24年5月1日発行第43巻第5号
販元　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
ね返りが少ない
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
ね返りが少ない

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


24年5月1日発行(毎月1回1日発行)　第43巻第5号　通巻501号　ISSN 0285-631X

# トンネルと地下 5

vol. 43
no. 5
2012

Tunnels and Underground

## 新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)開通記念号

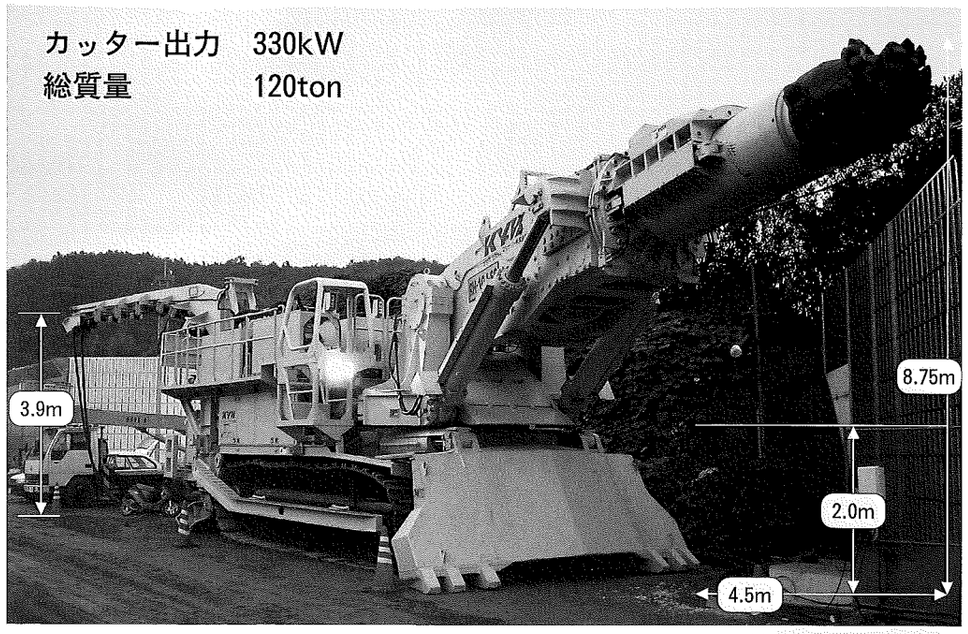
新東名高速道路のトンネル建設を顧みて
新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)の建設経緯と路線概要
大断面トンネルの施工を振り返って
大断面トンネルの計画・調査
大断面トンネルの設計・施工
大断面トンネルの新技術・新工法
安全・安心・快適なトンネル施設
新東名高速道路の開通に思う
開通区間の主なトンネル

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

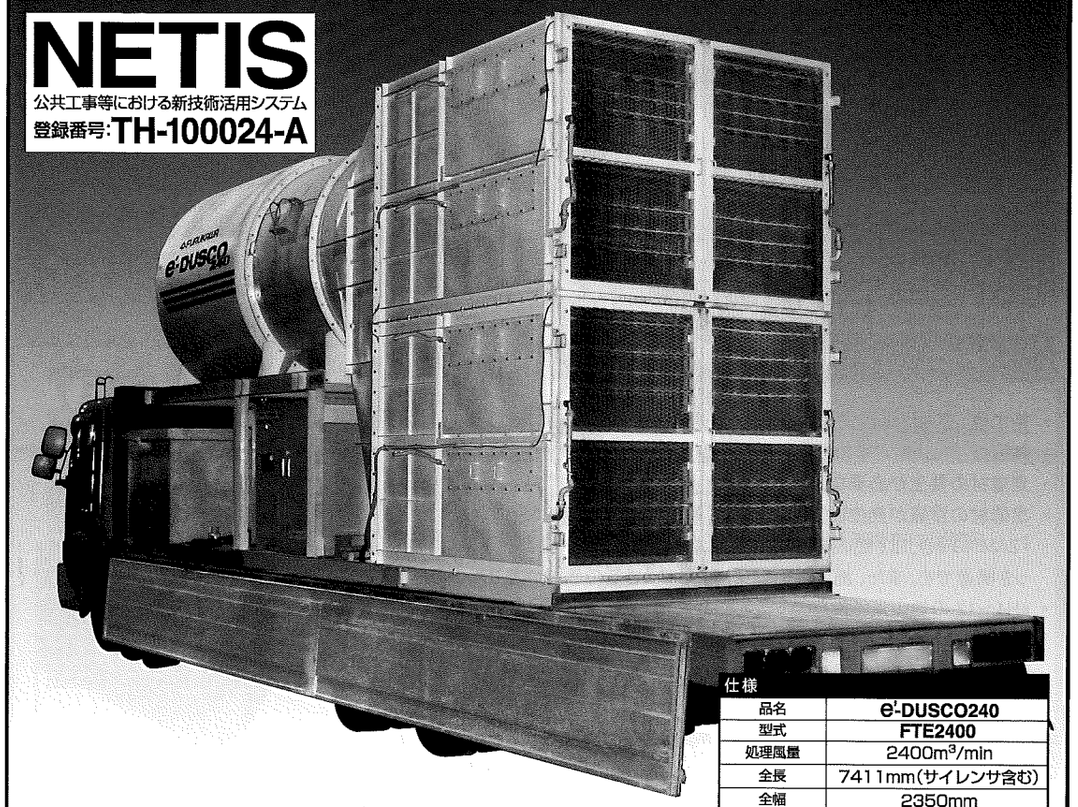
# e-DUSCO 240

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

高耐食性めっき「ZAM®」鋼管を採用した膨張型摩擦式ロックボルト

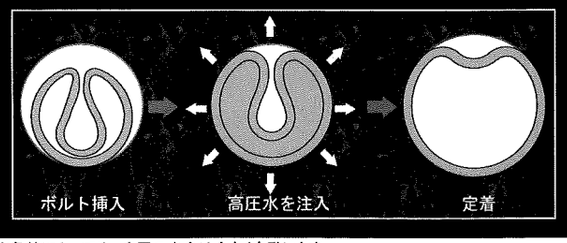
# RPE ROCKBOLT

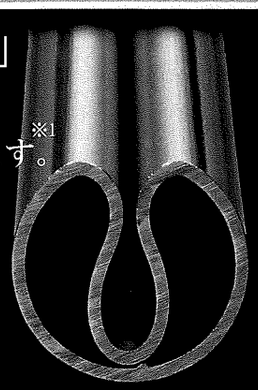
RPE ロックボルト

RUST PROOFING EXPANSIVE

## 「鋼管膨張型摩擦式ロックボルトの進化形」

即効性、耐湧水性、定着材不要による省力化。
高耐食性めっきによる半永久的な機能が期待できます。※1



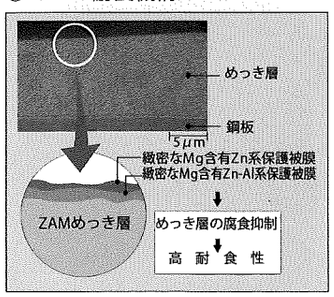



※1 地山条件によってめっき層の寿命は大きく変動します。

### ①「RPE ロックボルト」の特徴

- 施工後、直ちに地山支保性能を発揮します。
- 摩擦抵抗による定着のため、定着材は不要です。
- 定着材の養生が必要ないため、湧水時にも使用できます。
- 定着材の空袋が発生しないことから産業廃棄物の低減が図れます。
- 「ZAM®めっき」は、他の亜鉛めっきと比較し、硬度が高く傷が付きにくいめっき構造です。また、施工時の膨張によるめっき層の剥離はありません。
- pH4～12 の地山条件において優れた耐食性を発揮します。
- 耐力 180kN タイプには高張力鋼を使用、軽量化により取り扱いが容易です。

◎ZAMの耐食機構



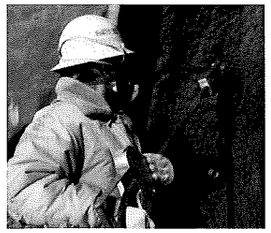

・「ZAM」は、日新製鋼株式会社の登録商標です。
・「ZAM」は、日新製鋼株式会社が開発した溶融亜鉛 Zn-アルミニウム Al-マグネシウム Mg 合金めっき鋼板の商品名です。

### ②「RPE ロックボルト」の仕様

■ RPE ロックボルトの種類

| 呼称 | RPE120 | RPE180 |
|---|---|---|
| 耐力(kN) | 120 以上 | 180 以上 |
| 推奨穿孔径(mm) | φ 45～φ 51 | φ 45～φ 51 |
| 鋼種 | NTRB-400 | NTRB-540 |
| 本体外径(母材鋼管)(mm) | φ 36(φ 54×2.0t) | φ 36(φ 54×2.3t) |
| 単位質量(kg／m) | 2.6 | 2.7 |
| 破断伸び(%) | 35 以上 | 20 以上 |
| 標準長さ(m) | (2.0),3.0,4.0,(6.0) | 3.0,4.0,6.0 |

※標準長さの( )内は、受注生産になります。



（RPE ロックボルト施工状況）


KFC 株式会社 ケー・エフ・シー
東京土木営業部：東京都江東区青海 2 丁目 4 番 32 号 TEL 03－3570－5223
大阪土木営業部：大阪市北区西天満 3 丁目 2－17 TEL 06－6363－1884
技術部 ：東京都江東区青海 2 丁目 4 番 32 号 TEL 03－3570－5186

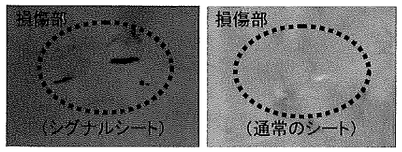

損傷を目視で確認できる防水シート

# シグナルシート

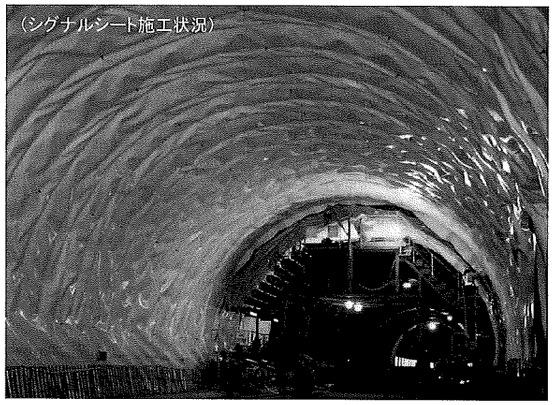
NETIS 登録番号
KK-100083-A

防水層に「シグナルレイヤー」を設けることにより目視で傷を容易にチェックできます。



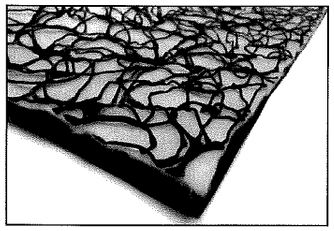

通常のシートに比較し、通常の明かりにおいて目視でたやすく損傷が確認できます。




「立体網状体」による高排水機能

# 立体網状体付き長繊維不織布

「立体網状体」の効果により、抜群の排水性能を発揮します。

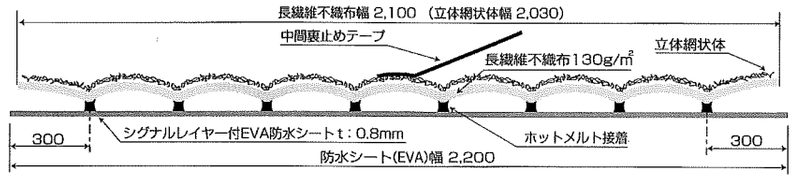


「立体網状体付き長繊維不織布」は通常の厚さ3mm の不織布に比較して約40倍の排水性能を有します。

排水能力比較結果 （試験方法 ISO12958 準拠）

| 商品名 | | ハイパネルSSシート SS-8030 | ハイパネルシグナルシート SGP-8013/20 |
|---|---|---|---|
| | | 不織布3mm | 立体網状体付き長繊維不織布 |
| 載荷重 | 0.05MPa | 0.0354L/10分 | 1.3670L/10分 |
| | 0.10MPa | 0.0180L/10分 | 0.8030L/10分 |

■「シグナルシート」と「立体網状体長繊維不織布」の組み合わせ

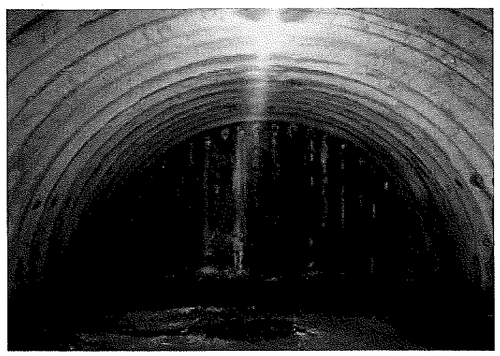




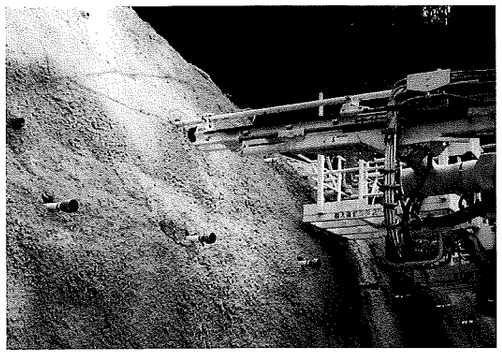
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー
東京土木営業部：東京都江東区青海 2 丁目 4 番 32 号 TEL 03－3570－5223
大阪土木営業部：大阪市北区西天満 3 丁目 2－17 TEL 06－6363－1884
技術部 ：東京都江東区青海 2 丁目 4 番 32 号 TEL 03－3570－5186

# 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

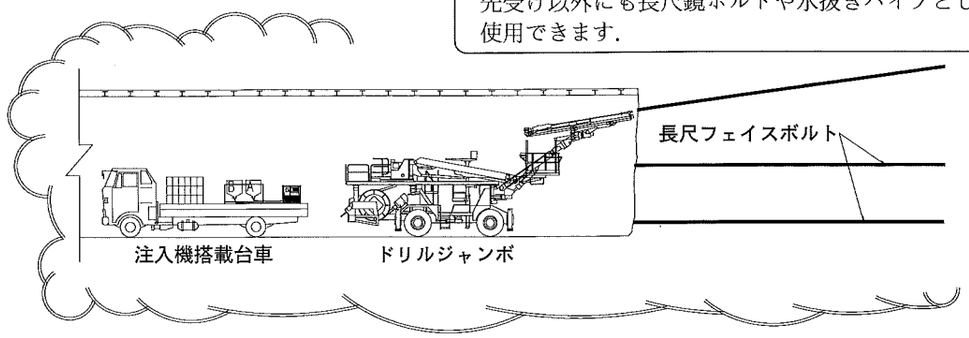
## AGF工法のバリエーション

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)

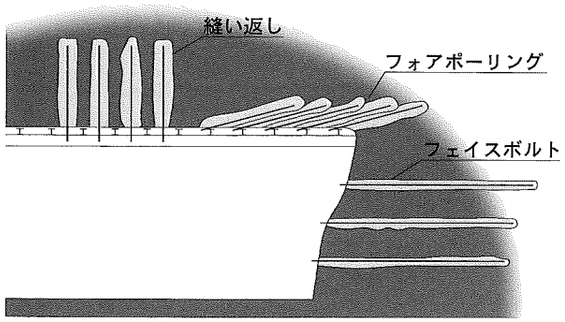
■ウレタン注入材
- ガンバンスーパーS

■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

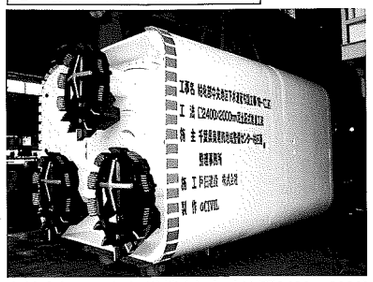
九州営業所
TEL)092-574-0856 FAX)092-574-0846

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

# 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



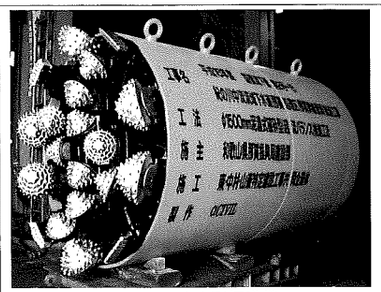
φ1016㎜長距離パイプルーフ掘進機（リターン回収型）

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

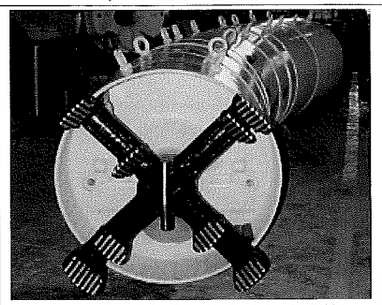


φ1500㎜破砕型掘進機

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）

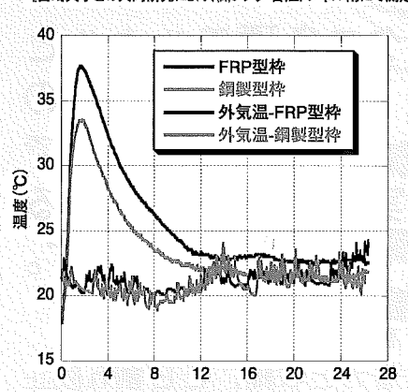
〒812-0015福岡市博多区山王１丁目１番18号
TEL(092)482-6311　FAX(092)482-6363
E-mail:arfa@oregano.ocn.ne.jp
URL http://www.alpha-civil.com

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


# 覆工コンクリート革命

◎型枠脱型時の強度が15～20%向上
⇒コンクリート剥離の低減

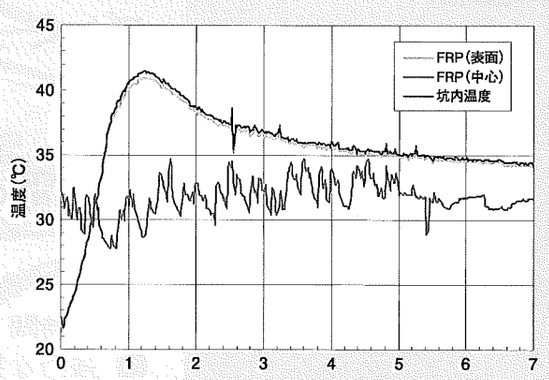
［宮崎大学との共同研究により、㈱フジタ 古江トンネル南にて測定］




■覆工コンクリート温度の比較

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

［㈱フジタJV宮崎県野地トンネルにて計測］

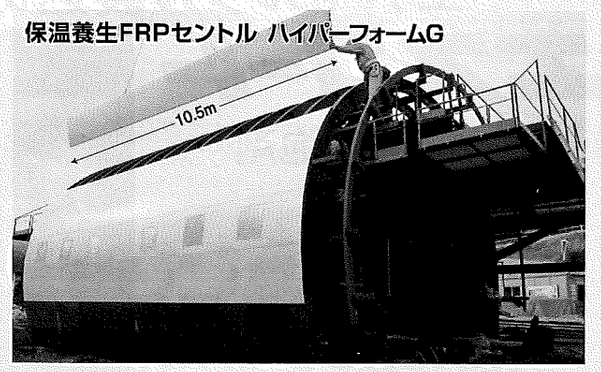



■コンクリート中心温度と型枠背面の温度差

## 特　徴

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

保温養生FRPセントル ハイパーフォームG





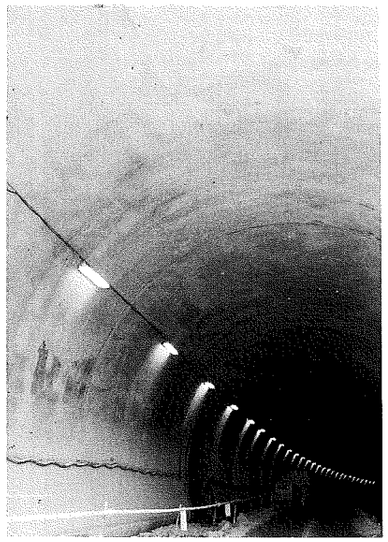
MKE **株式会社 エムケーエンジニアリング**

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

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



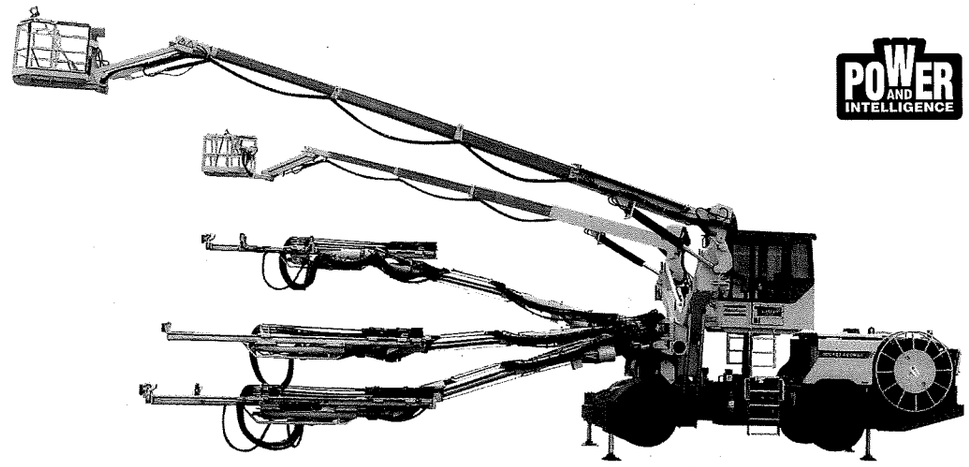

- ■強力な分散性と安定した流動性
- ■ノーブリージング
- ■任意の強度の選定
- ■セメント，骨材の種類が任意

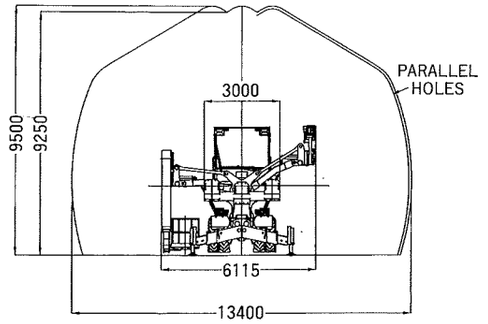
◆土木資材の綜合プランナー◆

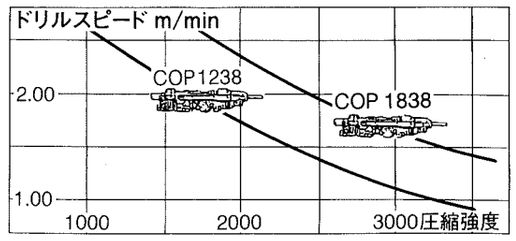
株式会社 マイール
〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)

# アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

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



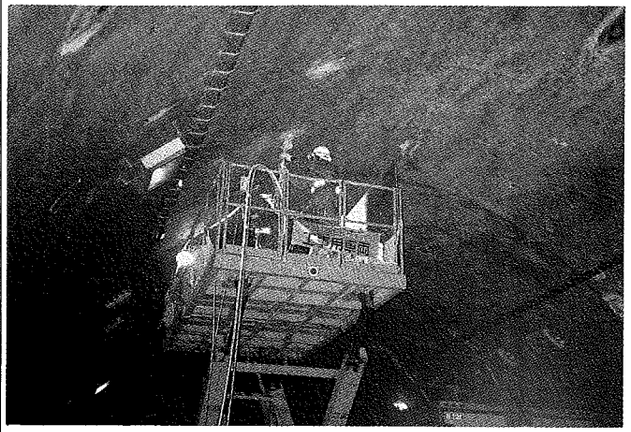




ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO.,LTD.

本　　社　〒116-0014　東京都荒川区東日暮里 6-16-8 桂ビル5階
TEL (03) 3806-3377番　FAX (03) 3806-8461番
関 西 支 店　〒657-0864　兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4
TEL (078) 802-5551番　FAX (078) 802-5528番
九 州 支 店　〒839-0841　福岡県久留米市御井旗崎1-6-14
TEL (0942) 43-5315番　FAX (0942) 43-5832番
広島出張所　〒739-2613　広島県東広島市黒瀬町楢原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

## 硬質発泡ウレタン
# セットフォーム工法
### 急結性・高性能空隙充填材



- シールドにおける滞水層，軟弱地盤の全面裏込め注入
- シールド急曲線部の裏込め注入（即時地盤反力の効果）
- トンネル構造物などの背面空洞充填
- 深基礎工法の裏込め（止水,裏込め後の即時掘削可能）

## 漏水を瞬時にストップ!
# SF-A工法
### 長期耐久性に優れた無溶剤タイプのウレタン系止水材



- 山岳トンネル，下水道，共同溝，地下鉄，地下室，その他地下構造物の漏水補修
- 地下構造物の背面空洞の充填
- 地盤や岩盤の止水，および固結安定

## ケミカルフォーム協会会員

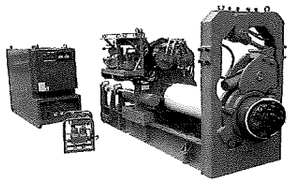
| | | | |
|---|---|---|---|
| アルス株式会社 | 〒950-0944 | 新潟市中央区愛宕1-4-25 | TEL 025-280-0337 |
| 株式会社内田工業 | 〒332-0032 | 埼玉県川口市中青木2-12-2 | TEL 048-257-0848 |
| エコシビックエンジ株式会社 | 〒135-0047 | 東京都江東区富岡1-12-4み満きビル | TEL 03-3643-7241 |
| MC山三ポリマーズ株式会社 | 〒103-0012 | 東京都中央区日本橋堀留町1-2-10イトーピア日本橋SAビル | TEL 03-3662-0253 |
| 株式会社共和 | 〒462-0832 | 名古屋市北区生駒町7-148-1 | TEL 052-911-3984 |
| 四国リニューアル株式会社 | 〒780-0815 | 高知市二葉町3-5 | TEL 088-878-0050 |
| ショーレジン株式会社 | 〒104-0032 | 東京都中央区八丁堀3-14-4直平ビル | TEL 03-3551-8391 |
| 成和リニューアルワークス株式会社 | 〒163-0610 | 東京都新宿区西新宿1-8-1 | TEL 03-5326-0720 |
| 日本綜合防水株式会社 | 〒171-0022 | 東京都豊島区南池袋3-11-10ペリエ池袋 | TEL 03-5950-8211 |
| 林建設工業株式会社 | 〒998-0023 | 山形県酒田市幸町1-6-6 | TEL 0234-23-3322 |
| フジモリ産業株式会社 | 〒141-0022 | 東京都品川区東五反田2-17-1オーバルコート大崎マークウエスト | TEL 03-5789-2206 |
| 前田産業株式会社 | 〒755-0032 | 山口県宇部市寿町3-5-23 | TEL 0836-21-2666 |
| 株式会社マシノ | 〒733-0822 | 広島市西区庚午中1-19-23 | TEL 082-507-2737 |
| 株式会社松井商店 | 〒062-0902 | 札幌市豊平区豊平2条1-1-1 | TEL 011-820-8688 |
| 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 |
| 株式会社三原工業 | 〒531-0074 | 大阪市北区本庄東1-22-3四本ビル | TEL 06-6371-9947 |

### 協会事務局

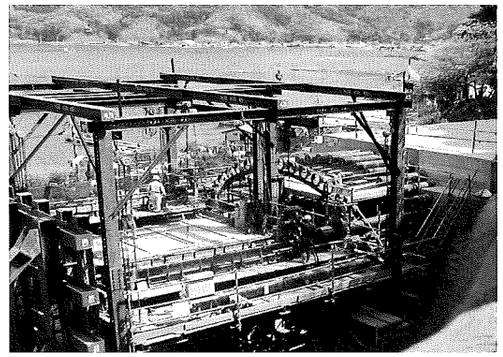
〒103-0012　東京都中央区日本橋堀留町1-2-10イトーピア日本橋SAビル
MC山三ポリマーズ(株) 内　TEL 03-3662-0253
http://www.chemicalfoam.jp

製造元　**日清紡ケミカル株式会社**　断熱事業部
〒289-2505　千葉県旭市鎌数9163-13　TEL 0479-60-3555

# THパイプルーフ工法



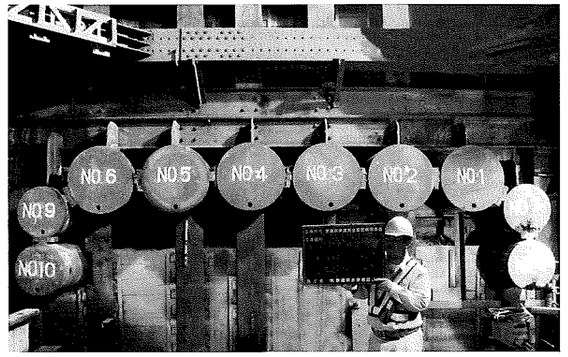
## 空間を確実に確保
### 高精度・全地盤型　水平鋼管圧入システム



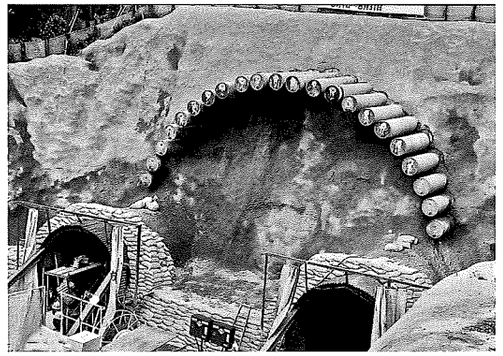
パイプルーフ施工状況

**★特　徴★**

- 本体掘削時の沈下抑制補助工法です
- 常時管芯チェックが可能で，方向修正方式を採用（精度が良いため支保作業が容易）
- オーガ中堀り掘削，地山との空隙に同時注入も可能
- 推進途中でのビットの交換が可能で地層変化に対応
- 適応管径は，φ200A～φ1200A
- 最大推進長は，約70～100m
- 推進機は，推力1000kN(100t)2000kN(200t)3000kN(300t)




都市型地下道トンネル掘削に伴う防護



山岳トンネル坑口防護

〔会　員〕※会員 募集中 [お問い合わせは　下記　事務局へ]

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ㈱小宮山土木 | 長野県 | TEL 0267-56-1299 | 東邦地下工機㈱ | 東京都 | TEL 03-3474-3143 |
| 東洋地工㈱ | 福井県 | TEL 0776-53-5335 | 日本基礎技術㈱ | 東京都 | TEL 03-3476-5701 |
| 日特建設㈱ | 東京都 | TEL 03-3542-9299 | ㈱大阪防水建設社 | 大阪府 | TEL 06-6762-5621 |
| ケミカルグラウト㈱ | 東京都 | TEL 03-5575-0511 | 多田建設㈱ | 福島県 | TEL 024-535-6161 |
| ㈱最上機工 | 山形県 | TEL 0233-23-1555 | 札幌黒澤工業㈱ | 北海道 | TEL 011-215-7500 |
| サン開発工事㈱ | 大阪府 | TEL 072-641-4951 | (順不同) | | |

http://www.piperoof.jp　（ホームページです。ここから資料が取り出せます。）

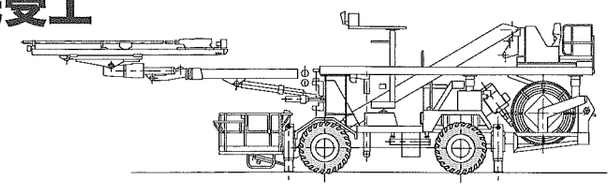
# THパイプルーフ技術協会

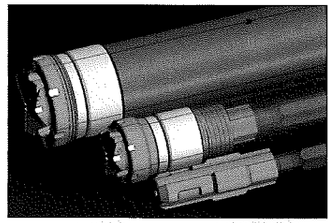
〒140-0002 東京都品川区東品川4丁目4番7号 東邦地下工機㈱内
TEL 03-3474-3143　FAX 03-3474-3163
E-mail : jimukyoku @ piperoof.jp

# 環境対応型長尺鋼管先受工

## TOHO AGF System

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

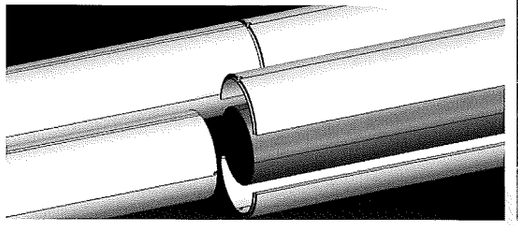




## AGF-Me工法

- 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。





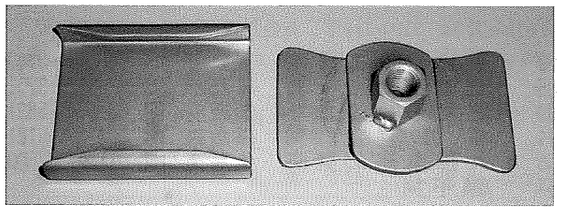
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

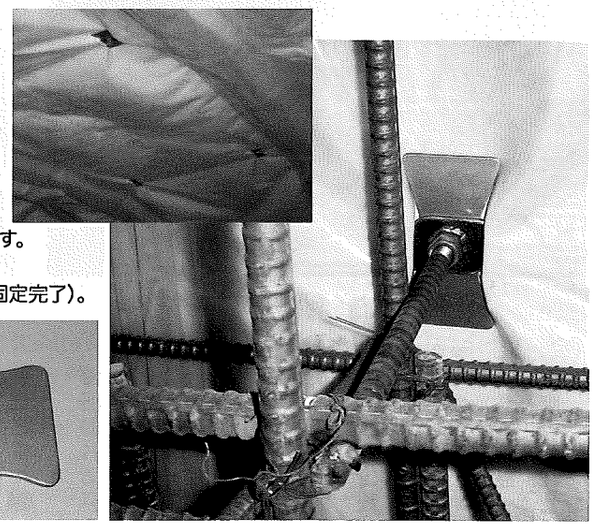
## TKグリッパー

- 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)


# 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！



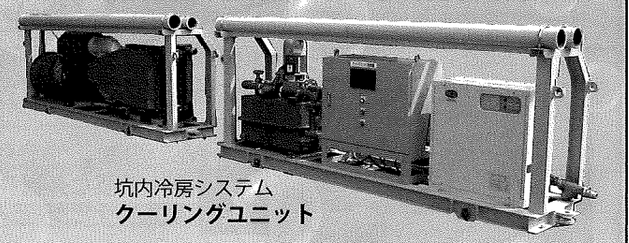

冷房除湿も暖房も可能
**モービルエアコン**



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。

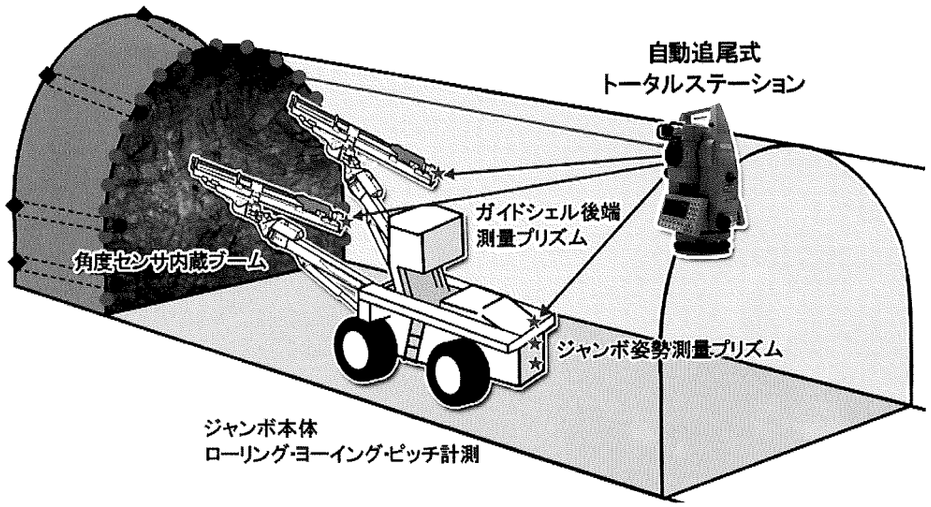

おかげさまで35 Years ANNIVERSARY
最適環境を創造する
株式会社流機エンジニアリング
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI 聖坂ビル
ＴＥＬ：03-3452-7400
ＵＲＬ：http://www.ryuki.com/
E-mail：eigyobu@ryuki.com

NETIS登録番号:KK-100049-A

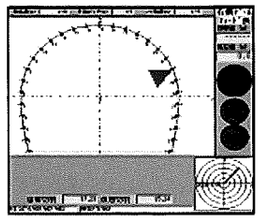
# 自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省　公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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




■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

**1.** 最も重要な外周孔（追尾視準範囲）に限定することにより、従来のナビゲーションと比較し低コストを実現しました。

**2.** ガイドシェルの後端のターゲットを自動追尾することにより常に高い精度を得る事ができます。

**3.** 自動測量により本体セットアップが簡単に行なえます。

**4.** 操作方法が簡単でオペレータへの特別な教育を必要としません。

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

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

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

# 月刊推進技術
## 定期購読のご案内



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

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

**申込方法**

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間購読料金12,000円（毎月1冊×12ヶ月　税・送料込）をお支払いください。
詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

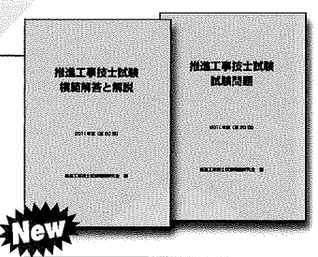
定期購読のお申し込みは
右のQRコード
または本誌ホームページから

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

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

### 推進工事技士試験　過去10年間（平成14～23年度）
## 試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編




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。

平成23年度版発売中!!

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

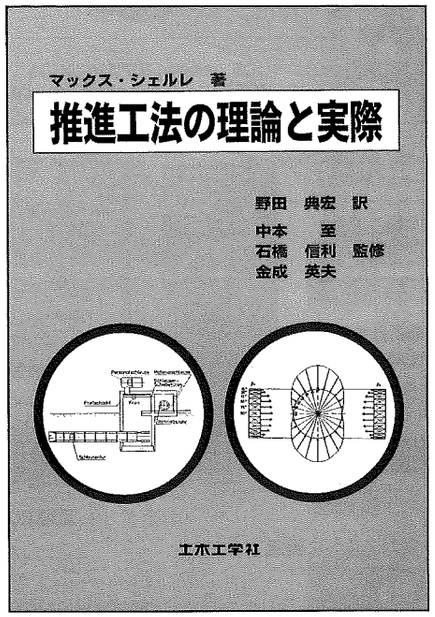
**2．価格**
各年度単位に1set 2,000円（消費税・送料込）

**3．申込方法**
本図書のお申込は前金でお願いしています。
ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社（団体）名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。
これらのことをインターネットでご案内しています。　推進工事技士試験　検索

お問い合わせ先
株式会社 LSプランニング
http://www2.ocn.ne.jp/~ls_siken/
〒135-0046　東京都江東区牡丹2-2-3-105
電話 03-5621-7850　FAX 03-5621-7851　E-mail oda@lsweb.co.jp

# 推進工法の理論と実際

## マニュアルを超えて推進工法の理解をさらに深める一冊




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

### 推薦の言葉

中本　至・石橋信利・金成英夫

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

本書では、ドイツで推進工法の研究開発で著名なマックス・シェルレ博士が推進工法におけるいろいろな疑問について理論的に解明した古典的な名著である。博士は理論面のみではなく、実際の施工にも従事し、実務にも精通していたので、実務面の良さも持っている。

私たちは、野田氏（訳者）の翻訳を監修したわけだが、推進工法の理論面と実務面を実に詳細に解説している点に驚いた。したがって推進工法に従事し、一層活躍しようとする人たちに本書を推薦したいと思う。

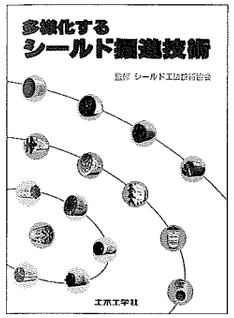
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
tel: 03-3567-2888　fax: 03-3267-2807　http://www.tunnel.ne.jp
株式会社 土木工学社

好評発売中

# 多様化するシールド掘進技術

## 監修 シールド工法技術協会

B5判　141頁　　本体価格2,500円




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

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

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

〔掲載工法〕

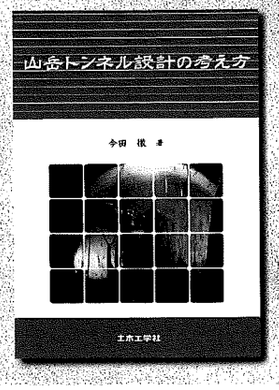
①ラチス式同時施工シールド工法，②F-NAVIシールド工法，③ハニカムセグメントを用いた同時施工法，④ロングジャッキ式同時施工シールド工法，⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法，⑥充填式シールド急曲線工法，⑦地下茎シールド工法，⑧T-BOSS工法，⑨球体シールド工法，⑩上向きシールド工法，⑪MMST工法，⑫拡大シールド工法，⑬偏心多軸（DPLEX）シールド工法，⑭ワギング・カッタ・シールド工法，⑮自由断面シールド工法，⑯OHM工法，⑰H&Vシールド工法，⑱単円～三連型駅シールド工法，⑲MFシールド工法，⑳DOT工法，㉑MSD工法，㉒親子シールド工法，㉓拡径シールド工法，㉔DSR工法，㉕泥土加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

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先
㈱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**

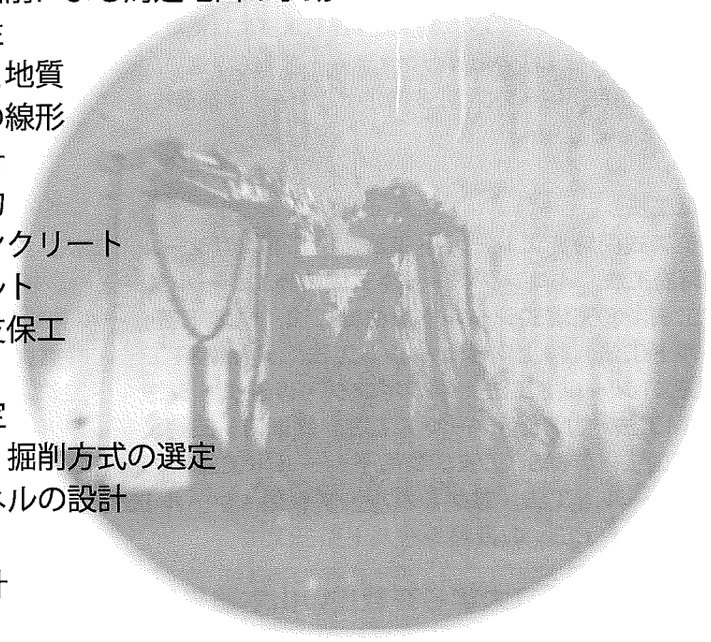
決定版

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



# 土木工学社の地質学書

〔好評発売中〕

## わかりやすい土木地質学




大島洋志 監修

Ｂ５判　209頁　税込2,625円　〒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

〔その他の既刊図書〕

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

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

地下水の科学　P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ　共著　大西有三　監訳
第Ⅰ巻　地下水の物理と科学　B5判　235頁　税込4,281円　送料340円
第Ⅱ巻　地下水環境学　B5判　252頁　税込4,485円　送料340円
第Ⅲ巻　地下水と地質　B5判　197頁　税込3,873円　送料340円

岩盤地下空洞の設計と施工　E.フック・E.T.ブラウン 共著　小野寺進・吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳
B5判　444頁　税込10,290円　送料450円

ブロック理論と岩盤工学への応用　R.E.グッドマン・G.H.シー 共著　吉中龍之進・大西有三 共訳
A5判　360頁　税込5,097円　送料340円

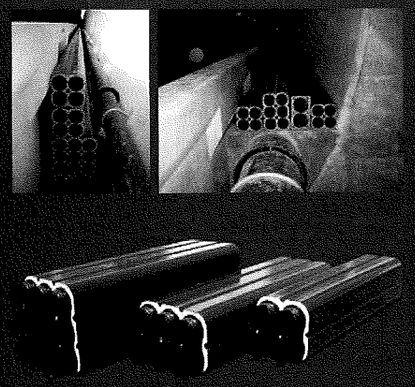
岩盤の計測と解析　鈴木光 著　A5判　244頁　税込4,410円　送料340円

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

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

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

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



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㈹　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



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）

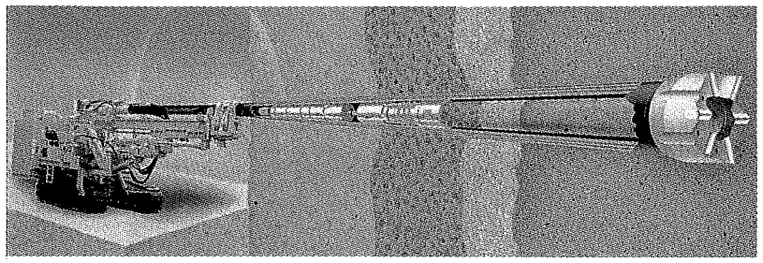
中濃産業株式会社
代表取締役　土田義弐

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






（社）建設コンサルタンツ協会会員　ISO9001取得

株式会社 ロード・エンジニアリング

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

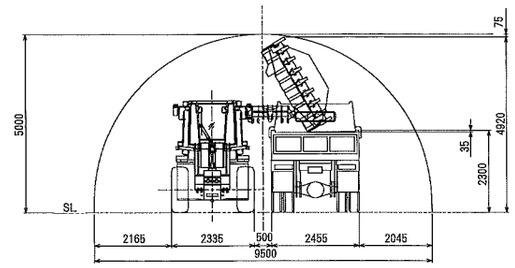
本社：〒116-0013　東京都荒川区西日暮里５丁目24番７号　電話(03)3891-0711
大阪支店：〒569-1133　大阪府高槻市川西町２丁目21番38号　電話(072)691-0711
福岡支店：〒812-0011　福岡県福岡市博多区博多駅前４丁目25番14号　電話(092)436-1588
沖縄営業所：〒901-2122　沖縄県浦添市勢理客４丁目16番９号　電話(098)870-6411



サイドダンプ

CAT 924H

1.5m³

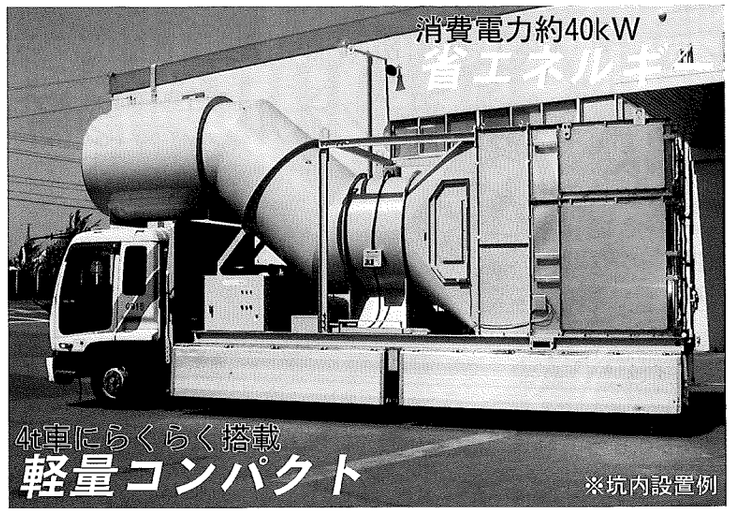



klea 株式会社 ケイ・リー

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

URL　http://klea.catrent.com






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



■ 図書案内

# 地下水の科学 ―全3巻―

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

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



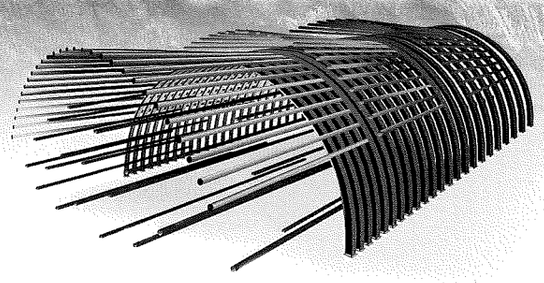

**第Ⅰ巻　地下水の物理と化学**
4,078円＋税　B5判
■序論■岩石における空隙の起源と透水性■地下水の動き■岩石の弾性的な性質と流れの方程式■水理試験（モデル，方法と応用）■溶質と粒子の輸送■汚染物質の水理地質学入門

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

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

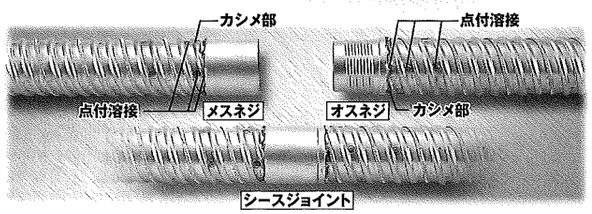
株式会社 土木工学社
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888　FAX: 03 3267 2807　http://www.tunnel.ne.jp

# 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。

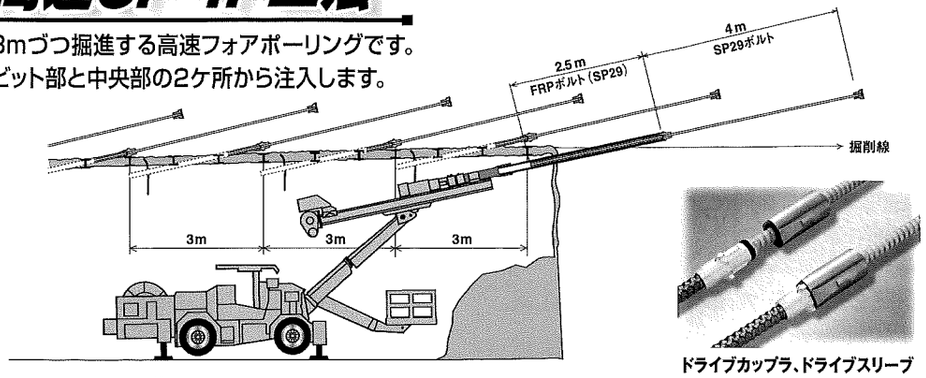


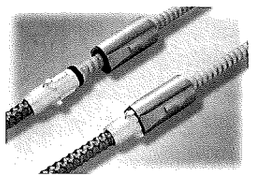




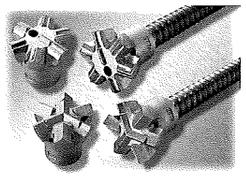
## 高速SP-IF工法

※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。



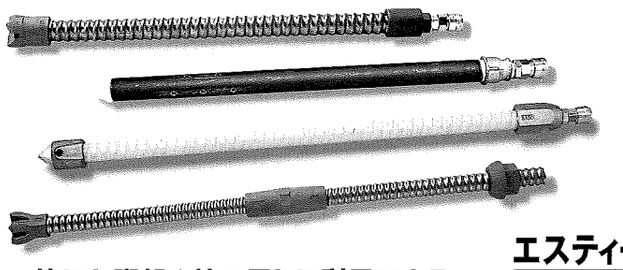



ドライブカップラ、ドライブスリーブ



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。

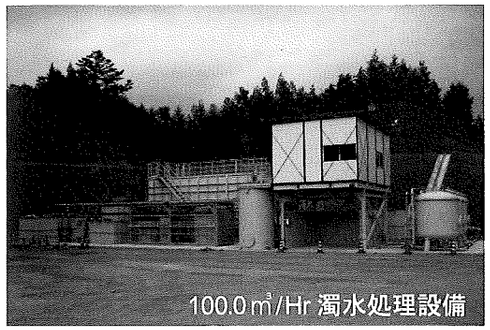

エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251
http://www.st-eng.co.jp


# 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

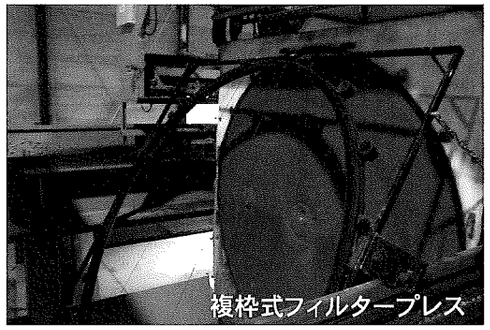
環境にやさしい

## 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≫

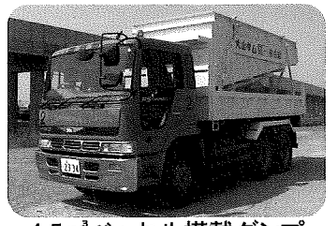


VOLVO ダンプトラック (A25CTS,A25CTR,A20/30CT)






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　5月号目次　Vol.43, No.5, 2012 May

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)の開通にあたって
金子　剛一……5

■特集：新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)

新東名高速道路のトンネル建設を顧みて
今田　徹……7

新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)の建設経緯と路線概要
廣瀬　輝……9

大断面トンネルの施工を振り返って
中田　雅博……13

大断面トンネルの計画・調査
竹國　一也……21

大断面トンネルの設計・施工
川北　眞嗣……25

大断面トンネルの新技術・新工法
海瀬　忍……31

安全・安心・快適なトンネル施設
森本　稔生……39

新東名高速道路の開通に思う
三浦　克……43




CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

開通区間の主なトンネル
開通区間のトンネル位置図(46)，今里トンネル(48)，富士川トンネル(50)，清水第三トンネル(52)，静岡第二トンネル(54)，岡部トンネル(56)，島田第一トンネル(58)，金谷トンネル(60)，大和田トンネル(62)，浜松トンネル(64)，引佐第二トンネル(66)

■連 載 講 座

トンネル技術者のための地相入門(1)
―地相は人相　山の性状―
「地相入門」連載講座小委員会……77

■現場だより

「豊かな海と芸術のまち」津奈木町より
野田　正利……20

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

トンネルに教えられたこと，あれこれ
梅川　肇……69

■資　　料

土木情報
編　集　部……30

本誌に掲載された「新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)」に関する文献
編　集　部……45

トンネルジャーナル
編　集　部……68

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……87

トンネルワールドニュース
JTA国際委員会……88

■会　　報

会　報
日本トンネル技術協会……90

【表紙説明】　特集：新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)



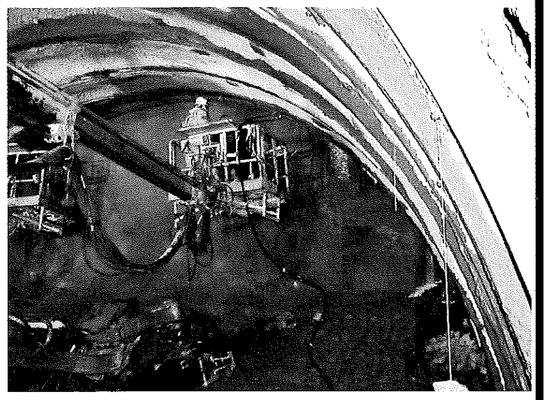
新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)間162kmが平成24年4月14日に開通した．一度の開通延長としては史上最長の高速道路の開通である．新東名は，現東名より山側を通過する典型的な山岳高速道路である．これまでに経験のない完成時片側3車線の大断面トンネルを上下線延長で65チューブ約77kmにわたって，安全で円滑に施工することがプロジェクトの大きな課題の一つであった．写真は，開通式の様子である．

〔写真提供：中日本高速道路(株)〕

## 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次長

大 津 敏 郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

金 山 洋 一
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部計画部計画課長

久多羅木 吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

志 岐 寛
清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部
部長

福 家 佳 則
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
トンネルグループ長

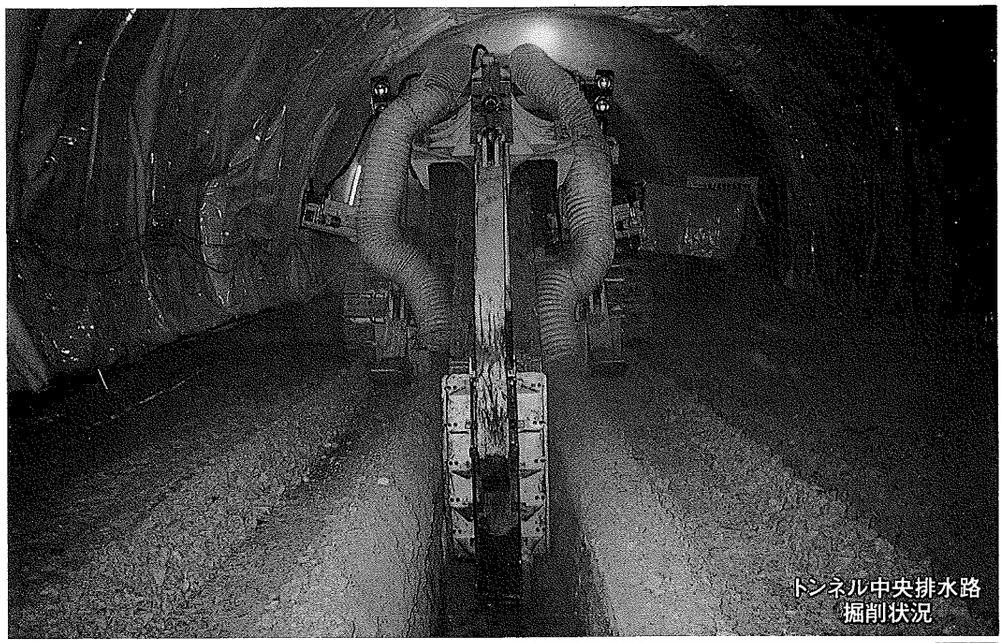
松 原 利 之
飛島建設株式会社建設事業本部
エンジニアリング事業推進部長

三 浦 克
株式会社竹中土木常務執行役員

吉 富 幸 雄
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

# トレンチャー

## 硬質地盤の溝堀はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路
掘削状況



施工例



トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

| トレンチャーの種類 | TRS-985 | 1175/D7 | 40/30 | 60/35 |
|---|---|---|---|---|
| メーカー名 | テスメック | テスメック | マステンブルグ | マステンブルグ |
| 掘削幅（最小）cm | 45 | 75 | 70 | 70 |
| 掘削幅（最大）cm | 60 | 100 | 110 | 110 |
| 掘削岩の硬さ（最大） | 500kg/cm² | 700kg/cm² | 700kg/cm² | 1000kg/cm² |
| 重量 t | 36 | 53 | 50 | 59 |
| 長さ m | 13.0 | 10.8 | 14.0 | 15.4 |
| 幅 m | 2.5 | 3.2 | 2.95 | 2.98 |
| 高さ m | 3.30 | 2.86 | 3.00 | 3.20 |
| エンジンの出力 PS | 300 | 402 | 450 | 600 |

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

**ワールド開発工業株式会社**

●本社/営業部　〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484
☎(026)282-3671㈹　FAX(026)282-5803
http://www.wkk.co.jp/



## 編集委員会の構成（五十音順・敬称略）

〔編集委員長〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

木谷日出男
国際航業株式会社技術センター
地盤研究室長

今田徹
東京都立大学名誉教授

高橋良文
東京都下水道サービス株式会社専務取締役

橋本定雄
(元)東京都公営企業管理者下水道局長

濱建介
株式会社ANET取締役

三浦克
株式会社竹中土木常務執行役員

〔委員〕

大津敏郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

亀山勝
東京地下鉄株式会社鉄道本部鉄道統括部
移動円滑化設備推進担当課長

坂口淳一
東京都交通局建設工務部計画改良課長

佐原圭介
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐

清水満
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

高田武
東京都水道局建設部工務課長

高橋晃
東京電力株式会社電力流通本部工務部
地中送電グループ課長

真下英人
独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ長

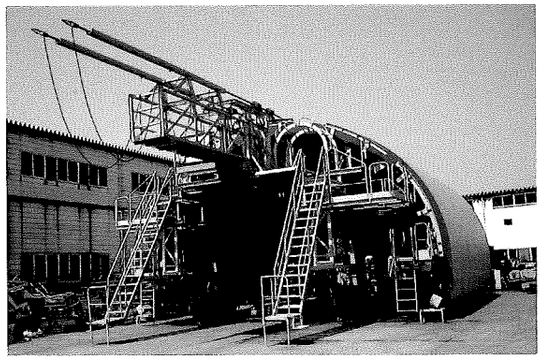
焼田真司
公益財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員

# 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
東京支店：TEL03(3851)1016　FAX03(6908)6789
東北営業所・工場：TEL0223(32)2420　FAX0223(32)2423
大阪支店：TEL06(4963)3520　FAX06(4963)3521

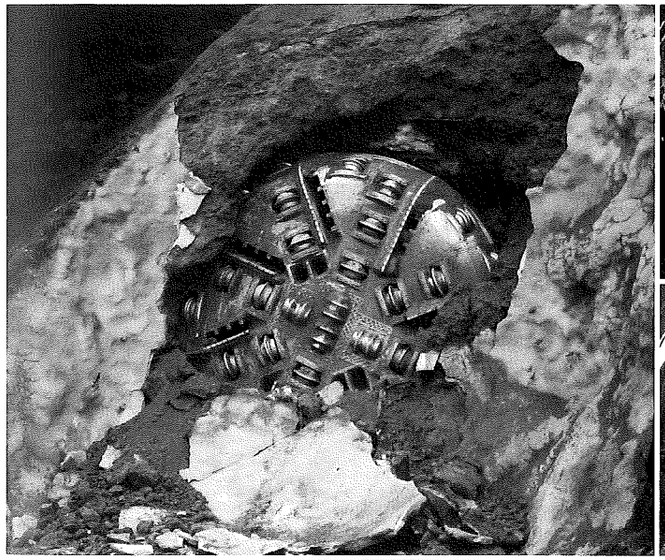

# トンネルと地下　VOL.43　No.5　掲載概要

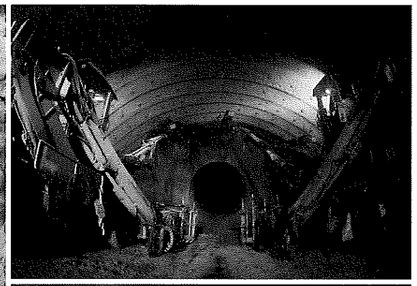
## 新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)開通

新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT，162km)(以下，「新東名」という)が平成24年４月14日に開通した．一度の開通延長としては史上最長の高速道路の開通である．新東名は，東名高速道路より山側を通過していることから，橋梁やトンネルの延長比率が高く，その割合は約60％に及び，トンネルだけで見ても約26％の割合であり典型的な山岳高速道路である．これまでに経験のない完成時片側３車線の大断面トンネルを，上下線延長で65チューブ約77kmにわたって，安全で円滑に施工することがプロジェクトの大きな課題の一つであった．本特集では新東名の開通にあたり，課題克服に向けて取り組まれてきた大断面トンネルの計画段階から設計・施工段階における経緯や新技術・新工法，また特徴あるトンネルにおける工事概要やトンネル施設設備などについて紹介するものである．

**Special Commemorative Issue on the Opening of the Shin-Tomei Expressway (Gotemba-Mikkabi)**

The Shin-Tomei Expressway (162 km between Gotemba Junction and Mikkabi Junction-hereinafter called Shin-Tomei) opened on 14th April, 2012. This is the longest distance of partially opened expressway ever. As the Shin-Tomei Expressway passes through mountains, tunnels and bridges constitute about 60 % of total. It is a typical mountain expressway with approximately 26 % of its length occupied by tunnels. One of the huge challenges of this project is the safe and smooth construction of three-lane large cross-section tunnels without previous experience through over approximately 77 km of 65 tubes. This special issue covers the circumstances from planning to design and construction, new technology and methods to overcome the challenges of large cross-section tunnels, and an outline of construction of distinctive tunnels and tunnel facilities.

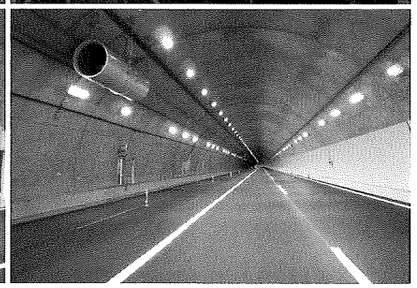






(左上)
清水第三トンネル TBM 貫通
(左下)
非常口案内表示
(右上)
金谷トンネル本坑掘削
(右中)
清水第四トンネルで用いた R30 の連続ベルトコンベヤ
(右下)
トンネル内プロビーム照明

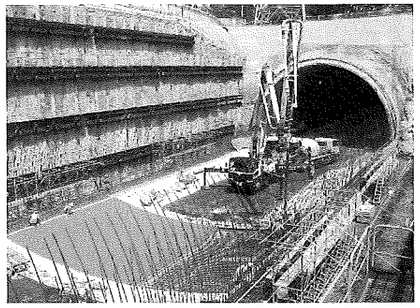
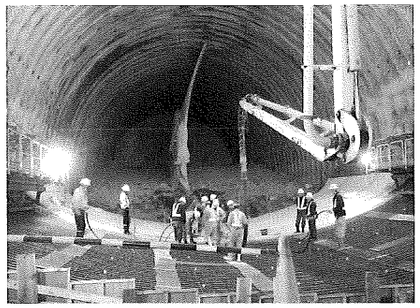




## 開通区間の主なトンネル

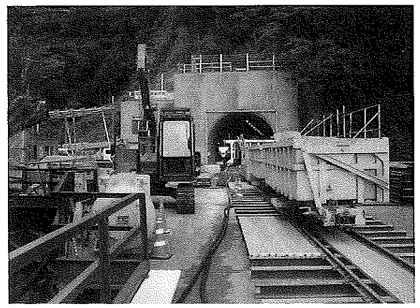
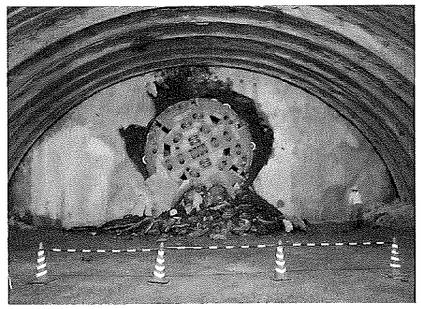
### 今里トンネル
(pp.48-49)

(左)開削トンネル部のインバートコンクリート打設
(右)インバート施工

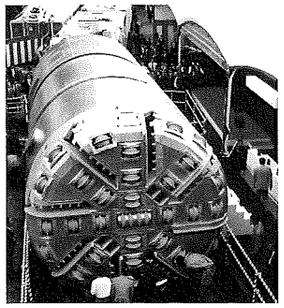
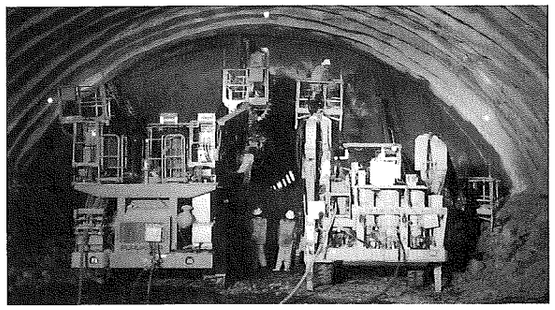
### 富士川トンネル
(pp.50-51)

(左)作業坑ずり処理
(右)本坑 TBM 貫通!

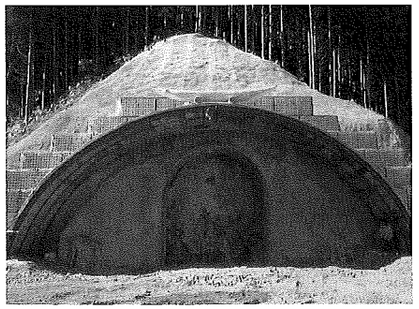
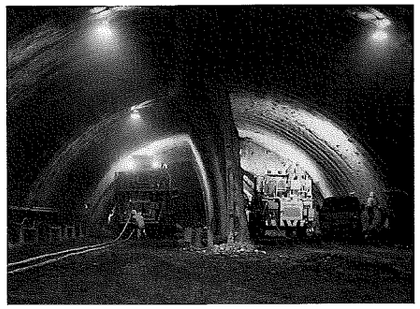
### 清水第三トンネル
(pp.52-53)

(左)TBM「駿河 1 号」発進式
(右)本坑上半 TBM 導坑切拡げ

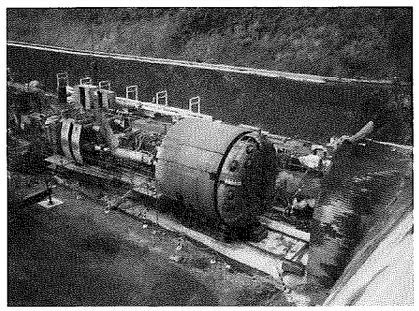
### 静岡第二トンネル
(pp.54-55)

(左)上り線坑口付け
(右)上半掘削

### 岡部トンネル
(pp.56-57)

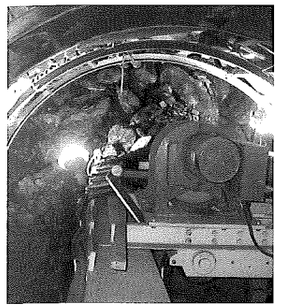
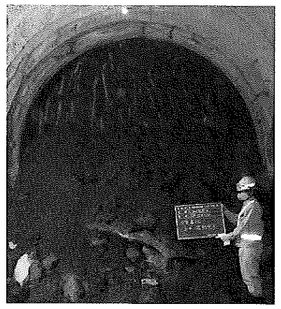
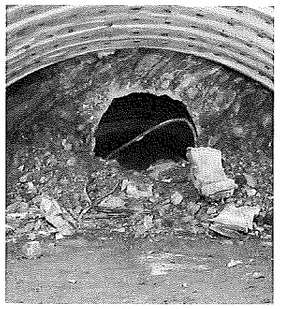
(左)TBM 組立て
(右)本坑貫通!





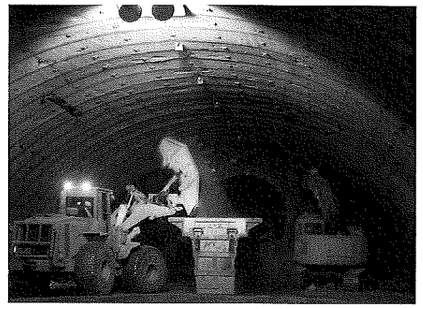
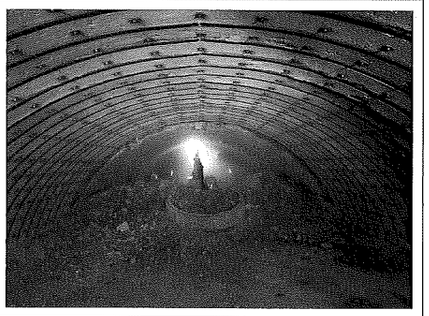
### 島田第一トンネル
(pp.58-59)

(左)TBM 導坑崩落
(中)中央導坑掘削
(右)上半発破掘削

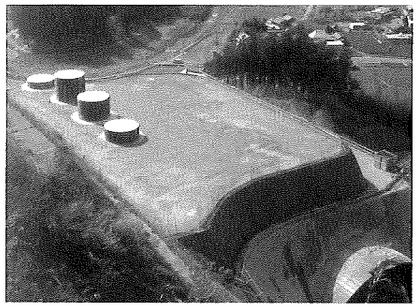
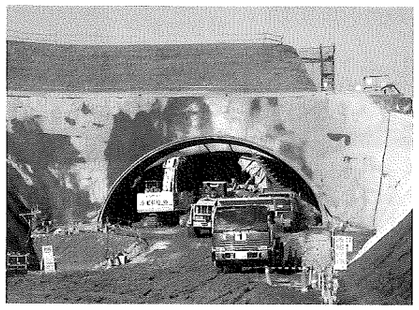
### 金谷トンネル
(pp.60-61)

(左)ずり処理
(右)本坑貫通!

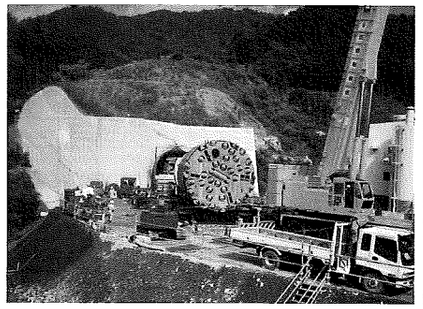
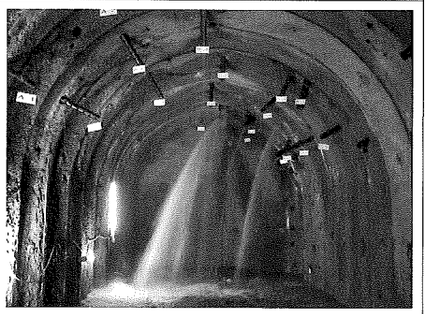
### 大和田トンネル
(pp.62-63)

(左)地すべり対策(抑え盛土+抑止杭)
(右)坑口付け

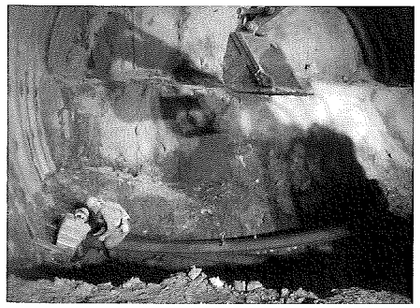
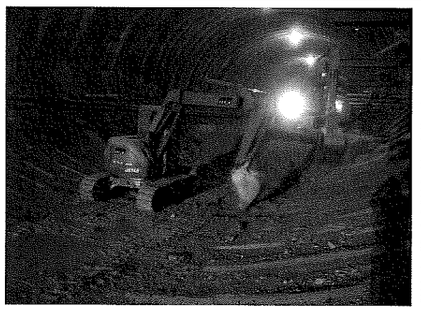
### 浜松トンネル
(pp.64-65)

(左)TBM 解体
(右)水抜き横坑+水抜きボーリング

### 引佐第二トンネル
(pp.66-67)

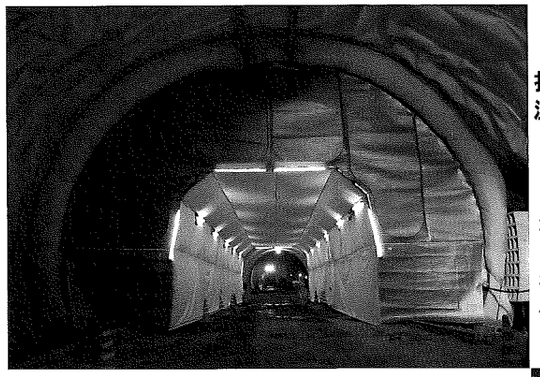
(左)インバートストラットの施工
(右)インバート部掘削

# 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

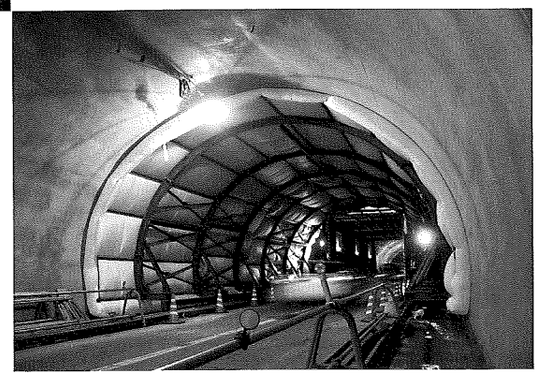
**打設後から脱型までセントルをバルーンで覆い温度養生をします。**

【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

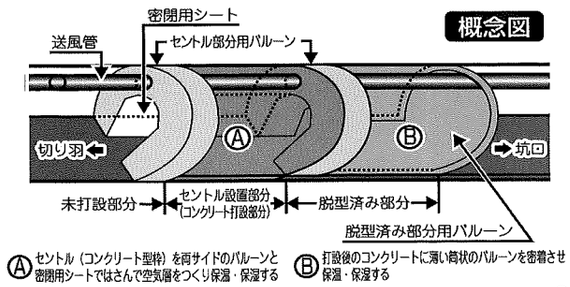
**脱型後の覆工コンクリートを覆います。**

【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




Ⓐ セントル（コンクリート型枠）を両サイドのバルーンと密閉用シートではさんで空気層をつくり保温・保湿する
Ⓑ 打設後のコンクリートに薄い膜状のバルーンを密着させ保温・保湿する

| 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）



## 新東名高速道路（御殿場JCT～三ケ日JCT）の開通にあたって

中日本高速道路（株）代表取締役会長兼社長CEO
金子剛一

わが国のビックプロジェクトの一つである新東名高速道路（以下，「新東名」という）のうち御殿場JCT～三ケ日JCT間が，1993年11月の施行命令から18年５か月の歳月を経て，2012年４月14日に開通した．

当該区間については，新東名と東名高速道路（以下，「現東名」という）のダブルネットワーク化による災害などの緊急時の代替性の早期確保の観点や地元の皆様のご要望も踏まえ，できる限り早期の開通を目指して事業を進めてきたが，関係する皆様のご支援・ご協力を賜り，当初予定していた2012年度末から１年程度開通を前倒しすることができた．関係者の皆様に対して，この誌面をお借りし再度お礼申し上げたい．

新東名は，新名神高速道路（以下，「新名神」という）と一体になって，現東名と名神高速道路（以下，「現名神」という）が抱えている渋滞，老朽化，防災などの多くの課題を抜本的に解決する切り札として計画され，将来の日本の発展に不可欠なインフラとして待ち望まれている高速道路である．今回は御殿場JCT～三ケ日JCT間という一部区間の開通ではあるが，この新東名の整備には，以下のような役割・効果が期待されている．

・現東名の抜本的サービス改善

新東名の整備により現東名から交通が転換し，現東名の混雑が抜本的に解消され，定時性の確保と安定的な輸送体制の実現が期待されている．また，従来から実施している現東名の集中工事も，新東名を迂回路とした重点的な工事方式の導入が可能となる．

・ダブルネットワークによる信頼性の向上

新東名は現東名の通過するルートよりも山側を通過するため，津波を含め東海地震の被害を受けにくくなっており，さらに新東名の整備により，現東名と間で相互に補完・連携する高速ダブルネットワークが確保され，災害時などにおける道路の信頼性の向上が図れる．

・日本の大動脈としての大都市圏の連携強化

新東名では，最短ルートの選択やゆとりのある構造規格の採用により，現東名ルートに比べ，東京～名古屋間の移動時間の短縮が可能となる．これにより，人やモノの流れがスムーズになり，行動圏が拡大することで社会経済活動の活発化に寄与することが期待されている．

そのほかにも，沿道地域の工業・商業・農業および観光など産業発展や，緊急医療施設へのアクセス性向上など沿道地域の住民の皆様の暮らしの向上などが期待されている．

また，技術面においては，新東名の建設に際し，従来技術の活用にとどまらず，これまでにない大規模なトンネルや橋梁の実現，環境配慮のために最先端の技術・工法を積極的に採用してきた．いわば1963年の名神開通以来これまで培ってきた高速道路にかかわる技術の集大成といえるものであり，わが国の道路技術の発展にも少なからず寄与できたのではないかと考えている．

お客様に対するサービス面では，SA・PAの商業施設において，新たに立ち上げた「NEOPASA(ネオパーサ)」ブランドを展開し，各エリアに地域特性を考慮したコンセプト・特徴を持たせ，ニーズ，シーンに合わせて必要とされるサービスを路線全体からお客さまに選んでいただける，目的地となるエリアづくりを行っており，高速道路を旅する楽しさを提案していくこととしている．

今回の新東名(御殿場JCT～三ケ日JCT)の開通により，静岡県内における新東名と現東名のダブルネットワーク化が図られることになるが，日本の物流・人流の大動脈をより強固なものとしていくためには，隣接する新東名の愛知県区間・神奈川県区間さらには新名神高速道路についても早期の整備が必要である．

このため，弊社では，引き続き，国民の皆様のご支援・ご協力を賜りながら，これらの区間についても鋭意事業を推進し，一日でも早く信頼性の高い高速道路ネットワーク整備が図れるよう努力し，国民の皆様のご期待に応えていく所存である．







# 新東名高速道路のトンネル建設を顧みて

東京都立大学名誉教授((財)国土研究技術センター技術顧問)
今田　徹

新東名高速道路が構想されたのは1980年代後半から1990年代初頭である．この間は経済が活況を呈していた時期である．将来の社会基盤のあるべき姿を純粋に求めることができた．建設の考え方は，構造基準に記されているように「三大都市圏を連絡する重要な路線であり，……より安全，快適な走行を実現する必要があり，……現行の高速自動車国道に比較して高次の規格構造を備える道路とするとともにより高速での走行可能性にも配慮して」，将来の基幹となる重要な社会基盤の整備を進めようとするものであった．このため設計速度は140km/hの走行にも配慮し，車線数は3車線とする計画で進められた．

この条件はトンネル技術にとっては非常にハードルが高いものであった．大断面の地下構造物は地下発電所など地質の良好なところでの事例はあるが，3車線のトンネルは東名の改築工事などで限られた条件下で採用されていたに過ぎない．高規格の高速道路のトンネルでは地質を選択するにも限度があり，トンネル技術としては条件の悪い地質にも対応できる必要があるとともに，合理的な工期，工費で建設できるものでなければならない．

断面が大きくなると地質が悪い場合，切羽の安定性の問題が顕著になることが予測され，また，断面が扁平になることからトンネル構造としての安定性の検討も必要であり，トンネルの形状，構造，施工法，材料，施工機械を含め全面的な検討が必要であった．同様に，換気設備，照明設備についても，設計速度が大きくなることの影響を基本的な視点から検討する必要があった．新東名高速道路のトンネルの建設は，経験の少ない領域に踏み込むことを意味し，チャレンジングなことであった．

当時のトンネル技術は，吹付け・ロックボルト工法が定着し，トンネルの施工の幅と安定性，品質が向上し，トンネル技術に新たな自信ができた時代である．油圧削岩機，削岩機搭載台車が一般的に使われるようになり，重装備な機械による施工能率の向上が図られた．技術に対する取り組みが積極的な時代であった．わが国では1970年代の苦い経験からTBMの採用が限られていたが，諸外国では多く使われるようになっており，

TBM技術の進歩に応じた見直しの必要性が感じられていた．

このような時代背景があって，大断面トンネルの技術開発は積極的にかつ慎重に進められた．研究は建設省から構造基準が通達される前の1989年から東名改築で完成間近だった３車線の都夫良野トンネルでの走行実験，照明実験を含め断面形状に関する検討が開始された．また，大断面における地質調査の重要性，切羽安定化対策および地山の事前補強対策の必要性から断面内に導坑を先進させる「導坑先進拡幅工法」の適用が重要であることを考慮し，導坑の掘削に高速掘進が可能なTBMを利用するため，湯田第２トンネルにおいてTBMによる導坑先進工法の全面的な試験が行われた．これらは，大断面トンネル技術に対する危機意識と技術開発に対する積極性の現れである．

大断面トンネルでは吹付けコンクリートなどの支保材料の数量も著しく増加する．施工サイクルを考慮すると支保材料の合理化，施工能率の向上が不可欠であった．トンネルの支保は力学的に明確な定量的な評価のみで決まるものではなく，施工性や地質の不確定性を考慮して決める必要がある．このため，地質などの条件の異なる３トンネルで，断面形状，施工法，材料，施工機械を含めた総合的な試験工事を行い，その結果をもとに設計基準が定められ統一的に工事が進められた．このように，新東名のトンネル工事は慎重な準備のもとに一定の技術水準と各トンネルの条件に対する施工途上での柔軟な対応によって進められた．

このたび，静岡県内の区間が供用される運びとなったが，トンネル工事は順調に進められた．工期，工費とも妥当な範囲で収まり，当初の大断面のトンネルに関する懸念は解決され，大断面トンネルの技術が確立されたと考えることができる．この工事を通して，切羽の安定が重要であり，早期閉合が有効であることが改めて確認され，基本工法として用いられた導坑先進工法はこの点で有効であることが示された．また，先受け工法の大きな進歩をもたらした．切羽の安定が得られることによって，大断面での施工が可能となり，これによって大型機械あるいは複数台数の機械の導入が可能となり，施工能率を著しく向上させることができた．一方，中壁分割工法のように作業の複雑な工法の適用は延長の短いトンネルに限られた．このような施工の単純化，大断面化は近年のトンネル技術の流れに一致するものである．また，効率の良い支保構造の必要性は高強度支保工，高強度吹付けなどの新しい材料の開発につながった．一方，地質の悪い場合は，大断面であるということの影響は厳しく現れた．非常に重い対策が必要なトンネルがあった．地質の重要性を再認識させることにもなった．

新東名のトンネル工事は計画の段階からトンネル技術の総力を挙げて取り組んだ工事であり，多くの技術進歩をもたらした．技術開発に取り組み，また，多くの困難な工事に真摯に挑戦された関係者の方々に深甚の敬意を表したい．







# 新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)の建設経緯と路線概要

中日本高速道路(株)常務執行役員建設事業本部長　廣　瀬　　輝

## 1　はじめに

新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)が，2012年４月14日に開通した．今回の開通区間は約162kmであり，これまで開通した日本の高速道路のうち，一度の開通としては最長となる．

本稿では，当該区間の建設経緯，路線概要などについて紹介することとする．

## 2　建設経緯

新東名高速道路(以下，「新東名」という)の計画については，第四次全国総合開発計画(1987年６月閣議決定)において，多極分散型国土形成にむけ，交流ネットワークの推進の必要性から，その実現のため，高規格幹線道路網14,000kmが位置づけられ，国土開発幹線自動車道建設法の改正(1987年９月)において，既定予定路線(7,600km)に3,920kmが追加された11,520kmの中で新東名が位置づけられた．

今回開通する御殿場JCT～三ケ日JCT間は，第28回国土開発幹線自動車建設審議会(1989年２月)において，基本計画が策定され，その後建設省((現)国土交通省)において必要な調査を行い，関係行政にて環境影響評価ならびに都市計画が決定された．その後，整備計画が策定され，旧日本道路公団が国土交通大臣から施行命令を受け，以降，建設事業を推進してきた路線であり，2005年10月の旧日本道路公団民営化以降はNEXCO中日本が




図-1　路線図

建設事業を引き続き担当している．このうち，長泉沼津～三ケ日JCT間は1993年11月に，また御殿場JCT～長泉沼津間は1997年12月に施行命令を受けている．

## 3　路線概要

新東名は，東名高速道路(以下，「現東名」という)，名神高速道路(以下，「現名神」という)および新名神高速道路(以下，「新名神」という)と一体となって，日本の物流・人流を担う大動脈で，現東名の渋滞などの諸課題を解決するための切り札であり，さらには日本の今後の発展に不可欠なインフラである．

今回の開通区間の本線の道路規格は，第１種第１級，設計速度120km/hであるが，最小曲線半径3,000m，最小縦断勾配2%を基本とするこれまでにない高規格の道路構造を採用しており，現東名をはじめとする従来の高速道路に比べ格段に走行しやすく，さらにITSをはじめ最新の高速道路技術を導入しており，安全面でも優れた道路となっている．

新東名は，現東名のおおむね10km程度北側の山地部を通過することなどから，現東名に比べ橋梁やトンネルの延長比率が高く，両方合わせて全体の約６割を占めている．

今回開通する御殿場JCT～三ケ日JCT間については，新清水JCT～清水JCT，浜松いなさJCT～三ケ日JCTの２か所の連絡路で新東名と現東名が結ばれるラダー(梯子)構造となっている．また，両路線間の離隔が10km程度であることから，緊急時には連絡路以外にも一般道を介しての連絡も想定している．

開通区間のインターチェンジ数は，スマートインターチェンジ２か所を合わせ全12か所，休憩施設数は，サービスエリア６か所，パーキングエリア７か所の全13か所となっている．休憩施設の商業施設は，各エリアに地域特性を考慮したコンセプト・特徴を持たせたものとなっている．また，地域社会との連携として，休憩施設周辺の住民の皆様が一般道からでもエリアをご利用いただけるように外部駐車場(ぷらっとパーク)を用意している．

表-1　道路諸元(御殿場JCT～三ケ日JCT)

| 項目 | | 本線 | 連絡路 |
|---|---|---|---|
| 延長(km) | | 144.7 | 17.2 |
| 道路規格 | | 第１種第１級 | 第１種第２級<br>第１種第３級 |
| 設計速度(km/h) | | 120 | 80 |
| 車線数 | | ６車線(暫定４車線) | ４車線 |
| 最小曲線半径(m) | | 3,000 | 3,000 |
| 最急縦断勾配(%) | | 2.00 | 4.00 |
| 構造物比率 | 土工 | 約42% | |
| | 橋梁 | 約32% | |
| | トンネル | 約26% | |

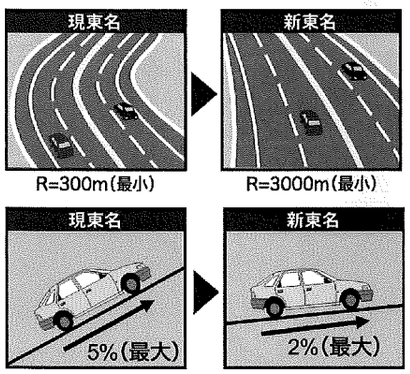


図-2　幾何構造比較(本線)

## 4　整備効果

現東名は，現名神と一体となって，日本の大動脈として産業・文化・経済に非常に大きな貢献を果たしてきた．しかし，この間の日本経済の急激な発展に伴う自動車交通の増大により，利用交通量は交通容量を大きく上回り混雑・渋滞が日常化しており，本来の高速性，定時性が低下している．また，全線開通後約40年の時間の経過と交通量の増加，車両の大型化などの環境変化により，橋梁などの適切な老朽化対策が急務となっている．さらに，現東名は，今後30年間で発生する確率が88%といわれる東海地震の防災対策強化地域に入っており，東海地震発災時における交通機能の確保が課題となっている．



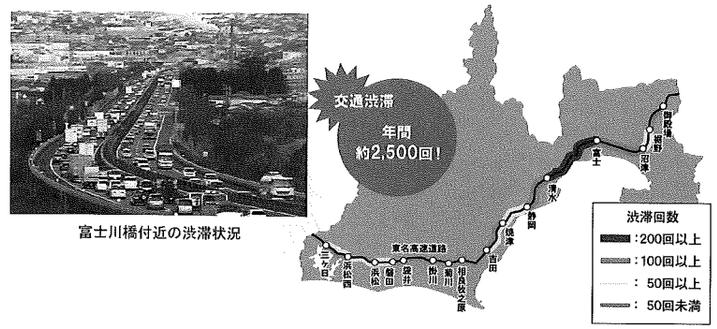


これらを抜本的に解決する切り札として，新東名の整備が計画された．

### 4-1　現東名の抜本的サービス改善

現東名・現名神の沿線地域は日本のGDPの約50%を占める地域であり，全国の高速道路のうち，両路線の貨物輸送量に占める割合は約31%(両路線の延長は高速道路延長の７%)である．また，現東名全線にわたって，交通量が交通容量を上回っており，慢性的な渋滞が発生し，夜間の大型車混入率が高く，大型車事故による影響もたびたび生じている．

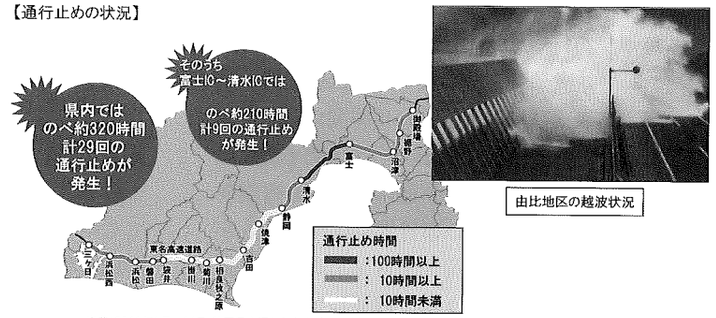
今回の新東名の整備により現東名から交通が転換し，現東名静岡県内の混雑が抜本的に解消され，定時性の確保と安定的な輸送体制の実現が期待されている．また，現東名で行っている現在の集中工事方式では，工事期間が２週間程度に限定されるため施工能力や資材搬入能力に限界があり，思うような対策が取りにくい面があるが，今回の新東名の整備により，静岡県内ではそうした制約がなくなり，新東名を迂回路とした重点的な工事方式の導入が現東名において可能となる．



富士川橋付近の渋滞状況

出典：2010年　渋滞データ（NEXCO中日本）

図-3　交通渋滞の状況



由比地区の越波状況

出典:2011年1月～11月 静岡県内通行う止めデータ速報(NEXCO中日本)

図-4　通行止めの状況

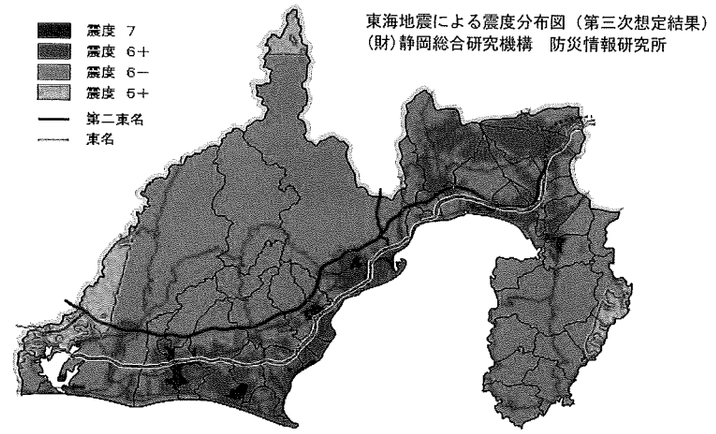
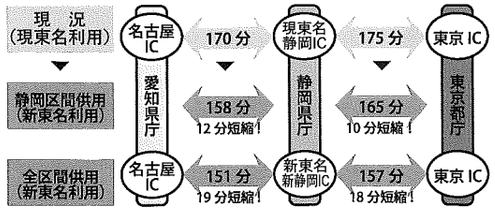


図-5　東海地震の想定震度区分図

### 4-2　ダブルネットワークによる信頼性の向上

現東名は，東海地震の防災対策強化地域に入っており，東海地震発災時における交通機能の確保が課題となっている．とくに，静岡市由比海岸は，大規模な地すべり地帯であるとともに，台風高潮による通行止めが頻発しており，社会経済活動に多大なる影響を与えている．新東名は現東名の通過するルートよりも山側を通過するため，津波を含め東海地震の被害を受けにくくなっている．

新東名の整備により，現東名との間で連絡路を含め相互に補完・連携する高速ダブルネットワークが確保され，災害など緊急時の代替性の確保，




出典：2005年道路交通センサスより算出（新東名は時速100km/hで算出）

図-6　移動時間の変化

避難路・緊急輸送路としての機能，緊急体制の支援など安全・安全の実現とともに道路の信頼性の向上が図れる．また，ダブルネットワークの効果が建設中にも発現した事例があるため参考に紹介しておく．2011年３月11日に発生した東日本大震災において，大津波警報が発令され，由比海岸地区の現東名および国道１号線が長時間にわたり通行止めになった際に，工事中の当該区間を緊急輸送路として活用することで，被災地に向かう消防などの緊急車両約470台の通行を確保することができた．

### 4-3　日本の大動脈としての大都市圏の連携強化

新東名では，最短ルートの選択やゆとりのある構造規格の採用により，現東名ルートに比べ，東京～名古屋間の移動時間の短縮が可能となる．これにより，人やモノの流れがスムーズになり，行動圏が拡大することで社会経済活動の活発化に寄与することが期待されている．

## 5　おわりに

今回の新東名の御殿場JCT～三ケ日JCTの開通により，静岡県内の高速道路のダブルネットワーク化が図れ，渋滞，防災などの面で大きな効果が見込まれるが，新東名・新名神という広域高速道路ネットワークの全線開通により，さらに多くの効果がもたらされることになるため，弊社では，これらの区間についても鋭意事業を推進し，一日でも早く信頼性の高い高速道路ネットワーク整備が図れるよう引き続き努力し，国民の皆様のご期待に応えていきたい．


## 『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)








# 大断面トンネルの施工を振り返って

中日本高速道路(株)環境・技術部専門主幹(トンネル)　中　田　雅　博

## 1　はじめに[1)]

４月に開通を迎えた162kmの新東名高速道路にあるトンネル群は，掘削断面積は190m²に近く，掘削したトンネルの数は36トンネル71チューブ（２車線トンネル４チューブを含む．開通後は今里第一と第二トンネルが連結し69チューブ），上下線トンネル延長合計約83km(構造物比率26%)である．

これだけの規模のトンネルを一度に建設する例は見当たらない．この規模は，現東名のトンネルやその後の東名大井松田～御殿場間の６車線化改築工事などのトンネル(掘削断面積130m²前後)の規模をはるかに超え，求められる技術も同様であった．しかし一方で，これまでの経験が新しい技術を考えるうえでの大きな道しるべとなった．着手以来，机上検討，技術開発，本線トンネルでの試験工事を同時並行的に進め，知見を要領化することですべてのトンネルに展開した．

これらの検討や開発の経緯については，本特集内の該当する記事に委ね，本稿では概要のみの記述として，主に施工結果から思うことを簡単な分析を含めて述べたい．

## 2　技術検討と技術開発

**表-1**に技術検討，試験工事，TBM先進拡幅掘削工法や要領などの概略の経緯を示す．

大きな断面が有する課題は，断面形状にはじまり，支保構造，設計法，施工法・施工管理などすべてにわたり，研究所に蓄積したデータ（２車線や狭い路肩の３車線トンネル）の分析や解析，発電所などの他事業の知見にも目を向け幅広く検討を展開した．

またTBM施工などの機械化施工技術は海外にも求めた．掘削断面積の削減と効率的な施工サイクルのため部材厚さなどの低減を目指して，高い規格の支保工材料を開発した．これらの成果を実トンネルでの試験工事で検証した．経験の少ない領域では，実構造物での検証は非常に効果的で実際的な技術開発のプロセスであった．

試験工事とともに効率的な爆破技術，経済的な覆工，また施工管理や品質管理に関しても試験工事の成果を基礎に議論を重ね，広く現地に適用した．これらの検討成果をフィードバックし平成11年の『設計指針(案)』，平成13年に『設計要領』とした．

## 3　施　　工

### 3-1　施工法の概要

大断面トンネルの上半部掘削断面積は，２車線トンネルの全体掘削断面積に相当し，従来の施工機械ではサイクルタイムや仮設備費の増大への懸念があった．このため広い掘削幅を利用して削岩機や吹付け機を２台並置し，積載量の大きなダンプとの組合せでサイクルタイムの削減を目指した．

適用した掘削工法は，延長が短いトンネルには，上半先進工法(以下，「上半工法」)，中壁分割工法(以下，「中壁工法」)に，中央導坑先進拡幅掘削工

表-1　技術検討や試験工事などの経緯

| 発注時期 | 検討作業と要領作成 | | 試験工事 | TBMを使ったトンネル | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 先進導坑 | 避難坑 | 2車線本坑 |
| 平成5年<br>平成6年 | ●設計施工<br>●ＴＢＭ施工<br>●支保設計 | 技術開発 | 湯田第二トンネル | 湯田第二トンネル | | |
| 平成7年 | ●機械化施工の検討 | | 清水第三トンネル（TBM発進記念シンポジウム） | 清水第三トンネル | 城端，袴越 | |
| 平成8年 | ●合理的支保構造<br>●新支保材料<br>●爆破技術<br>●覆工に関する検討 | | 栗東トンネル | 富士川作業坑<br>栗東トンネル<br>富士川トンネル<br>金谷トンネル<br>浜松トンネル | 飛　　驒 | |
| 平成9年 | | | 静岡第二トンネル | 岡部トンネル<br>引佐第一トンネル<br>鈴鹿トンネル | | 飛驒 |
| 平成10年 | H10.3 TBM設計・施工の手引 | | 沼津トンネル | 清水第一トンネル | | |
| 平成11年 | H11.7　設計指針(案) | | | 清水第四トンネル | | |
| 平成12年 | ●支保構造の評価検討 | | | 甲南トンネル | | |
| 平成13年 | H13.1　設計要領 | | | | 川辺第一 | |
| 平成14年 | H14.4　設計要領一部改定 | | | | | |
| 平成15年 | | | | 島田第一トンネル | | |
| 平成16年 | | | | | 温海 | |
| 平成17年 | H17.10　民営化，<br>トンネル本体工建設編<br>（第二東名・名神高速道路） | | | 注）斜体は新名神のトンネル | | |
| TBM径 | | | | φ3.5m　φ5.0m | φ4.5m | φ12.8m |

法(以下，「中央導坑工法」)を加えて，地山条件や周辺環境条件により適用した．長大なトンネルには，直径５ｍのTBMを先進させその後拡幅するTBM導坑先進拡幅掘削工法(以下，「TBM先進工法」)の開発を進めた．TBM先進の効果として，事前の地質確認，切羽安定効果(導坑自体の効果，水抜き，ケーブルボルトなど用いた事前補強)，施工効率向上(一掘進長増，芯抜き効果)，効率的な工事中の換気がある．

開発は，２車線トンネルの湯田第二トンネルでφ3.5mのTBMを先進させ工法の効果を確認した後，清水第三トンネルでの最初の試験工事へと展開した．TBMは恵那山トンネル以来の適用であり，当時大断面での先進導坑だけでなく２車線断面トンネルへの適用も視野に入れていた．工事は，表-1に示すように試験工事に続き，最長のトンネルなどにTBMを用いて順次着手し，平成10年ごろよりトンネル工事を全区間に展開した．

## 3-2　施工結果

表-2に全トンネルの概要と結果を示す．

### 3-2-1　施工結果

（１）　試験工事の清水第三トンネル，静岡第二トンネル，沼津トンネルでは，大きな断面に初めて挑戦し，大きな知見と自信を得た．





（２）　地質は，路線の東側が玄武岩溶岩などで，富士川トンネルから西側は堆積岩である．堆積岩のトンネルの多くは坑口部で地すべりや偏圧など斜面の不安定性を示し，地すべり対策とともに緩みを抑制したトンネル掘削が求められた．地すべり対策として，明かり構造からトンネル構造に変更されたトンネルもある．

（３）　堆積岩のトンネルで大きな変位量を示している．多くのトンネルの坑口部で天端沈下量は100㎜を超え，その値が500㎜に及ぶトンネルもある．６トンネル(11チューブ)の一般部で変形余裕量を設定している．最大300㎜である．

（４）　起点側のトンネルでは，道路や建物などの地表面沈下量の制限に対応して中壁工法が主に採用され，多くのトンネルで側壁部の支持力確保に補助工法が用いられている．また本線部でプレキャストのアーチカルバートの採用も特徴的である．

（５）　TBM先進工法は，９トンネル17チューブで採用され，３トンネルで上下線を半径30mでUターンし連続したTBM掘削を実施した．また，５トンネルでTBM導坑から天端部の事前補強を実施した．

（６）　多くのトンネルで種々の脚部沈下対策を試行している．

### 3-2-2　特徴的な事項(東京側からの順)

（１）　延長が２番目に長い富士川トンネルは，φ3.5mTBMによるずり運搬専用トンネルの掘削に続き，φ5mのTBMを施工している．80％を超えるD等級地山に平均月進(暦日)200mを達成している．また規模が100mに及ぶ入山断層帯(土かぶり厚250～300m，地山強度比0.5前後)を通過し，押出し性地山に必要支保耐力を算定した支保構造(吹付けコンクリート厚さ500㎜，鋼アーチ支保工HH250)を用いている．また，TBM導坑掘削段階(芯々間隔55m)で後行TBM掘削の影響を受けた．

（２）　最大土かぶり50m程度の藤枝第二トンネルでは，天端沈下量は50㎜程度だが，支保工の応力レベルが非常に高く，全線で剛性の高い支保工と一部区間では二重支保工で対処した．海底地すべり起源やスランプ性泥岩と記述された地質のトンネルでは，近隣の国道などのトンネルと同様に地山の悪さが目立った．

（３）　延長が4.6kmと最長の金谷トンネルでは，D等級地山が80％を超え地山強度比が２以下の地山区間もあった．TBM導坑の施工では拡張式鋼製ライナーをはじめ拘束対策を行い，上下線ともに平均月進(暦日)200mを達成している．また，本坑拡幅時の大きな変位に対して上半側壁部にPC鋼棒を効果的に用いている．同様に岡部，引佐第二トンネルでもPC鋼棒が採用されている．

（４）　浜松トンネル石灰岩区間では，降雨に伴ってトンネル内に時間あたり500m³を超える突発湧水が何度も生じ，維持管理段階での突発湧水に備えて排水横坑を設けた．

### 3-2-3　計測変位量の傾向

計測結果の特徴的な事項を略記する．

（１）　想定された内空変位の拡大方向への挙動は，坑口部の支保工DⅢを採用する断面の30％程度で生じている．扁平さが顕著な上半掘削の段階で天端沈下が卓越し，下半を掘削し断面形状がやや円形に近くなると側方からの内空が縮小する方向に挙動する．加背割りに示す上半の脚部は，２車線トンネルに比べて外側にやや開いた形状となっている．最終変位量に対する下半掘削により生じる変位量の比率は，２車線断面に比べて大きい．

（２）　地山が悪いと土かぶりによらず大きな天端沈下が卓越する挙動(表-2参照)を示している．また，天端沈下と脚部沈下は連動して共下がる傾向(天端沈下量/脚部沈下量の比率は１に近く，２車線の比率0.7前後より大きい)を示している．

## 3-3　適用された掘削工法

### 3-3-1　適用工法

３車線断面のトンネル77kmに採用した掘削工法は，TBM先進工法が総延長の50％，上半工法が同様に33％，中壁工法と中央導坑工法がほぼ同じ比率の６％である．

以下に簡単な分析を含めて掘削工法を概観する．

（１）　中壁工法と中央導坑工法

中壁工法は，地山が良くなった場合の上半工法への切替えの融通性の点で，中央導坑工法に劣る．

表-2　新東名トンネル一覧表(静岡県区間)

| No. | トンネル名<br>上段：工事中<br>下段：開通後 | 延長(m) | 主な地質 | 拡幅断面掘削方式 | 主な掘削工法<br>(延長2工法まで記載) | 最大土かぶり(m) | 変位量 坑口・小土かぶり区間(mm) 最大最終天端沈下量 | 変位量 坑口・小土かぶり区間(mm) 最大最終内空変位量 | 変位量 一般部(mm) 最大最終天端沈下量 | 変位量 一般部(mm) 最大最終内空変位量 | 上半部変形余裕量(最大)(mm) | 施工会社 | 特記事項<br>(特筆すべき変状・工法などを記述．ただし，長尺鋼管フォアパイリング，鏡ボルト，鏡吹付けコンクリートなどの一般的となった補助工法は省略している．) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 御殿場JCT | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 今里第二 | 341 | 自破砕溶岩 | 爆破 | 中壁＋開削 | 11 | -2 | -2 | — | — | — | ㈱大林組・㈱奥村組・日本国土開発㈱ | めがねトンネル，全面地盤注入，縫地パイプ，テストコース |
| | 今里 | 340 | | | | 11 | -2 | -2 | — | — | | | |
| 2 | 今里第一 | 436 | 自破砕溶岩 | 機械 | 中壁＋開削 | 15 | -4 | -5 | — | — | — | 清水建設㈱・アイサワ工業㈱・㈱ピーエス三菱 | めがねトンネル，地層判別システム，全面地盤注入，試験注入，直上に3F，8Fの建物，土木学会技術賞 |
| | 今里 | 434 | | | | 17 | -6 | -5 | — | — | | | |
| 3 | 千福第二 | 183 | 凝灰角礫岩 | 機械 | 中壁＋開削 | 16 | -23 | -14 | — | — | — | 東急建設㈱・日特建設㈱・あおみ建設㈱ | レッグパイル，支持地盤改良，研修所，本線プレキャストアーチカルバート |
| | 葛山 | 204 | | | | 19 | -23 | -20 | — | — | | | |
| 4 | 千福第一 | 238 | 凝灰角礫岩 | 機械 | 中壁 | 14 | -89 | 42 | — | — | — | 同上 | 支持地盤改良，レッグパイル |
| | 千福 | 171 | | | | 14 | -35 | 8 | — | — | | | |
| 5 | 桃園 | 295 | 凝灰角礫岩 | 機械 | 中壁 | 22 | -40 | -37 | — | — | — | 飛島建設㈱・㈱竹中土木 | レッグパイル，小土かぶり部のセメント安定処理 |
| | 桃園 | 302 | | | | 18 | -41 | -27 | — | — | | | |
| 6 | 富沢 | 644 | 凝灰角礫岩 | 機械 | 上半＋開削 | 12 | -71 | 13 | — | — | — | 大成建設㈱・㈱不動テトラ・安藤建設㈱ | レッグパイル，脚部モルタル改良，支持地盤改良(深層混合，安定処理)，軽量盛土(EPS)，ゴルフ場，本線プレトンネルカルバート |
| | 富沢 | 631 | | | | 12 | -91 | 18 | — | — | | | |
| 長泉沼津IC | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 沼津 | 597 | 凝灰角礫岩 | 機械 | 中壁 | 45 | -18 | 22 | -13 | 12 | — | 戸田建設㈱・㈱青木建設・太平工業㈱ | 試験工事，上半中壁＋上下半中壁，数mの転石 |
| | 沼津 | 657 | | | 中壁＋上半 | 45 | -18 | -17 | -8 | -13 | | | |
| 新富士IC | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 富士宮第一 | 499 | 泥流堆積物 | 機械 | 中央 | 35 | -37 | -7 | — | — | — | 西松建設㈱・日特建設㈱・㈱浅沼組 | 直上幅約3mの水路トンネル，同地盤注入，注入式脚部補強 |
| | 富士宮 | 576 | | | 中央＋上半 | 45 | -23 | -6 | -24 | -4 | | | |
| 9 | 富士宮第二 | 407 | 安山岩 | 爆破 | 上半＋中壁 | 75 | -19 | -8 | -17 | -10 | — | 東急建設㈱・東洋建設㈱ | |
| | 明星山 | 379 | | | | 60 | -68 | 15 | -27 | -14 | | | |
| 10 | 富士川 | 4,503 | 砂礫岩 | 爆破 | TBM＋上半 | 300 | -48 | -39 | -94 | -93 | 300 | 西工事：清水建設㈱・㈱熊谷組・㈱竹中土木 | 入山断層での支保構造，押し出し性土圧，E区間，大断面早期閉合，天端崩落，双設影響，ずり運搬専用φ3.5mTBM，土木学会技術賞 |
| | 富士川 | 4,428 | | | | 290 | -39 | -11 | -125 | -118 | 300 | 東工事：鹿島建設㈱・西松建設㈱・大豊建設㈱ | |
| 新清水IC | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 清水第一 | 1,409 | 砂岩 | 爆破 | TBM＋中央 | 215 | -29 | -12 | -27 | -58 | — | 五洋建設㈱・東亜建設工業㈱・㈱さとうベネック | TBMのUターン，Uターン部コンクリート充填，支保工変状，拡幅時TBM内計測 |
| | 小河内 | 1,599 | | | | 230 | -132 | 28 | -34 | -24 | | | |
| 12 | 清水第二 | 533 | 砂岩 | 機械 | 上半 | 115 | -89 | 37 | -37 | -20 | — | ㈱竹中土木 | 転石，脚部補強パイル，のり面変状，繊維補強覆工で無筋化 |
| | 清地 | 411 | | | | 95 | -235 | 132 | -88 | -43 | | 前田建設工業㈱・㈱奥村組 | サイドパイル，巨大転石，地すべり，西坑口深礎杭基礎 |
| 13 | 清水第三 | 1,116 | 泥岩砂岩 | 爆破 | TBM＋上半 | 180 | -186 | -14 | -167 | -70 | — | 大成建設㈱・㈱大林組・三井建設㈱ | 試験工事，TBMのUターン，側壁導坑沈下，導坑からケーブルボルト，パイプルーフ，東坑口転石 |
| | 和田島 | 1,119 | | | TBM＋中央 | 150 | -50 | -12 | -128 | -101 | | | |
| 新清水JCT | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 清水第四 | 2,147 | 砂岩 | 爆破 | TBM＋上半 | 240 | -149 | 67 | -21 | -19 | — | ㈱大林組・三井住友建設㈱・㈱鴻池組 | TBMのUターン，脚部補強，地すべり，偏圧対策，Uターン導坑部軽量盛土充填 |
| | 伊佐布 | 2,148 | | | | 240 | -75 | 14 | -21 | -31 | | | |
| 15 | 静岡第一 | 1,269 | 砂岩 | 爆破 | 上半＋中央 | 175 | -83 | -18 | -20 | -14 | — | ㈱フジタ・安藤建設㈱・太平工業㈱ | |
| | 北沼上 | 1,296 | | | | 165 | -63 | -19 | -28 | -16 | | | |
| 16 | 静岡第二 | 1,192 | 砂岩 | 爆破 | 上半＋中央 | 220 | -63 | -28 | -17 | -22 | — | ㈱間組・戸田建設㈱・㈱フジタ | 試験工事 |
| | 内牧 | 1,196 | | | 上半＋中壁 | 230 | -40 | -15 | -35 | -44 | | | |
| 17 | 静岡第三 | 1,039 | 泥岩 | 爆破 | 上半＋中央 | 145 | -102 | -36 | -74 | -43 | — | 清水建設㈱・㈱青木建設・徳倉建設㈱ | 箱抜き部崩落 |
| | 羽鳥 | 1,027 | | | | 140 | -92 | -55 | -51 | -56 | | | 吹付けコンクリート粉じん対策 |
| 18 | 静岡第四 | 380 | 泥岩 | 爆破 | 上半 | 70 | -89 | -29 | -59 | -29 | — | 上り線：戸田建設㈱・奥村組土木興業㈱・安藤建設㈱ | 地すべり跡地，垂直縫地，陥没 |
| | 新間第一 | 428 | | | 上半＋中央 | 60 | -130 | 51 | -78 | -24 | | | 偏圧対策(改良土，FCB),トンネルカルバートで横断構造物 |
| 19 | 静岡第五 | 491 | 泥岩 | 爆破 | 上半＋中央 | 80 | -234 | -89 | -46 | -43 | — | 下り線：㈱大林組・若築建設㈱ | 偏圧対策(AGF，レッグパイル，覆工の鉄筋) |
| | 新間第二 | 257 | | | | 55 | -110 | -39 | -36 | -35 | | | 支保工変状，導坑時崩落，押え盛土，坑口鉄筋補強土 |
| 20 | 静岡第六 | 801 | 泥岩 | 爆破 | 上半＋中央 | 135 | -131 | 77 | -44 | -33 | — | 飛島建設㈱・㈱白石・㈱地崎工業 | のり面崩壊，鉄筋補強土 |
| | 谷津 | 823 | | | | 150 | -40 | -20 | -35 | -39 | | | 吹付けコンクリート粉じん対策 |
| 21 | 岡部 | 2,653 | 泥岩・砂岩 | 爆・機 | TBM＋上半 | 260 | -57 | -36 | -153 | -176 | 150 | 前田建設工業㈱・鉄建建設㈱・㈱錢高組 | ケーブルボルト事前補強，PC鋼棒ボルト，天端崩落，ロックボルトの破断，天端崩落，大変位量，支保変状などで巻厚不足 |
| | 岡部 | 2,612 | | | | 265 | -150 | -25 | -192 | -231 | 300 | | |
| 藤枝岡部IC | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | 藤枝第一 | 431 | 泥岩・礫岩 | 爆破 | 上半＋中壁 | 55 | -45 | 10 | -25 | -6 | — | 五洋建設㈱・大日本土木㈱ | 坑口部軽量盛土，押え盛土，地すべり，プレキャスト横断構造物 |
| | 助宗 | 478 | | | | 90 | -45 | -10 | -32 | -10 | | | レッグパイル，東坑口押え盛土 |
| 23 | 藤枝第二 | 317 | 泥岩 | 機械 | 中央＋上半 | 54 | 最大天端沈下50mm，内空30mm | | | | 200 | 日本国土開発㈱・㈱森本組 | 全線支保工E．上り60m，下り115m区間で二重支保工．中央導坑に変更，事前補強，パイプルーフ，側壁に支持杭，地すべり |
| | 寺島 | 330 | | | | 53 | 程度．支保工応力が降伏値． | | | | 200 | | |
| 24 | 島田第一 | 2,655 | 泥岩 | 爆・機 | 上半＋側壁 | 190 | -182 | 152 | -334 | -169 | 200 | ㈱大林組・㈱熊谷組・㈱フジタ | 仮補強リブ，長尺鏡ボルト，偏圧対策，支保工変状，縫返し |
| | 大草 | 2,679 | | | TBM＋上半 | 180 | -144 | -41 | -247 | -143 | 300 | 西松建設㈱・㈱鴻池組・㈱フジタ | TBM掘削時崩落，事前補強ボルト，TBM340m区間を上半工法に切替，双設影響，縫返し，E区間 |
| 25 | 島田第二 | 441 | 泥岩・頁岩 | 機械 | 上半＋側壁 | 110 | -149 | -57 | -101 | -71 | — | 大成建設㈱・佐藤工業㈱・東亜建設工業㈱ | 押え盛土，側壁導坑 |
| | 尾川第一 | 510 | | | | 110 | -353 | 315 | -66 | -72 | | | パイプルーフ，セメント注入，地すべり(アンカー，深礎) |
| 26 | 島田第三 | 451 | 泥岩 | 機械 | 上半＋中央 | 60 | -165 | -58 | -224 | -80 | — | ㈱青木あすなろ建設・㈱大本組 | 上半仮インバート，脚部ボルト，押え盛土 |
| | 尾川第二 | 460 | | | | 55 | -196 | 104 | -147 | -44 | | | 押え盛土 |
| 27 | 島田第五 | 1,379 | 泥岩・頁岩 | 爆破 | 上半＋中央 | 160 | -218 | -118 | -386 | -99 | — | ㈱奥村組・名工建設㈱・矢作建設工業㈱ | 仮インバート，PC鋼棒ボルト，大変位量，縫返し， |
| | 矢倉山 | 1,336 | | | 上半＋側壁 | 135 | -496 | -108 | -275 | -123 | | | 仮インバート，脚部補強鋼管，大変位量，縫返し |
| 島田金谷IC | | | | | | | | | | | | | |
| 28 | 金谷 | 4,522 | 泥岩 | 爆破 | TBM＋上半 | 315 | -68 | -27 | -216 | -220 | 250 | 西工事：鹿島建設㈱・㈱竹中土木・㈱青木あすなろ建設 | 事前補強，748kNPCロックボルト，大量湧水，崩落，支保工変状，縫返し，脚部補強，鏡ボルト，地すべり,最長トンネル，土木学会技術賞 |
| | 粟ヶ岳 | 4,667 | | | | 330 | -272 | -100 | -181 | -188 | 300 | 東工事：㈱奥村組・大日本土木㈱・太平工業㈱ | |
| 29 | 掛川第一 | 536 | 泥岩・頁岩 | 機械 | 上半＋中壁 | 61 | -25 | -17 | -26 | -16 | — | 前田建設工業㈱・日特建設㈱・太平工業㈱ | 坑口部支持地盤，下半打掛け発破工法 |
| | 倉真 | 664 | | 爆破 | | 58 | -45 | -46 | -9 | -5 | | | のり面崩落，偏圧対策 |
| 30 | 掛川第二 | 734 | 泥岩 | 機械 | 上半 | 125 | -131 | -88 | -32 | -32 | — | ㈱熊谷組・東亜建設工業㈱・佐田建設㈱ | 支持地盤，脚部沈下対策，縫返し，インバート下排水，地すべり |
| | 西郷 | 1,169 | | 爆破 | 上半＋側壁 | 140 | -71 | 18 | -44 | -25 | | | |
| 31 | 大和田(上) | 216 | 砂岩 | 爆・機 | 側壁＋開削 | 15 | -6 | — | — | — | 200 | ㈱大林組 | 地すべりで構造変更．垂直縫地，偏圧対策，経済的な外型枠 |
| 32 | 掛川第三 | 800 | 泥岩・頁岩 | 機械 | 上半＋側壁 | 95 | -115 | 27 | -46 | -37 | — | ㈱大林組・オリエンタル白石㈱・岩田地崎建設㈱ | 偏圧対策，切羽崩落，地すべり，載荷応力下での岩石ひずみ試験 |
| | 平島 | 934 | | | | 110 | -35 | -14 | -18 | -22 | | | 垂直縫地，偏圧対策，地すべり |
| 森掛川IC，浜松浜北IC | | | | | | | | | | | | | |
| 33 | 浜松 | 3,200 | 石灰岩 | 爆破 | TBM | 190 | -32 | -19 | -10 | -9 | — | 上り線：佐藤工業㈱・住友建設㈱・株木建設㈱ | 先行補強ボルト，大量湧水と排水対策，止水注入，水抜き横坑とボーリング，排水管固形物生成，切羽崩落，支保工変状，拡幅時TBM内計測 |
| | 三岳山 | 3,262 | | | | 205 | -93 | -15 | -55 | -42 | | 下り線：㈱熊谷組・東急建設㈱・㈱大本組 | |
| 34 | 引佐第一 | 1,497 | 玄武岩 | 爆破 | TBM＋側壁 | 145 | -79 | 22 | -171 | -68 | — | ㈱鴻池組・㈱竹中土木・㈱不動建設 | レッグパイル，先行補強ボルト，天端崩落，上半仮インバート，垂直縫地，地すべり |
| | 引佐 | 1,519 | | | TBM | 125 | -104 | -59 | -141 | -67 | | | |
| 以下は連絡路区間：2車線トンネル，掘削断面積110㎡程度 | | | | | | | | | | | | | |
| 35 | 引佐第二 | 1,347 | 蛇紋岩 | 爆破 | 補助ベンチ | 65 | -132 | -55 | -216 | -48 | — | 清水建設㈱・戸田建設㈱・大日本土木㈱ | 30m区間ゲビンデ鋼棒のロックボルト，地すべり，排水トンネル，集水井，垂直縫地，抑止杭，注入，改良盛土，レッグパイル |
| | 富幕山 | 1,528 | | | | 75 | -130 | -93 | -120 | -112 | | | |
| 36 | 三ケ日 | 1,550 | 輝緑凝灰岩 | 爆破 | 補助ベンチ | 186 | -28 | -32 | -46 | -58 | — | ㈱奥村組・東洋建設㈱・㈱浅沼組 | 切羽崩落 |
| | 奥山 | 1,517 | | | | 180 | -36 | -50 | -37 | -49 | | | |

注）参考文献 1)を加筆修正
2段書きのトンネル名，上段は工事中の旧名，下段は開通後のトンネル名である．上段は上り線，下段は下り線を示す．
- 工法「上半」は上半先進工法，「TBM」はTBM導坑先進拡幅掘削工法，「中央」は中央導坑先進拡幅掘削工法，「中壁」は中壁分割工法など，「側壁」は側壁導坑先進掘削工法，2車線断面の「補助ベンチ」は補助ベンチ付き全断面工法を示す．
- 坑口部・小土かぶり区間とは，掘削幅の約2倍の土かぶり40m未満の区間とした．変位量の符号は，プラスは内空変位量は拡大を示し，マイナスは天端沈下の下方向の変位と内空変位の縮小方向を示す．小土かぶり部の内空変位量は，拡大方向と縮小方向を示す場合，絶対値の大きい変位量を示した．なお，最大天端沈下量と最大内空変位量の発生位置は異なる．

一方，中央導坑工法の掘削サイクルタイム自体は少し長いが，水抜きやクラウン部の事前補強，大断面の汎用機械が使用できる利点がある．

（2）　TBM先進工法と上半工法

**図-1**は，トンネル1チューブの地山等級Dクラスの比率とTBM掘削の平均月進(暦日)，最大月進(暦日)を示している．全トンネルの単純な平均月進は250m，平均最大月進は450mを超えており，まずまずの結果を示している．しかし，D等級地山が80%を越えると，平均月進行は200m以下に低下し，とくに崩落しやすい地山では顕著であり，大量湧水も進行を落とす要因となっている．

**図-2**はTBM施工時の先進坑と後進坑(上下線のTBM導坑)の進行速度を示している．後進坑は先進坑より掘進速度が速い．これは先進坑の水抜きが切羽の自立性を高め，地質の把握が事前の効果的な対策を可能にしていると考える．

**図-3**は，TBM先進工法と上半工法の上半掘削(TBMでは切拡げ)速度を示している．D等級の比率が増えるに従い上半掘削速度は低下する傾向となる．また，両工法の平均速度ではTBM工法の方が15m/月程度速い．図-3からTBM先進工法が適する領域は，上半工法の得意領域である良好な地山やTBMの利点を生かせない悪い地山を避けた中間領域にあるように思える．

TBM先進工法の工期の点では，TBMの製作期間やTBM掘削期間が必要となる．この期間を短縮するには，掘削速度の向上のため支保工，補助工法のための装備や運転の工夫だけでなく，TBM機械の転用や任意性のある契約上のTBM径も検討課題となる．

前述のように，TBM先進工法は大断面での切羽の不安定性や，不確かで想定できない地質への懸念を軽減する効果がある．大断面トンネルでのTBMの採用は，地山を見える化し，難しい問題をやさしくして解く工法として，大きな役目を果たしたと言える．

（3）　建設時のデータ

建設時の情報は，これからの保全業務に活用できるように整理された．また，計測データなどは技術的な視点での分析作業が進められている．当初想定した課題[2]への施工後の評価だけでなく，今後の国内外での活用にむけた技術的な評価が必要と考える．例えば，2車線断面との比較の中で断面形状の違いによる挙動，支保工の状況や，脚部沈下への対策[3]など各工法(表-2の特記事項参照)の効果，地質調査報告書の記述に遡ったTBM工法の適用地山の確認などである．また，再度新東名を効率的に施工するとすれば，どのような技術を開発するかなどについて考えることも興味深い．

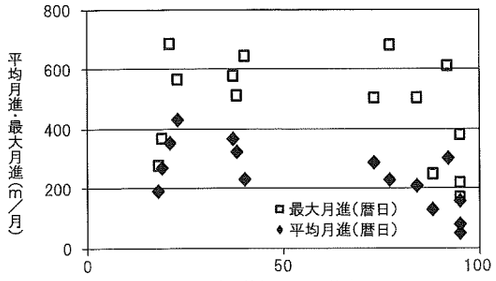



図-1　TBMの平均・最大月進(m/月)

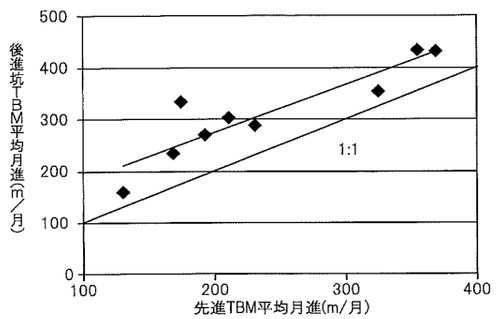



図-2　後進坑TBMの掘削速度

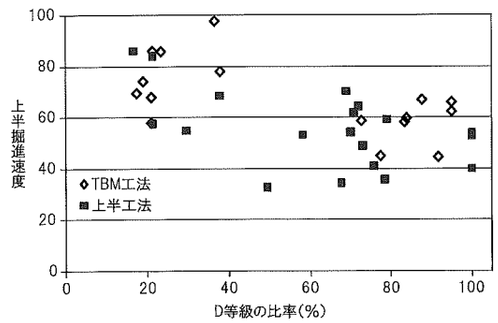



図-3　上半掘進速度の比較







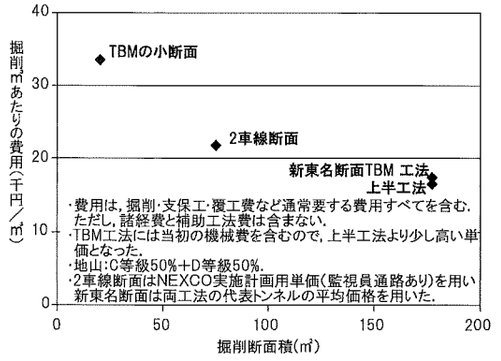



図-4　新東名断面の1 m³あたり掘削費

### 3-3-2　掘削費

新東名断面と2車線トンネル断面の1 m³あたりの掘削費の比較を**図-4**に示す．

大きな掘削断面に対して，大型機械を2台並列した作業編成により2車線断面に比べ経済性を目指す一方で，断面幅が増え外周の支保工費用が予想以上に増えることが懸念されたが，地山の程度が同じであれば2車線トンネルと同じ2万円/m³程度かそれ以下であり，納得できる結果となっている．

島田第一トンネルの下り線はTBM先進工法，上り線は上半工法が採用され，上下線の建設費はほぼ同額であった．この結果から，初期コストのTBM機械費を取り出した1 mあたりの掘削費を用いて上半工法と比較した．TBM施工延長が約1.5kmより長くなるとTBM工法が経済的になり，建設当時の想定とほぼ一致している．

## 4　おわりに

開通を境として建設中のトンネルの名前(表-2参照)は変わり，本来の役割が始まった．

トンネルの中の風景はどこも同じであり，その景色からだけでは当時の苦労を知る由もない．現在は地山の安定を得ているが，これから100年を超える長期の間に覆工材料の劣化，水の浸透，地山の強度低下の可能性は否定できない．20年近くを経て路面の急激な隆起変状を生じたトンネルもある．また，地すべりも建設中の自然条件がもっとも過酷であったとの確証もない．今後，これらのリスク要因を念頭においた点検や対応が望まれる．

また，供用後の問題の一つに覆工コンクリートの剝落がある．RC構造物となった覆工(鉄筋のかぶり厚さ100㎜)はひび割れからの水の浸入や中性化による鉄筋の錆の課題に直面する．また，覆工の鋼繊維に生じた錆に関して，見た目と深部への錆の進展の点で議論となったが，「海洋環境下での鋼繊維補強コンクリートの使用は鉄筋防食機能を有する」とする論文[4]もある．点検や調査を通じた知見の蓄積と適切な管理が望まれる．

遠く険しい道のりを感じた新東名の建設は，先生方や旧JHの諸先輩方の先見性のある議論，適切な技術開発と現地への展開により無事の完成を見た．現場には達成への技術者の熱意と担当施工会社の果敢に挑戦する心意気があった．この建設をとおして，時代の要請であるインフラ技術の海外展開に役立つ知見や経験を得たのであればさらに幸いなことと考える．

最後に，黎明期より完成まで，当時「第二東名高速道路」と銘を打った技術検討委員会で技術と時代をリードし，若き技術者を熱心に育て導いていただいた委員会(委員長：今田徹氏)の方々に心からの感謝の意を表するものです．本稿の分析作業においては，日本ハイウエイ・エンジニアリング東京(株)土木技術部佐野氏から貴重なご意見をいただいた．

## 参考文献

1) 中田雅博：新東名高速道路トンネルの開発技術と施工，土木技術，Vol.67，No.1，p.50，2012.1.
2) 三浦克：大断面トンネルと山岳トンネル工法の現状と課題，土木学会論文集，No.516，Ⅳ-27,1-13，pp.1-12，1995.
3) 八木弘・畝田篤志：新たなトンネル支保部材としてのPC鋼棒の適用性の検証，第29回日本道路会議，2011.11.
4) 小林一輔・星野富夫・辻恒平：海洋環境下における鋼繊維補強コンクリートの鉄筋防食効果，土木学会論文集，第414号/V-12，1990.2.




# 「豊かな海と芸術のまち」津奈木町より

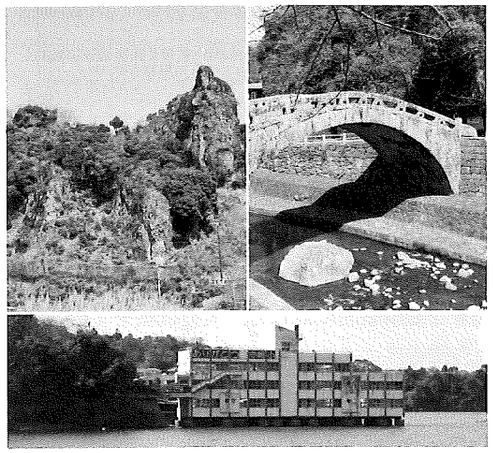
野　田　正　利

青く輝く豊かな不知火海と，太陽の恵みを受け山々を黄色く染めるミカン畑に囲まれた熊本県津奈木町は，芸術の町として，随所に躍動感あふれるブロンズ像が立ち並ぶ．小さな街の片隅にある美術館は人々の目を楽しませている．温泉と隣接した美術館からモノレールに５分ほど乗ると，巨大な奇岩「重盤岩」の頂から，この色彩豊かな街を一望できる．まばゆいばかりの海沿いを廻れば，廃校となった赤崎小学校があり，かつては教室の窓から海釣りができたとの言葉どおり，海の上にぽっかりと浮いた珍しい校舎を見ることができる．

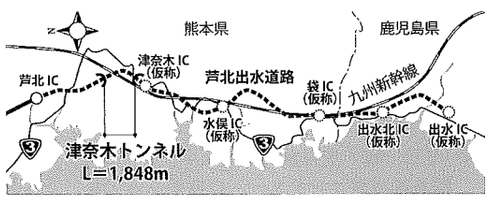
陸路を辿れば，江戸時代の参勤交代の際，薩摩藩から江戸に向かう最初の難関であった「三太郎峠」が立ちはだかる．三太郎峠とは「津奈木太郎」「佐敷太郎」「赤松太郎」の３つの峠をいい，地下に満々と水を蓄えたこの峰々は豊富で清らかな水を不知火海にそそいでいる．反面，トンネルを掘れば多量の水に悩まされ，今もなお先輩技術者が挑んできたトンネルの苦労が地元では聞くことができる．明治時代に煉瓦造りで築造された佐敷トンネルと津奈木トンネルは文化庁の登録有形文化財であり，役目をほぼ終えた今もなお，颯爽とした姿で佇んでいる．まさにトンネルの歴史とともに歩んできた場所である．

戦国時代末期に，薩摩藩の進行に対する備えとして，峠の随所に築かれた支城の数々の，その隆々たる石垣の精悍さを見れば，ここがいかに戦略上の要衝であったかがわかる．この石の加工技術により造られた熊本県指定文化財の「津奈木重盤岩眼鏡橋」は江戸時代に岩永三五郎により築かれ，当時の最新技術の秀逸さを現在に伝えている．

現在でも薩摩街道を歩くウォークラリーに参加すれば，古の人々の苦労に思いをはせる．疲れた体は，温泉がやさしく癒してくれ，採れたての海の幸を堪能すれば至福の時間を満喫することができる．



（左上）重盤岩　この岩を中心に津奈木城があった．
（右上）津奈木重盤岩眼鏡橋．（下）赤崎小学校（廃校）．




位　置　図

昨年３月の九州新幹線の全線開業に伴い，都市圏からの交通の往来が至便となった．一方の道路整備では，豊富な交通量と大量の物資の輸送に不可欠な一般国道３号は，渋滞やスコールを思わせる九州特有の豪雨により時々行く手を遮られる．

南九州西回り自動車道路は，このような交通の難所を新たに切り開く高規格道路として，熊本県八代市から鹿児島市までの海岸沿いルートを進める事業である．産業の発展への期待が大きく，完成区間から順次供用を行っている．佐敷太郎と赤松太郎はすでにトンネルが貫いた．当現場は最後の津奈木太郎への挑戦である．

その津奈木トンネルは津奈木側から芦北方面に向けて掘り進む延長1,848mのトンネルである．平成22年11月より掘削を開始して，３月末現在，トンネル掘削1,700m，覆工1,150mを超えた．途中，国道３号直下と新幹線直上を交差し，いよいよラストスパートが迫ってきた．最後まで気を抜くことなく，発注者および関係各位の協力を得ながら全力で取り組んでいく決意である．

（(株)大林組津奈木トンネル工事事務所工事長）







# 大断面トンネルの計画・調査

西日本高速道路(株)関西支社建設事業部部長　竹　國　一　也

## 1　はじめに[1)]

新東名高速道路トンネルは，より安全かつ快適で高速走行を可能とするため，平面線形，縦断勾配ともにこれまでにない高次の規格を有し，また片側３車線の全路肩を確保した計画となっている．そのため，トンネル掘削断面積は約200m²と従来のトンネルと比較して約2.5倍の断面積となっている．

ここでは，このような新東名高速道路トンネルの特徴に着目して，トンネルを計画・調査・設計するうえで，とくに留意した点について記述する．

## 2　大断面トンネルの計画

新東名高速道路は路線全体が現東名高速道路と比較して山間部を通過していることから必然的にトンネルの比率は高くなり，現東名高速道路のトンネル延長比率が２～３％であるのに対して新東名高速道路のそれは２割を超えている．また，線形的な制約が非常に大きく，トンネルを計画するにあたってはトンネル前後の取り合いだけではなく，広く路線の中でトンネルの計画を検討する必要があった．

例えば，トンネルの位置選定にあたってもトンネルにとって好ましい選定をするにも限界があり，むしろ路線全体から見た検討が重要視されることとなる．したがって，大断面かつ大量のトンネル群を計画するにあたっては安全を確保しつつ高速かつ効率的な設計施工を意識したこれまでにない新技術の活用を含めた十分な検討が求められた．

以下に今春開通を迎えた新東名高速道路トンネルにおいてとくに計画上配慮した事項について列挙する．

### 2-1　線形および道路幅員，建築限界

新東名高速道路トンネルの平面線形最少曲線半径は1,800m，縦断線形最少縦断勾配は2.0％である．また，トンネルの標準幅員は3.75mの車道が３車線，車道の左側に設ける路肩幅員が2.5m，車道の右側に設ける路肩幅員が1.25mの３車線かつフルショルダーで全幅15.0mである．

建築限界は，車道部4,500㎜，路肩端部4,100㎜で，従来トンネル建築限界線にある路肩端部の切欠きは行わないこととした．

このように線形および道路幅員ともにこれまでにないゆとりをもった規格で計画している．

### 2-2　トンネル相互の間隔

従来の２車線トンネルと比較して断面が非常に大きいことから，トンネル相互の間隔が用地費や工事費などへ与える影響は必然的に大きくなる．一般的地山における２車線トンネルの離隔距離は掘削幅の３倍（3$D$，$D$：掘削幅）を標準として設定しているが，新東名高速道路においてはトンネル相互の離隔距離を少しでも縮小することでコストを抑える効果が期待できるため，その可能性に関する解析的検討を行った．その結果，計画段階において標準部では2.75$D$として設計することが可能との知見を得た[2)]．

しかしながら，その後，平成８年４月に構造基

準の一部が変更されたことで，トンネル部においては左側路肩3.25mが2.5mに，右側路肩2.0mが1.25mに変更，トンネル掘削幅は20mから18.5mとなり，標準離隔距離2.75$D$は結果的におおむね3$D$を確保したものとなった．

### 2-3　監視員通路

2車線トンネルにおいては，トンネル点検などの作業員の安全確保と埋設物を収納できるスペースとして900㎜の高さを有する監視員通路を設けている．一方，新東名高速道路トンネルでは，トンネル走行上の圧迫感などの走行環境の改善と将来のトンネル管理技術の自動化・簡略化などを考慮して監視員通路は設置しない計画とした．ただし，路肩の外側部分に側方余裕として高さ250㎜のところで幅750㎜を確保した監査廊構造とし，トンネル等級AAおよびAのトンネルにおける左側監査廊は収納スペースを考慮して路面より600㎜の高さを標準とした計画とした．

### 2-4　避難通路などの設置

新東名高速道路では3,000mを超える長大トンネルにおいては，事故車両排除などの交通運用を考慮して避難連絡坑のうち中央部付近の1か所は全車両が通行可能な断面としている．またその他の避難連絡坑断面は本坑断面が非常に大きいことから避難連絡坑の視認性を考慮して，それまでの2車線トンネルの人道専用避難連絡坑よりも一回り大きな避難坑断面にて計画した．

これも安全と安心に配慮した結果である．

### 2-5　集塵機設置箇所の考え方

新東名高速道路トンネルは，現行2車線トンネルに比べて内空断面積が大きく，天井部に余裕空間を多く有することから，電気集塵機を設置する必要のあるトンネルにあっては従来の集塵機坑によるバイパス方式によらず，天井部に集塵機器を設置する天井集塵機方式を基本とした．これは，後述する中央環境審議会の自動車排ガス低減対策によるディーゼル自動車の排出ガス規制の長期目標を取り込んだ換気設計に対応したもので，効率的かつ経済的な計画に配慮したものである．

結果として，換気はすべて自然換気(富士川トンネルのみ予備で天井集塵機設置)で排煙用のジェットファンを一部のトンネルに設置したのみでバイパス方式に比較して随分と経済的な設計となっている．

### 2-6　トンネル換気計画

道路トンネルの換気施設を設計する際に用いる物質として，トンネル利用者に対して生理的な影響を及ぼす物質として一酸化炭素を，トンネル内の走行視認性に影響する物質として排出ガス中の黒煙と粉塵を合計したもの，いわゆる煤煙を対象としている．

一方，中央環境審議会の「今後の自動車排ガス低減対策のあり方について」(平成元年)を受け，排出ガス規制が短期・長期・新短期・新長期として実施され，また近年の自動車性能の向上などによりNOx，PM，HC，COなどの排出ガスは大幅に削減されることになった．

新東名高速道路においては換気設計がトンネル本体工に及ぼす影響が大きく，将来の排出ガス削減効果を反映した予測値を取り込んだ換気施設計画とした．このような取組みは例のないことで国内道路トンネルの中でも新東名高速道路トンネルで初めて適用した手法である．この設計手法の早期基準化により経済的で効率的な設計施工につながっている．

### 2-7　トンネル非常用施設[3)]

新東名高速道路におけるトンネル非常用施設を計画するにあたっては，大断面で高速走行という新東名の特殊性を考慮する必要があった．そのため，大断面トンネルの火災性状，避難環境確保のための排煙風速の確認，火勢抑制・延焼防止のための水噴霧設備の特性を把握するために清水第三トンネルでの火災実験評価とシミュレーション解析による総合的な避難環境評価[4)]を行い，大断面トンネルの火災発生時における蓄煙・蓄熱効果が確認でき，2車線トンネルと比較して非常時の安全性が検証できた．

これをもって新東名トンネルの非常用施設は水噴霧ヘッドなど断面が大きいことによる物理的対応以外は2車線トンネルの基本方針を踏襲することで安全性を担保することができた．





## 3　大断面トンネルの調査

トンネル調査の目的は，トンネルの計画・設計に必要な情報を得，また施工時に大きな変更が生じないよう行うもので，施工時においても適宜事前調査を実施する必要がある．大断面トンネルであっても2車線トンネルの調査と基本方針が変わるものではない．

ただし，新東名高速道路トンネルにあっては，TBM導坑を先進させることによって本坑掘削が効率的に施工することが可能となることがあり，そのTBM工法の導入判断のための調査やTBM工法を導入する場合のTBM設計のための調査，TBM施工時の調査，などが大断面トンネル特有の調査であり，ここが2車線トンネルの調査と大きく異なる点である(図-1)．

このようにTBM導坑先進拡幅掘削工法を検討する場合には，より綿密な調査が必要となるため，ここでは，これらTBMにかかわる調査について述べる．

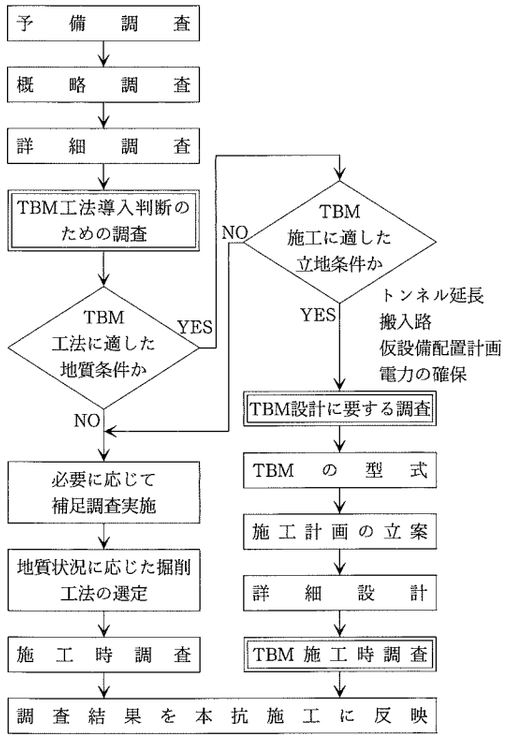



図-1　調査の流れ

### 3-1　TBM工法導入判断のための調査

TBM工法の導入を判断するにあたっては，工法の適否と施工効率に影響を及ぼす地質的要因を調査する必要がある．

工法の適否に影響を及ぼす地質的要因は，

① TBM本体が締めつけられ捕捉されるような変位を生じる膨張性地山
② 切羽前方での崩落が頻発し崩落区間が長くくり返すことでTBMの施工効率を著しく低下させる可能性のあるような破砕帯や未固結地山
③ 掘削ずりの取り込みが困難となりグリッパ反力がとれなくなるような湧水状態
④ カッタ貫入量が小さくなりTBM進行低下を招くような岩石強度
⑤ 掘削効率に大きく影響するような岩石の亀裂の状態
⑥ カッタの摩耗に大きく影響する石英含有量

などがある．

### 3-2　TBM設計のための調査

TBMの施工を対象として地質調査を行うにあたって留意すべき点として，過去にトラブルを引き起こした地山性状を十分把握しておく必要がある．

TBM本体を設計する際に，大きく影響を与える可能性があるため，とくに留意すべき地質調査項目としては，①一軸圧縮強度，②弾性波速度，③石英含有率，④岩脈および断層破砕帯，⑤湧水量・地下水位，⑥水質などである．そのほかに岩の種類，圧裂引張強度，ショア硬度，RQD，割れ目の間隔と方向などがTBM形式決定にあたって関連がある地質調査項目である．

### 3-3　施工時調査

大断面トンネルの施工では，切羽前方地山の状態把握がトンネルの安全かつ効率的な施工につながり，施工の成否を左右する重要なポイントとなる．TBMを用いるか否かで調査の目的と手法が若干異なるため，両方の場合について述べる．

（1）　TBMを用いない場合の施工時調査

大断面トンネルにおいては，断層破砕帯など不良地山が施工に与える影響がより大きいため，事前にその状況を把握するため切羽前方の探査が重要となる．切羽前方の探査方法は，

① 切羽前方10～100mの地山状態を坑内から探査する方法

② 切羽前方数mの地山状況を坑内から探査する方法

に大別される．

①は中・長距離探査であり地質境界面の位置や規模を把握して事前対策検討を行うための基礎資料とするもので，②は切羽近傍探査であり，切羽の状態や地山物性値を把握して適切な切羽安定対策工選定にあたっての有効な情報を得ることにある．

前方探査でもっとも有効な手法はボーリング調査である．高速掘進や長距離施工が可能なボーリングなどから，用途に応じて採用することとした．

また，探査技術だけではなく，この役目を果たすことのできる掘削工法にも着目した．上半中央部に導坑を10～20m先進させることで，施工状況や地山状況を把握して本坑掘削へすみやかに反映できる中央導坑先進拡幅掘削工法である．この工法は現地実証試験を行い，大断面トンネルの基本的な掘削工法のひとつに加えた．

（2）　TBMを用いる場合の施工時調査

TBMを用いる場合の施工時調査には導坑施工のための調査，導坑の支保選定のための調査，本坑支保選定のための調査に大別される．これらについて以下に概説する．

導坑施工のための調査は，導坑施工に影響を与える可能性のある不良地山の位置や程度を把握するための調査である．TBMの高速掘進を確保する観点から短時間で高い精度が得られる調査が求められる．ここでは，TSPやHSPなどの弾性波を用いた切羽前方探査が有効であるとした．

導坑の支保選定のための調査は，TBM施工データを支保へ反映するため短時間でのフィードバックが求められることから，主に坑壁の観測による地山データと機械データにより決定されることになる．

本坑支保選定のための調査として有効となる観察・計測結果は，地山観察，内空変位，天端沈下である．とくに，地質確認として坑壁スケッチ，崩落の程度，不連続面の状況，湧水状況，走向・傾斜などが有用なデータとなる．

## 4　ま　と　め

大断面トンネルを計画・調査するにあたって，さまざまな技術的課題が提起された．未知なる領域を克服するため，実験・現場試験施工・数値解析などの手法を活用して手順を踏んでそのひとつひとつを検証・解明していった．結果として，大断面であるからといってトンネル計画・調査の思想に大きな差はなく，2車線トンネルの延長線上にある技術での対応が可能であることがわかった．

これも，各技術者が与えられた持ち場で真剣に技術と向き合った結果であったと振り返る．

## 参　考　文　献


1) 東・中・西日本高速道路：設計要領第三集，(1)トンネル本体工建設編，第二東名・名神高速道路大断面トンネル，pp.1–21.

2) 日本道路公団静岡建設局：大断面トンネルの計画・設計・施工に関する技術レポート，第二東名・名神高速道路トンネル建設の記録，pp.2–8–2–10，2005.3.

3) 高速道路調査会：大断面トンネルの非常用施設技術に関する調査研究報告書，2003.2.

4) 竹國一也・下田哲史・横田昌弘：大断面トンネルの火災発生時における避難環境評価，高速道路と自動車，Vol.45，No.7，pp.66–69，2007.2.








# 大断面トンネルの設計・施工

中日本高速道路㈱名古屋支社敦賀工事事務所所長　川　北　眞　嗣

## 1　大断面トンネルの技術課題

新東名・名神高速道路は，当初3車線＋フルショルダー(左路肩3.25m，右路肩2.00m)で計画されたことから，掘削断面積が200m²に達する扁平大断面トンネルとなった．よってトンネルの安定性を確保するための合理的な断面形状と支保構造設計を行う必要が生じた．

また，大量のトンネルを効率的に掘削するための施工法についても検討の必要が生じた．

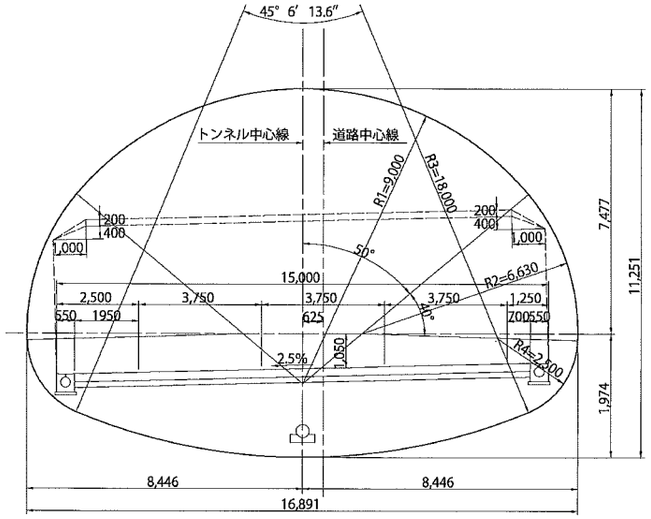



図-1　トンネル標準断面図(案)

## 2　トンネル内空断面の検討

トンネルの内空断面は，建築限界に加え換気設備，内装，監視員通路などの設備に要する必要空間を考慮して決定される．

断面決定のための諸数値については，東名改築6車線化など従来の施工実績の積み重ねから，新東名・名神大断面トンネルについても縦横比0.65程度(内空縦横比0.55程度)，上半真円率0.88程度でのトンネル施工は可能と判断した．また断面形状は，安定性と経済性のバランスの良い3芯円を採用することとした．

標準断面は，まず縦横比0.65以上の3芯円で，下半高さと，上半部半径$R_1$と下半部半径$R_2$の比である$R_2/R_1$を変化させた6種類の断面を設定し，これらの断面形状に対して変形法(フレーム解析)により，側圧係数0.5と1.0の場合について解析し，安全性に関する断面形状の順位づけを行った．その後フレーム解析で有利な2断面において，各掘削ステップでの安全性に関して照査するために，2次元FEM解析による検証を行った．

解析条件は，支保構造としては吹付けコンクリートとロックボルトを考慮し，掘削工法は上半ショートベンチ工法を想定した上下半2ステップで解析した．

これらの解析による検討結果と，過去の施工事例，経済性について総合的に評価し，最終的な新東名・名神トンネルの断面形状を決定した．

しかし，平成8年に，路肩幅員の大小による高

速走行性に対する影響や心理的影響，非常時の影響などに関する走行実態調査を含む種々の検討により，「高速度領域のトンネル路肩幅員は，左路肩2.5m以上，右路肩1.25m以上あれば，側方余裕と非常時および日常管理上必要な空間は確保されている」との結論が出された．それに伴いトンネル部の路肩幅員を，左側路肩を3.25mから2.5mに，右側路肩を2.00mから1.25mに変更することとなり，再度断面設計を行った．設計にあたっては，設計の考え方や縦横比などの諸元については当初の検討数値を継承して行い，標準断面(案)を決定した．

しかしこれらの検討は，過去の施工経験と数値解析を主体とした机上検討にとどまっており，数値解析からだけでは解明されない部分も数多く残されていた．

したがって，解析的検討を補完し，またそれらを検証する意味からも，新東名の清水第三トンネルと新名神の栗東トンネルで試験施工(新東名などの試験工事)を行い，妥当性の検証を行うこととした．

試験施工における検証結果はおおむね妥当な結果が得られたことから，その後のトンネルについてもこの標準断面を適用し工事に着手した．

## 3　トンネル支保構造の検討

### 3-1　従来の支保材料を用いた支保パターンの検討

新東名・名神トンネルの支保構造は，東名改築6車線化工事における3車線トンネルの実績にもとづいて地山分類ごとの支保パターン案を設定し，2次元FEM弾性逐次解析を用いた検討を加えて決定した．解析モデルおよび力学定数は，日本道路公団の2車線・3車線トンネルで多くの実績があるものを用いて行い，各地山等級ごとに支保パターン案をあてはめた場合の，内空変位・ゆるみ領域・支保部材(吹付けコンクリート，ロックボルト，鋼アーチ支保工)に生じる応力の分布を求め，以下の3方法によって解析結果の評価を行った．

① 有限要素法解析結果と，日本道路公団における施工時の変状と対策工の実績を含むデータベースから，標準設計の範囲内にとどまると解釈される解析値の範囲を想定し，それを大断面用に変換した評価基準にあてはめる方法

② 土屋による模型実験などにもとづいて設定された許容値による評価[1)]

表-1　新東名・名神トンネル標準支保パターン(案)〔従来の支保材料〕

| 地山等級 | 支保パターン | 標準1掘進長(m) | ロックボルト 長さ(m) | ロックボルト 耐力(kN) | ロックボルト 周方向(m)[m²/本] | ロックボルト 1間あたり本数(本) | 吹付けコンクリート(18N/mm²) 厚さ(cm) | 鋼アーチ支保工(SS400) 上半サイズ | 鋼アーチ支保工(SS400) 下半サイズ | 覆工厚(cm)(18N/mm²) アーチ・側壁 | 覆工厚(cm)(18N/mm²) インバート | 変形余裕(cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 上半先進工法・TBM導坑先進拡幅掘削工法 | | | | | | | | | | | | |
| B | B | 2.0 | 4.0 | 170 | 1.1 [2.2] | 上半23 下半 4 | 15 | H-150 | — | 50 | 50 | 0 |
| CⅠ | CⅠ | 1.5 | 6.0 | 170 | 1.2 [1.8] | 上半19 下半 6 | 20 | H-200 | H-200 | 50 | 50 | 0 |
| CⅡ | CⅡ | 1.2 | 6.0 | 170 | 1.0 [1.2] | 上半22 下半 8 | 25 | H-200 | H-200 | 50 | 50 | 0 |
| DⅠ | DⅠ | 1.0 | 6.0 FP6.0 | 170 FP170 | 1.0 [1.0] FP0.6 | 上半22 下半 8 | 30 | H-200 | H-200 | 60※1 | 80 | 0 |
| | DⅡ | 個別に設計 | | | | | | | | | | |
| | DⅢ | 坑口部の設計 | | | | | | | | | | |

※1：DⅠパターンの覆工内鉄筋については，単鉄筋を標準とする．
※2：金網の設置範囲はBで上半部，CⅠ以降は上，下半部とする．





③ 桜井によって提唱された限界ひずみによる評価[2)]

以上の評価を加え，新東名・名神トンネル標準支保パターン(案)を設定した．

また覆工については，標準設計の範囲内では一次支保で地山の安定を確保するものとするが，経験のない扁平大断面トンネルであり，長期安定性を確保するうえから，二次覆工の力学的安定性についても検討を行った．覆工に作用する荷重は確定した設計法がないため，①有限要素法解析結果のゆるみ領域に相当する土荷重に対して，許容応力度による検討を行い，②昭和39年の土木学会標準示方書[3)]に示されている荷重高さに相当する土荷重に対して，軸力による極限耐力で検討を行った．これらの検討結果を踏まえ，覆工厚さを決定した．

### 3-2　高規格材を用いた標準支保パターンの検討

従前と同じ仕様の材料の使用を前提としたこの標準支保パターン(案)では，例えばDⅠ地質における吹付けコンクリート厚は30cmにもなり，扁平断面の天端部での付着性能や，サイクルタイムの約20%を占める吹付け時間の増大による掘削進行の低下などの問題が懸念された．また，ロックボルトについても長尺化し本数も多くなることによるサイクルタイムの増大が，鋼アーチ支保工についてもスパン長の増大やサイズアップにより，施工性の低下が必至となった．

覆工についても，従前の設計基準強度18N/mm²のコンクリートを用いたこの設計では，覆工厚が地山等級D地質で60cm，インバート厚が80cmにもなり，打設量の増大に伴う施工サイクルの増，品質不良への懸念，支保部材厚の増大に伴う掘削断面拡大などの問題が提起された．

これらの問題を解決するために，以下のような規格の高い支保材料の検討・開発・試験施工を行い，問題解決とコスト縮減を行っていくこととなった．

① 扁平大断面の崩落対策として早期強度が高く，曲げ・引張りに対して抵抗力を有するとともに，薄肉化が可能な高強度吹付けコンクリート

② 高耐力ロックボルト

③ 高規格鋼アーチ支保工

④ 覆工コンクリートの高強度化

吹付けコンクリートについては，従来の設計基準強度を18N/mm²から36N/mm²にアップさせ，同時に初期強度も高めることとし，室内試験および2車線トンネルでの試験施工において強度特性・施工性などの確認を行った後，新東名などの試験工事において確認検証を行った．また曲げ・引張りに対する対抗力を高めるために繊維補強コンクリートを導入することとし，各種材料を用いた室内試験を行い，最適混入率および強度特性についての知見を得た後，新東名などの試験工事により検証を行った．

ロックボルトについては，従来の耐力170kNに加えて耐力290kNのボルトを，鋼アーチ支保工については引張強さ590N/mm²の高強度材料を用い，新東名などの試験工事で検証を行った．

覆工コンクリートについては，従来の設計基準強度を18N/mm²から30N/mm²に高強度化することとし，室内試験行った後，新東名などの試験工事により検証を行った．

これらの検討・開発・試験施工の結果(詳細は次章の新技術・新工法に記載)，支保部材の高強度化・高耐力化が図られ，平成11年7月に新東名・名神高速道路トンネル設計指針(案)が示され，さらにその後の現地施工により得られた知見をもとに，平成13年1月に設計要領が制定された．**表-2**に設計要領で定められた標準支保パターンを示す．

## 4　掘削工法の検討

新東名・名神の大断面トンネルの掘削工法の検討時，それまでに施工された掘削断面積130～140 m²クラスの3車線トンネルで適用された施工法は，**図-2**のような工法が選定されていた．

この中では上半先進工法がもっとも多く，大部分の地山条件で採用されていた．また，地耐力が不足する坑口部では側壁導坑先進工法が，切羽の

表-2　新東名・名神トンネル標準支保パターン〔H13日本道路公団設計要領〕

| 地山等級 | 支保パターン | 標準1掘進長(m) | ロックボルト 長さ(m) | ロックボルト 耐力(kN) | ロックボルト 周方向(m)[m²/本] | ロックボルト 延長方向(m) | 吹付けコンクリート(高強度) 厚さ(cm) | 鋼アーチ支保工 上半サイズ | 鋼アーチ支保工 下半サイズ | 覆工厚(cm) アーチ・側壁 | 覆工厚(cm) インバート | 変形余裕(cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 上半先進工法 | | | | | | | | | | | | |
| B | B | 2.0 | 上半4.0 下半4.0 | 上半170※1 下半170 | 2.0 [3.8] | 2.0 | 10 (上半のみ繊維補強) | — | — | 40 | — | 0 |
| CⅠ | CⅠ | 1.5 | 上半6.0 下半4.0 | 上半290※2 下半170 | 2.0 [2.9] | 1.5 | 15 | HH-154※3 | — | 40 | 55 | 0 |
| CⅡ | CⅡ | 1.2 | 上半6.0 下半4.0 | 上半290※2 下半170 | 1.6 [1.8] | 1.2 | 15 | HH-154※3 | HH-154※3 | 40 | 55 | 0 |
| DⅠ | DⅠ | 1.0 | 上半6.0 下半6.0 | 上半290※2 下半170 | 1.5 [1.4] | 1.0 | 20 | HH-154※3 | HH-154※3 | 50※4 | 70 | 0 |
| | DⅡ | 個別に設計 | | | | | | | | | | |
| | DⅢ | 坑口部の設計 | | | | | | | | | | |
| TBM導坑先進拡幅掘削工法 | | | | | | | | | | | | |
| B | B | 2.5 | 上半4.0 下半4.0 | 上半170※1 下半170 | 3.0※5 [3.8] | 2.0※5 (1.25) | 10 (上半のみ繊維補強) | — | — | 40 | — | 0 |
| CⅠ※6 | CⅠ-a | 2.0 | 上半4.0 下半4.0 | 上半170※1 下半170 | 1.5 [2.9] | 2.0 | 15 (上半のみ繊維補強) | — | — | 40 | 55 | 0 |
| | CⅠ-b | 2.0 | 上半6.0 下半4.0 | 上半290※2 下半170 | 1.5 [2.9] | 2.0 | 15 (上半のみ繊維補強) | — | — | 40 | 55 | 0 |
| CⅡ | CⅡ | 1.5 | 上半6.0 下半4.0 | 上半290※2 下半170 | 1.2 [1.8] | 1.5 | 15 | HH-154※3 | HH-154※3 | 40 | 55 | 0 |
| DⅠ | DⅠ | 1.2 | 上半6.0 下半6.0 | 上半290※2 下半170 | 1.2 [1.4] | 1.2 | 20 | HH-154※3 | HH-154※3 | 50※4 | 70 | 0 |
| | DⅡ | 個別に設計 | | | | | | | | | | |
| | DⅢ | 坑口部の設計 | | | | | | | | | | |

※1：ロックボルトの充填材は早強モルタルを採用する．
※2：ロックボルトの設計耐力は，上半断面では290KNを採用しているが，計測結果により耐力的に問題無いと判断される場合は，170 kNにすることができる．
※3：高規格鋼アーチ支保工．　※4：DⅠパターンの覆工内鉄筋については，単鉄筋を標準とする．　※5：千鳥配置とする．
※6：当初設計に採用する支保パターンは，CⅠ-bを基本とし，施工の段階で図6, 10, 5. の条件を満たせば，支保パターンCⅠ-aを修正設計で採用できるものとする．

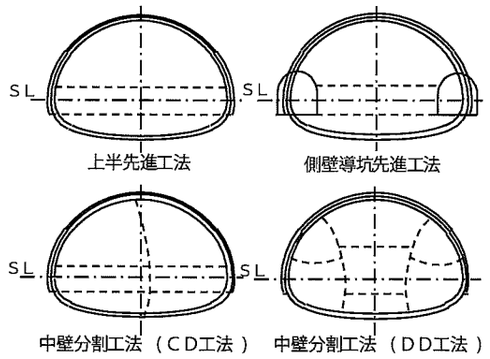


図-2　当初考えられた大断面道路トンネルの掘削工法

安定が悪い地山条件では中壁分割工法が用いられていた．

新東名・名神の大断面トンネルへの標準的な適用を考えた場合，施工するトンネル総延長が非常に大きいことから，工期短縮と工費縮減のために施工性が重要な検討テーマとなった．施工性を高めるために，できるだけ大型の施工機械を使用するとともに，加背割りもできるだけシンプルにする検討が加えられ，新東名で先行して施工される試験工事で確認を行い，平成13年1月に制定された設計要領では図-3に示すような掘削工法選定フローがまとめられた．





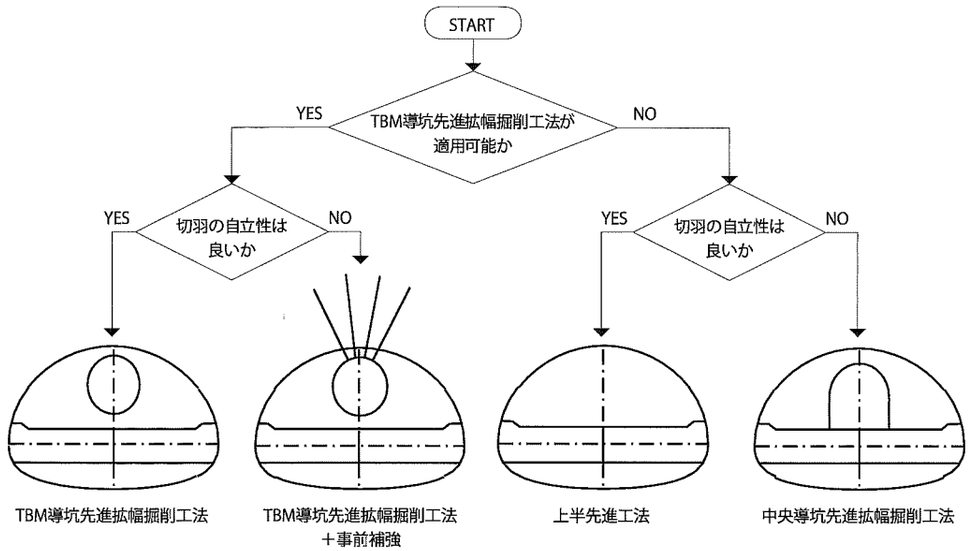


図-3　掘削工法選定フロー

ここでは，比較的延長が短いトンネルでは，切羽の自立が確保される比較的良好な地山では上半先進工法を，切羽の安定性が懸念されるような地山条件では，中央導坑先進拡幅掘削工法を基本工法とした．また，それまでになかった新しい工法として，比較的延長の長いトンネルにおいては，TBM導坑先進拡幅掘削工法を導入することとなった．この工法は大断面トンネルの断面内にあらかじめTBMを用いて導坑を貫通させておき，地質状況の把握，切羽安定効果(水抜き，ケーブルボルトを用いた事前補強)，施工効率向上(1掘進長増，芯抜き効果)や切拡げ工事中の導坑を利用した換気など，多目的に活用することにより効率的かつ安全に拡幅掘削を行おうとするものである．図-4に同工法の概念図を示す．

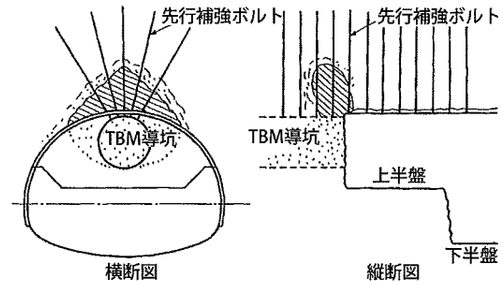


図-4　TBM導坑先進工法概念図

この工法の導入にあたっては，まず湯田第二トンネルにおいて2車線断面でφ3.5mのTBMを先行させる試験施工を行い，工法の優位性を確認し，次に新東名・名神の清水第三トンネルおよび栗東トンネルにおける試験工事により，拡幅掘削の1発破進行長の増などの実証確認を行った．

またこの工法で用いられた新しい取組みとして，TBM導坑からケーブルボルトを使用した事前補強がある．ケーブルボルトについては，当時は日本のトンネル工事で採用された実績がなかったことから，TBM導坑と断面の大きさが類似している磐越自動車道龍ヶ嶽トンネルの避難坑において施工性および品質についての基礎試験を行った後，清水第三トンネルの試験工事で検証して標準化された．

## 参考文献

1) 土屋敬：ロックボルト・吹付けコンクリートトンネル工法に関する研究，京都大学博士論文，1986.5.
2) 桜井春輔：トンネル掘削によるゆるみ領域(その評価と制御について)，トンネル技術講習会テキスト，土木工学社，pp.63-71，1983.
3) 土木学会：トンネル標準示法書解説，pp.52-53，1964.

# 土木情報 No.467 今月の主な入札結果

（3月10日～4月9日）

| 事業主体 | 工事名 | 請負会社 | 請負額 単位 百万円 |
|---|---|---|---|
| 沖縄総合事務局 | H23中山T | 國場組 | 543.8 |
| 北陸農政 | 庄川左岸農地防災事業荒又排水路(下老子工区)その3 | 真柄建設 | 147.3 |
| 東北地整 | 東北横断自動車道二郷山T | 鴻池組 | 865.5 |
| 関東地整 | H23打越地区流路工(R-8)他 | 美才治・エヌピー・清水JV | 185 |
| 〃 | 圏央道成田成井地区改良その1 | 岩倉建設 | 231.8 |
| 近畿地整 | 近畿自動車道紀勢線平地区函渠他 | 田中組 | 248 |
| 水資源機構 | 大規模地震対策東部幹線水路岩崎サイホン外改築 | あおみ建設 | 990 |
| 鉄道・運輸機構 | 九州新幹線(西九州)，第1本明T外1個所他 | 西松・若築・黒瀬JV | 3,065 |
| 日本下水道事業団 | 木更津市木更津下水処理場建設その5 | 真柄・シバサキJV | 282.7 |
| 中日本高速道路 | 中部横断自動車道宮狩T | 清水・岩田地崎JV | 6,460 |
| 西日本高速道路 | 新名神高速道路箕面T東 | 大成建設 | 9,685 |
| 栃木県 | R400下塩原第2T(仮称)本体建設 | 飛島・天野・岩澤JV | 2,416.78 |
| 群馬県 | 利根川上流(県央処理区)玉村北幹線地域自主戦略交付金事業(下水)管渠築造(玉村北幹線第1-S-3B工区) | 佐田建設 | 421 |
| 千葉県 | 江戸川左岸流域下水道管渠築造(市川幹線303-1工区) | 市原組 | 266.99 |
| 〃 | 社会資本総合交付金(住宅街路)(吾妻・水路移設工) | 大豊建設 | 285.7 |
| 都・水道局 | 東村山市青葉町一丁目地内から新座市新堀二丁目地先間原水連絡管(2000㎜)用立坑築造 | 飛島建設 | 481.87 |
| 都・下水道局 | 勝どきポンプ所放流渠吐口建設その2 | ハザマ・大豊・安藤JV | 315 |
| 〃 | 荒川区南千住二丁目，台東区三ノ輪二丁目付近再構築 | 石川徳建設 | 363 |
| 〃 | 〃 西日暮里一丁目，東尾久三丁目付近再構築 | オリエンタル白石 | 877 |
| 〃 | 新宿区市谷薬王寺町，弁天町付近再構築 | 東急建設 | 595.52 |
| 新潟県 | R352萱峠バイパス竹之高地T・奥ノ院T覆工・坑門 | 加賀田組 | 205.8 |
| 熊本県 | R389活力創出基盤交付金(下田南1号T) | 佐藤・松下JV | 348 |
| 宇都宮市 | 合流改善貯留施設築造第2工区 | 増渕・渡辺JV | 212.5 |
| さいたま市 | 南部第10処理分区下水道(南建-23-37) | 荒木建設工業 | 130 |
| 〃 | 日進櫛引第6排水区下水道(北建-23-45) | 三ツ和総合建設業協組 | 103.64 |
| 千葉市 | 下水道排水施設(小仲台23-1工区) | 森川・市原JV | 278 |
| 江戸川区 | 平井駅南口広場地下機械式自転車駐車場整備(その2)セグメント製造 | JFE建材 | 112.81 |
| 横浜市 | 栄処理区金井雨水調整池築造 | 宮本・土志田・親和JV | 1,400 |
| 〃 | 南部処理区大岡川右岸雨水幹線下水道整備(その2) | 鹿島・五洋・松尾JV | 1,400 |
| 名古屋市 | 堀川左岸雨水調整池流入管下水道築造 | 淺沼・ピーエス三菱・二友JV | 643.25 |
| 〃 | 第4次中村西部雨水幹線流入管下水道築造 | 名工建設 | 130.14 |
| 〃 | 道徳雨水幹線下水道築造 | 熊谷・西武・二友JV | 693.21 |
| 四日市市 | 東町・吉崎南雨水幹線管渠布設 | 熊谷・徳倉・高砂・横内JV | 2,018.44 |
| 京都市 | 田中3号分流幹線(その1)公下 | 古瀬・益田・太田JV | 823.2 |
| 奈良市 | 道路トンネル新設(奈良阪町地内他・仮称奈良阪川上線) | 戸田・中西・森高JV | 798 |
| 北九州市 | 平野川4号雨水幹線管渠築造 | 奥村・九鉄JV | 952.53 |








## 1 大断面トンネルの新技術

新東名・名神トンネルの新技術としては新規支保部材の開発が挙げられる．従来の仕様の支保材料を使用した場合は，これまでにない支保規模の施工量となることから，施工性の悪化やサイクルタイムの増加による施工速度の低下，品質確保の問題などさまざま課題があると考えられた．これらの課題を解決するために，新たな仕様の支保材料を用い，安定性，施工性，経済性に優れた支保パターンとする必要があり，新東名・名神トンネルでは新たな仕様の支保材料の開発・採用が積極的に行われた．

### 1-1 高強度吹付けコンクリート[1)]

#### 1-1-1 高強度吹付けコンクリートの開発[2)~6)]

新東名・名神の大断面トンネルで使用される吹付けコンクリートは，従来型の吹付けコンクリートでは部材が厚くなるため施工数量が非常に多くなり，施工性や品質確保が重要な課題となる．そこで，吹付けコンクリートの強度を大きくして設計厚さを薄くし，施工サイクルの短縮や施工性向上を図る検討を実施した．

高強度吹付けコンクリートの開発は，室内試験と基礎的な配合比較試験を東名高速道路日本坂トンネル(改築)工事など4トンネル工事で実施した．これら試験結果より，実施工が可能である配合を抽出し，これら配合のうち，強度増加に伴って設計厚さが低減できるという考え方に立った経済性で比較することにより，高強度吹付けコンクリートとしての最適配合を検討した．

吹付けコンクリートの必要厚さについて相対的に比較するために，吹付けコンクリート支保構造の軸剛性は(弾性係数×断面積)が一定であるべきという仮定に立って検討した．これは，強度は大きくすれば弾性係数が大きくなり，これに反比例して断面積($A$)，すなわち設計厚さ($t$)が低減できるという仮定である．この仮定は，トンネル周辺の地山が均一な場合でトンネル掘削による内空変位を一定に保って施工する場合などにあてはまると考えられる．ここで，弾性係数($E$)は圧縮強度($\sigma$)の平方根に比例して大きくなるとすると，$\sqrt{\sigma} \times t$＝一定となる．以上の仮定に立ち，経済性について検討を行った結果，混和剤を添加せずにCSA系急結剤(カルシウムサルフォアルミネート)を使用した配合がもっとも優れていることが判明した．

また，高強度吹付けコンクリートの要求強度は，本配合吹付けコンクリートが余裕(割増係数1.4以上)を持って得られる強度として，表-1に示すように，材齢3時間強度で2 N/㎟，材齢24時間強度で10N/㎟，材齢28日強度で36N/㎟(従来の2

表-1 吹付けコンクリートの強度比較[12)]

| 種別 | 材齢3時間強度 | 材齢1日強度 | 材齢28日強度 |
|---|---|---|---|
| 高強度吹付けコンクリート | 2 N/㎟ | 10N/㎟ | 36N/㎟ |
| 従来吹付けコンクリート | — | 5 N/㎟ | 18N/㎟ |

注)材齢3時間強度では平均2 N/㎟を確保するものとする．

倍)と定めた．これにより，吹付け厚さを，Bパターンで$t$＝15cm→10cm，CⅠパターンで$t$＝20cm→15cm，CⅡパターンで$t$＝25cm→15cm，DⅠパターンで$t$＝30cm→20cmと従来型に比べ薄肉化することができた．

その後，高強度吹付けコンクリート実用化のために，2車線トンネルでは跳ね返り，粉じん，強度発現の把握を目的とし，磐越自動車道鞍手山トンネル工事，3車線トンネルでは従来型吹付けコンクリートに比べて設計厚を薄くして施工した場合の構造安全上および施工上の問題の有無について，計測と観察による検討を清水第三トンネル工事で連続施工試験を実施して仕様を定めた．

### 1-1-2　空気圧式ピン貫入試験の実用化[7]

新東名・名神トンネルで採用された高強度吹付けコンクリートは，吹付け面における初期の強度発現特性が従来にも増して重要視される．しかし，強度確認のために従来から行われてきたプルアウト試験では，

① 供試体による管理では，実際に吹付けられたコンクリート強度を保証できないこと
② 試験材齢が1日であり，トンネル掘削のサイクルタイムや早期の支保機能を考慮した管理ではないこと
③ 急結剤の添加量に起因する吹付け箇所による強度発現の不均一性を把握できる管理方法でないこと

などの問題点があり，これら問題点を解決する方策として，図-1に示す空気圧ピン貫入試験法を開発し適用することとなった．本試験を採用することにより，原位置での試験を簡易に実施することができ，地山に吹付けられたコンクリートの強度を把握することが可能になった．

### 1-1-3　低粉じん吹付けコンクリートの標準適用[8]

平成12年12月に旧労働省より「ずい道など建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」が公示され，その中で具体的な粉じん濃度目標値「3 mg/m³(中小断面を除く)」が公示されたのを機に，従来以上に坑内粉じんの低減に取り組むことが必要となった．

その後，平成14年に建設業労働災害防止協会により『ずい道など建設工事における換気技術指針』が改定され，吹付けコンクリート施工に対する換気計算において「粉じん発生低減対策による低減効果係数$\alpha$」が導入された．

これによると，粉じん低減に対して粉じん抑制剤の使用などの特別な発生源対策を行わない場合は$\alpha$＝1となり，これまでよりも大きな換気量を求められることとなった．そのため，粉じん低減を目的としたスラリー急結剤，液体急結剤の開発や圧縮空気をほとんど使用しない遠心力式吹付け機の開発など，吹付けコンクリートの低粉じんを目的とした新しい技術が開発された．新東名・名神トンネルの吹付けコンクリートは高強度であるため配合的に単位セメント量が多く，従来の粉じん低減剤の使用と比較してコスト的に新しい低粉じん技術の導入が早期に実現可能な状態にあった．そのため，新東名静岡第三トンネル工事，静岡第六トンネル工事および高知自動車道一之瀬第一トンネル(二期線)工事での試験施工などの結果から，『トンネル吹付けコンクリート設計・施工指針(案)本体工・第二東名・名神編 平成16年6月』の制定により新規開発の低粉じん吹付けコンクリートに対応した仕様を定めた．



| | |
|---|---|
| 寸　法 | 400㎜(H)×85㎜(W)×300㎜(L) |
| 重　量 | 2.9kg |
| 使用空気圧 | 1.47～2.45MPa(15～25kgf/cm2) |
| 安全装置 | メカニカル方式，トリガロック，リリーフバルブ |

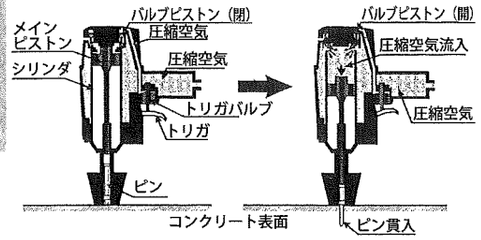



図-1　空気圧式ピン貫入試験概要[13]





## 1-2　高耐力ロックボルト[1]

新東名・名神トンネルに使用するロックボルトは，従来型ロックボルトでは，大断面のため1断面あたりの打設本数が多く，かつボルト長さが6.0mと長いことから，施工性や品質確保が重要な課題となる．そのため一般的に使用されているボルトより高い耐力を有する材料を用いて，ボルト打設間隔を広げ，打設本数を低減し，施工サイクルの短縮や施工性向上を図る検討を実施した．

高耐力ロックボルトの開発は，試験施工を清水第三トンネル工事で高耐力ロックボルトや短尺(4 m)ロックボルトの適用検討を実施した．また，充填材についても早期強度が発現する材料を使用することにより，初期の緩み荷重の抑制を図る目的として，同じく清水第三トンネル工事において切土途中の仮設のり面を使用し，ロックボルトの定着方式や使用材料の選定試験を実施した．

これら，試験施工と室内試験の結果より，耐力が従来の170kNのものから290kNの高耐力ロックボルトの適用を基本として，CⅠパターンで，当初$L$＝6 m，耐力170kN，25本を，上半$L$＝6 m，耐力290kN，12本，下半$L$＝4 m，耐力170kN，4本に削減したパターンの採用など，各パターンにおいて打設本数の低減や短尺化を実施した．充填材については，早期に強度の発現が有効と考えられるBパターンについては早強モルタルを使用することを標準と定めた．

また，TBM導坑先進拡幅掘削工法のBパターンのロックボルトは，従来の直列配置の場合，トンネル軸方向ピッチが長くなり，岩塊の抜け落ちの可能性が高くなることから，1本あたりが受け持つ地山面積を考慮することとし，ロックボルトを図-2に示すように千鳥配置を標準とした．

## 1-3　高規格鋼アーチ支保工[1),9)]

従来の2車線断面規模のトンネルで鋼アーチ支保工の主な機能として挙げられるものは，早期支保機能，断面安定化機能，先受け支点機能の3点である．これらの機能を踏まえ，大断面トンネルにおいては，従来の2車線断面トンネルに比較して掘削幅がほぼ倍，高さが約1.5倍の扁平大断面となることから，1次支保として用いられる鋼アーチ支保工に作用する軸力，曲げモーメントなどの発生断面力が大きくなるとともに，扁平に起因する応力集中が生じる可能性が大きくなる．このため，従来型の鋼アーチ支保工では大型化が必要となり，この重量増加に伴って，建込み時間の増加，掘削断面積の増加などが生じトンネル掘削速度にも影響を与えることとなる．

このことから従来型の鋼アーチ支保工と比較して，高い耐力を有する鋼材を用いて，軽量化や，1次支保を薄肉化して，施工性の向上を図った．高規格鋼アーチ支保工の適用は，材料特性，FEM解析，曲げ耐荷力試験などの性能評価検討および清水第三トンネルでの試験施工を経て，新東名・名神トン

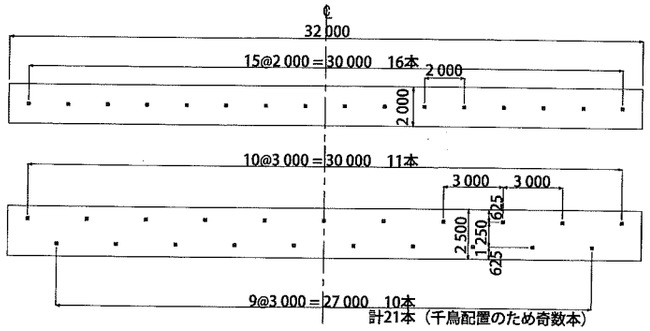



図-2　ロックボルト配置図[12]

表-2　高規格鋼アーチ支保工の材料仕様[12]

| | 降伏点 (N/㎟) | 引張り強さ (N/㎟) | 破断伸び (%) | 引張り試験片 | 炭素当量 $C_{eq}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 高規格鋼(HH - ○○) | ≧440 | ≧590 | ≧17 | 1A号 | ≦0.47 |
| 従 来 鋼(NH - ○○) | ≧245 | 400～510 | ≧17 | 1A号 | |

・高規格鋼は，従来鋼(SS400)の伸び率を同一にしたもので，JISで規定されているSS540の仕様をもとに引張り強さ590N/㎟以上にし，冷間加工後の破断伸び率を17%以上になるように設定したもの．
・高規格鋼の破断伸び率は，ひずみ時効後も，17%以上とする．ひずみ時効とは，鋼材に予ひずみを付加し，250℃の油槽に1時間浸漬して時効処理(促進試験)を行った後に起きる延性・靭性の値を求める方法である．
・従来鋼の記号はJISの標記に従いSS400と種別する．また，寸法表示として高規格鋼をHH，従来鋼をNHとする．

ネルにおいては標準とした．

新東名・名神トンネルに用いる鋼アーチ支保工の高規格鋼の仕様を**表-2**に示す．

鋼材を高強度化すると，破断時の伸び率が低くなる傾向にあるが，鋼アーチ支保工の機能を考慮すると破断時の伸び率が低い場合，支保構造の急激な変形および破壊を招く可能性があることが考えられるため，新東名・名神の高規格は，従来鋼(SS400)の伸び率と同一にし，JISで規定されているSS540の仕様をもとに引張り強さを590N/㎟以上にし，冷間加工後の破断伸び率を17%以上になるように設定した．採用寸法については，新東名・名神トンネルにおいて高規格鋼を計画する場合は，従来鋼と比較しその性能と特性を満足し，かつ経済的な寸法となる，**表-3**のような従来鋼の寸法から2ランク程度小さくしたもので対応することとした．また，高規格鋼の採用にあたり，ポイントとなる伸び率の確認のために，新たに「高規格鋼アーチ支保工材料のひずみ時効試験」を定めた．

**表-3　従来鋼と高規格鋼対応表[12]**

| 従来鋼 | 高規格鋼 |
|---|---|
| NH-250×250× 9 ×14 | HH-200×201× 9 ×12 |
| NH-200×200× 8 ×12 | HH-154×151× 8 ×12 |
| NH-150×150× 7 ×10 | HH-123×125×6.5× 8 |
| NH-125×125×6.5× 9 | HH-100×100× 6 × 8 |
| NH-100×100× 6 × 8 | — |

## 1-4　高強度覆工コンクリート[1),10)]

新東名・名神の大断面トンネルの覆工仕様を検討するにあたり，覆工の設置目的とその機能について再整理を行い，**表-4**に示す設置目的を有することを基本とした．

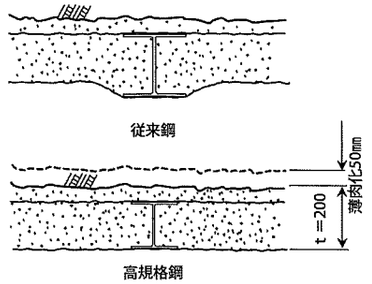



**図-3　CⅡパターンにおける比較図[12)]**

**表-4　覆工の機能[12)]**

| 覆工の機能 | | 概　要 | 備　考 |
|---|---|---|---|
| 供用性に関する機能 | 内空断面の保持機能 | 道路として必要な内空断面を確保する． | |
| | 防水機能 | 高い防水性を確保するすることで，漏水落下による視野障害，路面の摩擦抵抗の急激な変化，寒冷地におけるつらら・給水・路面凍結・側壁の汚れによる快適性の低下，坑内諸設備の絶縁不良・腐食などを予防する． | |
| | 耐火機能 | 火災中の高温による地山や支保の著しい損傷を防ぎ，トンネル崩壊を起こさない．また，火災鎮火後にわずかな補修補強によって再使用できる． | |
| | 保守管理機能 | 覆工表面を目視観察しやすく保つことで，供用中のトンネル変状の兆候を早期に発見する． | |
| | 内装機能 | 覆工面を清掃し側壁の輝度を高く保つことで，前方の障害物の視認性向上，心理的圧迫感の軽減を図る．また，換気においては，通気抵抗を小さく抑え効率を上げる． | |
| | トンネル内施設の保持機能 | 照明・換気・非常用など諸設備，およびこれらを機能させるための電力・信号ケーブル類の取り付け性を確保する． | |
| 不確定要素に関する機能 | 余力保持機能 | 支保品質の不均一性や経時変化，地山の経時劣化や緩み，あるいは異常降雨に起因する水圧の上昇など将来の不確定な理由により覆工に追加する荷重が作用することを想定して，想定荷重に耐えうる余力を保持する． | |
| | 形状保持機能 | 破壊に至るまでの形状の保持機能が高く覆工構造の崩壊が一気に進展しない． | |
| 力学的な機能 | 付加外力の支持機能 | 覆工施工後の水圧の回復，切盛土・双設トンネル・近接施工などのあらかじめ確定している理由により土圧が変化し，付加外力が作用する場合に，これを支持する． | 都市トンネルや土かぶりの小さい土砂トンネル(特殊地山) |
| | 支保工の補完機能 | トンネルの変形が収束しない状態で覆工を施工し，支保工に追加してトンネルの安定に必要な拘束力を与える． | 膨張性地山など変位や荷重の大きい地山(特殊地山) |







### 1-4-1　高強度覆工コンクリートの材料

大断面トンネルの覆工に用いる材料としては，2車線トンネルと同じく現場打ちのコンクリートを用い，無筋構造を基本とするが，安全上あるいは構造上許される範囲で設計厚さの薄肉化を行い，材料費の削減およびトンネル掘削断面積の減少に伴う，施工の効率化を図る検討を実施した．高強度覆工コンクリートの開発は，模擬型枠を用いたコンクリートの打設試験および清水第三トンネル工事，静岡第二トンネル工事における試験施工を実施し，大断面トンネルの覆工コンクリートは**表-5**に示すように，設計基準強度を従来の18N/㎟から30N/㎟とすることを標準とした．また，2車線トンネルでは，覆工に偏土圧が作用し曲げモーメントが生じる恐れがあるとして，坑口部を単鉄筋で補強した構造としているが，新東名・名神トンネルでは扁平大断面であることを考慮し，DI区間の覆工については単鉄筋で補強した構造として，それ以上に地質が悪いと判断され場合や坑口部については，複鉄筋を用いることとした．

### 1-4-2　覆工断面の設計

現在のところ覆工の厚さを決定する統一的な設計法はいまだ確立されていないが，大断面トンネルにおける設計に対する基本的な考え方として，2車線トンネルと同等程度の余力保持機能を付加する場合を考えることとした．これは，NATMで施工された現行2車線トンネルの変状事例を調査すると，膨張性地山などの特殊な地山に変状が生じており，一般的な地山においては見られず，また変状が生じた場合でもトンネルの崩壊に至っていないことから，現行2車線断面での覆工設計は，余力保持機能として妥当な設計を行っていると考えられるからである．余力機能の算定は現行2車線トンネルの覆工(設計基準強度18N/㎟，$t$=30cm)が有している限界荷重を試算し，この解析により得られて発生断面力を$M$-$N$曲線上にプロットし限界状態における断面照査を行うこととした．

この解析結果より，限界荷重はDⅠ地山で約150kN/㎡，DⅡ地山で約100kN/㎡と判断された．この結果を受けて，新東名・名神トンネル断面の解析を行うにあたり，鉛直荷重については，掘削断面積比率や扁平率を考慮して現行2車線パターン(DⅡパターン，側圧係数0.5)の2倍の200kN/

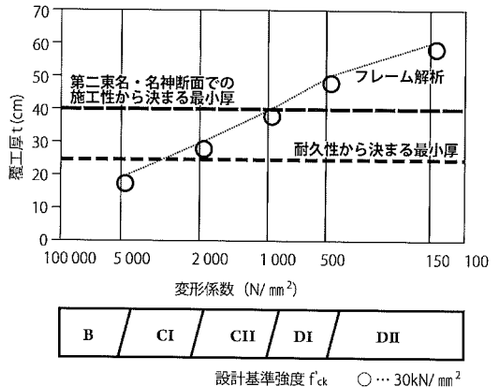



**図-4　各検討結果から求まる必要覆工厚[10)]**

**表-5　覆工用コンクリートの種類[12)]**

| コンクリートの種別 | 使用区分 | 使用構造物 | 材令28日における圧縮強度(N/㎟) | 粗骨材の最大寸法(㎜) | スランプ(cm)注1),注2) | 空気量(%)注1),注3) | セメントの種類 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $T_{1\text{-}2}$ | トンネルの覆工コンクリートに使用するもの | トンネルのアーチおよび側壁(コンクリートポンプによる打設) | 30 | 25，20 | 15 | 4.5 | 普通ポルトランドセメント |
| $C_{2\text{-}2}$ | トンネルのインバートコンクリートに使用するもの | トンネルのインバート | 30 | 40 | 8 | 4.5 | 普通ポルトランドセメント<br>高炉セメントB種 |

注1)コンクリートの打込み箇所における値である．打込み箇所とはコンクリートを打込んだ直後締め固めの箇所をいう．
注2)スランプの許容差は，8cmおよび15cm以上の場合は±2.5cmとする．
注3)空気量の許容差は，±1.5%とする．

m²とした．このような条件のもと2車線トンネルの設計耐力と同様のフレーム解析で新東名・名神トンネルに発生する断面力を算定し，検討を行った．また，二次元FEM解析による解析，支保内圧相当を作用させたフレーム解析も合わせて実施し，これら数値解析結果と従来の施工実績にもとづく品質や施工性，コストなどから，**図-4**に示すように，設計基準強度30N/㎟でB，CⅠ，CⅡ，区間では$t$＝40cm，DⅠ区間では$t$＝50cmを標準とした．

### 1-4-3　覆工コンクリートの単鉄筋補強から非鋼繊維補強への変更[1)]

新東名・名神トンネルは地山等級Bを除き，覆工コンクリートの剝離・剝落防止を目的に非鋼製繊維補強材料(0.3VOL%)の適用が基本となっている．また，地山等級Dのうちの DⅠ区間には内空側に単鉄筋，DⅢ区間では複鉄筋の補強が基本としている．

しかし，補強鉄筋の具体的な設計に関する規定がないため，単鉄筋コンクリートおよび繊維補強コンクリートについてその耐荷力を検証することにより，単鉄筋で補強されたDⅠ区間における覆工コンクリートの無筋化についての検討を行った．

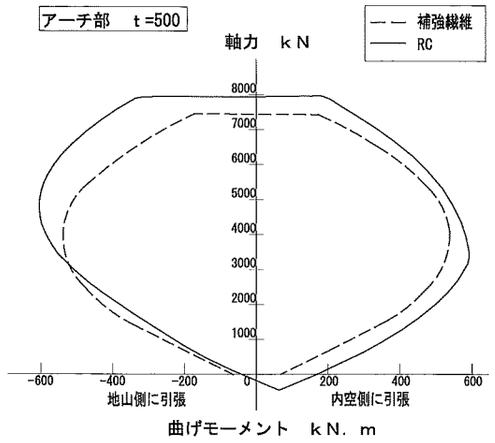



図-5　限界状態断面力図[1)]

無筋化を行うことによる利点として，

① 鉄筋の組立て手間の省略による工程短縮ができ，鉄筋の組み手間のコスト削減ができる
② コンクリート打設時の締固め施工性向上によるコンクリート品質の向上，コンクリートの確実な充填ができる
③ 鉄筋の段取り筋などの省略から防水シートを完全非貫通とし，防水性の向上，また，鉄筋施工時の防水シートの損傷防止ができる
④ かぶり管理や鉄筋の位置出し測量などの手間が省略できる

などが挙げられるが，これら単鉄筋コンクリートのDⅠ区間において，単鉄筋コンクリートの代替として非鋼繊維補強材(0.2VOL%)を増加した補強コンクリートについて単鉄筋コンクリートの耐力と同等以上となるか，耐荷力を比較し検討を行い(**図-5**)，清水第二トンネル(上り線)工事にて試験施工を実施し，良好な結果を得ることができた．

### 1-5　その他材料

標準支保パターンに岩塊の抜落ち防止を目的に上半先進工法のBパターン，TBM導坑先進拡幅掘削工法のB，CⅠパターンの上半で鋼繊維補強吹付けコンクリートの適用を標準としたことから，吹付け面に出る鋼繊維の突起による防水シートの破損の可能性が指摘され，対応を図ることとなった．当時，鋼繊維補強吹付けコンクリートの施工を実施していた上信越自動車道日暮山トンネル(Ⅱ期線)工事において，吹付け現場で吹付け表面

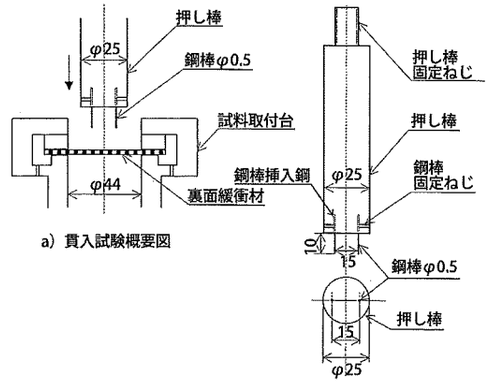



図-6　裏面緩衝材の貫入抵抗試験概要[4)]





観測用の供試体を作成し，吹付けコンクリートの表面の鋼繊維の突起状況の確認を実施した．それをもとに室内試験で吹付け表面を再現した供試体を作成し，室内試験を実施した．その結果，裏面緩衝材の単位面積あたりの質量を従来の300g/m²(厚さ3㎜以上)から500g/m²(厚さ5㎜以上)に変更した仕様を定めた．また，適用にあたっての試験法として，**図-6**に示す「裏面緩衝材の貫入抵抗試験方法」を定めた．

**表-6　経済性比較評価結果(工事費試算結果)[1)]**

| | | TBM工法CⅡを1とした場合のm単価比率(下段：延長) | | | | | 工費経済性(比率) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B | CⅠ | CⅡ | DⅠ-1 | DⅠ-2 | |
| TBM工法 | | 0.67 | 0.89 | 1.00 | 1.21 | 1.22 | 1.00 |
| | | 20.0m | 374.1m | 1,621.5m | 391.2m | 282.0m | |
| 上半工法 | Case-1 | — | 0.84 | 1.00 | 1.19 | 1.33 | 1.03 |
| | | 0.0m | 214.1m | 1576.5m | 616.2m | 282.0m | |
| | Case-2 | — | 0.84 | 1.00 | 1.19 | 1.33 | 1.04 |
| | | 0.0m | 136.5m | 1,427.1m | 843.2m | 282.0m | |

## 2　大断面トンネルの新工法[1)]

新工法としては「地質確認効果」「切羽安定効果」「施工効率の向上」の導入効果を期待して，効率的，経済的な施工を目的として行う工法として，トンネル計画延長がおおむね1.5km程度以上のトンネルを対象に上半先進掘削工法に変わりTBM導坑先進拡幅掘削工法が導入された．本工法の導入効果については，同一もしくは類似地山を両工法にて掘削し，詳細に検証しなければならないが，比較可能な条件のトンネルがなく困難なため，「地質確認効果」「切羽安定効果」「施工効率の向上」という異なる導入効果を普遍的に反映されると考えられる経済性について，TBM導坑先進拡幅掘削工法で施工された浜松トンネル工事の上り線を代表として，同トンネルを上半先進掘削工法で掘削したと仮定した場合の2ケースを想定して，両工法による経済性を比較検証をした．

CASE-1：各支保パターン変更部において前後15m区間をCⅠ→CⅡ，CⅡ→DⅠとしたケース．施工実績から，両工法の1支保パターンによる施工延長は，それぞれ平均60mと90mとなっている．この30mの延長差は，上半先進掘削工法は，支保パターン変更が約15m手前で重い支保パターンに変更され，また，軽い支保パターンに変更する際にも約15m重い支保パターンを継続していると考えられることを想定したケースである．

CASE-2：CASE-1に対して，さらに湧水区間を想定し，CⅠ→CⅡ，CⅡ→DⅠとしたケース．

経済性評価結果を**表-6**に示す．

比較の結果，TBM導坑先進拡幅掘削工法は，上半先進掘削工法を採用したと仮定した場合に比べて，約3～4%工費が削減されていると考えられる．とくに，湧水区間を考慮したCASE-2では，実際には最大800t/hの突発湧水が発生した区間があり，このような状況が上半先進掘削工法で施工している際に発生した場合には更なる切羽対策を要した可能性もある．

なお，コストには直接反映していないもののTBM導坑施工後の拡幅掘削は，作業の効率化や切羽安定の向上，また切羽崩落防止など切羽作業員の安心感は計り知れないものがあり，数値以上の効果があったものと考えられる．

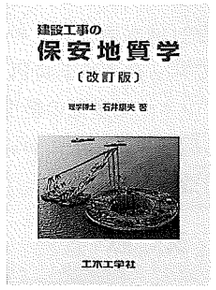
また，TBM導坑先進拡幅掘削工法においてTBM導坑を利用してケーブルボルトを打設して，事前に地山を補強する工法(清水第三トンネル)，膨張性地山の対策としてロックボルトにPC鋼棒を用いた工法など，各トンネルで多種の新工法が導入されており，これら個別の新工法については，別掲のトンネルごとの特徴で紹介する．

## 参考文献

1) 日本道路公団静岡建設局：大断面トンネルの計画・設計・施工に関する技術レポート，2005.3.
2) 武内淳・三谷浩二・中田雅博：高強度吹付けコンクリートの開発，日本道路公団試験研究所報告，Vol.34，1997.11.
3) 日本トンネル技術協会：超大断面トンネルの合理的設計・施工法に関する調査検討報告書，1996.3.

4）佐藤達雄・三谷浩二・遠藤祐司・細谷多慶：高強度吹付けコンクリートの施工試験，磐越自動車道　鞍手山トンネル，トンネルと地下，Vol.29，No.8，pp.35–41，1998.8.
5）田中一・青山繁夫：第二東名高速道路における超大断面トンネルの試験施工工事，清水第三トンネル(総括；その１)，トンネルと地下，Vol.31，No.8，pp.15–23，2000.8.
6）田中一・青山繁夫：第二東名高速道路における超大断面トンネルの試験施工工事，清水第三トンネル(総括；その２)，トンネルと地下，Vol.31，No.9，pp.25–35，2000.9.
7）岩城圭介・平間昭信・三谷浩二・海瀬忍・中川浩二：空気圧を用いたピン貫入試験による吹付けコンクリートの強度管理方法の提案，土木学会論文集，No.644/VI–46，2000.3.
8）日本トンネル技術協会：トンネル支保構造の合理的施工に関する調査検討，2004.2.
9）小林隆幸・寺本哲・小門武・篠原雅樹：トンネル支保工の高規格化への取り組み，大断面トンネルへの適用に向けて，トンネルと地下，Vol.29，No.9，pp.49–56，1998.9.
10）日本トンネル技術協会：トンネル覆工に関する調査研究報告書，1999.2.
11）海瀬忍・土屋将樹・溝端拓哉・津國正一：大断面トンネルの偏圧斜面坑口部の対策と繊維補強による覆工無筋化，新東名高速道路　清水第二トンネル上り線，トンネルと地下，Vol.41，No.6，pp.17–26，2010.6.
12）東・中・西日本高速道路：設計要領，第三集トンネル編，トンネル本体工建設編(第二東名・名神高速道路)，2005.10.
13）東・中・西日本高速道路：トンネル施工管理要領，2005.10.
14）東・中・西日本高速道路：第７編　トンネル関係試験法，NEXCO試験方法，2006.10.

ユニークな手法を駆使!!　建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!




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

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

株式会社 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








## 1　はじめに

閉鎖空間において高速走行を可能にするために，トンネル内には照明設備，非常用設備，換気設備，情報提供設備などの各種施設を配置している．

新東名のトンネル内の施設について，安全・安心・快適性を確保しつつ，ライフサイクルコストの縮減，環境負荷の軽減を目指し，開発・検討し，導入した事例の一部を紹介する．なお，換気設備については，車道内空断面積が大きく自然換気が成立した．そのため，設備としては火災時の排煙用ジェットファンのみとなったため，ここでは割愛する．

## 2　トンネル照明設備

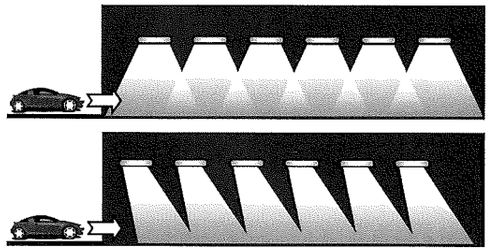
### 2–1　車道の運用形態

新東名高速道路におけるトンネルは，車道の運用形態として，車線がトンネル断面の右側に配置され内側の２車線を使用(内側２車線運用)，左側に付加車線を設置(内側２車線＋付加車線)の２つのパターンがあり，それぞれのパターンに応じて照明設計を実施した．

### 2–2　路面輝度

路面輝度は，設計速度100km/hとして現行の基準である9.0cd/m²を確保した．

従来の断面のトンネルでは，壁面や灯具との位置関係を手がかりとして先行車の位置を判断しているが，大断面トンネルでは壁面や灯具の位置が運転者から遠くなることから，走行上の情報が得



図–1　対称照明とプロビーム照明

られにくくなる．このため，先行車の視認性を向上させるために，プロビーム照明(光の照射方向をやや車両進行方向に向けることで，先行車の背面が明るく見えるようにした照明)を採用し鉛直面の照度を確保するよう計画した(図–1)．

プロビーム配光を有する場合，灯具からの直射光のほかに壁面の反射などの影響を受けることを実証実験で確認しており，直射光のみから鉛直面照度を算出した場合と比較して実測値は高くなる．これを考慮したうえで，車両進行方向の路面から0.7mの高さにおける直射光による鉛直面照度を95 lxと規定した．

### 2–3　平均照度換算係数

灯具から照射される光の量から規定される「照度」(単位 lx：ルクス)と，トンネル照明設計上の基準となる量「輝度」(単位 cd/m²：カンデラ毎平方メートル)との換算は，平均照度換算係数を用いるが，今回プロビーム配光を採用したことで，平均照度換算係数についても実証実験により確認した．平均照度換算係数は，車道位置，灯具高さ，灯具位置に応じて変化するため，それぞれの条件

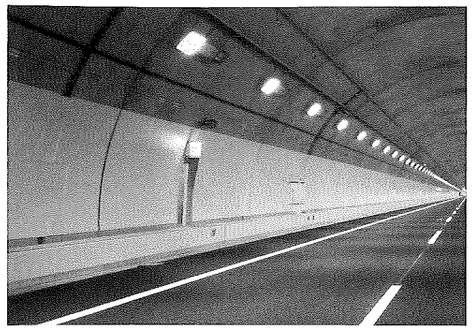


写真-1　配光状況(実証実験時)

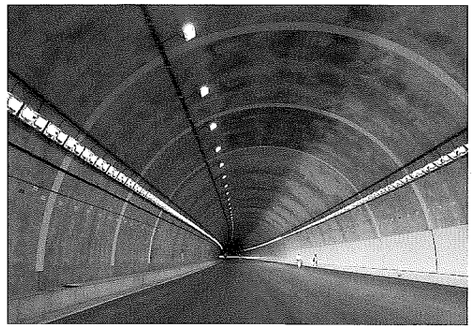


写真-2　照明灯具の設置状況(内側2車線運用のトンネル)

下での「補正係数」を定め，コンポジット舗装の平均照度換算係数18 lx/cd/m²に補正係数を乗じて，平均照度換算係数を算出することとした．

### 2-4　鉛直面照度の照度勾配

実証実験時に，路面に明暗による縞模様が生じる現象が確認された(**写真-1**)．この現象を改善するため，器具の照明特性を評価した結果をもとに(直射光による)鉛直面照度の照度勾配を規定し，縞模様が生じないよう灯具配光を規定した．

### 2-5　壁面輝度

走行側の路面輝度と壁面輝度の比は，トンネル内の視環境確保の観点から，1：0.6(路面から2mの高さまで)と規定した．ただし，内側2車線運用の場合の走行側には広幅員の側方余裕があり，トンネル内の余裕が増したことにより走行環境の向上が見込めることなどの理由により，積極的に照明をする必要はなく壁面輝度は規定していない．

追越し側は，壁面を背景として路上に存在する障害物を視認する視認性確保の観点から，1：1(路面から1mの高さまで)と規定した．

### 2-6　灯具配置

基本照明の灯具の配置については，車線位置，照明特性，他の付帯施設(換気設備など)との整合，キャビテーション清掃車による清掃可能高さ，経済性などを考慮し，内側2車線運用のトンネルは，路面から7.8mの高さに片側配列とした．付加車線があるトンネルは，路面から5.2mの高さに両側向かい合わせ配列とした．

なお，入口部照明においては，灯具配置による誘導性の確保の観点も加味して，車道の運用形態にかかわらず路面から5.2mの高さに両側向かい合わせ配列とした(**写真-2**：両側に配置した灯具が入口部照明，左側の高所に配置した灯具が基本部照明)．

### 2-7　光源の選定

光源の選定の検討にあたり，計画時点においてトンネル照明の光源として一般的に使用されている「Hf蛍光灯」，Hf蛍光灯と比較して高出力の「セラミックメタルハライドランプ」，近年発光効率が向上し商品化が急速に拡大している「LED照明灯」について実証実験を行い，光源による視認性にほとんど差がないとの結果を得た．この結果を受け，照明特性，経済性などを考慮して，基本部照明，入口部照明の光源として「セラミックメタルハライドランプ」を採用した．

奥山トンネル，富幕山トンネル(浜松いなさIC～三ケ日JCT間)については，大断面でないことから高出力の光源が不要であり，基本部照明のみLED照明を採用した．また，西郷トンネル(下り線)(島田金谷IC～森掛川IC間)については，実証実験時に粟ヶ岳トンネル(島田金谷IC～森掛川IC間)で使用したLED照明を移設し基本照明として活用するとともに，入口部照明には高出力のLED照明を採用し，入口部照明も含めてすべての照明をLED照明とした．

## 3　トンネル非常用設備

今回開通する区間には，69本のトンネルがある．トンネルは，延長と交通量に応じて**図-2**に示す5段階(AA，A，B，C，D)の等級に区分され，それぞれの等級に応じて設置する非常用施設(一部抜粋)が**表-1**のように定められている．

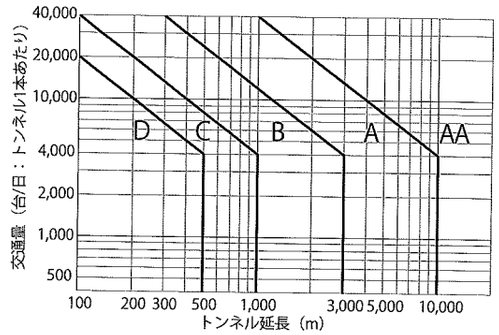



図-2　トンネル防災等級

表-1　非常用施設設置基準(一部抜粋)

| 非常用施設＼トンネル等級 | | AA | A | B | C | D | 備　考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 通報・警戒設備 | 非常電話 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 延長200m未満のD級トンネルは省略 |
| | 押しボタン式通報装置 | ○ | ○ | ○ | ○ | | |
| | 火災検知器 | ○ | ○ | | | | 換気設備のないトンネルは省略 |
| | トンネル入口情報板 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 延長200m未満のトンネルは省略できる |
| | トンネル内情報板 | ○ | | | | | |
| 消火設備 | 消火器 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 消火栓 | ○ | ○ | △ | | | 延長1,000m以上のB級トンネルに設置 |
| | 水噴霧設備 | ○ | △ | | | | |
| その他の設備 | 監視装置 | ○ | △ | | | | |
| | ラジオ再放送設備(割込み機能あり)<br>拡声放送設備 | ○ | △ | | | | |
| トンネル数 | | 12 | 40 | 15 | 1 | | |

○：設置　　△：条件に応じて設置

### 3-1　初期消火の迅速化

消火器ボックスの前面扉をスケルトンタイプ(**写真-3**)にし，格納された消火器が外部から見えるようにすることで，初期消火の迅速化，点検の効率化を図ることとした．

### 3-2　広域監視型火災検知器

トンネルの壁面に設置される火災検知器は，通常25m間隔で設置される．新東名では，監視範囲を従来の2倍に検知能力を向上させた広域監視型の検知器を一部のトンネルで採用し，設置台数を1/2に減らし維持管理性の向上を図ることとした．




写真-3　消火器・火災検知器・消火栓

### 3-3　水噴霧ヘッドの集約配置

従来の断面のトンネルと同様に，排煙用ジェットファンを1断面に2台並列設置した場合，大断面トンネルでは，ジェットファンが放水の障害となり，片側からの放水では放水できない部分が生じるため，水噴霧配管を走行車線側と追越し車線側の両側に配置しなければならない．そのため，水噴霧設備の点検時には，各々の車線の規制が必要となり維持管理性が低下する．新東名では，ジェットファンの配置を1断面に1台の縦列配置とすることで，水噴霧配管を片側に集約し，水噴霧設備の点検の効率化を図ることとした．

## 4　可変情報板設備

トンネル近傍ならびにトンネル内の車両に対して，トンネル内の異常を速やかに知らせる設備である．トンネルに進入しようとする車両に対し種々の情報を提供するトンネル入口情報板と，トンネル内に設置されトンネル内を走行する車両に対して情報を提供するトンネル内情報板がある．

### 4-1　トンネル入口情報板

トンネル入口情報板は，延長200m以上のトン




写真-4　トンネル入口情報板設置状況

ネルに設置し，トンネル内およびトンネル出口付近の道路状況，交通状況，気象状況などの道路交通情報を提供するための設備である．

表示文字数は，シンボル(ピクトサイン)＋5文字相当×2段とし，これまで，赤，緑，橙(赤と緑の混合色)の3色であった表示色は，青色LEDの一般化により，赤，橙，黄，黄緑，緑，白，シアンの7色による表示としている．

### 4-2　トンネル内情報板

トンネル防災等級AAのトンネルの非常駐車帯部に設置し，トンネル入口情報板と一体となって道路交通情報を提供するための設備である．表示文字数は，5文字相当とし，トンネル入口情報板同様7色表示としている．

従来の断面のトンネルの場合，非常駐車帯の進行方向に正対する壁面に，縦置きで設置されているが，新東名の場合，拡大断面となった非常駐車帯がないことから，避難連絡坑付近の路肩に横置きで吊り下げ設置とした．

## 5　おわりに

中日本中高速道路(株)では，「人，車，道路が協働する『世界をリードする高速道路システム』を構築し，地域の活性化と暮らしの向上，延いては日本全体の発展に貢献することを目指す」を基本コンセプトとした「新東名リーディングプロジェクト」に取り組んでいる．今回紹介した設備についても，このプロジェクトを通じて，技術面の検証，技術的フィージビリティの確認のため実証実験を行い仕様などを決定してきた．

今回紹介した設備のほかにも，トンネル防災等級に応じて，トンネル内の異常を監視するためのCCTV，画像処理による異常事象検知，避難誘導のための拡声放送設備，ラジオ再放送設備など種々の設備を配置している．今後これら設備を適切に運用することで，高速道路をご利用のお客様の安全，安心，快適性に寄与できれば幸甚である．

最後に，計画から実証実験，施工に携わったすべての皆様に深く感謝いたします．

E. フック・E. T. ブラウン共著
岩盤地下空洞の設計と施工
理学博士 小野寺透・工学博士 吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳
B5判・442頁・上製本　本体価格 9,800円（〒450円）
株式会社 土木工学社
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888（代） 振替 00110-8-190072








# 新東名高速道路の開通に思う

(株)竹中土木常務執行役員　三浦　克

新東名高速道路御殿場JCT～三ケ日JCT間の開通おめでとうございます．私はこの区間の建設に2度関係しました．1度目は平成5年8月から10年3月まで，本社技術部のトンネル担当調査役として，トンネルの設計基準の検討や，試験施工の計画に携わりました．

経験のない大断面トンネルであり，延長の大きな部分を占めることから，検討している設計案で果たしてトラブルなしに施工できるのか．この区間は比較的新しい地層で，構造線を始め大規模な断層も想定されており，不良地山に遭遇したときに適切に対処できるのかも大きな課題であった．想定している事業費のなかで建設可能か，さらにコスト削減はできるのか，事業期間内に完成できるのか，等々，当時は多くの課題があった．

委員会(今田徹委員長)で検討していただくのと平行して，実地のトンネルで試験施工をして確認することになった．他事業との調整で用地の問題が解決可能な清水第三トンネルが選ばれ，工事が発注された．

事実上，新東名の着工式となるTBM「駿河1号」の発進式が平成8年6月に行われ，京都大学足立教授，カリフォルニア大学ブレッケ教授ほかにより記念シンポジウムを開催した．清水第三トンネルではTBM導坑，切り拡げ掘削とも比較的順調に進み，実験や計測により多くの知見を得，引き続いて本格的な工事発注が行われていく．

2度目は平成14年7月から15年10月にかけ，静岡建設局長として建設に参加しました．トンネル工事は最盛期に入っており，金谷トンネルなどの貫通式にも出席する機会がありました．この当時は，新東名事業が全社の建設費の大部分を占め，地方路線に回らないという批判もあり，片方の車線工事を中断という事業方針の変更があった．また暫定4車線の施工方法の見直しの議論もあり，事業が一直線には進まない時期であった．加えて道路4公団の民営化議論のなかで，第二東名建設凍結の議論まで出てきた．平成15年2月には民営化推進委員会の現地視察があり，凍結の方向へ行かないことを願いつつ，ずいぶん緊張して対応した思い出がある．こうした紆余曲折を経ながら，無事完成にたどり着くにあたっては関係者の並々ならぬ苦労があったであろうことを思うとき，感慨無量である．

この事業は大断面トンネルをさまざまな地質条件のなかで大量に建設するもので，技術的にも大きな挑戦であった．そのなかで，多くの関係者による研究や技術の開発が行われ，完成に貢献している．

支保工や覆工の構造については，設計案でおおむね妥当との結果を得たが，さらに合理化するために高強度吹付けコンクリートや高規格の鋼アーチ支保工，ロックボルトを使った設計に挑戦し，良好な結果を得て標準として採用されていく．

掘削工法では，地山状況を事前に把握して突発的な湧水や地山の変化によって大きなトラブルになることを避けるために，TBM導坑先進工法を検討し，延長の長い(おおむね１km以上)トンネルに採用することにした．清水第三トンネルにもこの方式を適用した．延長の短いトンネルには上半先進工法を標準とし，地山が脆弱な場合はCD工法など切羽を分割する工法を検討したが，大部分のトンネルは上半先進が可能であった．

土木学会で，山岳トンネルの論文数が都市トンネルのものに比べて多いことが話題になり，早稲田大学の小泉教授の「新東名のおかげですよ．土木の研究や技術開発は大きな，しかもチャレンジングな仕事があるときに進むものです．」との発言が記憶に残っている．

研究開発とともに，新東名の施工の結果も工事報告や学術論文として残されている．富士川トンネル(平成16年)，金谷トンネル(平成19年)，今里トンネル(平成20年)は学術的な貢献が評価され，土木学会技術賞を受賞している．

高強度の吹付けコンクリートや，高規格の鋼アーチ支保工，ロックボルトを採用する設計法など，すでに一般的なトンネルにも普及した技術もある．この事業で培われた多くの技術が，現在，そして将来のトンネル事業に影響を与えることは間違いないであろう．願わくは，再度チャレンジングな事業に挑戦する機会が現れ，ここで培われた技術が，さらに飛躍を遂げることを期待したい．

この区間は，路線延長の４分の１をトンネルが占めるため，トンネル部を安全に，かつ快適に走行できるようにすることも大きな課題であった．従来，トンネル内の路肩は縮小されているが，新東名のトンネルでは，明かり部と同じ余裕を取っている．あわせて入り口は竹割り式の坑門を採用し，トンネル進入時の緊張を和らげる工夫をしている．

先行して完成した清水第三トンネルを使って，トンネル内での見え方や，火災時の状況などの実験を行っている．トンネル内は区画線が視認しやすい黒舗装とするとともに，照明は自然光に近い色調に見える白色照明を採用している．

車の排ガス規制の進展と，大断面トンネルのために，すべてのトンネルで自然換気ができる水準であり，排ガスによる視界不良や不快さは大幅に軽減されるものと想定される．

大量のトンネルを快適な交通を妨げないで維持管理する方法についても，多くの議論があった．建設着手時には，照明灯具の自動清掃ロボットが研究されたこともある．幸い，高速で清掃できる新技術が開発され，長寿命の照明も開発されるなど，別の方法で解決されたものもある．

安心して，楽しいドライブが可能となっているものと確信している．早く走ってみたいものである．

この区間の開通により，新東名，新名神は基本計画の50%以上が供用されることになり，残り区間も，凍結された区間を除いて建設が進行中である．新時代の幹線として存在感を増してきている．全線が開通し，そして本来の姿である６車線で完成した姿を心待ちにしている．





## 本誌に掲載された「新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)」に関する文献


Tor. Brekke・島田巖乃：大断面トンネルの合理的な設計・施工を求めて(1)，第二東名TBM発進記念シンポジウム，Vol.27，No.9，pp.77–82，1996.9.

Max John・島田巖乃：大断面トンネルの合理的な設計・施工を求めて(2)，第二東名TBM発進記念シンポジウム，Vol.27，No.10，pp.65–71，1996.10.

島田巖乃：大断面トンネルの合理的な設計・施工を求めて(3)，第二東名TBM発進記念シンポジウム，Vol.27，No.11，pp.57–66，1996.11.

田中一：清水第三トンネルのTBM導坑ブレイクスルー(貫通)，第二東名高速道路　清水第三トンネル，Vol.28，No.6，pp.15–22，1997.6.

森田達夫・高橋幸三・千葉隆：大規模断層破砕帯をTBMで突破，第二東名高速道路　富士川トンネル西工事，Vol.30，No.8，pp.17–28，1999.8.

林崎信男・尾辻真紀・岡田正男・井上賢一：大断面トンネル掘削工法の比較試験，第二東名高速道路　静岡第二トンネル，Vol.31，No.5，pp.15–23，2000.5.

田中一・青山繁夫：第二東名高速道路における超大断面トンネルの試験工事，清水第三トンネル(総括；その1)，Vol.31，No.8，pp.15–23，2000.8.

田中一・青山繁夫：第二東名高速道路における超大断面トンネルの試験工事，清水第三トンネル(総括；その2)，Vol.31，No.9，pp.25–35，2000.9.

谷井敬春・佐藤秀行・藤岡一頼・佐藤哲夫：洪積層地山における中壁工法の検証，第二東名高速道路　沼津トンネル，Vol.32，No.10，pp.15–27，2001.10.

小林隆幸・佐藤淳・楠本太：TBMで大規模断層破砕帯に導坑を貫く，第二東名高速道路　富士川トンネル(下り線)，Vol.33，No.8，pp.15–26，2002.8.

小林隆幸・佐藤淳・楠本太：大規模断層破砕帯をTBM先進導坑で突破，第二東名高速道路　富士川トンネル(上り線)，Vol.35，No.3，pp.15–26，2004.3

大窪克己・片寄学・白畑智幸・藤本克郎：スラリー急結剤を用いた吹付けコンクリートの効果，第二東名高速道路　静岡第六トンネル，Vol.35，No.5，pp.7–14，2004.5.

藤田俊樹・野田雅夫・秋好賢治・金瑞夫：$R$30mを含む連続ベルコンを用いたTBM施工，第二東名高速道路　清水第四トンネル，Vol.35，No.7，pp.15–22，2004.7.

平野宏幸・田山聡・清水則一・岩崎智治：坑口動態観測にGPS自動変位計測システムを適用，第二東名高速道路　引佐第二トンネル，Vol.35，No.9，pp.49–55，2004.9.

大窪克己・片寄学・小川直司・川上博史：超大断面トンネルと作業坑の直角交差部施工，第二東名高速道路　静岡第三トンネル，Vol.35，No.11，pp.15–23，2004.11

田山聡・竹國一也・神澤幸治・平野宏幸：小土かぶりの大規模地すべり地帯を情報化施工で突破，第二東名高速道路　引佐第二トンネル，Vol.36，No.3，pp.15–26，2005.3.

大西昌彦・川俣和久・楠本太：大規模断層破砕帯に双設大断面トンネルを貫く，第二東名高速道路　富士川トンネル(下り線)，Vol.36，No.8，pp.19–29，2005.8.

岩本英将・河合朝仁・大志万久芳・吉田安利：大断面トンネル脆弱地山区間を特殊支保工で克服，第二東名高速道路　金谷トンネル，Vol.37，No.3，pp.15–22，2006.3.

後藤正登・井口哲也・真邉剛典・川越佳人：石灰岩区間における高濁度突発湧水の克服，第二東名高速道路　浜松トンネル，Vol.37，No.4，pp.17–27，2006.4.

田中貞俊・池田克樹・志岐寛・本村克樹：小土かぶりの超近接大断面双設トンネルをCD工法で貫く，第二東名高速道路　今里第一トンネル，Vol.37，No.8，pp.17–27，2006.8.

臼田芳彦・田中一・神澤幸治・平野宏幸：付加体脆弱地質を切羽補強工で克服，第二東名高速道路　引佐第二トンネル，Vol.38，No.3，pp.23–32，2007.3.

岩本英將・岸本光弘・安井義則・吉田安利：大断面トンネルを多様な施工技術で掘削，第二東名高速道路　金谷トンネル，Vol.39，No.2，pp.15–26，2008.2.

田中貞俊・池田克樹・志岐寛・石井孝広：小土かぶり大断面超近接双設トンネルの地山挙動，新東名高速道路　今里第一トンネル，Vol.39，No.7，pp.15–24，2008.7.

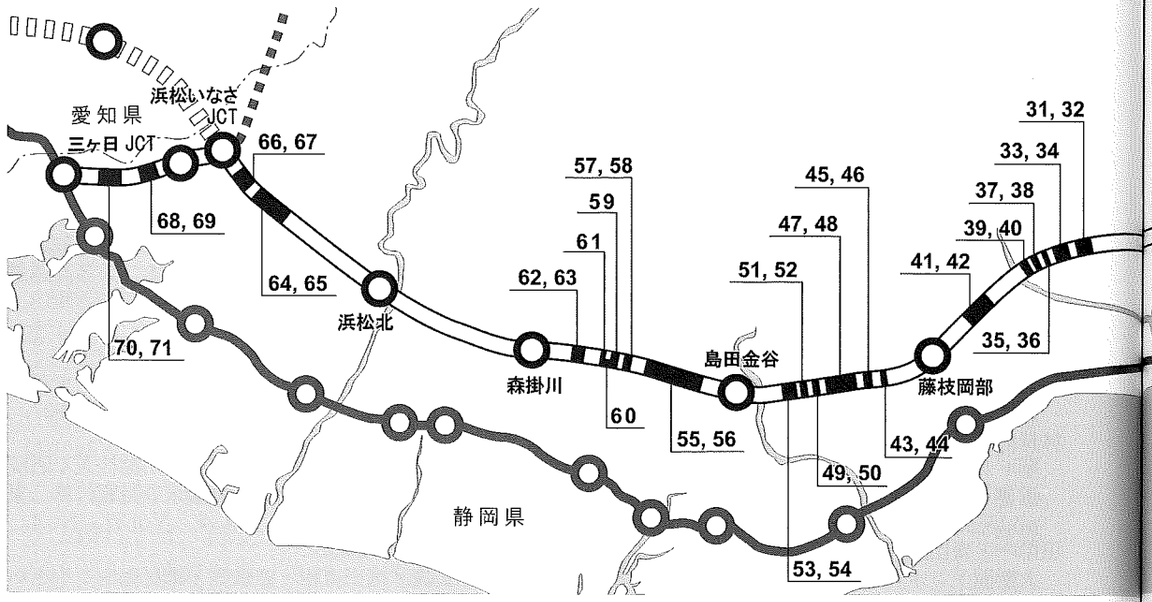
岸本光弘・藤井剛：切土施工中の地すべりにより道路構造をトンネルに変更，新東名高速道路　大和田トンネル，Vol.40，No.4，pp.7–15，2009.4.

大川了・板垣克利・金丸信一・亀谷英樹：付加体地山における先行トンネルへの掘削影響と対策工，新東名高速道路　島田第一トンネル下り線，Vol.41，No.5，pp.19–30，2010.5.

海瀬忍・土屋将樹・溝端拓哉・津國正一：大断面トンネルの偏圧斜面坑口部の対策と繊維補強による覆工無筋化，新東名高速道路　清水第二トンネル，Vol.41，No.6，pp.17–26，2010.6.

# 新東名高速道路開通区間のトンネル

このたび開通した新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)にあるトンネルの，位置，トンネル名，トンネル延長を下の図表に示した.
表中の太字のトンネルについては，以降にその概要を紹介している.

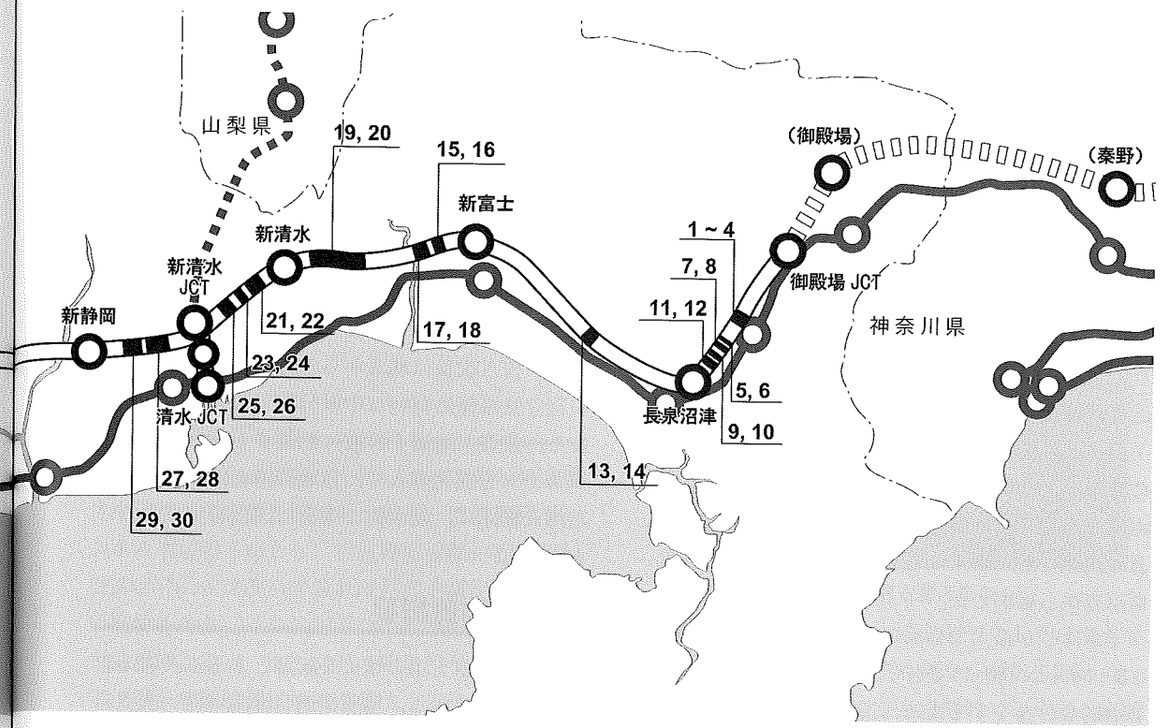



| 番号 | 工事中名称 | | トンネル延長 | 供用後名称 | | トンネル延長 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 今里第二トンネル | 上 | 341m | 今里トンネル | 上 | 777m |
| 2 | | 下 | 340m | | | |
| 3 | 今里第一トンネル | 上 | 436m | | 下 | 774m |
| 4 | | 下 | 434m | | | |
| 5 | 千福第二トンネル | 上 | 183m | 葛山トンネル | 上 | 183m |
| 6 | | 下 | 204m | | 下 | 204m |
| 7 | 千福第一トンネル | 上 | 238m | 千福トンネル | 上 | 238m |
| 8 | | 下 | 171m | | 下 | 171m |
| 9 | 桃園トンネル | 上 | 295m | 桃園トンネル | 上 | 295m |
| 10 | | 下 | 302m | | 下 | 302m |
| 11 | 富沢トンネル | 上 | 644m | 富沢トンネル | 上 | 644m |
| 12 | | 下 | 631m | | 下 | 631m |
| 13 | 沼津トンネル | 上 | 597m | 沼津トンネル | 上 | 597m |
| 14 | | 下 | 657m | | 下 | 657m |
| 15 | 富士宮第一トンネル | 上 | 499m | 富士宮トンネル | 上 | 499m |
| 16 | | 下 | 576m | | 下 | 576m |
| 17 | 富士宮第二トンネル | 上 | 407m | 明星山トンネル | 上 | 407m |
| 18 | | 下 | 379m | | 下 | 379m |

| 番号 | 工事中名称 | | トンネル延長 | 供用後名称 | | トンネル延長 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 | 富士川トンネル | 上 | 4,503m | 富士川トンネル | 上 | 4,503m |
| 20 | | 下 | 4,428m | | 下 | 4,428m |
| 21 | 清水第一トンネル | 上 | 1,409m | 小河内トンネル | 上 | 1,409m |
| 22 | | 下 | 1,599m | | 下 | 1,599m |
| 23 | 清水第二トンネル | 上 | 533m | 清地トンネル | 上 | 533m |
| 24 | | 下 | 411m | | 下 | 411m |
| 25 | 清水第三トンネル | 上 | 1,116m | 和田島トンネル | 上 | 1,116m |
| 26 | | 下 | 1,119m | | 下 | 1,119m |
| 27 | 清水第四トンネル | 上 | 2,147m | 伊佐布トンネル | 上 | 2,147m |
| 28 | | 下 | 2,149m | | 下 | 2,149m |
| 29 | 静岡第一トンネル | 上 | 1,269m | 北沼上トンネル | 上 | 1,269m |
| 30 | | 下 | 1,296m | | 下 | 1,296m |
| 31 | 静岡第二トンネル | 上 | 1,192m | 内牧トンネル | 上 | 1,192m |
| 32 | | 下 | 1,196m | | 下 | 1,196m |
| 33 | 静岡第三トンネル | 上 | 1,039m | 羽鳥トンネル | 上 | 1,039m |
| 34 | | 下 | 1,027m | | 下 | 1,027m |
| 35 | 静岡第四トンネル | 上 | 380m | 新間第一トンネル | 上 | 380m |
| 36 | | 下 | 428m | | 下 | 428m |








| 番号 | 工事中名称 | | トンネル延長 | 供用後名称 | | トンネル延長 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 37 | 静岡第五トンネル | 上 | 491m | 新間第二トンネル | 上 | 491m |
| 38 | | 下 | 257m | | 下 | 257m |
| 39 | 静岡第六トンネル | 上 | 801m | 谷津トンネル | 上 | 801m |
| 40 | | 下 | 823m | | 下 | 823m |
| 41 | 岡部トンネル | 上 | 2,653m | 岡部トンネル | 上 | 2,653m |
| 42 | | 下 | 2,612m | | 下 | 2,612m |
| 43 | 藤枝第一トンネル | 上 | 431m | 助宗トンネル | 上 | 431m |
| 44 | | 下 | 478m | | 下 | 478m |
| 45 | 藤枝第二トンネル | 上 | 317m | 寺島トンネル | 上 | 317m |
| 46 | | 下 | 330m | | 下 | 330m |
| 47 | 島田第一トンネル | 上 | 2,655m | 大草トンネル | 上 | 2,655m |
| 48 | | 下 | 2,679m | | 下 | 2,679m |
| 49 | 島田第二トンネル | 上 | 441m | 尾川第一トンネル | 上 | 441m |
| 50 | | 下 | 510m | | 下 | 510m |
| 51 | 島田第三トンネル | 上 | 451m | 尾川第二トンネル | 上 | 451m |
| 52 | | 下 | 460m | | 下 | 460m |
| 53 | 島田第五トンネル | 上 | 1,379m | 矢倉山トンネル | 上 | 1,379m |
| 54 | | 下 | 1,336m | | 下 | 1,336m |

| 番号 | 工事中名称 | | トンネル延長 | 供用後名称 | | トンネル延長 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 55 | 金谷トンネル | 上 | 4,522m | 粟ヶ岳トンネル | 上 | 4,522m |
| 56 | | 下 | 4,667m | | 下 | 4,667m |
| 57 | 掛川第一トンネル | 上 | 536m | 倉真トンネル | 上 | 536m |
| 58 | | 下 | 664m | | 下 | 664m |
| 59 | 掛川第二トンネル | 上 | 734m | 西郷トンネル | 上 | 734m |
| 60 | | 下 | 1,169m | | 下 | 1,169m |
| 61 | 大和田トンネル | 上 | 216m | 大和田トンネル | 上 | 216m |
| 62 | 掛川第三トンネル | 上 | 800m | 平島トンネル | 上 | 800m |
| 63 | | 下 | 934m | | 下 | 934m |
| 64 | 浜松トンネル | 上 | 3,200m | 三岳山トンネル | 上 | 3,200m |
| 65 | | 下 | 3,262m | | 下 | 3,262m |
| 66 | 引佐第一トンネル | 上 | 1,497m | 引佐トンネル | 上 | 1,497m |
| 67 | | 下 | 1,519m | | 下 | 1,519m |
| 68 | 引佐第二トンネル | 上 | 1,347m | 奥山トンネル | 上 | 1,347m |
| 69 | | 下 | 1,528m | | 下 | 1,528m |
| 70 | 三ケ日トンネル | 上 | 1,550m | 富幕山トンネル | 上 | 1,550m |
| 71 | | 下 | 1,517m | | 下 | 1,517m |
| 合計 | | | 83,340m | | | 83,341m |




## 工　事　概　要

今里トンネルは第一，第二の２トンネルからなり，延長777m，掘削断面積は200m²を超える超近接双設大断面トンネルである．周辺には研究所，工場などの施設が多く，用地の厳しい制約を受けた結果，上り線と下り線の離隔が非常に小さい．両坑口部とトンネル中間部に開削トンネル区間があり，第一トンネルは名古屋方，第二トンネルは東京方から掘削した．

土かぶりが最大で14mと小さく，支保は全区間DⅢパターン(**図-1**)であり，脆弱な自破砕溶岩が不規則な分布をするため，道路や建物の沈下や傾斜をいかに抑制するかが工事の成否を左右する最大の課題であった．そこで，有限要素法を用いた試行解析により，地盤注入による変形係数と強度の改善を行い，センターピラー部と周辺地山を確実に改良する計画とした．なお，先行変位抑制のため，注入改良は地表からの先行実施とし，切羽の自立性確保に有利な中壁分割工法を採用した．また，複雑な地層を詳細に把握するため地質判別システムを開発導入し，自破砕溶岩部に限定された注入範囲に，効率的で確実な改良を実施することとした．

**表-1　トンネル諸元**

| | | |
|---|---|---|
| 施　工　者 | | (第一)清水建設・アイサワ工業・ピーエス三菱JV<br>(第二)大林組・奥村組・日本国土開発JV |
| 延　長 | | (上り線)777m，(下り線)774m |
| 掘削方式 | | 機械掘削(制御発破併用) |
| 主たる掘削工法 | | 中壁分割上半先進工法 |
| 補助工法 | 外周部 | 地盤改良 |
| | ピラー部 | |

## 地形・地質概要

地質は，富士山の噴火を起源とする玄武岩溶岩と火砕物からなる．地質構造は非常に硬い玄武岩溶岩と自立性の悪い礫質の自破砕溶岩の互層で構成され，この極端に物性の異なる地層が切羽に入り混じり不規則に出現する(**図-2**)．

玄武岩溶岩の一軸圧縮強度は100N/㎟と非常に硬質で，機械掘削では掘削能力が不足し，発破掘削では建物への振動影響と同一切羽内の自破砕溶岩部の自立確保が課題となる．

一方で，自破砕溶岩は土砂に分類され，物性は固結度や粒度の違いにより大きく変化し，変形係数は10～50N/㎟の範囲にある．この自立性が非常に乏しい自破砕溶岩は，切羽面ではいろんな位置に所を変えて出現し，厚さも数m～10mと変化する．

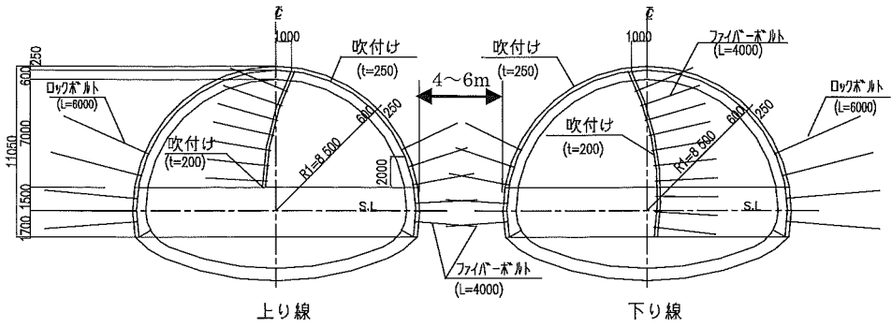



**図-1　標準断面図**





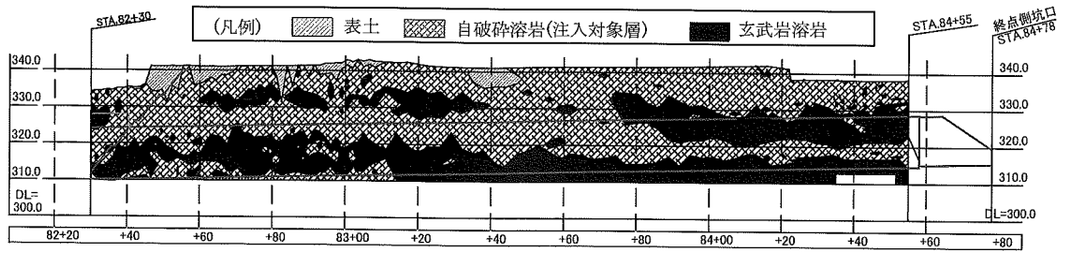



**図-2　地質縦断図(旧今里第一トンネルNATM区間/地層判別システムによる結果)**

## 地盤改良工

有限要素法による解析を行い，トンネルの安定性や建物への影響を検討した結果，改良範囲をトンネル周辺の７mとし，自破砕溶岩部の変形係数を200MN/m²に改良できれば目標を満足できるとの結論を得た．この変形係数を自破砕溶岩層の改良目標値と設定，注入材料は超微粒子セメントとし，事前の原位置試験で地盤改良方法と効果を確認して，トンネル全線にわたり地盤改良を実施した．注入方式は，自破砕溶岩部のみに効率的な注入を行うためダブルパッカー方式を採用し，未改良部を残すことなく確実な改良ができ，想定以上の変位抑制ができた．

## トンネル掘削

トンネル掘削は平成15年12月に名古屋方から，平成17年４月には東京方からも始めて，平成18年５月にNATM区間の掘削を終えた．

掘削方式は上部建物への振動影響抑制のため大型自由断面掘削機による機械掘削を基本としたが，溶岩部が非常に堅硬であり，導火管付き雷管による多段制御発破掘削を併用した．

小断面に分割された切羽は，事前の地盤改良により，自立性が高く安定していたため，掘削による地表建物への影響の検討を行い，上部建物への影響のない区間では断面分割数を５分割→４分割→３分割(上半工法)と順次少なくし，施工の合理化を図った．

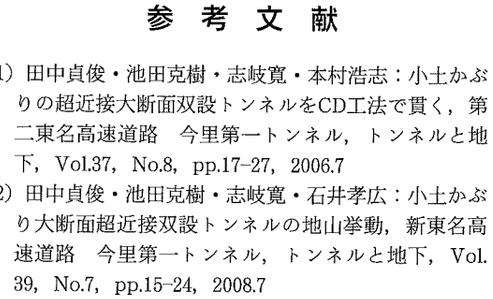


**写真-1　名古屋方坑口**

直上に８階建ビルがある区間ではとくに慎重な掘削を行い，ビル側の下り線から掘削を開始し，影響を慎重に見極めながら段階的に５分割の掘削を進めた．また，この区間では上下線の同時掘削は避け，先行した下り線掘削が完了し，ビルへの影響が許容内であることを確認したうえで，上り線の掘削を開始した．

このような慎重な掘削を実施した結果，トンネル上部の構造物などは，目標の相対沈下±10㎜以内に対し，すべての箇所で絶対沈下量で±10㎜以内に収まり，トンネル掘削による上部施設などへの掘削影響を十分に抑制することができた．

(文責：堀圭一・東日本高速道路(株)/志岐寛・清水建設(株))

## 参　考　文　献

1) 田中貞俊・池田克樹・志岐寛・本村浩志：小土かぶりの超近接大断面双設トンネルをCD工法で貫く，第二東名高速道路　今里第一トンネル，トンネルと地下，Vol.37，No.8，pp.17-27，2006.7
2) 田中貞俊・池田克樹・志岐寛・石井孝広：小土かぶり大断面超近接双設トンネルの地山挙動，新東名高速道路　今里第一トンネル，トンネルと地下，Vol.39，No.7，pp.15-24，2008.7




## 工　事　概　要

富士川トンネルは，静岡県富士市南松野～富士宮市内房に位置し，延長約4,500mの新東名高速道路トンネルの中で２番目に長く，活断層とされる入山断層破砕帯を貫く長大トンネルである．

このため，上半断面内トンネル中心にTBM導坑を先行掘削し，地質の確認と地山物性を評価，拡幅掘削を計画するとともに，拡幅時挙動を確認しながら工事を進める情報化施工を実施した．

トンネル工事は，東側工事発生土を西側盛土場に運搬するための延長4,756mの土運搬用φ3.5m TBM坑を西側から先行施工した．その後，下り線φ5.0mTBM導坑を西側から西担当JVが，上り線TBM導坑は，東側から東担当JVが全線施工した．本坑拡幅掘削は，それぞれの担当JVがトンネル中央まで担当し，下り線は2004年６月，上り線は2008年６月に中央付近で貫通した．

表-1　トンネル諸元

| | | |
|---|---|---|
| 施工者 | | (西側)清水建設・熊谷組・竹中土木JV<br>(東側)鹿島建設・西松建設・大豊建設JV |
| 延長 | | (上り線)4,503m，(下り線)4,428m |
| 掘削方式 | | 爆破掘削，機械掘削 |
| 主たる掘削工法 | | TBM導坑先進拡幅掘削工法，上半工法<br>全断面早期閉合工法(押出し性地山) |
| 補助工法 | 切羽 | 注入式長尺鋼管先受け工，注入式FP |
| | 鏡 | 鏡吹付け，(長尺鏡止めボルト) |
| | 安定化 | 上半仮閉合 |

## 地　質　概　要

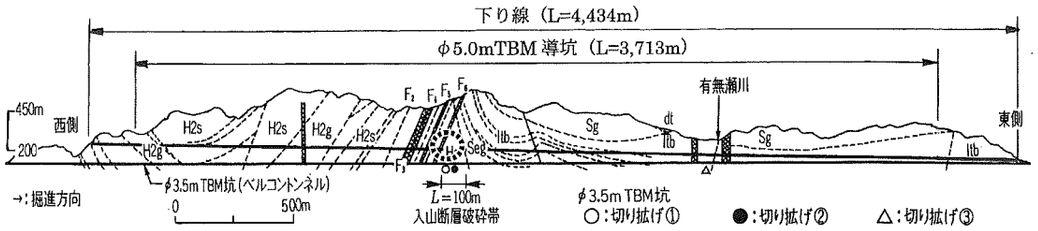
砂岩優勢層，礫岩優勢層からなる浜石岳累層，岩淵火山岩層からなる．トンネル中央の西側は，活断層とされる入山断層破砕帯と未固結状の泉水砂礫層が分布する．ここでの土かぶり高は250～300m，断層粘土の一軸圧縮強度は0.07～1.87N/㎟，地山強度比は0.3～0.7の押出し性地山である．

## 技術課題と採用技術

入山断層破砕帯のφ3.5mTBM坑掘削時に，TBMは２度にわたり地山拘束を受け，切拡げを余儀なくされた．このことから，大断面トンネル施工は，多大な困難が予想され，押出し性土圧の克服は重要課題であり，以下の建設技術を採用した．

（１）　TBM導坑施工

φ5.0mTBMの機械能力は，標準タイプより約２倍高い20,000kNの高スラスト推力，約３倍高い低回転域での最大6,000kN-mの高トルク仕様のダブルシールドタイプTBMを設計した．TBMは切羽面を開放するので，掘削補助工による掘削素掘り面の自立確保，TBM機内組立ての鋼製ライナによる押出し性土圧対策は必要条件である．このために，これらの機械化施工を可能とする機械装置の装備，地質不良部を特定・評価するTBM高速掘進システムなどを開発，採用した．




H2s：浜石岳累層(砂岩優勢層)，H2g：浜石岳累層(礫岩優勢層)，Ha：浜石岳累層(断層破砕帯粘土)，Seg：泉水砂礫層，ltb：岩淵火山岩層

図-2　地質縦断図





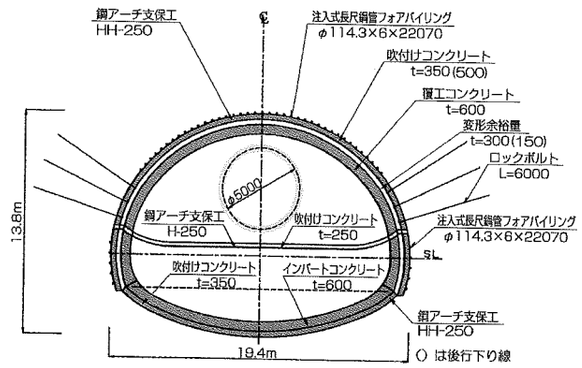



図-1　入山断層支保構造

（２）　早期閉合トンネル設計

押出し性地山における大断面トンネル施工の事例はなく，設計法は未確立であった．このため，厚肉円筒理論と強非線形モデルの有限要素法解析を計算方法とし，押出し性土圧と必要支保耐力，施工余裕の変形余裕量を設計パラメータとするトンネル設計・解析法を採用した[1]．

トンネル支保構造は，吹付け厚 $t$=35～50cm，圧縮強度36N/㎟の高強度鋼繊維補強吹付けコンクリート(鋼繊維混入量1.0%vol.)を主要支保部材とし，引張強さ590N/㎟のHH-250サイズ鋼アーチ支保工を実用化し，変形余裕量を30cmとする高耐力，高剛性の早期閉合トンネルを設計した．

（３）　早期閉合

早期閉合距離は，変位速度により12～36mとした．上半と下半・インバートは交互施工とし，これの施工単位は12mを基本とし，変位速度に応じて６mが選択できる．上半は１m掘進とし，切羽で仮閉合する．早期閉合の施工単位は３mとし，下半３m進行ごとに，インバート３mを一度に掘削，支保して断面を閉合する[1]．

（４）　押出し性地山の情報化施工

自動追尾機能を有する三次元自動測量・計測システム(PaM-Net)を開発し，位置出し測量とトンネル挙動計測を自動化した．

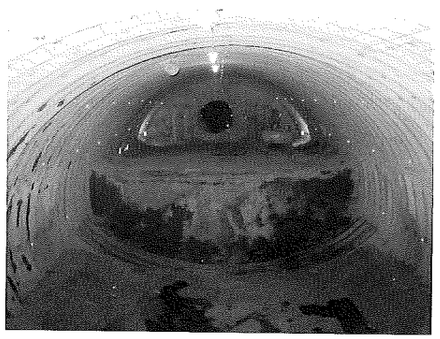


写真-1　早期閉合トンネル全景

## 採用技術の有効性・将来の発展性

（１）　TBM導坑掘削では，地山強度比が0.5を下まわる押出し性地山であっても，10m/day以上の掘進速度で，確実な施工が可能であった．また，TBM導坑を先行掘削し，その情報をもとにして拡幅掘削を計画する方法の有効性が示され，自立安定が困難な押出し性地山における大断面トンネルの合理的な建設技術を実証，確立した．

（２）　本坑拡幅掘削は月進行24mで，予測した範囲内で力学的安定は確保でき，計画どおりの確実な施工を可能にした．このことから，必要支保耐力などの計算方法，大断面トンネル早期閉合方法のCycle 3-6-12 方式の有効性が実証された．

（３）　PaM-Netは，トンネルや断層破砕帯挙動の可視化を可能にし，次施工の判断に有効に機能した．これにより，グラウンドアーチは，断層面の動きに支配されながら，上り線，下り線を包含して形成されることなどが明らかになった．

上記建設技術に対し，2004年度土木学会技術賞Ⅰを受賞でき，JH静岡建設局トンネル委員会(今田徹委員長)ならびに関係各位に感謝を表します．
(文責：佐藤淳・中日本高速道路(株)/楠本太・清水建設(株)/西岡和則・鹿島建設(株))

## 参　考　文　献

1) Takayuki KOBAYASHI, Jun SATO, Futoshi KUSUMOTO: report title, ITA/WTC2003, pp.551-557.




## 工　事　概　要

新東名の本格着工に先立ち，大断面トンネルの効率的な施工方法や支保部材の高強度化の有効性の検証などを目的に清水第三トンネル工事が計画された．掘削工法は，地質把握や水抜き，導坑からの地山補強，省力化や急速施工などが期待できるTBM導坑先進拡幅掘削工法とした．

平成８年に新東名起工と同時にTBMを発進し，課題解決や技術開発の先鋒を務めた．

## 地形・地質概要

清水第三トンネルは，現東名・清水ICの北約６kmに位置する．地質は新第三紀中新世後期から鮮新世前期の浜石岳層で，砂岩優勢の砂岩泥岩互層を基盤とする．

表-1　トンネル諸元

| | |
|---|---|
| 施　工　者 | 大成建設・大林組・三井建設JV |
| 延　　長 | 1,120m |
| 掘削方式 | 爆破掘削方式 |
| 主たる掘削工法 | TBM導坑先進拡幅掘削工法 |
| 補助工法 | ケーブルボルト(TBM導坑から) |

## TBM導坑の概要

**■TBM導坑の設計・施工**

TBM導坑は直径５m，掘削位置は期待する効果が最大となる上半中央とした．地形の制約から，地中において曲線半径30mでUターンし，上下線を連続施工した．この小曲線の掘削は，中・硬岩用TBMでは前例がないものであった．

TBMは，最高月進346.1m，最高日進24.4m，直線部の平均日進11.7m/日を記録した．

**■TBM導坑を活用した先行地山補強**

目的は，不良地山の安定性向上のほか，比較的良好な地山の掘進長の増大化や，本坑の支保を軽減してサイクルタイムを短縮するなどである．

材料は，ケーブルボルトとし，長さ８m，１断面あたり７本を本坑の１掘進長に合わせて施工した．打設は，削孔-モルタル注入-ケーブル挿入が自動化された専用機(CABOLT)を用いた．

## 本坑の拡幅掘削

**■高規格材料の試験施工**

表-2に示す高強度支保材料の試験を行った．

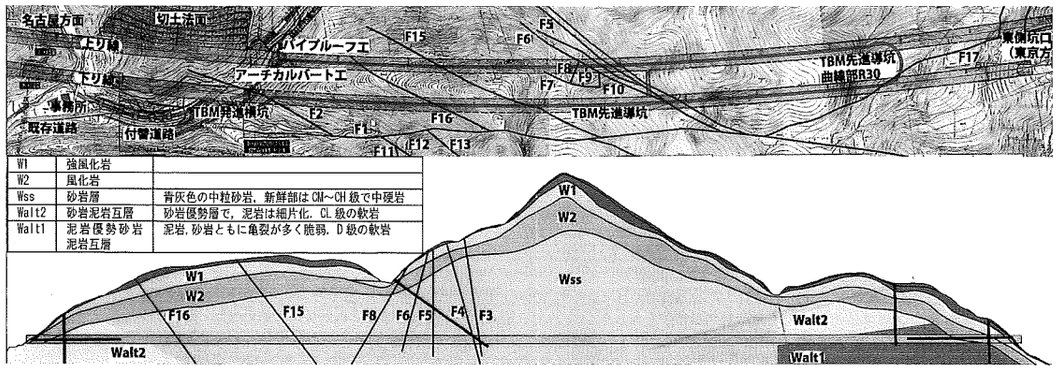



図-1　地質平面および地質縦断図





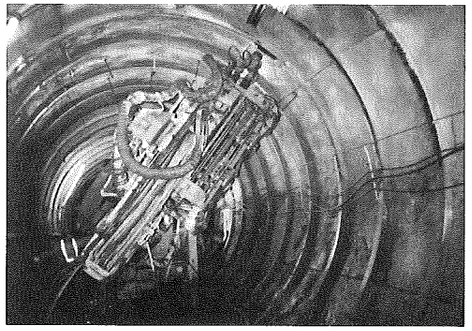


写真-1　ケーブルボルト打設専用機(CABOLT)

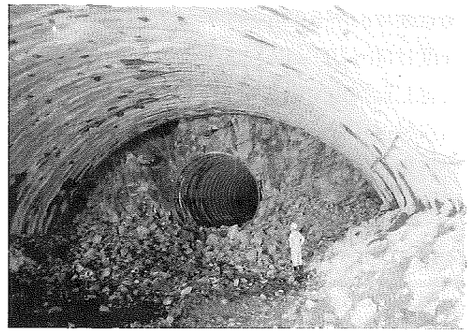


写真-2　本坑切羽

表-2　試験対象とした高規格材料

| 工　種 | 規格など　(　)は従来品 | 目　的 |
|---|---|---|
| 吹付けコンクリート | $\sigma_{28day}$=36(18)N/mm²<br>$\sigma_{1day}$=10N/mm²<br>$\sigma_{3hr}$=2N/mm² | 薄肉化<br>初期拘束力向上 |
| 鋼アーチ支保工 | SS540相当品(SS400)<br>引張強度590(400)N/mm² | 小型・軽量化 |
| ロックボルト | 耐力30(12～18)t程度 | 少数・軽量化 |
| 覆工コンクリート | $\sigma_{28day}$=30(18)N/mm² | 薄肉化など |

**■本坑掘削と新材料の評価**

拡幅掘削は上半先進工法とし，汎用機の中で最大級の機械を組み合わせた計画とした．前述の高強度支保材料の効果を検証し，順次導入しながら掘削を進めた．

支保の高強度化は，材料費が嵩むものの支保部材の軽薄短少化とこれに伴う施工サイクルの短縮でトンネル工事費をおおむね４～５%縮減した．

## 計　測　結　果

本坑拡幅掘削(C～DⅠ地山)のA計測で捉えた内空変位や天端沈下は20mm程度以下と比較的小さい値であるが，クラウン部の地中変位が深部まで及び，上半脚部の沈下が天端沈下量の50～100%と大きい．

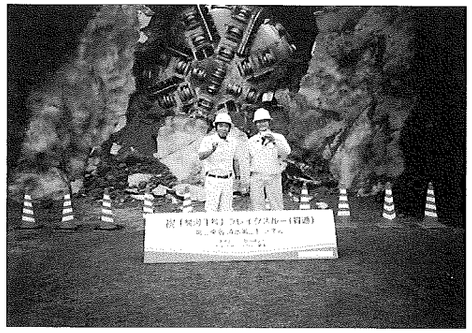


写真-3　ブレイクスルー

ロックボルト軸力は，全体的に小さいが20tを超える値も散見し，地山が悪化すると側壁部の軸力増加が顕著であった．

## TBM導坑先進拡幅掘削工法の評価

(１)　水抜き効果について，先行した下り線と比べ後行の上り線で湧水量が激減，崩落もこれに比例するという顕著な効果を確認した．本坑施工時も湧水は少なく切羽の安定に大きく寄与した．

(２)　TBMの機械データなどをトレンドグラフ化し，本坑掘削に活用した．地山の絶対的評価は難しいが相対的評価は確実に行える．また，地山を直接観察することで「一寸先は闇」の呪縛が解け，２～３割大きな一発破掘進長や支保パターンを高精度で変更できた．

(３)　先行地山補強は，切羽の安定に有効で，本坑支保の省略も図れたが，ケーブル打設のコストや施工能力などに課題を残した．

## 試験工事を終えて

本トンネル工事で検証した新工法・新材料が新東名の標準とされ，２車線トンネルにも適用が拡大されていることは喜びに堪えない．

末尾ながら，当トンネルで指導をいただいた方々に厚くお礼申し上げる次第である．

(文責：田中一・中日本高速道路(株)/青山繁夫・大成建設(株))



# 中央導坑先進拡幅掘削工法を標準工法に

## 静岡第二トンネル

## 工　事　概　要

大断面トンネルの施工において，延長の比較的短いトンネルでは経済性・工程の面でTBM導坑先進拡幅掘削工法の採用は難しく，他の施工法を確立する必要があった．そこで，本トンネルで下記に示す掘削工法の試験施工を行った．

本試験工事の掘削工法としては，①NATM導坑を先進させる「中央導坑先進拡幅掘削工法(以下，「中央導坑先進工法」と称す)」，②切羽を分割する「上半中壁分割工法(以下，「上半中壁工法」と称す)」，③長尺鏡ボルト併用の上半先進工法(以下，「上半先進工法」と称す)の３工法である．

## 地形・地質概要

本トンネルは，静岡市の中心部より北側約６kmの山間部に位置し，最大土かぶりは230mである．主要地質は新生代古第三紀瀬戸川層群の砂岩，泥岩，ならびにこれらの互層であり，弾性波速度は堅岩部で3.6～5.0km/sであった．地山の一軸圧縮強度は50～100MPa程度で湧水も少なく，比較的安定した地山であった．しかし，試験施工区間の坑口付近100～200m区間は亀裂が密集した風化帯で降雨の影響を受けやすく，切羽の自立性が低下していた．

表-1　トンネル諸元

| | |
|---|---|
| 施工者 | 間組・戸田建設・フジタJV |
| 延　長 | (上り線)1,185m,(下り線)1,187m |
| 掘削方式 | 機械掘削，爆破掘削 |
| 主たる掘削工法 | 上半先進工法，中央導坑先進工法，上半中壁工法 |
| 補助工法 | 長尺鏡ボルト，フォアポーリング，導坑内地山補強工 |

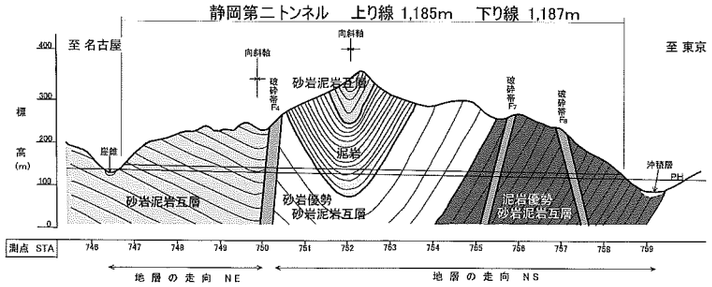



図-1　地質縦断図

## 掘削工法の比較

試験工事は，各工法の施工性や切羽の安定性を評価するため，上り線側を中央導坑先進工法，下り線側を上半中壁工法とした．また，掘削機械は各工法とも自由断面掘削機300kW級(１台)，大型ブレーカ３t級(１台)を使用し，他の作業についても同一の機種を採用した．静岡第二トンネルの比較的良好な地質条件下では，工法ごとの地山の挙動や支保部材に作用する応力に差異は見られなかったことから，各工法の施工性について述べる．

(１)　掘進速度の比較

中央導坑先進工法は，先進導坑と切拡げ掘削の交互掘削となるが，切拡げ断面の切羽は穿孔機，吹付け機とも２セットを同時に使用できるため，施工時間は上半中壁工法の15%増し程度に抑えることができた．また，導坑掘削時の切替えロスが少ないため，地山に応じて容易に導坑掘削と切拡げ掘削の変更ができた．

上半中壁工法は，先進坑と後進坑を同時併進できるため，中央導坑先進工法に比べ掘進速度







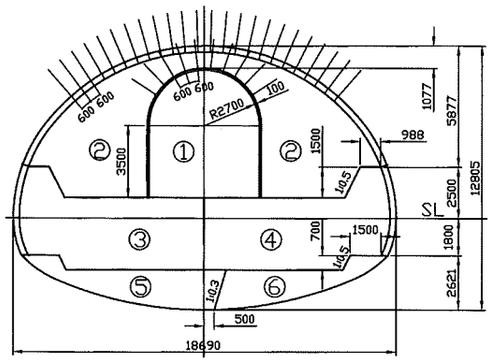



図-1　中央導坑先進工法

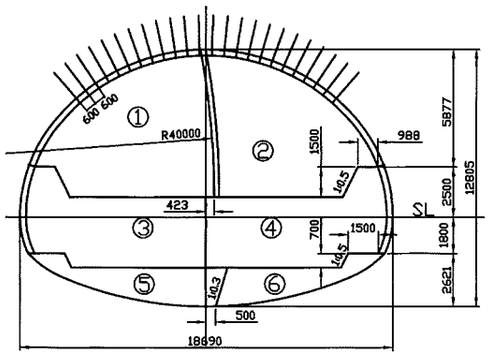



図-2　上半中壁工法

が速い結果となった．しかし，地山が良好となり上半先進工法に変更する際，後進坑の切羽を先進坑の切羽まで掘削する期間と中壁を撤去する期間がロスタイムとなる．このため，おおむね50～100m連続した不良地山区間がないと工程的に不利となる結果となった．

(２)　施工性の比較

中央導坑先進工法は，導坑掘削時と切拡げ掘削時の施工機械と作業人員編成の差異によるロスがあるものの，①導坑自体が切拡げ部の切羽の安定に貢献する，②先進導坑で地山状況を把握でき，切拡げ掘削時の支保工や補助工法の選定が適切にできるなどの利点が確認できた．

上半中壁工法は，掘削速度は速いものの，施工性・安全性の面で多くの問題点が発生した．

(３)　後進坑掘削時の問題点

後進坑において，先進坑側天端部の掘削は自由断面掘削機では不可能で，ブレーカによる掘削となった．しかし，掘削時の振動で中壁の吹付けコンクリートが先進坑側に剥落する現象が生じた．このため，後進坑天端部の先進坑側掘削時においては先進坑側を立入禁止措置とする必要があった．

(４)　鋼製支保工建込み時の問題点

先進坑側の鋼製支保工は，中壁天端部を過掘りしないと建込みができず，コンクリートの余吹きが増大した．また，後進坑側は，天端部の過掘りができないため，鋼製支保工を２ピース(脚部の長さ１m)とした．

(５)　ずり出し時の問題

ずり積込み作業は，先進坑，後進坑とも中壁のない後部で行うこととなるため，ずり積込み車両と切羽車両の接触の危険性が生じた．

## 掘削工法適用性の評価

本試験工事により，わが国の複雑な地山条件においては地山状況の確認・掘削工法の切替え時の合理性を重視し，不良地山区間は中央導坑先進工法を標準掘削工法とすることとした．

## おわりに

静岡第二トンネルは，新東名・名神の試験工事として，延長の比較的短いトンネルの標準施工法として中央導坑先進拡幅掘削工法を確立することができた．

最後に，静岡第二トンネルの試験工事にあたり，ご指導をいただいた多くの方々に深く感謝を申し上げます．

(文責：林崎信夫・東日本高速道路(株)/鈴木雅行・(株)間組)

## 参考文献

1) 林崎信男・尾辻真紀・岡田正男・井上賢一：大断面トンネル掘削工法の比較試験，第二東名高速道路静岡第二トンネル，トンネルと地下，Vol.31，No.5，pp.15-23，2000.5.




## 工　事　概　要

岡部トンネルは，現東名高速道路焼津ICの北側，約10kmに位置し，静岡県藤枝市岡部町と静岡県静岡市飯間に至る長大３車線トンネルである．

本トンネルは，海底地すべりにより再堆積したスランプ性堆積物を含む瀬戸川層群内を通過すること，また，長大扁平大断面トンネル(**図-1**)であることから，TBM(φ５m)で上半に先進導坑を掘削し，得られた情報をもとに経済的かつ適切な補助工法を選定し，本坑断面の拡幅掘削を行った．

本稿では，瀬戸川層群の地質とTBMおよび拡幅掘削の施工実績について報告するものである．

## 地形・地質概要

地形的に大別すると，標高100～300m級の比較的急峻な山地と朝比奈川とその支流の谷川に沿った低地より形成されている．山地の傾斜は山麓から山腹にかけて約30～40度と急峻であるが山頂付近においてはやや緩くなる傾向にある．

地質は，古第三紀始新世～新第三紀中新世の瀬戸川層群で基盤岩を形成し，その上部を第四紀完新世の河床堆積物などの被覆土が分布している．瀬戸川層群は，泥岩優勢砂岩泥岩互層，砂岩および含礫砂岩，スランプ性含礫泥岩により構成されている(**図-2**)．このスランプ性含礫泥岩は，海底地すべりにより再堆積した泥岩で，弾性波速度は3.5～4.0km/secと比較的良好な値を示すが，掘削後の風化が顕著な地質である．

瀬戸川層群は，北東～南西走向の軸面を有する褶曲によって特徴づけられ，本トンネルでは西側

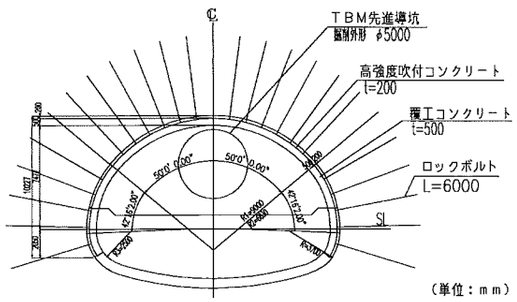



図-1　標準断面図(ＤⅠ)

表-1　トンネル諸元

| | | |
|---|---|---|
| 施工者 | | 前田建設工業・鉄建建設・錢高組JV |
| 延長 | | (上り線)2,653m，(下り線)2,612m |
| 掘削方式 | | 機械掘削，発破掘削 |
| 主たる掘削工法 | | TBM先進導坑・上半先進工法 |
| 補助工法 | TBM先進導坑 | AGF工法，事前補強工(ケーブルボルト) |
| | 本坑 | AGF工法，注入式長尺鏡ボルト，脚部補強工(レッグパイル) |

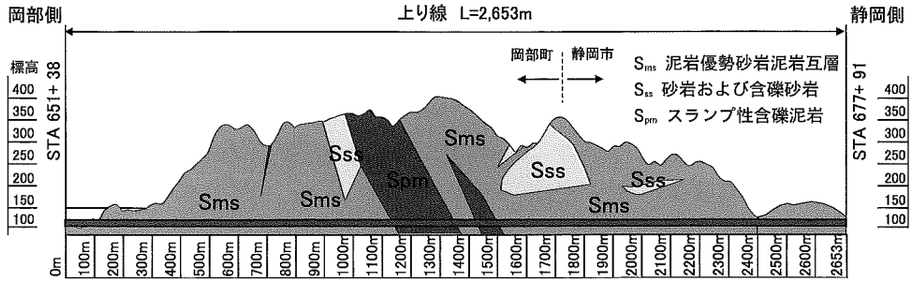



図-2　地質縦断図(上り線)







約1,100mの地点で背斜軸と交差している．また，谷部および山裾部には崖錐堆積物が分布し，直径２～３mの転石も各所に露頭している．

## 施　工　実　績

### ■先進導坑(TBM)

（１）　TBMは，掘削外径5.0mのオープンタイプを採用した．掘削順序は，下り線西坑口から東坑口まで掘進し貫通させた後，上り線西坑口から再発進し東側の到達坑で貫通させた．マシンには，H形鋼製支保工・鋼製簡易ライナー支保工組立て用のエレクターを装備し，また前方探査・補助工法に対応するための削岩機搭載可能型とした．

（２）　下り線西坑口発進後，坑口より40.9mおよび97m地点で崩落による掘進停止に陥り，そのつど地山の注入補強など対策を実施し掘進を再開したが，スランプ性含礫泥岩を含む不良地山が出現した1,114m地点で膨潤地山の緩みによるマシン締付けを原因とする掘進不能状態に陥った．再発進のためTBM周囲を注入，拡幅掘削し，脱出した後，AGF工法を26シフト(延長238m)区間連続実施し，不良地山区間を突破した．以後３回，不良地山区間が出現したが，補助工法としてAGF工法を採用し，無事貫通を迎えた．

（３）　上り線においては，下り線の実績をもとに，マシン改造および補助工法を想定した機材の後続台車への組込みなど，サイクル向上策を講じたうえで掘進を開始した．また，下り線で蓄積したデータより作成した補助工法を選定するための掘進フローをもとに，TBM内からのAGF工法などを併用し，ほぼ予定どおり完了した．

（４）　掘進工期は，下り線は平成12年２月～平成13年８月までの18か月，上り線は平成13年12月～平成15年１月までの13か月を要した．平均月進は，下り線が133m/月，上り線が171m/月であった．その中で，最大月進は379.6m/月(上り線)，最大日進は36m/日(下り線)であった．

### ■本坑拡幅掘削

本坑は，TBMで得られたトルクなどのデータをもとに支保パターンを決定し，検証を加えながら拡幅掘削を行った．

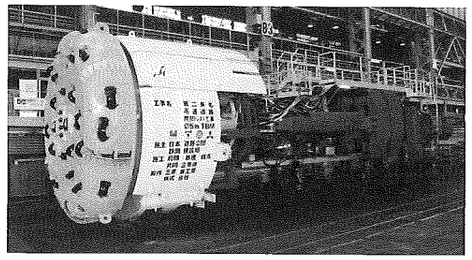


写真-1　TBM全景

（１）　下り線拡幅掘削は，天端・切羽崩落危険箇所にTBM孔内より事前補強工(ケーブルボルト)を実施した後，平成13年３月東坑口部から開始した．平成14年３月からは西坑口からも掘進し，ロックボルトの破断などの変状や補助工法の追加はあったものの，平成15年4月に無事貫通した．

（２）　上り線は，下り線での支保パターンおよび補助工法を加味したうえで設計パターンを選定し，平成15年６月東坑口より掘削を開始した．掘削中は，下り線覆工コンクリートへの影響を計測・監視しながら，途中，小崩落の発生，補助工法の追加はあったものの，平成18年11月無事貫通した．

## お　わ　り　に

岡部トンネルは，スランプ性含礫泥岩を含む特殊な地質である瀬戸川層群内に長大扁平大断面トンネルを構築するという困難な条件のもと，TBMによる先進導坑を採用し，大きな地質的トラブルもなく工事を完了できた．

本工事での実績が今後の同種工事の施工に寄与できれば幸いである．

(文責：和田宣史・中日本高速道路(株)/畑宏幸，大西隆司・前田建設工業(株))

## 参　考　文　献

1)「山岳トンネルにおける工事用機械の選定」連載講座小委員会：山岳トンネルにおける工事用機械の選定(21)，補助工法―その他―，トンネルと地下，Vol. 36，No.7，pp.66-70，2005.7.




## 工　事　概　要

島田第一トンネルは，土木工事でしばしば問題となる付加体地山を掘削したものであり，切羽の不安定化やトンネル掘削時の変形・沈下量の増大による支保部材の変状などが頻発した．本稿は，不良な付加体地山でのトンネル掘削工法の概要について報告するものである(表-1)．

## 地形・地質概要

当該トンネルは，静岡県島田市の市街地から北方約４kmにある標高200～300m程度の山地に位置している．地質は，四万十層瀬戸川層群と大井川層群の砂岩・泥岩および砂岩泥岩互層により主に構成されている(図-1)．当該地層は付加体に属しており，トンネルの切羽には土砂化した地山や亀裂を多く含んだ地山が不連続に出現した．また，比較的硬質な岩石でも軽打により潜在的な亀裂面に沿って容易に破壊し，その亀裂面は鏡肌を呈している場合が多かった．

表-1　トンネル諸元

| | |
|---|---|
| 施工者 | (上り線)大林組・熊谷組・フジタJV<br>(下り線)西松建設・鴻池組・フジタJV |
| 延　長 | (上り線)2,655m，(下り線)2,675m |
| 掘削方式 | 爆破掘削，機械掘削 |
| 主たる掘削工法 | TBM導坑先進上半拡幅掘削工法<br>中央・側壁導坑先進上半拡幅掘削工法<br>上半先進掘削工法 |
| 主たる補助工法 | 長尺鋼管フォアパイリング$L$=12.5m<br>長尺鏡ボルト$L$=12.5m，21.5m<br>フットパイル，インバート吹付け，ウイングリブ |

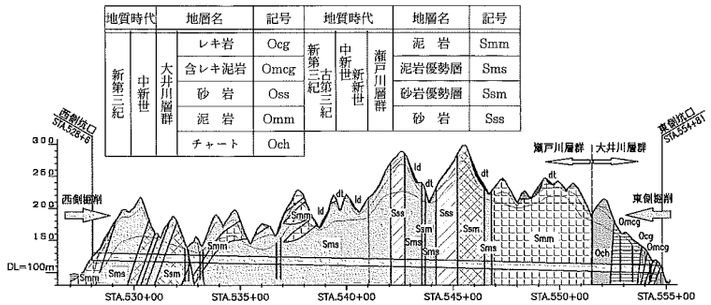



図-1　下り線トンネルの地質縦断図

## 下り線(先行)トンネルの掘削工法

先行施工した下り線トンネルでは，直径５mのTBMによる先進導坑掘削を行って，その後，本坑拡幅する掘削工法を採用した．TBM先進導坑の主な目的は，複雑な地質構造を有する付加体地山の地質確認および切羽安定性の向上などである．

TBMは，西側坑口の発進基地から東側へ向けて掘削を開始した(図-1)．一方，東側坑口部の大井川層群(約170m区間)は，とくに脆弱なE等級地山であったため，中央・側壁導坑先進上半拡幅掘削工法(写真-1)によって掘削し，TBM到達に備えた．TBM掘進中は，切羽崩落や締付けなどのトラブルがしばしば発生した．TBM掘削では，機械データ(カッタトルクなど)から準岩盤強度や地山強度比などの地質情報を収集した．

本坑の拡幅掘削は，基本的に上半先進掘削工法で両坑口から掘削を行った．拡幅掘削時の支保パターンは，前述した地質情報をもとにして当初設計の見直しを行った．しかしながら，脆弱で複雑な地山特性から，拡幅掘削時には最大で約260㎜の沈下が発生し，吹付けコンクリートの圧壊やロックボルトが破断するなどの変状が発生したため，インバート早期閉合，ロックボルトにPC鋼棒の採用，上半仮閉合などの対策工を実施した．





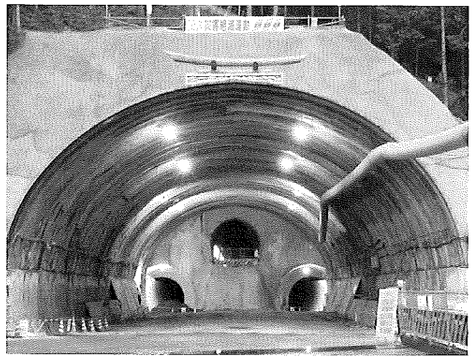


写真-1　本坑Eパターン

## 上り線(後行)トンネルの掘削工法

当初計画では，下り線トンネルのTBM掘削により地質構造が把握できたことと，脆弱地山で導坑からの対策工の施工を考慮して，NATMによる中央導坑先進拡幅工法で発注した．工事着手後は，下り線トンネルでのTBM掘削と本坑掘削の実績を精査し，①中央導坑の施工は工期への影響が大きいこと，②補助工によって本坑切羽の安定が確保できると判断したことから，全線に亘って上半先進工法を基本として，掘削することとした．

NATMによるトンネル掘削は，東側が脆弱な地山のため側壁導坑先進上半拡幅工法で開始した．西側は約100mを下り線トンネルTBM用作業坑として掘削したため，その終点から東側に向かって本坑断面で上半先進工法により掘削を開始した．

西側坑口から約160m地点を掘削中，隣接する下り線トンネルのインバートにクラックなどの変状が発生した．変状調査，計測データの分析から，地山緩み領域が重複することで，下り線に作用する土荷重が増加し発生したと推定された．下り線トンネルの安定を確保するためには，上り線トンネルの変位，とくに脚部沈下を抑制して地山緩みの拡大を防止する必要があることがわかった．

当トンネルのような扁平断面では，上部の土荷重が大きく，脚部沈下が発生しやすいが，下半掘削により扁平率を改善することにより脚部沈下は収束しやすくなる．そこで，上半ベンチ長を短くし，脚部沈下が大きくなる前に下半掘削を行えるよう，上下半交互掘進工法を採用した．さらに，トンネル構造をできるだけ早く安定させ，緩み拡大を防止するため，インバート桟橋を採用して閉合までの時間を短縮した．

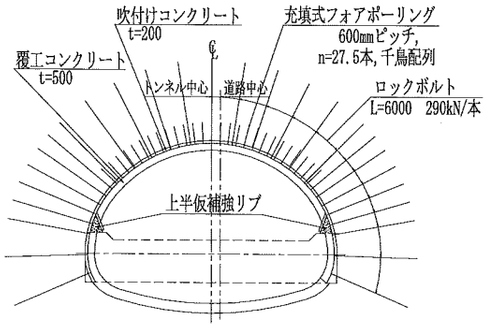



図-2　上半仮補強リブ

とくに地山性状が悪く上半段階で脚部沈下が増大する場合には，脚部沈下抑制工法「上半仮補強リブ」(図-2)を採用した．この工法は，初期の脚部沈下量に対応して設置することができるので，経済的な対策工である．また，汎用性が高く，掘削サイクルに影響が少ない工法である．

## ま　と　め

不良な付加体地山で，下り線トンネルはTBMの掘進や本坑の安定に，上り線トンネルは下り線トンネルへの影響抑制に苦慮した工事であった．

双設による影響抑制のために，上り線トンネルとともに下り線トンネルでも種々の対策を実施し，大断面トンネルにおける双設影響対策として貴重な知見を得た．詳細は参考文献を参照されたい．

(文責：藤沢善一,高橋幸三・中日本高速道路(株)/岩本俊一・(株)大林組/亀谷英樹・西松建設(株))

## 参　考　文　献

1) 大川了・板垣克利・金丸信一・亀谷英樹：付加体地山における先行トンネルへの掘削影響と対策工，新東名高速道路　島田第一トンネル下り線，トンネルと地下，Vol.41，No.5，pp.343-354，2010.5.
2) 吉村義朗・高橋幸三・千国洋道・岩本俊一・古家義信：扁平大断面トンネルにおける双設影響とその対策，第35回WTC総会投稿，2009.6.




## 地　質　概　要

金谷トンネルは，静岡県島田市大代～掛川市倉真に位置する標高532mの粟ヶ岳を東西に貫く上り線4,527m，下り線4,667mの新東名で最長の双設トンネルである(**図-1**)．

地質はトンネルのほぼ中央部を境に，東側が古第三紀漸新世の瀬戸川層群の砂岩・頁岩の互層，西側が新第三紀中新世の倉真層群の泥質岩から構成されている．

東側の瀬戸川層群は亀裂の発達した崩落性地山，西側の倉真層群は最大土かぶり300mに達する戸綿泥岩層での脆弱性地山となっており，トンネル掘削時に切羽が不安定となる岩質区分のD級地山がトンネル全体の８割を占めることが大きな特徴である．

**表-1　トンネル諸元**

| | | |
|---|---|---|
| 施　工　者 | | (東工事)奥村組・大日本土木・太平工業JV<br>(西工事)鹿島建設・竹中土木・青木あすなろ建設JV |
| 延　　長 | | (上り線)4,527m，(下り線)4,667m |
| 掘削方式 | | 爆破掘削 |
| 主たる掘削工法 | | TBM導坑先進拡幅掘削工法，上半先進掘削工法 |
| 補助工法 | 東工事 | フォアポーリング，長尺先受け鋼管，事前補強ケーブルボルト |
| | 西工事 | 長尺先受け鋼管，長尺鏡ボルト，PC鋼棒 |

## トンネル安定対策の特徴

前述のように金谷トンネルでは全延長の８割がD級地山で，その中でもとくに脆弱なDⅡ地山は上下線合計1,983mに達した．DⅡ地山では，天端部の安定対策や支保の変状対策などが重要となるが，TBM導坑先進拡幅掘削工法を採用したことにより，的確な補助工法の採用が可能となり，安全で経済的な施工を実現した．金谷トンネルの地山特性とトンネル安定対策を**表-2**に示す．

ここでは，金谷トンネルで採用した新技術から，瀬戸川層群における事前補強ケーブルボルトと戸綿泥岩層におけるPC鋼棒について紹介する．

## 事前補強ケーブルボルト

山岳トンネルでは天端部の崩落対策として，フォ

**表-2　地山特性とトンネル安定対策**

| 地山の特徴 | 切羽の状況 | トンネル安定対策 |
|---|---|---|
| 瀬戸川層群(亀裂の発達した崩落性砂岩・頁岩の互層) | ・天端崩落などの危険性が高い<br>・内空変位の増大による支保の変状 | ・フォアポーリング<br>・長尺先受け鋼管<br>・事前補強ケーブルボルト |
| 倉真層群戸綿泥岩層(地山強度比が２以下となる泥質岩) | ・切羽全体の不安定化<br>・天端沈下や内空変位の増大よる支保の変状 | ・長尺先受け鋼管<br>・長尺鏡ボルト<br>・PC鋼棒 |

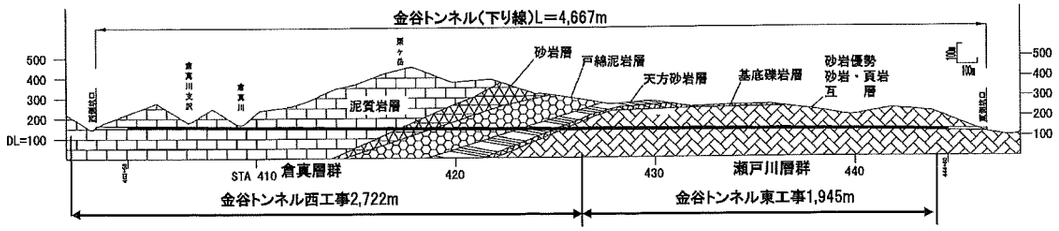



**図-1　金谷トンネルの地質縦断図**





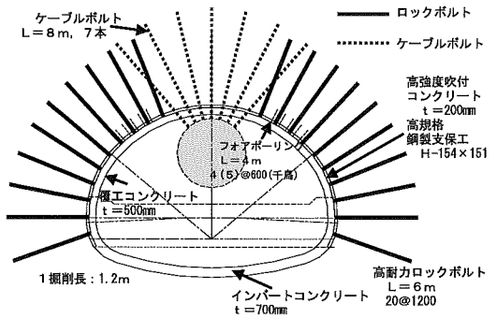



**図-2　事前補強区間の支保パターン(DⅠ区間)**

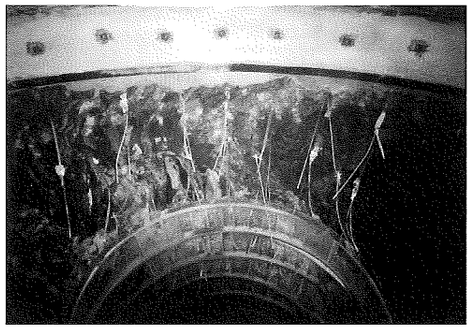


**写真-1　発破後のケーブルボルト状況**

アポーリングや長尺鋼管先受け工法が採用されている．一般的にはフォアポーリングで天端部の安定が確保できない場合に，長尺鋼管先受け工法を採用するケースが多いが，大断面トンネルにおいては天端部の補強範囲が広いことから，長尺鋼管先受け工法は経済的に大きな負担となる．

金谷トンネルでは天端部の崩落対策が必要な区間を対象として，TBM導坑内からケーブルボルトによる事前補強を行い，さらにこのケーブルボルトを支保工として活用することで，安全性と経済性を確保することが可能となった(**図-2**，**写真-1**)．

ケーブルボルトは，これまで中硬岩から硬岩地山を対象に使用されてきたが，今回のようにDI地山のような亀裂性地山においてもケーブルボルトによる事前補強効果が期待できることがわかった．

## P　C　鋼　棒

新東名の標準支保設計では，ロックボルトは耐

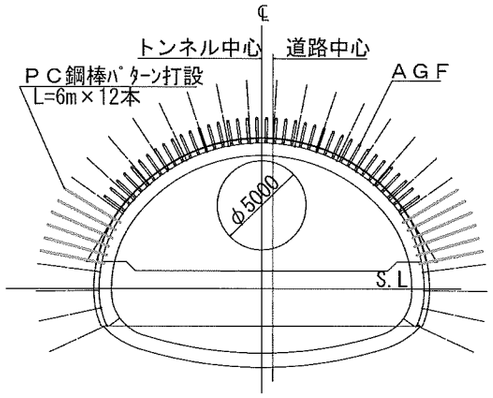



**図-3　PC鋼棒を使用した支保パターン(DⅡ区間)**

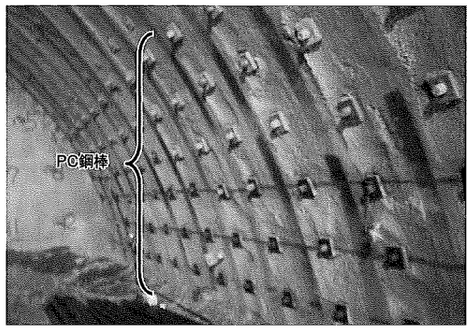



**写真-2　PC鋼棒打設状況(DⅡ区間)**

力290kNの高耐力ボルトを採用している．しかし，金谷トンネルの戸綿泥岩層では土かぶりが約300mと大きいことから，地山強度比が２程度あるいは２以下となる区間があり，地山の押出しによる切羽崩壊が発生した．また，この区間では内空変位が150㎜を超え，ロックボルトの破断や吹付けコンクリートのクラックなどの変状が発生した．このため，高耐力ボルトの増打ちや吹付けコンクリートの増厚を行ったが効果がなかった．そこで，高耐力ボルトに替えて耐力748kNのPC鋼棒を採用することで，トンネルの安定を確保した．

金谷トンネルでは，TBM導坑の施工結果からこのようなDⅡ区間が続くことがわかっていたことから，**図-3**に示す支保パターンを採用することで，効率的な施工が可能となった(**写真-2**)．

(文責：八木弘・中日本ハイウェイ・メンテナンス名古屋(株)/居川圭太・鹿島建設(株)/安井義則・(株)奥村組)




## 工　事　概　要

大和田トンネルは，山岳トンネル区間(延長83m)とアーチカルバート構造による明かり巻き区間(延長133m)で構成されている上り線のみのトンネルである．

大和田トンネルは，当初は切土による土工構造として計画されていた(切土延長$L$＝408m)．しかし，平成15年８月の豪雨時に施工中の切土のり面で地すべりの兆候が確認された．そこで，対策として応急施工した押さえ盛土中にトンネルを構築するというトンネル構造に変更した(トンネル延長$L$＝83m)．さらに残る切土区間のうち，トンネルの東側に隣接する区間($L$＝133m)は，過去に表層すべりが確認されている不安定な斜面であった．そこで，同区間についても，当初計画の切土構造からアーチカルバートに覆土した明かり巻きに構造変更し，前述の隣接するトンネル区間と一体化させた．トンネル部および明かり巻き部の標準断面図を**図-1, 2**に，各区間の諸元を**表-1**に示す．

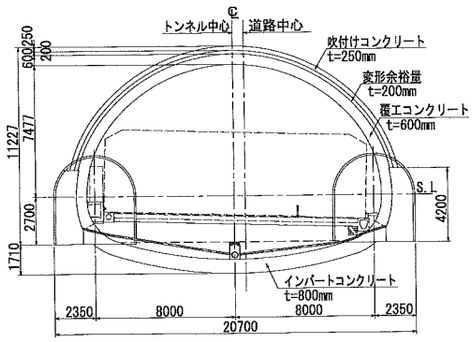



図-1　トンネル標準断面図

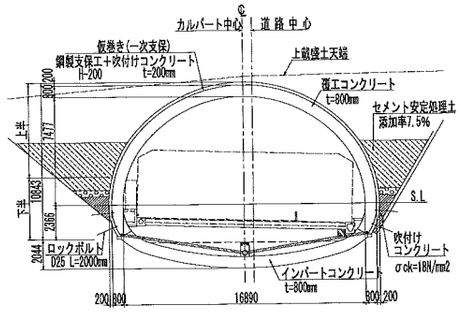



図-2　明かり巻き断面図

表-1　各区間の諸元

| | |
|---|---|
| 施 工 者 | (株)大林組 |
| 延　　長 | (山岳部)83m，(明かり部)133m |
| 掘削方式 | (山 岳 部)機械掘削，発破掘削<br>(明かり部)底盤機械掘削 |
| 掘削工法 | (山 岳 部)側壁導坑先進工法<br>(明かり部)仮巻き工法(導水シート併用) |
| 補助工法 | (山 岳 部)垂直縫地ボルト，地盤注入工，フォアポーリング<br>(明かり部)下半部補助ロックボルト，側部セメント改良盛土 |

## 地形・地質概要

当該地区は，東西方向に流れる原野谷川の浸食作用により広い谷底地形を形成し，その左岸側(南側)の切土斜面上部には地すべり頭部と推定される段差，滑落などが見られ，斜面下部には崩壊跡が見られた．全体として尾根付近まで伸びる潜在的な地すべり面が存在する可能性が推定された．

地質は**図-3**の地質縦断図に示すとおり，新第三期中新世倉見層群の松葉累層を基盤とし，土中や切土直後には硬岩としての性格が強いが，外気に触れると風化しやすく強度低下する性状である．

## 山岳トンネル区間の設計・施工[1)]

道路構造の決定にあたり，恒久的な地すべり対策工法を実施する必要があった．







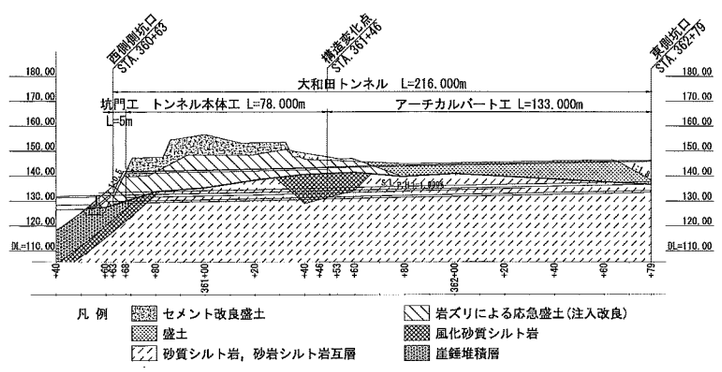



図-3　地形・地質縦断図

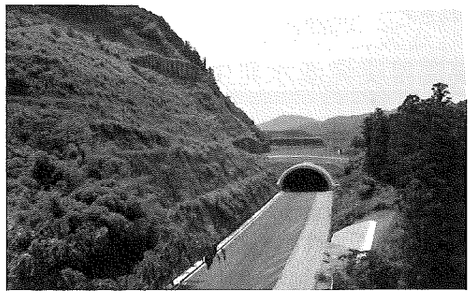


写真-1　明かり巻き完了全景

(１)　セメント改良土による盛土の追加

応急押さえ盛土上部にセメント改良土による追加盛土(３段)を実施し，地すべり土塊のすべり方向を包括するような盛土形状に変更した．

(２)　抑止杭工(深礎杭)

上記(１)に加え，地すべり抑止力を補うために深礎杭($\phi$5.0m，$L$≒40mを７本)を施工した．

(３)　地すべり土塊内の排水対策

降雨後の地すべり土塊内の迅速な排水を目的として，排水トンネルおよび排水トンネル坑内からの水抜きボーリングを実施した．

(４)　２つのトンネル切羽安定対策

トンネル上半部の半分程度には応急押さえ盛土の出現があることから，トンネル掘削時の切羽安定対策として，事前に地表からの垂直縫地ボルト工および圧力注入による地盤改良(セメントベントナイト注入)を実施した．地すべり土塊を背負った，1$D$程度の小土かぶり盛土における大断面トンネル掘削という厳しい条件であったが，排水トンネルによる地下水位上昇抑制効果，垂直縫地ボルト＋注入改良効果，セメント改良による押さえ盛土，抑止杭，さらに側壁導坑先進工法による上半脚部の支持力確保といった対策工の複合効果により，地すべり土塊への影響もなく安定した状態で掘削ができた．

## 明かり巻き区間の設計・施工[2),3)]

構造物の要求性能として，L2地震動に対する耐震性能Ⅱ(早期機能回復が可能なように損傷を限定的にとどめる)を確保し，かつ上方斜面崩落時の上載荷重増加に対する構造安全性を確保した．また，急峻な地形やその非対称性，基礎地盤に存在が確認された破砕帯の影響を考慮した解析・照査を実施した．

施工法の選定にあたっては，切土のり面に変状を与えない施工方法を採用する必要があり，ここでは鋼製支保工と吹付けコンクリート，さらに吹付けコンクリートの外型枠兼導水材として不織布を使用した仮巻き工法を採用した．通常，外型枠施工のための足場スペースが必要となるが，採用工法はすべて内側からの作業であるため，仮巻きのラインに従った掘削が可能となった．これにより掘削による切土のり面への影響を極力抑えることができた．明かり巻き完了状況(東坑口全景)を**写真-1**に示す．

(文責：岸本光弘・中日本エクシス(株)/藤井剛・(株)大林組)

## 参　考　文　献

1) 岸本光弘・藤井剛：切土施工中の地すべりにより道路構造をトンネルに変更，トンネルと地下，Vol.40, No.4, pp.7-15, 2009.4.
2) 岸本光弘・阿山泰久・藤井剛：明り巻きトンネルの地震時挙動，土木学会64回年次学術講演会，2009.9.
3) 塩原正夫・藤井剛・狭間稔司・八木隆之：仮巻き工法による明り巻きアーチカルバートの施工，土木学会65回年次学術講演会，2010.9.




## 工　事　概　要

浜松トンネルでは東坑口から600～700m地点に分布する石灰岩区間で，トンネル掘削時に高濁度の突発湧水(最大：10,000ppm以上，1,600m³/h規模)が発生したため，調査・観測による発生メカニズムの解明と併行して，止水注入，横坑による排水などの対策を実施した．さらにその後の湧水状況などの長期観測を経て，供用時の安全性確保のための横坑構造，トンネル外への排水検討を行い，一連の突発湧水対策を完了させた．本稿はその概要を報告する．詳細は参考文献1)，2)を参照．

## 地形・地質概要

地質は秩父帯中古生層に属する混在岩で，チャート，石灰岩，緑色岩類，粘板岩などで構成される(図-1)．とくに突発湧水が発生した石灰岩区間では随所に亀裂・空洞が観察され，その一部分から高濁度突発湧水が発生した．この区間の土かぶりは約150mで，地表では輝緑凝灰岩分布域に分断された石灰岩が露頭している．

表-1　トンネル諸元

| | |
|---|---|
| 施工者 | (上り線)佐藤工業・住友建設・株木建設JV<br>(下り線)熊谷組・東急建設・大本組JV |
| 延長 | (上り線)3,200m，(下り線)3,262m |
| 掘削方式 | 発破掘削 |
| 掘削工法 | TBM導坑先進拡幅掘削工法 |
| 突発湧水区間の対策 | 全周止水注入(注入深さ7～8m，セメント系)<br>横坑設置と横坑内からの水抜きボーリング<br>横坑内への堰堤設置と組合せ排水 |

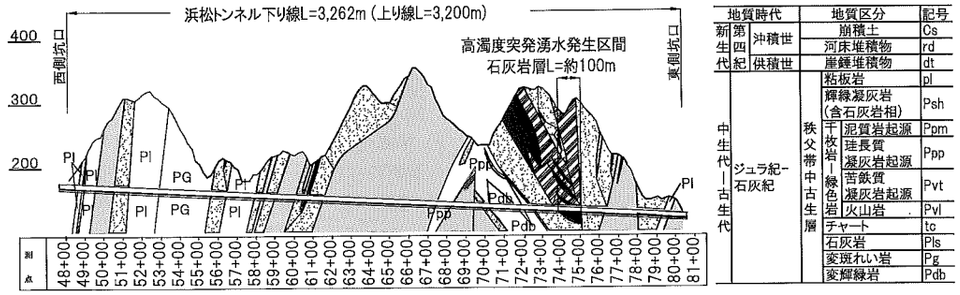



図-1　地質縦断図

## 高濁度突発湧水発生と止水対策

東坑口から上り線TBM掘削を開始した3か月後の平成11年6月，連続雨量164㎜の降雨でTBM導坑内から最初の高濁度突発湧水が発生した．この現象は，その後の本坑拡幅掘削時も連続雨量が約70㎜に達するとくり返され，土砂，岩屑が噴出することもあった．この現象は環境保全，施工時，完成後の安全確保に大きな課題となるので，トンネル全周に難透水ゾーンを形成して高濁度湧水対策を計画した．



写真-1　本坑肩部からの突発湧水状況

平成12年6月から上り・下り線の施工段階(TBM導坑天端，上下半，インバート)ごとにセメント系注入材による全周止水注入を実施した．しかし，下り線本坑の全周注入完了から1か月経過した平成15年4月の降雨で，肩部の吹付けコンクリートが破壊する高濁度突発湧水(500m³/h)が発生した(写真-1)．このため，止水注入による対策は限界と判断し，水抜き(排水)対策に方針を変更した．

## 高濁度突発湧水発生メカニズムと排水対策

高濁度突発湧水の発生位置と経路を特定するため，突発湧水発生箇所の履歴，止水注入時のルジオン試験結果などを参考に調査範囲を絞り込み，本坑から水抜きを兼ねた探りボーリングを実施した結果，上下線の間に長さ約6mの空洞を確認した．

平成15年7月，この空洞まで下り線から水抜き横坑(幅5.3m，高さ6.15m)の掘削を開始し，本坑から23.5mの位置に空洞(ぼら)を確認した．次に横坑内から水抜き(探り)ボーリング(24本)を実施して，空洞内の連続性・方向，規模を確認するとともに，地下水観測・計測機器を設置し，高濁度突発湧水発生メカニズムと水抜き横坑の効果を検証した(図-2)．

排水対策実施後は時間の経過とともに湧水の濁度は300ppm程度以下に減少し，岩屑，土砂の噴出もなくなり落ち着いた状態になった．これは水みちの固定化が進行するとともに，水みちの中の粘土分などが掃流されたためと考えられた．

## 維持管理を考慮した横坑排水構造

排水対策に一定の効果が検証されたので，将来の高濁度湧水，土砂流出のリスク対策として，維持管理のメンテナンス空間を確保するため，平成17年4月から横坑を2車線断面(幅9.4m，高さ6.8m)に拡幅し，水抜きボーリングも24本追加した．



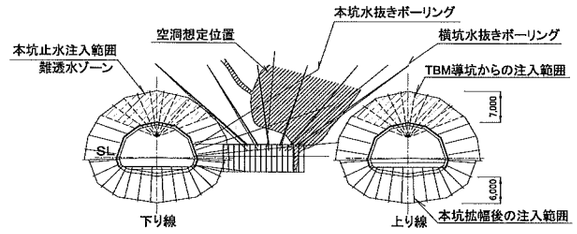



図-2　止水注入，横坑からの水抜き

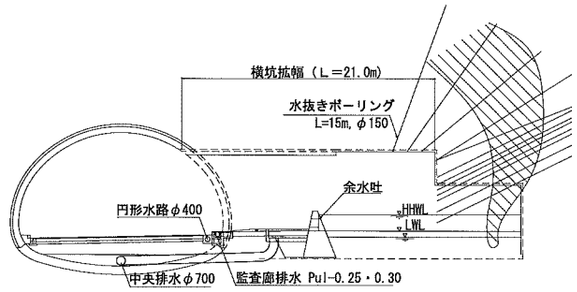



図-3　横坑拡幅と排水構造

平成20年10月まで降雨量と湧水量，濁度などを観察した結果，土砂の流出はなく，湧水の濁度は低下しており，排水対策の効果の再検証ができた．この横坑からの排水構造は，監査廊への排水溝設置と円形水路への排出を基本とし，横坑内の貯留池に設置した余水吐を超える排水は中央排水管に導くことにした(図-3)．

## おわりに

石灰岩区間における止水と排水を合わせた高濁度突発湧水への対応の記録を報告した．今後の同様な事例への参考になれば幸いである．

(文責：望月俊明・中日本高速道路(株)/古川哲男・佐藤工業(株)/堂藤和雄，田部井雅弘・(株)熊谷組)

## 参考文献

1) 後藤正登・井口哲也・真邉剛典・川越佳人：石灰岩区間における高濁度突発湧水の克服，第二東名高速道路　浜松トンネル，トンネルと地下，Vol.37，No.4，pp.17-27，2006.4.
2) 佐野良久・石田晃・馬場直孝：浜松トンネルの高濁度突発湧水対策，NEXCO技術情報，第12号，pp.43-54，2010.11.




## 工　事　概　要

引佐第二トンネルは，静岡県と愛知県の県境付近に位置し，新東名高速道路と東名高速道路を結ぶ引佐連絡路内の２車線トンネルである．トンネル延長は，上り線1,347m，下り線1,528m，掘削断面は約110m²(仕上がり内空断面積約80m²)であり，上り線，下り線ともに北側坑口より片押しにて掘削した．トンネル掘削は，斜面山側の下り線を先行させ，13か月後に上り線の掘削を行った．

北側坑口部には複数の地すべりと断層破砕帯，南側坑口部には広範囲に及ぶ多数の地すべりブロックと地上物件が存在したため，トンネル施工前に種々の地すべり対策工，トンネル掘削時には緩み抑制対策工を実施した．

また，トンネル中央部においては大規模破砕帯に遭遇し，状況に応じて切羽安定対策や変位抑制対策を施工した．このため，一部区間を除き，トンネル全線にわたって補助工法を併用したDⅡおよびDⅢパターンの採用を余儀なくされ，トンネル全体の平均月進が上り線33.7m，下り線32.7mの難工事となった．

トンネルの諸元を**表-1**に示す．また，本トンネルの標準断面図を**図-1**に示す．

表-1　トンネル諸元

| | | |
|---|---|---|
| 施　工　者 | | 清水建設・戸田建設・大日本土木JV |
| 延　　長 | | (上り線)1,347m，(下り線)1,528m |
| 掘削方式 | | 発破掘削 |
| 主たる掘削工法 | | 補助ベンチ付き全断面工法，ミニベンチカット工法 |
| 補助工法 | 天　端 | 長尺鋼管先受け工，注入式フォアポーリング |
| | 切　羽 | 長尺鏡ボルト，垂直縫地工 |
| | 支保工 | インバートストラット，高規格支保工，高耐力ボルト |

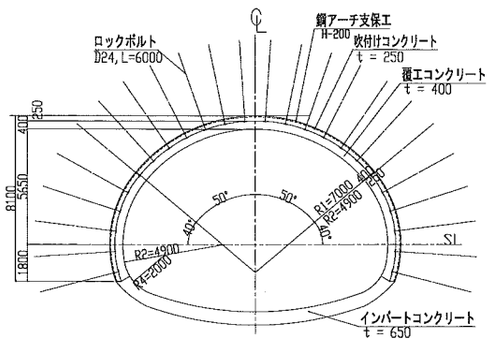



図-1　標準断面図

## 地形・地質概要

引佐第二トンネルは，浜松市市街地中心部の北西約20kmに位置し，引佐山地と呼ばれる比較的低くなだらかな山地の山裾に建設され，付近の標高は100～200mである．トンネルの最大土かぶりは約80mであるが，南北両坑口のそれぞれ200～400m区間は，土かぶりが2*D*(*D*はトンネル掘削幅)以下の小土かぶり区間である．この小土かぶり区間には多数の地すべりが存在し，事前調査の結果からそのほとんどが工事着手前から活動していることがわかった．

地質としては御荷鉾帯に属し，秩父帯との境界である御荷鉾構造線が南坑口部に存在する．地質構成は中～古生代の御荷鉾緑色岩の輝緑岩を主体とし，輝緑岩の水冷破砕岩，輝緑凝灰岩，蛇紋岩を介在する．これらの分布は一様ではなく混然としており，部分的には粘土化著しい破砕帯が存在する．

また，両坑口部には未固結な崖錐堆積物が分布し，北側坑口の一部には盛土や採石場のずりなどの人工土が分布する．







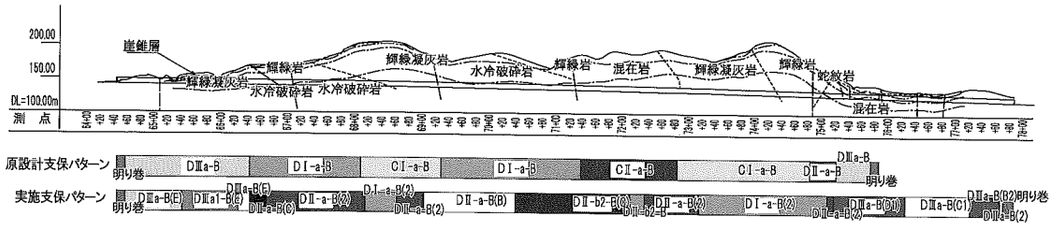



図-2　地質縦断図(上り線)

## 施　工　状　況

(１)　北側坑口部

北側坑口部周辺には地すべりが複数存在したため，トンネル掘削に先立ち，大規模な押さえ盛土と水抜きボーリングによる地すべり対策工を施工し，地すべりを安定化した．なお，この押さえ盛土に伴い，上り線トンネルを約200m延伸した．しかし，先行する下り線トンネル掘削時に地すべり変位が発生した．この地すべり挙動は，本インバートによる早期断面閉合により沈静化したため，後行する上り線トンネル掘削では，インバートストラットにより切羽直近で断面閉合を行うことで地すべり挙動を抑制した[1]．また，地表の動態観測の自動化を図るためにGPS変位計測の試験施工を実施し，良好な結果を得た[2]．

(２)　トンネル中央部

トンネル中央部では，大規模な破砕帯に遭遇し，切羽崩壊と最大250㎜を超える変位が発生した．このため，切羽前方に対しては長尺鏡ボルトを主体とした切羽補強工，切羽後方に対しては早期断面閉合を行ってトンネルの安定を図った．切羽補強工については，切羽崩壊防止のみならず，支保の低減効果を期待して採用し，その効果を確認した[3]．

(３)　南側坑口部

南側坑口部周辺には，地すべりが多数存在し，かつ，地すべりブロック内に神社，家屋および町道などの地上物件が存在した．このため，トンネル掘削に先立って，集水井と排水トンネルによる抑制工と，鋼管杭による抑止工を施工した．また，事前のトンネル緩み抑制対策として，垂直縫地工と薬液注入工を施工した[4]．トンネル掘削に際しては，地上物件に与える影響を考慮して，地表の動態観測を強化した情報化施工を実施した．具体的には，地表の変状をいち早く察知する目的でGPS変位計測による24時間のリアルタイム計測を行い，状況に応じて，長尺鏡ボルトによる切羽補強工とインバートストラットによる早期断面閉合を施工した[5]．これにより，地すべり誘発を最小限に抑制し，地上物件に大きな影響を与えることはなかった．

(文責：田山聡・西日本高速道路(株)/平野宏幸・清水建設(株))

## 参　考　文　献

1) 田山聡・竹國一也・神澤幸治・平野宏幸：小土かぶりの大規模地すべり地帯を情報化施工で突破，第二東名高速道路　引佐第二トンネル，トンネルと地下，Vol.36，No.3，pp.15-26，2005.3.
2) 平野宏幸・田山聡・清水則一・岩崎智治：坑口動態観測にGPS自動変位計測を適用，第二東名高速道路引佐第二トンネル，トンネルと地下，Vol.35，No.9，pp.49-55，2004.9.
3) 臼田芳彦・田中一・神澤幸治・平野宏幸：付加体脆弱地質を切羽補強工で克服，第二東名高速道路引佐第二トンネル，トンネルと地下，Vol.38，No.3，pp.23-32，2007.3.
4) 臼田芳彦・工藤和紀・神澤幸治・平野宏幸：地上構造物が存在する地すべり直下のトンネルの情報化施工，第62回施工体験発表会(山岳)，pp.17-24，2008.
5) 平野宏幸・臼田芳彦・神澤幸治・宮田和・清水則一：地すべり地におけるトンネルの切羽補強工と早期断面閉合による変位制御に基づく情報化施工，土木学会論文集　F，Vol.65，No.3，pp.364-380，2009.

# トンネルジャーナル

## 北海道新幹線　新茂辺地トンネルが貫通

鉄道・運輸機構が整備する北海道新幹線新茂辺地トンネルが貫通し，3月26日，現地で貫通式が開催された．これで同線の北海道側にある6つのトンネルすべてが貫通したことになる．

同トンネルは，北斗市市ノ渡と柳沢地内を結ぶ延長3,345mのトンネル．6トンネルの中では8,080mの渡島当別トンネルに次いで2番目に長く，施工は西工区と東工区に分けて行われた．

東工区の2,705mは，熊谷・東急・札建JVが担当し，2007年11月に掘削を開始した．東坑口に近接した明かり区間には，路線に平行して採掘場跡の斜面が存在しており，ここに古い地すべり性崩壊跡が確認されていた．このことなどから斜面から十分な離隔をとって作業横坑を施工，これを用いて本坑を掘進し，最大月進約188mを記録して，09年12月に貫通点に到達した．将来的な地すべりによる影響が懸念される明かり部には，押さえ盛土を設置したうえで内部をNATMにより掘削するトンネル構造とすることで，斜面の安定と新幹線の安全を確保している(本誌Vol.40，No.9，pp.7–17参照)．

西工区は大林・宮坂・松本JVが，トンネル650mのほか橋梁などを担当し，昨年8月に掘削に着手した．西工区には，大規模旧地すべり面とトンネル断面が交差する陥没帯区間が約80mわたって分布，周辺部の地山が破砕され劣化も著しく，地下水位も高かった．このため地下水位低下を目的として坑内からさまざまな水抜き工をくり返し施工し，地下水位を大幅に低下させ地山の安定を図ることで，安全に掘進し，このたびの貫通に至った．同区間では最大発生湧水が112m³/hに及び，水抜き坑の実施総延長は2,251mに達している．



写真提供：鉄道・運輸機構

## 平成23年度地盤工学会賞受賞者が決定

地盤工学会は，平成23年度地盤工学会賞受賞者を3月16日の理事会で決定した．6月13日の通常総会で授与される．

【技術賞部門】

水上純一ほか：空港アスファルト舗装の層間剥離に対する非破壊調査および急速補修技術の開発

四国地整小松島港湾・空港整備事務所ほか：砂圧入式静的締固め工法(SAVE-SP工法)の開発と現地での適用

Phan Huy Dong：浚渫土を有効利用した造粒固化処理土のコスト縮減方策と地盤材料としての適用性に関する提案

【研究・論文賞部門】

京川裕之ほか：修正応力を用いた等方硬化モデルによる誘導異方性の表現

林和幸ほか：炭酸カルシウム結晶析出による砂の液状化特性の改善効果

稲垣由紀子ほか：微生物代謝による液状化対策に関する動的遠心模型実験

Hossain Md. Shahinほか：Behavior of Ground and Response of Existing Foundation Due to Tunneling

Valeria Bandiniほか：The Influence of Particle Breakage on the Location of the Critical State Line of Sands

渡辺健治ほか：Seismic Earth Pressure Exerted on Retaining Walls under a Large Seismic Load

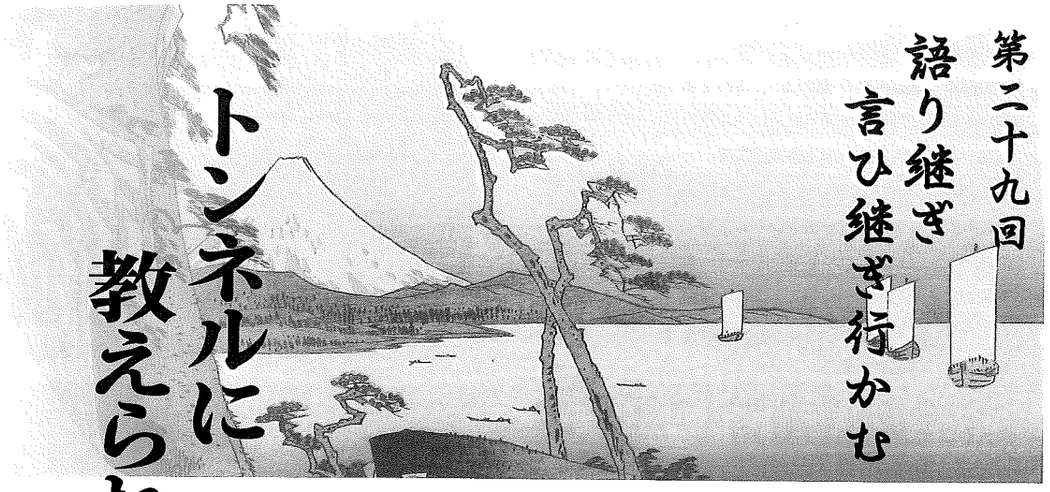
中島進：支持地盤と裏込め土の変形を考慮した従来型擁壁・補強土擁壁の地震時残留変位量の簡易算定手法に関する研究

田代むつみ：Prediction of Settlement in Natural Deposited Clay Ground with Risk of Large Residual Settlement due to Embankment Loading

肥後陽介：An MPM-FDM Coupled Analysis Method for Multi-phase Elasto-plastic Soils







# 第二十九回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ トンネルに教えられたこと、あれこれ

梅川　肇　(元)戸田建設(株)

## はじめに

昭和45年の入社当時，土木へ建築から土留め担当者の要請があり，初年兵で派遣され7つの土留めをかけてきました．このときに水平切梁，アイランド，逆巻き工法を計画し，土・水の特性と躯体工事を勉強しました．

その縁で土木に戻ってからは箱ものと造成が多く，トンネルに初めて出会ったのは昭和57年とデビューは少し遅かった感があります．時代は矢板工法からNATMへの転換期でした．今思うと土留め・コンクリート，矢板でのトンネルを経験し，主流になったNATMの担当者として最後まで携われたのは，非常に良い流れで経験を積んでトンネルマンになったお陰と思っています．

そのような経験を思い出すままに雑多脈絡なく綴るなかで，現役のトンネル技術者に何か残るものがあれば幸いと思い，筆を執ることにしました．

## 矢板工法からNATMへ

### ■矢板工法

常磐道助川トンネルでトンネルを初めて経験させていただきましたが，その当時の道路公団最後の矢板工法と言われておりました．まだまだ，元気のよい坑夫が少なからずおり，さすが地山の悪いときは経験を生かした匠の技を惜しげもなく披露していた時代でした．当時の地圧対策は担い，一次巻き(仮巻きコンクリート)，覆工ではRC化するのが主流で，NATMの支保理論から見れば支保の剛性向上に主眼をおいた「力には力」で対抗する対症療法的な対策だったと思います．

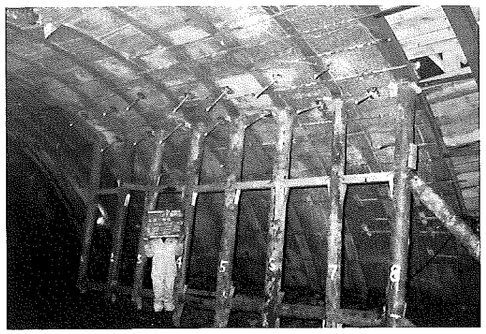
栃木県東荒川ダム導水路では，再度，矢板工法を経験しました．地質は2/3が凝灰岩(上半先進工法)，1/3が花崗岩(全断面工法)で，極端な軟(σ＝10MPa)，硬(120MPa)を経験させていただきました．凝灰岩部分の上半掘削は順調に施工を行いましたが，下半

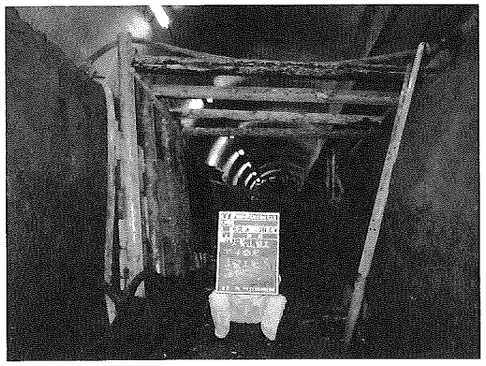
**著者略歴**

| | |
|---|---|
| 昭和45年 | 戸田建設入社 |
| 昭和57年 | 常磐自動車道助川トンネル工事 |
| 昭和59年 | 北陸自動車道薬師トンネル工事 |
| 昭和61年 | 東荒川ダム導水路建設工事 |
| 平成2年 | 浦山ダム寄国土トンネル工事 |
| 平成8年 | 上信越道八風山トンネル工事 |
| 平成10年 | 洲本バイパス宇原トンネル工事 |
| 平成12年 | 第二東名引佐第二トンネル工事 |
| 平成15年 | 北幹高丘トンネル南工事 |
| 平成17年 | 津軽ダム第三トンネル工事 |
| 平成19年 | チリ グアコルダ発電所U3・U4取水トンネル工事 |
| 平成21年 | 国道19号栈トンネル工事 |
| 平成22年 | 戸田建設退社 |



東荒川ダム導水路貫通点（筆者左）


助川トンネル施工当時の地圧対策：担い，一次巻き


東荒川ダム導水路アーチコンクリート基礎部分


東荒川ダム導水路の谷筋へ底設導坑と上半の貫通状況

に入ると湧水によって下半土平が流出するという現象が起き，上半覆工を落とさないために，抜掘り・足付けコンクリート打設までの間は，左右土平に土留め・切梁をかけるというやむにやまれぬ工法で切り抜けました．今のNATMであれば，下半掘削の際，多少の補助工法を併用することで難なく施工できたのではないかと思っています．

貫通部では谷筋に出るため，花崗岩の風化が著しく，26m²のトンネルを底設導坑で抜いて，これを切り拡げて上半を片押し貫通させました．トンネルで地山の悪いときは「加背を小さく……」トンネルの基本中の基本を遵守したものです．

**■矢板工法からNATMへの変更**

第二東名引佐第二トンネルの本坑掘削による地すべり防止のための排水トンネル（$L$＝164m，15m²）を矢板工法で計画しました．自由





断面掘削機でこれを3か月で到達させると意気込んだのですが，地山を甘く見たつけをたっぷり味わいました．

地山は地すべり土塊のため，天端，切羽が自立せず，巨大転石でビットがすぐに破損し，NATMでは当たり前にやっている掘削しながらの天端や鏡吹付けの補助工法が使用できず，坑口よりわずか4mで矢板工法での施工を断念して，NATM全断面ブレーカー掘削方式に変更しました．17m以降は天端が抜け落ち，15m²のトンネルに対し，ミニベンチ上半下半1mごとの交互併進＋ウレタン注入フォアパイリングで進むという対策を取りました．さらに巨岩に対してガンサイザー（蒸気圧破砕薬剤），部分発破の採用と，地山の状況に適した方法を選択しながら慎重に進んでおりましたが，93m地点で切羽の安定が保てず，コンクリートを打設して閉塞し，LWによる注入を行って切羽の安定を確保しました．切羽付近には変状が見られ，りょう盤コンクリートを打設して縫返しを行い，以降はストラット併用や鏡にファイバーボルトを打設しました．104m以降は支保工ピッチ0.75m，天端LW注入とRB4本で更に補強しながら進み，164mを掘るのに7か月を要する結果となりました．小断面の排水トンネルということで十分な地質調査をしないで突っ走った結果，矢板工法では掘りきれず，NATMでさえ，上下半分割による掘削とその当時の補助工法のあらゆる方法を採用するという，高い代償を払いました．トンネル屋の矜持として「切羽に謙虚に」「山に背を向けるな」という会社トップの教えがあるなかでの失敗であり，矢板工法の限界を思い知り，主流のNATMでさえまともに掘りきれない苦い体験でした．

## 北陸自動車道薬師トンネルでのNATM

私どもがNATMに取りかかった時期は，昭和54年国鉄鷹角線十二段トンネル，昭和57年横須賀南部清清掃工場搬入路築造工事（第1工区トンネル）などがありましたが，1,000mを越える本格的なNATMの施工は北陸自動車道薬師トンネルで，この工事に従事することとなりました．

**■アンモニアガスの発生とその原因**

薬師トンネルの地質は名立層と呼ばれる新第三紀鮮新世の泥岩を主体とした地層であり，昭和58年12月の坑口付け直後から，坑内で異臭を感知していました．当初からメタンガスなどの可燃性ガスの発生は予想されていましたが，分析機関にガスの分析を依頼したところ，メタンガスのほかに，アンモニアガスが検出されました．アンモニアガスは刺激臭が強く，目や鼻，喉に異常を訴える者が出始めましたが，昭和59年6月に入ると坑内アンモニアガス濃度も20ppm近くまで上昇し，目，顔面の炎症を訴え専門医の診察結果，軽微ではあるが電気性眼炎と診断されました．不休ではありましたが労働災害となり，抜本的な対応を迫られることとなりました．

原因究明として，まず，ガス発生事例調査ではトンネル工事でのアンモニアガスの発生は非常にまれであり，青函トンネルの第三紀泥岩で唯一事例を聞き及ぶ程度でした．

一方，海底堆積物である泥岩には多くの生物の遺骸である有機物が含まれ，生物の基本組織であるタンパク質に起因するアンモニウム塩が含まれることは何ら不自然なことではないことは確認していました．ここで，青函トンネルの事例に戻ると，トンネルは矢板工法で施工されているものの，アンモニアガスは水ガラスによる薬液注入の際に発生しており，薬師トンネルにおいても吹付けコンクリートやロックボルトのセメント系定着材など，アルカリとの接触・反応が誘因としてガス化している可能性に着目しました．そこで，泥岩試料を採取しPh＝9～10以上のアルカリ溶液に浸潤するという簡単な実験を行い，その結果，アンモニアガスが気化・発生することを確認しました．

折しも当時はNATMが日本に普及し始めたころ．それ以前の主流であった矢板工法であれば切羽でアルカリと接触する機会は少なく，アンモニウム塩を含んでいても，ガスとして発生する事例が見つからなかったのであって，結果としてNATMで施工した薬師トンネルが初めての事例となったのではないかと考えました．

ガス濃度は切削中に上昇したり，あるいは，ずりの中からも濃度の上昇が確認されたほか，湧水から

作業員が電気性眼炎で被災していることから，掘削に伴う応力解放(減圧)によるガス化，切削と細片化に伴うずり表面積の増加による気化の促進あるいは地下水に溶解したガスの減圧による気化も考えられました．しかし，いずれもトンネル工事では同程度に発生するものであり，薬師トンネルが過去に例のないアンモニアガス発生例となった理由としては，やはり普及し始めて日の浅いNATM施工での吹付けコンクリートやロックボルトのセメント系定着材との化学反応がもっとも大きな要因と考えました．

**■作業環境基準の設定**

山岳トンネルの岩盤からのアンモニアガス発生事例はきわめて少なく，アンモニアガス発生機構および環境基準を定めるため，まず，関係する各界の有識者の意見を調査しました．訪問，電話問合せをあわせて調査件数は24件で，このうち少なくとも，山岳トンネルの切羽からの発生事例，環境基準などは聞かれませんでした．アンモニアガス発生は山岳トンネルの特殊な事例であり，環境衛生の面でも従来の法規や事例がないため世界各国の環境基準やアンモニアガスの人体に対する影響を扱った臨床例，実験例を調査しました．

国内での基準としては許容濃度が25ppmで与えられていましたが，主として通常労働環境条件下の基準で，住居環境では悪臭防止法で工業地域２～５ppm，農村などその他地域で１～２ppmと厳しい基準となっています．各国，各機関



薬師トンネルの換気(当時としては大容量)

での許容濃度は，１日中暴露されるような住居環境では日本同様かなり低い値をとっていましたが，１日８時間前後の労働環境では５～50ppmの値で25ppmの例が多いことがわかりました．

このような調査結果をうけ，現場では環境基準を25ppmに設定しましたが，これでも目の痛みを訴える者が出たので，作業員からの聞き取りを行い，検討の結果「目標値を坑内のアンモニアガスを希釈して人間がようやく感ずる程度の５ppm以下に抑えること，25ppmで作業を中止して換気設備の再検討・実施すること」と現場での作業環境を決定しました．

**■対策工**

５ppm以下に抑えるため，450m³/分の局所送気を追加増強して換気効率を上げて対応しました．また，昭和59年６月以降は坑内アンモニアガス濃度の上昇に伴いガス抜きボーリングを行い，ガス突出の予防および先行して岩石中のアンモニアガス濃度を知ることにより坑内の濃度との関係を調査し，労働災害への防止を図りました．また，換気量も排気1,400m³/分，送気450m³/分と送排気システムに変更して作業中の人体への影響を極力少なくする方法を実施しました．

８月に入るとまた坑内のアンモニアガス濃度が15ppm程度に上昇し換気の補強が必要となりました．換気の効率化を図るため1,900m³/分の送気システムに変更するとともに，排気の滞留を防止するため100m³/分の補助ファンを設置したところ，５ppmを下回る環境をつくることができました．

今後のアンモニアガス上昇などによる作業の危険性を考慮して分析調査を続行しましたが，発生原因およびメカニズムの究明まで至らず，９月に社内に研究所を中心とした「アンモニアガス対策プロジェクト」を組織し，アンモニアガスの許容濃度などの基準値の調査，関係分野の専門家の意見聴取，化学実験などを行い，10月に発注





者へ調査報告書を提出しました．

国においても過去のトンネル工事においてこのような高濃度のアンモニアガスの発生と労働災害の事例がなく，新潟労働基準局が主体となって「北陸自動車道トンネル工事におけるアンモニアによる労働災害に対する調査団」が昭和59年12月に発足し，２回の現地調査と３回の検討会が行われました．アンモニアガスの検知，換気システム，湧水対策，トンネル施工法，保護具，安全衛生管理などが対策として報告されましたが，環境基準値に関しては「低濃度となるよう十分希釈される通風換気システムを設定する」との記載のみで明確な値が示されるには至りませんでした．

**■人がつくる　人でつくる　トンネル**

アンモニアガスに加え，湧水と流れ盤により核も自立せず，流れ盤に補助工法(ファイバーボルト，先受けロックボルト・薬液切羽改良)を採用しての掘削．さらに３年連続の豪雪(うち１年は高田測候所始まって以来の記録)もあり，工事用道路が雪崩発生の危険が生じ，２年の厳冬期工事中止を余儀なくされた三重苦の工事でしたが，工事関係者皆の熱意は熱く，問題を一つずつ解決しながら工事を進めました．

貫通時にこの困難を歌に詠んで残そうとの気運となり，作業所総員の１人１人の熱い思いを込めた100首以上の作品が集まりました．とくに地山・坑内環境・冬の情景を歌った歌詞が多く，長くて厳しい雪の中での工事がしのばれ，今でも歌われております．お世話になった上越の四季，苦しかったトンネル工事，掘り終えた感謝を歌った『薬師トンネル小唄』の一部を紹介させていただきます．

**『薬師トンネル小唄』**

高田城址で　花びら浮かべ
うつす夜桜　堀の水
汐の香りと　きらめく波と
しばし浜辺で　憩うなり
落ち葉踏みしめ　尼寺薬師
山はくれない　日本海(うみ)はるか
合羽片手に　冬空みれば
沖は白波　薬師は吹雪

若き精鋭　薬師に集い
喜怒哀楽を　ともにせむ
流れ目泥岩　崩れる前に
早く打とうよ　ファイバーボルト
掘れよ進めよ　薬師のトンネル
路盤泣かせの　湧水泥岩
弓手に君が　便りをにぎり
今日もダボ掘り　二年の月日

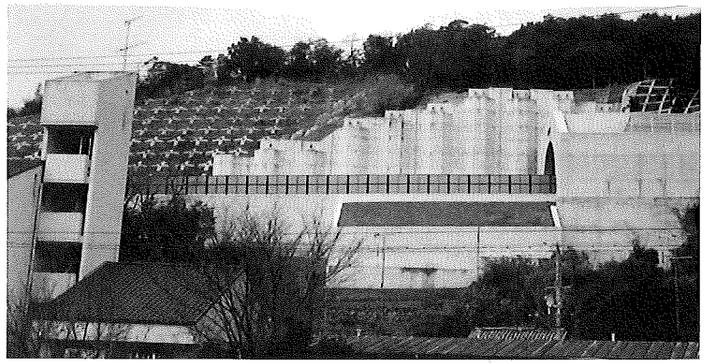
暗い切羽に　かすかな閃光
そこに集まる　笑顔と拍手
木の葉色ずく　ふるさとの秋
貫通うれしい　かさなる笑顔
感謝を込めて　また会う日まで
薬師トンネル　今日の良き日ぞ
時永劫に　幸せはこぶ
薬師トンネル　幸多からん

## 制御発破の事例

**■洲本バイパス宇原トンネル**

淡路島の洲本バイパス宇原トンネルでは市街地における制御発破を，EDD(電子遅延式電気雷管)を使用して掘削しました．主要な岩質は中生代の砂岩で，一軸圧縮強度は100～200MPaの硬質岩盤であり，硬岩用自由断面掘削機の適用も困難なため発破掘削を前提としました．坑口部に近接した家屋と斜面に多数の浮き石があり，さらにトンネル直上の家屋および登り窯などの保安物件が多数存在しました．

これらを対象として，振動値の自主管理値を家屋(体感)：65dB(A)，登り窯0.33kine(限界値1.0kine)，斜面1.67kine(限界値５kine)と定め，使用可能な薬量に対する検討を行った結果，もっとも厳しい範囲のBパターンでは「上下２分割，50cm進行の発破(踏前先行)」による制御を行いました．



民家の集中した宇原トンネル掘削側坑口

EDDは，当時はまだ開発されたばかりのもので，ICタイマーにより±1ms以内の秒時精度を利用した多段発による制御発破です．各段にも秒差のついた枝番があり，1本とて同時に起爆する雷管はありませんが，装薬については実験の結果，同段であれば隣同士の枝番を気にすることなく任意の位置に挿入しても効果(発破振動および効率)の違いは顕著に見られません．段数のみ場所を決める通常どおりの方法で実施できた点が，現場適用にあたって受け入れやすかったと記憶しています．

もっとも厳しい保安物件の登り窯においては，最多段は17段で，枝番も入れると実に168段の多段発となり，振動値も0.68kine以下，騒音の最大値(昼間)74.5dBで推移しました．

このようにトンネル全線にわたりEDDを利用する振動・騒音低減工法は，市街地における新たな制御発破工法として確立できたものと考えています．しかしEDDを利用した制御発破は，昨今の公共投資費用の削減により，雷管が高価であるゆえに敬遠されることが多く，MS雷管の併用または導火管付き雷管による分割発破が検討されることが多いのが現状かと思います．

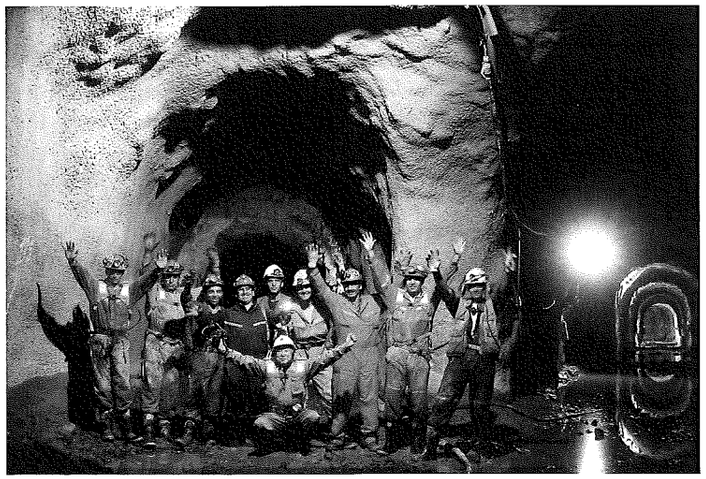
**■海外での経験(チリ・グアコルダ発電所)**

南米チリに，発電所3号機の明かり発破および3,4号機冷却水取水トンネルのスーパーバイザーとして赴任しておりました．この発電所は1,2号機がすでに稼働していましたが，新たな明かり発破がその冷却水取水トンネルに近接(3.7m)するため，制御発破を行う必要がありました．全発破に対して取水トンネルへの影響を予測し，協力業者と薬量，段数の調整を協議しながら施工を進め，保安物件(発電所を1日止めると1億円の損害が生ずる)である取水トンネルの監視を行いました．

チリにおいてはすべてノネル(導火管付き雷管)を採用しており，芯抜き，払いによる変位速度および雷管の深度に注意しておりました．岩質はチャートで振動計測値より$K$値を毎回計算して次回に反映させるのですが，不均質で$K$値も147～1,152(標準範囲200～500)が得られる状況で，現地の地質状況による経験値も参考に変位速度を予測する方法で管理を行いました．

こちらでの保安物件の対応思想は，決まった予測式などはなく2m離せば問題ないとする大まかな数字であり，とても発電所が停止すれば1日1億円の損害が生ずることを意識した管理ではありませんでした．しかし，300回以上の同地区での発破解析および経験にもとづいて，この地質に対する薬量においては1,2回程度であれば2mの至近距離でも保安物件に問題は生じないと判断していると考えられました．あくまで経験と実績を重視する姿勢は，一つの参考にはなりました．冷却水取水トンネル($A$=14m²)においては，鉱山立国チリで発破パターンも確立されており，導火管付き雷管，バーンホール・シリンダーカットで1発破約3m近くを難なく起こしておりました．

この国では，坑口付けが終わったら後は切羽を止めることなく貫通まで休みなく掘削します．坑夫は10日働いたら5日の休みとなり，3班(1班8人)で昼夜施工を行います．機械類は削孔機アトラスブーマーをはじめとして実績のある機械を集めており，測量機械にはわが国のメーカーの自動切羽プロッ



取水トンネルU3・U4分岐点で坑夫とともに(筆者中央)





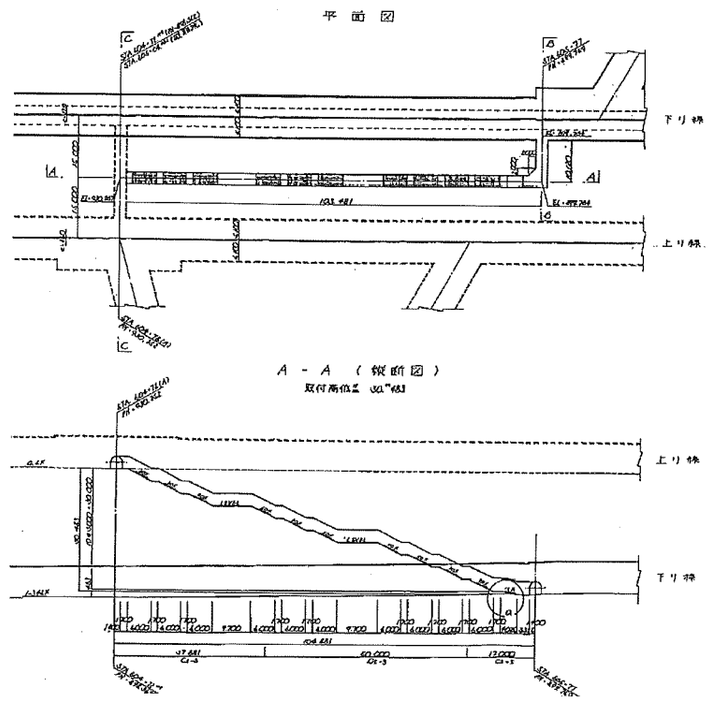
トシステムを導入しておりました．

施工における基本パターンはなく，まずは掘削し，地山が悪ければRB打設，さらに悪ければ吹付けをして掘るという状態で，安全のみを確保して掘削を続けていきますが，私は日本で経験を積んだスーパーバイザーとして山の悪いところは先行して補強するようにしました．ここでの慣習では，最後に全体の岩判定もどきを行いRBの本数，吹付け厚さを決めて将来的な補強としますので，日本のパターン方式に慣れた者には違和感を覚えるものでありました．

郷に入れば郷に従えと，割り切るべきと考えましたが，何処へ行っても「安全第一」は基本であると思い，その信念を貫きました．最終的には，外国から来た技術者としてではなく，一人の人間として話すことで，意は必ず伝わったし，理解もしてくれました．

## シングルシェル

上信越自動車道は，1期線において日暮山トンネルが，内空変位量，天端沈下量の最大変位量が3mに達する脆弱な泥岩に遭遇し，この区間の施工に約3年を要したため，2期線発注時に計画が見直され，1期線との位置関係を平面的に100mずらし，縦断的に24m下げることで，変位の大きかった当該区間の回避が図られた経緯がありました．その結果，八風山トンネルの避難連絡坑は最大取付け高低差30.5m，延長113.6mの小断面急勾配の斜坑で計画されることになり，工程，覆工におけるセン




八風山トンネル平面・縦断図

トル計画，施工時のコンクリートの圧送や安全性などが課題となりました．そこで，ここではNATMの一時支保部材(吹付けコンクリート，ロックボルト，鋼製支保工)を恒久的な覆工構造とする，いわゆるシングルシェルを採用することにしたものです．従来の一次支保構造を主体として水抜き孔と導水による排水工を施し，高強度の仕上げ吹付けコンクリートを施工するものでした．

わが国においても，電力，一般道路，鉄道を中心に，シングルシェルは意外と多く採用されおり，公表されている青函トンネルの作業坑や発電所の関連トンネルにおける実績から，①トンネルの供用目的と重要度，②トンネルのおかれる自然環境条件などを勘案したトンネル個別の耐久性に対応する吹付け覆工が，実施可能な段階に至っているものと考えられておりました．試験練りおよび試験吹きを行い，発注者の変更承諾を得てシングルシェルが採用されました．

日本の複雑な地質性状や地下水の問題のため，坑口部分を含め，すべてのトンネルでシングルシェルが可能であるとは考えられませんが，その公共性，重要度に応じて，十分な維持管理と事前の補修計画を立案することで，シングルシェルの採用が今後，増加するものと考えています．

## 二次覆工コンクリートのセントルへの付着

現在では多くの工事の発注で技術提案方式が採用されており，と

くに，コンクリート養生関係では数多くの提案がなされています．その中で，セントルバルーンなどの提案により，セントル空間全体を密閉して外気の流れを遮断して初期強度を確保し，セントルダウン時のコンクリート付着事例が減少しているようです．この付着問題には十分な注意が必要であると考えています．

一つ目の常磐自動車道のトンネルでは鋼板のスポット溶接部に点々と付着が発現したため，二つ目の上信越自動車道のトンネルではステンレスのスキンプレートを採用しましたが，やはり背面のスポット溶接部を中心に付着が点在しました．三つ目の青森県の道路トンネルでは，樹脂コートを施したセントルを採用し，比較的温度条件の良い6月末からの打設であったにもかかわらずセントル全面に付着が生じ，肩より上，傾向として打設口周辺に多く発生して，延長180m以上にわたって（6/24～8/17）対応に追われました．

結局，この付着問題に有効であったのは，どこでもやられている基本的なことで，初期強度を上げるための呼び強度の増加と加温および側壁打設口よりの剝離剤流出防止シートの設置および打設口閉鎖前の撤去などでした．剝離剤は油性の反応型，非反応型および動粘度を7種類替えてみましたが，有効な解決策とはなりませんでした．セントルに剝離剤が馴染むまでの1～3スパンまでは，コンクリートの付着は必ずしも珍しい現象ではありませんが，ここで紹介した3つのトンネルは付着現象が比較的長く続いた事例で，根本的な原因解明には至りませんでした．もし読者の皆様が遭遇されたら初期強度の増加（養生，呼び強度など）の対応をとられ，原因の更なる追及をお願いするものです．

## おわりに

施工者にとって，現在のトンネル工事のおかれている状況は非常に厳しいものがあります．社会資本整備事業の縮小，技術提案による予算の締付け，少ない人員による現場管理と膨大な提出書類．昔から現場が24時間稼働しているトンネル屋は常に体力勝負であり，更に地山性状の急変が加わると，現場対応，報告書の作成と対策案の立案，材料・業者への連絡・調整，発注者への説明ともう寝ている暇がないのがこの商売です．さらに団塊の世代がばっと抜け，急に責任を任されたのはよいが，下が育っていないのが施工各社の現状と思います．

今思うと，卒業するときにやっとトンネル屋として1人前になったのかなと考える今日このごろです．振り返って学んだ教訓は以下ですが，「当たり前のことを馬鹿にしないでちゃんとやる」という基本のことが一番難しいことでした．

① 基本は安全，安全なくして利益なし
② 事故の芽を摘む整理整頓，崩せば数倍かかる無駄な力
③ 法は必ず遵守，最低の基準と考え現場に沿ったルールの確立
④ 聞くは一時の恥，調べてわからなければだれにでも聞き教えを乞え
⑤ 山を知れば百戦連勝，調べられることはすべてやれ
⑥ 山の悪いときは加背を小さく，戦線の縮小
⑦ 設備・段取りは金がなくても余裕も見ろ，余計かかる入替え・段取り替え
⑧ 何事もそれでよいと思うな，見る目を変え常に改善・向上

最後に，トンネル工事の職務を全うできたことに，工事でかかわりを持たせていただいたすべての方に感謝を申し上げる次第です．





連載講座

# トンネル技術者のための地相入門（1）

## —地相は人相　山の性状—

「地相入門」連載講座小委員会

## ① 連載をはじめるにあたって

### 1-1　トンネル十訓　地相は人相　山の性状

トンネル工学は実績の積み上げをもとに経験則を打ち立て，後追い的に理論づけをするかたちで体系化してきた学問（経験工学）という部分が今でもかなりある．先人は自分が教わり，経験してきた大切な事項をいろいろなかたちで後輩達に引き継ごうとしている．

私が若いころ聞かされた「トンネル十訓」はその優れた伝承法の一つだと思う．

京都大学の足立紀尚名誉教授は「本当に意味のある素晴らしい教訓です．今更トンネル十訓なんて，という方もいますが，トンネル掘削に際しての原理原則が網羅されています．現在の工法でも，十訓に謳われる原理原則は生き続けている」と述べている[1]．

トンネル十訓の元祖は足立貞嘉のものであるが，その冒頭「地相（ちそう）は人相，山の性状（たち）」は私がもっとも好きな教えである．

この第一訓が教えるところは，「人相や表情によってある程度人間の性格や体質がわかるように，山の相（地相と呼ぶ）をよく観察すれば山の性質がわかるものだ」というもので，計画段階や着工前の段階で地相をもとに山の性状を慎重に診断する必要性を説いたものと思う．

トンネル工事にとって，その対象となる山の地形や地質をどの程度把握しているかいないかは，工事の難易に随分と差がでてくるといわれている．しかし，トンネルの技術検討委員会などに出される地質資料が地質縦断図のみという事例が多いという事実からして，一般的なレベルでは，地質・地形を把握することの大切さは，トンネル技術屋に十分に浸透していないのが実態であるといえる．

今回の講座は，こういう実態に鑑み，十訓トップバッター「地相は人相　山の性状」を主題にし，地形の中には地質の情報があるので，トンネル技術者たるものは習性として地形に興味をもつべきことを説こうというものである．

表-1 「地相入門」連載講座小委員会

| | | |
|---|---|---|
| 顧　問 | 鈴木　隆介 | 中央大学名誉教授 |
| 委員長 | 大島　洋志 | 本誌編集委員会委員長 |
| 副委員長 | 木谷日出男 | 本誌編集委員会参与 |
| 委　員 | 居相　好信 | （株）大林組（桑原徹，中間祥二） |
| 〃 | 一條　勝 | 鹿島建設（株）（稲葉武史） |
| 〃 | 岩永　茂治 | （株）熊谷組（片山政弘） |
| 〃 | 上野　将司 | 応用地質（株） |
| 〃 | 大津　敏郎 | （株）高速道路総合技術研究所 |
| 〃 | 佐々木靖人 | （独）土木研究所 |
| 〃 | 佐藤　岳史 | 東海旅客鉄道（株） |
| 〃 | 志岐　寛 | 清水建設（株）（泉谷泰志） |
| 〃 | 鈴木　雅行 | （株）間組（大沼和弘，山本浩之） |
| 〃 | 端　則夫 | 大成建設（株）（服部弘通） |
| 〃 | 服部　修一 | （独）鉄道・運輸機構 |
| 〃 | 松原　利之 | 飛島建設（株）（築地功，兼松亮） |
| 〃 | 向山　榮 | 国際航業（株） |
| 幹　事 | 三好壮一郎 | 国際航業（株） |
| 〃 | 武藤　直樹 | 国際航業（株） |

（50音順，（　）内は協力者）

### 1-2　土木技術者に地質工学的素養は必要

（元）国鉄総裁，（元）土木学会会長の仁杉巌氏は，

新幹線整備にかかわる土木技術者にとって必要な三つの素養を次のように記している[2].

> 新幹線整備に際して土木技術者に求められる素養は在来型の土木技術を前提とすることはいうまでもないが，あえて三つに絞れば，①長期計画，②マネジメント，③地質学になると思う．これらはもちろん他の社会基盤整備に際しても必要なものであるが，在来線からのしがらみを断ち切った別線線増の高速専用線である新幹線の特質から必要性が特に高いということである．

本連載は，トンネルの計画・設計・施工には地形・地質の知識が必須であるということを自覚しながら仕事をしてくれる技術者が増えることを目的として始めようと考え，その構成を模索していたときだったので，土木技術屋の総帥ともいうべき仁杉氏の2011(平成23)年2月の主張には勇気を与えられた．

仁杉氏は，平成24年5月に97歳になられたが，非常にお元気で，その行動はサミュエル・ウルマンの『青春』そのものである．仁杉氏が，「地質学」を大事だと思われる背景はいろいろ考えられるが，その原点は大正6～昭和8年まで，16年もかかって完成した東海道本線の丹那トンネルなのだろうと思う．

仁杉氏は大正12年9月に起きた関東大震災を，小学2年生のときに東京の牛込で経験されているが，丹那トンネルは着工6年後の難工事の真っ最中に大震災に遭遇したことになる．丹那トンネルが難航を重ねつつやっと貫通した時期は，旧制静岡高校で学んでおられた時期に重なる．御殿場経由の山岳路線であった東海道本線が丹那トンネル経由の海岸路線になったのは昭和9年12月である．開通翌年の4月に仁杉氏は東京帝国大学に入学されているので，旧制の高校・大学時代に丹那トンネルの難航ぶりと，完成したトンネルがもたらした劇的な時間短縮効果を実感され，土木の世界に興味を抱かれ，それが昭和13年4月の鉄道省入省につながったのではと勝手に想像している(余談：当時の大学の学業期間は3年間だった)．

丹那トンネルは，難工事となったゆえに，地質学の大切さを痛感した時の鉄道省が東京帝国大学出の地質理学士3人を大正12年に採用し，丹那トンネルの現場に送り込んだとされている．その中の一人である渡邊貫は，昭和10年に『地質工学』と題する大著を出版している[3].

昭和13年鉄道省の仁杉氏は，一時期浜松町にあった大臣官房研究所に籍を置いた時代があり，当時研究所在籍の渡邊氏の部屋に訪ね，ずらりと並んだ海外の技術書をよく読ませていただいたものだ，と伺ったことがある．仁杉氏と渡邊氏の接点があったとは驚きだが，丹那トンネルの経験を聞かれたり『地質工学』も手にされた可能性があるのかもしれない．こういうお付き合いを通して地質学(渡邊氏のいう「地質工学」であって，純粋地質学ではなさそうである)を素養の一つとすべきことを実感されたのではなかろうかと思うと，何となく合点がいく．

### 1-3　学びの姿勢〈Go and See　見れども見えず〉

Go and See(行け，そして観よ)は地質調査の基本として学生時代耳にタコができるくらい聞かされた言葉である．しかし，初心者にとっては，行って見たって何もわからない，見れども見えずなのである．経験や勉学の積み重ねがある人とない人が，同一の現場や事象に遭遇し，それを目の辺りにしても，その意味するところが一方には見えても，一方には全く見えないのである．しかし，見えないからといって悲観してはいけない．勉学を重ね，経験を積むうちに徐々に何かが見えるようになるものである．でも，それだけにとどまっていてはいけない．さらに磨きをかける努力をし続ける気概が必要である．付加体地質の提唱者として有名な九州大学の恩師勘米良亀齢(かんめらかめとし)名誉教授から学生時代に，叩き込まれた教えである．

こういう姿勢で，現場で地相(地形)にも親しんでいけば，そのうちに何かが見えてくるようになるのではなかろうか．





## ② 地形に対する知識はトンネルにどう役立つか

### 2-1　トンネルなどの技術書における地形の扱い

(1)　渡邊の地質工学

1-2節で紹介した720頁もある『地質工学』と題する本の中で，渡邊は下記枠内の目次に示したように，「第一節 地質概論 第3章 地形の起伏」の中で約60頁を地形の概説に割いている．さらに「第二節 地質工学 第3章 工事位置選定法，ならびに第6節 切取及隧道」の中で問題となる地形・地質を10項目掲げ，約40頁の記述を行っている．地形の基礎と応用の記述に計100頁も割いている．さらに「第二部 第4章 工事施行法」の中でも地形・地質的観点からの事例記述もある．これらの構成・記述から，渡邊自身が，地形的素養がいかに大事であるかを主張したかったであろうことを推察できる．

第一部　地質概論
　第三章　地面の起伏
　第6節　地表面の平坦化
　　1)風化　2)浸食作用及び堆積作用
　　3)浸食輪廻
　第7節　河蝕地形
　　1)河蝕作用　2)谷の地形　3)山の地形
　　4)堆積地形　5)断層地形　6)火山地形
　第8節　氷蝕及びカルスト地形
　　1)氷蝕地形　2)カルスト地形
　第9節　海蝕地形
　　1)海蝕作用　2)海蝕地形
第二部　地質工学
　第三章　工事位置選定法
　第6節　切取及び隧道
　　1)河段丘　2)海岸段丘　3)砂丘地
　　4)崖錐　5)断層　6)峠
　　7)傾斜層　8)嵌入蛇行(かんにゅう)　9)変質岩
　　10)地辷り地
　第7節　山崩れ　　第8節　基礎
　第四章　工事施行法
　第9節　切取及び隧道　第10節　基礎

(2)　土木学会トンネル工事標準示方書

わが国トンネル技術の聖典ともいえる土木学会の『トンネル工事標準示方書』は昭和39年に初版が制定され，今日まで5回ほど改訂をしてきている．初版別冊として作られた解説版は約130頁のうちの24頁を5万分の1地形図を用いながら崖錐，扇状地，地すべり・崩壊，地層地形，段丘，河川形態，特殊地形といった地形の説明に割いている[4]．しかし，その後の改訂版においてはその都度，地形重視の割合が減少してきており，最新の『山岳工法編』の中では，留意すべき地山・立地条件等として次を掲げているものの，残念ながらそれ以上の踏み込みはなされていない[5].

A　特殊な地山条件
　①地すべり等の移動性地山及び斜面災害が予想される地山
　②断層破砕帯，褶曲じょう乱帯
　③含水未固結地山
　④膨張生地山
　⑤山はねが予想される地山
　⑥高い地熱，温泉，有害ガス等がある地山
　⑦高い水圧や大湧水の発生が予想される地山
B　特殊な立地条件
　①小さな土被りの場合　②都市域を通過する場合
　③水底を通過する場合　④斜坑や立坑部
　⑤坑口部　⑥近接施工となる場合
　⑦大断面となる場合

(3)　拙書『わかりやすい土木地質学』

私は標記の本[6]を多くの方々の協力を得ながら監修出版している．同書の中では，地形・地質に関しては，下記のような書き出し・目次構成で約20頁を要する解説を行った．これは，私自身，山岳トンネルの技術者たるもの概略でも良いから地形か

ら地質を読み取る，感じ取る感性を持って欲しいと願っているのだが，地形や地質に対する知識の大切さは強調されるものの，実態はそれとはかけ離れたものになっていると感じていたからである．

土木を対象とした地質調査の報告においては，地形についての記述の割合はきわめて小さく，地質に関する記載の前書きのように扱われていることが多い．地形調査は主に調査の予備段階で行われ，空中写真による判読や地形図から読みとった情報が記載される．しかし調査段階が進むにしたがって地形に関する記述は少なくなり，詳細調査にいたって土木構造物の設計値に議論が集中する段階ではほとんど扱われることがない．これは従来の地形調査が主に表層物質の概略の分布を把握するか，またはリニアメントを抽出することによって，断層や断層破砕帯の有無を検討することに主眼がおかれてきたためであると考えられる．しかし地形からはもう少し重要な情報を読みとることができる可能性がある．

第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学

3. 地質作用
- 3-1　地殻へ作用する営力
- 3-2　外因的地質作用
  風化作用/浸食・運搬作用/堆積作用/浸食輪廻と岩石の循環
- 3-3　内因的地質作用
  プレート運動/付加体の形成/火成活動，火山活動，温泉作用/地震活動などの地殻変動

5. 地形と地質との関わり
- 5-1　地質調査と地形解析
- 5-2　低地の地形
  おぼれ谷とリアス式海岸/海岸の堆積地形/自然堤防・後背湿地・旧河道/段丘/扇状地
- 5-3　山地の地形・マスムーブメントの地形
  崖錐/地すべり・崩壊
- 5-4　断層地形
- 5-5　組織地形

そういった思いで，執筆したつもりであったが，トンネルの計画や施工に直接携わっている方々の琴線に触れるまでには至らない記述で終わってしまったようである．やはり，渡邊の本のように事例をまじえながら，地形・地質の知識をもつことが必要だな，と思わせるような記述でなければいけない，というのが拙書に対する最近の反省である．

## 2-2　地形の知識はトンネルにどう役立つか

そこでまず，本連載講座のイントロとして，これを読まれるトンネル技術者たちが，「これなら自分でも地形から地質を想定することができそうだな」と実感できそうな事例などを，私の著述[7]の中からいくつか選んで紹介する．

（1）　地名にも興味をもとう（地質情報をもった地名）

地名には，地質環境に由来するものがあるので，関心をもって欲しい．自分自身が経験した事例を若干紹介する．

**浮島ヶ原**：沼津～富士にかけての駿河湾に面して海岸線には白砂青松の砂浜が続いており，東海道やJR東海道本線はこの砂堆部に位置している．砂堆の裏（北）側には浮島ヶ原と呼ばれる極軟弱地盤の一面の平坦な原っぱが愛鷹（あしたか）山の山裾まで続いている．これは海岸砂丘背後の沼沢地が自然に水生植物で覆われ，陸化した地形である．後から造られた東海道新幹線や東名高速道路は浮島が原を避けて愛鷹山の南山麓に路線を選んでいるのである．

浮島という地名からは，上述のような軟弱地盤の存在を予想して良い．因みに私の住む江戸川区北葛西の字名は宇喜田という．マンションの類は50m級の深い杭で支持されているくらいだから軟弱地盤と考えて良く，本来は浮田だったに違いないと思っている．日本全国にある「宇喜田」「宇喜多」の中にもこの類からきた地名があると思って良かろう．

**窪**：JR中央本線は武蔵野の国分寺と西国分寺の間で北から南へ下る浅い谷地形を盛土で通過している．この谷部を含めた地域は恋ヶ窪と言う．「窪」のついた地名は全国にたくさんあるが，窪んだ地形，凹地状の地形の集落である場合が多いと思う．新潟県南魚沼郡塩沢町の北西側にある魚沼丘陵の東側稜線下に栃窪（とちくぼ）という小集落がある．この丘陵の裾部を地辷り性の膨圧で施工に苦労した上越新幹線大沢トンネルが貫いているが，栃窪は地すべり上部の滑落崖直下にできた窪地そのものである．久保のついた地名も，もとは「窪」であった可能性ありと考えても無理ないかもしれない．

**上野原**：山梨県東部の相模川支流桂川に沿って上野原という町がある．JRで行くなら中央東線上野原駅，中央道ならば上野原ICが最寄の駅やICがある町だ．ここは桂川の左岸（北側）に広がった広大な河岸段丘面に発達した町であり，名前の由来はきっと「川の上段に広がった広い野原」からきているのだと思う．JRの駅は段丘崖の裾にあり，町まで上がっていくのに苦労するが，崖面には旧桂川の氾濫原時代に堆積した厚い砂礫層がみられる．この種の地名はまず，段丘平坦面をイメージしても間違いない．

このほか，（7），（8）で紹介する蛇崩（じゃくずれ）山，放（はな）れ山など，多数の事例を挙げることが可能だが，次号以降にもう少し詳しく紹介することにし，この辺で終わりとする．

（2）　遷緩線付近には断層がある

私が20代後半のころ担当した山陽新幹線福岡トンネルの東坑口付近には見事な遷緩線（せんかんせん）（ある線を境に下方が緩傾斜に変化する境界線）がNNW-SSE方向に発達している（**写真-1**，**図-1**参照）．この遷緩線は活断層とされている西山断層が地相として地形に表れたものである．

施工当事は活断層としての認識はなかったが，花崗岩から緑色片岩を主体とする三郡変成岩に変わっていく地質境界の大断層としての認識は強く抱いていた．花崗岩部分はマサ地山であり，水をかなり含んでいたが，底設導坑を先進させることで，ロードヘッダという掘削機械で楽に掘れる地山であった．上述の遷緩線直下付近を通過し，坑口から600m，土かぶりが約150m付近で地質が三郡変成岩に変わった．西山断層はたいした苦労もなく通過できたなと思った．

硬岩の三郡変成岩に変わり，さあこれから頑張ろうと気合いをいれたが，期待したほど地質条件は好転せず，途中小断面迂回坑を施工して切羽を進めなければならない状態が続いた．断層境界から300mほど進んだころ（図-1の○部分），切羽前面が青緑色の破砕質の地山に変わった．そこで削岩機タイプの最新式ボーリング機で前方探査を試みたが，粘土層の先の硬岩を確認できないでいる




写真-1　山陽新幹線福岡トンネル東坑口付近の遠景

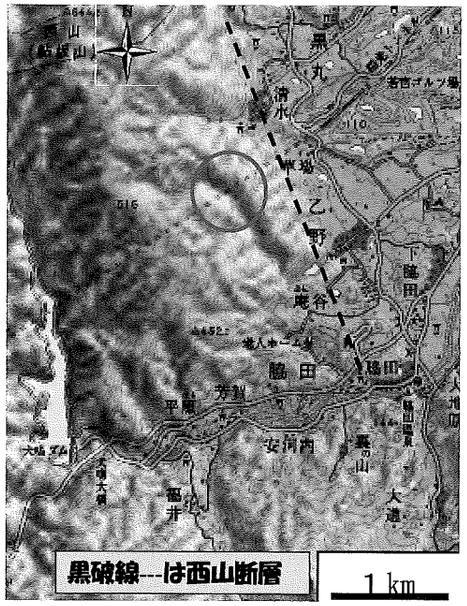



図-1　山陽新幹線福岡トンネル東坑口付近周辺地形図

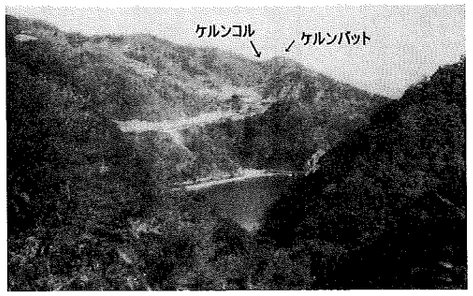



写真-2　布引貯水池を経て東を望む(1966年撮影)

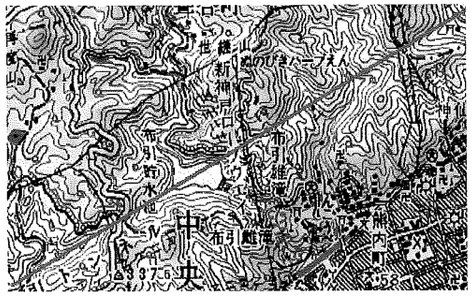



図-2　布引断層(太直線)付近の5万分の1地形図

うちに，切羽に異常がみられるようになり，ついには毎分二十数m³強のという突発湧水で切羽が崩壊し，濁水が3kmほど先の遠賀川支流の犬鳴川まで到達という事態になった．この粘土質断層破砕帯の厚さは優に10m以上あり，西山断層とほぼ平行していたので，これが施工にとっては，西山断層の主断層なのではと思ったものである．この断層は，写真や地図で読み取れるほどの大規模な大断層帯であったことになる．

(3)　断層鞍部地形

土木地質を意識するようになってこの地形に始めて接したのは山陽新幹線六甲トンネルの水文調査に直轄で従事しているころだった．新神戸駅横を流れる生田川を上流へ行くと布引貯水池がある．この貯水池の西側尾根を通る自動車道から貯水池を挟んで東側を眺望すると，当時は見事な断層鞍部地形が望めた(**写真-2**)．この鞍部を結ぶ線上に布引断層が走っているのである(**図-2**)．

このような地形は山地部の地形図を注意して見れば必ずや一つや二つ簡単に探すことができるであろう．

中央西線の複線化工事計画担当者が相談に見えたとき，トンネル路線がこの特徴的な地形の直下に計画されていたので，問題点として指摘し，一緒に現地確認に行った．予想どおり大きな破砕帯を斜交する計画となっていることが確認されたので，担当者はビックリし，問題箇所を避けた路線に修正した．担当者は神懸りみたいに感じたらしいが，この地形特徴を知っているものにとっては驚きに値しないと思う．




図-3　身延線市ノ瀬・久那土間勝坂トンネル付近地形図

(4)　鞍部地形は断層であることが多い

JR身延線の市之瀬～久那土駅間は富士五湖の西端本栖湖の約8km西，富士川本流からは約3km東に位置する路線であり，中間に延長882mの勝坂トンネルがある(**図-3**/地理院地図のトンネル名は誤り)．そのトンネルの北坑口付近で，開業数年後の昭和6年12月に随分大規模な崩壊があったようで，渡邊は次のように一刀両断している[3]．

1)　…隧道の延長を短くするため，目先の欲に引かれてこの峠の直下に隧道の中心線を通したのであるが，此の如きは全く飛んで火に入る夏の虫の例で，わざわざ好んで断層の破砕帯の中を掘削して馬鹿を見た最も著しい実例である．

2)　…第三紀頁岩・砂岩互層の切取部が漸次風化





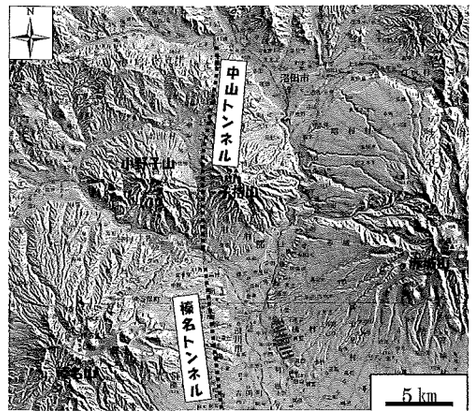



図-4　上越新幹線楯名・中山トンネル周辺地形図

し，表土が岩盤の上をすべり始め，事故直前には擁壁の頂部付近に押し出して来た土層のため地盤の持上りを生じていた．その後擁壁の倒壊と同時に隧道も破壊された．

現在ならトンネル北坑口は東側尾根に取り付ける選定をするのが普通だろう(図-3に破線で図示)が，当時の選定では建設費が高いトンネルは短くという思想から，このような谷間の直下に迷わずに入れていたのかと思うと，渡邊ならずともゾッとさせられる．

(5)　鞍部地形直下を平行して通過するのは要注意

上越新幹線の楯名・中山両トンネルは難航したトンネルとして有名である．路線選定にうるさかった故 高坂紫朗先輩から「楯名は掘るな，中山は馬鹿山とワシは呼んでいるよ」と，暗にあんな路線選定をしてはいけないと，教えられものである．

丹那トンネル難工事の最大の理由は大量の湧水であるが，とくにトンネルが通過する丹那盆地直下部はいくらでも水が集まってくるような場所であり，問題がさらに大きくなったのだと思う．中山トンネルも，**図-4**に明らかなように，子持山と小野子山がつくる鞍部およびその北側にある高山盆地を結ぶ直下を通過するもので，水が集まりやすい所にわざわざ通していると批判されてもおかしくない路線になっている．結果的に小野上斜坑工区の契約破棄とか，四方木立坑の工区がたび重なる異常出水で難航するなど，上越新幹線最大の難工事となった．最終的には，東側に良好な地山



写真-3　宮崎県青島海岸に発達する砂岩頁岩互層(鬼の洗濯岩)

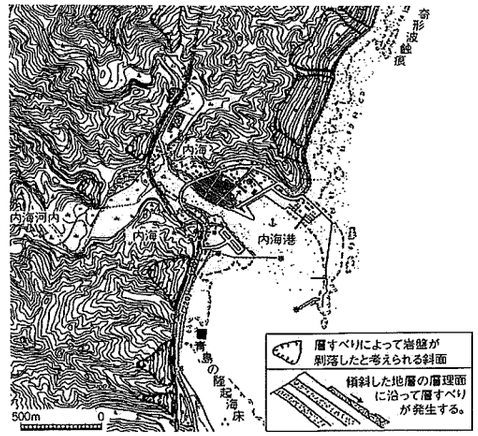



図-5　宮崎県青島海岸内海付近地形図

があることがわかり，施工の途中で，鉄道公団総裁だった仁杉氏の決断によりトンネル内に半径2kmの曲線部を挿入して路線を変更をするという異例の措置を施している．

(6)　地形から読み取れる流れ盤・受け盤

自然がつくった斜面は均質な地質である限り左右対称になるのが普通だが，非対称でないこともよくある．そのことに着目すると，そこに地質情報が潜んでいることがある．

宮崎県青島海岸には鬼の洗濯岩と呼ばれる奇形波食痕が見られる．この付近は新第三紀の砂岩・頁岩互層が太平洋に向かって単傾斜した地質構造を示しており，波浪浸食に弱い頁岩層がそれより強い砂岩層に対して窪みをつくるため洗濯板の凹凸みたいにリズミカルなくり返しを示している(**写真-3**，**図-5**参照)．

これをもっと大規模にした地形にケスタ(一方

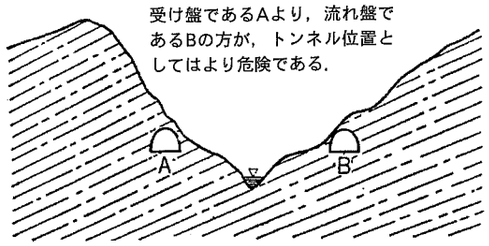



図-6　傾斜地のトンネルと層理面傾斜の関係

が急な崖で低地に落込み，他方が緩やかな斜面で傾いた非対称な横断面をもつ堆積岩系の丘陵．緩斜面側の上面が浸食に強く，急な崖側の基部が相対的に浸食に対して弱い地層であることからできる地形)がある．これはニューメキシコ地方に特徴的なこの地形をケスタ(cuesta：スペイン語で傾斜地とか坂の意味)と呼んでいることからきた地形学専門用語である．

地層の傾斜と同じ方向の斜面を流れ盤(すべり目ともいう)，逆向きの斜面を受け盤(さし目ともいう)という．傾斜した地層の走向にほぼ平行した渓谷が発達している部分では，流れ盤側に相当する斜面は緩傾斜で，受け盤側は急傾斜で渓谷に面するのが一般的である．緩傾斜側は地すべりなどのクリープ的な滑動災害をなし，急傾斜側は落石型の災害を引き起こすことがあるが，鉄道や道路などの路線を選定する場合は，どちらかといえば，受け盤側の斜面を優先的に選んでいる(**図-6**参照)．

この種の左右非対称の傾斜地形は，注意して見ると意外にたくさんあることに気づくであろう．

(7)　地すべり地形は避けよう(磐越西線松野隧道)

渡邊の著書にはJR磐越西線喜多方・山都間にある旧松野隧道(708m)崩壊の記述がある(**図-7**参照)[9]．

「磐越西線喜多方・山都間にある松野隧道の崩壊による線路改築工事は有名な事故である．この地域は地名にも蛇崩山とある通り旧山崩れ跡で地形も凹凸極まりなく緩傾斜を形成している．地質は第三紀凝灰岩の風化したもので，全く灰白色粘土に化している．隧道は明治12年に竣工したものであるが工事中既にアーチに変形を起こし，明治44年の大豪雨の節坑門切取りが崩壊し，泥流が隧道内に流入し線路を閉塞した事故もあったが，大正６年３月の雪解季に坑内中央部に於いて大崩壊し全く之を閉塞し到底復旧の見込なきため，線路変更をなし現在線を新たに選び隧道を掘削した．この如きは当初より危険なことは十分判明していることであり線路選定に如何に地質調査が必要であるかを証するものである．」




現路線は旧慶徳Tの途中から分岐し疎水隧道の直上を迂回

図-7　磐越西線喜多方-山都間慶徳トンネル付近平面図

筆者は，地すべりがもとでトンネル路線を変更した例としては飯山線の高場山トンネルしか知らなかったが，こんな大事故が磐越西線であったことを知って非常に驚き，かつ興味をもって文献・現地調査を行った．その結果，大正６(1917)年の融雪期に隧道の終点方を押し流すような地すべりがあり，幾多の紆余曲折を経て，この隧道を放棄し，南側に振って慶徳隧道の途中にすり付ける部分的な路線変更(図-7)がなされ現在に至っているということが判明した．地すべり対策として疎水隧道が付け替え路線直下に延長施工されるなど，斬新な対策工法がとられているのには驚いた．

渡邊氏は，地名にも注意を払うべきことを述べているが，地すべり地形はいくつかの特徴をもっているので，それに習熟し，極力このような場所は路線選定の段階で避ける必要があるのだといえる．





(8)　放れ山地形は地すべりの可能性

渡邊の著書の中には，2-2節の末尾で紹介した「放れ山」に関する次のような記述が地図付き(**図-8**)でなされている．

「廣瀬川沿いの放れ山付近は昔から有名な山崩れ地でこの地名『放れ山』は明らかにこの事実を証している．線路建設当時この事を憂慮し大略匍行(クリープ)運動のある箇所は回避したが大豪雨のある場合は保証し難い．地質は赤色粘土で第三紀の凝灰質角礫岩の風化したものである」．

仙台在住の知人に聞くと，「放れ山は地図の廣瀬川と書かれている瀬の字の上で川がくの字に曲がった部分です(図-8中楕円破線で囲んだ一帯か？)．川には底なしの10mほどの小山があります．この東側の山腹は大きな滑落崖があります．明治のころ大規模に崩壊したといわれています．現在は抑止杭，水抜きなどによりほぼ安定しています．」と教えてくれた．

放れ山とは，大きな山塊から重力(mass movement)の作用などにより一部の小山塊が側下方に移動して(放れてor離れて)形成された山，と考えればよい．名は態を表す地形用語であると言えよう．

そういう地形は結構目につくものである．私は平成16年ごろ，ある方から切り盛りの大土工に関し相談を受けたことがある．電話連絡を受けたとき正確な場所がわからなかったのだが，話の状況からして，問題の場所は**図-9**の楕円破線の付近であろうと目星をつけた．そう推定した理由は，この部分がまさに「放れ山」地形を示しているように見えたからである．予想はピッタリ当たっていた．そして，よくもまあ，こんな場所に路線やPAを計画されたものだと驚いたものだった．道路公団OBで斜面問題の権威である奥園は当該地区の工事が想定外の超難工事になってしまったことに関し，「当地区の反省は路線計画段階にこのような大規模な古期地すべり跡地であることが見抜けなかったことに尽きる」と述べている[8]．ちょっとした知識があれば避けたであろうこの地形的特徴に気づかなかったことは，路線計画に携わって

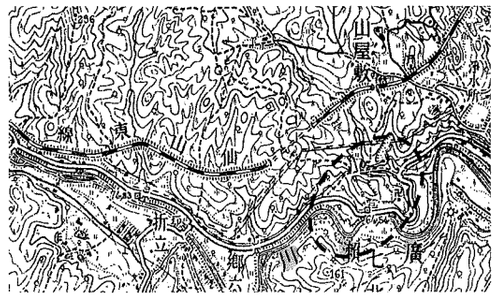


図-8　仙山(東)線の広瀬川，放れ山付近地形図

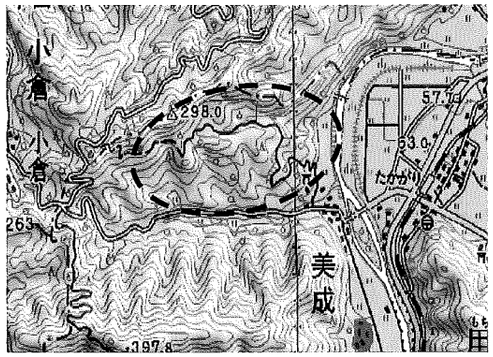



図-9　鳥取自動車道用瀬PAが施工された美成地区

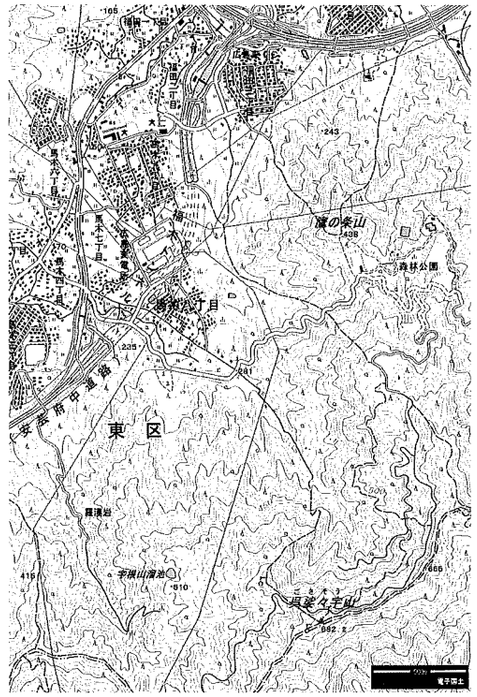



図-10　古い扇状地の下を抜くトンネル

いる技術者が，如何に地形・地質に無関心であるかを証する，技術の実態であるといえる．仁杉氏の主張の正しさを痛感させられる事例の一つとして敢えて掲げる次第である．

（9）　古い扇状地地形にも注意

広島高速1号線の福木トンネルは呉婆々宇山から北西方向に発達した約2 km²の流域をもつ渓流を土砂供給域として谷の出口より下流側堆積域に形成された扇状地を横断している（**図-10**）[9]．山地側から発達した沢筋が，谷の出口で左右に裾合と呼ばれる谷をなして分流している．教科書にあるような理想形の扇状地でなかったため，これを見逃したせいか，扇状地下の伏流水を大量に引き込むことになり，地表沈下や渇水問題を引き起こすことになったみたいである．地形を読めないとこういうことになるという事例かと思う．

## ③　連載のすすめ方

上記概説でもって，地相（地形）を読み，山の性状（地質）を想像してみるというトンネル十訓の第1訓「地相は人相　山の性状」に対し，少しは興味をもっていただけただろうか．

今回の連載は，興味を抱かれたことを前提に，以下のような体制，内容で進めて行こうと考える．

### 3-1　連載講座小委員会の構成

編集委員会の中に，文頭で示した**表-1**のような構成の小委員会を設ける．なお，顧問をお願いした鈴木隆介中央大学名誉教授は，地形学に関する著書が多数ある日本地形学の権威である．

### 3-2　記述内容・目次など

対象とする地形・地質は2-1節で紹介した図書類に掲げられている地形を極力取り上げることを考えたい．そのうえで，渡邊の大著に問題事例として掲げられている地形，あるいは執筆陣が関与したことのある問題事例の地形が，地図や空中写真などでどう表現されているのか，その図面などのどこに着目すれば地形を読み取ることが可能であるか，などを述べていこうと考える．事例としては公表されている国内の多くのトンネルの中から選定し，そのトンネルにかかわる写真や地図などを示しながら進めて行きたいと考える．

なお，次号から数回は，地形の区分とか，地形図表記のルールなど，土木技術者に知っていて欲しい基礎的地形学・地図学の記述に当てる予定である．

（文責：大島洋志・国際航業（株））

## 参　考　文　献


1）土木学会：目から鱗のトンネル技術発達史―先達が語る最先端技術への歩み―，トンネルライブラリー第22号，2009.11，pp.36-37.
2）仁杉巖：新幹線を知る，土木学会誌，2011.02
3）渡邊貫：地質工学，古今書院，増補6版，1939.8.
4）土木学会：トンネル工事標準示方書解説，1964.8.
5）土木学会：トンネル工事標準示方書　山岳工法編，2006.7.
6）大島洋志監修：わかりやすい土木地質学，土木工学社，第4版，p.225，2007.4.
7）大島洋志：増補　私の地質工学随想，p.394，2012.3.
8）奥園誠之：技術の伝承―現場の教訓から学ぶ―切り土のり面の「想定外」の挙動事例とその対策で得られた教訓，地盤工学会誌，Vol.59，No.11，pp.86-89，2011.11.
9）河村・光吉・尾車・中川：脆弱化地盤の地下水を制して変電所直下を突破―広島高速1号線（安芸府中道路）福木トンネル―，トンネルと地下，Vol.37，No.9，pp.7-15，2006.9.



建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著　A5判 326頁　本体定価 4,300円（〒340円）

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






# 工法・技術・製品ニュース

## 製品　軽量・高性能かつ高効率な油圧ブレーカHB4100




アトラスコプコ（株）建設機械事業部代表
TEL 03-5765-7890
http://www.atlascopco.co.jp


アトラスコプコは，新モデルの油圧ブレーカHB4100を発売した．

同製品はサービス重量が4,100kgあり，40～70tのベースマシンに最適．従来モデルよりも出力対重量費と効率性が大幅に向上し，重量の軽減と効率性の向上により，ベースマシンが求める油圧入力を削減し，かつ最大の打撃性能を発揮することができる，また，耐久性やメンテナンス性に優れているため，総所有コストや燃料費やオペレーションコストも削減できる．

過酷な条件下での使用を想定し，とくに摩耗の激しい油圧ブレーカの下部を保護するリテイナーバーの設置や，サービスウインドウや側面のスイベル取付部も強化されている．

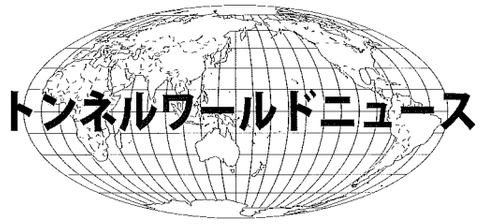
同社の油圧ブレーカシリーズの特長であるオペレータを騒音と振動から護るVibro Silenced，油圧が高くなりすぎると油圧を遮断するPower Adaptシステム，岩石に応じ打撃数や打撃力を調整するAuto Control，自動潤滑装置のConti Lube TM IIも従来と同様に搭載されている．オプションとしてダストプロテクターを取付けることでダストや小石がブレーカの下部に進入するのを防ぐことが可能となっている．

### 訂　正

第43巻，第4号の目次に誤りがありましたので，訂正いたします．

〔誤〕
中越沖地震による高速道路トンネルの被災事例分析
―北陸自動車道　米山トンネル―
　　中野　清人・小川　清 ……49

〔正〕
中越沖地震による高速道路トンネルの被災事例分析
―北陸自動車道　米山トンネル―
　　中野　清人・小川　澄 ……49



# 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

## ロビンス社の泥水加圧式TBM フル稼働

米国を本拠地とするTBMメーカーであるロビンス社は，泥水加圧式TBM部門へ初めて進出する準備を進めている．直径6.26mのマシンは，中国南部の湛江（チャンチアン）湾をトンネルで2.7km掘削する．マシンは，請負業者である広東水電二局股份有限公司に引き渡された．

深度28mまで立坑から下ろされた後，マシンは，淡水輸送計画の一部である湛江湾渡海トンネルの掘削を開始した．

当該トンネルは，鑑江（チェンチアン）から取水して，中国で5番目に大きな島である東海（トンハイ）島の新しい製鉄所に給水する．

TBMの主な特徴は，20個の推力シリンダーであり，全推力は，46,000kNである．これは，ロビンス社によると，湾の下部で予想される6気圧の水圧に対抗する上で必要とのこと．ハードフェイシングをほどこしたカッタヘッドは，取換え可能な刃型ビットを装着しており，これは，粗粒砂，礫岩およびシルトを含む種々の土壌で，ディスク・カッタに切り替えることが可能である．

土かぶりが60mまで稼働する泥水シールドは，三菱重工メカトロニクス・システム社により設計され，自社部品のみを使用してロビンス社により組立てられた．

（WT '11.10　担当：早坂治敏・鉄道・運輸機構）

## サンドビックジャンボが オリンピックトンネルを掘削

リオデジャネイロで開催される2016年のオリンピックに向けて掘削中の延長1.1kmのGrota Funda道路トンネルにおいて，良好な進捗が得られている．ここでは，Sandvik社のドリルジャンボが重要な役割を担っていると言われている．

ブラジルの請負業者Odebrecht社は，Rio Prefeitura発注のトンネル工事区間の中間点を通過した．このトンネルは，道が険しい地域を抜ける延長25kmの3車線高速道路の建設と改良のためのものである．

素晴らしい掘削の進捗は，北東坑口において出現した良好な岩盤によるものである．

しかし，Odebrecht社のエンジニアのAntonio Hora氏は，Sandvik社のジャンボの穿孔機械とツールスの信頼性と性能が，穿孔・発破作業の進捗において重要な要因となっていると述べた．

2本のトンネルは，断面積100m²，幅14m，高さ8mである．Sandvik社は，3ブームのAxera T08 390Cと，2ブームのDT820を供給している．地質は花崗岩と片麻岩の互層で，おおむね1切羽あたり165孔を穿孔しているが，これは地質により変化する．Hora氏は，「ある時は100%花崗岩，次に100%片麻岩，または両者が混在しており，これにすべて依存する．」と説明した．

一方で，南西側では両坑口とも延長100m以上の軟質な地山が続いた．この区間の施工には，フロントエンドローダ（ホイールローダ）が用いられ，その後の吹付け作業が必要であった．

Hora氏は，Sandvik社のジャンボが現在4つの切羽すべてで稼働し，Class 1に分類される非常に硬質な花崗岩を掘削していると述べた．4mの穿孔に2.5分を要している．

「最初は4.5mの穿孔長で開始したが，掘進長は4.1mにしかならないことに気づいた．しかし，坑内の機械・電気関係の状況を監視しているトラブルシューターのチームが，穿孔長を4mまで縮めることを提案した．」

Hora氏によると，これにより，かなり効率が良くなった．掘進長は3.9mとなり，穿孔パターンと装薬の両方に適していて，利益の向上につながった．

7本のレジンタイプのロックボルトが2mごとに挿入されるが，この間隔は岩質に応じて延ばすことができる．Sandvik RT 300ボタンビットと，延長4.9mのR38ドリフターロッドにより，とてもよい成果が得られているとワークショップマネージャーのGilberto Alves氏は述べた．

「このロッドは，3,500ドリルメーター（dm）を達成している．ドリルビットについては，24dm（6孔）ごとに再研磨することで，18回の現場での研磨で430dm以上を達成している．」

Sandvik社によると，RT 300ボタンビットは直径51㎜で6㎜のフラッシングホールを有し，高い穿孔速度，まっすぐな穿孔，寿命が長いビット，消費エネルギー減少を提供する．このシステムはXT48と呼ばれ，超硬合金のシングルスーパーグレード，ユニバーサルフェイスデザインを有している．

Odebrecht社は13時間のサイクルで施工しており，穿孔に4時間（ボルト込み），装薬に2.5時間，ずり出しに4時間，吹付けに1.5時間，調査に1時間からなる．これは，双設トンネルで1日あたり3回の発破を可能とする．

Grota Fundaトンネルはリオデジャネイロの2016年オリンピックのための交通計画の一部である．2つのレーンと3つめのバス専用レーンからなり，小さい山の周りを曲がりくねっている既存のAvenida das Americansの狭い5kmの高速道路区間に代わることで，移動時間を大幅に削減する．

（WT '11.11　担当：日向哲朗・(株)間組）

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

社団法人 日本トンネル技術協会

# 会　報

## 1. 会員の現状

| | | 3月31日現在 |
|---|---|---|
| 正 | 会　員 | 1,540名 |
| | 団体会員 | 351名 |
| | 個人会員 | 1,189名 |

## 2. 委員会の開催状況（3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**(3/7)

大島洋志主査ほか12名，4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**(3/21)

早坂治敏主査ほか9名，英文原稿を検討ほか

**海外文献小委員会海外ニュースWG**(3/23)

早坂治敏主査ほか8名，英文原稿を翻訳

計　3回開催　32名出席

### ②調査研究関係委員会

◎技術委員会

**技術委員会**(3/8)

今田徹委員長ほか12名，各小委員会の活動報告および計画を検討

◎受託研究特別委員会

**大深度シールドトンネル技術検討委員会**(3/1)

今田徹委員長ほか55名，設計手法を検討

**掘削土砂処理特別委員会土砂改質処理WG**(3/15)

河本武士主査ほか5名，報告書原稿を検討

**掘削土砂処理特別委員会切羽安定WG**(3/16)

中村俊明主査ほか5名，報告書原稿を検討

**掘削土砂処理特別委員会土砂運搬WG**(3/21)

滝本邦彦主査ほか3名，報告書原稿を方針

**掘削土砂処理特別委員会覆工養生WG**(3/28)

滝本邦彦主査ほか6名，取りまとめ方針を検討

**効率的掘削工法特別委員会補助ベンチWG**(3/6)

鈴木雅行主査ほか10名，報告書原稿を検討

**効率的掘削工法特別委員会高速施工WG**(3/9)

領家邦泰主査ほか9名，報告書原稿を検討

**効率的掘削工法特別委員会**(3/16)

西村和夫委員長ほか19名，報告書などを検討

**効率的掘削工法特別委員会覆工養生WG**(3/28)

西村和夫主査ほか4名，報告書原稿を検討

**北海道新幹線（本州方）トンネル委員会**(3/26, 27)

足立紀尚委員長ほか52名，現場視察および施工法の検討

**相鉄・JR・東急直通線都市トンネル検討委員会**(3/29)

小山幸則委員長ほか58名，施工法の検討

計　12回開催　250名出席

**合計　15回開催　282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）<br>Thailand Underground & Tunnelling Group<br>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）<br>Swiss Tunnelling Society<br>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）<br>Brazilian Tunnelling Committie |

＊国際会議の開催予定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





# 第38回通常総会開催のお知らせとお願い

社団法人日本トンネル技術協会

日頃から格別のご支援，ご協力をいただき誠に有難うございます．

さて，このたび定款第21条の規程により第38回通常総会を下記のとおり開催致します．

今回の通常総会では，一般社団法人へ移行するための定款の変更が提案されます．総会の議案は，正会員総数の過半数の出席がなければ，議決することができません．また，定款の変更においては，出席正会員総数の3分の2以上の議決が必要になっておりますので，総会には，ご出席または委任状の提出による代理出席をお願いいたします．

なお，定款の変更案については，ホームページに掲載いたしておりますので，ご覧いただきますようお願いいたします．

## 第38回通常総会

**日　時**：平成24年5月28日（月）16時開会

**場　所**：東京商工会議所（東商ビル）7F「国際会議場」
千代田区丸の内3－2－2　TEL：03-3283-7680

**議　題**：第1号議案　平成23年度事業報告について
第2号議案　平成23年度事業収支決算について
第3号議案　平成24年度事業計画について
第4号議案　平成24年度事業収支予算について
第5号議案　一般社団法人への移行について
第6号議案　一般社団法人日本トンネル技術協会定款（案）及び関連諸規程（案）について
第7号議案　一般社団法人日本トンネル技術協会設立初年度役員（案）について

※総会終了後，17時から懇親会を同ビル8F「東商スカイルーム」にて予定しています．

## 6月号予告[6月1日発売予定]

- ●ノンコア削孔解析と坑内弾性波による新しい前方探査
- ●九州新幹線西九州ルート　千綿トンネル
- ●首都高速中央環状品川線　大橋連結路
- ●国道108号　花渕山バイパス1号トンネル
- ●小田急小田原線　代々木上原駅～梅ヶ丘間連続立体交差

【連載講座】

- ●トンネル技術者のための地相入門(2)

＊内容等は変更になる場合がございます

### 編集後記

◆新東名高速道路の御殿場JCT～三ケ日JCTが開通しました．延長約162kmの開通はこれまでの日本の高速道路開通区間の最長となります．最近のなかではビックで喜ばしいできごとではないでしょうか．この開通により静岡県内の東名高速道路の渋滞の解消が期待されております．

◆利用者側の楽しみのひとつにパーキングエリアやサービスエリアのひとときがあります．新東名高速道の開通区間にはNEOPASA(ネオパーサ)という商業施設が7か所オープンします．NEOPASAは新しい(NEO)，パーキングエリア(PA)，サービスエリア(SA)を組み合わせて命名されています．イベントスペースなども設けられこれまでにないコンセプトで作られているようです．ぜひ読者の皆様もお立ち寄りください．

◆前号は創刊500号の特集でした．特集号を続けて設けたのは「トンネルと地下」でははじめての試みでした．通常号とは別の編集方法を取らねばなりませんのでかなり苦労いたしましたが有意義な特集を組めたと思っております．また，機会がございましたら特集号を企画したいと思います．

◆最後に本特集号をコーディネイトいただきました中日本高速道路(株)の福永幸正様，編集委員で(株)高速道路総合技術研究所の大津敏郎様および，(前)編集委員で西日本高速道路メンテナンス九州(株)城間博通様にはとくにご尽力いただきました．この場を借りてお礼申し上げます．

(I.Y)

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

**トンネルと地下**
第43巻 第5号〔通巻501号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成24年4月20日　印刷
平成24年5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

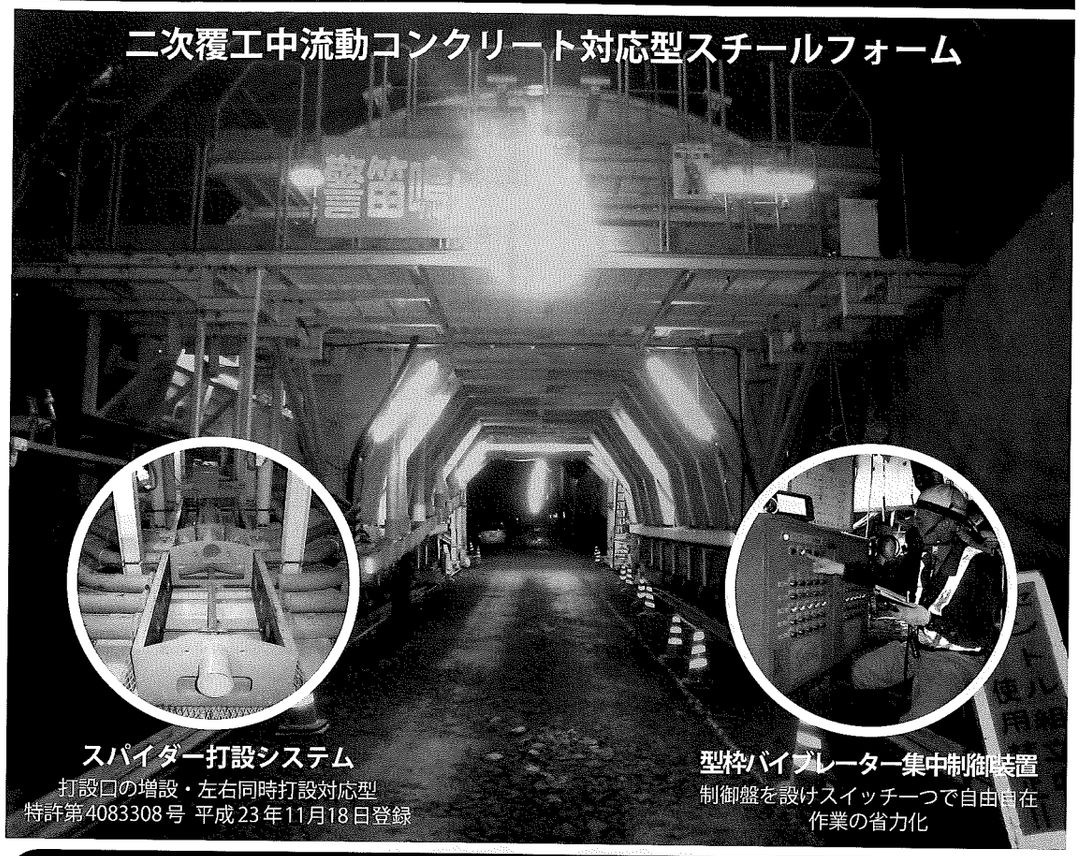
### 本誌広告のお申し込み方法

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．



## 続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛　共著
1,200円＋税　新書判

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



## わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭　監修
1,500円＋税　B5判

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



## 建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫　著
6,000円＋税　A5判

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



## 多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会　監修
2,500円＋税　B5判

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



## 地質工学概論

菊地宏吉　著
4,757円＋税　B5判

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



## 推進工法の理論と実際

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

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



## シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会　編
4,660円＋税　B5判

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



## わかりやすい土木地質学

大島洋志　監修
2,500円＋税　B5判

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



## 地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全3巻）

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

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



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

## セグメントの新技術

小泉　淳　監修
2,000円＋税　B5判

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



## わかりやすいトンネルの力学

福島啓一　著
5,825円＋税　B5判

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



## トンネル工事の衛生と環境保全

臼谷三郎・橋本康孝・友田　孝　共著
3,200円＋税　A5判

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



## ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



## 岩盤の計測と解析

鈴木　光　著
4,200円＋税　A5判

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



## 山岳トンネルの新技術

ジェオフロンテ研究会　編
14,573円＋税　B5判

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



## わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏　共著
2,800円＋税　A5判

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



## ジオテキスタイル設計マニュアル

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

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



## 海洋資源開発

稲田善紀　著
3,400円＋税　A5判

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



## 岩盤地下空洞の設計と施工

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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した．



## トンネルと地下

1,500円＋税　B5判　月刊(毎月1日発売)

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



## 建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉　共著
4,300円＋税　A5判

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



## 書籍のお申し込み

ご注文は当社へFAXまたは，書店にてお申し込みください．FAXでご注文の際は，書名，部数，送り先，氏名，電話番号を明記のうえ下記までお送りください．

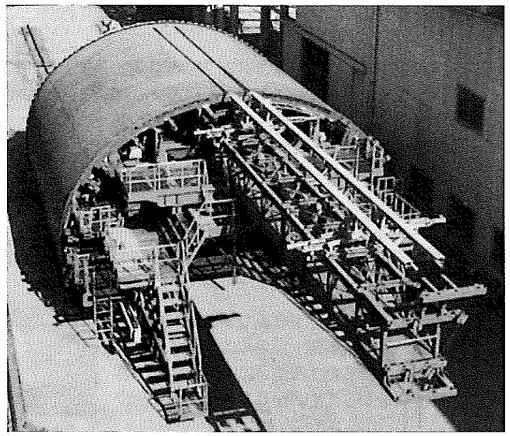
**(株)土木工学社**
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16　メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888　Fax: 03 3267 2807

# 各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー


## 東和機電工業株式会社 頴田(かいた)工場

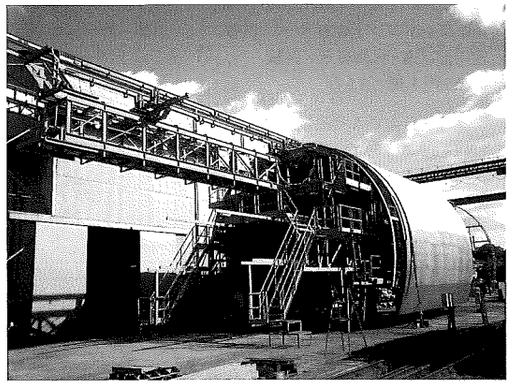
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田(せいた)2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：towakiden@yahoo.co.jp


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

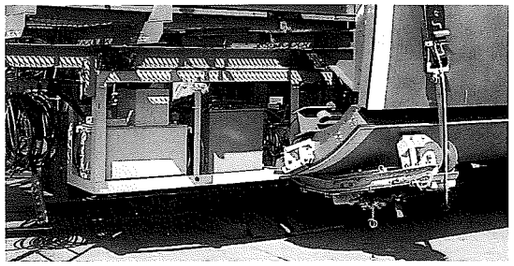


◎強靭なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは，前進後進同一の力で抜き差し出来ます．
◎円周方向にスライドするガイドセルは，クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます．
◎ガイドセルの上昇・下降により，任意の高さを締め固める事が出来ます．

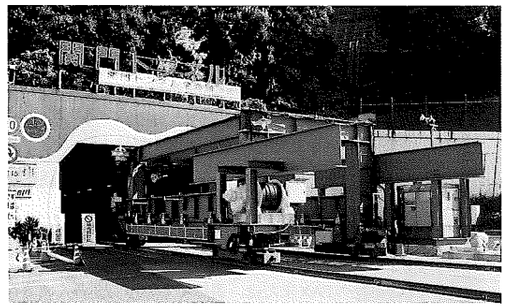
● 新幹線用ステンレスフォーム



● 自動ケレン装置

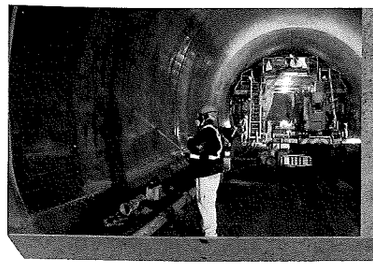


● トンネル床版撤去架台
　勾配対応四駆型(関門トンネル)



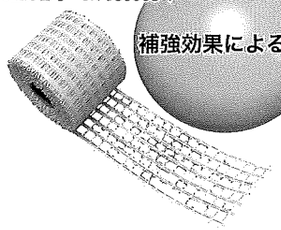
- ベルコン通過型スライドフォーム
- ロータリー式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサー及び警鳴装置
- クラック防止用ラップウレタンゴム
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充塡センサー
- 2段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セントル
- 横移動式桟橋

**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)

コンクリート打設前設・耐アルカリ性ガラス繊維ネット
**ハイパーネット60**
NETIS登録番号　SK-080003-V



補強効果によるひび割れ幅低減



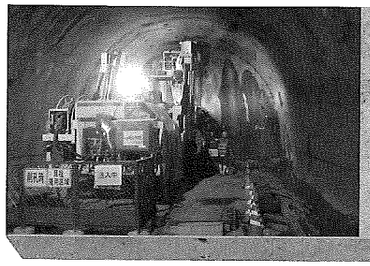
コンクリート混入・コンクリート用膨張材
**ハイパーエクスパン**
NETIS登録番号　QS-020033-V

コンクリート収縮抑制

養生効果



硬化後塗布・塗布型高性能収縮低減剤
**クラックセイバー**
NETIS登録番号　SK-080001-V



## 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<br>土質安定材・下水道止水材 | **太平洋アロフィクスMC2号** |
| | 注入式長尺先受工法用注入材 | **太平洋スーパーハード** |
| | 注入式長尺先受工法用注入材 | **太平洋スーパーファスナー** |
| 裏込材 | プレミックス裏込用充填材 | **太平洋フォルトカバー** |


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