平成24年11月1日発行第43巻第11号
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

品質

技術提案に好適!!
デンカの特殊混和材

本急結剤
がバツグン
アショット》
KT-080020
ナトミックLSA
トミックUSS
付けが可能
長期強度発現性
ね返りが少ない
の吹付け性状
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

急結剤
品質吹付け
クTYPE-5
吹付け
クTYPE-10
期高強度吹付け
クTYPE-10S
ショットS
長期強度発現性
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

11月1日発行(毎月1回1日発行)　第43巻第11号　通巻507号　ISSN 0285-631X

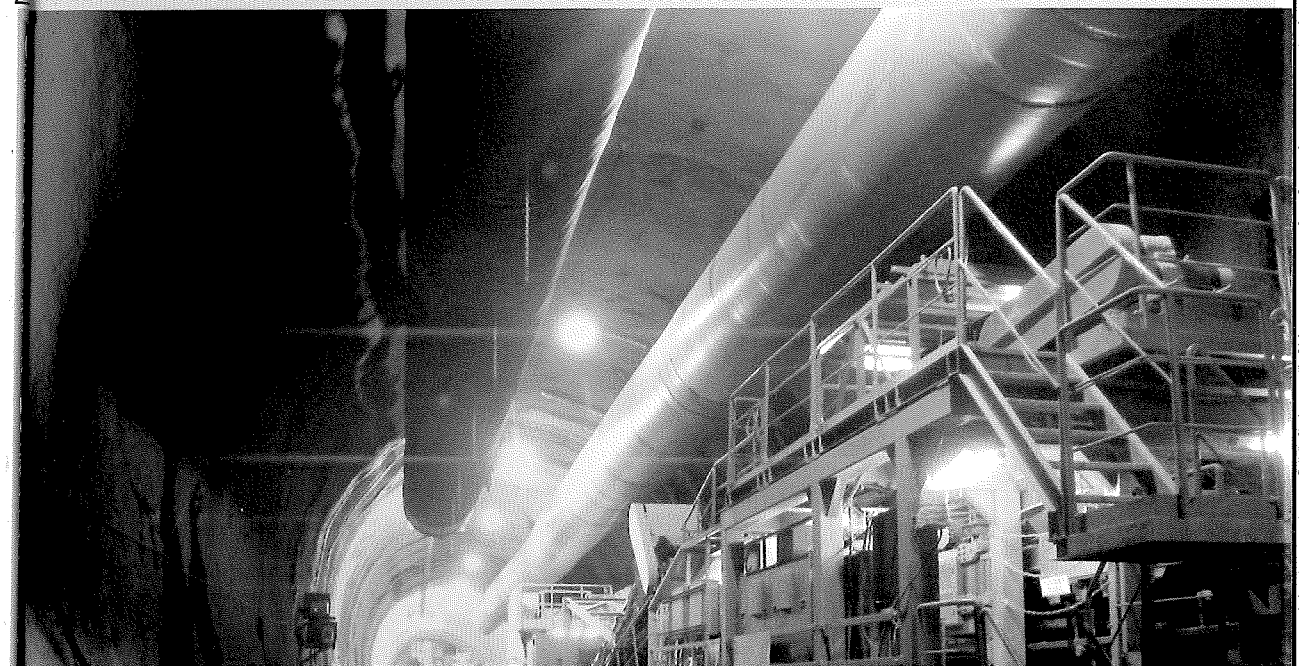
トンネルと地下 11

vol. 43
no. 11
2012

Tunnels and Underground

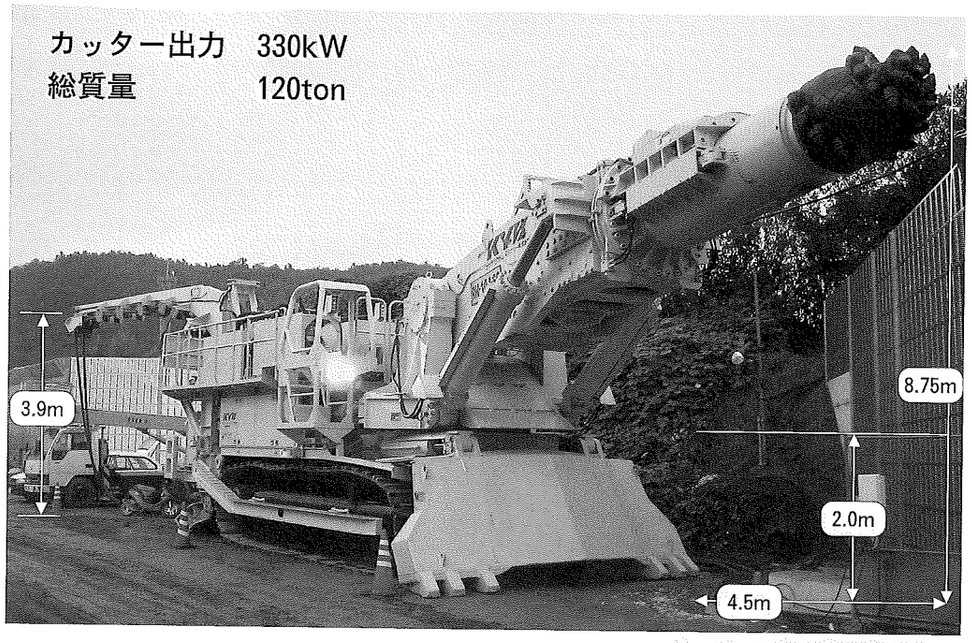
土かぶり3区間を地表または坑内からの対策工と計測管理で掘る
域の水利用への影響を考慮したトンネル構造
期掘進区間の重要構造物直下1D以下を大断面シールドで施工
竜川水系・小渋ダムに近接した4kmの土砂バイパストンネル
小土かぶり部にSENSを適用した場合の覆工と地盤の挙動

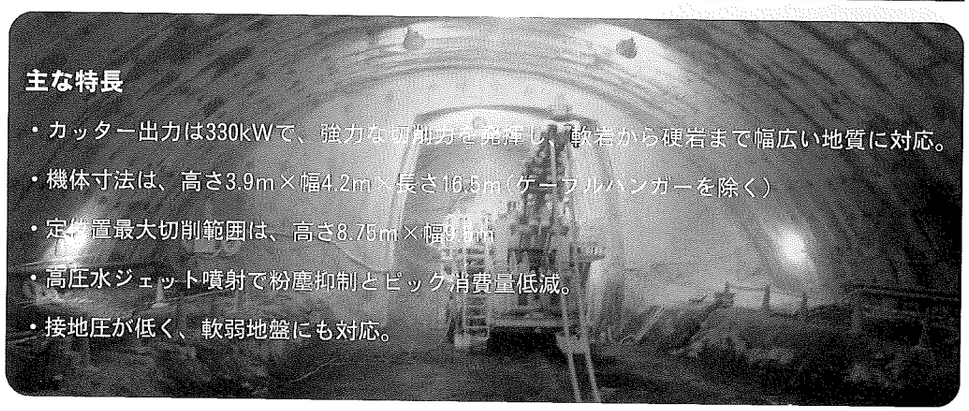
日本トンネル技術協会誌



ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー





KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業　〒105-0012　東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル　TEL 03-5733-9444
カスタマーサービス 相模事業所　〒252-0328　神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号　TEL 042-767-2586
大阪支店　〒564-0063　大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号TEK第二ビル　TEL 06-6387-3371
西部支店　〒812-0016　福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多　TEL 092-411-4998
三重工場　〒514-0396　三重県津市雲出長常町1129番地11　TEL 059-234-4111

トンネル工事用 電気集じん器

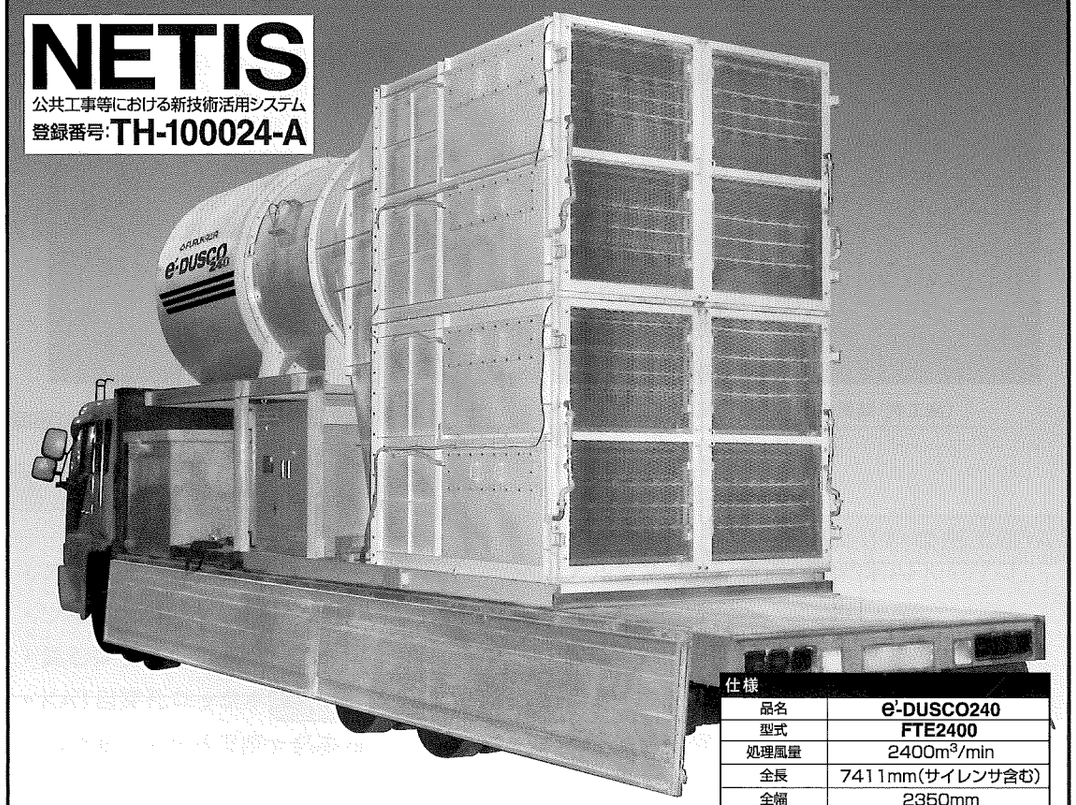
e-DUSCO 240

イーダスコ・ニーヨンマル

究極の省エネ

70%も節電

NETIS
公共工事等における新技術活用システム
登録番号:TH-100024-A



クラス最高の集じん効率95%
従来の電気式では達成できなかった95%以上の高集じん率を確保。

微細粉じんも逃さない電気式
電気式だから人体に有害な微細粉じん(0.2～5μm)も捕集できます。

現場メンテナンスは手間いらず
放電電極は丈夫で長持ちするブレード式により断線故障無く安心して御使用頂けます。
捕集した粉じんもラクラク処理。

大風量と省エネを同時に実現
処理風量は20%増えたのにいっそう省エネ。
安定した処理風量でCO₂削減を実現するエコ製品です。

仕様

品名	e-DUSCO240
型式	FTE2400
処理風量	2400m³/min
全長	7411mm(サイレンサ含む)
全幅	2350mm
全高※1	3700mm
本体重量	10t
電源仕様	3相3線400V58kVA
ファン動力	30kW
消費電力	33kW
洗浄水	2.4m³/回
捕集ダストの処理	湿式
集じん効率※2	95%以上

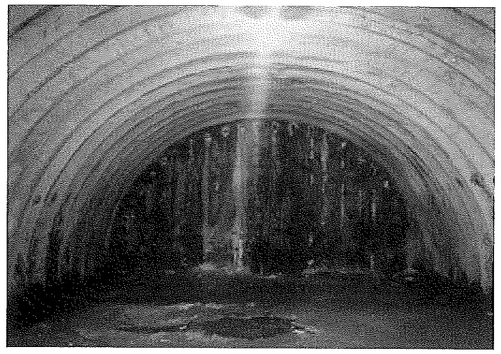
※1　車両高さは含まれていません。
※2　JIS Z 8808により測定した値です。

古河機械金属グループ
古河産機システムズ株式会社 URL:http://www.furukawa-sanki.co.jp/

本社
〒100-8370　東京都千代田区丸の内2-2-3
営業第3グループ　☎03-3212-6575
大阪支店　☎06-6344-2532　名古屋支店　☎052-561-4580　札幌支店　☎011-784-1179
東北支店　☎022-221-3532　九州支店　☎092-741-5193　小山工場　☎0285-23-8662

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

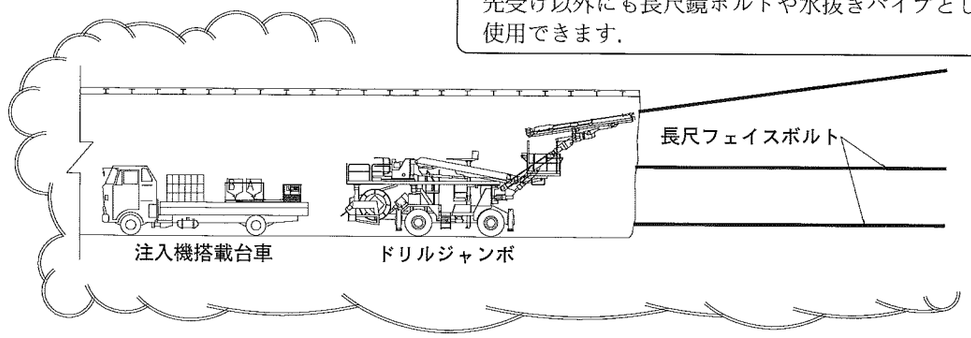
AGF工法のバリエーション

プロトタイプ
無拡幅タイプ
最小拡幅タイプ

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

小口径二重管削孔システム

鋼管径φ89.1㎜〜60.5㎜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．



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）

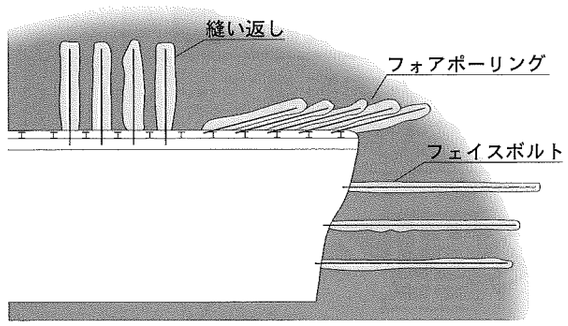
■ウレタン注入材
- ガンバンスーパーS

■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



注入式フォアポ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
- 注入式フォアポーリング
- 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

中部営業部
TEL）052-331-8821　FAX）052-332-0164

東京支店
TEL）03-3260-8321　FAX）03-3266-1648

関西営業所
TEL）06-6578-3235　FAX）06-6578-3237

九州営業所
TEL）092-574-0856　FAX）092-574-0846

北海道地区（㈱エイチ・アール・オー）
TEL）011-821-5868　FAX）011-821-6644

なんといっても低動力で大風量

電力もCO_2も抑えるために・・・ エコロジー＆テクノロジー

標準的なファン

定格：2000m³/min・4.9kPa
動力：110kW×2　400V



220kW(110kW×2)　ファンと同風量で・・・
動力も CO_2 も従来比（最大負荷時）の

省エネ型へ

32%の節電&削減！(150kW)

〔風管φ1500 使用時　中距離(0 ～ 1000m)〕

EZ－2000Q

風量・圧力	動　力	騒 音 値
2000m³/min・2.94kPa	150kW　400V	74dB(最小値)

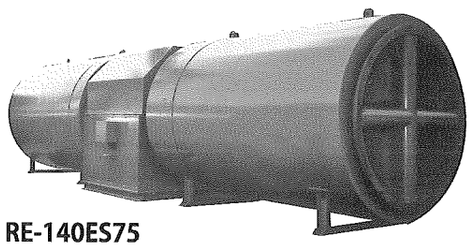


66%の節電&削減！(75kW)

〔風管φ1500 使用時　短距離(0 ～ 500m)〕

エアロMAX★uno

風量・圧力	動　力	騒 音 値
2000m³/min・1.5kPa	75kW　400V	78dB(最小値)



RE-140ES75

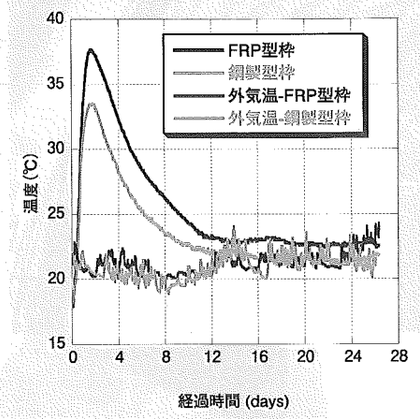
最適環境を創造する
株式会社 流機エンジニアリング

〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI 聖坂ビル
：0120-449-881
U R L：http://www.ryuki.com/
E-mail：eigyobu@ryuki.com
(PC・スマホ専用)

覆工コンクリート革命

◎型枠脱型時の強度が15～20%向上
⇒コンクリート剥離の低減

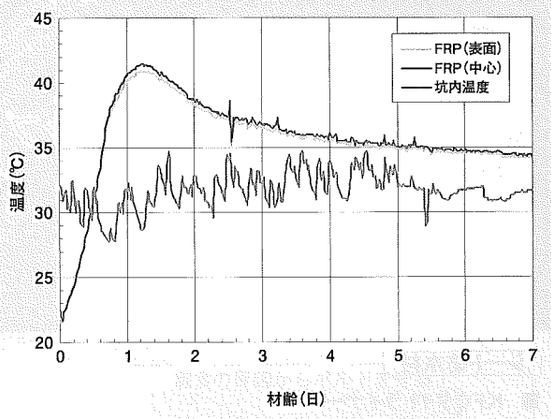
[宮崎大学との共同研究により、㈱フジタ 古江トンネル南にて測定]



■覆工コンクリート温度の比較

◎コンクリート中心温度と型枠背面の温度差が1～2℃
⇒温度ひずみによるクラック低減

[㈱フジタJV宮崎県野地トンネルにて計測]

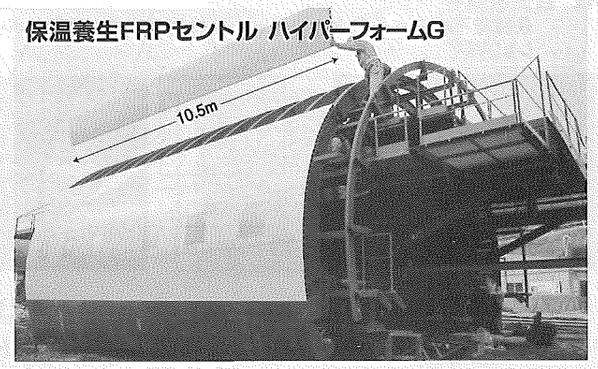


■コンクリート中心温度と型枠背面の温度差

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、寒冷地でも最適
3. 剥離性がよく、ケレン作業が低減

保温養生FRPセントル ハイパーフォームG



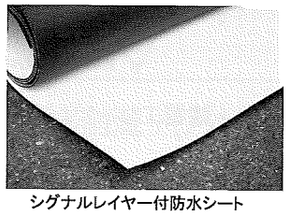
MKE 株式会社 エムケーエンジニアリング

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

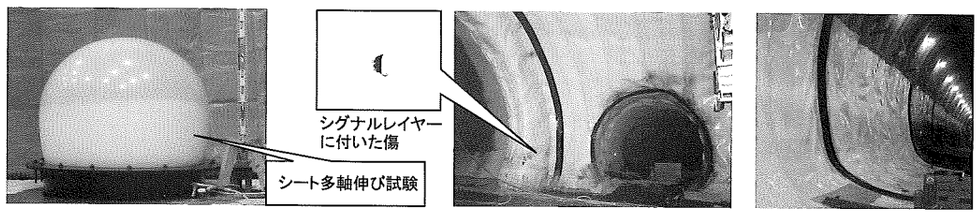
ウォータータイトトンネル 防水システム



シート防水材


シグナルレイヤー付防水シート

- **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



基本システム

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

漏水対策システム

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

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー
土木資材事業部(東京) TEL(03)6402-8251 FAX(03)6402-8255
土木資材事業部(大阪) TEL(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755

1本1本が大切！ だから

次世代 防食 ロックボルト

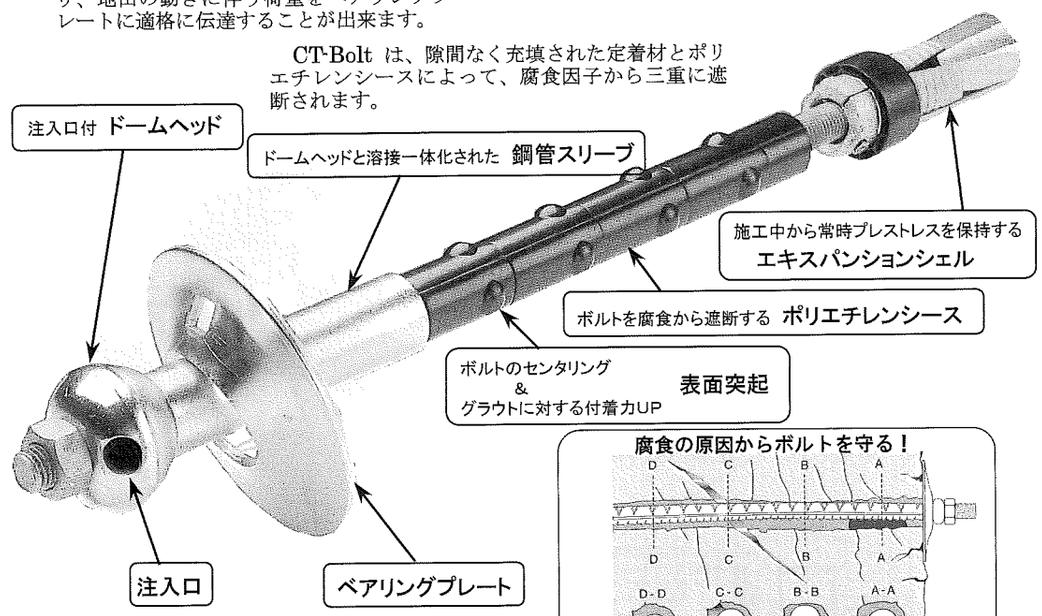
CT-Bolt

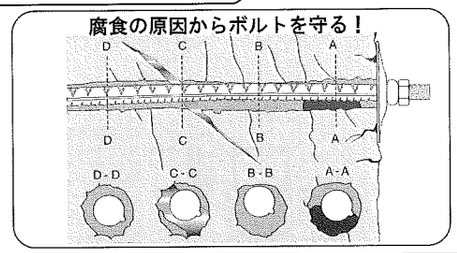
Ørsta Stål

通常施工により超長期支保

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

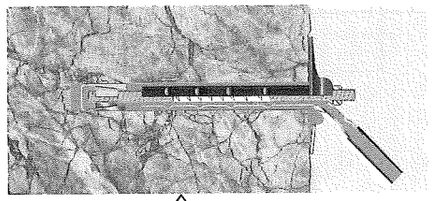
CT-Bolt は、隙間なく充填された定着材とポリエチレンシースによって、腐食因子から三重に遮断されます。





CT-Bolt の定着は・・

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



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

完全充填

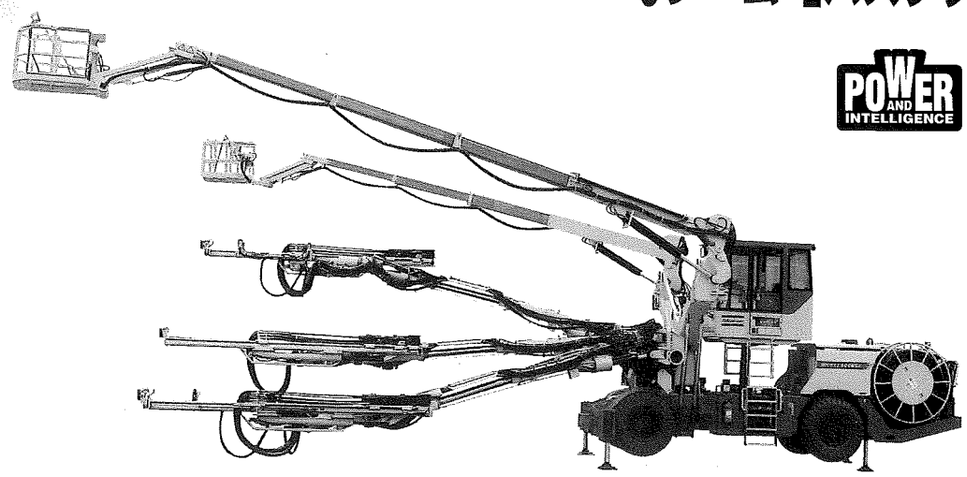
CT-Bolt は、広い範囲の粘度のグラウト注入が可能です。グラウトはポリエチレンスリーブ内に充填された後、先端部から孔壁とスリーブの間を充填して戻り、リターンによって全面定着が確認出来ます。

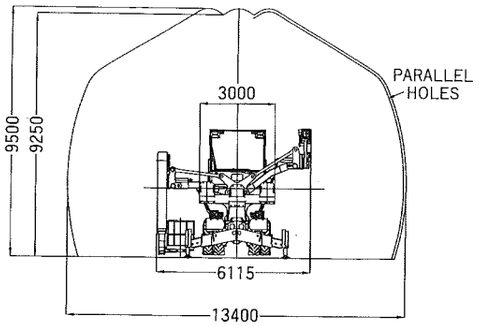
総発売元 Your Fastening Partner

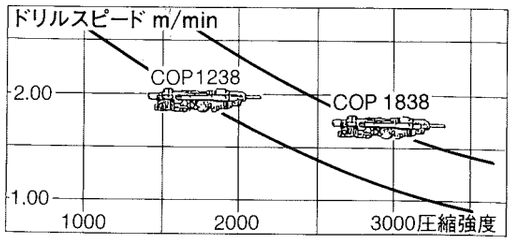
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー
〒105-0011 東京都港区芝公園2丁目4番1号
お問い合わせ先 TEL:03-6402-8256
技術部 FAX:03-6402-8255

アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B
COP1838油圧ドリフター搭載
3ブーム・2バスケット





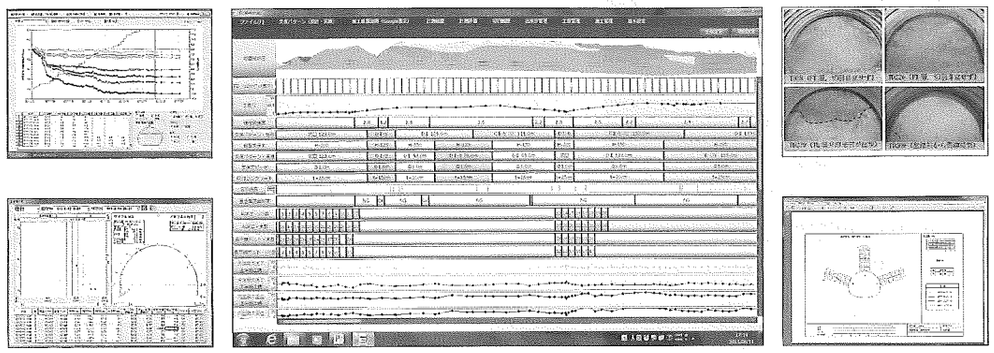


ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO.,LTD.

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楢原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

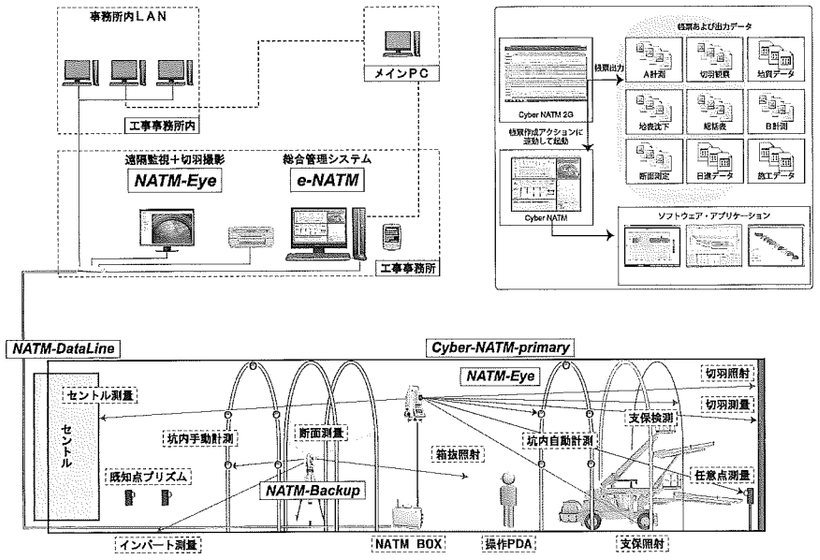
This August Debut
新時代の切羽情報管理システム
Cyber NATM 2nd Generation
CYBER NATM　Horus

トンネル管理の原点はやはり巻物であった





- *トンネル連続情報を可視化する*
- *トンネル技術情報を共有化する*
- *トンネル施工情報を一元化する*

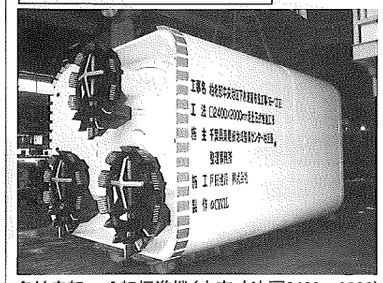


enzan KOUBOU
株式会社　演算工房　*ENZANKOUBOU CO.,LTD.*
■京都本社　〒602-8268　京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地3
TEL：075-417-0100　FAX：075-417-0200

超流バランスセミシールド工法

ボックスカルバート推進工法

施工場所：千葉県柏市若柴地内



多軸自転・公転掘進機（内空寸法□2400×2000）

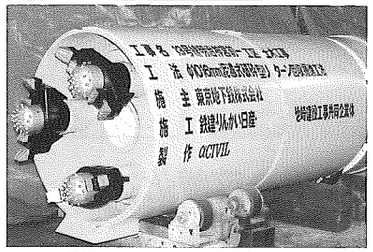
本工法は、有効断面を最大限に確保し、低土被り、長距離、急曲線の安全で迅速かつスムーズな密閉型矩形推進工法を確立しました。

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

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

リターン回収掘進工法

施工場所：東京都渋谷区神宮前



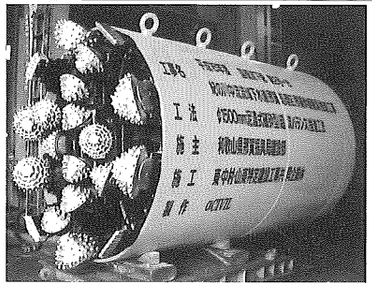
φ1016㎜長距離パイプルーフ掘進機（リターン回収型）

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

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

◆長距離・曲線パイプルーフとして適用可能
◆通常のJIS鋼管にて対応可能（鋼管φ812～φ1219㎜）
◆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・岩盤破砕型掘進工法

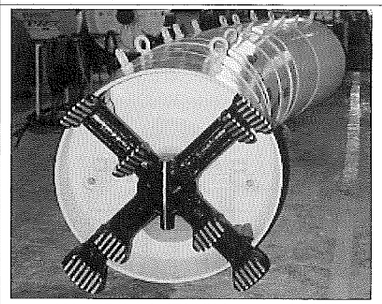


φ1500㎜破砕型掘進機

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

◆破砕型掘進機：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
◆破砕型急曲線実績　R＝15m（φ800、巨礫層）
◆破砕型長距離実績　L＝619m（φ1000、巨礫層）

長距離・急曲線推進工法



φ800㎜超急曲線掘進機（R=9.3m対応機）

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

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

認証取得 ISO 9001 ISO 14001

株式会社アルファシビルエンジニアリング（超流セミシールド協会）

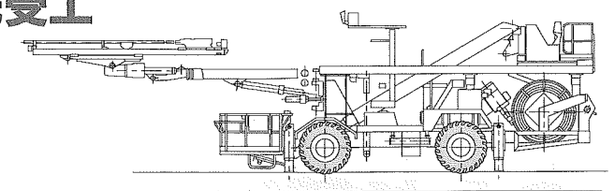
〒812-0015福岡市博多区山王１丁目１番18号
TEL(092)482-6311　FAX(092)482-6363
E-mail:arfa@oregano.ocn.ne.jp
URL http://www.alpha-civil.com

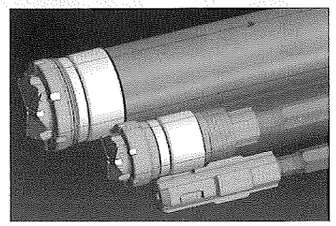
建設コンサルタント登録番号：建18第8677号
測量登録番号：登録第(1)-30507号
建設許可番号：国土交通大臣許可（特-18）第19193号

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

All Graund Fastening;
Long-Distance,.Fore-Pilling Method

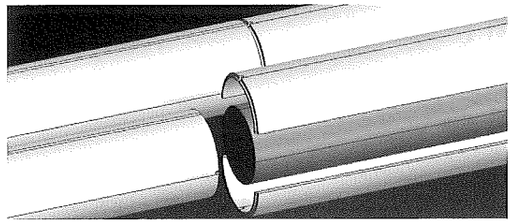


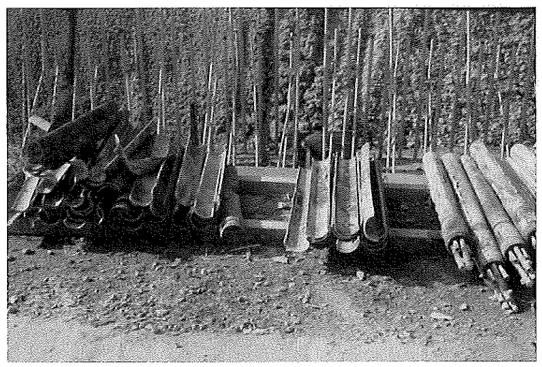


AGF-Me工法

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

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



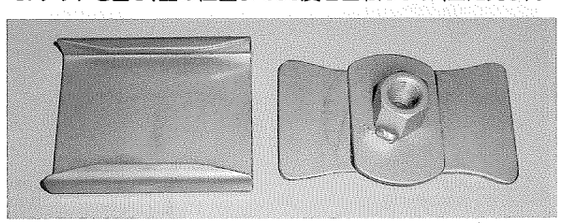


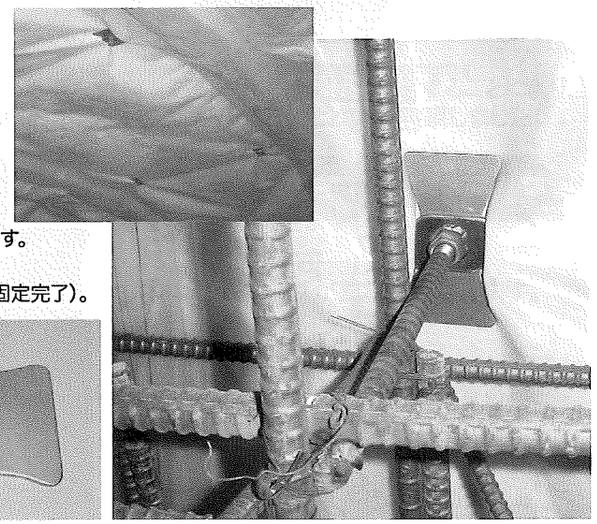
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

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





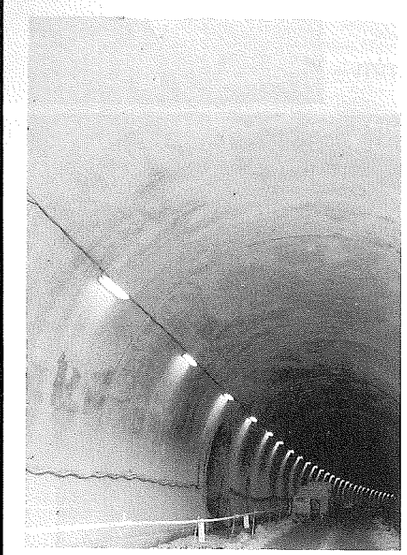
東邦金属株式会社　東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD
〒107-0052
東京都港区赤坂2-19-8　赤坂２丁目アネックス６Ｆ
Tel: 03-5545-7900　Fax: 03-5545-7905
URL:http://www.tohokinzoku.co.jp

株式会社 トーキンオール
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel:**044-333-0012**　Fax:**044-333-0321**
（お問い合わせ先）

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

◆土木資材の綜合プランナー◆

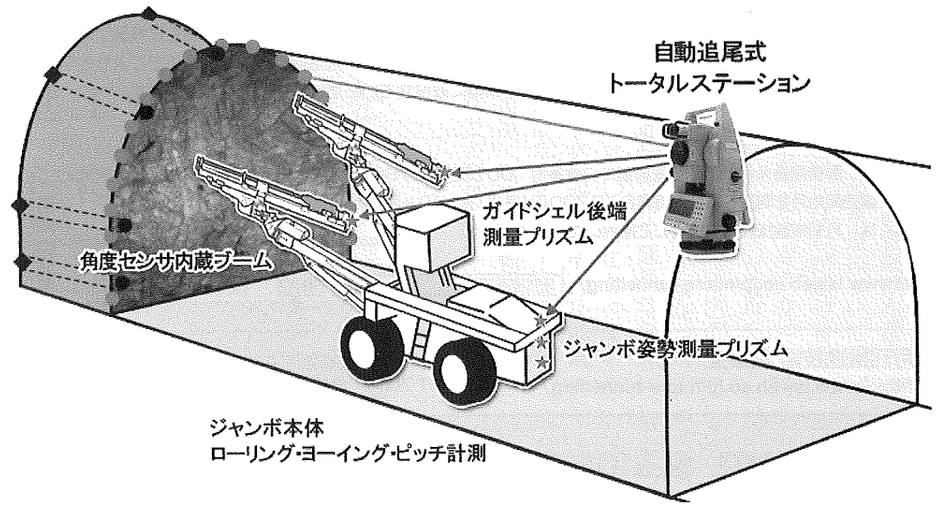
株式会社 マノール 〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)

NETIS登録番号:KK-100049-A

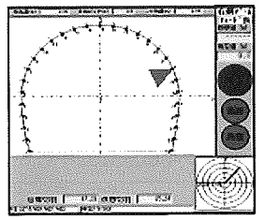
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省　公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社
〒272-0832　千葉県市川市曽谷8-16-3
TEL:047-371-3191　FAX:047-371-3190

FRD FURUKAWA 古河機械金属グループ 古河ロックドリル株式会社
〒103-0027　東京都中央区日本橋1-5-3
特機部
TEL:03-3231-6966　FAX:03-3231-6993

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）

わが国のライフラインなどのインフラ整備またはその再構築や新たな地下空間の築造に、掘削残土量やCO_2排出量を抑制し、なおかつ耐震性の高い推進工法のニーズが高まっています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説をしております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管渠埋設の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっています。

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間購読料金12,000円（毎月1冊×12ヶ月　税・送料込）をお支払いください。

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

定期購読のお申し込みは
右のQRコード
または本誌ホームページから

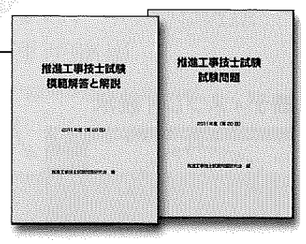
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/　月刊推進技術　検索

お問い合わせ先
月刊推進技術 編集室
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/
〒135-0046　東京都江東区牡丹2-2-3-105　株式会社 LSプランニング内
電話 03-5621-7850　FAX 03-5621-7851　E-mail akasaka@lsweb.co.jp

推進工事技士試験　過去10年間（平成14～23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



平成23年度版発売中!!

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㈱日本下水道管渠推進技術協会（現㈶日本推進技術協会）が平成4年度より実施している制度で、管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えて、この程、推進工事技士試験過去問題集を刊行しました。受験対策書としてご活用いただければ幸いです。

1．内容と特長
- ○過去10年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- ○各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- ○解説には設問に採用された図書（推進工法体系）の出典箇所を明記

2．価格

各年度単位に1set 2,000円（消費税・送料込）

3．申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

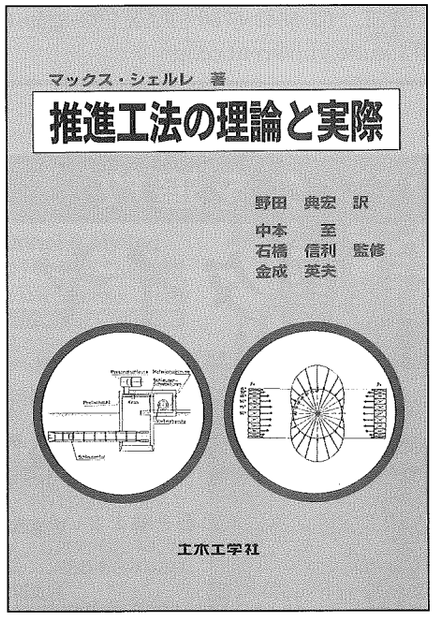
ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社（団体）名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。

これらのことをインターネットでご案内しています。　推進工事技士試験　検索

お問い合わせ先
株式会社 LSプランニング
http://www2.ocn.ne.jp/~ls_siken/
〒135-0046　東京都江東区牡丹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

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



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

推薦の言葉

中本　至・石橋信利・金成英夫

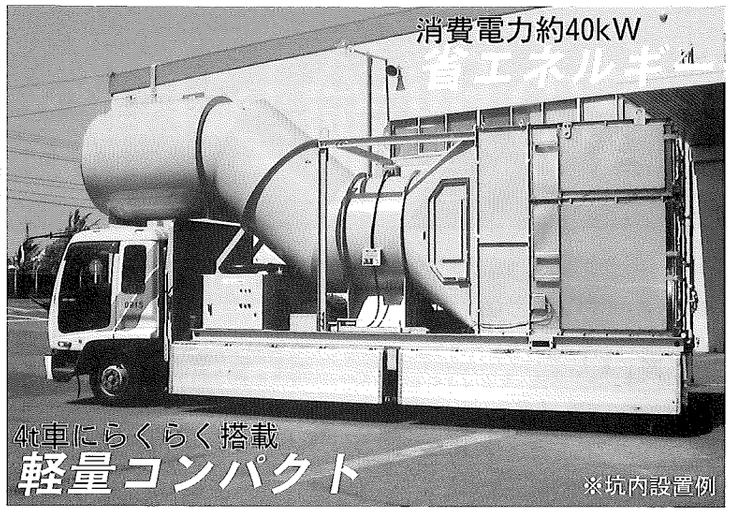
推進工法によって、下水道をはじめ多くの管渠が布設されている。下水道については一九六〇年にはわが国の普及率は十五％にすぎなかったが、今日では六〇％近くになっている。当初、一五〇〇キロしか施工実績がなかったが、近年の施工延長は年間一五、〇〇〇キロになっている。下水管渠の施工方法の選定にあたって、施工条件や建設環境、地下埋設物や地盤条件などの関係から、開削工法より推進工法などの特殊工法が選定されることが多くなり、その中でもとくに推進工法の適用は多くなった。ところが、わが国では推進工法に関する実務書は多いが理論面を記述したものはあまり見当たらず、推進工法の一層の発展のためにも理論書が求められていた。

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

〒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



RENT

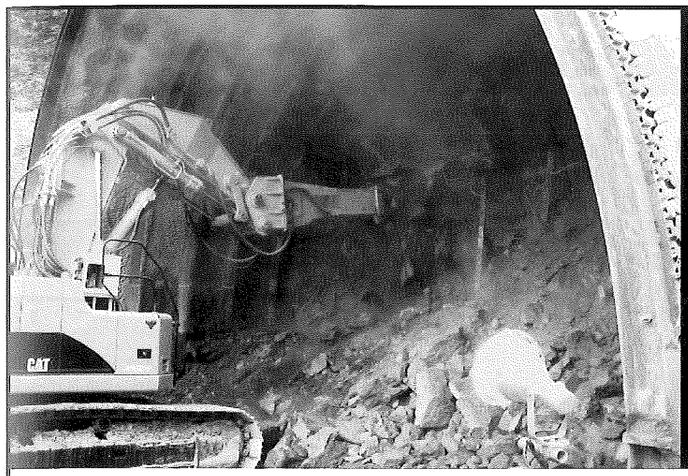
取扱レンタル商品

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

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

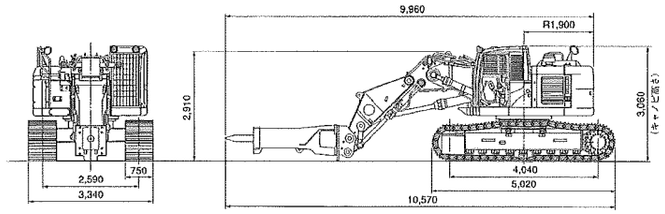
〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 3-12-9 NIビル 8 階　TEL：03-5642-6750　FAX：03-3249-0415
URL：http://www.rent.co.jp　E-mail：kudo.yuji@rent.co.jp



大型ブレーカ

CAT325C

CAT328D



klea
株式会社 ケイ・リー
東日本支店：022-359-5331
西日本支店：06-6838-1372
尾 道 工 場：0848-58-1124
機材センター：022-359-4951
URL http://klea.jpncat.com

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ



特許第1610830号

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

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

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

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

中濃産業株式会社
代表取締役 土 田 義 弐

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

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

■北海道支店
tel：0133-72-3715
fax：0133-72-3716
■東北営業所
tel：0198-26-0240
fax：0198-26-0241
■関東支店
tel：0268-62-1426
fax：0268-62-1999
■大阪支店
tel：072-677-2101
fax：072-677-2109
■九州支店
tel：0982-26-2111
fax：0982-26-2290

快適な運転、優れた耐久性



坑内専用リジッドダンプ
FV50JJWD324
国土交通省排ガス3次トンネル工事用指定

●超耐磨耗性鋼板使用ベッセル
●2重構造スーパーフレーム



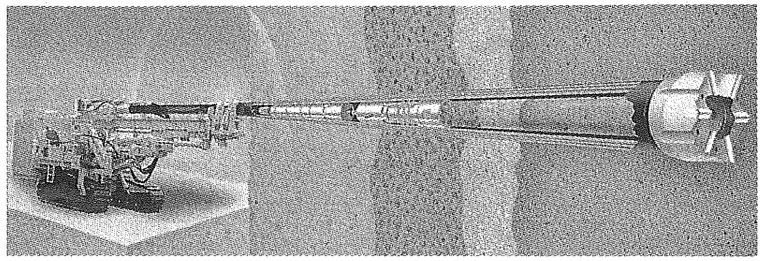
【仕様】 三菱ふそう製 FV50JJWD324

キャブ付シャシ	全長	7.310m
	全幅	2.880m
	全高	3.060m

	一般ダンプ	FV50JJWD324
最大積載重量	10t	25t
ホイールベース	4.520m	4.520m
タイヤ&ホイール	11R22.5-14PR（8スタッド）	12.00-20-18PR（10スタッド）
エンジン	6M70T3	6M70-TL
最高出力kw（ps）/rpm	380PS/185kgf・m	370PS/154kgf・m
最大トルクN・m（kgf・m）/rpm	279（380）/1,800	272（370）/2,000
	1,810（185）/1,100	1,510（154）/1,600
	（JP05）	（産業用第3次排出ガス規制）
パワーステアリング	シングル	ツイン
フレーム	t7	t8+t8（二重フレーム）
その他	—	専用アスクル&サスペンション

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

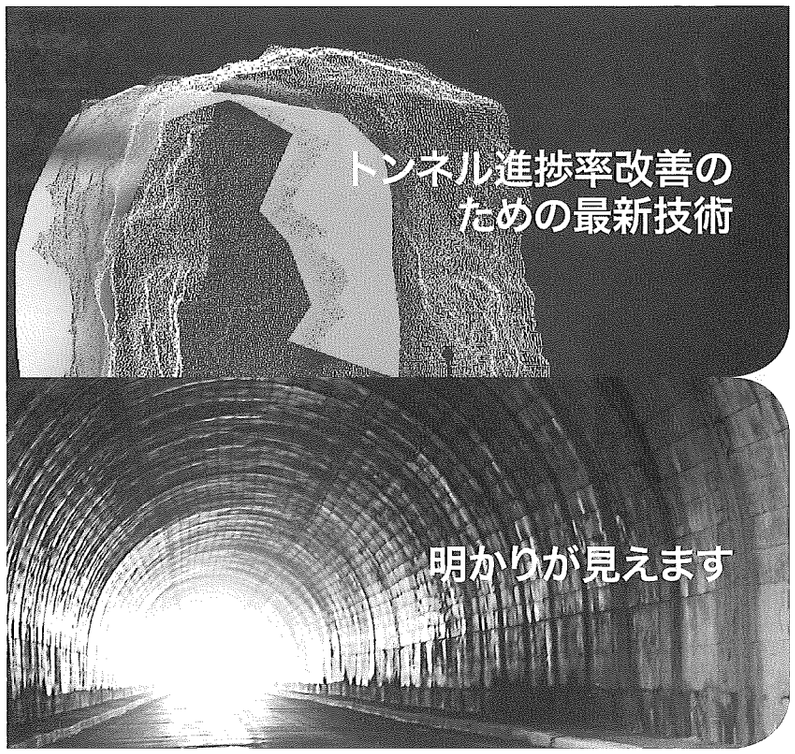
①断層破砕帯や湧水をともなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行え、施工時間が大幅に短縮できます。

②2重管ワイヤーライン サンプリングシステムにより、地質条件にかかわりなく、コアサンプルの採取率が従来とくらべて大幅に向上しました。

KOKEN 鉱研工業株式会社

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

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



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-T™、高エネルギーエマルション爆薬の結果をご覧になることができます。これらはすべて、お客様のご要望に沿って全てのプロジェクトに最適な技術サービスとサポートをご提供した結果です。

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

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

ORICA MINING SERVICES

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

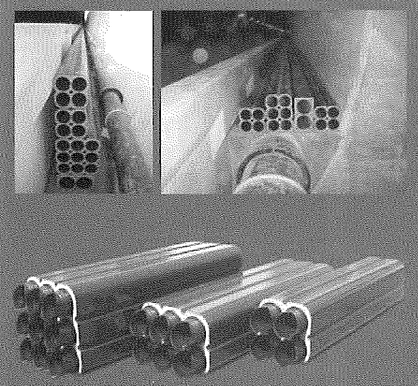
本 社：〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目24番7号 電話(03)3891-0711
大阪支店：〒569-1133 大阪府高槻市川西町2丁目21番38号 電話(072)691-0711
福岡支店：〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前4丁目25番14号 電話(092)436-1588
沖縄営業所：〒901-2122 沖縄県浦添市勢理客4丁目16番9号 電話(098)870-6411

万が一のトンネル火災でもセラダクトAネオは燃えることはありません。

「安全・安心」な道路建設にトンネル内地中埋設管路

セラダクトA（エース）ネオ neo

『不燃材』



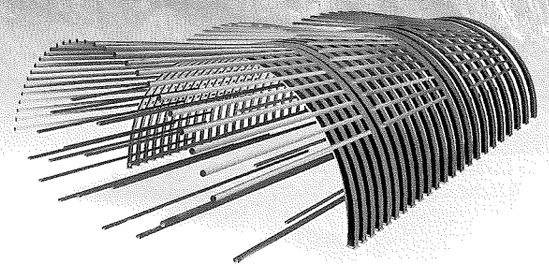
－特長－

標準管の長さは65cmの新規格
接続はカップリング方式で
簡単スピーディー

sugie 杉江製陶株式会社
http://www.sugie.co.jp/

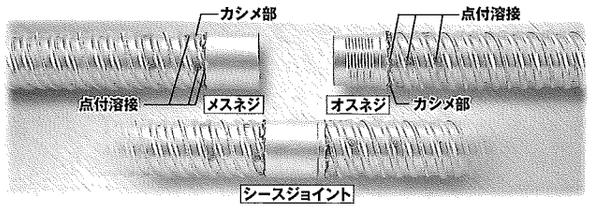
本社・工場 愛知県知多郡武豊町字上山一丁目76番地 〒470-2387
TEL(0569)35-2360㈹ FAX(0569)35-4087
東京支店 東京都渋谷区恵比寿一丁目21番8号セラ51ビル 〒150-0013
TEL(03)3442-6181 FAX(03)3442-1691
大阪支店 大阪市都島区御幸町1丁目3番1号 〒534-0012
TEL(06)6922-6991 FAX(06)6922-2498

ユニークな発想と高品質・自信の価格



FIXチューブ工法

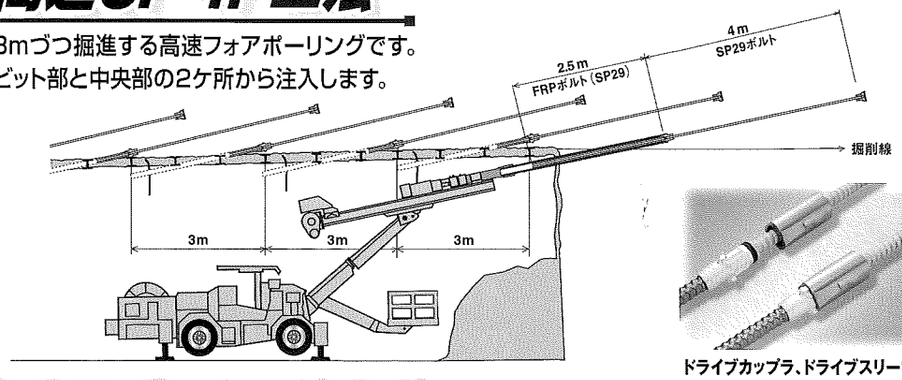
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと“FIX”します。

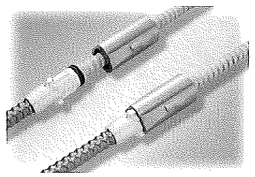




高速SP-IF工法

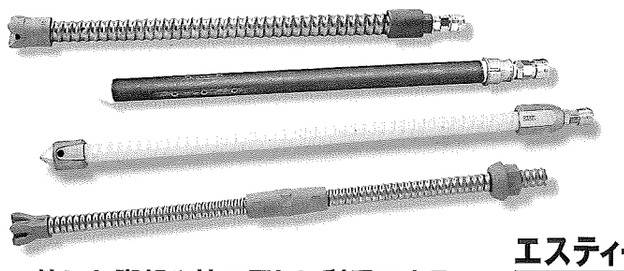
※3mづつ掘進する高速フォアボーリングです。
ビット部と中央部の2ケ所から注入します。

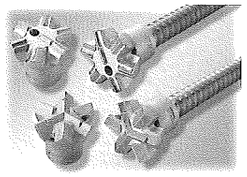




ドライブカップラ、ドライブスリーブ

自穿孔ボルト&注入管





φ65mm ロストビット(SP29)

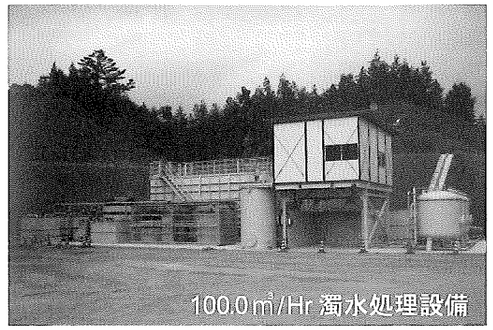
※他にも脚部や坑口周りに利用できる各種の補強土工法、マイクロパイル工法を準備しております。

STE
エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251
http://www.st-eng.co.jp

濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します


100.0㎥/Hr 濁水処理設備


複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

≪汎用車輌全般≫


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




10T ミキサー


4.5㎥ベッセル搭載ダンプ


10T 低床ダンプ


10T ダンプ

各種車輌 取り扱っております

株式会社 フジテックス
〒930-0821 富山市飯野 12-1 TEL (076)452-1616(代) FAX(076)452-1617

トンネルと地下　11月号目次　Vol.43, No.11, 2012 Nov.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENT

■巻　頭　言

下水道とトンネル技術
神山　　守……5

■研　　究

極小土かぶり部にSENSを適用した場合の覆工と地盤の挙動
―東北新幹線　三本木原トンネル―
千代　啓三・井浦　智実……49

■施　　工

小土かぶり3区間を地表または坑内からの対策工と計測管理で掘る
―北海道新幹線　万太郎トンネル―
若公　雅敏・山崎　貴之・長谷部　敏・小沼　宏嗣……7

流域の水利用への影響を考慮したトンネル構造
―中国横断自動車道尾道松江線　大万木トンネル―
狩野　浩資・景山　浩孝・安部　　学……13

初期掘進区間の重要構造物直下1D以下を大断面シールドで施工
―阪神高速大和川線　大和川シールド―
大島　正資・大西　和行・玉田　康一……21



CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

天竜川水系・小渋ダムに近接した4kmの土砂バイパストンネル
粟野　哲郎・堂下　　哲・藤原　武司……29

■連 載 講 座

トンネル技術者のための地相入門（7）
―地すべり地内に計画されたトンネル工事―
「地相入門」連載講座小委員会……59

■現場だより

「宇宙ロマンの夢広がる」飛騨神岡より
花田　則昭……20

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

トンネルの技術革新期を経験した私の工事記録
渡辺　英図……39

■資　　料

土木情報
編　集　部……38

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……72

トンネルジャーナル
編　集　部……58

トンネルワールドニュース
JTA国際委員会……73

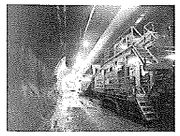
文献紹介
編　集　部……71

海外文献速報
JTA国際委員会……76

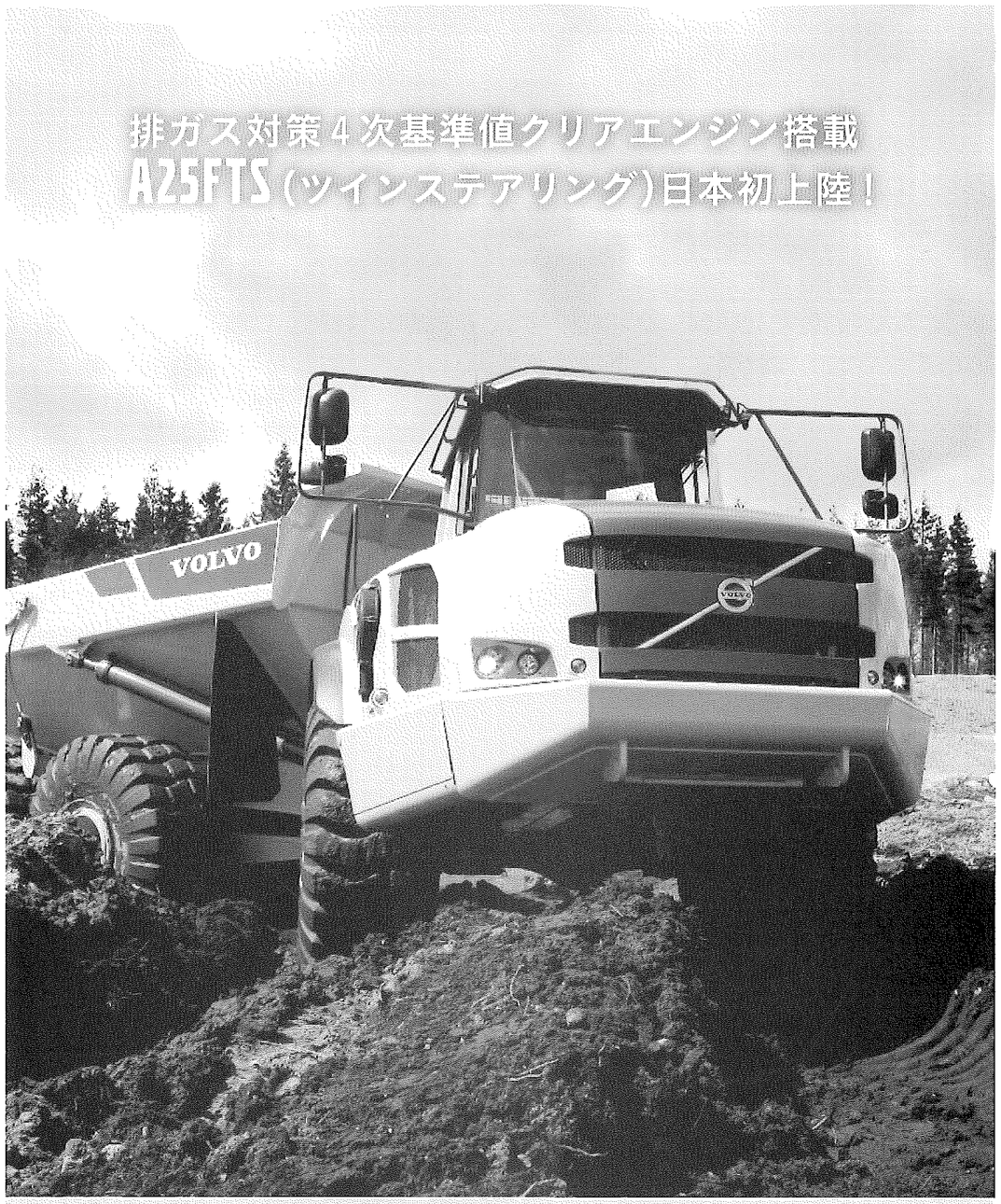
■会　　報

会　　報
日本トンネル技術協会……78

【表紙説明】　天竜川水系・小渋ダムに近接した4kmの土砂バイパストンネル



本工事は，小渋ダムへの堆砂の進行を抑制してダムの有効容量を確保すること，下流河川環境の健全化を図ることを目的として，土砂バイパストンネルを建設する工事である．ずり出しには延長が約4kmのトンネルを安全かつ効率的に施工するため，連続ベルトコンベヤ方式を採用した．また，効率的に換気を実施するため，伸縮ダクトを採用して切羽近傍にて粉じんを捕集し，風管にて送風するシステムを導入した．写真は，坑内切羽の状況である．〔写真提供：国土交通省〕（本文29頁参照）



山崎マシーナリー株式会社
ボルボ事業部　担当：浅野
住所：静岡県磐田市飛平松216番地1
電話：0538-66-1215　FAX：0538-66-6162

ボルボ アーティキュレートダンプトラック
1955年、世界初のアーティキュレート式トラックの誕生以来、この画期的な搬送車は瞬く間に世界に拡がり、その生産性の高さは常に業界をリードしてきました。
環境・安全・品質 ―― 設立以来揺るがぬボルボのコアバリュー。
長く、逞しく、自然と戦うためのマシンです。

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大　島　洋　志　　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹　　事〕

居　相　好　信
株式会社大林組生産技術本部統括部長

岩　田　美　幸
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

大　石　敬　司
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部次長

大　津　敏　郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

金　山　洋　一
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

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

小　松　敏　彦
前田建設工業株式会社土木事業本部土木部
トンネルグループ長

志　岐　　寛
清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部
部長

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

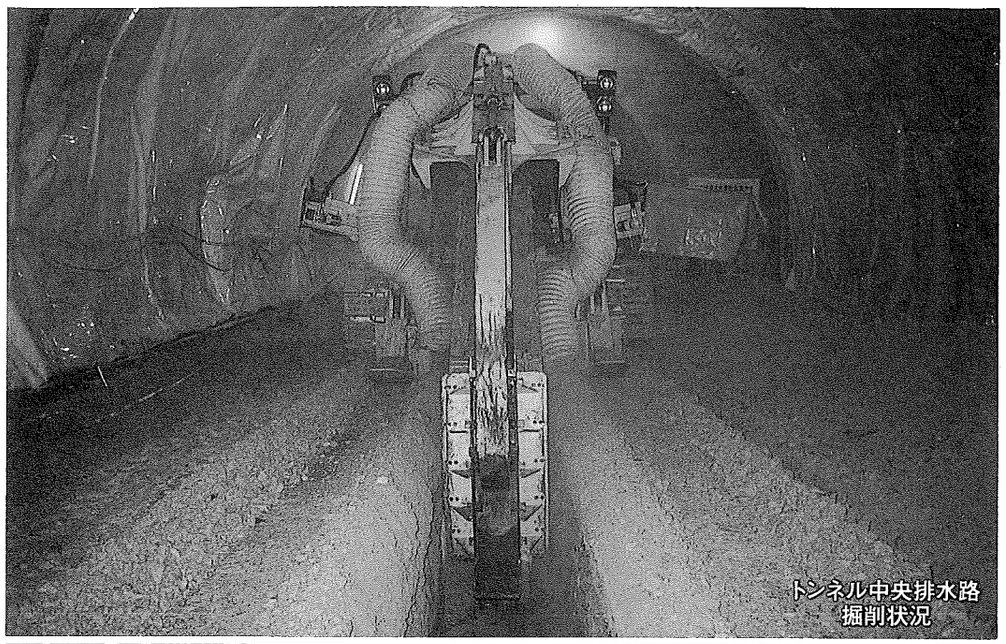
松　原　利　之
飛島建設株式会社建設事業本部
エンジニアリング事業推進部長

三　浦　　克
株式会社竹中土木常務執行役員

吉　富　幸　雄
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

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/cm²	700kg/cm²	700kg/cm²	1000kg/cm²
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。

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㈹ FAX(026)282-5803
http://www.wkk.co.jp/

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〕

木谷日出男
国際航業株式会社技術センター
地盤研究室長

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式会社専務取締役

橋本定雄
（元）東京都公営企業管理者下水道局長

濱建介
株式会社ANET取締役

三浦克
株式会社竹中土木常務執行役員

〔委員〕

大津敏郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

亀山勝
東京地下鉄株式会社鉄道本部鉄道統括部
移動円滑化設備推進担当課長

坂口淳一
東京都交通局建設工務部計画改良課長

佐原圭介
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

清水満
東日本旅客鉄道株式会社建設工事部兼設備部
構造技術センター次長

高田武
東京都水道局建設部工務課長

高橋晃
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

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

焼田真司
公益財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員

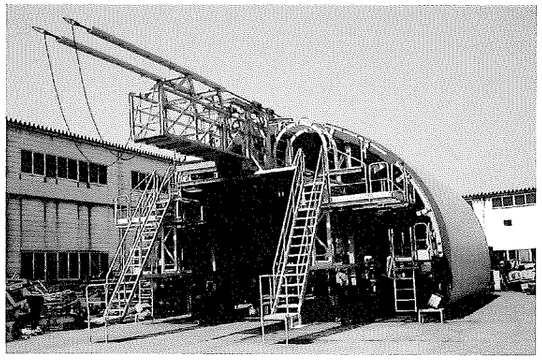
柳雄
東京都下水道局建設部設計調整課長

要求性能を満たす
覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレータ装置

NETIS 登録 No.HR-080001-A



期待される効果・特徴

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

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.HR-080002-A



期待される効果・特徴

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

北陸鋼産株式会社

(旧社名　株式会社 佐賀)

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

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

滑川工場：TEL076(476)0333　FAX076(475)9121　東北営業所・工場：TEL0223(32)2420　FAX0223(32)2423

東京支店：TEL03(3851)1016　FAX03(6908)6789　大阪支店：TEL06(4963)3520　FAX06(4963)3521

トンネルと地下　VOL.43　No.11　掲載概要

掲載頁 7

小土かぶり３区間を地表または坑内からの対策工と計測管理で掘る
—北海道新幹線　万太郎トンネル—

鉄道・運輸機構　若公　雅敏

北海道新幹線万太郎トンネルは，小土かぶり区間の延長がトンネル全長の約1/3を占め，かつ地山が未固結な粘土，シルト，砂礫で構成され，施工にあたっては地山の不安定化による天端や切羽の崩壊が懸念された．

小土かぶり区間のうち，坑口付近については，地上からセメント混合による地山安定処理を行い，天端の地盤強度を確保したうえでトンネル掘削を行った．

一方，トンネル中間部の小土かぶり区間については，坑内からの補助工法で対策し，かつ地山の動態観測を行い，大きな地山変動がないことを確認してトンネル掘削を行った．

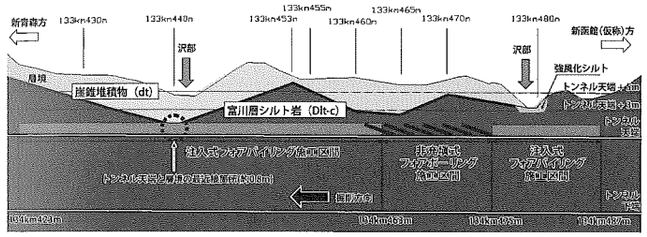
本稿では，小土かぶり，かつ脆弱な地山におけるトンネル掘削の設計，施工結果について報告する．

Tunnelling using Ground Stabilizing and Measurement Control on Small Cover Sections —Hokkaido Shinkansen Mantaro Tunnel—

By Masatoshi Wako, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

Hokkaido Shinkansen Mantaro Tunnel has three small cover sections which account for about one third of the total length. The ground is composed of unconsolidated clay, silt and sand and gravel. Because of these conditions, there was feared that destabilizing of ground could cause collapse in tunnel crown or cutting face.

Cement-stabilization from surface was applied to the ground along the section near both portals with small cover. After ensuring the ground strength of the cover tunnel excavation was conducted safely.



図は中間部付近の縦断図および補助工法実施図

Meanwhile, some auxiliary methods were installed from inside the tunnel against the small cover section in the middle of the tunnel and tunnel excavation was conducted after checking deformation with dynamic observation.

This report gives information on design and construction results for tunnel excavation under small cover and weak ground.

掲載頁 13

流域の水利用への影響を考慮したトンネル構造
—中国横断自動車道尾道松江線　大万木トンネル—

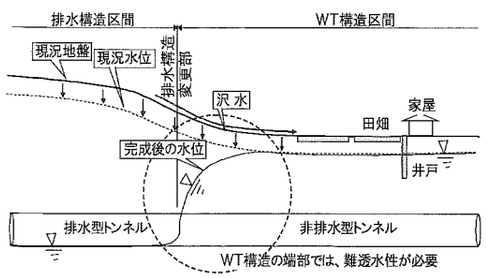
国土交通省　狩野　浩資

中国横断自動車道「尾道松江線」を代表する構造物である大万木トンネルのうち，広島県側にある小土かぶり区間においては，断層帯や河川を横過することから従来の排水構造のトンネルでは河川水の引込みによる流量低下が懸念された．そのため，本トンネルでは一部の区間を非排水構造とし，流量回復が可能なウォータータイト構造(以下，WT構造)を採用した．トンネル施工中は，掘削に伴う湧水の調査および周辺流域の調査を行い，河川水の引込みに留意した．施工完了後の水位回復状況を調査し，WT構造の評価について報告する．

Tunnel Design Considering the Water Use in the River Basin—Chugoku Odan Expressway Onomichi Matsue Line Oyorogi Tunnel

By Hiroshi Karino, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The Oyorogi Tunnel is a representative structure of the Chugoku Odan Expressway Onomichi Matsue Line. Its shallow section on the Hiroshima Prefecture side passes through fault zone under the river. There was concern about a decline in flow of the river rate if river water would be drawn into the tunnel without water-tight structure. For this reason, a water-tight tunnel that makes it possible for flow rate to recover after the completion was applied as a undrained structure for a part of this tunnel. During excavation, monitoring of mine water and the surrounding river basin were conducted to pay attention to the drawing of river water. This report gives information on, water level recovery status observation and evaluation for the water-tight tunnel after the completion of tunnel.



図は排水構造変更部の地下水位概念図

掲載頁 21

初期掘進区間の重要構造物直下 1D 以下を大断面シールドで施工

—阪神高速大和川線　大和川シールド—

阪神高速道路(株)　大島　正資

本工事は，平成24年３月30日に掘進を開始し，３か月を経て，約154mの初期掘進を無事完了した．初期掘進では，発進直後，南海高野線および陵北樋門と連続した２つの重要構造物の直下を0.6～1.0D(７～12m)の小土かぶりで横断する．そこで，重要構造物の影響範囲に入る手前に，２断面のトライアル計測を実施し，シールド掘進管理の確立・検証を重ねた．計測管理の結果，発進直後の小土かぶり施工および上町断層区間にもかかわらず，シールド掘進による地盤変状は各構造物の管理値を十分に満足し，安全な掘進管理を行うことができた．

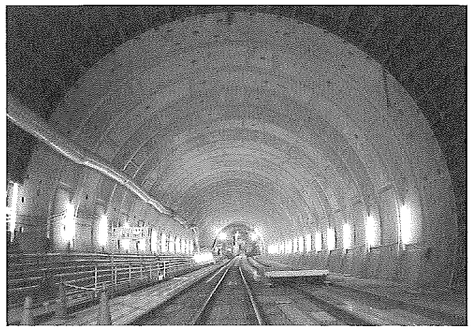
本稿では，初期掘進工の掘進管理および計測管理について報告するものである．

Driving Large Shield beneath Important Structures as Beginning Propulsion—Hanshin Expressway Yamatogawa Line Shield Tunnel—

By Masashi Oshima, Hanshin Expressway Company Limited

The Shield TBM for Yamatogawa line started on 30th March, 2012 and the beginning propulsion of 154 m was completed successfully after three months. During the beginning propulsion, we had to cross directly under two important structures consecutively, the Nankai Koya Line and the Ryohoku sluice-gate, with small cover of from 0.6D to 1.0D (7 - 12 m). Before driving into the zone of influence on the important structures, preliminary measurements were implemented on two section and we repeated to establish and verify shield excavation management. Despite driving under small cover and through Uemachi Fault, Excavation and measurement management led to deformation caused by shield driving satisfied criteria of each structure and excavation safe.

This report gives information on excavation and measurement management in beginning propulsion.



写真は坑内状況(坑口より)

掲載頁 29

天竜川水系・小渋ダムに近接した４kmの土砂バイパストンネル

国土交通省　粟野　哲郎

本工事は，小渋ダムへの堆砂の進行を抑制してダムの有効容量を確保すること，下流河川環境の健全化を図ることを目的として，土砂バイパストンネルを建設する工事である．トンネル延長が約４kmの長大トンネルであることから，安全かつ効率的に施工することを目的として，連続ベルトコンベヤ方式を採用した．また，効率的に換気を実施するため，伸縮ダクトを採用して切羽近傍にて粉じんを捕集し，NLF(Non Leak Fastener)風管にて送風するシステムを導入した．

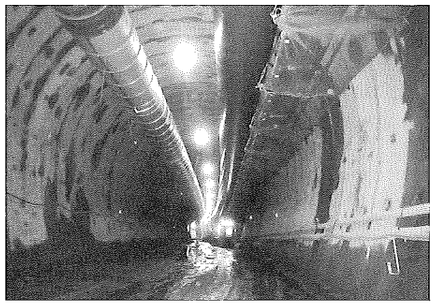
施工は地質条件に恵まれ順調に進捗したが，堤体および発電用の導水路などが近接しているため，振動測定を実施しながら，トンネル掘削の影響を考慮した施工方法を採用した．

4 km Sediment Bypass Tunnel from Koshibu Reservoir along Tenryu River

By Tetsuro Awano, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

In this project, sediment bypass tunnel was planned in order to secure the active storage capacity at the Koshibu Reservoir by controlling the progression of sedimentation and to restore the downstream river environment. Due to its length of approximately 4 km, the conveyor belt system was installed with the aim of safe and efficient construction. In addition, in order to implement efficient ventilation, flexible ducts were employed to collect dust close to the cutting face and a ventilation system with a NLF (Non Leak Fastener) air duct ventilation pipe was installed.

Construction was blessed with good geological conditions and progressed without problem, but as it was close to the dam body and aqueducts for electricity generation, we tunneled with attention to influence on them using vibration monitoring.



写真はベルコン設置(掘削完了部)

掲載頁 49

極小土かぶり部にSENSを適用した場合の覆工と地盤の挙動

—東北新幹線　三本木原トンネル—

(株)熊谷組　千代　啓三

東北新幹線の八戸・新青森間の三本木原トンネルで，シールドを用いた場所打ち支保システム(SENS)が適用された．三本木原トンネルでは，SENSの施工による地盤への影響を確認するため，６m(約0.5D，D：トンネル外径)という土かぶりがきわめて小さな箇所を，地表面変位を連続的に計測することにより，補助工法を適用せずに通過した．この結果，２つの特徴的な現象が確認された．

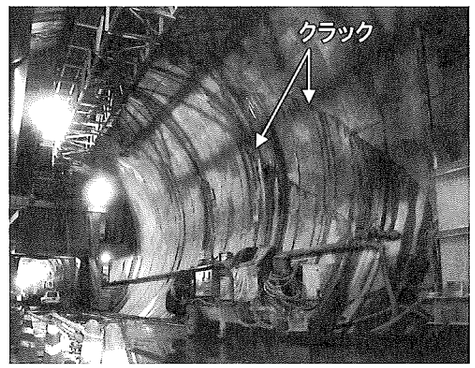
一つはテール部通過時の地盤の隆起であり，もう一つはライニングに発生した特徴的なクラックである．本研究では，とくに極小土かぶり部での施工に注目し，発生した２つの現象について特徴をまとめ，数値解析を実施してクラックの発生要因を検討する．さらに，２つの現象の関連について考察する．

Lining and Surface Behaviour when Tunneling with SENS under Very Small Cover—Tohoku Shinkansen Sanbongihara Tunnel—

By Keizo Chihiro, Kumiai Gumi Co., Ltd.

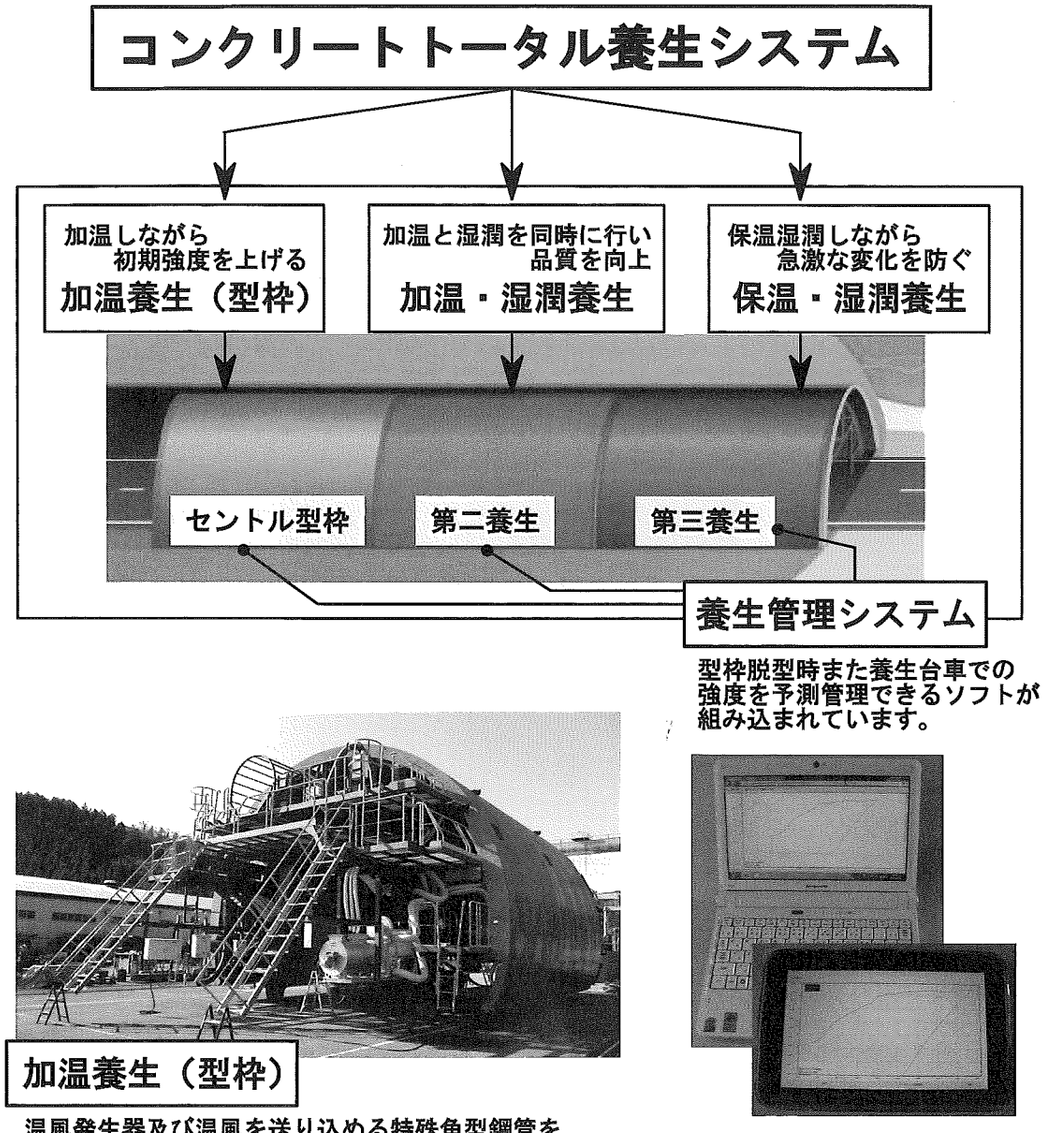
SENS (Shield Machine, Extruded Concrete Lining, NATM, System) was applied for the Sanbongihara Tunnel on the Tohoku Shinkansen between Hachinohe and Shin-Aomori. In order to confirm the effects of tunneling with SENS on the ground surface, ground displacement on its thin overburden of 6-meter was consecutively measured while TBM passing through without auxiliary methods. As a result, two characteristic phenomena were confirmed. One of these is swell of ground at the time of passing through the tail of TBM and the other is characteristic cracking in concrete lining.

This study focuses particularly on SENS-tunneling under extremely small cover, summarizes characteristics of the two phenomena that occurred, implements numerical analysis and investigates the causes of cracking. In addition, it considers the relationship between the two phenomena.



写真は極小土かぶり区間でのクラック発生状況

管理しながらコンクリートを育てる



◆お問い合わせ

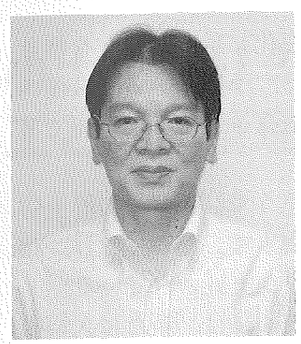
岐阜工業株式会社

本社　岐阜県本巣市十四条144番地
TEL 058(323)2001㈹ 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(918)3880　Fax 092(918)3882
URL http://www.gifukogyo.co.jp/

巻頭言

（題字　佐藤信彦会長）



下水道とトンネル技術

（前）地方共同法人日本下水道事業団東日本設計センター長（本協会評議員）
（東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所長）
神山　守

ものづくりに憧れて土木工学を専攻し，行政に携わるなかでさまざまな土木施設が社会で果たす役割を改めて明確に認識することができた．入都以来25年以上の月日が流れ，これまで河川，道路，鉄道，下水道とさまざまな社会資本の設計や計画に従事してきたが，現在携わっている下水道とその技術について感じるところを述べてみたい．

東京の下水道は，明治17年に神田下水が整備されて以降，着実に整備を推進し，平成7年に下水道（汚水）普及概成100％に達した．現在までに約1万6,000kmにも及ぶ下水道管きょが整備されており，この距離は東京−シドニー間を往復する距離に相当する膨大なものとなっている．これらの下水道管きょは，高度成長期に整備されたものが約50％を占めており，今後老朽化が進行し大量に更新（再構築）時期を迎えることとなる．

さらに，これまでの都市化の進展に伴い，住宅・ビルの増加，道路のアスファルト舗装化などにより雨水の浸透域が減少した結果，下水道管きょに流入する雨水の量が高度成長期以前と比較して約1.6倍にも増加しており，浸水対策が大きな課題となっている．近年は都の整備水準である1時間あたり50㎜の降雨強度を上回る局所的集中豪雨が増加し，首都東京の安全性を脅かしている状況にもある．

また，古い下水道幹線は河川や水路に蓋掛けをしたものも多く，上述の雨水排除能力の不足に加え，耐震上の課題を抱えている．

首都東京の地下には，地下鉄や水道，電気通信をはじめ，さまざまなインフラが縦横無尽に整備されている．下水道管きょの更新や新たな管きょの整備に際しては，コスト縮減に努めることに加え，近隣住民への影響や環境への影響を最小限に抑える工夫が必要である．とくに，23区内は住宅地と商業施設が密集している地域が多いことに加え，埋設物の輻輳度合いがきわめて高いことから，機械を使用した掘削はもとより，人力による掘削や支障となる施設を切回す措置さえも困難な場面が非常に多く見受けられる．

このような施工環境上の課題を克服しつつ，下水道管きょが直面する課題である老朽化対策，浸水対策，耐震対策を推進するため，東京都下水道局では東京都下水道サービス（株）や民間事業者と共同でさまざまなトンネル技術の開発に取り組んできている．

一つは，既設の下水道管きょを効率よく更生し，老朽化対策や耐震対策を可能とする

SPR工法である．本工法は，既設の下水道管きょの内側に硬質塩化ビニル材などを巻き立てる非開削工法で，振動や騒音が少なく，低コスト化も図れる．小口径から大口径の下水道管きょ，円形管から矩形や馬蹄きょに至るまで，あらゆる管きょに対応可能である．本工法は，シンガポールなど広く海外でも採用されている．

下水道管きょとマンホールとの接続箇所の耐震化や液状化に伴うマンホールの浮上防止対策についても，非開削で行える対策技術を開発して鋭意耐震事業を進めており，昨年発生した東日本大震災では，江東区新木場地区などでその効果が実証されている．

一方，都市化の進展に伴う雨水流入量の増加に対応していくためには，新たに大規模な下水道幹線の整備が必要となるが，各種埋設物が輻輳する比較的深度の浅い地下には，これらの施設を整備するスペースは皆無に等しい状況である．このため，必然的に深度の深い場所に下水道幹線を整備せざるを得ないことから，これまで数多くの推進工法やシールド工法を採用するとともに，施工の合理化やコスト縮減の観点などから二次覆工一体型セグメントやコンパクトシールド工法など新たな技術を共同で開発し，採用してきた．

上記以外にもさまざまなトンネル関連技術を開発してきたが，これらの技術はいずれも下水道が抱える課題の解決の必要に迫られ，下水道局が民間事業者などと共同して先駆的に開発してきたものである．

東京では，深度の深い場所においても，多くの地下鉄や電力洞道，高速道路などが整備されている．これらの重要施設の間隙を縫って下水道幹線を整備するためには，詳細な調査・検討と高度な施工技術が必要とされる．さらに，シールド立坑箇所や路線付近に居住する住民の方々や環境などにも十分に配慮するとともに，コスト縮減も要請される．

このため，われわれ土木技術者には，高度な知識や経験にもとづいた，多角的な検討ができる能力や，さまざまな状況での他企業・管理者との調整能力，優れた品質を確保できる能力などが求められている．

下水道管きょは，250㎜の小口径管から8,000㎜を超える幹線まで，さまざまな口径の管きょが存在し，これらを布設する工法は，開削工法から推進工法，シールド工法など多岐にわたる．また，道路や鉄道トンネルと比較して曲線半径や縦断勾配の制約に対して自由度があることから技術開発の余地が大きいと思われる．

われわれ土木技術者は，開発した技術を進化させるとともに，新たな技術開発に取り組み，下水道が抱える課題の解決に取り組むことが求められている．そのためには，ベテラン職員が有している知識や経験などを継承していくとともに，時代を担う若い土木技術者の方々には，開発された技術に安住することなく，自ら考え，知識や経験を身に付け，技術力を向上させ，質の高い設計や工事を手掛けていただきたい．

施工

小土かぶり3区間を地表または坑内からの対策工と計測管理で掘る

—北海道新幹線　万太郎トンネル—

鉄道・運輸機構北海道新幹線建設局工事第三課　若公雅敏
鉄道・運輸機構北海道新幹線建設局北斗鉄道建設所所長　山崎貴之
戸田・不動テトラ・北海道軌道施設共同企業体現場代理人　長谷部敏
戸田・不動テトラ・北海道軌道施設共同企業体監理技術者　小沼宏嗣

1　はじめに

北海道新幹線万太郎トンネルは，新青森・新函館（仮称）間の新青森起点134km340m～134km870mに位置する，延長530mの山岳トンネルである（図-1）．施工方法は，NATMショートベンチカット工法で，出口方から掘削を行った．

トンネルの掘削は平成22年12月より開始し，平成23年7月20日に上半掘削が，平成23年7月28日に下半掘削がそれぞれ完了した．

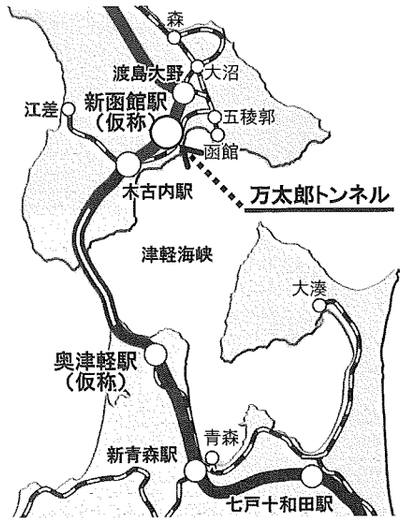


図-1　万太郎トンネル位置図

一般に，土かぶりが1D（D：トンネル掘削幅）程度以下の小土かぶり部では，グラウンドアーチが形成されにくく，施工時に地表面沈下や天端・切羽崩壊などが発生しやすい[1]．本トンネルは，小土かぶり部の延長が長く，また地山の固結度・自立性が低い条件下であり，掘削に際しては対策工を必要とした．本稿ではその計画，施工結果について報告する．

2　小土かぶり部の地形・地質概要

本トンネルの地質縦断図を図-2に示す．本トンネルは，小土かぶり区間が合計約160mある．そのうち，トンネル入口付近10m間（小土かぶり①）には，新生代新第三紀鮮新世の富川層が存在する．富川層の主体はシルト岩（Dlt-c）であり，一軸圧縮強度は500～800kN/m²と固結度の低い軟岩地質である．トンネル出口付近80m間（小土かぶり③）には，新生代第四紀更新世の文月層が存在する．文月層は未固結の砂礫（Dg），粘土（Dc）の互層で構成され，一軸圧縮強度は100～200kN/m²である．

一方，トンネル中間の小土かぶり谷部70m間（小土かぶり②）には，前述の富川層のほか，地表面には粘土質の砂を主体とする崖錐堆積物（dt）が存在する．地表面は谷部が重なり合う地形となっており，谷底部には沢水が流れている．谷部における最小土かぶりは約３mであり，掘削時に沢水が流入し，突発湧水を招くおそれがあった．また，地表面では土砂の崩壊や堆積が確認された．

小土かぶり①～③ともに，地山の固結度が低く，自立性が低い状態と推定された．こうした状況下では，掘削により地山がさらに不安定化し，地表面沈下や天端・切羽崩壊などが発生するおそれがあった．このため，解析を行い，対策工の必要性について検討した．

3　トンネル坑口付近（①，③）の安定対策工

3-1　対策工の必要性判定のための解析

小土かぶり①，③における対策工の必要性については，２次元FEM解析を行い，検討を行った．

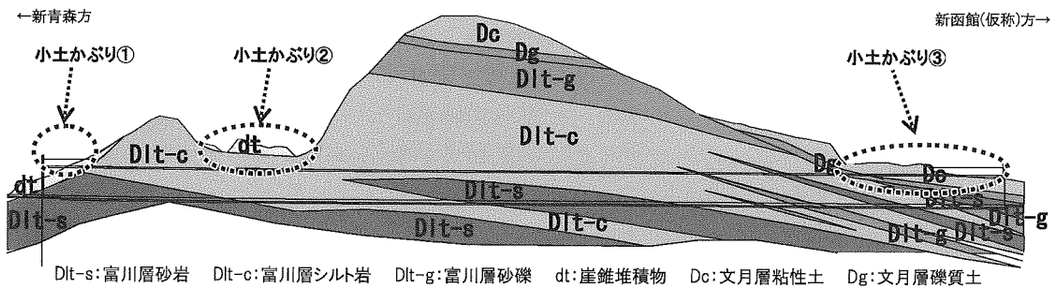


図-2　地質縦断図

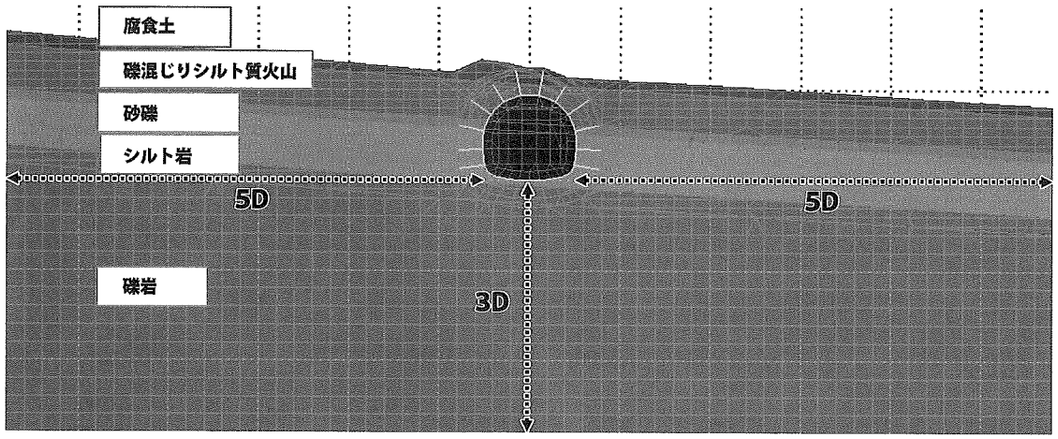


図-3　FEM解析断面図（小土かぶり③，134km820m）

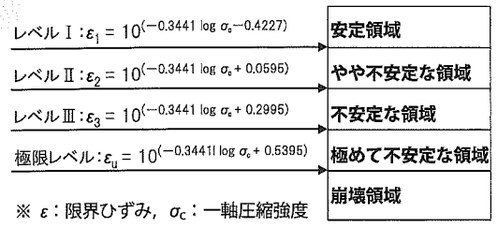
表-1　解析土の主な物性値

地盤種類	単位体積重量 (kN/m³)	変形係数 D(kN/m²)	粘着力 c(kN/m²)	内部摩擦角 ϕ(°)	ポアソン比 ν	最終ポアソン比	弾性パラメータ k	非線形指数 a
腐食土	14	1,500	21	0	0.35	0.48	2	1
礫混じりシルト質火山灰	18	9,800	48	23	0.35	0.48	2	1
砂礫	20	35,000	7	40	0.35	0.48	2	1
シルト岩	17	49,000	56	19	0.35	0.48	2	1
礫岩	20	35,000	0	40	0.35	0.48	2	1

解析は代表断面（①は134km365m，③は134km820m）を用いて行った．断面図を**図-3**に，解析土の主な物性値を**表-1**に示す．

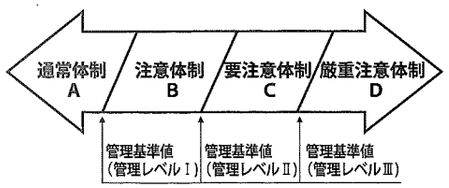
FEM解析における評価指標は，地山のひずみおよびせん断ひずみの２つとした．地山のひずみは，変位量と直接関連づけ，管理基準値として取扱うことができる．地山のせん断ひずみは，施工管理上の指標にはできないが，地山の予想外の挙動を評価することができる指標である．地山の力学モデルは，トンネル掘削解析で数多くの実績がある非線形弾性モデルとした．解析ステップは，上半掘削，上半支保，下半掘削および下半支保とし，応力解放率は掘削時に40%，支保時に60%とした．

基準値には，限界ひずみによる方法[2]にもとづき，管理レベルを設定した．限界ひずみレベルを**図-4**に，各管理レベルにおける施工体制[1]を**図-5**に示す．



※ ε：限界ひずみ，σ_c：一軸圧縮強度

図-4　地山の限界ひずみレベル



A：通常体制…定時計測
B：注意体制…計測頻度強化，現場点検，作業員への注意強化
C：要注意体制…計測体制の強化，最終変位量の予測と管理基準値の対比，対策工の検討，実施
D：厳重注意体制…施工の停止，変状要因および傾向の解析，対策工の検討ならびに実施

図-5　管理レベルと施工管理体制

表-2　解析結果

	天端沈下量(mm)		せん断ひずみ(%)	
	予測値	基準値	予測値	基準値
小土かぶり①	85.3	78	2.425	2.025
小土かぶり③	68.4	44	3.219	1.161

※予測値は，解析４ステップ中の最大値

3-2　対策工の選定

小土かぶり①，③は，地表への進入が容易であったため，地表面からの対策を選定した．これは，トンネル天端の地盤強度を確保するため，トンネル上部の地山をセメント改良土で置き換えて，トンネル掘削を行うものである（**図-6**）．

改良体強度の設定にあたり，3-1節と同様の解析を行った．改良体の物性値を**表-3**に示す．

3-3　小土かぶり①（入口部）の強度設定

解析ケース，解析による天端沈下量の予測結果，基準値を**表-4**に示す．

結果，小土かぶり①における設計強度には，天端沈下量とせん断ひずみの基準値を下回る最低強度である肩部250kN/m²，天端500kN/m²を採用した．

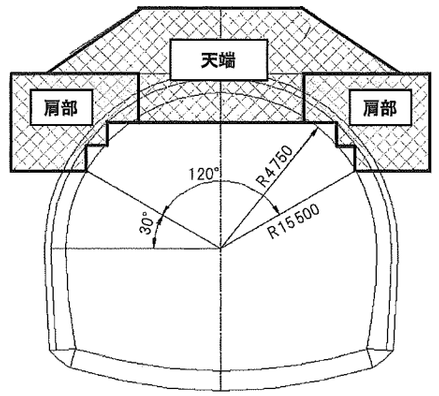


図-6　地表面からの対策工

表-3　改良体の物性値

地盤種類	単位体積重量 (kN/m³)	変形係数 D(kN/m²)	粘着力 c(kN/m²)	内部摩擦角 ϕ(°)	ポアソン比 ν	最終ポアソン比	弾性パラメータ k	非線形指数a
改良土(1,000kN/m²)	18	105,000	500	23	0.35	0.48	4	2
改良土 (500kN/m²)	18	52,500	250	23	0.35	0.48	2	1
改良土 (250kN/m²)	18	26,250	125	23	0.35	0.48	2	1

※改良土の数値は，一軸圧縮強度を示す

表-4　解析結果(小土かぶり①，134km365m)

肩部強度 (kN/m²)	天端強度 (kN/m²)	天端沈下量(㎜)		せん断ひずみ(%)	
		予測値	基準値	予測値	基準値
250	500	15.0	76	1.020	2.511
500	500	10.4	76	0.693	1.978
500	1,000	7.5	60	0.362	1.978

※予測値は，解析４ステップ中の最大値

表-5　解析結果(小土かぶり③，134km820m)

肩部強度 (kN/m²)	天端強度 (kN/m²)	天端沈下量(㎜)		せん断ひずみ(%)	
		予測値	基準値	予測値	基準値
250	500	15.0	25	0.884	0.827
500	500	10.6	25	0.743	0.652
500	1,000	7.1	20	0.253	0.652

※予測値は，解析４ステップ中の最大値

3-4　小土かぶり③(出口部)の強度設定

解析ケース，解析による天端沈下量の予測結果，基準値を表-5に示す．

結果，小土かぶり③における設計強度には，天端沈下量とせん断ひずみの基準値を下回る最低強度である肩部500kN/m²，天端1,000kN/m²を採用した．

3-5　小土かぶり①の施工結果・考察

計測の結果，小土かぶり①区間内の天端沈下量は，下半掘削終了時点でもっとも大きい箇所で7.5㎜となり，解析予測値15㎜と比べ，小さい値であった．

これについて，セメント改良の実施工の際は，現場目標強度を設計基準強度の２～３倍で設定することが一般的であり，本トンネルにおいても現場目標強度は設計基準強度に0.35を除した値で設定している．

したがって，改良体の現場強度が全体的には設計よりも大きくなっているために，沈下量が抑えられていると考えられる．

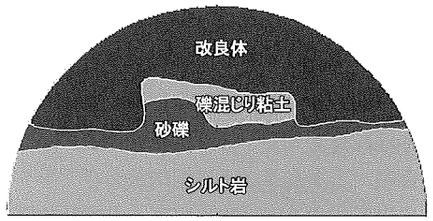


図-7　切羽観察結果(134km820m)

表-6　砂礫層物性値を変更した事後解析結果

砂礫層変形係数(kN/m²)	天端沈下量予測値(㎜)
35,000	7.5
17,500	11.0
3,500	22.6
1,750	34.9

3-6　小土かぶり③の施工結果・考察

計測の結果，小土かぶり③区間内の天端沈下量は，下半掘削終了時点でもっとも大きい箇所で25.6㎜，ほかもおおむね10～15㎜となり，解析予測値7.5㎜と比べて大きい値であった．このため，掘削時の地山の様子をもとに，解析で入力した物性値を再確認することとした．解析箇所における実際の切羽の模式図を図-7に示す．

切羽には，改良体を除いて３種類の層が出現した．この中で砂礫層は，小土かぶり①にはなく，小土かぶり③にのみ存在する．事前の解析において，この物性値が過大評価されたと推測し，砂礫層の物性値を変更して実施工結果に近づける事後解析を行った．結果を表-6に示す．

事後解析の結果により，砂礫層の変形係数を3,500～17,500kN/m²と設定することで，実施工結果に近づくことが判明した．

これにより，未固結砂礫層の変形係数は過大に評価されることがあるため，評価に注意が必要であると考えられる．

4　トンネル中間部付近(②)の安定対策工

4-1　地形・地質の詳細把握

小土かぶり②の地形・地質の特徴については２章で述べた．平面図を図-8に示す．

トンネル掘削の影響を予測するため，追加地質調査を行った．調査は，層境の把握を目的とし，ボーリングおよび簡易動的貫入試験を行った．追加調査により作成した縦断図を図-9に，横断図を図-10に示す．

調査の結果，トンネルに対して層境は傾斜しており，地すべり地形であることが確認できた．一方，層境とトンネル天端の最小離隔は0.8m（134km440m付近の沢部）であり，層境が切羽にかかる箇所はないという見通しが得られた．また，地

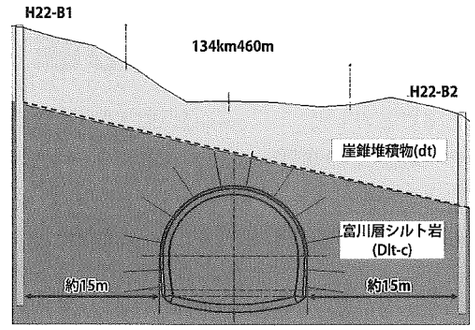


図-10　横断図(小土かぶり②，134km460m)

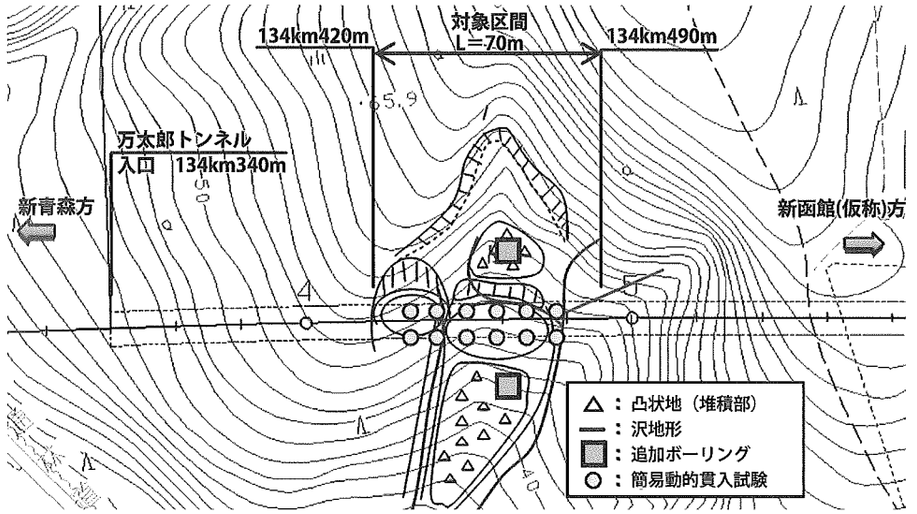


図-8　地表面平面図(小土かぶり②)

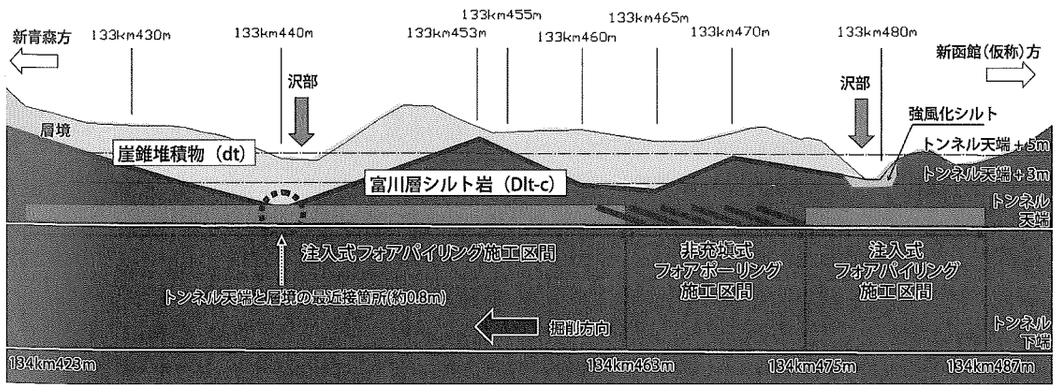


図-9　縦断図および補助工法実施図(小土かぶり②)

表面に倒木などの現象が見られなかったことから，ここ数十年は地すべりを起こしていないと予測された．

しかしながら，トンネル掘削で地山が変位することで，地すべりを誘発する懸念があった．このため，周辺地山を極力変位させないよう，対策工をとることとした．

4-2　対策工の選定

小土かぶり②は，周囲からの立入りが困難であること，地山変動への影響を少しでも抑える必要があることから，坑内からの対策工(補助工法)を行うこととした．

補助工法は，地表面が集水地形である箇所や，層境がトンネル天端に接近している箇所などの要注意箇所については注入式フォアパイリングを，それ以外の箇所では非充填式フォアポーリングを採用した．補助工法実施箇所を，図-9の縦断図にあわせて示す．

4-3　地山の動態観測

周辺地山が変動していないかどうかを確認するため，地表面で動態観測を実施した．目的に応じて，3種類の観測を行った．

1つ目は，トンネル掘削による地表への影響把握，沈下防止対策の効果判定を目的として，地表面沈下測定を行った．2つ目は，トンネル掘削および地すべりによる地山の移動の状況把握を目的として，地盤伸縮計の設置・観測を行った．3つ目は，トンネル掘削および地すべりによる地中の変動の状況把握を目的として，追加ボーリングを実施した孔にパイプ歪計を設置し，観測を行った．動態観測実施位置を**図-11**に示す．

地表面沈下の管理基準値は，FEM解析の結果にもとづいて設定した．

また，伸縮計・パイプ歪計の管理基準値は，高速道路調査会[3]にもとづいて設定した．計測結果を**表-7**に示す．

いずれの計測でも，管理基準値内に収めることができ，大きな動きを示すことなく掘削を進めることができた．

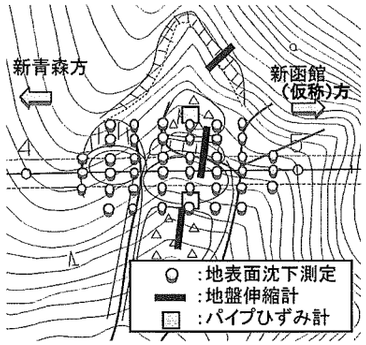


図-11　動態観測実施位置

表-7　管理基準値と計測結果

計測区分	計測項目	管理基準値	計測値
地表面沈下	沈下量(mm)	54	22
伸　縮　計	変位速度(mm/5日)	50	5.8
パイプ歪計	累積値	5,000 μ	160 μ

※計測値は下半掘削完了時点までの最大値

5　おわりに

万太郎トンネルは，切羽・天端崩落の危険を抱えながらの掘削であったが，大きな変位，変状もなく無事掘削を進めることができた．インバート・覆工の施工も完了し，現在は路盤鉄筋コンクリートの施工を行っている．

最後に，本報告にあたってご協力いただいた関係者の皆様にお礼申し上げます．

参　考　文　献

1) 鉄道・運輸機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説，2008.
2) 桜井春輔：トンネル工事における変位計測結果の評価法，土木学会論文報告集，No.317，pp.93-100，1982.
3) 高速道路調査会：地すべり危険地における動態観測施工に関する研究(その3)報告書，日本道路公団委託，1988.

施工

流域の水利用への影響を考慮したトンネル構造

—中国横断自動車道尾道松江線　大万木トンネル—

国土交通省中国地方整備局三次河川国道事務所工務課長　狩野浩資
国土交通省中国地方整備局三次河川国道事務所調査設計課長　景山浩孝
国土交通省中国地方整備局三次国道事務所建設監督官　安部学

1　はじめに

中国横断自動車道「尾道松江線」は，広島県の瀬戸内海沿岸の尾道市を起点に，広島県北部の三次市を経由して島根県松江市に至る延長137kmの高速道路である．

島根県との県境部に位置する大万木(おおよろぎ)トンネルは延長4,878mと，中国地方の道路トンネルとして最長を誇る尾道松江線を代表する構造物である．

トンネル工事において，池の枯渇や地下水位の低下が問題となることがある．大万木トンネルについても広島県側にある小土かぶり区間の地表部(篠原地区)には，約80万m²，360枚の水田(一部休耕田)が和南原(わなんばら)川両岸に広がっており，和南原川および渓流水を利用した稲作が盛んであり，河川流量の低下は営農活動に大きく影響する問題である．また当該地区では，井戸・湧水を利用しており，地下水位の低下により井戸水が枯渇すれば付近住民への影響が大きい．

トンネル掘削による水位への影響解析，および対策工の比較検討などを行った結果，施工性・維持管理性・周辺への影響度およびコストなどを考慮して，影響区間をウォータータイト(以下，WT)構造とした．大万木トンネルについて，WT構造を行ったことによる結果および評価を報告する．

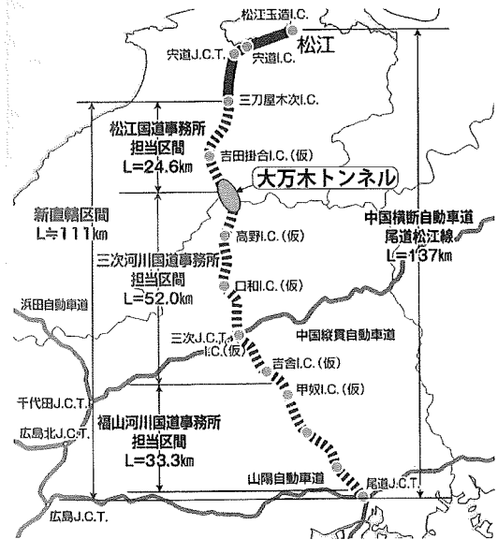


図-1　大万木トンネル位置図

2　WTの概要

2-1　WT区間地形地質概要

地形は標高700～1,000mの急峻な山地からなり，地質は中生代白亜紀～新生代古第三紀の高田流紋岩類を基盤とし，これらを未固結な火山砕屑物，崖錐堆積物が覆っている．WT構造を施工する広島側坑口から約1,200mの小土かぶり区間は23～55mの土かぶりで，ほとんどが2D(D=13.5m)程度となっている．

地質は安山岩質凝灰角礫岩が主体で，多数の断

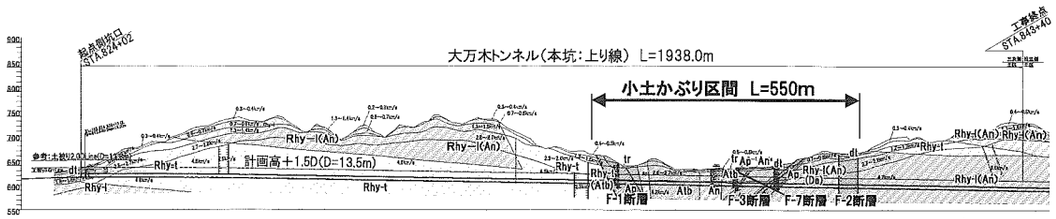


図-2　大万木トンネル小土かぶり区間位置図

層の複雑な分布が確認されている．F1断層は透水係数で10^{-6}cm/secレベルの「粘土質不透水変質帯」であり，遮水層を形成しているが，F3，F7，F9断層部は透水係数が10^{-3}cm/sec程度あり，河川水の引込みなどの大きな要因となる可能性が高い．断層以外の透水係数は10^{-4}～10^{-6}cm/sec程度，小土かぶり区間に隣接する健岩部では10^{-5}～10^{-6}cm/secであり難透水性を示している．

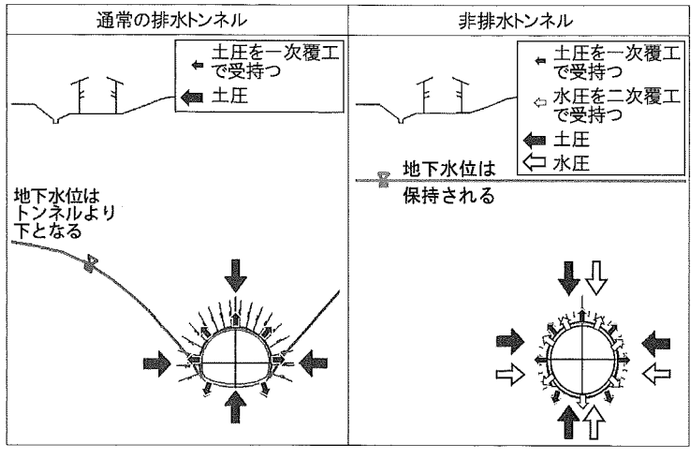


図-3　地下水状況比較図

2-2　WTによる水位回復メカニズム

通常の山岳トンネルは排水型で，吹付け面からの湧水は防水シートの裏面を通じて裏面排水工へ導かれ，横断排水工から中央排水工を通り坑外へ排出される．

非排水トンネル(WT)では，防水工や覆工の施工中に，掘削面から集まってくる湧水が，インバート吹付け面と防水シートの間で滞留することを防止するため，通常の排水トンネルと同様に吹付け面からの湧水は仮排水工へ導き，坑外へ排出させる．トンネル完成後，仮排水工を閉塞させることで地下水位は徐々に回復し，地下水の中に浸された状態となる．

	①標準部の断面形状では，覆工の剛性を高めたとしても，水圧に耐えることができない	②真円に近づくにつれて，覆工の剛性を低めても，水圧に耐える構造となる	③真円の場合，覆工の剛性が低くても水圧に耐える合理的な構造となる
外力概念	水圧 軸力 曲げモーメント	水圧 軸力 曲げモーメント	水圧 軸力 曲げモーメント
応力分布	応力:大	応力:中	応力:小
発生応力	大きい ←		→ 小さい
覆工厚	厚い ←		→ 薄い
鉄筋量	多い ←		→ 少ない
内空断面積	小さい →		→ 大きい
掘削量	少ない →		→ 多い
経済性	劣る →	→ 優位 ←	← 劣る

図-4　最適構造比較図

2-3　WTの構造

通常の排水トンネルでは，周辺の地下水はトンネルの中央排水溝から排水され，トンネルには土圧のみ作用する．これに対しWT構造の非排水トンネルでは，周辺の地下水位が保持されるため，トンネルには土圧に加えて水圧が作用することになる．

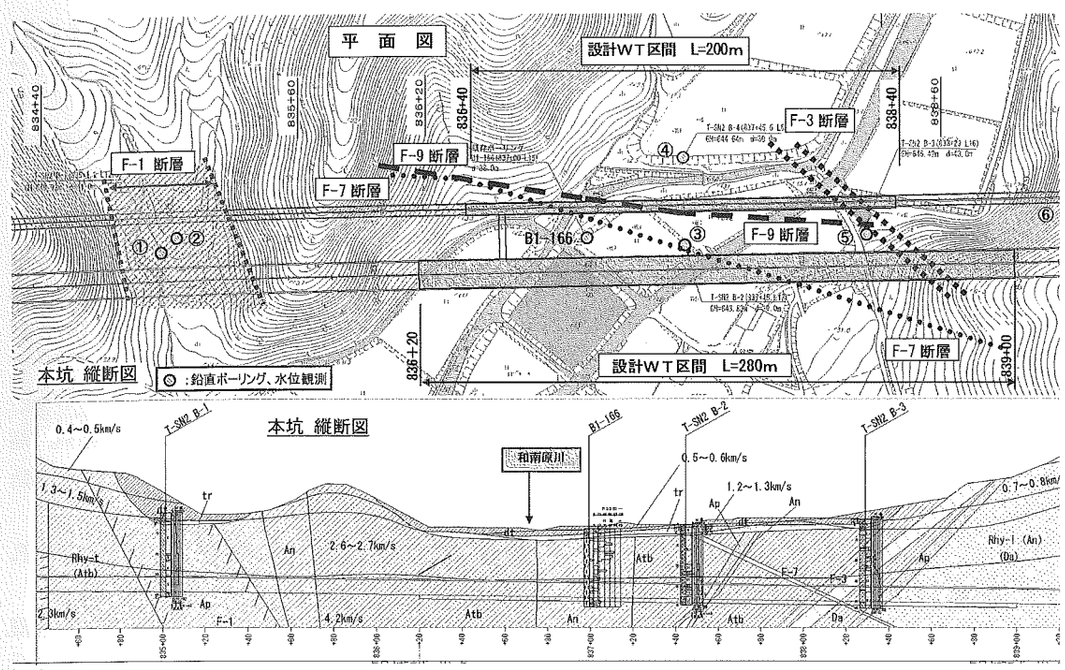


図-5　地質平面・縦断図

なる．

予想される水圧に耐える断面形状，覆工構造規模を骨組解析により設定した．標準部の馬蹄形のトンネルに対して構造的に優位な真円に近づけていくことにより，大きな水圧にも耐えうる合理的な構造とした．本トンネルでは，真円に近く，構造安定性と経済性から断面を選定した．

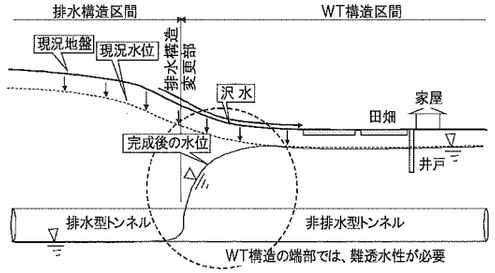


図-6　排水構造変更部の地下水位概念図

3　WT区間の決定

3-1　WT区間の考え方

断層および周辺の亀裂性地層を水みちとする河川からの多量引水が生じる可能性があるので，一般に考えられる緩み領域をもとに，土かぶり2D以下，または断層からの離隔が1～1.5Dとなる範囲をWT構造区間とした．

施工時には，トンネル坑内湧水量，和南原川および周辺沢の流量，井戸および観測井戸の水位の変動をモニタリングしながら範囲設定を検討した．

3-2　WT区間端部処理方法

排水型トンネルとの境界部には図-6に示すとおり，水頭差を維持するため，設計当初は過去の事例にならい，ファンカーテングラウチングが検討された．ファンカーテングラウチングをトンネルの排水構造変更部で実施する場合，図-7に示すとおりトンネル円周方向に削孔，注入を行う．注入改良目標は透水係数において1×10^{-5}～5×10^{-5}cm/secとする場合が多い．しかしながら，ファンカーテングラウチングは，円周方向に削孔注入する期間は切羽掘削などを並行して行うことができないため工期的負担が大きい，事例が少なく合理的な設計手法が未確立である，などの理由から，本トンネルでは代替方法として難透水性の健岩部までWTを延長する手法を検討した．

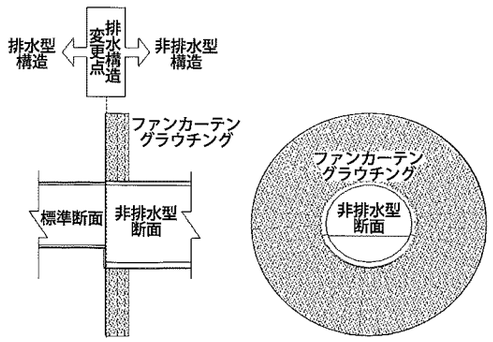


図-7　ファンカーテングラウチングによる端部処理

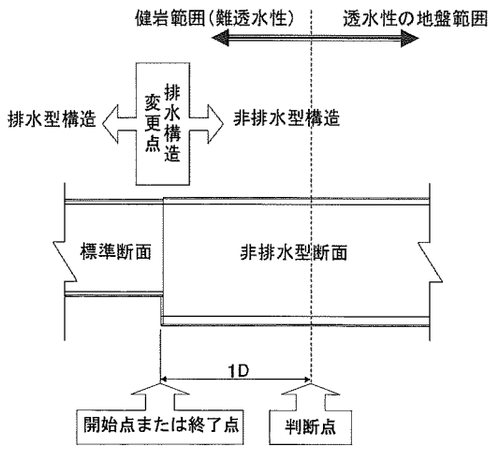


図-8　排水構造変更部の処理

本トンネルでは**図-8**のように，透水性地山外側の健岩部に1*D*程度，WT構造を延伸することで，ファンカーテングラウトの代替効果を持たせることとした．その際，周辺地山が難透水性を示す健岩であることを透水試験によって確認することとした．

3-3　WT区間決定指標

WT構造区間決定は，排水構造変更部の延伸を考慮するため2段階で判断することとした．図-8のとおり調査で特定した地表水への連動性の高い区間の端部を「判断点」とした．次に，判断点の排水型構造区間側の周辺地山の透水性を調査し，健岩である難透水性地山が分布する区間が1*D*程度以上連続する区間を特定し，その端部をWT構造区間の「開始点(または終了点)」とした．

判断点(開始)は，①前方探査によるボーリング孔からの湧水が5 (L/min/5 m)以上であること，②トンネル坑内湧水量が10(L/min/5 m)以上であること，③切羽観察により健岩であること，④トンネル掘削に連動した河川・沢水の水位変化がないこと，⑤観測井戸の水位低下(40cm以上)，を確認することとした．

開始点(または終了点)は，判断点までの1*D*区間で，①切羽観察により健岩であること，②坑内湧水量が10(L/min/5 m)未満であること，③掘削に連動した河川・沢水の水位変動が生じないこと，④透水試験を実施し健岩($k=\times10^{-6}$cm/sec)であること，を確認することとした．判断点，開始(終了)点を決定するにあたっては，以下の判断基準をもとに総合的に判断するものとした．

3-3-1　前方探査ボーリングによる地山性状と孔内湧水量

避難坑ではジャンボによる探り削孔＋削孔検層，本坑では水平ボーリングによる切羽前方探査を行い，地山性状や地下水の帯水状況を事前に把握した．またボーリング時の孔内湧水量を把握し，集水暗渠の公式を用いて坑内湧水量を予測してWT構造判断の目安とした．集水暗渠の公式によれば，土かぶり30m，半径5.5mのトンネルの坑内湧水量はϕ100㎜のボーリング孔からの孔内湧水量の約2倍となる．そこで，判断基準としてのボーリング孔内湧水量は，3-3-2項で述べるトンネル坑内湧水量基準の0.5倍とすることとした．

3-3-2　トンネル坑内湧水量

WT構造に至るまでの坑内湧水量の実績を三次元浸透流解析結果と比較した結果，**表-1**に示すとおり，湧水量はおおむね一致していた．そこで，**図-9**の浸透流解析結果より，健岩部の湧水量を10 L/min/5 mとし，これを越える範囲をWT構造が必要な区間の目安とした．

3-3-3　河川や沢水の流量および観測井戸の水位

各所で観測している河川流量および沢水流量を継続監視した．

3-3-4　観測井戸水位

観測井戸では，**図-11**のとおり過去の観測結果をもとに，その平均水位と最低水位の差の平均値

表-1　トンネル坑内湧水量

	切羽距離 (m)	解析(全線) (m^3/min)	実績(全線) (m^3/min)	実　績 (5 mあたり) (L/min/5 m)
避難坑	1,097	0.58	1.15	5.24
本　坑	957	0.76	0.27	1.41
合　計	1,027 (平均)	1.34	1.42	6.91

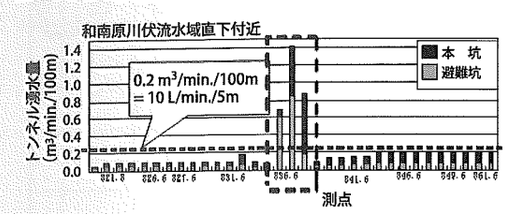


図-9　解析による無対策時の坑内湧水量

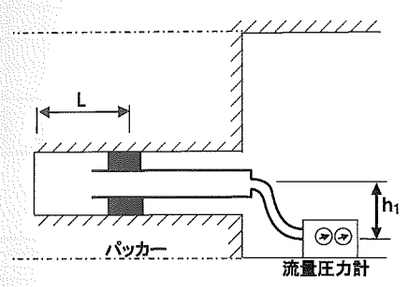


図-10　ルジオン試験図

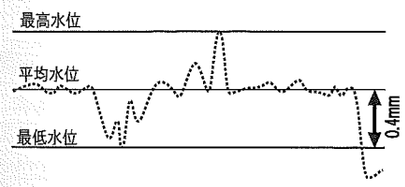


図-11　観測井戸水位低下の概念

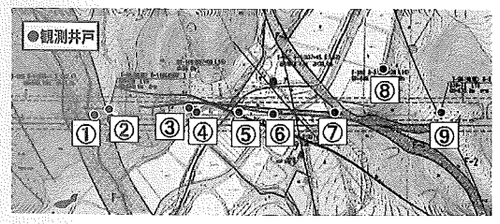


図-12　観測井戸位置図

である0.4m以下をトンネル掘削の影響判断の目安とし，観測井戸を継続監視した．

3-3-5　透水試験

透水試験はルジオン試験により透水係数を求めた．

4　WT区間施工状況

4-1　施工中の状況

トンネル掘削は，万一の急激な地下水位低下の場合でも利水への影響が小さいと考えられる避難坑を先行させ，設計WT構造区間の手前より前方探査を実施しながら進めた．小土かぶり区間，とくに湧水が発生した区間の地質状況は，全体に比較的硬質な凝灰岩質安山岩であり，板状または塊状の節理面が発達していた．切羽湧水は粘土面を含む板状節理が発達した部分から発生しており，掘進に伴い滲水箇所が徐々に拡がる傾向であった．トンネル坑内湧水量は，WT区間において約40m^3/h増加した．

4-2　施工中の観測井戸状況

観測井戸⑤の水位は本坑通過時にトンネル天端高さ付近まで低下した．また観測井戸⑥の水位は本坑通過時にトンネル天端より10m上方付近まで低下し，いずれもそのレベルを保った．観測井戸⑦の水位は，避難坑および本坑での探査ボーリングで30～50cmの水位低下が発生したが切羽通過時は挙動を示さなかった．

4-3　施工中の湧水状況

本坑上半掘削時におけるWT区間の湧水量は約40m^3/hであった．WT構造(非排水トンネル構造)としなかった場合(排水トンネル構造)は，掘削時の湧水のほとんどが中央排水に導かれることとなり，当該区間(伏流水帯)の水量は明らかに減少することとなる．

5　周辺流域への影響・評価

5-1　地下水位状況

WT区間の覆工を，本坑は2011年12月に，避難坑は2011年11月末に終了した．仮排水管の閉塞は2012年2月より開始し，2012年3月に完了した．

仮排水管閉塞開始直後より地下水位の回復兆候が見られ，トンネル天端より10m以上まで急激に地下水位が回復している．

その後，地下水位はなだらかな上昇傾向を示しており，もっとも地下水位の下がった観測井戸で，

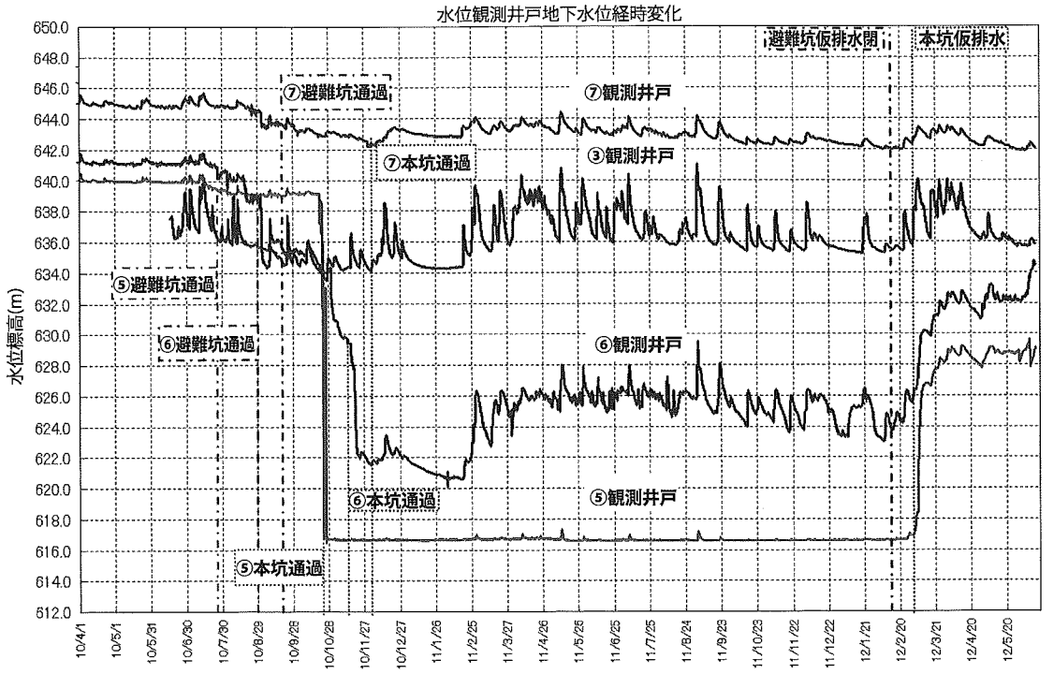


図-13　地下水位変化



図-14　坑内湧水量推移

2012年３月21日現在，掘削前の約50％まで回復している．

5-2　河川水状況

本トンネル構築により，小土かぶり部区間における和南原川伏流水帯からトンネル内へ引水し，その結果，その下流域にある耕作地の農業用水が不足することが懸念されていたが，和南原川伏流水帯のトンネル上下流の水量については，多少の上下はあるものの，トンネル内へ引水し，河川流量が減少していることは考えられない．

5-3　生活井戸状況

トンネル近傍の地元住民に対して生活井戸の出水調査を実施しているが，その結果については，トンネル構築にかかわらず，ほぼ一定の量が確保されている．今後これ以上地下水位の上昇が見られない場合でも影響はないと考えられる．

6　おわりに

「大万木トンネル」におけるWT構造の施工によって，河川流量の低下や稲作に及ぼす影響もなく，観測井における水位の回復傾向も見られるため，当初のWT構造の目的は達成されたものと考える．しかしながら，現在国内におけるWT構造の施工事例はまだまだ少なく，施工方法が確立されていない(目的，状況により異なるが)のが現状である．品質・施工性の向上のため新たな構造設計や施工方法，品質管理，WT構造の区間設定方法の確立などを今後検収していく必要がある．

わかりやすい　トンネルの力学

B５判　286頁　本体価格 5,825円　〒340円

福島啓一　著

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

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

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

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



「宇宙ロマンの夢広がる」飛騨神岡より

花　田　則　昭

風が香り，木々が色づく山間の町・神岡に，悠々と佇む神岡城．戦国時代，武田信玄の家来である山県三郎兵衛昌景は，この城を宿舎にあて，飛騨・越中攻撃の拠点とした．その後，豊臣秀吉により全国統一がなされたころ，金森長近が飛騨を支配するようになり，神岡城はその家臣・山田小十郎が城代として居城するようになったのである．

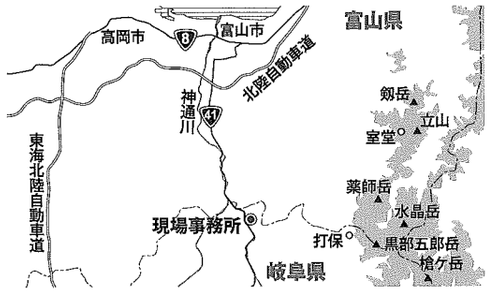
しかし，江戸時代に入り，幕府が一国一城という新制度を発令した元和元(1615)年には，神岡城は閉城，破却となり，現在の城は，昭和45(1970)年に復元されたものである．城郭様式を再現した２層３階の天守閣や，当時の遺構を残す濠や石塁などは，戦乱の往事が今もなお，その面影を残している．

神岡城の最上階からは，神岡の町を東西南北に向けて眺望でき，松風吹く高台の史跡へ踏み出すと，歴史のロマンを感じ，しばし悠久の時を楽しむことができる．

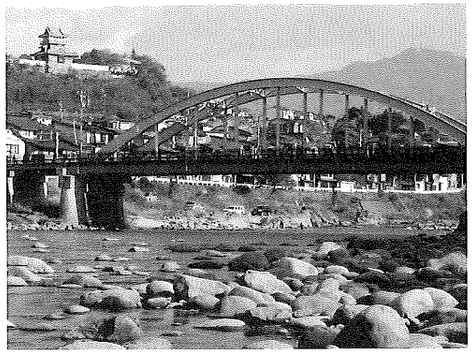
戦国のロマンを感じる神岡は，現在は，「宇宙ロマンの夢広がる町」神岡として，ノーベル賞を受賞した小柴昌俊東大名誉教授によるカミオカンデ，その後継機であるスーパーカミオカンデなど，日本の一大科学拠点としてすでに名高い地である．

同じ神岡の地下に新たな重力波検知器の建設が進められている．大型低温重力波望遠鏡「かぐら」である．重力波とは時空のひずみが光速で伝わる波動現象で，1916年のアインシュタイン博士の一般相対性理論の中で予言されたものの，直接検出は未だ成されておらず，その成功が長く望まれている．

かぐらは，その重力波の初検出と重力波天文学の創



位　置　図



神岡の町

生のため，宇宙から届く重力波を年間複数回検出できるように設計されている．かぐらは１辺３kmの大型レーザー干渉計で，この巨大な装置を，神岡の地下で掘削が進められている「L」字状に直行する空洞空間に設置する．地下空間に観測装置を置く理由は，都市部と比較して1/100しかない地面振動にある．かぐらプロジェクトは，2010年に文部科学省の「最先端研究基盤事業」の一つとしてスタートした．

「東京大学(宇宙線)大型低温重力波望遠鏡施設(掘削その他)工事」は，かぐらプロジェクトの一端を担う，実験空間，および実験基地などを含む総延長約7,737mのトンネルを，２か所の坑口から掘削する工事である．５月下旬，６月下旬に２か所の坑口付けも終わり，掘削を開始し，スタートについたところである．2017年以降の重力波検出に向けた研究が遅れることがないように，鹿島，北新建設など，現場一丸となって，新技術に挑戦しながら日夜努力している．

私事であるが，昨年の夏，二十数年ぶりに三重県熊野の現場から無理をして，富山県の室堂に入り，薬師岳へと縦走して神岡町打保に下山し，熊に出会いビックリしたことや，打保の登山道がさびれたことなどを感じた．当時は，まさか当地に赴任することは思いもよらなかったが，今ならゆっくりと山登りを楽しむ時間を十分にとれ，また神岡名物の「神岡とんちゃん」を堪能できる．本現場に赴任できたことは幸いである．

(鹿島建設(株)神岡トンネル工事事務所所長)

施工

初期掘進区間の重要構造物直下１D以下を大断面シールドで施工

—阪神高速大和川線　大和川シールド—

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　大　島　正　資
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　大　西　和　行
鹿島・飛島建設工事共同企業体大和川シールドJV工事事務所　玉　田　康　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なため，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**)．

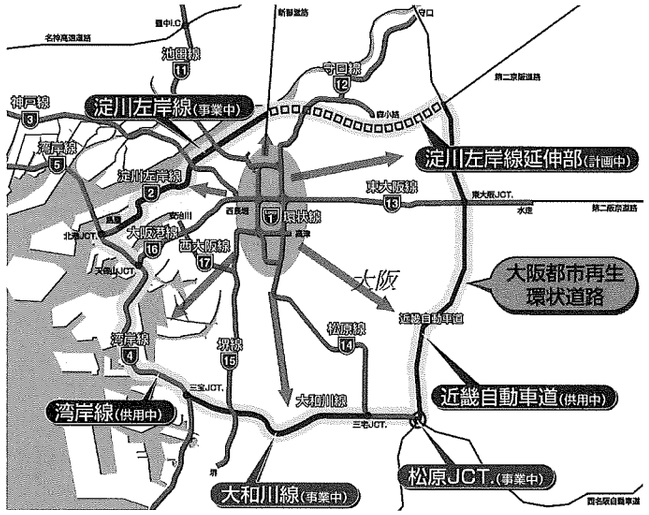


図-1　大和川線位置図

2　大和川線の工事概要

2-1　シールド工事の概要

阪神高速道路(株)が施工する大和川線シールド工事は大和川線の中心部である堺市堺区遠里小野町４丁(遠里小野立坑)から同市北区常磐町１丁(常磐工区立坑)までの工区延長約２km，掘進延長約４kmを泥土圧式シールド工法で施工する．

施工手順としては遠里小野立坑を発進立坑とし，

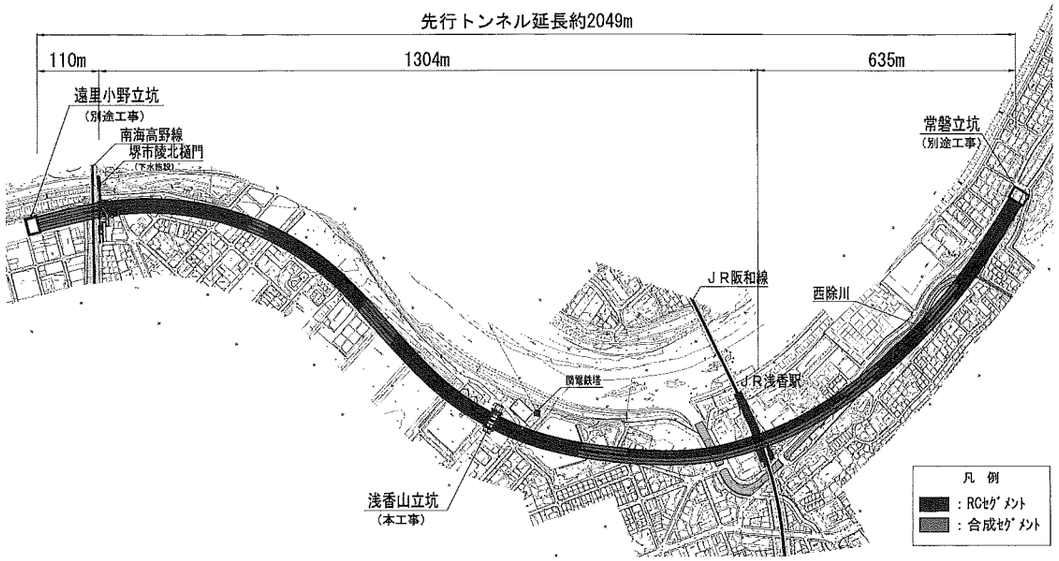


図-2　大和川線シールド工事概要図

西行き車線を常磐工区立坑に向かって先行掘進する．常磐立坑に到着したのち同立坑で転回し，東行き車線を遠里小野立坑に向かって後行掘進する．

立地条件では，南海高野線とJR阪和線の２か所の鉄道直下を横断し，大和川水系の１級河川である西除川の直下を縦断的に掘進する条件となっている．

また，線形的には直線区間が少なく，全線のうちおよそ90％以上が曲線区間であることが特徴である(図-2)．

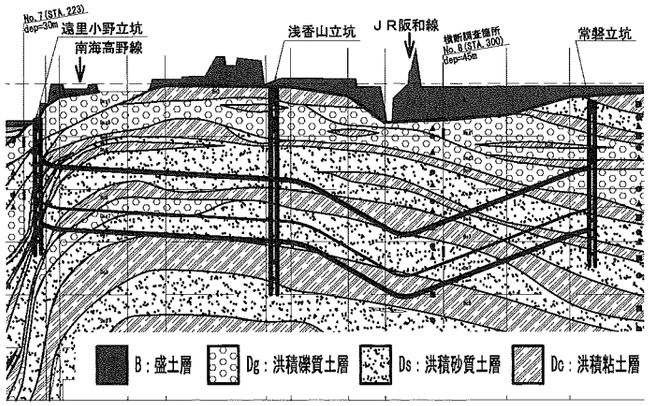


図-3　地質縦断図

2-2　地質概要

地質縦断図を図-3に示す．シールド掘削地盤は，シールド区間西端で上町断層による撓曲が見られるものの，ほぼ全線にわたり洪積層を主体とする，よく締まった砂質土および礫質土($N \fallingdotseq 50$)と比較的硬い粘性土($N > 10$)の互層状の地盤である．初期掘進区間は，上町断層区間にあたり，近接構造物の直下を掘進することから大断面シールドの掘進管理の困難さが懸念され，近接構造物の沈下につながる可能性があった．

2-3　シールドの仕様

当工事の大断面泥土圧式シールドの特徴は，急曲線施工($R = 400$m)に対応した中折れ装置(最大：左右± 2°，上下±0.5°)，アクティブ土圧変動抑制装置，同時裏込め注入装置，ビットの摩耗対策として交換可能なリレービット方式，セグメントへの偏芯量を少なくする横２連ジャッキ方式，ジャッキの片押しを防ぐ最適圧力制御システム(FLEX)の採用などが主なものである．

2-4　セグメント構造

当工事では，２次覆工省略の耐火一体型RCセグメント(セグメント継手：コーンコネクター，リング継手：TA-SRING)，嵌合方式合成セグメント(以後，合成セグメント)および双方を接続するための調整接続セグメントを使用した(写真-1，2)．セグメントは外径12.23m，９分割で，RCセグメントは，桁高455㎜，幅2,000㎜，合成セグメントは，桁高325㎜，幅1,800㎜である．

なお，RCセグメントは耐久性向上のため，コンクリートに，鋼繊維および自己治癒防水材を混入している．

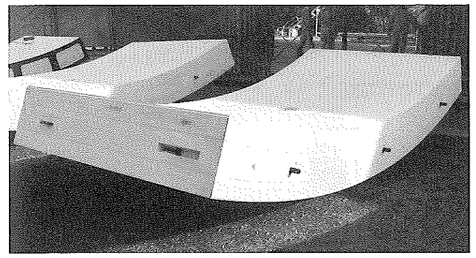


写真-1　RCセグメント



写真-2　調整接続セグメント(合成セグメント接続用)

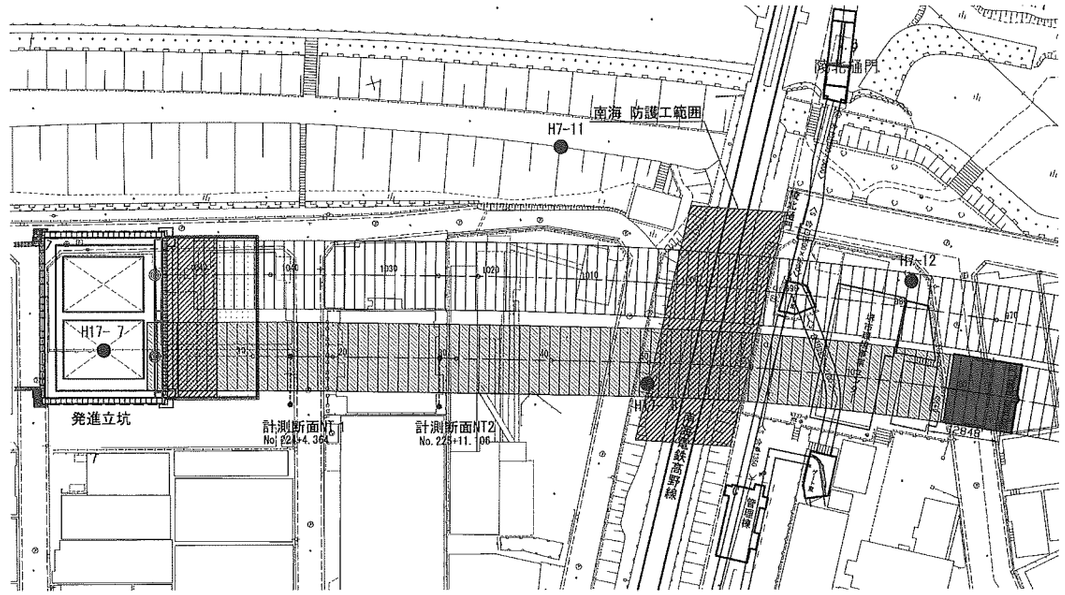


図-4　初期掘進　平面縦断図

3　初期掘進工

初期掘進工の平面図および縦断図を図-4に示す．初期掘進は，シールドによる立坑土留め壁芯材の直接切削(SZパイル)から始まり，南海高野線および陵北樋門の２つの近接構造物の影響範囲外へ抜ける全80リングの掘進・組立てとなる．また，

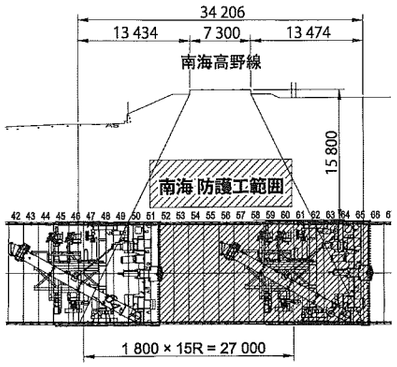


図-5　南海高野線直下施工範囲図

上町断層により撓曲した地層が複雑に変化する区間となり，大断面泥土圧シールドの掘進管理の困難さが懸念された．シールド掘進管理およびシールド掘削による重要構造物への影響抑制が重要課題であり，横断前にトライアル計測断面２断面(NT１，NT２)を設置して事前に計画した掘進管理の妥当性を検証した．

なお，南海高野線の影響範囲(本39～62リング)のうち，南海高野線直下施工範囲(本47～62リング，**図-5**)は，より慎重な掘進管理が必要となった．

3-1　発進防護直接切削工(止水壁＋薬注＋SZパイル)

当工事の発進防護工の概要を**図-6**に示す．

芯材がないSMW壁(止水壁)に囲まれた内部は，薬液注入を行い，さらにリリーフで地下水位を低下させた状態からシールドにて仮壁芯材SZパイル(ガラス繊維)を直接切削した．本工法は発進時の立坑出水の抑制，止水性向上などの安全性かつコスト縮減を図ったものである．SZパイルの長さは約13mと過去最大スパンであり，芯材サイズH700×300×72×88にて計画した．

切削施工時は，SZパイル切削材の大割れを抑制する目的で，ジャッキスピード３㎜/分以下で掘進した．切削途中は，２度にわたる大きな切削片(**写真-3**)によりスクリュートルクが上昇し閉塞気味となったが，スクリューへ加泥材の注入量を増やすなどの対応によりトラブルなく掘進することができた．

本工法は，SMW止水壁内の地下水位を下げられるため，発進後に立坑内への出水・漏水は見られなかった．また，騒音・振動測定の結果，近隣家屋に対する影響が少なく，安心かつ安全に直接仮壁を切削し発進することができた．

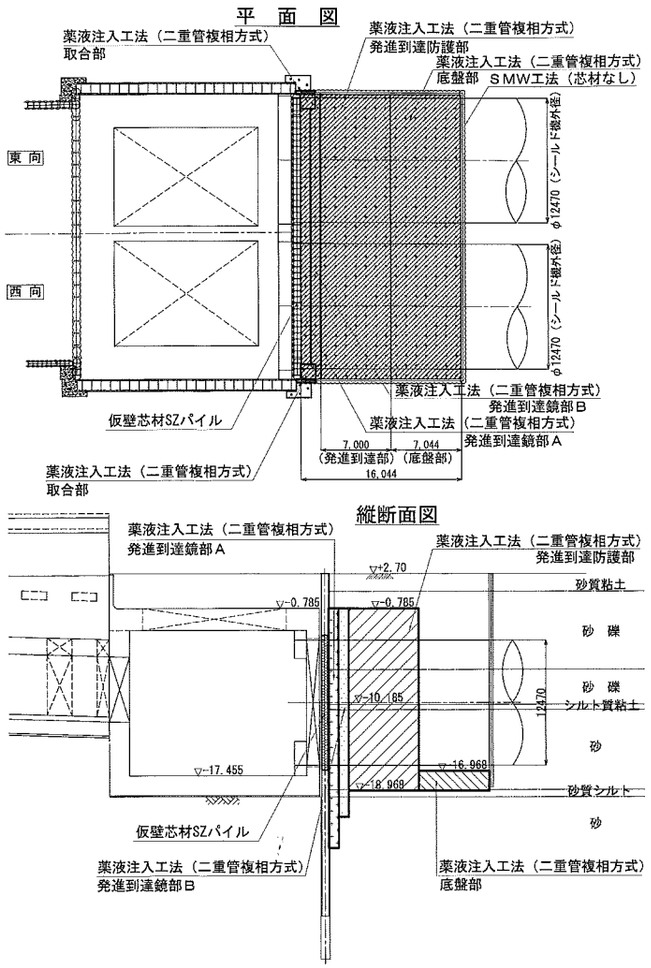


図-6　発進防護工概要図

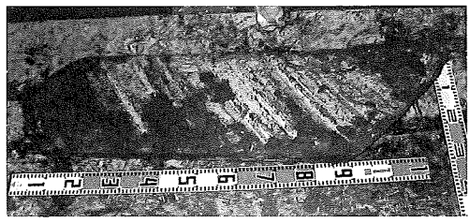


写真-3　SZパイル切削片

3-2　掘進管理

3-2-1　切羽土圧管理

大断面泥土圧式シールドにおいて，チャンバ内土圧は上端と中央および下端で差が大きくなる傾向にある．とくに，小土かぶりの場合は，シールドセンターで静止側圧を設定しても，上部での土圧不足が懸念される．また，上下限値の許容範囲が狭く管理精度の高い調整が必要となる．そこで，中央で静止側圧を基本に，上部で主働側圧＋予備圧を下回らないようチャンバ内土圧を設定し，上部土圧計をメインに管理した．

切羽土圧の中央と上部土圧の実績を**図-7**に示す．

NT１トライアル計測結果から，中央部土圧計で管理すれば，上部土圧が主働側圧を満足することが確認できたため，以降は中央土圧計をメインに管理した．なお，南海高野線直下(本47～60リング)の掘進からは，トライアル計測の結果を考慮し，計測値を監視しながら，中央土圧計の上限値をさらに＋20kPa上げて掘進した．

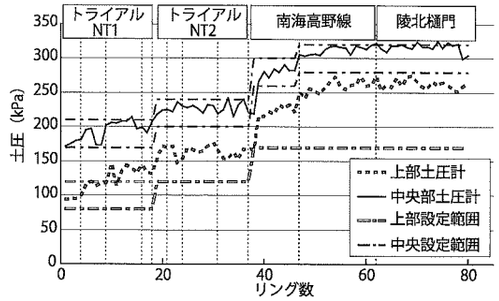


図-7　切羽土圧実績

3-2-2　排土量管理

掘削土の排土は，坑内では延伸式連続ベルトコンベヤを，掘削土砂の垂直輸送には垂直ベルトコンベヤを使用する．なお，初期掘進では坑内延伸において短尺ベルトコンベヤをつないで使用した．

土量の管理は，切羽に近い後続台車上にベルトスケールとスキャンセンサーを設置し，双方による掘進中のリアルタイムグラフにて傾向管理しながら，過取込みや取込み不足がないことを確認した．

リングごとの排土量の実績を**図-8**に示す．双方とも±10%程度の精度で良好な掘削ができた．

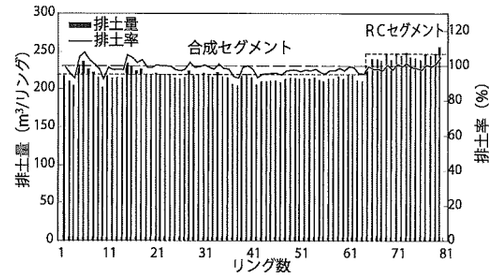


図-8　排土量実績

3-2-3　シールド管理

掘進に伴う総推力，カッタトルク，ジャッキスピードは一定の速度で掘進し，推力，トルクに大きな変状がなければ良好な掘削と判断できる．

シールド総推力は142,600kNであるが，初期掘進ではおよそ30%程度，カッタトルクは20%程度であった．また，ジャッキスピードは，短尺ベルトコンベヤの処理能力から，15～20㎜/分で掘進した．

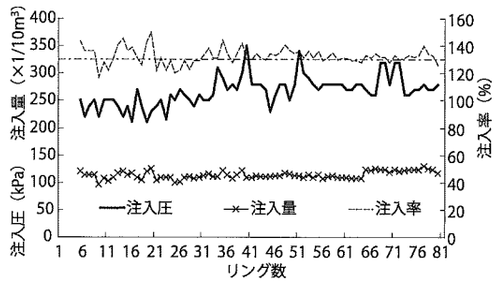


図-9　裏込め注入実績

3-2-4　裏込め注入管理

裏込め注入は，シールド本体の外周に同時注入管を４系統装備し，そのうち２系統から同時注入した．裏込め注入位置に土圧計を配置し，テール土圧を監視しながら裏込め注入圧力を管理した．裏込め注入圧力の設定は，シールド頂部に作用する鉛直土圧相当，かつセグメント覆工に悪影響を及ぼさない程度に制限し，基本は，裏込め注入設定圧力＝鉛直土圧＋水圧＋予備圧(＋20kPa)とした．

なお，裏込め注入量はシールド外径に対し130%充塡を目安とした．リングごとの裏込め注入実

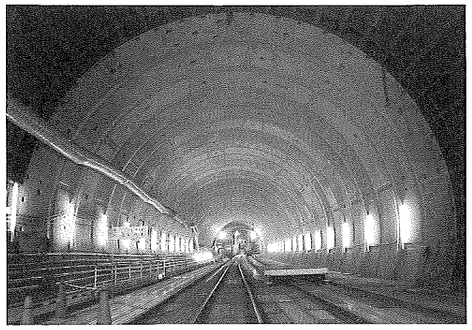


写真-4　坑内状況(坑口より)

績を図-9に示す.

3-3　セグメント組立て

セグメントは，初期掘進80リングのうち，合成セグメント62リング，RCセグメント16リングおよび調整接続セグメント2リングを施工した．セグメントの真円度は±20㎜程度の高精度で組立てることができた．組立て時間は，合成セグメントは約1時間/リング，RCセグメントは約1.5時間/リングであった．初期掘進終了後のトンネル坑内状況(2012/7/10現在)を写真-4に示す.

4　計測管理工

4-1　事前トライアル計測管理

重要構造物横断にあたり，シールド掘進管理手法の妥当性を検証する目的で，南海高野線影響範囲手前に，トライアル計測断面を2断面設定した．計測断面NT1の計器配置図を図-10に示す.

なお，計測管理については，事前の掘削影響解析(2次元FEM解析)と南海高野線での計測管理値を念頭に，シールド掘進時の実測値と対比しながらシールド掘進を行った.

4-1-1　トライアル断面NT1の計測結果

掘進開始からのシールドセンター地表面地盤の経時変化を図-11に示す．NT1のシールド掘進状況を図-12に示す.

NT1の影響範囲①に入るまえにシールドの掘進による先行隆起傾向が観測された．シールド切羽が計測断面NT1直下に到達した時点②からシールドテールが抜ける直前までのあいだに，地表面沈下が増加した(絶対値：沈下−1.6㎜)．シールドテールが抜ける2リング手前(14リング掘進)から裏込め注入圧の影響で隆起した(絶対値：隆起＋2.9㎜)．その後，シールドテールが計測断面NT1直下を抜ける時点③(16リング掘進)まで，掘進・組立てとともに隆起・沈下をくり返した．さらに，18リング掘進完了時点④から19リング掘進開始までのあいだ，設備変更によりシールドが停止中であったため沈下傾向にあるが，その後は，21リング掘進完了後(図-14⑤)，NT1の影響範囲を抜けたあとは，シールド掘削の影響は収束した.

事前解析に比べ，実際の地盤変位は1/2程度と小さく，管理値以内に十分に収まった．なお，シールド掘削以外に，大雨による影響と思われる隆起傾向(2012/6/21)が観測された.

4-1-2　トライアル断面NT2の計測結果

掘進開始からのシールドセンター地表面地盤の経時変化グラフを図-13に示す．NT2のシールド掘進状況を図-14に示す．NT2もNT1同様のシールド掘削による地盤変状傾向が観測された.

凡例

項　目	計測器	記号	数量	備　考
鉛直変位	アンカー	▼	6台	層別沈下
	伸縮計	●	6台	
	基準水槽	⊠	1台	地表面沈下
	水盛式沈下計	▽	1台	
温　度	温度計	△	1台	
水平変位	多段式傾斜計	▯	11台	3.0mピッチ

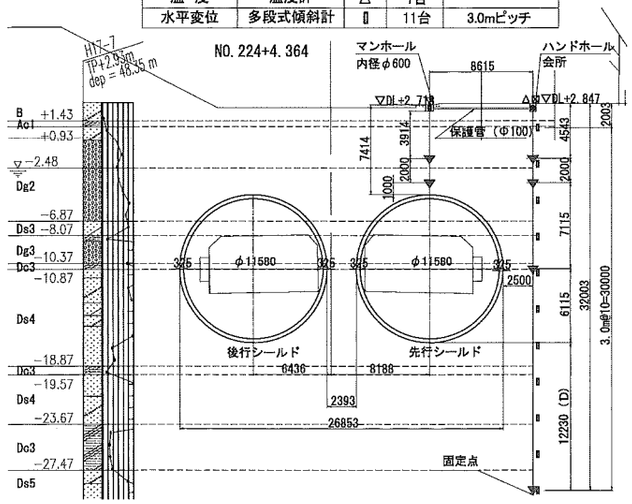


図-10　トライアル計測断面図(NT1)

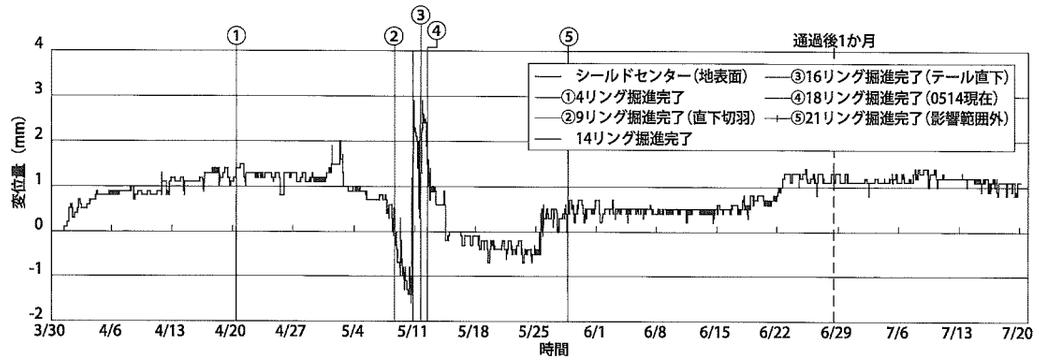


図-11　トライアル計測結果(NT1鉛直変位シールドセンター地表面)

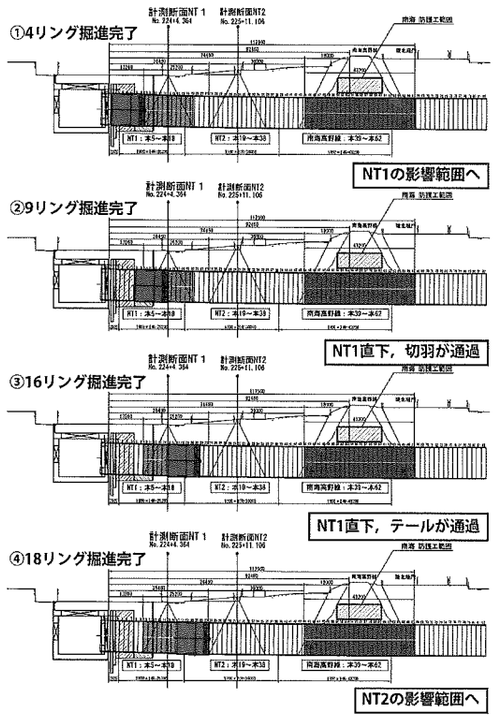


図-12　シールド掘進状況図(NT1)

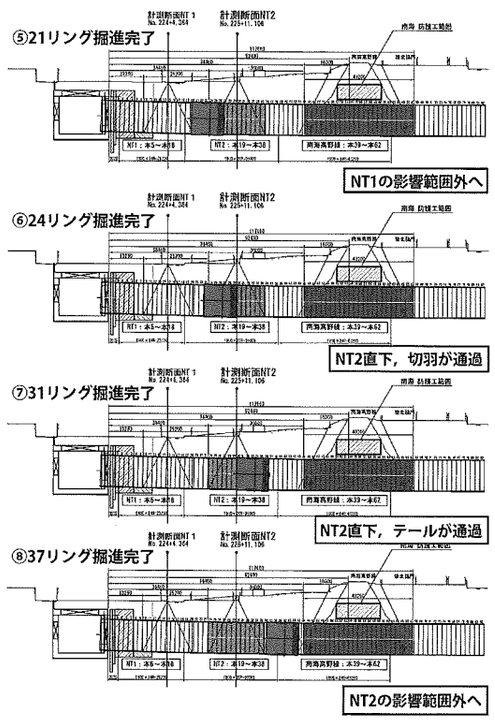


図-14　シールド掘進状況図(NT2)

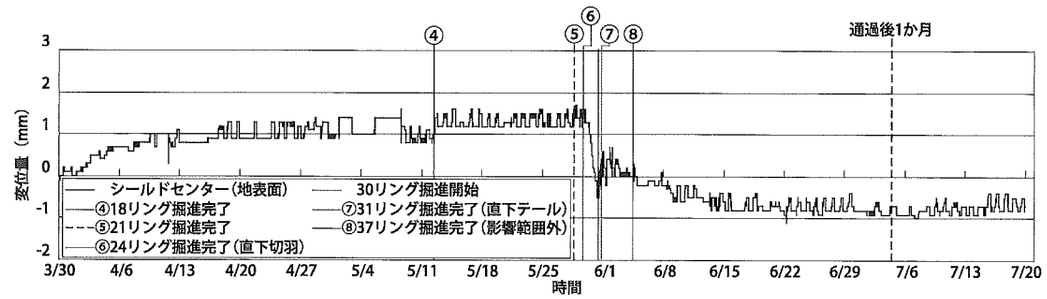


図-13　トライアル計測結果(NT2鉛直変位シールドセンター地表面)

4-2　南海高野線横断時の計測管理

トライアル区間の計測結果(NT 1，NT 2)を踏まえ，事前計画どおりの切羽土圧「静止側圧＋予備圧」とした．南海高野線計測結果を**図-15**に，南海高野線計測位置図を**図-16**に示す．また，計測管理値を**表-1**に示す．

シールド通過時の変状傾向は事前のトライアル計測と同様でシールド通過時に沈下，テールにおける裏込め注入の影響で隆起した．最終的には，およそ１㎜程度の沈下で収束し，管理値を十分に満足する結果となった．また，図-5に示す鉄道直下では，台風や大雨の影響を受け一時掘進停止を余儀なくされたが，昼夜施工３～４リング/日，５日間で14リングの掘進を無事完了した．

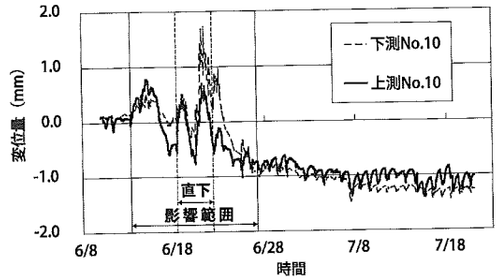


図-15　南海高野線計測結果

表-1　南海高野線計測管理値一覧

管理値区分	許容量(㎜)
1次規制値	3(5×50%)
2次規制値	4(5×75%)
管理限界値	5

5　おわりに

当工事は，平成24年３月30日の掘進開始から６月30日までの約３か月を経て，延長154mの初期掘進を無事完了した．発進直後に，南海高野線および陵北樋門の２つの重要構造物の直下を約0.6～1.0D(７～12m)の小土かぶりで横断し，およそ１㎜の変状で収束した．事前のトライアル計測結果を踏まえ，シールド掘進管理値の検証を重ね，大断面泥土圧シールドによる小土かぶり掘進を安全に施工することできた．今後，本掘進に向けて反映していきたい．

本報告が今後の大断面シールドによる小土かぶり下での近接施工の一助となれば幸いである．

参考文献

1) 坂下泰幸・仲義史・志村敦：阪神高速大和川線のシールドトンネル概要，土木技術，Vol.64，No.12，pp.51-58，2009.12.
2) 志村敦・藤原勝也・辻野博史・岩住知一：超近接長距併設シールドトンネルの設計，トンネルと地下，Vol.41，No.11，pp.43-50，2010.11.
3) 陣野員久・杉山剛史・志村敦・石垣兄太：超近接長距併設シールドトンネルの設計・施工，基礎工，Vol.39，No.3，pp.34-37，2011.3.
4) 大島正資・鈴木浩一・遠藤正隆：大和川線シールドトンネルの掘進管理計画，阪神高速道路第44回技術研究発表会論文集，2012.5.

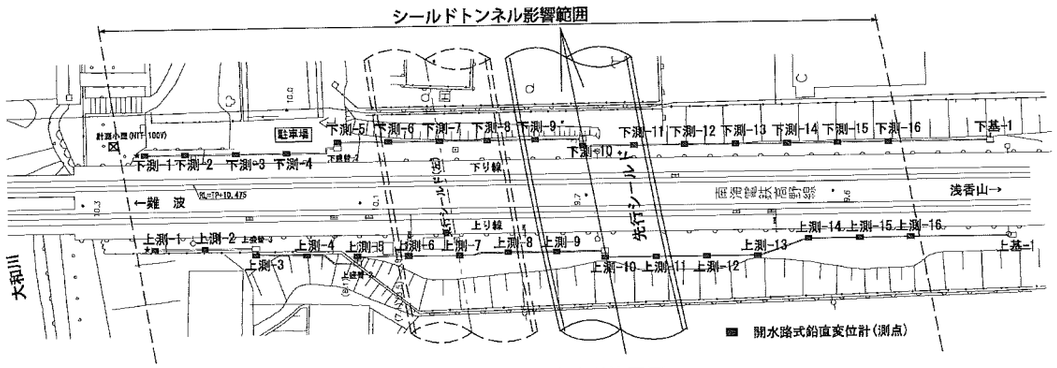


図-16　南海高野線計測位置図

施工

天竜川水系・小渋ダムに近接した４kmの土砂バイパストンネル

国土交通省中部地方整備局天竜川ダム統合管理事務所建設監督官　栗野哲郎
国土交通省中部地方整備局天竜川ダム統合管理事務所管理課施設改良係長　堂下哲
大成建設(株)名古屋支店小渋ダム土砂バイパストンネル作業所工事課長　藤原武司

1　はじめに

小渋ダムは，国土交通省所管の洪水調節，かんがい，発電を目的とした多目的ダムであり，昭和44年に完成した．

小渋川流域は，中央構造線の影響を受けた脆弱な地質と，急峻な地形から土砂生産量の多い地域であるため，従来より，ダムの堆砂対策として貯砂ダムを設置し，堆積土を砂利資源として積極的に利用することなどにより，ダムの有効容量の確保に努めてきた．

しかし，小渋ダム貯水池への堆砂は年々進行しており，完成後40年経過した現在の堆砂率は79%に達している．このままではダムの洪水調節機能に支障を来たすおそれがあることから，新たな堆砂対策として平成12年より堰堤改良事業に着手し，平成21年からは，この事業の根幹施設となる土砂バイパストンネル工事に本格着手した．

2　工事概要

本工事は，小渋ダムへの堆砂の進行を抑制してダムの有効容量を確保すること，小渋ダムの下流河川環境の健全化を図ることを目的として，小渋川左岸に貯水池を迂回する土砂バイパストンネルを建設する工事である(**図-1**)．土砂バイパストンネルは全国でも前例が少なく，４例目となる．対象流量は370m³/s，対象土砂は，掃流砂，浮遊砂，ウォッシュロードであり，縦断

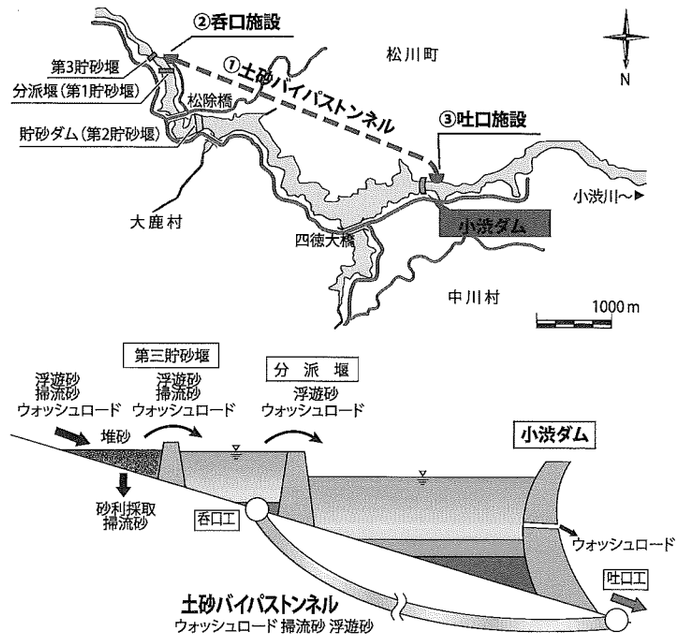


図-1　工事概要

勾配 1/50，トンネル延長約４kmの長大トンネルである．内空断面積は片側１車線の道路トンネルと同等の大きさ(48.7m²)であるが，土砂を流すという観点から水深が必要となり，道路トンネルと比較して内空幅が狭く，内空高が高い形状となっている(**図-2**)．

施工は，小渋ダム直下の河川敷に仮設ヤードを造成し，上流に向かって縦断勾配 1/50 の片押し施工である．また，上流呑口側坑口は，河床より低い位置となるため，仮締切りを構築し，非出水期に約25mのトンネル掘削を施工した後，止水壁を構築して下流側からの貫通に備えた．

本工事の下流吐口側施工ヤードは小渋ダム直下に位置しており，ダム放流時には最大500m³/sの放流水が河川を流れる．仮設ヤードについては，放流水500m³/sの河積を担保できる高さで造成されており，また，トンネルも上り勾配で施工するため，最大放流した場合でも，仮設ヤードおよびトンネル坑内は水没しない計画となっている．施工方法はNATMで，発破掘削方式の補助ベンチ付き全断面工法である．

3　地形・地質概要

3-1　地形概要

小渋川は，その源を南アルプスの赤石岳に発し，天竜川に合流する延長29.5km，流域面積295.0km²，比高2,000mに及ぶ急流河川である．流域中央部の支川である青木川，鹿塩川沿いには中央構造線がNE-SW方向に通過しており，東側は三波川帯の結晶片岩類，秩父帯の古生層からなり，西側は領家帯の花崗岩類，片麻岩類からなる．本工事は，中央構造線の西側であり，領家帯が分布する伊那山脈に位置する．

伊那谷地域の地殻の上下変動は，本州の中で最大の隆起量(年間累積率：４㎜/年)を記録している．

この地域は，約1,100～500万年前には小起伏面が広く形成されており，約500万年前以降より赤石山脈の隆起が始まった．100万年前以降は中央アルプス，南アルプスなどが断層ブロックとして明確化し，各ブロックが傾動的な隆起を始めたとされており，これらの地形発達史を経て今日の地形が形成されている．

このため，小渋川に面した斜面は，いずれも急峻な斜面であり，壁岩状の露岩地も見られる．谷部では，ガリー状に浸食が進行しており，渓床部に硬質な露岩部が多く露出している．

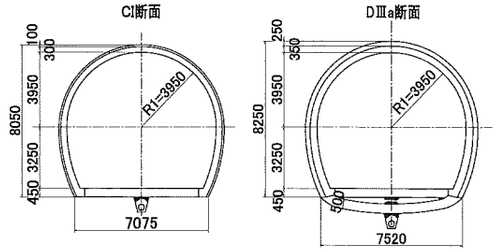


図-2　標準断面図

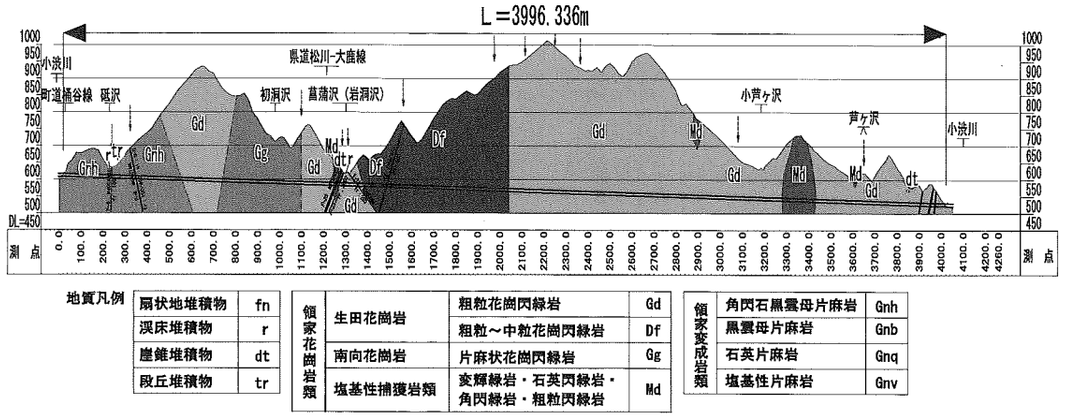


図-3　地質縦断図

3-2　地質概要

日本列島は，本州の中央部を横断する大地溝帯(フォッサマグナ)によって，東日本と西南日本に区分される．西南日本はさらに，中央構造線によって内帯と外帯に区分される．本工事施工箇所は西南日本の内帯に位置し，領家帯に区分される．

領家帯には，花崗岩類および変成岩類が分布している．本工事施工箇所付近では，花崗岩類が広く分布している．これらの花崗岩類にとりこまれるような小岩体として変成岩類が分布している．また，花崗岩中には捕獲岩体として領家変成岩や塩基性岩類が分布している．

領家変成岩および領家花崗岩は中生代白亜紀末～古第三紀に形成されたものである．領家変成作用は高温低圧型であり，熱源は古期花崗岩類の貫入によるものである．領家花崗岩類は，広域的な変成作用に関係した古期花崗岩類と，変成岩に複変成作用を与えた新規花崗岩類に区分される．本工事施工箇所に分布する南向花崗岩，生田花崗岩はいずれも古期花崗岩類であり，生田花崗岩類が南向花崗岩類を貫いて分布している．

図-3に地質縦断図を示す．

4　施　工　報　告

本工事は，平成21年８月初めからトンネル掘削を開始し，平成24年３月末に掘削完了した．地山条件に恵まれ，順調に進捗したが，約４kmの長大トンネルであり，施工計画段階での工夫および近接構造物対応を実施したので，それらについて報告する．

4-1　長大トンネルを考慮した施工計画

4-1-1　連続ベルトコンベヤによるずり出し

本工事は，施工延長約４kmの長大トンネルであり，標準断面も比較的小さく，幅が狭い形状となっている．とくに覆工コンクリート打設完了箇所においては，特殊な形状(根足部が突出した形状)となっているため全幅が6.0mと狭く，ダンプトラックおよびトラックミキサーの離合が非常に厳しい状況である．そのため，トンネル坑内の安全性を向上させること，トンネル掘削作業の施工性を向上させること，排気ガス低減による坑内環境の向上を目的に，連続ベルトコンベヤによるずり出し方式を採用した．

連続ベルトコンベヤは，メインドライブ装置，ストレージカセット装置を設置するスペースとして，延長約80mが必要である．しかし，坑外の仮設ヤードが狭小であり，坑外に設置することができないため，覆工コンクリート150mの打設を完了した後，坑内に設置した．

坑内のベルトコンベヤの配置は，車両の離合を可能とするため，吊下げ型(掘削完了部，**写真-1**)およびニーブレス型(覆工完了部，**写真-2**)を採用した．

切羽付近に設置する設備としては，クラッシャ，テールピース台車がある．クラッシャにて破砕されたずりは，テールピース台車を介して連続ベルトコンベヤにより坑外へ搬出されるが，掘削作業の施工性を向上させるため，トラクターショベル２台を投入して，ずり出し作業を行う計画とした．



写真-1　ベルコン設置(掘削完了部)

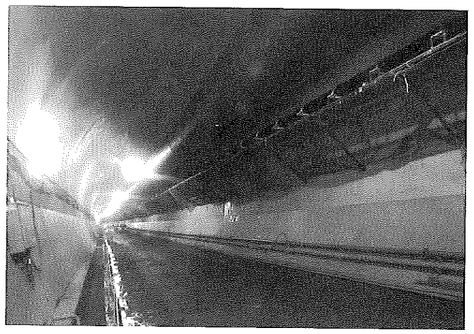
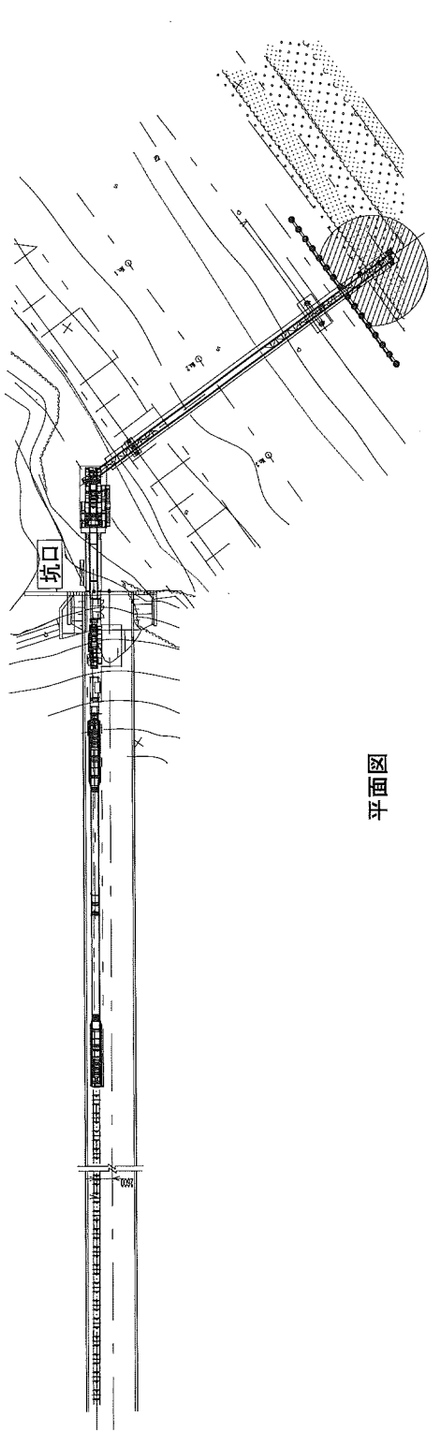
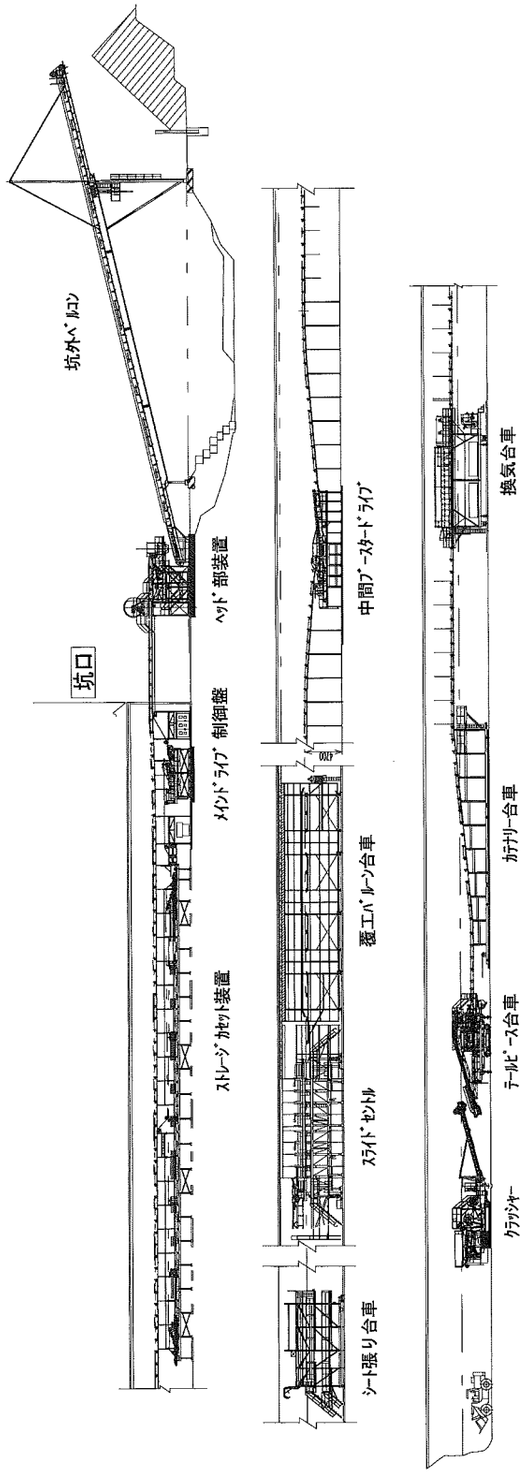


写真-2　ベルコン設置(覆工完了部)



平面図



縦断図

図-4 ベルコン設備配置図

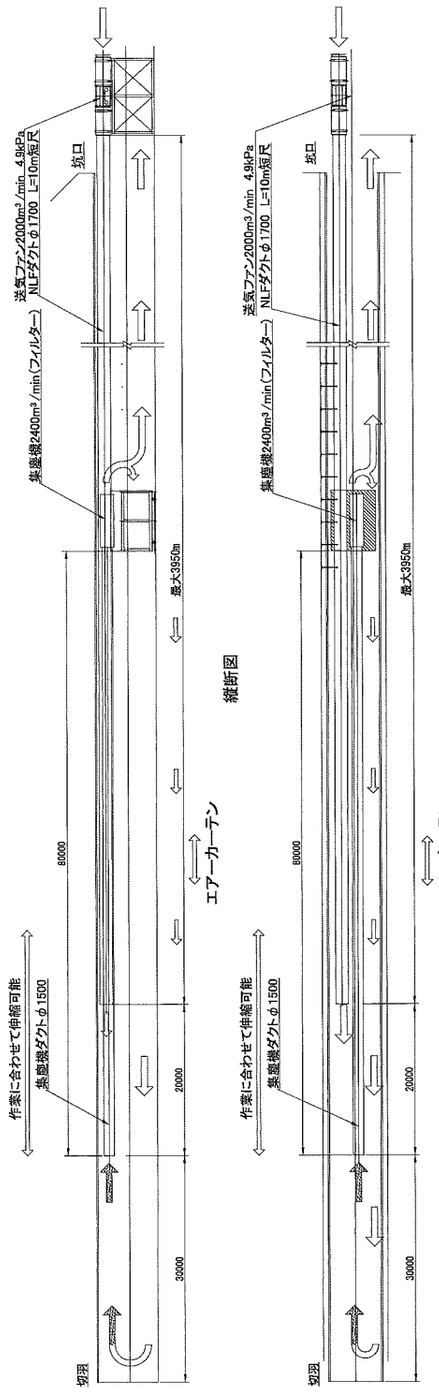


図-5 換気計画概要

図-4に設備配置概要図を示す．

平成21年8月初めにトンネル掘削を開始した．覆工コンクリートの開始は，平成21年12月末である．平成22年2月末より，連続ベルトコンベヤの設置工事を実施し，ベルトコンベヤによるずり出し方式の施工は平成22年3月から開始した．トンネル掘削は平成24年3月末に完了した．

4-1-2 伸縮風管を利用した吸引システムとNLF風管の採用

粉じん則において，切羽後方50m地点での粉じん濃度が3 mg/m³となるような措置を講ずることが規定されている．切羽後方50m地点での粉じん濃度を下げるには，切羽近傍で粉じんを捕集することがもっとも効果的である．しかし，吸込み口を切羽に近付けすぎると，発破の飛石により損傷する懸念がある．

そこで，伸縮風管の先端に設置した牽引装置により，天端に設置したIビームを軌道として遠隔操作で移動できる装置を設置し，吹付け作業などの粉じん発生作業時には，切羽近傍まで吸込み口を近づけて，粉じんを捕集するシステムを採用した．図-5に吸引システムの概要図を示す．

また，通常のビニル風管を使用した場合，風管の連結部からの漏風により，トンネル延長が長くなると換気効率が著しく低下するが，本工事においては，NLF(Non leak fastener)風管(図-6)を採用し，連結部からの漏風を低減することで換気効率を向上させ，約4 kmの長大トンネルにもかかわらず，中継ファンを設置しなくても，換気可能な計画とした．

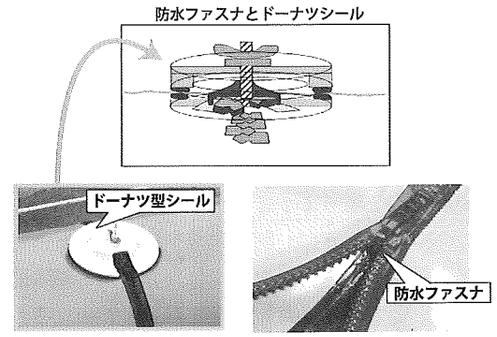


図-6 NLF風管

4-2　小渋ダム直下のダムサイトでの施工（近接構造物対応）

4-2-1　小渋第二発電所導水トンネルに近接した施工

本工事において，TD＝245m（No.37＋78）で長野県企業局の小渋第二発電所導水トンネルと鉛直離れ約28mで交差する（バイパストンネルが下側を通過，**図-7**）．導水トンネルへの影響を考慮して，発破による振動速度を3 kine以下となるように施工する必要があった．土砂バイパストンネルの施工により，どの程度の影響を及ぼすのかを把握し，その結果をもとに対策を講じる必要があるため，影響範囲に到達する前に実際の発破時における振動測定を実施して，施工方法を検討した．

（1）　事前の振動測定による施工方法の検討

小渋第二発電所導水トンネルは，常時流水があり，交差部における振動の常時測定は困難である．そのため，事前に発破による振動測定を実施して，常時測定可能な場所と交差部の相関を把握し，施工における影響の評価を実施した．

導水トンネルを流れる水は，発電に利用されるほかに，農業用水としても利用されるため，導水を中止できる時間は4時間程度と制約があった．そのような制約のなか，平成21年10月1，2，5日の3日間，長野県企業局の協力を得て，導水を中止して振動測定を実施した．

測定結果を**表-1**に示す．

この結果をもとに，制御発破を実施する計画とした．発破振動を低減するには斉発薬量を減らすことが重要であり，斉発薬量を減らすために多段発化する以下の発破パターンを検討した．

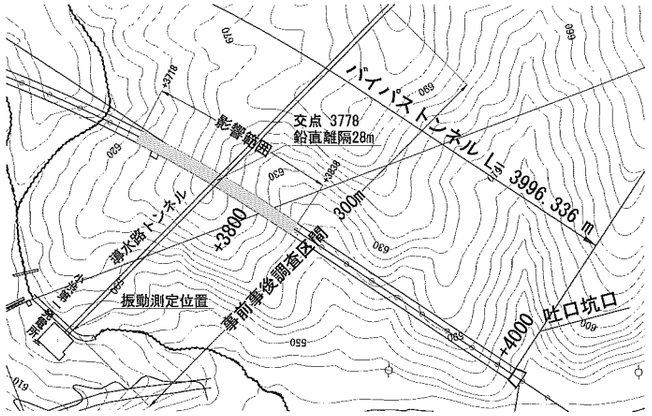


図-7　導水路トンネル位置図

表-1　導水路トンネル事前振動測定結果

測定位置	測定日	掘削位置	発破位置	距離（m）	装薬量（kg）	振動速度（kine）	振動レベル（dB）
導水トンネル内（交差部）	H21.10.1	芯抜き	No.3891.0	118	9.0	0.57	58
	H21.10.2		No.3886.2	113	5.4	0.582	57
	H21.10.5		No.3875.4	103	11.4	1.279	66
	H21.10.1	払　い	No.3891.0	118	11.0	0.344	—
	H21.10.2		No.3886.2	113	12.2	0.256	—
	H21.10.5		No.3875.4	103	13.4	0.369	—
導水トンネル坑口（常時計測箇所）	H21.10.1	芯抜き	No.3891.0	206	9.0	0.041	50
	H21.10.2		No.3886.2	203	5.4	0.039	50
	H21.10.5		No.3875.4	195	11.4	0.096	58
	H21.10.1	払　い	No.3891.0	206	11.0	0.027	—
	H21.10.2		No.3886.2	203	12.2	0.024	—
	H21.10.5		No.3875.4	195	13.4	0.027	—

パターン①：瞬発，DS②～⑮段使用による多段発と補助芯抜き（**図-8**）

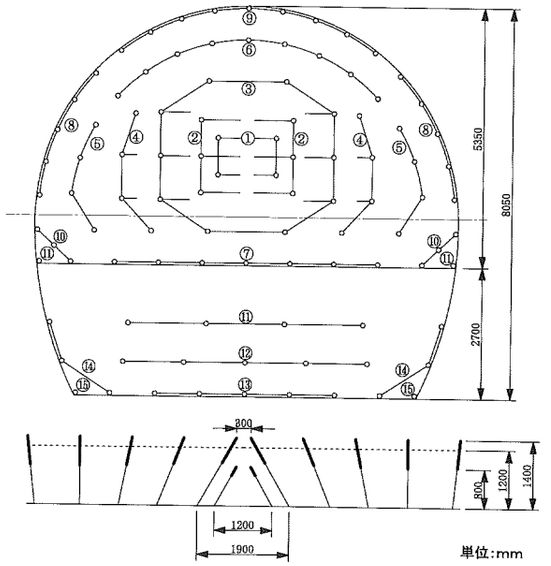
パターン②：瞬発，DS②～⑳段，MS②段使用による多段発と補助芯抜き（**図-9**）

基本的には，影響範囲に到達した後，パターン①による制御発破を実施し，振動測定結果を確認しながら，管理基準値を超えるおそれがある場合には，パターン②による制御発破を実施する計画とした．

（2）　施工結果

トンネル掘削による影響が想定される範囲（交差部前後60m区間）について，常時振動測定を実施して施工を行った．トンネルの切羽位置と振動

CⅡ断面　制御発破パターン①



【発破諸元】

		上半	下半	全断面
1. 使用爆薬	ハイジェックス快力 φ30mm×150g×195mm			
2. 使用電気雷管	瞬発　DS電気雷管			
3. 掘削岩区分	CⅡ			
4. 断面積	m^2	38.43	21.68	60.11
5. 1発破進行長	m	1.2	1.2	1.2
6. 破砕量	m^3	46.11	26.01	72.13
7. 穿孔数	孔	79	22	101
8. $1m^2$当たり穿孔数	孔／m^2	2.06	1.01	1.88
9. 爆薬使用量	kg	35.55	11.10	46.65
10. $1m^3$当たり爆薬量	kg／m^3	0.77	0.43	0.65

（上半）

段数	穿孔数	装薬量 kg/孔	装薬量 小計(kg)
1	4	0.15	0.60
2	6	0.45	2.70
3	10	0.45	4.50
4	8	0.45	3.60
5	8	0.45	3.60
6	9	0.45	4.05
7	7	0.45	3.15
8	10	0.45	4.50
9	9	0.45	4.05
10	6	0.60	3.60
11	2	0.60	1.20
12			
13			
14			
15			
計	79		35.55

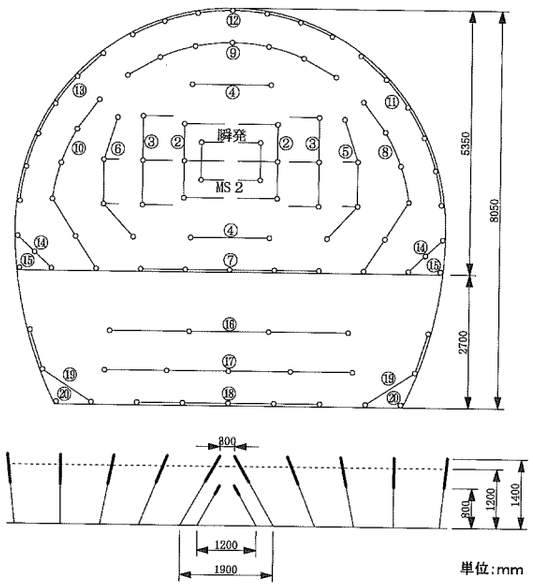
（下半）

段数	穿孔数	装薬量 kg/孔	装薬量 小計(kg)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11	4	0.45	1.80
12	5	0.45	2.25
13	5	0.45	2.25
14	6	0.60	3.60
15	2	0.60	1.20
計	22		11.10

注1．　○内数字はＤＳ電気雷管の段数

図-8　CⅡ制御発破パターン①

CⅡ断面　制御発破パターン②



【発破諸元】

		上半	下半	全断面
1. 使用爆薬	ハイジェックス快力 φ30mm×150g×195mm			
2. 使用電気雷管	瞬発　MS　DS電気雷管			
3. 掘削岩区分	CⅡ			
4. 断面積	m^2	38.43	21.68	60.11
5. 1発破進行長	m	1.2	1.2	1.2
6. 破砕量	m^3	46.11	26.01	72.13
7. 穿孔数	孔	79	22	101
8. $1m^2$当たり穿孔数	孔／m^2	2.06	1.01	1.88
9. 爆薬使用量	kg	35.55	10.20	45.75
10. $1m^3$当たり爆薬量	kg／m^3	0.77	0.39	0.63

（上半）

段数	穿孔数	装薬量 kg/孔	装薬量 小計(kg)
1	2	0.15	0.30
MS2	2	0.15	0.30
2	6	0.45	2.70
3	6	0.45	2.70
4	4	0.45	1.80
5	4	0.45	1.80
6	4	0.45	1.80
7	5	0.45	2.25
8	1　5	0.60　0.45	2.85
9	7	0.45	3.15
10	1　5	0.60　0.45	2.85
11	6	0.45	2.70
12	7	0.45	3.15
13	6	0.45	2.70
14	2　4	0.45　0.60	3.30
15	2	0.60	1.20
16			
17			
18			
19			
20			
計	79		35.55

（下半）

段数	穿孔数	装薬量 kg/孔	装薬量 小計(kg)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16	4	0.45	1.80
17	5	0.45	2.25
18	5	0.45	2.25
19	6	0.45	2.70
20	2	0.60	1.20
計	22		10.20

注1．　○内数字はＤＳ電気雷管の段数

図-9　CⅡ制御発破パターン②

測定結果の相関を図-10に示す.

すべての発破において，パターン①による制御発破を実施したが，管理基準値である3.0kineを下回っており，制御発破による効果が確認された．また，バイパストンネルの掘削が導水トンネル交差部を通過した後，トンネル掘削の影響を確認するため，導水トンネルの導水を中止して，導水トンネルの変状調査を実施したが，新たな変状は確認されず，トンネル掘削による影響を及ぼすことなく施工することができた.

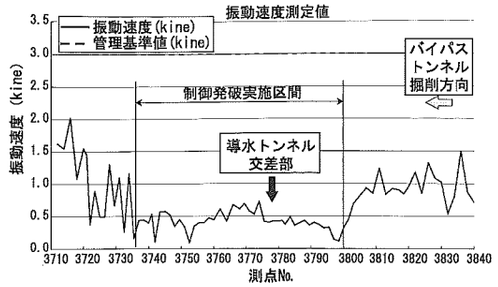


図-10　導水路振動測定結果

表-2　ダム振動測定位置測定

箇所		近接点測点	標高	平面離隔	備考
No.1	バイパストンネルとダムカーテン間の地山	No.3721.0	585.3	167.2	第三発電分岐管トンネル内
No.2	ダム天端(左岸)	No.3692.0	620.0	234.6	
No.3	ダム背面間詰天端	No.3731.0	540.0	295.7	
No.4	ダム底部（プラムライン室）	No.3835.0	524.0	354.4	
No.5	ダムカーテン下部付近	No.3696.0	534.0	247.0	仮排水路トンネル内
No.6	ダム天端(中央)	No.3839.0	534.0	348.3	

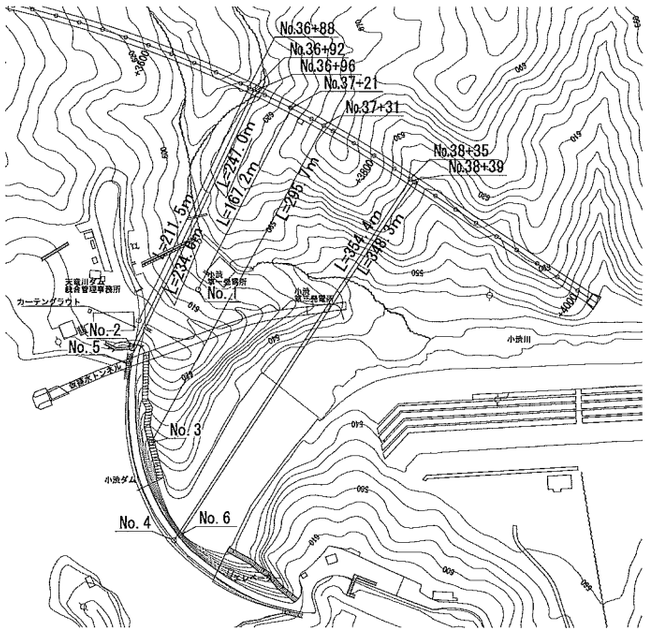


図-11　ダム振動測定位置図

4-2-2　小渋ダム本体への発破振動の影響評価

小渋ダムは，昭和44年に完成したアーチダムである．土砂バイパストンネルは，ダム左岸を迂回して平面離れ約230mで通過する．比較的離れてはいるが，発破振動による影響が及ばないとは限らないため，振動測定を実施して影響を評価することとした.

（1）　許容振動速度

一般にアーチダムにおける許容振動速度については，とくに定められたものがないが，過去の実績をもとに，岩手県企業局の湯田ダム(重力式アーチ)での管理用トンネル掘削時の許容値を参考とすることにした[1]．湯田ダムの許容値算定は，トンネル覆工コンクリートの引張強度(1.47N/㎟)に着目し，安全率を5として4.0kineとしている.

小渋ダムのコンクリート強度は，引張強度が2.94(N/㎟)であり，湯田ダムと同様の許容値として問題はないが，アーチダムであることからさらに安全側となるように，許容振動速度を2.0kineと設定した.

（2）　振動速度の測定

土砂バイパストンネルがダム左岸側を通過することから，ダムセンターより左岸部の振動を測定することとした.

測定位置を表-2，図-11に示す.

許容振動速度は2.0kineと設定しているが，管理基準値として1.0kineを設定し，管理基準値を超えた場合には，施工方法を変更する計画とした．トンネル掘削時における各計測点の振動速

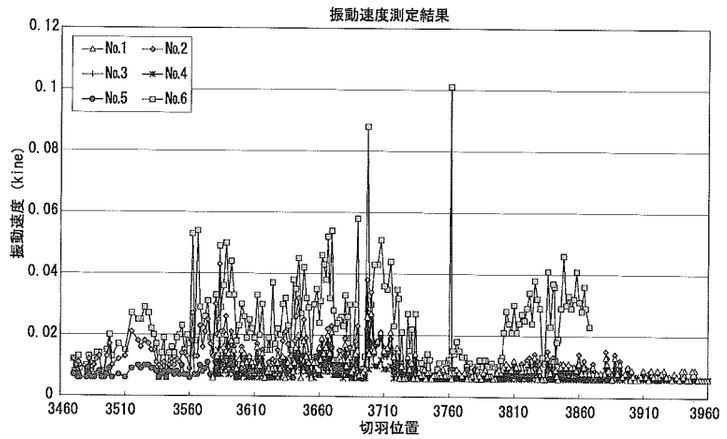


図-12　ダム振動測定結果

度測定結果を図-12に示す.

いずれの測定点においても，振動速度は0.1kine程度以下となっており，トンネル掘削における発破振動のダム本体への影響はなかった.

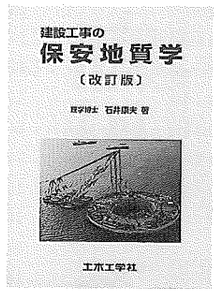
5　おわりに

地山条件にも恵まれ，大きなトラブルもなく順調に進捗し，掘削開始から約32か月で約4kmの掘削を完了した．トンネル工事については，覆工コンクリートの施工も平成24年9月に完了し，中央排水工および水路インバートを残すのみとなっている．水路インバートについては，耐摩耗性および供用後の補修などを考慮し，施工性および経済性を勘案して，高強度コンクリートにて施工する．トンネル工事はほぼ完了しているが，呑口本体構造物など工事は続くので，無事故で完成させるよう鋭意努力していく所存である.

参考文献

1）大中武易・上沼博司：小渋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，pp.43-44，2010.5.

ユニークな手法を駆使!!　建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!



建設工事の
保安地質学
〔改訂版〕
理学博士　石井康夫 著
A5判　上製本　475頁　価格6,300円　〒340円

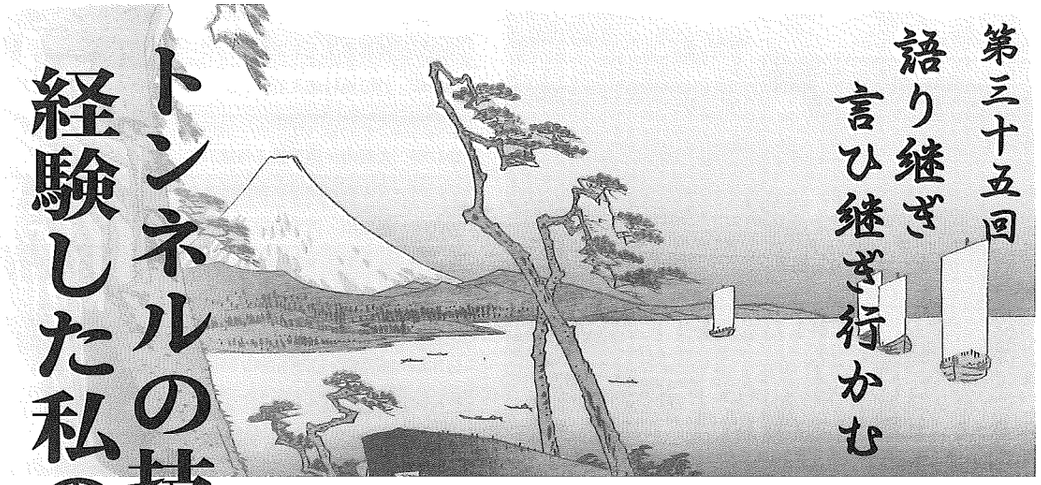
本書は，多くの人が『地質の知識を通して，安全を守る』という点の理解を深めることを目的とし，安全教育の資料，あるいは災害時に直接役立つように各種のエピソードや適用法規まで加えた他の技術専門書とは異なったタイプのユニークな地質専門書である.

株式会社 工木工学社　〒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

土木情報 No.473 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
関東農政	印旛沼二期農業水利事業白山第3号支線用水路その1	大木組	255
〃	両総農業水利事業南条支線用水路その1	東急建設	233
関東地整	葛西共同溝補強その4	若築建設	413
〃	北国分地区函渠その2	間組	4,203
〃	圏央道桶川北本地区函渠その1	大成・三井住友・大豊JV	12,200
〃	上武道路函渠その他	宮下工業	228
〃	葛西共同溝補強その5	ピーエス三菱	191
北陸地整	甚之助谷地すべり対策排水TⅡ期	飛島建設	889
〃	加賀拡幅中代函渠	酒井工業	246
〃	〃 上河崎函渠	向出組	236
近畿地整	近畿自動車道紀勢線田野井第三・第四T	フジタ	1,334.77
〃	丹波綾部道路須知第二T	鴻池組	918.8
四国地整	H24-26田野T	西松建設	1,626.5
九州地整	鹿児島202号海潟T新設	安藤建設	366.23
〃	熊本3号女島T新設	間組	2,323.95
〃	長崎497号平尾T新設	福田組	4,376.33
中日本高速道路	新名神高速道路野登T東	大林組	10,250
〃	東京外かく環状道路東名JCT・本線シールドT立坑	清水・熊谷JV	6,726
千葉県	柏北部中央地区下水道管布設(24-1工区)	岡本組	115.5
〃	江戸川左岸流域下水道立坑築造(市川幹線402-2工区)	飛島建設	185
都・財務局	H24中防外1号線雨水管布設	真柄建設	284.75
都・建設局	妙正寺川鷺の宮調節池(その5)	清水・錢高・港シビルJV	135.7
都・下水道局	台東区西浅草三丁目，松が谷三丁目付近再構築	村本建設	314
山梨県	柳川地区柳川水路T	砂田建設工業	161.5
長野県	H24県営中山間総合整備事業小谷地区伊折上水路T	相模組	211
〃	H24地域自主戦略交付金流域下水道・諏訪湖流域白樺湖幹線	北野建設	251.1
〃	H24県営ため池等整備事業恩田井水地区智浪隧道	北沢建設	229.3
三重県	H24R422三田坂BP道路改良三田坂T(仮称)	鹿島・日本土建・廣嶋JV	2,542.5
広島県	太田川東部工業用水道事業二河接合井～宮原接合井管路更新(シールド)	五洋・東亜・洋伸JV	2,869
結城市	24国補公下第12-1号，根本原雨水幹線新設第1工区	岩沢建設	104.85
那珂市	24国補社交第1号-1，両宮排水路整備	前田・鶴田JV，三ツ和・鯉渕JV	667
前橋市	永明地区駒形町雨水調整池建設(国管雨水第1号)	宮下・泉野・前橋JV	775
さいたま市	南部第10処理分区下水道(南建-24-44)	荒木建設工業	121.4
〃	芝川左岸第3-1排水区下水道(北建-24-13)	松永建設	167.49
久喜市	吉羽雨水貯留施設整備	久喜組	132
川島町	飯島3号雨水幹線12-1工区	島村工業	186
横浜市	港北線口径1000㎜配水管布設替(その5)	横浜建設	143.32
茅ケ崎市	公下松浪2丁目地内外(雨水)通常24-2	浅岡建設	118
堺市	石津雨水滞水管布設	大成・村本・沖崎JV	2,907.9
広島市	江波地区下水道築造24の3号	錢高・錦JV	389.7
東京地下鉄	東西線南砂町駅中央部工区改良土木	大成・竹中土木JV	5,900
〃	〃 終端部工区改良土木	大林・前田・西武JV	4,350



トンネルの技術革新期を経験した私の工事記録

（株）奥村組社友
渡辺 英図

はじめに

私は東京オリンピックの翌年1965年4月に奥村組に入社しました．大阪市阿倍野区の旧本社で入社式が行われた後に現場研修があり，平野区にあった資材部の敷地内で行っていたシールド工法実証実験工事を見学することができました．実験工事は，直線部，曲線部合わせて80mを直径3.5mの鋼製セグメントを使用して手掘り圧気シールドによる掘削を行ったもので，既に掘削は終了していましたが，新入生は全員圧気された坑内に案内され仰天しました．私は当時シールドトンネルについて全く知識がなく，まさか将来自分がこの方面に進むとは思いもしませんでした．

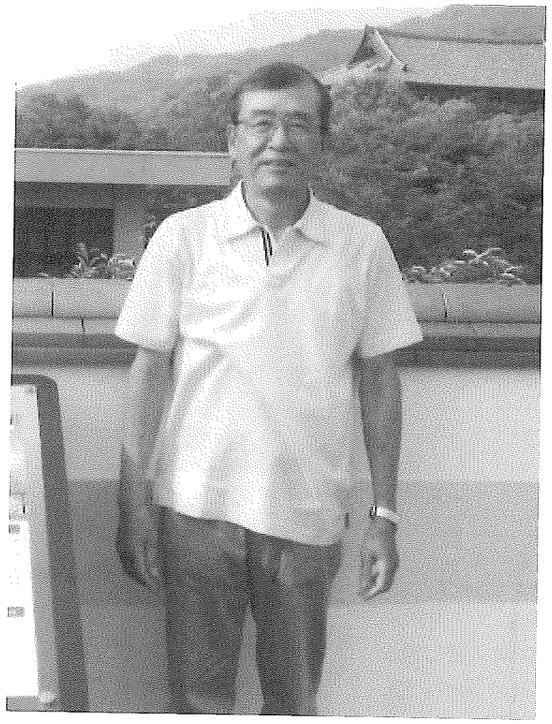
最初のシールド工事現場（1967～1969年在席）

研修後すぐに名阪国道天理工区道路工事など，約2年半で4現場の明かり工事に従事しました．

1970年開催の大阪万博は1965年9月に開催が決定しており，大阪市内およびその周辺はインフラ整備でどこもかしこも掘り返されていたなか，1967年9月に「大阪市地下鉄4号線31工区」（現在の中央線堺筋本町駅～本町駅間）で最初のシールド工事現場に配属されました．この工事は当社の地下鉄シールド工事の2件目で，私にとってのシールド工事施工の原点ですので少し詳しく紹介します．

■工事概要

上下線間60mの単線を手掘り圧気シールド（外径6,980㎜，延長408m，土かぶり10m）で掘削するもので，線間部には船場ビル（地下2階，地上4階）と，さらにその上に阪神高速道路13号線を逐次同時施工する必要があったことから，各企業者もプロジェクト全体を考慮した合理的な設計とタイトな工程管理が必要だったと思います．両発進立坑は隣接工区がニューマチックケーソン（以下「潜函」という）で施工中でした．



奥村組記念館にて(2008)

著者略歴

1965年	東京農工大学卒業
1965年	(株)奥村組入社
1965年	建設省・名阪国道天理第4改良
1967年	大阪市・地下鉄4号線31工区
1969年	豊中市・穂積排水区阪急西側幹線
1970年	西宮市・汚水幹線下水道
1972年	西宮市・浜幹線外第3工区下水道
1973年	高槻市・公共下水道
1977年	高砂市・千鳥雨水幹線
1978年	西宮市・久寿川第2幹線
1979年	東大阪市・下水道管渠
1984年	関西電力・赤穂発電所放水路および放水口
1987年	大阪市・平野～住之江幹線管渠(3工区)
1991年	関西高速鉄道・JR東西線福島東開削トンネルおよび出入橋シールドトンネル
1994年	関西支社土木工事部長を兼務
1994年	東京支社土木工事部長
1997年	関西支社土木部長
1998年	本社安全環境部長兼品質環境管理室長
2000年	本社監査役
2006年	退　社

■土質調査結果

本工区のシールド通過断面は難波貝層と呼ばれる3,000～5,000年前に堆積した沖積層砂および砂礫の互層でした．*N*値は50以上と締まっていますが，微粒子分が少ないため連続性に乏しいのが特徴です．しかし，後半の200m区間は徐々にシルト分が増加し，前半に比べて掘削に有利と思われました．また現場透水試験を行った結果は$1.1\sim3.0\times10^{-2}$cm/secでした．

■圧気工法の検討

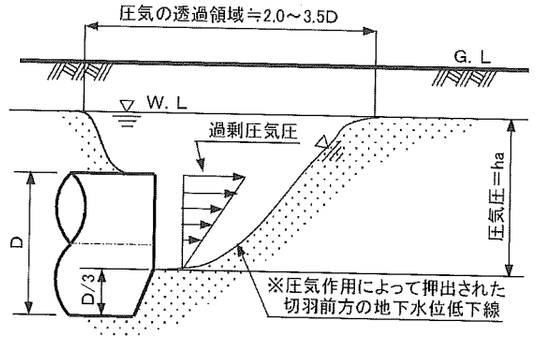
当初設計では圧気工法が指定されていましたが，当社も発注者も砂礫層に対し漏気量が多過ぎて，そのままでは圧気圧が保てないのではないかと判断し，薬液注入による地盤改良でどれだけ漏気量が減少できるかを含めた大規模な現場透気試験を，繊維問屋などの立ち退きが終了した線間部で実施しました．その結果，クラウン部には2.5m厚の尿素系薬液注入(現在は使用が禁止されている)を，側部は1.5～2.0m幅の溶液型水ガラス系薬液注入をシールド下端から0.5m下にあるシルト層まで行えば圧気可能という結論となりました．しかし，薬液注入工事費が膨大となることを考え，ディープウェルによる揚水工法も併用することとし，前述の注入断面は発進部から25mまでとし，それからは注入断面をクラウン部の安定に絞って漸減させ，掘進の状況に合わせて追加注入で対応することとしました．

■トンネル施工結果

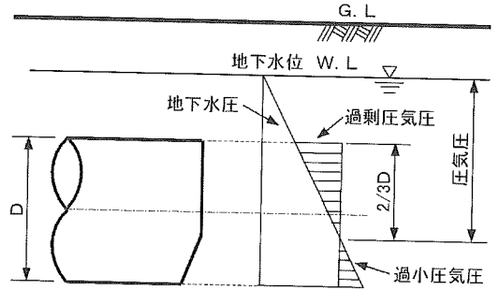
トンネル掘削はほぼ想定どおりで，クラウン部は薬液注入によりおおむね安定していましたが，それでも細心の注意を払い，ムーバブルフードジャッキや観音開きの土留め支保装置を駆使して安定を保ちました．ディープウェルも実施しました．圧気設備も試運転しましたが，予想どおり全く気圧は上がりませんでした．以上が概要ですが，この経験がそれから7～8年ほど続く手掘りシールド全盛期の計画や施工に役立ちました．

圧気工法の実践

最初のシールド工事以降，約8年の間に手掘りシールド工事を4件経験し，そのうち2件が圧気シールドでした．以下はその一つです．



圧気の作用による切羽前方の地下水位の低下曲線



大断面シールドにおける圧気圧の設定概念

■西宮市下水道課浜幹線外第3工区下水道工事(1972～1973年)

兵庫県西宮市南部には古くからの清酒工場が多数あり，地下水は「宮水」として厳格に保護されています．当工区は地下水位GL－1m以内の高水位で透水性の高い砂礫地盤に，シールド外径3,265㎜のトンネル478mを，手掘り圧気工法で掘削する工事でした．宮水の保護のため，揚水工法は採用できず，漏気防止のための全断面薬液注入が必要となりましたが，薬液が外に拡散しないようにモルタル柱列杭を両側に施工して，そのなかに注入しました．全断面注入の場合，シールド掘削で注入改良部分をほとんど削り取って進みますので何か自己矛盾のように感じますが，漏気を減少させて圧気圧を確保することが主目的であり，これも最初のシールド工事の体験から学びました．

■圧気シールドと潜函の圧気工法比較

圧気シールドを潜函の圧気と比較すると，潜函は通常，刃口先端の地下水圧と同等の気圧で圧気するため刃口先端部からの漏気は，理論上ありません．しかし，圧気シールドの場合はシールドが横向きなので，圧縮空気が切羽から地盤の土粒子間を通ってどんどん抜け，このときにできる地盤内のエアーゾーンでは，地中の水がほどよく前方に押し出されることにより，湧水に伴う地盤の崩壊が防止されます．さらに，圧縮空気が前方に押し出される際に発生する土粒子との摩擦により，積極的に切羽を安定させます．また潜函と違い，切羽断面の上部と下部では切羽水圧が異なるため，圧気圧をトンネル下端に合わせれば湧水はなくなりますが，上部が過圧気となり，土砂が乾燥して安定の確保ができなくなる場合が多いため，実際は下端より*D*/3程度の位置の水圧に合わせます．この場合，その位置より下部では湧水が発生しますので，水中ポンプなどで排水して対応します．さらに圧気工法は砂分のない超軟弱粘性土では適応できません．すなわち，圧気しても空気が地中に浸透しないのでエアーゾーンができず，自立しないのです．このような土質の場合，現在では泥土圧シールドで十分対応できますが，当時はブラインド工法が採用されていました．

■まだまだ捨てがたい圧気工法

1994年，ある泥土圧シールド工事の現場所長から相談がありました．この現場は，開削工法によって作られた営業中の地下鉄の直下を横断して，下水道を築造する工事で，地下鉄工事で使われた中間杭が2列存置されていました．設計では夜間線路閉鎖時間内に地下鉄構内から薬液注入を行い，中間杭をシールド内から人力でガス切断することとなっていました．薬液注入は設計どおり実施しましたが，地下鉄構造物に影響を与えないように薬液注入圧が厳しく制限されたため，注入圧管理上，心配が残るということでした．私は発注者にその旨を説明して了解をいただき，圧気設備(ブロアーおよび防音設備と坑内ロック設備など)をあらかじめ設けて発進するよう指示しました．若い所長は圧気世代ではありませんでしたが，すぐに理解してくれました．結果は所長の予想どおりで，圧気により安全に杭切断を行うことができました．

泥水シールド工法の時代に突入

その後，泥水シールドが東京で急速に広がり，関西でもすぐに採用され，私は連続して次の２件の工事を担当しました．

・兵庫県高砂市千鳥雨水幹線築造工事(1977～1978年)
・西宮市久寿川第２幹線工事(1978～1979年)

西宮市下久寿川第２幹線工事は，シールド外径2,860㎜，延長641m，土質は西宮南部特有の微粒子分の少ない砂礫層でした．国道43号直下を横断する必要があり，厳密な泥水圧管理を行って施工しました．その後，２件の東大阪市発注の無圧気手掘り式の下水道シールド工事約3,000mを施工したのち，次の工事を担当しました．

関西電力赤穂発電所放水路および放水口工事(1984～1987年)

この放水路は赤穂火力発電所で冷却水として使用する海水を冷却後，約4.4km東の海岸まで圧送して瀬戸内海に放水するためのもので，当社の工区はそのうち，もっとも東に位置する延長1,600mのトンネルと放水口の工事でした．その内訳は西から，開削によるゲート室および潜函によるシールド用円形立坑部計41.7m，シールドトンネル延長607.2m，山岳トンネル延長951.1m(内空断面約30.8m²)です．山岳トンネルは海上基地を設けて東側から発破工法で掘進し，終端の崖錐部でシールドの到達を待ちました．私はこの工事で潜函立坑を含むシールド工事を担当しましたので，それらについて概要を紹介します．

■潜函立坑工事

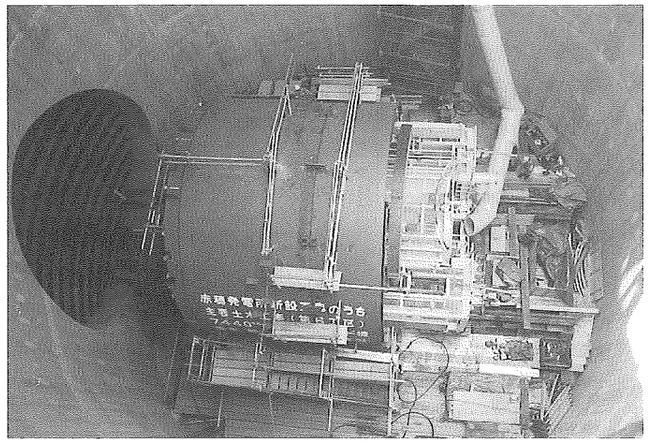
潜函躯体は外径21.5m，内径17.5m，刃口下端までの掘削深さ30.8mで，９ロットに分けて行いました．土質は掘削面から14mまでは沖積層シルト(*N*値０)が主体で，砂質土が介在しています．それ以深は洪積砂礫層(*N*値30～50以上)が主体で下部に*N*値10，層厚４mの粘土層が一枚介在しています．潜函掘削および沈設は１ロットを何回かに分けて，以下のように行いました．

沖積層での掘削は，急激な沈下による躯体の傾きや作業空間の急激な減少を防ぐために中央部を先に行い，作業空間を確保して順次刃口部に向かって掘削して沈下させました．洪積砂礫層においては，刃口部を過圧気で漏気しないよう管理しながら水中掘削で沈下させたのち，中央部を掘削しました．洪積粘土層では中央部より順次刃口に向かって掘削し，最後に刃口部を少しずつ掘削して沈下させました．

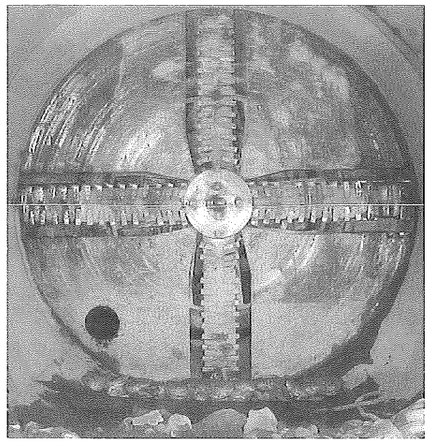
また，下部ロットになるにしたがって摩擦抵抗が増加するため，背面滑材注入および水荷重を用いて沈下させ，最終圧気圧0.29MPaで掘削を完了しました．

■シールド工事

シールド外径7,440㎜(仕上がり径6.2m)，平均土かぶり15.2mで，閑静な住宅地を挟む市道直下を泥水シールドで掘削する工事でした．土質は潜函立坑部分とほぼ同じですが，終端の約100mにおいては洪積砂礫層が消滅し，洪積粘土層となっていました．



シールド組立て完了(赤穂発電所)


到達時のカッタ摩耗状況(赤穂発電所)

シールドの特徴

シールドの構造は，掘削断面のほとんどが洪積砂礫層であることから，高トルク耐摩耗性にとくに配慮し，カッタ支持方式は中間支持とし，カッタヘッドを４本スポーク面板付きとするとともに，スリットを停止時に閉塞できるよう開閉式としました．

掘進管理

切羽泥水圧は切羽水圧＋0.02～0.03MPaを管理値とし，休止時や停止時にも圧力を確保できるよう切羽水圧保持バルブを設置して自動制御により管理しました．泥水比重は1.3～1.4，粘性60sec以内，砂分は７％以内に調整して管理しました．

大径礫対策

発進より約400mの地点から約50m間で砂礫層に大径礫が出現しました．カッタヘッドのスリット幅19cmを通過した礫はシールド内に取り込まれ，このうち排泥管のバルブを通過するものは約12m先の排泥管経路内に設置したクラッシャで破砕して圧送しました．一方，バルブで閉塞するものは，そのつど掘削を止めて，人力で破砕して取り出さなくてはなりませんでした．その後は大径礫がなくなり，到達点まで問題なく施工できました．

山岳トンネルとの接合工事

接合部分はあらかじめコラムジェット工法で土砂部を改良したのち，山岳トンネル側が先に改良体部を機械掘削して覆工し，終端部をコンクリートで閉塞しました．その後，シールド側がコンクリート壁を貫通して到達点まで掘削し，シールド内部を解体してトンネル部と接合しました．

泥土圧シールドの施工

その後，密閉型機械式シールド工法は徐々に泥水式から泥土圧式にシフトしていきました．最大の理由は，泥土圧式の方が後続設備および土砂処理の簡素化という点で断然優れているからだと考えられます．

すなわち，泥水式は掘削土砂が完全な流体となって取り出され，地上の泥水処理設備で処理し固体に戻す必要があり，そのための工程，設備，用地が必要となります．一方，泥土圧式は掘削中，必要に応じてチャンバ内に加泥材などを投入しますが，ずりは何とかずり鋼車で運ぶことができる場合が多く，地上の土砂ホッパーに貯め置きしてそのまま処分地に搬送できて経済的です．私は赤穂発電所工事竣工後，次の２件の泥土圧シールド工事を担当しました．

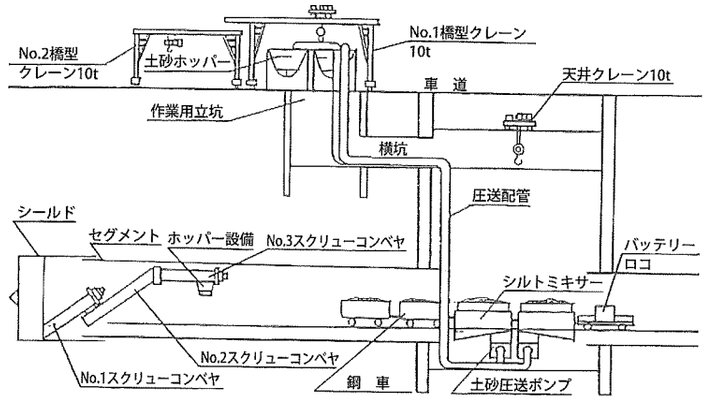
大阪市下水道局：大阪市平野～住之江幹線管渠築造工事(３工区)(1987～1991年)

■工事概要

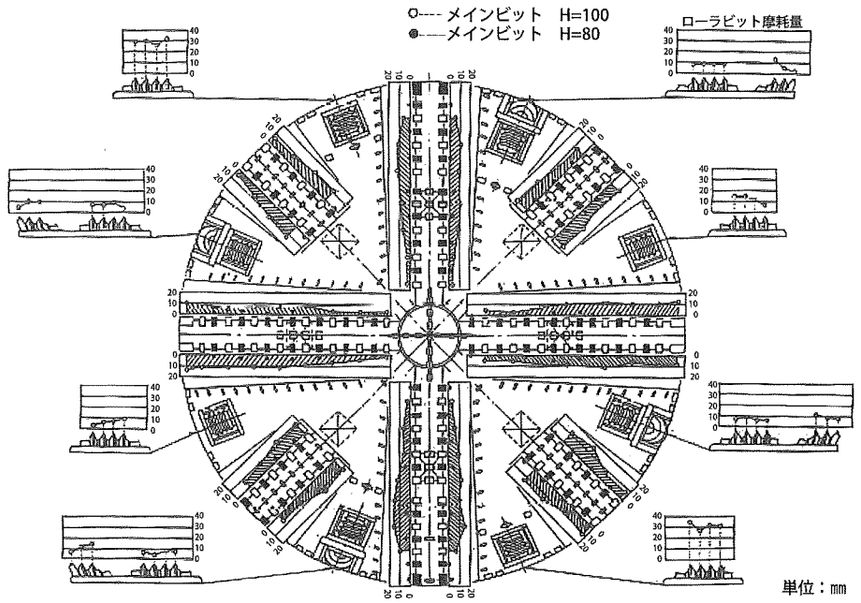
大阪市東南部では当時，急激な田畑の減少や舗装率の向上などで，雨水が一気に下水に流れ込む都市型の浸水が頻発していました．当プロジェクトは平野川水系の雨水流出量の一部を大阪湾に排出する目的で，瓜破から住之江抽水所までの通称「長居公園通り」を仕上がり内径6.5m(最上流工区のみ内径3.5m)，延長約8.6kmのトンネルおよび排出設備を築造するもので，計画放水量73m³/sec，計画降水雨量強度60㎜/hで設計されました．この工区は，そのうち長居立坑から西に2,005mをシールド外径7,750㎜，土かぶり29.0～24.4mの泥土圧シールドで施工しました．

■土質概要

この工区は上町台地層の南端に位置し，地上からわずかな盛土層の下にいきなり洪積層が出現し，砂質土が支配的で，*N*値40～50以



土砂圧送状況図(泥土圧シールド)



段差ビットの配置と摩耗状態（大阪市平野～住之江幹線）

上とよく締まった地質でしたが，N値10～30の粘性土も介在していました．

■施工概要

この工事は硬質な洪積地盤を切羽最高水圧0.235MPaで2,005m掘進するという条件を考慮して設計されており，施工においてとくに留意した内容は次のとおりです．

掘進中の土圧管理と排土管理

掘進において，切羽の安定は最重点項目です．土圧管理は切羽に作用する緩み土圧と地下水圧に対抗する圧力を切羽に作用させ，この作用圧（チャンバ内土圧）を保持して掘削しました．運転管理はチャンバ内に土圧計，シールド天端に間隙水圧計を設置して，測定値を運転室のディスプレイに表示し，変動を読み取りながら掘進速度とスクリューコンベヤの回転数を制御することで行いました．また，その検証としての排土量管理は，スクリューコンベヤの回転数および鋼車台数による体積管理と，立坑部に設置したロードセルにより鋼車積載重量を計量して行い，安定した掘削管理を行うことができました．

カッタビットの摩耗対策

カッタヘッドは8本スポーク面板付きとして開口率を40%としました．カッタ駆動支持部は摩耗による損傷の少ない中間支持方式を採用しました．大口径において従来からメインビットは摩耗対策として同じ軌跡上に複数のビットを配置する方式がとられていますが，ビットは常に切羽地山に接しており，必ずしもビット摩耗量が1/（同軌跡上配置ビット数）に減少するとは限りません．そこで当機は一次切削ビット（高さ100㎜），二次切削ビット（高さ80㎜）を半数ずつ配置した段差ビットとして，二次切削ビットを温存させる方式を採用しました．

テールシールと裏込め注入

テールシールはワイヤーブラシ型3段式（手前の2段は交換可能）とし，さらにテールシール間に充填剤を自動充填して，裏込め注入材がワイヤーブラシ間に入り固結しないよう開発された自動充填装置を設けました．

裏込め注入材はセメントに細骨材，気泡剤，急結剤をミックスした固結までの時間を調整できるものを使用し，同時注入装置により注入しました．

ここで，テールシールおよび裏込め注入を1960年代と比較すると，次のとおり，その進化は目覚ましいものがありました．すなわち，当初はテールシール材質がゴム主体で，掘進に伴うちぎれや摩耗を防止するため，薄板鋼材によるアーマープレートをゴムの上下部に取り付けたもので，裏込め注入材も豆砂利入りモルタルを使用していたこともあり，ゴムの破損消滅が頻発しました．中間立坑があればテールシール全体を取り換えますが，ない場合は裏込め注入のたびに藁やウエスで隙間を閉塞し，セグメントから切梁をかけて注入するなど，情けない状況でした．

その後，建設各社，シールドメーカーおよび裏込め注入材メーカーの開発により，まずテールシールにワイヤーブラシを併用することでシール自体の破損が減少し，裏込め注入材も豆砂利を混入する必要がなくなり，とりあえず掘進後即時に必要量を注入することができるようになりました．その後，前述のように進化しました．

この工区の裏込め注入システムはほぼ完成形と思われますが，何しろ20年前のことで，現在のことはよくわかりません．

凍結工法の採用とビット交換

凍結工法の最大の利点は，凍結内にあらかじめ設置した測温管群を使用した温度管理の信頼性がきわめて高く，凍土の強度にもばらつきが少ないことです．このため，高水圧によるリスクの高い現場では，当時多く採用されていました．

この工区では発進部の防護および1,320m地点でのビット交換工の防護のために，2か所で凍結工法を採用しました．ここではそのうち凍結工法によるビット交換について紹介します．

凍土の計画断面は幅13.6m，高さ15m，延長9.54mとしました．凍土完成後，シールドはまず6.5m凍土を掘進して進み，直後にチャンバ内に潤滑剤を注入しながら，その圧力で0.5m後退させてビット交換作業空間を作り，シールド外周部を再度，貼付凍結しました．その後，チャンバ内土砂をすべて排除してビット交換を行いました．交換後の再掘進は，貼付凍結を強制解除し，チャンバ内を潤滑剤で充填したあと，凍結管を逐次引き抜きながら凍土を掘進しました．

メインビット摩耗状況は100㎜高さビットで4～18㎜，80㎜高さビットで0～4㎜と非常に少ない摩耗量であり，段差ビットの有効性も確認できました．

到達部地中接合工事

先行して到達した下流側工区が施工した到達用凍結部を掘進して当工区が接合工事を行いました．シールドのスキンプレートどうしを溶接して接合する必要から，測量器の精度を超える到達精度が要求されたため，到達部手前に地上から観測孔を設け，精度を確保しました．

JR東西線福島東開削トンネルおよび出入橋シールド工事（北新地駅～新福島駅間）（1991～1994年）

福島東開削トンネル工事は1989年8月に先行して発注されました．出入橋シールド工事はその後の1991年3月に発注され，その時点で，私はそれまでの現場代理人から開削工事を引き継いで両工事を担当しました．私が赴任した当時，開削トンネルは一次掘削が始まったところでした．

■開削トンネル工事の概要

この工事は，国道2号線出入橋交差点東約30mを起点として，西に295mを施工する線路部開削工事でした．掘削幅は約11.4m，掘削深さは約20mで，国道の南側車線を占用して全面覆工して施工しました．国道北側車線は他社施工の阪神電車地下化工事が先行して行われていました．

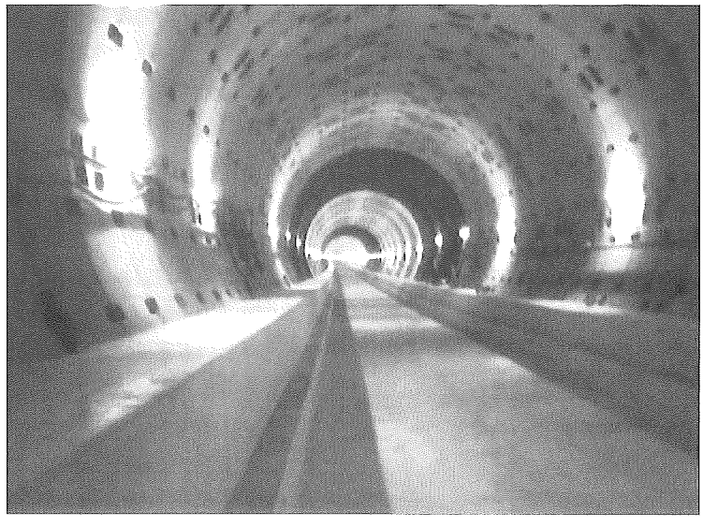
両工事は阪神福島駅および線路部で非常に接近しており，工区の北側土留め壁の大部分は阪神電車地下化工事の南側連続地中壁を共用しました．それ以外の当社が施工した土留め壁は泥土固化式連続土留め壁が主体で，埋設物の多い交差点部などの狭隘な部分では，種々の連続柱列杭工法を採用しました．

この工区の沖積層は，砂層と粘土層の互層で，層厚が22～24mと厚く，とくに下部にある梅田粘土層は層厚15m，N値2～4で鋭敏比が高く，攪乱すると流動化しやすい土質でした．さらにその下は上部洪積層の天満砂礫層（N値30～60）があり，層厚12～13mで被圧されています．

過去に梅田周辺で行われた土木，建築における深い掘削工事において，梅田粘土層と天満砂礫層にかかわる連続土留め壁などからの出水トラブルがたびたび発生していました．その原因を推定すると，土留め壁施工中に施工ジョイント部に何らかの原因で介在したわずかな泥などが開削部掘削中に背面



敷付完了(福島東開削トンネル工事，前列右から２番目が筆者)



トンネル完成(出入橋シールド工事)

の天満砂礫層の水圧により坑内に押し出されて出水し，さらに背面上部の梅田粘土層粘土が流動化して大量に坑内に入り込み，地盤沈下を起こしたものと考えられます．

この工事ではこのような事故を起こさないように十分な計測監視を行うなど，全力で取り組み，無事に掘削を完了することができました．

■シールドトンネル工事

工事概要

このシールド工事は，開削部の起点である出入橋交差点の東約30mに設けた立坑(発進，到達用)から，東に462m掘進して北新地駅開削部立坑(到達，Uターン，再発進用)に到達し，シールドを移動Uターンして出入橋立坑に到達させる工事でした．土かぶりは出入橋発進部で14.4m，北新地駅到達部では18.6mでした．土質は掘進断面上部が梅田粘土層で，下部に沖積砂層および終端部で洪積砂層が出現しました．泥土圧シールドの外径は7,250㎜で，切羽に出現する土質は粘土が支配的であることから，チャンバ内の粘土付着を防止する目的で中間支持方式としました．カッタヘッドは開口を大きくとれるスポークタイプとして開口率63%を確保し，さらにスポーク背面に練り混ぜ翼を，チャンバ内に混練翼を設けました．

掘進管理

当工事においては，軟弱沖積粘土を掘削すると同時に，施工中において上部を縦断する建設省共同溝，掘進が終了した阪神電車複線シールドトンネルおよび横断する新出入橋，阪神高速道路基礎などの重要構造物があるため，各種計測を行い，シールド掘進管理に速やかに反映させるためにシールド工法トータル施工管理システム(TESS)を導入し，掘進データの記録，表示，掘進状況の判断，自動運転などを行いました．

切羽土圧管理はチャンバ内に４個の土圧計と水圧計を設置し，TESSに組込まれたファジーコントローラーでスクリューコンベヤの自動制御を行いました．また土圧，掘削土量，裏込め注入などの初期管理値を路面沈下測量の結果で修正するためのトライアル施工を実施し，管理値の適切性を担保しました．

以上により，上り線を無事貫通させ，シールドをUターンさせたところで，1994年６月に東京支社土木工事部に転勤を命じられ，私の現場常駐管理はこれが最後となりました．

チャレンジ精神の大切さ

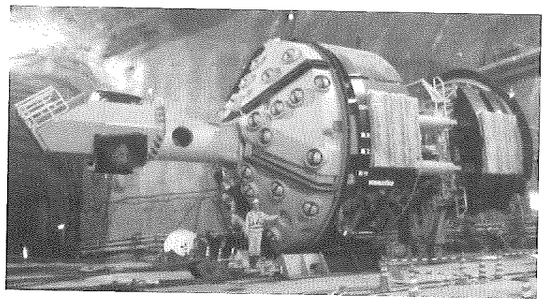
他産業を見ても明らかなように，グローバル化による今日の厳しい価格競争下，優勝劣敗が猛烈な速度で進展しており，携わる現役トンネル技術者のみなさまは大変なご苦労をされていると思います．しかし，この苦難は乗り越える必要があり，それにはリスクを恐れず独創性を追求するチャレンジ精神が原動力となるはずです．どうか希望を持って取り組んで下さい．

私は東京支社勤務中に東京電力予報発注による「神流川揚水式発電所の斜坑TBM工法検討業務」にタッチしました．現在と比較すれば「よき時代」であったかもしれませんが，根底には厳しいコストダウンの要求があり，それは今も全く同じだと思いますので，当社が提案して採用された「チャレンジ」について概要を紹介します．

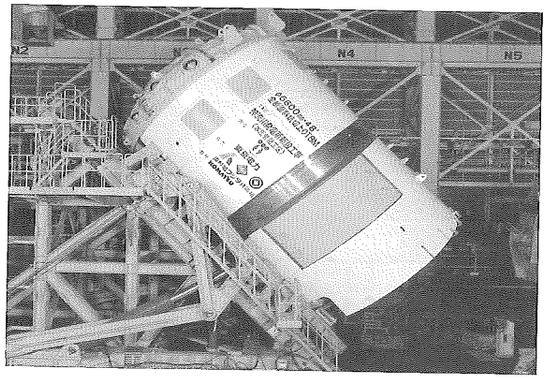
■斜坑TBM工法の変遷

斜坑にTBMが導入されたのは，塩原揚水式発電所が最初で，φ2.3m，切上がり角度52.5°，延長462mの導坑でした．それまでの導坑掘削は，坑夫がレッグドリルで削孔して発破で切上がるアリマック工法による過酷で進捗の遅いものでしたが，TBMの導入により作業環境，進捗が大きく改善されました．次の葛野川発電所では，導坑をTBMで施工したのち，切拡げを従来の発破工法ではなく，新たに当社が開発した「リーミングTBM(φ7.0m)」により，切下り角度52.5°，延長771.5mを施工しました．これにより安全性および施工速度の向上を図ることができるとともに，発破による岩盤の劣化のない，強固な坑壁が形成できることにより，岩盤負担を考慮した水圧鉄管の設計に寄与することとなりました．

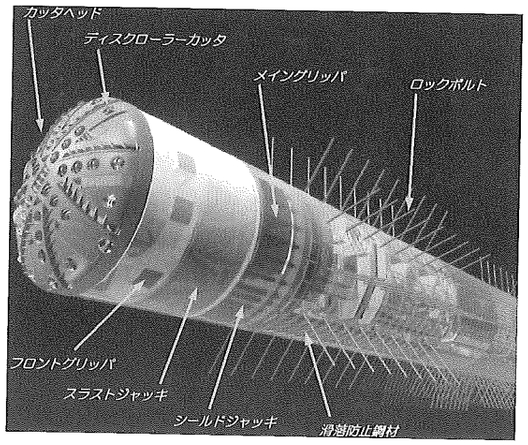
そして，神流川発電所においては，それまで２工程で行っていたトンネル掘削を，いきなり「全断面斜坑TBM(φ6.6m)」により，切上り角度48°，延長961mで施工する工法を提案し，東京電力の新工法開発によるコスト低減に対する強い思いにより採用いただきました(社内検討開始1995年，予報発注1996年)．



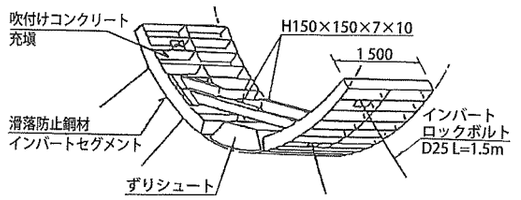
リーミングTBM(葛野川発電所)



全断面斜坑TBM(神流川発電所)



TBM滑落防止システム



滑落防止鋼材の概要図

■検討した対策の一例

実用化には種々の問題を解決する必要がありましたが，最初に取り組んだコンセプトは，弱層部に遭遇するなどの異常時においてもTBMが滑落しないシステムの開発でした．すなわち，通常の健全な岩盤部での掘削においては，TBM後胴に装着したグリッパを両サイドの岩盤側壁に押し付け，その摩擦力を反力として掘進したのち，前胴グリッパを張り出して，後胴グリッパを引き寄せる方式をとります．しかし，弱層部などでグリッパの押し付けによる摩擦力が十分にとれない状態では，最悪の場合，TBMは滑落します．

そこで，対策として滑落防止鋼材を使用したシステムを開発しました．基本的にはずりシュートを挟んだ2ピースのスキンプレートなしの鋼製枠を組立てて，その内側にコンクリートを充填して，これを滑落防止鋼材とします．グリッパの効かない異常時には，シールドジャッキを滑落防止鋼材に押し付け，岩盤との摩擦力でTBMの滑落を防止する方法を考案しました．しかし，押し付けの際に発生する剝離による浮き上がりなど，わからないことがありましたので，技術研究所の反力壁を利用して実寸のセグメントを20ピース(延長30m)組立てて，実際に吹付けコンクリートを充填して押し付ける実験を行いました．

その結果，部分的に浮き上がりが発生しましたが，基本的には摩擦力は期待できるという結果になりましたので，浮き上がり防止用のインバートロックボルトを必要分打設することで，実用可能という結論になり，採用しました．

おわりに

東京支社在席中にはJTAの事業委員会に出席し，とくに発注者側委員のみなさまの貴重な意見などを聞かせていただけることから，毎回楽しみにしておりました．また1995年8月には，JTA20周年記念展示会が東京駅丸の内エントランスホールで行われ，当社が施工した道路公団上信越自動車道五里が峯トンネルで使用したガントリージャンボの見学者用模型を持込み，展示させていただきました．

最後に，当時愛読していた本誌に拙文を載せていただき感謝いたします．

研　究

極小土かぶり部にSENSを適用した場合の覆工と地盤の挙動

—東北新幹線　三本木原トンネル—

(株)熊谷組土木事業本部シールド技術部担当課長　千　代　啓　三
鉄道・運輸機構九州新幹線建設局武雄鉄道建設所所長　井　浦　智　実

1 はじめに

場所打ちライニング工法は，掘削と排土は**図-1**に示すシールドで行い，掘進によって発生する地山と内型枠に囲まれた空間(テールボイド)にコンクリートを加圧しながら連続的に打設し，場所打ちライニング(以下，「ライニング」と呼ぶ)を構築するトンネル施工法である．場所打ちライニング工法は，工場製品で製作精度の高いセグメントを用いるシールド工法に比べ，場所打ちコンクリートを使用するため，一般に経済性に優れている．

場所打ちライニング工法は山岳工法とシールド工法がともに使用できるような適用境界の地盤をターゲットとして導入された[1]が，その掘削形態から，シールド工法の特殊な形態と位置づけられることが多い．しかし，セグメントに止水性，外観などの高度な機能が求められるシールド工法の設計思想が適用され，場所打ちライニング工法に対しても同様にライニングに高い止水性などが求められる場合があり，結果的にその長所である経済性が損なわれる事例もあった．

東北新幹線の八戸・新青森間に位置する三本木原トンネル[2),3)]で，**図-2**に示す新幹線複線断面トンネルに対し，場所打ちライニング工法が適用された．ここで適用された場所打ちライニング工法は，シールド工法の特殊工法と位置づけるのではなく，ライニングに山岳工法の考え方を導入した点に特徴がある．すなわち，三本木原トンネルでは，ライニングに求める機能を山岳工法の吹付けコンクリートなどと同様とし，防水シートと力学的機能を有しない二次覆工を内側に施工することにより，止水性と外観を確保することとした．

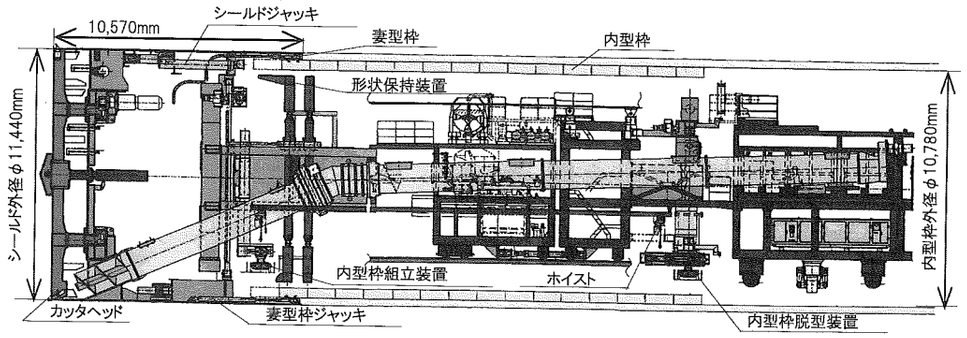


図-1　シールド縦断図

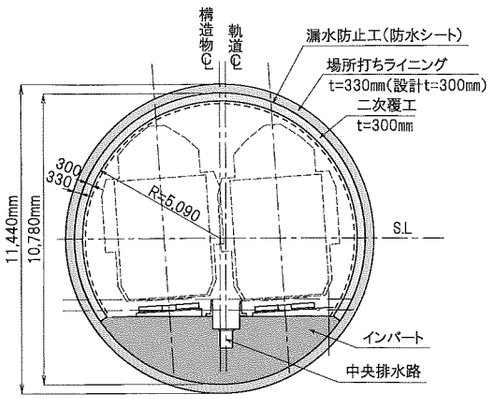


図-2 三本木原トンネル断面図

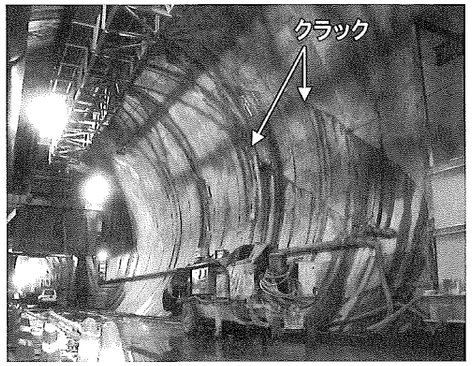


写真-1 極小土かぶり区間でのクラック発生状況

このため，有害ではない程度のクラックや湧水は許容し，ライニングを経済的，迅速に構築することが可能となった．この工法は，ライニングの役割を荷重の支保に限定することにより，合理的な施工を実現することを目指しており，シールドを用いた場所打ち支保システム(SENS)と名付けられた．

三本木原トンネルでは，SENSの施工による地盤への影響を確認するため，6 m(約0.5D，D：トンネル外径)というきわめて土かぶりが小さな箇所を，地表面変位を連続的に計測することにより，補助工法を適用せずに通過した．この結果，2つの特徴的な現象が確認された．1つはテール部通過時の地盤の隆起であり，もう1つはライニングに発生した特徴的なクラックである．ただし，地盤の隆起は最大でも20㎜程度であり，土地利用上，全く問題はなかった．また，ライニングのクラックは**写真-1**のように少量の漏水はあるが，観察・計測結果ならびにそれらにもとづく解析的検討[4]から，ライニングは軸力が卓越した安定した状態にあり，構造上問題となるものではなかったと判断されている．

本研究では，とくに極小土かぶり部での施工に注目し，発生した2つの現象について特徴をまとめ，数値解析を実施してクラックの発生要因を検討する．さらに，2つの現象の関連について考察する．

2 SENSによる小土かぶり部の施工

2-1 SENSの施工事例

2-1-1 施工方法

三本木原トンネルは，平成16年7月に八戸側からSENSで掘進を開始し，3,014.8mを掘削して平成18年11月に到達した．到達位置は，新青森側からNATMで掘削したトンネル切羽で，平成22年12月に供用が開始された．

ライニング外径は11.44m，厚さ0.33mであり，その内側に厚さ0.30mの二次覆工を打設することにより，内径10.18mのトンネルを構築した．

コンクリートは，妻型枠に設けられた打設孔から内型枠，妻型枠と地山に囲まれた空間に，掘進と同時に打設される．シールドは推進反力を，固結したライニングと内型枠との付着力から得ており，内型枠，ライニング，地山の順に伝達される．

施工サイクルは，1リング幅(1.2m)の掘進と内型枠組立てからなり，三本木原トンネルでは，1リングあたり3時間弱を要した．

2-1-2 コンクリートの性状

施工に用いたコンクリートの標準養生条件での一軸圧縮強度σ_c，ヤング率Eの測定値は，**図-3, 4**に△で示したとおりである．コンクリートは練り上がり後4時間は流動性を有し，9～10時間程度で凝結する．図-3のコンクリート引張強度σ_tは，式(1)を用いて圧縮強度σ_cから算定した値である[5]．

$$\sigma_t = 0.23\,\sigma_c^{2/3} \quad (1)$$

後で行う解析では，ヤング率は7日で終局値E_{ult}=31,100N/㎟になると仮定し，σ_tとσ_c，Eは

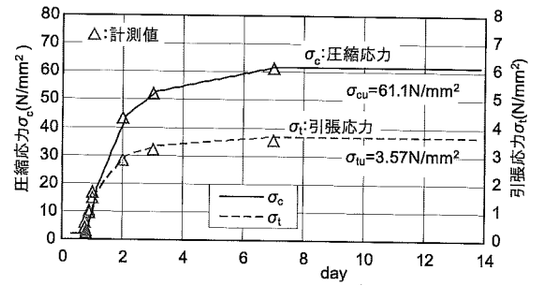


図-3 コンクリート強度経時変化図

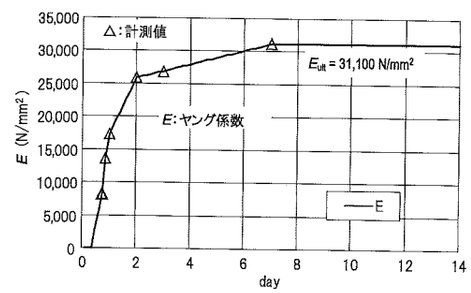


図-4 コンクリート剛性経時変化図

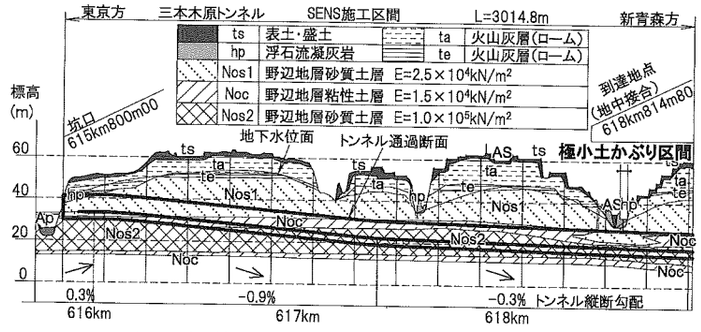


図-5 場所打ちライニング工法施工区間地質縦断図

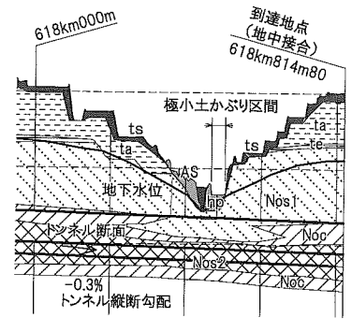


図-6 極小土かぶり区間拡大図

図-3, 4を直線で補間した値を使用する．実施工で1リングあたり約3時間を要したことから，解析では，切羽側3リングはコンクリートが液体であるものとした．

2-1-3 地質条件

三本木原トンネルは，**図-5**に示すように，掘削断面にヤング係数が2.5×10⁴または1.0×10⁵kN/m²程度の洪積砂質土と1.5×10⁴kN/m²程度の洪積粘性土が互層をなしている．トンネルの縦断勾配は，＋0.3～－0.9%の範囲で変化している．

トンネルの土かぶりはおおむね20～30m程度であるが，沢部で土かぶりが小さな箇所があり，SENSによる地盤への影響を確認するため，土かぶり6 mの極小土かぶり区間で，地表面変位を掘進中常時監視しながら，補助工法や盛土工を適用せずに施工した．**図-6**に極小土かぶり区間の拡大図を示す．

2-2 極小土かぶり施工時の地盤変位の観察結果

極小土かぶり部通過時に，地表面の隆起が観察された．**図-7**はシールド切羽との距離と地表面変位の関係を示したもので，テール通過直後から10 mの区間で地盤が隆起し，隆起量は最大で20㎜程度となった．

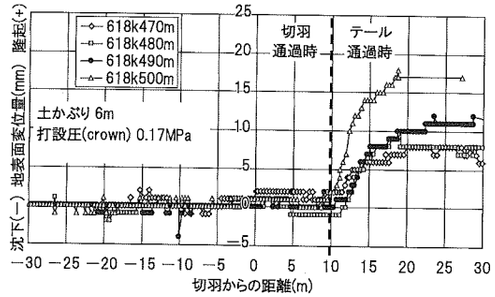


図-7 小土かぶりにおける地盤変位測定結果

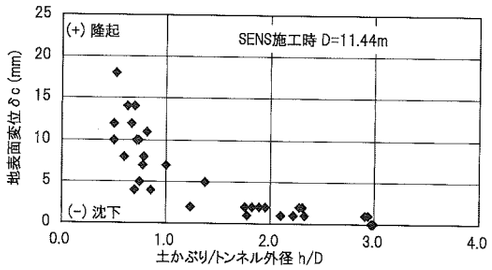


図-8 土かぶりと地盤変位測定結果の関係

地表面変位を測定した箇所の土かぶりと最大変

位の間には，**図-8**に示すように，明確な相関関係がみられ，土かぶりが1D以上の場合，大きな変位は発生していないが，土かぶりが1D以下に減少すると急激に変位が増加した．**図-9**は地表面変位を計測した箇所の土かぶりとコンクリート打設圧力の関係をまとめたグラフである．

プロットは地表面の隆起量によって形状を変えている．図にはTerzaghiの土圧理論を用いて隆起に対する地盤強度を計算した隆起限界圧[6]を記載している．

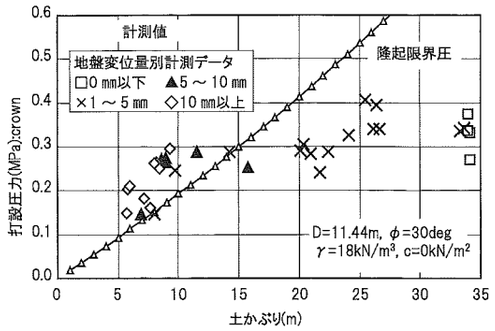


図-9　隆起限界圧と計測値の比較

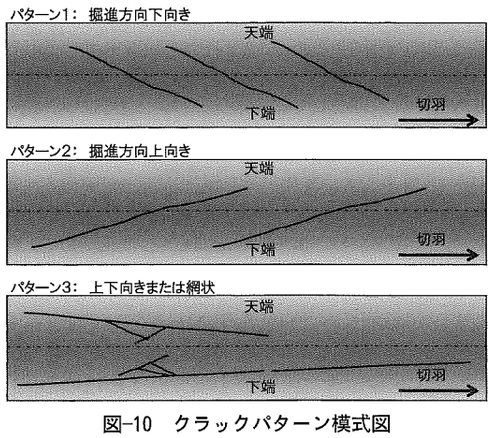


図-10　クラックパターン模式図

土かぶりが1D以下の箇所では，隆起限界圧を上回る圧力でコンクリートが打設されており，隆起量も大きくなっている．土かぶりの小さな箇所では，コンクリート打設圧力が隆起限界圧を超え，地盤が塑性的な挙動を示したため，隆起量が大きくなったものと考えられる．

2-3　極小土かぶり施工時のクラックの観察結果

三本木原トンネルのライニングで発生したクラックは，以下のような特徴を有している．

① クラックはトンネル掘進方向に一定の角度を有しており，**図-10**のように，「掘進方向下向き」「掘進方向上向き」「上下または網状」の3つのパターンに分類できた．

② **図-11**はトンネル延長でのクラック発生位置を，図-10のパターン別に示したもので，クラック発生位置を色別の線分で示している．クラック発生位置は，トンネル延長上に偏在している．図-11には施工データとして土かぶりを折れ線で示している．これによると，土かぶりが小さな箇所でパターン1のクラックが多く発生している．

③ クラックは，主にスプリングライン付近に左右対称に発生している．

④ クラックは，内型枠脱型時にすでに存在しており，コンクリートの乾燥収縮が主な原因とは考えにくい．

⑤ 漏水が生じている箇所があり，クラックが地山まで貫通している．ライニングの内面と外面の温度差が原因の場合，温度の高い内面はクラックが生じないため，別の要因が存在すると考えられる．

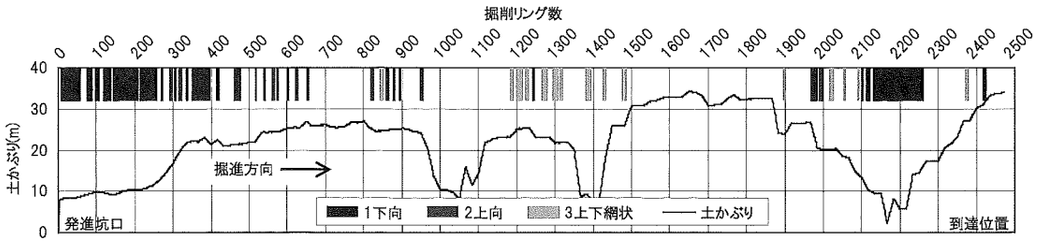


図-11　クラック発生位置と土かぶりの関係

3　SENS施工サイクルのモデル化

3-1　ライニングのモデル化と解析

SENSの施工サイクルでライニングと内型枠に生じる応力を想定するため，施工過程をモデル化し解析した[7]．

解析方法の概要は以下のとおりである．

① ライニングと内型枠をラーメン構造の8角形リングで模擬し，4種類の弾性ばねで接続した擬似三次元モデルを作成する．1リングあたりの断面諸量を**表-1**に示す．

② ライニングと内型枠は**図-12**のように4種類の弾性ばね(ライニング掘進方向ばね，内型枠掘進方向ばね，内型枠−ライニング間半径方向ばね，ライニング−地盤間半径方向ばね)で接続され，内型枠やライニング，地盤の性状を表現する．各ばねは軸方向とそれに直角なせん断方向の合計3方向の成分を有する．

③ 各リングの8角形の頂点は常に同一平面上にあり，面内では変形するが，面外変形しないものとする．

④ 掘進状態を再現するため，ライニングを1リングずつ60リングまで増加させ，内型枠は総数が16リングとなるように脱型組立てし転用した．掘進を再現するリング数を60リングとしたのは，60リング以上とすることにより，ライニングに発生する応力が定常値に落ち着くことを確認したためである．ライニングのヤング率と強度は図-3,4をもとにリング数に応じて変更した．

⑤ 切羽から3リング目までのライニングは液体として挙動する．このため，切羽から4リング以降は地山からの土水圧がライニングに，切羽から3リングまでは内型枠にコンクリート打設圧力が作用するものとする．

⑥ 内型枠の切羽側端部はシールドで拘束されているため，解析モデルでは，ばねで地盤とシールドを接続する．

⑦ **図-13**のように，地盤とライニングの間の摩擦力p_fは，4リング目以降で発生し，式(2)で表されるものとし，スプリング位置の土圧p_v'は，式(3)で計算する．摩擦力はその合計が推力に一致すると0になるものとする．

$$p_f = \kappa_f \cdot p_v' \cdot \frac{E(j)}{E_{ult}} \cdot \frac{L_f - L(j)}{L_f} \qquad (2)$$

$$p_v' = 1.5D \cdot (\gamma_c - \gamma_w) \qquad (3)$$

κ_f：摩擦係数(ここでは0.35を使用)

p_v'：スプリング位置での土圧(kN/m²)

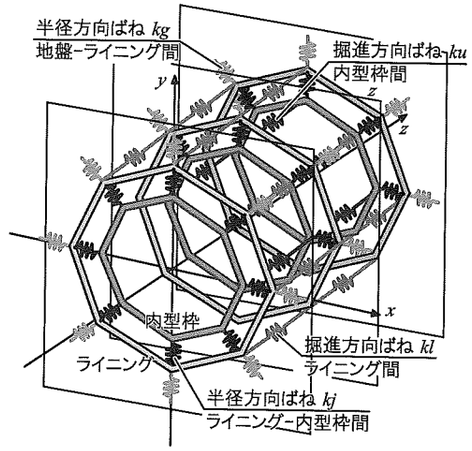


図-12　ライニングと内型枠のばねによる接合状態

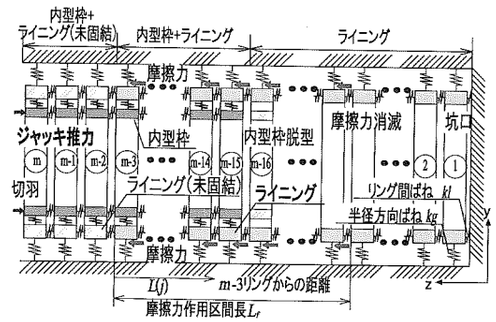


図-13　掘進方向荷重および境界条件の考え方

表-1　ライニングと内型枠の断面性能

	外径(m)	厚さ(m)	リング幅(m)	単位重量(kN/m³)	弾性係数(MPa)	断面積(m²)	断面二次モーメント(m⁴)
ライニング	11.44	0.33	1.2	23.5	図-4	0.396	3.594E-03
内型枠	10.78	0.45	1.2	78.5	210,000	0.083	1.769E-03

E_{ult}：ライニングヤング率の終局値(31,100N/mm²)

$E(j)$：jリング目のヤング率(N/mm²)

$L(j)$：jリング目のライニングの$m-3$リングからの距離

L_f　：摩擦力作用区間長

3-2　つり合い式の誘導

3-2-1　8角形リングの各頂点でのつり合い式

節点iにおける力とモーメントのつり合いから軸力N_iとせん断力Q_i，モーメントM_iを用いて式(4)～(6)を得る．

x軸方向

$$-Q_i\cos\alpha_i+Q_{i-1}\cos\alpha_{i-1}+N_i\sin\alpha_i -N_{i-1}\sin\alpha_{i-1}=F_ix \quad (4)$$

y軸方向

$$-Q_i\sin\alpha_i+Q_{i-1}\sin\alpha_{i-1}-N_i\cos\alpha_i +N_{i-1}\cos\alpha_{i-1}=F_iy \quad (5)$$

$$M_i+M_{i-1}=0 \quad (6)$$

式(4)～(6)の部材力Q，M，Nは，たわみ角法により，式(7)～(11)で表される．

ここで，

θ_i：節点iでのたわみ角(rad)

R_i：要素iの回転角(rad)

E，I，A，l：要素のヤング率(kN/m²)，断面二次モーメント(m⁴)，断面積(m²)，1辺の長さ(m)

u_i, v_i：各節点のx軸方向，y軸方向の変位量(m)

$$Q_i=\frac{6EI}{l^2}(\theta_i+\theta_{i+1}-2R_i) \quad (7)$$

$$M_i^r=\frac{2EI}{l}(2\theta_i+\theta_{i+1}-3R_i) \quad (8)$$

$$M_i^r=\frac{2EI}{l}(\theta_i+2\theta_{i+1}-3R_i) \quad (9)$$

$$N_i=-\frac{EA}{l}(-u_i\sin\alpha_i+v_i\cos\alpha_i+u_{i+1}\sin\alpha_i -v_{i+1}\cos\alpha) \quad (10)$$

$$R_i=\frac{1}{l}(u_{i+1}\cos\alpha_i+v_{i+1}\sin\alpha_i-u_i\cos\alpha_i -v_i\sin\alpha_i) \quad (11)$$

3-2-2　リング平面のつり合い式

8角形リング平面のz軸方向の力，y軸周りのモーメント，x軸周りのモーメントのつり合いから3つのつり合い式を得る．

a)，b)より，1リングあたり，27個のつり合い式を解いて，各リングの変位量を計算する．

3-3　最大・最小主応力の算出

各節点の変位量の計算結果から，**図-14**のようにばね反力を計算する．例えば，節点iの切羽側に作用する円周方向ばね反力は$f_{\theta 1}(i)$で表し，反時計方向を正とする．

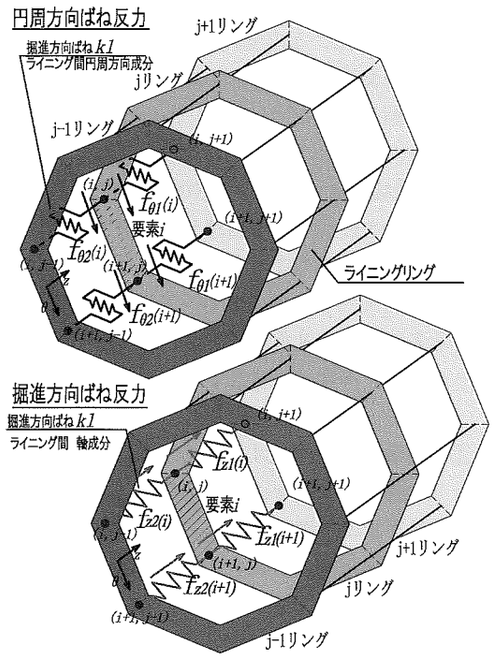


図-14　ばね反力の設定方法説明図

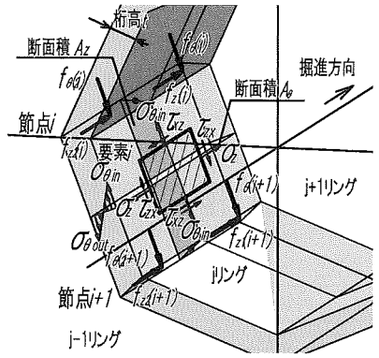


図-15　主応力算定の考え方

$f_{\theta 1}(i)$は，$j+1$リングの節点iの円周方向変位$u(i,j+1)$とjリングの節点iの円周方向変位$u(i,j)$を用いて式(12)で計算する．

$$f_{\theta 1}(i)=kl\cdot(u_\theta(i,j+1)-u_\theta(i,j)) \quad (12)$$

ライニングの各要素の中点に作用する応力を計算する．**図-15**のように，要素中点の内面側縁応力$\sigma_{\theta in}$は式(13)で表される．

$$\sigma_{\theta in}=\frac{N_i}{A_\theta}-\frac{M_i}{I}\cdot\frac{t}{2} \quad (13)$$

A_θ：円周方向に直交する要素の断面積(m²)(図-15参照)

t　：ライニングの桁高(m)

また，要素iの中点における掘進方向応力σ_zを要素iに作用する4つのばね反力の平均値を掘進方向に直角な断面の断面積で割った値で表し，式(14)と仮定する．

$$\sigma_z=\frac{f_{z1}(i)+f_{z1}(i+1)-f_{z2}(i)-f_{z2}(i+1)}{4A_z} \quad (14)$$

A_z：掘進方向に直交する要素の断面積(m²)(図-15参照)

一方，要素iの中点に作用するせん断応力τ_{zx}は，式(15)のように，円周方向のばね反力で表される成分と，掘進方向のばね反力で表される成分の和とする．

$$\tau_{zx}=\frac{f_{\theta 1}(i)+f_{\theta 1}(i+1)-f_{\theta 2}(i)-f_{\theta 2}(i+1)}{4A_z} +\frac{-f_{z1}(i)+f_{z1}(i+1)-f_{z2}(i)+f_{z2}(i+1)}{4A_\theta} \quad (15)$$

これらの応力の計算結果から，最大主応力σ_{max}は式(16)で計算される．

$$\sigma_{max}=\frac{1}{2}(\sigma_{\theta in}+\sigma_z)+\sqrt{\frac{(\sigma_{\theta in}-\sigma_x)^2}{2}+\tau_{zx}^2} \quad (16)$$

また，主応力の発生する方向θは，式(17)で示される．

$$\theta=\frac{1}{2}\cdot\tan^{-1}\left[\frac{2\cdot\tau_{zx}}{\sigma_{\theta in}-\sigma_z}\right] \quad (17)$$

4　解析による施工の再現

4-1　解析条件

本モデルを用いて施工を再現する．解析は，**表-2**に示す三本木原トンネルの一般的な施工条件を基準ケースとする．さらに，土かぶりと地盤のヤング率をパラメータに選び，**表-3**に示すように，基準ケースに加えて1A～2Dの計7ケースの解析を実施した．各ケースでは基準ケースの条件で土かぶりまたは地盤のヤング率のみを表-3に示した値に変更して計算を実施している．

4-2　基準ケースの解析結果

図-16は，ライニングの各要素に発生した最大主応力と最小主応力(実線：引張力，破線：圧縮力)の大きさと方向を線分で表したものである．太い縦線は脱型位置を示している．

各要素の最大主応力σ_{max}と引張強度σ_tを比較した安全指数S_fを式(18)で定義する．安全指数が1以下の場合は，クラックが発生する可能性があることを意味する．引張強度は式(1)より求める．

$$S_f=\sigma_t/\sigma_{max} \quad (18)$$

基準ケースでは全リングで安全指数が1以上となりクラックが発生しない結果となった．ただし，最小主応力は常に掘進方向斜め下向きとなり，ク

表-2　基準ケースの計算条件

ライニングリング数	リング	60	土かぶり	m	20
内型枠リング数	リング	16	地盤の弾性係数	kN/m²	1.0E+05
地盤とライニングの摩擦係数		0.35	推力	kN	40,000
地盤のポアソン比		0.45	ジャッキ選択		全数

表-3　検討ケース条件一覧

	土かぶりh(m)	地盤のヤング率E(N/mm²)
基準	20	1.0×10^5
1A	10	1.0×10^5
1B	40	1.0×10^5
2A	20	1.0×10^4
2B	20	5.0×10^4
2C	20	5.0×10^5
2D	20	1.0×10^6

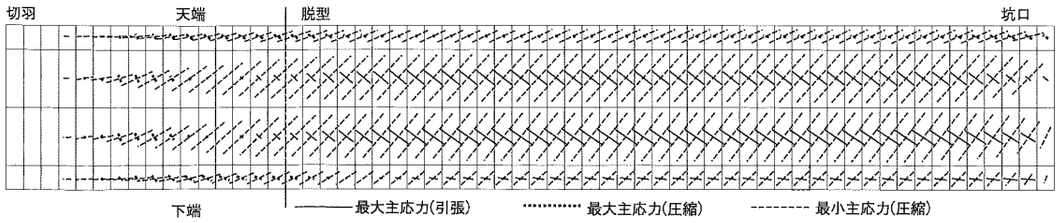


図-16 ライニングの最大・最小主応力の向きと大きさ(基準ケース)

ラックが発生した場合，パターン１のクラックとなる．また，最大主応力はスプリングライン付近の要素で大きな引張となった．この傾向は，クラックがスプリングライン付近を中心に発生した観察結果と一致する．

4-3 安全指数に対するパラメータの影響

表-3のように，パラメータを変更して，トンネル全延長の中から安全指数のもっとも小さい値と最大主応力のもっとも大きな値を代表値として取り出し，**図-17, 18**にまとめた．

4-3-1 土かぶりの影響

図-17によると，土かぶりが小さいほど，最大主応力が大きく，安全指数が小さくなる．これは，土かぶりが小さい場合，ライニングの円周方向の圧縮応力が小さくなり，最大主応力が引張側に変化するためと考えられる．

4-3-2 地盤のヤング率の影響

図-18のように，地盤のヤング率が小さくなると安全指数が急激に小さくなる．5.0×10^4kN/m^{2}以下で，安全指数が１以下となり，クラックが発生することが示唆された．逆に，地盤のヤング率が5.0×10^5kN/m^{2}以上では，最大主応力が常に圧縮となった．

地盤のヤング率はライニングの安全指数や最大主応力への影響が大きい．これは，**図-19**に示すように，ヤング率が小さくなると，ライニングの鉛直変位が急激に増加し，せん断応力が負の方向に大きくなるためと考えられる．

図-17, 18によると，パターン１クラックは，「土かぶりが小さい」ほど，「地盤のヤング率が小さい」ほど，発生する確率が高くなる．一般に土かぶりが小さい場所では，ヤング率と推力は小さくなることから，解析結果は，土かぶりが小さな場所でパターン１クラックが多く観察された施工結果と一致している．

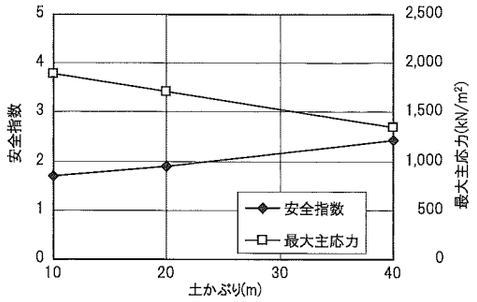


図-17 ライニング安全指数への土かぶりの影響

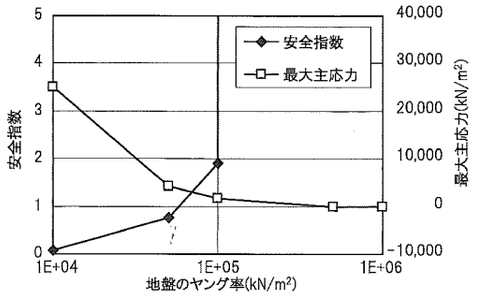


図-18 ライニング安全指数への地盤のヤング率の影響

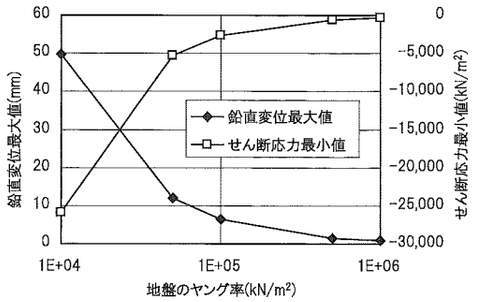


図-19 鉛直変位とせん断応力への地盤のヤング率の影響

ライニングに発生するパターン１クラックは，未固結のコンクリートの浮力が内型枠に作用して上向きに変位する際に，内型枠の外周に存在する

ライニングに生じるせん断応力が増大することが主な発生機構と考えられる．小土かぶりと軟弱地盤という施工条件は，ライニングの軸圧縮力を低減し，内型枠やライニングの変位が抑制できず，せん断応力を増大させるため，クラックの発生を促進する条件となっているものと想定される．

5 おわりに

本研究は，SENSによる施工で発生した地盤変状とクラックについて，施工時の観察結果をまとめた．また，クラックの発生要因について数値解析を実施して検討した．この結果，以下の事項が確認できた．

① 土かぶりが0.5D程度の極小土かぶり区間では，土地利用やトンネル構造に問題のないものであったが，地盤隆起とライニングに掘進方向下向きクラックが確認された．

② 極小土かぶり区間では，打設圧力が地盤強度を上回っており，地盤が塑性的な挙動を示したものと考えられる．

③ 数値解析の結果，掘進方向斜め下向きのクラックは「土かぶりが小さい場合」「地盤強度が小さい場合」に発生しやすくなることが確認された．

上記の結果を総合すると，極小土かぶり区間で生じた地盤の隆起とライニングに生じたクラックは独立に生じた現象ではなく，土かぶりと地盤強度の小さい施工条件が原因で連動して生じた現象と考えられる．すなわち，土かぶりが0.5D程度の極小土かぶり区間では，大きなコンクリート打設圧力を受けたトンネル上側の地盤は塑性変形して隆起するため地盤強度が低下する．このため，未固結のコンクリートによる浮力が内型枠に作用することで鉛直変位がさらに大きくなり，ライニングのクラックを誘発したと想定される．

したがって，極小土かぶり区間では，地盤の隆起とライニングのクラックが発生しやすい傾向にあり，コンクリートを確実に充填し，地盤を沈下させない範囲で，打設圧力をできるだけ低く抑える必要がある．また，土かぶりが十分に確保できない場合は，必要に応じて地盤改良や押さえ盛土などを検討する必要があると考える．

最後に，本研究で対象としたSENSによる施工は，覆工の役割を合理的に整理された点に特徴があり，三本木原トンネルでは，速やかに，経済的に，安全に施工を進めることができた．さらに，複数のトンネルでSENSによる施工・計画[8),9)]が進められており，山岳工法とシールド工法の適用境界地盤での工法として評価が高まっている．本研究は，小土かぶり区間でSENSを適用する場合に懸念される地盤変位やクラックの発生要因とその対策を検討することにより，SENSがさらに適用の場を広げることを目的としたものであることを追記する．

参考文献

1) 山本稔：ECL工法の開発状況と将来展望，トンネルと地下，Vol.19，No.1，pp.7-11，1988.1.
2) 飯田廣臣・磯谷篤実・井浦智実・川嶋潤二・小西真治：シールドを用いた場所打ち支保システムの施工，トンネル工学研究報告集，Vol.14，pp.195-202，2004.
3) 佐伯則幸・石岡英敏・中島活哉・岩永茂治：小土かぶり未固結地山をSENSで貫通，東北新幹線　三本木原トンネル，トンネルと地下，Vol.38，No.10，pp.7-13，2007.10.
4) 飯田廣臣・野々村政一・小山幸則・小西真治・小泉淳：シールドを用いた場所打ちライニングの挙動に関する現場計測結果とその考察，土木学会論文集F，Vol.63，No.3，pp.349-360，2007.8.
5) 土木学会：コンクリート標準示方書［設計編］，p.34，2007.
6) 千代啓三・田村武：場所打ちライニングコンクリートの周辺地盤に与える影響に関する一考察，土木学会論文集F，Vol.65，No.4，pp.516-528，2009.
7) 千代啓三・西藤潤・伊原健郎・田村武：場所打ちライニング工法におけるクラック発生要因に関する研究，土木学会論文集F1(トンネル工学)，Vol.67，No.2，pp.79-94，2011.
8) 長谷川正明・小伊豆俊博：未固結地山の小トンネル群をSENSで一本化，北海道新幹線　津軽蓬田トンネル，トンネルと地下，Vol.40，No.4，pp.37-42，2009.4.
9) 伊藤常正・木谷純：都市部へのSENSの適用検討，相鉄・JR直通線　西谷トンネル，トンネルと地下，Vol.42，No.6，pp.43-48，2011.6.

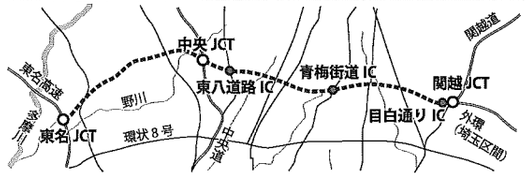
トンネルジャーナル

外環道(関越～東名)が着工

東京外かく環状道路(関越～東名)の着工式が，9月5日，国土交通省，東京都，国土交通省，東日本高速道路，中日本高速道路が主催して，同道の東名ジャンクション(仮称)の予定地で開催された．式典には，国土交通大臣，東京都知事ほか約180名が出席し，着工を祝った．

外環道(関越～東名)は，1966年高架道路として都市計画決定がなされたものの，計画路線周辺の生活環境への影響を懸念する反対運動の高まりにより1970年から凍結されてきた．その後，1992年に関越道～東北道～常磐道を結ぶ外環道(埼玉区間)が開通．1998年に東京都と建設省，関係区市が「東京外かく環状道路とまちづくりに関する連絡会議」を設置した．2001年には高架形式の都市計画を，地下構造に変更する「計画のたたき台」を公表し，これにともないPI方式を導入して，外環の必要性といった構想段階での課題に対しても，広く市民の意見を集めながら合意形成を行ってきた．その後，2007年に地下方式として都市計画変更が決定され，2012年4月，中日本高速道路が東名JCT～中央JCT，東日本高速道路が中央JCT～関越JCTに事業許可を得たことで，このたびの着工に至った．





外環(関越～東名)ルート

同区間は，延長約16kmの第2種第1級道路．上下線に，それぞれ3車線を収容する直径約16mのシールドトンネルを設置する計画．東名，中央，関越の3本の高速道路と接続し，出入口は東八道路，青梅街道，目白通りの3か所に計画されている．

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

(注：「現場だより」の投稿は受付けしておりません)

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)

連載講座

トンネル技術者のための地相入門(7)

—地すべり地内に計画されたトンネル工事—

「地相入門」連載講座小委員会

① はじめに

日本列島は環太平洋の変動帯に位置し，活発な火山活動や地震，夏季の豪雨や台風と冬季の豪雪などの大量の降雨がもたらされ，毎年のように全国各地で大小さまざまな地すべりが発生している．これにより，しばしば尊い人命が奪われたり構造物が被災するなど，地すべりは防災面からも影響が大きい現象である．また地すべりは，本講座(3)のpp.64-65でも述べたように，トンネルにとっては遭遇する確率が高く，対応策を誤ると影響が大きい地形種として知られている．

② 地すべりとは

地すべりにはいくつかの定義があり，「斜面物質が明瞭な剪断面を境に，重力に従って下方に低速で滑動(slide)する現象を地すべり(landslide)と総称する」[1]という定義が一般的である．この定義では，「地形物質が，基本的には重力のみに起因して，高所から低所に集団(mass)をなして，クリープ，落下，滑動，流動，圧密などの形態をとりながら移動する現象である集団移動(mass movement)」[1]の一種として地すべりを捉えている．

(社)日本地すべり学会では，地すべりについて海外で使用されている「landslide」と同様に「岩，土あるいはその混合物の斜面下降運動」[2]と定義し，急傾斜地の崩壊や土石流，落石など斜面の土砂災害を総括した集団移動の意味で使用している．

一方，わが国には法律上での「地すべり」の定義があり，昭和33年制定の「地すべり等防止法」の第2条で「地すべりとは，土地の一部が地下水等に起因してすべる現象又はこれに伴って移動する現象をいう」とされている．

このようにわが国での「地すべり」は，鈴木

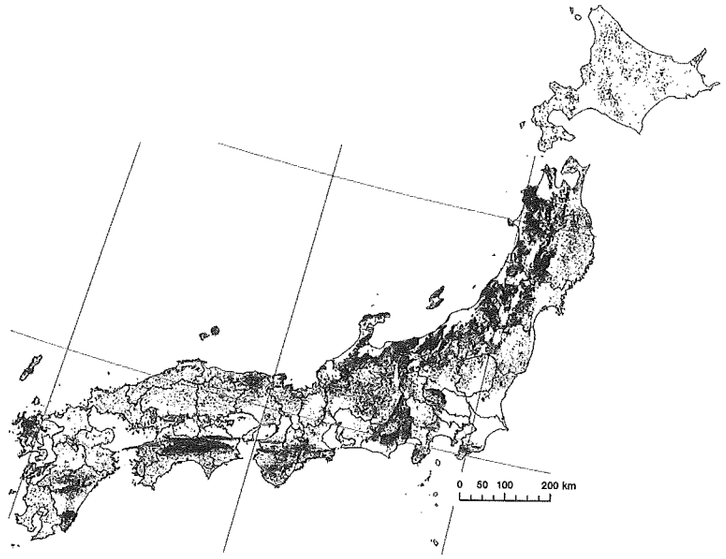


図-1　日本の地すべり地形の分布[3]

(2000)や日本地すべり学会で定義された主に学問分野や土木業界などで用いられる「広義の地すべり」と，法律上行政などで使用される「狭義の地すべり」とが使い分けられている．

この「地すべり」という用語は‘移動現象’を指し，「地すべり地形」は地すべりの結果として生じた‘地形’を指す．地すべり地形のわが国での分布状況を**図-1**に示す．

図のように，日本列島には地域的な偏りはあるものの，列島全域に地すべり地形が分布しており，おびただしい数の新旧の地すべりが発生していることが読みとれる．

③ 地すべり地形の特徴と工学的な問題点

3-1 地すべり地形の特徴

3-1-1 全般的な特徴

地すべり地形は本講座(3)の図-8に示すように，半円形，U字形，馬蹄形，コ字形の平面形をもつ急崖や急斜面(一括して地すべり滑落崖という)に囲まれた相対的低所と，その低所から下方に張り出す緩傾斜をなす微起伏地(地すべり堆：地すべり移動体のつくる地形)で構成される．つまり，地すべり地形は地すべり滑落崖と地すべり堆を一括した用語である．

一般に地すべり地形では，側方の不動域の山腹斜面よりも発生域では低く急勾配であり，定着域では高く緩傾斜となっている[1]．

3-1-2 地すべり地形と非地すべり地形の差異

地すべり地形は，その周囲の不動域の地形と比較して，**表-1**に示す諸特徴を持つため，読図による地すべり地形の認定は比較的容易とされている[1]．

表-1 地すべり地形と非地すべり地形の一般的差異[1]

地形の形態要素(地形相)		地すべり地形	非地すべり地形
全般的な形態的特徴	地形全体の縦断形	急崖下方の緩傾斜地	連続的～不連続的に変化
	斜面型の組み合わせ	多種多様に組み合う	3種以下
	傾斜変換線	明瞭に存在(遷急線と遷緩線)	明瞭～不明瞭
急崖の性質	急崖に平面形	上方に凸半円形，馬蹄形	多様，直線的
	急崖の成因	せん断滑落崖	差別浸蝕涯，侵蝕前線
	急崖上方の地形種	前輪廻地形，引張割れ目	前輪廻地形，小起伏面
	急崖直下の地形種	地すべり堆，崖錐	削剝斜面，崖錐
上記の急崖の下の遷緩線より下方の地形	地形一般	地すべり堆(下方に凸の末端線)	谷底，平坦面(段丘面，低地)
	小突起	多く，大小多様，不定形	尾根線ぞいのみに存在
	凹地，池沼，湿地	地すべり堆内部・側部に多い	変動地形以外では存在しない
	低い急崖および割れ目の伸長方向	引張・圧縮・せん断性の急崖と割れ目があり，多様な方向に伸長	ガリーや1次谷の側壁，斜面の傾斜方向に伸長
水文現象	河系模様	不規則～腕曲状	規則的(樹枝状，等間隔)
	水系の連続性	不連続(末無川)	連続
	その地区の小範囲での対接峰面異常	斜流谷，並流谷，逆流谷が多い．外来河川の屈曲	稀(ほとんど必従谷)
	谷密度(1/2.5万)	大～小(類型で異なる)	中(これを標準とするとき)
	地下水，湧水	多い，恒常的	裂か水，パイプ湧水，非恒常的
土地利用など	農業的利用	水田(棚田)が多い，林，畑	林地，畑(水田はない)
	溜池	多い	ない
	古い集落	小さな塊村または散村的に存在	稀，山腹小起伏地に散村的
	古い道路	不規則に屈曲，分岐	直線的，ジグザグ
	特有の地名	多い	ない

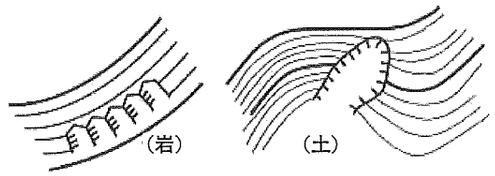


図-2　がけの表記記号(国土地理院HPより)

3-1-3 等高線とがけ記号の配置

地すべり地形における等高線の配置は，滑落崖では凹形谷型斜面を示し比較的単純である．主滑落崖，側方滑落崖および副次的滑落崖(とくにそれらの頂部)に「がけ(岩)」や「がけ(土)」の記号(**図-2**)が連続的に描かれていることが多い．

地すべり堆では等高線が不規則に屈曲し，大小の閉曲線，陥凹曲線，凹記号の見られることが多い．地すべり末端部の等高線は，定着域の地形場(元の地形)によって多様な屈曲を示すが，単純で平坦な地形場では円弧状であり，全体としては凸形尾根型斜面を示す．

ただし，地すべり堆末端部が河川や海で浸食されている場合には，末端部は谷壁斜面や海蝕崖になっている．

3-1-4 凸地(小突起)，凹地，池沼および湿地

地すべり堆には，等高線の閉曲線で表される凸地(小突起)，櫛歯記号の陥凹曲線や矢印(↓)で示される大小の凹地，その凹地底の池沼とその埋積で生じた湿地がしばしば点在的に発達する．それらの分布状態，規模，形態および伸長方向は，地すべりの発生機構や運動形態を反映し，個々の地すべりによって多様であるため，地すべり地形の分類基準の一つになる．

凹地(池沼，湿地)は，主滑落崖直下の頂部凹地，地すべり堆上の内部凹地，地すべり堆側方の側部凹地および地すべり堆による堰止めで河谷に生じた外部凹地(一般に湖沼)に大別される．

地すべり地形には，自然的な池沼や湿地を人工的築堤で溜池に拡大したものも少なくない．池沼の存在は地すべり堆の構成物質が低透水性であること，少なくとも凹地底に泥質物質が存在することを示唆する．

3-2 地すべり地形の人文的な特徴

3-2-1 地すべり地形と水田の関係

東北地方以南においては，標高500m以下の山地や丘陵地斜面において水田が開けている箇所がある．その水田となっている斜面は，しばしば地すべり地形であり，地すべり堆により構成された緩斜面上に水田が耕作されている場合が多い．一方，周囲の不動域では，たとえ地すべり堆より緩傾斜であっても水田とはなっていない．

このように，山地や丘陵地の斜面にある水田はそこが地すべり堆であることを示唆する重要な特徴であり，トンネルの計画や施工においては注意を払う必要がある．

3-2-2 集落・道路・社寺

地すべり堆には一般に塊状の集落は少なく，住居は点在していることが多い．最近の道路を除くと，道幅が狭く屈曲が著しい．また古い社寺がある場合は，安定した古い地すべり堆や，多数の地すべり堆の間の尾根や小丘などの不動域に立地していることが多い．

3-2-3 地すべりを示唆する地名

地すべり地形の地区には，それを示唆する地名が多い．

したがって，トンネルの計画，施工においては，古い地形図(5万分の一)の読図や地元の方々から現地に伝わる古くからの地名の聞き取りなどによって，地すべりが発生しやすい地域かどうかを判断するのも一助である．

① 地すべりの発生を表す地名：崩山，大崩，抜山，欠出，押田，割山，飛土，ほか
② 地すべり地形を示す地名：成田，梨平，水窪，大久保，溝尾，段地，石原田，ほか
③ 水田・畑の特徴を示す地名：赤田，青田，狭田，棚田，千枚田，障子田，ほか
④ 植生とくに湿地植物を示す地名：曲松，枯木，滝ノ林，芹，菖蒲，菅，蒲，蓮，ほか

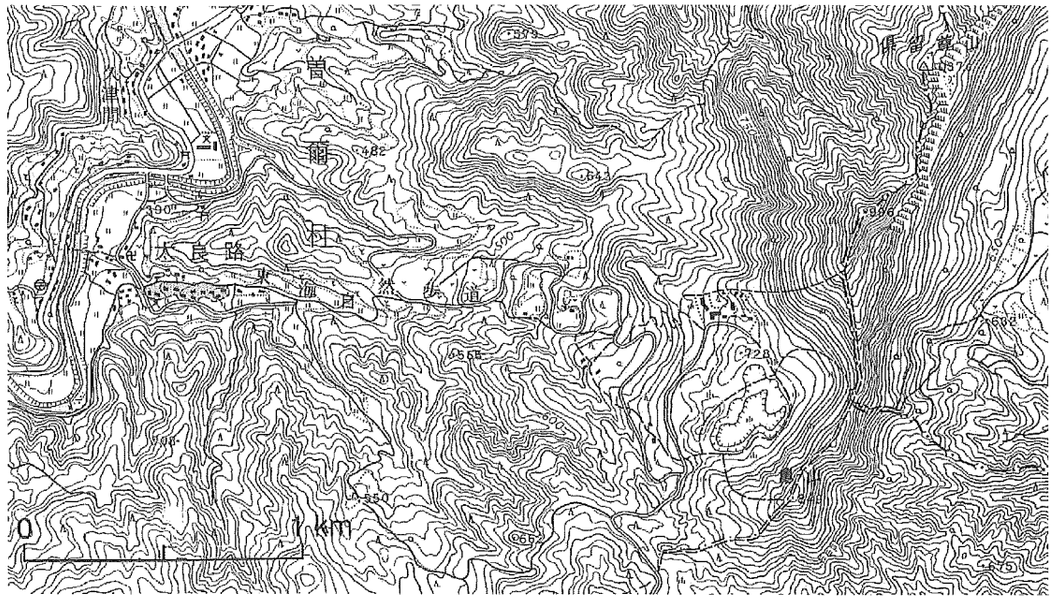
3-3 地すべり地形の読図手順

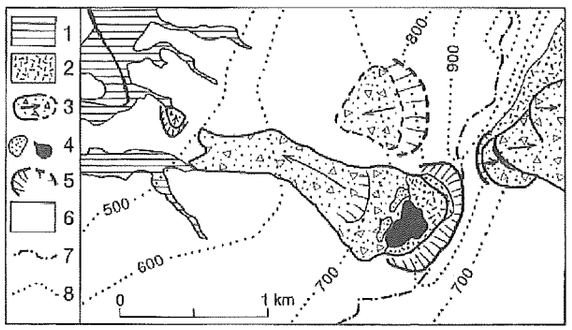
地すべり地形の読図では，まず山地，丘陵，火山，段丘崖などの斜面に存在する円弧上の急崖または急斜面に囲まれた相対的凹所または谷地形に着目する．

次に凹所の内部から下方の地形を観察(読図)して，その地形が河川浸食地形として説明できるか否か，それとも地すべり堆あるいは崩落堆，さらには土石流堆のいずれの特徴を備えているかを考える．

この考察に不可欠なことは，相対的凹所の側方の斜面や河谷，尾根の地形との比較である．つまり，他の地形種の認定でも同じであるが，問題とする地区の地形がどのような過程で形成されたか，その周辺の地形(地形場)との関係をつねに認識する必要がある[1]．

このようにして読図した例を**図-3**に示す．





1：河成低地，2：崖錐，3：地すべり堆(破線は不明瞭部，→は地すべりの方向)，4：地すべり堆内部の突起(打点部)と凹地(黒色部)，5：地すべり滑落崖(破線は不明瞭部)，6：山腹斜面，7：主分水界，8：接峰面等高線(m，谷埋幅：1 km)．

図-3　尾根移動型で頂部凸凹形の地すべり地形[1]

④ 地すべりの工学的な問題点

4-1　特殊な地山条件としての地すべり

土木学会の『トンネル標準示方書［山岳工法］・同解説』(2006)には，特殊な地山条件の一つとして「地すべり等の移動性地山および斜面災害が予想される地山」が挙げられている．そこには，「トンネル坑口や土被りの小さい谷部や斜面に近接したトンネルの場合，地すべりや斜面崩壊の可能性を検討するとともに，トンネルの安定性を評価し，対策工の必要性やその設計について判断できる資料を得るための調査が必要である．とくに規模の大きい地すべりの発生が予想される場合には地すべりを避けたルートの検討も必要である」[4]と注意されている．

上記のように，トンネルを地すべり地形の内部に設けることは基本的には避けるべきであるが，現実にはトンネルの線形，トンネル前後の立地や用地などの問題により，地すべり堆の中に設けることが避けられない場合もある．その場合は，トンネル施工中および供用中に地すべりが発生しないように事前に地すべり対策を行い，十分な安全率を確保することが必要である．

また，トンネル施工中に地すべりが発生した場合は，速やかに押さえ盛土，水抜き工などの緊急対策を実施して，変位を抑制しつつ，トンネルの安全性を確保する．掘削再開に先立っては，十分な安全率を確保するために，地すべり対策工を実施することが必要である．

このように，地すべりがいったん滑動すると工程および対策工費が大幅に増加するため，地すべりが懸念される地域でのトンネルの計画は慎重に行う必要がある．そのためにもトンネル施工に携わる者(トンネル技術者)が自ら地形図や空中写真を判読し，現地を踏査し，地すべりを含めた地形的な特徴をとらえ，施工に反映することが重要である．

4-2　地すべり堆の地盤性状と地下水

地すべり堆は，地すべり移動体つまり滑動した物質で構成されているため，全体的に破砕されている．そのため，①地すべり堆頂部の大規模な盛土や重量構造物は地すべりの再発生，②基部の掘削は地すべりの再発生や斜面崩壊，③地すべり堆内部のトンネル掘削は切羽の崩落・偏圧・地下水の湧出，などの問題が発生する．

4-3　トンネルと地すべり堆の位置関係とトンネル施工にあたっての留意点

トンネルと地すべり堆との位置関係により，対応策が大きく異なってくる．このため以下の項目を明らかにする必要がある．

① 踏査や調査による地すべり堆の範囲の把握．
② すべり面深度とすべり面の3次元的形状の把握．
③ トンネル周辺の地山物性値の把握．

表-2　トンネルが地すべり堆中を通過する場合の位置関係と対応策

	①-1	①-2	①-3	①-4
地すべり堆とトンネルの位置関係	・トンネルが地すべり滑動方向に並行 ・地すべりの頭部付近を通過	・トンネルが地すべり滑動方向と直交 ・地すべり頭部を通過	・トンネルが地すべり滑動方向に並行 ・地すべりの末端部付近を通過	・トンネルが地すべり滑動方向と直交 ・地すべりの末端部を通過
安全率	UP		DOWN	
対応策	・一般的に地すべりの安全率は向上する ・施工にあたって，掘削に伴う緩みの発生を抑制する補助工法を採用する ・すべり面付近の不良地山に注意が必要		・一般的に地すべりの安全率が低下し対策が必要 ・施工にあたって，掘削に伴う緩みの発生を抑制する補助工法を採用する ・すべり面付近の不良地山に注意が必要	

表-3　トンネルが地すべり堆直近を通過する場合の位置関係と対応策

	②-1	②-2	②-3	②-4
地すべり堆とトンネルの位置関係	・トンネルが地すべり滑動方向に並行 ・地すべりの直下を通過	・トンネルが地すべり滑動方向に並行 ・地すべりの側方外側を通過	・トンネルが地すべり滑動方向と直交 ・地すべりの頭部の下を通過	・トンネルが地すべり滑動方向と直交 ・地すべりの末端部の下を通過
対応策	・事前にトンネル掘削による地すべりへの影響を検討し，必要な地すべり対策を行う ・施工にあたって，掘削に伴う緩みの発生を抑制する補助工法を採用する			

トンネルと地すべり地形との位置関係は，トンネルが地すべり堆中を通過する場合と直近を通過する場合とに分けられる．

表-2, 3にトンネルと地すべり堆の位置関係およびその対応策を示す．ここに示すように，トンネルがやむを得ず地すべり堆の中や直近を通過する場合は，数値解析によるトンネル掘削の影響を含めた地すべり挙動の評価を行う．これにより必要な地すべり対策による安全率の確保と，トンネル掘削に伴う地山の緩みを極力抑制する工法を検討する必要がある．

掘削に伴う地山の緩みを抑制する対策工法としては，①長尺先受け工や長尺鏡ボルト工による先行変位抑制，②仮インバートやストラットによる早期閉合，③高強度吹付けコンクリートや鋼製支保工のランクアップによる高剛性支保工の適用，などが挙げられる．

さらに，トンネル施工に先立って，地すべり挙動を観測するため早期に観測計器(GPSによる変位観測，地盤伸縮計，孔内傾斜計，移動杭，地下水位計など)を設置し，トンネル掘削に伴う地山の変動を把握する地すべりの動態観測を行う必要がある．トンネルが地すべり近傍を通過する際には，動態観測に加え，A計測の計測頻度を増し，さらに計測間隔を狭めるなどの対応や，B計測(地中変位測定，ロックボルト軸力測定，吹付けコンクリート応力測定，鋼製支保工応力測定など)を実施し，支保部材や施工方法が妥当か否かを判断し，設計や施工の修正に反映する必要がある．

⑤ 施工事例にみる地相の読み方

【事例1：今戸トンネル[5]】

(1)　工事概要

工　事　名：国道168号十津川道路　今戸トンネル工事

工事場所：奈良県吉野郡十津川村大字平谷～小原

トンネル延長：2.3km

今戸トンネルは，延長2.3km，内空断面積56.3 m²の2車線道路トンネルである(**図-4**)．

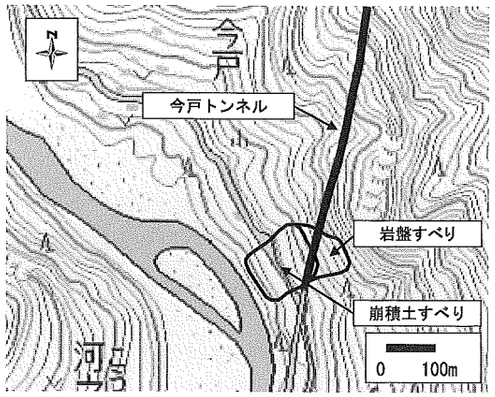


図-4　今戸トンネル起点側坑口部(図-7参照)

(2)　地すべりの概要

起点側坑口の斜面は，地すべりが懸念されたため，施工に先立ち地すべり調査(ボーリング調査12孔，各調査孔でのパイプ歪み計観測，地下水観測，などによる動態観測)を行い，有識者委員会(国道168号防災検討会)に諮りつつ施工を行った．

調査結果から，劣化した岩盤と良好な岩盤が互層状に分布していることが判明した．深度10～15 mには劣化岩盤が，深度20～25mには破砕層が存在する．この破砕層と劣化岩盤の間には良好な岩盤が分布し，破砕層下部にも堅硬な岩盤が存在している．

上記の地質状況を考慮し，当該地区には深度13 mに分布する劣化岩盤層をすべり面とする崩積土すべりと，深度26mに分布する破砕層をすべり面とする岩盤すべりの二つの地すべり面が推定された．この状況は，国道168号や169号で発生した大規模岩盤すべりと類似しており，トンネル施工に際して大きな課題となった．

(3)　対　策

調査結果にもとづき，当初実施した二次元安定解析(**図-5**)に加え，主・副の2測線について三次元FEM解析を行い，対策工を検討した．主測線と副測線の2つの解析断面を用いた理由は以下の2点である．

①　主測線の延長は長いが，側方部では奥行きが短いため，主測線のみの設計では，過大設計となる可能性がある(**図-6**)．

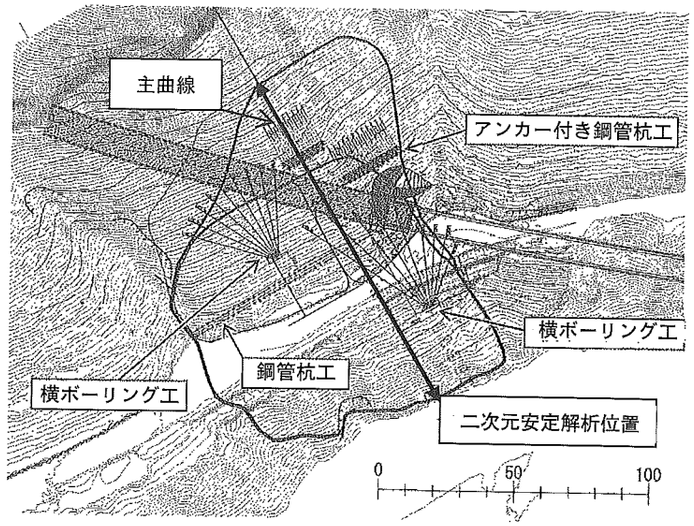


図-5　二次元安定解析位置と対策工平面図

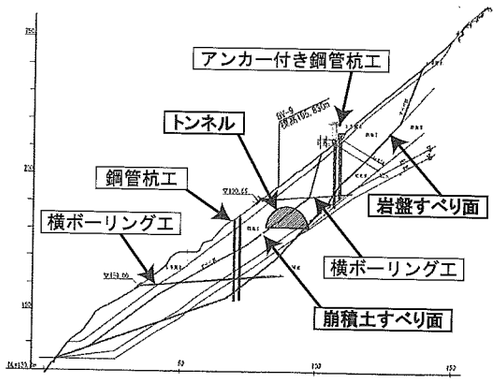


図-7　地すべり堆とトンネルの位置，および対策工断面図

②　地すべり堆に対してトンネル線形が斜交しており，トンネル掘削の影響が測線ごとに異なる．

この結果，鋼管杭工，アンカー付き鋼管杭工による対策工(**図-7**)を行った．それにより工事費は二次元安定解析結果を用いた当初概算工費に対し，約30%縮減することができた．

【事例2：引佐第二(奥山)トンネル[6]】

(1)　工事概要

工　事　名：第二東名高速道路　引佐第二トンネル工事

工事場所：静岡県浜松市北区引佐町

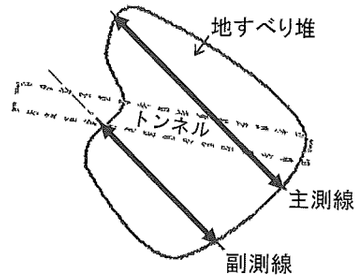


図-6　三次元FEM解析位置とトンネルとの位置関係

トンネル延長：上り線1,340m
下り線1,535m

引佐第二トンネルは，第二東名高速道路と東名高速道路を結ぶ引佐連絡路内の2車線トンネルで，標高200～400mの起伏の小さい引佐山地を通過する．掘削断面積は約110m²で，上下線ともに北側坑口より片押しにて補助ベンチ付き全断面掘削工法で施工された．

(2)　地すべりの概要

地質は，中生代の付加体である御荷鉾(みかぶ)緑色岩類のハイアロクラスタイトを含む緑色岩類を主体とし，部分的に蛇紋岩が分布している．

トンネルの北側坑口部(上下線)には大規模な3つの地すべり地形(A, B, F)が存在し(**図-8**)，地表には段差地形や溝地形が認められた．孔内傾斜計，光波測量による動態観測結果より，地すべりBは滑動停止中であるが，地すべりAは約10㎜/月，地すべりFは約20㎜/月の速度で工事着手前から滑動していることが確認された．

(3)　対　策

地すべり対策を検討した結果，各地すべり堆が隣接していることから，押さえ盛土工(約28万m³)が採用され，上り線は193m延長された．押さえ盛土施工後は地すべりA，地すべりFの挙動が収束傾向となったため，計画どおり下り線トンネルから掘削を開始した．

図-8に示すように，上り線・下り線トンネルと地すべり堆の位置関係により，エリア1からエリア4に分け，対策工および掘削時の補助工法をそ

れぞれ検討した．図-9に代表断面を示す．

① エリア1：地すべりB直下であり，トンネル掘削に伴う地表面沈下量が30～50㎜と大きくなり，滑動停止中の地すべりBが想定すべり面において変位速度0.69㎜/日を示した．そのため，インバート早期閉合を採用しトンネル変位を抑制して，地すべり挙動を収束させることができた．

② エリア2：滑動中のAブロック直下であるため，エリア1の施工実績にもとづき，AGFとインバート早期閉合を実施した．これにより，地表面沈下量を20㎜程度に抑制して，最大変位速度も0.20㎜/日で無事突破した．

③ エリア3：押さえ盛土の下にルーズな崖錐堆積物が分布し，トンネルの上り線が地すべりBのすべり面を掘削することから，トンネル掘削の影響がもっとも大きいと予想された．したがって，緩み対策工として垂直縫い地工と改良盛土を先行施工した．また，地すべりの変位による偏圧に対抗できるように，高規格鋼アーチ支保工を採用し，インバートストラットによる早期閉合も実施した．その結果，変位を抑制して突破することができた．

④ エリア4：地すべりAからの距離も十分であるため，AGFおよびインバートストラットを採用することにより無事突破することができた．

【事例3：観音平トンネル[7]】

（1） 工事概要

工　事　名：上信越自動車道　観音平トンネル工事

工事場所：新潟県新井市大字宮内～青田

トンネル延長：557m

上信越自動車道中郷IC～上越JCT間にある観音平トンネル(図-10)は2車線高速道路トンネルであり，県立自然公園の近傍，国指定の遺跡を通過することから，現地形を極力変更しない条件が課せられたルートとなっていた．

（2） 地すべりの概要

観音平トンネルは，妙高山の裾野から高田平野西側の標高200～300mの丘陵部である西頸城山麓を南北に通過している．西頸城山麓の斜面には，沢の浸食や過去の地すべり滑動による地すべり地形が多数発達している．

西頸城山地は，新第三紀中新世から鮮新世の砂岩泥岩互層を主体とし，平野との境界部では第四紀更新世の堆積物が点在している．

北坑口付近は幅100m，長さ300m規模の複数の地すべり堆から構成された地すべり地形の舌端部に位置している(図-11)．地すべり移動体は厚さ10～15mで，N値10以下の軟弱な層である(図-12)．

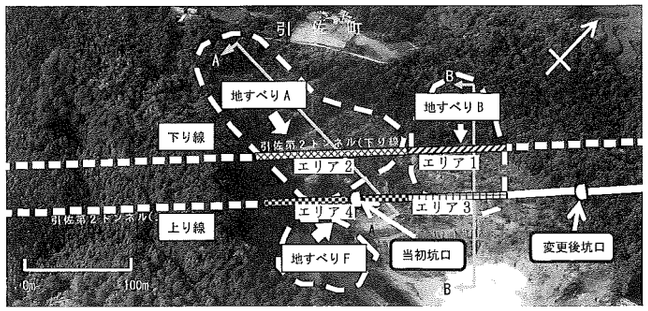


図-8 引佐第二トンネル位置および地すべり位置図(引佐第二トンネル工事概要より)

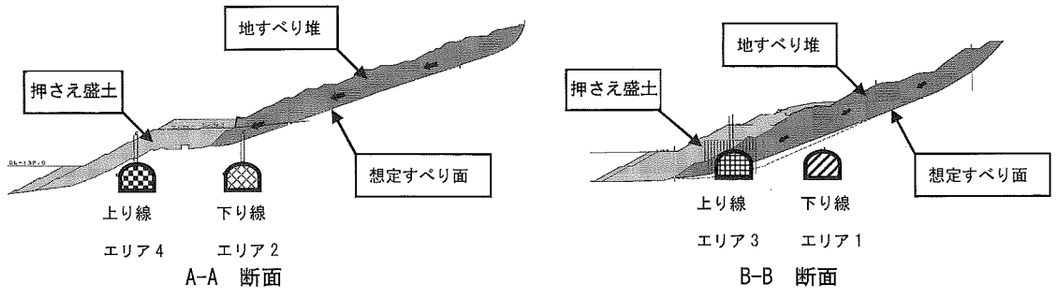


図-9 想定すべり面および押さえ盛土とトンネルとの位置関係(横断図)(引佐第二トンネル工事概要より)

（3） 対　策

当初計画では，明かり巻きトンネル構築に伴う地すべり対策として，①押さえ盛土，②プレロード完了後の開削(仮切土)，③明かり巻きトンネル構築，④埋戻し，という施工計画であった．

しかし，再検討した結果，

① 仮切土の安全率確保のため，2mの地下水位低下が必要であるが，施工時が融雪時期のため困難

② N値10以下の軟弱層が厚さ14mで分布している

以上より施工を見直し，開削工法ではなく図-12に示すように，押さえ盛土内のトンネル周辺をソイルセメント改良体(トンネル周囲3m，改良強度0.5MPa)により施工し，その内部をNATMによるトンネル掘削とする施工方法に変更した．

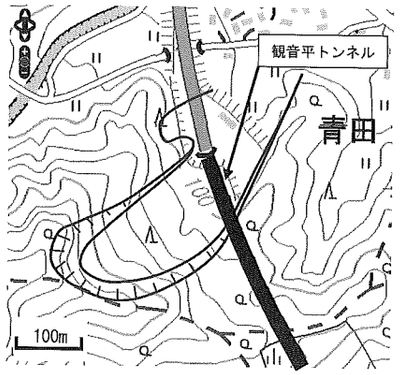


図-10 観音平トンネル位置平面図

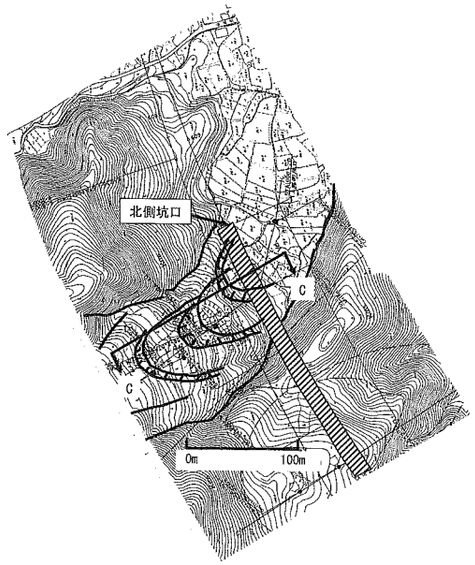


図-11 観音平トンネル北側坑口平面図

【事例4：第3大沢トンネル[8]】

（1） 工事の概要

工　事　名：上越新幹線　第3大沢トンネル工事

工事場所：新潟県塩沢町地内

トンネル延長：2,475m

上越新幹線第3大沢トンネルは，新潟県塩沢町地内にあり魚野川沿いのトンネルである．

（2） 地すべりの概要

北側坑口から約1,800m区間は，丘陵地帯に発達した地すべり地帯である(図-13)．地山は地すべり堆積物，膨張性泥岩，風化凝灰角礫岩より構成されている(図-14)．いずれも固結度が低く，粘土化，土砂化している．

（3） 対　策

163k630m～162k880m区間は地すべり堆中を掘削した結果，とくに163k040m～162k880mにおいては地表の地すべり堆が沢部に向かって最大530㎜移動した．このため地すべり対策として，

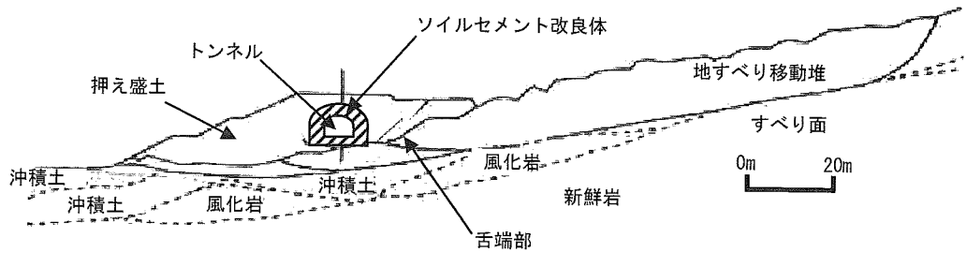


図-12 地すべり堆とトンネルの位置関係(C-C断面)

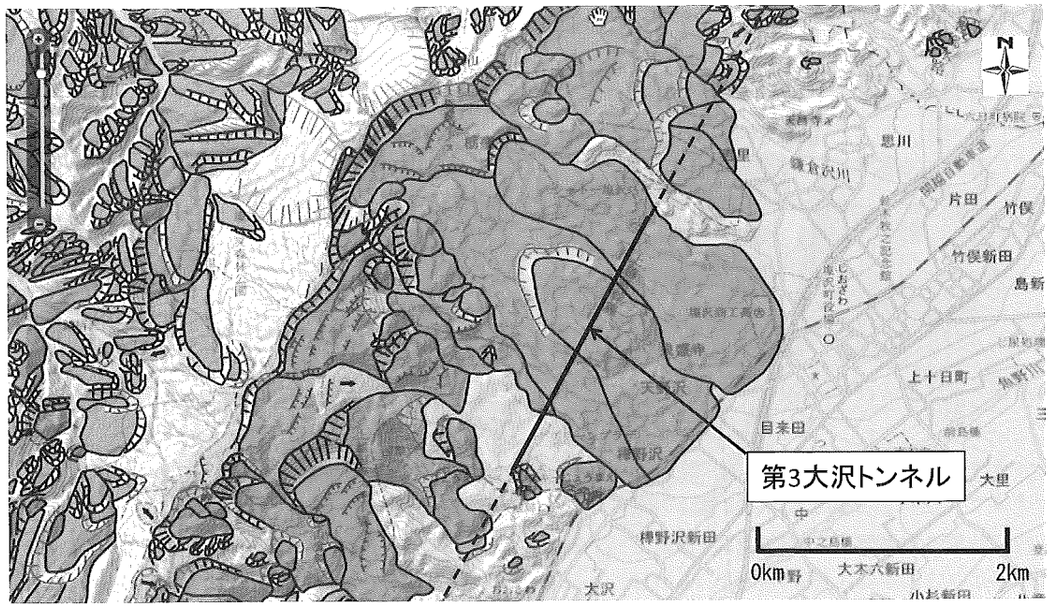


図-13　第３大沢トンネル位置図[3]

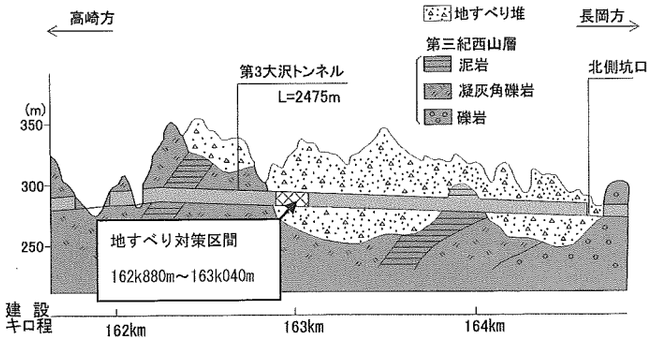


図-14　第３大沢トンネル地質縦断図

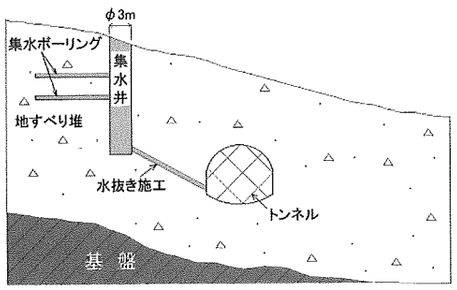


図-15　地すべり対策区間横断図

地下水位を低下させるため，①φ３m，深さ15mの集水井を設け，②２段にφ66㎜の集水ボーリングを33本削孔し，③集水井底部よりφ215㎜，L＝14mのボーリングにより，本坑内に導水し，地すべり挙動を抑制することができた(図-15)．

【事例５：的之尾トンネル[9),10)]】

（１）　工事概要

工　事　名：四国縦貫自動車道的之尾トンネル工事

工 事 場 所：愛媛県伊予三島市中曾根町地内

トンネル延長：上り線205m
　　下り線212m

当該地区は南側に石鎚山系法皇山脈，北側に瀬戸内海燧灘に挟まれた東西に延びる幅約１kmの狭い平野である．法皇山脈山裾部は，中央構造線の石鎚断層が分布し，平均斜度35°の断層崖を形成している．的之尾トンネルは，上り線205m，下り線212m，掘削断面積116m²の大断面双設トンネルである(図-16)．

（２）　地すべりの概要

地質は，三波川変成岩類およびその断層破砕帯，古期崖錐堆積物，新期崖錐堆積物である．三波川変成岩類およびその断層破砕帯は，主要岩種である黒色片岩の片理面により数cm以下の小塊に破砕されている．ボーリングコアのRQDは０で，風化部分は粘土化・土砂化している．また，断層破砕帯部には流紋岩が貫入し，白色の粘土となっており，少量の湧水で泥濘化しやすい．

古期崖錐堆積物は，こぶし大～人頭大の片岩類の礫を含み砂質のマトリックスにより締まっており，緩みも比較的少ない．一方，新期崖錐堆積物は，固結度も低くルーズでゆるみも大きい．

この地すべりは，本坑掘削に先立つ導坑掘削中に，掘削の緩みに起因して崖錐堆積物と断層破砕帯中に発生したものである．

（３）　対　策

トンネル掘削は，上記の地形・地質条件に加えて，小土かぶり(上り線25m，下り線40m)，トンネル上部に県道，山頂部に高圧鉄塔，西側坑口の斜面下部には中学校があるという条件で，２段サイロット先進上部半断面工法で計画され，当初より動態観測を実施した．

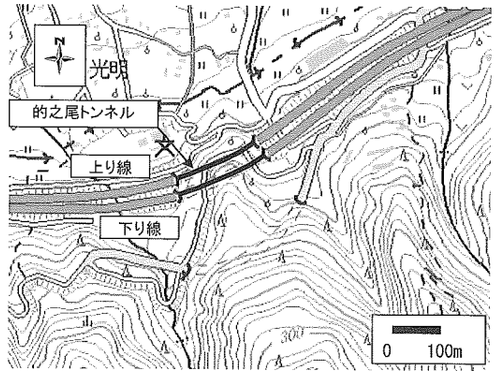


図-16　的之尾トンネル位置図

下り線導坑より掘削を開始したが，厚い崖錐堆積物と断層破砕帯の掘削に困難をきわめた．掘削途中より在来工法から吹付けコンクリートを用いた支保に変更し，下り線導坑を貫通し，上り線導坑の掘削を開始した．上り線導坑の貫通間近の時点で，動態観測結果から地すべりの予兆が観測されたため，掘削を中止し導坑内部をコンクリートで充填した．

その後，**図-17**に示す地すべり対策工(押さえ盛土，抑止杭)，高圧鉄塔の移設を実施した．トンネル掘削にあたっては**図-18**に示すように，側壁導坑先進上部半断面リングカット工法とし，補助工法として，①坑口部におけるパイプルーフ(L＝39m，φ216.3㎜×t8.7㎜，40本)，②斜めロックボルト，③支保剛性を確保するための鋼アーチ支保工のH-250へのランクアップ，④吹付けコンクリート(t＝250)，⑤早期インバート閉合，を実施した．これらの対策工を含め，導坑掘削開始か

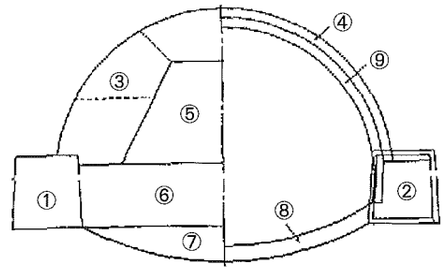


図-18　側壁導坑先進上部半断面リングカット工法加背割および掘削順序図

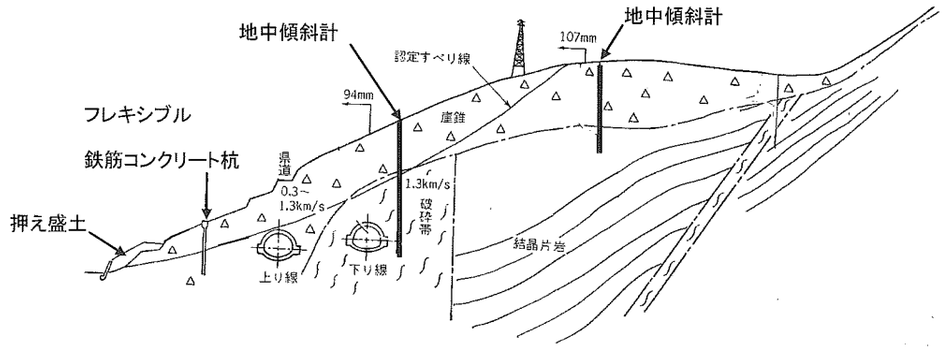


図-17　地すべり対策工位置図

ら上下線の上半貫通に40か月(月進約5m)を要した.

(文責：端則夫，服部弘通・大成建設(株))

参 考 文 献

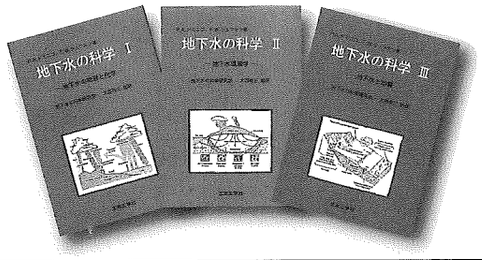
1) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読入門，第3巻，古今書院，2000.
2) (社)日本地すべり学会：ホームページ.
3) (独)防災科学研究所：ホームページ，日本の地すべり地形の分布.
4) 土木学会：トンネル標準仕様書［山岳工法］・同解説，2006年制定，2006.7.
5) 辻脇崇・徳永博・古山貴久・高橋岳大：坑口部の地すべり対策に三次元解析を適用し無事突破，国道168号十津川道路　今戸トンネル，トンネルと地下，Vol.42，No.7，pp.7-14，2011.7.
6) 田山聡・竹國一也・神澤幸治・平野宏幸：小土かぶりの大規模地すべり地帯を情報化施工で突破，第二東名高速道路　引佐第二トンネル，トンネルと地下，Vol.36，No.3，pp.15-26，2005.3.
7) 大窪克己・明道俊治：押え盛土部に施工するトンネルの設計―上信越自動車道・観音平トンネル―，ハイウェイ技術，No.9，1997.12.
8) 磯辺猛・小野賢二・木村敏明：膨張性地山を掘る，上越新幹線第3大沢トンネル，トンネルと地下，Vol.9，No.7，pp.17-25，1978.7.
9) 横山治郎・久野富弘・石原久：中央構造線に沿う地すべり地帯を掘る，四国縦貫自動車道　的之尾トンネル，トンネルと地下，Vol.14，No.4，pp.7-16，1983.4.
10) 横山治郎・久野富弘・石原久：中央構造線に沿う地すべり地帯を掘る(その2)，四国縦貫自動車道　的之尾トンネル，トンネルと地下，Vol.15，No.7，pp.15-21，1984.7.

■図書案内

地 下 水 の 科 学 ― 全3巻 ―

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

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



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

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

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

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

文献紹介

解　　説

特集/創刊300号記念―非開削推進技術の明日をよむ―，月刊推進技術，Vol.26，No.6，2012.6.

大島洋志：「地下水調査」その時代的背景と今日的意義，市川慧・石橋弘道「地下水の調査」土木技術　昭和62年4月号，土木技術アーカイブス(第30回)，土木技術，Vol.67，No.6，2012.6.

小山幸則：日本が育んだシールドトンネル技術，土木技術，Vol.67，No.7，2012.7.

土橋浩：京浜臨界部と新横浜都心部を結ぶ首都高速横浜環状北線―最新の技術を駆使した都市トンネル及び高架橋の建設―，土木技術，Vol.67，No.8，2012.8.

研 究・開 発

児玉一大・中村浩・椎野光保：二次覆工一体型シールド切替型推進工法の開発，建設機械，Vol.48，No.7，2012.7.

西村晋一・高坂信章・平林岳樹・山野泰弘・新坂孝志：アブレシブ・ウォールカット(AWC)工法，建設機械，Vol.48，No.7，2012.7.

計画・調査・設計

西川隆司：東北地方太平洋沖地震に伴う霞ヶ浦用水施設の被災状況と応急対策の報告，建設の施工企画，No.748，2012.6.

諏訪内幹男：仙台空港アクセス鉄道への震災復旧支援，建設の施工企画，No.748，2012.6.

河野通久：東日本大震災における下水道管渠更生工法の追跡調査報告，SPR工法・オメガライナー工法，建設の施工企画，No.748，2012.6.

内藤孝和・鈴木尊：電磁波レーダを用いたトンネル覆工検査，土木技術，Vol.67，No.6，2012.6.

武田正昭・太田聡：国道1号賤機山トンネルにおける自転車通行空間整備の取組，県警と道路管理者との協働による全国初の自転車一方通行規制の導入，道路，Vol.856，2012.7.

毛利栄征・有吉充：大口径パイプラインの被災状況と復旧，特集/2011東日本大震災の教訓と復旧―国土保全―，基礎工，Vol.40，No.8，2012.8.

施　　工

宮原正充・内田龍佑・小滝勝美：ニューマチックケーソン工法による大規模地下貯留施設の施工，寝屋川北部地下河川讃良立坑築造工事，建設機械，Vol.48，No.5，2012.5.

榎本登・工藤和紀・安部正則・大竹俊一：東名高速道路直下を非開削最新工法にて推進，切羽で掘削しないSFT工法を用いた施工事例，建設機械，Vol.48，No.5，2012.5.

宮本敬治郎：気泡シールド工法の掘削土流体輸送，水土の知，Vol.80，No.5，2012.5.

特集/推進工事を支える測量技術，夢から現実への挑戦，月刊推進技術，Vol.26，No.5，2012.5.

河田孝志：パハンセランゴール導水トンネル: 全長44.6km，最大土被り1,200m，土木技術，Vol.67，No.5，2012.5.

名井乃・志岐寛・長谷川功：重要構造物直下での低土被り双設大断面トンネルの施工，今里トンネル，基礎工，Vol.40，No.7，2012.7.

特集/ここまで進化した推進技術，月刊推進技術，Vol.26，No.7，2012.7.

河田孝志：海外工事における安全管理，マレーシア・パハンセランゴール導水トンネル，建設の施工企画，No.749，2012.7.

桑原清・有光武・高橋保裕・中井寛：地盤切削JES工法を用いた線路下横断工事，地盤工学会誌，Vol.60，No.8，2012.8.

特集/構造躯体を下から支える地下防水技術，防水ジャーナル，No.489，2012.8.

特集/推進技術―多様性を発揮して大活躍―その1，月刊推進技術，Vol.26，No.8，2012.8.

深澤哲也・鎗田哲也・加納義晴：供用中の沈埋トンネル直下地盤を対象とした液状化対策，カーベックス工法の施工実績，建設の施工企画，No.750，2012.8.

特集/下水道トンネル技術のトラブル防止，月刊下水道，Vol.35，No.9，2012.8.

特集/推進技術―多様性を発揮して大活躍―その2，月刊推進技術，Vol.26，No.9，2012.9.

石井裕泰・中塚健司：ボスポラス海峡横断鉄道建設工事における大水深・急潮流下での水中ソイルモルタルの施工，地盤工学会誌，Vol.60，No.9，2012.9.

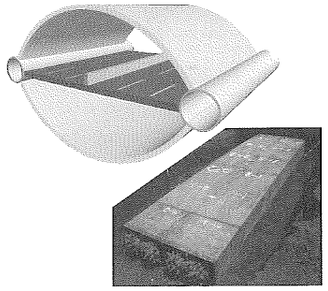
吉田吉孝・折田博生・草野孝三：シンガポール地下鉄プロジェクトに関する報告，地盤工学会誌，Vol.60，No.9，2012.9.

大谷寛・松井久一：開削型シールド工法による大断面排水路の施工，水土の知，Vol.80，No.9，2012.9.

シールドとNATMで崩落の危険回避―北海道新幹線津軽蓬田トンネル工事(青森県)，日経コンストラクション，9月10日号，2012.9.

工法・技術・製品ニュース

工法　超大断面トンネル構築工法を開発



工法のイメージと二連結同時推進の状況

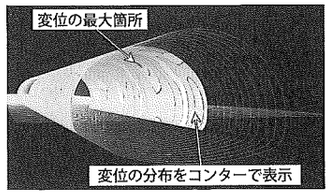
(株)熊谷組　土木事業本部トンネル技術部
Tel 03-3235-8649
http://www.kumagaigumi.co.jp/

熊谷組と機動建設工業は共同で，大深度での分岐合流部などの超大断面トンネルを構築するための技術となる，新方式による曲線函体推進工法「まがるーふ工法」を開発した．

同工法は分岐合流部などの大断面地下空間を非開削で構築するため，シールド内から先行支保工を構築するもの．従来の曲線パイプルーフ工法などによる切拡げでは，鋼管間の地下水対策や地盤補強が必要で，時間と工事費が増大する．そこで両社では，部材を矩形の鋼材とすることで，連続体の構築を可能とし，また複数の部材を連結して，同時に推進することも可能とした．これにより地盤改良・止水に必要な薬液注入や凍結工法の数量を減じ，工程の短縮も可能となる．掘削機械には汎用機であるツインヘッダーを用い，複数台の使用を容易にした．

同工法は，2008年から要素技術の研究・開発を進めてきたもので，今後は，ロングスパンの施工に必要な方向制御について実証実験を予定している．

工法　トンネル壁面の変位を計測し，合理的なトンネル施工



三次元で連続的に表示されたトンネル壁面変位

ハザマ　CSR推進部
Tel 03-3588-5711
http://www.hazama.co.jp/

ハザマは，山岳工法で施工するトンネル工事において，トンネル壁面のあらゆる箇所の変位を詳細に計測できる三次元レーザースキャナトンネル変位計測システム「3D-ラスタム(3D Laser Scanner Tunnel Measurement System」を開発し，施工中の道路トンネル工事において，壁面の変位を従来よりも詳細に計測できることを確認した．

同システムは，三次元レーザースキャナを用いてトンネル壁面の三次元形状データを，掘削直後と掘削進行による変形後に，同じ位置で計測，比較することで，詳細なトンネル壁面の変位量を算出する．

トンネル壁面の変位量を三次元で連続的に表示できること，任意のトンネル断面において変位の方向と大きさを表示できることにより，変位量が大きい箇所における支保工の妥当性評価や，対策工の種類や範囲の選定などをより効率的・効果的に行うことが可能になり，従来よりも建設コストを抑えつつ，高い品質を確保することが可能になるとしている．

製品　大型土木工事で活躍する最大積載量95tのダンプトラック



Cat 777G

キャタピラージャパン　広報グループ
Tel 03-5717-1122
http://japan.cat.com/

キャタピラージャパンは，大型土木工事など原石運搬などで活躍するCat 777Gダンプトラックの発売を開始した．

同機は，最大積載量95.3tで，現行モデルCat 777Fダンプトラックのフルモデルチェンジ機となる．既に販売を開始しているCat773G(同52.2t)，Cat775G(同60.6t)の上位機種となる．

今回のモデルチェンジでは，エンジントルクおよびトルクライズを向上させ，パワフルで粘り強い走りを実現．また，よりスムーズなシフトチェンジを実現する電子式トランスミッションクラッチ圧制御システム(ECPC)をはじめ，各種パワートレインを改良．これら生産性・走行性の向上により，サイクルタイムの短縮を実現する．さらに，2種類のエコノミーモードなど，燃料消費量を抑制する各種システムの採用により環境に配慮するとともに，優れた経済性も実現した．

トンネルワールドニュース

(社)日本トンネル技術協会
国際委員会

Oberosler社とEdilmac社のチームはイタリアの水力発電プロジェクトを施工する

Edilmac社のレイズボーリグングチームは，先月，イタリア南チロルのボルツァーノでOberosler社が請負ったMulbach Lio Pusteria水力発電計画の工事を開始した．

この工事は，深さ431mの垂直導水路用立坑を2本(直径1.84mと1.55m)建設する．RVDS(Rotary Vertical Drilling System＝レイズボーラー)は拡幅前の花崗岩を貫通するパイロット坑に使われる．自動RVDSと現ツール直径9.5～12.875インチ(241～327㎜)は，ドイツのMicon Mining & Construction Products社によって開発された．

それは，2011年成功裏に完成したLaivesトンネルにつながる．

Laivesトンネル事業では，Edilmac社とOberosler社は別々の施工業者として，ルートSS12のボルツァーノ地区に新しい道路トンネルを建設した．このとき，Edilmac社は直径4.74m，深さ280mの垂直換気立坑を施工した．地質条件は斑岩層を含んでおり難しかった．

初めのパイロット掘削はEdilmac社のAtlas Copco製Robbins 83を使用，その後のリーミング掘削にはHerrenknecht製550VFが使用され必要径に拡幅された．

掘削の完了した立坑は，立坑上の橋形クレーンで吊るされた架台により，資材や機材の搬送にも用いられた．また，ガントリークレーンにも立坑を通じて作業員を引き揚げるためのウインチが乗せられた．

RVDSは，2台の加速度計を有する傾向監視装置と拡張可能なスタビライザーから構成される操舵装置によって稼働する．

パイロット坑はデジタル技術を応用した制御システムによって掘削された．

関連資料　http://www.edilmac.com/en/references/110905_laives.html

(T&TI　'12.2　担当：戸崎雅之・三井住友建設(株))

アメリカ上院が国境の違法なトンネルを取り締まる法案を承認

アメリカ上院は1月30日に，アメリカ-メキシコの国境沿いの違法なトンネル活動と戦う法案を，満場一致で承認した．

Dianne Feinstein議員(民主党・カリフォルニア州)とJon Kyl議員(共和党・アリゾナ州)が後援する「国境トンネル防止条例2011」は，法律の執行と検察官に，トンネルを探し出し，犯人を特定して罰するためのさらなる手段を提供する．

Feinstein議員によると，国境警備がより厳しくなって，犯罪者が国境検問所の下を回り道する新しい方策を探し求めた結果，トンネルが掘られるようになった．

「これらの通路は地面に開けられた単純な穴ではない．一部には，エレベーターや電動トロッコ，油圧制御の鋼製ドアを特徴とするものさえある．国境のトンネルは，麻薬，武器または人々を輸送するのに用いられ，アメリカの国家の安全に深刻な脅威をもたらしている」とFeinstein議員は述べた．

この法案では，国境トンネルの利用，建設または資金調達を，共謀罪とする．加えて，盗聴を容易にするために(盗聴による捜査を可能とするために)，麻薬または他の密輸品がないときでも，違法なトンネルには通信傍受法が適用される．

関連法案は下院に提出され，審議中である．

「過去10年間に見つけられた135本の違法なトンネルのうち，1つ以外のすべては，メキシコ側か

ら掘削し，アリゾナ，カリフォルニアまたはテキサスに抜けるものだった．そして連邦当局がこの問題に対する取り組みを進めることができるように，下院が早く関連法案を承認するように，私は主張する」とKyl議員は延べた．

メキシコ当局は１月28日に，Sonota州Nogales市で掘削中のトンネルを発見した．そのトンネルは未完成で，トンネルへの入口はアメリカ国境からちょうど数ブロック離れた家の中で見つかった．

アメリカ当局も国境を越えるトンネルを11月に発見しており，このトンネルは連邦の職員いわく「われわれがこれまでに見つけた中でもっとも洗練されたトンネル」であった．

（T＆TI　'12.3　担当：日向哲郎・(株)間組）

スイスのバス衝突28名死亡事故を受けてトンネル設計調査

３月にスイスの道路トンネルで大型観光バスがトンネル側壁に激突する事故を起こし28名の犠牲者(死亡)を出した．バスはトンネル壁面に激突し運転手２名も死亡．他の車両は巻き込まれなかった．スイス道路連合(Astra)は記者会見でトンネル設計に問題がなかったか調査を始めたと発表した．バスはかなりの速度で非常駐車帯に向かって急ハンドルを切り，駐車帯待避場所の縁石を乗り越えて終端部の壁に激突した．Astraの調査では，もし駐車帯の終端部の壁の角度が浅ければ衝突の衝撃が少しは緩和されたであろうと結論している．高速道路運行管理責任者のPeter Bishop氏は「写真を注意深く見ると事故発生は駐車帯の構造が原因で起きている．鮮明ではないが駐車帯の待避場所は最初からの構造物で後から増築したようには見えない．また，トンネルは2.5kmの長さの双設トンネルでトンネル間隔が狭い．またヨーロッパのトンネル建設当局はこの長さのトンネルでは駐車帯と安全待避場所の設置を義務づけている．この事故ではバスが壁に衝突する前に待避場所の縁石にハンドルを取られて運転手がコントロールを失ったと思われる．」と語った．

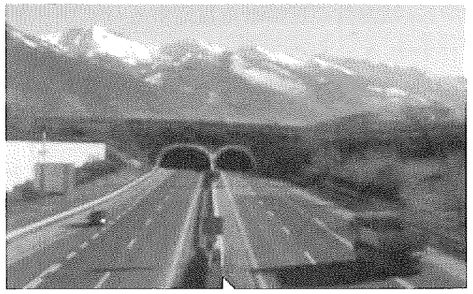
スイス検察官のOlivier Elsig氏は「このような衝突状況はまれなことだ」と語った．

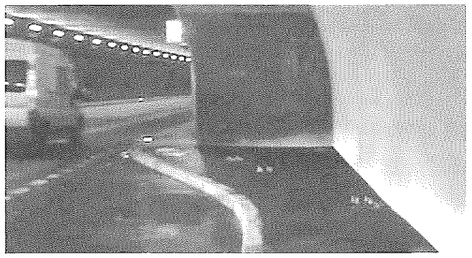
事故検死の結果では運転手が何らかの病気だった可能性はなく，運転ミスか何かほかの原因としている．

Bishop氏は，「この問題は駐車帯終端部の壁角度を浅くすること，さらに自動車が壁に衝突しないようなバリヤかガードが必要で，そのように改善すれば例え接触したとしても多くの車両が今回のような重大事故にはならない」と話している．

また「この路側帯の長さがトンネル延長に対しても短すぎるという意見も出した．過去には衝突緩衝材設置の提案も出たが壁の角度変更ほどの期待はもてない」とも話した．

ベルギーの交通局官であるMelchior Wathelet氏によると，「両運転手は睡眠時間も十分とっていた．彼らはツアー会社から依頼を受け運転前夜にはスキーリゾートに到着していて，昼間にはたっぷりと運転規定どおり休養がとれていた．運転していたドライバの血圧も正常で，もちろんアルコール検知もなかった」という．







Elsig氏は，「このドライバが病気であった要素はない」また「バスは新車で100km/hを越える速度は出ていなかった」と付け加えた．

スイスジャーナリストのRuth Seeholzer氏は「当日のドライブコンディションは悪くなかったし，２車線トンネルで当日の交通量も多くなかった」と話した．

この調査はT&TIが取材に行った後にも続いていたがBishop氏の意見は，「この大惨事の根本は自動車の高速走行が原因で，さらに今回の事故とは異なる事故の発生が懸念され，ドライバのちょっとした判断ミスが大惨事につながる」，また「私はこのような大事故発生の根源を絶つことは難しいと考えるが，われわれは道路関係者に車の速度制限低下を呼びかけ続ける必要があると考える」ということだ．

多くのトンネル設計者は「将来の道路あり方」について４月に英国Famborough近郊でフォーラムを開催したが，この事故についての協議はなされなかった．しかし私は「この問題はこれから真剣に取組むべきだと考える」とも話している．

事故動画サイト　http://news.sky.com/home/world-news/article/16188330

（T＆TI　'12.4　担当：篠原慶二・前田建設工業(株)）

Terratec社製泥土圧式シールドがバンコク・メトロ延伸工事に十年ぶりに投入さる

３月27日，バンコク・メトロのブルーラインの延伸計画において，Terratec社製EPBM(泥土圧式シールド)が引き渡された．発注者であるタイのMRTA(Mass Rapid Transit Authority)と工事元請の伊泰開発(Italian-Thai Development)社の代表者が，中国の広州で行われた式典に出席した．

バンコク・メトロ・プロジェクトにシールドが使用されるのは十年ぶりとなる※．Terratec社のスポークスマンは「われわれは，この空白の期間について詳しいことは知らない．シールドの使用は，意欲的な予算案によりまさに実現した，われわれは今後数年間，バンコク・メトロ延伸工事に携わることを望んでいる」と述べた．

このEPBMは直径6.44mで，本線上にあるコンクリート杭を掘削通過するのに適している円錐形のカッタヘッド(面板)を備えるよう設計されている．Terratec社は，この形状のカッタヘッドのほかの優れた点として，排土と掘削の安定性を挙げた．このシールドの出力は675kW，カッタトルクは6,480kNm，16本のシールドジャッキの総推進力は40,000kNである．

Terratec社のスポークスマンは，「元請が直面する課題には，バンコク中華街の狭隘区間において，縦断方向に並列する２本のトンネル掘削が含まれる．これはタイでは初めての事例である．ただし，とくに日本など他の地域では珍しいことではないが」と付け加えた．

元請は，粘土や砂の地盤を5.1kmにわたって掘削し，当該区間には半径200mの曲線も含まれる．設計上の最小曲線半径160mに対応するために，シールドは12本の中折れジャッキによって1.5度曲がることが可能である．６月末までに掘削を開始するため，式典後，シールドはバンコクの現場へ向けて海上輸送された．

※翻訳者注：ブルーラインのホアランポーン・バンスー間(2004年７月開業)の建設工事においては，シールドによる掘削工事が行われた実績がある．例えば，2001年11月に発刊した当協会施工体験発表テキストに掲載(pp.41–50)された「泥土圧シールドによる長距離掘進(池田実/西松建設(株)バンコク地下鉄工事事務所)」などを参照されたい．

なお，この記事は，バンコク・メトロでほぼ十年ぶりに着手された延伸工事に関するものである．

（T＆TI　'12.5　担当：浅見均・(独)鉄道・運輸機構）

海外文献速報

(社)日本トンネル技術協会 国際委員会

世界最長の函体推進工法によるアンダーパス建設/World's Longest Structure Jack

By Alex Conacher: Tunnels & Tunnelling International, December, 2011, pp.39–42

英国，ケント州のCliffsendアンダーパスは，世界最長(126m)の函体推進工法による構造物である．

本アンダーパスは，高速道路プロジェクトとして鉄道と道路の交差部直下に建設される．地形などにより，交差部に対して直角ではなく鋭角に施工する必要があった．

採用された施工方法は，鉄道下６ｍの位置で，幅22.85m×高さ４ｍの函体を，ジャッキにより推進する方法である．函体推進工法によるプロジェクトで，これほど長い(最終長126m)構造物を施工することは初めてである．最大の課題は，鉄道の運行に支障をきたさないことであった．

デッキ：ジャッキで推進されるデッキは，Jacked Structures社のCEOが開発したコンセプトであり，標準的な函体推進を改良したものである．推進施工での最大の問題点は，地盤との摩擦である．抗ドラッグシステムを使用する必要が生じる．そのもっとも一般的な方法は，鋼製ロープの使用であり，直径19㎜のロープがデッキの横断方向にわたされ，ポンプにより潤滑剤が送られ，地盤との摩擦を低減する．

推進：2,500t の躯体を推進することは大きな困難が伴う．ジャッキングの専門会社であるMammoetが，スキッドシステムを開発した．通常はユニットの後ろから押すのであるが，このプロジェクトの規模ではそれは不可能である．スキッドシステムにより，養生したユニット上を移動する．

各ブロックのジャッキの能力は7,000tであり，各ユニット間にはジャキング・ステーションを設け，合計で35,000tの能力となる．中間部ジャッキのストロークは120㎜で，前進ピッチは100㎜となる．

鉄道の線路への影響を考慮して，通過速度に制限が加えられた．また，工事期間中には，自動車の通行が禁じられた．

① EPBMによりφ3,400㎜の導坑を施工

② セグメント内からφ450㎜×14,000㎜のパイルを２本/m打設(累計530本)

③ セグメント内にスライドデッキを構築

④ 構内にて函体(22.85m×４m×８m)構築

⑤ 構内にジャッキステーション作成

⑥ 函体(22.85m×４m×８m)を坑口まで移動

⑦ 函体にジャッキセット

⑧ 函体推進

⑨ 函体内掘削

⑩ 下半掘削

⑪ 下床板，側壁コンクリート打設

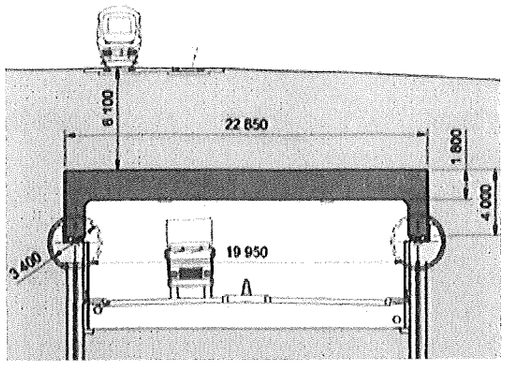


図-1 標準断面

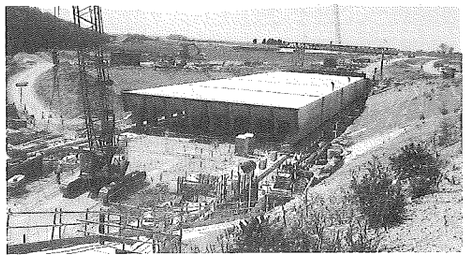


写真-1 函体全景

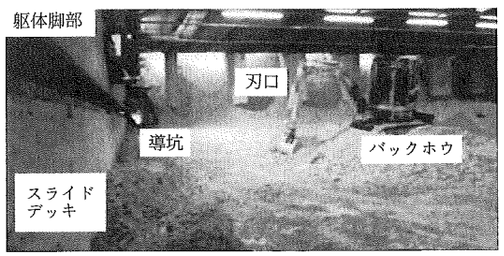


写真-2 函体内掘削状況

（文責：畑生浩司・鉄建建設(株)）

主成分分析にもとづく単回帰および重回帰分析を用いたロードホールダンプの費用予測/Hard-rock LHD Cost Estimation using Single and Multiple Regressions based on Principal Component Analysis

Tunneling and Underground Technology, Junuary, 2012

ロードホールダンプは，鉱山または硬岩地山のトンネルにおいて，ずりの積み込みや運搬に欠かせない機械であり，計画段階にてこの機械に要するコストを精度よく予測することは重要である．本稿では初期コストおよび運用コストの種別，ディーゼルか電気かの動力種別に分けて，ロードホールダンプに要するコストの予測式を単回帰および重回帰分析をもとに構築した結果を紹介する．

$LHD_{diesel}\text{Capital Cost} = 332670 \times BC^{0.586}$

$LHD_{diesel}\text{Operating Cost} = 36.19 \times BC^{0.638}$

$LHD_{electric}\text{Capital Cost} = 400060 \times BC^{0.484}$

$LHD_{electric}\text{Operating Cost} = 43.32 \times BC^{0.503}$

単回帰分析のコスト予測式

$$LHD_{diesel}\text{Capital Cost} = 72417.6 \times BC - 76992.4 \times OW - 290683 \times OH + 2856 \times HP + 711670$$

$$LHD_{diesel}\text{Operating Cost} = 7.939 \times BC - 3.606 \times OW - 20.653 \times OH + 0.2995 \times HP + 51.723$$

$$LHD_{electric}\text{Capital Cost} = 38150.7 \times BC + 128092.1 \times OW + 376946.9 \times OH + 1214 \times HP - 593310$$

$$LHD_{electric}\text{Operating Cost} = 4.247 \times BC + 14.26 \times OW + 376946.9 \times OH + 41.97 \times HP - 66.79$$

重回帰分析のコスト予測式

単回帰分析ではバケット容積(BC)に対して，また重回帰分析ではバケット容積(BC)，車両全幅(OW)，車両全高(OH)，馬力(HP)の４変数を用いてロードホールダンプの初期コストおよび運用コストの予測式を作成した．なお重回帰分析を行うにあたり，まず主成分分析を実施して各変数どうしの相関性を除去した後に有意なPC値を算定し，これを重回帰分析における独立変数として用いることとした．予測式における平均絶対誤差は単回帰分析で11.59%，重回帰分析で6.87%である．

（文責：北村義宜・鹿島建設(株)）

表-1 運用コスト予測のための回帰係数

Cost items		Bucket capacity	Overall width	Overall height	HP	Intercept
Diesel						
Overhaul	Parts	0.455898	1.893403	3.686007	0.011268	−7.01104
	Labor	0.600886	2.495554	4.858253	0.014851	−9.24448
Maintenance	Parts	0.847422	3.519448	6.851531	0.020944	−13.0585
	Labor	1.116283	4.636065	9.025319	0.027589	−17.1794
Fuel/power		0.001862	0.001921	0.006911	0.067662	−0.01714
Lubrication		0.458414	−0.44745	−1.74747	0.017966	4.236468
Tires		0.282226	1.172121	2.281843	0.006975	−4.18899
Ware parts		0.083239	0.345703	0.673002	0.002057	0.149536
Electric						
Overhaul	Parts	0.484701	1.627398	4.789075	0.015424	−7.54138
	Labor	0.638482	2.143721	6.308499	0.020317	−9.92655
Maintenance	Parts	0.899788	3.021062	8.890322	0.028632	−13.99124
	Labor	1.18607	3.982262	11.71892	0.037742	−18.44537
Fuel/power		7.33E−05	0.008286	0.008893	0.0443	−0.02132
Lubrication		0.217752	0.731107	2.151486	0.006929	−3.38131
Tires		−0.4456	−0.17465	−7.06685	0.072266	12.43615
Ware parts		0.101841	0.341933	1.006233	0.003241	−0.36288

Capital Cost US$
Operating Cost US$/h

社団法人 日本トンネル技術協会 会報

1. 会員の現状

	9月30日現在
正会員	1,511名
団体会員	348名
個人会員	1,163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

広報小委員会会誌WG(9/5)

大島洋志主査ほか10名，9月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会海外ニュースWG(9/25)

浅見均主査ほか9名，海外文献を査読

◎事業委員会

事業委員会(9/4)

桑原彌介委員長ほか11名，催物開催結果と今後の計画を検討

事業委員会打合せ会(9/26)

滝谷正廣委員ほか8人，施工体験発表会山岳部門のテーマを検討

計　4回開催　42名出席

②調査研究関係委員会

◎受託研究特別委員会

相鉄・JR・東急直通線検討会開削駅検討WG(9/12)

館山勝座長ほか26名，新綱島駅に関する検討

九州新幹線（西九州）トンネル検討会幹事会(9/24, 25)

大島洋志幹事長ほか18名，新ルート諫早～長崎間現地調査および施工状況報告と施工法を検討

中央新幹線大深度地下シールドトンネル技術検討委員会(9/26)

今田徹委員長ほか63名，シールドの設計および立坑の設計手法を検討

計　3回開催　110名出席

合計　7回開催　152名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第39回ITA総会およびコングレス「Underground －the way to future－」	2013. 5. 31～6. 7	ジュネーブ（スイス）	Swiss Tunnelling Society International Tunnelling and Underground Space Association（国際トンネル協会） http://www.wtc2013.ch/
第40回ITA総会およびコングレス＊「Tunnels for a better living」	2014. 5. 9～15	イグアス（ブラジル）	COMITE BRASILEIRO DE TUNEIS International Tunnelling and Underground Space Association（国際トンネル協会） http://www.wtc2014.com.br/
第41回ITA総会およびコングレス「SEE TUNNEL」	2015. 5. 23～28	ドヴロヴニク（クロアチア）	ITA Croatia International Tunnelling and Underground Space Association（国際トンネル協会） http://wtc15.com/

＊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：03-3524-1755　FAX：03-5148-3655

◆新刊図書案内◆

□Tunnelling Activities in Japan 2012　価格(税込)：会員 3,000円，非会員 3,600円

□トンネル年報2012　価格(税込)：会員 2,000円，非会員 3,000円

□トンネル年報-工事記録CD-R版(各年)　価格(税込)：会員10,000円，非会員15,000円

4. 平成24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）				
中部横断自動車道トンネル建設工事現場研修会	2012. 7.27	25	山梨県	3.2
東九州自動車道トンネル工事現場研修会	2012. 8.28	22	大分県	3.2
横浜環状北線シールド工事現場研修会	2012. 9.21	24	神奈川県	1.8
新東名高速道路トンネル工事現場研修会	2012. 9.26	21	岐阜県	2.5
清滝生駒道路清滝トンネル工事現場研修会	2012.10.26	25	大阪府	2.0
（施工体験発表会）				
第70回(山岳)「課題克服に貢献した新技術・創意工夫例」	2012. 6.26	154	東京都	5.1
第71回(都市)「困難な施工条件下での都市トンネル工事事例」	2012. 6.27	104	東京都	5.6
（講演，講習会）				
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)	2012. 9.27, 28	19	東京都	17.3
第15回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	**2012.11.21, 22**	**24**	**東京都**	**9.8**

催物の案内は逐次協会のホームページに掲載しておりますので閲覧ください．http://www.japan-tunnel.org/event_japan

第15回(山岳部門)トンネル技術ステップアップ研修会のご案内

山岳トンネルの経験が，5年から10年程度の新進気鋭の中堅技術者を主な対象とし，トンネルに関する技術力の向上を図るとともに，若い技術者同士の交流の機会を提供する場として，トンネル技術ステップアップ研修会を下記のとおり開催することといたしました．少数を対象とした実践的な講義内容となっており，大変有意義な研修になると存じますので，奮ってご参加くださいますようご案内申しあげます．

―記―

開催日：平成24年11月21日(木)，22日(金)

会　場：社団法人日本トンネル技術協会「会議室」

研修内容：本研修会は，単なる技術説明や工事報告ではなく，講師である8人の屈指の山岳トンネル技術者の方々が経験した，特殊条件における工事での失敗や苦労した事柄を伝えて頂くとともに，これから類似のトンネルを担当したときにどうすべきかなどについて講義していただく予定です．

初　日：調査と実際の乖離，設計と実際の乖離，補助工法とトラブルなどについての講義と討論会(主として現場での課題について)

二日目：「膨張性地山，崩落性地山，大湧水地山，地質想定困難な地山でのTBM施工」におけるトンネル工事で学んだこと，類似工事で対応すべきことの講義

定　員：24名

参加費：会員36,000円，一般60,000円(教材代，消費税含む)

その他：研修内容のプログラム，申込方法，支払方法の詳細はwebサイトをご参照願います．

12月号予告[12月1日発売予定]

- ●既設鉄道山岳トンネルの地震対策と震災復旧の考え方
- ●JR吾妻線付替横壁トンネルⅡ期工事
- ●熊野尾鷲道路　大吹トンネル新鹿工区
- ●阪神高速大和川線　大和川シールド
- ●品川区における下水道事業の取組

【連載講座】

- ●トンネル技術者のための地相入門(8)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆秋になり一段と気温が下がりました．読者の皆様方におかれましては風邪など引かれぬようご自愛ください．

◆通勤に東急電鉄の東横線を利用しています．首都圏にお住まいの方には非常に馴染みの路線です．路線名のとおり東京(渋谷)と横浜を結んでおります．先だって帰宅しようと渋谷駅のホームに着くとある一角が黒山の賑わいとなっておりました．近づいて様子を見てみると鉄道はファン(通称：鉄ちゃん？)の方がこぞって車両の先頭部をカメラに収めている最中でした．撮影されていた車両は見慣れぬ茶系の車両でした．東急の新型車両かと思いましたが，しばらく考えると東京メトロの副都心線の車両であることがわかりました．来年3月16日より相互直通運転を開始することから双方の車両がお互いの路線で試運転を開始したようです．

◆当誌では東横線と副都心線の相互直通運転にかかわる工事として渋谷～代官山間の記事を2回掲載しています．自分の編集した記事を身近に感じることは工事に直接かかわった方とは別の喜びを感じられます．今年は機会があり当誌にかつて掲載した「安房トンネル」，「飛騨トンネル」，「城端トンネル」，「豊見城トンネル」を通過できました．来年はどこのトンネルを訪れることができるか期待しつつ，今は半年を切った東横線と副都心線の相互直通運転を楽しみに待ちたいと思います．

(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43巻 第11号〔通巻507号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成24年10月20日　印刷
平成24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
〒104-0045　東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)
TEL：03-3524-1755
FAX：03-5148-3655
http://www.japan-tunnel.org
発行所　株式会社土木工学社
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂
TEL：03-3267-2888
FAX：03-3267-2807
http://www.tunnel.ne.jp
発行人　山本 育徳
編集人　山本 勝誉
印　刷　新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は，書店または土木工学社へ直接お申し込みください．

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

購読料

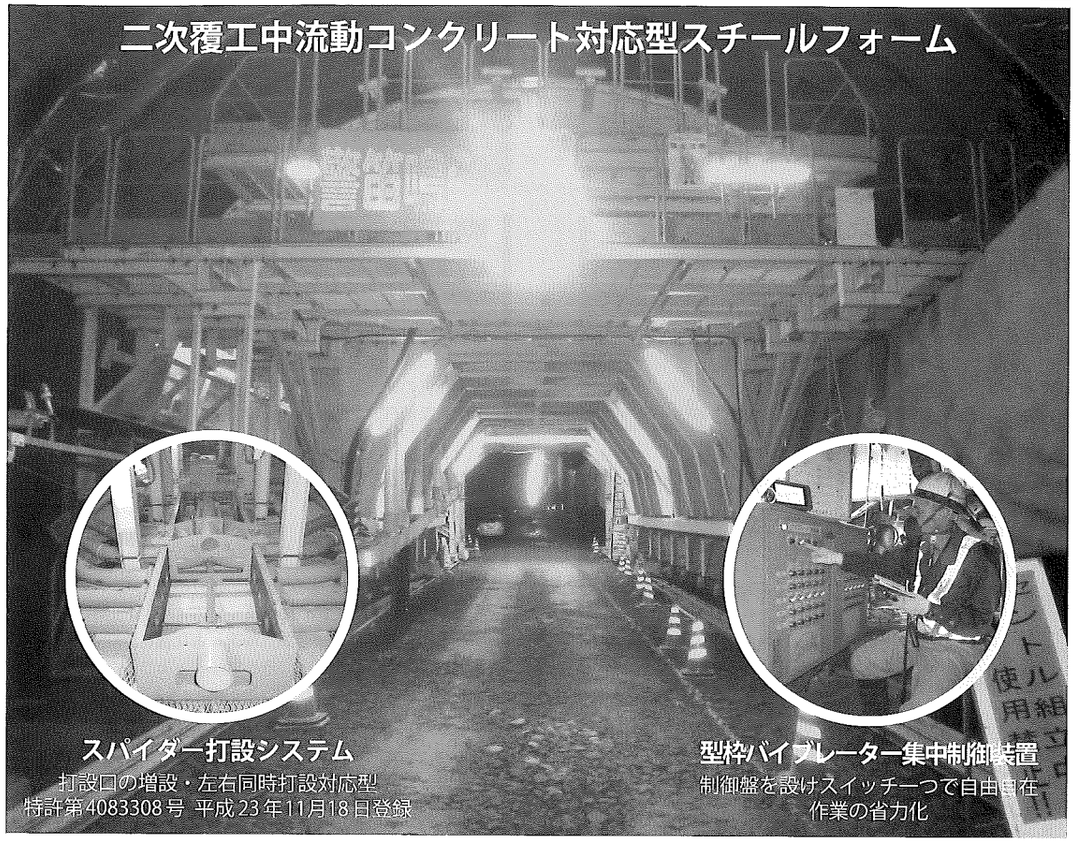
1冊　1,575円(送料108円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

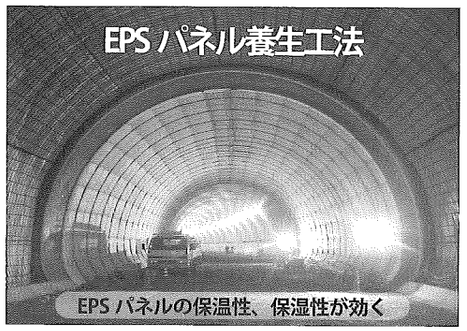
本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください．
TEL：03-3267-2888

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

トンネル二次覆工型枠総合メーカー



新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



実績および計画		
施主	実績	計画中
国土交通省	21	1
NEXCO	5	1
地方自治体	8	6
鉄道・運輸機構	1	1

平成24年4月30日　現在

実施権許諾第 10396 号
NETIS 登録　(No.CB-090003-A)

一歩前進！　～限りない未来への挑戦～
大栄工機株式会社
本社　〒526-0842　滋賀県長浜市春近町90番地
TEL 0749-64-0246 ／ FAX 0749-63-6765 ／ URL http：//www.daieikouki.co.jp/
営業品目　各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売　※詳しくはホームページを御覧ください

図書案内

株式会社 土木工学社

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．

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．

推進工法の理論と実際



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

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

シールドトンネルの新技術



シールドトンネルの新技術研究会　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．

わかりやすい土木地質学



大島洋志　監修
2,500 円＋税　B5 判

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

地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全 3 巻）

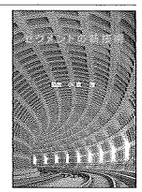


P.A. ドミニコ・F.W. シュワルツ　共著，
地下水の科学研究会・大西有三　監訳

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

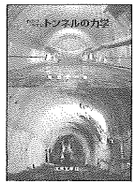
セグメントの新技術



小泉　淳　監修
2,000 円＋税　B5 判

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

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



臼谷三郎・橋本康孝・友田　孝　共著
3,200 円＋税　A5 判

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

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．

山岳トンネルの新技術



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．

ジオテキスタイル設計マニュアル



T. A. Haliburton・J. D. Lawmaker・
V. C. McGuffer　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，マンガンノジュールの鉱物資源，また，海洋エネルギーなどの開発と利用についてまとめた．

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．

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．

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．

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．

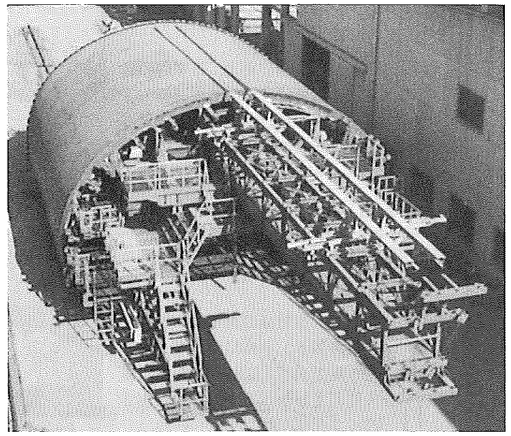
(株)土木工学社
〒 162-0832　東京都新宿区岩戸町 16　メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888　Fax: 03 3267 2807

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

東和機電工業株式会社 頴田(かいた)工場

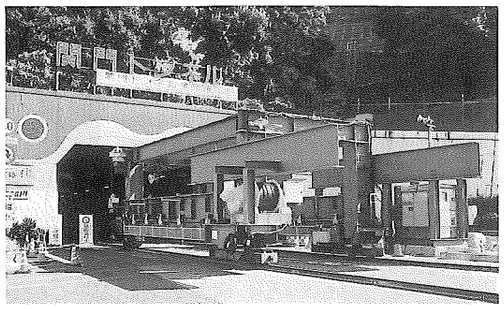
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田(せいた)2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

● 中流動コンクリート用ステンレスフォーム
　クラウン部締め固めバイブレーター

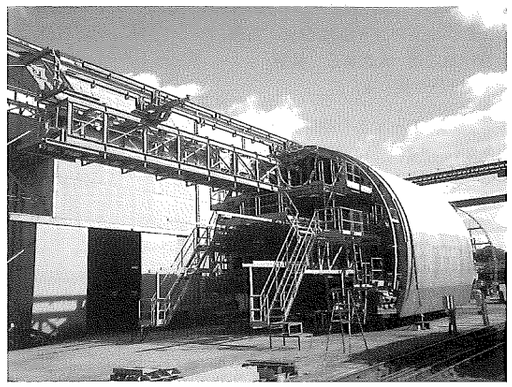


◎強靭なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは，前進後進同一の力で抜き差し出来ます．
◎円周方向にスライドするガイドセルは，クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます．
◎ガイドセルの上昇・下降により，任意の高さを締め固める事が出来ます．

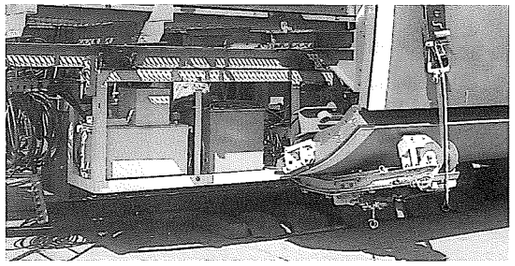
● トンネル床版撤去架台
　勾配対応四駆型(関門トンネル)



● 新幹線用ステンレスフォーム

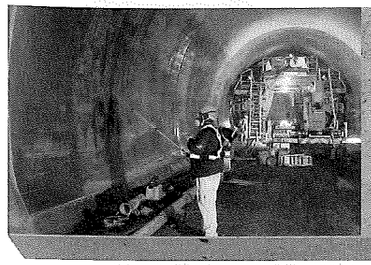


● 自動ケレン装置



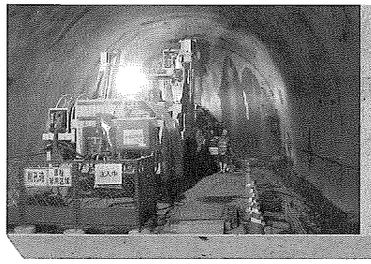
- ベルコン通過型スライドフォーム(特許)
- ロータリー式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサー及び警鳴装置
- クラック防止用ラップウレタンゴム
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充塡センサー
- 2段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セントル
- 横移動式桟橋

常に顧客のニーズに応えるため，安全性と施工効率を追求し，高品質な製品を納めさせて頂きます．



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





様々な現場で力を発揮する注入材、裏込材“最適な選択をご提供”

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

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