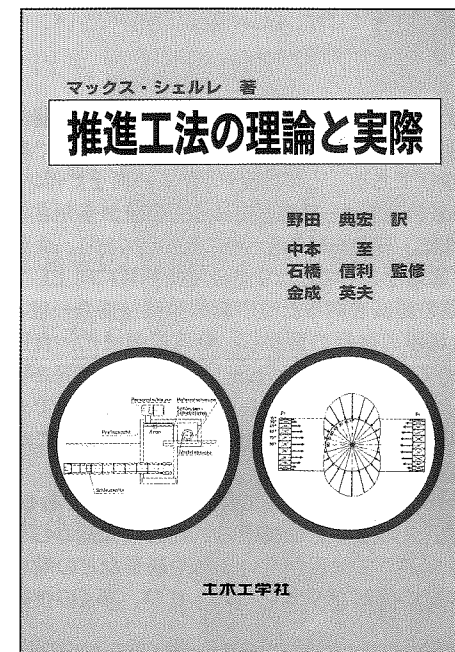
中本 至・石橋信利・金成英夫

## 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

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

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

本書では、ドイツで推進工法の研究開発で著名なマックス・シェルレ博士が推進工法におけるいろいろな疑問について理論的に解明した古典的な名著である。博士は理論のみではなく、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。



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

〒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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

# トンネルの発破技術

監修 山田隆昭 B5判 76頁 定価 1,500円+税(送料別途)

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで!  
振動や騒音の環境問題を詳述!!

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

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

### 〈主要目次〉

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

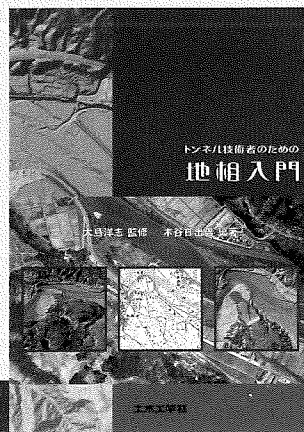
お申し込みは当社へFAX、または、お近くの書店にてお申し込みください。FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は、書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記の上、お申し込みください。

株式会社 **土木工学社**

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

好評発売中

地形にも相がある 地形の性質を知ろう!



## トンネル技術者のための 地相入門

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

図・表・写真 288点収録

山にも人の人相のように山の相がある。地形の性質を知り、事前に危険な箇所を把握することはトンネルを施工する上で重要である。

本書のように地形中心にこれほどまとまったトンネル技術書は今までになかった。施工者には施工中に予測される地形上の危険把握のため、発注者にはもっとも安全に施工できる路線選定ため、本書を有効利用いただくことが執筆陣の願いである。

第I編では地形図の読み方を平易にまとめ、第II編ではそれぞれの地形種について施工事例を交え説明している。第III編では監修者の経験を基に路線選定の注意点を施工事例とともに紹介している。

### 《主要目次》

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

お申し込みは当社へFAX、または、お近くの書店にてお申し込みください

株式会社 **土木工学社**

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



# 振動 マネージメント ソリューション

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

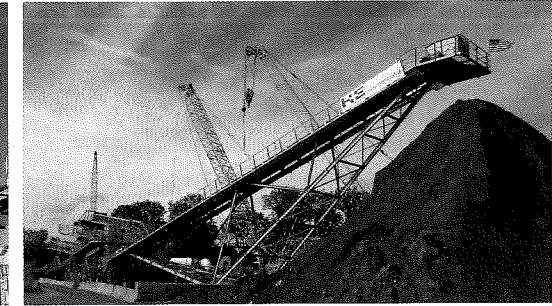
オリカ社は、日々直面するチャレンジに対する方策を見出す為に、全世界の技術研究所と技術力を使って前向きな考え方で取り組んでおります。その成果は電子雷管eDevilや発破デザインソフトであるShotPlus-T また、各種の爆薬に表れておりご理解頂けるものと思っております。

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

[orica.com](http://orica.com)

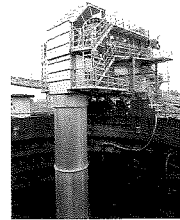


Clever Conveying



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: 2x355 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: 4x160 kW, 2x90 kW  
Belt Storage Capacity: 2x300 m / horizontal



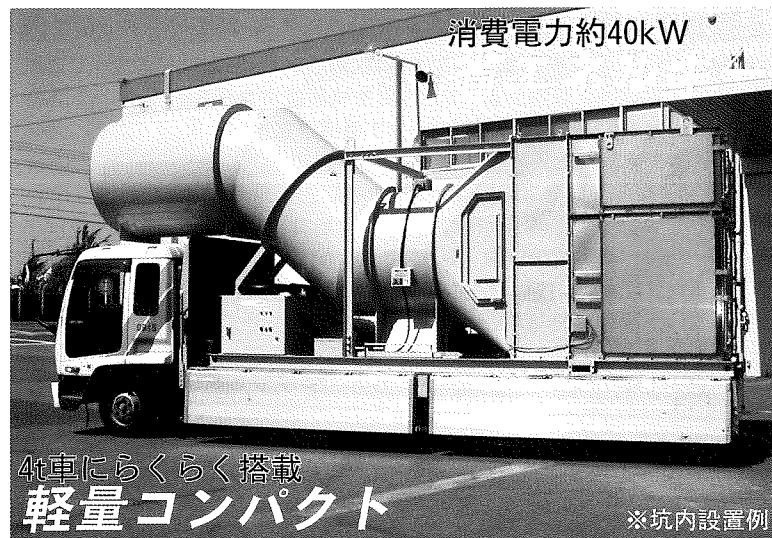
H+E Logistik GmbH  
日本代理店



山崎マシーナリー株式会社

担当: 富樫

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



消費電力約40kW



取扱レンタル商品

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

4t車にらくらく搭載  
軽量コンパクト

※坑内設置例

National電気集塵機クリンジェット(2,000m<sup>3</sup>/minタイプ)

株式会社 レント

特機営業課 担当者 工藤

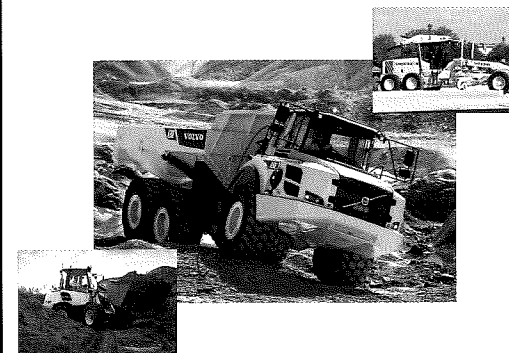
〒134-0093 東京都江戸川区二之江町1409-1 TEL: 03-5667-7803 FAX: 03-3804-6053

URL: <http://www.rent.co.jp> E-mail: [kudo.yuji@rent.co.jp](mailto:kudo.yuji@rent.co.jp)

VOLVO 建設機械

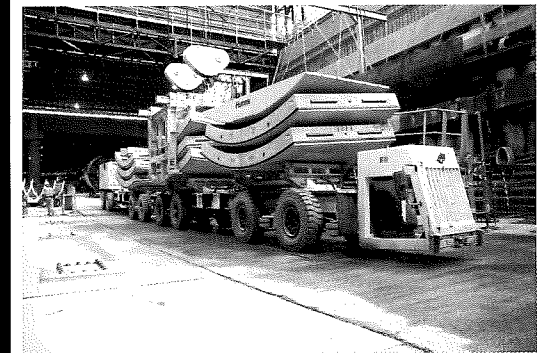


高い作業性とクールなデザインが人気  
年々強化される排ガス規制にも対応



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

多目的運搬台車  
4次オフロード法取得 レールからの解放



TMS社 日本代理店  
担当: 富樫



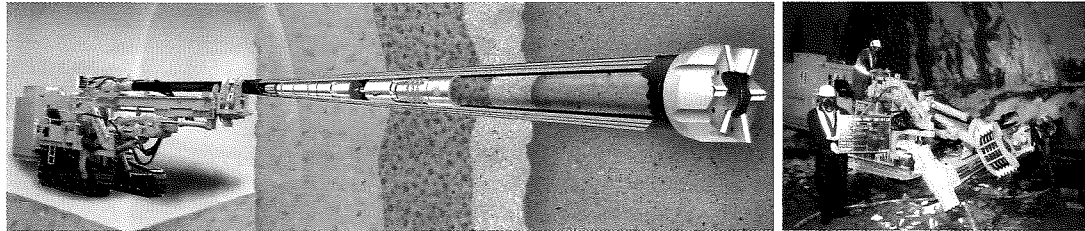
山崎マシーナリー株式会社

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

# トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

## パーカッションワイヤーライン サンプリング工法

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



**KOKEN** 鉦研工業株式会社

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

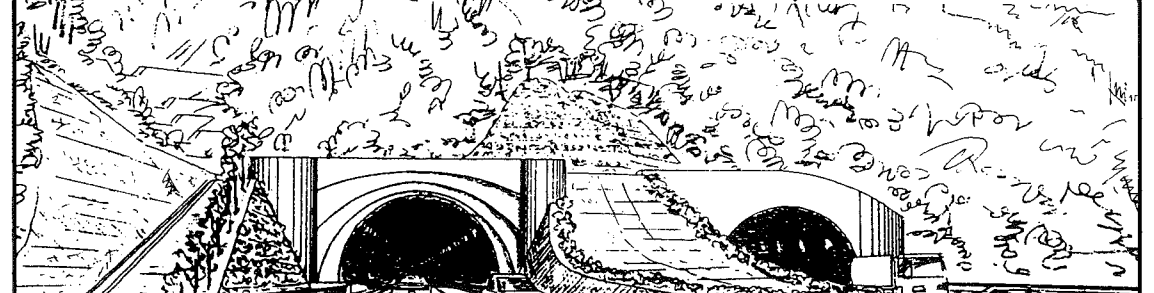
お問合せ先: エンジニアリング本部 エンジニアリング部  
TEL 03-6907-7512 FAX 03-6907-7522

<http://www.koken-boring.co.jp>

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

# 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

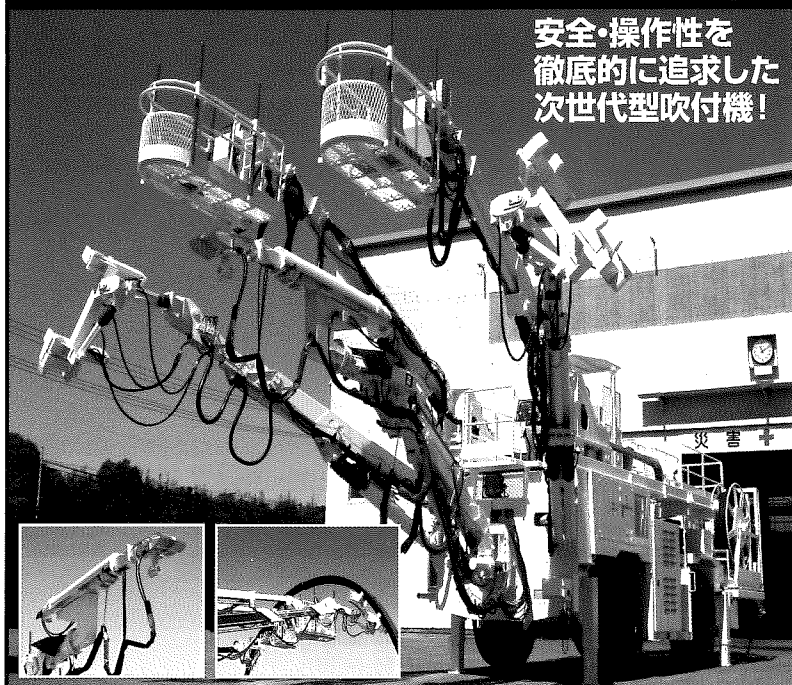
会長 田島利男 代表取締役社長 清水洋(技術士)  
(技術士・土木学会フェロー会員)  
常務取締役 堀内浩三郎(工学博士) 大阪支店長 亀甲谷義高(技術士)

本社: 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目24番7号 電話(03)3891-0711  
大阪支店: 〒569-1133 大阪府高槻市川西町2丁目21番38号 電話(072)691-0711  
福岡支店: 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前4丁目25番14号 電話(092)436-1588  
沖縄営業所: 〒901-2122 沖縄県浦添市勢理客4丁目16番9号 電話(098)870-6411

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



安全・操作性を  
徹底的に追求した  
次世代型吹付機!



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

**T&M**  
Tunnel & Mining

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

〒569-0836  
大阪府高槻市唐崎西2-26-1

### ＜東日本カンパニー＞

■北日本支店  
北海道営業所 TEL:0133-72-3715  
東北営業所 TEL:0197-71-2405  
■東日本支店 TEL:0268-62-1426  
浜松営業所 TEL:0538-66-0166

### ＜西日本カンパニー＞

■大阪支店 TEL:072-677-2101  
■九州支店 TEL:0982-26-2111  
福岡営業所 TEL:092-976-6331

〔好評発売中〕

# 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 円340円

## 主要目次

### 序編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

### 第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

### 第II編 トンネル工事と地質条件

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

### 第III編 地質調査法

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

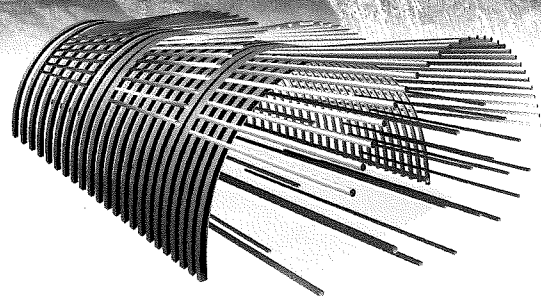
### 第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

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

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

株式会社 **土木工学社**

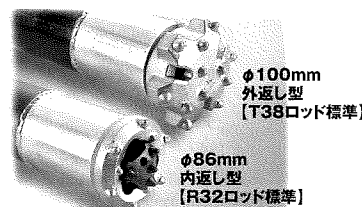
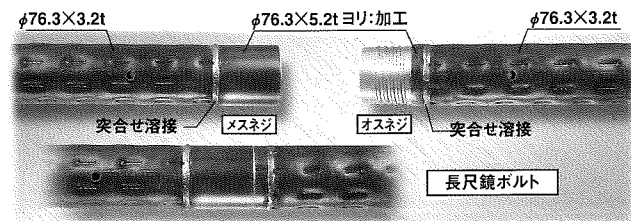
〒162-0832 東京都新宿区戸町16マイジャー神楽坂  
電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072



NETIS登録No.KK-160026-A

## ストロング FIXチューブ(S型)

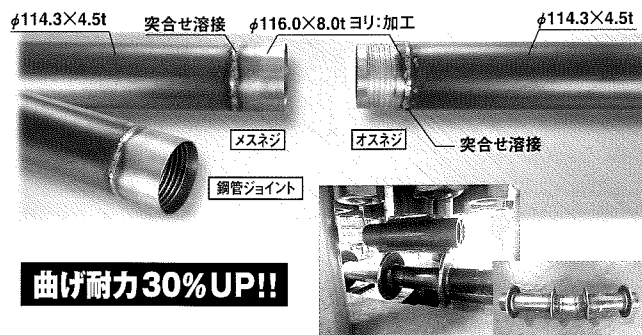
- ※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
- ※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
- ※鋼製シー스로環境に優しい無拡幅施工!



NETIS登録No.KK-150045-A

## AGF-STD工法

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

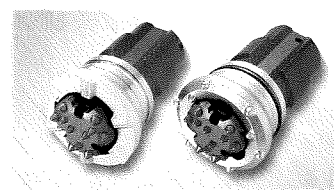
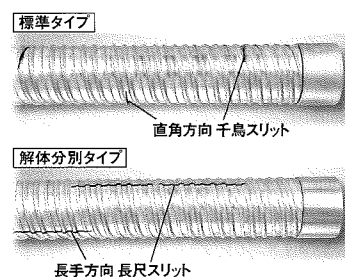


曲げ耐力30%UP!!

(報告書あります)

接続部の抗折力試験

撤去管の選択



STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングピッチ
100A	φ114.3	φ124

## 注入材・その他工法

NETIS登録No.KK-110040-A

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

STE

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

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2  
TEL:072-990-0250 FAX:072-990-0251

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

# 濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

## 環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0 m<sup>3</sup>/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

### 【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

### 《汎用車両全般》



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



10T ミキサー



10T ダンプ



4.5 m<sup>3</sup>ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ

各種車両 取り扱っております

株式会社 フジテックス

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

## ■巻頭言

### 大規模プロジェクトによる技術革新

西海 健二 ..... 5

## ■研究

### 噛合せ(JES)継手構造物の耐震性能の評価と設計法

安保 知紀・清水 満・山田 宣彦・栗栖 基彰 ..... 61

## ■施工

### 3mの土かぶり地盤切削ワイヤーを用いた非開削工法により小断面函体を構築 —しなの鉄道田中・大屋間 蛇川橋梁—

西村 知晃・唐戸 裕二・栗栖 基彰・鈴木 勇造 ..... 7

### 斜面斜交型坑口で斜め支保工を採用しトンネルを貫通

#### —国道289号 八十里越7号トンネル—

唐澤 忠雄・柳沢 一俊・原島 大・諏訪 至 ..... 17

### 電力ケーブルが輻輳するトンネルの埋設型枠を用いた補強対策

野畑 拓也・岡 滋晃・内藤 幸弘 ..... 27

### 地下鉄4線と送水管2本に並列近接したシールド施工と切羽での支障物撤去

#### —国道479号 清水共同溝—

廣田 知夫・杉原 翔太・織田 孝之・鈴木哲太郎 ..... 49

## ■連載講座

### トンネル新技術への挑戦(16)

#### —トンネル切羽から行う短尺・中尺先進ボーリング—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 ..... 73

## ■現場だより

### 「東南アジアの未来都市」シンガポールより

藤田 俊弥 ..... 26

## ■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

### きれいなコンクリートよりは美しいコンクリートを

原 秀利 ..... 37

## ■資料

### 土木情報

編集部 ..... 36

### 工法・技術・製品ニュース

編集部 ..... 72

### トンネルジャーナル

編集部 ..... 60

## ■会報

### 会報

日本トンネル技術協会 ..... 84

### 【表紙説明】

斜面斜交型坑口で斜め支保工を採用しトンネルを貫通  
—国道289号 八十里越7号トンネル—



国道289号7号トンネルの起点側坑口部(貫通側)の地形は、典型的な斜面斜交型の坑口である。トンネル坑口と付近を通る工事用道路の高低差が約20mあるため、工事用道路の一部を占有する栈橋を構築する案が検討されたが、工事用道路は他工区の車両も通行するため道路の占有は不可能であった。このようなアクセス不可能なトンネル坑口における貫通方法について、工程・経済比較を重ねた結果、「斜め支保工」方式を採用し貫通させた。写真は、完成した坑口全景である。

〔写真提供：国土交通省〕(本文17頁参照)

## ヤマモト

(くがんき)

無騒音 無振動 静かな破砕

超大型油圧破砕機

# YTB1120

## トンネルビッカー

### ヤマモトロックマシン株式会社

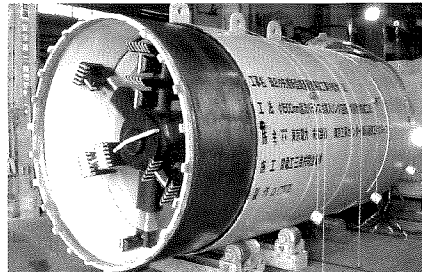
本社 東京都千代田区丸の内2丁目4番1号 丸の内ビル 903区  
☎ (03)3201-0701(代)

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

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

# 超流バランスセミシールド工法 超流セミシールド協会

貫入リング押し回転切削型接合工法



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

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法



φ1016mm鋼管対応リターン回収機能付掘進機

- ① 地下水位以下の施工が可能
- ② 高水圧対応

- ③ 長距離・曲線施工
- ④ 到達立坑不要

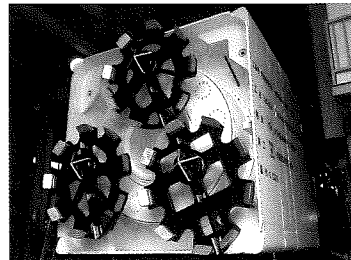
### 密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法の特徴

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

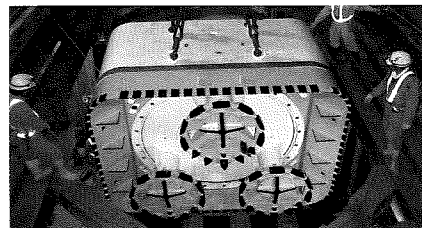
# ボックス推進工法

## ボックス推進工法協会 NETIS QS-100019-A

多軸自転・公転掘進機(内空寸法□3000×3000)



多軸自転・公転掘進機(内空寸法□2800×1800)

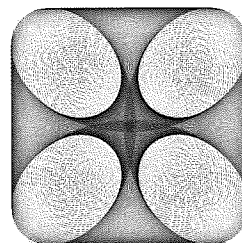


- ① 経済性
- ② 工期短縮
- ③ 狭路施工技術

- ④ 地表面への影響低減
- ⑤ 短距離からの施工

### ボックス推進工法の活用例

- 電力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

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

## 協会事務局・技術本部 株式会社 アルファシビルエンジニアリング



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

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

※各工法協会名簿については、ホームページをご参照下さい。

## 総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

### (主 査)

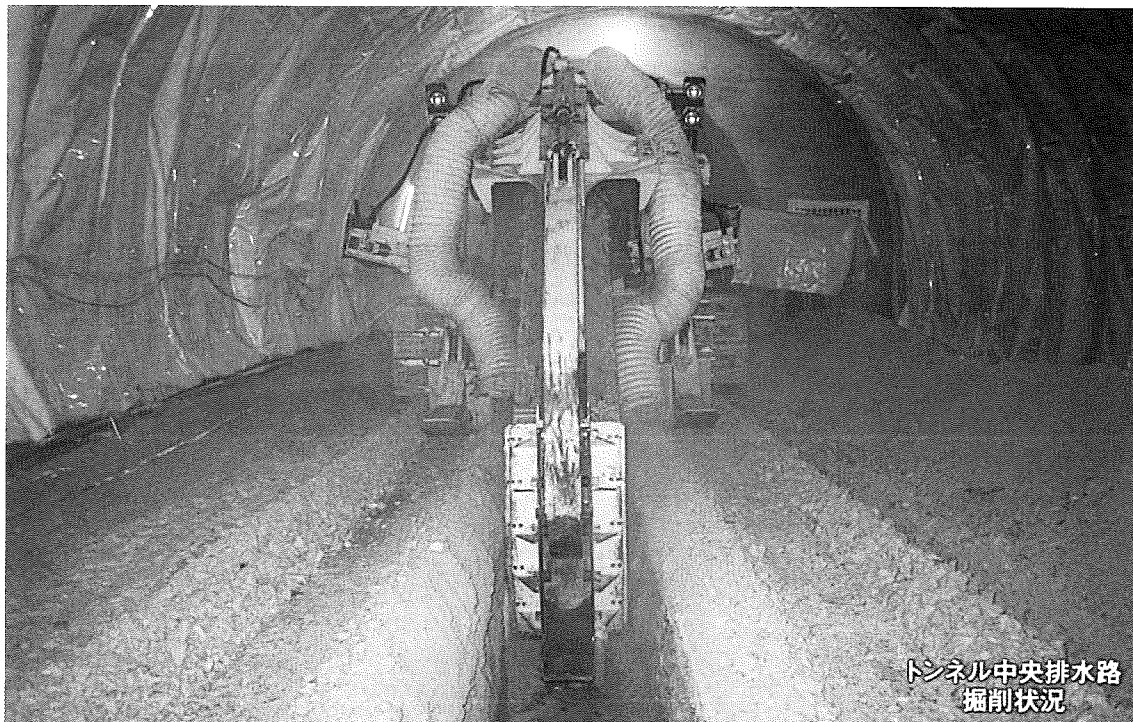
小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

### (幹 事)

居 相 好 信 株式会社大林組生産技術本部統括部長	藤 井 義 文 株式会社竹中土木常務執行役員
伊 藤 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	松 原 利 之 飛鳥建設株式会社技術研究所所長
江戸川 修 一 清水建設株式会社土木技術本部 地下空間統括部長	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
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	八 木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当) 道路研究部トンネル研究担当部長
見 坂 茂 範 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
西 岡 和 則 鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長 (兼)土木管理本部土木工務部トンネルグループ長	渡 邊 修 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長

# トレンチャー

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路掘削状況



施工例

トレンチャーによる施工

## トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D6	M3
メーカー名	テスメック	テスメック	テスメック
掘削幅 (最大)	60 cm	75 cm	90 cm
掘削岩の硬さ	500kg/cm <sup>2</sup>	700kg/cm <sup>2</sup>	800kg/cm <sup>2</sup>
重量	36 t	40 t	40 t
長さ	13.0 m	10.8 m	11.2 m
幅	2.5 m	3.2 m	2.67 m
高さ	3.30 m	2.86 m	3.41 m
エンジンの出力	300 PS	402 PS	350 PS

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

## 編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

### 〔編集委員長〕

小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

### 〔編集参与〕

大島 洋 志 国際航業株式会社技術本部最高技術顧問 首都大学東京客員教授	真下 英 人 一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所所長
木谷 日出男 国際航業株式会社フェロー技術本部 土地地盤研究担当	松浦 将 行 地方共同法人日本下水道事業団理事
今田 徹 東京都立大学名誉教授	山田 隆 昭 東日本高速道路株式会社参与 (シニアエキスパート)

### 〔委員〕

砂金 伸 治 国立研究開発法人土木研究所つくば中央研究所 道路技術研究グループ(トンネル)上席研究員	平野 隆 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 技術基準担当課長
岡野 法 之 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室室長	八木 弘 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当) 道路研究部トンネル研究担当部長
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長	安田 智 東京都交通局建設工務部計画改良課長
中井 宏 東京都下水道局建設部設計調整課長	山本 武 史 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐
中谷 誠 一 東京都水道局建設部工務課長	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

**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

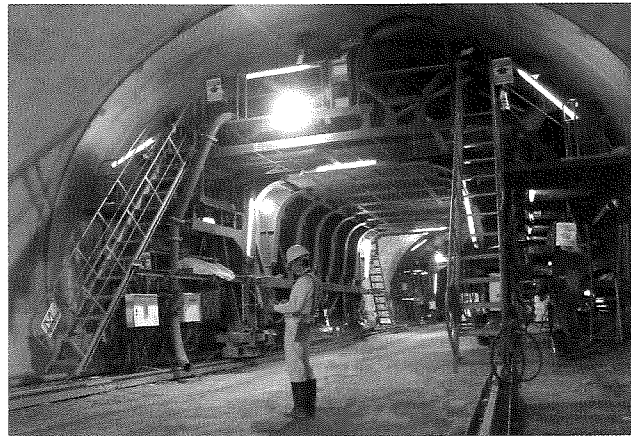
☎(026)213-7024(代) FAX(026)282-5803 <http://www.wkk.co.jp/>

特許  
取得済

# 表面温度センサ!

NETIS登録番号 QS-110040-VE

【スマートセンサ型枠システム・セントル仕様】  
無線なので打設毎の配線手間が不要!



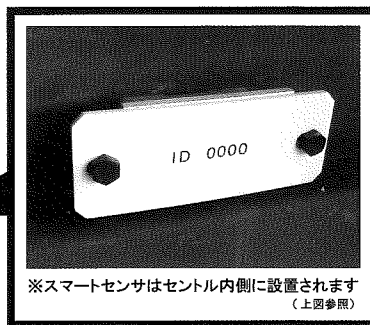
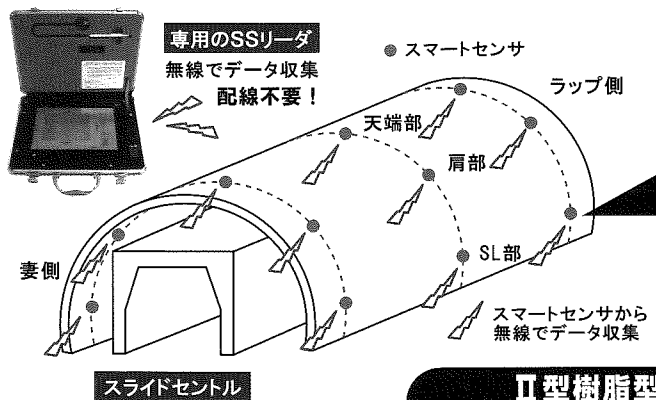
## スマートセンサ型枠システム 【セントル仕様】の特長

### コンクリート表面温度を 自動計測!

コンクリートの表面温度や型枠周辺温度、  
打設開始・脱型時期を記録します。

### 専用リーダーでデータを 読み取り!

表面温度や推定強度はグラフやカラー  
マッピングで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  
ができます。



## NETIS標準仕様見積り単価

※ スマートセンサシステム  
(1セット=1断面5台×3列=15台) \* セントル本体は別途

・ 使用料金... ~~140,000円~~ → **20,000~90,000円** / 打設回数

・ 取付け・調整料金... 400,000円・回/1セット (センサの穴あけ別途)

・ 取外し・校正料金... 400,000円・回/1セット (センサ部分の穴埋め別途)

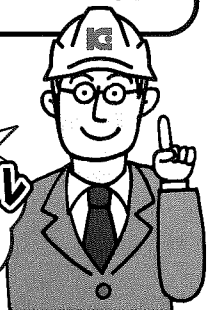
※ SSリーダー

・ 使用料金... 2,500円/日 (基本料金含む)

・ 諸経費・一般管理費 (技術指導・動作確認含む)

## II型樹脂型枠完成キャンペーン!! 打設回数が多いほど単価がお得!

使用料金がより  
**リーズナブル**  
になりました!



児玉株式会社 & 東京大学 大学院工学系研究科 建築材料研究室

共同研究開発 特許製品

児玉株式会社 エンジニアリング事業部

〒812-0042 福岡市博多区豊2-4-23 TEL: 092-474-5360

Email: engi.office@kodama-boss.jp

## トンネルと地下 VOL.48 No.3 掲載概要

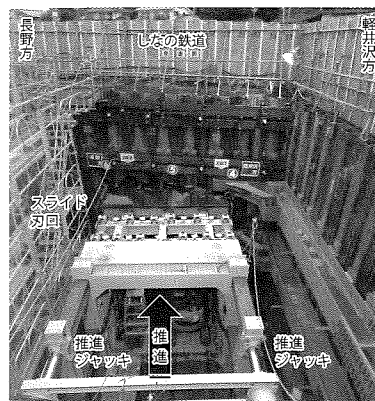
掲載頁  
7

3mの土かぶり地盤切削ワイヤーを用いた非開削工法により小断面函体を構築  
—しなの鉄道田中・大屋間 蛇川橋梁—

鉄建建設(株) 西村 知晃

COMPASS工法 (COMPAct Support Structure method) は、線路下に人道や水路などの小断面のボックスカルバートを構築する非開削工法であり、比較的土かぶりが小さい場合に適用されていた。

これまで、COMPASS工法は6件の施工実績があり、本工事が7例目であるが、最大土かぶりが3m以上となるのは今回が初めてであった。列車運行に対し更なる安全性を確保するため、各施工段階において計測・管理体制を検討し、対策工を実施して施工を完了した。本稿では、COMPASS工法の施工方法と各種検討した結果および実施した対策について施工結果を交えて報告する。



Install Small Box Tunnel Three Merter Underground Using Trenchless Technique with Cutting Wire—Hebikawa Bridge between Tanaka and Oya on the Shinano Railway—

By Tomoaki Nishimura, Tekken Corporation

The COMPASS method (COMPAct Support Structure method) is a trenchless technique which is used to construct small box culverts such as pathways and water channels underneath railway lines and has been applied in cases in installing them comparatively shallowly.

This was the first time to install box culvert over three meter underground despite seventh uses of the COMPASS method. In order to ensure further safety for train operation, we investigated monitoring and management systems at each construction phases and implemented measures to finish them. This report contains information on the COMPASS method, the results of all investigations and construction results for the measures implemented.

写真は函体掘進状況

掲載頁  
17

斜面斜交型坑口で斜め支保工を採用しトンネルを貫通  
—国道289号 八十里越7号トンネル—

国土交通省 唐澤 忠雄

国道289号7号トンネルの起点側坑口部(貫通側)の地形は急峻な尾根地形を呈しており、斜面はトンネル軸線方向に対して28°の角度がついており典型的な斜面斜交型の坑口である。また、トンネル坑口と付近を通る工用道路の高低差は約20mあり、貫通側からトンネル施工基面までのアクセスは、工用道路の一部を占有する栈橋を構築する案が検討されたが、工用道路は他工区の車両も通行するため道路の占有は不可能であった。

一般的にトンネルは貫通に先立って貫通側坑口の坑口付け(切土、保護盛土、置換基礎など)を行い、その後トンネルを掘削し、貫通させるのが一般的である。しかし、当該トンネルはこのような施工方法が困難な条件であったため、上述のようなアクセス不可能なトンネル坑口における貫通方法について、工程・経済比較を重ねた結果、「斜め支保工」方式を採用して貫通させた。本稿ではその適用事例について報告する。

Use Skew Steel Arched Supports in the Skew Portal on Slope to Breakthrough—National Route 289, Hachijuri-goe No.7 Tunnel—

By Tadao Karazawa, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

There was steep ridge around the origin side portal (breakthrough side) of the No.7 Tunnel on National Route 289. The slope and tunnel alignment meet at an angle of 28° which causes a skew tunnel portal. In addition, the difference of height between the portal and the nearby works road was approximately 20m. Though a temporary bridge connecting the works road to tunnel formation level was once designed to use for construction delivery, it was rejected because the bridge was designed to occupy the part of the road that the delivery to the other construction site had used.

In general construction process of tunnels, a portal at the breakthrough side is created using cutting, protective embankments, foundations, etc. before breakthrough, and then the tunnel is excavated to make a breakthrough. As it was difficult to conduct a usual construction process under such difficult conditions that did not allow to approach from outside we build the portal in advance using skew steel arch supports obtained by repeated investigation of construction process and cost and finished it. This report contains information on applying the technique.



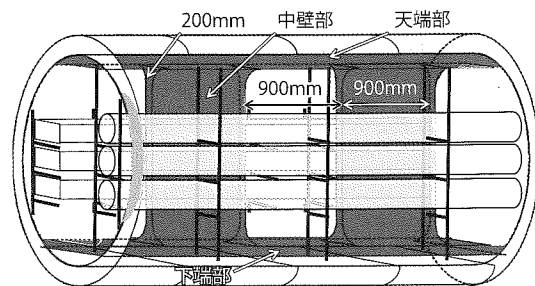
写真は越冬前貫通状況

シールドトンネルには、経年劣化や周辺地盤の変化により、内空の減少が発生しているものがある。このような場合の補強対策として、トンネル内面にコンクリートを2次巻きする管路更生工法が、まず考えられる。しかし、地中送電用トンネルでは側壁にケーブルを敷設していることが多く、有効な2次巻きスペースを確保できない。そこで、トンネル断面中央に補強用の柱体を構築し、トンネル覆工体の剛性を高めることを考えた。トンネル内ではケーブルが輻輳しており、通常の鉄筋コンクリート打設は不可能である。そのため、下水道の更生に実績のある埋設型枠を用いた工法を応用することで、柱体構築による補強を成功させた。本稿では、埋設型枠を応用するに至った経緯と施工実績について報告する。

**Reinforcing Tunnel Congested with Electricity Cables Using Permanent Formwork**

By Takuya Nobata, TEPCO Power Grid, Inc.

Inner space in some shield tunnels is reduced due to ageing deterioration and changes of ground condition. In such cases, we can first select a measure such as installing additional concrete lining on existing tunnel wall. However, in



図は補強柱体の概要

tunnels for underground power transmission, it is common for cables installed on the side walls and it is not possible to ensure an effective space to build additional lining. Consequently, we considered to install reinforcing pillars at the center of the tunnel cross-section in order to enhance strength of the tunnel. The cables congestion in the tunnel hinder to pour concrete to make RC pillars. We succeeded in reinforcing with pillars using permanent formwork which has brought good results in the rehabilitation of sewers. This report contains information on the sequence up to applying permanent formwork and construction results.

大阪市建設局発注の国道479号清水共同溝設置工事-4は、国道479号の地下に延長1,343m、セグメント外径φ5.0m、仕上がり内径φ4.6mの電気・水道共同溝を泥土圧シールド工法により構築するものである。

本シールド工事の特徴は、土かぶり6~10m(1.2~2D)と小さいこと、掘削対象土層にN値0~2の軟弱粘性土層が含まれること、重要地下構造物(地下鉄営業線4本、大口径送水管2本など)と全線にわたり近接施工となること、圧気工法を用いた地中での支障物撤去作業があること、が挙げられ、近接構造物を含む周辺への影響低減が最大の課題となった。

本稿では、重要地下構造物の近接施工における対策工、ならびに圧気工法を用いた支障物撤去工を含む施工実績について報告する。

**Shield TBM Driving Parallel to Four Subway Lines and Two Water Pipes and Removing Obstacles Ahead—National Route 479, Shimizu Utility Tunnel—**

By Tomo-o Hirota, Osaka City

The National Route 479 Shimizu Utility Tunnel Installation Works 4 was designated to construct a utility tunnel that houses electricity / water supply lines under National Route 479 using an EPB shield TBM. The tunnel is 1,343m in length and lined with segments with an outer diameter of φ5.0m and inner diameter of φ4.6m.



写真は切羽での松杭出現状況

The conditions of these shield works were: small cover of 6 to 10m (1.2 - 2D), probable existence of weak clayey ground of 0-2 in N-value, TBM driving close to important underground structures (four subway lines, two large water pipes, etc.) the whole way and removal of underground obstacles in compressed air. It was a great challenge to reduce the impact on the vicinity including nearby structures.

This report contains information on measures for constructing close to important underground structures as well as construction results including work to remove obstacles in compressed air.

鉄道構造物と道路構造物が平面交差をする箇所では、交通渋滞の軽減や踏切事故の防止のためにボックスカルバートなどによる地下化が行われることが多い。本研究では、JES継手と呼ばれる噛合せ継手を有する鋼コンクリートサンドイッチ部材から構成されるボックスカルバートを対象としている。JES継手を用いた構造物はJES構造物と呼ばれ、エレメントを地中に挿入するだけで地中構造物を構築できる工法として開発され、これまでに多くの施工実績がある。しかし、地盤の変形が大きい土質条件や液状化が想定されるような地盤への適用に対しては確立された耐震設計法がなく、簡易な検討法や載荷試験により耐震検討を行っていた。

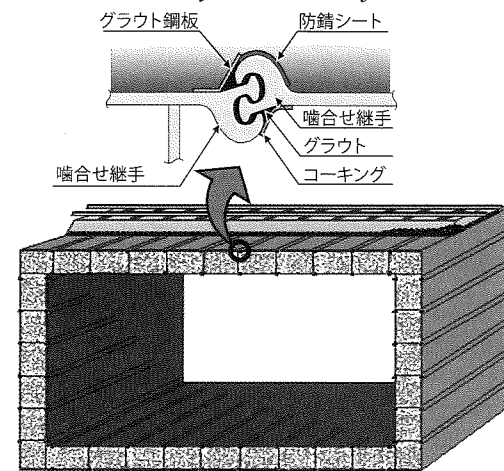
本研究では、模型試験や数値解析によりJES構造物の耐震性能を定量的に算定できる手法を構築し、さらにこの手法を応用することでJES部材を線材でモデル化した静的非線形骨組み解析による耐震設計を可能とした。

**Seismic Evaluation and Design Method for the Structure Connected with Bitten (JES) Joints**

By Tomonori Abo, Tekken Corporation

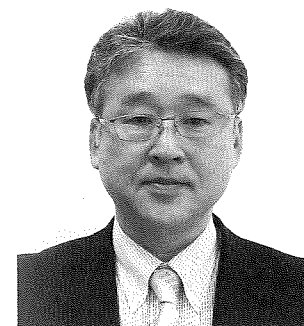
Some grade separating projects had been promoted through installing box culvert and so on in order to remove level crossings for reducing traffic congestion and accidents. This study targets box culverts that are composed of steel-concrete sandwich members using bitten joints, called 'JES joints'. Structures using JES joints are called 'JES structures' which was developed as methods that enable to construct structures underground jacking elements into the ground and have been used at many site. However, there has been no aseismic design method established for application to design under the ground condition such as ground deformation can be estimated to enlarge or liquefiable ground. Seismic evaluation have been analysed using simple evaluation methods or load test results.

This study constructed a method that made it possible to quantitatively evaluate aseismic performance of JES structures through model tests and numerical analysis and further, through application of this method aseismic design become available using static non-linear frame analysis that models JES materials as frames.



図はJES構造の概要

## 大規模プロジェクトによる技術革新



新日鐵住金(株)建材事業部建材開発技術部長(本協会評議員)

西海 健二

当社は、シールドトンネル用合成セグメントの製造販売を行っており、日本トンネル技術協会に参加させていただいているが、私は入社当時に、セグメントの開発業務を担当していた。当時は、道路分野では東京湾アクアラインの設計が、鉄道分野では都営地下鉄大江戸線やつくばエクスプレスの計画が進められており、また、「ジオフロント」という言葉で大深度の地下空間の有効利用が検討された華やかな時代であった。

ジオフロントとは、地上の構造物が密集した過密都市において、地価の高騰や環境問題に対応するため、未利用である大深度地下空間の有効利用を図る構想であった。都市の容積率を上げた立体的な都市づくりと、都市基盤(道路、鉄道、エネルギー、ごみ処理施設など)の整備をあわせた開発構想である。ラッシュ時の混雑緩和を目的として、大深度の高速鉄道網が検討されるとともに、当時の通産省や科学技術庁も自然災害の影響が少ない地下空間に研究施設やエネルギー貯留設備の建設を計画していた。数年後に急激な資産価格の下落によりバブル崩壊に至ったが、ジオフロントの取組みは脈々と継続され、2001年「大深度地下の公的利用に関する特別措置法」の施行、各種研究施設・エネルギー貯留施設を実現するとともに、トンネル建設技術の飛躍的發展を果たしている。

当時私は、大深度地下での鉄道トンネル建設を対象とした委員会に参画し、地上部の建物荷重や大深度空間での人間の上下移動に関する調査の手伝いを行っていた。また、複数トンネルの分岐合流などを想定した、自由断面・異形断面のシールドトンネルの断面設計なども行い、新しい高耐力セグメントの開発を担当してきた。私が携わったトンネルの設計技術の進歩のみならず、シールドの大型化・自動化および施工技術に関する技術革新は目覚ましいものであった。また、東京湾アクアラインのプロジェクトでは、国家プロジェクトとして進められたが、その実現の中で数多くの技術開発が進められてきた。

東京湾アクアライン(東京湾横断道路)は神奈川県川崎市と千葉県木更津市を結ぶ、全

# 管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

## コンクリートトータル養生システム

### セントル型枠

加温しながら初期強度を上げる  
加温養生(型枠)



### 第二養生

加温と湿潤を同時に行い品質向上  
加温・湿潤養生



### 第三養生

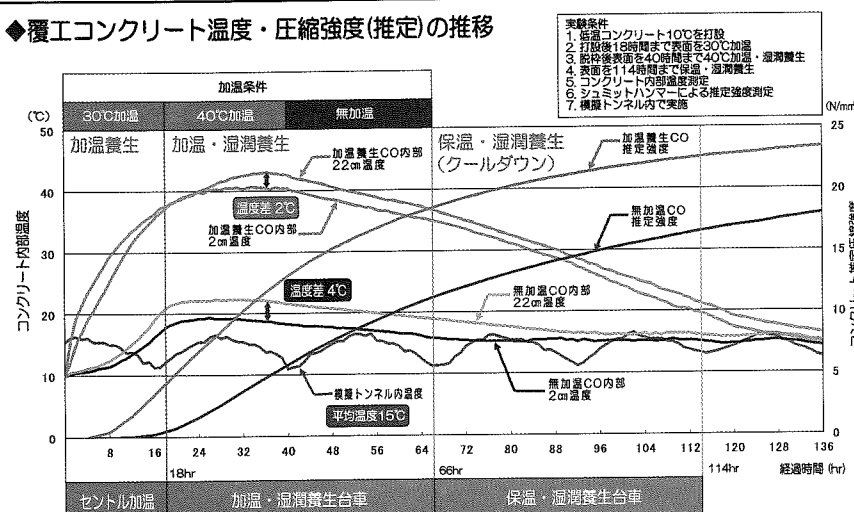
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ  
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理  
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

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

【製作・販売協力】  
TECHNO  
テクノプロ株式会社

東 宏  
株式会社

長15.1kmの自動車専用道路であるが、途中の木更津人工島から川崎側の9.5kmがシールドトンネルで施工されている。このトンネルの建設は非常に難工事であったと数多くの文献で報告されている。まず、海底面から20m前後に超軟弱地盤が堆積していたため掘削時の安定が非常に困難であった。また、6気圧という高水圧に対する止水性の確保、人工島からシールド4台の発進、そしてシールドどうしの地中接合と数多くの課題を乗り越えることに成功した。さらに外径14.14mのシールドは当時世界最大のシールドであり、セグメントの自動組立てシステムが搭載された。1997年に東京湾アクアラインが供用された当時、私は千葉県木更津近辺に勤務していたこともあり、数多くの技術開発の結晶として完成した東京湾アクアラインを利用して、恩恵に与かった次第である。

全く話が変わるが、最近、石見銀山、生野銀山、別子銅山を訪れる機会があった。石見銀山は1500～1923年まで、生野銀山は1542～1973年まで、別子銅山は1691～1973年までと、ほぼ同時期に活用されていた鉱山である。その中で、生野銀山の概要を説明すると、1542年から本格的に銀の採掘がはじまり、江戸時代には佐渡金山、石見銀山と並び天領として徳川幕府の財政を支え、最盛期には月産約562kgの銀を算出した。明治に入って日本初の官営鉱山となり、近代化が進められ、三菱合資会社に払い下げられて、国内有数の鉱山として稼働してきたが、1973年に閉山した。坑道の総延長は約350km、深さ880mに達している。坑道内の一般見学も可能であり、江戸時代の人力掘削による坑道と、明治以降に削孔機、発破、揚重機などを用いた坑道の両方が見学できるので、当時の坑道建設技術の進歩を目の当たりにすることができる。また、鉱山の坑道掘削においても現在のトンネル建設と同様に常に地質と水との闘いであったことが興味深い。

現在も、東京外かく環状道路やリニア中央新幹線など大規模なプロジェクトの建設が進められている。東京外かく環状道路は、外径16mの大断面でかつ大深度地下で施工され、また地中拡幅など多くの技術課題がある。リニア中央新幹線は、品川～名古屋間286kmの内、約86% (246km)がトンネルであり、とくに南アルプスを貫く全長25kmの長大トンネルは長さだけでなく、土かぶりも1,000m以上に達することから難工事と予想されている。さらに、品川駅および名古屋駅では大深度での駅舎建設も新技術の導入が必要である。しかし、このような大規模プロジェクトを通して、技術革新によりプロジェクトを達成することにより、さらに日本のトンネル建設技術が発展すると期待できる。

## 施工

# 3mの土かぶり地盤切削ワイヤーを用いた非開削工法により小断面函体を構築

—しなの鉄道田中・大屋間 蛇川橋梁—

鉄建建設(株)土木本部地下・基礎技術部地下構造グループリーダー 西村 知 晃  
鉄建建設(株)関越支店(旧)金原作業所所長 唐 戸 裕 二  
鉄建建設(株)土木本部部长 栗 栖 基 彰  
(株)ジェイテック工事管理本部工事部課長 鈴 木 勇 造

## 1 はじめに

本工事は、長野県東御市本海野地内の一級河川金原川改修に伴い、しなの鉄道田中・大屋間32k515m925付近において、線路下を横断する水路(RCボックスカルバート：内空幅3.1m、内空高さ2.8m、延長18.0m)を非開削工法(COMPASS工法)にて新設する工事である。

これまで、COMPASS工法は6件の施工実績があり、本工事が7例目であるが、最大土かぶりが3m以上となるのは今回が初めてであった。列車運行に対し更なる安全性を確保するため、各施工段階において計測・管理体制を検討し、実施した。また、本工事では、函体掘進部の地山がN値2程度の砂質土であったため、函体周囲の止水に加え、掘進部の地山強化の薬液注入工を実施した。本稿では、COMPASS工法の施工方法とその施工結果について報告する。

## 2 COMPASS工法の概要

COMPASS工法(COMPAct Support Structure method)は、線路下または道路下横断構造物のう

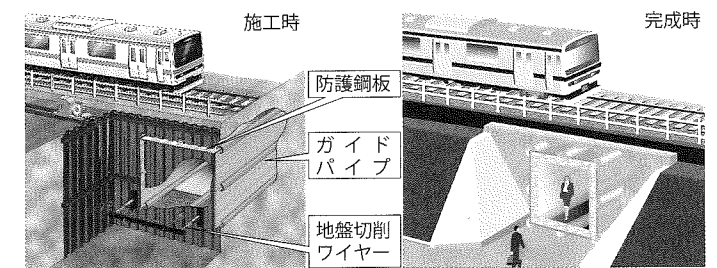


図-1 COMPASS工法概要図

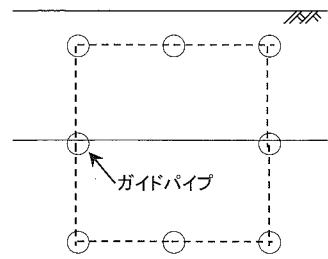
ち、おもに小断面の人道や、水路ボックスカルバートなどの構造物を構築する非開削工法である<sup>1)</sup>。工法の概要図を図-1に、図-2に施工手順を示す。また、図-3,4に施工概要図を示す。

施工は、まず地盤を切削するワイヤーなどを配置するためのガイドパイプ(塩ビ管VP300)を2m間隔程度に敷設する。計画構造物の外周4面を地盤切削ワイヤー(φ11mm)により地盤を切削した溝に、防護鋼板( $t=19\sim 22\text{mm}$ )を牽引、挿入する。そして、スライド刃口後方にプレキャストボックスカルバートを携えて、防護鋼板に囲まれた内部を掘削しながら函体掘進(牽引あるいは推進)をする。

COMPASS工法のおもな特長を以下に示す。

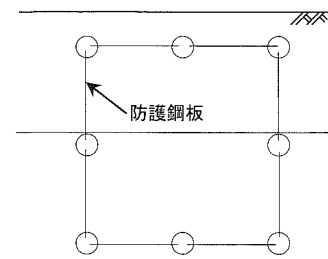
- ① 地盤切削ワイヤーにより地盤を切削すると同時に防護鋼板を挿入するため、地表面の陥没、

Step.1 ガイドパイプ設置工



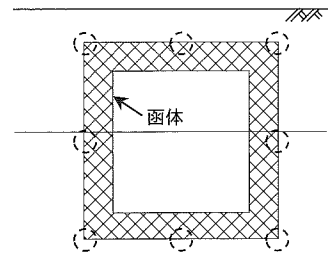
地盤切削ワイヤー走行用のガイドブーリーを挿入するために、小口径推進などによりガイドパイプを設置。

Step.2 防護鋼板挿入工



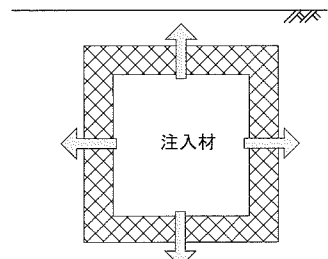
地盤切削ワイヤーにより地盤切削を行い、その後方から、牽引により防護鋼板を挿入。

Step.3 内部掘削工・函体牽引工



防護鋼板により4面囲まれた中を、スライド刃口と函体（プレキャストボックス）を接続させて、掘削しながら牽引、または推進。

Step.4 裏込め注入工



函体の目地仕上げ後、防護鋼板と函体の間隙部分に裏込め注入を実施し、函体の安定化と止水性能の向上を図る。

図-2 COMPASS工法施工手順

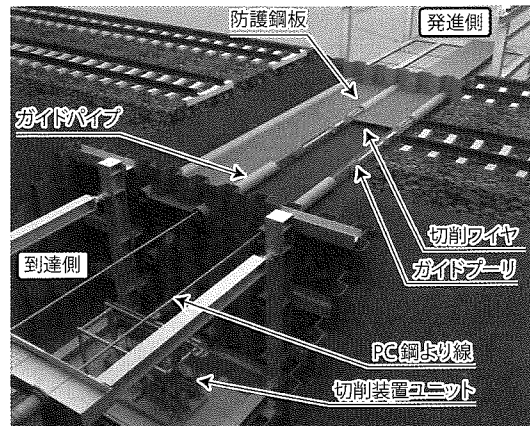


図-3 施工概要図(防護鋼板挿入)

隆起が発生しにくい。

② 掘削時に、防護鋼板の先行支持や出来形に追従できる機能を有するスライド刃口を用いるため、地表面影響を抑制した掘削が可能である。

3 工事の概要

3-1 全体工事概要

工 事 件 名：田中・大屋間蛇川橋梁改修工事

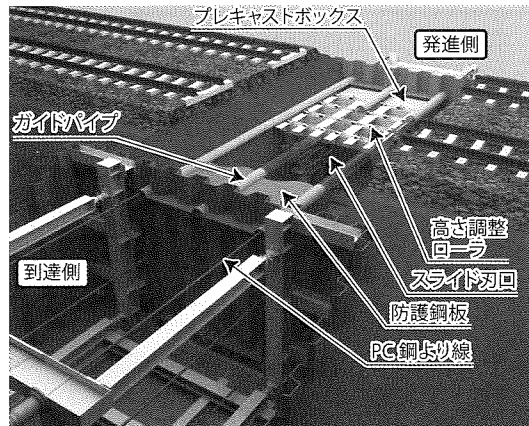


図-4 施工概要図(内部掘削・函体牽引)

事業主体：長野県上田建設事務所整備課  
発注者：しなの鉄道(株)  
監理・監督：しなの鉄道(株)技術センター  
工 期：2013(平成25)年3月28日～  
2015(平成27)年7月25日

施 工 者：鉄建建設(株)

おもな工事内容

- 路盤(薬液注入)一式
- 仮土留め工一式

- RCボックスカルバート工 一式
- 仮 設 工 一式
- 軌 道 検 測 工 一式

RCボックスカルバート(内空幅3.1m, 内空高さ2.8m, 延長18.0m)には、プレキャスト製品を採用した。

3-2 施工条件

本工事では、COMPASS工法にて鉄道営業線直



図-5 施工位置図

下の土かぶり約3mの位置にプレキャストボックスカルバートを敷設する。施工位置図を図-5に、各断面図を図-6～8に示す。

函体掘進部は、N値2程度、φ=28°の砂質土で

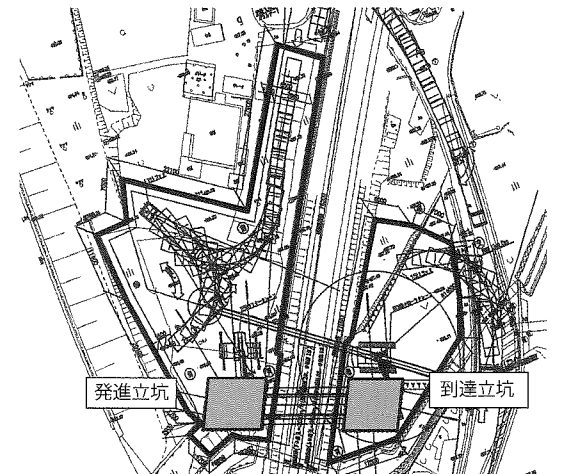


図-6 平面図(ヤード図)

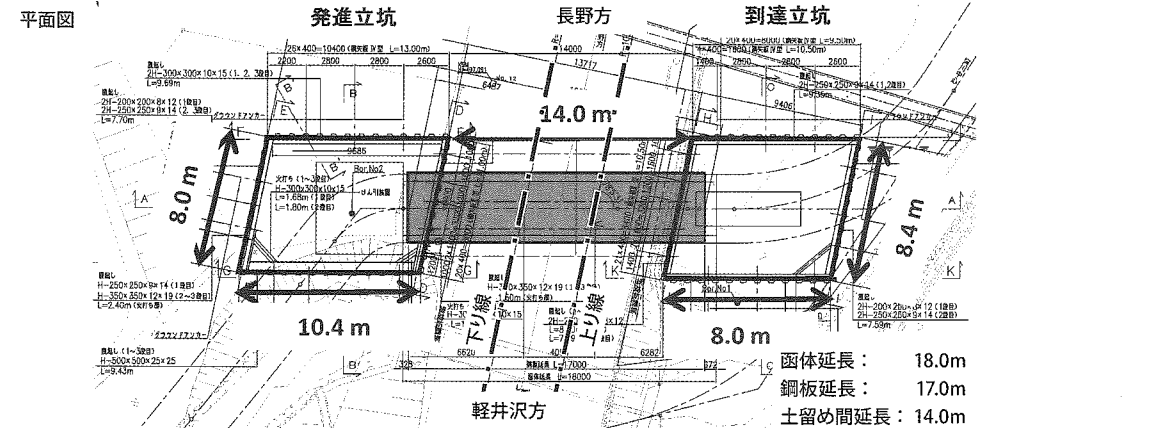
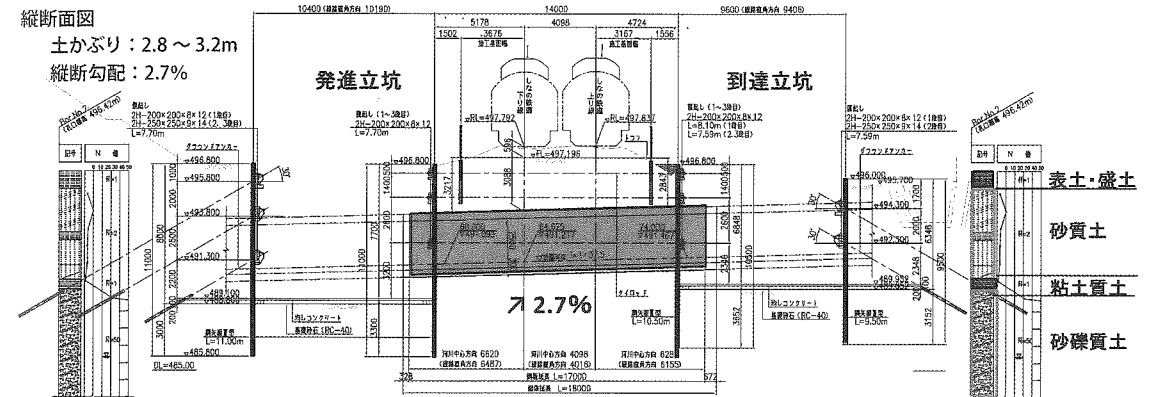


図-7 縦断面図と平面図

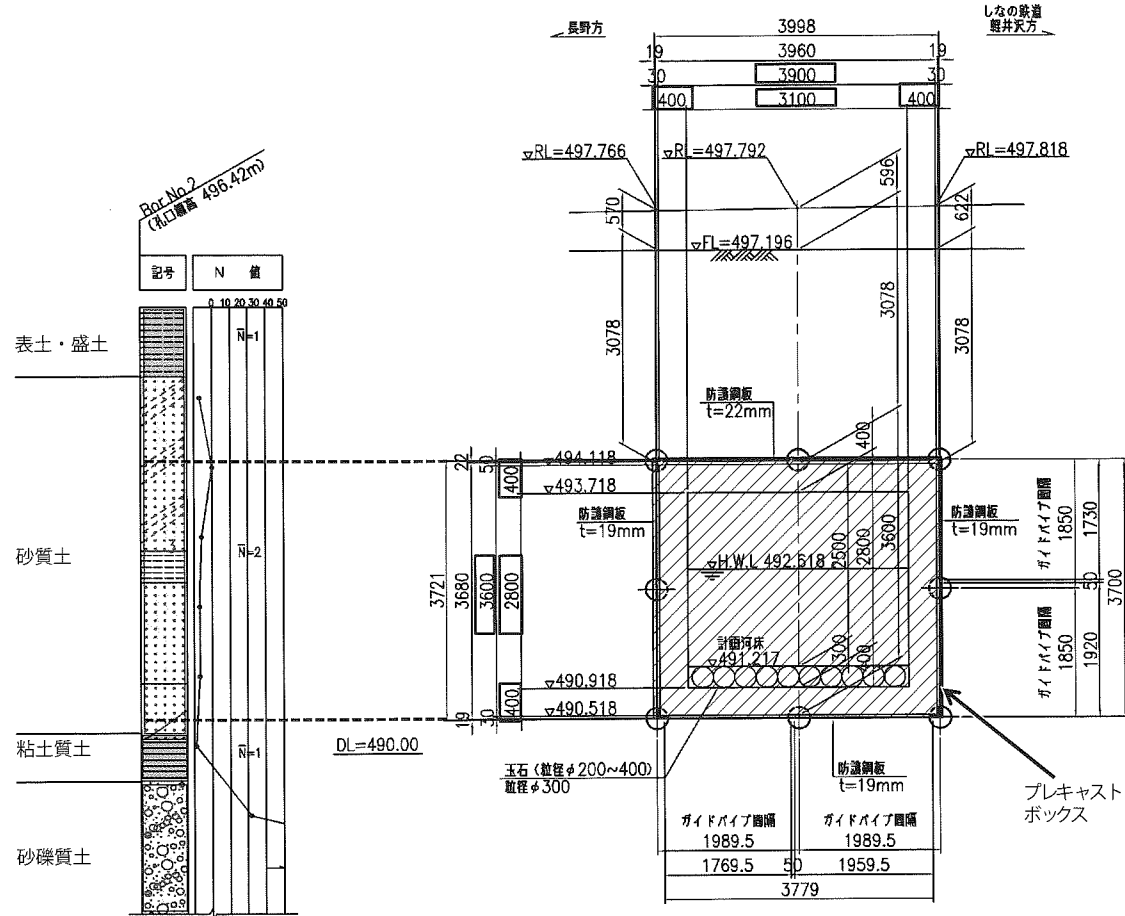


図-8 横断面図

表-1 作業区分一覧表

工種	位置	作業区分
ガイドパイプ設置工	上段3本	夜間列車作業間合
	中段2本, 下段3本	昼間作業
鋼板挿入工	上床2枚, 側壁上段2枚	夜間列車作業間合
	下床2枚, 側壁下段2枚	昼間作業
函体掘進工	全延長	夜間列車作業間合
裏込め注入孔	上床版部	夜間列車作業間合
	下床版部, 側壁工	昼間作業

ある。地下水位は、既存水路の水位と同程度と推定され、これは側壁高さの中央付近となる。ボックスカルバートの土かぶりは、2.8~3.2mである。

本工事では、各施工段階での軌道変状リスク対策を検討し、表-1に示す作業区分を設定し、施工した。鋼板挿入工については、上床および側壁上

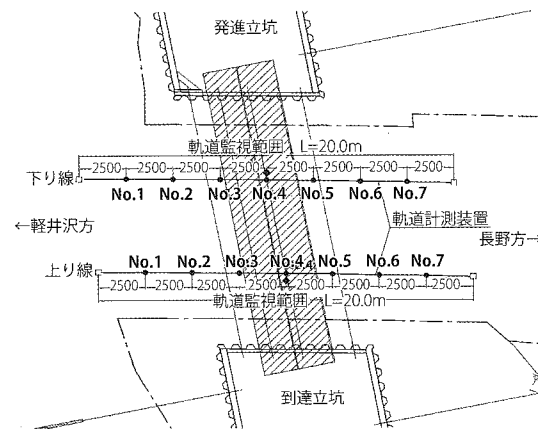


図-9 軌道計測位置図

段を夜間列車間合作業にて行った。函体掘進工は、全延長を夜間列車間合作業で実施した。夜間列車間合時間は約5時間である。

表-2 軌道管理値

	警戒値	工事中断値	限界値
軌間	±7	±14	±20
高低	±7	±19	±27
通り	±7	±19	±27
平面性	±7	±18	±23

工事に伴う軌道影響を把握するため、軌道検測を行った。軌道検測は、リンク型軌道変位計により常時軌道の高低および通り変位を計測した。測定位置を図-9に、軌道管理値を表-2に示す。測点間隔は2.5mとし、おおむねガイドパイプ上となるように設定した。軌道管理値は、軌道の整備基準値をもとに設定し、測定結果より軌道整備の計画を建てた。

### 3-3 大土かぶりに対する各種対策

COMPASS工法の土かぶりの実績は、2m以下であり、多数が1m程度である。本工事の土かぶりは約3mと大きいことから、地表面影響の抑制や円滑な施工のための各種検討を行い、対策を実施した。

#### 3-3-1 鋼板挿入工

これまでの鋼板挿入の設計牽引力式は、土かぶりの小さい箇所での施工実績から、周面摩擦係数14.4kN/m<sup>2</sup>、先端抵抗9.255kN/mとして算定していた。しかしながら、前回施工時に牽引力が設定した管理値を上回る事象が発生した。本工事においても、土かぶりが3m以上であるため、牽引力の上昇が懸念された。そこで、図-10に示す牽引力が大きくなる上床・下床鋼板の施工実績<sup>2)</sup>から牽引力の回帰式を算出し、本工事に適用した。

鋼板の単位幅あたりの設計牽引力式を(1)式に示す。牽引力の回帰式において、第1項は周面摩擦、第2項は先端抵抗を示す。

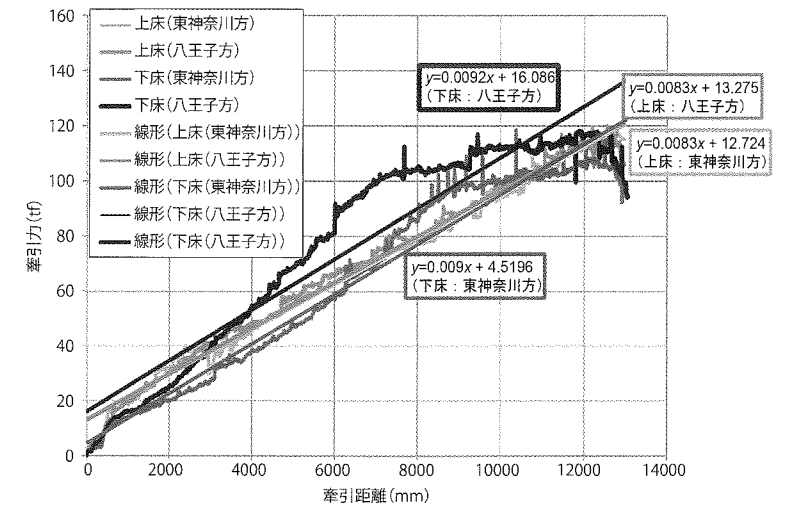


図-10 既工事における防護鋼板牽引抵抗力

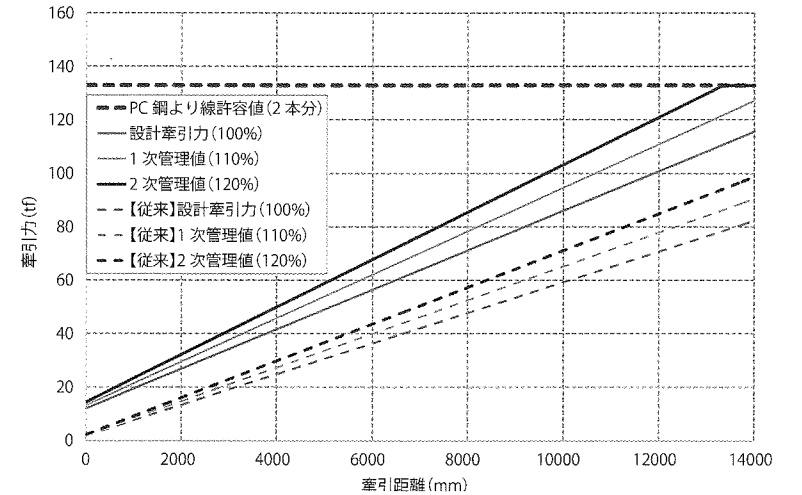


図-11 設計牽引力式の比較

$$P = 0.0037x + 60 \quad (1)$$

ここに、

$P$  : 単位幅あたりの設計牽引力 (kN/m)

$x$  : 牽引距離 (mm)

なお、設計牽引力を100%として、1次管理値は110%、2次管理値は120%とした。従来の設計牽引力式によるものとの比較を図-11に示す。

この結果、PC鋼より線の強度により決定される許容牽引力133kNに対して同程度の設計牽引となることから、鋼板挿入時に牽引力が増加した場合は既工事でも実績のある発進立坑側からの元押しを併用する計画とした。

### 3-3-2 ボックスカルバート掘進時の地山補強

COMPASS工法では、先に施工した防護鋼板がボックスカルバート掘進部より上部の土砂崩壊を防止するため、安全にボックスカルバートの掘進が可能となる。ここで、防護鋼板は土かぶり重量に対して、スライド刃口先端と地山側の切羽面先端を支点とする梁構造となる。本工事で切羽面の安定検討を実施した結果、土かぶりが大きく地盤も緩いことから、円弧すべり破壊に対する安全度が低く、地表面影響が大きくなる懸念があったため、掘削断面に地盤強化のための薬液注入を行った。検討結果を図-12に示す。

### 3-4 両立坑の変更

COMPASS工法の立坑の仮

土留め支保工は、切梁が施工に支障することがないように、グラウンドアンカーを採用することが標準である。本工事で、既存水路に近接して施工することから、一部グラウンドアンカーが採用できず、当初、大火打ちによる支保工が採用されていた。当初計画の支保工配置を図-13に示す。

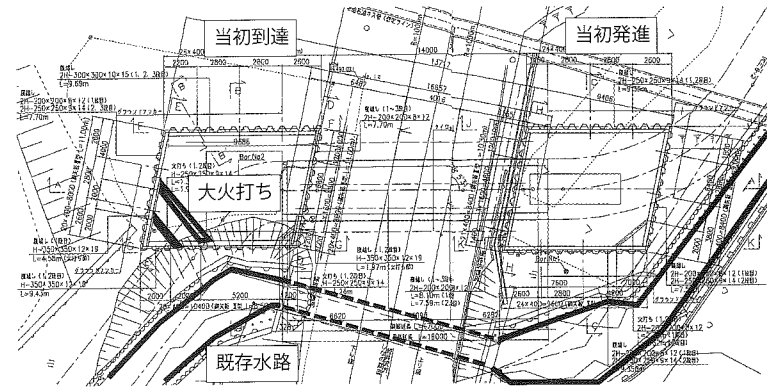


図-13 当初計画時の立坑配置

0.60	0.60	0.60	0.70	0.80	0.90	0.97
0.50	0.50	0.50	0.70	0.80	0.90	0.94
0.50	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.91
0.50	0.50	0.50	0.70	0.80	0.88	
0.50	0.50	0.50	0.60	0.70	0.84	
0.50	0.50	0.50	0.60	0.80		
0.40	0.50	0.50	0.60	0.76		
0.40	0.50	0.50	0.60	0.72		
0.40	0.50	0.50	0.60	0.67		
0.40	0.50	0.50	0.60	0.62		

最小安全率	FS MIN	=	0.456
円弧の中心	X	=	2.00 (m)
	Y	=	14.00 (m)
半径	R	=	9.49 (m)
抵抗モーメント	MR	=	133.0 (kN・m)
起動モーメント	MD	=	291.7 (kN・m)

層番号	飽和重量 (kN/m <sup>3</sup> )	湿潤重量 (kN/m <sup>3</sup> )	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )	粘着力の 一次係数	水平震度	鉛直震度
1	17.00	17.00	28.00	0.00	0.00	0.000	0.000
2	14.00	14.00	0.00	6.00	0.00	0.000	0.000
3	20.00	20.00	39.00	0.00	0.00	0.000	0.000

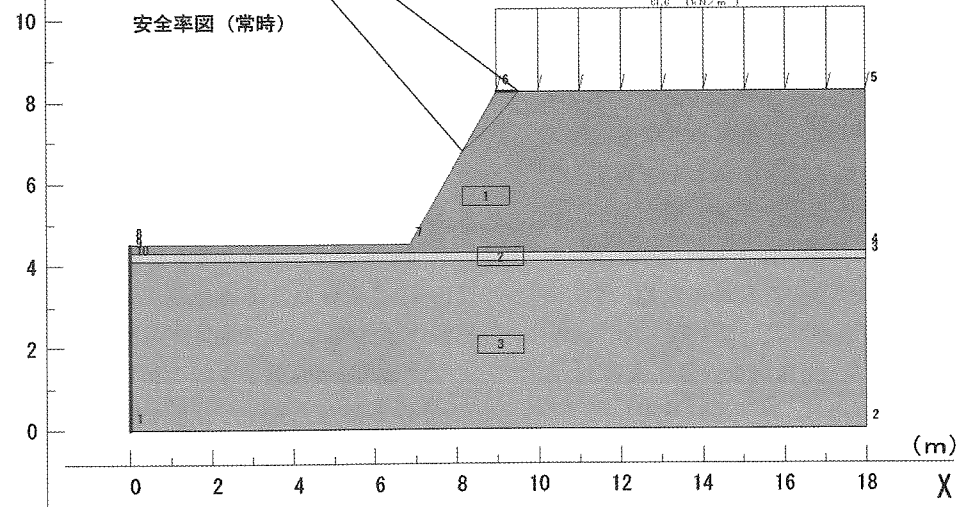


図-12 切羽面の円弧すべり検討結果

これにより、大火打ちのない側の立坑を、より作業空間が必要となる発進立坑とする計画であった。しかしながらこの計画は、住宅の近さといった周辺の環境や作業ヤードの広さ、水路の縦断勾配といった施工条件から判断する立坑配置とは逆であったことから、立坑配置の計画変更を事前に検討した。具体的には、立坑背面地盤の高さを詳細に調査し仮土留め工の詳細検討を実施して、大火打ち2列の計画から、腹起しのサイズアップと火打ち1列での施工が可能と判断した。

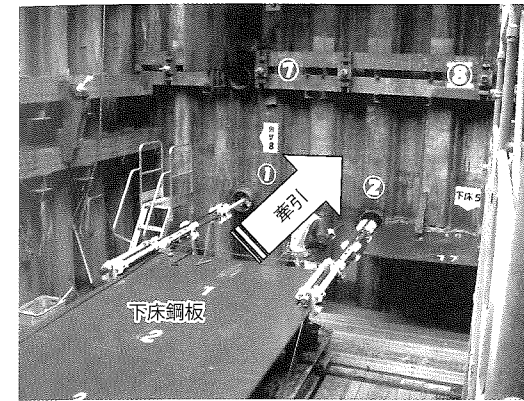


写真-1 防護鋼板挿入状況(発進立坑)

これにより、ボックス掘進は上り勾配での施工となり、またボックス掘進においては当初の発進立坑は背面が既設水路であったことから牽引で計画されていたが、立坑変更により推進での施工が可能となった。

## 4 施工結果

### 4-1 鋼板挿入の施工結果

防護鋼板の挿入状況を写真-1,2に示す。鋼板挿入時の牽引力管理図を図-14に示す。前述の(1)

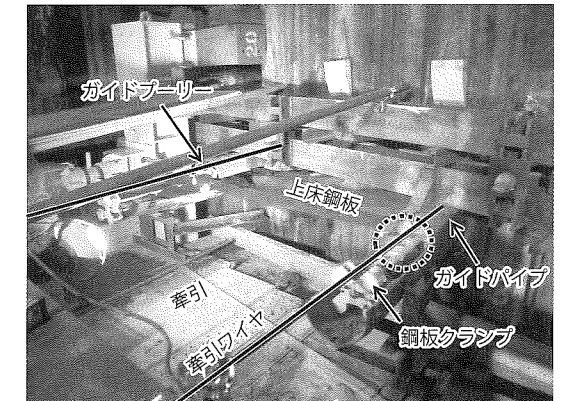


写真-2 防護鋼板挿入状況(到達立坑)

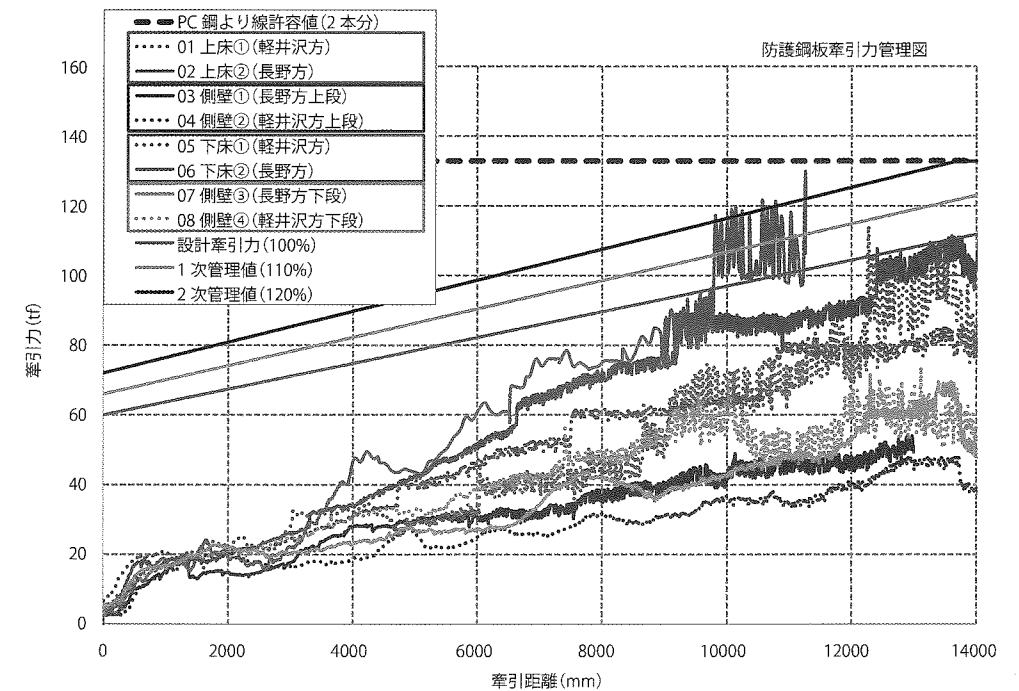


図-14 防護鋼板牽引力管理図

表-3 鋼板挿入工管理項目

	計測値	管理値
ワイヤー張力 (MPa)	6.7~8.1	10
主ブーリー圧力 (MPa)	1.75	3.5

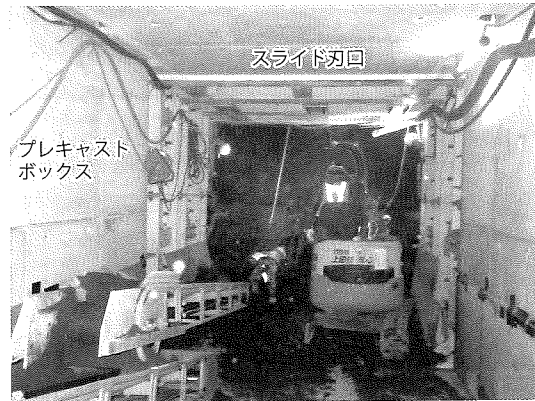


写真-3 内部掘削状況

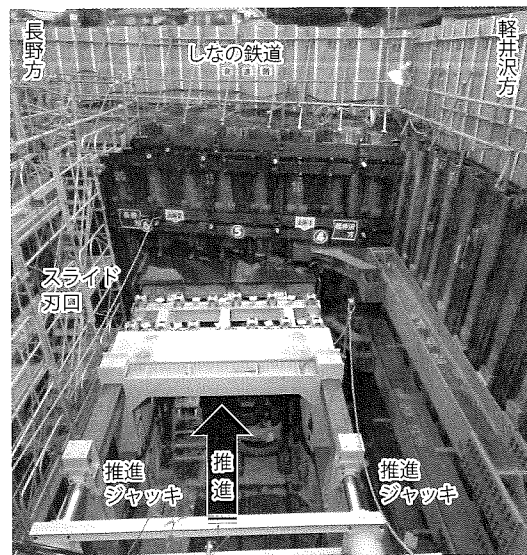


写真-4 函体掘進状況

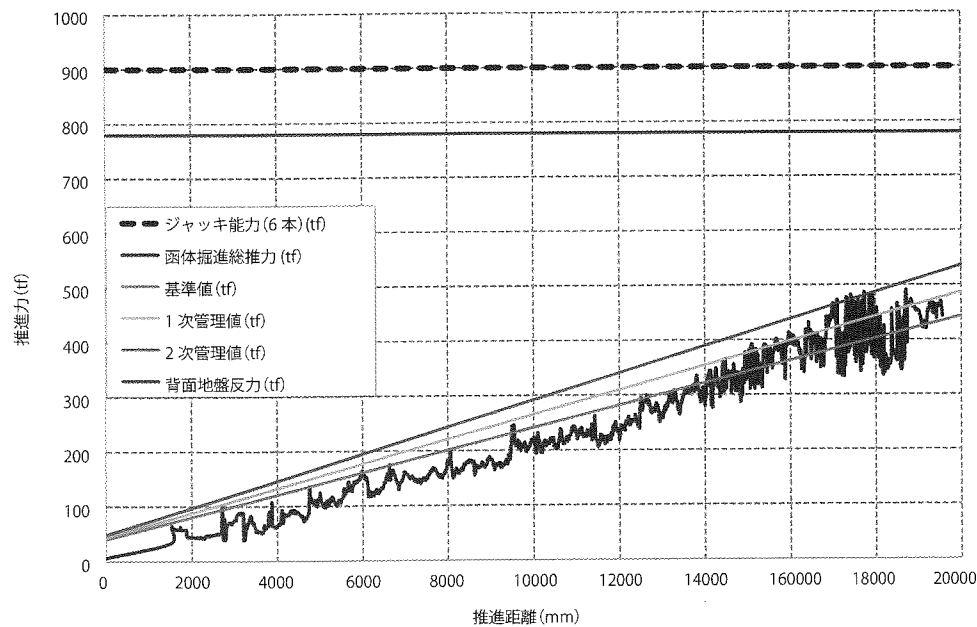


図-15 函体推進力図

式から管理値を定め、施工を行った。おおむね設定した管理値内での施工ができた。なお、下床の長野方では、玉石と思われる支障物により、地盤切削ワイヤーの切削溝と防護鋼板位置がズレたことで、鋼板挿入が困難となったため、刃口推進による迎え掘りを行い、到達させた。

また、施工時の地盤切削ワイヤーの計測管理に

ついては、これまでと同様の管理値で施工を行い、完了している(表-3)。

鋼板牽引速度は8~12mm/分、鋼板1枚の到達までの施工日数は9~13日であった。

#### 4-2 高さ調整ローラーのジャッキ圧

COMPASS工法では、ボックスの掘進時に防護鋼板の設置誤差に伴う地表面沈下や隆起を防止す

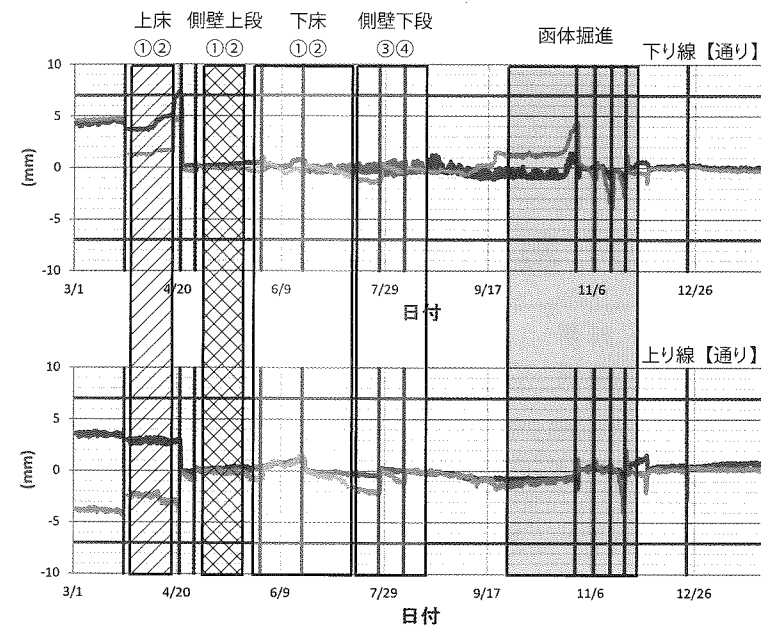
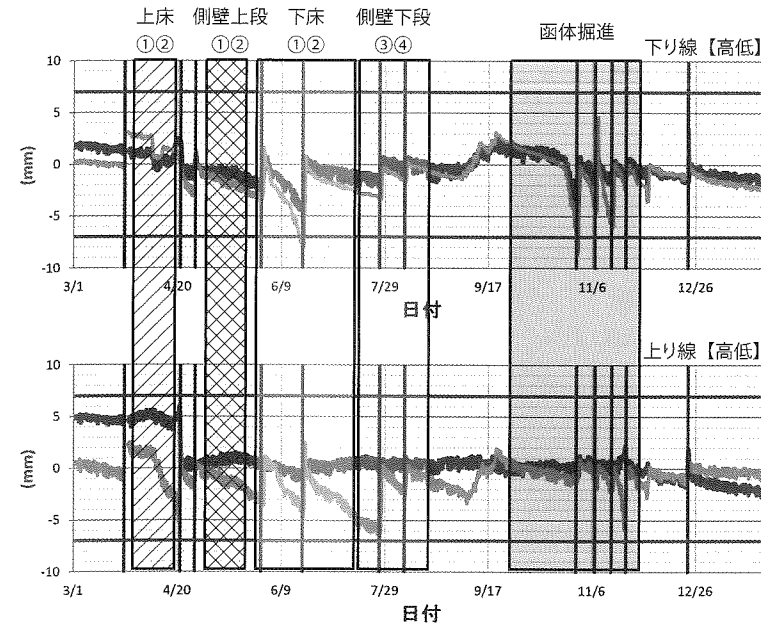


図-16 軌道変位図

るために、スライド刃口上面にジャッキ24基を設置し、防護鋼板の設置高さに追従させている。また、このジャッキで地表面を押上げることがないように、ジャッキ圧には上限を設定し管理している。

間施工時には、軌道工による軌道検測もあわせて実施した。軌道整備は、軌道変位が警戒値(±7mm)を超えることがないように計画、実施した。鋼板挿入工時に6回、函体掘進工時に5回実施した。

従来は、土かぶりの小さい条件で行った試験および工事での実績から、土かぶり重量の40%に相当する圧力を上限に管理していた。

一方、本工事では、上限値40%で管理してボックス掘進を開始したが、ジャッキ圧力不足に伴う地表面沈下が確認されたため、上限値を土かぶり重量の80%に見直して掘進を再開し、列車運行に支障なく掘進を完了した。

従来と比べ作用圧力と土かぶり重量の比が大きく異なったことは、土質が緩い砂層であったこと、土かぶり厚さが従来より大きく、鉛直力が大きいことが原因であると考えている。

#### 4-3 函体掘進

内部掘削状況を写真-3、函体掘進状況を写真-4に示す。

夜間の作業時間は5時間程度であり、鏡切りから刃口撤去までの施工日数は32日間、施工速度は、平均56cm/日であった。

函体掘進時の推進力図を図-15に示す。推進力は最大で490tfであり、推進ジャッキ能力内での施工を行った。

#### 4-4 軌道に対する影響

工事中は、リンク型軌道変位計により、常時、軌道の高低および通り変位を計測した。計測結果を図-16に示す。また、夜

## 5 おわりに

本工事はCOMPASS工法にて、事前に施工条件に応じた各種対策を検討し、これを確実に実施することで、列車運行に影響を与えることなく施工を無事完了し、函体出来形も所定の管理値を満足するものであった。

本報告が今後の非開削工法を用いた線路下横断工事の一助となれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 清水満・藤沢一・栗栖基彰・鈴木尊・長尾達児：新しい小断面地下構造物の構築工法の開発，トンネル工学報告集，Vol.14，pp.413-419，2004.11.
- 2) 金木健一・荒木信博・山口高嶺・功刀雅博：線路下を鋼板で先行防護し小断面地下通路を構築，JR横浜線矢部駅，トンネルと地下，Vol.45，No.11，pp.7-14，2014.11.

### ■図書案内

## 地下水の科学 全3巻

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

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



### 第I巻 地下水の物理と化学

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

### 第II巻 地下水環境学

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

### 第III巻 地下水と地質

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

株式会社 土木工学社

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

## 施工

# 斜面斜交型坑口で斜め支保工を採用しトンネルを貫通

## —国道289号 八十里越7号トンネル—

(前)国土交通省長岡国道事務所三条国道出張所長 唐澤 忠雄  
西松建設(株)八十里トンネル出張所所長 柳 沢 一 俊  
西松建設(株)八十里トンネル出張所主任 原 島 大 至  
西松建設(株)土木事業本部土木設計部設計二課副課長 諏 訪 至

## 1 はじめに

国道289号は、1970(昭和45)年に国道として認定された、新潟県新潟市を起点として福島県いわき市に至る総延長304.4kmの本州を横断する一般国道である。このうち、新潟県三条市から福島県只見町に至る県境部分が「八十里越」と呼ばれている。実際の距離は八里しかないが、その険しさのため一里が十里にも感じられたことから古来「八十里越」と呼ばれたと言われている。しかし、現在では福島県との県境部分19.1kmは一般車両が通行できない通行不能区間となっており、この解消を目的に進められている事業が「国道289号八十里越」事業(図-1参照)である。

「八十里越」事業は、国と新潟県、福島県において行われている。7号トンネルは、「八十里越」事業で国が施工している区間の、新潟県側から数えて7番目に計画された延長約950mの道路トンネルである。

本トンネルの施工場所にはイヌワシやカモシカなどが生息する国定公園や県立公園があり、自然豊かな地域である。一方、日本有数の豪雪地帯であるため、毎年12月から翌年5月上旬までは入山

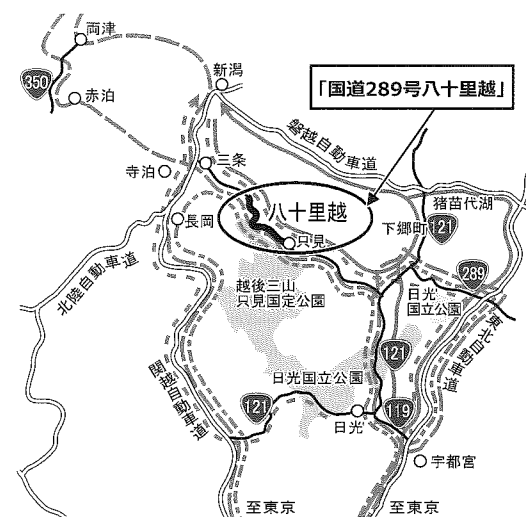


図-1 「国道289号八十里越」位置図

が困難で施工ができない冬季休工期間となり、実質施工可能な期間は7か月未満となる。このため、契約工期を確保するためには、工程管理が非常に重要になる。

本稿で報告する起点側坑口部(貫通側)の地形は、急峻な尾根地形を呈し、斜面はトンネル軸線方向に対して28°の角度がついており、典型的な斜面斜交型の坑口である。さらに、トンネル坑口と付近を通る工事用道路の高低差は約20mである。

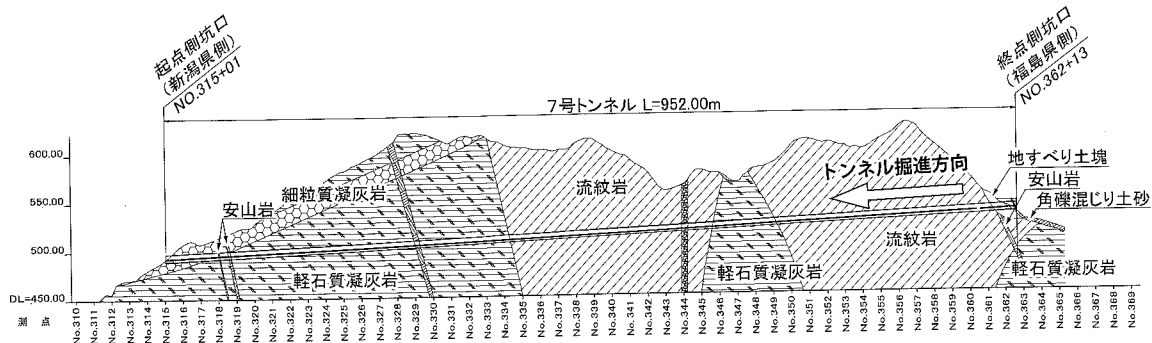


図-2 7号トンネル地質縦断面図

このため、貫通側からトンネル坑口施工基面までのアクセスについて、工事用道路の一部を占有する栈橋を構築する案が検討されたが、工事用道路は他工区の車両も通行するため道路の占有は不可能であった。このような工事用道路からアクセスが不可能なトンネル坑口における貫通方法について、工程・経済比較を重ねた結果、「斜め支保工」方式を採用して貫通させた、その適用事例について報告する。

## 2 工事概要

### 2-1 トンネル概要

工事名	国道289号7号トンネル工事
発注者	国土交通省北陸地方整備局長岡国道事務所
施工者	西松建設(株)北陸支店
施工場所	新潟県三条市大字塩野測
工期	2013(平成25)年3月12日～ 2016(平成28)年9月30日
冬季休止期間	毎年12月21日～ 翌年4月30日
諸元	トンネル延長 $L = 952\text{m}$ 掘削断面積 $A = 55 \sim 74\text{m}^2$ 掘削工法 補助ベンチ付き全断面掘削工法 上半先進ベンチカット工法 掘削方式 発破および機械掘削方式 ずり運搬方式 タイヤ方式

### 2-2 地形・地質概要

本トンネルは、新潟県三条市塩野測から三条市内を北西に流れる五十嵐川最上流部である大谷川の右岸側に位置し、一帯は守門岳・鳥帽子岳・鞍掛峠などの福島県との県境に連なる標高1,000～1,500mに囲まれた山地である。この大谷川は深いV字谷を刻んで直ちに近い河岸側壁を形成するとともに、比較的急峻な山岳地形を呈している。また、近辺には大小の地すべり地形が見られる。起点側坑口は岩盤が露出した急峻な細尾根であり、大きな斜面から派生した小尾根にあたる。

本トンネルを含む新潟県東部には、新生代第三紀中新世中期の酸性～中性火山砕屑岩類(グリーンタフ)を主体とする津川層が分布する。この津川層は、おもに下部の流紋岩質凝灰岩と、上部の軽石質凝灰岩(典型的なグリーンタフ)からなり、軽石質凝灰岩の下部には泥岩や砂岩・細粒凝灰岩を挟み、上部においても成層した細粒凝灰岩が分布する。また、多量の流紋岩と少量の安山岩が貫入している。安山岩の一部は凝灰岩の堆積した時期と同時期に形成された溶岩も見られ、この古い溶岩としての安山岩は凝灰岩と同様にグリーンタフ変質を受けている(図-2参照)。

## 3 斜め支保工採用の背景

### 3-1 起点側坑口の当初計画

本トンネルの起点側坑口部の地形は、斜面斜交型で北西から延びる尾根から派生した瘦せ尾根に位置し、「尾根部進入型」の坑口となる。地山は塊状の凝灰岩で構成され、この凝灰岩は、軽石質凝

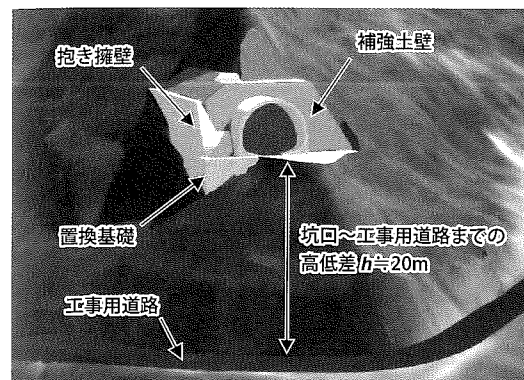


図-3 起点側坑口部完成形(当初計画)

灰岩を主体に細粒凝灰岩が狭在し、凝灰岩中に安山岩の小規模貫入岩が分布する。

本トンネルの起点側坑口部は、当初計画では置換基礎( $L = 21\text{m}$ )、抱き擁壁( $L = 35\text{m}$ )、補強土壁( $V = 1,300\text{m}^3$ )、明かり巻きコンクリート( $L = 8\text{m}$ )が計画されていた(図-3参照)。また、トンネルの縦断勾配は、新潟側から福島側に向けて、4.2～4.8%の上り勾配で計画されていた。一般にトンネルは上り勾配で掘削する方が坑内仮設備、および水没などのトラブル防止の観点から優位である。しかしながら、坑口の下部を通る工事用道路までの高低差が約20mあり、トンネル掘削は福島側(終点側)から掘削を開始することになった。

### 3-2 起点側坑口の課題

起点側坑口の課題は以下の2点が挙げられた。

- ① 等高線交差角が30～40°(斜面斜交型)で、さらに下半盤に地山がなく、偏土圧が作用しやすいため、通常の全断面での貫通は困難である(図-4,5参照)。契約工期内(2016(平成28)年9月末)に完成させるためには、前年の冬季休工(2015(平成27)年11月末)前に貫通させる必要がある。
  - ② 貫通が遅れて越冬すると、トンネル掘削機械と仮設備が返納できず、機械・仮設備費用などが増大する。
- これらの解決策として、次章で述べるI案(斜め支保工案)とII案(導坑案)の貫通方法について三者(発注者・設計者・施工者)で比較・検討を行った。

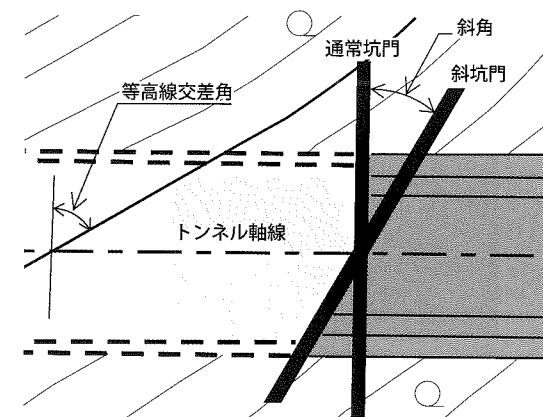


図-4 等高線交差角と斜角について

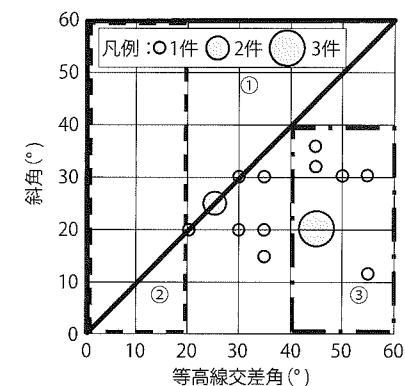


図-5 等高線交差角と斜角の関係

## 4 貫通方法の選定

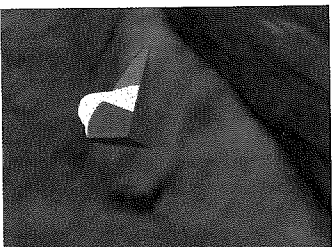
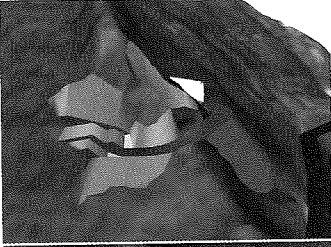
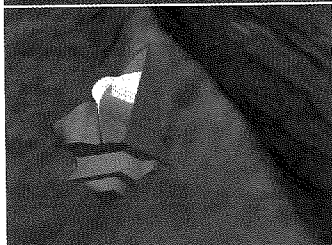
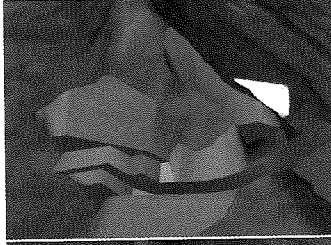
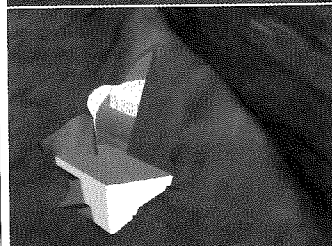
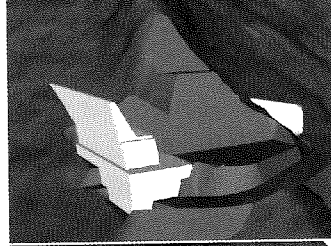
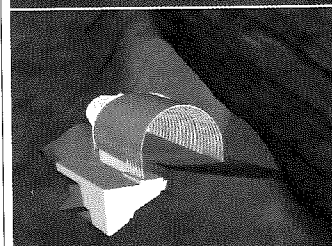
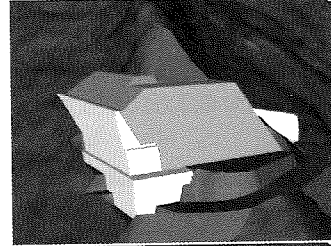
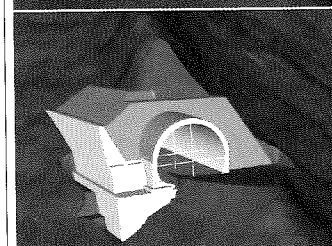
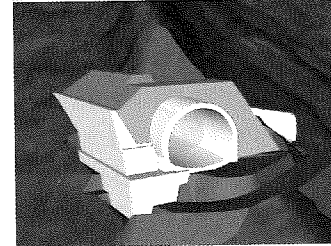
貫通方法の比較・検討結果を表-1に示す。

### 4-1 I案(斜め支保工案)の施工ステップ

I案(斜め支保工案)の施工ステップは以下のとおりである。各ステップは表-1中のステップに対応する。

- ① 貫通点より2m手前まで通常支保工により掘削を進める。以降は、標準断面より一回り大きい斜め支保工を用いて、掘削方向に向かって右側0.5m、左側1.0mと左右異なる掘進長で上半を掘削する。右肩部から貫通したあと、重機がトンネルの外に出ることができると最小幅(3.5m)で下半を掘削する。
- ② 貫通点の下半盤と置換基礎床付け盤に高低差(3m)があるため、本坑内より右側半分を盤下げし、斜路を造成(延長 $L = 25\text{m}$ 、下り勾

表-1 貫通方法の比較・検討

	I 案(斜め支保工案(仮貫通案))	II 案(導坑案)
施 工 ス テ ッ プ	 <p>ステップ① 斜め支保工で仮貫通</p>	 <p>ステップ① 導坑貫通・工事用道路 造成</p>
	 <p>ステップ② 盤下げ掘削・ 置換基礎床付け</p>	 <p>ステップ② 坑口切土・ 置換基礎床付け</p>
	 <p>ステップ③ 置換基礎コンクリート 打設</p>	 <p>ステップ③ 置換基礎・抱き擁壁 コンクリート打設</p>
	 <p>ステップ④ 坑口切土・標準支保工 で全断面本貫通</p>	 <p>ステップ④ 補強土壁による 保護盛土</p>
	 <p>ステップ⑤ 抱き擁壁・補強土壁に よる保護盛土 明かり巻き坑門構築</p>	 <p>ステップ⑤ 全断面本貫通 明かり巻き坑門構築 導坑閉塞</p>
特 徴	<ul style="list-style-type: none"> <li>・斜め支保工(仮貫通案)の採用で、標準断面仮貫通→坑口処理→本貫通が可能である。</li> <li>・従来の掘削機械で施工が可能でII案よりも工期が短く、工事費も安価である。</li> <li>・年度内に貫通が可能となり、次年度に他業者が施工する橋梁下部工への影響を最小限にできる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・I案と比較して従来工法で貫通できるため掘削が容易である。</li> <li>・新工種(導坑)が発生し、小断面専用掘削機械・設備が必要となり、工期・工費ともに増大する。</li> <li>・トンネルの貫通後、工事用道路の原形復旧と導坑をエアモルタルなどで閉塞する必要がある。</li> </ul>
評 価	○	△

配18%)する。盤下げした区間については、下半支保工を継ぎ足す。

- ③ 置換基礎を施工する。坑口切土法面の1m手前まで標準支保工(通常の支保工)を建込む。
- ④ 重機足場を造成し、坑口切土法面の形成と、残りの標準支保工(通常の支保工)を建て込んで全断面貫通させる。
- ⑤ 抱き擁壁・補強土壁による保護盛土を施工する。

#### 4-2 II案(導坑案)の施工ステップ

II案(導坑案)の施工ステップは以下のとおりである。各ステップは表-1中のステップに対応する。

- ① 本坑掘削をいったん停止し、掘削方向に向かって左側に導坑で貫通(導坑の底盤高は本坑下半盤高とし、延長 $L=27.5m$ 、勾配9%)し、工事用道路を造成してから、坑口上部の切土法面を形成する。
- ② 工事用道路を延伸し、置換基礎・抱き擁壁のための法面掘削・床付けを行う(工事用道路の縦断勾配が14.5%となるため、不整地運搬車にて土運搬する)。
- ③ 置換基礎・抱き擁壁を構築する(生コン供給のための配管が長距離となり閉塞が懸念される)。
- ④ 補強土壁による保護盛土を施工する。
- ⑤ 本坑掘削を再開し、全断面貫通する(工事用道路の原形復旧と導坑の閉塞が必要になる)。

以上、貫通方法2案について比較、検討した結果、表-1に示したとおりI案(斜め支保工案)を採用した。

#### 4-3 斜坑門の施工事例

既往の文献1)によると、図-4に示すように、斜坑門の位置関係を整理するパラメータとして、トンネル軸線の直角方向と斜面の平均的な等高線方向とのなす角である「等高線交差角」と、斜坑門とのなす角である「斜角」が定義されている(なお、本事例では最終的には通常坑門を構築)。

図-5に斜坑門の代表的施工事例の結果をもと

に収集された等高線交差角と斜角との関係を示す。この図から以下の3点が考察される。

- ① 等高線交差角よりも大きな斜角を持つ斜坑門事例は見当たらない(地山側に追い込んだ坑門側に、更なる地山の掘削が必要となり、斜坑門施工の目的がなくなるためと考えられる)。
- ② 等高線交差角 $20^\circ$ 未満では斜坑門の採用がない(トンネルがほぼ斜面に直交しているので、とくに斜坑門を採用しなくても大きな切土、基礎工などが発生しないためと考えられる)。
- ③ 等高線交差角が $40^\circ$ 以上の事例では、斜角は $40^\circ$ 未満となる(斜角を大きくとることによる坑門工の大型化ならびに走行環境の悪化を避けるためと推察される)。

これらより、斜坑門の斜角の採用実績はおおむね $30^\circ$ 程度までであり、この角度は切土、基礎工の施工規模の縮小効果と坑門工の大型化の施工コストの均衡点であると推察される。

#### 4-4 斜め支保工の安定性評価と標準支保工の施工

斜め支保工施工時のトンネルの安定性は、以下のように評価した。

- ① 坑口部の地山は、詳細設計時のボーリングと追加ボーリングより、崖錐層の堆積がきわめて薄く(50cm以下)、岩盤等級がCLからCM級( $N$ 値 $>50$ )と良好であるため、支保工脚部の支持力は十分確保できる。
- ② この区間では、土かぶり小さい急峻な尾根地点(トンネル背面の地山が薄い)で貫通するため、トンネルには大きな偏圧は作用しにくい。
- ③ トンネル断面が小さいため(上半単心円 $R=4.45m$ )、斜め支保工は極度な扁平断面にならない。
- ④ 一次支保工の状態越冬するため、一次支保工に積雪荷重(設計積雪深 $h=4.5m$ )を考慮したフレーム解析を実施し、鋼製支保工と吹付けコンクリートの発生応力度が許容応力

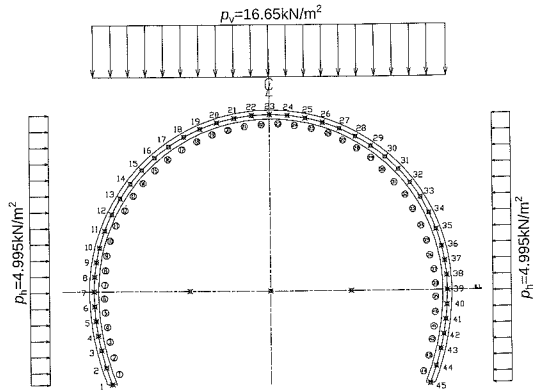


図-6 解析モデル

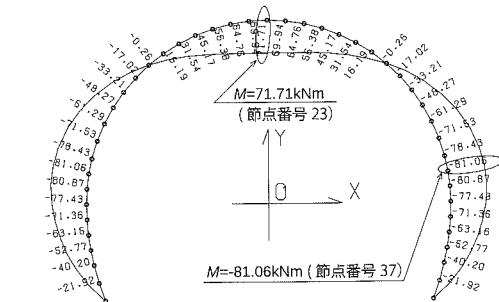


図-7 曲げモーメント図(単位: kN m)

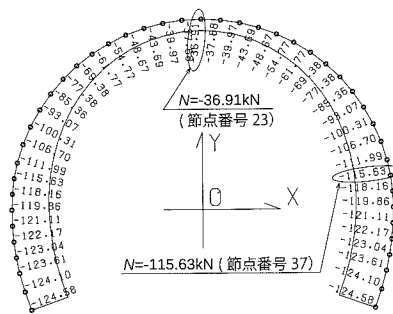


図-8 軸力図(単位: kN)

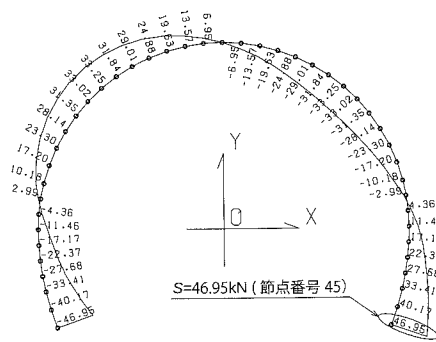


図-9 せん断力図(単位: kN)

度以下であることを確認した(表-2~3, 図-6~9参照)。

⑤ 坑口背面の切土法面(1:0.5)の安定解析を実施し, 十分な安全率を確保できることを確認した。

さらに, 吹付けコンクリートの品質確保, 防水

表-2 一次支保工の断面性能

	吹付けコンクリート	鋼製支保工(SS400)
規格	$f_{ck}=18.0\text{N/mm}^2$	H-200×200×8×12
弾性係数	$E_c=2.20\times 10^4\text{N/mm}^2$	$E_s=2.10\times 10^5\text{N/mm}^2$
断面積	$A_c=20,000\text{mm}^2$	$A_s=6,353\text{mm}^2$ $A_{s_{web}}=1,408\text{mm}^2$
断面二次モーメント	$I_c = I = 6.67\times 10^4\text{m}^4$	$I_s = 4.72\times 10^4\text{m}^4$
断面係数	-	$Z_s = 4.72\times 10^4\text{m}^3$

注) 一次支保工の合成弾性係数は下式で算出した。

$$E = \frac{E_c(A_c - A_s) + E_s A_s}{A_c} = 2.8 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

表-3 一次支保工の応力度照査結果

	吹付けコンクリート	鋼製支保工
発生曲げ応力度 $\sigma$	$\sigma_c = 0.44(\text{OK})$	$\sigma_s = 176.1(\text{OK})$ $\sigma_{cs} = -167.4(\text{OK})$
許容曲げ応力度 $\sigma_a$	$\sigma_{ca} = 4.5$	$\sigma_{sa} = \pm 210$
発生せん断応力度 $\tau$	-	$\tau_s = 33.3(\text{OK})$
許容せん断応力度 $\tau_a$	-	$\tau_{sa} = 120$

注) 応力度の単位は  $\text{N/mm}^2$ 。

吹付けコンクリートと鋼製支保工に作用する断面力は, 曲げモーメント・せん断力は鋼製支保工が, 軸力は吹付けコンクリートと鋼製支保工が分担して負担するものとした(分担率 76.3: 23.7)。

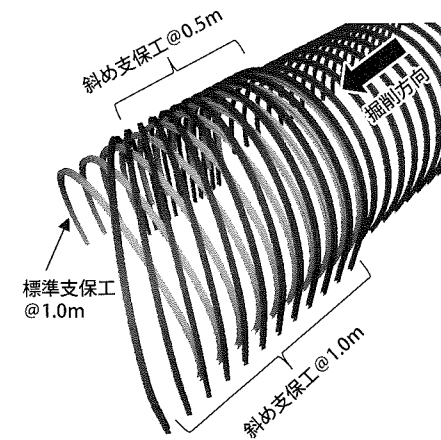


図-10 斜め支保工と標準支保工の二重支保構造

工の施工性, 補強鉄筋の構造, および当該区間の支保工の剛性アップを考慮して, 貫通後の斜め支保工の内側に標準支保工を構築する設計(二重支保工構造)とした。

また標準支保工の掘り越しを考慮し, 斜め支保工と標準支保工のクリアランスは100mm確保できるようにした(図-10, 11参照)。

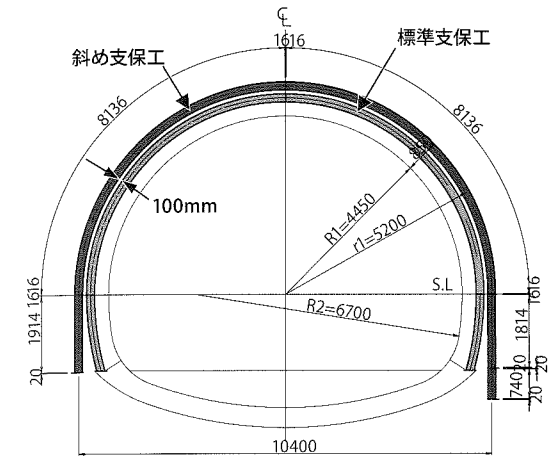


図-11 斜め支保工加工図

## 5 施工結果

起点側坑口の施工は, 2015(平成27)年の冬季休止期間前に斜め支保工12基と, 内側の標準支保工10基を建て込んだ段階で越冬を迎えることとなった(表-1におけるI案(斜め支保工案)のステップ③まで)。そのため, 積雪荷重によるトンネルの不安定化が懸念された。

そこで, 冬季休止期間中のトンネルの変形挙動を把握するため, 斜め支保工設置2基目の断面にA計測断面を設定した。図-12にその測定結果を示す。以下に示すとおり, 越冬前後の変形量は小

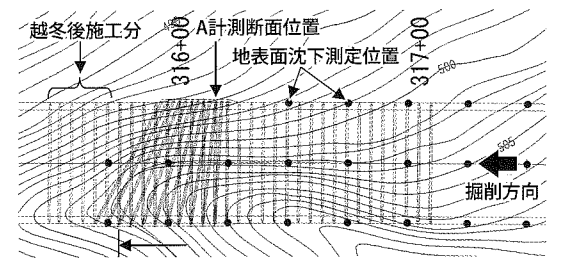


図-13 A計測・地表面沈下測定位置平面図

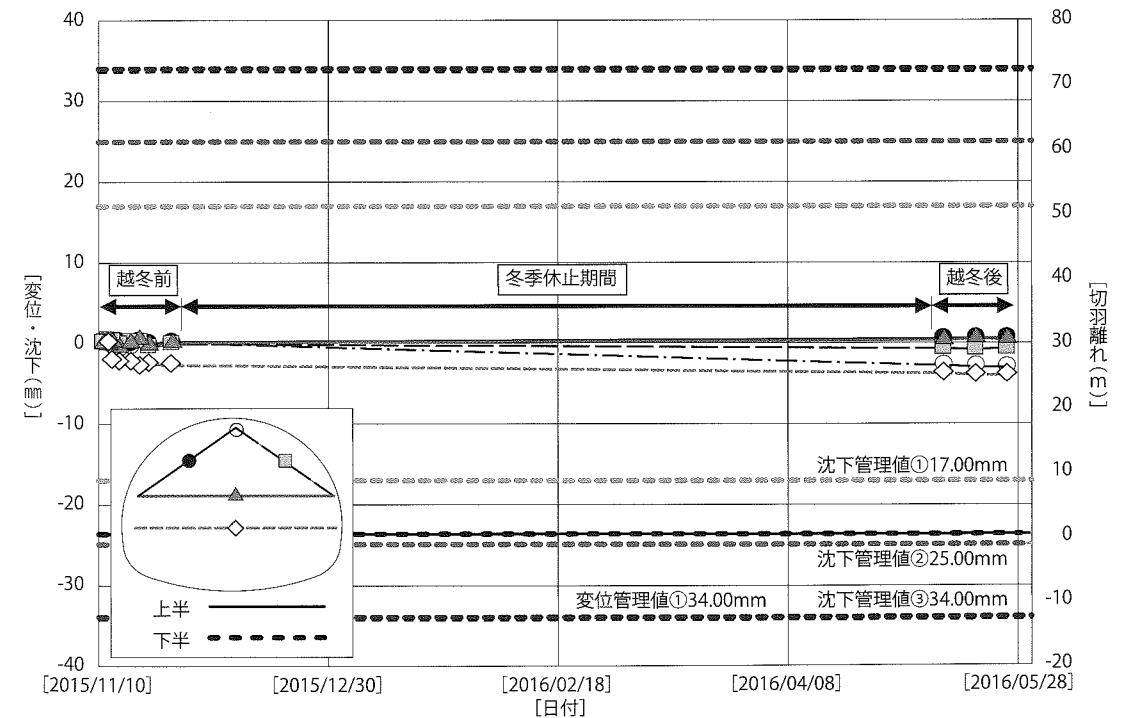


図-12 A計測結果(斜め支保工2基目)

さく、二重支保工構造が効果的であったと考える。また、図-13に示すとおり、地表面沈下測定も実施したが、測定結果は機器の計測誤差程度であった。

(1) 内空変位量

- 越冬前：0.2~2.7mm
- 越冬後：0.8~4.0mm
- 増加量：0.6~1.3mm

(2) 天端沈下量

- 越冬前：0.1~1.3mm
- 越冬後：1.5~3.1mm
- 増加量：1.4~1.8mm

### 6 起点側坑門工の選定

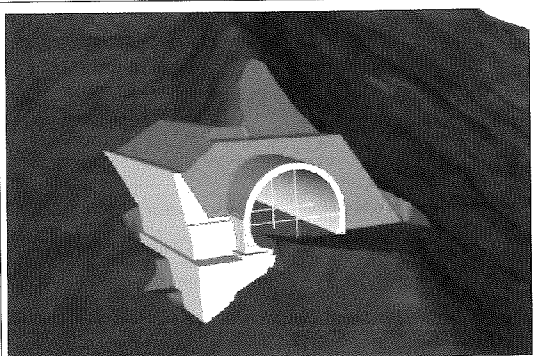
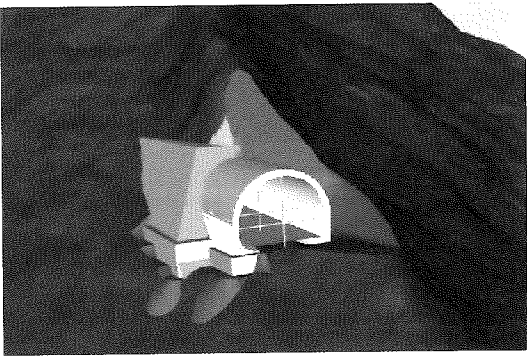
坑門工の当初計画は、抱き擁壁と補強土壁による盛土でトンネルを保護するものであったが、

「斜め支保工」を採用したことにより、坑口周りの構造の簡素化が可能となる。このことから、代替案を考案し、冬季休止期間中に三者(発注者、設計者、施工者)で比較・検討を実施した。その対象工法は下記の2案であり、比較・検討結果を表-4に示す。

- I案：(当初案)「抱き擁壁+補強土壁(保護盛土)+緑化」
- II案：(代替案)「エアモルタル(保護盛土)+緑化」

表-4に示すI案は、トンネルを坑内から貫通させるために必要な保護盛土である(当初計画の形状)。一方、II案は完成後のトンネルを保護するのに必要最低限の保護盛土である。この施工方法によると、斜め支保工により早期に貫通させるこ

表-4 起点側坑門工比較・検討結果

	I案：抱き擁壁と坑門まわりを緑化する案	II案：エアモルタルと坑口付け面を緑化する案
完成形		
施工性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑口部の側方の盛土は保護盛土として、基礎工などの規模の抑制を図った計画である。</li> <li>・盛土材はソイルセメントとし、坑門工側の土留めを抱き擁壁とすることにより、置換基礎の幅がII案より若干狭くなる。</li> <li>・坑門工正面を恒久的な緑化を目的に補強土壁としていることから、II案に対して、坑門工の延長が3m長くなり、置換基礎の規模も大きくなるため、施工性は劣る。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑口部の側方の盛土はエアモルタルによる保護盛土として、基礎工などの規模の抑制を図った計画である。</li> <li>・トンネル部の保護盛土をエアモルタルとすることから、I案に対して坑門工の延長を3m短くできることに加え、抱き擁壁をなくすとともに既往の計画に対して置換基礎の規模を小さくできるため施工性は優位である。</li> </ul>
景観性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑門工正面を補強土壁としていることから、緑化が可能である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・坑門工周辺をエアモルタルとするため、「プランツソイル工法」などの採用により緑化は可能となるが、積雪地であるため、越冬後の緑化の劣化が懸念される。</li> </ul>
経済性	1.87(II案を1とした)	1.00
総合評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>【メリット】坑門工正面を補強土壁としていることから緑化に対しては良好である。</li> <li>【デメリット】工種(ソイルセメント、抱き擁壁、補強土壁など)が多いため施工性が劣り、工費も増加する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>【メリット】工種が少なく施工性は良好であり、経済性にも優れる。</li> <li>【デメリット】積雪地に対する恒久的な緑化に対して事例が少ない。</li> </ul>

とにより、I案に比較して大幅に施工量を減らすことが可能となり、施工性・経済性の面で大きく優位であるためII案を採用する結果となった。

### 7 まとめ

本トンネルでは、斜め支保工(斜角28°)で安全にトンネルを貫通させることができた(写真-1~4参照)。トンネル完成まで全体で約2.0か月の工期短縮となり、越冬前に掘削用機械や仮設備を返納できたことで、施工費も縮減できた。

また、過去の実績において、掘削開始側に斜め支保工を採用したトンネル事例は比較的多く見られたが、貫通側に採用した事例は非常に少なかった。このため、貫通前に施工上の問題点を抽出することと、事細かく施工ステップを考慮した貫通方法のシミュレーションには多大な時間を要した。このように非常に困難な施工条件のもと、安全

にトンネルを貫通させることができた要因は、前述の事前準備はもとより、坑口周辺の地山条件が岩盤等級CLからCM級(N値>50)と非常に良好であったためと考える。したがって、一般的に考えられる地質的に弱層が存在し、その弱層に沿って浸食が進んだ複雑な地形が発達している坑口や、斜面崩壊跡地、地耐力不足が懸念されるような坑口への本施工方法の適用は、さらに慎重な検討が必要であると考えられる。

本稿が今後施工される同様の地形・地質条件のトンネル坑口部の設計・施工を行ううえでの一助になれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 進士正人・辻田彩乃・中川浩二：山岳部のトンネル坑口における斜め坑門の適用性、トンネルと地下、Vol.35, No.5, pp.31-38, 2004.5.

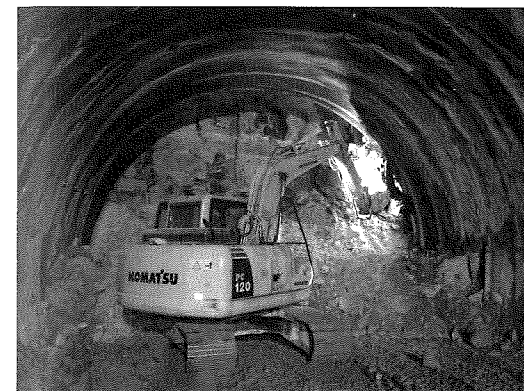


写真-1 実貫通状況

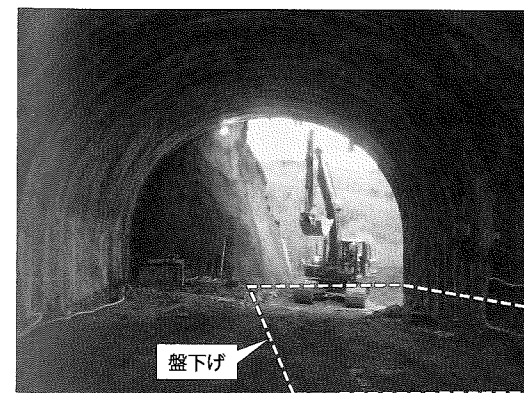


写真-2 坑内盤下げ完了



写真-3 越冬前貫通状況



写真-4 トンネル完成状況



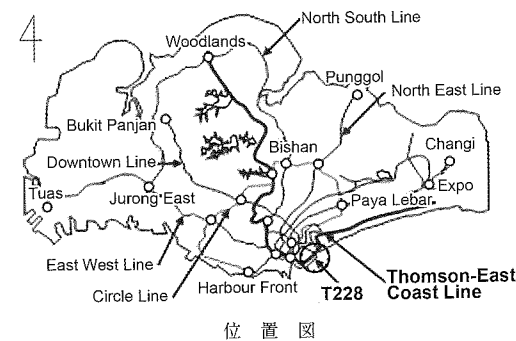
## 「東南アジアの未来都市」シンガポールより

藤田 俊 弥

当地シンガポールは、近年、急速な経済発展が進み、観光だけでなく、貿易や交通の拠点として、東南アジア地域の中心地としての役割を強めている。2015年には、建国50周年という節目の年を迎え、今後ますますの発展が期待される国際都市である。東京都23区程度の広さ約710km<sup>2</sup>の中に、外国人を含めて約550万人の人々が生活するシンガポールでは、実にさまざまな文化が融合している。シンガポールの代表的な食文化「ホーカー」もそのひとつ。ホーカーとは、たくさんの屋台が集まった屋台街のことをいう。中華料理やインド料理、マレー料理、さらにはプラナカン料理など、外国人居住者も多いことからイタリア料理に、もちろん日本料理……。多国籍な料理とともに多種多様な言語が飛び交う様子は、まさにエネルギーである。

現在、シンガポールには約3万6千人の日本人が在留し、年間80万人近くの日本人観光客が訪れる。日本でも、「屋上に船に乗ったホテル」として有名なマリーナベイサンズ。ホテル内にあるカジノは観光スポットとしても人気のひとつ。シンガポール最大の植物園「ガーデンズ・バイ・ザ・ベイ」は、東京ドーム約77個分の敷地に、世界の美しい花々を楽しむことができる。高さ25~50mもある巨大人工ツリー「スーパーツリー」がライトアップされる夜景は、とても幻想的である。

当現場事務所は、そんなマリーナベイサンズやガーデンズ・バイ・ザ・ベイが一望できる、すぐ南の場所に位置する。シンガポールで6番目の新線となるトム



到達立坑よりマリーナベイサンズ方面を望む

ソン・イーストコースト線は、北端のウッドランズから南端のマリーナ地区まで島内を南北に縦断し、その後、海岸線に沿ってチャンギ国際空港方面へつながる。総延長約43km、31駅の規模で、2023年に全線開通予定となっている。当社が受注したT228工区は、全38工区うちの1工区であり、2014年7月から施工を開始している。工事概要は、ガーデンズ・バイ・ザ・ベイ駅の構築およびシールドトンネル総延長1.4kmの新設である。当工区の特徴として、①埋立て地盤における施工、②シールドの河川直下横断が挙げられる。1980年代前半に埋立てられた地盤は、30年以上経過した現在も軟弱粘土層の圧密が継続中である。そのため、シールドトンネルの長期沈下対策として、トンネル断面を包含し、かつ、支持層まで高強度の地盤改良を行い(改良区間約350m)、その中を泥土圧シールドで掘進する。埋立てエリアの端部は、護岸の安定のため、軟弱粘土が砂で置換されており、シールドトンネルはこの砂層をかすめて通過する縦断線形となっている。シールド掘進時において、砂を伴った水の噴発、加泥材および裏込め材の河川内への逸走などが懸念された。そのため、日本で開発された曲り削孔技術を用い、河川直下にある砂層に薬液注入を事前に施し、止水性を確保した。このような特徴を持つシールド工事は、2016年10月に掘進を開始し、駅舎の構築を含め、これから工事の最盛期を迎える。ステークホルダーと良好な関係を築きながら、無事故・無災害で竣工させる所存である。

(西松建設(株)地下鉄マリーナベイ出張所所長)

## 施工

# 電力ケーブルが輻輳するトンネルの埋設型枠を用いた補強対策

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 野畑 拓也  
東京電力ホールディングス(株)経営技術戦略研究所土木・建築エンジニアリングセンター都市土木技術グループ 岡 滋 晃  
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

## 1 はじめに

東京電力パワーグリッド(株)が保有する地中送電用トンネルは全延長で約420km存在し、各経年設備に対して維持管理上の補強対策を講じてきたところである。これら設備のうち約4割が経年30年を超える状況にあり、とくにシールドトンネルではセグメントに経年的な変状を生じたものもある。

埼玉県下にある1981(昭和56)年竣工のMトン

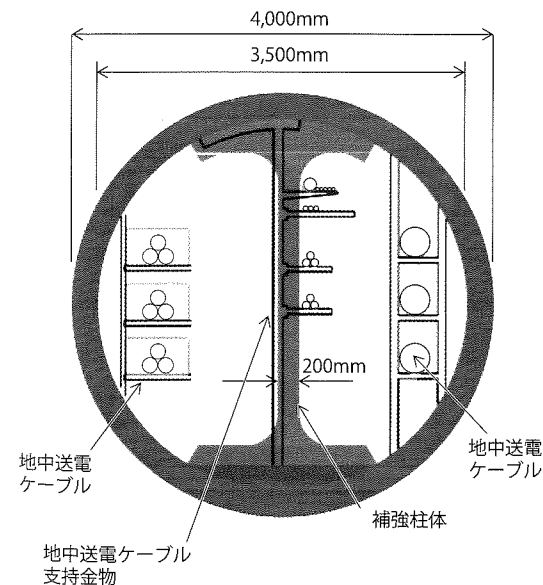


図-1 補強対策の概要

ネルもこのような経年変状トンネルのうちの1つである。このトンネルは基幹系超高压ケーブルを6回線収容する重要路線である。トンネルが建設されている周辺地盤は軟弱な粘性土層であり、圧密沈下によるトンネルの荷重増加が発生していた。このため、2003(平成15)年と2007(平成19)年に鋼管柱による補強対策がされている<sup>1),2)</sup>。

しかし、2013(平成25)年の変状点検でRCセグメント内部の鋼材が腐食による断面欠損が発生していることが判明し、セグメントリングの耐力が低下していることがわかった<sup>3)</sup>。このような耐力低下に対しては、トンネル内に2次巻き施工する管路更生工法の適用がまず考えられる。しかし実際には、図-1に示すように、本トンネルでは側壁部に地中送電ケーブルが敷設してあり、2次巻きスペースが確保できなかった。このため、トンネル断面中央に柱体を設置する補強対策を行うこととした。

この補強対策の実現にあたり、既存工法として下水管の管路更生工法で実績の多い埋設型枠を適用することを考えた。本稿では、この埋設型枠を用いた補強対策の設計と施工について報告する。

## 2 トンネル構造と地質の概要

1981(昭和56)年に竣工したMトンネルは、図-2に示すように北側の電源変電所からの基幹系

超高压ケーブル6回線を収容する延長約2.2kmの地中送電用シールドトンネルである。このトンネル内部では図-1に示したとおり、ケーブルおよび

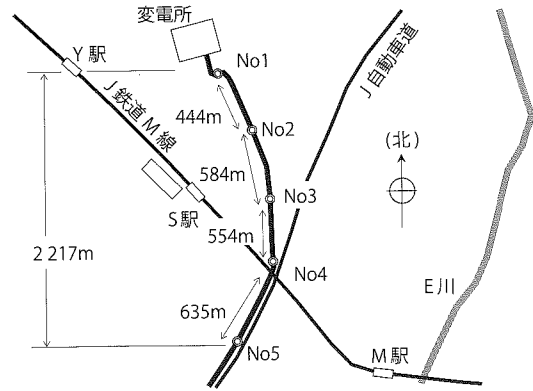
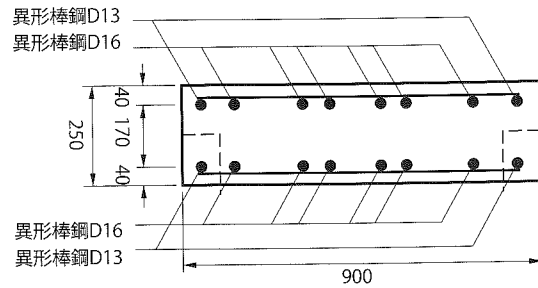
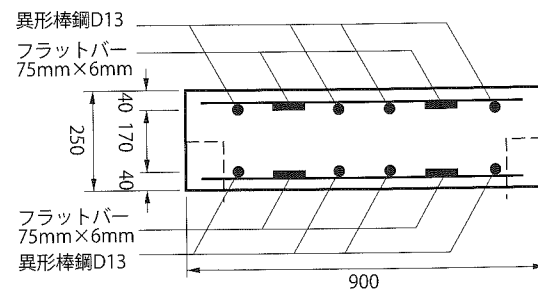


図-2 Mトンネル案内図



(a) 換気孔No.1~3間



(b) 換気孔No.3~5間

図-3 セグメント配筋の概要

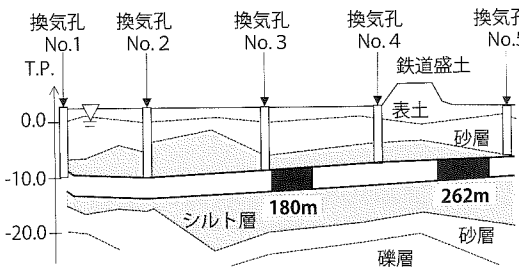


図-4 トンネルの縦断概要図

その支持金物類が輻輳している。また、ケーブルや支持金物の保守点検用の通路が必要であり、これら必要スペースをもとにトンネル内空断面が設計されている。

トンネル断面形状は外径4,000mm、内径3,500mmであり、セグメント分割数は6分割、リング継手数は16個である。また、セグメント形状は、幅900mm、厚さ250mmであり、使用コンクリートの設計基準強度は45N/mm<sup>2</sup>である。セグメント継手にはM22ダブルボルトの鋼製ボックス、リング継手にはM22シングルボルトの鋼製ボックスを使用している。

配筋は図-3(a)に示すように、換気孔No.1~3間で主鉄筋にD16×6本を採用している。一方、換気孔No.3~5間では、図-3(b)に示すように異形棒鋼D13×4本のほか、「フラットバー(Flat Bar)」と呼ばれる厚さ6mm、幅75mmの平鋼を1セグメントにつき2本×2段、すなわち内空側と地山側に各1段使用している。

トンネル縦断の地質は、図-4に示すとおり軟弱粘性土層であり、その土質はシルト~砂質シルトでN値0~3(平均N値0.4)ときわめて軟らかい。地層色調は暗灰色であり、地下水位位置は、ほぼ地表面にある。今回、とくに変状が問題となったのは、図-4に黒塗り強調して示す換気孔No.3~4間のうちの180mと、換気孔No.4~5間のうちの262mの2区間である。これらの変状の特徴を次章で報告する。

### 3 トンネル変状の特徴

2013(平成25)年の変状点検時に、フラットバーに著しい腐食が発生していることが判明した。この変状点検は、セグメントコンクリートの浮き剥離が著しい箇所を対象として、はつり調査によりフラットバーの状態目視、および超音波による板厚確認を実施したものである。とくに、写真-1に示すように換気孔No.4~5の変状区間におけるセグメントリングでは、内空側のフラットバーが腐食により膨脹するとともに、フラットバー中腹部に腐食孔が確認された。

この腐食原因を調査したところ、以下の内容から塩害が可能性として考えられた。すなわち、Mトンネルに滞留している漏水は、3,200mg/Lと高い塩化物イオン濃度を有する。埼玉県という内陸部に位置するにもかかわらず、トンネル内の滞留水がこのような高濃度の塩化物イオンを有している理由は、当該地盤に若干の塩分が含有されてお

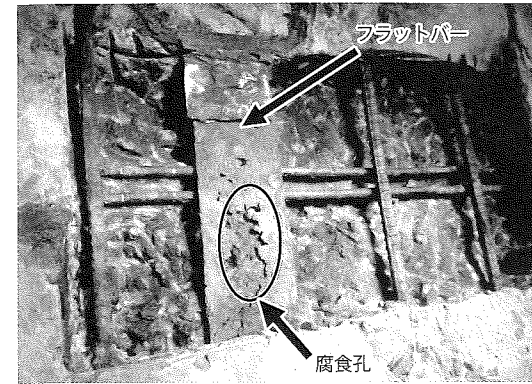


写真-1 フラットバー腐食状況

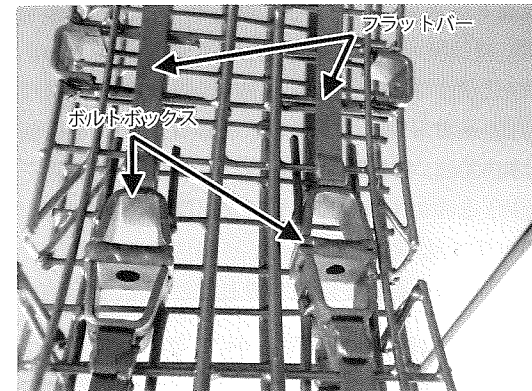


写真-2 フラットバーとボルトボックスの接続

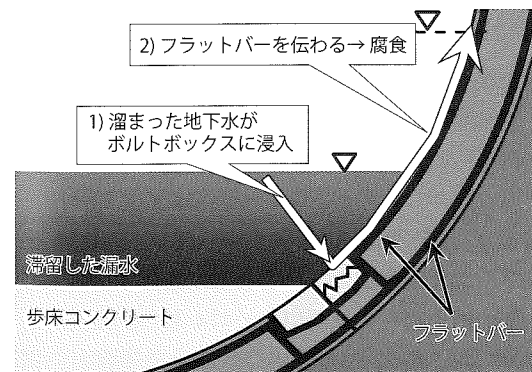


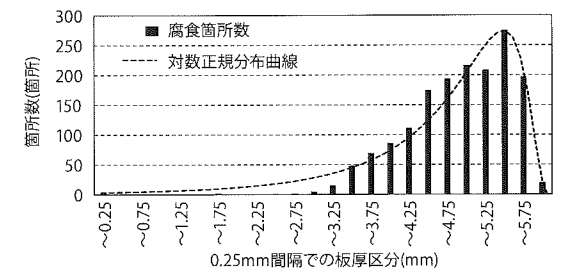
図-5 塩化物イオンの供給経路説明図

り、常時30°Cを超える送電用ケーブルの発熱により、蒸散に伴って塩分濃縮が発生するからと考えられる。一方、フラットバーは、写真-2に示すようにボルトボックスに連結された構造である。このため、濃縮した塩化物イオンを含む漏水が図-5に示すようにボルトボックス内の中詰めコンクリートの亀裂より浸入し、フラットバーを伝っていくことで塩害腐食が発生したと考えられる。

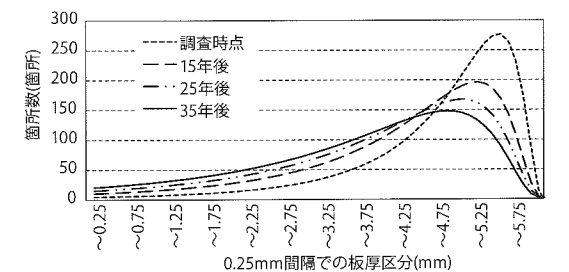
このように、塩害腐食環境にあるセグメントでは、ある箇所での漏水の経路遮断などによる補修を実施しても、排水溝がトンネル内で連続しているため、ほかで塩害による鋼材腐食が発生し、将来的にセグメントリングの耐力が不足してくるおそれがある。そこで、将来の耐力低下を見越して、補強対策として、図-1に示したように、トンネル断面中央に柱体を構築する対策を採ることとした。この補強柱体の諸元決定に際しては、セグメントリングの将来の耐力低下を考慮する必要がある。したがって、この設計の概要について次章で説明する。

### 4 補強柱体の設計の概要

補強柱体の設計にあたり、将来の腐食状況を設



(a) 現状



(b) 将来予測

図-6 フラットバーの板厚残存量のヒストグラム

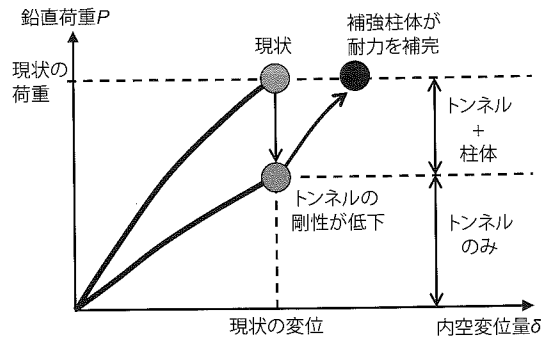


図-7 補強柱体が負担する荷重のモデル化

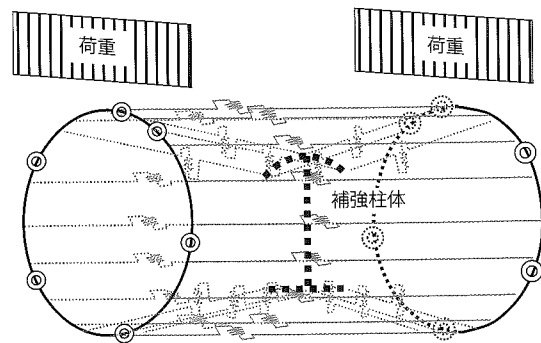


図-8 構造解析モデル

定する必要がある。そこで、図-6(a)に示すように1,628か所におけるフラットバーの板厚残存量調査結果をヒストグラムに整理した。得られたヒストグラムに対し、対数正規分布曲線を利用した統計学的手法を応用することで、図-6(b)に示すように将来の腐食状況を設定した<sup>4)</sup>。

設定した腐食状況をもとに図-7に示すように補強柱体に発生する荷重のモデルを構築し、この荷重モデルを用いて解析モデルを構築した。

この解析モデルは、図-8に示すようにセグメントリングの非線形はり-ばねモデル<sup>5)</sup>を基本として、補強柱体をトンネル内空に組み込んだモデルである。補強柱体とセグメントリングの連結もせん断ばねにより再現し、腐食状況を追跡できるモデルとした。

なお、安全を考慮して周辺地盤の圧密による荷重増加も引続き発生していると仮定し<sup>6)~8)</sup>、将来の荷重として圧密の最大荷重を考慮して設計した。また、レベル2地震時の検討も実施し、トンネルの安全性が確保できるような構造とした。

表-1 補強柱体の構造諸元(1柱体あたり)

		天端部	中壁部	下端部
主断面	厚さ(mm)	200	200	200
	奥行き(mm)	1,800	900	1,800
	有効高さ(mm)	175	150	175
鉄筋	1段目(mm <sup>2</sup> )	3,456	1,728	3,456
	2段目(mm <sup>2</sup> )	3,456	1,728	3,456

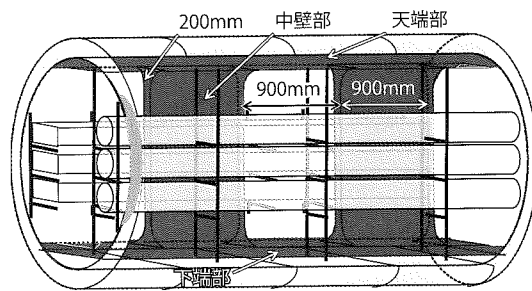


図-9 補強柱体の概要

この構造解析の結果をもとに、表-1と図-9に示すように構造諸元、躯体形状を決定した。形状は既設トンネル内に収容してあるケーブルと干渉せず、補強後の維持管理も見据えて点検しやすい形状とした。具体的には、天端部と下端部が部材厚さ200mmでトンネル軸方向に連続するが、中壁部は幅900mm、部材厚さ200mmでケーブル支持金物を避け、2つのセグメントにまたがる形状である。トンネル変状区間の180mと261.9mに対し、計245体の補強柱体を構築することとした。

## 5 埋設型枠を用いた工法

柱体の構築にあたり、下水管の管路更生工法で使用実績の多い埋設型枠を用いた工法を利用することとした<sup>10)</sup>。本章では、この工法の特徴と採用した根拠について概説する。

埋設型枠を用いた工法では、通常、図-10に示す円形の補強構造を以下の方法で補強構造を構築する。まず、既設のトンネル内に鉄筋に相当する、鋼製リングと呼ばれる鋼材を組立てる。次に、鋼製リングに充填工の型枠となる高密度ポリエチレン製の嵌合部材と硬質塩化ビニル製の表面部材を取付ける。最後に、既設トンネルと表面部材の間に充填材となる高流動性モルタルを充填する。

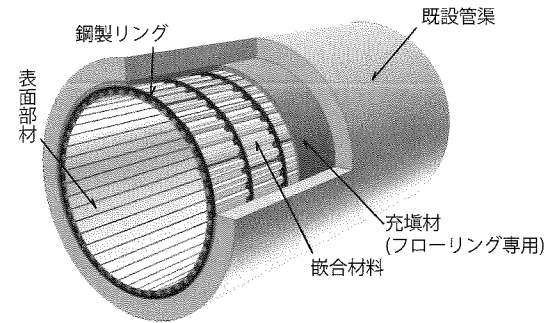


図-10 埋設型枠を用いた工法例<sup>9)</sup>

この結果、高い耐久性ならびに水密性を有する高強度の内壁をトンネル内に構築することが可能であり、構築された補強構造は以下の特徴を有する。

- ① 部材がコンパクトで軽く、狭隘な電力トンネル内でも手作業で施工可能。
  - ② 表面にポリエチレン材料を設置するため、外部からの水の浸入を抑制でき、塩害に対して有効。
  - ③ 円形構造を目的に開発されているが、鋼製リングは鋼板からの切出し部材であるため、円形に限らずあらゆる断面形状に適用可能。
- 上述の特長から、図-9に示すような形状をもつ補強柱体の構築にも利用できる工法であると考えた。以上の考えのもと、本工法を工夫して利用することにより補強柱体を施工することとした。

## 6 施工概要

図-11と写真-3に示すとおり、埋設型枠による施工は大別して7工種から構成される。

### 6-1 事前調査工

事前調査工は、鋼製リングの製作寸法を決定することを目的として工事着手前に実施するものである。そのため、この段階では設計図面と現地との寸法や形状に差異がないか、トンネル軸方向5リングごとに下記の項目について確認した。

- ① 既設シールドトンネルの内空寸法
- ② 既設ケーブルと鋼製リングとの干渉有無
- ③ 既設立金物の設置間隔が設計どおりであるか

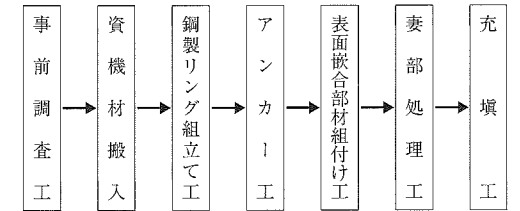


図-11 施工フロー



写真-3 施工状況

得られた調査結果は鋼製リングの部材製作時および設置位置の確定検討時の基礎資料とする。まず、①と②の調査は、排水の導水勾配確保の関係上、内空高さがトンネル軸方向に一定ではないために行うものである。この結果をもとに、鋼製リングの高さを最小の内空高さに合わせた。また、③の調査は、予定した鋼製リング位置が既設立金物と干渉しないか確認するために行うものである。このとき、立金物上部が変形している箇所もあるため、鋼製リングの設置位置の確実な把握のため、立金物上部にて設置間隔の調査を実施した。

### 6-2 資機材搬入工

資機材搬入工では、狭隘なトンネル内にあって柱体構築予定位置まで鋼製リングなどの資機材を運搬する。

本工法では各部材を小分けすることができるため、狭隘な箇所でも人力で運搬できる利点がある。換気孔からの搬入では電動ホイストを使用したが、トンネル内では台車により人力にて資機材運搬を実施した。

### 6-3 鋼製リング組立て工

鋼製リング組立て工は、写真-4のような鉄筋に相当する鋼製部材を手作業にて組み上げるものである。

事前処理として、下端部が既設歩床の排水溝に重なることから、排水能力を確保するため、塩化

ビニル製の排水管φ75mmを排水溝内に設置した。これにより、施工中であっても排水をとめることなく処理できるようにした。

鋼製リングの組立ては、資材搬入口となる換気孔からみて、もっとも遠い柱体から順次施工した。このとき、鋼製リングのかぶり25mmの確保や、補強後に下端部表面に流れる漏水の導水勾配確保を目的として、底部リングの下に亜鉛メッキ加工したL形鋼材 W70×H25×L2,000を2列、勾配調整用レールとして図-12に示すように設置した。このレール上に、鋼製リングを最大125mmの設置間隔で組立てた。

なお、当初、鋼製リングどうしを連結するボルトは、設置間隔が121mmとなるノックプレスボルトを使用した。しかし、既設立金物の変形などにより設置間隔がとれない箇所があった。そのため、間隔を自在に調整できる片ノックプレスボルトを使用することで施工ができるように工夫した。

6-4 アンカー工

アンカー工は、トンネル内で組立てた鋼製リングの固定と、充填工による発生浮力に対抗するために、既設トンネルと鋼製リングをケミカルアンカーで天端部、下端部とも固定するものである。

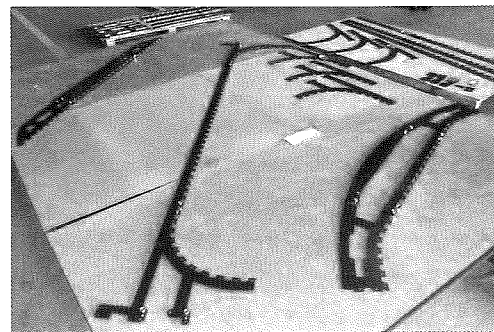


写真-4 鋼製リングの部材

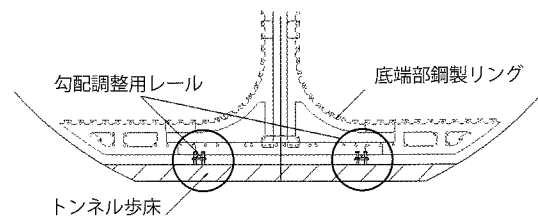


図-12 勾配調整用レール設置図

ただし、アンカーボルトが漏水の浸入経路となるおそれがあることから、既設トンネル側にパッキン材を取付けた。アンカーは、底部3本、上部2本の合計5本を250mm間隔で固定した。

6-5 表面・嵌合部材組付け工

表面・嵌合部材組付け工とは、図-13に示すように鋼製リング組立て完了後、充填材の型枠となる嵌合部材および表面部材を取付けるものである。鋼製リング組立て工と同様に、表面・嵌合部材組付け工も搬入口より遠い位置から施工した。

まず、高密度ポリエチレン製の嵌合部材を鋼製リングの溝にプラスチックハンマーを使用して取付ける。このとき、ケーブルが密集し狭隘な箇所については、ハンマーでの取付けが困難なため、写真-5のような狭所専用治具を用いて取付けた。

次に、組み上がった嵌合部材の溝に、硬質塩化ビニル製の表面部材をプラスチックハンマーを使用し取付ける。嵌合部材の場合と同様に、狭隘箇所では専用治具を用いて取付けた。

なお、表面・嵌合部材は、中壁部分では、定尺0.95m、それ以外の箇所では定尺5mのものを使用した。

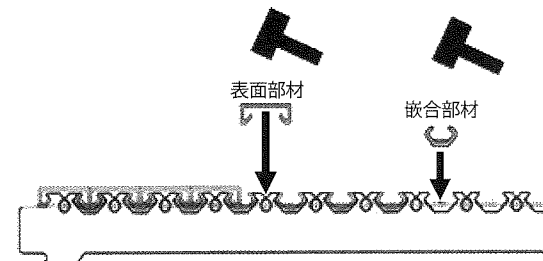


図-13 表面・嵌合部材取付け概要

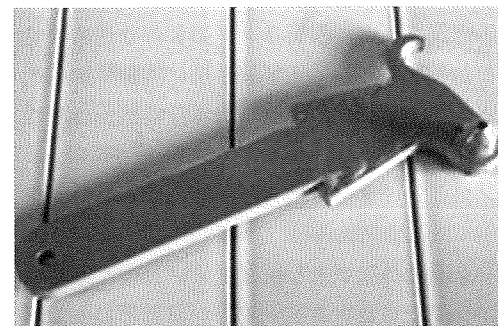


写真-5 狭所専用治具

6-6 妻部処理工

妻部処理工とは、中壁部をトンネル横断方向のから見た際の妻部に型枠を設置するものである。

具体的には、すべての表面・嵌合部材組付け工のあとで、天端部や中壁部、下端部に亜鉛メッキ加工したSS400鋼製型枠を、充填ブロック割りごとに設置する。この鋼製型枠は、施工後、新たな湧水がボルト穴を伝わり、内面に漏れる可能性を考慮し、アンカー工で使用するパッキン材を鋼製型枠の中に取り付けた。

6-7 充填工

充填工は埋設型枠工法による施工の最終工程にあたり、既設トンネルと表面部材との間に充填材を注入するものである。このとき使用する充填材は、表-2に示すように早強セメントに珪砂や流動促進剤など、各種混和材を配合した無収縮グラウト材である。このグラウト材は設計基準強度

表-2 充填材の標準配合(例)

材料名	品名	単位(kg/m <sup>3</sup> )	重量比(%)
水	清水	360	16.7
セメント	早強セメント	768	35.5
砂	珪砂	903	41.8
混和剤A	流動促進剤	45	2.1
混和剤B	(その他)	35	3.9

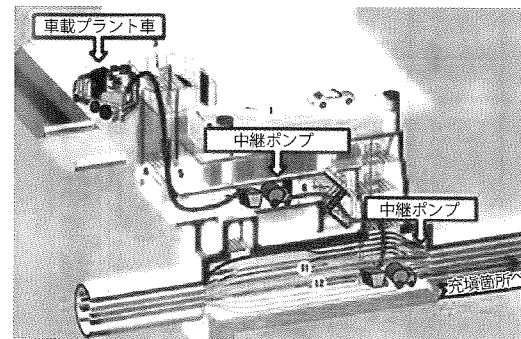


図-14 充填設備の鳥瞰図

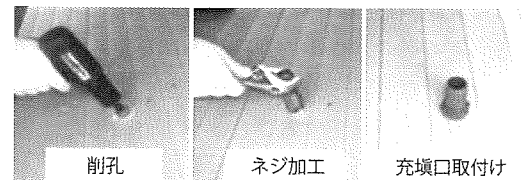


写真-6 充填口設置状況

40N/mm<sup>2</sup>、スランプフロー300mmと高強度、高流動で早期強度に優れた特徴をもち、しかも特殊な溶剤の配合により収縮率は0%と、高い無収縮性を有する。そのため、表面部材や嵌合部材の裏側まで充填でき、また強度発現後も空隙を生じない。

この充填材を専用の車載プラントを使用して地上作業エリアにて混練したのち、モルタルポンプにて補強箇所へ充填した。この車載プラントは、水量およびセメント量を自動で管理し調整する機能を有する。

一方、地上より充填箇所まで最大390mの距離および約15mの高低差がある。そこで、ポンプ搬送能力の確保のため、図-14のとおり立坑中間スラブとトンネル内に吐出量55~110L/minの中継ポンプを設置した。充填口は、写真-6のように表面部材に電動ドリルで直径40mmの穴をあけ、1.5inのテーパネジ加工を行い、片側ネジ加工の充填口を取付けたものである。この充填口に充填ホースを差込み、ホースバンドにて固定した。

充填作業は、補強体をトンネル軸方向に9ブロックに分割して実施した。このとき、既設トンネルの歩床の不陸を考慮に入れて1ブロックのトンネル軸方向高低差を最大8cmとし、下端部および天端部は1ブロックを1度に充填するものとした。

下端部や天端部では既設トンネル表面の不陸があることから、充填時に空隙が発生するおそれがある。このため、この不陸を事前に測定しておき、もっとも不陸が深い位置にエア抜き管を取付けて、確実に充填されるような工夫をした。

なお、型枠の変形を考慮して1日の充填高さを50cmとした。また、充填量は1日の作業や混練にかかる時間を考慮して、最大でも10m<sup>3</sup>/日とした。

7 品質管理

本工事では、補強柱体の確実な施工のため、各工種につき厳密な品質管理を実施している。以下に、その概要を説明する。

まず、鋼製リング組立て工では、鋼製リングの

設置間隔(125mm以下)、既設セグメントとのかぶり(25mm以上)、アンカーボルトの本数・配置・固定状況(5か所/周@250mm)、連結ボルトの本数・配置状況(上底部:44本,中壁部:66本)を40リングに1回実施した。

次に、表面・嵌合部材組付け工では、施工後に補強柱体の妻側壁厚が200mm以上あるか、また天端部から下端部までの内空が設計値±30mmを確保できているか、コンベックスにより管理した。

一方、充填工では、コンクリートに相当する充填材の品質管理と、補強柱体内部での充填性の確保が重要である。そこで、充填剤の28日圧縮強度とフロー値により強度および流動性の管理を行った。

28日圧縮強度の品質管理は、充填時に採取して成形、養生した供試体を使用し、公的試験機な

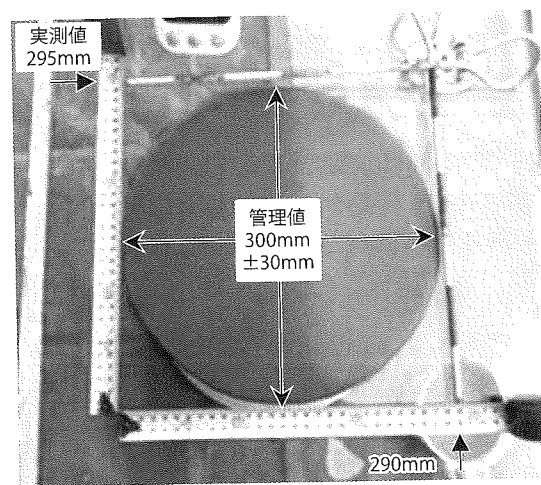


写真-7 充填材のフロー試験

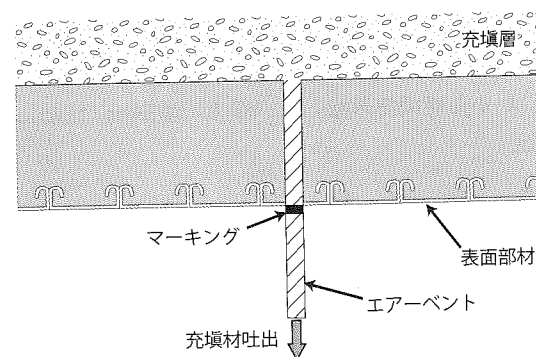


図-15 充填性の確認方法

どにおいてJSCE-G 521-1999【プレパックドコンクリートの注入モルタルの圧縮強度試験方法(封かん養生)】に準拠した圧縮強度試験で行った。供試体は、充填日ごとに3本採取した。この結果、圧縮強度は設計基準強度40N/mm<sup>2</sup>に対して、平均で76.4N/mm<sup>2</sup>、標準偏差は2.59N/mm<sup>2</sup>、信頼度95%の下限値では約71.0N/mm<sup>2</sup>であった。このことから、充填材の実強度は設計基準強度の2倍程度であり、かつ品質のばらつきも少ないことがわかった。

フロー値の品質管理は、充填日ごとに午前と午後の1日計2回実施した。写真-7に示すとおり、フロー値の試験は、JASS 5 15 M-103【セルフベリング材の品質基準】に準拠して行い、規格値300±30mm以内であることを確認するものとした。

充填性の確認は、中壁部では1ブロックごとに打音検査することで実施した。また、充填が完了したことを確認する方法として、図-15に示すとおり、工法専用の全ネジ中空管であるエアークラウドを管端部に設置し、先端の刻み部分より裏込め材が中空を伝わり、吐出したことを目視にて確認する方法を採った。同時に、補強区間全体の充填性についても確認しており、その方法は、補強体端部の妻上部に吐出口を設け、充填材が吐出したことを目視にて確認するものとした。

## 8 施工結果

本工事の実施工工期は、2015(平成27)年7月～2016(平成28)年10月であった。また、鋼製リング組立てから充填完了までの全体の日進量は2.5m/日で計画していたが、実施工としては1.2m/日と約50%の進捗速度であった。この原因として、ケーブルが輻輳する中での作業であったこと、また既設立金物の変形により鋼製リングの設置位置の確定が困難であったこと、通常の円形とは異なる形状であり、作業の習熟に時間を要したことなどが挙げられる。ただし、充填工については大きな問題もなく施工することができた。また、全体としても大きな災害やトラブルを発生することなく施工を完了できた。

## 9 おわりに

本工事は、下水管の管更正工法として実績のある埋設型枠を利用し、狭隘部にて柱体形状を構築する工事であったが、大きな問題もなく無事に施工を完了した。埋設型枠で使用する部材はコンパクトであるため、トンネル内への資材搬入や運搬補強体の構築作業は円滑に施工をすることができた。設計と施工を通じて得られた知見にはいくつかの新規性が認められ、現在、埋設型枠を利用した補強柱体のコンセプトおよび実現方法として特許申請中である。

近年、経年変状トンネルの維持管理が課題となる中、本工事のようにケーブルが輻輳した狭隘なトンネル内において、鉄筋コンクリートによる補強を成功させた意義は大きいと考える。今後は、得られた施工データの解析を行い、日進量の向上や効率的な施工方法を検討していくとともに、実際の補強効果についても内空変位計測などで追跡することを考えている。

本稿が、今後、既設シールドトンネルの補強対策を実施する際の一助となれば幸いである。

本工事では、フラットバーの腐食に伴うトンネルの変状に関して、小泉淳・早稲田大学教授、小山幸則・立命館大学客員教授に多大なご指導をいただいた。また、補強構造の設計では東電設計(株)に、施工では(株)関電工および芦森エンジニアリング(株)にご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 塩治幸男・内藤幸弘・阿南健一・大塚正博・小泉淳：経年劣化したシールドトンネルの補強に関する研究，土木学会論文集F1(トンネル工学)67(2)，pp.62-78，2011.
- 2) 塩治幸男・阿南健一・大塚正博・小泉淳：地中送電用シールドトンネルの維持管理に関する研究，土木学会論文集F1(トンネル工学)67(2)，pp.108-125，2011.
- 3) 岡滋晃・梶原誠・実広拓史：電力用シールド洞道での内空変形と鋼材腐食事例，電力土木，pp.53-56，2015.
- 4) 岡滋晃・阿南健一・実広拓史・吉本正浩：シールドトンネルの鉄筋残存量の評価と補強設計に関する研究，第26回トンネル工学研究発表会予稿集，2016.
- 5) 吉本正浩・阿南健一・大塚正博・小泉淳：地中送電用シールドトンネルの性能規定と限界状態設計法による照査，土木学会論文集，Vol.2004，No.764，pp.255-274，2004.
- 6) 有泉毅・五十嵐寛昌・金子俊輔・永谷英基・山崎剛・日下部治：周辺地盤の圧密沈下に伴う既設シールドトンネル作用荷重の変化メカニズム，土木学会論文集，No.750/III-65，pp.115-134，2003.
- 7) 有泉毅・金子俊輔・塩治幸男：シールドトンネルの長期荷重に関する研究，トンネルと地下，Vol.37，No.11号，pp.49-56，2006.
- 8) 金子俊輔・有泉毅・山崎剛・塩治幸男：軟弱粘性土の圧密に伴って発生するトンネル覆工作用土圧について，地下空間シンポジウム論文と報告集，Vol.9，pp.227-234，2004.
- 9) NETIS新技術情報提供システム，登録No.KK-080018-V. [http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail.asp?REG\\_NO=KK-080018](http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail.asp?REG_NO=KK-080018)
- 10) 下水道新技術推進機構：下水道管きょの更生工法—製管工法—バルテム・フローリング工法，建設技術審査証明(下水道技術)報告書，2012.

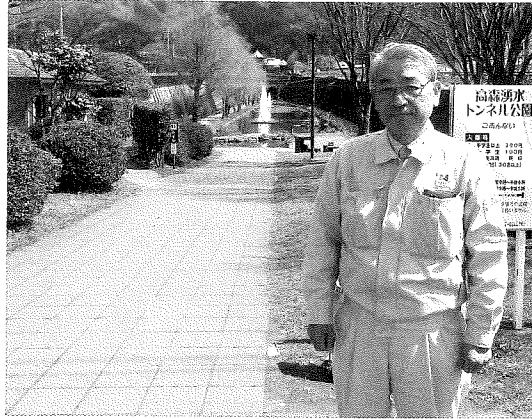
## セグメントの新技术

小泉 淳 監修 B5判 132頁 本体定価 2,000円

株式会社 **土木工学社**

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





著者近影(高森トンネル湧水公園にて(2015年3月撮影))

著者略歴

- 昭和43年 前田建設工業(株)入社  
浦上線長崎隧道(中)工区その他1,2工事
- 昭和49年 高千穂線高森隧道(西)その他工事(在来)
- 昭和59年 九州自動車道横石工事(NATM)
- 昭和63年 福岡市高速鉄道1号線地下一般部工事(地下鉄空港線)
- 平成3年 立門導水路立門工区(1期~3期)工事
- 平成9年 九幹鹿, 第2冠岳T他1工事
- 平成11年 福岡市高速鉄道3号線梅林工区建設工事(地下鉄七隈線)
- 平成17年 福岡201号 烏尾トンネル新設1期工事
- 平成20年 東九州道浦之迫トンネル北新設工事
- 平成22年 九州支店土木部シニアエンジニアとして勤務  
現在に至る



現在の高森トンネル湧水公園



毎年12月には坑内でクリスマスイベント開催

和51)年9月, 濁水対策のため工事が一時中断された。その後, 日本国有鉄道再建法により, 高森線の第三セクター化が決定し, 高森トンネル工事も中止になった。

1994(平成6)年に工事を中断したまま閉鎖されていた高森トンネルとその周辺を, 親水公園として開放するための事業が開始され, 坑口から550mのところまでが一般に公開された。現在は「高森湧水トンネル公園」として整備され, 観光スポットとして年1回程度テレビ(地方版)で紹介されている。7月の七夕, 12月のクリスマスに

は坑内に飾りつけをして賑わっている。担当した技術屋としては複雑な心境である。

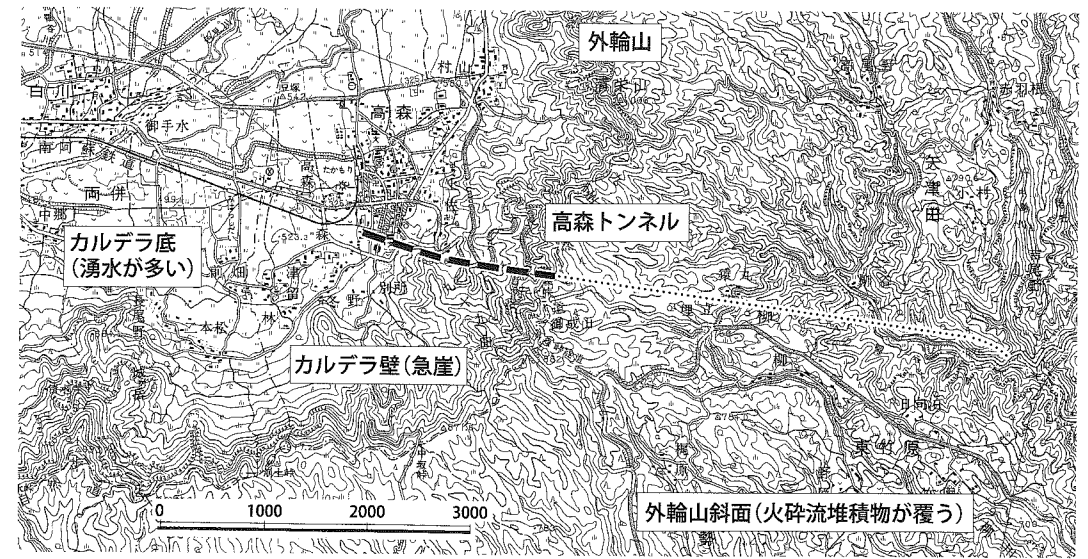
さて, 大量湧水の記録を当時の資料を見ながらたどることにする。

高森トンネルは, 全長6,515mの単線鉄道トンネル。工事は高森方と高千穂方の2工区に分けられ, 当社は高森方から方押しで3,555m(1期工事は2,455m)を施工する設計であった。掘削工法は, 坑口から705mまでは底設導坑先進上部半断面掘削工法, 以奥は全断面掘削工法で, 当時の標準的な軌道方式を採用。

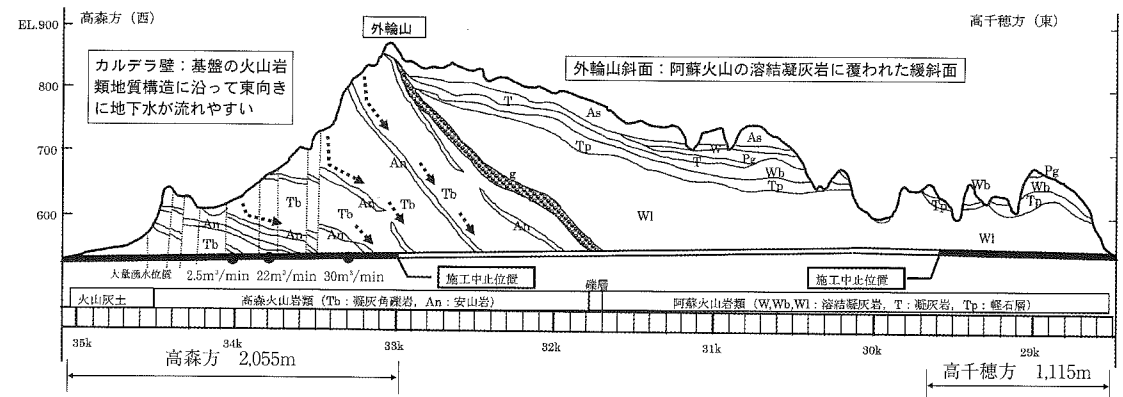
■地質

高森トンネルの地質の成り立ちに関しては, 当時の松本幡郎・熊本大学理学部地学教室助教授の知見を要約して紹介しておく。

「高森火山活動(阿蘇火山より古い約50~60万年前)の後, 阿蘇カルデラ形成の原因となった阿蘇熱雲式大噴火があり, これらの噴出物が阿蘇火砕流堆積物であり, その一部は溶結凝灰岩となっている。この噴出物が莫大であったために, 陥没してカルデラが形成されたのは周知の事実である。陥没は何十回とくり返されたために安山岩の



高森トンネル付近地形図(出展 大島洋志監修・木谷日出男編著: トンネル技術者のための地相入門, 土木工学社, p.135, 図-II. 133, 2014.)



高森トンネル地質縦断面図(出展 同上, 図-II. 134)

溶岩流には亀裂が多く入り, 凝灰角礫岩中には大きい亀裂や空洞が生じた。水理地質からみると, 安山岩の溶岩流と凝灰角礫岩は透水性であり, 凝灰岩は不透水性である。したがって, 凝灰岩の上が地下水脈となっており, 安山岩溶岩流は貯水槽となっている。

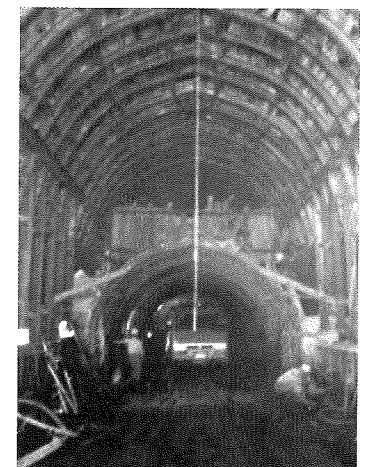
設計当初, 安山岩は不透水層と考えられていたようである。

■本社に逆らった施工計画

現場は「自前で斜坑を掘る案」を計画したが, 本社が認めなかっ

た。「大量湧水があったらどうするんだ!」というのが言い分である。坑口部の明かり工事の遅延, 高森小学校の小土かぶり区間の補助工法(パイプルーフ)などの工程を考えた末の現場からの提案であった。

所長が本社をどうにか説得して, 工事は斜坑案で進められた。掘削工法は在来工法(矢板工法)で, 斜坑(トラック方式)264m, 立坑(排水, コンクリート投入), 坑内ずりびん(掘削ずり捨て場)がおもな



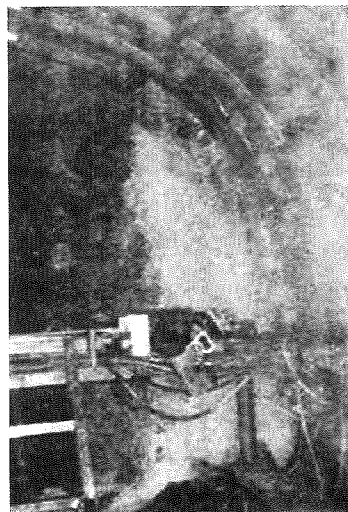
当時の在来工法(鉄道単線トンネル)

仮設備である。斜坑交差点(以降「交差点」)から左側を高森方(545m)、右側を高千穂方として併進した。交差点から左側に高森小学校があり、かぶりの小さい運動場直下の32m間は設計変更でパイプルーフ(φ125×32m、28本)を計画していた。

### ■第1回湧水事故

私が、現場に着任したのは1974(昭和49)年12月で、着工からちょうど1年が経っていた。掘削は高森方が300m、高千穂方が436mの進捗であった。このころの全断面掘削は月進100~120mを記録し、順調に掘進していた。

1975(昭和50)年2月11日、21t/分の大量湧水に遭遇しトンネルが冠水した。場所は、交差点から705m掘進した高千穂方の全断面切羽。これには前兆があった。3日前の2月8日、昼過ぎの発破によって右肩より3t/分の湧水があったので2日間様子を見た。その後、変化がなかったので同月11日に掘削を再開した。1番方の朝



1回目の湧水事故(21t/分)、33k805m

7:30装薬中、突然、濁流とともに湧水が増えたので作業を中断して、全員坑口へ退避させて強制排水の段取りにかかった。予想より30m早く断層破砕帯へ突入していたのだ。この間、湧水量は脈動をくり返しながら午後2:00ごろには21t/分になり、全体の坑内湧水量は26t/分に達した。排水設備は10t/分(当初予想された湧水量の5倍)の設備を設けていたが、高森方の掘削が貫通(残り192m)していなかったために、導坑はもちろん、すりびん、斜坑、材料線がすべて冠水してしまった。本社が懸念していたとおりになった。

緊急の排水設備は本支店の応援もあり、翌日には完備し、斜坑より坑外へと強制排水した。

### ■対策

強制排水は10日間続いた。この間に、並行して今後の対策を検討した結果、

- ① 高森方の導坑の早期貫通(残り192mを坑内外から同時掘削)
- ② 水抜き坑(4m<sup>2</sup>)ならびに水抜き斜坑(4m<sup>2</sup>)の掘削
- ③ 水抜き坑からの水抜きボーリング
- ④ 湧水管所への水抜きボーリング(φ100×14本)

を行うことにした。当時、水抜きボーリングはロータリー式試錐機で行っていたが、途中からはエアーカッションタイプの高速度ボーリングマシンを工事中の青函トンネルから投入した。ガードナー・デンバー社製で、能力は現在の日本製のボーリングマシン

(アロードリルなど)と匹敵するもので、さすが外国製と感心した。

地上では湧水問題が発生した。高森町の自然湧水、地下水が甚大な被害を受け、飲料水の供給がストップするという事態に陥った。自衛隊の給水、井戸の新設、切羽の湧水や水抜きボーリングからの供給などの対策が行われ、当時、湧水対策(とりあえず飲料水)として数kmにわたり塩ビ管を昼夜突貫工事で敷設した。現在でも坑内からの湧水量は30t/分を超え、一部は上水道および灌漑用水として使用されている。

### ■所長の反省

「ほら! 見たことか!」と本社から叱責されたかどうかは定かではないが、所長の頭の片隅にあったトンネル冠水という非常事態が現実目の前で起きた。所長は切羽に来られるなり緊張した様子で、私に「原君、全員をすぐに坑外へ退避させてくれ!」という指示をされた。所長の指示に対して「装薬している爆薬を撤収してから退避します。1時間程度で終わります。私が見張ります。」とって所長の承諾を得て作業員全員で爆薬を撤収した。

このときは、湧水状況に変化がないこと、濁水でないこと、切羽が安定していたことなどから判断したのである。幸い、何事もなく無事撤収できた。もし、あのまま退避したあと、切羽が崩壊でもしたら、再開のとき爆薬(親ダイ)の回収が非常に困難となる。その反面、撤収中に切羽が崩壊でもしたら重大事故につながる。非常にむ

ずかしい判断であった。このような状況は、必ずや生涯のうち1度や2度はある。ここで学んだのは、「所長でも絶対ではない」ということである。上司が言ったから何も考えず言われたとおりにやるのではなく、自分の意見を述べて判断を仰ぐことである。

湧水対策に目途がたったある日、所長が全員に向かって「何事も最後まであきらめてはいけない。私は今回の湧水事故で学びました」と反省の弁を述べられ、頭を垂れられた。上司が部下に対してなかなかできるものではない。

### ■水との戦い(破砕帯突破とその後の掘削)

掘削は48日ぶりに再開した。この時点での切羽は、水抜き対策で湧水はほとんどなくなっていた。断層の幅は1m。断層角礫や断層粘土などは湧水で流され空隙がはっきりと確認できた。地質は凝灰角礫岩であったが両壁は自立していた。破砕帯区間の12m間は支保工ピッチを1mから80cmに変更して縫地工法で突破した。その後、湧水は掘削とともに漸増していったので、抜本的な対策として11m<sup>2</sup>の水抜き調査坑NO.2(以降、「調査坑」)を本坑と並行(壁間10m離れ)して施工することにした。この調査坑からは、常に本坑切羽より30m程度先行して水抜きボーリング(φ100×20m)を10m間隔で行った。湧水は安山岩に到達すると見られた。多いところで1本あたり2t/分ほどあり、調査坑(235m)全体の湧水量は18t/分に達した。この結果、本坑の

湧水はほとんど見られず順調に掘進ができた。

### ■第2回湧水事故(さらに多い大量湧水)

2回目の大量湧水は、同年12月27日に遭遇した。1回目より更に多い28t/分の大量湧水である。今回も前兆があった。1回目の破砕帯から520m進捗した切羽左肩(前回は右肩)より2t/分の湧水があった。正月も控えていたので掘削を中断して様子を見ることにした。正月を挟んでも変化がなかったので掘削を再開したが、湧水が増えていったので中断して対策を練った。

### ■対策

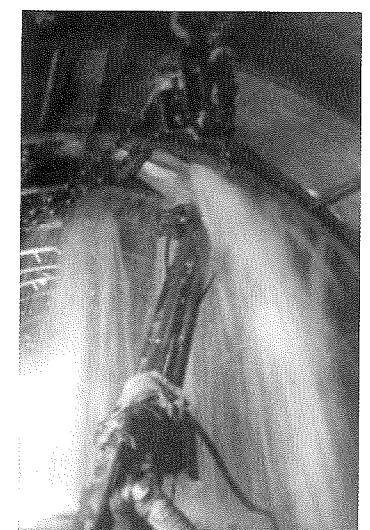
基本的な対策は、前回同様、水抜き調査坑(11m<sup>2</sup>)と水抜きボーリングである。水抜きボーリングと調査ボーリングによって、切羽付近に断層あるいは空洞があることがわかった。そこで水抜き調査坑NO.3(以降、「調査坑」)を施工することにした。1976(昭和51)年



2回目の湧水状況(28t/分)、湧水は切羽から手前にも移動

1月23日、調査坑を32m掘進したとき、発破と同時に、中断していた本坑の切羽天井前面から、突然に28t/分もの大量湧水があった。この湧水で総湧水量は63t/分にも達した。今回は高森方が貫通していたので冠水は免れたが、排水設備を増強して排水能力を74t/分とした。今回も湧水による切羽の崩壊と支保工の変状はなかったが、約300m<sup>3</sup>の土砂が天井から流出した。

あとでわかったことだが、この流出で天井に空洞ができていた。対策として、切羽から約54m離れた位置にボーリング座を設けて10本のボーリングを行い、切羽の湧水を約10t/分程度に減水して同年3月1日、37日ぶりに調査坑の掘削を再開した。73m掘進したとき、本坑切羽上に約300m<sup>3</sup>の大きな空洞(土砂流出)があるのを確認した。この空洞は、コンクリートで充填した。調査坑は2回の断層破砕帯に遭遇して、大量湧水



水抜き調査坑からの水抜きボーリング、1本あたり2t/分の湧水量

(5～13t/分)に見舞われたが、292mで掘削を終えた。

調査坑からの水抜きボーリングが功を奏して、本坑は順調に掘進していき2,055mで掘削を中止した。到達点の切羽は、全面安山岩で約5t/分の湧水があるものの安定した状態にある。

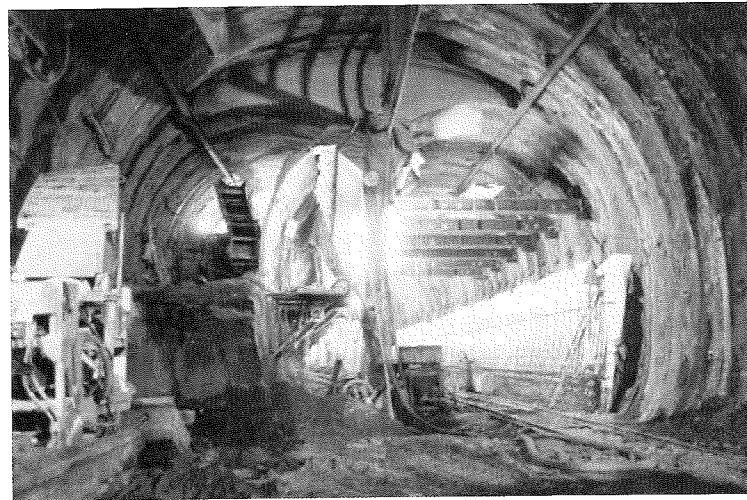
### 都市NATM (福岡市地下鉄空港線)

初めてNATMを経験してから早くも2件目で都市NATMの監理技術者として赴任した(1988(昭和63)年5月)。本工事は既設の博多駅から福岡空港に接続する約3.1kmの地下鉄工事で、7工区のうち2工区がNATMでの設計である。当工区は博多駅への接続区間で、既設留置線の関係から3連(L=95m)、2連(L=50m)、複線断面(L=95m)と、短い区間で複雑に変化する。

掘削は自由断面掘削機(ブームヘッダーRH3J、ミゼットマイナー)によるショートベンチカット工法で、軌道方式を採用。覆工は完全ウォータタイトトンネル(ECBシート)である。工事は公

園に直径14m、深さ約20mの立坑とその周辺に仮設備を設置してから連絡坑で本坑上半へ切上がった。立坑工事と並行して、路上では夜間工事で地下水位低下工法(ディーブウエル工法)、止水を目的とした薬液注入工事などを行った。

施工箇所周辺は、都市機能の中核部であり、ホテル、官庁、一般ビルが近接密集している地域である。道路は車、人の往来が激しく、地下埋設物(都市ガス、下水道、九電ケーブル、NTTケーブル)も多い。

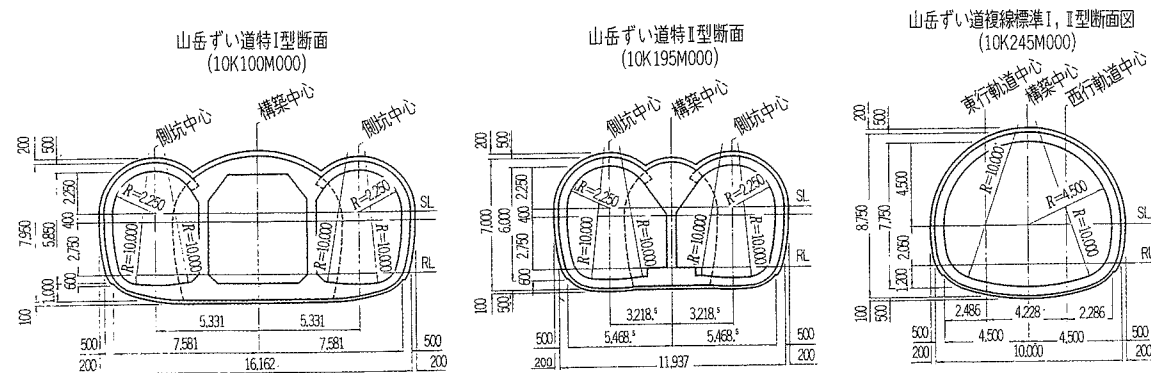


西行線掘削状況、この時点では東行線はインバートのみ施工

地質は地表より表土、沖積砂層、洪積砂層、および古第三紀の頁岩層である。掘削で対象となる地質は、古第三紀の石炭層を挟む頁岩と砂岩の互層となっているが、風化頁岩と軟質頁岩が主体である。風化頁岩のN値は50以下、透水係数 $k=1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-5}$ 。

### ■掘削

吹付けは乾式で行った。立坑内部に吹付けプラント設備を設け、コンクリートモービル(CM-100T)で材料を運搬して、アリバー280で吹付けた。アリバーは複線区間終点に固定し、特型断面(L



標準断面図(出典 柴田剛志・南昭男・中村秀光・木下敬一:市街地をNATMで空港へ、福岡市地下鉄1号線延伸部、トンネルと地下、Vol.20, No.12, p.47, 図-1の一部, 1989.12.)

=145m)はすべて圧送して吹付けた。掘削の手順は、複線区間→中央坑→東行線→西行線の順序で行った。東行側坑掘削は設計どおり、中央坑の覆工が完了してから行ったが、西行線の掘削は、東行線のインバートコンクリートの完了を待って早期着工した。

心配した覆工未施工での東行線の変位はほとんどなかった。この西行線早期着工で約2か月の工期短縮ができた。この実績は、今後、同様の工事において参考になるかと思う。

掘削は特型部で苦勞した。中央坑掘削では、

- ① 上下半同時掘削におけるずり出し
- ② 上半への支保工など材料の持込み
- ③ 泥土化
- ④ 安全通路の確保
- ⑤ 扁平断面(終点側の漸増区間)の掘削方法

などである。とくにディーブウエル工法の効果が赤水のために半減し、下半の泥土化を招いた。上半

においても、滴水程度の湧水のために、掘削ずりが泥土化し、ミゼットマイナーのずり搔寄せ板に付着して、ずり処理能力が大幅に低減した。

到達側30m間の上半扁平断面はCD(センターダイアフラム)工法を採用した。掘削機械もミゼットマイナーに替わってミニバックホウとジャイアントプレーカに交替えた。

東西側坑掘削もミゼットマイナーを2台投入して上下半同時に行った。機械が入ると、やっと人が通れるくらいの狭隘な断面で、中央坑以上に苦勞した。泥土化したずりの運搬は、ミゼットマイナーのサイドにバックホウ(バケット・ブームのみ)を装備して積み込んだ。

### ■都市NATMの崩落で神頼み

中央坑で崩落したときの対策について職長と激論した。

朝、夜勤から上がってきた職員から「中央坑上半切羽の押出し量が10mmと限界値近くにきています!」との報告があった。すぐさ

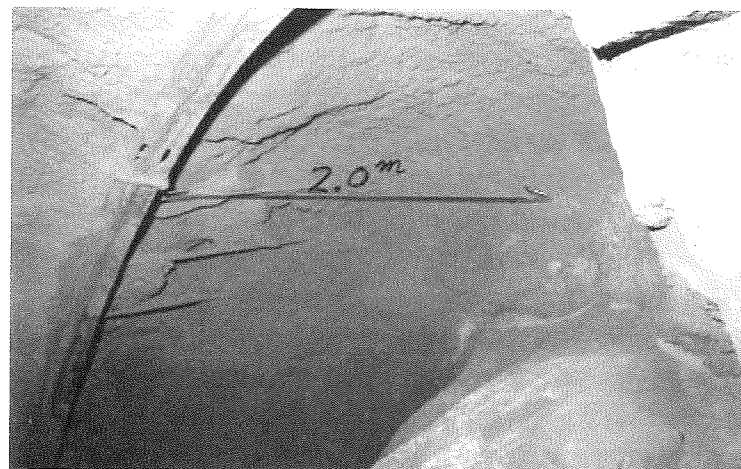
ま、切羽へ行って状況を確認したが、施工中の先受けボルトの削孔穴から湧水があり、切羽全体からも滴水程度の湧水が見られた。今にも崩れそうであったのですぐに作業を止め、吹付けの準備を指示した。準備中に切羽が崩れ始め、吹付けができるようになった時点では半分以上は崩れていた。吹いては崩れ、吹いては崩れをくり返し、ようやく落ち着いた。このときの私の心境は神頼みであった。「どうにか山が鎮まってくれ、吹付け作業にトラブルがないように……」と。

幸い、山は持ちこたえてくれて機械のトラブルもなかった。初めて「神頼み」の経験をした。このような経験は、2度としたくない。

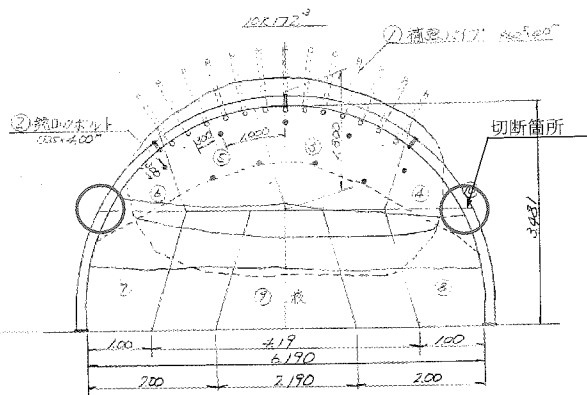
崩落の大きさは天井が50cm、奥行きが2m程度であった。あと1.5m天井が抜けると、一部止水注入はしているものの、ds層(砂質土)に入り、湧水とともに大崩落の危険性があった。頭上が市街地の主要道路と思えばぞっとする経験である。3週間程度で、今後の方針が決まり、地上では薬液注入の追加工事(切羽上半肩まで補強注入)、坑内はミニパイプルーフ工法(当時、AGFなどの技術はなかった)、鏡ボルト、扁平断面箇所のCD工法などの補助工法が追加された。

### ■支保工を「切る、切らない」で大激論

崩落箇所を安定させるために、早期に支保工を1基建て込む必要があった。大激論はこのとき起きた。正規の支保工を建て込むには、



中央坑 崩落状況(10k172.3m)



中央坑 崩落箇所対策図(10k172.3)

崩落土を撤去しなければならない。この土砂撤去によって、せっかくバランスを保っていた切羽が再度崩落する危険がある。そこで私は、安定している今の状態のまま支保工を建込むように指示した。

この指示どおり施工するには、支保工の足を1.9m程度切断して加工する必要がある。職長は「大丈夫だから、崩落土を撤去して正規の支保工を入れよう」、私は安全第一で「支保工を切ろう!」と言った。激論が切羽で30分程度続いた。感情的にならず「君の案でも問題ないかもしれない。しかし、このケース(都市NATM)は安全第一で行こう。手間はかかっても良い。金は払う。この工事が終わったら、この時間なんか笑い話になるよ」と説得して、私の案でいった。事実、数年後、職長と当時の思い出話に花を咲かせた。

この方法はNATMの特徴を生かしたもので、崩落土の上に支保工を建て込んで支保効果は発揮できた。これを経験した職員が、某現場の崩落対策で同じことを指示していた。

「技術は黙っていても伝承する

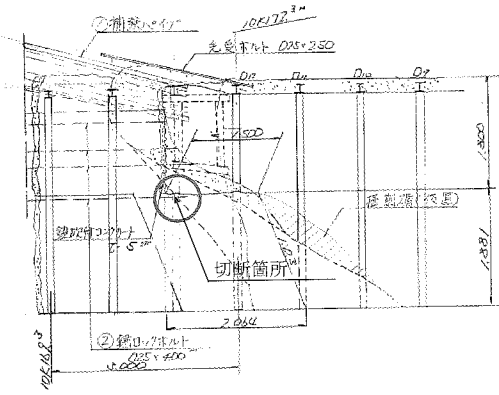
ものだな」と思った。

### ■F-Sボルトの技術開発

前記した中央坑での崩落以降、監理技術者として自宅で安らかに眠ることができなくなった。また、いつ、現場から電話がかかってくるか、気が気ではなかった。そこで安らかに眠れるようにと長尺で確実な施工ができる鏡ボルトがないものかと思案した結果、F-Sボルトの開発に至った。

当時の鏡ボルトは4mのグラスファイバー(FRP)が主で、孔壁(φ45)が崩れるような地山での施工は信頼性に欠けていた。そこでコンセプトとして「確実にセメントミルク(以降、「ミルク」)が充填でき、かつ長尺施工が可能な鏡ボルト」の開発に取り組んだ。試行錯誤をくり返しながら孔壁防止にケーシングパイプを挿入する案を考えた。

ケーシングはφ60.5mm、厚さ2.3mmの鋼管パイプで先端を尖らした挿入型である。削孔径は100mmで1回あたりの鏡ボルトの長さを11mとした。鋼管内にはミルクを充填する短い注入用パイプとボルト先端まで届く長いリ



中央坑 崩落箇所対策縦断面図(10k172.3)

ターンパイプの2本を挿入した。リターンパイプからのミルクの漏出によって確実な鏡ボルトが施工されたことを確認できた。

課題は、鋼管の切断にあった。1サイクル(1m)ごとにガスで溶断することは現実的でなく、掘削機械によって切断できるようにと、鋼管にスリット(50%)を50cm間隔に千鳥で入れた。強度が少し落ちても現状の鏡ボルトよりは格段に良くなることを確信していた。予想はしていたが、鏡ボルトの引張強度は、充填剤と地山の拘束によってスリットの弱点をカバーした。頭の中では「この長尺鏡ボルトを打てば、仮に小崩落はあっても大きな崩落はないな」と、かなりの安心感を与えた。

ボルトのおかげで地山は安定し、以降、安らかに眠れるようになった。フレキシブルパイプボルトの頭文字のFに、スリットのSを付けて「F-Sボルト」と命名した。以降、関係者の努力で、現在のAGF-S(無拡幅工法)やF-Sボルト(先端捨てビット式)、スモールPなどの補助工法に進化していった。

発はお金もかかるし、リスクもあるのに、なんでそこまでするのか?」と。

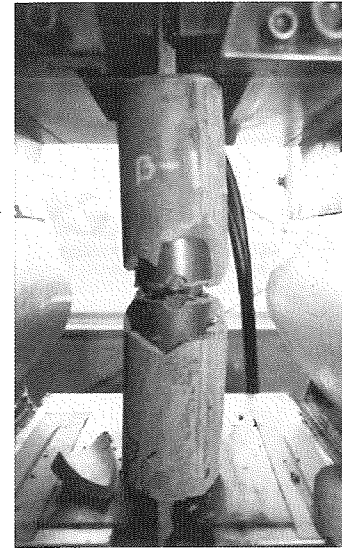
そのときは笑ってごまかしたが、今、振り返ってみると「楽しいですね! 子供が好きな遊びに夢中になるのと同じです。仕事を楽しくするためにやっているような気がします」。とくに野心があったわけでもない。

若い職員には「みんな夢を持ってほしい。技術者の勝負は所長になってからだ! 所長になれば人、物、金が動かせる。それまで20年は脇目も振らず問題発見力を磨いてほしい」と。また、「やりたいことがやれるが、実行予算だけは守れよ! やりたいことをやって予算を守らなければ10年は冷や飯を食うぞ!」と釘をさす。

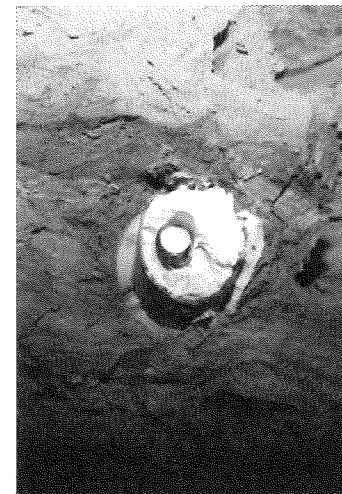
大半が、現場の責任は安全に良い物を工期内に収め、利益を上げることで、技術開発なんてやる余裕も責任もない! バブル時代でもやってこなかったのに、やれるわけがないと……。これまた正論である。これでは会社(現場)の技術開発は誰もできない。でも、ここにチャンスがある。「やる者にしか神様は答えを用意していない」のである。若い職員の中には技術開発は技術研究所でやるものだと思っているものが意外と多い。もちろんケースによっては技研の助言はもらうが、基本は現場主導であり、ボトムアップである。

### ■浮きパイプレータから覆工マルチ工法まで

以前から所長になったら、こういう仕事をしたいと夢があった。



F-Sボルト室内引張試験



F-Sボルト施工状況

### 覆工の技術開発

平成に入って以降、22年間で責任者として5現場のトンネルを経験したが、この間は覆工の技術開発を推進した。現在、開発中も含め、いくつか紹介するとともに、私の覆工に対する思いを述べる。

### ■技術開発の心構え

覆工現場に案内すると、よくこう問いかげられた。「現場での開

1989(平成元)年、当時は建設業の3K(きつい、汚い、危険)が社会問題になっていた時代。また、社内ではTQC(総合的品質管理)が推進されていた。このような背景もあって、トンネル環境の改善を目的とした「長スパン型枠工法におけるトンネル環境の改善」をQCで発表した。

トンネル工事における環境悪化の元凶は、掘削・覆工の同時作業にあると考え、掘削完了後に覆工を行う単一作業の提案で、工期の遅れは覆工の長スパン化(18m)で取り戻すという考え方である。このような夢を持っていたのだが……。

1997(平成3)年、地下鉄工事が終わり、熊本の導水路工事に所長として赴任することになった。NATMの時代が始まったというのに小断面の在来工法である。正直、周りに取り残されるなどと思った。また、長スパン型枠工法の夢も潰れたと……。しかし運命的な決断があった。受注の挨拶帰りの車中で、土木部長から「原君、今度、何かやるかね?」と尋ねられたとき、私の心の中は「在来で小断面、何にもできないよ」と叫んでいた。数秒間沈黙が流れた。しかし4年間無駄飯を食うよりはと、後先考えず、夢である「『長スパン型枠工法の技術開発』をやります!」と、発注者の承諾も得ず、言ってしまった。この決断が「覆工マルチ工法(以降、「マルチ工法」)」開発の原点である。不思議なもので、それ以降の開発は、自分の手から離れることなく関係

**1 高品質トンネル覆工天端部締固めシステム**

あらかじめクラウン部にパイプレータを設置して打設完了後に引抜きながら締固める工法です。

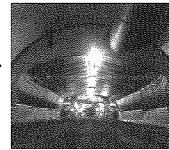


**8 マゴノテ工法**

クラウン部の検査窓にパイプレータ挿入孔(φ100mm)を設け、コンクリート打設完了と同時に棒状パイプレータを数メートル挿入することでその周辺を締固める工法です。

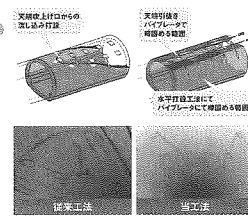
**5 パラソル30ミスト工法**

軽量パイプの骨組みを覆工天端に架設し、その骨組みをシートで密閉した移動式パラソル内に5ミクロンのミストを高圧噴射してミストを充填させ、十分な潤滑養生を可能とする工法です。



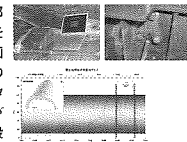
**3 クラウン部水平圧入打設工法**

アーチ頂部に油圧式開閉バルブ付の打設孔を4箇所設け、妻側・ラップ側左右交互に水平に打設していく工法です。



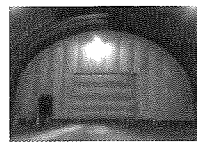
**4 コンクリート充填圧管理システム**

セントラルクラウン部に圧力センサーを設置し、パソコン画面でコンクリートの充填圧をリアルタイムに確認しながら打設を行う打設管理システムです。



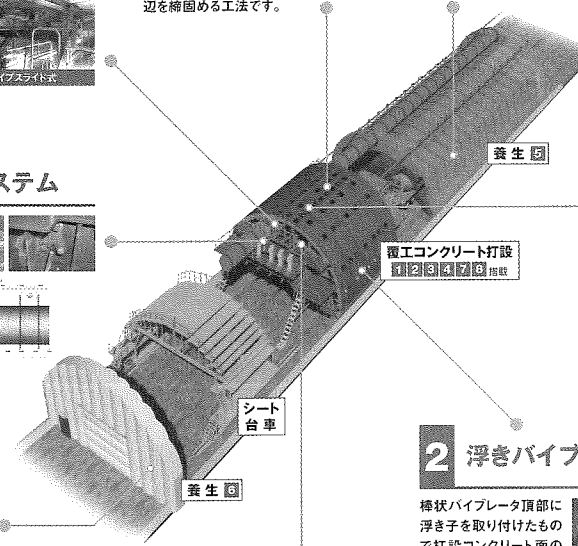
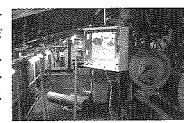
**6 隔壁バルーン養生システム**

貫通後の通風による乾燥収縮ひび割れを抑制するために、トンネル中央部に設置したバルーンに2台の送風機で常時空気を送ります。



**7 省力化・省人化システム**

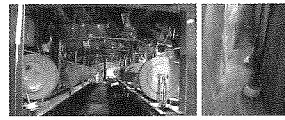
カメラ2台、モニター4台でコンクリートポンプ車、配管切替装置を遠隔操作して省人化を図るシステムです。



覆工マルチ工法の全景

**2 浮きパイプレータシステム**

棒状パイプレータ頂部に浮き子を取り付けたもので打設コンクリート面上昇に追従しながら所定の深さでのコンクリートを締固める工法です。



施工実績

工事件名	発注者	延長(m)	施工期間
福岡201号 鳥尾トンネル新設1期工事	国土交通省	929	2005/12~2008/02
福岡201号 鳥尾トンネル新設2期工事	国土交通省	615	2006/09~2008/01
東九州道(瀬江一帯)瀬之浦トンネル北新設工事	国土交通省	819	2008/02~2010/03

者の協力もあってトントン拍子で進んでいったような気がする。コンクリートの締固め技術(浮きパイプレータ、センサー付きパイプレータ、天端部締固めシステム、マゴノテ工法)、打設技術(クラウン部水平圧入打設工法、充填圧管理システム)、養生技術(パラソル30ミスト工法)、これらの開発技術をシステム化してマルチ工法を確立した。

■最新の覆工技術HDL工法の開発

空隙のない高密度な覆工を構築するには「充填圧の付加」と「最終打設口からの打設量の最小化」、この2つが大事な技術と考える。

充填圧が高いと充填性、強度、密度などが高まる。最終打設口(一般にはラップ側の天端打設口)からの打設量が少ないと、打設時間が短くなりスランプダウンがない、流動性が良くなり充填性が高まる、空隙ができない、密実性が高まるなどが期待できる。

今回、この2つの技術をさらに高めるクラウン部密充填ライニングシステム、略してHDL工法を開発した。

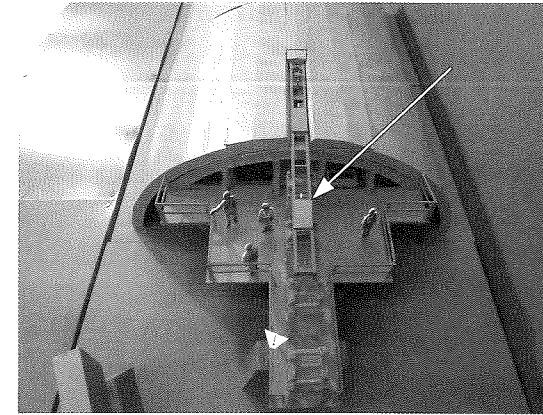
充填圧を高めるために、天端に7か所の打設口を設けて、妻部の充填圧を打設完了後で最大70kPa(従来工法よりは4倍以上、マル

チ工法よりは2倍以上)に高め、ラップ側とほぼ同等にして充填圧を標準化した。

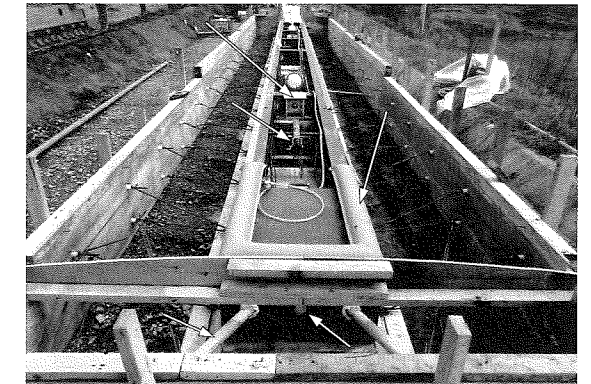
最終打設口からの打設量を減らすために、天端部に型枠(幅60cm、高さ30cm、長さ10.3m)を設置して、型枠天端まで天端部の7か所の打設口から圧入することで、最終打設口からの打設量を8m³程度に減らした。打設時間は、40分程度で従来工法よりは2時間以上、マルチ工法よりは40分~1時間以上短縮できた。

■充填状況を可視化

天端部の型枠は、スライド式で「打継ぎ目自動締固めシステム」



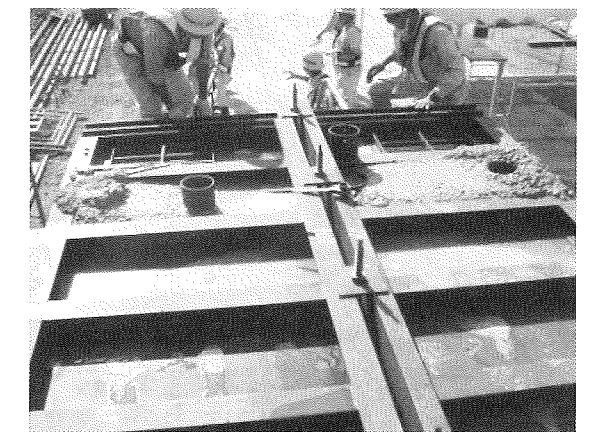
HDL工法による天端打設状況イメージ



HDL工法実証実験スライド式型枠(幅60cm、高さ30cm、長さ10.3m)



充填状況の可視化



引抜きパイプレータ実証実験(型枠密閉型)仮想巻厚の確認

「クラウン部巻厚自動検出システム」「型枠先端部充填圧管理システム」「可視化機能」などを設備した多機能型型枠となっており、HDL工法の核となっている。とくにスライド式型枠先端部の充填状況をWebカメラで可視化して撮影・記録できるのも大きな特徴である。

■「知識と正直親切」を加える

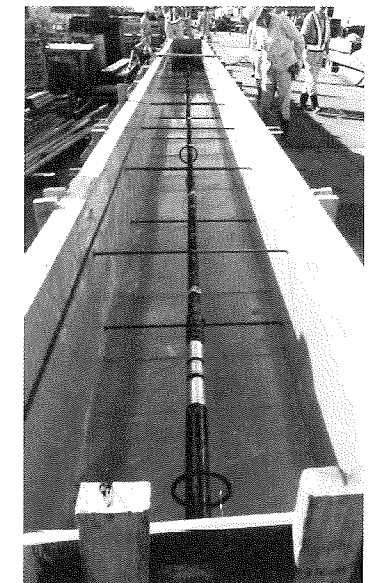
「良いコンクリートをつくるには、セメント、水および骨材のほかに、知識と正直親切を加えなければならない」。これは吉田徳次郎博士の言葉である。亡き松下博通・九州大学名誉教授から学んだ。

「マルチ工法+HDL工法」は、さらに丁寧を加えた工法である。少しは博士に近づけたのではないかと自負しているのだが……。

■実証実験

技術開発は、実証実験を行い、その効果と施工性を確認した。とくにやりたい実験があった。「コンクリートを密充填したあと、圧力を解放したらコンクリートはどうなるだろうか?」と素朴な疑問があった。

そこで2つの実験を行った。1つ目は蓋つきの強固な型枠に充填したあと、蓋を開けたらどうなるか? 2つ目は実物大の密閉



引抜きパイプレータ実証実験(型枠開放型)

式の型枠で密充填圧入したあと、引抜きバイブレータ(天端部締めシステム)で締め固めた場合どうなるか? 結果は、どちらもコンクリートは盛上がり、沈下はしなかった。この盛上がった量(厚さ)を「仮想巻厚」と呼ぶことにした。

一般にコンクリートは、締め固めると厚さの2%程度は沈下する(開放型)。この実験で、天端部をしっかりと充填圧入しておけば、締め固めても沈下しないことがわかり、心配されていた「トンネル天端を締め固めたら沈下して空隙ができるのでは?」という質問に答えることができた。

### おわりに

1980(昭和55)年ごろだったかと思うが、本社でミュラー博士のNATMの話があるということで聴講した。在来工法(矢板工法)し

か知らない私は、素掘りのまま吹付け作業するのは危なくて、山の良いところしかできないなと思った。それから4年、九州縦貫道路工事で初めてNATMが設計された。その後、都市NATM(地下鉄工事)を経験して、山の悪い箇所ほどNATMが有効であることを経験した。180度、考えが変わった。それから現役を退くまでの20年間で、NATMも大きく飛躍した。補助工法、機械の大型化、測量機器の改良デジタル化、情報技術を駆使した管理など枚挙にいとまがない。

NATMで大きく変わったことがもうひとつ、労働災害が激減したことである。NATMによって加背割りが減り、安全管理も集中することができるようになった。「死亡事故0」も夢ではない。

覆工品質も格段に良くなった

1999(平成11)年の新幹線覆工剥落事故以来、産学官においては覆工の品質向上に向けての設計・施工・材料などが見直されてきた。個人的にも覆工の技術開発を推進してきたので、微力ながらタイムリーな話題を提供することができた。しかしながら技術は芸術である。「理想に到達した」と思った時点で停滞する。「技術は無限」である。

現在の総合評価落札方式も相まって覆工技術は各方面切磋琢磨しているが、現場育ちの私がよく言うのは「どんな良い提案でもやるのは人である。品質は人の質である。人の質の向上が大事である」と、それに「きれいなコンクリートよりは美しいコンクリートを打て!」と……。

## 施工

# 地下鉄4線と送水管2本に並列近接したシールド施工と切羽での支障物撤去

## —国道479号 清水共同溝—

大阪市建設局東部方面管理事務所中浜工管所係長 廣田 知夫  
 大阪市建設局東部方面管理事務所中浜工管所 杉原 翔太  
 前田・南海辰村特定建設工事共同企業体作業所長 織田 孝之  
 前田・南海辰村特定建設工事共同企業体工事課長 鈴木 哲太郎

### 1 はじめに

大阪市の清水共同溝事業は、全体で大阪市鶴見区鶴見5丁目から大阪市守口市境までの国道479号の道路下に、延長約2.0kmで、シールド工法および開削工法によって共同溝を構築するものである。



図-1 工事位置図

当工事は、このうちの1区間であり、外径5.0m、延長1.34kmの電気・水道用の共同溝を泥土圧シールド工法によって構築するものである。工事位置図を図-1に示す。工事の特徴として、土かぶりが6~10m(1.2~2.0D)と小さく、掘削対象土層にN値0~2の軟弱粘性土層が含まれること、重要地下構造物と全線にわたり近接施工となること、圧気工法を用いた地中での支障物撤去作業があること、などが挙げられ、路上および近接構造物の安全性の確保が最大の課題となった。

本稿では、重要地下構造物の近接施工における対策工、ならびに圧気工法を用いた支障物撤去を含む施工実績について報告する。

### 2 工事概要

#### 2-1 工事概要

工事概要を表-1に、トンネル縦断面図を図-2に示す。

施工前に支障物件調査を行った結果、原設計シールド線形は6か所にて既存の埋設物(水道施設基礎、歩道橋基礎、仮設土留残置物など)と干渉することが判明した。そのため、調査工事(試験掘り、地中探査、探査ボーリング)を行い、埋設物管理者と協議を実施したうえで、それらを回避す

るように線形を変更した。しかし、地下埋設物が輻輳する交差点直下においては、線形上、回避不能であった水道管基礎杭を一部撤去することとなった。

2-2 地質概要

地質構成は、盛土層(B)直下よりGL-10m弱までは地質的に沖積層に区分される上位の砂質土層(As)と下位の粘性土層(Ac)からなる。以深は洪積層で、粘性土層(Tc1)～砂質土層(Ts)～礫質土層(Tg)の順に分布し、Ts層とTg層の間に粘性土層(Tc2)が介在する。沖積層のうち、上位のAs層はシルト分を含み、N値は2～4と締め具合は

緩い。下位のAc層は貝殻片や腐植物が混入し、N値は0～2と非常に軟弱な状態にある。地下水は約GL-1.5mに存在し、地下水以深の粗粒土層はおおむね中位の含水状態である。As層、Ts層、Tg層とも透水係数は $k=1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ 程度である。

3 工事の課題

3-1 重要地下構造物との近接

本シールド線形は、以下2つの重要構造物と近接施工となる。小土かぶりかつ軟弱地盤の掘削による近接構造物への大きな影響が懸念された。

3-1-1 大口径送水管との近接

(1) 近接概要  
φ1,500mm送水管×2条が上部近接となり、うち1条はほぼ全線で並走する。最近接箇所においてはシールド直上3.4mの位置となる。最近接箇所の断面を図-3に示す。

(2) 事前影響解析  
送水管の影響検討は、2次元FEM解析を用いて行った。近接施工区間の中で当シールドと送水管が最近接する断面において実施し、解析は、応力解放率αを考慮した掘削解析と、その際の構造照査にて行った。応力解放率αは、本工事に関する過年度の検討実績を踏襲し、「α=20%」とした。解析の結果、送水管中央部で28mm、地表面で26mmの沈下が発生する結果となった。

送水管に発生する応力度は長期許容応力度以内となったが、送水管の沈下量(28mm)が水道管理者

表-1 工事概要

工事名称	国道479号清水共同溝設置工事-4		
工事場所	大阪市鶴見区鶴見5丁目～旭区新森7丁目		
工期	2013(平成25)年3月1日～2017(平成29)年3月31日		
発注者	大阪市建設局		
施工者	前田・南海辰村特定建設工事共同企業体		
工事延長	L=1,343m		
掘削工法	泥土圧シールド工法		
線形	平面曲線：12か所(最小半径100m, 曲線率21%) 縦断曲線：7か所 縦断勾配：1.34～-3.24%		
セグメント寸法	外径5,000×内径4,600×幅1,200×桁高200(曲線部：幅900)		
セグメント構造	RCセグメント	1,124リング	
	可撓セグメント(発進部、到達部)	2リング	
	合成セグメント(中間立坑部)	42リング	
	合計	1,168リング	
土かぶり	6.1～10.3m(1.2～2.0D)		

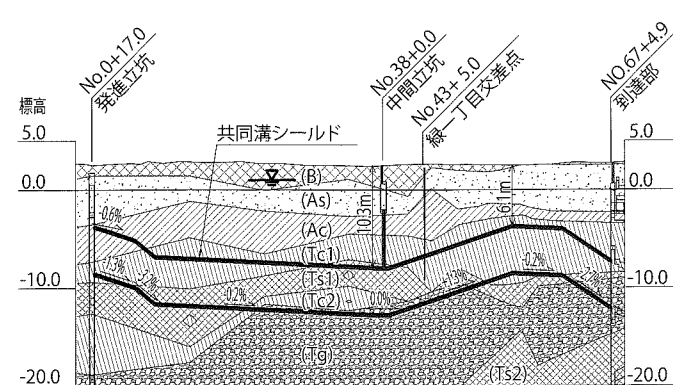


図-2 トンネル縦断面図

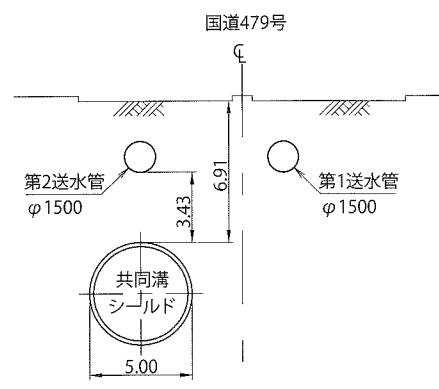


図-3 送水管近接断面図

の管理基準値(15mm)を大きく上回る事となったため、送水管への影響低減対策が必要となった。

3-1-2 地下鉄との近接

(1) 近接概要

本シールド線形は、工事延長1,343mのうち、後半の450m区間において、営業中の地下鉄本線×2本、出入庫線×2本の計4本の単線シールドと並走する。最近接箇所においてはシールド側方1.47mとなる。最近接箇所の断面を図-4に示す。

(2) 事前影響解析

地下鉄構造物(シールド)への影響検討も2次元FEM解析および、その結果をもとにした応力照査により行った。

近接施工区間の450mの中で、当シールドと地下鉄が異なる近接モードで接近する3断面において、応力解放を考慮した「手法1」と、施工ステップを考慮した「手法2」の二つの方法による2次元FEM解析を実施した。そこで算定された変位と応力度を用い、地下鉄シールドの横断方向、縦断方向のそれぞれの構造照査を行った。

「手法1」において用いた応力解放率は送水管の影響解析と同様「α=20%」とした。

「手法2」は、施工ステップを考慮しつつ、側方の変位についても表現できる手法であり、シールド施工の過程を、①切羽到達時、②マシン前半部、③マシン後半部、④テール通過時の4段階の施工ステップに分けてシミュレーションしたものであ

る(ただし、大阪市交通局内部での検討中手法である)。

各施工ステップの解析で入力する荷重は、ステップ①では切羽圧を、ステップ②では泥土圧およびシールド前胴部自重(浮力考慮)を、ステップ③では裏込め注入圧、シールド後胴部自重(浮力考慮)、およびシールドの姿勢制御による荷重を、ステップ④では裏込め注入圧を用いてそれぞれ算定したものであり、前ステップ終了時点の地山の応力状態も考慮されている。

解析の結果、地下鉄シールドの最大変位は、「手法2」のステップ③にて発生した5.9mmであった。発生する応力度は、いずれのケースにおいても長期許容応力度の範囲に収まる結果となった。

3-2 水道管基礎杭の支障

発進から900m地点にある幹線国道どうしの交差点(緑一丁目交差点)直下にて、線形上、回避不能であった水道施設基礎である松杭とシールドが干渉する。当該箇所の詳細図を図-5に示す。

支障となる水道施設の基礎杭(松杭)は、供用中の送水管φ1,500のドレーン管(φ700)の基礎、および分岐部の制水弁室基礎であり、保護コンクリート部は送水管部から一連の躯体構造となっている。

施設管理者との協議を実施し、当初は、シールド通過前に、地上から開削工法により撤去することを検討した。しかし、移設に長期間を要する架空線および交通管制カメラが直上にあること、道

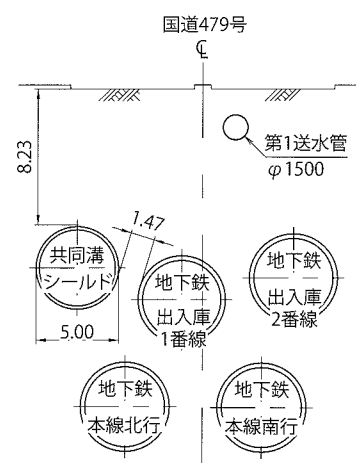


図-4 地下鉄近接断面図

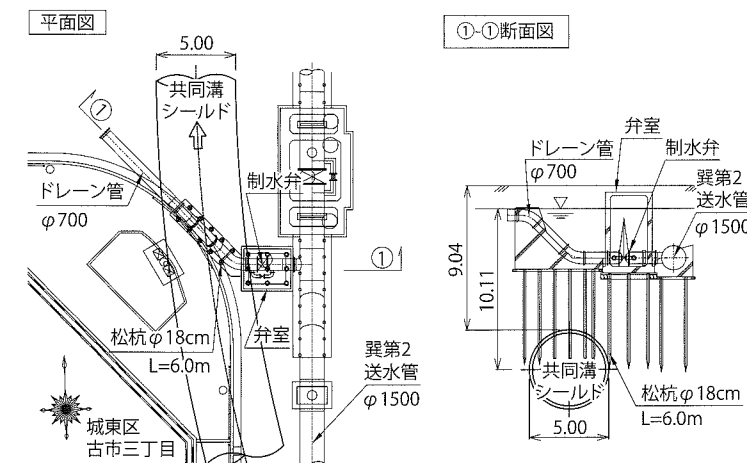


図-5 松杭支障部詳細図

路使用条件が厳しく日施工量の確保が困難であることなどの理由から、開削工法では松杭撤去作業に長期間かかり、シールド工程の大幅な遅延が見込まれたため、シールド通過時に地中にて撤去する方法をとることとした。

交通量の多い交差点直下における地中での松杭の撤去作業を、いかに安全に、かつ確実な工法で行うかが本件の課題となった。

## 4 シールド

本工事で使用した泥土圧シールドの構造を図-6に、仕様を表-2に示す。また、近接構造物や周辺への影響低減対策および緊急時対策を目的としてシールドに付加した機能を列挙する。

(1) 土圧計の増備ならびに土圧分布可視化システム

チャンバ内の土圧計を6か所設置し、計測した各所の圧力を土圧分布可視化システムによって処理することで、土圧分布の色彩による可視化を

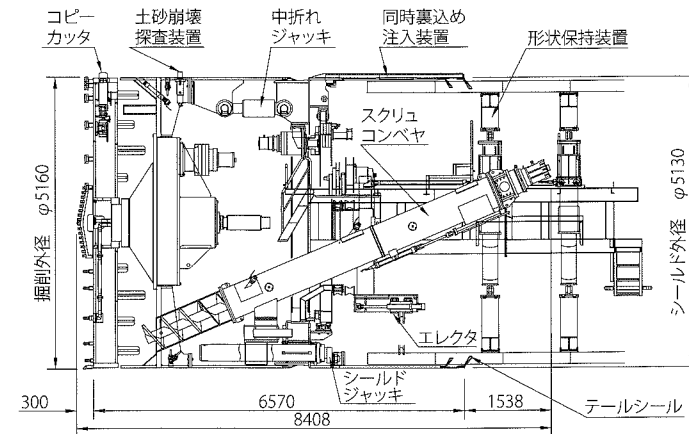


図-6 泥土圧シールド構造図

表-2 シールド仕様

シールド本体		カッタ	
外 径	5,130mm	形 式	スポーク形(6本)
全 長	8,408mm	支持方式	センターシャフト方式
シールドジャッキ	1,323kN × 1,650mm × 30.9MPa × 16本	駆動方式	油圧駆動
ジャッキ伸長速度	50mm/min	回 転 数	1.0rpm
中折れジャッキ	1,470kN × 175mm × 34.3MPa × 12本	装備トルク	常用最大時2,331kN・m
		開 口 率	62%

行った。この機構の使用によりチャンバ内の塑性流動性を確保し、切羽の安定性を向上させた。

(2) 土砂崩壊探査装置

シールド頂部に土砂崩壊探査装置を装備し、日常的に探査試験を実施することで、地山の緩みの有無を確認しながら掘進を行った。

(3) スクリューコンベヤ排土口緊急遮断装置

不意の停電などの緊急時に別動力源(蓄圧式アクムレータ)にて自動で排土口を閉鎖する装置を設置した。

(4) 形状保持装置

上下拡張式のものを装備した。

(5) 同時裏込め注入装置

左右2基搭載し、注入孔横に土圧計を設置して裏込め注入圧力の管理に利用した。

(6) 土圧保持システム

シールドオペレータ不在時に切羽土圧が低下した際、自動でチャンバ内に充填材(クレーショック)を注入し切羽土圧を保持するシステムである。

注入は切羽土圧が上限値に達した時点で自動停止する。本システムを用いて、常時、切羽土圧を確保した。

## 5 近接施工対策

5-1 対策工

シールド施工においては、各施工段階で、それぞれ異なる要因により地盤変位が発生し、その総和が最終変位量となる<sup>1)</sup>。そのため、施工段階ごとに対策工を施し、シールド施工全体での影響を低減することとした。採用した対策工の内容を図-7に示す。

以下、各対策の詳細について説明する。

(1) オーバーカット部へのクレーショック注入

クレーショックとは、高濃度の泥水と塑強調整剤を混合させることにより、高粘度、高流動性を有する塑性材料である。注入は、掘進中にシ-

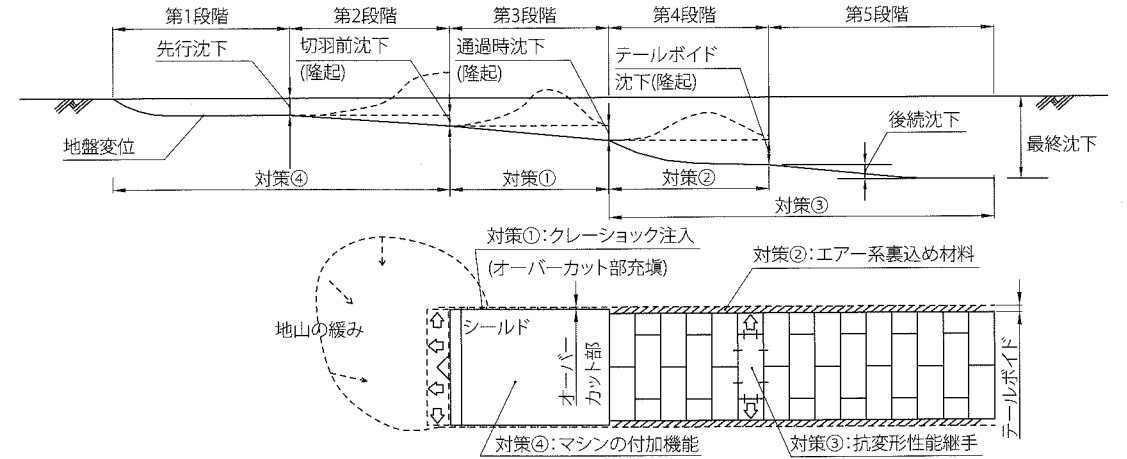


図-7 影響低減対策概略図

ールドの頂部注入孔より行った。オーバーカット部の空隙へクレーショックを注入することにより、シールド通過時の応力解放を抑制した。

(2) エアー系裏込め材の使用

裏込め材にエアー系材料を使用した。

裏込め材料に含まれた気泡は、注入ポンプによって加圧された際に体積収縮を起こして圧力保持を行い、裏込め材がテールボイドに入り減圧された際に、気泡がまず膨張し体積収縮を防ぐと同時に、強度発現前の裏込め材に圧力保持効果を持たせることができる。この効果により、シールドテール部における地山の応力解放を抑制した。

(3) 抗変形性能を有するセグメント継手の使用  
セグメントリングは、土水圧、自重、施工時荷重などの複合要因により、ある程度の変形が発生する。その変形量は、継手の種類により異なる傾向を示す。本工事では、セグメント継手に抗変形性能を有するスライドコッター継手を採用した。

スライドコッター継手は、継手金物内部の反力材により自己増締め機能を有し、セグメントリングの真円度を向上させることができる(図-8)。なお、リング継手には、耐震性能が優れた「クイックジョイント」を用いた。

(4) シールドへの付加機能

近接施工対策として、切羽の安定対策やセグメント真円度保持などを目的に、シールドへ付加機能を追加した。詳細については、前章にて記載し

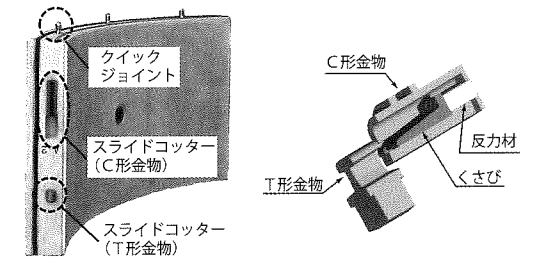


図-8 スライドコッター継手

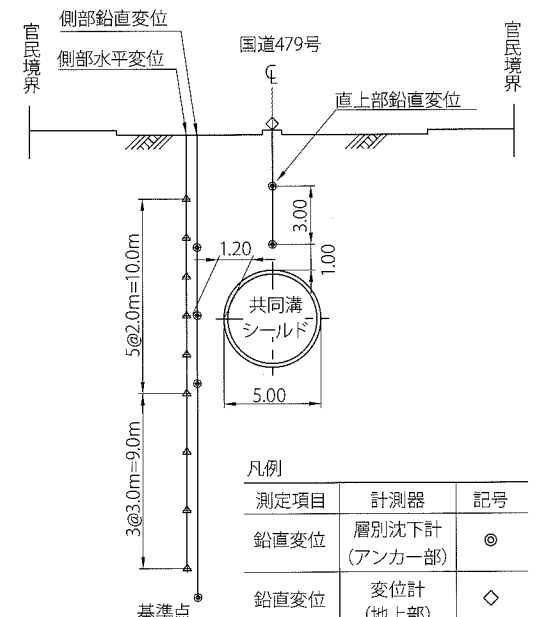


図-9 トライアル計測断面図

凡例		
測定項目	計測器	記号
鉛直変位	層別沈下計(アンカー一部)	◎
鉛直変位	変位計(地上部)	◇
水平変位	多段式傾斜計	△

たとおりである。

(5) トライアル計測の実施

トライアル計測は発進から70m地点および520m地点の2か所にて実施した。計測断面を図-9に示す。計測器の位置は、シールドの近接構造物の位置を考慮して設定した。シールドの施工段階ごとの地盤変位の計測と要因の特定を行い、その後の施工管理にフィードバックすることで、近接構造物や周辺地盤への影響低減を実践した。

5-2 計測管理

5-2-1 送水管および地表面の計測管理

シールド施工における送水管や路面への影響を確認するため、管理者(大阪市水道局)との協議のうえで管理値を設定し、以下の計測管理を行った。

表-3 地表面(送水管)の計測管理要領

管理段階	沈下量	内容・対応
日常管理	1次管理値(±10mm)未満	工事継続
管理レベルⅠ	1次管理値(±10mm)以上 管理限界値(±15mm)未満	要注意体制 測量頻度増
管理レベルⅡ	管理限界値(±15mm)以上	施工一時中断 対策実施

※ただし、日変化量が5mmを超過した場合は別途協議

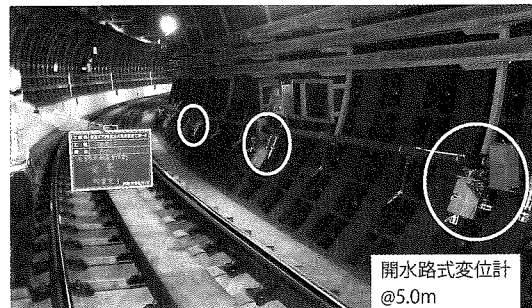


写真-1 地下鉄坑内計測器設置状況 @5.0m

表-4 地下鉄構造物の計測管理要領

管理段階	鉛直・水平変位量	内容・対応
日常管理	1次管理値(±3mm)未満	工事継続
管理レベルⅠ	1次管理値(±3mm)以上 2次管理値(±4.4mm)未満	要注意体制 対策実施
管理レベルⅡ	2次管理値(±4.4mm)以上 管理限界値(±5.9mm)未満	施工一時中断 目視調査 対策実施
管理レベルⅢ	管理限界値(±5.9mm)以上	施工中断 目視調査 対応策再検討

近接する送水管は全線、車道直下に位置し、日常的に直接計測することが困難であったため、地表面に測点を設置した。シールド法線方向の測線ピッチは10m間隔とした。

協議により設定した管理値および超過時の対応策を表-3に示す。

5-2-2 地下鉄の計測管理

地下鉄構造物との近接施工時の計測管理方法は、地下鉄管理者(大阪市交通局)との協議のうえで設定し、鉛直・水平変位の自動計測および手動計測を実施した。450m間で並走する地下鉄シールド4本のうち、本工事のシールド施工の影響範囲に入る累計600m間を計測管理した<sup>2)</sup>。

自動計測器の設置間隔は、近接程度を考慮して@5~10mとし、計測する変位方向(鉛直/水平)は、事前解析結果(変位方向)にもとづき設定した。自動計測器には、0.1mm単位で高精度な測定が可能な開水路式変位計を用いた。地下鉄坑内の計測器設置状況を写真-1に示す。自動計測結果は、インターネット回線を介してリアルタイムで確認できるようにし、掘進中は常時監視した。

また、自動計測を補完する目的でトータルステーションを用いた手動計測による水平変位の計測を実施した。地下鉄構造物の計測管理要領を表-4に示す。管理限界値(5.9mm)は、事前影響解析結果のうちの最大値とし、1次管理値はその50%値、2次管理値は75%値とした。

さらに、上述した近接施工時の地下鉄計測とは別途で、近接施工の前後で、内空計測、軌道検測、目視調査を実施し、近接施工による地下鉄への影響の有無を多角的に調査した。

5-3 掘進管理

5-3-1 切羽土圧管理

切羽の管理土圧の設定には、下式を用いた。  
 上限値 = 静止土圧 + 水圧 + 予備圧 (20kN/m<sup>2</sup>)  
 下限値 = 主動土圧 + 水圧 + 予備圧 (20kN/m<sup>2</sup>)  
 今回の管理土圧は、両値の算術平均を管理中心値、レンジの70%を管理限界範囲として設定した。またシールド隔壁部の6か所の土圧計のうち、地表面への影響低減を考慮し、切羽管理に用いる土

圧は隔壁最上部の土圧計(S.L. + 1.6m位置)の値とした。

5-3-2 裏込め注入管理

裏込め注入管理については、注入圧および注入量の両者に重点を置き、それぞれに上限値、下限値を設定した。裏込め注入の圧力管理に用いた下限値は「鉛直土圧 + 予備圧 (0.05MPa)」, 上限値は地上への噴出を考慮して「下限値 + 0.15MPa」と設定し、シールドの土かぶりおよび掘削地盤に合わせて適宜修正した。

また、注入量の下限値は、空隙量 × 130%, 上限値は地山条件(粘土層 or 砂礫層)を考慮して空隙量 × 180~200%として設定した。裏込め注入は、注入圧および注入量の両者が下限値を超えるまで継続することを基本として施工した。

5-4 近接施工実績

5-4-1 地表面沈下測量結果

図-10に地表面計測結果(収束値)を示す。最大沈下量はNo.4 + 10m付近で発生したδ = 11mmであり、管理値(15mm)以内に収まった。事前解析では当該箇所付近の地表面沈下量は26mmであり、実沈下量は解析値の40%程度の値となった。

沈下量はNo.2~8が比較的大きく、No.8以降は顕著に小さくなった。これは、地質縦断からわかるとおり、発進からNo.8付近までの区間は、軟弱な沖積粘性土層(N値0~2)が掘削対象であり、掘削に伴う応力解放の影響が大きく出たことが原因である。

5-4-2 地下鉄計測結果

(1) 自動計測結果

シールドの接近および通過に伴い、全計測箇所にて変位が発生した。変位の発生方向は、すべて当シールドに接近する方向となった。これはシールド掘削による周辺地山の応力解放によるものと判断できる。発生した変位量は、最大でも1.4mmであり、1次管理値(3.0mm)を超過するものではなかったため、シールド施工は中断することなく近接施工を終えることができた。

近接施工完了後、約2か月間の事後計測を実施したが、すべての計測箇所にて、後続変位は発生

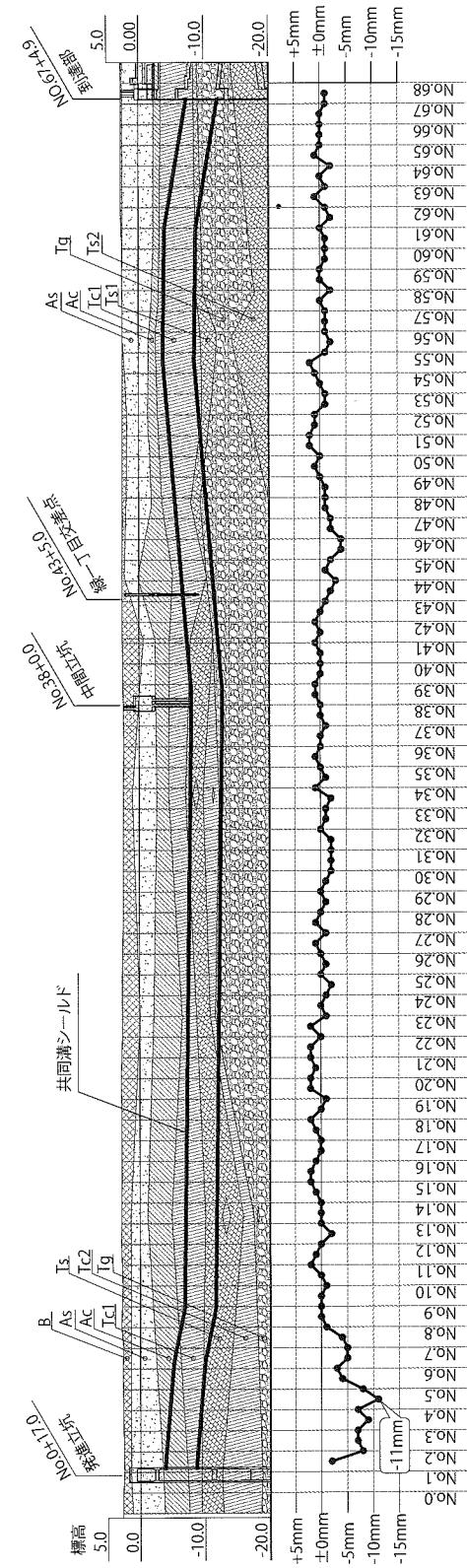


図-10 地表面計測結果

せず、施工時の変位はそのまま維持され、収束に至った。

(2) 手動計測結果

事前計測にて、計測誤差を確認し、±2mm程度であると判断した。計測結果の最大値は2.5mmであった。全体の挙動として、自動計測と同様にシールドへ接近する方向への変位を示す結果となった。手動測定結果においても、1次管理値を超過するものはなかった。

(3) その他の調査

近接施工の前後で実施した、内空計測、軌道検測、目視調査においても、顕著な変化は見受けられなかった。

5-4-3 まとめ

本工事においては、応力解放率 $\alpha=20\%$ を用いた事前解析結果をもとに対策を講じた。地盤変位の実績値を事前解析断面にフィードバックし、応力解放率に換算した結果、最大で $\alpha=8\%$ となり、事前解析値の40%程度の値となった。この結果は、実施した対策工に一定の効果あったこと、適切な掘進管理を行ったことに起因していると考えられる。

6 水道管基礎杭の地中撤去

6-1 概要

3-2節にて記載したとおり、国道479号と国道

163号が交差する緑1丁目交差点において、水道施設基礎の松杭が線形の支障となり、シールド内からの地中撤去が必要となった。

6-2 工法の検討

6-2-1 松杭の撤去方法の検討

松杭の撤去方法は、「シールドによる直接切削方法」と「人力による切断・撤去方法」の2案について比較検討した。

「シールドによる直接切削方法」では、チャンバやスクリーコンベヤの閉塞、あとのシールド施工への影響(チャンバに残存した松杭による土砂圧送設備への不具合)、一連の躯体構造となっている供用中の送水管への影響など、懸念事項が多くあった。そのため、確実性の高い「人力による切断・撤去方法」を適用することとした。

6-2-2 補助工法の検討

当該箇所は交通量の多い交差点直下であり、切羽崩壊による路上の陥没などが発生すれば、第三者を含む甚大な災害につながる。そのため、切羽の安定・止水対策は、万全を期す必要があった。

補助工法についての工法比較を表-5に示す。比較表より、3工法のいずれかを単独で用いる場合では、リスクが残り、万全の切羽対策とはならないため、地盤改良工法(A案orB案)と圧気工法を併用することとした。地盤改良工法による未改良ゾーンの出水リスクは圧気工法で対策し、圧気

表-5 補助工法の比較検討

	【A案】高圧噴射攪拌工法	【B案】薬液注入工法	【C案】圧気工法	
地盤強化	高強度の改良体造成が可能 置換工法であるため、粘土層においても改良可能	◎ A案ほど高強度とはならない 粘土層では改良効果は期待できないが、砂礫層においては、浸透注入となり十分な効果を期待できる	○ 圧気による多少の地盤強化効果はある	△
止水効果	松杭が密集しているため、未改良ゾーンが発生し、出水する懸念	△ 松杭が密集しているため、未改良ゾーンが発生し、出水する懸念	△ 止水の信頼性は高い	◎
地上での施工	施工設備が大きくなり、大きな道路規制が必要となる	△ 施工設備がA案に比して小さくて済む	○ 地上における施工はない	◎
工事費	3案中でもっとも高い	△ 3案中で2番目に高い	○ 3案中でもっとも安い	◎
リスク	未改良ゾーンからの出水に伴う切羽崩壊の懸念 路上での施工規模が大きく、交通災害の懸念	△ 未改良ゾーンからの出水に伴う切羽崩壊の懸念	△ 砂質土層(シールド断面約8割)からの漏気の懸念 路上への噴発の懸念	×
併用				

工法による砂質土層からの漏気リスクは、地盤改良工法により対策することとした。

シールド断面上部の洪積粘性土層は、路上への漏気低減に効果的であるため、小土かぶりではあるが圧気工法には適した地盤条件であると判断した。

圧気工法を併用したさいの地盤改良工法の選定にあたっては、切羽の土層構成(N値：6～8の洪積粘性土とN値：40以上の洪積砂質土層)から、切羽は自立し、高圧噴射攪拌工法による高強度の改良体は不要と判断したこと、高圧噴射攪拌工法施工時は路上での施工ヤードが大規模になり、周辺への環境負荷が大きいこと、また、施工費を考慮して、薬液注入工法を採用することとした。

なお、圧気工法を併用することから、薬液注入工法のうち、ダブルバッカー工法では、残置され

た注入管を伝っての漏気リスクが懸念されたため、二重管ストレーナ工法を用いることとした。

6-3 施工概要

図-11に撤去方法の概要を、図-12に撤去箇所の詳細を示す。

圧気の使用に際しては、シールド坑内に隔壁を2枚(30m間隔)設置し、隔壁間を気閉室として用いた。坑内の隔壁を写真-2に示す。圧気設備は地上に配置し、坑内配管(6B)を通して隔壁～切羽間に圧気を導入することとした。

圧気圧の設定にあたっては、類似の施工事例(薬液注入工と圧気工の併用)を参考にし、地下水頭の70%と設定した(シールド中心位置の地下水頭：10.1m×70%=0.07MPa)。

地上においては、先行して薬液注入工(二重管ストレーナ工法、恒久グラウト材使用)を実施し、

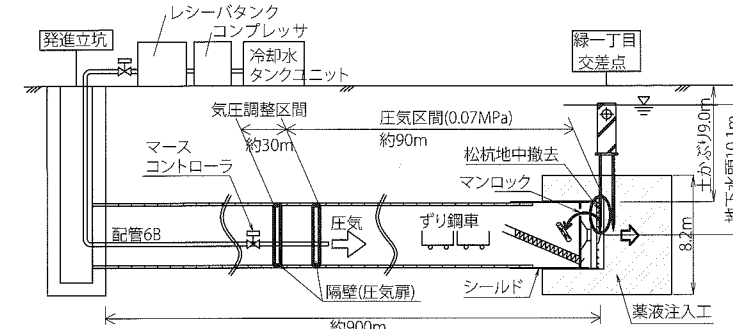


図-11 松杭撤去方法概略図

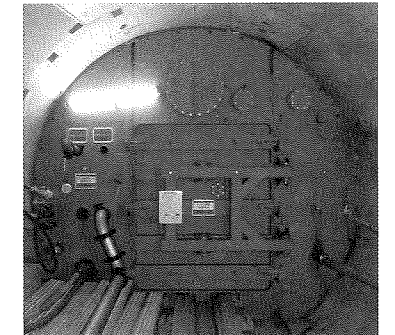


写真-2 隔壁(圧気扉)

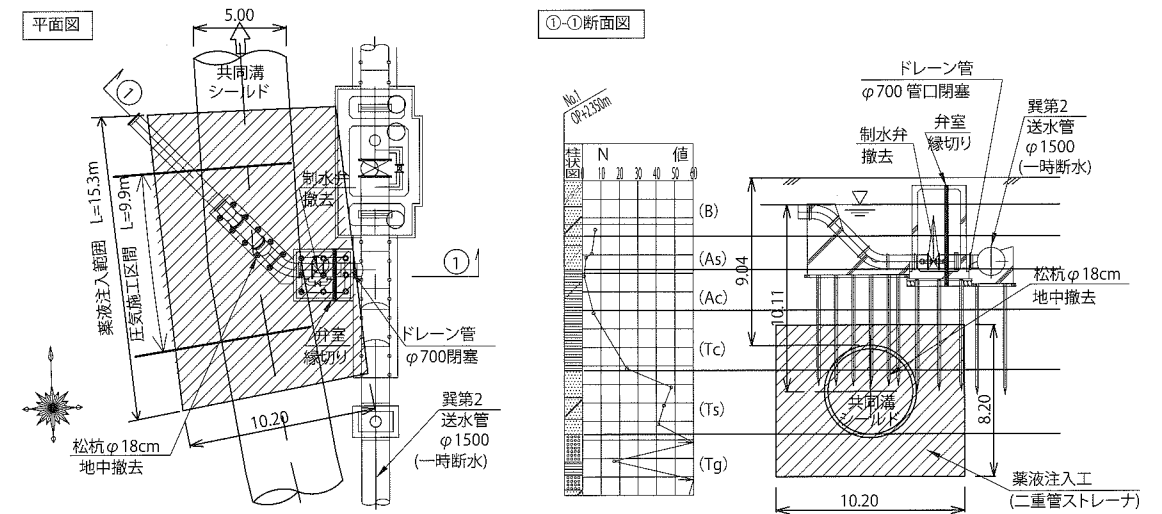


図-12 松杭撤去部詳細図

改良効果を透水試験により確認してから、圧気施工を開始した。

また、撤去する水道施設と一連の躯体となっている供用中の送水管(φ1500)に影響を与えないように、事前に弁室の縁切りを実施した。縁切りは連続コア削孔により行った。

支障物撤去に伴う薬液注入工および圧気工については、水道施設管理者である大阪市水道局発注の随意工事となり、同一施工者にて行った。

6-4 施工実績

実施した施工サイクルを図-13に示す。圧気導入後、チャンバ内の泥土をいったん20%程度排出したうえでマンロックを開放し、切羽の自立、湧水状況などの確認を行った。その後、チャンバ内の土砂をスプリングラインまで排土し、チャンバ内土量を保持した状態で、マンロックから切羽を目視確認(湧水有無、松杭有無)しながら、シールド掘進を行った。

松杭出現時は、シールド掘進をいったん停止し、チャンバ内にて人力で松杭を掘出し、電動チェーンソーにて切断した(写真-3)。松杭はおおむね想定位置に出現し、計10本すべて無事に撤去を行うことができた(写真-4)。

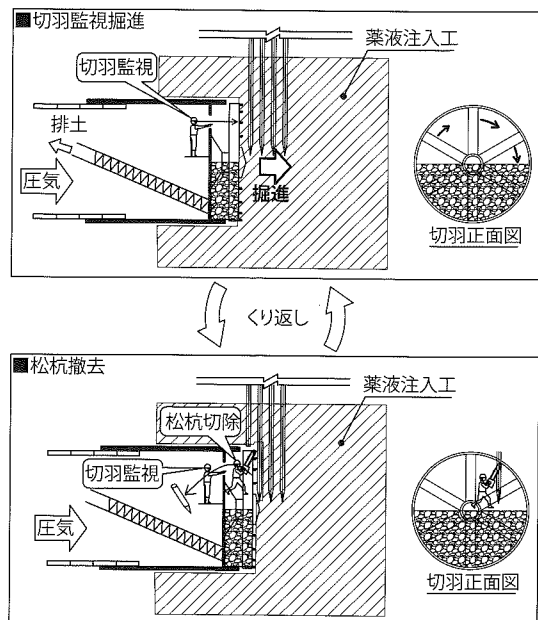


図-13 松杭撤去施工サイクル

本シールド施工における土砂搬送は圧送方式であったが、当該圧気施工区間では、シールド掘進時の加泥注入を省略するために、ずり鋼車による土砂運搬に切替えた。

加泥注入を省略することで、チャンバ内の土砂を固練り状態にし、切羽の視認性を高めると同時に、チャンバ内での人力作業時の安全性を向上させた(チャンバ内作業時の墜落リスク排除)。

圧気施工期間中、地表面への漏気や噴発、地下水の変動などの懸念があったため、地上に監視員を配置し、地表面における異常の有無を常時監視したほか、近傍の観測井にて地下水位への影響の有無を適宜調査した。その結果、地表面の異常や漏気、および地下水位の変動は発生しなかった。

水道管基礎杭の地中撤去作業は、圧気設備の設置に10方、圧気下での掘進・松杭撤去(11リング:9.9m)に12方、圧気設備撤去作業に7方の計29方(約3週間)の作業で全工程を終えた。

本施工実績より、薬液注入による改良地盤内(透水係数 $1 \times 10^{-5}$ cm/sオーダーの地盤)における圧気工法では、圧気圧を静水頭の70%程度に設



写真-3 松杭出現状況(切羽)

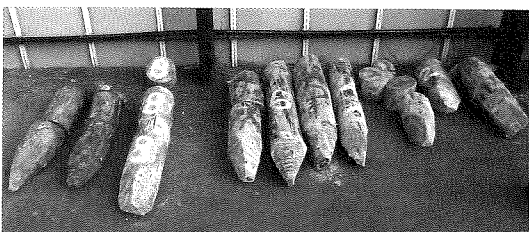


写真-4 松杭撤去全数

定することで、十分な止水効果が得られることを実証できた。

7 おわりに

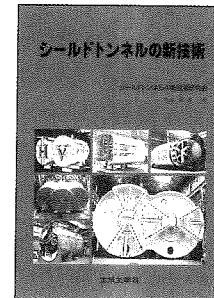
本工事は小土かぶり下における重要地下構造物との近接施工および地中支障物撤去という難工事であったが、事前調査と詳細検討にもとづく種々の対策により、近接構造物および路上への影響を最小限に抑制し、無事に到達することができた。

近年、都市部の地下は既存の埋設構造物が輻輳

しており、地下構造物の新設に伴い、近接施工や支障物撤去が必要となることが今後増えていくと思われる。今回の施工実績が、類似工事の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書 シールド工法・同解説，2006.7.
- 2) 日本トンネル技術協会：地中構造物の建設に伴う近接施工指針，1999.2.



シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章

B5判 285頁 本体価格4,660円

本書は、最近のシールドトンネルの新技术を実務経験者を中心にまとめたものである。本書の特色は、シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性の現況をまとめたうえで、新技术について調査・計画編、設計・施工編とに分けて、その理論と実際についてソフト、ハードにわたり記載している。また、これらのことを実務にすぐさま活用できるように、付録としてセグメントの設計、地盤変位予測解析、施工計画についての計画・設計例も紹介し、実務者をはじめトンネル技術者のニーズに応えた内容となっている。

- 【目次】第一章 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○シールド工法誕生以前のトンネル工法○シールド工法の登場 2. わが国におけるシールド工法の歴史○シールド工法の導入と発展の経緯○シールド工法の現況 3. 今後の技術開発の方向性 第二章 調査・計画編 1. シールド工法の調査技術 2. 断面および線形計画 3. シールド機種の種類と選定 4. 新しいシールド工法 第三章 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○シールド機の構造と装備○仮設備の計画○シールド工事による自動化 3. 掘進と施工管理○シールド掘進と施工管理○シールド発進と到達○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 4. 近接施工と環境対策○近接施工と対策○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○新工法の現状と将来展望○ECL工法 5. 切羽の安定と地盤変位防止○切羽安定の理論と実際○泥水式シールド工法の切羽安定○土圧シールド工法の切羽安定 6. 地盤変位の理論と実際 付録 1. セグメントの設計例 2. 地盤変位予測解析手法の例 3. シールド工事の施工計画

株式会社 土木工学社

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

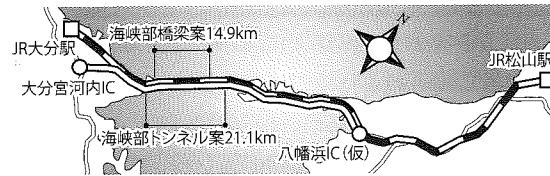
# トンネルジャーナル

## 豊予海峡ルート 海底トンネル案が費用面で優位

大分市は、大分県の佐賀関半島と愛媛県の佐多岬半島を結ぶ豊予海峡ルート(海峡幅約14km)について、トンネルまたは橋梁を整備した場合の経済・社会的効果に関する速報値を公表した。

想定した交通手段は、道路案として東九州自動車道大分宮河内ICと大洲八幡浜道路八幡浜IC(仮)を結ぶ延長76.3km、鉄道案としてJR大分駅~JR松山駅間の延長144.9kmで、道路は2車線または4車線、鉄道は新幹線規格の単線または複線とした。両案に道路・鉄道を併用した案を加え、海峡を跨ぐ手段としてトンネルまたは橋梁を用いる場合のそれぞれの概算事業費を算出した。

交通手段別にトンネル案と橋梁案を比較した場合、いずれもトンネル案の事業費が低くなった。トンネル案の中では鉄道整備がもっとも安価になるとしており、鉄道の単線を海底トンネルで渡す案が6,800億円と推計された。概算事業費がもっとも高くなるのは、道路4車線と鉄道複線を併用し橋梁案を採用



豊予海峡海峡ルートの概要

した場合で、3兆2,260億円とした。

費用対効果の値は、トンネル案(鉄道)についてのみ速報値が公表され、複線で整備した場合(概算事業費9,550億円)は0.86~2.44、単線で整備した場合は1.20~3.32と試算されている。

鉄道案の起終点として設定されたJR大分駅とJR松山駅へ接続する東九州新幹線と四国新幹線については、2016年度に東九州新幹線鉄道建設促進期成会が、2014年度に四国の鉄道高速化検討準備会が、それぞれ基礎的調査結果を公表しており、いずれも費用対効果が1.0を超えると試算されるケースがあるとしている。

第48巻、第2号、45~53頁、「大断面地下通路を3連揺動型掘削機と六面鋼殻セグメントで構築—東京メトロ日比谷駅再開発連絡通路—」におきまして誤りがありましたので、訂正いたします。

	(誤)	(正)
52頁 右段3行目	60min	240min
右段4~5行目	60,000~65,000kN	6,000~6,500kN
右段8行目	130,000~160,000kN	13,000~16,000kN
53頁 左段1行目	182.4N/mm <sup>2</sup>	128.4N/mm <sup>2</sup>
左段5行目	53.5mm	7.5mm

## 研究

# 噛合せ(JES)継手構造物の耐震性能の評価と設計法

鉄建建設(株)建設技術総合センター主席研究員 安保知紀  
 東日本旅客鉄道(株)構造技術センター次長 清水 満  
 東日本旅客鉄道(株)構造技術センター主席 山田 宣彦  
 鉄建建設(株)土木本部部長 栗栖基彰

## 1 はじめに

### 1-1 鉄道下横断構造物の概要

鉄道構造物と道路構造物が平面交差をする箇所では交通渋滞や踏切事故が発生しやすく、橋梁などによる高架化やボックスカルバートなどによる地下化が行われる。とくに、鉄道構造物の下にボックスカルバートを構築する場合、列車の運行を妨げない工法が重要になる。

このような鉄道下の地中構造物の構築には、開削工法と非開削工法がある。前者は仮設桁で鉄道構造物を仮受けして地表面から掘削したあとに埋め戻す工法で、古くから行われている。一方、鉄道構造物の側面から、直接、横断構造物を構築す

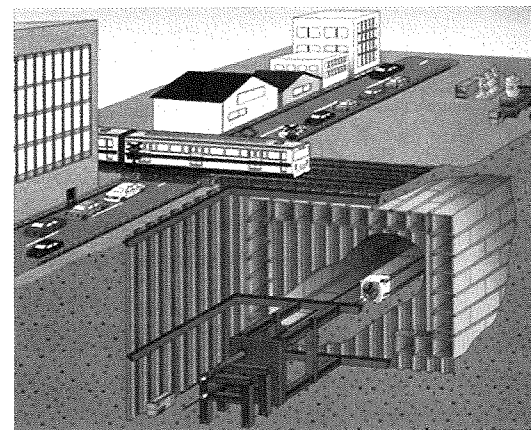


図-1 JES工法の概要(1)

る方法が後者であり、アメリカで開発され、1960年代にパイプルーフ工法として導入された。近年では、数多くの非開削工法が開発されており、本研究では防護工を兼ねた構造部材を挿入して横断構造物を構築する工法として開発されたJES工法を対象としている。

### 1-2 JES工法の概要

JES構造物を構築する工法は、図-1に示すように小断面の鋼製エレメントを掘削・排土しながら地中部に挿入する工法<sup>1),2)</sup>であり、この鋼製エレメントは図-2に示すように噛合せ継手を嵌合しながら地中部へ挿入する。

鋼製エレメントの挿入が完了したら、図-3に示すように鋼製エレメント内にコンクリートを充填して鋼コンクリートサンドイッチ部材の構造物を構築する。さらに、横締めを行わずに噛合せ継手で鋼製エレメントに発生する応力の伝達を可能としている。

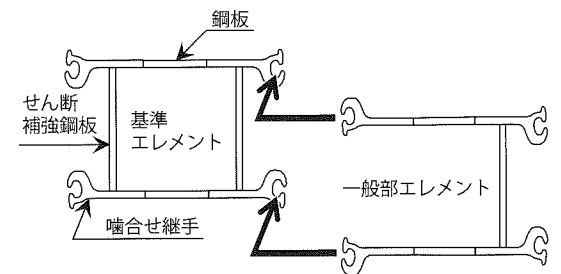


図-2 JES工法の概要(2)

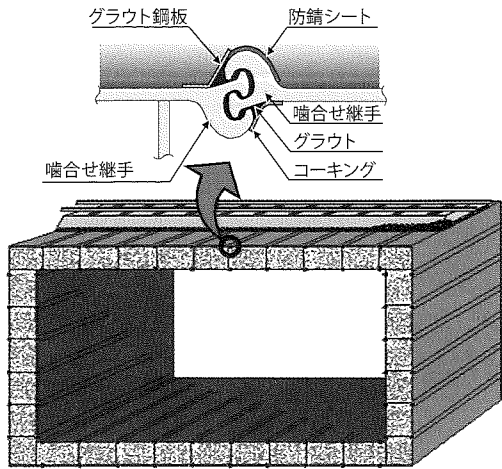


図-3 JES構造の概要

### 1-3 JES構造の特徴

本工法では、地中部に鋼製エレメントを挿入する際に土砂の排出や支承物の撤去のための作業を鋼製エレメント内で行う必要があり、さらには鋼製エレメントの製作費を抑えるため、鋼製エレメント内にはシアコネクタなどのずれ止めを設けていない。そのため、本工法の部材はせん断補強鋼板のみを一定間隔に配置した非常にシンプルな形状となっており、鋼板とコンクリート間に滑りが生じる合成度が低い部材である。

さらに、吻合せ継手で鋼製エレメントを接合しており、この継手を介して鋼製エレメントに発生する応力が伝達される構造となっている。

### 1-4 JES構造における耐震設計の現状

ボックスカルバートなどのトンネルが均一な地盤中にあり、かつ土かぶり大きい場合は、トンネルに発生する変形が小さく、地震の影響が比較的小さいと考えられている。しかし、兵庫県南部地震により地中構造物にも大きな被害が確認されたことから、地中構造物においても大規模地震時の耐震設計や変形挙動による照査が行われるようになった。

JES工法に適用される耐震設計基準には、JR東日本が制定している『設計マニュアル』<sup>3)</sup>があり、特別な検討は行わずに層間変形角の制限値を1/60として設計される。また、層間変形角が1/60を超えるような地盤の変形が大きい土質条

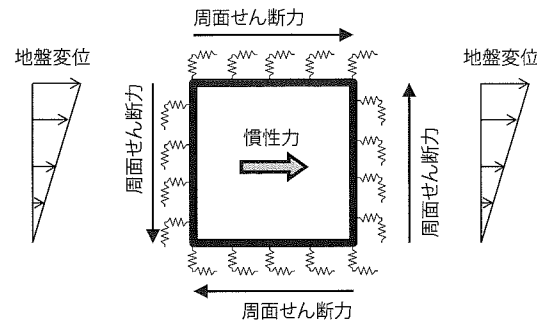


図-4 分離型モデルによる応答変位法の概要

件や液状化が想定されるような地盤への適用に対しては、『鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)』<sup>4)</sup>に従うこととされている。しかし、JES構造に対する明確な設計法がなく、設計案件ごとに載荷試験や数値解析などにより耐震設計を行っているのが現状である。

### 1-5 本研究の目的

本研究で対象とする構造物は、構造形式が比較的単純なボックスカルバートであることが多く、振動モードが単純であるため、耐震設計では静的な地震作用を設定することが可能である<sup>4)</sup>。また、ボックスカルバートのような地中構造物の地震挙動は地震時の地盤変形の影響を強く受けるため、構造物の応答値は、これを考慮した応答変位法により算定することが一般的である。

本研究は、図-4に示すような分離型モデルによる静的解析法で応答値の算定を可能とすることを目的とした。

## 2 鋼コンクリートサンドイッチ部材に関する既往の研究

### 2-1 曲げ特性に関する既往の研究

鋼コンクリートサンドイッチ部材の曲げ強度に関する研究は、大型の海洋構造物を対象に鋼構造とコンクリート構造のそれぞれの特徴を生かす一つの方法として本格的な研究が始められ、サンドイッチ式複合構造物の強度に関する基礎的な一連の研究<sup>5)~7)</sup>にまとめられている。その後、せん断スパン比や鋼材比に着目した研究<sup>8),9)</sup>が行われ、サンドイッチ部材は複鉄筋を配置したRC部材とマ

クロ的には等価に取り扱うことができ、鋼とコンクリートの合成が十分なサンドイッチ部材の場合はRC部材に比べて曲げ耐力が相対的に大きくなるとされている。

ところが、JES部材のように、シアコネクタなどのずれ止めを設けず、部材軸直角方向のみせん断補強鋼板を配置し、吻合せ継手で鋼板を接合している鋼コンクリートサンドイッチ部材に対しては、曲げ耐力や曲げ変形を定量的に評価している研究がなく、耐震設計を行うために曲げ耐力や曲げ変形量を定量的に算定できる手法が必要とされている。

### 2-2 せん断耐力に関する既往の研究

JES部材のような鋼コンクリートサンドイッチ部材のせん断耐力に関する研究は、森山らによって定式化されており<sup>10)</sup>、せん断耐力の算定はこの成果を引用することとした。

### 2-3 吻合せ継手に関する既往の研究

本研究で対象としている吻合せ継手は、鋼製エレメントを地中部に挿入する際のガイドの役目を果たし、完成後は鋼製エレメントの軸方向力を伝達できる継手として開発された<sup>2)</sup>。約50体の試験片を用いた静的引張試験結果から、吻合せ継手の有する見かけの降伏強度や最大荷重、引張剛性、終局ひずみなどの強度特性がまとめられている<sup>11)</sup>。さらに、疲労強度についても約50体の試験片を用いた疲労試験の結

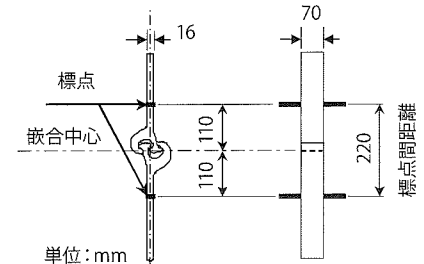


図-5 吻合せ継手の変位測定方法<sup>11)</sup>

果がまとめられており、吻合せ継手に関する疲労照査が可能となっている。

文献11)では図-5に示すように標点間距離を220mmとして伸び量を測定し、これと引張荷重の関係から強度特性を求めている。そのため、本研究では便宜的にこの標点間部分を吻合せ継手と考えて検討を行った。

## 3 JES部材の曲げ特性に関する検討

### 3-1 曲げ特性に関する実験的検討

#### 3-1-1 曲げ載荷試験概要

JES部材の荷重と変位の関係や破壊形態、曲げ

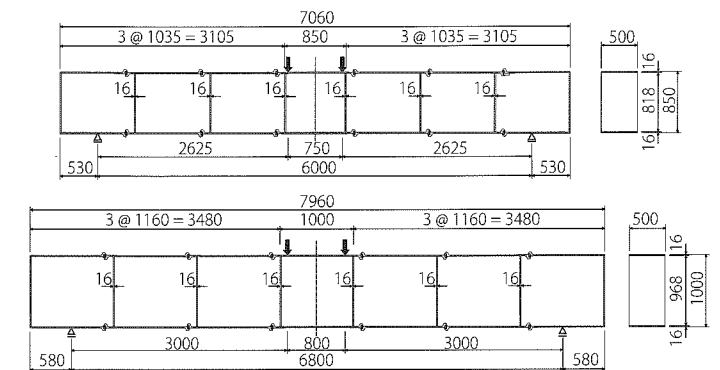


図-6 試験体概要(上: No.1, 下: No.2)

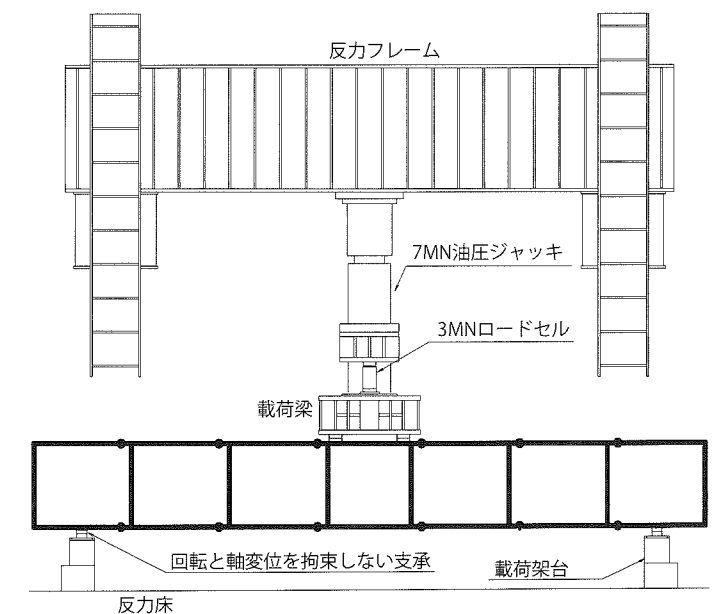


図-7 載荷試験概要

耐力を確認することを目的に、実構造物と同様に噛合せ継手により連結された複数の鋼製エレメント群を模した梁試験体を用いて静的曲げ載荷試験を実施した<sup>12)</sup>。試験体の概要を図-6に示す。

試験体No.1は、本工法のもっとも標準的な形状であり、鋼製エレメントを地中部に挿入する際のエレメント内の必要な作業空間から断面高さを決定している。また、発生断面力が大きな箇所に適用することを想定して、断面高さを高くした試験体No.2を用いた載荷試験も併わせて行った。

試験体の製作は、鋼製エレメントを横にした状態で、すべての噛合せ継手を嵌合させ、実構造物と同様に、この遊間に設計基準強度が30N/mm<sup>2</sup>となるセメントミルクを充填した。このセメントミルクが硬化したあと、鋼製エレメントの中詰めに圧縮強度が30N/mm<sup>2</sup>程度の普通コンクリートを打ち込んだ。このとき、中詰めコンクリートと接する鋼製エレメントの表面は目粗しなどを行わず無処理の状態とした。

載荷は4点曲げ載荷とし、図-7に示すように反力フレームに取り付けた油圧ジャッキからロードセルを挟み、載荷梁を介して変位制御による2点単調載荷で実施した。

3-1-2 曲げ載荷試験結果

(1) 荷重と変位の関係

載荷試験から得られた荷重とスパン中央位置での変位の関係を図-8に示す。いずれの試験結果も載荷荷重1.30MN付近までは荷重と中央変位は直線的な関係を示し、その後、荷重の増加傾向は非常に緩やかになった。

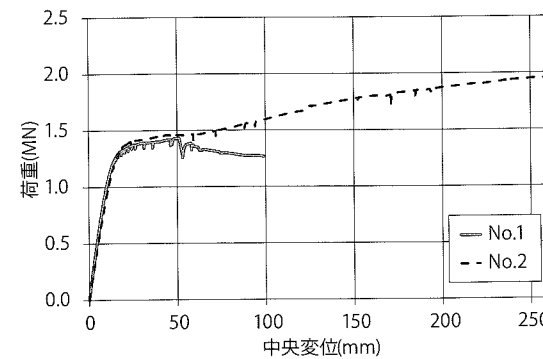


図-8 荷重と変位の関係

試験体に発生した最初のひび割れは、いずれの試験体も載荷点直近の引張側の噛合せ継手から発生した。その後は、鉄筋コンクリート部材の曲げひび割れとは異なり、載荷荷重の増加に伴って分散することなく、せん断補強鋼板近傍のみにひび割れが発生し、進展していった。

試験体No.1は、載荷荷重が1.43MNに達した時点で載荷点間の圧縮側コンクリートの破壊と圧縮側鋼板の座屈がほぼ同時に発生し、荷重が急激に低下した。その後、写真-1に示すように圧縮側のコンクリートの破壊が進行していき、荷重は緩やかに減少した。

これに対し試験体No.2は、載荷荷重が約1.45MN付近で載荷点間の圧縮側鋼板が降伏をはじめ、載荷荷重が約1.80MNに達した時点で圧縮側鋼板に局部座屈が発生し、その後もコンクリートは大きな破壊をせず荷重は緩やかに増加し続けた。

以上のように、これらの破壊の進行状況を見ると、いずれの試験体も曲げひび割れが分散せずにせん断補強鋼板近傍でひび割れが局所化することで変形が増大していることがわかる。すなわち、せん断補強鋼板に挟まれたコンクリートブロックが曲げ変形をせずに回転することで部材が変形しているように見える。

さらに、せん断補強鋼板の近傍では引張側の鋼製エレメントとコンクリートの間に滑りが発生しており平面保持が成立していないと考えられ、部材全長にわたって平面保持を仮定する鉄筋コンクリート部材とは異なる変形挙動になると考えられた。

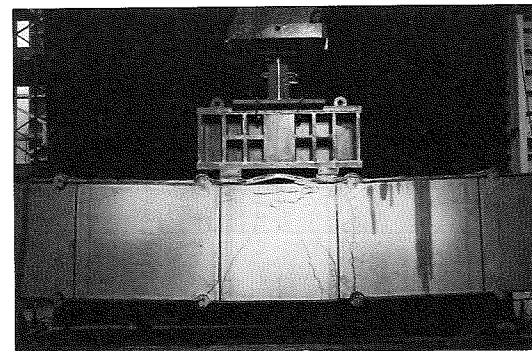


写真-1 最大荷重時損傷状況(試験体No.1)

(2) 曲げ耐力に関する考察

『コンクリート標準示方書(設計編)』<sup>13)</sup>に従い、平面保持を仮定して曲げ耐力を算出し、載荷点と支点間の距離で除して荷重に変換し、載荷試験の結果と比較を行った。計算に用いた材料の特性値を表-1に、曲げ耐力の比較表を表-2に示す。

降伏荷重は引張側エレメント鋼板のひずみが降伏ひずみに達した値とし、破壊荷重はコンクリートの圧縮縁ひずみが終局ひずみ(ここでは、0.0035とした)に達した値とした。ここで、耐力の算定は試験体のスパン中央の断面とし噛合せ継手の影響は考慮していない。以上のことから、計算値は試験値を精度よく再現しており、平面保持を仮定して曲げ耐力が算出できることを確認した。

(3) 変形に関する考察

JES部材の曲げ変形量を算出するために、鋼製エレメントを圧縮補強材および引張補強材とし、

表-1 使用材料

試験体No.	コンクリート		エレメント鋼板	
	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
1	28.8	27.4	294	200
2	30.0	28.0		

表-2 曲げ耐力の比較

試験体No.	計算値		試験値		計算値/試験値	
	降伏荷重 (MN)	破壊荷重 (MN)	降伏荷重 (MN)	破壊荷重 (MN)	降伏荷重	破壊荷重
1	1.41	1.50	1.33	1.43	1.06	1.04
2	1.46	1.54	1.41	1.95	1.03	0.79

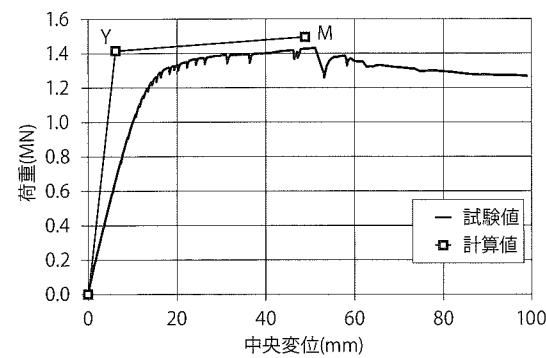


図-9 荷重と変位の関係(試験体No.1)

部材全長にわたって平面保持が成立していると仮定して曲げ変形量を算出した。このとき、せん断補強鋼板や噛合せ継手は考慮せず、エレメント鋼板が一樣に配置されていると仮定した。試験結果(試験体No.1)との比較を図-9に示す。ここに、図中のY点は引張側エレメント鋼板が降伏する点、M点はコンクリートの圧縮ひずみが終局ひずみ(0.0035)に達する点とした。

この結果から、載荷初期の段階から部材の曲げ剛性の計算値は試験値に比較して大きく、平面保持を仮定した連続部材としてはモデル化できないことがわかった。なお、試験体No.2も同様の傾向であった。そのため、JES部材の耐震設計を行うためには曲げ変形を定量的に算定できる手法が必要であると考えた。

3-2 曲げ変形の算定

3-2-1 曲げ変形算定モデル

(1) 曲げ変形の考え方

載荷試験の結果<sup>12)</sup>から、JES部材が曲げ変形をする過程ではコンクリートにほとんど曲げひび割れが発生せず、せん断補強鋼板近傍にひび割れが

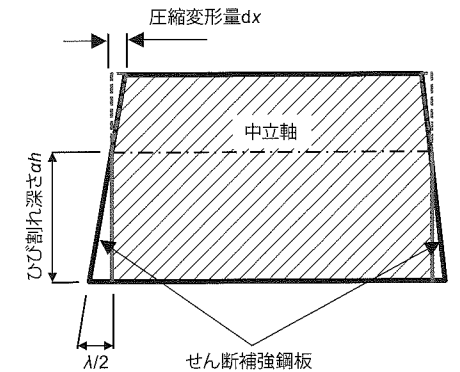


図-10 ひび割れと回転角の概要

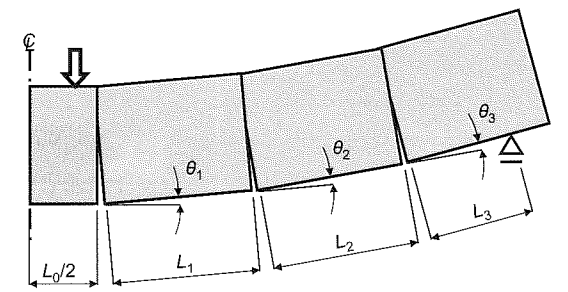


図-11 曲げ変形算定モデルの概要

集中することがわかった。そこで、図-10に示すように、せん断補強鋼板位置にのみ、ひび割れが発生し、せん断補強鋼板に挟まれた各ブロックが、図-11に示すように、回転することで部材が変形すると考える曲げ変形算定モデル<sup>14)</sup>を構築した。

(2) 部材のモデル化

鋼製エレメントは、噛合せ継手でエレメント鋼板をつなぎ合わせて応力の伝達を行う構造となっている。しかし、既往の研究<sup>11)</sup>によれば、標点間距離を220mmとして算出した噛合せ継手の強度特性値は表-3のとおりであり、エレメント鋼板の引張剛性と異なる部材でつながれている。

ここで、載荷試験の結果<sup>12)</sup>から、せん断補強鋼板間のエレメント鋼板には一様な引張ひずみが発生していたことから、この間のエレメント鋼板と噛合せ継手の分担率を用いて平均引張剛性を算出し、一様な鋼製エレメントとしてモデル化した。さらに、噛合せ継手の降伏強度の平均値<sup>11)</sup>は、エレメント鋼板の降伏強度と比較して小さいことから、鋼製エレメントの応力とひずみの関係は、降伏点を噛合せ継手の降伏強度とした2直線関係とした。コンクリートの応力とひずみの関係は、『コンクリート標準示方書(設計編)』<sup>13)</sup>に従うこととした。

(3) 曲げ変形量の算出

せん断補強鋼板に挟まれたブロックの曲率は一

表-3 噛合せ継手の強度特性値

降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張剛性 (kN/mm <sup>2</sup> )
256	281	74.2

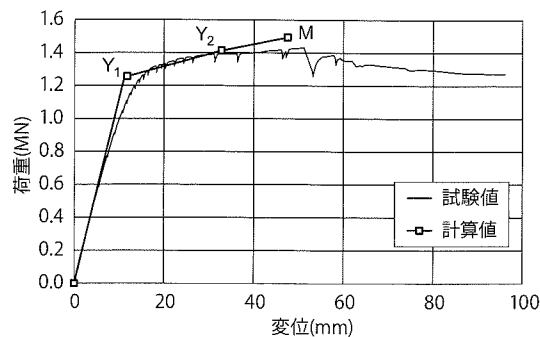


図-12 荷重と変位の関係(試験体No.1)

様であると仮定して、図-10の考え方でブロックごとに、力のつり合いから回転角 $\lambda/2$ を計算し、図-11のように隣り合うブロックどうしの回転角を累加することで部材の曲げ変形量を算出する。

3-2-2 曲げ変形算定モデルの検証

構築した曲げ変形の算定モデルを検証するため、荷重とスパン中央位置における変位の関係について載荷試験の結果との比較を試みた。荷重と変位の関係を図-12に示す。ここで、図中のY<sub>1</sub>点は引張側の噛合せ継手が降伏した点、Y<sub>2</sub>点は引張側エレメント鋼板が降伏した点、M点はコンクリートが圧縮破壊をした点を表す。

この結果より、構築した算定モデルはJES部材の曲げ変形を精度良く再現できることを確認した。

4 JES部材の地震時変形性能に関する検討

4-1 地震時変形性能に関する実験的検討

4-1-1 交番載荷試験概要

JES部材にくり返し荷重が作用したときの変形性能を確認することを目的に、実物大の模型試験体を用いて一定軸力を作用させた状態で正負交番載荷試験を実施した<sup>15)</sup>。試験体の概要を図-13に示す。

試験体は、底版を有する鉛直部材を模擬し、静

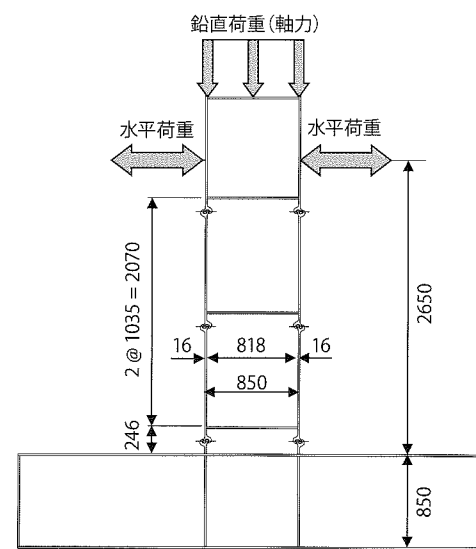


図-13 試験体概要

的曲げ載荷試験の試験体No.1と同様に、本工法のもっとも標準的な形状とした。試験体に使用した材料の強度特性を表-4に示す。

載荷は、図-14に示すように、底版上面から2.65mの位置に設置した1.5MNのジャッキ2基により水平に交番載荷し、鉛直部材には軸圧縮応力度が1.0N/mm<sup>2</sup>となるように鉛直ジャッキにて一定軸力を載荷した。また、底版はPC鋼材にて反力床に堅固に固定し、浮き上がりおよび横滑りを防止した。載荷方法は、図-15に示すような載荷パターンで変形角が約1/15(水平変位約180mm)に達するまで8サイクルで段階的に増分させた。

4-1-2 交番載荷試験結果

交番載荷試験から得られた荷重と変形角の関係を図-16に示す。いずれの載荷方向も2サイクル目終了付近(変形角約1/133、載荷荷重約1.20MN)までは直線的な荷重増加を示し、その後、荷重の増加傾向は緩やかになり、載荷荷重が約1.50MNに達した時点でその荷重を保持するような結果となった。

2サイクル目でせん断補強鋼板から下方に発生したひび割れが8サイクル目の途中(図中の丸印)で圧縮側隅部に進展し、大きな音とともに写真-2に示すように、ひび割れ先端のコンクリートが圧

表-4 使用材料の強度特性

コンクリート		エレメント鋼板	
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
48.6	36.8	276	173

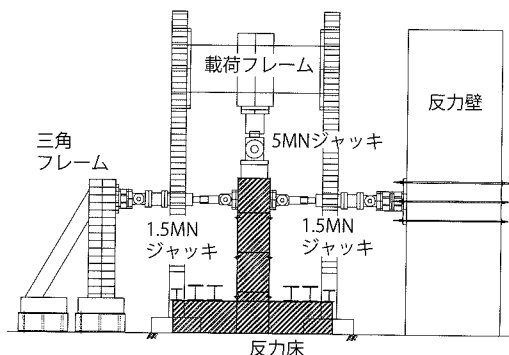


図-14 載荷試験概要

縮破壊して急激に荷重が低下し、その後の継続載荷により載荷荷重が約1.5MNまで復元した。載荷試験の範囲である変形角が約1/15までのくり返し載荷に対して、荷重を保持できる変形性能を有していることがわかった。

また、載荷試験の途中で鋼製エレメントが外側にはらみ出してくるのが目視でも確認でき、鋼製エレメントのひずみ測定の結果から、3サイクル

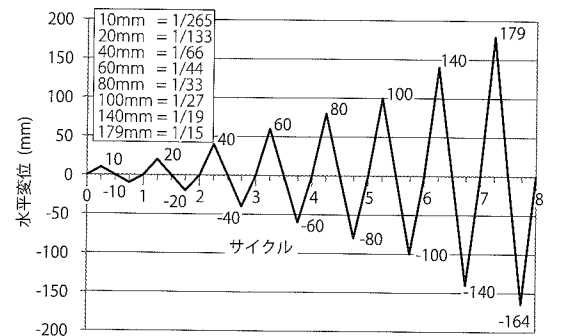


図-15 載荷パターン

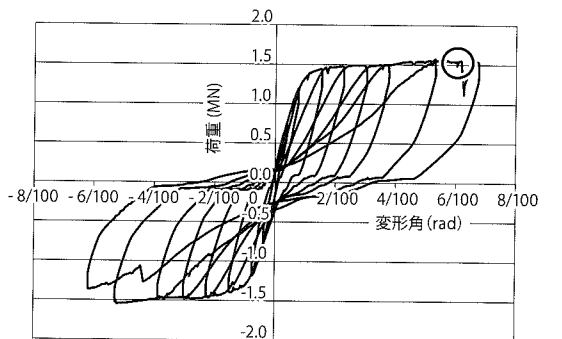


図-16 荷重と変形角の関係

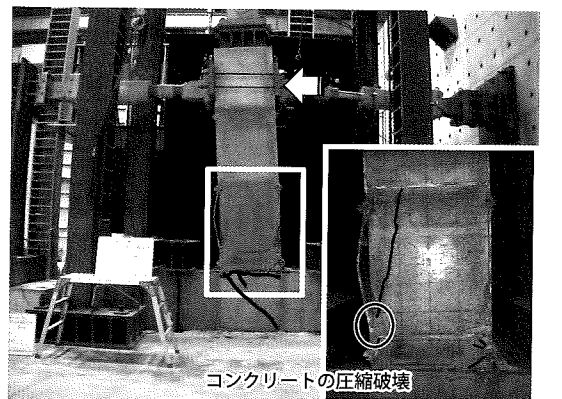


写真-2 損傷状況(8サイクル目, 変形角約1/16)

目(変形角約 1/66)以降に内外のひずみ差が発生し、この程度の変形角で座屈が始まっているのがわかった。

### 4-2 曲げ変形算定モデルの適用

#### 4-2-1 曲げ変形算定モデルの概要

一定軸力が作用している状態で繰り返し荷重が作用する曲げ変形に対して、曲げ変形算定モデルの適用性を確認するため、交番載荷試験との比較を行った<sup>16)</sup>。曲げ変形算定モデルは前章と同様にせん断補強鋼板に挟まれたブロックの回転が曲げ変形に影響を与えると考え、図-17に示すモデルを用いて曲げ変形を算定した。

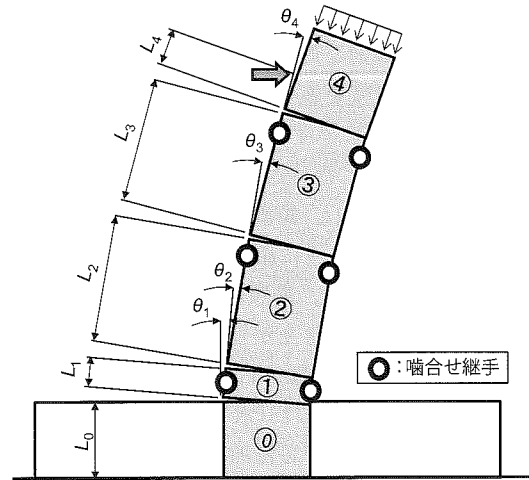


図-17 曲げ変形算定モデル

ここで、底版内のエレメント鋼板には一様に引張力が作用して伸び出すと考え、鉛直部材との接合面に発生する断面力を用いて、図-18に示すようにエレメント鋼板の伸び出しを考慮した。

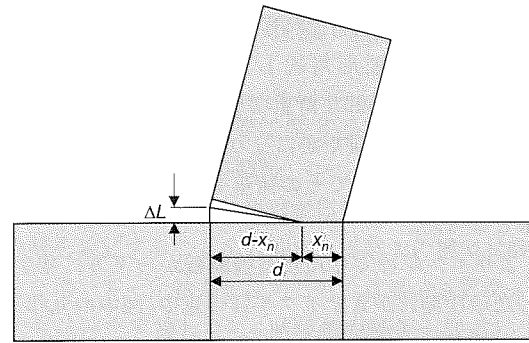


図-18 エレメント鋼板の伸び出し

#### 4-2-2 曲げ変形算定モデルの検証

荷重と変形角の関係について交番載荷試験の結果との比較を図-19に示す。図中のY点はブロックNo.1の鋼製エレメントが降伏強度に達した点、M点はブロックNo.1のコンクリートの圧縮縁ひずみが終局圧縮ひずみ(0.0035)に達した点を表している。

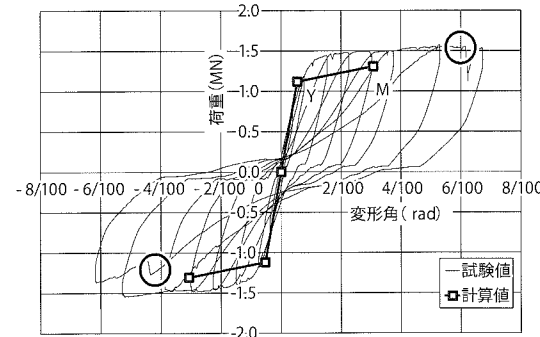


図-19 荷重と変形角の関係

この図より、計算値はY点付近までの曲げ変形を精度よく近似できており、その後の変形に伴う荷重の増加に多少の乖離が見られ、試験結果と比較して荷重が小さいものの、Y点以降の挙動をおおむね再現できていることが確認できた。

また、載荷試験では図中の○印の時点でコンクリートの圧縮破壊が確認されたが、計算によるコンクリートの圧縮破壊点(M点)と比較して荷重および変形角ともに大きくなった。これは、JES部材のようにコンクリートが鋼製エレメントに拘束されている影響により、最大荷重と破壊までの変形量が大きくなったと考えられる。

## 5 静的非線形骨組み解析への適用性

### 5-1 骨組み解析概要

静的非線形骨組み解析は連続部材を線材でモデル

化して応答値を算定する解析法であるが、JES部材はせん断補強鋼板に挟まれたブロックが個々に回転をすることにより曲げ変形をし、せん断補強鋼板の位置で不連続な変形をする部材であると考えられる。そのため、骨組み解析を行うためには、このような不連続性を適切にモデル化する必

要がある。

前節までに適用性を確認した曲げ変形算定モデルは、せん断補強鋼板に挟まれたブロックに一般的な曲率が発生することを仮定したうえで、噛合せ継手による引張剛性の低下を考慮して、ブロックごとの力のつり合いから回転角を算出する手法である。すなわち、ブロックに発生する平均曲げモーメントから要素ごとの曲率を算定することを可能としている。

そこで、せん断補強鋼板に挟まれたブロックを一つの要素とする線材でモデル化し、この要素に曲げモーメントと曲率( $M-\phi$ )の関係を与えることで部材の非線形性を考慮する。このようにモデル化された要素を結合することで骨組み解析を可能とした<sup>17)</sup>。

骨組み解析は、前章で示した載荷試験の試験体を対象とし、図-20に示すように底版との接合部を固定端とした2次元の骨組みモデルとし、載荷試験と同様に一定鉛直軸力(1.0N/mm<sup>2</sup>)を作用させた状態で水平1方向に漸増載荷して応答値を算定した。

また、解析ソフトは、『鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)』<sup>4)</sup>に準拠して開発され、鉄道構造物の耐震設計で多くの実績がある静的非線形解析プログラム『JRSNAP(Ver5.0)』を使用した。

### 5-2 部材のモデル化

数値解析における部材の曲げモーメントと曲率の関係は、図-21に示すような3直線タイプでモデル化した。図中の $M_y$ は噛合せ継手の降伏時の曲げモーメント、 $M_m$ はコンクリートの終局ひずみ時の曲げモーメント、 $M_n$ は噛合せ継手の最大強度時の曲げモーメント、 $\phi_y$ は噛合せ継手の降伏時の部材の曲率、 $\phi_m$ はコンクリートの終局ひずみ時の曲率、 $\phi_n$ は噛合せ継手の最大強度時の部材の曲率を表している。

曲げ変形算定モデルでは、せん断補強鋼板に挟まれたブロックは一様に曲げ変形すると仮定していることから、図-22に示すように、部材長 $L$ のブロックが $\lambda$ で曲げ変形したと考え、このときの回転角 $\lambda$ は十分に小さい角度であるとみなせるこ

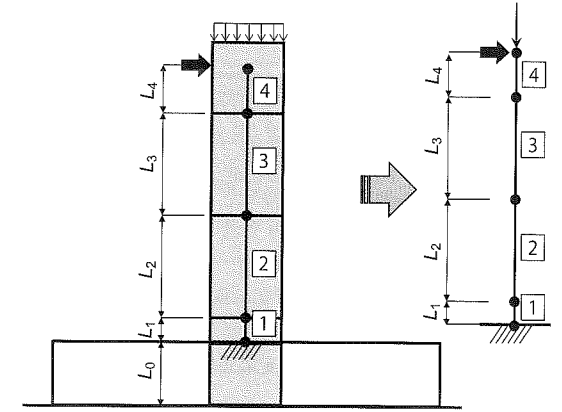


図-20 解析モデルの概要

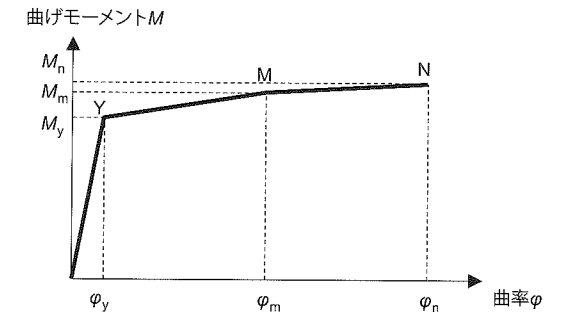


図-21 部材の非線形性のモデル化

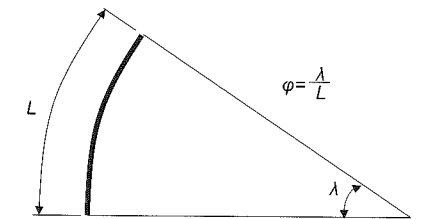


図-22 回転角と曲率

とから、 $\lambda$ を $L$ で除すことで曲率 $\phi$ を算定する。

なお、曲げ変形算定モデルでは座屈挙動を再現できないため、静的非線形骨組み解析では、設計上、安全側になるように圧縮側の鋼製エレメントを考慮しないモデルとした。

### 5-3 静的非線形骨組み解析への適用結果

荷重と変形角の関係を図-23に示す。図中のY点は基部の噛合せ継手が降伏強度に達した点、M点は基部のコンクリートの圧縮縁ひずみが終局圧縮ひずみに達した点、N点は基部の噛合せ継手が引張強度に達した点を表している。

骨組み解析の結果は、Y点付近までの曲げ変形

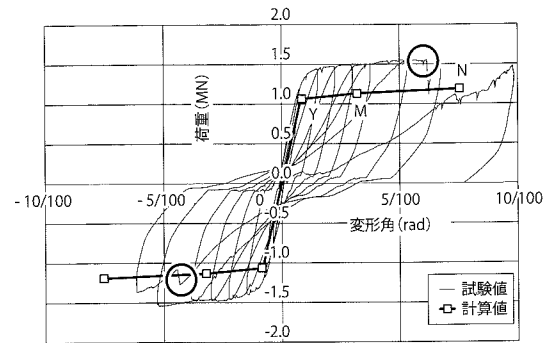


図-23 荷重と変形角の関係

を比較的精度よく再現できているものの、圧縮側鋼製エレメントを考慮していないこともあり、荷重の増加傾向は載荷試験より小さくなった。また、曲げ変形算定モデルと同様に骨組解析によるコンクリートの圧縮破壊点(M点)は荷重および変形角ともに試験結果と比較して小さくなった。

さらに、載荷試験では変形角が約1/10となるまで変形を与えているが、噛み合せ継手は破断せずに引張力を伝達できることを確認している<sup>15)</sup>。これに対し数値解析では噛み合せ継手が最大強度に達する点(N点)は、載荷試験の結果より小さい変形角となった。

以上から、部材を線材でモデル化した骨組解析により、いずれの限界状態においても数値解析の結果は載荷試験の結果を安全側に再現できることを確認した。

## 6 おわりに

JES部材のように噛み合せ継手で鋼製エレメントを接合し、シアコネクタなどのずれ止めを設けていない鋼コンクリートサンドイッチ部材に対して、以下の知見が得られた。

- ① せん断補強鋼板に挟まれたブロックの回転が曲げ変形に影響を与えると考え、ブロックの回転の累加から曲げ変形量を算定できるモデルを構築した。
- ② くり返し作用を受けるJES部材の変形性能を曲げ変形算定モデルで評価できることを確認した。
- ③ せん断補強鋼板に挟まれたブロックを一つ

の要素として、曲げ変形算定モデルを用いてM- $\phi$ 関係をモデル化した骨組解析により、載荷試験の結果を安全側に再現できることを確認した。

- ④ 破壊荷重および破壊時の変形角は計算値よりも載荷試験の結果の方が大きくなったことから、鋼製エレメントの拘束効果の影響があると推察され、計算精度を向上するためには、拘束効果の影響を明確にする必要があると考える。

## 参考文献

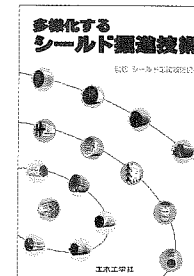
- 1) 清水満・森山智明・木戸素子・桑原清・森山泰明：鋼製エレメントを用いた線路下横断トンネルの設計法，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.8，pp.407-412，1998。
- 2) 森山智明・桑原清・茂木聡・三島大輔：鋼製エレメントを用いた新しい線路下横断工法の開発，第4回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，pp.263-268，1999。
- 3) 東日本旅客鉄道：非開削工法設計施工マニュアル，2009。
- 4) 国土交通省鉄道局監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)，2012。
- 5) 栖原寿郎・西牧興・松石正克・竹下治之・岩田節雄：鋼板とコンクリートから構成されるサンドイッチ式複合構造物の強度に関する研究(第1報)，日本造船学会論文集，No.141，pp.205-216，1977。
- 6) 栖原寿郎・西牧興・松石正克・竹下治之・岩田節雄：鋼板とコンクリートから構成されるサンドイッチ式複合構造物の強度に関する研究(第2報)，日本造船学会論文集，No.142，pp.312-322，1977。
- 7) 栖原寿郎・西牧興・松石正克・竹下治之・岩田節雄：鋼板とコンクリートから構成されるサンドイッチ式複合構造物の強度に関する研究(第3報)，日本造船学会論文集，No.145，pp.164-175，1979。
- 8) 秋山暉・小関喜久夫・平和男・佐々木正廣：鋼コンクリート合成サンドイッチ構造部材の強度特性，第8回コンクリート工学年次講演会論文集，Vol.8，pp.605-608，1986。
- 9) 秋山暉・小関喜久夫・平和男・佐々木正廣：鋼・コンクリート合成サンドイッチ構造部材の終局耐力，合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，Vol.1，pp.69-74，1986。
- 10) 森山智明・石橋忠良・小林薫：コンクリート充填された鋼製エレメントはりのせん断耐力に関する実験

的研究，土木学会論文集E，Vol.62，No.1，pp.15-28，2006。

- 11) 石橋忠良・清水満・渡邊明之・森山智明・栗栖基彰・山口昭：噛み合わせ継手の力学特性，土木学会論文集，No.777/VI-65，pp.73-82，2004。
- 12) 安保知紀・松岡茂・長尾達児・栗栖基彰：JES構造の曲げ特性に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.2，pp.1099-1104，2014。
- 13) 土木学会：【2012年制定】コンクリート標準示方書(設計編)，2012。
- 14) 安保知紀・石橋忠良・松岡茂・長尾達児・栗栖基彰：噛み合わせ継手で鋼製エレメントを接合した鋼コンクリートサンドイッチ部材の曲げ変形，土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造)，Vol.71，No.3，pp.

248-256，2015。

- 15) 安保知紀・松岡茂・長尾達児：JES構造の正負交番載荷試験による耐震性能評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.2，pp.919-924，2013。
- 16) 安保知紀・石橋忠良・松岡茂・長尾達児・栗栖基彰：噛み合わせ継手で鋼製エレメントを接合した鋼コンクリートサンドイッチ部材の地震時変形性能に関する研究，土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造)，Vol.72，No.2，pp.56-67，2016。
- 17) 山田宣彦・齋藤貴・安保知紀・栗栖基彰：JES部材の非線形性のモデル化と静的非線形骨組解析への適用，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.2，pp.1195-1200，2016。



## 多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会  
B5判 141頁 本体価格2,500円

本書は、「トンネルと地下」に約1年間にわたり連載した『多様化するシールド掘進技術』をベースとして、掲載しなかった工法、技術などを整理、体系化するとともに、各種工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点が、よりわかりやすいように手を加え再度同名の図書としてシールド工法技術協会が監修を行ったものである。

### 【掲載工法】

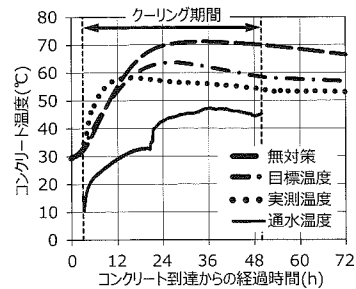
- ①ラチス式同時施工シールド工法，②F-NAVIシールド工法，③ハニカムセグメントを用いた同時施工法，④ロングジャッキ式同時施工シールド工法，⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法，⑥充填式シールド急曲線工法，⑦地下茎シールド工法，⑧T-BOSS工法，⑨球体シールド工法，⑩上向きシールド工法，⑪MMST工法，⑫拡大シールド工法，⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法，⑭ワギング・カッター・シールド工法，⑮自由断面シールド工法，⑯OHM工法，⑰H&Vシールド工法，⑱単円～三連型駅シールド工法，⑲MFシールド工法，⑳DOT工法，㉑MSD工法，㉒親子シールド工法，㉓掘径シールド工法，㉔DSR工法，㉕泥土加圧シールド工法，㉖ケミカル・プラグ・シールド工法，㉗気泡シールド工法，㉘コンパクトシールド工法，㉙既設シールド撤去工法

株式会社 土木工学社

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

# 工法・技術・製品ニュース

## 工法 より確実なコンクリート構造物の温度ひび割れ対策



水温制御概念図

三井住友建設は、コンクリート構造物における温度ひび割れ対策に用いられるパイプクーリング工法を用い、パイプ内の通水温度を自動制御するシステム「インテリジェントパイプクーリングシステム」を開発したと発表した。

同システムは、コンクリート構造物にあらかじめ埋込んだパイプに、冷水や空気を流して冷却することでひび割れの発生を抑制するパイプクーリング工法を応用し、コンクリート打設後に実測する温度と、温度応力解析結果による制御目標温度

との比較を通じて、通水温度を自動制御することでひび割れの発生を抑制するシステム。常温の水と常温より10℃程度低い低温水を混合して通水する。水温調節のレスポンスを高め、急速冷却や過冷却の防止が可能となるとしている。

コンクリート構造物ではセメントの水和反応に起因した温度ひび割れが問題になる場合があるが、対策が設計・施工計画の段階で決定されるため、施工時の気象条件の変化などに対応できず、期待した効果が得られないケースがある。

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

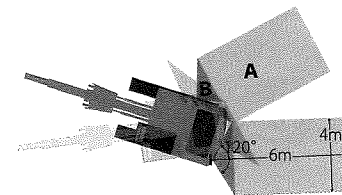
## 製品 建機に近づく人と障害物を判別する視認支援装置

日立建機は、建設機械が稼働する土木現場などの安全性向上のため、建設機械の周辺に作業者などの人や障害物が接近したときに、人と障害物を判別してオペレーターに警報で知らせる視認支援装置「プラスステール」について、国内向けに販売・レンタルを開始した。

同品は、ステレオカメラを用いて建設機械に近づく人と障害物を判別して警報を発するとともに、オペレーターにとって死角となる方向をモニターで確認することが可能。一定の範囲内であれば、検知する領域を自由に設定することもできる。

検知範囲は、カメラの視野角120°以内、幅・奥行きはそれぞれ4m・6m以内での設定が可能。検知範囲は、カメラごとにA、Bともに設定できるが、検知範囲Aでは人体の一部のみしか映っていない場合、しゃがみ込むなどの姿勢、身長によっては人と認識できない場合がある。カメラの取付け位置は自由に設定できるとしている。

産業車両向けの特殊部品や安全に関連する装置を取扱うエウレカと販売代理店契約を結び、連結子会社で建設機械の販売、レンタルなどを手がける日立建機日本が提供する。



検知範囲の設定例

- A：人と障害物を判別し人を検知した場合に警報を発する
- B：人と障害物にかかわらず警報を発する

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://www.hitachicm.com/

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

## 連載講座

# トンネル新技術への挑戦(16)

## ートンネル切羽から行う短尺・中尺先進ボーリングー

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会

### 1 はじめに

トンネル切羽から行う短尺・中尺の先進ボーリング技術に関し、過去の経緯を振り返りつつ、現在の開発状況を紹介する。

本誌では、Vol.39, No.9~Vol.40, No.4 (2008(平成20)年9月~2009(平成21)年4月)の全8回にわたり、連載講座「山岳トンネルの先進ボーリング技術」を掲載した<sup>1)</sup>。図-1はその4回目に示した目的別ボーリング工法の概念を示したものである。同図の最上段楕円部に相当する超長尺ボーリング技術に関しては、すでにそこで記述済みである。本連載で扱うのは、同図の下二つの楕円内に示した、切羽から行う短尺・中尺の先進ボーリング技術である。

大島(筆者)が山陽新幹線建設に従事していたころの山岳トンネル工法は矢板工法が標準工法であり、底設導坑や側壁導坑を先進させる施工方法を用いていた。NATMを標準とする現在と比較すると導坑を先進することの利点をいくつか挙げることができるが、その最たる長所は先進坑が地質調査坑と水抜き坑の役割を果たしてくれるということであった。その情報や水抜きによる地山改良効果をもとに、トンネル覆工の設計や施工が比較的容易にできたのである。しかし、その当時でも先進坑自体の掘削が難航することは多々あり、切羽前方を探るボーリング技術が望まれていた。大島(筆者)は、大量の高圧湧水で難航していた山陽

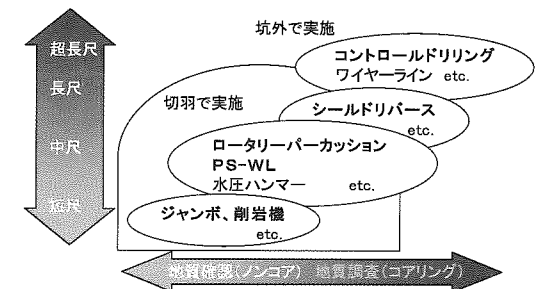


図-1 目的別ボーリング工法概念<sup>1)</sup>

新幹線の福岡トンネルにオーストリア製のビューラという高速先進ボーリング機を使用したことがある。常に切羽の前方の地質状況(とくに水の有無)を半日で確認すると同時に、前方の水圧もある程度軽減してくれるという利点があり、その威力に大いに満足した<sup>2)</sup>。本機の素晴らしさが喧伝されるにつれ、この種の機器の利用や開発が進められ始めた。NATMが標準工法になって以降、昔の先進坑がもっていた、切羽前方の探査や水抜きの役割は先進ボーリングが担うべき重要な技術と評価されるようになり、開発への要請は一段と強くなっている技術といえる。

今回はこの種の技術に関し下記概要に紹介する3つの技術を扱うこととする。

(1) PS-WL工法：アロードリル(鉸研工業)

上述のビューラと同時に輸入されたドイツのクルップなどを参考に開発したもので、二重管ワイヤーラインコア採取機能をロータリーパーカッションドリルに持たせることで、切羽前方百数十

mまでのコアを高速で採取可能としたもの、類似のものに三菱MDシリーズがある<sup>1)</sup>。

(2) コアボーリングシステム：Core-DRISS(西松建設)

切羽に装備されているジャンボに専用ロッドやコア採取システムをセットすることで、簡易に30m程度前方までの地質状況を高速でコア採取しながら確認できるようにしたもの。

(3) 先端駆動型水圧ハンマーを用いたトンネル切羽前方探査技術(大林組)

ロングフィードの削孔機に先端駆動型の水圧ハンマーを搭載し、トンネル月進程度の150mを約8時間でノンコアで削孔するとともに、削孔データから地山脆弱部や地山等級を予測するもの。

② PS-WL工法(アロードリル)

2-1 はじめに

PS-WL工法(パーカッションワイヤーラインサンプリング工法)は、アロードリル(ロータリーパーカッションドリルマシン)を使用した地質サンプル採取工法であり、従来のロータリーボーリングマシン(回転・給圧)で行われていたWL工法に打撃を加えて、数倍～数十倍の高速コアリングを可能にした工法である(図-2)。

2-2 開発の背景と経緯

2-2-1 それまでの状況

従来のロータリーボーリングは、回転・給圧による切削によって掘削が行われていた。先進ボーリング(水平ボーリング)は孔内泥水による保孔効果が期待できない。このため従来のロータリーボーリングでは断層破碎帯や砂層、砂礫層などの掘削や、コア採取が困難であった。これに打撃を加えることにより回転だけでは困難であった地層の掘削と急速削孔が期待された。

2-2-2 開発への取組み

日本においてのロータリーパーカッションドリルは1970(昭和45)年ごろにクローラータイプとして開発が始まった。1985(昭和60)年ごろよりアロードリルによるアースアンカー設置工事、集排水ボーリングが行われるようになった。

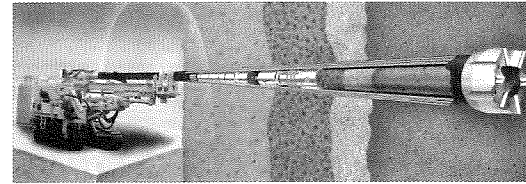


図-2 PS-WL工法概念図

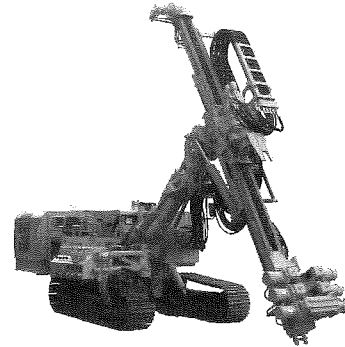


図-3 RPD-160C

開発当初のアロードリルのマシン能力は、65馬力であった。1991(平成3)年には100馬力(RPD-100C)、2001(平成13)年には150馬力(RPD-150C)、2012(平成24)年には160馬力(RPD-160C)にアップした(図-3)。その結果、打撃力、給進力、回転トルクが向上し、掘削長の長尺化、難地層の掘削改善がなされた。

2-2-3 開発の経緯

1992(平成4)年からアロードリルによるコアサンプリングが行われ、打撃力を加えることにより急速削孔が可能となり、種々の地層にも対応できるようになった。打撃力を付加する構造のパーカッションドリルは、ロッド端部にマシンヘッドがあるため、ロッド1本ごとに着脱する必要があり、ロッド揚降には長時間を要した。そのため、コアチューブの回収にはワイヤーライン工法を採用することとした。

打撃力を併用することにより、二重管掘削が可能となり、断層破碎帯などの不良地山の急速削孔が可能となった。

2-3 開発の成果と実績

2-3-1 実績

山岳トンネル工事では、切羽休止の週末2～3日を利用して水平削孔長100～150mの先進コア

表-1 PS-WL工法による先進調査ボーリング実績

施工場所	調査日数	施工仕様	地質	岩盤等級	コア採取率	備考
青森県	8方	230m×1本	火山礫凝灰岩、泥岩	CL~D	80~100	変質粘土あり
青森県	4方	107.5m×1本	安山岩	CM~CL	70~100	破碎帯
新潟県	9方	50m、70m×各1本	泥岩、砂礫	CM~D	60~100	
福島県	4方	120m×1本	安山岩、凝灰岩	CM~D	40~100	破碎帯
群馬県	3方	50m×1本	安山岩	CH~CM	70~100	
青森県	7方	200m×1本	凝灰岩、泥岩、安山岩	CM~D	80~100	
新潟県	4方	107m×1本	泥岩	CM~D	60~100	
新潟県	3方	110.5m×1本	泥岩	CH~D	60~100	
福島県	4方	140m×1本	自破碎溶岩	CH~CL	40~100	破碎帯
秋田県	4方	120m×1本	崖錐堆積物、石英安山岩溶岩	CM~D	80~100	破碎帯
福島県	5方	125m×1本	花崗岩、玄武岩	CM~CL	100	
福島県	5方	121m×1本	安山岩貫入岩	CM~CL	80~100	灰白色粘土挟む
秋田県	5方	100m×1本	石英安山岩溶岩	CL~D	20~100	破碎帯
福島県	5方	105m×1本	花崗岩、玄武岩	CH~CL	100	
新潟県	3方	150m×1本	砂質泥岩	CM~CL	80~100	
秋田県	2方	100.5m×1本	シルト質泥岩	CL~D	100	
福島県	6方	115.5m×1本	ホルンフェルス・自破碎溶岩	CM~CL	80~100	
新潟県	6方	100.0m×2本	砂質泥岩・砂岩	CM~CL	70~100	
秋田県	3方	113m×1本	シルト質泥岩	CL~D	50~100	未固結粘土
福島県	4方	122m×1本	玄武岩質溶岩・角礫凝灰岩	CM~CL	100	
福島県	5方	124.5m×1本	安山岩・砂岩・角礫岩	CM~CL	100	変質粘土あり
秋田県	3方	111m×1本	シルト質泥岩	CL~D	100	
北海道	3方	100m×1本	頁岩	CL~D	100	
秋田県	4方	102m×1本	シルト質泥岩	CL~D	100	
長野県	2方	100m×1本	シルト	CM~D	50~100	未固結粘土
福島県	3方	90m×1本	閃緑岩	CM~CL	100	
山梨県	5方	81m×1本	石英閃緑岩	CH~CM	100	
福島県	6方	100.5m×1本	玄武岩・凝灰岩	CH~CM	100	
山形県	5方	150.5m×1本	砂岩・礫岩・シルト	CM~CL	80~100	粘土化部亀裂部
福島県	5方	160m×1本	斑状安山岩・角礫岩	CM~CL	80~100	粘土化部亀裂部
岡山県	2方	52.5m	花崗岩・ヒン岩・泥質片岩	CH~D	100	破碎帯
山形県	3方	51.5m	砂岩・礫岩	CM~CL	30~100	亀裂部
岐阜県	5方	138m	層状チャート	CH~D	100	剝離性粘土化部
岐阜県	2方	80m	砂岩・泥岩	CM~D	100	
北海道	3方	60m	泥岩		50~100	亀裂部
山形県	6方	190.3m	砂岩・礫岩・凝灰岩	CL~D	60~100	破碎帯
北海道	5方	120m	頁岩	CM~D	50~100	粘土化部

注：1方(12時間作業)

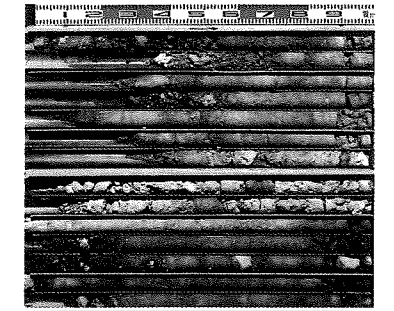
ボーリングが可能で本工法が多く実施されてきた。1996(平成8)年より実施されている本工法の施工実績は削孔長100mあたり、平均施工日数3.72方、平均削孔長108.5m、平均コア採取率84.4%である。また、最長削孔長は300mを記録している。岩質も未固結砂礫層からチャートを含む超硬岩にも対

リングではケーシング挿入作業が必要となることと比較すると、当工法が有効である事例といえよう。写真-1にコアサンプルを示す。

2-4 残された課題

2-4-1 採取コア試料品質

当工法は、一般的なロータリーボーリングと異



掘削深度(m)	掘進長(m)	コアサンプル長(m)	採取率(m)
12.50~13.50	1.00	1.00	100
13.50~14.50	1.00	0.65	65
14.50~15.50	1.00	0.76	76
15.50~16.50	1.00	0.73	73
16.50~17.30	0.80	0.80	100
17.30~17.95	0.65	0.65	100
17.95~18.50	0.55	0.55	100
18.50~19.50	1.00	0.96	96
19.50~20.40	0.90	0.90	100
20.40~21.50	1.10	1.07	97
21.50~22.50	1.00	1.00	100
22.50~23.50	1.00	1.00	100
23.50~24.50	1.00	1.00	100
24.50~25.50	1.00	1.00	100
計	13.00	12.07	92.8

写真-1 コアサンプル

応し、多様な岩質について実績がある(表-1参照)。

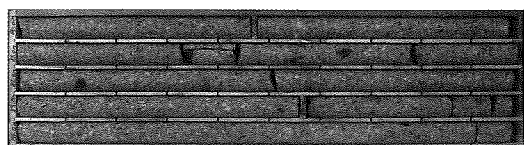
2-3-2 施工事例<sup>3)</sup>

当工法で山梨・長野県境の富士川支流釜無川近くに分布する糸魚川-静岡構造線を貫いた結果を紹介する。

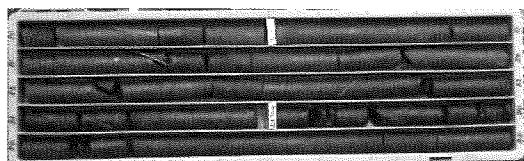
この大断層帯は断層破碎部と断層粘土からなり、砂礫層も存在することから、従来のロータリーボーリングでは掘削困難な地質とされていた。本工事ではこの悪条件の地質25.5mを、1日で掘削した。全体のコア採取率は93%であった。従来のロータリー式ボー

表-2 コア形状による岩石分類

	塊状岩盤			層状岩盤
	H(硬質岩) 80N/mm <sup>2</sup> 以上	M(中硬質岩) 20~80N/mm <sup>2</sup> 以上	L(軟質岩) 20N/mm <sup>2</sup> 以下	
ディスクング状態になりやすい岩	花崗岩, 花崗閃緑岩, ホルンフェルス	砂岩, 礫岩	蛇紋岩	泥岩・シルト岩, 頁岩, 粘板岩, 黒色片岩, 緑色片岩
ディスクング状態になりにくい岩	花崗斑岩	安山岩, 玄武岩, デイサイト	凝灰岩, 凝灰角礫岩, 凝灰質砂岩	



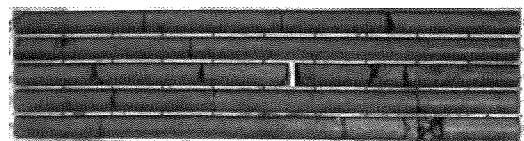
新第三紀中新世熊野酸性岩類花崗斑岩



第四紀玄武岩



貫入岩ひん岩



新第三紀中新世凝灰岩

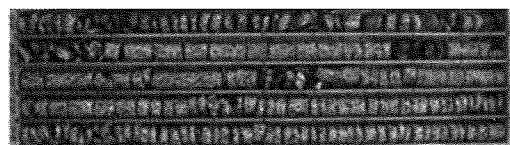
写真-2 ディスクング状態になりにくい岩のコア写真

なり、「コアの良否」より「削孔速度」に重点を置いたことからパーカッションボーリングの弱点である岩質によってはコアが盤状破碎(コアディスクング)として採取されるという課題が残った。

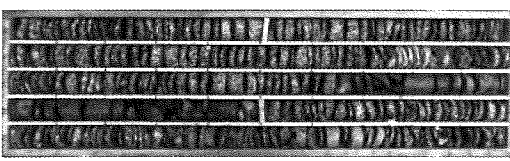
2-4-2 採取コア試料事例

当工法による採取コアは、岩種によってコアディスクング状態になりやすい岩と、なりにくい岩に分けられる。

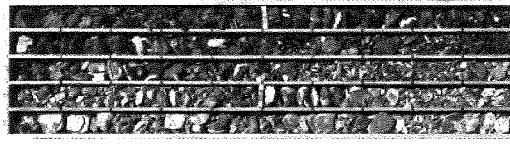
表-2に当工法のコア形状における岩石分類を示した。写真-2,3に代表的な岩のコアを示す。岩石分類に関しては、これまでに採取されたPS-WLコア試料をもとに分類した。



新第三紀中新世紫尾山花崗岩



中生代白亜紀領家帯変成岩類花崗閃緑岩



中生代白亜紀三波川帯黒色片岩・緑色片岩

写真-3 ディスクング状態になりやすい岩のコア写真

2-5 おわりに

トンネルの先進調査ボーリングは、限られた空間、短時間(トンネル作業が休みの週末2日間)での施工を要求される。また、1回のボーリング掘削長が長ければ長いほど効率の良いトンネル施工が可能となる。

PS-WL工法を採用することにより、現状100~150mの調査を数日で施工可能となったが、地質状況(超硬岩, 断層・破碎帯)によっては80mに満たない場合もある。明かり作業であれば、より高馬力の大型機械の導入による効率向上が見込まれるが、トンネル内においては掘削断面の大きさで使用機械が決まってくる。また、削孔スピードもさることながら、ボーリング機械の据付け・撤去に時間を要しないということも重要なポイントである。

これらの課題を改善するために、より小型で削

孔能力の大きい機械の開発と、削孔ツールの改良が必要と考えている<sup>4)</sup>。

最後に、当工法の今後の課題についてまとめる。

前節で述べたとおり、当工法によるコアの品質には問題点が残る。現在、コアの品質・採取率の向上を目指して、ポリ塩化ビニル収納チューブの開発、サンプラーの構造、ビットおよびインナーチューブ先端シューの改良を検討中である。

また、トンネル掘削では、RQD(Rock Quality Designation)および岩石強度評価方法の評価法がまだ確立されていない。これは、掘削地山が同程度の強度の岩石でも、岩種・岩質により当工法のコア状態が極端に違ってくるためである。今後は連続打撃動的貫入試験(P値計測)<sup>※1</sup>と掘削記録システムを併用し、採取コアだけではなく、掘削データから地質状況の評価する、有効な手法の確立が残された課題であると考えられる。

③ コアボーリングシステム (Core-DRISS)

3-1 はじめに

Core-DRISS<sup>®</sup>は、山岳トンネルの汎用掘削機械であるドリルジャンボを用いて切羽前方の地山試料を迅速かつ連続的にコア試料として採取可能なコアボーリングシステムである(写真-4)。本システムは図-4に示す大口径チューブロッド、専用ビット(センターホールビット)およびコア試料採取システム(コアチューブ、コアチューブヘッド)から構成される。

コア試料採取手順は図-5に示すよ

※1: 連続打撃動的貫入試験とは連続打撃貫入抵抗:P値(先端のサンプラーやビットを任意の深さまで貫入するのに要する打撃回数)により、地盤の硬軟を測定するサウンディング手法である。これは、ボーリング(コア、ノンコア)削孔と併用することが可能である。

うに、基本的には従来の「ワイヤーライン工法」とほぼ同様である。図中①~④のサイクルは1m程度の削孔(コアサンプリング)を標準としており、コア試料採取の際に削孔ロッドを回収する必要は

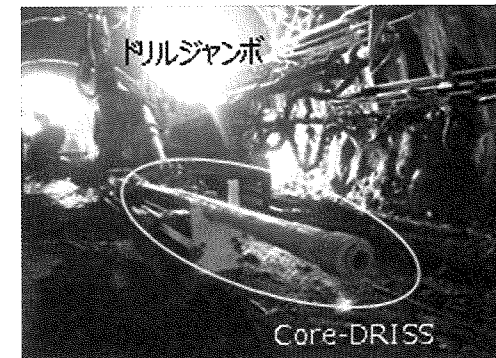


写真-4 Core-DRISS

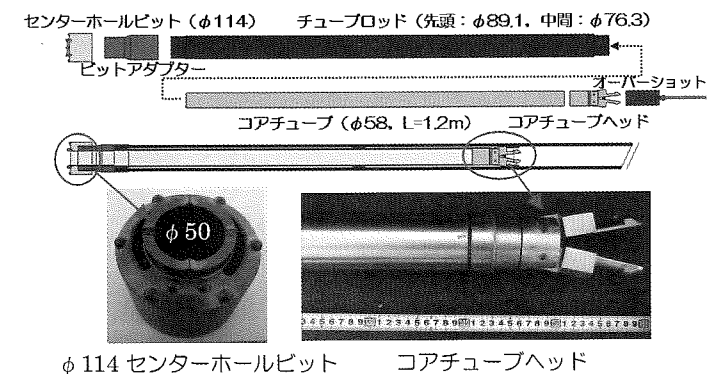


図-4 システム構成

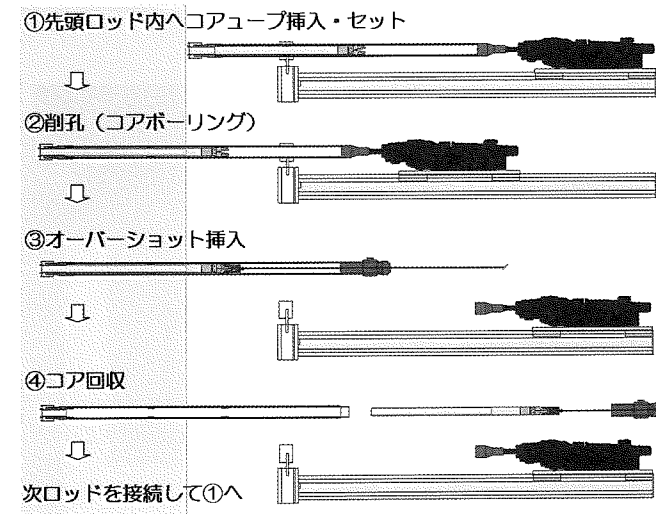


図-5 コア試料採取手順

ない。コアチューブおよびオーバーショットの挿入はスイベルを介して水圧および空気圧により行う。試料を採取したコアチューブは、オーバーショットに連結されたワイヤーを電動ウィンチで巻き取ることで回収される。

### 3-2 開発の背景と経緯

#### 3-2-1 それまでの状況

現在、トンネル掘削時に切羽で多用される短尺ボーリング手法としては、ドリルジャンボを使用したノンコアボーリング(削孔検層)が挙げられる。この手法は、専用の機械・人員を必要とせず、おおむね1週間分の掘削区間(30m程度)の先進ボーリングを迅速かつ簡便に実施できる。

その一方で、得られる情報が削孔スライム(くり粉)や機械データなどに限定されるため、実際の地山試料(コア試料)にもとづくより詳細な地質評価が必要な場合にはボーリングマシンなどの専用機を用いたコアボーリングの実施が必要であった。しかし、専用機によるコア採取は、採取位置が限定される、採取に時間を要するなどの課題がある。

#### 3-2-2 開発への取組み

上述のような切羽前方の探査の現状を踏まえ、削孔検層とコアボーリング調査のそれぞれの利点を兼ね備えた新たなボーリング手法の開発を目指すこととした。

山岳トンネルの施工に使用されているドリルジャンボを使用することができれば、穿孔可能範囲が広い切羽のいかなる箇所からでもコア採取が可能であり、また、必要ときに迅速にコア採取が実施できる。そこで、ドリルジャンボを使用したコアボーリング手法の開発に着手した。

#### 3-2-3 開発の経緯

本システムは以下に示す適用試験により、その技術の有効性および適用性を確認した。

#### (1) 供試体に対するコア試料採取試験

開発したシステムを用いて、深度29~30m区間のコアボーリングを模擬した供試体コアボーリング試験を実施した(写真-5)。

実験では、幅広い強度の供試体に対しても問題

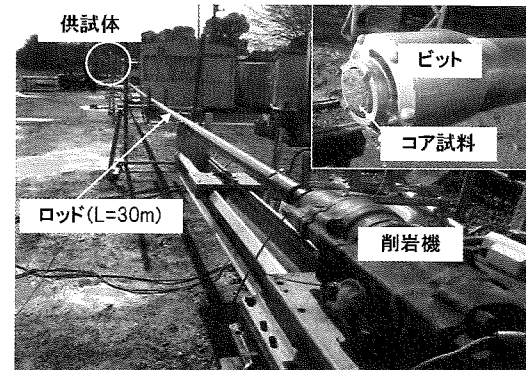


写真-5 供試体コア試料採取試験状況

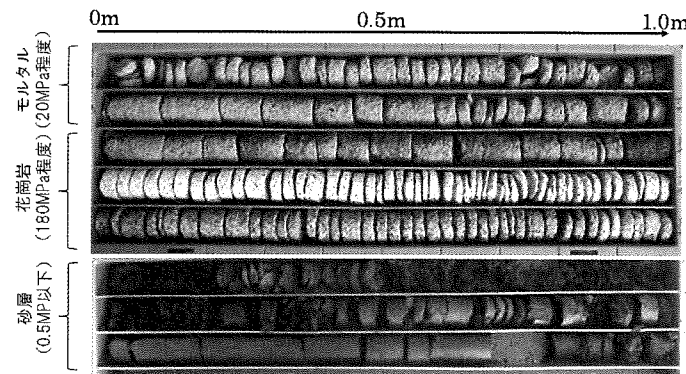


写真-6 採取したコア試料

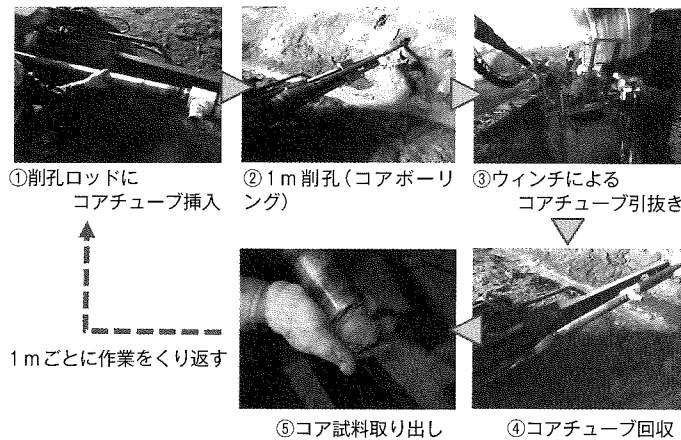


図-6 コア試料採取坑内作業サイクル

なくコア試料が採取可能であることを確認することができた(写真-6)。

#### (2) 現場における適用試験

実際の地山に対する本システムの適用性を確認するため、トンネル坑内において図-6に示す一連の作業を1m削孔ごとにくり返し実施し、切羽前方30m区間の連続的なコア試料採取を試みた。対象地山はやや不均質な礫岩であったため、コア採取率の低下も懸念されたが、ほぼすべての区間において地山試料を連続採取することができた。作業時間は1サイクルあたり平均15分程度であり、準備・片付けを含めても30m区間のコアボーリングをおおむね1.5方程度で行うことができた。また、本試験ではコア採取時の削孔データを用いた削孔検層(DRISS)を併用し、さらに詳細かつ定量的な地山評価を行った。

### 3-3 開発の成果と実績

#### 3-3-1 成果

開発の成果として、以下のような特長を有する迅速コアボーリングシステムを実用化した。

- ① 汎用機械のドリルジャンボを用いてL=30m程度の連続コア試料採取が可能
- ② 軟岩から硬岩の広範囲の岩盤性状において、φ50mm程度のコア試料採取が可能
- ③ L=30m程度のコアボーリングをおおむね1.5方程度で実施可能
- ④ 削孔検層(DRISS)と併用することにより、より精度の高い切羽前方探査が可能

#### 3-3-2 実績

九州新幹線(西九州)久山トンネル(西)他工事での実績を紹介する。

切羽高所に出現した脆弱な破碎粘土層の切羽前方の分布状況および性状の把握を目的に、左右肩部の2か所においてそれぞれL=25, 30mのコアボーリングを実施した。ボーリング位置が高所であったが、ドリルジャンボを使用するため、仮設の作業架台設置などの準備作業をすることなくボーリング作業が迅速に実施できた(写真-7)。

探査では、右側のボーリングの探査のみで約15mの連続した破碎粘土コアが得られた(写真-8)。その結果から破碎粘土層の分布は切羽右側~センター付近に限られると予測したが、掘削で確認された実際の地質性状も探査結果とおおむね一致する結果が得られた。

#### 3-4 残された課題

本手法は実用レベルの技術ではあるが、以下に挙げる課題が残されており、今後の改良点と考えている。

- ・削孔時の打撃使用によるコア試料の碎片化
- ・探査距離の更なる延長(50m程度まで)
- ・探査時間の更なる短縮(作業の効率化)

#### 3-5 おわりに

ここまで述べたように、Core-DRISSは施工機械のドリルジャンボを使用して切羽前方30m程度までのコア試料採取を迅速かつ簡便に行うことが可能な手法である。このような特長を活かし、

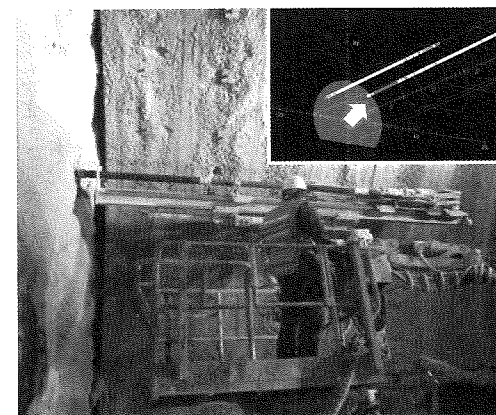


写真-7 高所でのボーリング作業状況

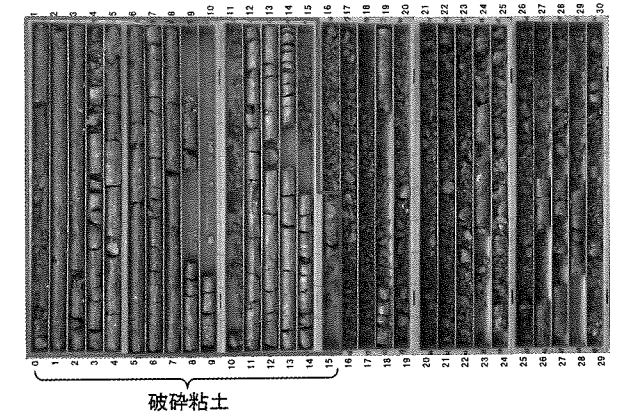


写真-8 切羽右側のボーリング結果

今後は切羽前方地山の重金属などの含有量の評価や、ほかのボーリング手法(前述のPS-WL工法など)と組み合わせた調査の高精度化などといった応用も期待でき、切羽前方探査の新技术として活用できる。

### 4 先端駆動型水圧ハンマーを用いたトンネル切羽前方探査技術

#### 4-1 はじめに

本技術は、ロングフィードの削孔機に先端駆動型の水圧ハンマーを搭載し、トンネル月進程度の150mを約8時間でノンコアにより削孔するとともに、削孔データから地山脆弱部や地山等級を予測するものである。

#### 4-2 開発の背景と経緯

##### 4-2-1 それまでの状況

これまで適用されてきたドリルジャンボによるノンコア前方探査は、1回あたりのトンネル掘進長は1週間分程度となる。ドリルジャンボの油圧ドリフタは、ロッド後端において打撃するので、削孔長が大きくなりすぎると速度が低下したり、打撃エネルギーの伝達ロスが発生する。また、多量湧水が発生する場合には、より長く削孔して効率的に地下水位を下げるのが求められる。

このようなことから、木梨(筆者)らはトンネル月進長相当の150m以上を短時間で削孔できる先端駆動型の水圧ハンマーに着目した。水圧ハンマーは高圧水を先端に送ることで打撃が発生する機構となっており、エネルギー伝達のロスが非常に少ないため高速削孔が可能であり、九州新幹線筑紫トンネル(河内工区)において200mを18時間で削孔した事例が報告されている<sup>9)</sup>。木梨(筆者)らは、波方ブタン貯槽工事の水封ボーリング<sup>7)</sup>に水圧ハンマーを適用した際にエネルギー効率と削孔精度の良さを経験し、これが水圧ハンマーを採用する契機となった。

##### 4-2-2 開発への取組み

本技術のシステム全体概要を図-7に示

す。削孔マシンには、長距離を高速で削孔した実績のある<sup>9)</sup>水圧ハンマーを搭載し、6mロッドを使用できるロングフィード式のボーリング機(写真-9:SM-401(ソイルメック社))とした。水圧ハンマーには、試験削孔を経て削孔径φ88mmのwasaraW80HD(G-Drill社)を選定した。硬質な結晶片岩で行った試験施工では150mを約7時間で削孔することができた。

削孔中には削孔速度、送水圧、フィード力などを0.1secごとに計測し、1cm掘進ごとの平均値を記録する。地山評価方法については現場適用データの分析を重ねて、打撃エネルギーにもとづく指標値で評価することとした。単位長さを削孔するのに要する打撃エネルギーは硬質な岩ほど大きく、

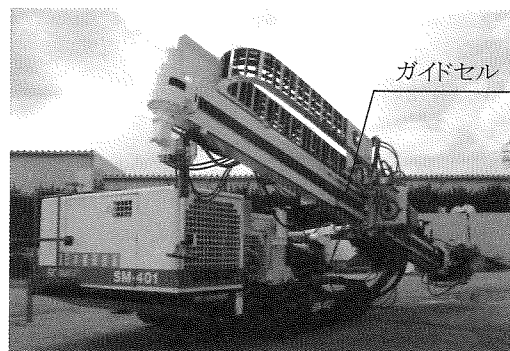


写真-9 水圧ハンマー搭載削孔機

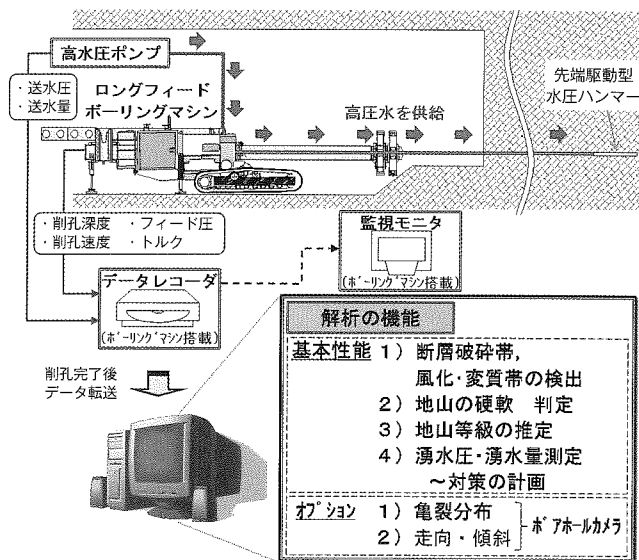


図-7 システム全体概要

軟質なもののほど小さくなる。すなわち、単位長さの削孔に要する送水圧 $P \times$ 打撃数 $f(P \times f/v)$ をエネルギー指標値とし、地山の硬さを判定することとした。なお、 $v$ は削孔速度である。

#### 4-2-3 開発の経緯

エネルギー指標値の有効性を検証するため、圧縮強度の異なるモルタル供試体を作成し、削孔試験を実施したところ、図-8のような結果が得られた<sup>9)</sup>。図中の数値(MPa)は供試体の一軸圧縮強度を示す。この結果、削孔速度や打撃回数が供試体の硬軟に依存しており、エネルギー指標値が圧縮

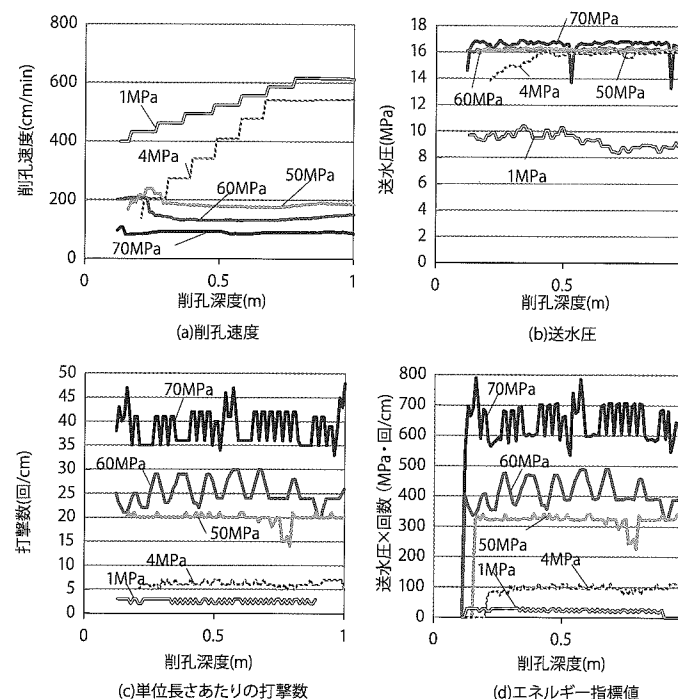


図-8 模擬岩盤削孔試験結果

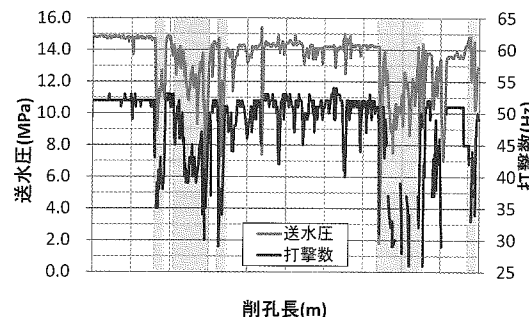


図-9 反力低下による送水圧と打撃数減少の状況

強度とともに増大することを確認できた。次に現場での削孔検層における、送水圧と打撃回数の変化を部分的に拡大して示したものが図-9である。削孔データを分析した結果、亀裂卓越部などの脆弱部では、送水圧と打撃回数が顕著に低下することがわかった<sup>10)</sup>。また、送水圧と打撃数の両者の関係には図-10のように明瞭な相関性のあることがわかった。図-10に示す理論値は打撃数が送水圧の平方根に比例することを表しているが、実測値はこれを下回ることも判明した<sup>10)</sup>。なお、打撃数は加速度センサーで計測してその波形からカウン

トできるが、非常に労力を要する。図-10の結果よりこの作業を省略でき、かつこれを考慮することで脆弱部をより正確に把握できるようになった。

#### 4-3 開発の成果と実績

##### 4-3-1 地山等級の推定

本技術では、検層データから算出したエネルギー指標値により地山等級を表-3により推定する。各等級の数値の範囲は、これまでの探査で得られたエネルギー指標値と、トンネル掘削時の切羽観察などで判定した地山等級の実績から設定したものである。表-3により、前方探査で得られたエネルギー指標値から、事前に地山等級を推定する。

##### 4-3-2 現場適用例

これまでに5現場において適用し、断層破砕帯や風化・変質による脆弱部

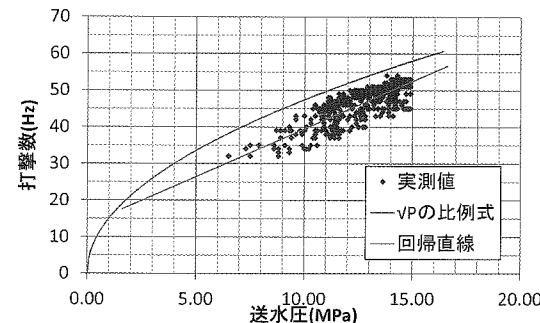


図-10 送水圧と打撃数の関係

を把握し、地山に適合する支保選定や補助工法の事前準備などが実施できた。以下では、新名神高速道路野登トンネルでの事例<sup>10)</sup>を紹介する。

本トンネルでは、設計でC I級の硬質地山とされていた区間(土かぶり約150m)で、本技術により想定外の脆弱部を事前に把握できた。探査結果を図-11に示す。丸で囲んだ区間ではとくにエネルギー指標値が低下しており、スライムが通常の灰色から白色に変化した。地質担当者により熱水変質による脆弱部と推定した。最大で設計より3ランク低いD IIとなる区間を事前に把握できた。この結果から遅滞なく岩判定を実施し、支保パターンを変更してインバートストラットなどで安定化を図った。なお、当現場では計5回本技術の前方探査を行い、最大185mを8時間で削孔できた。

4-4 残された課題

地山等級の判定(支保パターンの決定)は、あくまで実際の切羽観察(岩判定)にもとづいて決定するものであり、前方探査の結果はこれを支援するものである。1本の探査孔は線の情報を得るもの

であり、面である切羽に対しては局所的な情報に過ぎない。よって、探査結果が実際の地山状況を完璧に予測できるものではないが、明瞭で比較的規模の大きな破碎帯や脆弱部は確実に把握できている。さらに、前方探査の結果に何らかの物理探査などのデータを追加し、CIMを活用して情報を統合すれば、より確実に有効な予測になるものと考えられる。本技術は掘削停止日などに短時間で実施できることが利点であるので、追加する調査も短時間で実施できるよう留意したい。

ノンコア前方探査のもう一つの役割である地下水の探査については、湧水量・湧水圧の情報が非常に重要となる。本技術では、湧水の急増箇所を把握できるように削孔中に湧水量を常時計測し、湧水圧に関しては削孔途中でも計器をロッドに接続して測定できるシステムとしている。これにより、得られた情報をもとに必要な水抜き対策の検討が可能となる。きわめて大きな土かぶりのケースでは、この湧水に関する前方探査も非常に重要になるので、湧水圧を計測し地下水状況を評価する事例を増やしていく必要があると考えている。なお、本技術は15MPa程度の高水圧を送って削孔するため、高地下水水位下での施工も可能と考えているが、未経験の領域もありこれから実績を重ねる必要があると考えている。

4-5 おわりに

本技術は、切羽での探査時に送水圧や削孔速度のデータを見ているだけでも、地山が硬いか悪くなったことが実感できるものであるが、データ

を記録してこれを定量的に表すことは非常に有効である。2016年末現在で、本技術による探査実績は総延長約4,000mになるが、まだまだ駆け出しの技術である。今後もさまざまな地山状況での適用経験を積み重ねる必要がある。現在も新幹線のトンネルなどで適用中であり、新たな成果をまとめて今後も報告したいと考えている。

(文責：大島洋志/国際航業(株)、倉岡研一・今村大介/鉦研工業(株)、山下雅之/西松建設(株)、木梨秀雄/(株)大林組)

参考文献

- 1) 山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会：山岳トンネル先進ボーリング入門(1)-(8/最終回)、トンネルと地下、Vol.39, No.9~Vol.40, No.4, 2008.9~2009.4.
- 2) 大島洋志：毎分23tの以上湧水に挑む、山陽新幹線福岡トンネル東工区、トンネルと地下、Vol.4, No.8, pp.12-21, 1973.8.
- 3) 加藤信一：活断層のボーリング調査~PS-WL工法の有効性実証~, KOKENエンジニアリングニュース, 1995秋号, pp.2-7, 1995.11.
- 4) 生森敏・今村大介：地質調査とボーリング技術の最新事情、土木施工、Vol.46, No.10, pp.93-98, 2005.10.
- 5) 山下雅之・引間良一・石山宏二・塚田純一・塚田隆幸：ドリルジャンボを使用した連続コアボーリングシステムの開発、土木学会第70回年次学術講演会、VI-685, pp.1369-1370, 2015.9.
- 6) 山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会：山岳トンネル先進ボーリング入門(7)、トンネルと地下、Vol.40, No.3, pp.56-69, 2009.3.
- 7) 小笠原光雅・市川雅之：650m<sup>2</sup>の大規模水封式地下岩盤貯槽を掘る、波方基地ブタン貯槽工事、土木施工、2007.9.
- 8) 佐々木幸一・芳賀康司・直江久永：九州新幹線筑紫トンネルの貫通、周辺環境を考慮したルート選定と施工、トンネルと地下、Vol.39, No.4, pp.7-16, 2008.4.
- 9) 磐田吾郎・伊藤哲・木野村有亮：水圧ハンマーを用いた高速ボーリングによる切羽前方探査技術の開発、トンネルと地下、Vol.46, No.10, pp.49-58, 2009.3.
- 10) 伊原泰之・久保嶋悠太・木野村有亮・長塚渉・磐田吾郎・木梨秀雄・伊藤哲：花崗岩変質帯における水圧ハンマーを用いたノンコア前方探査技術の適用：トンネル工学報告集、Vol.25, I-14, 2015.11.

表-3 エネルギー指標値と地山等級

エネルギー指標値	地山等級 (道路トンネル)	地山等級 (鉄道トンネル)
4.5以上	B	III <sub>N</sub>
4.2~4.5	C I	II <sub>N</sub>
2.5~4.2	C II	I <sub>N-2</sub>
1.25~2.5	D I	I <sub>N-1</sub>
1.25以下	D II	I <sub>S</sub>

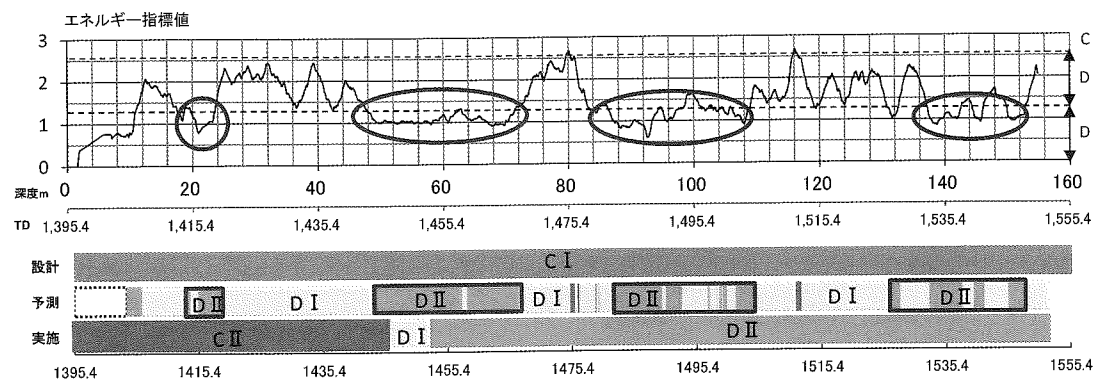


図-11 前方探査結果と支保パターン(設計・予測・実施)

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



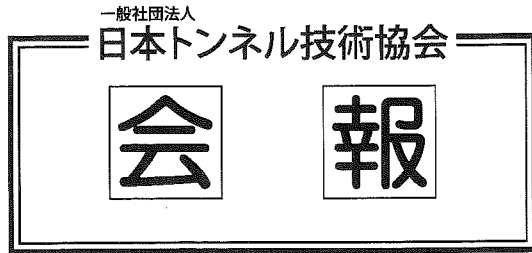
山岳トンネルを設計するうえでの考え方は勿論、設計の留意点などを平易にまとめている。山岳トンネル工事に携わる諸兄の必読書である。

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



1. 会員の現状

	1月31日現在
個人会員	872名
団体会員	204名
推薦会員	208名
特別会員	8名
名誉会員	4名
賛助会員	228名
合計	1,524名

2. 委員会の開催状況(1月1日~31日)

①運営広報委員会関係

◎総務委員会

・広報小委員会

会誌WG(1/11)

小山幸則主査ほか12名, 2月号の会誌と3か月計画を検討

◎事業委員会

・事業委員会(1/19)

入江健二委員長ほか14名, 催物開催報告・29年度計画案を検討

◎国際委員会

ITA統括WG展示サブWG(1/6)

砂金伸治主査ほか8名, 展示募集案内文の検討

・海外文献小委員会

海外ニュースWG(1/26)

篠原慶二委員ほか6名, 海外文献の査読

計 4回開催 44名出席

②調査研究委員会関係

◎技術委員会

・山岳工法小委員会

支保WG(1/13)

丸山修主査ほか19名, 地震対策設計事例および29年度活動計画を検討

・保守管理小委員会(1/27)

浅見郁樹委員長ほか14名, Q&A集作成方針を検討

◎受託研究特別委員会

・九州新幹線(西九州)トンネル委員会幹事会

(1/12.13)

大島洋志幹事長ほか19名, 現場視察および施工の検討

・数値解析マニュアル検討特別委員会幹事会(1/16)

蔭宇静幹事長ほか16名, マニュアル取込み事項と目次案ほかを検討

・効率的点検特別委員会幹事会打合せ会(1/27)

松岡茂幹事長ほか10名, コアデータの分析結果を検討

・効率的点検特別委員会小幹事会(1/31)

松岡茂幹事長ほか13名, コア採取データの分析方針を検討

・北鎌倉隧道安全対策検討委員会(1/30)

西村和夫委員長ほか28名, 文化財的価値の保全方針を検討

計 7回開催 127名出席

合計 11回開催 171名出席

会員の皆様へお願い  
—異動が決まったら—

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

変更や入会の申し込み様式はホームページに掲載していますのでご参照ください。

入会の案内→入会・変更手続き→様式

[http://www.japan-tunnel.org/kaiin\\_paper](http://www.japan-tunnel.org/kaiin_paper)

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第43回ITA総会およびコンgres「Surface problems -Underground solutions」	2017. 6. 9~15	ベルゲン (ノルウェー)	Norwegian Tunnelling Association, ITA(国際トンネル協会) <a href="http://www.wtc2017.no/">http://www.wtc2017.no/</a>
第44回ITA総会およびコンgres「Smart Cities: Managing the Use of Underground Space to Enhance the Quality of Life」	2018. 4.20~26	ドバイ (UAE)	Society of Engineers-UAE, ITA(国際トンネル協会) <a href="http://www.uaesocietyofengineers.com">http://www.uaesocietyofengineers.com</a>
第45回ITA総会およびコンgres「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) <a href="http://www.societaitalianagallerie.it/Prj/Hom.asp">http://www.societaitalianagallerie.it/Prj/Hom.asp</a>

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

4. 平成28年度催物開催現況

(平成29年1月現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
<b>【現場見学会】</b>				
横浜市下水道トンネル現場研修会(磯子トンネル)	2016. 5.20	21	神奈川	2.0
新東名高速道路トンネル建設工事現場研修会(羽根トンネル)	2016. 6.28	22	神奈川	2.5
北海道トンネル建設工事現場研修会 (渡島トンネル(道路), 村山トンネル(鉄道))	2016. 7.28	18	北海道	4.8
新北陸トンネル建設工事現場研修会(葉原・大桐・奥野々工事)	2016. 8.26	24	福井	4.0
福岡地下鉄建設工事現場研修会(七隈線博多駅(仮称)工区)	2016. 9.29	30	福岡	2.0
東北中央自動車道トンネル建設工事現場研修会 (山形蔵王トンネル, 三吉山トンネル)	2016.11.11	19	山形	3.0
環状5の1号線地下道路建設工事現場研修会 (雑司ヶ谷工区・南池袋工区)	2016.11.18	12	東京	1.5
東京外かく環状道路トンネル建設工事現場研修会 (大和田工事Hランプ)	2016.12. 8	25	千葉	1.5
<b>【施工体験発表会】</b>				
第78回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」	2016. 6.22	169	東京	5.9
第79回(都市)「市街地における地下構造物の新設および改良工事—近接, 拡幅, 再構築等の施工事例—」	2016. 6.23	111	東京	4.3
<b>【講習会・シンポジウム】</b>				
都市トンネルのための地盤改良講習会	2016. 5.18	44	東京	5.7
第2回トンネル維持管理業務講習会(基礎編)	2016. 9. 2	39	東京	6.3
第3回トンネル技術者のための地相入門講習会	2016.10.31	36	東京	6.3
第18回ステップアップ研修会「シールド部門」	2016.11.29,30	36	東京	14.5
トンネル維持管理業務講習会(応用編)	2017. 2.27	50	東京	6.3

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

## 施工体験発表会発表者募集のご案内

トンネル工事に携わっている現場技術者による施工体験発表会での発表希望者を下記のとおり募集いたします。奮ってご応募くださるようご案内申し上げます。

なお、発表者の意欲向上と発表会のレベルアップを図るため平成19年度より表彰制度を導入しておりますが、これまでの優秀発表賞のほかに、今回から40歳未満の発表者を対象とした新たな表彰を用意しています。

—記—

**募集課題：**①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—」

近年、山岳トンネルは、新設、改良を問わず、難しい立地条件における高度な施工が求められているとともに、工事区域の住民や生態系などの環境への配慮も不可欠となっており、各種補助工法や新技術、創意工夫などの技術を駆使して施工がなされている。また一方では、合理的かつ品質の良い構造物の施工も求められている。このため、今回は「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術、創意工夫、周辺環境への配慮—」をテーマとして募集します。

②第81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—近接、拡幅、再構築等の施工事例—」

都市部の地下は、各種地下施設が輻輳しており、トンネルや地下構造物の新設に限らず既存インフラにおいても改良・再構築に際し、これら避けるために近接施工や狭隘な作業条件下での工事を余儀なくされている。さらに市街地では、周辺住民の環境に対する関心がこれまで以上に高くなってきている。このため、今回は幅広く「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—近接、拡幅、再構築等の施工事例—」をテーマとして募集します。

**開催日：**第80回(山岳)：平成29年6月28日(水)  
第81回(都市)：平成29年6月29日(木)

**開催場所：**発明会館 地下ホール

**発表時間：**1題20分程度(質疑応答を含まず、発表件数により増減)

**発表方法：**パソコンとプロジェクターを用いた発表(パワーポイントなどのソフトを使用)

**応募方法：**概要を1,200字程度に取りまとめ(様式自由)、題名、所属・役職、氏名、連絡先、電話番号、メールアドレスを記載のうえ、3月10日(金)までに下記事務局宛てにご提出してください。FAX、メールでも結構です。

〒104-0045 中央区築地2-11-26 築地MKビル 担当：滝口  
(一社)日本トンネル技術協会

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

**発表者通知：**提出された概要により発表者を選考のうえ、3月中旬に本人宛てにご連絡いたします。なお、その際発表者には原稿作成にあたっての要領などをご連絡します。

**スケジュール：**応募期限：3月10日(金)まで

発表論文決定：3月下旬

発表本論文提出期限：5月19日(金)必着(提出論文枚数：A4判7枚(図・表・写真含む))

**その他：**発表会後に優秀発表者の審査を行い、表彰者にご連絡いたします。

## 道路、橋梁、トンネルなどの点検・診断、修繕・更新に関する 専門展示会『第9回インフラ検査維持管理展』

主催：(一社)日本能率協会  
後援：(一社)日本トンネル技術協会ほか

メンテナンス・レジリエンスTOKYO事務局より展示会の案内をいただきましたので紹介いたします。

展示希望の方はお早めに詳細をご覧ください。また、展示会は7月に開催されますが、メンテナンスの時代に向け、新技術情報を収集することは大変有益と考えます。

—記—

**目的：**インフラの老朽化対策に関する最新の技術・取組みを紹介し、維持管理・更新にかかわる技術(メンテナンス技術)の基盤強化を図り、建設から維持管理・更新に至る一連のサイクルにおいて、将来にわたって安全で強靱なインフラを維持・確保すること。

**会場：**東京ビッグサイト 東ホール

**会期：**2017年7月19日(水)～21日(金) 10:00～17:00

**出展申し込み：**受付中(早期申し込み締切2017年2月3日(金)、最終申込締切2017年3月10日(金))

**その他：**案内の詳細は、<http://www.jma.or.jp/mente/outline/infra.html>をご覧ください。

**資料請求・お問い合わせ：**

<https://pro.form-mailer.jp/fms/e40a197d67101>

メンテナンス・レジリエンスTOKYO事務局(一社)日本能率協会産業振興センター内

TEL：03-3434-1988 E-mail: mente@jma.or.jp

### 図書案内

■**図書名：**都市部近接施工ガイドライン〈図書番号 201504〉

**体裁：**A4判370頁

**頒布価格：**個人会員4,500円、団体会員5,000円、一般6,000円(消費税込み、送料実費負担)

※本書は、平成11年度発刊の「地中構造物の建設に伴う近接施工指針」の改訂版として、最新の事例・技術を反映したものである。

※成果品の内容については、本会ホームページご参照ください。

■**図書名：**設立40周年記念事業「シールド技術変遷史」〈図書番号 201505〉

**体裁：**A4判315頁

**頒布価格：**個人会員6,000円、団体会員7,000円、一般9,000円(消費税込み、送料実費負担)

※成果品の内容については、本会ホームページご参照ください。

**図書の申し込み先** TEL：03-3524-1755 FAX：03-5148-3655 E-mail: book@japan-tunnel.org  
担当：米田まで

## 4月号予告[4月1日発売予定]

- 低強度地山におけるロックボルト支保工の設計モデルに関する研究
- 相鉄・東急直通線 羽沢トンネル
- 中部横断自動車道 楮根第3トンネル
- 東海北陸自動車道 上野第一トンネル
- 「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」の解説  
【連載講座】
- トンネル新技術への挑戦(17)

\*内容等は変更になる場合がございます

### 編集後記

◆エスカレーターに乗るとき、急ぐ人のためにエスカレーターの片側を空けることがマナーとして根付いています。エスカレーターはそもそも立ち止まって乗ることを前提に設計されているため、歩行禁止なのですが、守っている場面には遭遇しません。この習慣は英国で考案され、その後、1967年に阪急電鉄の梅田駅が移転した際、エスカレーターが長くなったので、急ぐ人のために「片側空け」を呼び掛けたのが最初で、さらに1970年に開催した大阪万博の「動く歩道」にも、国際化に対応しようと英国式マナーが導入され、次第に全国に普及していったとされています。また、この「片側空け」は大阪、神戸などでは「右立ち」、それ以外の地域ではその逆の「左立ち」に分かれていて、戸惑った方も多いと思います。ちなみに、海外では欧州や米国、中国、韓国など多くの地域で「右立ち」が圧倒的に主流のようです。では、東京などそれ以外の地域ではどうして逆の「左立ち」が広まったのか。これは「自動車の左側通行」にならなかったのではないかとされています。どちらでもよい話ですが、紛らわしいのでどちらかに統一してはいかがでしょうか。

◆この時期は花粉症の方には厳しい季節ですが、そろそろ桜の開花のニュースも届くころです。異動や転勤などで新しい環境で生活する方も多いと思いますが、体調管理に気を付けて、春を迎えてください。

(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48巻 第3号 (通巻559号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成29年2月20日 印刷

平成29年3月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会  
会長 佐藤 信彦

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒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! ~限らない未来への挑戦~

 **大栄工機株式会社**

本社 〒526-0842 滋賀県長浜市春近町90番地 TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765

URL <http://www.daieikouki.co.jp/> E-Mail: daiei-co@minos.ocn.ne.jp

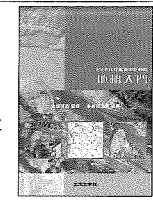
営業品目 各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売 ※詳しくはホームページを御覧ください

**図書案内**

**トンネル技術者のための地相入門**

大島洋志 監修, 木谷日出男 編著  
3,200円+税 B5判

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



**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

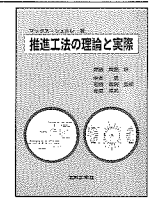
近年に開発、実用化された29工法を整理、体系化するとともに、各工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点などをわかりやすく説明した。



**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

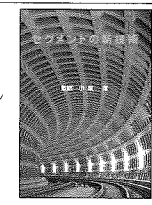
土木工事にかかわりのある地質学の基礎知識を盛り込み、土木工事において問題となる地質事象や、各種地質調査の原理についてわかりやすい解説を与えた。



**セグメントの新技术**

小泉 淳 監修  
2,000円+税 B5判

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



**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术**

シールドトンネルの新技术研究会 編  
4,660円+税 B5判

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



**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

**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术**

ジオフロンテ研究会 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. McGuffey 共著, 田中 茂・山岡一三・廣田泰久 共訳  
8,000円+税 A5判

ジオテ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患や有害環境条件、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・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**

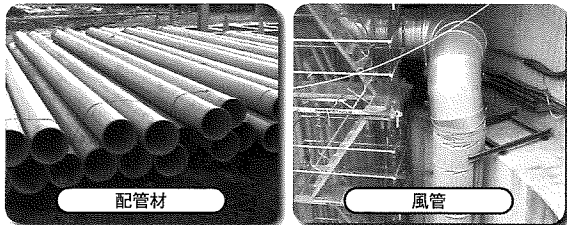
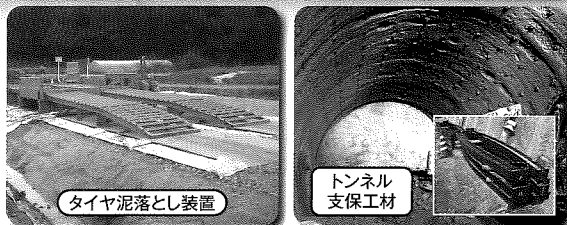
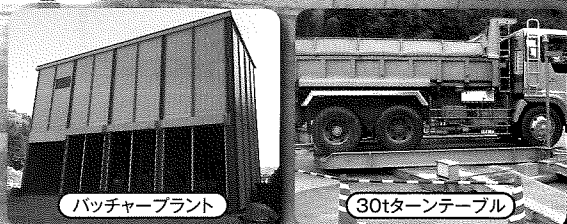
ご注文は当社へFAXまたは、書店にてお申し込みください。FAXでご注文の際は、書名、部数、送り先、氏名、電話番号を明記のうえ下記までお送りください。

(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。

東京機材工業は創業以来、国内外のプロジェクトにおいて資・機材の受注製作はもとより、各種多彩なリースや保守管理も担っております。ご要望や用途に応じた資・機材の検討から納品まで一貫体制をとっており、的確できめ細か、かつ迅速に対応できる体制を整えております。



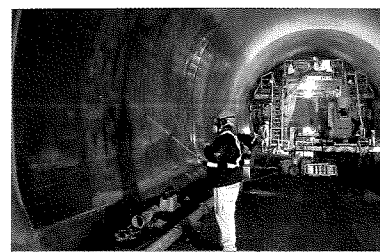
- 主な取扱商品**
- 受注製作品** 支保工材、架設架台、鋼構造物、風管 他
  - リース商品** バッチャープラント、ターンテーブル、タイヤ泥落とし装置、水処理装置、配管材、汎用機材各種 他

全国7か所の機材センターから、必要なものを必要なタイミングで提供する体制を整えています。



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

- |        |                                           |                                   |
|--------|-------------------------------------------|-----------------------------------|
| 本社     | 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町1-9-12 共同ビル3階        | TEL 03-3245-1001 FAX 03-3245-0160 |
| 大阪支店   | 〒541-0042 大阪府大阪市中央区今橋3-2-20 洪庵日生ビル8階      | TEL 06-6121-6261 FAX 06-6121-6241 |
| 東北支店   | 〒980-0023 宮城県仙台市青葉区北目町1-18 ビースビル北目町4階     | TEL 022-738-7011 FAX 022-748-7881 |
| 九州支店   | 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前2-2-1 福岡センタービル8階   | TEL 092-432-0501 FAX 092-432-0504 |
| 名古屋営業所 | 〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-19-1 名古屋鴻池ビルディング13階 | TEL 052-228-6441 FAX 052-228-6442 |



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



様々な現場で力を発揮する  
注入材、裏込材  
“最適な選択をご提供”

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

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

# デンカのトンネル関連技術

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

## デンカが誇る信頼の急結剤「デンカナトミック」

驚異の低粉じん吹付けが可能！

### 『デンカクリアショット工法』

KT-080020VR

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

クリアショット吹付け状況（2ノズル吹付け）



写真提供：宮古盛岡横断道路 新区界トンネル工事

## 覆工コンクリートの品質向上技術

トンネル覆工ひび割れ抑制に

### 『デンカパワーCSA TYPE-T』KT-130059A

- ・トンネル専用膨張材
- ・乾燥収縮、温度ひび割れ抑制に

後添加型中流動コンクリート混和剤

### 『ADVA-PLUS』JIS A 6204適合

- ・過大な粘性を与えることなく、分離抵抗性を向上します

『CSA』でひび割れ抑制



『ADVA-PLUS』を現場で投入



## その他 トンネル関連技術・製品

可視型はく落防止工法（NEXCO規格対応工法）

### 『NAV-G工法』KT-100023A

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

トンネル中央排水工・裏面排水工 コルゲート管

### 『トヨドレン』

- ・ポリエチレン樹脂製で腐食に強く耐衝撃性に優れます

『NAV-G工法』可視化技術



繊維シート貼付け後も、ひび割れの経過観察が可能です

トヨドレン



できるをつくる。

**Denka**

デンカ株式会社

東京都中央区日本橋室町2-1-1 日本橋三井タワー

www.denka.co.jp

Tel: 03-5290-5358

定価 1,620円

雑誌06619-3

本体価格1,500円



4910066190378

01500