

# トンネルと地下

# 4

vol. 48  
no. 4  
2017

Tunnels and Underground

支障移設後の汚水幹線をシールドで直接切削してトンネルを施工  
神社・鉄塔近接時の脆弱な地山における補助工法の設計と施工  
影響予測解析による離隔約5mで並行するI期線トンネルへの影響低減対策  
「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  
低強度地山トンネルにおけるロックボルト支保の設計モデルに関する研究

日本トンネル技術協会誌





様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

ホイール式ドリルジャンボ

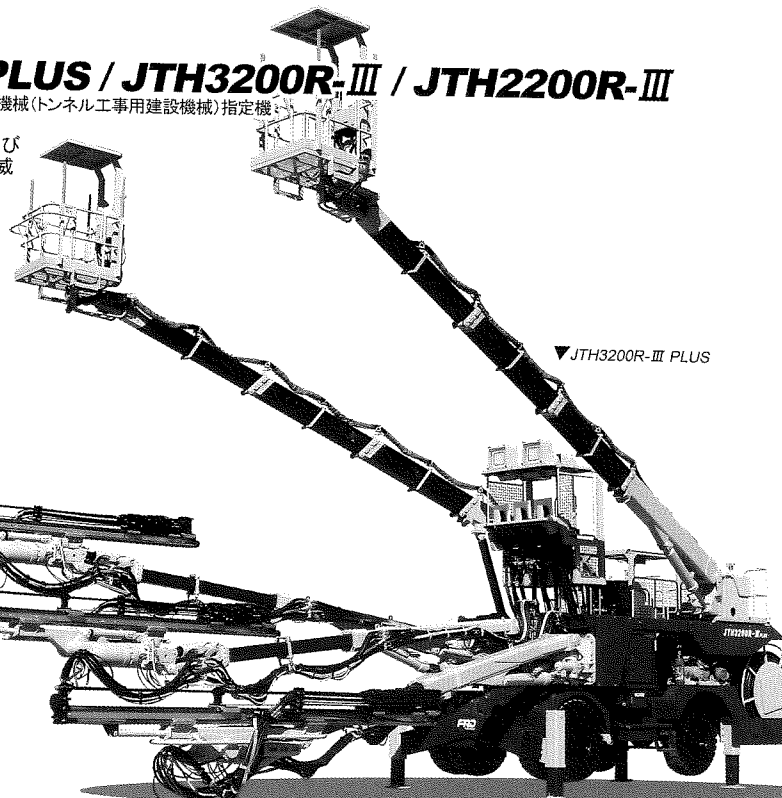
**JTH3200R-III PLUS / JTH3200R-III / JTH2200R-III**

国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事用建設機械)指定機

新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。



新型油圧ドリフタHD220搭載



▼JTH3200R-III PLUS

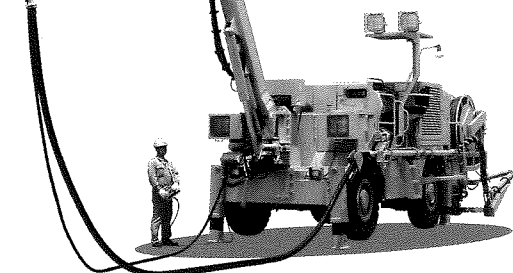
◆主な仕様	JTH3200R-III PLUS 3ブーム、2ケージ	JTH3200R-III 3ブーム、2ケージ	JTH2200R-III 2ブーム、2ケージ
質量	48.5 ton	44 ton	35.5 ton
全長 × 全幅 × 全高	15.6m × 3.1m × 4.2m	14.8m × 3.1m × 4.2m	14.2m × 2.7m × 4m
水平さく孔範囲(幅 × 高さ)	16m × 10.5m	13.2m × 8.8m	12.8m × 8.5m

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

**CJM2200E-V**

自走式キャリアに、コンクリートポンプ、急結剤供給装置、コンプレッサ、高圧水ポンプ等、吹付け作業に必要な装置を搭載したコンパクトな一体型コンクリート吹付機です。

質量	24 ton
全長 × 全幅 × 全高	16 m × 3 m × 4 m
水平吹付範囲(幅 × 高さ)	13.3 m × 10 m



△古河機械金属グループ

**FRD 古河ロックドリル株式会社**

www.furukawarockdrill.co.jp

本社 〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目5番3号

特機部 ☎03(3231)6966

札幌 ☎011-786-2222 東北 ☎022-384-8991 宮古 ☎0193-77-4245 関東 ☎027-326-9611  
名古屋 ☎0568-77-7700 関西 ☎06-6475-8221 中四国 ☎082-832-3542 九州 ☎092-948-2010

長尺鋼管切羽補強工

高付着型長尺鋼管切羽補強工

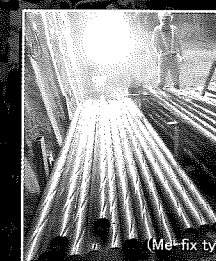
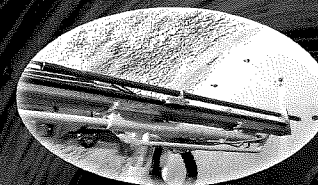
特許第 3882118 号

特許第 4942211 号

**Me 工法**  
Metal eco

**Me fix**  
Metal eco

エコロジー & 地山拘束効果。  
新しい長尺鋼管切羽補強システム。



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

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

特徴② 接続部補強により鋼管の薄肉化

「Me 工法」、「Me-fix」は接続部拡張・縮径によりネジ部耐力の増強を図り、小口径薄肉鋼管(φ76.3×4.2~4.5mm)の使用を可能とし、軽量化に伴い経済性、施工性が向上します。

特徴③ 長尺鋼管切羽補強工の付着耐力の向上

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

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

※付着耐力は室内試験結果。プレミックスモルタルは材令 24hr(qu=12N/mm<sup>2</sup>)

**KFC 株式会社 ケー・エフ・シー**

東京土木営業部: 東京都港区芝公園芝パークビル B 館 ☎03-6402-8251  
大阪土木営業部: 大阪市北区西天満 3 丁目 2-17 ☎06-6363-1884  
技術部: 東京都港区芝公園芝パークビル B 館 ☎03-6402-8257

# 補助工法のさらなるステージへ

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

## 大量湧水

ウレタン減水材KOD-M  
HIPREXボルト  
RPEロックボルト

## 脆弱地山

多重式長尺フォアパイリング  
AGF-Tk工法  
パノラマ工法  
全方位マルチパターン  
地山補強工法

## 高強度シリーズ

高耐力ロックボルト  
高耐力自穿孔ボルト  
高強度シリカレジン

## 環境対策

エコリムーブ工法  
AGF-Tk工法  
パワースレッド

品質向上  
安全性向上

### ▶ 営業品目

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

※特許、NETIS登録されているものがありますので、お問い合わせください

**KATECS**

株式会社カテックス 建設資材事業部

〒460-8331名古屋市中区上前津1丁目3番3号

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

# トンネル工事は新時代へ

1000~2000mトンネルに1.5km延伸コンベヤシステムを  
パッケージでレンタルをスタート

## ☆本システムの4大特長

### 1. パッケージのレンタルで安心

- ・レンタルシステムによる初期費用の軽減
- ・資産計上の必要無し(損金処理)
- ・ユニット、パーツの共通化で休転期間短縮

### 2. 高性能破砕機で工期短縮

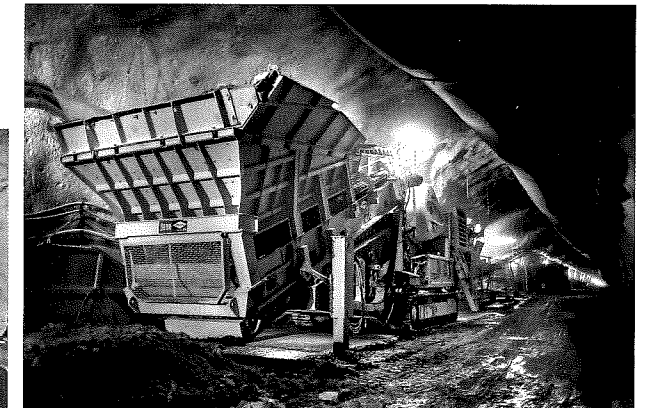
- ・原料投入高さの低いエプロンフィーダ(2.4m)で投入時間短縮
- ・高破砕力のCジョークラッシャで硬岩(4000kgf/cm<sup>2</sup>)にも対応可能
- ・簡単油圧セット調整で常に破砕粒度が小さく一定

### 3. ベルトコンベヤ搬送で安全

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

### 4. 粉塵・騒音・排気ガスを低減

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



## 1.5km 延伸ベルトコンベヤシステム概要

### ・延伸ベルトコンベヤシステム主仕様

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

### ・主要構成機器

No	名称	主仕様
1	移動式破砕機 LT96EUGJ	300t/h、160kW
2	テールピース台車	自走式クローラ、アウトリガ4ロッド
3	ベルトストレージ	ベルト貯蔵能力最大450m
4	ベルト接合架台	300mロール用、レール方式
5	メインドライブ	75kW×4P×2台、インバータ制御

\*トンネル勾配により変動致します

設置条件によっては専用設計が必要になります

〈問合せ先〉

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

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

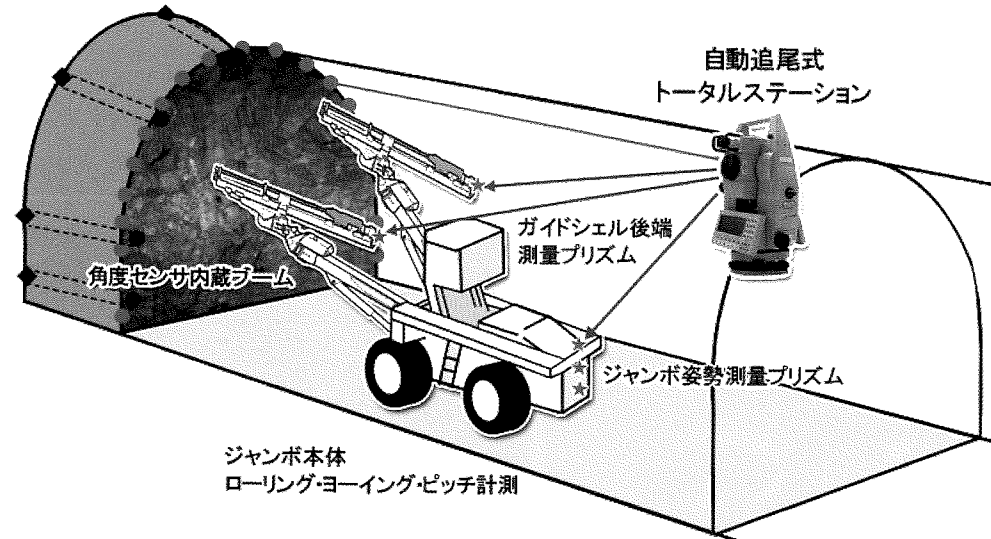
**UBE 宇部興産機械株式会社**  
社会インフラ営業グループ TEL(048)652-6531

NETIS登録番号:KK-100049-A

# 自動追尾式余掘り低減システム

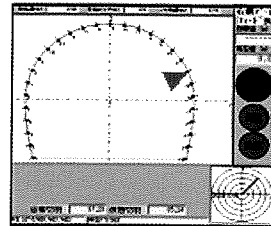
国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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。余掘り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。



ジャンボ本体  
ローリング・ヨーイング・ピッチ計測

## ■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. ガイドシエルの後端のターゲットを自動追尾することにより常に高い精度を得る事ができます。
3. 自動測量により本体セットアップが簡単に行なえます。
4. 操作方法が簡単でオペレータへの特別な教育を必要としません。

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

**MAC** マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

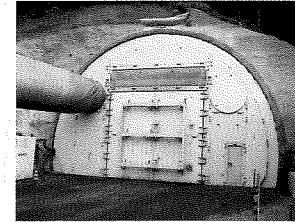
TEL:047-371-3191 FAX:047-371-3190

**FRD** 古河機械金属グループ  
古河ロックドリル株式会社

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3  
特機部

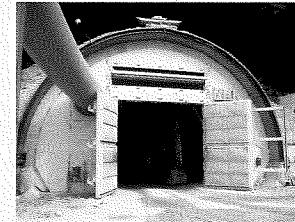
TEL:03-3231-6966 FAX:03-3231-6993

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



【防音扉】

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



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。

### 『防音扉マークII』の音響性能

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

### 『防音扉マークII 10s』の音響性能

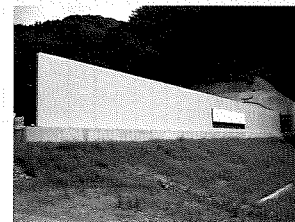
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	16 dB
2基設置	29 dB(A)	25 dB

### 『防音扉マークII 10c』の音響性能

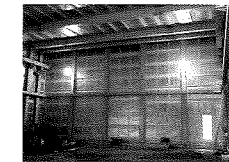
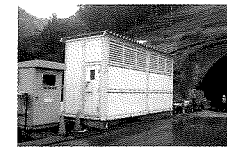
対策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	20 dB
2基設置	29 dB(A)	33 dB

### 『防音扉マークII 15c』の音響性能

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



【防音壁】  
【防音ハウス】  
【防音シェルター】  
【防音ボックス】



Sタイプ(スタンダードタイプ)

Dタイプ(デラックスタイプ)

Hタイプ(ハイデラックスタイプ)



### 『防音パネルSタイプ』の音響性能

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

### 『防音パネルDタイプ』の音響性能

項目	1/1 オクターブバンド中心周波数【Hz】					
	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	22	32	37	38	37	43
吸音率【%】	51	77	75	81	71	62

### 『防音パネルHタイプ』の音響性能

項目	1/1 オクターブバンド中心周波数【Hz】					
	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	32	32	38	46	50	53
吸音率【%】	57	48	61	76	86	91

防音設備の設計、製造、施工、リース

**E008** 株式会社ヒューズ

本社 〒132-0035 東京都江戸川区平井 6-35-5 TEL. 03-3617-8111 FAX. 03-3617-7565

大阪営業所 〒531-0072 大阪府大阪市北区豊崎 3-4-14 TEL. 06-6359-2611 FAX. 06-6359-2288

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

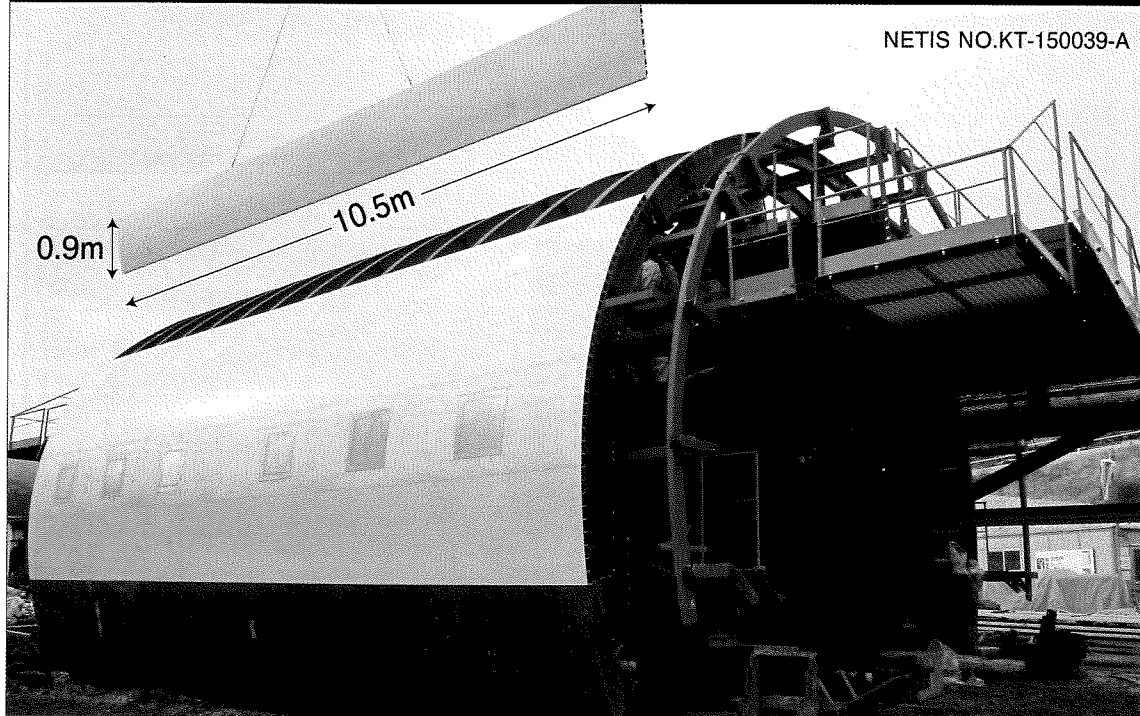
建設業登録: 東京都知事許可(般-25) 第130153号

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

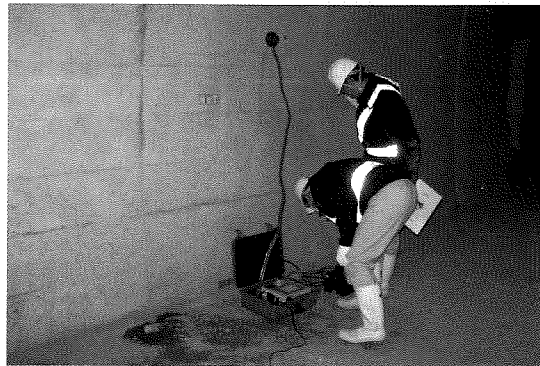
NEW

# トンネル覆工初期養生FRP工法 ～ハイブリッドフォーム誕生～

NETIS NO.KT-150039-A



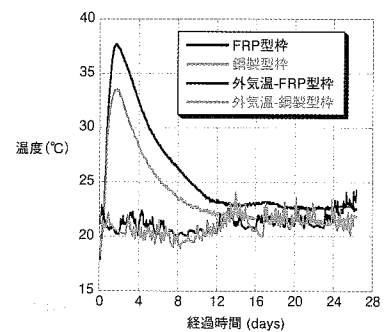
## ■透気試験実施



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

## ■覆工コンクリート温度の経時変化

【宮崎大学との共同研究により、機フジタ 古江トンネル南にて測定】



◎3～4℃の保温効果により、コンクリート強度が15～20%向上

**M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング**

■ 本社	〒553-0006	大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル	TEL:06-6443-7060
■ 九州営業所	〒812-0011	福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号	TEL:092-409-8008
■ 分校工場	〒922-0304	石川県加賀市分校町又1-1	TEL:0761-74-3070

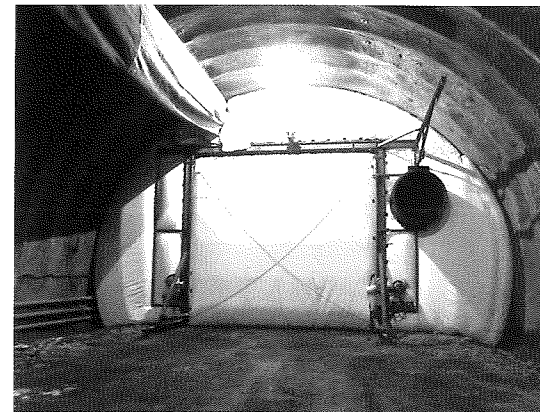
# トラベルクリーンカーテン(TCC)

NETIS登録 HK-120040-A 特許5757758号

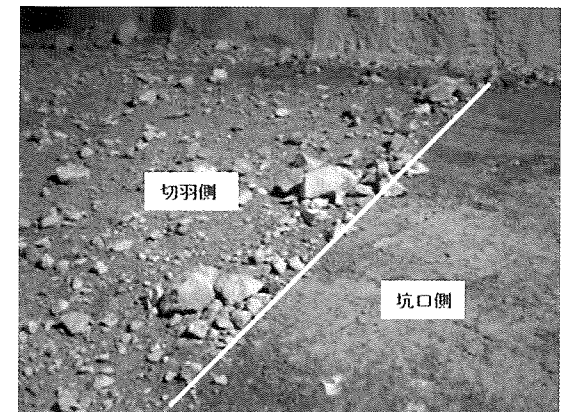
## 特徴

- 1, 粉塵を完全に封じ込め、粉塵が坑内へ拡散しません
- 2, 発破飛散石を完全に受け止め、重機を飛散石から守ります
- 3, クラッシャーの切羽側へ設置することで、サイドダンプによるズリ運搬距離が短縮可能となります

## 写真



発破時のTCC



発破後の防護状況

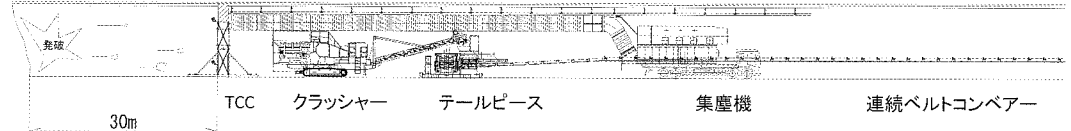
## 概念図

### 従来工法



従来工法: 切羽からクラッシャーまでの距離が長く、サイドダンプでの移動距離が長い

### TCC工法



TCC工法: 切羽からクラッシャーまでの距離が短く、サイドダンプでの移動時間が短縮される  
又、移動距離が短くなることでサイドダンプの負担が減少する(修理費の低減)

## 総販売元

**ITOCHU**

伊藤忠建機株式会社

エンジニアリング事業部 山岳土木機械部  
 東京都中央区日本橋室町1丁目13番7号  
 電話 03(3242)5022 FAX 03(3242)0370

## 製造

**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

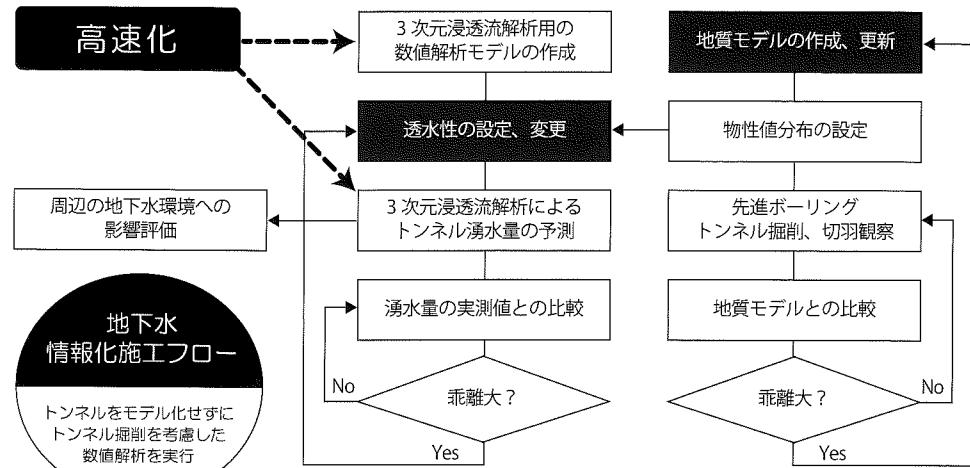
URL <http://www.k-toukou.co.jp/>

# 仮想ドレーンモデルによる地下水情報化施工の支援

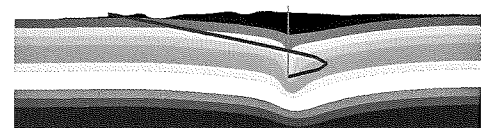
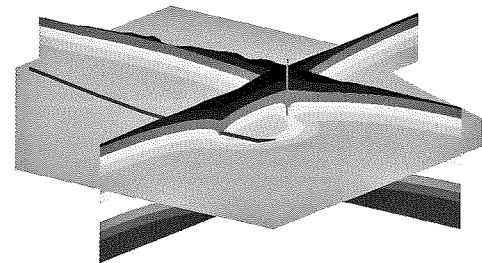
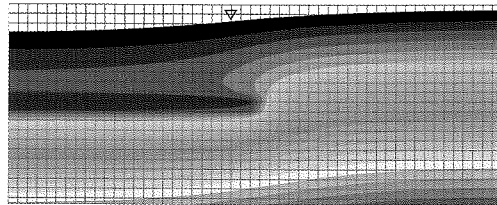
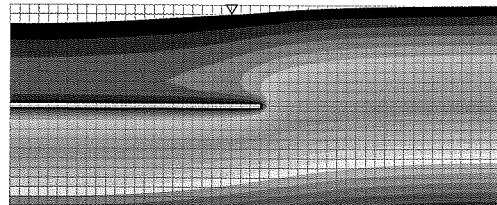
トンネルの情報化施工においては、先進ボーリングや切羽観察の結果に基づき地質モデルが更新されます。これに基づき、迅速に湧水量の予測や周辺地下水環境への影響予測も更新されれば、適切な改良工の選択などにより施工や環境影響を最小化することができます。

仮想ドレーンモデルを用いた3次元浸透流解析は、このような要望に応える技術です。仮想ドレーンモデルでは、トンネル自体をモデル化せず、また、トンネル掘削を表現するためのモデルや境界条件の変更を行いません。これにより要素分割が単純化され、解析モデル作成や解析に必要な時間を短縮することができます。

■ 先進ボーリング・調査坑・立坑・斜坑からの湧水量や周辺の水圧変化も求めることができます。



**地下水情報化施工フロー**  
トンネルをモデル化せずにトンネル掘削を考慮した数値解析を実行



**株式会社 地層科学研究所**  
 本社 〒242-0017 神奈川県大和市大和東 3-1-6 J Mビル 4F TEL.046-200-2281  
 東京事務所 〒112-0004 東京都文京区後楽 2-3-25 金子ビル 6F TEL.03-5842-7677  
 大阪事務所 〒532-0011 大阪府淀川区西中島 5-7-9 第7新大阪ビル 301号 TEL.06-6886-7774 [chisouken@geolab.jp](mailto:chisouken@geolab.jp)

Geo-Graphia(ジオグラフィア) 無料体験セミナー開催中  
 地質モデル編・地下水解析編・情報化施工編

<http://www.geolab.jp/> サイト内 **地下水に注目した情報化施工** 🔍 検索

# 特許取得済 表面温度センサ!

NETIS登録番号 QS-110040-VE

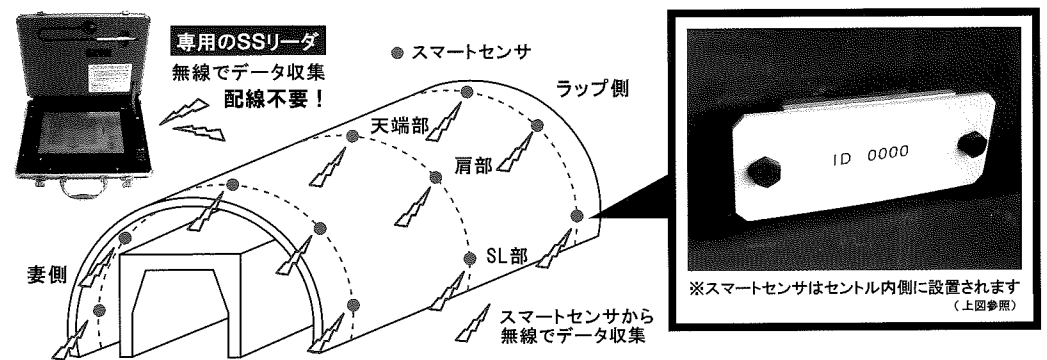
## 【スマートセンサ型枠システム・セントル仕様】無線なので打設毎の配線手間が不要!



**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とができます。



**NETIS標準仕様見積り単価** **打設回数が多いほど単価がお得!**

- 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)

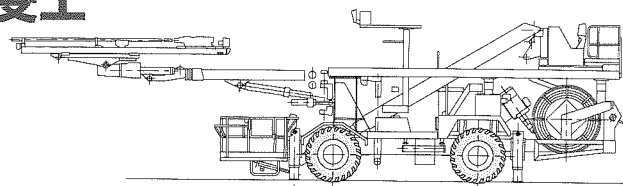


**児玉株式会社 & 東京大学** 大学院工学系研究科 建築材料研究室  
**共同研究開発 特許製品** 児玉株式会社エンジニアリング事業部  
 〒812-0042 福岡市博多区豊2-4-23 TEL: 092-474-5360  
 Email: [engi.office@kodama-boss.jp](mailto:engi.office@kodama-boss.jp)

# 環境対応型長尺鋼管先受工

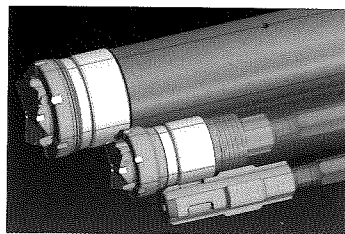
## TOHO AGF System

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

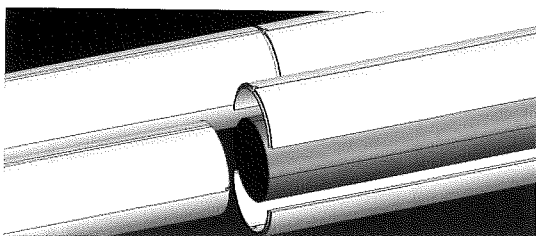


### AGF-Me工法

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



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



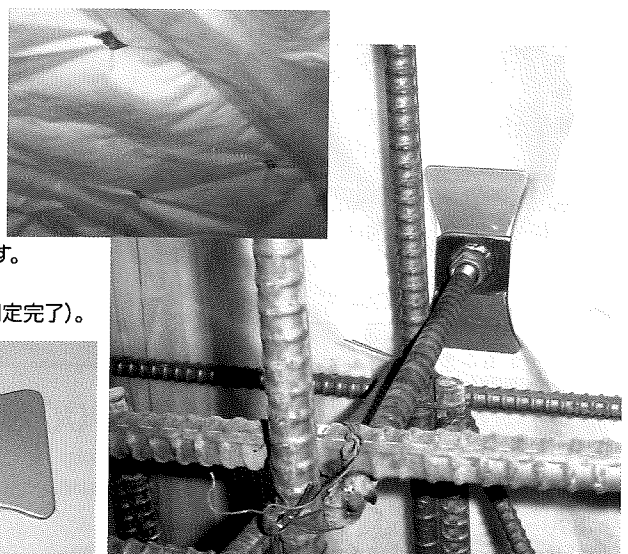
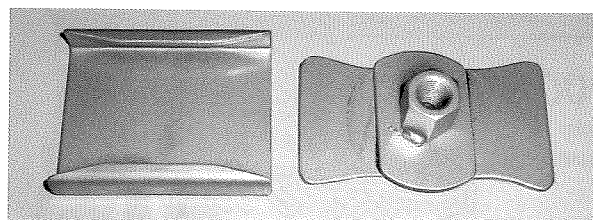
### 防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

#### TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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>

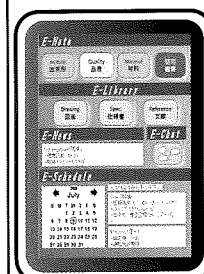
**株式会社 トーキソール**

〒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)

NEW

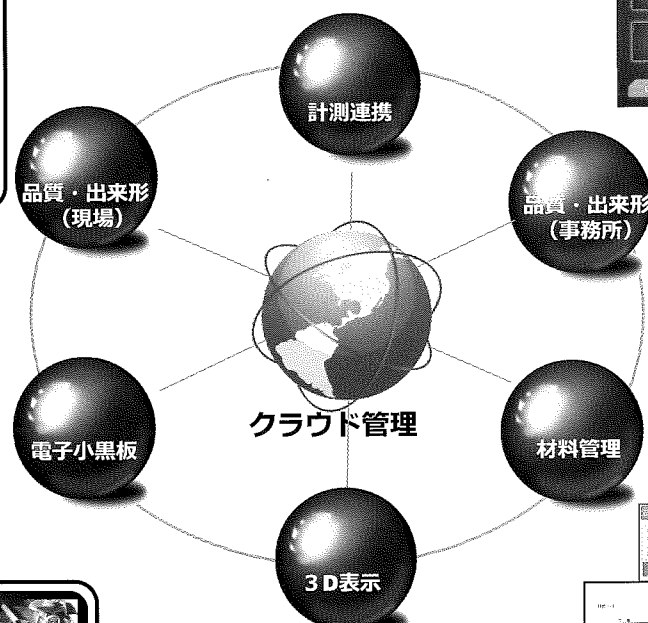
# 究極のトンネル施工管理システム 生産性向上への挑戦！！ En-Note

## Tunnel i-Construction

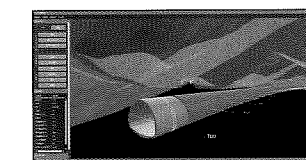
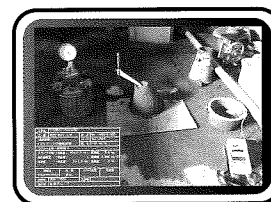


タブレット端末

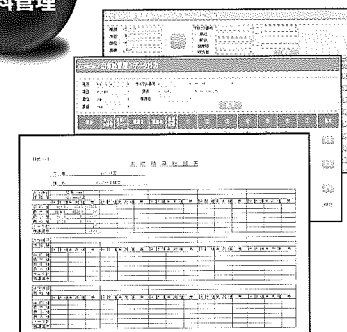
- ・品質
- ・出来形
- ・材料
- ・切羽観察
- ・写真
- ・チャット
- ・遠隔試験



職員パソコン



3D可視化+情報管理(自動)



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



黒板、野帳要らずで、現場の作業のみで各種情報はデータサーバへ保管

**enzan**

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

# 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こよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管路敷設に限らず、地下インフラの再構築の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっています。

### 申込方法

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

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたします。

<http://www.lisweb.co.jp/micro-tunnelling/> 月刊推進技術



月刊推進技術 編集室

<http://www.lisweb.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@lisweb.co.jp

## 推進工事技士試験 過去6年間(2011~2016年度)

### 試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編

推進工事技士試験は、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えて、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。

#### 1. 内容と特長

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

#### 2. 価格

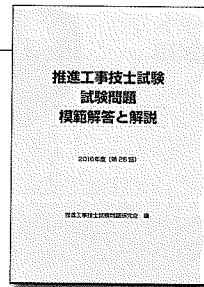
各年度単位 2,000円(消費税・送料込)

#### 3. 申込方法

本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」欄に発送先の郵便番号、住所、会社(団体)名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。

これらのことをインターネットでご案内しています。



新発売!!

購入方法は  
こちらから



株式会社 LSプランニング

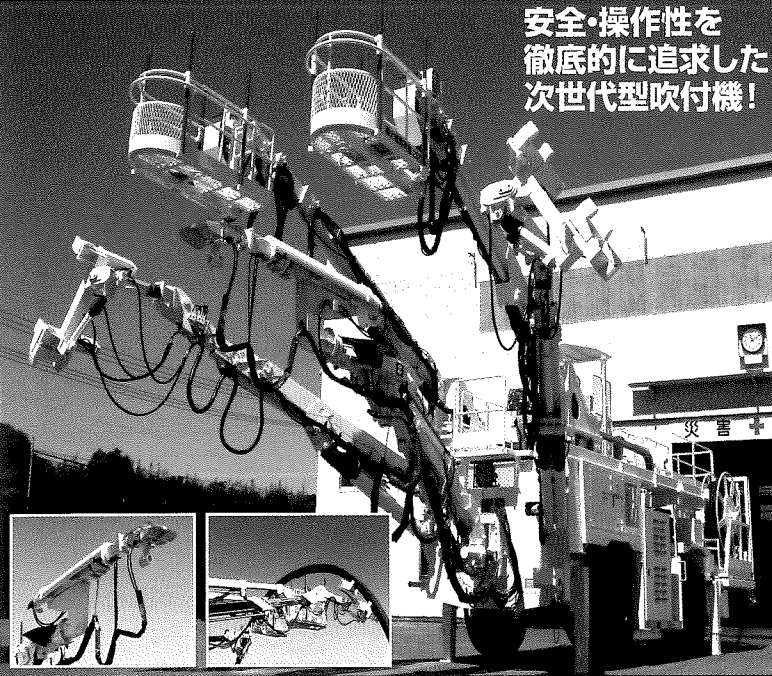
<http://www.lisweb.co.jp/shiken/annai>

〒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@lisweb.co.jp

## 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。



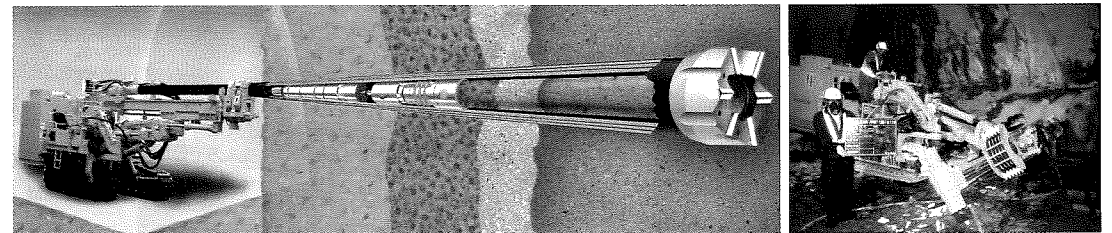
Tunnel & Mining  
ニシオティードエム株式会社  
山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業  
<http://www.nishio-tm.co.jp>  
〒569-0836 大阪府高槻市唐崎西2-26-1

- ◀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  
浜松支店 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

## 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こなえ、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。



地球に  
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  
大阪支店: (06) 6385-0350

東北支店: (022) 762-8075  
中国支店: (083) 972-8757

信越支店: (025) 275-6877  
九州支店: (092) 924-5001

首都圏事業部: (03)-6907-7511  
海外事業部: (03)-6907-7515

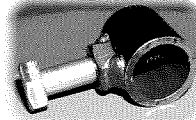
# コストダウンを可能にする Kリング・Kプレート

施工方法等詳細については下記までご連絡ください

製造・販売元 **静岡スチール**

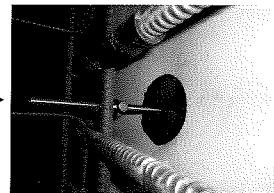
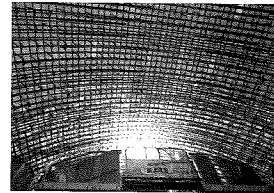
〒436-0342 静岡県掛川市上西郷 765-1  
TEL: 0537-24-3886 FAX: 0537-24-3859  
Mail: ktk@r5.dion.ne.jp

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



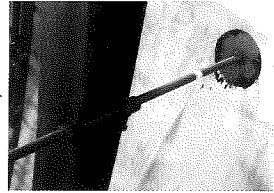
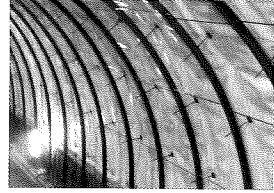
②トンネル覆工鉄筋防水シート接着ジベル筋組立 (Kプレート) 特許出願中 (特願 2015-037746 号)

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



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

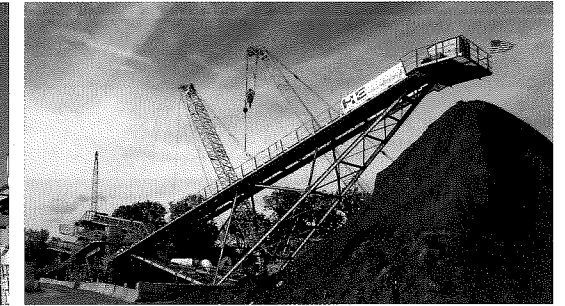
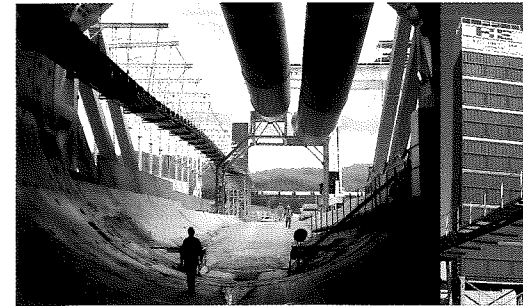
鋼製支保工を設置した場合もKプレートを使用することが可能です。



Kプレートで鋼製支保工を固定。架台の鋼製支保工の固定にも使用できます。

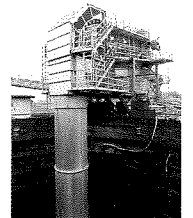


Clever Conveying



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

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



H+E Logistik GmbH  
日本代理店



**山崎マシーナリー株式会社**

担当: 富樫

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

## 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います。

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/edevill](http://orica.com/edevill) にアクセスしてeDevil Case Studyのビデオをご覧になって下さい。

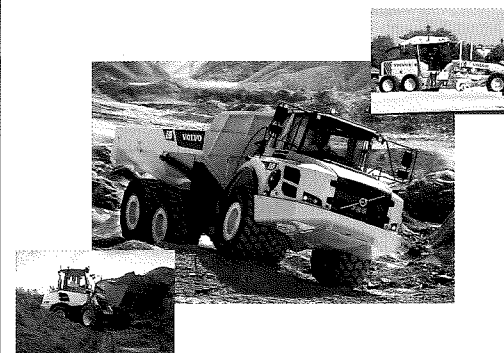
orica.com



**VOLVO 建設機械**

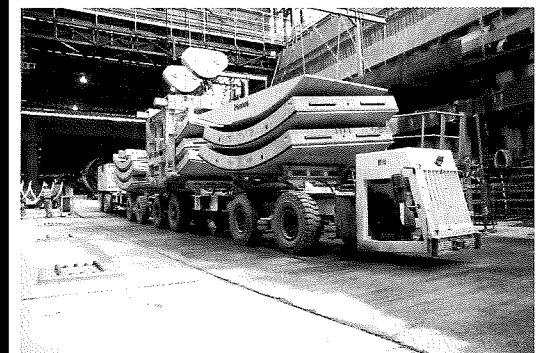


高い作業性とクールなデザインが人気  
年々強化される排ガス規制にも対応



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**

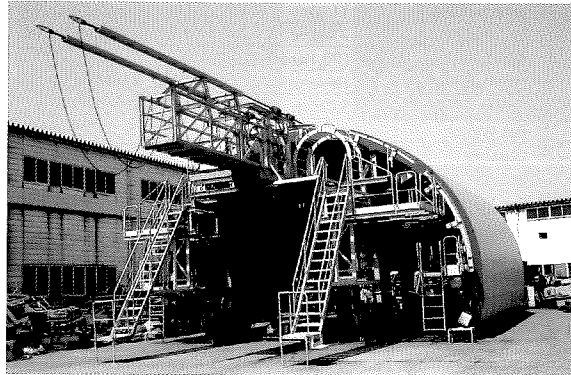
〒438-0216 静岡県磐田市飛平松 216 番地 1  
代表 TEL0538-66-1211 FAX0538-66-6410

# 要求性能を満たす 覆工コンクリートの品質向上技術

## 鉄筋区間併用タイプ

### 天端引抜バイブレータ装置

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



#### 期待される効果・特徴

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

## コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-VR (製造:株式会社マシノ)



#### 期待される効果・特徴

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

## 北陸鋼産株式会社

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

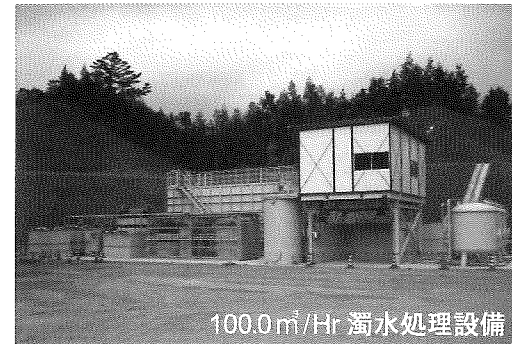
北野工場：〒936-0806 富山県滑川市北野新 888 番地 TEL076(476)2155 FAX076(476)2177

滑川工場：TEL076(476)0333 FAX076(475)9121 東北営業所・工場：TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423  
東京支店：TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789 大阪支店：TEL06(4963)3520 FAX06(4963)3521

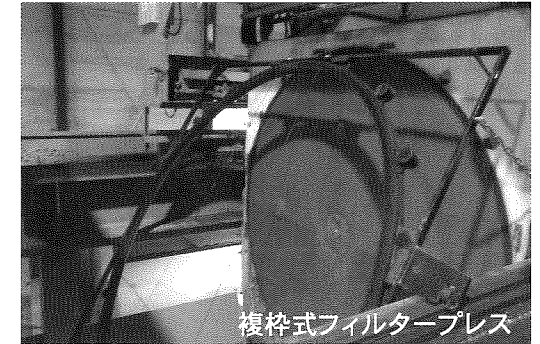
# 濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

## 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



100.0m<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

## 《汎用車輛全般》



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



10T ミキサー



4.5m<sup>3</sup>ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車輛 取り扱っております

## 株式会社 フジテックス

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

### ■巻頭言

#### 次世代を担う若手の育成について思う

佐藤 信一 ..... 5

### ■研究

#### 低強度地山トンネルにおけるロックボルト支保の設計モデルに関する研究

土門 剛 ..... 57

### ■解説

#### 「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

吉川 直孝・中野 響 ..... 49

### ■施工

#### 支障移設後の汚水幹線をシールドで直接切削してトンネルを施工

##### —相鉄・東急直通線 羽沢トンネル—

松尾 知明・下牧 尚平・田中 淳寛・大森 裕一 ..... 7

#### 神社・鉄塔近接時の脆弱な地山における補助工法の設計と施工

##### —中部横断自動車道 楮根第3トンネル—

安田 裕輔・村島 雅征・山田 浩幸・山本 崇之 ..... 17

#### 影響予測解析による離隔約5mで並行するI期線トンネルへの影響低減対策

##### —東海北陸自動車道 上野第一トンネル—

今塩屋 勝・吉川 真仁・高橋 聡尚・篠崎 哲明 ..... 29

### ■連載講座

#### トンネル新技術への挑戦(17)

##### —トンネル切羽から行う弾性波探査—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 ..... 69

### ■現場だより

#### 「わさびの産地」伊豆市より

富永 浩 ..... 15

### ■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

#### 高熱のトンネルと、海外工事にかかわって

松山 政雄 ..... 39

### ■資料

#### 土木情報

編集部 ..... 16

#### 工法・技術・製品ニュース

編集部 ..... 81

#### トンネルジャーナル

編集部 ..... 68

#### トンネルワールドニュース


JTA 国際委員会 ..... 82

### ■会報

#### 会報

日本トンネル技術協会 ..... 84

**温泉とは？ 温泉の有効利用は？ この1冊であなたの疑問を解決します!!**



**続 きみの庭にも温泉が出る**  
その後の温泉開発と建設の考え方  
石井 康夫・俣野 恭寛 共著  
新書判217頁 本体価格1,200円(税込1,260円)

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

お申し込みは当社へ FAX, または、お近くの書店にてお申し込みください

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

【表紙説明】 支障移設後の汚水幹線をシールドで直接切削してトンネルを施工

—相鉄・東急直通線 羽沢トンネル—



羽沢トンネルは、相鉄・東急直通線羽沢駅(仮称)付近から新横浜駅(仮称)に至る延長3,350mの複線円形トンネル(φ10.46m)である。掘削には泥土圧シールドを採用した。施工にあたり汚水幹線がトンネルと交差角約18°で延長約40mにわたって支障していたため切回しを行った。切回し後の汚水管は開削工法などによる撤去が困難であったため、シールドによる直接切削にて撤去した。写真は発進に臨むシールドとそのカッタフェイス。

〔写真提供：鉄道・運輸機構〕本文7頁参照

# 管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

# コンクリートトータル養生システム

セントル型枠

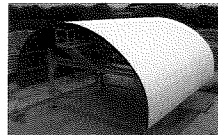
第二養生

第三養生

加温しながら初期強度を上げる  
加温養生（型枠）



加温と湿潤を同時に行い品質向上  
加温・湿潤養生



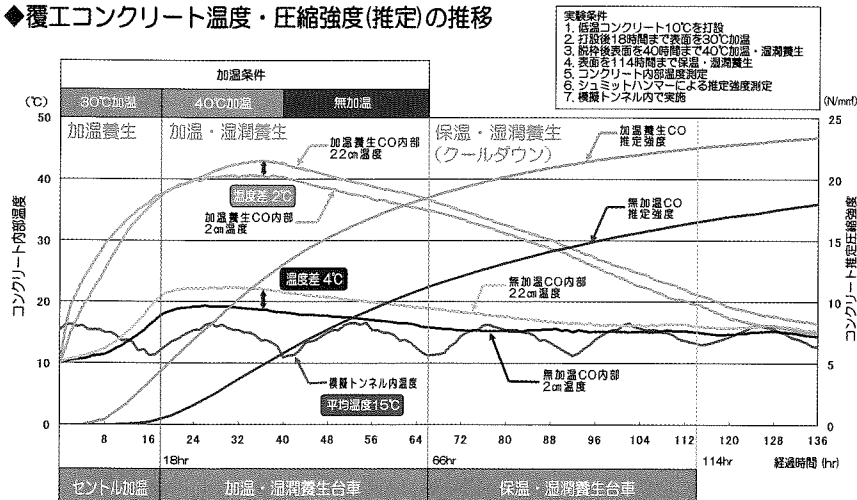
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ  
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理  
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



**岐阜工業株式会社**

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

【製作・販売協力】  
TECHNO  
テクノプロ株式会社

TOUCOU  
株式会社 東 宏

## 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<br>株式会社大林組生産技術本部統括部長                             | 藤 井 義 文<br>株式会社竹中土木常務執行役員                           |
| 伊 藤 聡<br>東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部<br>改良建設企画課長                  | 松 原 利 之<br>飛鳥建設株式会社技術研究所所長                          |
| 江戸川 修 一<br>清水建設株式会社土木技術本部<br>地下空間統括部長                    | 森 正 彦<br>前田建設工業株式会社土木事業本部<br>トンネル担当部長               |
| 久多羅木 吉治<br>東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長                          | 八 木 弘<br>株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当)<br>道路研究部トンネル研究担当部長 |
| 見 坂 茂 範<br>国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官                           | 吉 富 幸 雄<br>大成建設株式会社土木本部土木技術部<br>トンネル室参与             |
| 西 岡 和 則<br>鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長<br>(兼)土木管理本部土工務部トンネルグループ長 | 渡 邊 修<br>独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構<br>鉄道建設本部計画部計画課長     |

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

# RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

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9.0m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

**KYB** カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

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

## 編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

### 〔編集委員長〕

小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

### 〔編集参与〕

大島 洋 志 国際航業株式会社技術本部最高技術顧問 首都大学東京客員教授	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

# 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

**ウエットフォーム**  
NETIS 登録 KT-160031-A

移動台車にて給水養生中 給水用分配盤

一歩前進! ~限りない未来への挑戦~

**大栄工機株式会社**

本社 〒526-0842 滋賀県長浜市春近町 90 番地 TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765  
URL <http://www.daieikouki.co.jp/> E-Mail: daiei-co@minos.ocn.ne.jp  
営業品目 各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売 ※詳しくはホームページを御覧ください

## トンネルと地下 VOL.48 No.4 掲載概要

掲載頁  
7

支障移設後の污水幹線をシールドで直接切削してトンネルを施工  
—相鉄・東急直通線 羽沢トンネル—

鉄道・運輸機構 松尾 知明

近年、都市部では地下構造物が輻輳しており、ルートを精査しても既設地下構造物を避けることができない場合がある。相鉄・東急直通線の羽沢トンネルでは、污水幹線がトンネルと交差角約18°で延長約40mにわたって支障するため切回しを行ったが、切回し後の污水管撤去については、深度が深く、別の地下構造物が近接するなど開削工法などによる撤去が困難であったため、シールドによる直接切削を採用した。本稿では、污水幹線の本管φ1,500および直交する枝管φ250のシールドによる直接切削工事の概要、直接切削のために装備したシールド設備、施工結果について報告する。  
**Shield TBM Cut through an Old Sewer Main—the Sagami / Tokyu Through Railway, the Hazawa Tunnel—**  
Tomoaki Matsui, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency



写真はシールドに切削された污水管の切削片

In recent years, underground structures have been converging in urban areas and there are cases in which, even if an underground route is carefully explored, it is not possible to avoid existing underground structures. In the Hazawa Tunnel on the Sagami / Tokyu Through Railway, a sewer pipe of φ1,500 obstructed Shield TBM driving for 40m long that meet at 18° and new sewer pipe were installed to shift the section. As the obstructing pipes were deep and it was difficult to remove them with the cut-and-cover, the technique for Shield TBM directly to cut through the pipe were selected. This report contains information on works of cutting through the sewer main of φ1,500 and the branch sewer of φ250 intersecting at a right angle, shield equipments used for cutting obstacles and construction results.

掲載頁  
17

神社・鉄塔近接時の脆弱な地山における補助工法の設計と施工  
—中部横断自動車道 楮根第3トンネル—

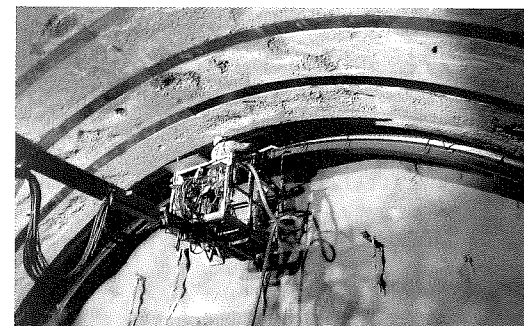
(株)鴻池組 安田 裕輔

楮根第3トンネルは、現在建設中の中部横断自動車道の一部、延長L=165mの山岳トンネル工事である。トンネル直上には、土かぶり約30mで神社と高圧鉄塔が近接しており、当初設計では、近接区間は比較的良好な地山が想定されていたが、追加調査(鉛直、全線水平ボーリング)の結果により、かなり脆弱であることが判明した。そこで、地山条件の変更に伴う数値解析結果にもとづくトンネル設計の見直しを行い、掘削時には、綿密な計測管理を行うとともに、補助工法を駆使して掘削を進めた。その結果、近接構造物(神社・高圧鉄塔)への影響を許容値内に収めることができた。本稿では、施工時のトンネルの設計変更と補助工法の施工および計測管理手法について報告する。

**Dig Weak Ground Directly below Shrine and Steel Tower on Ridge Using Various Auxiliary Methods—the Chubu Odan Expressway, the Kazone No.3 Tunnel—**  
Yusuke Yasuda, Konoike Construction, Co., Ltd.

The Kazone No. 3 tunnel is a mountain tunnel of 165m in length on the Chubu Odan Expressway which is currently under construction. A shrine and a power line tower are located directly above the tunnel with approx. 30m of cover. In the original design, it was assumed that the ground was comparatively good under the facilities (shrine / power line tower) but it was discovered that it was fairly weak according to the results of additional surveys (vertical, whole line horizontal boring). Consequently, tunnel design was reviewed based on the results of numerical analysis in keeping with the changes in ground conditions and, excavation progressed using auxiliary methods along with exhaustive monitoring and management. As a result, it was possible to limit the effects on adjoining facilities to within allowable values.

This report contains information on the tunnel design change at the time of construction, construction with auxiliary methods and monitoring and measurement methods.

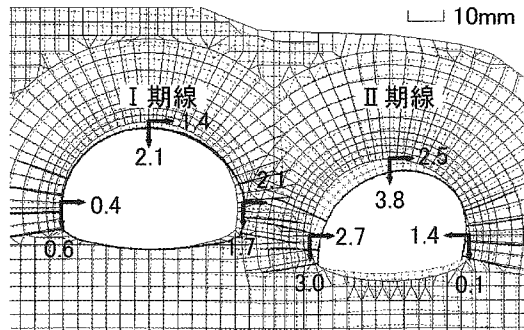


写真はプレロードシェル設置状況

上野第一トンネルのII期線工事は、供用中のI期線との離隔が最小約5mとなる近接施工の工事である。I期線覆工への影響を抑制するために、3次元および2次元掘削解析を行い、掘削方法、補助工法、計測計画などの検討を行った。近接施工区間には、2つの主計測断面を設け、解析結果と計測結果を検証して解析の入力条件を見直すことで適切な補助工法を選定するとともに、管理基準を設けて計測管理を行いながら慎重に掘削を進めた。また、計測結果と解析結果をもとに、長尺鋼管先受け工の打設範囲を設定し、早期閉合を実施することで、I期線覆工に発生する応力を許容値以下に抑えることができた。

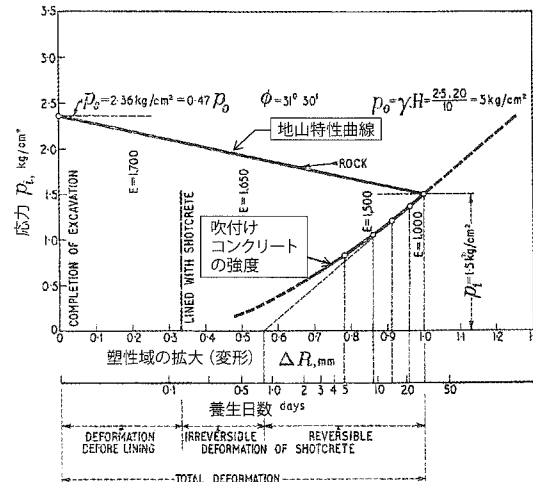
**Mesures to Reduce Impacts on Parallel Existing Tunnel Approx. 5m Away through Prediction Analysis of Impact—the Tokai-Hokuriku Expressway, the Uwano No. 1 Tunnel—**  
Masaru Imashioya, Central Nippon Expressway Company Limited

The 2nd phase of the Uwano No.1 Tunnel project were to construct a new tunnel adjacent to the 1st phase tunnel in service at the smallest distance of approx. 5m. In order to control the impacts on the lining of the 1st phase tunnel, two- and three-dimensional excavation analysis was conducted to plan excavation and auxiliary methods and monitoring. Two main monitoring cross-section were set in the zone where two tunnels get closer. Selection of suitable auxiliary methods was conducted based on the analysis input conditions of which were reviewed through comparing monitoring and analysis results, and excavation was carefully progressed through monitoring and management with control standard. In addition, based on the results of monitoring and analysis, it was possible to control stress on the existing tunnel lining to within the allowable values by setting installation ranges for forepiling and casting invert concrete earlier.



図はII期線掘削に伴うトンネルの変形解析結果

本稿は、平成28(2016)年12月26日に厚生労働省労働基準局長から発出された「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」について、ガイドラインの内容を説明するものである。ガイドラインは、労働安全衛生関係法令と相まって、山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害の防止を図ることを目的としている。具体的には、ガイドラインの各項目について、安全衛生の概念を導入しながら、トンネル工事関係者全員にとって、より高い安全衛生水準を構築する方策などについて記載した。



図は地山特性曲線とNATMの考え方

**Commentary on 'Guidelines on Measures to Prevent Labour Accident Due to Fall of Loosen Rocks in Cutting Face of Mountain Tunnel Works'**

Naotaka Kikkawa, Japan Organization of Occupational Health and Safety

This report explains the contents of 'Guidelines on Measures to Prevent Labour Accident Due to Fall of Loosen Rocks in Cutting Face of Mountain Tunnel Works' issued by the head of the Labour Standards Bureau of the Ministry of Health, Labour and Welfare on 26th December, 2016. Combined with industrial safety and health-related laws, these guidelines have the aim of preventing labour accidents from falling rocks during mountain tunnel works. Specifically, each section of the guidelines presents measures to build even higher standards of health and safety for all people involved in the construction of tunnels introducing concepts of health and safety.

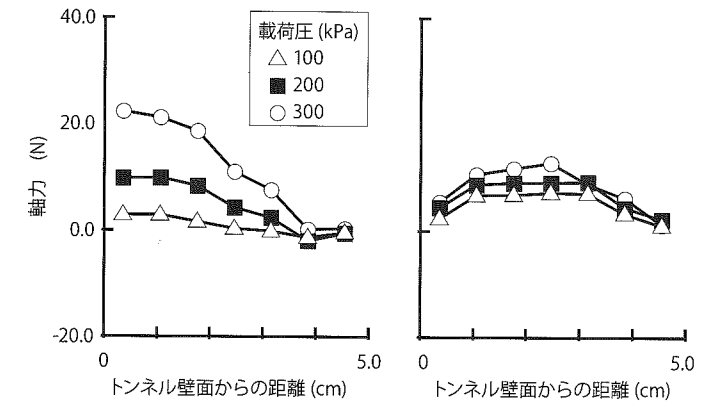
ロックボルトによる支保内圧効果は、ロックボルト頭部をトンネル壁面に固定するベアリングプレートを通じて地山に支保内圧を与えることにあると考える。しかし、ベアリングプレートによる支保内圧効果を活かしたロックボルト支保の設計の考え方あるいは設計モデルに言及した例は少ない。

本研究ではまず、ベアリングプレートによる支保内圧効果を模型実験により明らかにする。次に、実験結果を表現しうるロックボルトの力学機構の概念を提示する。最後に、その概念にしたがって低強度地山トンネルにおけるロックボルト支保の簡便な力学モデルを構築し、それにもとづく設計モデルを提案する。

**Design Model for Rockbolting with Plate in Weak Rock Tunnels**  
Tsuyoshi Domon, Tokyo Metropolitan University

The effects of support pressure due to rockbolting with bearing plate are considered to be that support pressure is transmitted to the ground through bearing plate which fixes the head of the rock bolt on the tunnel wall. However, there are few reports that mention concept of design or design models for rockbolting considering the effects of support pressure with bearing plates.

This research first clarified the effects of support pressure from bearing plates with model experiments. Next, it presented a concept for dynamic mechanism of rockbolting that could express experiment results. Finally it was concluded by building a simple dynamic model for rockbolting in weak rock tunnels following this concept and proposing a design model based on this.



図は載荷に伴うロックボルトの軸力分布の変化(左はベアリングプレートあり, 右はベアリングプレートなし)

# 巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)



## 次世代を担う若手の育成について思う

若築建設(株)取締役兼執行役員土木部長

佐藤 信一

私が社会人となったころ山岳トンネルにおいてはNATMが採用された現場と在来工法が採用された現場が混在していた時代でした。当時、在来工法の現場を見たあとNATMの切羽に行くと支保工の細さが頼りなく、不安になったことを思い出します。

現在は特殊な場合を除きほぼNATMで施工され、測量方法、計測方法、施工機械、補助工法など、すべてが飛躍的な進歩を遂げています。施工データは数値化、デジタル化され相当量蓄積されており、この蓄積されたデータをもとにトンネル技術は今後もさらに進歩していくことは確実であると思われま。

トンネル以外の分野でも同様に施工の技術は日々進歩を遂げています。例えば図面に例に挙げると、私と同世代の昭和30年前後生まれの方は原図に鳥口で墨入れをした経験をお持ちの方もおられると思いますが、青焼き、白焼きの図面が、CADを利用したデジタル図面となり、さらに3次元化した図面へ移行しようとしています。

このような技術の進歩が著しい中で、次世代を担う若手をどう育成していくべきか、新入社員、若手技術者、女性技術者、技能労働者それぞれについて私見を述べさせていただきます。

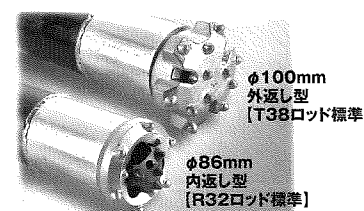
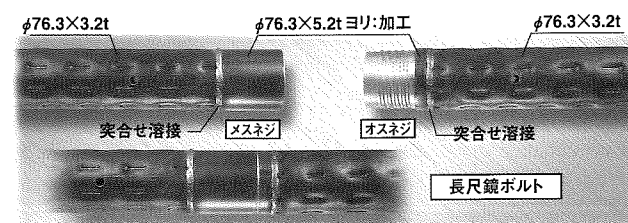
まず、新入社員教育ですが、従来は研修センターを使用し、社会人としてあるべき姿、安全教育、会社の基礎知識などの教育を行い、支店に配属後、実地を含め細かい教育を行ってまいりました。来年度からはさらに本社の各部署における教育を追加する予定です。目的は、本社のどの部署がどういう役割を果たしているのか目で見て体験し、深く理解してもらうことで、新入社員が本社とのつながりをつくることです。自分と現場を会社全体がバックアップしてくれているという安心感を持って仕事に取り組んでいけるようにするための新しい試みです。

次に若手技術者ですが、この世代を考えるにおいては社会的時代背景を考慮しなければなりません。皆様ご承知のとおり、建設業界では一時冷え込んだ時代があり、新規雇用を抑える必要から建設業界全体では30歳代の技術者が非常に少なく、年齢構成が非常に歪な形となっています。小規模現場では親子以上の年齢差のある技術者が管理する現

NETIS登録No.KK-160026-A

## ストロング FIXチューブ(S型)

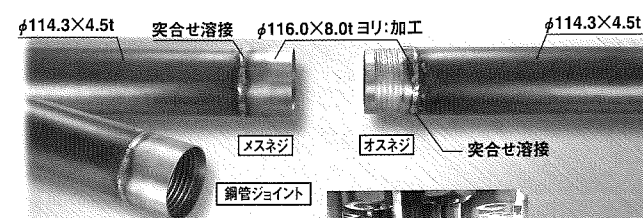
- ※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
- ※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



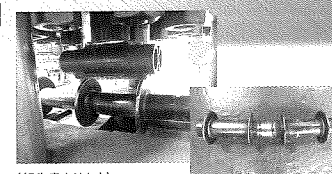
NETIS登録No.KK-150045-A

## AGF-STD工法

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



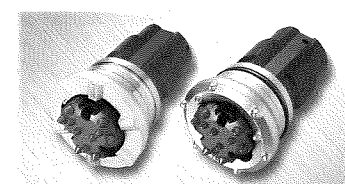
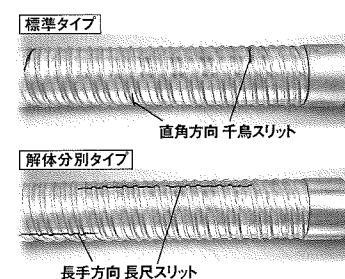
曲げ耐力30%UP!!



(報告書あります)

接続部の抗折力試験

### 撤去管の選択



### STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

## 注入材・その他工法

NETIS登録No.KK-110040-A

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

STE

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

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2

TEL:072-990-0250 FAX:072-990-0251

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

場も少なくはありませんし、現場が地理的に点在している場合も多く、OJT教育のう  
えでは若手同士が切磋琢磨して技能を伸ばすという環境が作れていないのが現状です。  
そのため、従来現場で行っていた技術的なものであっても同年代の職員を集めた集合教  
育を実施し、横のつながりがとれ、現場に戻ってからも若手同士のコミュニケーション  
が取れるようになることをもくろんでいます。

女性技術者は、社内ではまだ少数派であり、女性技術者どうしの交流が希薄なため、  
現場でのトラブルなどで相談相手がなく、場合によっては孤立し、一人で悩んでしま  
うことが危惧されます。この問題を解消するため、女性技術者には通常の教育のほかに特  
別な勉強会を開催しています。この現場見学会は、女性の土木、建築技術者と事務方の  
女性職員を集め、女性同士のつながりを持ち、お互いに悩みを打ち明け、相談できる機  
会となっております、会社として年に2回程度提供しています。

技能労働者は建設業を支える重要な要素です。協力会社各社での若手育成について  
の方針があるため直接研修教育することはできません。今後は少なくとも協力会メンバ  
ーに対しては各人の技能向上、新技術に関する知識、技能の習得、将来必要な資格取得な  
どのサポートを考えているところです。

以上とりとめもなく申しあげましたが、次世代を担う若手の育成については日々進歩  
していく技術を習得していく機会を持続的に作っていかねばならないとともに、と  
くに社内の技術者育成については人と人のつながりを大切に、社員同士のコミュニ  
ケーションが活発にとれ、若手技術者が友でありライバルである環境を整えていくこと  
も大変重要であると考えます。終身雇用制度が崩壊しつつある社会環境の中、若年層の  
雇用後短期間での離職率が非常に高くなってきています。技術の面だけではなく、たと  
え私的な問題が生じた場合でも、相談できる友がいて、信頼できる先輩がいれば業界を  
去っていく若者も減るはずです。

育成の効果については即刻見えてくるわけではなく、長い目で見ていかねばなら  
ないのはわかっているのですが、新しい試みを行っているとか奇抜なことをやってい  
るなど耳にするたびにそれを取り入れたり、常に試行錯誤を重ねているのが現状です。

われわれ建設業に携わる者は、社会基盤を整備し、そして守るという社会にとって重  
要な義務と責任を負っていて、それを果たすことが大きな社会貢献となっていると自負  
しています。若手にとって私を含む建設業の先輩たる者は、重大な社会貢献を果たす役  
割を引き継いでくれる若者を一人一人大切に育てていくという更なる責任があると痛切  
に感じております。

## 施工

# 支障移設後の污水幹線をシールドで直接切削し てトンネルを施工

## —相鉄・東急直通線 羽沢トンネル—

鉄道・運輸機構東京支社新横浜鉄道建設所 松尾 知 明

鉄道・運輸機構東京支社新横浜鉄道建設所 下 牧 尚 平

鉄道・運輸機構東京支社新横浜鉄道建設所 田 中 淳 寛

大成・東急・大本・土志田特定建設工事共同企業体羽沢トンネル工事作業所現場代理人 大 森 裕 一

### 1 はじめに

近年、都市部では地中構造物が輻輳しており、  
新規のトンネル工事では、ルートを精査しても既  
設地中構造物を避けることができない場合がある。  
これらの地中構造物は深度が大きく、開削工法で  
の撤去が困難である場合が少なくない。このこと  
から、地中構造物を開削工法以外の方法で撤去す  
る技術の開発が進められている。

相鉄・東急直通線羽沢トンネルでは、延長41m  
にわたって交差するφ1,500mmの鳥山污水幹線と、  
直交する污水管φ250mmが支障したが、開削工法  
での撤去が困難であることから、シールドによる  
直接切削を行った。本稿では、地質や近接構造物  
などの施工条件、直接切削のために装備したシー  
ルド設備、施工状況について報告する。

### 2 工事概要

#### 2-1 羽沢トンネルの概要

本トンネルは、相鉄・東急直通線羽沢駅(仮称)  
付近から新横浜駅(仮称)に至る延長3,350mの複  
線円形トンネル(φ10.46m)である。

相鉄・東急直通線は、JR東海道貨物線横浜羽沢  
駅付近から東急東横線日吉駅までの連絡線(約

10.0km)を新設し、相鉄線と東急線が相互直通運  
転を行う事業であり、2010(平成22)年10月に工  
事施行認可を受けた(図-1、表-1)。

掘削には泥土圧シールドを採用し、覆工は場所  
打ちライニング(SENS)とセグメントを併用して  
いる。ここで、SENSとは「密閉型シールドによ  
り掘削及び切羽の安定を図り、シールド掘進と並  
行して一次覆工となる場所打ちコンクリートライ  
ニングによりトンネルを支保し、一次覆工の安定  
を計測により確認した後、力学的機能を付加させ  
ない二次覆工を施工(NATM)してトンネルを完



図-1 路線図

表-1 事業概要

路線名	相鉄・JR直通線	相鉄・東急直通線
整備区間	相鉄本線西谷駅～JR東日本東海道貨物線横浜羽沢駅付近	JR東日本東海道貨物線横浜羽沢駅付近～東急東横線日吉駅
建設主体	鉄道・運輸機構	鉄道・運輸機構
営業主	相模鉄道(株)	相模鉄道(株)・東京急行電鉄(株)
鉄道の種類	普通鉄道	普通鉄道
延長	約2.7km	約10.0km
軌間	1,067mm	1,067mm
運行区間	海老名駅・湘南台駅～西谷駅～羽沢駅(仮称)～新宿方面	海老名駅・湘南台駅～羽沢駅(仮称)～日吉駅～渋谷方面・目黒方面
駅の位置	羽沢駅(仮称, 横浜市神奈川区)	新横浜駅(仮称, 横浜市港北区) 新綱島駅(仮称, 横浜市港北区)

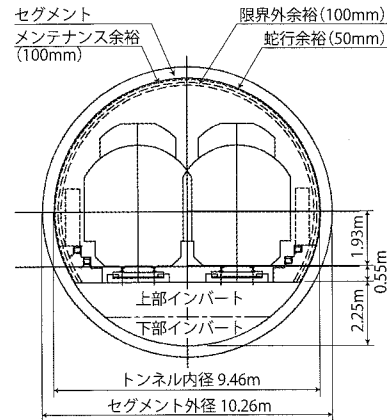


図-2 トンネル断面図

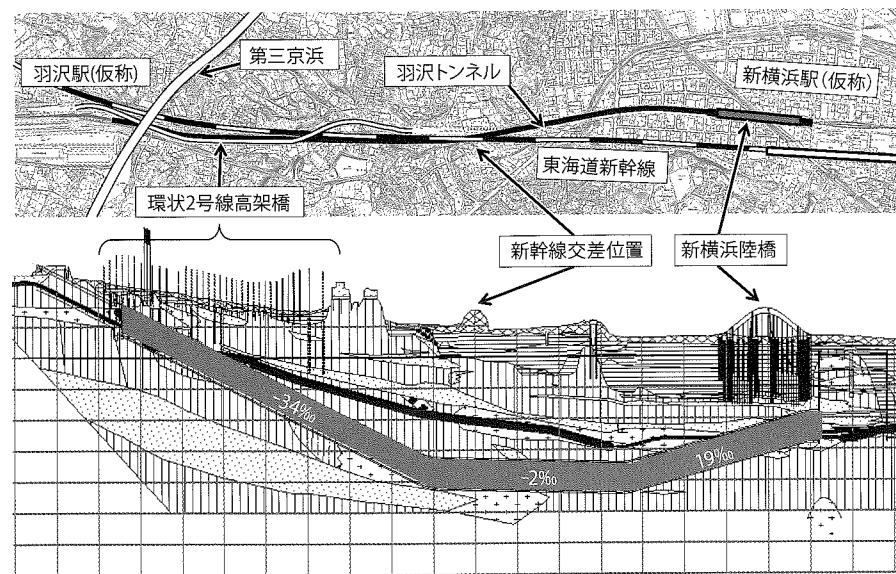


図-3 平面図・縦断面図

成させる工法(System)』<sup>1)</sup>であり、シールド(S)、場所打ちライニング(E)、NATM(N)を組み合わせたシステム(S)の頭文字を取って命名されている。

直接切削区間を含むセグメント区間のトンネル断面図を図-2に示す。

2-2 地質概要

地質縦断面図を図-3に示す。トンネル通過部の地質は、主に第四紀海成堆積層である上総層群粘性土(Km,  $N \geq 50$ )であり、被圧地下水を有する砂質土(Ks,  $N \geq 45$ )が介在する。

2-3 周辺の近接構造物

本トンネルは自動車専用道である第三京浜の陸

橋基礎、横浜市の主要幹線道路である環状2号線の高架橋基礎、環状2号線がJR横浜線を上越するための新横浜陸橋の基礎杭などと1D以下の離隔で近接する(図-3)。

ルート検討におけるコントロールポイントとして、JR東海道貨物線の高架橋、環状2号線橋脚基礎、第三京浜橋脚、鳥山川、東電洞道がある。それら避け、かつ離隔を取るようになった結果、鳥山汚水幹線との交差が避けられなかった(図-4, 5)。

2-4 交差污水管の敷設状況

支障する污水管の交差状況を図-6, 7に示す。1本目は鳥山汚水幹線φ1,500mm(以下、本管)で、土

支障移設後の污水幹線をシールドで直接切削してトンネルを施工

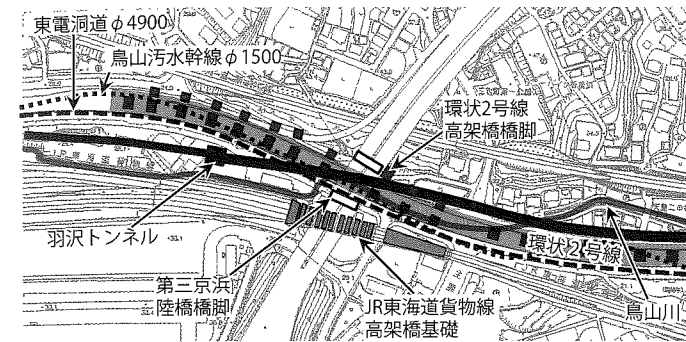


図-4 起点側平面図

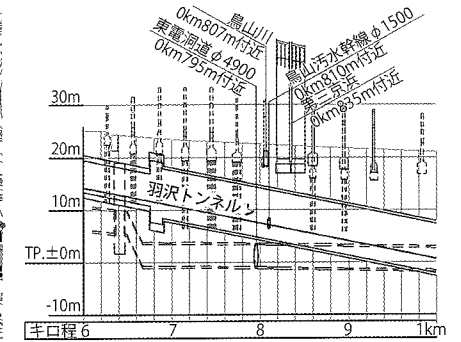


図-5 起点側縦断面図

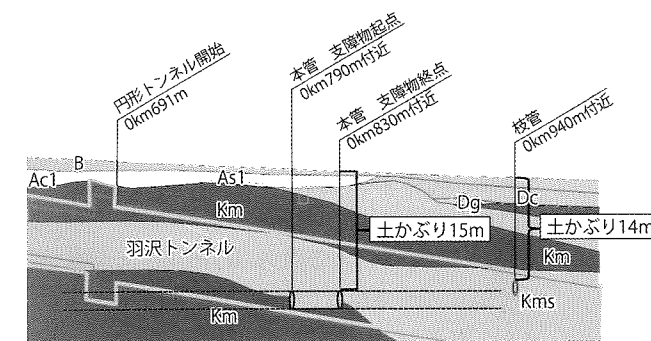


図-6 羽沢トンネル発進立坑付近縦断面図

地層・岩体区分凡例

時代	地層名	土質名	記号
現世	盛土層	混合土	B
		粘性土(有機質土)	Ap
完新世	沖積層	砂質土	As1
		粘性土	Ac1
		礫質土	Dg
更新世	後期	段丘堆積層	Dg
	中期	相模層群	Dc
		砂層	Ks
	前期	上総層群	砂層優先の砂泥互層
粘性土			Km

かぶり約15mでシールドと下半1/3程度の位置、18°の交差角で交差し、交差延長は41.2mに及ぶ(図-8)。外径2,150mmの鋼製セグメントの内側に無筋コンクリートの2次覆工を施工しており、鋼製セグメントの鋼材の材質はSS400、桁高は100mm、主桁と継手板の厚さは9mm、スキムプレートの厚さは3.2mmである(図-9)。また、接続に用いているボルトの強度区分が4.6であることを確認した。

2本目は污水管φ250mm(以下、枝管)で、土かぶり約14mでシールドと上半の位置でほぼ直角に交差する(図-10)。枝管は外径φ400mmの鋼管の中にφ250mmの塩ビ管を設置したものである(図-11)。

本管および枝管は、その機能を確保するため、羽沢トンネルを避けるように、図-7に示すルートで切り回した。

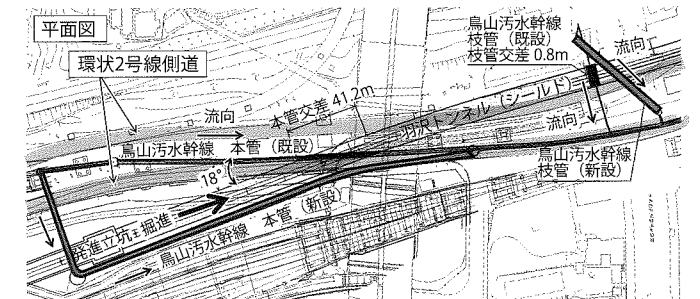


図-7 羽沢トンネル発進立坑付近平面図

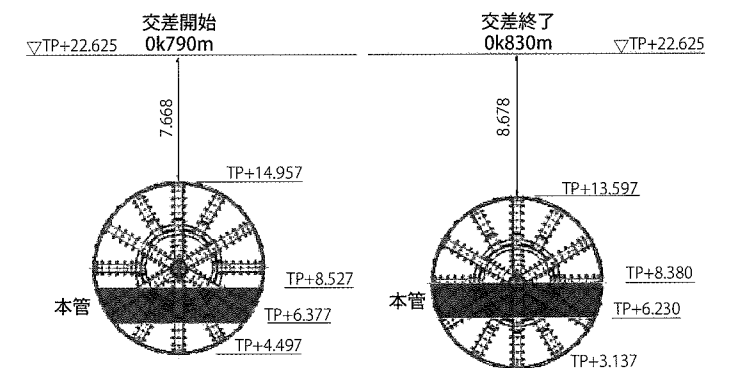


図-8 本管支障箇所断面図

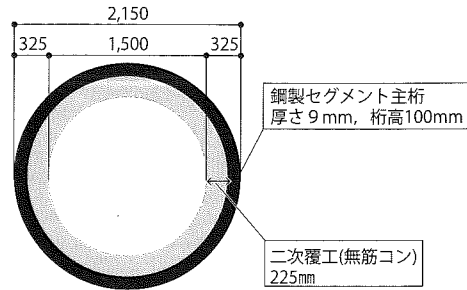


図-9 本管断面図

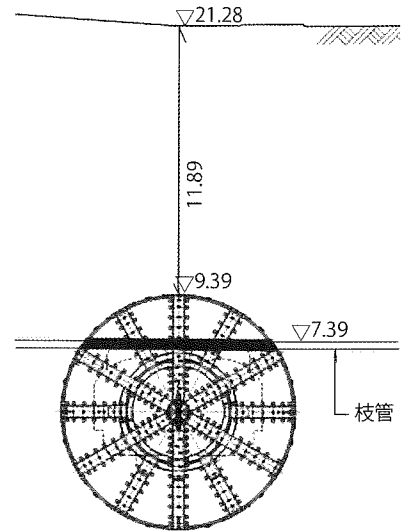


図-10 枝管支障箇所断面図

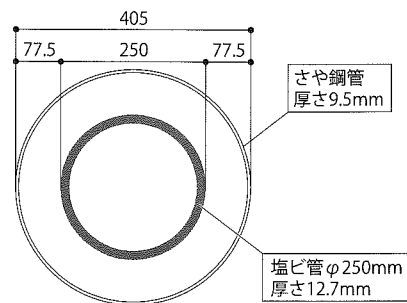


図-11 枝管断面図

切回し工事は本管、枝管ともに推進工法で施工した。

### 3 交差污水管の撤去方法の検討

本稿では、本管の撤去方法、施工結果について報告する。本管污水管の撤去方法については、以下の3案で比較検討を行った。

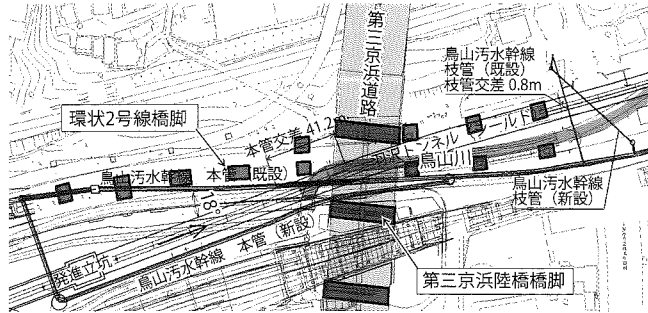


図-12 近接構造物平面図

- ① 開削工法による污水管撤去
- ② 管路内からの止水注入+污水管人力撤去
- ③ シールドによる污水管直接切削

近接構造物平面図を図-12に示す。鳥山川、第三京浜、環状2号線橋脚などの近接構造物を考慮し、撤去方法について検討した。

①について、污水管撤去のためには污水管上部に構築された鳥山川(内空3m×3m程度のカルバート構造)を移設したうえで、開削方法により土かぶり約15mにある污水管を撤去する必要がある。このため、環状2号線側道の大規模な交通規制が必要となること、近接構造物への影響が懸念されることから採用は困難と判断した。

本管の周辺は上総層群であり、比較的堅固な地盤であるが、砂質土層は均等係数が小さく地下水の流れによって、崩れやすい性状を有している。

②について、管路内から止水注入を行っても、人力で鋼製セグメントを撤去した際に砂質土層が崩れ、施工時の安全と周辺構造物の安定を確保できない可能性があること、止水注入を行うことで近接構造物に影響を与えてしまうことから、採用は困難であると判断した。

③については、40m以上にわたり鋼製セグメント製の管路をシールドで直接切削して撤去した実績がないものの、鋼矢板やRC杭を直接切削した事例があった。このため、いくつかの課題が想定されたが、対策を講じれば技術的に切削可能と判断し、③シールドによる直接切削を採用することとした。課題についての検討については次章以降で述べる。

## 4 シールドによる直接切削方法の検討

### 4-1 直接切削方式の選定

直接切削する方法として、ウォータージェットを用いた工法、支障物切削用ビットによる工法、圧気工法による機内からの人力撤去が考えられた。当工事のシールドは、相鉄・JR直通線、西谷トンネル(延長約1.4km)で使用した土圧式シールドを転用しており、もっともシールドの改造が少ない支障物切削用ビットによる工法を採用することとした。また、本管周辺の地盤強度が高く、シールド掘進方向の推力に対する反力が十分確保され、地上からの追加薬液注入が不要であることも、工法の採用理由となった。

直接切削にあたり、本管の内側はエアモルタルで充填し、切削中に切羽土圧を保持するとともに、本管の反力を確保して本管の大割れを防止した。

### 4-2 シールド装備の検討

シールドによる管路直接切削において次の2つの問題が懸念された。1つは、管路にカッタが食い込み、カッタトルクが上昇して切削不能となること。もう1つは、当初計画では支障物の切削を想定したカッタビットを装備していなかったため、管路切削に伴うチップの破損・脱落である。

1つ目の問題に対する対策として、切込み厚さ(カッタが1回転する際に、1つのビットで掘削される地山の厚さ)の低減を行った。具体的には、低速掘進制御装置の導入、回転数の増加、パス数の増加である。2つ目の問題に対する対策として、先行ビットを支障物切削ビットに交換した。

これらの対策により上記2つの問題は解決できたが、低速掘進により連続した掘進時間が伸びたことから、土砂シールドが過熱するおそれが生じた。そこで、土砂シールド冷却装置を設置することとした。以下に詳細を述べる

#### 4-2-1 切込み厚さの低減

切込み厚さの低減については、適切

な切込み厚さを確保するため、以下の対策を実施した。切込み厚さを低減させるために用いた切込み厚さ算定式と模式図を図-13に示す。

#### (1) 低速掘進制御装置の導入

掘進速度の低減を図るため、シールドジャッキの油圧ポンプ吐出量を微細に制御できる低速掘進制御装置を導入することで2~3mm/minでの安定した低速掘進が可能となった。

#### (2) 回転数の増加

可変速カッタモータを導入し、通常時の回転数0.65rpmに対し、回転数0.975rpmに変更することにより、管路切削時のカッタ回転数を増加させた。

#### (3) パス数の増加

パス数(同一円周上に配置されているビットの個数)を増やすために、スポークに配置する支障物切削ビットは、当初の先行ビットの配置箇所よりも増設した(図-14)。

これらの対策によって低減された切込み厚さが適切なものかを判断するため、過去の直接切削事例との比較を行った。比較対象はH形鋼、コンクリート杭(RC、PC)、鋼矢板とした。パス数と切

$$\text{切込み厚さ (mm)} = \frac{V}{(N \times a)}$$

a=ビットのパス数(同一円周上にあるビットの個数)  
N=カッターの回転数(rpm:1分間の回転数)

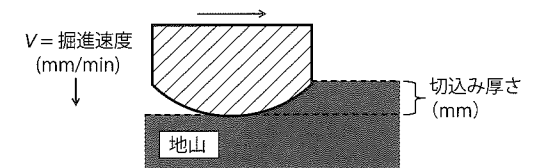


図-13 切込み厚さ模式図

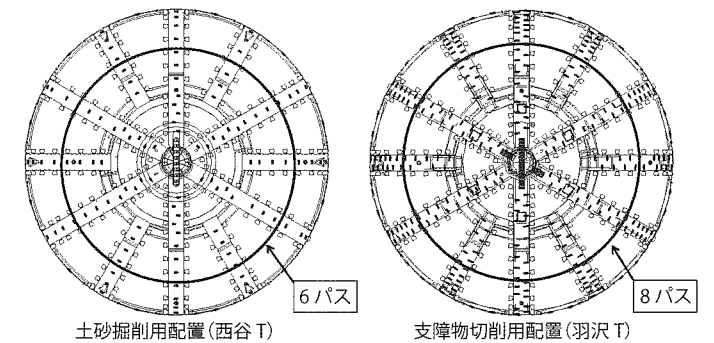


図-14 ビットパス数比較図

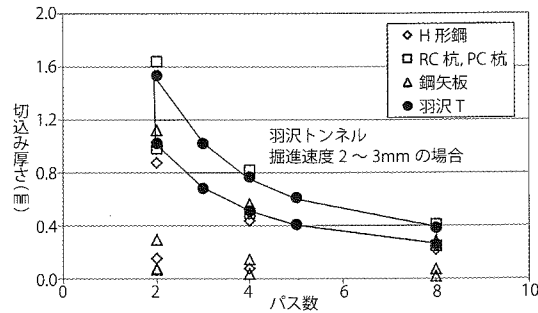


図-15 各パス数における想定切込み厚さ

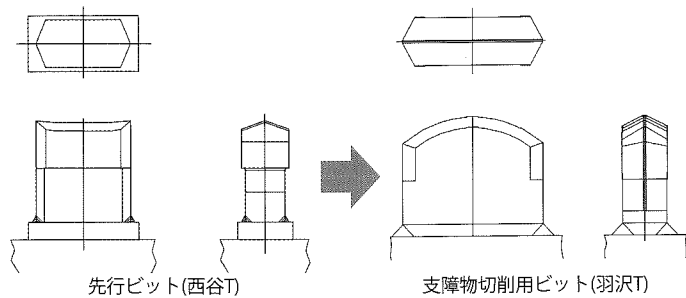


図-16 支障物切削用ビット比較詳細図

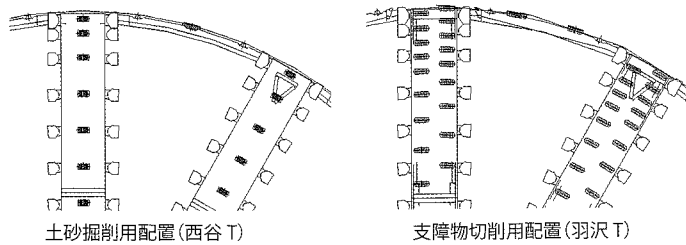


図-17 スポーク拡大図

切込み厚さの関係を図-15に示す。

管路切削時、掘進速度は2～3mm/minとするため、グラフには2点プロットした。この結果、本管と同様に、コンクリートと鋼材の合成構造であるコンクリート杭と同等程度の切込み厚さとなったため、適切な切込み厚さと判断した。

4-2-2 カッタビット摩耗量の増加について

摩耗量計算の結果、本管と枝管の切削を考慮すると全延長3,350mの掘削にビットが耐えられないことが確認された。そこで、耐久性を重視すること、ビット間の隙間を空けずに配置することを意図して、先行ビットの代わりに支障物切削用ビットを設置した。

支障物切削用ビットは、鋼材を鋭利なチップで

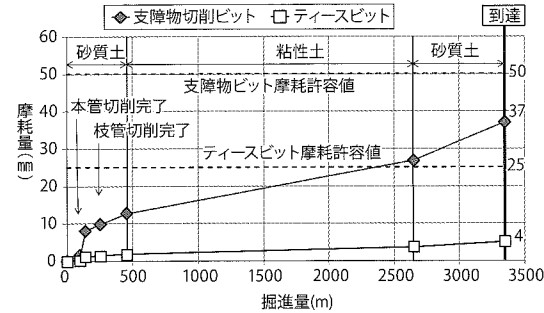


図-18 ビット摩耗シミュレーション

切り取るのではなく、靱性の高いチップを押し付けて鋼材をこそぎ取るもので、チップの先端が鋼材に引っかかって欠けることを防止するため、図-16に示すような扇状のビット形状とした。

支障物切削用ビットは配置を10～20mm程度で半径方向にずらし、同じパス上に複数の支障物切削用ビットが通過するように配置することで、1つの支障物切削用ビットが損傷しても掘削に影響がないようにした(図-17)。

以上の検討により決定した支障物切削用ビット配置について、各ビットの摩耗量のシミュレーションを実施した(図-18)。ここで、各ビットの摩耗限界値は支障物切削用ビットで50mm、土砂切削用ビット(ティースビット)で

25mmである。シミュレーションの結果、羽沢トンネル到達時では支障物切削用ビットの摩耗量は37mm、ティースビットの摩耗量は4mmとなり、摩耗の限界値に対して一定の余裕をもって到達可能であることを確認した。

4-2-3 土砂シール冷却設備

直接切削区間は、低速で掘進するため、カッタを長時間回転させる必要があり、回転に伴う摩擦熱により土砂シールの温度が60℃以上になって、掘進が継続できなくなることが懸念された。西谷トンネルの実績より、当初計画の冷却システムでは、掘進を1時間行くと1時間の冷却時間が必要となることわかっている。そこで、カッタ駆動部に水冷システムを導入することで、高速回転で

の連続掘削を可能とした(図-19)。本システムは、チラーで冷却水の熱交換を行い、クーリングタワーで冷却水の温度を下げることにしている。

5 施工結果

本管の直接切削区間約41mを20日間で通過した。掘進速度は3～5mm/minで安定的に制御でき、近接する環状2号線橋脚に対し、大きな影響を与えることなく通過できた。

発生土に混入した本管と枝管の切断片は、ほとんどが1～2mmのチップ状の破片であった。写真-1には発生土に混入した大きさ100mm程度の本管の切断片を示している。ごく一部に1m程度の長さがあるものがあり、過去、シートパイルなどを直接切削した実績と比べるとかなり大きかった。これは、鋼製セグメントが、ボルトで接合された構造であるため、シールドで直接切削した際に、接合部が引きちぎられ、大きな塊でチャンバに取り込まれたためと考えられる。

直接切削区間のカッタトルク(各リングの最大値と平均値)を図-20に示す。図には比較のため、前後20リングのカッタトルクと平均掘進速度も併せて示している。

非切削区間の平均カッタトルクが約8,400kN・mに対し、直接切削区間は約6,600kN・mであった。直接切削区間の平均カッタトルクは、掘進速度を抑えたため、非切削区間に比べて小さくなったが、装備トルク最大値19,955kN・mに比べて十分低く抑えることができた。

各リングのジャッキ推力(平均値)を図-21に示す。直接切削区間に入った直後に推力の上昇が見られたが、全般的に非切削区間と切削区間で大きな推力の差は見られなかった。

なお、地表面においては振動計測を実施したが、直接切削に起因する数値

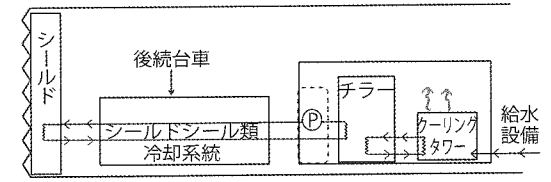


図-19 水冷システム概要図



写真-1 切削片

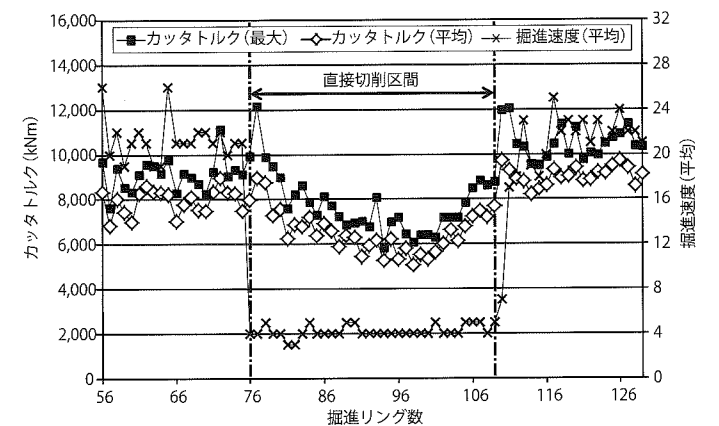


図-20 カッタトルク

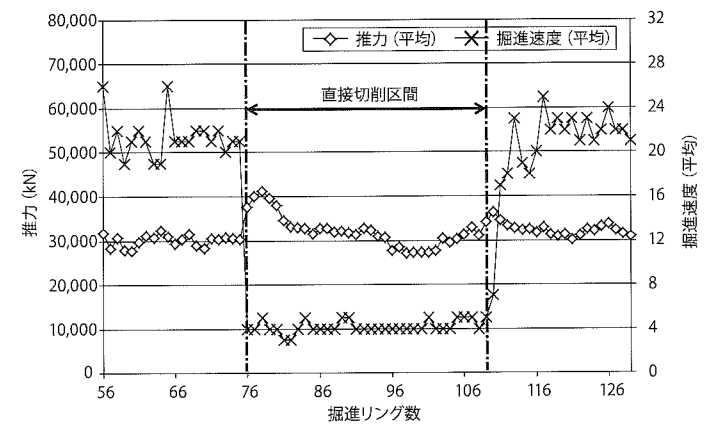


図-21 ジャッキ推力

は確認できなかった。また、近接する環状2号線の橋脚高さを計測した結果、シールド通過前から通過中に2mm程度の沈下が確認されたが、大きな影響を与えることなく掘削できた。

## 6 おわりに

本工事では延長41mにわたって支障する本管を撤去する方法としてシールドによる直接切削を採用し、大きなトラブルなく通過できた。シールドの直接切削による支障物撤去は、経済性、安全

性、工程において大きな効果があり、今後の工法検討において、重要な実績の一つになると考える。

本事例が、地下利用が高度化、大深度化した近年の都市土木における埋設物撤去工事の一助となれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 飯田廣臣：含水未固結地山におけるシールドを用いた場所打ち支保システムに関する研究，早稲田大学学位論文，p.3，2008.2.



# 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拡径シールド工法
- 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



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

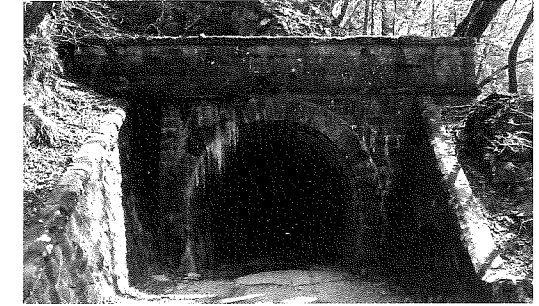


## 「わさびの産地」伊豆市より

富永 浩

静岡県伊豆市は、伊豆半島中央部に位置し、南は天城山系の山並み、西は駿河湾に面し、豊かな自然に囲まれた場所である。市内に鮎釣りでも有名な狩野川が流れ、その上流部には浄蓮の滝、万城の滝など、変化に富んだ溪流があり、源流部では清流を利用したわさび栽培が盛んに行われている。首都圏から約100kmとさほど遠くない距離にもかかわらず、緑豊かな自然、数多くの史跡や温泉に加え、海・山の幸を満喫できることから、一度は足を運ばれた方、これから運びたいと思われる方も多いのではないだろうか。

名産となったわさび栽培は、400年ほど前、静岡県安倍川上流にある有東木地区の村人が、溪流に自生していたわさびを採集し、湧水地で栽培したのが発祥と言われている。静岡県のわさび栽培面積は128.5ha(2014)、産出額は36億円(2014)、全国の76%にもおよぶ。そのうち、伊豆市で生産されている水わさび(根茎)は、136.4t(2013)で、実に静岡県内の60%を占めている。栽培方法は「壘石式」と呼ばれる独特なものであり、1年を通して栽培・収穫されている。この「壘石式」は「伊豆式」とも呼ばれており、1892年ごろに開



天城山隧道

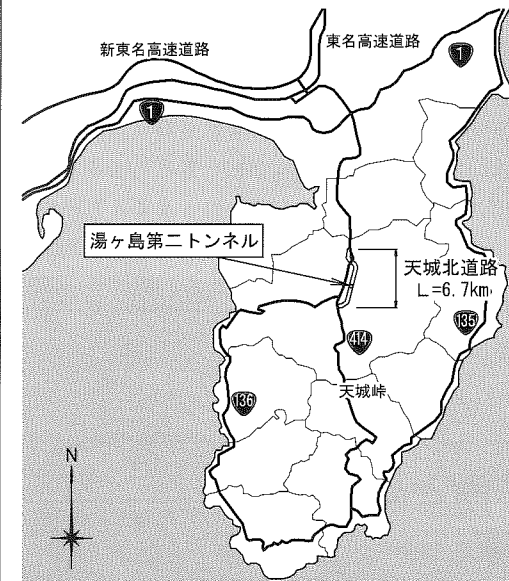
発された。地盤を掘り下げたわさび田に、大きな石から小さな石を順に敷き詰め、表面に砂をかぶせて、わさびの根には常に新鮮な水が流れるように工夫されている。

天城峠には、1905年に開通し、日本の道100選(1985)に選ばれ、重要文化財(2001)にも指定された「天城山隧道」がある。「天城越え」と言われる、南伊豆から中伊豆への道のりは、この446mのトンネルが完成したことにより、一変したと言われている。コンクリートのトンネルを見慣れている昨今、「切り石巻き工法」により、石を一つ一つ積上げて造られ、入口にある「天城山隧道」の「題字」、アーチを支える「要石」、飾りのための「笠石」「帯石」など、職人の技、こだわりや芸術性を、100年以上の年月を経た今も感じられるトンネルである。

現在施工している湯ヶ島第二トンネルは、伊豆縦貫自動車道天城北道路(延長6.7km)における、5か所のトンネルのうちの延長1.016mのトンネルである。地質は、新生代天子火山岩類自破碎熔岩が占め、2か所の小土かぶり区間(最小小土かぶり3.5mおよび7.0m)がある。小土かぶり部は、長尺鋼管先受け工、長尺鏡ボルト工などの補助工法を採用し、無事通過した。

2017年2月1日に貫通し、現在、覆工を施工中である。3月7日には、地元希望者の方々にも出席していただき、貫通式を執り行った。工事完了まで、地元の方々のご協力および発注者、関係各位のご指導のもと、1日でも早い完成を目指し施工する所存である。

(東急建設(株)湯ヶ島作業所長)



位置図

# 土木情報 No. 526

今月の主な入札結果  
(2月10日～3月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
東北地整	R106小山田地区道路	飛鳥建設	4,011.47
〃	R103青ぶな山T避難坑	熊谷・伊藤JV	2,226.9
関東地整	R246渋谷駅西口地下道	東急・矢作JV	4,870
中部地整	H28 19号桜沢T	西松建設	3,022.8
近畿地整	相生有年道路有年原地下道	金海興業	174.5
〃	西脇北BP津万地区函渠設置	神崎組	180.8
中国地整	出雲湖陵道路神西T	戸田建設	1,499.9
四国地整	H28-30寺山T	鴻池組	1,738.2
〃	H28-29和田T	不動テトラ	792.1
九州地整	大分210号災害復旧市ノ村T東	銭高・庄司JV	832.3
〃	〃 〃 西	戸田・河津JV	795.1
鉄道・運輸機構	北海道新幹線, ニセコT他	飛鳥・大豊・齋藤・白木JV	5,780.4
〃	〃 朝里T他	東急・宮坂・廣野・玉川JV	10,147.73
〃	〃 内浦T(静狩)他	前田・西武・協成・北栄JV	10,461.14
〃	北陸新幹線, 深山T他	三井住友・極東興和・道端JV	8,540
都・港湾局	H28南北線中防内側陸上T地中障害物撤去	清水・鴻池・岩田地崎JV	131
都・交通局	浅草線泉岳寺駅～新橋駅間T止水	化工建設	255
都・水道局	江東区豊洲六丁目から同区有明三丁目地内間送水管(1200mm)用立坑築造及びT築造	戸田・新日本JV	2,107
〃	西東京市向台町四丁目地内から小平市天神町三丁目地内間送水管(2000mm)用立坑築造	飛鳥・福田JV	919.71
都・下水道局	江東区木場一, 六丁目付近再構築その2	西松・奥村組土木JV	559
〃	〃 杉並区荻窪二, 四丁目付近枝線	浅沼組	1,156.1
〃	〃 北区滝野川三, 五丁目付近再構築	佐藤工業	1,150.5
宇都宮市	準用河川越戸川BP築造(分割1号)	大幹建設	139.2
〃	〃 (分割2号)	山本建設	114
〃	準用河川大久保谷地川BP築造(分割1号)	渡辺建設	142
〃	〃 (分割2号)	大幹建設	164.8
足利市	足利市公下福居町地区溢水対策	金子建設	114.08
新潟市	西下202号坂井輪排水区坂井輪雨水1号幹線下水道	西松・植木・池井・田村JV	2,733.9
名古屋市	油屋幹線下水道築造	鴻池・本間・ヒメノJV	909

## 施工

### 神社・鉄塔近接時の脆弱な地山における補助工法の設計と施工

#### —中部横断自動車道 楮根第3トンネル—

(株)鴻池組東京本店中部横断楮根第3トンネル工事所長 安田 裕 輔  
 (株)鴻池組東京本店中部横断楮根第3トンネル工事副所長 村島 雅 征  
 (株)鴻池組本社技術統括部土木技術部部长 山田 浩 幸  
 国土交通省関東地方整備局甲府河川国道事務所専門官 山本 崇 之

#### はじめに

中部横断自動車道は、静岡県静岡市を起点に、山梨県甲斐市を經由して長野県小諸市に至る延長約132kmの高速自動車国道である。中部横断自動車道の開通により、新東名高速道路、中央自動車道および上信越自動車道が接続され、周辺地域における生活、産業、観光面の活性化、異常気象時における代替道路の確保、地震災害時の緊急輸送路の機能向上、高次医療施設への迅速な移動が可能となるなど、さまざまな効果が期待されている。

楮根第3トンネルは、国土交通省が直轄する山梨県区間(富沢IC～六郷IC)の延長28kmのうち、

山梨県南巨摩郡南部町楮根に位置する延長L=165mの山岳トンネルである(図-1)。トンネル直上には、土かぶり約30m(2D:Dはトンネル幅

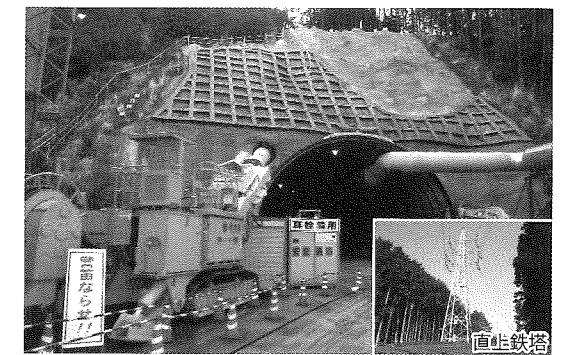


写真-1 トンネル施工状況<sup>1)</sup>



図-1 工事位置

#### 建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著 A5判 326頁 本体価格 4,300円



株式会社 土木工学社

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

14m)で神社と高圧鉄塔が近接しており、慎重な施工が必要となった(写真-1)。当初設計では、比較的良好な地山が想定されていたが、工事当初から、坑口切土時に斜面崩壊や切羽崩壊などの変状が続き、地表面への影響も大きかったため、追加調査結果を行ったところ、トンネル全体がかなり脆弱な地山であることが判明した。

そこで、追加調査結果を踏まえ、地山条件の変更に伴う数値解析結果にもとづき、補助工法の検討を含むトンネル設計の見直しを行った。掘削時には、綿密な計測管理にもとづき補助工法を駆使して掘削を進めた。

本稿では、施工時のトンネルの設計変更と補助工法の施工および計測管理手法について報告する。

## 2 工事の概要

### 2-1 地形・地質概要

トンネルの地質は富士川層群身延累層の砂岩・泥岩互層であり、泥岩優勢層ではスレーキングが著しく、脆弱となる特徴を持っていた。また、地形的には両坑口付近では過去に地すべりを生じ、すべり土塊が堆積したような地すべり跡が点在していた(図-2)。

### 2-2 施工概要

本トンネルの工事概要を表-1に示す。トンネル工事当初、坑口付け時に斜面崩壊が発生し、法面対策として法枠とアンカーを施工した(写真-2)。

トンネルの掘削開始後も小崩落や鏡面の崩壊が見られたため、切羽安定のための補助工法(小口径長尺鋼管フォアパイリング、長尺鏡ボルト)を併用して施工を進めていた。トンネル掘削が26m進んだ時点で、掘削の緩みに伴い、50mmを超える大きな地表面沈下を生じ、既施工区間の吹付けコンクリートに変状(写真-3,4)を生じた。そのため、切羽をいったん休止し、地層分布と地山物性を確認する目的で追加地質調査を実施した。追加調査

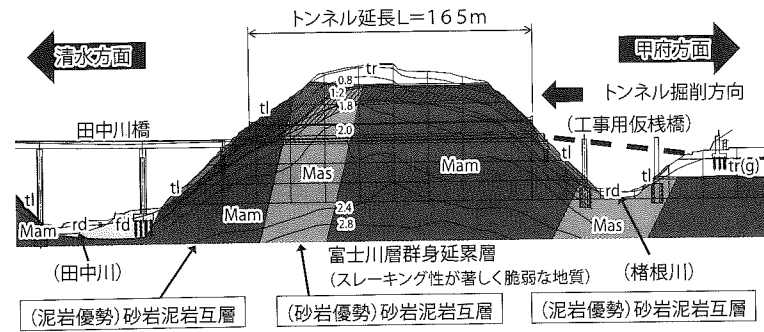


図-2 地質縦断面図<sup>1)</sup>

表-1 工事概要

工事名称	中部横断楯根第3トンネル工事	
工事場所	山梨県南巨摩郡南部町楯根地先	
工期	平成26年1月～平成29年3月	
発注者	国土交通省関東地方整備局	
施工者	(株)鴻池組	
延長	L=165m	
断面	掘削断面積A=105.7m <sup>2</sup> (盤下げ含む) 2車線道路トンネル	
施工法	NATM	
掘削方式	機械掘削(ロードヘッダ)	
掘削工法	DⅢパターン(早期閉合)	
工事内容	天端安定対策	多段式長尺鋼管フォアパイリング (L=13.5m, 15.5m, φ114.3mm, @900mm, 打設間隔5m) 注入式フォアボーリング(L=4.0m, φ25mm, @600mm, 打設間隔1m)
	鏡面の安定対策	鏡吹付け(t=50mm) 長尺鏡ボルト(L=12.5m, φ76mm, @2m, n=5本/断面)
	脚部の安定対策	脚部補強工(レッグパイル)(L=3.5m, φ114.3mm, 4(6)本/断面)



写真-2 法面対策施工状況



写真-3 切羽崩落状況(支保No.26)



写真-4 支保変状(吹付けひび割れ)状況<sup>2)</sup>

の結果、トンネル全体的に脆弱な地山であり、地山物性値も設計より小さいことが判明した。

そこで、追加調査によって得られた地質条件にもとづき数値解析を実施し、近接構造物(高圧鉄塔・神社)への影響検討と必要な補助工法の選定を行い、トンネル設計の見直しを行った。

## 3 トンネル設計の見直しと補助工法の検討

### 3-1 地山条件と変状原因の分析

地山条件(地層分布、地山物性値)を再確認するために追加地質調査(水平ボーリング全線、鉛直ボーリング4本)を実施してトンネル変状の要因について分析した。図-3にボーリング位置と地層分布を示す。

地山条件としては、当初の地質調査結果と比較すると脆弱な層が厚く、物性値についても多数の孔内試験およびコアの室内試験から、図中の②、③層の粘着力cが1桁小さい(1/20～1/30)ことがわかった。また、変形係数に関しても、②層は半分程度であった。

これらのことより、坑口部のトンネル変状の原因としては以下の要因が考えられた。

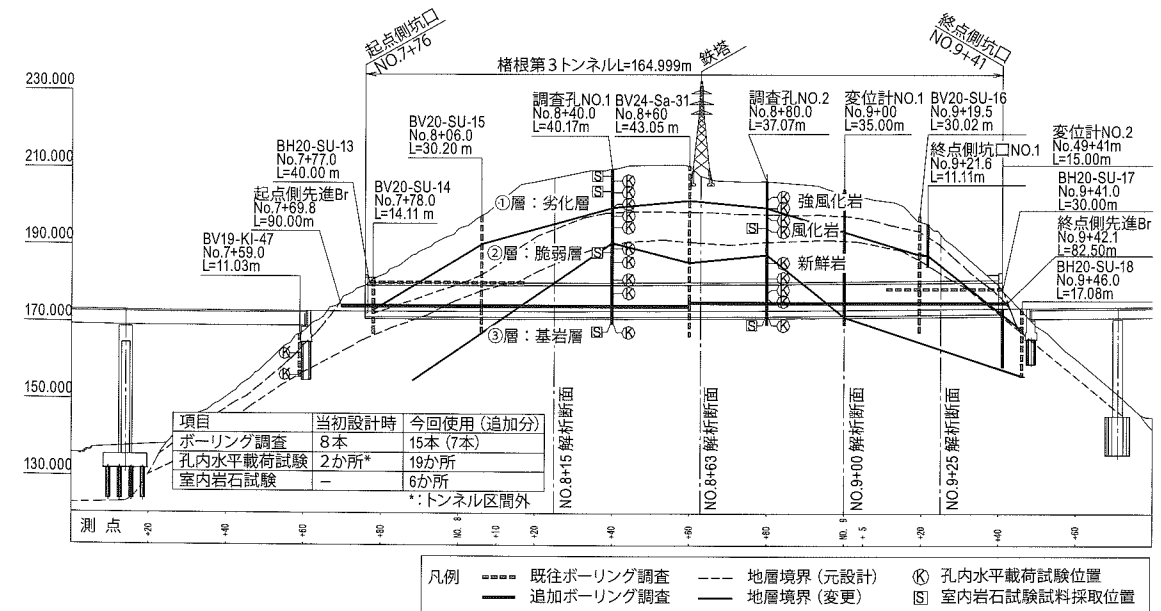


図-3 追加調査位置と地層分布<sup>2)</sup>

- ・終点側坑口部には、想定以上に破砕されて固結度の著しく小さい地山が厚く分布しており、グラウンドアーチが形成されず、トンネル掘削に伴い緩み領域が拡大した。
- ・トンネル脚部の地山も想定以上に悪く、地耐力が不足したため、脚部が沈下した。
- ・緩み荷重の増大に伴い、トンネルの変形(脚部沈下)が進行し、トンネル上部の地山が共下がりして、坑内天端沈下相当の地表面沈下を生じた。

### 3-2 数値解析(FEM)にもとづく対策工の検討

設計時には高圧鉄塔への影響は2次元FEMの線形弾性解析で検討されていたが、追加調査結果にもとづき、地層の分布と地山物性値を見直し、トンネル掘削時の実挙動に近いとされる非線形弾性解析により、トンネル掘削時における高圧鉄塔・寺社への影響に関する検討を実施した。

図-4に解析モデルを示す。なお、鉄塔の管理基準項目および許容値は、鉄塔の安定性の管理に用いる指標として、独立した鉄塔基礎の脚間距離に対する相対変位(鉛直、水平)と基礎自体の絶対変位(鉛直)を、以下のとおり設定した。

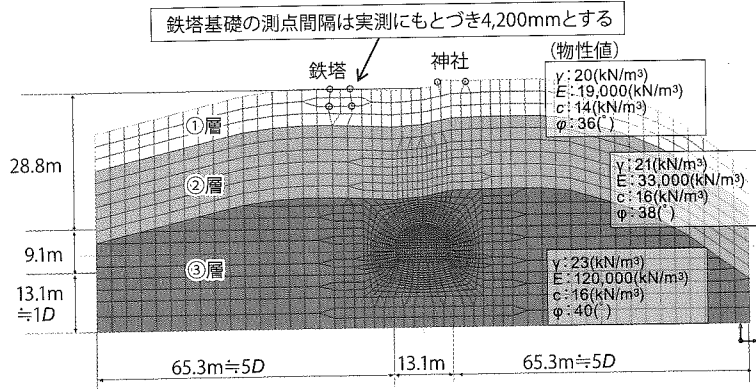


図-4 解析モデル(No.8+63:鉄塔直下)

表-2 当初設計におけるFEM解析結果

方向	鉄塔基礎左端(A)(mm)	鉄塔基礎右端(B)(mm)	許容値	判定	鉄塔脚間相対変位量	許容値	判定
水平方向	10.1	12.3	—	—	1/3,666	1/800	OK
鉛直方向	-6.8	-11.5	-25	OK	1/1,420	1/1,200	OK

表-3 今回のFEM解析結果

方向	鉄塔基礎左端(A)(mm)	鉄塔基礎右端(B)(mm)	許容値	判定	鉄塔脚間相対変位量	許容値	判定
水平方向	21.0	20.3	—	—	1/6,000	1/800	OK
鉛直方向	-26.3	-34.4	-25	OUT	1/519	1/1,200	OUT

表-4 対策工の検討結果<sup>1)</sup>

施工パターン	施工状況	天端対策	脚部(沈下)対策	鏡面対策
パターン1	下半完了	小口径( $\phi 76.3$ )長尺鋼管FP(天端120° L=12.5@5m)	レグパイル(L=3.5m)片側2本	なし
パターン2			レグパイル(L=3.5m)片側3本	長尺鏡ボルト11本, L=9.0m(2シフト)
パターン3	上半完了	長尺鋼管FP(L=15.5m@9m)(天端160°)	レグパイル(L=3.5m)片側3本	長尺鏡ボルト5本, L=12.5m@9m
パターン4	未掘削	長尺鋼管FP(L=12.5m@9m)(天端180°範囲)	レグパイル(L=3.5m)片側2本	長尺鏡ボルト5本, L=12.5m@9m
パターン5		長尺鋼管FP(L=15.5m@9m)(天端160°)	レグパイル(L=3.5m)片側2本	長尺鏡ボルト5本, L=12.5m@9m

- ① 鉄塔脚間の水平相対変位(1/800以内)
  - ② 鉄塔脚間の鉛直相対変位(1/1,200以内)
  - ③ 鉄塔基礎の鉛直方向絶対変位(25mm以下)
- なお、①、②の許容値に関しては、鉄塔脚間の距離にもとづき後述の表-5のとおり算出した。検討結果を表-2,3に示す。

当初設計では、②が許容値に近いものの、いずれもOKとなっている。それに対して、地山物性値を見直した検討結果では、②と③が許容値を上

回る結果となった。このことより、対策工として補助工法の検討が必要となった。

補助工法と施工パターンの検討に関しては、施工状況を踏まえて前述の図-3に示すとおり、トンネル全体を掘削始点である工区終点側より、「パターン①下半既施工区間」「パターン②上半既施工区間」「パターン③終点側斜面下区間」「パターン④中間部」「パターン⑤起点側斜面下区間」の5つに区分した。表-4および図-5に検討にもとづく施工パターンを示す。

これらの各区分に対して、トンネル上部の近接構造物(鉄塔)の許容値を考慮して、当初設計支保パターンで安定を保てるかどうか、また、安定を保つために必要な補助工法について検討を行った。

検討項目は、本トンネルのこれまでの施工状況を踏まえて、天端安定性、鏡面安定性、脚部安定性の3項目とし、検討の手順は、図-6に示す検討フローに従い実施した。

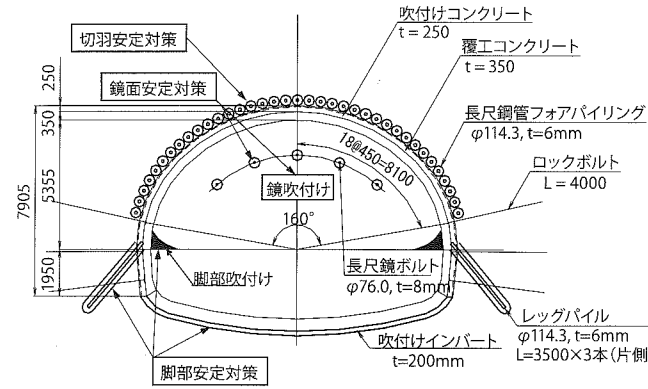


図-5 施工パターン(パターン3)<sup>1)</sup>

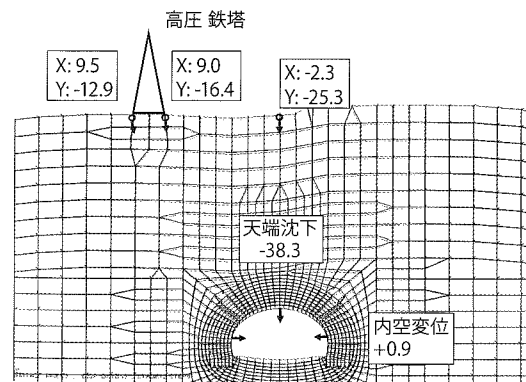


図-7 変位分布(No.8+63:鉄塔直下)<sup>2)</sup>

図-7,8に解析結果の一例を示す。

数値解析の結果から、図-7,8に示すとおり、周辺地山が弾性領域であり、絶対沈下量25mm、相対変位(鉛直3.5mm、水平5.2mm)に収めることのできる以下の補助工法を選定した。

- ① 天端安定対策:長尺鋼管フォアパイリング

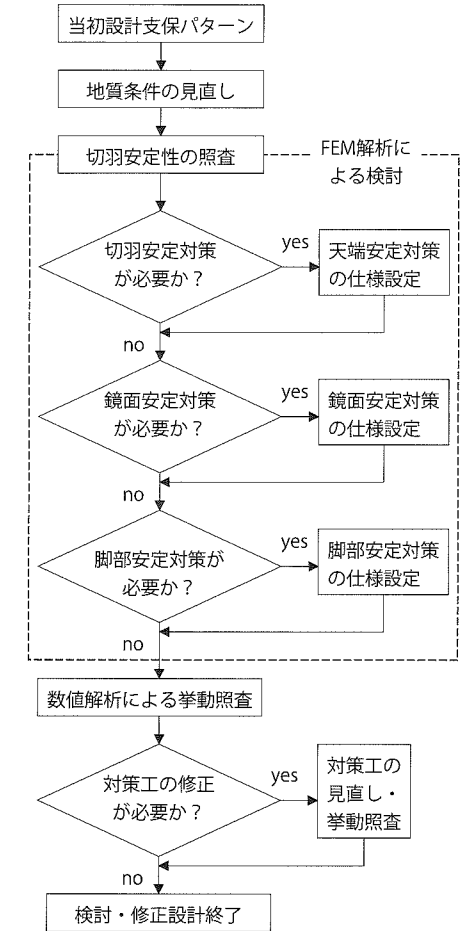


図-6 対策工の検討フロー

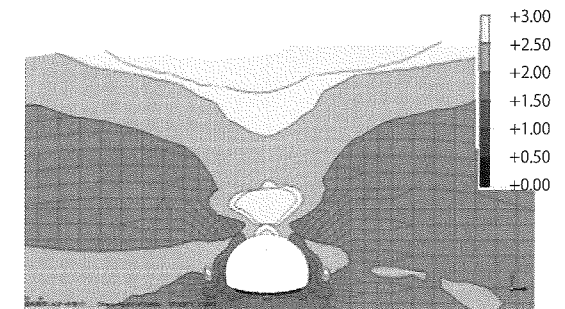


図-8 周辺地山の安全率分布(No.8+63:鉄塔直下)<sup>2)</sup>

( $L = 12.5\text{m}$ , 近接部 $L = 15.5\text{m}$ )

- ② 鏡面安定対策：長尺鏡ボルト ( $L = 9.0\text{m}$ )
- ③ 脚部安定対策：レッグパイル ( $L = 3.5\text{m}$ , 斜め前方打設)

なお、補助工法の施工範囲(天端施工範囲、長さ)や規模(打設本数)に関しては、解析によるケーススタディと経済性の検証結果をもとに設定した。

### 4 トンネルの施工と計測管理

#### 4-1 トンネル掘削

トンネルの掘削工法は周辺に近接する住居や寺院への騒音・振動対策として機械掘削とし、トンネル始点から80m間は昼間1方施工で実施した(写真-5)。

#### 4-2 補助工法の施工

##### 4-2-1 天端安定対策

天端安定対策としては前述のとおり、長尺鋼管フォアパイリングを採用した。注入材に関しては、確実な地山注入改良効果を得る目的で、設計のセメント系注入材をウレタン系注入材に変更した。

また、施工当初(パターン3)は、写真-6に示すように、より高い先受け効果を期待して $L = 15.5\text{m}$ の鋼管を9mピッチで37本(天端 $160^\circ$ 範囲)打設していたが、ラップ部分で天端の肌落ちが多く、天端が不安定になる状況が

見られた。パターン4(44本、施工範囲 $180^\circ$ )では、図-9に示すように、天端ラップ部からの肌落ちを防ぐ目的で、通常 $12.5\text{m}$ の鋼管長を1m長くして、 $L = 13.5\text{m}$ の鋼管を5mピッチに半分(22本)打設することで、切羽前方に千鳥にラップさせる多段式とした。

このことにより、天端からの肌落ちも少なくなり、サイクルの短縮にも寄与した。

##### 4-2-2 鏡面安定対策

長尺鏡ボルトは5本/1断面の計画であったが、トンネル出口側では亀裂の走向がすべり目となり、核が岩塊状ですべる現象が生じたため、段階的に

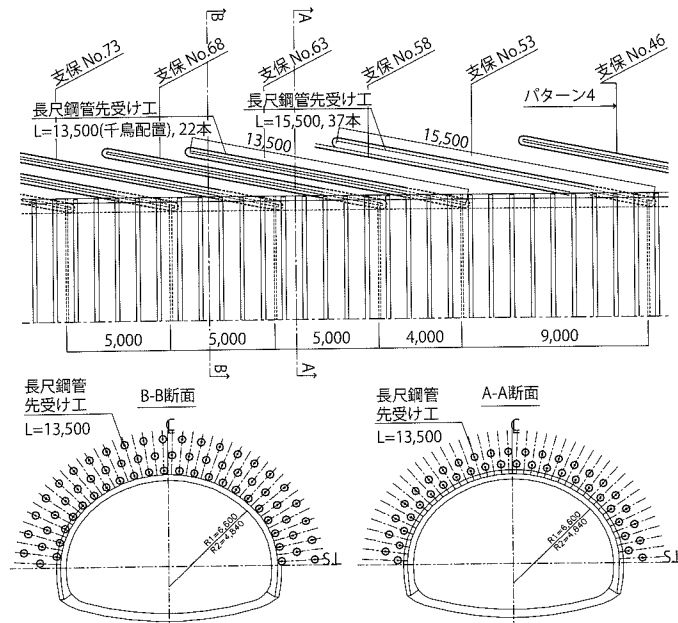


図-9 長尺鋼管打設パターン(パターン4：多段式)<sup>2)</sup>

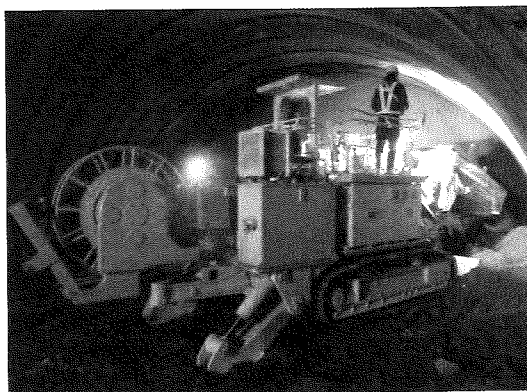


写真-5 掘削状況(ロードヘッダ)<sup>2)</sup>

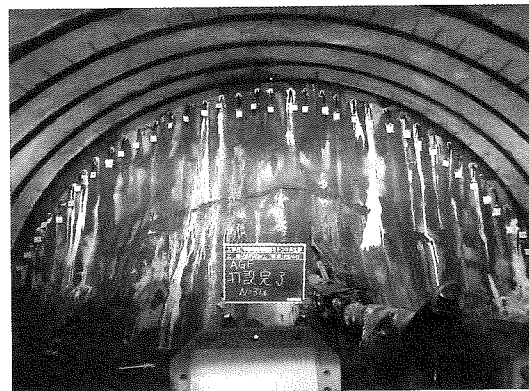


写真-6 長尺鋼管施工状況(パターン3)<sup>2)</sup>

打設本数を増やし、最大で9本(3列)打設した(写真-7, 8)。

##### 4-2-3 脚部安定対策

脚部安定対策としてレッグパイルを採用したが、パターン3では、片側3本/1間斜め前方に打設する必要があり、鋼管同士の干渉が懸念されたため、打設位置と角度を決めるために鋼製ガイドを作製し、打設位置と方向を合わせることで、確認用の人員と脚部補強工の施工時間短縮が可能となり、作業の効率化に寄与した。また、頭部には反

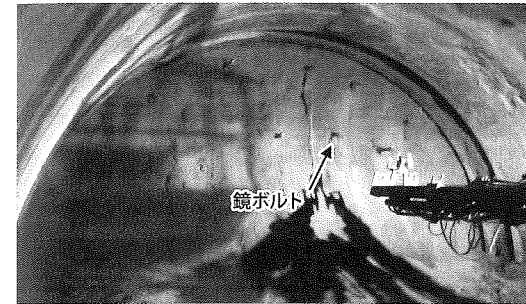


写真-7 長尺鏡ボルト施工状況

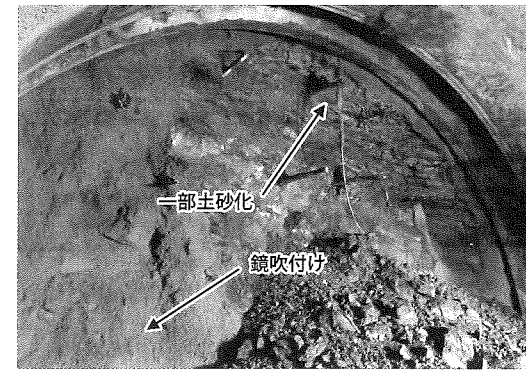


写真-8 鏡面崩壊状況

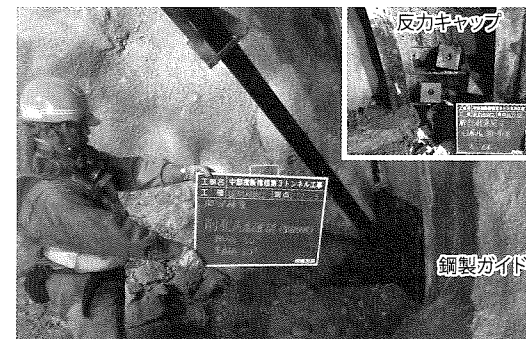


写真-9 レッグパイル打設状況

力キャップを設置して吹付けと一体化することにより押抜きせん断破壊を防止した(写真-9)。

##### 4-2-4 施工時の対策

施工時の対策として支保の剛性を高め、変位抑制を図る目的で、下半掘削後に初期高強度吹付けインバートによる早期閉合を基本とし、計測結果を参考に、上半切羽から5m後方で閉合しながら掘進する計画としていた。

実施工では、リアルタイムに得られる計測結果(地表面沈下、鉄塔基礎相対変位(水平、鉛直))を確認したうえで早期閉合の施工時期を決定し、写真-10に示すように、切羽から5m程度で閉合完了、インバート本体工まで完了させた。

また、近接施工区間では、写真-11に示すように、プレロードシェルによる沈下抑制対策を実施した。

なお、使用する吹付けコンクリートに関しては、初期にトンネル支保の剛性を高める目的から、初期高強度吹付けコンクリート( $\sigma_{30} : 5\text{N}/\text{mm}^2$ 以上)

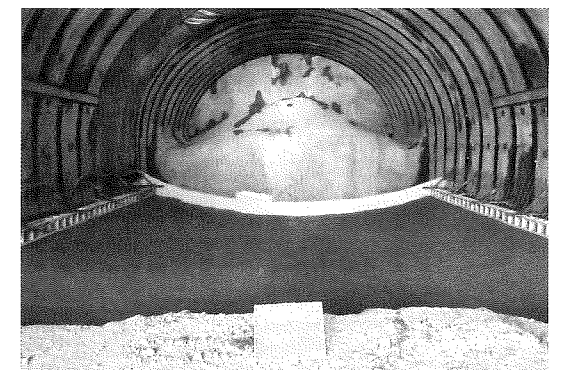


写真-10 インバート本体工 実施状況

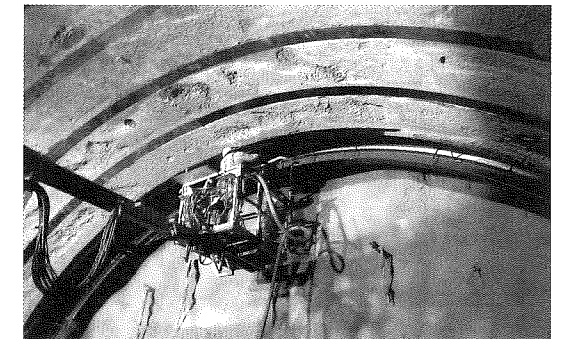
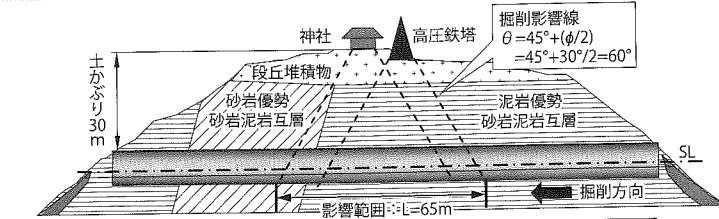
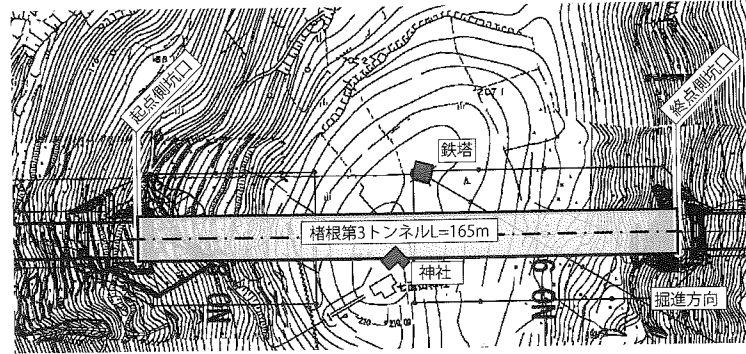


写真-11 プレロードシェル設置状況

を使用した。さらに、高圧鉄塔側では独立基礎を一体化することを目的に、鉄塔基礎周辺にコンクリートの床版(幅5.5m, 厚さ30cm)を構築し、鉄塔基礎頭部を連結した。



設計パターン	Pa-5	Pa-4	Pa-3	P-2	Pa-1
延長	49m	70m	20m	8m	18m
	7+80	8+00	8+20	8+40	8+60
		8+80	9+00	9+20	9+40

図-10 トンネル掘削による近接構造物への影響範囲

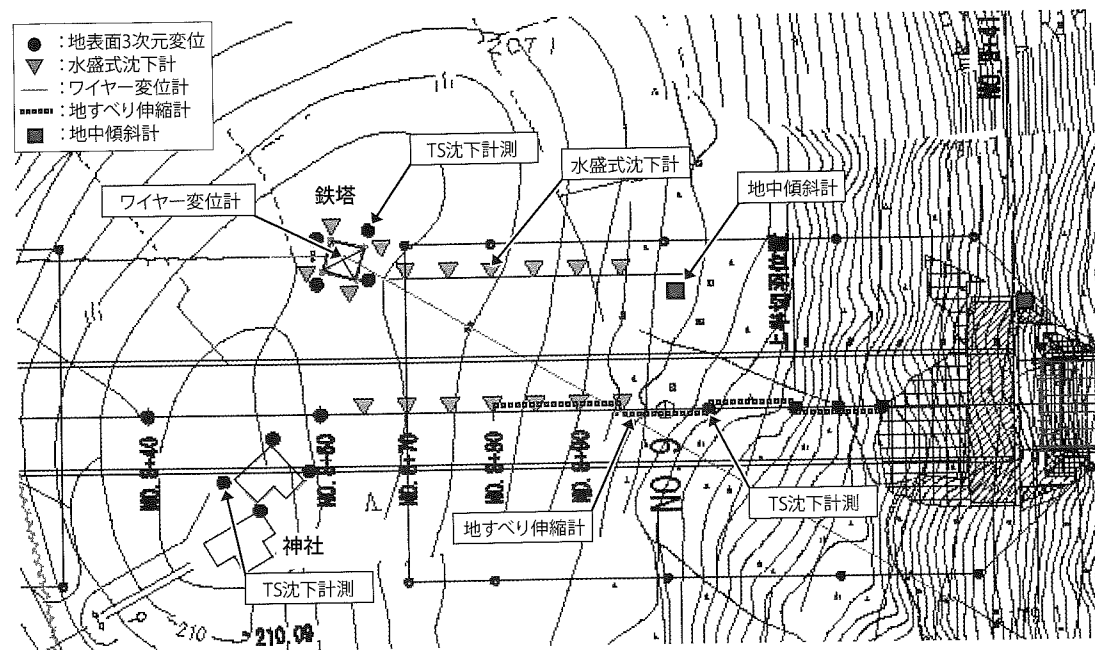


図-11 近接施工部 計器配置図<sup>2)</sup>

### 4-3 計測管理

#### 4-3-1 計測管理計画

図-10に示すように、トンネル中間部の地表には送電中の高圧鉄塔および神社が近接しており、追加対策工を実施したあとに、これらの近接構造物への影響を把握する目的で、以下に示す追加計測を実施した。

- ① 鉄塔の根開き(水平変位, 鉛直変位(鉄塔基礎部))
- ② 鉄塔の絶対沈下量(鉄塔基礎部)
- ③ 神社の絶対沈下量(周辺地盤部4隅)
- ④ トンネル直上地盤の鉛直変位

図-11に示すとおり、トンネル直上および鉄塔のラインに5mピッチで地表面沈下測定用の測点を設置し、鉄塔および神社の基礎(4隅)には沈下測点(3次元測定用プリズム)を設けた。

また、地表面のすべり挙動を把握する目的で地すべり伸縮計を4測線設置し、地中の変位分布を確認する目的で地中傾斜計を2か所設置した。なお、計測工の管理基準値が小さいため、近接構造物における計測器に関しては、鉛直には水盛式沈下計(測定最小単位:0.1mm)を、水平変位はワイヤ式変位計(測定最小単位:0.025mm)を採用した(写真-12)。

計測管理システムに関しては、自動計測システムを導入し、トンネル掘削時は、現場付近に設置する計測物置内のパソコンにより自動制御、自動収録するとともに、モバイル通信回線を使用して現場事務所へ計測データを転送することにより、常設モニターにて1回/時間の頻度でリアルタイムに

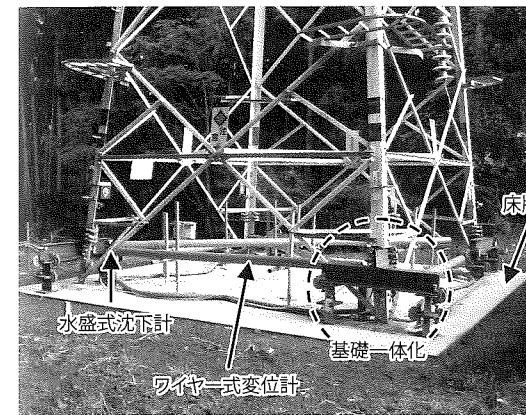


写真-12 鉄塔基礎計測状況

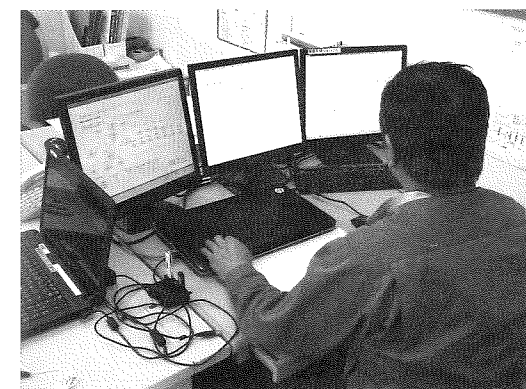


写真-13 計測管理統合システム管理状況

変位量を監視する統合管理システムとした。これにより、掘削時の地表面への影響および管理値超過の有無を確認し、必要な追加対策を速やかに実施する情報化施工が可能となった(写真-13)。

表-5に近接構造物における管理基準値一覧を、図-12に計測結果にもとづく追加対策検討フローを示す。なお、高圧鉄塔基礎の根開き(相対変位)は、実測の鉄塔基礎頭部脚間の離れL=4.148m

表-5 近接構造物における管理基準値一覧<sup>2)</sup>

計測対象	計測項目	許容値	注意レベルI 許容値の1/2	注意レベルII 許容値の2/3	注意レベルIII 許容変位量
鉄塔	根開き鉛直方向 相対変位	3.5mm	1.7mm	2.3mm	3.5mm
	根開き水平方向 相対変位	5.2mm	2.6mm	3.4mm	5.2mm
	絶対沈下量	25mm	12mm	16mm	25mm
神社	鉛直相対変位	7.6mm	3.8mm	5.1mm	7.6mm
	鉛直変位	25mm	12mm	16mm	25mm

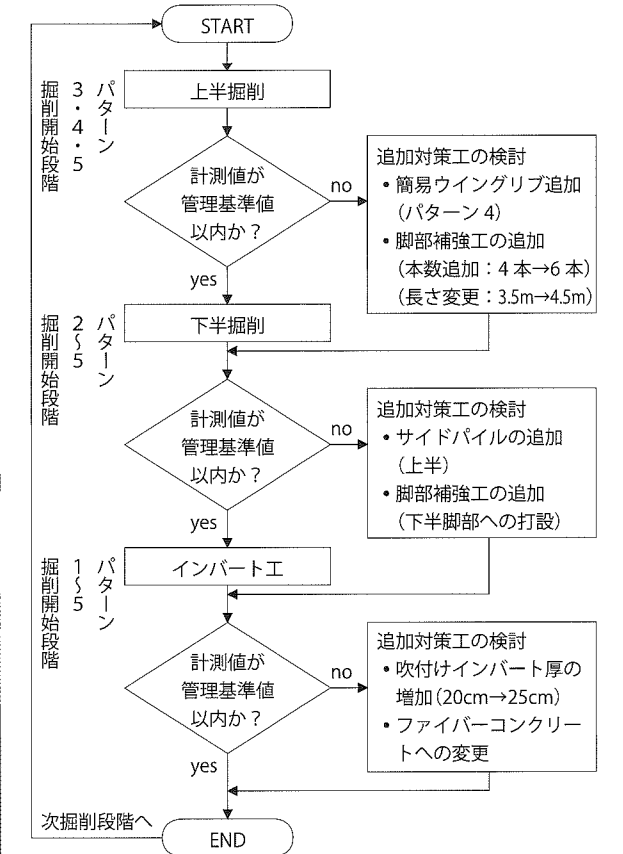


図-12 計測結果にもとづく追加対策検討フロー<sup>1)</sup>

を考慮して求めた脚部間の相対変位である(鉛直1/1,200, 水平1/800)。一方, 神社の根開き(相対変位)は, 神社周辺に設置した測点の離れ $L=7.6$  mから求めた相対変位(鉛直1/1,000)である。

4-3-2 計測結果と考察

(1) 坑内計測結果

図-13に天端沈下と内空変位の相関を示す。坑内変位は天端沈下が卓越した変位モードとなっていることがわかる。また, 終点側坑口斜面付近(パターン①~③)では, 図-14に示すように天端沈下と脚部沈下が同程度発生している。斜面の影響を受けて注意レベルⅢを超える大きな沈下量が発生しているが, 近接区間(パターン④)では, 補助工法の効果により, トンネル直上の地表面沈下は50mm以下に収まっている。

(2) 地表面沈下測定結果

図-15に近接施工区間の経距変化を示す。先行変位はおおむね3D(42m)付近から生じており, その後, 切羽の進行とともに沈下量が増大し, インバート施工時の影響も最大で10mm程度発生している。

しかしながら, 坑口部分では斜面の影響もあり, 100mm程度の沈下量であったのに対して, 絶対値では50mm以下で収まっており, 補助工法の効果が確認された。なお, 切羽離れ2D以降は収束傾向が見られた。

(3) 近接構造物計測結果

1) 高圧鉄塔

前述のとおり, トンネル直上の近接構造物に関しては, 慎重な計測管理が必要となったが, 鉄塔の根開き(相対変位)については, 上半切羽が鉄塔直下のときに, 水平変位が最大で0.7mm(注意レベルⅠ以下), 鉛直変位が2.5mm(注意レベルⅡ~Ⅲ)となった。なお, 切羽の進行とともに相対変位も増大し, 最大で3.4mm/3.5mm(鉛直)であった。

解析結果と比較すると, 地表

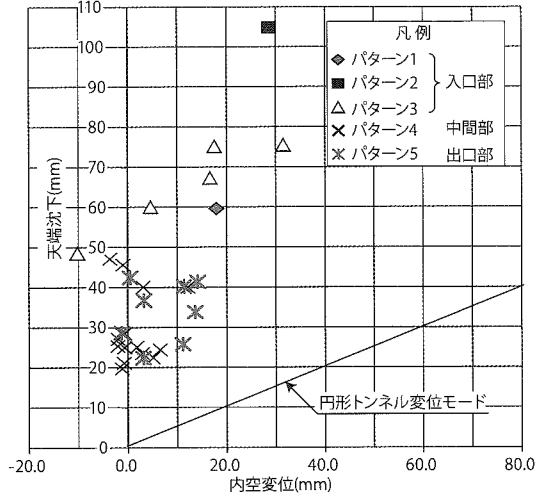


図-13 計測結果(天端沈下と内空変位の相関)<sup>2)</sup>

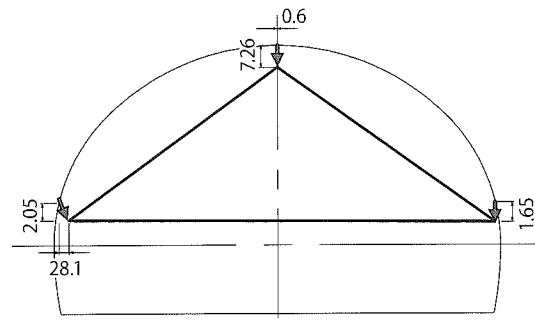


図-14 坑内変位モード(No.9+20)

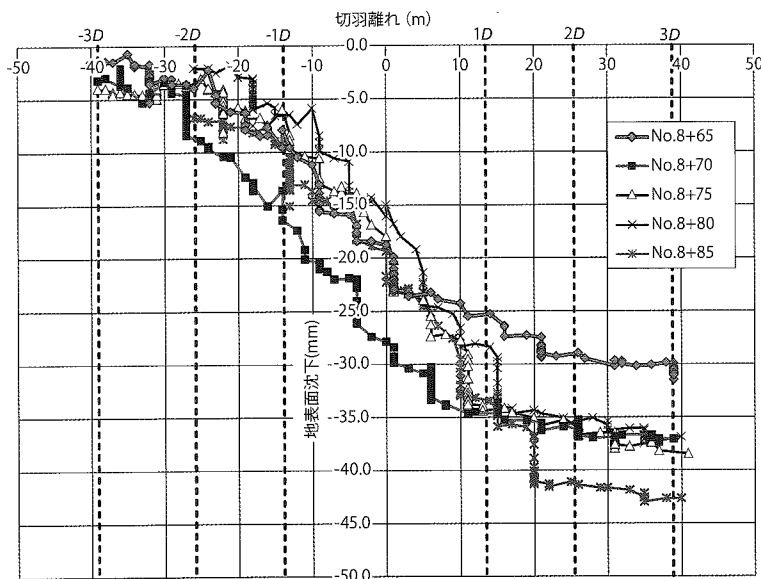


図-15 計測結果(地表沈下経距変化)<sup>2)</sup>

面沈下は, 上半切羽が鉄塔直下の時点で, トンネル直上が21.3mm(実測)/25.3mm(解析), 鉄塔ラインが7.3mm(実測)/16.4mm(解析)であった。

2) 神社

図-16に神社周辺の地表面沈下測点の経距変化を示す。先行変位はおおむね切羽手前-3D(-42 m)付近から生じており, その後, 切羽の進行とともに沈下量が増大している。沈下量自体はトンネルの軸線に近い測点Aがもっとも大きく, 最終沈下量が19.3mm(許容値25mm)であった。しかしながら, どの測点についても絶対値では25mm以下で収まっており, 補助工法の効果が確認された。

なお, 切羽離れ3D以降は収束傾向が見られ, 鉛直相対変位に関しては最大で5.5mm(注意レベルⅢ:7.6mm)であり, 基準値内に収まった。

3) 計測結果のまとめ

表-6に近接構造物(高圧鉄塔, 神社)の計測結果についてまとめた。

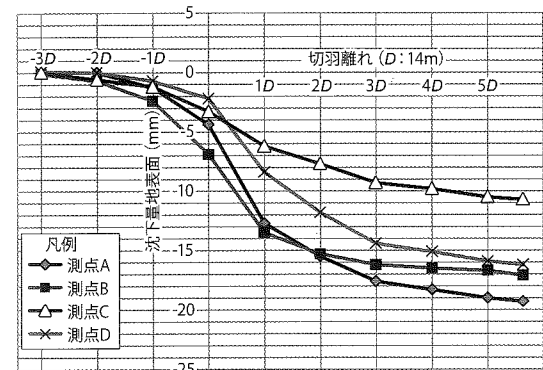


図-16 神社計測結果(経距変化)

表-6 近接構造物計測結果一覧

計測対象	計測項目	許容値	実測値
鉄塔	根開き鉛直方向相対変位	3.5mm	3.4mm (ほぼ注意レベルⅢ)
	根開き水平方向相対変位	5.2mm	0.7mm (注意レベルⅠ以下)
	絶対沈下量	25mm	18.6mm (注意レベルⅡ~Ⅲ)
神社	鉛直相対変位	7.6mm	5.5mm (注意レベルⅡ~Ⅲ)
	鉛直変位	25mm	19.3mm (注意レベルⅡ~Ⅲ)

高圧鉄塔に関しては, 基礎の頭部に床版を設置し, 頭部を固定したことにより, 水平方向の変位拘束が高まり, 水平方向相対変位は小さい値(0.7mm/5.2mm)で収まった。鉛直方向に関しては, 鉛直相対変位が3.4mm/3.5mmと注意レベルⅢ程度まで変位したが, 床版の設置により, 頭部が一体として変位する挙動が見られ, 切羽通過後は切羽に引張られるように小さくなった。絶対沈下量としても18.6mm/25mmで許容値内で収まった。

一方, 神社に関しては, 基礎周辺の地山の沈下量を測定したが, 鉛直相対変位が5.5mm, 絶対沈下量が19.3mmで, ともに注意レベルⅡ~Ⅲで収まった。

4-4 新技術の適用

4-4-1 安全の見える化

トンネル施工に伴う上部斜面の挙動をリアルタイムで監視し, 作業員の安全を確保する目的から, 計測結果を現地で見える化した(写真-14)。

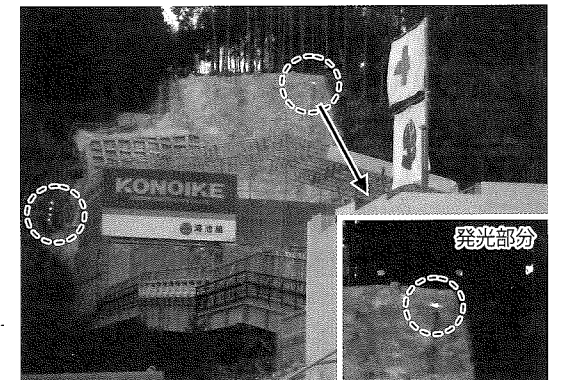


写真-14 安全の見える化実施状況<sup>2)</sup>

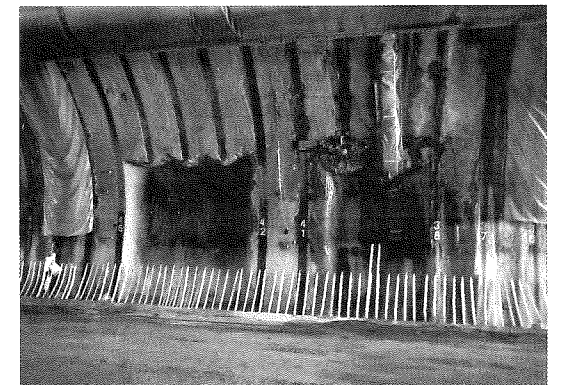


写真-15 安全の見える化実施状況

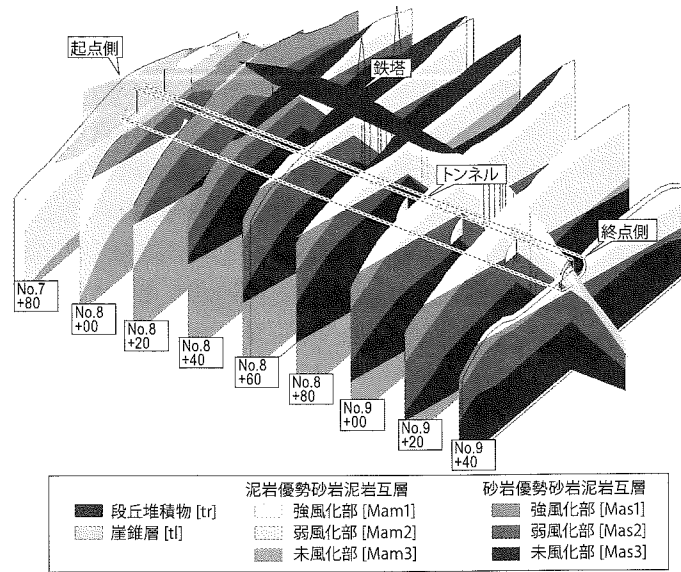
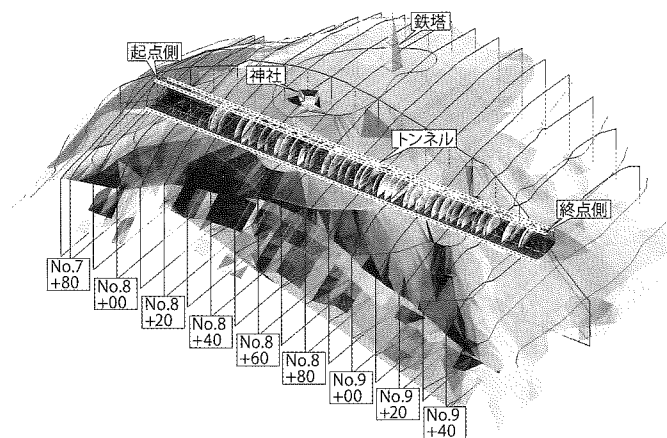


図-17 CIM (3次元地質モデル)

図-18 CIM (3次元地質モデル)<sup>9)</sup>

なお、作業員に対する安全研修により、計測値とその表示色との関係にもとづく安全性の確認方法を説明し、作業員自ら安全性を確認して作業できるよう指導した。また、トンネル坑内では、支保変状部や大型箱抜き部の施工時に、変位を直接光の変化で把握できるよう、光る変位計を設置した(写真-15)。

#### 4-4-2 CIMによる切羽前方地質予測

既存の地質調査結果に加え、追加実施したトンネル全線にわたる水平ボーリングと鉛直ボーリン

グの結果にもとづき、地質構造の推定を行い、3次元地質モデルを構築し、トンネル掘削時に得られた切羽状況により3次元地質モデルを随時修正することにより、切羽前方の地質状況を把握することができた(図-17, 18)。

本トンネルの地山は砂岩・泥岩の互層で、設計に比べて全体的に脆弱な状態で、直上に小土かぶりで近接する高压鉄塔があったことから、切羽安定対策としての補助工法の適用範囲の判断に活用できた。

## 5 おわりに

今回、施工時に脆弱な地山であることが判明し、補助工法を含むトンネル設計の見直しを行った。その結果、小土かぶりで高压鉄塔および神社に近接するという厳しい施工条件において、地山挙動に応じた適切な補助工法を選定し、綿密な計測管理にもとづき施工を進めたことにより、近接構造物への影響(基準値内で収束)を最小限に抑えた施工ができた。

また、安全の見える化やCIMによる切羽前方地質予測といった新技術の適用により、工事中の安全性が向上した。今回の報告が今後の同種工事に参考になれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 山田浩幸・安田裕輔・村島雅征・宮下邦彦：脆弱地山での神社・鉄塔直下における補助工法の設計と施工に関する一考察，第71回土木学会年次講演会，pp. 829-830，2016。
- 2) 山田浩幸・安田裕輔・村島雅征・宮下邦彦：脆弱地山における神社・鉄塔近接施工時の補助工法の設計と施工に関する一考察，第26回トンネル工学研究報告集，Vol.26，I-23，pp.1-8，2016.11。

# 施工

## 影響予測解析による離隔約5mで並行するI期線トンネルへの影響低減対策

### —東海北陸自動車道 上野第一トンネル—

中日本高速道路(株)名古屋支社岐阜工事事務所高鷲荘川工事長 今塩屋 勝  
 中日本高速道路(株)名古屋支社岐阜工事事務所高鷲荘川工事区 吉川 真仁  
 大成建設(株)上野トンネル工事作業所所長 高橋 聡 尚  
 大成建設(株)上野トンネル工事作業所工事課長 篠崎 哲明

## 1 はじめに

東海北陸自動車道は、愛知県一宮市を起点とし岐阜県を經由して富山県砺波市へ至る総延長185kmの高速自動車国道である。上野第一トンネルは、白鳥IC～高鷲IC間に位置する延長527mのトンネルである。

上野第一トンネルの平面図を図-1に、縦断図を図-2に示す。

上野第一トンネルは、4車線化事業により、暫定2車線で供用しているI期線トンネルの隣にII期線トンネルを掘削する計画となっている。トンネルの起点側は偏圧地形が連続しており、II期線は谷側を通るため、土かぶりをある程度確保するために、II期線をI期線側に寄せる必要があった。そのため、供用中のI期線トンネルとの離隔は小さくなり、図-3に示すように最接近断面の離隔は約5mの近接施工となっている。

供用中のI期線トンネルとの近接度区分はNEXCO中日本『設計要領』に定める「直接影響領域」(道路中心より2.0D)となっている。そのため、近接施工に伴いI期線トンネルへ影響を及ぼすことが考えられた。

I期線トンネルの覆工コンクリートに影響が及ばないように、事前に解析的な検討を行い、補助工法に必要な検討を行うことで安全に掘削を進める必要があった。

トンネルは、終点側から起点側に向かって掘削することで、間接影響領域を掘削したあとに、直接影響領域の掘削を行うこととした。さらに、II期線トンネルの計測結果をもとに数値解析の入力条件を見直し、I期線トンネルの覆工応力が管理基準値に収まるように計測管理を行い、適切な補助工法を選定した。

## 2 地形および地質概要

地質は火山角礫岩を主体としており、表層部にローム層や崖堆積物が1～3m程度分布する。マトリックスの凝灰岩は表層部に近づくと同礫とマトリックスが分離しやすく、さらに未固結部を伴う。

また、ボーリングコアでは直径20～60cmの安山岩巨礫を確認しており、周囲で産出した礫径では直径2mのものが残置されている。切羽には中規模の玉石(直径50cm～1m程度)が全体に散在している。

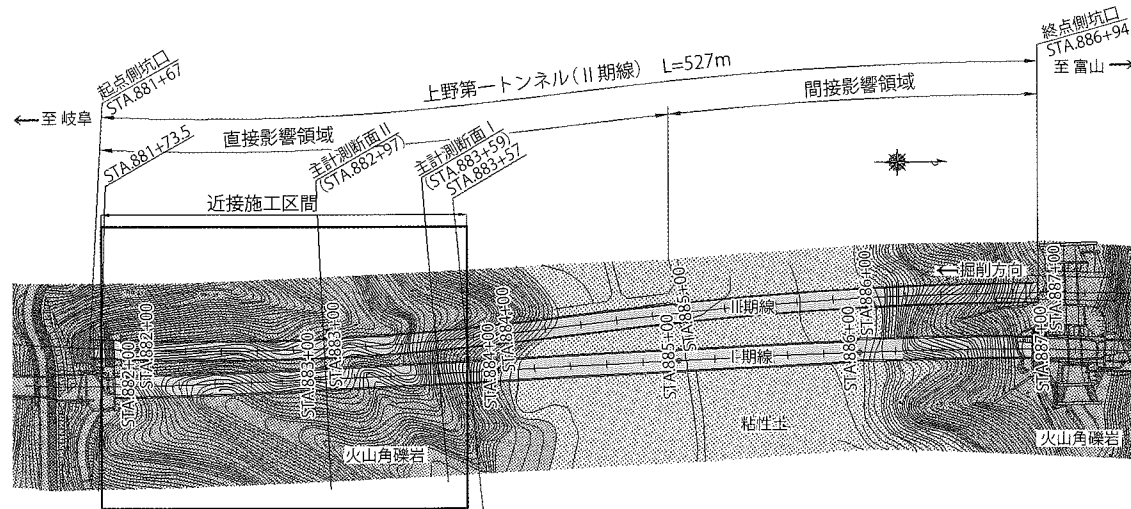


図-1 上野第一トンネル平面図

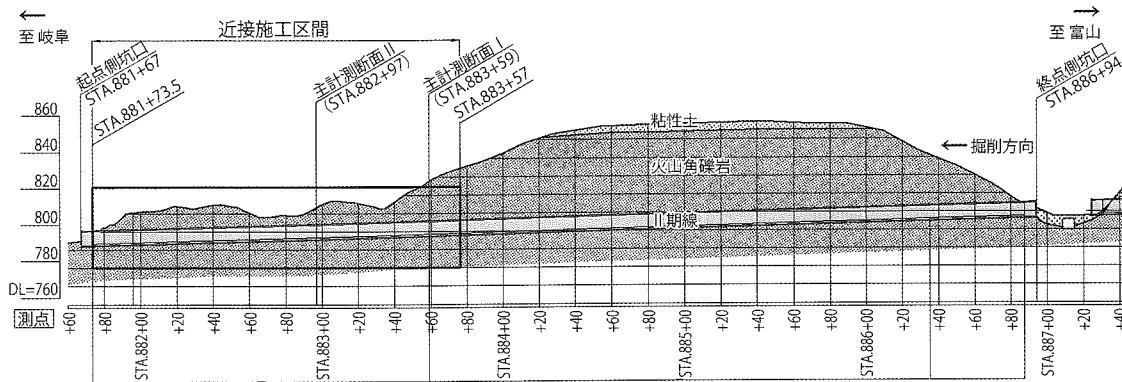


図-2 上野第一トンネル縦断面

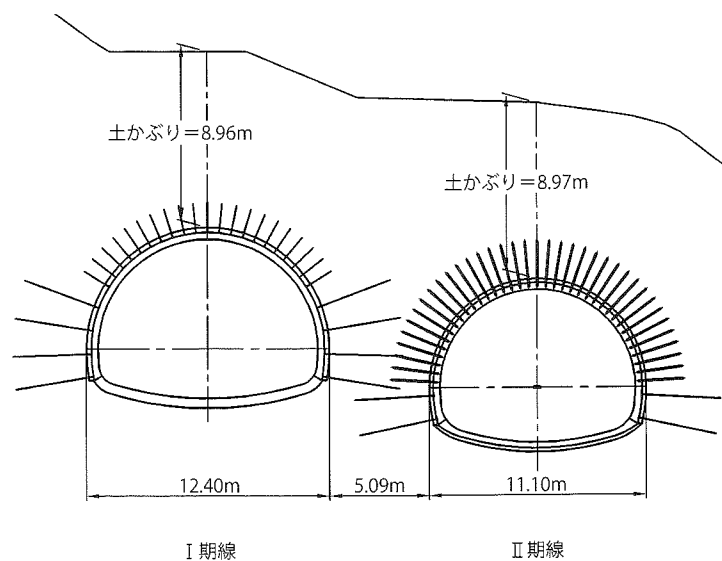


図-3 最接近断面の断面図

近接施工区間の土かぶりは5~12m程度であるが、II期線側は谷部となっており、谷側のトンネル肩部のかぶりが、最小で約3mと極端に小さくなることから、偏土圧が作用する懸念があった。

I期線の施工湧水記録から勘案すると、掘削時の湧水は滴水程度であると考えられた。ただし、豊水期における施工では、土かぶりが急激に増す付近において湧水を伴う可能性があった。よって、切羽に湧水が付くとマトリックスの凝灰岩が緩み、切羽の自立性が悪くなる懸念された。

### 3 計測の概要

図-1,2に示すように、近接施工区間では主計測断面を2つ設けて、I期線覆工への影響を監視した。主計測断面I(以下、「検証断面」)は、支保パターンがDIからDIIIに変わる断面(STA.883+59)とし、土かぶりは約25m(2D)である。トンネル離隔は徐々に狭くなっており約6.4mである。

主計測断面II(以下、「最接近断面」)は、離隔が約5mでII期線トンネルがもっともI期線トンネルに接近する断面(STA.882+97)とし、土かぶりは約9.0mである。最接近断面で実施する計測工図を図-4に示す。なお、検証断面の計測図もほぼ同様な計測内容となっている。

I期線トンネルの覆工応力計は約60mごとに、A計測は10mごとに計測することになっていたが、より慎重な施工と計測が必要と判断し、覆工応力計は約30mごとに、A計測は5mごとに計測するよう見直した。覆工応力はひずみゲージを貼付け、得られた測定値を応力に換算するが、計測したコンクリートの応力値は非常に小さく、温度の影響を受けるため、追加の計測項目について検討した。

II期線トンネル掘削による影響を切羽到達前から把握するために、追加の計測項目として、I期線内に写真画像を用いた内空変位測定と、中間地山部に傾斜計と層別沈下計を設置した。

画像計測は、各測点に固定した反射式ターゲットを測定断面近傍に設置したデジタルカメラでフラッシュ撮影し、画像解析を行い、各測点間の距離を算出するものである。

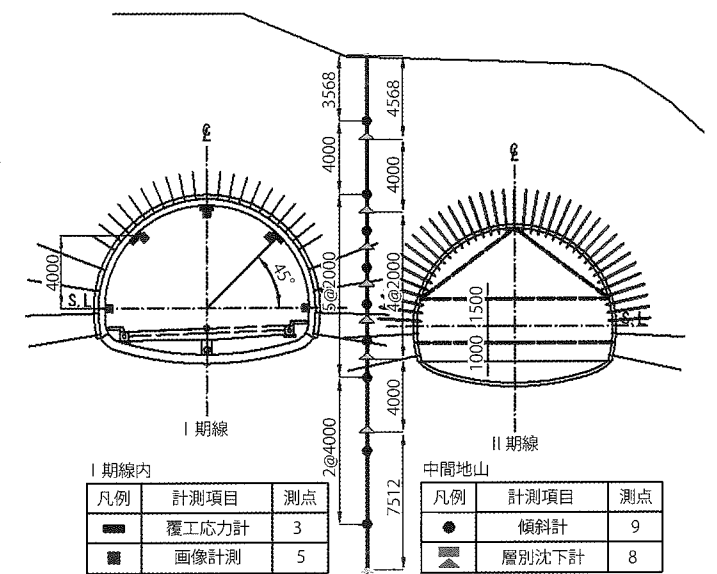


図-4 計測工図(最接近断面: STA.882+97)

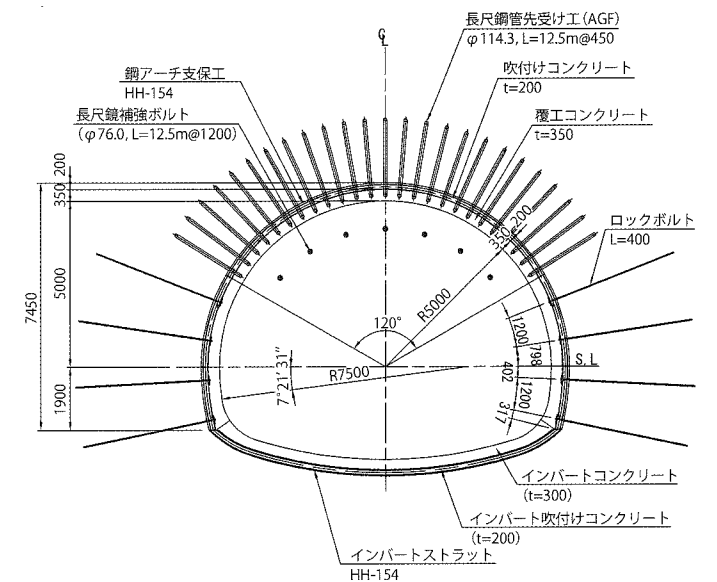


図-5 II期線の支保パターン図(AGF120°の場合)

### 4 施工計画

#### 4-1 支保パターン・補助工法

II期線トンネルは終点側から起点側に向かって掘削した。II期線トンネルの近接施工区間ではDIIIパターンが採用されている(図-5参照)。当初設計では、先受け工は長さ3mのフォアポーリン

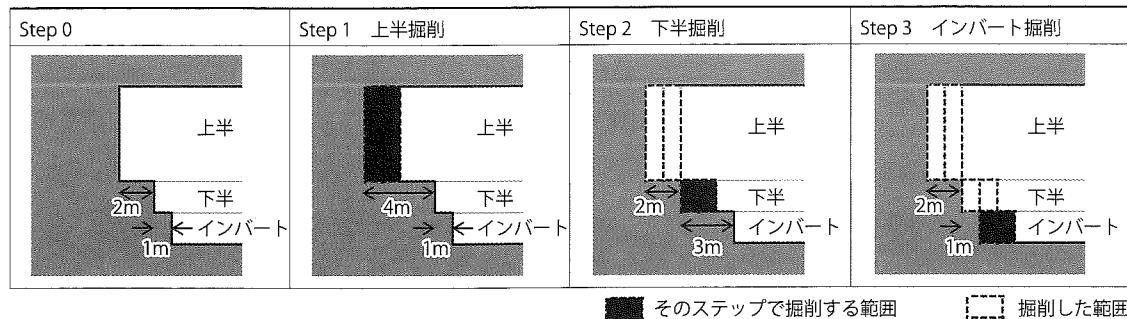


図-6 掘削ステップ図

グで、120°の範囲に施工することとしたが、I期線覆工への影響を抑えるために長尺鋼管先受け工に変更した。

長尺鋼管先受け工の打設範囲はI期線への影響度合いに応じて120°~180°とした。図は120°の場合を示している。

長尺鋼管の長さは12.5m、1シフト長は9mを基本としたが、I期線との離隔が狭い区間は、I期線側の長尺鋼管先受け工の長さ、1シフト長を短くして、鋼管の先端がI期線のロックボルトに干渉しないようにした。

II期線トンネルの切羽の安定を確保するために、長尺鏡ボルトと鏡吹付けコンクリート(t=5cm)を行った。

また、当初設計ではインバートは吹付けコンクリートのみであったが、鋼製のインバート支保工を追加した。

4-2 掘削工法

II期線トンネルでは、補助ベンチ付き全断面掘削により、トンネルを早期に閉合し、変形を抑制する掘削工法を採用した。図-6に掘削ステップを示す。上半と下半の切羽離れを2m、下半とインバートの切羽離れが1mの状態(Step0)から、上半を2m進め(Step1)、下半を2m(Step2)掘り、インバートを2m掘削する(Step3)サイクルをくり返す。

I期線トンネルは、補助ベンチ付き全断面掘削工法が採用され、インバートは上下半掘削完了後に施工した。

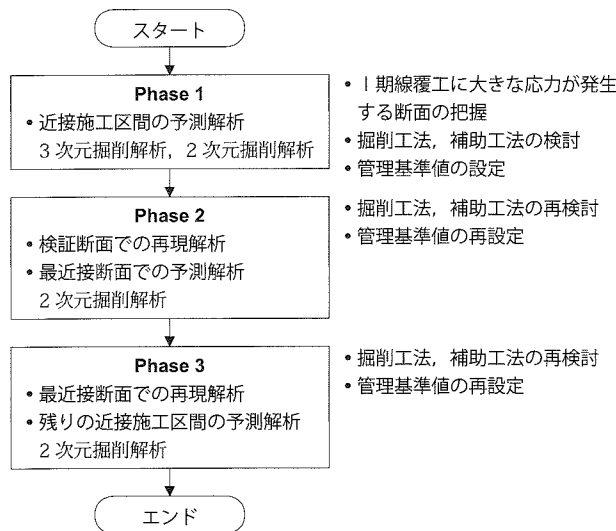


図-7 検討フロー図

5 検討の流れ

検討フローは図-7に示すように、3つの段階を踏んで検討を実施した。

Phase 1として近接施工区間を掘削する前に、3次元掘削解析および2次元掘削解析によって予測解析を行った。地形やトンネル間の離隔が断面ごとに変化するため、近接施工区間で3次元掘削解析を用いて、I期線覆工の応力をもっとも大きくなる断面を把握した。また、2次元掘削解析により掘削工法、補助工法の検討を実施した。予測解析で入力した地山の物性値はI期線の施工時の計測データから求めた値を使っていたため、入力物性値の妥当性を検証するために、Phase 2として検証断面の計測結果を用いて2次元掘削解析により再現解析を行い、地山の物性値を同定した。そ

の物性値を使って最接近断面の予測解析を行い、掘削工法、補助工法を検討し、管理基準値を設定した。

上半切羽が最接近断面の1m手前まで掘削したときに、傾斜計の値が管理基準値IIを超えたため、掘削を中断した。I期線覆工の健全性の確認を行うため、最接近断面で得られた計測データを用いて最接近断面の管理値を再設定した。切羽が計測断面を通過していないため、Phase 3として切羽通過後の収束した計測データを用いて地山の物性値を同定し、以後に掘削する残りの近接施工区間の管理基準値を設定した。

6 予測解析

6-1 解析条件

6-1-1 地山のモデル化と物性値の設定

3次元掘削解析は、モール・クーロンの降伏関数にもとづいた弾塑性要素として、地山をモデル化した。2次元掘削解析では、電中研方式の非線形弾性要素でモデル化した。地山の物性値はI期線掘削時に得られた計測データから算出した変形係数の推定値をもとに決定する。

図-8に近接施工区間の検討区間分けとI期線掘削時に算出した変形係数の分布図を示す。検討区間①~④で代表断面を設けて2次元掘削解析を実施するための代表断面の地山の物性値と断面の選定理由についてまとめたものを表-1に示す。

変形係数以外の物性値は、地山等級に応じた代表値を採用するものとし、安全側を考慮しDIIの値とした。3次元掘削解析では、地山の変形係数を近接施工区間全体の平均値である250MPaとした。

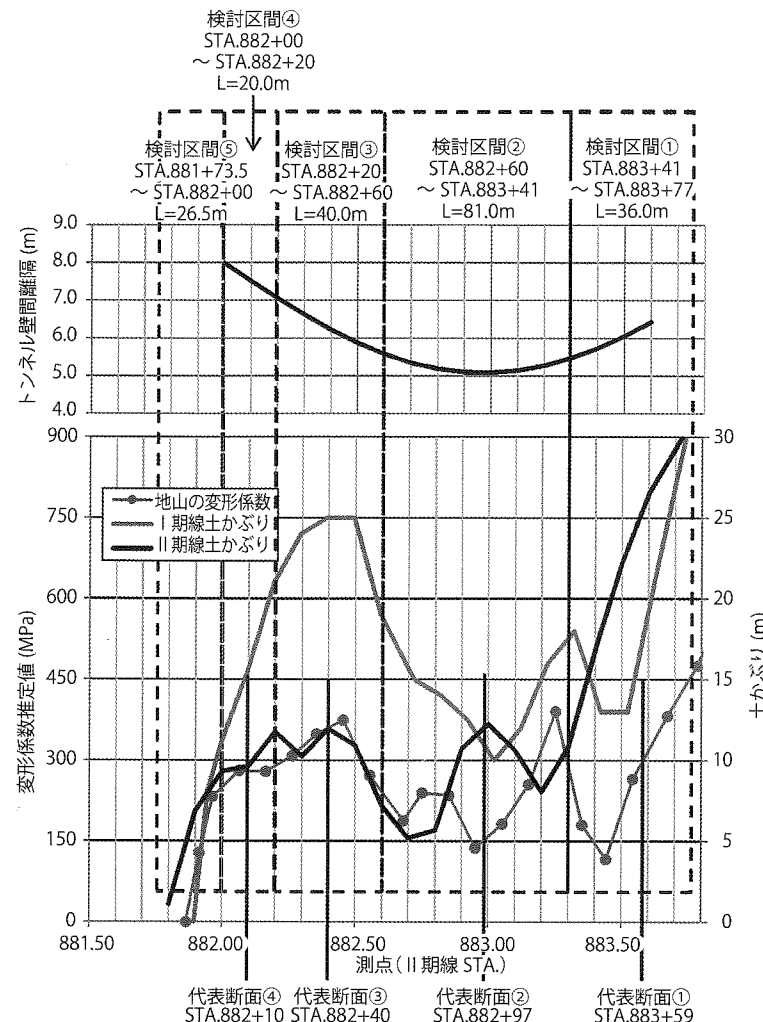


図-8 近接施工区間の区間分けと地山の変形係数

表-1 代表断面の地山の変形係数と選定理由

代表断面	位置 (II期線距離)	変形係数 (MPa)	選定理由
①	STA.883+59	300	D I と D III の境界
②	STA.882+97	220	最接近断面
③	STA.882+40	320	検討区間の中央
④	STA.882+10	280	検討区間の中央

6-1-2 支保のモデル化と物性値の設定

トンネルの支保部材については、吹付けコンクリートをビーム要素(3次元掘削解析ではシェル要素)、鋼アーチ支保工、ロックボルトをビーム要素でモデル化する。I期線トンネルの覆工および

インバートについては、ビーム要素(3次元掘削解析ではシェル要素)でモデル化する。

長尺鋼管先受け工は、改良範囲の物性値を変更する方法により行うものとし、先受け鋼管と改良範囲の地山を等価な剛性を持つものとしてモデル化する。その際、注入改良地盤の剛性は、鋼管の剛性に比べて非常に小さいため、これを無視する。長尺鋼管先受け工は10°上向きに打設するため、改良範囲をトンネル壁面から2mとする。

6-1-3 I期線トンネル覆工の増分応力の許容値および弾性係数

覆工増分応力の許容値は、表-2より算定する。I期線トンネル覆工の健全度は事前調査結果より「B, OK」である。増加応力の許容値は圧縮応力が7.5N/mm<sup>2</sup>、引張応力が1.5N/mm<sup>2</sup>となる。解析に用いるI期線覆工の弾性係数は、設計基準強度との関係より、2.55×10<sup>4</sup>(N/mm<sup>2</sup>)とする。

表-2 覆工増加応力の許容値の目安

既設トンネル覆工の健全度判定区分	増加圧縮応力 (N/mm <sup>2</sup> )	増加引張応力 (N/mm <sup>2</sup> )
B, OK	0.3σ <sub>ck</sub>	0.06σ <sub>ck</sub>
A	0.2σ <sub>ck</sub>	0.04σ <sub>ck</sub>
AA	0.1σ <sub>ck</sub>	0.02σ <sub>ck</sub>

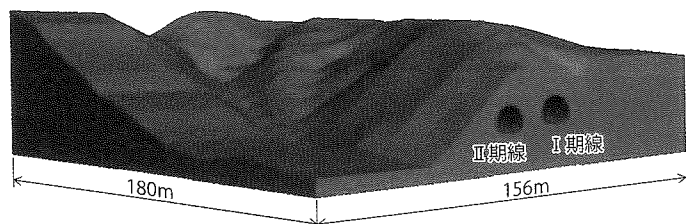


図-9 3次元解析モデル図

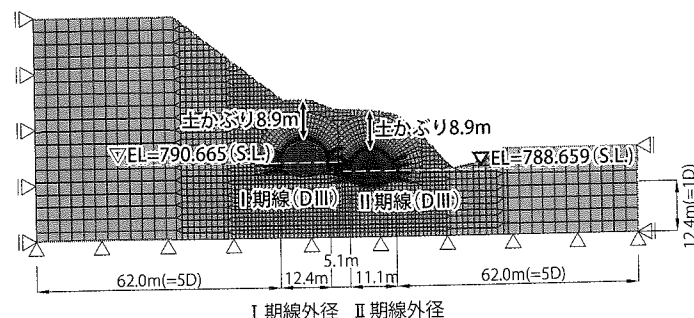


図-10 2次元解析モデル図(最接近断面: STA.882+97)

6-1-4 解析モデル

図-9に3次元解析モデル図を示す。起点側の坑口盛土付近を除いたSTA.881+96~STA.883+76の180m間とする。図-10に最接近断面(STA.882+97)の2次元解析モデルを示す。小土かぶりであるためリバウンド量が多くなることを考慮し、下方領域は1Dとした。

6-1-5 解析ステップ

解析ステップは図-6に示す実際の掘削手順と同じで、3次元掘削解析では、I期線トンネルを起点側から掘削後、終点側からII期線トンネルを掘削するように解析を行う。2次元掘削解析では特性曲線を用いて掘削解放率を設定した。補助ベンチ付き全断面掘削でインバートを早期閉合するため、掘削解放率は上半, 下半, インバートで別々に設定した。

6-1-6 解析ケース

2次元掘削解析では、長尺鋼管先受け工を120°の範囲で採用した場合、I期線側のSLまで範囲を拡げた150°の範囲で実施した場合で検討した。また、通常の9mシフトの場合と、4mシフトですべての断面で2重(ダブル)となる場合を考えた。

6-2 解析結果

6-2-1 3次元掘削解析の結果

30mごとに選定した代表箇所5か所でI期線覆工に発生する増分応力をまとめた結果を表-3に示す。長尺鋼管先受け工を採用していない場合の結果である。許容値を超える箇所もあり、長尺鋼管先受け工などの補助工法を適用する必要がある。また、最接近断面の前後30mの範囲で覆工の増分応力が大きくなっている。そのため、最接近断面を着目断面とする。

6-2-2 2次元掘削解析の結果

図-11,12に解析結果を示す。トンネル変形図ではII期線トンネル掘削によってI期線は横に広がる変形をする。I期線覆工の増分応力では、長尺鋼管先受け工を150°の範囲に打設してい

表-3 I期線覆工の増分引張応力

(単位: N/mm<sup>2</sup>)

	STA. 892+07	STA. 892+37	STA. 892+67	STA. 892+97 最接近部	STA. 893+27
内空側	-0.74	-0.95	-1.18	-1.13	-1.08
地山側	-0.61	-0.85	-1.63	-1.78	-1.98

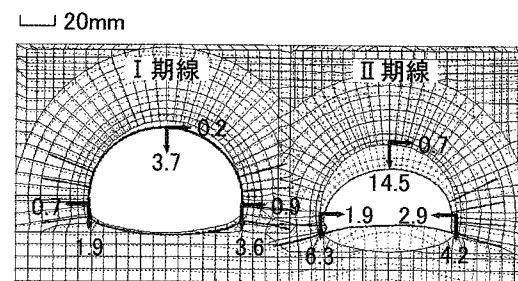


図-11 トンネル変形図(検証断面: 150°)

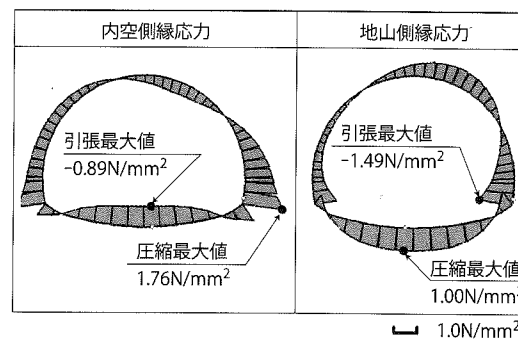


図-12 I期線覆工応力図(検証断面: 150°)

ため、引張の許容値1.5N/mm<sup>2</sup>以下の発生応力となっている。

I期線の覆工増分応力が許容値以下となる長尺鋼管先受け工は、最接近断面がある検討区②では、150°ダブルにする必要があり、検討区①と検討区③では150°シングルが必要となる。また、検討区④では必要ない結果となった。いずれの区間でも補助ベンチ付き全断面掘削によるインバート早期閉合を行う。

7 検証断面の再現解析と最接近断面の予測解析

地山物性値の妥当性を確認するために検討区①(STA.883+41~+77: L=36m)にあるSTA.883+59の計測値と解析値の検証を行い、計測結

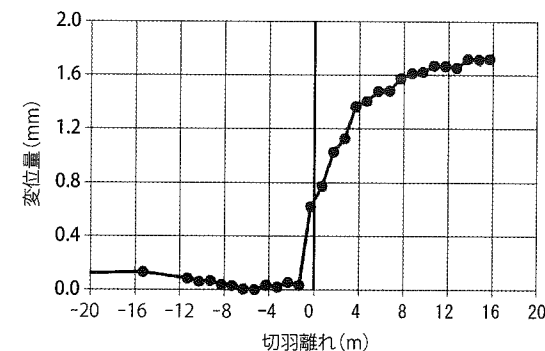


図-13 傾斜計の経距変化図

果を再現した。この再現解析をもとに、以後の近接施工区間で予測解析を行い対策工の検討を行った。

7-1 計測結果の分析

I期線覆工への影響を把握するために、傾斜計とII期線A計測に着目して検討を行う。I期線はII期線のほぼ真横にあるため、中間地山の水平方向の変位計測によってI期線への影響を把握することができる。また、II期線A計測は、計測断面を多く設けることができ、連続的に地山の挙動を捉えることができる。A計測は主計測断面以外ではメインの計測項目となることから、A計測結果とI期線覆工増分応力の関係を把握しておくことが重要である。

I期線内の計測項目(覆工応力計, 画像計測)の計測値は値が小さくばらつきがあるため、参考値とし、大きな動きがないことを確認するために用いた。

7-1-1 傾斜計

切羽の進行に伴う変位の経距変化を図-13に示す。最大変位を示す測点の結果である。切羽が計測断面の1m手前に来るまでほとんど変形せず先行変位が抑制されていることがわかる。

傾斜計の計測結果より先行変位が抑制されていることがわかった。そこで、特性曲線を変化させて傾斜計の経時変化と同様な特性曲線を求めた。

7-1-2 II期線トンネルのA計測

表-4に計測結果と予測解析の結果を示す。予測解析との比較では、天端沈下はほぼ等しいが、上半の内空変位は、計測結果の方が予測結果より

表-4 II期線トンネルA計測(予測解析との比較)

	沈下量(mm)				
	天端	左肩	右肩	左脚	右脚
計測結果	-3.4	-3.1	-3.2	-3.0	-2.2
解析結果	-3.7	-1.5	-1.2	2.6	2.9

	内空変位量(mm)			
	上半水平	左斜め	右斜め	下半水平
計測結果	-3.9	-3.4	-2.0	-4.0
解析結果	-1.0	-1.5	-2.1	-0.1

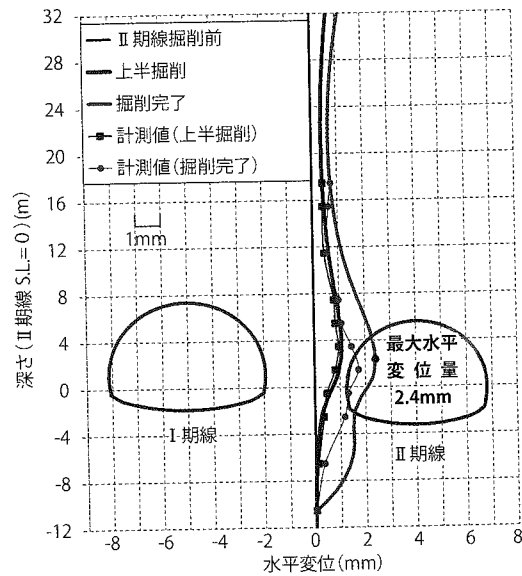


図-14 I期線覆工応力図(再現解析との比較)

も大きい。再現解析では、側圧係数を大きくする必要があると思われる。

7-2 検討区間の再現解析

計測結果と予測解析結果を比較し、以下に示す解析条件の見直しを行う。

7-2-1 掘削解放率の見直し

前述のように、傾斜計の計測結果と予測解析の結果では先行変位の割合が大きく異なったため、切羽到達までの解放率を小さくして、傾斜計により計測された水平変位の経時的な変位と合うように特性曲線を求めた。

7-2-2 側圧係数の見直し

A計測の変位モードが異なっていたことから、計測データに合うように側圧係数を大きくする。

表-5 II期線トンネルA計測(再現解析との比較)

	沈下量(mm)				
	天端	左肩	右肩	左脚	右脚
計測結果	-3.4	-3.1	-3.2	-3.0	-2.2
解析結果	-3.3	-1.9	-1.7	0.4	0.4

	内空変位量(mm)			
	上半水平	左斜め	右斜め	下半水平
計測結果	-3.9	-3.4	-2.0	-4.0
解析結果	-3.9	-2.2	-2.8	-2.6

予測解析では側圧係数0.50を用いていたが、II期線A計測の天端沈下と内空変位の割合が計測値と等しくなるように側圧係数を変化させた結果、0.85がもっともよく一致した。

7-2-3 変形係数の見直し

傾斜計、II期線A計測結果と合うように変形係数を変化させて求めた結果、570MPaがもっともよく一致した。予測解析では、I期線の施工実績から変形係数300MPaを用いていたが、II期線では1.9(=570/300)倍となり、この倍率を今後の予測解析で用いることとした。

7-2-4 再現解析結果

上半掘削時と掘削完了時における傾斜計の水平変位の解析値と計測値の分布図を図-14に示す。

上半掘削時では、両者はよく一致している。掘削完了では、インバート掘削によるリバウンドの影響でトンネル下方の変位が大きくなっており、最大値は異なる結果となっている。ただし、I期線へ及ぼす影響を考えるとトンネル側方の変位に着目すべきである。トンネル側方では解析値と計測値には約0.7mmの差があるが、両者のモードはほぼ等しい。

I期線トンネルが全体に移動する場合は、I期線覆工には増分応力は作用しないため、I期線覆工に及ぼす影響については解析で評価できるものと考えられる。

表-5に計測結果と再現解析の結果を示す。天端沈下、上半内空変位は、よく一致する結果である。

7-3 検討区間②(最接近断面)の予測解析

検討区間①の再現解析の結果をもとに、今後掘

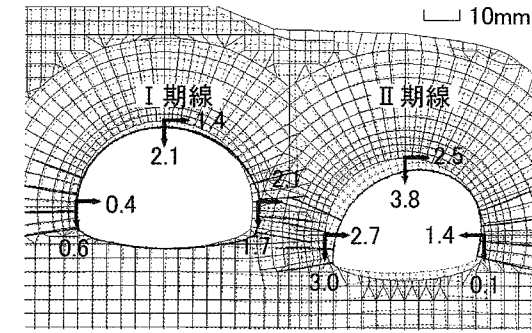


図-15 トンネル変形図(最接近断面:150°)

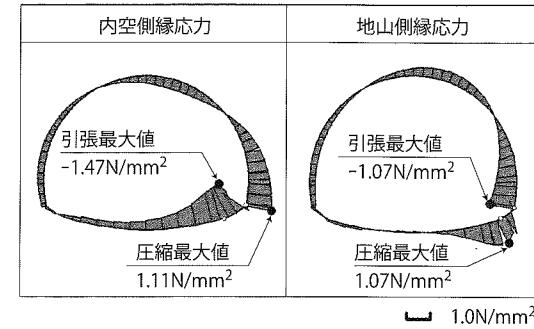


図-16 I期線覆工応力図(最接近断面:150°)

削する検討区間②の最接近断面の予測解析を行い、管理基準値の設定、補助工法の検討を行う。

7-3-1 解析条件

地山の変形係数は当初想定していた値の1.9倍となったため、I期線の施工実績より求めた変形係数推定値の平均値を1.9倍した値を解析で用いる。事前の予測解析では、変形係数を220MPaと想定していたが、今回は1.9倍して410MPaとする。

解析ケースは長尺鋼管先受け工がない場合、打設範囲が120°の場合、150°の場合の3ケースで行った。いずれのケースでも掘削工法は補助ベンチ付き全断面掘削とし、インバートは早期閉合した。その他の解析条件については、再現解析と同様にした。

7-3-2 解析結果

図-15,16に解析結果を示す。トンネル変形図では、II期線トンネル掘削によってI期線トンネルは全体的にII期線側に変形する。I期線覆工の増分応力では、許容応力1.50kN/mm²に対して、長尺鋼管先受け工を120°の範囲に打設するケースII

表-6 管理基準値の設定と施工時の対応

管理レベル	施工時の対応	設定根拠
I	計測頻度の増加	管理レベルIIIの50%
II	追加対策工の検討	管理レベルIIIの75%
III	工事中止 追加対策工の実施	予測解析の解析値

表-7 管理基準値一覧表

項目	管理基準値I	管理基準値II	管理基準値III	備考
II期線A計測(上半水平)	-2.0	-3.0	-4.0	縮みが負
傾斜計	1.5	2.2	2.9	II期線側への変位が正

(単位: mm)

では1.51kN/mm²と若干許容値を超えるが、120°範囲を採用し、切羽観測による地山の確認、管理レベルに応じた計測管理を行いながら、最接近区間の掘削を進めることとした。

7-3-3 検討区間②の管理基準の設定と施工管理体制

予測解析の結果から管理基準値を設定した。表-6に施工管理体制を、表-7に管理基準値のまとめを示す。

I期線トンネルへの影響は、水平変位が最も支配的であると考え、A計測は上半内空変位で管理する。

8 最接近断面の再現解析と今後の予測解析

8-1 施工実績まとめ

図に施工実績をまとめたものを示す。起点側のDIIIパターン区間はI期線に近接する区間である。補助工法として長尺鋼管先受け工および長尺鏡ボルトを行っており、インバートの早期閉合を採用している。

また、この区間は切羽の評価点も悪く、坑内変位も大きくなっている。

8-2 検討の概要

最接近断面に設置した中間地山部の傾斜計が管理基準値IIを超え、掘削を一時停止した。そのと

きの上半切羽の位置は、上半が最接近断面の1m手前である。

I期線トンネル覆工の健全性を確認するために、最接近断面の傾斜計、最接近断面手前のA計測結果を用いて再現解析を行い、補助工法の検討を行った。その結果、長尺鋼管先受け工の打設範囲を120°から180°に変更することでI期線覆工の増分応力が許容値以下になる結果となった。長尺鋼管先受け工を180°打設してから掘削を再開した。

再現解析は、最接近断面を切羽が通過していない段階で実施したため、最接近断面に設置した傾斜計の値が十分に出ていなかったため、インバートの切羽が最接近断面を過ぎた段階で、再び再現解析を行った。再現解析の結果をもとに今後の予測解析を行い、補助工法の検討と管理基準値の設定を行った。

本章では、切羽通過後の検討結果について示す。

### 8-3 最接近断面の再現解析

検証断面の再現解析と同様に、最接近断面の傾斜計およびII期線A計測の結果から、計測結果に合うように2次元掘削解析の解析条件を求めた。再現解析の結果、地山の変形係数は170MPa、側圧係数は0.88となった。また、傾斜計の計測結果から特性曲線を求めた。

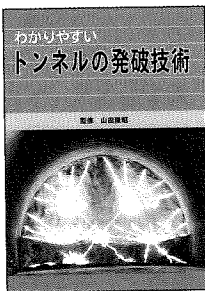
### 8-4 検討区②以後の管理基準値の設定と施工管理体制

検討区②以後は、傾斜計がないため、II期線A計測の上半水平変位で施工管理を行った。I期線覆工に発生する増分引張応力の値が、許容値の1.50N/mm<sup>2</sup>もしくは1.10N/mm<sup>2</sup>となるように、地山の変形係数を変化させ、そのときのII期線上半水平変位を解析で求め、それぞれ管理基準値III、管理基準値IIを定めた。

## 9 おわりに

上野第一トンネルのII期線工事では、I期線トンネルとの離隔が最小約5mとなる超近接施工であった。主計測断面を2断面設け、3次元掘削解析および2次元掘削解析により、計測結果と解析結果を比較し、その結果を次の施工に反映させる情報化施工を実施した。

補助工法として、長尺鋼管先受け工を採用し、補助ベンチ付き全断面掘削の早期閉合にて施工を行った。長尺鋼管先受け工と早期閉合はII期線トンネルの変位を抑えることで、I期線トンネルの変形を小さくし、健全性を確保することができたと思われる。既設構造物の近接施工対策として、今回採用した長尺鋼管先受け工と早期閉合は有効な補助工法であると考えられる。



トンネル発破技術のバイブル!!

わかりやすい

## トンネル発破技術

監修 山田隆昭

B5判 76頁 本体価格1,500円 円300円

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

株式会社 **土木工学社**

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

## 第八十八回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

# 高熱のトンネルと、 海外工事にかかわって

(元)鹿島建設(株)  
**松山 政雄**

### はじめに

大学の工学部交通土木学科に入学したのは1964(昭和39)年、東京オリンピック開催の年で、それに合わせて「東海道新幹線」「東名、名神高速道路」が開通し、日本中が高度成長に沸く節目の年でした。在学中も学外実習で「阪神高速神戸線」に携わるなど大きなプロジェクトを自ら経験する中、実際の施工がやりたくて鹿島建設に入社しました。

関西に配属となり、8年間は臨海工場地帯の製鉄所の建設や宅地造成、下水処理場などの明かり工事に従事し、1977(昭和52)年から滋賀県湖南幹線中北シールド工事に配属されました。これがトンネルとの付き合いの始まりです。延長約1,000mの土圧式シールドでしたが礫層への問題から圧気工法に変更になったものです。次に「大阪府枚岡河内中央幹線シールド工事」で主任技術者になりました。直径6mの泥水式シールド

で延長約1,200mの当時としては大きい工事でした。

1982(昭和57)年から「生駒トンネル工事」に従事することになりました。当時ようやくNATMがトンネル掘削に採用され始めたところで、このトンネルが鹿島建設大阪支店で最初のNATMであり、私にとって山岳トンネルにかかわる契機となりました。

その後、大阪支店土木部技術課、本社土木工務部山岳トンネル課を経て、1989(平成元年)年から7年間「安房トンネル中ノ湯工区」を担当しました。

このように山岳トンネル工事にかかわった期間も短く、これまで執筆してこられた多くの先輩諸兄のようにトンネルの多くを語ることはできませんが、7年間携わった「安房トンネル」の体験を述べさせていただきます。皆様にとって少しでも参考にできれば幸いです。

### ■本社の管理部門時代

1986(昭和61)年から支店土木部に勤務し、そして1987(昭和62)年



著者近影

著者略歴

- 1968年4月 鹿島建設(株)入社, 大阪支店土木部設計課, 明かり工事に従事
- 1977年11月 滋賀県 湖南幹線中北シールド工事
- 1978年11月 大阪府 枚岡河内中央幹線シールド工事工事課長(主任技術者)
- 1982年5月 東生駒電鉄(株) 生駒トンネル東工区工務主任(主任)
- 1986年4月 大阪支店土木部技術課長
- 1987年9月 本社土木工務部トンネル課長代理
- 1989年7月 建設省 安房トンネル中ノ湯工区所長
- 1996年7月 関西支店営業部長, のち営業統括部長
- 2004年12月 鹿島建設(株)を退職  
日本基礎工業(株)入社
- 2007年7月 山崎建設(株)入社
- 2013年6月 山崎建設(株)退社

から本社工務部(現在の土木管理本部)に勤務しました。

土木工務部では, 全国のトンネル現場を対象とする本来の業務のほかに, 社外の委員会に参加しました。日本トンネル技術協会の「防水シート委員会」などの委員会や土木学会の小委員会に複数参加して, 多くの産官学の諸先輩・諸先生方と一緒に, トンネル技術に関する奥深さと広がりを知る機会を得ました。社内では得ることのない経験で, 楽しく参加させていただきました。

読者の皆様もこういう機会に巡り合えたら, 日常業務が忙しく負担だと感じて, ぜひ積極的に参加してください。蛇足ですが, 本社転出前にサンフランシスコ市で開催された「第6回国際建設自動化・ロボット化シンポジウム」に参加する機会を得ました。発表は「Development of fully automatic crawler jumbos for use in tunnel excavation」と題して, 生駒トンネルで使用した全自動油圧クローラージャンプ(通称

「AD」, 2ブームTHCJ-2350-AD)に関して, 生駒トンネルと肥後トンネルの実績をまとめて報告しました。初めての外国, 初めての英語発表であったため, 大変なプレッシャーでしたが, 立往生せずに終えることができました。

高熱トンネルに挑む  
—安房トンネル—

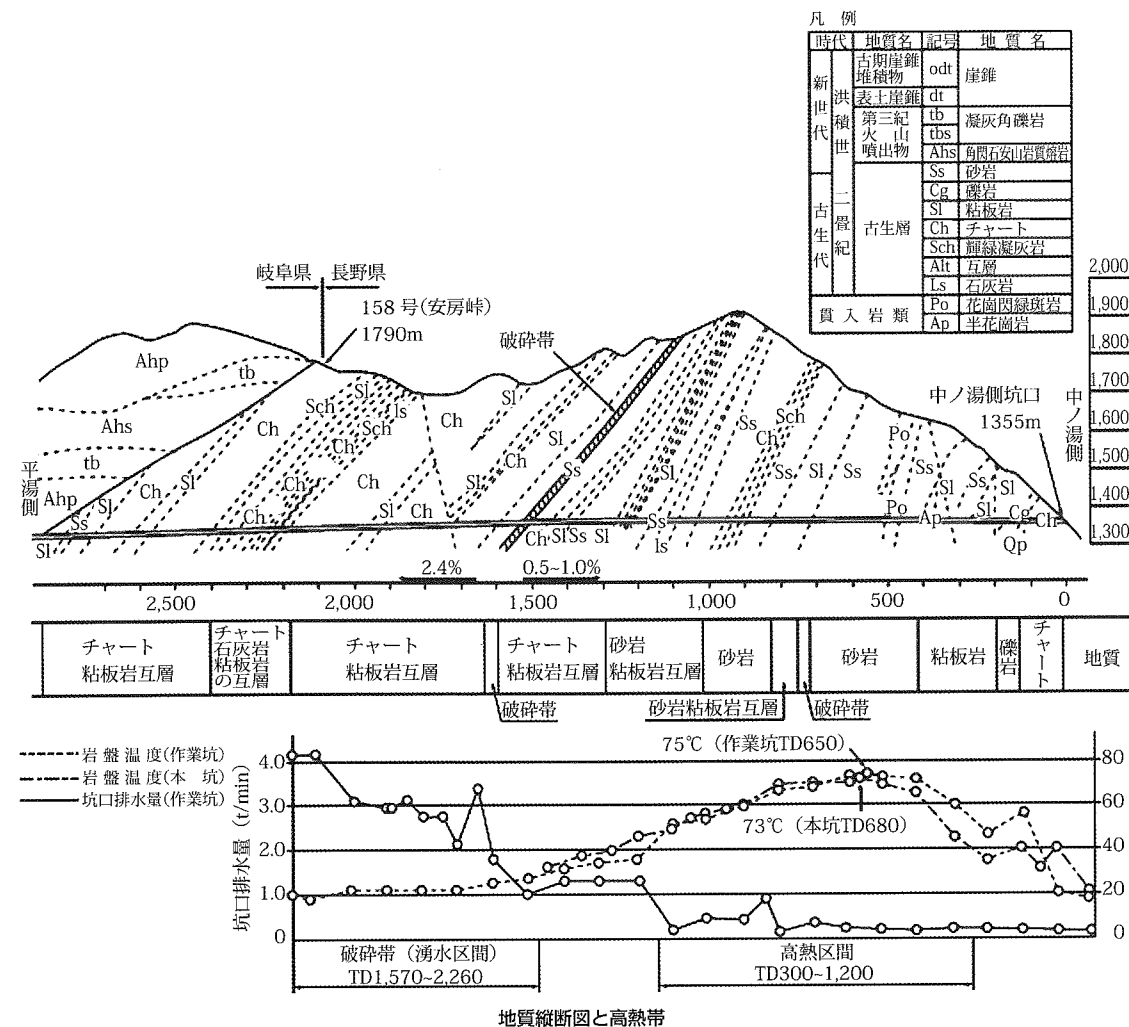
1989(平成元)年7月, 本社土木工務部を出て, 長野県の安房トンネル中ノ湯工区工事の所長として赴任しました。

このトンネルが高熱トンネルで, 難工事であるため, 本社の重点管理工事になっており, 内容はよく把握していましたが, 覚悟を決め, 大変緊張して赴任したことを思い出します。転勤の挨拶時, 幹部から次のような激励を受けました。「火山性ガスに注意しろ。事故でも起こしたら会社におれなくなるぞ」。

現場は松本市から一般国道158号を登って1時間, 天下の景勝地「上高地」の玄関口「釜トンネル」

の左手近くにあります。この158号は北アルプスを横断して北陸・飛騨と信州・関東を結ぶ重要な道路ですが, 県境にある安房峠(標高1,790m)付近は大型車のすれ違いが困難なうえ, 大雨が降れば通行止めになります。さらに毎年11月中旬から5月上旬までの約半年間は閉鎖されてしまいます。これを解消し, 1年を通じて安全な通行ができるよう計画されたのが安房トンネルです。

活火山「焼岳」に連なる火山地帯を掘進するという過去に前例のない工事ということから, 本坑に先立って調査坑を掘削し, 地質調査, 施工方法の検討を行うこととなり, 鹿島建設は大成建設・三井建設とJVで, 1980(昭和55)年に長野県中ノ湯から, 熊谷・飛鳥・佐藤のJVは1983(昭和58)年に岐阜県平湯から, 種々の調査と試験施工を行いながら掘削をすすめました。中ノ湯工区側では高熱区間や脆弱な古生層区間を, 平湯工区側では古生層や低速度帯を掘削しました。



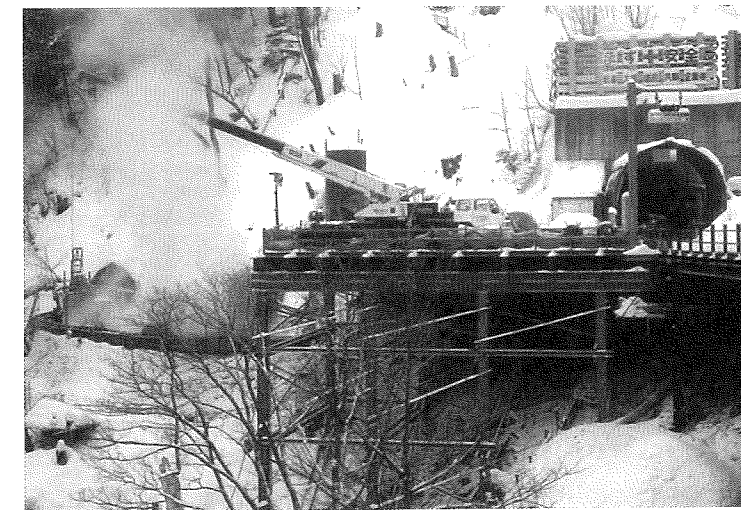
■調査坑の施工

中ノ湯調査坑の高熱区間の調査施工について紹介します。

—中ノ湯高熱帯—

地質調査の想定どおり岩盤温度はTD350mから50°C以上となり, TD500mから60~70°Cを超え, 650mの地点では75°Cを記録しました。それ以降は漸減して, TD1,200m付近で50°Cに降下します。このTD300~1,200mの間が「中ノ湯高熱帯」と呼ばれています。

高熱区間の掘削では, 送風量を最大の2,000m<sup>3</sup>/minとしても, 切



雪の安房トンネル坑口

羽付近は岩盤および発破直後のすりなどからの熱風により、送風が遮られ、切羽後方5m以内は無風状態でした。対策としては最大送風量を維持し、ブースターファンの増設などを行いました。

#### —有毒な火山性ガス—

有毒なメタンガスを含む火山性ガスに対しては、ガスの測定と安全設備です。35mごとに行う40mの「先進ボーリング」の孔内でガスの有無を測定し、切羽では作業前に検知センサーを置き、毎回の削孔、発破、すり出しの作業後に担当者がガス濃度と温度を測定し、班長は携帯式ガス警報器を持って作業しました。安全設備としては切羽にセンサーを設置する「移動式センサー台車」を始め、坑内には200mごとにセンサーを設置し、このデータを常時記録して一定濃度に達すれば自動的に信号とサイレンで非常警報を発するシステム「防災設備」を設けました。さらに、ガス噴出など緊急異常事態発生時に作業員を運び出す「緊急避難台車(蓄電池式、防爆型、16人乗り)」を切羽近くに待機させました。しかし幸いにも先進ボーリングの孔内で微量の硫化水素を検出したのみで、緊急事態は発生せず、また高熱区間の湧水量が少なかつたため温泉水による障害もありませんでした。

#### —新技術の導入—

高熱区間の作業環境と火山性ガスの噴出から作業員を守るため、また施工性・品質を確保するため、生駒トンネルと同じ全自動ジャンボ(ティーチングプレイバック方

式)1台を導入しました。一般の火薬類では安定して使用できる温度領域は70℃までのため、65℃以上の高温ではアジ化鉛を起爆薬とする耐熱用雷管とエマルジョン系含水爆薬チタマイトを組み合わせ使用しました。

#### ■その後の調査坑の施工

私が赴任した1989(平成元)年の前年12月に「安房トンネル施工法検討委員会」において「本坑は技術的に掘削可能である」との結論が得られ、1989(平成元)年10月に平湯側において本坑起工式が行われました。これまでの調査坑は「本坑」の施工に備える「作業坑」と名前を変え、掘削を進めることになりました(この稿では「調査坑」に統一します)。

このときの中ノ湯工区の切羽は、TD1,570mまで進んでいました。

高熱区間の終わったTD1,200m以降の古生層は砂岩・頁岩・チャートの互層で、石灰岩を挟み、割れ目が発達しています。先進ボーリングの結果、TD1,590m付近から20mにわたり断層破砕帯があることが確認され、ボーリング孔の湧水圧が1.8MPa、最大湧水量は2t/minを記録しました。

地質はチャートが主体で、粘板岩が介在し、全体的にクラッキーゾーンとなっており、多量の高圧湧水を伴うきわめて脆弱で崩壊性の高い地質であることが判明しました。

この破砕帯を掘削するため、止水と地山補強を目的に、TD1,650mまでの80m間に、LW注入工を行いました。注入区間を過ぎても

湧水は多く、また突込みで掘削するため進行が落ちたので、TD1,670mから探り兼水抜きボーリング(削孔長20m)を左右2本ずつ、20m進行ごとに行い、さらにTD1734.5mから、やむなく「矢板工法」に変更しました。

この湧水区間の掘削を厳冬期に行うのは大変な苦勞を伴い、坑外の気温は零下10℃まで下がるので、坑内と坑外の温度差で作業員の疲労度は大きくなり、そのうえ風邪などの発生率も高くなりました。また、宿舎からの通勤路の除雪にも制約されたので、国道筋の地元建設会社の宿舎を借用したほか、現場近くの中ノ湯温泉旅館に協力を願って客室に宿泊させるなどの対策を講じましたが、作業員の定着が悪く、大きな苦勞を強いられました。

1991(平成3)年7月、調査坑はTD2,260mの地点で、調査坑の掘削開始から11年を経て貫通を迎えました。

#### ■中ノ湯工区本坑の施工

本坑の施工計画は赴任した1989(平成元)年から検討を開始しましたが、調査坑の実績をもとに決めなければならない重要項目は、次のように山積していました。

- ① 本坑の取付けと坑口施工
- ② 高熱区間の換気
- ③ 火山性ガスの安全対策
- ④ 平湯工区まで搬出するすり出し方法
- ⑤ 覆工コンクリートの高熱対策
- ⑥ 高圧湧水を伴う断層破砕帯の対策

#### ■本坑の取付けと坑口施工

本坑坑口付近の地形は40~45°の急峻な梓川溪谷にあり、調査坑の仮設棧橋と本坑坑口とは5mの高低差があるため、坑口へ直接アプローチすることは不可能でした。その調査坑のTD190mから本坑のTD240mに向けて、調査坑と同じ断面の「斜め連絡坑」を掘り、本坑の上半盤へレール工法で取り付けました。

本坑に達すると、TD220~280mの60mの上半を掘削し、1991(平成3)年2月5日に「本坑起工式」をこの上半盤で行いました。当日は朝から明るく晴れ渡り、順調な本坑の掘進を予感したことを覚えています。このあと、坑口手前25mまで上半を掘削し、そこから両側に5mの側壁導坑を貫通させ、坑門工に取り掛かりました。

坑門工の形状については、「急斜面の地耐力が少ない軟弱地山であるので規模の大きい切土は避ける」「中部山岳国立公園に属する

特別地域にあるので樹木の伐採を極力しない」との方針を立て、検討を重ね、次のような構造としました。

- ① 地滑り抑止および支持力不足対策として坑口の両側にφ2,500の深礎杭を掘り、その上に同じ直径のライナープレートを立てて柱とし、頭部を梁で連結する鳥居型の構造を作る。
- ② ①の柱を巻き込むようにエアーモルタルを打設して、抑え盛土を形成する。

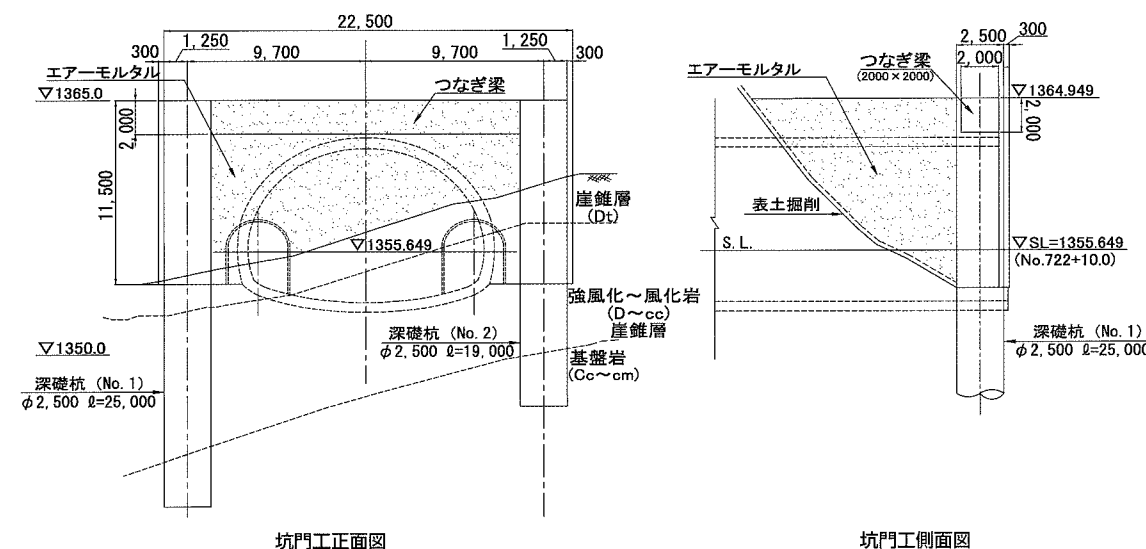
坑門工が完成したあと、トンネル内部から掘削を再開して、坑口部を無事完成させることができました。

#### ■高熱区間の換気

調査坑の実績をもとに技術研究所で本坑の換気検討を行いました。その結果、最大放熱量はすり出し時の570Mcal/hとなり、外気温を18℃とした場合、坑内環境温度を30℃以下に保つためには、切羽への送風量3,000m<sup>3</sup>/minを含め

て全体換気量が4,000m<sup>3</sup>/min、さらに送風の冷却と切羽を局所的に冷却する設備が必要となります。しかし、この冷却設備に要する冷却水を確保することは険しい地形のため不可能であり、設備費用も過大となることから、次のような対策を行いました。

- ① 坑口部の施工を先行させ夏期に行うことにより、高熱区間の中でもっとも岩盤温度の高い区間を冬期に掘削するよう工程を調整。
- ② もっとも放熱量の多いすり出しサイクルに使用する重機車両の運転席を冷房付きキャビンとする。
- ③ 調査坑と本坑をつなぐ連絡坑は375m間隔にある。切羽に一番近い連絡坑はすり出しに使用することにして、2番目に近い連絡坑に送気用コントラファン(1,500m<sup>3</sup>/min)を2基設置し、切羽の進行に合わせて移設していく坑道換気方式を採用。この方式では、



坑門工正面図

坑門工側面図

切羽までの送風距離は400mから775mまでと短くなり、安定した風量を確保。

④ 本坑の坑口を風門で塞ぎ4,000m<sup>3</sup>/minの排気用コントラファンを設備。

⑤ すり出し用連絡坑と送気用連絡坑の間に風門を設け、この送気と排気の差1,000m<sup>3</sup>/minを利用してすり出しを行う調査坑の換気。

この換気方式により風速は2.0m/sを維持でき、650m付近で岩盤温度が最高72℃に達しても坑内の作業環境温度は28℃を確保できました。コントラファンからの送風距離が短くてきたこと以外に、調査坑に比べ掘削断面積に占める施工機械の比率が小さく、送風が切羽まで届くことが有利に働いた結果です。また、装薬作業中に寒いと苦情が出たため、すり出し作業では風量を調整しなければならぬこともありました。

■火山性ガスの安全対策

調査坑において探りボーリングの孔内で微量のガスが検知されたことから、本坑でも「火山性ガスの危険性」はあるものとして、次のように「同じレベルの安全対策」を講じました。

① 切羽に移動式、坑内に固定式センサーを置き、硫化水素10ppm以上、メタンガス1%以上、酸素濃度18%以下になれば警報を鳴らし、入坑を禁止する「自動ガス警報装置」を設置。

② 作業員には、常に携帯式ガス警報器を携帯させ1発破ご

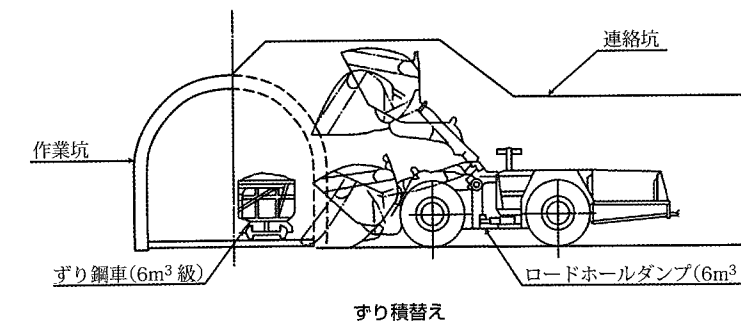
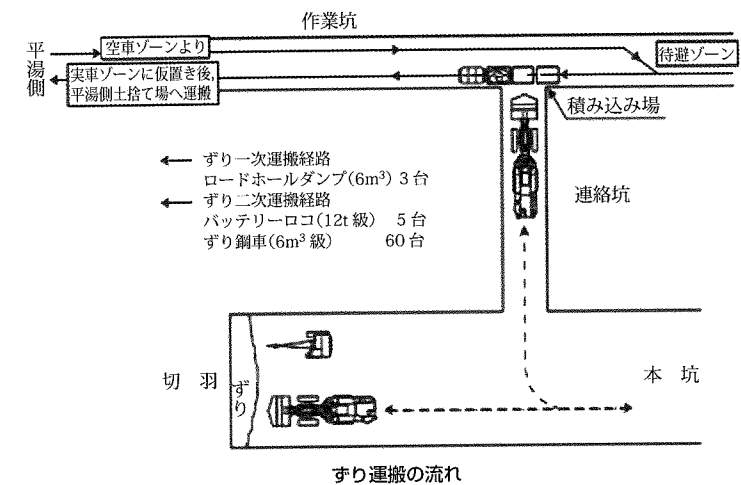
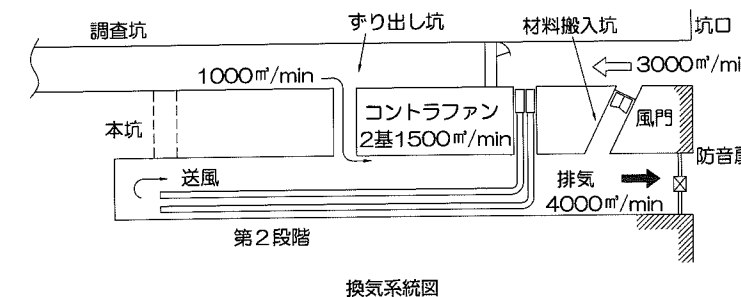
とにガス濃度を係員が測定。  
③ 緊急避難用のマイクロバスを切羽に配置。  
④ 教育と避難訓練の実施。しかし、本坑において貫通点到達までに火山性ガスが検出されたことは一度もありませんでした。

■ずりの運搬について

小断面の調査坑掘削のずりは中ノ湯側で何とか処理できましたが、本坑の大量のずりは受入れること

は不可能であったため、本坑のすり運搬は以下の条件で実施しました。

- ① 調査坑を通してレール方式で反対工区の平湯側坑口まで運搬。
- ② 高熱区間では発破後の高熱のずりを後方に仮置きせず、早急に本坑から運搬。
- ③ 「ロードホールダンプですりトコへ直積みする方式」を



採用。

④ 1発破分に相当する6m<sup>3</sup>積みのすりトコ60台に、6m<sup>3</sup>積みの大型のロードホールダンプ（アトム928型）3台で、切羽のずりを直接積み込み、すり出し班がバッテリーロコ（12t）5台で平湯へ搬出。

⑤ バッテリーロコは3両のすりトコを牽引して2.2%の急勾配を実車で下っていくので、万が一の暴走事故を防ぐため上下線とも4か所の脱線ポイント（自走復帰式）を設置。

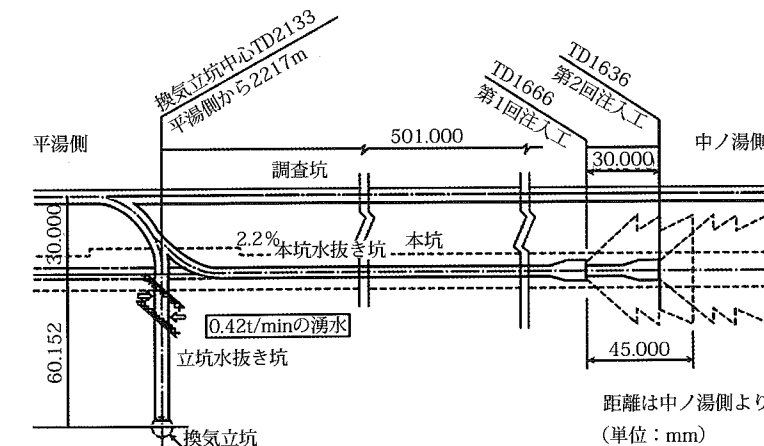
⑥ 連結作業を1人で行えるよう、バッテリーロコの前後側面にリモコンボタンを付けるなど改良。

■湧水区間

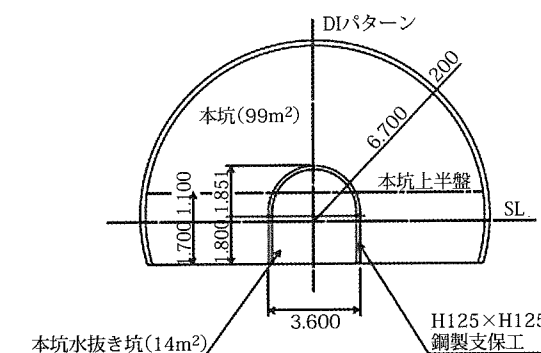
調査坑のTD1,570m以降は幅約20mの断層破砕帯を含む湧水区間であり、最大湧水量は4.2t/minでした。岩質はチャートが主体で硬く、亀裂が発達しており、亀裂には粘土が介在して、水が回ると流れ出し、粘土目に沿って崩落をくり返しました。

破砕帯ではLW注入を行った区間は順調に掘進しましたが、湧水が多くなると、突込み勾配のため、絶えず切羽に水が集まって進行が落ち、崩落も発生しました。そのためTD1,734.5mから矢板工法に変更した苦い経験がありました。本坑においては湧水による同じ苦労はくり返せず、また断層破砕帯で大断面の薬液注入による掘削の停止も避けなければなりません。

本坑は、調査坑から30m離れ



本坑水抜き坑平面図



本坑水抜き坑断面図

の水位は低下していないものと判断されたので、立坑水抜き坑から中ノ湯側に向けて、本坑中央の下半盤に「本坑水抜き坑」を迎え掘りし、さらに薬液注入を行った調査坑TD1,570~1,655m間に存在した断層破砕帯では、調査坑と同じく、止水と地山補強を目的にLW注入を本坑水抜き坑からあらかじめ施工することにしました。

本坑水抜き坑は矢板工法で施工し、レール方式で本坑の掘削と同時に施工で行いました。水抜き坑の切羽湧水量は最大で0.2L/min程度で、総排水量も1.4t/minと少なく、調査坑と違って上り勾配で掘削したので、切羽に集まる湧水

も少なく、順調に施工できました。破砕帯では30m手前のTD1,666mから第1回注入を、TD1,636mから第2回注入を、本坑切羽が達する前に行うことができました。本坑掘削での、破砕帯の湧水はわずかで、他の区間でも滴水程度でした。

さらに切羽の水は、水抜き坑に流れ落ちるので、突込みで掘ったにもかかわらず、施工能率は悪化せず、また水抜き坑は調査坑を通じて平湯側と貫通しているため、切羽の換気は各段に良くなりました。

このように上半掘削では、水抜き坑の効果は絶大であり、下半掘

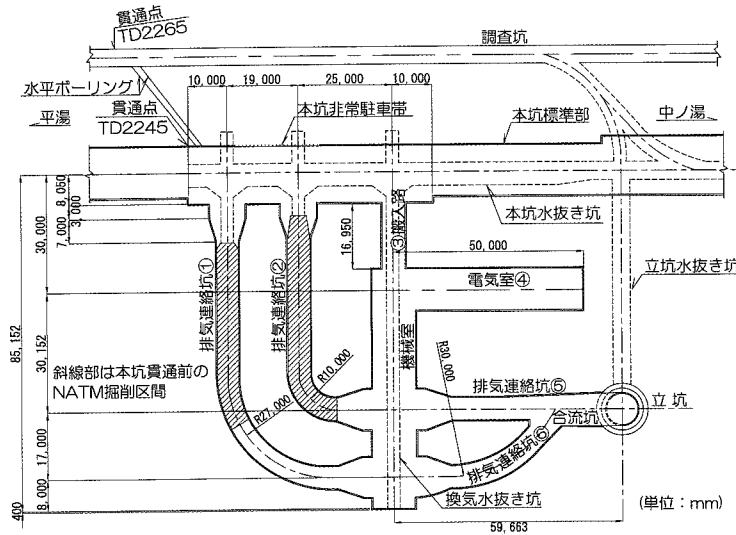
削においても土平部分を3.8t級の大型ブレイカーで掘削できたので、上半掘削と同時並行作業とすることができ、全体として工事の進捗に大いに寄与しました。

■高熱区間の覆工コンクリート

一般にトンネル覆工コンクリートについては、岩盤あるいは吹付けコンクリートの拘束が大きく、セメントの水和熱による温度応力によってひび割れが発生しやすくなります。とくに80℃に近い高熱区間では、一般の場合より水和熱が逃げにくく、覆工コンクリート表面と岩盤との温度差が大きくなって、若材齢時にひび割れが発生し、その後の乾燥収縮によってひび割れが助長されると予想されました。

ひび割れ防止対策として温度差を軽減するため、防水シートと覆工コンクリートの間に断熱材を取り付けることになりましたが、トンネルに断熱材を使用した実例はありませんでした。適切な材料を探していたとき、防水シートメーカーより、建築の壁などの断熱材に使用している「断熱用吹付け硬質ウレタンフォーム」の存在を知り、汎用品で手に入りやすく施工性に優れているので、技術研究所の指導を得ながら、トンネル坑内で実験を行いました。

水槽を作って80℃に保ちながらコンクリートを打設し、断熱材とコンクリートの境界の温度、表面温度などを測定して温度応力解析を行いました。その結果、断熱材が50mmあれば温度ひび割れ発生の確率が5%以下に低下することが



地下換気所平面図

わかりました。

施工にあたって、防止シートは耐熱性のあるシートとし、吹付けコンクリート側に厚さ3mmの不織布、反対側は断熱材が付着できるように厚さ0.3mmの不織布を組み合わせた3重構造としました。また、防水シートと吹付け面の間に空隙がないよう取り付けるため、吹付けコンクリート面にあらかじめマジックテープを釘打ちし、これに不織布を絡ませるように固定するという工夫を行いました。

■地下換気所の施工

本坑貫通点付近にある地下換気所の地質はチャート、砂岩、粘板岩の互層構造であり、湧水を伴った断層破砕帯を含んでいました。また機械室の掘削断面積が113.7m<sup>2</sup>、掘削高さが12.0mときわめて大きく、横坑と交差する箇所が3か所あるなど複雑な構造でした。

事前にできる確実な補助工法として、まず本坑水抜き坑を買通点まで延長したあと、これに直交す

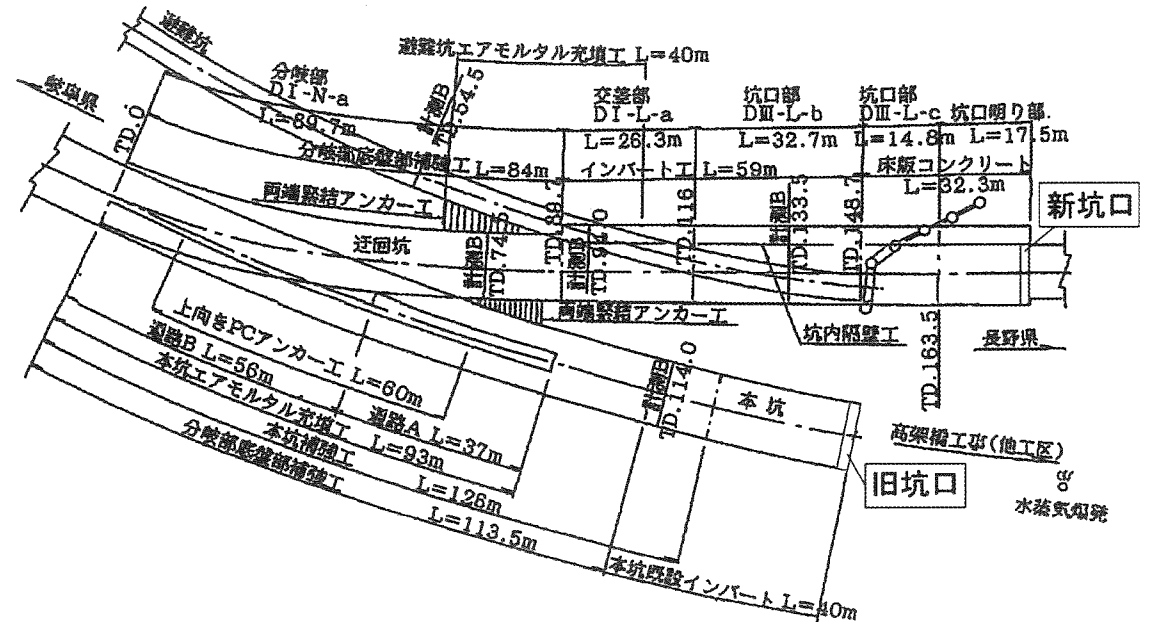
るように、機械室の端部まで底設導坑を矢板工法で掘削し、さらに本設の2本の排気連絡坑もNATMで掘削し、水位を低下させました。

この段階で本坑の切羽が接近してきたので地下換気所の工事を中止し、本坑貫通後機械室などの掘削を行いました。問題の交差部などの補強には、天端に長さ6mの中空式ロックボルトを打設し、定着剤にシリカレジンを使用しました。またラッパ状に掘削する箇所には、ガラス繊維補強プラスチックを素材として切断が容易な中空のGRPボルト(長さ6m)を打設し、ウレタン系定着剤を使用しました。

このような複雑な地下換気所を掘削するにあたっては、各段階における計測結果の解析と補強工法について、技術研究所に検討を依頼しました。

■迂回坑の施工

本坑の貫通が近くに迫った1995



迂回坑全体平面図

(平成7)年2月11日午後2時30分ごろに、トンネル坑口近くの梓川右岸の取付け道路工事現場で水蒸気爆発が起こりました。これによりトンネル坑口から取り付く高架橋工事が中止となり、本坑途中から分岐して、調査坑坑口付近を利用して現道の158号に取り付けるルート(迂回坑)が計画されました。その後、後任の所長が1年間という短期間で難しい迂回坑工事を完成させ、1997(平成9)年12月6日、安房トンネルが開通しました。

■トンネル所長として思うこと

本坑は1995(平成7)年4月5日に貫通することができました。私が担当して7年間に感じたことを述べたいと思います。

- ① 安房トンネルでは、土木社員には出身会社に関係なく切羽と覆工などの職務を1年間のローテーションで担当させました。新たに就いた職務で



安房トンネル本坑貫通式、1995(平成7)年4月5日

は前任者と違った改善や工夫を1つ行うよう要請もしました。がんばった社員は全員が「技術士」を取得し、今はトンネル所長として活躍しています。

② 本坑着手当時、すぐに解決しなければならぬ技術課題

が山積していましたが、支店の「トンネルグループ」と一緒になって検討し、良い解決策を見出すことができました。発注者との協議はもちろん、決断と責任は現場が負うものですが、支店との情報交換がなければ解決できなかったと



アルジェリアの若きトンネル技術者たちと

感じることが多くありました。

③ 土木工務部、技術研究所、土木設計本部などトンネルにかかわる本社の部署とも協力体制を組み、換気やコンクリートひび割れ、地山のFEM解析など種々の問題の検討をお願いすることができたことも大きな力となりました。皆様も将来、難しい問題に直面したときは、1人で抱え込まないで、いろんなルートで探って相談する相手を見つけてください。とくに現場乗込み時は繁忙ですので、管理部門の方々も現場へ手を差

し伸べてください。難しい工事では、現場、関係部署が一体となって協力しながら問題の解決を図ることが、大切なことだと思います。

### おわりに

1996(平成8)年7月、9年ぶりに大阪支店(現 関西支店)に戻ったあとは、営業を担当しました。定年後は、関連会社の日本基礎工業、山崎建設に勤め、2013(平成25)年リタイアしたのですが、途中約1年間、初めて海外勤務をしました。

2009(平成20)年9月から翌年7

月まで、アルジェリア高速道路のトンネルに関する外部監査員という仕事でした。トンネルは上下とも3車線、掘削断面積が約150m<sup>2</sup>、延長が1,909m、295m、2,500mの3本です。地質は砂岩・粘板岩・粘土質泥灰岩・石灰岩などの互層で褶曲を伴う「揉まれた」岩盤のため、掘削後の変形が大きい、やっかいなものでした。若くて優秀な精鋭社員が揃い、それぞれベトナム人、インドネシア人の作業員を使って難しいトンネル工事に挑んでいました。

また、機械、機材の維持管理では、現地の人を指導しながらエンジンやブレーカーの油圧シリンダーまで分解するなど、丁寧な整備を行っていました。とくに若いトンネル技術者が、施工条件の厳しい困難な職務を担当し、会議の席で発注者に堂々と技術論で渡り合っている姿を見て、これからは海外に積極的に出て、世界に通用するトンネル技術者がどんどん増えるようになってもらいたいと思いました。

## 解説

# 「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

(独)労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所建設安全研究グループ主任研究員 吉川直孝  
厚生労働省労働基準局安全衛生部安全課建設安全対策室技術審査官 中野 響

## 1 はじめに

2016(平成28)年12月26日に厚生労働省労働基準局長から「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」(以下、「ガイドライン」という。)が発出された。ガイドラインでは、労働安全衛生関係法令と相まって、山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害の防止を図ることを目的としている。

山岳トンネル工事における切羽では地山が露出しており、肌落ちによる労働災害がたびたび発生している。ひとたび肌落ち災害が発生すると、6%が死亡し、42%が休業1か月以上となっており、発生した場合の重篤度が高い<sup>1),2)</sup>。したがって、同種災害の防止を図るため、望ましい取組みをとりまとめ、関係者に周知する必要があることから、ガイドラインが発出された。ガイドラインは厚生労働省のホームページ<sup>3)</sup>から参照できる。

本稿では、安全衛生の概念を導入しつつ、ガイドラインについて概説し、より良い安全衛生水準を構築する方策について検討した。

## 2 ガイドラインの主旨について

本章では、ガイドラインの各項目について、おもなねらいを述べる。

### 2-1 「第1 目的」

労働安全衛生規則第384条では、「事業者は、ずい道等の建設の作業を行なう場合において、落

盤又は肌(はだ)落ちにより労働者に危険を及ぼすおそれのあるときは、ずい道支保工を設け、ロックボルトを施し、浮石を落す等当該危険を防止するための措置を講じなければならない。」こととされている。切羽は肌落ち災害が発生しかねない危険な場所であり、肌落ち災害がたびたび発生している。肌落ち災害がいったん発生すると重篤度が高いことから、肌落ち災害を防止するため望ましい取組みをガイドラインとしてとりまとめ、関係者に周知することにより、同種災害の防止を図ることを目的としている。

### 2-2 「第2 適用対象」

肌落ち災害の98%は山岳トンネル工事において発生しており、発生場所の93%は切羽であることから、ガイドラインは山岳トンネル工事の切羽における作業に焦点を絞っている<sup>3)</sup>。

### 2-3 「第3 用語の定義」

労働安全衛生関係法令において規定されている用語以外について、ガイドラインで使用する主要な用語の定義を示したものである。

### 2-4 「第4 事業者等の責務」

肌落ちによる労働災害を防止するには、事業者が適切に作業を計画し、切羽に立入る機会を極力少なくすることが肝要である。そのうえで、やむを得ず切羽に立入る作業員などの安全を確保するため、肌落ち防止対策を実施し、肌落ちが発生しそうなときに迅速に避難ができるよう切羽を監視することが求められる。作業員などは、事業者の

措置に協力することが求められ、両者の取組みが相まって、肌落ち災害を防止することが肝要である。

また、上記したような取組みを施工者だけでなく、発注者、設計者も支援する必要があると考えている。つまり、建設プロジェクトの一連の流れ(計画・設計→施工→「維持管理→補修または解体」)の中で、より上流である計画・設計段階から施工中の肌落ち防止対策を考慮する必要がある。そのため、後述するように、肌落ち防止計画についても計画・設計段階から考慮できるように配慮されている。

計画・設計段階からの災害防止対策の必要性について、リスクの定義やリスクアセスメントの考え方をもとに以下に概説する。

リスクとは、「想定される危険(有害)な事象発生の可能性と結果の組合せ」と定義されている<sup>9)</sup>。すなわち、リスクとは、図-1に示すように「危険性・有害性(ハザード)の発生可能性

の度合い」と「(人が被る)負傷・疾病の重篤度」である<sup>9)</sup>。

ここで重要なことは、ハザードだけでは、リスクにはならないことである。ハザードに人が接触する可能性のある場合に初めてリスクが発生する。リスクをゼロにするためには、ハザードを完全に除去するか、または人を立ち入らせないか、どちらかである。どちらも不可能であり、リスクが許容できない場合、リスクを低減させる措置を実施しなければならない。

厚生労働省では、リスクアセスメント(リスクの重大度を見積り、そのリスクが許容可能か否か

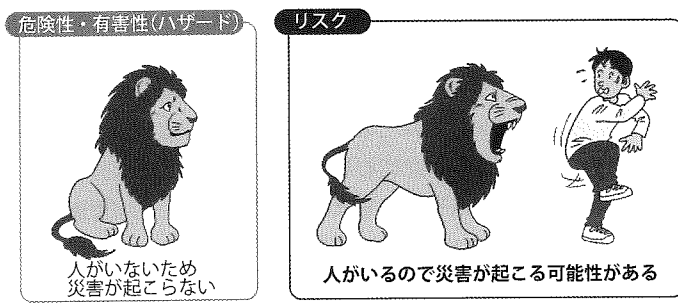


図-1 危険性・有害性(ハザード)とリスクの違い<sup>9)</sup>

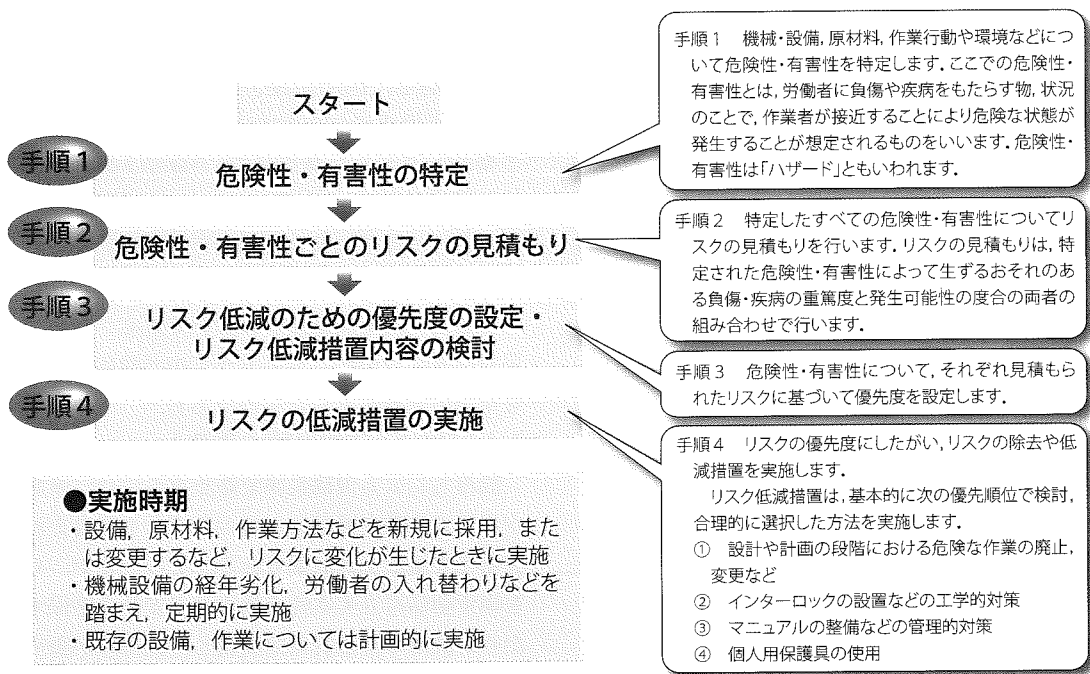


図-2 リスクアセスメントの基本的な手順<sup>9)</sup>

を決定する全体的なプロセス<sup>4)</sup>の手順を図-2に示すように定義している<sup>9)</sup>。つまり、以下の手順でリスクアセスメントを実施する。

- 手順1：ハザードの特定
- 手順2：ハザードごとのリスクの見積り
- 手順3：リスク低減のための優先度の設定・リスク低減措置内容の検討
- 手順4：リスクの低減措置の実施

ハザードを特定し、ハザードごとのリスクを見積ったあと、リスク低減措置内容の検討である。ここで、重要な考え方は、リスクの低減措置の優先順位である。優先順位の高いものから列挙すると以下のようなものである(図-3参照)。

- ① 設計や計画の段階における措置
- ② 工学的対策
- ③ 管理的対策
- ④ 個人用保護具の使用

同図に示すように、リスクを低減するために優先順位の高いものから検討していくことがもっとも重要である。優先順位の低い措置を実施できない場合には、それよりも低位の措置を順次検討していく。もっとも優先順位の高いものは、「①設計や計画の段階における措置」である。設計や計

画の段階における措置については、トンネル建設工事の場合、施工者は考慮することが困難な場合もある。とくに、断層破砕帯、帯水層、遮水層などのリスクの高い地山が路線計画エリアに存在する場合、安全衛生、施工性、経済性などの面から路線を注意深く選定する必要がある。リスクの定義やリスクアセスメントの考え方に立ち返ると、ハザード(断層破砕帯、帯水層、遮水層など)を除去する対策が最優先されるべきである。つまり、断層破砕帯、帯水層、遮水層などを避け、路線変更する計画が最優先で考えられるべきである。このようなリスク低減措置は施工段階では考慮することが困難である。

したがって、発注や計画・設計段階からの広義のリスクアセスメントが必要と考えている。ここでもっとも重要なことは、優先順位の低い措置を優先的に提案することは絶対に避けなければならない、ということである。

このような広義のリスクアセスメントの考え方は日本独自のものではなく、海外では規則にも取り入れられている。例えば、英国では、「建設(設計・マネジメント)規則」(Construction (Design and Management) Regulations<sup>7)</sup>、以下「CDM」

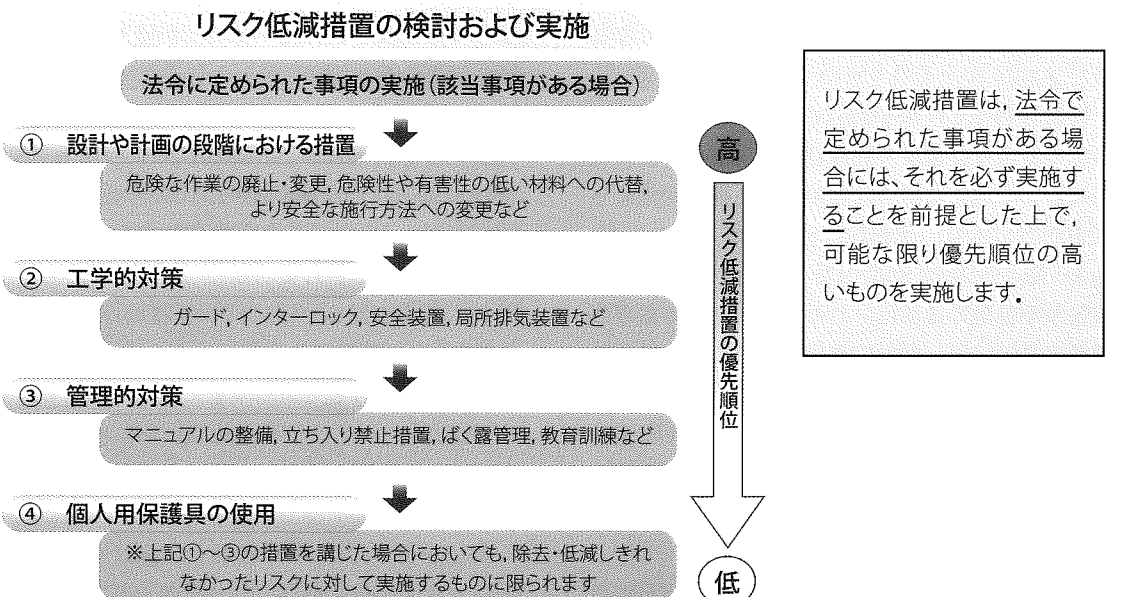


図-3 リスクの低減措置の優先順位<sup>9)</sup>



観察」については、監視とは異なり、作業の節目などで行うものである。監視は、作業を中断し退避する必要があるかどうかを判断するために行うものであるが、観察は想定していた作業方法で安全が確保できるかどうか判断するために行うものである。切羽の監視については表-1に整理している。

切羽の観察結果などをもとに、事業者は肌落ち防止計画の適否を確認することとなる。なお、労働安全衛生規則第381条の観察、同規則第382条の点検、同規則第382条の2の測定などにより知り得た地山の状況に施工計画が適応しなくなったときは、同規則第383条にもとづき施工計画を変更する必要があるが、この場合は、肌落ち防止計画をあわせて見直すことになる。

地山の状態が設計段階で想定していた状態と異なる場合など、施工計画書の範囲内で十分な肌落ち防止対策が実施できない場合がある。このような場合には、事業者は発注者および設計者と十分に検討を行い、肌落ち防止計画を変更し、切羽の安全が確保されるようにすべきである。

地山の状態が想定どおりでない状況はしばしばみられるので、発注者および設計者は事業者に対

応を任せるのではなく、肌落ち防止災害のために必要な措置を事業者が採ることができるよう、肌落ち災害防止対策の実施に伴う安全衛生経費の増額を含め、真摯に協議することが求められる。

同様に、元方事業者は専門工事業者と意思疎通を密にし、地山の状態の評価および採るべき肌落ち防止対策について検討することが求められる。

変更された肌落ち防止計画は、関係請負人に属する作業員などを含め、共有されるべきである。

2-5-4 切羽監視責任者の選任など

切羽監視責任者は元請け、専門工事業者のいずれに属していても差し支えないが、その職務を遂行するために適切な権限を与えられていることが必要である。なお、切羽監視責任者を専門工事業者から選任した場合であっても、元方事業者はその選任について把握し、統括管理の観点から必要な指導・援助などを行うことが求められる。

2-6 「第6 具体的な肌落ち防止対策」

具体的な肌落ち防止対策としては、現状、実施されている対策のみを体系的にまとめている。ただし、「リスク低減措置の優先順位」における「工学的対策」「管理的対策」をおもに列挙している。つまり、「設計や計画の段階における措置」につ

表-1 切羽の監視などの整理

	観 察 1	点 検	観 察 2	監 視
根 拠	労働安全衛生規則第381条	労働安全衛生規則第382条	ガイドライン	ガイドライン
目 的	落盤、出水、ガス爆発などによる労働者の危険を防止するため	落盤または肌落ちによる労働者への危険を防止するため	肌落ち災害を防止するため	肌落ち災害を防止するため
実 施 者	事業者	点検者(事業者の指名)	事業者	切羽監視責任者(事業者の指名)
実施時期	毎日	①毎日および中震以上の地震後 ②発破を行ったあと	装薬時、吹付け時、支保工建込み時、交代時	常時
実施対象	掘削箇所およびその周辺の地山	①隧道内部の地山 ②発破を行った箇所およびその周辺	切羽	切羽
項 目	一 地質および地層の状態 二 含水および湧水の有無および状態 三 可燃性ガスの有無および状態 四 高温のガスおよび蒸気の有無および状態	①浮石および亀裂の有無および状態ならびに含水および湧水の状態の変化 ②浮石および亀裂の有無および状態	(ア)圧縮強度および風化変質 (イ)割目間隔および割目状態 (ウ)走向・傾斜 (エ)湧水量 (オ)岩盤の劣化の状態	肌落ちの予兆を感知できるような項目を定めるものであり、少なくとも次を含むこと (ア)切羽の変状 (イ)割目の発生の有無 (ウ)湧水の有無 (エ)岩盤の劣化の状態

いては、建設プロジェクトの一連の流れの中で、より上流の発注者、設計者が検討する必要がある。

肌落ち防止対策の選定の目安を表-2としてまとめている。同表は、事前調査(地盤調査)から地山等級を算定することができれば、ある程度、肌落ち防止対策を選定できるような構造としている。つまり、計画・設計段階からの考慮も可能である。ただし、同表は検討の出発点としては適当であるが、地山等級が同一の評価であっても、切羽の状態には差がみられるので、必ずしも同表どおりの肌落ち防止対策が適当との結論が得られるわけではないことに留意する必要がある。施工者は、発注者および設計者と必要に応じ協議し、適切な肌落ち防止対策を選定し、実施することが求められる。

事業者は、これらの方法を地山の状況に応じて適切に組み合わせ、肌落ち災害の防止を図ることが求められる。

2-7 「第7 肌落ち防止対策の実施に係る留意事項」

肌落ち防止対策の実施に係る留意事項では、前節で述べた「工学的対策」「管理的対策」を実施するにあたっての留意事項に加え、「個人用保護具の使用」なども記載している。また、切羽における照明についても言及している。

鏡吹付けを実施するにあたっての留意事項においては、地山等級に応じた吹付け厚さを例示しているが、これは肌落ち災害が防止できることを担保する厚さを意味するものではないことに留意す

る必要がある。鏡吹付けは、それ自体が肌落ちを防止する効果がある程度有するが、大規模な肌落ちを防止することは困難であるので、切羽の変状を視認しやすくすることを主目的とするものと理解すべきである。

鏡ボルトについても地山等級に応じて打設間隔を例示しているが、地山の状況などに応じて個々に検討することが必要である。浮石落しは、労働者を切羽に立入らせることなく、ブレイカーなどの建設機械を用いて行うことを原則とする。切羽変位計測は切羽に現れる肌落ちの兆候をとらえることができる場合もあるが、計測範囲が限られるため、切羽監視責任者による監視を不要とするものではない。

やむを得ず切羽において作業を行う場合には、バックプロテクターなどの肌落ち災害を防止するための保護具を労働者に着用させることが求められる。

照明については、切羽の監視を行うために150lx程度が望ましいものであり、これを目安として示したものである。労働安全衛生規則第604条は坑内の作業場について適用はないが、粗な作業について70lx以上、普通の作業において150lx以上が基準値として定められている。

3 今後の山岳トンネル工事について

前述したように、今後の山岳トンネル工事においては、切羽の力学的な均衡を保てるような技術開発または全工程の機械化が望まれる。なお、ガ

表-2 肌落ち防止対策の選定

肌落ち防止対策	地山等級などによる肌落ち防止対策の適否				湧水対策としての効果	施工性(施工の容易さ)	その他	
	IV, B	III, C	II, D	I, E			変状観察を行う場合の相性	人体防護性の高さ
鏡 吹 付 け	△	○	◎	◎	○*	◎	◎	△
鏡 ボ ル ト	△	△	○	◎	○	△	×	△
浮 石 落 し	◎	◎	◎	△	◎	◎	△	△
水抜き・さぐり穿孔	○	○	◎	◎	◎	○	×	×
切 羽 変 位 計 測	×	△	◎	◎	×	○	◎	×
設 備 的 防 護 対 策	△	△	△	△	△	△	△	○

注：◎：最良，○：良，△：可能，×：不適，○\*：水抜き対策を併用することで良。

イドラインでは対象としていないが、シールドトンネル工事はチャンバ内の圧力と土水圧の均衡を保ったまま掘り進めるため、山岳トンネル工事よりもこの点においては優位性がある。山岳トンネル工事において、力学的な不均衡を抑制するような対策がなされない限り、切羽に作業員などを立ち入らせてはならないということが原則である。近年では、装薬や支保工建込み作業以外については、多くの現場において機械化がなされていることから、より機械化を全工程に拡げていくことが望まれる。

最後に、ガイドラインを有効に利用することでトンネル関係者全員の安全衛生の向上の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 菊池二二年・横山英樹・石田誠一・吉川直孝・三浦正博・西田進・木部哲実・武田正実・岩下秀伸・森崎達之助・池田康浩・小方康孝・村田薫：トンネル工事における肌落ち労働災害防止のハンドブックその2，日本トンネル専門工事業協会，97p.，2012.
- 2) 吉川直孝・伊藤和也・豊澤康男・堀智仁・玉手聡：トンネルの切羽からの肌落ちによる労働災害の調査分析と防止対策の提案，労働安全衛生総合研究所技術資料 JNOSH-TD-No.2(2012)，労働安全衛生総合研究所，2012.
- 3) 厚生労働省法令等データベースサービス，<http://www.ourei.mhlw.go.jp/hourei/doc/tsuchi/T161227K0040.pdf>.
- 4) 吉澤正 監修：OHSAS 18001/18002 労働安全衛生マネジメントシステム対訳と解説 増強版，日本規格協会，441p.，2004.
- 5) 厚生労働省：職場のあんぜんサイト，<http://anzeninfo.mhlw.go.jp/risk/syokuhin07.html>.

- 6) 厚生労働省：安全衛生関係リーフレット，事例でわかる職場のリスクアセスメント，<http://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/anzen/dl/110405-1.pdf>.
- 7) Health & Safety Executive : Construction (Design and Management) Regulations，<http://www.legislation.gov.uk/uksi/2015/51/contents/made>.
- 8) 豊澤康男・大幡勝利・吉川直孝：日英比較に基づく建設工事の労働安全衛生マネジメント等の検討，土木学会論文集 F6(安全問題)，Vol.71, No.2, pp.1-1-12, 2015.
- 9) National Institute for Occupational Safety and Health : The State of the National Initiative on Prevention through Design, PROGRESS REPORT 2014, Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2014-123/pdfs/2014-123-v2.pdf>.
- 10) 吉川直孝・豊澤康男・高橋弘樹・大幡勝利：英国・米国における建設工事安全に関する実態調査，安全工学シンポジウム 2015，OS-2 計画から維持管理・解体までの土木工事の安全，講演予稿集，pp.86-89, 2015.
- 11) Ministry of Manpower, Singapore Government : Gazette of WSH (Design for Safety) Regulations, <http://www.mom.gov.sg/newsroom/announcements/2015/gazette-of-wsh-design-for-safety-regulations-2015>.
- 12) 官報，独立行政法人国立印刷局，平成 28 年 12 月 16 日金曜日，号外第 278 号，<http://kanpou.npb.go.jp/20161216/20161216g00278/20161216g002780036f.html>.
- 13) 宮原宏史・森崎達之助・吉川直孝・熊谷幸樹：切羽肌落ち災害小委員会報告書，理事長特別小委員会報告書 3, No.3, 臨床トンネル工学，臨床トンネル工学研究所，pp.59-89.
- 14) Rabcewicz, L. V. : The New Austrian Tunneling Method, part three, Water Power, pp.19-24, 1965.1.

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



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

研究

低強度地山トンネルにおけるロックボルト支保の設計モデルに関する研究

首都大学東京大学院都市環境科学研究科助教 土 門 剛

1 はじめに

ロックボルト効果のひとつとして支保内圧効果があるとされる<sup>1)</sup>。しかし、トンネル壁面からロックボルトを挿入しただけではこの効果は得られない。すなわち、トンネル壁面に吹付けコンクリートやベアリングプレートがなければ、ロックボルト軸力をその頭部にまで発生させることができず、頭部軸力をトンネル壁面に支保内圧として与えることができないと考えられる。

本研究では、頭部軸力を発生させ、かつ支保内圧を与える部材としてベアリングプレートに着目する。ベアリングプレートによってトンネル壁面に支保内圧を与えることにより変位を抑制できるとの前提に立ち、まずはベアリングプレートによる支保内圧効果を模型実験により明らかにする。次に、実験結果を表現しうるロックボルトの力学機構の概念を提示する。最後に、その概念にしたがって低強度地山トンネルにおけるロックボルト支保の簡便な力学モデルを構築し、それにもとづく設計モデルを提案する。

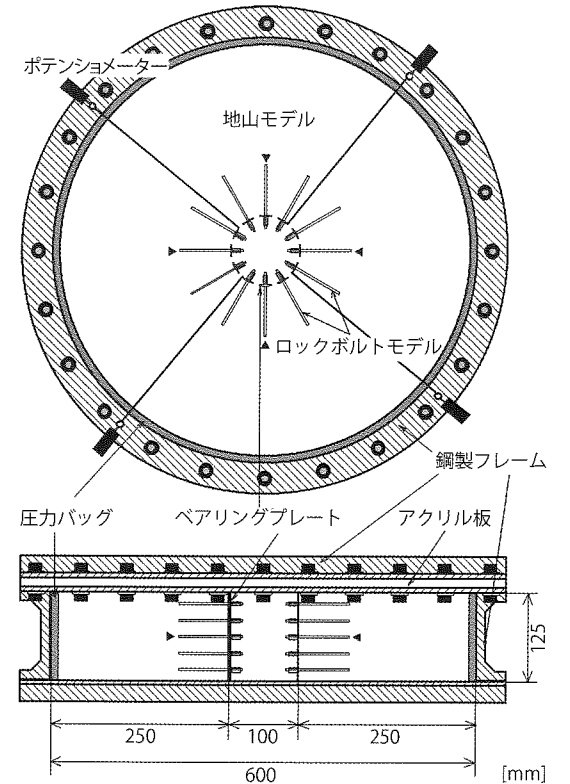


図-1 実験土槽とロックボルトの打設例

2 軸対称応力場におけるロックボルト支保に関する模型実験

2-1 実験概要

2-1-1 実験装置

軸対称応力場のトンネルを再現するため、図-1のような鋼製の円形土槽を用いる。

トンネルモデルは直径100mmの円形とし、図-2

に示すように肌落ち防止を兼ねた厚さ0.5mmのアルミ製ベアリングプレートと、亚克力製のロックボルトモデルから構成される。ベアリングプレート中央には縦長の穴が設けられており、所定の周方向ピッチでロックボルトモデルを配置できるようにしている。

軸力計測用のロックボルトには、実験槽上蓋と

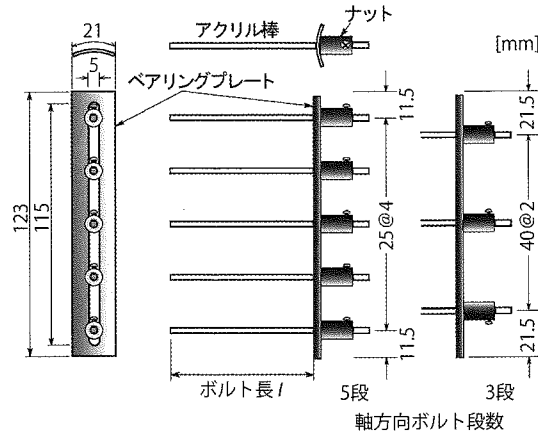


図-2 ロックボルトおよびベアリングプレートモデル

底板の摩擦の影響が少ない中央1断面に配置されたロックボルトのうち、十字を形成する4本のみひずみゲージを貼付した(図-1中▲印のロックボルト)。

地山材料は引抜試験と同じ材料を用いている。この材料は、硫酸バリウム、酸化亜鉛、ワセリンを70:21:9の重量比で練り混ぜた人工材料である。

2-1-2 実験手順

ロックボルトモデルの軸方向打設本数に応じた地山モデルの締固め層数を設定し、1層締固めごとにロックボルト1断面分を配置する。地山モデル締固め後にロックボルト頭部にベアリングプレートおよびナットを取り付けて、ネジ締めして固定する。

実験は載荷速度10kPa/minで地山モデル外周から圧力バッグによって外圧を与える。最大載荷圧は実験ケースによって若干異なるが、約300kPaまでとする。この最大載荷圧は一軸圧縮強さに比べてはるかに大きな値であるが、トンネル壁面の崩壊挙動を目視によって確認するためこのような値とした。

2-1-3 計測概要

トンネル壁面変位計測については、載荷枠外側にポテンシオメータを4個設置し、トンネル内壁とポテンシオメータをつなぐ針金の移動量から壁面変位を計測する。

表-1 実験ケース

実験ケース <sup>※1</sup>	ボルト打設間隔		ボルト数		ボルト長 (cm)
	軸方向 (cm)	円周方向 (°)	軸方向 段数	円周方向 本数	
33025	2.5	30	5	12	3.0
33040	4.0		3		
053025 <sup>※2</sup>	2.5		5		10.0
053040	4.0		3		
103025 <sup>※2</sup>	2.5		5		
103040	4.0		3		

※1 実験ケースにおいて、左2桁:ボルト長(cm), 中2桁:周方向間隔(°), 下2桁:軸方向間隔(mm)を表す。

※2 053025および103025の2ケースは、ベアリングプレートを設置しない実験も実施している。ベアリングプレートの有無を比較する場合には、ケース名6桁のあとに、B(あり), N(なし)と付すことがある。

表-2 地山およびロックボルトなどの諸物性

地山モデル	材 料	硫酸バリウム系	
	単位体積重量( $\gamma$ )		15 N/mm <sup>3</sup>
弾性係数( $E_r$ )		5 MPa	
一軸圧縮強度( $q_u$ )		64 kPa	
粘着力( $c_r$ )		19 kPa	
内部摩擦角( $\phi_r$ )		30°	
ポアソン比( $\nu_r$ )		0.4	
ロックボルトモデル	材 料	アクリル	
	弾性係数( $E_b$ )		4,000 MPa
地山-ボルト間	粘着力( $c_i$ )		5.9 kPa
	内部摩擦角( $\phi_i$ )		24°

ロックボルト軸力については、前述のとおり計測用ロックボルトに貼付されたひずみゲージのひずみ値に、あらかじめ引張試験によって求めた校正値を乗じて軸力を求める。

2-1-4 実験ケースおよびモデル物性

実験ケースは表-1に示すように、ボルト長、およびトンネル軸方向と円周方向の打設間隔をパラメータとして6ケース実施した。なお、後述の実験結果は誌面の都合上、無支保および実験ケース053025のみとする。

地山モデル、ロックボルトモデルおよび地山-ロックボルト間の地山物性は、事前に実施したロックボルト引抜試験などにより、表-2のとおり得られている。

2-2 ベアリングプレートの有無による支保効果の差違

2-2-1 載荷に伴うロックボルト軸力・せん断応力の発現メカニズムについて

図-3(a)および(b)は、それぞれボルト長5cmのベアリングプレートのある場合と、ない場合の載荷に伴うロックボルト軸力分布の変化を示している。どちらも載荷圧の小さい段階(100kPa)からロックボルト全長に、ある程度の軸力が発生し、載荷圧の増加に伴って軸力も増加しているが、その分布形状は明らかに異なっている。

ベアリングプレートのある(a)では、載荷初期の段階から300kPaまで一貫してロックボルト頭部すなわちトンネル壁面近傍で軸力が最大値を呈している。一方、ベアリングプレートのない(b)では、ロックボルト頭部および先端部がほぼゼロで、ロックボルトの中間部付近に軸力の最大値を有する分布となっている。ベアリングプレートがなければ、ロックボルト頭部は自由境界であるため軸力は生じない。このことが実験でも確認された。

それに対してベアリングプレートを設置した場合の(a)では、トンネル壁面において地山とロックボルトの相対変位が生じない。そのため地山奥にいくにしたがって、ボルトの周面に作用する摩擦力は、いわゆるアンカー作用として働く方向に生じ、その結果、ロックボルト軸力がトンネル壁面すなわちロックボルト頭部で最大値となる、上に凸の軸力分布となっている。

図-4(a)および(b)は、それぞれボルト長5cmのベアリングプレートのある場合と、ない場合の載荷圧300kPaにおけるロックボルト周面に作用するせん断応力分布(周面摩擦力)を示している。このせん断応力は、ひずみ計測ポイント間の軸力差と計測ポイント間の距離から求めている。図中、マイナスのせん断応力は、地山がロックボルトの

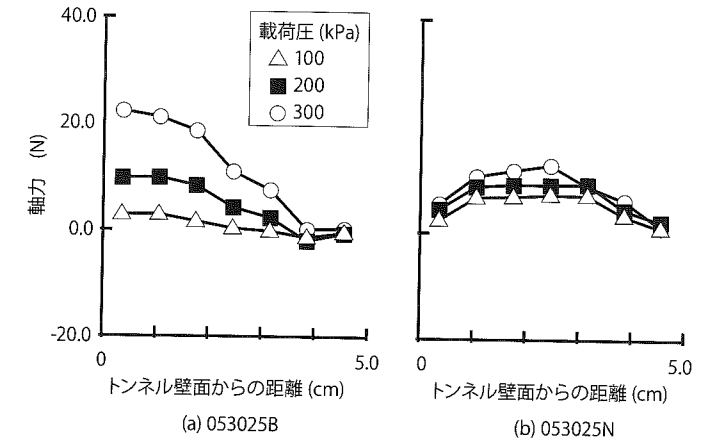


図-3 載荷に伴う軸力分布の変化

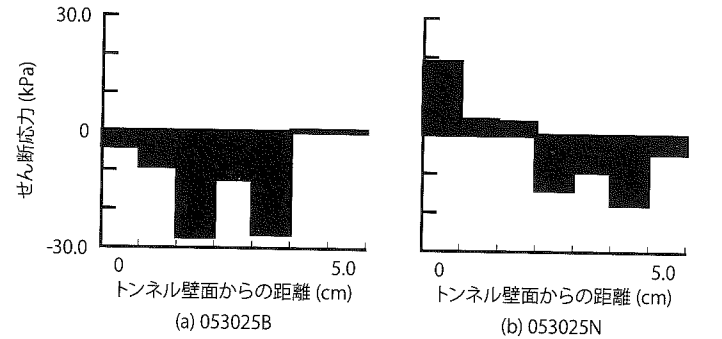


図-4 ボルト周面に生じるせん断応力(300kPa載荷時)

変位を抑制する方向に作用するせん断応力で、アンカー作用が働いていることを意味し、逆にプラスのせん断応力はロックボルトが地山の変位を抑制する方向、つまりピックアップ作用として機能していることを意味する。

このアンカー作用は、グラウンドアンカーにおける効果と類似である。すなわち、アンカー頭部が最大で先端部に至るまですべて引張力として作用する。したがって、周面に作用するアンカー作用は、ロックボルト全長にわたって引張力を発揮させるきわめて効果的な作用といえる。

このように、ベアリングプレートがある場合の軸力発現機構などは本研究を除いて確認されていないと思われる。

2-2-2 トンネル壁面変位抑制効果

図-5は、無支保、053025N(ベアリングプレートなし)および053025B(ベアリングプレートあり)の、載荷に伴う壁面変位を示している。縦軸は、

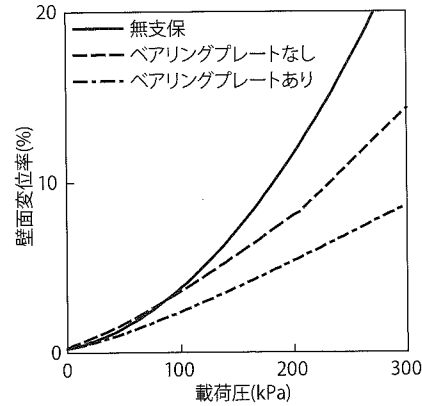


図-5 載荷圧と壁面変位率との関係(ボルト長5cm)

トンネル壁面変位をトンネル半径(5cm)で除した割合(壁面変位率)を表している。

これによれば、無支保、ベアリングプレートなし、そしてベアリングプレートありの順に壁面変位抑制効果が発揮されていることがわかる。無支保の場合には、載荷圧が増すにしたがって壁面変位も急増する傾向になるが、ベアリングプレートがある場合には、載荷圧が増加すると壁面変位は増えるものの、その増加率はそれほど高くない。ベアリングプレートのない場合は、無支保とある場合の中間的な挙動となっている。ただし、載荷圧が200kPaを超えたあたりで曲線の傾きが大きくなっていることから、この時点でロックボルトのみによる支保の限界に達したのではないかと考えられる。

### 3 ベアリングプレートを考慮したロックボルトの力学機構

実験結果を踏まえ、ベアリングプレートの有無によるロックボルトの力学モデルの概念を図-6により説明する。本図は上段から順に、地山およびロックボルトの半径方向変位、ロックボルト周囲に作用するせん断応力、ロックボルト軸力、

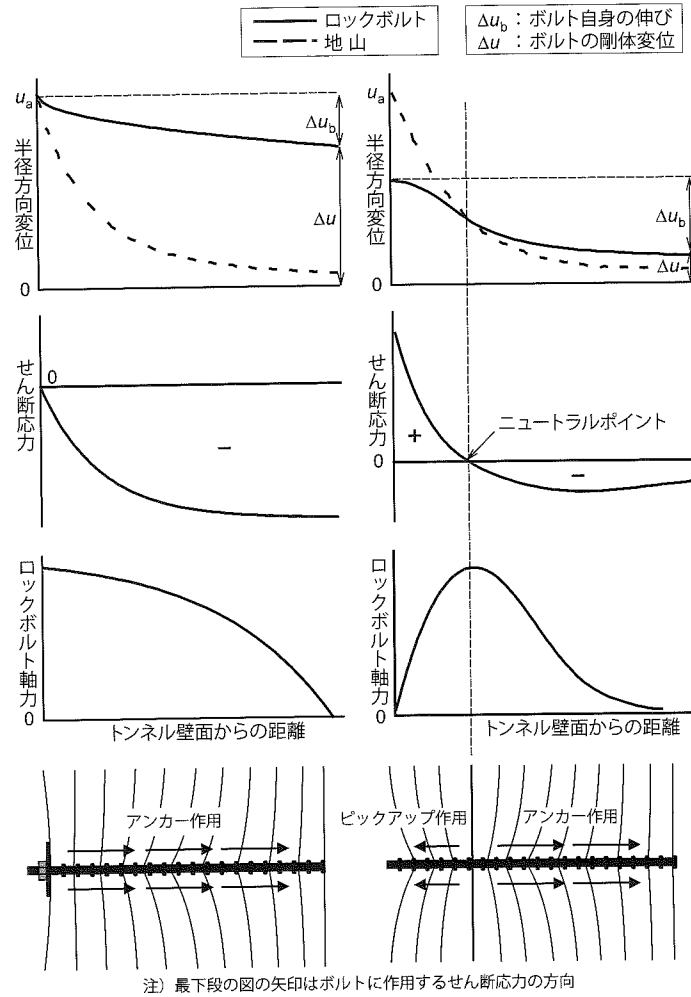


図-6 ロックボルト軸力およびせん断応力の概念

ロックボルトによる地山内変位状況およびロックボルトに作用するせん断応力の概念図をそれぞれ示している。同図(a)は低強度地山におけるベアリングプレートのある場合のモデル、(b)はベアリングプレートのない場合のロックボルトの力学モデル(以下、「従来モデル」)である。比較的硬岩な地山を対象としている多くの研究では、従来モデルを提示している場合が多い。

まず、従来モデルの概念について説明する。従来モデルでは、地山とロックボルトのトンネル半径方向変位は同図(b)最上段のような分布になる。この変位分布から、地山-ロックボルト間のせん

断応力は、その値がゼロとなる点(ニュートラルポイント)を境に、(同図(b)2段目)トンネル壁面側ではロックボルトが地山の変位を抑制する方向(ピックアップ作用)に、それより地山側では逆に地山がロックボルトの変位を抑制する方向(アンカー作用)に働くこととなる(同図(b)最下段)。このニュートラルポイントの位置は、頭部処理がされていない全面接着式ボルトと周辺岩盤との力のつり合いから理論的に導かれている<sup>2)</sup>。従来モデルではベアリングプレートの影響を無視しているため、軸力分布形状はロックボルトの両端でゼロの曲線となる。ロックボルト作用効果の研究の先駆けとなったFreemanの実証的研究<sup>3)</sup>などからも同様の軸力分布が得られていることから、ロックボルトを含むトンネルを扱う研究では、従来モデルの考え方を踏襲している例が多い<sup>4)</sup>。

一方、低強度地山におけるベアリングプレート有する場合のロックボルト挙動の概念については、同図(a)のようになると考えられる。

トンネル壁面においてベアリングプレートが地山とロックボルトを完全に一体化させていれば、地山とロックボルトの半径方向変位は一致する。しかし、低強度地山では地山の剛性に比してロックボルトのそれが、きわめて大きいので、地山奥側に向かうにしたがって両者に大きな変位差が生じる。つまり、地山の変位は同図(a)最上段の破線のようになるが、ロックボルトの半径方向変位はロックボルト自身のわずかな伸び分を除き、ほとんどがロックボルトの剛体変位(ボルト自身の剛体移動量)となる。この両者の変位分布の関係から、同図(a)2段目のせん断応力分布となる。

せん断応力分布はトンネル壁面においてゼロであり、地山奥側に向かうにしたがって地山がボルトをアンカーしようとする向き(ロックボルトには地山奥側に向かう方向)のせん断応力が増加する。この作用は、グラウンドアンカーにおける効果と類似である。周面に作用するアンカー作用は、ロックボルト全長にわたって引張力を発揮させるきわめて効果的な作用となる。

なお、このせん断応力はやがて付着強度の限界

と一致して一定の分布となる。このせん断応力を積分した結果が同図(a)3段目の軸力分布となる。したがって、軸力分布はトンネル壁面において最大となり、ロックボルト先端に向かうにしたがってゼロとなる、上に凸な分布を呈す。

ベアリングプレート有する場合のこの概念のもとづけば、ロックボルト頭部に発生した軸力が支保内圧を与えると捉えることができる。この概念を用いて、低強度地山トンネルの簡便な力学モデル構築へと議論を展開していく。

## 4 ロックボルトで支保されたトンネルの簡便力学モデル

### 4-1 力学モデルの考え方

前章までの実験結果およびロックボルト力学機構の概念のもとづき、ロックボルト支保の簡便な力学モデルを構築する。

さらに、低強度地山におけるロックボルト支保の設計モデル構築を念頭に置いて次の仮定を設ける。すなわち、塑性化した地山内にボルト全長がすべて含まれるものと仮定する。低強度地山のトンネルで問題となるのは、地山が塑性化したあとにトンネルの安定が確保されるか否かにある。また、亀裂性地山を除けば地山が弾性状態にある場合ではなく塑性状態に達したあとにロックボルトの効果がおもに発揮されるとする。また、低強度地山に比較的剛なボルトを挿入することを想定し、ロックボルト自身の伸縮については考慮しない。

### 4-2 トンネルの安定に必要な支保内圧

図-7のように軸対称の地山モデル(同図(a))のうち、円周方向については打設間隔 $\phi$ を、軸方向については打設間隔 $S_z$ をひとつの要素として切り出す(同図(b))。この要素を上から見た同図(c)において、幅 $dr$ のスリットのロックボルト軸方向のつり合いを考えることにより次式が得られる。

$$S_z r \int_{-\frac{\phi}{2}}^{\frac{\phi}{2}} \sigma_r \cos \theta d\theta - S_z (r+dr) \int_{-\frac{\phi}{2}}^{\frac{\phi}{2}} (\sigma_r + d\sigma_r) \cos \theta d\theta + S_z dr 2\sigma_r \sin \frac{\phi}{2} \theta d\theta + \beta b \tau_c dr = 0 \quad (1)$$

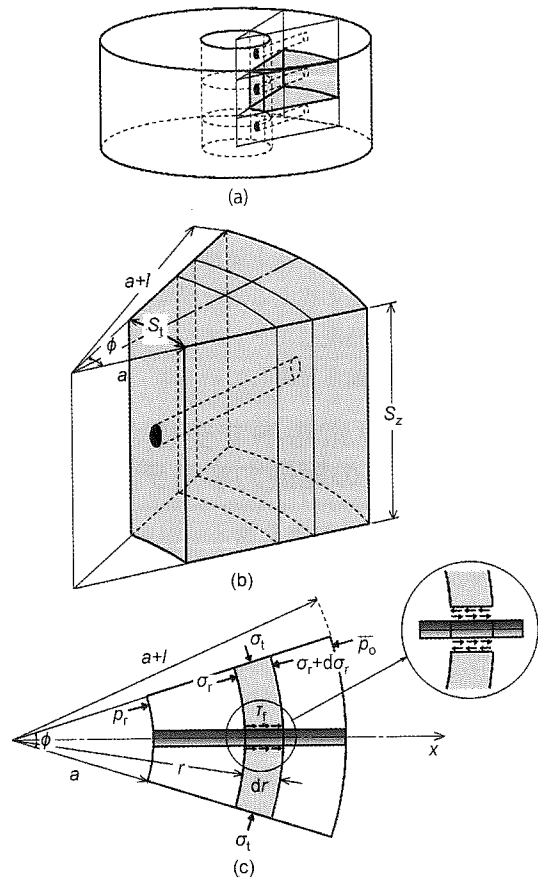


図-7 ロックボルトを含む地山の力学モデル

本研究では同図(c)のように、ロックボルトに作用するせん断応力の向きは従来モデルで一般に採用されている向きとは逆、すなわち地山側へ作用する向き(アンカー作用方向)を正としていることに注意されたい。ここで、 $l_b$ はロックボルト周長、 $\tau_t$ は地山-ボルト間せん断応力、 $\beta$ は付着度係数( $0 \leq \beta \leq 1$ )とする。付着度係数 $\beta$ は地山とボルトの一体化の完全さを表すものとする。

なお、一体化の完全さは、地山とロックボルトの周面摩擦力に影響を及ぼす付着の程度やトンネル壁面における地山、ロックボルトおよびベアリングプレートの固定の程度などを含むものと考えられる。この係数の値が1であれば極限状態とし、地山-ボルトの一体化が最大限に発揮された状態を表すものとする。0に近づくほど一体化の程度が弱くなり、0ではボルトが打設されていない無支

保状態と等価である。

地山内半径方向応力および接線方向応力をそれぞれ $\sigma_r$ および $\sigma_t$ とすれば、地山がクーロンの降伏条件にしたがうとの仮定により、

$$\sigma_t = \zeta \sigma_r + q_u \quad (2)$$

と表せる。ここで、 $\zeta = (1 + \sin \phi_i) / (1 - \sin \phi_i)$ 、 $q_u$ は地山の軸圧縮強さ、 $\phi_i$ は地山の内部摩擦角である。また、地山-ボルト間の付着抵抗 $\tau_t$ は粘着力 $c_t$ および摩擦角を $\phi_t$ として次式で規定されるものとする。

$$\tau_t = c_t + \sigma_r \tan \phi_t \quad (3)$$

式(2)および式(3)を式(1)に代入して整理し、さらにトンネル壁面およびロックボルト先端における境界条件を適用することにより、

$$\left(\frac{a}{a+l}\right)^{k\zeta-1} = \frac{kq_u + c_t^* + (k\zeta-1)p_r}{kq_u + c_t^* + (k\zeta-1)p_0} \quad (4)$$

が得られる。ここで、

$$k = 1 + \frac{\beta l_b \tan \phi_t}{S_z 2 \sin \left(\frac{\phi}{2}\right)} \quad (5)$$

$$c_t^* = \frac{\beta l_b c_t}{S_z 2 \sin \left(\frac{\phi}{2}\right)} \quad (6)$$

とし、 $p_0$ はボルト先端部( $r = a + l$ )における地山内半径方向応力を表す。

以上より、ロックボルトで支保された塑性リングの安定に必要な支保内圧 $p_r$ は、

$$p_r = \left(\frac{a}{p_0} - \frac{kq_u + c_t^*}{1 - k\zeta}\right) (1 + \eta_l)^{1-k\zeta} + \frac{kq_u + c_t^*}{1 - k\zeta} \quad (7)$$

となる。ここで、ボルト長 $l$ をトンネル半径 $a$ で除した無次元量をボルト長係数 $\eta_l = l/a$ とする。

### 4-3 地山-ロックボルト間の付着抵抗によって発揮される有効支保内圧

式(3)によって地山-ボルト間の付着抵抗を求めることができる。塑性リング形成時に、この付着抵抗がボルト全長にわたって作用しているものと考えれば、この付着抵抗をボルト全長にわたって積分することによりトンネル壁面におけるロックボルト頭部軸力 $F_b$ を求めることができるから、

$$F_b = \int_a^{a+l} \beta l_b \tau_t dr = \int_a^{a+l} \beta l_b (c_t + \sigma_r \tan \phi_t) dr \quad (8)$$

さらに、前節で適用した境界条件と同様の条件を適用すれば式(7)と類似の次式が得られる。

$$\sigma_r = \left(\frac{a}{p_0} - \frac{kq_u + c_t^*}{1 - k\zeta}\right) \left(\frac{a+l}{r}\right)^{1-k\zeta} + \frac{kq_u + c_t^*}{1 - k\zeta} \quad (9)$$

以上から、式(8)をボルト全長にわたって積分すれば、

$$F_b = \beta l_b l \left[ c_t + \left\{ \frac{1}{k\zeta} \left(\frac{a}{p_0} - \frac{kq_u + c_t^*}{1 - k\zeta}\right) (1 + \eta_l)^{k\zeta} - 1 + \frac{kq_u + c_t^*}{1 - k\zeta} \right\} \tan \phi_t \right] \quad (10)$$

を得る。 $F_b$ がベアリングプレートを通して支保内圧にすべて換算されるものとするれば、

$$p_b = \frac{F_b}{(S_z a \phi)} \quad (11)$$

となる。 $S_z a \phi$ はボルト1本あたりが負担するト

ンネル壁面の面積である。この $p_b$ をボルトの付着抵抗によって発揮される有効支保内圧とする。

### 4-4 ロックボルトの支保特性

式(7)から得られる必要支保内圧 $p_r$ と式(11)か

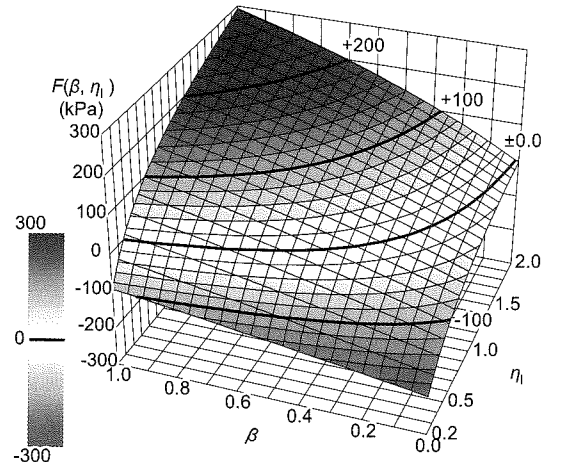


図-8 ロックボルト支保特性曲面の一例

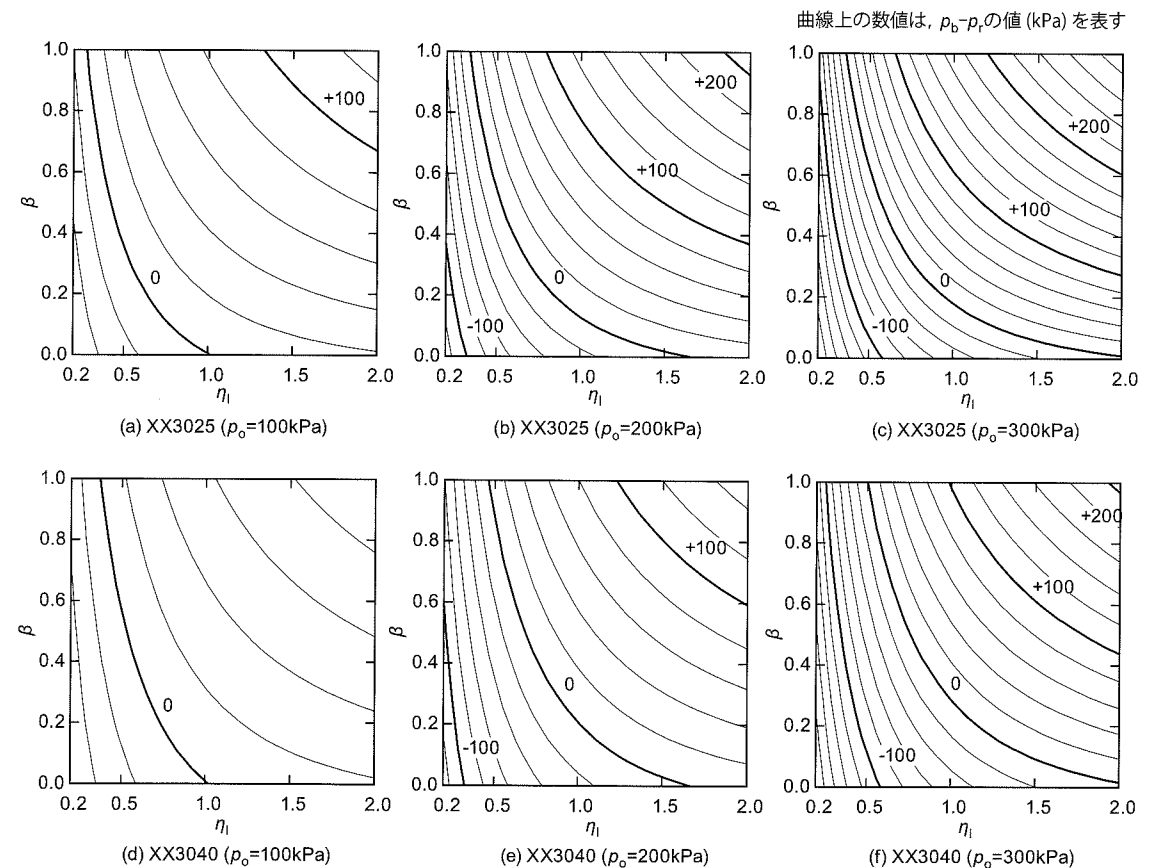


図-9 各載荷段階におけるロックボルト支保特性曲面

ら得られる有効支保内圧  $p_b$  との大小関係から、次に示す3種類の状態を考える。ここでは、地山、ボルトおよび地山-ボルト間の諸物性は既知とし、ボルトの打設間隔 ( $\phi$  および  $S_2$ ) を固定して  $F(\beta, \eta) = p_b - p_r$  (以降、「 $F$  値」) を設定して、 $p_b - p_r$  が正值 (安定)、 $p_b$  と  $p_r$  が等しい (極限つり合い状態)、 $p_b - p_r$  が負値 (不安定) の3種類の状態とする。なお、この関数  $F$  は、他の2つのパラメータを取れば別の評価も可能となる。

この3種類の状態を具体的に例示するため、模型実験で使用した諸値として、ボルトの打設間隔  $S_2 = 2.5\text{cm}$  および  $\phi = 30^\circ$  とし、外圧  $p_o = 300\text{kPa}$  時の  $F$  値を考える。このとき  $F$  値は、図-8のように、ロックボルト長と地山-ボルト間の付着度係数に関する特性曲面を描く。この曲面をロックボルト支保特性曲面と呼称する。図中の  $F$  値は、正であれば安定、負であれば不安定であることを内圧換算 (kPa) で示している。

表-2に示された実験ケースについて各载荷段階における同様の特性曲面を描き、それを ( $\beta, \eta$ ) 面上に射影すると図-9となる。この図からロックボルトの支保特性として以下のことが明らかである。

- ① 付着度係数  $\beta$  が大きいほど必要なボルト長は短くてよい。
- ② 载荷圧が高い段階になるほど、また打設間隔が密なほど  $F$  値の感度が高くなる。
- ③ トンネル半径と同じ程度のボルト長 ( $\eta = 1.0$ ) であればボルト長をそれ以上長くしたとしても、付着度係数に与える安定側  $F$  値 ( $>0$ ) の増加はそれほど大きくはならない。
- ④ ボルト打設間隔が既知であるとの前提のもとに、付着度係数  $\beta$  が決まればボルト長を求めることができる。

### 5 簡便力学モデルを用いたロックボルト支保の設計モデル

#### 5-1 トンネル壁面変位の簡便解

図-10は、内圧  $p_i$  および外圧  $p_o$  の作用した平面ひずみ条件下の有孔無限媒体を示している。

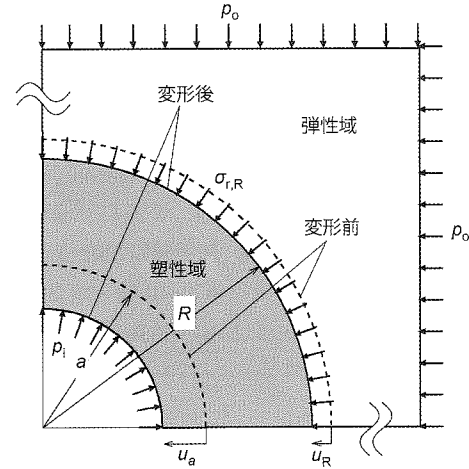


図-10 有孔無限媒体モデル

トンネル周辺地山がクーロンの降伏規準にしたがう完全弾塑性体であれば、弾塑性境界における半径方向ならびに接線方向の応力の連続性から、境界面に作用する応力  $\sigma_{r,R}$  およびトンネル中心から弾塑性境界までの距離  $R$  は次式で与えられる。

$$\sigma_{r,R} = \frac{2p_o - q_u}{\xi + 1} \quad (12)$$

$$R = a \left[ \frac{2}{\xi + 1} \frac{q_u + p_o(\xi - 1)}{q_u + p_i(\xi - 1)} \right]^{\frac{1}{\xi - 1}} \quad (13)$$

弾塑性境界外側の弾性域では、掘削半径  $R$  のトンネル壁面に内圧  $\sigma_{r,R}$  が作用したものと考えることができる。したがって、弾塑性境界面の半径方向変位  $u_r$  は次式から導くことができる。

$$u_r = \frac{1 + \nu_r}{E_r} (p_o - \sigma_{r,R}) R \quad (14)$$

一方、トンネル壁面変位  $u_a$  は、簡単のため変形前と変形後の塑性リングには体積変化が生じないものとすれば、次式が成り立つ。

$$(R^2 - a^2)\pi = \{(R - u_a)^2 - (a - u_a)^2\}\pi \quad (15)$$

式(15)を解き、微小項を無視して整理すると、 $u_a$  が次式のように与えられる。

$$u_a = u_r \left( \frac{R}{a} \right) \quad (16)$$

式(16)に式(13)および式(14)を代入すると、

$$u_a = \frac{1 + \nu_r}{E_r} \left( \frac{\xi - 1}{\xi + 1} \right) \left( p_o + \frac{q_u}{\xi - 1} \right) \frac{R^2}{a} \quad (17)$$

となる。なお、式(17)などの妥当性については、

模型実験の諸値を代入して得られた結果でその妥当性を明らかにしている<sup>5)</sup>。

#### 5-2 支保内圧とトンネル壁面変位との関係

トンネル壁面変位とロックボルトの打設パターンとの関係を明らかにするため、前項で求めたロックボルト支保特性曲面とトンネル壁面変位とを支保内圧を媒介として関連づける。これにより、選択したボルト長ならびにその打設間隔に対してどの程度の壁面変位が生ずるかを求めることができる。また、施工条件や吹付けコンクリート部材などの許容応力などから算出される壁面変位率 (以下、「許容壁面変位率」) が決まり、それを満足するロックボルト打設パターンを導出することもできる。

Hoekら<sup>6)</sup>はトンネル周辺地山を弾性に保つための最小支保内圧を限界支保内圧 (critical support pressure)  $p_{cr}$  として次のように定義している。式(13)において、弾塑性境界までの距離  $R$  がトンネル半径  $a$  と等しいときの  $p_i$  が  $p_{cr}$  となるから、

$$p_{cr} = \frac{2p_o - q_u}{\xi + 1} \quad (18)$$

したがって、 $p_{cr}$  以上の内圧ではトンネル周辺には塑性領域が生じず、本モデルは適用できない。

以上により、ボルトの付着特性から得られる有効支保内圧  $p_b$  は、4-4節で定義した下限側の条件、すなわち、 $p_b \geq p_r$  で表される条件と、式(18)で表される限界支保内圧を上限として新たに条件に加えると、本モデルに関する有効支保内圧  $p_b$  の適用範囲は次のようになる。

$$p_r \leq p_b \leq p_{cr} \quad (19)$$

初期地山応力と地山および地山-ボルト間特性が既知であれば、ボルト打設パターンに応じて式(19)を満たす支保内圧  $p_b$  を求めることができる。この  $p_b$  をそのままトンネル壁面変位算定式(17)の  $p_i$  に代入すれば、最終的にボルト打設間隔とトンネル壁面変位量との関係を導くことができる。

#### 5-3 ロックボルト打設パターンの最適範囲算定例

実験で用いた諸物性を例にとりて、最適なロックボルト打設パターンの範囲を絞り込む方法を述

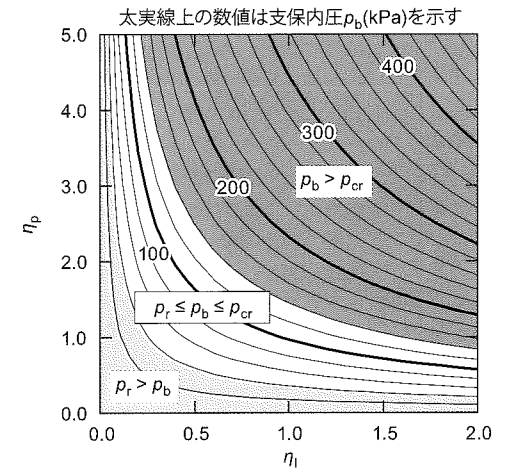


図-11 ロックボルト打設パターンと支保内圧

べる。最大载荷圧  $p_o$  (300kPa) を初期地山応力と見なし、また、ロックボルト単体の引抜試験により付着度係数が  $\beta = 0.4$  であったと仮定する。また、ボルト打設密度係数を  $\eta_b$  として、

$$\eta_b = \frac{l_b}{S_2 2 \sin\left(\frac{\phi}{2}\right)} \quad (20)$$

とする無次元量を定義する。 $\eta_b$  はボルト周長やトンネル円周方向あるいは軸方向のボルト打設間隔が密になるほど大きな値をとる。

先に与えた  $F$  値において、 $\eta_b$  とボルト長係数  $\eta_1$  を変数にとれば、これらをパラメータとした支保内圧  $p_b$  を求めることができる (図-11)。また本図において着色された領域は、 $p_b > p_{cr}$  と  $p_r > p_b$  である。したがって、これらの領域に囲まれた部分 (非着色領域) が本モデルを適用したときのトンネルの安定に必要な支保内圧の範囲となる。本図から次のことがいえる。

ボルト打設間隔が密になるほど ( $\eta_b$  が大きくなるほど) 必要なボルト長は短くてよい ( $\eta_1$  が小さくてよい) が、 $\eta_b$  がほぼ1.5を境にしてそれよりも小さいと、ボルト長を長くしたことによる支保内圧効果はそれほど得られない。見方を変えれば、 $\eta_b$  をより大きなものとするれば、ボルトを少しでも長くしたことの効果は増す。このことは、表-1で示した実験における打設パターンの範囲  $0.6 \leq \eta_1 \leq 2.0$

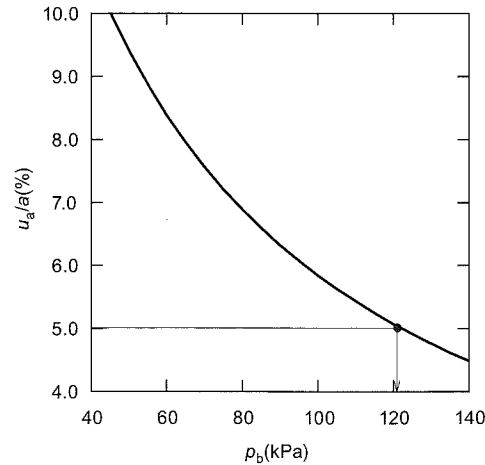


図-12 適用範囲内支保内圧とトンネル壁面変位率

および  $0.58 \leq \eta_b \leq 0.93$  では、ボルト長を長くするよりも打設密度を密にした方が変位抑制効果が高いといえる。

さらにトンネル壁面変位率との関係を得るために、図-11で与えられる支保内圧の範囲を式(17)に適用すれば、図-12に示す支保内圧とトンネル壁面変位率の関係が得られる。本図から、例えば許容壁面変位率を5%以下に設定したい場合には支保内圧が120kPa以上必要となり、これを満足する打設パターンは図-11の線と与えられることになる。

ここで得られた支保内圧120kPaは、初期地山応力として設定した外圧300kPaの40%に相当する。初期地山応力の程度にもよるが、実際には支保工耐力には限度があり、ここで得られた支保内圧をそのまま実スケールに適用することが困難な場合もある。また、この試算ではロックボルトのみによる支保内圧で評価している。したがって、実設計への適用にあたっては、ロックボルトだけではなく吹付けコンクリートや鋼アーチなどの支保工耐力やその反力に配慮する必要がある。

このように本モデルでは、地山およびロックボルトに関して得られた物性値の数が限られていても、トンネルの安定に必要なロックボルトの打設パターンの範囲を求めることが可能である。

この試算過程は図-13に示すフローチャートで表せる。

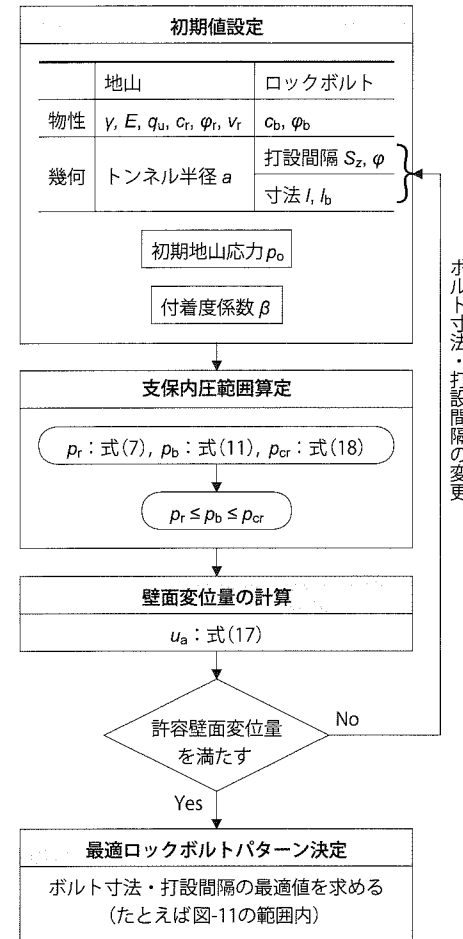


図-13 最適ロックボルトパターン算定フロー

## 6 おわりに

軸対称応力場の低強度地山トンネルにおける模型載荷実験結果により、ベアリングプレートを介して支保内圧効果が得られ、ロックボルトの効果が高く発揮されることを示した。また、ロックボルトの軸力発現機構などにもとづいて、ベアリングプレートを有するロックボルトの力学機構の概念を示し、トンネルの簡便力学モデルを構築した。また、そのモデルによりロックボルト支保の特性を示し、さらにはロックボルト支保の設計モデルを提案した。

ただし、次のような適用上の限界もある。すなわち、壁面変位算定式においてはロックボルトを剛体と見なしていること、地山-ロックボルト相

相互作用を付着度係数によって簡便化を図るなどしていることである。とくに付着度係数に関しては、今後の研究でその物理的意味を解明しなければならない。

このように課題が多いものの、この設計モデルによって実設計に対する目安となりうること、また実際に計測されたロックボルトの実現象に対するひとつの評価を与えることもできると考えられる。

## 参考文献

- 1) 土木学会トンネル工学委員会：2016年制定トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説，土木学会，pp. 88-90，2016.
- 2) Tao, Z. Y. and Chen, J. X. : Behavior of rock bolting and tunnelling support, *Proc. of the Int. Symp. on Rock Bolting*, pp.87-92, 1983.
- 3) Freeman, T. J. : The behavior of fully-bonded rock bolts in the Kielder Experimental tunnel, *Tunnels & Tunnelling*, pp.37-40, 1978.
- 4) 例えば、齊藤敏明・天野悟：ロックボルト支保の設計に関する基礎的考察，第14回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.76-80，1982.
- 5) 土門剛・今田徹・西村和夫：ロックボルトによる支保内圧効果を考慮した低強度地山トンネルの簡便モデル，土木学会論文集，Vol.722, No.III-61, pp.149-167, 2002.
- 6) Hoek, E., Kaiser, P. K. and Bawden, W. F. : Support of Underground Excavations in Hard Rock, A. A. Balkema, Rotterdam, 1995.

## 図書紹介



## びっくり！すごい！美しい！ 「橋」と「トンネル」に秘められた 日本のドボク

三浦基弘 監修・造事務所 編 実業之日本社  
全書判 224頁 本体価格800円 2017年1月刊

近年、ダム、鉄道、道路といったインフラの大切さ、その背景にある物語や産業的な発展に、きちんと目を向けられるようになってきた。そしてエンターテインメントとして、新たな概念「ドボク」として楽しまれている。地形を克服し、物流・移動を確保して国土の骨格を造り上げる橋とトンネルは、一見、味気なく見えるが、実は個性があり、そこに造られた必然性や個々の事情もみえてくる。発展の歴史も、世界や日本の産業史とも強くかかわっていて、とてもドラマチックなものといえる。

本書では、橋とトンネルの魅力として、それぞれ「構造」と「工法」に着目した。その切り口で、数式を使わずに橋の構造を、豊富な事例でトンネルを解説する。

## 目次

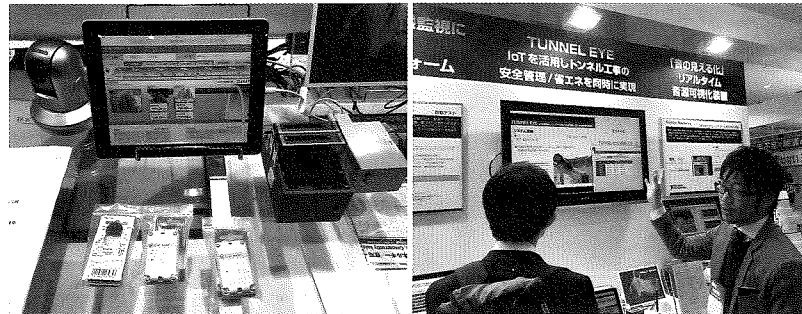
- part 1 知ってるようで知らなかった「橋」の世界
- part 2 知れば知るほどアメージング！奥深い「橋」の魅力
- part 3 見えない部分がすごい！「トンネル」の世界
- part 4 知ればもっと、なかにいたくなる「トンネル」の魅力

# トンネルジャーナル

## 安全対策・省エネ制御システム「TUNNEL EYE」を出展

(株)イー・アイ・ソルは去る3月1～3日に東京ビッグサイトで行われた「第7回スマートグリッドEXPO」の日本ナショナルインスツルメンツ(株)のブース内で安全対策・省エネ制御システム「TUNNEL EYE」を出展した。

「TUNNEL EYE」は複数の制御端末により入坑者や車両の位置、メタンガスなどの各種ガスの濃度などのデータを現場事務所などに設置したサーバーに送信し安全管理を行うシステム。粉塵量による換気ファンの制御、入坑者・



車両の検知による工事用照明の制御も可能で省エネも効率的に行うことができる。同システムは今後のトンネル工事において安全および省エネ面で寄与できるシステムとして期待される。

## 新東名(愛知県区間)開通1年後のストック効果

中部地整, 中日本高速道路, 愛知県, 沿線5市(浜松市, 岡崎市, 豊川市, 豊田市, 新城市)からなる「新東名(愛知県)開通効果検討会議」は, 昨年2月13日に開通した新東名高速道路浜松いなさIC~豊田東JCT間, 約55kmの開通後約1年のストック効果を発表した。これによると, 開通区間では1日あたり約4万2千台が利用。同区間の開通前は, 東名を1日あたり約9万3千台が利用していたが, 開通後は, 東名と新東名を合わせた交通量が1割増加し, 新東名と東名の分担率は新東名が4割, 東名が6割程度となった。先に開通した静岡県区間では, 愛知県区間の開通に伴い, 新東名が分担する大型車交通の割合が増加している。

渋滞回数をみると, 開通前の11か月間では381回を数えていたが, 開通後は26回と大幅に減少した。ゴールデンウィーク・お盆・年末年始といった交通混雑期については, 開通前に48回あったものが, 3回へと減少している。これにともない, 長距離利用する大型車の走行時間が約15%減少したほか, 物流における定時性が向上し, 自動車部品の輸送における渋滞に伴う遅延納入が減ったとの声があるほか, 渋滞を見越した早出出勤が減ったとのヒアリング結果が得られている。新東名沿線の内陸部では, 工業用地の開発・分譲により, 新たな立地が進み, 静岡県区間が開通した2012年以降, 223か所の工場の立地



東名高速道路上り線 音羽蒲郡IC~岡崎ICの渋滞の改善状況(新東名(愛知県)開通効果検討会議:記者発表資料, 2017.2.10.より)が確認されている(うち92か所は移転立地)。製造業従業員も増加傾向にある。

### 連載講座

## トンネル新技術への挑戦(17)

### —トンネル切羽から行う弾性波探査—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会

#### ① はじめに

大島(筆者)が40年以上も昔, 山陽新幹線や青函トンネルの工事に従事していたころ, 掘削に伴うゆるみ範囲を求める目的で坑内弾性波探査と称する屈折法の原理を用いた調査法が用いられていた。また, 切羽の発破を利用して地表部に設置した受振器との位置関係から切羽前方の速度構造を調べようという調査も試みられていたことがある。今回扱う新技術は, 上述の過去の技術の発展形ともいえる切羽において前方予知を目的として行われる弾性波の伝播を利用する物理探査技術である。

孔内に受振器を置き, 地表振源の反射波を受振することで地下の反射面や速度構造を3次元で予測する反射法の一つとして図-1に示すような

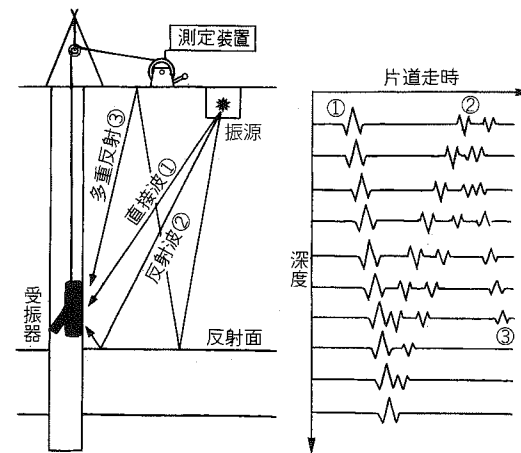


図-1 VSP探査法の概念<sup>1)</sup>

VSP (Vertical Seismic Profiling) 探査法がある。この原理を坑内の切羽前方探査に適用する調査法として図-2, 3に示すようなTSP (Tunnel Seismic

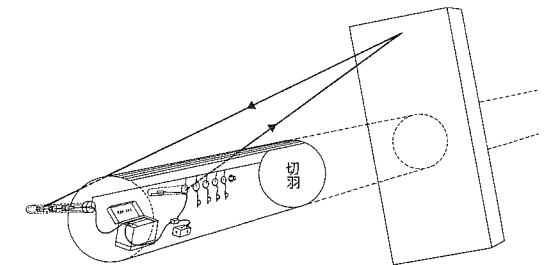


図-2 TSP探査法のイメージ<sup>2)</sup>

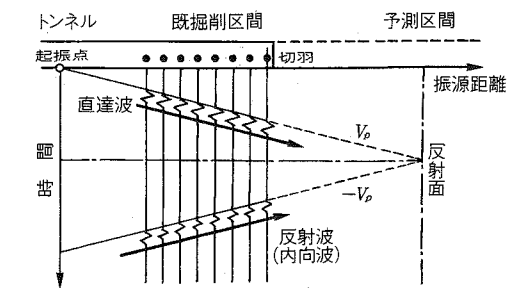
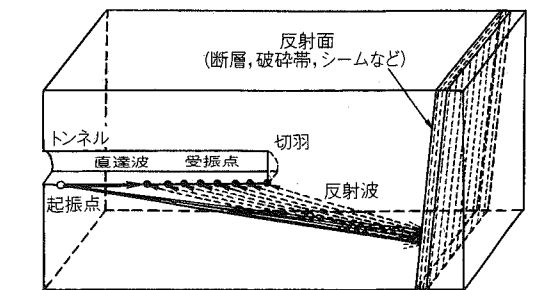


図-3 HSP探査法の概念<sup>1)</sup>

Prediction)やHSP(Horizontal Seismic Profiling)がある<sup>1),2)</sup>。前者はスイスのAmberg社の商品であり、後者は国交省土木研究所と民間企業との共同研究で作った成果技術である。このような弾性波探査技術による切羽前方探査に関し、建設各社は独自に研究開発を進めている。今回はこの種の技術に関し下記4技術を紹介する。

#### (1) 削孔振動探査T-SPD(大成建設)

T-SPD(Tunnel Seismic Probe Drilling)は、先進ボーリングマシンの削孔振動をマシン近傍の地中(孔内)に設置した受振器で連続観測することで、ボーリング孔付近の地山速度構造を明らかにしようとする探査技術である。

#### (2) トンネル切羽前方クロスホール弾性波トモグラフィ探査(前田建設工業)

トンネル切羽前方クロスホール弾性波トモグラフィ探査は、ドリルジャンボによる削孔検層孔へ、孔間弾性波トモグラフィを適用することにより、ボーリング孔間の地山速度構造を測定する技術である。水平ボーリング孔にゲル状充填材を充填することにより、孔壁保護と弾性波伝播を行う点が本手法の特徴である。

#### (3) ブレーカ振動探査 S-BEAT(清水建設)

S-BEAT(Shimizu-Hydraulic Breaker Exploration Ahead of Tunnel Face)は、油圧ブレーカを起振源に、支保工ロックボルトを受振器とし、掘削作業と同時に併行して弾性波を連続測定し、前方の地山状況を3次元的に予測しようとする探査技術である。

#### (4) TFT探査(安藤・間)

TFT(Tunnel Face Tester)探査は、掘削発破を起振源、支保工のロックボルトを受振器として利用することで、削孔作業や受振器の埋設作業などの準備作業を不要とする探査システムである。

## ② 削孔振動探査技術 T-SPD

### 2-1 開発の背景と経緯

#### 2-1-1 それまでの状況

山岳トンネルの事前調査に良く用いられている屈折法弾性波探査は、土かぶりが大きくなるに従

い精度が低下する傾向にあり、施工時の切羽前方探査が必要とされる。そのために良く用いられているTSPやHSPなどの反射法弾性波探査や、先進ボーリングの削孔エネルギーを利用した削孔検層手法があったが、これだけでは設計・施工上満足できない状況であった。

#### 2-1-2 開発への取組み

T-SPDの開発に関しては、①トンネル掘削を妨げないこと、②事前設計で用いられる弾性波速度がわかること、③切羽前方の不良地山の位置と規模がわかること、の3つを目標とした。

参考とした技術は、石油資源探査の分野で1990年代から掘削作業をしながら地質特性を調査するMWD(Measurement While Drilling)技術の1つ、SWD(Seismic While Drilling/坑井掘削中にビットが岩石を砕く際に生じる弾性波を振源とし、坑井周辺の地下構造を調べる手法)である。SWDは図-1で示したVSP探査法の起振点と受振点の関係を相互に置き換えたような手法と考えれば良く、削孔の先端が起振点、削孔機が据え付けられた地表面に受振点がある。一方、T-SPDでは、SWDの削孔機をトンネル坑内切羽前方に向けて水平に設置し、切羽面付近に受振器を設置するということと、ビットから生じる直接波のみを用いているという相違がある(図-4)。

#### 2-1-3 開発の経緯

ドリルジャンボを用いた先進ボーリングにT-SPDを適用して開発の可能性を確認した<sup>4),5)</sup>。この実験により、削孔振動探査の振源としては、

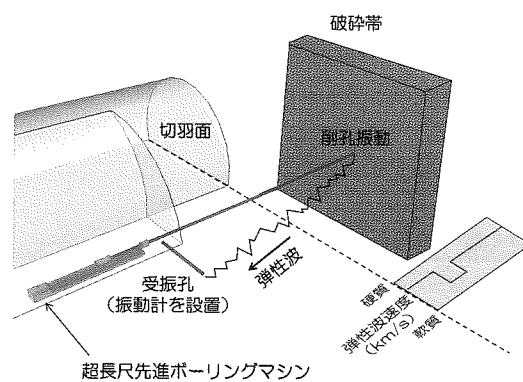


図-4 T-SPD概念図(鳥瞰図)

先端打撃式のボーリングマシンを使用することがより望ましいことがわかった。

2012(平成24)年に100m級の削孔能力を持つ先端打撃式のウォーターハンマードリルを用いたT-SPDをさがみ縦貫道葉山島トンネルで実施した<sup>6)</sup>(写真-1)。この結果、切羽前方のP波速度分布結果は、切羽観察結果やトンネル掘削後の路盤で実施した屈折法弾性波探査結果と整合することが確認できた。また、2015(平成27)年には東海環状自動車道三輪トンネルでも同じ削孔機械を用いた実験を行い、探査区間102mで整合性を確認できた<sup>7)</sup>。このようにして、100m級の先進ボーリングを用いたT-SPDを確立することができた。

さらなる探査区間の長距離化として、2014(平成26)年に新名神高速道路路面トンネル東工事で、1,000m級の削孔能力を持つFSC-100を用いた先進ボーリングでT-SPDを実施した<sup>8),9)</sup>。この概要を以下に示す。

### 2-2 開発の成果と実績

#### 2-2-1 適用事例

箕面トンネル東工事区間の地質は、中生代の混在岩(頁岩主体で砂岩、チャートなどを含む)である。また事前調査として実施された地表からの屈折法弾性波探査の結果では、低速度帯が4か所で想定されていた。本トンネルでは、トンネルの一部が河川下を通過する小土かぶり区間であるため、周辺水環境を保全する目的で非排水構造が採用された。この区間の水理地質情報を事前に得ること

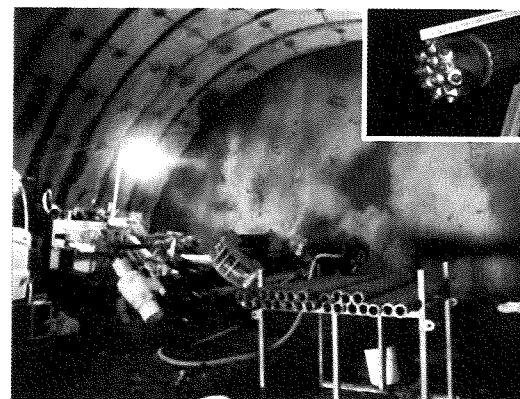


写真-1 葉山島トンネルでの実施状況とドリルビット

を目的として、掘削方向を制御しながら高速で1,000m程度を掘削できる超長尺先進コントロールボーリングFSC-100がトンネル拡幅部から実施された(写真-2)<sup>10)</sup>。そこで、ボーリングに合わせて2回のT-SPDを実施した。

#### 2-2-2 成果

T-SPDによる弾性波探査結果と、検証データとして、トンネル掘削後の路盤で実施した屈折法弾性波探査結果、地表からの屈折法弾性波探査結果、切羽評価点、削孔検層結果と比較したところ、以下の成果が確認された。

- ・事前調査の地表からの屈折法弾性波探査で想定されていた低速度帯の位置(図-5の低速度帯1~3)の近傍に、T-SPDの結果でも相対的に低い区間の速度層が確認された。T-SPDが地表からの屈折法の代替法となりうる可能性が確認された。
- ・T-SPDの結果でP波速度3.6km/s以下の区間を不良地山区間とすると、この区間は、路盤屈折法弾性波探査の相対的に低い速度区間(おおむね4 km/s未満)かつ切羽評価点が35以下(道路トンネルの地山分類でDI以下に相当)であるトンネル掘削時に実際に不良であった区間に相当し、不良地山評価に対するT-SPDの有効性を確認することができた。
- ・削孔検層結果に関しては、総深度600m付近の不良地山については、低い削孔エネルギー(20MJ/m<sup>3</sup>以下)が分布する区間として捉え

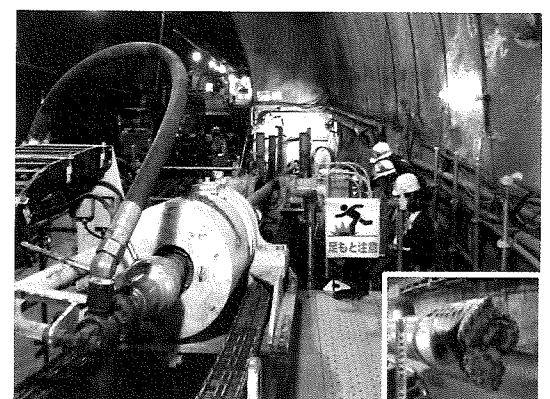


写真-2 箕面トンネルでの実施状況とドリルビット

ることができた。一方、総深度100m付近の不良地山については、ジャミング多発区間で孔内にスライムが残存してしまった影響で、高い削孔エネルギー(130MJ/m<sup>3</sup>以上)となってしまった。また、総深度770m付近の不良地山についても、明瞭な低い削孔エネルギー区間として捉えることができなかった。この原因は、この総深度付近の切羽観察で特徴的であった地山状況の不均一性であると推定している。以上より、削孔検層とT-SPDを同時に実施することで、不良地山の検出確度を向上させることがわかった。

### 2-3 残された課題

以下の3点を残された課題と考えている。

- ・解析に2日程度を要すること

- ・探査可能深度が箕面トンネルの実績では500m程度であったこと

- ・P波速度の絶対値の差違

解析に2日程度要する点に関しては、データの1次的な処理まで自動で実施する専用機を開発中である。これにより1日以内の解析時間を目指したい。

探査深度が、削孔深度(第1回676m、第2回718m)に対し、探査可能深度が500m程度となってしまった点に関しては、分布する地質の状態や、坑内作業環境の影響が原因と考えられる。ハードとソフトの両面から、S/N比を向上する工夫を継続し、探査深度の長距離化を目指したい。

T-SPD結果と検層結果のP波速度の絶対値が一致しない点については、それぞれの測定位置が

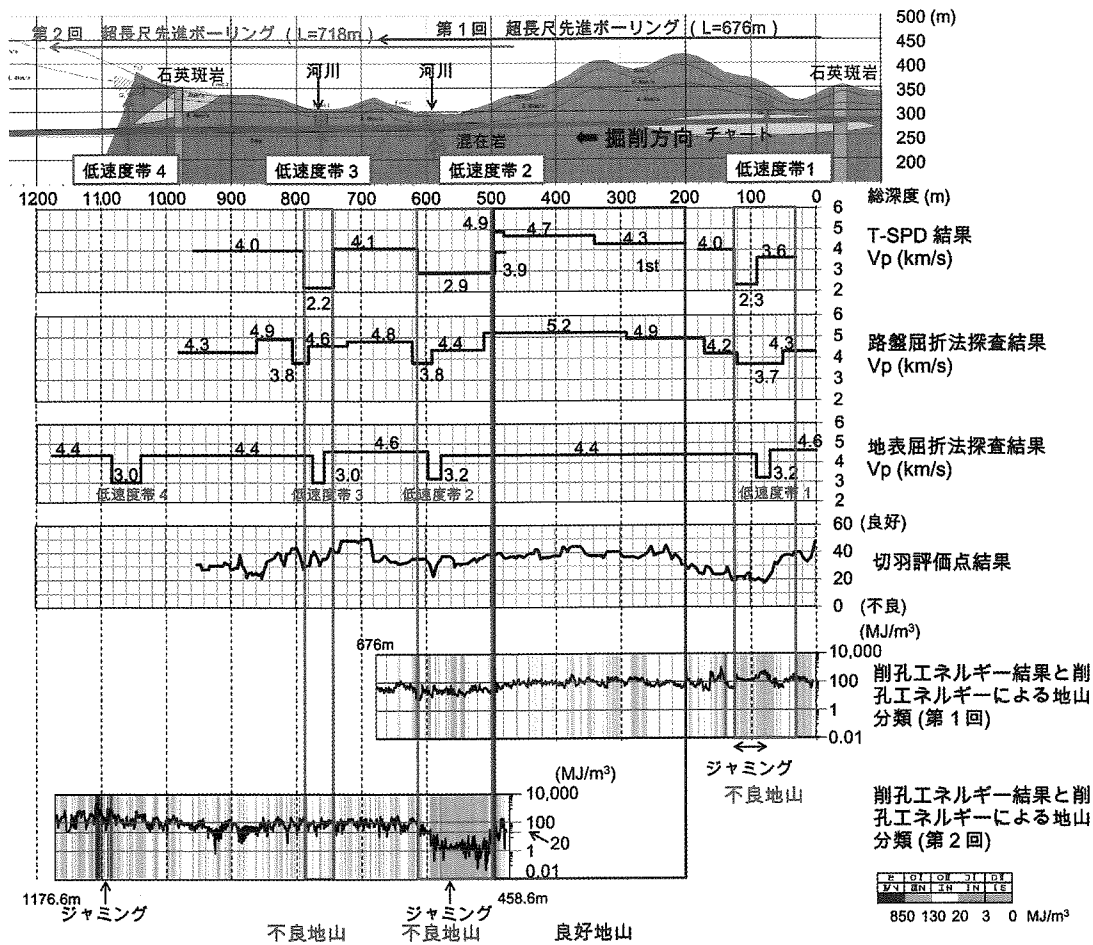


図-5 T-SPD結果と実測値・掘削実績との比較

一致していないことが原因と推定しているが、今後は、T-SPD結果と支保実績の蓄積や、複合探査の思想<sup>11)</sup>を取り入れた削孔検層結果との相互補完によって、不良地山を確実に捉えられることを目指したい。

### 2-4 おわりに

「トンネル掘削を妨げないこと」「事前設計で用いられる弾性波速度がわかること」「切羽前方の不良地山の位置と規模がわかること」を特徴とする新たな弾性波探査法を開発し、有効性を確認することができた。先進ボーリングを実施する現場での適用事例を増やすとともに、技術の醸成を図りたいと考えている。

## ③ トンネル切羽前方クロスホール弾性波トモグラフィ探査

### 3-1 開発の背景と経緯

#### 3-1-1 それまでの状況

水谷(筆者)らは、第1章で紹介されているTSPやHSPなどの反射法による切羽前方探査結果は、実際の地質状況と異なる場合もあり、設計変更というよりも危険予知的な利用に留まっていると考えている。それは、海外の地質構造に比べて日本の地質構造は複雑なため、反射波には多くの地質情報が含まれていることから、そのような反射イベントから単純に地質構造を解釈することが難しいからではなかろうかと考える<sup>12)</sup>。

#### 3-1-2 開発への取組み

本手法の開発においては、上述した反射法の弱点を解決する手法として、直接波を用いた孔間弾

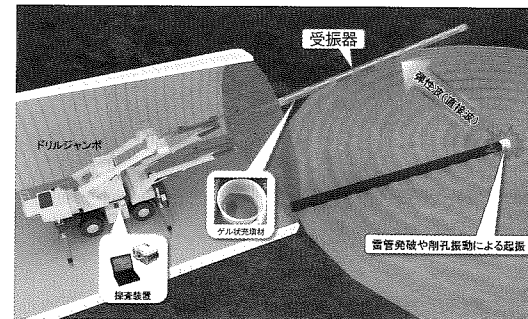


図-6 探査概念図(鳥瞰図)

性波トモグラフィに着目した<sup>13)</sup>。孔間弾性波トモグラフィは、孔間距離が基本的に既知であり、直接波を利用した手法であることから、探査原理的に反射法よりも高精度である。また、ドリルジャンボのボーリング孔に本手法を適用できれば、切羽前方を集中的に探査できる汎用的な手法になると考えた。しかし、本手法を適用するにあたり次の課題が考えられた。①鉛直ボーリングの場合は振動を伝播させるために孔内に水を溜めるが、水平ボーリングの場合、孔内に水を溜めることが困難である。②鉛直ボーリングに比べて水平ボーリングの孔壁は崩れやすく、起振機や受振器の挿入や回収が困難である。そこで、水平ボーリング孔に充填が容易で岩盤亀裂に浸透せず、かつ、振動を伝えることが可能な材料として、固体と液体の中間的な流動性をもつゲル状充填材を一つの候補と考えた。また、このゲル状充填材には、ボーリング孔の保孔効果も期待した。これらの技術を組み合わせることで開発したものが、「トンネル切羽前方クロスホール弾性波トモグラフィ探査」である(図-6)。本手法の最大の特徴は、水平ボーリング孔にゲル状充填材を注入することにより、孔壁保護と弾性波伝播を行う点である(図-7)。

①ジャンボによるノンコア削孔：削孔ロッドを通じて供給される水により削孔

②削孔完了：削孔水供給停止により孔内水が岩盤亀裂や口元から逸水

③ゲル状充填材注入：削孔ロッドを通じてゲル状充填材を供給

④ゲル状充填材を注入しながら削孔ロッドを引き抜く

⑤ゲル状充填材注入完了：ボーリング孔壁の保護に寄与

⑥受振器付きガイド管を挿入

⑦受振器付きガイド管挿入完了し、ゲル状充填材を補足注入

⑧探査：起振器または受振器と地盤との振動を伝達

図-7 ゲル状充填材の充填イメージ

### 3-2 開発の成果と実績

#### 3-2-1 ゲル状充填材の製造および室内模型試験

ゲル状充填材は、水溶性高分子を水に溶解して製造し、粘度を変化させたサンプルを数ケース製造した。これらゲル状充填材の充填性を確認するため、ボーリング孔を模擬したアクリル製塩ビ管を用いた充填性試験を実施した。それにより、ポンプ圧送が可能で口元から容易に流出せず、模擬センサー周辺にエアだまりなどの空洞が生じないゲル材仕様を決定した(写真-3)。



写真-3 室内模型試験状況



写真-4 現場実証試験状況

#### 3-2-2 現場実証試験

本手法の成立性を確認するため、現場実証試験を実施した(写真-4)。

測定は、ドリルジャンボによる切羽左右2本のボーリング孔(φ65mm)を使用し、右孔を起振孔、左孔を受振孔として、孔間を伝播する弾性波を測定した。測定システム模式図を図-8に示す。

弾性波の受振にはハイドロフォン(φ35mm)と呼ばれる水圧を感知する受振器を使用した。ハイドロフォンをゲル状充填材中に置くことで地山を伝

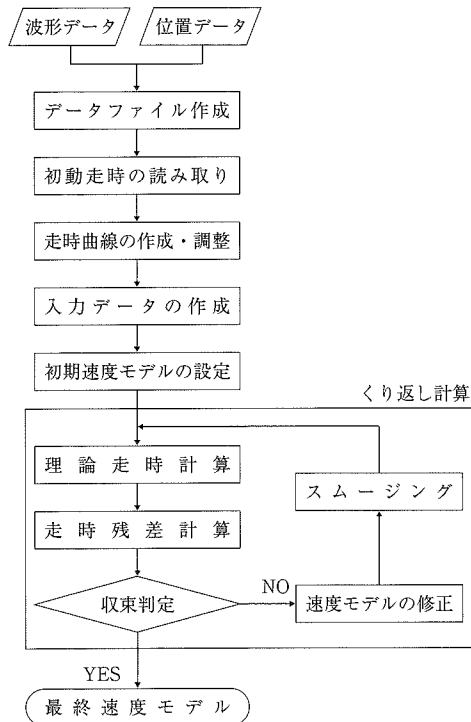


図-9 解析フローチャート

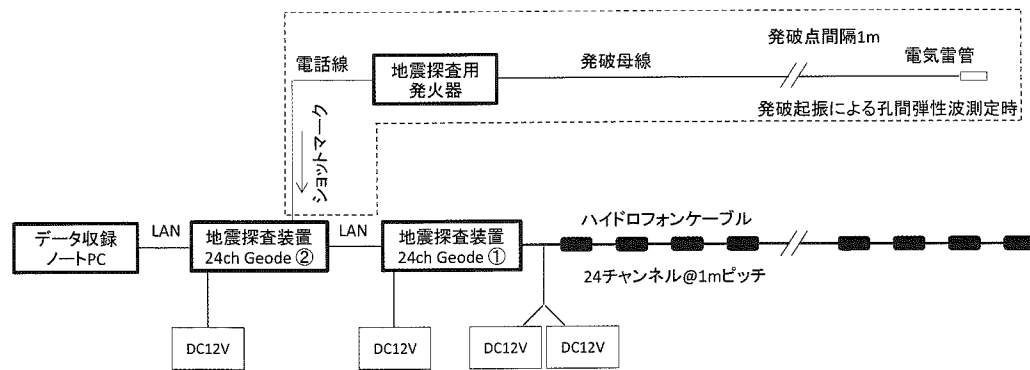


図-8 測定システム模式図

播してきた弾性波を感知可能とした。今回試験の起振は瞬発電気雷管の発破によって行った。解析フローチャートを図-9に示す。波形記録(図-10)から初動走時を読み取り、走時曲線を作成した(図-11)。走時曲線より初期速度モデルを作成し、くり返し計算を行うことにより、弾性波速度分布を得た(図-12)。なお今回の結果は、孔荒れによ

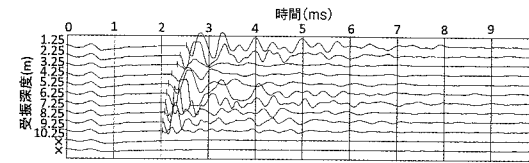


図-10 発破起振による波形記録

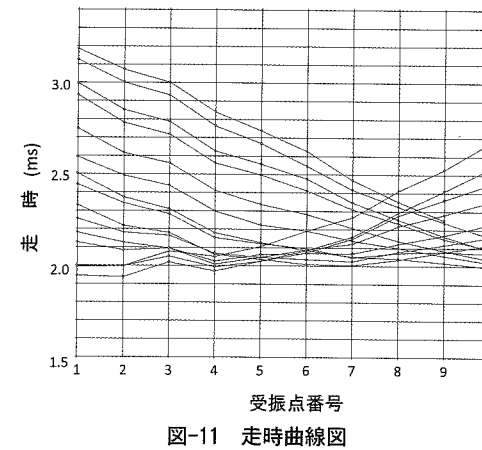


図-11 走時曲線図

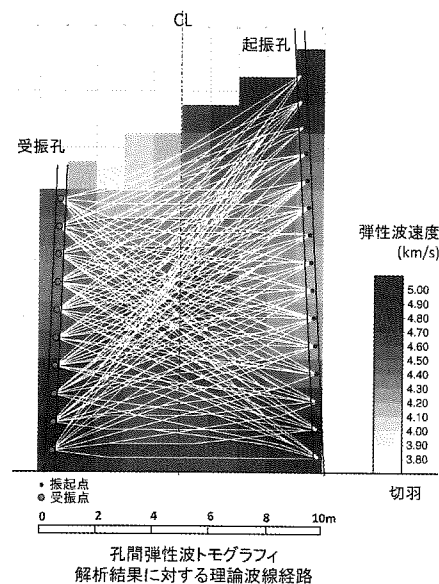


図-12 解析結果

る受振器の設置不良により、切羽奥10~15mまでの測定結果となっている。探查結果は、掘削時の切羽状況とも整合が取れており、本手法の成立性を確認することができた。

#### 3-3 残された課題

現場実証試験では受振孔の孔荒れにより、受振器を切羽奥10mまでしか挿入できなかった。その原因としては、削孔直後にゲル状充填材による保孔ができなかったことや、今回のゲル状充填材仕様では十分な保孔効果が得られなかったことが考えられた。その問題点を踏まえ、現在、削孔直後に保孔可能な充填システムの開発や、保孔効果の高いゲル状充填材仕様への改良を行っている。また、本手法を汎用的な切羽前方探查手法とするため、簡易に実施可能な測定・解析システムの構築も進めている。

#### 3-4 おわりに

ゲル状充填を用いることを特徴とする新たな切羽前方探查手法を開発し、成立性を確認することができた。本手法のような、切羽前方探查技術の高精度化により、山岳トンネルの事前設計技術向上につなげていきたいと考えている。

## ④ ブレーカ振動探査 S-BEAT

### 4-1 開発の背景と経緯

#### 4-1-1 それまでの状況

第1章で紹介のTSPなどでは起振用の小規模発破孔や受振センサーを地山内に埋め込むための設置孔を削孔する必要があり、探查には掘削作業が行われていない休日の2日間程度をあてていた。

また、探查機材は専用の特殊なもので、実施は専門業者にその都度委託する必要がある。

#### 4-1-2 開発への取組み

トンネル工事では切羽作業の効率化が非常に重要であり、このような状況を踏まえ、より効率的に坑内での前方探查を行うため、①掘削作業を阻害せず、通常の施工サイクルの中に組み込んでくり返し実施できる、②特殊な探查機材をなるべく使わず、施工時に使用される機械・機材を利用して実施できる、③発破工法でも機械掘削工法でも

実施できる、の3点を目標に開発に取り組んだ。

4-1-3 開発の経緯

探査方法の選定では、これまでのTSPによる探査の実績を考え、反射法弾性波探査の改良が望ましいと想定し、上述の開発目標を満たすものとして油圧ブレーカが地山を打撃した際の振動を探査用振源とすることとし、受振センサーは設置孔の削孔が不要で、かつ坑壁周りの緩み域より深い個所からの振動を感知することを期待してロックボルトを利用することとした。この方法のコンセプトを図-13に示す。

4-2 開発の成果と実績

4-2-1 システム内容

測定に使用する機材は、通常の反射法弾性波探査で用いられるものとはほぼ同様であるが、受振センサーをロックボルトに確実に簡便に脱着できるよう専用治具を作成している。写真-5に測定機材と坑壁へのセンサー設置状況を示す。

受振センサーの設置数は作業をなるべく短時間で終わらせるため5点とし、切羽にもっとも近い測定点ではトンネル軸に対して直交する3成分方

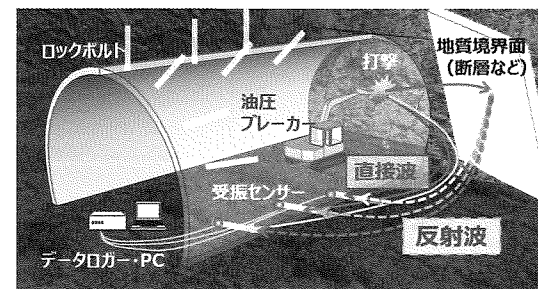


図-13 ブレーカ探査S-BEAT概念図

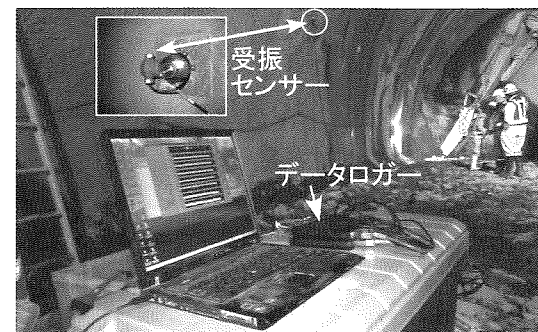


写真-5 測定用機材と設置状況

向の振動を計測し、残り4測点ではおもにトンネル軸方向1成分の振動を計測する(図-14)。また最近では、設置点数をより少なく、かつ3次元評価の精度を上げることを目的とし、前方2点に3成分センサー、後方2点に1成分センサーという配置も用いている。このような配置をほぼ一定に保ちつつ、掘削進行に合わせて測定をくり返していく。

収録されたデータは、約0.2秒分を1データセットとして取り出し、ノイズ状況の分析などの前処理を行ったうえで、バンドパス・デコンボリューションなどの数値フィルター処理を行ってノイズを除去し受振波形を強調する。次に、各受振センサーでの直接波初動の到達時刻から地山弾性波速度を計算する。そして、3成分のデータを用いX、Y、Z方向の波の振幅値を円化したリサージュ図を作成して波の到来方向を確認する。発・受振点の位置と反射波の走時から求まる距離によって、起・受振点を焦点とした楕円体を描くことができる。これは等走時楕円体とよばれ、反

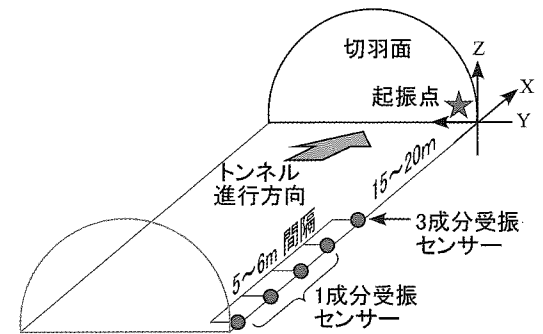


図-14 起・受振点の配置例

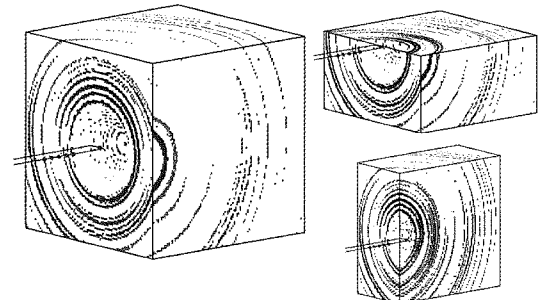


図-15 結果図化例(楕は反射波の等走時楕円、右上下は左図を水平、鉛直面で切断したもの)

射波はこの楕円体の面上のある点から発生したものとみなされる。芦田ほか<sup>14)</sup>は、反射波の到来方向に応じた振幅値の重みづけを行い、振幅の大小によって等走時楕円体面の色を濃くするなどの強調処理方法を示している。本手法ではこの方法を用いて、対象となるすべて波形記録を図化している(図-15)。

4-2-2 実績

本手法を用いた探査実績はこれまで7現場である。ここでは探査事例として磐越地方に位置するYトンネルでの探査結果について述べる<sup>例として15)</sup>。Yトンネルの地山は、新第三紀中新世の石英安山岩質凝灰岩などからなり、事前調査による地山弾性波速度は1.9~2.8km/sと全体に軟質であった。探査は硬質な安山岩質凝灰岩と軟質な変質凝灰岩との変化点を予測することを目的に、切羽の進行に併せて計測点を前進させつつ延べ9回行った。図-16にトンネル距離程STA.617+88mにおける探査結果を示す。

図-16は3次元の等走時楕円体を水平面で切断したもので、反射波振幅の大小(=反射強度の大小)によって線の濃淡を変えている。色の濃い箇所は強い反射(すなわち、地山硬軟の変化が大)の箇所を示しており、同図では矢印で示す、①切羽近傍の右斜め前方、②STA.618+0~10m付近左側と③STA.618+20m付近前方での反射が顕著であるとみなされた。またSTA.618+30m以遠では顕著な反射が認められなかった。実際の掘削との

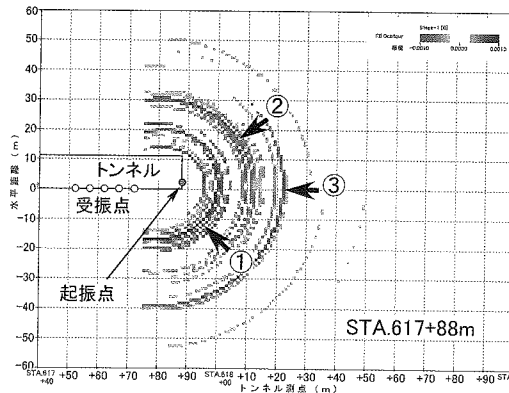


図-16 探査結果例(水平断面、矢印:反射振幅大の箇所)

対応では、①の反射点はSTA.618+02m付近から切羽右側に出現した硬質な黒色凝灰岩に、②、③付近の反射波はこの黒色凝灰岩が不規則に出入りしながら左方に抜けていく状況に対応しており、③の奥、STA.618+30m以降で反射波の減衰が大きくなった点は、軟質な凝灰角礫岩に全面的に移り変わったことに対応している。以上のように、本手法によって切羽前方での地山変化点の3次元分布の推定が可能であることが確認できた。

4-3 残された課題

残された課題は、ブレーカそのものによるノイズ成分をいかに除去していくかであると考えている。その課題に対して、以下の考えで解決しようと取り組んでいる。

- ・ブレーカの連続打撃によるスタッキングでS/N向上を図る。
- ・探り削孔などの別の探査結果(とくに地山弾性波速度)を取り込んで、予測結果をキャリブレーションするなど、総合的な評価を行う。

4-4 おわりに

TSPなどの従来の弾性波探査法は、トンネル掘削作業に影響なしには実施できないという弱点があったが、S-BEATでは「掘削作業を妨げず、掘削機械を利用して探査できる」という利点を確認できた。今後は解析ソフトの改良にも注力し、さらに短時間で結果が得られるよう開発を進めたい。

⑤ TFT探査(トンネルフェイステスター)

5-1 開発の背景と経緯

5-1-1 それまでの状況

第1章で紹介したTSP探査では、坑壁に削孔した24孔の発破孔(L=1.5m)で順次小規模の発破を行い、岩盤内に埋め込んだ受振器で反射波を計測している。そのため、本技術では大掛かりな設備が必要となり、探査中は掘削作業を中断することとなる(1.5日程度)。

また、計測や解析手法が複雑であるため、専門家による取扱いが必要となり、トンネル技術者による運用が困難であった。

5-1-2 開発への取組み

このような背景から、大掛かりな準備作業を不要とし、簡便な手法による探査技術の開発に取り組んだ。具体的には、掘削発破を起振源とするとともに、支保工のロックボルトを受振器として利用することで、削孔作業や受振器の埋設作業などの準備作業を不要とする図-17のシステムを考えた。

当探査法は、トンネル施工サイクルの中で実施可能な切羽前方探査技術で、掘削発破を起振源とすることで、前方約150mまでの地質状況を予測することが可能である。

5-1-3 開発の経緯

開発当初は、写真-6に示す汎用的な機材を利用したプロトタイプで、計測の精度や特性を検証した。その結果、トンネル施工に必要な精度を有する前方探査が可能であることを確認した<sup>16)</sup>。しかしながら、狭隘なトンネル坑内では、発破の飛石などによる断線を防ぐため、ケーブルの防護が必要となり、施工サイクルの中で実施するには受振点を1か所に限定する必要があった。そのため、解析に必要なデータ数(20データ)の収集に6日程度を要し、探査の即時性に課題があった。

そこで、写真-7に示すケーブルレスシステムに改良することで、坑内設備の制約を受けることなく、複数の受振点を簡便に配置でき、短期間の計測で必要なデータを取得することが可能となった(受振点2か所で3日程度)。

また解析については、本手法に特化した信号処理フローを組み込んだ操作性の高いソフトウェアを開発することで、トンネル技術者による解析(1次元)が行えるものとした<sup>17)</sup>。

5-2 開発の成果と実績

5-2-1 システム構成

弾性波データを記録する「①受振ユニット」は、地震計、ロガー、バッテリーなどが一体化されたもので、2か所での計測を標準とする。また、支保工のロックボルトへの固定には固定用治具を用

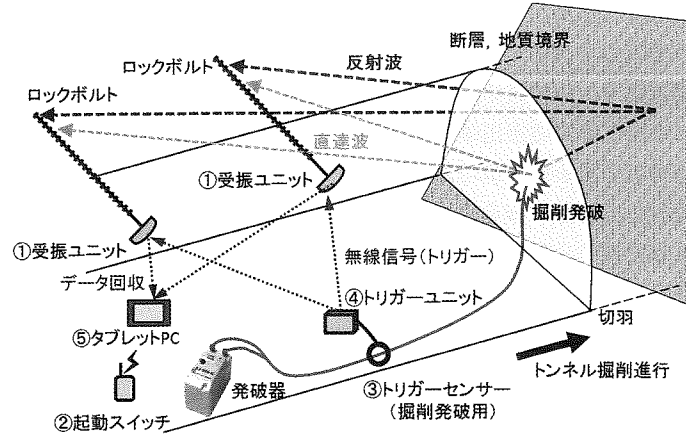


図-17 TFT 探査概念図

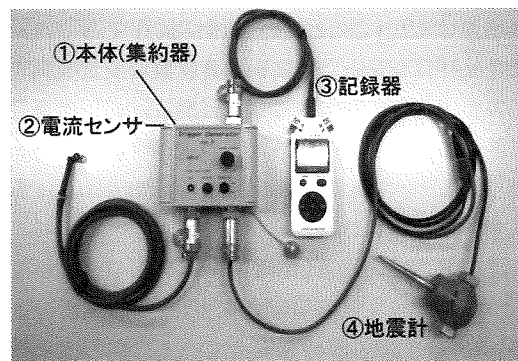


写真-6 プロトタイプ

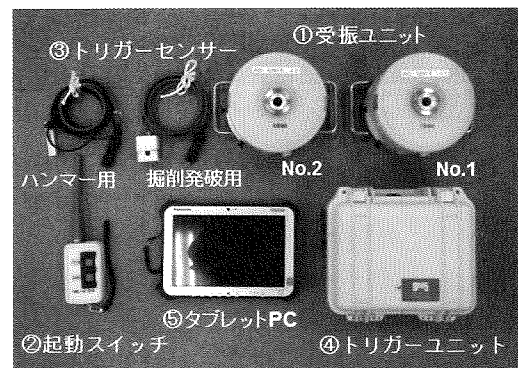


写真-7 ケーブルレスタイプ

いることで、坑壁に密着した設置を行う。

受振ユニットの設置状況を写真-8、諸元を表-1に示す。

計測時には、発破退避時に「②起動スイッチ」を遠隔操作(送信周波数: 426MHz, 通信距離: 最大150m)することにより機材の起動を行い、記録



写真-8 受振ユニット設置

表-1 受振ユニット諸元

成分	1成分(トンネル軸方向)
センサー	GS-20D(28Hz)
サンプルレート	20kHz
A/D分解能	24ビット
外寸	底面直径: 150mm 最大直径(ハンドル): 244mm 厚さ: 117mm

後は自動停止する。これにより、消費電力を低減し無給電での連続探査が1か月程度可能となる。

なお、解析に必要なデータ数については、原則20データ(3日程度の計測)とし、この期間は機材の移設は行わない。

データの記録については、発破母線に取り付けた「③トリガーセンサー」が、起振信号を捉えると、「④トリガーユニット」から「①受振ユニット」に無線信号(送信周波数: 800MHz帯, 通信距離: 最大110m)を送信することで記録を開始する。

データ収集および解析作業は、専用ソフトウェアをインストールした「⑤タブレットPC (Panasonic社製, FZ-G1)」で行い、Bluetoothによる無線でデータ収集後、1時間程度の解析作業で予測結果が出力可能となる。図-18に、計測波形(12発破)および信号処理により反射波を強調した波形を示す。予測結果については、図-19に示すように、反射強度の強弱をカラーコンターで描画する(強いものを暖色系, 弱いものを寒色系で表示)こととしている(なお、残念ながらモノクロ印刷のため、図-19では反射強度の強弱は読み取れない)。

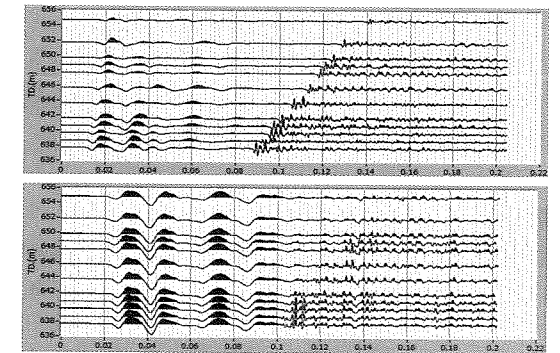


図-18 TFT 探査による波形  
上図: 計測波形, 下図: 信号処理波形

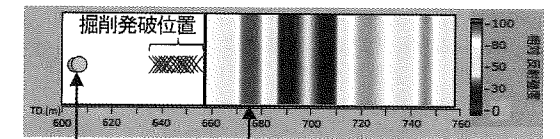


図-19 予測結果例  
受振ユニット NO.1, 2 反射強度(最大)

5-2-2 実績

TFT探査は、施工支援ツールとして、とくに土かぶりの大きい場合や複雑な地質構造を有する山岳トンネル現場での運用を行っており、これまでの適用数は15現場となっている。予測精度については、実際の地質状況との比較により、約7割での合致を確認している<sup>18)</sup>。

5-3 残された課題

現在は、1次元(トンネル軸方向)解析による反射面の出現位置を予測するため、反射面となる断層などの走向・傾斜を、本技術のみで評価することができない。そのため、同様のシステムを用いた3成分計測により、反射面の硬軟を含めた3次元切羽前方探査について検討中である。

5-4 おわりに

TFT探査は、トンネル施工設備(掘削発破および支保工ロックボルト)を利用するとともに、ケーブルレスシステムであるため、大掛かりな準備作業が不要となった(設置作業30分程度)。また、発破退避時に起動スイッチを押すだけで計測を行えるため、施工サイクルの中に切羽前方探査を組み込むことができる。

以上のように、本システムは探査にかかわる準

備、計測、解析作業の大幅な省力化を図ることで、物理探査の専門家でない、トンネル工事の施工管理を行う土木技術者が取り扱える施工支援ツールとして、現場と一体となって開発を進めている。(文責：大島洋志/国際航業(株)、吉富幸雄・山上順民/大成建設(株)、水谷和彦/前田建設工業(株)、西塚郎/清水建設(株)、山本浩之・中谷匡志/(株)安藤・間)

## 参考文献

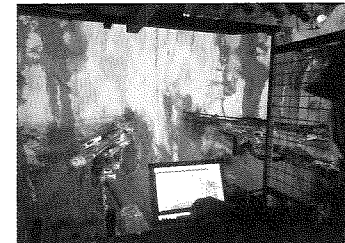
- 1) 大島洋志監修：わかりやすい土木地質学，土木工学社，pp.114-115，2000.11.
- 2) 富士物産(株)広告，トンネルと地下，1997.7.
- 3) 芦田譲：用語解説SWD，物理探査，Vol.50，No.3，pp.252-256，1997.
- 4) 山上順民・今井博・青木智幸・友野雄士・三谷一貴：SWD(Seismic While Drilling)によるトンネル切羽前方探査，土木学会第67回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-27，2012.9.
- 5) 山上順民・今井博・青木智幸・山中義彰・高橋亨：削孔振動探査法を用いた切羽前方探査による破砕帯評価事例，応用地質学会研究発表会講演論文集，pp.119-120，2012.11.
- 6) 山上順民・今井博・青木智幸・中原史晴：穿孔振動を用いたトンネル切羽前方探査法の開発，土木学会第22回トンネル工学研究発表会，2012.11.
- 7) 市來孝志・山上順民・青木智幸：先端打撃式ボーリングの穿孔振動を用いた弾性波探査，土木学会第71回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-418，2016.9.
- 8) 山上順民・今井博・加藤宏征：超長尺先進ボーリングを用いた穿孔振動探査法による切羽前方探査，土木学会第69回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-200，2014.9.
- 9) 山上順民・市來孝志・青木智幸：超長尺先進ボーリングを用いた穿孔振動探査法による切羽前方探査の検証，土木学会第70回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-124，2015.9.
- 10) 岡浩一・山下学・三隅宏明・加藤宏征：道路トンネルで初めて超長尺先進コントロールボーリングを採用，新名神高速道路箕面トンネル，トンネルと地下，Vol.45，No.11，pp.15-24，2014.11.
- 11) 松井保監修：地盤の可視化技術と評価法，鹿島出版会，pp.59-81，2009.12.
- 12) 物理探査学会物理探査容量作成委員会：物理探査適用の手引き(とくに土木分野への利用)，pp.226-236，2000.3.
- 13) 物理探査学会標準化検討委員会：物理探査適用の手引き，pp.427-437，2008.10.
- 14) 芦田譲・松岡俊文・楠見晴重：弾性波3成分受振によるトンネル切羽前方の高精度イメージング，土木学会論文集，No.680/Ⅲ-55，pp.123-129，2001.6.
- 15) 西塚郎・若林成樹：トンネル掘削振動を利用した前方探査手法の研究開発，応用地質，Vol.56，No.6，pp.343-349，2016.2.
- 16) 中谷匡志・山本浩之・浅野雅史：掘削発破を用いた反射法弾性波によるトンネル前方探査技術の開発と適用事例，土木学会第69回年次学術講演会講演概要集，Ⅵ-036，2014.9.
- 17) 中谷匡志・山本浩之・桐原章浩・天童涼太：トンネル掘削発破を起振源とするケーブルレス切羽前方探査法の開発と適用，日本応用地質学会平成28年度研究発表会講演論文集，pp.61-62，2016.10.
- 18) 中谷匡志・大沼和弘・山本浩之・西川篤哉・新妻弘明：トンネル掘削発破で発生する弾性波を用いた地山評価手法と切羽前方探査の検討，土木学会論文集F1(トンネル工学)，Vol.72，No.2，pp.53-66，2016.

## 『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

1. 原稿は弊社ホームページ(<http://www.tunnel.ne.jp>)に掲載されている投稿規定により執筆して頂きます。
  2. 原稿のボリュームは、原則として刷上がりで8頁以内とします(図・表・写真含む)。
  3. 原稿掲載の採否は、本誌編集委員会で審査のうえ決定します。
  4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
  5. 原稿は、原則として返却いたしません。(注：「現場だより」の投稿は受け付けておりません)
- 送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係  
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
電話 (03) 3267-2888(代)

## 工法・技術・製品ニュース

### 工法 新しい削孔誘導システム MOLEs



ドリルジャンボに後付け設置されたMOLEs

鹿島建設と演算工房は共同で、山岳トンネルの効率的で高速な施工の実現を目的とした、ドリルジャンボの新しい削孔誘導システム「MOLEs」(Mograss Operate with Laser scanning Engine system: モールス)を開発したと発表した。演算工房が保有する削孔ガイダンスシステムに、鹿島のスキャニング技術を付加。モニターに実切羽面と削孔位置を表示し、視覚的でわかりやすい誘導が可能となる。岩手県釜石市で施工中の「国道45号唐丹第3トンネル工事」に適用され、月進270mの達成に貢献した。

同システムは、3Dスキャナによって得られた実切羽面の凹凸座標から誘導ラインを計算し、誘導ラインと3色の誘導マーカーをリアルタイムにモニタに映し出すもの。オペ

レータは、モニタに映し出された誘導ラインに自身の操作するブームを合わせ、誘導マーカーのとおり削孔する。これにより削孔位置・削孔角度に加えて削孔長も計画どおりに施工でき、オペレータの技量に頼ることなく、確実な削孔が容易になったとしている。

唐丹第3トンネルでは、2台のドリルジャンボで切羽の左右をそれぞれ削孔していたが、両ドリルジャンボに同システムを搭載したところ、計画どおりの削孔作業が可能となり、導入前に比べて左右の切羽での進行差が減少し、切羽面の凹凸も少なくなった。1発破ごとの進行長も導入前と比べ約25%向上し、安定した発破進行長を確保できたことから、月進記録の達成に大きく貢献したとしている。

鹿島建設(株)広報室  
TEL. 03-6438-2557  
<http://www.kajima.co.jp>

### 製品 ナックルブームクレーンを新発売



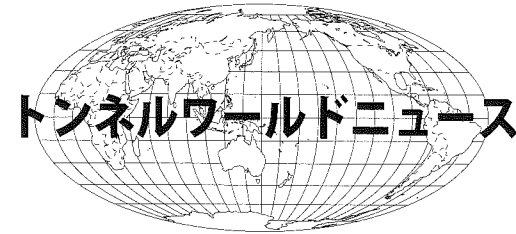
(株)前田製作所  
産業機械本部 産機事業部 販売管理課  
TEL. 026-292-2228  
E-mail. [maedasp@maesei.co.jp](mailto:maedasp@maesei.co.jp)

前田製作所は、主力製品である「かにクレーン」の進化版となる「ナックルブームクレーンMK1033CW-1」(国内仕様)の販売を開始した。

同機は、ストレートブームのかにクレーンの進化版として開発された屈折型ブームのクレーンで、ブームが途中で腕の関節のように折れ曲がるため、今まで不可能であった壁などの障害物を乗り越えての吊り作業、上部に障害がある場所での吊り作業やジブの伸縮で水平方向への移動を可能とした。新技術により、アウト

リガの張出し状態を自動で検知し、それぞれのアウトリガの張出し状態に合った定格総荷重の値で作業が可能となったほか、旋回時に誤って過負荷方向へ入ることを自動で防ぐ「旋回方向自動規制装置」を搭載し、安全性を確保した。

過負荷防止機能情報、クレーン/アウトリガインターロック情報、クレーン作業記録機能、消耗品交換情報、エラー表示、水準器などの情報を一元管理できるモニタを搭載したほか、腰ベルト装着により片手操作が可能とするなど操作性も高い。



(一社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

## サンフランシスコ高速鉄道の 環境レビューを開始

2016年5月9日、カリフォルニア高速鉄道公社(CHSRA)は、サンフランシスコ～サンノゼ間(約82km)のプロジェクト区間を対象に、環境影響報告書(EIR)/環境影響評価書(EIS)の作成開始を通告した。

同時に、連邦政府のパートナーである連邦鉄道局(FRA)は、新たに当該区間における連邦政府による環境レビュープロセスを開始する通知を発した。

当該区間の混合されたシステムの環境文書の作成にあたっては、スコーピング(scoping)\*1とパブリック・アウトリーチ(public outreach)\*2の手続き(予備エンジニアリングデザインの開発、カルトレイン(Caltrain)<sup>3</sup>に沿った軌道・付帯設備・駅などを含む高速鉄道システムの建設・運用・維持管理に伴う環境影響評価)を伴う。パブリックスコープに関連する正式なコメント受付期間はすでに始まっており、パブリックコメントは6月10日まで受付している。

当プロジェクト区間は、サンフランシスコ、ミルブレイ(サンフランシスコ空港)、サンノゼの都市を結ぶカリフォルニア高速鉄道システムの第1

フェーズの一部であり、提案されたサンフランシスコ空港(ミルブレイ)とサンノゼ近くのSan Francisco 4th and King Street駅および(または)トランスベイ・トランジットセンター駅を含むカルトレインの電化が対象である。

トランスベイ・トランジットセンターは、Transbay Joint Powers Authorityにより開発され、現在建設の第1フェーズである。

第2フェーズは、Fourth and Townsend Street Caltrainの地下駅の新設(Transit Center駅の完成)を含むDowntown Rail Extension(DTX)の建設が含まれる。DTXの建設により、カルトレインの通勤列車は、現在の終着駅である4th and King Street駅から新しくトランジットセンター駅まで拡張される。また、将来的にトランジットセンターにカリフォルニア高速鉄道公社の高速鉄道サービスが提供される。

パーソンズ運輸グループが率いるチームにより、第2フェーズの予備的なエンジニアリングの作業は実質的に完了している。しかし、サンフランシスコ交通局によると、DTXはもともと2019年に完成予定であったが、現在、深刻な資金不足によって工事は止まっており、事業の失速にかかわらず、追加のEIS/EIRの作成と、カルトレインとカリフォルニア高速鉄道公社との調整作業は継続される。

2.1kmの延長路線(総延長は3.14km)は、おもに開削工法と山岳工法を用いてTownsendとSecond Streetsの下に構築される。当プロジェクトは、6つの非常口、換気設備、ユーティリティの再配置および鉄道システムを含むFourth and Townsend Streetの地下鉄駅が含まれる。

(T&T '16.6 担当:岡嶋和義・大成建設(株))

- \*1: 環境アセスメントにおいて、手法、方法など、評価の枠組みを決める方法書を確定させるための手続きのこと。環境アセスメントの方法を公開し、その手法の公正さを確保することを目的とする。
- \*2: 環境問題などの社会性の高い問題について、多様な考えや価値観を持つ個々のステークホルダーが対象とする問題の全体像を認識して各自の意見を持ち、それらをまとめ上げるためのアプローチのこと。
- \*3: カルトレインとは1987年に創業した、アメリカ合衆国カリフォルニア州のサンフランシスコを始発とし、ギルロイ(Gilroy)までの約124kmを結んでいる郊外向けの通勤列車である。全線非電化なので、2階建て客車数両をディーゼル機関車が牽引または推進運転する形(プッシュプル)で運行する。

## York Potash社が、 優良請負業者を発表

Sirius Minerals社は、Notrh Yorkshire 岩塩プロジェクトで鉱物運搬システムを構成するためにHochtief Murphy JVを賛同していると明らかにした。

これは、ヨーク郡カリウム鉱山トンネル事業の主要部分であり、鉱山サイトから鉱石を近くの港に輸送するための、延長23マイル(37km)、直径4.1mのトンネルからなる。

建設工事をサポートするための3つの中間立坑は、換気とメンテナンスアクセスのために使われる。現在、5台の硬岩掘削機が、Redcar泥岩を掘削中である。

トンネル計画は、掘削断面を6mとしているが、最終計画ではなく、直径4~6mで検討中である。トンネルは、吹付けコンクリートと支保工で覆工される。

T&Tによると、プロジェクトの資本金要件が減少したことが発表された。

Sirius Minerals社のスポークスマンによると、「DFS社の見積とは異なる設計で、改善を図った業者を採用することで、いくらかの原材料が削減することは確実である。その結果、このプロジェ

クトのために必要とされる資本金は、29億米ドル(18%)削減される。

(T&T '16.7 担当:升形剛・三井住友建設(株))

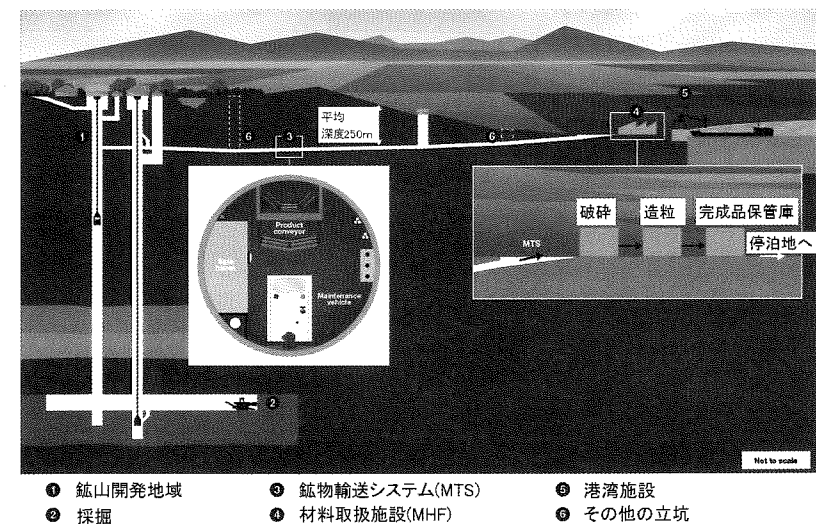
## トンネル工事に伴うアラスカ 高架道路一時閉鎖の解除

ワシントン州運輸省(WSDOT)は、SR99アラスカ高架道路を閉鎖した。閉鎖期間は、付替え道路のTBMが高架橋直下を通過した4月29日から10日間であった。TBMは、複雑な地盤の中、高架橋の基礎と離隔距離5mの位置を無事通過した。

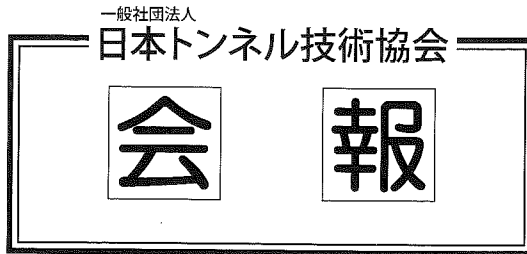
WSDOTの構造技術者は、高架橋の計測管理を徹底し、地盤と高架橋の安定性を継続的に確認した。WSDOTは、より詳細に計測できるように一時的に高速道路を閉鎖したと述べた。もともと、トンネルが高架橋を完全に通過するまで高速道路を閉鎖する計画であったが、安定した地質で掘進管理できたことにより、早期開放につながった。当初、コントラクターのSeattle Tunnel Partnersは、高架橋直下のトンネル掘削に約2週間かかるだろうと推定していた。

5月18日、WSDOTは、コンクリートセグメント300リングの設置が完了し、全長の20%超にあたる約610mの掘削を完了したと発表した。

(T&T '16.6 担当:辰巳順一・(株)安藤・間)



出展: <http://siriusminerals.com/our-project/mine-and-mineral-transport/>  
York Potashプロジェクトの鉱物輸送システム



1. 会員の現状

	2月28日現在
個人会員	876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	1,528名

2. 委員会の開催状況(2月1日~28日)

①運営広報委員会関係

◎総務委員会

・総務委員会(2/27)

服部修一委員長ほか9名, 28年度事業報告および29年度計画を検討

・広報小委員会

会誌WG(2/1)

小山幸則主査ほか8名, 3月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

ITA統括WG展示サブWG(2/17)

砂金伸治主査ほか6名, 展示募集案内文を検討

・海外文献小委員会

海外ニュースWG(2/28)

山口洋一委員ほか8名, 海外文献を査読

計 4回開催 35名出席

②調査研究委員会関係

◎技術委員会

・都市トンネル小委員会

セグメント実態調査WG(2/3)

守屋洋一副主査ほか8名, 調査項目を検討

・安全環境小委員会

山岳アセスメント検討WG(2/8)

中川宏主査ほか12名, 改訂要望箇所を検討

・山岳工法小委員会

地山評価WG(2/17)

木谷日出男主査ほか8名, 平成29年度作業計画を検討

◎受託研究特別委員会

・北海道新幹線機械化施工小委員会(2/22)

小山幸則委員長ほか40名, マシン製作方針を検討

計 4回開催 72名出席

合計 8回開催 107名出席

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2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	25	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	22	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	東京	1.5
東京都下水道幹線工事現場研修会(隅田川幹線その3工事)	2017. 3.10	25	東京	1.8
<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	35	東京	14.5
第1回トンネル維持管理業務講習会(応用編)	2017. 2.27	49	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)



第1回トンネル維持管理業務講習会(応用編)受講風景

## 「ITAトンネル大賞(ITA Tunnelling Awards-2017)」募集のご案内

国際トンネル協会

国際トンネル協会(International Tunnelling and Underground Space Association)が2015年に設立した表記の大賞は本年度で第3回目を迎えました。

本年は、フランストンネル協会(AFTES)の「地下空間の価値」がテーマの国際会議(11月13～16日)の期間中に、授賞式が開催されます。

下記の9項目のうち3項目が新設されたもので、1回目と2回目には通算で200件の応募があり64件の候補があげられ、これまでに21プロジェクトが表彰されております。また、世界中から450名以上の参加者が集うイベントとなっておりますので奮ってご応募ください。

—記—

応募項目(工事完了が2015年1月から2017年4月までの間)：

- 1)年間最優秀事業(工事規模：500Mユーロ以上)
- 2)年間最優秀プロジェクト(工事規模：50Mユーロから500Mユーロ)
- 3)年間最優秀プロジェクト(工事規模：50Mユーロ以内)
- 4)年間最優秀技術革新(新設)
- 5)年間最優秀製品・機器(新設)
- 6)年間最優秀持続可能性戦略・構想(新設)
- 7)年間最優秀安全対策
- 8)年間最優秀地下空間利用の革新
- 9)年間最優秀若手トンネル技術者

応募締切：2017年5月14日(金)

申し込み方法：<https://awards.ita-aites.org/>

こちらのURLから新規登録のうえ、各応募項目にご投稿ください。

申し込み先：ITA事務局

ITA-AITES c/o EPFL - Bat GC - Station 18, CH-1015 Lausanne, Switzerland

E-mail：[awards@ita-aites.org](mailto:awards@ita-aites.org)

ウェブサイト：<https://www.ita-aites.org>

表彰式ならびに受賞祝賀会：2017年11月15日(水)

場所：パリ(フランス)

問い合わせ先：一般社団法人日本トンネル技術協会 関

TEL：03-3524-1755 FAX：03-5148-3655

E-mail：[noriko.seki@japan-tunnel.org](mailto:noriko.seki@japan-tunnel.org)

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)

## 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](mailto:book@japan-tunnel.org)  
担当：米田まで

## 5月号予告[5月1日発売予定]

- 大深度トンネル施工時のセグメントの損傷の原因と対策
- 九州新幹線 久山トンネル
- 高松自動車道 大坂トンネル
- 名古屋市 中村中部雨水幹線  
【連載講座】
- トンネル新技術への挑戦(18)

\*内容等は変更になる場合がございます

### 編集後記

◆昨年末に、シンガポールとマレーシアの両国首相が、シンガポールとクアラルンプールを結ぶ高速鉄道の建設に最終合意したとのニュースがありました。両都市間約350kmを約90分で結ぶビッグプロジェクトです。事業のスピードも新興アジアの勢いを感じるもので、今年中に路線建設や車両提供を行う鉄道資産会社の国際入札を開始。2019年ごろまでの着工を経て、2026年中に運行を開始する予定だそうです。シンガポールとマレーシアを結ぶ鉄道といえばマレー鉄道が思い出されます。沢木耕太郎『深夜特急』や、この本に着想を得たテレビ番組のヒッチハイク企画などでいっとき流行しました。私もこの流行に感化され、タイからマレーシアまで列車を乗り継いで行ったことがありました。乗り継ぎの列車が時間どおりに来なかったり、線路の冠水で足止めを食らったりと、旅情豊かな列車運行でしたが、新しい高速鉄道はきっと現代的な運行が約束されることでしょう。新興アジアでは都市化の進展に伴い交通需要が旺盛で、公共交通網の整備が急務とされていると聞きます。前述の都市間高速鉄道にかぎらず、都市内公共交通網の整備も活発に行われております。本誌の6月号では、アジアをはじめ世界諸都市の地下鉄建設について特集する予定です。ご期待ください。

(K.K.)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工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4号(通巻560号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成29年3月20日 印刷

平成29年4月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 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製(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。本誌から複製または転載を希望される方は、小社(03-3267-2888)までご連絡ください。

## 吸引ダクトが無くても全ての断面、全ての延長に対応

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

トンネル工事用 電気集じん器

# e-DUSCO

イーダスコ240/イーダスコ270

ファン動力30kW ファン動力37kW

# NETIS

公共工事等における新技術活用システム

登録番号: TH-100024-VE

経済産業省後援

第39回優秀環境装置

日本産業機械工業会 会長賞

## 全てのトンネルに適用可能!



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

### 吸引捕集方式にも対応



48m<sup>2</sup>の設置例

### 希釈封じ込め方式での計算例

#### ① 粉じん発生量

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

#### ② 所要換気量

$$Q_{4a} = \frac{5,940}{3.0 - 0.07} = 2,027(\text{m}^3/\text{min})$$

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

#### ③ 集じん機の選定

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

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 <sup>※1</sup>	7411mm(サイレンサー含む)	
全幅	2350mm	
全高 <sup>※2</sup>	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 <sup>※3</sup>	2.4~3.2m <sup>3</sup> /回	
捕集ダスト処理	湿式	
集じん効率 <sup>※4</sup>	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 小山栃木工場 ☎0285-23-8662

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

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。



ジオテクスタイル設計マニュアル

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

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



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・齊藤正忠・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

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著  
3,200円+税 A5判

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



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著  
4,200円+税 A5判

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



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著  
2,800円+税 A5判

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



海洋資源開発

稲田善紀 著  
3,400円+税 A5判

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



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)

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



書籍のお申し込み

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

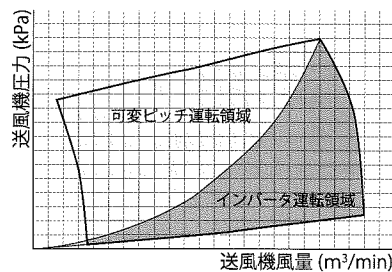
(株)土木工学社  
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807

# トンネル工事の必需品 可変ピッチ軸流送風機 BIG-LOG



BIG-LOG は当社の開発商品です

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



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

※2段で記載の機種はどちらか選択ができます

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

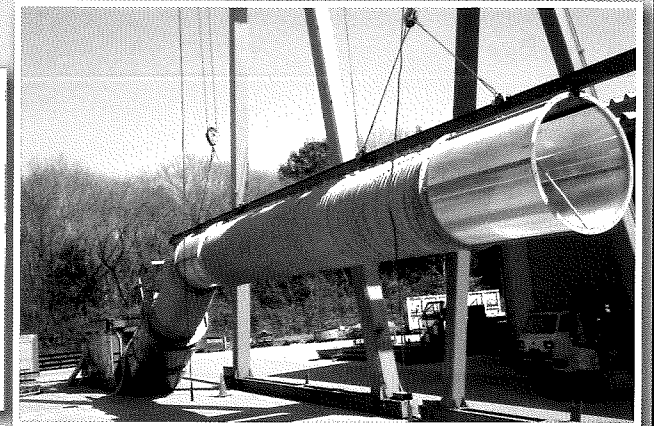
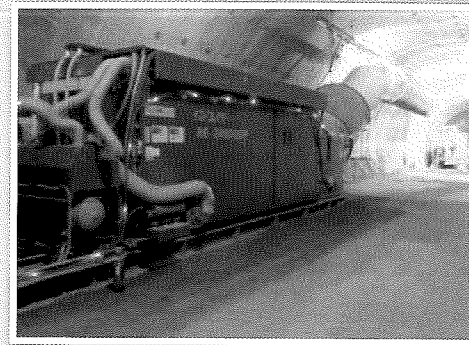


菅機械工業株式会社

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



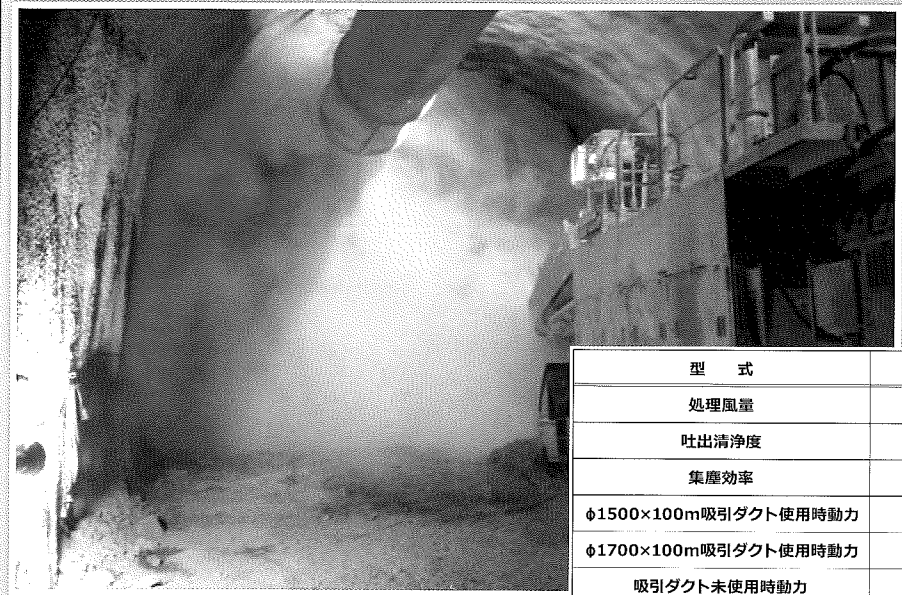
本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町13番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460



## 動力60%低減実現! (当社従来比)

### 吸引捕集換気システム 新登場 RE-2400QDP

「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	2,400m³/min
吐出浄度	0.1mg/m³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](mailto:eigyobu@ryuki.com)

(PC・スマホ専用)



未踏の領域に挑み、  
夢を叶えてきた先駆者たち。  
**JIMTはその志を受け継ぎ、  
地下開発の未来を築きます。**



1989年12月 英仏海峡トンネルT-5工区貫通式



**JIMテクノロジー(JIMT)は、株式会社IHI(IHI)、  
JFEエンジニアリング(JFE)、三菱重工業株式会社(MHI)の  
トンネル掘削機事業を統合した会社です。**



**JIMテクノロジー株式会社**

本社・川崎事業所……〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14 ————— TEL.044-201-8268/FAX.044-201-8636  
神戸事業所……………〒652-0864 兵庫県神戸市兵庫区笠通7丁目2番25号 ——— TEL.078-381-5100/FAX.078-381-6990

定価 1,620円  
本体価格1,500円

雑誌06619-4



4910066190477  
01500