

# トンネルと地下 4

vol. 42  
no. 4  
2011

Tunnels and Underground

仮梁エレメント方式によりJES工法のコストダウンを実現  
土かぶり1.7mの国道交差点直下をハーモニカ工法でアンダーパス  
地山状況の変化に対応し全断面早期閉合の仕様を設定  
駅部大断面NATMを隣接トンネル実績を活用して計画  
エレメント推進工法における緩み土圧算定方法の提案

日本トンネル技術協会誌

ITA  
29  
KR

土かぶり1.7mの国道交差点直下をハーモニカ工法でアンダーパス vol.42 no.4 2011



## トンネル開発技術に

## 70年のヒストリー。

**2009**  
(中国初の大断面の14.27m泥土圧シールド)  
上海外灘地区の交通渋滞解消に貢献  
上海万博に合わせ貫通

**2008**  
(支障物切削シールド)  
土中のH杭やシートパイルをシールドマシンで切削

**2007**  
(ドバイLRT用シールド)  
ドバイの交通網の発展に貢献

**2006**  
(世界最大径φ15.01m泥土圧シールド)  
スペインマドリッド環状道路M30の渋滞回避に活躍

**2004**  
(大断面SENS工法シールド)  
東北新幹線三本木原トンネル工事の建設で活躍

**2003**  
(超大断面・大深度・長距離掘削用シールド)  
神田川・環状七号線地下調整池の建設で活躍

**1995**  
(3心円泥水式駅シールド)  
地下鉄12号線環状部飯田橋駅工区建設工事で活躍

**1993**  
(世界最大級の泥水式シールド)  
東京湾横断道路工事で活躍

**1989**  
英仏海峡トンネルT-5工区貫通式完成にわく関係者たち

**1939**  
(日本最初の本格的シールド)  
園門トンネル工事で活躍

世界中で  
1700台の  
実績！

昭和14年(1939年)我が国初の本格的シールド式トンネル掘削機を開発して以来、三菱重工はトンネル開発技術のバイオニアとして70年にわたり国内や海外で数多くの実績を築いてきました。豊かな21世紀を育むために、三菱は最先端のジオテクノロジーでさらに前進しています。

### 三菱重工業メカトロシステムズ(株)のシールド式トンネル掘削技術

三菱重工業メカトロシステムズ株式会社 都市開発部  
神戸市兵庫区和田宮通五丁目4番22号 TEL.078-672-2873 FAX.078-672-2869  
東京都港区港南二丁目16番5号 TEL.03-6716-4092 FAX.03-6716-5833

定価 1,575円  
本体価格1,500円

雑誌06619-4



4910066190415  
01500

# トンネルと地下

vol. 42  
no. 4  
2011

Tunnels and Underground

仮梁エレメント方式によりJES工法のコストダウンを実現  
土かぶり1.7mの国道交差点直下をハーモニカ工法でアンダーパス  
地山状況の変化に対応し全断面早期閉合の仕様を設定  
駅部大断面NATMを隣接トンネル実績を活用して計画  
エレメント推進工法における緩み土圧算定方法の提案

日本トンネル技術協会誌

ITA  
29  
KR

トンネルと地下  
土かぶり1.7mの国道交差点直下をハーモニカ工法でアンダーパス vol.42 no.4 2011



## トンネル開発技術に

## 70年のヒストリー!

- 2009** (中国初の大断面φ14.27m泥土圧シールド)  
上海外灘地区の交通渋滞解消に貢献  
上海万博に合わせ貫通
- 2008** (支障物切削シールド)  
土中のH杭やシートパイルをシールドマシンで切削
- 2007** (トバイLRT用シールド)  
トバイの交通網の発展に貢献
- 2006** (世界最大径 φ15.01m泥土圧シールド)  
スペインマドリッド環状道路M300の渋滞回避に活躍
- 2004** (大断面SENS工法シールド)  
東北新幹線三本木原トンネル工事の建設で活躍
- 2003** (超大断面・大深度・長距離掘削用シールド)  
神田川・環状七号線地下調整池の建設で活躍
- 1995** (3心円泥水式駅舎シールド)  
地下鉄12号線環状部飯田橋駅工区建設工事で活躍
- 1993** (世界最大級の泥水式シールド)  
東京湾横断道路工事で活躍
- 1989** 英仏海峡トンネルT-5区貫通式完成にわく関係者たち
- 1939** (日本最初の本格的シールド)  
関門トンネル工事で活躍

世界中で  
1700台の  
実績!

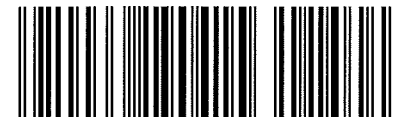
昭和14年(1939年)我が国初の本格的シールド式トンネル掘削機を開発して以来、三菱重工はトンネル開発技術のパイオニアとして70年にわたり国内や海外で数多くの実績を築いてきました。豊かな21世紀を育むために、三菱は最先端のジオテクノロジーでさらに前進しています。

### 三菱重工メカトロシステムズ(株)のシールド式トンネル掘削技術

三菱重工メカトロシステムズ株式会社 都市開発部  
神戸市兵庫区和田宮通五丁目4番22号 TEL.078-672-2873 FAX.078-672-2869  
東京都港区港南二丁目16番5号 TEL.03-6716-4092 FAX.03-6716-5833

定価 1,575円  
本体価格1,500円

雑誌06619-4



4910066190415  
01500

**FRD**  
FURUKAWA

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  
**JTH2200R/JTH3200R**

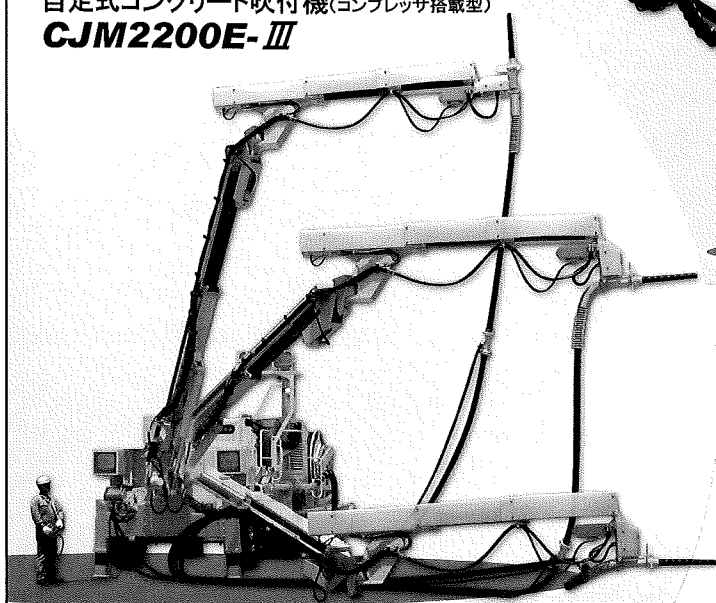
新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。

新世代型油圧ドリフタHD210 II 搭載。



◆主な仕様	JTH2200R 2ブーム、2ケーブ	JTH3200R 3ブーム、2ケーブ
質量	35.5 ton	43 ton
全長	14,270 mm	14,760 mm
全幅	2,690 mm	3,140 mm
全高	4,000 mm	4,190 mm
水平さく孔範囲		
幅	12,770 mm	13,220 mm
高さ	8,490 mm	8,840 mm

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)  
**CJM2200E-III**



◆CJM2200E-III 主な仕様

質量	24 ton
全長	15,600 mm
全幅	3,000 mm
全高	4,000 mm
水平さく孔範囲	
幅 × 高さ	13.3m x 10 m

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け機です。

△古河機械金属グループ

**FRD** 古河ロックドリル株式会社

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

札幌支店 ☎011-861-3261 東北支店 ☎022-384-8991 関東支店 ☎027-326-9611 名古屋支店 ☎0568-77-7700

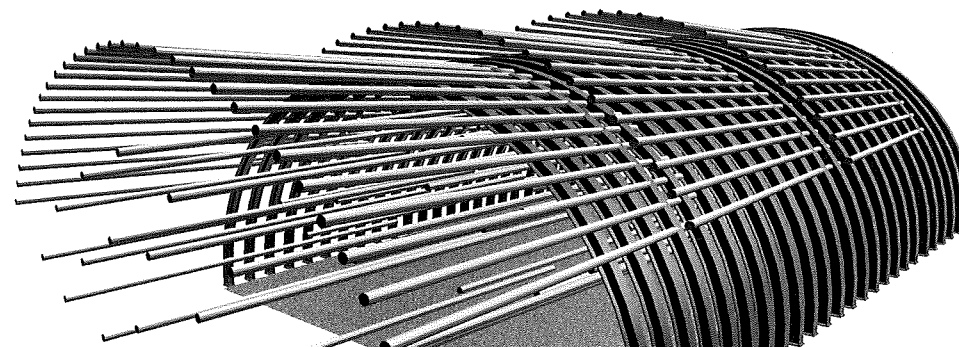
関西支店 ☎06-6475-8221 広島 ☎082-832-3542 九州 ☎092-948-2010

[www.furukawarockdrill.co.jp](http://www.furukawarockdrill.co.jp)

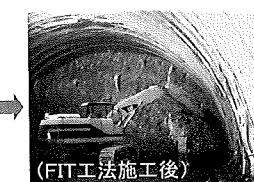
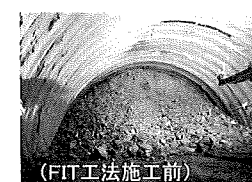
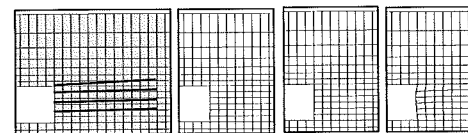
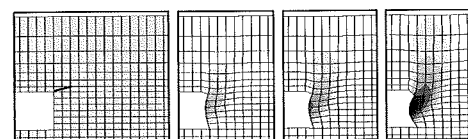
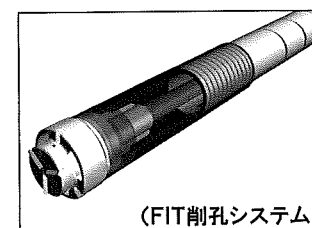
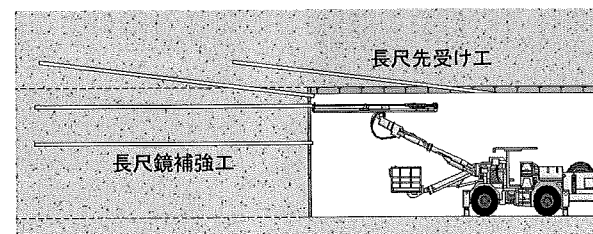
全方位 GFRP 管長尺補強システム

特許登録 第 2955279 号  
NETIS登録(No. CB-030065)  
施工実績 300 件以上

**FIT** 工法  
FRP INJECTION TUBE



切削可能で掘削の妨げにならないGFRP管を使用し、切羽前方地山を確実にホールドできます。



(数値解析による効果の検証例)

**KFC** 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部 TEL(03) 3570-5223 FAX(03) 3570-5233  
大阪土木営業部 TEL(06) 6363-1884 FAX(06) 6313-0755  
札幌支店 TEL(011) 751-4681 FAX(011) 751-4682

ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

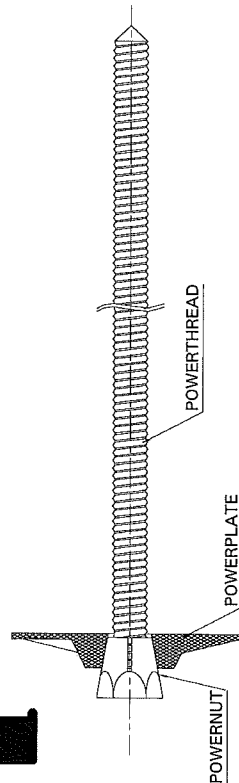
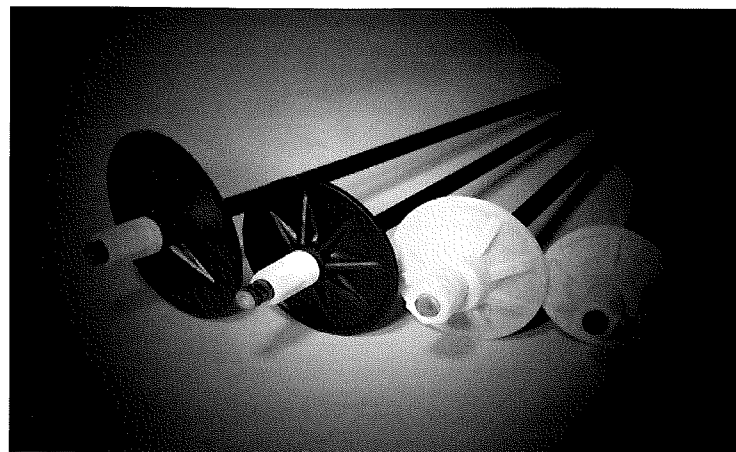
パターンボルトのGRP化

# POWERTHREAD

耐食機能に優れたロックボルト

POWERTHREADは、POWERNUT/POWERPLATEを組み合わせることにより、  
全てGRP製に！！

※ GRPとは、Glassfiber Reinforced Plastic  
(ガラス繊維強化プラスチック)の略。



- ・棒鋼型ロックボルトと同等の耐力を有する。
- ・軽量である。
- ・腐食しない。錆びない。
- ・導電しない。耐電しない。
- ・製造過程でのCO<sub>2</sub>排出量が少ない。

環境にやさしいロックボルトシステム

## KATECS

株式会社 カテックス  
建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.co.jp/>

技術営業部

TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164

東京支店

TEL)03-3260-8321 FAX)03-3266-1648

九州営業所

TEL)092-574-0856 FAX)092-574-0846

中部営業部

TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164

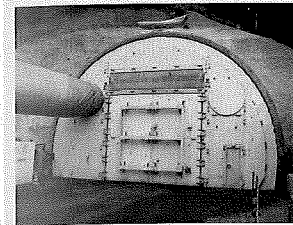
関西営業所

TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237

北海道地区(株エイチ・アール・オー)

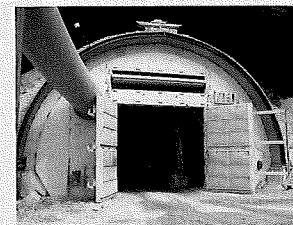
TEL)011-821-5868 FAX)011-821-6644

## 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 ロック式
- 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	19 dB(A)	13 dB
2基設置	28 dB(A)	19 dB

#### 『防音扉ロック式』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)	17 dB
2基設置	28 dB(A)	26 dB

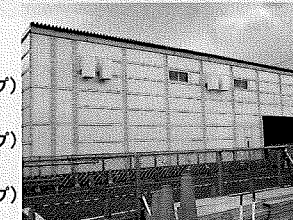
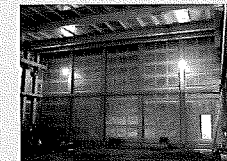
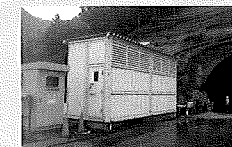
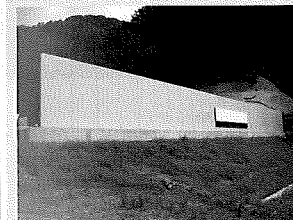
#### 『防音扉マークII 10c』の音響性能

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	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	22	32	37	38	37	43
吸音率【%】	51	77	75	81	71	62

#### 『防音パネルHタイプ』の音響性能

項目	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	32	32	38	46	50	53
吸音率【%】	57	48	61	76	86	91

### 【建設騒音対策協会】

株式会社 牛尾商店  
株式会社 野佐和商会

株式会社 カテックス  
株式会社 ビーエスアイ

株式会社 ティーエムシー  
古河ロックドリル 株式会社

日豊 株式会社

E-mail : souon@fuse-ind.co.jp

- ◆防音設備の設計、製造、施工、リース
- ◆建設業登録 東京都知事 許可 般-20 第130153号

## 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 ショーレイビル

TEL.06-6359-2611 FAX.06-6359-2288

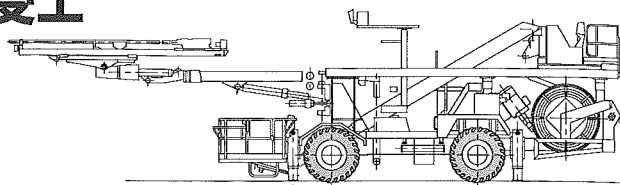
E-mail : info@fuse-ind.co.jp

<http://www.fuse-ind.co.jp>

## 環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

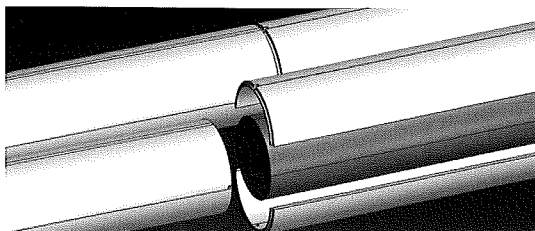
All Ground Fastening;  
Long-Distance, Fore-Pilling Method



### 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。



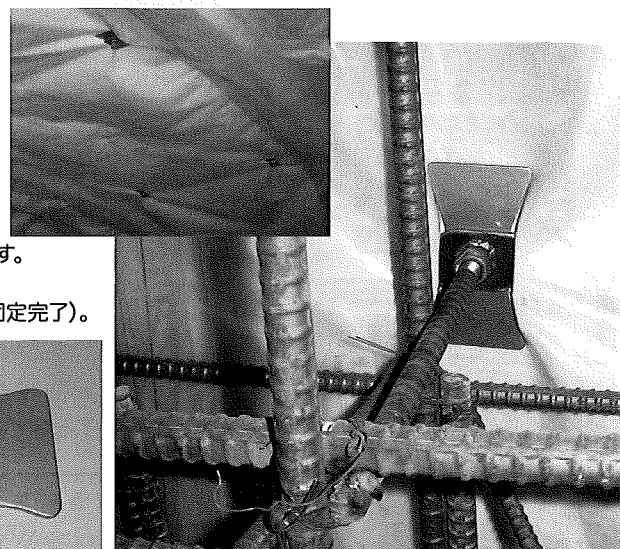
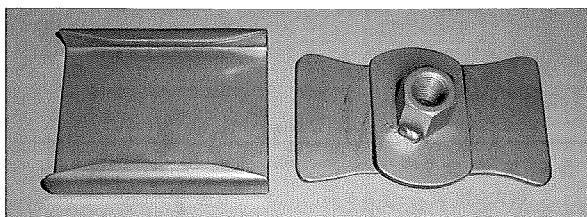
### 防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

### 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** 東京営業部  
TOHO KINZOKU Co., LTD

〒107-0052  
東京都港区赤坂2-19-8 赤坂2丁目アネックス6F  
Tel: 03-5545-7900 Fax: 03-5545-7905  
URL: <http://www.tohokinzoku.co.jp>

**株式会社 トーキョーオール**

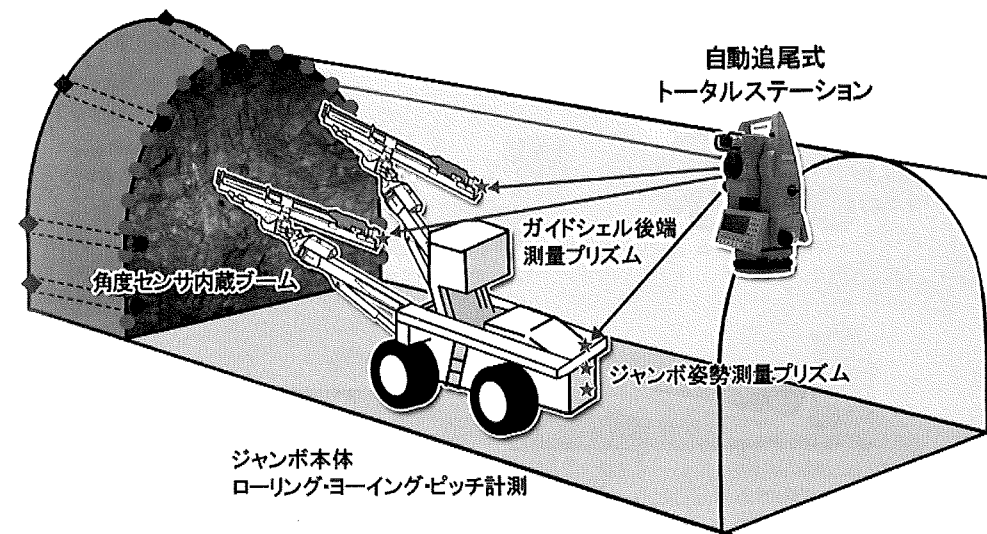
〒210-0854  
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11  
Tel: **044-333-0012** Fax: **044-333-0321**  
(お問い合わせ先)

NETIS登録番号:KK-100049-A

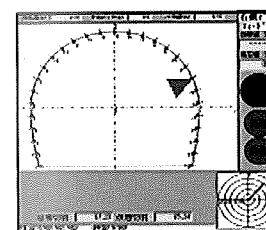
## 自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム「NETIS」に登録。

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



### ■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

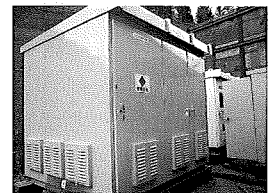
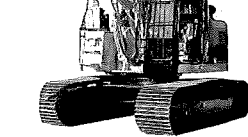
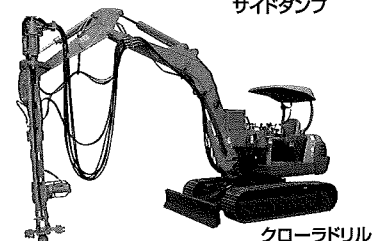
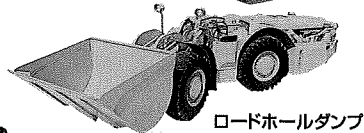
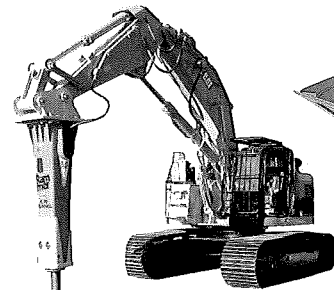
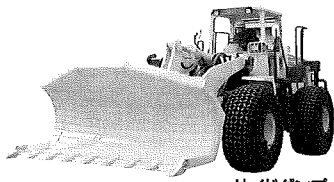
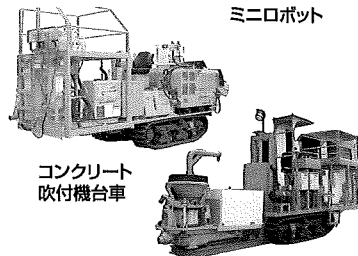
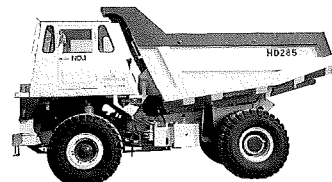
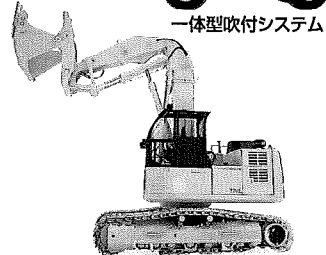
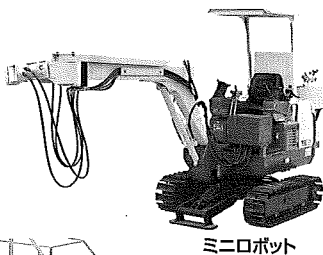
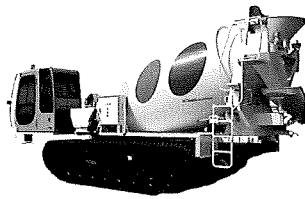
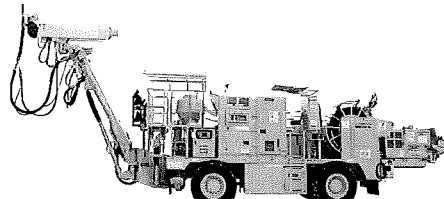
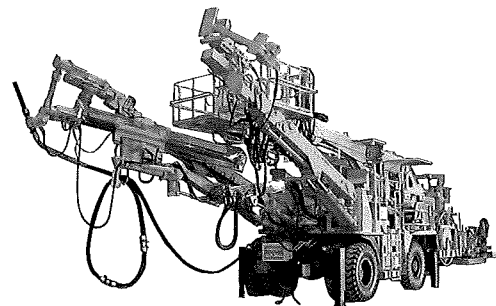
**MAC** マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3  
TEL: 047-371-3191 FAX: 047-371-3190

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

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3  
特機部  
TEL: 03-3231-6966 FAX: 03-3231-6993

# 山岳トンネル施工機械、鉱山・採石機械の総合レンタル企業



**T&M ニシオティーアンドエム株式会社**  
Tunnel & Mining

<http://www.nishio-tm.co.jp/>

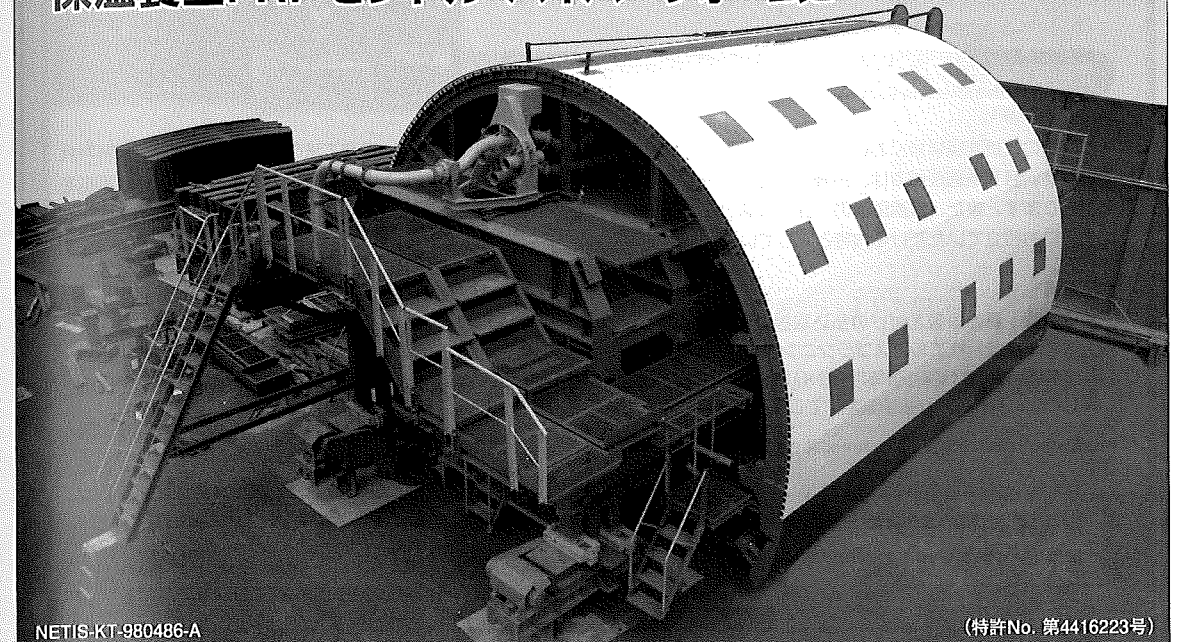
■ 本社管理本部・技術開発本部 〒567-0853 大阪府茨木市宮島3-2-18 TEL 072-634-3939  
■ 営業推進本部 〒141-0022 東京都品川区東五反田4-5-3サコスビル7F TEL 03-3280-3661

■ 北海道支店 〒061-3241 北海道石狩市新港西3-737-16 TEL 0133-72-3715  
■ 関東支店 〒389-0506 長野県東御市祢津字元会下1080-9 TEL 0268-62-1426  
■ 大阪支店 〒569-0836 大阪府高槻市唐崎西2-26-1 TEL 072-677-2101  
■ 九州支店 〒882-0024 宮崎県延岡市大武町779-1 TEL 0982-26-2111

# 高品質・高耐久 覆工コンクリートを目指して

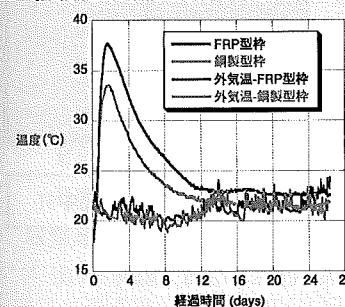
保温養生FRPセントル ハイパーフォームG

[実績17件]



## ■ 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、関アジタ 古江トンネル南にて測定]



## ■ 鋼製型枠との比較

項目	単位	ハイパーフォームG	鋼製型枠
基準サイズ	mm	900×10500×55	300×1500×55
重量	N/m <sup>2</sup>	145.1	405
比重		1.8	7.8
曲げ強度	MN/m <sup>2</sup>	294.2	333.4
剛性E・I	N・m <sup>2</sup>	3.66×10 <sup>4</sup>	5.39×10 <sup>4</sup>
熱伝導率	W/(m・k)	0.30	46.5
線膨張率	1/°C	1.0×10 <sup>-5</sup>	1.1×10 <sup>-5</sup>
光線透過率	%	2.2	0

## 特徴

1. すぐれた断熱効果により、保温養生を実現(鋼製型枠に対し熱伝導率1/150以下)
2. 外気の温度変化に対する影響が少なく、寒冷地に最適
3. 剥離性がよく、ケレン作業が低減

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

※九州営業所は下記の住所に移転しました。

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

# 月刊推進技術

## 定期購読のご案内

定期購読料金 **12,000円** (@1,000円/月×12ヶ月 税・送料込)

わが国の管渠整備事業においては、社会的ニーズや現場の施工条件等の要因により、推進工法の採用が必要不可欠とされています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説をしております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管渠埋設の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっております。

### 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購読料金12,000円(毎月1冊×12ヶ月 税・送料込)をお支払いください。詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

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



## 無料お試し購読キャンペーン 実施中!! (4月20日迄)

この機会にぜひ、「月刊推進技術」をお手にとってご覧ください。お申し込みは右のQRコードまたは本誌ホームページから



月刊推進技術 編集室

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

〒135-0046 東京都江東区牡丹2-2-3-105 株式会社LSプランニング内  
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail akasaka@lswb.co.jp

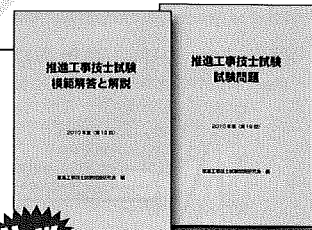
## 推進工事技士試験 過去9年間(平成14~22年度)

# 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(財)日本下水道管渠推進技術協会が平成4年度より実施している制度で、管渠施工の安全性と品質を確保する上で有益な制度です。

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



NEW

平成22年度版発売中!!

### 1. 内容の特長

- 過去9年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- 各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出典箇所を明記

### 2. 価格

各年度単位に1set 2,000円(消費税・送料込)

### 3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社(団体)名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。

これらのことをインターネットでご案内しています。

株式会社LSプランニング

[http://www2.ocn.ne.jp/~ls\\_siken/](http://www2.ocn.ne.jp/~ls_siken/)

〒135-0046 東京都江東区牡丹2-2-3-105  
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail oda@lswb.co.jp

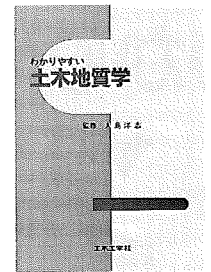
# 土木工学社の地質学書

[好評発売中]

## わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修

B5判 209頁 税込2,625円 送料340円



### 主要目次

序編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第II編 トンネル工事と地質条件

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

第III編 地質調査法

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

第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

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

### [その他の既刊図書]

建設工事の保安地質学〔改訂版〕 石井康夫 著 A5判 475頁 税込6,300円 送料340円

建設工事の地質診断と処方 石井康夫・矢嶋壯吉 共著 A5判 324頁 税込4,515円 送料340円

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

第I巻 地下水の物理と科学 B5判 235頁 税込4,281円 送料340円

第II巻 地下水環境学 B5判 252頁 税込4,485円 送料340円

第III巻 地下水と地質 B5判 197頁 税込3,873円 送料340円

岩盤地下空洞の設計と施工 E. フック・E.T. ブラウン 共著 小野寺進・吉中龍之進・斎藤正忠・北川隆 共訳

B5判 444頁 税込10,290円 送料450円

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

A5判 360頁 税込5,097円 送料340円

岩盤の計測と解析 鈴木光 著 A5判 244頁 税込4,410円 送料340円

地質工学概論 菊地宏吉 著 B5判 276頁 税込4,994円 送料340円

続 きみの庭にも温泉が出る 石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 税込1,260円 送料210円

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

株式会社 **土木工学社**

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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

# トンネルの発破技術

監修 山田隆昭 B5判 76頁 定価 1,500円+税(送料別途)

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

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

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

### 〈主要目次〉

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

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

株式会社 **土木工学社**

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

# シールド トンネルの 新技術

シールドトンネルの新技术研究会 編

B5判 280頁 定価：4,660円+税

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

### 主要目次

#### 第1章 概説

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

#### 第2章 調査・計画編

1. シールド工法の調査技術  
シールド工事における調査の取り組み方/基本計画時の調査(予備調査)/設計時の調査(基本調査、詳細調査)/施工時の調査(確認調査、管理調査)/施工後の調査(追跡調査)

2. 断面および線形計画  
断面および線形/鉄道用シールド/下水道用シールド/断面と線形における今後の展開

3. シールド機種の種類と選定  
シールド機の構造と装備/現状のシールド機種の種類と選定方法

4. 新しいシールド工法  
大断面化、大深度化、長距離化への展望

#### 第3章 設計・施工編

1. 覆工  
一次覆工の設計/二次覆工の設計と施工/シールドトンネルの防水技術

2. 立坑の設計と施工設備  
立坑の設計と施工

3. 仮設備  
仮設備の計画

4. シールド工事の自動化  
掘進管理システム/方向制御システム/セグメント自動組み立てロボット/自動搬送システム/その他の自動化技術

5. 掘進と施工管理  
シールド掘進と施工管理/シールド機の発進と到達/裏込め注入工法と注入効果/曲線施工と地中接合/補助工法の種類と選定

6. 近接施工と環境対策  
近接工法と対策/アンダーピニングおよび支障物対策/シールド工事と環境対策

7. 新工法の現状と将来展望  
自由断面シールド掘進(縦横断面)/

異形断面シールド/分岐・接合シールド/球体シールド(ホルン)工法/複円形、矩形および拡大シールドの開発動向/ECL工法  
8. 切羽の安定と地盤変状防止  
切羽安定の理論と実際/泥水式シールド工法の切羽安定/土圧式シールド工法の切羽安定/特殊条件下の切羽安定  
9. 地盤変位の理論と実際  
地盤変位の実際/地盤変位の予測解析

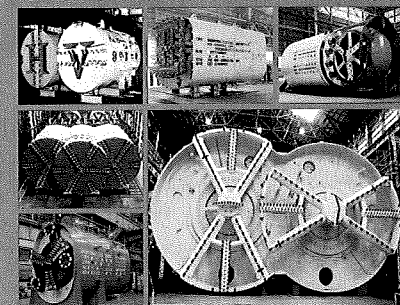
#### 付録

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

参考文献/索引

## 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  
代表 鈴木 章



土木工学社

株式会社 **土木工学社**

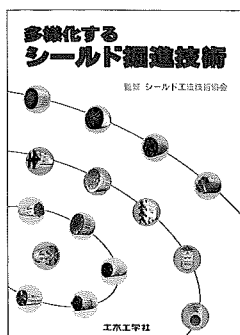
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町メイジャー神楽坂  
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807 <http://www.tunnel.ne.jp>

好評発売中

# 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



日本のシールド掘進技術は、国際プロジェクトに多くの日本企業が参画していることが示すように、国内はもとより海外でも高い評価を受けている。とりわけ、世界のスタンダード工法の感がある各種の泥土圧式や異形断面の掘進技術は、まさに日本が世界に発信している技術と言える。これらの掘進技術のほかにも、最近の技術開発の成果により実用化に至った掘進技術は数多く、毎年、新しい技術が更新を繰り返している。

このような背景を踏まえて、掘進技術を広くシールド技術者の参考となることを意図し、最近に開発、実用化された技術を中心に日本トンネル技術協会誌「トンネルと地下」に平成16年春より約1年にわたり『多様化するシールド掘進技術』という連載講座を設け紹介した。その結果、読者の方々より、掲載対象とした以外の技術との関係、従来工法との関わりなどの情報が欲しいとの意見が寄せられた。

このため、読者の声に応えるべく、連載講座には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「多様化するシールド掘進技術」をシールド工法技術協会が監修を行い、発刊することとなった。

このため、読者の声に応えるべく、連載講座には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「多様化するシールド掘進技術」をシールド工法技術協会が監修を行い、発刊することとなった。

## 〔掲載工法〕

- ①ラチス式同時施工シールド工法、②F-NAVIシールド工法、③ハニカムセグメントを用いた同時施工法、④ロングジャッキ式同時施工シールド工法、⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法、⑥充填式シールド急曲線工法、⑦地下茎シールド工法、⑧T-BOSS工法、⑨球体シールド工法、⑩上向きシールド工法、⑪MMST工法、⑫拡大シールド工法、⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法、⑭ワギング・カッター・シールド工法、⑮自由断面シールド工法、⑯OHM工法、⑰H&Vシールド工法、⑱単円～三連型駅シールド工法、⑲MFシールド工法、⑳DOT工法、㉑MSD工法、㉒親子シールド工法、㉓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

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

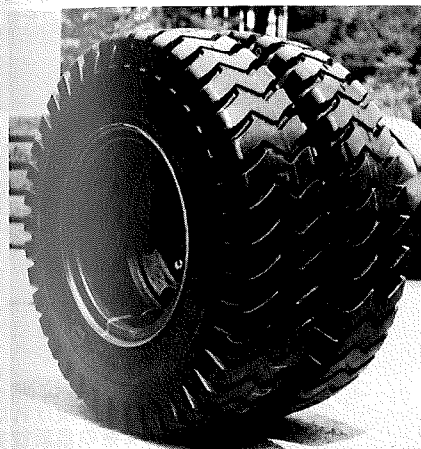
申し込み先

(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

トンネル工事からパンクを追放

## 坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



建設車両のタイヤのパンク、磨耗、破損を大幅に低減、車両の有効利用、修理に伴う人件費の削減等、工事の進捗に大いに貢献します。

- タイヤ間の間隙が無いため石を噛まない
- サイドの切断に強い
- 石および普通釘に強い
- 弾性波

0~20 (約2年) 20~30 (1年6か月)  
30~40 (約1年) 40~50 (6か月)

【営業品目】 複層タイヤ/油圧ホース/マテリアルホース/  
各種中古車/触媒/線路 (中古)



中濃産業株式会社

代表取締役 土田 義 弐

本社 〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1  
TEL(0581)38-2241(代) FAX(0581)38-3383  
営業所 〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387  
TEL(0581)34-3990(代)

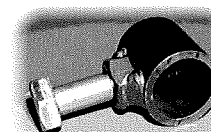
## コストダウンを可能にする Kリング・Kプレート

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)  
トンネル施工時の覆工工事におけるアンカー筋に段取り筋を設置する際のコスト、安全、工期、品質の向上を可能にすることができます。



②防水シート接着ジベル筋 (Kプレート) 組立  
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り、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。

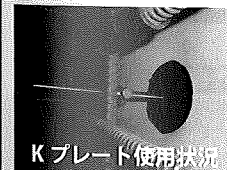


### コンパクトサイズ

Kプレートは分割方式により現場での組立が可能です。ナット付きのプレートと全ネジ棒



Kプレートを使用した覆工鉄筋組立架台の鋼製支保工を必要としないので組み上がりもきれいです。



### 設置は簡単

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。



トンネル進捗率改善のための最新技術

明かりが見えます

トンネルが貫通するまでの長い道のりの中で、工事完了までの間に大なる違いを生む原動力となるのは、トンネル進捗率における日々改良の積み重ねです。もちろん、発破のたびに進捗度を上げたいとご希望されることでしょう。

オリカ社は、今まで積み重ねてきた研究開発と技術力を駆使して、お客様が毎日直面する課題の解決策をご提供することができます。自由に延時設定可能なトンネル専用電子雷管eDev、トンネル発破デザインソフト New SHOTplus-T™、高エネルギーエマルジョン爆薬の結果をご覧ください。これらはいずれも、お客様のご要望に沿って全てのプロジェクトに最適な技術サービスとサポートをご提供した結果です。

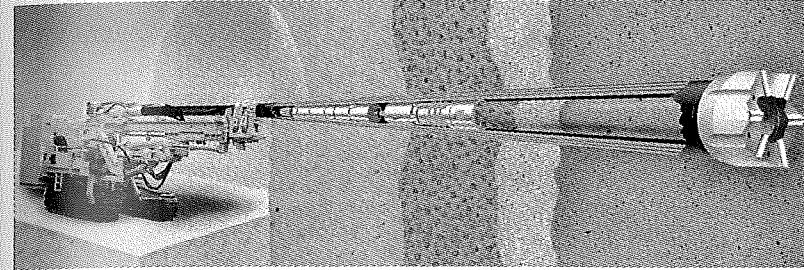
これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership (パートナーシップの力)」です。

www.oricaminingservices.com にアクセスして頂ければ、トンネル現場の最新技術をご覧になることができます。



# トンネル掘さく的安全施工に 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



■ 特長

- ①断層破砕帯や湧水をとまらぬ難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に、施工時間が大幅に短縮できます。
- ②2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くらべて大幅に向上しました。



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

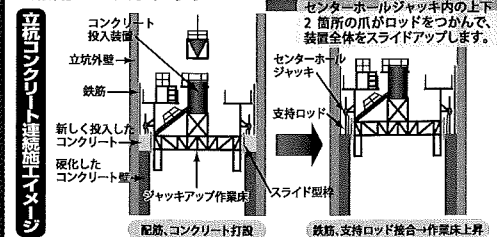
お問い合わせ先： 工事営業本部  
TEL. (03)6907-7512 FAX. (03)6907-7522  
http://www.koken-boring.co.jp

# スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献!

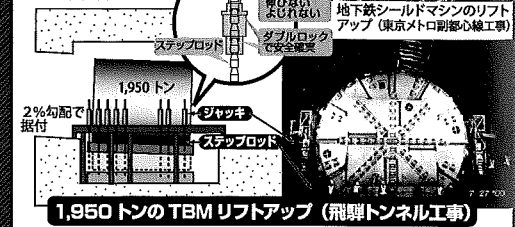
## 立坑スリップフォーム工法

- コンクリート連続打設で工期短縮
- 型枠・足場組ばらし不要
- 掘削・グラウトスカフォード兼用でコストダウン



## シールドマシン・TBMリフトアップ

- 安全確実で経済的なステップロッド方式
- イコライザー機構で荷重・変位のバラ付きを解消
- 複数ジャッキを高精度制御

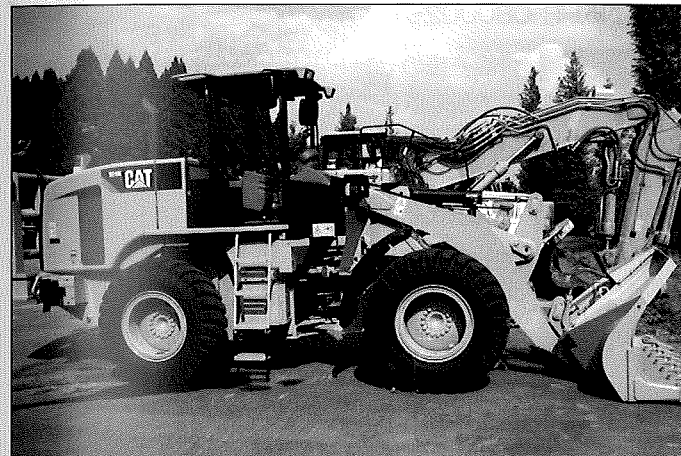


## 営業品目

- ジャッキリース・オペレータ
- 架台・型枠足場 設計・製作・据付工事

JFE シビル 株式会社  
都市基盤営業部 特殊工法グループ

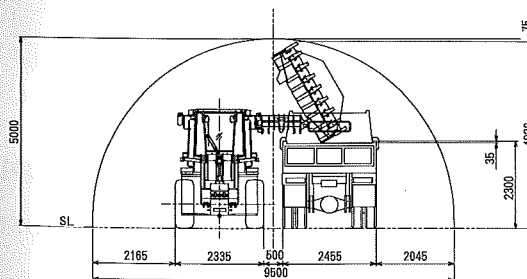
〒111-0051 東京都台東区蔵前2丁目17番4号 (JFE蔵前ビル)  
TEL: 03-3864-5293 FAX: 03-3864-7319  
URL http://www.jfe-civil.com/ E-mail jack@jfe-civil.com



サイドダンプ

CAT 924H

1.5m³



klea 株式会社ケイリー

仙 台：TEL.022-359-5331  
東 京：TEL.03-3661-5651  
大 阪：TEL.06-6838-1372  
尾 道：TEL.0848-56-1124  
機材センター：TEL.022-359-4951

URL http://klea.catrent.com

# 要求性能を満たす 覆工コンクリートの品質向上技術

## 天端引抜バイブレータ装置

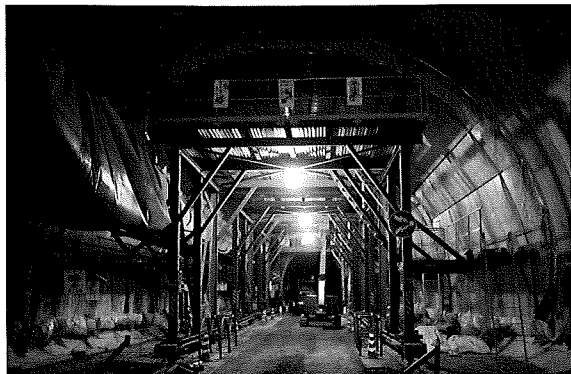
NETIS 登録 No.HR-080001-A



人力での締固め作業が充分とはいえなかった覆工天端部に、油圧式天端バイブレータを採用して締固めと密充填を行います。打設中のコンクリート内に棒状バイブレータを妻側から挿入し、油圧装置を用いて押し・引き動作を与えて使用します。天端部断面方向に2～4箇所設置することにより、天端部の締固めが容易に行え、合わせてブリージング水を排水し、覆工表面の縮模様を防止します。

## コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.HR-080002-A



打設直後のセントルとセントル連結式養生台車で脱型直後の覆工コンクリートを連続してシートで覆い坑内通気を遮断、保温・加湿養生を行うことで覆工コンクリートの初期強度を向上させるとともに、乾燥収縮によるクラックを防止します。更にこの後方に養生台車を2台連結することにより、コンクリート打設後7日間の連続養生が可能となります。

## 北陸鋼産株式会社

(旧社名 株式会社 佐賀)

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

射水工場：〒934-0056 富山県射水市寺塚原 720 番 1 TEL0766(82)1500 FAX0766(82)1501

滑川工場：TEL076(476)0333 FAX076(475)9121 東北工場：TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423

東京営業所：TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789

# 濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

## 環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ 小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0m<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

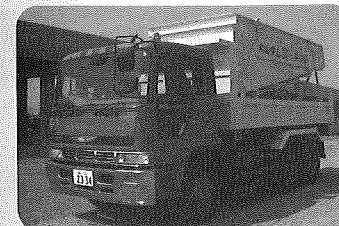
### 《汎用車両全般》



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



10T ミキサー



4.5mベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車両 取り扱っております

## 株式会社 フジテックス

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

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

### ■巻頭言

#### 苦い思い出

石垣 和男 .....5

### ■研究

#### エレメント推進工法における緩み土圧算定方法の提案

仲山 貴司・岡野 法之 .....58

### ■計画

#### 駅部大断面NATMを隣接トンネル実績を活用して計画

—仙台市高速鉄道東西線 亀岡トンネル—

今井 正樹・東 優・山田 亮志・鶴原 敬久 .....41

### ■施工

#### 仮梁エレメント方式によりJES工法のコストダウンを実現

—JR中央線 日野こ道橋—

中村 征史・萩原 辰裕 ..... 7

#### 土かぶり1.7mの国道交差点直下をハーモニカ工法でアンダーパス

—国道1号 原宿交差点立体工事—

五十嵐一夫・澤 健男・佐々木俊伸・宮地 孝 .....13

#### 地山状況の変化に対応し全断面早期閉合の仕様を設定

—能越自動車道 七尾トンネル—

角湯 克典・柳川 磨彦・鬼頭 夏樹・大谷 達彦 .....21

### ■連載講座

#### 山岳トンネルのインバート(2)

—インバートに関する変状対策事例調査と分析—

JTA山岳工法小委員会支保ワーキング .....61

### ■現場だより

#### 「マレー半島の分水嶺を貫く」クアラルンプールより

河田 孝志 .....52

#### 地下鉄建設がすすむ「ドナウの真珠」ブダペストより

加藤 健治 .....60

### ■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

#### 長大トンネルを穿つ

多田 昇 .....33

### ■資料

#### 土木情報

編集部 .....69

#### トンネルジャーナル

編集部 .....70

#### 工法・技術・製品ニュース

編集部 .....72

#### トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 .....73

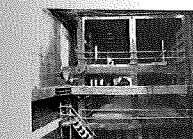
### ■会報

#### 会報

日本トンネル技術協会 .....74

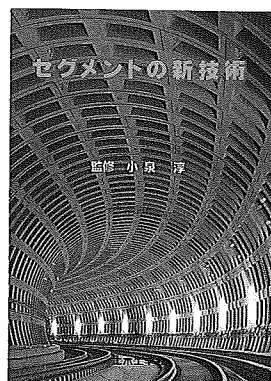
【表紙説明】 土かぶり1.7mの国道交差点直下をハーモニカ工法でアンダーパス

—国道1号 原宿交差点立体工事—



本工事は、横浜市戸塚区に位置する県内でもっとも渋滞する国道1号原宿交差点を立体化(国道1号を地下へ)することによって交通混雑を解消し、円滑な交通を確保することを目的に計画された。施工にあたっては、小土かぶり、都市内施工、近接施工といったきわめて難しい条件下において非開削工法として新技術であるハーモニカ工法を採用した。写真は、ハーモニカ工法による坑口の施工完了状況である。

(写真提供：国土交通省) (本文13頁参照)



## セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 千290円

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

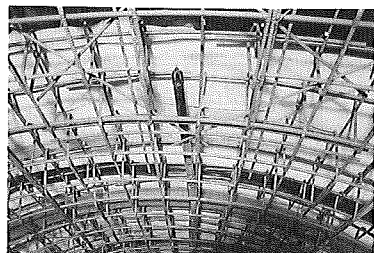
# 高品質なトンネル覆工に挑む

## 高品質なトンネル覆工を実現する 引抜バイブレータ締固システム

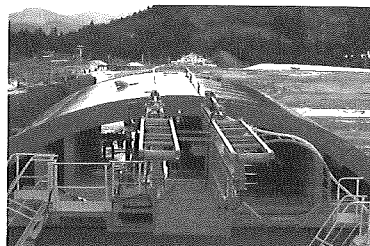
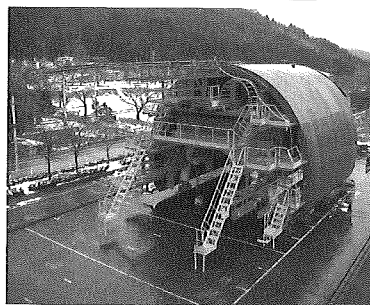
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースパイプ巻取り式



パイプパイプ伸縮式



特願 2000-073694・2002-329301・2004-021814・2004-021817

### 効果・特徴

1. 覆工コンクリートの品質が向上する。
2. トンネルクラウン部の締固めが省力化できる。
3. 作業環境が改善でき、狭隘なヶ所での作業が無くなります。
4. 鉄筋、無筋区間での共用が可能で、経済性に富んでいます。



**岐阜工業株式会社**  
GIFU KOGYO CO.,LTD

本社 岐阜県本巣市十四条144番地 〒501-0464  
本社工場 TEL (058)323-2000(代) FAX (058)323-1176

本社営業部 (058)323-2001  
東京支店 (03)5836-0531  
仙台営業所 (022)259-2239  
九州営業所 (092)713-5265

URL <http://www.gifukogyo.co.jp/>

## 総務委員会広報小委員会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

### 〔主 査〕

大 島 洋 志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

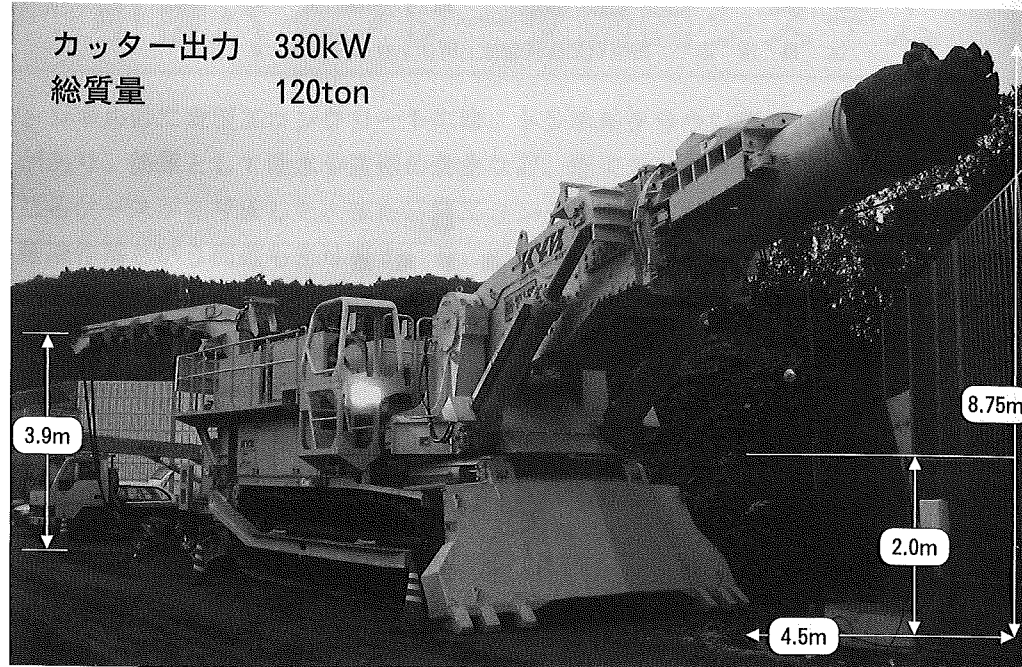
### 〔幹 事〕

居 相 好 信 株式会社大林組東京本社生産技術本部 トンネル技術部部长	高 瀬 昭 雄 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長
池 田 豊 人 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	濱 建 介 株式会社ANET取締役
大 石 敬 司 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 改良建設企画課課長	福 家 佳 則 鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部 トンネルグループ長
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長	松 原 利 之 飛島建設株式会社土木事業本部土木技術部 トンネル技術グループ部長
志 岐 寛 清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部 部長	三 浦 克 株式会社竹中土木常務執行役員
城 間 博 通 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部トンネル研究担当部長	領 家 邦 泰 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル技術室参与

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

# RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW  
総質量 120ton



## 主な特長

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

**KYB** カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業  
カスタマーサービス 〒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

中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出長常町 1129 番地 11 TEL 059-234-4139

西部支店 〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多 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〕

大島 洋志 国際航業株式会社 上席フェロー技術センター長

### 〔編集参与〕

今田 徹  
東京都立大学名誉教授

高橋 良文  
東京都下水道サービス(株)管路部長

橋本 定雄  
(元)東京都公営企業管理者下水道局長

濱 建介  
株式会社ANET取締役

三浦 克  
株式会社竹中土木常務執行役員

### 〔委員〕

葛城 真治  
東京電力株式会社電力流通本部工務部  
地中送電グループ課長

亀山 勝  
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部  
計画担当課長

木谷 日出男  
財団法人鉄道総合技術研究所  
企画室長

清水 満  
JR東日本研究開発センター  
フロンティアサービス研究所次長

城間 博通  
株式会社高速道路総合技術研究所  
道路研究部トンネル研究担当部長

新谷 康之  
東京都下水道局建設部設計調整課長

中本 忠道  
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

藤村 和彦  
東京都水道局建設部工務課長

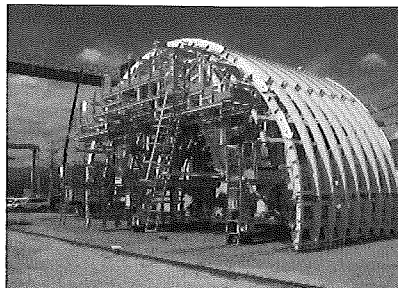
真下 英人  
独立行政法人土木研究所  
道路技術研究グループ長

両角 幸範  
東京都交通局建設工務部計画改良課長

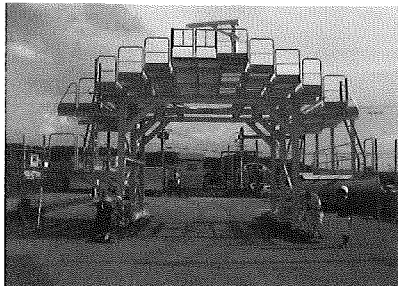
# トンネル 二次覆工用型枠 総合メーカー

一歩前進！  
～限らない未来への挑戦～

 大栄工機株式会社



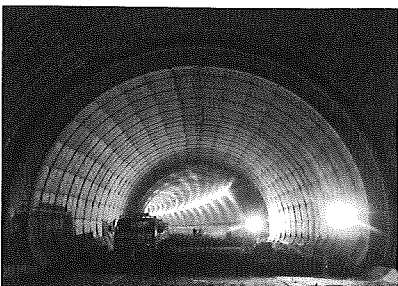
スライドセントル



作業台車



移動栈橋



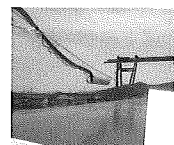
NETIS登録番号 CB-090003-A  
EPSパネル養生



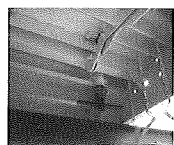
スチールフォーム(中流動コンクリート対応型)



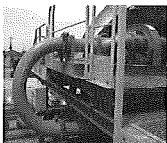
MC矢板



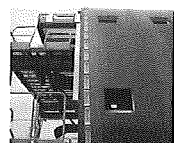
天端引抜ハイブレータ



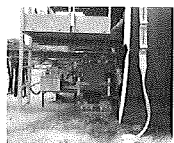
エアー抜き金具



配管切替装置



剥離材塗布装置付自動ケレン機



クラック防止センサー

ご用命は下記まで

〒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  
※詳しくは、弊社ホームページをご覧ください

## トンネルと地下 VOL.42 No.4 掲載概要

掲載頁  
7

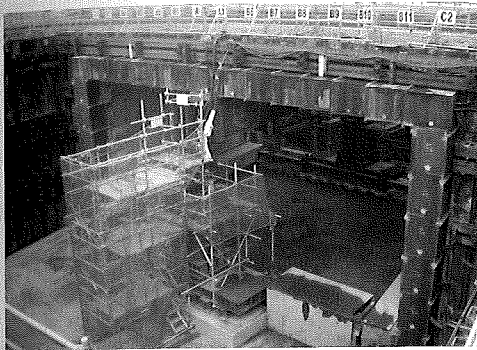
仮梁エレメント方式によりJES工法のコストダウンを実現  
—JR中央線 日野こ道橋—

東日本旅客鉄道(株) 中村 征史

鉄道と道路の交差点における交通渋滞と地域分断の解消を目的に、各地で連続または単独の立体交差化工事が進められている。単独立体交差の場合、日照の阻害や交差距離の関係から交差道路を地下化する事例が多いが、列車の運行に影響なく線路下に道路函体を構築するためには、施工時間の制約と線路防護の必要性があり、工期短縮とコストダウンが課題となっている。

本稿では、線路下横断工事における工期短縮とコストダウンを目的に、JR中央線日野こ道橋の施工において、仮梁エレメントと仮梁受け架台を用いた仮受け構造を考案し実施した概要について報告する。

Cost Reduction for the JES Method with Temporary Beam—JR Chuo Line Hino Underpass—  
By Masashi Nakamura, East Japan Railway Company



写真は函体内掘削完了

Grade separation works are being conducted in various places for resolution of traffic jams and community severance. In cases that grade separation is planned for one crossing, there are many examples of building railway underpasses under the condition of isolation or road length. But in order to construct road tunnels under tracks without having an effect on the operation of trains, it is necessary to restrict construction times and protect the tracks. Challenges are the reduction of the construction time and costs.

This report gives information on the plan and execution of temporary supports using a beam and columns with the aim of reducing the time and cost for building railway underpass in the work of the Hino Underpass on the JR Chuo Line.

掲載頁  
13

土かぶり1.7mの国道交差点直下をハーモニカ工法でアンダーパス  
—国道1号 原宿交差点立体工事—

国土交通省 五十嵐一夫

神奈川県横浜市戸塚区に位置する国道1号原宿交差点は、横浜市道環状4号と交差し、1日あたり約10万台の交通が利用する慢性的な渋滞交差点であり、県内渋滞ワースト1、その渋滞損失額は年間約100億円を計上する。

原宿交差点立体工事は渋滞交差点を立体化(国道1号を地下へ)し、交通混雑を解消し、円滑な交通を確保することを目的に計画された。

本稿では非開削工法として新技術であるハーモニカ工法を採用し、小土かぶり、都市内施工、近接施工といったきわめて難しい条件下における施工事例を報告する。

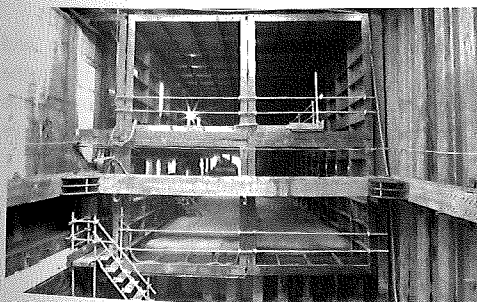
Tunnelling with the Harmonica Method at 1.7 m below the intersection—Route No. 1 Harajuku Intersection Grade Separation Works—

By Kazuo Igarashi, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The Harajuku Intersection is the point where Route No.1 crosses with the Yokohama City Ring Road No. 4

located in Totsuka-ku, Yokohama City, Kanagawa Prefecture. The intersection had a many traffic jam hotspot in the prefecture and congestion cost on the intersection was estimated at approximately 10 billion yen a year. This grade separation works were planned for eliminating traffic congestion (Route No.1 to become underpass).

This report gives information on the construction under the difficult condition that the works was executed using Harmonica Method under small cover, in urban area and near existing structures.



写真はハーモニカ坑口施工完了状況

近年、トンネルの変形を抑制するために、全断面早期閉合を適用する施工事例が増加している。この掘削工法は、切羽から近い位置で1次インバートを施工して早期にトンネルを閉合するものであり、地山不良部でのトンネルの変形や沈下を抑制することができる。

七尾トンネルでは、地山状況が複雑に変化したため、その状況に応じて全断面早期閉合を適用することが必要であった。そこで、計測データなどの施工実績をフィードバックして、全断面早期の仕様変更を判断する情報化施工を実施した。

Modify the Specifications of Tunnel Support to Fit the Ground Conditions—Noetsu Expressway Nanao Tunnel—



写真は鋼製ストラットが設置不可能となった状況

By Katsunori Kadoyu, Public Works Research Institute

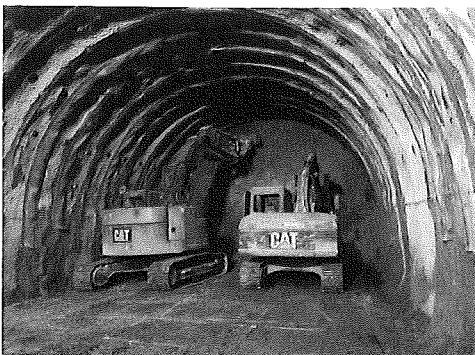
In recent years, in order to control the deformation during tunnel construction, there has been an increase in cases of using "early-casting-invert". This technique is to cast primary invert concrete close to the cutting face with the ability to control tunnel deformation and settlement in weak ground.

In Nanao Tunnel, it was necessary to adopt various specifications of the early-casting-invert in response to complex changes in the ground conditions. Consequently, the specifications of tunnel invert were changed to respond to measurement results during tunnel construction.

仙台市高速鉄道東西線の亀岡トンネルは、延長1,275.8mの山岳トンネルであり、青葉山駅および亀岡トンネル開削部に位置する複線断面トンネルである。亀岡トンネルのうち、起点方の青葉山駅接続部の駅部大断面区間は、駅設備として1面2線の島式ホーム、コンコースや換気風洞を設けるための中床版を構築する構造となっている。

本稿では、中壁分割工法で施工した青葉山トンネル駅部大断面の実績を活用し、亀岡トンネル駅部大断面区間における掘削方法として選定した多段ベンチ工法の施工計画および計測計画について報告するものである。

Planning Large Station NATM Tunnel Based on the Next Tunnel—Sendai City Subway Tozai Line Kameoka Tunnel—



写真は掘削状況

By Masaki Imai, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

The Kameoka Tunnel on the Tozai Line of Sendai City Subway is a mountain tunnel of 1,275.8 m in length. It is a double track tunnel located between Aobayama Station and Kawauchi Station. The part of Kameoka tunnel next to Aobayama station has large cross-section where an island platform and slab loaded with concourse and ventilation wind tunnel as station facilities will be installed.

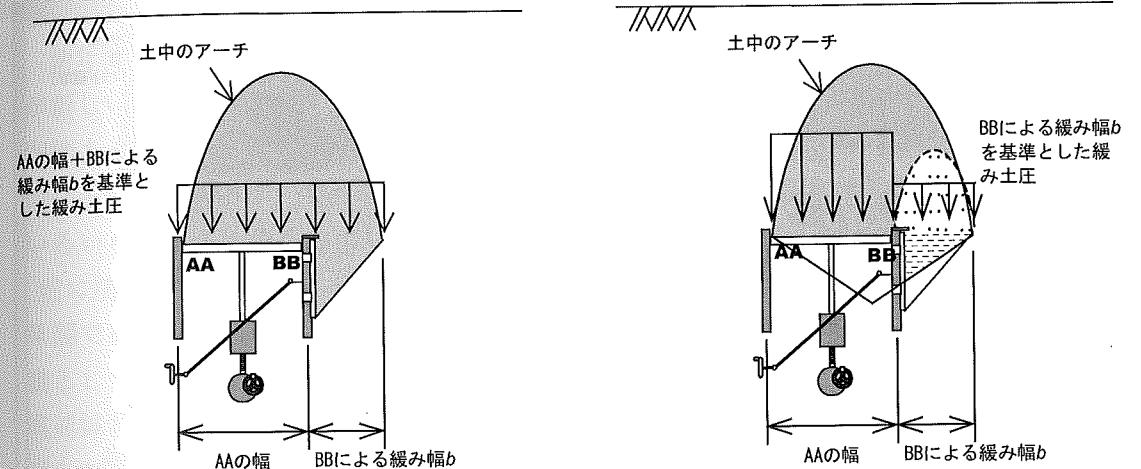
This report gives information on construction plan and measuring plan for the multiple benches cut excavation in the large station tunnel of Kameoka based on construction results of next Aobayama Station Tunnel that was excavate large section with the central diaphragm method.

線路下横断工法で用いられるエレメント推進・けん引工法は安全面、経済面の利点に加えて、トンネル形状が自由に選択できることから、現在では、地下深い箇所での非開削による駅部の建設などへの適用も検討されつつある。しかし、従来の全土かぶり圧を用いた設計法では過大に安全側、すなわち不経済となる可能性がある。本論文は、著者らが模型実験から試案したエレメントの連続推進・けん引で発生する緩み土圧の算定方法を示すものである。

Evaluation of Loosening Earth Pressure for Element-Jacking/Towing Method

By Takashi Nakayama, Railway Technical Research Institute

At the present time, due to the fact that it is possible to safely and economically build tunnels and to freely select tunnel shape, the element-jacking/towing method that is used for railway underpasses is being gradually investigated as construction method for deep stations without cutting open. However, under current design code for this method whole overburden load is estimated as design load. There is a possibility of excessive safety specification causing diseconomy. This report demonstrates a tentative evaluation method of loosening earth pressure occurring in consecutive jacking/towing based on model experiments.



(a) 通常のTerzaghiの理論を適用する場合

(b) 本研究における仮定を適用する場合

図は落とし戸AA、BBに作用する緩み土圧の模式図

## 苦い思い出

(株)熊谷組常務取締役(本協会理事)

### 石垣和男

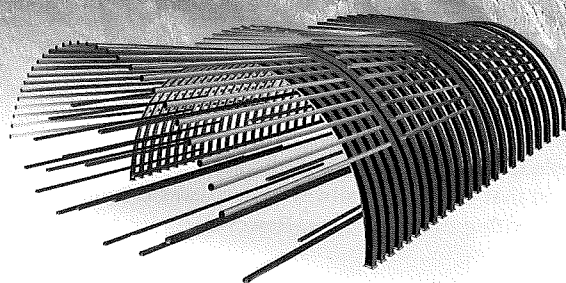


新年度を迎え多くの若者が建設業界で働こうとしている。わが社でも30名の新入社員が新しい人生のスタートを切る。一方、4月末には早くも来年度採用予定者の最終面接が始まる。私は、この5年間最終面接官として面接を行い採否の判断を行ってきた。私の可否の判断基準は、当社になんとしても入りたいという熱意と今後職場や地域社会でいろいろな人と仕事をしていくために必要な3つの社会人としての基礎力、すなわち「前に踏み出す力」「考え抜く力」そして「チームで働く力」が感じられるかである。5年間で150人以上の面接を行ってきたが、その中で記憶に残る学生がいる。土木の総合職として初めて採用した女子学生である。彼女の志望動機は、通学に利用している東葉高速線習志野台トンネルのようなトンネル工事に従事したいであった。これには驚き感激した。というのも習志野台トンネルは、私が二十数年前に工事主任として6年間勤めた苦い思い出の現場だったからである。

習志野台トンネルは、2,430mの鉄道トンネルで当社が担当した習志野台工区は、習志野台換気立坑より新京成線北習志野駅に向かって県道直下を887m施工する区間であった。土かぶり5~10mと小さく、下水・水道・ガスといったインフラが多数敷設されており、周囲は住宅・商店街という環境であった。地質は成田砂層でN値が10~20と小さく、帯水すると流砂現象を起こす。

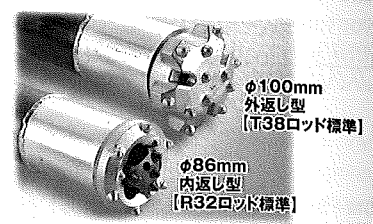
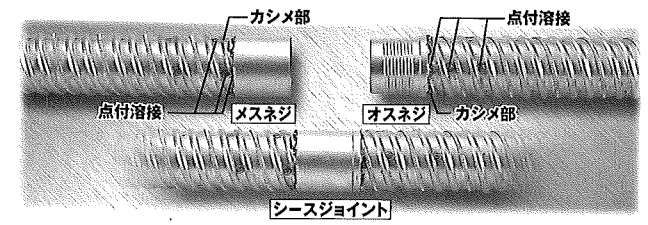
このような厳しい条件下で当初設計であるCD(Center Device)工法の安全性を確認するため、立坑より60m区間で試験施工を行い支保・加背割りの妥当性、補助工法の効果、沈下量などを調査した。掘削を開始すると天端・切羽の崩壊・崩落が起き地表面沈下も80mmと限界ひずみを超えた。加背を2段から3段ベンチに変更しストラットを入れ各段で閉合した。吹付け厚さも20cmから30cmに変更し、先受け工・鏡ボルトといった補助工法を追加し改良を重ねた結果、沈下量を30~40mm以内に抑制することができた。この改良施工法を習志野台トンネル特別委員会の山本稔委員長がCRD(Cross Diaphragm)工法と命名した。試験施工区間の掘削が完了すると、中壁に40t以上の軸力が発生し中壁

# ユニークな発想と高品質・自信の価格



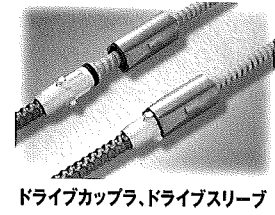
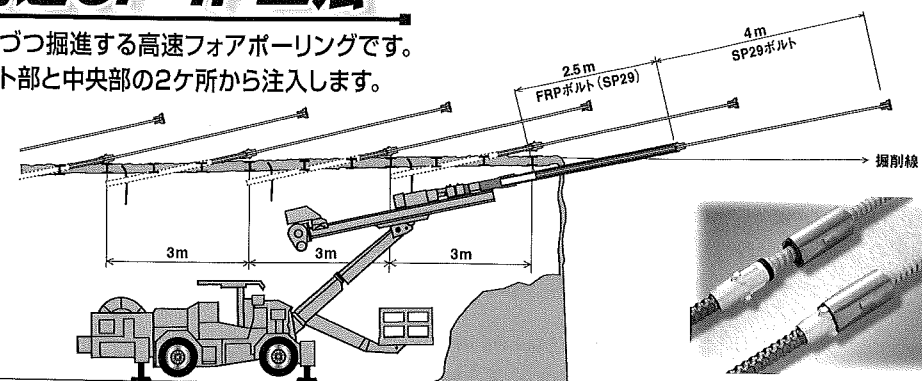
## FIXチューブ工法

※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと“FIX”します。



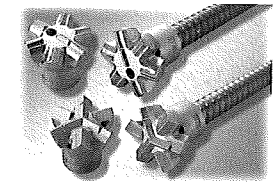
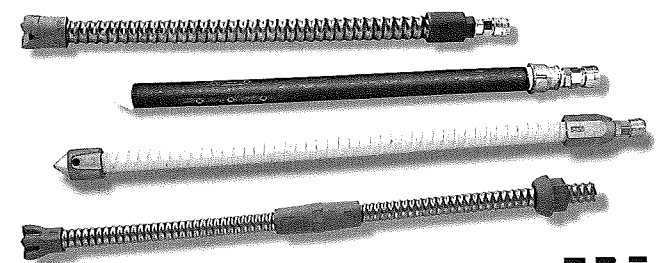
## 高速SP-IF工法

※3mづつ掘進する高速フォアポーリングです。ビット部と中央部の2ヶ所から注入します。



ドライブカップラ、ドライブスリーブ

## 自穿孔ボルト&注入管



φ65mm ロストビット (SP29)



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

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2  
TEL:0729-90-0250 FAX:0729-90-0251  
http://www.st-eng.co.jp

※他にも脚部や坑口周りに利用できる各種の補強土工法、マイクロパイル工法を準備しております。

が撤去できないのではないかという問題が生じた。計測を行いながら中壁を撤去すると外周部の支保に応力が再配分されることがわかり中壁の撤去が可能とわかった。応力の再配分は理論的には理解していたが現実にそのことを確認し大いに安堵した。

本工事着手にあたっては、水による流砂現象を防ぐため千鳥状に20m間隔でディープウェルを施工した。さらに近隣の建物への影響をなくすために最大沈下量を30mm以内に抑止する必要がある。CRD工法だけでは難しいため、補助工法として沈下抑制と安全性増大を目的に上半部外周3mを地盤改良することにした。

この地盤改良で大失態を起こした。注入記録を改ざんしたという不良施工の記事が新聞に掲載された。注入専門業者の職員が内部告発した記事でまったく寝耳に水の出来事であった。新聞には、近隣の商店街にある段差を不良工事の影響とする記事が書かれていたが、そこはまだ未掘削区間で影響があるはずもないのだが反論もできず悔しい思いとマスコミの怖さを痛感した。その後の半年は約3万枚の注入記録を分析して不良箇所と不足量を特定し、未掘削区間の再注入を行うという作業を不眠不休で行った。世間を騒がせ発注者の鉄道建設公団(当時)や会社の名誉を汚し、長い間培ってきた信用と信頼を一瞬のうちに失ってしまったことに、ただただお詫びするしかなかった。日々の施工管理がいかに大事かを痛感させられた。CRD工法の開発や隣接工区での三連NATMによる非開削駅の構築など都市トンネルとして画期的な成果を残した東葉高速線建設工事であったが、都市NATMの金字塔として脚光を浴びることが少ないのはこの不祥事が原因かと今でも心に棘として刺さっている。

CRD-NATMは、シールドと山岳トンネルの境界域の地質を施工する工法であるが、地下水対策や補助工法が不可欠であった。そのため施工に時間とコストが掛かった。境界域の施工ではいつも地山の安定・地下水対策・周辺環境への影響対策が求められ、コストと工期を比較してシールドとNATMの綱引きが行われている。私が10年前に赴任した東北で施工中であった三本木原トンネルも、流砂現象による崩落・崩壊をくり返し悪戦苦闘しながらNATMで施工していた境界域の現場であった。いつ重大事故が起きても不思議でない現場に安全かつ低コストで進行が見込める施工法が求められていた。当時わが社では、硬岩から軟弱地盤までを1台のマシンで施工するKM21TMという地質に影響を受けないトンネル掘削工法を開発し社外発表していた。これに発注者である鉄道・運輸機構が着目し工法の一部が採用されSENSとなった。KM21TMは、山岳トンネルと都市トンネルの境界を取り払いあらゆる地質の中を連続的に掘削できる画期的なトンネル施工法であると自負している。将来この工法がトンネルに革命を起こすことを夢見ている。

## 施工

# 仮梁エレメント方式により JES 工法のコストダウンを実現

—JR中央線 日野こ道橋—

東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所工事管理室主席 中村 征史  
東鉄工業(株)東京土木支店市ヶ谷工事事務所 萩原 辰裕

## 1 はじめに

鉄道と道路の交差点における交通渋滞と地域分断の解消を目的に、各地で連続または単独の立体交差化工事が進められている。単独立体交差の場合、日照の阻害や交差距離の関係から交差道路を地下化する事例が多いが、列車の運行に影響なく線路下に道路函体を構築するためには、施工時間の制約と線路防護の必要性があり、工期短縮とコストダウンが課題となっている。

今回、線路下横断工事における工期短縮とコストダウンを目的に、JR中央線日野こ道橋の施工において、仮梁エレメントと仮梁受け架台を用いた仮受け構造を考案し実施したのでここに報告する。

## 2 工事概要

### 2-1 工事概要

本工事は、東京都が計画している都市計画道路3・4・8号線栄町平山環状線におけるJR中央線立川・日野間のJR交差点において、JES工法による線路下函体、取り付け部のRC函体、U形擁壁、自歩道擁壁を構築するものである。

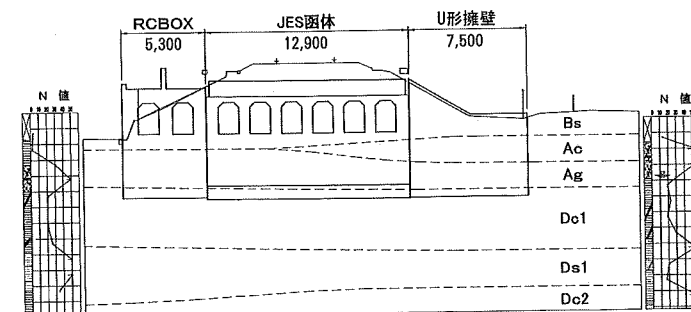


図-1 地質状況図

工事件名: 中央線立川・日野間日野こ道橋新設工  
期: 2006(平成18)年3月31日～  
2010(平成22)年11月30日

### 2-2 地質概要

本工事施工箇所の地質は図-1に示すように、線路下函体の上部は盛土層(Bs)であり関東ロームを主体としている。函体下部にはφ250mm以上の玉石が点在する礫質土層(Ag)があり、N=50以上の密な締まりを有する。函体底部は硬質シルト層(Dc1)でありN=21~26を示し、非常に硬い状態である。また、地下水位は盛土上部GL-6.5m付近にある。

## 3 仮梁エレメントの設計

### 3-1 構造形式の選定

日野こ道橋は当初、図-2に示す仮壁方式で施工

するように計画されていたが、図-3に示す仮梁エレメント方式(以下、「仮梁方式」)と比較検討を行った。当現場では函体底面位置の地盤条件が良く、下床エレメントは現場打ちコンクリートに変更でき、仮梁受け架台基礎は直接基礎での施工が可能

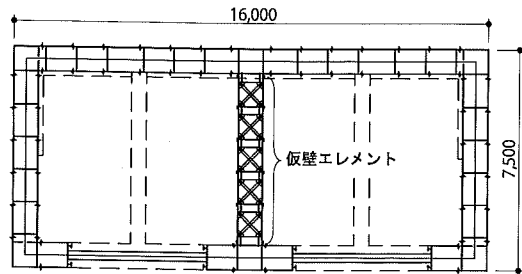


図-2 仮壁エレメント方式概略断面図

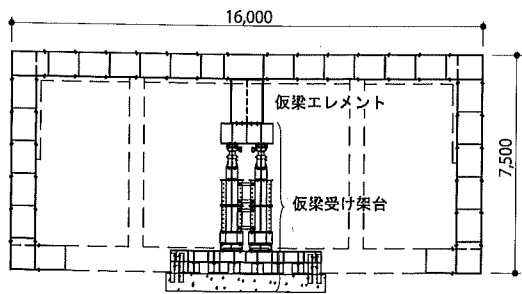


図-3 仮梁エレメント方式概略断面図

表-1 工法比較(1層3径間道路ボックスで試算)

	仮壁方式	仮梁方式	仮梁/仮壁
工事内容	仮壁設置、撤去 下床設置など	仮梁、仮梁受け架台 設置、撤去など	—
工期	89日	47日	0.52
コスト	66,000千円	29,000千円	0.44
評価	—	○	—

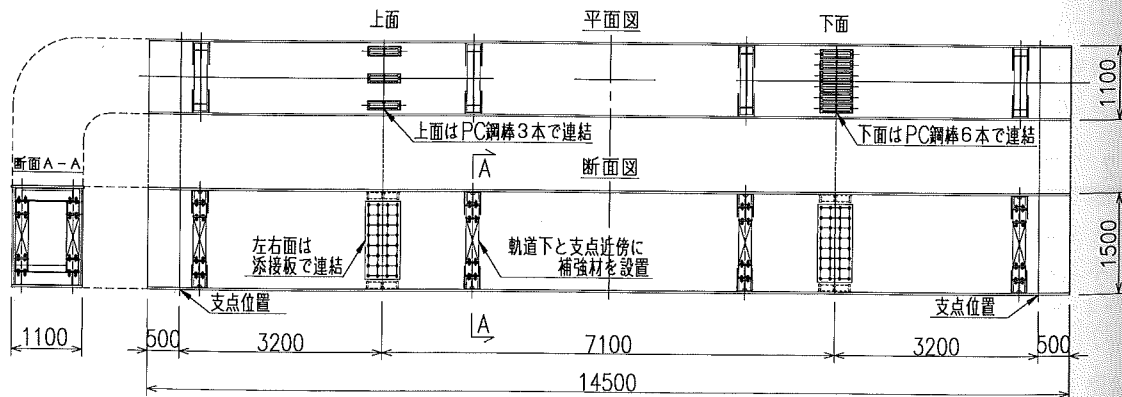


図-4 仮梁エレメント

であった。その結果、表-1に示すように、当該作業においては半分程度のコストダウンが見込まれたため、仮梁方式に変更を行った。なお、全体の工程、工事費に対しては、ともに約10%コストダウンとなった。

3-2 設計内容

仮梁方式を採用するにあたっては、さらなるコストダウンや安全性向上を目指して、以下の条件を設定した。

- 仮梁は中空構造とし中埋めコンクリートは打設しない(施工性向上と廃棄物の減量)。
- 仮梁受け架台が不等沈下を起こした場合に備えて仮梁は油圧ジャッキで変位量制御ができる構造とする(安全性の向上)。

仮梁は列車荷重を直接支持するため鉄道構造物

表-2 設計条件一覧

項目	内容
設計方法	許容応力度設計法
仮梁形状	矩形断面、延長14.5m
使用材料	鋼材：SM490 ボルト：高力ボルトF10T、PC鋼棒：C種1号
支持方法	2点支持単純梁(支間長：13.5m)
活荷重	列車荷重(EA-17複線(衝撃も考慮)： 299.28kN/m×3.8m/線×2線
死荷重	上載荷重(軌道、盛土、上床エレメント、中埋め コンクリート)： 390.28kN/m×12.3m=4,800.4kN 仮梁エレメント自重： 11.38kN/m×14.5m=165.0kN
荷重状況	上床エレメント(長さ12.3m)より等分布荷重で作用

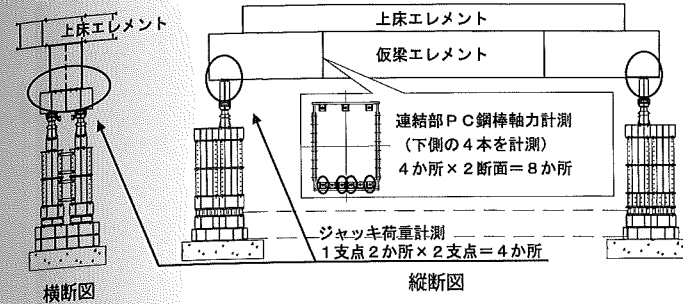


図-5 計測工概要図

の鋼構造物とし、照査方法は仮設のため許容応力度設計法で行った。設計条件を表-2に示す。

表-2の条件のもとに、曲げモーメント、せん断力が最大となる断面、仮梁連結部の応力検討と支間中央でのたわみ量の検討を行った。設計の結果、図-4に示す断面は幅1.1m、高さ1.5m、延長は全長14.5mを3分割(3.7m+7.1m+3.7m)し、連結部は左右のウェブを両面とも添接板で、上下フランジを内側からφ40PC鋼棒(上側3本、下側6本)での連結構造とした。連結方法を添接板とPC鋼棒の2種類で行ったのは、仮梁を地中に挿入する際に抵抗となる突起を減らし、推進力を低減させることを目的としている。また、仮梁内部で大きな力が作用する支点部2か所と軌道直下2か所は鋼材による補強を行った。

3-3 計測計画

仮梁方式での施工は、JR東日本東京工事事務所発注の工事としては初の施工となることから、設計した仮梁に作用する力の妥当性を確認するために、計測工を計画した。計測工の内容を図-5に示す。ジャッキ荷重は列車が走行しないときには表-2に示した死荷重4,965.4kNに仮梁支点部の受け材自重を合わせた4,999.5kNが作用する。JES 函体内部を掘削する際に地表面(軌道)の沈下量の低減を目的にプレロードで死荷重を先受けすることとしたが、上載荷重は安全を見込んで大きい値を採用していることを考慮して、設計荷重の85%(4,250kN)をプレロード量とした。

PC鋼棒軸力は仮梁連結面での下フランジの引張を負担するものとして設計を行った。なお、上フランジは引張を受けないので仮梁連結と固定の

ために設置した。PC鋼棒の緊張は仮梁内部での緊張作業ができないため、レンチでの締め込みを行った。

4 施工

4-1 仮梁受け架台設置、函体内掘削

立坑構築後、鋼製エレメント・仮梁エレメントの推進を実施した。上床お

よび鉛直1段エレメントは夜間線路閉鎖での掘削・推進を行い、その他のエレメントは昼間の施工とした。エレメント推進完了後、函体内掘削に先立ち仮梁受け架台および函体下部ストラットを仮設した(写真-1)。

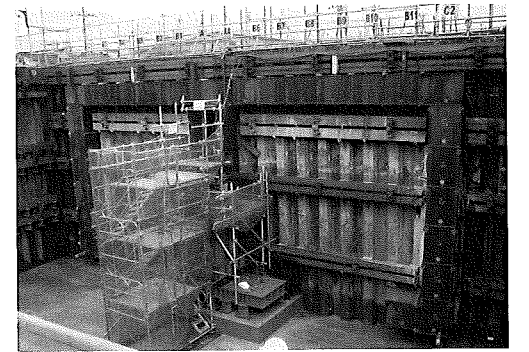
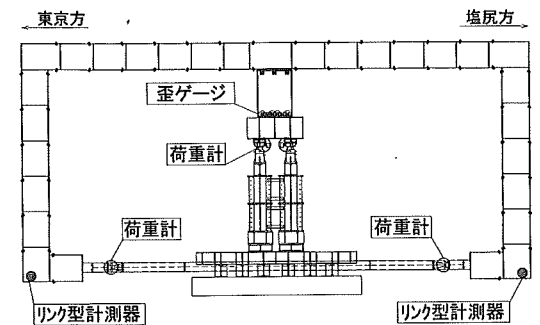
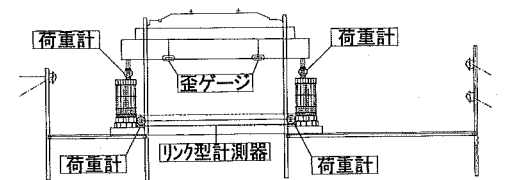


写真-1 仮梁受け架台



(1) 正面図



(2) 縦断面図

図-6 函体内掘削時計測工

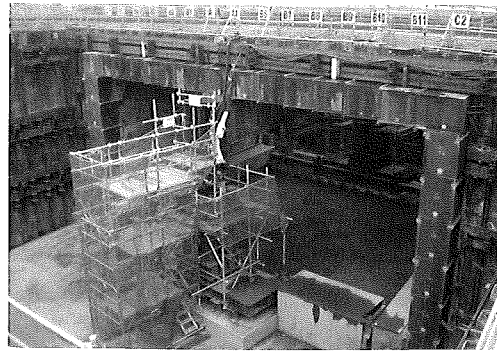


写真-2 函体内掘削完了

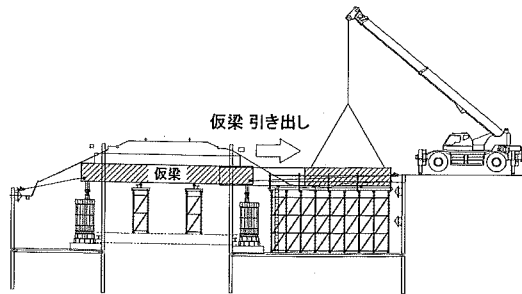


図-7 仮梁撤去状況図

函体内掘削に先立ち、あらかじめ仮梁にプレロードを導入した。プレロード荷重は設計死荷重の50～95%の8段階で実施し、軌道計測値、仮梁エレメントの変動、仮梁連結部PC鋼棒軸力を計測し異常のないことを確認した。

また掘削時における仮梁・ストラットへの荷重を荷重計により、上床エレメントの変状をレベル測定により、下床エレメントの変動をエレメント内部に構造物変位計を設置して、経過を測定するものとした(図-6)。

函体内掘削は立坑上および函体内にバックホウを配置し行った。各計測については大きな変状もなく掘削を完了した(写真-2)。

#### 4-2 仮梁エレメント撤去

函体内掘削完了後、函体下床部および中壁部の躯体の構築を行い、仮梁エレメントの撤去を行った。函体内に2基の仮受けベントを、また引出し側立坑にステージベントを組立て、作業床とした。プレロードジャッキによる降下後に、チルホールによる引出し、ステージベント上での切断を行い、クレーンにより撤去を行った(図-7, 写真-3)。

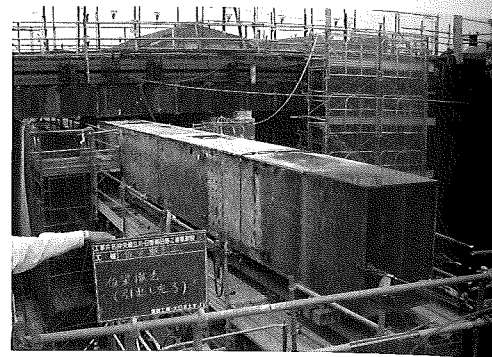


写真-3 仮梁撤去

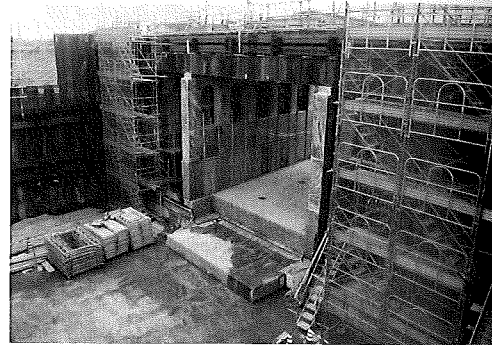


写真-4 仮梁撤去完了

ジャッキの降下に際しては、5tごとに減圧を行い上床エレメントとの縁切りを行った。あわせてエレメントのレベル計測および軌道計測器を用いて各管理値を確認しながら作業を行った(写真-4)。

### 5 計測結果と考察

#### 5-1 計測結果

内部掘削後(写真-2参照)の計測結果を表-3に示す。

ジャッキ荷重はプレロード量が設計死荷重の85%であったため、内部掘削により増加した。掘削完了後のジャッキ荷重は死荷重とおおむね同等であり、設計が妥当であることが確認できた。また、プレロードを行ったことによる地表面(軌道)の沈

表-3 内部掘削完了時の計測結果

項目	ジャッキ荷重	PC鋼棒軸力
設計	4,999.5kN	829.1kN/本
実測	5,031.8kN	44.9kN/本(最大値)
実測/設計	1.01(+1%)	0.05(-95%)

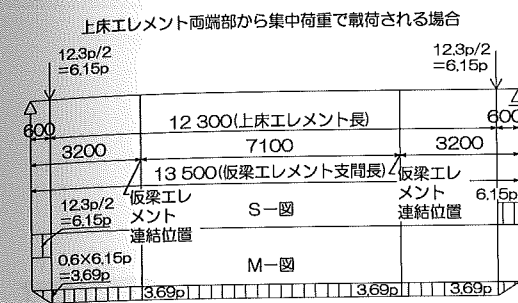
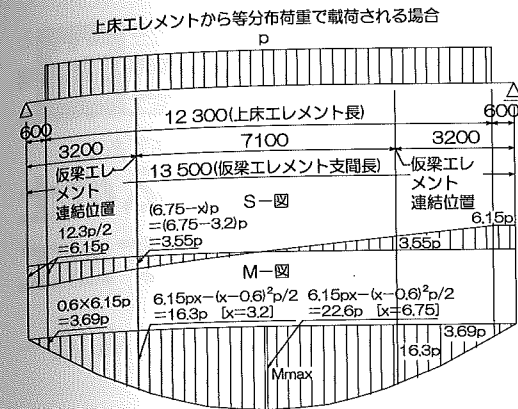


図-8 仮梁エレメントに作用する応力の違い(上: 等分布荷重, 下: 両端集中荷重)

下量は、最大3.4mmで軌道整備の基準値となる7mmよりも小さく、プレロードが有効に機能したことが確認できた。

一方、PC鋼棒軸力は設計を大幅に下回った。これはPC鋼棒に緊張力を導入しなかったために、ウェブの添接板が荷重を負担してしまい、PC鋼棒に軸力が作用しなかったことが原因と推察される。また、上床エレメントからの荷重を等分布荷重として仮梁に作用する設計としたが、中空構造の仮梁よりも、中埋めコンクリートが充填されている上床エレメントのほうが剛性が高く、荷重分布が両端部に移動したことも想定される。仮に図-8に示すように上床エレメント両端部からの集中荷重が仮梁に作用した場合の仮梁連結部に作用するせん断力は0、曲げモーメントはおおよそ1/4と大幅に軽減される。今回、PC鋼棒による連結を行ったのは仮梁を地中に挿入する際の推進力低減が目的であったが、設計推力1,400kNに対して実測は360kNと非常に低く、推力には十分な余裕があった。

#### 5-2 考察

仮梁構造は、仮壁構造に比べて工期短縮や廃棄物発生量の低減、施工性の向上などの効果がある。一方で、仮梁に作用する応力は仮壁に比べて大きく、スパン長が長くなれば断面形状が大型化し、仮梁受け架台の荷重も大きくなるため、沈下に対する検討が重要となる。以上のことを比較検討すると、地盤状態が良く、延長15m(鉄道では複線区間の線路下横断)程度までの施工には仮梁方式が非常に有効であると言える。

今回の工事では仮梁に作用する荷重はおおむね設計どおりであったが、PC鋼棒の軸力は設計を大きく下回った。これはウェブの添接板が引張応力を受けたと考えられる。また、今回は仮梁推進時に抵抗となる添接板とボルトによる突起を減らすためにPC鋼棒を使用した。設計推力1,400kNに対して最大推力が360kNと低く、推進力には余裕があったことから、今後は4面とも添接板による連結で施工可能であると考えられる。

仮梁に作用する荷重が等分布か、両端部の集中かによって、発生応力が大きく異なる。実際の状況は図-8に示す等分布荷重から両端集中荷重に移行する途中の状態であることが予想される。施工データが少ない現状を鑑みれば応力が小さく危険側になる両端部からの集中荷重ではなく、応力が大きく安全側になる等分布荷重で設計を行い、データを蓄積したうえで再度、検討を行うべきであると考えられる。

### 6 おわりに

JR中央線日野こ道橋において、工期短縮とコストダウンを目的に仮梁エレメント方式によるJES工法を実施した。その結果、従来の安全レベルを十分に維持したうえで、10%程度の工期短縮、コストダウンを達成することができた。ただし、この仮梁エレメント方式は仮梁のスパンを考慮すると、線路横断延長が15m程度までの構造物に適用可能と考えられる。適用横断延長に制限は受けるものの、横断延長が15mということは通常の複線軌道区間を十分にカバーできるということであ

り、駅間のほとんどの線区において適用が可能と  
考えられる。

今回の取り組みにより一定の工期短縮、コスト  
ダウン効果を得ることができたと考えているが、  
単独立体交差事業の推進においては、さらなる工

期短縮、コストダウンの取り組みが必要であると  
考えている。今後もより効率的な線路下空間の構  
築工法の確立を目指して、構造、施工法など、あ  
らゆる観点から取り組んで行く所存である。

### わかりやすい トンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 円340円

福島啓一著

NATMの導入以来、トンネル工事の現場に計測が大幅に取り入れられるようになって、トンネルの力学がますます重要視されるようになった。

本書はトンネル力学の基礎的な事項に基づく問題点を経験則と理論則から説明し、設計・施工に携わる実務者がトンネルを掘るとき、また、計画・設計するときに考慮しなければならないトンネルの力学を主眼にした入門書である。

〔目次〕 ○従来のトンネル力学の考え方/トンネル力学の発展、NATM以前の考え方/ゆるみ高さの推定、ゆるんだ地山の釣り合い、沈下量の差により変わる土圧、切羽の安定、地山の分類による支保の設計、NATMの考え方/せん断破壊説、変形による圧力の低減、地山のゆるみ防止、アンカーボルトによる地山の補強、地山挙動の時間依存、せん断破壊説による設計法、経験的設計法、地山分類と地山等級に対応した支保工の標準設計、NATM力学についての問題点、○弾性論による解析/弾性学の基礎、軸対称円形トンネル、線対称円形トンネルの弾性解、円形トンネルの弾性解析、地表面に近いトンネル、だ円形のトンネル、球形空洞周りの応力と変位 ○弾塑性論による解析/弾塑性学の基礎、軸対称円形トンネル、線対称円形トンネルの弾塑性解、円形トンネルで地山の自重を考えた弾塑性解析 ○弾塑性解以外の検討/トンネルの大きさの影響、時間の影響、表面の影響、山はね、ゆるみと締め、地山のゆるみ、再圧密を考えた考察 ○その他の検討/二次覆工の役割とひび割れ、安全率、支保工の設計・観察・計測の解釈と逆解析、力学的に好ましい、または好ましくないトンネルの設計および施工法、有限要素法、トンネルと地下水



株式会社 土木工学社

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

## 施工

# 土かぶり1.7mの国道交差点直下をハーモニカ工法でアンダーパス

—国道1号 原宿交差点立体工事—

国土交通省関東地方整備局横浜国道事務所工務課長 五十嵐 一夫  
国土交通省関東地方整備局横浜国道事務所藤沢出張所長 澤 健男  
大成建設(株)原宿立体工事業所現場代理人 佐々木 俊伸  
大成建設(株)原宿立体工事業所監理技術者 宮地 孝

### 1 はじめに

原宿交差点は神奈川県横浜市戸塚区に位置し、国道1号と横浜市道環状4号が交差する。1日あたり約10万台の交通が平面交差するため、慢性的な渋滞が発生しており渋滞情報でも馴染みの箇所となっていた(図-1)。そのような中、渋滞解消を目指し、国道1号をアンダーパス化させる立体化計画が昭和63年に都市計画決定され、以来、用地買収を進め、平成19年に立体化工事に着手した。

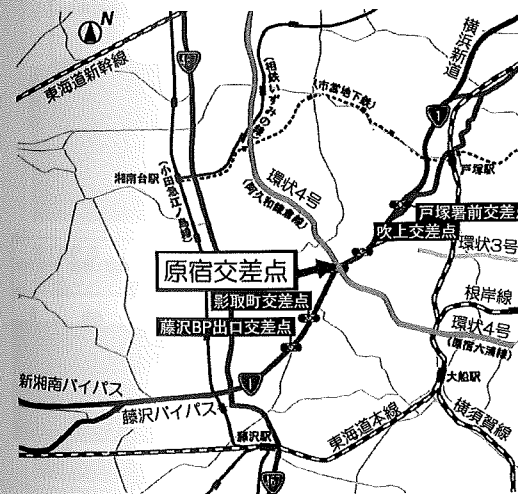


図-1 位置図

工事発注にあたっては、1日も早い渋滞解消を目的としたことから、従来技術に拘束されずに、民間の技術力を最大限活用し、入札参加者に対し工期短縮の技術提案を求める「設計・施工一括発注方式」を採用した。また落札者の決定については、企業の技術力と価格の双方を総合的に評価し落札者を決定する「総合評価落札方式」で実施した。アンダーパス部供用までの施工日数について、最大施工日数として設定した540日(一次施工分)に対し、90日間短縮される提案がなされたハーモニカ工法(大断面分割シールド工法)が、工事価格との総合評価の結果、もっとも優位となったことから、本工法が適用されることとなった。

昨今、主要幹線道路の交差点などの地下立体交差化を非開削工法で施工する事例が増えているが、従来の外殻先行型の非開削工法は直線施工に限定されるほか、施工延長にも制限を受ける。また全断面の大口径シールド工法は掘削外径に比例して比較的大きな土かぶりを確保する必要があるほか、コスト面でも劣る。そのような背景のなか、上記課題を解決する新しい工法としてハーモニカ工法が開発され、各種立体化事業などにおいて実績を積み重ねつつあるところである。

本稿は「1.7mの小土かぶり」「平面R=320m、

縦断R=1,000mの3次元曲線「埋設管との近接施工(最小離隔20cm)」といったきわめて難しい条件下における本工法の施工事例を報告するものである。

### 2 全体計画

立体化工事は事業延長828mであり、地下化区間は約420mとなる。うち交差点前後の186mがボックスカルバート形式であり、前後のアプローチ区間は擁壁形式となっている。ボックスカルバート区間の交差点直下73mにおいては、非開削工法であるハーモニカ工法にて施工を行い、それ以外の部分については、従来工法である開削工法にて施

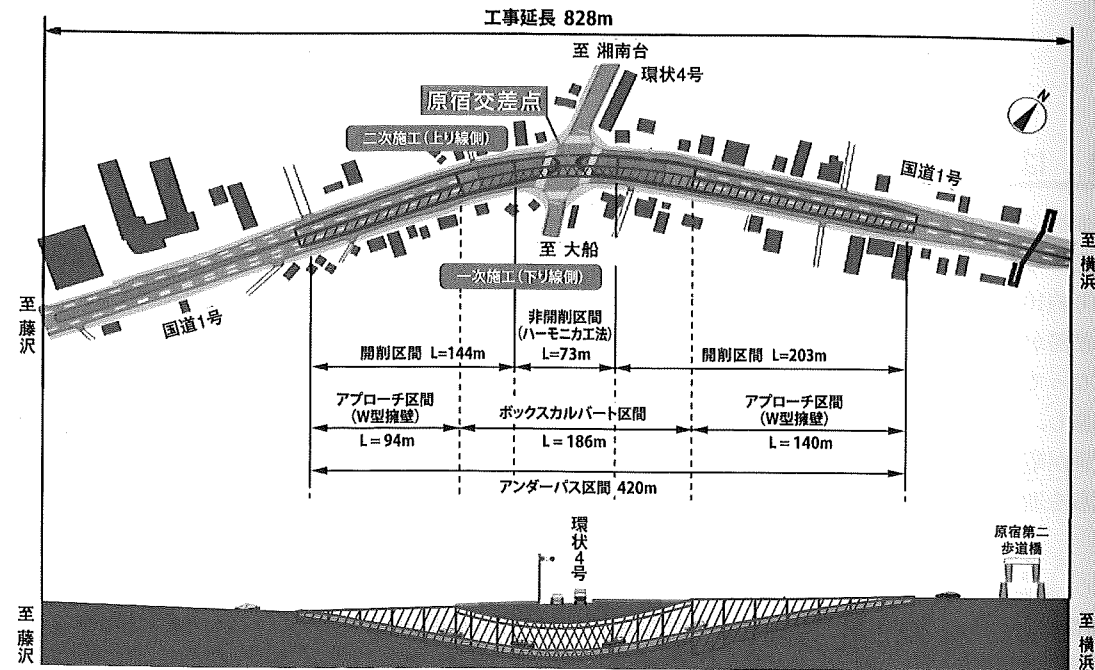


図-2 工事範囲概要図

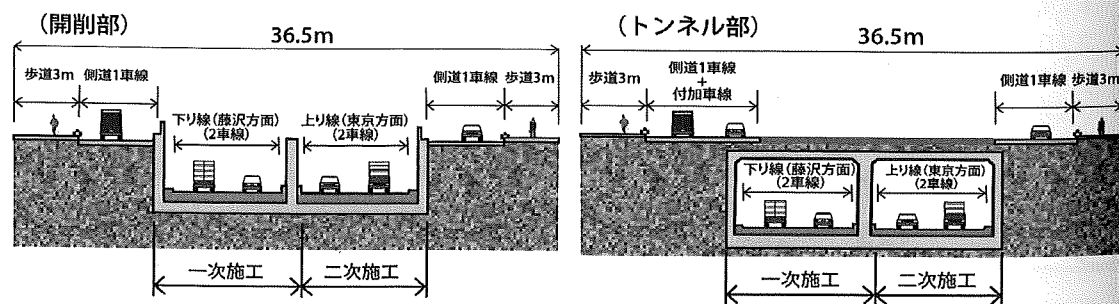


図-3 標準断面図

工を行った。

工事は下り線トンネルを造る一次施工と、上り線トンネルを造る二次施工の二段階に分けて行った(図-2,3)。

### 3 工事概要

本工事は、原宿交差点立体事業のうち、国道1号の上下線トンネルを建設するものである。以下に、本工事の工事概要を示す。

工事名称：国道1号原宿交差点立体工事  
施工場所：神奈川県横浜市戸塚区原宿町地先  
注者：国土交通省関東地方整備局  
設計施工者：大成建設(株)

工期：その1工事(一次施工)  
平成18年3月18日～平成21年3月31日  
その2工事(二次施工)  
平成21年6月3日～平成23年2月21日

### 4 地質概要

当該付近一帯は、多摩丘陵と相模原台地、相模川低地で形成され、工事位置は相模原台地に位置する。関東平野における丘陵、台地および低地は、火山灰層が広く堆積し、一般に関東ローム層と名付けられている。当位置においても、上部は途中浮石層を挟むが、地上より約10～15mまで関東ローム層にて構成されている。その下部には段丘礫層が基盤岩の上に厚く堆積している。図-4にハーモ

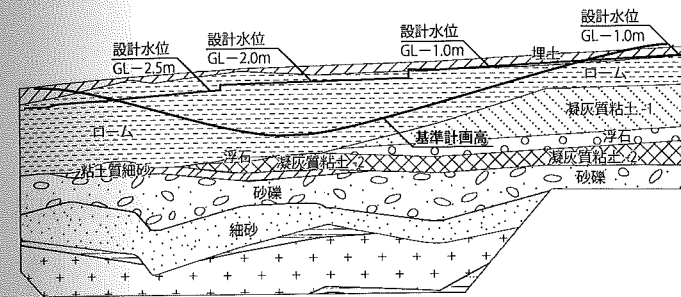


図-4 地質縦断面図

ニカ施工付近の地質縦断面図を示す。

ハーモニカ工法での掘削部地盤においては、全断面において関東ローム層が占める。関東ローム層は、N値6程度の粘性土で、地下水位(自由水)についてはGL-2.0m付近に存在する。

### 5 工法の概要

ハーモニカ工法とは、矩形の大断面トンネルを複数の小断面に分割し、小型のシールドによりくり返し掘削したあと、小断面トンネルを一体化し、その内部に構造物を作りあげる工法である。掘削を完了した坑口の形状が、ハーモニカの吹き口に似ていることから「ハーモニカ工法」と命名された(図-5)。

#### 5-1 ハーモニカ工法施工手順

ハーモニカ工法の施工手順を図-6に示す。断面

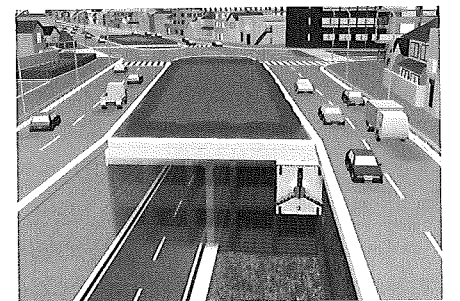


図-5 ハーモニカ工法概要図

<b>STEP 1</b> 小分割断面のハーモニカマシンによる掘削・推進	<b>STEP 2</b> 上段函体の推進	<b>STEP 3</b> 複数の鋼殻による大断面の完成	<b>STEP 4</b> 底板部スキンプレートの切断
<b>STEP 5</b> 底板コンクリート打設	<b>STEP 6</b> 頂版部スキンプレートの切断	<b>STEP 7</b> 躯体コンクリート打設完了	<b>STEP 8</b> 内部鋼材を切断・撤去し構築完成

図-6 ハーモニカ工法施工手順

の分割数は、構築されるアンダーパスの寸法、現場条件、掘削機・函体の運搬条件などによって決定される。分割数を増やすと、掘削機が小型になり安価になるが、段取り替え回数が増し工期が長期化し、鋼製の函体(以下「鋼殻」)の量も増える。ここでは当工事の一次施工をモデルとして、上下に2分割、横方向を3分割、合計6分割したケースについて説明する(図-6)。

まず始めにハーモニカマシンで下段端部より基準トンネルを掘削する。この基準トンネルはアンダーパスの基準となるため慎重な施工が要求される。引続き基準トンネルに隣接するトンネルを掘削する(STEP 1)。次に構台を組立て、上段トンネルを順次掘削する(STEP 2)。複数の鋼殻により大断面トンネルが完成し(STEP 3)、トンネル間の隙間に止水処理をしたあと、鋼殻の一部(スキンプレート・縦リブ)を部分的に解体しながら鉄筋を組立て、コンクリートを打設し大断面のトンネルを構築する(STEP 4~7)。コンクリートの養生後、内部の鋼殻(主桁・縦リブおよびスキンプレート)を切断・撤去し仕上げを行う(STEP 8)。

ハーモニカ工法で使用する矩形の函体は鋼製を基本とし、隣接する函体間には継手を使用し離隔を制御するとともに止水性を高めている。また、トンネル同士を接触させながら掘削を行うため、掘削方法は立坑内で鋼殻を供給する推進方式となり、推進は元押しジャッキで行う。

### 5-2 ハーモニカ工法の一般的な特徴

ハーモニカ工法は、ほかの工法と比較して、以下のような特徴を有する。

#### (1) 従来の非開削工法との比較

- 100m以上の掘進長の施工が可能。
- 曲線施工が可能。
- 密閉型掘削機を使用するため、掘削面の薬液注入などの補助工法が不要。
- 密閉型のため、切羽土圧と排土量の管理ができ、地表面に与える影響が小さい。
- 掘進が完了した段階で、大空間が完成する。
- 立坑延長を短くすることができる。

#### (2) シールド工法との比較

- 掘進機が小断面であるため、小土かぶりに対応できる。
- テールボイドがないため、地表面に与える影響が小さい。
- 掘進機を小型化することができるため、立坑延長を短くすることができる。
- 掘進機を小型化することにより、掘進機の製作費用などが安価となる。
- 施工設備が小規模であるため、作業基地や道路の占有面積を小さくすることができるから、工事渋滞を低減できる。

### 5-3 ハーモニカ工法の適用土質など

ハーモニカ工法の適用土質は基本的に以下のとおりである。

#### (1) 普通土

- 粘性土(N値10未満)
- 砂質土(N値30程度)
- 砂礫土(最大礫径20mm未満、礫含有率30%未満)

#### (2) 玉石混じり土

- 砂礫土(礫径20mm以上で最大礫径は400mm以下、礫含有率は30%以上80%未満)

#### (3) 硬質土

- 硬質土(N値10以上)

また、最小土かぶりは、粘性土では0.5H程度(Hは鋼殻の高さ)、砂礫土については粒度構成にもよるが、補助工法なしの場合は1H程度である。1H以下の場合、事前の沈下防止対策などが必要である。水圧に対しては、0.2MPa以下とする。また、地下水位が高い場合や土かぶりが小さい場合は、浮力の検討が別途必要となる。

## 6 施工計画

### 6-1 ハーモニカ工法採用の理由

原宿交差点は約10万台/日の交通量があるうえ、交差点直下には、φ600mmの水道、φ200mmのガス、NTTの埋設管がトンネル設置位置の上方を横断している(図-7, 8)。

このような条件のもとで、

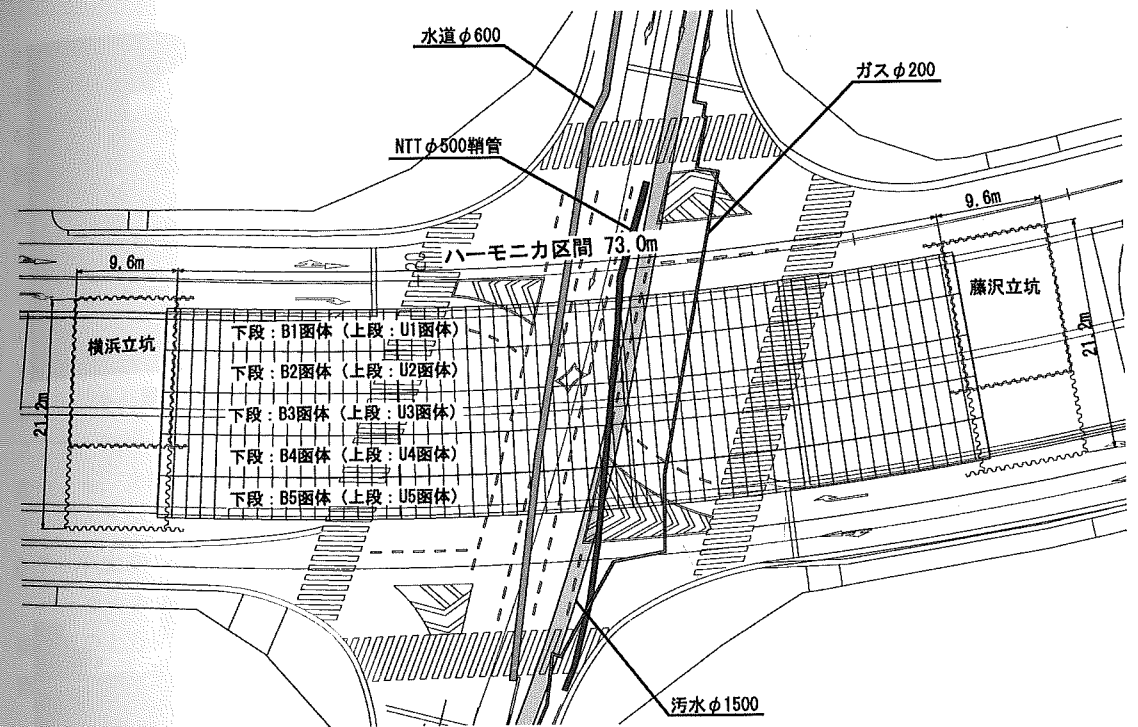


図-7 ハーモニカ施工箇所平面図

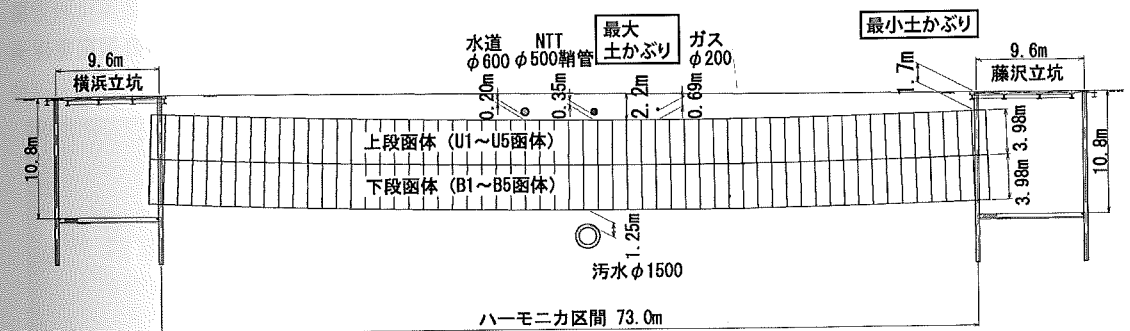


図-8 ハーモニカ施工箇所縦断面図

- ① 開削工法での施工では車線規制が発生し、一般交通への影響が大きいこと
- ② 掘削時に埋設物への影響を少なくできること

などの理由から、原宿交差点部直下の延長73mの部分に、非開削工法のハーモニカ工法を採用した。

### 6-2 函体の割り付け

躯体の最終出来形寸法高さ7.250m×幅18.600mに対して、高さ3.980m×幅3.830mの函体を縦に2段、横に5列に10分割した(一次施工において6函体、二次施工において4函体を施工した)。

函体配置図を図-9に示す。

立坑配置および道路線形の関係から、ハーモニカ工法区間延長を73mとし、鋼殻は、道路線形に合わせて平面R=320m、縦断R=1,000mの3次元曲線に合うように製作した。

1函体の長さは1.25mとし、73mを58リングに分割した。

ハーモニカの土かぶりは最小で1.7m、最大で2.2mであり、施工部の上方の重要埋設管との最小離隔は0.2m(水道管φ600)と、非常に厳しい施工条件であった(図-7, 8)。

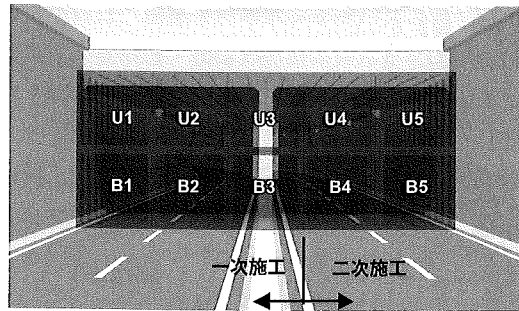


図-9 函体配置図

6-3 掘削機および推進ジャッキ

ハーモニカ工法で使用する掘削機は、小土かぶりに対応可能な密閉型泥土圧式掘削機とした。矩形掘削機の4隅にはコーナークッタを装備し、矩形断面の未掘削部分を減少させた(写真-1)。

平面 $R=320m$ 、縦断 $R=1,000m$ の3次元曲線の施工を行うため、マシン中央部に方向制御ジャッキを装備した。推進設備は、発達立坑に2,000kNジャッキを6本設置するとともに、推進力を立坑背面の地山に分散するための支圧壁を設置した。

6-4 ハーモニカ鋼殻

小断面のトンネルの覆工体(以下、「鋼殻」)は、隣接するトンネル間接続時の覆工撤去が容易であることなどから鋼製とした(写真-2)。

また、鋼殻の外側には凹凸の継手を取り付け、この組み合わせで基準函体と従属函体、従属函体同士を接続した。この継手は函体の接続だけを目的としたものではなく、掘進完了後に継手部に止水処理を施すことにより、止水性を向上させた。なお、鋼殻リング間には水膨潤性シール材を貼り付け止水性を確保した。

6-5 滑材、加泥材

ハーモニカ工法は推進工法を採用しているため、掘進機寸法と鋼殻寸法は等しく、テールボイドは存在しないが、推力の低減および曲線施工に必要な余掘り量確保を目的として少量のオーバーカットを行っている。ハーモニカ上部の埋設管への影響を最小限に抑えて施工するためには、オーバーカット部への裏込め材、滑材の注入方法および材料の適切な選定が重要となる。また、ハーモニカ工法の隣接推進という特殊条件から、一般的必要

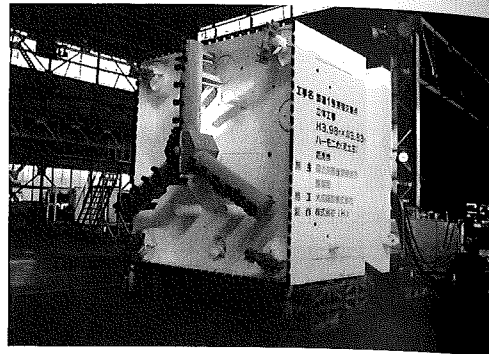


写真-1 ハーモニカ掘削機

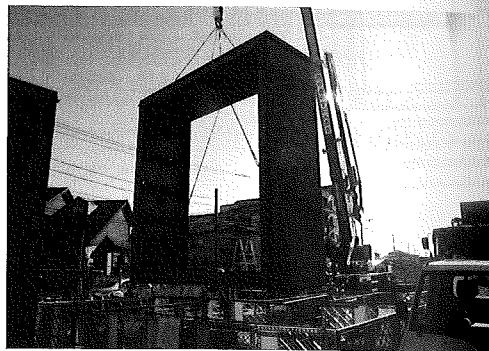


写真-2 鋼殻

求性能以外にも以下の観点から材料の選定を行った。

(1) 滑材

- 水により希釈されないこと。
- 置換性が良好なこと。

(2) 裏込め材料

- 短時間で必要な強度が得られること。
- 隣接推進時に固結して支障とならないこと。
- 長期的な耐久性をもつこと。

以上より、裏込め材は貧配合のCB系充填材、滑材は水溶性高分子剤を主成分としたゼリー状の溶液である1液型滑材を使用した。裏込め注入は各函体の到達直後に行い、滑材は推進中に注入した。なお、滑材注入は、多点同時注入方式を採用し、複数箇所からオーバーカット部につねに新しい滑材を充填することにより、周面摩擦の低減および路面沈下の抑制を図った。

6-6 線形管理

ハーモニカ工法での掘進は、第1回目の掘進(基準函掘進)が基準となり、従属函体の出来形に

影響を及ぼすことになる。また従属函体の掘進においては、基準函体との近接施工による競りなどを回避するため、基準函体の出来形を考慮した位置管理が重要となる。計画線形は、平面 $R=320m$ 、縦断 $R=1,000m$ の3次元曲線であるため、きわめて精度の高い線形管理が必要であった(写真-3)。

そのため、レーザートランシットと、ジャイロコンパスと液差圧レベル計測装置を組み合わせたリアルタイム計測システムにより、常時位置管理を行い、その結果を細かく掘進指示にフィードバックした。結果、全函体において、水平変位・垂直変位とも、 $\pm 50mm$ 以内の管理基準値内の精度で施工を行うことができた。

6-7 小土かぶり、埋設物との近接施工

ハーモニカの土かぶりは最小で1.7mであり、施工部の上方には重要埋設物が多数存在し、最小離隔は0.2m(水道管 $\phi 600$ )であった(図-9)。

路面および周囲の埋設物への影響を少なくするためには、切羽土圧の適切な管理と、正確な排土量管理が重要である。本工事においては、設定土圧を掘進延長1.25mごとに設定し、静止土圧+余裕圧とした。排土量管理には、電磁流量計を使

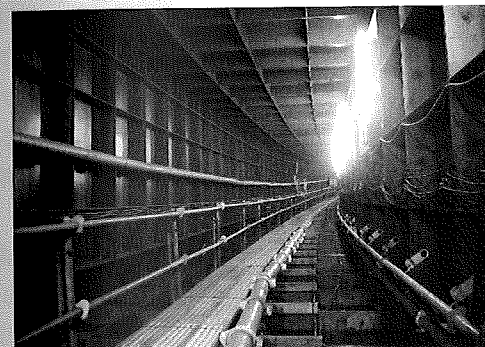


写真-3 3次元曲線を描いた函体内状況

用し、土砂ビット内の掘削土レベルと掘削土搬出車両の台数からもダブルチェックできる方法とした。また、切羽を安定的に保持するため、掘削土の塑性流動化についても検討し、事前に地山サンプルにて試験練りを実施し、最適な添加材と注入量を決定した。

路面および埋設管の沈下管理においては、各埋設管に沈下棒を設置して変位を確認するとともに、自動路面変位計測を行い、リアルタイムで路面の変位を計測した。今回の施工においては、路面および埋設管に大きな影響を与えるような沈下は発生しなかった。

6-8 進捗実績

ハーモニカ掘削速度は30mm/分以下で、最大10m/日の進捗であり、1函体(延長73m)あたりおおむね2週間の掘削期間であった。それに加えて立坑内での掘削機のUターン作業や発達・到達の仮設の盛り替え作業などに2週間の段取り替え期間が必要であり、合計1か月/函体での施工サイクルであった(図-10)。

上段函体掘進時(U1函体)に、不明支障物と遭遇し、その撤去作業のため3週間程度のロスが発生したが、それ以外には大きなトラブルは発生せず、順調に掘削作業を完了した。

6-9 内部構築

全函体の掘進完了後、鋼殻スキンプレートを切断し(写真-4)、底板、側壁、頂版の施工順序にて通常の構築作業を行う。頂版においては、上部が密閉された鋼殻内の箱状の空間にコンクリートを打設する必要があることから、高流動コンクリートを使用する計画とした(図-11)。

打設は、躯体内部からのポンプ圧送による充填

	一次施工									二次施工										
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	1月	2月	3月	4月	5月						
設備設置工	B1		B2		B3		U1		U2		U3		B4		B5		U4		U5	
推進工	■		■		■		■		■		■		■		■		■		■	
到達工	■		■		■		■		■		■		■		■		■		■	
段取替工	■		■		■		■		■		■		■		■		■		■	
設備解体工	■		■		■		■		■		■		■		■		■		■	

図-10 ハーモニカ工法実施工程



写真-4 鋼殻切断状況(底板, 側壁部)

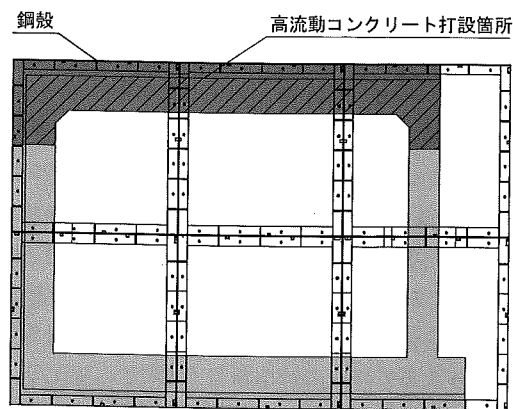


図-11 高流動コンクリート打設箇所(一次施工)

方式とし、エア抜き配管や充填センサーなどを適切に設置することにより、100%の充填率を得た。

### 7 おわりに

今回の立体化工事でとくに重要だったことは、非常に交通量が多く、慢性的な渋滞が日常的に発生している国道交差点で工事を行うため、『工事中の一般交通へ与える影響をいかに減らせるか』という点であった。そのためには、交差点内での工事による車線規制をなくし、なおかつ工事期間の短縮を実現することが重要であった。

今回は、『小土かぶり、埋設物近接、3次元』の非常に難しい施工条件の中、非開削工法であるハーモニカ工法により、それらの目的を実現したものである。

これからも、ハーモニカ工法をはじめとする優れた民間の技術力が積極的にその力を発揮し、都市部での地下空間構築工事などへの適用範囲がま

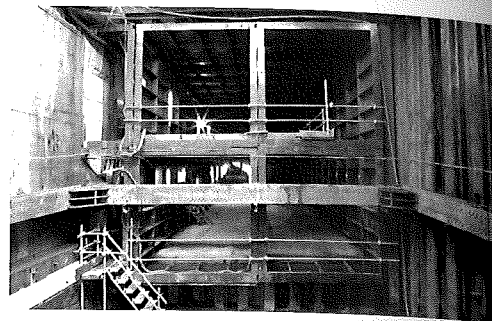


写真-5 ハーモニカ工法による掘削完了状況(坑口部)

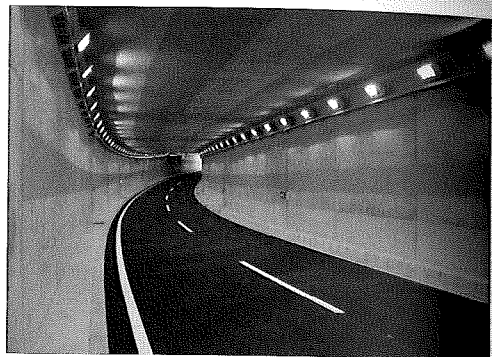


写真-6 トンネル完成状況(ハーモニカ工法施工部)



写真-7 上下線開通後の原宿交差点  
すます広がっていくことを期待したい。

### 参考文献

- 1) 新宅建夫・足立英明・高倉克彦・森田泰司：ハーモニカ工法の開発(大断面分割シールド工法)，大成建設技術センター報，No.42，2009。
- 2) 加賀田健司ほか：輻輳する埋設物下での大断面分割シールド工法の施工(ハーモニカ工法)，土木建設技術シンポジウム2007，2007。
- 3) 三木洋人ほか：ハーモニカ工法(大断面分割シールド工法)による70mを越える曲線施工，土木建設技術発表会2009，2009。

## 施工

# 地山状況の変化に対応し全断面早期閉合の仕様を設定

## —能越自動車道 七尾トンネル—

(独)土木研究所道路技術研究グループ 首席研究員(トンネル) 角 湯 克 典  
 国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所建設監督官 柳 川 磨 彦  
 西松建設(株)七尾トンネル出張所監理技術者 鬼 頭 夏 樹  
 西松建設(株)土木設計部設計課課長代理 大 谷 達 彦

表-1 工事概要

工 事 名	七尾トンネル工事
発 注 者	国土交通省北陸地方整備局 金沢河川国道事務所
施 工 者	西松建設(株)
施 工 場 所	石川県七尾市万行町地先~同小栗町地先
工 期	平成19年6月15日~平成23年2月28日
トンネル延長	L=1,760m
掘 削 断 面 積	A=73.7~118.3m <sup>2</sup>
掘 削 方 式	機械掘削方式
ずり運搬方式	連続ベルトコンベヤ方式

### 1 はじめに

能越自動車道は、石川県輪島市と富山県砺波市を結ぶ延長約100kmの高規格幹線道路である。能越自動車道が完成し、北陸自動車道や東海北陸自動車道と接続することによって、能登地域の産業、経済、文化の発展を促進することが期待されている。七尾トンネルは、この能越自動車道にある全長1,760m、掘削断面積73.7~118.3m<sup>2</sup>の2車線道路トンネルである(表-1, 図-1)。

本トンネルは、当初、トンネル全線にわたり固結度の高い砂質岩が出現すると予想されていた。しかし、坑口から約550m付近より脆弱な地山が出現し、トンネル天端沈下および水平内空変位が増大した(以降、天端沈下と水平内空変位をあわせて「坑内変位」と称す)。そこで、増しボルト、ウイングリブ付き鋼製支保工などの対策工を実施したが、坑内変位は収束せず縫い返し掘削が必要となる箇所もあった。このような状況の中、変形を抑制するために、上半先進ベンチカット工法から補助ベンチ付き全断面掘削工法による早期閉合(以降、「全断面早期閉合」と称する)に変更した。全断面早期閉合は、トンネルの変形を抑制する

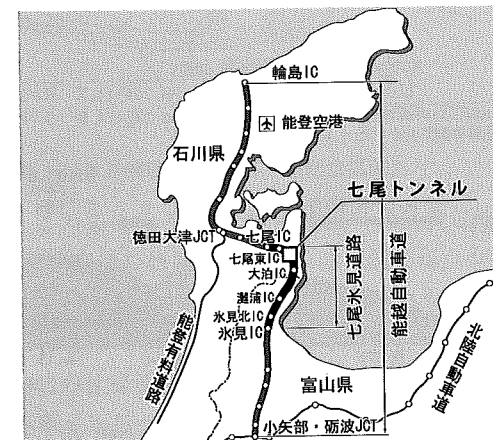


図-1 七尾トンネル位置図

ために、近年、適用事例が増加している施工法である<sup>1)~7)</sup>。

この施工法は、切羽から近い位置でインバート部に吹付けコンクリートや鋼製ストラットを施工し(以降、本設インバート前に施工するインバートを「1次インバート」と称す)、この1次インバートにより早期にトンネル断面をリング状に閉合することによって、トンネルの変形や沈下を抑制するものである。本トンネルでは、最終的に合計4区間(適用総延長366.6m)に対して全断面早期閉合を適用した。そのうち、1回目および3回目区間では、全断面早期閉合の適用開始後に地山状況がさらに悪化し、全断面早期閉合の仕様をランクアップすることとなった。

七尾トンネルでは、このような地山状況の変化に対応するために、全断面早期閉合に情報化施工を適用した。本稿では、その施工実績を示すとともに、情報化施工に用いた全断面早期閉合の適用基準を紹介する。

また、到達側坑口部において、地すべりブロック直下でのトンネル掘削を行った。そのとき、地すべりブロックの挙動を監視し、地すべりの兆候

が見られたときには迅速に全断面早期閉合を適用できる体制を整えて施工を行った。その施工実績も、あわせて報告する。

### 2 地形・地質概要

七尾トンネルは、石川県と富山県の県境において北北東から南南西の方向に連なる石動・宝達山地の北端部に位置する。これらの山地は、標高

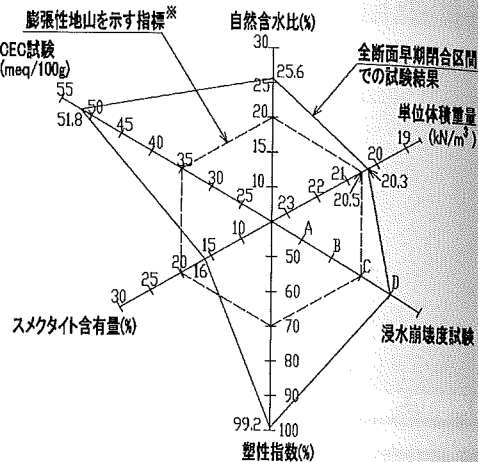
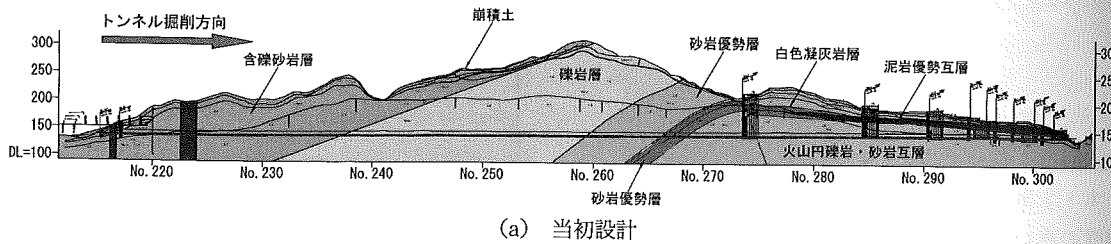


図-3 地山試料試験結果(No.249+1.7)



(a) 当初設計

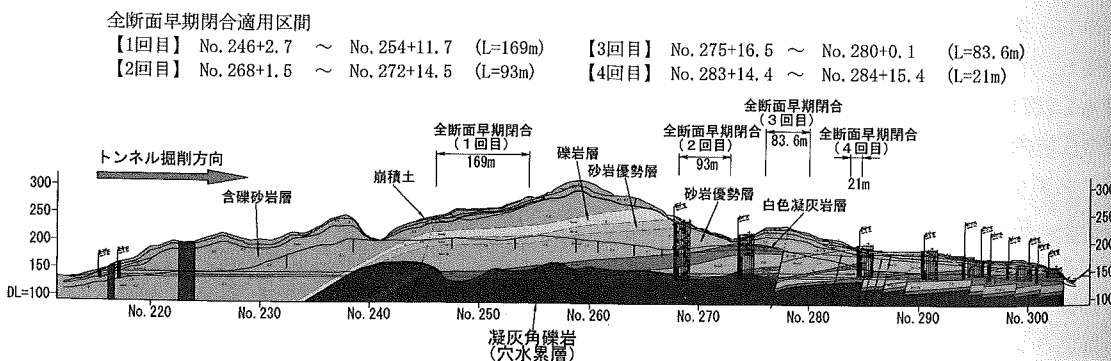


図-2 七尾トンネル地質縦断面

300~400mの低山地であるが、河川による開析が進んでいるためやや急峻な地形をなしている。

トンネル周辺の地質は、新第三紀中新世前期に形成された穴水累層の上位に、新第三紀中新世中期の八尾累層が広く分布している。当初設計では、八尾累層がトンネル全線にわたって出現し、八尾累層より下位の穴水累層は出現しないと想定されていた。

しかし、実際は、当初設計時の想定と異なりトンネル位置に穴水累層が断続的に出現した(図-2(b))。この八尾累層と穴水累層の境界は、変質による粘土化が進行しており、地山試料試験結果は、ほとんどの項目において膨張性を示す結果となった(図-3)。トンネル掘削中、これらの変質区間において坑内変位が増大し、変形を抑制するために全断面早期閉合を適用した。

### 3 七尾トンネルにおける全断面早期閉合

七尾トンネルでは、地山状況が頻繁に変化したため、全断面早期閉合を適用する際は、地山状況の変化に対応することが必要であった。そのため掘削実績をフィードバックして施工に反映させる情報化施工を適用することにした。しかし、現状においては、全断面早期閉合の仕様や、地山状況に応じた仕様の変更方法が確立されていないため、それらを検討しながら施工を行う必要があった。

そこで、本トンネルでは、施工実績をもとに表-2に示す全断面早期閉合の仕様適用基準を策定した。

表-2 全断面早期閉合の仕様適用基準(1回目区間に適用)

Table with 6 columns: Rank, Support Work (Blow-off, Steel Arch), 1st Invert (Blow-off, Steel Struts), and Closure Distance. It details specifications for Rank Up and Rank Down ground conditions.

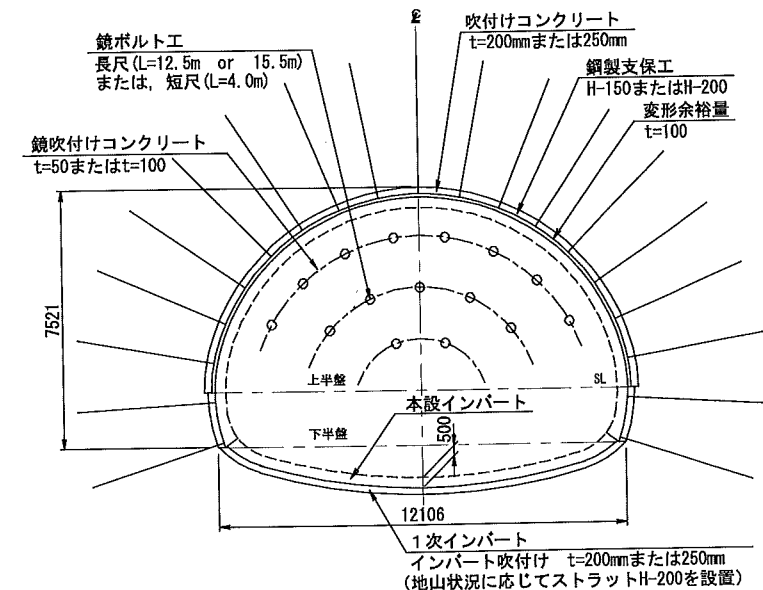


図-4 七尾トンネル横断面図(全断面早期閉合区間)

この表のように、「坑内変位の最終変位量」、「坑内変位の初期変位速度」、「切羽評価点のトレンド」に対して仕様変更基準を設けた。そして、これらのデータを総合的に評価して、全断面早期閉合の仕様変更(ランクアップ、ランクダウン)を判断することにした。

なお、鏡補強工については、切羽の自立性を考

慮して、ボルト長、注入材を選定することにした。基本的には短尺の鏡ボルト(L=4m)を用いるが、切羽の自立性の悪化に伴い長尺鏡ボルト(L=12.5, 15.5m)に変更することにした。注入材も、切羽状況に応じて、セメント系からウレタン系注入材に変更することにした。

七尾トンネルにおける全断面早期閉合区間の横断図および縦断面を図-4, 5に示す。

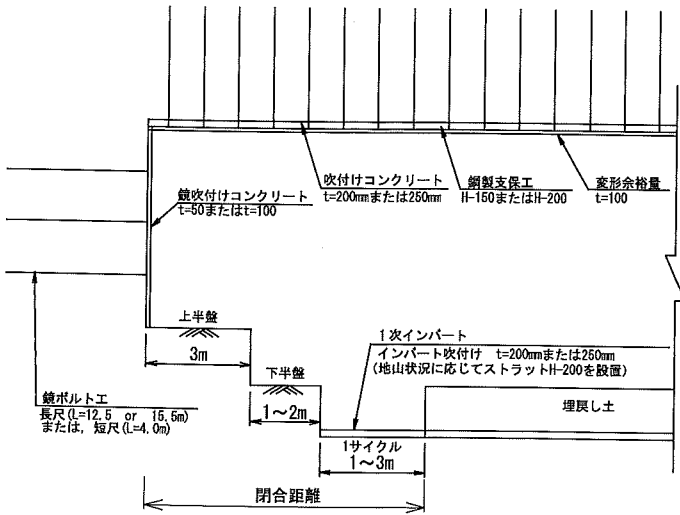


図-5 七尾トンネル縦断図(全断面早期閉合区間)

### 4 全断面早期閉合の施工実績

#### 4-1 施工実績の概要

七尾トンネルでは、最終的に合計4区間(適用総延長366.6m)に対して全断面早期閉合を適用した(図-2(b)).

本章では、この施工実績を整理して、全断面早期閉合の効果を検証する。また、施工実績にもとづき全断面早期閉合の仕様適用基準を見直した経緯についても示す。

#### 4-2 トンネル掘削時の坑内変位データ

全断面早期閉合を採用した4区間を含むNo.243+4.6~287+19.15の坑内変位データ(最終変位量)を図-6に示す。これは、トンネル掘削により発生した変位量であり、後述する本設インバート施工時に発生した変位量は含んでいない。また図中には、適用した全断面早期閉合の仕様ランクをあわせて示した。これは、表-2および後述する表-3, 6の閉合仕様ランクに対応している。

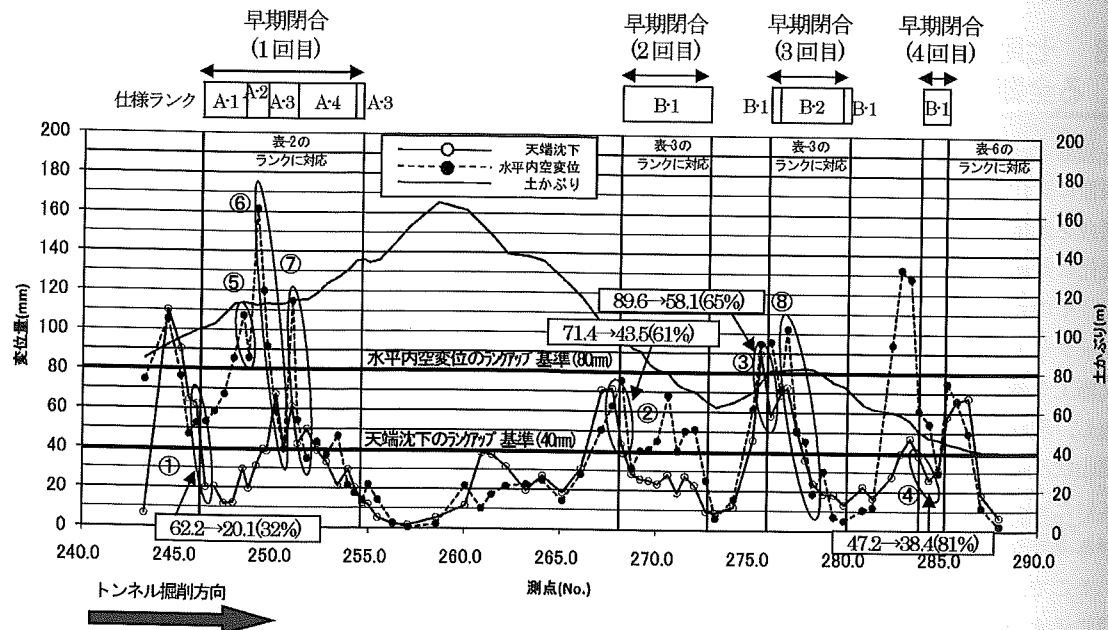


図-6 トンネル掘削時の変位量(最終変位量)(No.243+4.6~287+19.15)

この図より、上半先進ベンチカット工法から全断面早期閉合に変更することによって、坑内変位が減少傾向を示したことがわかる。とくに、天端沈下については、全断面早期閉合の適用開始後、ただちに沈下抑制効果が見られ、適用前の32~81%に抑制された(図-6中の①~④)。

また、図-6中の⑤~⑧は全断面早期閉合の適用開始後に、地山状況が悪化してランクアップを行った箇所である。この図から、ランクアップによって坑内変位、とくに水平内空変位の抑制効果が向上したことがわかる。

#### 4-3 施工実績にもとづく仕様適用基準の見直し

##### 4-3-1 1回目区間の施工実績にもとづく見直し

1回目区間(No.246+2.7~No.254+11.7)では、前述した表-2にもとづいて仕様変更を行った。その施工実績を以下にまとめる。

##### (1) 「A-2」へのランクアップ(図-6中の⑤)

全断面早期閉合の適用開始後、地山状況が悪化して、水平内空変位がランクアップ基準(80mm)を超過した。また、B計測より、鋼アーチ支保工(H-150)の圧縮応力度は、天端部から両肩部にかけて大きな値(510N/mm<sup>2</sup>)を示す結果となった。この計測データより、全断面早期閉合の適用時には、支保工が大きな荷重を負担し、変形抑制効果を発揮するためには、十分な支保耐力を有する支保構造とする必要があることがわかった。

そこで、鋼アーチ支保工をH-200にランクアップするとともに、吹付けコンクリートの厚みを200mmから250mmにランクアップした。その結果、水平内空変位は抑制され、鋼アーチ支保工(H-200)の圧縮応力度も380N/mm<sup>2</sup>に低減した。

なお、いずれのB計測断面においても、鋼アーチ支保工に降伏応力度を超える圧縮応力度が発生した部分があったものの、支保部材に変状は発生せず安定した状態であった。

##### (2) 「A-3」へのランクアップ(図-6中の⑥)

「A-2」にランクアップした後、地山状況がさらに悪化し、再度、水平内空変位がランクアップ基準を超過する結果となった。そこで、鋼製スト

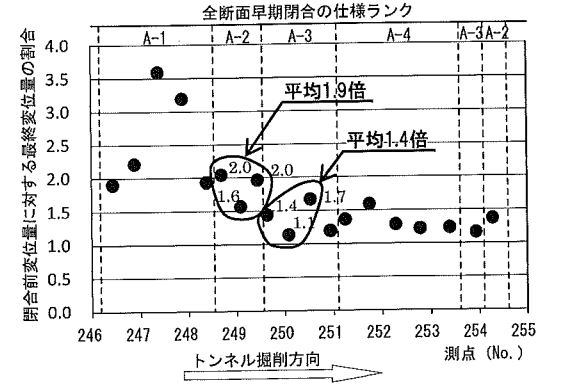


図-7 閉合前変位量に対する最終変位量の割合(水平内空変位)

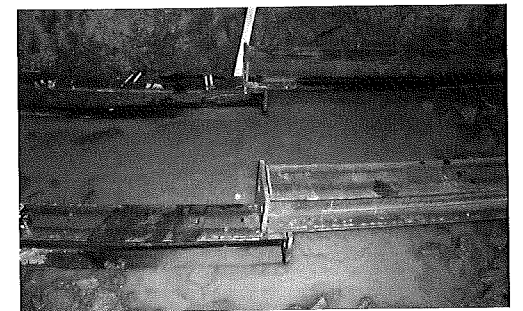


写真-1 鋼製ストラットが設置不可能となった状況(No.250+16.7~No.250+17.7)

ラット(H-200)を適用するとともに、1次インバートの閉合距離を短縮(8m→6m)することによって水平内空変位を抑制した。

図-7は、1次インバート閉合前の水平内空変位に対する最終変位量の割合(最終変位量/閉合前の変位量)を整理したものである。この図より、ランクアップを行うことによって、閉合前変位量に対する最終変位量の割合が1.9倍から1.4倍に抑制されたことがわかる。

##### (3) 「A-4」へのランクアップ(図-6中の⑦)

「A-3」にランクアップした後、初期変位速度が著しく増加して、切羽近くでの鋼製ストラットの設置ができなくなる状況が生じた(写真-1)。そこで、初期変位速度を抑制するために、トンネル全周に高強度吹付け(σ<sub>ck</sub>=36N/mm<sup>2</sup>)を採用した。あわせて、1次インバートの施工サイクルを2mから1mに短縮して、鋼製ストラットを迅速に設置した。

ここで、「A-4」へのランクアップ前後の水平内空変位の初期変位速度を図-8に示す。この図では、計測開始後1日(24時間)の計測値を初期変位速度とした。図-8より、ランクアップ前の初期変位速度が43.8mm/日であったのに対し、ランクアップ後は17.3mm/日に抑制できたことがわかる。これは、高強度吹付けによりトンネル支保の初期段階の剛性が向上した効果と、1次インバートの施工サイクルを1mに短縮し迅速に鋼製ストラットを設置した効果により、初期変位速度が抑制されたものと考えられる。その結果、図-6中の⑦に示したように、最終変位量も抑制することができ

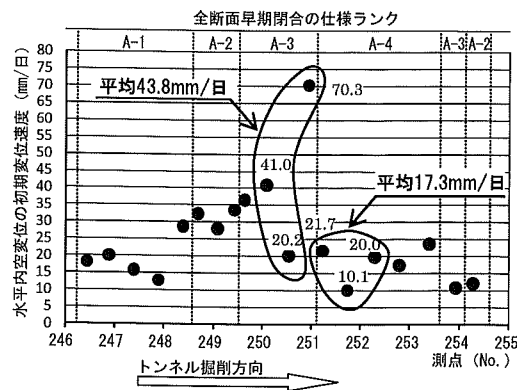


図-8 切羽通過後の水平内空変位の初期変位速度

表-3 全断面早期閉合の仕様適用基準(2~3回目区間に適用)

仕様変更基準	閉合仕様ランク	支保工		一次インバート		閉合距離
		吹付け	鋼アーチ支保工	吹付け	鋼製ストラット	
地山良化(ランクダウン) ↑ 地山悪化(ランクアップ) ↓	B-1	t=250mm (σ <sub>ck</sub> =18N/mm <sup>2</sup> )	H-200 (SS400)	t=250mm (σ <sub>ck</sub> =18N/mm <sup>2</sup> )	-	8m
	B-2	t=250mm (σ <sub>ck</sub> =36N/mm <sup>2</sup> )	H-200 (SS400)	t=250mm (σ <sub>ck</sub> =36N/mm <sup>2</sup> )	-	8m
	B-3	t=250mm (σ <sub>ck</sub> =36N/mm <sup>2</sup> )	H-200 (SS400)	t=250mm (σ <sub>ck</sub> =36N/mm <sup>2</sup> )	H-200 (SS400)	6m
	B-4	t=250mm (σ <sub>ck</sub> =36N/mm <sup>2</sup> )	H-200 (SS400)	t=250mm (σ <sub>ck</sub> =36N/mm <sup>2</sup> )	H-200 (SS400)	5m
仕様変更基準	[ランクアップ基準]		[ランクダウン基準]			
	1)最終変位量 天端沈下: 40mm以上 水平内空変位: 80mm以上 2)切羽通過後の初期変位速度 天端沈下: 10mm/日以上 水平内空変位: 20mm/日以上 3)切羽評価点下降		1)最終変位量 天端沈下: 25mm以下 水平内空変位: 50mm以下 2)切羽通過後の初期変位速度 天端沈下: 10mm/日以下 水平内空変位: 20mm/日以下 3)切羽評価点上昇			

※下線付き文字は、表-2に対する主な見直し箇所である。

表-4 適用基準の見直し内容

吹付け強度	厚さ	閉合距離		
		8m	6m	5m
18N/mm <sup>2</sup>	t=200mm	A-1 (H-150) ↓		
	t=250mm	A-2(B-1) (H-200) ↓	A-3 (H-200) →	
36N/mm <sup>2</sup>	t=250mm	B-2 (H-200) ↓	B-3 (H-200) →	A-4(B-4) (H-200) →

※1) 実線矢印は見直し前、破線矢印は見直し後のランクアップ順序を示す。

※2) 太枠部は、鋼製ストラットを設置するパターンを示す。

た。ランクアップ後は、写真-1に示したような鋼製ストラットの設置が不可能となる状況は発生しなかった。

(4) 適用基準の見直し内容

上記の1回目区間での施工実績を踏まえ、表-3のとおり全断面早期閉合の仕様適用基準を見直した。そして、2回目区間に降にこの適用基準を用いた。ここで、1回目区間と2回目以降区間の適用基準の相違を明確にするために、吹付け強度、吹付け厚さ、閉合距離および鋼製ストラットの有無で見直し内容を整理した(表-4)。

以下に、仕様適用基準の見直しの考え方を示す。

- 1回目区間の施工実績から、全断面早期閉合の変形抑制効果を発揮するためには、支保工、1次インバート部材に十分な支保耐力を持たせることが必要であることがわかった。そこで、全断面早期閉合を適用する場合には、鋼アーチ支保工および鋼製ストラットはH-200、吹付けコンクリートはt=250mmを標準とすることにした。
- 1回目区間の施工実績から、高強度吹付け(σ<sub>ck</sub>=36N/mm<sup>2</sup>)を採用することにより、初期変位速度および最終変位量が抑制できることが確認できた。

そこで、全断面早期閉合適用開始後にランクアップが必要となった場合には、「鋼製ストラット」および「閉合距離の短縮」に比べて施工性が良い高強度吹付けを優先して採用することにした。これによりB-2からB-3へランクアップする際、鋼製ストラットの設置ができなくなるという事態も避けられ、合理的であると考えた。

4-3-2 3回目区間の施工実績にもとづく見直し

3回目区間(No.275+16.5~No.280+0.1)では、表-3にもとづいて仕様変更を行った。その施工実績を以下にまとめる。

(1) 「B-2」へのランクアップ(図-6中の⑧)

前述したように、3回目区間では、高強度吹付けを優先してランクアップを行った。その結果、図-6中の⑧に示すように、鋼製ストラットを設置せずに、高強度吹付けのみをランクアップした場合でも、変形抑制効果が向上することが確認できた。

しかし、高強度吹付けを優先させた区間において、留意すべき変形挙動がみられた。図-9は、鋼製ストラットを設置せずに、高強度吹付けのみを適用した箇所の変位データである。この変位データより、1次インバート施工後に水平内空変位がただちに収束し、高強度吹付けによる早期閉合の効果が表れたことがわかる(図-9中のA)。しかし、天端沈下については、変位速度は抑制されたものの、収束傾向はみられなかった。さらに、水平内空変位についても、切羽が30m程度離れたときに、再び変位が増加し始める状況となった(図-9中のB)。

この原因を把握するために、当該箇所を観察したところ、トンネル脚部において吹付けコンクリー

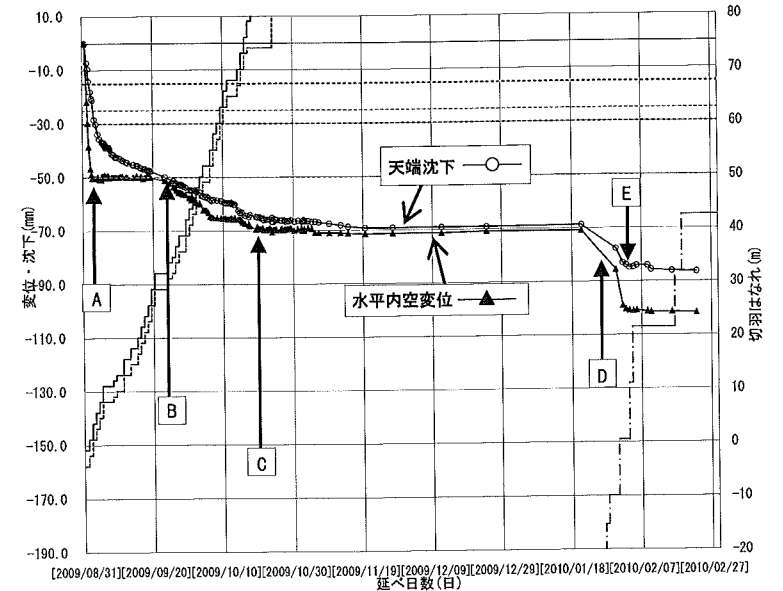


図-9 坑内変位データ(No.276+10)

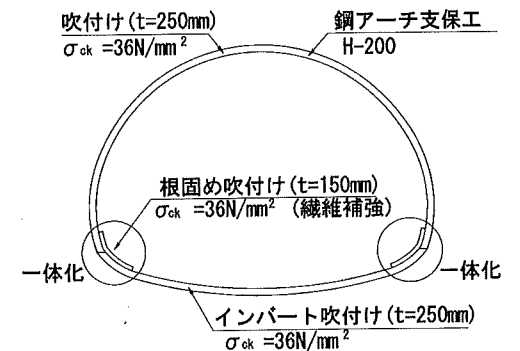


図-10 根詰め吹付けによる対策

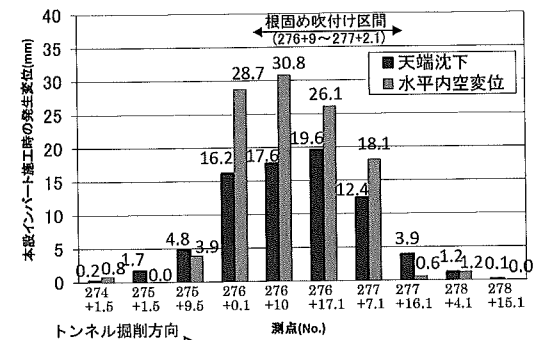


図-11 本設インバート施工時の発生変位量

トにクラックが発生していることが確認できた。このことから、トンネル脚部に大きな沈下が生じて、トンネル脚部と1次インバートとの連続性が

損なわれたことが、坑内変位が収束しない原因であると推定した。

そこで、坑内変位を収束させるためには、トンネル脚部を一体化させることが必要であると考え、図-10に示す根固め吹付けコンクリート( $\sigma_{ck} = 36\text{N/mm}^2$ )を実施した。その結果、坑内変位は収束した(図-9中のC)。

ところが、この根固め吹付けを実施した区間において、後日、本設インバート施工時に坑内変位が再び増加した(図-9中のD)。図-11は、その本設インバート施工時に発生した坑内変位を整理したものである。この図から、天端沈下は最大19.6mm、水平内空変位は最大30.8mmという大きな値を示したことがわかる。この変位は、1次インバート上方の埋戻し土を撤去した際に発生したことから、埋戻し土の重量がトンネルの変位抑制に寄与していたものと考えられる。

当該箇所では、埋戻し土撤去時の変位量を考慮してもトンネルの必要内空断面が確保できる状況であったため、剛性の高い本設インバートを打設することにした。その結果、坑内変位は収束した(図-8中のE)。

この3回目区間の施工実績は、坑内変位が大きい地山の全断面早期閉合で鋼製ストラットがない場合、本設インバート施工時の埋戻し土の撤去によって、縫い返し掘削が必要となる大きな変位量が生じる可能性があることを示唆している。もし、そのような事態を招いた場合には、安全、工程、工事費への影響は非常に大きいものとなる。そこで、本設インバート施工時の安定性も考慮したランクアップ基準を設ける必要があると考えた。

(2) 適用基準の見直し内容

本設インバート施工時の安定性を考慮したランクアップ基準を設定するにあたり、1回目区間の鋼

製ストラット設置箇所に着目した。この区間では、図-6に示したようにトンネル掘削時に大きな坑内変位が生じた。しかし、本設インバート施工時に発生した天端沈下および水平内空変位の最大値はそれぞれ3.6mm、2.7mmであり、問題となる変位が生じることはなかった。これは、鋼アーチ支保工と鋼製ストラットを強固に接続し断面をリング状に閉合することによって、トンネル脚部の一体

表-5 1次インバート閉合直後の変位速度

測点 (No.)	1次インバート閉合直後の変位速度(mm/日)		備考
	天端沈下	内空変位	
276+ 0.1	3.2	-0.1	
276+10.0	8.9	0.2	根固め吹付け実施
276+17.1	5.1	0.4	根固め吹付け実施
277+ 7.1	5.0	0.6	根固め吹付け実施
277+16.1	4.0	2.6	
278+ 4.1	1.9	0.8	
278+15.1	0.9	-0.2	
279+ 6.1	2.1	0.7	
279+17.1	1.4	0.5	

表-6 全断面早期閉合の仕様適用基準(4回目区間に適用)

仕様 ランク	支保工		一次インバート		閉合 距離
	吹付け	鋼アーチ 支保工	吹付け	鋼製 ストラット	
地山良化 (ランク ダウン)	B-1 $t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ )	H-200 (SS400)	$t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ )	-	8m
地山悪化 (ランク アップ)	B-2 $t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ )	H-200 (SS400)	$t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ )	-	8m
	B-3 $t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ )	H-200 (SS400)	$t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ )	H-200 (SS400)	6m
B-4 $t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ )	H-200 (SS400)	$t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ )	H-200 (SS400)	5m	

<p>[ランクアップ基準]</p> <p>1)最終変位量 天端沈下: 40mm以上 水平内空変位: 80mm以上</p> <p>2)切羽通過後の初期変位速度 天端沈下: 10mm/日以上 水平内空変位: 20mm/日以上</p> <p>3)切羽評価点下降</p> <p>4)閉合直後の切羽変位速度(B-2→B-3のランクアップの際に適用) 天端沈下: 5mm/日以上 水平内空変位: 5mm/日以上</p>	<p>[ランクダウン基準]</p> <p>1)最終変位量 天端沈下: 25mm以下 水平内空変位: 50mm以下</p> <p>2)切羽通過後の初期変位速度 天端沈下: 10mm/日以下 水平内空変位: 20mm/日以下</p> <p>3)切羽評価点上昇</p>
---	---

※下線付き文字は、表-3に対する見直し箇所である。

化が確保されたためであると考えられる。

この実績から、鋼製ストラットを的確に設置することが重要であると判断した。そして、その設置基準として、1次インバート閉合直後の変位速度が有効な指標になると考えた。表-5は、その閉合直後の変位速度を整理したものである。この表より、本設インバート施工時に大きな変位が生じた箇所(根固め吹付け箇所)は、1次インバート閉合直後に5mm/日以上の変位速度が発生していることがわかる。この実績を踏まえ、1次インバート閉合後の変位速度が5mm/日以上となった場合には、次のサイクルの1次インバート施工から鋼製ストラットを設置して、トンネル脚部の一体化を図ることにした。

見直し後の仕様適用基準を表-6に示す。4回目区間にはこの適用基準を用いたが、仕様変更が必要となる状況は生じなかった。

5 到達側地すべりブロック直下の施工

七尾トンネル到達側坑口部は、小栗地すべり地域に位置し、大小さまざまな地すべりブロックが存在する。当該トンネルは、到達側坑口から200mの位置より、この地すべりブロック直下(最小離隔7.6m)を通過する(図-12)。そのため、トンネル掘削によって地すべりブロックに影響を与えることが懸念された。そこで、当初設計において、FEMによる地すべりへの影響予測解析が実施されている。その結果、トンネル掘削が地すべりに

影響を与える可能性は小さいと予想されていた。

しかし、トンネル掘削により地すべりブロックに影響を与えた場合には、地表面に存在する民家や田畑、第三者に被害をおよぼす可能性がある。また、大規模な追加対策が必要となることも考えられ、そのときには大幅な工期延伸や工事費の増大を招くことになる。そこで、当該箇所においてトンネル掘削を実施する前に、それまでのトンネル掘削実績をフィードバックして、再度、地すべりブロックへの影響を予測した。

5-1 影響予測解析

5-1-1 解析概要

影響予測解析は、二次元線形弾性FEMを実施した(図-13)。このとき、地山弾性係数の設定値が影響予測解析結果に大きく影響する。前述した当初設計では、ボーリング調査結果にもとづき、トンネル部の地山弾性係数は260,000~570,000kN/m<sup>2</sup>と設定されていた。それに対し、今回実施した影響予測解析では、施工時に得られた情報をフィードバックするために、地すべり区間において出現すると想定される地層(八尾累層)でのトンネル掘

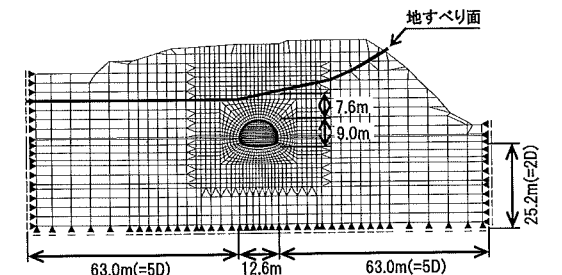


図-13 影響予測解析モデル図(No.296+10.3)

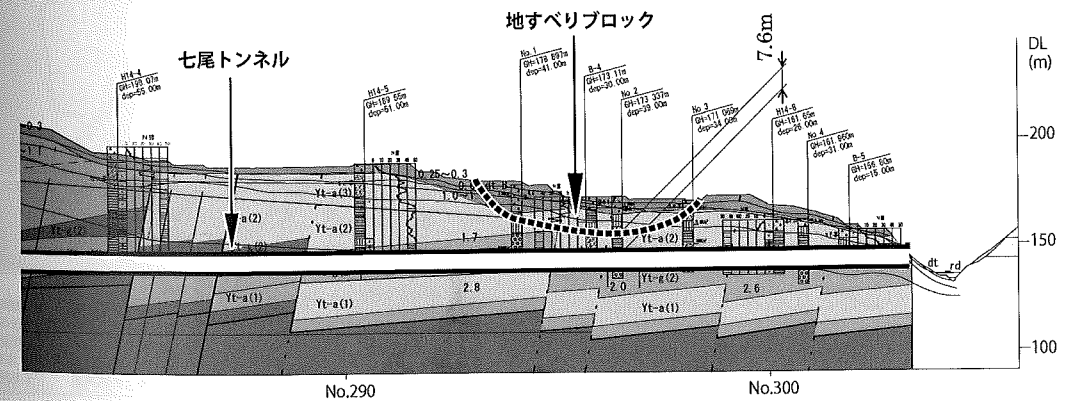


図-12 到達側地すべりブロック縦断面

表-7 影響予測解析の地山物性値

地山弾性係数 $E$ (kN/m <sup>2</sup> )	単位体積重量 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	側圧係数 $K$	ポアソン比 $\nu$
117,400	21.0	0.85	0.3

表-8 影響予測解析ステップ

ステップ	施工内容	応力解放率(%)
1	初期応力解析	—
2	上半掘削(無支保)	100
3	下半掘削(無支保)	100
4	インバート掘削(無支保)	100

削実績(27測点の坑内変位データ)を用いてトンネル逆解析(DBAP)<sup>9</sup>を実施し、地山弾性係数を設定した。このとき、逆解析結果の最小値( $E=117,400\text{kN/m}^2$ )を影響予測解析の入力値とした。地山の側圧係数( $K$ )についても、逆解析結果にもとづき $K=0.85$ と設定した。また、影響予測解析では、安全側の検討結果を得るために、無支保(素掘り状態)で解析を行った。

ここで、影響予測解析の入力値を表-7に、解析ステップを表-8に示す。

5-1-2 解析結果

今回の影響予測解析では、トンネル掘削によるゆるみ領域が地すべりブロックに干渉するかどうかに着目して評価した。このとき、ゆるみ領域の判定は、最大せん断ひずみ( $\gamma_{max}$ )が、限界せん断ひずみ( $\gamma_0=0.57\%$ )<sup>10</sup>より大きな値となる範囲とした。解析の結果、トンネル上方のゆるみ領域は3.8mと予測され、地すべりブロック(離隔7.6m)には影響を与えない結果となった(図-14)。

また、坑内変位は、天端沈下74mm、水平内空変位48mmという解析結果となった。これらは、先行変位を含む全変位の値であり、計測管理では先行変位を除く計測可能変位量が必要となる。そこで、No.287+17.5の地中沈下計測結果から先行変位率を50%として、計測可能変位量を算

出し、天端沈下37mm、水平内空変位24mmと予測した。  
5-2 施工実績

事前予測解析の結果、トンネル掘削によって地すべりに影響を与えないと予測した。しかし、前述したように、地すべり発生時には、第三者に大きな影響を与えるとともに、大規模な対策工が必要となり、大幅な工期延伸、工事費の増大を招く可能性があった。

そこで図-15に示すように、坑内、地中、地表面において、地すべり挙動を監視し、地すべりの兆候が確認されたときには、積極的に全断面早期閉合を適用する体制を整えて施工を行った(表-9)。

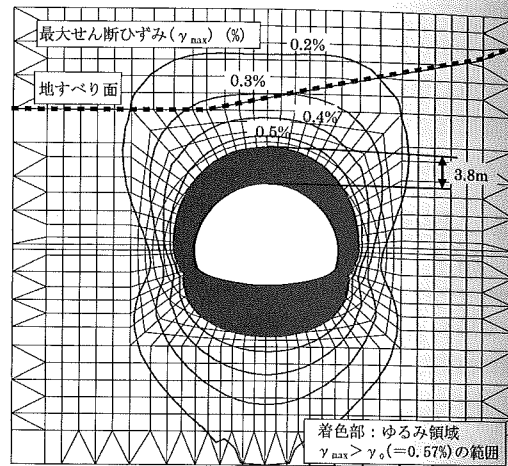


図-14 ゆるみ領域の予測結果

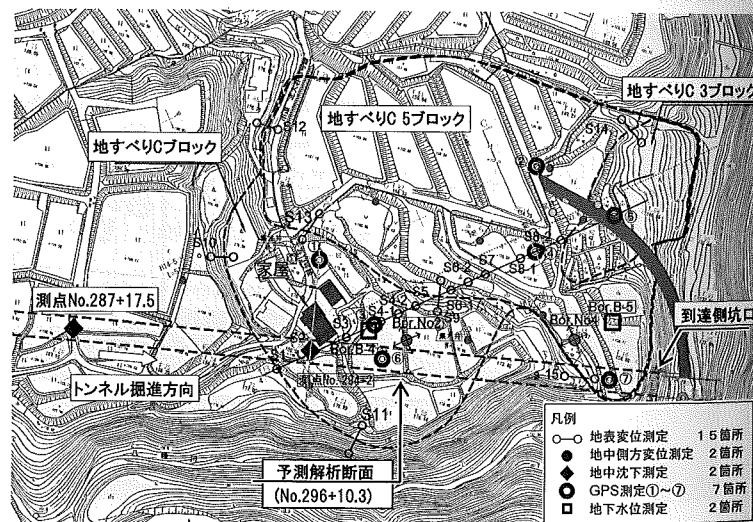


図-15 到達側坑口部平面図

表-9 全断面早期閉合の仕様適用基準(地すべりブロック区間に適用)

閉合仕様 ランク	支保工		一次インバート		閉合距離	
	吹付け	鋼アーチ 支保工	吹付け	鋼製 ストラット		
地山良化 (ランク ダウン)	B-1	$t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ )	H-200 (SS400)	$t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ )	—	8m
地山悪化 (ランク アップ)	B-2	$t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ )	H-200 (SS400)	$t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ )	—	8m
	B-3	$t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ )	H-200 (SS400)	$t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ )	H-200 (SS400)	6m
B-4	$t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ )	H-200 (SS400)	$t=250\text{mm}$ ( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ )	H-200 (SS400)	H-200 (SS400)	5m

(ランクアップ基準)	(ランクダウン基準)
1)最終変位量 天端沈下: 40mm以上 水平内空変位: 80mm以上	1)最終変位量 天端沈下: 25mm以下 水平内空変位: 50mm以下
2)切羽通過後の初期変位速度 天端沈下: 8mm/日以上 水平内空変位: 16mm/日以上	2)切羽通過後の初期変位速度 天端沈下: 8mm/日以下 水平内空変位: 16mm/日以下
3)切羽評価点下降	3)切羽評価点上昇
4)地表の地すべり動態観測 5mm/日以上	4)地表の地すべり動態観測 5mm/日以下
5)切羽崩落・天端崩落の発生	5)切羽崩落・天端崩落なし
6)閉合直後の切羽変位速度(B-2→B-3のランクアップの際に適用) 天端沈下: 5mm/日以上 水平内空変位: 5mm/日以上	

※下線付き文字は、表-6に対する見直し箇所である。

平成22年6月11日に、七尾トンネルは無事貫通した。地中および地表面での計測結果から、地すべり挙動は確認されなかった。また、坑内変位は天端沈下量6.4mm、水平内空変位4.8mmであり、予測結果(天端沈下量37mm、水平内空変位24mm)と比較して、非常に小さな値を示した。その結果、地すべりブロック区間において全断面早期閉合を適用することはなかった。これは、事前予測解析では考慮しなかった長尺鋼管フォアパイリング工法を用いて地山のゆるみを抑制しながら慎重に掘削を実施したこと、地山条件が想定より良好であったことが要因であると考えている。

6 ま と め

七尾トンネルでは、地山変質区間(4区間、適用総延長366.6m)に全断面早期閉合を適用した。その際、複雑に変化する地山状況に対応するために、全断面早期閉合に情報化施工を適用した。

今回の施工では、全断面早期閉合のランクアップを行うときに、高強度吹付け( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ )を優先して採用することを試みた。その結果、鋼製ストラットを設置せずに高強度吹付けのみをランクアップした場合でも、変形抑制効果が向上することが確認できた。しかし、地山条件によっては、鋼製ストラットの設置が必要不可欠となり、その要否を判断するために、1次閉合直後の変位速度が指標となることがわかった。

また、到達側坑口部の地すべりブロック直下では、地すべり挙動の兆候が確認されたときに、迅速に早期閉合を適用できる体制を整えて施工を行った。その結果、地すべりブロックに影響を与えることなく、施工を完了することができた。

今回の施工実績より、全断面早期閉合の仕様変更を迅速に判断するためには、初期変位速度のデータを指標とするのがより有効であることがわかった。今後、全断面早期閉合を採用した場合における初期変位速度と最終変位の関係を整理する必要があると考えている。

また、全断面早期閉合をより安全かつ合理的に適用するためには、「支保工および1次インバートの構造」や「閉合距離」が変形抑制効果に与える影響についても、定量的に評価することが必要であるとする。さらに、今回の施工では、切羽の安定確保を目的として「鏡補強工」を用いたが、長尺鏡ボルトの変形抑制効果を把握して、変形抑制対策工としても積極的に活用したいと考えている。そのために、解析的手法を用いて分析を加えていくつもりである。

既往の文献では、全断面早期閉合に情報化施工を適用した事例の報告は少ない。今回の施工報告が、類似の施工の参考になれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 御手洗良夫・森崎泰隆・今田徹：全断面早期閉合による施工法の考え方とその実例，トンネルと地下，Vol.38, No.9, pp.51-61, 2007.9.
- 2) 浜野善治・宮崎俊英・熊谷幸博：膨張性地山での坑口部の対策工法，ふるさと農道整備工事 七海トンネル工事，土木技術，Vol.60, No.10, pp.28-34, 2005.10.
- 3) 徳留修・大津敏郎・広瀬雅明・澤田一也：断層・褶曲作用を受けた脆弱泥岩地山における変位抑制対策，トンネル工学報告集，Vol.17, pp.29-34, 2007.11.
- 4) 平野宏幸・臼田芳彦・清水則一・神澤幸治・宮田和：長尺鏡ボルトと早期断面閉合を用いた地すべり地直下のトンネル施工，第12回岩の力学国内シンポジウム 併催：第29回西日本岩盤工学シンポジウム，pp.903-907, 2008.1.
- 5) 秋田修・真弓英大・玉井昭雄・岡山徹：中央構造線

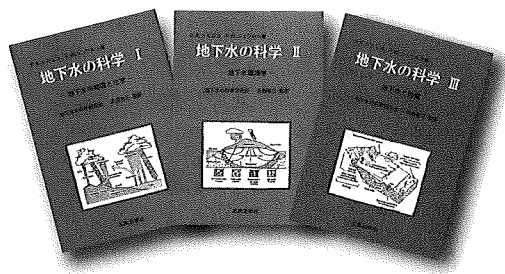
- 6) 寺山徹・津野和宏・内野貴志・蛭川愛志：補助ベンチ付き全断面掘削・早期閉合で都市トンネルを掘る，岸谷生麦線(生麦方向行き)トンネル工事，トンネルと地下，Vol.39, No.5, pp.7-17, 2008.5.
- 7) 中野清人・佐藤諭一・本藤敦：蛇紋岩地すべり脆弱部を早期閉合で掘削，北海道横断自動車道 タンネナイトンネル，トンネルと地下，Vol.41, No.3, pp.7-16, 2010.3.
- 8) 土木学会：2006年制定トンネル標準示方書 山岳工法・同解説，p.37, 2006.7.
- 9) 櫻井春輔・武内邦文：トンネル掘削時における変位計測結果の逆解析法，土木学会論文報告集，No.337, 1983.
- 10) 櫻井春輔・川嶋幾夫・大谷達彦・松村真一郎：トンネルの安定性評価のための限界せん断ひずみ，土木学会論文集，No.493/III-27, 1994.

## ■図書案内

## 地下水の科学 — 全3巻 —

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

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



株式会社 土木工学社

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

第十六回  
語り継ぎ  
言ひ継ぎ行かむ

長大トンネルを穿つ

多田昇  
(元)鹿島建設(株)

## はじめに

私は，昭和17年に鹿島組に入社して以来，都市土木工事などを経て，昭和23年から退職するまでに大小さまざまな断面のトンネル工事に携わってきました。退職してからずいぶんと経ちますが，施工技術が進歩している今日においても，なにかお役に立てることがあればと思います，在職中の記憶を辿りつつ述べさせていただきます。

## 私のトンネル工事経歴

私とトンネル工事との出会いは，新潟県西蒲原郡岩室の樋首山水路トンネルの補修工事，東電鹿渡発電所水路防護工事などを経て，昭和28年新潟県三面川猿田発電所の水路トンネル工事であった。

掘削工方法は，新奥式(底設導坑先進→切り上がり→頂設導坑切り上げ)で支保工は松丸太による後光梁式であった。

削孔や発破の粉塵は削岩用のエアホースで強制排除するのみで，

粉塵が抜けきれない作業環境の中で，坑夫に急かされカンテラの明かりによって測量する状態であった。

この現場で昼の休憩時間にトンネル工事の経験が豊富で，精通している斧指，坑夫たちにトンネル切羽の地質の変化に対応した火薬の取り扱い，装填，荷を受けている支保工の木外しなどの作業の手順などを習い，トンネル工事の貴重な知識を得たのである。

そんな中でセントルを組む寸前に，大引きの寸法割りの測量ミスで下請けの親方に殴られるほどに怒鳴られ，巻き立てコンクリート(木製セントル)の工程を翌日に廻し，切羽の進行を停滞させたとのことで，また怒鳴られた悔しい思い出がある。いろいろな場面に出会い，見て学んだこの工事が，長くトンネル工事に携わることになる始まりであった。

今回，私のトンネル工事の経歴のなかでとくに印象の深い，次の3本の長大トンネル工事について述べたいと思う。



恵那山トンネル(上り線)起工式 玉串奉奠の筆者

- ① 北陸本線親不知ずい道工事
- ② 北陸本線頸城ずい道工事
- ③ 中央道恵那山飯田方トンネル上・下線工事

**国鉄初の一括発注工事  
親不知・風波ずい道  
昭和37~40年**

昭和37年3月に念願の機械化施工による市振・青海間の複線化トンネル工事を、工務主任として担当することになった。

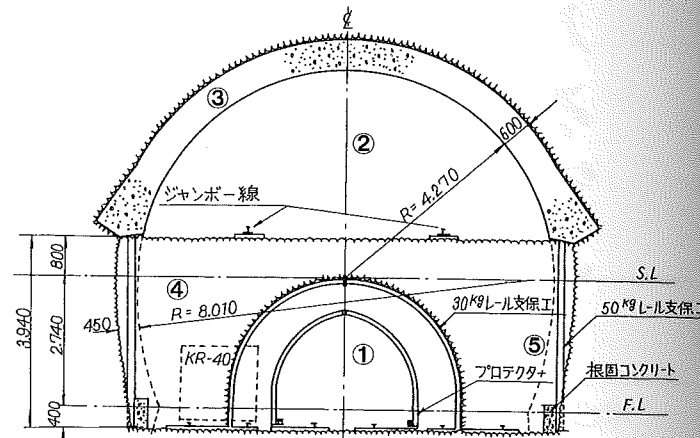
本工事は、北陸本線の輸送力増強のため、市振・青海間の在来線に平行して、複線親不知ずい道と風波ずい道を建設するもので、トンネルは富山県と新潟県境に位置し、日本三大難所の一つに数えられる「親不知の険」の真下を通っている。この工事の発注方式は、従来国鉄工事は年度ごとに分割発注されていたものが、ここで初めて一括総契約が実施された。

**■トンネル工事の概要**

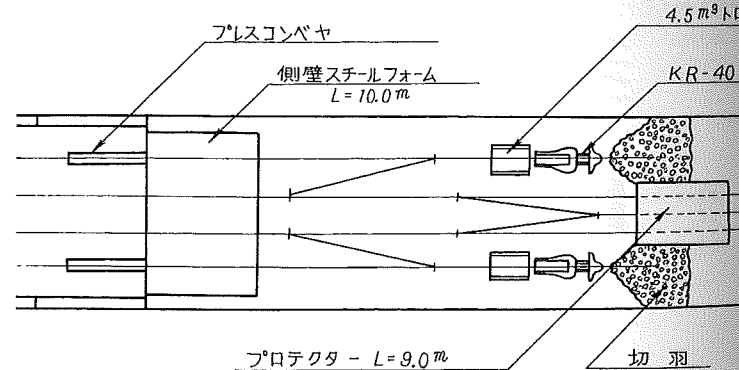
親不知ずい道総延長4,536mのうち、米原方2,500mは国鉄の直

**著者略歴**

昭和17年	(株)鹿島組入社
昭和23年	新潟県樋曾山水路トンネル
昭和28年	新潟県猿田発電所水路トンネル
昭和30年	東京電力切明発電所水路トンネル
昭和31年	住友金属鉱山八総鉱山・羽前鉱山坑道
昭和37年	北陸本線親不知トンネル
昭和41年	北陸本線頸城トンネル
昭和44年	中央道恵那山飯田方トンネル副所長
昭和50年	長野県道路公社三才山トンネル所長
昭和53年	中央道恵那山飯田方トンネル(上り線)所長
昭和56年	東京土木本部工務部長兼長野営業所所長
昭和61年	鹿島建設(株)退職 (株)大松建設常務取締役
平成9年	(株)大松建設退職



底設導坑先進上部半断面工法 施工順序図



土平(上図で④、⑤の部分)施工模式図

轄施工区間で、既に昭和36年8月いで道総延長450mを担当した。トンネルの断面は複線断面で掘削断面積約65m²(内空高さ7.0m、

幅8.5m)である。

工事代金の支払い方法は、「工事出来高払い」といって、2か月ごと(工事内容によっては1か月のときもあったが)の施工出来高について「既成部分検査願い」を本局に提出し、本局の検査後に出来高の8割の工事代金が支払われる制度となっていた。

当時国鉄工事では主要材料はすべて支給を原則としていて、セメントも50kg入りの袋詰めで国鉄の倉庫で支給していたが、この工事では、町の南側に聳える黒姫山にあった軍配印の電化セメント工場からバラセメントで支給された。

また、親不知ずい道出口から風波ずい道入口までの距離がわずか60m程度で、その間に風波橋梁が介在し、しかも付近一帯が国有林であったため、坑外仮設備の施工で苦労した現場であった。

**■事前施工の水抜き横坑の効果**

トンネルの地質は、安定した安山岩質凝灰角礫岩で、部分的には軟質岩が介在するものの、全体的にはかなり堅硬な岩質であることが地質調査で確認されていた。

このため、国鉄が示した標準工法は底設導坑先進上部半断面工法であり、当社としてもとくに問題がないと判断して本工法を進めることとした。

底設導坑先進の主な目的は、地質の確認、地下水をしぼり抜くこと、上部半断面掘削ずりをルートで底設導坑に抜き取って搬出することであり、工程確保のために導坑の奥の地点から切り上がって上部半断面掘削の切羽を増やすこと

ができるという利点もある。

底設導坑掘削の主な機械は、ドリフタ搭載のジャンボ、ロッカーショベル(RS-85)、バッテリー機関車(10t)、横転式ずりト口(4.5m³)などを採用した。換気は送り方式で軸流送風機を150m間隔に設置し、風管はビニル製のものを使用した。

底設導坑掘削にあたり、湧水が多いことが懸念されていたが、湧水には幾度か遭遇したものの難なく突破できた。その要因としては、岐阜工務局に移管される前に信濃川工務局において、遠くない時期に本工事が着工されると予想し、地形・地質から湧水量が多いと判断して、出口(親不知方)から1,400m付近の浄土沢に水抜き横坑を掘削してあったことである。当時、この水抜き横坑の坑口での水量は毎分60L程度に減っていて、水抜き横坑の効果のおかげであったと思うことがひとしおであった。

地質変化が激しく不良地山も出現して、多小のトラブルに見舞われたものの、全体的には順調に掘進することができ、平均月進150mの進行で、14か月余りで先進導坑2,036mの切羽に無事到達した。

昭和39年3月日本鉄道建設公団の発足に伴い、青函トンネルの調査坑を直轄施工とすることが決定し、市振方の直轄部隊がその施工の任に当たるために移動した。これに伴って、市振工区の残余の約900mの下部半断面工と側壁コンクリートを当社が施工することになったが、この工事も順調に進捗した。また、別契約による親不知

ずい道全長4,536mの軌道路盤工(コンクリート道床工)は、コンクリート短枕木の取り付け、コンクリート打設、リバイブレーション(枕木の下を空気泡を追出すための再振動)など、初めて体験する高精度の施工を要求される工事であったが順調に進捗し、昭和40年5月竣工した。

風波ずい道は、切り上げ工事での崩落事故などがあり、導坑支保工の根巻きコンクリート工、モルタル・乾燥砂注入など、さまざまな工法を駆使する難工事であり、450mのトンネルの施工に実に2年余りの歳月を要して、竣工したのが昭和39年12月であった。

子不知~市振区間の軌道工事も順調に進み、昭和40年9月、無事に複線電化区間が開通した。

**山里の静かな村で  
「トンネル掘りコンクール」  
頸城ずい道 昭和41~43年**

親不知ずい道の関連工事でも無事終わり、一息つく暇もなく昭和41年3月に頸城ずい道工事を担当することになった。

北陸本線能生・筒石付近は古来より地すべり地帯として知られるほか、土砂崩壊、浪害、雪害に対する防災の見地から海岸沿いの路線を放棄して、糸魚川・直江津間を主としてトンネルで結ぶ計画が立てられ、工事はその一環として進められた。

ちなみに、北陸本線の複線電化工事は、頸城ずい道工事の5工区と、湯殿、長浜、浦本、名立、木浦ずい道の5か所のトンネル工事

に全国の建設業者のトップレベルが参加し、まさに「トンネル掘りコンクール」の観があった。各社の様子をさぐりあって、ホツしたり、悔しがったり、お手本にしたりしたものである。

■トンネル工事の概要

頸城ずい道は、北陸本線能生・名立間11,355mの複線トンネルで、工事は両坑口だけでなく中間部にも3か所の斜坑を設けて、5工区に分割して発注された。そのうち当社は第4工区(徳合地区)を担当した。

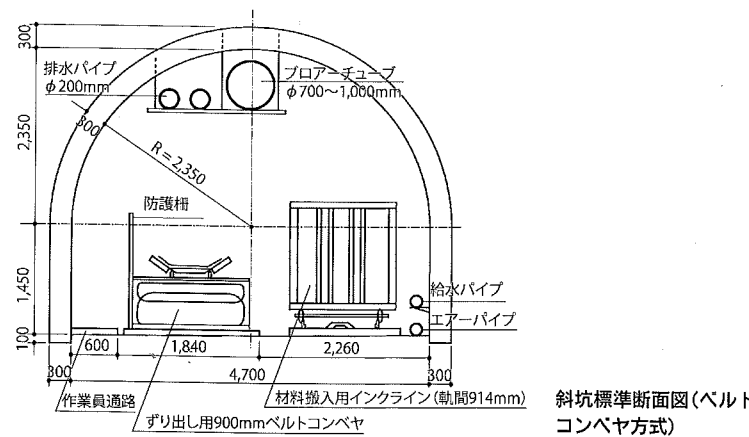
第4工区は、国道8号から山間に約1.3km入った地点を坑口とする徳合斜坑177mと、本坑2,060m

を施工する工事であった。

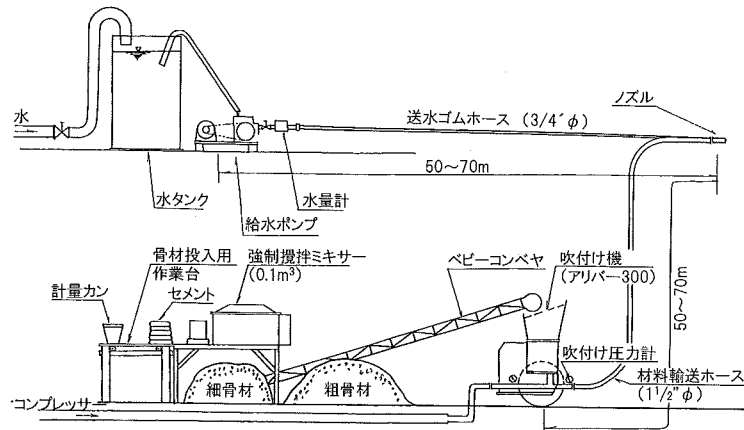
斜坑の勾配は1/4下りで、内空断面は高さ3.8m、幅4.7mであった。本坑の断面は、親不知ずい道とほぼ同じで、標準工法の「底設導坑先進上部半断面工法」で施工した。また、メタンガスの発生も懸念されたため、底設導坑を先進させることとガス検定を実施することが義務づけられていた。

■地質に応じた施工方法の工夫

斜坑の地質は第三紀泥岩で、湧水は少なかったがメタンガスが発生して作業は難航した。このため、日進は3m程度であったが、4か月後に本坑掘削に着手することができた。



斜坑標準断面図(ベルトコンベヤ方式)



吹付けコンクリート現場実験 機械配置図

底設導坑掘削の主な機械はロッカーショベル(RS-85)、バッテリー機関車(10t)、トレーンローダ、横転式ずりトロ(3m³)を使用した。上部半断面掘削では、クローラショベル(GS-5)、バッテリー機関車(10t)、横転式ずりトロ(4.5m³)を使用した。

本坑の地質は第三紀泥岩・砂岩互層で泥岩を主とする地質であり、くり粉が削孔ロッドに付着して穿孔不能となるため、発破装薬孔の穿孔機械は、削岩機に代えて水を使用しないスパイラルロッドのエアオーガー(AAL2)を採用した。

斜坑交点から米原方1,217mの掘削においては、上り勾配で湧水は少なかったが路盤が泥濁化して作業は難航した。仮排水路の整備に努めることによって掘削作業を順調に進め、予定よりも1か月ほど早く第3工区との貫通点に到達した。

徳合川下部の上部半断面掘削の際は、土かぶり9m程度で小さいため、この区間の前後の切り上げ・覆工を施工して両側を固めてから、湧水期をねらって慎重に施工した。

この当時、吹付けコンクリートをトンネル支保工として利用する工法が注目され始め、青函トンネル調査坑では本格的に活用されていた。鹿島建設ではかねてからこの工法に着目して調査研究を進めていたところ、岐阜工事局においても注目されていて、延長約30mの上部半断面吹付けコンクリートの現場実験を行った。H形鋼併用吹付けコンクリート(H形鋼建て

込み後吹付け、吹付け後H形鋼建て込み)、H形鋼なし吹付けコンクリート(金網設置、金網なし)の試験施工を行った。

斜坑交点から直江津方843mの掘削では、780m地点付近から砂層が現れ、毎分20Lの湧水のため昭和41年12月に工事を一時中断した。湧水量が減のを待って昭和42年5月に再開したが、またも毎分48Lの湧水が発生し、延長60mを残して中断した。第5工区との貫通に合わせて再開し昭和42年8月に貫通したが、この間の掘削に8か月を要した。

■発注者との密接な連携

当工事の国鉄工事区の幹部は、親不知ずい道からの気心の知れたメンバーで、密接に連携しながら地元対策や施工管理を進めることができた。

トンネル工事で発生する約15万m³のずりは、斜坑坑口付近の徳合川周辺と付近の田圃に処理する計画であったが、田圃の復旧方法の協議がまとまらず、頻繁な交渉にもかかわらず、なかなか了解を

得ることができなかった。結局、同じ復旧方法での成功事例や耕作の利便性向上、水路や道路の整備計画などについて、国鉄の担当助役に粘り強く説明していただいて、ようやく了解を取り付けることができた。

また、多数の作業員が従事することに対して、地元では治安面での懸念も持たれたが、地域集会で作業員のまじめな仕事ぶりや生活の実態を紹介したり、細心の労務管理を行うことや工事期間中2か月ごとに地元との協議会を開催することを説明して了解をいただいた。このように、発注者との密接な連携と担当助役の粘り強い交渉によって、当初予定よりも早く着工に漕ぎつけることができた。

施工管理面では、とくにコンクリート道床工事が施工誤差1mm程度の高精度を要求される難しい工事であった。200mレールを現場搬入し、それを1,000mのロングレールで敷設してから、現場打ちコンクリートで道床を形成する方式であり、親不知ずい道工事での

経験が活かされたことと、発注者と密接に連携して施工管理を行うことで順調に施工できた。

断層群・破碎帯や被圧水と苦闘した、まれに見る難工事 中央道恵那山飯田方トンネル 昭和44~50年

恵那山トンネルは、長野県下伊那郡阿智村から恵那山の隣にある富士見台(標高1,735m)の真下を横断して岐阜県中津川市神坂まで、伊那谷と木曾谷を直結する延長約8,500mの2車線の高速道路トンネルである。当地は奈良時代、当時の都と東国を結ぶ旧東山道が富士見台わきの神坂峠を通過しており、古事記や万葉集にも登場するところである。

トンネル工事は、飯田方と中津川方の両坑口からほぼ半分ずつ施工したが、恵那山飯田方トンネル工事は、7本の園原断層群、2本の神坂神社断層、2本の長平沢断層、8本の神坂大断層群と2本の富士見台東断層の計21本の断層を突破して、昭和44年10月~49年10月の5年の歳月を要して貫通した難工事であった。

■トンネル工事の概要

飯田方トンネル工事は、恵那山トンネルのほぼ半分の、延長4,260mの本坑、補助坑と地下換気所を建設するもので、熊谷組・鹿島建設JVで施工した。

本坑は掘削断面積約90m²で、約1,700mを上部半断面工法で、残りを側壁導坑先進リングカット工法で施工した。ずり運搬方式は、上部半断面工法の場合はタイヤ方



頸城ずい道貫通式 看板を持つ筆者

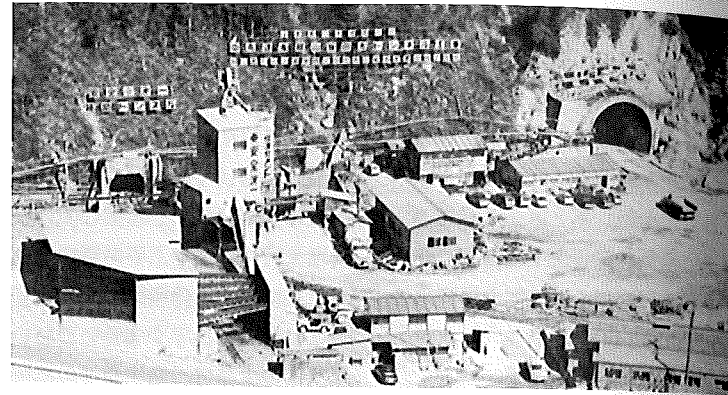
式、側壁導坑先進リングカット工法の場合は側壁導坑をレール方式で、リングカットと大背はタイヤ方式で搬出した。

補助坑は、昭和44年10月に恵那山飯田方トンネル工事が発注された時点で、試験工事として熊谷組の施工で970mを掘削済みであった。残りの3,250mのうち120mを機械掘削で、3,130mを普通掘削で施工した。機械掘削は掘削断面積約16m<sup>2</sup>、普通掘削は掘削断面積約20m<sup>2</sup>で、全断面工法および先進導坑切掛け工法、レール方式で施工した。

■新技術への挑戦

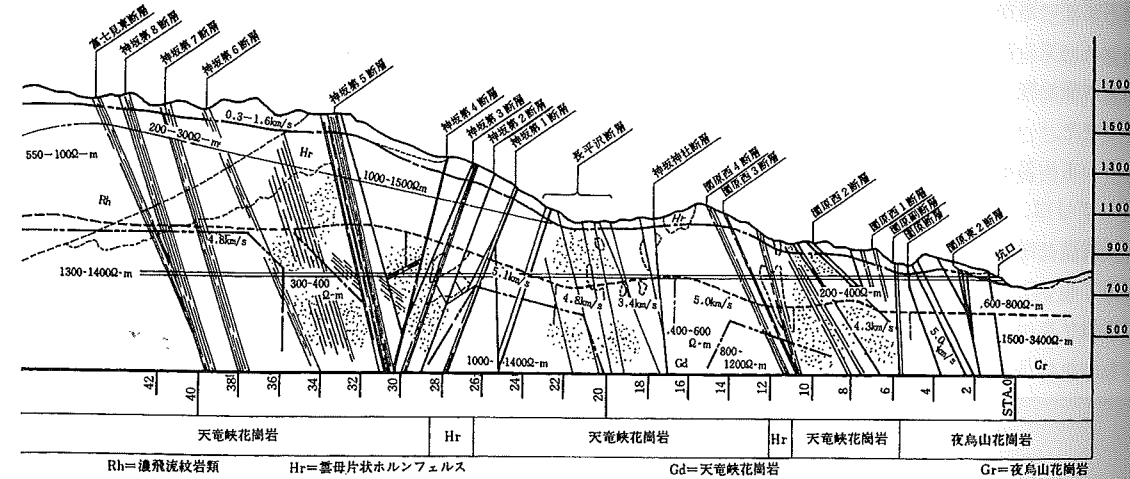
新技術の適用を推進するために

機械化施工の安全性と経済性を確認する目的で、補助坑の掘削には日本道路公団の独創による2つのタイプのRTM(Rock Tunneling Machine)が導入された。飯田方には、直径4.45mの「小松ロビンス

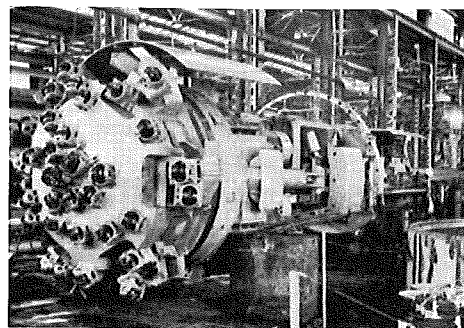


中央道恵那山飯田方トンネル 坑口全景

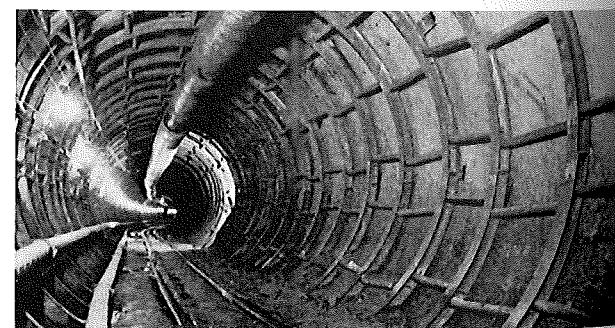
TM445-GJ, 中津川方には「発破併用馬蹄型シールド」が導入され、それぞれ試験工事として掘進した。飯田方補助坑でのRTMによる機械掘削は、昭和44年9月までに試験工事として924m掘進し、さ



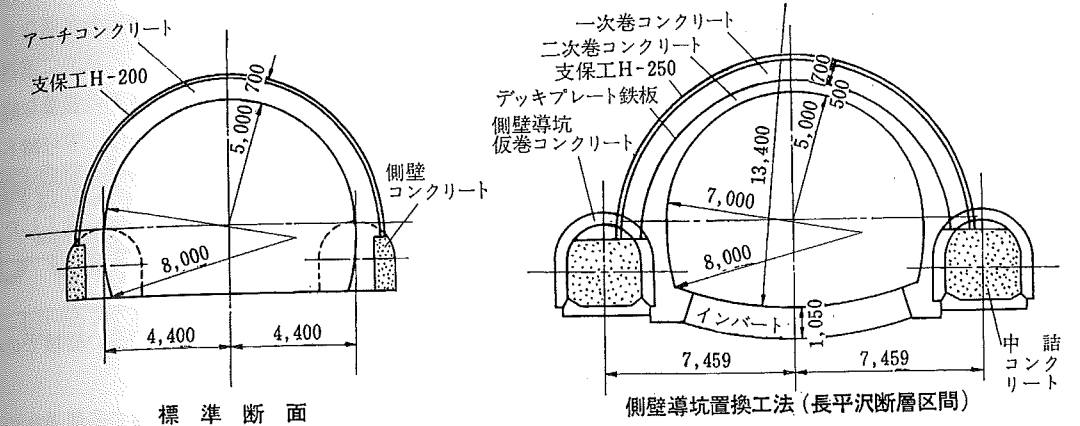
恵那山飯田方トンネル断面図(出典: 恵那山トンネル工事誌)



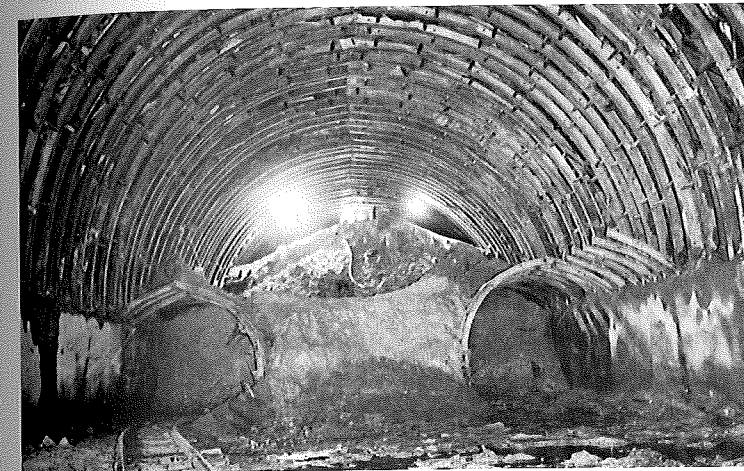
RTM 小松ロビンスTM445-G



RTMによる掘削完了部分



本坑 側壁導坑先進リングカット工法断面図



本坑 側壁導坑先進リングカット工法の切羽

らに本工事としても2,300mを施工する予定であった。しかし、RTMによる機械掘削は、園原西断層群に遭遇し切羽の崩落、地質の悪化のため、118mを掘進した地点で断念し、普通掘削に切替えた。RTMを迂回して全断面工法で672mまで掘進したが、神坂神社断層で大湧水と高土圧に遭遇し、先進導坑切掛け工法に変更して以奥約2kmをこの工法で掘進した。とくに神坂断層群の1.5kmにわたる区間では、高被圧・大量湧水と土砂流出がたびたび発生し、結局11回の迂回工法(捨て導坑10本

で延長約500m)を採用した。ここでは、強力水平長尺ボーリングマシン(BOAROCK=ポアーロック)が、先進ボーリングと水抜きボーリングに威力を発揮した。このボーリングマシンの削孔能力は100~200m/日、削孔可能延長は700~1,000mで、ビットの荷重、掘進速度、回転数、回転トルクを自動的に記録し、それを解析することによって切羽前方の帯水層や地質を探査できた。この断層群の中で最大の断層は神坂第5断層で、切羽から500m<sup>3</sup>の土砂流出、6~10t/minの湧水



補助坑貫通地点で握手する筆者(右)

が発生し、水圧は4~5MPaと推定された。ここでは薬液注入工法を採用し、ディープウェル工法も併用した。

■関係者の情熱と技術力を結集

本坑の掘削計画では、全面的に上部半断面工法を採用し、タイヤ方式で工程を促進することにした。しかし、1,700m地点で神坂神社断層が出現し、以奥は、先行する補助坑で多くの断層破砕帯が確認されていたので、側壁導坑リングカット工法を採用した。とくに長平沢断層が出現した2,000~2,300m区間は、極度に熱

水変質を受けた地質で、湧水はないが粘土化していて、導坑掘削に伴って応力解放と塑性流動による異常な土圧が発生した。掘削後5～6時間で地山の膨張押し出しが始まり、矢板折損、支保工の変形、盤膨れが激しく、加背は短日で縮小され、縫い返し、盤下げも追いつかない状態であった。

この区間の対策工法については、公団主催の「技術検討会」において広く学識経験者を交えて検討され、最終的には補助坑から得た資料をもとに側壁導坑置換工法を採用した。この工法は、断面外に側壁導坑を掘削し、導坑内を中詰めコンクリートで充填して地山に置き換える工法である。これによって、300m間の掘削に約3年の歳月を要して、この難所を突破した。

その後もトンネル工事特有のあらゆるトラブルに遭遇した厳しい工事であったが、工事関係者が渾然一体となり、おのおの情熱と的確な技術と実行力を結集して、一つ一つその壁を克服し、昭和42年4月に補助坑に着手して以来、8年余りの歳月を経て昭和50年5月に竣工した。多くのトンネル工事に従事したなかで、この工事において水と泥との苦闘に終始した歳月の感慨は、いまま生々しく去来している。

**I 期線に引き続きII 期線を施工 恵那山飯田方トンネル(上り線) 昭和53～59年**

恵那山トンネルの開通は伊那谷地域にきわめて大きな便益をもた

らし、沿線地域の産業振興、農畜産物の流通形態の変移、企業などの進出による地域開発、レクリエーションにおける行動圏の拡大などの大きなメリットが生じた。

この道路は、東名の補完ルートとしての性格も併せ持っており、交通量の伸びを勘案して、恵那山トンネルが開通して2年半後の昭和53年3月に上り線トンネル工事(II期線)が発注された。上り線トンネルは下り線トンネル(I期線)の北側に位置し、延長約8,650mである。このうち、飯田方トンネルは、4,300mの本坑と補助坑を建設するもので、鹿島建設・清水建設JVで施工した。

**■下り線工事での経験を生かす**

下り線工事の経験から、補助坑は全断面工法を採用し、本坑は上部半断面工法・側壁導坑先進工法に加えて、難関の長平沢断層区間においては、設計段階から当時新しいシステムとして脚光を浴びていたNATMを適用した。

NATMは、先行する補助坑の長平沢断層区間で試験工事を行ってから本坑に適用し、可縮支保工(MU-29)、二次吹付け可縮スリット、SFRC二次吹付け、全面接着式ロックボルトを採用した。なお、下り線工事で遭遇した数多くの断層は、上り線においてもほぼ同じ位置で出現したが、湧水量は1/3程度であり、下り線トンネルの水抜き効果によるものと考えられた。

長平沢断層区間で、局部的ではあるが内空変位量が1mを超える大変形が発生し、内空断面を確保

するための斫り補修を余儀なくされるなど、数多くの難関に遭遇したが、下り線工事での貴重な経験を活かして切り抜け、下り線トンネル工事と比べて1年6か月短い工期で昭和59年10月に竣工した。

**おわりに**

トンネル工事の長い経験での感慨を少し述べます。

- ① 切羽の崩壊や多量湧水に遭遇し、その掘進に日時を要すると思ったら、迷わず迂回坑に切替え、本坑掘進のロス時間を極力少なくすることに努めるべきです。
- ② 余掘りの多少は、作業員の技量と注意力、地山の亀裂の有無にも関係しますが、概して、進行重点主義で掘進に猛進することに起因しています。
- ③ トンネル内の湧水量の多少に応じて、施工難易の差を設計変更で反映させるべきだと思いますが、実現するのは難しいことです。
- ④ 多くの先輩の温かい指導と、同僚、後輩の仕事に対する熱意に助けられて、長短の鉄道・道路・水路トンネル施設を各地に残すことができたことを誇りに思っています。

最後に、この寄稿に際して、当時国鉄担当助役であった戸田様に貴重な資料を提供していただいたこと、『恵那山トンネル工事誌』(日本道路公団)を参考にさせていただいたことに深く感謝の意を表します。

**計 画**

**駅部大断面 NATM を隣接トンネル実績を活用して計画**

**— 仙台市高速鉄道東西線 亀岡トンネル —**

鉄道・運輸機構東京支社仙台鉄道建設所主任 今井正樹  
 鉄道・運輸機構東京支社仙台鉄道建設所所長 東 優  
 奥村・不動テトラ・熱海特定建設工事共同企業体現場代理人 山田亮志  
 応用地質(株)東北支社グループマネージャー 鶴原敬久

**1 はじめに**

仙台市高速鉄道東西線(以下、「仙台東西線」)は、仙台市の交通渋滞の緩和および都心部へのアクセス向上を目的とした地下鉄路線である。この路線

は、市の南西部に位置する八木山動物公園付近からJR仙台駅を中心とする都心を経て、市の東部に位置する仙台市東部道路仙台東IC付近に至る延長約13.9kmの路線である。このうち、鉄道・運輸機構は、起点方の動物公園駅(駅名はすべて

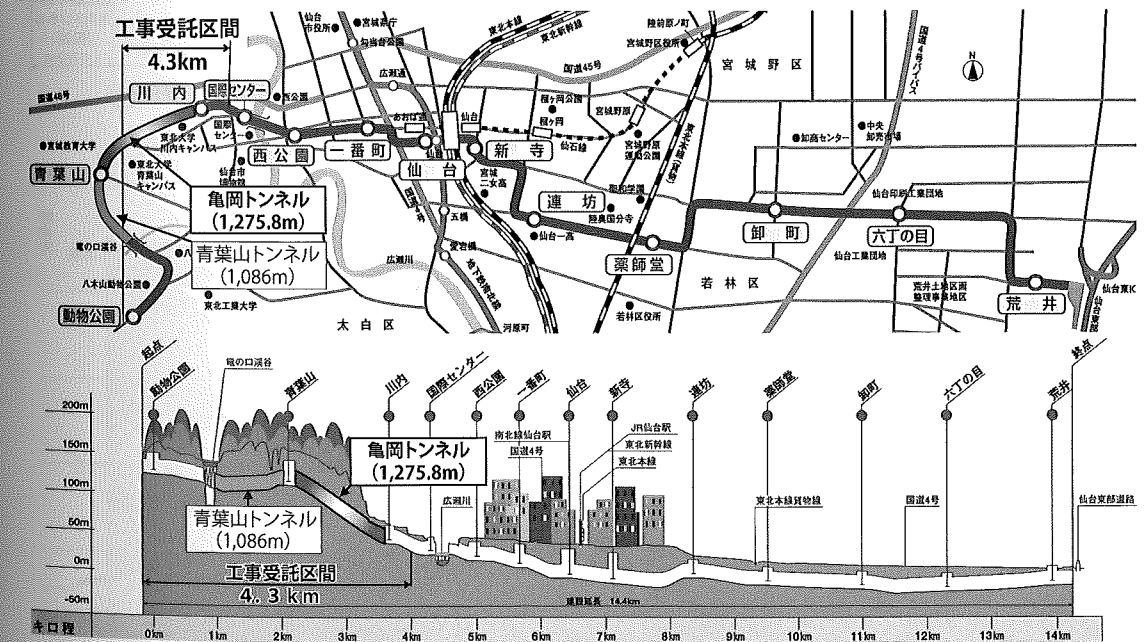


図-1 仙台市高速鉄道東西線路線図

仮称)から扇坂トンネル間の延長4.3km区間の土木工事を事業主体である仙台市から受託し、平成27年度開業に向けて鋭意施工中である(図-1)。

亀岡トンネルは、動物公園駅起点2km234m20~3km600m00間の延長1,275.8mの山岳トンネルであり、青葉山駅開削部と亀岡トンネル開削部に位置する複線断面トンネルである。青葉山駅は、経済性を考慮し、開削区間を最小限にし、図-2のように、ホームをトンネル区間まで延長していることから、トンネル断面を駅設備を含む大断面として拡大する必要がある。

図-3のように青葉山トンネルおよび亀岡トンネルは、標準断面から中間に拡幅断面を設けて2段階で断面を拡幅している。亀岡トンネルにおける当該区間の掘削工法選定にあたっては、FEM解析などを用いた検討を行った結果、安全性を確認し、施工性および経済性などが優れた「多段ベンチ工法」を採用した。

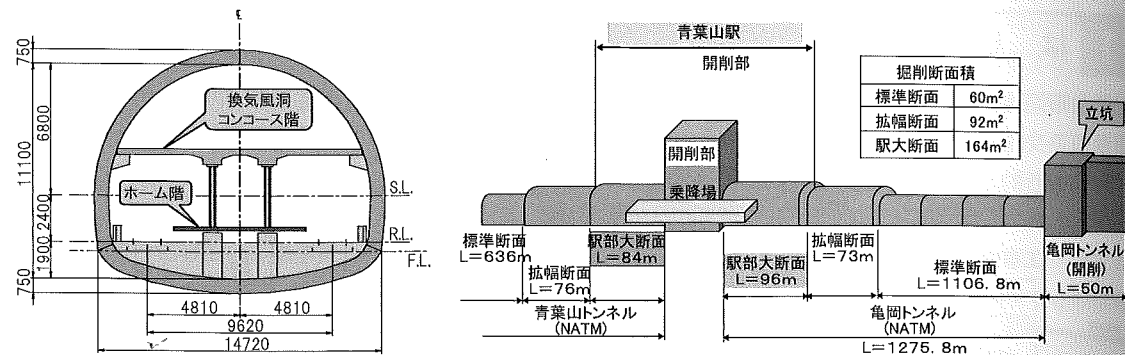


図-2 駅部大断面区間一般図

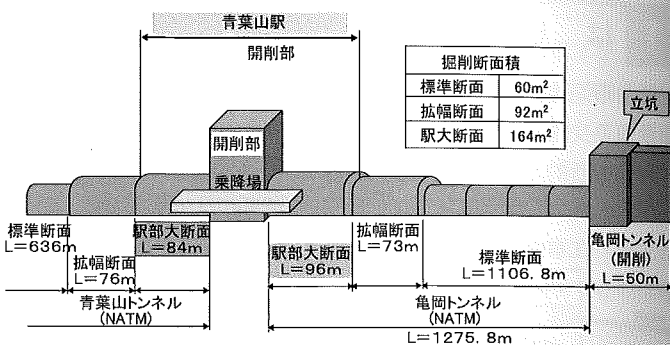


図-3 亀岡トンネルおよび青葉山トンネル略図

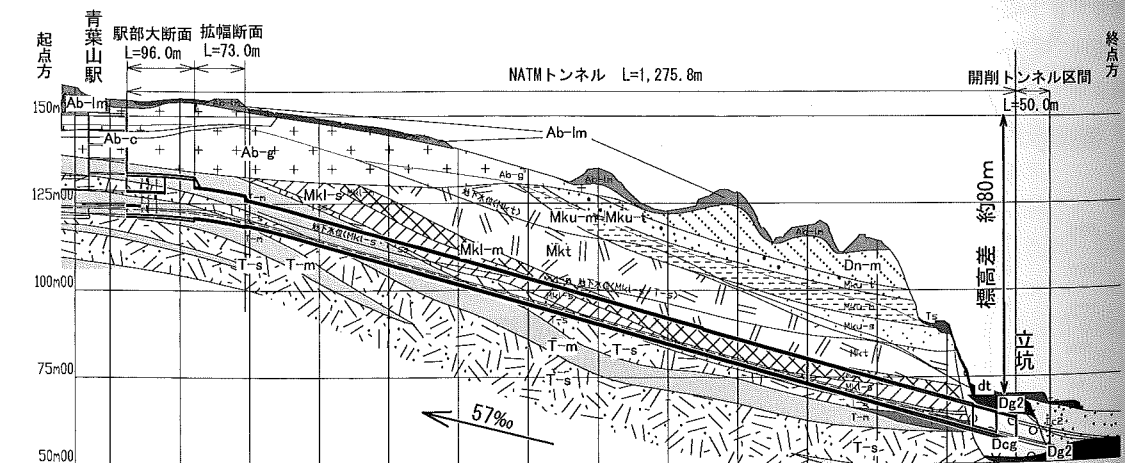


図-4 亀岡トンネル地質縦断面図

表-1 亀岡トンネル地質構成表

地質時代	地層名	記号	土質・地質名	
現世	表土・盛土	Ts	礫混じり粘土・粘土混じり礫・砂質シルト	
	崖錘堆積物	dt	砂混じり粘性土	
第四紀	段丘堆積物	第2粘性土層	Dc2 粘土・砂混じり粘土	
	第2礫質土層	Dg2	砂礫・シルト質砂礫・粘土混じり砂礫	
	礫・粘性土層	Dcg	礫砂混じり粘性土	
更新世	青葉山層	Ab-lm	ローム・砂混じり粘土	
		Ab-c	火山灰質粘性土・有機質粘土	
		Ab-g	砂礫・粘土質砂礫	
新第三紀	大年寺層	Dn-m	泥岩・シルト岩・亜炭	
	上部向山層	Mku-m	泥岩・シルト岩・凝灰質シルト岩	
		Mku-t	凝灰岩・軽石凝灰岩	
		Mku-s	砂岩・凝灰質砂岩	
	向山層	広瀬川凝灰岩部層	Mkt	軽石凝灰岩・凝灰質砂岩
	下部向山層	Mkl-m	泥岩・凝灰質シルト岩	
		Mkl-t	凝灰岩	
		Mkl-s	凝灰質砂岩・砂岩・礫岩	
	竜の口層	T-m	シルト岩・泥岩・砂質シルト岩	
		T-t	凝灰岩・砂質凝灰岩・凝灰質シルト~砂岩	
T-s		砂岩・シルト質砂岩・細粒~粗粒砂岩		

は50以上であるが、細粒砂岩の薄層および風化による劣化から、固結度およびN値が著しく低い部分がある。また、地下水位は、上部および下部向山層の層境付近に帯水層を確認している。

図-5に示すとおり、亀岡トンネルの駅部大断面区間の土かぶりは20~22mであり、地質構造は、上位より青葉山層、竜の口層から構成されている。掘削の対象となる層はすべて竜の口層である。トンネル天端と青葉山層の離隔が1~2m程度であることから、掘削中のトンネル天端に固結度の低い青葉山層が出現する可能性がある。また、当該付近の地下水位はトンネル断面のS.L.付近である。

### 3 亀岡トンネルの概要

#### 3-1 工事概要

亀岡トンネルの工事は、複線トンネルを山岳工法で施工するものである。立坑から青葉山駅の標高差が約80mであるため、縦断勾配は、57%となっている(図-4)。また、土かぶりは、7~42mである。

掘削は、トンネル終点方に立坑を設け、立坑より起点方に向けて行うこととした。立坑付近の周辺環境は、住宅地および東北大学教育施設が近接



写真-1 防音ハウス

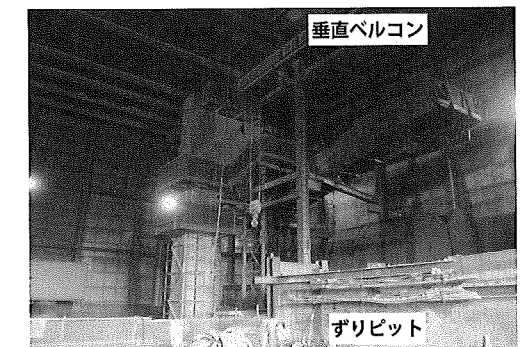


写真-2 垂直ベルコンおよびずりピット

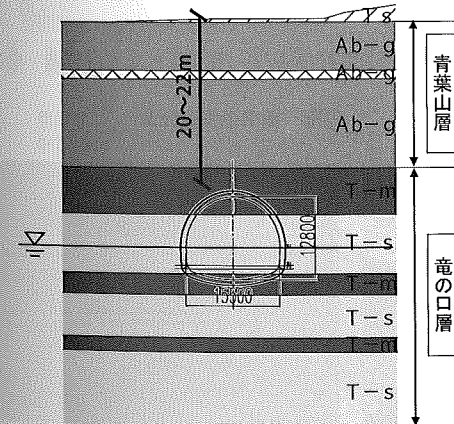


図-5 亀岡トンネル駅部大断面地質横断面図

しているため、防音ハウスを設置している(写真-1)。土砂搬出は、立坑下(GL-14m)の垂直ベルコンから地上部のずりピットに一時仮置きし、土捨場へダンプトラックで運搬している(写真-2)。

### 3-2 標準断面区間

亀岡トンネルの標準断面区間は、延長1,106.8m、

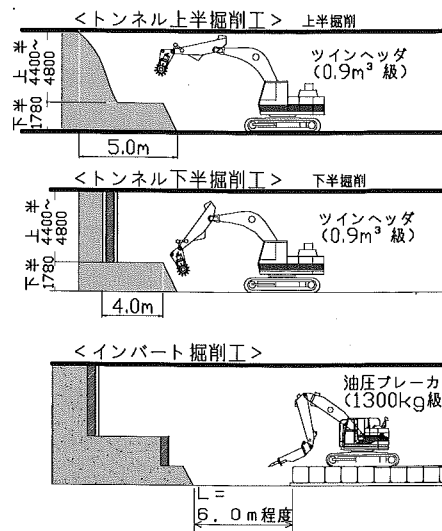


図-6 標準断面施工順序図

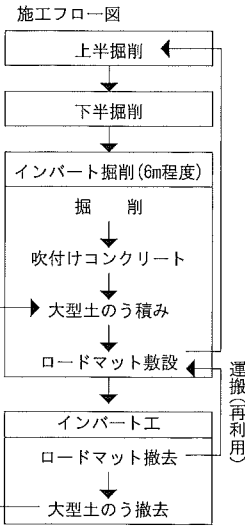


図-7 標準断面支保パターン図

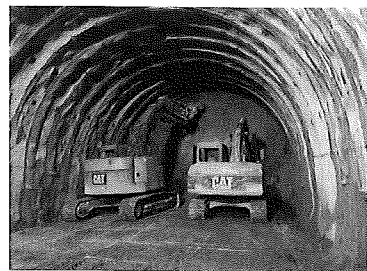


写真-3 掘削状況



写真-4 大型土のう設置状況

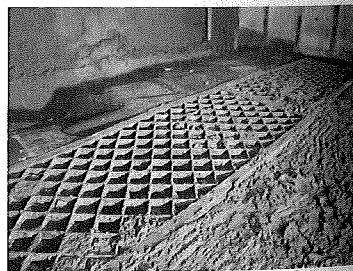


写真-5 ロードマット敷設状況

掘削断面積は、約60m<sup>2</sup>である。施工順序は、図-6のとおりであり、掘削工法は、ミニベンチ工法(ベンチ長4~5m)で、標準支保パターンを図-7および表-2に示す。

施工においては、57%の急勾配と地質から、重機の安全性の確保および泥濘化防止対策として、

先行してインバートを掘削し、排水処理を行い、大型土のうによる仮埋戻しを行っている。また、標準断面区間の代表的な計測Aの結果を図-8に示すが、その傾向につ

表-2 標準断面掘削支保構成図

ロックボルト	アーチ	長さ	3m×6本
	側壁	長さ×本数	3m×4本
吹付けコンクリート	アーチ・側壁	縦断間隔	1.0m
	鋼製支保工	アーチ・側壁	125H

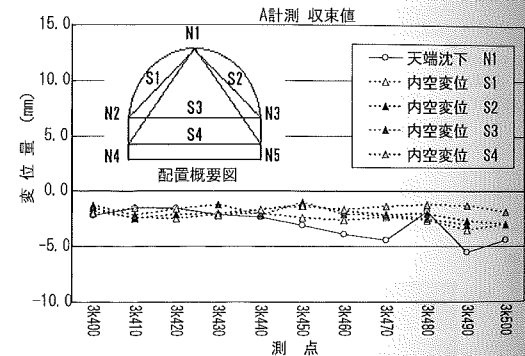


図-8 標準断面A計測

いては、天端沈下量が6mm未満、内空変位量が4mm未満であった。施工状況写真を写真-3~5に示す。

## 4 青葉山トンネルの施工結果

駅部大断面の青葉山トンネルの地質条件を図-9に示す。地質は、亀岡トンネルと類似している。

先行して掘削を完了した青葉山トンネルの駅部大断面区間の施工方法は、図-10に示すように中壁分割工法にて、①先進坑上半~⑥インバートの施工順序で掘削し、青葉山駅に到達した。その支保パターンは表-3に示すとおりである。

図-11に駅部大断面区間の計測Aの結果を示す。変位は、天端沈下量が約12mm、内空変位量で約9mmであった。

表-3 青葉山トンネル駅部大断面区間掘削支保構成

ロックボルト	配置	アーチ・側壁(中壁)
	長さ(m)×本数(本)	4×19 (FRP 3×5)
吹付けコンクリート	縦断間隔(m)	1.0
	アーチ・側壁(cm)	5.0(一次)+17.5(二次)=22.5
鋼製支保工	中壁(cm)	5.0(一次)+12.5(二次)=17.5
	アーチ・側壁	175H
	中壁	125H

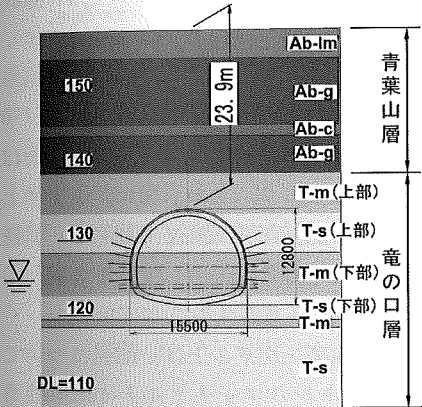


図-9 青葉山トンネル駅部大断面地質横断面図

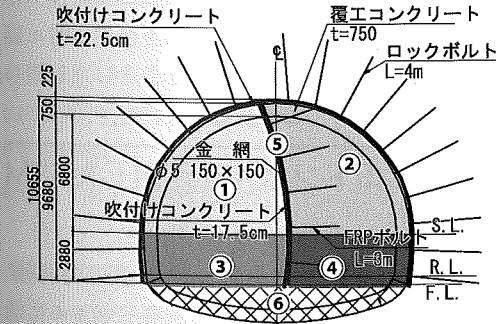


図-10 青葉山トンネル駅部大断面支保パターン

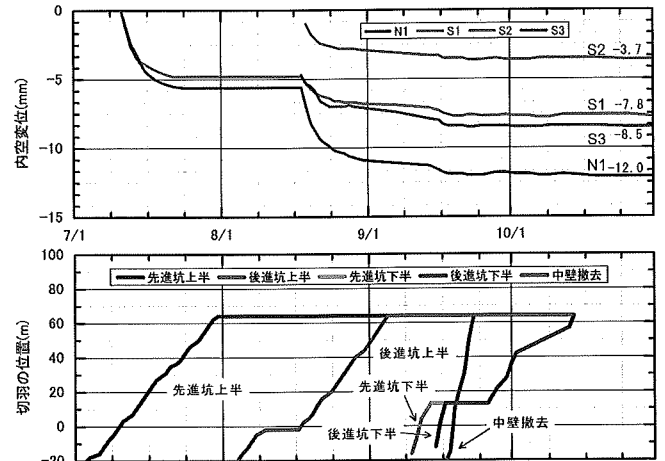


図-11 青葉山トンネル駅部大断面A計測結果

## 5 亀岡トンネル駅部大断面施工計画

亀岡トンネルの駅部大断面区間の施工方法を選定するにあたり、駅部の地質状況および青葉山トンネルの実績を踏まえ、各種施工方法を検討した。本稿では、この中から、中壁分割工法および多段ベンチ工法の2案について検討した。この結果を表-4に示す。

評価項目のうち、「安全性」については、中壁分割工法は、掘削断面積を分割し、トンネル周辺地山の緩みによる変位を抑制できるため、安全性を確保でき、加背割りが小さく、また断面形状も良いことから、地山変形時に速やかな対応が容易となる。一方の多段ベンチ工法は、上半上段掘削時に扁平となるが、上半上段・上半下段をミニベンチ方式とすることで、前述の青葉山トンネルの実績からも地山の緩みを極力抑えることが可能と考えられる。

「施工性」について、中壁分割工法は、上半での施工基面幅がやや狭いため、掘削および出し機の入替えが生じる。

一方の多段ベンチ工法は、単一切羽のため、施工基面幅が広く掘削および出し機の併用が可能である。「工期」について、中壁分割工法は、中壁撤去に時間を要するが、多段ベンチ工法は、施工性が良好であり優位となる。「経済性」について、中壁分割工法は、中壁支保工の設置・撤去費があるぶん、多段ベンチ工法が経済的である。

施工方法は、これらの各項目を比較検討し、「総合評価」として、解析にて安全性を確認のうえ、「施工性」「経済性」に優れた多段ベンチ工法を採用することとした。なお、掘削ピッチは1.0m間隔とし、掘削パターンは、図-12および表-5に示すとおりとした。

表-4 駅部大断面区間掘削工法比較表

項目	中壁分割工法	多段ベンチ工法
① 安全性	◎	○
② 施工性	○	◎
③ 工期	○	◎
④ 経済性	○	◎
⑤ 総合評価	○	◎

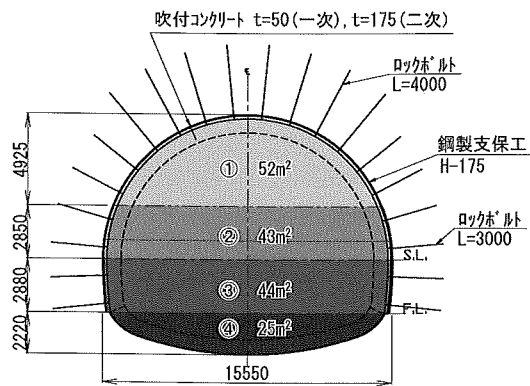


図-12 支保パターンおよび施工順序

表-5 駅部大断面掘削支保構成

ロックボルト	配置		アーチ・側壁
	長さ	本数	
①上半上段	長さ×本数	4m×8本	4m×8本
		3m×4本	
		3m×4本	
②上半下段			
③下半			
縦断間隔			1.0m
吹付けコンクリート	アーチ・側壁	5.0cm(一次)+17.5cm(二次)=22.5cm	
鋼製支保工	アーチ・側壁	175H	

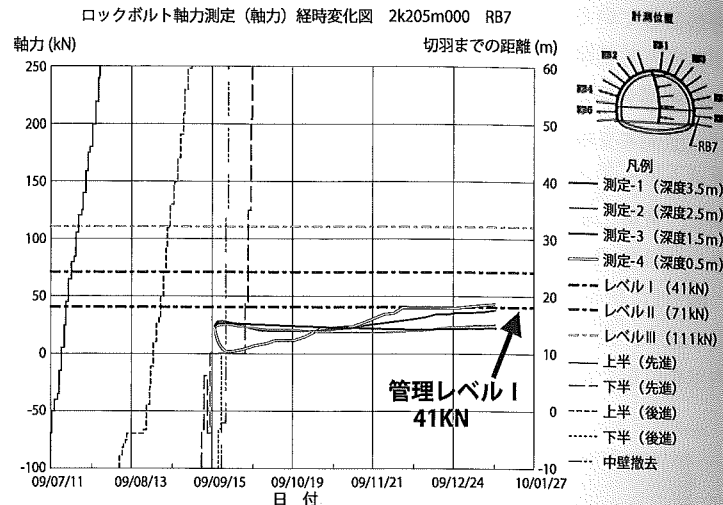


図-13 青葉山トンネルロックボルト軸力経時変化図

多段ベンチ工法の施工順序については、図-12の①～④に示したとおり、上から順に、①上半上段、②上半下段を開削部到達点まで掘削し、引き続き同様に下半を到達点まで掘削して、その後、④インバートを掘削する順序としている。

亀岡トンネルのロックボルトは、側壁については、青葉山トンネルのロックボルト4mの軸力(図-13)が管理レベルI(41kN)程度であったことから、3mに変更した。また、天端部4mのロックボルト(8本)については、上半上段掘削時に扁平な加背になるため、緩みが生じやすいと判断し、吊下げ効果を期待して4mとしている。

## 6 青葉山トンネルを活用したFEM解析

6-1 青葉山トンネルの地山物性値の再評価  
青葉山トンネルの計測結果を亀岡トンネルに活用するため、青葉山トンネルの地山物性値などの

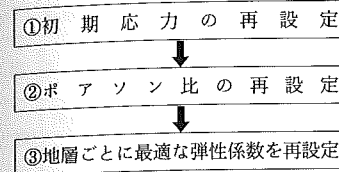


図-14 青葉山トンネル地山物性値の再評価の手順

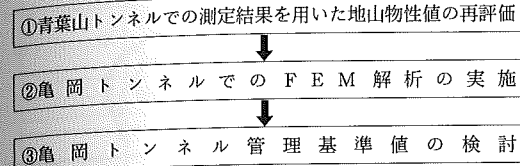


図-15 検討手順

再評価を行った。

この結果にもとづき亀岡トンネルでFEM解析を行い、支保の合理性や管理基準値などを検討することとした。再評価の手順は、地山の挙動を再現するために青葉山トンネルの地中変位計測結果を用いて、図-14に示す3項目について再評価を実施した。

また、それをもとにした亀岡トンネルにおける検討手順を図-15に示す。

### 6-1-1 初期応力の設定 側圧係数K

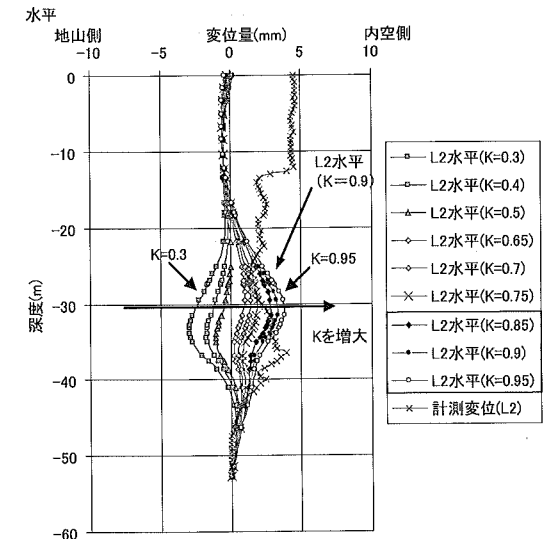
側圧係数Kの手順は、

- ① ポアソン比 $\nu=0.3$ (一般値)と設定
- ②  $\sigma_x = K\sigma_y$ (鉛直方向応力 $\sigma_y$ は土かぶり荷重から決定されると仮定し、水平方向応力 $\sigma_x$ の値を変化させる)
- ③  $\sigma_x$ の計算から、側圧係数Kを決定とした。

図-16, 17から側圧係数Kの値が増大するにつれ、水平変位は内空側へシフトし、実測値と同様の変形モードとなり、また鉛直変位は、Kの値の影響を受けないことが判明したことから、 $K=0.85\sim 0.95$ 間で内空側に凸の変形モードの中央値である0.9を採用した。

### 6-1-2 ポアソン比の設定

ポアソン比の変化による水平・鉛直変位の挙動を把握するため、側圧係数を0.9として全層均質モデルで線形弾性解析を実施した。図-18, 19は、ポアソン比を0.1～0.4の間で変化させたときの水



Kを増大させると内空側に変位する(地山側と内空側の変形モードの変化する境界は $K=0.5\sim 0.65$ 付近)

図-16 L2初期応力の側圧係数(水平)

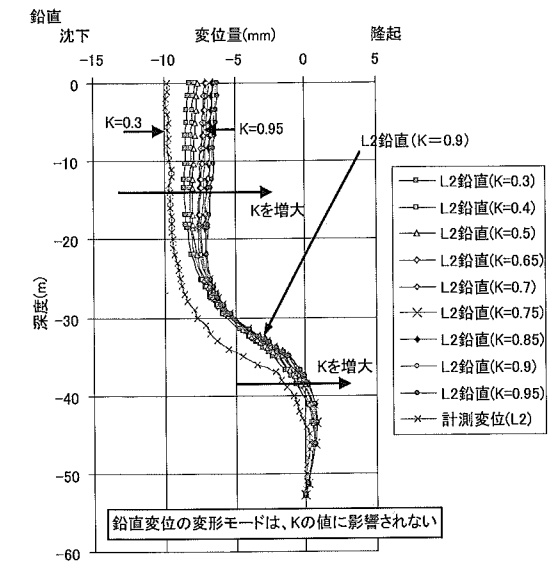


図-17 L2初期応力の側圧係数(鉛直)

平・鉛直変位の挙動である。

これより、ポアソン比の値に伴う変形モードは変化がないことから、ポアソン比については標準的な岩の場合 $\nu=0.3$ とし、土砂の場合 $\nu=0.35$ とした。

### 6-1-3 最適な弾性係数を設定

弾性係数の設定は、側圧係数 $K=0.9$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ (岩石)、 $\nu=0.35$ (土砂)を固定条件とし、

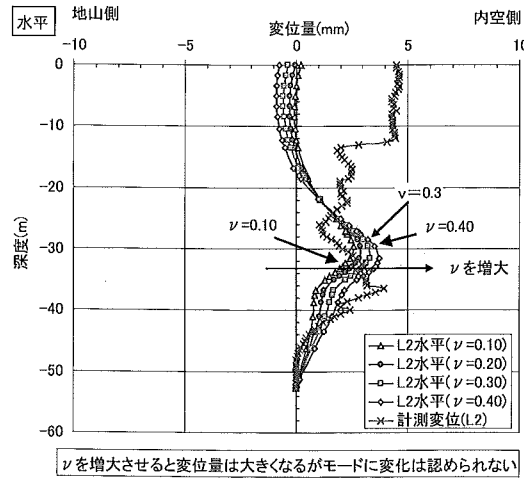


図-18 L2 ポアソン比(水平)

地山の変位をもっともよく再現する弾性係数を最小2乗法に用いて算出した。全体的に再評価で得られた物性値が0.7~4.5倍程度となった。再評価の結果が、エラスト試験( $E_0$ :初期弾性係数)とエラスト試験( $E_1$ :くり返し時の弾性係数)の間にあるので、再評価の結果は妥当性が高いといえる。その結果を表-6に示す。

6-2 亀岡トンネル多段ベンチ FEM解析

亀岡トンネルの解析条件は、緩み領域を考慮するために、非線形弾性解析とした。なお、弾性領域のパラメーターは、青葉山トンネルの再評価値を採用し、非弾性領域のパラメーターについては、一般値を採用した。青葉山トンネルの再評価結果から、初期応力の側圧係数 $K=0.9$ とし、ポアソン比は、岩石 $\nu=0.3$ 、土砂 $\nu=0.35$ として、表-6の地山物性値を使用した。

また、解析断面は図-20とし、境界条件を側方は5D、下方は3DとしてFEM解析を実施した。

その結果を表-7に示す。

表-6 弾性係数の再設定

番号	地質	記号	再評価結果	エラスト試験	エラスト試験
			$E$ (再評価)	平均	平均
①	砂礫	Ab-gr	268	36.3	535
②	砂岩・泥岩互層	Ta-al	375	167	650
③	泥岩	Ta-ms(上)	535	159.95	927
④	砂岩	Ta-ss	294	-	-
⑤	泥岩	Ta-ms(下)	203	-	-
⑥	砂岩	Ta-ss(上)	268	122.75	977.5
		Ta-ss(中)	348		
		Ta-ss(下)	480		
⑦	凝灰岩	Ta-tf(中)	830	373.5	1,219
⑧	砂岩	Ta-ss	722	-	-

単位: MN/m<sup>2</sup>

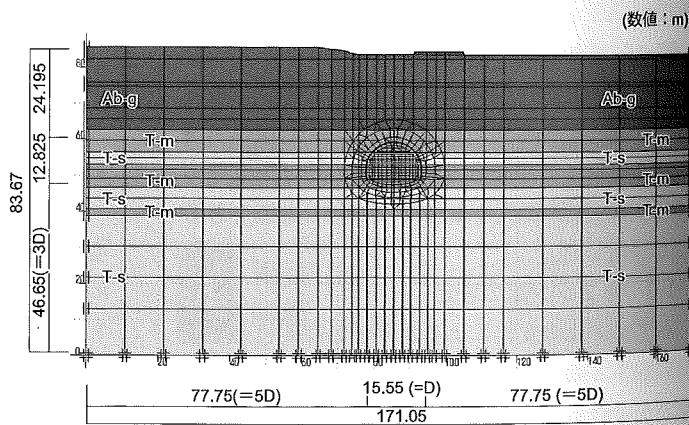


図-20 解析断面図

表-7 多段ベンチ工法のFEM解析予測値

施工段階	天端沈下量予測値 (mm)		内空変位量予測値 (mm)	
	掘削	支保	掘削	支保
①上半上段	掘削	8	0	
	支保	17	4	
②上半下段	掘削	18	4	
	支保	19	5	
③下半	掘削	19	10	
	支保	19	21	
④インバート	掘削	18	24	

表-8 駅部大断面区間の掘削管理基準値

項目	管理レベル	駅部大断面
天端沈下量	I	10mm
	II	15mm
	III	20mm
内空変位量	I	20mm
	II	30mm
	III	40mm

7 管理基準値の設定

駅部大断面における天端沈下量および内空変位量に関する掘削管理基準値は、『山岳トンネル設計施工標準・同解説』<sup>1)</sup>にもとづくとともに、青葉山トンネルの実績を活用するために、物性値などの再評価を行い、多段ベンチ工法のFEM解析の予測値(表-7)を用いて、青葉山トンネルでの解析値と施工結果との補正を行い設定した。管理基準値を表-8に示す。

管理は、計測開始となる上半上段支保工建込み以降の変位量で行うことから、FEM解析における最大天端沈下量約18mmから、先行変位量および上半上段支保工設置までの計測遅れ分として、上半掘削時の天端沈下量約8mmを差引いた値(18mm-8mm=10mm)を管理レベルIとした。内空変位量についても同様にFEM解析から(24mm-4mm=20mm)を管理レベルIとした。

なお、これらの管理基準値は、今後の掘削状況を検証しながら、必要に応じて補正することを考えている。

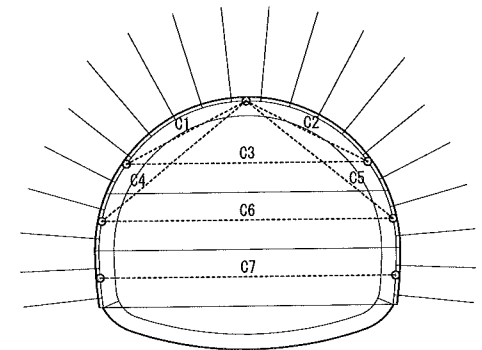


図-21 駅部大断面A計測ターゲット位置図

8 駅部大断面区間の計測計画

8-1 内空変位測定

駅部大断面区間における天端沈下量および内空変位量(以下、「計測A」)については、前述のとおり、多段ベンチ工法の掘削段階ごとに逐次監視し、初期値からの累積変位量を把握することを考慮し、図-21に示すようなターゲットを10m間隔で設置して管理することとした。

8-2 地表面沈下・地中変位測定

地表面沈下測定、地中変位測定(坑外)および地中傾斜測定位置を図-22, 23に示す。測定は、標準断面から行い、拡幅断面および駅部大断面区間で線路方向に、10m間隔で沈下を測定することとしている。また、線路直角方向における地中変位測

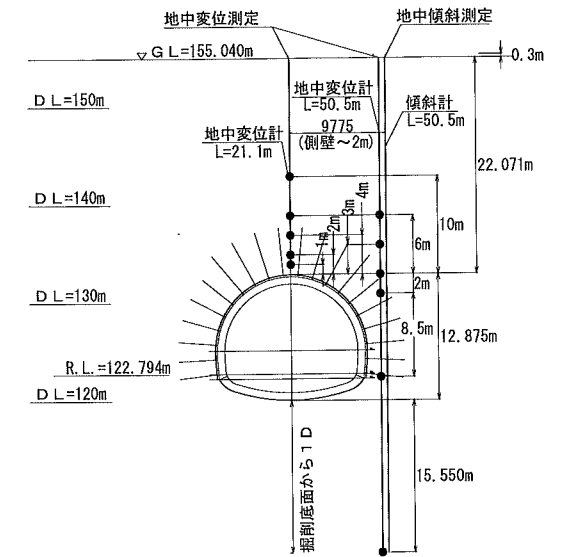


図-22 地中変位測定および地中傾斜測定の位置

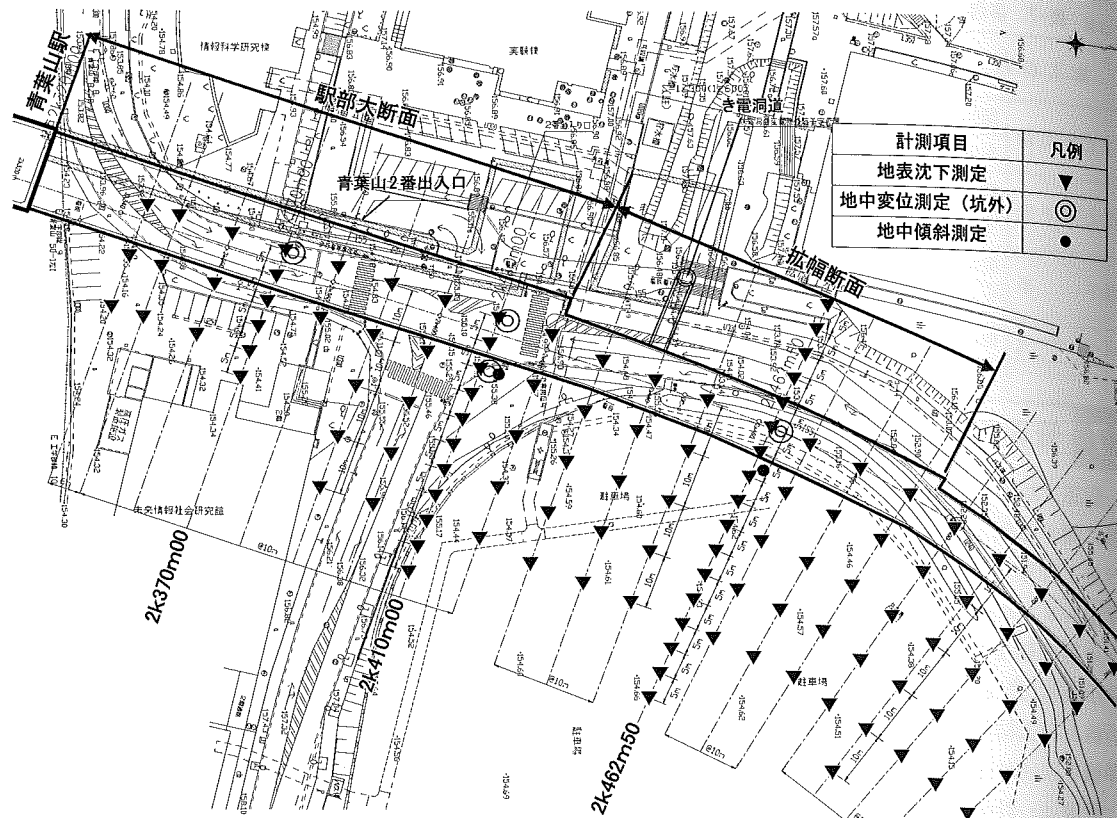
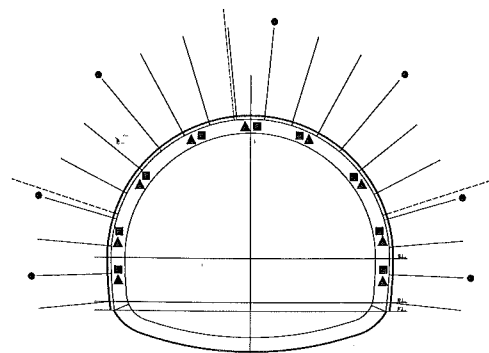


図-23 地表面沈下などの計測配置図



計測項目	凡例
ロックボルト軸力測定	●
吹付けコンクリート応力測定	▲
鋼製支保工応力測定	■
地中変位測定(坑内)	○

図-24 検証断面における計測B配置図

定箇所については、より綿密なデータを採取するために5m間隔とし、それ以外は10m間隔と計画した。

### 8-3 支保部材などの応力測定

駅部大断面区間において、掘削による地山挙動および各支保部材応力を把握し、大断面掘削の安全性を検証するため、地中変位測定(坑内)および支保部材応力測定を行うこととした。図-23, 24に検証断面(3断面: 2km370m, 2km410m, 2km462m50)における位置および計測項目を示す。

## 9 おわりに

駅部大断面区間の掘削は、今後開始する予定であり、青葉山トンネルの実績を踏まえ、坑内計測や地表面沈下測定などの計測結果を施工にフィードバックしながら、安全に施工したいと考えている。

本トンネルの施工計画を進めていくにあたり、朝倉俊弘委員長(京都大学大学院教授)をはじめとした仙台地下鉄東西線トンネル技術検討会の皆様、仙台市交通局をはじめとした各関係者の皆様からの多大なるご指導・ご協力に対し、深甚なる謝意

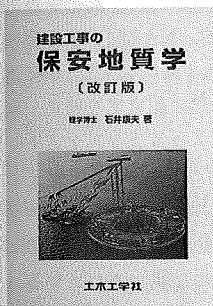
を表す次第である。

## 参考文献

1) 鉄道・運輸機構: 山岳トンネル設計施工標準・同解説。

2) 本堂亮・東優・浅川敏郎・鶴原敬久: 駅部大断面トンネルを中壁分割工法で施工, 仙台市高速鉄道東西線 青葉山トンネル, トンネルと地下, Vol.40, No. 10, pp.43-51, 2009.10.

ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!



## 建設工事の 保安地質学 (改訂版)

理学博士 石井康夫 著

A 5判 上製本 475頁 価格6,300円 円340円

本書は、多くの人が『地質の知識を通して、安全を守る』という点の理解を深めることを目的とし、安全教育の資料、あるいは災害時に直接役立つように各種のエピソードや適用法規まで加えた他の技術専門書とは異なったタイプのユニークな地質専門書である。

### 《主要目次》

一般地質編	保安地質編
第1章 宇宙とわれらの地球	第11章 酸素欠乏症等
第2章 地球の構造	第12章 有害ガス
第3章 地殻の変遷	第13章 ガス爆発
第4章 日本列島の地質	第14章 落盤と肌落ち
第5章 岩石	第15章 トンネル湧水
第6章 鉱床	第16章 地盤沈下と地盤陥没
第7章 地震	第17章 斜面とのり面の崩壊
第8章 地下室と温泉	第18章 発破
第9章 重要な地形と地質構造	
第10章 地質調査法	

株式会社 土木工学社

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



# 「マレー半島の分水嶺を貫く」クアラルンプールより

河田 孝志

マレーシアは日本の国土の90%の面積を有し、人口は2,831万人、マレー系(66%)、中国系(26%)、インド系(8%)で構成される多民族国家である。13州と3連邦直轄領からなり、9州に首長(スルタン)が存在し、任期5年で輪番制によりマレーシア国王が交代する。公用語はマレー語であるが、イギリス植民地時代の英語も広く使用されており、マレーシア語とともに各民族間の共通語の役割を担っている。首都クアラルンプールは高層ビルが立ち並ぶ東南アジアで有数の近代都市で、1998年に完成した高さ452mの88階建てツインタワーは日本のハザマと韓国のサムソンが建設し、観光の名所となっている。

パハンセラゴール導水トンネルプロジェクトは、JICAが75%出資する円借款工事である。マレーシアの首都クアラルンプール(セラゴール州)の生活・工業用水を確保するため、隣接するパハン州より189万m<sup>3</sup>/日の導水能力を持つ、延長44.6km、直径5.2mの導水トンネルを清水建設・西松建設・UEMB・IJM JVで建設するものである。

昨年4月に開催された当プロジェクトの起工式には、パハン州のスルタンがご出席された。起工式の最後の催しとして、地元住民がスルタンに地元の特産物を献上し、握手をしてもらっている姿を垣間見させていただき、今の日本には見られないほのぼのとした情景と感じた。私の週末の楽しみはゴルフであるが、ゴルフ場においても、パハン州、セラゴール州のスルタン、マレーシア国王をお見かけすることがある。さすがに国王がプレーされる際は、護衛が十数名付いており、私の同伴者が国王の組に打ち込んだときには護衛がすっ飛んできた。

物価は日本の1/3から半分、ガソリンが48円/ℓ、



位置図



起工式において地元住民がパハン州スルタンへ名産品を献上。トンネル坑夫の月給は10万円/月、輸入自動車は関税が掛かるため、日本の倍近い値段である。現場は130名のスタッフと800名の作業員からなり、TBM 3工区(34.4km)、NATM 4工区(9.3km)、開削 1工区(0.9km)を施工する。2009年6月に着工、工用道路5工区(15.9km)、作業トンネル4工区の施工を進め、現在本坑TBM 3本のうち2本、NATM 4本の掘削を行っている。2月には引き続き最後のTBMが発進の予定で、坑外にてマシン本体部の組立てを終え、現在作業坑を移送中である。トンネルエンジニアとトンネル坑夫の半数は清水建設がインドネシアで施工したMUSI水力発電所の経験者で、私は11年ぶりに再会したが、彼らの日本の坑夫と遜色のない技量、ものづくりに対するこだわり、責任感には驚かされている。

当プロジェクトの地質は9割以上が花崗岩で、TBM掘削箇所ではマレー半島の分水嶺を貫き、最大土かぶり1,200m以上となる。トンネル掘削開始からちょうど1年、5kmの掘削を完了したところである。NATM施工において、2t/minの突発湧水、地層境における2度の崩落を経験した。昨年8月にはNATM発破工法において、日本記録を上回る月進283mを記録した。現在は初期掘進中であるが、今後TBM掘進においても月進1,000mを目指す。

世界中の民族(15か国)が集うこのプロジェクトにおいて、皆が一体感を持って、マレーの地から、日本へそして世界へ発信できるトンネル技術を目指して、無事故・無災害でものづくりに取り組む所存である。(清水・西松・UEMB・IJM JVパハンセラゴール導水トンネル建設所所長)

## 研究

# エレメント推進工法における緩み土圧算定方法の提案

(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部(トンネル)副主任研究員 仲山 貴司  
(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部(トンネル)主任研究員 岡野 法之

### 1 はじめに

近年、踏切による交通渋滞の解消などを目的として、鉄道に対する立体交差化事業が増加している。これらのうち、線路に対してアンダーパスで立体交差を行う場合には「函体推進・けん引工法」と「エレメント推進・けん引工法」と称される非開削のトンネル施工法が数多く採用されている。これらの工法の採用数が増加した理由には、ほかのトンネルの施工方法と比較して周辺地盤の変位・変形を小さく抑えられることや、施工に要する工期が短いことなどが理由として挙げられる。

「函体推進・けん引工法」とは、箱形ルーフやエレメントなどで防護を行ったうえで目的とするトンネルを一度に推進・けん引する工法である。これに対して、本研究で対象とする「エレメント推進・けん引工法(以下、「本工法」と記す)」とは、図-1に示すとおり、小断面の「エレメント」

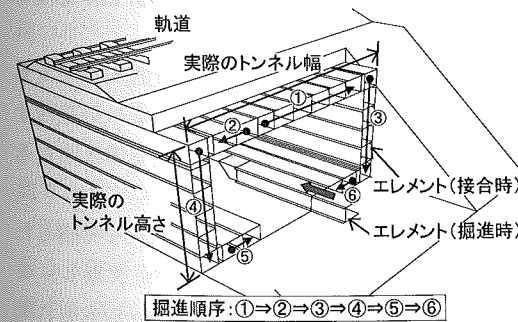


図-1 エレメント推進・けん引工法の例

を連続的に推進・けん引、接合させて、さらに、それらエレメントで閉合された空間を掘削することにより、トンネルを構築する工法である。

エレメントの連続推進・けん引は一般的に図に示すように上床版、側壁、下床版の順で行われる。また、トンネル形状は四角形のほか円形、門形などを用途に応じて選択することができる。

本工法は、安全面、経済面の利点に加えて、トンネル形状が自由に選択できることから、現在では、地下深い箇所での非開削による駅部の建設などへの適用も検討されつつある。

しかし、これまで土かぶりの小さい場所で採用されてきたため、現行の設計図書<sup>1),2)</sup>では、設計土圧として、土かぶりの小さい場合や開削工法で適用される「全土かぶり圧」のみを示しており、土かぶりの大きい箇所の施工では過大に安全側、すなわち不経済となる可能性がある。これに対して、シールドトンネルなどでは「緩み土圧」が設計土圧として採用されているが、本工法では連続推進・けん引による土中の応力再配分がくり返し発生するため、適用できるか明らかではなかった。

そこで、著者らは本工法の土かぶりの大きい箇所での設計土圧の算定方法を提案することを目的として、模型実験や数値解析などを実施している。本稿では、このうち、模型実験で得られた知見より提案したエレメントの連続推進・けん引により発生するエレメントの土圧の算定方法について示す。

## 2 現行の設計土圧の算定方法

トンネルを設計するための土圧の算定方法は、これまでも国内外を通して数多くの研究が進められてきた。日本の鉄道における設計土圧の算定方法は、開削トンネル、シールドトンネル、都市部山岳工法トンネルごとに『鉄道構造物等設計標準・同解説』に記載されている。このうち、シールドトンネルや都市部山岳工法トンネルでは、土かぶり高が小さい場合には全土かぶり圧(図-2(a))を、土かぶりの大きい場合には緩み土圧(図-2(b))を設計土圧とするのが基本である。

例えば、シールドトンネルでは、中位より良好な砂質土と粘性土で、土かぶりがトンネル掘削外径より大きい場合に緩み土圧が選択される<sup>3)</sup>。

緩み土圧の算定方法には、設計でもっとも広く用いられている Terzaghi の土圧理論による方法のほか、理論解による方法だけでも Culmann の土圧理論、や Protodyakonov の土圧理論による方法などさまざまなものが提案されている<sup>4)</sup>。

Terzaghi の土圧理論は、土中の応力再配分の際に発生するせん断抵抗により土圧が低減するとして、極限平衡論から緩み土圧を求めるものである((1)式)。

$$q = \frac{\gamma \cdot B(1-c/B)}{K \tan \phi} \cdot (1 - e^{-K \cdot \tan \phi \cdot H/B}) \quad (1)$$

ここで、 $q$ : 単位幅あたりの緩み土圧、 $H$ : 土かぶり高さ、 $B$ : 緩み土圧が作用する幅、 $K$ : 水平、鉛直土圧の比(通常 $K=1$ )、 $\phi$ : 土の内部摩擦角、 $c$ : 土の粘着力、 $\gamma$ : 土の単位重量。

また、Protodyakonov の土圧理論とは、掘削時に発生するグラウンドアーチに沿う圧縮応力のみで平衡が保たれると仮定して、グラウンドアーチ内の土塊重量を緩み土圧とする方法である(式(2))。

$$q = \frac{1}{3} \cdot \gamma \cdot \frac{B}{f} \quad (2)$$

ここで、 $f = \tan \phi + C/\delta$ : protodyakonov 指数、 $\phi$ : 内部摩擦角、 $c$ : 粘着力、 $\delta c$ : 一軸圧縮強度  
これらの式からもわかるように同一地盤であ

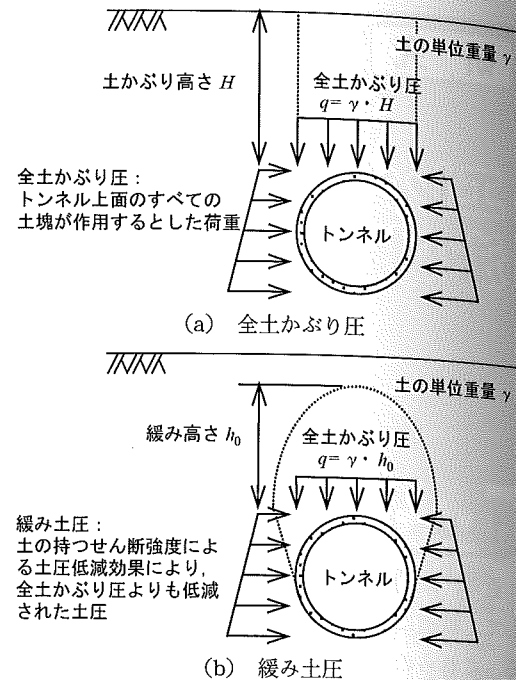


図-2 トンネルに作用する土圧の考え方<sup>5)</sup>

ば、緩み土圧は作用する幅  $B$  に支配される。また、図-2(b)で描いたように、緩み土圧は基準となる幅の上部にアーチを描いて模式的に表現される場合が多い。

本工法はシールドトンネルと適用される地盤条件とほぼ同じ条件で施工されるため、同様に土かぶりの大きい場所では緩み土圧を採用できる可能性がある。しかしながら、緩み土圧理論が、静止土圧状態にある一つのトンネルの掘削に対する算定方法であるのに対して、本工法においては、これは最初に掘進される一つのエレメントにあたり、実際の設計は各エレメントの連続掘進(けん引)、接合後の完成断面に作用する土圧の評価が必要となる。

このような連続する掘進の緩み土圧を対象とした既往の研究には、双設トンネル(2つの並行するトンネル)の緩み土圧の算定方法を検証したものがあ

る。数値解析手法としては、ひずみ軟化を考慮した有限要素解析や個別要素法がある<sup>6)</sup>。ただし、これらの解析手法を用いるためには構成則や流れ則などに対して深い知識が必要であり、一般の設計

者が汎用的に使用できる状況にはない。また、理論解を導いた手法としては、Terzaghiの土圧理論を拡張して解いた菊本らの方法<sup>7)</sup>がある。これは、隣接するトンネルの中間の地山での拘束圧の低下を考慮して緩み土圧を算定するものである。この理論解を導いた手法は側方土圧係数の低減量を未知数として持つため、降下床実験(落とし戸実験)との比較からこの未知数を導く必要がある。

本研究では、菊本らの手法を参考しつつ、まず、エレメントが各々推進・けん引されたときに順次生じていく緩み土圧の分布形状を落とし戸実験により再現した。さらに、その結果にもとづいて、数値解析を用いることなく、通常の現場で取得することが可能なパラメータのみで、本工法に対して簡便に利用できる土圧の算定方法を検討した。

## 3 模型実験

### 3-1 実験概要

トンネル掘削により生じる緩み土圧の発生状況を室内実験レベルで再現するためには、古くから「落とし戸実験」と呼ばれる実験が行われてきた<sup>8)</sup>。落とし戸実験とは、土槽の地盤内に落とし戸(降下床、浮戸とも呼ばれる)を設け、トンネル掘進による土中の応力再配分を落とし戸の降下で表現するものである(図-3)。また、トンネル切羽安定性評価のため側方の引き戸を引抜く実験<sup>9)</sup>なども実施されている。

これらを踏まえて、本研究では、本工法の特徴である上床版から側壁にかけての連続掘進を表現できるように落とし戸を組み合わせた実験装置を用いた。

### 3-2 実験方法

実験には図-4に示す落とし戸実験装置を使用し、装置の中央下部には落とし戸装置を2種類設置できるようにした。

図-4(a)に示す落とし戸装置 I は本工法の上床版から側壁にわたる片側の連続掘進・けん引を模擬できるように幅100mmの落とし戸を上面に3枚、引き戸を側面に2枚設置したものである。これに

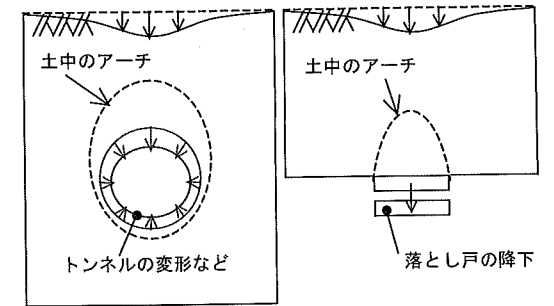


図-3 トンネル掘削と落とし戸実験

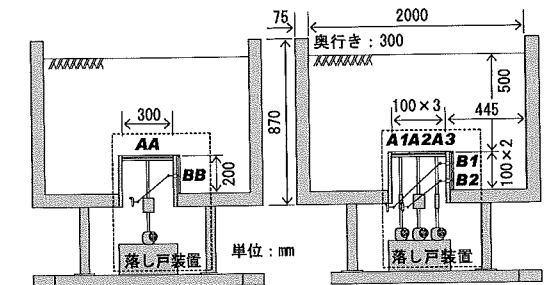


図-4 落とし戸実験装置

表-1 実験ケース

Case	落とし戸装置	地盤重量 (kN/m <sup>3</sup> )	落とし戸・引き戸の降下手順
1	I	15.3	AA⇒BB
2	II	15.1	A1⇒A2⇒A3⇒B1⇒B2

対して図-4(b)に示す落とし戸装置 II は上床版から側壁に移る際の連続掘進・けん引のみを模擬したものであり、上面は300mmの落とし戸、側面は200mmの引き戸を各1枚設置した。また、各々の落とし戸にはロードセルを設置して、落とし戸に作用する土圧を計測できるようにしている。

なお、土槽壁面と地盤の摩擦低減のため接触面にはガラスコーティングを施し、落とし戸装置隅角部にある落とし戸の支持部材には、荷重が集中しないよう低弾性のゴム板を設置した。以降では図-4に示すように、落とし戸装置 I は上面の落とし戸をA1, A2, A3、側面の引き戸をB1, B2と呼び、また、落とし戸装置 II は上面の落とし戸をAA、側面の引き戸をBBと呼ぶ。

地盤の作成には気中乾燥の浜岡砂( $\phi=34.5^\circ$ ,  $c=0$  MPa,  $\rho_s=24.5$  kN/m<sup>3</sup>)を使用し、空中落下に

より単位重量 $15\text{kN/m}^3$ を目標として締め固めた。本稿では、図-1の①から③に移る一方向の連続掘進を表現した表-1の2ケースを示す。なお、どちらのケースでも土かぶりは $500\text{mm}$ とし、落とし戸は $0.1\text{mm/分}$ で $6\text{mm}$ まで降下させた。

### 3-3 実験結果と考察

#### (1) Case 1

図-5には、落とし戸AA・引き戸BBに作用した土圧を示す。

実験の結果、落とし戸AAの降下時は、落とし戸AAに作用する土圧は大きく減少するが、引き戸BBに作用する土圧はほぼ変化してない。また、引き戸BBの引抜き時には、引き戸BBに作用する土圧は大きく減少し、落とし戸AAに作用する土圧は増加した。

#### (2) Case 2

図-6には、落とし戸A1~A3に作用した土圧を示す。実験の結果、Case 1と同様に自身の降下に伴い落とし戸に作用する土圧が大きく減少し、後続する落とし戸・引き戸を降下・引抜きするにつれて増加した。

図-7には、引き戸B1, B2に作用した土圧を示す。落とし戸A1~A3の降下時にはさほど引き戸に作用する土圧が変化しないが、自身の引抜きにより土圧が大きく減少し、引き戸B1は引き戸B2の引抜きに伴い土圧が増加した。

#### (3) 考察

Case 1, 2ともに、降下・引抜きした落とし戸・引き戸自体に作用する土圧は大きく減少し、また、先行して降下・引抜きした落とし戸・引き戸に作用する土圧は増加していく結果となった。

このような土圧変化は、水平に並べた数枚の落とし戸を降下させた既往の研究においても同様の結果を見ることができる<sup>9)10)</sup>。これらの文献では、この土圧変化を緩み土圧の発生による応力再配分の影響によるものとしている。つまり、落とし戸・引き戸に作用する土圧は実験開始時には静止土圧であるが、自身の降下・引抜きにより緩み土圧に変化する。また、先行した落とし戸・引き戸には土圧の減少分が再配分され土圧は増加することと

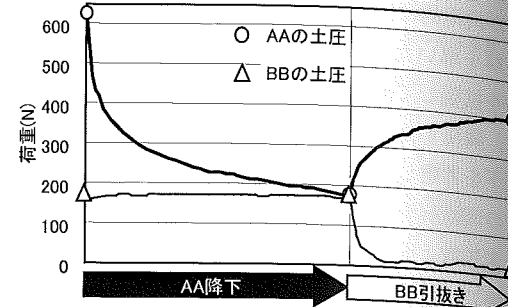


図-5 落とし戸AA・引き戸BBに作用する土圧(Case 1)

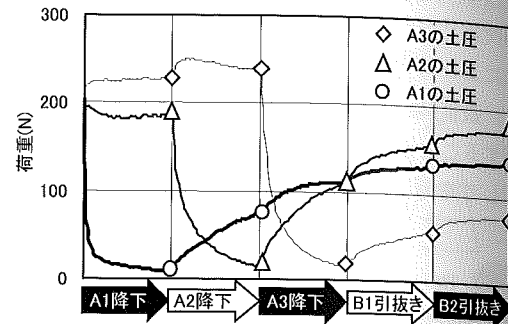


図-6 落とし戸A1~A3に作用する土圧(Case 2)

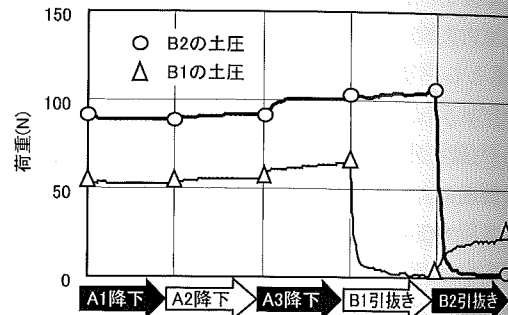


図-7 引き戸B1, B2に作用する土圧(Case 2)

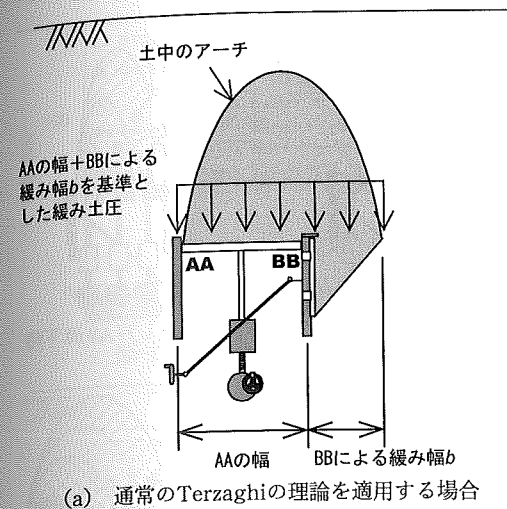
なる。

本研究でも上床版から側壁に移る落とし戸の組み合わせではあるものの、同様な傾向が見られたため、実験結果から得られた土圧変化は緩み土圧の発生による応力再配分によるものと考えられる。

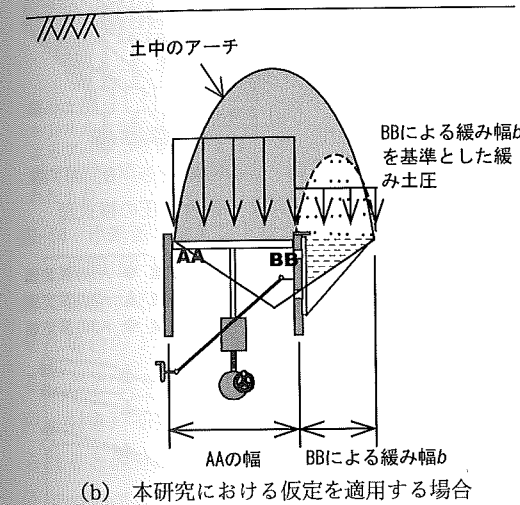
## 4 土圧の簡易予測式の考察

### 4-1 上床版から側壁に移る際の連続推進・けん引による土圧

Case 1の実験結果を用いて、上床版から側壁に移る際の連続推進・けん引による土圧変化の算



(a) 通常のTerzaghiの理論を適用する場合



(b) 本研究における仮定を適用する場合

図-8 落とし戸AA, BBに作用する緩み土圧の模式図

定方法を既往の緩み土圧理論をもとに検証する。

まず、落とし戸AA降下時の土圧の算定方法について、1枚のみの落とし戸の降下であるため、通常の緩み土圧理論を適用することができる。落とし戸AA幅(300mm)を緩み土圧が作用する幅 $b$ として等分布荷重が求められる。

次に、引き戸BB引抜き時の土圧の算定方法について、通常の緩み土圧理論を適用する場合には、図-8(a)に示すように、落とし戸AAの幅と引き戸BBによる落とし戸AA面での緩み幅 $b$ の和を緩み土圧が作用する幅 $B$ とすることで等分布荷重が求められる。しかし、実際には落とし戸AAの降下による土中の応力再配分の影響を受けてい

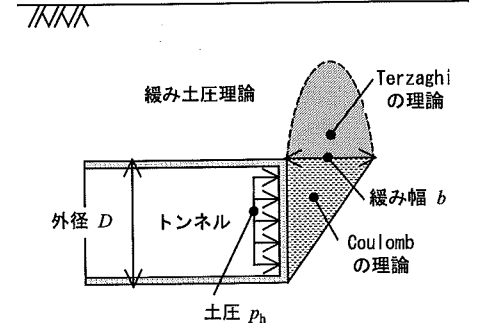


図-9 田村・梅田らの水平土圧の簡易計算法<sup>9)</sup>を加筆・修正

るため(静止土圧状態にないため)、緩み土圧理論を一意的に適用することができない。

この応力再配分の影響を厳密に考慮するためには、既往の研究に見られるように地盤物性を低減させるなど、通常の現場で取得することが難しいパラメータを使用することが必要となる。

そこで本研究では図-8(b)に示すように、土圧の総和は通常の緩み土圧の理論を適用するが、これを等分布荷重として作用させず、後続した引き戸BBの土圧は単独で引抜いた場合の緩み土圧となり、落とし戸AAには総和から差し引いた残りの土圧が作用すると仮定することで、土中の応力再配分を考慮することとした。

後続した引き戸BBを単独で引抜いた場合の緩み土圧は、トンネルの切羽安定に関するつり合い式を解いた梅田・田村らの方法<sup>9)</sup>で求めることができる。この方法は図-9に示すとおり、①切羽前方土塊へ作用する上載荷重の算定に緩み土圧理論を、②切羽前方土塊のすべりにCoulombの土圧理論を適用するものである。このとき、引き戸BBに作用する水平土圧 $p_h$ は(3)式で求めることができる。なお、(3)式は土圧理論の境界面の摩擦を考慮したものである。

$$p_h = \frac{\sin(45^\circ + \phi/2) - \tan \phi \sin(45^\circ - \phi/2)}{\cos(45^\circ + \phi/2) + \tan \phi \cos(45^\circ - \phi/2)} \cdot \left[ \frac{\gamma D^2}{2} + \sigma_v D \right] \tan(45^\circ - \phi/2) \quad (3)$$

ここで、 $\gamma$ :土の単位重量、 $D$ :トンネル高さ、 $\sigma_v$ :緩み幅 $b$ を基準とした緩み土圧。

また、この引き戸BBの引抜きの影響による緩

表-2 算定値と実験結果

	落とし戸に作用する土圧(N)			
	落とし戸AA		落とし戸BB	
	実験値	算定値	実験値	算定値
開始時	620	675	64.2	
落とし戸AA降下時	176	252	64.2	
落とし戸BB引抜き時	406	323 <sup>*1</sup>	19.3	103 <sup>*1</sup>
		394 <sup>*2</sup>		18.9 <sup>*2</sup>

\*1: 通常の Protodyakonov の理論を適用する場合  
\*2: a)での仮定を適用する場合

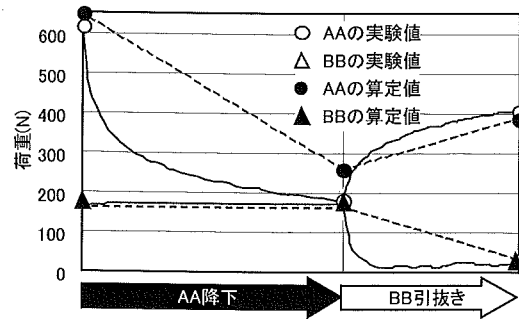


図-10 算定値と実験結果の比較(算定値は a)での仮定を適用する場合)

み幅  $b$  は(4)式で求めることができる。

$$b = D \tan(45^\circ - \phi/2) \quad (4)$$

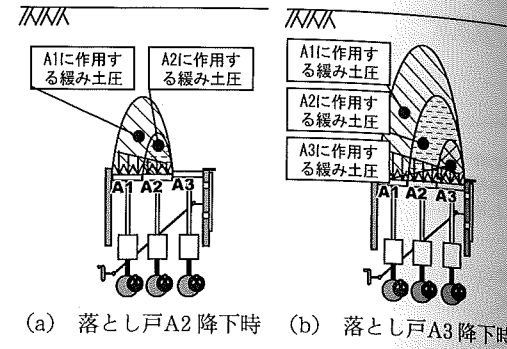
ここで、 $D$ : 落とし戸BBの高さ、 $b$ : 緩み幅。

実験結果と通常の Protodyakonov の理論を適用した算定結果、さらに、落とし戸BB引抜き時について図-8(b)の仮定を用いた算定結果を表-2 および図-10に示す。なお、降下・引抜き以前の土圧は、静止土圧状態を仮定して求めた。

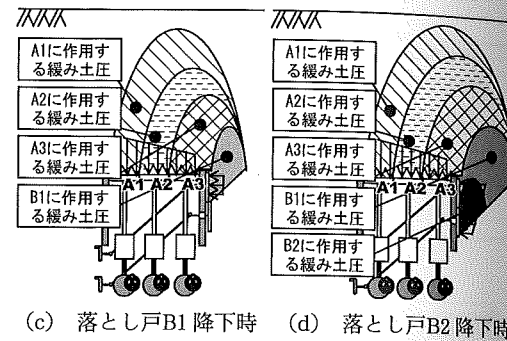
この結果、落とし戸BB引抜き時の土圧に図-8(b)の仮定を用いた場合は、ある程度的一致を見ることができる。

なお、実験開始時、落とし戸AA降下時の算定値には、通常の Protodyakonov の理論を適用しているため、実験値との乖離が見られる。その原因としては、地盤作成時の影響など実験誤差が含まれるものと考えられる。

以上より、上床版から側壁に移る際の掘進による土圧については、図-8(b)の仮定を用いることにより簡易に算定することがある程度可能であるものと考えられる。



(a) 落とし戸A2降下時 (b) 落とし戸A3降下時



(c) 落とし戸B1降下時 (d) 落とし戸B2降下時

図-11 落とし戸に作用する緩み土圧の模式図

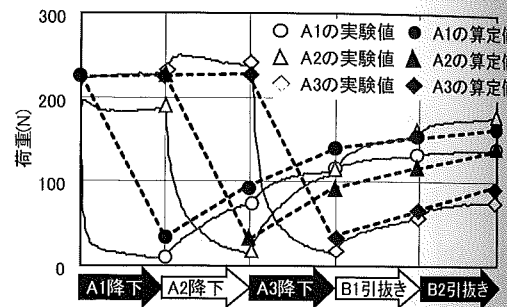


図-12 算定値と実験結果の比較

#### 4-2 上床版から側壁にわたる片側の連続掘進による土圧

次に Case 2 の実験結果を用いて、(1)式の Protodyakonov の緩み土圧式をもとに本工法の上床版から側壁にわたる片側の連続掘進による土圧変化の算定方法を検証する。

通常の Protodyakonov の土圧理論を用いた場合、前述したように土圧は等分布荷重になるが、Case 2 では落とし戸A1~A3に作用した土圧は後続した落とし戸の土圧の方が小さい値を示している。

そこで、土圧の算定方法として、Case 1 と同

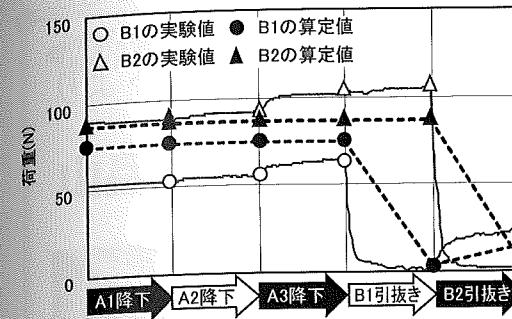


図-13 算定値と実験結果の比較

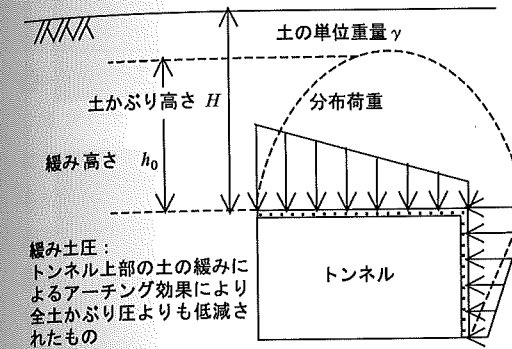


図-14 小断面エレメント推進工法の緩み土圧分布の模式図(図-1の①⇒③のとき)

様に後続する落とし戸に対しては、単独で降下させた場合の Protodyakonov の理論を順次適用することとして、図-11に示すように各々の落とし戸・引き戸を降下・引抜きした場合の土圧を求められると仮定した。なお、上床版と側壁へ移る土圧については図-8(b)の仮定にもとづくこととした。

実験結果とこの仮定を用いた算定結果を図-12, 13に示す。なお、降下・引抜き以前の土圧は、静止土圧状態を仮定して求めた。この結果、実験値と算定値にはある程度的一致を見ることができる。

以上より、上床版から側壁にわたる片側の連続掘進による土圧についても、a)での仮定を用いることにより簡易に算定することがある程度可能であるものと考えられる。

#### 4-3 エレメント推進(けん引)工法の緩み土圧の考え方

模型実験で試算した連続する落とし戸の緩み土圧の算定方法(図-11)から、実際のエレメント推進(けん引)工法では、後続するエレメントには、

後続のみのエレメント幅で求めた緩み土圧(A)が、先行したエレメントには、推進(けん引)したすべてのエレメント幅で求めた緩み土圧から(A)を差し引いた土圧が作用するものと考えられる。つまり、図-1における①~③の連続掘進時には図-14のような緩み土圧の分布形状を描くこととなる。図-2(b)と比較して、緩み土圧と総土圧量は変わらないものの、上床版は偏圧を受けて局所的な応力集中を受ける可能性がある。また、側圧については通常的设计で用いられるものと異なり、下床版に向けて減少する勾配となる。

## 5 おわりに

著者らは、本工法におけるエレメント施工時の作用土圧を明らかにする目的で落とし戸実験を行い、緩み土圧の分布形状を把握した。さらに、その土圧分布を推定する方法として、Protodyakonov の緩み土圧理論を用いた方法を提案した。今後は、実設計への適用に向けて、他の緩み土圧理論を適用した結果も含め、実現場での計測事例の分析などにより、妥当性の検証などを行っていく予定である。

## 参考文献

- 1) 日本鉄道施設協会: 線路下横断工計画の手引き, 2004.4.
- 2) 鉄道総合技術研究所: 線路下横断構造物設計の手引き, 1987.9.
- 3) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説, SI単位版, シールドトンネル, 2002.12.
- 4) 鉄道総合技術研究所: 変状トンネル対策工設計マニュアル, 1998.10.
- 5) 垂水尚志: 落とし戸実験による応力解析の影響評価, 第47回土木学会年次学術講演会講演概要集, 1992.4.
- 6) 菊本統・岸田潔・木村亮・田村武: 降下床実験による離隔のない双設トンネルに作用する土圧の評価手法の構築, 土木学会論文集, No.799/III-72, pp.25-36, 2005.9.
- 7) 小西真治: 砂と粘性土の互層地盤の切羽安定評価に関する研究, 鉄道総研報告, 特別第45号, 2001.1.
- 8) 土岐憲三・田村武・梅田昌彦: 切羽に作用する水平土圧の簡易算定方法について, 第49回土木学会年次学術講演会講演概要集, III-689, p.1368, 1994.9.



# 地下鉄建設がすすむ「ドナウの真珠」ブダペストより

加藤 健治

中欧ハンガリー共和国の首都ブダペストは、街の区画そのものが世界遺産に登録されるほど、歴史ある建築物や街並みを有した美しい街である。ブダペスト中央を北から南へとゆるやかに流れるドナウ川により、街は東西に分けられ、居住地区とされる西側のブダ地区、商業地区とされる東側のペスト地区からなっている。そのドナウ川沿岸に広がる美しい街風景は「ドナウの真珠」と称えられている。

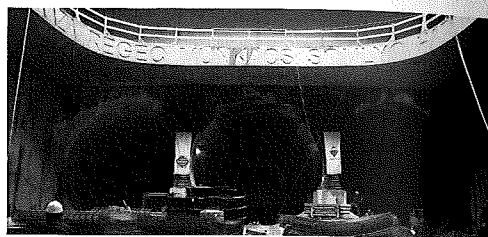
現在、ブダペストでは、地下鉄4号線の建設が進められている。

今日までにブダペストで営業している地下鉄1～3号線は、主に市の中心部と南北を結ぶ線として利用されている。建設中の4号線はブダペストの東西を結ぶ新線として計画され、これによりブダペスト全体の地下鉄ネットワークが構築されることになり、完成後には多くの利用客が見込まれている。

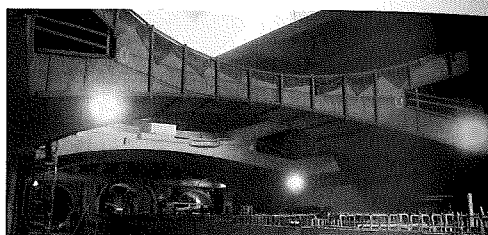
当社はここで、地元の建設会社Swietelsky (スヴィテルスキ)社とともに、地下鉄駅建設工事を3件受注し2006年より工事を行っている。3駅とも主に開削工法による駅構築であるが、そのうち「ラーコーチ広場駅」では、掘削断面積約250m<sup>2</sup>、掘削長約50mの3連めがねトンネルを構築し、中央トンネルをプラットフォームとして利用する計画である。残る「ボチカイ通り駅」と地下鉄3号線に接続する「カールピン広場駅」でも、換気トンネルや軌道部を山岳トンネル工法により施工している。ハンガリーは、NATM発祥のオーストリアを隣国にしており、日々本場のNATMを体験できる。(しかし、ハンガリーではその施工法をNATMと言わず、Shotcrete methodと呼んでいる。そこにはハンガリー技術者のプライドが見える。)日本



位置図



ラーコーチ広場駅



カールピン広場駅

の山岳トンネル工法との違いとしては、日本では中～大規模の補助工法を駆使して大きな断面で掘削するのに対し、ここでは小規模の補助工法で加背割りを小さくして地山を緩めずに掘削するような印象を受ける。使用資材の違いは、鋼製支保工ではなくラティスガーダーを一般的に使用し、コンクリート吹付け作業では粉体ではなく液体急結剤を使用することであろう。ほかにもこの4号線の地下鉄駅工事で特徴的なことは、これまで多くの芸術家を輩出している国だけあり、建築デザインが豊かである。3次元的に形状が複雑なスラブや梁、その地区ゆかりの詩人や指導者の名前を駅構内の壁に刻むなど、その複雑なデザインは建設業者泣かせではあるが、仕上げてみるととても印象的である。それぞれの駅に異なるデザインが施され、完成後には各駅で途中下車してデザインを楽しむのもブダペスト観光のひとつになるかもしれない。

最後に、豆情報をひとつ。1896年に営業が開始されたブダペスト地下鉄1号線は、なんとヨーロッパ大陸初の地下鉄である。(ちなみに、ヨーロッパ初(世界初)の地下鉄はイギリス・ロンドン地下鉄で1863年の営業開始である。)

(株)大林組ブダペストメトロ工事事務所(工事長)

## 山岳トンネルのインバート(2)

### —インバートに関する変状対策事例調査と分析—

JTA山岳工法小委員会支保ワーキング

インバートの設置基準の変遷について、前回記述した。これらの改訂は、インバートに変状が発生した事例があったため設置基準の見直しが進められたという側面もあろう。そこで、NATMで施工されたトンネルを中心にインバート部の変状に着目した事例の収集を行った。ここでは、事例調査をもとに、データを分析した結果を紹介する。

#### ① 収集した事例分類

収集した事例を表-1に示す6つに分類した。各分類ごとに収集した事例数を図-1に示す。

ここではインバートに変状した事例に着目し、分類1、分類2、分類5、分類6について述べる。

#### ② 事例調査結果

##### 2-1 インバートがないことに起因する変状事例(分類1)

収集した8事例のうち、いくつかの項目に着目して整理したものを表-2に示す。表中の事例

表-1 事例の分類

事例分類・内容	概略図(例)
分類1: インバートがないことに起因する変状事例 ・トンネル施工時にインバートの必要性がないと判断された区間で、主に供用開始後に変状が発生した事例 ・トンネル掘削中において、インバート施工前に変状が発生した事例	
分類2: インバートに変状した事例 ・インバート施工後にインバート自体が変状した事例	
分類3: インバートの設置により覆工が変状した事例 ・インバート施工後またはインバートが存在したために覆工が変状した事例(本調査では事例なし)	
分類4: インバートを省略した事例 ・当初インバートを設置する計画(または必要とする支保パターン)であったが、インバートの設置を省略した事例	
分類5: その他の理由によるインバート設置事例 ・特殊条件によりインバートを設置した事例	
分類6: その他の事例 ・その他、インバートにかかわる対策事例	

1-1では、供用開始後に図-2のように徐々に路盤の隆起量が大きくなり、最大で160mm程度になった(写真-1)。その後、インバートを設置することにより、隆起量の増加はなくなった。

上記のような事例における特徴を捉えるため、データの分析を行った結果を以下に示す。

2-1-1 支保パターン

分類1は、トンネル掘削時の評価でインバートのない支保パターンとしていたが、インバート部に盤ぶくれなどの変状が生じた事例である。

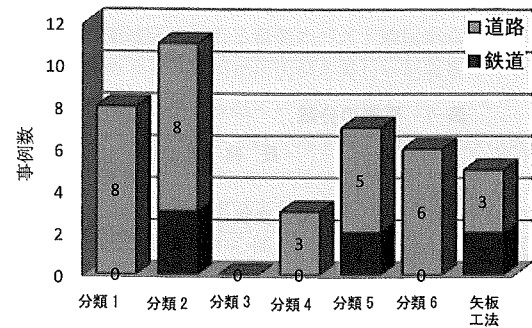


図-1 事例調査集計結果

表-2 分類1で抽出したデータ

事例No.	種別	土かぶり(m)	一軸圧縮強度(MPa)	地山強度比 $S_r$	$R_i$ (m)	$R_u$ (m)	$R_i/R_u$	$W$ (m)	$H$ (m)	$W/H$	盤ぶくれ量(mm)	内空変位 $a$ (mm)	地盤沈下 $b$ (mm)	$a/b$
1-1	道路	150	—	—	—	—	—	—	—	—	108	15	25	0.60
1-2	道路	118.7	5.2	2.1	10.2	5.1	2	9.76	1.24	9.78	160	4	4	1.00
1-3	道路	110	6	2.8	10	5	2	9.66	1.36	7.1	110	44	22	2.00
1-4	道路	80	1.84	1.07	16.33	5.4	3.02	10.51	1.44	7.3	100	—	—	—
1-5	道路	75	0.5	0.3	15	4.7	3.19	8.1	0.7	11.6	90	20	15	1.33
1-6	道路	70	4.5	1	21.89	5.45	4.02	10.4	0.9	11.6	250	20	20	1.00
1-7	道路	150	3	1	12.35	4.75	2.6	8.965	1.157	7.75	—	170	100	1.70
1-8	道路	50	3	2.4	16.6	5.6	2.96	10.592	1.205	8.8	—	250	200	1.25

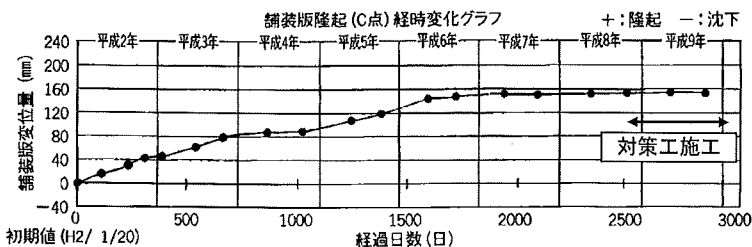


図-2 事例1-1における路盤隆起の経時変化

表-3に変状区間における掘削時の支保パターンを示す。

DIやCIIのみでなくCIと判定したトンネルも3件見られる。地質は凝灰岩や凝灰角礫岩、安山岩、風化花崗岩などである。

また、これらの事例の施工年を表-4に示す。盤ぶくれなどの変状が発生した事例の発生とともに各種の技術基準も変遷している。

大嶋ら(2002)の研究成果<sup>1)</sup>では道路トンネルにおいて盤ぶくれ現象を生じた事例を詳細に調査した結果、第三紀の堆積岩である泥岩、頁岩および凝灰岩系(凝灰岩、凝灰角礫岩)が全体の80%で、その他の地質は安山岩、粘板岩であることが示されている。表-3においても8事例中7事例が第三紀の堆積岩であり、これらの研究成果と合致している。

2-1-2 土かぶり

土かぶりの分布を図-3に示す。土かぶり $h$ は50~150mの間に分布している。土かぶりが50mの

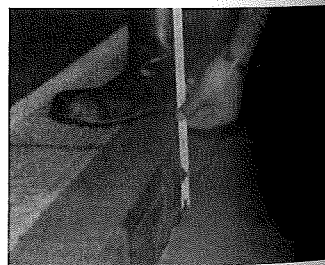
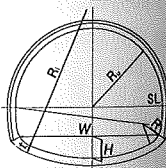


写真-1 舗装面の隆起状況

表-3 変状区間の掘削時の支保パターンと地質(分類1)

支保パターン	事例数(件)	地質
CI~CII	2	新第三紀凝灰角礫岩
CI~DI	1	新第三紀凝灰角礫岩、安山岩
CI	1	中生代 風化花崗岩(後の調査で膨張性判定試験より膨張性の素因があることを確認)
CII	4	新第三紀 泥岩、凝灰岩、凝灰角礫岩、安山岩

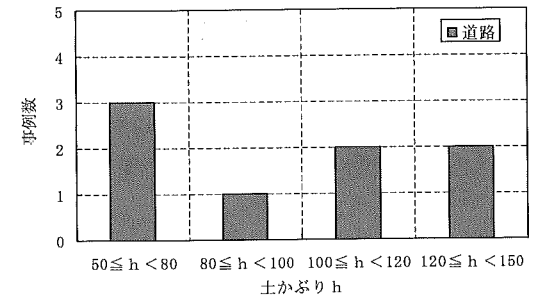


図-3 変状事例における土かぶり

表-4 変状したトンネルの施工時期

種別	事例数	施工時期	備考
国道	3	1991年 2000年 2件	道路トンネル技術基準(構造編)・同解説では平成元年(1989年)版において「地山等級がCI, CIIであっても泥岩、凝灰岩等で長期の安定性に問題があると考えられる場合にはインバートを設けることができる」と記載されている。また、同平成15年(2003年)版では、「CI, CIIの地山等級範囲において、第三紀泥岩、凝灰岩、蛇紋岩などの粘性土岩や風化結晶岩、温泉余土などの場合はインバートを設置する」と記載されている。平成15年以降の変状事例は見られなかった。
県道	1	1991年	
高速道路	4	1986年 1990年 1992年 1993年	高速道路では平成9年(1997年)の設計要領の中で第三紀の泥岩、凝灰岩においてインバートを施工する旨が記述されており、それ以降の事例は見られなかった。なお、平成21年の設計要領では第三紀のみでなく泥岩、凝灰岩の地山条件ではインバートを設置する旨が記載されている。

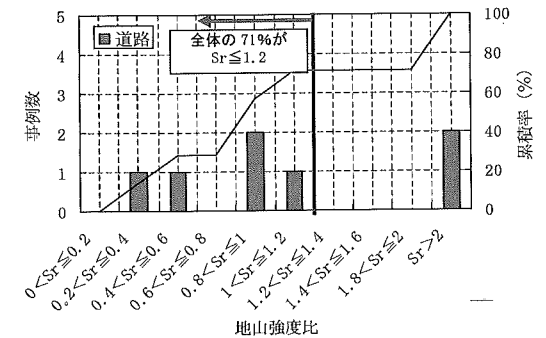


図-4 変状事例における地山強度比

道トンネル<sup>2)</sup>の場合、地山強度比 $S_r$ が1.5以下のときに地山等級がI<sub>s</sub>以下となり、道路トンネル<sup>3)</sup>で地山強度比 $S_r$ が2以下のときに地山等級がDII以下となっている。今回の調査結果では $S_r$ が1.2以下の事例が全体の約71%となっており、地山強度比が変状の指標として有用であることが確認できる。

2-1-4 各種の指標とインバート形状の関係

地山強度比や内空変位量/天端沈下量および盤ぶくれ量と変状後に設置したインバートの形状との関係を調査した。

図-5(a)に地山強度比 $S_r$ と $R_i/R_u$ ( $R_i$ :インバート半径,  $R_u$ :上半半径)の関係を示す。 $R_i/R_u$ の値は2~4の間となっているが地山強度比との相関はここでも見られなかった。これは、トンネル設計断面の扁平率に違いがあるためと思われる。

図-5(b)に地山強度比 $S_r$ と $W/H$ ( $W$ :インバート幅,  $H$ :インバート高さ)の関係を示す。 $W/H$ の値は7~12の間となっているが地山強度比との相関は今回の調査結果では見られなかった。

これらの各種指標とインバート形状の関係に明

大土かぶりではない場合にもインバートに変状が発生している。

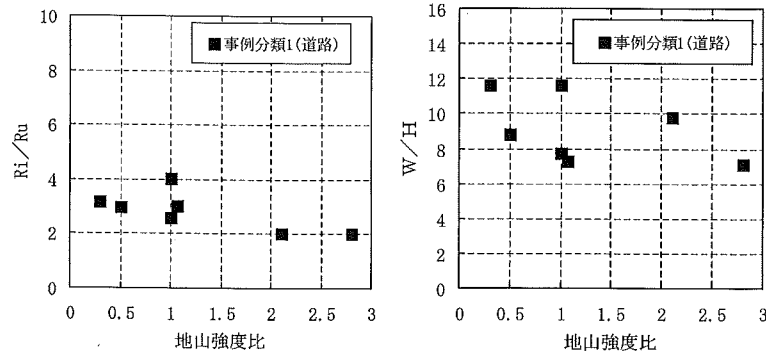
分類1は施工時にインバートが必要ないと判断されたが、その後、インバート部に盤ぶくれなどの変状が発生した事例、あるいはトンネル掘削中においてインバート施工前に変状が発生した事例である。土かぶりが大きくない場合においても地山によっては変状が起こる可能性があるため、留意する必要があると言える。

2-1-3 地山強度比

地山強度比の分布を図-4に示す。文献では、鉄

確な相関が得られていないことがわかる。

これは、分類1のように盤ぶくれなどの変状が発生した後にインバートを設置するなどの対策工を実施する際にインバート形状を検討することは少なく、地山強度比にかかわらず標準的なインバ



(a)地山強度比と $R_1/R_u$ の関係(分類1) (b)地山強度比と $W/H$ の関係(分類1)  
図-5 各種の指標とインバート形状の関係

表-5 分類2で抽出したデータ

事例No.	種別	変状時期	土かぶり(m)	一軸圧縮強度(MPa)	地山強度比 $S_r$	地質	$R_1$ (m)	$R_u$ (m)	$R_1/R_u$	$W$ (m)	$H$ (m)	$W/H$
2-1	鉄道	施工時	265	7.3	3.95	泥岩	12.69	4.75	2.67	8.26	0.69	11.971
2-2	道路	供用時	120	0.08	0.04	凝灰角礫岩 安山岩質凝灰岩	15.5	5.1	3.04	9.57	0.99	9.67
2-3	道路	供用時	260	—	—	花崗岩	15.11	4.4	3.43	8.35	1.33	6.28
2-4	鉄道	施工時	85	7.5	0.4	凝灰角礫岩	14.14	4.75	2.98	8.53	0.66	12.9
2-5	鉄道	施工時	240	10.8	2	凝灰角礫岩 泥岩	13.25	4.75	2.79	8.26	0.66	12.5
2-6	道路	施工時	200	2	0.5	凝灰岩	16.6	5.6	2.96	10.75	1.146	9.38
2-7	道路	施工時	めがね	0.1	0.3	泥岩	—	—	—	—	—	—
2-8	道路	施工時	—	—	—	流紋岩	10.6	4.5	2.4	8.5	1.3	6.54
2-9	道路	供用時	300	—	—	泥質粘板岩	フラット	—	—	—	—	—
2-10	道路	施工時	210	5	0.18	輝緑凝灰岩 粘板岩	19.7	5.1	3.86	9.629	0.693	13.895
2-11	道路	供用時	100	0.18	0.8	流紋岩質凝灰岩	13.1	5	2.62	10.6	1.275	8.3
							10	5	2	10.65	1.467	7.3

表中の上段は元設計、下段は変更設計を示す。

ト形状を採用する設計が行われているためと考えられる。

### 2-2 インバートが変状した事例(分類2)

収集した事例のうち、いくつかの項目について着目して整理を実施した。収集資料から抽出した項目を表-5に示す。

この中で事例2-11では、写真-2のように舗装路面の隆起により、ひび割れが発生した。対策工施工時にインバートの状況を確認した結果、写真-3のようにインバートが上部に変形するとともにひび割れは大きく開口し、破壊されていた。このような状況の中、既設のインバートコンクリートを取り壊し、図-6

に示すインバートの再設置を行った。その結果、変位の増加はなくなった。

上記のような事例における特徴を捉えるため、データの分析を行った。

#### 2-2-1 変状時期

分類2で収集した事例における変状の発生時期を図-7に示す。



写真-2 舗装面の隆起状況

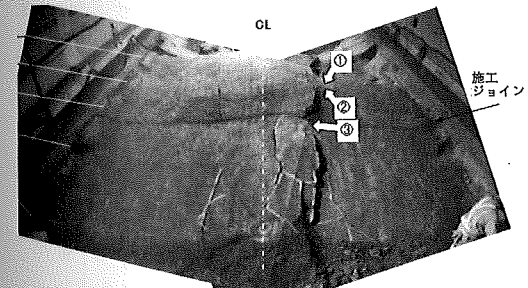


写真-3 インバートコンクリートの破壊状況

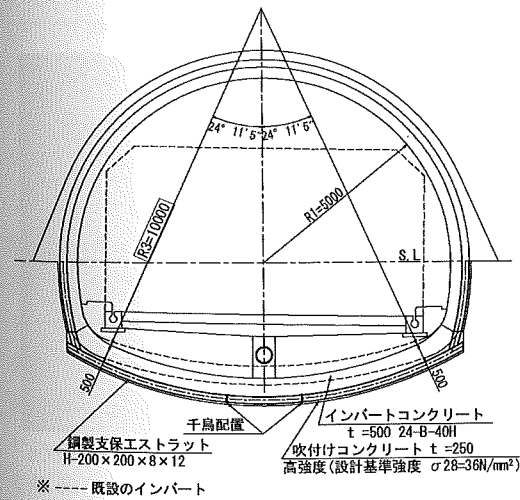


図-6 設置したインバートの構造

#### 2-2-2 土かぶりと地質

土かぶりの分布を図-8に示す。

分類2の変状事例は土かぶり $H=100\sim 380$ mにおいて変状が発生していることがわかる。分類1では土かぶり $H=50\sim 150$ m程度であるのに対して、分類2では、更に土かぶりが大きい事例が見られる。また、表-5の地質では、分類1と同様に第三紀の堆積岩である泥岩、凝灰岩系(凝灰岩、凝灰角礫岩)が多い。

#### 2-2-3 地山強度比

地山強度比の分布を図-9に示す。今回の調査結果では $S_r$ が0.8以下の事例が全体の約75%であり、

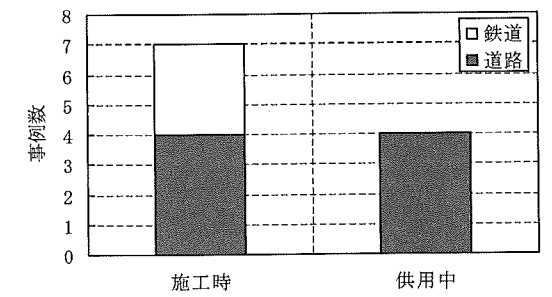


図-7 変状の発生時期(分類2)

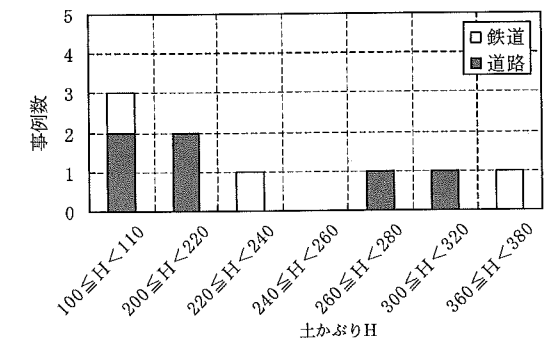


図-8 変状事例における土かぶり

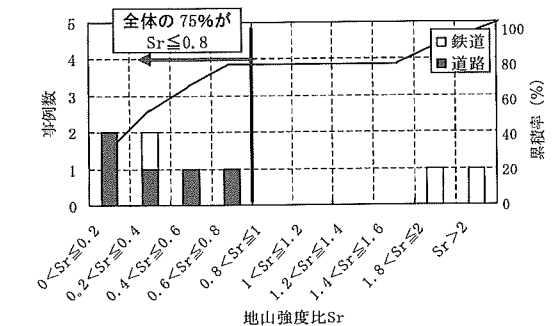


図-9 変状事例における地山強度比

地山強度比が変状の指標として有用であることがわかる。さらに分類1と比較して更に小さな地山強度比の場合に分類2の変状が発生している。

2-2-4 インバートの諸元と形状の変更

調査事例の中で当初の設計と変更設計が明記されている6事例の中で4事例は変状が発生した後、再度同様のインバートを施工した事例である。インバートの形状を変更した2事例のうち、事例2-6は、骨組構造解析により対策工を検討しており、その結果、インバートの深さHを1.146mから2.118mに変更し、より円に近い形状としている。また、その他の1事例(事例2-11)は、インバートの厚さは50cmで変更がないが、インバートの深さHを1.275mから1.467mへと形状をより円形に近いものに変更している。さらに、設計変更施工時にはインバートストラットを設置するとともに吹付けコンクリートが施工されている。

2-3 その他の理由によるインバート設置事例(分類5)

分類5のその他の理由によるインバートの設置事例の概要を表-6に示す。この中の5事例はトンネルの変形抑制のために上半仮インバートや一次インバートを施工している事例である。また、膨張性地山でインバートに変状が発生した場合に打ち変えるのではなくプレストレスアンカーで補強している事例も見られる。

この中で写真-4の事例は、変位抑制のために吹



(a) 吹付けコンクリートによる一次インバート



(b) ストラットと吹付けコンクリートによる一次インバート

写真-4 一次インバートの施工事例

付けコンクリートによる一次インバートを施工していたが、さらに変形が大きくなったためにストラットと吹付けコンクリートにより変位を抑制した事例である。

2-4 インバートに関わる対策事例(分類6)

分類6の概要を表-7に示す。このうち、上から3つのケースは膨張性地山などの条件において、インバートの半径を変更した事例である。これらの事例で抽出したデータを表-8に示す。表中のインバート形状に関するデータは、上段に変更前を下段に変更後を示している。表のように地山強度比は0.2~0.5であり、非常に小さな値となっている。また、地山強度比と変更後W/H、W'/H'の関係を図-10に示す。ここで、W、H'はインバー

表-6 分類5のインバート設置事例

Table with 3 columns: 変状状況, 対策, 事例数. It lists various cases for Class 5 invert installation, such as '坑口地すべり対策' and '膨張性地山'.

表-7 その他の事例(分類6)

Table with 3 columns: 変状状況, 対策, 事例数. It lists various cases for Class 6 invert measures, such as '大変形(膨張性など)' and '避難坑を切抜け掘削'.

表-8 分類6で抽出したデータ

Table with 13 columns: 事例No., 種別, 土かぶり(m), 一軸圧縮強度(MPa), 地山強度比S, Ri(m), Ra(m), Ri/Ra, W(W')(m), H(H')(m), W/H(W'/H'), 内空変位a(mm), 地盤沈下b(mm), a/b. It provides detailed data for three Class 6 road cases.

表中の括弧内はインバートの形状変更後の値を示す。

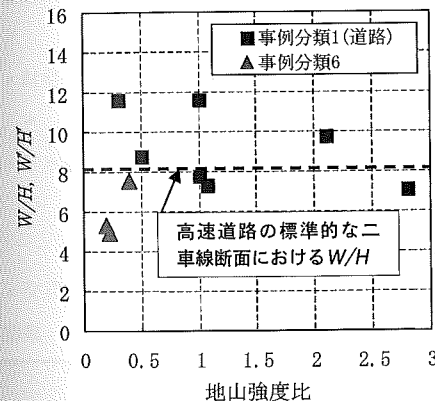


図-10 地山強度比とW/H、W'/H'の関係

ト変更後の値を示している。図中の分類1は、インバートがないことに起因して変状が発生し、標準的なインバートを施工する対策を行ってトンネル構造が安定した事例であり、分類6はインバートが設置されていたが変状が発生したため、形状を変更した事例である。今回の調査結果では地山強度比が0.5以下の場合には、対策工としてインバートの形状変更が必要な場合もあることを示している。

このほか、図-11のように2車線トンネルを3

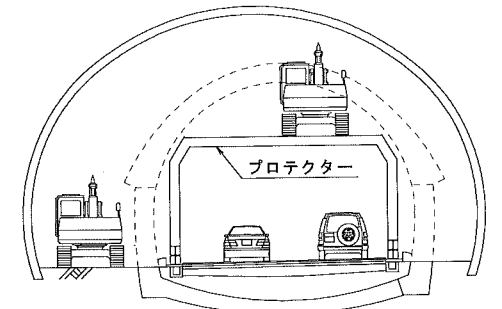


図-11 2車線から3車線トンネルへの拡幅事例

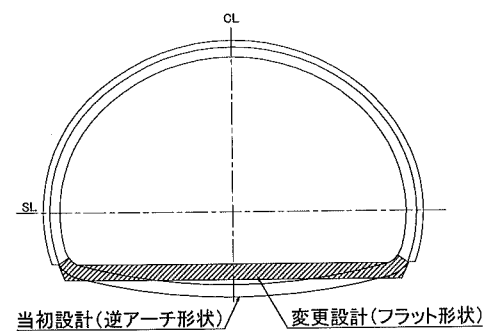


図-12 インバート形状の変更事例

車線トンネルへ活線状態で拡幅する事例において施工性などを考慮したうえでインバートの形状をフラットな形状に変更した事例もある(図-12)。

⑧ ま と め

今回の事例調査の結果から得られた考察を以下に示す。

(1) 供用後に変状対策を実施するには多大な労力とコストを要するため、施工時に長期的な安定性を評価し、必要に応じて対策を講じておくことが合理的である。また、掘削時のトンネル内空変位が小さい場合においても、インバートが変状する事例があり、ここに示したような盤ぶくれの可能性が懸念される場合には、インバートの変位計測を実施することが重要である。

(2) 前述の調査事例に示されているように、盤ぶくれの原因として、地下水や中央排水などの水により吸水膨張する場合があるので、インバートを設計・施工する際には長期的な地下水流動に配慮する必要がある。鉄道トンネルの場合、膨張性の地山では、中央排水溝をインバート上部に設置

して吸水膨張への対策としている。また、トンネル内湧水のインバート打設目地からの地山側への流入防止策として、水膨張性止水材などによる止水対策も有効である。

(3) 双設や併設などの近接施工の際には、応力再配分により、インバートが変状する場合があるので、トンネル相互の掘削影響を考慮したインバート設計が必要である。

参 考 文 献

- 1) 大嶋健二・城間博通・伊藤哲男・村地栄次・久保田龍郎：変状トンネルの要因分析に基づいたインバート設置基準の提案について，第11回岩の力学国内シンポジウム，2002.
- 2) 鉄道・運輸機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説，2008.
- 3) (社)日本道路協会：道路トンネル技術基準(構造編)・同解説，2003.

# 土木情報 No.454

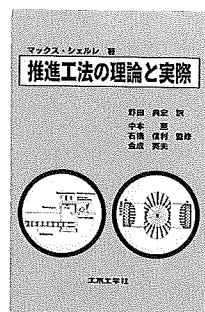
今月の主な入札結果 (2月10日～3月9日)

事業主体	工 事 名	請 負 会 社	請負額 単 位 百万円
北海道開発局	道央用水(三期)農業水利事業道央注水工馬追調整工	大林・伊藤JV	1,269.6
関東地整	H22上尾道路小敷谷地区貯留槽	金杉建設	118
"	" 小倉樋管新設	鈴縫工業	115.9
"	田尻地区函渠その2	前田建設工業	4,780
北陸地整	能越道水見第14T	大林組	632
"	" 東浜T	本間組	551
"	下山築堤その2及び樋門改築	曙建設	167.5
中部地整	302号鳴海Ⅲ共同溝	鹿島・清水JV	4,400
鉄道・運輸機構	九州新幹線(西九州)，江ノ串T他	ハザマ・安藤・今村JV	2,786
中日本高速道路	第二東名高速道路雁峰T	大林組	3,510.8
成田国際空港	第2木の根T設置(その1)	大林組	781
群馬県	伊勢崎幹線補助公共社会資本総合整備(下水)利根川佐波流域下水道事業第1-2・1-3工区管渠築造	小島建設	208
千葉県	江戸川左岸流域下水道管渠築造(野田幹線207工区)	市原組	194
"	" (野田幹線208工区)	堀建設	199.5
都・財務局	中央環状品川線南品川換気所避難路接続	飛島・東英JV	490.6
"	H22晴海二丁目雨水管布設	坪井工業	135.8
都・下水道局	世田谷区桜丘五丁目，砧二丁目付近枝線	青木あすなろ建設	443.5
"	補助173号線道路整備に伴う豊島区池袋三丁目，板橋区南町付近管渠改良	ピーエス三菱	134.85
"	台東区日本堤二丁目，荒川区南千住二丁目付近再構築	三ツ和総合建設業協組	307.8
都・交通局	三田線御成門・内幸町間環状第2号線交差部(その2)建設	銭高・京王JV	220.8
山梨県	鎌田川東花輪川1工区樋門	大新・森山JV	329
"	" 2工区樋門	斎藤・四谷JV	269
大阪府	送水管布設(上小阪枚岡系統連絡管・東大阪市)1工区	清水建設	1,306
ひたちなか市	大島第1幹線管きょ布設(22国補公下雨第5号)	三井住友・大須賀JV	233
さいたま市	芝川右岸第6-2排水区下水道	ケイワールド日清	117.7
横浜市	北部処理区潮田地区下水道再整備(その40)	新栄重機土木	114.28
新潟市	西下90号五十嵐排水区第6雨水枝線129他下水道	佐藤工業	140
名古屋市	八幡雨水幹線下水道築造	鹿島・佐藤・平岩JV	1,268
"	露橋雨水幹線下水道築造	清水・竹中・足立JV	1,007
"	第11次福田汚水送水幹線下水道築造	佐藤・山田JV	527.68
"	第4次惟信雨水幹線下水道築造	五洋・本間・小島JV	1,267
福山市	中央雨水滞水池築造	大林・メタウォーター・三島JV	2,260

## 推進工法の理論と実際

B5判 437頁 価格8,925円 送料450円

マックス・シェルレ 著  
野田典宏 訳 中本 至・石橋信利・金成英夫 監修



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



株式会社 土木工学社

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

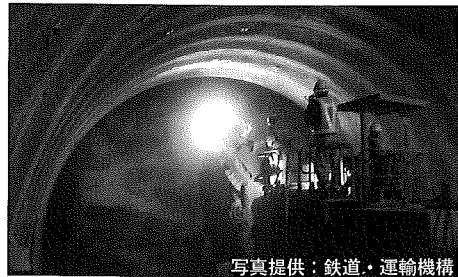
## トンネルジャーナル

### 北海道新幹線 札幌トンネル貫通

鉄道・運輸機構が整備する北海道新幹線の札幌トンネルが貫通し、2月7日、現地で貫通式が催された。式典には工事関係者や地元の代表者などが出席し、鏡開きや万歳三唱などで貫通を祝い、2015年度の開業に向け弾みをつけた。

同トンネルは、木古内駅～新函館駅間の木古内町札幌に位置する延長1,235mの新幹線複線断面トンネル。2010年1月に掘削を開始し、おもに新第三紀黒松内層泥岩からなる地山を機械掘削によるNATMで掘進し、今年1月21日に貫通した。

掘削は、前方の地質を把握するため探り削孔を行



写真提供：鉄道・運輸機構

いながら進めたほか、事前の地質調査でスメクタイトを含む凝灰岩層の存在を確認していたことから、付近では、水平ボーリングによるコアの採取・分析を行い、膨張のおそれがないことを確認しながら、着実に進めた。

また、トンネル中間部には、土かぶりが0～10mの小土かぶり区間があったため、事前に地上部へ保護盛土を施工したうえで、補助工法としてフォアボーリングを用いて掘進した。

平均月進が88m、最大月進が133m/月で掘削を完了している。



写真提供：鉄道・運輸機構

### 香港西雨水トンネルが貫通

西松建設がドラガージュ(仏)とJVを組んで施工する香港西雨水トンネルが、1月17日に貫通し、2月17日に貫通式典が開催された。

同トンネルは、香港特別行政区渠務署が発注者となり、香港島北西部の市街地の洪水を防ぐ目的で施工されたもの。延長10.6kmの本坑に、これに接続された32か所の取水立坑と横坑を通じて集水し、西側の海に直接排水する。本坑は東西2工区に分割され、西側をφ8.3m、東側をφ7.2mのダブルシールド型TBMで掘削し、全線にわたってセグメントを掘削と同時に組立て、二次覆工を簡略化した。横坑は本坑から発破工法、取水立坑は主としてレイズボーリングにより施工されている。

地質はおもに、西側が凝灰岩、東側が花崗岩からなり、西側は東側にくらべ湧水が多く、破碎された箇所もあったことから、グリッパの反力がとれず、セグメントからの反力のみを用いるシングルモードに切替えシールド推進で突破する場面もあった。

また、香港では地下掘削にともなう地下水位の低

下について厳しい規制があるため、全線にわたり探査ボーリングを行い湧水量の計測が義務づけられた。湧水量の基準値を超えた箇所では、超微粒子セメントで止水グラウトを行いながらの施工となった。

両TBMは、公募により西側が「阿信」(おしん、NHK連続TVドラマの主人公)、東側が「媽女」(ヌワ、洪水から土地を守る中国の女神)と名付けられ、それぞれ最大日進、月進として、西側が28.5m/日、450m/月、東側が19.5m/日、380m/月を記録した。



写真提供：西松建設

### アジアとヨーロッパが鉄道トンネルで接続

日本の円借款供与のもと、トルコ共和国運輸通信省鉄道・港湾・空港建設総局が事業者となり、大成建設が建設する、ボスポラス海峡横断鉄道トンネル建設工事が、2月18日貫通した。これにより、ボスポラス海峡を挟んだ駅間13,558mがつながり、ヨーロッパ大陸とアジア大陸が1本の鉄道トンネルで結ばれた。

2月26日には、現地で貫通記念セレモニーが開催され、エルドアン首相をはじめ、多くの政府要人・関係者が出席して盛大に貫通を祝った。セレモニーでは、出席者がヨーロッパ側から海底トンネル内を歩きアジア側への渡り初めを行うとともに、貫通箇所で行われた序幕式では、同国首相が、「トルコ国民150年の夢」が実現される、とスピーチを行った。

同工事は施工延長13.6kmで、海峡に約1.4kmの沈埋トンネルと、陸上に約9.4kmのシールドトンネルを併設し、NATMで施工する地下駅を含む4つの駅舎を建設するもの。

2004年8月に着工し、2008年8月には世界最深度

となる海中60mでの沈埋函接続に成功。翌月に海底トンネルの沈設作業を無事完了させた。2010年2月にはアジア側から発進したシールドがこの沈埋トンネルへ接続。海中で沈埋トンネルにシールドを接続させるのは世界初の試みであった。これに引き続き、今年1月26日にヨーロッパ側から接近したシールドが貫通位置に到着。止水措置および効果確認を経て、2月17日に止水鉄板の溶接を完了し、2月18日に貫通を迎えた。この接続は昨年アジア側で行われたものよりもさらに深い位置で達成している。

ボスポラス海峡横断トンネル構想は、オスマントルコ時代の1860年に設計図が描かれるなど、トルコ国民にとって夢のプロジェクト。現在海峡を横断する交通手段は、2本の道路橋とフェリーなどの船舶があるが、自動車交通に頼る部分が多く、交通渋滞と環境への影響が長年の問題となっていた。この鉄道が開通することで、人やモノの大量輸送が可能となり、トルコのさらなる発展に役立つものと期待されている。



写真提供：大成建設



写真提供：大成建設

### 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 本体定価 4,300円(〒340円)

株式会社 土木工学社

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

## 工法・技術・製品ニュース

### 製品 現位置で劣化深度を簡易に特定



孔内局部載荷  
試験器全景

戸田建設(株)広報部  
TEL:03-3535-6068  
http://www.toda.co.jp

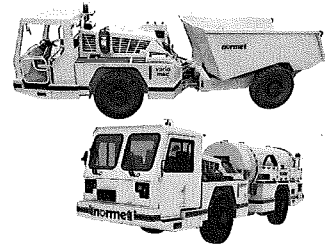
戸田建設と川崎地質は共同で、コンクリート構造物の劣化深さの把握が可能な「孔内局部載荷試験器」を開発し、健全度調査業務などへの適用を開始した。

同試験器は、コンクリート構造物の劣化深さの把握を目的とした新しい試験器で、削孔したコア孔内(φ42mm)に試験器を挿入し、任意の深度において載荷試験を実施することで、その場でコンクリート強度の推定値を把握する。試験装置は現場で

の運搬・測定作業を前提に、小型、軽量化し、試験操作も容易にした。

試験は、コア削孔した調査位置に試験器を挿入し、測定深度に固定。試験器の載荷先端を孔壁へ貫入して、荷重と貫入量データを取得する。荷重-貫入量曲線から貫入抵抗値を算出し、コンクリート強度が推定される。これまでの試験結果から、6点の平均貫入抵抗値を4倍することで、コンクリート強度(N/mm<sup>2</sup>)を精度よく推定できるとしている。

### 製品 フィンランドの建機 normet が日本へ本格上陸



(上)Variomec 10t ダンプトラック  
(下)Utimec 4.4m<sup>3</sup>ミキサー車

JOY & アソシエイツ  
TEL:045-942-2329  
E-mail:jeff@arch-i-tect.com

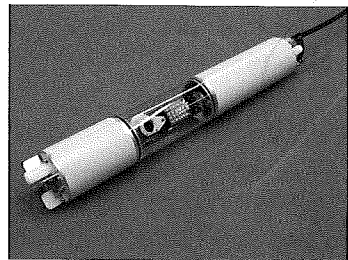
フィンランドに本拠をおく、コンクリート吹付け機、チャージング機械などの製造・販売大手normet(ノルメット)社の製品について、同社の日本代表であるJOY & アソシエイツが、日本向けにVariomec(バリオメック)とUtimec(ユティメック)の2機種の取扱いを開始した。

Variomecは1台の車両にダンプ、ミキサー、リフトの3種類のモジュールを用途に合わせて選択できる機種で、モジュールの取り換えには1日

程度の作業が必要となる。また、utimecは資材、作業員などの搬送に優れた機種で、搬送の目的別に固定式の6機種が用意されている。

モジュールを接続したVariomecは、10tダンプまたは4.4m<sup>3</sup>ミキサーが幅2m、高さ2.3m、また、16tダンプまたは5.6m<sup>3</sup>ミキサーが幅2.31m、高さ2.4~2.6mと、日本で調達できるトンネル用機械の中では最小のものであり、中小断面のトンネル施工に最適としている。

### 技術 管路点検ロボットが通水管を調査



Pipescope-500

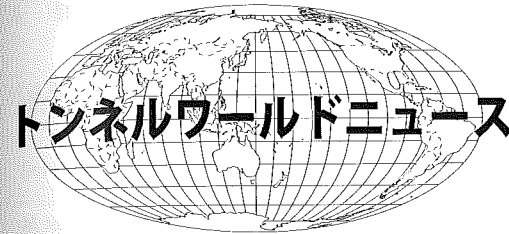
三井造船(株)広報部  
TEL:03-5202-3147  
http://www.mes.co.jp

三井造船は、同社が開発した管路点検ロボット「Pipescope-500」を用い、約45年前に完成した送水管(φ1,500)内部の状況を、通水状態で調査する業務を完了したと発表した。

同機は、直径60mm、長さ450mmの円筒型のロボットで、カメラ、照明、移動用スラスラ、浮力調整装置を装備し、水中ケーブルを通して地上に設置した操縦・記録装置のモニターで管内の状況を見ながらロボットを操縦し映像を記録する。

口径75mm以上の空気弁などがあれば水道管内に挿入でき、φ500mm以上、水圧が1MPa、流速が2m/secの条件下での使用が可能となっている。水中ケーブル長は300mあり、流れのある管路では下流に向けて300m、流れのない管路では、上下流の両方向に向けて50mの範囲で調査ができる。

今回の調査は、3か所のマンホールから合計約320mにわたって行われ、同機として3例目の実績となる。



(社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

### ARCハドソントンネル当面中止の やむなきに至る

ニュージャージー州知事のクリス・クリスティー氏はハドソン川の下を通る Access to Region's Core(ARC)トンネルについて、20~50億USドルと見積もられる追加費用の大半をニュージャージーの納税者が負担することになるのを恐れ、施工一時中止に続いて計画を中止した。

この計画には、ほぼ6億USドルが既に投入されている。

当初87億USドルで計画されたニューヨークとニュージャージーをつなぐトンネルの予算は、110~140億USドルに達するらしい。

コスト削減が可能な部分を探すため、9月にニュージャージートランジット社と連邦の職員との間で2週間の見直し期間が組まれたが、予算超過の本当の規模が明らかになると、クリスティー知事は計画を中止した。彼の決定は、多くの市民から、とくにトンネル部門の人々から非難された。

一部の経済評論家は、この決定がこの地域の経

済成長を止めることになるかと予測している。

この計画を批判する人々は、避けるべき前例としてボストンのBig Digトンネルが招いた巨額の予算超過を引用しており、これは疑いなくクリスティー知事が一番先に思い浮かべるものである。しかし、その他の人々はこの決定を、むしろ執行の延期、交渉上の策略であり、連邦政府にさらに予算を負担させるための手段と見ている。

合衆国運輸長官のレイ・ラフード氏は、問題解決のための真の努力をしないで放棄するにはこの計画は重要過ぎると言ったと報じられている。楽天主義者はそれゆえに、両者が次の週に予定している会議に希望の光を見ている。

もし完成すると、合計で延長5.8kmのトンネルが軟質地山区間(ハドソン川の下)と硬岩区間を貫き、マンハッタンの下に建設される地下空洞までつながる。

この計画の契約の1つとして、2億5900万USドルの、North Bergenからニュージャージー、マンハッタンまでの硬岩区間における延長1.6kmのPalisades工区的设计・施工があり、Schiaivone Shea Skanska JVが受注している。

ARCのインフラ改良計画の一部として、トンネルがニュージャージーからハドソン川の下を通りマンハッタンまで走る。

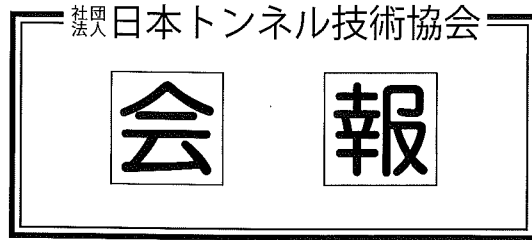
この計画は、6,000の建設事業を造り出し、通勤列車の輸送容量を2倍にして、地域経済に寄与すると考えられている。

(WT '10.11 担当:日向哲郎・(株)間組)

### 『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

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)



1. 会員の現状

	2月28日現在
正会員	1,664名
団体会員	371名
個人会員	1,293名

2. 第202回理事会

日時：平成23年2月28日(月)

場所：東京商工会議所8F「東商スカイルーム」

出席者：理事25名、監事3名、計28名

議題：

- ①個人会員10名の入会と93名の退会を承認
- ②第37回通常総会の進行計画ならびに議案要綱を承認
- ③当面の主要行事日程を承認

3. 委員会の開催状況(2月1日～28日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

総務委員会(2/21)

日俊昭委員長ほか8名、収支見込みと予算案を検討

広報小委員会誌WG(2/2)

大島洋志主査ほか13名、3月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

国際委員会・企画調整幹事会(合同)(2/9)

猪熊康夫委員長ほか10名、平成23年度の活動方針を検討ほか

海外文献小委員会海外文献WG(2/24)

大久保誠介主査ほか14名、海外文献を検討ほか

海外文献小委員会海外ニュースWG(2/28)

早坂治敏主査ほか7名、海外ニュースを翻訳

◎事業委員会(2/10)

桑原彌介委員長ほか17名、催物報告および事業計画を検討

計 6回開催 75名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

技術委員会(2/9)

今田徹委員長ほか19名、平成22年度活動報告および平成23年度計画を検討

共通技術小委員会(2/4)

中山範一委員長ほか13名、海外工事における諸問題をヒヤリング

山岳工法小委員会支保WG(2/22)

深沢成年主査ほか20名、海外文献調査報告およびアンケート調査集計方針を検討

◎受託研究特別委員会

効率的掘削工法特別委員会中流動コンクリートWG(2/1)

松岡茂主査ほか5名、施工事例集原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会補助ベンチWG(2/16)

鈴木雅行主査ほか7名、機械掘削能力を検討

北海道新幹線(北海道方)トンネル特別委員会

(1/31, 2/1)

三上隆委員長ほか28名、現場視察、施工法を検討ほか

地下トンネル塩化物対策検討委員会(2/7)

大即信明委員長ほか28名、現地調査結果を検討

九州新幹線(西九州)トンネル委員会幹事会(2/14)

大島洋志幹事長ほか16名、現地視察

相鉄・JR・東急直通線検討委員会開削検討WG

(2/23)

館山勝座長ほか26名、新綱島駅・新横浜駅に関する施工法を検討

計 9回開催 171名出席

合計 15回開催 246名出席

4. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第37回ITA総会およびコンgres「Underground spaces in the Service of a Sustainable Society」	2011. 5. 21～25	ヘルシンキ(フィンランド)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Finish Association of Civil Engineers RIL (フィンランド土木学会) http://www.wtc11.org/
第38回ITA総会およびコンgres「Tunnelling and Underground Space for a Global Society」	2012. 5. 18～24	バンコク(タイ)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Thailand Underground & Tunnelling Group http://www.wtc2012.com/
第39回ITA総会およびコンgres「Underground - the way to future -」	2013. 5. 10～17	ジュネーブ(スイス)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Swiss Tunnelling Society

\*論文募集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。(社)日本トンネル技術協会 TEL:03-3553-6174

5. 平成22年度催物開催結果

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(見学会)				
津軽蓬田トンネル現場研修会	2010. 6. 4	38	青森県	2.0
調布駅付近連続立体交差現場研修会	2010. 6.18	28	東京都	2.0
京極発電所工事現場研修会	2010. 7.23	25	北海道	4.0
中央環状品川線トンネル工事現場研修会	2010. 7.30	38	東京都	3.3
東九州自動車道トンネル工事現場研修会	2010. 9.29	27	福岡・大分県	3.5
(13号直相)渋谷駅建設工事現場研修会	2010.10. 7	26	東京都	2.5
高瀬トンネル建設工事現場研修会	2010.10.22	21	栃木県	2.0
横浜市下水道工事現場研修会	2010.12. 3	27	神奈川県	2.3
津軽蓬田トンネル現場研修会その2	2011. 1.27	30	青森県	2.0
小田急・下北沢地区複々線化工事現場研修会	2011. 2. 3	22	東京都	2.0
仙台地下鉄現場研修会	2011. 3.23	25	宮城県	2.9
(施工体験発表会)				
第66回(山岳)「山岳トンネルにおける創意工夫事例」	2010.11. 1	159	東京都	5.9
第67回(都市)「厳しい施工条件下における都市トンネル工事」(講演、講習会)	2010.11. 2	119	東京都	5.9
第13回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2010.11.11,12	22	東京都	9.0
第12回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2010.11.18,19	22	愛知県	17.3
2011トンネル技術研究発表会	2011. 2.18	180	北海道	5.5

催物の案内は逐次協会のホームページ([http://www.japan-tunnel.org/event\\_japan](http://www.japan-tunnel.org/event_japan))に掲載いたしますので閲覧くださいますようお願いいたします。一般検索サイトで「トンネル技術協会 国内催物」あるいはURL入力でたどりつけます。

## 5月号予告[5月1日発売予定]

- 小土かぶり未固結地山における事前地山改良工の有効性と課題
- 九州新幹線(西九州ルート) 鈴田トンネル
- 阪神高速道路 神戸山手線
- 首都高速道路中央環状品川線
- 東京メトロ丸ノ内線新大塚駅火災対策連絡通路
- 伊勢湾横断ガスパイプラインシールドトンネル【連載講座】
- 山岳トンネルのインバート(最終回)

\*内容等は変更になる場合がございます

### 編集後記

◆2月22日にニュージーランドのクライストチャーチで地震がおきました。多数のひとがその犠牲となり、多くの方の安否が不明となりました。3月に入り不明となった方々の確認が徐々に進むなか、3月11日に、マグニチュード9.0の大地震が東日本を襲いました。この地震は甚大な津波をとめない、各地に痛ましい災いをもたらしています。

◆これを書いている時点では、被災の規模は明らかではなく、余震もいまだ多くあるなど、予断を許さない状況が続いています。そのようななか、被災地では、外国から救援にかけてくれた人もあわせて、たくさんの人たちが、さらなる被害の恐怖を背負いながらも、救命や安全の確保に当たり、復興にむけた歩みをすすめています。

◆世界ぜんたいでこの復興を支えていくなか、本誌が果たせる役割はないに等しいのかもしれませんが、ただ毎号の積み重ねが、将来、日本の国土がいかなる災害に対しても安全となる日に向けた小さな歩みであると思います。

◆ふたつの地震で被害にあわれた方々に哀悼とお見舞いを申し上げるとともに、安全な国土が1日も早く実現されることを祈って、読者の皆様に今号をお届けいたします。

(K.K.)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください。

★(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(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42巻 第4号(通巻488号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成23年3月20日 印刷

平成23年4月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 佐藤 信彦

〒104-0041 東京都中央区新富2丁

目14番7号(新光第一ビル)

TEL: 03-3553-6174

FAX: 03-3553-6145

<http://www.japan-tunnel.org>

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16

番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

<http://www.tunnel.ne.jp>

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

### 本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

### 購読料

1冊 1,575円(送料108円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

### 本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

TEL: 03-3267-2888

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

## 新刊案内

# 山岳トンネル設計の考え方



東京都立大学名誉教授

今田 徹 著



B5判 183頁 上製本 定価3200円+税

山岳トンネルを設計するうえでの考え方は勿論、設計の留意点などを平易にまとめている。

山岳トンネル工事に携わる諸兄の必携書である。

### 《主要目次》

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

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

株式会社 **土木工学社**

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

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

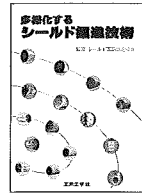
火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げ、また、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく解説。



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。



わかりやすい土质地質学

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。



地質工学概論

菊地宏吉 著  
4,757円+税 B5判

土木構造物や岩盤構造物の計画・調査から設計・施工において必要と地質や岩盤に関する情報を得るために必要な理論および技術を平易に解説した。



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

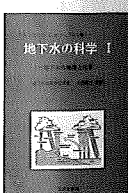
シールド工法について変遷から将来の開発の動向にいたるまで広範にわたり掲載した。シールドトンネルの計画・設計・施工に用いるときに参照しやすくまとめた。



地下水の科学 I～III(全3巻)

R.A.ドミニコ・E.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

わかりやすいトンネルの力学

福島啓一 著  
5,825円+税 B5判

トンネルを掘るときに、どのような力学的な問題が生じるかについて、わかりやすく解説した。トンネル工学の理論と実際が統一されることを願って記された一冊。



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



山岳トンネルの新技术

ジオフロンテ研究会 編  
14,573円+税 B5判

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



ジオテキスタイル設計マニュアル

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

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



岩盤地下空洞の設計と施工

E.フック・E.T.ブラウン 共著、小野寺透・吉中龍之進・斎藤正忠・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患や有害環境条件、健康障害、衛生管理、保護具などを解説した。



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著  
4,200円+税 A5判

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



わかりやすいトンネル技術入門(都市トンネル編)

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著  
2,800円+税 A5判

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



海洋資源開発

稲田善紀 著  
3,400円+税 A5判

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



トンネルと地下

1,500円+税 B5判 月刊(毎月1日発売)

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



書籍のお申し込み

ご注文は当社へFAXまたは、書店にてお申し込みください。FAX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

覆工コンクリート湿潤養生システム

# パラソル30ミスト工法

1. 一週間湿潤状態を保ち乾燥収縮によるひび割れを抑制
2. パラソル内でミストを噴出するため坑内の視界が良い
3. 天井部から吊っているためレール敷設が無く移動が簡単
4. 超細霧のため効率的な養生が出来て路盤の泥濘化を防止

NETIS登録：KT-100038-A



NATMトンネル二次覆工コンクリートを最適に仕上げます

特許出願中



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12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

本製品は特許出願中の技術であり、弊社はその特許出願について製品の実施権許諾を受けております

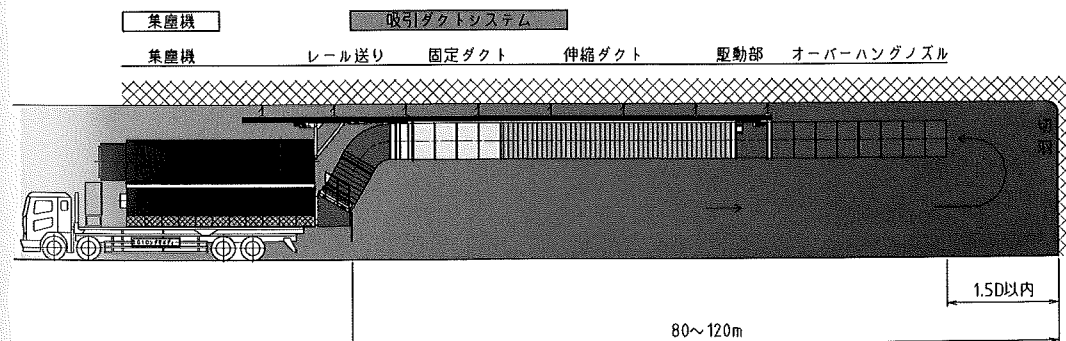
# 時代は吸引捕集方式へ

換気・環境技術は進化しています



軽量吸引ダクトシステム  
SUPER LIGHT  
オーバーハング

拡散希釈方式は業界では限界に近づきつつあり、  
省エネ・CO<sub>2</sub>削減を合わせ持った新しい換気方式  
が求められています



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 3-4-2COI 聖坂ビル  
TEL 03-3452-7400  
URL <http://www.ryuki.com/>  
E-mail [eigyobu@ryuki.com](mailto:eigyobu@ryuki.com)