

トンネルと地下 3 vol. 42
no. 3
2011

Tunnels and Underground

TSPなど切羽前方予測を試みつつ膨張性地山に挑む
既設道路直下にRCスラブを構築しトンネルを掘削
駅施設ならびに仮線工事桁をSRC逆巻きスラブで受ける
長距離シールドの高速施工により浸水対策をスピードアップ
砂質土地盤での簡易な切羽自立性評価方法の提案

日本トンネル技術協会誌



信頼の品質

技術提案に好適!!
デンカの特種混和材デンカの液体急結剤
初期強度発現がバツグン

《デンカクリアショット》

NETIS:KT-080020

液体急結剤 **デンカナトミックLSA**
粉体助剤 **デンカナトミックUSS**

- ・脅威の低粉じん吹付けが可能
- ・確かな初期強度、長期強度発現性
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない
- ・粉体急結剤と同様の吹付け性状
- ・湧水、低温にも強い

優れた低粉じん吹付け

《デンカスラリーショット》

デンカナトミックUS-32
デンカナトミックUS-50《粉じん低減剤》
デンカクリアップ2

- ・安定した低粉じん吹付けが可能
- ・確かな初期強度、長期強度発現性
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

実績の粉体急結剤

一般吹付け・高品質吹付け
デンカナトミックTYPE-5高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10瞬結吹付け・初期高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10S
デンカΣショットS

- ・安定した初期強度・長期強度発現性
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

覆工コンクリート
ひび割れ抑制・耐久性向上コンクリート用膨張材
デンカパワーCSA
有機無機複合型被膜養生剤
デンカクラッコフコンクリート補強用合成繊維
STRUX 85/50L

- ・高品質な覆工コンクリートが得られます

◆トンネル関連製品

- ・デンカPFモルタル、PFモルタルTYPE-K・・・小断面・TBM用吹付けモルタル
- ・デンカライフセッター・・・吹付けコンクリート用凝結調整剤
- ・FTN-30・・・吹付けコンクリート用高性能減水剤
- ・デンカES/ES-L・・・無公害なセメント系土質安定用急硬材
- ・デンカコロイダルセメント/コロイダルスーパー・・・微粒子、超微粒子セメント
- ・デンカPモル・・・注入式ロックボルト定着材
- ・デンカCG-1000、CG-2000・・・可塑性モルタル用混和材

DENKA

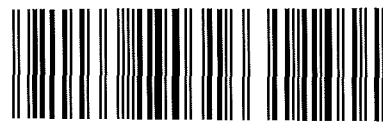
電気化学工業株式会社

セメント・特混事業部 特殊混和材部
東京都中央区日本橋室町2-1-1
電話 03-5290-5558

定価 1,575円

雑誌06619-3

本体価格1,500円

4910066190316
01500

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9.1m
- ・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

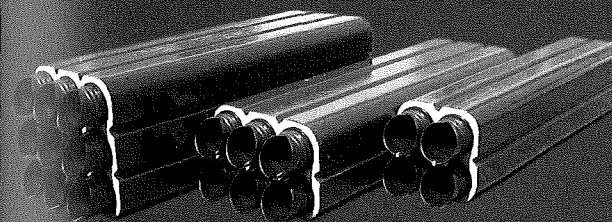
西部支店 〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多 TEL 092-411-4998

三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出長常町1129番地11 TEL 059-234-4111



トンネル内専用として セラダクト A^{エース} ネオ neo

長年の多くの実績から得た豊富なノウハウという「宝物」を新しい技術に。
いらなくなった物で必要な物を作り出す。それが私たちの技術です。
トンネル、電線共同溝、空港、工場敷地内、ありとあらゆる「ニーズ」にお答え出来ます。
資源循環型リサイクル製品「セラダクト A」。



ー 特 長 ー

標準管の長さは65cmの新規格

※従来のセラダクトAは60cm。

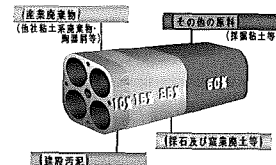
接続はカップリング方式で簡単
スピーディー

※従来のセラダクトAはパッキン介在ボルト締め



再生材料を使用
（再生材が50%以上）
セラダクトAはエコマーク認定商品です
第 04 131 014 号

セラダクトAシリーズは「エコマーク認定基準」に適合し、財団法人 日本環境協会から「エコマーク商品」として認定されました。



ISO 9001:2000取得



杉江製陶株式会社

本社・工場 愛知県知多郡武豊町宇上山一丁目76番地 〒470-2387
TEL(0569)35-2360(代) FAX(0569)35-4087

東京支店 東京都渋谷区恵比寿一丁目21番8号セラ51ビル 〒150-0013
TEL(03)3442-6181 FAX(03)3442-1691

大阪支店 大阪府都島区御幸町1丁目3番1号 〒534-0012
TEL(06)6922-6991 FAX(06)6922-2498

<http://www.sugie.co.jp/>

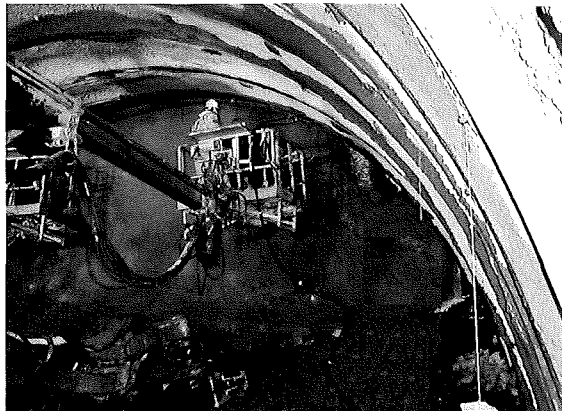
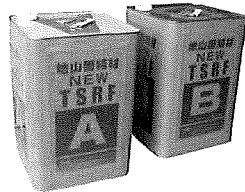
補助工法・注入材のことならティーエムシー

■AGF-OFP工法

当社が提案するAGF-OFP工法(注入式長尺先受工法)は、長尺の先受を鋼管打設と注入により構築するもので、現場で通常使用されているドリルジャンボで施工できる、汎用性の高い長尺先受工法です。鋼管・削孔資材から注入材まで、全部まとめてお任せください。

■各種注入材

NEW-TSRF
(シリカレジン)
NEW-TBU
(ウレタン)

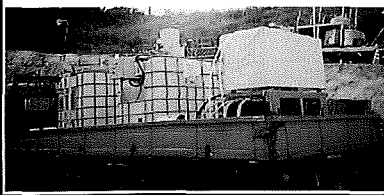


※その他各種工法、セメント系注入材など、詳しくは当社ホームページをご覧ください。

環境に配慮したリサイクルコンテナシステム

NETIS登録番号 : KK-100048-A (2011/1登録)

©リサイクルコンテナ(左)と現場への搬入風景



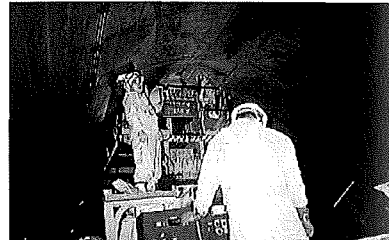
当社のリサイクルコンテナシステムなら、一斗缶の産業廃棄物処理がなくなるため、工事もスムーズに進みます。現場にも環境にもやさしいシステムです。

トンネル補修もティーエムシーにお任せください

これからますます需要増加が見込まれるトンネル補修工事。当社では、補修工事で使用される空洞充填材も取り扱っております。

NTRフォーム12(12倍発泡)
NTRフォーム30(30倍発泡)
NTRフォーム40(40倍発泡)

※その他の倍率等詳細は当社ホームページにてご確認ください。



上記の各種注入材の他、ドリルジャンボ、集塵機をはじめ各種機械も取り扱っております。お気軽にお問い合わせください。

TMC

株式会社ティーエムシー ホームページ : <http://www.tmc-net.com/>

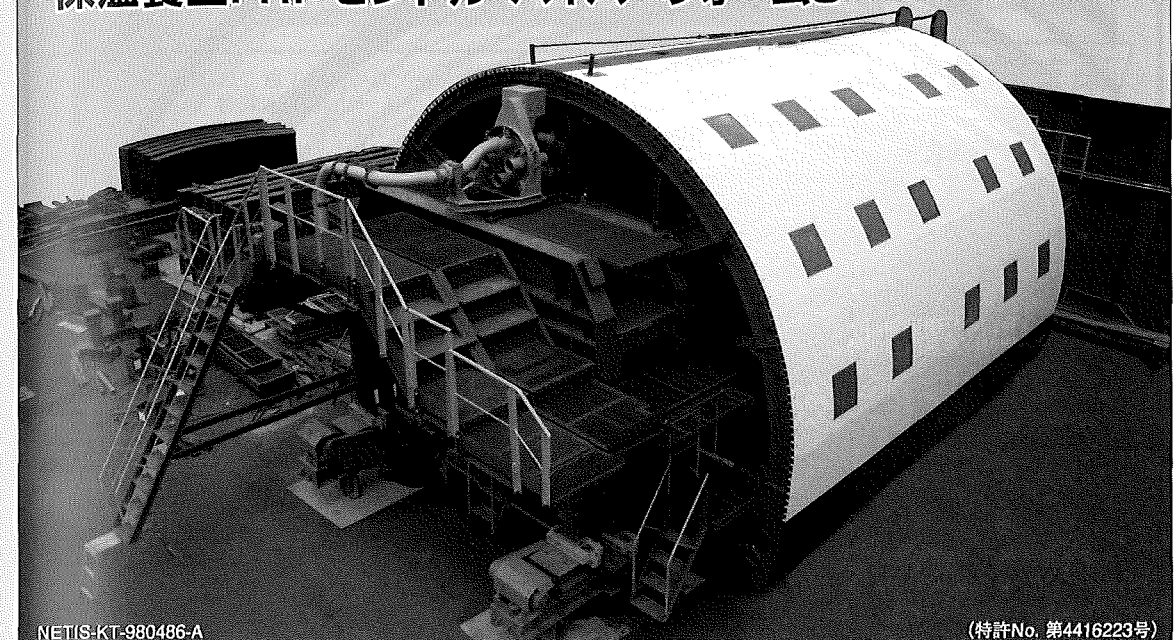
お問合わせ・お見積のご相談はお近くの当社事務所まで

本社	〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-23-3 冠第二ビル5F	TEL: 03-3891-8211
大阪支店	〒578-0903 大阪府東大阪市今米1-2-1 中辻第3ビル3F	TEL: 072-966-6280
名古屋営業所	〒486-0844 愛知県小牧市大字下末1648-10	TEL: 0568-65-7745
九州営業所	〒839-0809 福岡県久留米市東合川3-12-40 アイ・ソリューションビル1F	TEL: 0942-40-8151
小牧物流センター	〒485-0825 愛知県小牧市大字下末1636-9	TEL: 0568-44-7786

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]

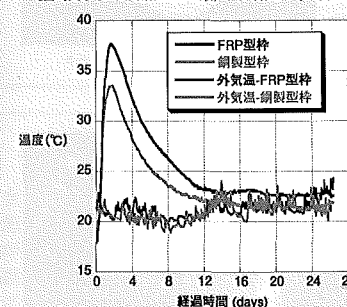


NETIS-KT-980486-A

(特許No. 第4416223号)

■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、横江トンネル南にて測定]



③3~4℃の保温効果により、コンクリート強度が15~20%向上

■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/㎡	145.1	405
比重		1.8	7.8
曲げ強度	MN/㎡	294.2	333.4
剛性E・I	N・㎡	3.66×10 ⁴	5.39×10 ⁴
熱伝導率	W/(m・k)	0.30	46.5
線膨張率	1/℃	1.0×10 ⁻⁵	1.1×10 ⁻⁵
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

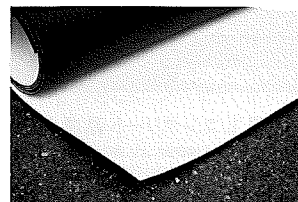
ウォータータイトトンネル 防水システム



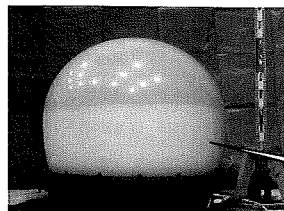
非排水型防水システム用メンブレン
KFCタイトライナー

シート防水材

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

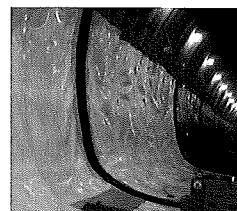
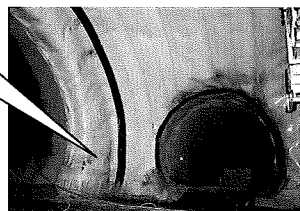


シグナルレイヤー付防水シート



シグナルレイヤーに付いた傷

シート多軸伸び試験



基本システム

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

漏水対策システム

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

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

土木資材事業部(東京) TEL(03)3570-5223 FAX(03)3570-5233
土木資材事業部(大阪) TEL(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755

1本1本が大切! だから

次世代 防食 ロックボルト

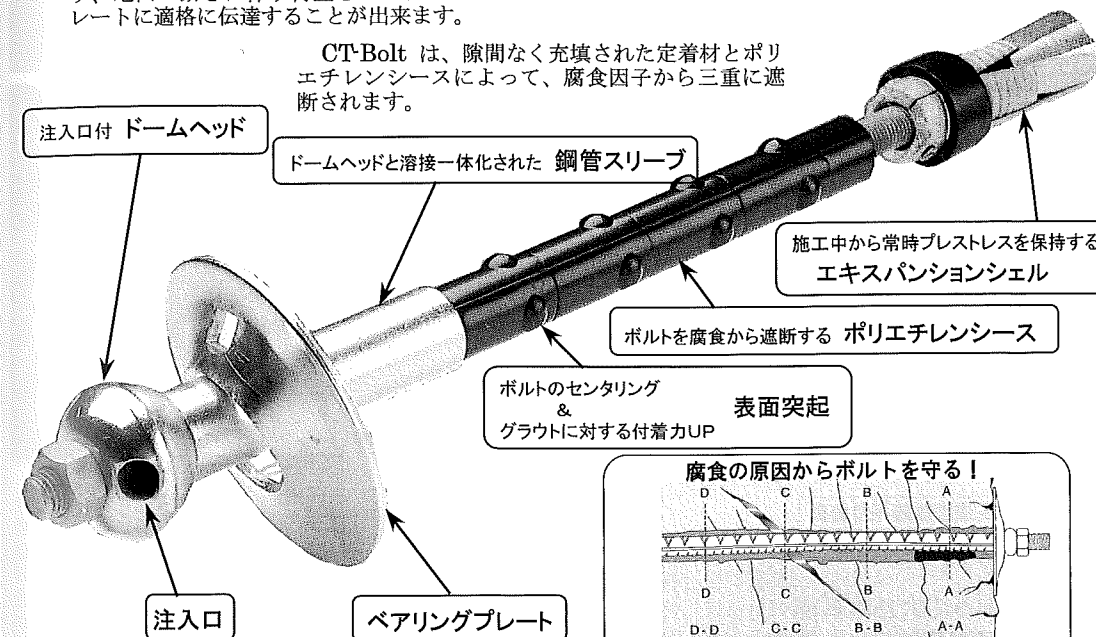
CT-Bolt

.....
Ørsta Stål

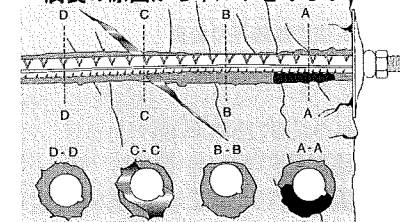
通常施工により超長期支保

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

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

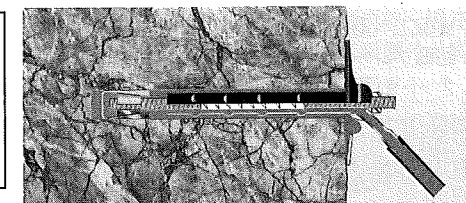


腐食の原因からボルトを守る!



CT-Bolt の定着は・・

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



用途:

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

完全充填

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

総発売元

Your Fastening Partner

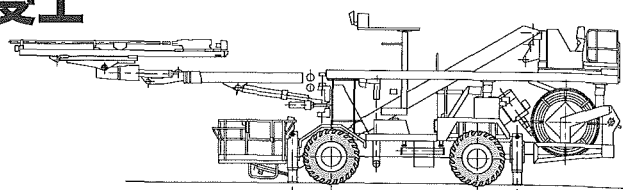
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

〒135-8073 東京都江東区青海2丁目4番32号タイム24ビル
お問い合わせ先 TEL: 03-3570-5182
技術部 FAX: 03-3570-5191

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

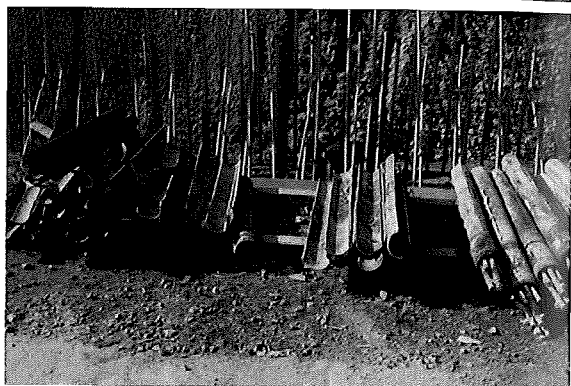
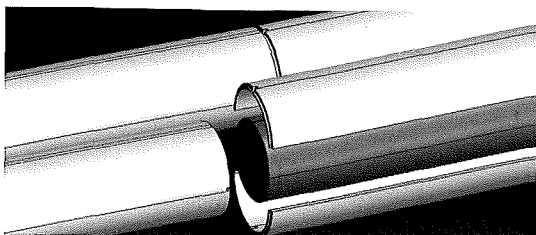
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Pilling Method



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。



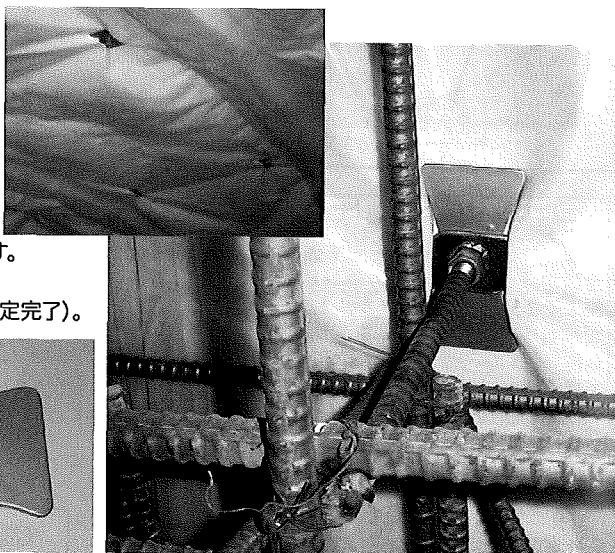
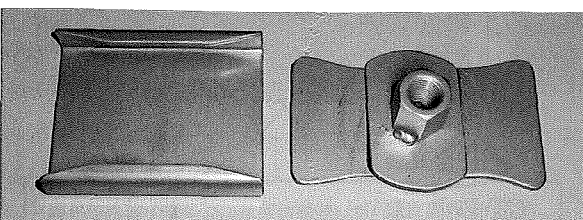
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

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>

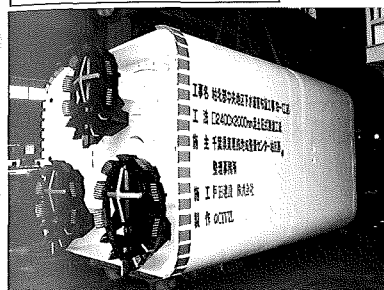
株式会社 トーキンオール

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

超流バランスセミシールド工法

ボックスカルバート推進工法

施工場所：千葉県柏市若菜地内



多軸自転・公転掘進機(内空寸法□2400×2000)

本工法は、有効断面を最大限に確保し、低土被り、長距離、急曲線の安全で迅速かつスムーズな密閉型矩形推進工法を確立しました。

先行工事としての角鋼管水平土留工やボックスカルバートの密閉型推進工法に活用可能です。

- ◆低土被りが推進可能(H=1.5m程度まで可能)
- ◆PC・RCボックスカルバート函体および角鋼管にて対応可能
- ◆密閉型のため切羽の安定性に優れ、地山の緩みを防止可能
- ◆完全密閉型式多軸方式の高トルク掘進機のため、多様な土質に適用可能で迅速な施工を実現可能

リターン回収掘進工法

施工場所：東京都渋谷区神宮前



φ1016mm長距離パイプルーフ掘進機(リターン回収型)

本工法は、掘進機を発進基地に迅速に引き戻せる機構としたことで、到達立坑が不要となり、大幅なコスト削減が可能となりました。

特に長距離、曲線パイプルーフ施工として有効なため、工期短縮およびコスト削減が図れる画期的な工法です。

- ◆長距離・曲線パイプルーフとして適用可能
- ◆通常のJIS鋼管にて対応可能(鋼管φ812~φ1219mm)
- ◆継ぎ手付鋼管においても先行継ぎ手カッターにてスムーズな掘進が可能
- ◆到達回収立坑が不要(発進側へ掘進機内部装置を回収可能)
- ◆密閉型掘進機機構ゆえに無水層~滞水層まで対応可能

巨礫・岩盤破碎型掘進工法

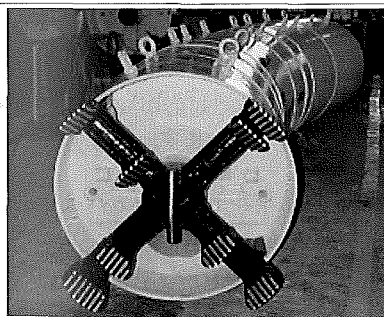


φ1500mm破碎型掘進機

本工法は泥濃式の取込方式の長所を生かしながら、破碎方式を兼ね備え、取込径以下の不要な破碎を行わないため、ビットの耐磨耗延長を従来の2倍以上とし、巨礫に対応しながら長距離推進を可能としました。

- ◆破碎型掘進機：呼び径φ600~φ1650に対応が可能
- ◆岩盤層実績 26件、延べ延長L=10.0km
- ◆巨礫層実績 47件、延べ延長L=15.6km
- ◆破碎型急曲線実績 R=15m(φ800、巨礫層)
- ◆破碎型長距離実績 L=619m(φ1000、巨礫層)

長距離・急曲線推進工法



φ800mm超急曲線掘進機(R=9.3m対応機)

本工法は泥濃式の中でも特に高トルク、超急曲線機能・超長距離安定機能の開発を進め、玉石砂礫層~軟弱層の広範囲の土質に対応できる画期的な掘進機を開発してきました。

- ◆呼び径φ600~φ2400に対応が可能
- ◆排土口径が大きいので、取込型掘進機でも管呼び径の40%程度の玉石等の摘出が可能
- ◆通常の泥濃式の送泥水注入と固結型滑材注入に加え掘進機外周からテールボイド安定材の注入、さらにテールボイド拡幅装置(TRS)を装着することで切羽の安定と良好なテールボイドの構築が可能
- ◆超急曲線掘進機は多段中折れ機構により管呼び径の40~15倍程度まで曲線施工が可能

認証取得
ISO 9001
ISO 14001

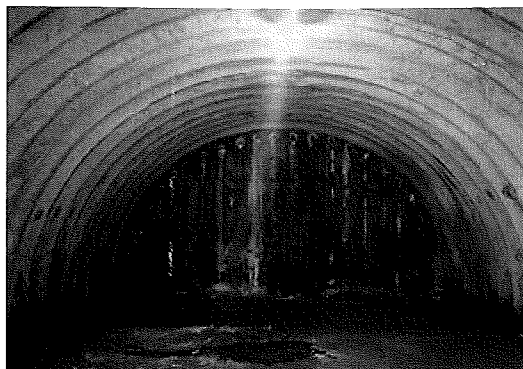
株式会社アルファシビルエンジニアリング(超流セミシールド協会)

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

建設コンサルタント登録番号：建18第8677号
測量登録番号：登録第(1)-30507号
建設許可番号：国土交通大臣許可(特-18)第19193号

日本で生まれ、世界へ広がる。 NATMの補助工法

当社は「AGF工法のパイオニア」として、数多くの実績を築いてきました。この豊富な施工実績を基にした技術対応力で、バックアップ体制をとっています。さらに、豊富なビットシステムと多様な注入システムを保有しているため、「AGF工法～小口径二重管削孔システム」まで、地山条件や施工条件など目的に応じたご提案ができます。



(施工例)断面内からの無拡幅AGF工法



(施工例)鏡面への小口径二重管削孔システム

AGF工法のバリエーション

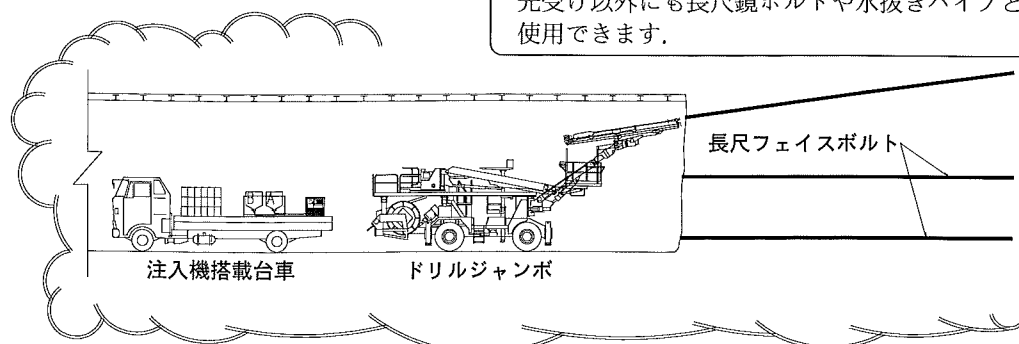
プロトタイプ
無拡幅タイプ
最小拡幅タイプ

小口径二重管削孔システム

鋼管径φ89.1mm～60.5mmまで対応ができ、鋼管・スリット管・特殊樹脂管が選べます。

↓
先受け以外にも長尺鏡ボルトや水抜きパイプとして使用できます。

施工性や経済性を追及して、注入式フォアボーリングとAGF工法の間を埋める工法！



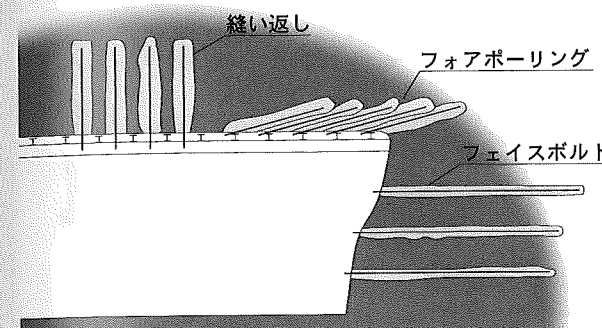
注入材のバリエーション

- シリカレジン注入材
 - ・スーパーSRF(標準タイプ)
 - ・スーパーSRF(Sタイプ)
 - ・スーパーSRF(低粘度タイプ)
- ウレタン注入材
 - ・ガンバンスーパーS
- 無機系注入材
 - ・シリカセーフ



(施工例)固結状況

注入ボルトのバリエーション



注入式フォアボーリングや鏡ボルト等に使用する注入ボルトとして、

- ・PUボルト
- ・KATアンカー
- ・GPRマルチタイプロックボルト

等があり、地山条件や使用目的に応じて選択できます。

主要営業品目

- ・スーパーシート(防水シート)
- ・ツイストロックボルト
- ・異形ロックボルト
- ・KAT自穿孔ロックボルト
- ・GRPマルチタイプロックボルト
- ・各種注入材
- ・アルカリフリー型液体急結剤AFK-777J
- ・各種AGF工法
- ・Small-P工法/パノラマ工法
- ・注入式フォアボーリング
- ・濁水処理設備
- ・建設資材全般

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

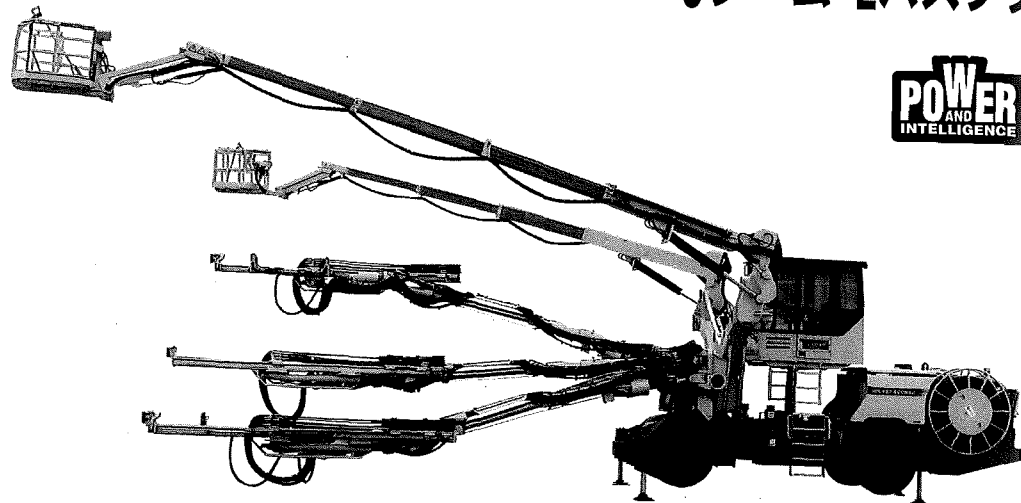
中部営業部
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164
関西営業所
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237
北海道地区(株エイチ・アール・オー)
TEL)011-821-5868 FAX)011-821-6644

アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

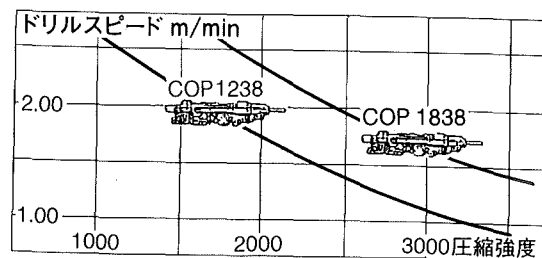
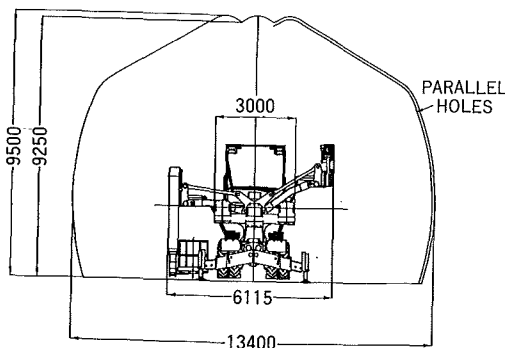
The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B

COP1838油圧ドリフター搭載

3ブーム・2バスケット



**POWER
AND
INTELLIGENCE**

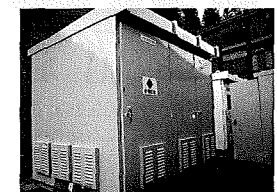
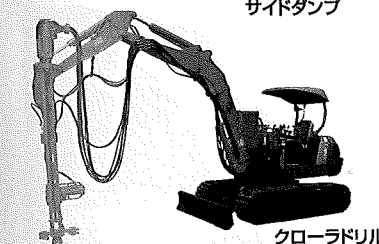
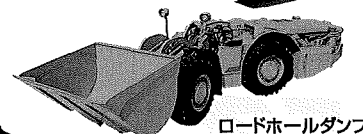
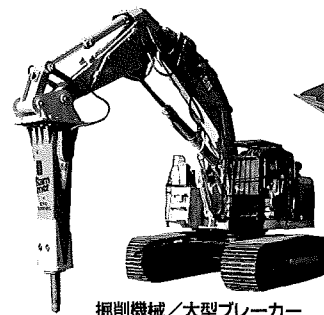
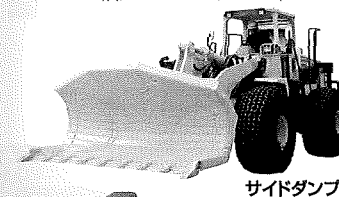
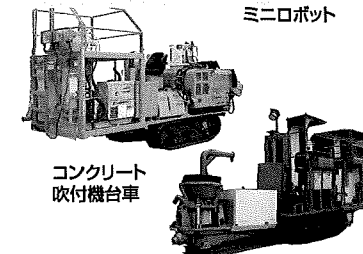
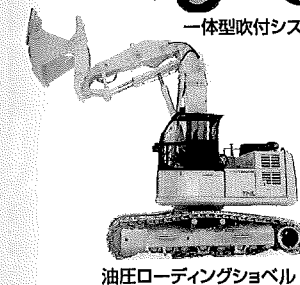
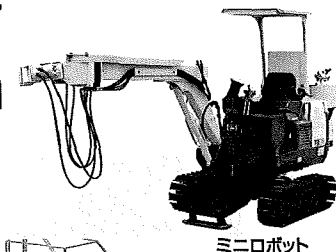
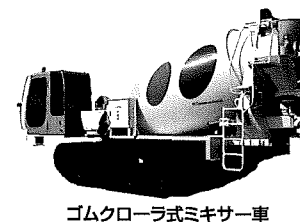
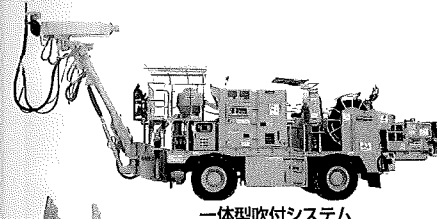
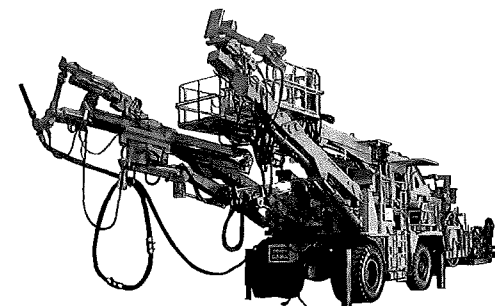


ドリルマシン株式会社

DRILL MACHINE CO., LTD.

本社 〒116-0014 東京都荒川区東日暮里 6-16-8 桂ビル5階
 TEL (03) 3806-3377 番 FAX (03) 3806-8461 番
 関西支店 〒657-0864 兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4
 TEL (078) 802-5551 番 FAX (078) 802-5528 番
 九州支店 〒839-0841 福岡県久留米市御井旗崎1-6-14
 TEL (0942) 43-5315 番 FAX (0942) 43-5832 番
 広島出張所 〒739-2613 広島県東広島市黒瀬町植原1336-1
 TEL (0823) 36-7787 番 FAX (0823) 36-7791 番
 兵庫工場 〒679-1332 兵庫県多可郡多可町加美大袋川端454-3
 TEL (0795) 36-0461 番 FAX (0795) 36-0467 番

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

コンクリートの劣化、欠陥箇所の改修、補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



〈工期短縮，即日仕上り〉

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

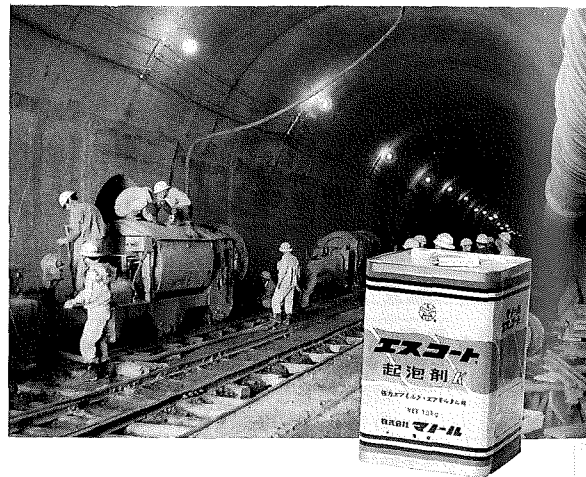
- 短時間で高強度，即日仕上り
- 強力な接着力と収縮，ヒビ割れ防止
- 防水性，防錆力に優れ，中性化防止
- 既調合品で現場管理が簡単

エアモルタル裏込め注入……

エスコート

L & K 起泡剤

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



◆ 土木資材の総合プランナー ◆

株式会社 マーイ

〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)

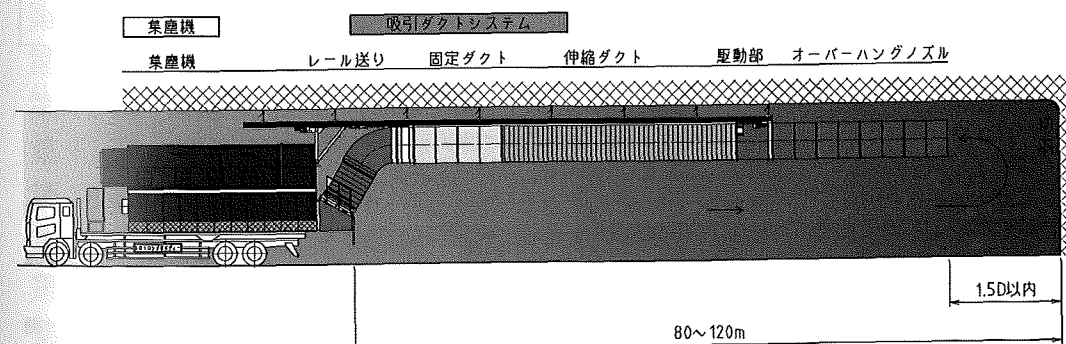
時代は吸引捕集方式へ

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・CO₂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

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います。

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039
加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記
し年間購読料金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



お問い合わせ先

月刊推進技術 編集室

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

〒135-0046 東京都江東区社丹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

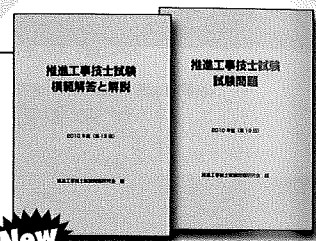
推進工事技士試験 過去9年間(平成14~22年度)

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. 内容と特長

- 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)の出版箇所を明記

2. 価格

各年度単体に1set 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

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

これらのことをインターネットでご案内しています。

お問い合わせ先

株式会社LSプランニング

http://www2.ocn.ne.jp/~ls_siken/

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

新刊案内

山岳トンネル設計の考え方



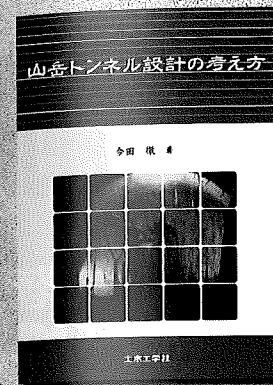
東京都立大学名誉教授

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

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。

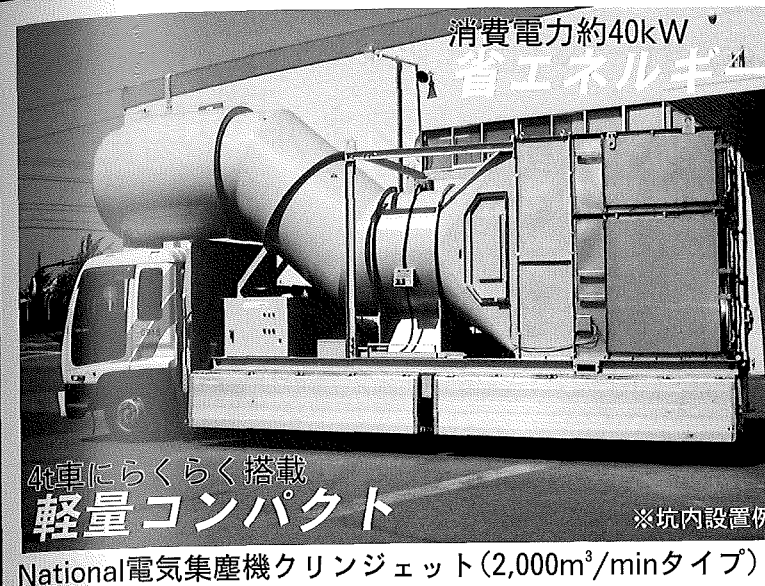
〈主要目次〉

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



RENT

取扱レンタル商品

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

株式会社 **レント**

特機営業課 担当者 工藤

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-12-9 NIビル8階 TEL: 03-5642-6750 FAX: 03-3249-0415
URL: <http://www.rent.co.jp> E-mail: kudo.yuji@rent.co.jp

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)

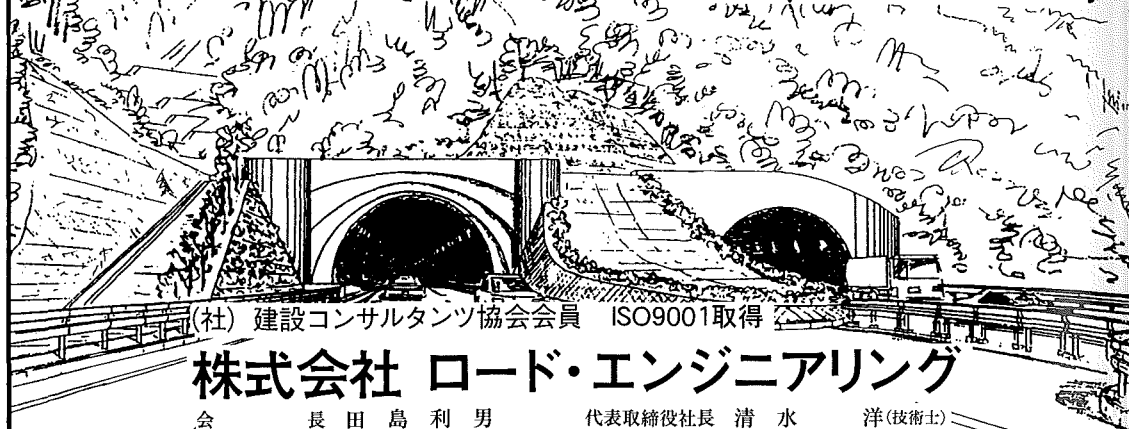
【営業品目】 複層タイヤ/油圧ホース/マテリアルホース/
各種中古車/触媒/線路(中古)

中濃産業株式会社
代表取締役 土田 義 式

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

道路,トンネル設計 (本体工,換気,防災,照明,施工管理他)

トンネル現場診断



(社) 建設コンサルタンツ協会会員 ISO9001取得

株式会社 ロード・エンジニアリング

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

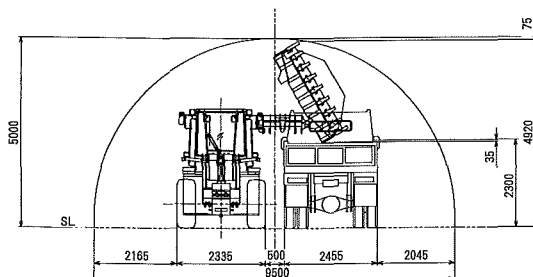
本社: 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目24番7号 電話(03)3891-0711
大阪支店: 〒569-1133 大阪府高槻市川西町2丁目21番38号 電話(072)691-0711
福岡支店: 〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前4丁目25番14号 電話(092)436-1588
沖縄営業所: 〒901-2122 沖縄県浦添市勢理客4丁目16番9号 電話(098)870-6411



サイドダンプ

CAT 924H

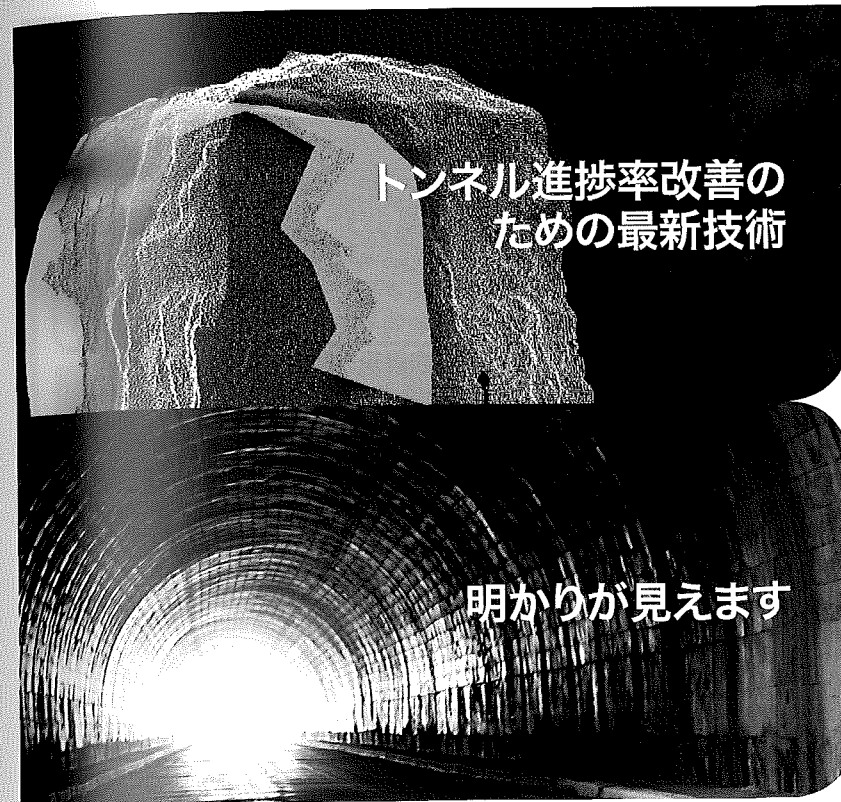
1.5m³



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
道: TEL.0848-56-1124
機材センター: TEL.022-359-4951

URL <http://klea.catrent.com>



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い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-TTM、高エネルギーエマルジョン爆薬の結果をご覧になることができます。これらはすべて、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。



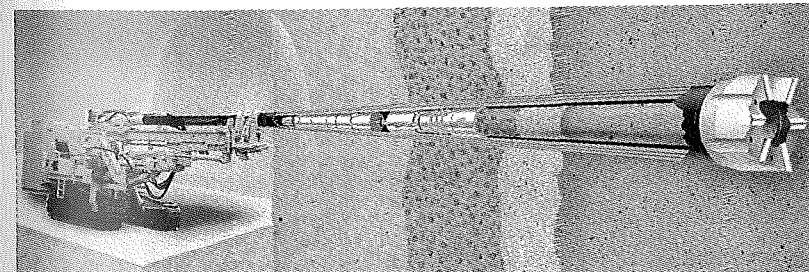
トンネル掘さく的安全施工に アロードリル前方探査システム

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う難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行え、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。

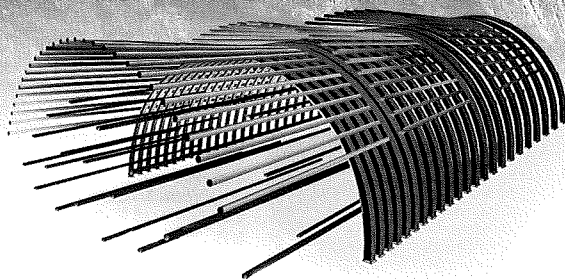


KOKEN 鉾研工業株式会社

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

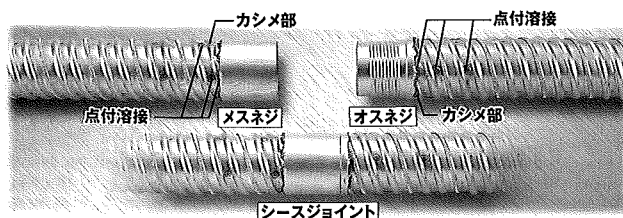
お問い合わせ先: 工事営業本部
TEL. (03)6907-7512 FAX. (03)6907-7522
<http://www.koken-boring.co.jp>

ユニークな発想と高品質・自信の価格



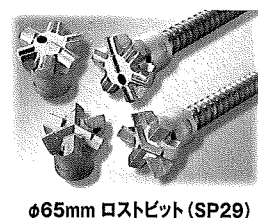
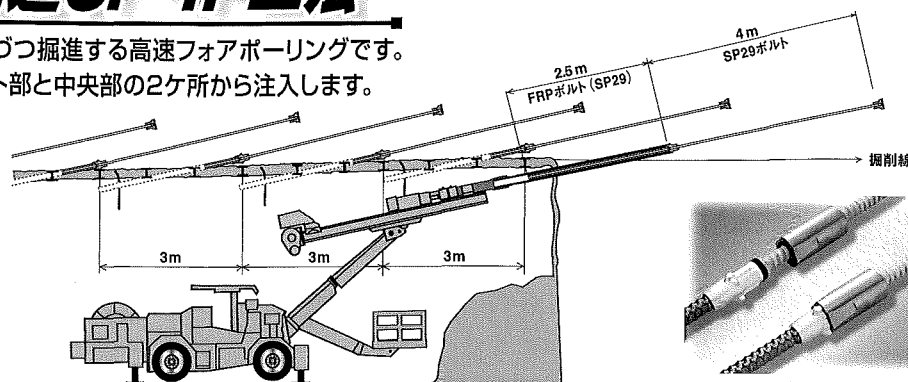
FIXチューブ工法

※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。

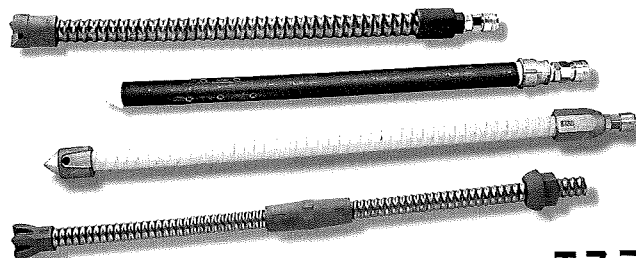


高速SP-IF工法

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



自穿孔ボルト&注入管



※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。

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

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

濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

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



100.0m³/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

《汎用車両全般》



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



10T ミキサー



10T ダンプ



4.5m³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

■巻頭言

新幹線工事における山岳トンネルの変遷

金澤 博 5

■研究

砂質土地盤での簡易な切羽自立性評価方法の提案

川越 健・浦越 拓野・太田 岳洋 49

■計画

長距離シールドの高速施工により浸水対策をスピードアップ

—東京都建設局 古川地下調節池—

林 博志・山田 浩也・栗本 勝利・稲葉 靖規 41

■施工

TSPなど切羽前方予測を試みつつ膨張性地山に挑む

—九州新幹線西九州ルート 俵坂トンネル(西)—

後藤 知治・内田 雅洋・高山 藤博 7

既設道路直下にRCスラブを構築しトンネルを掘削

—福岡県営農道整備事業(京築三期地区)トンネル—

因 孝一郎・南條 征治・寺西 淳次・亀谷 英樹 15

駅施設ならびに仮線工事桁をSRC逆巻きスラブで受ける

—小田急小田原線複々線・連続立体交差事業—

門石 崇・佐藤賢一郎 33

■連載講座

山岳トンネルのインバート(1)

—インバートに関する技術基準の変遷—

JTA山岳工法小委員会支保ワーキング 57

■現場だより

「神話のふるさと」雲南市吉田より

渡邊 博 24

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

忘れえぬ思い出

—トンネル屋人生に悔いなし—

寺本 勝三 25

■資料

土木情報

編集部 32

工法・技術・製品ニュース

編集部 68

トンネルジャーナル

編集部 40

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 69

文献紹介

編集部 67

■会報

会報

日本トンネル技術協会 70

【表紙説明】

既設道路直下にRCスラブを構築しトンネルを掘削
—福岡県営農道整備事業(京築三期地区)トンネル—

当該トンネルの到達側坑口付近は、最小土かぶり約10~15cmで既設道路と近接交差する。当初設計では、大規模土工事による仮設道路の付替えによって、開削工法で施工する計画であったが、工事着手後の条件変更により、トンネル掘削で施工することとなった。施工法の検討を行った結果、トンネル掘削前に、トンネル両側壁部を地盤改良し、天端にRCスラブを先行打設して、既設道路を供用しながらトンネル掘削を行う工法を採用した。写真は、RCスラブのコンクリート打設完了状況である。

〔写真提供：福岡県〕(本文15頁参照)

ヤマモト (さくがんき)

無騒音 無振動 静かな破碎

超大型油圧破碎機

YTB 1120

トンネルビッカー

ヤマモトロックマシン株式会社

本社 東京都千代田区丸ノ内3丁目2番3号富士ビル

☎ (03) 3201-0701(代)

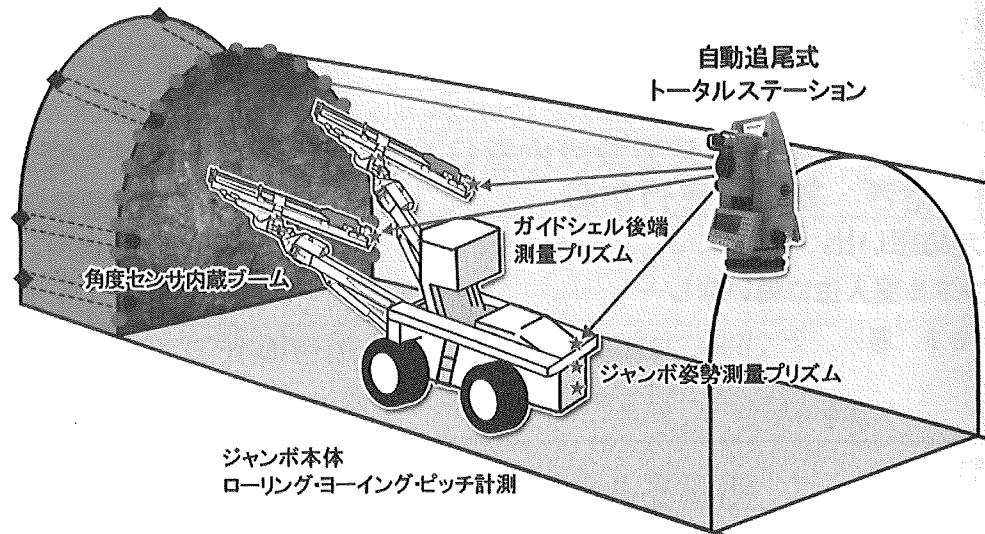
工場 広島県庄原市東城町36番地 ☎ (08477) 2-2137(代)

仙台営業所 (022) 262-4531(代) 大阪営業所 (06) 6531-1571(代) 高知営業所 (0888) 22-1367(代) 九州営業所 (092) 471-0381(代)

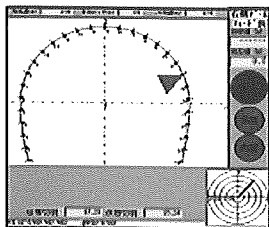
自動追尾式余掘り低減システム

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3

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

FRD 古河機械金属グループ 古河ロックドリル株式会社

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3
特機部

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

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

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 トンネル技術部部長	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

トレンチャー

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路
掘削状況



施工例



トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D7	40/30	60/35
メーカー名	テスメック	テスメック	マステンブルグ	マステンブルグ
掘削幅(最小)cm	45	75	70	70
掘削幅(最大)cm	60	100	110	110
掘削岩の硬さ(最大)	500kg/cm ²	700kg/cm ²	700kg/cm ²	1000kg/cm ²
重量t	36	53	50	59
長さm	13.0	10.8	14.0	15.4
幅m	2.5	3.2	2.95	2.98
高さm	3.30	2.86	3.00	3.20
エンジンの出力PS	300	402	450	600

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

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



ワールド開発工業株式会社

●本社/営業部 〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484

☎ (026) 282-3671(代) FAX (026) 282-5803

http://www.wkk.co.jp/

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

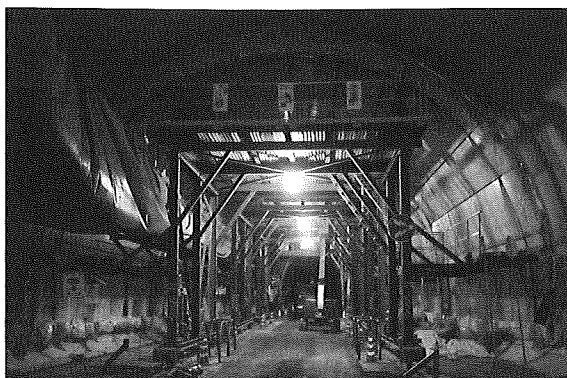
NETIS 登録 No.HR-080001-A



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、覆工表面の縞模様を防止します。

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

トンネルと地下 VOL.42 No.3 掲載概要

掲載頁
7

TSPなど切羽前方予測を試みつつ膨張性地山に挑む

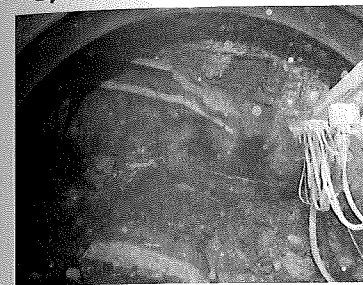
—九州新幹線西九州ルート 俵坂トンネル(西)—

鉄道・運輸機構 後藤 知治

九州新幹線西九州ルートは、福岡市から佐賀市を経由して長崎市に至る計画路線のうち、現在武雄温泉・諫早間約45kmを着工している。同区間では、延長の約半分にあたる計23km、30本のトンネルを施工する計画であり、このうち5工区で本坑掘削を開始したところである。俵坂トンネル(西工区)は一部区間で地山強度比の小さい泥岩層を通過することから、掘削に伴う膨張性土圧による側壁押し出しなど、内空変位の発生が危惧されていた。しかし、斜路と本坑交点部付近の掘削初期の段階から想定外の区間で膨張性土圧による側壁の押し出しなどが発生した。変位抑制対策として仮インバートによる閉合を行い、また、切羽前方探索として、ウォーターハンマーによる長尺ボーリングやTSP(弾性波探査)を実施して、地質構造を事前に把握しながら掘削を進めている。本稿ではこれら施工上の課題や対策について報告する。

Tackling Swelling Ground with Prediction of Geology—Kyushu Shinkansen Nishi Kyushu Route Tawarazaka Tunnel (West)—

By Tomoharu Goto, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency



写真は切羽写真(14km486m)

Tawarazaka Tunnel (western section) on Kyushu Shinkansen Nishi Kyushu Route passes through mudstone with low competence factor, there was fear of the occurrence of deformation such as squeezing due to swelling pressure involved in tunnel excavation. However, there were occurrences of squeezing due to swelling pressure in unexpected points from the early stages of excavation near the intersection with this tunnel and incline. As a measure to control deformation, temporary invert was built and long boring test with a water hammer and seismic prediction were conducted to understand the geological condition in advance of excavation. This report gives information on these challenges and measures during construction.

掲載頁
15

既設道路直下にRCスラブを構築しトンネルを掘削

—福岡県宮農道整備事業(京築三期地区)トンネル—

福岡県 因 孝一郎

当該トンネルの到達側坑口付近は、最小土かぶり約10～15cmで既設道路と近接交差する。当初設計では、大規模土工事による仮設道路の付替えによって、開削工法で施工する計画であったが、工事着手後の条件変更により、トンネル掘削で施工することとなった。施工法の検討を行った結果、トンネル掘削前に、両側壁部を地盤改良し、天端にRCスラブを先行打設して、既設道路を供用しながら掘削を行う工法を採用した。実施工では、超近接施工であることから、坑内の計測変位をリアルタイムで可視化することにより、RCスラブや支保部材の健全性と通行車両の安全性を常に監視しながら施工を行った。本稿は、道路交差部におけるトンネル補強構造の設計・施工と計測変位の可視化による安全管理手法について報告するものである。

Building RC Slab beneath an Existing Road to Bore—a Tunnel of Fukuoka Prefecture Agricultural Roads Renovation Project (Keichiku No. 3 District)—

By Koichiro In, Fukuoka Prefecture

The vicinity of the arrival portal of this tunnel was planned to place at 10–15 cm below existing road. In the former design, the plan was to construct the tunnel with cut and cover method and a temporary road accompanied with large-scale earth works but due to the changes in construction conditions after commencing work, construction method was changed to tunnel boring.



写真はRCスラブのコンクリート打設完了

Construction methods were investigated to conduct ground improvement on both walls of the tunnel and to place RC slabs on the crown before boring. This method allowed the existing road in service. The actual construction, as it is an extremely adjacent construction, was executed while constantly monitoring the soundness of the RC slab and support members to secure the safety of the traffic by visualizing deformation in real time.

This report gives information on design and construction of a reinforcement of tunnel under the existing road and safety management techniques through visualization of measurement changes.

小田急電鉄では、東北沢～和泉多摩川間約10.4kmの複々線化事業を進めている。

また、複々線化事業は東京都による連続立体交差事業にあわせて進めており、すでに世田谷代田駅～和泉多摩川駅間約8.8km(経堂・狛江地区)が完成し複々線による運転を行っている。現在は全事業区間でもっとも都心側にある東北沢～世田谷代田間約1.6km(下北沢地区)で工事を行っているところである。下北沢～世田谷代田間は小田急線の最混雑区間で、当区間の完成により列車増発による混雑の緩和と、社会的問題である開かずの踏切を9か所で解消することが可能となる。

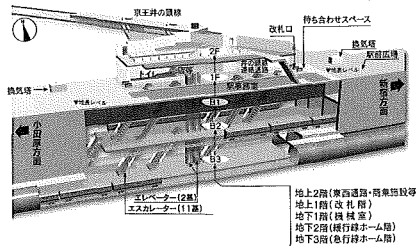
本稿では、既存鉄道直下に平行するかたちでの地下化工事という事業において、区間中でもっとも狭隘箇所かつ乗降人員が多い下北沢駅の躯体設計や施工、施工管理について報告する。

Underpinning of the Station Facilities and Temporary Line Girders by SRC Slabs—Odakyu Odawara Line Track Quadrupling / Grade Separation Project—

By Takashi Kadoishi, Odakyu Electric Railway Co., Ltd.

Odakyu Electric Railway Co., Ltd. proceeds with track quadrupling project approximately 10.4 km between Higashi Kitazawa and Izumi Tamagawa. In addition, this project is progressing in conjunction with the grade separation project by the Tokyo Metropolitan government. 8.8 km (Kyodo/Komae section) of it between Setagaya Daita and Izumi Tamagawa stations have already been completed and quadruple track is in-service. Works are currently being conducted approximately 1.6 km (Shimo Kitazawa section) between Higashi Kitazawa and Setagaya Daita stations which is the most east section. The section between Shimo Kitazawa and Setagaya Daita is the most congested section on the Odakyu Line. Once this project is completed, it will become possible to alleviate this overcrowding through an expand train service and decommission the 9 unopened level crossings which are a social issue.

the Shimo Kitazawa Station has largest number of passengers and the narrowest construction site in this project. This report gives information on structure design, construction and construction management to bury lines and station beneath operating railway facilities.



図は下北沢駅完成イメージ

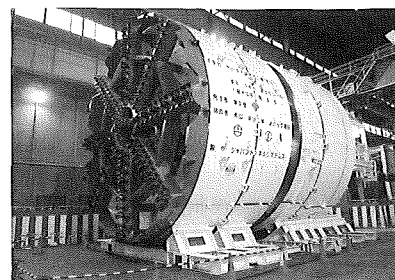
東京都港区の古川流域は、大雨による浸水被害がたびたび発生している地域で、河川整備が進められている。本工事は、 N 値50以上の硬質地盤である上総層群を内径7,500mm、延長3,300mのシールドトンネルを、泥土圧シールド工法で施工するものである。

また、地下調節池の早期供用開始を目指し、シールド本掘進は、掘進中に下部のセグメントを組み立てる部分同時施工を採用し、鋼製セグメント部の二次覆工は、吹付けライニングシステムを採用して本掘進と同時施工を行うことで高速施工を計画し、工期短縮を図っている。

本稿では、本工事に採用した技術・施工計画の概要について報告する。

Speeding Up Flood Measures through High Speed Shield Tunneling—Bureau of Construction, Tokyo Metropolitan Government Furukawa Underground Flood Control Reservoir—

By Hiroshi Hayashi, Bureau of Construction, Tokyo Metropolitan Government



写真は掘進に用いるシールド

The Furukawa River watershed in Minato-ku, Tokyo is an area which was repeatedly flooded in storm. River improvement project in this area is progressed to build a shield tunnel of 7,500 mm in diameter and 3,300 m in length with the slurry shield which will be driven through hard ground of over N -value 50.

In addition, aiming to open an underground flood control reservoir as early as possible, the technologies are employed for assembling the lower lining segments and finishing the inner lining of the steel segment by shotcrete during driving cutter face.

This report gives information on the possible technologies adopted during this project and an outline of the construction plan.

地山の固結の程度が低く、かつ地下水位が高い条件下の砂質地盤に山岳工法でトンネルを掘削する際には地下水の浸透力に対する切羽の自立性に着目した地山分類が行われる。しかし、トンネル掘削時に切羽の自立性を定量的に評価する手法は確立していない。

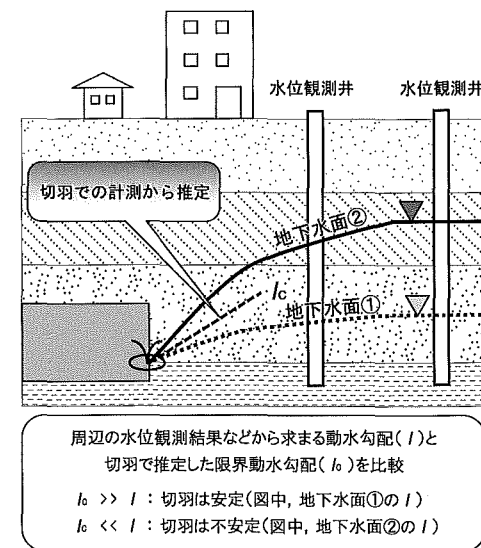
本論では、まず不攪乱試料を用いた試験や実験から、地下水の浸透力に対する砂質地盤の安定性の指標のひとつである、限界動水勾配が均等係数や粘着力と相関が高いこと示し、その原因について検討した。さらに、その検討結果をもとに土壌硬度計による支持強度から限界動水勾配が推定できることを示したうえで、通常の掘削サイクルの中で簡易に行える切羽の自立性評価の方法を示した。

Simplified Evaluation Method of Tunnel Face Stability in Sandy Soil Ground

By Takeshi Kawagoe, Railway Technical Research Institute

When excavating a tunnel with NATM in sandy soil ground which has the condition of low consolidation and high groundwater level, ground is classified according to the face stability against seepage force of groundwater. However, no techniques for stability evaluation of tunnel face when excavating have been established.

In this report, first, the author shows that the critical hydraulic gradient which is one indicator of stability of sandy soil ground against groundwater seepage force is well correlated with uniformity coefficient and cohesion through trials and experiments using undisturbed samples, and then investigates the causes for this. Furthermore, the author shows that it is possible to estimate the critical hydraulic gradient with a soil hardness cell based on the results of this investigation, and proposes an evaluation method of tunnel face stability in sandy soil ground that is easy to conduct during excavation.

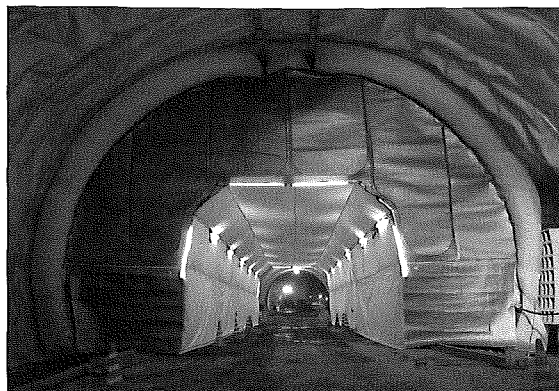


図は地下水の浸透力に対する切羽の自立性評価(模式図)

トンネルバルーン覆工コンクリート トータル養生工法

長期耐久性に優れた高品質な
覆工コンクリート施工を実現します！

NETIS登録
(No. HR-040005)



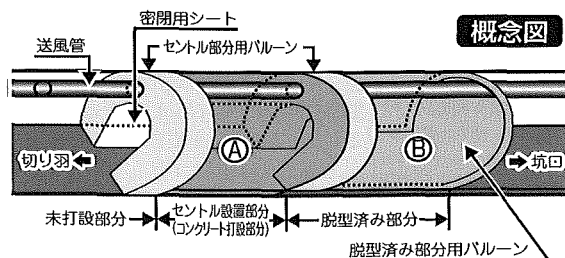
特許出願中

覆工養生バルーン

脱型後の覆工コンクリートを覆います。

【特徴】

1. 長期材齢の強度アップ
2. 覆工コンクリートの表面を湿潤状態に保ちます。
(乾燥収縮クラックの低減に貢献します)
3. 断熱効果が期待できます。
(内部と表面の温度差が少ない⇒
温度応力の低減)



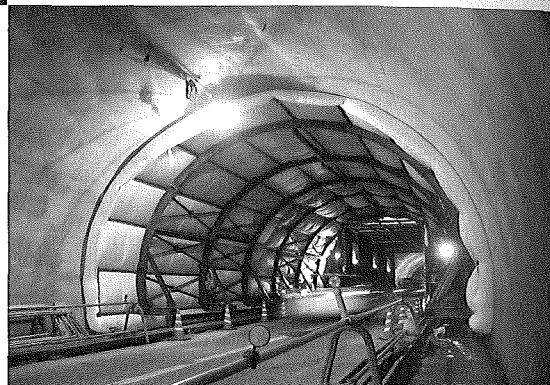
① セトル（コンクリート型枠）を両サイドのバルーンと密閉用シートで完全に空気層をつくり保温・保湿する
② 打設後のコンクリートに薄い筒状のバルーンを密着させ保温・保湿する

セトル温度養生バルーン

打設後から脱型までセトルをバルーンで覆い温度養生をします。

【特徴】

1. 若材齢時に温度管理をすることで初期強度が向上します。
2. 高品質コンクリートの確保が可能です。
(脱型時コンクリートの付着が減少します)
3. サイクルタイムの短縮が可能です。
4. 洗いが車両通行部に落ちません。



特許3811478号

概念図

実績	セトル温度養生	覆工養生バルーン
新幹線	5現場	2現場
高速道路	2現場	2現場
国土交通省	3現場	8現場
地方自治体	7現場	5現場
JR東日本	2現場	1現場
合計	19現場	18現場

2005年『日経BP技術賞 建設部門』受賞

岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO., LTD.

本社・工場 岐阜県本巣市十四条144番地
Tel 058(323)2000(代) Fax 058(323)1176
東京支店 Tel 03(5836)0531 Fax 03(5836)0532
仙台営業所 Tel 022(259)2239 Fax 022(259)3664
九州営業所 Tel 092(713)5265 Fax 092(714)3028
URL <http://www.gifukogyo.co.jp/>

東 宏
株式会社

本社 北海道札幌市東区北20条東5丁目1番7号
Tel 011(742)3331 Fax 011(742)3333
東京支店 Tel 03(3683)8011 Fax 03(3683)8028
道東営業所 Tel 0155(34)6311 Fax 0155(34)8494

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

巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)

新幹線工事における 山岳トンネルの変遷



鉄道・運輸機構副理事長(本協会副会長)

金澤 博

昨年の12月4日、鉄道・運輸機構が平成10年以来建設を進めてきた東北新幹線の八戸・新青森間が開業しました。この区間では、新幹線車両の高速走行を確保するために、可能な限り大きな半径の曲線と直線とを組み合わせるルートを設定しました。その結果、工事延長82kmのうち、62%がトンネルになりました。したがって、この区間の工期を短縮し、工事コストを抑えるためには、トンネル工事のできが大きな鍵を握ることとなりました。

まず初めに、工事コストに照準を当てて考察してみることとします。当該区間の構造物延長1kmあたりの単価を比べると、標準的なラーメン高架橋では、用地(支障移設含む)、基礎、躯体コンクリート、軌道、そして消雪設備を合わせて概ね50億円/kmとなります。このうち、消雪設備の占める割合が20~30%もあり、通常の高架橋の工事費に加え、多雪地帯に不可欠なコストが付加されます。さらに散水消雪区間では、キロあたり年間2千万円近いランニングコストが必要となります。

一方、一般的なトンネル工事では、掘削、コンクリート、軌道、湧水対策など、すべて合わせても25~30億円/kmであり、明かり区間、とくに消雪設備を必要とする区間と比べると工事コストを低く抑えることができました。

また工期短縮の観点からみると、トンネル工事では坑口付近の用地買収と坑外設備の借地交渉が成立し、近隣の住民の了解が得られれば即着工でき、掘削途中で大きなトラブルに見舞われない限り、工事が継続できます。一方、高架橋工事は1工区延長2~3kmの間で、埋蔵文化財が出現したり、難航地権者が存在したりすることがあり、その場合は円滑な工程の確保に苦労します。また、工事中や開業後の環境対策についても、トンネルより困難な場合がよくあります。

以上のような東北新幹線の経験は、まだ未認可ではありますが、今後の北海道新幹線、函館~札幌間の計画に大いに参考になります。すなわち、当該区間はほぼ70%がトンネル

ルであり、この間の工事の成否はトンネル工事の巧拙に掛かっていると言ってよいでしょう。

かつて、鉄道のルート選定にあたっては、トンネルをできるだけ避け、等高線に沿って切り取り・盛土で構成することが基本でした。今はむしろ、地形、地質条件を十分に調査したうえで、トンネルを積極的に取り入れています。

このように大きくトンネル工事のコスト縮減をもたらしたものは、NATMの導入と建設の機械化にあると言ってよいでしょう。平成9年5月、当時の土木学会副会長(鉄道公団副総裁)の廣田良輔氏が、「新幹線のインフラコストと建設技術の進展」と題して、学会の総会で講演された資料を参考に、東海道、長野そして、今日の新幹線工事におけるトンネル工事の積算要領を分析してみました。

地山分類Ⅱの地質におけるトンネル1mあたりに要する作業員数(インバートを除く)を比較します。東海道では、底設導坑先進上部半断面工法が標準工法でした。この工法では、掘削だけでも、底設導坑、上半、下半、土平などに細かく分割され、作業環境がきわめて狭隘でした。さらに、ずりや資材の運搬がレール方式のため、工事用軌道の設置・保守・管理など、付帯的な作業に多くの労力を投入せざるを得ず、実に57.6人/mもの人員が必要とされました。

長野新幹線の建設当時では、トンネル工事の標準はNATMに全面変更されました。平成8年のNATM積算要領にもとづき、必要な作業人員を算出すると、8.1人/mと、東海道の7分の1にまで激減しました。その後、鉄道・運輸機構では、高品質吹付けコンクリートの開発・導入などによって、サイクルタイムをさらに短縮させました。その結果、実態調査を反映した平成22年の積算要領では、6.3人/mと十数年前の長野時代の75%までに積算上の人員を削減することができました。

以上のことは、昭和50年代の初頭に、発注者と業界が一緒になってNATMを導入し、日本の実態に合うように懸命に改良を重ねてきた成果と考えます。今後はこれほど大きなブレイクスルーは望めないまでも、山岳トンネル技術に課せられた課題はまだあります。たとえば、施工の機械化・自動化による更なるコスト縮減、二次覆工コンクリートの耐久性向上に伴うライフサイクルコストの低減、安全性の更なる確保など、引き続き、発注者と業界が一体となった取り組みが求められます。

施工

TSPなど切羽前方予測を試みつつ膨張性地山に挑む

—九州新幹線西九州ルート 俵坂トンネル(西)—

鉄道・運輸機構九州新幹線建設局武雄鉄道建設所主任 後 藤 知 治
 鉄道・運輸機構九州新幹線建設局武雄鉄道建設所所長 内 田 雅 洋
 前田・松尾・下特定建設工事共同企業体現場代理人 高 山 藤 博

1 はじめに

九州新幹線西九州ルート(図-1)は、福岡市から佐賀市を經由して長崎市に至る計画路線のうち、武雄温泉・諫早間の工事実施計画が平成20年3月に認可され、着工している。

俵坂トンネルは一部区間(武雄温泉起点15km450m～16km470m間)で地山強度比の小さい泥岩層を通過することから、トンネル掘削に伴う膨張性土圧による側壁押し出しなど、内空変位の発生が危惧されている。しかしながら、斜路と本坑交点部付近の掘削初期の段階から想定外の区間で膨張性土圧による側壁の押し出しや盤ぶくれなどが発生した。

これに対処するため、掘削パターンを重くして補助工法を採用したが、一部区間では結果的に縫い返しを余儀なくされた。このため、それ以降の区間では、支保工のランクを上げるとともに仮インバートによる早期閉合を図ることで変位を抑制することとした。

また、これらの経緯を踏まえ、ウォーターハンマーによる長尺ボーリングやTSP(弾性波探査)を実施して前方探査を行い、地質構造を事前に把握しながら掘削を進めている。

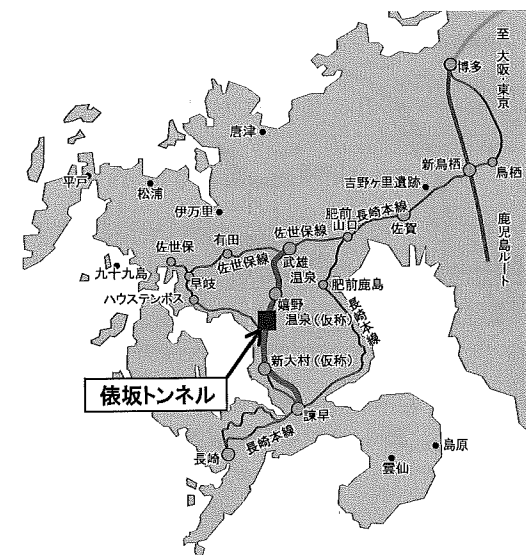


図-1 西九州ルート位置図

平成22年11月末現在、図-4の⑤区間を掘削中であり、もっとも土かぶりの小さい岩屋川内川直下を無事通過した。この間、心配された異常出水もなく安堵しているところであるが本格的な膨張性土圧はこれから迎えることから、今後の掘削にあたっては、これまで以上の困難に遭遇する可能性が高い。

本稿ではこれら施工上の課題や対策について報告する。

2 地形・地質概要

俵坂トンネルは、佐賀県と長崎県の県境に位置し、武雄温泉・諫早間で最長となる延長5,500mの新幹線鉄道トンネルであり(図-2)、長崎自動車道の俵坂トンネル、不動山トンネルおよびうれしのトンネルとほぼ並行している(図-3)。

俵坂トンネルの起点方坑口から約2.2kmまではなだらかな緩斜面であり、土かぶりは100m程度、それ以降は安山岩および玄武岩の山地となっており、最大土かぶりは約260mである。掘削の対象となる地層は、起点方坑口から約2.2kmまでは古第三紀の杵島層群の砂岩あるいは泥岩、それ以降は杵島層群の泥岩が主体となるものの、部分的にはその上位の新第三紀～第四紀の凝灰岩も掘削の

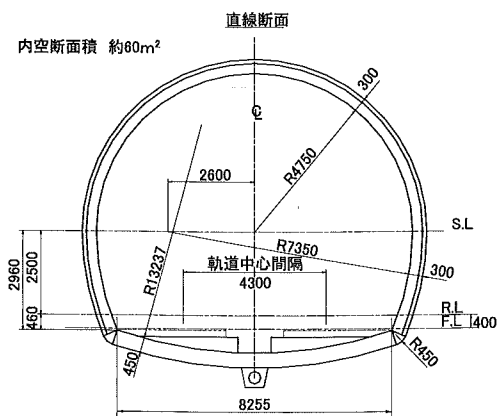


図-2 トンネル断面(直線)

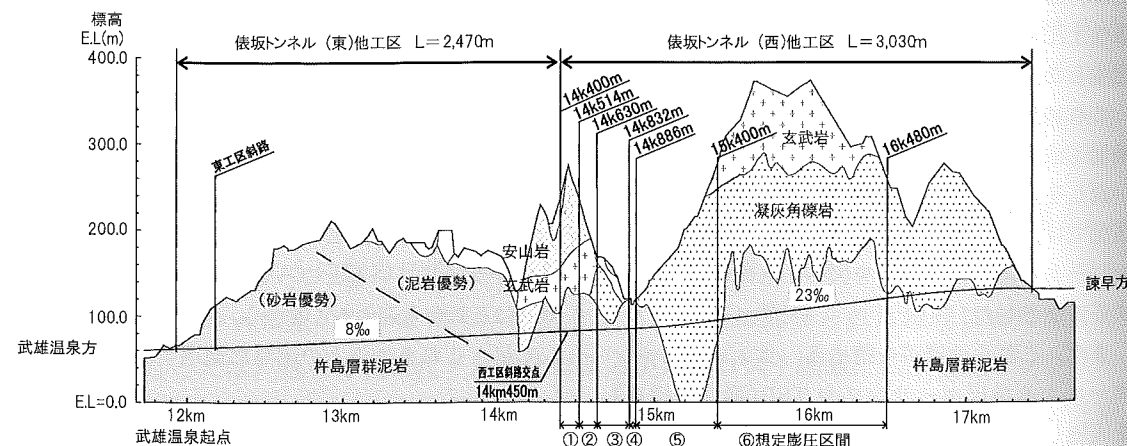


図-4 俵坂トンネル地質縦断面図

対象となる。杵島層群は、トンネルの起点方では砂岩が優勢であり、終点方では泥岩が優勢であると想定されている(図-4)。

3 工事概要

俵坂トンネルは、起点方の東工区(L=2,470m)と終点方の西工区(L=3,030m)に分割発注してい



図-3 俵坂トンネル平面図(Google マップより作成)

る。西工区は、当初計画において、①、②泥岩区間(土かぶり85~190m)、③泥岩主体だが切羽上方に凝灰角礫岩との層境が予測される区間、④土かぶりが約18mと小さい岩屋川内川の直下を掘削する区間、⑤凝灰角礫岩が主体の湧水懸念区間、⑥膨張性土圧区間(最大土かぶり260mの泥岩区間)と想定しており、とくに、⑥の膨圧区間における掘削を危惧していた(図-4)。

近傍の長崎自動車道うれしのトンネルでは、りょう盤コンクリートの施工区間において、覆工クラック、路盤の隆起などの変状が発生し、Ⅱ期線開通後、Ⅰ期線を通行止めて、インバートコンクリートの施工など恒久対策工事を行ったことが報告されているが、九州新幹線西九州ルートでは設計段階よりトンネル全区間においてインバートコンクリートを採用することとしている。

俵坂トンネル西工区は、平成21年7月より斜路掘削を開始し、平成22年11月末時点で本坑延長3,030mのうち520mの掘削を終えている。なお、斜路掘削中においても、本坑交点部に近づくにしたがって地山の膨圧に悩まれ、支保工の補強や盤ぶくれ対策を実施している。

4 地山の膨圧と縫い返し

斜路掘削後、本坑交点部～バックヤード部(①

表-1 支保パターン仕様

支保パターン	A	B	C
区間	14km465m ~14km490m	14km414m ~14km433m	14km433m ~14km443m
鋼製支保工	H125 上半	H125 下半	H150 下半
掘進長	1.2m	1.0m	1.0m
吹付け厚	12.5cm	15.0cm	15.0cm
ロックボルト	3m×10本	3m×14本	3m×21本

表-2 管理基準値

	A		B, C	
	天端沈下	内空変位	天端沈下	内空変位
レベルⅠ	-5mm	-10mm	-10mm	-20mm
レベルⅡ	-16mm	-32mm	-29mm	-58mm
レベルⅢ	-23mm	-46mm	-44mm	-88mm

区間)のトンネル掘削は、大型の自由断面掘削機(330kW級)を使用し施工した。代表的な支保パターンおよび区間を表-1に示す。

トンネル掘削の進捗に伴い、次第に側壁の押し出しがみられるようになり、管理基準値(表-2)を超える100~200mm程度の内空変位が発生した(図-5~7、写真1~3)。変位量の増大に応じて増しロックボルトや仮インバートなどの対策を行ったが、約60mの区間で設計内空断面を確保できなかったため、当該区間は最終的に縫い返しを行うことになった。

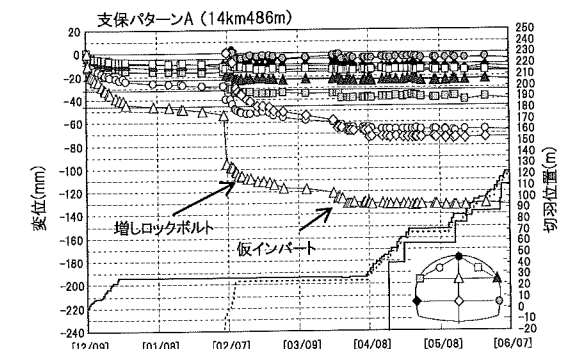


図-5 14km486m A計測図

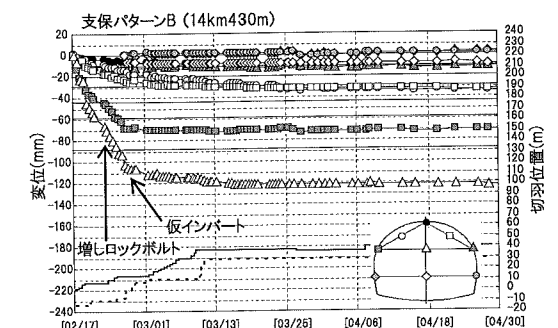


図-6 14km430m A計測図

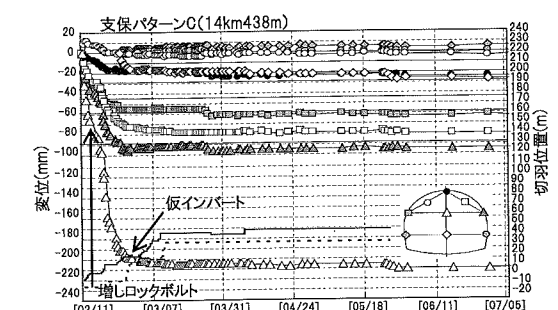


図-7 14km438m A計測図

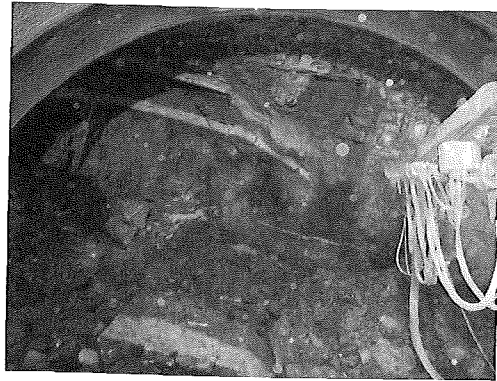


写真-1 切羽写真(14km486m)



写真-2 切羽写真(14km430m)



写真-3 切羽写真(14km438m)

5 掘削方法の検討

5-1 岩石試験

泥岩層の掘削に際しては、泥岩の膨張性を評価するため斜路および本坑14km600m付近で所要の岩石試験を行った(図-8)。

まず膨潤性を確認するための指標となるスメクタイトの含有量をX線回折で分析したところ、2%程度しか含有していないことが判明した。また、

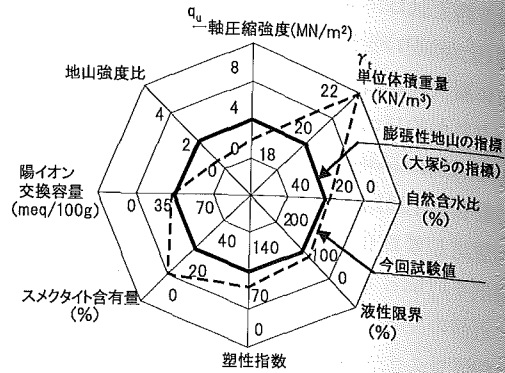


図-8 岩石試験結果

CEC試験にて陽イオン交換容量を測定したが、結果は32.3meq/100gといずれも指標²⁾を超えるような値ではなく膨潤性は少ないことがわかった。膨張性地圧が発生したトンネルは例外なく地山強度比 α が小さく、しかも $\alpha < 2$ のものが多くいわれている³⁾。当工区の14km514~600m区間では $q_u=2,000\text{ kN/m}^2$ 、 $\gamma=24\text{ kN/m}^3$ 、土かぶり $h=110\text{ m}$ であり、地山強度比 $\alpha=0.75 < 2$ であることから、地山の強度不足によってせん断破壊を起こしやすい地山であることがうかがえる。

次に、岩石の吸水軟化による強度低下について評価するため、浸水崩壊度試験を行ったところ、結果はもっとも悪いD(原型をとどめないもの)と判定され、非常に軟化しやすい泥岩であることが判明した。

5-2 切羽前方探査

斜路と本坑交点部付近以降の泥岩部のトンネル掘削に役立てるため、掘削に先立ち②~④区間ごとの切羽前方探査を実施した。ここでは14km514m(②区間)地点の結果を下記に述べる(図-9)。

まず、ウォーターハンマー工法による長尺ボーリングの実施であり、1回あたり150~200mをボーリングして削孔データとスライムを採取し、排水の色調や湧水量の多寡により前方地質の硬軟や地質境界を事前に把握することとした。

次に、長尺ボーリングとあわせて弾性波を用いた切羽前方探査(TSP203)を行うこととした。TSPは、解析結果の3次元出力や切羽前方の弾性波速度分布解析などが行えるもので、解析結果

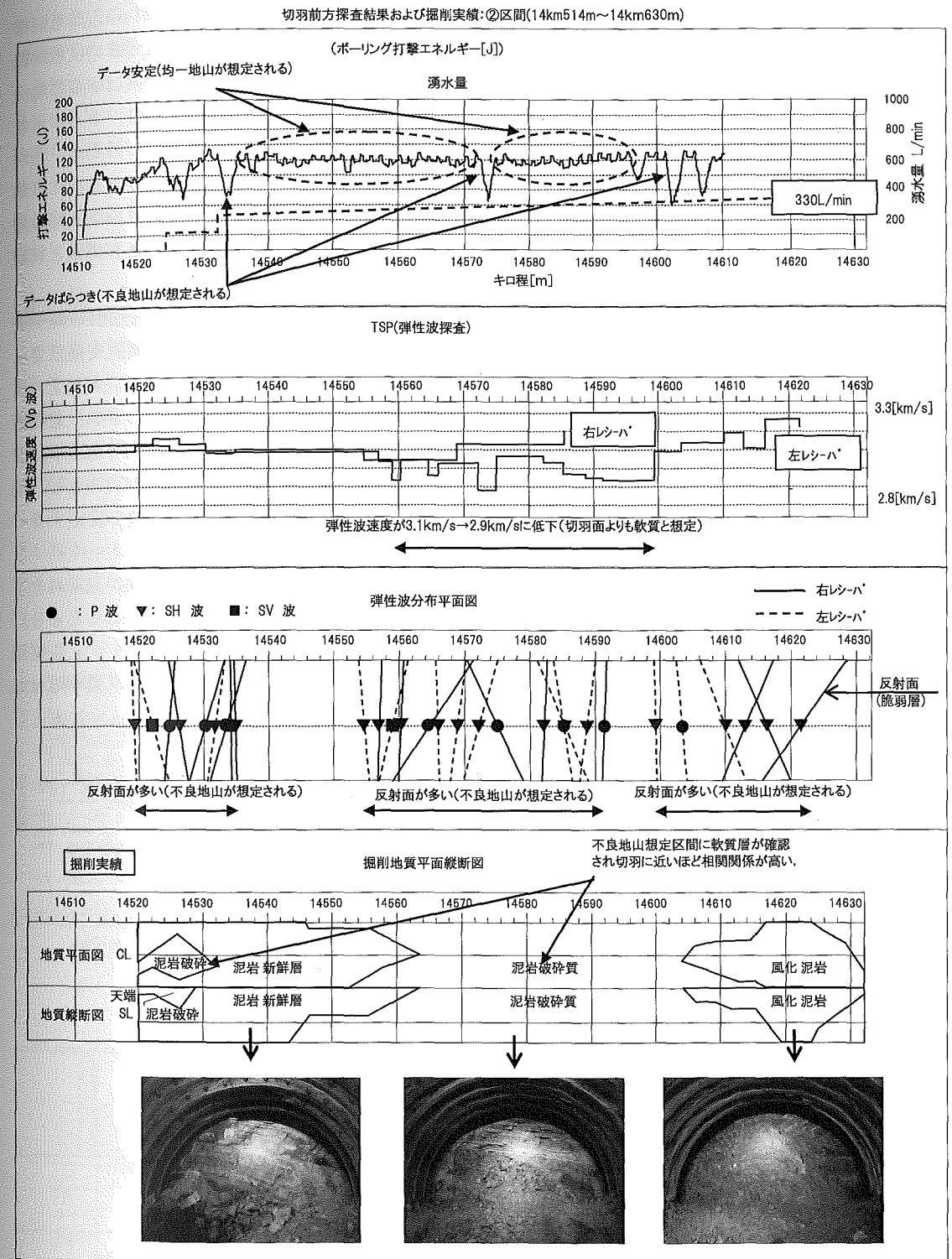


図-9 切羽前方探査結果および実績

を図面化し、地質の走行および傾斜の面的な把握をするものである。今回はこれを採用して、切羽前方100mの状態を予測することとした。

前方探査の結果、長尺ボーリングの打撃エネルギーに多少の変動はあるが、ほぼ一定の地質が続いており、削孔時のスライムは軟質の泥岩層が一様に分布しているものと想定された。一部には黄土色の風化層が混入した粘土分も見受けられ、指で軽く押すと著しく変形する脆弱なものであった。TSPの結果では調査区間の弾性波速度は2.9~3.3 km/sであったが、地質調査時における当該切羽面付近の速度が約3.0km/sであることから、切羽面と同程度の地質が続くと思われた。また、弾性波反射面が14km560m以降に多数存在しており、同位置より弾性波速度も低下していることからその周辺区間は軟質な層が分布していると想定された。

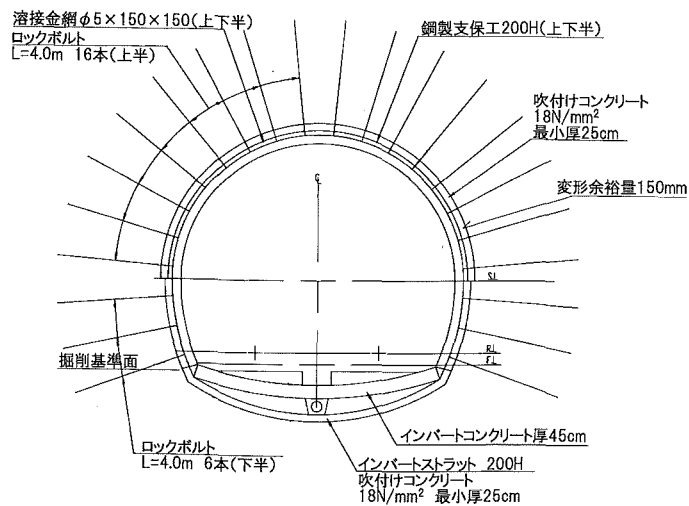


図-10 支保パターン図

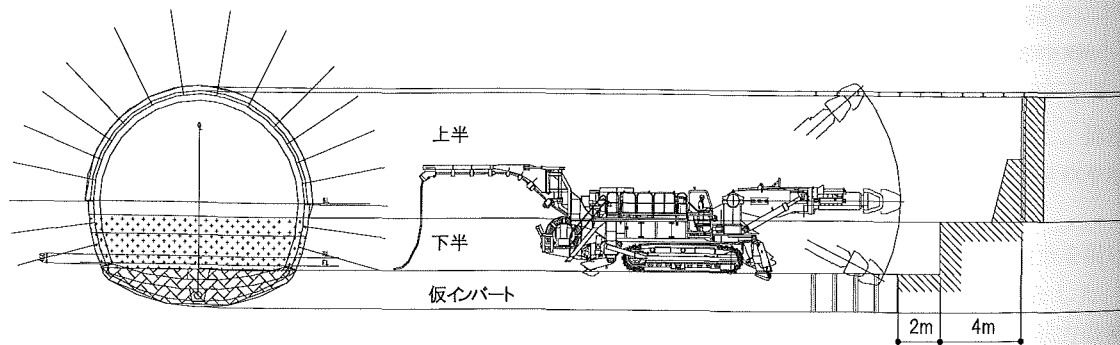


図-11 掘削方法図

5-3 具体的な対策

切羽前方探査によって、14km514m以降も同様の泥岩層が続き、依然土かぶりも大きい状態が続くことが予測されたことから、今後はさらに地山の塑性変形による変位速度が上がり、さらに大きい内空変位があると想定された。このため、土かぶりで拘束されていたものが開放される前に、剛なもので早期に閉合し、できるだけ掘削初期段階において地山の塑性化を抑えることが得策と判断した。

このため、本坑掘削約120m(①区間)の施工実績において、H125およびH150の鋼製支保工では変位が収束しなかったことを考慮し、支保工のランクアップを図ることとした。このさい、北陸新幹線飯山トンネルにおける泥岩掘削の施工事例などを参考にして、上下半支保工はH200とし、上

半に150mmの変形余裕量を設定することとした。

また、変位抑制に効果が見られた下半仮インバートを採用することとし、H200のインバートストラットを採用した。吹付けコンクリート最小厚は25cm、ロックボルトは4m×22本とした(図-10)。

表-3 管理基準値(新支保パターン)

	新支保パターン	
	天端沈下	内空変位
レベルⅠ	-40mm	-80mm
レベルⅡ	-60mm	-119mm
レベルⅢ	-80mm	-159mm

掘削間隔は1mとし、掘削工法は上半、下半、インバートの3断面に分け、ベンチ長2~4mを標準とした(図-11)。

当該地山においては、切羽および切羽前方を緩めないことが効果的な変位の抑制策となるものと判断し、地質状況に応じて鏡ボルト、鏡吹付けを実施することとした。管理基準値は表-3とし、変位速度・変位量が著しい箇所は補助ピースを取り付けて対処することとした。

6 施工結果

これらの対策を講じたうえで掘削を再開した結果、その後の掘削においても予測どおり上半掘削時の変位速度は速かったが、仮インバート設置後変位は収束傾向を示し、図-12のとおり内空変位が約60mm程度に収まる効果を確認できた。

しかしながら、泥岩が風化・破碎して切羽が自立しなかった区間(14km600~650m付近)では、とくに変位速度が速く変形余裕量以上に変位が進行して、仮インバート閉合前に設計内空断面を確

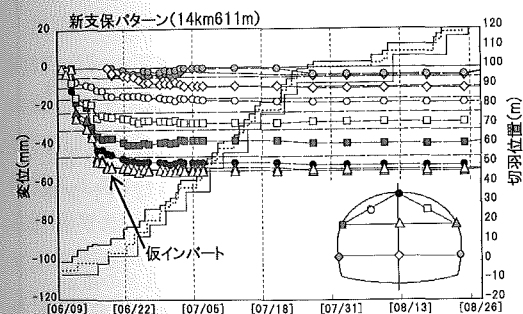


図-12 14km611m A計測図

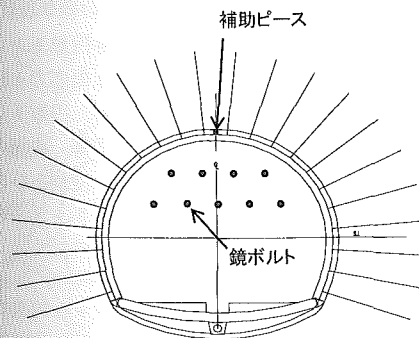


図-13 断面図

保できない箇所もあった。これらの要因を探るため、鋼製支保工建込み直後からのレーザーによるSL付近の変位計測結果を分析したところ、A計測開始前に大きな変位が発生していることが確認された。

このように、とくに変位速度が速い区間では、鋼製支保工上部に変位予測量に応じて100~150mmの補助ピースを取り付けることとし、さらに鏡ボルトなどを併用して切羽の安定を図ることで、変位を抑制するとともに、縫い返し作業などの手戻り作業を軽減することができた(図-13)。

7 おわりに

ここまでの掘削経過では、膨張性土圧の発生が想定されていた区間以外でも同土圧によるものと判断される変位が発生し、設計断面を確保できないほどの大きな内空変位に見舞われた。これに対しては、支保構造のランクアップや仮インバート採用による早期閉合を図ることで対応し、膨張性土圧によるその後の掘削時の影響を大きく軽減できたものと考えている。

その後の掘削に際して採用した切羽前方探査については、事前の探査結果と掘削結果を比較したところ、明らかな相関関係が認められるなど、その有効性を検証できたものと考えている。

例えば、探査時に不良地山が想定されていた区間では、掘削時において破碎質または風化した泥岩が確認されているなど、とくに切羽に近いほど信頼性が高いことを確認できた。

今後、これまで以上の大きな膨圧が懸念される⑥区間(15km400m以降)を掘削することとなるが、これまでと同様に前方探査(長尺ボーリング・TSP)を実施し、施工時のレーザーによる変位測定(変位速度および変位量)、さらには必要によりB計測を実施することとし、これらの結果にもとづいた支保パターンを事前に策定して、早期対応による変位の抑止に努めるなどの確な対策を講じていきたい。

最後に、これまでさまざまな貴重なご意見とご指導をいただいた、九州大学の江崎哲郎教授を委

員長とする「九州新幹線(西九州)トンネルの設計・施工に関する検討委員会」の各委員の方々と関係各位に深く感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) 河野正博・高卯和博：供用トンネルにおける変状と対策，長崎自動車道うれしのトンネル，トンネルと

地下，Vol.30，No.6，pp.15-22，1999.6.

- 2) 土木学会トンネル工学委員会編：トンネル標準示方書「山岳工法」・同解説，p.37，2006.

- 3) 土質工学会：堆積軟岩の工学的性質とその応用，p.205，1987.

- 4) 中村敦・玉井達毅：異常な膨圧現象が発生する擾乱帯を多重支保方式で突破，北陸新幹線飯山トンネル，トンネルと地下，Vol.36，No.7，pp.7-17，2005.7.

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／弾塑性力学の基礎，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，ゆるみと締めり，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

既設道路直下にRCスラブを構築しトンネルを掘削

—福岡県営農道整備事業(京築三期地区)トンネル—

福岡県行橋農林事務所農村整備第二課整備第一係長 因 孝一郎

福岡県行橋農林事務所農村整備第二課整備第一係主任技師 南 條 征 治

西松建設(株)九州支社京築トンネル出張所主任 寺 西 淳 次

西松建設(株)土木設計部設計課係長 亀 谷 英 樹

1 はじめに

当該工事は，福岡県の広域営農団地農道整備事業(全長 $L=21,819\text{m}$)の一部として，福岡県東部の京築三期地区に2車線道路トンネル($L=705\text{m}$)を山岳工法により建設するものである(図-1)。

当該トンネルの到達側坑口部は，最小土かぶり約 $10\sim 15\text{cm}$ で既設道路と近接交差しており，この周辺の主な地質は崩積土であった。このため，当初設計では，大規模な土工事による仮設道路の付替え工事を行って，当該部を開削工法で施工する計画であった。しかしながら，工事着手後において，現場条件の変更や地元住民からの要望などにより，トンネル掘削で施工する方法が有利となった。そこで，トンネル掘削前に，当該交差部のトン

ネル天端にRCスラブを明かり掘削により先行打設して，既設道路を供用しながらトンネル掘削を行う工法を採用した。

実施工では，超近接施工であることから，計測工による安全管理が施工の要点となった。そこで，近年，芥川¹⁾らが提唱している「On Site Visualization(OSV)」の考え方を適用し，坑内の計測変位をリアルタイムで可視化することにより，RCスラブや支保部材の健全性と通行車両の安全性を常に監視しながら施工を行った。

本稿は，道路交差部におけるトンネル補強構造の設計・施工と計測変位の可視化による安全管理手法について報告するものである。

2 工事概要と地質条件

2-1 工事概要

工 事 名：県営広域営農団地農道整備事業
(京築三期地区)トンネル新設工事

発 注 者：福岡県行橋農林事務所

工 事 場 所：福岡県京都市みやこ町勝山大久保
～犀川大阪

工 期：平成20年12月18日～
平成23年3月16日

施 工 者：西松・石山・大幸特定建設工事共
同企業体

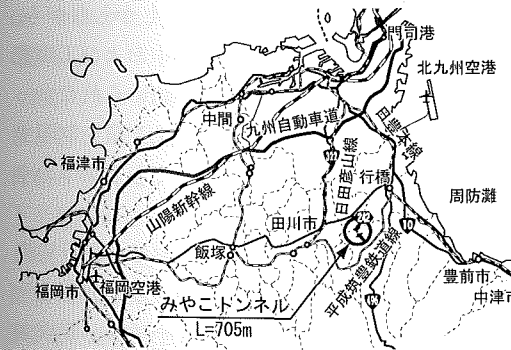


図-1 トンネル位置図

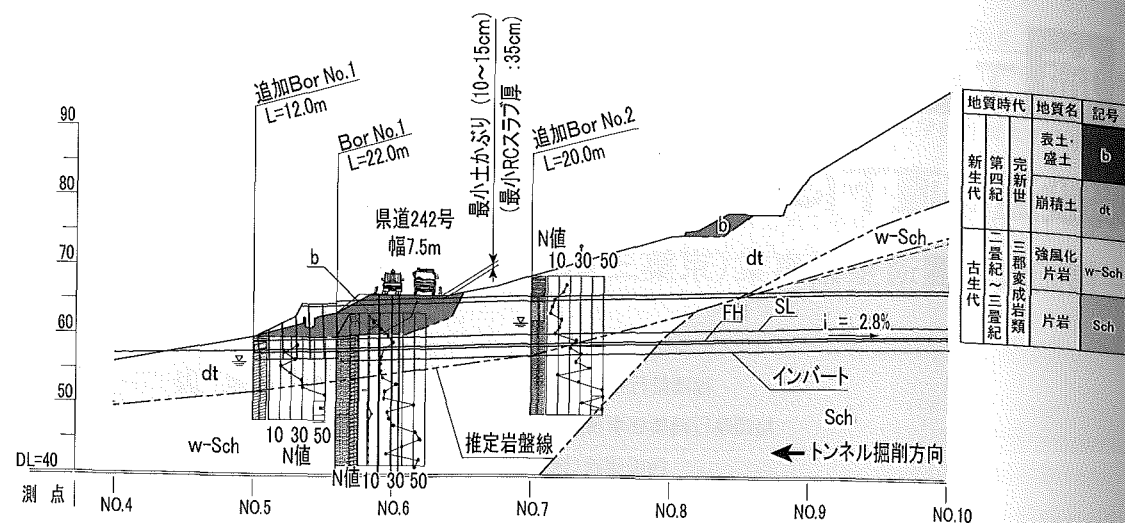


図-2 起点側(貫通側)坑口部のトンネル地質縦断面

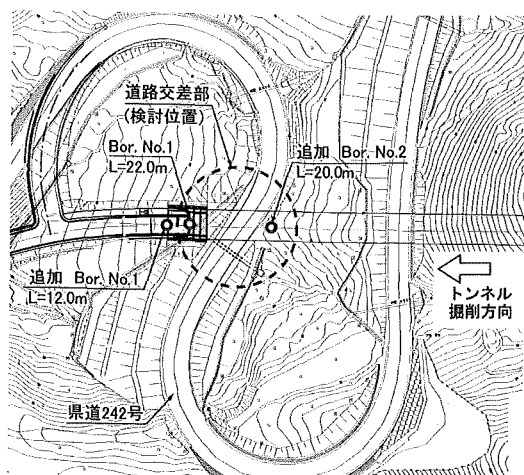


図-3 起点側(貫通側)坑口部のトンネル平面図

工事諸元：トンネル工一式(L=705m)，
道路土工一式，照明設備一式，非常用設備一式
掘削断面積：60.8～75.3m²
掘削方式：発破掘削方式(坑口部は機械掘削方式)
掘削工法：上半先進ベンチカット工法(DI, DIIIa)，補助ベンチ付き全断面工法(CI, CII)

2-2 地形・地質概要

当該トンネルは、福岡県東部に位置し、周辺には標高200～300m級の山々が連なっている。トンネル全体の主な地質は、硬質の真崎花崗岩と田川

変成岩より構成されている。

本稿で報告する道路交差点は、トンネルが到達する起点側坑口付近に位置している(図-2, 3)。当該交差点の地質は、地表面からトンネル肩部付近までが盛土(N=10以下)であり、それ以深には転石を含んだN=10～20程度の土石流堆積物が分布している。比較的良好な風化片岩(C_L級)は、インパート下端数m以深に分布している。

3 道路交差点の現場条件と設計・施工

3-1 道路交差点の現場条件

トンネルと交差する既設道路は、道路幅約7.5mの2車線道路(県道242号)である。当該交差点においては、トンネル支保部材である吹付けコンクリート外縁から舗装表面までの土かぶりが最小で10～15cmと非常に小さかった。しかしながら、道路管理者からは、トンネル工事中および工事完成後においても縦断線形の変更が認められなかった。また、周辺環境に配慮して、土工量を制限するとの観点から、平面線形についても工事中の小規模な改変に制限された。

以上から、前述した軟弱地山における超近接施工という条件下で、トンネル構造の安定確保と一般交通車両および工事作業員の安全確保が要求された。

3-2 道路交差点の主要構造体の概要

当該交差点における主要構造体とその概要を以下に記述する。

3-2-1 既設道路直下のRCスラブと支保構造

小土かぶりや近接施工の条件下における一般的な補助工法としては、パイプルーフ工法や長尺先受け工法などが考えられる。しかし、当該交差点の場合では、土かぶりがあまりに小さいためその適用が困難であった。

そこで、トンネル掘削前に、トンネル天端90°範囲にRCスラブを先行打設し、先受け効果、天端防護および活荷重の支持を期待することとした(図-4)。

ただし、トンネル天端付近のスラブ厚が、支保工の外縁から約10～15cmしか確保できないため、DIIIaパターンの吹付けコンクリートt=25cmをRCスラブと一緒に場所打ちコンクリートにより先行打設した。また、RCスラブにはDIIIaパターンの鋼製支保工H200@1mも事前に配置し、トンネル掘削時には肩部で鋼製支保工を連結してトンネルを構築することとした。

これにより、RCスラブの厚さは最小でもt=35cmを確保できることとなった。ただし、RCスラブに鋼製支保工を配置したことによって、トンネル天端周辺の、トンネル縦断方向の配筋ができなくなった。このため、天端周辺の鋼製支保工には、ウェブに穴をあけてスラブの鉄筋を配筋した(図-5)。

RCスラブの幅はトンネルの主働崩壊範囲の大きさとし、部材構造は骨組み解析により決定した。骨組み解析は、RCスラブ施工時、上半掘削時と下半掘削時の3ケースについて検討を行った。

RCスラブと支保部材は、仮設構造として、活荷重(T-25)や土圧を負担する構造とした。

3-2-2 地盤改良体

当該交差点の地山はN=10程度の軟弱な崩積土

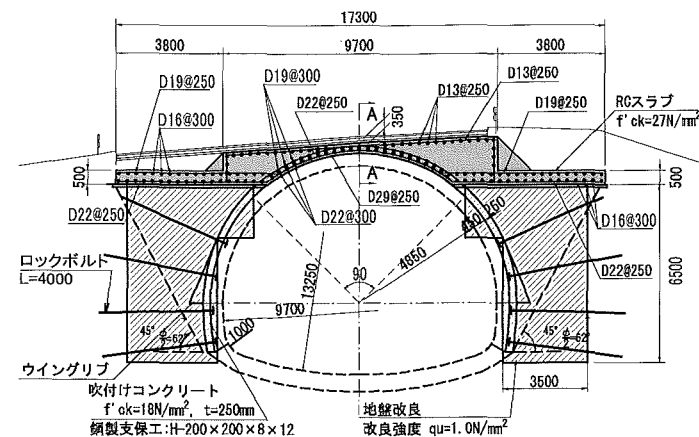


図-4 トンネル断面図(No.6+5m(図-7 B-B))

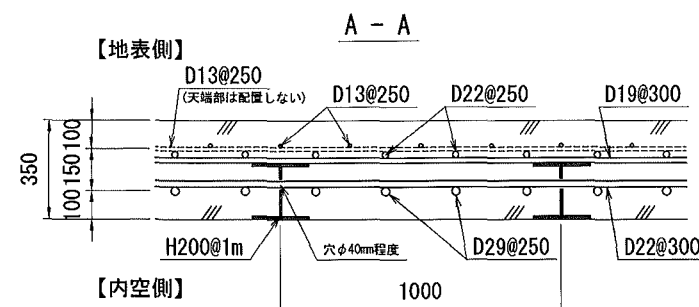


図-5 RCスラブのトンネル天端の断面図(図-4 A-A)

であるため、「RCスラブの支持力確保」や「トンネル掘削時の側壁防護」などを目的として、トンネル側壁部を地盤改良することとした。

地盤改良範囲は、RCスラブと同様にトンネルの主働崩壊範囲を目安とし、深さを6.5m、底幅を3.0mとした(図-4)。改良体の一軸圧縮強度は、上記の目的に関する構造計算により、 $q_u=1.0\text{N/mm}^2$ と設定した。

地盤改良工には、バックホウ(1.2m³級)をベースマシンとしたスラリー系の中層混合処理工法を採用した。

3-2-3 覆工とインパート

覆工とインパートは、複鉄筋コンクリート構造の本設構造物として、活荷重(T-25)や土圧を負担する。構造設計は、RCスラブや支保工と同様に骨組み解析で行った。覆工およびインパートの補強構造を図-6に示す。

3-3 施工方法と施工手順

トンネル掘削は、既設道路を供用しながら施工

した。ただし、既設道路を利用する第三者への安全確保に十分配慮して、切羽の主働崩壊領域の直上を一般車両が通行しないように、図-7のように切回し仮設道路(ルート1, 2)を造成した。

仮設道路は、まず、ルート1を造成して供用し、その間にルート2側の地盤改良体とRCスラブを

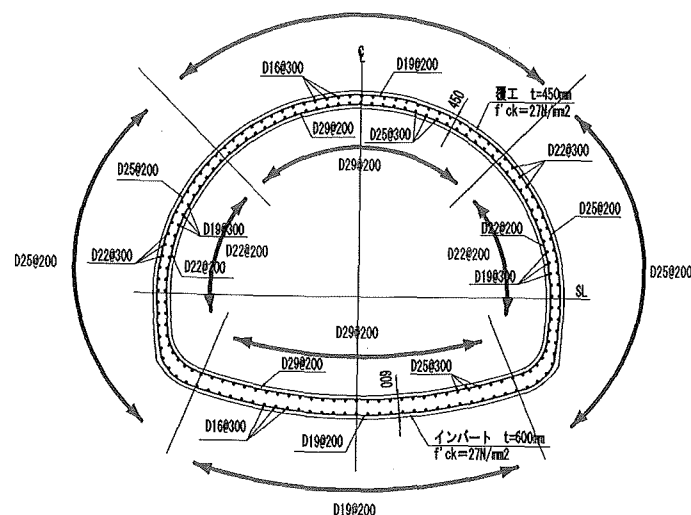


図-6 覆工コンクリートの概略配筋図



写真-1 トンネル側壁部の地盤改良工

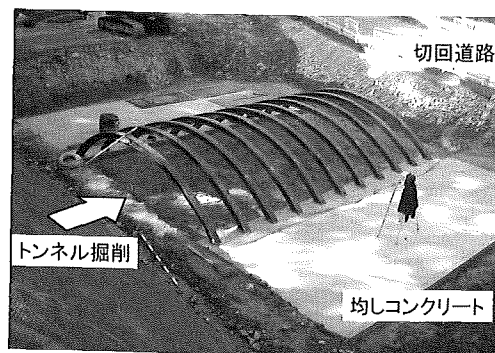


写真-2 RCスラブの鋼製支保工の設置

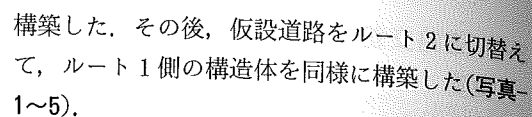


図-8にトンネル掘削時の仮設道路の切替え手順を示す。

STEP 1: ルート 1 を開放して, トンネル上下

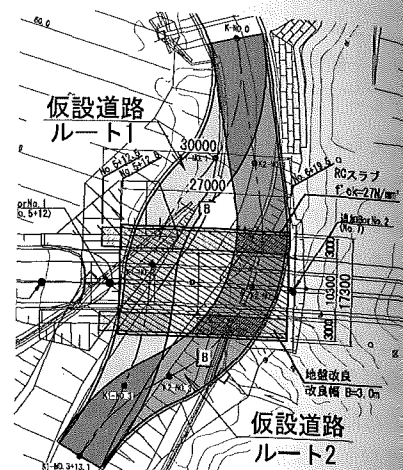


図-7 仮設道路ルート1,2の平面図(交差部拡大図)



写真-3 RCスラブの鉄筋組立て



写真-4 RCスラブのコンクリート打設完了

半をNo.6+6.7mまで掘削する.

STEP 2: 吹付けコンクリートの養生期間を確保したのち、ルート 2 直下 (No.6 + 13m) に LEC 計測装置を設置し、10t ダンプによる載荷試験を実施する。

STEP 3: 上記載荷試験により構造体の安全性

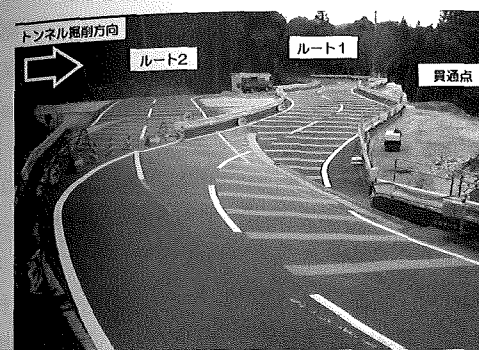


写真-5 仮設道路ルート1,2の完成

を確認したのちルート2を開放し、
上半掘削によりトンネルを貫通させ
る。

STEP 4: ルート 2 を開放したままで、貫通点側坑口から下半を掘削する。

STEP 5：上記STEP 4 と同様にインバートを施工する。

STEP 6: 覆工コンクリートの打設後、現道を復旧する。

3-4 計測管理の計画

3-4-1 計測管理の基本方針

一般通行車両などの第三者および坑内作業員の安全管理の基本となるのは計測工であり、その要求性能として以下の事柄が挙げられた。

① 迅速な対応を行うために、リアルタイムで RCスラブや支保部材の安全性・健全性を評

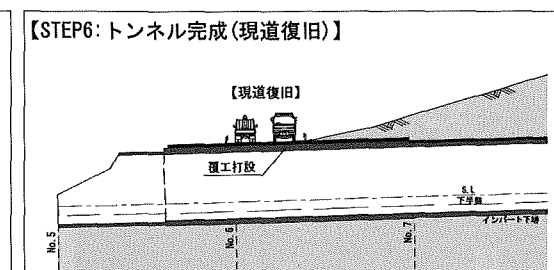
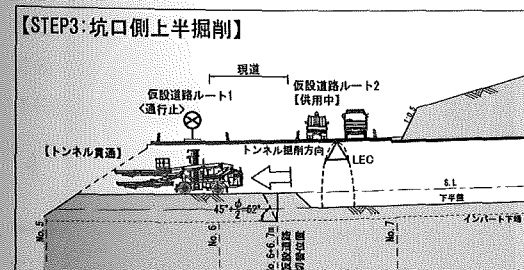
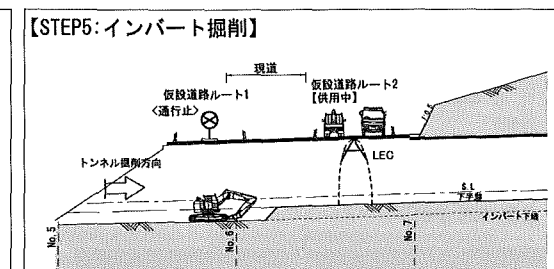
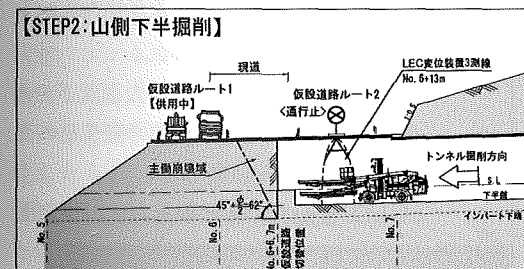
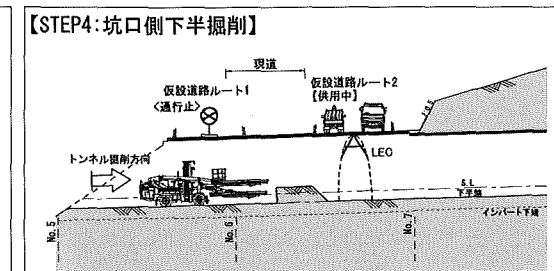
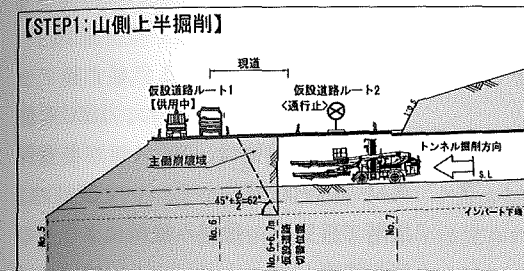


図-8 トンネル掘削手順図

価できること

- ② 現場の職員・作業員が、瞬時にかつ簡易に状況を把握できること

以上の点から、通常のA計測工に加えて、OSV研究会によるLEC(Light Emitting Converter)を用いて、坑内の計測変位量を可視化することとした。

3-4-2 LECの概要と計測計画

LECとは、変位計やひずみ計などの各種計測装置に発光装置を接続することにより、計測値および計測対象の状態を、その場でリアルタイムに任意の発光色で表現するシステムである²⁾。本稿では、LECと変位計との組み合わせ計測器を「LEC変位計」と称す。

当該交差部では、トンネル掘削直後において、仮設道路ルート2の直下(トンネル測点: No.6+

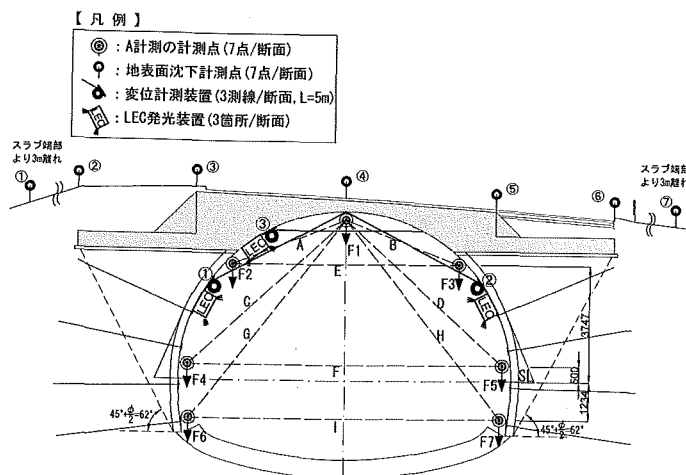


図-9 計測工の計測点位置(No.6+13m)(視点: トンネル掘削方向[終点側→起点側])

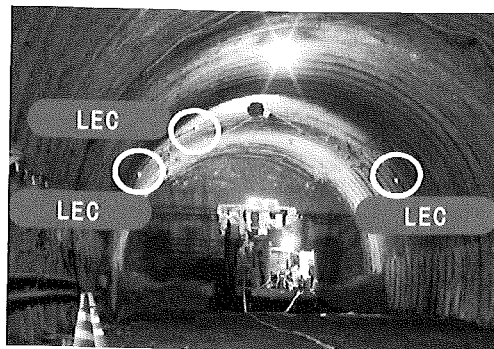


写真-6 LEC変位計の配置

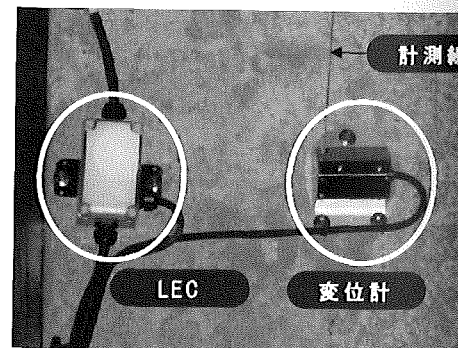


写真-7 LEC計測装置

13m)に設置した。LECによる計測対象は、図-9の3測線($L=5\text{m} \times 3$ 本)に関する相対変位量とし、それぞれに発光装置を設置した(写真-6, 7)。

変位計測装置は、インバー線と巻き取り式変位計を組み合わせたもので、地すべり計測工などで用いられる伸縮計とおおむね同様の仕組みである。計測器の精度は0.1mmであり、ストローク長(計測可能範囲)は、骨組み解析によるRCスラブと支保部材の破壊時における変形量を参考にして $\pm 10\text{mm}$ とした。

計測結果の出力方式は、現地での発光装置へのリアルタイム表示とデジタルデータをPCのハードデスクに蓄積する方法の2種類とした。

PCは一般的な汎用型であり、今回の場合は計測断面から30m後方の鋼製架台に設置した。計測システムに必要な電源は100Vである。現場の発光装置は1秒間隔でデータを反映して色を変化させた。

一方、PCに蓄積するデジタルデータは5分間隔と設定した。LEC変位計の管理基準値は、RCスラブと支保部材の応力状態にもとづいて表-1の2段階で設定し、骨組み解析によりその値を決定した。

各管理基準値に対応する管理体制とLEC発光色を表-2に示す。

なお、このほかに、地表面沈下やA計測工に関しても管理基準値をそれぞれ設定した。

LEC変位計とA計測工および地表面

表-1 管理基準値と対応する支保部材の応力状態

管理レベル	管理基準値	支保部材の応力状態
レベルII	$\pm 3\text{mm}$	RCスラブの引張鉄筋が降伏するときの部材耐力
レベルIII	$\pm 6\text{mm}$	RCスラブの引張鉄筋と鋼製支保工の両方が降伏するときの部材耐力

表-2 LEC変位計の管理基準値と発光色

管理体制 ランク	D	C	A, B	C	D
変位 計測値	-6mm以下	-6~-3mm	-3~3mm	3~6mm	6mm以上
LEC 発光色	青	シアン	緑	黄	赤

※正値は引張を示す。

沈下の計測点の位置を図-9に示す。

3-4-3 仮設道路ルート2での活荷重載荷試験

LEC変位計を設置後、一般車両の開放に先立って、仮設道路ルート2で10tダンプ(ずり満載)を用いた載荷試験を実施した。

載荷試験では、まず10tダンプを徐行させ、LEC変位計の各計測線の変位量をモニタリングした。その結果、計測値にほとんど変化は見られなかった。

次に、後輪をトンネル中心の位置で停車させた状態、トンネル中心で急ブレーキ・急発進をくり返した状態を試験したが、水平測線が瞬間的に伸長方向へ若干増化したものの、その値は最大でも0.2mm(伸長)でありバラツキが多少大きくなった程度であった。骨組み解析では、T-25後輪をトンネル中心に載荷した状態で、水平測線の増加量が0.2mm(伸長)であったことから、おおむね解析どおりの試験結果であった。

4 トンネル掘削状況と計測結果

4-1 トンネル掘削状況

道路交差部(RCスラブ直下)での切

羽の地質は、やや粘性を持った土砂地山であり、バックホウ(0.7m³級)でトンネル掘削が可能であった。また、切羽には湧水もなく、自立性は比較的良好で、切羽が不安定化することはなかった。トンネル肩部および側壁部には、計画通りの安定した地盤改良体が出現し、当該部は大型ブレーカ(1.3t級)での掘削となった(写真-8)。

4-2 計測結果

4-2-1 LEC変位計測の結果

LEC変位計測(No.6+13m)の経時変化と切羽進行との関係を図-10に示す。

計測値は、3測線ともに切羽進行に伴って変動しながら若干収縮する方向へ推移しているが、その値は $-0.7 \sim +0.1\text{mm}$ 範囲(管理レベルII以下)にあり、RCスラブとトンネルの構造的な安定性は



写真-8 RCスラブ直下のトンネル掘削状況

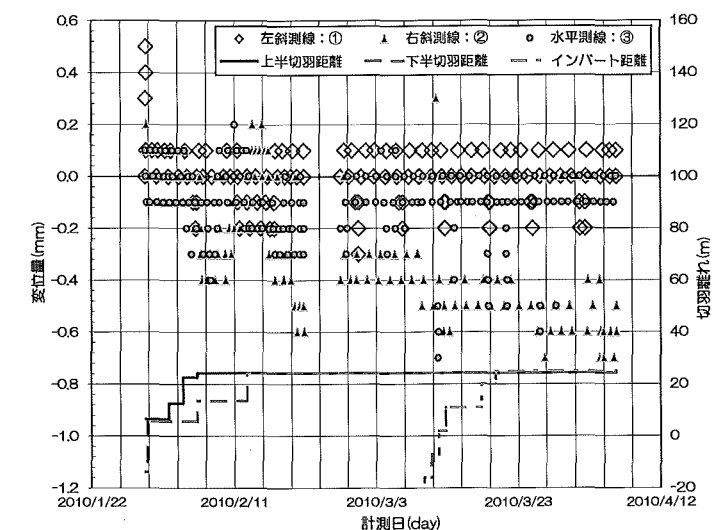


図-10 LEC変位計測の結果(No.6+13m)

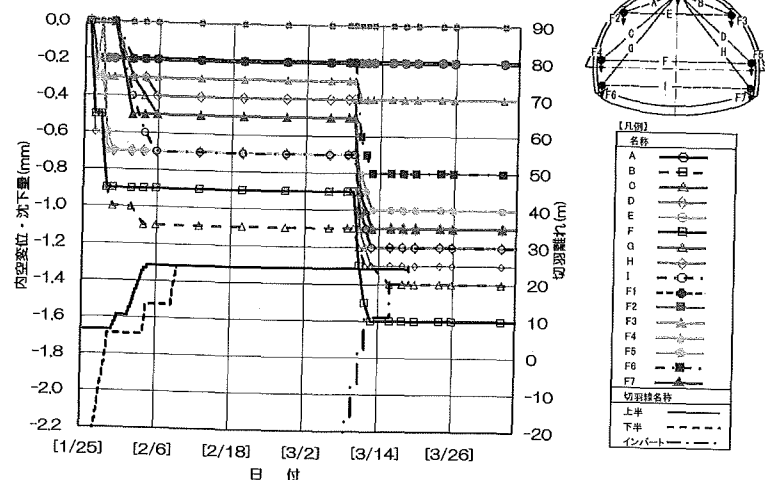


図-11 A計測工の結果(No.6+13m)

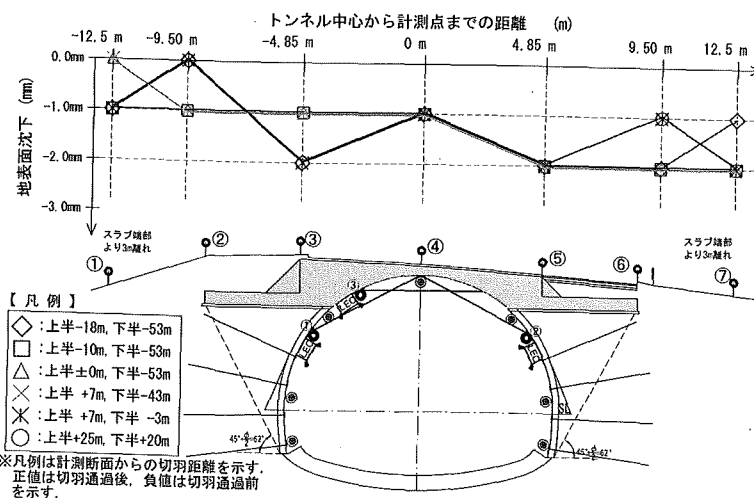


図-12 地表面沈下計測の結果(No.6+13m)

十分確保できたと評価できる。

4-2-2 A計測工の結果

LEC計測装置と同じ測点(No.6+13m)でのA計測結果を図-11に示す。

RCスラブと地盤改良工でトンネル周辺を補強したことにより、トンネルの変形・沈下はごく小さいものとなった。すなわち、天端沈下と水平変位の最終値はそれぞれ0.2mm(沈下)と1.6mm(収縮)であった。

また、地盤改良工の低部に位置する支保工脚部の方が天端や肩部よりも沈下がやや大きくなっている傾向が見受けられた。

4-2-3 地表面沈下計測の結果

LEC計測装置およびA計測工と同じ測点(No.6+13m)での地表面沈下計測の結果を図-12に示す。

RCスラブの沈下量は最大2mmであり、トンネル横断方向の沈下の分布に特徴的な傾向は見られなかった。A計測結果による天端沈下、支保工脚部沈下の最終値がそれぞれ0.2mm、1.1mmと微小であることから、地表面沈下量の計測値は、レベル計測のバラツキや地盤とRCスラブとのなじみ程度であり、RCスラブ自体のたわみや変形はほとんど発生していないと評価できる。

5 ま と め

当該工事における既設道路直下のトンネル掘削について、施工状況と計測結果から得られた知見を以下に整理する。

- ① 道路交差部の施工状況や計測結果から、RCスラブと地盤改良工による対策工は、安全側の構造であり、設計法と施工法の妥当性が確認できた。とくに、RCスラブは部分的に最小 $t=35\text{cm}$ の厚さしか確保できなかったが、RCスラブ自体の変形はほとんど発生しなかった。
- ② 当該工法は、トンネル掘削工程に影響を与えないことや一般的な長尺先受け工法などに比較して経済的であることから、工期短縮やコスト削減の面でも優れた工法であると評価できる。
- ③ 既設道路を通行する第三者や坑内作業員の安全を迅速かつ効率的に管理するために、LEC変位計を用いて坑内計測変位の可視化

を行った。これにより、坑内作業員が、RCスラブや支保部材の安全性・健全度を、リアルタイムで簡易的に把握できるようになった。当該工事では、LECが変色するような危険な状態には至らなかったが、管理手法の有効性は確認できたと考えられる。

近年、都市部での山岳工法の適用案件の増加に伴って、より厳しい条件下での近接工事が増加している。本報告が、そのような、設計・施工の一助になれば幸いである。

最後に、本検討業務と施工実施に際しては、

OSV研究会(会長：芥川真一・神戸大学大学院教授)をはじめとする関係各位に多大なるご指導とご協力をいただいた。ここに、深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 例えば、芥川真一・高野晃佑・竹中嗣人：相対変位を光の色に変えて表示する装置の開発と斜面変位モニタリングの一例、第62回土木学会年次講演会、3-015, pp.29-30, 広島, 2007.9.
- 2) 東亜エルメス(株)：LECパンフレット, 2010.3.

■図書案内

地 下 水 の 科 学 — 全 3 巻 —

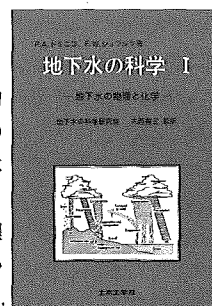
P. A. ドミニコ・F. W. シュワルツ 共著
地下水の科学研究会・大西有三 監訳

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

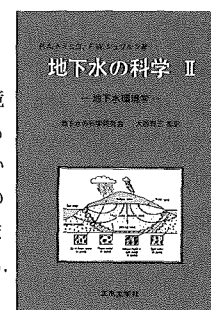
水理地質学を学ぶうえでの基礎的な事項を記載した。水理地質学の理論と人間の社会活動における水理地質学の適用範囲を理解することができる。理論に立脚した水理地質学の使い方を、計算例を用いながら効率よく学ぶことができる。



第Ⅱ巻
地下水環境学

4,272 円+税 B5判

第Ⅱ巻では、さまざまな地質環境の中での汚染物質の地下水による輸送に関する問題を取り扱っている。水理地質学が環境問題とどのような関連性を持っているか、また利用可能かを知ることができる。



第Ⅲ巻
地下水と地質

3,689 円+税 B5判

第Ⅲ巻は、地下水の地質学的側面について、工学的に取扱うための事項について記述している。さまざまな土木工事で重要な検討事項となる地下水圧の問題や、地層処分における地下水による熱輸送の問題などについて理解できる。



株式会社 土木工学社

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



「神話のふるさと」雲南市吉田より

渡 邊 博

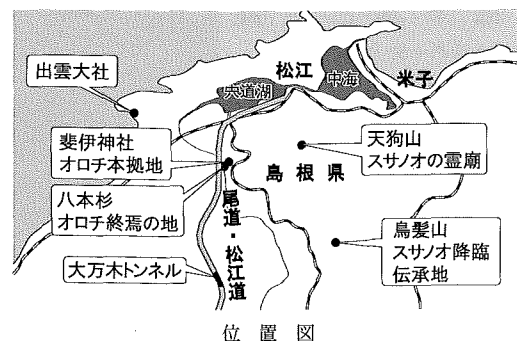
島根県は、中国地方の日本海側である山陰の西部をなす県であり、古くからの歴史的遺産が多く点在している。中でも、2007年にユネスコ世界遺産(文化遺産)に登録された県西部太田市の石見銀山や、出雲市の国宝である出雲大社などは観光地としても有名である。またそのほかにも、宍道湖周辺から中国山地にかけて、石器時代からの銅鐸や古墳群が発見されており、加茂岩倉遺跡や荒神谷遺跡で出土した銅鐸や銅剣は国宝に指定されている。

県東部松江市には、重要文化財である松江城やその城下町など、古代から近世までの歴史的価値の高い遺跡や建造物が残っている。

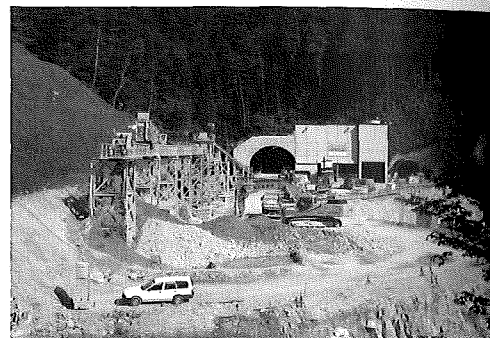
そして、島根県雲南市は、斐伊川とその支流、そしてこれらを取り囲むように広がる山々など、豊かな自然に囲まれた地域である。この斐伊川の上流は、鳥上の峯に高天原から天降ったスサノオノミコトが、ヤマタノオロチを退治してクシイナダヒメと結ばれるという神話「ヤマタノオロチ退治」の舞台となっており、ヤマタノオロチの尾より出てきたのが天叢雲剣で、のちに草薙剣と呼ばれ、アマテラスオオノカミに献上された。また、スサノオノミコトの子供がオオクニヌシノミコトとして、出雲大社の祭神となっている。

このように、日本最古の歴史書といわれる『古事記』や『日本書紀』に伝わる日本神話、高天原の神々にまつわる伝説地が、雲南市には数多く残っている。

作業所がある吉田町は、たたら製鉄による日本の和鉄生産の中心地として栄えてきた。吉田町は私にとって二度目の任地である。今回は、県発注のトンネル工



吉田の町並み



大万木トンネル坑外全景

事で、平成6年12月～平成8年3月まで施工を行った。当時、市町村合併前の吉田村であったが、12年ぶりの訪問となる今回、町並みも昔と変わらず、地元の方たちにも当時と同じく温かく迎えていただいた。

尾道・松江道は、広島県尾道市を起点とし島根県松江市に至る延長約137kmの高規格幹線道路である。この路線のほぼ中央に位置する大万木トンネルは広島・島根の県境にまたがる全長4,878mの道路トンネルである。当工事は島根県側より、本坑2,940m、避難坑2,953mの施工を行うものである。

11月末現在の進捗は、本坑掘削1,931m、避難坑掘削2,133mとなっている。工事完了まで、発注者、関係各位のご指導のもと、作業所職員、協力業者一丸となって、1日も早い完成を目指し、安全に、より良いものを造っていきたくと思っています。

(飛鳥建設(株)大万木トンネル作業所所長)

第十五回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

忘れえぬ思い出

— トンネル屋人生に悔いなし —

はじめに

今を去る48年前の1962年、私は西松建設に入社し、爾来40年間奉職した。当初の6年間はトンネル現場に勤務したのち、本社・土木設計部、技術部に在籍した。設計業務や技術管理業務は土木技術全般にわたったが、山岳トンネルに関する設計・施工指導が私の主任務であった。

トンネル屋を自称するには現場経歴が貧弱で憚るべきなのだが、退職するまで会社が下命を受けたほとんどの山岳トンネル工事にかかわりを持ち続けたことから、自分はトンネル屋だと思っている。また、そういった職歴の視点で、トンネル工事やトンネル技術についての存念を披瀝させていただく。

山岳トンネルにおける設計と施工のかかわり

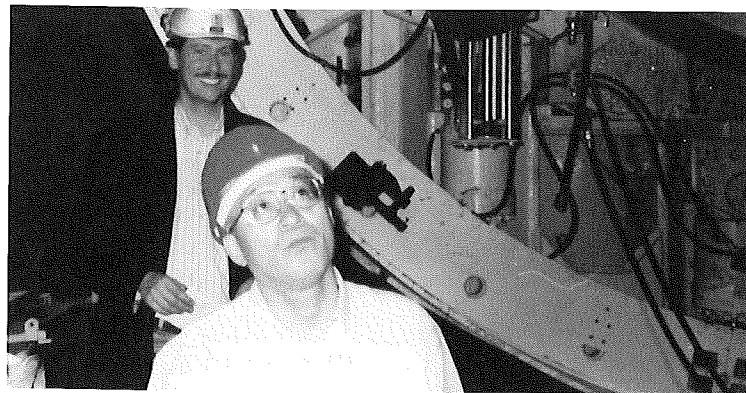
土木工事は、計画・設計・施工の3要素で建設され、コントラクターが受け持つのは施工である。

しかし、トンネル工事では設計と施工が並行して進む特性があると考える。この件についてのある思い出話を紹介させていただく。

昭和45年だったと記憶しているが、固結粘土層地山で土かぶり10m未満の市街地下に計画されたある鉄道トンネルが、地元住民の建設反対運動のため、1年余の工事中止を余儀なくされた。工事による地表への影響の懸念を払拭することが工事再開の条件であった。施工業者であるわが社の提案はことごとく却下され、現場は困り果てていた。

当時は土木設計部の机上理論ではトンネル現場の計画・設計はできないという通念があったのだが、ものは試し程度の期待で土木設計部に相談が持ち込まれ、私が担当することになった。さっそく担当次長のところに出頭すると、いきなり、「これで選手交代6人目だ。お前の会社にトンネルのことがわかる者はいないのか。今度のはもっとも若い、こんな若造にトンネ

(元)西松建設(株)
寺本 勝三



スイス、ベルニナ・トンネル工事(TBM)現場にて(1993.10.)

ルのことがわかるのかっ！」とどやされた。「少しはわかっているつもりですが」と答えたところ、「少しでは頼りないが、試しに試験をする。トンネルの設計とはなにか！ またトンネルの設計で大切なことは何だと思うか！」と言われた。

一瞬頭の中が真っ白になったが、「トンネルの断面やルート、付帯設備も設計ですが、支保工部材や建て込み間隔を定めるのも大切な設計だと思います。また加背割りや支保工の建て込み間隔や加背割りを定めるのも設計だと思っています。掘進途上で必要に応じて変えていく必要がありますので、施工と設計が絡みあっていくことに留意することが大切だと思っています。」という主旨を、つかえながら述べたところ、「よし！ やっとトンネルのことが少しはわかる選手が来たな！」と言われた。

その後、担当次長には厳しい指導も受けたが、かわいがられたと思う。二段側壁導坑先進や上半のクラウン部にビット・ロットを打ち込んで残す「フォアポーリング」(当時は「先受け串刺し工」など

といった)などの補助工法の提案を受け入れていただき、無事施工再開と完工を迎えることができた。今から思うと、ことさら画期的な提案をしたわけではない。ただ、これが契機で土木設計部にトンネル現場からの相談案件が持ち込まれるようになった。

最初に現場で学んだこと

新入社員のとき、いきなりトンネル現場に放り込まれ、薄暗い坑道の中で文字どおり右も左もわからない状況で、しかもその現場(作業箇所)の担当社員がベテラン(といっても30才台)の主任と私の二人だった。与えられた業務は測量と切羽地質図記録、湧水箇所と量の測定記録、施工歩掛り結果(掘進量、ずり量、火薬消費量、etc)などの記録および主任からの指示事項の実行であった。

当然のことだがトンネル掘削の指揮・指導といったことではなく、それでもずいぶんと忙しく、朝早くから夜遅くまでほとんど坑外に出ることはなかった。ただ毎日、坑夫、斧指たちと話をする機会に恵まれ、迷惑がられながら彼らの

著者略歴

1962年 4月	西松建設(株)入社 中部支店に配属、神岡線 イ、ロ工事ほか
1968年 6月	本社土木設計部に配属、 トンネル工事の設計・計 画業務に従事
1997年 7月	取締役技術部長
2001年 6月	取締役退任

仕事を体験させてもらった。また、彼らからトンネル工事のタブー、フォークロア、施工用語(先普請、縫地、先受け、天秤受け、木が鳴く、などの坑夫用語)や意味などを教えてもらった。その中でもっとも印象に残ったことを紹介する。

トンネル専門用語で、掘進先端の掘削面を「切羽」ということを会社の先輩に教えられたが、彼らはこれを「鏡」と言い、掘進を開始することを「鏡を切る」などと言う。ベテランの坑夫にそのわけをたずねたが、昔からそう言うとしか答えてくれなかった。

あるとき、その坑夫が切羽の前でしばらく立っていて、山が変わると呟いた。そして、いつもより多量の矢板やキャンバー(木製くさび)を持ち込んできた。案の定、そこからは天端からの崩落が激しくなり、それまで送り矢板だった普請を縫地に代えなければならなくなった。その坑夫に判断根拠をたずねると、「毎日鏡に向かって、山と話をするとわかるのだ。」と言う。まるで禅問答のような話だが、彼らが「切羽」を「鏡」という由縁がなんとなくわかったような気がしたものである。つまり、彼らは常に地山の性状を観察して、切羽前方の地山の変化を予測していたのである。

トンネル施工管理の基本(1)

トンネル工事には、土木工事のトンネルと鉱山隧道(わが国では主として炭鉱の坑道)のふたつの形態がある。両者の掘削技術は基本的に変わりはない。しかし、施工管理の視点に根本的な違いがある。それは土木工事の製品は掘削結果の空洞であるのに対して、鉱山隧道は掘削したずりである。したがって、土木工事のトンネルでは「余掘り」をいかに少なくするかが重要な眼目となる。一方、鉱山隧道は、安全と支保工の合理性の要素として大きな余掘りは忌避するが、空洞形状の品質は厳しく追及されない傾向がある。つまり、土木工事におけるトンネル屋には、いかにして余掘り・余巻き量を減ずるかが不可避のテーマである。また合理的に余掘り・余巻き量を減らせば、施工効率の向上につながることになる。

このテーマは今日のNATM技術の時代においても重要な課題になっていることは改めて言うまでもないことで、凹凸の少ない平滑な掘削面の形成は周辺地山の緩み域の拡大を防ぎ、合理的なNATM支保の形成につながる。いわゆるメンテナンスフリーの要素である。この余掘りの少ないトンネル施工技術の確立と施工指導が私の一貫した業務目的であった。

トンネル施工管理の基本(2)

コントラクターにおいて求められる施工管理の主眼はコスト管理、すなわち施工の原価管理である。

トンネル工事においても同様で、前項で述べた「余掘り、余巻きの減少」もこの視点での重要な管理テーマであるが、その前に掘削原価管理がトンネル掘削の施工管理の基本である。

その視点でいえば、近年機械掘削の適用が増えてきたが、トンネル掘削の大半は発破工法であり、火薬原単位量の管理が最重要課題であると思う。火薬原単位量の減少は単に火薬使用量の減少だけではなく、装薬孔数の減少、ずり量の増え率の増加防止などにもつながって、掘削サイクルタイムの縮小効果をもたらす重要課題である。

また思い出話になるが、昭和52年だったと思うが、予定工程に遅れをきたしているトンネルの視察と指導を依頼され、当該トンネル現場に赴いた。現場事務所で地山岩質が劣悪で進行が遅れているとの説明を受けて現場に入った。

まず坑口に立って見渡したところ、側溝の流量が少ないうちに、坑道路盤全体が水を被っており、あちこちに水溜りができている。側溝を少し辿ってみると、底に土砂が堆積し、ところどころ浅くなっている。掘削担当の社員に側溝の底浚えをやらないのかと聞くと、ずりが細かく、浚えても浚えても溜まるのだという。

確かにずりを敷き均した路盤の粒径は小さく、土砂が多すぎる。そのまま中に入らず、坑外のずり仮置き場に行ってみたところ、大粒径の岩片は少なく、ほとんど土砂である。地山は砂岩、頁岩の互層でクラッキーだというのが、こん

なはずはないと思い、「火薬原単位量は？」と聞くと、「1.7~1.9kgです」と答えが返ってきた。「少し多いが、それでこんなずりになるのか」と言いながら、ハッと気がついて「いま何と言った、0.7~0.9kgだろう？」と確認すると、「いえ、1.7~1.9kgです」という。

そのままその社員を伴って事務所へ帰り、「毎日どんな発破パターンでやっているのか、パターン図を見せろ」というと「下請けにらせていて、パターン図は描いていません」と言われて切れてしまい、所長を呼んで机を叩いて怒鳴ってしまった。

自分より年長で、地位もかなり上の立場の所長だったが、温厚な人物で、「申し訳ない、事情があって、お粗末な下請けを使わせているものですから」という。それに対して「下請け任せにしておいて、それが理由とは！」で、さすがに踏みとどまり、言い過ぎましたと謝罪して、基本的な発破パターン図を示して、火薬原単位量は0.7kg/m³以下に収まるはずだと指導し、会社専属のトンネル工事特別下請け会社のベテラン坑夫を指導員として派遣する対策を打ち合わせて帰った。そしてこのことが社内トンネル委員会立ち上げを提案するきっかけとなった。

社内トンネル委員会

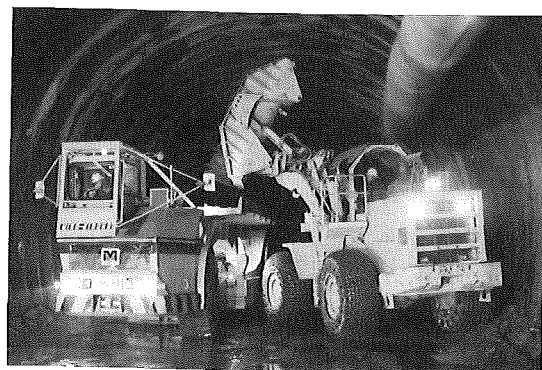
本社土木設計部に在席して、全社各支店から持ち込まれるさまざまなトンネル工事の相談に対応した。未経験な問題にも遭遇し、また前出のような、現場任せにして

おけない問題にも当面した。

そして、土木工事、とりわけトンネル工事は経験で得られた知見が重要であることを痛感し、社内トンネル委員会の立ち上げを提案した。

トンネル委員会は、この途40年という大ベテランを委員長とし、各支店(10支店)に山岳1名、都市1名の支店委員と本社技術管理部門から経験豊富な数人を選抜き、現場の巡察指導、相談される問題解決、データ収集、勉強会開催などの活動を展開した。

トンネル委員会の活動実績はほかの工事部門にも波及し、ダム委員会、一般土木委員会といった技術委員会活動も立ち上がり、やがて毎年の社内土木シンポジウム開催に発展し、その論文集が国会図書館に収蔵された。こうした全社的技術支援システムが企業の土木技術の維持・発展にきわめて有効で、個別の工事上の問題解決に止まらず、新しい技術への挑戦が可能にした。そして、トンネル委員会活動を通じて、小規模なことからかなり大規模な試みを体験したことが、私の技術財産になった



コンテナ輸送方式(雁坂トンネル)

と自負している。その中でいくつかの体験を簡単に紹介させていただく。

体験例(1) 壮大なる実験

中国自動車道名越山トンネル工事は約1,000mの延長で、上り線、下り線の併設トンネルを同時施工するというプロジェクトだった。指定工法は上部半断面先進工法だったが、一方のトンネルを別工事の工事用道路に供する必要から工期短縮対策の提案を求められた。幸い比較的堅硬な地山だったのでNATMの利点をいかして、補助ベンチ付き全断面掘削工法を提案し、図らずも両工法を比較することになる壮大な実験となった。

結果は1,000mで約2か月の工期短縮となり、工費の面でも、1,000m以上の延長であれば工費節減が期待できる結果となった。

体験例(2) 新ずり処理システム

延長6,625mの国道140号雁坂トンネルで、3,642mの山梨県側の工区を拝命した弊社は、工期短縮と合理化をもくろんで、ずりのコ



山はねの瞬間(雁坂トンネル)

ンテナ輸送システムを採用した。このシステムは、1発破で発生するずりの全量を収納するコンテナを準備して、掘進が進むに連れてずり運搬ダンプトラックの運行サイクルが延びることを防止し、掘削サイクルタイムを短縮、かつ一定に保つシステムである。

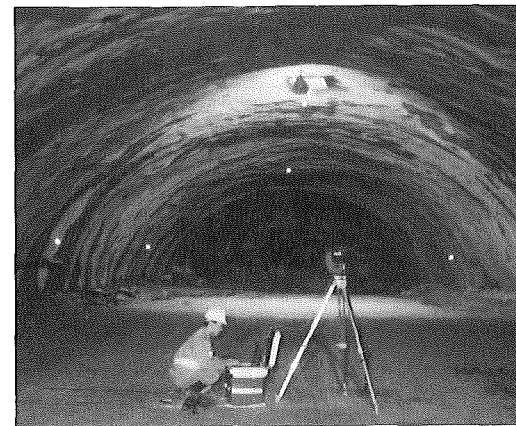
結果は工期・工費ともに合理性を得た。なお余談になるが本トンネル工事で、土かぶり300mというありえない条件下で「山はね」現象に遭遇し、「AE(アコースティック・エミッション)」による予知技術を駆使して管理したことも貴重な体験だった。

体験例(3) 発破掘削技術

新名神高速道路金勝山トンネル(施工時は栗東トンネル:総延長3,840m、担当工区延長2,943m)で、合理的な発破技術として、①装填機(アンホローダ)によるアンホ火薬の自動装薬による装薬時間の短縮、②スムーズプラスティングの成功、③断面測定情報にもとづく発破調整での余掘り縮小、をもくろんだ。スムーズプラスティングでは周辺孔の孔径と薬包径とのディ



アンホローダ(金勝山トンネル)



断面測定状況(金勝山トンネル)

カップリング係数を保持することが必要だが、装填機では困難を伴う問題があった。

対応策を講ずるためにさまざまな発破パターンの試行錯誤を重ねてSB成果を得、最終目的である余掘り、余巻きについては従来実績の1/2以下の成果を得た。また、プロファイラーによる断面測定の活用はいわゆる情報化施工であり、有効性を存分に発揮した。

果たせなかった夢

今から22年前、私事で申し訳ないが、銀婚式記念でスイス旅行したとき、機会に恵まれてスイスのチューリッヒ湖の西端域にあるハーゲルバッハ・トンネルを見学することができた。そこはヨーロッパ各国のトンネル掘削技術の実証実験を引き受けるテストトンネルである。すでに総延長10,000m以上の試験掘削実績があり、ワイン・バーもある素晴らしい施設であった。

帰国して、日本にもそのような施設が欲しく、初めは自社で持つことを考えて場所を探し、岩手県釜石鉱山の廃坑跡を見つけた。し

かし1社では無理だと判断し、トンネル技術協会を通じて発注機関の有力者にも働きかけたが、結局力不足で実現しなかった。今はトンネル屋の夢を見ることができたことが思い出である。

トンネル屋人生を振り返って (1) 技術革新の歩み

昭和37~平成12年の足掛け40年にわたって、トンネル工事にかかりましたが、その間にわが国のトンネル工法の主流は木材や鋼材を用いた“Rib & Lagging”工法からNATMに変遷しました。お前の頭にある技術はもう古い、と言われるでしょうが、今でも木製支保技術の必要なケースがあると思うし、それぞれの技術使用現場に立ち会えたことは、私の大きな財産だったと思っています。

ちなみにNATMでの内空変位測定の名称の「convergence (コンバージェンス)」が「収束」という意味であることに、NATMの技術哲学があると考えます。ただこの技術哲学は木製支保工時代の坑夫た



スイス、ハーゲルバッハ・テスト・トンネルの坑内レストランの時計(このレストランの時刻はいつでも4時以降だから、ビールを飲んでよいというシャレ)(1989.6.)

ちが、地山と語り合い、支保木材の「鳴き」や、「顎担」が「担柱」の「サバ」に食い込む状況からトンネル周辺からの地山荷重の大きさを探知した職人技術と相通じるものです。また鋼アーチ支保工時代に失われた職人技術が科学的なデータ解析管理技術として蘇ったものであると言えます。現在では、IT技術と相まって、切羽前方探査や電気比抵抗値探査といった地山情報検知技術が駆使される、まさ

に情報化施工時代になってきたと思います。

トンネル屋人生を振り返って (2) 忘れえぬ思い出

口幅ったくも、トンネル屋人生を歩んできたと言っておりますが、その人生で、数多くの方々のご鞭撻、そして天の啓示とも言える技術哲学のご指導に恵まれたことを感謝しています。長くなりますが、忘れえぬ思い出のいくつかを紹介させていただきます。

i) かつて、トンネルの地質工学分野の泰斗として活躍された、(財)鉄道総研(旧国鉄の鉄道技研)の吉川恵也氏が、「事前調査はきわめて大切だが、事前に100%の情報を得ることは不可能である。したがって施工自体を地山調査の一環と考えるかどうか工事の成否を制する。」と言われました。まさに至言だと思います。同氏にはいろいろとご指導をいただきましたが、この言葉はトンネル屋として座右の銘となりました。

ii) 文中あえて実名を伏しましたが、私をどやしつけてトンネル屋人生に踏み込ませた方は、旧国鉄東京第二工事局の佐藤袈裟男次長です。同氏は「佐藤^{よきさし}斧指」と渾名されるほど現場に精通された方でした。

吉川、佐藤ご兩位は残念ながら彼岸に旅立たれまして、改めてご冥福をお祈りいたします。

iii) 北越北線鍋立山トンネルは、地山強度比が0.1以下で、300t/m²を超える膨張性圧に見舞われた、

数多い難工事トンネルのなかでも屈指の工事だったと思います。この工事で斜坑から本坑への掘進にあたり、膨張性地山挙動に遭遇しました。その時点で100t/m²を超える数値を測定したため、単線区間の断面形状を円形に変更する提案をしました。その設計変更を鉄道公団東京支社の濱建介支社長に説明するとき、私は支社長室のドアの所に立っていました。濱支社長が「説明がよくわからん！ だれかわかるように説明できんのか！ ……おい、そこのドアのところにいるのは何者だ」と言われ、担当の方が「あれは業者の人間で、この円形断面の設計者です。」と答えると、濱支社長は「業者であろうが誰であろうが、説明できる者が説明しろ」と言われました。濱支社長の前に座って説明し、いくつかの質問にお答えしたところ、「よしよかった、円形断面にするしかないようだな」と言われました。支社長室を出るとき、「〇〇さん」と会社名で呼ばれ、「古い考えに囚われないで、新しい技術で取り組み！」と言われました。

濱様はこの語り部シリーズともいうべき本連載のトップバッターをお務めになった方ですが、説明を聞いていただいたあいだも、発注者、受注者といった分け隔てをまったく感じさせない雰囲気とあわせて、忘れられない思い出です。なお、鍋立山トンネルは長い工期を要し、その間、施工業者も苦勞しましたが、発注者のご担当の方々は、それ以上にご苦勞なされたことと思います。どなたかに、この

「語り継ぎ 言い継ぎいかむ」で執筆していただければ、と願っております。

iv) 山形県の月山道路トンネル工事で、冬期間の休止明けの工事再開にあたっての指導を依頼されて現場に赴いたのですが、まず劣悪な施工状況に眉をしかめざるを得ず、まずはその修復について指示し、そのうえで越冬休止に伴う、いくつかの技術的懸念事項の解決について国道事務所と相談しました。

国道事務所では、基本的には理解したが、その適切性・妥当性について、土木研究所のトンネル研究室長にすぐにも現場を視察してもらって相談する、と言われました。それを聞いて、当該現場の工事状態が拙劣で汚いことにいささか慌て、「私はこれから本社(東京)に帰りますが、ここの状況を事前にトンネル室長にご説明するお使いをさせていただきます」と提案し、了解を得ました。

そして土研(当時は千葉市にあった)に行き、学校の先輩のつてを頼って今田トンネル室長に引き合わせていただき、説明したのですが、室長から、「趣のことは理解したが、なぜ受注側の方が来られたのですか」と聞かれました。「実は、現場の施工状況が拙劣で汚い状況でして、あらかじめお含み置きくださることをお願いしたいと思い、無理にお使いをさせていただいた次第です」と冷や汗を流しながら打ち明けましたところ、今田室長は苦笑されながら「その点はご懸念に及ばない」と言って

おわりに

最後に、トンネル工事は現場の施工部隊が主役であることは論を待ちませんが、請負ったコントラクターは全社を挙げて「縁の下」の力持ち」として現場を支援しなければ真に請負付託に応えることができない工事であることを、現在活躍されておられるトンネル屋の皆様にお伝えしたいと思います。

だ、こうした思い出話で語り継ぎたいことは、発注者と受注者がゆるぎない信頼関係を築いて工事にあたることが大切だということです。また、同業者間での情報交換も必要不可欠であります。そうした基盤造りが技術者の真の教育になることだと思います。そして、JTAの活動がその基盤づくりにあたっていることは言うまでもないところです。

くださいました。

この話を紹介するのは、施工側のトンネル屋の責務は、施工途中においても整然とした工事のたたずまいを維持して、発注側に安心感を持っていただくことが肝要だということです。

心に深く残っている思い出はたくさんあります。しかし限りがないのでこのあたりでやめます。た

付録1 隧道十訓(矢板工法時代の先輩に教えられたことですが、由来を後述します。)

- ①「地層は人相、山の性質」…山にも人相と同じく山の相があって、よく観察すれば山の性質がわかる。
- ②「山の緩みは気の緩み」…掘削後の山は必ず緩むので、気を張り詰めてわずかな変化も見逃すな。
- ③「石硬くとも山堅いとは限らず」…岩が堅くとも亀裂の多く、緩みやすい地山もあるので注意せよ。
- ④「流汗りんり崩壊の兆し」…鏡が汗をかいいたようになってくるときは湧水による崩壊に注意せよ。
- ⑤「埃立たぬに水ないものか」…埃が立たないときは水があると考え、出水に備えよ。
- ⑥「肩のしまりは身のしまり」…地山と支保工の接点をキャンパーでブロックして固定せよ。
- ⑦「天道掘らずに中割するな」…もっとも緩みやすい天端の先受けをしてから中割りを掘ること。無理に大きな加背で掘らないこと。
- ⑧「鼻ハリは腰紐キチンと締めたらシャンとする」…鼻梁は着物の腰紐にあたる。しっかり締めれば崩れないのと同じで、支保工は安定する。
- ⑨「遣らずは両方」…坑口の遣らずは必ず左右に掛けよ。片方だけでは片荷で崩れる。
- ⑩「荷を担ったら足元に気をつけよ」…支保工に荷が掛かったら、柱の足元が沈下しないか注意しろ。

上記、隧道十訓は旧国鉄のトンネルの神様と謳われた足立貞嘉氏が唱えられたものであることを、「トンネルと地下」編集委員長・大島洋志様の著書『私の地質工学随想』で知りました。

付録2 隧道工事の禁忌事(木製・鋼製支保工時代の話) ……★が言い伝え、☆は真の意味です。

- ①「工事中の隧道に女性を入れるな」…★隧道を掘る山の神様は女神で、嫉妬するから。
☆弱い女性を危険なところに入れるものではない。
☆本当はヨーロッパの習慣で、明治以降になっての迷信。
- ②「切羽に背を向けるな」…★切羽に背を向けると、山が怒る。
☆切羽を常に監視していないと切羽崩壊が発生したときに逃げ遅れる。
- ③「坑内で口笛を吹くな」…★山の神様のお遣いの犬が暴れだす。
☆「木が鳴く」などの予兆的異音を聞き逃す。また、緊張感のない就労態度を禁ずる。
- ④「坑内で斧を打ち合わせるな」…★災害犠牲者を搬出するときの合図で、縁起が悪い。
☆③に同じ
- ⑤「汁掛け飯を食うな」…★地山崩壊を呼ぶ不吉な食事。
☆苛酷な隧道作業に耐えるための健康管理

土木情報 No.453

今月の主な入札結果
(1月10日～2月9日)

事業主体	工 事 名	請 負 会 社	請負額 単 位 百万円
東北地整	R108花洲山4号T	前田建設工業	2,168.6
関東地整	さがみ縦貫上依知第2T(その2)	大成建設	908.6
"	圏央道高尾山T(その2)	大成建設	2,655.1
"	矢切函渠その8	不動テトラ	331
"	田尻地区函渠その3	鴻池組	3,230.9
"	H22荒川大久保樋管改築	青木あすなろ建設	1,264.6
"	圏央道城山八王子T(その3)	大成建設	1,545.9
北陸地整	大和川道路改良その3	牛木・高鳥・荷屋JV	103
"	国道49号揚川改良新揚川T	五洋建設	1,435
"	能越道水見第13T	飛鳥建設	1,077.8
四国地整	H22-24近家T第1	鹿島建設	1,493
日本下水道事業団	東京都砂町水再生センター雨水放流渠	フジタ・佐藤・株木JV	9,314
宮城県	初原T本体	橋本店	230
群馬県	R120(仮称)椎坂1号T	佐田・沼田・萬屋JV	906
都・財務局	新宿歩行者専用道第2号線2-13B整備(22三-主4 青梅街道)	清水・港シビルJV	470
都・下水道局	港区白金台五丁目, 品川区上大崎二丁目付近再構築	奥村組	347
"	江東幹線立坑設置	佐藤工業	679.3
"	千代田区内幸町二丁目, 港区西新橋一丁目付近再構築	新井組	369
新潟県	国道改3-1-4号R253(三和安塚道路)今熊工区ボックス	郷土建設藤村組	101
福井県	道路改良(社会資本整備総合交付金)新戸口T(仮称)鯖江工区	キハラ・関JV	1,366.2
"	" 福井工区	西村・羽崎・岩佐JV	1,085
山梨県	主地南アルプス公園線湯島T(仮称)建設3工区	早野・近藤JV	453.8
"	" 2工区	長田・扶桑JV	458
長野県	H22国補県営ため池等整備事業美和地区水路T	岡谷組	163.8
京都府	R163地方道路交付金(仮称)北大河原T	鹿島・金下・岡野JV	2,477
兵庫県	主地丹波加美線(仮称)清水坂T建設(丹波工区)	ハザマ・株本・中兵庫JV	1,484.6
"	" (多可工区)	不動テトラ・田村・塩谷JV	1,455.5
ひたちなか市	高場雨水6号幹線管きょ布設(22国補公下雨第1号)	八木・横信建材JV	105.8
那須塩原市	3・4・1本郷通り道路改良事業に伴う雨水管付替	石川・薄井JV	110
みどり市	雨水排水事業身無第5雨水幹線管渠築造	野村・藤生JV	183
さいたま市	芝川左岸第3-1排水区下水道(北建-22-31)	三ツ和総合建設業協組	200.27
市川市	国分第1排水区水路改良	若築建設	129.5
横浜市	栄処理区阿久和西地区下水道整備(その7)	長野工務店	157.31
"	西部処理区本郷地区下水道整備(その3)	馬淵建設	272.59
"	新杉田共同溝口径1100mm配水管分岐(その2)	宮本土木	109.82
川崎市	平瀬川T部分改修他	鹿島・城所JV	154.62
藤沢市	不動前排水区雨水管渠築造	熊谷・西JV	252.85
名古屋市	権現通第2雨水幹線下水道築造(その2)	西松・昭建・安井JV	801.5
"	第2次山田東雨水幹線下水道築造	ピーエス三菱・中日JV	655.6
"	水草雨水幹線下水道築造	大豊・山田JV	621.88
"	光音寺雨水幹線下水道築造	オリエンタル白石・JR東海建設JV	573.65
"	志賀雨水幹線下水道築造	五洋建設	277.27
"	山崎左岸雨水滞水池流入幹線下水道築造	青木あすなろ建設	184.8
"	南野雨水幹線下水道築造(その3)	大鉄工業	302
"	浄心雨水幹線下水道築造	鹿島・佐藤・平岩JV	1,636

施 工

駅施設ならびに仮線工事桁をSRC逆巻きスラブで受ける

—小田急小田原線複々線・連続立体交差事業—

小田急電鉄(株)複々線建設部課長代理 門 石 崇
小田急電鉄(株)下北沢工事事務所総括主任 佐 藤 賢一郎

1 はじめに

小田急電鉄では、輸送需要に対応するため列車を増発し、朝のラッシュピーク時にはおよそ2分に1本の割合で列車を運行しており、複線設備では輸送力に限界があることから、快適な輸送サービスを実現するための抜本的な輸送改善策として、東北沢～和泉多摩川間約10.4kmの複々線化事業を進めている。

また、複々線化事業は東京都による連続立体交差事業にあわせて進めており、現在では世田谷代田駅～和泉多摩川駅間約8.8km(経堂・狛江地区)が完成し複々線化による運転を行っている。これ

により、朝のラッシュ時間帯の列車だけでなく、
日中の各駅停車についても特急や急行列車の通過
待ちが解消されたことにより、所要時間の短縮が
図られた。

現在は全事業区間でもっとも都心側にある東北沢～世田谷代田間、約1.6km(下北沢地区)に平成16年度から着手し、7年目を迎えたところである。下北沢～世田谷代田間は1日の平均輸送人員が約195万人である小田急線の最混雑区間で、当該区間の混雑率は187%と非常に高い利用水準となっており、当区間の完成を迎えることでさらなる列車増発による混雑の緩和と、社会的問題である開かずの踏切を9か所解消することが可能となる

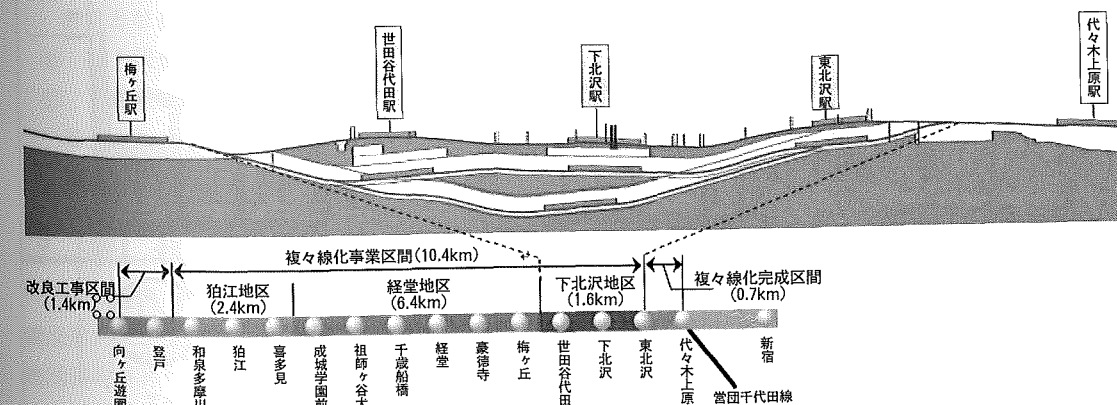


図-1 事業概要図

仮受けする必要があった。これは、軌道下の開削施工を進めるため工事桁や仮ホームを受け替えた多数の支持杭があり、掘削作業の効率が損なわれることから、先行構築した逆巻き躯体に仮受けをすることで施工性を確保する必要があったためである。

また、開削施工を実施する際には、すでに通過した下部シールドトンネルのリバウンドの影響を考慮した構造とする必要もあった。

さらに、軌道の工事桁などの支持杭の安全性について懸念があったため早期仮受けを実施する必要があった。これらの杭は支持層まで打ち込み、支持をしたかったのだが、下部シールドトンネルがこれらの杭に支障することから摩擦杭とすることで杭長を短くする必要があった。さらに、駅部は非常に狭隘であり、工事桁のほかに仮ホームや作業構台の支持杭も打設しているため、これらの杭が接近による群杭となる懸念があげられた。このような不安定な要素を数点抱えていることから、可能なかぎり仮受けを早い時期に行い、かつそれらを安定して支持できる構造としなければならなかった。

4-2 施工における計測管理

軌道やホームなどを仮設化してその下を掘削していかなければならない施工時期や、各種支持杭を先行構築躯体にて仮受けをする施工時期がある。各々の時期に共通するのは、鉄道の営業を行いながらの施工であるため、変位の発生により列車運行を犯してはならないということである。そのため、工事桁や仮受けしている躯体の計測管理をどのように行うのかを計画する必要があった。

4-3 工程短縮

事業開始時に用地取得が完了していなかったため、工事開始直後は施工を制限されていた箇所があったことから、遅滞した工程を促進させる計画としなければならなかった。

また、周辺環境として下北沢駅部へ接続する幹線道路が付近にないため、商店街や住宅を横断する幅員が5～7m程度の道路を使用して掘削土の搬送や資材搬送を行わなければならず、資材の大



写真-2 周辺道路写真

きさ、長さを考慮した構造であるとともに、施工サイクルが良好となる計画、構造とすることが求められた(写真-2)。

5 検討結果

各種課題についての検討は以下の結果となった。

5-1 構造形式および工程短縮

下北沢駅部の施工計画は、原設計を含めた3案を比較検討した。

① RC構造(原設計)

材料のサイズが小さく人力での設置が可能であるが、一般的な「鉄筋→型枠→コンクリート打設」という作業サイクルのためもっとも工期がかかる。また、作業ヤードが狭いことからコンクリートの打設量が200m³程度となり、工程における課題を有するものであった。

② 鋼とコンクリートによるSRC構造

鉄骨を主筋換算することで鉄筋量を減少させることが可能で、懸案である各種支持杭を床版の鉄骨により先行仮受けができるため、不安定な状況を早期に解消できる。工程は原設計と比較し約3か月短縮することが可能である。

③ 側壁を鋼製セグメントとし上下の床版をSRCとした複合構造物

プレキャスト構造の採用により作業量が大幅に軽減でき品質管理が容易である。また、②と同様に床版の鉄骨により先行仮受けができる。工程は原設計と比較し約5か月短縮することが可能である。

以上を比較すると、周辺の道路条件による材料運搬の可否については、材料のサイズを工夫することでどの案でも対応できた。

施工面では、各種支持杭を早期に仮受けすることで躯体構築作業においても施工性が上がるため、半数の杭を床版の鉄骨を仮設した段階で仮受けできる②、③の構造が有利である。

また、地下躯体の構築にあたり大断面の駅部掘削を行わなければならない。そのため、強固な土留め構造により周辺地盤の変状を抑止する必要がある。住宅や商店が密集した町の中心にある下北沢駅は、線路および用地境界から1m程度しか離隔がない場所に建物が近接しているため、土留めの変状による周辺家屋への影響を与えないことが必要である。また、下北沢周辺は地名の「沢」という文字から想像できるように、かつて沢地であり、そこに堆積した地層の上に家屋や鉄道が並んでいる。地下水頭はG.L.-2m程度の掘削で湧き出してくるような土地で、平均20m程度の掘削を行う非常に高水圧での施工を行うこととなるため、地下水により施工や周辺地盤の安全を損なうリスクを抱えていた。よって、安定した土留め構造とするためには、逆巻き施工で構築する床版が十分な強度で早期に構築できる構造であることが求められた。

最後に工程面では、仮受けを行う約4,100m²ある床版や側壁を、いかに早く施工できるのか原設計と全体工程を比較すると、③がもっとも短縮効果が期待できた。

よって、安定性および工程促進という課題をもっとも解決できる③の構造を採用することとした。

5-2 計測管理

軌道の工事桁化や床版への仮受け時の変状は鉄道運行に支障をきたすため、その兆候をいち早く掴むことが求められる。そのため、計測管理を施工の各段階において行った。

(1) 工事桁設置後の計測

営業線を線路閉鎖間合いで道床を撤去し工事桁を設置し受け替える。支持杭は桁架設に先立って打設し後日桁の設置を行った。桁および支持杭に

列車荷重が初めてかかる始発電車と1日のなかで最大列車荷重に近い荷重条件となる朝のラッシュ時間に沈下が生じないかを測量と目視により確認した。初期値との比較で3mm程度の変位は生じたが、軌道変位が現れるほどの変化とはならなかった。また、沈下に対する数種のリスクを有していたため、沈下した場合を想定した支持杭の高上訓練を行い異常時体制の確立後、施工を行った。

ところでこの高上訓練は、支持杭が沈下した際にジャッキを用いて高上することを想定したもので、工事桁直下の支持杭が立ち並んだ状況にて、復旧資材を運搬するところから始め、高上するまでにどの程度の時間がかかるのか訓練をしたものである。作業性を改善するための資材検討なども行っており、数回にわたり訓練を実施した。

(2) 工事桁の常時観測

床版による受け替え前後における日常管理についてリンク式計測器によるリアルタイムの計測を行い、突然の杭の沈下などで生じる軌道の平面性変化を常時捉えることができる体制を構築した。

パソコンによる計測結果の確認と異常時には登録した携帯電話にメール配信をし、現場外でも即座に情報が配信される連絡体制を整えた。現在のところ、このシステムにより警報が来るような変状は生じていない。

(3) 仮受け床版の計測

床版を支持するための中間杭を別途設けた。先行沈下を促進する目的でプレロードを導入し、床版構築完了後には残りの杭の受け替えが多数あることから、床版や杭についても計測を行い軌道変状に備えた計測を行った(写真-3)。

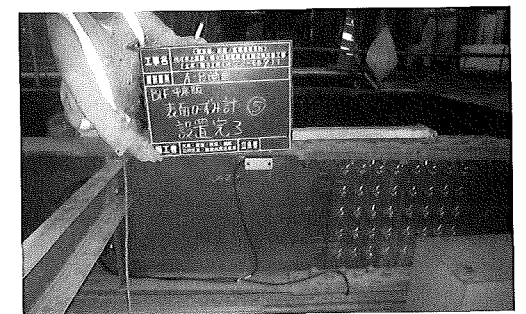


写真-3 床版計測器設置状況

6 施工状況

6-1 床版鉄骨への先行受け替え

SRC構造による躯体を用いる計画としたことで、各支持杭を鉄骨に先行受け替え、床版構築後にそのほかの杭を後行受け替えすることとした。

受け桁により床版に一次受け替え完了後、床版下部の杭の切断を行い完全に受け替えるという施工手順である。切断は営業時間の作業ではリスクが高いことから夜間線路閉鎖間合いにて行い、沈下計測を行った結果、支持杭の最大沈下量は静的変位で約0.5mm、列車通過時の動的変位で約1.0mmであった。

6-2 床版の構築

床版の構築で、鉄骨を巻き込むかたちで鉄筋を組立て、コンクリートの打設をした。この際、半数の受け替えていない支持杭は床版を貫通するかたちで残置するため、振動によるコンクリートの硬化に対する影響が懸念されたのだが、杭の振幅を計測した結果は0.1mm未満であったため、硬化したコンクリートへの影響は見られなかった。

床版コンクリートの強度発現を確認した後、型枠支保工解体前に中間杭に先行沈下を促進する目的でプレロードを導入した。中間杭には山留め工事などに一般的に使用されるプレロードジャッキを1本あたり2台設置し、1回のプレロードにつき床版の奥行き15m区間(中間杭4～6本分)を同時に加圧導入する。プレロード導入は夜間線路閉鎖間合いで行い、杭1本の設計プレロード荷重は死荷重の100%である約1,800kNを目標に20%刻みで様子を見ながら導入していった。

プレロード導入時の計測計画として、以下の測定を行った。

- ① 工事桁支持杭の水準
- ② 土留め壁芯材の水準
- ③ 床版天端の水準
- ④ 中間杭の水準
- ⑤ 中間杭の軸力

駅部工事の床版延長は180mあり、11のブロックに分割しプレロード導入を行った。工事桁支持

杭の隆起は最大で1.0mm程度、床版天端の隆起は最大1.2mm程度、中間杭の沈下は最大約1.5mmであった。また、この施工による土留めの変位は確認されていない。

6-3 2次受け替え

最後に床版以深における作業性を向上させることを目的として、工事桁支持杭および作業構台支持杭を床版で受け替えを行い杭の切断をした。

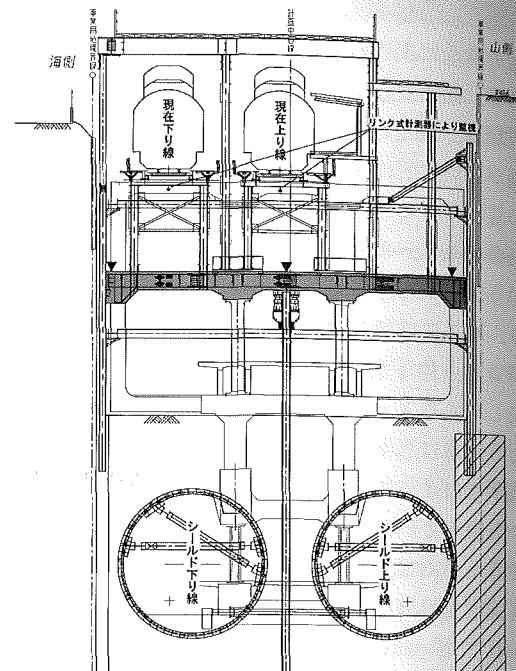


図-4 計測工断面図

表-1 計測工一覧表

計測項目	使用機器	計測の目的、内容
工事桁変位	リンク型変位計	・工事桁(軌道)の沈下、隆起の変位量確認
中床版沈下	連通管式沈下計	・中床版の沈下、隆起の変位量確認 ・中間杭部の沈下傾向の早期把握 ・土留め壁の沈下傾向の早期把握
中床版応力	鉄筋計	・中床版内部の応力状態(曲げ、引張)の確認 ・躯体の健全性確認
中床版応力	表面ひずみ計	・中床版内部の応力状態(曲げ、引張、軸力)の確認 ・側方土圧を受ける梁としての中床版軸力の確認
中間杭軸力	表面ひずみ計	・中間杭の応力状態(軸力)の確認

まず、プレロード導入後24時間の変位監視を経た後、型枠支保工を撤去した。支持杭切断は夜間線路閉鎖間合いでの作業とし、先行して作業構台支持杭を切断した。切断直後からしばらく経過したときの動的変位や中間杭軸力の変化を監視した。続いて、工事桁支持杭の切断を同様の作業手順で行い、動的変位や軸力の経過を監視した。

切断直後の変位としては、作業構台および工事桁支持杭とともに最大1.0mm程度の沈下であった。

営業線ならびに作業構台を床版に仮受けした後の路下作業においては、引き続き、軌道、床版、および中間杭の変位・変形に対する監視を念入りに行っている。

6-4 計測のまとめ

5-2節の計測器は下記のように設置している(図-4、表-1)。

- ① 工事桁変位計測：リンク型変位計
- ② 中床版沈下：連通管式水盛沈下計
- ③ 中床版応力(曲げ)：鉄筋計
- ④ 中床版応力(軸力)：表面ひずみ計
- ⑤ 中間杭軸力：表面ひずみ計

施工延長180m区間において、①の計測器は上下線を対象に@5mに設置し、そのほかについてはそれぞれ、②縦断方向3列@10m、③横断方向5断面、④横断方向3断面、⑤中間杭全数に設置した。

工事桁の変位計測に採用したリンク型変位計は、1回/分の計測頻度で高低、通りを0.1mm単位で計測が可能である。

本設構造物である床版の計測については、段階ごとの状態を確認した。プレロード導入時に約1,000kNまで軸力が上昇し、その後の施工ステッ

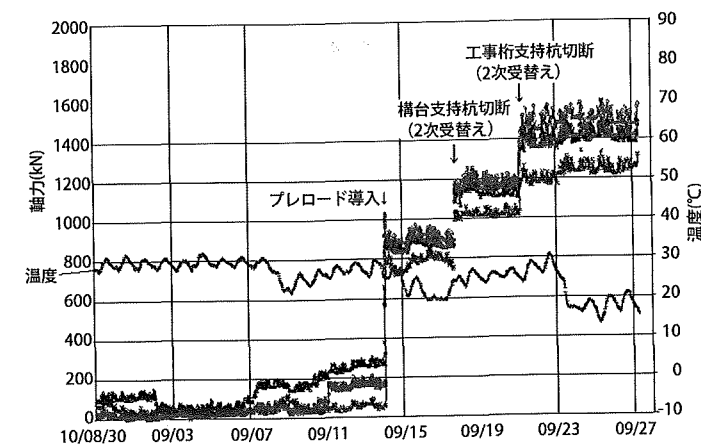


図-5 中間杭軸力計測データ

プの型枠支保工解体、作業構台支持杭切断、工事桁支持杭切断による死+活荷重の中間杭ヘシフトする状況が読み取れる。

床版の変位は、プレロード導入直後に解析上約1.0mm程度の隆起となり、支持杭切断後に動的変位として約3～4mm程度の沈下が見込まれていた。しかし、実際の沈下計データでは、プレロード導入直後に約1.0mm程度の隆起が現れた後、支持杭切断後の動的変位はほぼ0mm(初期値)であり、設計計算の沈下量までは至らない結果となった(図-5)。

7 おわりに

本工事は、当社線の最混雑区間での施工であり、列車運行に支障をきたした際の社会的影響なども踏まえ、施工ステップごとの変位などリアルタイムで監視する計測管理体制を整え安全に努めている。

現時点の掘削段階において、大きな変位・変形は見られない状態であるが、今後、シールドトンネル間の切掘り工事などの施工を進めていく段階で応力状態を把握しながら構造物の健全性を施工管理に反映させることとしている。

トンネルジャーナル

蒲郡BP 坂本トンネルが貫通

中部地整名四国道事務所が整備する国道23号蒲郡BPの坂本トンネルが貫通し、1月29日、施工者である前田建設工業の主催で、貫通式典が開かれた。

同トンネルは、愛知県蒲郡市坂本町と同市神ノ郷町間の371mを、幅員10.5mの暫定2車線道路で結ぶもので、主に珪質片麻岩と雲母片麻岩からなる地山を発破掘削式のNATMで掘進した。平成22年6月に掘削を開始したのち、湧水や変状もなく順調に掘進し、最大日進6m、最大月進130mで同年12月に貫通を迎えた。

断層や地山不良箇所的位置、規模を推定するため、水平ボーリングとドリルジャンボによる穿孔探査を掘削前に行った。探査結果は、掘削開始後のトラブルの防止と適正な支保選定の指標として活用した。また、施工箇所周辺が民家の点在する地区であったことから騒音に配慮し、二重の防音扉、防音壁、防音シートなどを設置して、消音型設備を使用したうえで、モニタリングしながらの施工を行った。

同BPは、名古屋市と豊橋市を結ぶ地域高規格道

路である名豊道路の一部。トンネルが位置する幸田芦谷IC～蒲郡IC（仮称）の5.9km区間では、平成18年度に工事に着手し、平成24年度の供用を目指して全面的に工事が進められている。

平行する国道1号や23号現道では、交通渋滞や沿道環境の悪化が慢性化していることから、同BPを含む名豊道路が整備されることにより、交通環境の改善、三河港利用の物流交通の効率化、東三河地域の地域振興支援などの整備効果が期待されている。



貫通石で難関突破

東日本高速道路関東支社では、北関東自動車道が3月19日に全線開通することを記念して、同道で最後の貫通となった大岩トンネルで採られた貫通石の入った「合格祈願御守」を作成、希望者に贈った。

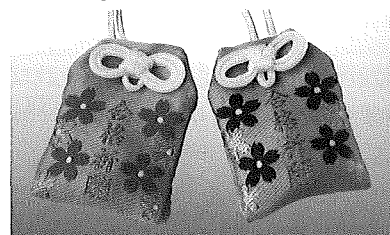
御守は、同社が「これから正念場をむかえる受験生の方々の支えになりたい」との思いから企画したもの。当初、開通日にちなみ先着319人に配布する予定だったが、応募が殺到し、急きょ1,000個を追加作成した。

また、中日本高速道路でも東海北陸自動車道（下り）の長良川SAに、1月27日（大安）～3月14日（大安）の期間限定で貫通石を展示している。これは、同自動車道で最大の難工事であった飛驒トンネルの貫通地点から掘り出したもの。

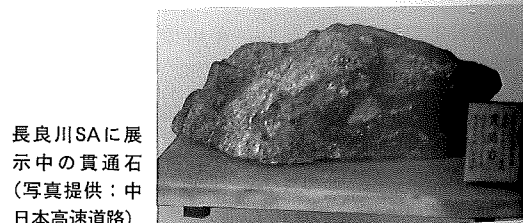
38cm×20cm×14cmの比較的大きな貫通石に、自由に触れてもらうことで、そのご利益で受験突破、就職活動成就、安産などを祈願してもらおうと企画された。展示コーナーでは貫通石を缶詰にした「石貫徹」、飛驒地方の民芸品「さるぼぼ」に飛驒トン

ネルの貫通石を封入した御守袋をもたせた「招福さるぼぼ」の販売もあわせて行っている。

トンネル貫通石は、安産のお守りとしてきたが、「難関突破」「初志貫徹」「先を見通す」などの意味合いを持つことから、合格祈願の御守としても受験生などに珍重されている。



貫通石を封入した御守袋（写真提供：東日本高速道路）



長良川SAに展示中の貫通石（写真提供：中日本高速道路）

計画

長距離シールドの高速施工により浸水対策をスピードアップ

—東京都建設局 古川地下調節池—

東京都建設局第一建設事務所工事課長 林 博 志

東京都建設局第一建設事務所工事課古川地下調節池工事係長 山 田 浩 也

飛島建設（株）東日本土木支社関東土木事業部土木グループ技術部長 栗 本 勝 利

飛島・東鉄工業・ノバック建設共同企業体麻布シールド作業所現場代理人 稲 葉 靖 規

1 はじめに

渋谷川・古川はJR渋谷駅前の宮益橋を上流端とし、渋谷区、港区内を流下して東京湾に注ぐ2級河川である。

流域面積は22.84km²、延長は7.0kmであり、渋谷区と港区の区界である天現寺橋を境に、上流2.6kmが渋谷川、下流4.4kmが古川と呼ばれている（図-1）。

かつては、水量も豊かで水車や舟運に利用され、人々の生活に密着した良好な空間を提供してきた。現在は、都市化の影響を受け、ビルや家屋が川岸まで密集し、また、古川のほとんどの区間は首都高速道路により河川上空が覆われている。近年は台風や大雨によって幾度か周辺市街地が浸水する被害が発生している（表-1）。

古川では、赤羽橋を境に下流側では高潮対策事業を、上流側では中小河川整備事業を実施している。中小河川整備区間の赤羽橋～天現寺橋間においては、主に昭和初期に整備された護岸であり、老朽化が進んでいるため抜本的な対策が必要

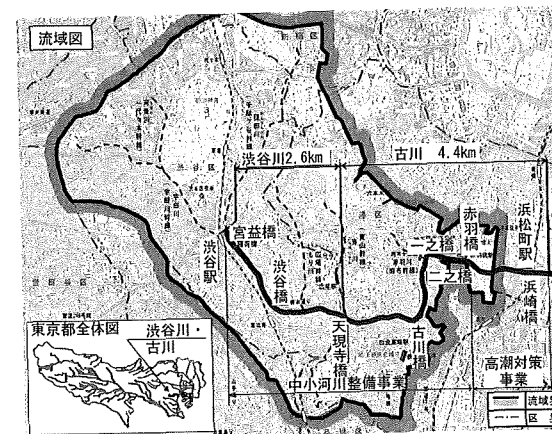


図-1 流域図

表-1 渋谷川・古川における主な水害記録

年 月 日	原 因	浸水面積	被害棟数		雨量 観測所	日雨量 または 総雨量	時間 最大 雨量
			床下	床上			
平成11年8月29日	集中豪雨	15.6ha	334	293	高浜	125mm	115mm
平成12年7月3日	集中豪雨	1.1ha	34	8	高浜	44mm	43mm
平成12年7月4日	集中豪雨	1.9ha	161	60	中央	88mm	84mm
平成16年10月9日	台風22号	0.5ha	20	15	中央	222mm	70mm
平成16年10月20日	台風23号	0.6ha	32	14	中央	201mm	48mm
平成17年5月23日	集中豪雨	0.5ha	12	1	中央	52mm	20mm
平成17年9月4日	集中豪雨	0.1ha	5	3	中央	80mm	68mm
平成17年9月11日	集中豪雨	0.4ha	16	15	上目黒	86mm	58mm

となっている。現在、1時間50mmの降雨に対応するため護岸や地下調節池の整備を進めている。

2 古川地下調節池の概要

古川地下調節池は、水害の頻発する古川中流域における早期の治水安全度の向上を目的として、渋谷区・古川の河川下30～40mに、延長3.3km、内径7.5m（外径8.0m）、貯留量13.5万 m^3 のトンネル式の地下調節池を設置するものである（図-2）。

取水施設は五之橋～養老橋間の右岸側に設け、降雨に伴い河川水位が上昇すると、洪水を取水施設から取り込み、地下調節池本体に一時貯留する。貯留した洪水は、河川水位の低下後、港区立一の橋公園内に設ける排水施設より古川に戻す。

本稿では、現在施工中の古川地下調節池工事（その1）について、紹介する。

3 古川地下調節池工事（その1）の概要

本工事は、港区三田1丁目に存する港区立一の橋公園内に、深さ52.5m、内径14.0m（外径18.0m）の円形の発進立坑を設置し、ここを起点とし、渋谷区恵比寿1丁目を終点とする全長3.3kmのシールドトンネルを整備する工事である。

一の橋公園は、東京メトロ南北線麻布十番駅のすぐ隣に位置する。周辺は、商業施設や住居が建ち並ぶ地域であり、多数の

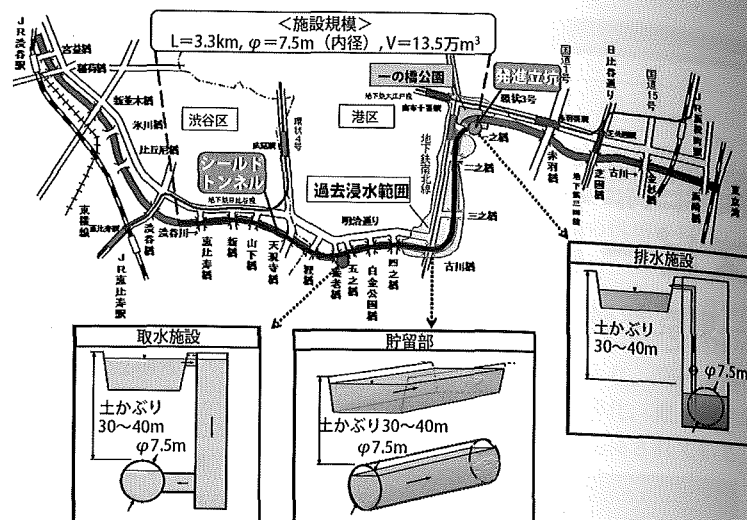


図-2 古川地下調節池概略図



図-3 一の橋公園状況

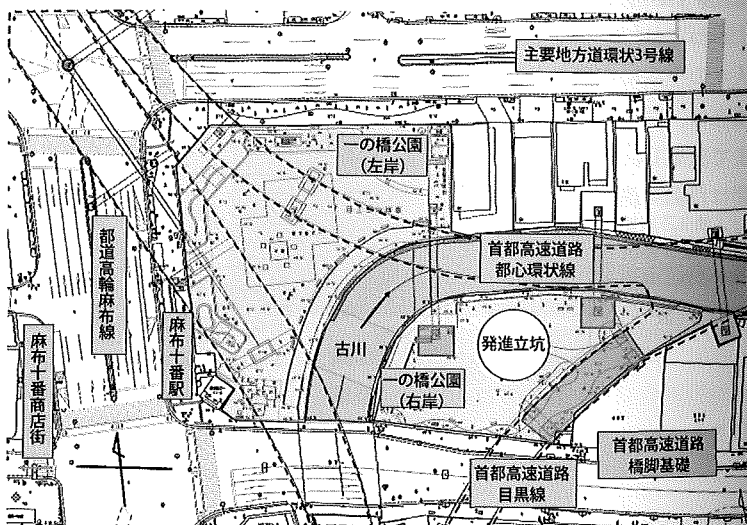


図-4 一の橋公園平面図

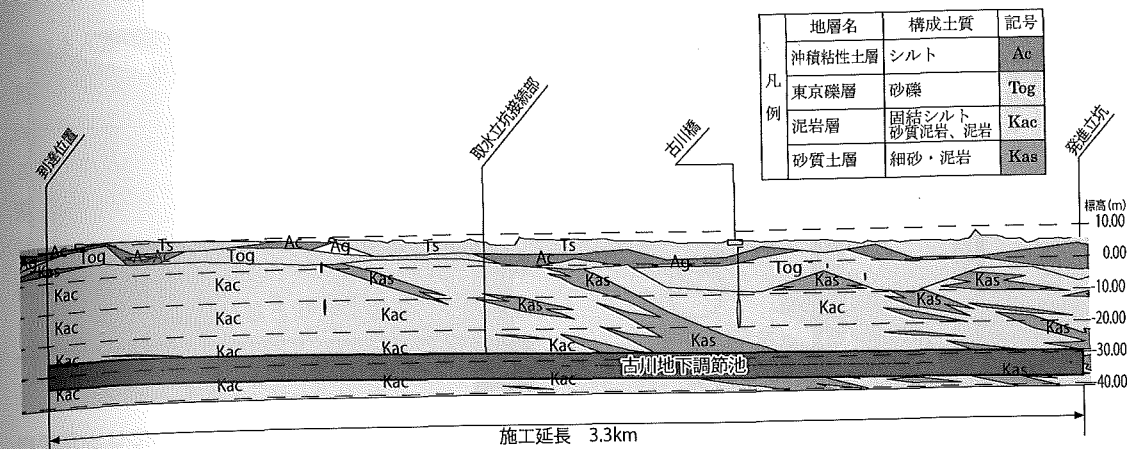


図-5 土質縦断面図

大使館も存在する。また、主要地方道環状3号線と都道高輪麻布線に接しており、交通量の多い地域である。なお、一の橋公園は古川によって二つに分断され、さらに上空は首都高速道路一ノ橋ジャンクションに覆われ、基礎部も含めて橋脚が、近接する状況である（図-3, 4）。

また、シールドトンネルは首都高速道路橋脚、東京メトロ南北線、NTT、上下水道管などと近接している。

3-1 工事概要

工事の概要は以下のとおりである。

工事件名：古川地下調節池工事（その1）

工事期間：平成21年12月18日～

平成23年12月20日

【発進立坑】

立坑内径：φ14.0m

立坑外径：φ18.0m

立坑深さ：GL-52.5m（ケーソン刃口先端）

工法：圧入オープンケーソン工法

【シールドトンネル】

内径：φ7.50m

延長：3,300m

平面線形：直線および曲線（R=50, 100, 150, 200m）

土かぶり：約33～38m

工法：泥土圧シールド

覆工：嵌合方式合成セグメント（一部、鋼製セグメント+二次覆工）

3-2 地質概要

土質縦断面図を図-5に示す。

シールド掘削対象地盤は、全線にわたり上総層群であり、土質としては非常に硬く、あるいは、非常によく締まった地層（固結粘性土：泥岩、半固結砂：砂岩）からなっている。

上総層群粘性土層は、粘土が主体であり、シルトおよび細砂が混じっている。また、所々に、腐食物、炭化物が混入しているが、全体的に含水量が少なく、硬く固結し、泥岩状（軟岩相当）を呈しており、N値は大部分が50以上となっている。

上総層群砂質土層は、細砂および中砂を主体とする半固結状の地層で、固結粘性土（泥岩）の介在や粗砂の混入が認められる。所々に前述した上総層群粘性土層が狭在し、同層とは互層構造にあり、N値は大部分が50以上で、非常によく締まった状態にあるが、全体的に含水量が多い。

4 発進立坑築造工

4-1 圧入オープンケーソン

本工事の発進立坑の形状を図-6に示す。施工方法は、ニューマチックケーソン工法から、遮水壁併用圧入オープンケーソン工法に変更した。また、補助工法としてケーソンの外周に、ソイルモルタル地中連続壁による遮水壁を設け、地下水の流入を防ぐ構造とした。

本工法の主な利点は、①遮水壁を予め構築するため、高水圧に対応できる。②気中掘削のため、

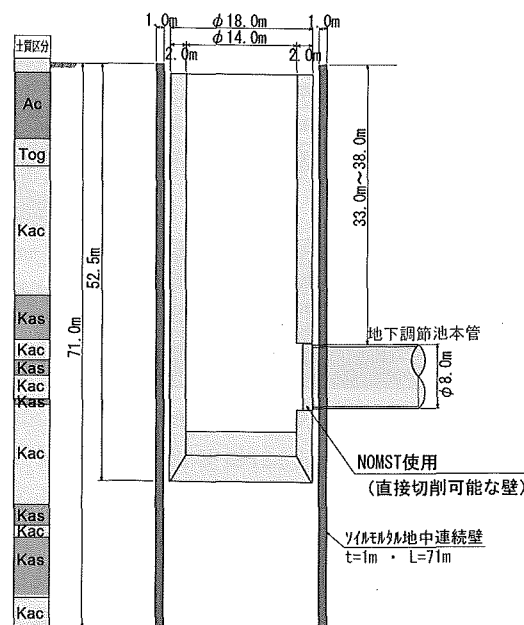


図-6 発進立坑構造図



写真-1 CFRPロッド

あらゆる土質に対応ができ、掘削効率が向上し、工期短縮が図れる。③ケーソン沈設時の設備が少ないため、用地の有効利用ができる。④圧入ジャッキを用いて沈設するため、沈設時の振動が抑制でき、圧気を用いないため、エアブローがないことである。

また、遮水壁が影響遮断壁としての機能を兼ねており、ケーソン沈設に伴う首都高速道路など近接構造物への影響を低減できる。さらに、シールド発進部には鉄筋の代用として、切削可能なCFRPロッド(NOMST)を採用した(写真-1)。

4-2 ソイルモルタル地中連続壁

ソイルモルタル地中連続壁の施工目的は、ケー

ソン掘削時に掘削底面からの地下水の流入を防ぎ、オープンでドライな掘削を行うため、発進立坑の位置が首都高速道路に三方を囲まれているため、首都高速道路の橋脚に影響を出さないためである。

ソイルモルタル地中連続壁は、壁厚1.0m、深さ71.0m、圧縮強度1N/mm²とし、芯材としてH形鋼250×250(L=10.0~20.0m)を挿入して首都高速道路への影響遮断壁とした。

5 シールドトンネル

シールドトンネルの施工にあたっては、首都高速道路橋脚、東京メトロ南北線、NTT(白金環四洞道)、上下水道管などに対して近接施工となるため、事前に影響解析を実施し、各施設管理者と協議を行い施工する。

5-1 シールドの仕様

本工事で使用する泥土圧シールドの仕様を表-2に示す。シールド形式は、硬質地盤である上総層への対応、発進基地の用地などを考慮して泥土圧シールド工法を採用する。カッタヘッド形状は、取り込みを考慮してスポークタイプを採用する。

本シールドは、発進部においてシールドで直接

表-2 シールド仕様

項目	詳細項目	仕様
シールド本体	外径	φ8,180mm
	機長	9,500mm
	テールシール	ワイヤブラシ3段
推進機構	シールドジャッキ	1,500kN×48本
	総推力	72,000kN
	伸長速度	64mm/min
カッタ装置	スポーク本数	8本
	開口率	約63%
	支持方式	中間支持方式
	装備トルク	12,510kN・m
	カッタ回転数	0.68rpm
	余掘り装置	コピーカッタ2基
土砂攪拌装置	アジテータ	2基
	攪拌翼	外周4本・内周8本
	固定翼	1本
土砂搬出設備	形式	シャフト式φ720mm
	排土能力	336m ³ /h

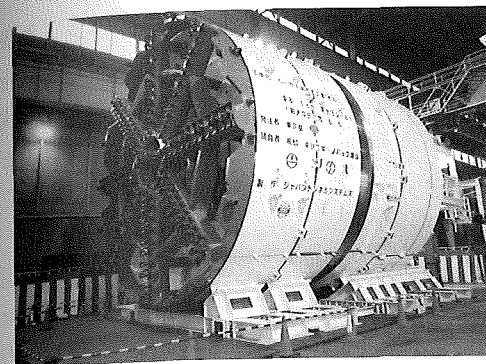


写真-2 シールド

切削可能なCFRPロッドを用いた仮壁を採用しているため、高強度壁用ビットを配置した。また、N値50以上の硬質地盤である上総層を長距離掘進するため、カッタビットの形状、耐久性を確保し、切削性能を維持することを目的として、ビットを段差配置し、耐磨耗性の高いE3種およびE5種を採用することで掘進距離3.3kmをビット交換なしで施工する計画とした。さらに、高速施工を行うためジャッキ伸長速度を最大64mm/分とした。

5-2 セグメント仕様

本工事に用いるセグメントは、取水した洪水を貯留する地下調節池のため、内水圧対応とし、かつ、漏水や有害なひび割れおよび損傷などの実績を考慮し、嵌合方式合成セグメントを採用する。本セグメントの特徴は、以下のとおりである。

- ① 鋼とコンクリートの合成構造および嵌合方式により、高い耐荷性を有する(図-7)。
- ② 鋼枠およびスキンプレートに囲われた中にコンクリートが充填される構造のため、セグメント本体の止水性に優れ、施工時に割れ、欠けが生じない。
- ③ 継手面の高い組立て精度と4層の止水機構により優れた止水性能を有する(図-8)。
- ④ ボルトレス継手のため高速施工に適している。

さらに、長期耐久性を確保する目的で以下の対策を行う。

- ① 内面側継手部は重防食塗装(5mm)を行う。
- ② 内面側主桁鋼材は、腐食代1.5mmを考慮する。

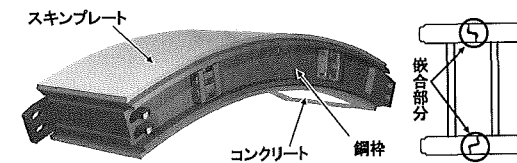


図-7 嵌合継手方式合成セグメントの概要

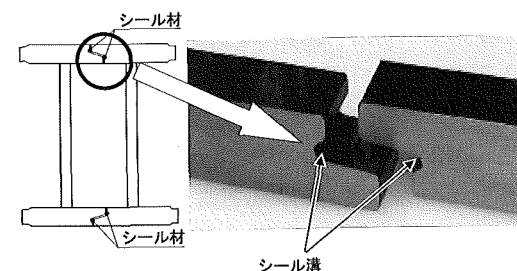


図-8 止水機構図

表-3 セグメント仕様

	標準部		特殊部	
	R=150m以上	R=100m	急曲線部(R=50m)	取水施設接続部
内径	7,500mm		7,600mm	
外径	8,050mm		8,050mm	
セグメント形式	嵌合方式合成セグメント		鋼製セグメント	
幅	1,600mm	1,000mm	400mm	1,200mm
桁高	255mm		205mm	
継手形式	嵌合		ボルト締結	
セグメント分割	6+K		等6分割	

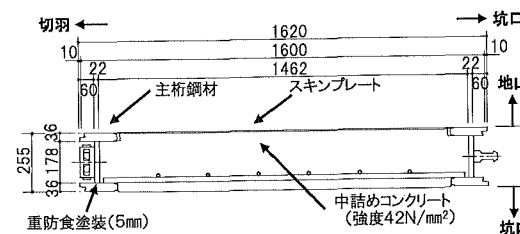


図-9 セグメント断面図

- ③ 外面側主桁鋼材およびスキンプレートは、腐食代1.0mmを考慮する。

また、急曲線部(R=50m)および取水施設接続部は、鋼製セグメント(+二次覆工)を用いる。

それぞれのセグメントの仕様を表-3に、標準部に用いる1,600mm幅セグメント断面図を図-9に示す。

5-3 本掘進

本掘進は、掘進速度の高速化(平均50mm/分)、掘進中に下部のセグメントを組立てる「部分同時施工」の採用、シールドジャッキの圧力制御として、高精度な姿勢制御により切羽の安定と掘削精度確保が両立可能なジャッキ圧力制御システム(FLEXシステム)の採用、高速エレクターによるセグメント組立て時間の短縮、連続ベルトコンベヤでの土砂搬送による他サイクルへの影響要因除去、掘進と二次覆工の同時施工など工程短縮を図った。

5-3-1 ジャッキ圧力制御の方法

掘進中に下部のセグメントを組立てる「部分同時施工」では以下のようなジャッキ圧力制御を行う。ジャッキの制御状況を図-10に示す。制御過程①は通常掘進時のジャッキ制御状況を示したものである。推力の割合は最下部100%，左右80%，上部60%とやや上向きのモーメントによりシールドが直進していると仮定する。

制御過程②はセグメントを組立てるため、その範囲のジャッキを停止した状況である。ジャッキの停止により推力バランスが崩れ、モーメントが下向きに変わり、シールドはノーズダウンを起こす。

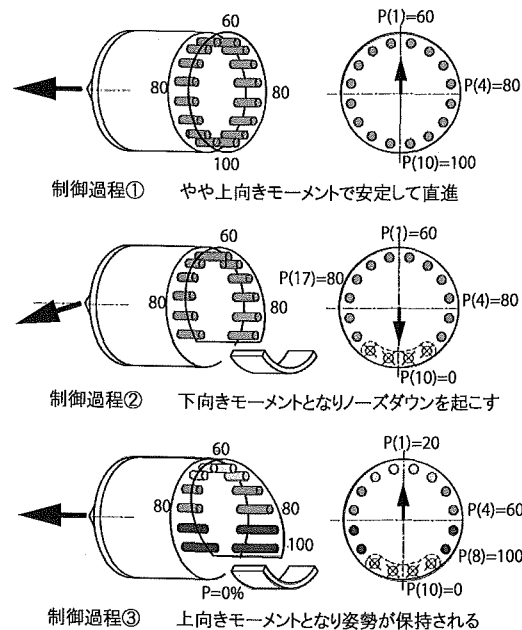


図-10 ジャッキの制御状況

制御過程③は変化した下向きのモーメントを修正するためにジャッキ圧力を調整し、推力の割合を下部100%，左右60%，上部20%に変更した状況である。これによりジャッキモーメントは①と同等となり、シールドは再び直進する。

5-3-2 部分同時施工¹⁾

本工法は、シールドジャッキの圧力制御を活用し、切羽安定と掘進精度を確保しながら一部のセグメント組立てを同時に行うシールド高速施工方法である。シールドの本体機構、セグメント、土砂搬送設備などを大幅に変更することなく、高速施工化を実現する。軸方向挿入式セグメントは、Kセグメントをトンネル軸方向から挿入する構造(図-11)であり、挿入代を確保するためシールドを余分に掘進させる(図-12)。そのため、下部セグメントの組立てスペースが確保され、掘進中の組立てが可能となる。本工法は、軸方向挿入式セグメントの組立てによって生じる掘進時間を利用して下部セグメントを組立て、施工サイクルの短

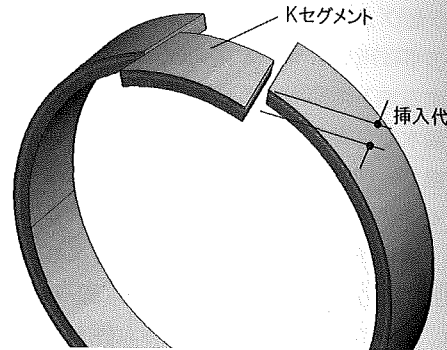


図-11 軸方向挿入式セグメント

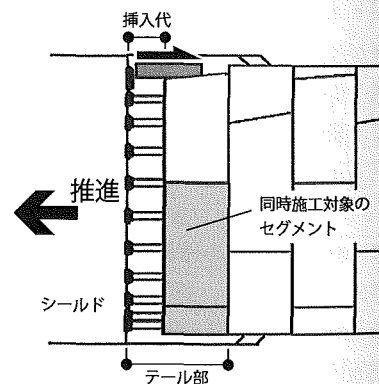


図-12 テール部の挿入代

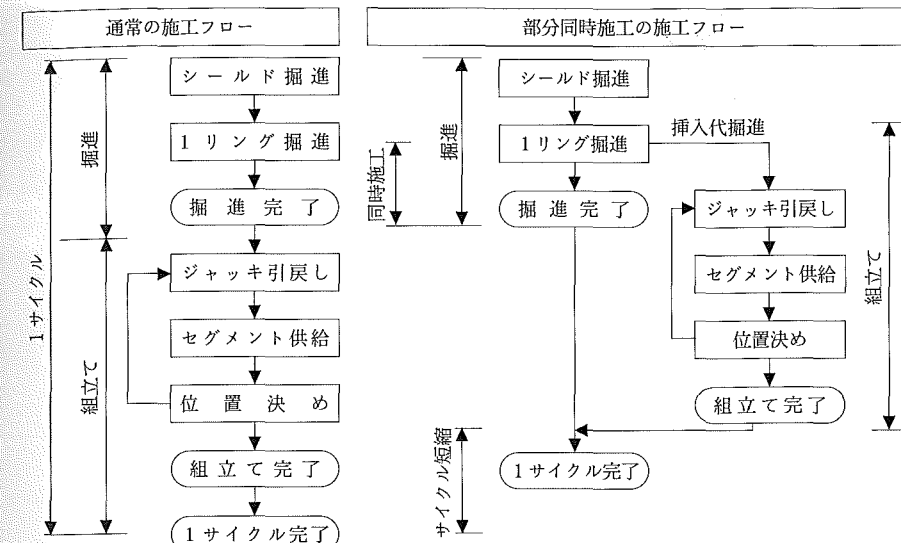


図-13 通常フローとの比較

		10	20	30	40	50	60	70	80	90
一般案 (分離施工)	掘進	53.3分								(掘進時間:30mm/分) 90分
	セグメント組立て	(組立て:5分/ピース) ジャッキ引き戻し+5分×7ピース:37分								
今回案 (部分同時施工)	掘進	32分								(掘進時間:50mm/分)
	セグメント組立て	1,150mm掘進 (23分)	9分	13分	(組立て:3分/ピース)					45分 (飛鳥建設)

図-14 施工サイクル短縮効果

縮を図るものである。

図-13は、通常の施工フローと本工法の施工フローの比較である。通常では掘進完了後、セグメントの組立て作業に移行するが、本工法では掘進の途中から組立てを開始する。この部分的な同時施工による施工サイクルの短縮効果を図-14に示す。

5-4 二次覆工の仕様(吹付けライニングシステム)²⁾

本工法は、劣化したコンクリートの断面修復を目的とした高品質なモルタルの湿式吹付け工法をベースにした技術で、新たに開発した特殊モルタルを鋼製セグメントのリップ内の狭空間に吹付け充填し、表層は、シールドトンネルの用途に応じた高品質なモルタルを使い分け、吹付け・左官仕上げを行い、ライニングを形成するシステムで、シールド掘進と同時施工ができるのが特徴である。施

工箇所は、下記の部位で行う。

- ① 急曲線部(R=50m)
- ② 取水施設接続部
- ③ シールド内隔壁部

5-4-1 二次覆工の要求性能

シールドトンネルにおける二次覆工の要求性能は、通常の鉄筋コンクリート構造物を前提としている。今回の二次覆工について、合成セグメントと同等の耐久性を確保することが求められる。とくに、鋼製セグメントのリップ周辺への覆工材料の充填状況や、吹付け厚さが薄い箇所の仕上がりにより、鋼製セグメントの耐久性に大きく影響を与える。

5-4-2 システムの概要

本工法を適用する二次覆工の代表的な断面構成を図-15に示す。まず、鋼製セグメント内にプラ

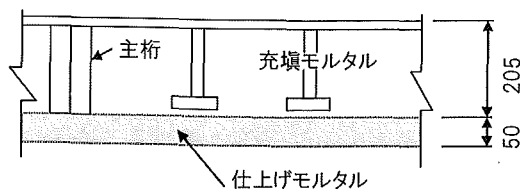


図-15 断面構成

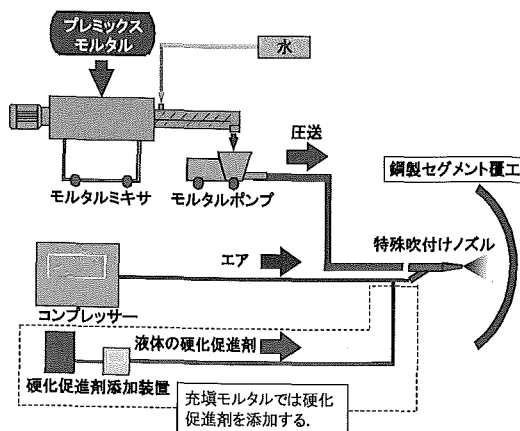


図-16 吹付けシステム

イマーを塗布し、硬化促進剤を用いた高性能な無機系モルタル(以後、「充填モルタル」という)を吹付け、充填する。続いて、剥落防止やひび割れ防止を目的とした補強メッシュシートを配置し、仕上げ層にトンネルの用途に適する高品質モルタルを吹付け、左官仕上げを行う。最後に表層に養生剤を塗布する。図-16、写真-3に吹付けシステムを示す。

5-4-3 鋼製セグメントと充填モルタルの付着性

鋼製セグメント(写真-4)は、シールドの掘進中、高い湿度の中に置かれるため、セグメント表面に錆が生じることが多い。かさぶたのような層状の錆は除去する必要があるが、それ以外の場合は除去が困難である。しかしながら、本工法では、鋼製セグメントと充填モルタルとが一体となって機能することから、付着性を重視している。本工事では、アクリル樹脂系吸水防止下地処理材をプライマーとして使用し、付着性を確保する。

5-4-4 充填モルタルと仕上げモルタルの付着性

充填モルタルと仕上げモルタルは、施工時期が1～2週間程度の間隔をおくことから、付着性が懸念される。本工事では、仕上げモルタルがドラ

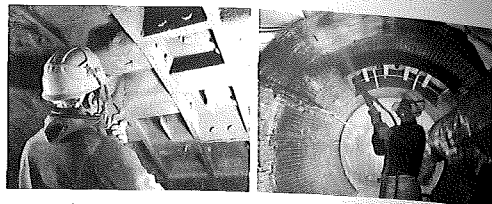


写真-3 吹付けライニングシステム施工状況

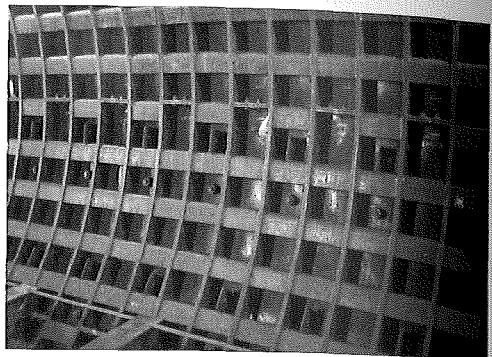


写真-4 鋼製セグメント

イアウトしないよう水湿めを行い、乾燥が厳しい場合は塩化ビニール系の吸湿防止剤の散布を計画している。

6 おわりに

本工事は、 N 値50以上の硬質地盤および土かぶり30mを超える高水圧下で3,300mの長距離シールドの高速施工により、地下調節池の早期供用開始を目指す工事である。現時点(平成23年3月)では発進立坑を施工中であり、並行して、シールドの通過に伴う各施設管理者との近接施工協議を進めている。

今回採用する各種技術・施工方法を駆使し、計画を着実に実行することで、古川地下調節池工事(その1)が無事に完了するように安全第一で施工をしていく。

参考文献

- 1) 西明良・北浦健・寺澤正人: シールド部分同時施工法「ロスゼロ工法」の開発、とびしま技報, No.55, pp.50-54, 2006.
- 2) 川端康夫・平間昭信・酒井喜久雄・高木聡史: シールドトンネルの鋼製セグメント区間の覆工における吹付けライニング工法の開発と適用、土木建設技術発表会概要集, pp.43-50, 2009.11.

研究

砂質地盤での簡易な切羽自立性評価方法の提案

(財)鉄道総合技術研究所防災技術研究部(地質)主任研究員 川 越 健

(財)鉄道総合技術研究所防災技術研究部(地質)研究員 浦 越 拓 野

(財)鉄道総合技術研究所防災技術研究部(地質)研究室長 太 田 岳 洋

1 はじめに

地山の固結の程度が低く、かつ地下水位が高い条件下の砂質地盤に山岳工法でトンネルを掘削する場合、地下水の湧出に伴い切羽が不安定化することがある。これは地下水の浸透力に対してトンネル切羽に分布する砂層の抵抗力が小さいために生じる。そのため、鉄道ではトンネル計画時に地下水の浸透力に対する切羽の自立性(以下、「切羽の自立性」と呼ぶ)に着目した地山分類が行われる¹⁾。この切羽の自立性に関しては、実験的、解析的な研究²⁾やトンネルの施工実績にもとづいた研究^{3)~5)}が行われ、均等係数、細粒分含有率などの粒度組成に関する物性値や、湿潤密度、相対密度などの地盤の締め具合にかかわる物性値が切羽の自立性の指標として有効であることが明らかにされている。しかし、これらの物性値を求めるためには室内土質試験を行う必要があり、トンネル掘削時にその場で直ちにこれらを取得し、計画時の地山分類を再評価することは現状では困難である。そこで、本論では第四紀更新世に形成された砂質地盤を対象に、通常の掘削サイクルの中で行える切羽の自立性評価の方法について述べる。

2 研究方法

既往の研究で切羽の自立性の指標とされる物性

値が切羽の自立性にどのように関与しているかは必ずしも明らかにされていない。通常の掘削サイクルの中で切羽の自立性を評価するためには、この関係について明らかにし、その土質工学的な性質を現地計測などにより定量化する必要があると考える。そこで、本論では第四紀更新世に形成された砂質地盤から試料を採取し、粒度組成などの物性値を室内土質試験から求めた。また、後述する不攪乱試料を用い、三軸圧縮試験や水平一次元浸透崩壊モデル実験を行い、試料の力学的な強さや地下水の浸透力に対する抵抗力の指標となる限界動水勾配を把握した。そして、室内土質試験結果と限界動水勾配の関係を検討し、限界動水勾配との相関が良い物性値を抽出した。次に、その抽出した物性値が限界動水勾配の大きさに関係する理由を検討するために、砂粒子と砂粒子の噛み合わせや、間隙や砂粒子表面のシルトや粘土の分布といった微細な構造(以下、「微視的構造」と呼ぶ)を光学顕微鏡により観察した。

2-1 試料の採取

不攪乱試料は写真-1に示す採取具やブロックサンプリングにより円柱状試料(直径70mm、長さ154mm)として採取した。試料は上北平野に分布する野辺地層⁶⁾、高館面構成層⁷⁾および下総台地に分布する藪層、木下層⁸⁾から採取した(図-1)。野辺地層は中期更新世に、高館面構成層は後期更新世に形成された地層で粒度組成などの物性値の異な

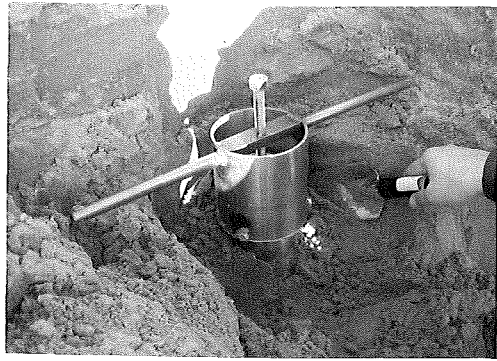


写真-1 不攪乱試料の採取状況

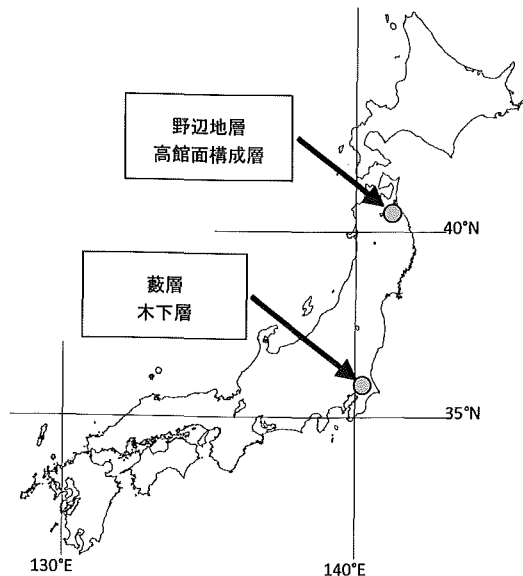


図-1 試料の採取位置

る地層がほぼ水平に累重している。また、藪層は中期更新世に、木下層は後期更新世に堆積した地層で、これらの地層も野辺地層、高館面構成層と同様に粒度組成などの物性値の異なる地層がほぼ水平に累重している。これらの地層を掘削対象としたトンネル工事では、地下水の湧出により切羽が不安定となった事例が報告されている^{9)~11)}。

2-2 室内土質試験

ここでは、未固結地山にトンネルを建設する際の事前調査段階で把握する必要のある地盤の物性値¹²⁾や既往の研究で切羽の自立性の指標として提案されている物性値を得るために、以下の室内土質試験をそれぞれ JIS または JGS の基準に拠って実施した。

- ・湿潤密度試験、乾燥密度試験(JIS A 1225)
- ・土粒子の密度試験(JIS A 1202)
- ・粒度試験(JIS A 1204)
- ・最大・最小密度試験(JIS A 1224)
- ・三軸圧縮試験(JGS 0524)

三軸圧縮試験はトンネル切羽が排水条件であること、また透水性の良い砂質土を対象とすることから、載荷時に排水を許す圧密排水条件(CD)で実施した。5-1-1 項で後述するように、土壌硬度計で計測した支持強度から、試料の力学的強さが小さいと考え、三軸圧縮試験における圧密応力 σ'_v は 50, 100, 200 kN/m² とした。また、ひずみ速度は 0.1%/min とした。

2-3 水平一次元浸透崩壊モデル実験

砂質土試料の限界動水勾配を把握するために水平一次元浸透崩壊モデル実験^{2),13)}を行った。この実験は試験装置内に先に述べた不攪乱試料を設置し、片側から水圧を段階的に加えて試料が破壊する際の水圧を求めることを目的とした実験である。実験は採取した不攪乱試料を事前に飽和させて行った。加圧方法や破壊の判定、限界動水勾配の算出は木谷ほか¹³⁾に拠った。試料の破壊の判定が困難な場合は、負荷した水圧に対して流量が急増する時点を試料の破壊とし、その時点での負荷水圧から限界動水勾配を算出した。今回行った試験で作用させた最大負荷水圧は 0.4 MPa である。

なお、以下では断りのないかぎり、単に「限界動水勾配」と記す場合は不攪乱試料の限界動水勾配を示す。

2-4 調整試料の作製

相対密度が不攪乱試料とおおむね同様な値となるように調整した試料(以下、「調整試料」と呼ぶ)を作製し、2-3 節で述べた水平一次元浸透崩壊モデル実験を行った。この調整試料は 2-1 節で述べた不攪乱試料を採取した箇所と同時に採取した攪乱試料を用い、直径 70 mm、長さ 154 mm のアクリル円筒内で均一に突き固める方法で作製した。

2-5 光学顕微鏡による試料の観察

光学顕微鏡(キーエンス社製、デジタルマイクロスコープ VHX-200)を用いて不攪乱試料の微視

的構造を観察した。観察の際には砂粒子間に存在する間隙水は観察の障害となる場合があるため、自然乾燥した試料を用いた。

3 試験・実験結果

3-1 限界動水勾配と室内土質試験結果¹⁴⁾

不攪乱試料の限界動水勾配と室内土質試験から得られた各物性値との相関性を表-1に示す。相関係数は不攪乱試料の限界動水勾配の常用対数に対する回帰式から得た。今回実施した室内土質試験のうち、不攪乱試料の限界動水勾配と相対的に良い相関がある物性値として粘土分含有率、均等係数、粘着力が得られた。また、不攪乱試料の限界動水勾配と調整試料の限界動水勾配の関係を図-2に示す。不攪乱試料の限界動水勾配は総じて調整試料の限界動水勾配に比べて大きくなっている。

3-2 光学顕微鏡による観察結果と室内土質試験結果¹⁴⁾

光学顕微鏡による観察の結果、砂粒子と砂粒子は互いに密着しておらず、間隙が多く見られた。また、砂粒子の表面や砂粒子間の間隙には細粒分(粘土分やシルト分)や半透明物質が認められた。この観察結果から、各試料を図-3に示す3つのグループに大別した。

表-1 室内土質試験結果と不攪乱試料の限界動水勾配との相関

物 性	限界動水勾配との相関係数
乾 燥 密 度	-0.06
湿 潤 密 度	0.40
相 対 密 度	0.22
間 隙 比	0.13
細粒分含有率	0.34
粘土分含有率	0.64
中 央 粒 径	0.34
均 等 係 数	0.70
内 部 摩 擦 角	-0.09
粘 着 力	0.67

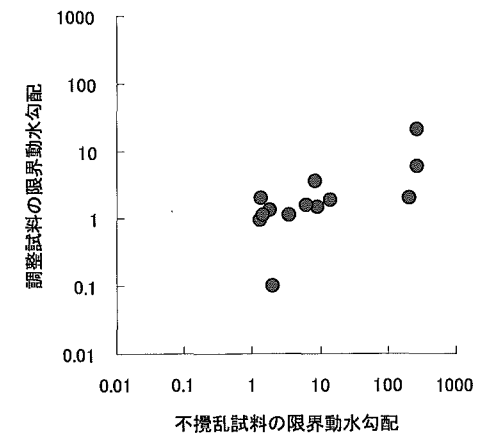


図-2 限界動水勾配の比較

グループ	細粒分・半透明物質の量や分布	試料の状況	
		写真	模式図
A	ほとんどなし		
B	砂粒子表面に付着		
C	砂粒子表面に付着し、空隙中にも多量に分布		



図-3 砂質土試料の微視的構造の模式図

4 限界動水勾配と各物性値との関係に関する考察

調整試料の限界動水勾配は不攪乱試料の限界動水勾配に比べて小さい。調整試料はいったんほぐした試料を不攪乱試料と同様な粒度組成、相対密度となるように突き固めた試料であるため、試料を調整することによって限界動水勾配の値が小さくなるのは砂粒子どうしの結びつきの減少、噛み合わせの変化などが生じたためと考えられる。このことは、切羽の自立性も密度や粒度組成のほかには砂粒子どうしの結びつきや噛み合わせなどが関係していることを示している。そこで、表-1に示したようにほかの物性値に比べて不攪乱試料の限界動水勾配と比較的良好な相関を示している粘着力、均等係数、粘土分含有率と砂粒子どうしの結びつきや噛み合わせなどとの関係について考察する。

4-1 限界動水勾配と均等係数の関係

均等係数と不攪乱試料の限界動水勾配との関係を図-4に示す¹⁴⁾。均等係数が2～3の値を示す試料の限界動水勾配はおおむね8以下と相対的に小さな値を示す。この結果は、既往の砂質土の安定性に関する研究など^{9), 12)}で均等係数が着目されていることと同様の結果である。均等係数と限界動水勾配との間に相関性が認められる理由として次のことが考えられる。均等係数の大きい試料はさまざまな粒径の粒子が混ざっていることから、相対的に大きな粒子どうしの間に小さい粒子がくさびのように入りこみ力学的に安定になる^{15), 16)}。そ

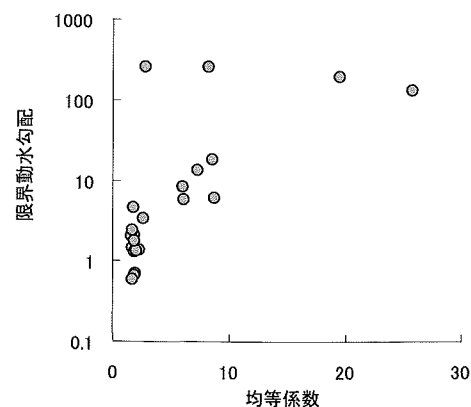


図-4 均等係数と限界動水勾配の関係

のため、均等係数が大きい試料は小さい試料に比べて、限界動水勾配が大きいと考えられる。

4-2 限界動水勾配と粘着力ならびに粘土分含有率の関係

図-5には図-3に示した試料の微視的構造のグループ区分ごとに記号をかえて粘着力と不攪乱試料の限界動水勾配との関係を示す¹⁴⁾。図から粘着力が大きいと限界動水勾配も大きいことがわかる。済木・橋本¹⁷⁾は鉛直一次元浸透崩壊試験における限界動水勾配が、粘着力や土粒子間の引張強さなどの影響を受けることを示している。KOHNO *et al.*¹⁸⁾は河川堤防の法面中でパイプが形成されるときに限界動水勾配が湿潤密度、間隙比のほか粘着力に依存することを述べている。今回の結果はこれらの既往の研究結果と同様であることから、切羽の自立性も粘着力が影響すると考えられる。この関係を微視的構造で分類したグループ区分ごとに見ると次のようなことがいえる。

- ・グループAに属する試料の粘着力は15kN/m²以下である。
- ・グループBに属する試料では粘着力が10～60kN/m²の範囲にある。
- ・グループCに属する試料の粘着力は60kN/m²以上である。

このことは、砂粒子表面に付着する、あるいは砂粒子間の空隙を埋める細粒分や半透明物質が多いほど粘着力が大きく、限界動水勾配も大きいことを示す。表-1に示したように、細粒分のうち粘

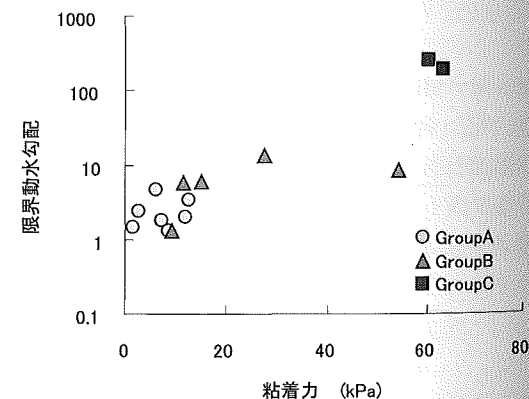


図-5 微視的構造のグループごとの限界動水勾配と粘着力の関係(グループ区分は図-3を参照)

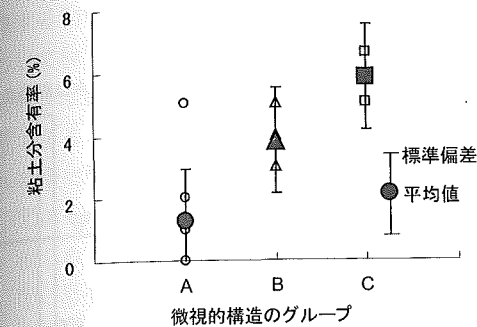


図-6 微視的構造のグループごとの粘土分含有率(グループ区分は図-3を参照)

土分の含有率が不攪乱試料の限界動水勾配と相対的に良い相関を示している。そこで、図-6に微視的構造のグループごとに区分した粘土分含有率を示す¹⁴⁾。砂粒子表面に細粒分や半透明物質が多く付着するグループ、もしくはそれらが砂粒子間の空隙を充填しているグループほど粘土分含有率は高い傾向にあることがわかる。川越ほか¹⁹⁾は走査型電子顕微鏡の観察やX線回折などによる鉱物の分析の結果から、膠結物質となる鉱物を含む粘土分が砂粒子と砂粒子を結びつけていることを示している。また、このような粘土鉱物が多く含まれる地盤ほど粘着力が大きくなる傾向が示されている²⁰⁾。さらに、山口ほか²¹⁾は、砂粒子を覆う粘土被膜による膠結の効果が砂質土の水に対する浸食抵抗力に影響することを報告している。本論での結果や既往の研究から、膠結物質を含む粘土分含有率が高いと粘着力が大きくなり、その結果限界動水勾配も大きくなると考えられる。

4-3 限界動水勾配の大きさを決める要因

前節までの考察から、限界動水勾配の大きさは、砂粒子どうしの噛み合わせや粘土分が砂粒子と砂粒子を結びつける力の影響を強く受けるといえる。限界動水勾配と均等係数や粘着力との相関係数がほかの物性値に比べて相対的に高いのは、均等係数が土粒子の噛み合わせの程度の指標となる物性値であり、また粘着力は砂粒子と砂粒子を結びつける力の大きさの影響を受ける物性値であるためと考えられる。そのため、砂質土地盤の切羽の自立性を評価するうえでも均等係数や粘着力に着目

することが有効と考えられる。この結果は、既往の研究で均等係数が地山の流動化の指標の一つとして示されている¹²⁾こと、また限界動水勾配の大きさに影響を与える物性値の一つとして粘着力が示されている^{17), 18)}ことと一致する。

5 簡易な切羽の自立性評価の方法

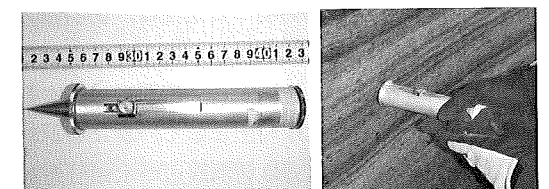
ここでは4章での考察にもとづいて通常の掘削サイクルの中で行える切羽の自立性の評価方法について検討する。

5-1 限界動水勾配の推定方法の検討

切羽に分布する砂質土の限界動水勾配は均等係数や粘着力によりある程度の精度で推定できることがわかった。トンネル掘削時には切羽の自立性をその場で直ちに評価する必要がある。しかし、それらの物性値は室内土質試験から求めるため、それらの値を用いて切羽ごとに自立性を評価することは困難である。そのため、4章で示した限界動水勾配の大きさと関係する地盤の状態を現地で計測する方法を検討する必要がある。そこで、比較的取り扱いが簡便で、ソイルセメントなどの人工材料や未固結の地盤の力学的強さとの相関性が示されている土壌硬度計による支持強度^{9), 22), 23)}と限界動水勾配との関係を検討した。

5-1-1 土壌硬度計による計測

砂質土の力学的強さを現地で把握するために、土壌硬度計(写真-2、藤原製作所製、山中式土壌硬度計No.351)による支持強度(以下、「支持強度」と呼ぶ)²⁴⁾を2章で述べた試料採取箇所計測した。この支持強度は「加えられた外力に対する土壌の抵抗」²⁵⁾と定義されている。土壌硬度計は端部の円錐を対象に押し込み、そのときの抵抗を内部のスプリングの縮み量で測定する装置である。



(a) 全景 (b) 計測状況
写真-2 土壌硬度計

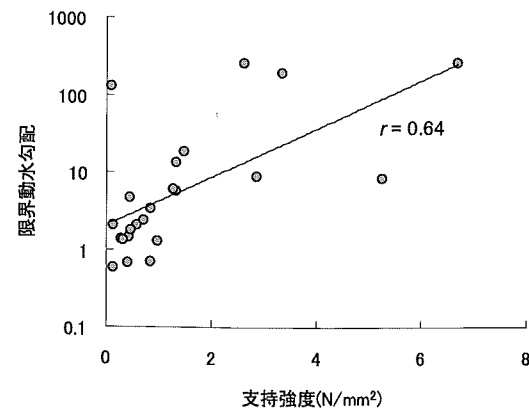


図-7 支持強度と限界動水勾配との関係(図中の直線は近似曲線を、 r は相関係数を示す)

試料採取箇所での支持強度の測定は約10cm四方の領域中で各測定点が等間隔となるように9点で行い、計測結果は最大、最小値を除く7回の測定値の平均値として整理した。

5-1-2 支持強度による限界動水勾配の推定

図-7に支持強度と限界動水勾配との関係を示す。支持強度と限界動水勾配の間には正の相関が認められる。これは、土壤硬度計の円錐部を地盤に圧入するために砂粒子を移動させる必要があり、このときに砂粒子と砂粒子の噛み合わせや粘土分による結びつきを断つ力を貫入抵抗として計測しているためと考えられる。このことから、従来は室内試験で求めていた限界動水勾配を土壤硬度計で計測される支持強度により迅速かつ簡便に現地推定できると考えられる。

5-2 切羽の自立性評価方法の提案

砂質土地山の切羽の安定性には、不安定化方向に作用する要因と地山が本来持つ抵抗性にかかわる要因が複雑にかかわっている¹³⁾。このうち、前者の切羽の不安定化方向に作用する要因としては、地山の緩みと地下水の浸透力が挙げられる¹³⁾。地下水の浸透力に対する切羽の安定性は、切羽に分布する砂層の抵抗力と切羽周辺の地下水の水頭との関係により決定される。ここで切羽に分布する砂層の抵抗力は限界動水勾配として、また切羽に作用する地下水の浸透力は切羽周辺の水頭分布から動水勾配として求める。

切羽に分布する砂層の限界動水勾配は5-1節で

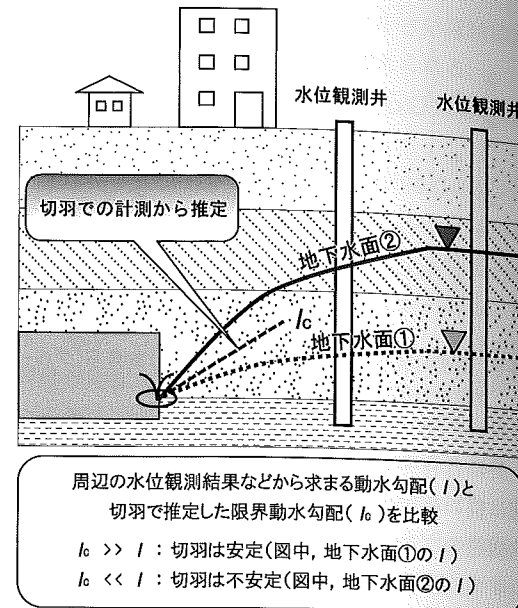


図-8 地下水の浸透力に対する切羽の自立性評価(模式図)

述べた土壤硬度計の支持強度により推定する。一方、切羽周辺地盤の動水勾配を正確に計測することは、切羽の進行により地下水面の分布が変化するため、常時適切な位置に観測井を設置することはできず、施工中のトンネルでは一般に困難である。そのため、切羽周辺地盤の動水勾配は限られた地下水位観測井における観測結果と切羽の湧水箇所からの解析的な検討や、切羽直近の地下水圧の測定²⁰⁾などから推測する。これらにより推定された切羽周辺地盤の動水勾配と土壤硬度計の支持強度から推定される地盤の限界動水勾配とを比較し、切羽の安定性を評価する。例えば、切羽に分布する砂質土の推定される限界動水勾配が、切羽周辺の地下水の動水勾配に対して十分に大きければ、切羽は地下水の湧出に対して安定であると判断できる(図-8)。

両者を切羽の進行ごとに比較し、設計の確認や補助工法の必要性の検討などを行うことでより効率的な切羽管理が実施できると考えられる。

6 ま と め

本論では第四紀更新世に形成された砂質土地盤を対象に、砂質土地盤の限界動水勾配の大小に関

係する物性値とそれらの物性値が関係する理由について検討した。そして、その検討結果をもとに土壤硬度計による支持強度から限界動水勾配が推定できることを示したうえで、通常の掘削サイクルの中で簡易に行える切羽の自立性評価方法について述べた。

得られた知見を以下にまとめる。

- ① 砂質土の限界動水勾配の大きさは、砂粒子間の噛み合わせや粘土分がこれらを結びつける力の影響を受ける。
- ② 土壤硬度計で計測される支持強度により迅速かつ簡便にトンネル切羽に分布する砂層の限界動水勾配が推定できる。
- ③ 土壤硬度計の支持強度から推定される砂層の限界動水勾配とトンネル周辺の水位観測結果や切羽直近の地下水圧測定結果などから推測される地盤中の動水勾配とを比較することで切羽の安定性を簡易に評価する手法を示した。

砂質土地盤での山岳工法によるトンネル掘削事例が増加している。とくに都市部では地表面沈下の抑制や排水工法を実施するうえでの制約などから、地下水位が高い場合にはトンネル掘削時の切羽の自立性確保がより重要となる。そのような場で、本論の成果が切羽管理のうえで少しでも役立てば幸いである。

最後に、鉄道・運輸機構東北新幹線建設局には試料採取にご協力いただくとともに土質試験結果などのデータを提供していただきました。ここに記して謝意を示します。

参 考 文 献

- 1) (財)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説(都市部山岳工法トンネル)，丸善，364p.，2002。
- 2) 木谷日出男・太田岳洋：砂質土トンネル切羽の自立性評価試験法に関する研究，応用地質，Vol.40，No.5，pp.270-280，1999.12。
- 3) 矢田公・森下忠：被圧水帯のトンネル掘削工法(下)，北陸本線浦本トンネル，鉄道土木，Vol.11，No.5，pp.15-17，1969.4。
- 4) 中山範一・成田一男・北村孝海・向上拡美：未固結地山中のトンネル周辺における地下水挙動(その2)―流砂・崩壊現象とその機構―，応用地質，Vol.26，No.2，pp.14-24，1985.6。
- 5) 齊藤迪孝：アーストンネルの地質調査，土木工学社，39p.，1975.10。
- 6) 鎌田耕太郎・長谷川準：青森県上北地域に分布する野辺地層下部の泥質堆積物の層位学的位置について―沼崎泥層の再検討―，弘前大学教育学部紀要，No.90，pp.79-86，2003.10。
- 7) 横山芳春・七山太・桑原拓一郎・安藤寿男：堆積学的手法によって明らかにされた海成段丘の形成過程―青森県上北平野，MIS5e高館面構成層での試み―，地質ニュース，No.595，pp.10-18，2004.3。
- 8) 鈴木尉元・小玉喜三郎・三梨昂・遠藤毅・奈須紀幸ほか：10万分の1東京湾とその周辺地域の地質 第2版 説明書，特殊地質図(20)，地質調査所，109p.，1995。
- 9) 蓼沼慶正・磯谷篤実・須澤浩之・芳賀宏・野々村嘉映：含水未固結地山トンネルにおける切羽安定方策，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.13，pp.201-206，2003。
- 10) 高山博文・吉田義雄・前田正一：未固結層でのNATM施工のための地下水処理，トンネルと地下，Vol.18，No.3，pp.17-25，1987.3。
- 11) 吉村恒・増田裕・内藤清治・阿曾満寿男：砂地盤に挑む大断面NATM，トンネルと地下，Vol.11，No.9，pp.7-15，1980.9。
- 12) 土木学会トンネル工学委員会編：トンネル標準示方書[山岳工法]・同解説，丸善，322p.，2006。
- 13) 木谷日出男・大島洋志・榎本秀明：切羽安定性評価のための砂質地山の分類法，鉄道総研報告，Vol.5，No.6，pp.39-46，1991.6。
- 14) 川越健・浦越拓野・太田岳洋：層相および微視的構造が浸透水に対する砂質土地山の抵抗性に及ぼす影響，応用地質，Vol.52，No.4，pp.170-180，2010.10。
- 15) 鳥海勲：新しい建築工学6，地盤工学，森北出版，170p.，1976。
- 16) YONG, R. N.・WARKENTIN, B. P. 著，山崎不二夫・山内豊聡監訳：土質工学の基礎，土の力学的挙動，鹿島出版会，434p.，1972。
- 17) 済木幸平・橋本雅宏：砂の限界動水勾配に及ぼす細粒分の効果について，土木学会第38回年次学術講演会講演概要集，pp.247-248，1983。
- 18) KOHNO, I.・NISHIGAKI, M.・TAKESHITA, Y.：Levee failure caused by seepage and preventive measures, Natural Disaster Science, Vol.9, No.2, pp.55-76, 1987。

- 19) 川越健・浦越拓野・太田岳洋・石田良二・上間綾乃：第四紀未固結砂層の力学的強さにかかわる粘土鉱物組成の検討，第53回粘土科学会討論会講演要旨集，pp.138-139，2009.9.
- 20) 陶野郁雄：大深度地下開発と地下環境，鹿島出版会，234p.，1990.8.
- 21) 山口宏・木賀一美・芥川真知・風間秀彦：稲城砂の土質工学的性質と微視的考察，土と基礎，Vol.26，No.2，pp.41-48，1978.2.
- 22) 大関敏広・日比野信一・村山篤史：山中式土壌硬度計を用いたソイルセメントの品質管理，第39回地

盤工学研究発表会，pp.767-768，2004.

23) 小橋秀俊：道路分野における流動化処理土，基礎工，Vo.38，No.4，pp.14-17，2010.4.

24) 美園繁：土壌硬度計，土と基礎，Vol.34，No.5，pp.68-70，1986.5.

25) 川口桂三郎：土壌学概論，養賢堂，pp.146-148，1977.

26) 依田淳一・高原英彰・高橋秀典・川越健：偏在する高圧帯水層中を切羽前方湧水圧調査による管理で掘削，北陸新幹線 飯山トンネル富倉工区，トンネルと地下，Vol.38，No.1，pp.7-15，2007.1.

連載講座

山岳トンネルのインバート(1)

—インバートに関する技術基準の変遷—

JTA山岳工法小委員会支保ワーキング

表-1 支保ワーキングの構成

(前)：前任者を示す

区分	氏名	所属
主査	深沢 成年	(独)鉄道・運輸機構
委員	日下 敦	(独)土木研究所
"	小川 澄	(株)高速道路総合技術研究所
" (前)	南部 茂義	東京電力(株)
"	富田 敦紀	"
"	浅野 剛	(株)奥村組
" (前)	神谷 信毅	(株)大林組
"	永久 和正	"
"	須藤 敦史	岩田地崎建設(株)
"	横尾 敦	鹿島建設(株)
"	森崎 泰隆	(株)熊谷組
"	富澤 直樹	(株)鴻池組
" (前)	福興 智	五洋建設(株)
" (前)	山本 一郎	"
"	浅川 敏以	"
"	桑原 嗣	佐藤工業(株)
"	石井 三郎	清水建設(株)
" (前)	藤原 武司	大成建設(株)
"	中塚 静夫	"
"	柳 博文	鉄建建設(株)
"	徳留 修	東急建設(株)
"	内藤 将史	戸田建設(株)
"	森脇 丈滋	飛島建設(株)
"	岡井 崇彦	西松建設(株)
" (前)	小林 雅樹	日本国土開発(株)
"	玉井 靖広	"
"	古川 幸則	(株)間組
" (前)	三河内永康	(株)フジタ
"	野間 達也	"
"	水谷 和彦	前田建設工業(株)
" (前)	山地 宏志	三井住友建設(株)
" (前)	中込 正貴	"
"	鷹背 智司	"
"	國村 省吾	応用地質(株)
"	石田 積	電気化学工業(株)

① 連載にあたって

山岳トンネルのインバートは、支保工や覆工と一体のリングとなってトンネル断面を閉合して地山の変形を拘束し地山の安定を図る重要な役割を果たしている。このことは広く知られるところであるが、以前はインバートの重要性は認識されつつもその設置に限られてきた。しかしながら、トンネル完成後に盤ぶくれや側壁の押し出しによりトンネルが変状し、供用しながらの改修を求められる事例も発生している。そこで、各事業者は、長期にわたるトンネル周辺地山の安定化や維持管理の向上などを目的として、インバートを設置すべき地山区分の拡大を図っている。また、インバートの設置にあたっては、本設インバート以外にも、インバート吹付けやストラットを切羽近傍で設置する一次インバートも多く採用されているが、本設を含めたこれらのインバートに関する設計の考え方や設置基準などが必ずしも明確でなく課題となっている。

そこで、JTA山岳工法小委員会の支保WGでは、平成20・21年度の2か年にわたり、インバートに関する設計の考え方や設置基準などと施工事例について調査し、インバートの効果や形状、施工上の課題とその対応策などをさまざまな角度から検討した。当支保WGは、道路トンネル・鉄道トンネルなどの建設にかかわる技術者(事業者、建設会社、コンサルタントなど)二十数名からなる自

〔好評発売中〕

わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修

B5判 209頁 本体価格2,500円 円340円

主要目次

序編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第II編 トンネル工事と地質条件

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

第III編 地質調査法

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

第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

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

株式会社 **土木工学社**

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



主委員会で、今日的なテーマを定め調査・研究活動を行っている(表-1)。

本講座は、支保WGが検討した「インバート設置に関する報告書」を連載講座として3回の予定でその内容を紹介するものである。

・第1回：インバートに関する技術基準の変遷

国道・高速道路・鉄道トンネルのインバート設置基準がどのように変遷してきたのか、基準の変遷とともにその経緯や考え方を示す。

・第2回：インバートに関する変状対策事例調査と分析

インバートに関連するトンネルの変状事例について、変状の状況やその対策、さらにはそこから得られた教訓などを調査・検討する。変状したトンネルの諸元と地質が土かぶりなどの各種条件との関係や、地山強度比や計測変位などの各種指標とインバート形状の関係などについて検討を加え、より良いインバートの形状を模索する。

・第3回：早期閉合インバートの問題点と対策

早期閉合インバートの対応レベルを定義し、それらの長所・短所および力学的特性について解説する。さらに、各対応レベルの早期閉合インバート設置時の問題点として、インバート自体の抵抗力、支保工とインバートの軸力伝達、および施工上の問題といった観点で整理し、それらへの対策を事例をもとにとりまとめる。

今後、インバートの設計・施工にあたっての参考資料として、さらには若手技術者の勉強材料として活用していただければ幸いである。

なお、本連載では概要を紹介するが、「インバート設置に関する報告書」はJTAで閲覧資料として保管されており、希望者はご利用いただきたい。

② 道路・鉄道におけるインバート設置基準の現状

トンネル構造をより強固なものにするためには、インバートを設置して断面を閉合し、リング構造とするのが有利であることは旧来から経験的に知られてきた。しかし、その設置基準については、過去において不良地山における重要性は認識され

つつも、明確なものがないままトンネルが建設されてきた。実際、矢板工法の時代には基準類にはほとんど設置の要件などはうたわれず、その重要性の認識はあったものの比較的低かったものと考えられる。NATMが標準工法となり断面閉合の考え方が導入されると、インバートの設置が地山区分で基準化されていった。その後、供用後に変状が発生する事例も報告され、インバートの重要性が再認識されるとともに、設置すべき地山条件などが徐々に明らかになってきている。これらの知見は、各事業者における基準類の改訂の際に適宜反映され現在に至っている。

ここでは、国道トンネル・高速道路トンネル・新幹線トンネルのインバートに関する現在の設置基準を一覧で示すとともに、それぞれのインバートの設置基準がどのように変遷してきたのかについてその経緯や考え方を示す。

はじめに、国道・高速道路・新幹線トンネルを対象とした現行の基準類における、インバートの設置に関する規定を表-2に一覧にして示す。トンネル用途・形状の相違や地山分類の相違があり、それぞれ事業者が独自に、将来にわたるトンネルの安定性や経済性、施工性などについて検討され、成果として改訂が重ねられたものが現行の基準である。また、標準的な断面が規定されている高速道路トンネルおよび新幹線トンネルにおける標準断面の例を図-1に示す。

③ 国道トンネルにおけるインバート設置基準

3-1 技術基準の変遷

道路トンネルに関する技術基準類は、昭和37年に通達された「道路技術基準(トンネル編)」が最初のもので、矢板工法の標準を示したものである。その後、道路トンネルの施工実績の増加に伴って得られた知見が加えられ、昭和49年に基準が改訂されるとともに、実質的な解説書である便覧が発刊された。そして、NATMの適用により、平成元年に基準が大幅に改訂され、その後のNATMの施工実績から得られた知見をもとに解説書を改

訂したものが現行の平成15年の技術基準・同解説である。

・各種の設備を備えた本格的な道路トンネルの建設(昭和30年代)

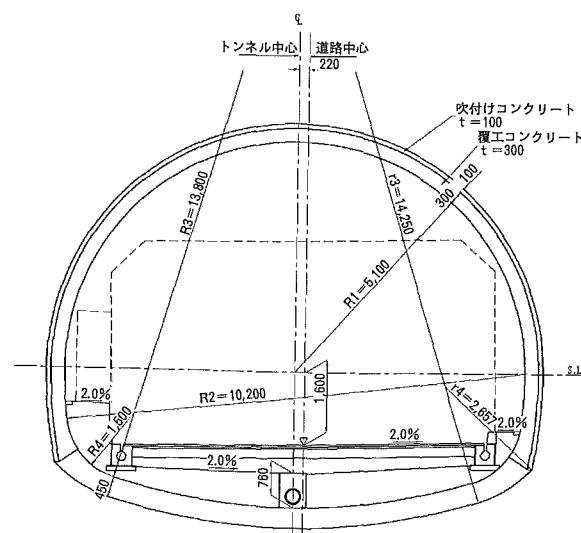
・「道路技術基準(トンネル編)」の通達(昭和37年3月)

・「道路トンネル技術基準」の通達(昭和49年11月)

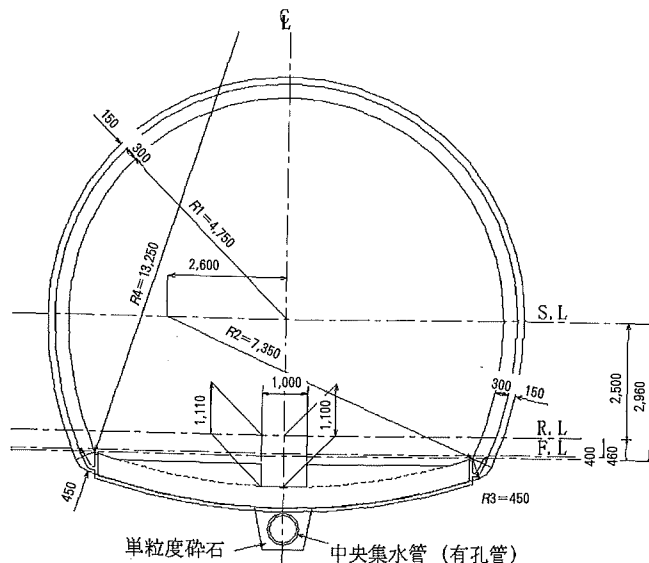
表-2 3機関における現行のインバート設置基準

	国 道	高速道路	鉄道(鉄道・運輸機構)
基 準 名	道路トンネル技術基準(構造編)・同解説	設計要領 第三集 トンネル	山岳トンネル設計施工標準・同解説
発 行 年	平成15年11月	平成21年7月	平成20年4月
標 準 的 な 断 面 サ イ ズ	内空幅8.5～12.5m程度	内空幅9.4～11.2m程度 (上半半径 4.7～5.6m)	内空幅9.5m(以下、新幹線断面)
断 面 形 状 (内空縦横比*)	おおむね0.57～0.60以上	0.65～0.75 程度で三心円を基本	縦8.35m/横9.50m=0.88
イ ン バ ー ト が 必 要 と な る 地 山 条 件	・地山等級CI, CIIで第三紀層泥岩、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 ・地山等級DI(ただし、岩の長期的支持力が十分に側圧による押し出しなどがない場合は省略可) ・地山等級DII以下	・地山等級CI, CIIで泥岩、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 ・坑口部および地山等級DI, DII, Eの区間は原則設置	・原則設置(明らかにその必要性が認められない場合を除く)
イ ン バ ー ト 施 工 時 期	・膨張性地山のように早期断面閉合を必要とする場合：下半掘削ごとに施工 ・地山条件が比較的良好な場合：切羽より離れた位置で1打設長を長く取り、覆工に先行して施工 ・とくに閉合を急ぐ場合：吹付けコンクリートにて施工	・可能な限り早期に設置して断面を閉合	・地山条件、計測結果、施工方法などを考慮し適切な時期に施工(切羽からの距離をできるだけ短くし、早期に全断面閉合)
イ ン バ ー ト 巻 き 厚	・CI, CII地山：40cm ・DI 地山：45cm ・DII地山：50cm ・DIII：50cm～(単鉄筋補強などあり) ・吹付けインバートも厚さに含めることができる(ただし、場所打ちの本設インバート厚≧アーチ部覆工厚)	・CI, CII地山：40cm ・DI 地山：45cm ・DII地山：50cm ・DIII：50cm～(単鉄筋補強などあり) ・吹付けインバートも厚さに含めた合計厚とする	・Ⅲ _N 以上：適宜 ・Ⅱ _N , I _{N-2} , I _{N-1} ：45cm ・I _S ：(吹付け15cm)+30cm (吹付けを施工しない場合は45cm) ・I _L ：45cm
イ ン バ ー ト コ ン ク リ ー ト 材 料 強 度	・18N/mm ²	・18N/mm ²	・18N/mm ²
イ ン バ ー ト 半 径	・上半半径の2～3倍	・上半半径の2～3倍	・15m程度
す り つ け 部 半 径	・1.0～1.5m	・1.5m	・0.45m 程度を標準、盤ぶくれが懸念される場合は1.0～1.5m程度
防 水 工 ・ 排 水 工	・止水せず速やかに排水	・止水せず速やかに排水	・湧水は停滞を生じないように円滑に排水
中 央 排 水 工 の 位 置	・インバート上部(湧水が多い場合は下部にも併設)	・インバート上部(湧水が多い場合は下部にも併設)	・通常地山ではインバート下部 ・特殊地山でインバート半径が大きい場合はインバート上部 ・土砂吸出し防止対策として、小断面の中央排水溝をインバート上部に、中央排水管(無孔管)をインバート下部に配置する場合もある

※トンネル内空断面全般の扁平の度合いを示すもので、(内空天端高さ～下半掘削盤)/トンネル内空幅



(a) 高速道路トンネルの例(第1種第3級の完成2車線、監視員通路ありの場合)



(b) 新幹線トンネルの例(一般地山で中央集水管をインバートの下部に設置する場合)

図-1 標準断面

- 『道路トンネル便覧』の発刊
(昭和50年1月)
- 『道路トンネル技術基準』の改訂
『道路トンネル技術基準(構造編)・同解説』
の発刊(平成元年5月)
- 『道路トンネル技術基準(構造編)・同解説』
の改訂(平成15年11月)

インバートに関しては、最初の基準では、地山

が不良の場合にインバートを設置するものと記されているだけで、具体的な厚さに関する記述もなかった。その後、インバート厚の目安が数値として示されるとともに、インバートが必要となる条件も徐々に詳細な記述がされるようになった。しかし、現行の基準・同解説においても、インバートの設置の採否については現場技術者の判断に委ねられる部分も残されているのが現状である。

これまでの技術基準類に記載されたインバートに関する規定を整理すると表-3のとおりである。

3-2 インバート設置基準・考え方の変遷

(1) 道路技術基準(トンネル編)

(昭和37年3月)

この基準は、道路トンネルの調査、設計、施工、換気、照明について一般的な標準を示したもので、それまでの木製支保工を基本とした工法のほか鋼アーチ支保工を使用した工法を含めたものである。道路トンネルに関する技術基準としては本邦初の通達である。

インバートに関して梓書きで記載された規定はなく、地山が悪い場合に覆工を補強するために設置する旨が解説として記載されているのみである。

設計においては、既往のトンネルのインバート構造が例示されているものの、具体的なインバート厚の目安は示されていない。

(2) 道路トンネル技術基準(昭和49年11月)

昭和37年の「道路技術基準(トンネル編)」通達以降も数多くの道路トンネルが建設され、多くの経験を積むとともに研究開発が進められてきた。また、トンネル技術に対する社会的要求も変化し、これらに対応すべく通達されたのがこの基準である。

インバートに関しては、インバートを設置する

表-3 道路トンネルにおけるインバート規定の変遷

基準名	道路技術基準(トンネル編)	道路トンネル技術基準、道路トンネル便覧	道路トンネル技術基準(構造編)・同解説	道路トンネル技術基準(構造編)・同解説改訂版
発行年	昭和37年	昭和49~50年	平成元年	平成15年
標準的な断面サイズ	・規定なし	・規定なし(幅10m程度とした場合の構造例示が多い)	・内空幅10m程度	・内空幅8.5~12.5m程度
インバートが必要となる地山条件	・地質が軟弱の場合	・地山等級C以下で、支持力不足や、側圧・偏圧の作用	・地山等級CI, CIIで泥岩、凝灰岩などで長期的な安定性に問題ありの場合 ・地山等級DI(ただし、岩の長期的支持力が十分で側圧がない場合は省略可) ・地山等級DII以下	・地山等級CI, CIIで第三紀泥岩、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 ・地山等級DI(ただし、岩の長期的支持力が十分で側圧がない場合は省略可) ・地山等級DII以下
インバート巻き厚	・規定なし (覆工の $T=D/12$ に準拠、 T は覆工厚さ、 D はトンネルの直径または幅)	・過去の実績を参考 ・60cm	・CI, CII地山: 40cm ・DI地山: 45cm ・DII地山: 50cm ・DIII: 50cm~(単鉄筋補強などあり)	・CI, CII地山: 40cm ・DI地山: 45cm ・DII地山: 50cm ・DIII: 50cm~(単鉄筋補強などあり) ・吹付けインバートも厚さに含めることができる(ただし、場所打ちの本設インバート厚 $\geq$ アーチ部覆工厚)
インバートコンクリート材料強度	・規定なし ・過去の覆工の例として21~27N/mm ² 程度	・明示困難 ・16N/mm ² 程度が適当(実績16~20N/mm ²)	・18N/mm ²	・18N/mm ²
インバート半径	・規定なし	・規定なし	・規定なし	・上半半径の2~3倍
すりつけ部半径	・規定なし	・規定なし	・規定なし	・1.0~1.5m
防水工・排水工	・規定なし	・止水せず速やかに排水 ・インバートをつけて閉断面としたときは水压の発生を考慮	・止水せず速やかに排水	・止水せず速やかに排水
中央排水工の位置	・規定なし	・規定なし	・インバート上部(湧水が多い場合は下部にも併設)	・インバート上部(湧水が多い場合は下部にも併設)

地山条件(支持力不足、側圧・偏圧の作用)が記載された。

また、インバート施工時に注意すべき項目が梓書きで記載された。

(3) 道路トンネル便覧(昭和50年1月)

この便覧は、道路トンネル技術基準の内容を補完し、より具体性を持たせるための解説書とすることを目的として作成されたものである。

本便覧には地山分類表が記載され、インバートに関する記述としては、地山等級C以下の地山に対して、支持力の不足する場合および側圧のある場合はインバートを設置する旨が記載されている。

(4) 道路トンネル技術基準(構造編)・同解説(平成元年5月)

近年の研究結果、技術の進歩などを踏まえて、従来の技術基準が矢板工法を基本としていたものを、吹付けコンクリート・ロックボルト・鋼アーチ支保工を機能的に組み合わせた工法(いわゆるNATM)を標準としたものがこの基準である。

インバートは、側圧が作用する場合とD等級以下の地山において原則設置することとなった。ただし、地山等級CI, CIIでも長期的な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置する場合があること、地山等級DIでも長期的な

安定性が十分であり側圧もない場合はインバートを省略できることが記載されている。また、地山等級ごとに、インバート厚の標準が示された。

(5) 道路トンネル技術基準(構造編)・同解説(平成15年11月)

平成元年の通達後、NATMの施工実績が増えるのに伴って数々の新しい知見が見出されるとともに、安全性の向上、建設コストの縮減、周辺環境の保全などの社会的要請に対応する必要が生じてきた。これらに対応すべく平成15年に解説書が改訂された。

インバートについては、地山等級がCI、CIIでもインバートを設置する必要がある岩種が記載されるなど設置基準が詳細になったほか、吹付けによる一次インバートについての記載が増えた。

④ 高速道路トンネルにおけるインバート設置基準

4-1 技術基準の変遷

名神高速道路の建設時代、トンネル断面を小分割して施工する導坑先進工法(側壁導坑、底設導坑、頂設導坑など)が主体であり、高速道路トンネルに関する統一された技術基準はなく、各現場での対応となっていた。

しかし、東名・中央高速道路の建設が本格化した、昭和30年代後期から昭和40年代初期には、鋼アーチ支保工の導入、施工機械の大型化や工事用換気技術の進歩により、劣悪な地質状況や長大トンネル以外ではタイヤ工法を用いた上半先進工法が採用されるようになった。これらの施工データをとりまとめて、矢板工法を標準として昭和45年に『設計要領 第三集 トンネル』(昭和45年1月)が制定された。

その後、吹付けコンクリートとロックボルトを主体とするトンネル工法(NATM)に関して、昭和50年代中頃、海南湯浅道路の藤白トンネルで試行され、その後の研究の積み重ねにより、昭和58年に『トンネルの設計施工資料集—NATM設計暫定指針—』(昭和58年12月)が作成され、標準工法として全国導入された。そして、昭和60年に設

計要領が制定された。それ以降、現場計測や観察結果をもとに標準支保パターンにこだわらない地山条件に応じたローカルパターンも種々施工されてきた。これらの施工実績(計測データなど)の分析結果をもとに支保構造の合理化が図られ、平成9年10月に12年ぶりに標準支保パターンの改訂が行われた。

その後、平成18年には、民営化後の要領として制定され、さらに平成21年に2車線トンネルに高規格支保材料を用いた新しい標準支保パターンが制定された。

- ・設計要領 第三集 トンネル(昭和45年1月)
- ・トンネルの設計施工資料集—NATM設計暫定指針—(昭和58年12月)
- ・設計要領 第三集 トンネル(昭和60年10月)
- ・設計要領 第三集 トンネル(平成9年10月)
- ・設計要領 第三集 トンネル(平成18年4月)
- ・設計要領 第三集 トンネル(平成21年7月)

インバートに関して、最初の基準では、鋼アーチ支保工と矢板類を併用する工法において、岩質区分A～Eに対して、Eは原則設け、その他のA～Dは原則設けないが、ただしDにおいては、地質が悪いところや、著しい偏圧を受けるところで設けることと規定された。標準断面において、インバート厚やインバート半径が示されている。

支保構造が、吹付けコンクリート、ロックボルトを主体とするNATMへと変化するなか、施工実績の蓄積や新たな知見が得られることにより、インバートの設置を検討する方法、設置する対象地山や構造なども徐々に規定され、示されるようになった。

これまでの基準類に記載されたインバートに関する規定を整理すると表-4のとおりである。

4-2 インバート設置基準・考え方の変遷

(1) 設計要領 第三集 トンネル(昭和45年1月)

この基準は、東名・名神のトンネル施工で得た技術的知見と各種要領などを参考に矢板工法を標準とし、2車線の道路トンネルを対象に制定が行われたものである。

インバートに関しては、設置する対象地山(岩

表-4 高速道路トンネルにおけるインバート規定の変遷

基準名	設計要領 第三集 トンネル	トンネルの設計施工 資料集—NATM設計 暫定指針—	設計要領 第三集 トンネル	設計要領 第三集 トンネル	設計要領 第三集 トンネル
発行年	昭和45年1月	昭和58年12月	昭和60年10月	平成9年10月	平成21年7月
標準的な 断面サイズ	・上半半径4.5～5.1m	・記載なし	内空幅9.4～10.6m (上半半径4.7～5.3m)	内空幅9.4～11.2m (上半半径4.7～5.6m)	内空幅9.4～11.2m (上半半径4.7～5.6m)
インバート が必要となる 地山条件	・岩質区分Eは、原則 設置 ・岩質区分Dは、地質 が悪い箇所や、著し い偏圧を受ける箇所	・岩質区分Eおよび Dは、原則設置 ・岩質区分Dは、条 件により省略する ことも ・坑口部は、良好な 地盤でも10m程度 は設置	・坑口部および地山等 級DI、DII、Eの区 間は原則設置 ・地山等級CI、CIIで 泥岩、凝灰岩などの 粘性土岩で、かつ長 期耐久性の恐れがあ る場合設置 ・地山等級DIは、条 件により省略もでき る	・坑口部および地山等 級DI、DII、Eの区 間は、原則設置 ・地山等級CI、CIIで 第三紀泥岩、凝灰岩、 蛇紋岩などの粘性土 岩や風化結晶片岩、 温泉余土など劣化が 予想され、長期耐久 性の恐れがあるので 原則設置	・坑口部および地山等 級DI、DII、Eの区 間は、原則設置 ・地山等級CI、CIIで 泥岩、凝灰岩、蛇紋 岩などの粘性土岩や 風化結晶片岩、温泉 余土など劣化が予想 され、長期耐久性の 恐れがあるので原則 設置
インバート 巻き厚	・D岩質：50cm ・E岩質：50cm以上	・標準：50cm	・CI、CII地山：40cm ・DI地山：45cm ・DII地山：50cm ・DIII：50cm～(単鉄 筋補強などあり) ・E地山：個別検討 ・吹付けインバートも 厚さに含めた合計厚 とする	・CI、CII地山：40cm ・DI地山：45cm ・DII地山：50cm ・DIII：50cm～(単鉄 筋補強などあり) ・E地山：個別検討 ・吹付けインバートも 厚さに含めた合計厚 とする	・CI、CII地山：40cm ・DI地山：45cm ・DII地山：50cm ・DIII：50cm～(単鉄 筋補強などあり) ・E地山：個別検討 ・吹付けインバートも 厚さに含めた合計厚 とする
インバート コンクリート 材料強度	・20N/mm ²	・18N/mm ²	・18N/mm ²	・18N/mm ²	・18N/mm ²
インバート 半径	・上半半径の約2.5倍	・標準断面を記載	・上半半径の2～3倍	・上半半径の2～3倍	・上半半径の2～3倍
すりつけ部 半径	・規定なし	・1.0m	・1.0m	・1.5m	・1.5m
防水工・ 排水工	・速やかに排水	・止水せず速やかに 排水	・止水せず速やかに排 水	・止水せず速やかに排 水	・止水せず速やかに排 水
中央排水工 の位置	・インバート下部が原 則、しかし、湧水が 少ない場合は上部に 敷設	・標準断面で、イン バート上部	・インバート上部(湧 水が多い場合は下部 にも併設)	・インバート上部(湧 水が多い場合は下部 にも併設)	・インバート上部(湧 水が多い場合は下部 にも併設)

質区分)や形状、インバート厚など基本的な規定が示されている。また、中央排水工などの設置について参考図などが示されている。

(2) トンネルの設計施工資料集(昭和58年12月)

高速道路のトンネルにNATMを採用する場合に必要な基本事項をとりまとめたもので、NATMが設計要領へ反映される前の暫定要領である。

(3) 設計要領 第三集 トンネル(昭和60年10月)

吹付けコンクリートとロックボルトを主体とす

るトンネル工法(NATM)が設計要領に制定されたものである。

インバートに関しては、地山等級に対する記載となり、坑口部および地山等級D、Eは原則として設置すると示された。地山等級Cに対しては、泥岩、凝灰岩などの粘性土岩で長期耐久性を損なう恐れのある場合などには、軽易なインバートを設置できると示された。インバート厚については、トンネルの安定を保つうえでは力学的に等厚断面

とすることが望ましいことから、アーチ部などに施工される吹付けコンクリートと覆工の合計厚を考慮して地山等級ごとに設定された。また、インバート部に吹付けコンクリートが使用された場合の取り扱いが脚注で記載され、合計厚とすると示された。

(4) 設計要領 第三集 トンネル(平成9年10月)

NATMの施工時に蓄積されてきたデータをもとに、支保構造のマルチ化(標準支保パターンの追加)により設計要領が改訂されたものである。

インバートに関しては、地山等級Cにおいて、地質が第三紀泥岩、凝灰岩、蛇紋岩などの粘性土岩や風化結晶片岩、温泉余土などでは、原則として、インバートを設置すると明確にされた。これは、供用後の盤ぶくれ変状の発生を考慮し見直しを行ったものである。また、標準設計でのインバートすりつけ部半径は、これまでのトンネル脚部における変状実態を勘案し、長期安定性の向上のために1mを1.5mに変更することが示された。

(5) 設計要領 第三集 トンネル(平成21年7月)

2車線トンネルに対する高規格支保材料を適用した新しい標準支保パターンの制定に伴う改訂である。

インバートの構造など基本的な変更はされていない。標準支保パターンでアーチ部の吹付けコンクリート厚+覆工厚は、従来のものから変更となっているがインバート厚さについては変更されていない。なお、地山等級Cにおいて、検討対象とする岩種のうち、「第三紀泥岩」としていたものを「泥岩」とし、泥岩全種を対象にすることに变更されている。

⑤ 鉄道トンネルにおけるインバート設置基準

5-1 技術基準の変遷

鉄道トンネルに関する技術基準類は、矢板工法の時代にあっては、地方の工事局・支社などで作成した指針類はあったものの、設計・施工全般を網羅した全国共通の基準は国鉄・鉄道公団とも有していなかった。その後、鉄道公団が初めて

NATMを上越新幹線中山トンネルに適用して以降、国鉄・鉄道公団においてNATMトンネルの実績が重ねられていった。その実績調査にもとづく設計施工資料が昭和50年代半ばから国鉄・鉄道公団により順次まとめられ、昭和58年には『NATM設計施工指針(案)』として、初めて鉄道トンネルの設計・施工の基準類が制定された。さらに、昭和62年2月に『NATM設計施工指針』が制定された(基本的に(案)の内容に変更はない)。

国鉄はその後、分割民営化され、整備新幹線の建設はすべて鉄道公団が行うこととなったことなどから、NATM設計施工指針は、鉄道公団の手によって改訂されていくこととなった。なお、いわゆる都市NATMについては、国の技術基準として『鉄道構造物設計標準(都市部山岳工法トンネル)』(平成14年3月)が制定されている。

以下に、鉄道の山岳工法トンネルに関する指針類などの改訂の変遷を示す。

- ・NATMの設計・施工の合理化に関する研究【国鉄NATM研究会】(鉄道技術研究報告, No. 1211, 1982.3)(昭和54～56年度)
- ・NATMの設計と施工 I, II, III【日本鉄道建設公団】(昭和55年3月～57年3月)
- ・NATM設計施工指針(案)【日本国有鉄道, 日本鉄道建設公団】(昭和58年)
- ・NATM設計施工指針【日本国有鉄道建設局・施設局】(昭和62年2月)
- ・NATM設計施工指針【日本鉄道建設公団】(平成8年2月)
- ・山岳トンネル設計施工標準・同解説【鉄道建設・運輸施設整備支援機構】(平成20年4月)

これまでの指針に記載されたインバートに関する規定を整理すると表-5のとおりである。

5-2 インバート設置基準・考え方の変遷

(1) 矢板工法時代(NATM指針制定昭和58年以前)

土木学会トンネル標準示方書では、覆工の形状の条において、「地質不良区間では設置するのがよい、偏圧を受ける恐れがある場合にはインバートコンクリートを設置して覆工をより円形に近い

表-5 鉄道(新幹線断面)トンネルにおけるインバート規定の変遷

基準名	NATM設計施工指針(案)	NATM設計施工指針	山岳トンネル設計施工標準・同解説
発行年	昭和58年5月	平成8年2月	平成20年4月
標準的な断面サイズ	・内空幅9.6m	・内空幅9.5m	・内空幅9.5m
断面形状(内空縦横比*)	・縦8.55m/横9.60m=0.89	・縦8.4m/横9.5m=0.88	・縦8.35m/横9.5m=0.88
インバートが必要となる地山条件	・地山等級Ⅰ _N :原則設置 ・地山等級Ⅱ _N (泥岩質):設置望ましい ・特殊地山:設置時期も検討 ・偏圧予想される場合や二次覆工に力学的機能が必要な場合:原則設置	・地山等級Ⅰ _N 以下:設置 ・地山等級Ⅱ _N (泥岩質, 亀裂性硬岩(B岩種)):原則設置 ・特殊地山:設置時期も検討 ・偏圧予想される場合や二次覆工に力学的機能が必要な場合:原則設置 ・路盤の劣化懸念される場合:設置検討	・原則設置(明らかにその必要性が認められない場合を除く)
インバート施工時期	・特殊地山では掘削サイクルに取り込んで設置が望ましい ・Ⅰ _S では吹付けによる早期閉合原則	・同左 ・路盤の劣化が懸念される場合は早期の設置検討	・地山条件, 計測結果, 施工方法など考慮し適切な時期に施工(切羽からの距離をできるだけ短くし, 早期に全断面閉合)
インバート巻き厚	・一般地山:45cm ・Ⅰ _S : (吹付け15cm)+30cm ・Ⅰ _L :45cm	・Ⅱ _N :適宜 ・Ⅰ _N :45cm ・Ⅰ _S : (吹付け15cm)+30cm (吹付けを施工しない場合は45cm) ・Ⅰ _L :45cm	・Ⅲ _N 以上:適宜 ・Ⅱ _N , Ⅰ _{N-2} , Ⅰ _{N-1} :45cm ・Ⅰ _S : (吹付け15cm)+30cm (吹付けを施工しない場合は45cm) ・Ⅰ _L :45cm
コンクリート強度	・18N/mm ²	・18N/mm ²	・18N/mm ²
インバート半径	・土圧が大きくなるに従って半径を小さく	・地山が不良になるほど半径を小さく	・15m程度
すりつけ部半径	・1.2mを標準	・1mを標準	・0.45m程度を標準 盤ぶくれ懸念:1.0～1.5m程度
防水工・排水工	・湧水が滞留しないよう適切に配水管を設けて中央集水管に導水し排水	・湧水は停滞を生じないよう円滑に排水	・湧水は停滞を生じないよう円滑に排水
中央排水工の位置	(インバート設置の場合) ・標準断面の場合インバート下部	・通常地山ではインバート下部 ・特 _L , Ⅰ _L ではインバート上部に中央配水管を配置	・通常地山ではインバート下部 ・特殊地山でインバート半径が大きい場合はインバート上部 ・土砂吸出し防止対策として, 小断面の中央排水溝をインバート上部に, 中央排水管(無孔管)をインバート下部に配置する場合もある

※トンネル内空断面全般的の扁平の度合いを示すもので、(内空天端高さ～下半掘削盤)/トンネル内空幅

閉合断面とするなどの対策を講じなければならぬ」といった文言が見られる。

国鉄・鉄道公団にトンネル全般に関する統一した基準類はなかったものの、昭和39年開業の東海道新幹線やその頃の在来線の新線などの工事では、インバートが多くトンネル(もちろん矢板工法)で設置されている。したがって、その頃から不良地山におけるインバートの重要性はもちろん認識

されていたことがわかる。

(2) NATM設計施工指針(案)(昭和58年)

できるだけインバートを設置し、断面を閉合することが望ましいが、一般地山においては、現場の実情に合わせて断面形状を定めればよいとされた。インバートの半径は地山が不良になるほど小さくする必要があり、側壁とインバートの取り付け部も丸味をもった形状が望ましく、膨張性地山

のように全周から大きな土圧が作用する場合は、円形断面が必要な場合もあるとしている。一般地山でのインバート形状の標準断面が初めて示された。インバート厚はこれ以降基本的に45cm(吹付けコンクリートを含む場合もある)としている。

(3) NATM設計施工指針(平成8年)

昭和58年版の指針(案)制定後、十数年が経過し、NATMが一般化し整備新幹線の施工実績も踏まえて改訂された。改訂の序に標準支保パターンやインバート設置基準の見直しがうたわれている。

できるだけインバートを設置し、断面を閉合することが望ましいとし、一般地山でも地山等級Ⅰ_N以下では設置を義務づけ、地山等級Ⅱ_Nの泥質岩、亀裂性の硬岩(B岩種)については、原則設置としている。硬岩および中硬岩の亀裂の少ない地山においては、現場の実情に合わせて断面形状を定めればよいとしている。掘削後の路盤の劣化が懸念される場合などの設置の是非について検討することを追加している。

なお、排水工の位置は、一般地山や特殊地山Ⅰ_Sの場合は、中央排水工をインバート下部に設置し、地山等級Ⅰ_L、特_Lの場合は、中央排水工をインバート上部に抱き込んだ形状を標準としている。

(4) 山岳トンネル設計施工標準・同解説(平成20年)

平成8年版の改訂以降10年以上が経過し、新たな施工実績の蓄積、分析がなされ、また技術の進展や新たな知見が得られるとともに、工事の安全性や経済性の一層の追求などに鑑み、改訂された。

トンネル断面形状を、完成断面形状と掘削断面形状に区分した。さらに掘削断面形状には縦断面形状の概念を新たに導入し、トンネルの閉合とは上半・下半・インバート部いずれの断面においても支保が完了し、どの横断面をとっても閉合していることとして、縦断面形状を考慮した設計の重要性が示された。

基本的にはインバートを設置して断面を閉合さ

せるとし、明らかに必要性が認められない場合を除き原則設置とされた。これは、①トンネル供用後も想定しインバートが明らかに必要ないとされる地山は限定的であること、②地山等級Ⅱ_Nの場合にも、完成後の盤ぶくれや側壁の押し出し事例が確認されていること、③剝離性の硬岩(B岩種)は風化しやすく、地下水が多い場合には、将来、岩盤が劣化し、トンネル下部の地山が不安定化するおそれがあること、④営業線保守状況を考慮すると、建設時の対応が重要であること、などを考慮したことによる。なお、完成断面は、標準断面を参考に現場の実情に合わせて断面形状を定めればよいとしている。

また、インバート施工後の盤ぶくれが見られるような場合、一次インバートによる早期閉合の対策として排水工の位置は、基本的には前回指針を踏襲したものとなっている。

⑥ ま と め

国道・高速道路・鉄道のインバートの設置基準についてその変遷や考え方について整理を行ったなかで主な項目について、以下にまとめる。

- ① 国道と高速道路の道路トンネルでは、設置対象の地山条件など過去の変状事例を反映し同様な変遷で基準が見直しされている。
- ② 鉄道トンネルの現行基準では、原則としてインバートを設置することとしている。これは、供用後も含めた地山の劣化や営業線での保守を考慮し規定されている。
- ③ インバート部の中央排水工の設置位置では、道路トンネルはインバート上部、新幹線トンネルではインバート下部(一般地山)と違いがある。
- ④ 最近の不良地山区間で施工事例の多い早期閉合に関して、国道では吹付けインバートを施工した場合でも、場所打ちインバート厚さがアーチ部覆工厚さを下回ることがないよう規定されている。



文献紹介



開 発

山森和博・山下正治・北原成郎：低コスト連続穿孔機エルエスカッター工法の開発，建設の施工企画，No.728，2010.10.

金丸清人：エアロ・ブロック工法の開発と実用化，建設の施工企画，No.728，2010.10.

猪又勝美・鈴木康博：多様なトンネル断面を掘削するシールド掘進機「アポロカッター工法」，建設の施工企画，No.728，2010.10.

特集/最先端技術を探せ！～長距離推進への道のり～，月間推進技術，Vol.24，No.10，2010.10.

特集/最先端技術を探せ！～曲線推進への道のり～，月間推進技術，Vol.24，No.11，2010.11.

維 持・管 理

小島芳之・荒井泰：トンネルのひび割れの発生要因と維持管理の考え方，防水ジャーナル，No.467，2010.10.

池田匡隆：下水道管路施設の維持管理，予防保全を重視した計画的な維持管理の推進，土木技術，Vol.65，No.11，2010.11.

草薙弘樹：トンネル覆工のひび割れ調査，水土の知，Vol.79，No.1，2011.1.

調 査・設 計

中野清人・小川澄・清水雅之：高速道路二車線トンネルにおける高規格支保パターンの標準化，土木施工，Vol.65，No.9，2010.9.

島田義博：新潟県十日町・中魚沼地域における素掘り隧道(マブ)の調査及び対策工法の検討について，農村振興，No.729，2010.9.

杉本利英：空中電磁探査法による花崗岩類トンネルの地山評価，ダム技術，No.288，2010.9.

山西敦也：相鉄・JR直通線事業および相鉄・東急直通線事業の概要，相模鉄道における都心直通プロジェクト，土木技術，Vol.65，No.10，2010.10.

依岡進：補償工事の設計業務における留意点，サイホン工の改修工事を事例として，水土の知，Vol.79，No.1，2011.1.

施 工

福田暁：両筑平野用水二期事業水路トンネル補強工の施

工について，農村振興，No.729，2010.9.

狭い管内でコンクリートを賢く壊す，北部処理区千若末広線整備工事(神奈川県)，ズームアップ[下水道]日経コンストラクション，10月8日号，2010.10.

田中秀之進・緒方秀敏・多宝徹：都市部のシラス台地におけるトンネル掘削，鹿児島東西道路 新武岡トンネル，土木技術，Vol.65，No.10，2010.10.

池上大地・鎌田弘幸・有安建也：水路トンネル拡幅工事における掘削工法の検討，水土の知，Vol.78，No.10，2010.10.

大断面の急曲線をS字状に掘進，勝島ポンプ所流入管きょ建設工事(東京都)，ズームアップ[トンネル]，日経コンストラクション，11月26日号，2010.11.

宮地孝：ハーモニカ工法による環境負荷の低減と，国道1号 原宿交差点立体工事をモデルとしたCO₂排出量の評価，建設の施工企画，No.729，2010.11.

特集/下水道再構築の切り札～改築推進工法～，月間推進技術，Vol.24，No.12，2010.12.

首都高速道路(株)神奈川建設局横浜工事グループ：横浜環状北線シールドマシン発進，道路，Vol.837，2010.12.

奥村亘裕：泥土圧式シールド掘削土の有効利用(産業廃棄物減量化)について，農村振興，No.732，2010.12.

玉井達毅：北海道新幹線 津軽蓬田トンネル(SENS工法)の施工，建設の施工企画，No.730，2010.12.

日比谷穰・穂積教彦：トルコボスボラス海峡横断鉄道トンネルの施工，シールド工事 沈埋トンネルへの到達，建設の施工企画，No.730，2010.12.

橋本敏和：都市部における鉄道線増連続立体交差工事の一例，小田急電鉄小田原線，代々木上原～東北沢駅間地下化工事，建設の施工企画，No.730，2010.12.

中島良光・古澤剛・川島陽・稲田修：アッパーコトマレ水力発電建設工事 長大トンネル・斜坑・地下発電所の掘削工事，スリランカ民主社会主義共和国，建設機械，Vol.46，No.12，2010.12.

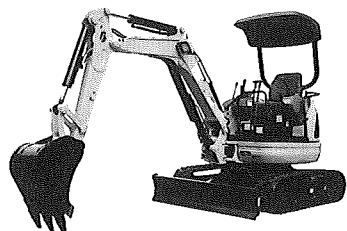
複眼のリスク管理で世界最長トンネル実現，想定外の不良地質による遅れを工期変更で挽回，スイス・ゴックルドベーストンネル，日経コンストラクション，1月10日号，2011.1.

特集/我が推進工法の海外進展，月間推進技術，Vol.25，No.1，2011.1.

特集/ダム・トンネル建設現場で活躍する機械・設備，建設機械，Vol.47，No.1，2011.1.

工法・技術・製品ニュース

製品 狭所作業性と後方安全性に優れたミニ油圧ショベル



FIGA 020 CR

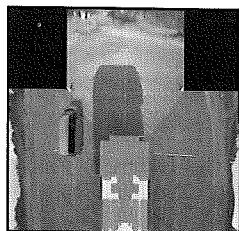
キャタピラー・ジャパン(株)広報課
TEL:03-3717-1122
http://japan.cat.com/

キャタピラー・ジャパンは、優れた狭所作業性および後方安全性を活かし、道路工事や配管工事において高い能力を発揮するFIGA 020 CRミニ油圧ショベル後方超小旋回機(バケット容量0.066m³)およびFIGA 020 SRミニ油圧ショベル超小旋回機(同0.060m³)を新発売した。

両機は、従来機に比べ汎用性が向上したほか、キーに埋め込まれたICチップのキーナンバーを機体が認識することで、はじめてエンジンが起動

する車両盗難防止システム「SSキー」を標準装備。通常作業表示(燃料レベル、冷却水温、エンジン回転数、アワーメータ)のほかSSキー登録、故障履歴表示など、機械情報を集約的に表示する「自己診断機能付き液晶モニタ」の採用により、メンテナンス性を向上させるなど全般にわたり顧客価値を高めた。また、国土交通省第3次基準値排出ガス対策型(申請中)などに適合させており、環境に配慮した製品とした。

製品 建機周囲の安全確認を支援



開発中のオーバービュー(ワイド)画像

日立建機(株)コーポレートコミュニケーション部
TEL:03-3830-8065
http://www.hitachi-kenki.co.jp

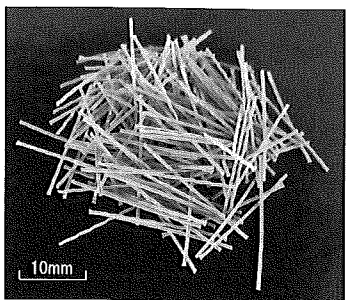
日立建機とクラリオンは共同で、建設機械に搭載する複数のカメラからの合成画像を、運転席に設置したディスプレイに表示することで、オペレーターの周囲安全確認を支援する「オーバービューモニターシステム」を開発した。プロトタイプでの基本性能の実証を終え、2012年春の製品化を目指している。

同システムは、クラリオンが開発に取り組む車載用小型カメラ技術に基づき、建設機械に複数の広角カ

メラを搭載し、各カメラの画像を変換・合成して、機械を中心として上空から見下ろしたような映像を運転席ディスプレイに表示する。

広い範囲を監視する必要がある建設機械のニーズに合わせて「ズーム表示」と「ワイド表示」をオペレーターの操作により切替えが可能。これにより、オペレーターは、他の建設機械やサービスカーとの位置関係など、機械の周囲状況を瞬時に把握することが可能となる。

製品 ひび割れ抑制と剝落防止に効果のある短繊維



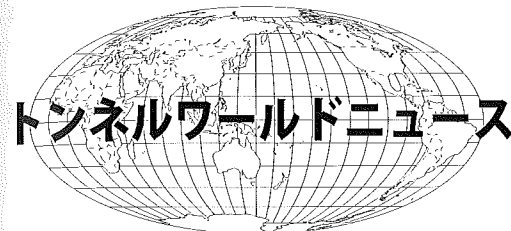
西松建設(株)技術研究所
TEL:03-3502-0273
http://www.nishimatsu.co.jp/

西松建設、戸田建設および宇部日東化成は共同で、コンクリートのひび割れ抑制と剝落防止に効果のあるポリプロピレン短繊維「シムロックSX」を開発した。

同製品は、X字形の断面形状と表面への凹凸加工により、コンクリートとの付着による引抜き抵抗性を高めた短繊維で、繊維の換算直径はφ0.37mm、長さ20mmと、ひび割れ抑制に効果のある細径繊維と、高い剝落防止性能を付与する太径繊維の両方

の特性を合わせた中細径の短繊維とした。従来あった剝落防止用シムロックをより細く短い形状に改良した。

使用によるフレッシュ性状への影響は小さく、コンクリート強度特性は繊維添加前後で同等で、フリーディング量は繊維の添加によって約4割減少し、コンクリート供試体による収縮ひび割れ試験では発生ひび割れ面積が63.2%低減するなど、コンクリートの品質向上が期待できるとしている。



(社)日本トンネル技術協会
国際委員会

中国 TBMを発注

水面下60mにもなるところに建設される中国南部の新海底トンネルが、中国における鉄鋼生産の増強を確かなものにする。Robbins社は、延長2.7kmの湛江湾横断トンネルを掘削するための径6.26m、泥水式TBMを供給する予定である。

このトンネルは、より多くの淡水を配水するプロジェクトの一部である。このプロジェクトは、近くにあるJianjiang川から水を引いて、東海島にある新しい製鉄工場に供給するというものである。トンネルの掘削は、湾の海底土かぶり22mにもなるところで行われる。

マシンの供給は、三菱重工メカトロシステムズ(MHI-MS)とRobbins社間での全面提携によるものである。Robbins社は、中国に掘削機の部品を供給し組立てを行うとともに、掘削中現地の支援を行う。一方、MHI-MSは、泥水式TBMとそのバックアップシステムのための主要な構成部品、熟練した工学的技術のノウハウを提供することになるだろう。マシンは、Robbins社上海製造工場にて組み立てられる予定だ。

マシンは、2011年3月に現場に搬入される予定である。「Robbins社としては、われわれが軟弱

地盤EPB市場へ参入したケースと同様に、泥水式TBM市場への参入が早く受け入れられることを大いに期待している」とRobbins社社長のロック・ホーム氏は語った。

この湾では6 barの水圧に対抗する推力が必要であるため、その高性能マシンは、20個の推力シリンダーで総推進力46,000kNを有している。

硬い表面を持ちさまざまな土の混ざった地盤を掘るカッタヘッドには、みがき砂に用いられるような粗粒砂、礫、シルトなどを含んだ地質のための交換可能なナイフエッジビットとディスクカッタが取り付けられている。

地下水を含んだ土を効率的に掘削するため、掘削面に泥膜を形成しながら大容量スラリーチャンバによって泥とベントナイトが混合される。

動作範囲を広くとれる球体状のジョイントを持つ2本の探査ドリルによって、掘削前面を調査し、地質や事前の処置の必要によって先行グラウト注入を行うことになるだろう。

マシンの掘削と並行して、厚さ450mmのRCセグメントで覆工する。セグメントは5+1(キーセグメント)の組み合わせである。

中折れ機構が、半径200mとなる曲線部に用いられる予定である。これはセグメントの変形を予防するためである。

2011年に完成すると、すぐに2本のトンネルは広東製鉄工場に淡水を供給することとなる。

この淡水供給プロジェクトは、中国政府による広東省での鉄鋼の生産量と品質を改善する計画の一部である。

(T&TI '10.10 担当:加藤幸彦・東京都交通局)

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

日本トンネル技術協会

会報

1. 会員の現状

	1月31日現在
正会員	1,665名
団体会員	371名
個人会員	1,294名

2. 委員会の開催状況(1月1日～31日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会会誌WG(1/12)

大島洋志主査ほか13名, 2月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

ITA統括WG(1/12)

石田積主査ほか10名, 平成23年度の活動方針の検討

海外文献小委員会海外ニュースWG(1/27)

早坂治敏主査ほか8名, 海外ニュースを翻訳
計 3回開催 34名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第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

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

保守管理小委員会(1/17)

伊藤泰司委員長ほか15名, 保守困難トンネルの維持管理事例を検討

都市トンネル小委員会格言編集WG(1/18)

栗原謙一郎主査ほか9名, 格言内容を検討

◎受託研究特別委員会

効率的掘削工法特別委員会補助ベンチWG(1/11)

鈴木雅行主査ほか9名, アンケート調査項目を検討

効率的掘削工法特別委員会高速施工WG(1/20)

領家邦泰主査ほか9名, 回収調査データの取りまとめ方針を検討

小田急下北沢地区線増連立事業技術委員会(1/25)

小山幸則委員長ほか36名, シールドトンネル切掘げに対する検証解析および計測管理手法を検討

計 5回開催 83名出席

合計 8回開催 117名出席

4. 平成22年度催物開催現況

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
(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」	2010.11. 2	119	東京都	5.9
(講演, 講習会)				
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	愛知県	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	東京都	17.3

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

図書No.	図書名	頒布価格		
		団体	個人	一般
200508	トンネル技術白書—日本の山岳トンネル施工技術の現況と変遷—	10,000	10,000	12,000
200501	現場技術者のための吹付けコンクリート・ロックボルト	6,000	5,000	7,200
200105	覆工コンクリート施工の手引き	3,000	2,700	3,600
200903	現場技術者のための「シールド工事の施工に関するQ&A」	2,500	2,500	3,000
200108	シールド施工管理のポイント—想定トラブルの原因と対策—	1,000	1,000	1,200
99001	トンネル工事の安全—山岳・発破作業編—	2,500	2,300	3,000
201004	第67回施工体験発表(都市)—厳しい条件下における都市トンネル工事—	1,500	1,500	1,800
201003	第66回施工体験発表(山岳)—山岳トンネルにおける創意工夫事例—	1,500	1,500	1,800
201002	Tunnelling Activities in Japan 2010	3,000	3,000	3,600
200803	Tunnelling Activities in Japan 2008	3,000	3,000	3,600
201001	トンネル年報 2010	2,000	2,000	3,000
—	トンネル年報工事記録CD-R版	10,000	10,000	15,000

*その他の頒布図書は協会のホームページ(<http://www.japan-tunnel.org/book.annai>)をご覧ください。

会員の皆様へ

3月, 4月は, 転勤など異動の多い時期です。会誌の送付先などの変更が生じた場合は速やかにご連絡くださいますようお願いいたします。変更手続きの様式が協会のホームページ(http://www.japan-tunnel.org/kaiin_paper)に掲載されていますのでご利用ください。

4月号予告[4月1日発売予定]

- エレメント推進・けん引工法における緩み土圧の考え方
- JR中央線 日野こ道橋
- 国道1号 原宿交差点立体工事
- 仙台市高速鉄道東西線 亀岡トンネル
- 【連載講座】
- 山岳トンネルのインバート(2)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆大相撲は、八百長問題で今月開催予定の春場所を中止しました。大相撲は国技として親しまれており、海外で暮らす日本人や日系の方も楽しみにしていると聞きます。相撲ファンは、野球賭博問題と今回の八百長問題で裏切られた思いと早く大相撲を観戦したい気持ちが共存していることでしょう。

◆ところで、「八百長」の語源をご存じでしょうか。明治時代の八百屋の店主長兵衛(通称「やおちょう」)が、囲碁好きな相撲の親方に八百屋の商品を買ってもらう商売上の打算から、実力では優っていたが、わざと負けたりして機嫌をとっていたそうです。のちに本当の実力が知れわたり、わざと負けることを相撲界では「八百長」と呼ぶようになったとか。やがて、真剣に争っているようにみせながら、事前に示し合わせた通りに勝負をつけることを相撲界以外でも「八百長」と呼ぶようになったそうです。

◆成績により大きく給料が変わるプロのスポーツ選手にとって1勝の重みは計り知れませんが、ファンなくしてプロスポーツは存在しません。真剣に勝負し、勝利に向かって日々努力して自己の精神を鍛えられるところにスポーツの醍醐味があることを忘れてはなりません。もう一度「心・技・体」を三位一体で鍛え直し健全な大相撲が見られることを楽しみにしましょう。

◆年度末は、進級、進学、就職、転勤や引越など非常に忙しい時期ですが、やる気(心)を持って、要領よく(技)、健康(体)に気をつけて新年度を迎えましょう。

(K.Y)

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

★(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3号 [通巻487号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成23年2月20日 印刷

平成23年3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

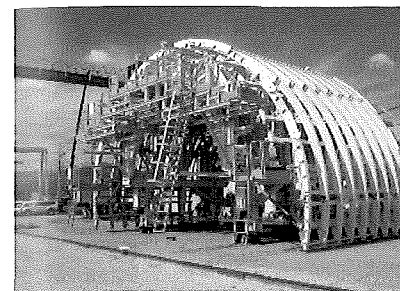
本誌掲載記事を無断で複写(コピー)および転載することは、著作権上での例外を除き、禁じられております。本誌から複写または転載を希望される方は、小社(03-3267-2888)までご連絡ください。

トンネル 二次覆工用型枠 総合メーカー

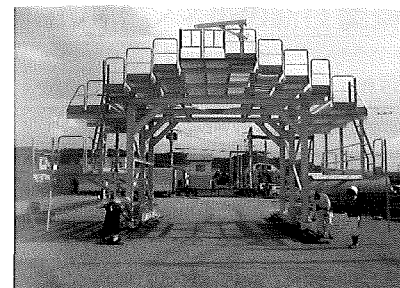
一步前進!

~限らない未来への挑戦~

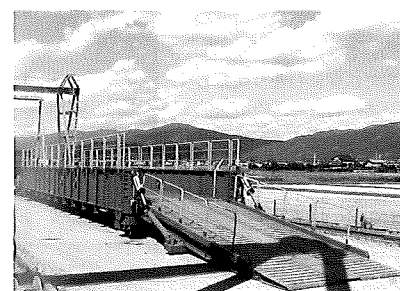
大栄工機株式会社



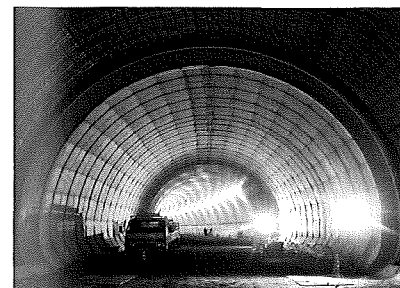
スライドセントル



作業台車



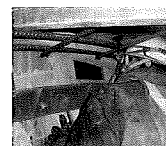
移動棧橋



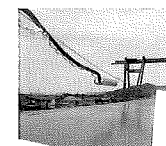
NETIS登録番号 CB-090003-A
EPSパネル養生



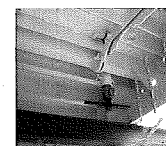
スチールフォーム(中流動コンクリート対応型)



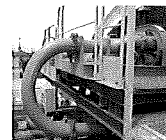
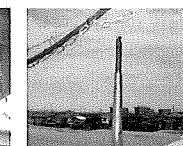
MC矢板



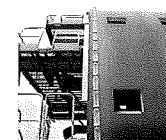
天端引抜パイプレータ



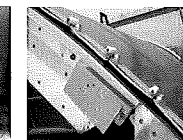
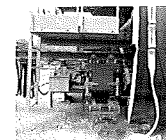
エア抜き金具



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

山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著
3,200 円＋税 B5 判

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



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修
1,500 円＋税 B5 判

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



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修
2,500 円＋税 B5 判

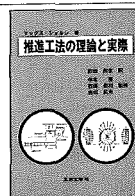
近年に開発、実用化された 29 工法を整理、体系化するとともに、各工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点などをわかりやすく説明した。



推進工法の理論と実際

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

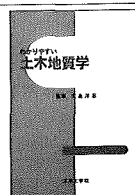
推進工法の理論を、多くの挿図を用い解説した。日本の現在の推進工法の基本となった原著を斯界の権威が翻訳・監修。



わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修
2,500 円＋税 B5 判

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



セグメントの新技术

小泉 淳 監修
2,000 円＋税 B5 判

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



続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著
1,200 円＋税 新書判

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



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著
6,000 円＋税 A5 判

建設技術者に必要な地質・岩石・岩盤などの基礎知識と酸欠・有害ガス・ガス爆発・湧水などの建設災害について、著者の経験も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)

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

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



第 I 巻 地下水の物理と化学
4,078 円＋税 B5 判

第 II 巻 地下水環境学
4,272 円＋税 B5 判

第 III 巻 地下水と地質
3,689 円＋税 B5 判

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のかについて、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

ジェオフロンテ研究会 編
14,573 円＋税 B5 判

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



ジオテクスタイル設計マニュアル

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

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



岩盤地下空洞の設計と施工

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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した。



建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著
4,300 円＋税 A5 判

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



トンネル工事の衛生と環境保全

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著
3,200 円＋税 A5 判

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



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著
4,200 円＋税 A5 判

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



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800 円＋税 A5 判

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



海洋資源開発

稲田善紀 著
3,400 円＋税 A5 判

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



トンネルと地下

1,500 円＋税 B5 判 月刊(毎月 1 日発売)

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



書籍のお申し込み

ご注文は当社へFAXまたは、書店にてお申し込みください。FAXでご注文の際は、書名、部数、送り先、氏名、電話番号を明記のうえ下記までお送りください。
(株)土木工学社
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町 16 メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888 Fax: 03 3267 2807

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

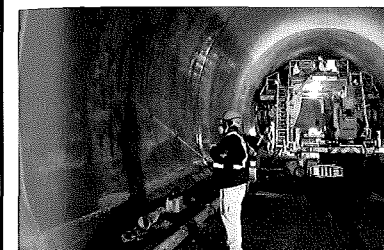


菅機械工業株式会社

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

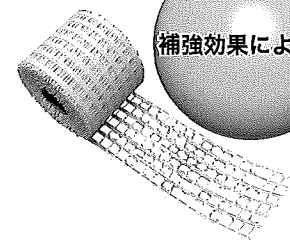


コンクリートの
「有害なひび割れ」対策に
“新たなご提案” (ひび割れ低減
3点セット)

コンクリート打設前設・耐アルカリ性ガラス繊維ネット

ハイパーネット60

NETIS登録番号 SK-080003-A



補強効果によるひび割れ幅低減



コンクリート混入・コンクリート用膨張材

ハイパーエクспан

NETIS登録番号 QS-020033-V

コンクリート収縮抑制

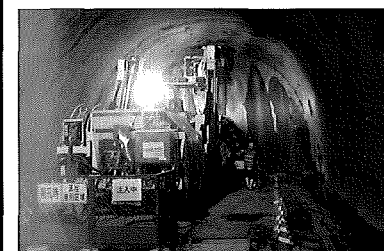
養生効果



硬化後塗布・塗布型高性能収縮低減剤

クラックセイバー

NETIS登録番号 SK-080001-A



様々な現場で力を発揮する
注入材、裏込材
“最適な選択をご提供”

注入材

超微粒子注入材

太平洋アロフィクスMC

瞬結工法用無機懸濁型
土質安定材・下水道止水材

太平洋アロフィクスMC2号

注入式長尺先受工法用注入材

太平洋スーパーハード

注入式長尺先受工法用注入材

太平洋スーパーファスナー

裏込材

プレミックス裏込用充填材

太平洋フォルトカバー



太平洋マテリアル株式会社

営業本部 高機能建材営業部

〒135-0064東京都江東区青海 2-4-24 青海フロンティアビル 15F

<http://www.taiheiyo-m.co.jp>

TEL.03-5500-7510 FAX.03-5500-7542