

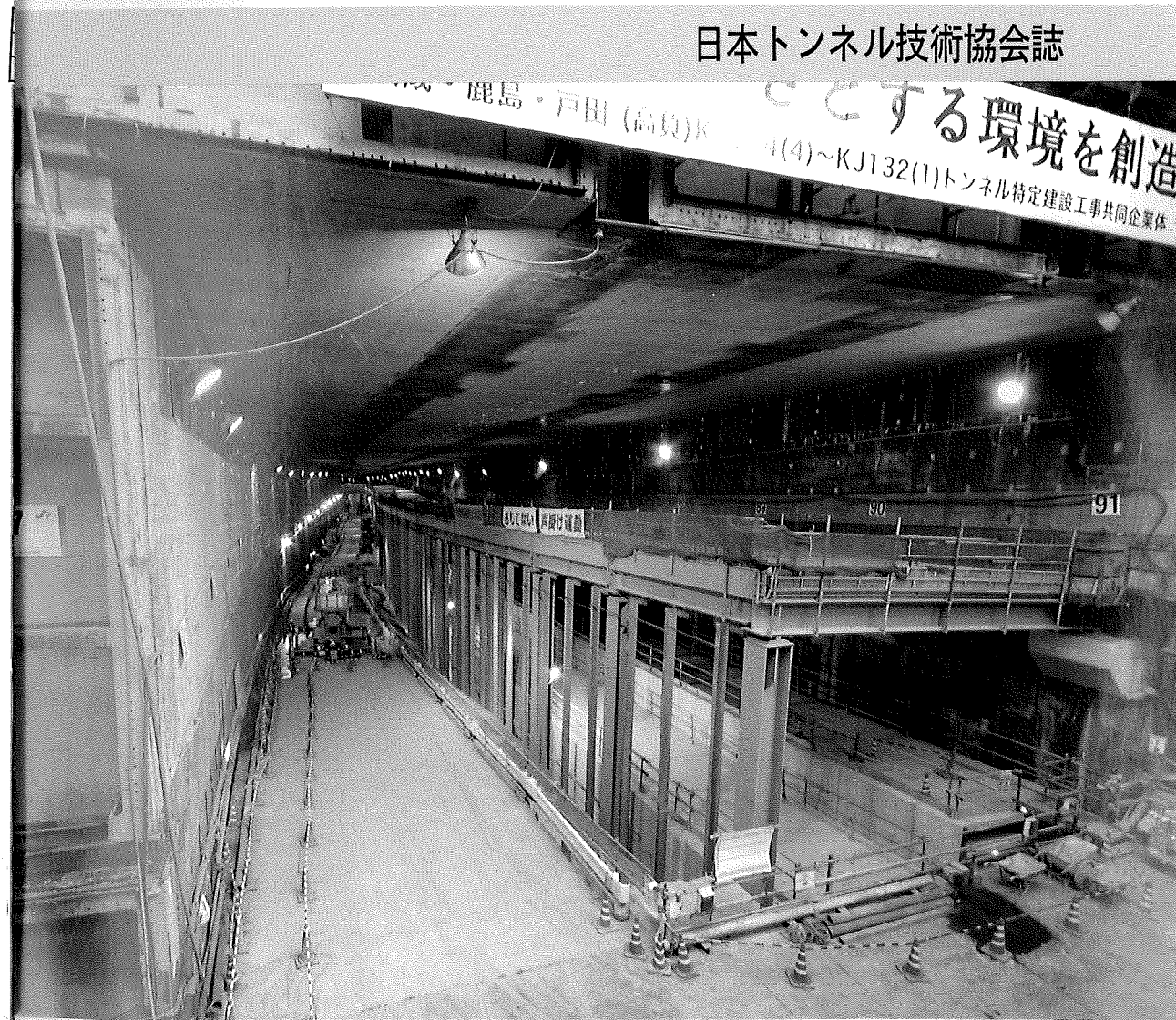
トンネルと地下 11

vol. 41
no. 11
2010

Tunnels and Underground

周辺水文環境を総合的に分析しトンネルを施工
MMST工法による矩形大断面トンネルの施工
世界最大級の面積を有するニューマチックケーソンの施工
超近接長距離併設シールドトンネルの設計
山岳トンネルへの曲面切羽の適用に関する解析的検討

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06619-11
[本体価格1,500円]



4910066191108
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10.5m（ケーブルハンガーを除く）
- ・定格置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.0m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業
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 三重県津市雲出鋼管町6番地2 TEL 059-234-4139

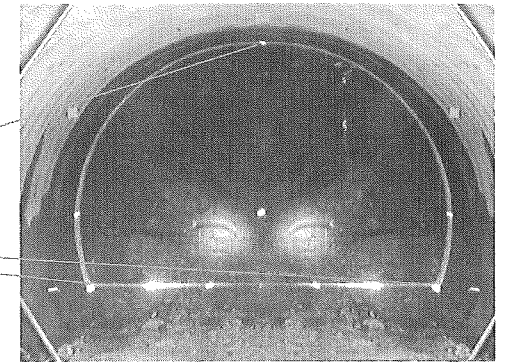
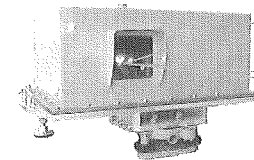
西部支店 〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多 TEL 092-411-4998

三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町6番地2 TEL 059-234-4111

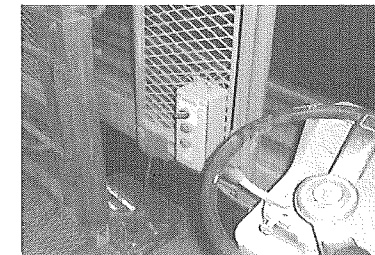
レーザーマーキングシステム

国内、海外特許取得済み

残像効果を使ったペイント不用
の連続高速照射を実現

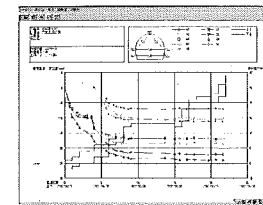


現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー

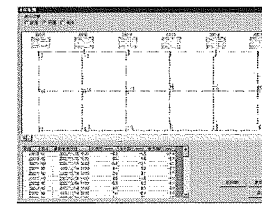


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

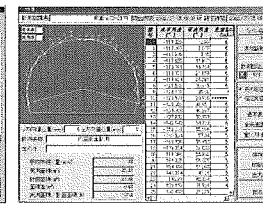
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



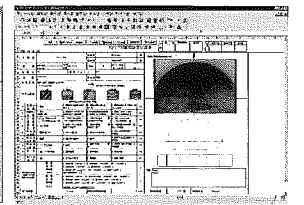
A計測データ処理



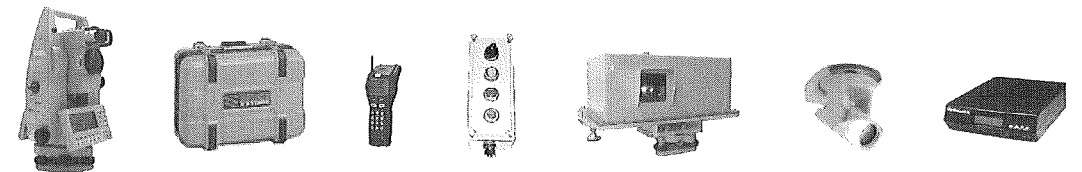
支保工立込精度、変形量



内空、巻厚検査



切羽観察、etc



豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

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

〔販売元〕

古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

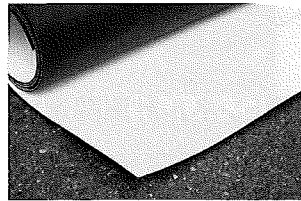
ウォータータイトトンネル 防水システム



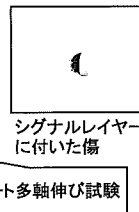
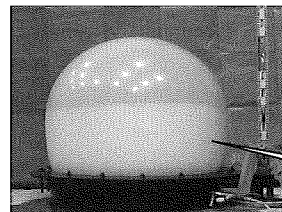
非排水型防水システム用メンブレン
KFCタイトライナー

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

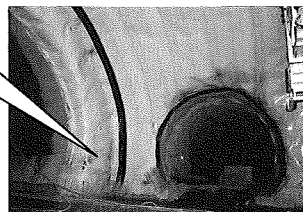


シグナルレイヤー付防水シート



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

環境資材事業部(東京) TEL (03) 3570-5262 FAX (03) 3570-5233
環境資材事業部(大阪) TEL (06) 6361-6038 FAX (06) 6363-3979

1本1本が大切! だから

次世代 防食 ロックボルト

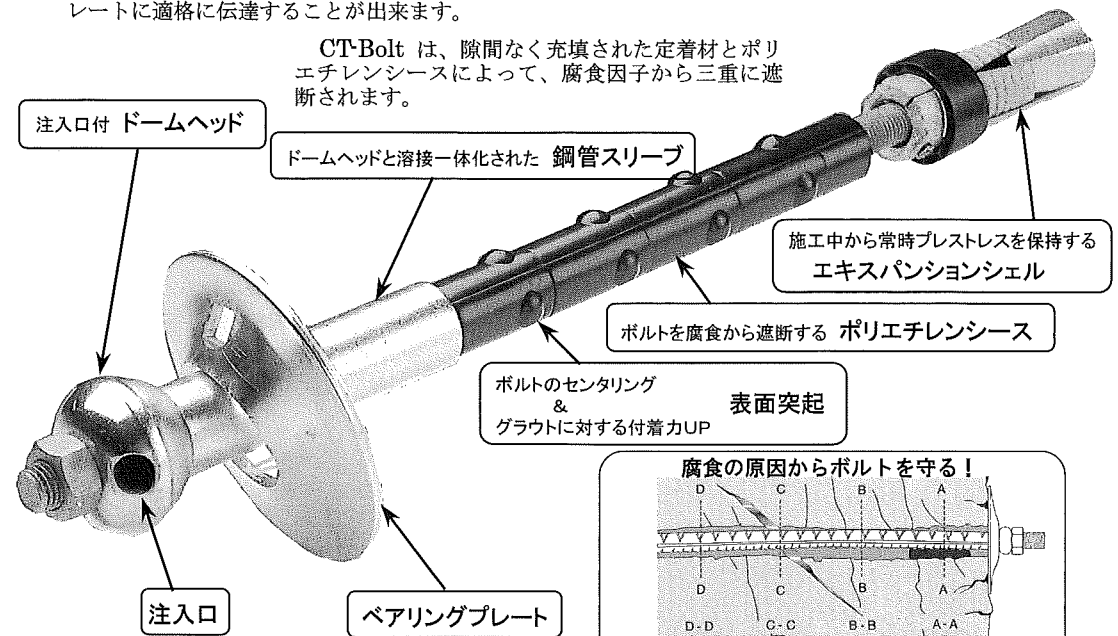
CT-Bolt



通常施工により超長期支保

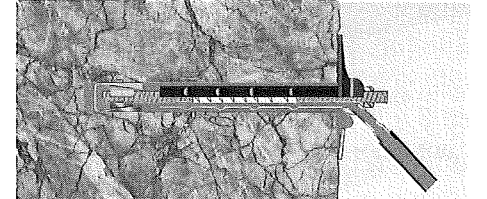
CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適格に伝達することが出来ます。

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



CT-Bolt の定着は・・・

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



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

完全充填

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

総発売元 Your Fastening Partner

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

〒135-8073 東京都江東区青海2丁目45番タイム24ビル
お問い合わせ先 TEL: 03-3570-5182
技術部 FAX: 03-3570-5191

ホンモノしか残らない。。

…1960～ 1970～ 1980～ 1990～ 2000……



大容量ファン



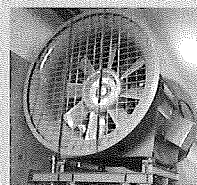
二軸反転
サイレントファン



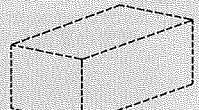
可変翼やインバーター
での風量制御ファン



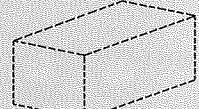
中型集塵機
ノッカー払落し式



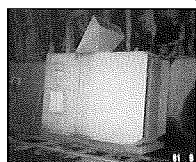
単段ファン



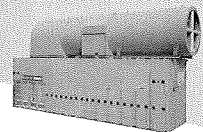
中型集塵機湿式



中型集塵機電気式



中型集塵機
フィルタ交換型



大型集塵機
1000～4000m³/min
30000hメンテナンス
フリー。トンネル
用は清浄度0.1mg/
m³以下保証

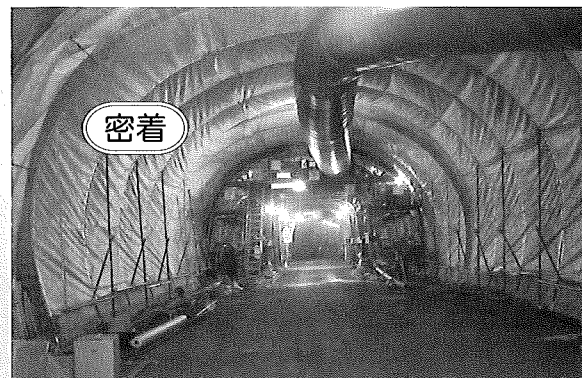
吸引ダクト SUPER LIGHT〔新型〕

自走式伸縮ダクト、自走レール、
全体の重量が半減！
φ600～1700、最長130m、
切羽照明で安全UP



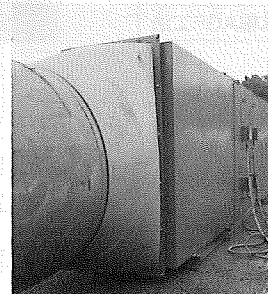
換気・環境技術は進化しています

2009……



密着

コンクリート密着養生システム
コンクリート自身を持つ水分と水和熱により自然
な状態で硬化



〔新型〕
大風量中圧ファン
EZ-2000Q
(2000m³/min, 2.94kpa,
150kw)

重量1/2に半減!!

漏れない风管シリーズ〔新型〕

従来のビニール・鋼管の风管に比べて漏風がほぼゼロのため、
中継なしで長距離送風が可能で大幅な省エネ
負圧=ピタジョイントダクト(超軽量鋼管)
正圧=ノシリークダクト(FRPリング式ビニール)

2010……



コンパクト大型集塵機
(低動力・ガス吸着・冷房除湿)
(高効率運転・再資源化…)

最適環境を創造する

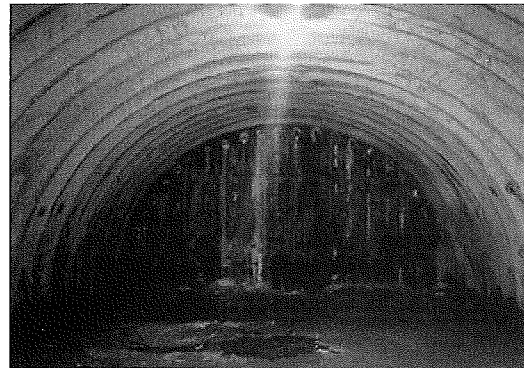
株式会社 **流機** エンジニアリング

URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: eigyobu@ryuki.com

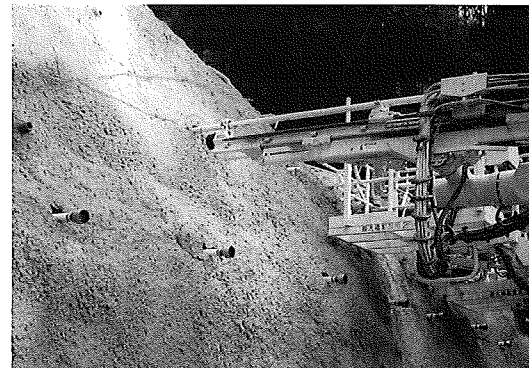
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI聖坂ビル TEL: 03(3452)7400

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

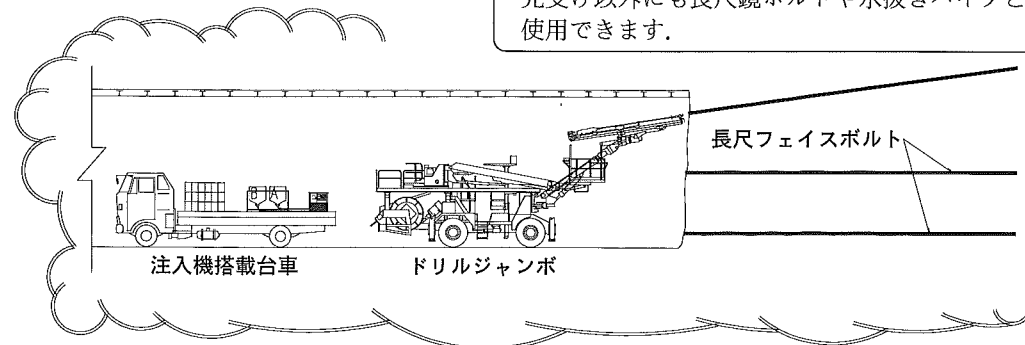
プロトタイプ
無拡幅タイプ
最小拡幅タイプ

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!



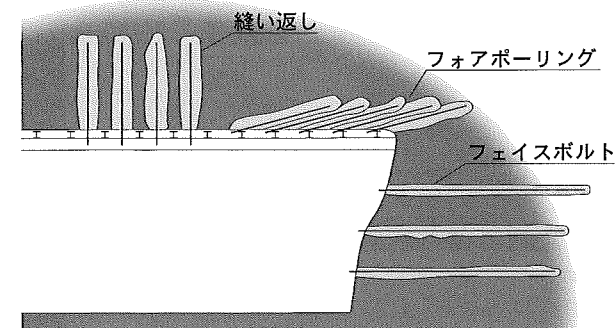
注入材のバリエーション

- 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

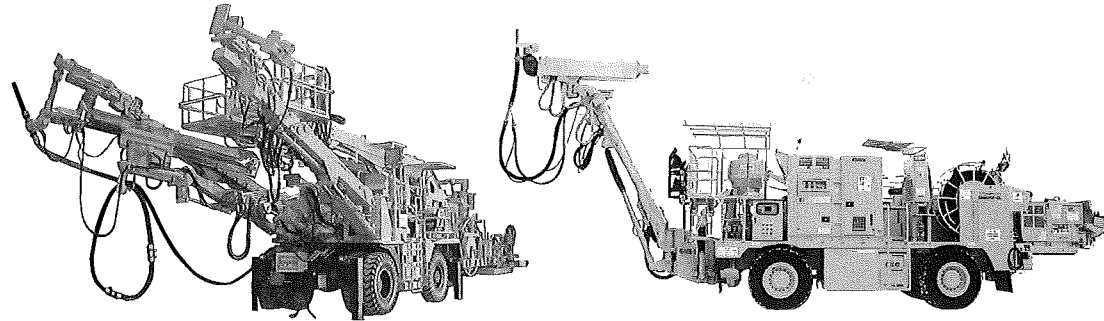
株式会社 カテックス
建設資材事業部

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

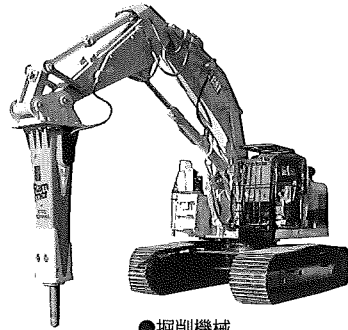
中部営業部
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164
関西営業所
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237
北海道地区(株エイチ・アール・オー)
TEL)011-821-5868 FAX)011-821-6644

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

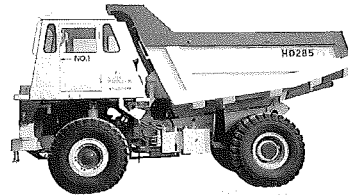


●エレクトーJ吹付システム(ホイール式)
※国交省三次トンネル用排ガス規制対策機

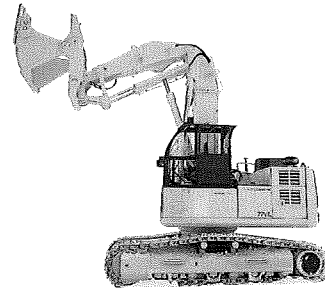
●一体型吹付システム



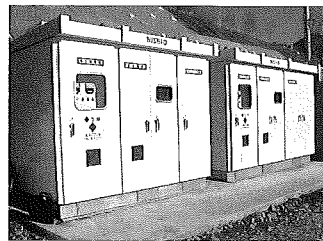
●掘削機械



●ダンプトラック



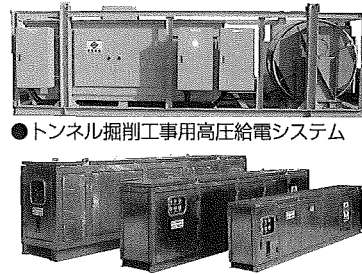
●油圧ローディングショベル



●フリッカ対策機
(コンデンサ開閉方式: SVC)



●フリッカ対策機
(インバータ方式: SVG)



●トンネル掘削工用高圧給電システム



●坑内用乾式トランス

平成22年4月、トンネルのレンタルと合併し、新たな展開を開始しました。
コンサルテーションから特殊機械まで、幅広いユーザーのニーズに対応しています。
また、海外も視野に入れ積極的な活動を行っています。

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/>

〔営業推進グループ・海外販売グループ・商品開発グループ〕 東京都品川区東五反田4-5-3 サコスビル7F TEL 03(3280)3661

東日本営業本部

■北海道支店 TEL 0133(72)3715
■電気機器営業部 TEL 0133(75)8240
■東北支店 TEL 022(237)0071
■関東支店 TEL 0268(62)1426

西日本営業本部

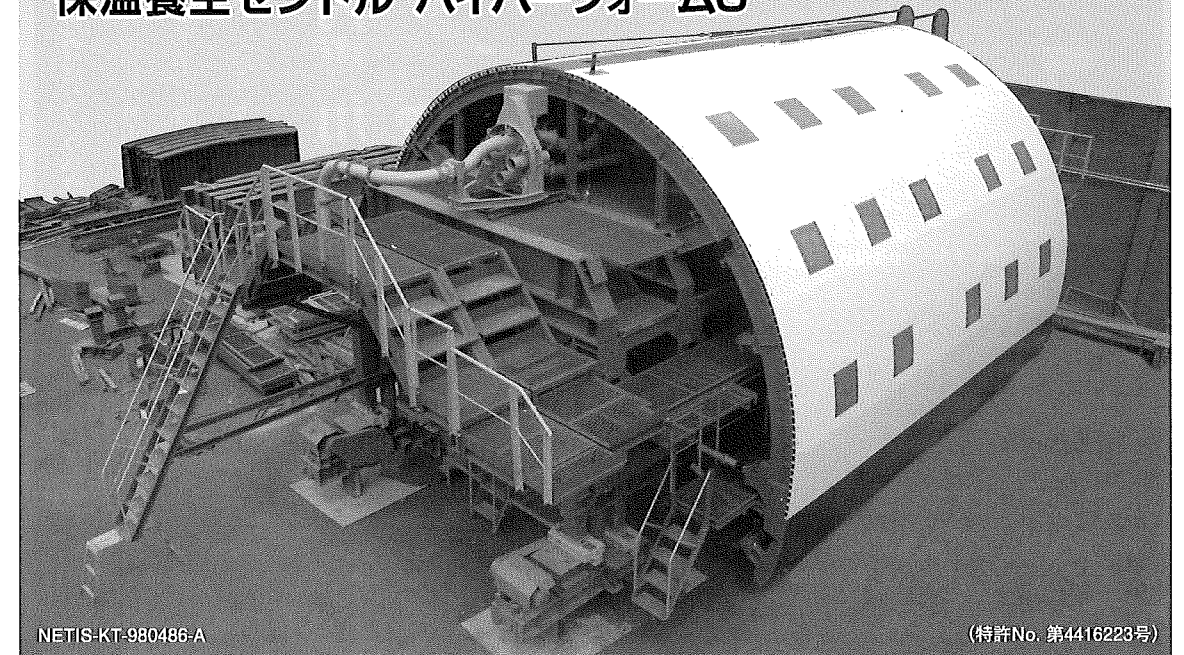
■大阪支店 TEL 072(677)2101
■九州支店 TEL 0982(26)2111

本社: 大阪府茨木市宮島3-2-1B TEL 072(634)3939

・EJS(エレクトー付吹付機) ・ローディングショベル
・スコピオン ・サイドダンプ
・ゴムクローラ式エレクトー付吹付機) ・ダンプトラック
・一体型吹付機 ・フリッカ対策機

高品質・高耐久 覆工コンクリートを目指して

保温養生セントル ハイパーフォームG

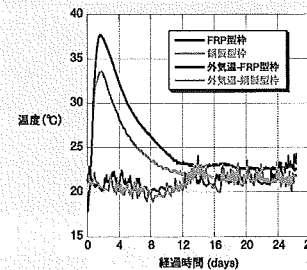


NETIS-KT-980486-A

(特許No. 第4416223号)

■覆工コンクリート温度の経時変化

[富崎大学との共同研究により、機フジタ吉江トンネル南にて測定]



■鋼製型枠との比較

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

■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 〒812-0038 福岡市博多区祇園1-23 アルテハイム祇園905号 TEL:092-263-0125
■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

トンネル内専用として セラダクトA^{ネオ}

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、ありとあらゆるケースにお答え出来ます。
資源循環型リサイクル製品「セラダクトA」。



熊本県 熊本3号トンネル



西日本高速道路株
第二名神 栗東トンネル



名四国道事務所
足助バイパス 足助トンネル



高山国道事務所
中部縦貫道 前原1号トンネル




- 特長 -

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はバックシヤ在ボルト締め






再生材料も使用
採石および高濃度土、陶磁器用 50%以上
セラダクトAはエコマーク認定製品です
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。

産業廃棄物 (出石粘土系陶磁器、陶磁器等)	【その他の原料】 (採石粘土等)
【建設汚泥】	【採石及び集塵機土等】

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字上山一丁目76番地 〒470-2387
TEL(0569)35-2360(内) 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 〒160-0013
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/>

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	<p>施工場所：千葉県柏市若葉地内</p>  <p>多軸自転・公転掘進機(内空寸法□2400×2000)</p>	<p>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。</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆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	<p>施工場所：東京都渋谷区神宮前</p>  <p>φ1016mm長距離パイプルーフ掘進機(リターン回収型)</p>	<p>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。</p> <p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆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	 <p>φ1500mm破碎型掘進機</p>	<p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆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	 <p>φ800mm超急曲線掘進機(R=9.3m対応機)</p>	<p>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。</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆呼び径φ600~φ2400に対応が可能 ◆排土口径が大きいため、取込型掘進機でも管呼び径の40%程度の玉石等の抽出が可能 ◆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)

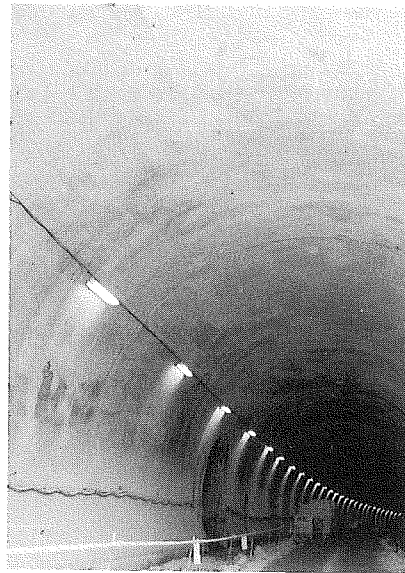
〒812-0015福岡市博多区山王1丁目1番18号
TEL(092)482-6311 FAX(092)482-6363
E-mail: arfa@oregano.ocn.ne.jp
URL <http://www.alpha-civil.com>

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

コンクリートの劣化、欠陥箇所の改修、補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



〈工期短縮，即日仕上り〉

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

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

エアモルタル裏込め注入……

エスコート L&K 起泡剤



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

◆ 土木資材の総合プランナー ◆



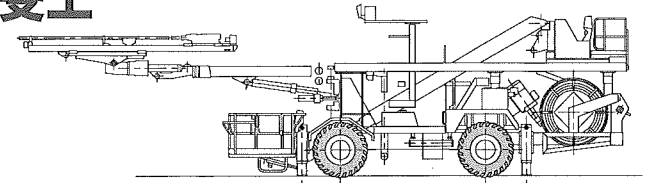
株式会社 **マイール**

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

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

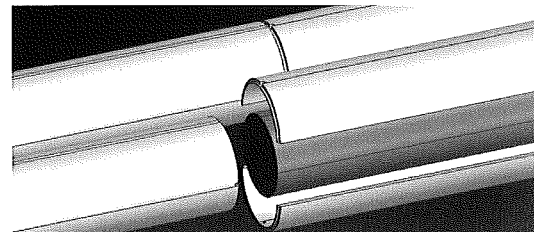
All Ground Fastening;
Long-Distance, Fore-Piling Method



AGF-Me工法

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

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



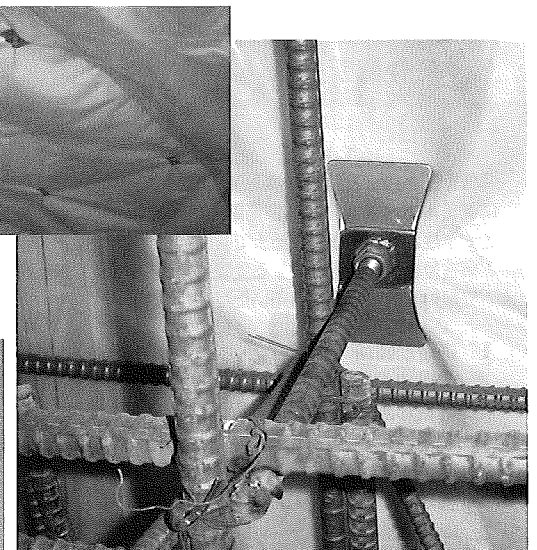
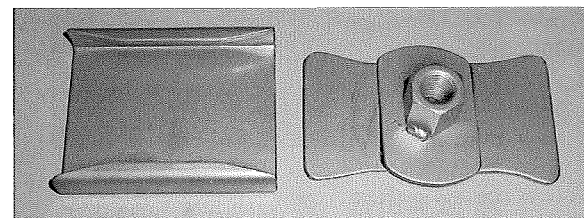
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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



東邦金属株式会社 東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD

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

株式会社 トーキョーオール

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

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ております。

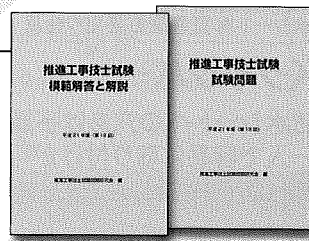
月刊推進技術 編集室

〒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
 http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/ 電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail akasaka@lsweb.co.jp

推進工事技士試験 過去8年間(平成14~21年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編



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

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

1. 内容と特長

- 過去8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

各年度単位に1set 2,000円(消費税・送料込)

3. 申込方法

本書のお申込は前金でお願いしています。

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

これらのことをインターネットでご案内しています。

株式会社 LSプランニング

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

〒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@lsweb.co.jp

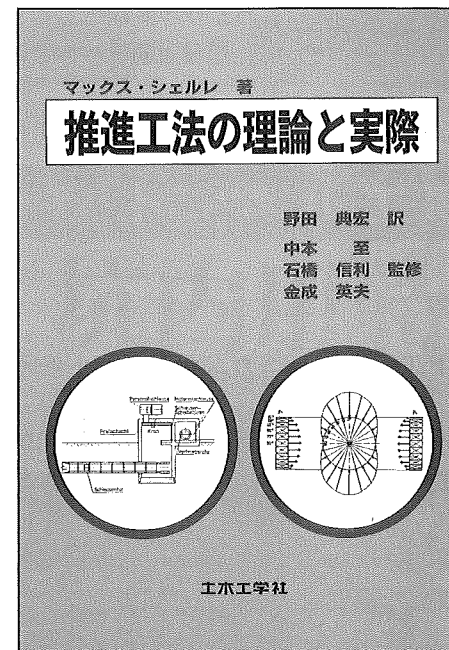
推進工法の理論と実際

推薦の言葉

中本 至・石橋信利・金成英夫

マニュアルを超えて 推進工法の理解を さらに深める一冊

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



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

本書では、ドイツで推進工法の研究開発で著名なマックス・シエル博士が推進工法におけるいろいろな疑問について理論的に解明した古典的な名著である。博士は理論面のみではなく、実際の施工にも従事し、実務にも精通していたので、実務面の良さも持っている。私たちは、野田氏(訳者)の翻訳を監修したわけだが、推進工法の理論面と実務面を実に詳細に解説している点に驚いた。したがって推進工法に従事し、一層活躍しようとする人たちに本書を推薦したいと思う。

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

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

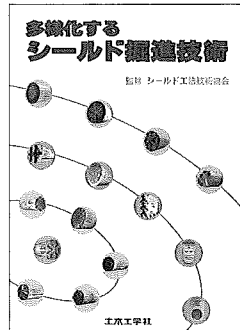
株式会社 **土木工学社**

好評発売中

多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判 141頁 本体価格2,500円



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

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

このため、読者の声に答えるべく、連載講座には掲載しなかった工法、技術などを整理、体系化するとともに、各種工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点が、よりわかりやすいように手を加え再度、同名の図書「多様化するシールド掘進技術」をシールド工法技術協会が監修を行い、発刊することとなった。

【掲載工法】

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

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先

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



トンネル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。これらはずべて、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

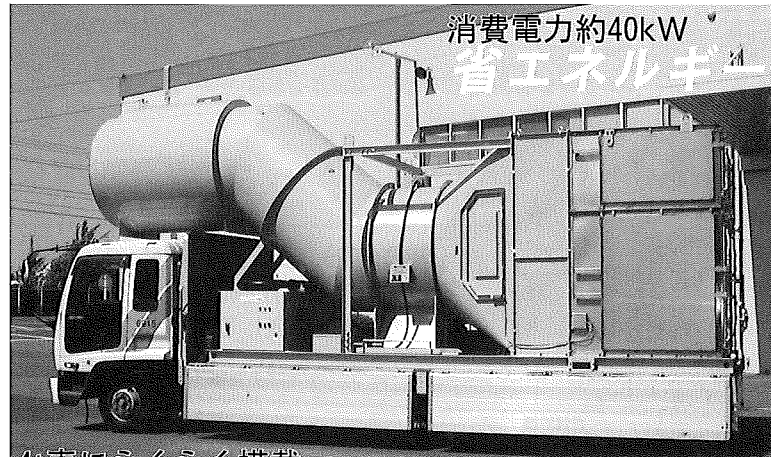


(社) 建設コンサルタンツ協会会員 ISO9001取得

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



消費電力約40kW
省エネルギー

4車にらくらく搭載
軽量コンパクト

※坑内設置例

National電気集塵機クリンジェット(2,000m³/minタイプ)

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

トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法




■ 特長

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

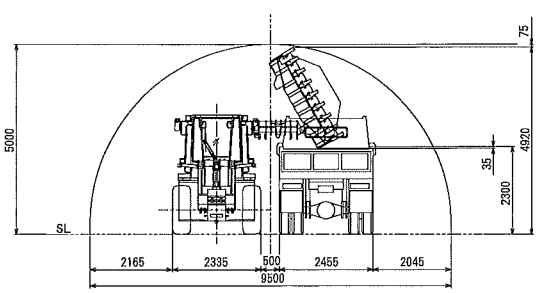
お問い合わせ先 : 工事営業本部
 TEL. (03)6907-7512 FAX. (03)6907-7522
<http://www.koken-boring.co.jp>

KOKEN 鋳研工業株式会社
 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



サイドダンプ CAT 924H

1.5m³



k/lea 株式会社 ケイリー
 仙 台 : TEL.022-359-5331
 東 京 : TEL.03-3661-5651
 大 阪 : TEL.06-6838-1372
 尾 道 : TEL.0848-56-1124
 機材センター : TEL.022-359-4951

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

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

■巻頭言

「地下」は地球を救う！

木下 雅敬……………5

■研究

山岳トンネルへの曲面切羽の適用に関する解析的検討

森崎 泰隆・今田 徹……………55

■計画

超近接長距離併設シールドトンネルの設計

—阪神高速大和川線シールドトンネル—

志村 敦・藤原 勝也・辻野 博史・岩住 知一……………43

■施工

周辺水文環境を総合的に分析しトンネルを施工

—名護東道路2号トンネル—

石垣 弘規・山根 丈・藤田 一宏……………7

MMST工法による矩形大断面トンネルの施工

—首都高速神奈川6号川崎線 大師トンネル—

吉川 直志・神木 剛・水野 克彦・佐藤 充弘……………15

世界最大級の面積を有するニューマチックケーソンの施工

—東京都下水道 東尾久浄化センター主ポンプ棟—

杉本 克美・齋木 正……………25

■連載講座

ずり処理入門(11)

—掘削ずりの活用と処理・重金属(2)—

「ずり処理入門」連載講座小委員会……………67

トンネル保守管理における記録とその活用(5)

—変状展開図作成の自動化・デジタル化の取り組み(1)—

JTA保守管理小委員会……………75

■現場だより

「縄文時代から時を刻むまち」下呂市金山

佐藤 敦也……………14

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

山岳トンネルの半世紀

—昭和三十年初めより五十年余—

井上 堯之……………35

■トンネル工事を見守る山の神

山の神と化粧木(その4)

阿部 公一……………52

■資料

土木情報

編集部……………51

トンネルジャーナル

編集部……………54

文献紹介

編集部……………66

■会報

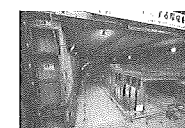
会報

日本トンネル技術協会……………85

【表紙説明】

MMST工法による矩形大断面トンネルの施工

—首都高速神奈川6号川崎線 大師トンネル—



首都高速神奈川6号川崎線大師トンネルでは、最小幅29m、最小土かぶり4.8m、道路線形の変化など、困難な条件下において、MMST工法を採用し、内空最大高さ約18m、最大幅約23mの矩形大断面トンネルを構築した。写真は、MMST工法により構築されたトンネル内部構築施工時の状況である。

〔写真提供：首都高速道路(株)〕(本文15頁参照)

ヤマモト (ヤクガンキ) 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 東京都千代田区丸の内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)

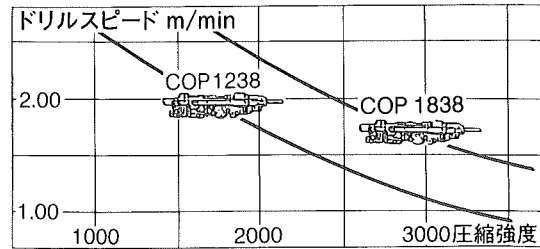
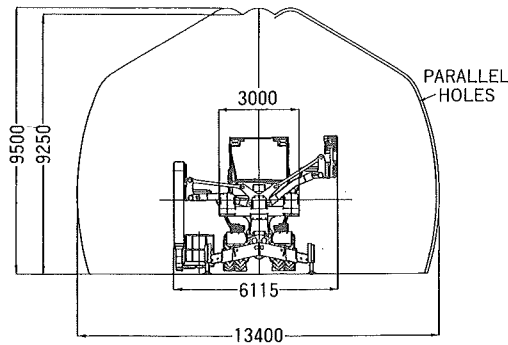
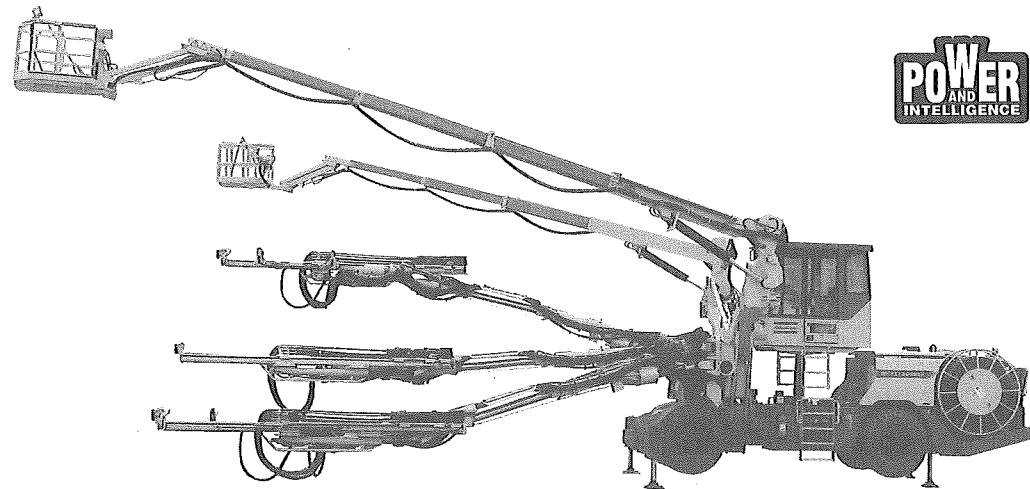
仙台営業所 (022) 262-4531(代) 大阪営業所 (06) 6531-1571(代) 高知営業所 (0888) 22-1367(代) 九州営業所 (092) 471-0381(代)

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



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榎原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区大袋川端454-3
 TEL (0795) 36-0461 番 FAX (0795) 36-0467 番

総務委員会広報小委員会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

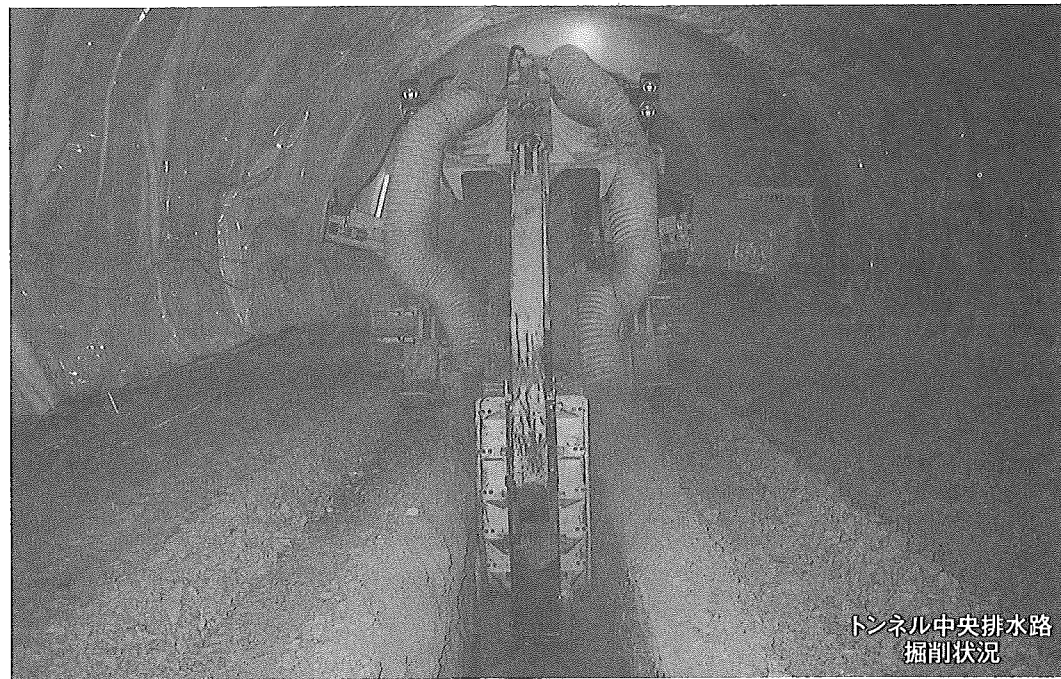
大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹 事〕

- | | |
|---|--|
| 居 相 好 信
株式会社大林組東京本社生産技術本部
トンネル技術部部长 | 千 葉 隆
清水建設株式会社土木事業本部工事監理部
上席エンジニア |
| 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
(元)日本鉄道建設公団理事 |
| 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
飛鳥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 |
| 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 | 三 浦 克
株式会社竹中土木常務執行役員 |
| 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 | 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

硬質地盤の溝堀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
(元)日本鉄道建設公団理事

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



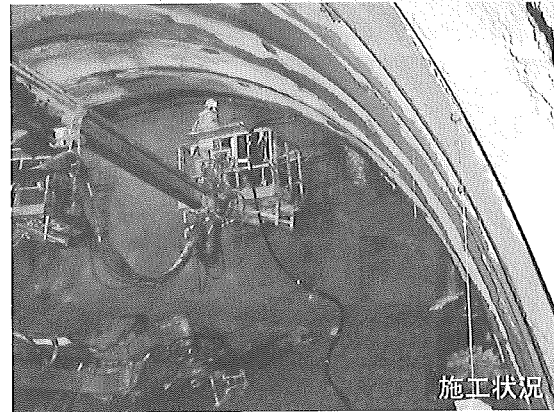
ワールド開発工業株式会社

●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/>

補助工法・注入材のことならティーエムシー

■AGF-OFP工法

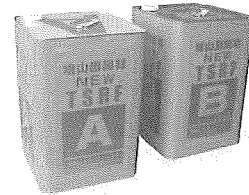
当社が提案するAGF-OFP工法(注入式長尺先受工法)は、長尺の先受を鋼管打設と注入により構築するもので、現場で通常使用されているドリルジャンボで施工できる、汎用性の高い長尺先受工法です。鋼管・削孔資材から注入材まで、全部まとめてお任せください。



施工状況

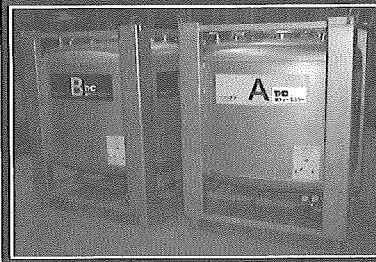
■各種注入材

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



◎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)

※強度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/>
お問い合わせ・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
仙台支店	〒984-0826 宮城県仙台市若林区若林2-5-5 SKビル3F	TEL : 022-286-5111
名古屋支店	〒486-0844 愛知県春日井市島居松町4-165 春日井中央ビル4F	TEL : 0568-56-4288
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
富山営業所	〒933-0806 富山県高岡市赤祖父707 古川ビル2F	TEL : 0766-28-8355
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

掲載頁
7

周辺水文環境を総合的に分析しトンネルを施工

—名護東道路2号トンネル—

内閣府 石垣 弘規

名護東道路2号トンネルは沖縄県名護市に位置し、地域高規格道路である名護東道路の一部をなす全長1,170mの道路トンネルである。本トンネルでは、事前の地形・地質調査結果より、トンネルルート内に透水性の高い貫入岩の存在が確認され、トンネル掘削による周辺水文環境への影響が予想されたため、当初設計では、当該区間のトンネル構造をウォータータイト構造とすることにより周辺水文環境への影響を抑制する計画としていた。また、同構造の採用の可否および施工範囲の決定にあたっては、施工検討委員会でも慎重な検討を行い決定するものとした。

本稿は、周辺水文環境への影響に配慮して行った名護東道路2号トンネルにおける一連の調査、検討、施工について報告するものである。

Comprehensive Analysis of Surrounding Hydrological Condition for Tunnel Construction—The Second Tunnel of Nago Higashi Highway—

By Hiroki Ishigaki, Cabinet Office

The second tunnel in the Nago Higashi Highway is a road tunnel of 1,170m which makes up one part of the Nago Higashi Highway as a local high-standard highway in Nago City, Okinawa Prefecture. Due to the results of preliminary geomorphologic and geologic surveys, the existence of intrusive rock with high permeability was

verified in the tunnel route. Because tunnel excavation was expected to have an effect on the surrounding hydrological environment, an original plan was made to control the effects on the surrounding hydrological environment by a watertight structure for this section. Further, the decisions about installation of watertight structure and its adopting area were carefully decided by the Construction Review Committee.

This report contains information on the series of surveys, examinations and construction which were conducted to take the surrounding hydrological environment into consideration.



図はトンネル位置図

掲載頁
15

MMST工法による矩形大断面トンネルの施工

—首都高速神奈川6号川崎線 大師トンネル—

首都高速道路(株) 吉川 直志

高速川崎縦貫線大師トンネルは、地下で平面構造から二層構造に移行する区間であり、複雑かつ大規模なトンネル構造である。大師トンネルは、首都高速横羽線の高架構造のほか、国道409号と産業道路が交差する交差点の下に位置し、施工にあたっては厳しい条件下での施工が求められた。

本稿は、用地の制約(最小幅29m)、小土かぶり(最小土かぶり4.8m)、道路線形の変化など、困難な条件下において、MMST工法を用いて、内空最大高さ約18m、最大幅約23mの矩形大断面トンネルの構築について報告するものである。

Large Rectangular Tunnel Built with the MMST Method—Metropolitan Expressway Kanagawa 6 Kawasaki Route Daishi Tunnel—

By Tadashi Yoshikawa, Metropolitan Expressway Co., Ltd.



写真は鋼製梁・柱の架設

The Daishi Tunnel on the Metropolitan Expressway Trans-Kawasaki Route is large rectangular tunnel with a maximum inner height of 18 m and a maximum width of 23 m. Because of transitions of structure from single story to double stories along the tunnel, the tunnel structure is large and complex. This tunnel is located under the viaduct of Metropolitan Expressway Yokoyama Route and the intersection of Route 409 and Industrial highway. The tunnel works were conducted under strict conditions.

This report gives information of the construction of large rectangular tunnel with the MMST Method under difficult conditions such as site restrictions (smallest width: 29m), shallow depth (minimum depth: 4.8m) and complexity of alignments.

東京都荒川区に位置する「東尾久浄化センター」は、隅田川の水質浄化および東京湾の富栄養化防止対策の一環として、三河島処理区の一部汚水の処理および三河島処理区の一部雨水を吸揚するため計画した施設である。また、既設の尾久ポンプ所の更新と能力増強を図るための代替機能を併せ持った施設である。

本稿では、当施設の中核となる二つの主ポンプ棟(尾久系、西日暮里系)のうち、世界最大級のニューマチックケーソン工法で建設が進められている東尾久浄化センター西日暮里系主ポンプ棟工事について紹介する。

The World Largest Pneumatic Caisson—Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, Higashi-Ogu Water Treatment Plant Main Pump Tower—

By Katsumi Sugimoto, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government



写真は躯体構築状況

The Higashi-Ogu Water Treatment Plant which is located in Arakawa Ward, Tokyo, is a facility that was planned in order to treat wastewater and to pump storm water from some areas in the Mikawashima sewage treatment area under the countermeasure of Sumidagawa river water purification and Tokyo Bay eutrophication prevention. It also has the alternative function of the existing Ogu Pumping Station for renewal and enhancement.

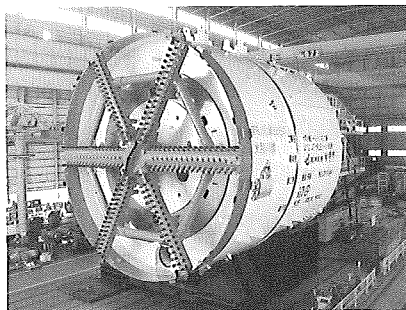
This report gives information on the Higashi-Ogu Water Treatment Plant Nishi-Nippori Main Pump Tower works in which construction is under progress with the world's largest pneumatic caisson method.

阪神高速大和川線は「大阪都市再生環状道路」の一部を形成する延長約9.7kmの路線である。本路線は、周辺市街地の環境への影響などを考慮し、大部分が地下構造または掘削構造を採用している。また、地下構造区間のうち約4.4kmがシールドトンネル区間である。さらに、本路線の整備は大阪府、堺市ならびに阪神高速道路(株)との三者が共同で行うこととなっている。

シールドトンネル区間は超近接距離で長距離を掘進する計画としていることから、併設影響については種々の検討を実施している。

本稿では併設影響検討および阪神高速道路(株)施工区間の工事概要などについて報告する。

Design of Extremely Close Long Shield Tunnels—Hanshin Expressway Yamatogawa Route Shield Tunnel—
By Atsushi Shimura, Hanshin Expressway Company Limited



写真はシールド

The Hanshin Expressway Yamatogawa route is 9.7 km in length as a part of the Osaka Urban Regeneration Ring Road. The route consists largely of tunnel and retaining wall in view of the surrounding urban conditions, and 4.4 km of the underground structures is to be built with a shield. Furthermore, the project is to be carried out jointly by Osaka Prefectural Government, Sakai City and Hanshin Expressway Company Limited.

In order to build the twin shield tunnels a shield will be driven for long-distance in mutual proximity, a wide range of investigation was implemented about proximity.

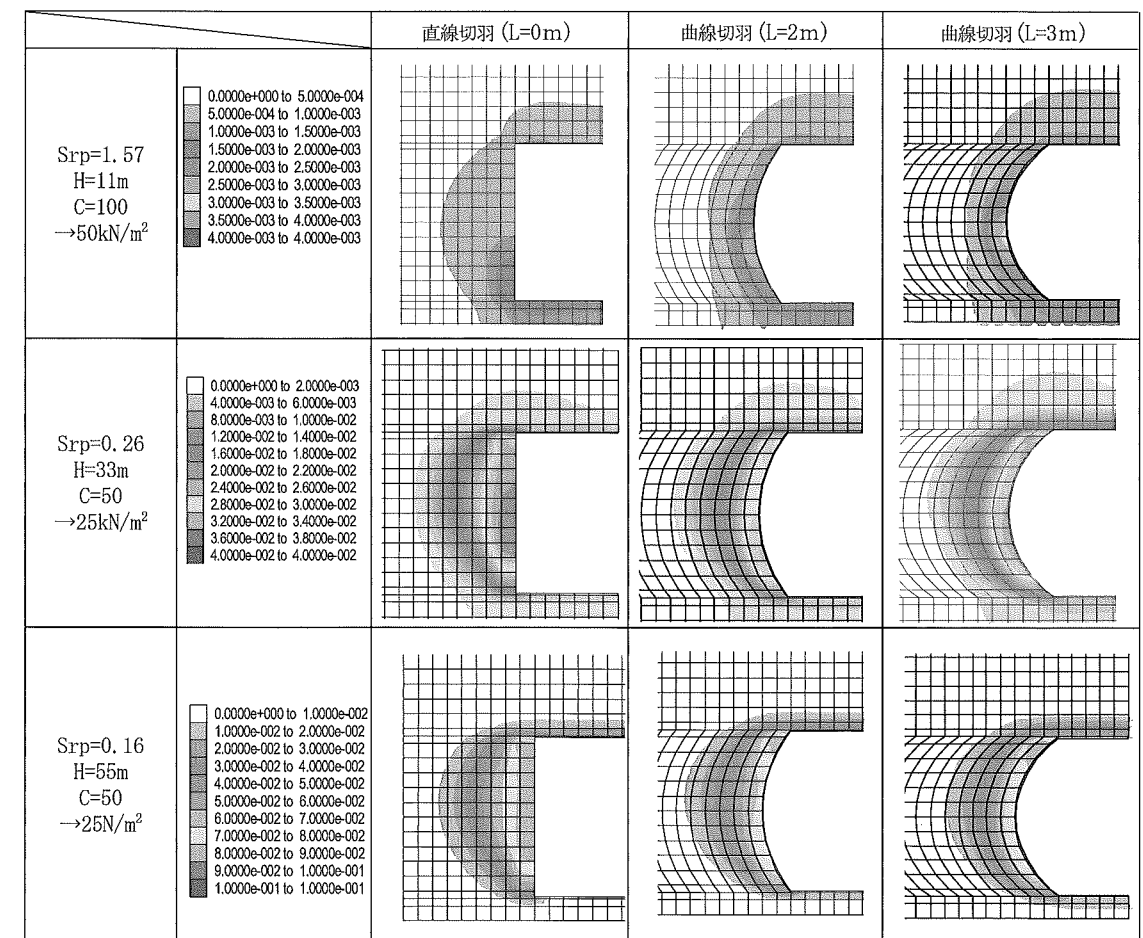
This report gives information on investigations into the effects of closely tunneling and an outline of the works in the Hanshin Expressway Company construction section.

山岳トンネル工法の適用条件は、施工中に切羽面が自立することである。従来、切羽面の自立性が確保できない場合はトンネル断面を小さくして施工を行ってきたが、近年では、トンネル施工に伴う変位を抑制する必要がある場合には積極的に切羽面の補強を行って全断面工法を採用し切羽直近で支保工を閉合する事例も多くなっている。このような場合、切羽面の補強工が必要な場合も少なくないが、本稿では、切羽の形状に着目して、曲面切羽を用いることにより切羽の自立性を向上させることを目的とした基礎的な検討結果について報告するものである。

Analytical Investigation of Application of a Curved Tunnel Face to a Mountain Tunnel

By Yasutaka Morisaki, Kumagai Gumi Co., Ltd

One of the condition of Application for the Mountain Tunnelling Method is the face stability during working. Conventionally, excavation was conducted by making the excavated face smaller when it was not possible to keep the face stable. But recently, there have been many cases of proactively reinforcing the face, employing the full-face method and placing the tunnel support right behind the face in cases when it is necessary to control deformation by tunnelling. In such cases, while there are many cases that require face reinforcement works but this report focuses on the shape of the face and gives basic investigation results that aim for the improvement of the stability of the face through employing a curved tunnel face.

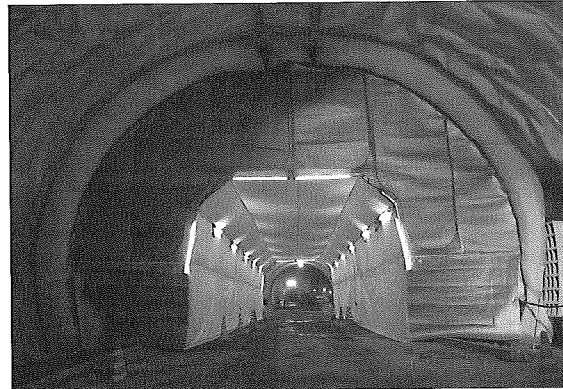


図は代表的なケースの最大せん断ひずみの比較

トンネルバルーン覆エコンクリート
トータル養生工法

長期耐久性に優れた高品質な
覆エコンクリート施工を実現します！

NETIS登録
(No.HR-040005)



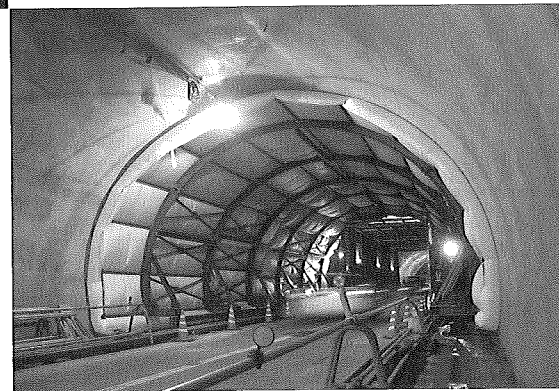
特許出願中

セントル温度養生バルーン

打設後から脱型までセン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。



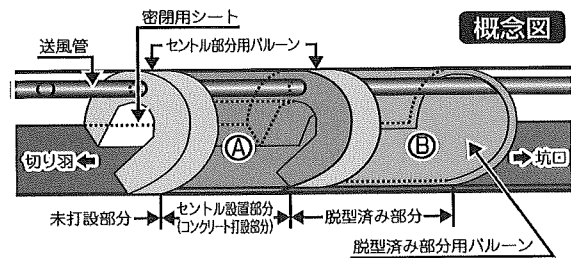
特許3811478号

覆エ養生バルーン

脱型後の覆エ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. 覆エ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)



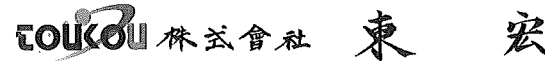
① セントル (コンクリート型枠) を両サイドのバルーンと密閉用シートで空気をこもりやすく保つて、乾燥・保護する
② 打設後のコンクリートに薄い層状のバルーンを密着させ、乾燥・保護する

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/>



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/>



「地下」は地球を救う！

新日本製鐵(株)建材事業部建材開発技術部部長(本協会評議員)

木下 雅敬

日・米・欧の経済が苦しんでいるのを尻目に、中国・インドをはじめとする新興国の成長が多少の減速はあるものの顕著となっている。中国とインドをあわせただけでもその人口は全世界の1/3超になるのであるから、その急成長によりもたらされる資源、エネルギーなどの需要拡大は途方もないものになる。すでに資源の争奪戦はゴングがならされており、筆者の所属する鉄鋼業界でも、鉄鉱石、石炭の価格は、中国の短期的な需給により大きく急騰・変動し、安定的な価格で製品を安定的にお客さんにお届けするというメーカーとしての使命が危機にさらされている。鉄鉱石に限らず、産業発展の必需品である銅の需給バランスは今後危機的なものになると予測されるほか、レアメタルや希土類など例をあげればきりが無い。加えて、食料や水といった人間生存の必需品の獲得競争がこれからさらに深刻化するであろう。

一方で、地球温暖化の防止に向けたCO₂削減をめぐる混乱が拍車を掛けている。京都議定書は、世界としてのCO₂削減への取り組みを決めるなど画期的な枠組みではあるが、実際には主要排出国である中国、インド、韓国、米国が議定書による削減義務がないため、結局は国際競争にさらされたわが国産業の海外流出を招き、もっともエネルギー原単位の優れたわが国から、原単位の劣る国に生産がシフトし、地球規模でのCO₂削減に逆行することが懸念される。CO₂の問題は、地球規模での解決が必須であるのに、各方面での議論は、身勝手なバウンダリーを設定し、手前味噌な主張をくり返すばかりである。鉄鋼材料について卑近な例をあげると、近年「高炉材料から電炉材料に切り替えることが地中温暖化対策になる」といった主張が散見され、ユーザー業界や政府などにおいても同調する声が上がようになってきた。しかし、考えてほしい。そもそも鉄スクラップは最初は鉄鉱石から高炉法により製造されたりサイクル資源であり、高炉、電炉といった鉄鋼全体で循環型素材が成立している。鉄スクラップの回収率はすでに高い水準にあり、スクラップのみで、わが国、世界の鉄需要を満たすことは不可能である。あるセクターや国で電炉材料の使用を増やしたとしても、何らCO₂削減にはつながらない。全体としての資源循環のサイクルを向上させて原単位を抑制することが重要なのである。

資源の乏しいわが国でCO₂排出量が減少する最悪のシナリオは、「製造業の海外移転が進むのに伴い、優秀な人材と技能・技術の流出が起これ、高齢化の進展と相まって日本の人口が急速に減少する。結果として、わが国のCO₂は削減される」。まさに日本沈

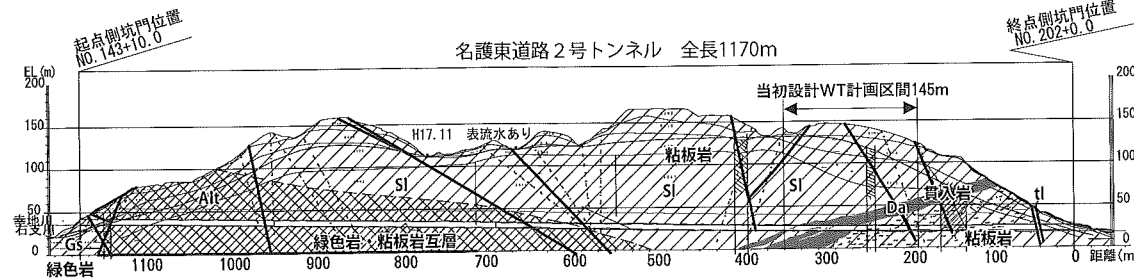


図-2 地質縦断面図

掘削断面積：78.5～148.3m²
掘削工法：NATM(補助ベンチ付き全断面工法・上半先進ショートベンチカット工法)

2-2 地形・地質概要

周辺の地形は、沖縄島北部の脊梁山地に連なる名護岳の西斜面で、斜面の傾斜は比較的緩やかであるが、市街地に近づくにつれ傾斜は増し、傾斜変換点を境に平地と接している。この山地と平地の境界部に沿って、名護断層が北北東から南南西方向に伸びている。

また山地部に発達する主要な谷・沢は、北西-南東方向に伸びるものが多く、名護断層とはおおむね直交方向の伸びを示す。

周辺の地質は、基盤岩は国頭層群名護層(中生代白亜紀～新生代古第三紀)からなり、これらを石英斑岩などの火成岩脈(新第三紀中新世)が貫入している(図-2)。また山腹斜面や谷沿いには、これら基盤岩の崩石土砂からなる崖錘堆積物が基盤岩類を被覆している。

2-3 周辺の水文環境

図-3に本トンネルの周辺に建設されるトンネルの位置図を示す。本トンネルの着工時には、延長約2.0kmの1号トンネルの掘削が完了しており、また、企業局の導水路トンネルが本トンネルに併行して施工中であった。これら周辺トンネルの施工時には比較的多量の湧水が生じており、一部の地域では地下水位低下や沢水減少など、水文環境への影響が生じていた。このため、本トンネルの施工にあたっては、地域社会から周辺水文環境へ配慮したトンネルの施工が求められていた。

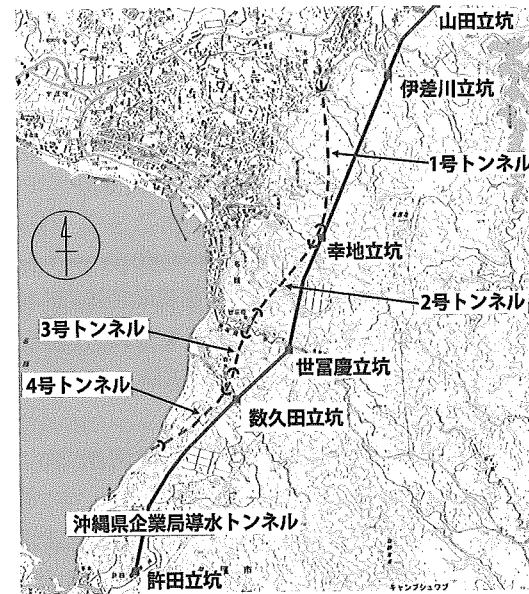


図-3 周辺のトンネル位置図

3 当初設計と止水対策検討の条件

3-1 当初設計

本トンネルと併行して建設されている導水路トンネルの地質は、本トンネルの地質と非常に類似しており、導水路トンネルの施工時には、貫入岩と粘板岩の境界部において約2t/minの突発湧水に遭遇している。

本トンネルにおいても、同様に貫入岩と粘板岩の境界部で多量の湧水が予測されたことから、図-4, 5に示すような延長約150mのWT構造が当初より設計されていた。

3-2 止水対策検討の条件

本トンネルの施工にあたっては、「適切な止水対策を施した後、最終的に残る影響については、

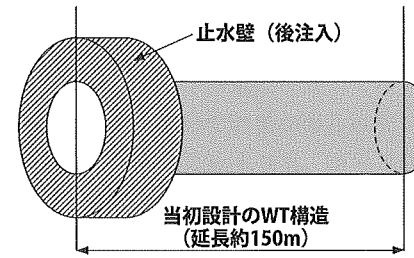


図-4 当初設計におけるWT構造概念図

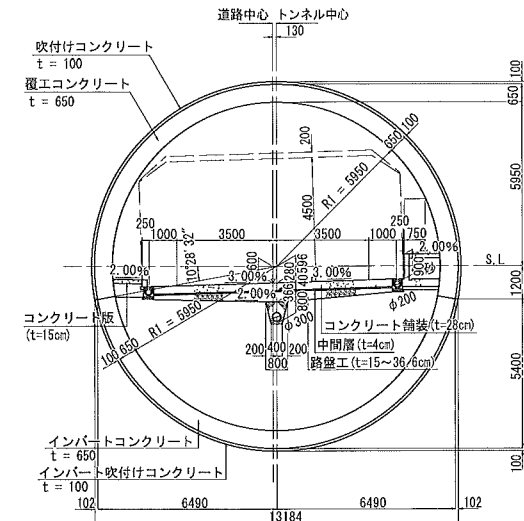


図-5 当初設計のWT標準断面図

利水補償で対応する」という基本方針が定められていた。

この基本方針を踏まえて、本トンネルでは以下の条件を考慮して止水対策を検討した。

- ① トンネル掘削中は、代替水源により、利水者に対応することで、一時的な地下水の低下および沢水の減少は許容される。
- ② 止水対策は費用対効果に優れたものである必要がある(トンネル工事のための予算は限られており、止水対策も重要であるが、建設コストにも留意する必要がある)。
- ③ 止水対策は、その効果(地下水位の回復、トンネル湧水の減少など)が、ある程度明確にかつ定量的に得られる工法とする必要がある。

3-3 当初設計における検討課題

当初設計に対しては、上記の止水対策検討の条

件を踏まえると、以下に示すような検討課題があった。

- ① 掘削中の湧水に対しては、止水注入などの止水対策は行わず、施工中は一定のトンネル湧水は許容する計画であった。このため、掘削中一時的に地下水位は低下することになるが、延長150mの短いWTで将来的に地下水位が回復するか不明であった。
- ② 図-4に示すようにWT端部の止水壁を後注入により構築する設計になっていたが、片側のみの施工で期待する止水効果が得られるか不明であった。
- ③ 事前の地質調査結果では、貫入岩以外の箇所でも大量の湧水が予測される箇所が数箇所あり、これらの箇所では、WT構造は設計されておらず、明確な止水対策も定まっていなかった。

4 周辺水文環境保全のための取り組み

以上のような背景のもと、本トンネルでは、周辺水文環境へ配慮した施工を行うことを目的として、学識経験者によるトンネル技術検討委員会(委員長：今田徹・東京都立大学名誉教授)を設立し、掘削当初から毎年3回の委員会を開催し、止水対策の方針、方法、妥当性などについて助言、指導を受けながらトンネル掘削を進めてきた。本トンネルで実施した周辺水文環境保全のための主な取り組みを以降に紹介する。

4-1 全線先進ボーリングの実施

当初設計では、先進ボーリングはWT区間の開始位置と終了位置を判断することを目的として、WT設計区間のみで実施することが計画されていたが、前方地山の帯水状況を早期に把握し、迅速かつ適切な止水対策の判断が行えるように、トンネルの全線で先進ボーリングを実施した。

4-2 トンネル湧水量の把握

トンネル湧水は、トンネル掘削の影響として、最初に現れる現象であり、以降の水文環境への影響を予測するうえで非常に重要な指標となる。そ

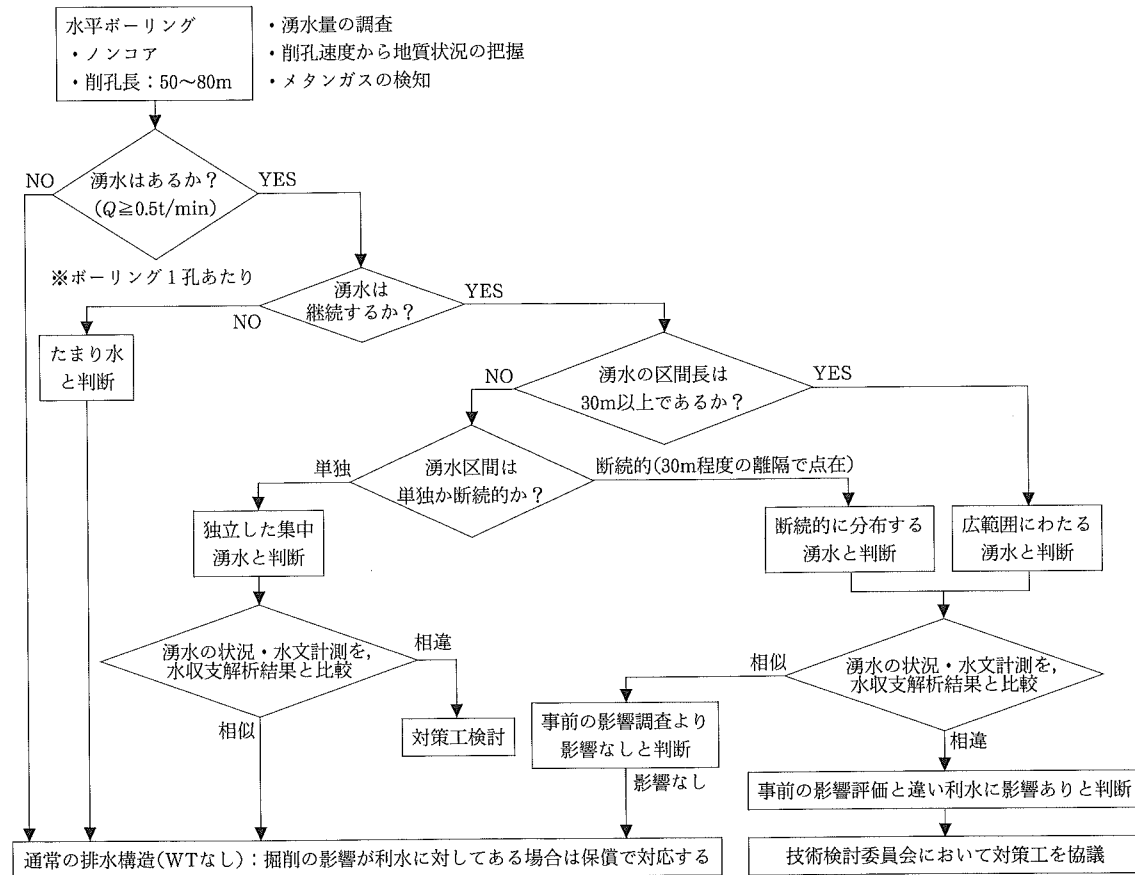


図-6 止水対策選定フロー

ここで、一定の区間ごとに湧水量を計測するなど、より詳細な湧水量の把握を行い、後述する水収支解析に反映させた。

4-3 詳細な水文調査の実施

周辺水文環境への影響をより詳細に把握することを目的に、一つのボーリング孔で複数の深度の水圧が計測できる地下水観測孔(以後「MGL観測孔」と称す)をトンネル周辺に4本設置した。

また、地表水については数多くの湧水点調査、河川流量調査を行うなど、詳細な水文調査を実施した。

4-4 水収支解析の実施

本トンネルでは、掘削前から水収支解析を継続して実施しトンネル掘削による周辺水文環境への影響を予測してきた。解析モデルは常に最新の水文観測データ、トンネル掘削による地質、湧水などのデータを取り込み、毎年解析モデルの修正を

5-2 トンネル断面形状の変更

委員会での検討により、過去のWTトンネルの事例などから、トンネル延長に対して短い区間でWTを適用しても十分な効果が得られない可能性が指摘された。一定の止水効果、復水効果を得るためには、相応の延長をWT構造とし、また、掘削中に多量の湧水が生じた箇所はWT構造とすべきであるとの見解が示された。

本トンネルでは、WT設計区間以外においても多量の湧水が生じる可能性が事前調査により判明していたことから、トンネル全線でいつでもWT構造に変更できるように、断面形状を単芯円断面に変更し、上下半掘削を行った。この変更により、将来的にWT構造が必要と判断された場合には、インバート部分の追加掘削をすることで、真円形のWT構造が構築できることになる。

5-3 施工中のトンネル湧水量

隣接する1号トンネルの施工時からの湧水と本トンネルの湧水を図-7に示す。

本トンネルでは貫入岩区間を掘削中に最大坑内湧水量1,800 l/minを記録したが、貫入岩区間通過後は湧水量は減少し、施工中はおおむね500~600 l/minの坑内湧水量であった。

トンネル貫通時(平成21年10月26日)の湧水量は約550 l/minであり、貫通後約4か月経過した湧水量は約480 l/minであった。

1号トンネルでは掘削中に最大湧水量4,500 l/minを記録し、トンネルが完成し3年経過した現在(平成22年1月)でも約1,600 l/minの恒常湧水

量があるが、2号トンネルはこれと比較して非常に少ない湧水である。

当初地質調査報告書によれば、貫入岩区間以外の区間においても、5か所で大量湧水の可能性が指摘されていたが、これに該当するような突発的かつ大量の湧水はなかった。

本トンネルでは、切羽に出現した地質は、事前の調査結果と比較的よく合っていたが、トンネル湧水量は事前の予想よりも少なかった。これは、近傍の1号トンネル、導水路トンネルの掘削により周辺の地下水位がある程度、影響を受けていたことによるものと考えられる。

5-4 水文観測結果

過去30年間の名護市における降雨実績を図-8に示す。トンネル掘削中の平成20,21年の2年間は過去30年間でもとくに降水量が少ない記録的な渇水年であったが、大規模な利水障害は生じなかった。

通常の降水量が得られれば、利水への影響はほとんどないものと考えられ、トンネルの影響は限定的であると考えられた。

図-9に平成19年に設置したMGL観測孔のデータを示す。いずれも深度の深いセンサーで地下水頭の低下が見られるが、深度の浅いセンサーへの影響は少なく、地表部への影響が現れにくい地質構造であると考えられた。

2年連続の渇水年という条件下においても、地表水の減少は限定的であり、1号トンネル施工時とは周辺環境への影響度が明らかに異なっていた。

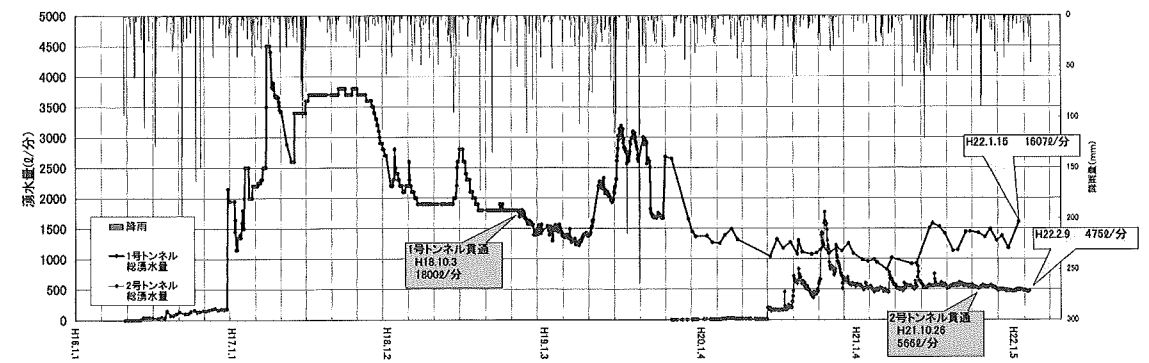


図-7 1号および2号トンネルの坑内湧水量の推移

行い、再現性の高いモデルが構築されている。

4-5 止水対策選定フローの策定

以上の取り組みによる計測結果や解析結果を利用し、図-6に示す止水対策選定フローを策定し施工管理を行った。

5 施工経緯と結果

5-1 当初設計のWT構造区間について

水収支解析により延長150mのWTを構築しても将来的な復水効果は限定的であるとの予測結果を得たため、WT構造が設計された区間は、上半断面のみをWT断面(覆工厚さ65cm)で掘削しておき、1年間の水文観測結果からWT構造の採否を判断する方針に変更した。その結果、周辺水文環境にトンネル掘削を原因とする明確な影響が認められなかったことから、WT構造は適用は見送った。

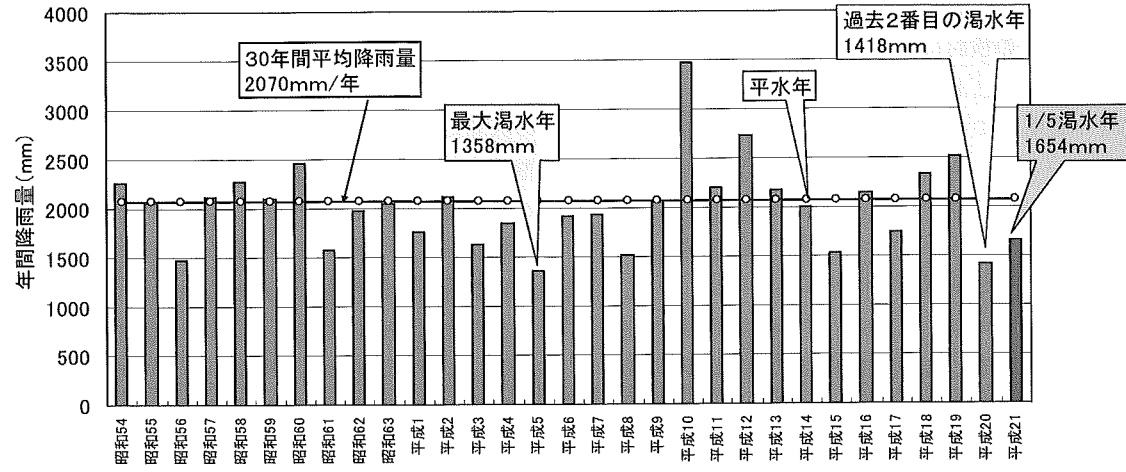


図-8 名護市における過去30年間の年間降水量

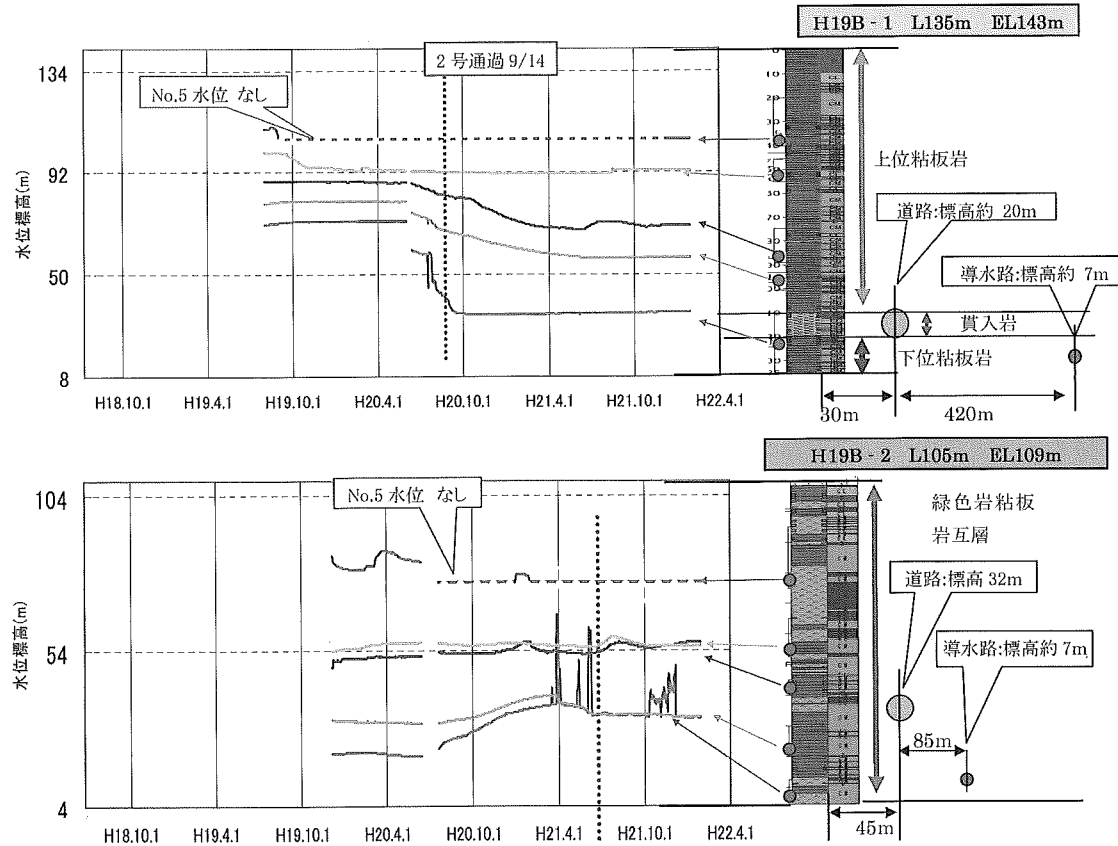


図-9 MGL観測孔の観測結果

5-5 水収支解析結果

最新のモデルはトンネル掘削が完了した平成22年1月までの観測データを取り込んで作成し、より実態を再現できるモデルとした。再現計算の一

例としてトンネル湧水量の実測値と計算値の比較を図-10に示す。

トンネル掘削完了から12年経過した平成33年12月の予測トンネル湧水量は500 l/minであり、こ

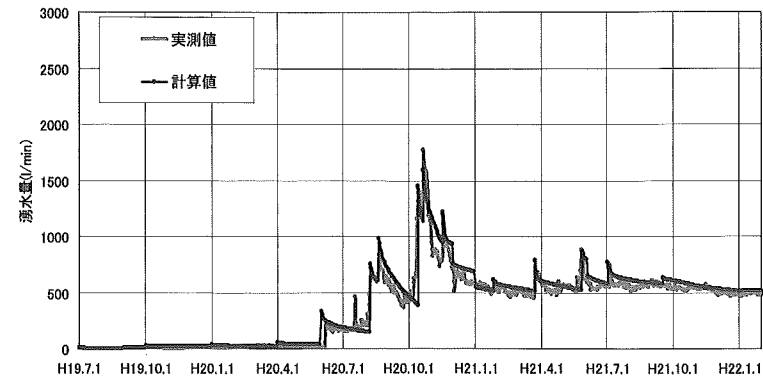


図-10 2号トンネルの実測湧水量と計算湧水量(水収支解析再現計算)

これは現在の実測湧水量とほぼ同じであり、現在の湧水量が本トンネルの恒常湧水量であると考えられる。

解析によると地下水位は今後徐々に上昇すると予測され、利水箇所への影響は限定的であると考えられる。

5-6 利水箇所への対策

平成20年から続いた渇水に加え、平成21年9月には月間雨量12mmという著しい小雨状況を原因として利水者から取水が困難になるとの情報があった。

この利水障害は、トンネル掘削による影響が主要因とは考えにくいですが、周辺利水に配慮するとの立場から「堰のかさ上げ」「貯水タンクの設置」などの利水対策を実施した。

なお、極度の小雨状況を脱した、平成22年2月にはこれら利水障害は回復している。

6 まとめ

以上のように、本トンネルでは委員会での指導・助言を踏まえて、いつでもWT構造を採用できるように全線を単心円断面で掘削するなど湧水リスクに対する準備を行いつつ、一方で全線先進ボーリングの実施、MGL観測孔の設置などの詳細な水文調査、施工時の情報を適

宜反映させた水収支解析による影響予測など、慎重な観測施工を行ったことで、周辺水文環境へ大きな影響を与えることなく、トンネル掘削を完了することができた。

また、当初設計していたWT構造と止水注入は最終的には適用することなく、結果的に合理的で経済的なトンネル施工とすることができた。

今回の報文では、水文環境の保全に関する取り組みについて報告したが、本トンネルでは、全断面掘削(補助ベンチなし)での早期閉合による変位抑制など、掘削技術として興味深い取り組みも行っており、これらについても今後、機会があれば紹介していきたい。

最後に本工事の着手前から完成までの間、助言、指導をいただいた技術検討委員会の方々と精力的に調査、検討を行っていただいた関係者の方々に深く感謝の意を表する次第である。

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

本書は、平成11年3月号より17回にわたって「トンネルと地下」に連載した「トンネル技術者のための応用地質学入門」をベースに、加筆および整理してまとめたものである。本書では、最新のトンネル技術、地質学、ならびに、地質調査法などを挙げ、学生から実務者まで広範に満足させる内容となっている。

株式会社 土木工学社

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



「縄文時代から時を刻むまち」下呂市金山

佐藤 敦也

下呂市金山町(旧益田郡金山町)は岐阜県のほぼ中央部に位置し、北へ約100kmの所には世界遺産でもある合掌造りの集落「白川郷」があり、東には御嶽山をはじめとした中央アルプスの山並みが南北に連なっている。人口は約7,000人で標高約800mを超える山稜に囲まれ、6月の鮎釣が解禁となると多くの釣り客でにぎわう飛騨川・馬瀬川などの六つの川を持つ山紫水明に抱かれた町である。以前は飛騨川と馬瀬川が合流する地点を中心に栄えた飛騨街道の宿場町であった。

金山町には日本で初めて考古天文学的調査が行われた巨石遺構の金山巨石群があり、付近からは縄文時代の遺物が数多く出土している。この金山巨石群は三つの巨石群から構成されている。

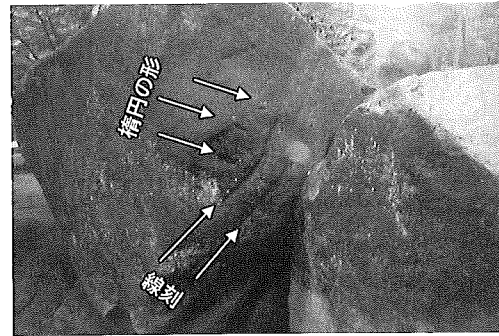
「岩屋岩陰遺跡巨石群」は10mほどの巨大な石3個からなる太陽カレンダーとして正確に時を計る機能を持ち、冬至をはさむ約120日間は太陽光が射し込み、夏至をはさむ約120日間は太陽光が射し込まない形状になっている。「線刻石のある巨石群」は、直径約30mの範囲に高さ7mほどの巨石が立ち並び、夏至のころを基準とした太陽観測が行われていたことを証明する記号表現が石に刻まれている。三つめは、山の中腹にある「東の山巨石群」で、冬至をはさむ約120日間は太陽光が射し込まない仕組みになっている。

このように、昼間は先人の知恵が凝縮された遺跡に触れ、夜はプラネタリウムにでもいるかのような鮮やかな星空が眺めることができ、天文学に興味のある方には天気の良い日には1日中満喫できる場所でもある。

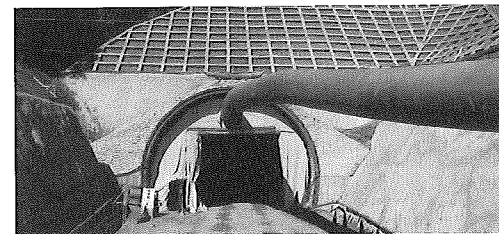
さて、本工事は美濃東部区域農用地総合整備事業において岐阜県の恵那市を起点に郡上市にかけての5市1町1村にまたがる地域の東西方向への交通体系の整備



位置図



線刻石のある巨石群



起点側坑口部

備の一環として行われているものである。農用地および農業用道路の整備を一体として総合的かつ集中的に実施することにより、区域の農業生産性の向上と農業構造の改善を図るとともに、地域の活性化を目的として行われている。

工事場所は、飛騨木曾川国定公園内ということもあり、夜間の作業時に近くから鹿などの野生動物の鳴き声が聞こえてくるなど、自然豊かなところである。そのため、坑外の仮設備やずり出し用のダンプトラックなどは、自然に調和した配色とするなど常日頃から自然との調和に心掛けている。

現在、延長610mのトンネル工事を2010年6月より掘削を開始し、2010年9月末現在で480m掘削が完了し、11月の貫通に向けて邁進している。

今後は2011年11月の竣工に向けて地元の方々や発注者のご理解とご協力を賜わりながら、作業所職員一同「技術の歴史にまた1ページ」を合言葉により物を造り上げようと日々努力していく所存である。

((株)熊谷組美濃東部2号トンネル作業所主任)

施工

MMST工法による矩形大断面トンネルの施工

—首都高速神奈川6号川崎線 大師トンネル—

首都高速道路(株)神奈川建設局設計グループ課長代理 吉川直志
首都高速道路(株)神奈川建設局川崎工事グループ主任 神木剛
大成・鹿島・戸田特定建設工事共同企業体現場代理人 水野克彦
大成・鹿島・戸田特定建設工事共同企業体課長代理 佐藤充弘

1 はじめに

川崎縦貫道路は、東西に縦長の川崎市内を、東京湾アクアラインと接続する川崎浮島JCTから国道15号までの間に首都高速神奈川6号川崎線(以下、「川崎線」と)国道409号を整備し、川崎市内の渋滞緩和、業務核都市の機能充実を図る事業である。

川崎線は、浮島JCT~大師JCTまでの区間の工事に着手し、浮島JCT~殿町間(延長L=4.4km)が高架構造で建設され、平成14年に開通した。また、川崎線完成時に、首都高速神奈川1号横羽線(以下、「横羽線」と)と接続される大師JCT部に、横羽線のサービスを向上させるため新たな横浜方向

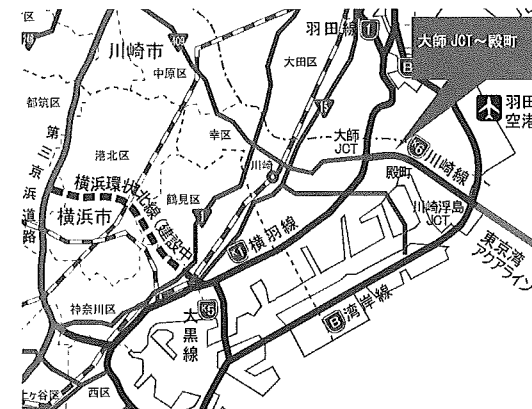


図-1 川崎線位置図

への大師出入口が平成21年3月に開通している。大師JCT~殿町間はトンネル構造(以下、「大師トンネル」と)で計画され、平成22年10月20日開通した(図-1)。

大師トンネルは、大師JCTとの分合流があるため、地下で平面構造から二層構造に移行する複雑かつ大規模なトンネル構造である。地上には、横羽線の高架構造のほか、国道409号と産業道路との交差点があり、周辺には地下埋設物が縦横に輻射している(写真-1)。

このため、周辺構造物や周辺環境への影響を考慮し、トンネル区間は非開削工法であるMMST工法で計画された。

本稿では、MMST工法の特徴および施工について紹介する。



写真-1 トンネル地上の状況

2 MMST工法

2-1 MMST工法の概要

本工事は、大師立坑～殿町立坑に至る延長約540mの区間をMMST工法により、内空最大高さ約18m、最大幅約23mの大断面トンネルを、最小土かぶり4.8m、最小幅員29mの狭隘な道路用地内で構築するものである(図-2,3)。

MMST(Multi Micro Shield Tunneling)工法は街路直下の浅い深度でも周辺への環境負荷を最小限に抑えながら、大断面トンネルの建設をするために首都高速道路公団(当時)が開発した非開削トンネル工法である。

本工法は、外側の壁となる部分(以下、「外殻構造」)を複数の小型矩形シールドで掘りながら鋼製の壁(以下、「単体トンネル」)を作り、地中でそれぞれを相互につなぎ合わせた後に内部の土を掘削してトンネルを構築する工法である。主な施工ステップを図-4に示す。

- ① 縦型・横型の矩形シールドによって単体トンネルを構築(STEP 1)

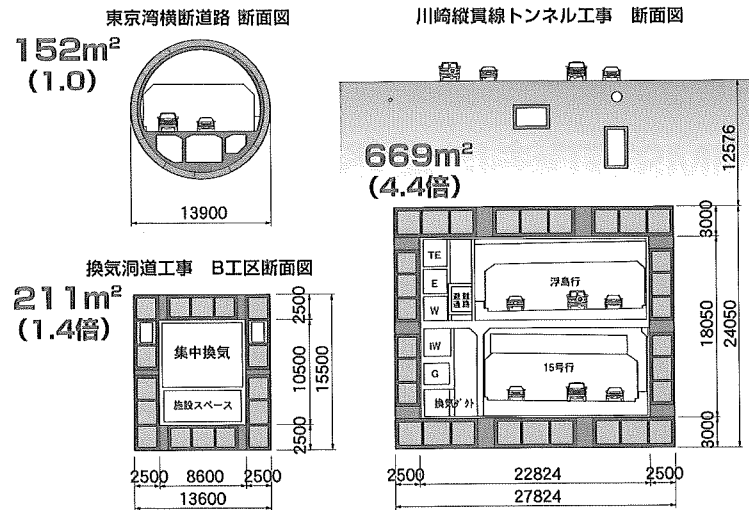


図-2 トンネル断面図

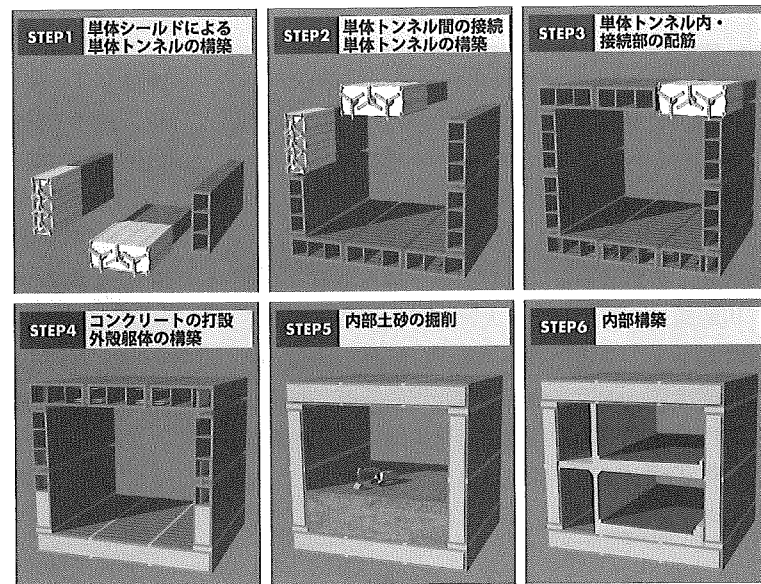


図-4 MMST工法の施工ステップ

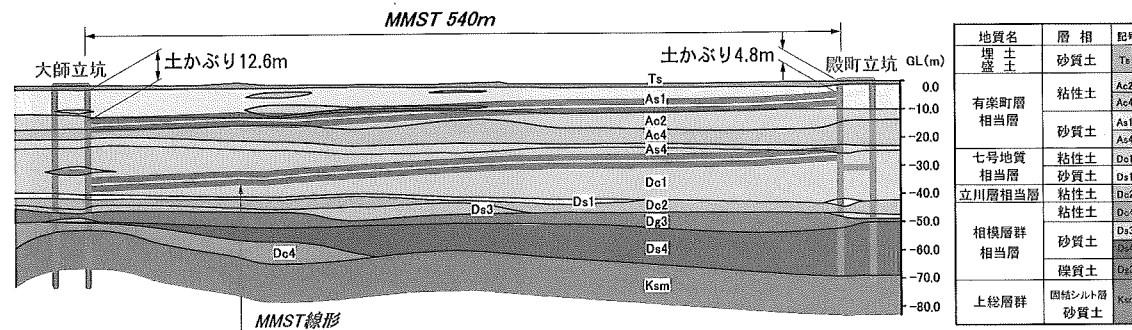


図-3 地質縦断面図

- ② 単体トンネルの間の接続、単体トンネルを構築(STEP 2)
- ③ 単体トンネル内、接続部の配筋(STEP 3)
- ④ 鋼殻内にコンクリートを打設して、外殻躯体を構築(STEP 4)
- ⑤ 内部の土砂を掘削(STEP 5)
- ⑥ 床版、中壁などの内部構造を構築(STEP 6)

2-2 MMST工法の特徴

MMST工法は、開削工法や従来の円形シールド工法と比較して以下に示す特徴を持つ。

- ① 小型矩形断面シールドを用いるため小さい土かぶりで大断面トンネルの非開削構築が可能である。
- ② 矩形断面であるため、円形断面に比べて効率的な断面となる。
- ③ 外殻構造の内部掘削は汎用機械で掘削するため泥水、泥土の量を減少させることが可能である。
- ④ 単体トンネルの組み合わせや単体トンネル間隔を変化させることにより自由な形状や大断面の施工が可能である。そのため、道路線形の変化などに対応が可能である。

2-3 MMST試験工事

MMST工法は平成8～11年に大師JCT内用地で換気用洞道の構築として試験施工を行った。

試験工事では、①小型矩形掘削機の切羽掘削方式、②切羽安定の形式、③小型矩形シールド鋼殻セグメントの接合形式、④小型矩形シールドの配置方法などに対して3種類実施して比較検討を行った。

試験工事の結果を踏まえて、本線工事で適用した内容は以下のとおりである。

- ① 三連多軸回転カッタ形式による掘進装置の採用
- ② 泥土圧方式による切羽の安定
- ③ スライド鋼板と薬液注入止水による小型矩形シールド鋼殻の接合方法
- ④ 横型シールド(頂版)を縦型シールド(側壁)の上部へ配置するレイアウト

2-4 矩形シールド

本工事では、横型(写真-2)と縦型(写真-3)の2種類の小型矩形断面シールドを使用している。各シールドの仕様を表-1,2に示す。

シールドの主な特徴を以下に示す。

- ① 土かぶりの小さい掘進および軟弱シルト層から砂礫層に至るまで幅広い土質に対応させるために泥土圧シールド方式を採用。
- ② ローリングを修正するために前胴部を分割構造(縦型：上下2分割、横型：左右3分割)として相互のローリングを修正する機構。
- ③ メインカッタを複数持ち、同一平面で回転させて相互に位相角を検知しながらカッタ速度をコントロールする仕様。
- ④ メインカッタは、横型・縦型ともに同一平面上に3連配置し、トルク、速度、位置を同時に制御して回転させることにより、切羽の安定、切削抵抗のバランスを向上。

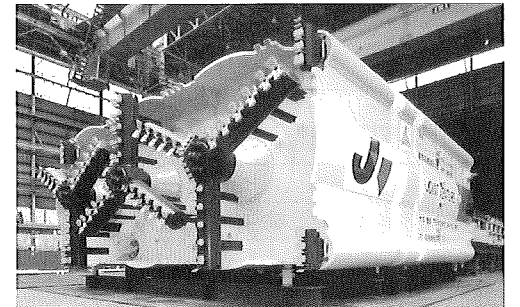


写真-2 横型シールド

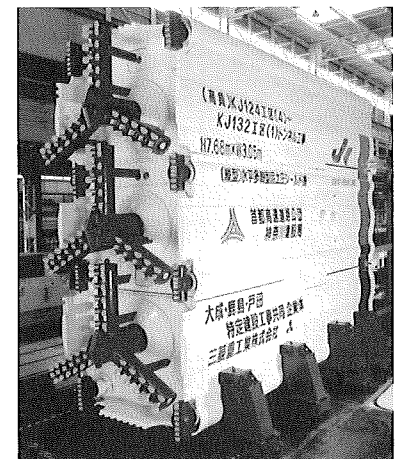


写真-3 縦型シールド

- ⑤ コピーカッタの土砂シール部にエア抜きを設置。
- ⑥ メインカッタでの掘り残し部は、コーナーおよびサブカッタとコピーカッタの自動制御により切削する機構。
- ⑦ 排土能率を上げるために、横型シールドに

表-1 横型シールドの仕様

項目	詳細項目	仕様
シールド	機長	10,450mm
	外形	縦3,900mm×横8,800mm
	掘削断面積	32.7m ²
	重量	670t
推進装置	ジャッキ	2,500kN×1,350mm×20本
	総推力	50,000kN
中折れ装置 カーブ用	角度	左右各1.0°上下各2.0°
	ジャッキ	上2,500kN×310mm×7本 下3,000kN×310mm×9本
中折れ装置 ローリング 修正用	角度	左右前胴上下各2.0°
	ジャッキ	3,000kN×180mm×8本
カッタ装置	メインカッタ	掘削トルク885kN・m×3基 各1基にコピーカッタを装備
	コーナーカッタ	掘削トルク10.2kN・m×4基
	サブカッタ	なし
テーブル	ブラシ	3段
特記		防爆仕様

表-2 縦型シールドの仕様

項目	詳細項目	仕様
シールド	機長	10,020mm
	外形	縦7,850mm×横3,190mm
	掘削断面積	23.9m ²
推進装置	重量	547t
	ジャッキ	上1,960kN×1,400mm×12本 下2,460kN×1,400mm×6本
中折れ装置 カーブ用	総推力	50,000kN
	角度	左右各1.5°、上下各1.5°
中折れ装置 カーブ用	ジャッキ	1,960kN×230mm×18本
	メインカッタ	掘削トルク636kN・m×3基 各1基にコピーカッタを装備
カッタ装置	コーナーカッタ	掘削トルク13.0kN・m×4基
	サブカッタ	掘削トルク7.9kN・m×4基
テーブル	ブラシ	3段
特記		防爆仕様

- Y形スクリーコンベヤ(2軸排土)を採用。
- ⑧ 鋼殻と地山間のテールボイドは、円形シールドに比べて大きく最大で450mm。

2-5 鋼 殻

MMST工法では、シールドトンネルの一次覆工に鋼殻を使用している。本工事で使用した鋼殻の仕様を図-5、表-3に示す。

鋼殻1リング(=1.2m)は、3本の主桁で構成されており、主桁の板厚は断面力の大小によって変化させた。単体トンネル掘削時(仮設)に設置される鋼殻を極力使用し、外殻構造構築時(本設)に主桁を主鋼材として設計した。縦リブはコンクリートの充填性を向上させるため、シールドジャッキの能力を上げて本数を減らし、間隔を大きめに設定した。

2-6 外殻構造

単体トンネルの鋼殻をつなぎ合わせて構築される外殻構造は、頂版と底版の厚さが3.0m、側壁の厚さが2.5mであり、一般部と接続部の複合構造である(図-6)。

一般部は、鋼殻の主桁を本設構造部材とした鋼・コンクリート合成構造である。鋼殻内のコンクリート打設時に、縦リブがシアコネクタとして機能し、主桁とコンクリートを一体化させる。

接続部は、接続鉄筋を主鉄筋としたRC構造である。接続鉄筋端部の支圧板を、一般部に確実に

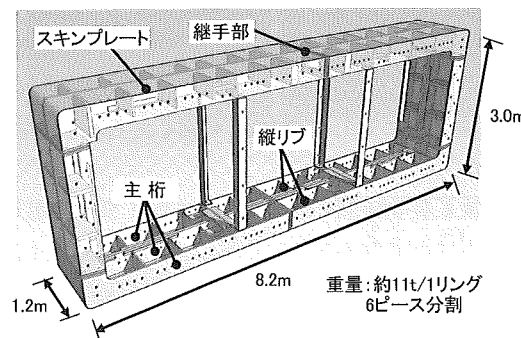


図-5 鋼殻の形状(横型)

表-3 鋼殻の形状寸法

項目	高さ	幅	主桁高	主桁厚
横型	3.0m	8.2m	350mm	28~54mm
縦型	7.2m	2.5m	320mm	26~34mm

3 シールドの施工

3-1 シールドの施工順序

シールドの掘進順序は、土かぶりがあり、地山が安定している底版部のシールドから施工を行い、側壁~頂版の順序で掘進を行った。矩形シールドは、鋼殻と地山間のテールボイドが円形に比べて大きいため、裏込め注入量が大きくなる。そこで、底版施工の際に裏込め注入量の管理方法を確認しながら施工を行った。

本工事では、縦型・横型ともに初期掘進時で日進4リング、本掘進では日進7リング程度の施工能率であった。

3-2 シールドの施工管理

土かぶりの小さい地山の掘進は、民地への影響が懸念されるため、十分な地表面変状の管理が必要であった。また、隣接する小型矩形シールド同士を接続するため、蛇行量、ローリング量に構造上の限界値から管理値を設定した。

その他、シールドの速度、カッタトルク、総推力のデータから、速度、トルク、推力に大きな変動がないか確認し、掘削の状況を判断した。

3-2-1 地表面管理

鋼殻と民地の最小離隔は30cmであり、大理石塚などが沿道にはある。小型シールドではあるが、土かぶりの小さい地山を複数回応力開放するので、地表面沈下には十分留意しながら管理を行った。

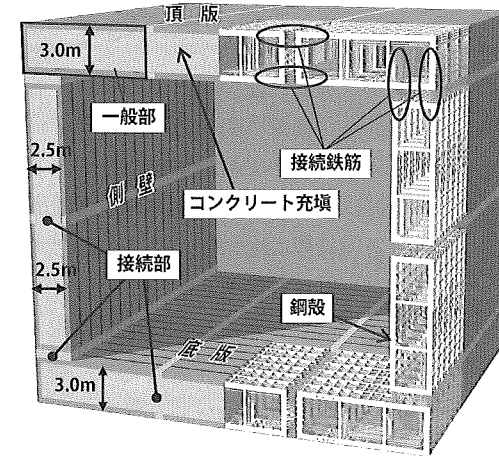


図-6 外殻構造の概略図

定着させる支圧接合方式で一体化させている。

なお、外殻構造は、レベル1地震動およびレベル2地震動に対して耐震設計を行った。

2-7 耐火性能

トンネル内で火災が発生した場合、直接火炎に曝される外殻構造は、表-4に示す荷重条件下で、RABT加熱曲線(1,200℃、60分)に対して十分な耐力を確保することを要求性能とした。

高温下での部材(鋼材、コンクリート)の力学的挙動、受熱温度分布、コンクリートの爆裂性状を把握し、熱伝導解析、熱応力解析、残存耐力計算におけるパラメータを検証するために、耐火基礎実験を行った。実験検討の結果、外殻構造の一般部については、耐火工なしでも被災は部分的損傷に止まり、要求性能を満足することを確認した。また、コンクリートの健全性が重要となる接続部の支圧接合については、実物大を模擬した実験体による載荷加熱実験および加熱後の常温載荷実験を行い、要求性能を満足することを確認した。

表-4 火災時の荷重条件

項目	荷重条件
火災中	常時荷重
火災後 補修時	常時およびL1地震時荷重

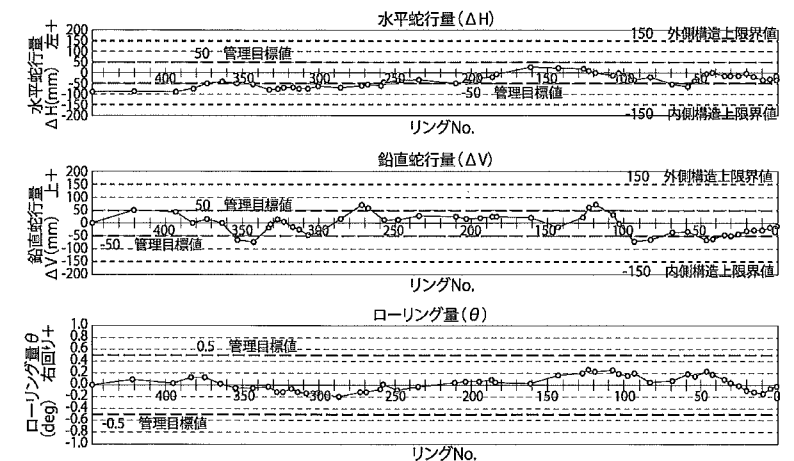


図-7 横型シールドの蛇行量

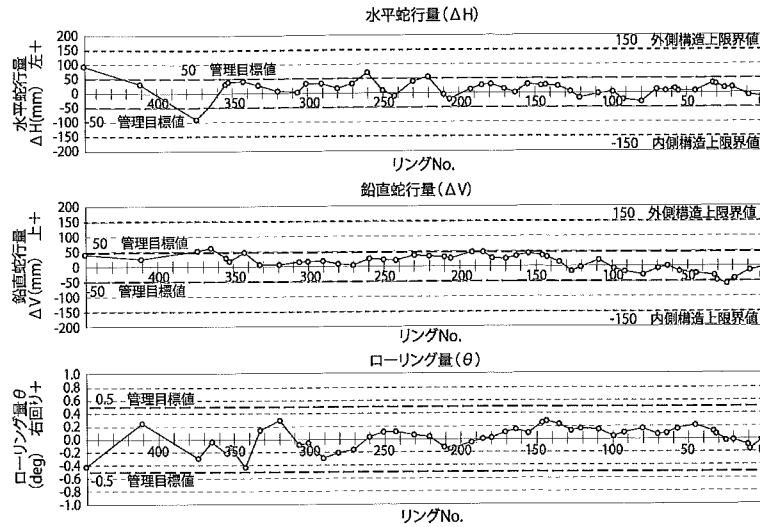


図-8 縦型シールドの蛇行量

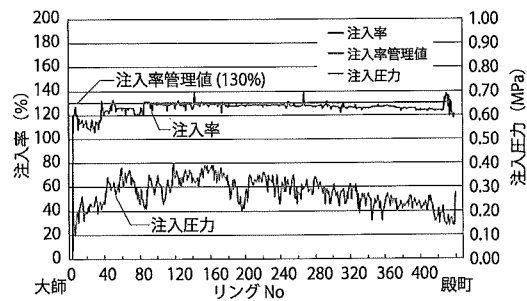


図-9 横型シールドの裏込め注入率

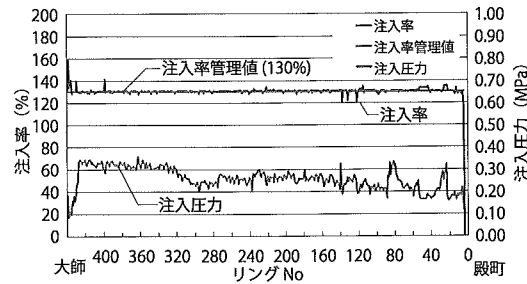


図-10 縦型シールドの裏込め注入率

3-2-2 水平・鉛直蛇行管理

隣接するシールドとの接続を考慮した場合、構造上接続が可能な蛇行量の限界値は±150mmである。

したがって、小型矩形シールドの管理目標値は、各シールドを相対的にみて、水平、鉛直蛇行量±50mmと設定した。ローリング量は、鋼殻の組立

の許容値として±0.5°を管理目標値と設定した。横型シールドおよび縦型シールドにおける蛇行量の一例を図-7, 8に示す。

水平蛇行量は横型に比べ縦型が大きく、鉛直蛇行量は横型が縦型に比べ大きくなる傾向であったが、姿勢制御をこまめに行うことでおおむね管理目標値以内となった。隣接するシールドの相対変位についても、縦型同士

3-2-3 掘進速度

掘進速度は30mm/minとして設定した。しかし、各シールドで土質や土圧が異なるため、初期掘進時のデータをもとにシールドごとに補正を加えて掘進速度を管理した。

3-2-4 カッタートルク・総推進力

カッタートルク、総推進力については、各シールドで切羽土圧が異なるため、試験施工および初期掘進における実績を参考に上限値を設定して管理を行った。

3-2-5 裏込め注入管理

掘削時に発生する鋼殻と地山間のテールボイドは矩形シールドのため円形シールドに比べ大きく、最大450mmである。裏込め注入は、マシンテールからの同時裏込め注入法により行った。注入材料は、施工実績の多い可塑状裏込め材とし、以下の強度のものとした。

- ・1時間強度 $\sigma_{1H} = 0.03N/mm^2$ 以上
- ・28日強度 $\sigma_{28D} = 2.5 N/mm^2$ 以上

注入管理は、注入量および注入圧を併用して行った。注入量はテールボイドの130%を目安とし、注入圧は水圧+0.1~0.3MPaを上限値とした。

横型シールドおよび縦型シールドの裏込め注入の一例を図-9, 10に示す。縦型および横型ともに、おおむね管理値程度の裏込め注入がなされた。

4 外殻構造の施工

4-1 接続部の施工

隣接する単体トンネル間に生じる掘り残し部分が、外殻構造の接続部である(図-11)。

鋼殻の外面にあらかじめ装備されたスライド鋼板(土留め鋼板)を隣接する鋼殻側に押し出し、接続部の一次的地山安定を図った。次に接続部周辺の止水補助注入による地盤改良を行い、二次的地山安定を図った。

スライド鋼板内の土砂を掘削するために、鋼殻のスキンプレートを部分撤去し、単体トンネル間の土砂掘削、接続鉄筋の配筋およびコンクリート打設を行い、単体トンネル同士を接続した。

4-2 配筋

外殻構造内の配筋は、鋼殻主桁間の狭隘な場所での施工となるため、主筋は短尺のものを組み合わせ、継手は樹脂充填併用の機械継手とした。接続部の支圧接合に用いる鉄筋については、支圧板と鉄筋を一体にしたプレート定着型鉄筋を工場で製作し、施工能率の向上を図った。

4-3 コンクリート打設

外殻構造は、鋼コンクリート合成構造であるため、鋼殻内部に確実にコンクリートを充填することが重要である。横型シールドを使用した頂版部

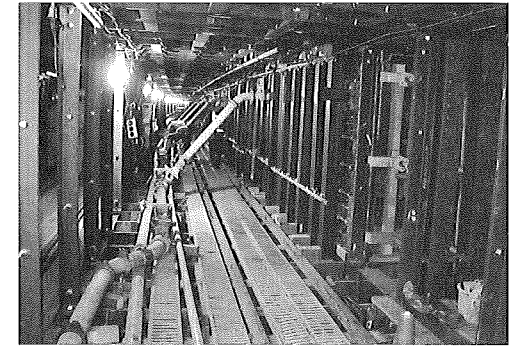


写真-4 コンクリート打設配管

と底版部は、鋼殻内で人力による締め固めが困難であるため、高流動コンクリートを使用した(側壁部については高性能AE減水剤コンクリートを使用)。

MMSTで施工した大師立坑~殿町立坑の約540m間には、材料投入する箇所がない。このため、地上部の立坑からの長距離圧送(写真-4)に対して不分離性と流動性を確保することが可能な、多糖類ポリマーを混合し、高流動コンクリートの性能を上げた。

コンクリートの充填作業を行うにあたり、以下のような工夫を施した。

- ① 密閉空間の空気を順次コンクリートと置き換えるため、空気抜き配管を設置。
- ② フレッシュコンクリートの可使用時間を充填速度から割り出し、充填エリアをラス網で仕切る。
- ③ 仕切りごとに横引き管を配置。
- ④ 充填状況を検知する光センサーを設置。
- ⑤ 打設箇所までの縦引き管は6インチ管にサイズアップ。

5 内部掘削の施工

鋼殻の接続、コンクリート打設が完了し、外殻構造の構築が完了した後、外殻で囲まれた内側の土砂掘削を行った。

5-1 内部掘削方法

内部掘削(写真-5)は、両立坑よりベンチカットにて掘削を進めた。切羽には0.4m³のバックホウを2台、0.7m³のバックホウを2台配置した。立

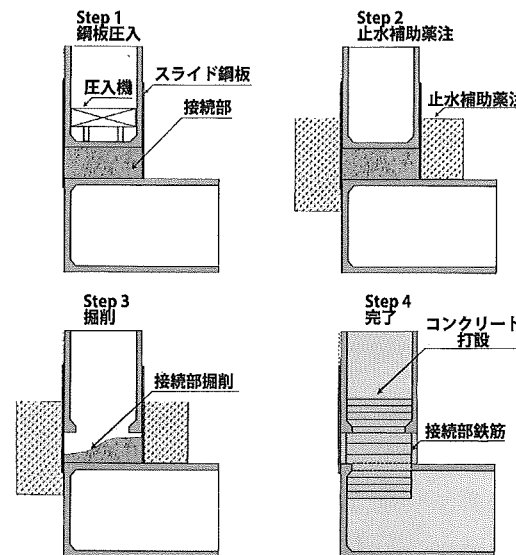


図-11 接続部の施工方法

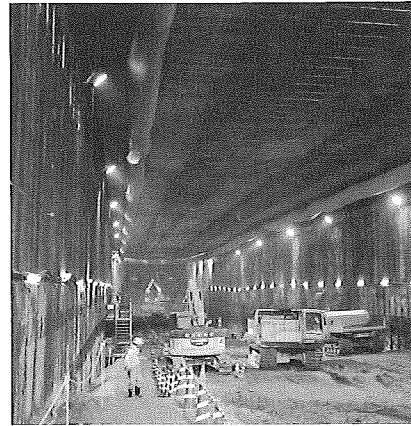


写真-5 内部掘削状況

坑までの土砂坑内運搬には、トラフィカビリティを確保するために10tクローラダンプ3台を使用して運土した。立坑にはベッセルへの積み込みとして1.6m³のバックホウを配置した。内部掘削における掘削土量は192,000m³であった。

5-2 揚土方法

掘削土の揚土排出箇所は、両立坑のみであるため、立坑下から地上への揚土が工程のクリティカルであった。坑内掘削作業と調和した効率的な目標揚土量は80m³/hである。そのため、各種比較検討の結果、大型の転倒型ベッセルを使用する方法とした。20m³のベッセルの内側に付着防止板(ポリエチレンライナー)を設置することにより、排土効率を上げるとともに、ベッセル内の排土に作業員の介入がないように安全性にも配慮した。

工程から、土砂運搬は夜間作業となることから、周辺住居への騒音対策として、ベッセル回転時に発生する音をできるだけ小さくする対策も行った。

6 内部構造の施工

大師トンネルは、左右並列の平行構造(殿町立坑側)から、上下2段のダブルデッキ構造(大師立坑側)へ移行するため、道路線形が複雑に変化する。上層は「浮島行」、下層は「15号行」の高速道路である。そのほかにトンネル内の換気を確保するための換気ダクト、共同溝が併設されることから、中床版、中壁などの内部構造が必要となる(図-12)。

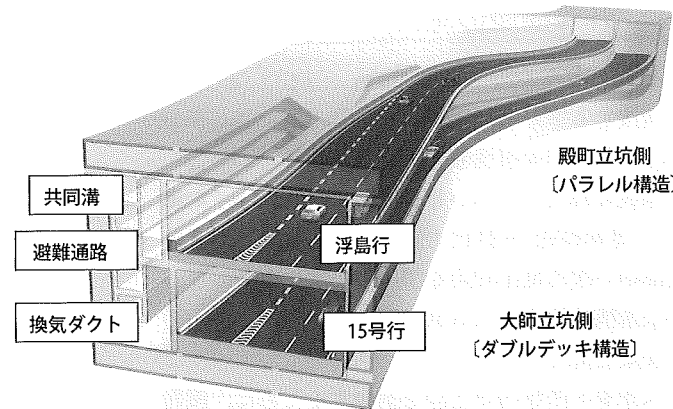


図-12 MMSTの内部構造

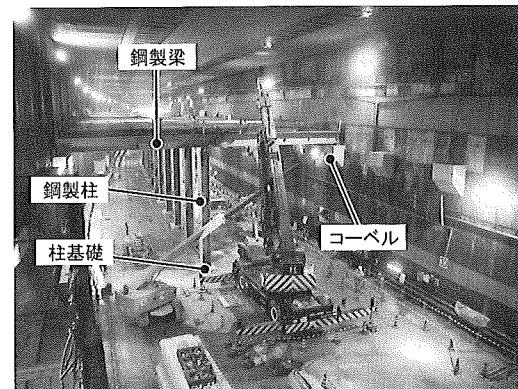


写真-6 鋼製梁・柱の架設

内部構造は、一般的には現場施工の鉄筋コンクリート構造であるが、本工事では上下層を有効に利用できるように、トンネル内に鋼製の柱と梁を架設し、ハーフプレキャスト床版を設置する高架構造を採用した。これにより、現場打ちコンクリートで必要となる型枠支保工の架設が不要となり、上層と下層の分割施工と作業用道路の確保が可能となることから、内部構造の施工が合理化された。

6-1 鋼製梁・柱

外殻構造の側壁部に先行設置したアンカー筋と連結することにより、外殻構造と一体化したコーベルを構築し、下層換気ダクトとの間に鋼製柱を設けた。

これらのコーベルと柱を支点として、鋼製の梁を横断方向に設置し、床版を支持する構造とした。コーベルと梁、柱と梁の間にはゴム支承を設置し、橋梁に近い構造になっている(写真-6)。

地震時には、MMST外殻構造の変形に追随するように、各支点部はヒンジ結合としている。

鋼製梁・柱の設置間隔は、床版の標準スパンから6m間隔とした。鋼製梁は900mm×700mmのH形断面でフランジ厚さ30mm、鋼製柱は650mm×650mmのH形断面でフランジ厚さ22mmを標準とした。

鋼製部材の塗装は、トンネル内であることから、火災時に有毒ガスを発生しない無機系塗料とした。

6-2 床版(ハーフプレキャスト床版)

床版は、坑内50tクレーンの揚重制限(重量、空頭)および施工性を考慮し、全体厚さ430mmのうち下側190mmをせん断補強トラス筋付きハーフプレキャスト床版(写真-7)、残りの240mmは現場打ち鉄筋コンクリートとしてトンネル内作業の合理化を図った。

ハーフプレキャスト床版の標準寸法は、2.2m×5.8m、厚さ190mm(重量5.6t/枚)を標準寸法とした。現場打ちコンクリート部は、1ロットの打設幅が最大23mあることから、有機繊維(ポリプロピレン:径28μm、長さ19mm、混入量1kg/m³)をコンクリート打設前に混入し、乾燥収縮によるクラックの発生を抑制した。

6-3 耐火工

トンネル内は二層構造であり、鋼製の梁・柱を設置しているため、下層で火災が生じた場合の火災による影響を考慮する必要がある。

下層の道路部と換気ダクトの間に設置される中壁には、鋼製柱の耐火を兼ねて、厚さ27mmの耐火パネル(珪酸カルシウム板)を設置した。また、鋼製梁についても同様に、耐火パネルで被覆した

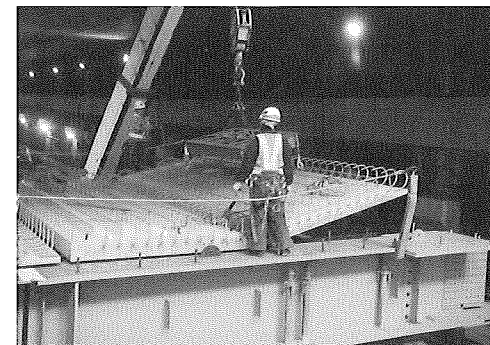


写真-7 ハーフプレキャスト床版の敷設

(写真-8)。なお、耐火パネルは、取付部材の劣化などによる落下防止を目的として、すべてのパネルをワイヤーで緊結したフェールセーフ構造とした。

ハーフプレキャスト床版は、火災時の熱影響による爆裂を防止するために、コンクリートに有機繊維(ポリプロピレン:径48μm、長さ10mm、混入量2kg/m³)を混入した。

コーベルは、過去の実験結果から得られたコンクリートの火災影響範囲(350℃到達深さ:約15cm)を耐火被覆代として考慮し、必要構造寸法に加えてコンクリートの拡幅を行った。

6-4 共同溝・避難通路

共同溝と避難通路は、延長方向に断面変化が少なく、ほぼ同一矩形断面であることから、プレキャスト製品のボックスカルバートとした。基本ボックスタイプは最大で矩形3連形状となり、高さ7.95m×幅2.65m×長さ1.0m(重量10.2t/個)の断面寸法を有している。

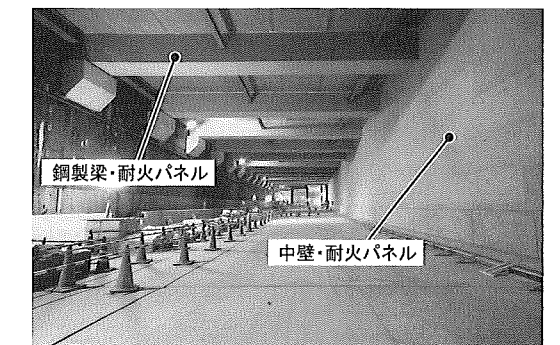


写真-8 耐火パネルの設置(下層道路部)



写真-9 ボックスカルバートの横引き

共同溝および避難通路のプレキャストボックスの据え付けは、施工基盤面にあらかじめ溝形鋼のレールを敷設し、レール内にベアリングを敷き並べ、ウインチにより水平に牽引して敷設するボックスベアリング横引き工法で行った(写真-9)。

プレキャストボックスは、トンネル内でクレーンにより建て起こした後、レール上に設置した。牽引中の転倒防止と作業効率の向上のためにプレキャストボックスを2～3個連結して牽引を行った。最長距離300m、最大縦断勾配約8.3%を横引きしたが、平面折れ・縦断折れ部も安定した牽引を行うことができた。

7 おわりに

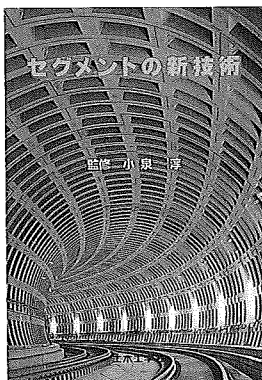
限られた用地内(最小土かぶり4.8m、最小幅29m)に、既存の開削工法やシールド工法では施工が困難な大断面トンネル(内空最大高さ約18m、最大幅約23m)を、MMST工法を用いることにより構築することができた。近年、シールドやトンネルの技術は飛躍的に進化しているが、MMST工法は用地の制約、小さい土かぶり、道路線形の

変化など、都市部の困難な条件下では有効な工法の一つである。

最後に、MMST工法の開発、設計、試験工事、本線工事への適用にあたっては、「川崎縦貫線におけるMMST工法の実用化に関する調査研究委員会」および「川崎縦貫線におけるMMST工法の設計施工に関する調査研究委員会」を設置し、東京都立大学名誉教授の今田徹委員長をはじめ、多くの委員、有識者の方々の多大なるご指導をいただいた。この場を借りて深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 池田信哉ほか：首都高速川崎縦貫線のMMST工法、土木技術、Vol.64, No.12, pp.42-50, 2009.12.
- 2) 吉川直志ほか：MMST内部構築工の設計施工(その1)、土木学会第64回年次学術講演会講演概要集第VI部門, 2009.
- 3) 太田匡司ほか：MMST内部構築工の設計施工(その2)、土木学会第64回年次学術講演会講演概要集第VI部門, 2009.
- 4) 佐藤充弘ほか：MMST内部構築工の設計施工(その3)、土木学会第64回年次学術講演会講演概要集第VI部門, 2009.



セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 千290円

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

施工

世界最大級の面積を有するニューマチックケーソンの施工

—東京都下水道 東尾久浄化センター主ポンプ棟—

東京都下水道局基幹施設再構築事務所工事第二課長 杉本克美
清水建設(株)土木東京支店東尾久浄化センター作業所長 齋木正

1 はじめに

東京都荒川区に位置する「東尾久浄化センター」は、隅田川の水質浄化および東京湾の富栄養化防止対策の一環として、三河島処理区の一部汚水の処理および三河島処理区の一部雨水を吸揚するため計画した施設である。また、既設の尾久ポンプ所の更新と能力増強を図るための代替機能を併せ持った施設である(図-1)。

本施設が完成すれば、排水面積約610ha、晴天時時間最大汚水量3.29m³/s、雨天時時間最大汚水量8.7m³/s、雨水量60m³/sの処理が可能となる。

本稿では、当施設の中核となる二つの主ポンプ棟(尾久系、西日暮里系)のうち、世界最大規模のニューマチックケーソン工法で建設が進められている東尾久浄化センター西日暮里系主ポンプ棟工



図-1 東尾久浄化センター完成パース

事について紹介する。

2 工事概要

2-1 工事概要

工事概要を表-1に示す。

東尾久浄化センターの全体平面図を図-2に、主ポンプ棟の標準断面図を図-3にそれぞれ示す。全体敷地面積は74,046m²、北側に隅田川、南側に首都大学、西側には(株)ADEKAビルがそれぞれ隣接している。このうちここで紹介するケーソンは図中に示す主ポンプ棟であり、4,837m²を占めている。その他敷地内にはすでに稼働中の砂ろ過槽、現在工事中の西日暮里幹線、および高度処理施設などが計画されている。

表-1 工事概要

工事名称	東尾久浄化センター主ポンプ棟建設工事(その2～4)
工事場所	東京都荒川区東尾久七丁目2番地
事業主体	東京都下水道局
設計監理	日本上下水道設計(株)
施工者	清水建設(株)
工期	平成18年9月11日～平成22年12月28日(その2～4)
躯体平面積	4,837m ² (62.1m×77.9m)
最終深度	TP-41.2m
施工方法	ニューマチックケーソン工法

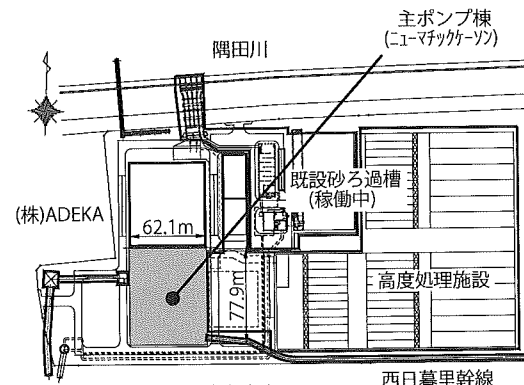


図-2 全体平面図

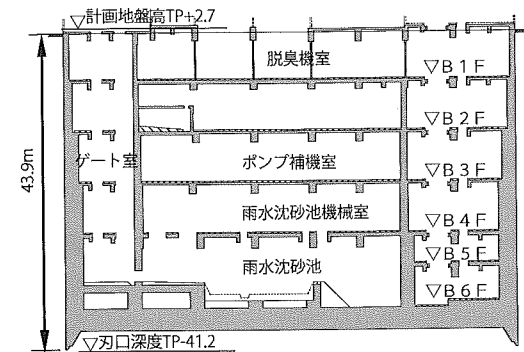


図-3 主ポンプ棟の標準断面図

表-2 主要数量

土 工 事	一次掘削 41,149m³ ケーソン掘削 199,876m³
コンクリート工	躯体部 74,207m³ 中埋部 10,262m³ (上記は撤去部3,109m³含む)
鉄 筋 工	10,308t
型 枠 工	型 枠 工 89,508m² 鉄板型枠工 5,220m²(960t)
地 盤 改 良 工	改良体積 72,083m³ (7.0~16.0m, 合計4,047本)
最大作業気圧	0.38MPa

2-2 主要数量

主要数量を表-2に示す。

3 地 質 概 要

土質柱状図を図-4に示す。TP-26m以浅では軟弱な有楽町層(N値=1~4のシルト層)が続き、それ以深では堅固な埋没段丘礫層(N=50以上の砂礫)、江戸川層(N=50以上の細砂)からなる。

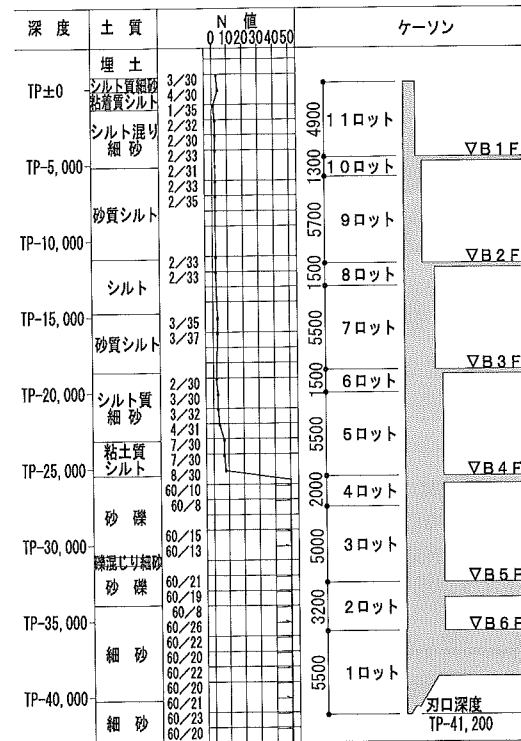


図-4 土質柱状図

4 平面積が大きなケーソンの特徴

大規模面積を有するニューマチックケーソンの特徴について、一般的なものと比較した場合の特徴と、本ケーソンでの具体的実施例を下記に記す。

4-1 構造的特徴

4-1-1 吊桁構造の採用

ケーソンの底版は、完成すれば直接基礎としての機能を果たすが、施工中は大規模な函内空間を柱なしで支える天井として機能する。ケーソンの平面積が大きくなるに従いこの天井もより大きなスパンに耐えられる剛性を有している必要がある。

本ケーソンでは、底版の面積が62.1m×77.9mと大規模になることから、底版上部(躯体内部の地下6階から地下4階床レベル、高さ15.7m)に格子状に補強仮壁を配置し、この補強仮壁と底版が一体化した逆T形状を有する吊桁が連続する構造とした。これにより80枚の四辺固定スラブ(最大で9.0m×9.0m)に分割した構造とし沈設中のケーソン躯体の剛性を確保した(図-5)。

すなわち、沈設中に発生するねじれや曲げに対し、一般的なケーソンは底版のみの剛性で抵抗するが、本ケーソンでは格子状に補強がなされたボックス構造としてその剛性を確保したのである。

ケーソン躯体の沈設はこの吊桁構造部の構築がすべて完了してから開始した。なお、この補強仮壁は、ケーソンの沈設が完了し中埋めコンクリ

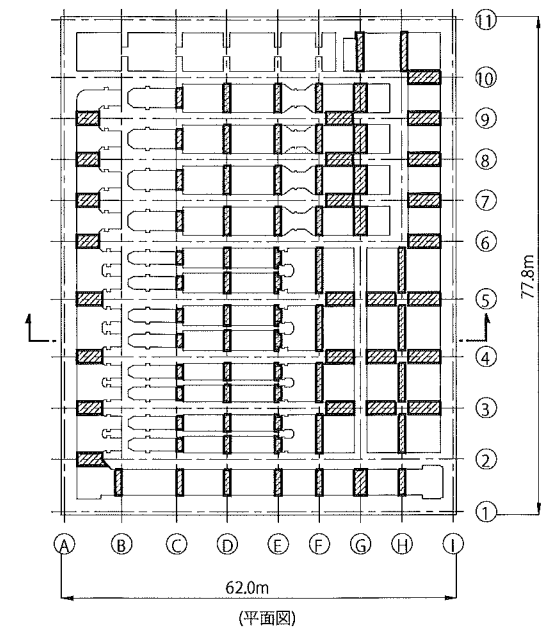


図-5 吊桁配置図

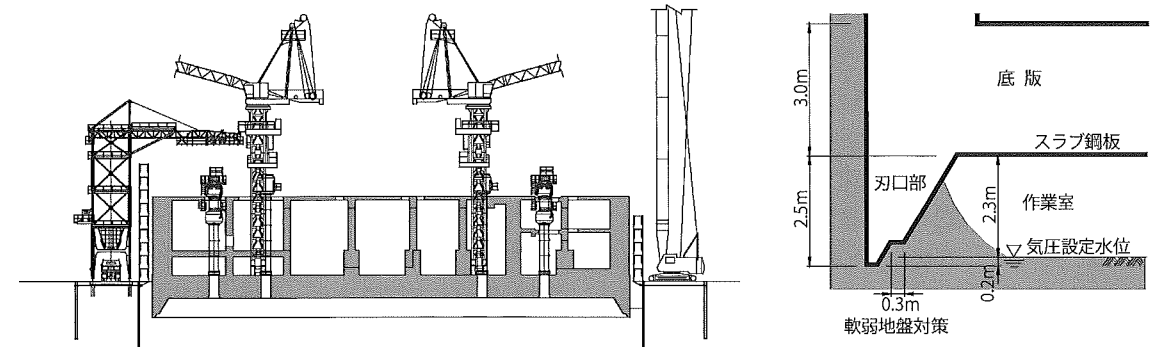


図-6 初期沈下時状況図

図-7 特殊刃口形状

トを打設した後に切断・撤去した。

4-1-2 スラブ鋼板の採用

ケーソンは沈設の過程で躯体にねじれや曲げが発生するが、大型になるほどこれが大きく、底版にひび割れが発生する可能性がある。

本ケーソンでは、これにより内部へ漏気が生じることを防止するため、底版下面および刃口部の全面を鋼板で覆った構造とした。また、この鋼板は吊桁の構造部材(仮設)としての機能も有するものとして底版の鉄筋量の削減を図り、漏気対策だけでなく経済的設計を行った。

4-2 施工の特徴

4-2-1 初期沈設時の姿勢制御

大型ケーソンは沈設中に必要な剛性を確保できる構造を構築してから沈設を開始するために、沈下掘削開始時の重量が通常のケーソンに比べて大きなものとなる。本工事においても吊桁構造を採用したことで、沈下掘削開始時(1~4ロットまでの構築完了(図-6))のコンクリート量が43,000m³を超え、躯体重量は10万t以上にもなった。

沈設開始前までは底版および刃口部の全面積で躯体重量を支持しているが、初期の掘削が進むにつれて重量を支持する面積が減少する。これが軟弱な地盤であれば、初期の掘削時に急激に支持力を失って躯体が傾斜するリスクが高くなる。

本ケーソンでは、軟弱な地盤に対して刃口部で支持する地盤の面積を確保するため、幅300mmの水平部を有する特殊刃口形状(図-7)として設置面積を増加させるとともに、地盤改良を実施して地盤の支持力を高めることで対応した。

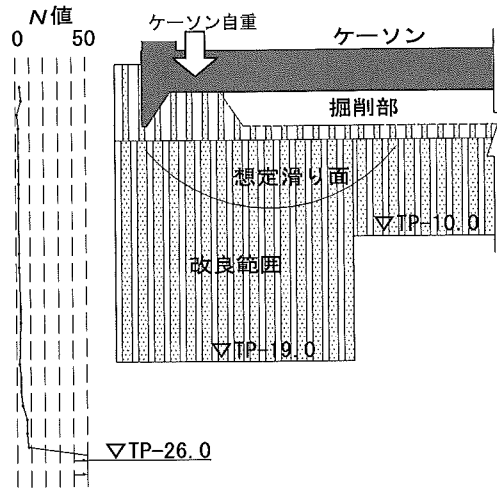


図-8 地盤改良概念図

本工事での地盤はN値1～2程度の軟弱層がTP-26.0m付近まで続いていたため、この対応策は初期の沈下掘削時だけでなく、その後の姿勢制御での効果も大きかった。

地盤改良は、図-8に示すように刃口付近に残された地盤面からケーソンの自重による円弧滑りを想定し、安全率が確保できるように設定した(サンドコンパクション工法による置換率29%でN値 ≥ 8 相当)。

4-2-2 沈下掘削中の姿勢制御

一般に、地盤が軟弱な場合には、沈下掘削中の過沈下を防止するために刃口周辺の土を残し、躯体重量を支持する地盤の面積を増やすことで対応する。掘削面積が大きなケーソンでは、同じ開口率であっても通常のケーソンに比べて掘削できる面積も大きく作業しやすいため、この方法はケーソンの姿勢制御にとくに有効である。

本工事における地盤種類と開口率の関係を図-9に、刃口深度と開口率の関係を図-10に示す。TP-26.0m以浅の軟弱地盤掘削時には、開口率を80%程度とすることで躯体の過沈下および傾斜を防止し、それ以深の堅固な地盤の掘削時には開口率を90%以上とした。なお、ケーソンは沈設完了まで大きな姿勢不良はなかった。

4-2-3 沈下力の管理

4-2-1項で述べたとおり、大型ケーソンは、沈

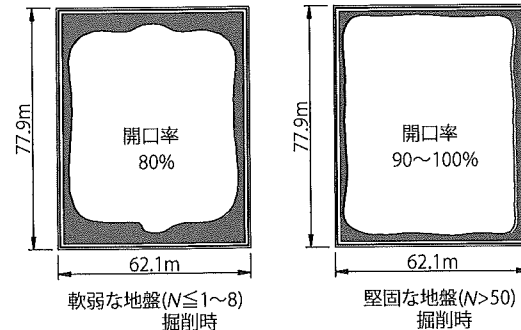


図-9 地盤種類と開口率の関係

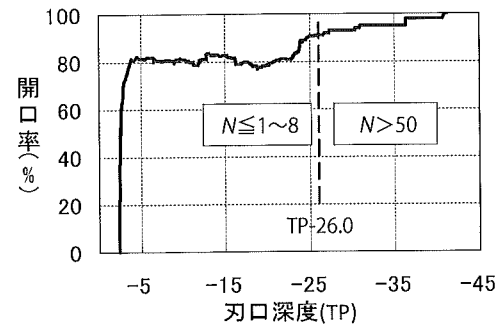


図-10 刃口深度と開口率

下掘削開始時点で既に躯体重量が大きいと、その後の沈設途中での構築による重量の増分は全体重量の割合に比較して小さなものとなる。

本ケーソンでは、沈下掘削開始時の躯体重量が10万t以上あったのに対し、その後の打設ロット割りの分割により躯体の重量増を全体の3～4%程度にとどめた。これにより、沈設途中での急激な沈下力増加をなくし、沈下抵抗力(浮力+周面摩擦力)と同様に沈設に伴い徐々に増加させた(図-11)。そのため、本ケーソンでは、躯体構築が原因となる急激な沈下リスクを排除し、安定した沈設を図れた。

4-2-4 漏気対策

地層が水平でなく傾斜している場合、ケーソンの平面寸法が大きくなるに従い、4隅の距離が離れ、刃口直下の土質が異なったものとなる可能性がある。とくに、上下の土層で透水性などの性状に差異がある場合には、層境沈設時において漏気に対するリスクが大きくなる。

本工事の現場周辺には、大学やビルなどが隣接

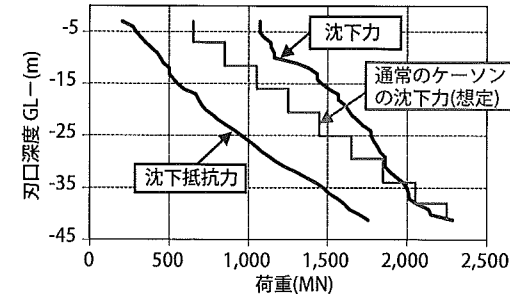


図-11 沈下関係図

しているだけでなく、近隣で井戸を使用している民家も多く存在していた。万一、作業室内の圧力を上げすぎて刃先からの漏気が発生すると、周囲に多大な悪影響を及ぼすことが懸念された。そこで本工事では、刃口先端から地中外部への漏気を防止するために、図-7に示したようにケーソンの作業室高2.3mよりも200mm大きい2.5mの刃口高を採用し、刃口先端が常に200mm地中に先行している状態とした。

さらに、躯体外周に4か所の漏気観測用井戸を設置し、万一漏気が発生した際には、現場周辺の地下施設への入場を一時制限して函内圧の低減などの漏気対策を実施する計画とした。これにより、沈設完了までは一切の漏気は認められなかった。

5 施工概要

5-1 施工フロー

本工事における施工フローを図-12に示す。

5-2 施工概要

主要な工種について以下に簡潔に紹介する。

5-2-1 地盤改良工

大型ケーソンの特徴のうち、地盤改良については4-2-1項で述べたとおりであるが、ここでは本工事での施工概要について述べる。

本工事では地盤改良工法として、強制昇降装置を用いた回転圧入施工によるサンドコンパクション工法(セーブコンポーザー)を採用した(写真-1)。本工法は、振動エネルギーを用いずに静的な圧入によって締め固め砂杭を造成する工法であり、周辺への振動・騒音の影響を大幅に低減することができ、隣接した建物や稼働中の処理施設への影響

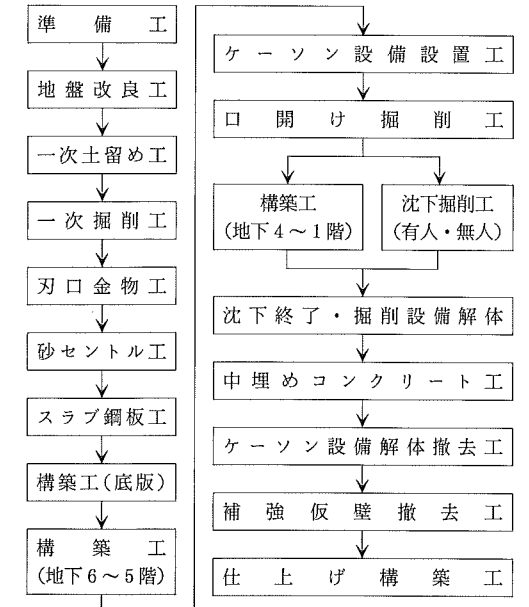


図-12 施工フロー



写真-1 地盤改良状況

を最小限に抑えての施工ができた。

締め固め砂杭は、正方ピッチ1.15mで総本数4,047本(改良体積72,083m³)を打設した。改良に伴い、地表面が1.0m程度盛り上がるのが事前に予測されたため、施工基面の盤下げを行ってから施工した。また、表層部分はN値2～3の粘性土であり、地盤改良機の自重(110t)を支えるだけの支持力も不足していた。そのため、事前にセメント系改良材にて表層改良(地表面から60cm、改良強さ80kN/m²)も実施した。

5-2-2 底版構築工

底版は、鋼板を敷設し溶接にて一体化した後、その中にマンシャフトやマテリアルシャフトを設

置し、鉄筋を組み立ててコンクリートを打設した。とくに底版部はD51などの鉄筋が高密度に配筋されているため、Tヘッド工法と高流動コンクリートを併用し、確実に充填できるように配慮した(写真-2、図-13)。Tヘッド工法に用いる端部拡張鉄筋は、せん断補強鉄筋のフック形状の代わりに、端部を拡張したもので、とくに高密度配筋に対するコンクリートの充填不良対策として多く用いられている。

高流動コンクリートは、フロー値650mm以上、そのロス率は90分で50mm以内である材料とし、あらかじめこの条件を満足できるように流動性とその保持時間について試験練りを行い、配合を決定し

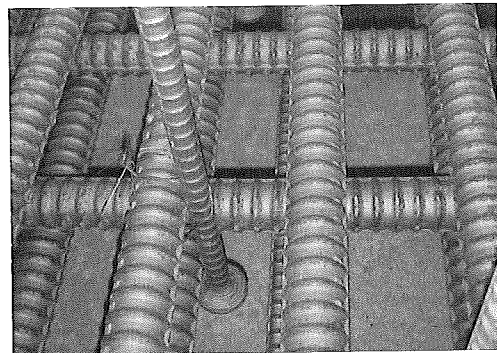


写真-2 Tヘッド工法

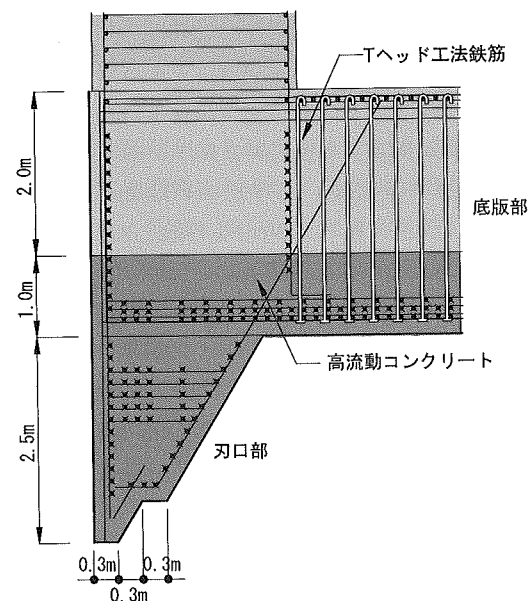


図-13 底版部配筋図

た。刃口部と底版部を合わせたコンクリート数量15,639m³は国内最大規模のものである。

5-2-3 躯体構築工

刃口~1F梁下までは、構築高さの合計が41.8mあり、これを高さ方向に11ロットに分割して施工した。

構築には、タワークレーン4基と、ジブブーム付きクローラクレーン4基の計8基のクレーンを使用した(写真-3)。

躯体の外周壁は下層階ほど大きな土圧を受けるため壁厚は大きくなる。その厚さはもっとも深い地下6階で2.5m、地表面付近の地下1階でさえ0.8mになるため、マスコンとしての温度ひび割



写真-3 躯体構築状況

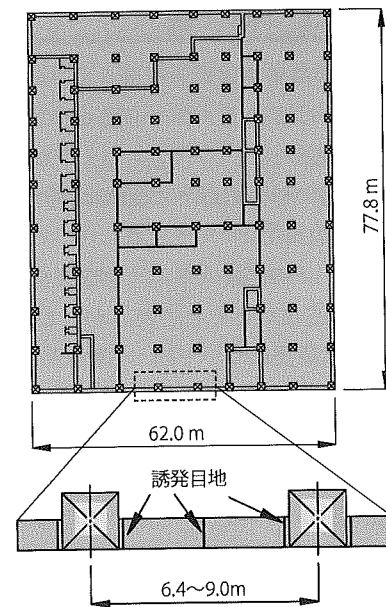


図-14 誘発目地の設置位置

れが懸念された。外周壁は地下水と直接接しており、ひび割れが発生すると漏水の原因になる。このため、ひび割れ制御対策として誘発目地を設置し、設置箇所には外側から止水塗装を施した。誘発目地の間隔は、事前に温度応力解析を実施し、柱両端と柱間の壁中央に設置した(図-14)。

この結果、外周壁のひび割れはほぼ予測どおりに誘導することができ、ひび割れを制御することができた。

5-2-4 ケーソン沈下掘削工

(1) 機械設備

ケーソン沈下掘削に使用した機械設備を表-3に、設備配置図を図-15に示す。大規模面積に対応するため、コンプレッサーは21台、ケーソンショベルは30台、マンロックは10基、マテリアルロックは14基それぞれ配置した。

(2) 計測管理

ケーソンの沈下掘削は、ケーソン計測システムを用いた。使用した計測項目とその機器数を表-4に、その管理画面を図-16に示す。計測は、ケー

ソン躯体の鉛直変位、傾斜、刃口反力、スラブ(底版)反力、周面摩擦力、土圧、間隙水圧、室内気圧、水荷重、鉄筋応力、鋼板応力、底版変形量の12項目である。これらより得られた情報は関係者全員がリアルタイムに確認し、ケーソンの急激な沈下や傾斜が生じないように気圧の調整、刃口の

表-3 機械設備数量一覧

設備名称	機 械	数量
掘削沈下	ケーソンショベル(0.15m ³)	30台
送気設備	コンプレッサー(31m ³ /min)	21台
排土設備	土砂ホッパー(30m ³)	14基
	排土キャリア(1m ³)	12基
	クローラクレーン(50t吊り)	2台
艀装設備	マテリアルロック	14基
	マンロック	10基
	ケーソン用エレベータ	2基
減圧設備	酸素減圧設備	1式
救急設備	ホスピタルロック	6基
揚重設備	クローラクレーン(100t吊り)	4台
	タワークレーン(180t吊り)	4台

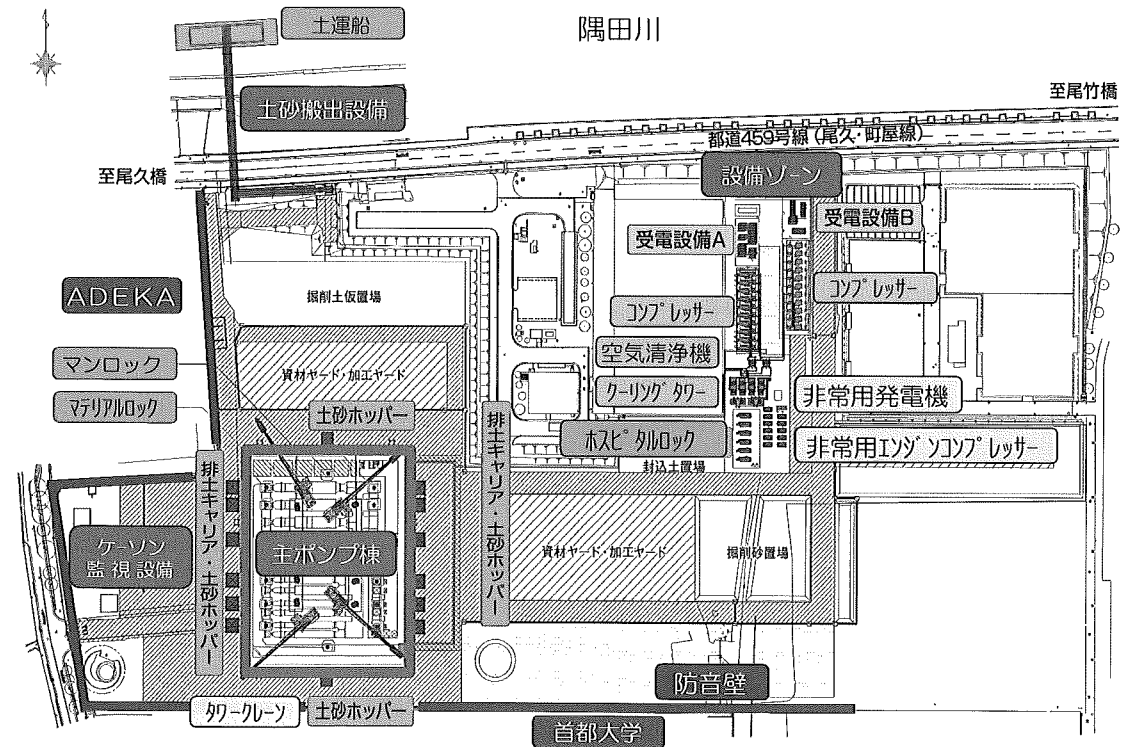


図-15 ケーソン設備配置図

表-4 計測項目と機器数量一覧

計測項目	計測器	数量	備考	
ケーソン鉛直変位	レーザー距離計	1台		
ケーソン姿勢制御	傾斜計	4台	(X, Y) 2軸型	
ケーソン沈没管理	刃口反力(15MPa)	盤圧計	4台	
	刃口反力(10MPa)	盤圧計	24台	
	スラブ反力(15MPa)	盤圧計	4台	
	スラブ反力(10MPa)	盤圧計	24台	
	周面摩擦力	周面摩擦力計	8台	
	土圧	土圧計	8台	
	間隙水圧	間隙水圧計	8台	水頭42.7m
	函内気圧	圧力計	2台	最大作業気圧0.36MPa
水荷重	間隙水圧計	4台		
ケーソン躯体管理	鉄筋応力(直角方向)	鉄筋計	40台	側壁(長手方向)
			40台	側壁(短手方向)
			15台	隔壁(長手方向)
			15台	隔壁(短手方向)
	鉄筋応力(軸方向)	ひずみ計	20台	
	鋼板応力計	基準水槽	2台	
床版変形	基準水槽	2台		
	水盛式沈下計	26台	盛替え用1台含む	

荷重バランスと開口率を調整しながら掘削した。

最終的には高低差4mmで着底でき、躯体の平均沈下速度は、1日に約10cmであった。

(3) 無人掘削

有人掘削による沈設が進み、作業室内の気圧が0.18MPaを超えた時点で遠隔操作による無人掘削に切り替えた。無人掘削のオペレータの配置は、実際のショベルの配置(ルール1列にショベル3台)と同様にオペレータ3人が隣同士に並んだ配置とし、遠隔操作ではあっても近くで作業するオペレータ同士が互いに声をかけあえる環境とした(写真-4, 5)。また、躯体傾斜(四隅の高低差)がリアルタイムに映し出されるモニター画面(写真-6)を部屋の中央正面に配置し、オペレータ全員が常

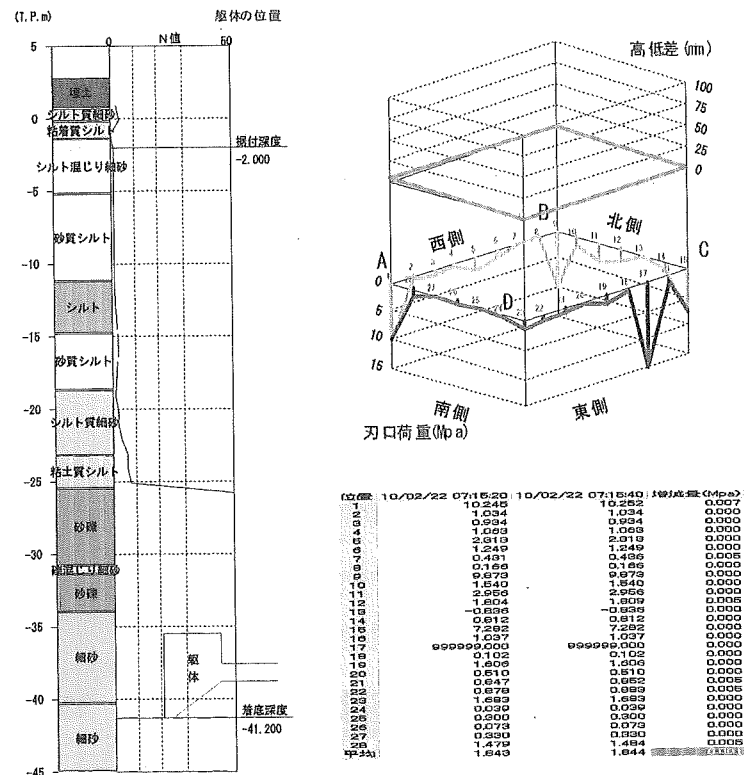


図-16 計測管理画面

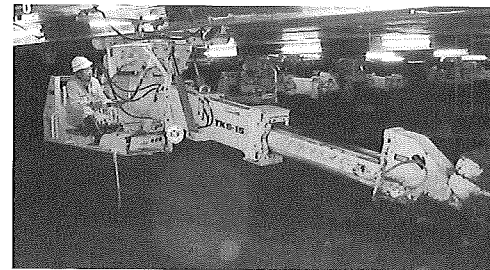


写真-4 掘削状況(有人)

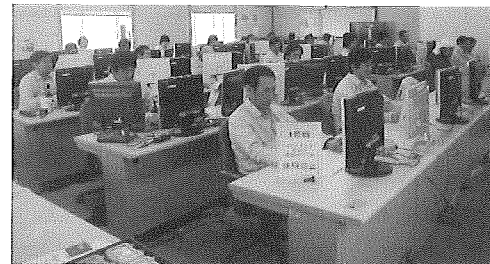


写真-5 掘削状況(無人)

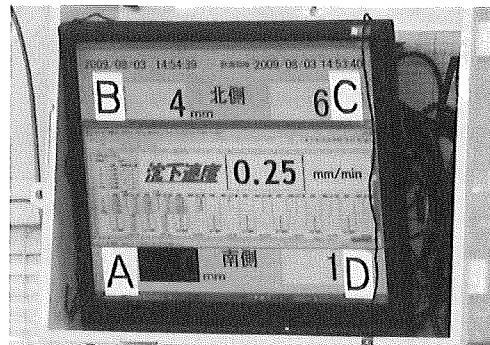


写真-6 躯体の傾斜表示モニター



写真-7 スライド消音装置

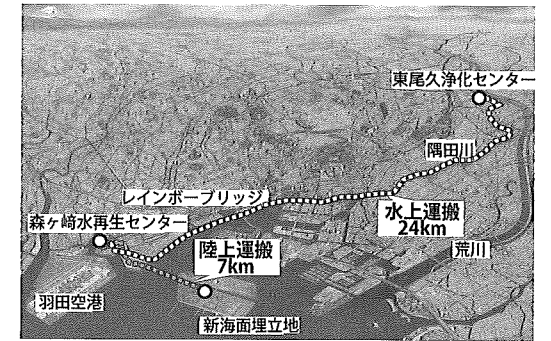


図-17 残土搬出ルート(イラスト提供：(株)ジェオ黒澤達矢)

トン特有の圧縮空気による騒音対策にも配慮した。コンプレッサの機械音に対しては防音ハウス内に納めることで騒音低減を図り、マテリアルロックの騒音に対してはスライド消音装置(写真-7)を採用、さらに掘削した土砂を搬出するアースバケットには防音ゴムを使用し、金属同士が接触する際に発生する騒音を抑制した。

5-2-5 残土搬出工

本工事ではケーソンの沈下掘削に伴い約212,000m³(10tダンプ約38,500台分)の建設発生土を搬出した。周辺地域への影響を避けるため、この大量の発生土は、ダンプトラックによる陸上運搬を避け隣接した隅田川を利用して水上運搬にて搬出した(図-17)。1日あたりの掘削量に相当するダンプトラック80台分の土砂を2隻で運搬し、工事近隣道路の交通環境にも配慮ができた。

この水上運搬は、場内に設置した土砂搬出用の設備(ベルトコンベヤ)を使用し、土運船に積み込んで行った。その後、東京湾の下水道局施設の栈橋(森ヶ崎再生センター)で陸揚げし、ダンプトラックに積み替えて、東京湾の埋立て施設(新海面処分場)などに搬入し、埋立て材として再利用した。

5-2-6 中埋めコンクリート工

ケーソンが着底し地耐力試験を実施した後に、中埋めコンクリートを打設した。面積が大きいため打設量は10,262m³に及んだ。

中埋めコンクリートの分割施工は通常では行わないが、東京都の条例で1日あたりの作業時間が10時間を超えてはならないこと、および東京都が

に監視できる環境とした。

(4) 騒音対策

本工事では、近隣に対してニューマチックケー

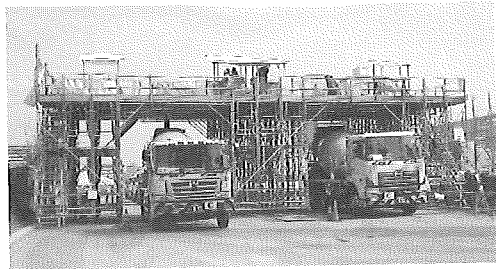


写真-8 粒度調整灰添加状況

環境基準を受けて作成した事業計画では隣接した道路での騒音の制約65dB以下から生コン車の受入れ間隔が29台以下/時間となること、これらが制約となって過去に例を見ない8分割での打設となった。

中埋めコンクリートは、高気圧環境下の閉塞された空間に打設するため、人によるコンクリートの締め固めができず、品質は生コンクリートの自己充填性に大きく影響される。本工事では分割施工となるため、先に打設して硬化したコンクリート表面の凹凸形状が、次に打設する生コンクリートの流動性を阻害することが懸念された。とくに、天井まで打上げる最終層では、これが障害となって未充填箇所ができると重大な欠陥となるため、流動性の高い材料(モルタル)を使用した。また、コンクリートの投入は沈下掘削時に圧縮空気を送っていたブロー管(50か所)を打設管として使用するが、使用した打設管の直下の位置でコンクリートは山形状の頂点を形成するので、打設は毎回別の管から行い、全体としてコンクリート表面の形状が水平をなすよう配慮した。

その結果、最終打設時にはすべての打設管からモルタルの噴出を確認でき、良質な中埋めコンクリートを施工することができた。

また中埋めコンクリートの一部分において、粒度調整灰(下水汚泥を焼却処理した際に発生する灰を分級・粉碎加工し粒径80 μ m以下に調整したもので、スーパーアッシュとも呼ぶ)の現場打ちコンクリートへの混和材としての適用性に関する試験施工(600 m^3)も実施した。

事前の室内試験結果から、粒度調整灰をコンク

リート工場で生コンクリートを練る際に同時に添加した場合には、その後のスランプロスが大きくなる傾向が認められたことから、現場に到着したミキサー車に打設直前に添加する方法を用いた。写真-8は、現場での粒度調整灰の添加状況である。この方法を用いたことで、試験施工部も良好なワーカビリティで打設することができた。

6 おわりに

本稿では、世界最大規模のニューマチックケーソン工法の施工について紹介した。

今回の施工で得られた知見は次のとおりである。

- ① 大型ケーソンは、躯体の剛性を確保するため初期沈下時の重量が大きくなり、初期段階での姿勢が不安定になりやすかった。
- ② その反面、沈下掘削中の打設1回あたりの重量増分を全体重量の数%程度以下とすることにより、急激な沈下リスクを排除でき、ケーソンの姿勢制御に有効であった。
- ③ 底版の全面を覆ったスラブ鋼板は漏気防止対策に有効であった。
- ④ 軟弱地盤対策として掘削開口率を変化させることにより姿勢制御を行う方法は大型ケーソンにとって有効であった。
- ⑤ 作業室高さ $H=2.3m$ に対して刃口の高さを $H=2.5m$ とし、常に刃口を掘削地盤に0.2m先行した状態とすることで、地中への漏気させることなく掘削することができた。

最後に、本工事の遂行にあたり、ご指導、ご協力をいただいた関係各位の皆様に、記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 西岡真帆・神田好美・若林登・入出巧・宮川司：粒度調整灰を混入したコンクリートの施工現場への適用に関する実験的検討，土木学会第64回年次学術講演会，2009.9.
- 2) 青木俊和：世界最大規模のニューマチックケーソン工法によるポンプ棟建設工事の施工について，第46回下水道研究発表会，2009.7.



昭和三十年初めより五十年余

山岳トンネルの半世紀

井上
堯之
(株)奥村組社友

堯之

第十一回
語り継ぎ
言ひ継ぎ行かむ

はじめに

私が山岳トンネルにかかわった昭和30年初めは、第二次世界大戦後10年が過ぎ、戦後の復興が軌道にのりかけ、平和の中で日本経済が急上昇に向かった時期でした。電力施設は水力発電を中心に急増し、交通機関の鉄道は新幹線時代に、道路は高速高規格道(ハイウェイ)へと大きく変化しました。

工事が増えた土木分野の中で山岳トンネル技術は、戦前からの職人の名人芸、すなわち地山は斧指*の判断で支え、掘削は坑夫の削孔、発破の技量に頼った人中心の技術から、大型機械を活用する大断面掘削へ変わりました。支保は鋼製支保工へ、覆工は移動式鋼製セントルを使用したコンクリート圧送へと変わりました。

さらに地山の挙動を理論的に解析する、あるいは、実際の掘削時の計測から地山の物性値を判断し

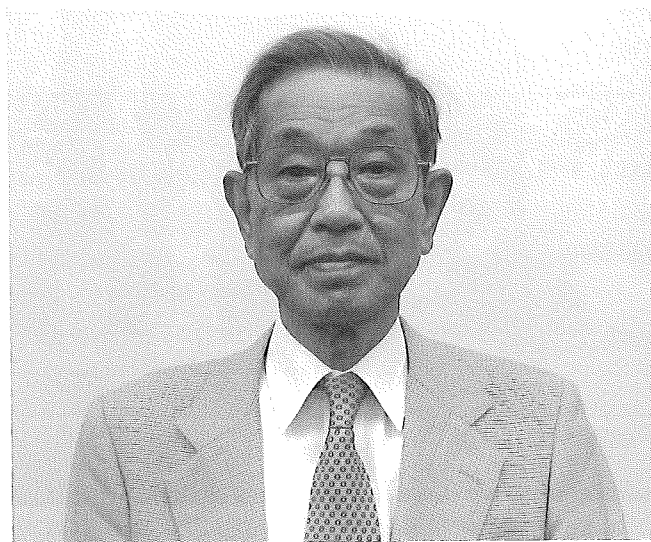
て安定な支保を選定するNATMが標準工法となり、現在に至る大断面、急速施工を可能にしてみました。

これらの発展は山岳トンネルに関係した技術者のみならず、いろんな分野での多数の方々の努力が積み重ねられた成果です。これからも引続いてさらに発展することを大いに期待し、私の昭和30年代初めから現在までの50年余の拙い経験が若いトンネル屋さんの参考になり、技術の改良・発展に少しでも役立てればと、筆をとりました。

山岳トンネル技術の揺籃期

昭和30年代～昭和40年代半ばまでは、それ以降の山岳トンネルの技術革新に向けた大きな「ばね」となった時代であると思います。私の従事した現場の経験をもとにこの間の山岳トンネル技術の変遷をたどり、わが国のトンネル技術

* 1 斧指(よきさし)：トンネル工事で木製支保工の組立てを専門に行う職人のこと。



著者近影

の揺籃期ともいえるこの間を振り返ります。

■小断面トンネルの人力作業

私は入社してすぐに、九州電力(株)発注の南山水力発電所導水路トンネル工事(佐賀県)に従事しました。断面6m²で延長1,000m余の導水路トンネルでした。支保は木枠、カンテラによる照明と導火線発破、焼きノミによるレッグ削孔、ずり出しはトロッコへ手積み、坑夫はマスクはおろかヘルメットも着用しておらず、タオルで口鼻を覆って粉塵だらけの汗を流していました。コンクリート巻き立ては木製セントルに上木^{*2}、迫猫^{*3}で、平スコを使った人力(手ばね)でした。

湧水もあって導火線発破で逃げおくれ危なかったこと、暗く、狭い坑内で測量に追まわれたことなどが記憶に強く残っています。

■急速に全断面機械化施工に突入

私の次の現場は、電源開発(株)発注の十津川第一発電所導水路(圧力)トンネル工事(奈良県)で、断面は30m²、延長1,300m、全断面掘削、全巻き工法で急速に全断面機械化施工に突入した感をその当時強く抱きました。掘削は9連装のジャンボ、電気雷管発破、ずり積みはロッカーショベル、ずり出しは8tバッテリーロコ、3m³鋼製ずりトロ、支保にはロックボルトおよび鋼製支保工が使われ、巻き立てはニードルビーム式全巻きセントル、コンクリート圧送によるポンプ打設に機械化されました。

大型機械化されたものの、操作の不慣れや荒っぽい使い方もあって故障が多く、その修理復旧(時には入替え)には困りました。機械化施工は機械が止まればすべて

著者略歴

昭和32年 3月	広島大学工学部土木科卒業
昭和32年 4月	(株)奥村組入社 九州電力(株)南山発電所導水路トンネル
昭和33年	電源開発十津川第一発電所 導水路圧力トンネル
昭和35年	国鉄東海道新幹線横山隧道
昭和41年	鉄道建設公団青函トンネル調査(出向)
昭和44年	国鉄東海道本線猪久保隧道
昭和46年	神奈川県広域水道導水路トンネル (第10工区)
昭和49年	鉄道建設公団青函トンネル(白符)
昭和56年	本州四国連絡橋公団鷺羽山トンネル
昭和62年	(株)奥村組東京支社取締役
平成6年	(株)奥村組技術研究所長
平成8年	(株)奥村組退社
平成9年	村崎建設(株)入社、取締役社長
平成20年	村崎建設(株)退社

がストップするわけで、メーカーや機械担当職員などの力で支えていましたが、ともかくよく故障し計画工程を守るために苦労しました。

コンクリート覆工も人力での手ばねからコンクリートポンプに変わりました。しかし、スムーズに打設ができるまでには、均一な生コンを作ることや、配管閉塞とその掃除に苦労が続きました。支保にしても同様で、ロックボルト打設も鋼製枠も地山の良いところでは問題はなかったものの、後荷がかかったり、地質の悪いところでは木製支保工で斧指の力に頼らざるを得ない有様でした。

坑夫連中は流れ者が多く、腕の立つ坑夫ほど条件の良いところを求めて回る風^{ふう}転^{てん}でした。山奥の飯場は、気性の荒い連中ばかりで喧嘩の絶え間もありませんでした。

* 2 上木(うわぎ)：木製セントルの場合、現在のスキムプレートに相当する部分は、上木と呼ぶ厚い角材を積み重ねて型枠とした。
* 3 迫猫(せめねこ)：コンクリートを人力打設する際に、もっとも打設が困難となる天端中央部のこと。

当時は、作業員の数も多いうえに、大型機械の使用に伴って労働災害も多発し、毎日のようにけが人の救助、病院への搬送が大変でした。工法の進歩、急速施工に伴う諸手当(対策)が不十分であったのが実状であり、多くの犠牲者を出した反省が残っています。

■新幹線断面での新しい掘削工法にトンネル屋の関心が集中

国鉄の東海道新幹線横山隧道(延長1,370m、滋賀県)は私にとって初の新幹線大断面で、底設導坑先進上部半断面逆巻き工法による施工は、当時の標準工法であったと思います。導坑、上半、アーチコンクリート、大背、土平(抜掘り)、足付けコンクリート、土平(中間掘削)、側壁コンクリートと作業箇所が多く、使用機械も作業員も多数必要でした。東京オリンピックに間に合わせの大号令で工程もきびしく、月に1日も休みが取れず、作業員不足で坑夫の引抜き、賃金の高騰などに沸いた、右肩上がりで急激に社会資本整備に向かった時期であったと思います。

支保工はH形鋼が普及し、上半大断面の支保に役立ちました。しかし、坑口部の施工は坑奥から坑口に向かって木製支保後光梁で1の丸、2の丸と順次切り上げました。地山の悪いところでの支保もまだ斧指を必要とする木製支保でした。

新幹線断面での掘削順序、工法として、側壁導坑先進上部半断面順巻き工法、上部半断面先進逆巻き工法、原爆型逆巻き工法等々の試みが、それぞれの現場で採用さ

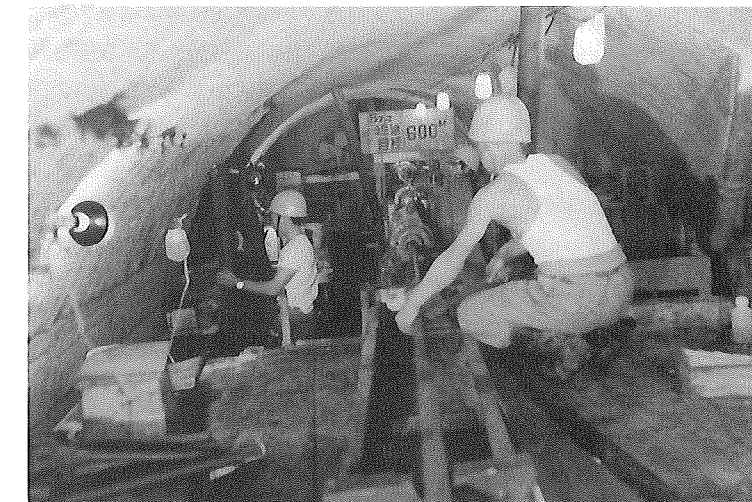
れ、人員削減、工期短縮、工費削減にトンネル屋の関心が集中したことも、当時の特徴であったと思います。東海道新幹線の大プロジェクトの完成を支えたトンネル技術は誇るに値するものであり、それに参加したトンネル屋の一人として感慨深いものがあります。

■新技術にトライし本坑施工に活用する技術を開発

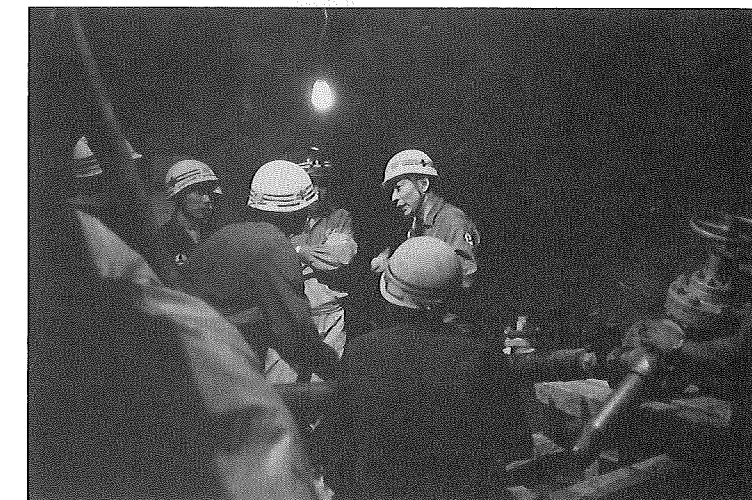
鉄道建設公団吉岡建設所へ出向し、青函トンネル調査工事(北海

道側)に携わりました。この工事は世界に誇る大プロジェクトであり、私は研修生として主に先進ボーリング技術にかかわりました。その当時の技術は次のようなものでした。

- ① 先進ボーリングで前方の地質・湧水状況の把握は必須でした。
- ② 調査斜坑からの傾斜ボーリングでは、ワイヤーライン方式でコアを採取しましたが、



青函トンネル調査工事吉岡側先進ボーリングの様子



建設所長を交えて現地で改善策を議論

その精度も悪く(下り方向孔曲がり)、スピードも遅いものでした。

- ③ ボーリング長さも200~300mで、目標の1,000mには遠く及びませんでした。
- ④ 地質の良いところでは立派なコアが採取されましたが、肝心の地質が悪い部分や湧水箇所ではほとんど情報が得られませんでした。
- ⑤ 海水噴発などの大湧水や崩落に対する対策がありませんでした。

これらの対策として、濱建介・調査事務所長を長とした松尾昭吾次長、(故)持田豊次長、(故)天野礼二建設所長以下、吉岡建設所の面々の熱心な議論、メーカーを含めたその道の専門家による指導、実担当者の地道な検討から取り組みを開始しました。実施(トライ)、さらに改良して行くことのくり返して新技術にチャレンジし、孔曲がり測定、修正方法、大湧水に対する口元装置、ノンコア方式、リバース方式による高精度での長尺高速ボーリング、スライムおよびボーリング機械の推力やトルクなどの計測による地質推定等々、その後の先進的な技術開発につながるステップ(努力と工夫)を続けま

した。

先進ボーリング技術のほか、調査工事では本坑の施工までに解決しなければならない、止水、吹付けコンクリートを中心とした支保、急速掘削のTBMなど、あらゆる分野で公団関係者を中心としたそれぞれの方々が、自らの直轄施工で実施(トライ)し体験し、それらを改良することによって成果を上げ、本坑の施工で使用する新技術を開発する役割を担いました。これらのトンネル技術は本坑のみならず、国内の各所に応用展開され、さらには世界のトンネル技術の発展へ貢献したことは間違いのない事実です。

青函トンネル調査工事で得たトンネル技術は、私がおのちに従事した多くのトンネル工事の技術的な

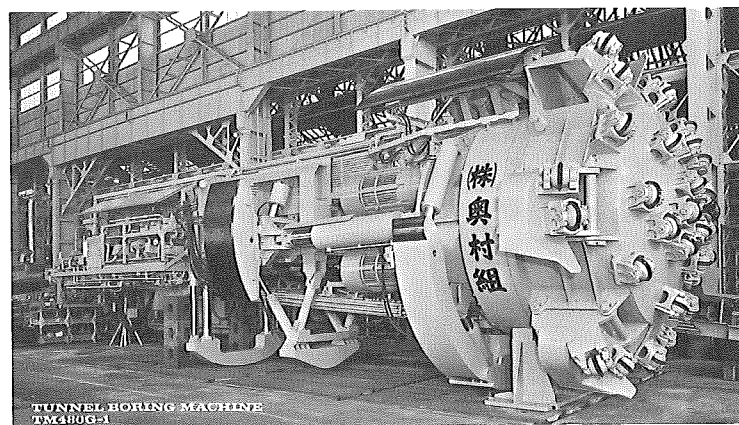
バックボーンとなりました。次章ではその中でも記憶に強く残っている工事を紹介します。

山岳トンネルの技術発展から成熟期へ

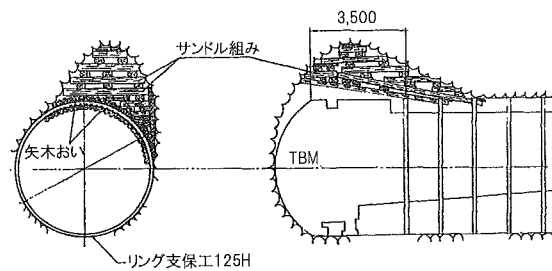
■TBMで日進日本記録を樹立

神奈川県発注の広域水道導水路トンネル10工区(厚木市)は、断面約20m²、延長1,950mでTBM(φ4.8m)を採用しました。ただし、その当時一般化されていないTBM施工に伴う機械の搬出入、組立て、粉塵対策、ずり出し方法などの技術習得と実践に苦慮し、とくに地質が想定以上に軟弱で自立せずオープンタイプのTBMで切羽の崩落対策に苦勞の連続でした(図参照)。

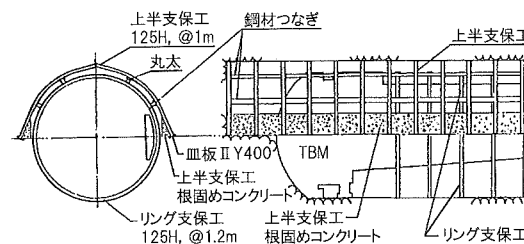
しかし、TBM施工に熟達した後は、地質が良い地山ではその当



φ4.8mTBM



TBM掘削時の崩壊地山対策



崩壊想定地山での上半手掘り先行掘削

時の日本記録となる日進47.9m(昭和47年2月)を樹立して、苦勞の連続だった工事の仲間とうまい酒を一杯あびて喜びあったことが強く印象に残っています。

仲間と苦勞を共有し、その場から逃げることなくこれを乗り越えれば、感動となって必ず報いられることを、今の若いトンネル技術者の方々に理解していただきたいと思います。

■大断面、長大トンネルの機械化施工

鉄道建設公団発注の青函トンネル(白符)工事は、北海道方の海底部に続く陸上部(延長3,900m、斜坑510m)でした。(株)奥村組、五洋建設(株)のJVで昭和49年7月

受注、本坑上り(3,000m)を側壁導坑順巻き方式で、下り(900m)を底設導坑上部半断面逆巻き工法で施工しました。

ここでは施工検討会を重ね、現在の自動化施工につながる先駆の試みとして、斜坑下りベルトコンベヤを利用したコンクリート輸送設備、ワークステーションのはしりともいえる大型削岩機と自由断面掘削機をセットした設備を採用しました。これらは、大断面、長大トンネルの工期の短縮と覆工品質の向上に大きな効果を上げました。

ただし、着工時は第一次オイルショックで賃金、物価の高騰、とくに石油製品を中心に鋼材、食糧、

洗剤、トイレトーパーまで品不足で、工事に着手したが継続できないのではと不安にさらされたときでした。このため、初期の設備費に大きな負担を要する試みを実施に移すことは、その当時大きな決断であり、これを認め許容していただいた鉄道建設公団幹部の方々の、将来の技術発展を見通した先駆の姿勢に感謝する次第です。
■世界に例のない六ツ目トンネルをNATMにより突破

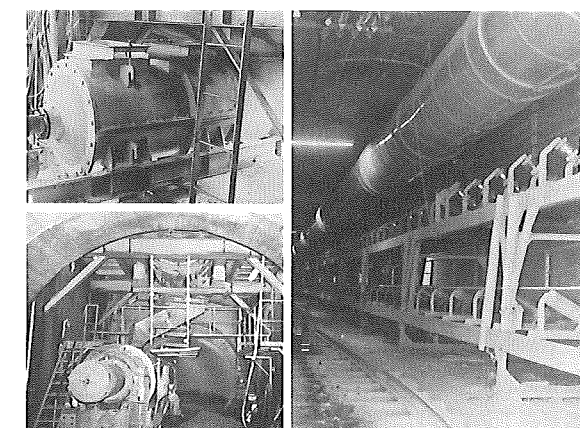
本州四国連絡橋公団発注の鷲羽山地区工事(岡山県)は、瀬戸内海国立公園鷲羽山の景観保護のため、二段双設の鷲羽山トンネル(上段の上下複線道路トンネルと下段の在来線、新幹線[計画のみで中止]の複線鉄道トンネル)および下津井瀬戸大橋のケーブルアンカートンネル2本が加わった六ツ目トンネルでした。これらのトンネルは世界に例のない特殊形状のうえ、土かぶりも小さく、それぞれの6本のトンネルが非常に接近しているため、施工時のトンネルの安定、工事の安全性、経済性などに今までの経験だけでは対応しきれない



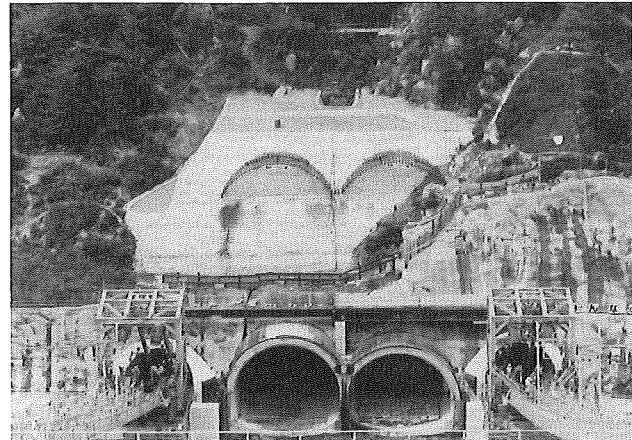
青函トンネル白符工事施工検討会



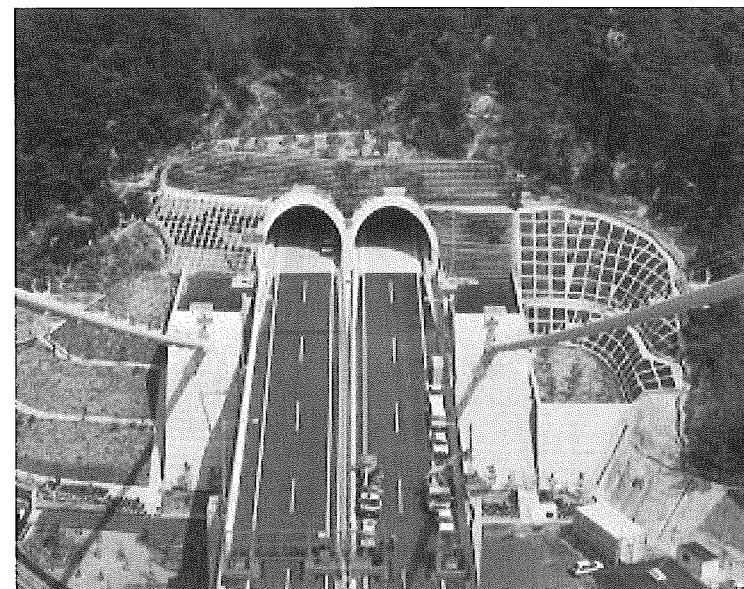
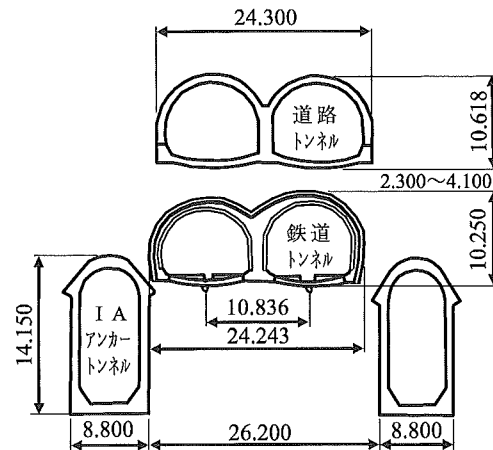
ロードヘッド搭載ジャンボ



斜坑下りベルトコンベヤを利用したコンクリート輸送設備



施工中の2階建て六つ目トンネル



完成した道路トンネル

難しい課題がありました。

さらに、地元は漁業を中心とする漁師の密集家屋があり、振動、騒音に対して十分な対策が要求されました。

設計では、FEM解析などにより施工順序などの工法は決まっていますが、発注者および鷺羽山トンネル安定委員会の指導を得て、硬岩掘削時の振動、騒音対策は制御発破工法でクリアし、近接構造物に対するトンネル掘削時の安定

は岩盤力学に立脚した予測、高精度で多岐にわたった計測、これらをもとにした逆解析結果などのフィードバックを中心とした管理により突破しました。

これらの成果は新しいトンネル工法として評価され誇りに思いますが、一方に併行作業ができないこと、夜間作業に特別強い制限を受けたことなどにより、施工に長い期間が必要であったことが思い出されます。また、格別苦労した

地元住民への対応には酒と自らの体力を消耗し、住民の方々と対話に全力を尽くしたことが強く思い出され、地元住民の方々の理解なくしては、工事は前に進まないことを痛感した次第です。

■技術開発の成果を結集した斜坑 TBM

揚水発電所の水圧管路斜坑掘削も手掘り、レイスクライマー(アリマック工法)からTBM工法へと機械化し、大断面が可能となり、より速く、より安全な施工実績をあげています。

TBM工法による斜坑掘削は、発注者、施工者、メーカーなどが一体となって取組み、東京電力(株)発注の塩原揚水発電所(栃木県)、葛野川揚水発電所(山梨県)、神流川揚水発電所(群馬県)の新設工事で段階的に積み重ねてレベルアップしてきた技術です。

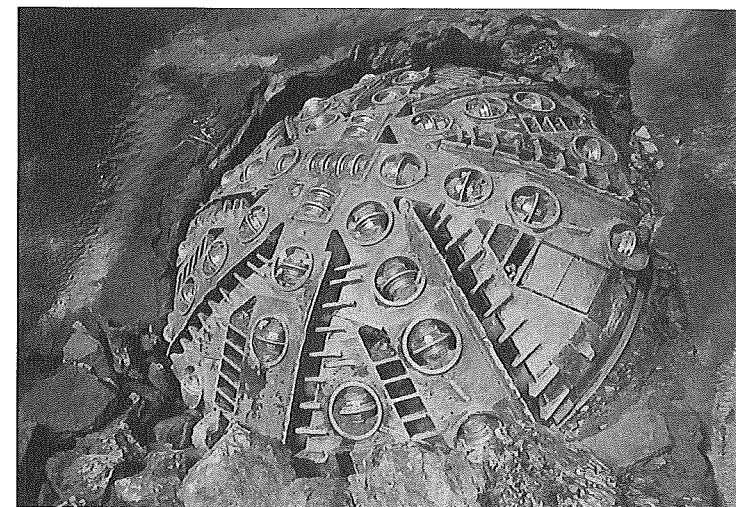
斜坑TBM工法は、揚水発電所の水圧管路に代表される急勾配トンネル(約50°)を安全に速く掘るために開発された技術です。従来の斜坑掘削は、最初に小断面の導坑を下方から上向きに掘削した後、



神流川斜坑切羽のカッター軌跡



神流川斜坑の昇降設備



神流川斜坑貫通

その導坑をずり出し坑として使いながら、上方から下向きに発破で切り抜けを行いました。最初の塩原発電所では、もっとも危険な切り上がりの導坑掘削をTBMで機械掘削し、安全性を確保するとともに施工速度も向上できました。

2番目の葛野川発電所では、さらに機械化を進め、パイロットTBMで下から上に導坑を掘削した後、大口径のリーミングTBMにより上から下に向かって所定の断面に切り抜け掘削を行いました。安全性や施工速度の向上はもとより、発破損傷のない高品質な斜坑掘削が実現しました。このことは、斜坑壁から反力をとる水圧鉄管にとっても有利に働きました。

3番目の神流川発電所では、さらに技術開発の目標を高め、究極の斜坑掘削工法である全断面斜坑TBM工法にチャレンジしました。これは、下方から上向きに掘削する1工程だけで斜坑掘削(全断面掘削)を行う工法です。掘削断面が大きくなった分、崩落の危険度が増しましたが、全周を円筒外殻で覆ったフルシールド型TBMを採用し、万一の崩落にも対応できる十分なトルクと推力を装備させました。また、カッタヘッドの開口率調整機構を設けてずり取り込み量の制御を行うことにより崩落を抑制しました。ハードルの高い技術でしたが、延長約1kmの斜坑2本を無事に掘削できました。

このように、回を重ねるごとに技術開発のレベルを高めプロジェクトを成功に導いたのは、発注者の方々のチャレンジ精神を源泉と

項目/地点	今市	塩原	葛野川	神流川
地質	砂岩、粘板岩、石英閃緑岩	流紋岩、流紋岩質凝灰角礫岩	砂岩、泥岩互層	泥岩基質混在岩 (砂岩、チャート、玄武岩、 石灰岩、泥岩)
掘削工法	導坑	クライマー工法〔発破〕	TBM工法(φ2.3m)切上がり	TBM工法(φ2.7m)切上がり
	切り上げ	NATM〔発破〕	NATM〔発破〕	TBM工法(φ7.0m)切下がり
掘削速度	導坑	73m/月 (最大91m/月)	68m/月 (最大104m/月)	115m/月 (最大166m/月)
	切り上げ	30m/月 (全断面平均) 53m/月 (最大79m/月)	25m/月 (全断面平均) 地質不良 による低下 38m/月 (最大71m/月)	52m/月 (全断面平均) 94m/月 (最大173m/月)
施工方法	切り上げ断面 導坑 2.2×2.2m 切り上げ 6.7m		切り上げ断面 導坑 2.3m 切り上げ 7.5m	
	導坑① 作業員 レックドリル クライマー		導坑① パイロットTBM ドリフト ガントリージャンボ	
	導坑② 作業員 レックドリル		導坑② パイロットTBM リーミングTBM	
			全断面TBM	

斜坑掘削工事の概要と技術の変遷

する関係者の熱意と努力の賜物であり、与えられた仕事を単純にこなすのではなく、常に向上心を備えた創意・工夫にあったと、工事概要や施工写真を見返しながらしみじみ思い出されます。

おわりに

最近、とみに頭の回転が弱くなったように感じているのですが、それでもなお気になるのは、トンネル現場での技術開発に取り組む熱意が低いように思えることです。山岳トンネルは、当初設計の地山区分決められた支保パターンに沿って施工すればそれでよし、問題が発生すれば、そのときから原因や責任を追求する。このようなマニュアル至上主義の仕事の進め

方がすべてといった感じでありませぬ。

どのように事前の調査や準備が周到でも、どのトンネルにも工事着手後にいろいろな問題が起こるわけですから、発注者も、受注者もメーカーもすべての関係者が、それぞれのトンネル現場で力を合わせ、その問題点を議論し、解決にトライすることが技術の改良・開発に直結する道であると感じております。どうぞもっと実現場の状況(実情)を把握して貰いたいと強く希望します。

切羽前方の確実な予知、切羽の自立確保、切羽周辺の急速支保、長孔で地山にやさしい発破、手早い積み込みと搬出、効果的な排水処理、さらには、早く仕上げ

て長持ちする覆工、等々まだまだ多くの解決したい、いや、しなければならない問題があります。

それら具体的なトンネル技術の改良、開発の中から、ロボットによる無人掘削、さらには掘削と同時に覆工も完成するトンネル工法が夢でなくなると思います。

最後に、次世代を担う若手技術者は、技術的な基本原則に習熟され、現状のトンネル技術の継承に終わることなく、より良い技術を求めて改良・開発を積み重ねていただきますよう、また、自覚とプライド、使命感を持った方々が、時代の先駆けとなることは間違いなく、いかなる変化や問題にも柔軟かつ積極的に対応されんことを切に期待します。

計画

超近接長距離併設シールドトンネルの設計

—阪神高速大和川線シールドトンネル—

阪神高速道路(株)建設事業本部建設技術課(堺設計担当) 志村 敦
 阪神高速道路(株)建設事業本部建設技術課(堺設計担当) 藤原 勝也
 阪神高速道路(株)建設事業本部堺建設部大和川線建設事務所 辻野 博史
 鹿島・飛鳥建設工事共同企業体大和川シールドJV工事事務所 岩住 知一

1 はじめに

大阪の高速道路網は、阪神高速1号環状線を中心としたネットワークとなっており、交通が都心部に集中し慢性的な渋滞を引き起こしている。また、堺および松原市域では、東西道路の整備が不十分のため、既存の幹線道路の渋滞が著しく、沿道環境への影響が懸念されている。

このため、自動車交通の流れを抜本的に変革し、都心部の慢性的な渋滞や沿道環境の悪化などを大

幅に改善する新たな環状道路の整備を行う必要がある。その整備により誘導される新たな都市拠点の形成を通じた都市構造の再編を促すことを目的として、政府の都市再生本部により、平成13年8月「大阪都心部における新たな環状道路=大阪都市再生環状道路」が都市再生プロジェクトとして決定された。

大和川線は、この「都市再生環状道路」の一部を形成する路線であり、堺市堺区築港八幡町で阪神高速道路4号湾岸線より分岐し、松原市三宅中で同14号松原線に連絡する延長約9.7kmの自動車専用道路である(図-1)。

2 大和川線の概要

2-1 路線の概要

大和川線は、大和川の景観保全、周辺市街地の環境への影響、沿道の土地利用との整合などを勘案し、4号湾岸線ならびに14号松原線との接続部を除いて、基本的に地下構造または掘削構造を採用している。

大和川線は、平成11年度に阪神高速道路公団が事業に着手したが、道路関係四公団民営化での事業区分見直し、ならびに堺市の政令指定都市移行に伴

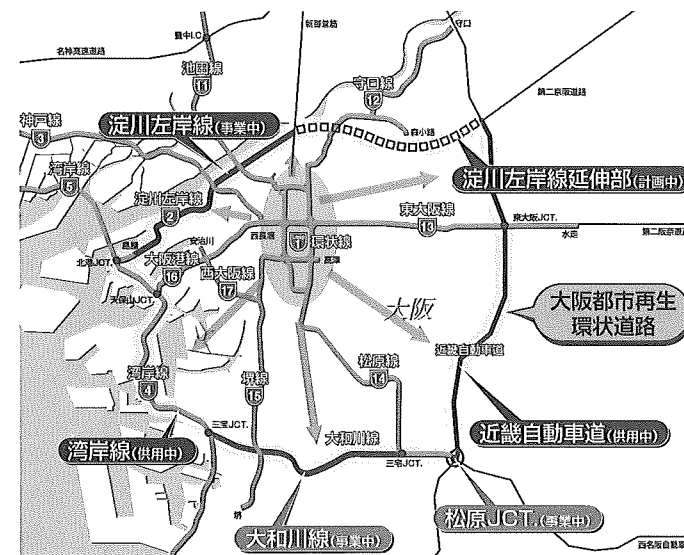


図-1 大和川線位置図

い、平成18年度より大阪府、堺市ならびに阪神高速道路(株)との三者が共同して整備を行うこととしている(堺市施工区間については、大阪府、阪神高速道路(株)が受託してそれぞれ施工)。

計画の概要を表-1に、トンネル構造・事業区分を図-2に示す。

地下構造区間は当初、全線開削トンネル構造としていた。しかしながら、南海高野線から近鉄南

表-1 計画の概要

名称	大阪府道高速大和川線
位置	堺市堺区築港八幡町～松原市三宅中
合併施行区間	堺市北区常磐町～松原市三宅中
道路の延長	9.7km
道路の区分	本線 第2種第1級(道路構造令)
	ランプ A規格(道路構造令)
車線数	本線 4車線
	ランプ 1車線
設計速度	本線 80km・60km/h
	ランプ 40km/h
道路構造	地下構造、掘削構造、高架構造

大阪線の交差部に至る約4.4kmの区間については、鉄道、浄水場などの重要施設が地表部に存在しており、シールド工法の方が経済的かつ工期も短いことから平成19年の都市計画変更時にシールド構造へ変更している(ただし、常磐西・東ランプ分合流部は開削トンネル構造)。

当初計画の開削トンネル幅内にてシールドトンネル線形を収めた結果、シールドトンネルの上下線間離隔は1m程度となった。これがシールド全延長にわたって連続することから、長距離・超近接の併設シールドトンネル構造となっている。

路線の平面線形は最小半径が400m程度で縦断勾配が最大3%となっており、線形としては直線区間が少なく、縦断・平面ともに曲線変化のあることが特徴である。

2-2 地質概要

大和川線のうち、シールドトンネルが位置する区間の地質縦断図を図-3に示す。シールド区間西端で上町断層による撓曲が見られる。一方それより東側の区間は洪積層を主体とする地盤であり、

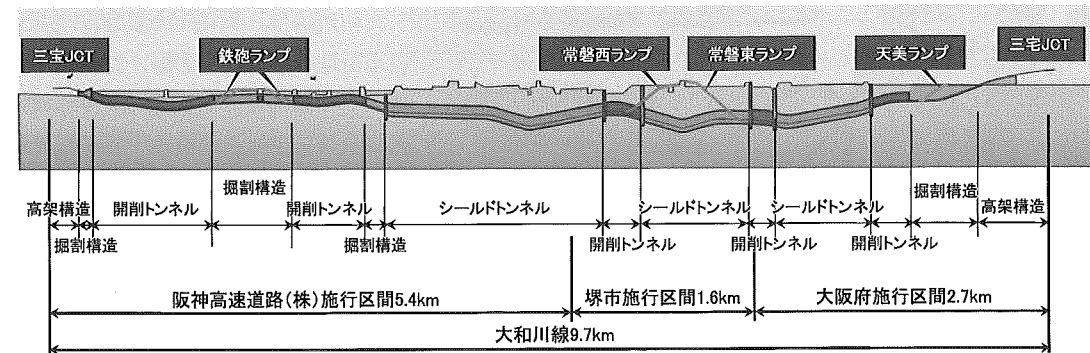
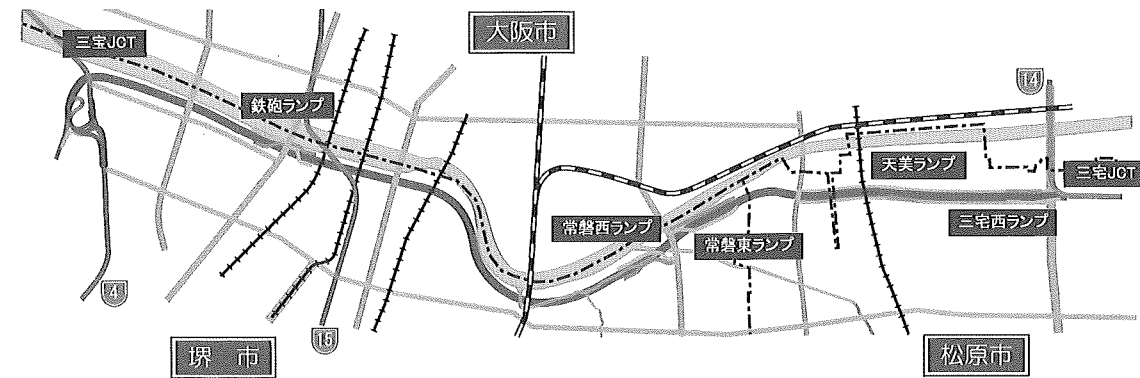


図-2 トンネル構造・事業区分

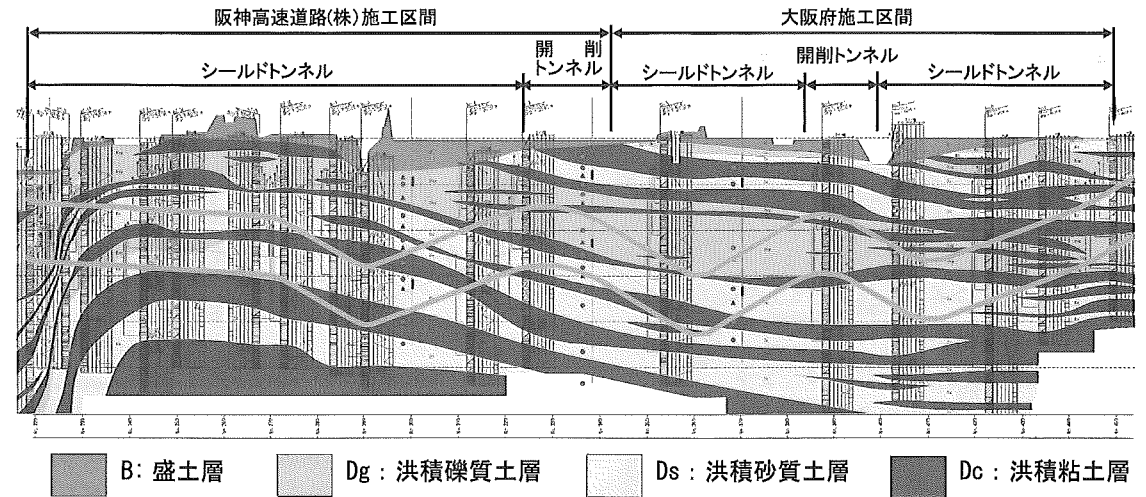


図-3 シールド区間の地質縦断図

シールドの位置する深さでは、良く締まった砂質土および礫質土と比較的硬い粘性土の互層状の地盤となっている。

3 併設影響の考慮

大和川線のシールドトンネルはセグメント外径が12.3mとなっており(阪神高速道路(株)の施工区間は技術提案により外径が12.23mに縮小;図-4)、大断面かつ超近接の併設シールドである。最小離隔はセグメント外径をDとすると0.08Dとなっている。

このような超近接で長距離を掘進するシールドトンネルはわが国でも例を見ないことから、併設影響については、以下のとおり検討を行った。

なお、本設計手法については、「大和川線トンネル技術委員会(委員長:大西有三・京都大学副学長)」において審議をいただき、『シールドトンネル設計マニュアル』¹⁾(以下『設計マニュアル』)として制定した。

3-1 後行トンネル施工による先行トンネルへの影響検討

土かぶり大きいシールドトンネルの場合、トンネル上部の土柱が隣接する地盤に支持されることにより鉛直土圧が減少すると考えてほとんどが緩み土圧を適用できる。併設トンネルの場合には、この土柱を支えている隣接地盤中にトンネルが掘

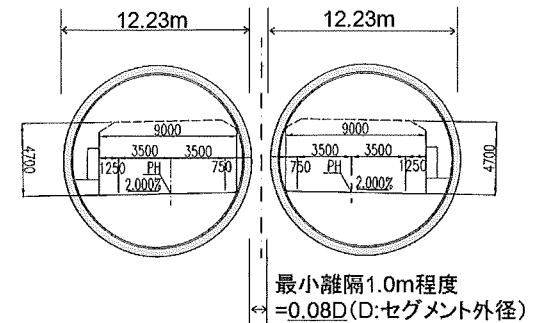


図-4 シールド断面と併設離隔

削されることになるので応力の再配分が生じ、先行トンネルに作用する緩み土圧が増加する。また、後行トンネルについても緩み土圧が作用するが、単一トンネルの場合とは異なったものとなる。さらに、側方の土圧や地盤反力についても地盤の変位や地山の乱れによる強度低下に伴って増減することとなる。

併設トンネルの影響検討については、適宜応力解放率を設定し、2次元FEM解析にて行われる場合が多いが、課題として以下のものが挙げられる。

- ・シールド掘進時の実際の地山状況として、①切羽前面での地山応力解放、②シールド通過時の地山応力解放、③裏込め注入時(テールボイド発生時)の地山応力解放、の大きく分けて3段階の地山応力解放が行われるが、これらをトンネル掘削時の応力解放率のみで評

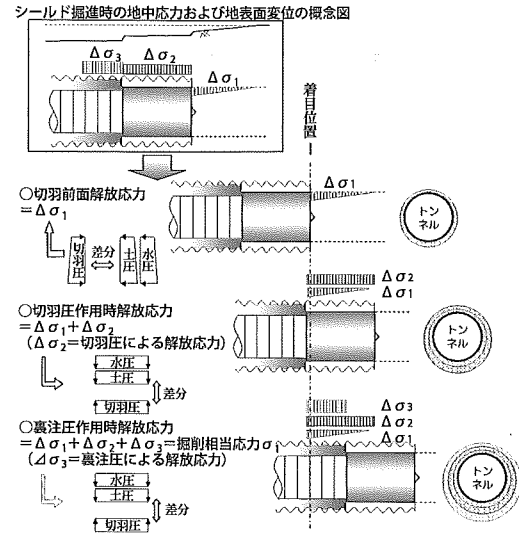


図-5 施工過程を考慮した掘削相当応力の概念図

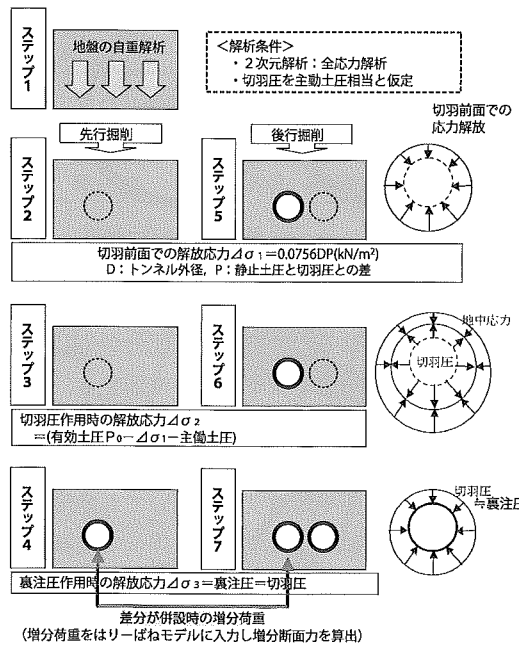


図-6 施工過程を考慮したFEM解析ステップ

値することの妥当性が不明確。

・解析結果が上記の応力解放率の大小で大きく左右されるが、地山の状況や土圧などを明確に考慮して設定することが困難。

上記手法の課題点への対応として、大和川線の併設シールドトンネルではシールド掘進時の実際の地山状況を加味し、シールド掘進時の施工過程を考慮した掘削相当応力(図-5)およびFEM解析

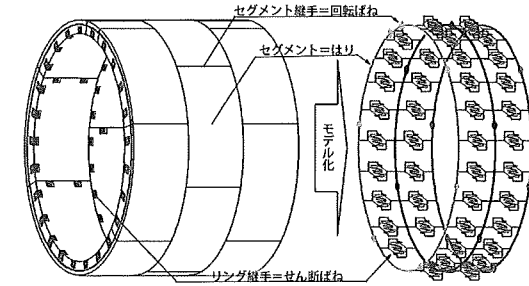


図-7 はりばねモデル

ステップ(図-6)を用いて行うこととした。

また、併設影響の算出は、セグメント継手部およびリング継手部の併設影響が評価可能な手法として、FEM解析で得られた増分地中応力を抽出し、はりばねモデルに作用させて行った(図-7)。

3-2 併設影響による後行トンネルへの影響検討

併設トンネルの場合、地中応力の再配分の観点から、トンネルに作用する土圧は先行トンネルだけでなく後行トンネルにも影響を及ぼすことが考えられる。本路線の地盤を対象として検討した結果、後行トンネルに作用する土圧は単設時の緩み土圧よりも約20%程度大きくなっており、併設影響として設計鉛直土圧を割り増すこととした。

4 阪神高速道路(株)施工区間の工事概要

阪神高速道路(株)が施工するシールドトンネル区間は南海高野線の西側に位置する立坑から発進し、常磐西ランプの西側に位置する立坑にて転回したのち、発進立坑に到達する計画である(図-8)。シールドの工期延長は約2km、掘進延長は約4kmであり、長距離の併設シールドトンネルである。

4-1 覆工構造概要

本シールドトンネルの内空断面は、非常駐車帯で最大限確保する必要がある。ここに覆工については、合成セグメントなどの薄いセグメントを使用してシールド外径も縮小するか、RCセグメントなどの厚いセグメントを使用してシールド外径も拡大する、いずれかの手法が考えられる。工事

発注時点での経済比較の結果、合成セグメントを使用することがもっとも経済的と判断した。なお、入札時の技術提案において、内空断面の確保が可能な区間についてはRCセグメントに変更している。

トンネル断面を図-9、セグメント断面を図-10、セグメント諸元を表-2に示す。セグメントは8個のA・Bセグメントと1個のKセグメントにより分割している。

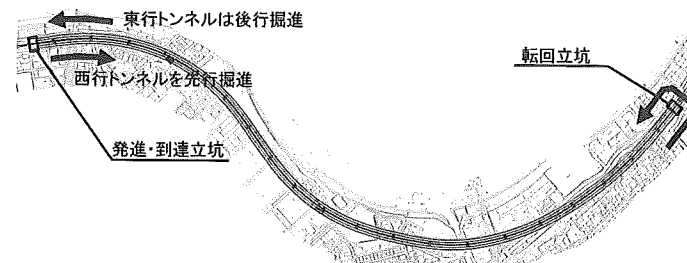


図-8 シールドの発進～転回～到達概略図

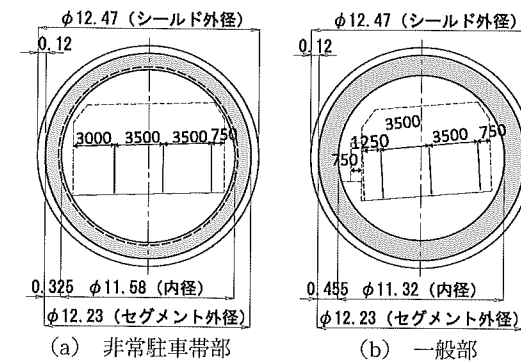
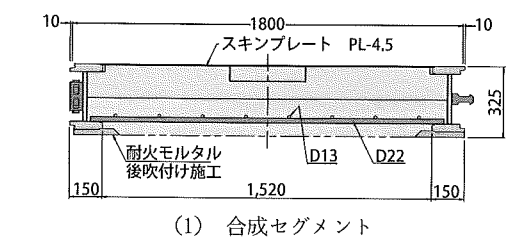
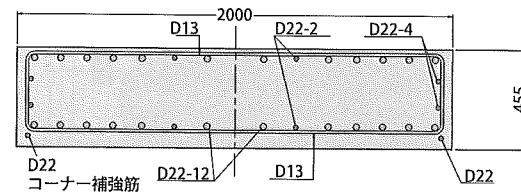


図-9 トンネル断面図



(1) 合成セグメント



(2) RCセグメント

図-10 セグメント断面図

なお、コスト縮減の観点から、2次覆工を省略しているため耐火機能を別途確保する必要があるが、セグメントに有機繊維を混入したコンクリートを使用してその機能を確保することとしている。耐火性能については、『設計マニュアル』にもとづき、RABT時間-温度曲線(図-11)を用いた条件下での実験により、セグメントを構成する各部材が、許容温度以下(表-3)となることを確認している。

4-2 シールドの仕様

本工事で使用するシールドを写真-1に、シールドの仕様を表-4に示す。

シールド形式は泥土圧式でシールド本体の外径は12.47mである(図-12)。長距離掘進への対応として、ビットの損耗量をリアルタイムに把握するため、ビット先端に摩耗検知装置を搭載して

表-2 セグメント諸元

種別	外径(mm)	厚さ(mm)	幅(mm)	継手構造	備考
合成セグメント	12,230	325	1,800	嵌合	耐火型
RCセグメント	12,230	455	2,000	ピン(リング間), コーンコネクター(セグメント間)	耐火型

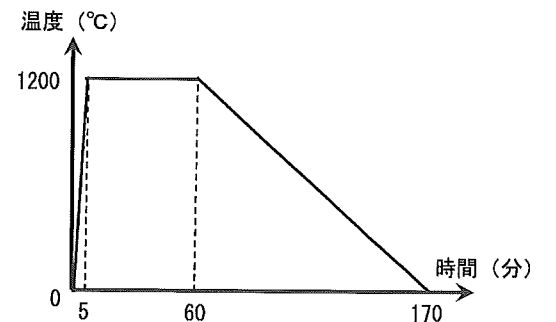


図-11 RABT時間-温度曲線

表-3 セグメントを構成する部材の最高温度

部材	温度	照査位置
コンクリート	350°C以内	部材内
鋼材	300°C以内	部材内
止水ゴム	ゴムの性能による許容温度以内	地山側止水位置

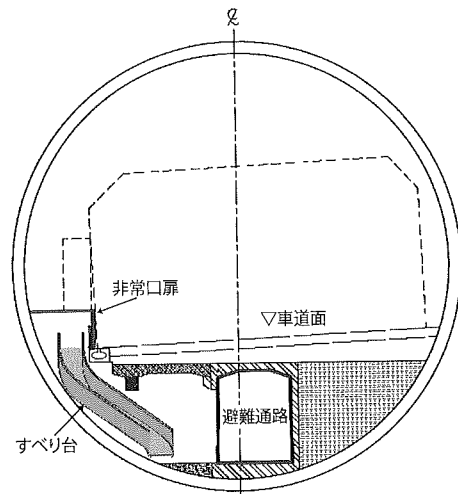


図-18 すべり台形式

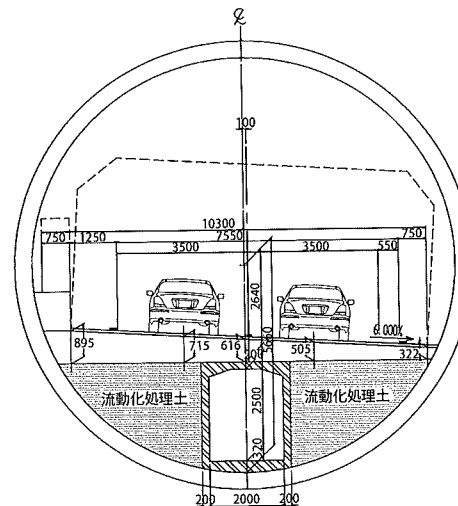


図-19 避難通路一般部

ら、別途実物大模型(写真-3)を製作し、使用性などの確認を実施した³⁾。

6 おわりに

大和川線は、平成19年度より工事発注を進め、順次工事に着手している。阪神高速道路(株)施工のシールドトンネルは発進に向けて現在準備を進めているところである。

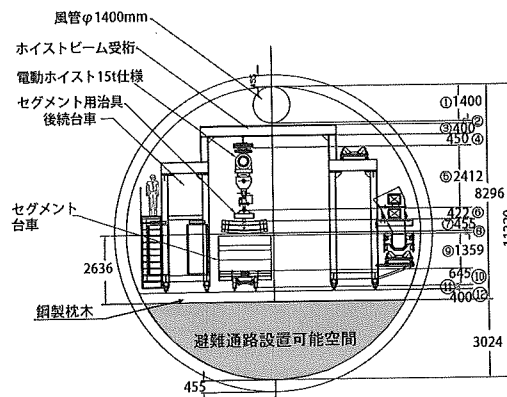


図-20 軌条設備と避難通路設置可能空間

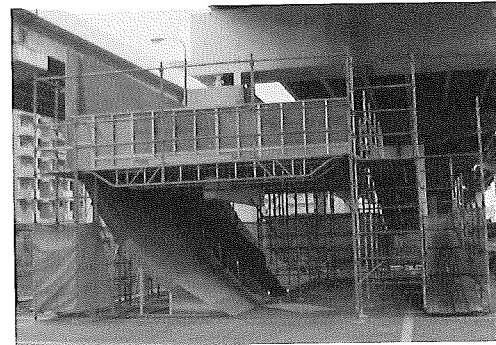


写真-3 すべり台実験用実物大模型

本シールドトンネルはわが国でも例のない、超近接長距離併設シールドトンネルであるため、掘進にあたっては各種の計測を実施することを考えている。これにより掘進時の施工管理はもちろんのこと、『設計マニュアル』における併設影響検討の妥当性を検証していきたい。

参考文献

- 1) 阪神高速道路(株)：シールドトンネル設計マニュアル，2007.8.
- 2) 志村敦・広瀬鉄夫・岡崎展也：大和川線トンネル避難設備構造概要，第28回日本道路会議，2009.10.
- 3) 志村敦・仲義史・藤原勝也：阪神高速大和川線シールドトンネルにおける避難設備の検討，土木学会第65回年次学術講演会，2010.9.

土木情報 No.449

今月の主な入札結果

(9月10日～10月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
北陸農政局	九頭竜川下流(二期)農業水利事業芝原2号用水路高木分水工	丸岡・轟JV	183.7
九州農政局	H22筑後川下流白石平野(二期)農業水利事業山脚導水路(古川横断工)	森本組	206.57
関東地整	さがみ縦貫相模原IC当麻地区改良	吉田組	240.6
中国地整	斐伊川放水路宇那手川函渠設置外	今岡工業	163
四国地整	H22-23岡崎川樋門新設	宮本建設	150.3
九州地整	東九州道(蒲江～県境)丸市尾T新設	前田建設工業	712.15
埼玉県	国道125号地域活力基盤創造交付金(改築)整備(地下横断道工その3)	小川工業	233
都・下水道局	文京区大塚三丁目、小石川五丁目付近再構築	ノバック	280.82
滋賀県	西部幹線上流3工区送水管	昭建	300
山口県	広域営農団地農道整備事業柳井大島地区立岩T建設	洋林・森野JV	302.07
千葉県下水道公社	館山市下町雨水幹線管渠建設	東急・岡部JV	105.7
水戸市	都第4号、都市下水路新設	横田・要JV	109
藤岡市	公下水管渠築造	青木土建	114.7
さいたま市	芝川第8処理分区下水道(北建-22-2002)	和光建設	156.62
"	芝川右岸第6-2排水区下水道(南建-22-31)	とどか建設	108.22
"	西口第2排水区下水道(北建-22-17)	佐伯・新興JV	248.33
川越市	新河岸第8-1号合流幹線貯留管築造(その1)	三上工務所	217.18
"	新河岸第8-2処理分区雨水貯留施設築造	中里組	106.65
横浜市	栄処理区川上第二雨水幹線下水道整備(その2)	西武・東海JV	203
"	港北処理区菅田雨水幹線下水道整備(その3)	青木あすなる・親和JV	705.49
"	南部処理区南太田地区下水道再整備(その2)	白崎建設	144.82
茅ヶ崎市	公下浜竹4丁目地内外(雨水)通常22-6	浅岡建設	119
三条市	公下補12号三条市公下事業裏館1雨水幹線	加賀田組	122.7
松本市	H22芳川小屋第1雨水幹線新設	清水口建設	113
神戸市	妙法寺川汚水幹線布設	大林・丸正JV	727
広島市	江波地区下水道築造22の6号	鴻池・河崎JV	565.8
高松市	仏生山第5雨水幹線(2工区)	青葉工業	106.24

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

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

トンネル工事を見守る山の神(5)

山の神と化粧木(その4)

東日本高速道路(株)技術部次長 阿部公一

金属鉱山の化粧柱と「坑口七柱神」

森崎和江は、幕府直轄の金属鉱山で山の役人であった武士階級の信仰について紹介している。金属鉱山の坑口に化粧柱が施され、それを「四ツ留」と呼んで神々が祀られた。鉱山によって多少の違いがあるが、4本の化粧柱ごとに、天照皇太神宮、春日大明神、八幡大菩薩、稲荷大明神、そして山神宮が祀られたという。山神宮が祀られたという化粧柱の一つは、やはり山の神の依代なのだろうか。

トンネル工事に従事した作業員の中に、坑口支保工に「坑口七柱神」が祀られると言い伝えられている。化粧木に薬師如来神、坑口左の1基目に不動明王神、坑口左の2基目に出雲大神、坑口左の3基目に天照大神、坑口右の1基目に地元神、坑口右の2基目に水天神、坑口右の3基目に大山神がそれぞれ鎮座するといひ、金属鉱山の坑口に坐る神々とのつながりを感じる。

化粧木の初見

さまざまな来歴が考えられる化粧木であるが、この化粧木は、トンネル掘削現場にいつのころから置かれるようになったのだろうか。置かれた当初から、現在のような形状・大きさだったものかなど、工事記録写真やベテランのトンネル工事従事者の記憶・言い伝えを頼りに辿ってみた。

日本人技術者が独力で掘削し近代トンネル建設の嚆矢となった栗子隧道は明治10(1877)年に工事を開始し明治14(1881)年に供用した。工事にあたっ

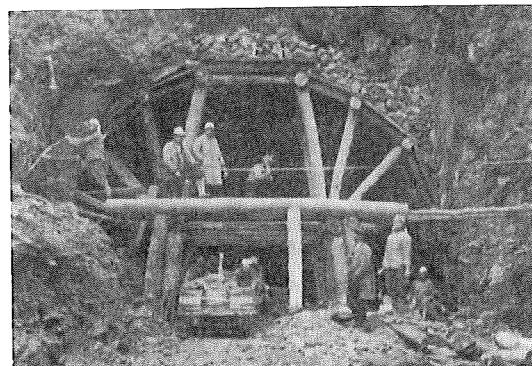
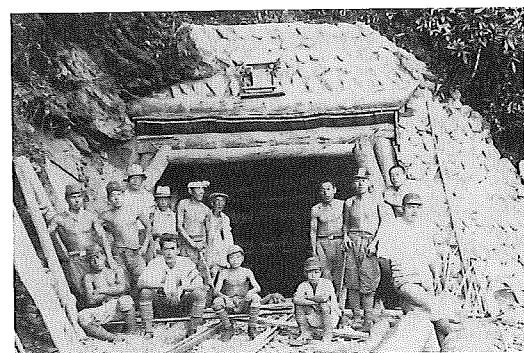
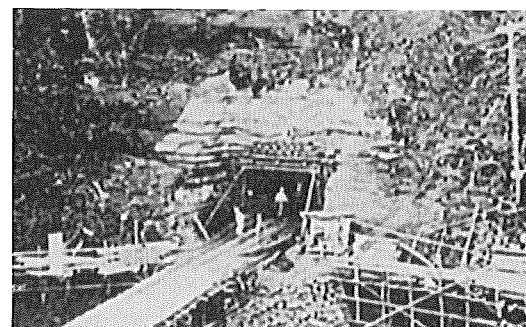
写真-6 栗子隧道拡幅工事(昭和9年工事開始)¹⁾

写真-7 化粧木の原形を思わせる昭和16年当時の坑口(M氏提供)

て、このトンネルの坑口に「山の神」の石碑が置かれ、山の神が祀られたことは連載第1回(2010年7月号)に前述したが、当時、工事の様子を描いた菅原白竜の絵に、化粧木は見当たらない。

さらに、この栗子隧道は、自動車交通に対応できるよう拡幅すべく、昭和9(1934)年より改築工事が本格的に開始された。そのときの坑口の様子を写した写真が残っているが、その坑口にも化粧木は見られない。

写真-8 国道13号栗子ハイウェイ・東栗子トンネル坑口²⁾

戦後の復興から、本格的な高度経済成長の時期を迎えつつあった昭和20年代には、現在の化粧木の原形ともいえる化粧木が現れたとの証言がある。この証言者は、先に紹介した「豊後土工」と呼ばれた大分県出身のトンネル掘削技能集団が、彼らの出身地にある宇佐神宮の鳥居形状を模して化粧木を据えてから、無事故・無災害で工事が進み、そのことが噂として流布し全国に伝播したという。

「豊後土工」の流れをくむトンネル専門工事会社のK建設が提供してくれた写真-7は、昭和16(1941)年に静岡県榛原郡川中根でのトンネル工事の様子であるが、このころもうすでに、鳥居を模した化粧木が定着していたともいわれ、今後さらに多くの記憶をたどる必要があるようだ。

本格的なモータリゼーション時代を迎え、それまでの栗子隧道(万世大路)に替えて、国道13号栗子ハイウェイが建設され、昭和41(1966)年に開通した。その区間にある東栗子トンネル(延長2,376m)は、昭和38(1963)年10月、福島側坑口において掘削が開始されたが、掘削工事を担当したトンネル工事会社から提供された導坑の写真を見ると、化粧木を確認できる。この化粧木は最近の化粧木よりも一段と長く、先に紹介した昭和20年前後の化粧木と同様な形状をしていて、鳥居の一部材のような振る舞いをしている。

アンケート調査の回答の大部分は、化粧木が置かれ始めた時期は「わからない」というが、四、五十年間トンネル工事に従事した者の一部は、昭和30年代初期や昭和40年代の新幹線工事に、化粧

木があったと具体的に証言しており、このころには各地のトンネル工事に化粧木が定着していたと考えられる。

炭鉱の「芝はぐり」に見られる山の神の依代や、昭和20年代ごろに一部の技能集団が神域を明示する鳥居の形状を模したのが化粧木の原形となり、昭和30年代後半以降、全国で多くのトンネルが建設されるに至り、現在の化粧木の形が定着したと考えたいが、さらに多くの工事関係者の記憶・証言を集めて検証することが必要である。

化粧木の作成・化粧木の形

一般に化粧木は反りのある丸太材を、両端が角のように加工して、できるだけ左右対称に見えるように置かれる。よく見ると左右非対称で、多くは向かって右側が太くさらに左側よりちょっと高めになるように置くことが多いが、中にはその逆の例もあるようだ。

化粧木の大きさは、「基本的には3尺6寸5分≒1.20m」とする意見があるが³⁾、特段の決まりはなさそうだ。

その形に込められた由来や意味は、化粧木の来歴に密接に関係しているが、両端を角のように加工して反増のついた鳥居の笠木と酷似していることは前述したとおりである。

その他、化粧木の由来を山の神が好きな「男根」だとし、太く反りのある形が大事という意見や、「強さ」「天を仰ぐ」様子を表現するという意見もある。

不知火型の土俵入りのように固くて生命力に溢れる反りが理想的ともいい、このような反りのある松丸太は松の木の根元付近から得られるという。

参考文献

- 1) 建設省福島工事事務所：福島県直轄国道改修史 昭和6年～昭和37年、1965.3.
- 2) 吉越治雄編：栗子峠にみる道づくりの歴史、東北建設協会、1999.3.
- 3) 寅次郎の徒然草、<http://blog.livedoor.jp/torajiro0421>

トンネルジャーナル

横浜ゴムがCSRレポート発行

横浜ゴムは、横浜ゴムグループのCSR（企業の社会的責任）活動をまとめた「CSRレポート2010」を9月3日に発行した。

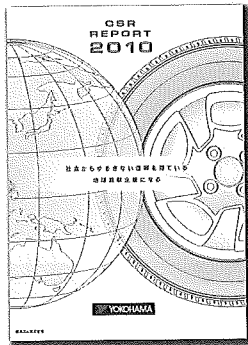
横浜ゴムグループは「社会からゆるぎない信頼を得ている地球貢献企業になる」ことをCSR経営ビジョンに据えている。こうした企業姿勢をわかりやすく伝えるため、冊子版のCSRレポート2010（全32ページ）では、昨年同様、「モノづくりによる環境貢献」と「人、社会からゆるぎない信頼を得るために」の2つの特集を設け、具体的な事例とそれらを実現する従業員の姿や思いを中心に掲載した。

「モノづくりによる環境貢献」では、商品をつくる従業員の姿から商品が社会でどのように活躍して

いるかを掲載し、商品を通じて果たしている環境貢献を紹介している。

「人、社会からゆるぎない信頼を得るために」では若手従業員の座談会を実施し、同テーマを実現するために若手従業員が考える未来像やアイデアを掲載した。

そのほか、世界中で展開している「YOKOHAMA千年の杜プロジェクト」など読者に伝えたいことを紹介している。



和佐又トンネル貫通

近畿地整奈良国道事務所が、直轄権限代行として事業を行っている国道169号上北山道路の和佐又トンネルが、9月10日貫通した。

同トンネルは奈良県吉野郡上北山村西原に位置する924mの2車線トンネル。昨年の8月に掘削を開始し、13か月を経て貫通に至った。平均月進は71mで最大月進が123.6m。

地山は頁岩優勢の頁岩砂岩互層で、CII-bを発破方式により補助ベンチ付き全断面掘削、DI-bおよびDIIIaを機械方式により上半先進ベンチカットを用いて掘削した。坑口から480m地点で300L/minの突発湧水に遭遇したが1週間ほどで終息している。また坑口付近の土砂と軟岩の境界部で約3mにわたり天端部の抜け落ちが発生したため、採用していた充填式フォアポーリングを注入式に変更した。

同路線の位置する地山が岩盤地すべり性崩壊を起こしやすい不安定な地質であることから、斜角のある坑口の施工には特別に配慮して施工を行った。偏土圧対策としてソイルセメントによる押さえ盛土を施工したほか、発破振動による地すべりの誘発を防止するため、制御発破と発破振動管理で発破振動を1kine以下に抑え、D級地山については機械掘削に変更した。また、掘削による地すべりの兆候を早期に把握するため、坑口部の地山変位について24時間リアルタイムで計測を行った。



写真提供：奈良国道事務所

西原地区（トンネル北坑口より南へ約300m付近の現道部）では2007年1月に、現道西側の斜面が高さ35m、幅25mにわたって大規模に崩落し、その後約3か月間の前面通行止めを余儀なくされ、住民生活、地域産業に多大な影響を及ぼした。また、現国道169号の本地区周辺で通行止めとなった際の迂回路である県道も、狭隘なため離合が困難など、円滑な交通を確保できていない。

国土交通省では、土砂崩落が多発する当該区間の抜本的な恒久対策として、被災箇所をトンネルにより迂回する全長1.1kmのバイパスを計画し、2007年10月から事業を開始している。このたびの貫通により、早期開通に弾みがつくものと期待されている。

研究

山岳トンネルへの曲面切羽の適用に関する解析的検討

(株)熊谷組土木事業本部トンネル技術部担当課長 森崎泰隆
東京都立大学名誉教授、(財)国土技術研究センター顧問 今田徹

1 はじめに

技術は常に変化し、発展を遂げている。しかし、一定の速度で発展するのではなく、他の種々の要因によって段階的に発展する¹⁾。トンネル技術も例外でなく、過去の大きな技術的な変革期を経て発展を遂げている。最近もトンネル技術は地味であるが大きく変化している。

トンネルは地山という自然に存在する材料を用いて構築される構造物であり、その設計・施工は基本的に地山の特性に支配される。地山は軟弱地盤から硬岩まで多様であり、現状では、その特性を把握することは容易ではないという特徴を持っている。そのため、設計や施工にあたっての定量的な評価は難しく、経験や技術的判断にゆだねられることも多い。このような中で色々な考え方や工法を生み、試行錯誤をくり返しながらトンネル技術は発展を遂げている。新しい材料の出現や施工機械の能力の向上が技術発展の基礎であることは言うまでもないが、工法に対する考え方もきわめて重要な要素である。これらの結果として、従来は避けなければならなかったことが逆に現在では常識となりつつあるものもある。その一例は、不良地山で変位を抑制する必要がある場合の全断面早期閉合などである。これは地山の補強技術の発展によるところが大きい。

本稿は、山岳トンネルの設計の考え方が二次元的思考から三次元的思考へ変化していることを述

べたうえで、切羽の安定性に着目し、その形状について数値解析を用いて検討するものである。具体には、切羽の形状を曲面にした場合の安定性について考察した結果を記述する。

トンネル設計の考え方の変化 (二次元的思考から三次元的思

2 考へ)

2-1 吹付けコンクリートとロックボルトの採用

1976年にわが国に初めてNATMが導入されて以来²⁾、30年以上が経過した。NATMの採用により吹付けコンクリートとロックボルトが主要な支保工となり、それは支保工の設計の考え方に大きな変化をもたらした。矢板工法では、トンネルの掘削により緩んだ地山をトンネル断面の内側から支えて地山の安定を図るというものであった。しかし、ロックボルトは断面の内側から緩んだ地山を支えるというという概念だけで考えるには無理があり、地山を補強してトンネルの安定を保つと考えた方が自然である。さらに、吹付けコンクリートは地山に密着していることから、地山と一体となってトンネルの安定化に寄与していると考えられる。このことは、トンネルの設計時の関心事が支保構造そのものの耐荷力からトンネル周辺地山のトンネル掘削に伴う応力の再配分問題へと移ったことを意味している。つまり、吹付けコンクリートとロックボルトを主体とした工法は

支保材料の変化のみでなく、設計の考え方にも変化を及ぼした。

2-2 二次元的思考から三次元的思考へ

NATMが導入されて以来、その主要な支保部材である吹付けコンクリートやロックボルトの改良が行われ、現在では、より信頼性の高い技術となった。NATMが導入されたときの設計の視点は、トンネルの断面内での地山、支保を含めたトンネルの安定問題であり、言わば二次元的な思考である。これは、トンネルが最終的に安定するかどうかに着目した検討である。近年では、地山の安定化技術が発展し、その結果、トンネル掘削の基本を変えようとしている。地山が不良で、支保工施工までの自立性が保てない場合は、断面を分割して小断面で施工することが原則であったが、現在ではロックボルト技術の延長線上で掘削前に地山をあらかじめ補強する先受け工や鏡補強工と呼ばれる技術が開発された。これにより、地山の特性をそのまま受け入れるのではなく、切羽に必要な補強を行って、施工に必要な断面を確保する手法が用いられるようになってきている。トンネル施工の合理性を考えるうえでのポイントの一つは大型機械の効率的な使用である。地山補強工の発展は、この必要性に合致するものであり、「小断面分割」という従来の消極的な切羽の安定化対策から補強による切羽安定性の確保という積極的な対策を可能にしている。

切羽で生じる現象は、掘削進行に伴う地山と支保工の相互作用による三次元的な現象である。積

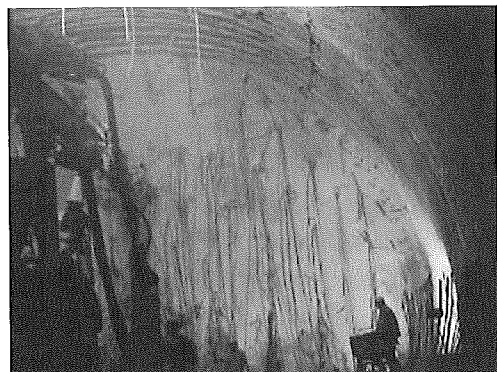


写真-1 切羽補強対策の事例

極的な切羽安定化を進めるためには、切羽で生じる現象の解明が必要であり、必然的に三次元的なアプローチが進められることになった。その結果、切羽の安定化が合理的な施工の観点のみでなく、力学的なトンネル挙動にきわめて重要であることが認識されるようになった。トンネルの掘削に伴う力学的な挙動は三次元的な概念で検討し、理解するようになってきている。

近年では、トンネル施工による変位を抑制する必要がある場合には全断面工法を採用し、切羽直近で断面を閉合する事例も多くなっている⁹⁾。このような場合、長尺鏡ボルトを打設する事例も多いが、地山がとくに不良な場合などでは打設本数が増加して工事費が高くなる。合理的なトンネル設計のため、さらなる鏡ボルトの開発も必要と考えられるが、本稿では、切羽の形状に着目して、曲面切羽により切羽の自立性向上を目的とした基礎的な検討を実施した。

3 曲面切羽についての検討

3-1 曲面切羽についての既往の研究

山岳トンネル工法に関する切羽の安定性に関する研究は多くなされている^{4)~8)}など。このほか、切羽面の形状に関しては、模型実験や数値解析を用いて種々の研究^{9)~11)}が実施されている。この中で西村ら^{9),10)}の研究では切羽形状の違いによる切羽近傍の地山内応力や切羽の崩壊に対する安定性について連続体地山を対象にした光弾性実験、粒状体地山を対象にした底面摩擦装置による実験を行い評価を行っている。その結果、連続体地山の場合は曲面の切羽が地山の安定に有利であること、粒状体地山の場合は、ベンチを設けることが有利であると結論づけている。また、平田ら¹¹⁾は有限差分法を用いた三次元弾塑性解析を実施して核残しと直立切羽、曲面切羽の効果を比較した結果、曲面切羽では、鏡吹付けコンクリートを施工することによる変位抑制効果が大きいことを示している。さらに、岩野ら^{12)~15)}は、自由断面掘削機を用いて掘削した現場において切羽の弾性波探査を実測し、曲面切羽の方が切羽前方の緩み領域が小

さくなくなると言及している。

本稿は、曲面切羽について基礎的な数値解析を実施し、評価したうえで、その力学的効果について検討を行うものである。

3-2 曲面切羽の効果に関する数値解析的検討

3-2-1 検討目的

トンネル切羽面の応力状態は、基本的に土かぶりや地山の特性に依存していると考えられる。本検討では、土かぶりや地山の特性が切羽部付近の応力状態に与える影響について検討する。また、曲面切羽の曲率が切羽面の応力状態や安定性に与える影響について考察する。これらの検討の結果、曲面切羽の効果、適用性について考察を行う。

3-2-2 検討条件、検討ケース

(1) 解析条件

解析手法は、三次元有限差分法¹⁶⁾による連続体解析とし、土かぶりや地山条件による曲面切羽の力学的効果の違いについて検討を実施した。一般に切羽の安定性を考える場合、亀裂などを考慮する必要があると考えられるが、

今回の検討は、曲面切羽の力学的効果についての基礎的な研究であるため、連続体解析を実施した。

(2) 解析モデル

図-1に解析に用いたモデル図の例を示す。トンネル断面は基礎的な検討であるため直径 $D=11m$ の真円とした。また、土かぶりは $1D(=11m)$ 、 $2D(=22m)$ 、 $3D(=33m)$ 、 $5D(=55m)$ 、 $10D(=110m)$ と変化させた。切羽面は、図-2に示すとおり直線切羽、曲面切羽($L=1m$ 、 $2m$ 、 $3m$)の4種類について検討を行った。

(3) 地山のモデル化

切羽周辺の地山の挙動はピーク強度以降の挙動

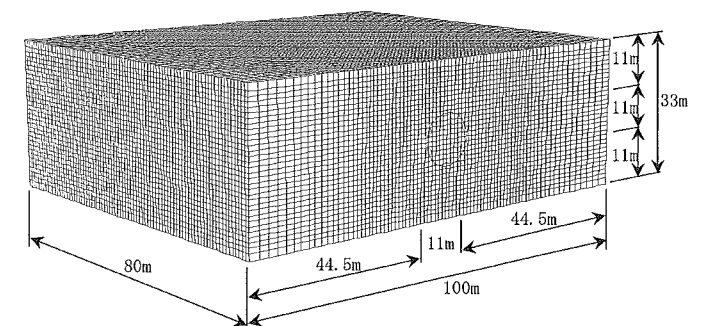


図-1 解析モデル全体

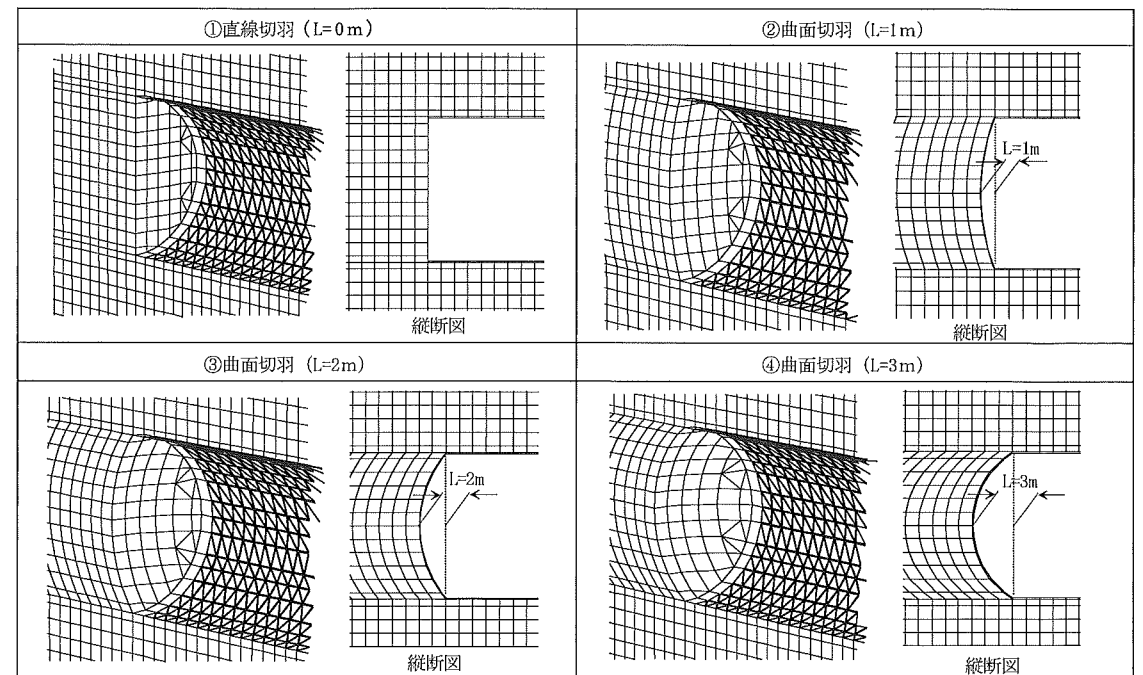


図-2 曲面切羽の解析モデル

(Post-Failure挙動)の特性に大きく支配される。軟岩の場合、ひずみ軟化挙動を示す¹⁷⁾ほか、その際にはダイレイタンスを伴うことが明らかにされている¹⁷⁾。これらの既往研究成果を参考に図-3~5に示すひずみ軟化モデル¹⁸⁾を採用した。図-4のひずみ軟化挙動を表現するために図-5(a)に示す降伏後に塑性せん断ひずみ e^{ps} の増加とともに粘着力 C が低下する概念を導入し、内部摩擦角 ϕ は一定とした。実際には図-5(b)に示すように線分の近似としてモデル化した。ここで、主塑性せん断ひずみから塑性せん断ひずみ e^{ps} は式(1)で導かれる。

$$e^{ps} = \left\{ \frac{1}{2}(e_1^p - e_m^p)^2 + \frac{1}{2}(e_m^p)^2 + \frac{1}{2}(e_3^p - e_m^p)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$e_m^p = \frac{1}{3}(e_1^p - e_3^p) \quad (2)$$

ここで、 e_1^p 、 e_3^p は塑性主ひずみを示す。

ダイレイタンス特性は塑性流動中の体積変化のことであり、式(3)で定義されるダイレイタンス角 Ψ ¹⁸⁾を用いて表現される。

これは、塑性せん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}^p$ と塑性体積ひずみ速度 \dot{e}_v^p の比として定義される。本検討では既往文献¹⁹⁾における試験結果をもとに Ψ の値を設定した。

$$\sin \Psi = \frac{\dot{e}_v^p}{\dot{\gamma}^p} \quad (3)$$

$$\dot{e}_v^p = \dot{e}_1^p + \dot{e}_2^p + \dot{e}_3^p \quad (4)$$

$$\dot{\gamma}^p = \sqrt{(\dot{e}_1^p - \dot{e}_2^p)^2 + (\dot{e}_2^p)^2} \quad (5)$$

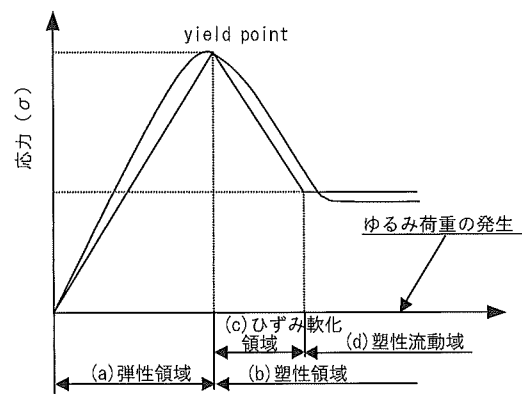
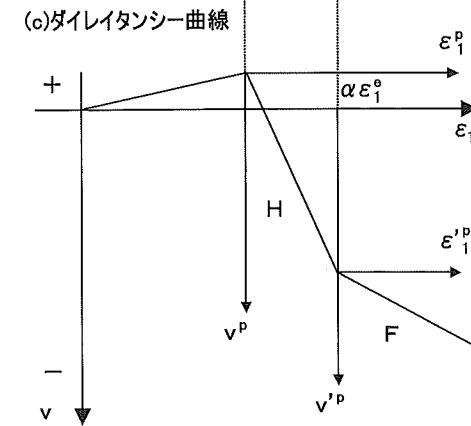
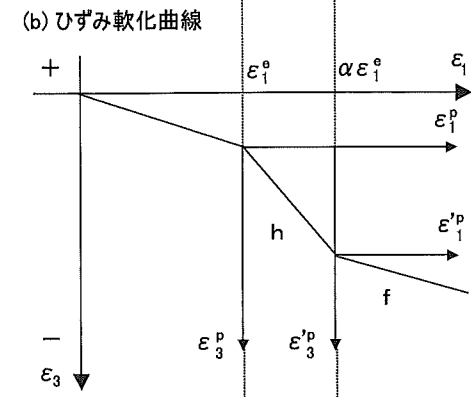
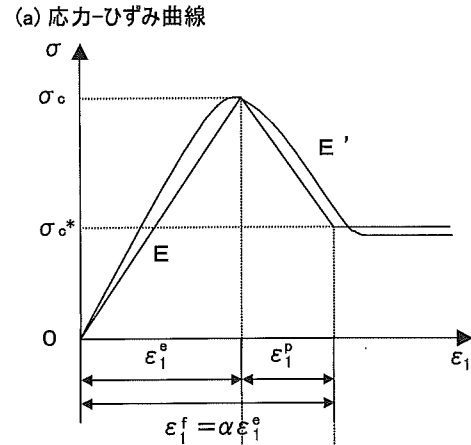


図-3 軟岩の応力-ひずみ関係



ϵ_1 : 軸ひずみ ϵ_3 : 側方ひずみ
 ϵ_1^f : 残留強度に達したときの軸ひずみ
 σ_c : ピーク強度 σ_c^* : 残留強度
 α : 脆性率 ($=\epsilon_1^f / \epsilon_1^o$)
 v : 体積ひずみ
 また、記号の右上の e は弾性、p は塑性を示す
 図-4 軟岩の強度と変形特性のモデル化

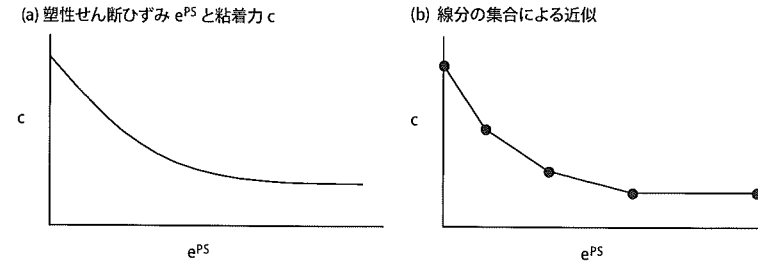


図-5 ひずみ軟化挙動の表現

表-1 地山の物性値

名称	単位	入力値
弾性係数 E	MPa	150
ポアソン比 ν	-	0.35
単位体積重量 γ	kN/m ³	20
内部摩擦角 ϕ	度	30
残留粘着力 C'	kN/m ²	$c/2$

※ $c=50\text{kN/m}^2$ については $c'=c/5$ および $c'=c$ についても検討を実施した

表-2 解析ケース

土かぶり H (m)	粘着力 C (kN/m ²)	地山強度比 $S_p = (q_u / \gamma H)$
11	100	1.57
11	50	0.79
22	100	0.79
22	50	0.39
33	100	0.52
33	50	0.26
55	500	1.57
55	100	0.31
55	50	0.16
110	100	0.16
110	50	0.08

表-3 支保工の物性値

項目	弾性係数 E (MPa)	断面積 (m ²)	厚さ (m)
吹付けコンクリート ($t=200$) + 鋼製支保工 (H150)	8,100	0.2	0.2

表-1に解析に用いた地山の物性値を示す。また、土かぶりと粘着力は表-2に示すケースを検討した。支保工は、吹付けコンクリートと鋼製支保工を合成断面として表-3のような物性値のシェル要素としてモデル化した。

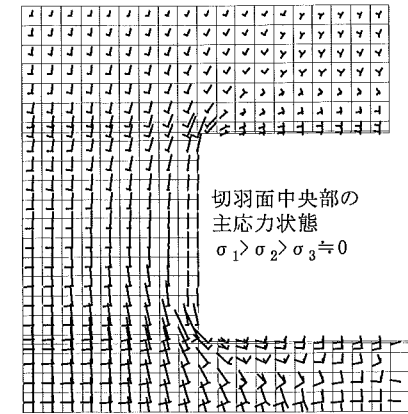
3-2-3 検討結果

(1) 切羽の主応力

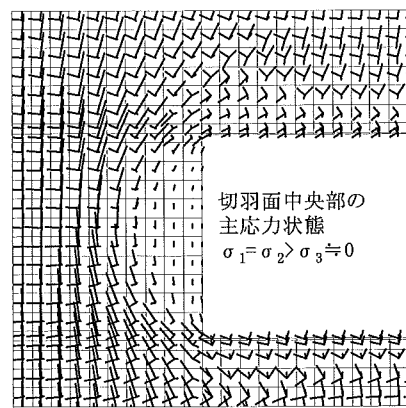
図-6に直線切羽における代表的な切羽面の主応力図(切羽中心鉛直断面)を示す。ここで、図中の「 $C=100 \rightarrow 50\text{kPa}$ 」の表示は、地山の粘着力が当初の $C=100\text{kPa}$ から残留強度時の $C=$

50kPaまで低下するケースを示している。図のように検討ケースの中で比較的地山強度比が大きい場合には図-6(a)のように切羽面における最大主応力は、ほぼ鉛直であるのに対して、若干、地山強度比が小さくなるにしたがい図-6(b)のように切羽面の主応力は、切羽面より5m程度奥の地山と比較して小さくなっている。図-7に図-6(a)、(b)のケースにおける切羽中心部の主応力の分布を示す。なお、主応力の方向は図-7(c)のとおりである。図-7(a)の場合には、切羽面付近で σ_3 が0になっても σ_1 の値は、ほぼ掘削前と同等であるのに対して、図-7(b)の場合には、切羽面付近で σ_3 が0になると、 σ_1 の値が掘削前と比較して大きく低下しており、それに伴い切羽面から5m付近の位置に σ_1 のピークが見られる。つまり、地山強度比が比較的大きい場合は切羽面の地山が荷重を分担して受け持っているのに対して、地山強度比が小さい場合は、切羽面付近での荷重分担が小さく、切羽面から奥の地山がその分を分担していると言える。切羽面付近と切羽から30m奥の地点における主応力の変化を図-8に示す。地山強度比の違いにより、切羽面の主応力状態に大きな差異が認められる。図-7(b)の場合では、切羽面の地山が荷重を分担して受け持つことができず、切羽面で最大主応力が小さくなり、図-6(b)のように切羽以奥の地山のアーチアクションにより安定を保っている。

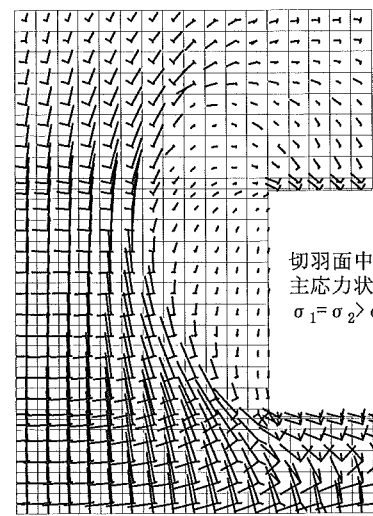
さらに、地山強度比が小さくなると図-6(c)のように切羽面付近でのアーチアクションの作用では安定を保つことができず、天端部の前方地山まで大きく主応力変化の影響が及んでいる。これは、既往の研究成果⁹⁾における模型実験などの切羽崩



(a) C=100→50kN/m², 土かぶり 11m, S_{rp}=1.57 の場合

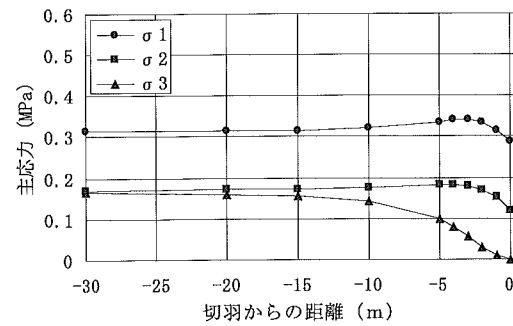


(b) C=100→50kN/m², 土かぶり 33m, S_{rp}=0.52 の場合

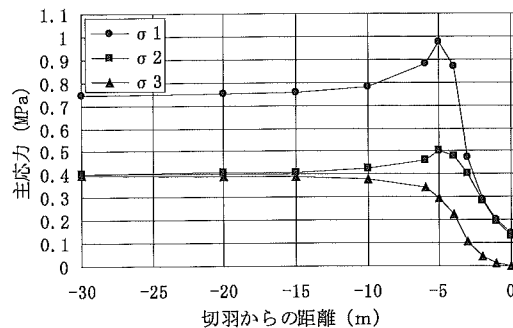


(c) C=50→10kN/m², 土かぶり 55m, S_{rp}=0.16 の場合

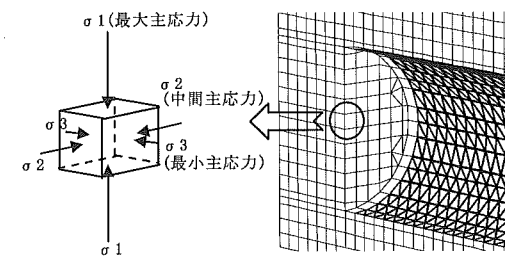
図-6 地山強度比と切羽面の主応力



(a) C=100→50kN/m² 土かぶり 11m S_{rp}=1.57 の場合



(b) C=100→50kN/m² 土かぶり 33m S_{rp}=0.52 の場合



(c) 切羽面地山の主応力の方向

図-7 切羽面付近の地山の主応力分布

壊状況とも合致した傾向であり、塑性化した地山が重力の影響により不安定化したものと考えられる。このような場合には何らかの天端部安定対策が必要となる。

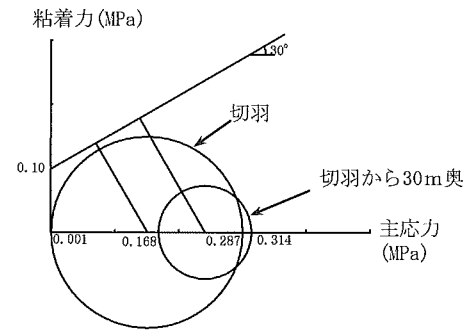
このように土かぶりや地山の特性によって切羽面における地山の応力状態には差異がある。これらの差異が曲面切羽の力学的効果に与える影響について検討を進める。

(2) 曲面切羽の効果

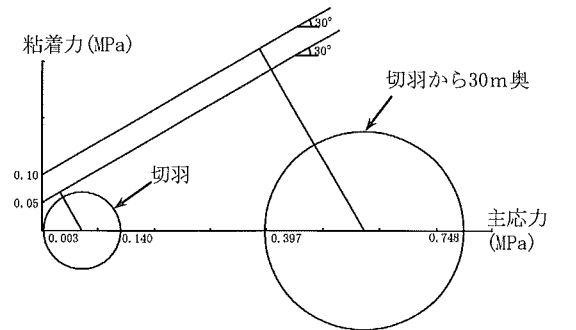
曲面切羽の効果は、図-6の(b)のような応力状

態の場合にとくに有効であると考え、図-6(a)のような応力状態の場合、切羽面の地山は図-7(a)のように最大主応力を保っており、相応の荷重を分担して地山の安定に寄与していると考えら

れる。しかし、図-6(b)のような応力状態の場合、図-7(b)に示すように切羽面において最大主応力は小さくなり、切羽より以奥の周辺地山によるアーチアクションの作用により荷重を分担している。



(a) C=100→50kN/m², 土かぶり 11m, S_{rp}=1.57 の場合



(b) C=100→50kN/m², 土かぶり 33m, S_{rp}=0.52 の場合

図-8 地山強度比による切羽面のモール応力円の変化

	直線切羽 (L=0m)	曲線切羽 (L=2m)	曲線切羽 (L=3m)
S _{rp} =1.57 H=11m C=100 →50kN/m ²			
S _{rp} =0.26 H=33m C=50 →25kN/m ²			
S _{rp} =0.16 H=55m C=50 →25kN/m ²			

図-9 代表的なケースの最大せん断ひずみの比較

つまり、このような場合には切羽面直近の地山はアーチアクションから取り残された部分であり、重力や地山の緩みによって不安定な状態に置かれることになる。

1) 最大せん断ひずみ

図-9に代表的なケースにおける地山の最大せん断ひずみの比較を示す。図中最上段は図-6(a)のケースであり、その他は図-6(b)と同様の主応力状態のケースである。最上段のケースでは

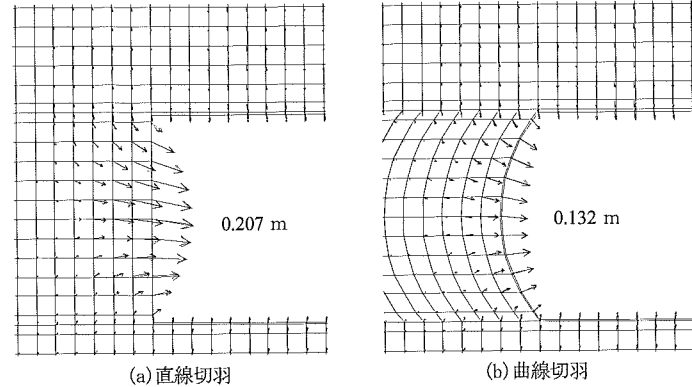


図-10 切羽形状と変位モード (C=50kPa→25kPa, 土かぶりH=33m)

直線切羽の方が曲面切羽と比較して最大せん断ひずみの値が小さくなっており、それ以外の図-6(b)にあたるケースでは、曲線切羽の方が最大せん断ひずみの値が小さくなっている。最上段のケースのように地山強度比が比較的大きい場合は、図-6(a)のように切羽面の地山も荷重を分担しているため、曲面切羽にすると曲面にして取り除いた箇所の地山が負担していた荷重を再配分する必要が生じ、曲面切羽の方がかえって最大せん断ひずみの値が大きくなると考えられる。これに対して、最上段以外のケースは、図-6(b)のような主応力状態の事例で、直線切羽の場合には切羽面における地山の荷重分担が少ないため、曲面切羽として切羽直近の地山を取り除いても応力を再配分される力が少なく、切羽面の最大せん断ひずみの値は小さくなっている。また、このようなケースでは直線切羽と比較して曲面切羽の方が切羽面における最大せん断ひずみの分布が比較的一様になることが特徴である。さらに、曲面切羽のL=1m, 2m, 3mを比較すると今回の地山条件においては、L=1m(ここでは示していないが)および2mは、ほぼ同様な分布であるのに対して、L=3mの場合は若干、最大せん断ひずみの値が大きくなる様子が伺える。これは、施工条件によって適正な曲率とすることが必要となることを示していると考えられ、今後、検討が必要である。

2) 切羽変位

図-10に直線切羽と曲面切羽の切羽変位モードを示す。直線では切羽の中央部の変位が極端に大

きいものに対して曲面切羽の場合には比較的切羽の位置による変位の差が小さくなっている。また、切羽変位の最大値は、図-6(a)の主応力状態の事例では直線切羽と曲面切羽で同等であったのに対して、図-6(b)の主応力状態の事例ではいずれも曲面切羽にすることにより18~40%切羽変位が抑制される結果となった(図-10は36%抑制)。

3) 鏡吹付けコンクリート

図-11にC=50→25kPa, H=33mにおける鏡吹付けコンクリートの効果を示す。直線切羽と比較して曲面切羽の方が最大せん断ひずみを大きく抑制していることがわかる。これは、吹付けコンクリートにアーチ作用が働き、大きな効果が期待できるためと考えられる。これに伴い切羽変位も図-10の鏡吹付けコンクリートなしの場合と比較して大きく抑制され切羽の安定性が向上すると考えられる。なお、本計算では効果をはっきりさせるために用いられるE=4,000MPaとしている。吹付けコンクリートは若材齢で効果を発揮していることを考えると本結果は効果が過大評価されている。

4) トンネル内空変位

図-12にトンネル内空変位、天端沈下の例を示す。図のように曲面切羽にすることにより、内空変位、天端沈下の値が大きくなっている。また、曲面をL=2m, 3mと増加させることにより内空変位、天端沈下とも大きくなっている。これは、曲面切羽とすることにより、切羽面と支保工設置位置が離れるためである。実施工で曲面切羽を採

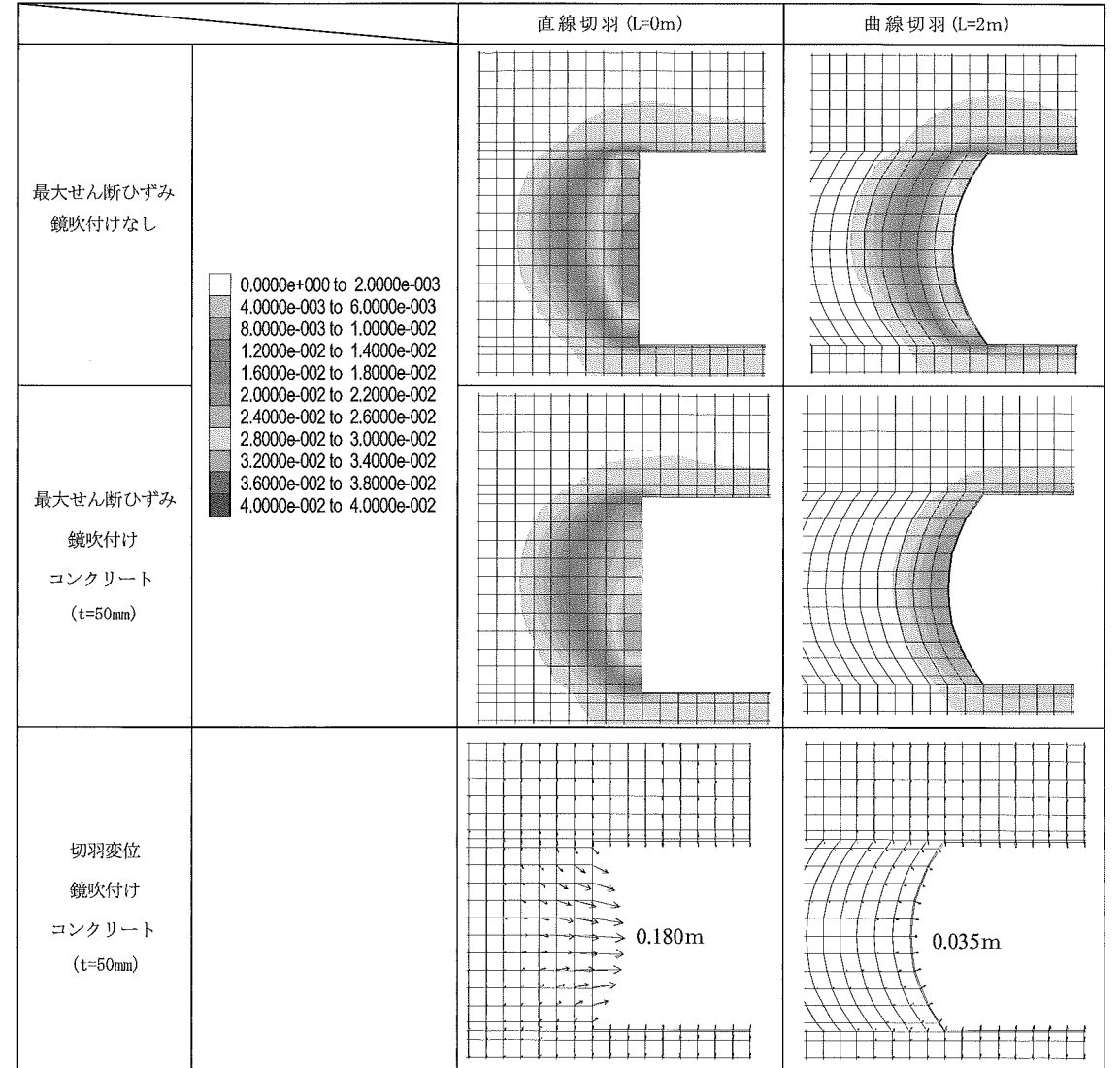


図-11 切羽形状と鏡吹付けコンクリートの効果 (C=50kPa→25kPa, 土かぶりH=33m)

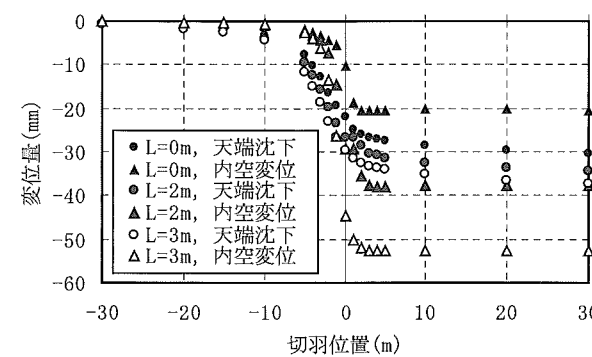


図-12 切羽形状と内空変位 (C=100kPa→50kPa, 土かぶりH=33m)

用する場合には、切羽の安定性のみでなく、内空変位、天端沈下量も合わせて総合的に検討し、より合理的な施工法を行う必要がある。

5) ピーク強度後の挙動の影響

図-13に地山のピーク強度後の挙動の差異が切羽のひずみや応力状態に与える影響を示す。図のようにピーク強度後の挙動の違い、すなわちひずみ軟化するかどうかにより当然ではあるが切羽面における主応力の状態に大きな差異が認められる。ピーク強度後に強度低下を考慮した場合は切羽面における最大主応力の値が小さ

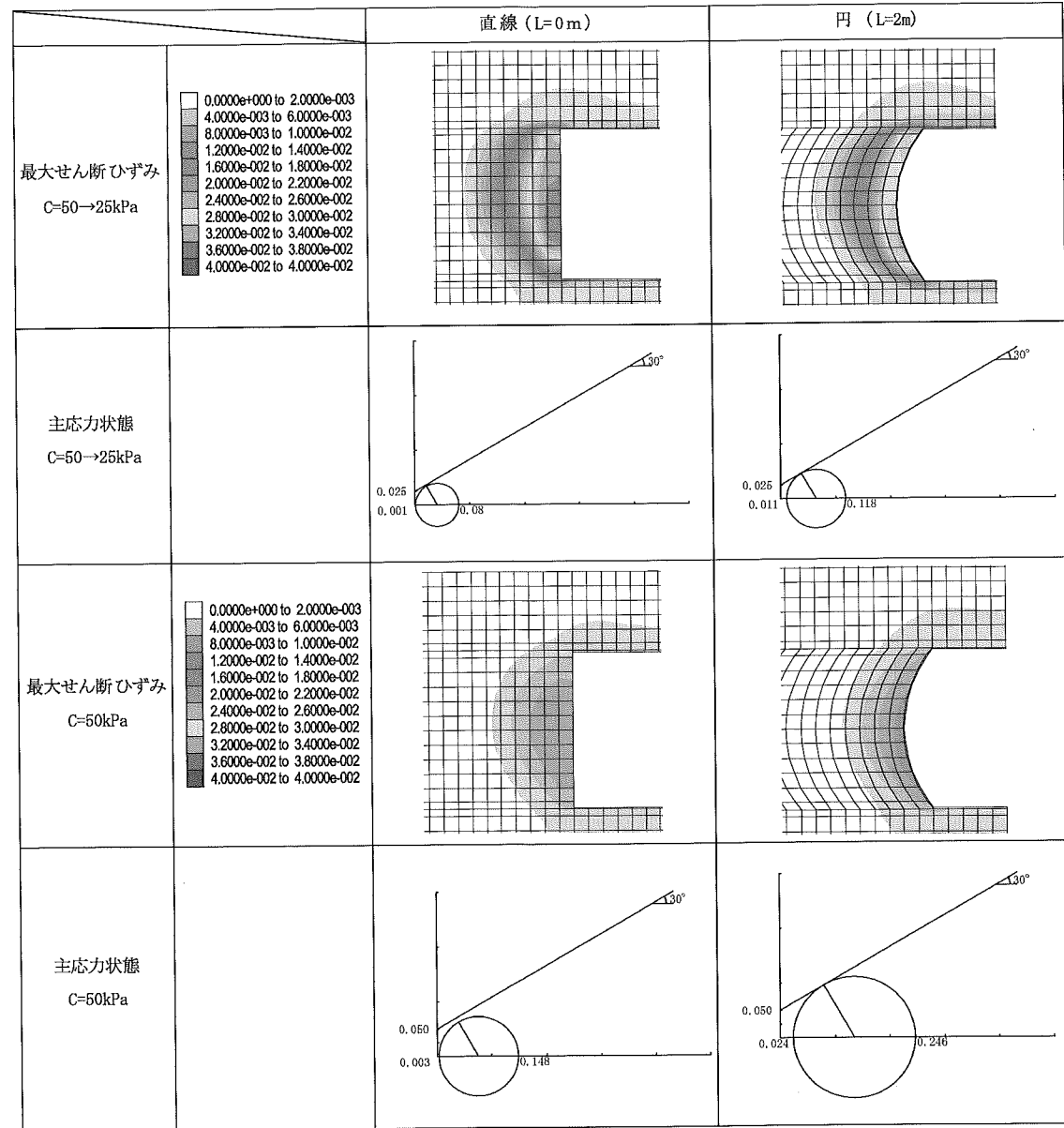


図-13 ピーク強度後の挙動の差異による効果(土かぶりH=33m)

い。つまり、切羽面の地山が負担している応力が小さいため、切羽の形状を曲面にすることにより、最大せん断ひずみの値が小さく抑制できるが、ピーク強度後の強度低下を考慮しない場合には切羽面の地山の最大主応力は比較的大きく、図-6(a)の応力状態に若干近づいているため、曲面切羽の効果が薄くなっていると考えられる。このように地山の挙動が曲面切羽の効果に大きく影響すると考

えられるため、初期の強度や変形係数のみならず、ピーク強度後の挙動を考慮した検討が必要と考えられる。

4 おわりに

以上、曲面切羽にいくつかの検討事例を記述した。これらの検討のほか、鏡ボルトについても切羽面に垂直に打設すると地山のアーチ形成に有効

に働かざる。このように曲面切羽は力学的に見れば地山内部の応力の再配分、支保としての切羽安定化対策のうえからも有効であると考えられるが、凹型の切羽面となる曲面切羽が使われることはほとんどない。これは、凹型の曲面切羽は従来の経験にそぐわないものであり、従来の感覚からして踏み出せないのが理由であると考えられる。心配される点は天端部分がいわゆるオーバーハング状態になるため切羽の自立性が保てるかという点であろう。この点は、曲面切羽では鏡吹付けコンクリートの効果が期待できる。しかし、安定が保たれたとしても支保工を安全に施工できなくてはならない。

一方で切羽が崩落した事例を見ると曲面状に切羽が崩落することはよく経験される。これは、本検討における数値解析で示したように直線切羽は切羽面直近に不安定域が形成される場合があり、直線切羽よりも曲面切羽の方が安定性が高い場合があることを示していると考えられる。曲面切羽を適用するには、効果のある地山条件についてのさらなる検討や切羽にあまり近づかない施工方法の確立などの課題がある。

本検討では、地山条件によっては曲面切羽の効果があると考えられることを示した。しかし、曲面切羽についての基礎的な検討をしたものであり、さらに種々の検討が必要であると考えられる。今後、比較的良好な条件の現場から曲面切羽が採用され、検討結果とも合わせてさらに合理的なトンネルの施工に結びつけば幸いである。

参考文献

- 1) 今田徹：何がトンネル技術を進歩させたか—トンネル技術の発展をたどり、将来を展望する—、(財)先端建設技術センター、2004。
- 2) (社)日本トンネル技術協会：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—、2006。
- 3) 照屋正史・高良哲治・駒谷恒雄・森崎泰隆：民家直下で超近接トンネルを全断面早期閉合により施工、豊見城東道路 豊見城トンネル、トンネルと地下、Vol.38, No.7, pp.17-24, 2007.7。
- 4) 真下英人・鈴木正彦・猪熊明：トンネル切羽安定性

- の簡易評価法の提案、土木学会論文集、No.638/III-49, pp.117-129, 1999。
- 5) 岩井勝彦・中田雅博・矢野寛：トンネル切羽安定性の評価手法に関する一考察、トンネルと地下、Vol.29, No.3, pp.41-48, 1998.3。
- 6) 木谷日出男・太田岳洋・八戸昭一・中島英明：モデル地盤中のトンネル切羽流出に関する考察、トンネルと地下、Vol.32, No.4, pp.49-59, 2001.4。
- 7) 木谷日出男・太田岳洋：砂質土地山の切羽安定性に関するパラメータ解析、トンネルと地下、Vol.33, No.11, pp.49-56, 2002.11。
- 8) 小西真治・朝倉俊弘・田村武・辻鉄也：粘性土層が介在する砂地盤の切羽安定評価について、土木学会論文集、第659号/III-52, pp.51-62, 2000。
- 9) 西村和夫・今田徹・山崎良一・松井幹雄：トンネル切羽の形状と安定性についての一考察、トンネルと地下、Vol.27, No.5, pp.43-50, 1996.5。
- 10) 今田徹・山崎良一：曲面切羽に関する研究、土木学会第51回年次学術講演会、III-B55, pp.110-111, 1996。
- 11) 平田亮・森本真吾・進士正人・中川浩二：トンネル切羽形状の違いによる切羽安定性に関する研究、土木学会第59回年次学術講演会、3-084, pp.167-168, 2004。
- 12) 岩野政浩・真下秀明・田村寿夫・宮本義広・藤井康男：硬岩自由断面掘削機(MM130R)によるトンネル施工時の切羽安定性に関する考察、第51回土木学会年次学術講演会、1996。
- 13) 横山正治・寺本哲・岩野政浩：硬岩自由断面掘削機(MM130R)によるトンネル施工時の球面切羽効果に関する検討、第31回地盤工学研究発表会、1996。
- 14) 岩野政浩・白川賢志・真下秀明・田村寿夫・宮本義広：硬岩自由断面掘削機によるトンネル施工時の地山挙動と支保構造に関する検討、土木学会トンネル工学研究論文・報告集、Vol.6, pp.23-30, 1996。
- 15) 田名瀬寛之・芹川博・山本宏司・菅正：軟岩トンネルのTWSによる急速施工(2)、北陸自動車道 山王トンネル、トンネルと地下、Vol.29, No.11, pp.15-25, 1998.11。
- 16) Itasca Consulting Group: fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions (FLAC3D), ver.2.1, 2002。
- 17) 蔣宇静：深部地下空洞の力学的安定に関する理論的および実験的研究、九州大学学位論文、1993。
- 18) 中川光雄・蔣宇静・江崎哲郎：大変形理論の岩盤挙動および安定性評価への適用、土木学会論文集、No.575/III-40, pp.93-104, 1997。
- 19) 地盤工学会：堆積軟岩の工学的性質とその応用、土質基礎工学ライブラリー-30, 1987。



研究・開発

文献紹介



猪口敏一・伊藤慎浩：自由断面掘削機自動化掘削システム，ブームヘッダーRH-10J，RH-250-MB-SLの自動掘削，建設の施工企画，No.726，2010.8。
可塑性充填材によるトンネル覆工背面空洞の長距離圧送工法の開発，長距離圧送と充填材品質確保の両立について，建設機械，Vol.46，No.8，2010.8。

解説

金谷義之：FSフォーム工法(透水性砕工法)によるトンネルインバート施工，建設の施工企画，No.723，2010.5。
土橋浩：シールド工場のトラブル事例とその対策，建設機械，Vol.46，No.6，2010.6。
角湯克典・石村利明・森本智：道路トンネル技術基準(換気編)・同解説改訂によるコスト削減効果について，道路，Vol.831，2010.6。
山地宏志・戸村豪治・上西幸司・清水則一・櫻井春輔：小断面トンネルリニューアルシステム工法，小断面トンネルに特化した補修・補強工法の開発とその調査について，建設機械，Vol.46，No.7，2010.7。
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，土木技術，Vol.65，No.9，2010.9。

施工

高見澤計夫：地下から地上に向けて掘る「上向きシールド工法」による分岐立坑築造，発進部セグメントとシールド機構，建設機械，Vol.46，No.5，2010.5。
安藤武義・小澤隆二・鶴間敏雄・井貝武史：地表に達する天端崩落箇所対策と地すべり坑口部の施工，北海道横断自動車道 下トマムトンネル，建設機械，Vol.46，No.5，2010.5。
野間達也：幹線国道トンネルを交通確保のまま拡幅，国道7号におけるトンネル活線断面拡大工事，建設機械，Vol.46，No.5，2010.5。
段塚隆雄：キーエレメント工法，沈埋トンネルにおける最終継手を省略する工法，建設機械，Vol.46，No.5，2010.5。

中村俊明・上田潤・横井康人：国内初の地上発進，地上到達シールド，URUP工法，土木技術，Vol.65，No.5，2010.5。
特集/岩盤に挑む，推進技術，月刊推進技術，Vol.24，No.5，2010.5。
大中武易・上沼博司：小波ダム土砂バイパストンネル発破時のダム本体への影響検討事例，ダム技術，No.284，2010.5。
岡野敏彦：シールド切替型推進工法による下水道の整備“谷川雨水幹線”，建設機械，Vol.46，No.6，2010.6。
渋谷光男：小口径・長距離シールドにおける施工の効率化とビット交換，3kmの小口径シールドをさまざまな技術で効率化，建設機械，Vol.46，No.6，2010.6。
特集/多様な断面ニーズに応える推進技術，月刊推進技術，Vol.24，No.6，2010.6。
坂本成良・奥利之・堂藤和雄・中世古敦司：新幹線トンネル一体型盛土による法面防護，坑口を延伸したトンネル一体型の押え盛土で大規模斜面を防護，建設機械，Vol.46，No.7，2010.7。
中村宏・土屋尚登・下垣正宏・岡村直利：大規模機械編成による新幹線鉄道トンネルの耐震対策，最新鋭の施工機械編成，建設機械，Vol.46，No.7，2010.7。
特集/ここまで進化発展した推進技術，月刊推進技術，Vol.24，No.7，2010.7。
鈴木雅博：「光る変位計」による土留め欠損部の見える化，建設の施工企画，No.725，2010.7。
特集/道路土工要綱と関連指針の改訂，基礎工，Vol.38，No.7，2010.7。
特集/礫・玉石地盤に挑む，月刊推進技術，Vol.24，No.8，2010.8。
本堂亮・東優：駅部大断面トンネルを中壁分割工法で施工，仙台東西線，青葉山トンネル工区，建設機械，Vol.46，No.8，2010.8。
特集/下水道トンネル技術の新たな挑戦，月刊下水道，Vol.33，No.9，2010.8。
宇野洋志城・京免継彦・小泉直人：繊維シートによる新設トンネルのはく落防止，東九州自動車道トンネル工事におけるT-FREG工法の適用，建設機械，Vol.46，No.9，2010.9。
山地宏志・中野陽一・清水則一・櫻井春輔：ロックボルトによる極小断面トンネル補修の設計と施工法，簡易設計法の提案と極小断面内からの長尺ロックボルト施工について，建設機械，Vol.46，No.9，2010.9。
特集/発進・到達技術の高度化，月刊推進技術，Vol.24，No.9，2010.9。

建設講座

ずり処理入門(11)

—掘削ずりの活用と処理・重金属(2)—

「ずり処理入門」連載講座小委員会

① はじめに

今回は，トンネル工事における自然由来重金属などの調査・施工中の分別について述べた。今回は，自然由来重金属等含有ずりの活用方法と処分方法について詳述する。

自然由来重金属等含有ずりの活用と処分にあたっては，平成22年4月より改正土対法が施行されたことにより，今後は改正法の適用範囲や運用基準に留意したうえで，国土交通省作成の『建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル(暫定版)，平成22年3月』(以下，「マニュアル」)を適用する必要がある。実際のトンネル工事にあたっては，同マニュアルを活用することとし，ここではマニュアルに示されている「リスク評価」と「対策」，「モニタリング」について概説する。

② マニュアルにもとづく処分方法¹⁾

2-1 マニュアルの目的

マニュアルの目的は，第1章総説¹⁾に以下のよう

本マニュアルは，公共工事として実施される建設工事において，自然由来の重金属等を含有する岩石，土壌，あるいはそれらの混合物(以下，「岩石・土壌」という)に起因する人の健康への影響のおそれが新たに発生する

場合の調査，設計，施工及びモニタリングにおける技術的な対応方法を示すものであり，その影響の防止を目的とする。

2-2 自然由来重金属等含有ずり活用について

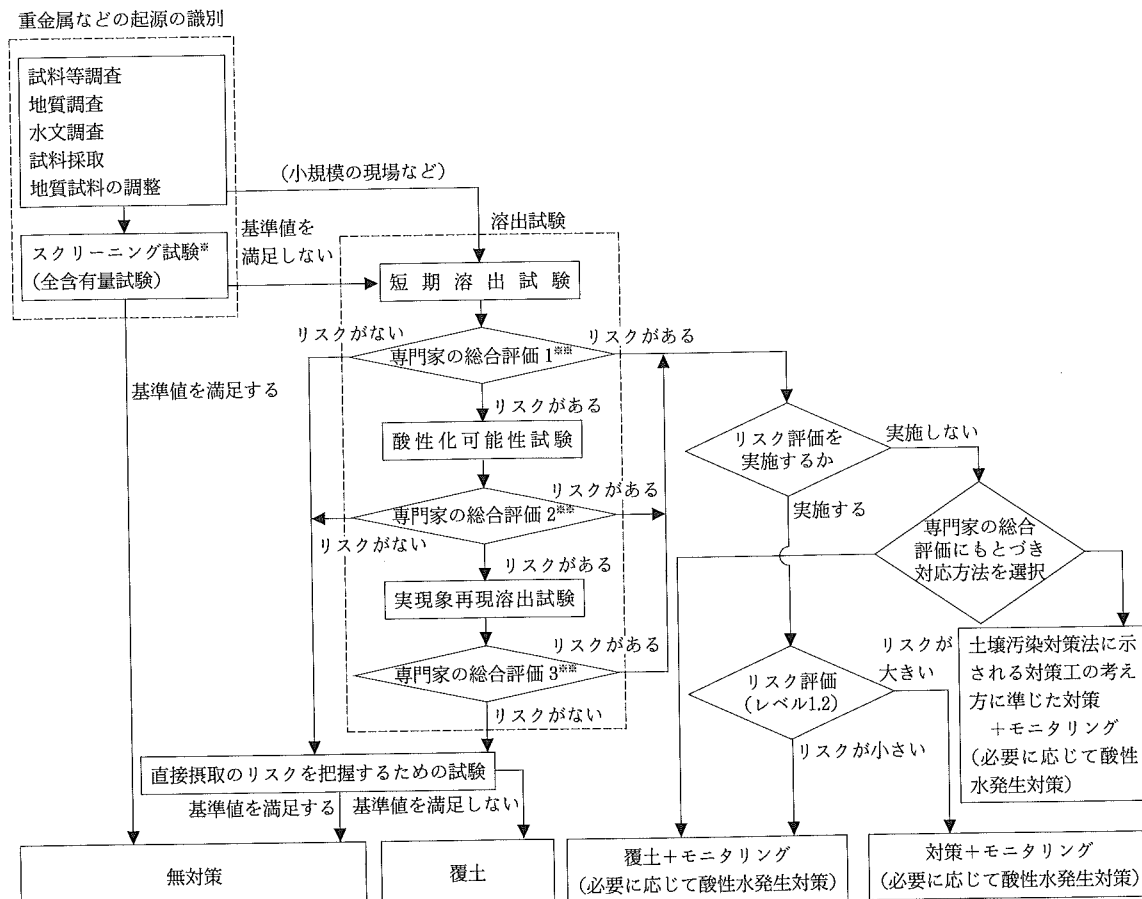
自然由来重金属等含有ずりに対し，前回記述した調査および試験を，図-1に示す流れで実施する。その結果から，①全含有量のスクリーニング基準値を満足するか否かの判定，②溶出試験に対する専門家の総合評価による「リスクがある」・「リスクがない」の区分，③「リスクがある」区分においてリスク評価を実施するか否かの判断，④リスク評価を行う。

同ずりが，全含有量のスクリーニング基準値を満足する場合あるいは溶出試験で「リスクがない」に区分され，かつ土壌含有量基準を満たすものは，対策の不要な発生土として扱われ，一般型盛土として活用される。

スクリーニング基準値を満足せずかつ「リスクがある」に区分される場合は，リスクの程度に応じた対策を講じたうえで管理型盛土内に封じ込められる。

2-3 リスク評価

マニュアルでは，「自然由来の重金属等を含有する岩石・土壌への対応としては，サイト概念モデルに基づく対応と土壌汚染対策法に準じた対応が存在する」¹⁾としている(図-2参照)。



※スクリーニング試験は岩石・土壌の全含有量バックグラウンド値試験を兼ねる。
 ※※専門家の総合評価において、サイト概念モデルを用いた評価を行うことができるのは、利用場所とその後の管理方法が決まっている場合のみである。

図-1 調査および試験・対策要否判定フロー¹⁾

後者の土壤汚染対策法や条例などの対象となる場合は、土壤溶出量試験と土壤含有量試験による発生源の評価と周辺状況にもとづくリスク評価を実施し、その結果から同法や条例などにもとづいた対応を図ることになるが、同法や条例などの対象外であっても都道府県などの環境部局との協議の結果によっては、土壤汚染対策法に準じた対応を実施する場合もある。

マニュアルでは、発生源、周辺状況、周辺地盤といった現場ごとの特性を考慮したサイト概念モデルにもとづく対応を実施する¹⁾。

サイト概念モデルとは、自然由来の重金屬などを含有する岩石・土壌(発生源)、発生源から敷地境界や保全対象までの距離・曝露経路(周辺状況)、

周辺地盤の重金屬などの吸着特性・地下水の流れ(周辺地盤)などの現場ごとの特性を考慮し、環境への影響を評価するためのモデルを指す。サイト概念モデルの例を図-3に示す。

サイト概念モデルにもとづく対応では、地下水などの摂取によるリスクについては、現場ごとの特性を考慮したサイト概念モデルを用いて、自然由来の重金屬などが敷地境界や保全対象近傍に達する場合の時間、地下水濃度を移流分散解析などにより求め、判断基準と比較し、評価期間を100年間としたリスク評価を実施する。その結果、敷地境界や保全対象近傍の地下水濃度が判断基準を超過する場合には適切な対策を実施する。

リスク評価では、土壤汚染対策法に示される対

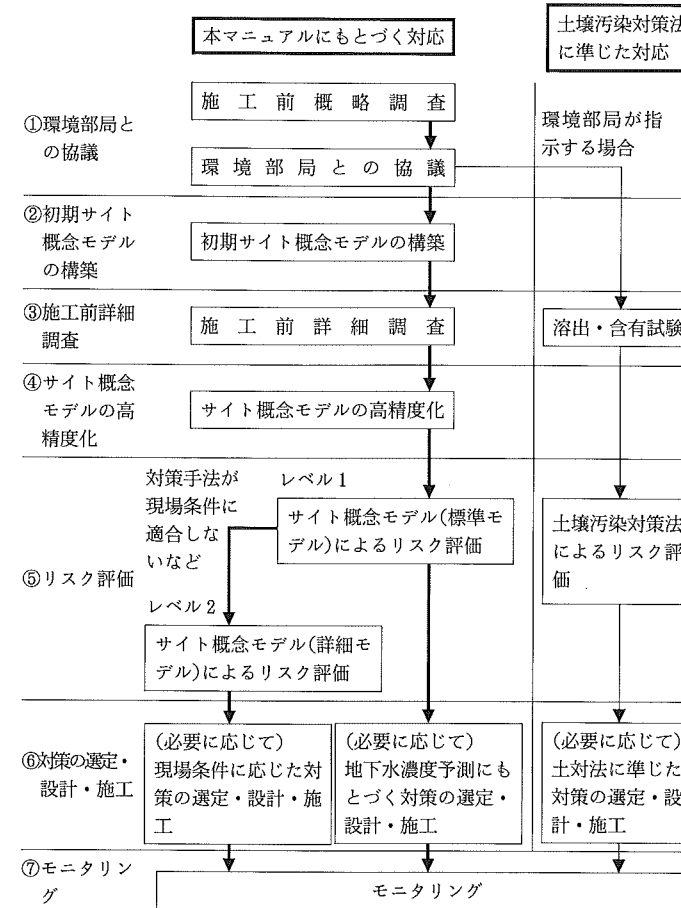


図-2 リスク評価・対策・モニタリングの流れ¹⁾

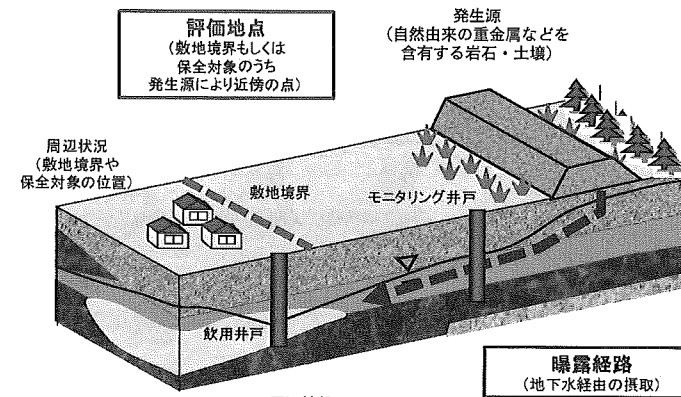


図-3 サイト概念モデルの例¹⁾

策工の考え方に準じたレベル1(標準モデル)を実施し、必要に応じて対策工と効果を考慮したレベル2(詳細モデル)を実施する。

レベル1では、リスク評価の結果をもとに土壤汚染対策法に示される対策工の考え方に準じた設計・施工を実施することを基本とする。一方、レベル2では、対策工法の効果を適切にサイト概念モデルの中で考慮することにより、現場に応じた対策の選定・設計・施工が実施可能となる。

直接摂取によるリスクについては、土壤汚染対策法に準じた土壤含有量試験による発生源の評価と周辺状況によりリスク評価を実施して、自然由来の重金屬などを含有する岩石・土壌の存在する場所への、一般人の立ち入り可能性を検討する。その結果、立ち入りの可能性がある場合は、汚染の除去などの対策(覆土など)を実施する。

なお、将来の適切な管理が見込めない場合は、マニュアルのリスク評価および対策に関する規定を用いることができないことに留意する必要がある。

2-4 対策

マニュアルによれば、「リスク評価もしくは専門家の総合評価の結果に基づき、以下に示す対策を適切に選定、設計する」としている。

- ① 「地下水などの摂取によるリスク」を防止するための対策
- ② 「直接摂取によるリスク」を防止するための対策

前回の連載と重なるが、環境リスクに対する影響防止対策を表-1に示す。以下に各対策の概要を示す。

2-4-1 地下水などの摂取によるリスク防止対策

- (1) 遮水工による封じ込め(表-1; ①-1)

二重の遮水シートなどの遮水工で封じ込めを行うもので、代表的なシート材には、合成ゴム系、合成樹脂系、アスファルト系、ベントナイト系、

表-1 環境リスクに対する影響防止対策

項目	具体的な対策内容	目標	備考	
I. 地下水などの摂取による影響防止	①-1 遮水工による封じ込め (不溶化後の封じ込め含む)	有害な地下水などの浸透・ 浸出の完全発生防止	土対法の対策工の考 え方に準拠	
	①-2 遮断工による封じ込め			
	②-1 粘性土などによる被覆・浸透防止	雨水・地下水の浸透、およ び浸出水の発生防止	リスク評価にもとづ く対策	
	②-2 転圧による透水性の低下			
	③ 不溶化などの処理			重金属などの溶出低減
	II. 直接摂取による影響防止	④-1 吸着層	重金属などの補捉	土対法の対策工の考 え方に準拠
		④-2 浸出水処理		
⑤ その他		一体区域への搬出		
⑥-1 立入り禁止		曝露の遮断		
⑥-2 舗装				
⑥-3 盛土				

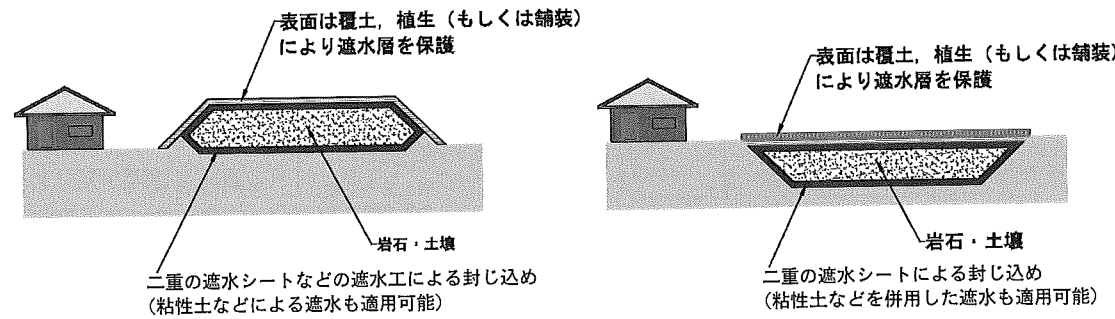


図-4 遮水工による封じ込めの概念図¹⁾

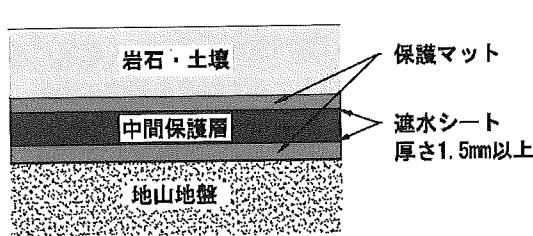


図-5 遮水工の構造例(保護層)¹⁾

積層タイプ複合系がある。

図-4に遮水工封じ込めの概念図を、図-5に遮水工の構造例を示す。

(2) 遮断工による封じ込め(表-1; ①-2)

遮断層として一軸圧縮強さ25N/mm²以上、厚さ35cm以上の水密性を有する鉄筋コンクリートまたはこれと同等以上の遮断性能を有するものを適用して封じ込めを行うもので、土壌溶出量基準を超過する岩石・土壌にも適用可能である(図-6参照)。

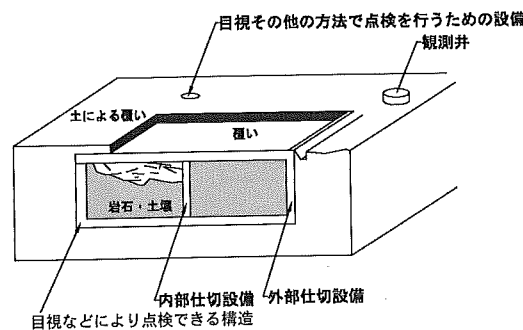


図-6 遮断工による封じ込めの概要図¹⁾

(3) 粘性土などによる被覆・浸透防止(表-1; ②-1)

岩石・土壌の盛土表面を覆土、敷土で被覆するもので、代表的な材料として、粘性土、改良土およびベントナイト系混合土など低透水性の土質材料、遮水シートがある。遮水シートは一重遮水、粘性土シートなどの土壌汚染対策法上は遮水工と見なさない構造に該当するものである。改良土と

は、基礎地盤の一部を改良(透水性、吸着特性などの改良)することで重金属などの浸透を防止する対策である(図-7, 8参照)。

(4) 転圧による透水性の低下(表-1; ②-2)

雨水浸透低減を目的として、岩石・土壌盛土時に十分転圧し、盛土の透水係数を所定の値以下に低下、または粘性土などを混合させることで透水係数を低下させることによる対策である(図-9参照)。

(5) 不溶化などの処理(表-1; ③)

重金属などの溶出低減のため、岩石・土壌に材料を添加し不溶化などの処理を行う対策であり、化学的不溶化と物理的不溶化がある。前者は、化合物形態を溶出しにくいものに変化させる方法や吸

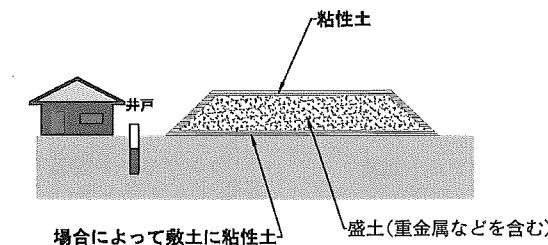


図-7 粘性土による被覆の概念図¹⁾

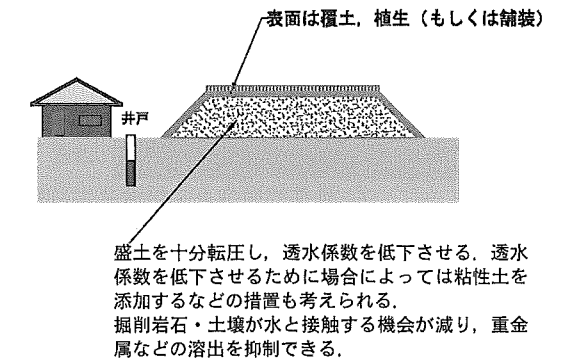


図-9 転圧による雨水浸透の低減対策の概念図¹⁾

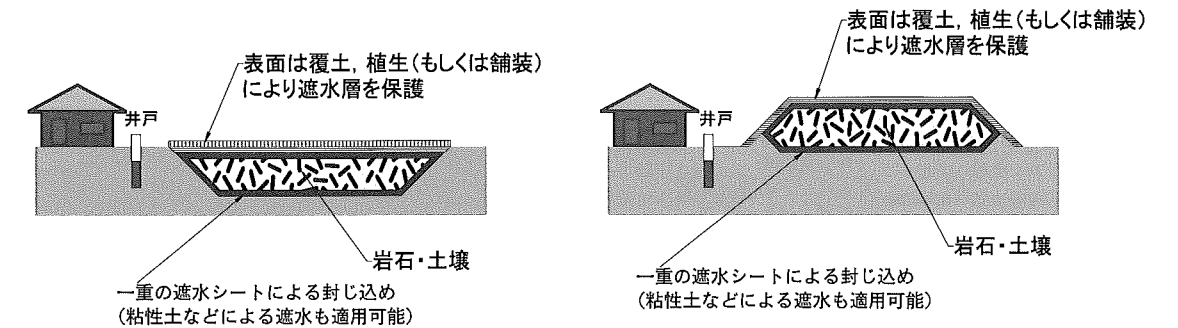


図-8 遮水シートなどを用いた被覆・浸透防止の概念図¹⁾

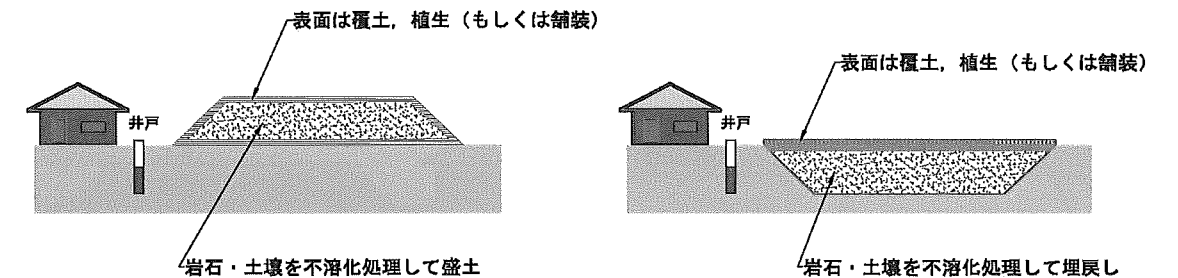


図-10 不溶化などの処理による対策の概念図¹⁾

が決まっているので適切な吸着材を選定する必要がある(図-11参照)。

(7) 浸出水処理(表-1;④-2)

浸出水処理は、掘削した岩石・土壌を風雨にさらした状態で仮置きし、浸出水中に溶出した重金属などを適切に水処理することで回収する対策である(図-12参照)。

(8) その他(表-1;⑤)

同一の自然的原因により重金属などが存在し、かつ岩石・土壌の全含有量バックグラウンド値が同一程度以上の一体区域に盛土もしくは埋戻しを

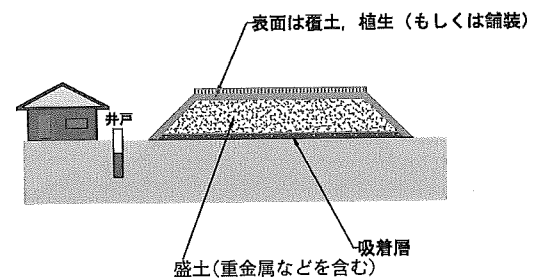


図-11 吸着層による対策の概念図¹⁾

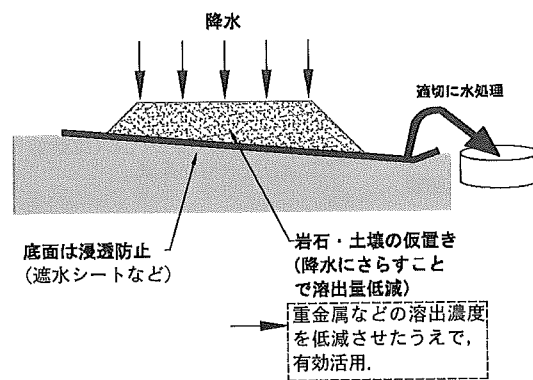


図-12 浸出水処理による対策の概念図¹⁾

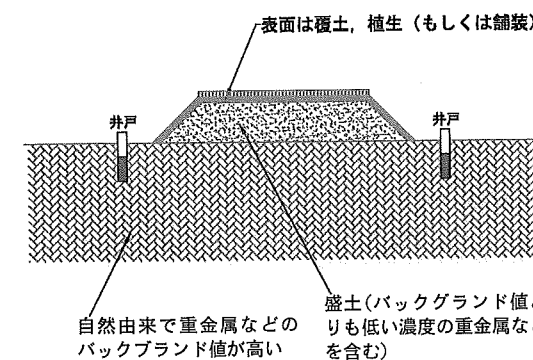


図-13 一体区域への埋戻し対策の概念図¹⁾

行う対策である。鉱山近傍などでバックグラウンド値が高い土地における対策として考えられる(図-13参照)。

2-4-2 直接摂取によるリスク防止対策

(1) 立入り禁止(表-1;⑥-1)

重金属などを含む岩石・土壌の範囲に人が立ち入ることを防止するために周囲に囲いを設け、岩石・土壌の飛散防止のためシートなどで覆う対策である(図-14参照)。

(2) 舗装(表-1;⑥-2)

重金属などを含む岩石・土壌を厚さ10cm以上のコンクリート、厚さが3cm以上のアスファル

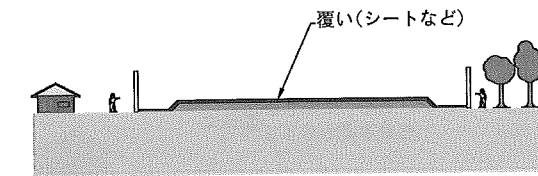


図-14 立入り禁止措置の概念図¹⁾

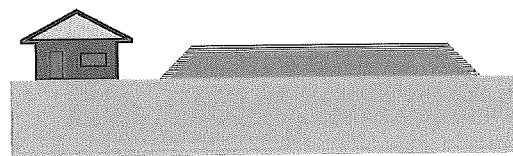
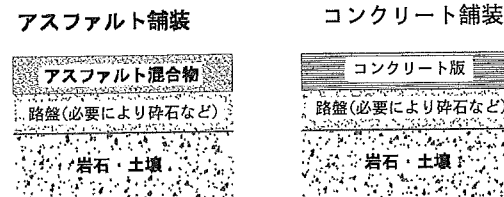


図-15 舗装措置の概念図¹⁾

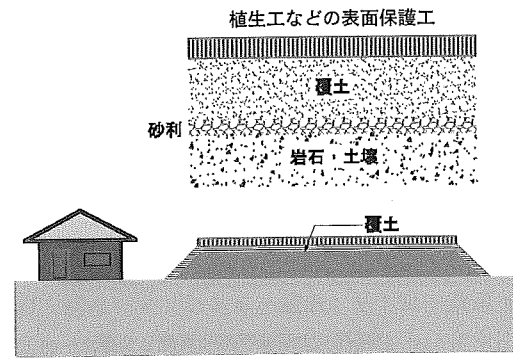


図-16 盛土(覆土)措置の概念図¹⁾

ト、もしくは同等の効力を有するものにより覆う対策である(図-15参照)。

(3) 盛土(表-1;⑥-3)

重金属などを含む岩石・土壌を土壌汚染対策法の指定基準を満足する、厚さ50cm以上、重金属などの含有・溶出のおそれのない土を用いた盛土により覆う対策である(図-16参照)。

2-5 モニタリング

マニュアルでは、モニタリングの目的を、「工事による水環境への影響と対策効果の確認、およびリスク評価結果の検証」としている。モニタリングは施工前(バックグラウンド値の設定などのための基礎資料を得る)、施工中、施工後の各段階において実施される。

以下に、施工中と施工後のモニタリングについて述べる。

(1) 施工中

施工中においては、建設工事の影響が考えられる範囲の河川水、湧水、湖沼水、地下水に関するモニタリングと工事および対策実施区域外への排水についてモニタリングを実施する(表-2参照)。

発生源となる工事および対策実施区域内の湧水・浸出水についても必要に応じてモニタリングを

実施する。

モニタリング調査項目には、流量、水温、pH、電気伝導率、酸化還元電位、浮遊物質濃度、溶存イオン濃度、重金属等濃度、湖沼水・地下水の水位がある。測定対象とする重金属などは、施工前のモニタリング結果やリスク評価結果にもとづいて設定すればよく、土壌汚染対策法に定める有害物質をすべて計測する必要はない。

(2) 施工後

施工後には、工事による周辺環境への影響を把握するとともに、対策を講じた場合には、対策効果の確認や追加対策の必要性判断を目的としてモニタリングを実施する。調査項目は、施工中と同様であるが周辺環境水を対象として実施する(表-2参照)。

また、対策工の変状などについても定期的に目視により監視する必要がある。

モニタリングの終了時期については、季節変動を考慮して対策実施区域周辺で年4回程度の計測を行い、水位や水質がある程度一定となった状態でのモニタリング結果がリスク評価の結果を上回らないことを2年以上確認すれば、モニタリングを完了してもよいとしている。

表-2 工事および対策実施区域内の湧水・浸出水に関するモニタリング調査項目と調査目的¹⁾

調査項目	対象	実施段階		調査目的
		施工中	施工後	
流量	湧水, 浸出水	◎	◎	ずり処理施設からの浸出水流量は、対策工によっては効果の確認に用いる。また、湧水や浸出水の処理が必要な場合にはその処理設備の容量の検討資料とする。
水温	湧水, 浸出水	△	△	とくにずり処理施設など地表部における温度変化による溶出成分の変化の有無を確認する。
pH	湧水, 浸出水	◎	◎	各計測対象の水質の基本調査項目であり、湧水、浸出水の環境への影響の可能性を迅速かつ簡便に把握する。
電気伝導率	湧水, 浸出水	○	○	各計測対象の水質の基本調査項目であり、湧水、浸出水の環境への影響の可能性を迅速かつ簡便に把握する。
酸化還元電位	湧水, 浸出水	△	△	ずり処理設備内部および地盤中の酸化還元状態は、土や岩石の化学組成とともに溶出現象に影響するため、これを把握する。
浮遊物質濃度	湧水, 浸出水	●	▲	湧水や浸出水の処理の必要性の有無を確認する資料とする。
溶存イオン濃度	湧水, 浸出水	△	△	ずり処理設備内や地盤中で起っている水-岩石反応、吸着現象を推定するための資料とする。イオン種によっては対策工の効果の確認にも用いることができる。
重金属等濃度	湧水, 浸出水	◎	◎	第二種特定有害物質溶存量の現状を把握し、ずり処理設備や掘削現場からの湧水、浸出水による重金属などの拡散の可能性を確認する。

◎自然由来重金属などへの対応として重点的に実施 ○自然由来重金属などへの対応として実施 △自然由来重金属などへの対応として必要に応じて実施 ●一般的な工事の水文調査として実施 ▲一般的な工事の水文調査として必要に応じて実施

③ おわりに

従来の建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応は、「自然的原因により有害物質が含まれる土壌」について、平成14年に制定された『土壌汚染対策法』の対象外とされたため、個別案件ごとに判定・処理方法を策定していた。

平成22年4月より『改正土対法』が施行され、上記土壌も法の対象となったことから、今後は、『建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル(暫定版)』平成22年3月』を適用して対応する必要がある。

マニュアルの制定により、自然由来重金属等含有岩石・土壌による環境リスクに対する共通認識の形成、それらへの対応方法、調査・試験方法、

リスク評価、対策、モニタリングなどを統一的な手法で対処が可能になることが期待できる。また、マニュアルを活用した対応は、自然由来重金属等含有岩石・土壌に関する情報の統合と共有化が促進され、より合理的な対策の確立に寄与すると思われる。

(文責：秋田勝次/鉄道・運輸機構、領家邦泰・内田正孝/大成建設(株))

参考文献

- 1) 建設工事における自然由来重金属等含有土砂への対応マニュアル検討委員会：建設工事における自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応マニュアル(暫定版)、2010.3.

■ 図書案内

地下水の科学 全3巻

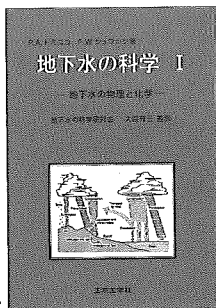
P. A. ドミニコ・F. W. シュワルツ 共著
地下水の科学研究会・大西有三 監訳

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、地下水の地質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

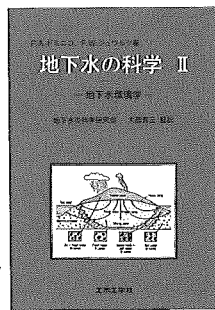
水理地質学を学ぶうえでの基礎的な事項を記載した。水理地質学の理論と人間の社会活動における水理地質学の適用範囲を理解することができる。理論に立脚した水理地質学の使い方を、計算例を用いながら効率よく学ぶことができる。



第II巻
地下水環境学

4,272円+税 B5判

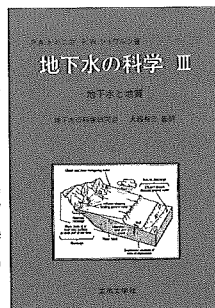
第II巻では、さまざまな地質環境の中での汚染物質の地下水による輸送に関する問題を取り扱っている。水理地質学が環境問題とどのような関連性を持っているか、また利用可能かを知ることができる。



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

建設現場

トンネル保守管理における記録とその活用(5)

—変状展開図作成の自動化・デジタル化の取り組み(1)—

JTA保守管理小委員会

④ 変状展開図作成の自動化・デジタル化の取り組み

前章(3. 各事業者取り組み)でも述べてきたように、多くの事業者がトンネルの保守管理に変状展開図を活用している。

変状展開図は、目視観察や打音調査などの覆工

の点検結果を所定のフォーマット上に手書きで作成することが一般的である。しかし、変状展開図を一定の精度で漏れなくわかりやすく作成するには、相当な経験とノウハウが必要であり、作成作業には膨大な労力と時間を要している。

最近十数年ほどの間に、覆工表面を連続的に全周撮影し、展開画像を作成するシステムが、相次

表-1 変状展開図作成の自動化・デジタル化の取り組みの例

No.	撮影方法など	展開画像からの変状抽出方法 展開図の作成方法	作成時期・頻度活用方法	備考 (開発・導入機関、運用時期など)
1	ラインセンサカメラ (軌陸専用車) ・10km/h走行	・画像の貼り合わせ (自動的に実施) ・展開画像から変状を半自動で検出し、その後トレース	(JR東海の場合) ・定期的な作成更新 ・全般検査などに活用 (JR北海道の場合) ・定期的な作成更新 ・全般検査などに活用	開発：鉄道総研(JR東海ほか共同開発) JR東海「トンネラス」 1999年～運用開始 JR北海道 2004年～運用開始
	ラインセンサカメラ (架台に据付け) ・20km/h走行	(同上)	・随時作成 ・全般検査などに活用	開発：鉄道総研「トンネラスキャナ」 鉄道事業者数社で活用
2	ハイビジョンカメラ 保守用車が牽引する軽貨車に搭載し撮影 ・15km/h走行	・画像の貼り合わせ ・展開画像から変状をトレース (画像とは別レイヤー) ・クラック幅0.3mm以上を検出	・展開図作成(初回) ・変状を抽出し、デジタル化 ・変状、補修跡の情報を蓄積	開発：東京メトロ 2008年副都心線営業開始に合わせ導入「管理図」 作成 2009年～銀座線・丸ノ内線を実施、順次路線を替え展開予定
3	ビデオカメラ (架台に据付け) ・5～15km/h走行	・画像の貼り合わせ ・展開画像から変状をトレース (画像に直接記入)	・初回全般検査時に作成 (2000年度) ・その後の全般検査などに活用	東京都交通局 2000～2001年に実施
4	レーザー(軌陸専用車) ・4～8.5km/h走行	・展開画像から変状をトレース ・幅0.5mmのひび割れ検出 ⇒DB「MARS」に登録	・定期的な作成更新 ・全般検査などに活用	JR東日本「TuLIS」 2000年～運用開始 ※電磁波レーダーシステムによる覆工内部検査も併せて利用されている
5	レーザー(専用車) ・50～60km/h走行 3CCD (4tトラック架台に搭載) ・60～60km/h走行	・展開画像から変状箇所の損傷度を評価(東北支社) ・展開画像から変状をトレース ・トレース後、展開図作成(北海道支社)	・点検などに活用(東北支社) ・1回/年更新計画(北海道支社)	NEXCO東日本(レーザー) 2006年 東北支社実施(3CCD) 2004年～2009年 北海道支社実施
6	レーザー(半導体レーザー照射器を搭載した専用車) ・2km/h走行 ・径1.5～5mに適用 ・全周スキャンが可能	・展開画像から変状をトレース ・抽出した変状データは、必要に応じて設備診断時に利用	水路トンネル覆工表面の基本情報を得るために活用(定期的な運用はしていない)	東京電力(発電用水路トンネルに使用) 1994年～運用開始 (日本工営と共同開発) ※レーダー計測システムと組み合わせでシステム化
7	ミラー方式テレビカメラ (全方位パノラマカメラ)	「管渠検査診断支援システム」 ・撮影画像を2D展開画像に変換 ・展開画像をDB登録	・定期的な作成更新 ・管渠の補修などに活用	東京都下水道局 2010年～運用開始 ※「管渠検査診断支援システム」

いで開発・実用化されている。また、展開画像からデジタル化された変状展開図を作成するシステムも実用化されており、従来に比べて格段に高精度の変状展開図を作成できるようになってきた。

トンネルを維持管理する事業者の中には、各々の実情に応じて、これらの新しいシステムを積極的に開発または導入し、点検業務に活用する例が増えている。表-1は、変状展開図作成の自動化・デジタル化について、いくつかの事業者による取り組みの事例をまとめたものである。本章では、この表に示した事例について、第5,6回の2回に分けて順次紹介する。

4-1 ラインセンサカメラによる撮影画像を用いた変状展開図作成(鉄道総研)

4-1-1 撮影システムの開発と実用化

鉄道総研では、複数の高精細ラインセンサカメラによってトンネル覆工表面を連続的に撮影・記録し、トンネル延長方向に切れ目のない鮮明な全周展開画像を作成するシステム「連続走査画像撮影装置(ConSIS)」を、平成4年度より開発してきた(旧運輸省の補助金を受けて実施)。

このシステムをもとにして、JR東海、川鉄情報システム(現：JFE電制)、鉄道総研の共同開発によって、トンネル覆工変状検知装置「トンネラス」(写真-1)が開発され、全般検査を補足する手段として、1999年度よりJR東海の在来線のトンネルで実用化されている¹⁾。

また、このシステムはJR北海道において寒冷地仕様に改良され²⁾、2004年度よりJR北海道のトンネルの全般検査を補足する手段としても、実用化されている。撮影解像度は1mm/画素、撮影速度は10km/h程度となっている。

さらに鉄道総研では、トンネラスの基本的な機能を備えた、低コスト型の撮影装置「トンネラスキャナー」(写真-2)を新たに開発し実用化した。これまでの導入実績は9事業者13路線(平成21年度末)に伸びており、民営鉄道事業者を中心に活用されている。撮影解像度は0.5~1mm/画素、撮影速度は20km/h程度と高速で、一晩の作業間合いで30km程度の連続撮影が可能である。

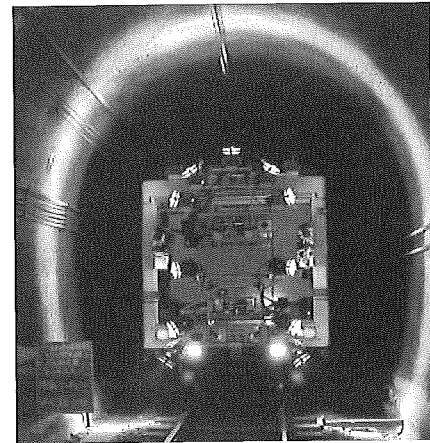


写真-1 トンネラスによる撮影状況³⁾

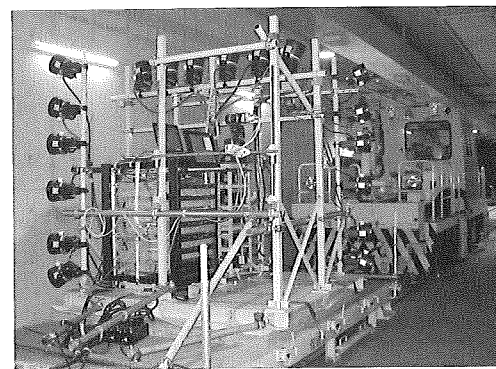


写真-2 トンネラスキャナーによる撮影状況³⁾

4-1-2 展開画像の作成(画像処理)

車上装置で撮影された切れ目のない鮮明な長尺画像に対して、まず延長方向に距離の正規化を行う。次に各カメラの画像を高精度につなぎ合わせるマッチング処理により、トンネルのアーチ~側壁全周にわたる展開画像(マスタ画像)を作成する方法を開発し、実用化した(図-1)。

4-1-3 変状展開図の作成

マスタ画像から、図-2に示すような変状展開図

が作成され、検査業務に活用されている。ただし、表-1に示したほとんどのシステムでは、展開画像中から人手でひび割れや漏水などの変状をトレ

スして展開図を作成する、半自動処理となっているのが現状である。この作業は非常に手間を要するうえに、個人差によるバラつきもあるので、作業の自動化が求められている。現在鉄道総研では、ひび割れや漏水、剥離などの変状を自動的に高い精度で検出できる画像処理アルゴリズムの研究開発を進めており、一部で自動抽出できる段階になっている^{4),5)}。

(文責：小島芳之/鉄道総合技術研究所)

参考文献

- 1) 小久保将：トンネル覆工変状検知装置の開発、日本鉄道施設協会誌、1996.11.
- 2) 佐野将義：トンネル撮影の検査状況、日本鉄道施設協会誌、2003.2.
- 3) 小島芳之・鶴飼正人：トンネルの健全

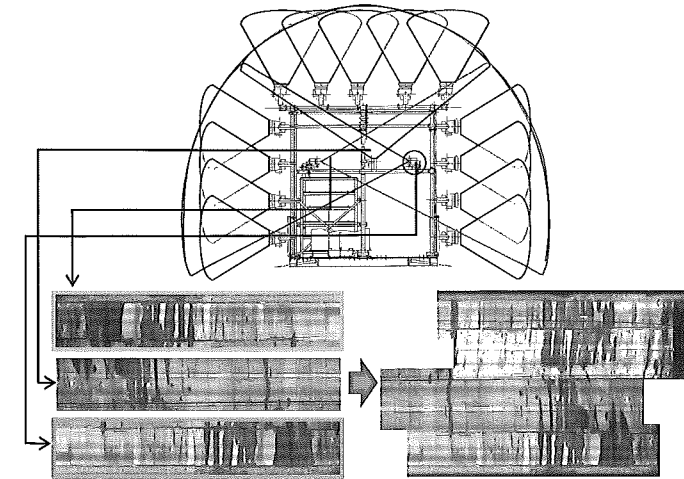


図-1 撮影画像から全断面展開画像の作成³⁾

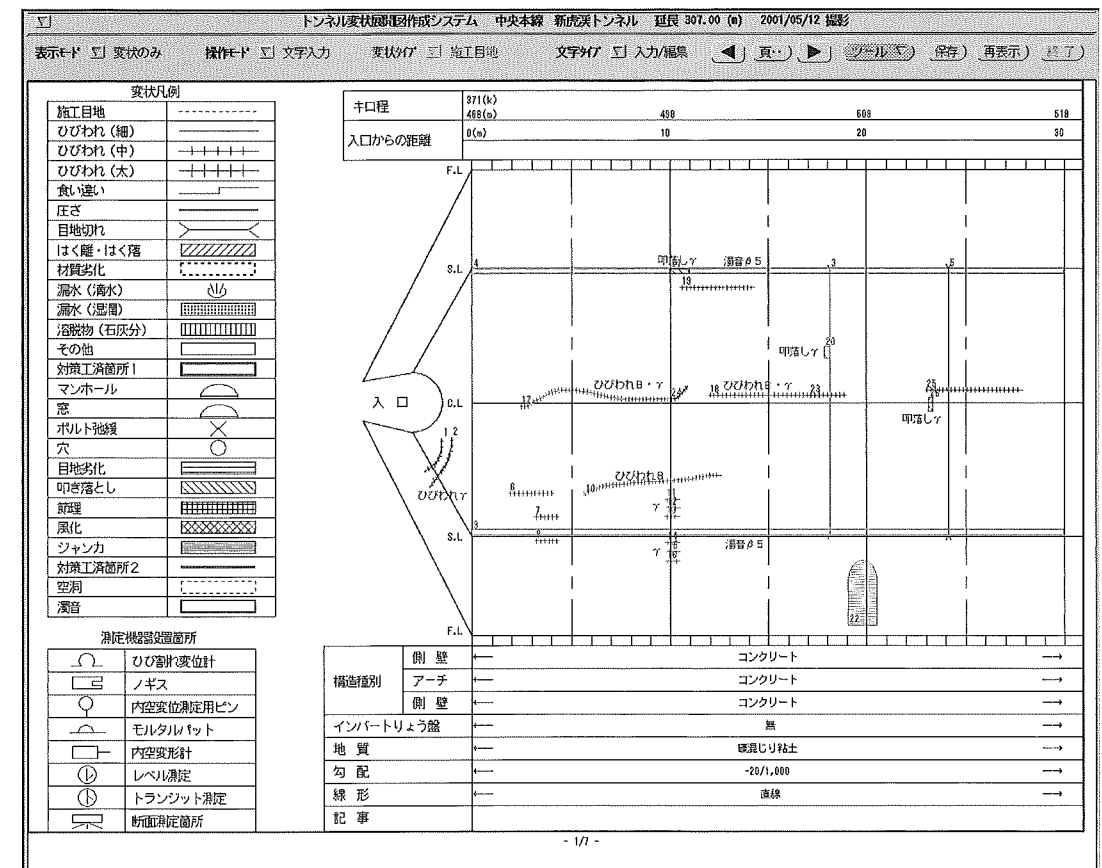


図-2 変状展開図の例

度診断, RRR, 2006.5.

- 4) 鶴飼正人・長峯望：画像処理を用いたトンネル覆工ひび割れの高精度検出手法, 鉄道総研報告, Vol.20, No.10, 2006.10.
- 5) 鶴飼正人：画像処理によるトンネル構造物のひび割れ検査精度の向上, 鉄道総研報告, Vol.24, No.3, 2010.3.

4-2 可視画像を用いた変状展開図作成(東京メトロ)

構造物(トンネル)の維持管理の基本は、現地に行き自分の目で変状を確認したうえで、さまざまな条件を加味し健全度の判定を行うことであると考えている。自動化・ロボット化は、その精度を向上させることおよび省力化を目的としており、東京メトロでも新たに可視画像を用いた変状展開図作成および情報の一元管理に取り組んでいる。

4-2-1 東京メトロのこれまでの取り組み

東京メトロでは、平成11~17年にかけて、ひび割れ、漏水、剝離検知などを自動検出可能なトンネル検査車(図-3)の開発を行ってきた。

トンネル検査車のシステムは、赤外線画像と可視画像を重ね合わせたもので、トンネルの構築壁面をヒーター、ハロゲンランプで加熱した部分を赤外線カメラで撮影し、コンクリート内部の剝離を検知し、同時に可視カメラでひび割れ・漏水などの変状を撮影するものであった。

しかし、この方法では検査速度が時速2kmと非常に遅いこと、また、剝離の検知深さが表面か

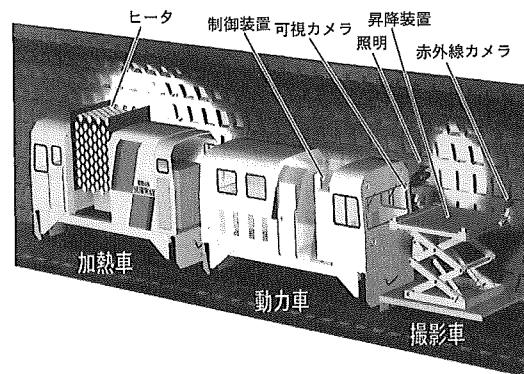


図-3 トンネル検査車の編成

ら5mm程度までという課題があった。そこで、剝離検知深さ50mmを目指して開発を行ったが、さらにゆっくりした加熱時間が必要で、検査速度が遅すぎるため実用化には至らなかった。

4-2-2 変状展開図の作成

これまで構造物(トンネル)検査として実施した現地検査結果は、変状展開図として記録し、ひび割れ、漏水箇所、剝離箇所などの変状状況を手書きにより図面化し、維持管理業務に活用してきた(図-4)。

しかし、変状展開図の作成には相当の経験が必要であり多大な労力を要することから、東京メトロでは、検査精度の向上や省力化が求められており、可視画像による変状展開図の作成に取り組んでいる。さらに、構造物の維持管理に寄与する資料を一元管理するために、データベース化することも視野に入れている。表-2に現状の問題点と可視画像導入のメリットを示す。

4-2-3 可視画像による変状展開図作成

可視画像は、保守用車が牽引する軽貨車にハイ

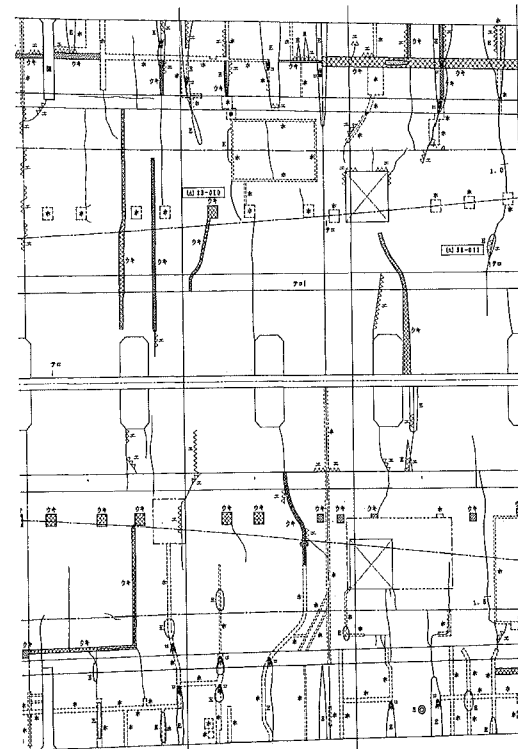


図-4 手書きの変状展開図

表-2 現状の問題点と可視画像導入メリット

現状の問題点	可視画像導入メリット
「目視+スケッチ」のため、現場での変状を正確にトレースできない	現状をそのまま把握できるので、正確なトレースが可能
紙媒体の変状展開図の場合、進捗把握や変状などの記録更新作業に労力を要する	記録の更新が可能。進捗性の把握の是非について検討中
維持管理に寄与するデータ(施工時条件、環境条件、材料状態、変状、健全度判定結果)が散見し検査から措置まで一連の流れに手間が多い	変状展開図中に必要なデータをストックし、一元管理を行うことで作業の手間を省くことが可能

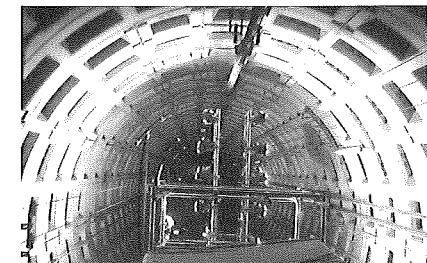


写真-3 トンネル内の可視画像撮影状況
ビジョンカメラ、撮影に必要な照明・記録装置などの機材を搭載し、走行(約15km/h)しながらトンネル内面壁を動画撮影する(写真-3)。

展開図で表現できる変状は、ひび割れ幅0.3mmが判読可能なレベルとし、トンネル内の状況を連続的に静止画像を貼り合わせ各部位を調節している。

また、管理用のソフトを用いて展開図から変状を抽出し、変状の位置、形状、規模、数量などの維持管理に供する情報をデジタル化した「管理図」を作成している。「管理図」では、構造物の状態(変状・補修跡など)を閲覧することができる(図-5)。

4-2-4 情報の一元化

これまで紙媒体が主であった構造物の保守管理業務に必要な情報をデータベース化し、整理・更新・蓄積を一元的に管理することで、情報の有効な活用と省力化が図ることができると考え取り組

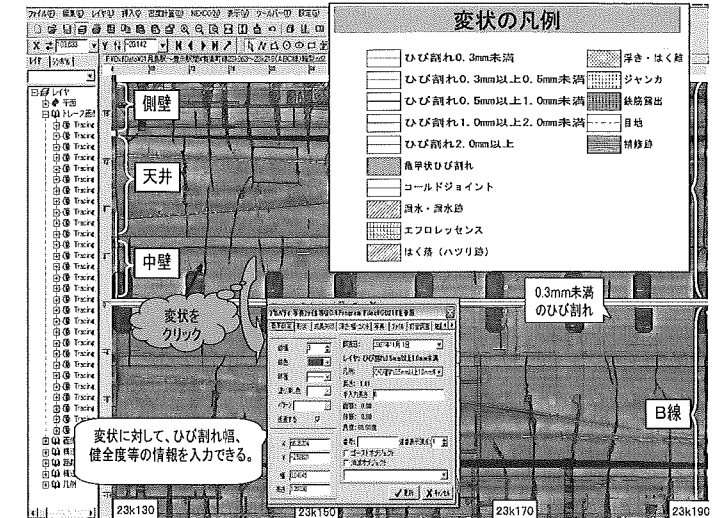


図-5 可視画像による展開図(管理図)

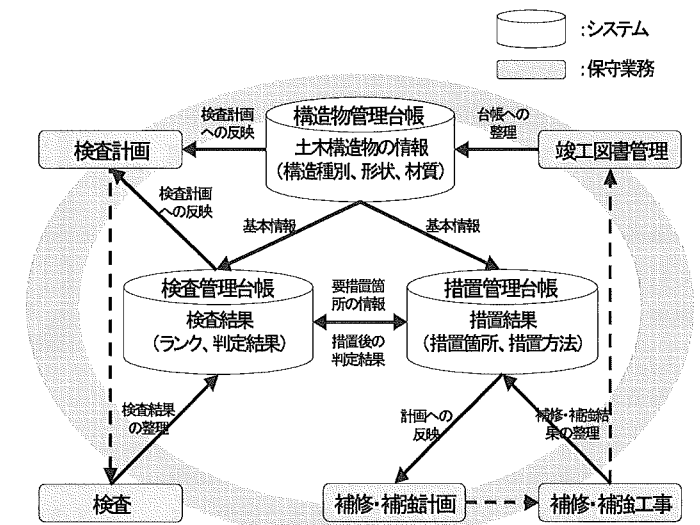


図-6 情報の一元化(イメージ)

みを始めている(図-6)。

その主要なデータベースを以下に示す。

- ① 構造物管理台帳：土木構造物の情報(構造種別、形状、材質)が基本となるデータベース
- ② 検査管理台帳：検査結果(ランク、判定結果)が整理・蓄積されるデータベース
- ③ 措置管理台帳：措置結果(措置箇所、措置方法)である補修・補強結果の内容が整理・蓄積されるデータベース

(文責：菅野 崇/東京地下鉄(株))

4-3 デジタルビデオによる撮影画像を用いた変状展開図作成(東京都交通局)

4-3-1 自動化, デジタル化の考え方

平成12年2月, 旧運輸省により作成された「トンネル保守管理マニュアル」(以下, 「マニュアル」という)では, 既存のトンネルにおいては初回検査をできるだけ早く実施し, ①初回検査の結果を「展開図」などに記録し, 以降の検査の基礎資料とするとともに検査の都度修正すること, ②検査記録の正確さから精度に留意しつつ自動検査システムなどの導入が望ましいと記されている。そこで当局においても, 平成12, 13年度に実施した初回検査の結果は, 今後の技術進歩による維持管理システムに対応できるように, 変状展開図をデジタル化することとした。その初回検査と変状展開図作成の取り組みについて, 以下に報告する。

4-3-2 検査方法の概要

検査の流れとしては, 第一段階でトンネル内のデジタルビデオ画像を撮影しトンネル壁面の展開画像の作成を行い, 第二段階として展開画像とトンネル内の調査結果をもとに打音検査箇所を選定し打音検査を実施した後, 最後にすべての成果を画像データに記述する。

(1) 検査の範囲

検査対象区間は駅部を含む本線路のすべておよび引上げ線・入出庫線など側線の一部とし, また, トンネル横断面の撮影範囲は, 駅間については矩形断面, 円形断面を問わず剥離・剥落の対象となるトラフ台から上部とし, 駅部については, 側壁に化粧壁があることから天井部のみとしている。

(2) ビデオ撮影

ビデオ撮影は, 最高級レベルの汎用ビデオカメラを用いている。カメラ, 照明器具, データレコーダーなどの諸機材は, 写真-4, 図-7に示すように当局の平トロッコまたは限界測定車に架台を介して壁面に対して直角に搭載し, モーターカーにより牽引しておおむね5~15km/h程度の低速で走行しながら撮影する

このとき, 円形断面ではトンネル壁面との距離がおおむね一定であるため, カメラレンズの画角

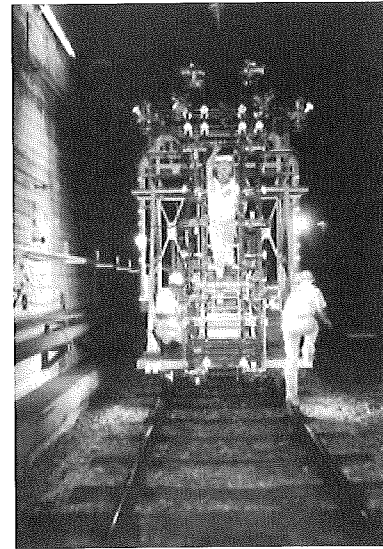


写真-4 トンネル内撮影状況

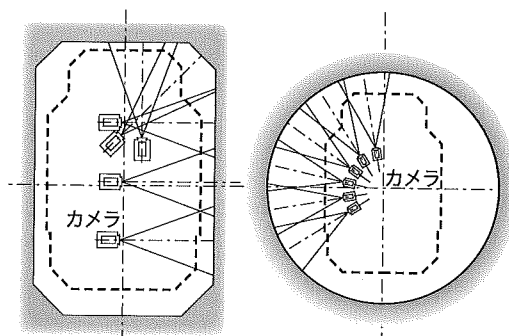


図-7 カメラの配置

(撮影角度)に応じて隣接カメラとのラップ分とカメラの画素数に応じた撮影距離でカメラを配置すればよい。しかし, 矩形のトンネルでは隅角部の存在により撮影距離が変化するため, 画角, 壁面との距離を考慮して配置を調整する必要がある。また, カメラのトンネル進行方向に対する角度, 照明との角度はクラックなどを浮き立たせるための重要なポイントとなる。

(3) 画像編集

撮影されたビデオ映像をコンピューターで処理するために, まずビデオキャプチャーにより一般的なパソコンで使用されている汎用的なAVI方式(Audio Video Interleave)のデータに変換する。AVIデータを用いて, 各カメラごとに進行方向に

対する画像結合を一定区間ごとに行う。次に接合された各カメラの画像を横断面方向に対する編集・接合を行う。

(4) 画像解析

編集した展開画像を用いて, 変状の解析を行うものでありコンピューター画面に変状と打音検査結果を所定の様式で記入する。

ひび割れは, 幅2.0mm以上のひび割れについてトレースし, その他打ち継ぎ目, ジャンカ, 剥離, セメント分の流出, 錆汁, 鉄筋の露出, 漏水箇所についてはその範囲を展開画像に記入する。

一方, 浮きについては打音調査の結果をもとに記入する。記入後の変状展開図が図-8のとおりである。

4-3-3 データの活用状況

作成した変状展開図は, 開発した構造物管理支

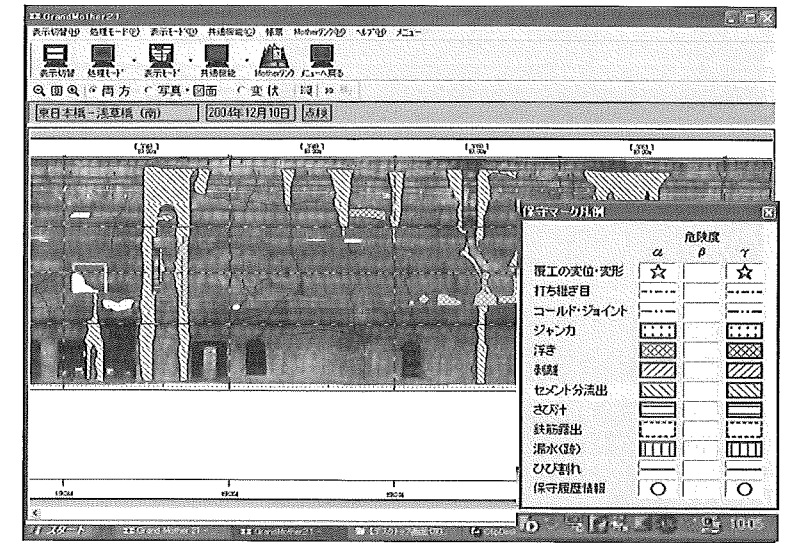


図-8 変状展開図の記入例

援システムのベースとなっているが, 全般検査の結果のみでなく, 平成20年度からは新宿線のシールドトンネルの個別検査や浅草線・三田線の駅部における個別検査の結果を上書きするなどその活用を逐次図っている。

(文責: 谷内雅之/東京都交通局)

研究論文募集のお知らせ

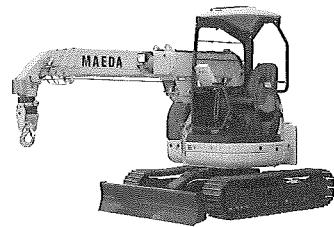
弊誌「トンネルと地下」では, 研究論文(実験, 技術開発など)を募集いたします。大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい。とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので, 平易・簡潔にまとめていただくようお願い致します。なお, 応募方法の詳細につきましては51頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ, ご応募下さい。

問い合わせ先 株式会社 土木工学社 編集部

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

工法・技術・製品ニュース

製品 クローラークレーンをフルモデルチェンジ



前田製作所は、クローラークレーンのフルモデルチェンジ機LC383M-5を発売した。

同機は、LC383M-3の後継機で、クレーン容量が2.93t×1.5m、最大作業半径が8.38n×0.2t、最大地上揚程が9.3mを実現し、2.9t吊りクローラークレーンで国内最大の能力を有している。

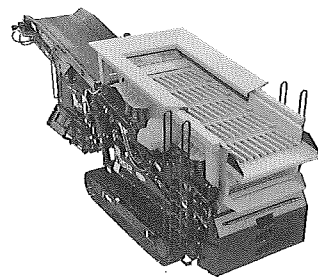
また、頭上に制約がある現場での取り回しが容易になるようブームヘッドの形状を変更したほか、作業範囲

規制時には、規制位置に近づくにつれ減速しながら停止させる機能により、高精度な作業範囲規制が可能とするなど、作業性を向上させた。

フル表示のモーメントリミッタ、過巻下げ停止装置を標準装備し、クレーンの使用状況が自動的に記録される「クレーン作業記録装置」をオプション装備できるなど、安全性にも配慮した。また、特定特殊自動車排出ガス基準に適合するなど環境面にも配慮した製品となっている。

前田製作所(株)産業機械本部企画管理部
TEL: 026-292-2228
http://www.maesei.co.jp

製品 メンテナンス性を向上した自走式スクリーン



日立建機は、破砕物や土砂、廃棄物などの選別作業に使用される、VR512-2自走式スクリーンの発売を開始した。

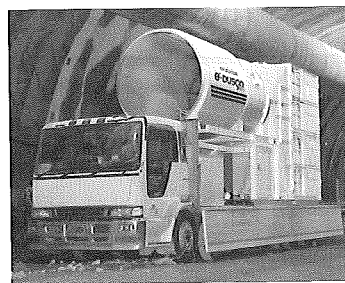
同機は、機械重量19,700kg、ふるい寸法1,520×3,660mmで、同社の自走式スクリーンのラインアップにおける中型機種となっている。従来機であるVR512から定評のある機動性に優れたコンパクトな車体や、排出ガス3次規制対応型エンジン搭載などの特長はそのままに、スクリーン

ボックスのメンテナンス性を大幅に向上させた。

メンテナンス性向上のため、衛星通信を利用したリモートメンテナンス管理機能e-サービスの標準装備、各種フィルタ類の地上から交換可能な位置への集約配置、油圧シリンダによるスクリーン後部を開閉する機構の搭載などを実現したほか、スクリーン支持機構に耐久性に優れたコイルスプリングを採用するなどの改良を加えた。

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

製品 集塵効率95%の電気式集塵機



古河産機システムズは、トンネル工用電気集塵器「e-DUSCO240」を開発し、販売を開始した。

同機は、同社がこれまでに工業用電気集塵機で培った技術・経験を活かして開発したもので、JISの「集じん装置の性能測定方法」において業界で初めて集塵効率95%を達成した。電気式のため人体にとってもっとも有害とされる粒径0.2~5μmの微細粉塵を効率的に捕集することができ、処理風量2,400m³/minを確保

して、現在主流とされる容量を満足している。

また、ファン動力が30kWと、180kW程度ある同容量のフィルタ式集塵機にくらべ大幅な省エネ効果を発揮するほか、電極が電線式でなくブレード式電極を採用しているため、断線による運転停止がなく修理が不要で、捕集した粉塵の処理はワンタッチ洗浄とし休憩時間中に洗浄・乾燥・運転再開を自動的に行えるなどメンテナンス性にも配慮した。

古河産機システムズ(株)営業本部
営業第3グループ
TEL: 03-3212-6575
http://www.furukawa-sanki.co.jp/



(社)日本トンネル技術協会 国際委員会

中国の壮観なトンネル / China's Spectacular Gouliang Tunnel
AUSTRALASIAN TUNNELLING SOCIETY, October, 2009, No.8, pp.106-107

中国河南省に作られたGouliangトンネルは長年、興味と議論の源になっている。1972年までは山肌に削り出された小さな人道が人里離れたGouliang村への唯一のアクセスであったが、自由を切望する村人の手によって山肌の中に自らの道が掘られた。

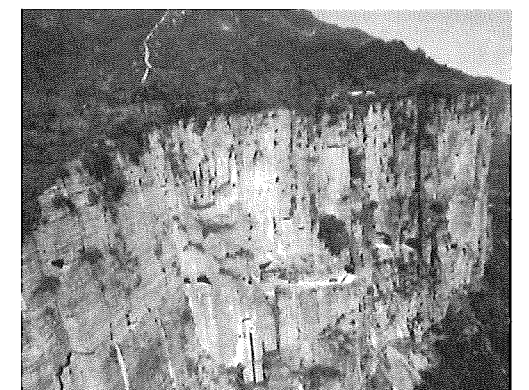
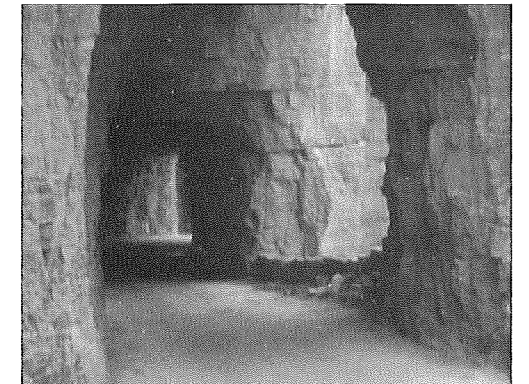
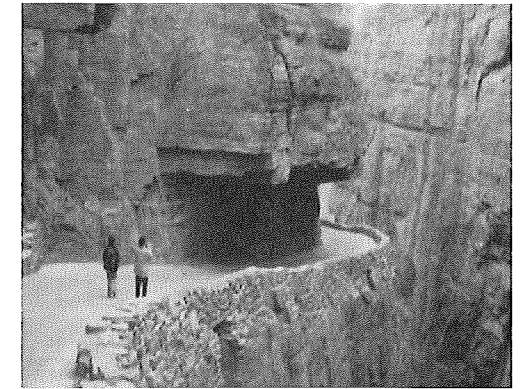
トンネルにはたくさんの“窓”がつけられているが窓をつけた本当の理由は知られていない。掘削中のずりを坑外へ投げ捨てるためと言う人もいれば、明かりを取り入れるためと言う人もいる。建設時には携わった何人も村人が犠牲になったこのトンネルは1977年5月に通行できるようになった。

中国政府が観光者の入国を許可した後にGouliang村は観光の目玉として知られ、それまでほとんど歩行者のみしかいなかったその村は突然、毎年、何千人もの人が訪れるようになった。

曲がりくねったGouliangトンネルの道幅は12フィートしかないので、カーブでは歩行者がドライバーの視界に入らず、車に轢かれる、もしくは崖の外へ跳ね飛ばされることもありえる。

歩くにしろ、運転するにしろ、決して外を見下ろすべきではない。深く落ち込んだ断崖の景色に動揺して立ちすくんでしまうので、立ち止まらずに到達点まで行き続ける方が安全である。

トンネルを抜けたその先にはGouliang村の内



外で魅惑的な景色の写真を撮ることができる。家や橋からお椀や腰掛にいたるまですべての物が石で作られているGouliang村は年間、何千人もの訪問者を受け入れている。渾南省に行ったときは、必ず“Gouliang村”を訪れるべきである。

(文責：森田 篤・前田建設工業(株))

Gotthardトンネルの開削区間の保護/ Protecting Gotthard's cut-and-cover

By I. Clarke: Tunnels & Tunnelling International, October, 2009, pp.31-33

Swiss Federal Railways(スイス連邦鉄道)により現在建設中のGotthard Base Tunnelは、計画延長57.1kmで、トンネル、立坑、連絡ルートを含めた総延長は153.5kmとなり、完成すれば世界で最長のトンネルとなる。

全般的な火災対策としては、火災時において、双設トンネルのうち、火災が発生したトンネルでは45分間は構造的に安全に保たれ、もう一方のトンネルでは90分間安全性が確保されるようにすることを基準としている。

Bodio工区において、開削部は400mあり、この区間について火災対策が分析・評価された。

条件は、界面での温度400℃、鉄筋部温度250℃(かぶり4cm)で、RABT/ZTV設計基準を満たすこと、火災後損傷部分だけを入れ替えることができること、既存のコンクリート覆工との付着強度が強いこと、凍結融解に対する耐久性を有すること、列車の荷重に耐えること、-10℃~+40℃の温度変化に耐えること、高圧水での洗浄に耐久性があること、鉄道設備の設置による応力に対する耐力があること、防火保護層をできるだけ薄くすること(スペースの問題)、耐用年数を50年とすることなどである。

その結果Bodio開削部で使用された方法は、MEYCO Fireshiel1350モルタルを、平均厚35mmで施工する方法であった。コンクリートの表面は、

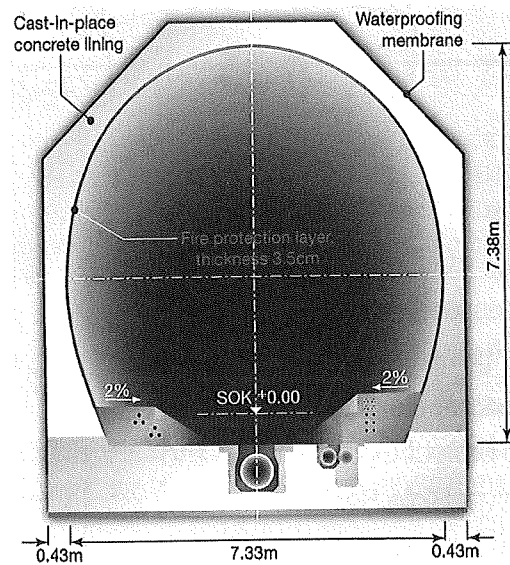


図-1 開削部トンネル断面図

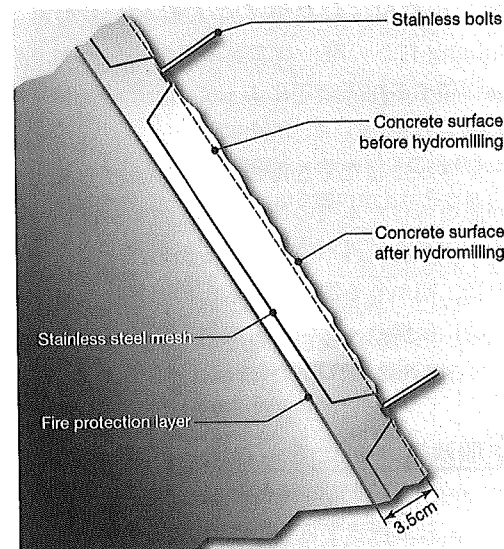
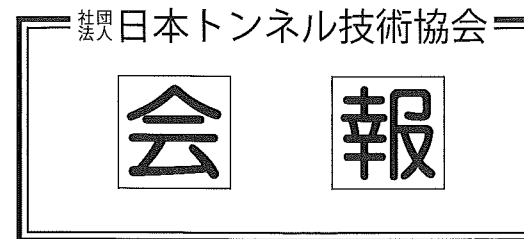


図-2 防火保護層の構造

ウォータージェット(2,000bar)で前処理し、モルタルの付着性を高めた。

また、ステンレスメッシュ筋(φ1.5,50×50mm)を補強材として使用した。このモルタルの施工総面積は13,500m²であった。

(文責：畑生浩司・鉄建建設(株))



1. 会員の現状

	9月30日現在
正会員	1,742名
団体会員	369名
個人会員	1,373名

2. 委員会の開催状況(9月1日~30日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

企画運営幹事会(9/3)

宮林秀次幹事長ほか7名、新公益法人への移行方針を検討

企画運営幹事会(9/30)

宮林秀次幹事長ほか8名、新公益法人への移行方針および体制を検討

広報小委員会会誌WG(9/8)

大島洋志主査ほか14名、10月号の会誌と3か月計画を検討

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

広報小委員会およびホームページ運営WG合同(9/10)

竹内友章委員長ほか8名、文献検索、E-mail配信および専用サイトの構築方針を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会海外ニュースWG(9/29)

早坂治敏主査ほか9名、海外ニュースを翻訳
計 5回開催 51名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

都市トンネル小委員会格言編集WG(9/2)

栗原謙一郎主査ほか8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高速施工WG(9/15)

領家邦泰主査ほか9名、作業方針を検討

効率的掘削工法特別委員会補助ベンチWG(9/16)

鈴木雅行主査ほか10名、作業方針を検討

効率的掘削工法特別委員会中流動WG(9/16)

松岡茂主査ほか7名、作業方針を検討

九州新幹線(西九州)トンネル検討委員会幹事会(9/30, 10/1)

大島洋志幹事長ほか18名、現場視察および施工法を検討

計 5回開催 57名出席

合計 10回開催 108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)				
北海道新幹線本州方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	25	栃木県	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	200	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	200	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	30	愛知県	9.0
第14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	30	東京都	17.3

催物の案内は逐次協会のホームページに掲載いたしますのでご覧くださいませようご案内します。一般検索サイトで〈トンネル技術協会 国内催物〉あるいは下記URL入力でたどりつけます。
http://www.japan-tunnel.org/event_japan

5. トンネル年報の紹介

「トンネル年報」は、本会団体会員のうち総合建設業として登録している会社へアンケート調査を実施し、その結果を取りまとめたものです。

各年12月1日施工中のトンネル工事(掘削・覆工)等の土木工事のうち、完成内空断面2m²以上(推進工法にあっては0.5m²)でトンネル完成延長100m以上が対象となっています。なお、鉄道トンネルの駅部等特殊な工事の場合は、完成延長100m以下の工事も対象としています。

内容は、鉄道・道路・水路・洞道管路・地下発電所関連、地下備蓄関連、海外工事・地下街・地下駐車場等からなっており、記載データは、発注者名、契約工事名称、契約延長、トンネル全体の完成延長(地下鉄を除く鉄道および道路トンネル)、掘削および完成断面積、断面形、地質、掘削方式、支保方式、補助工法、請負額、受注者、特記事項となっています。その他に、協会の会員名簿、トンネル技術に関する論文の紹介、各種案内・申込み用紙等が掲載されています。工事の実態と推移を把握するうえで参考になる図書です。

「トンネル年報」はハードコピー版(本)ですが、会員の要望に応え「トンネル年報2000」から工事記録を主として取り上げたCD-R版(word, excel など)を作成しております。工事の諸データを並び替えることによりさまざまな統計処理が可能となっています。希望者には有料販売を実施しておりますのでご利用ください。

- ◇ 図書No.201001 トンネル年報2010 頒布価格(税込;送料別);会員 2,000円, 非会員 3,000円
- ◇ 図書No.200901 トンネル年報2009 頒布価格(税込;送料別);会員 1,900円, 非会員 2,100円
- ◇ トンネル年報CD-R版—工事記録—(各年) 頒布価格(税込;送料別);会員10,000円, 非会員15,000円

※「トンネル年報2011」作成に向け11月下旬~12月上旬に調査を開始いたしますのでご協力願います。

6. 文献検索サイトのご利用案内

〈総務委員会広報小委員会〉

当協会では、委員会活動の成果品(報告書)や施工体験発表会、講演会、講習会、シンポジウムなど各種催物のテキストを図書資料として頒布していますが、このたび、JTAのホームページにその内容(概要、目次等)を掲載しました。

これにより、「大分類からの検索」や「検索窓による検索」ができるようになり、希望する文献や探している工事記録がどの文献に掲載されているのか検索が容易に行えます。ぜひ、ご利用くださいますようお願いいたします。

◇ 大分類からの検索例 ◇

分類	図書名	頒布価格(税込)
契約様式	施工技術山岳	1,500
環境保全	安全対策(山岳)	1,500
施工体験発表会	安全対策(シールド・推進)	1,500
講習・研修会(大深度)	安全対策(共通)	1,500
海外文献調査	特別講演会	1,500
対外広報資料他	シンポジウム	1,500
	ステップアップ研修会	1,500
	講習・研修会(ECL)	1,500
	講習・研修会(NATM他)	1,500
	海外見聞記	1,500
	トンネル年報	1,500
	文献目録	1,500

◇ 検索窓の利用例 ◇

別ウインドウで表示

→ | No.200905文献紹介

項目	文献の内容
区分	施工体験発表テキスト
番号/分類番号	No.200905/
図書名/雑誌名	第65回施工体験発表(都市)
主題/副題	／都市トンネル工事における創意工夫・新技術
著者名・発表者	-
所属	-
発行所	社団法人日本トンネル技術協会
発行年月	平成21年11月
掲載頁	-
総頁数	-
体裁	A4
内容	目次:掲載頁/演題/発表者/所属
目次	P1-3 住宅密集地の周辺環境を配慮した大断面シールドの水道飛行場南増幅線~ 植田 利博/00奥村組西日本支社土木係原備課 P9-16 特殊条件下における大断面シールドの発達・到達と

ホームページおよび協会事業活動に関するご意見はこちらへ
 E-mail webmaster@japan-tunnel.org
 TEL : 03-3553-6174 FAX : 03-3553-6145

12月号予告[12月1日発売予定]

- 斜坑トンネル掘進機の実績調査とその結果を受けた改良機の開発
 - 北海道横断自動車道 久留喜トンネル
 - 東京都下水道 第二谷田川幹線
 - 【連載講座】
 - ずり処理入門(12)
 - トンネル保守管理における記録とその活用(6)
- *内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆今年の6月号にも報文で載りました「ゴットルドベーストンネル」ですが先月無事に貫通いたしました。延長は約57kmです。これまでの世界最長記録の青函トンネル(延長約54km)を有する日本としては多少複雑な感慨があるかもしれませんが、世界全体のトンネル業界にはうれしい報告ではないでしょうか。

◆ここで新刊のご案内をさせていただきます。本誌編集参与の東京都立大学名誉教授の今田徹先生が執筆された「山岳トンネル設計の考え方」を発行いたしました(後付最終頁参照)。山岳トンネルを設計する際の地質や線形、支保工、切羽の安定、そして環境対策などまで考慮すべき事項を広範に述べ、さらに設計の留意点を交えながら平易に記述されています。設計に携わる方のみならず施工に従事する方にも大いに役立つ本と思います。ぜひ、読者の方の必携書にさせていただきたいと思っております。ご購入の際はお近くの書店へ直接お申し込みいただくか、当社の方へ書名、部数、送付先、氏名、電話番号を明記のうえ、FAX(03-3267-2888)にてお申し込みください。皆様方からのお申し込みお待ちしております。

(I.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41巻 第11号 (通巻483号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成22年10月20日 印刷

平成22年11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

本誌掲載記事が無断で複写(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

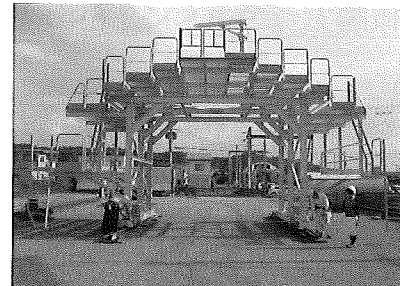
一步前進!

~限りない未来への挑戦~

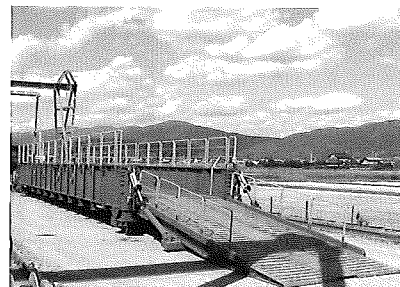
 大栄工機株式会社



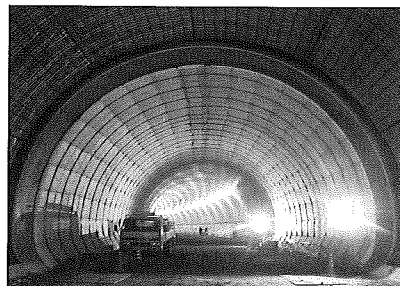
スライドセントル



作業台車



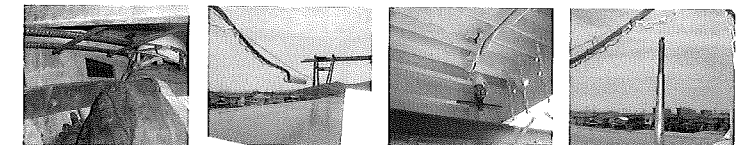
移動栈橋



NETIS登録番号 CB-090003-A
EPSパネル養生



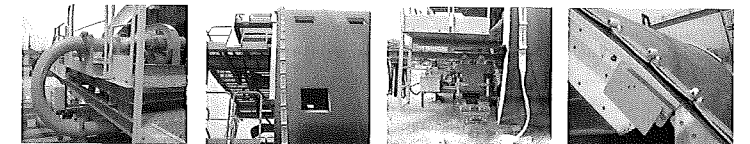
スチールフォーム(中流動コンクリート対応型)



MC矢板

天端引抜パイプレータ

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。



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。



わかりやすいトンネルの力学

福島啓一 著
5,825 円+税 B5 判

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



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。



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。



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著
6,000 円+税 A5 判

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



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。



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。



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。



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。



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。



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著
2,800 円+税 A5 判

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



推進工法の理論と実際

マックス・シェレレ 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。



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。



ジオテキスタイル設計マニュアル

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

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



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。



わかりやすい土质地質学

大島洋志 監修
2,500 円+税 B5 判

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



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

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。



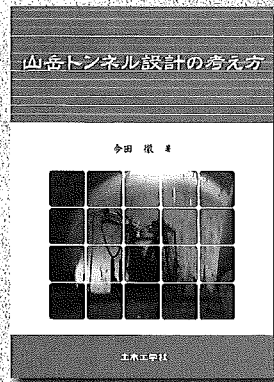
書籍のお申し込み

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

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。

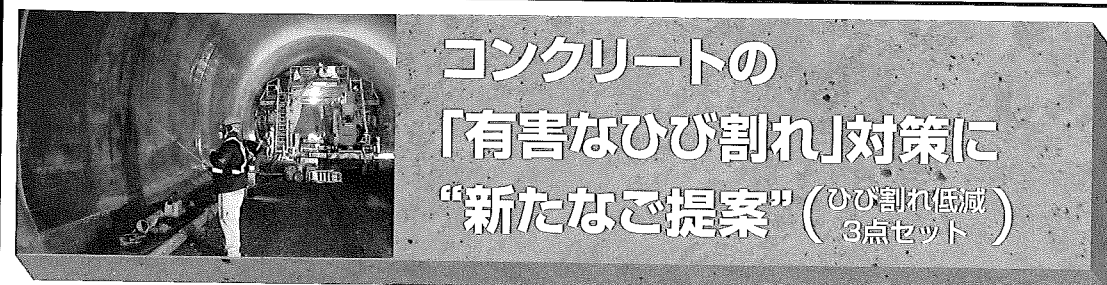
《主要目次》

- 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

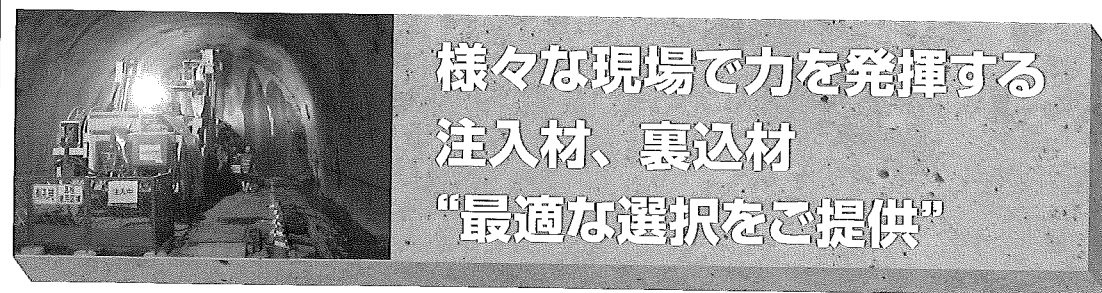
お申し込みは当社へFAX, または、お近くの書店にてお申し込みください。FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は、書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記の上、お申し込みください。

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



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



様々な現場で力を発揮する 注入材、裏込材 “最適な選択をご提供”

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

太平洋マテリアル株式会社 〒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>
 営業本部 高機能建材営業部 TEL.03-5500-7510 FAX.03-5500-7542