4年３月１日発行第43巻第３号
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

技術提案に好適!!
デンカの特殊混和材

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

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
高強度吹付け
TYPE-10S
ョットS
長期強度発現性
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

24年３月１日発行(毎月１回１日発行)　第43巻第３号　通巻499号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 3

vol. 43
no. 3
2012

Tunnels and Underground

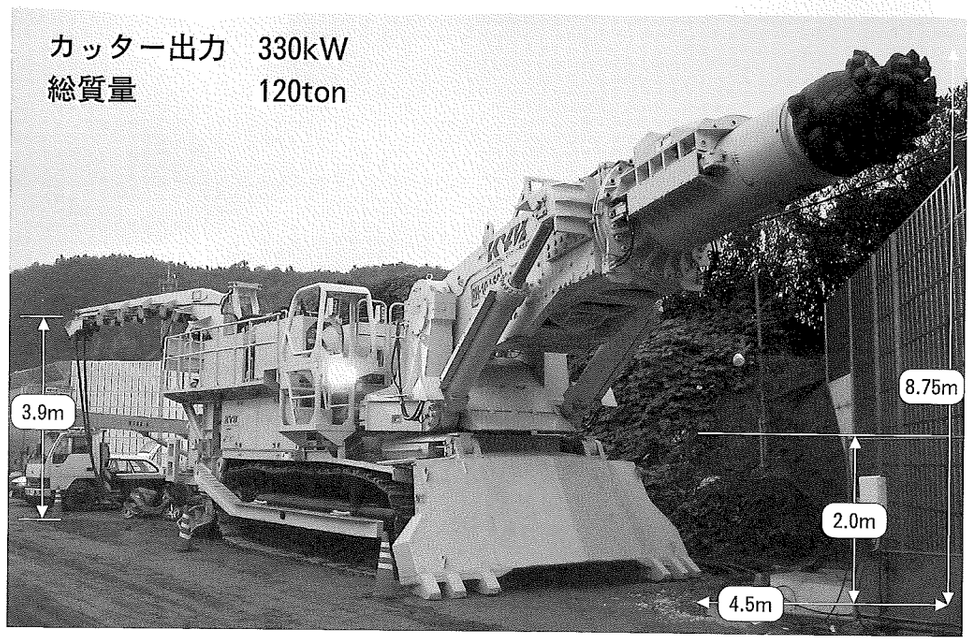
長距離掘進SENSのカッタビットの摩耗状況を中間立坑で確認
シラス地盤に超大断面378m²の地中分岐部を建設
隣接工区の実績を再評価し駅部大断面を多段ベンチにより経済的に施工
φ3,500㎜の先行シールドからφ1,800㎜の分岐シールドを発進
ブロック積みトンネルの覆工耐力評価法の提案

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





主な特長

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

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

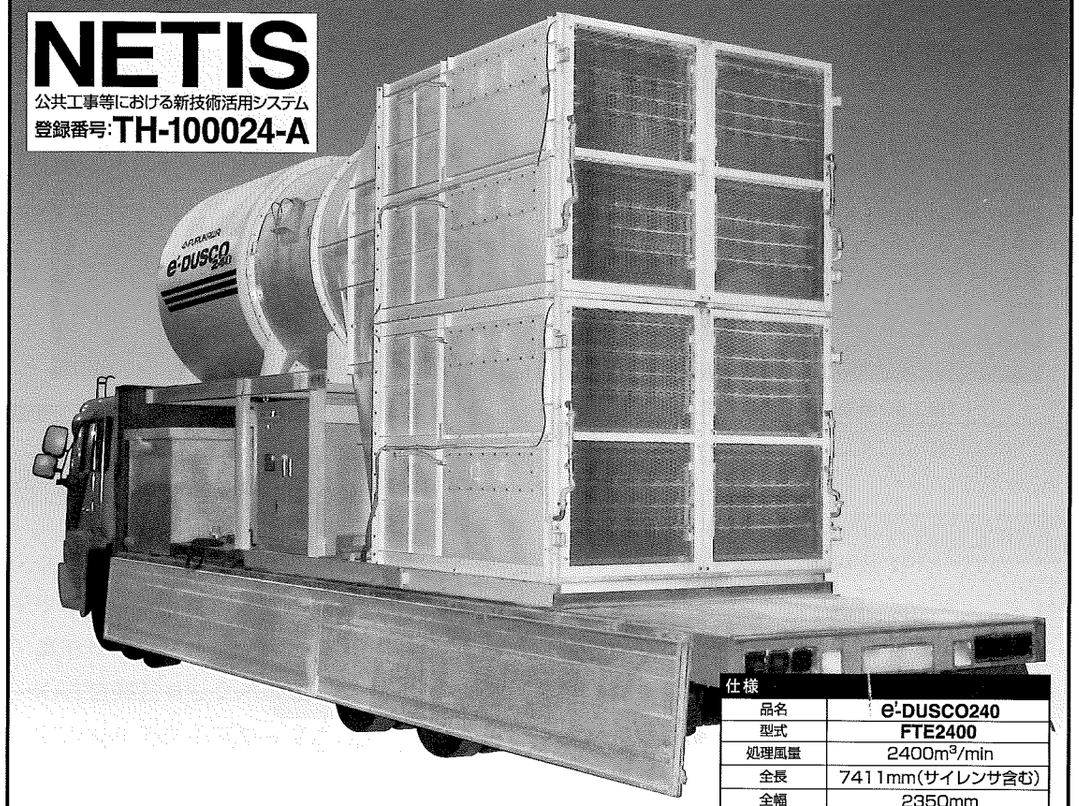
本社・営業 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444
カスタマーサービス 相模事業所 〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586
大阪支店 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号TEK第二ビル TEL 06-6387-3371
西部支店 〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多 TEL 092-411-4998
三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出長常町1129番地11 TEL 059-234-4111

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CO_2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。

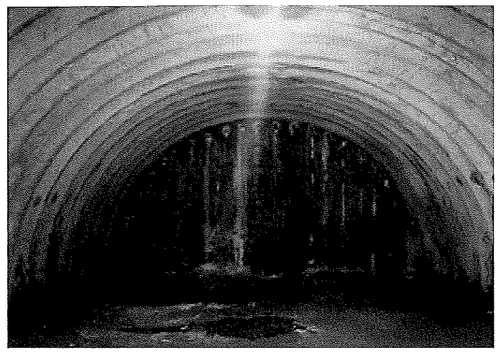
古河機械金属グループ
古河産機システムズ株式会社 URL:http://www.furukawa-sanki.co.jp/

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

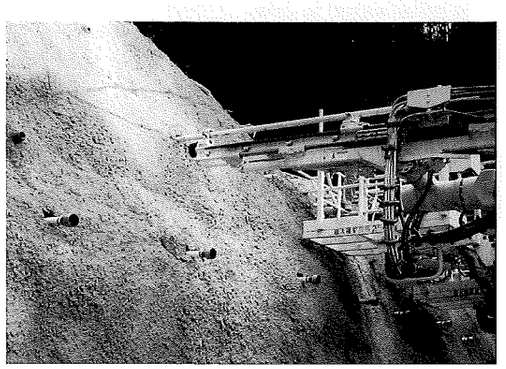
大阪支店 ☎06-6344-2532 名古屋支店 ☎052-561-4580 札幌支店 ☎011-784-1179
東北支店 ☎022-221-3532 九州支店 ☎092-741-5193 小山工場 ☎0285-23-8662

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

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！

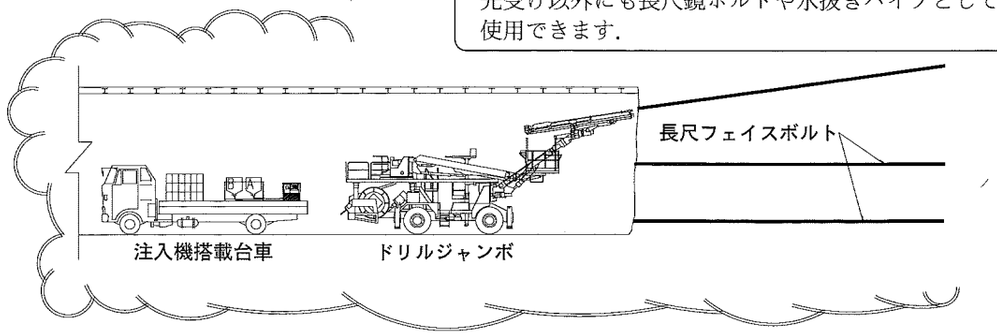
- プロトタイプ
- 無拡幅タイプ
- 最小拡幅タイプ

小口径二重管削孔システム

鋼管径φ89.1㎜〜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)

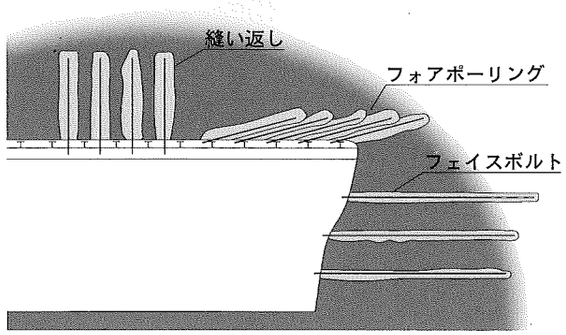
■ウレタン注入材
- ガンバンスーパーS

■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

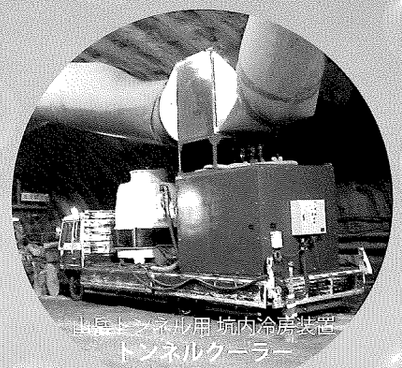
そろそろ夏の対策を考えてみませんか？
快適環境を応援します！



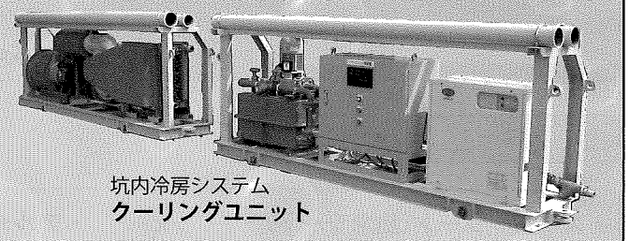
冷房除湿も暖房も可能
モービルエアコン



大風量ミストファン
FA-COOL



山岳トンネル用 坑内冷房装置
トンネルクーラー



坑内冷房システム
クーリングユニット

さまざまな冷房ニーズにお応えします。

- ●地下工事、建築工事、除湿冷房、環境改善
- ●大型テントなどイベント会場、海の家など仮設冷房
- ●大型店舗、工場、倉庫の夏場ピーク冷房
- ●ホール・体育館の冷房、オフィスビル故障時対応
- ●船舶キャビン、大型船槽、タンク内冷房
- ●ブラスト、塗装の品質向上、除湿、防錆
- ●電力ケーブル洞道、変電所点検時冷房
- ●農事園芸ハウス温度のピークカット冷房
- ●空港整備ハンガー内、スポット冷房、機内冷房

※その他幅広くお客様のニーズに合わせた冷房の設計・ご提案をさせて頂きます。

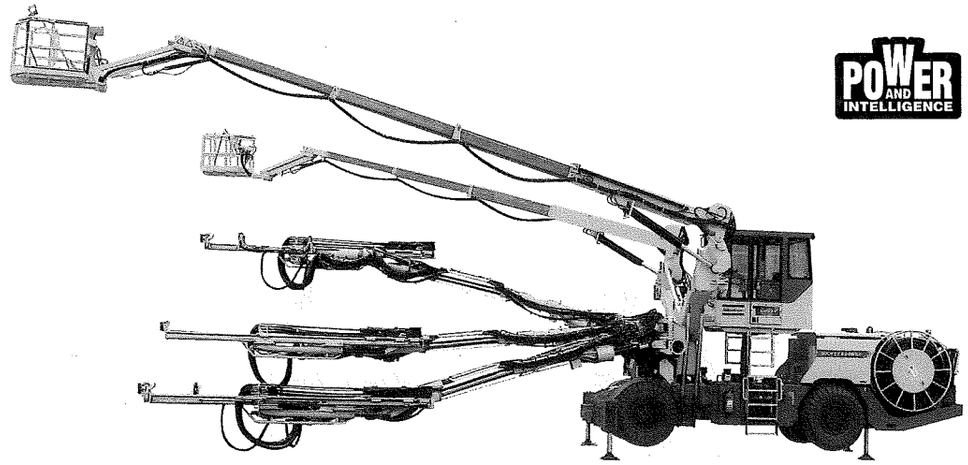
おかげさまで 35 ANNIVERSARY

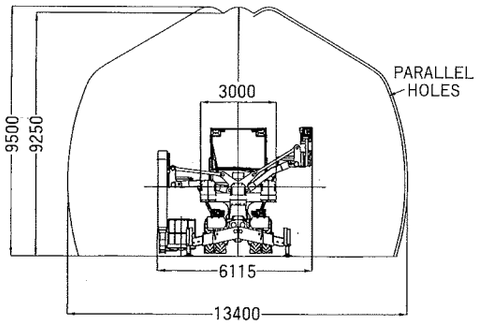
最適環境を創造する
株式会社 流機エンジニアリング

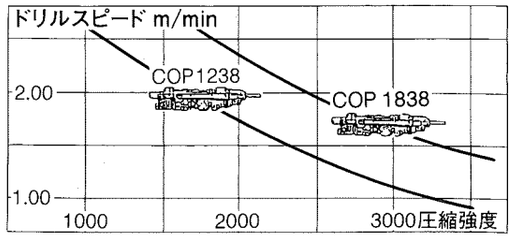
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI 聖坂ビル
ＴＥＬ：03-3452-7400
ＵＲＬ：http://www.ryuki.com/
E-mail：eigyobu@ryuki.com

アトラスコプコ・コンピュータジャンボ
The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B
COP1838油圧ドリフター搭載
3ブーム・2バスケット

POWER AND INTELLIGENCE







DRILL
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

ウォータータイトトンネル 防水システム

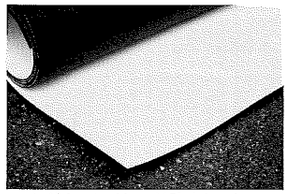


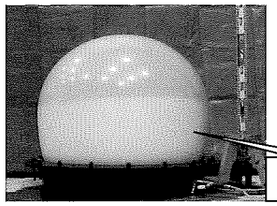
シート防水材

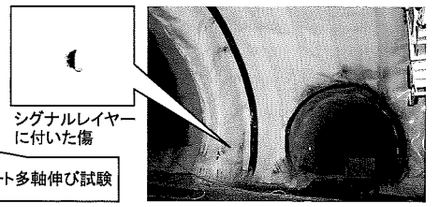
■ **KFCタイトライナー**
追随性・溶着性・耐破損性の優れた防水シート

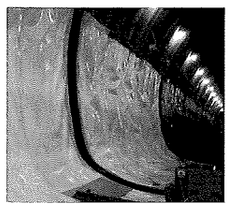
■ **シグナルレイヤー**
防水シート損傷部の発見が容易なシグナルレイヤー付防水シート

■ **裏面緩衝材**
長繊維不織布から透水性の優れた立体網状体まで豊富なバリエーション


シグナルレイヤー付防水シート







基本システム

■ **ウォーターバリア**
打継目からの漏水防止および漏水範囲の限定

■ **コンタクトグラウト**
被圧された地下水から防水シートの損傷防止

漏水対策システム

■ **ストリップグラウト**
打継目からの漏水対策
漏水発生ブロックの特定

■ **リペアシステム**
クラックや打継目からの恒久止水対策

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー
土木資材事業部(東京) TEL(03)3570-5223 FAX(03)3570-5233
土木資材事業部(大阪) TEL(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755

1本1本が大切！ だから

次世代 防食 ロックボルト

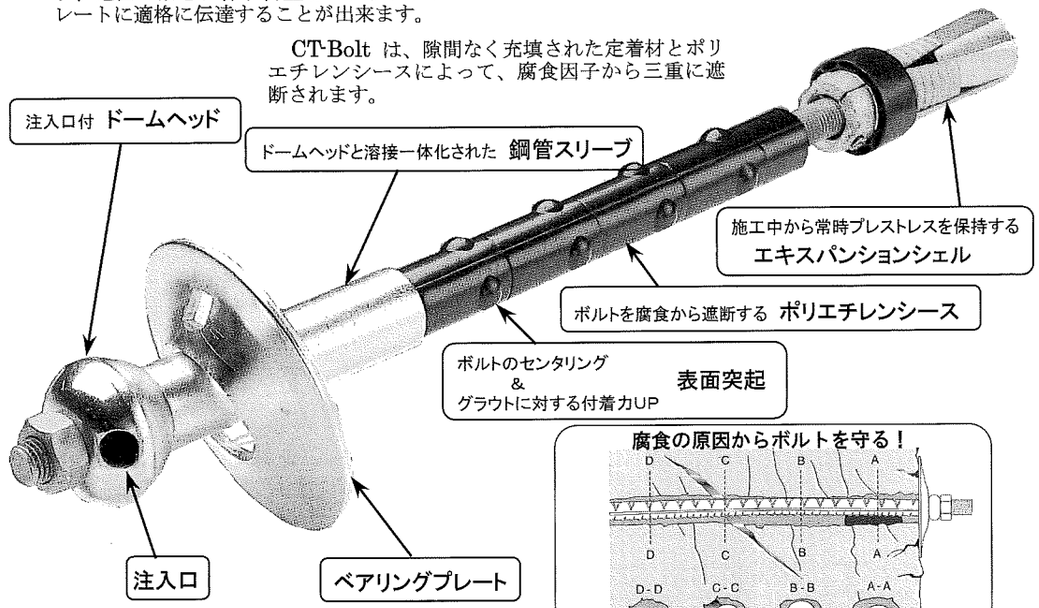
CT-Bolt

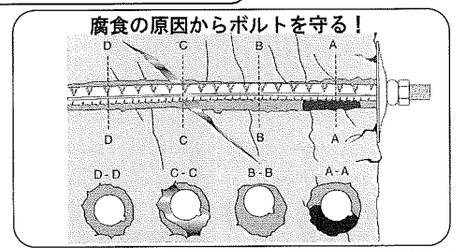
Ørsta Stål

通常施工により超長期支保

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

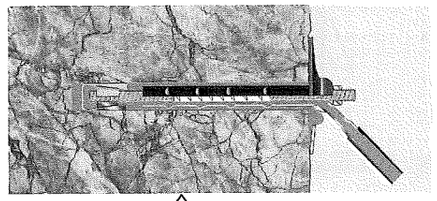
CT-Bolt は、隙間なく充填された定着材とポリエチレンシースによって、腐食因子から三重に遮断されます。





CT-Bolt の定着は・・

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



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

完全充填

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

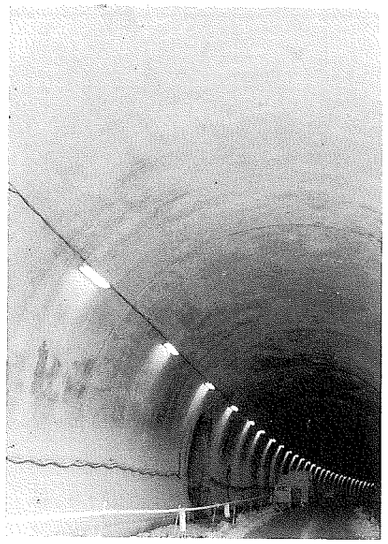
総発売元 Your Fastening Partner

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

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

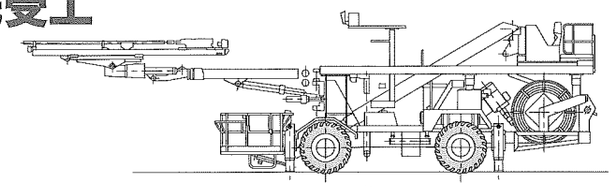
◆土木資材の綜合プランナー◆

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)

環境対応型長尺鋼管先受工

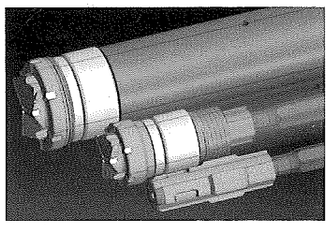
TOHO AGF System

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

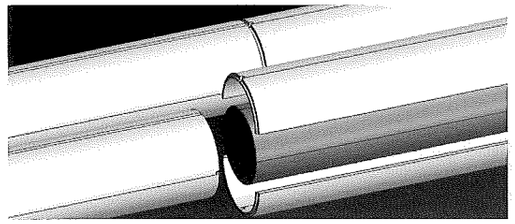


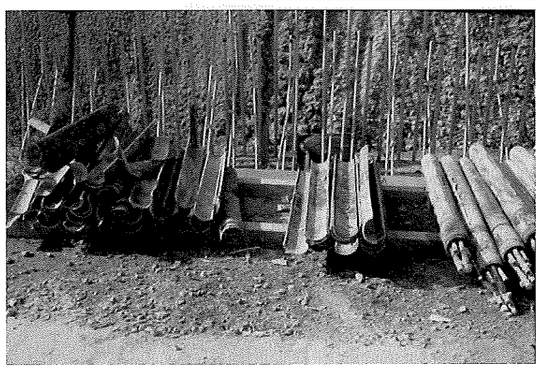
AGF-Me工法

- **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。



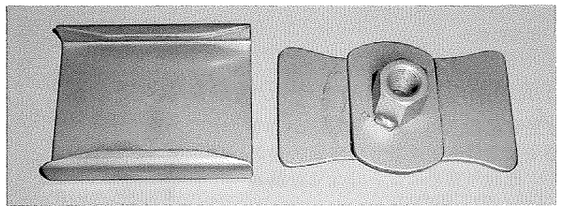


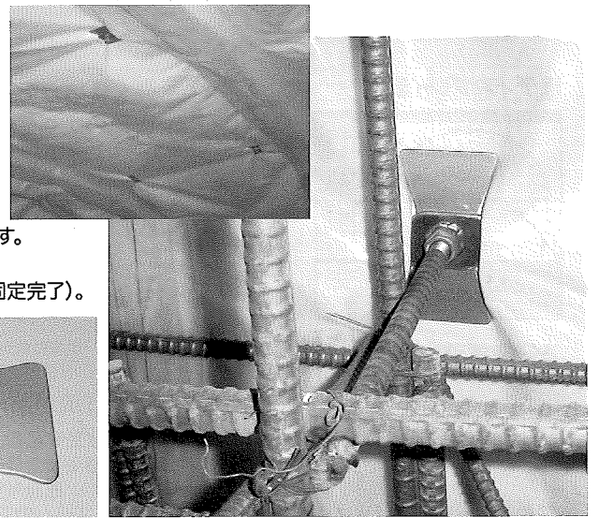
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

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

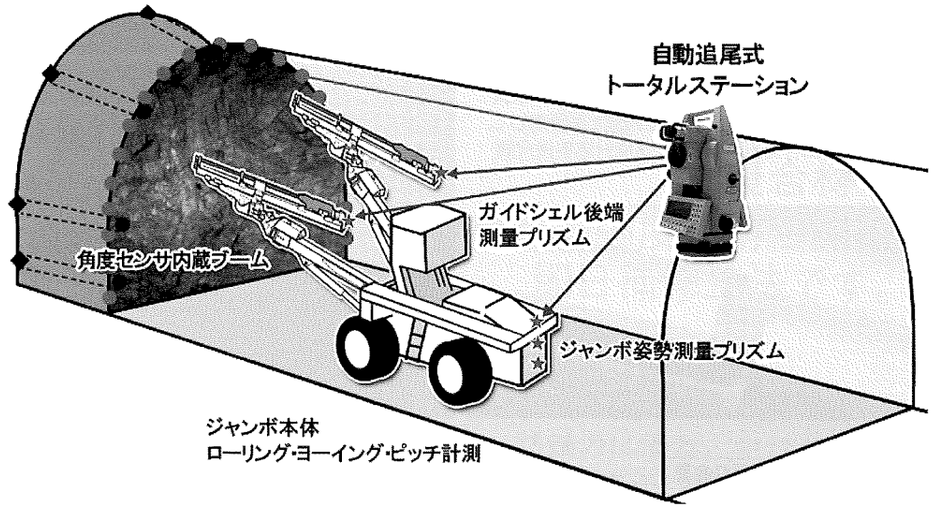
株式会社 トーキンオール
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel:**044-333-0012** Fax:**044-333-0321**
(お問い合わせ先)

NETIS登録番号:KK-100049-A

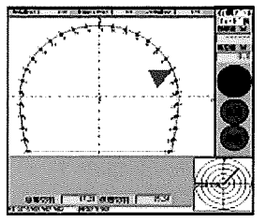
自動追尾式余掘り低減システム

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

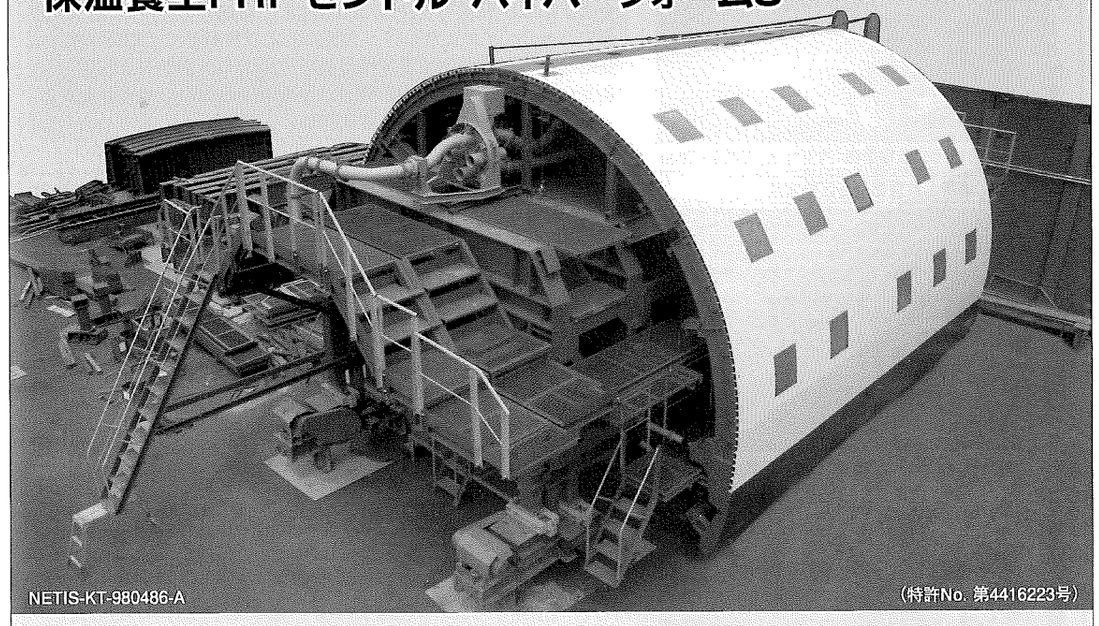
TEL:047-371-3191　FAX:047-371-3190

古河機械金属グループ
FRD FURUKAWA 古河ロックドリル株式会社

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

高品質・高耐久
覆工コンクリートを目指して

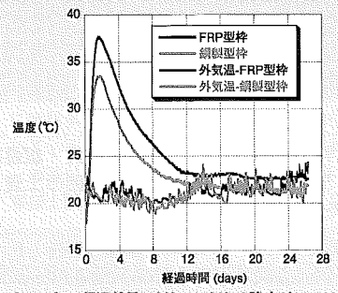
保温養生FRPセントル ハイパーフォームG



NETIS-KT-980486-A　(特許No. 第4416223号)

■覆工コンクリート温度の経時変化

[宮崎大学との共同研究により、㈱フジタ 古江トンネル南にて測定]



◎3~4℃の保温効果により、コンクリート強度が15~20%向上

■鋼製型枠との比較

項目	単位	ハイパーフォームG	鋼製型枠
基準サイズ	mm	900×10500×55	300×1500×55
重量	N／㎡	145.1	405
比重		1.8	7.8
曲げ強度	MN／㎡	294.2	333.4
剛性E・I	N・㎡	3.66×10^{4}	5.39×10^{4}
熱伝導率	W／(m・k)	0.30	46.5
線膨張率	1／℃	1.0×10^{-5}	1.1×10^{-5}
光線透過率	%	2.2	0

特徴

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

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

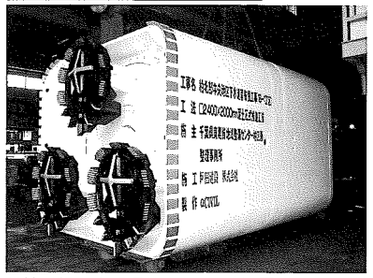
※九州営業所は下記の住所に移転しました。

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

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



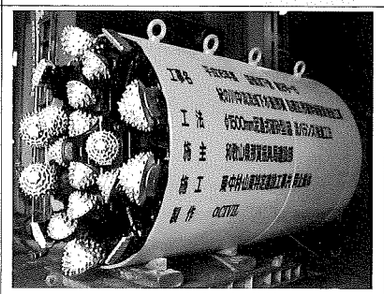
φ1016㎜長距離パイプルーフ掘進機（リターン回収型）

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

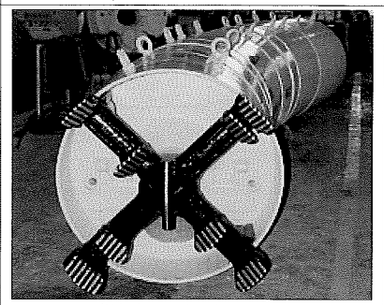


φ1500㎜破砕型掘進機

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

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

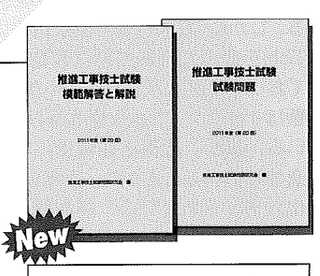
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/　月刊推進技術　検索

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



New

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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい トンネルの発破技術

監修 山田隆昭　　B５判　76頁　定価1,500円＋税（送料別途）

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで！
振動や騒音の環境問題を詳述!!

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

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

〈主要目次〉

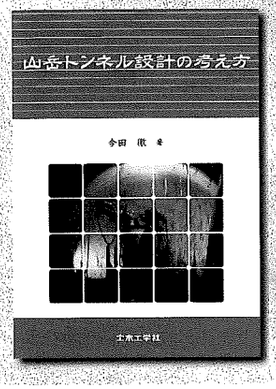
第１章　現状と展望，第２章　火薬類の基礎知識，第３章　発破技術の基本，第４章　新しい発破技術，第５章　発破と環境問題，資料

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

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

新　刊　案　内

山岳トンネル設計の考え方



東京都立大学名誉教授
今田　徹　著

決定版

B５判　183頁　上製本　定価3200円＋税

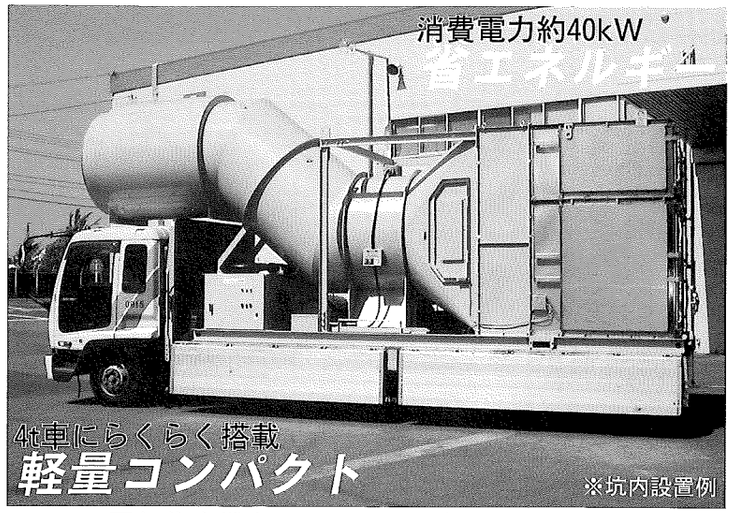
山岳トンネルを設計するうえでの考え方は勿論，
設計の留意点などを平易にまとめている．
山岳トンネル工事に携わる諸兄の必携書である．

《主要目次》

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

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

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



National電気集塵機クリンジェット(2,000m³/minタイプ)

RENT

取扱レンタル商品

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

株式会社 レ ン ト　　特機営業課　担当者　工藤

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 3-12-9 NIビル 8 階　TEL：03-5642-6750　FAX：03-3249-0415

URL：http://www.rent.co.jp　E-mail：kudo.yuji@rent.co.jp



トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ



特許第1610830号

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

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

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

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

中濃産業株式会社
代表取締役 土田義弐

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



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。

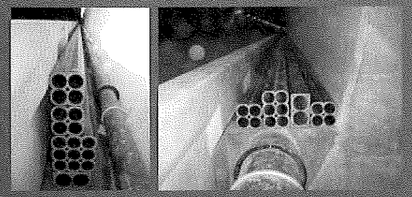
www.oricaminingservices.com にアクセスして頂ければ、トンネル現場の最新技術をご覧になることができます。

ORICA MINING SERVICES

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

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

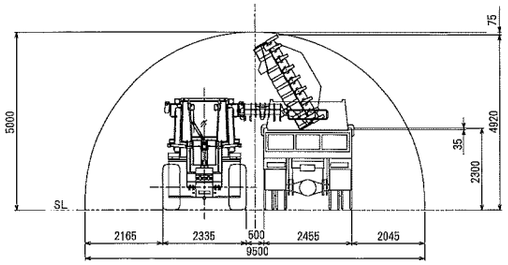
本社・工場　愛知県知多郡武豊町字上山一丁目76番地　〒470-2387
TEL(0569)35-2360(代)　FAX(0569)35-4087
東京支店　東京都渋谷区恵比寿一丁目21番8号セラ51ビル　〒150-0013
TEL(03)3442-6181　FAX(03)3442-1691
大阪支店　大阪市都島区御幸町1丁目3番1号　〒534-0012
TEL(06)6922-6991　FAX(06)6922-2498



サイドダンプ

CAT 924H

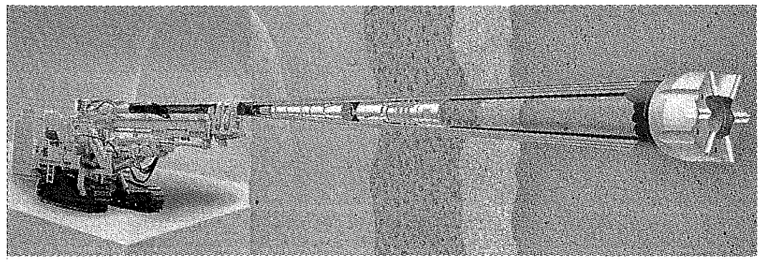
1.5m³



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

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

〔好評発売中〕
わかりやすい土木地質学



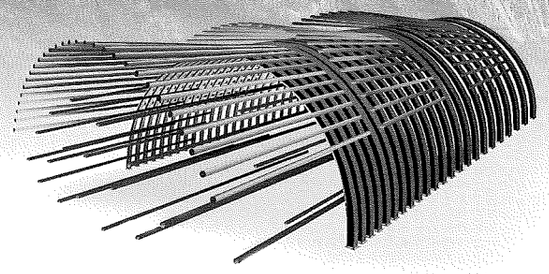
大島洋志 監修
Ｂ５判　209頁　本体価格2,500円　〒340円

主要目次
序　編　トンネルと地質の関わり
1．地質学とは，応用地質学とは　2．トンネルと地質
第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学
1.地球の構造　2.地層や岩石の分類　3.地質作用　4.地質構造　5.地形と地質との関わり　6.日本の地質　7.地下水
第Ⅱ編　トンネル工事と地質条件
1.路線選定と地質条件　2.トンネル工法・掘削工法と地質条件　3.掘削方式と地質条件　4.トンネル掘削に伴う地質的現象
第Ⅲ編　地質調査法
1.地形・地質調査一般　2.既存資料調査　3.空中写真判読　4.地質路査　5.弾性波探査　6.電気探査　7.その他の物理探査法
8.ボーリング調査　9.ボーリング孔を利用して行う調査　10.室内試験　11.調査坑調査(施工・維持管理段階の調査含む)
12.水文調査・地下水調査　13.立地条件調査
第Ⅳ編　工事を対象とした地質調査の進め方
1.調査の基本　2.地山条件の調査の流れ　3.トンネル工事のための地山評価法　4.調査の成果

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

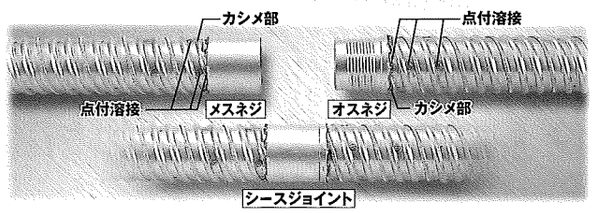
株式会社 土木工学社
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話　(03)3267-2888（代）　振替00110-8-190072

ユニークな発想と高品質・自信の価格



FIXチューブ工法

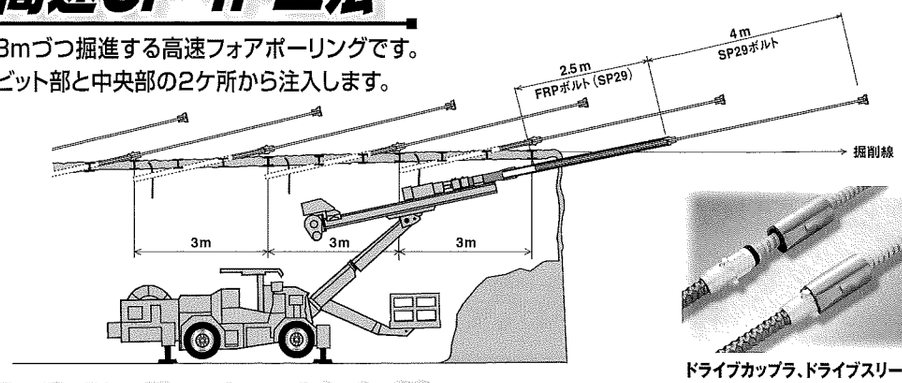
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと“**FIX**”します。

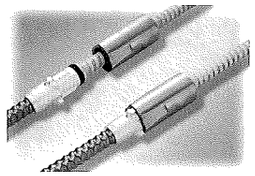




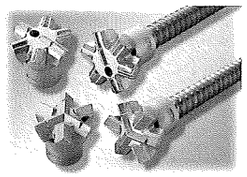
高速SP-IF工法

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



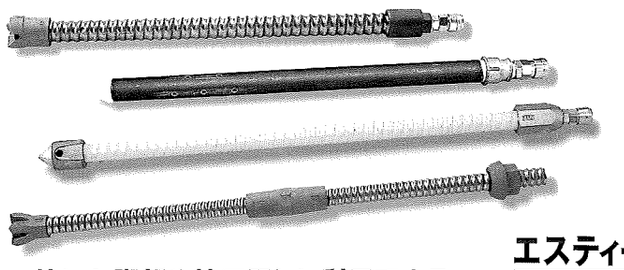


ドライブカップラ、ドライブスリーブ



φ65mm ロストビット(SP29)

自穿孔ボルト&注入管



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

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

濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

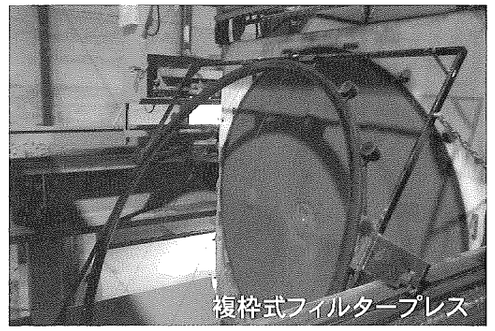
環境にやさしい

TWS型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0㎥/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　3月号目次　Vol.43, No.3, 2012 Mar.

■巻　頭　言

技術を啓き，つなぐ
廣木　良司……5

■研　　究

ブロック積みトンネルの覆工耐力評価法の提案
岡野　法之……55

■施　　工

長距離掘進SENSのカッタビットの摩耗状況を中間立坑で確認
―北海道新幹線　津軽蓬田トンネル―
三上美輝雄・田中　淳寛・玉井　達毅・小林　孝志……7

シラス地盤に超大断面378m²の地中分岐部を建設
―鹿児島東西道路　新武岡トンネル―
五反田信幸・緒方　秀敏・多宝　徹・日向　哲朗……15

隣接工区の実績を再評価し駅部大断面を多段ベンチにより経済的に施工
―仙台市高速鉄道東西線　亀岡トンネル―
今井　正樹・河村　和信・後藤　靖彦・鶴原　敬久……27



CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

φ3,500㎜の先行シールドからφ1,800㎜の分岐シールドを発進
―東京都下水道　墨田区八広一，四丁目付近再構築―
伊藤　雄二・笹川　亮・武富　達也……47

■連 載 講 座

最新推進工法技術(10)
―推進工法の計画設計(2)―
「最新推進工法技術」連載講座小委員会……65

■現場だより

「風光明媚な由緒ある地」京都洛西，大原野春日町より
内田　渉……14

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

難しいトンネルほど完成の喜びは大きい
前田　隆……39

■資　　料

土木情報
編　集　部……26

トンネルワールドニュース
JTA国際委員会……72

トンネルジャーナル
編　集　部……54

海外文献速報
JTA国際委員会……73

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……64

■会　　報

会　報
日本トンネル技術協会……74

【表紙説明】

シラス地盤に超大断面378m²の地中分岐部を建設
―鹿児島東西道路　新武岡トンネル―

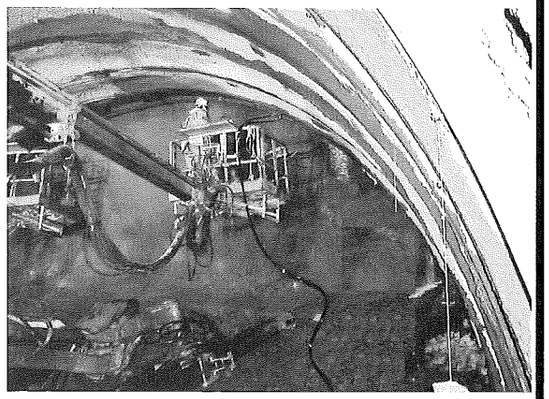


新武岡トンネルは，延長約1,500mを山岳工法で構築し，途中で本線トンネルとランプトンネルの2本に分岐する．分岐部では，本線トンネルを拡幅し，そこから2本のトンネルを発進するため，掘削断面積が378m²の超大断面となる．さらに，掘削対象のシラスは未固結の砂地盤できわめて軟質であるため，超大断面部の掘削においては，さまざまな対策が必要であった．写真は，超大断面終端部から本線トンネルとランプトンネルを発進させたところである．〔写真提供：国土交通省〕（本文15頁参照）

補助工法・注入材のことならティーエムシー

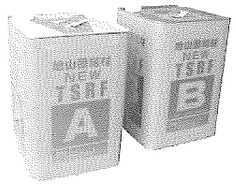
■AGF-OFP工法

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



■各種注入材

NEW－TSRF
(シリカレジン)
NEW－TBU
(ウレタン)



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

環境に配慮したリサイクルコンテナシステム

NETIS登録番号 ： KK-100048-A (2011/1登録)



◎リサイクルコンテナ(左)と現場への搬入風景

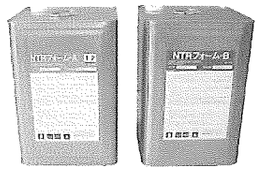


当社のリサイクルコンテナシステムなら、一斗缶の産業廃棄物処理がなくなるため、工事もスムーズに進みます。現場にも環境にもやさしいシステムです。

トンネル補修もティーエムシーにお任せください

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

NTRフォーム12(12倍発泡)
NTRフォーム30(30倍発泡)
NTRフォーム40(40倍発泡)
※その他の倍率等詳細は当社ホームページにてご確認ください。





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

TMC 株式会社ティーエムシー ホームページ ： http://www.tmc-net.com/
お問合わせ・お見積のご相談はお近くの当社事務所まで

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

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
改良建設企画課課長

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

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

濱 建 介
株式会社ANET取締役

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

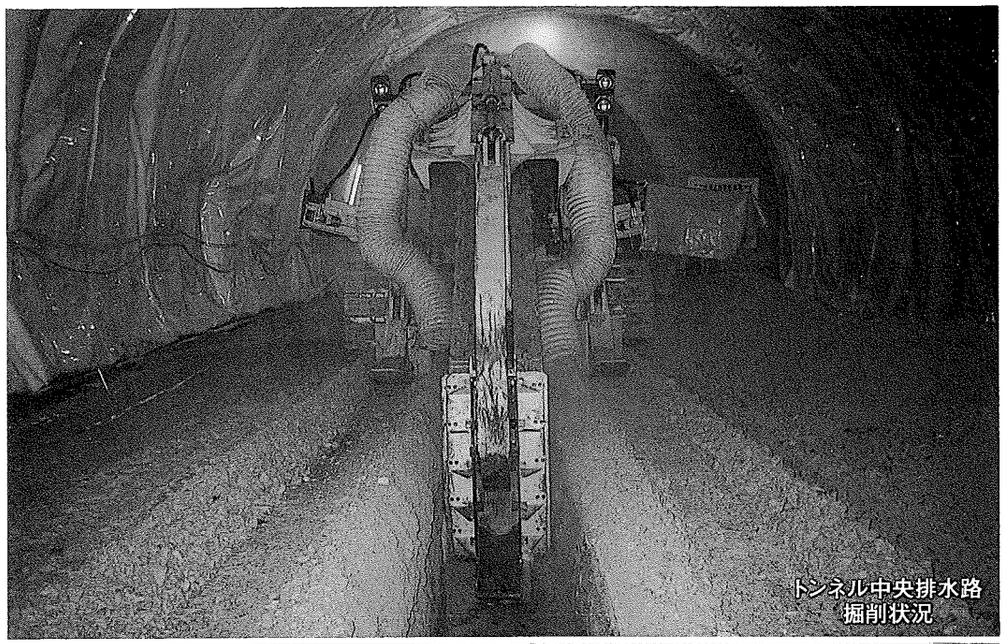
松 原 利 之
飛島建設株式会社建設事業本部
エンジニアリング事業推進部長

三 浦 克
株式会社竹中土木常務執行役員

領 家 邦 泰
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室参与

トレンチャー

硬質地盤の溝堀はトレンチャーをお試し下さい。


トンネル中央排水路
掘削状況


施工例


トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D7	40/30	60/35
メーカー名	テスメック	テスメック	マステンブルグ	マステンブルグ
掘削幅（最小）cm	45	75	70	70
掘削幅（最大）cm	60	100	110	110
掘削岩の硬さ（最大）	500kg/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改良建設部
計画担当課長

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
JR東日本研究開発センター
フロンティアサービス研究所次長

新谷康之
東京都下水道局建設部設計調整課長

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

藤村和彦
東京都水道局建設部工務課長

真下英人
独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ長

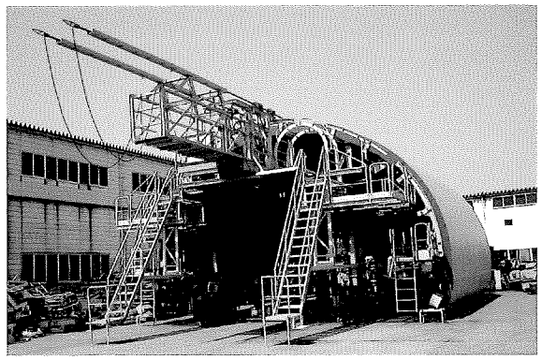
焼田真司
公益財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員

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，カーブ区間はケーブル式を推奨します）
- 覆工表面の縞模様を減らすことが出来る

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.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. 3　掲載概要

掲載頁 7

長距離掘進SENSのカッタビットの摩耗状況を中間立坑で確認

—北海道新幹線　津軽蓬田トンネル—

鉄道・運輸機構　三上美輝雄

津軽蓬田トンネルは，北海道新幹線新青森・新函館（仮称）間の青森県東津軽郡蓬田村から外ヶ浜町に至る延長6,190mの新幹線複線断面トンネルである．本トンネルは，当該区間の地質状況から，掘削切羽の安全性を確保するためSENS（シールドを用いた場所打ち支保システム）を採用し，施工を行っている．

津軽蓬田トンネルは，平成21年11月より掘進を開始し，平成23年６月末に約3,000m地点の中間立坑に到達し，カッタビットの点検・交換を行った．

本稿では，中間立坑到達時のカッタビットの摩耗状況について報告する．

Check the Cutter Bit Abrasion of SENS-TBM at the Intermediate Shaft—Hokkaido Shinkansen Tsugaru Yomogita Tunnel—

By Mikio Mikami, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

The Tsugaru Yomogita Tunnel is a Shinkansen double track tunnel of 6,190 m in length on the Hokkaido Shinkansen. It is located between Shin-Aomori station and Shin-Hakodate station(temporary name) in Yomogita-mura and Sotogahama-machi in Higashitsugaru-gun, Aomori Prefecture. This tunnel is built with SENS(a cast-in-situ concrete lining system using a shield TBM) in order to secure cutting face stability because of poor geological condition.

Excavation on the Tsugaru Yomogita Tunnel began in November, 2009 and had reached the intermediate shaft at the 3,000 m point at the end of June, 2011 when the cutter bit was inspected and replaced.

This report gives information on abrasion of the cutter bit upon reaching the intermediate shaft.



写真は津軽蓬田トンネル坑口部（青森方）

掲載頁 15

シラス地盤に超大断面378m²の地中分岐部を建設

—鹿児島東西道路　新武岡トンネル—

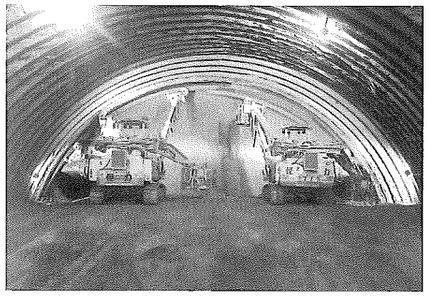
国土交通省　五反田信幸

南九州には，火砕流堆積物の未固結部分であるいわゆるシラスが広く分布している．鹿児島市の郊外と中心部を結ぶ鹿児島東西道路のうちシラス台地に構築される新武岡トンネルは，約1,500mの山岳工法トンネルで，途中で本線トンネルとランプトンネルの２本に分岐する．分岐部では，本線トンネルを拡幅し，そこから２本のトンネルを発進する．そのため，この部分は，日本の道路トンネルとしては最大級の掘削断面積378m²の超大断面トンネルとなる．さらに，掘削対象のシラスは未固結の砂地盤で，一軸圧縮強度20～100kN/m²程度と山岳トンネル掘削対象地山としては，きわめて軟質である．このため，超大断面部の掘削においては，さまざまな対策が必要であった．本稿では，この軟質未固結地山における超大断面トンネルの設計・施工について報告する．

Build Large Underground Space of 378 m² for Road Bifurcation in Shirasu—Kagoshima Tozai Highway Shin-takeoka Tunnel—

By Nobuyuki Gotanda, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

In south Kyushu, shirasu (unconsolidated pyroclastic deposits) is widespread. The Shin-takeoka Tunnel, which is to be constructed in a shirasu plateau on the Kagoshima Tozai Highway that links the centre of Kagoshima City with the outskirts, is a NATM tunnel of approximately 1,500 m. It splits into the main tunnel and a ramp tunnel halfway through. At the point of bifurcation, the tunnel cross section is widened and excauation splits in two. For this reason, this section is the largest of all extremely large cross-section tunnels of 378 m² in excavation area among road tunnels in Japan. Further, the shirasu to be excavated is unconsolidated sandy ground and it is extremely soft as mountain tunnel ground with unconfined compressive strength of 20–100 kN/m². These conditions required a number of different measures. This report gives information on design and construction of an extremely large cross-section tunnel in soft, unconsolidated ground.



写真は上半鋼製支保工建込み状況

掲載頁 27

隣接工区の実績を再評価し駅部大断面を多段ベンチにより経済的に施工
—仙台市高速鉄道東西線　亀岡トンネル—

鉄道・運輸機構　今井　正樹

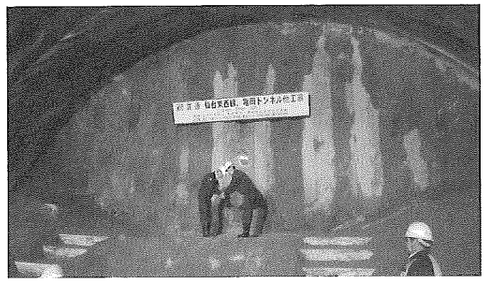
仙台市高速鉄道東西線の亀岡トンネルは，動物公園駅起点２km234m20～３km600m00間の延長1,275.8mの山岳トンネルであり，青葉山駅および亀岡トンネル開削部間に位置する複線断面トンネルである．亀岡トンネルのうち，起点方の青葉山駅接続部の駅部大断面区間は，駅設備として，１面２線の島式ホーム，コンコースや換気風洞を設けるための中床版を構築する構造となっている．駅部大断面区間の施工方法は，先に掘削を完了した青葉山駅起点方の青葉山トンネル駅部大断面の実績およびFEM解析による検討をおこない，当該区間の掘削工法は多段ベンチ工法を選定した．

本稿では，亀岡トンネル駅部大断面区間における掘削方法として選定した多段ベンチ工法の計測結果および青葉山トンネル駅部大断面区間中壁分割工法計測結果の比較について報告するものである．

Efficient Large-scale Tunnelling of Station with Multiple Bench Cut Method Based on Re-evaluation of Construction Records of Adjacent Tunnel—Sendai City Subway Tozai Line Kameoka Tunnel—

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

The Kameoka Tunnel on the Sendai Subway Tozai Line is a mountain tunnel of 1,275.8 m in length. This double track tunnel is located between 2km234m20－3km600m00 from the starting point at Dobutsu-koen Station and links from Aobayama Station to the cut-and-cover tunnel section of Kameoka. Aobayama Station in the Kameoka Tunnel has large cross section in order to house an island platform and two tracks, a concourse and a ventilation wind tunnel as station facilities in two-story tunnel cross-section.



写真は貫通式写真

For building large station tunnel, we re-evaluated construction records and FEM analysis results of Aobayama Tunnel which was already completed and has large cross-section, accordingly we chose the multiple bench cut method as the excavation method.

This reports comparison between monitoring results of the multiple bench cut method of the Kameoka Tunnel and the centre diaphragm method of the Aobayama Tunnel.

掲載頁 47

φ3,500㎜の先行シールドからφ1,800㎜の分岐シールドを発進
—東京都下水道　墨田区八広一，四丁目付近再構築—

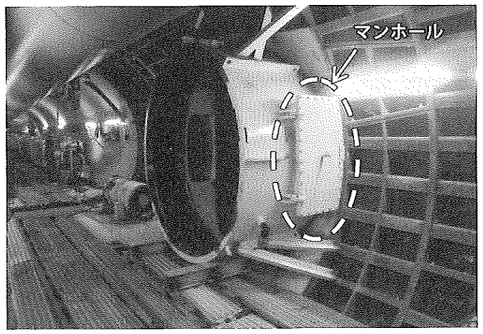
東京都下水道局　伊藤　雄二

墨田区八広一，四丁目付近再構築工事は浸水対策として下水道管の能力を増強するため，地先の下水を八広幹線に導く主要枝線を布設する．主要枝線のルートは既成市街地であり，道路交通量も多く，発進立坑に必要な作業用地がない．そのため，仕上がり内径3,500㎜の八広幹線シールド管渠坑内を発進基地として分岐シールドにより仕上がり内径1,800㎜の管渠を構築することになった．

本稿では，発進箇所が仕上がり内径3,500㎜の八広幹線シールド管渠坑内で，坑口からの出水対策や作業空間に制約がある条件下における分岐シールドの施工方法を報告する．

Launch 1800 mm Shield from 3500 mm Sewer—Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government Re-structure near Yahiro 1-chome and 4-chome, Sumida City—

By Yuji Ito, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government



写真は特殊坑口エントランス設置完了状況

Re-structuring works for sewerage system in the vicinity of Yahiro 1-chome and 4-chome, Sumida City are to install a large branch sewer that leads local sewage into the Yahiro sewer main in order to strengthen the capacity for inundation. The route of the branch sewer is under roads in an urbanized area. There is a high volume of traffic and no site for the starting shaft. For this reason, we decided to construct a sewer with an inner diameter of 1,800 mm by launching shield TBM from the Yashiro sewer main of inner diameter of 3,500 mm.

This report gives information on the shield launching under restricted conditions in work space and countermeasures against water inflow from starting pit.

掲載頁 55

ブロック積みトンネルの覆工耐力評価法の提案

(公財)鉄道総合技術研究所　岡野　法之

JR各社では，昭和初期まで用いられていた石・れんが・コンクリートブロックによるブロック積み覆工トンネルを現在も相当数所有し，供用されている．

無筋コンクリート覆工トンネルについては，これまで多くの研究がなされ，耐力評価や対策工設計法が体系的に確立され，実用に供されてきているが，ブロック積み覆工トンネルについては，それらに関する研究事例がほとんどない．

そこで，本研究では，ブロック積み覆工トンネルの耐力およびブロック積み覆工トンネルへ適用可能な新しい内面補強工の補強効果について，トンネル覆工模型載荷実験および数値解析により評価を試み，その手法について提案した．

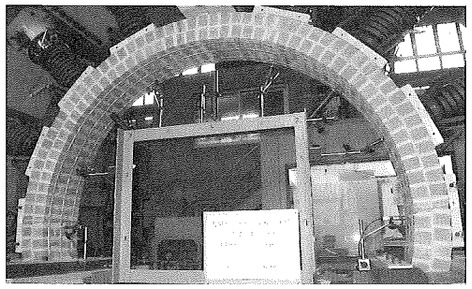
Evaluation Method of Lining Strength of Masonry Lining Tunnel

By Noriyuki Okano, Railway Technical Research Institute

All JR companies currently own and utilize a considerable number of masonry lining tunnels made of stone, brick and concrete blocks that were built up until the beginning of the Showa period.

Tunnels that are made with unreinforced concrete lining have been thoroughly researched up until now, its evaluation method of strength and design code of countermeasure works have been systematically established and have been put into practice, but there are almost no examples of research for masonry lining tunnels.

Accordingly, this research evaluated the strength of masonry tunnel lining and strengthening methods applicable to masonry tunnels with tunnel lining model loading tests and numerical analysis and proposed methods for these.



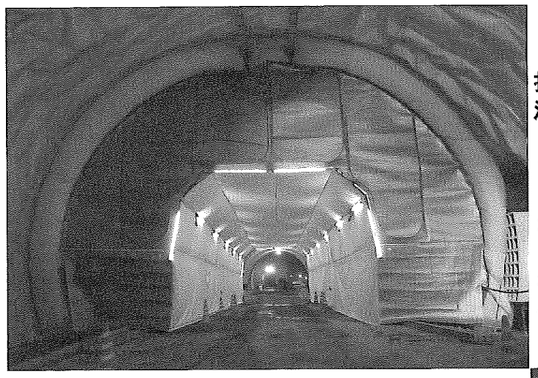
写真はれんが積み覆工模型とCFP補強状況

写真はれんが積み覆工模型とCFP補強状況

トンネルバルーン覆工コンクリート
トータル養生工法

長期耐久性に優れた高品質な覆工コンクリート施工を実現します！

NETIS登録
(No.HR－040005)



特許出願中

セントル温度養生バルーン

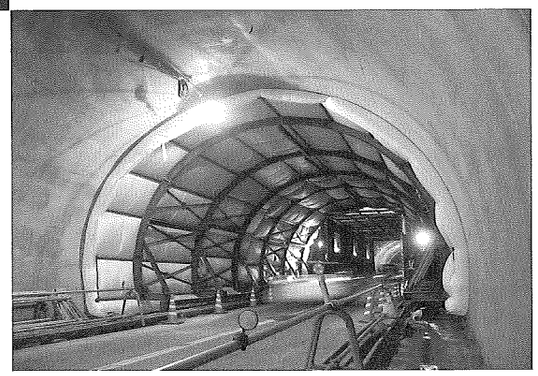
打設後から脱型までセントルをバルーンで覆い温度養生をします。

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

覆工養生バルーン

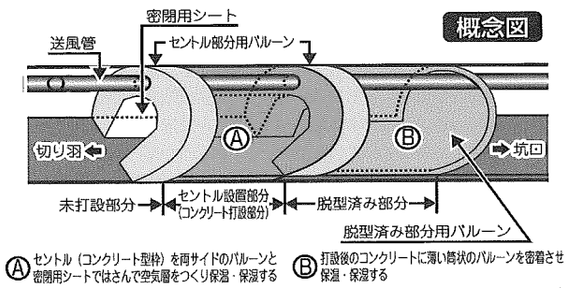
脱型後の覆工コンクリートを覆います。

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



特許3811478号

概念図



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

２００５年『日経ＢＰ技術賞　建設部門』受賞

岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO., LTD.
本社・工場　岐阜県本巣市十四条１４４番地
TEL 058(323)2000(代)　Fax 058(323)1176
東京支店　TEL 03(5836)0531　Fax 03(5836)0532
仙台営業所　TEL 022(259)2239　Fax 022(259)3664
九州営業所　TEL 092(713)5265　Fax 092(714)3028
URL http://www.gifukogyo.co.jp/

TOUKOU 株式會社 東宏
本　社　北海道札幌市東区北２０条東５丁目１番７号
TEL 011(742)3331　Fax 011(742)3333
東京支店　TEL 03(3683)8011　Fax 03(3683)8028
道東営業所　TEL 0155(34)6311　Fax 0155(34)8494
URL http://www.k-toukou.jp/

巻頭言

（題字　佐藤信彦会長）



技術を啓き，つなぐ

東京都交通局建設工務部長（本協会理事）
廣本良司

トンネルを築造する技術の進展は著しい．鉄道，道路，上下水道，エネルギーそして防災施設など過密な都市の社会基盤整備の切り札として大いに力を発揮しています．

これからも都市間輸送の切り札とも言える浮上式リニア新幹線や都市部の放射・環状道路，はたまた水害対策の切り札として引き続きトンネルの築造が行われ，地域実情に応じたさまざまな技術開発が展開されていくでしょう．

東京都交通局では，トンネル築造技術の発展に寄与しつつ，その恩恵を受け，地下鉄の建設を進めてきました．現在，地下鉄４線合わせて109km，毎日230万人のお客様にご利用いただき，都心部を巡る交通体系の一翼を担っています．

そのうち，京浜急行電鉄，京成電鉄，北総鉄道，芝山鉄道と都営の５社相互乗り入れをしている「浅草線」は，もっとも古く建設され，すでに営業開始から51年目を迎えています．また，リニアモーター駆動の鉄軌道として建設され，比較的新しい都心環状地下鉄「大江戸線」でさえ，すでに全線開業から11年を経過しています．このように古くなるばかりの鉄道トンネルでは，二つの大きな課題があると考えています．

一つはトンネルのメンテナンスの問題です．

レールや分岐器など軌道を構成する部材は，定期的に点検を行い，基準を超えた場合などに整備や補修，交換を行っています．しかし，トンネルの躯体は，日常的な目視点検や打音調査などから必要な補修を行っているものの，定期的な検査や，その記録の蓄積と劣化進行の把握を制度化したのは，10年ほど前のことに過ぎません．一方，地上の建築物は，延命を図るべく機能を維持するため，およそ10年20年というサイクルで大規模な改修を行う実績が増加しており，構造物の補修技術も進歩してきました．

そこで，学識経験者，鉄道総合技術研究所，東京メトロ（株），横浜市交通局とともに，コンクリートの含水率，中性化，圧縮強度，硫化水素浸透などの試験を行い検討した結果，河川下など経年や塩害により老朽化の著しい箇所で，局部的な剥落の防止や断面の修復を行うとともに，進展著しい技術を活用し，予防保全という考え方を踏まえ長寿命化対策として，漏水，排水，中性化対策の試験工事に着手したところです．今後，これらの効果を検証したうえで，平成24年度から浅草線全線にわたり順次対策を実施していく予定です．

トンネル躯体の大規模改修は，まだ始まったばかりです．営業を続けながらの工事ということもあり，対策の完了までには大変長い時間が掛かります．さらに，この対策により，どの程度構造物の機能が維持され，延命できるかという命題に対して，明快な解答は出せていません．そのため日常点検と定期検査の重要性はいささかも変わりはありません．また，今のところ地下鉄トンネルを造り替える選択肢はなく，これから50年，100年と構造物を機能させるため，新しい技術の開発に努め，着実かつ地道に取り組む必要があると考えています．

次にトンネルの耐震化の問題です．

東日本大震災では，大変多くの方々が亡くなられ，心からご冥福をお祈りいたします．

また，福島第１原子力発電所では，大津波により一部の原子炉ですべての電源を失い冷却に失敗，炉心が溶融，大量の放射能が漏出し，多くの方々が未だ避難を余儀なくされているなど，数多くの困難が生じています．まさに国を挙げて復興を果たさなくてはなりません．

さて，昨年の３月11日，平成23年第一回定例都議会の閉会日で，石原知事が四選出馬を表明した余韻の残る都庁の執務室で，凄まじい揺れに遭遇し，いよいよ来たかという実感とともに，交通人として終わりの見えない一日が始まりました．

都営地下鉄では，緊急地震速報を受け全線緊急停止．構築は軋み，凄まじいほどの漏水が見られ，各駅では，お客さまの安全確保に奔走しました．幸いなことに，電源の供給は途絶えず，また軌道，構築の点検からも運行を阻害するような被害はなく，およそ６時間後に大江戸線で運行再開し，順次他線でも再開，終夜運転に突入しました．

これまで阪神淡路，中越など幾多の地震を経験し，それを受けさまざまな補強も実施してきており，トンネルなどの地中構造物は地震に強いという定説とともに，間違いなく安全性は向上しています．

ただ，これまでの経験といっても地球規模の時間軸にすれば取るに足らない期間の経験であることも事実です．今後とも経験を上回る外力や異常な間隙水圧の変動など考慮しなくて良いとは言い切れず，地中構造物も更なる耐震性向上を目指すべきと考えます．

そこで，トンネルにどんな未経験の揺れがあるかイメージし，致命的で大規模な破壊を起こさぬよう，地盤に拘束された地下構造物の強み，弱みをしっかり認識し，地盤や断層などを十分解析して，構造物としてバランスが取れた粘りを加味することが要点と確信しています．交通局でも，まず，耐震補強から除外した高架構造の高さ４m未満の橋脚を補強するとともに，改めてトンネルの耐震性を検証し，対策の有無を判定する予定です．

今，日本のトンネルの掘進，耐震技術は，世界をリードし最先端であることは間違いないと思います．それぞれの立場から協力してさらに技術を磨き，この災害を乗り越え，日本の都市が世界のどの都市よりも安全であると宣言できるよう変貌を遂げなければなりません．

施工

長距離掘進 SENS のカッタビットの摩耗状況を中間立坑で確認

—北海道新幹線　津軽蓬田トンネル—

鉄道・運輸機構青森新幹線建設局工事第二課課長　三　上　美輝雄
鉄道・運輸機構青森新幹線建設局工事第二課係長　田　中　淳　寛
鉄道・運輸機構青森新幹線建設局外ヶ浜鉄道建設所担当副所長　玉　井　達　毅
鹿島・鉄建・梅林・田中組共同企業体次長　小　林　孝　志

1　はじめに

津軽蓬田トンネルは，北海道新幹線新青森・新函館(仮称)間の青森県東津軽郡蓬田村から外ヶ浜町に至る延長6,190mの新幹線複線断面トンネルである．

本トンネルは，当該区間の地質状況から，掘削切羽の安全性を確保するため「シールドを用いた場所打ち支保システム」(以下，「SENS」)を採用し，施工を行っている(**写真-1**)．

SENSは東北新幹線三本木原トンネルの約3,000m間で2004～2006年にかけて初めて開発採用されたものであり，概要としては「密閉型シールドにより掘削および切羽の安定を図り，シールド掘進(Shield)と並行して一次覆工となる場所打ちコンクリートライニング(ECL)によりトンネルを支保し，一次覆工の安定を計測により確認した後，漏水処理工と力学的機能を負荷させない二次覆工を施工(NATM)してトンネルを完成させる工法(System)」[1]としている．津軽蓬田トンネルでのSENS採用は二例目となる．

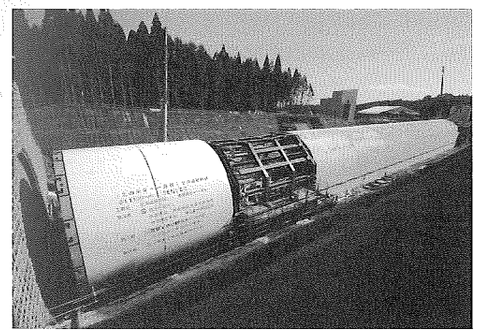


写真-1　津軽蓬田トンネル坑口部(青森方)

津軽蓬田トンネルは，約3,000m地点の中間部に排水設備などを設けるための立坑(以下，「中間立坑」)を計画しており，立坑到達時にはカッタビットの点検・交換を行うこととしている．

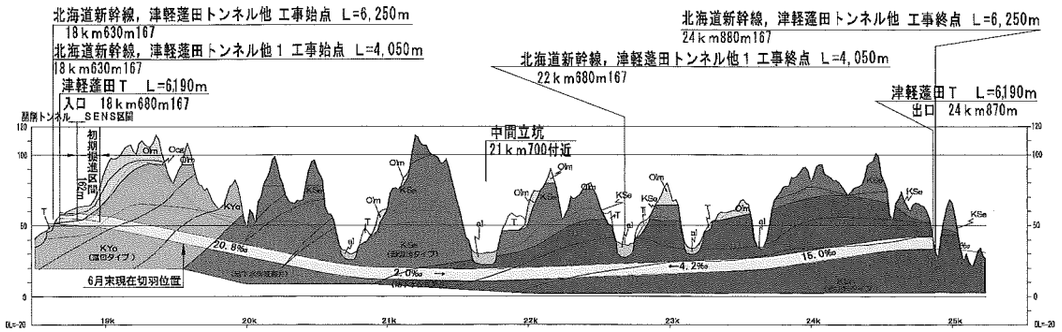
本稿では，中間立坑到達時のカッタビットの摩耗状況について報告する．

なお，工法採用に至った経緯については，過去に本誌Vol.40，No.4[2]により報告されているため参考にされたい．

2　工事概要

2-1　トンネル概要

延長6,190mの津軽蓬田トンネルの平面線形は全区間直線となっており，縦断線形は約3,000m地点の中間部を最深部とした線形である．



凡　例

地質系統		地層名	記号	岩相・岩質
第四系	完新統	沖積層	al	粘土，シルト，砂，砂礫
	更新統 段丘堆積物	低位段丘堆積層	T3	シルト，砂，砂礫
		中位段丘堆積層	T2	ローム，シルト，砂，砂礫
		高位段丘堆積層	T1	ローム，シルト，砂，砂礫
		岡町層	O	ローム，シルト，砂，砂礫からなる．未固結で分級が悪い． 礫は流紋岩，安山岩の他，泥岩，凝灰岩を伴う．

地質系統		地層名	記号	岩相・岩質
第三系	鮮新統 蟹田層	蓬田タイプ	KYo	未固結，塊状を呈する砂層主体の蟹田層． 泡沫不良の砂礫層，軽石混じりの凝灰質砂層を挟在する．
		瀬辺地タイプ	KSe	半未固結の凝灰質砂層～軟岩質の砂岩． 軽石に富む凝灰岩層や軽石・中粒砂の(斜層理)が特徴的な地層で，しばしば乱堆積様の砂礫～砂質シルト層の挟在が認められる．
		砂川沢タイプ	KSn	半固結～固結した砂岩層．局所的に軽石質～ガラス質凝灰岩薄層砂・シルト互層を挟在する細～中粒砂主体の砂岩層．生痕が認められる．

図-1　トンネル地質縦断図

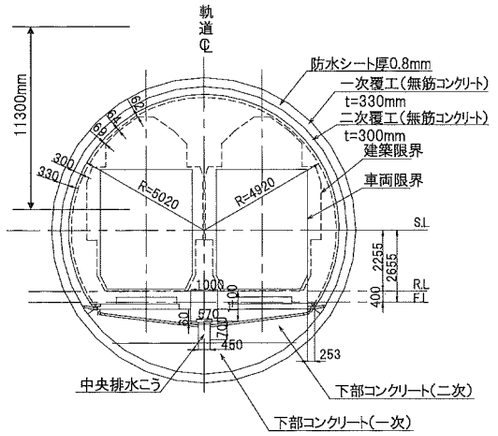


図-2　SENS 断面図

最大土かぶりは90mであり，起点方の小土かぶり部120m間は開削トンネル，残り6,070mはSENS区間となっており，途中5か所の土かぶり5～13mの沢部を通過する(**図-1**)．また，供用後は中間立坑でトンネル湧水を集水し，地上へ排水する計画としている．

新幹線複線断面に対応した内空径は10,040㎜，掘削外径は11,300㎜で，トンネル構造は一次覆工コンクリート(t=330㎜)，二次覆工コンクリート(t=300㎜)および下部一次コンクリート，下部二次コンクリートより構成される(**図-2**)．

2-2　地質概要

津軽蓬田トンネルの通過する地層は，未固結な砂を主体とする蟹田層が基盤であり，蓬田部層，瀬辺地部層，砂川沢部層に分類される．蓬田部層は，全体として固結度が低く帯水層となっており，層相は，側方または上下方向に大きく変化する特徴を有する．瀬辺地部層は，軽石質凝灰岩と中・細粒砂の薄互層によって特徴づけられる．砂川沢部層は，全体として均質で塊状無層理の固結した砂岩層からなる．

蟹田層の一部は細粒分含有率9％，均等係数3.0と非常に流砂を生じやすい砂層である．また，地下水位はおおむねトンネル天端以上(最大，天端＋34m)である．

2-3　SENS マシン概要

SENS マシンの側面図を**図-3**に示す．SENS の掘進メカニズムは，**図-4**に示すように，マシン後方に組み立てた内型枠と地山との間に形成される空間に一次覆工コンクリートを打設しながら掘進するのが特徴である．この一次覆工コンクリートは地山の土水圧に抵抗するため圧力を保持して打設される．

推進するための反力は，硬化した一次覆工コンクリートと内型枠との付着力から確保し，切羽側

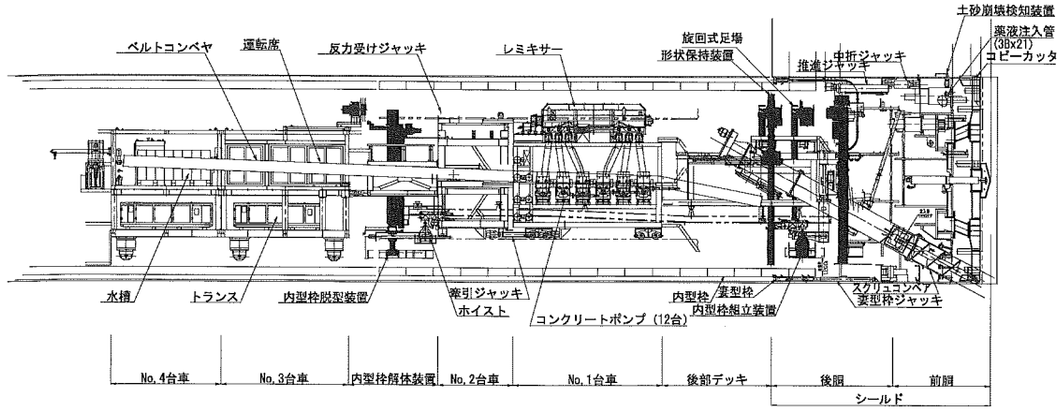
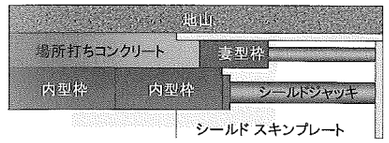
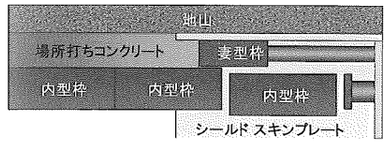


図-3　SENS マシン側面図

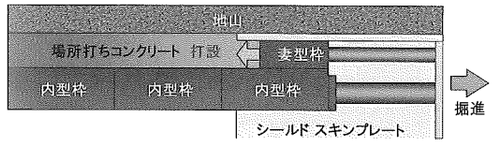
1．N-1　リング掘進・打設



2．Nリング　内型枠脱型組立



3．Nリング　掘進・一次覆工打設を同時施工



4．Nリング　掘進・一次覆工打設を同時に完了

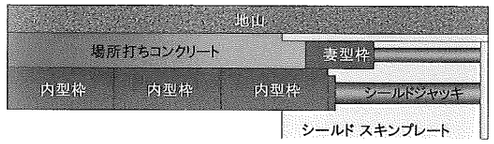


図-4　SENS の掘進機構

の内型枠に30本のジャッキを押し当てて掘進が行われる．

1リング1.5mの内型枠は10ピースからなり，16リング(予備1リングを除く)搭載され，後方で脱型した内型枠は，掘進に合わせて1リングずつ前方で組み立てられ，順次転用される．SENS マシンの仕様を**表-1**に示す．

表-1　SENSマシンの主な仕様

項　目	仕　様
シールド形式	泥土圧式シールド，外径φ11,300㎜
装備推力	105,000kN(3,500kN×30本)
中折装置	V形フラット中折式
カッタヘッド形式	スポークタイプ(メイン6本，補助6本)
カッタトルク	常用　22,108kNm(α=15.3) 最高　26,529kNm(α=18.4) インバータ制御
カッタビット	メインビット，特殊先行ビット，フィッシュテール，コピーカッタ×3基(うち2基予備)，レスキュービット×1基(予備)
スクリュウコンベヤ	内径1,200㎜，最大排土能力432m³
土圧計	チャンバ隔壁部7か所
妻型枠	加圧式妻枠 外径φ11,160㎜，内径10,640㎜ 装備推力：420kN×18本 打設孔：3B×12か所
内型枠	軸方向挿入・脱型式 装備数：16基(別途予備1基) 外径φ10,640㎜

2-4　カッタビット

SENS マシンのカッタビット配置を**図-5**に示す．カッタビットは，同一円周上の特殊先行ビットで30㎜，メインビットで20㎜の高低差をつけた(**図-6**)．掘進初期は高ビットが主に掘削し，低ビットの負荷を減少させることでビットライフを確保することとしている．

また，**図-5, 7**に示すように，最外周付近の特殊

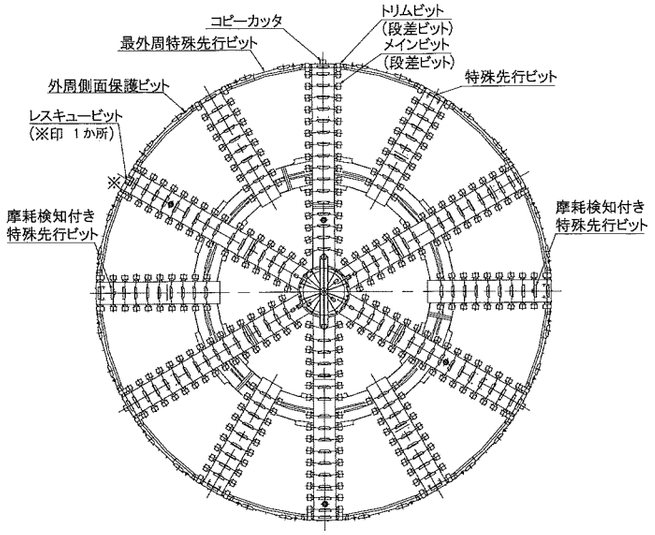


図-5　カッタビット配置

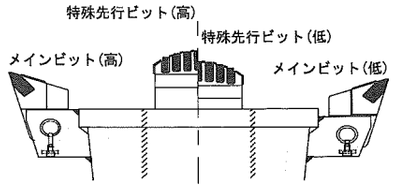


図-6　カッタビット詳細図

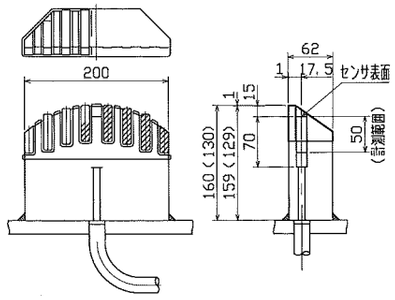


図-7　摩耗検知付き特殊先行ビット

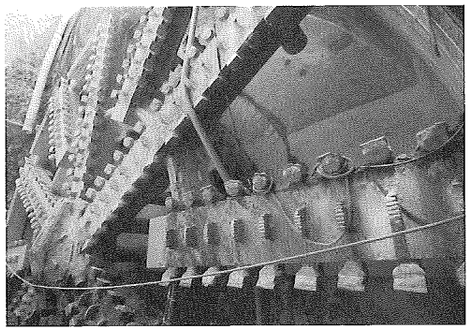


写真-2　カッタビットの摩耗状況

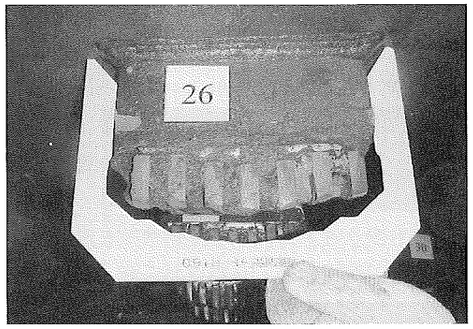


写真-3　特殊先行ビットの摩耗状況

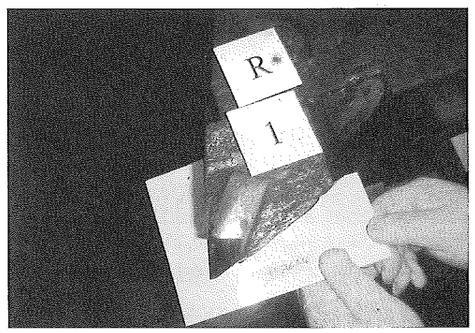


写真-4　メインビットの摩耗状況

先行ビットには摩耗検知装置を取り付けており，掘進中のビット摩耗量15～65㎜までを２㎜ごとに計測することとしている．特殊先行ビットは段差配置としているため，摩耗検知装置も高段と低段に各１個取り付けている．

3　カッタビットの摩耗状況

津軽蓬田トンネルでは，平成21年11月より掘進を開始し，平成23年６月末に約3,000m地点の中間立坑に到達した．立坑到達後，地表からSENSマシン前面の掘削を行い，カッタビットの点検・交換を行った．**写真-2～4**に立坑到達時のカッタヘッド，特殊先行ビット，メインビットの摩耗状況を示す．交換作業は平成23年８月末までの間で完了し，掘進を再開した．

3-1　特殊先行ビットの計測結果

3-1-1　特殊先行ビット全体

全158個の特殊先行ビットの摩耗量を**図-8**に示す．ビットの摺動距離が長い外周部へ向かって摩耗量が増大する傾向が確認された．また，パス数

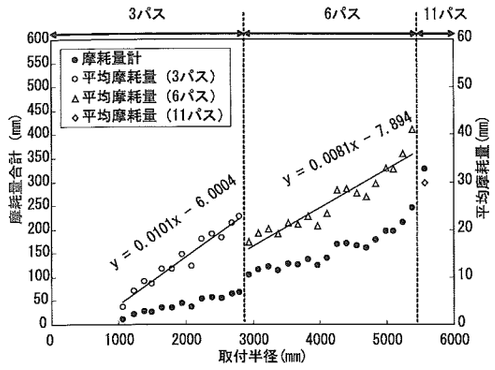


図-8　特殊先行ビットの摩耗量

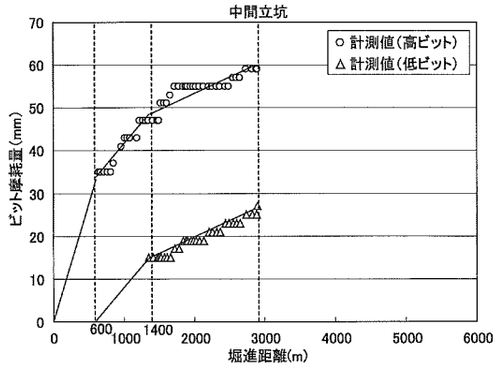


図-9　摩耗検知ビットの摩耗量

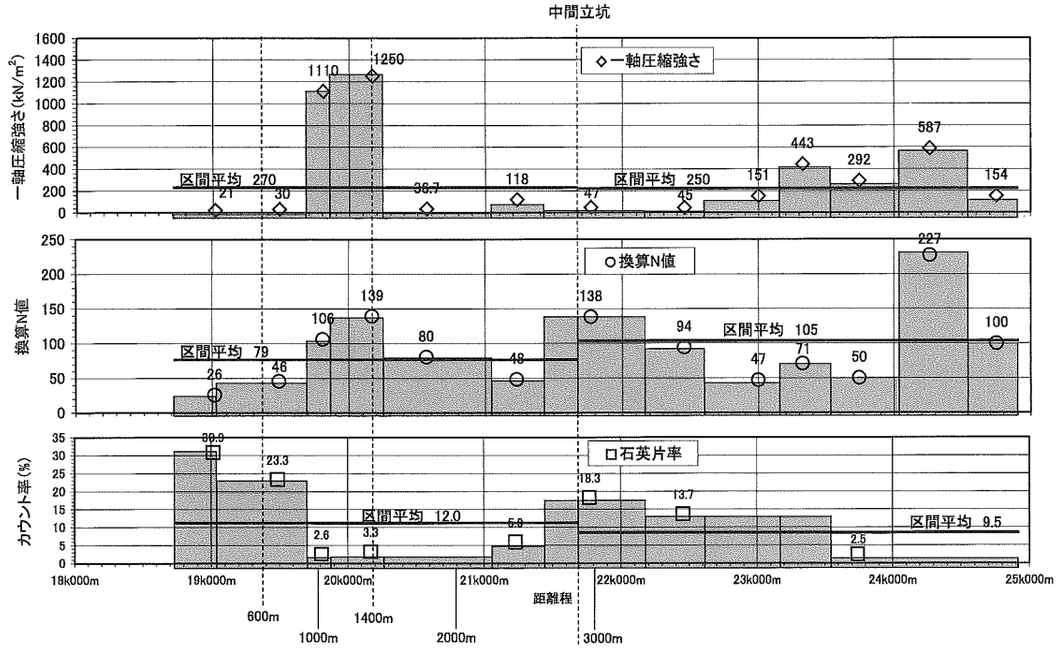


図-10　一軸圧縮強さ，換算*N*値，石英片率の距離程分布

(同一円周上に配置されているビットの個数)の増加に伴う摩耗低減効果も確認された．

3-1-2　摩耗検知ビット

摩耗検知ビットの計測結果を**図-9**に示す．高ビットが30㎜摩耗するまで低ビットは摩耗しない，また高ビットが30㎜摩耗する600m付近から高ビットと低ビットは同様に摩耗していくと仮定すれば，高ビット，低ビットの摩耗は図-7の実線のように予測されるが，おおむね計測値のプロットに近似していることが確認された．

表-2　カッタビットの摩耗量

項　目	特殊先行ビット	メインビット
当初設計	高ビット　45.7㎜ 低ビット　30.7㎜	高ビット　15.4㎜ 低ビット　7.8㎜
計測結果	高ビット　60.0㎜ 低ビット　28.0㎜	高ビット　12.0㎜ 低ビット　3.8㎜

また，1,400m以降，掘進距離あたりの摩耗量に低下傾向がみられるが，**図-10**に示すように，1,400m付近で一軸圧縮強さ，石英片率も低下傾向にあることから，地山条件が影響したものと考

えられる．

なお，**表-2**に示すように，今回の計測結果と当初設計の摩耗量を比較すると，高ビットの摩耗量が当初設計の約1.3倍となることが確認された．当初設計ではカッタ総回転数を66,000回転と想定していたが，当該地質は非常に固い砂層であり，実績では93,944回転(約1.4倍)となったことが原因と考えられる．

3-2　カッタ出力の計測結果

カッタ出力(カッタトルクとカッタ回転速度の積)の計測結果を**図-11**に示す．計測値のプロットのみでは変動が大きく，摩耗係数との比較が難しいため，摩耗係数の変化点に着目し，3区間に区分してその平均値を求めた(**図-12**)．

1,400m以降，カッタ出力の区間平均に低下傾向がみられ，摩耗係数の傾向と一致することがわかった．また，図-8に示すように，1,400m付近で一軸圧縮強さ，石英片率が低下傾向にあることから，地山条件が影響したものと考えられる．

なお，低ビットが地山に接触したと考えられる600m以降，カッタ出力の区間平均が若干増加している．これは地山に接触するビット個数が増え，掘削抵抗が増えたことが要因の一つと考えられる．結果，ビットの段差配置が掘進初期のカッタ出力の低減につながったものと考えられる．

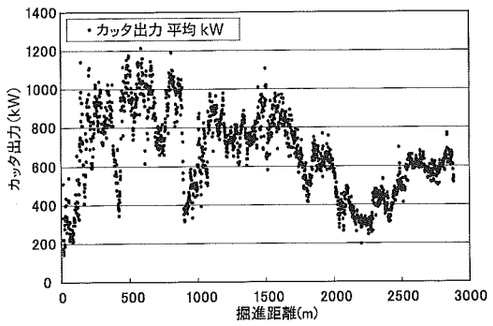


図-11　カッタ出力(実績値)

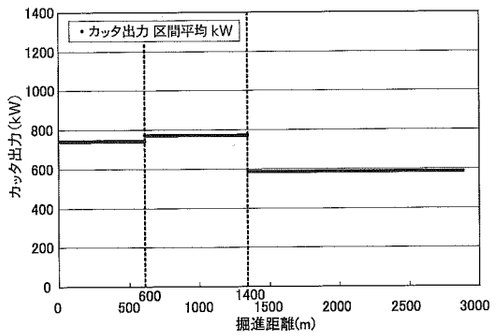


図-12　カッタ出力(区間平均)

3-3　メインビットの計測結果

摩耗検知ビットと同一円周上のメインビットの摩耗量を表-2に示す．前述のようにカッタ総回転数が当初設計の約1.4倍となったことから，摩耗量は当初設計を上回ると予測されたが，実績は当初設計を下回ることが確認された．当該地質は非常に固い砂層であるが，特殊先行ビットにより先行掘削された結果脆くなり，メインビットの切削抵抗が少なくなったことが原因と考えられる．

3-4　まとめ

特殊先行ビットについては，ビットの摺動距離が長いほど摩耗量が増大する傾向が確認された．また，一軸圧縮強さ，石英片率が高い区間で摩耗が促進される傾向が確認された．同様に，カッタ出力についても一軸圧縮強さおよび石英片率が高い区間の値が大きくなる傾向がみられることから，カッタ出力が高い区間で摩耗が促進される傾向があると考えられる．

メインビットの摩耗量については，特殊先行ビットによる先行掘削の効果が想定よりも大きく，当初設計を下回ることが確認された．

なお，中間立坑前後の一軸圧縮強さ，換算N値および石英片のカウント率の区間平均を比較すると，図-8に示すように後半の地山強度は前半と同程度あるいはそれ以上と想定される．そこで，中間立坑以降のカッタビットは，特殊先行ビット，メインビットのチップ高さの増加(+10㎜)およびチップ体積の増加(3倍)により，確実に到達までのビットライフが確保できるよう耐摩耗性の向上を図った．

4　おわりに

本稿では，津軽蓬田トンネルの中間立坑におけるカッタビットの摩耗状況を報告した．平成23年8月末の掘進再開後，平成23年10月には357.0m/月の最高月進を達成し，平成23年12月末現在，約3,600mの掘進を終了している．

今後も，到達までの摩耗状況を把握し，今後の長距離掘進における設計・施工に活用されるよう取り組んでいきたいと考えている．

津軽蓬田トンネルの施工においては，北海道新幹線トンネル施工技術委員会(委員長：足立紀尚・京都大学名誉教授)，同機械化施工WG(座長：小山幸則・京都大学大学院教授)において検討を行いながら進めており，今後も委員会およびWGの検討を通して安全かつ円滑に工事を進めていきたいと考えている．

参考文献

1) 飯田廣臣：含水未固結地山におけるシールドを用いた場所打ち支保システムに関する研究，早稲田大学博士論文，2008.2.
2) 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.

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

現場だより 2012 トンネルと地下

「風光明媚な由緒ある地」京都洛西，大原野春日町より

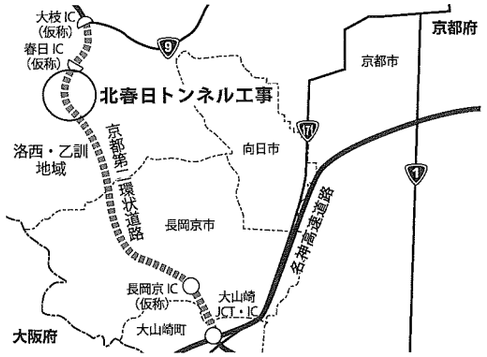
内　田　　渉

京都第二外環状道路（愛称「にそと」）は京都縦貫自動車道のもっとも京都市寄りの部分を担い，大枝IC（仮称）から名神高速道路大山崎JCTを経て，京滋バイパス久御山ICをつなぐ，延長15.7kmで片側２車線の自動車専用道路である．北春日トンネルは，そのうち北寄りの京都市西京区大原野北春日町から南春日町に位置する，延長約460mの超近接双設トンネルで，地表部は竹林に覆われた，土かぶり10m程度の未固結土砂地山にNATMによる山岳トンネルを構築する．

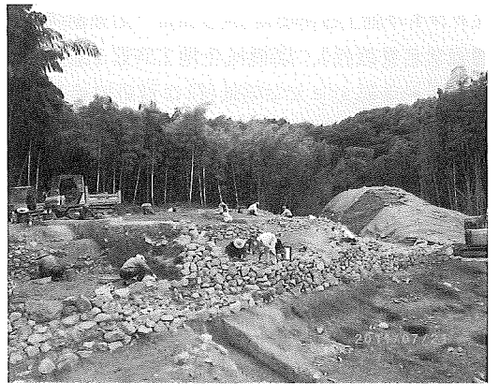
北春日トンネルの近くには「大原野神社」および「花の寺（勝持寺）」があり，古くから開けた由緒あるところである．

「大原野神社」は，桓武天皇が784年に都を奈良から長岡京に遷都されたとき，藤原氏など多くの人たちがこの地の美しい風景を愛でて，氏神春日大社の分霊を遷し祀ることにしたのが神社の起こりで，藤原氏の隆盛とともに栄え，古歌や『六国史』『大鏡』『源氏物語』などの有名な古典に書きとどめられている．神社の神域には古歌に詠まれた，奈良の猿沢池にまねて造られた「鯉沢の池」や，清和天皇の産湯の清水と伝えられている「瀬和井」があり，春の桜や秋の紅葉などその風景は，今なお王朝の余香を感じることができる．また，毎年９月の御田刈祭には，氏子の代表による神相撲力士により相撲がとられる．

本トンネルは，大原野神社の山手山麓を横切るため，京都西山の「小塩山」から当神社などのため池や井戸



位　置　図



石塁（室町時代）発掘調査状況（南側坑口部）

へ至る地下水の流れを阻害しないよう，全延長にわたって円形に近い断面形状の「防水型トンネル」として設計され，さらに，通水効果を高めるための「通水ドレーン工」が設計に組み込まれている．

「花の寺（勝持寺）」は，天武天皇の勅によって680年に創建されたのが始まりで，後に1140年，西行法師が当寺において出家し，西行と名を改めて庵を結んだおりに，吟愛していた一株の桜を「西行桜」と称したことから，寺を「花の寺」と呼ぶようになったといわれている．

本トンネルの南側坑口付近には，1500年ごろに構築された石塁が残されており，トンネル工事に先立って，京都市埋蔵文化財研究所により発掘調査が実施されている．この石塁は，「花の寺」の宿坊を建てるために造られ，室町時代の山岳寺院建築技術を伝えるもので，続く戦国時代の築城技術に発展した原型をとどめるものとして貴重な文化財であり，トンネル工事においてはその一部を保存しようとしている．

北春日トンネル工事は，平成24年１月より南北両坑口よりトンネル掘削に着手すべく準備を進めている．風光明媚な由緒ある地における地下水などの環境保全に最大限留意して，平成24年度末の無事故・無災害での無事完成を目指し所員一同邁進する所存である．

（大成建設（株）関西支店北春日トンネル工事作業所作業所長）

施工

シラス地盤に超大断面378m²の地中分岐部を建設

—鹿児島東西道路　新武岡トンネル—

国土交通省九州地方整備局鹿児島国道事務所工務課長　五反田　信　幸
国土交通省九州地方整備局鹿児島国道事務所建設監督官　緒　方　秀　敏
間・錢高特定建設工事共同企業体工務課長　多　宝　　徹
（株）間組土木事業本部技術第三部課長　日　向　哲　朗

１　はじめに

鹿児島東西道路は，高規格道路の結節点である鹿児島ICと鹿児島市中心部を結ぶ延長3.4kmの地域高規格道路である（**図-1**参照）．そのうち郊外側の0.7kmを除いた2.7kmがトンネルとなる．2.7kmのトンネルのうち，郊外側の1.5km区間が比高50～100mのシラス台地を貫く山岳トンネルで，残りの約1.2kmが市街地直下の沖積層に構築される都市トンネルとなる．さらに，山岳トンネルの中間付近には，シラス台地の市街地側の坑口からランプトンネルを接合する．都市トンネル部分の

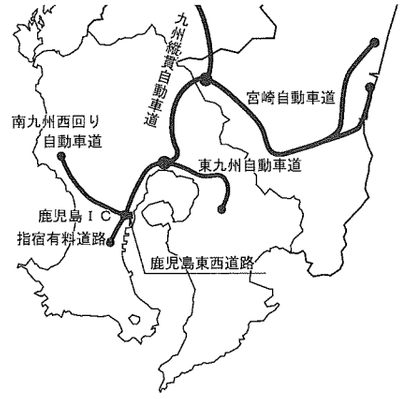


図-1　鹿児島東西道路位置図

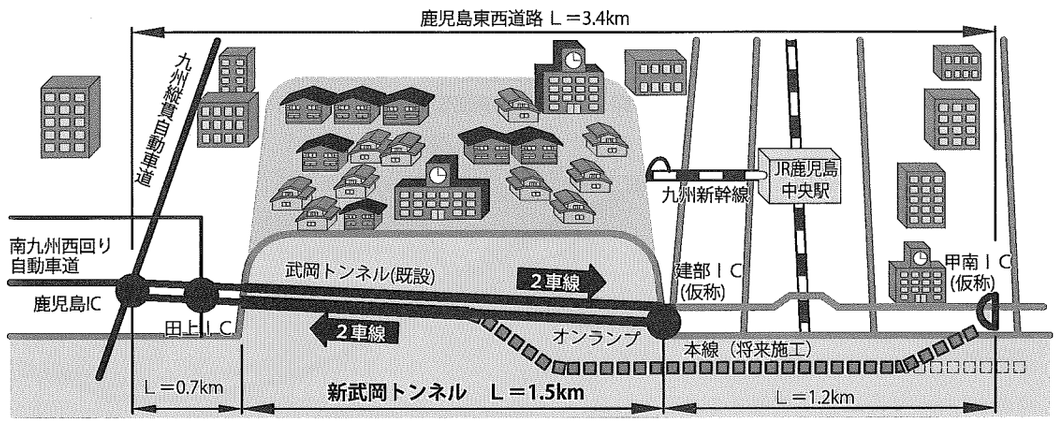


図-2　鹿児島東西道路概念図

施工は，将来計画であり，今回の新武岡トンネル新設工事では，このランプトンネルを暫定的に2車線運用し，山岳トンネル区間(約1,500m)の供用をめざす(**図-2**参照)．

新武岡トンネルの本線トンネルとランプトンネルの接合部では，2本のトンネルを包含する断面を必要とすることから，この部分は掘削断面積378m²の超大断面トンネルとなる．

表-1に新武岡トンネル新設工事の工事概要，**図-3**に新武岡トンネルの各トンネル断面，**図-4**に新武岡トンネルの平面図を示す．

表-1　工事概要

工事名称	鹿児島3号 新武岡トンネル新設工事 鹿児島3号 新武岡トンネル新設(2期)工事
工事場所	鹿児島県鹿児島市田上地内
工　期	平成18年2月22日～平成22年3月30日(1期) 平成22年3月30日～平成24年12月25日(2期)
発注者	国土交通省九州地方整備局
施工者	間・錢高特定建設工事共同企業体
工事内容	トンネル掘削 本　線　L＝912m(掘削断面積85～378m²) 一般部　L＝685m(掘削断面積85～123m²) 大断面C　L＝136m(掘削断面積138～153m²) 大断面B　L＝ 41m(掘削断面積236m²) 大断面A　L＝ 50m(掘削断面積378m²) ランプ　L＝696m(掘削断面積77～88m²) 換気横坑　L＝370m(掘削断面積31～55m²)

本稿では，新武岡トンネル新設工事のうち，未固結シラス地山における超大断面トンネルの設計・施工について述べる．

2　地形・地質概要

南九州の地形は，新第三紀以前の堆積岩や火山岩類を基盤として，後期鮮新世以降(およそ400万年前以降)に鹿児島地溝から噴出した多数の火砕流堆積物が積み重なって形成されている．これらの火砕流のうち，約25,000年前の姶良火山の大噴火に伴い流出した入戸火砕流は南九州における後期更新世大規模火砕流のうち最大のもので，すでにあったカルデラを現況のように整形するとともに，カルデラから半径約100kmもの広大な地域に広がり堆積して，大きな地形変化をもたらした．一般にシラスと呼ばれる地質は，この入戸火砕流堆積物の未固結部分をいう．

新武岡トンネルが位置する鹿児島市域の地形は，鹿児島湾岸に展開する低平な沖積低地と海抜標高50～200mの台地・丘陵地(シラス台地)に代表され，トンネルはこのシラス台地を貫くかたちで計画されている．本トンネルの地質はほぼ全線がシラス(一次シラス)で，最大土かぶり80mに達する地点においても掘削対象地山は土砂状を呈する(**写真-1**参照)．また，本トンネルでは一次シラスのほかに，トンネルの坑口の斜面付近や一部の小土かぶり区間(沢部直下)で，二次シラスと呼ばれる一次シラスを起源とするきわめて軟質な二次堆積物が出現した(**写真-2**参照)．新武岡トンネルの地質縦断図を**図-5**に示す．

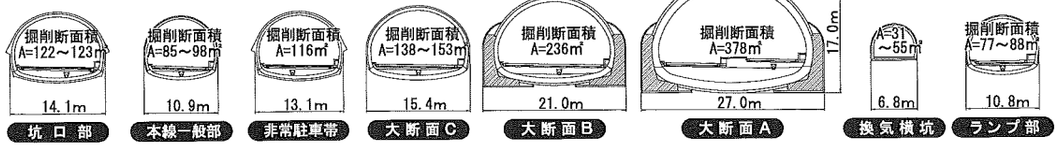


図-3　トンネル断面図

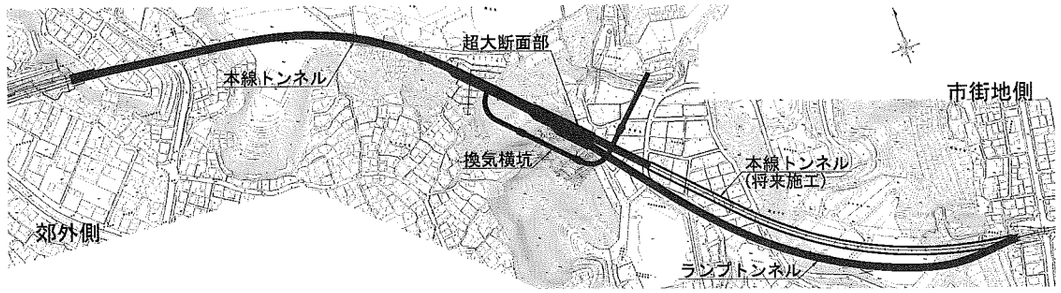


図-4　新武岡トンネル平面図

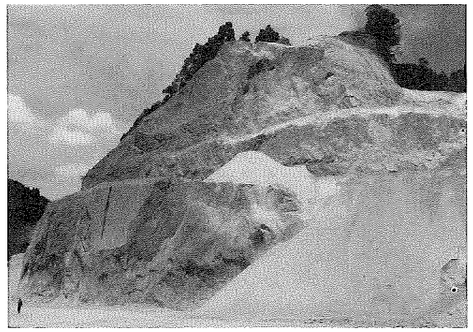


写真-1　一次シラス露頭

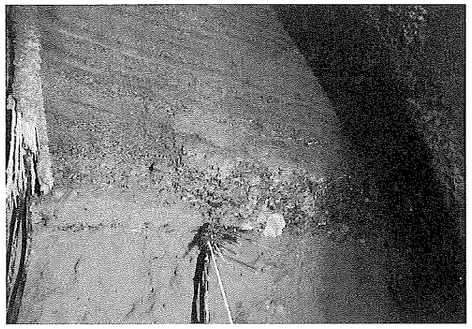


写真-2　二次シラス

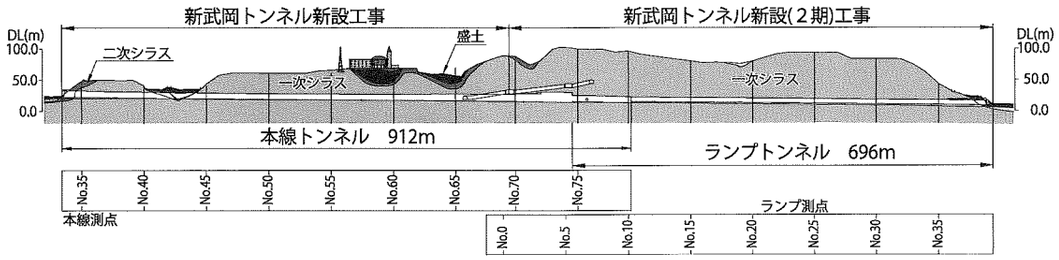


図-5　新武岡トンネル地質縦断図

3　一般断面におけるシラストンネルの挙動

3-1　超大断面部への反映

シラス(一次シラス)は，*N*値が30～50程度，一軸圧縮強度が20～100kN/m²(0.02～0.1MPa)程度の砂質土で，人力掘削も可能なほど軟質である(**写真-3**参照)．しかし，シラスは，斜面の短期的な自立性が高いことが知られており，同様に，シラストンネルの切羽も自立性が高いものと考えられてきた．また，シラストンネルは，経験的に，2車線道路程度の断面であれば，支保部材の変状なども少ないことから，比較的軽い支保パターン(DⅠ相当など)で施工が可能とされてきた．

しかしながら，本トンネルでは，未固結の砂質地盤に，これまでに経験したことのない超大断面トンネルを施工することから，過去の実績のみにとらわれず，一般断面区間でシラス性状の確認，シラストンネルの支保の安定性の検証を行ったうえで，大断面の設計・施工へフィードバックするものとした．

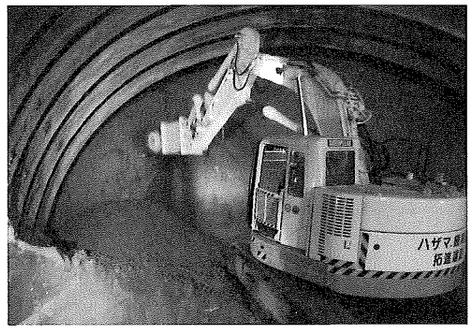
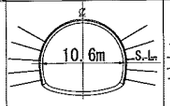
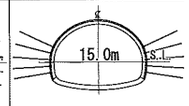


写真-3　トンネル掘削状況

3-2　計測結果

本トンネルの一般断面区間(2車線および3車線)の計測結果を**表-2**に示す．表-2より，比較的土かぶりの小さい2車線道路断面では，トンネルの変位や発生する緩み荷重が小さいが，3車線道路断面で土かぶりが大きくなると，トンネルの変

表-2　一般断面での計測結果

			2車線(No.53+10)	3車線(No.68+10)
支保パターン			 DI相当 H125@1.0m 吹付けt=150mm	 DI相当 H150@1.0m 吹付けt=200mm
土かぶり			30m	50m
A計測	天端沈下		9mm	24mm
	脚部沈下		10mm	22mm
	内空変位		6mm	7mm
B計測	支保軸力	吹付け	230kN	1,820kN
		H形鋼	130kN	650kN
		合計	360kN	2,470kN
	緩み荷重		68kN/m²	330kN/m²
	換算緩み高さ		4.3m	20.7m

位や発生する緩み荷重が極端に大きくなることがわかる．

3-3　シラストンネルの力学特性

シラス地山におけるトンネルの地山強度比は，通常の岩盤地山の場合と比べて非常に小さい．例えば，新武岡トンネルで出現するシラス地山で，一軸圧縮強度50kN/m²，土かぶり30mを想定すると地山強度比G_nは次式のとおりとなる．

$$G_n=\sigma_c/\gamma H=50/(16.0\times30)=0.1$$

ここに，

σ_c：地山の一軸圧縮強度(=50kN/m²)

γ　：地山の単位体積重量(=16.0kN/m²)

H　：土かぶり厚さ(=30m)

この地山強度比0.1という値は，地山の一軸圧縮強度が，地山の鉛直応力の1/10しかなく，一軸状態では自重で容易にせん断破壊してしまうことを示している．すなわち，掘削により応力が解放されて一軸状態に近づいた切羽面近傍のシラス地山は自立が著しく困難になるといえる．しかし，実際の切羽は，写真-3に示したように，土かぶりが30m程度であれば，一定の自立性を有していることが知られており，シラス地山はせん断破壊を起こしていない．このことから，シラストンネルの切羽の自立性については，従来の弾性論では説



写真-4　自立したシラス切羽

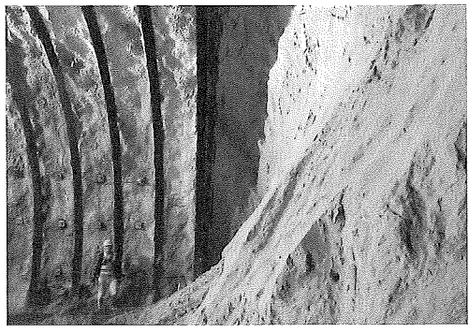


写真-5　2車線トンネルでの切羽崩壊

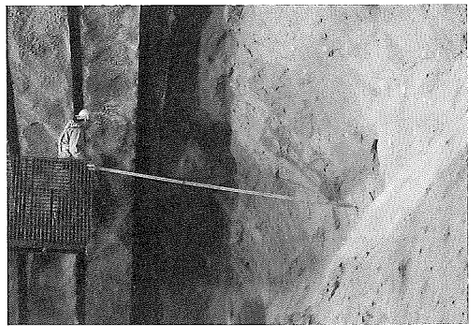


写真-6　3車線トンネルでの切羽崩壊

明が困難で，これまで，力学特性の解明が十分になされてこなかった．

また，過去に，比較的大きな土かぶりでシラストンネルを施工した事例は少なく，高応力下におけるシラストンネルの挙動に関する知見は，ほとんど報告されていない．一方，本トンネルでは，土かぶりが比較的大きい区間の施工を行い，いくらかの知見を得ることができた．本トンネルにおいては，土かぶりがおおむね50mより大きくなると，切羽の自立性が悪化し，崩落が頻発する状況

を確認している．さらに，切羽の崩壊の規模は，トンネル断面積が大きくなるほど大きくなる傾向を示すことを確認している(**写真-4～6参照**)．

このようなことから，超大断面トンネルの安定を確保しながら掘削を行うためには，シラストンネルの力学特性の解明が必要であると判断した．

一般に，地山の変形係数は地山の応力レベルに依存し，拘束圧が低下すると変形係数も低下することが知られている．しかし，通常の岩盤地山の場合，地山強度は地山の初期応力と比べて十分に大きいことから，応力レベルの変化に伴う変形係数の変化は小さく，トンネル掘削に伴う応力解放の影響による変形係数の低下を考慮する必要性は小さい．しかし，シラス地山の場合，地山強度よりも地山の応力レベルがはるかに大きいため，応力解放による変形係数の低下に着目することが重要となる．

そこで，従来の弾性解析にかえて，シラスの拘束圧に依存した変形係数の変化に着目した連続体解析モデルを構築し，解析を行った．具体的には，シラスの室内試験，地盤調査を通じて，シラス地盤の拘束圧(最小主応力)に依存した変形係数の変化を特定し，パラメータスタディにて，トンネル掘削時の内空計測結果と一致させた．

解析結果の一例を**図-6**に示す．図-6には，弾性解析でパラメータスタディを行い，トンネルの内空変位と一致させたケースもあわせて示している．切羽面では，トンネルの掘削に伴って，切羽面に直交する応力が解放されるため，最小主応力が0 kN/m²に近づく．一方，切羽面中央での最大主応力は，弾性解析の場合は，周辺地山と同程度の大きな値を示すのに対し，拘束圧に依存して変形係数を変化させたモデルでは，最小主応力の低下に伴い地山の変形係数が低下することから，この部分の応力分担が低下している．

このときの切羽中央の応力状態を，Mohr-Coulombの破壊規準線とあわせて表現すると**図-7**のようになる．弾性解析の場合，破壊規準線を大きく上まわり，シラスのせん断強度パラメータ(見かけの粘着力c=60kN/m²，内部摩擦角ϕ=

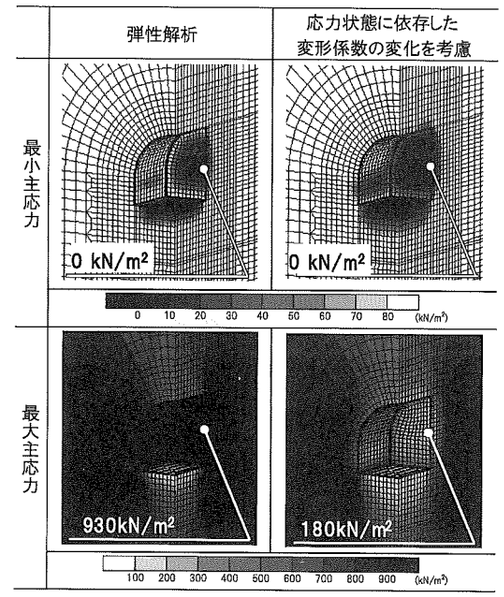


図-6　解析結果

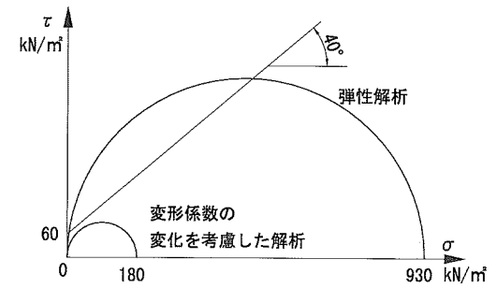


図-7　切羽面の応力状態の比較

40°程度)と整合がとれない結果となるが，拘束圧に依存して変形係数を変化させたモデルでは，破壊規準線の内部に収まり，整合のとれた結果となる．

解析は，土かぶり，トンネルの断面の大きさを変化させて実施し，それぞれの力学状態を解明した．その結果，土かぶりが大きくなるほど，また，トンネル断面が大きくなるほど，切羽面が不安定化する状況が確認できた．

4　超大断面トンネルの検討

4-1　掘削工法の検討

図-8に超大断面部のトンネル横断図を示す．超大断面部は土かぶり70mの地山深部に位置し，掘

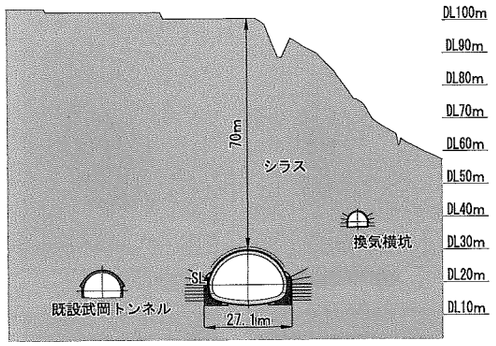


図-8　超大断面部トンネル横断図

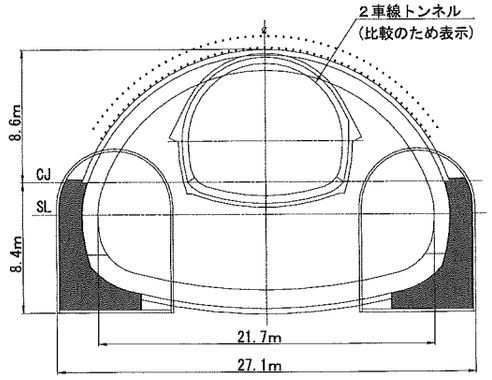


図-9　上半掘削高さの設定

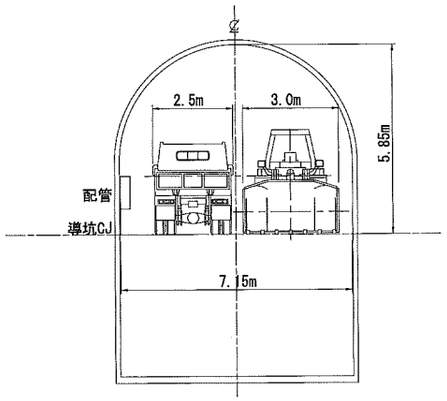


図-10　導坑幅の設定

削断面積は378m²と，道路トンネルとしては日本最大級となる．なお，シラス地盤の強度はきわめて小さいため，土かぶり70mは，相対的に高応力下にあるといえる．さらに，超大断面部は，図-8に示すように，既設トンネルと換気横坑にはさまれた部分の地山に大空洞を構築するもので，トンネル上部の土荷重をトンネル周辺の残った地山に効率的に伝達することが重要である．

近年，トンネルの安定対策として，補助ベンチ付き全断面工法にてインバート一次閉合を実施して，トンネルの安定を早期に確保するケースが増加している．しかし，超大断面部については，補助ベンチ付き全断面工法に適合する施工機械が一般には存在しないため，インバートの早期閉合は困難である．また，施工機械の問題を克服したとしても，超大断面トンネルの切羽自立性の問題が発生する．2車線道路断面であれば，切羽とインバート閉合の距離を5m程度まで縮めて，脚部沈下を抑制することができるが，シラス地山における超大断面区間では，切羽の自立性を考慮すると切羽面とインバート閉合の距離を縮めることは難しく，効果的な沈下防止対策とはならない．

そこで，超大断面区間では，トンネルの沈下防止，沈下に伴う緩み荷重の増大の防止などを目的として，インバート一次閉合よりも効果的で，かつ，汎用のトンネル施工機械で施工可能である側壁導坑先進工法を採用した．

4-2　加背割りの検討

側壁導坑先進工法による超大断面部の掘削では，上半切羽掘削時の施工機械の適合性，切羽面の安定確保が大きな課題となる．上半掘削時の施工性，切羽面の安定確保のためには，上下半のカットジョイントの位置をできるだけ高い位置に設定する方が有利である．しかし，高くしすぎると「基礎コンクリートがオーバーハング形状になる」「側壁導坑，基礎コンクリートの規模が大きくなる」といったデメリットが発生する．

そこで，カットジョイントの位置については，図-9に示すように通常の2車線道路トンネルの全断面掘削の高さを参考に上半掘削高さの目安を決め，側壁導坑の掘削および基礎コンクリートの構築が無理なく施工できる位置に設定した．

また，側壁導坑の掘削幅は，基礎コンクリートの必要幅を包含し，トンネルの汎用施工機械を用いてトンネル掘削が可能な幅(7.15m)とした(図-10参照)．

4-3　基礎コンクリートの検討

本トンネルの大断面部の基礎コンクリートに作用する荷重は，著しく大きいものとなることが予想された．さらに，基礎コンクリートは高さ8.4mと大規模なものとなるため(図-11参照)，上載荷重に耐えるように基礎コンクリートの補強が必要となる．

コンクリートの補強として，鉄筋コンクリート構造が考えられるが，鉄筋コンクリート構造では上半支保工に載荷される軸力の伝達がうまくいかない．また，過去の事例では，鉄筋コンクリート構造での基礎コンクリートの構築は，狭小な側壁導坑内での鉄筋組立てに多大な時間を要し，工程面のデメリットも大きい．

そこで，本トンネルでは，上半の鋼製支保工の軸力を直接，鋼材で受けられるように，基礎コンクリート内部に鉄骨を埋込んだ鉄骨コンクリート構造を採用した．鉄筋コンクリート構造と鉄骨コンクリート構造の比較を表-3に示す．

4-4　支保および切羽面の安定検討

超大断面部の支保および切羽の安定性について，シラスの力学特性を考慮した三次元解析にて検討を行い，支保パターン，補助工法を設定した．

また，鏡の安定性検討については，鏡ボルトで対応する案に加えて，中央導坑を追加する案を比較検討した(図-12参照)．中央導坑案は，静的な切羽の安定性だけを考慮すると，効果が認められるが，中央導坑掘削時の緩みの増大および中央導

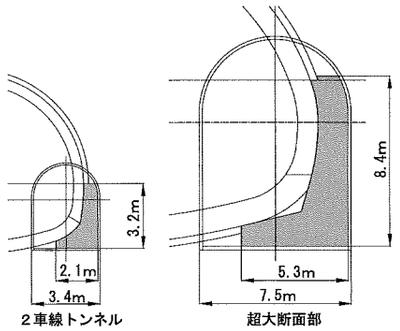


図-11　基礎コンクリートの規模比較

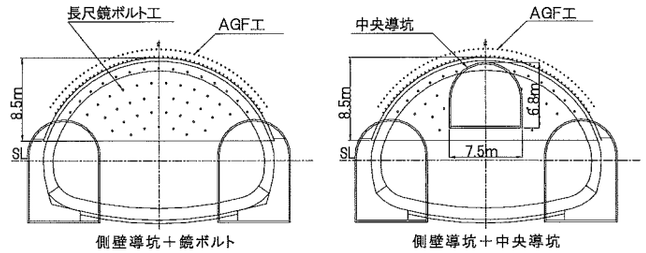
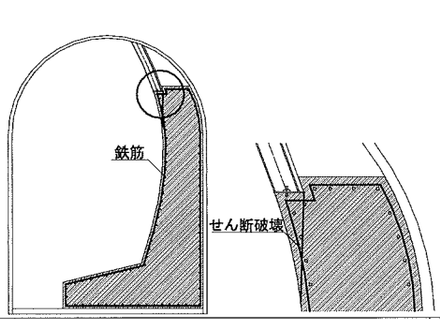
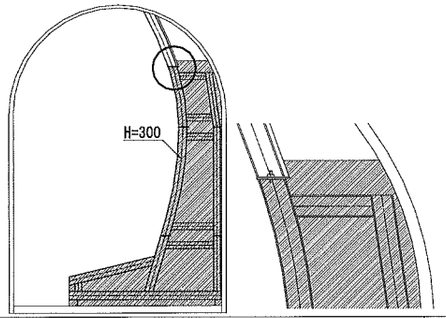


図-12　鏡面安定対策工の比較

表-3　基礎コンクリート構造の比較

	鉄筋コンクリート構造		鉄骨コンクリート構造	
概要図				
構　造	上半鋼アーチ支保工の軸力を側壁コンクリート頂盤で受けることから，コンクリートのせん断抵抗の確保が必要である．	△	上半鋼アーチ支保工の軸力を側壁コンクリートの支保工で受けるため，とくに問題はない．	○
工　程	8か月	×	2か月	○
工　費	直接的な工費は鉄骨構造より安価となるが，工期面での仮設費などの増加費用を考慮すると鉄骨構造と変わらない．	○	直接的な工費は鉄筋コンクリート構造より高価となるが，工期面での仮設費などの費用を考慮すると鉄筋コンクリート構造と変わらない．	○

坑の支保工撤去時の振動などによる切羽の不安定化が懸念された．そこで，最終的には，鏡ボルトで対応する案を採用した．

図-13に超大断面部(大断面A)の支保パターンを示す．

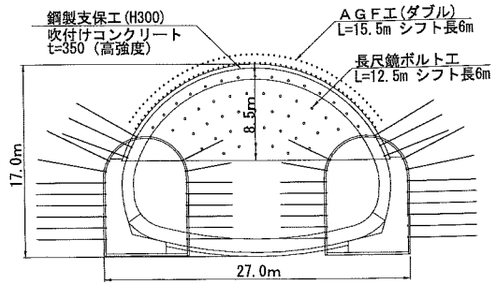


図-13　超大断面部支保パターン

5　超大断面トンネルの施工

5-1　施工状況

5-1-1　施工フロー

側壁導坑先進坑法は，本トンネルにおいてもっとも大きな断面となる大断面Aと，第二東名とほぼ同じ内空断面積となる大断面Bの合計約100m区間に適用した．この区間の平面図を図-14に，施工フローを図-15に示す．

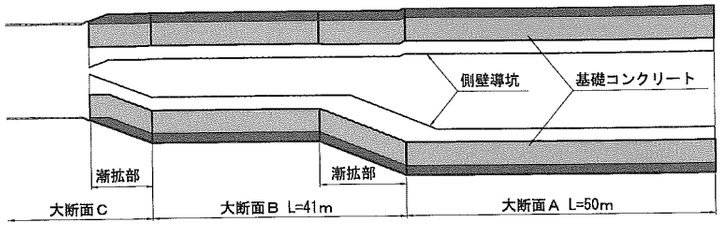


図-14　側壁導坑区間平面図

以下に，各ステップの施工状況について述べる．

5-1-2　側壁導坑掘削

側壁導坑は，図-15に示すように，上半，下半に分けて掘削を行った．なお，超大断面部には，側壁導坑の下半盤から2m程度上部に地下水位が存在するために，下半掘削前に，上半盤からウエルポイントによって地下水位を低下させた．

側壁導坑の掘削高さは10.5m，掘削幅は7.5m，掘削断面積は約70m²と比較的大きな断面となるが，すべての工程において，大型の汎用機を用いた施工が可能であり，効率的な掘削を行うことができた．側壁導坑の上半掘削状況を写真-7に示す．

5-1-3　基礎コンクリート構築

基礎コンクリートを補強する基礎鋼材は，上半支保工を上部に連結できるように1mピッチ

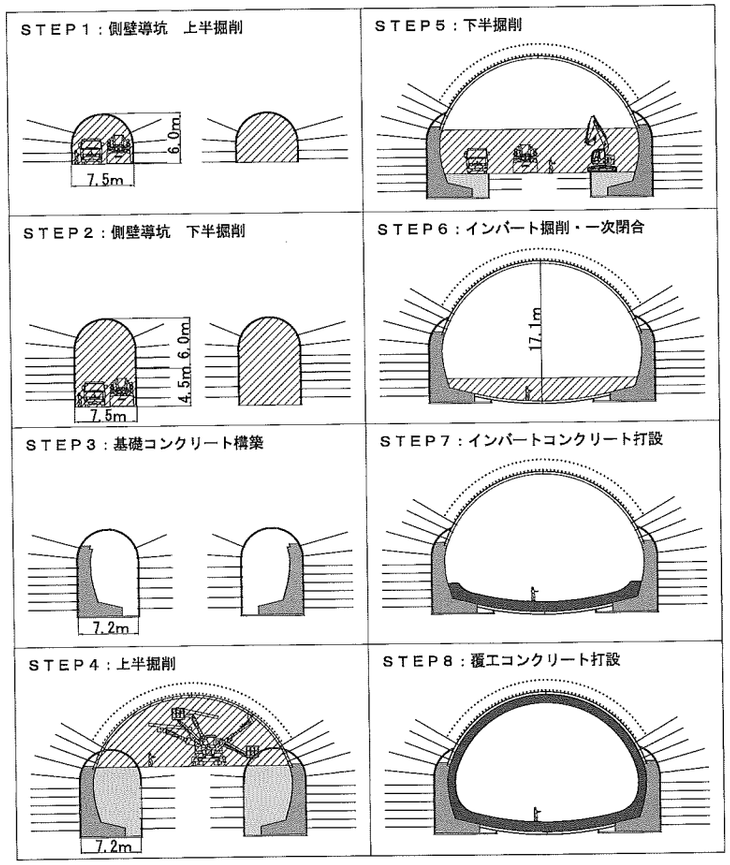


図-15　超大断面部施工フロー

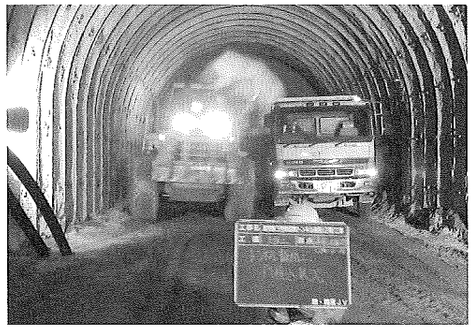


写真-7　側壁導坑上半掘削状況

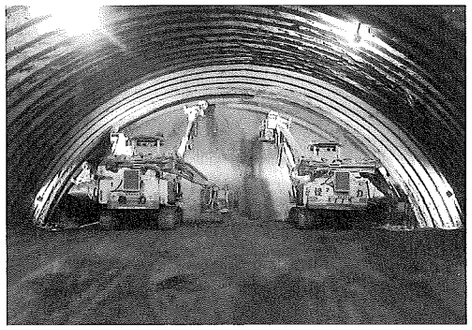
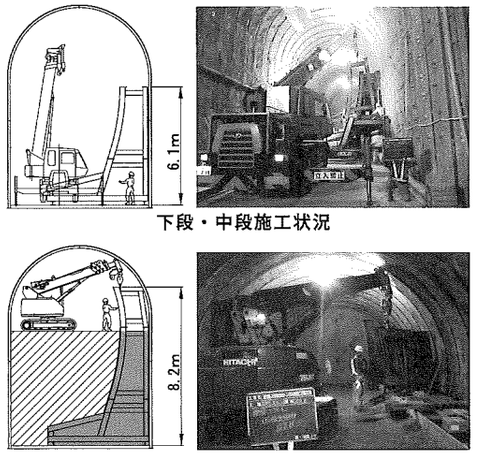


写真-8　上半鋼製支保工建込み状況



下段・中段施工状況

上段設置状況

図-16　基礎鋼材組立て状況

で設置し，基礎鋼材間にコンクリートを打設するものとした．この基礎鋼材は，現地での組立て作業を効率的に行えるように，製作工場で1断面あたり3ピース(上段・中段・下段)に分けて製作し，現場へ搬入した．

基礎鋼材の組立ては，導坑を全線掘削完了した後に，導坑の奥側から実施した．下段・中段の組立ては，13tクレーンを用いて行い，組立て完了後，基礎鋼材間にコンクリートを打設した．その後，中段まで埋戻しを行った後に，上段の基礎鋼材の組立てを行った．導坑内での組立ての状況を図-16に示す．

5-1-4　本坑掘削

上半掘削においては，鋼製支保工の建込み作業が施工上もっとも厳しい作業となる．鋼製支保工(H300)は，通常2分割の上半の支保工を4分割

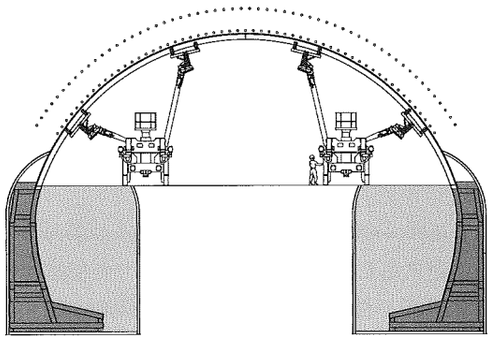


図-17　上半鋼製支保工建込み状況

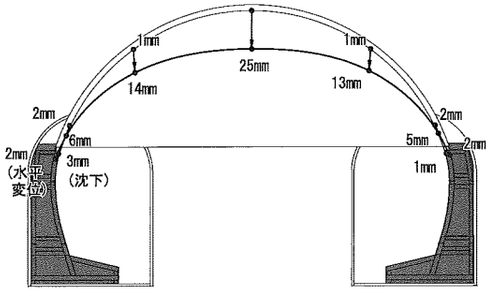


図-18　A計測によるトンネル変位

にして(1本あたりL=7.5m，w=750kg)，2台の専用エレクタを用いて建て込んだ(写真-8，図-17参照)．

本坑掘削は2,100級の油圧切削機で行い，吹付けコンクリートは一般的な吹付け機を用いて施工を行った．

5-2　設計検証

超大断面部の施工においては，A計測およびB計測により支保工の応力状態を確認しながら掘削を進めた．

A計測では，上半に断面あたり７点の測点を設けて支保工の変位モードを把握した．**図-18**にA計測による大断面Aの区間中央位置でのトンネルの変位を示す．

通常３点である断面あたりの測点を，７点に増やすことにより，支保工の変位モードを確認することが可能となる．天端沈下のみに着目すると沈下量は25㎜程度となっており，３車線断面区間での沈下量24㎜(表-2参照)と大差ないように見える．しかし，３車線断面区間で採用した上半先進工法の場合，一般に，天端の沈下と同様にトンネル脚部も沈下しているケースが多い．一方，側壁導坑先進工法では，基礎コンクリートの上に上半支保工を建て込むことから，脚部の沈下がほとんど発生せずに，天端沈下が抑制された結果となっている．

そこで，変位モードから上半支保工の応力状態を確認するために，A計測で得られた変位を骨組構造解析で再現した(**図-19**(a))．その結果，支保工は，軸力が卓越した状態で，曲げモーメントがほとんど発生していないことが確認された(図-19(b))．

表-4にA計測結果から骨組構造解析にて推定した発生断面力(軸力)および発生応力を示す．

なお，値は，鋼製支保工(H300)と吹付けコンクリート(t=350㎜)の剛性比(0.53：0.47)で分配している．

図-20にB計測による鋼製支保工のひずみから算出した鋼製支保工軸力図を示す．また，**表-5**にB計測による発生断面力および発生応力の最大値をまとめる．

表-4，表-5の比較では，B計測で直接測定した両者の値は比較的よく一致している．鋼製支保工の発生応力は，A計測からの推定で240N/㎟，B計測で210N/㎟と，鋼材の短期の許容応力度程度の値を示しており，今回採用した支保はおおむね妥当であったと判断できる．

また，鋼製支保工と吹付けコンクリートに発生しているトンネル１mあたりの軸力の合計は，およそ5,000kNと大きな値となっている．これを単純にトンネル掘削半径と地山の単位体積重量で除すと25m相当の土荷重がトンネルに作用していることになる．当該箇所の土かぶりは70mほどであるので，トンネルの上部の土荷重の約1/3を支保工で支え，残りの約2/3を左右の地山が分担している状況が推察できる．

超大断面部は側壁導坑先進工法を採用している

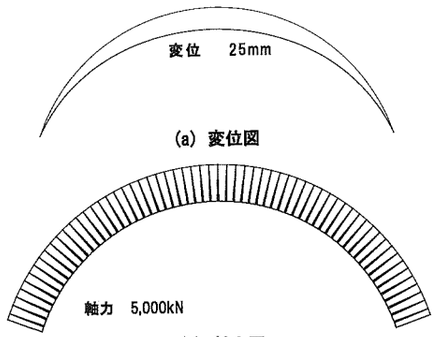


図-19　骨組構造解析

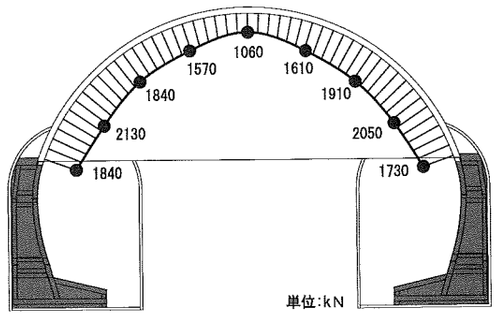


図-20　B計測による鋼製支保工軸力

表-4　A計測から推定した発生断面力および発生応力

	発生断面力(軸力：kN)		発生応力(N/㎟)	
	鋼製支保工(H-300)	吹付けコンクリート(t=35cm)	鋼製支保工(SS400)	吹付けコンクリート(36N/㎟)
A計測	2,780	2,470	240	7.1

表-5　B計測による発生断面力および発生応力

	発生断面力(軸力：kN)		発生応力(N/㎟)	
	鋼製支保工(H-300)	吹付けコンクリート(t=35cm)	鋼製支保工(SS400)	吹付けコンクリート(36N/㎟)
B計測	2,130	2,800	210	8.0

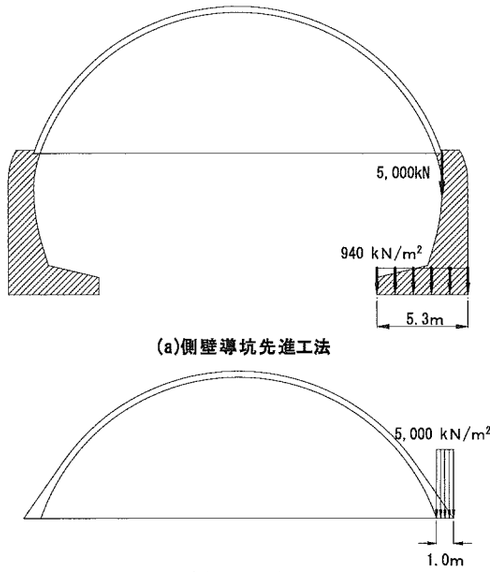


図-21　支持力の確認工法

ので，上半支保工の軸力(5,000kN)は基礎コンクリートの底盤幅(5.3m)で分担していると考えられる(**図-21**(a))．

この荷重を，仮に，上半先進工法の上半脚部(ウィングリブ幅１m考慮)で分担すると考えると図-21(b)のようになる．これらを，トンネル坑内で実施した平板載荷試験のデータにプロットすると**図-22**のようになる．

図-22から，側壁導坑先進工法の場合は脚部沈下が抑制されており，全体の沈下も抑えられていることがわかる．一方，上半先進工法で施工した場合，脚部が80㎜ほど沈下し，天端沈下は計測されている25㎜を加えて，100㎜を超えることが想定される．また，これに伴い，トンネルに載荷する荷重も増大し，トンネルの安定性が損なわれることが想定される．

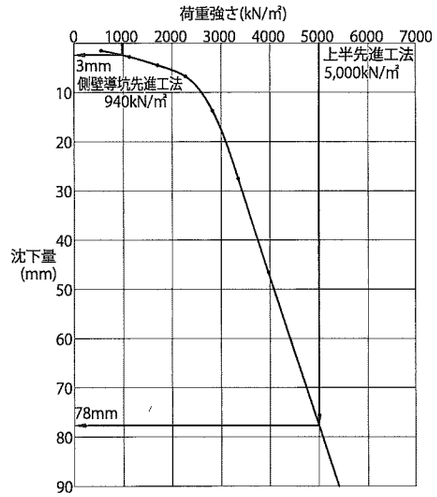


図-22　作用荷重と沈下量の関係

6　おわりに

新武岡トンネルの超大断面部の施工は，平成22年７月に導坑掘削に着手し，平成23年６月に本坑下半まで掘削完了した．その後，本線とランプトンネルが近接して並ぶ区間の施工を経て，平成24年１月にランプトンネルにて貫通を迎えた．これまで，高応力下の未固結地山における超大断面トンネルの施工実績はほとんどなかったが，今回，新たな知見を得ながら，掘削を無事に終えることができた．今回の施工報告が，類似の施工の参考となれば幸いである．

本工事の設計・施工に際しては，鹿児島大学の北村良介教授をはじめとする「新武岡トンネル施工ワーキング」のメンバー各位に多大なるご指導，ご助言をいただいた．また，本プロジェクトの遂行においては，さまざまな関係機関や地元の方々のご協力をいただいている．ここに厚くお礼申し上げる．

土木情報 No.465 今月の主な入札結果

（1月10日～2月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
北海道開発局	R336広尾町新宝浜T北	大林・宮坂・伊藤JV	2,053.8
〃	〃 南	清水・西江JV	2,402.6
東北地整	R6 新波立T	大日本土木	436.45
関東地整	H23圏央道桶川北本インター11号函渠その他	高橋土建	239
〃	堀之内地区函渠その 4	竹中土木	741.1
〃	上北沢共同溝	鴻池組	1,983
〃	さがみ縦貫葉山島排水T	戸田建設	751.93
〃	中部横断城山Tほか	大成・岩田地崎JV	4,469
〃	〃 楮根第４T	清水建設	3,547.8
〃	〃 醍醐山T（その２）	戸田建設	2,751.8
〃	大月排水管路設置	早野組	258
北陸地整	入善黒部BP江口横断函渠	林土木	142.4
近畿地整	近畿自動車道紀勢線後呂地T	西松建設	1,059
四国地整	H23-27鹿野川ダムT洪水吐新設	清水・ハザマJV	8,120
九州地整	東九州道（佐伯～蒲江）下孫四郎T新設	竹中土木	765.94
〃	熊本３号湯浦T新設	大林組	2,533.8
〃	鹿児島３号宮里T新設	三井住友建設	2,337.4
都市再生機構	H23公下高岡川第２号雨水幹線他	鉄建建設	427.9
成田国際空港	第２木の根T設置（その２）	大林組	1,050
中日本高速道路	新東名高速道路乗本T	大林組	3,288
西日本高速道路	新名神高速道路川西T	大成建設	7,430
岩手県	津付ダム付け替えR397号３号T築造	熊谷・樋下JV	1,637.8
群馬県	補助公共地域自主戦略交付金事業（下水）管渠築造（玉村北橋幹線第 1-S-2 工区）	柏井建設	300
都・財務局	環２地下T（仮称）築造（23―環２新大橋工区）	西松・京王・三幸JV	3,196.05
都・下水道局	豊島区南池袋二丁目付近再構築	大起建設	117.66
〃	文京区大塚二，三丁目付近再構築	岩田地崎建設	373.88
三重県	H23北勢沿岸流域下水道（北部処理区）菰野幹線（第 6-2 工区）管渠	西出・真光JV	335.05
滋賀県	R303補助道路整備	桑原・杉橋JV	1,278
〃	琵琶湖流域下水道東北部愛東東幹線清水２工区管渠	桑原・高島JV	622
兵庫県	R178浜坂道路新桃観T（西工区）	ハザマ・飛島・ノバック・株本JV	4,463
愛媛県	R378俵津玉津T建設	浅田・下村・藤堂JV	1,242.5
宮崎県	R388（日平工区）美郷T１工区	矢野・旭・九州JV	923.4
〃	〃 ２工区	吉原・富岡・山崎JV	1,063.6
京都府道路公社	鳥取豊岡宮津自動車道（野田川大宮道路）道路新設（補助）第14T	大林・公成・吉川JV	3,448.3
新潟市	東下49号木戸排水区分水施設３～４築造	福田組	259
長岡市	下管移７号下水道管渠移設	河田・サンケンJV	101.46
長野市	北八幡11号雨水幹線その２	大松建設	120.4
名古屋市	山花町雨水幹線下水道築造	大鉄・寄神・服部JV	658.42
〃	玉船第２雨水調整池流入管下水道築造	大林・服部JV	418.95
熊本県山都町	千滝染野線（染野T拡幅）道路改良	フジタ・尾上JV	249.71

施工

隣接工区の実績を再評価し駅部大断面を多段ベンチにより経済的に施工

―仙台市高速鉄道東西線　亀岡トンネル―

鉄道・運輸機構東京支社仙台鉄道建設所主任　今井正樹
鉄道・運輸機構東京支社仙台鉄道建設所所長　河村和信
仙台東西線，亀岡トンネル他奥村・不動テトラ・熱海特定建設工事共同企業体現場代理人　後藤靖彦
応用地質（株）東北支社グループマネージャー　鶴原敬久

1 はじめに

仙台市高速鉄道東西線（以下，「仙台東西線」）は，仙台市の交通渋滞の緩和および都心部へのアクセス向上を目的とした地下鉄路線である．この路線は，市の南西部に位置する八木山動物公園付近からJR仙台駅を中心とする都心を経て，市の東部に位置する仙台市東部道路仙台東IC付近に至る延長約13.9kmの路線である．このうち鉄道・運輸機構は，起点方の動物公園駅（駅名はすべて仮

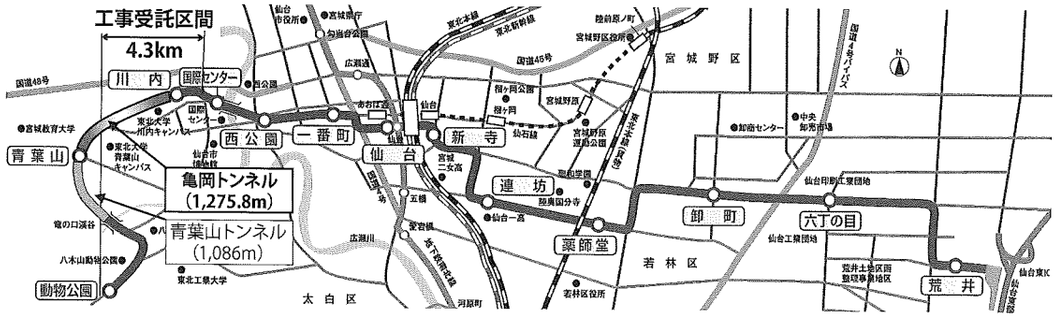


図-1　仙台市高速鉄道東西線路線平面図

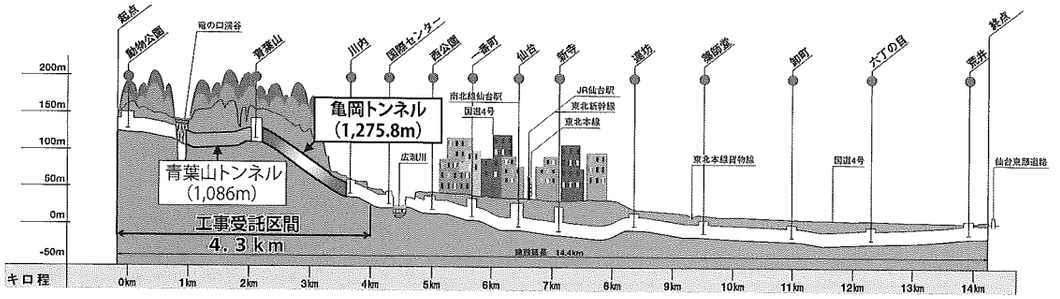


図-2　仙台市高速鉄道東西線路線縦断図

称)から扇坂トンネル間の延長4.3km区間の土木・軌道工事を仙台市から受託し，平成27年度開業に向けて鋭意施工中である(**図-1, 2**).

亀岡トンネルは，青葉山駅開削部と川内駅開削部間の 2 km234m20～ 3 km600m00(動物公園駅起点)に位置する延長1,275.8mの山岳トンネルである．青葉山駅は，経済面から開削区間を最小限にし，乗降場を亀岡トンネル内まで延長していることから，トンネル内空を駅設備が設置可能な大断面とする必要がある(**図-3**).

図-4のように亀岡トンネルおよび青葉山トンネルは，標準断面(60m²)から中規模拡幅断面(92m²)を経て駅部大断面(164m²)へ 2 段階で断面を拡幅している．亀岡トンネルにおける当該区間の掘削工法選定にあたっては，FEM解析などを用いて検討を行った結果，安全性を確認し，施工性および経済性などが優位な「多段ベンチ工法」を採用した．

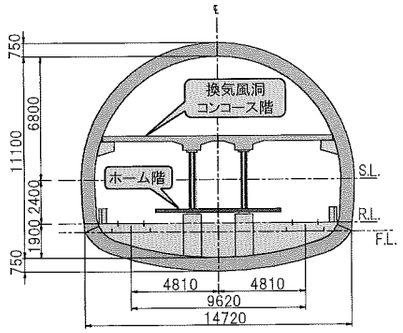


図-3　亀岡トンネル駅部大断面区間一般図

本稿では，亀岡トンネル駅部大断面区間における掘削方法として選定した多段ベンチ工法の計測結果および地質条件などの前提条件が近い青葉山トンネル駅部大断面区間(中壁分割工法)との計測結果の比較について報告するものである．

2　地形・地質概要

周辺の地質は**図-5**，**表-1**に示すとおりである．掘削対象地質は，下部向山層および竜の口層である．各層の特性として，下部向山層は，全体に炭化物が混入する泥岩と亜円礫からなり，層境付近は風化を伴い，固結度およびN値は低い．竜の口層はシルト質岩で，N値は50以上であるが，細粒砂岩の薄層を挟み風化により劣化しており，固結度およびN値が著しく低い部分がある．また，地下水位は，上部および下部向山層の層境付近に帯水層を確認している．

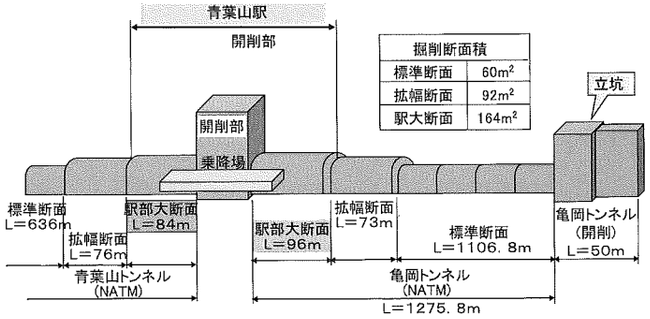


図-4　亀岡トンネルおよび青葉山トンネル略図

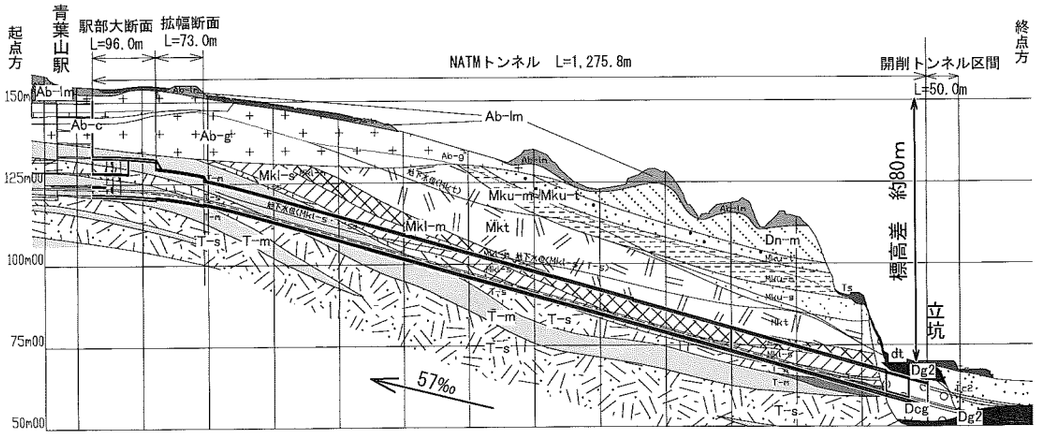


図-5　亀岡トンネル地質縦断図

表-1　亀岡トンネル地質構成表

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

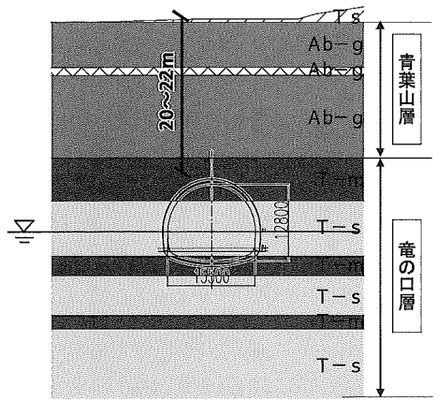


図-6　亀岡トンネル駅部大断面地質横断図

図-6に示すとおり，亀岡トンネルの駅部大断面区間の土かぶりは20～22mであり，掘削の対象となる層はすべて竜の口層である．トンネル天端と青葉山層の離隔が 1 ～ 2 m程度であることから，掘削中のトンネル天端に固結度のN値(10)が低い青葉山層が出現する可能性がある．また，当該付近の地下水位はトンネル断面のS.L付近である．

3　亀岡トンネル駅部大断面施工方法

亀岡トンネルの施工方法は，先に施工した青葉山トンネルで採用した中壁分割工法の実績を参考として解析にて安全性を確認のうえ，「施工性」「経済性」に優れた多段ベンチ工法を採用することとした．なお，掘削ピッチは1.0m間隔とし，掘削パターンは，**図-7**および**表-2**に示すとおりとした．

多段ベンチ工法の施工順序については，図-7の①～④に示したとおり，上から順に，①上半上段，②上半下段を開削部到達点まで掘削し，引き続き同様に③下半を到達点まで掘削して，その後④インバートを掘削する順序とした．

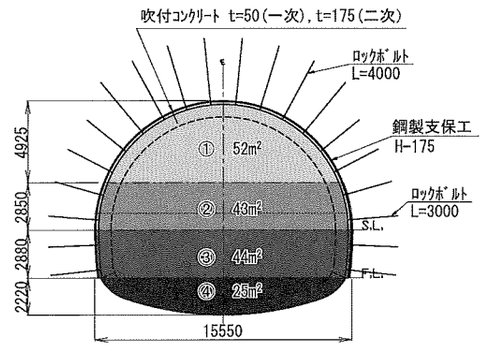


図-7　支保パターンおよび施工順序

表-2　駅部大断面掘削支保構成

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

4　亀岡トンネル駅部大断面区間の計測計画

4-1　内空変位測定

亀岡トンネル駅部大断面区間における天端沈下量および内空変位量(以下,「計測A」)については,前述のとおり,多段ベンチ工法の掘削段階ごとに逐次監視し,初期値からの累積変位量を把握することを考慮し,**図-8**に示すようなターゲットを10m間隔で設置し,光波測距儀(1/10㎜精度)にて管理することとした.

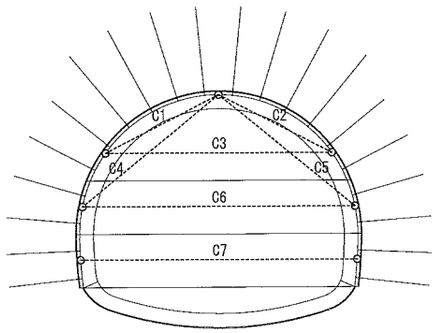


図-8　駅部大断面A計測ターゲット位置図

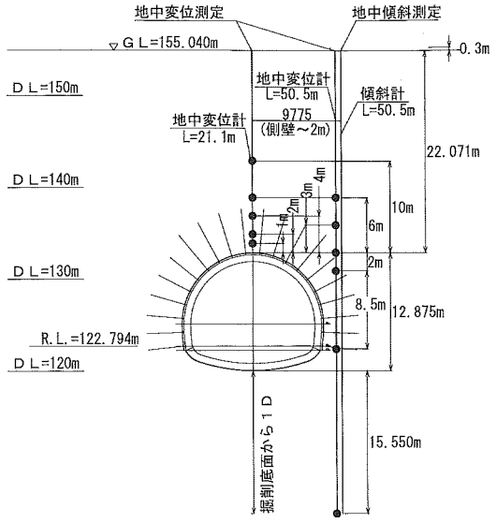


図-10　地中変位測定および地中傾斜測定

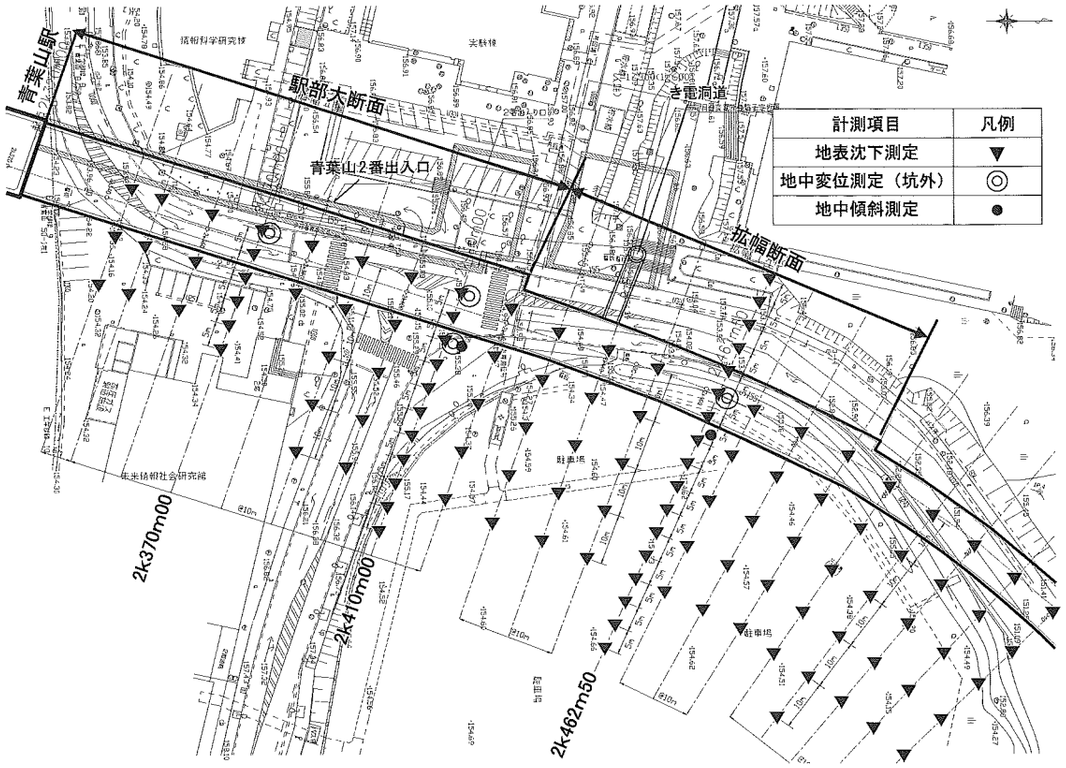
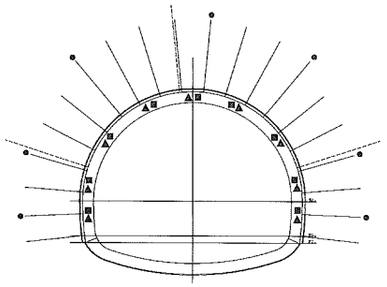


図-9　地表面沈下など計測配置図



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

図-11　検証断面における計測B配置図

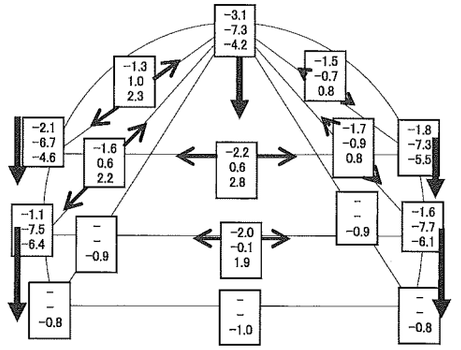


図-12　地震前後の亀岡トンネル大断面A計測結果

4-2　地表面沈下・地中変位測定

地表面沈下測定,地中変位測定(坑外)および地中傾斜測定位置を**図-9, 10**に示す.測定は,標準断面から行い,拡幅断面および駅部大断面区間で線路方向に,10m間隔で沈下測定している.また,線路直角方向における地中変位測定箇所については,影響範囲をより正確に把握するために5m間隔とし,それ以外は,10m間隔と計画した.

4-3　支保部材などの応力測定

駅部大断面区間において,掘削による地山挙動および各支保部材応力を把握し,大断面掘削の支保の安全性を検証するため,地中変位測定(坑内)および支保部材応力測定を行うこととした.**図-10, 11**に検証断面(3断面:2k370m,2k410m,2k462m50)における位置および計測項目を示す.

5　亀岡トンネル駅部大断面区間の計測結果

5-1　内空変位測定

亀岡トンネルの掘削段階は,下半区間(③)を完了し,そのA計測結果を**図-12, 13**に示す.

上半掘削時(①,②)の段階で天端沈下量が3㎜,内空変位量が2㎜程度となっている.3月11日の東日本大震災後の計測でトンネル坑内の天端沈下量が7.3㎜(変化量4.2㎜),内空変位量が0.6㎜(2.8㎜)挙動を示した(図-12).各変位量の収束傾向は,切羽進行が40m(2.5*D*)以上である.

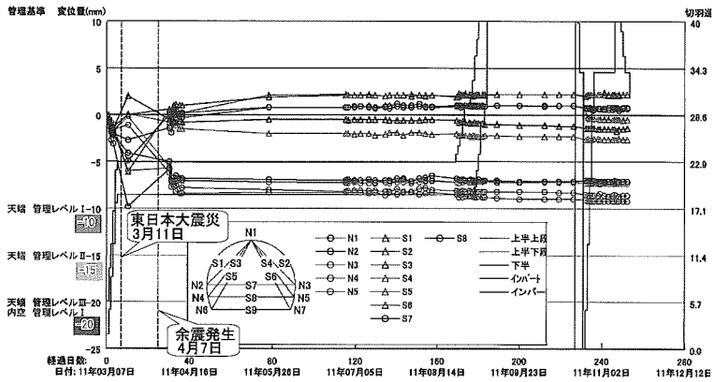


図-13　亀岡トンネル大断面A計測結果

5-2　地表面沈下量

下半掘削時のトンネルセンターでの地表面沈下量と切羽位置の関係を**図-14**で表している.

2k370m地点の枠内に着目すると到達手前24m地点では,切羽通過で11㎜の表面沈下量が計測された.地震後の計測で17㎜(地震による影響6㎜),**図-9**にある青葉山駅2番出入口開削掘削による影響で32㎜(開削による影響15㎜),青葉山駅到達時点で44㎜(坑内掘削と開削掘削による影響12㎜),下半掘削時で48㎜(下半掘削と開削掘削による影響4㎜)の沈下を計測した.

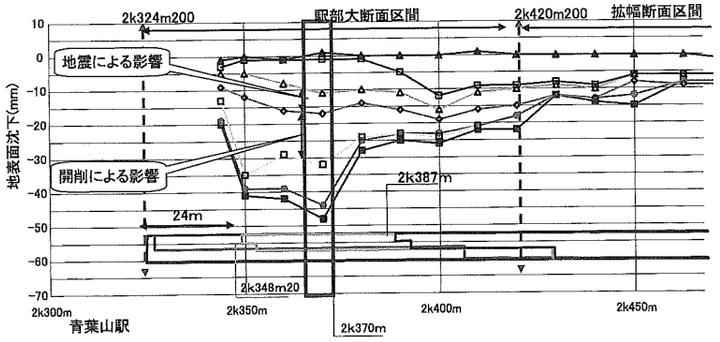


図-14　トンネルセンター地表面沈下量

6　青葉山トンネルと亀岡トンネル計測結果比較

6-1　青葉山トンネル施工条件

先行して掘削完了した青葉山トンネルの施工方法は，仙台東西線の最初の駅部大断面ということもあり，「安全性」を重要視し，中壁分割工法を採用した．なお，掘削ピッチは1.0m間隔とし，掘削パターンは，**図-15**および**表-3**に示すとおりとした．

青葉山トンネル駅部大断面と亀岡トンネル駅部大断面の掘削断面積および地質条件など(図-15)はほぼ同等である．

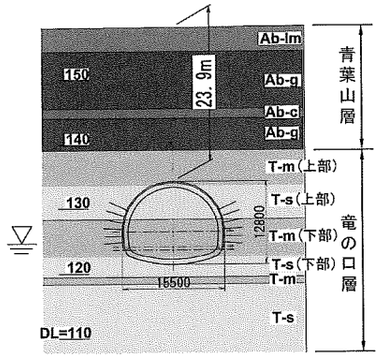


図-15　青葉山トンネル駅部大断面地質横断図

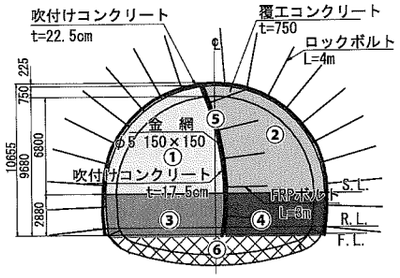


図-16　青葉山トンネル駅部大断面支保パターン

青葉山トンネル駅部大断面区間の施工方法は，**図-16**に示すように中壁分割工法にて，①先進坑上半～⑥インバートの施工順序で掘削し，青葉山駅に到達した．その支保パターンは表-3に示すとおりである．

上記のことから前提条件がほぼ同等である亀岡トンネルと青葉山トンネルでは，掘削工法の違いによる計測結果の比較ができる．

6-2　地表面沈下の比較

青葉山トンネルと亀岡トンネルの計測値およびFEM解析値の横断面での比較を**図-17**で表す．

FEM解析では，青葉山トンネル(中壁分割工法)の地表面沈下量は6㎜であり，亀岡トンネル(多段ベンチ工法)の地表面沈下10㎜となり，中壁分割工法の方が4㎜程度地表面沈下を抑制すると計算されたが，計測値では，青葉山トンネルおよび亀岡トンネルともに11㎜程度の沈下量を計測した．亀岡トンネルの計測とFEM解析値は，一致する結果となった．

表-3　青葉山トンネル駅部大断面区間掘削支保構成

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

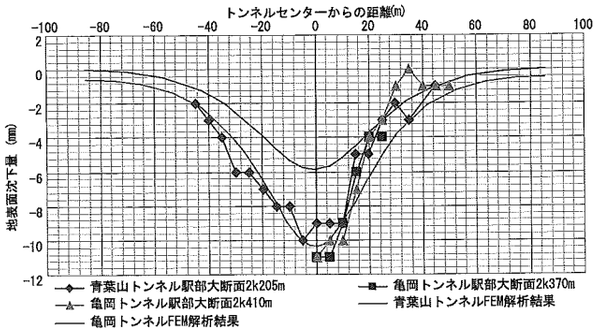


図-17　地表面沈下横断面分布比較

6-3　地中変位および傾斜計の比較

下半掘削時で青葉山トンネルと亀岡トンネルの地中変位および地中傾斜計の計測結果の比較を**図-18**に示す．亀岡トンネルの天端上部地山の鉛直変位は青葉山トンネルより大きい値を示しており，FEM解析の予測値と同じ傾向となっている．水平変位は，青葉山トンネルはSL付近で4㎜ほどの変位が計測され，亀岡トンネルは，インバート下端で4㎜ほどの変位があり，SL付近よりもインバート下端付近に軟弱層があると推測している．

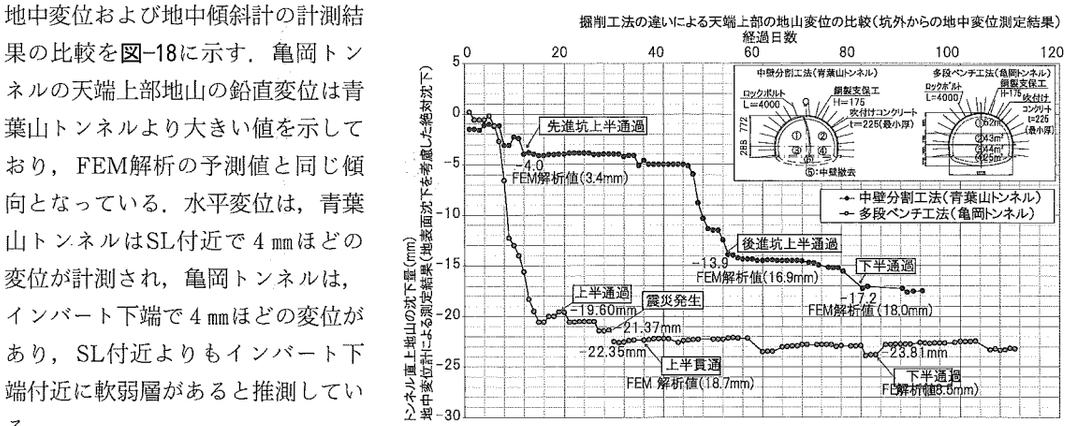


図-18　地中変位計および傾斜計比較図

6-4　天端上部の地中変位経時変化比較

青葉山トンネルと亀岡トンネルの天端上部の地中変位経時変化を**図-19**に示す．

図-19　天端上部地中変位経時変化比較図

亀岡トンネル(多段ベンチ工法23.8㎡)と青葉山トンネル(中壁分割工法17.2㎡)を比較すると中壁分割工法が地中変位の約70%沈下量を抑制している．多段ベンチ工法は，上半掘削時に変位出現率が90%であるのに対し，中壁分割工法は，後進坑上半通過時に80%であり，FEM解析の予測値ともほぼ一致している．

6-5　坑外地中変位右側観測孔の鉛直変位比較

青葉山トンネルと亀岡トンネルの坑外地中変位右側観測孔鉛直変位の比較を**図-20**に示す．

図-20の左図は，亀岡トンネルの震災前後および下半掘削での鉛直変位を示している．震災前後の違いは，地表面から20mの範囲で4㎜ほどの変動をしているが，トンネル坑内付近では，地震の影響はほとんどないことがわかる．図-20の右図は，青葉山トンネルと亀岡トンネルの比較を示している．FEM解析値と計測の結果は，おおむね同様の計測結果となっており，トンネル近傍の変位は，亀岡トンネルの方が青葉山トンネルより大きくなっている．トンネル上部から地表面までの変位は，青葉山トンネル，亀岡トンネルともに縮みの傾向を示すが，FEM解析では伸びと計測されている．

6-6　坑外地中変位右側観測孔の水平変位比較

青葉山トンネルと亀岡トンネルの坑外地中変位右側観測孔水平変位の比較を**図-21**に示す．

図-21の左図は，亀岡トンネルの震災前後および下半掘削での水平変位を示している．震災前後の違いは，インバート下端に11㎜ほどの水平変位があり，この部分に軟弱層ないし，空洞などがあると推測している．下半掘削段階では，トンネル直上から地表面付近までの変動は最大で5㎜ほどあるが，トンネル坑内付近では，掘削の影響はほとんどないことがわかる．

図-21の右図は，青葉山トンネルと亀岡トンネルの比較を示している．青葉山トンネル(FEM解析値と計測値)の傾向は，トンネル隅角部付近で最大変位がでており，おおむね同傾向を示してい

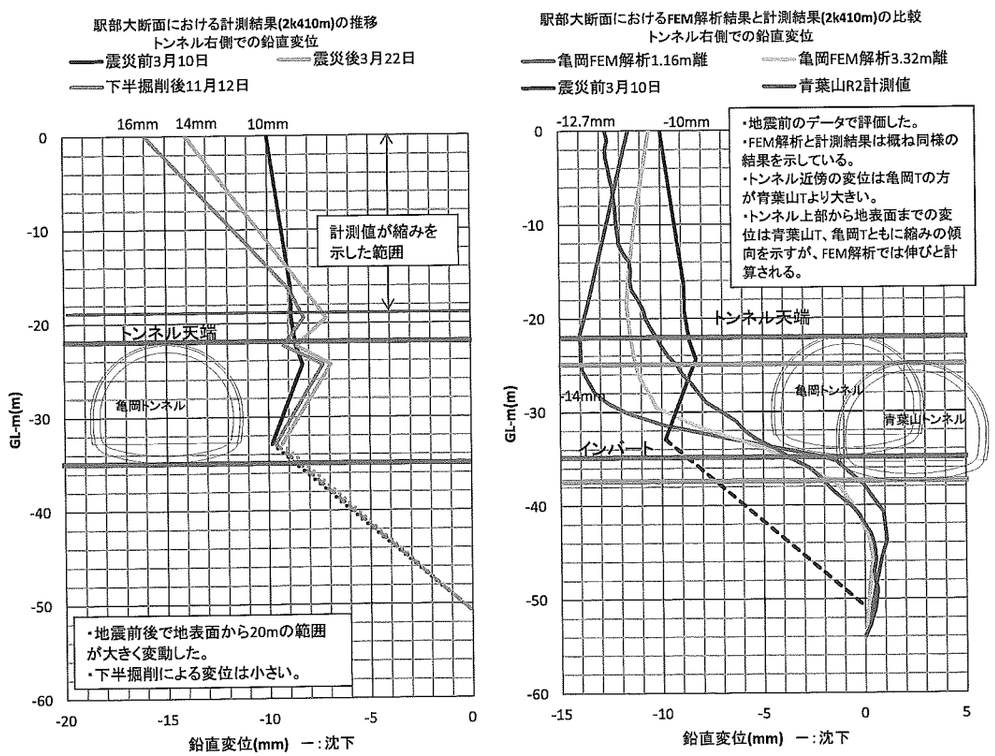


図-20　坑外地中変位右側観測孔変位比較図

るが，亀岡トンネルでは，インバート下端に最大水平変位の変動がある．

6-7　鋼製支保工分布比較

青葉山トンネルと亀岡トンネルの鋼製支保工に比較を**図-22**に示す．

亀岡トンネル(解析値と計測値)では，S1～S5はほぼ同じ傾向を示しており，S6～S9の計測値は解析値より，低い傾向となっている．

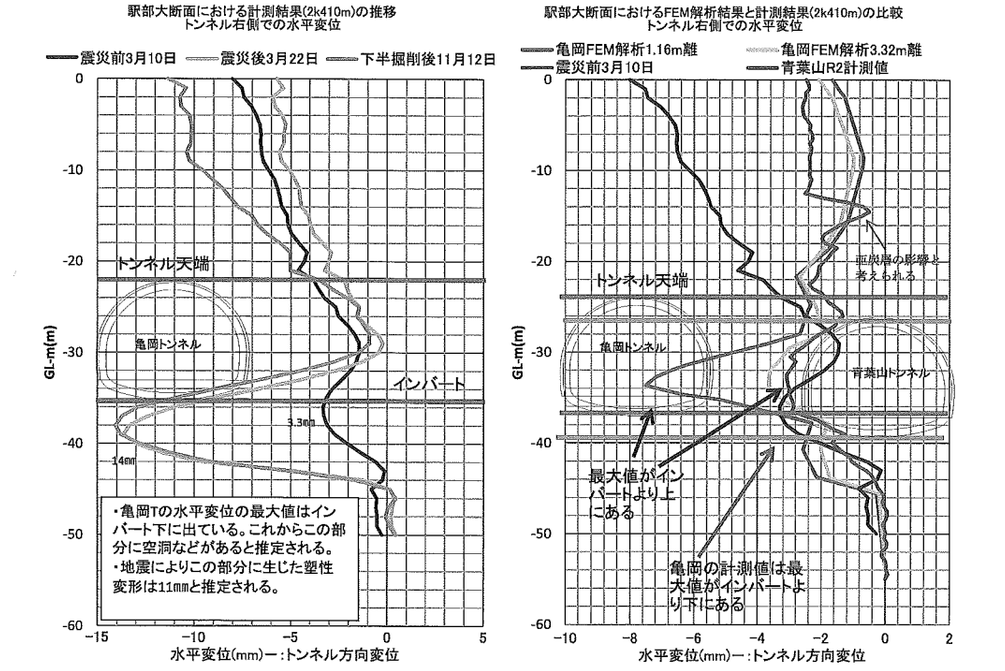


図-21　坑外地中変位右側観測孔水平変位比較図

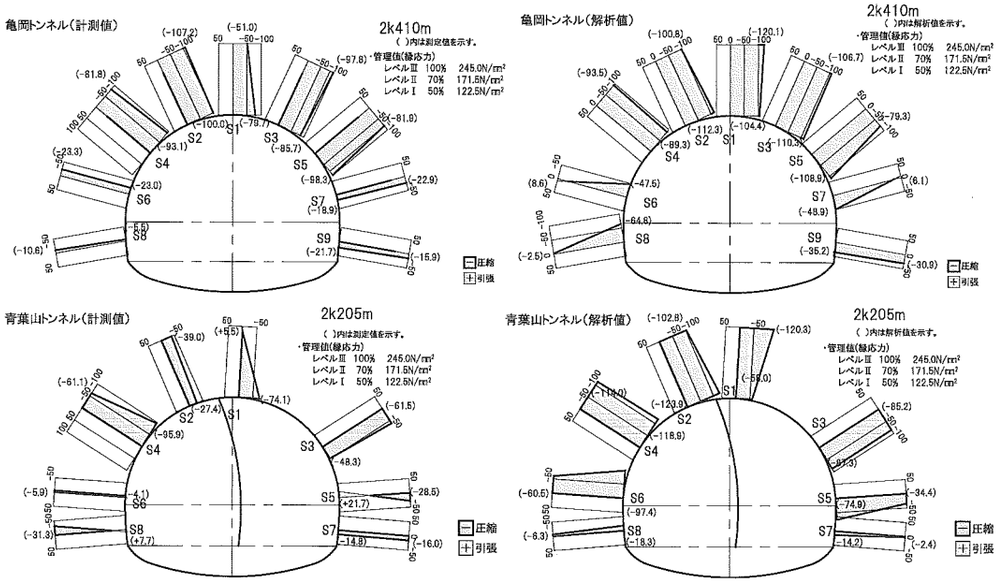


図-22　鋼製支保工比較図

亀岡トンネルの計測値と青葉山トンネルの計測値は，S1およびS2で青葉山トンネルの応力値が低く出ており，中壁分割工法は曲げが出ているため，応力値が低くなると推測される．

6-8　吹付けコンクリート応力分布比較

青葉山トンネルと亀岡トンネルの吹付けコンクリート応力分布比較を**図-23**に示す．

亀岡トンネル(解析値と計測値)では，ほぼ同じ傾向を示しており，解析値よりも計測値の方が大きい．とくに肩部(T 3, T 6)に応力値が大きくなる．亀岡トンネルの計測値と青葉山トンネルの計測値は，T 1は同じであるが，肩部(T 2, T 3, T 4)と青葉山トンネルが小さくなる．多段ベンチは，全体に応力がかかり，中壁は，曲げにより応力的に余裕がある．

6-9　ロックボルト軸力分布比較

青葉山トンネルと亀岡トンネルのロックボルト軸力分布比較を**図-24**に示す．

亀岡トンネル(解析値と計測値)では，ほぼ同じ傾向を示しており，RB 3以外は計測値の方が小さい値であり，RB 4～RB 7は大きく乖離している．亀岡トンネルの計測値と青葉山トンネルの計測値は，中壁の方が大きく出ており，曲げ引張によりロックボルトの引張が出やすい傾向にある．

6-10　支保部材応力分布比較

青葉山トンネルと亀岡トンネルの支保部材応力分布(吹付けコンクリートおよび鋼製支保工)の比較を**図-25**に示す．

FEM解析値は，亀岡トンネル，青葉山トンネルともに1,000kN程度であり，亀岡トンネルの計測値は，FEM解析値よりも大きい．一方で青葉山トンネルは，FEM解析値の方が大きい傾向にある．青葉山トンネル(計測値)と亀岡トンネル(計測値)を比較すると亀岡トンネルの多段ベンチの方が大きい値となっている．応力的に中壁分割工法の方に余裕があり，工法として安全性が高いといえる．

6-11　支保部材応力比率比較

青葉山トンネルと亀岡トンネルの支保部材応力比率(吹付けコンクリートおよび鋼製支保工)の比較を**図-26**に示す．

FEM解析値では，亀岡トンネルの吹付けコンクリートの比率は40～50%程度であり，青葉山トンネルでは，40～90%程度となっていた．計測結果では，亀岡トンネルの吹付けコンクリートの比率は50～70%程度であり，青葉山トンネルでは50～90%程度となり，計測値の方が吹付けコンクリートの比率が高いことがわかる．また，鋼製支保工

【吹付けコンクリート応力分布】 単位:N/mm²

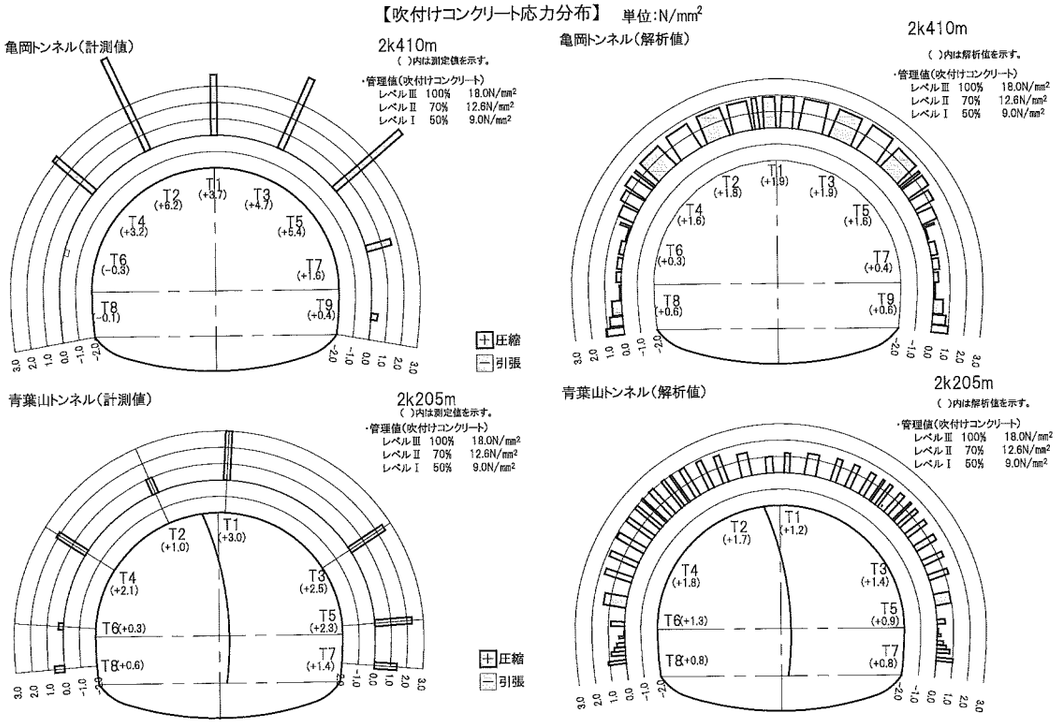


図-23　吹付けコンクリート比較図

【ロックボルト軸力分布】 単位:kN

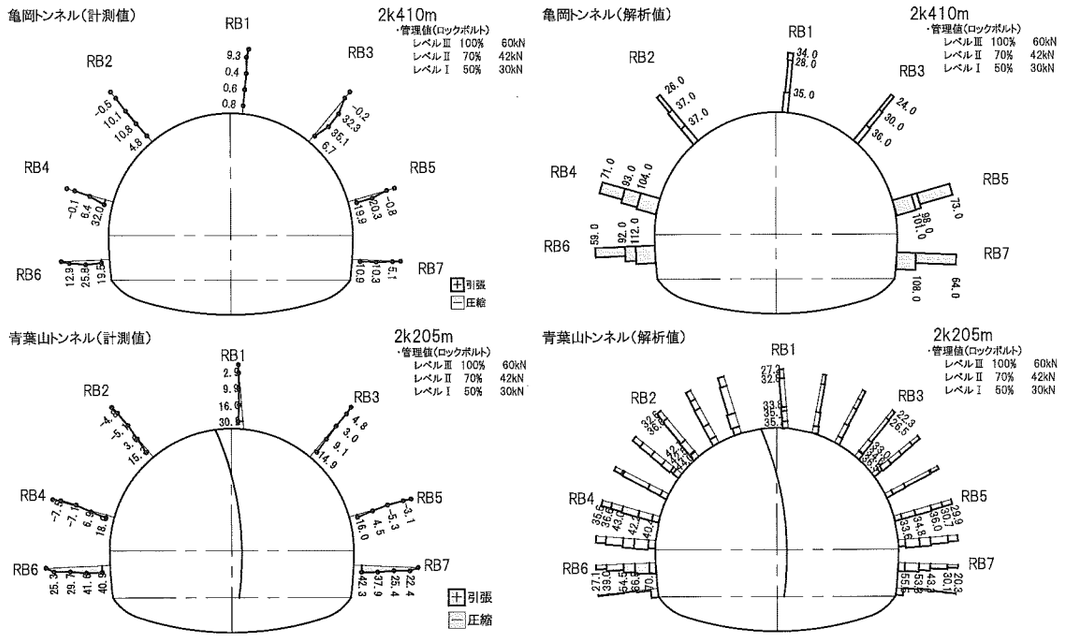


図-24　ロックボルト比較図

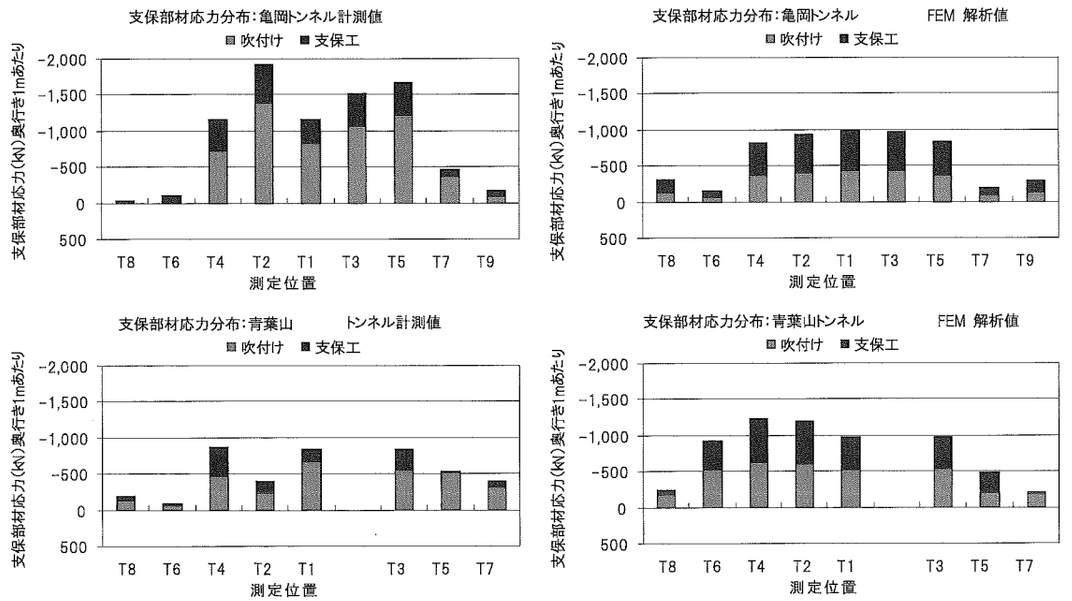


図-25　支保部材応力分布比較図

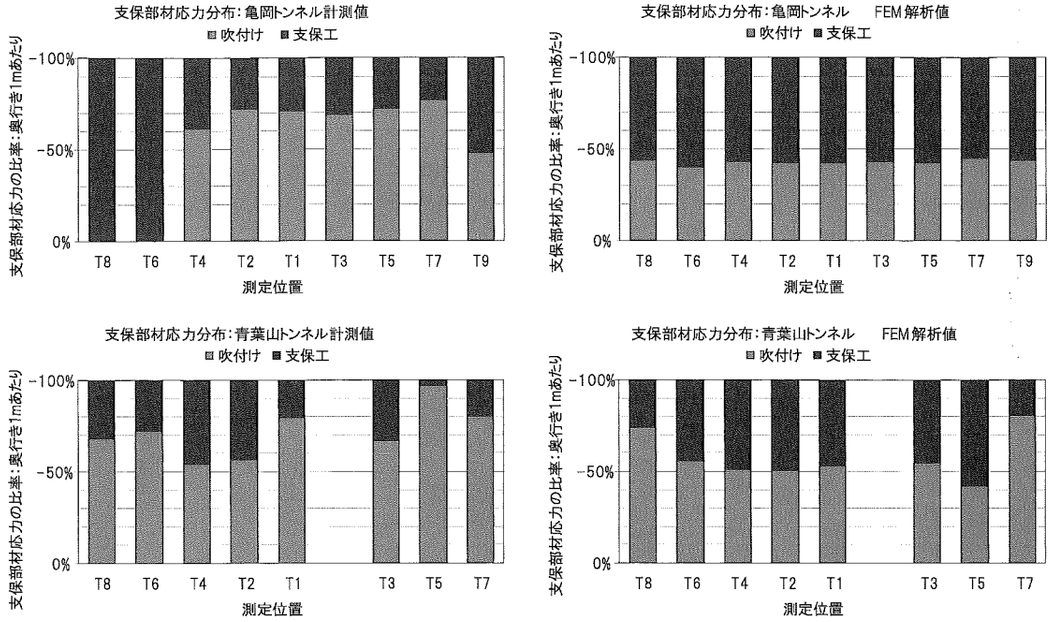


図-26　支保部材応力分布比較図

よりも吹付けコンクリートの負担割合が多くなっている．

7　おわりに

今回，ほぼ同様の地質を掘削した青葉山トンネルの中壁分割工法と，亀岡トンネルの多段ベンチ工法における計測結果を検証することにより，各々の工法の特徴の知見を得た．これらの成果を今後の技術の参考としていく所存である．

亀岡トンネル駅部大断面区間の掘削は，平成23年12月下旬にインバートまでの掘削がすべて終了した．現在，駅部大段面のインバートコンクリートの施工中であり，今後のアーチコンクリートおよび中床版などの施工を引続き安全に行いたいと考えている．

本トンネルの掘削および計測結果の総括を進めていくにあたり，朝倉俊弘委員長(京都大学大学院教授)をはじめとした仙台市地下鉄東西線トンネル技術検討会の皆様，仙台市交通局をはじめとした各関係者の皆様からの多大なるご指導・ご協力に対し，深甚なる謝意を表する次第である．

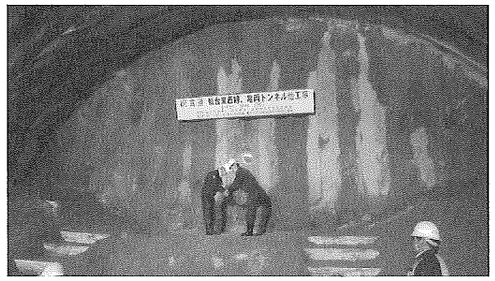
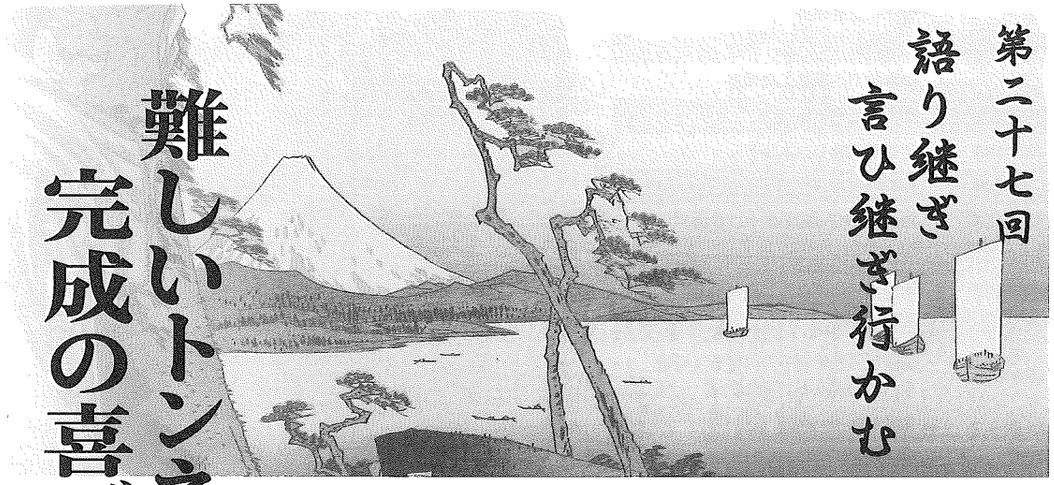


写真-1　貫通式写真

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，2008.4.
2) 本堂亮・東優・浅川敏郎・鶴原敬久：駅部大断面トンネルを中壁分割工法で施工―仙台市高速鉄道東西線　青葉山トンネル―，トンネルと地下，Vol.40，No.10，pp.43-51，2009.10.
3) 本堂亮・東優・浅川敏郎・鶴原敬久：駅部大断面トンネルを中壁分割工法で構築―仙台市高速鉄道東西線　青葉山トンネル―，トンネルと地下，Vol.41，No.9，pp.17-26，2010.9.
4) 今井正樹・東優・山田亮志・鶴原敬久：駅部大断面NATMを隣接トンネル実績を活用して計画―仙台市高速鉄道東西線　亀岡トンネル―，トンネルと地下，Vol.42，No.4，pp.289-299，2011.4.



第二十七回
語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

難しいトンネルほど完成の喜びは大きい

前田　隆
(元)鹿島建設(株)

はじめに

私は昭和34(1959)年，鹿島建設に入社し，初めて赴任した現場は山深い大井川上流の中部電力畑薙第二発電所のトンネル現場でした．何の予告もなく，たまたま配置されたところがトンネル現場であったことが縁で，それ以来，トンネルの魅力に惹かれ，鹿島建設を定年で退職するまでと，その後10年間の建設コンサルタント勤務を含め，約50年間のほとんどを「トンネル技術」とかかわってまいりました．

私が社会に出た昭和30年代中頃から，東海道新幹線工事，東名・名神高速道路工事などの交通網の整備とエネルギー供給元としての水力・火力発電所の建設が急ピッチで進められ，大型のトンネルも数多く建設されました．

この50年間のトンネル技術の進歩，変遷は著しく，トンネルの支保工は木製支保工から，鋼製(V形，H形)支保工，そして現在の吹付けコンクリート・ロックボルトを主体とするNATMに変わりました．不良地山に対しても，補助工法として先受け工法や切羽の補強工法の採用が標準化され，大断面を一度に掘削することが可能となりました．防水シートも標準化され，覆工コンクリートの品質も格段に向上しました．旧来の工法を改革して新しい技術を開発推進してきた，発注者ならびに施工会社技術陣の旺盛な研究心と努力の積み重ねの成果です．

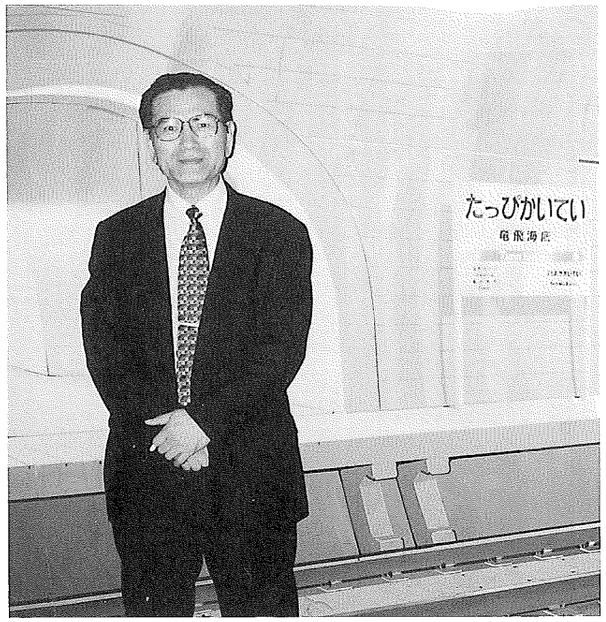
私の約50年間にわたる「トンネル屋人生」において，印象に残っているのは，どうしても古い工法の話になりますが，「トンネル屋」の基本的な考え方は共通するものがあろうかと思いますので，拙い体験の一端を述べさせていただきます．後輩の皆さんにとって少しでも参考になれば幸いです．

「トンネル屋」の基本を教えてくれた最初のトンネル現場

私が最初に体験した畑薙第二発

著者略歴

昭和34年	鹿島建設(株)入社
〃	中部電力畑薙第２発電所
昭和36年	国鉄新幹線蒲原隧道
昭和43年	近鉄鳥羽線トンネル
昭和44年	国鉄中央本線島田ずい道
昭和47年	鉄建公団岡多線平芝トンネル
昭和48年	建設省下呂トンネル
昭和51年	中部電力奥矢作第２発電所立坑
昭和56年	鉄建公団青函トンネル(竜飛工区)所長
昭和62年	北陸電力志賀原子力発電所１号機 取放水路海底トンネル所長
平成４年	本社土木技術本部
平成５～９年	名古屋工業大学非常勤講師を兼務
平成９年	(株)鹿島建設定年退職
〃	中日本建設コンサルタント(株)勤務
平成13年	同上　退社
平成14年	丸栄調査設計(株)勤務
平成18年	同上　退社



青函トンネル竜飛海底駅にて(1996.06)

電所導水路のトンネル工事は，最下流部が鉄管隧道(D=7.4m，L=67.0m)，その上流部に水槽隧道と５号トンネル，４号トンネル，３号トンネル(D=5.0m，L≒2.900m)からなっていた．地質は多亀裂な砂岩粘板岩の互層で一部に破砕風化した区間もあり，湧水箇所もあった．

鉄管隧道の掘削工法は，当時もっとも一般的であった新オーストリア式掘削方式，すなわち底設導坑を掘り，中割りを切って，丸型を切り広げ，上半部に設計厚30cmの余巻きコンクリート(仮巻きコンクリート)を打設，その後，土平を掘る工法が取られた．支保工は松丸太主体の木製支保工が採用され，コンクリート打設には木製セントルが使用された．

その上流部の水槽隧道，５～３号トンネルは，当時としては機械化された上部半断面先進ベンチカット工法で，支保工は鋼製V形支保工が採用された．

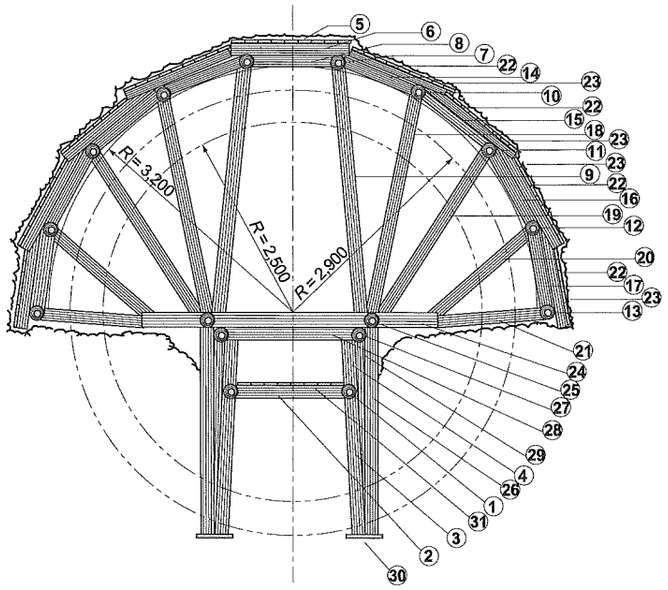
■松丸太矢板普請(木製支保工)から荷の掛かり方(地山荷重)を教えられた．

木製支保工の普請は後光梁式で，末口15～25cm(当時は寸，尺で呼んでいた)の松丸太を加工して柱材，桁，内梁に使い，厚さ３～４cmの松矢板で縫地または送り矢板で地山を受け，木製のキャンバーで締め上げて当たりをつけていた．

地山荷重は地質により，時間経過により変化するものであり，支保工に荷が掛かってくると，①柱材のサバが桁材に食い込み，手ハンマーで叩くとピンと張った手応えを感じる．②矢板のたわみや矢尻の折れがみられる．③キャンバーの食い込みがあるなどの現象のほか，湧水が増加したり，矢板の隙間からずりがこぼれ落ちたりといった現象がある．これを見落とさないことが重要であった(NATMの現在でも坑内観察は重要であるが)．

支保工の耐力不足は崩落の危険があるので，松丸太の太さを太くしたり，本数を増やしたりして対処していた．木材の手配は，山を見ながら対応する先輩社員の大切な仕事であった．

新入社員の私は，朝７時から夕方７時の夜番との交替まで毎日切羽に張り付いて作業を見ていたので，仕事の手順もすぐに覚えることができた．私がトンネルに全くの素人であったことが，ベテランの坑夫や斧指にとっては教え甲斐があったのか，実に親切に教えてくれたものである．お蔭で彼らが何十年かかけて体得した経験則の多くを短期間に吸収することができた．



番号	名称	番号	名称	番号	名称
1	導　坑　担	12	三　の　桁	23	矢　　板
2	導坑担内梁	13	四　の　桁	24	大　　引
3	導 坑 担 柱	14	一の桁内梁	25	大 引 継 梁
4	中 割 担 柱	15	二の桁内梁	26	第　三　柱
5	天 井 矢 板	16	三の桁内梁	27	願　　担
6	天 井 転 し	17	四の桁内梁	28	願 担 内 梁
7	天　井　担	18	一 の 後 光	29	願　担　柱
8	天井担内梁	19	二 の 後 光	30	皿　　板
9	大　　立	20	三 の 後 光	31	導 坑 矢 板
10	一　の　桁	21	四 の 鼻 梁	32	鎹
11	二　の　桁	22	転　　し		

水路隧道木製支保工図および部材名(『畑薙第二発電所施工記録』より)

また，木製支保工では，コンクリート打設のとき，「木外し」という荷重の盛替え作業がある．木製セントルは強固に組んであっても，地山の載荷重が大きくて危険なときは，コンクリート打設を先行して，コンクリートの硬化後，箱抜きにしておいた柱丸太を切断し撤去することもあった．

地山荷重の変化を見落とさず，いかに対処していくか，これはトンネル技術の基本であるが，私は木製支保工から教えられたと言える．ここで体得したことは，後になって地山の変位と支保工の耐力に関して理論的に勉強する端緒となり，それがその後体験したいくつかの現場でたいへん役立ち，地山の変状を早期に察知し，ただちに支保工の補強対策を施工して，地山崩落の事故を未然に防ぐことができた．

例えば昭和43年，土かぶりの小さい近鉄鳥羽線における上半掘削中の支保工変状対策．昭和46年，きのこ型断面で施工した島田トンネルの上半支保工の変状対策．また，平成５年ごろ，本社の技術本部に在籍し，現場の技術指導を行っていたとき，北陸の雪に埋もれた道路トンネル坑口部で支保工の異常を察知し，急遽，掘進を中止させ，吹付けコンクリートによる補強を行って，事なきを得たことなどを思い出す．

現在では，計測工が標準化され，坑内観察調査(切羽観察と既施工区間の観察)は内空変位計測とともに必須となっているが，トンネルを担当する技術者には，独自の「山を見る目」を養って欲しいと思っている．

■削孔装薬発破作業の基本は切羽で坑夫と一緒に作業をして体得した

当時はベテランの坑夫が岩質を見ながら，削孔配置は「ここに１孔増やせ」「ここは間隔をあけて」，火薬の装薬量も「ここは増しダイを１本増やせ」などと切羽で指示していた．私は切羽に張り付いていたので，削孔配置や装薬量をスケッチして記録に残す役割を担っており，装薬作業は自然に覚えた．火薬量は自由面からの最小抵抗線の長さから理論的に計算できることは知っていたが，地質の係数の取り方で大きく狂うもの．実際は現場の経験値が重要であることを知った．

当時，火薬(ダイナマイト)は大変高価なもので，土工の日当が300円くらいのときに，約300円/kgだったと思う．したがって，装薬量を節約することが，コスト面での大きな課題であった．火薬を節約しすぎて，爆破はしても岩盤が崩れない(ハチを打つ)こともたまにはあったが，火薬量の削減に挑戦したこともあった．

切羽の環境は削岩機の騒音と削孔の粉塵で濛々としており，長時間切羽に張り付いていることは，かなりの忍耐力がいる仕事であったが，実際に自分の目で確かめて身に付けた知識は，以後のトンネル現場で十分生かすことができた．

■サイクルタイムや歩掛りの根拠を現場の体験から覚える

トンネルの切羽では，地質の状況によって若干の変化はあるものの，作業は削孔，装薬，発破，ずり出し，支保工のくり返しである．現場に張り付いていたので，仕事の手順はもとより，どの作業に作業員が何人でどれだけの時間が掛かったか，どのような不具合があったか，自分の目で確認することができた．毎夕，現場で行われる打合せ会では上司に対して積極的な発言ができ，自分の提案も採用されるようになって，仕事が面白くなり，ますます仕事に対する情熱がわいてきたものである．

その当時身に付けたサイクルタイムや歩掛りの根拠は，のちのち新しい工事の施工計画の作成，工事費の見積りにおおいに役立った．

また，欧米の先進技術を導入して効率化することも勉強した．この現場の5号トンネルでは，上半掘削にスウェーデン式掘削工法が試験的に採用された．この方式は従来から採用されていたガントリジャンボに大型のドリフタを6連装備した削孔機に替えて，簡易ジャンボの上下にスウェーデン製のレッグドリル(空気圧式)を配置する工法である．アトラスコプコ社製(BBD-50)を架台の上に2台，下に4台配置し，この削岩機とスウェーデン製のインサートロッドとの組合せにより，日本の同等機種よりも削孔スピードが速く，長孔削孔も可能であるという利点があった．

しかし，この現場では地質が砂岩粘板岩の互層で亀裂が発達していたため，ロッドビットの折損が多発し，長孔削孔は無理であった．また，削岩機の重量が重く，日本人坑夫には，取り扱いにくいという欠点もあった．

断層破砕帯の不良地山を現場に対応した工法変更により克服した

■地質の急激な変化に対応した対策工法は現場で考え，すぐに手を打つこと

昭和48～50年に施工した国道41号線の下呂トンネルは，総延長1,232m(当社施工分は起点側621m)で歩道付き2車線の道路トンネルである．トンネルの地質は流紋岩質熔結凝灰岩で，全体が地質学上有名な「阿寺断層」の断層破砕帯上に位置しており，場所によって角礫化，粘土化が進み，湧水もあり不良地山の最たるものであった．

しかし，当初の地質調査結果では，坑口分の90m以奥は，4か所の低速度帯があるものの，比較的良好な地質であると判断されていた．したがって，坑口から90mが側壁導坑先進上部半断面工法，以奥は上部半断面先進工法による逆巻き工法を採用した．

実際に掘ってみると予想外に地質が悪く，上半は全線，縫地矢板工法のリング掘りで施工しなければならず，坑口から490m地点では上半切羽の上部より1,200L/minの湧水とともに破砕岩の流出があり，薬液注入により止水と地山の補強を行った．600m以奥においても，軟弱地質と湧水のため上半の掘削を続行することができなくなり，薬液注入による地山改良を行って，ようやく工区終点までの掘削を完了した．

下半掘削施工時においても問題が生じた．坑口から200m付近で地質の風化変質が進んでいる区間で，湧水によりアーチコンクリートに掛かる地山荷重が増加すると同時に脚部の地耐力が低下し，アーチコンクリートにクラックが生じ，同時に約30m区間にわたって沈下するという重大なトラブルが発生した．アーチコンクリートの沈下を抑止しなければ，トンネルは全断面崩落の危機に直面すると判断し，ただちに対策に取りかかった．

まず，坑外土捨場よりずりを搬入して上半盤まで埋め戻し，アーチコンクリートの下部にH形鋼で切梁を入れ内側への変位を防止し，沈下防止のため松丸太による後光普請を施し，根固めコンクリートを打設した．これらの対策後，沈下は収束し，側壁コンクリートは上半盤からのつぼ掘り掘削によって施工して，この区間を無事完了した．

当時は地質調査の精度も悪く，現在のような切羽前方の地山改良や先受け工法は開発されておらず，脚部沈下防止対策工法の実績もなかったので，既存の技術を駆使して，とにかくトンネルの崩落を阻止しなければならなかった．

トンネルを担当する者は，切羽の変状に対して時間をあけず，ただちに対策を打つ必要があるので，現場に常駐して，日ごろから最悪の事態を想定して現場管理に当たらなければならない．これはトンネル技術者の務めであり，責務であると今も思っている．

トンネル現場には常に施工法の改善，技術開発のテーマがある

トンネルの施工法は，工事規模，断面形状，地質，現場の環境，工期などによってそれぞれ異なってくる．したがって，現場を担当するものは，その現場の特性を把握し，それに対応した施工法の改善や新しい工夫(技術開発)が必要である．

昭和52～53年に施工した中部電力奥矢作第2発電所の導水路立坑は，長さ(深さ)380m，内径6.2～5.5mの長大立坑であった．施工方法は上部からの全断面掘下がり方式で，掘削とコンクリート巻立てを交互にくり返して掘下がるショートステップ方式を採用した．ステップ長は地質に応じて1.0～2.0mとした．

この工事では，実績の少ない，上部から掘下がり方式で施工する場合の工事工程の確保が問題であった．そこで施工検討の結果，次の2工法の新技術を採用した．いずれの工法も好結果を得て，工事は計画工程を約3か月短縮して終了できた．

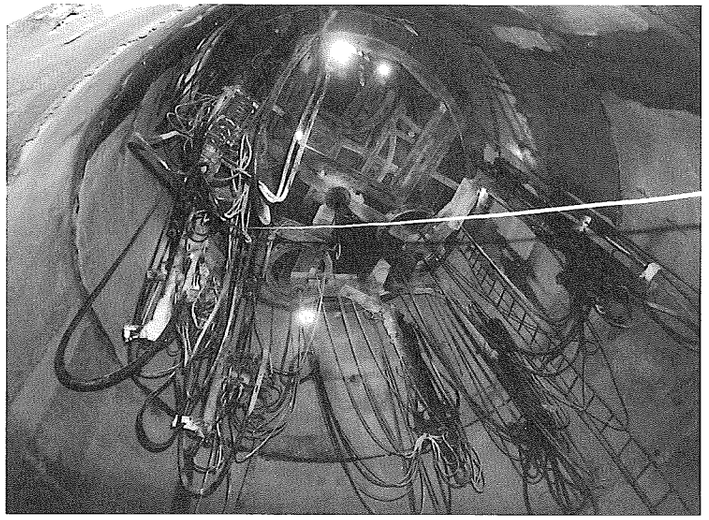
■削孔機械の能率の向上と安全性の確保

施工計画に先立って，ある鉱山の採鉱現場を見学し立坑設備を見せていただいた．下向き削孔では一般的に重量の大きいドリフタを採用し，削孔のつど，坑外から吊入れて切羽に設置し，削孔後は撤去して坑外に搬出する作業をくり返していた．この作業は時間が掛かることと，安全性にも問題があると考え，新しい削孔設備の開発を行った．最下段のスカフォード(作業床)に6台の掘削機(ドリフター)を装備し，下向きに3.0m深さの削孔が可能な設備とした．この削孔設備で能率の向上に成果をあげた．

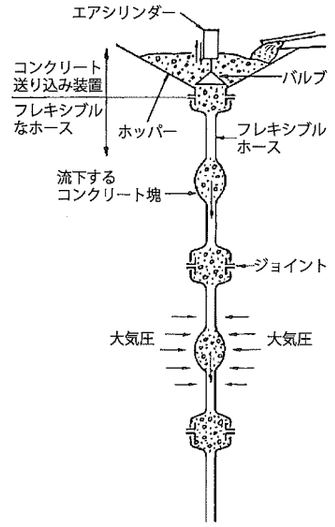
■填充コンクリートの打設に新開発のスネークシュートを使用

水圧鉄管路立坑の填充工事は水圧鉄管の据付け作業と交互に行うもので，1打設のコンクリート量が160m³で29回のくり返し作業であった．当初計画ではバケット打設により1打設に2日掛かる予定であったが，この水圧鉄管路工事が発電所工事のクリティカルになっているので，予定工程をできるだけ短縮することが求められていた．

スネークシュートはコンクリート送り込み装置と下部の特殊なゴムホースからなっており，ホースの摩擦抵抗力の作用により流下速度を調整し，コンクリートの分離，品質低下を防止するものである．コンクリートの打設能率はトラミ



スカフォード下部に装着した掘削機



スネークシュートの原理

キ待ち，段取り替えなどを含む平均打設能力で1時間あたり20～40 m³であり，当初計画していたバケット工法と比較して高能率で，安全な工法であった．

世界に誇る大プロジェクト 青函トンネル工事を体験して

昭和56年から4年間，青函トンネル竜飛工区工事に従事した．鹿島・熊谷・鉄建JVが竜飛工区工事に着手したのは昭和47年であるから，私が赴任したときは既に9年を経過し，本坑工事は海峡中央部の第10工区(850m)，第11工区(825m)，第12工区(825m)の掘削に着手していた．

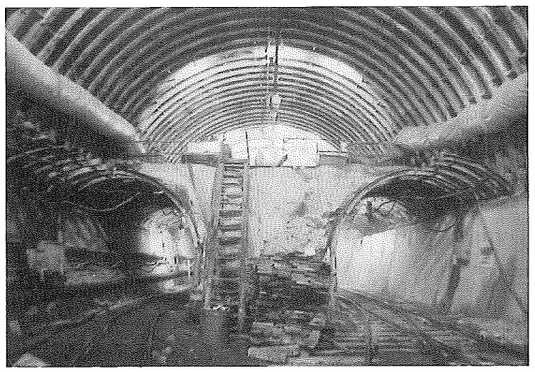
掘削工法は先進導坑や本坑既施工区間の実績をもとに検討され，支保耐力の大きい側壁導坑先進工法が採用された．しかし，第10本坑では起点から300m付近で上半支保工(250H)の座屈破壊，側壁コンクリートの押し出しなどの変状が生じ，海底トンネルの恐ろしさを再認識させられた．

その後，地盤注入のカバーリングを増加し，地山計測を実施しながらインバートコンクリートの早期全断面閉合を行い，その後は大きな変状を惹起することなく無事に完了した．

また，この時期に定点や横取基地を建設した．定点工事では，既設本坑の覆工コンクリートに高さ3.65m，幅5.7mの連絡誘導路の開口部を上下線各13か所築造することになり，既設トンネルに振動や衝撃を与えない工法を採用した．既設コンクリートの切断に新しく鹿島が技術開発した高水圧アブレイシブジェット工法を採用し，好結果を得た．

横取基地では，既設本坑を拡幅して幅19.6m，高さ13.2m，長さ41.4m，約200m²の大断面トンネルを2か所構築した．海底部での大断面施工は前例のない工事であったので，施工中の計測管理を強化し，慎重に施工して問題なく完了した．

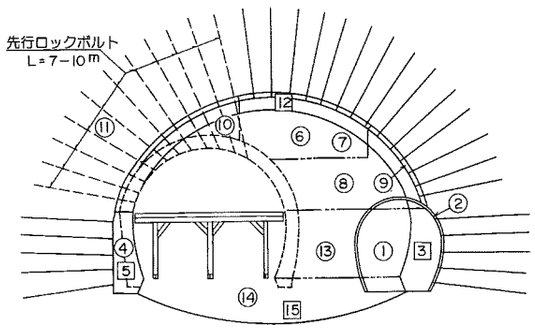
青函トンネル海底部工事は，昭和39年3月に日本鉄道建設公団が設立され，公団直轄により本格的に調査斜坑の掘削が開始されて以来，昭和58年1月に先進導坑が貫通し，昭和60年3月本坑が貫通，



側壁導坑先進工法の坑内状況



本坑貫通式で会社の幹部と(左端が筆者)



横取基地掘削順序図



青函トンネル横取基地

昭和63年3月に津軽海峡線として開業した．

着工以来長年にわたり，海底トンネル特有の出水事故など幾多の苦難に遭遇しながら，屈することなくこの大事業を成し遂げ得たことに対して，この事業に携わってきた多くの人たちに敬意を表するとともに，私もその一員として微力ながら参加できたことを誇りに思い，喜びを感じている．

私はこの現場に赴任するまでは，単なる難工事であるという認識でしかなかったが，現場を担当することになって改めてこの長大海底トンネルの技術的成果を再認識したものである．例えば，止水注入工については，膨大な地質調査と注入実績の資料をもとに，毎回，注入計画検討会議が開催され，綿密な実施計画を作成し，実施工においては地質，湧水量，注入圧，注入量を厳密に管理し，データを積み上げ，後工事に生かしていた．

注入剤の開発からはじめ，先輩達の長年にわたる実績の積み重ねがあって始めて，今日の海底下の作業が安心して続けられることを実感した．ある先輩が「『九仞の功を一簣に欠く』ということわざがあるが，そのようにならないように」と言われたことを強く肝に銘じたものである．

日本海に海底トンネルで 取放水設備をつくる

■青函トンネルで開発された海底トンネルのノウハウを原子力発電所の取放水トンネルに生かす

昭和62年から北陸電力志賀原子力発電所1号機の取放水路トンネル工事に携わった．取水路トンネル，放水路トンネルは，総延長約1,200m，仕上がり内径4.50mで，発電に必要な冷却水40m³/secを導水するものであった．取・放水口は3か所あり，おのおの海上に独立して構築し，立坑構築後に海底トンネルを接続させた．

地質は安山岩および凝灰角礫岩からなり，10N/㎟以下の軟岩を挟み，最大190N/㎟の硬岩も介在する．透水係数は10^{-2}～10^{-4}cm/secであり，きわめて透水性の大きい岩盤であった．掘削工法は青函トンネルと同様，全線に薬液注入を行い，発破工法を採用した．硬岩対応の密閉型シールド工法も検討したが，当時は硬岩掘削に対応するビットの材質および交換のための時間やコストが嵩むので不利と考え採用しなかった．

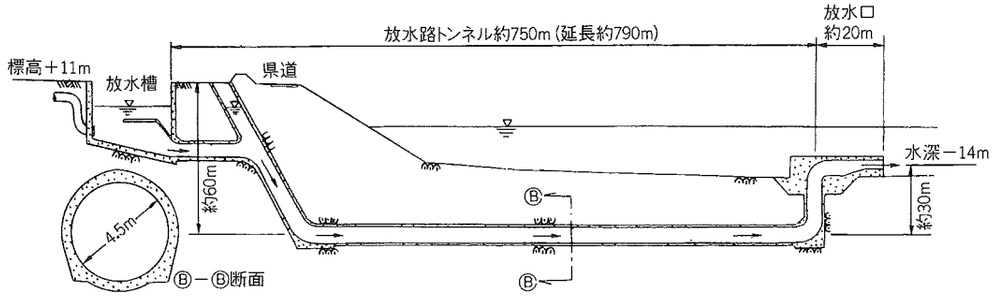
工事のポイントは注入工事であった．注入工法については注入剤，注入圧力，注入孔の配置など基本的な事柄はすべて，青函トンネルでの実績を参考にして計画し，実施した．もし青函トンネルの実績がなかったら，あの時点で取放水路トンネル工事に海底トンネル工法を採用することは困難であったと思う．

トンネルの設計業務に 施工現場の経験を生かす

鹿島建設を定年退職後，建設コンサルタントに再就職しトンネルの設計に携わった．

一般的に，道路トンネルの設計業務では道路管理者が指定する技術基準に従って設計される．しかし，トンネル坑口の地形地質状況は各トンネルによって大きく異なっているし，工事現場周辺の環境条件もおのおの固有の条件がある．したがって，各現場の状況に適合した坑口対策の設計や施工計画は，設計者の経験にもとづいた高度な技術力が要求される．

私は建設会社在籍中に体験した



放水路トンネル縦断図(トンネルと地下，Vol.23，No.9　p.16，図-3より)

種々の坑口対策を参考にして，施工中ならびに供用後も安全が確保できる対策案を提案し，設計に活かすことができた．また，トンネル工事中の騒音や振動などの環境対策に対しても，体験した現場の対策をもとに具体的な対策を提案することができた．

世界に誇る建設技術を次世代の技術者たちに伝えるために教壇に立つ

鹿島建設在籍中であった平成5年から5年間，名古屋工業大学の非常勤講師を勤めた．担当した学科は，社会開発工学科4年生の建設施工学で，学生は2クラス約100名であった．

社会開発工学科を選択し，まもなく社会の第一線で働く学生たちに，土木構造物がどのようにして作られ，現場の技術者はどのような仕事をしているか，実際の現場の写真やビデオを使って教えた．わが国の社会資本整備において，土木技術者がいかにかかわり貢献してきたかを話し，将来ある若い技術者達が誇りと夢を持って社会に出てくれるよう期待をこめて授業を行った．学生の多くは講義に興味を持ち熱心に聴いていた．

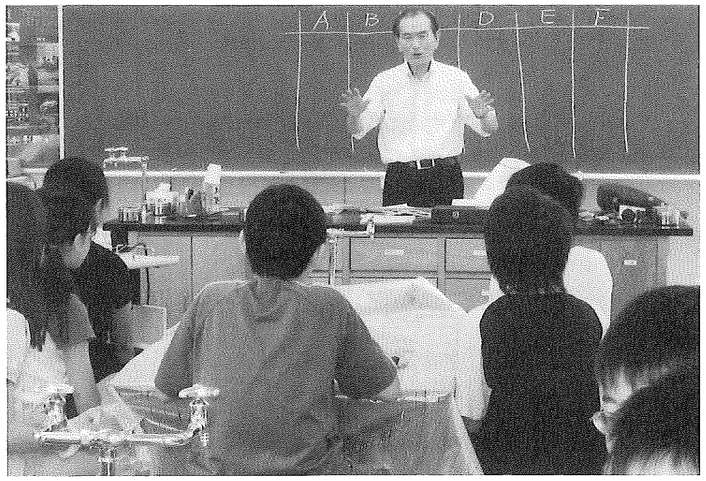
また，最近，日本技術士会の活動の一環として，小学校の理科教育をお手伝いした．小学校6年生の生徒たちに，地層，土の種類について説明し，トンネルの作り方と青函トンネルがどのようにしてできたかを話した．

砂山を作って手ショベルでトンネルを掘る実験をやらせ，土の性質によって掘りやすい地質と崩れやすい地質があることを体感させた．トンネルが上手く掘れないで崩れてしまう．それはなぜか．子供たちは大変興味を持ってくれた．

また，青函トンネルが世界一長いトンネル(当時)であり，長い年月をかけ多くの人たちがたいへんな苦労をしてようやく出来上がったものであることを話して聞かせた．

授業後の感想文では，多くの子供たちが「すごい」「おどろいた」「あきらめずやったのはよかった」といった感想を述べてくれた．

私たちが次の世代を担う技術者たちに，さらに，その次を担う子供たちにも，まさに「語り継ぐこと」の必要性を痛感している．



小学校の理科実験授業を行う筆者

おわりに

土木技術者にとって，トンネル工事はキツイ，キタナイ，キケンで正に3Kの代表的な仕事でしたが，一面，非常に緊張感のある，大変やりがいのある仕事であり，一人の技術者として充実した人生を送らせていただきました．これは偏に，いろいろとご指導いただいた発注者，先輩，現場で苦労をともにした同僚の皆さんのお蔭であり，心より感謝を申し上げます．

昨年の3.11東日本大震災は生涯で体験したことのない衝撃的な一大事でした．同時に発生した原発事故は約1年を経過した今も終息せず，多くの国民が不安な生活を強いられている現状をみると，原子力発電所の建設に関係した技術者の一人として，誠に残念であり無力感を禁じえません．

私たちの作ってきた構造物は完成後50年を経たものも多くなっています．荷重条件が変化したり，経年劣化により安全性が落ちてきているものもあるはずです．管理者において点検保守は行われていると思いますが，このたびの大震災の教訓を機会に設計条件を含めて総点検が実施され，社会資本として安全で末永く役立つことを願っております．

施工

φ3,500㎜の先行シールドからφ1,800㎜の分岐シールドを発進

—東京都下水道　墨田区八広一，四丁目付近再構築—

東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所工事第一課課長　伊藤雄二
竹中土木・坂田建設共同企業体現場代理人　笹川亮
竹中土木・坂田建設共同企業体監理技術者　武富達也

1 はじめに

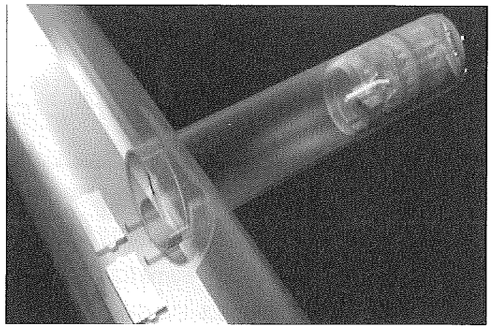
八広幹線は，東京低地と呼ばれる墨田区の一部地域における浸水対策の一環として新たに雨水を収容する下水道幹線を布設するものである．八広幹線は現在再構築中の吾嬬ポンプ所に流入することになっており，ポンプ所が完成するまでは貯留管として活用することになっている．墨田区八広一，四丁目付近再構築工事は浸水対策として下水道管の能力を増強するため，地先の下水を八広幹線に導く主要枝線を布設する．

墨田区八広一，四丁目付近再構築工事で布設する主要枝線のルートは既成市街地であり，道路交通量も多く，発進立抗に必要な作業用地がない．そのため，**図-2**に示すように仕上がり内径3,500㎜の八広幹線シールド管渠坑内を発進基地として分岐シールドにより仕上がり内径1,800㎜の管渠を構築することになった．

本稿では，発進箇所が仕上がり内径3,500㎜の八広幹線シールド管渠坑内で，作業空間に制約がある条件下における分岐シールドの施工方法を報告する．



図-1　施工位置図


図-2　分岐シールド掘進イメージ

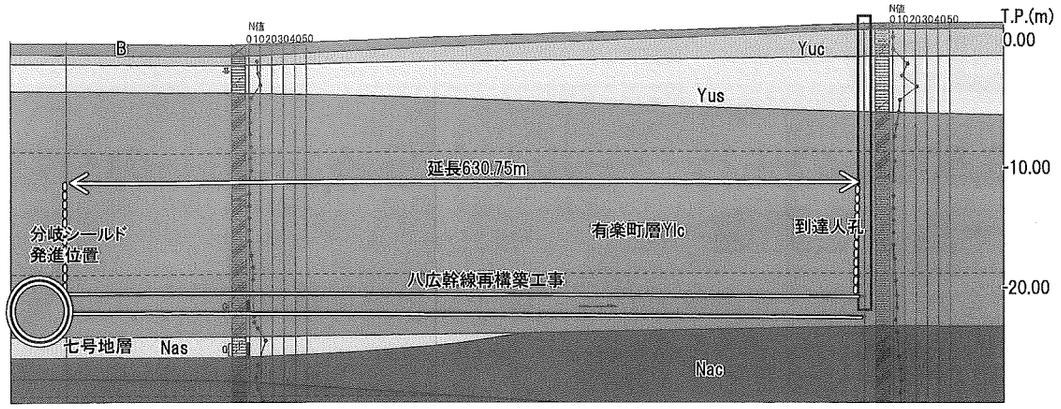


図-3 土質縦断図

2 工事概要

2-1 工事内容

（1） シールドトンネル

工法：泥土圧シールド工法

覆工：コンクリート中詰め鋼製セグメント

内径：1,800㎜

延長：630.75m

（2） 工 期

平成21年8月10日～平成23年3月7日

2-2 地形および地質

当該工事箇所は，荒川右岸に位置しており，「東京低地」と呼ばれる沖積低地で，主に荒川や旧利根川の形成した三角州である．

図-3に土質縦断図を示す．掘進対象土層は有楽町層(Ylc)で，N値が0～7，シルト，粘性土に属する．

有楽町層(Ylc)の下部は七号地層(Nac)で，N値が10～50，シルト質細砂であり，メタンガスが溶存している．

3 坑内組立て発進可能な分割シールド

3-1 シールド設計製作の基本概念

発進箇所が仕上がり内径3,500㎜の八広幹線シールド管渠坑内および曲線(R＝80m)に対応するため，以下の項目を検討しシールドの設計製作を行った．



写真-1 シールド全景

・坑内での組立て発進可能な分割式のシールド

・曲線対応(R＝80m)

・掘進中の可燃性ガス発生に備えた防爆仕様

3-2 シールド仕様

シールド全景を**写真-1**に，シールド寸法と分割割付けを**図-4**に示す．また，シールド仕様を以下に列記する．

・本体寸法：外径2,250㎜，機長4,685㎜

・スキンプレート厚：40㎜

・テールクリアランス：25㎜

・シールドジャッキ：
600kN×34.3MPa×1,050㎜×8本

・総推力：4,800kN(1,207kN/m²)

・パワーユニット：
18.5kW(吐出量8.4ℓ/min)×1台

・カッタ支持方式：センターシャフト方式

・カッタトルク，回転数：
257kN･m，～1.1rpm(周速～7.8m/min)

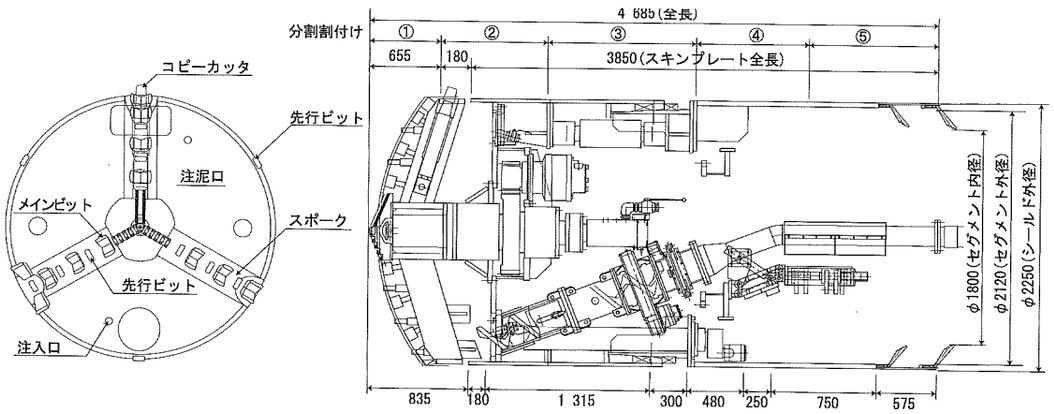


図-4 シールド寸法・カッタビット配置

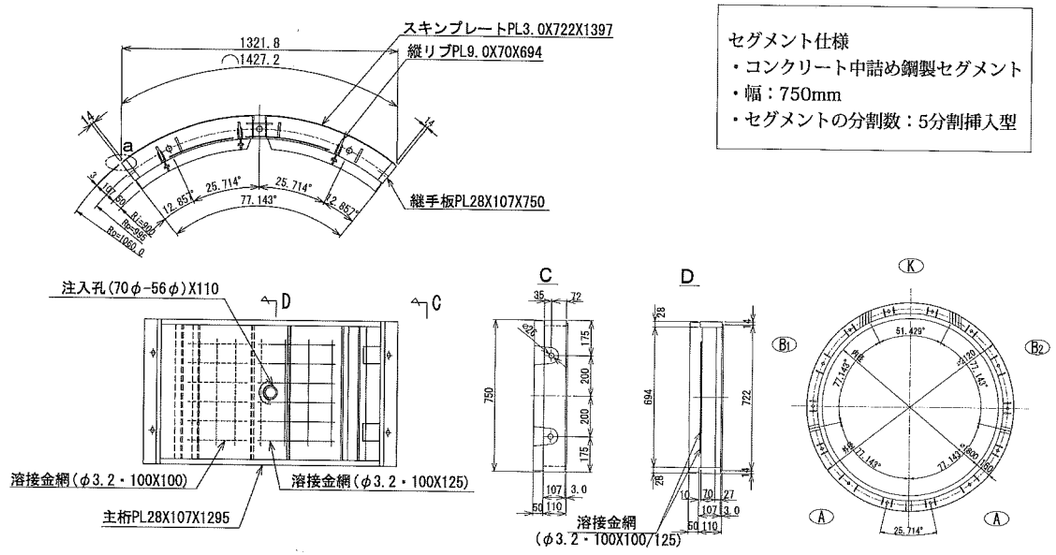


図-5 Aセグメント構造図および組立て図

セグメント仕様
・コンクリート中詰め鋼製セグメント
・幅：750mm
・セグメントの分割数：5分割挿入型

・中折れ機構：V中折れ，左右2.0度，上下1.0度

3-3 カッタビット配置

シールドのカッタビット配置を図-4に示す．当該工事は，シールド管渠坑内を発進箇所とするため，発進部のセグメント形状に合わせた傾斜カッタビットと坑口補強コンクリートを切削可能なビットを装備した．以下にカッタビット仕様を列記する．

メインビット：プレート双頭タイプ
（最外周3条，内周1条）

先行ビット：メインビットより20㎜先行
（最外周3条，内周1条）
外周リング付き：メインビットより20㎜先行
（3か所）

3-4 セグメント

セグメントは，発進箇所が仕上がり内径3,500㎜の八広幹線シールド管渠坑内であることから，開口率を考慮し，仕上がり内径1,800㎜に対し外径がもっとも小さくなるコンクリート中詰め鋼製セグメントを採用した．**図-5**に直線部のセグメントの構造およびセグメント組立て図を示す．セグメント幅は750㎜であり，セグメントの分割数は5分割である．

4　分岐シールド施工方法

4-1　既設地下埋設管制約下の発進防護地盤改良

分岐シールド発進部は，鏡解放時の土圧解放による土砂流入，地山崩壊およびシールド発進時のセグメントの変形による地下水の湧水が懸念された．よって，シールド幹線周囲を，改良範囲が広く工期の短縮が可能である大口径高圧噴射攪拌杭工法で地盤改良を行った．

地盤改良断面図を**図-6**に示す．施工箇所は既設埋設管の輻輳した交差点であり，住宅や商店街が密集し近接していた．よって，発進箇所に対し横断方向は，大口径高圧噴射攪拌杭工法にてシルト層まで地盤改良を行うことにより，横断方向からの地下水の流入経路を遮断した．また，未改良部分である発進箇所縦断方向(幹線直下)については，管渠坑内からの薬液注入工を行った．薬液注入においても，砂質土層での改良効果および改良下部の地下水の注入を考慮しシルト層まで薬液注入を行った．また，沿道住民への影響を最小限にすることを目的とし，地盤改良施工時，車上プラントの防音設備を設置し施工した．

その結果，シールド発進時において土砂流入，地山崩壊および湧水もなく安全に施工できた．また，防音設備設置を行わない通常の車上プラントと比較して，騒音を10～20dB低減できた．

4-2　特殊坑口エントランス

従来の坑口エントランスでは，カッタと切削面の位置確認が困難であり，エントランスパッキンに関しては，シールド本体との隙間が大きく落込みが生じていた．とくに分岐シールドでは組立てごとに，重心が移動するため振らつきが大きく，結果として安定した分岐発進の支障となっていた．

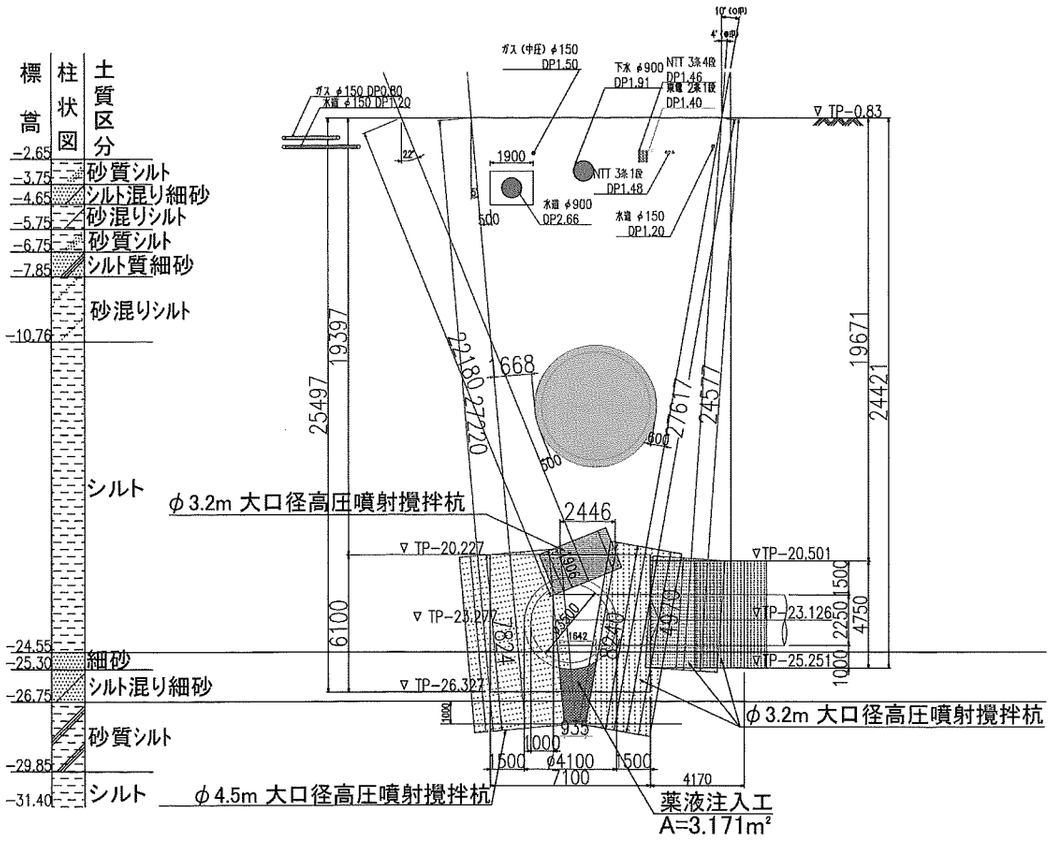


図-6　地盤改良断面図

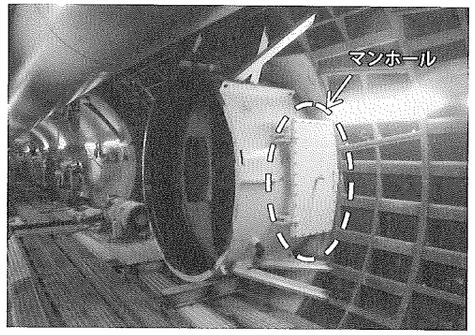


写真-2　特殊坑口エントランス設置完了状況

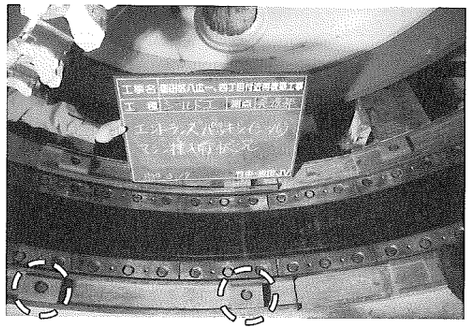


写真-3　ナイロン樹脂設置完了状況

当該工事では，発進壁の均等な切削を行うためにエントランスに分岐シールドのカッタ挿入後，カッタ先端位置と切削面の位置が確認可能なマンホールを設置した(写真-2の破線部参照)．また，エントランス内の落込み防止を行うために落込み防止材として**写真-3**に示すようにエントランス下部にナイロン樹脂を設置した．

特殊坑口エントランス形成ステップ一覧を**表-1**に示す．

特殊坑口エントランスは，分岐部において既設の鋼製セグメントを補強してエントランスを設置するもので，特殊エントランス支持部は鋼板により，発進部をコンクリートで補強した．

上記のように，特殊坑口エントランスを設置することで，シールド発進は，切削面の確認およびシールドの姿勢保持が可能になり，異常な出水や加泥材の流出もなく精度の良い安定した分岐発進が行えた．

表-1　特殊坑口エントランス形成ステップ一覧

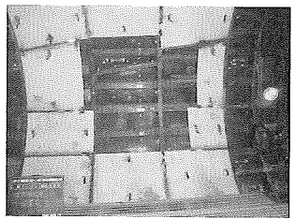
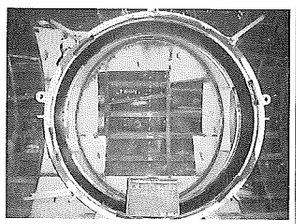
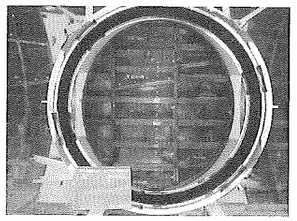
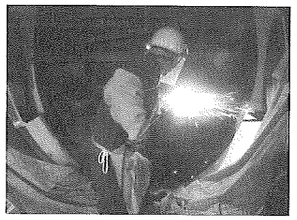
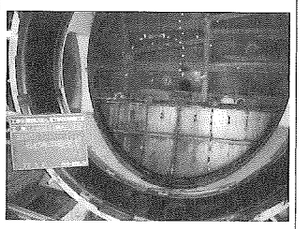
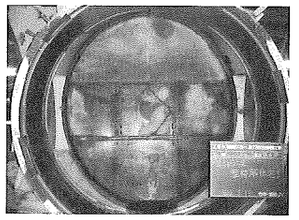
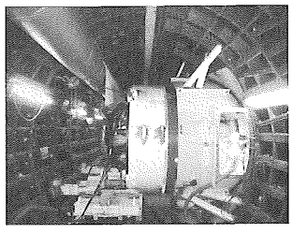
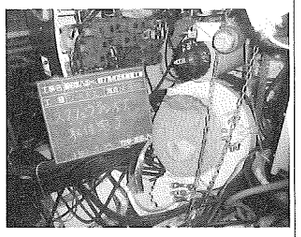
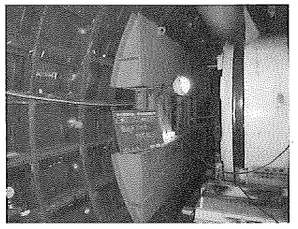
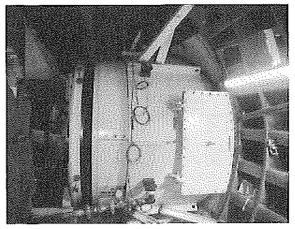
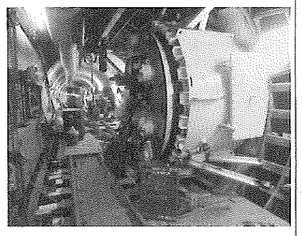
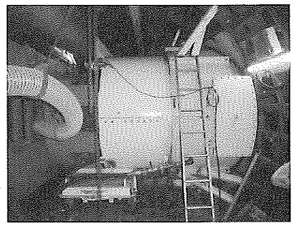
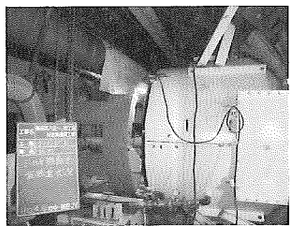
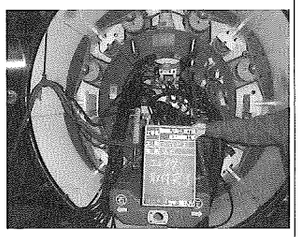
ステップNo.	1	2	3
状況写真			
概　要	エントランス取付け座溶接	エントランス受け台取付け エントランス溶接	発進部セグメント・エントランス取付け座撤去
ステップNo.	4	5	6
状況写真			
概　要	セグメントリブ・スキンプレート撤去	型枠設置・コンクリート打設 (3回施工)	コンクリート養生後，型枠撤去

表-2　分岐シールド組立て発進ステップ一覧

ステップNo.	1	2	3
状況写真			
概　要	カッタ駆動部押込み，前胴搬送，位置決め	スクリュコンベヤ取付け ロータリージョイント取付け	反力材設置，押出しジャッキ取付け
ステップNo.	4	5	6
状況写真			
概　要	押出しジャッキにて掘進 掘進1,118㎜	バックリング防止金具取付け シールドジャッキ取付け	後胴前部接合溶接 反力リング組立て・仮掘進
ステップNo.	7	8	9
状況写真			
概　要	掘進1,000㎜ バックリング防止金具取付け	エレクター搬入組立て 後胴後部搬入，位置決め	後胴後部接合溶接 反力リング，押出しジャッキ組立て

4-3　分岐式シールド坑内組立て発進施工

分岐シールド組立て発進ステップ一覧を**表-2**に示す．

分岐シールドは，坑内搬送および坑内での組立てをスムーズに行うため，シールドをカッタフレーム部，カッタ駆動部，ボディ＋テール前部，テール中部，テール後部，エレクタ部，スクリュコンベヤ部，シードジャッキ部の分割構造とした．

シールドの坑内における組立ては作業空間に制約があるため，分割されたシールドを組立てと搬入を順次くり返してシールドを発進した．反力は坑内セグメントに鋼製反力壁を設置した．

以上により，狭隘な八広幹線シールド管渠坑内でのシールド組立て発進を可能とした．

4-4　ターンテーブル付き親子式搬送台車の開発

当該工事における分岐箇所でのセグメント搬入は，八広幹線シールドと分岐シールドの軌道の高さおよび幅が異なり，**写真-4**に示すようなターンテーブル付き親子式搬送台車を開発し採用した．この台車は，八広幹線シールド坑内は親台車で走行し，分岐坑口においては，**写真-5**に示すように

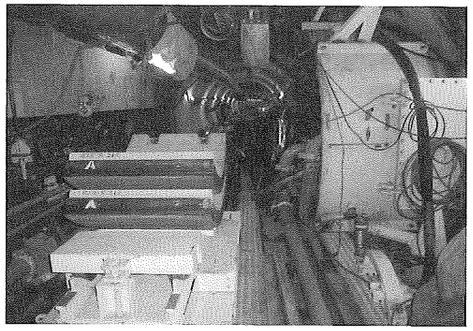


写真-4　ターンテーブル付き親子式搬送台車によるセグメント搬入状況

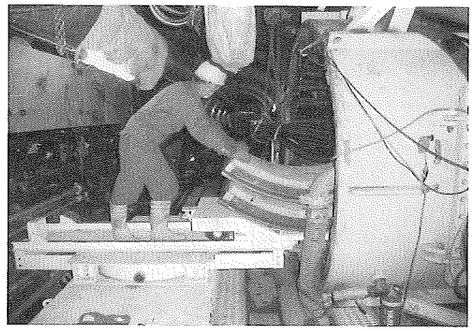


写真-5　分岐シールド坑内セグメント搬入状況

親台車に設置したターンテーブルを直角に回転させ，子台車で分岐シールド坑内を走行運搬するものである．ターンテーブル付き親子式搬送台車の採用により，八広幹線の分岐箇所以降のインバート打設におけるバッテリーロコの安全が確保され，分岐箇所においてはスムーズなセグメント搬入が可能になった．



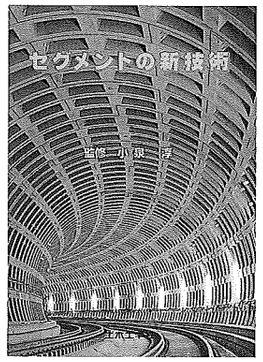
写真-6　施工完了

5　おわりに

当該工事は，仕上がり内径3,500㎜の八広幹線シールド管渠坑内を発進基地として，分岐シールドにより仕上がり内径1,800㎜の管渠を構築した．発進に関しては地盤改良と特殊坑口エントランスの設置により土砂流入，地山崩壊および湧水もなく無事に発進することができた．

本工法は，ルート上で発進立抗用地の確保や坑口に特殊セグメントを先行して設置する必要がなく，発進基地をシールド坑内に任意に選定できるなど自由度が高い利点がある．今後の都市土木において管渠を築造するに際し，密集した市街地，道路交通量が多いことなどから発進立抗の設置が困難な場合，本工法は非常に有効な工法といえる．

本稿が，同種工事の一助になれば幸いである．



セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B５判　132頁　本体価格 2,000円　〒290円

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

トンネルジャーナル

マレーシア　パハンセランゴール導水トンネルで初めての貫通

清水・西松・UEMB・IJM JVが施工するパハンセランゴール導水トンネル工事のうち，NATM-3トンネルの貫通式が昨年12月30日に行われた．式典には発注者であるマレーシア政府エネルギー・環境技術・水資源省の事務次官が出席，貫通発破を行った．

同トンネルは，導水トンネル全延長約44.6kmを8工区に分けたうちの一つで，延長1.908m，掘削断面積24.7m²のNATMトンネル．花崗岩からなる地山を全断面掘削による発破工法で掘進，平均月進107m，最大月進187mで貫通した．貫通精度は，水平方向に8㎜，鉛直方向に5㎜だった．

途中，土かぶり11.6mで河川の直下を横断する箇所があり，横断部の手前5m地点から探り削孔を実施，地質は風化花崗岩，湧水量は20ℓ/分と少量であることを確認した．長尺鋼管フォアパイリングを180°範囲に水平に打設したのち，シリカレジン注入式フォアポーリングを打設しながら，制御発破を行って掘進し，約20mの河川直下区間を20日かけて通過した．

同プロジェクトは，マレーシアの首都クアラルンプールとセランゴール州の，将来の生活・工業用水不足に対応するため，分水嶺をはさんで隣接するパハン州の水源から189万m³/日の能力を持つ導水トンネルを建設するもの．地質は9割以上が花崗岩で，TBM区間では最大土かぶり1,200m以上となる．昨年12月末の時点では，NATM区間で最大月進283m，TBM区間では同657mの高速施工を実現しており，TBM区間では月進1,000mを目指している．



写真提供：清水建設

国道13号上院内トンネル貫通

東北地整湯沢河川国道事務所が整備する国道13号上院内トンネルが貫通し，1月15日，貫通式が開催された．式典には，秋田県知事，湯沢市長ら約100名が参列し，これを祝った．

同トンネルは，秋田県湯沢市上院内と下院内を結ぶ約3kmの院内道路のうち，西側1,585mを占める2車線の自動車専用道路トンネル．2010年7月に掘削を開始し，途中東北地方太平洋沖地震の影響で約1か月の作業中止期間があったものの，平均月進98m，最大月進148m，最大日進7.2mで貫通を迎えた．火山礫凝灰岩，泥岩からなる地山を，23～175mの土かぶりのもと，発破方式のNATMにより掘削．周辺環境の保全に配慮するため，発破騒音の低減や夜間ずり処理音の低減策を施した．目立った湧水や崩落もなく順調に掘進した．

同事業は，急勾配箇所や線形不良箇所が連続する現道のバイパス道路を整備するもの．現道は，災害など通行規制時などには，緊急輸送路としての代替路線がなく，大きな迂回を強いられるほか，東北地方でも有数の豪雪地帯に位置することから，冬季は交通環境が著しく阻害される．供用後は，これらが解消されることに加え，東北中央自動車道の一部として都市間移動が円滑になり，広域的な交流・連係の促進による地域への貢献も大きい．

このたびの貫通により，同トンネルを含む院内道路の早期供用に弾みがつくものと期待されている．


写真提供：湯沢河川国道事務所

研　究

ブロック積みトンネルの覆工耐力評価法の提案

(公財)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　岡　野　法　之

1 はじめに

1-1 研究の背景と目的

1880(明治13)年，わが国初の鉄道山岳トンネルが供用されてから約130年が経過し，現在，JR各社で供用されている山岳トンネルは約3,700本，総延長で約2,200kmにも及ぶ．そのうち半数以上は戦前に建設されており，覆工材質としては無筋コンクリートが大半を占めるものの，昭和初期まで用いられていた石，れんが，コンクリートブロックによるブロック積みも相当数存在する．これらの中には地圧により変状したトンネルや近接施工がなされるトンネルもあり，その維持管理に際して，覆工の構造耐力を評価することが必要不可欠となる．

無筋コンクリート覆工トンネルについては，これまで多くの実験的または解析的研究[例えば1)～5)]が行われ，健全度判定および対策工設計法が体系的に確立され，実用に供されてきている．それに対し，ブロック積み覆工トンネルに関しては，研究事例[6),7)]がほとんどなく，れんがやコンクリートブロックと目地材からなるブロック積み覆工構造特有の力学的挙動を考慮した耐力評価法が確立されていない現状にある．

一方，ブロック積み覆工トンネルに対する変状対策工についてみると，ブロック積み覆工トンネルは建築限界との離隔がほとんどない場合が一般的で，トンネル内空を大きく支障する内巻きは施工困難な場合が多い．

近年では，施工性が比較的よく，内空をほとんど支障しない繊維シート接着工法の施工事例が増加している．しかし，繊維シート接着工法は接着剤硬化まで剝離するおそれがあり，漏水箇所や覆工表面の不陸が大きい箇所への適用は困難であるなどの短所を有する．

とくに，ブロック積み覆工トンネルでは，覆工表面が健全な場合でも，目地という不陸箇所が潜在的に存在し，変状発生箇所ではその不陸が大きくなるのが一般的である．そこで，それら短所を克服しうる帯板(炭素繊維補強プレートなど)を用いた新しい補強工法(以後，「帯板接着工法」と記す)を考案した．

本研究では，ブロック積み覆工トンネルの耐力およびブロック積み覆工トンネルへ適用可能な帯板接着工の補強効果について，トンネル覆工模型載荷実験および数値解析により評価を試み，その手法について提案した．

2 帯板接着工法の概要

帯板接着工法は図-1に示すように，繊維補強プ

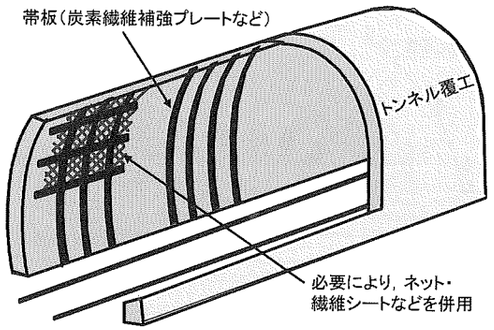


図-1　帯板接着工法の概要

レートなどの帯板をトンネル周方向に設置することを基本とし，必要によりネットや繊維シートなどを併用する工法であり，覆工の耐力向上には帯板が，剝落防止には帯板およびその間に設置するネットや繊維シートなどが寄与するものである．

繊維シートとは異なり，剛性を有する帯板を，パテ状の接着剤で覆工表面に接着する本工法は，ある程度の目地やせや不陸に対しても問題なく適用できるのが最大の長所である．そして，鋼板接着工法ほどの補強効果はないものの，繊維シート接着工法や鋼板接着工法の短所を補い，かつ，それらに比べ非常に施工性がよく，維持管理しやすいといった特徴も有する．

3　トンネル覆工模型載荷実験

3-1　実験概要

ブロック積み覆工トンネルの力学特性および2章で述べた帯板接着工法の補強効果を確認する目的で，ここでは，ブロック積み覆工の中でもっとも多いれんが積み覆工に対して，大型トンネル覆工模型載荷実験を実施した[8),9)]．

載荷試験に用いた大型トンネル覆工模型実験装置[10)]を**図-2**に示す．実験装置は新幹線複線トンネルの標準断面の縮尺1/5であり，反力フレーム，載荷用油圧ジャッキ，反力用油圧シリンダなどからなっている．供試体の周囲に地盤ばねを模擬した油圧シリンダ付きの皿ばねを配置しており，載荷用油圧ジャッキで与えた供試体の変形負荷を皿ばねの変形で受けることにより，覆工と地盤の相互作用を模擬している．各装置の主な仕様を以下に示す．

- 載荷用油圧シリンダ
  最大載荷圧：500kN(載荷板5.6MPa)
  ストローク：250㎜
- 反力用油圧シリンダ
  内　　径：φ125㎜
  ストローク：200㎜
- 皿ばね
  寸　　法：外径200㎜×内径102㎜×厚さ12㎜
  ばね定数：3,000kN/m(皿ばね20枚/1か所)

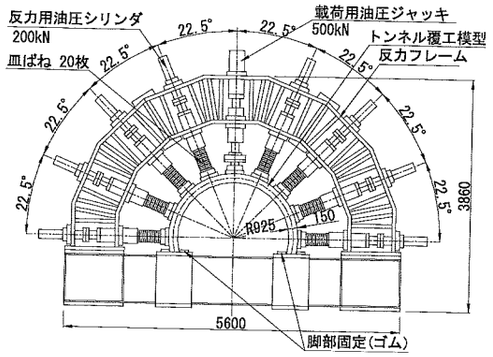


図-2　模型実験装置の概要

3-2　実験ケース

覆工模型の厚さは，れんがは2層巻きとすることにより150㎜とした．

補強なし(ケース1)および補強(帯板接着工法)あり(ケース2)の2ケースと，比較のため，無筋コンクリートのケース[9)]について述べる．帯板接着工法の仕様は，現在市販されている炭素繊維補強プラスチックプレート(以後，「CFP」と記す)を用い，プレート断面積の縮尺を合わせたCFP幅4㎜，厚さ1㎜×3本である．

3-3　実験方法

実験に使用したれんが積み覆工の供試体の寸法を**図-3**に示す．内半径は925㎜，奥行き方向は載荷板寸法と同じ300㎜である．

実トンネルに使用されているれんが寸法は，一般に幅110㎜×高さ60㎜×長さ220㎜前後である．しかし，実験では当時用いられていたれんがの物性に近い市販のオーストラリアれんがを幅70㎜×高さ50㎜×長さ195㎜，およびその半割りである幅70㎜×高さ50㎜×長さ95㎜に切断したものを用いた(**図-4**参照)．そして，無筋コンクリート覆工

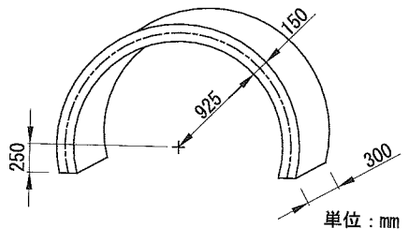


図-3　覆工模型寸法

模型作製用型枠を用いて，脚部から天端部に向けて目地材であるモルタルを塗布しながら，れんがを積んで作製した(**図-5**参照)．使用した目地材はモルタルで，目地幅10㎜としてれんがの面まで充填した．

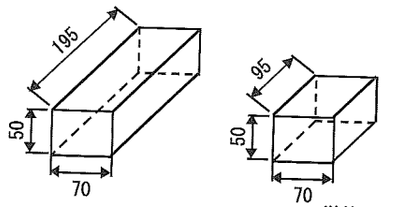


図-4　実験に使用したれんがの寸法

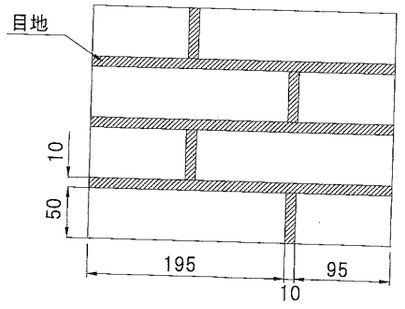


図-5　れんが積み詳細図(覆工内面を臨む)

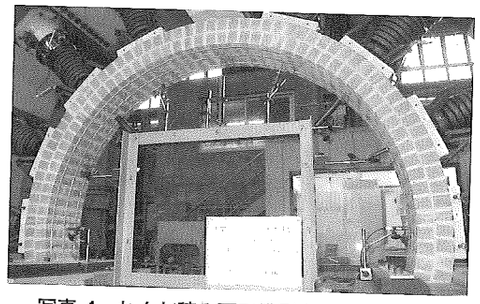


写真-1　れんが積み覆工模型とCFP補強状況

表-1　れんがの一軸圧縮試験結果

ケースNo.	材料	圧縮強度σ_c (N/㎟)	ヤング係数E (N/㎟)
1	れんが	27.7	1.18×10^4
2		26.0	1.09×10^4

補強を施すケースでは，型枠脱型後，接着面をサンダーケレンにより下地処理し，プライマー塗布したのち，エポキシ系パテ状接着剤により，補強材を接着した(**写真-1**参照)．

実験で用いたオーストラリアれんがおよび目地材の一軸圧縮強度試験結果を**表-1, 2**に示す．

載荷は変位制御による天端からの鉛直載荷とし，載荷板押し込み量0.2㎜/stepの段階載荷で行い，1分間載荷したのち，載荷を停止して1分間観察・計測をくり返し，載荷重が上昇しなくなるまで載荷した．実験手順を**図-6**に示す．

計測項目はトンネル内空変位9か所と載荷荷重で，補強ありのケースでは，それらに加え，プレー

図-6　実験手順

表-2　目地材(モルタル)の一軸圧縮試験結果

W/C(%)	材齢(day)	見掛密度ρ (kg/m³)	圧縮強度σ_c(N/㎟)	ヤング係数E^*(N/㎟)	ポアソン比ν^*	引張強度σ_t(N/㎟)
155	54	1.93×10^3	7.9	7.80×10^3	0.21	1.69

＊強度の1/3の割線での値

トのひずみ9か所である．変位計，ひずみゲージの配置を図-7に示す．

3-4　実験結果

各実験ケースのひび割れ変状進展状況を図-8に，天端載荷重と天端沈下量(以後，「荷重-変位曲線」と記す)を図-9に示す．実験では天端沈下量60～80㎜程度まで載荷を行っているが，いずれのケースにおいても圧ざの発生が確認され，実際のトンネルにおいて建築限界に支障すると考えられる天端沈下量35㎜(実物換算175㎜)までの結果を示している．

本稿ではひび割れなどの発生状況と耐荷・変形性能(載荷重-天端沈下量の関係)について考察する．

(1)　ひび割れ進展状況

ひび割れの進展状況は，①天端内側にひび割れ，②アーチ肩部外側にひび割れ，③天端外側に圧ざの順に発生し，ここまでは無筋コンクリートと同様であった．

しかし，れんが積みと無筋コンクリートでは以下の点において，相違が確認された．

- 無筋コンクリートでは，アーチ片部外側の引張ひび割れが左右3か所ずつであるのに対し，れんが積みの場合は4～6か所と分散している．
- 無筋コンクリートでは，アーチ片部左右内側に圧ざが発生しているのに対し，れんが積みの場合は，補強あり(ケース2)の片側にしか発生していない．

(2)　耐荷・変形性能

補強あり(ケース2)と補強なし(ケース1)を比較する．第1ひび割れ発生時の天端沈下量はケース1が0.7㎜，ケース2が1.1㎜であった．ひび割れ発生までの荷重-変位曲線の傾きは無筋コンクリートの場合とほぼ同じであった．第1ひび割れ発生後，ケース1は若干荷重の増加が鈍化したが，ケース2では，傾きが減少したもののそのまま増加傾向を示した．

載荷に伴う内空の変位により天端沈下量4.6㎜のときCFPの剥離が生じ，一時的に荷重が低下した．剥離時点での載荷重はケース1が15.6kN

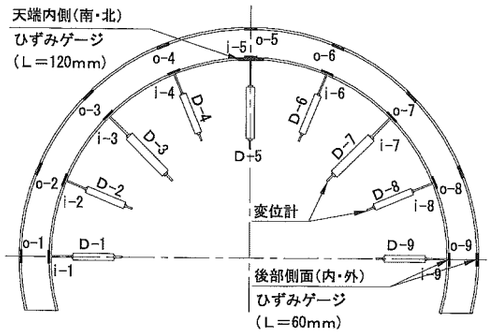


図-7　計測機器の配置

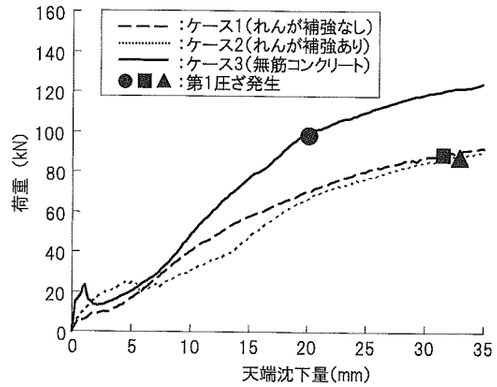


図-9　荷重と天端沈下量との関係

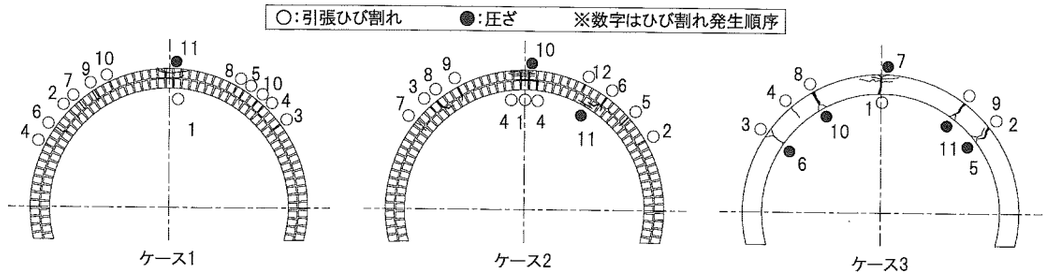


図-8　ひび割れ進展状況

なのに対し，ケース2は24.7kNと約6割大きく，剥離するまでは若干であるが補強効果が確認された．しかし，CFPが剥離した後の挙動は，ほぼ無補強のものと同様であり，また，圧ざ発生時の天端沈下量および載荷重もほとんど変わらず，CFP剥離後については補強効果を確認できなかった．

4　数値解析によるシミュレーション

4-1　解析手法

用いた解析手法は，引張および圧縮軟化を考慮した有限要素法(FEM)であり，無筋コンクリート覆工の力学挙動については，過去に行った大型トンネル覆工模型載荷実験のシミュレーション解析により，精度よくシミュレートできることを確認している[11]．まず，その手法の概要について述べる．

引張側および圧縮側のひずみ軟化のモデルとしては，いくつか提案されている[12]が，本研究では，以下のとおりとした．

引張側については，軟化領域を指数関数で定式化する文献[13]で適用したモデル化を用いる．すなわち，引張破壊後のコンクリートは，図-10に示すように，ひび割れ発生時の応力をσ_{cr}，ひび割れ発生時のひずみをε_{cr}，引張軟化係数をαとして，指数関数により軟化するものとし，載荷により主応力方向が回転すれば，ひび割れの方向も回転させる．

一方，圧縮についてであるが，一軸圧縮を受ける場合についても引張の場合と同様にひずみ軟化

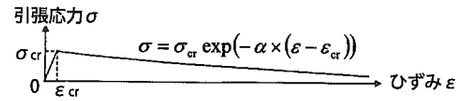


図-10　引張軟化特性[11]

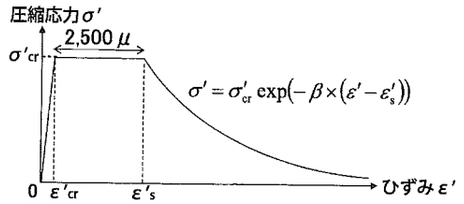


図-11　圧縮軟化特性[13]

が見られる．通常のFEM解析では圧縮破壊後のコンクリートの応力を期待せず，圧縮破壊をもって解析を終了することが多いが，実際は圧縮破壊後も相応の応力を有している．本研究では，圧縮強度をσ'_{cr}，軟化開始時のひずみをε'_s，圧縮軟化係数をβとして，指数関数により軟化するとした図-11に示す圧縮軟化特性を適用した．

4-2　解析条件

解析モデルを図-12に示す．対称性を考慮し1/2モデルとし，れんがおよび目地を2次元平面ひずみ要素により忠実にモデル化した．覆工外周に10か所設置されている地盤ばねを模擬した皿ばねは，ばね要素によりモデル化した．補強ありのケースでは，帯板を弾性の梁要素でモデル化し，剥離は考慮していない．載荷は天端1点とし，実験と同様，変位制御とした．天端部は水平方向を固定，脚部は外側1点を鉛直，水平ともに固定し，ほかは鉛直下向き方向を固定とした．モデルの節点数は4,053で，要素数は補強なしのケースが3,808，補強ありのケースが4,032である．

解析ケースは，補強なし，帯板接着工により補強したケース，および補強なしで半径方向目地を考慮しないケースの3ケースとした．なお，実トンネルを対象に検討する場合，半径方向目地を考

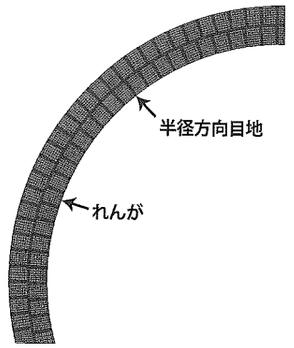


図-12　解析モデル

表-3　解析ケース

ケースNo.	覆工模型のモデル化	補強工の有無
1	れんが・目地を忠実に再現	なし
2	れんが・目地を忠実に再現	あり
3	半径方向目地を考慮せず	なし

表-4　入力物性値

材　料	ヤング係数E (N/mm²)	ポアソン比ν	圧縮強度σ_c (N/mm²)	引張強度σ_t (N/mm²)	軟化係数	
					α	β
れんが	1.0×10^3	0.11	10.0	1.1	200	2
目地モルタル	7.8×10^3	0.17	7.9	0.3	200	260

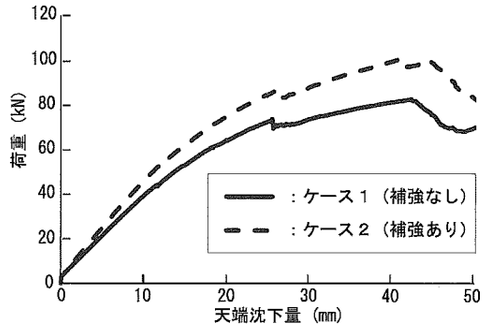


図-13　荷重と天端沈下量との関係（補強の有無）

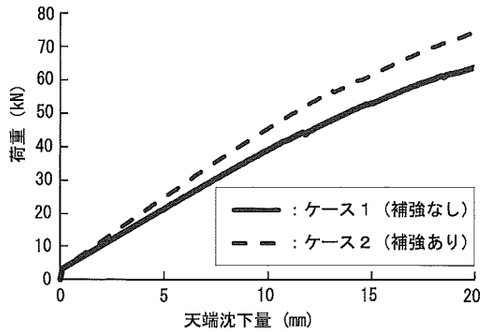


図-14　荷重と天端沈下量との関係（補強の有無・初期勾配区間）

慮することは現実的でない．そこで，半径方向目地を考慮しないケースも実施し，その適用性を確認することとした．解析ケースを**表-3**に示す．

次に，入力物性値を**表-4**に示す．入力物性値のうち，れんがおよび目地モルタルの圧縮強度およびヤング係数は，一軸圧縮試験結果による実測値を用いた．軟化係数については，モルタルやれんがに対する値は提案されておらず，以下のとおりとした．すなわち，目地モルタルの軟化係数αおよびβについては，物性がコンクリートに近いことからコンクリートで一般的に用いられる値α＝20,013），β＝26,014），圧縮軟化開始時の塑性ひずみ2,500μを適用した．一方のれんがについては，参考となる値が全くないが，引張については強度が小さく感度が鈍いため，αはコンクリートの値を準用し，βについてはトライアル解析により２と定めた．なお，解析コードはMARCである．

4-3　解析結果

（１）　補強の有無による違いについて

まず，ケース１（補強なし）とケース２（補強あり）の載荷重-天端沈下量（荷重-変位）の関係について述べる．ケース１とケース２の荷重-変位曲線を**図-13**に示す．どちらのケースも初期の勾配から，曲げ引張ひび割れあるいは圧ざの発生により，徐々に小さくなっていき，45㎜付近で荷重が低下する．解析上は補強材である帯板は剥離を起こさない条件としているが，そのような条件下では，最大荷重で約２割の補強効果が認められる．

初期の勾配について見ると（**図-14**），天端沈下量が２㎜程度を超えてくると，補強材なしのケースでは勾配が若干ではあるが小さくなり，補強材ありのケースと差がついてくるのが確認される．これは，後述するが，引張ひずみが目地部に集中するのを帯板が抑制し，分散させているためと考えられる．

次に，ひずみの分布の発生状況について述べる．

ひずみについてはvon Mises相当ひずみ（以後，「VMひずみ」と記す）で示す．VMひずみは，式（１）で示され，２次元では，式（２）となる．

$$\varepsilon=\sqrt{\frac{1}{2}\left\{(\varepsilon_1-\varepsilon_2)^2+(\varepsilon_2-\varepsilon_3)^2+(\varepsilon_3-\varepsilon_1)^2\right\}} \quad (1)$$

$$\varepsilon=\sqrt{\frac{1}{2}\left\{\varepsilon_1{}^2+\varepsilon_3{}^2+(\varepsilon_3-\varepsilon_1)^2\right\}} \quad (2)$$

ここに，ε_1，ε_2，ε_3：最大，中間，最小主ひずみ（伸びが正）

天端沈下量20㎜時の補強の有無による相当ひずみ分布の違いを**図-15**に示す．補強なしの場合，天端部およびアーチ肩部の内空側目地部にひずみの大きい領域が生じているのに対し，補強ありの場合は，内空側目地部の引張および圧縮ひずみの発生が，補強なしの場合に比べて抑制されている．

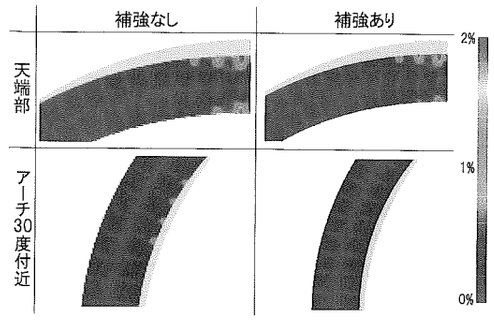


図-15　天端沈下量20㎜時の補強の有無による相当ひずみ分布の違い

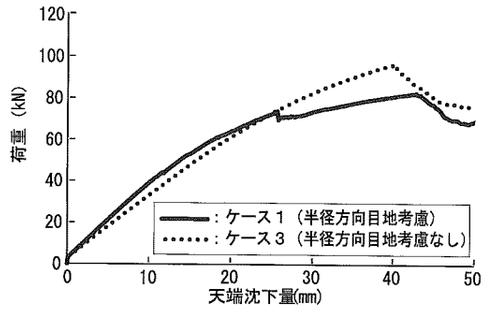


図-16　荷重-変位の関係

（２）　半径方向目地のモデル化の違いについて

荷重-変位の関係を**図-16**に示す．半径方向の目地を考慮したモデル（ケース１）では，天端沈下量25㎜付近で勾配が小さくなり，40㎜を超えたところで，最大荷重約80kNを迎えた．一方，半径方向目地を考慮しないモデル（ケース３）では，天端沈下量約40㎜まで若干の勾配の減少はあるものの線形的に荷重は増加し，最大荷重は約96kNで荷重が減少した．非線形性および最大荷重（約２割）で若干の相違はあるものの，天端沈下量が25㎜程度までは比較的よい一致をみており，天端沈下量が25㎜より小さい領域では半径方向の目地を考慮せずとも，ある程度れんが積み覆工トンネルの挙動を表現できるものと考える．

ひずみ分布の変化については，半径方向目地を考慮したケース１で，とくに，アーチ肩部のひずみの発生が目地部に集中し，載荷とともに大きくなるのに対し，考慮しないケース３では，幅広く広範にわたり平均化された状態である．しかしながら，全体的な挙動は半径方向の目地を考慮したケース１と同様であった．

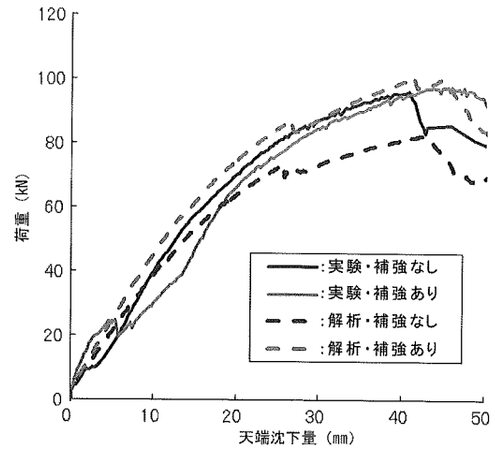


図-17　荷重と天端沈下量との関係における実験および解析結果との比較

4-4　実験結果との比較と考察

荷重-変位の関係について，実験とシミュレーション解析と比較したものを**図-17**に示す．補強なしのケースについて見ると，天端沈下量約10㎜以降，解析値が実験値を下回るものの，勾配の変化，最大荷重発生位置がよく捉えられており，精度よくシミュレートできていると言える．

補強ありのケースにおいては，実験では天端沈下量５㎜時点で帯板が剥離し，一次的に荷重が低下したのち，約20㎜以降は補強なしのケースとほぼ同様の挙動を示した．一方，解析では帯板の剥離を考慮していないため，約５㎜から25㎜にかけて解析結果が実験結果を上回る結果となった．しかし，こちらも解析結果は勾配の変化をよくシミュレートできており，最大荷重の発生位置も非常によく表現できている．

5　実トンネルに対する検討

5-1　解析概要および解析条件

検討の対象としたトンネルは，鉄道トンネルで一般的な単線断面で，巻厚は標準的な４層とした（**図-18**）．用いた解析手法は4-1節と同様，圧縮および引張軟化を考慮したFEMで，対称性を考慮し1/2モデルとし，半径方向の目地はモデル化せず，れんがおよび層間の目地を２次元平面ひず

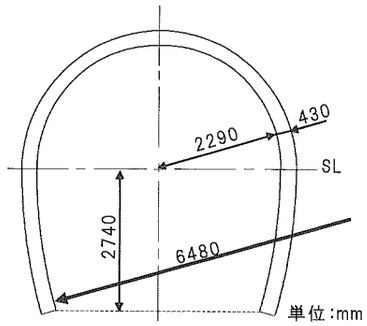


図-18　対象トンネルの断面形状および寸法

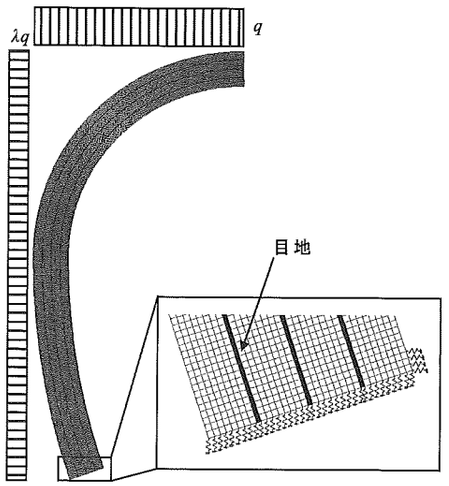


図-19　解析モデル（単線断面・4層巻き）

み要素によりモデル化した．補強ありのケースでは，帯板を弾性の梁要素でモデル化し，剥離は考慮していない．

荷重条件は鉛直等分布載荷とし，地盤ばねをモデル化する代わりに，側方土圧係数λ＝0.1の水平荷重を載荷させた．載荷ステップは実験と同様，変位制御とした．天端部は水平方向を固定，脚部は地山の反力が得られる範囲（鉛直・水平方向ともに）に地盤ばねにより支持する条件とした．

解析モデルを**図-19**に示す．モデルの節点数は17,316で，要素数は補強なしのケースが16,800，補強ありのケースは17,280である．

5-2　解析結果

（1）　荷重-変位の関係

荷重（鉛直土圧）-変位曲線を**図-20**に示す．

補強なしのケースでは，天端沈下量が20㎜を超

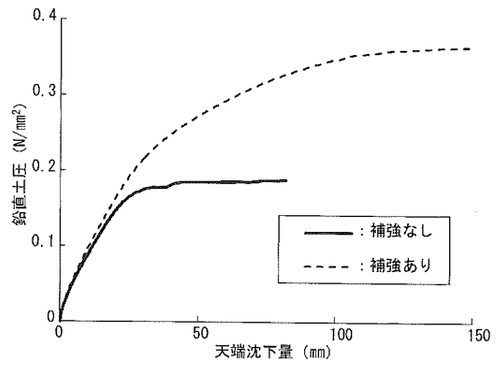


図-20　荷重（鉛直土圧）と天端沈下量との関係における補強の有無の比較

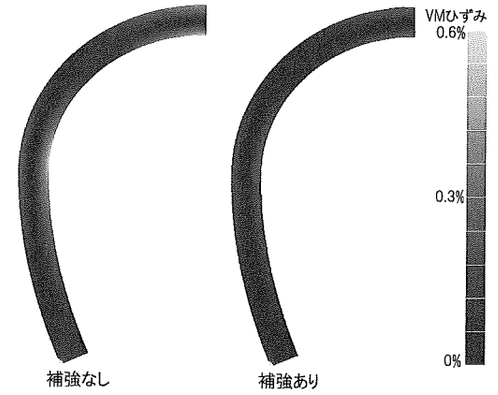


図-21　q＝0.15N/㎟時点のひずみ分布

えたあたりから勾配が小さくなり，およそ30㎜で荷重増加がなくなり，最大荷重は0.2N/㎟弱であった．

一方，補強ありのケースでは，勾配が減少し始める天端沈下量はおよそ25㎜と，補強なしのケースと大差ないが，荷重がほぼ一定となる位置が約120㎜で最大荷重が約0.37N/㎟と，補強なしのケースに比べ，大幅に増加していることがわかる．

（2）　ひずみ分布の発生状況

荷重q＝0.15N/㎟時点のひずみ分布を**図-21**に示す．補強なしのケースではクラウンおよびスプリングライン付近で約5,000μのひずみが発生しているのに対し，補強ありのケースでは4,000μ以下に抑制されている．これは補強の効果であると推察され，結果として，前述の力学特性および変形性能の向上に寄与したものと考えられる．

6　結　　論

模型実験および数値解析的検討により，ブロック積み覆工トンネルの耐力および帯板接着工法の補強効果の評価を実施した．模型実験は新幹線複線トンネルの標準断面の縮尺1/5大型トンネル覆工模型載荷実験であり，数値解析は引張および圧縮軟化を考慮したFEMである．本研究により得られた知見を以下に示す．

①　帯板接着工法の補強効果は，CFPが剝離すると補強効果は確認できないが，剝離するまでは，ある程度の補強効果が認められた．

②　引張および圧縮軟化を考慮したFEMにより，れんが積み覆工トンネルの力学特性を表現することが可能であり，耐力および帯板接着工法の補強効果を評価できる．

③　実トンネルの耐力評価をする際は，半径方向の目地を考慮しないモデルで，実務上問題のない範囲で評価可能である．

7　おわりに

本論では，ブロック積み覆工トンネルの耐力および帯板接着工法の補強効果の評価法について，模型載荷実験および数値解析的手法のうちFEMを用いての研究結果にもとづき示した．

しかしながら，ブロック積み覆工トンネルは，材質や構造が多種多様であり，さまざまな変状の状態も勘案すると，無数の条件が存在するのに対し，今回提案した評価法は，ある限られた条件下での検討によるものである．したがって，今後も引き続き研究を深度化していく必要があると考えている．

現在，ブロック積み覆工トンネルの地震時挙動や破壊メカニズムの解明などの研究も進めているところであり，別の機会に，お示ししていきたい．

末筆ながら，ご指導，ご協力いただいた関係各位に深甚なる感謝の意を表する次第である．

参考文献

1）斎藤徹・白井慶治・飯塚全・高木盛男・土屋敬・岩井徳雄：模型実験によるトンネル覆工の耐力に関する研究，鉄道技術研究報告，No.779，1971.

2）今田徹ほか：トンネル覆工の強度に関する実験報告（1），土木研究所資料，No.921，1974. 同（2），No.922，1974. 同（3），No.991，1975. 同（4），No.1100，1976.

3）朝倉俊弘・小島芳之・安東豊弘・佐藤豊・松浦章夫：トンネル覆工の力学挙動に関する基礎的研究，土木学会論文集，第493号/Ⅲ-27，pp.79-88，1994.

4）朝倉俊弘・安東豊弘・小俣富士夫・若菜和之・松浦章夫：欠陥を有するトンネル覆工の変形挙動と内面補強工の効果，土木学会論文集，第493号/Ⅲ-27，pp.89-98，1994.

5）朝倉俊弘：山岳トンネルの変状メカニズムとその対策に関する研究，鉄道総研報告特別第13号，1997.

6）岡野法之・津野究・小島芳之・朝倉俊弘：ブロック積み覆工トンネルに関する実験的研究，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.12，論文，pp.61-68，2002.

7）N. Okano, Y. Kojima, K. Tsuno and T. Asakura: Experimental study on behavior of masonry lining tunnel in various ground conditions, Proceedings of the ISRM International Symposium 3rd ARMS, pp.937-940, 2004.

8）岡野法之・植村義幸・小島芳之：大型覆工模型実験によるトンネル覆工の変形特性の再現，第12回岩の力学国内シンポジウム&第29回西日本岩盤工学シンポジウム講演論文集，pp.909-914，2008.

9）岡野法之・植村義幸・小島芳之・西藤潤・朝倉俊弘：山岳トンネル覆工の内面補強に関する実験的研究，土木学会トンネル工学論文集，Vol.19，pp.69-76，2009.

10）高橋幹夫・津野究・小島芳之：大型トンネル覆工模型実験装置の開発，土木学会第61回年次学術講演会講演概要集Ⅲ，pp.139-140，2006.

11）野城一栄・小島芳之・新井泰・岡野法之・竹村次朗：圧縮破壊後の軟化を考慮した無筋コンクリート山岳トンネル覆工の数値解析手法に関する研究，土木学会論文集C，Vol.65，No.4，pp.1024-1038，2009.

12）土木学会：原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査マニュアル，p.100，2005.

13）新井泰・有賀貴志・平野勝識・渡辺忠朋：鉄筋腐食と断面欠損によるRCはりの曲げ挙動に関する解析的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.3，pp.169-174，2007.

14）土木学会：コンクリート標準示方書設計編，pp.38-43，2007.

工法・技術・製品ニュース

製品　12t クラス油圧ショベルを発売



Cat 312E 油圧ショベル

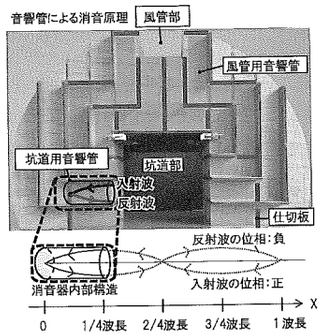
キャタピラージャパン 広報グループ
TEL：03-5717-1122
http://japan.cat.com/

キャタピラージャパンは，オフロード法2011年基準をクリアする環境性能と，パワーシステムの統合制御などによる優れた燃料生産性を両立した12tクラスの油圧ショベルを発売した．

今回発売するCat 312E 油圧ショベル(バケット容量0.5m³，運転質量12.6t)は，Cat 312Dのフルモデルチェンジ機で，狭隘地での主力機としての高い生産性と，小型機としての汎用性を兼ね備えている．

今回のモデルチェンジでは，同社の持つ最先端のテクノロジーを駆使した新型の環境対応パワーユニットを搭載することで，クリーンな排出ガスを実現．加えて，クラスNo.1の高い生産性を維持しつつ，従来機比で燃料消費量を約７％低減(スタンダードモード)した．

工法　トンネル発破低周波音消音器を開発

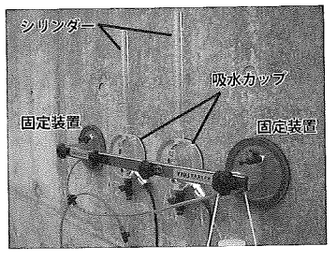


大林組 CSR室広報部広報第一課
TEL：03-5769-1014
http://www.obayashi.co.jp/

大林組は，山岳トンネル工事における発破掘削時に発生する低周波音を大幅に低減できる消音器「ブラストサイレンサー」を開発し，熊本３号津奈木トンネル新設工事現場(九州地整)で検証実験を行い，低周波音を大幅に低減する効果があることを確認した．

同器は，音響管の共鳴現象を利用し，従来の防音扉よりも大幅に低周波音を低減するもの．発破音と逆位相の反射音を発生させる音響管をトンネル内にゲート状に配置し，発破音と反射音を干渉させて消音する．この効果により，周辺環境に対して影響の大きい周波域63Hz以下の低周波音の影響を，従来の防音扉を使用した場合よりもエネルギーで90%以上，音圧レベルで10dB以上低減できる．また，今回開発した消音器を設置することにより，周辺環境に対する低周波音の影響を低減できたため，掘削工程の早い段階において，低コストで効率のよい発破掘削が開始可能となり，全体の工期短縮，コストダウンも実現している．

工法　コンクリート構造物の表層品質向上効果を実証



表面吸水試験機による計測状況

西松建設 技術研究所
TEL：03-3502-0267
http://www.nishimatsu.co.jp/

西松建設は建設中の実構造物に自社の「うるおい」養生などを用いることで，コンクリート表層品質の定量的な向上効果が得られることを実証した．評価方法には，細田暁・横浜国立大学准教授らが開発した表面吸水試験方法(表面吸水試験機で，かぶりコンクリートの吸水量および吸水速度の時間変化を測定することで，コンクリート表層の緻密性を評価する)を用いた．

実証対象は建設中の沈殿池で，標準配合コンクリートを打設した鉛直壁面において型枠の脱型後に「うるおい」パネルなどで４週間の追加養生を行った場合，追加養生しなかった壁に比べて吸水速度が 1/3～1/5 まで減少し，表層品質の向上が実証できたとしている．

また，「うるおい」養生を行った壁の吸水速度は，比較のために行った市販の塗布型養生剤使用のそれよりも小さくなり，「うるおい」養生はコンクリート表層品質の向上度合いが高い工法であることなども実証できたとしている．

連載講座

最新推進工法技術(10)

—推進工法の計画設計(２)—

「最新推進工法技術」連載講座小委員会

① はじめに

今回は，推進工事の計画設計の事例を紹介する．推進工事は，非開削工法であり，自動車交通量が多い都市部で採用されることが多く，さまざまな都市基盤施設の整備に用いられている．そこで本稿では，業務商業系の土地利用の地域における下水道管の推進工事を例として，推進工法の計画設計の事例を紹介する．とくに，計画設計の検討手順のうち，発注者・受注者の両者にとってもっとも主要な事項である，路線の選定および工法の選定について紹介する．

なお，計画設計においては各検討段階において，多くの条件を詳細に比較しながら検討を進める必要があるが，本稿では誌面の都合上，検討の細部は適宜省略して検討の流れの概略を紹介させていただく．

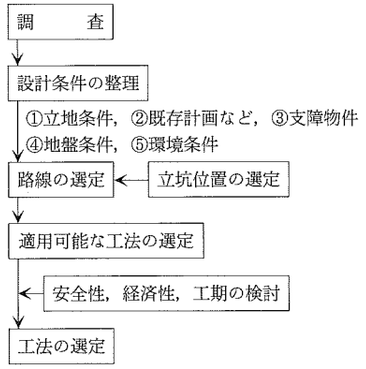


図-1　検討の流れ

② 検討手順

この工事は，下水道管の老朽化対策および雨水排除能力の増強を目的として，図-1に示す手順で計画設計の検討を進めた．

③ 調　　査

3-1　立地条件

(１)　土地利用状況

対象地域は，北側を都道府県道，東側を国道に囲まれた約15haの区域で，官公庁，民間本社ビル，ホテル，病院などが密集する業務商業系の地域である．

(２)　道路・交通の状況

対象地域内の道路は，周辺を国道や都道府県道で囲まれた以外は，すべて区市町村道である．区市町村道の幅員はおおむね４～12mであり，都道府県道から一部官公庁へのアクセス道路のみが，中央分離帯を有する幅員20mの道路である．周辺道路は，日中の自動車交通量や歩行者の通行が非常に多い．また，都市計画道路の整備が進められている箇所がある．

(３)　工事用地の状況

対象地域には，公園などの公共用地はなく，一部に民間の駐車場があるのみである．

(４)その他

対象地域には河川や湖沼はない．また，都市部であり，工事に必要な電力などは十分に確保できる．

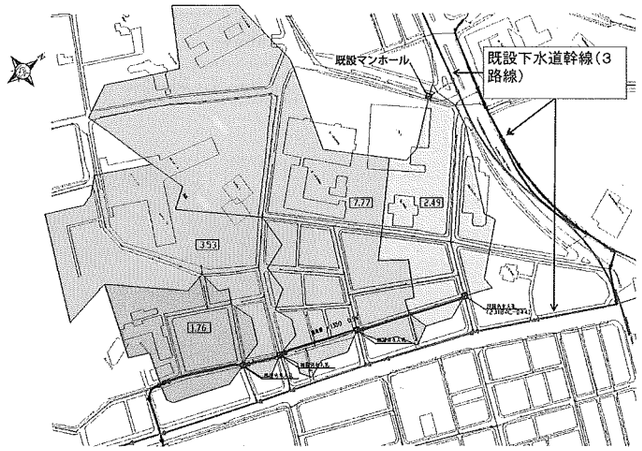


図-2　対象地域の下水道流域図(現況)

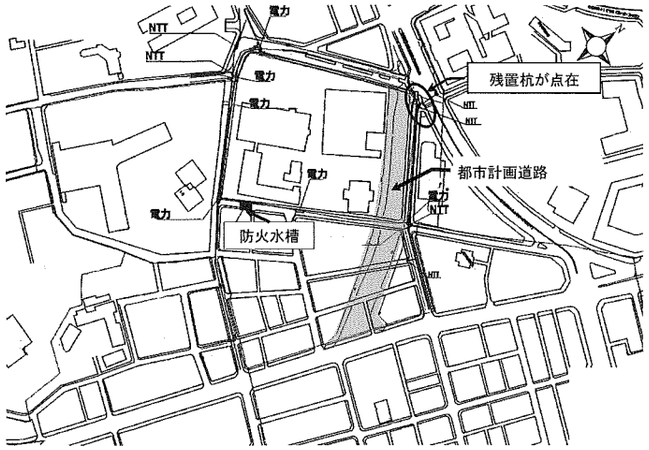


図-3　道路および埋設物の状況図

3-2　既存計画など

対象地域の下水道は，合流式で整備されており，汚水は当該地域の土地利用に応じた原単位が流域別下水道整備総合計画において定められているほか，雨水については1時間あたり50㎜，流出係数80%相当として整備することとされている．

また，対象地域の既設下水道は，北側および東側に各幹線が整備されている．とくに，北側の幹線は，対象地域を含む広域的な範囲の下水を収容する下水道幹線となっている(**図-2**)．

3-3　支障物件

支障物件となる地下構造物を調査した．対象地域内の道路には，ガス，上下水道，通信，電力，地下鉄が埋設されている．さらに，流下先となる下水道幹線の東側付近に，他の埋設物工事施工時のH形鋼の残置杭があるほか，中央部の車道1か所に形状不明の防火水槽がある(**図-3**)．

3-4　環境条件

環境条件として，対象地域における騒音・振動，地下水利用，土壌汚染などを調査したが，設計上考慮しなければならないものは特段なかった．

3-5　地盤条件

(1)　地　形

対象地域の地形は，全体的にみると北から南へ下っている．

(2)　土質・地下水位

対象地域の土質は，*N*値が1～5程度の軟弱な地盤であった．なお，土質の把握のため，対象地域内における他工事の際に調査した土質データが公開されていたため，主にこれを活用した(**表-1**)．

表-1　土質データ

土　質	層厚(m)	平均*N*値
埋　土	3.30	1
シルト質砂	2.80	2
砂質シルト	0.50	2
シルト質砂	1.30	1
シルト質砂	2.80	5
シ　ル　ト	4.50	1

地下水位＝GL－5.10m

④　設計条件の整理

4-1　管　径

管路の建設工事にあたっては，当該管路に求められる機能・能力に応じて，施設規模を検討しなければならない．本事例では，下水道管を設計する際に管内を流れる水の流量を算出するために用いられるマニングの公式を用いて，管径を算出した．下水道管の一般的な条件として，最小内径は250㎜，流速は下流に向かい漸増させ，勾配は下流に行くに従い小さくする，という条件と，対象地域から生じる下水の量などを考慮して算定した結果，おおむね管径は内径900～1,650㎜と推定された．

4-2　平面線形の計画

基本的に，公共用地である道路下に占用する．交通量など現場状況を鑑みて，非開削工法で施工可能な線形とする．とくにここでは，*N*値が1～5といった軟弱な土質条件から，非開削工法のうち山岳トンネル工法は用いることは適切でないこと，内径900～1,650㎜程度の規模の場合は，一般的にコスト面で推進工法の方がシールド工法よりも有利であることや，対象地域には，シールド工法を採用するために必要な立坑基地用地が確認できないことから，本事例では，推進工法を用いることとした．このため平面線形は，推進工法で施工可能な急曲線の範囲内で検討することとした．さらに，下水道マンホールおよび立坑の位置は，周辺の地下埋設物などへの影響が小さくなるように考慮した．

4-3　縦断線形の計画

支障物などを避ける際は，平面計画において支障物を避けた線形とするか，下水を自然流下で流すために縦断計画において土かぶりを支障物よりも深くすることとした．なお，管の勾配は，下水道で一般的に用いられる標準的な勾配とした．さらに，重要な他企業埋設物との離隔は1*D*以上を確保することとした．

⑤　路線の選定

本事例における路線の選定にあたっては，次の5つの条件を考慮する必要があった．

条件1：施設配置(流入管や各立坑の位置)
条件2：道路の状態
条件3：路線沿線の環境
条件4：交通条件(道路占用および道路使用の条件(施工区分など))
条件5：支障物処理や近接構造物への影響

まず，条件1により，新設下水道管は，対象地域を含むより広範囲の地域の下水を収容する下水道幹線に接続させるルートとすることとした．

具体的には，対象地域の北西側に，対象地域を含む地域の下水を収容する既設の下水道管の幹線が埋設されており，その下水道幹線上に比較的規模の大きい既設マンホールがあることや，それより下流の下水道管の収容能力を考慮した結果，その既設マンホールに接続するルートを選定することとした．

次に，条件2について，考えられる案を整理した．具体的には，現道だけを占用するルートのほか，整備中の都市計画道路や，対象地域に近接する道路を一部利用するルートも，候補として検討に加えた．その結果，既設マンホールに接続するルート案として，下記の3つの案が考えられた．

案1：現道を占用して既設マンホールに接続する案．
案2：整備中の都市計画道路に占用することで，残置杭をはじめ既存の埋設物(水道管および残置杭)との競合を回避し，既設マンホールに接続する案．
案3：対象流域を一部外れ，一部公共施設前の幅員の比較的広い道路を経由して，既設マンホールに接続する案．

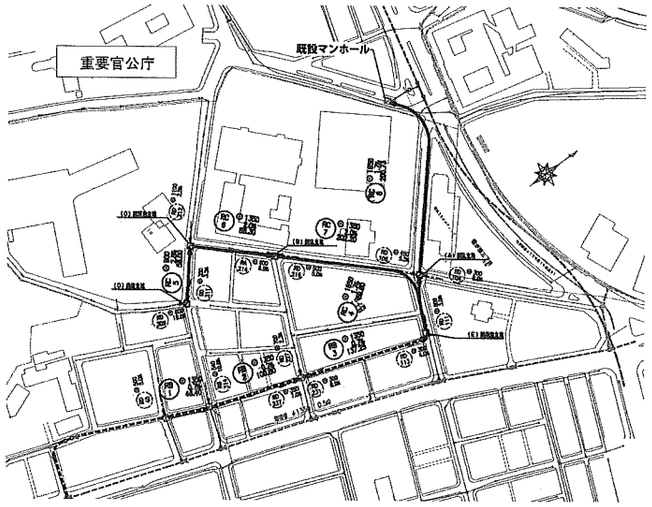


図-4　案1の計画平面図

以上の3つの案について，残る条件3～5の各々について比較検討した．

まず案1について検討した(図-4)．案1は，条件3について，当該路線が昼間は商用車を中心として交通量が多い道路であった．このため，条件4については深夜間施工となり，工事費が昼間施工の場合よりも割高となる可能性が高かった．さらに，条件5について，現道には数多くの埋設物があり，水道，電力地下ケーブル，残置杭，防火水槽との近接施工となる可能性が高かった(案1のルートの現道には，非常に多くの埋設物が埋設されている(図-2参照)．とくに，水道および電力地下ケーブルは，周辺に他の埋設物があり移設ができない状況であった)．このため，案1の路線は，実質的には施工不可能であると判断した．

次に，案2について検討した(図-5)．案2は，案1に比べて，都市計画道路用地として更地となり道路整備のため通行不可とした場所で施工できるため，交通量や埋設物がネックとなる可能性は低いと考えられた．しかし，埋設物を詳細に調べた結果，整備中の道路予定地に従前建築物の基礎が残置されている可能性が判明した．さらに，当該都市計画道路以外の現道において，案1と同様に電力ケーブルや防火水槽との近接施工が避けられないこと，埋設物が輻輳しており現道内に立坑を設置できる場所が見つからないといった課題があった．このため，案2も施工が難しいものと判断した．なお，案2を採用する場合は，これらの課題を解決したうえで，道路整備と下水道整備のスケジュール調整も必要であった．

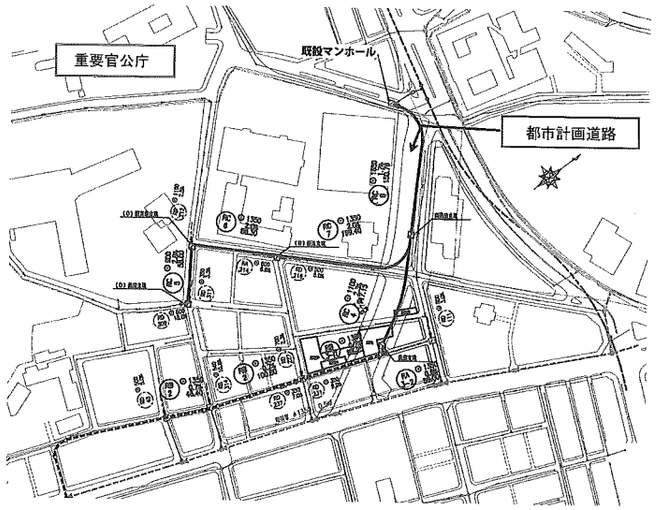


図-5　案2の計画平面図

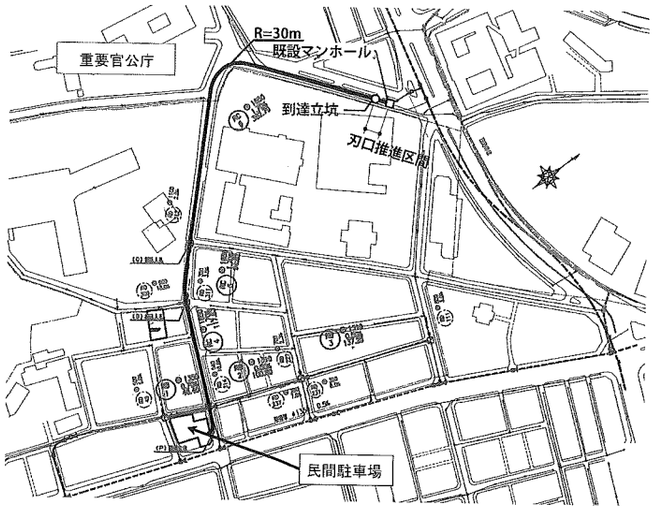


図-6　案3の計画平面図

最後に案3について検討した(図-6)．案3では，案1や案2と比較して，条件3と条件4については大きく異なることはないが，案1や案2で難点となった条件5について，対象地域の外側の道路を占用するルートとすることで，残置杭や防火水槽などの埋設物との支障を避けることができた．また，推進工事の発進立坑用地として，やや広めの幅員の道路内に確保できる見込みもあった．これらのことから，路線の選定案としては案3を採用することとした．

⑥ 立坑位置の選定

次に，案3における各立坑の位置を検討した．

最初に，推進工法にとってもっとも重要な立坑である発進立坑の位置について，プラント用地の確保の容易さ，地下埋設物の状況，周辺への影響，交通支障などを考慮して決定した．

路線上の借地可能なプラント用地候補地は，最上流部に民間駐車場が見られる以外には有望な空き地は見られなかった．一方，下流の既設マンホール付近は，中央分離帯を有する広幅員の道路で，路上に作業ヤードを設置しても，車両通行は可能と考えられた．

そこで，民間駐車場と既設マンホール付近の2つの案について，どちらを発進立坑とし，どちらを到達立坑とするかを検討した．

立坑周辺の交通規制，工期，コスト，プラント用地確保の確実性などについて比較検討した結果，既設下水道マンホール付近に発進立坑を設けて上流方向の民間駐車場付近に向けて推進する案が，いずれの項目とも有利な結果が得られた．中でも次の2点が決め手となり，この案を採用することとした．

- 発進立坑は到達立坑よりも大きい面積の用地を必要とするが，民間駐車場前の道路には既存の埋設物が輻輳しており，しかもそれらの移設先となる空き地がなく移設に難があったため，発進立坑用地として必要な面積を確保することは難しかった．一方，到達立坑用地であれば確保できる見込みであった．
- 民間駐車場管理者との間で今後行う，プラントヤード用地確保の交渉が必ずしも成功するとは限らないというリスクがあった．

なお，掘進機が曲がれない場合には回転立坑を設けるが，本事例では，回転立坑は設けなかった．これは，路線途中の近傍に重要官公庁があり，警備上の理由から立坑の施工が困難と想定された一方で，この重要官公庁付近に生じる急曲線部($R=30$m)は全路線の中でもっとも厳しい急曲線ではあったが，本件で用いる掘進機が曲がることができる曲線であったためである．

以上の結果，平面線形について，施工延長は発進立坑から到達立坑までの約520mとなった．また，縦断線形について，発進立坑から到達立坑までの間，埋設物を避けかつ円滑な下水の流下が可能な縦断線形を想定したところ，土かぶりはおおむね8～10mとなった．

⑦ 工法の選定

7-1　主な検討項目と検討の流れ

路線の選定の次に，工法の選定を行った．設計条件などをもとに，図-7に示す手順で比較検討を行い，適用可能な工法を絞り込んでいきながら選定した．

7-2　工法選定の検討

本事例における推進工法の選定時の主な検討項目には，次の各項目があげられる．

① 推進管の管径
② 推進工法の分類
③ 推進距離，急曲線の検討
④ 周辺への影響
⑤ 立坑用地の規模
⑥ 工期・経済性

①について，流入する下水を円滑に収容するのに必要な最小管径(900～1650)を確保しつつ，コストの最小化を考慮して最小規格管径とするため，管径は呼び径1650となった．

次に，②について検討した．推進工法には一般的に，大中口径推進工法(開放型(刃口式)，密閉型(泥水式，土圧式，泥濃式))，小口径推進工法，取付管推進工法，改築推進工法がある(図-8)．

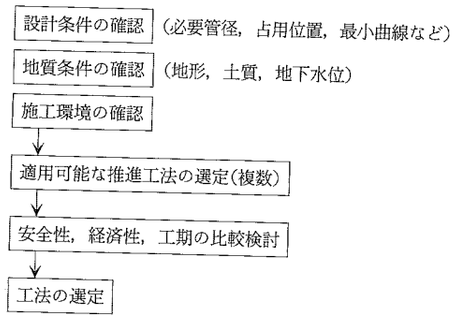


図-7　工法選定の流れ

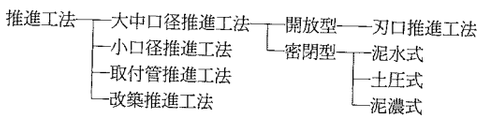


図-8　推進工法の分類

ここでは，呼び径1650の新設管を設置することから，推進工法のうち，大中口径推進工法の開放型および密閉型の中から工法を選定することとした．

土質の条件から，刃口推進工法を含めて開放型の工法は，補助工法として全路線に地盤改良が必要となり，本事例の施工延長(約520m)では，経済性で他の工法と比べて不利であることから，これ以降の検討の対象から除外した．すなわち，適用可能な推進工法として，密閉型の３つの工法を用いることとした．

次に，泥水式，土圧式，泥濃式の３つの工法について，③～⑥の各々の条件を比較した．

まず，③については，当該地の条件として，次の３点に留意する必要があった．

- 推進距離が約520mと長いため，これを推進可能であること．
- 推進設備ヤードと立坑との距離が長くなるため，掘削ずりの搬出として，流体圧送が可能なこと．
- 路線の途中で，R＝30mの急曲線が存在すること．

密閉型の３つの工法について比較した結果，上記の３点ともに大きな支障はなかった．しかしながら，本件の急曲線施工部は重要公官庁付近での施工であり，急曲線施工に適性の高い工法を選定することが求められる状況であった．

また，④については，騒音振動について土圧式や泥濃式がやや有利であったが，周辺地盤への影響は３つの工法とも大きな差はなかった．

一方，⑤については，土圧式と泥濃式が同様かつ泥水式よりもやや有利であった．

⑥については，コスト面では泥水式が有利であったが，工期の面で泥濃式がもっとも有利であった(**表-2**)．

当該現場では，重要官公庁の近傍であり警備上の理由で工期の短縮化が求められることなどを考慮して，コスト面ではもっとも不利な選択肢ではあったが，泥濃式を採用することとした．

なお，到達立坑から既設下水道マンホールまでについては，既設下水道マンホールの規模などから推進機が回収できないため，コストの最小化などを考慮して，全断面について地盤改良併用の刃口推進工法を採用することとした．

⑧ 総合的な観点から現場に応じた計画設計を

本稿では，推進工法の計画設計の手順のうち，調査，設計条件の整理，路線の選定，立坑位置の選定，工法の選定の例を紹介したが，これはあくまで一つの例にすぎない．この例では，主な路線の工法選定にあたり重要官公庁の警備といった特殊事情から経済性以外の条件を重視したが，一般的には，工法間の条件比較の結果に大きな差異がなければ，コストの最小化を重視することが多い．

また，近年では，泥水式，土圧式，泥濃式の適用可能な施工条件の差異が小さくなってきている．工法選定の際には，このような技術開発などの動向にも留意する必要がある．

また，検討にあたり必要不可欠な情報のひとつである土質データについて，本事例のように，路線の近傍ではあるものの計画路線から離れた箇所での土質データは，計画路線における土質とは一致しないことがある．このことから，計画路線から多少なりとも離れた箇所における土質データにもとづいて計画設計を行った場合は，トラブルなどの防止のために，工事実施前に，計画路線上または計画路線直近での土質調査を行う必要がある．

このように，実際に推進工法の計画設計を行う際は，現場の地域特性や地盤条件などをできるかぎり正確かつ詳細に把握したうえで，現場ごとに異なるそれらの条件に応じて，安全性や経済性など総合的な観点から，それぞれの現場の地域特性や地盤条件などに応じて，最適な路線や立坑の位置，工法を選定することが求められる．「100の現場があれば，路線や工法などの組合せも100通りある」ということを念頭において，計画設計を進めていただきたい．

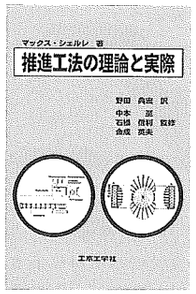
(文責：新谷康之・東京都下水道局)

表-2　推進工法の比較検討

	泥水式	土圧式	泥濃式
長距離推進	いずれの工法も対応可能． ○		
排泥	いずれの工法も対応可能． ○		
急曲線施工	いずれの工法も急曲線施工は対応可能であるが，泥濃式は他の２工法に比べて余掘り量が大きく曲線施工に適性が高い． ○		
周辺環境	泥水１次分離に騒音・振動が多少発生する．周辺地盤への影響は小さい． △	騒音・振動の発生は少ない．周辺地盤への影響は小さい． ○	騒音・振動の発生は少ない．周辺地盤への影響は小さい． ○
立坑用地規模	約350m²が必要． △	約300m²が必要． ○	
経済性	直接工事費：約1.6億円(管材料除く) ○	直接工事費：約1.7億円(管材料除く) △	直接工事費：約1.9億円(管材料除く) △
工期	設備工事：15(日)＋推進工事：108(日)＝総施工日数：123(日) △	設備工事：15(日)＋推進工事：108(日)＝総施工日数：123(日) △	設備工事：10(日)＋推進工事：105(日)＝総施工日数：115(日) ○
評価	経済性でやや優れるが，急曲線施工や立坑用地規模などでやや不利．	立坑用地規模でやや優れるが，急曲線施工や工期などでやや不利．	急曲線施工，立坑用地規模，工期でやや優れるが，経済性でやや不利．
評価結果	△	△	○

参考文献

1) (社)日本下水道管渠推進技術協会：推進工法体系Ⅰ・Ⅱ，2010年版．
2) 東京都下水道局調査設計委託関係資料(平成22年度)．
3) (社)日本下水道協会：下水道推進工法の指針と解説．



推進工法の理論と実際

B５判　437頁　価格8,925円　送料450円

マックス・シェルレ　著

野田典宏 訳　中本　至・石橋信利・金成英夫 監修

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

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

トンネルワールドニュース

（社）日本トンネル技術協会
国際委員会

オーストラリア最大のボックスジャッキ工法

Thiess社は，先月，ブリズベン空港リンクプロジェクトの一部として，ラグビー場規模のコンクリート製ボックスを順調に推進した．

これは，オーストラリア史上最大のボックスジャッキ工法である．

Thiess社広報官は，「従来の開削工法では，週末の線路閉鎖を30回以上必要としたが，これは貨物，都市ネットワーク，エアトレインの乗客に影響するものである」と述べている．

2基の専用コンクリート製のボックスをKalinga公園の鉄道盛土の下に押し引きするボックスジャッキ作業が，鉄道ダイヤを乱すことなく，正常に完了した．

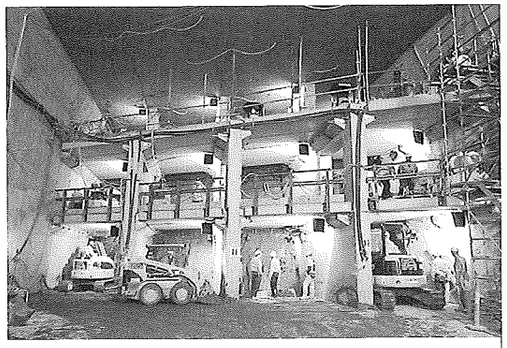
Thiess社広報官は，「巨大なボックスをジャッキすることは，空港リンク建設でもっとも複雑な技術面の一つで，道路トンネルプロジェクトの一部を形成する必要がある」と述べている．

北コースト鉄道線の路盤の安定を確保するため，ジャッキ作業に先立ち，48本のパイプルーフを圧入して土台を構築した．

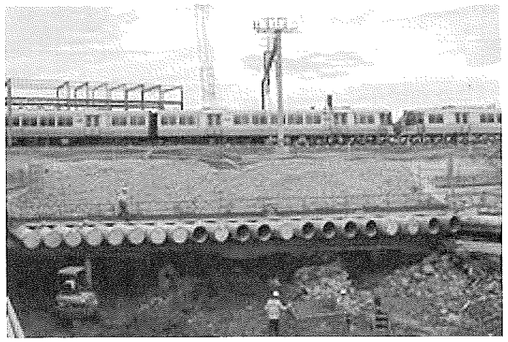
コンクリート製ボックスは営業線の脇でつくられ，油圧ジャッキと鋼より線は，鉄道盛土を通り，ボックスを押し引きするために用いられた．

ボックスは延長65m，高さ12.5mで，およそ38mのスパンを結合して，鉄道盛土の下を55m押し込んだ．鉄道盛土の安定を維持するために，作業は864時間(36日間)連続で行われた．

(T&TI '11.9　担当：徳富恭彦・鉄道・運輸機構)



参考写真①



参考写真②

『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)

海外文献速報

（社）日本トンネル技術協会
国際委員会

硬岩におけるTBM操作の貫入量・カッタ摩耗そして掘進速度/Penetration, cutter wear and rate of advance for TBM operations in hard rock

Tunnel, November, 2010

プロジェクト初期，とくに長大トンネルでは掘進速度(ROA)が大切であり，施工者も入札価格・完成時期の予測ではROAを必要とする．また，工程が重要な施工時には，ROAはより大切となる．従来法ではサイクルタイムから計算したROAが確立されているが，TBM法ではまだ確立した方法がない．そのため，入札時のROAは大きくばらつき，実施工のROAが予想値から大きく外れることもある．

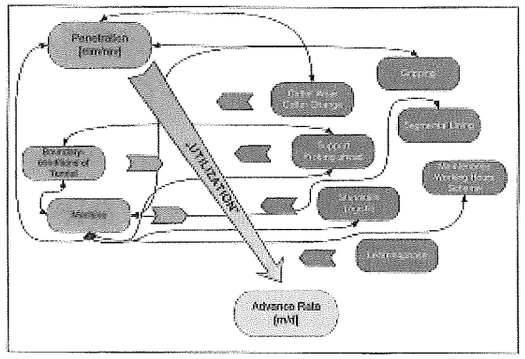
本稿ではTBM掘削を対象に，改善策がないかを検討している．

ROAの計算では，貫入量の決定が必要である．通常は貫入量をもとに計算したネットのボーリング速度に使用頻度係数を掛けてROAを求めるが，オープン型のTBMでは，カッタヘッド近傍での支保建て込みがROAに大きく影響する．また，機械のトルク，スラスト，カッタの摩耗，最大コンベア積載量など，機械，掘削工程，備品搬入，組織化などの条件も検討してROAを決める必要がある．しかし現実は，簡単なパラメータのみでROAを計算することが多く，正確な貫入量がわからない場合もある．こういうとき，経験と勘でカバーするが，掘削コストやROAの保証に重大なリスクを抱えることになる．

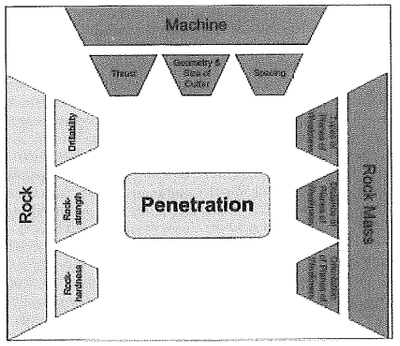
貫入量の計算に用いられるモデルは多いが，そのほとんどが1990年以前の径が6～7mのトンネルデータを用いてモデルが作成された経緯があり，貫入量，稼働時間，支保建て込みなどの影響を考慮しているものの，完全とはいえない．1990年以降，とくに切削ツールの分野での開発が目覚ましく，新しいデータの使用が求められている．TBMはCyclicalなプロセスだと考えると，サイクルタイム中の中断タイムの原因を直接考慮でき目標と実際を比較する方法(理由が明らかでない場合もある)より情報が多くなる．

2006年のABROCKプロジェクトでは，岩石試験による貫入量と擾乱のエネルギー，切削試験，動的荷重下の亀裂，数値シミュレーション，岩盤内の応力状態，地質・地盤・オペレーションデータの解析などをとおして貫入量とカッタの摩耗調査を5大学で実施した．2005年にはソフトウエア(SimTunnel)がインスブルックで開発され，現在その改良版がMATLAB上で使用可能である．

(文責：小川豊和・大成建設(株))



貫入量から掘進速度へ



貫入量に影響する主なパラメータ

社団法人 日本トンネル技術協会 会報

1. 会員の現状

	1月31日現在
正会員	1,555名
団体会員	363名
個人会員	1,192名

2. 委員会の開催状況（1月1日～31日）

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会会誌WG(1/11)

大島洋志主査ほか13名，2月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会対外広報WG(1/27)

早坂治敏主査ほか10名，和文・英文原稿を検討，そのほか

海外文献小委員会海外ニュースWG(1/30)

早坂治敏主査ほか9名，海外ニュースを翻訳

◎事業委員会(1/26)

桑原彌介委員長ほか16名，催物開催結果と今後の計画を検討

計　4回開催　52名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

保守管理小委員会(1/9)

伊藤泰司委員長ほか15名，保守困難なトンネルの維持管理事例を検討

◎受託研究特別委員会

効率的掘削工法特別委員会高速施工WG(1/19)

領家邦泰主査ほか6名，データ整理・分析方針を検討

効率的掘削工法特別委員会補助ベンチWG(1/20)

鈴木雅行主査ほか9名，機械掘削能力を検討

効率的掘削工法特別委員会覆工養生WG(1/20)

西村和夫主査ほか5名，アンケート調査結果を検討

地下トンネル塩化物対策検討委員会(1/12)

大即信明委員長ほか27名，箱型トンネルを検討

土砂処理特別委員会全体調整WG(1/26)

後藤徹委員長ほか10名，報告書作成を検討

地下水位回復・広域地盤隆起に伴う地下鉄トンネル影響検討委員会(1/27)

小泉淳委員長ほか22名，メカニズムおよび進め方を検討

九州新幹線(西九州)トンネル委員会(1/30，31)

江﨑哲郎委員長ほか37名，現地視察および施工方法を検討

計　8回開催　139名出席

合計　12回開催　191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38回ITA総会およびコングレス「Tunnelling and Underground Space for a Global Society」	2012. 5. 18～24	バンコク(タイ)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Thailand Underground & Tunnelling Group http://www.wtc2012.com/
第39回ITA総会およびコングレス「Underground －the way to future－」	2013. 5. 10～17	ジュネーブ(スイス)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Swiss Tunnelling Society http://www.wtc2013.ch/
第40回ITA総会およびコングレス「Tunnels for Better Living」	2014. 5. 9～15	サンパウロ(ブラジル)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Brazilian Tunnelling Committie

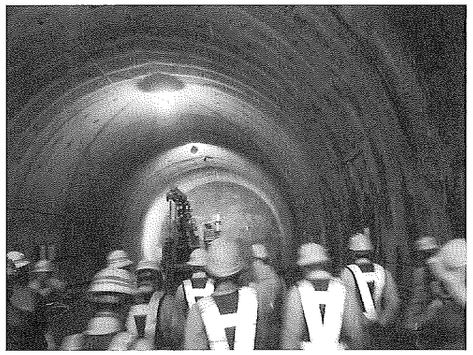
＊論文募集に関する詳細は事務局(担当：関)までお問い合わせください．　(社)日本トンネル技術協会　TEL：03-3524-1755

4. 平成23年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(現場研修会)				
舞鶴若狭自動車道トンネル建設工事現場研修会	2011. 7.29	26	福井県	2.8
小田急下北沢地区複々線化工事建設現場研修会	2011.10. 7	16	東京都	2.0
横浜環状北線シールドトンネル工事現場研修会	2011.11. 4	36	神奈川県	2.0
大師線連続立体交差事業(地下化)工事建設現場研修会	2011.11.28	29	東京都	2.0
第二東名高速道路トンネル工事現場研修会	2012. 2.10	23	愛知県	2.5
九州新幹線(西九州)トンネル現場研修会	2012. 2.28	30	長崎県	2.0
東京地下鉄有楽町線立体交差事業建設現場研修会	**2012. 3.14**	**30**	**東京都**	**2.0**
(施工体験発表会)				
第68回(山岳)「様々な課題克服に取り組んだ山岳トンネル工事」	2011.10.13	126	東京都	5.1
第69回(都市)「都市トンネル工事におけるコスト縮減・工期短縮の施工事例」	2011.10.14	74	東京都	4.6
(講演，講習会)				
山岳トンネルのインバートに関する講習会	2011. 6.15	86	東京都	3.5
第13回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2011. 9.29,30	23	東京都	17.3
第14回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2011.12.14,15	24	東京都	9.3
山岳トンネルの地質に関する講演会	2012. 1.24	109	東京都	2.0

催物の案内は逐次協会のホームページに掲載いたしますので閲覧くださいますようご案内します．一般検索サイトで〈トンネル技術協会　国内催物〉，あるいは，〈http://www.japan-tunnel.org/event_japan〉の入力で辿りつけます．





熱心な受講者風景

会員の皆様へ

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

4月号予告[4月1日発売予定]

創刊500号記念特集号「地震とトンネル」

- ●座談会
- ●トンネル，地震と断層と
- ●地震と都市地下施設の整備
- ●地震とトンネル
- ●地震時における山岳トンネルの挙動に関する基礎的研究
- ●JR東日本におけるトンネル地震被害の事例
- ●中越地震における高速道路トンネルの被害事例
- ●東京メトロにおける地震への取り組み
- ●東京都下水道における地震被害

【連載講座】

- ●最新推進工法技術(最終回)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆今年は，記録的な大雪で雪崩，吹雪による交通事故，転倒や屋根からの転落などの被害が相次ぎました．山間部では，過疎化とともに高齢化も加速し，雪下ろしの担い手がいないなど深刻な問題が起きています．除雪は，幹線道路を中心に行われているようですが，処理方法は土砂の場合とほとんど同じような方法で行われ，すでに自治体の費用が底をつき国からの補助で賄っている状態です．めったに雪が降らない場所に暮らしていると，たまに降る雪で交通が乱れ，転倒やスリップ事故が発生し，生活に支障を来たします．仮に，日本に大寒波が来襲し，太平洋側でも大雪になったらどうなってしまうのか想像もつきませんが，大変なことになることは間違えないでしょう．

◆地震や台風または雪害などの自然災害に対する国民の関心は東日本大震災以降大きくなっています．これらの自然災害から生命や財産を守る，あるいは被害を最小限に抑え，危険な場所の補強・補修，または想定される災害に備えることも土木にとって重要なことです．地下を有効に活用した防災設備など経済的にも新しい方法で今まで以上に効果が発揮できる画期的な工法の開発に期待したいと思います．

◆弊誌も来月号で創刊500号を迎えることになります．来月号は，「地震とトンネル」に関する特集号となりますのでご期待ください．

(K.Y)

★購読の申し込み，または，送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください．
★(社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(社)日本トンネル技術協会へご連絡ください．

トンネルと地下
第43巻 第3号〔通巻499号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成24年2月20日　印刷
平成24年3月1日　発行

社団法人日本トンネル技術協会
会長　佐藤　信彦
〒104-0045　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．

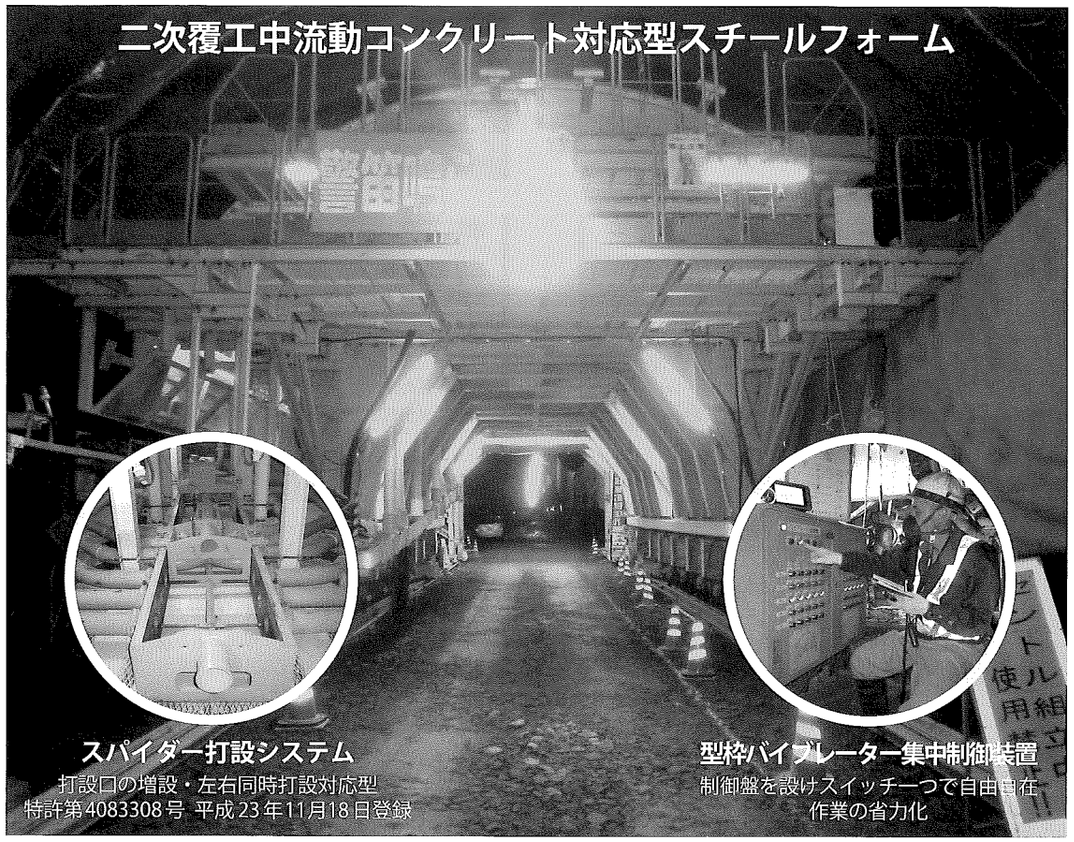
購読料
1冊　1,575円(送料108円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

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	18	2
NEXCO	6	1
地方自治体	8	3
鉄道・運輸機構	1	1

平成24年1月31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．

わかりやすいトンネルの発破技術



山田隆昭　監修
1,500円＋税　B5判

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

多様化するシールド掘進技術



シールド工法技術協会　監修
2,500円＋税　B5判

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

推進工法の理論と実際



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

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

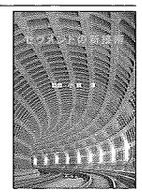
わかりやすい土木地質学



大島洋志　監修
2,500円＋税　B5判

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

セグメントの新技術



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．

続 きみの庭にも温泉が出る



石井康夫・俣野恭寛　共著
1,200円＋税　新書判

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

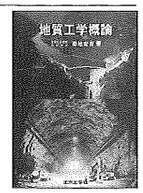
建設工事の保安地質学〔改訂版〕



石井康夫　著
6,000円＋税　A5判

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

地質工学概論



菊地宏吉　著
4,757円＋税　B5判

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

シールドトンネルの新技術



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．

地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全3巻）



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

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

第Ⅰ巻　地下水の物理と化学
4,078円＋税　B5判
第Ⅱ巻　地下水環境学
4,272円＋税　B5判
第Ⅲ巻　地下水と地質
3,689円＋税　B5判

わかりやすいトンネルの力学



福島啓一　著
5,825円＋税　B5判

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

ブロック理論と岩盤工学への応用



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

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

山岳トンネルの新技術



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．

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．

岩盤地下空洞の設計と施工



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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した．

建設工事の地質診断と処方



石井康夫・矢嶋壯吉　共著
4,300円＋税　A5判

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

トンネル工事の衛生と環境保全



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．

岩盤の計測と解析



鈴木　光　著
4,200円＋税　A5判

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

わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉



橋本定雄・松本崇義・松本正敏　共著
2,800円＋税　A5判

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

海洋資源開発



稲田善紀　著
3,400円＋税　A5判

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

トンネルと地下



1,500円＋税　B5判　月刊(毎月1日発売)

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

書籍のお申し込み

ご注文は当社へFAXまたは，書店にてお申し込みください．FAX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．

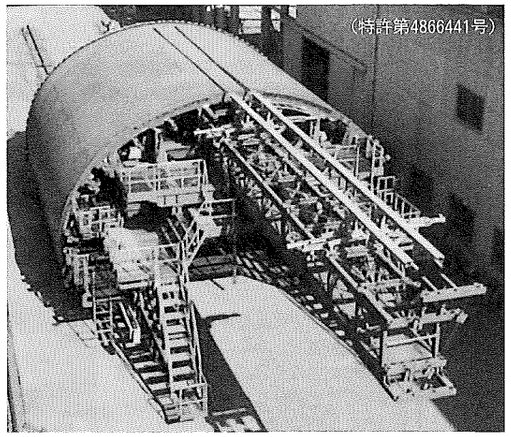
(株)土木工学社
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16　メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888　Fax: 03 3267 2807

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

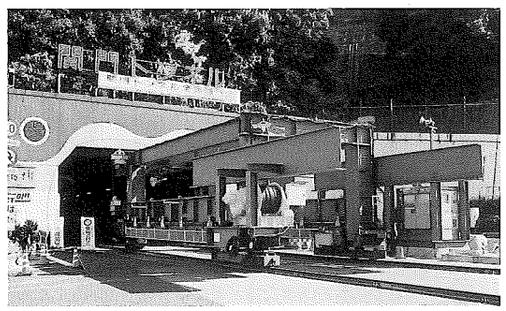
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田(せいた)2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

● 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(特許)

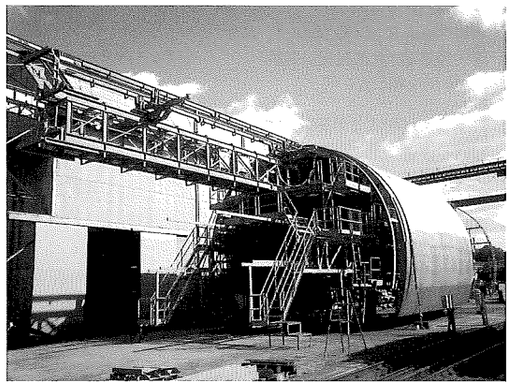


◎強靭なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは，前進後進同一の力で抜き差し出来ます.
◎円周方向にスライドするガイドセルは，クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます.
◎ガイドセルの上昇・下降により，任意の高さを締め固める事が出来ます.

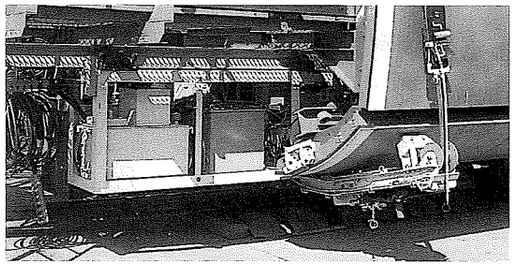
● トンネル床版撤去架台
　勾配対応四駆型(関門トンネル)



● 新幹線用ステンレスフォーム

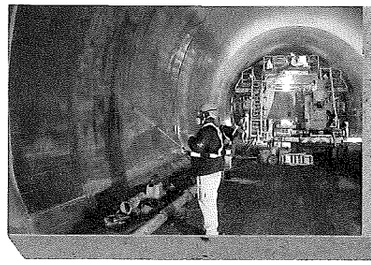


● 自動ケレン装置

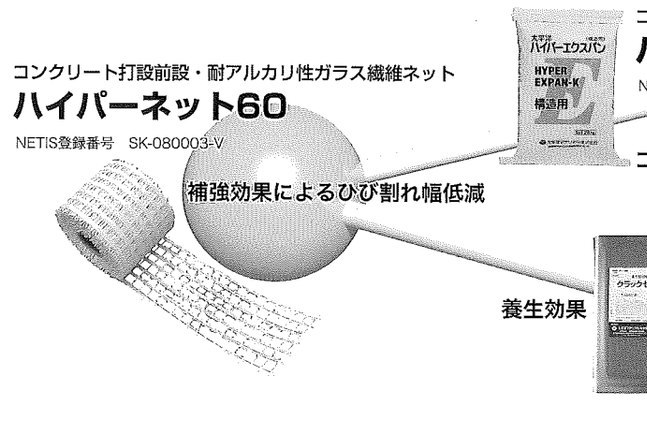


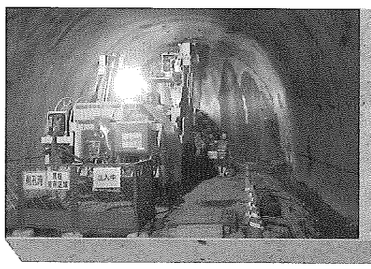
- ベルコン通過型スライドフォーム(特許)
- ロータリー式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサー及び警鳴装置
- クラック防止用ラップウレタンゴム
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充塡センサー
- 2段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セントル
- 横移動式桟橋

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塡材	太平洋フォルトカバー

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