トンネルと地下　平成26年7月1日発行第45巻第7号
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

信頼の品質

技術提案に好適!!
デンカの特殊混和材

デンカの液体急結剤
《デンカクリアショット》
NETIS:KT-080020A
液体急結剤　デンカナトミックLSA
粉体助剤　デンカナトミックUSS
(Fc=18N/mm²)
デンカナトミックHSS
(Fc=36N/mm²)
・脅威の低粉じん吹付けが可能
・確かな初期強度、長期強度発現性
・付着性が大きく、跳ね返りが少ない
・粉体急結剤と同様の吹付け性状
・湧水、低温にも強い

優れた低粉じん吹付け
《デンカスラリーショット》
デンカナトミックUS-32
デンカナトミックUS-50
《粉じん低減剤》
デンカクリアップ2 & 3
・安定した低粉じん吹付けが可能
・確かな初期強度、長期強度発現性
・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

実績の粉体急結剤
一般吹付け・高品質吹付け
デンカナトミックTYPE-5
高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10
瞬結吹付け・初期高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10S
デンカΣショットSH & S
・安定した初期強度・長期強度発現性
・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

覆工コンクリート
ひび割れ抑制・耐久性向上
コンクリート用膨張材
デンカパワーCSA
有機無機複合型被膜養生剤
デンカクラッコフ
ポリプロピレン短繊維
GRACE Microfiber
・高品質な覆工コンクリートが得られます

◆トンネル関連製品
・PFモルタルTYPE-K･･･小断面，TBM・シールド工事用吹付けモルタル
・デンカライフセッター･･･吹付けコンクリート用凝結調整剤
・FTN-30･･･吹付けコンクリート用高性能減水剤
・デンカES／ES-L･･･無公害なセメント系土質安定用急硬材
・デンカコロイダルセメント／コロイダルスーパー･･･微粒子，超微粒子セメント
・デンカPモル･･･注入式ロックボルト定着材
・デンカクリーングラウト･･･非エア系可塑性モルタル

DENKA
電気化学工業株式会社
特殊混和材部
東京都中央区日本橋室町2-1-1
電話 03-5290-5558

定価 1,620円
本体価格1,500円
雑誌06619-7
4910066190743
01500

6年7月1日発行(毎月1回1日発行)　第45巻第7号　通巻527号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 7

vol. 45
no. 7
2014

行止めを回避した新たなトンネル路面隆起対策技術の適用
度500mまでの施工実績にもとづく立坑掘削技術の評価
m^2の小断面を長孔発破で月進359m達成
央新幹線(東京都・名古屋市間)におけるトンネル計画の概要
断面早期閉合の施工管理手法についての一提案

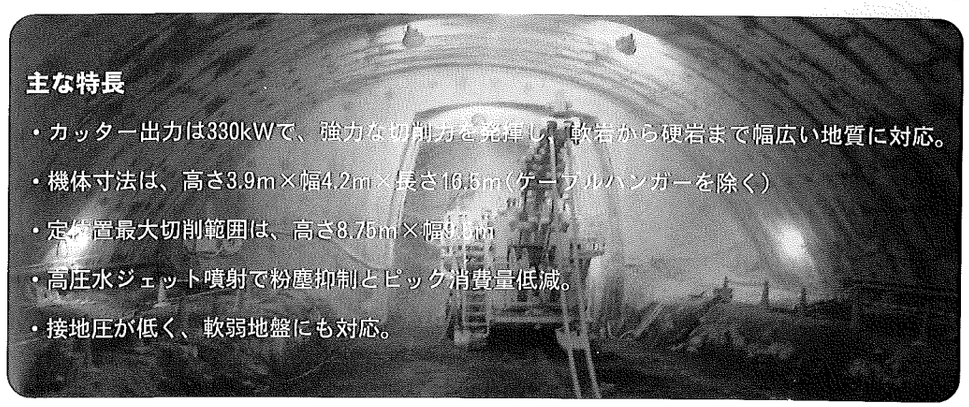
日本トンネル技術協会誌



ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー





主な特長

- カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- 機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m（ケーブルハンガーを除く）
- 定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.1m
- 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

経済産業省後援
第39回優秀環境装置 日本産業機械工業会 会長賞

クラス最高の集じん効率95%※4
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(0.2~7μm)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
安定した処理風量で電力負荷低減とCO_2削減を実現するエコ製品です。

仕様	
品名	e-DUSCO240
型式	FTE2400-E
集じん装置の容量	1800・2100・2400㎥/min 任意設定の4モード
全長※1	7411mm（サイレンサ含む）
全幅	2350mm
全高※2	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	23kW・28kW・33kW・任意 (伸縮風管接続時も同じ)
洗浄水	2.4㎥/回※3
捕集ダスト処理	湿式
集じん効率※4	95%以上

※1 入口ダクト及び絞りダクトは含みません。
※2 台車の高さは含みません。
※3 機種により多少異なります。
※4 **JIS Z 8808** 並びに **換気技術指針(H24.3)に定める試験方法**に基づき測定した値です。
注) 伸縮風管システムは別途となります。

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 第三営業部 ☎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　小山栃木工場 ☎0285-23-8662

最新型・電気集じん機

エコクリーンX

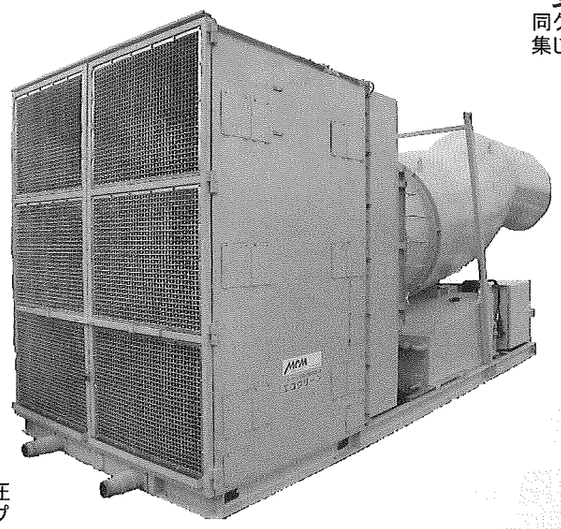
NETIS登録番号：KT-040047-A

このたび、弊社エムシーエムは1999年にクリンジェット1号機を現場納入して以来、
培ってきたノウハウを結集し、電気集じん機の大幅な性能アップを図った
「エコクリーンX」を開発いたしました。

極板放電方式
放電線をなくし消耗品の
削減と断線トラブルの撲滅

処理風量
750㎥/minから3000㎥
/minまで製作実績あり

高圧電源分割
集じんユニット毎の個別電圧
印加により集じん効率アップ



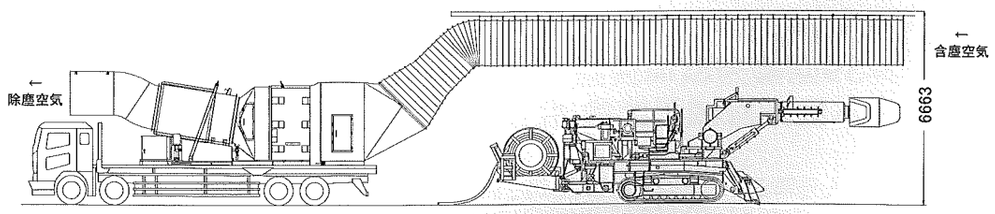
少ない消費電力
同クラスのフィルター方式
集じん機に比べおよそ1/4

コンパクト
同クラス集じん
機の中で最小

貯水タンク
自動洗浄が
随時可能

オプション
自走クローラ台車
自走ホイール台車
伸縮風管...etc.

伸縮風管(軽量型Φ1500,Φ1600製作実績あり)



伸縮風管接続例

弊社では「エコクリーンX」以外にTBM用吹付け"サブショットシステム"等、多様なトンネル工事用システムを開発ご提供しております。
機器に関するお問合せはご遠慮なく下記までどうぞ。

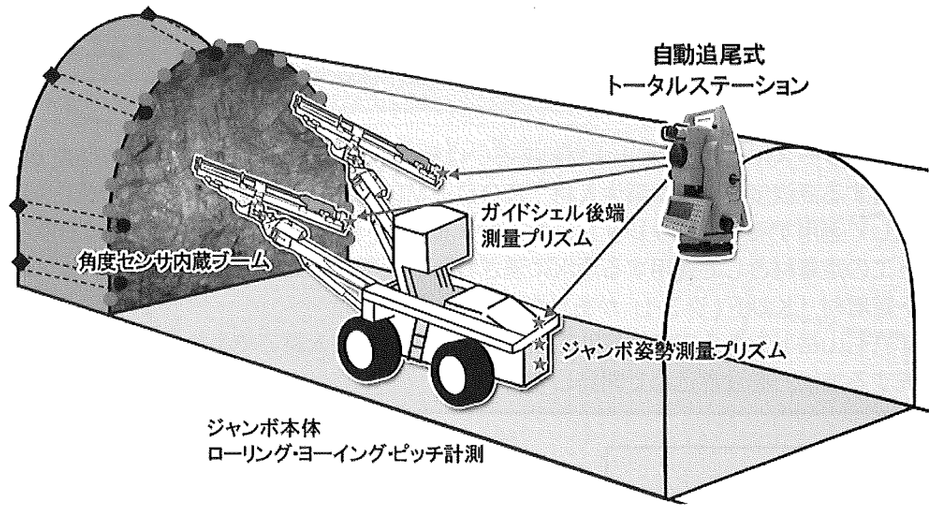
株式会社エムシーエム
http://www.mcmcm.jp
本　　社：愛知県名古屋市天白区植田東2丁目1014番地
tel.052-804-9633　fax.052-804-1505
北陸センター：富山県高岡市福岡町下老子43番地2号
tel.0766-64-0351　fax.0766-64-0352

NETIS登録番号：KK-100049-A

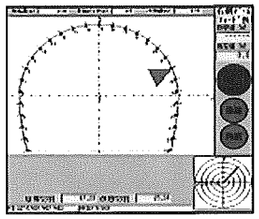
自動追尾式余掘り低減システム

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

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

古河機械金属グループ
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

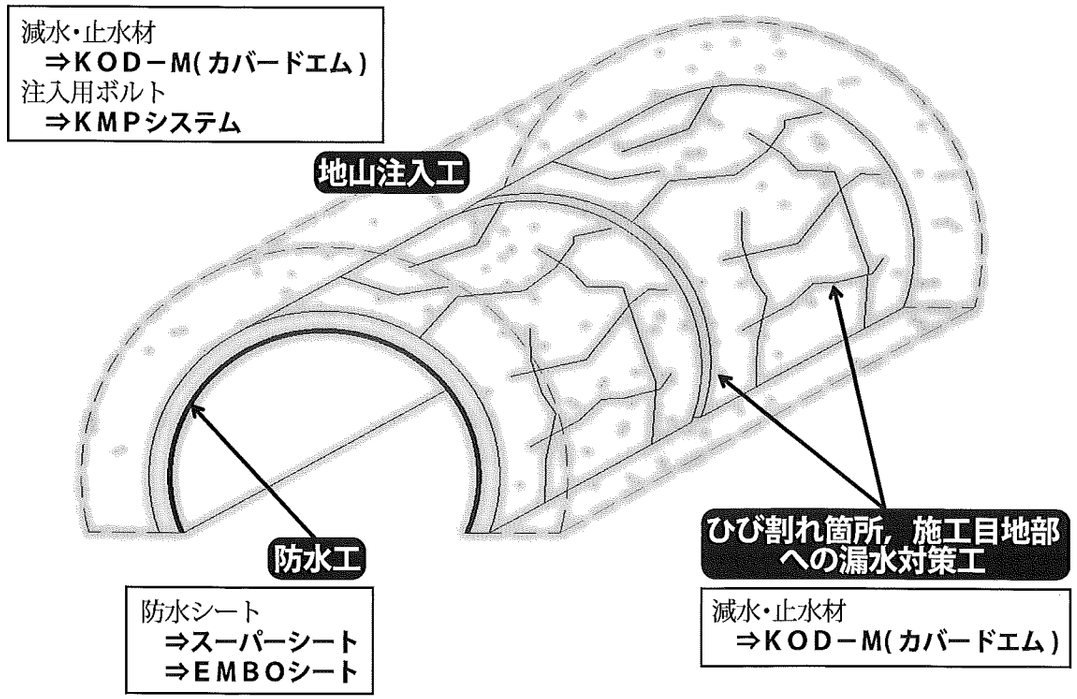
K series カテックスの補修・補強材料

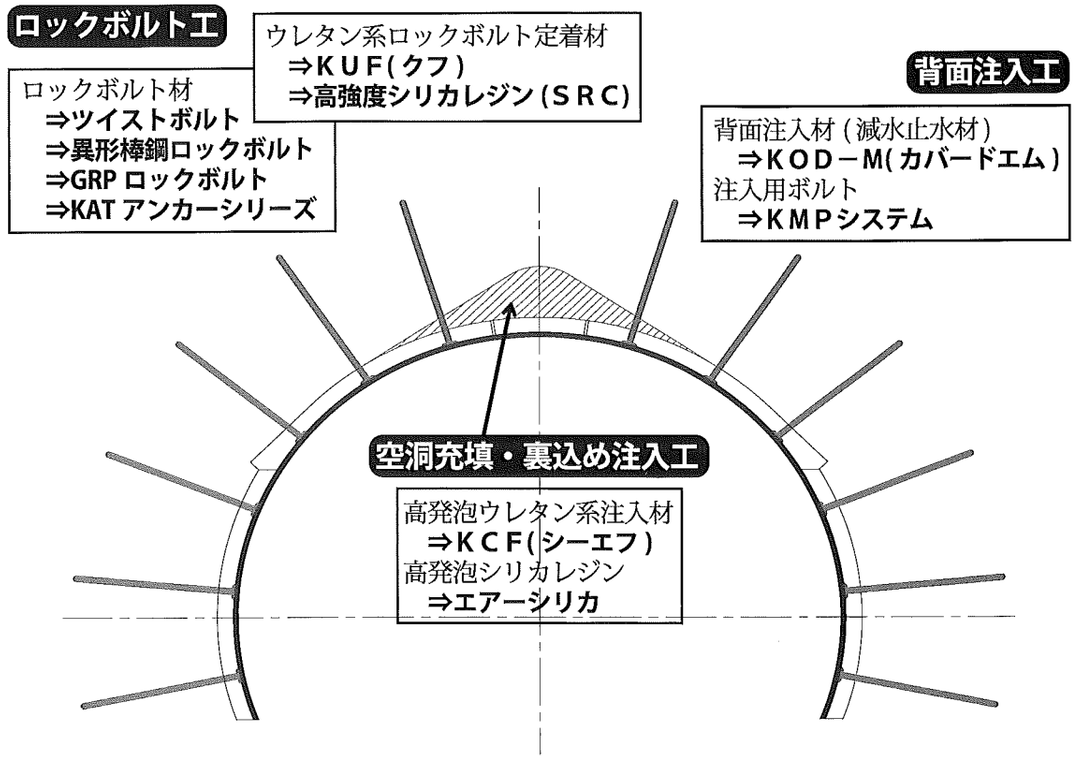
当社は，注入式フォアポーリングや長尺フォアパイリング，長尺鏡ボルトなど山岳トンネル工事の補助工法における樹脂系の注入材のパイオニアとして，数多くの実績を築いてきました．

一方，老朽化してきている既設トンネルにおいては，適正に維持管理をし延命化するための補修，補強工事が行われています．これらに対応して，当社の樹脂系注入材の豊富なノウハウと技術力を活用して，既設トンネル補修，補強工事に適する樹脂系材料「Ｋシリーズ」を開発しました．

このＫシリーズには，①減水止水材料あるいは地山注入工として適用する圧縮強度**60**ＭＰａ以上を有する高強度ウレタン系注入材「ＫＯＤ－Ｍ(カバードエム)」，②空洞充填工や裏込め注入工として適用する高発泡ウレタン系注入材「ＫＣＦ(シーエフ)」，③滞水弱層におけるロックボルト工の定着材として適用する湧水に流されることなく即効果を発揮するウレタン系ロックボルト定着材「ＫＵＦ(クフ)」があります．

いずれも山岳トンネル工事の補助工法における樹脂系注入材で培われたノウハウと環境保全を優先する技術力を注ぎ込んで開発しています．





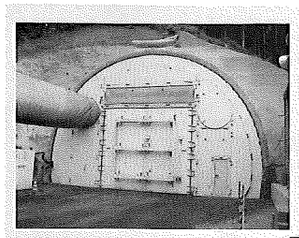
営　業　品　目

- スーパーシート(防水シート)
- ＥＭＢＯシート(防水シート)
- 高耐力ロックボルト
- ロックボルト定着材
- 減水止水材(ＫＯＤ－Ｍ)
- 各種注入材
- 濁水処理設備
- アルカリフリー型液体急結材ＡＦＫ－777Ｊ
- ツイストボルト/異形ロックボルト
- ＧＲＰロックボルト
- 空洞充填材(高発泡ウレタンＫＣＦシリーズ)
- 切羽対策工全般
- コンクリート被膜養生剤クラテキュア
- 建設資材全般

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.jp/

技術部・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
東京支店(仙台事務所)
TEL）022-344-6041　FAX）022-344-6042
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
R²C(スキュアール)工法研究会 事務局 ㈱カテックス 内　TEL）052-331-3997

快適な作業環境を提供する騒音対策システム
～25年の実績が最大級の安心をご提供いたします～



【防　　音　　扉】

『防音扉マークⅡ』の音響性能

対　策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	18 dB(A)	13 dB
2基設置	28 dB(A)	19 dB

『防音扉マークⅡ10s』の音響性能

対　策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	16 dB
2基設置	29 dB(A)	25 dB

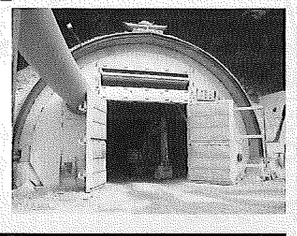
『防音扉マークⅡ10c』の音響性能

対　策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	20 dB
2基設置	29 dB(A)	33 dB

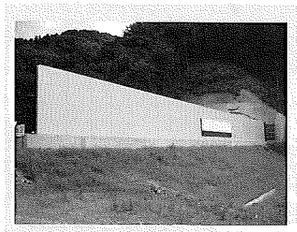
『防音扉マークⅡ15c』の音響性能

対　策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	21 dB(A)	23 dB
2基設置	30 dB(A)	36 dB

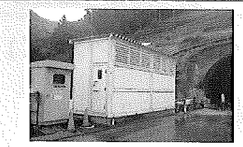
HFS型　マーク Ⅱ
HFS型　マークⅡ10s
HFS型　マークⅡ10c
HFS型　マークⅡ15c

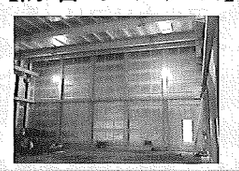


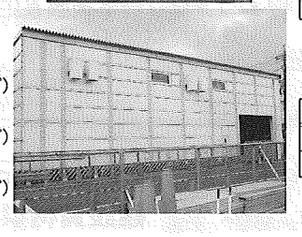
防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。



【防　　音　　壁】
【防音ハウス】
【防音シェルター】
【防音ボックス】







Sタイプ(スタンダードタイプ)
Dタイプ(デラックスタイプ)
Hタイプ(ハイデラックスタイプ)

『防音パネルSタイプ』の音響性能

項　目	1/1オクターブバンド中心周波数【Hz】					
	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	14	18	29	36	43	49
吸音率【%】	33	80	89	84	81	76

『防音パネルDタイプ』の音響性能

項　目	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	22	32	37	38	37	43
吸音率【%】	51	77	75	81	71	62

『防音パネルHタイプ』の音響性能

項　目	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	32	32	38	46	50	53
吸音率【%】	57	48	61	76	86	91

防音設備の設計，製造，施工，リース

株式会社ヒューズ

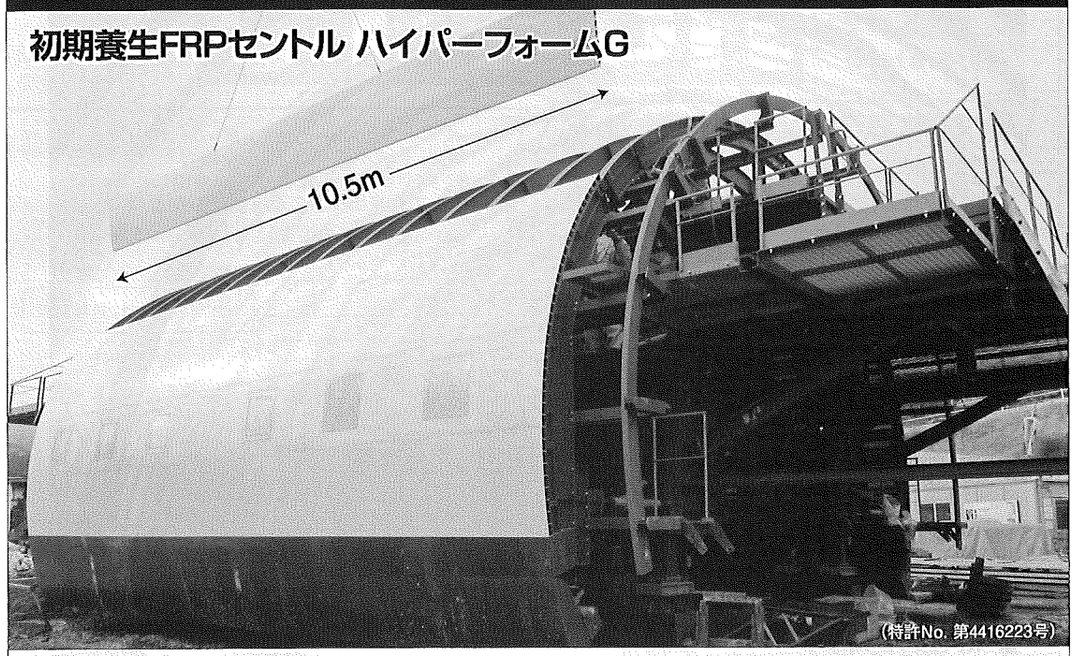
本　　社　〒132-0035　東京都江戸川区平井 6-35-5　　TEL. 03-3617-8111　FAX. 03-3617-7565
大阪営業所　〒531-0072　大阪府大阪市北区豊崎 3-4-14　TEL. 06-6359-2611　FAX. 06-6359-2288
E-mail：info@fuse-ind.co.jp　　http://www.fuse-ind.co.jp

建設業登録：東京都知事許可（般-25）第130153号

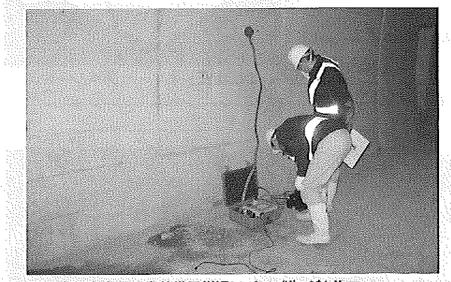
【建設騒音対策協会】E-mail：souon@fuse-ind.co.jp

新着ニュース

FRPセントルによる覆工コンクリートの密実性を検証



■透気試験状況



国土交通省東北地方整備局楢這トンネル (株)フジタ施工

国土交通省東北地方整備局が発注した東北中央自動車道(相馬～福島)の楢這トンネル工事(全長1,492.8m)において、トンネル全線(非常駐車帯部を除く)で採用したFRP製セントルと非常駐車帯部で使用した鋼製セントルで施工された覆工コンクリートの表層部分の透気係数を測定することにより、コンクリートの中性化速度係数が30%～50%程度低下し耐久性が大幅に向上する事が実証された。

特徴

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

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

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

ウォータータイトトンネル 防水システム

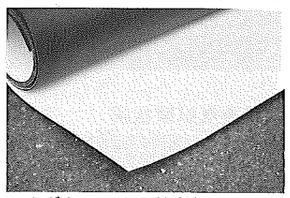


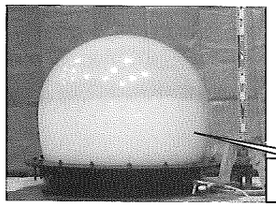
シート防水材

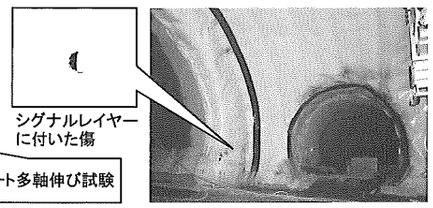
■ **KFCタイトライナー**
追随性・溶着性・耐破損性の優れた防水シート

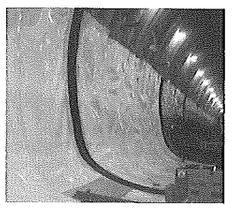
■ **シグナルレイヤー**
防水シート損傷部の発見が容易なシグナルレイヤー付防水シート

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


シグナルレイヤー付防水シート







基本システム

■ **ウォーターバリア**
打継目からの漏水防止および漏水範囲の限定

■ **コンタクトグラウト**
被圧された地下水から防水シートの損傷防止

漏水対策システム

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

■ **リペアシステム**
クラックや打継目からの恒久止水対策

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

1本1本が大切！ だから

次世代 防食 ロックボルト

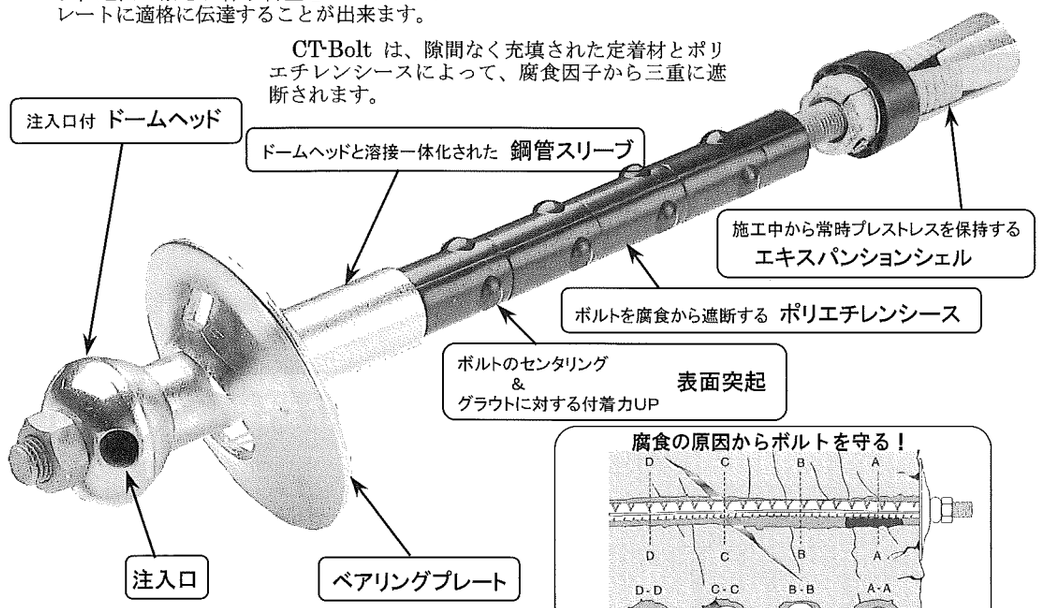
CT-Bolt

Ørsta Stål

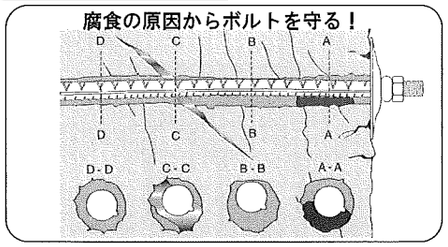
通常施工により超長期支保

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

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

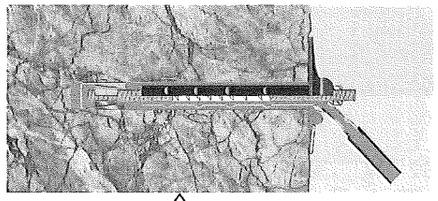


腐食の原因からボルトを守る！



CT-Bolt の定着は・・

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



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

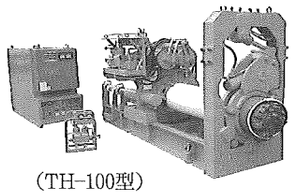
完全充填

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

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

THパイプルーフ工法

NETIS 登録　No.KT-120020-A

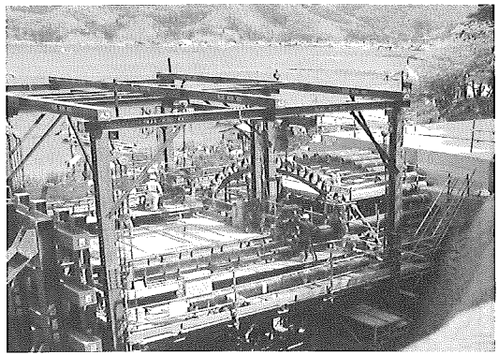

（TH-100型）

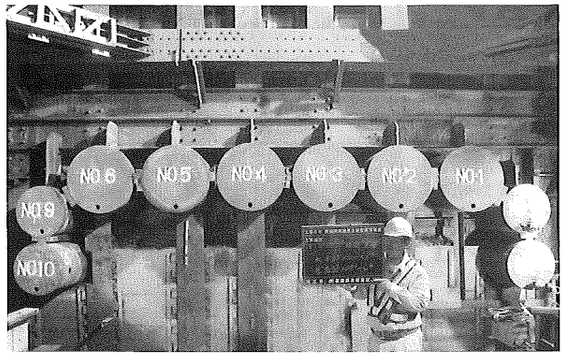
確実な空間確保

高精度・全地盤型　水平鋼管圧入システム

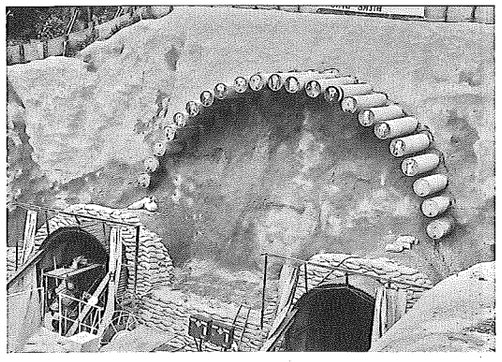
★特　徴★

- 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)


パイプルーフ施工状況



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 03-3542-9120	㈱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。）

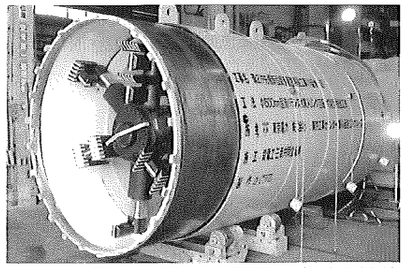
THパイプルーフ技術協会

〒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

超流バランスセミシールド工法　超流セミシールド協会

貫入リング押出し回転切削型接合工法


φ1500mm 貫入リング回転切削型掘進機（接合切削時）

① 人孔直接到達　② 到達作業省略形　③ 到達地盤改良省略　④ 急曲線・高深度施工

貫入リング回転切削型接合工法の特徴

- 呼び径φ800～φ1500に対応可能（それ以上はMELIT）
- PC・RC・鋼製セグメント等の既設構造物を直接切削接合可能
- 大規模な到達地盤改良が不要（掘進機内注入可）
- 人孔等の直接到達後、内部駆動装置を発進側へ迅速に引戻しが可能（駆動装置引き戻し再設置可能）
- 急曲線・高深度施工に対応可能
- 軟弱層～玉石・砂礫層に対応可能

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法


φ1016mm鋼管対応リターン回収機能付掘進機

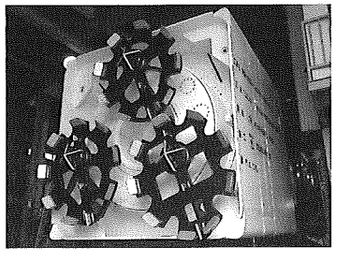
① 地下水位以下の施工が可能　② 高水圧対応　③ 長距離・曲線施工　④ 到達立坑不要

密閉型先受け長距離・曲線パイプルーフ工法の特徴

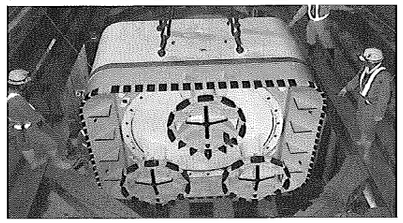
- JIS鋼管φ812～φ1216に対応可能（角鋼管も対応可能）
- 密閉型掘進機のため、高水圧下においても施工可能
- 長距離・急曲線推進が可能
- 軟弱層～粘性土層～硬質土層に対応可能
- 到達回収立坑がない場合でも、迅速な引き戻し回収が可能

ボックス推進工法　ボックス推進工法協会　NETIS　QS-100019-A

多軸自転・公転掘進機（内空寸法□3000×3000）



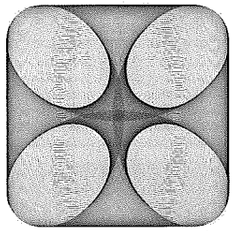
多軸自転・公転掘進機（内空寸法□2800×1800）



① 経済性　② 工期短縮　③ 狭路施工技術　④ 地表面への影響低減　⑤ 短距離からの施工

ボックス推進工法の活用例

- 電力函路や通信函路の構築
- 開かずの踏切の解決策として、軌道下の人道通路の構築
- 高速道路盛土区間の横断通路の構築
- 必要流量を確保した下水函渠・雨水函渠の構築
- 先受け大断面アンダーパス工事の構築


カッタービット軌跡

ボックス推進工法の特徴

- 低土被り推進が可能
- 長距離・曲線推進が可能
- PC・RCボックスカルバート函体および角鋼管に対応可能
- 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
- 高トルク掘進機のため、多用な土質に適用可能
- 工場製品のボックスカルバート函体を直接推進するため、迅速な施工が可能

協会事務局・技術本部　株式会社 アルファシビルエンジニアリング

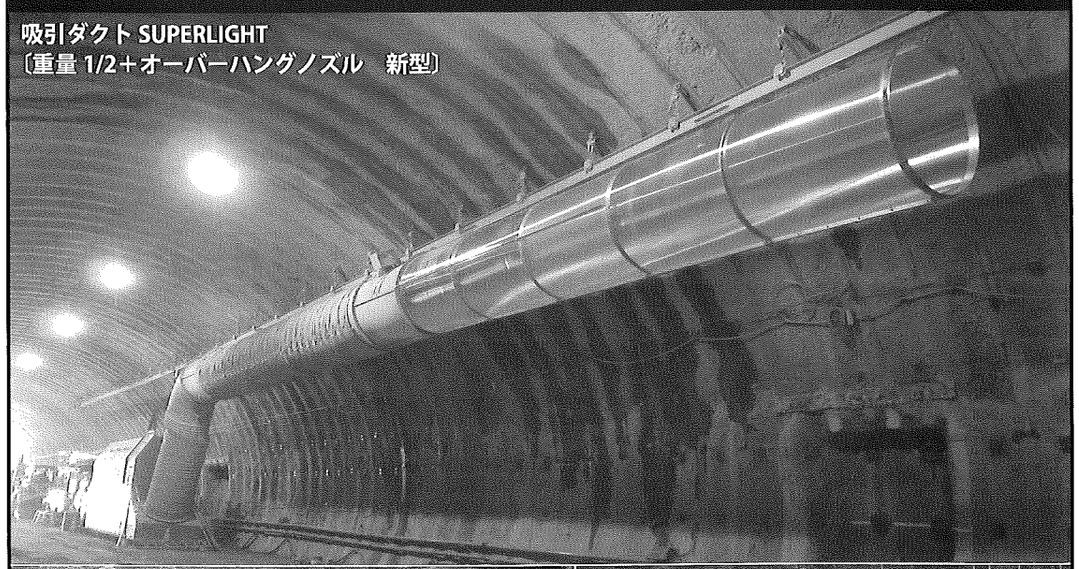
αCIVIL

〒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

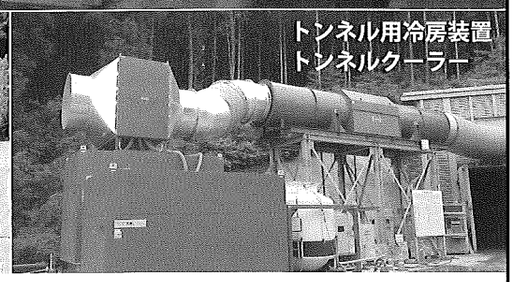
建設コンサルタント登録番号：建23第8677号
測量登録番号：登録第(2)-30507号
建設許可番号：国土交通大臣許可（特-23）第19193号

※各工法協会員名簿については、ホームページをご参照下さい。

流機エンジニアリングだから出来ること
お客様の「できたらいいな」を実現します







除染事業対応装置のご提案
『除染作業を大幅に省力化できます』



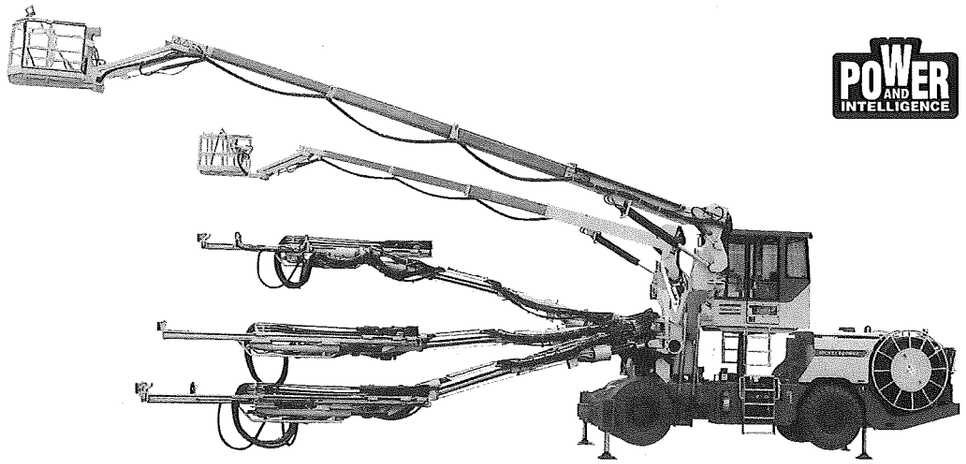
最適環境を創造する
株式会社流機エンジニアリング

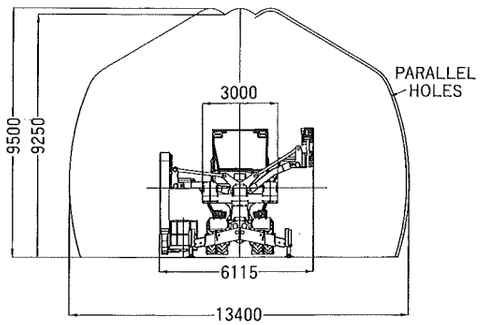
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 いちご聖坂ビル
ＴＥＬ：03-3452-7400
ＵＲＬ：http://www.ryuki.com/
E-mail：eigyobu@ryuki.com
(PC・スマホ専用)

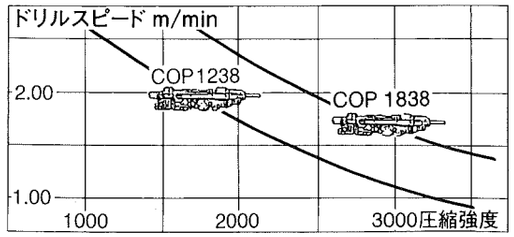
アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

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

POWER AND INTELLIGENCE







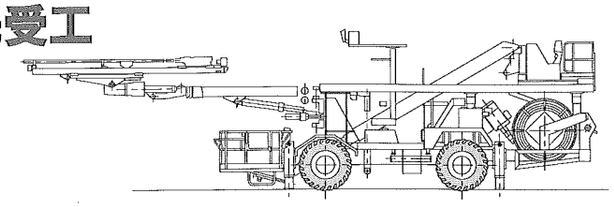
DRILL
ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO.,LTD.

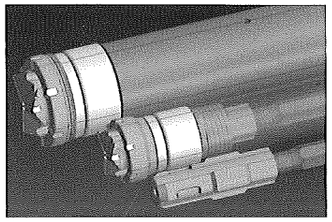
本　　社　〒116-0014　東京都荒川区東日暮里 6 -16- 8 桂ビル5階
TEL（03）3806-3377番　FAX（03）3806-8461番
関 西 支 店　〒657-0864　兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4
TEL（078）802-5551番　FAX（078）802-5528番
九 州 支 店　〒839-0841　福岡県久留米市御井旗崎 1 - 6 - 14
TEL（0942）43-5315番　FAX（0942）43-5832番
広島出張所　〒739-2613　広島県東広島市黒瀬町楢原 1336-1
TEL（0823）36-7787番　FAX（0823）36-7791番
兵 庫 工 場　〒679-1332　兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端454-3
TEL（0795）36-0461番　FAX（0795）36-0467番

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

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

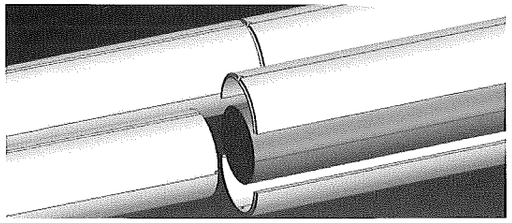


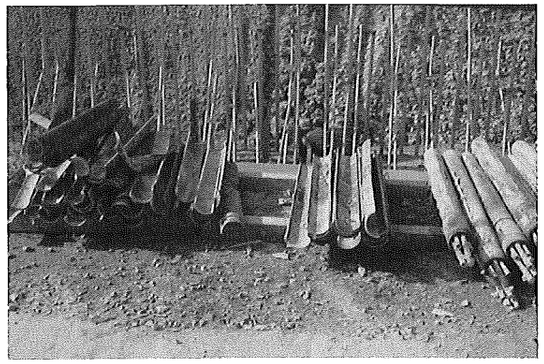


AGF-Me工法

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

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





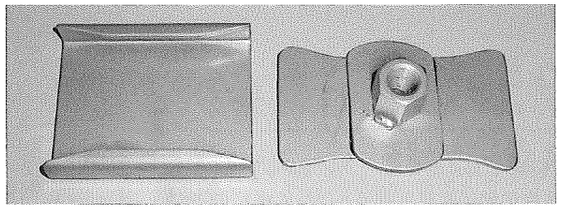
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

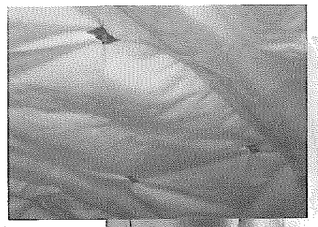
TKグリッパー

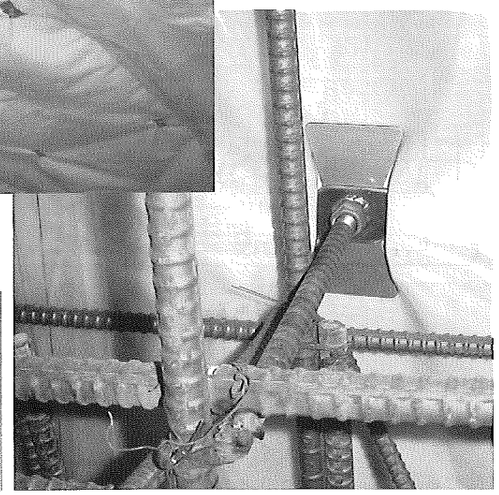
- 防水シートへの穴あけ不要
- 一人で容易に取り付けが可能
- 外れ防止機構付き、施工後の高い安全性

固定方法は3ステップ

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







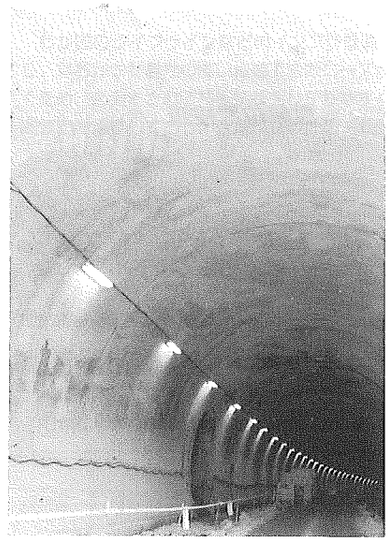
東邦金属株式会社 東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD
〒107-0052
東京都港区赤坂2-19-8 赤坂２丁目アネックス６Ｆ
Tel: 03-5545-7900 Fax: 03-5545-7905
URL:http://www.tohokinzoku.co.jp

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

コンクリートの劣化，欠陥箇所の改修，補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



〈工期短縮，即日仕上り〉

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

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

エアモルタル裏込め注入……

エスコート

L&K 起泡剤

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



◆土木資材の綜合プランナー◆
株式会社 マノール
〒120-0047 東京都足立区宮城 2-4-16
TEL 03(3927)1331(代)

This May Debut

TAG Navi－V（換気自動制御）

CYBER NATM

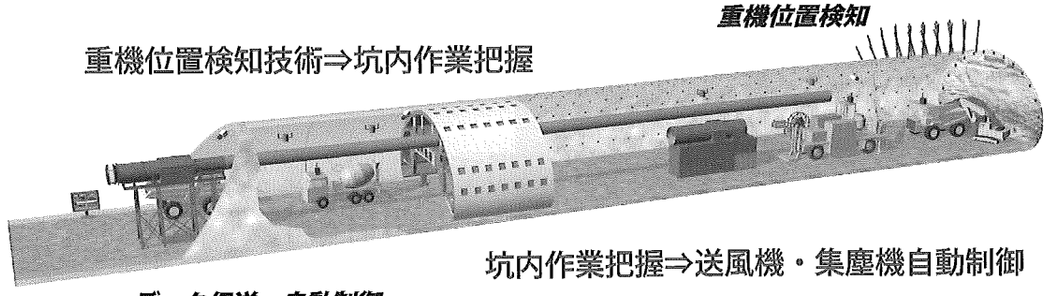
Automatic Ventilation Control System

TAG Navi - V（換気自動制御）は坑内作業（削孔作業・ずり出し作業・吹付作業等）を切羽付近で自動検知し、作業データを坑外に設置しているコントラファンに無線伝送し、自動的にインバーター制御を行い、電気量とCO2排出削減を目標とする新しい省エネルギー換気システムです

地球の為に出来ること

重機位置検知

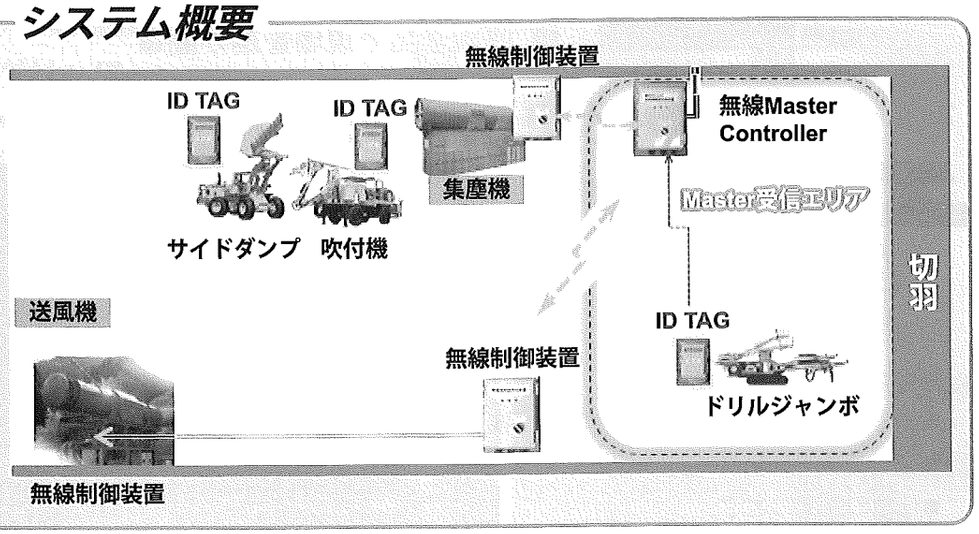
重機位置検知技術⇒坑内作業把握



坑内作業把握⇒送風機・集塵機自動制御

データ伝送・自動制御

システム概要



株式会社流機エンジニアリング

enzan kouhou

株式会社　演算工房　ENZANKOUBOU CO.,LTD.

■京都本社　〒602-8268　京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地３

TEL：075-417-0100　FAX：075-417-0200

月刊推進技術

定期購読のご案内



定期購読料金**12,337円** 1冊1,130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12,337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

お問い合せ先

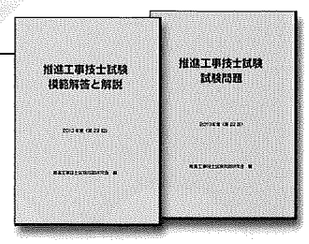
月刊推進技術 編集室
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/

〒135-0033　東京都江東区深川2-12-4-201　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12年間（平成14～25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25年度版発売中!!

1．内容と特長

○過去11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

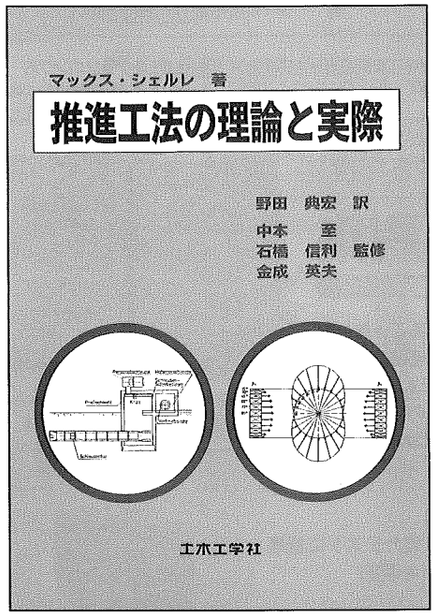
お問い合せ先

株式会社 LSプランニング
http://www2.ocn.ne.jp/~ls_siken/

〒135-0033　東京都江東区深川2-12-4-201
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。

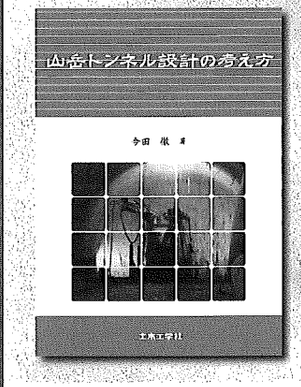
私たちは、野田氏（訳者）の翻訳を監修したわけだが、推進工法の理論面と実務面を実に詳細に解説している点に驚いた。したがって推進工法に従事し、一層活躍しようとする人たちに本書を推薦したいと思う。

〒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

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

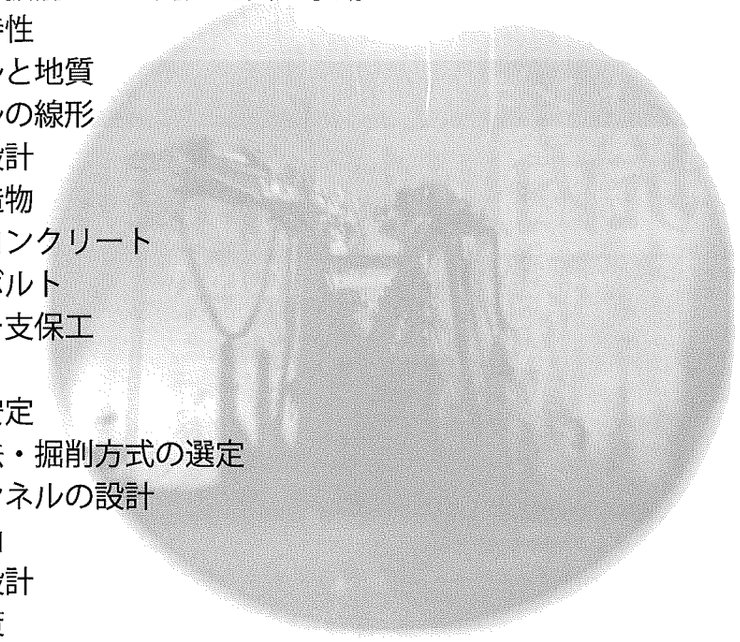
決定版

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

ゴムクロ・ミキサー車

国土交通省排ガス2次トンネル亜事用指定



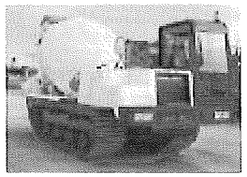
クローラーだから小旋回

斜路、軟弱路盤等悪路に強い!!
後部運転席付。小断面でも前後進が可能!!

【仕様】	ゴムクローラ式ミキサー車 TGM-MR45T 上部ミキサー:カヤバ製(混合容量4.5m³)		
全長	7,500mm	タンブラ中心間距離	3,870mm
全幅	2,690mm	クローラ全長	9,800mm
全高	3,620mm	クローラ幅	700mm
最低地上高	530mm		(100ピッチ×98リンク)
空車質量	11,000kg	セメント積載時質量	22,000kg
形　式	三菱6D-TLE2B	定格出力	165kw/2,700mln
排気量	7,545cc	最大トルク	700N・m/1,300min
速度1段	最大 7.6km/h		
速度2段	最大 20.0km/h		
空車時接地圧	20kpa	掲載時接地圧	40kpa

【TGM-MR45T Ⅱ 仕様】

- ドラム回転電動式（オプション）
- 生コン荷下時使用後部アウトリガー
- ドラム回転&アイドルアップ機構
- オフロード法少数特例承認機（承認番号） NS-641



T&M
Tunnel & Mining
ニシオティーアンドエム株式会社
山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業
http://www.nishio-tm.co.jp

〒569-0836
大阪府高槻市唐崎西2-26-1

■北海道営業所
tel：0133-72-3715
fax: 0133-72-3716

■東北営業所
tel：0198-26-0240
fax: 0198-26-0241

■関東支店
tel：0268-62-1426
fax: 0268-62-1999

■大阪支店
tel：072-677-2101
fax: 072-677-2109

■九州支店
tel：0982-26-2111
fax: 0982-26-2290

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）

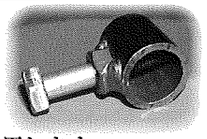
中濃産業株式会社
代表取締役 土田義弋

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㈹

コストダウンを可能にする Kリング・Kプレート

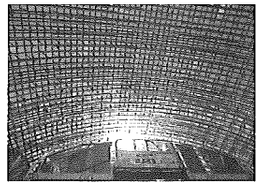
施工方法等詳細については下記までご連絡ください
製造・販売元 静岡スチール
〒436-0342　静岡県掛川市上西郷 765-1
TEL：0537-24-3886　FAX：0537-24-3859
Mail：ktk@r5.dion.ne.jp

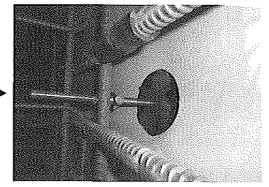
①アーチ鉄筋組立金物（Kリング）特許出願中（特願 2001-309314 号）



トンネル覆工工事におけるアーチ鉄筋組立金物。
コストダウン、安全、工期、品質の向上を可能にします。

②トンネル覆工鉄筋防水シート接着ジベル筋組立（Kプレート）
円型プレートを直接支保工下地防水シートに接着して使用します。Kリングと併用します。





ウォータータイト(全周止水)トンネルにおいて覆工コンクリートの鉄筋を自立させることによって、鉄筋受け架台の鋼製支保工コストの大幅削減を可能にすることができます。

鋼製支保工を設置した場合もKプレートを使用することが可能です。





Kプレートで鋼製支保工を固定。
架台の鋼製支保工の固定にも使用できます。



トンネルが貫通するまでの長い道のりの中で、工事完了までの間に大いなる違いを生む原動力となるのは、トンネル進捗率における日々改良の積み重ねです。もちろん、発破のたびに進捗度を上げたいとご希望されることでしょう。

オリカ社は、今まで積み重ねてきた研究開発と技術力を駆使して、お客様が毎日直面する課題の解決策をご提供することができます。自由に延時設定可能なトンネル専用電子雷管eDev、トンネル発破デザインソフト New SHOTPlus-T™、高エネルギーエマルション爆薬の結果をご覧になることができます。これらはすべて、お客様のご要望に沿って全てのプロジェクトに最適な技術サービスとサポートをご提供した結果です。

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

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

ORICA MINING SERVICES

道路，トンネル設計（本体工，換気，防災，照明，施工管理他）
トンネル現場診断

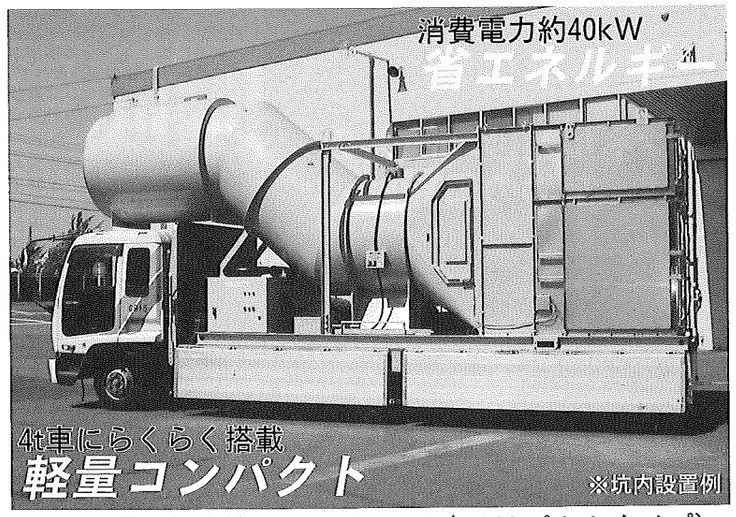


（社）建設コンサルタンツ協会会員　ISO9001取得

株式会社 ロード・エンジニアリング

会　　長　田島利男　　代表取締役社長　清水　洋（技術士）
（技術士・土木学会フェロー会員）
常務取締役　堀内　浩三郎（工学博士）　大阪支店長　亀甲谷　義　高（技術士）

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



National電気集塵機クリンジェット（2,000m³/minタイプ）

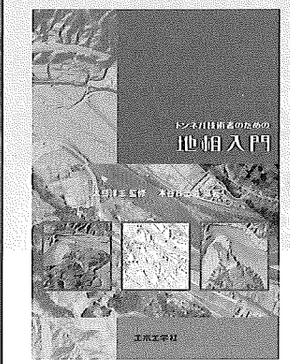
RENT
取扱レンタル商品
●MACレーザーシステム
●オアシス（坑内休憩室）
●発電機エコ装置
（従来より小容量の発電機で施工できる為、省エネ効果）

株式会社 レ ン ト

特機営業課　担当者　工藤

〒134-0093 東京都江戸川区二之江町1409-1　TEL：03-5667-7803　FAX：03-3804-6053
URL：http://www.rent.co.jp　E-mail：kudo.yuji@rent.co.jp

新刊図書のご案内　地形にも相がある　地形の性質を知ろう！



トンネル技術者のための
地相入門

大島洋志 監修　木谷日出男 編著
B5判　203頁　定価3,200円+税　送料別

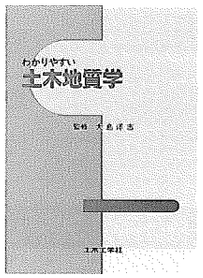
《主要目次》
序　編　まえがき　地相は人相　山の性状
第Ⅰ編　地形から読み取れる情報
　地形から地相を読む方法／地形から得る具体的な情報
第Ⅱ編　地形種とトンネルの施工事例
　段丘・台地／崖錐・沖積錐・扇状地／傾斜層／地すべり／
　マスムーブメント・滑落崖／断層（断層変位地形）／
　断層（断層削剥地形）／火山地形／カルスト地形・残丘／地形改変
第Ⅲ編　路線選定　地相をよく観て路線選定を行う
あとがきにかえて　座談会

図・表・写真
288点収録

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

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

〔好評発売中〕
わかりやすい土木地質学



大島洋志 監修
Ｂ５判　209頁　本体価格2,500円　〒340円

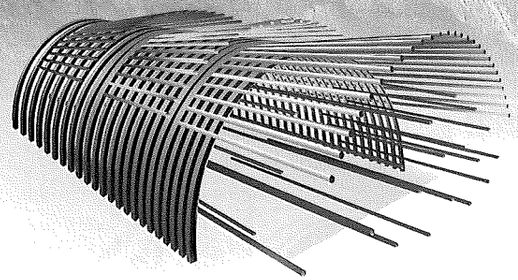
主要目次
序　編　トンネルと地質の関わり
1．地質学とは，応用地質学とは　2．トンネルと地質
第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学
1.地球の構造　2.地層や岩石の分類　3.地質作用　4.地質構造　5.地形と地質との関わり　6.日本の地質　7.地下水
第Ⅱ編　トンネル工事と地質条件
1.路線選定と地質条件　2.トンネル工法・掘削工法と地質条件　3.掘削方式と地質条件　4.トンネル掘削に伴う地質的現象
第Ⅲ編　地質調査法
1.地形・地質調査一般　2.既存資料調査　3.空中写真判読　4.地質踏査　5.弾性波探査　6.電気探査　7.その他の物理探査法
8.ボーリング調査　9.ボーリング孔を利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

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

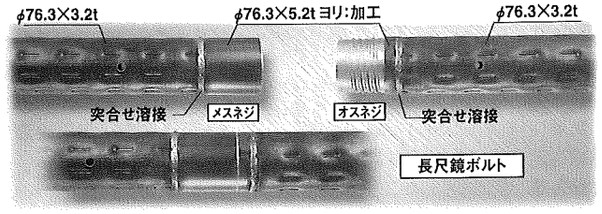
株式会社 土木工学社　〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話　(03)3267-2888（代）　振替00110-8-190072

ユニークな発想でVEを提案

FIXチューブ(S型)（ストロング）



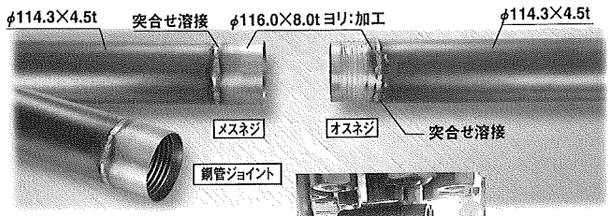
※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



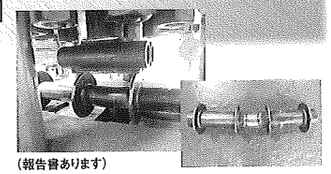


AGF-STD工法

※軽量化による作業性とねじ強度の改善!
※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



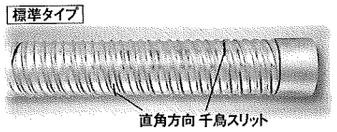
曲げ耐力30%UP!!



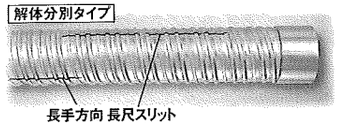
(報告書あります)
接続部の抗折力試験

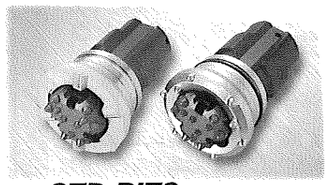
撤去管の選択

標準タイプ



解体分別タイプ





STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

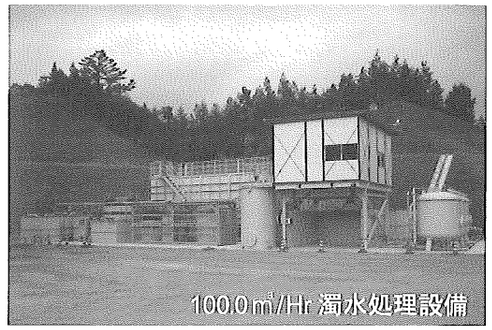
※ウレタン系注入材：NEW-TSRF、NEW-TBU
※セメント系注入材：コロイダルスーパー、デンカES
※セメント系充填材：デンカPモル
※高速フォアポーリング：SP-IF工法
※高速ルートパイル：SPフィックスパイル工法
※φ27.2注入管、自穿孔ボルト各種在庫あり

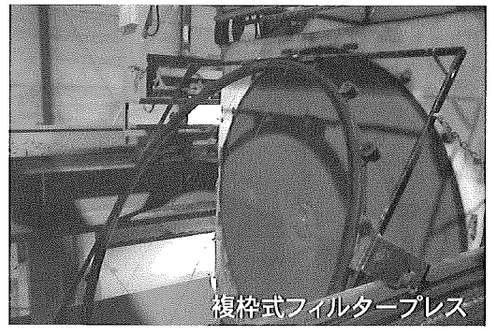
STE
エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0833　大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.072-990-0250 FAX.072-990-0251
http://www.st-eng.co.jp

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

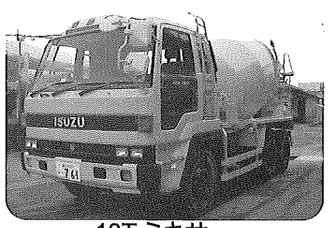

複枠式フィルタープレス

【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　7月号目次　Vol.45, No.7, 2014 Jul.

■巻　頭　言

超電導リニアによる中央新幹線計画
宇野　護……5

■研　究

全断面早期閉合の施工管理手法についての一提案
角湯　克典・明石　健・鬼頭　夏樹・大谷　達彦……61

■計　画

中央新幹線（東京都・名古屋市間）におけるトンネル計画の概要
二村　亨・鈴木　一真……51

■施　工

通行止めを回避した新たなトンネル路面隆起対策技術の適用
―長野自動車道　一本松トンネル―
鈴木　雄吾・岩永　茂治……7

深度500mまでの施工実績にもとづく立坑掘削技術の評価
―瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事―
佐藤　稔紀・見掛信一郎・納多　勝・小林　伸司……21



CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

15m²の小断面を長孔発破で月進359m達成
―東京大学（宇宙線）大型低温重力波望遠鏡施設―
齋藤　修一・大橋　正健・花田　則昭・川野　広道……31

■連載講座

都市トンネルのための地盤改良工法（2）
―薬液注入工法―
「都市トンネルのための地盤改良工法」連載講座小委員会……69

■現場だより

「串柿と歴史ロマンの里」かつらぎ町より
桑原　佑太……19

「日本一深くて長いV字峡谷」黒部峡谷より
園田　広樹……20

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

難場に育てられたトンネル屋人生
横山　正士……41

■資料ほか

土木情報
編　集　部……60

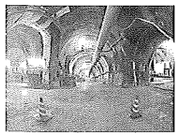
工法・技術・製品ニュース
編　集　部……80

トンネルジャーナル
編　集　部……79

■会　報

会　報
日本トンネル技術協会……81

【表紙説明】　深度500mまでの施工実績にもとづく立坑掘削技術の評価
―瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事―



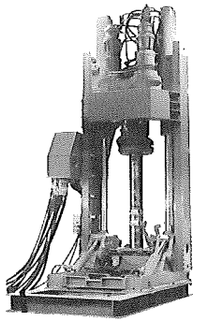
瑞浪超深地層研究所では，研究坑道の掘削を伴う調査研究を実施しており，現在，2本の立坑と複数の水平坑道群からなる地下施設を深度500mまで掘削している．これまでの施工実績から湧水抑制対策と地山崩落対策において，立坑掘削機械であるシャフトジャンボを用いることにより，立坑掘削のショートステップ工法の掘削サイクルに効率よく取り入れることが可能であった．写真は，深度500m斜坑部である．

〔**写真提供**：（独）日本原子力研究開発機構〕（本文21頁参照）

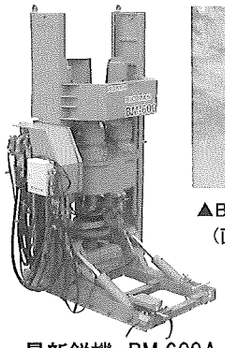
トンネルにおける鉱研独自の特殊工法

ビッグマン・レイズボーリングによる大口径立坑掘さく

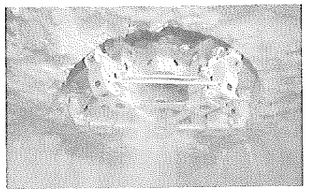
近年、レイズボーリングは、ますます大口径、大深度化の方向に進みつつあります。現在、国内唯一の当社大口径岩盤掘削機「ビッグマン」は、それらの要求に応えて、1996(平成8)年、径5,000mmの掘削が可能なBM-500Aを開発。さらに、2008(平成20)年に径6,000mm、深さ500mの掘削能力を持つBM-600Aを開発し、国内外での施工実績を積み重ねています。



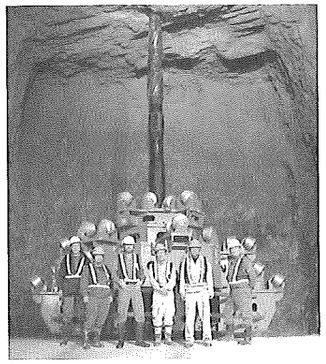
BM-500A



最新鋭機 BM-600A



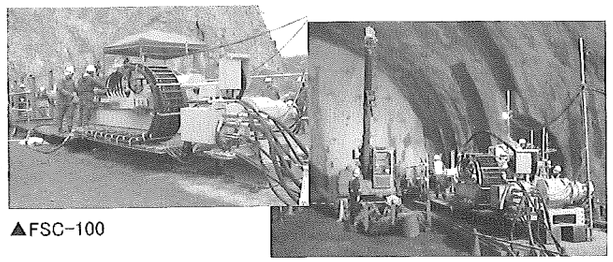
▲BM-600A用リーミングビット
(直径6m)



コントロールボーリングによる長尺水平調査 FSC-100

■コントロールボーリングの目的
本工法は、掘さく方向を制御(コントロール)しながら、急速施工と長尺ボーリング(1000m以上)を施工します。

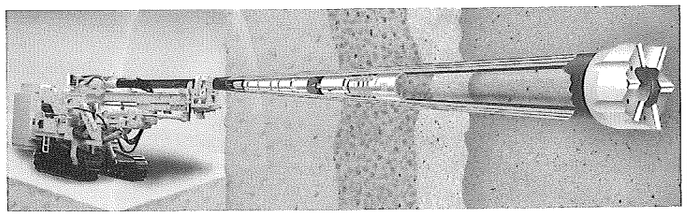
■コントロールボーリングの特長
①トンネルなどの計画線に沿ったボーリングが可能。
②掘削方向を計測により適時修正が可能。
③掘削方向を任意に変更可能。
④急速削孔により工期短縮が可能。

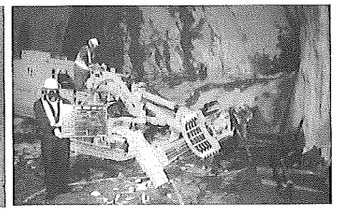


▲FSC-100

アロードリルによる急速トンネル前方探査システム

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なえ、施工時間が大幅に短縮できます。
2重管ワイヤ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比べて大幅に向上しました。





地球にKOKEN する会社。 鉱研工業株式会社

本 社 〒171-8572 東京都豊島区高田2丁目17番22号 目白中野ビル1階
TEL(03)6907-7888(大代表) FAX(03)6907-7527

お問合せ先:エンジニアリング本部 エンジニアリング部
TEL. 03-6907-7512 FAX. 03-6907-7522

http//www.koken-boring.co.jp

北海道支店:(011)561-4961 東北支店:(022)762-6075 信越支店:(025)275-6877 首都圏事業部:(03)-6907-7511
大阪支店:(06)6385-0350 中国支店:(083)972-8757 九州支店:(092)924-5001 海外事業部:(03)-6907-7515

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開発センター最高技術顧問
首都大学東京客員教授

〔幹　　事〕

居 相 好 信
株式会社大林組生産技術本部統括部長

伊 藤　　聡
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
改良建設企画課長

岩 田 美 幸
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

大 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

久多羅木 吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

小 松 敏 彦
前田建設工業株式会社土木事業本部土木部
担当部長(トンネル)

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

西 岡 和 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

長谷川 雅 彦
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

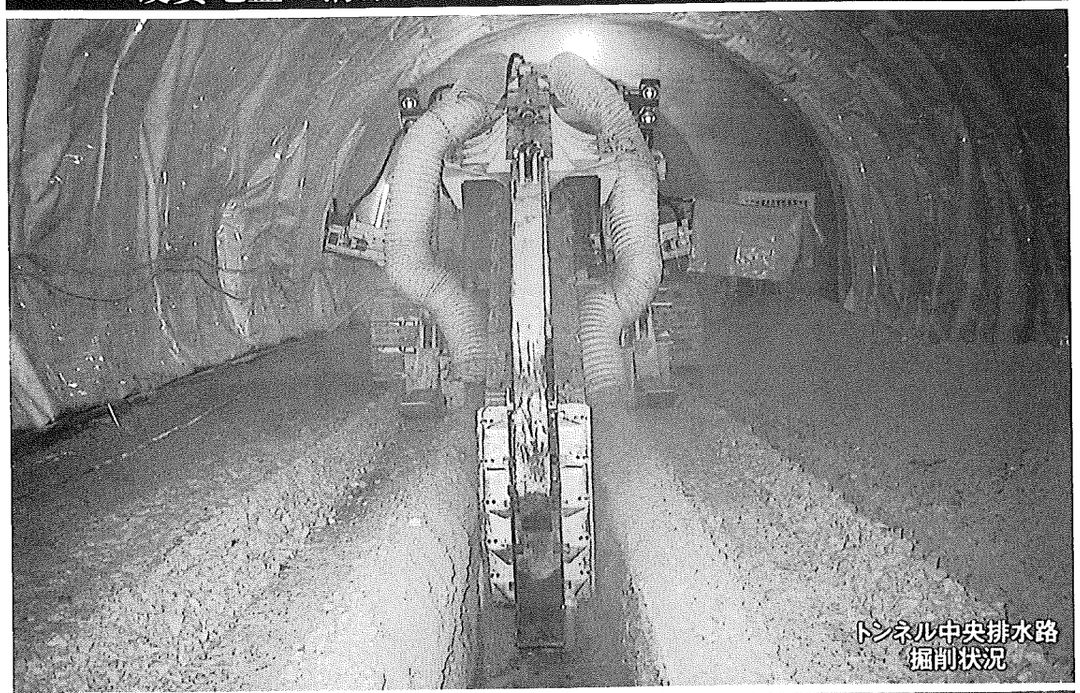
藤 井 義 文
株式会社竹中土木執行役員

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

吉 富 幸 雄
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル室参与

トレンチャー

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路
掘削状況



施工例



トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D6	40/30	60/30
メーカー名 掘削幅 cm 掘削岩の硬さ(最大)	テスメック 60 500kg/cm²	テスメック 75 700kg/cm²	マステンブルグ 70 700kg/cm²	マステンブルグ 70 1000kg/cm²
重量 t	36	40	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)213-7024(代) 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開発センター最高技術顧問
首都大学東京客員教授

〔編集参与〕

木谷日出男
国際航業株式会社フェロー技術開発センター
地盤研究室長

小山幸則
立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

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

〔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

岡田龍二
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
技術基準担当課長

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

清水満
東日本旅客鉄道株式会社建設工事部兼設備部
構造技術センター次長

高田武
東京都水道局建設部工務課長

高橋晃
東京電力株式会社パワーグリッド・カンパニー
工務部流通土木グループマネージャー

谷内雅之
東京都交通局建設工務部計画改良課長

真下英人
国土交通省国土技術政策総合研究所
道路構造物研究部長

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長

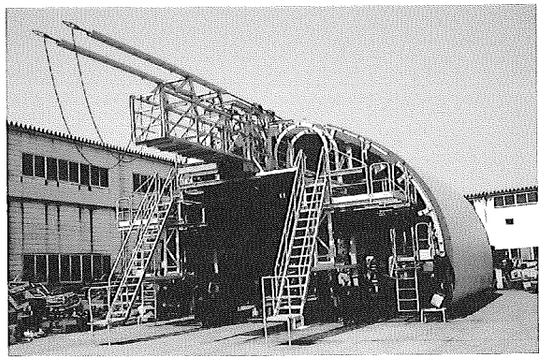
柳雄
東京都下水道局建設部設計調整課長

要求性能を満たす
覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレータ装置

NETIS 登録 No.HR-080001-V

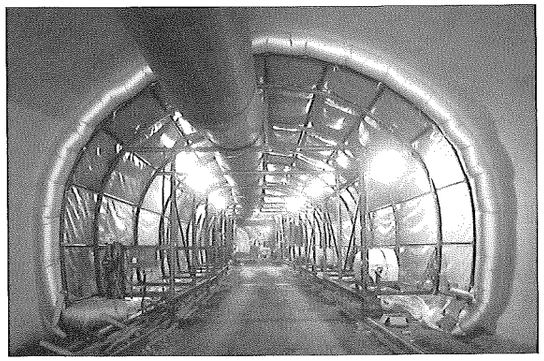


期待される効果・特徴

- 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.CG-080012-A （製造：株式会社マシノ）



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を噴霧し，湿潤状態を保持し，初期強度を向上させる
- 養生中に追加噴霧することで湿潤状態を長期保て，覆工コンクリートの長期強度が増進する
- ３台連結することにより７日間の湿潤養生が出来る

北陸鋼産株式会社

(旧社名　株式会社 佐賀)

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

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

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

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

トンネルと地下　VOL. 45　No. 7　掲載概要

掲載頁 7

通行止めを回避した新たなトンネル路面隆起対策技術の適用

—長野自動車道　一本松トンネル—

東日本高速道路(株)　鈴木　雄吾

長野自動車道一本松トンネルは平成５年の開通から数年後より緩慢ではあるが収束することなく路面隆起が進展していることから，抜本対策としてインバートの構築を行う必要があった．

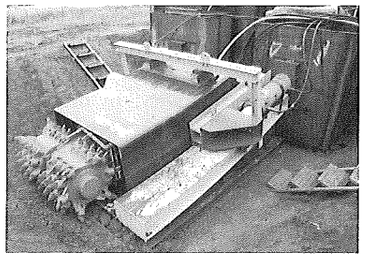
この場合，既知の施工法では通行止めが必須となる．そこで，実質的に「本工事に伴う通行止めを回避しながらインバートの構築」が可能な新たな施工技術である曲線函体推進工法による抜本対策として実施した．ここに，本工事ならびに当該技術の適用に向けた検討を報告する．

New Countermeasure Technique against Road Surface Heaving Require No Tunnel Closure—Nagano Expressway Ippon-matsu Tunnel—

By Yugo Suzuki, East Nippon Expressway Company Limited

The Ippon-matsu Tunnel on the Nagano Expressway required installing tunnel invert as a radical countermeasure because the road surface had slowly developed unresolved heaving in the years after its opening in 1993.

In this kind of case, it is necessary to close the tunnel when using conventional techniques. Therefore, we put the Curve Box Jacking Technique as radical countermeasure technique, which is a new countermeasure that makes it possible to install tunnel inverts while avoiding the road closure, into practice. This report contains an investigation of the works and the application of the technique.



写真は掘削機械全景

掲載頁 21

深度500mまでの施工実績にもとづく立坑掘削技術の評価

—瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事—

(独)日本原子力研究開発機構　佐藤　稔紀

日本原子力研究開発機構では，岐阜県瑞浪市の瑞浪超深地層研究所において研究坑道の掘削を伴う調査研究を実施している．研究所は２本の立坑と複数の水平坑道群からなる地下施設で，現在，深度500mまで掘削が進んでいる．

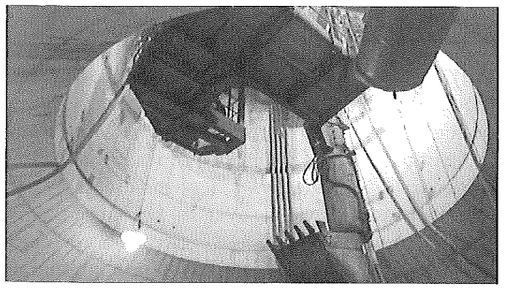
本稿では，これまでの施工実績にもとづいて，湧水抑制対策と地山崩落対策について評価した結果を示す．湧水抑制対策では，立坑坑底からアンブレラ型の注入孔を配置してプレグラウトを実施し，所定の透水係数の改善が見られた．地山崩落対策では，ロックボルトによる補強工とシリカレジン注入による先受け工を組み合わせて，断層に沿った立坑掘削を安全に行った．いずれの対策工も，立坑掘削機械であるシャフトジャンボを用いて実施することにより，立坑掘削のショートステップ工法の掘削サイクルに効率よく取り入れることが可能であった．

Evaluation of Shaft Excavation Based on Construction Records up to 500 Metres Depth—Research Tunnel Excavation Works, Mizunami Underground Research Laboratory —

By Toshinori Sato, Japan Atomic Energy Agency

The Japan Atomic Energy Agency conducts studies and research associated with the excavation of underground research facility at the Mizunami Underground Research Laboratory in Mizunami City, Gifu Prefecture. The research laboratory is an underground facility consisting of two shafts and some drifts and excavation has currently extended to a depth of 500 m.

This report contains the evaluation results of measures to control the welling of water and measures to prevent ground collapse based on construction records up to now. For measures to control the welling of water, we carried out pre-grouting from umbrella-shaped grouting holes placed at the bottom of the shaft and observed improvements in given permeability. For measures to prevent ground collapse, we conducted safe shaft sinking along faults by combining reinforcement works using rock bolts and fore-poling works using silica-resin grouting. Both measures were conducted using a shaft sinking drill carriage "Shaft Jumbo" that made it possible to efficiently incorporate short step shaft sinking cycles.



写真は主立坑(深度500m)

掲載頁 31

15m²の小断面を長孔発破で月進359m達成
—東京大学(宇宙線)大型低温重力波望遠鏡施設—

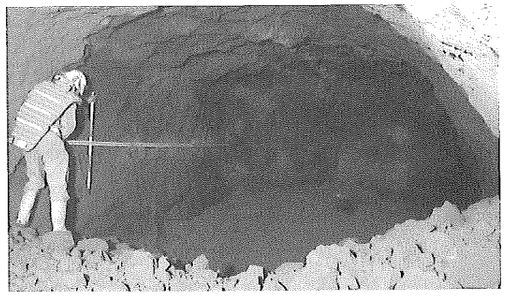
(国)東京大学　齋藤　修一

トンネルの長大化が進むなか，急速施工による工程短縮には大きなメリットがあり，長孔発破による掘削はその解決策の1つと言える．本工事は，アインシュタインの一般相対性理論でその存在が予言された「重力波」を検出する実験施設用トンネルであり，1日も早く研究利用に供するため，長大トンネル(掘削延長7,697m，掘削断面積15m²)で工期2年と工程的な制約が厳しい工事であった．急速施工が求められるなか，長孔発破を採用し，NATMでの国内最高記録である月進359m，同一作業坑から発進する2切羽の合計においても月進660mを達成した．本稿ではその施工実績について報告する．

Long Hole Blasting Leads Tunnel Excavation Rate of 359 Meters Per Month in Small Section, 15 m²— University of Tokyo (Cosmic Ray) Large-scale Cryogenic Gravitational Wave Telescope Project—

By Shuichi Saito, University of Tokyo

As tunnels become longer and longer in length, there are great benefits in shortening construction period using speeding-up technique and it can be said that long hole blasting excavation is one solution strategy. These works involved a tunnel used for experimental facilities to detect gravitational waves that are predicted to exist according to Einstein's general relativity. In order to submit it for use in research as soon as possible, the works had a strict construction period of two years for a long tunnel (excavation length: 7,697 m, excavation cross-section area: 15 m²). We employed long hole blasting for speeding up of construction and achieved monthly progression of 359 m with NATM, a domestic record and, achieved monthly progression of 660 m in total of two excavating works using the same drift. This report contains the relevant construction results.



写真は長孔発破状況

掲載頁 51

中央新幹線(東京都・名古屋市間)におけるトンネル計画の概要

東海旅客鉄道(株)　二村　　亨

全国新幹線鉄道整備法にもとづき，国土交通大臣より中央新幹線の建設の指示を受け，まず東京都～名古屋市間における環境影響評価の手続きを開始した．平成23年6月と8月に，概略の路線および駅位置ならびに計画段階における環境配慮事項をまとめた「計画段階環境配慮書」を公表し，同年9月には，「環境影響評価方法書」を公告した．

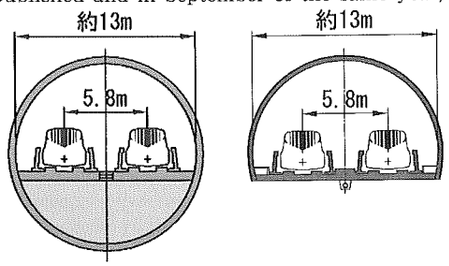
その後，方法書に対する知事意見等を踏まえ，調査，予測および評価を行うとともに，路線および駅位置を絞込み，昨年9月に「環境影響評価準備書」を公告した．中央新幹線(東京都・名古屋市間)は，延長286kmのうち，トンネル部が246kmであり，長大山岳トンネルや大深度地下トンネルの計画概要について報告する．

Outline of Tunnel Plans for The Chuo Shinkansen (between Tokyo Metropolitan Area And Nagoya City)

By Toru Futamura, Central Japan Railway Company

According to the Nationwide Shinkansen Railway Development Act, we received instructions from the Minister of Land, Infrastructure, Transport and Tourism to construct the Chuo Shinkansen and initiated procedures for an initial environmental impact assessment between Tokyo Metropolitan Area and Nagoya City. In June and August of 2011, "environmental consideration document at planning stages" summarizing an outline of the route as well as station locations and environmental considerations in the planning stages was published and in September of the same year, "environmental impact assessment procedure document" was published.

Following this, based on the governors' opinion of the scoping document, etc., along with conducting surveys, estimations and assessments, we narrowed down the route and station locations and published "environmental impact assessment preparation document" in September of last year. The total length of tunnels extends over 246 km out of the 286 km-long Chuo Shinkansen (between Tokyo Metropolitan Area and Nagoya City) and this report contains an outline of plans for long mountain tunnels and deep underground tunnels.



シールドトンネル　　山岳トンネルの例

図はトンネル標準断面図

掲載頁 61

全断面早期閉合の施工管理手法についての一提案

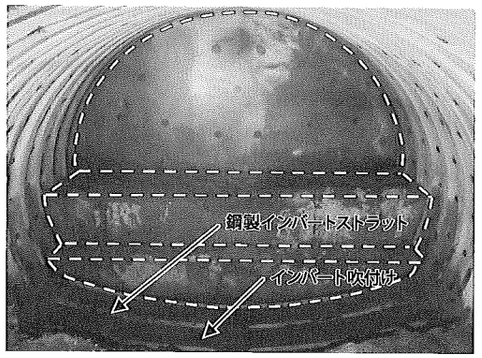
(一財)日本みち研究所　角湯　克典

近年，山岳トンネル掘削時の変形抑制を目的として，補助ベンチ付き全断面掘削工法による早期閉合(以降，全断面早期閉合と称す)が多く用いられている．本稿では，全断面早期閉合を合理的に適用するために，施工中のおける管理項目として，坑内変位計測の最終変位量，初期変位速度の管理基準値について設定方法を提案した．そして，これらの管理基準値にもとづいた施工管理方法を提案した．

A Proposal for The Construction Management of Early Tunnel Invert Building

By Katsunori Kadoyu, Research Institute for Road Street

In recent years, a tunnelling technique of full face excavation with auxiliary bench combined with early tunnel invert building (hereafter early invert building) is applied in large number of mountain tunneling works with the aim of controlling displacement. This report proposes setting method of management standard values for final displacement volume and initial displacement speed in convergence monitoring as control item during working in order to rationally conduct early invert building. In addition, it proposes a construction management method based on these management standard values.



写真は全断面早期閉合の切羽状況

管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

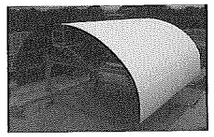
コンクリートトータル養生システム



加温しながら初期強度を上げる
加温養生（型枠）



加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



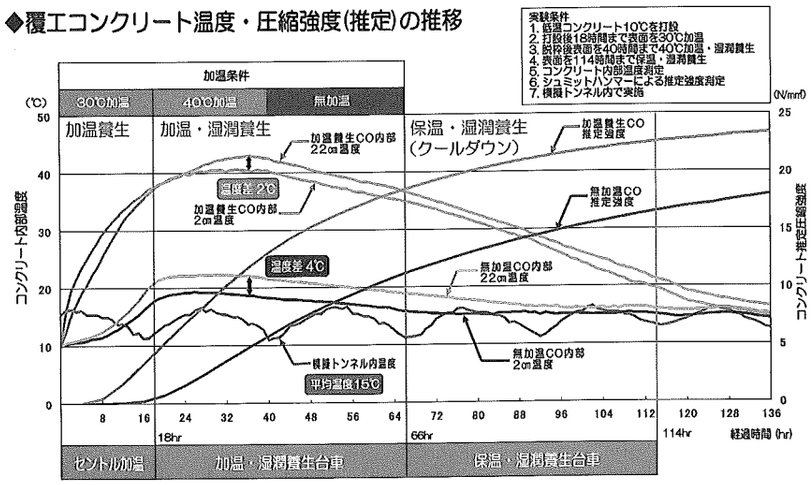
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

コンクリート打設完了から養生完了までのコンクリート内部温度及び推定強度を表示します
必要なコンクリート強度から使用者の判断で任意に加温設定が可能です

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

本社 岐阜県瑞穂市田之上 811 番地　TEL 058-257-1000(代)　FAX 058-257-1013
営業部本部 TEL 058-257-1001 東京支店　TEL 03-5836-0531 札幌営業所 TEL 011-374-7027
仙台営業所 TEL 022-259-2239 九州営業所 TEL 092-918-3880 宮古出張所 TEL 0193-77-5472

【製作・販売協力】
テクノプロ株式会社
東宏株式会社

巻頭言

（題字　佐藤信彦会長）



超電導リニアによる中央新幹線計画

東海旅客鉄道(株)常務執行役員
宇野　護

超電導リニアモーターカーによる中央新幹線計画がいよいよ工事着手の時を迎えようとしている．昭和48年に基本計画が決定，翌49年から甲府市付近～名古屋市付近間の山岳トンネル部の地形・地質調査を開始して40年が経過し，建設の槌音が響くことになる．国鉄時代の13年間は当時の岐阜工事局が地形・地質調査を担当，以降の27年間は国鉄改革を機に発足したJR東海が，鉄道・運輸機構と各種調査を実施するとともに，鉄道総研と超電導リニアの技術開発に取組むなど，主体となって推進をしてきた．

筆者は昭和55年から国鉄岐阜工事局，その後本社新幹線計画課に在籍し，JR東海発足以降は，中央新幹線の調査・計画，山梨リニア実験線の建設などにかかわり，またこの６年余り本プロジェクトに携わるなど，長年の経過をつぶさに目にしてきたところである．岐阜工事局では直接担当することはなかったが，執務室隣接の倉庫にうず高く積み上げられた中央新幹線の黄色装丁の報告書類は今でも記憶に残る．本社新幹線計画課では，当時北陸，東北盛岡以北などの整備新幹線が優先テーマで中央新幹線の話を取り扱ったのはきわめてわずかな頻度であった．その一方，分割民営化の道をたどり始めた国鉄であったが，宮崎実験線では超電導リニアモーターカーの実験が継続されており，遠い将来，中央新幹線をやるのならこの方式が面白いな，など酒席で話題になったものであった．

そのような中，国鉄改革は大きな転換点になった．この機に発足したJR東海は主たる経営基盤を東海道新幹線に委ねており，長期的な戦略としてバイパス線となる中央新幹線の実現を位置づけた．また，走行方式としては超電導リニア方式が望ましいと考え，まずはその技術開発を促進することとし，山梨実験線の建設と本格的な走行実験に向け多額の資金を投入することとなった．平成２年に山梨実験線建設に着手，平成９年からは先行区間で走行試験を開始，短期間に550km/h走行を達成するなど着実に実用化に向けた開発を進めてきた．

しかしこの間，中央新幹線計画そのものに目立った進展は見られなかった．それは，整備新幹線方式の建設では国の財源に限りがあり，早期の事業化は全く見込めない状況であったことによる．一方でJR東海は平成９年の株式上場後も順調に実績を積み重ね

経営体力を付けてきたことから，平成19年12月に自己負担での中央新幹線実現を目指すことを意思決定して公表した．これをきっかけに中央新幹線計画は一気に前進を始め，長年継続した地形・地質調査に区切りをつけるとともに新たな４項目調査の実施～その後の交通政策審議会の審議を経て，平成23年５月には国土交通大臣により，JR東海を営業・建設主体に指名，整備計画を決定，建設の指示，と進んだところである．現在は工事着手の前提となる環境影響評価を実施中で，この４月には評価書を国土交通大臣に送付し，いよいよ最終局面に差し掛かっている．

中央新幹線計画で特徴的なことは，超電導リニアを走行方式とすること，そしてその特性を生かすべく，ルートはできる限り直線的にとって南アルプスを経由していること，また首都圏，中京圏では大深度地下使用を基本にしており，トンネル区間が86％と多くを占めることなどが挙げられる．

とくに南アルプスについては，超電導リニアの急勾配に強い特性を生かして縦断線形で40‰を多用し，抑えてはいるが，最大土かぶりは約1,400m，延長約25kmの長大山岳トンネルを計画している．施工に際して，破砕帯周辺での高圧湧水との遭遇や，強大な地圧による塑性押し出しなど，幾多の困難な課題と直面することも予想される．また大井川源流部などアプローチに時間がかかることも厄介な点である．一方，糸魚川–静岡構造線と交差をすることになるが，こちらの方は，既に実施した水平ボーリング用作業坑(約30m²)の掘削で，地質を直接確認，性状を把握しており適切な施工計画を策定中である．

さて，工事着手となると，いよいよトンネル技術者の出番である．発注側，受注側とも多数の技術者が総力を挙げて取組んで行くことになる．山岳トンネルではやはり南アルプストンネルが全体工期を握る最重要ポイントであり，本プロジェクトを象徴する箇所となろう．大井川源流など南アルプス地域では，かなり以前から電源開発事業などが進められており，各種堰堤や導水路トンネル，発電所が建設されるなど土木工事を通じて人手の入った箇所も多い．しかし中央新幹線のトンネルが通過する地下深くに施工事例はなく，地上からのボーリング調査などにも限度があり，トンネル位置での地質性状は未知の部分が多い．こうした中で，斜坑，先進坑の掘削にあたって切羽の前方探査がきわめて重要であり，これまでも坑内から実施する長尺水平ボーリングの開発に積極的に取組んできている．何年か後，関係の各現場事務所の中で，こうした坑内水平ボーリングの状況をみて，対応策の準備をいかにと，喧々諤々議論を戦わせる技術者たちの姿が目に浮かんでくる．こうしたチャレンジングな時への期待感を胸に，今は早くスタートラインに着くべく努めて行きたい．

施工

通行止めを回避した新たなトンネル路面隆起対策技術の適用

—長野自動車道　一本松トンネル—

東日本高速道路(株)関東支社改良チームチームリーダー　鈴　木　雄　吾
(株)熊谷組土木事業本部トンネル技術部技術部長　岩　永　茂　治

1　はじめに

供用中のトンネルにおいて路面隆起などの変状が発生した場合，長期間に及ぶ通行止めをはじめとした通行規制を行わなければ抜本的な補修は難しい．その補修範囲も将来的に必ずしも現状において変状が発生している箇所のみに限定されるとは言いがたい．このため，建築限界を確保する段差修正などの対処療法的な補修を行いながら経過観察を行い，トンネル全体に及ぶ大規模な改築を実施する時期まで延命を図るとした対応を行わざるを得ないことが多い．

本稿にて報告する長野自動車道一本松トンネルは，麻績インターチェンジ(以下「IC」)～更埴ICに位置する延長約3,200mのトンネルである．

平成５(1993)年の開通から３年を経過した平成８(1996)年ごろに路面隆起や覆工クラックなどの変状が発見された．その後，段差修正などの路面補修を行いながら，変位観測を継続してトンネルの健全性を確保してきた．

しかしながら，変状が収束することなく継続していることを踏まえ，有識者による委員会を設置し対策の検討を行った．その結果，変状は現時点では比較的緩慢であり補修の緊急性は低いもののその変状自体は継続的に増加する傾向にあり，将来的に抜本対策が必要となること，また，変状の発生が現状においても広範囲(上下線で９か所．延べ延長で約1,500mの区間)に及ぶことから，急激な変状発生時への対応および変状が大きい箇所のみの補修手法として通行止めを極力最小化できる工法を確立すべく，もっとも変状が発生している約40mの区間において変状対策工事を実施することとした．

本稿はその検討から施工までの一連を報告するものである．

2　変状の状況

2-1　地質概要

一本松トンネルの地質分布は，起点側(松本側)から第三紀中新世の小川層(O1～O3)，その上に裾花層(S1～S2)，および冠着層(Ka)となっている．

一本松トンネルの盤ぶくれに関しては，**図-1**に示すように変状区間１～５に区分して，それぞれの進行状況を把握してきた．ここで，各変状区間と分布する地層とは下記のような関係にある．

- 変状区間１　：砂岩，泥岩の互層(小川層(O1～O3))
- 変状区間２～５：凝灰岩(裾花層(S1～S2)および冠着層(Ka))

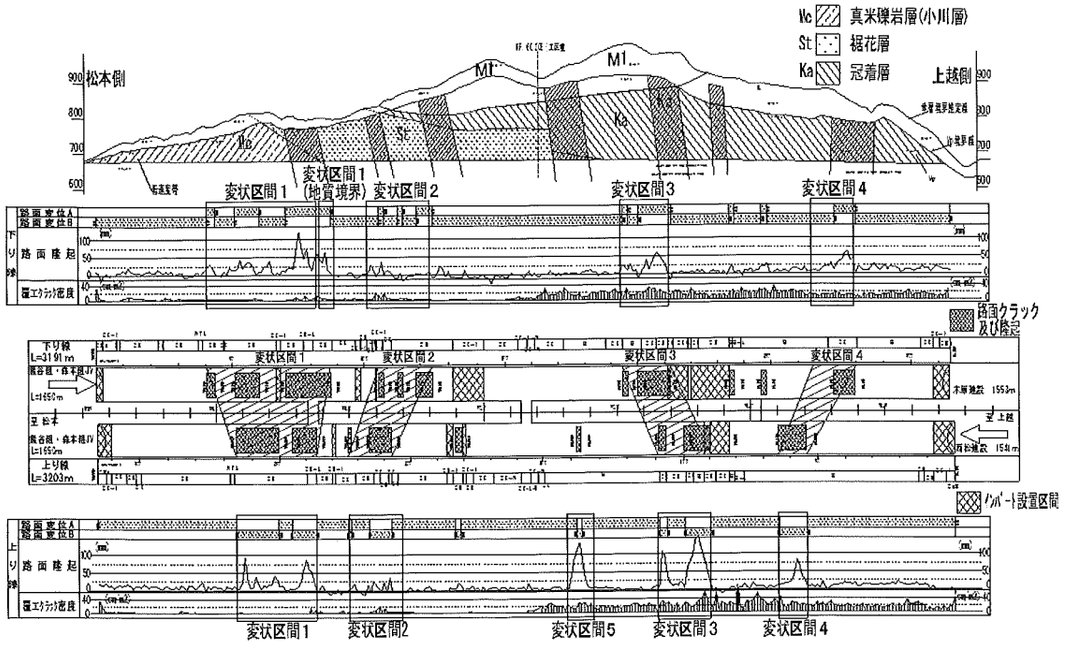


図-1　地質縦断および変状区間図

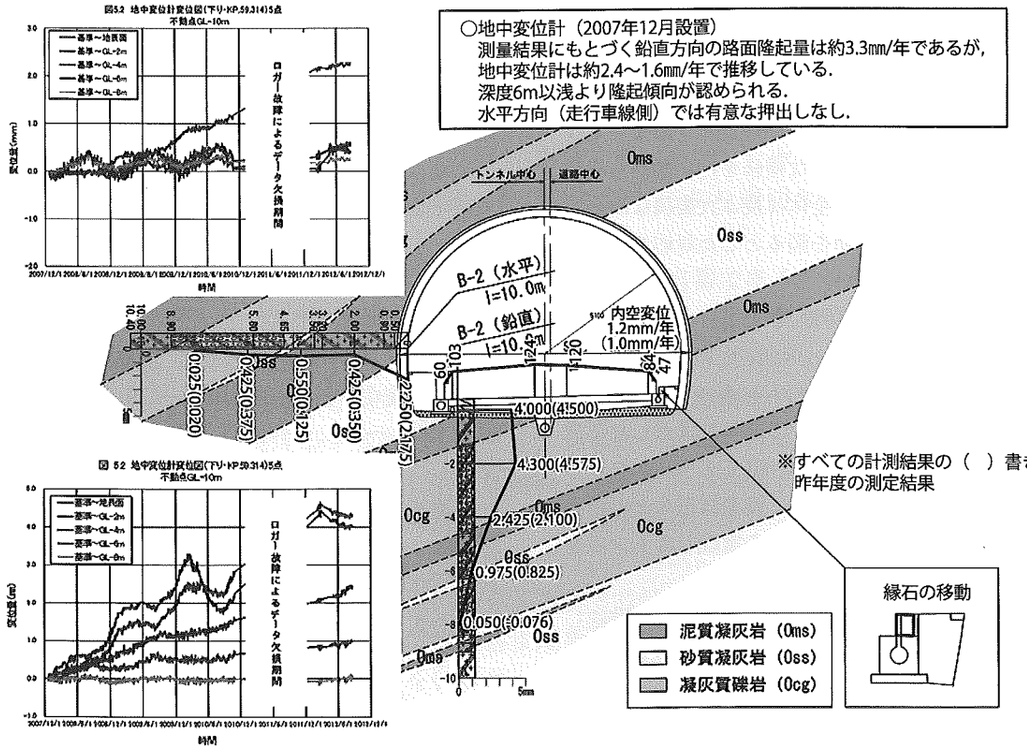


図-2　地中変位計設置概要および計測結果

2-2　管理基準(健全度評価)

変状の監視基準ならびに緊急対策を行う変状の目安として東日本高速道路(株)において定める技術基準の補修補強ランクを基本に，内空変位量，ならびに盤膨れ量・速度に着目し，本坑における補強ランクを設定した．

2-3　変状状況

もっとも変状が大きい下り線変状区間1における地中変位を図-2に示す．また，トンネル完成以降の路面隆起の状況および将来予測結果を図-3に示す．

(1)　地中変位

側方・下方ともに深度8m程度の箇所まで変状が及んでいるが深部の変状は小さい．なお，路面部において一時的に沈下が発生しているが，これはコンクリート舗装版の破損によるものであり隆起の傾向に変化はない．

(2)　内空変位

過去5か年における累積変位は7㎜程度であるが，その変位速度は0～－4㎜/年と幅があり，近年においてはその変状速度は低下の傾向にある．なお，測定誤差などの精度を鑑み，年間2㎜程度の変化が確認された場合において変状が発生しているものと判断することとした．

(3)　路面隆起

2007年を境に隆起速度が遅くなり，おおむね4㎜/年以下で増加している．これら路面隆起速度とともに内空変位の速度も低下していることが確認されており，これら変状速度の低下は地下水位の低下と関係があるものと推定される．

なお，路面隆起の状況を以下の式に当てはめ，将来予測を行った結果，おおむね300㎜の隆起が想定される結果となった(図-3)．

$$U=t/(\alpha+\beta t)+\gamma$$

U：路面隆起量(計画高との差)，t：時間

2-4　地山特性

変状のもっとも大きい下り線変状区間1に分布する小川層は，礫分の大きさや粘土分含有量で，泥岩，砂岩，礫岩と分類しているが，岩石のマトリクス(基質)はすべて同一の凝灰岩から構成され，基本的には同一の岩質である．

この岩質であるが，掘削時には判定指標未満であったものが掘削による応力解放や水の浸透などにより，現状において一軸圧縮強度や変形係数といった強度に関係ある指標が閾値を超えていた．さらに吸水試験後はいっそう強度低下しており，

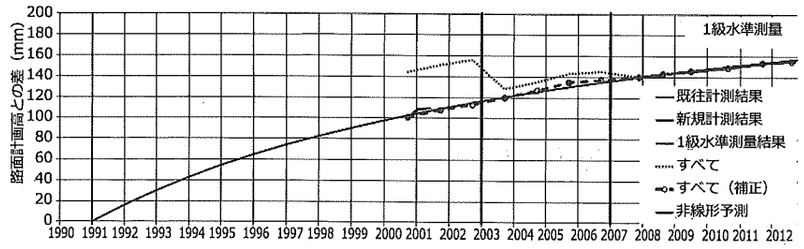


図-3　路面隆起の経年変化および将来予測

表-1　岩質試験結果(掘削直後と現状)

		(a)　掘削直後	(b)　現在	(c)　吸水後
変形係数 E	MPa(kgf/cm²)	1,000(10,000)	70(700)	31.5(315)
粘着力 c	MPa(kgf/cm²)	1.0(10.0)	0.4(4.3)	0.1(1.4)
内部摩擦角 ϕ	度	40.0	9.2	4.0
圧縮強度 q_u	MPa(kgf/cm²)	4.3(42.9)	1.0(10.0)	0.3(3.0)
備　考		掘削直後の値は，地山等級CⅡの一般的物性値による解析で，内空変位がおおむね計測値と一致したことによる．	トンネル坑壁からの深度10m以内のトンネルに近い箇所の岩石の平均的な強度(上記物性値で，路面隆起量がおおむね再現できた)	(b)の状態から，一度乾燥させて，さらに吸水した後の岩石の強度

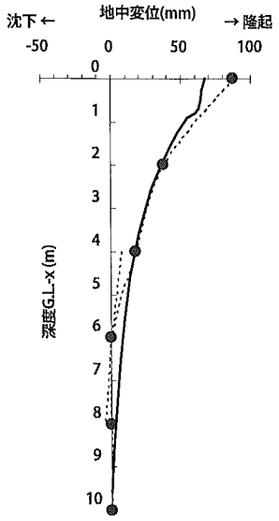


図-4　地中変位の再現結果

この特性が変状の原因であったものと推定される．

2-5　将来予測

地中変位の計測結果からトンネル完成後に生じた全変位の予測解析を実施した．解析モデルは均質地山の一部(路面下)の強度を低下させ，外力なしに塑性領域を拡大させる解析として実施した．解析結果の妥当性の検証として地中変位の再現結果を図-4に示す．

路面直下の隆起量は多少差異が見られるがおおむね計測結果を再現できているものと考察される．

図-5に現状および将来予測の解析結果を示す．

無対策の場合，最終的に300㎜を超える変位が発生すると想定されるとともに，緩み領域が拡大することにより脚部沈下による地山の緩み土圧の増大が懸念される結果となり，将来予測式による推定結果と同程度の結果となった．

一方，インバートを設置した場合，側壁応力が4倍程度増加することになるが，計測結果との差異を鑑みた場合，おおむね8MPa程度の応力増加にとどまるものと想定された．このため，設置するインバート形状は，本坑の別区間において施工され，また，建設時の当初設計において適用されるＤＩ-i相当の半径・厚みのインバートとすることとした．

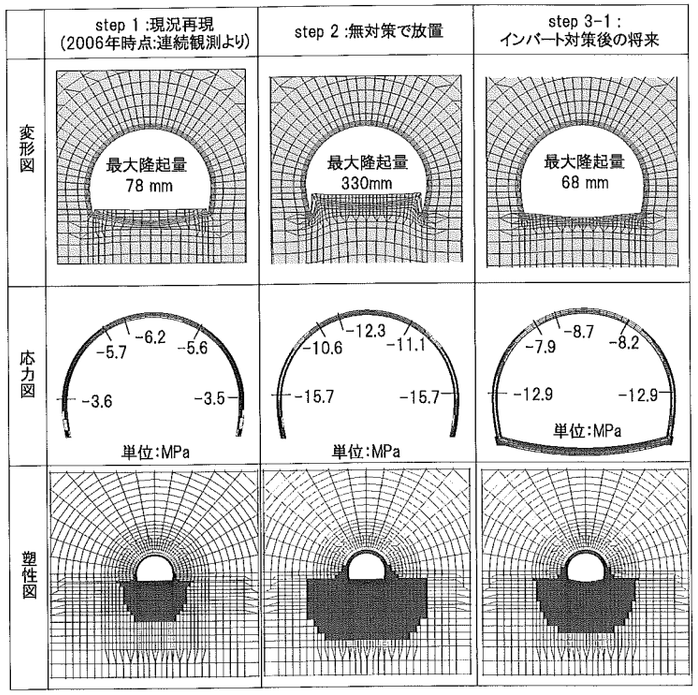


図-5　現状および将来予想解析結果

3　対策工検討

当トンネルの位置する長野自動車道は長野県の県南地区における主要都市である松本市と県庁所在地である長野市とを結ぶとともに，太平洋岸と日本海岸とをつなぐ重要路線であり，日交通量は約3万台に及ぶ．さらに迂回ルートとなる国道19号を利用した場合，松本駅から長野駅まで約2時間と高速道路利用時の約2倍の時間を要することからも，長期間に及ぶ通行止めなどの交通規制を要する施工を回避する必要があった．

このため，施工案としては連絡道を介し片側車線対面通行による施工が考えられるが，変状箇所が緩慢かつ限定的であるものの広範囲に存在し，その影響範囲は変化する可能性がある．また，施工可能時期が非雪氷期である4月中旬から11月下旬に限定され，かつ，繁忙期を除く期間しか施工ができない．よって，「緊急性を要する箇所に限定した車線規制による施工法」を確立する必要があった．

また，当該トンネルの総幅員が8.5mであることから，走行車線と追越し車線との2分割施工では必要幅員(小区間改築時の特例値である4.25m＋仮設の防護柵の設置幅である0.5m以上)を確保することができない．このため，3分割による施工もしくはインバート構築以外による対策工を適用する必要があった．

3-1　施工範囲の設定

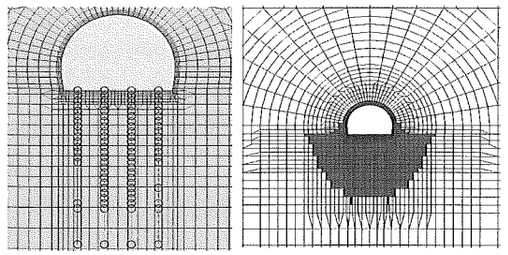
現在，緩慢ではあるが変状が発生している区間の延長は上下線合わせて1,515mとトンネル総延長6,214mの24%を占めている．また，2-4節に示した地山特性のとおり，当該地山における岩石のマトリクス(基質)はすべて同一の凝灰岩から構成されており，「トンネル掘削時には判定指標未満であったものがトンネル掘削による応力解放や水の浸透により，一軸圧縮強度や変形係数といった強度に関係ある指標が閾値を超え」，さらには「材料における三軸圧縮試験の結果からも，吸水させたあとはさらに強度が低下する」ことからも，長期的に地下水位の変動や水道の変化に伴い岩石の強度低下に伴う変状が発生する可能性が高いことが推定された．また，これらの変状が急激に進展する可能性があることなども推定された．

そこで，変状の状況を鑑み，適宜補修を行う手法を確立することが効果的かつ効率的であることから，今回，変状が大きい箇所に着目した試験施工を実施するものとした．

3-2　対策工

3-2-1　マイクロパイル工法の検討

開削を伴わない工法としてマイクロパイルによる施工法が考えられた．



マイクロパイルφ216.3, L = 15.0m, ctc = 2.0m
○の箇所は、すべりが発生している要素端点

図-6　解析結果(右：変形図，左：塑性図)

解析の結果，適用箇所における土質条件ではグラウト材と地山間ですべりが発生し，その必要延長は30mに及ぶ非現実的な結果となった．また緩み領域が拡大するため長期的な抑止効果に疑義があるため，その適用性は低いことが確認された．

図-6にL＝15mにおける解析結果を示す．

3-2-2　3分割施工によるインバート構築

開削によるインバート構築の場合，規制上の制約から3分割での施工となる．このため，左右の部分は片側通行規制により施工が可能であるが，中央部の施工においては以下の工法が考えうる．

① 仮桟橋方式(開削＋覆工板方式)
　中央部に通行止めにより桟橋を設置したあと，その下部を側方もしくは夜間通行止めを行い掘削して，インバートを設置する方法．

② 舗装版支持方式
　片側のインバート施工にあわせ中央区区間の舗装版下方にパイプルーフを打設し，舗装版を支持した状態で，その下部を側方から掘削してインバートを設置する方法．

③ 鋼管ストラット方式
　片側のインバート施工にあわせ中央部のインバートの代替として鋼管を打設し，両側インバートと一体化させる方法．

④ 曲線函体推進方式(まがるーふ工法)
　中央部の掘削を鋼製の外殻を有する機械掘削機により掘削し，外殻内にコンクリートを打設するとともに，外殻外においてもモルタル注入をすることで地山と一体化させインバートを設置する方法．

なお，上記③に関しては，通常のインバート構造と異なり止水効果が期待できない構造でインバート効果を期待する方法であり，水による影響を受ける本坑での施工に適さないため比較検討から除外した．また上記②に関しても，今回の施工箇所においては既にコンクリート舗装にクラックが入っており，舗装版の耐荷力が十分に期待できないため，①の桟台方式と④曲線函体推進方法の適用性について検討を実施した．

その結果，通行止めを要せずに施工が可能であ

り，費用および工期において大差のない④曲線函体推進工法を適用することとした．

4　曲線函体推進工法の採用

4-1　工法概要

曲線函体の外殻を規制不可範囲となる中央部に先行設置し，順次，函体内コンクリート充填，インバートコンクリート打設を行うことで，インバートを構築するための通行止めによる作業が，原則不要にできる．また，掘削，函体設置，インバート構築，埋戻しという一連の作業を短いサイクルで実施することができるため，地山強度に応じたサイクルの構築が可能である．

4-2　工法の特徴

4-2-1　地質，現地条件に応じた掘削

汎用のツインヘッダを活用できるため，さまざまな地質に対応できる．

また，先端部をスイングさせ拡径掘削させることなどにより，掘削機械は函体内部から引抜き回収可能であり，到達側の導坑や特殊な装置を必要としない．

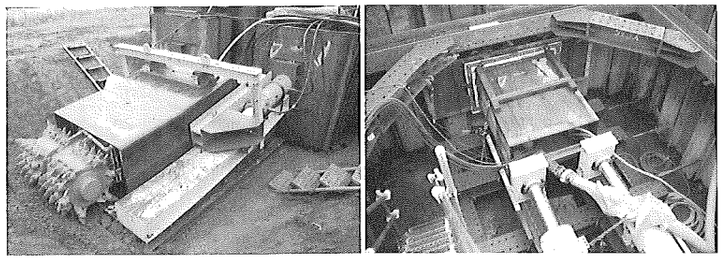
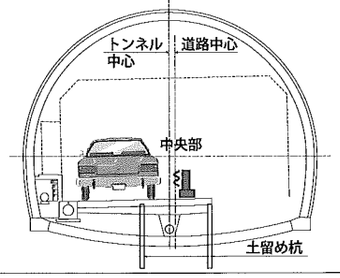
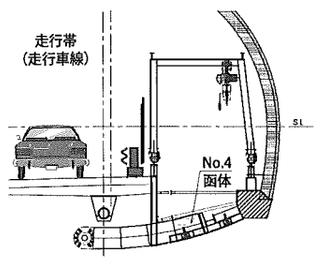


写真-1　掘削機械(左：全景，右：推進装置)

表-2　工法比較

	仮桟橋方式	曲線函体推進工法
概念図		
施工概要	①土留め杭(仮桟橋用基礎併用)の設置． ②追越し(走行)車線部掘削，インバート構築． ③桟橋設置(通行止め)． ④走行(追越し)車線部掘削，インバート構築． ⑤中心線部(桟橋下)人力掘削，インバート構築． ⑥桟橋撤去および舗装(通行止め)	① ②追越し(走行)車線部・中心線下掘削，インバート構築． ③ ④走行(追越)車線部掘削，インバート構築 ⑤ ⑥
特徴	△通行止めが必須． ◎確実にインバートの設置が可能． ◎汎用の機材で施工できる． △掘削から埋戻しまで時間を要す．このため，土留め壁および高密度なインバートストラットが必須となる． △施工延長を変更する場合，時間を要す． ◎同様の施工方法による施工実績は多数ある(下水道工事など地下構造物の構築)．	◎通行止めが原則不要． ○連続体のインバートの設置が可能． ◎汎用機械の活用，掘削機の転用により低コスト化． ○一連の施工を狭小範囲で順次実施でき，トンネルに与える影響を小さくできる． ◎施工延長をフレキシブルに変更できる． △同一機械による施工実績がない．
日数	100%	約90%(通行止め作業不要に伴う減)
通行止め日数	14日(桟橋設置・撤去，中心部復旧)	0日(原則不要)
費用	100%	95%(直接工事費のみ，概算比較)

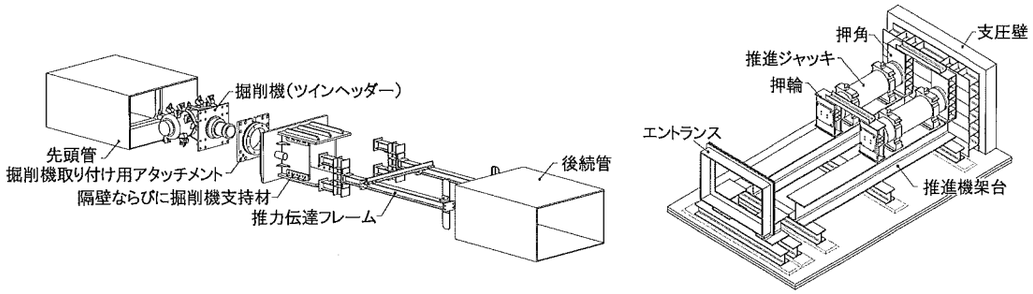


図-7　装置の構造(鳥瞰図)

(1)　地山強度に応じた対応

地山強度に応じ，ツインヘッダ能力を選定できるとともに，函体の中央部と外周部分の掘削を使い分けできることから地質に応じた掘削が可能である．

軟質な地質：刃口で中央部と外周部を切落とす．

硬質な地質：刃口では無理な硬質土の場合はスイング式拡径掘削する．

(2)　地質，地盤状況に応じた対応

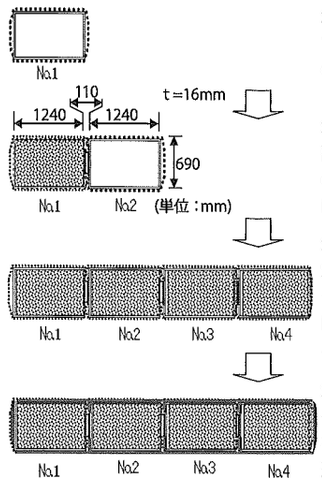
密閉構造とすることも可能であり，軟質岩や水面下での施工も可能である．排泥は，泥水循環方式，泥濃方式などへの対応が可能である．

4-2-2　矩形鋼管の連続体による支保構造の構築

曲線函体を設置し外殻を先行設置することで，直接的にインバートの仮支保工として構築することで施工時における交通など上載荷重への対応が可能となる．外殻単位にコンクリート充填および端部コンクリートの打設も可能であり，掘削から短期間でインバートが構築できる．外殻は施工時外力への耐力にあわせ，インバートコンクリートの連続体として構築できるため，水による地山の劣化を抑止できる．

(1)　接続状態

鋼管は矩形であり連続体として構築が可能である．隣接する函体のすきまは，函体設置後，グラウト注入により一体化させることなどが可能であり，函体自体も縦断方向に連続化できる．



Step1
ツインヘッダをスイングさせて掘削．破線のように両側は円弧状に拡幅掘削を行う(拡径掘削部分は裏込め注入で埋める)．

Step2
函体 No.1 にコンクリートを充填し，No.2 の掘削を行う．No.1 と 2 の函体はスペーサにて合体させたうえで掘削を行う．

Step3
Step1 ～ 2 をくり返し，縦断方向につながった連続体を構築する．コンクリート充填は一定量の函体を連続化したあとに実施することも可能．

Step4
一定範囲の函体を構築したのち，スペーサを利用して，止水注入(裏込め注入)する．裏込めは1函体ごとに実施することも可能．

図-8　連続体構築のフロー

(2)　支保形態

外殻は交通などの載荷重を受け持つことで，充填コンクリートへの影響を減らすとともに，函体内部にコンクリートを充填し函体外のコンクリートと一体化したインバートの構築ができる．

4-2-3　地質，現地条件に応じた作業サイクルおよび施工延長の設定

1つの函体を片押しで設置し，函体内充填および端部インバートの施工，埋戻しが可能である．

このため，地質ならびに施工時における変状に応じ，掘削範囲，インバート打設範囲を任意にできる．

また，土留め壁などといった準備作業を必要としないため，先行する片側車線における施工速度に応じ，情勢に応じて臨機に施工範囲の変更ができる．

4-3　完成断面の変更

4-3-1　インバート形状などの変更

本工法を適用するにあたり，課題に対応するため，以下のとおりインバート断面および材料を変更した．

① 当初計画のインバート形状であると曲線函体を設置するさい，中央排水管に接触することからインバートの曲率を$R=17$mから$R=10$mに変更をすることとした．

② 曲線函体を設置するために必要な断面である680㎜にあわせ，接続するインバート上面の曲率を変化させ，足付け部に摺りつけることとした．

③ 曲線函体内のコンクリートを確実に充填するため高流動コンクリートを活用することとした．

4-3-2　インバートストラットの設置

変状の将来予測の結果，インバート形状はＤⅠ-i相当の無筋構造で問題ないことは先の検討で明らかではあった．しかし，片側を先行しインバートを構築することから，施工時における側方変位を抑えるとともに構築中における片持ち構造時における曲げ耐力を持たせるため，インバートストラットとしてH-150を設置することとした．

インバートストラットは曲線函体を設置したのち，函体の中央に設置し，コンクリートを打設して函体と一体化を図る．その後，足付けコンクリート部と接続するインバートストラットを設置することで，側方からの変形を抑制することとした．その後，反対側車線のインバート構築にあわせ反対側のインバートストラットを接続することとした．

以下に函体部にインバートストラットを設置ステップとあわせ設置位置などを示す．

4-4　施工ステップ

各段階における断面方向の施工ステップを**図-9**に，全体の施工ステップを**図-10**に示す．

函体推進の施工は追越し側から実施した．脚部沈下抑制のため足付けコンクリートを先行した．また，掘削による供用線への影響を抑えるため掘削範囲は函体設置に必要な範囲のみを掘削し，インバート打設後，埋戻しを行った．

なお，インバート打設は３～４BLごとに行い，５～６BLごとに埋戻しを実施した．

4-5　安定解析

インバート設置の施工法として，函体推進工法を採用した場合のトンネル構造体の安定性，および施工段階ごとの変位量，発生応力の予測を数値解析し，管理基準値の設定における参考値を算定した．

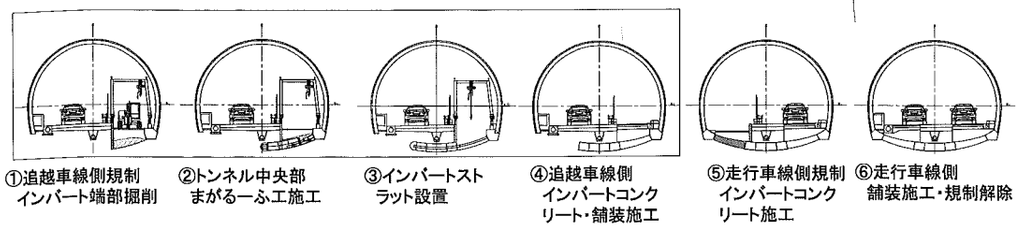


図-9　施工ステップ（横断方向）

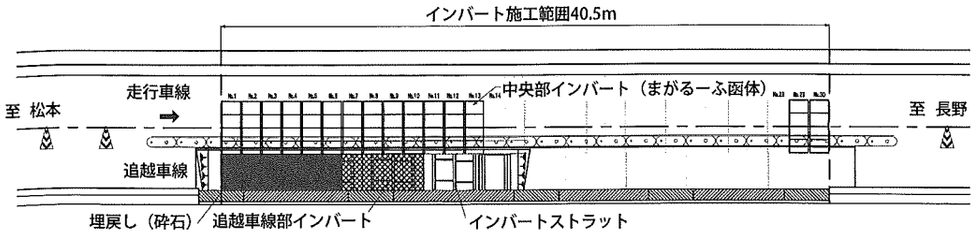


図-10　施工ステップ（全体　図-9①～④）

4-5-1　解析条件

（１） 解析コード

ITASCA社製「FLAC3D Version 5.0」

（２） 地山のモデル化

地山の応力-ひずみ関係はMohr-Coulombの破壊規準に従う弾完全塑性体とし，塑性流動則には関連流れ則を使用した．

（３） 支保工のモデル化

- 吹付けコンクリート：ソリッド要素（等価剛性）
- 鋼製支保工
- 覆工コンクリート：ソリッド要素
- 函体：シェル要素

（４） 解析メッシュ

解析メッシュを**図-11**に示す．

（５） 解析用物性値

解析に採用する地山物性値などは将来予測において活用した物性値を活用した．

（６） 解析ステップ

解析ステップは施工ステップに準じて設定した．

4-5-2　解析結果

解析結果の概要を以下に示す．

① SL内空変位：全施工を通じて3～5㎜

② 路面変位：インバート設置最大で12㎜

③ 覆工応力：追越し車線施工時に，左側天場に-7.5N/㎟，SL部に-6.0N/㎟が発生

表-3に最大変形が発生する施工ステップ時の結果を示す．

4-6　計測管理計画

4-6-1　計測管理基準

計測管理基準値としては，車線規制によりインバートを再設置した工事中管理基準値を参考に設定することとした．参考としたトンネルは建設時に構築されたインバートを再構築したものである．本工事はインバートがない箇所にインバートを新設するもので，状況が異なることから，内空変位については施工実績を適用することとするが，路面管理基準値については走行安全性を考慮して路面段差基準値から設定することとした．

また，内空変位が進展することでひび割れを進

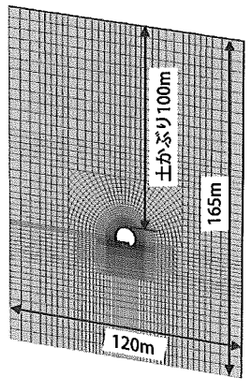


図-11　解析モデル

表-3　解析結果

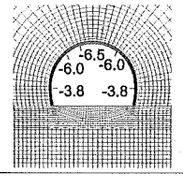
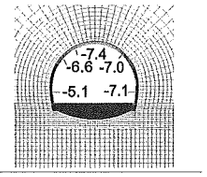
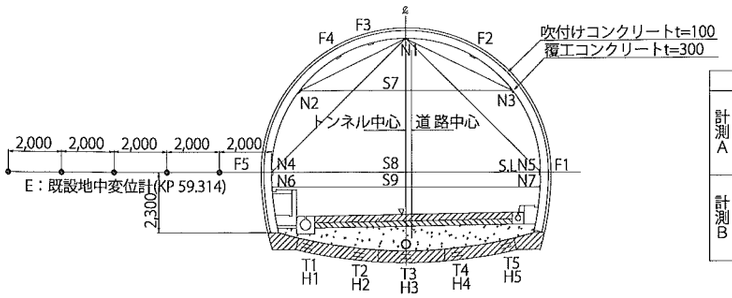
解析ステップ	STEP 3 覆工コンクリート設置 岩盤の強度低下（現況再現）	→	STEP 7 インバート埋戻し （施工完了）
解析結果		→	
覆工応力（最大値）	3.8MPa	増分応力 3.3MPa	7.1MPa
内空変位	0 ㎜	増分変位 4.9㎜	4.9㎜

表-4　管理基準値

管理基準値	体制			備考
	警戒	緊急	非常	
内空変位（㎜）	5	10	15	同様の施工を実施した日暮山トンネルおよび仙岩トンネルにおける管理基準値を適用
路面変位（㎜）	10	20	30	路面管理基準値における段差の基準値を適用

解析値	①追越し側掘削時	②走行側掘削時
S.L.内空変位（㎜）	−3.4	−4.9
水平地中変位（㎜）	1.4	
覆工応力（N/㎟）増分	−7.5	−7.1



	項目	数量
計測A	坑内観察調査	
	内空変位測定	3
	天端沈下測定	1
	脚部沈下測定	2
計測B	地中変位測定	1
	覆工応力測定（施工前）	5
	インバートコンクリート応力測定	15
	ストラット応力測定	15

図-12　計測機器配置計画

展させ，コンクリート片の落下を引き起こすことが危惧された．

そこで，内空変位の管理基準値がコンクリートの設計基準強度を上回るような変形量になっていないことを確認することとした．

なお，解析結果より覆工コンクリートの設計基準強度(18MPa)の応力度が発生する変位量は21.8㎜となる．

(設計基準強度－現況再現後の応力値)÷(最大応力値－現況再現後の応力値)

＝(18－3.8)/(7.1－3.8)＝4.30

三次元数値解析結果より得られた内空変位量(現況再現後からの増分変位)は－4.9㎜より，許容値は－4.9㎜×4.30＝－21.8㎜となる．

4-6-2　計測機器の配置計画

計測機器の配置は，本施工法の妥当性の検証ならびにインバートストラットの効果を確認することを加味し，詳細に挙動を把握すべく計測を実施することとした．図-12に代表断面の計測機器の配置計画を示す．

5　施　　工

5-1　施工上の問題点と対応

施工は平成25(2013)年の夏期繁忙期明けの８月末に着手し，降雪前の11月末までの３か月にて完了することができた．

想定よりも地山が硬い箇所においては，掘削排土が礫状になり，軟らかい箇所では少量の作業水により泥寧化し排土管が閉塞するなど，排土システムの問題が確認されたが，排土システムの改善ならびにバックアップ機材の投入により作業サイクルの改善を図ることができた．

また，地山の強度などにより推進装置の下がりもしくは上がりが発生し，函体の連続性については不十分な結果となった．これについては当初，函体を勘合継手などで連続化させることも検討をしていたが，継手の摩擦応力の増大により反力台となる足付けコンクリート部の応力超過の懸念があったこと，函体推進延長が短いこと，函体部のインバート形状も設計断面より大きいこと，軸力を受けるインバートストラットも設置していたこと，ならびに地下水位が低く水による影響は発生しないと想定されていたことから勘合継手を設置しないこととしていた．

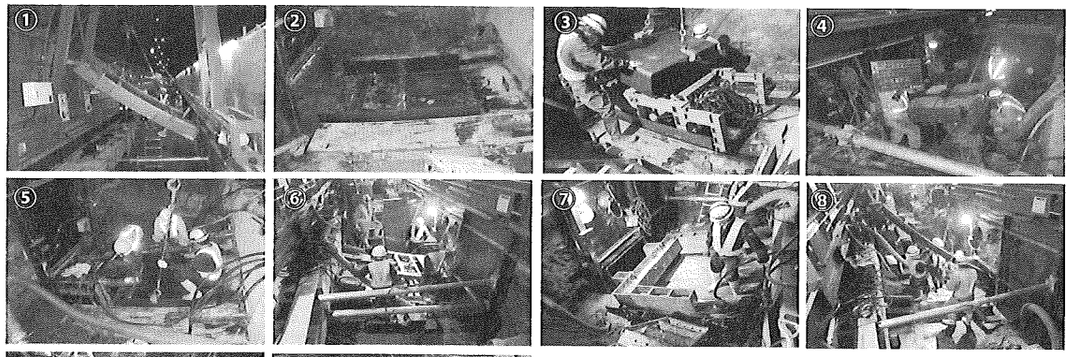
今後，函体の推進距離が長く，地下水位の高い箇所での施工においては連続性を確保できる構造に変更が必要となるものと想定されるところである．

施工写真を写真-2に示す．

5-2　施工時の創意・工夫

作業スペースは幅３ｍに満たない狭い場所である．当初，掘削装置のサイズダウンなどで省スペース化を図ったが不十分であった．サイクルタイムが伸びる覚悟で，接続する後続函体の長さを短くすることも検討せざるを得ない状況であった．また，函体の接続の際，函体の下側の溶接方法にも苦慮していた．

函体を上下に分割するアイデアが生まれたことにより，下部の函体を内側から溶接したあとに内部の配管などを接続し，その後，上部の函体を載せて溶接することで２つの問題点を解決することができた．



①発進架台設置 → ②先頭函体(下部)設置 → ③掘削機および函体上部設置 → ④推進 → ⑤後続函体接続 → ⑥推進完了～掘進機引抜き → ⑦空押し → ⑧インバートストラット設置 → ⑨函体内部コンクリート充填 → ⑩脱型後の状況

写真-2　施工写真

6　計　　測

今回の施工箇所においてもっとも変状を呈した箇所における測定結果を図-13～16に示す．

① 天端沈下はほとんど発生していない．

② 内空変位は管理基準値であるレベル１を超過しレベル２相当まで変状が進展するものの，その発生は舗装撤去時にいったん進展し，その後，掘削時において進展する傾向であり，当該箇所の施工が完了することに伴って変状は収まっている．

③ 側壁部は足付けコンクリートの施工時に大きな沈下を示すもののその後は安定しており，足付けコンクリートの有効性が確認された．

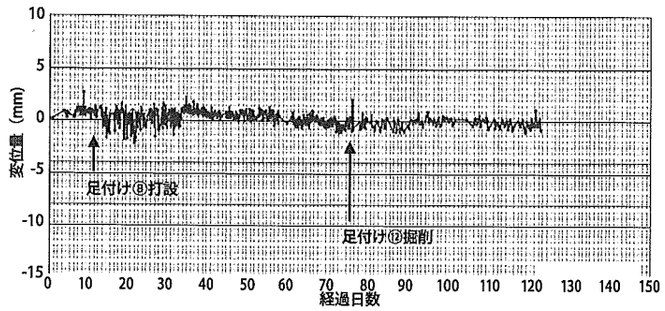


図-13　天端沈下計測結果

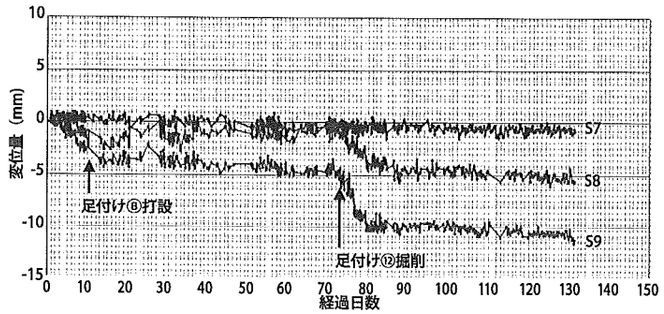


図-14　内空変位計測結果

④ 路面沈下は最大20㎜弱を呈した．計測箇所の２～３BL前から後の施工時に沈下が進展することから，その影響範囲は５ｍ程度と想定された．これは今回の一掘削延長と同程度であり，掘削範囲を５ｍ前後に収めることの有効性が確認された．

⑤ 覆工応力は足付け部の施工時に応力増加が見られたが，その後の施工において，応力増加はなく，足付け部の掘削に伴う脚部沈下の影響のみであることが確認された．

⑥ インバートストラットは函体内コンクリー

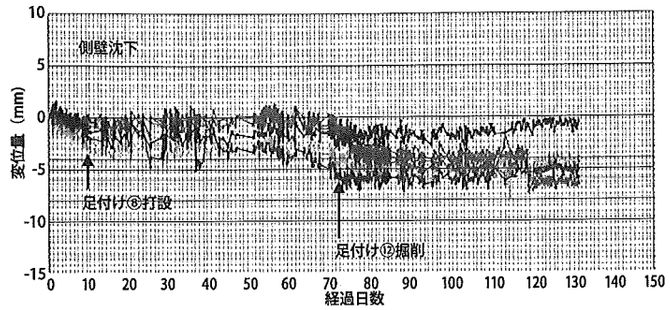


図-15 側壁部沈下計測結果

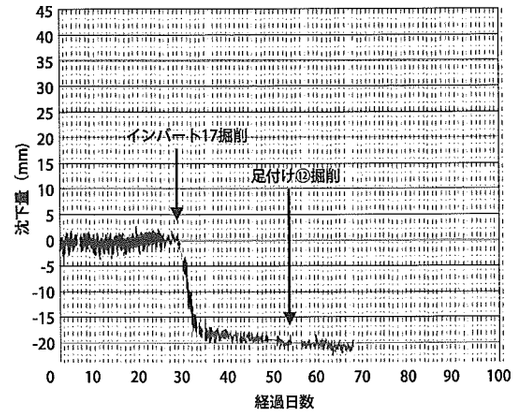


図-16 路面沈下計測結果

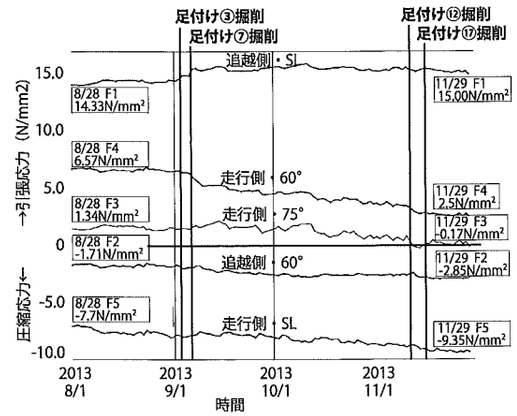


図-17 覆工発生応力図

トの打設時に圧縮側に応力が発生し，隣接BL函体の推進時に引張側の応力が発生したものの，その他の作業および完成後において応力変動はなかった．これは，コンクリートの収縮ならびに函体推進用ジャッキの応力による影響のみであるものと考えられる．

⑦ 地中変位計による変状は覆工部の変状が足付け部の施工時に発生したのみであり地中内部では計測されていないことから，他の計測結果と同様に足付け時における脚部沈下の影響のみが表れたものと推測される．

7 おわりに

今般，インフラの老朽化に対する懸念に対し，太田国土交通大臣は，昨年開催された第183回通常国会の国土交通行政に関する所信の中で，本年を「社会資本メンテナンス元年」と位置づけ，社会資本の維持管理・更新への取組みを積極的に進める姿勢を表明している．また，NEXCO３社においても本年１月に「高速道路の大規模更新・大規模修繕計画」を公表したところであり，高速道路においても大規模更新時代を迎えることとなるものと想定されているところである．

これら道路構造物の中でもトンネル変状対策はその制約された空間内での作業となり，対策工の実施が困難な構造物の一つである．これまでのトンネル変状対策は，健全なトンネルを対面通行としたうえでの全面通行止めによる施工，もしくは，夜間通行止めを併用した長期にわたる車線規制での変状対策工事という選択肢しかなかった．

今回適用した技術を活用することにより社会経済活動に影響を及ぼす通行止めを実施せずにインバートを構築する手段を得ることができた．これにより，より適切な時期に適切な手立てを施すことが可能となることからも，従前より効果的かつ効率的な補修を行えることが期待される．

本稿が供用交通を止めることなく変状対策を行う工事における一助となれば幸いです．

本工事を完了させるにあたり，西村和夫・首都大学東京教授をはじめ，多くの方よりご支援，ご協力をいただきました．ここに感謝の意を表し，お礼申し上げます．

現場だより 2014 トンネルと地下

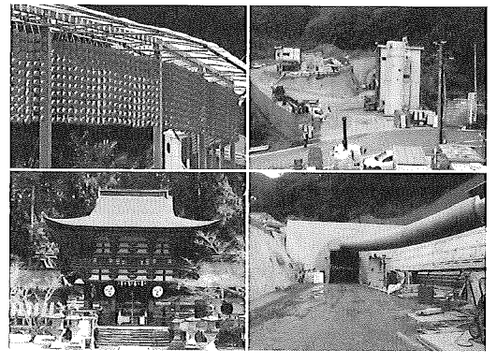
「串柿と歴史ロマンの里」かつらぎ町より

桑 原 佑 太

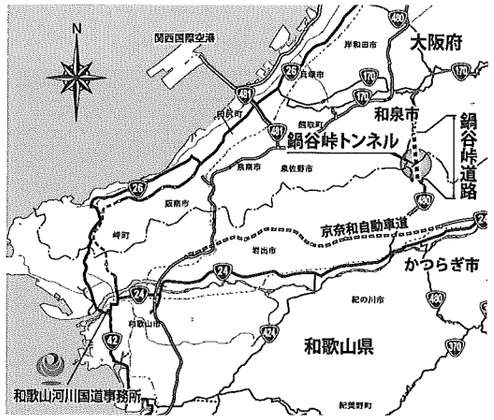
和歌山県伊都郡かつらぎ町は和歌山県の北東部に位置し，紀ノ川を中心に，北は和泉山脈，南は紀伊山脈を有する広大な自然に恵まれており，盆地に近い地形となっている．盆地特有の寒暖の差を利用して，さまざまな果物の栽培が行われている．イチゴ，梅，桃，ブルーベリー，梨，ブドウ，柑橘類から和歌山では珍しいリンゴまで幅広く栽培されており，１年中観光農園が開設され，「フルーツ王国」をうたっている．なかでも平核無柿（ひらたねなしがき）の生産が日本一で，その平核無柿を使用した串柿（正月飾りに使われる）が有名だ．

鍋谷峠トンネルの工事箇所の四郷地区は，400年前から串柿の特産地であり「串柿の里」として現在に引き継がれている．11月になり秋が深まると，串柿作りが始まる．農家の軒先や周囲の柿場（干場）に柿の玉のれんが一斉に吊るされ山里は柿一色に染まる．その見事な風景は，晩秋の風物詩として全国に知られ，訪れる人々を楽しませている．

また，毎年11月23日には「串柿まつり」も開催されている．このまつりは，昭和46年より鍋谷峠トンネルの早期開通を切望する地元住民が，さまざまな陳情運動をするなかで，その運動の一環として村おこしのイベントをしようという話になり，四郷地区の特産品である串柿をメインとしたまつりを行うことになったということだ．20回以上の開催を重ね，今では県内外から約5,000人が来場する一大イベントとなっている．



（左上）吊るされた柿の玉，（右上）現場全景，
（左下）丹生都比売神社，（右下）坑口



位 置 図

かつらぎ町は高野山が近いこともあり，弘法大師にまつわる地も多数ある．丹生都比売（にうつひめ）神社もその一つで，弘法大師が金剛峯寺を建立するにあたって，この神社が神領を寄進したという言い伝えがあり，古くから高野山と深い関係にある神社である．平成16年７月には「紀伊山地の霊場と参詣道」の一部として，世界遺産に登録されている．他にも現場のすぐ近くには「大師の井戸」というものがある．仏法を広めていた弘法大師が，ある日，村人に飲み水を求めたときに，暮らしの水にも困っていることを知り，錫杖を岩に３度突き立てたところ，清水が湧き出たという伝説がある．今でもここは湧水が出ている．

鍋谷峠トンネルは，かつらぎ町（和歌山県）と和泉市（大阪府）を結ぶ延長約3.7kmのトンネルである．両府県をつなぐ国道480号が見通し不良箇所や，すれ違い困難箇所が多いこと，また，和歌山から大阪への救急搬送時間の短縮による救命率向上などから，地元住民の方々から早期開通が切望されている．現在掘削長は約1.5kmまで進んでいる．当現場は掘削断面積が約59m²と小さく，また，湧水量が約200m³/hもあり，仕事を進めるうえで悩むことも多いが，地域の方々の理解と協力のもと，無事故・無災害を目指し鋭意工事を進めていきたい．

（佐藤工業（株）鍋谷峠トンネル作業所事務長）

現場だより 2013 トンネルと地下

「日本一深くて長いV字峡谷」黒部峡谷より

園田広樹

黒部川は北アルプスの中央部に位置する鷲羽岳(2,924m)に源を発し，立山連峰と後立山連峰の間を北上して富山湾に至る．幹川流路約85kmのうち約80％をV字形の谷が占め，平均河床勾配 1/5～1/80という日本有数の急流河川であることから，河川を流れる土砂も非常に多い．ここ黒部川水系には，「くろよん」でおなじみの黒部川第四発電所から黒部川第三発電所，黒部川第二発電所などが連なって発電を行っている．自然の恵みである水環境を利用した自然再生可能エネルギーとして有効に発電が行われている．

映画『黒部の太陽』では，世紀の難工事と言われた黒部ダムの建設の苦闘が描かれた．とくにトンネル工事にかけた熱い男たちのドラマに心惹かれ土木の世界に引き込まれた技術者も多いと思う．

また，黒部第三発電所にも物語がある．小説『高熱隧道』をご存知だろうか？ 工事現場の地下には高熱の断層が通っており岩盤温度は奥に進むにつれて上昇を続け，ついには触れただけで火傷するほどにまで達する．作業者に水をかけて冷却するなどの策を講じて工事を進めていく．そして，ダイナマイトの自然発火・暴発を起こしながら，史上，類を見ないほどの過酷な環境の中でトンネルを掘り上げている．

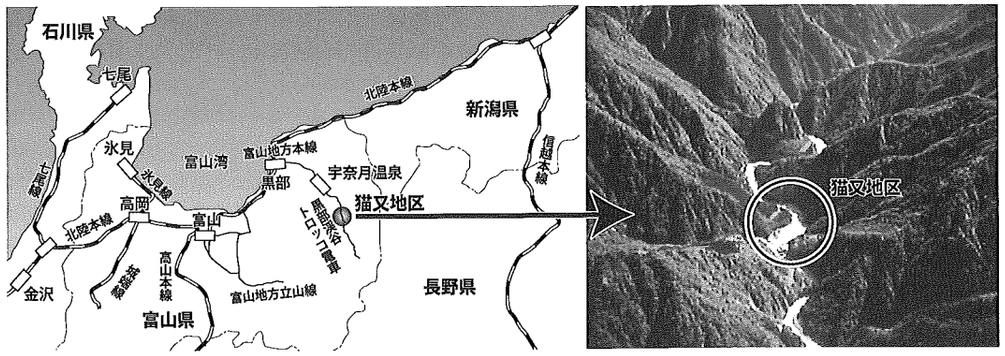
先人が創り上げた偉大な建造物も，スピリットも，歴史さえも，黒部の大自然はすべてを飲み込み，今では何の違和感もなく自然の一部として見えるのは不思議な感じである．

そんな環境の中で，弊社が施工している工事は，新黒部川第二発電所放水路の付替え工事である．この発電所は水路式発電形式を採用し，黒部ダムから取水され黒部川第四発電所・新黒部川第三発電所を経由した黒部川の清流を利用して，昭和41(1966)年10月より最大74,200kWの出力で発電を行っている地下式の発電所である．46m³/sで導水された水は，発電後放水路トンネルを経て，ここ猫又地区で黒部川に戻るが，黒部川第二発電所横に位置する放水口は河川内に埋没していることから，定期的に土砂除去などを行う必要があり，発電への支障となっている状況にある．本工事は，これを解消すべく，現放水口から約1.5km下流に放水口を付替えるために計画されたものである．平成21(2009)年10月１日に着手し，現在４年半が過ぎようとしている．現場に必要なすべての資材・機材の輸送は，トロッコ列車が運搬できるよう細かく分解して運搬し，現地で組立てる．冬期間(12月20日ごろ～翌年４月20日)はトロッコ列車が積雪のため不通となるので，備蓄した材料を使い，12kmの距離を歩行で移動して，人力にて作業を実施した．

本工事は，平成25(2013)年12月に一部引渡しを完了し，無事通水を行うことができた．

現在は，仮設備の撤去作業を行っているが，最後まで全職員，全作業員で力を合わせて竣工を迎えたいと考えている．

(前田建設工業(株)関電新黒部作業所所長)



位置図と黒部峡谷(猫又地区付近)

施工

深度500mまでの施工実績にもとづく立坑掘削技術の評価

—瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事—

(独)日本原子力研究開発機構バックエンド研究開発部門サブリーダー 佐藤稔紀
(独)日本原子力研究開発機構バックエンド研究開発部門研究副主幹 見掛信一郎
(株)大林組土木本部統括部長 納多勝
清水建設(株)土木技術本部課長 小林伸司

1 はじめに

(独)日本原子力研究開発機構では，高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発として，岐阜県瑞浪市において地下研究施設(瑞浪超深地層研究所，以下とくに断らないかぎり「当該施設」と呼ぶ)の建設を伴う研究プロジェクトを進めている．このプロジェクトは，「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」および「深地層における工学技術の基礎の整備」を行うことを目的としており，結晶質岩(花崗岩)を調査研究の対象としている[1](堆積岩を対象とした研究については，北海道幌延町において実施している[2])．

当該施設[3),4)]は，瑞浪市有地において2002年７月に造成工事が開始された．2003年３月に当該施設の研究坑道掘削工事(その１)が契約されたのち，立坑の坑口上部工・下部工，地上掘削設備の設置と進み，2005年１月から立坑の本体工事が開始された．2008年に深度300m，2011年には深度500mに到達した．

立坑は，国内においては，石炭分野において多く掘削され，とくに1955～1980年ごろには300m超の鉱山立坑が多数掘削され，深度1,000mを超える大深度立坑も３本施工されている(住友奔別(ぼんべつ)中央排気立坑：1,222m，住友奔別中央排気立坑：1,044m，日本炭鉱高松第５立坑：1,014m)．土木分野における立坑の用途としては，長大道路トンネルの建設に伴い換気立坑の需要がある．代表的な立坑としては，恵那山トンネル換気立坑(621mおよび571m)，第二阪奈トンネル(481m)，安房換気立坑(450m)などがあげられる．

近年，国内における大深度立坑の施工例はきわめて少なくなっている[5)]ため，施工実績や施工が問題となるような湧水や地山崩落などの対策工の実績を適切に評価して記録に残すことは重要と考えられる．以下に，瑞浪超深地層研究所における立坑の概要と設計・施工計画を示したのちに，施工実績として立坑掘削のサイクルタイムの分析ならびに対策工として実施した湧水抑制対策(グラウト)と地山崩落対策について示す．

2 立坑概要

2-1 地形・地質概要

当該施設が位置する東濃地域は，北西部に美濃飛騨山地，南東部に三河山地が分布し，その間に

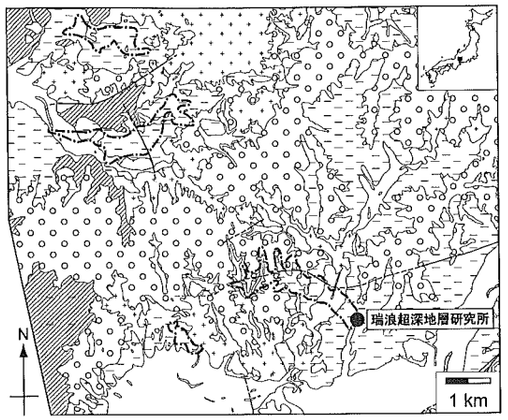


図-1 東濃地域の地質概要(文献 6)を修正)

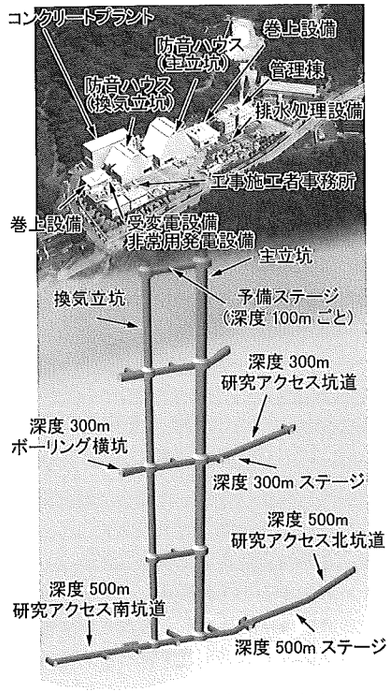
丘陵地が広がる地形の概観を示している．北部の山地には木曽川が流れ，先行性の河川として深い谷を刻んでいる．丘陵地の中央部には，北東から南西に向かって土岐川(庄内川)が流れ，その本流および支流の沿岸に段丘が発達して台地を作り，河川周辺の低地には沖積地が広がっている．

当該施設の地盤標高は約200mである．この地域の基盤岩は白亜紀後期の土岐花崗岩と呼ばれる黒雲母花崗岩が分布しており，これを厚さ数十～百数十mの堆積岩(新第三紀の瑞浪層群および新第三紀～第四紀瀬戸層群)が覆っている(図-1)．立坑掘削地点では，土岐花崗岩と堆積岩の境界は深度約170mである．主立坑の位置には，NNW性の走向をもつほぼ鉛直の断層が存在しており，破砕および変質が進行した脆弱な部分を伴っている．一方，換気立坑は健岩部が分布している．

ボーリングコアを用いた室内試験結果では，土岐花崗岩の見かけ比重は2.30～2.65，一軸圧縮強さは64～212MPa，50%接線ヤング率は20～68 GPaであり，わが国における一般的な花崗岩とほぼ同様の物性を示す．

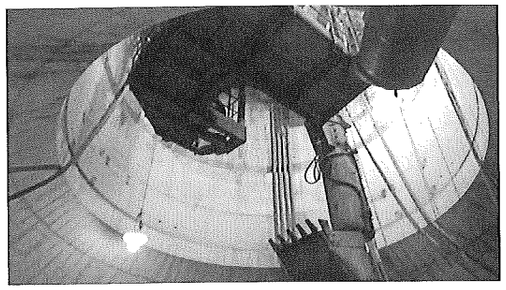
2-2 施設レイアウト

研究坑道のレイアウトと坑道の状況を図-2に示す．研究坑道は，2本の立坑(主立坑：内径6.5m，換気立坑：内径4.5m)と深度100mごとに両立坑をつなぐ予備ステージおよびおもな調査研究を実施する深度300mと500mのステージから構成される．深度300m付近は，比較的割れ目の多い高透水性の岩盤(上部割れ目帯)であり，深度500m以深は割れ目の少ない(下部低密度割れ目帯)花崗岩が分布していることが明らかになっている．このため，このような地質環境の違いに着目した研究開発を行う場として水平坑道を展開している．

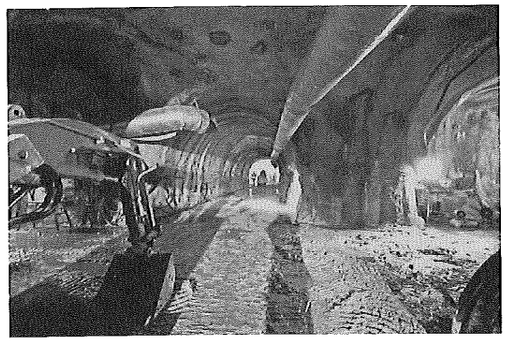


2014 年 3 月現在，両立坑の深度は 500m

(a) 研究坑道レイアウト



(b) 主立坑(深度500m)



(c) 深度500m研究アクセス南坑道

図-2 研究坑道レイアウトと坑道の状況

2-3 工 程

立坑の掘削は，2003年7月に坑口上部工が開始され，深度50mまでの下部工，地上掘削設備の設置と進み，2005年1月から一般部の工事が開始された．2005年10月，主立坑が深度180m，換気立坑が191mまで掘削された段階で，立坑からの湧水にフッ素とホウ素が環境基準を上回る濃度で含まれていることが判明したため，立坑掘削工事を一時中断し，排水処理設備を増強した[7]．その後，立坑坑底から深度500m付近までのパイロットボーリング調査を実施し，湧水の状況や地下水の成分を把握するとともに，大量湧水が想定された深度200m付近でプレグラウトを施工した[8),9)]．2008年8月には，深度300mに到達し，研究坑道を利用した本格的な調査試験を行う深度300mステージの掘削を開始した．2011年4月には換気立坑が，7月には主立坑が深度500mに到達し，2014年2月には，深度500mステージの掘削が完了した．

表-1 研究坑道掘削工事の経緯と掘削実績

		契約日	竣工日	立坑	水平坑道
主立坑	A工区その1	2003. 3.12	2006.6.30	深度 0～180.0m	深度100m予備ステージ
	A工区その2	2006. 4.27	2008.3.15	深度180～231.2m	深度200m予備ステージ 深度200mボーリング横坑
	A工区その3	2007.12.14	2010.3.15	深度231.2～ 300.2m	深度200m予備ステージ 深度300m予備ステージ 深度300m研究アクセス坑道 深度400m予備ステージ
	A工区その4	2010. 2.17	2012.3.15	深度300.2～500.4m	深度500m予備ステージ
	A工区その5	2012. 2.24	2014.3.15		深度500m研究アクセス北坑道
換気立坑	B工区その1	2003. 3.12	2006.6.30	深度 0～191.0m	
	B工区その2	2006. 4.27	2008.3.15	深度191.0～200.2m	深度200mボーリング横坑
	B工区その3	2007.12.14	2010.3.15	深度200.2～331.2m	深度300mボーリング横坑
	B工区その4	2010. 2.17	2012.3.15	深度331.2～460.3m	
	B工区その5	2012. 2.24	2014.3.15	深度460.3～500.2m	深度500m研究アクセス南坑道

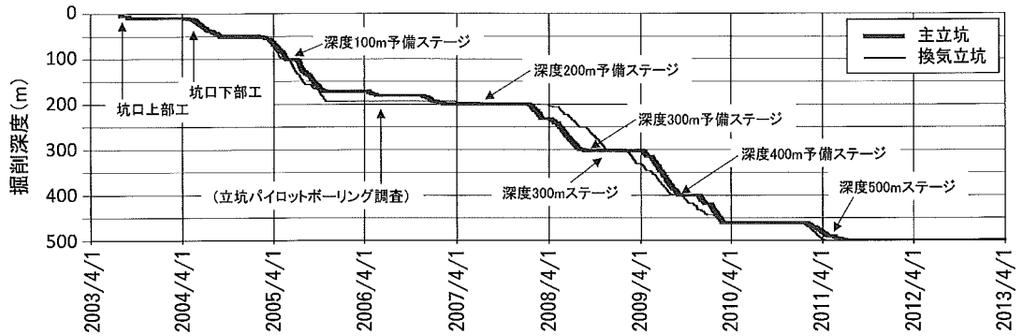


図-3 研究坑道掘削工事の進捗

表-1に研究坑道掘削工事の経緯と掘削実績を，図-3に工事の進捗を示す．本工事の契約については，主立坑と換気立坑の２つの工区を設定し（主立坑：A工区，換気立坑：B工区），２～４年程度の期間で契約を締結して進めている．

その１工事では，大深度立坑の施工実績と高レベル放射性廃棄物地層処分技術に関する研究開発に従事している研究者を配置できることを条件として，総合評価落札方式を導入して，安全対策，環境保全対策および地質観察に関する提案を受付け，その内容を評価して契約を締結している[10]．提案された内容は双方の工区で採用することとして，より良い施工が行える条件を整えた．

なお，その５工事においても総合評価落札方式を適用している．

3　設計・施工計画

立坑の設計・施工計画，とくに掘削設備関係については，本誌Vol.31，No.12に詳述されている[3]．立坑掘削の施工計画については，計画深度1,000mという大深度立坑を安全かつ効率よく施工するために変則ショートステップ工法を採用したことが特徴的な事項である．

通常の立坑掘削では，１回の発破作業で１回の覆工コンクリートを打設するショートステップ工法が主流であるが，今回の工事では２回(1.3m×２回)の発破作業ののちに覆工コンクリートを１回(2.6m)打設するという掘削サイクルを採用した．これにより，覆工などの坑内作業や立坑壁面観察のための段取りの２回分を１回分にすることで時間を短縮しつつも，壁面が著しく高くならないように安全も確保した．

あわせて，深度500m以深では，２台のずりキブルを用いる(替えキブル方式)ことで，ずり出し時間を短縮できるように施工計画を立案した．替えキブル方式と変則ショートステップ工法の選定・採用によって，計画時のサイクルタイムでそれぞれ15%程度および15～20%程度短縮できた．２つの工法のトータルで全体工程が25%程度短縮される計算となる．

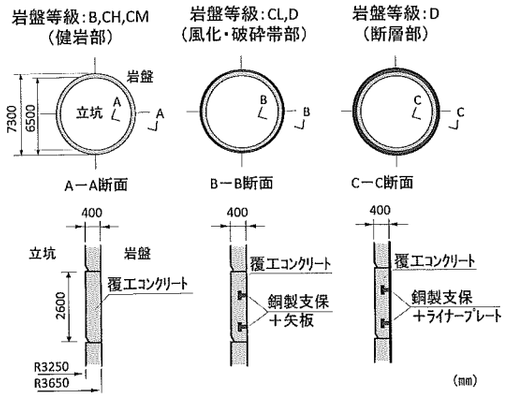


図-4　主立坑の支保設計

表-2　サイクルタイム（設計値：深度500mまで）

主立坑	B級	CH級	CM級	CL級	D級
削孔・装薬・発破	654	632	606	512	410
ずり出し	720	686	686	668	682
覆工	302	302	302	286	286
鋼製支保	0	0	0	180	180
壁面観察	180	180	180	180	180
その他	60	60	60	60	60
計	1,916	1,860	1,834	1,886	1,798

平均　1,859（分）

換気立坑	B級	CH級	CM級	CL級	D級
削孔・装薬・発破	506	492	466	406	326
ずり出し	796	772	748	740	730
覆工	315	315	315	320	299
鋼製支保	0	0	0	180	180
壁面観察	180	180	180	180	180
その他	60	60	60	60	60
計	1,857	1,819	1,769	1,886	1,775

平均　1,821（分）

なお，現時点では立坑深度が500mであるため替えキブル方式は適用していない．

図-4に主立坑の岩盤等級ごとの支保を，表-2に岩盤等級ごとの設計サイクルタイムの例を示す．大深度立坑掘削にそのまま適用できるサイクルタイムは存在しなかったため，国土交通省の『土木工事積算基準』[11]や旧日本道路公団の『立坑積算資料』を参考に設定した．

4　施工実績および評価

4-1　立坑掘削のサイクルタイム

主立坑では，前述のとおり，ほぼ鉛直に分布する断層に沿って掘削されたため，岩盤等級はCM級を主体としてCH級からD級が観察された．一方，換気立坑では，主立坑で見られたような脆弱な岩盤はなく，CH級の岩盤が分布し，深度460m以深ではB級が主体となった．図-5に，主立坑のサイクルタイムの実績（水平坑道との連接部を除く）を示す．花崗岩部分を掘削した深度170m以深について，100mごとのサイクルタイムの増分は以下のとおりであった．表-2に示した設計値に対して1.5～２倍の時間を要する結果となった．

- 深度200～300m：サイクルタイム増分206%
- 深度300～400m：サイクルタイム増分144%
- 深度400～500m：サイクルタイム増分186%

工種ごとのサイクルタイム全体に占める割合を図-6に示す．岩盤が脆弱であったため，削孔・装薬・発破の実作業時間が設計値より短縮されており，全体に占める割合も低減しているものの，覆工とその他が大幅に増加している．その他については，設計では見込んでいない設備の故障・修理，補助工法，スカフォード移動のための時間が大幅に増加している．覆工の増分については，設計では見込んでいない仮設中継ポンプ座用の箱抜き型枠を設置する作業のためにサイクルタイムが大幅に増加しているが，これらの作業がないサイクルにおいても定常的に設計値より大きくなっている．

この要因としては，ずりの積込み時間が設計値を上回っていることが想定されるため，これについては設備を含めた改善が必要と考えられる．設計では想定していなかった，その他に含まれる事項の取扱いについても見直すべきと考えられる．

各工種ともに，深度の増加とともにサイクルタイムが大幅に増加している項目は見られず，増減がほとんどないか，むしろ減少している項目も認められた．これについては，深度増加に伴うサイクルタイムの増加を作業の習熟による短縮が上回ったものと考えられる．

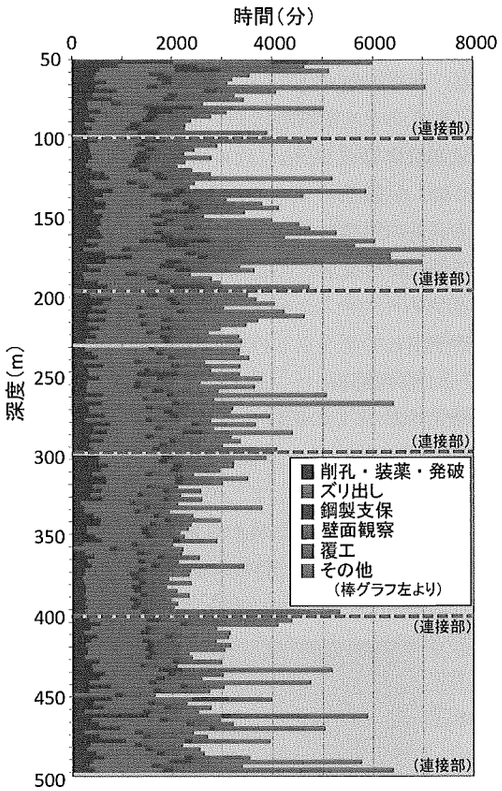


図-5　サイクルタイムの深度分布（主立坑）

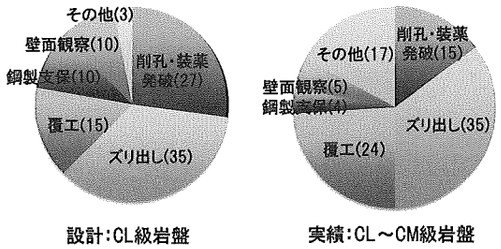


図-6　工種別のサイクルタイム（主立坑）

4-2　湧水抑制対策

研究坑道掘削に伴う湧水の抑制対策としてグラウトを実施した．岩盤の透水性に応じて，普通セメントと超微粒子セメントを用いたグラウトならびに溶液型グラウトを実施した[12)~14)]．パイロットボーリング調査でグラウトが必要と評価した割れ目帯を対象として，シャフトジャンボなどによる探り削孔でグラウトの必要性を判断してプレグラウトを実施した．

具体的には，深度200m付近の換気立坑と予備ステージの連接部，換気立坑の深度420mと450m付近，深度300m研究アクセス坑道および深度500m研究アクセス南坑道において実施した．また，換気立坑の深度145m付近の堆積岩(礫岩層)においては，試験的にポストグラウトを実施した[15]．グラウトの実施にあたっては，以下に述べるように事前に浸透流解析を実施し，改良範囲や改良効果のパラメータスタディにより湧水抑制対策の効果を予測してグラウトの施工計画を立案した．

4-2-1　事前解析

深度300mまでの掘削を対象として，深度600m，半径1,000mの範囲を水理地質構造に対応させて10の区分にモデル化して二次元軸対称浸透流解析を実施した[16]．モデルのメッシュの節点数と要素数はいずれも16,000程度である．

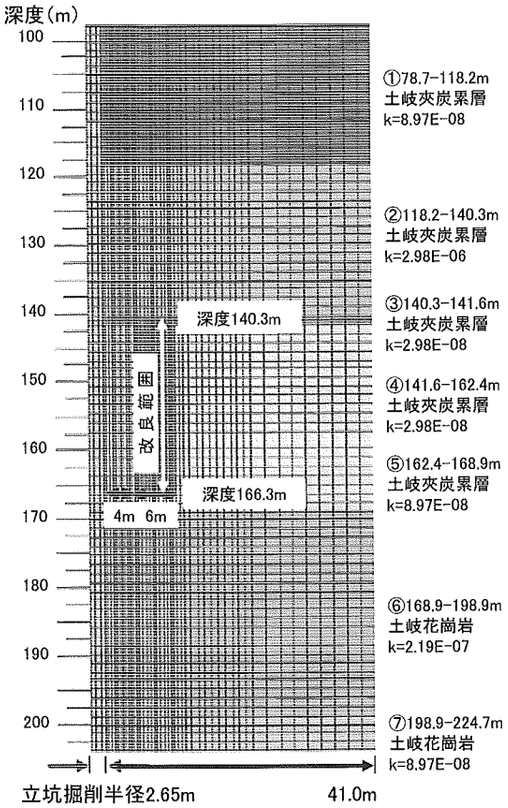


図-7　ポストグラウトを模擬した解析モデルの例(換気立坑の深度26m区間を幅6mで改良するモデル)

図-7に，ポストグラウトを模擬した解析モデルの例(ポストグラウトの改良範囲を中心とした深度100～200m，立坑壁面から41mの範囲を抜出したメッシュ図)を示す．深度140.3～166.3mの26m区間を立坑壁面から4m離れた位置から幅6mにわたって改良することを想定している．岩盤の透水係数は，ボーリング孔における原位置透水試験の結果にもとづき，10^{-6}～10^{-8}m/sオーダーの範囲で与えた．解析ステップは，実施工と同様の手順で，立坑掘削とグラウト施工を考慮して設定した．

解析結果の一例を図-8に示す．この図は，換気立坑を191mまで掘削した際に，既掘削部分の26mを対象にポストグラウトを実施することを想定した解析結果である．深度111～191mの80m区間を全面改良する場合，透水係数の高い礫岩層の26m区間あるいは16m区間を部分改良する場合を想定し，グラウト幅(立坑覆工に直接水圧が作用することを避けるために，覆工から4m離れた位置に設定)とグラウト部分の透水係数をパラメータに振った．

同図より，幅6mのグラウト部分の透水係数を1オーダー低減させることにより，部分改良で3割，全面改良では5割ほど湧水量を低減することができると予測された．

4-2-2　施工結果と効果の確認

実際の現場におけるポストグラウトの施工は，解析で設定した範囲よりさらに狭い領域で試験的

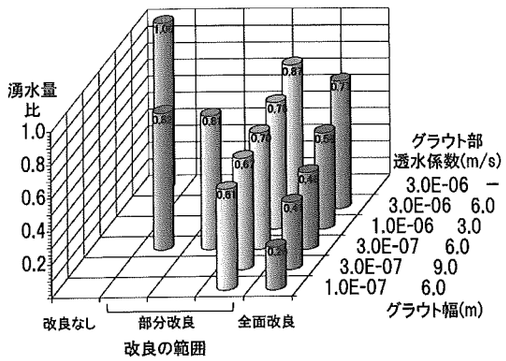


図-8　ポストグラウトを模擬した浸透流解析結果の例(換気立坑の深度26m区間を改良するモデル)

に実施したため，事前の解析結果と比較できるような情報は得られなかった[15]．また，プレグラウトについても，同様の手法により浸透流解析を実施したものの，グラウト実施による効果を実測の湧水量の対比によって確認することは当然のことながらできない．このため，通常のダムやトンネルにおけるグラウトと同様に，効果確認孔における湧水状況や透水試験の結果を評価することや，規定濃度のグラウト注入量で判断することはもちろんのこと，グラウトを実施した区間を掘削する際に，周辺の観測孔において著しい水圧変化が生じないことや，グラウトを実施した区間の湧水量が地震発生時に増加しないことを確認する[17]などの間接的な評価を行うことが重要である．

表-3に，2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震後の坑内湧水量の変化を示す．瑞浪市における震度は3であり，地表での最大加速度は10.4gal，深度100mで7.7gal，深度300mでは5.7galであった．同表には，プレグラウトの実施箇所をあわせて示してある．プレグラウトを実施したすべての箇所を含む区間における湧水量は，地震後に変化は認められず，グラウトの効果が継続していると判断できる．

表-3　東北地方太平洋沖地震後の坑内湧水量の変化

a)主立坑

区　間	地質	プレグラウト工		地震後湧水量 (m^3/day)
		実施有無	実施前湧水量	
深度　0～100m	堆積岩	×		—
深度100～200m	堆積岩 花崗岩	×		+15
深度200～300m	花崗岩	×		+5
深度300m研究アクセス坑道	花崗岩	○	2,400	—
深度300～400m	花崗岩	×		—
深度400～500m	花崗岩	×		—

b-1)換気立坑

区　間	地質	プレグラウト工		地震後湧水量 (m^3/day)
		実施有無	実施前湧水量	
深度　0～100m	堆積岩	×		—
深度100～200m	堆積岩 花崗岩	○	860	+60
深度200～300m	花崗岩	○		—
深度300～400m	花崗岩	×		—
深度400～500m	花崗岩	○	80	—

b-1)換気立坑深度100～200m区間

ウォーターリング深度	地質	プレグラウト工	地震後湧水量 (m^3/day)
深度102.6m	堆積岩		—
深度131.2m	堆積岩		+10
深度165.0m	堆積岩 花崗岩		+45
深度191.0m	花崗岩		+5
深度200.0m	花崗岩	○	—

4-3　地山崩落対策

前述のとおり，主立坑を掘削する位置において，NNW性の走向をもつほぼ鉛直の断層が分布している．この断層は瑞浪層群および土岐花崗岩中で認められており，土岐花崗岩中では，変位量は不明ながら断層ガウジおよび断層角礫からなる断層主要部の幅は最大で数mに及ぶ．断層主要部の周囲には，割れ目頻度が高く(割れ目間隔が十数cm程度)，原岩組織は確認されるものの岩盤全体が変質し，淡緑色～暗緑色を呈するダメージゾーンが分布する．

深度150m付近において花崗岩礫が崩落したことをきっかけに，地山崩落対策について検討した．覆工長さの低減やNATMなど，立坑に適用できる方法はいくつか考えられるが，今回は地山補強注入工を選択した．立坑掘削直後の壁面の自立性

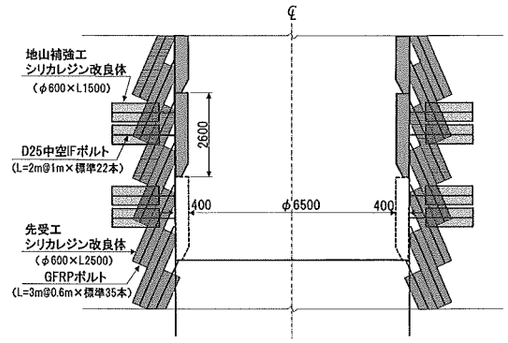


図-9　地山崩落対策の模式図

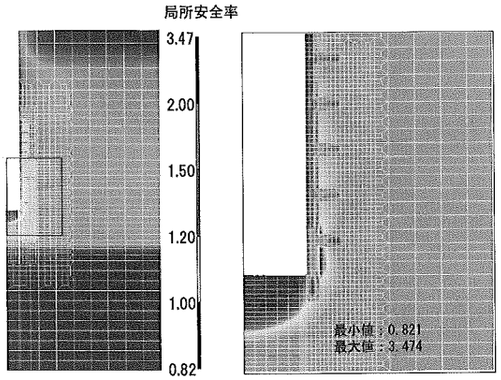
の確保に優れたシリカレジンによる周辺地山の締付け効果と短期間の固結性に期待した．

まず，立坑掘削に先立ち実施する鉛直斜め下方への先受け工を実施し，実施対象領域の掘削後に立坑壁面からの垂直方向への補強工を実施した．先受け工および補強工によく用いられる中空のボルトを使用してシリカレジンを注入した．設計注入量は，先受け工で60kg/本，補強工で40kg/本である．地山崩落対策の模式図を**図-9**に示す．

4-3-1　事前解析

地山崩落対策の効果を確認するために，事前解析を実施した．立坑部における切羽の進行と地山補強効果の両方をモデル化するためにFEM軸対称解析とし，補強工はシリカレジン注入領域の岩盤物性を増加させてモデル化した．解析コードはABAQUSを用い，破壊基準は線形のMohr-Coulombを適用し，局所安全率(Mohr円と岩盤の破壊基準から求められる破壊接近度)で評価した．

入力物性値については，針貫入試験の結果をもとに一軸圧縮強度(q_u＝5 MPa)を換算して求めたうえで，弾性係数，粘着力，内部摩擦角を推定して設定した．シリカレジンによる強度増加は粘着力の付加によるものとして，0.5MPa増加させることとした．解析ステップは，①自重解析，②掘削1.3m，③先受け工，④補強工，⑤掘削1.3m，⑥覆工2.6mの手順とした．



a) 全体図　　b) 拡大図(全体図 □ 部分)

図-10　シリカレジン注入を考慮した地山安定解析

深度170mまで立坑を掘削させた場合の解析結果を**図-10**に示す．対策工を実施した区間における局所安全率はおおむね1.2程度であり，立坑壁面とボルト周辺では1.5を越えている．対策を実施しない立坑坑底には0.8程度を示す範囲が広がっていることと比較すると，解析のうえでも対策工の効果が確認された．

4-3-2　施工結果と効果の確認

シリカレジンによる地山崩落対策は，主立坑の深度151.8～318.2m，394.4～415.6mにわたって実施した[12),18)]．以深については，地山が比較的良好になったため，立坑と水平坑道の連接部などの一部を除き対策は実施していない．注入実績を**表-4**に示す．

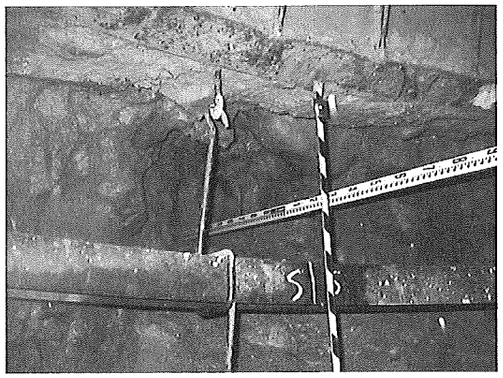
深度150m付近の立坑壁面の崩落状況と，シリカレジンによる地山崩落対策を実施した立坑壁面の写真を**写真-1**に示す．深度150m付近では，断層沿いの固結度の低い砂岩の流出とともに，花崗岩巨礫の崩落が発生し，立坑壁面から奥行きで最大1.6mの空洞が生じた．

対策効果の確認は，覆工コンクリートの打設量から算出する余掘り量(設計値に対する実測値の割合)により評価した．また，3Dレーザスキャナによって坑壁の凹凸に関する情報を取得し，崩落状況やシリカレジンの注入状況との比較を行った．

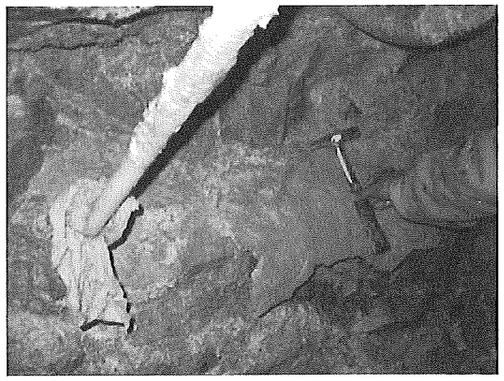
覆工コンクリートの打設量から算出した余掘り量については，深度130m以浅の安定した地山における余掘り量は設計値に対して50～100%増(平均値：75%増)であったところ，地山崩落が発生した箇所では150%増を超過したが，シリカレジンによる対策を実施した箇所では平均100%増まで低減した．

表-4　シリカレジン注入実績

深　度(m)	シリカレジン注入(ボルト打設)点(1断面あたり)	
	先受け工(本)	補強工(本)
151.8～178.9	35	35
180.5～229.9	22	17～22
231.2～297.0	22	11～22
300.2～318.2	11～22	12～22
394.4～415.6	11～22	12～22



(a)　崩落状況



(b)　対策後の坑壁状況

写真-1　シリカレジン注入による地山崩落対策

深度200～230mまでの区間において，先受け工と補強工を実施したあとに，3Dレーザスキャナによる坑壁形状のデータを取得し，シリカレジンの注入量と注入圧，岩盤状況との関係について検討した．**図-11**に，深度207.8～210.4mにおける計測結果に，各ボルト打設位置におけるシリカレジンの注入量と最終注入圧のデータを重ねて示す．検討の結果，3Dレーザスキャナで確認される規模の坑壁崩落は健岩部での割れ目起因のものに対応し，また注入を妨げる岩盤のタイプとして健岩部と変質部(粘土化)の2つが存在することが確認された．

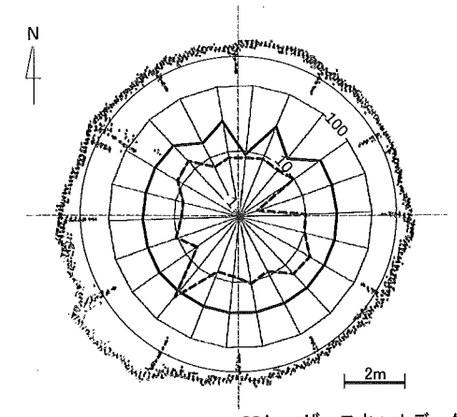


図-11　3Dレーザスキャナ計測結果とシリカレジン注入状況の比較例

5　おわりに

瑞浪超深地層研究所では，深度500mまでの坑道掘削を進めるなかで，施工や計測データにもとづいて設計の妥当性や適用した対策工の評価を行ってきた．本報告では，立坑のサイクルタイムの実績を評価し，設計との相違について検討した．

立坑における施工対策として湧水抑制対策(グラウト)と地山崩落対策の適用結果を示し，それらの有効性を示すとともに，事前の解析的な検討についても示した．今後は，坑道の維持管理技術の適用について検討を進めるとともに，地震動の観測を継続し，大深度地下構造物の耐震設計の考え方に寄与する知見を取得していきたい．

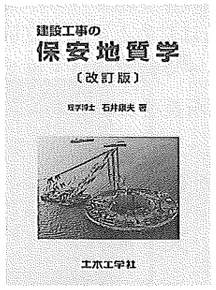
最後に，久保誠所長をはじめとする主立坑工区JV(大林・大成・安藤ハザマ特定建設工事共同企業体)ならびに草野隆司所長をはじめとする換気立坑工区JV(清水・鹿島・前田特定建設工事共同企業体)の皆様に感謝いたします．

参考文献

1) 日本原子力研究開発機構：超深地層研究所計画 地層科学研究基本計画，原子力機構，JAEA-Review 2010-016，2010.
2) 核燃料サイクル開発機構：深地層研究所(仮称)計画，サイクル機構，JNC TN1410 98-002，1998.
3) 見掛信一郎・杉原弘造・永崎靖志：地下1,000mに研究坑道を掘る，東濃地科学センター 超深地層研究所

計画，トンネルと地下，Vol.31，No.12，pp.55-63，2000.12.
4）今津雅紀・佐藤稔紀・坂巻昌工：地下1,000mの立坑工事に着手，瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事，トンネルと地下，Vol.35，No.6，pp.31-42，2004.6.
5）櫻井春輔・清水則一・芥川真一・吉田秀典・佐藤稔紀・山地宏志：国内超大深度立坑工事の地山崩壊形態から見た崩壊発生機構に関する考察，土木学会論文集F，Vol.62，No.4，pp.662-673，2006.
6）動力炉・核燃料開発事業団：日本のウラン資源，PNC-TN7420 94-006，1994.
7）日本原子力研究開発機構：瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事，平成14年度から平成17年度までの建設工事記録，JAEA-Review2012-026，2012.
8）草野隆司・田村秀行・矢萩良二・牛田和仁・延藤遵・黒田英高・原雅人・竹内真司・松井裕哉・山本 勝・浅井秀明：瑞浪超深地層研究所における湧水対策工の現状と課題，土木学会第63回年次学術講演会，pp.509-510，2008.
9）原雅人・木下春信・池田幸喜・山本勝・矢萩良二・菊池真司・川野広道・牛田和仁・延藤遵・南出賢司：瑞浪超深地層研究所 換気立坑における湧水抑制対策としてのプレグラウティング施工，土木学会第63回年次学術講演会，pp.511-512，2008.
10）佐藤稔紀・見掛信一郎・今津雅紀・坂巻昌工：瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事における総合評価落札制度について，土木学会，建設マネジメント研究論文集，Vol.11，pp.369-377，2004.
11）建設物価調査会：平成14年度国土交通省土木工事標準積算基準書，2004.
12）見掛信一郎・山本勝・池田幸喜：瑞浪超深地層研究所における研究坑道掘削と施工対策技術の適用，第40回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp.191-196，2011.
13）石井洋司・渡辺和彦・神谷晃・早野明・見掛信一郎・竹内真司・池田幸喜・山本勝・杉原弘造：深度400m以深の換気立坑掘削において実施したプレグラウティングの施工結果と考察，JAEA-Technology 2010-044，2010.
14）S. Kobayashi, J. Nobuto, H. Sugiyama, T. Kusano, M. Tsuji, S. Mikake and H. Matsui: Grouting experiment with colloidal silica at 300 m depth of the Mizunami URL, Proceedings of European Rock Mechanics Symposium(EUROCK 2012), 2012.
15）久慈雅栄・佐藤稔紀・原雅人・見掛信一郎・南出賢司：大深度立坑における湧水抑制対策としてのポストグラウト試験施工，トンネル工学報告集，Vol.16，pp.469-476，2006.
16）渋谷旬・鈴木隆・黒田英高：瑞浪超深地層研究所研究坑道 予備解析(平成17年度)(委託研究)，日本原子力研究開発機構，JAEA-Research 2008-052，2008.
17）堀内泰治・見掛信一郎・佐藤稔紀：瑞浪超深地層研究所における地震時の湧水量変化と水圧応答について，第42回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp.96-100，2014.
18）秋好賢治・見掛信一郎・金田勉・野田正利：超大深度立坑における不良地山掘削時の坑壁崩落対策，トンネル工学報告集，Vol.17，pp.105-111，2007.

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
A 5 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

施工

15m²の小断面を長孔発破で月進359m達成

—東京大学(宇宙線)大型低温重力波望遠鏡施設—

(国)東京大学施設部計画課副課長 齋藤修一
(国)東京大学宇宙線研究所重力波推進室教授 大橋正健
鹿島建設(株)神岡トンネル工事事務所所長 花田則昭
(元)鹿島建設(株)神岡トンネル工事事務所監理技術者 川野広道

1 はじめに

本工事は，東京大学が岐阜県飛騨市神岡町茂住地内(神岡鉱業(株)茂住坑内)に大型低温重力波望遠鏡(LCGT)計画のため，きわめて地面振動が少なく，温度・湿度が安定した神岡鉱山内に，直交する長さ約3kmの直線トンネルを2本(Xアームトンネル・Yアームトンネル)掘削し，レーザ干渉計(3km×2)など各種の重力波検出器を設置するための実験空間および実験環境を整備することを目的とした工事である．

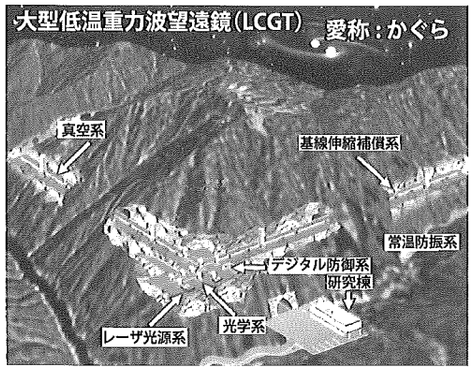
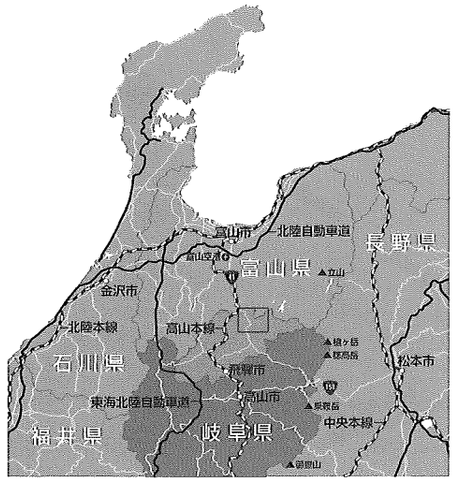


図-2 全体イメージ図



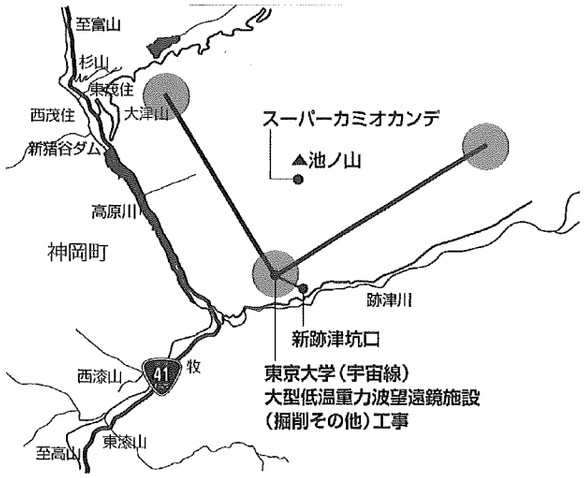


図-1 トンネル位置図

アインシュタインの一般相対性理論でその存在が予言された「重力波」を検出するための実験施設用トンネルであり，1日も早い研究利用に供するため，全掘削延長7,697mの長大トンネルを工期2年で構築する必要があり，工程的な制約が非常に厳しい工事であった．

そのため急速施工を目的に長孔発破を採用し，平成25年9月にはNATMでの国内最高記録である月進359m，同一作業坑から発進する2切羽の合計においても月進660mを達成した．

断面が15m²(掘削幅4m)という小断面トンネルでの急速施工を実現するために，①小断面用長孔発破，②効率的なずり出し作業，③良好な坑内環境を維持するための換気，④情報化施工による切羽前方地山の把握に重点を置いた．

本稿では上記を踏まえ，これまでの施工実績について報告する．

2　工事概要と施工計画

工事概要を**表-1**に，施設全体図を**図-3**に示す．当初は2本のアームトンネルとその頂点に配置される実験室断面を掘削するために，アームトンネル6kmをTBM，実験室断面をNATMにより掘削する計画であった．しかし，当初より複数の断層の存在が確認されており，①地山不良部を掘進する際のリスクが小さいこと，②大小異なる断面が存在するため1度の掘削で設計断面が仕上がる，という点でNATMが工期的に有利と判断し，全線NATMによる掘削に変更した．

掘削は神岡鉱山の既設坑道よりYエンド側へアクセスする茂住作業坑(茂住工区)と坑外から中央エリアへ直接アクセスする新跡津坑道(跡津工区)から掘削を行った．Xアームは中央エリアから3,000mの片押し掘削とし，Yアームは茂住工区・跡津工区の両側から各1,500mの掘削とした．

表-1　工事概要

工事名称	東京大学(宇宙線)大型低温重力波望遠鏡施設(掘削その他)工事
工事場所	岐阜県飛騨市神岡町内
発注者	(国)東京大学
施工者	鹿島建設(株)
工期	平成23年12月～平成26年3月
トンネル概要	トンネル総延長(NATM)：L＝7,697m (掘削断面積B＝15～130m²) 実験室等大空洞トンネル：L＝ 870m 茂住作業坑：L＝ 315m 新跡津作業坑：L＝ 459m Xアームトンネル：L＝2,920m Yアームトンネル：L＝2,920m

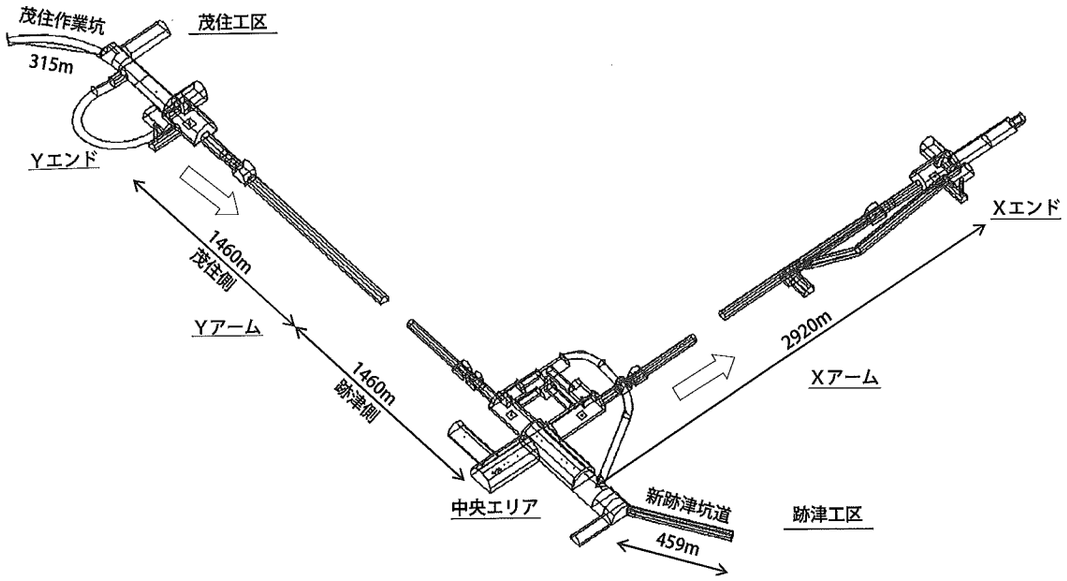


図-3　施設全体図

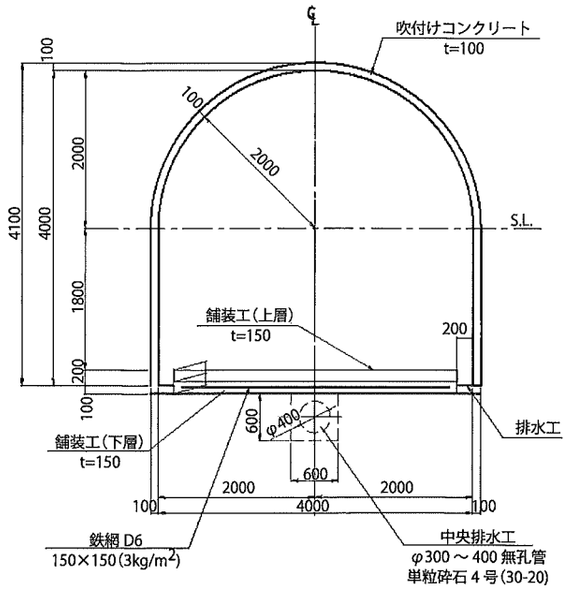


図-4　標準断面図(CⅡ)

跡津工区の両側から各1,500mの掘削とした．

跡津工区については，掘削機械の制約上，XアームとYアームを交互施工とした．湧水が予想されたため，小断面ながらアームトンネルには中央排水工(φ300～400)を敷設し，坑内湧水は側溝を介して中央排水から排水する計画とした(**図-4**)．

3　地形・地質概要

当実験施設は，急峻な池の山(標高1,369m)内の，土かぶり200～600mの地点に計画されている．

地質は飛騨片麻岩を主体とした硬岩および中硬岩であり，計4本の断層(横山衝上断層，北20号断層，南東部断層，池の山断層)がアームトンネルを横断し，各所に亀

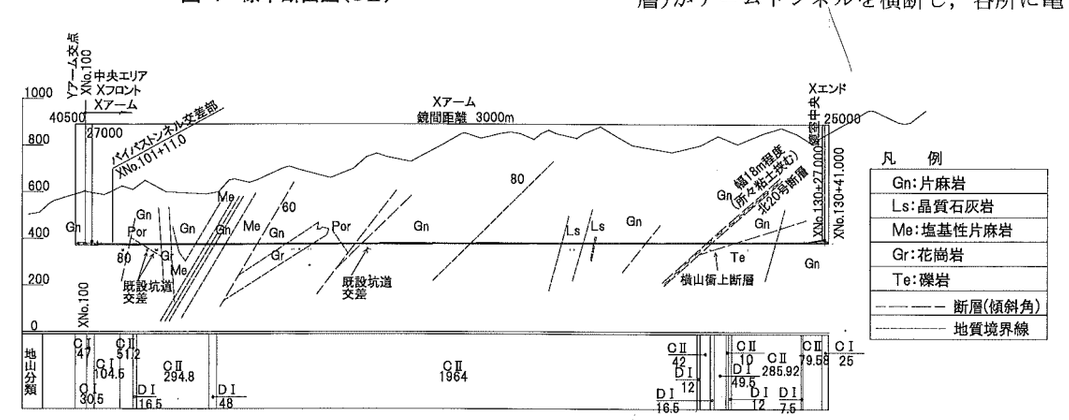


図-5　地質縦断図(Xアーム)

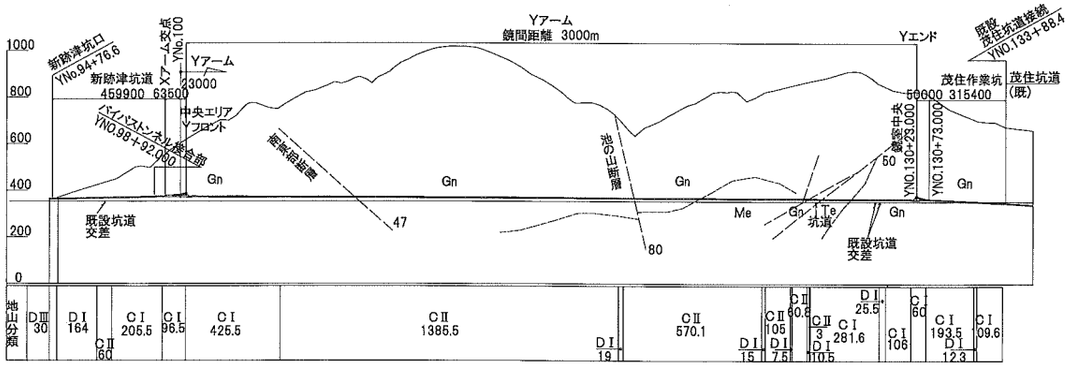


図-6　地質縦断図(Yアーム)

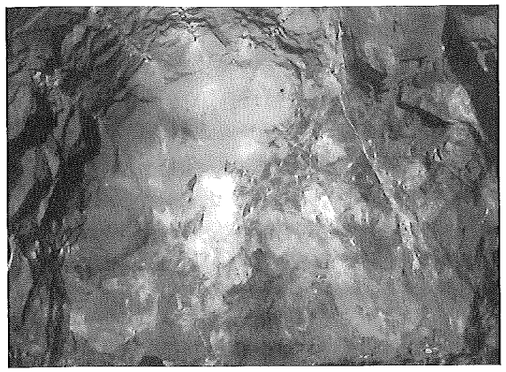


写真-1　切羽地質状況(飛騨片麻岩)

裂の発達した区間が存在する．片麻岩はおおむね100MPaを超え，200MPaを超える区間も存在する．片麻岩の健岩部の透水性は低いとみられるが，晶質石灰岩や粘土層を挟み，亀裂やこれらの境界部からの湧水が比較的多いと予想された．

なお，Xアームの横山衝上断層～Xエンドと，Yエンド付近においては堆積岩(礫岩～砂岩)が局所的に分布している．

4　計　画　変　更

Yアームは茂住工区，跡津工区両側から各1,500mずつの掘削のため，ずり出し方式はタイヤ工法を選択した．Xアームは3,000mの片押し施工となるため，坑内環境を良好に保つ目的でレール方式を計画していた．また，掘削に伴い発生する濁水は茂住工区側に位置する神岡鉱業(株)の濁水プラントですべて処理する計画であった．

掘削は平成25年5月より茂住側の作業坑から開始したが，掘削開始後ただちに湧水量が60t/h以上発生し，そのまま掘削を進めると濁水量が神岡鉱山所有の濁水プラント(処理能力180t/h)の能力を上回ることが予想された．

そこで，濁水の低減を目的として路盤コンクリートを，掘削後，随時打設し，中央排水(φ300～400)に坑内湧水を導き，切羽濁水を強制排水する清濁分離を行った．路盤コンクリートの打設によって，坑内はダンプ走行に有利な条件が加わったうえ，送排気方式の採用により長距離区間でも坑道内の換気が良好に保てることがYアーム茂住工区掘削時に確認できたので，坑内環境の制約によりレール工法としていたXアーム掘削もYアームと同様にタイヤ工法に変更した．

5　急速施工を実現するための工夫

5-1　小断面における長孔発破

5-1-1　長孔発破の採用

均質で安定した岩盤の多い欧米諸国では長孔発破は盛んに行われているが，日本においては地質が不均質であることから諸外国に比べると施工実績が少ない．

本トンネルの地質は大部分が飛騨地方に広く分布する硬質な飛騨片麻岩であり，断層部などを除けば比較的均質であることが予想されたため，工期短縮を目的として長孔発破を採用した．

5-1-2　長孔発破のための削岩機の選定

長孔穿孔を行うため，ドリルジャンボのガイドセルは14フィート級(全長約5.9m)を搭載し，穿孔長はロッド1本分で穿孔できる最大穿孔長から，1発破進行長を4.0mとした．

表-2にXアームとYアームに採用したドリルジャンボ諸元を示す．削岩機(ドリフタ)は当該ジャンボに搭載可能な最高性能をもつものを選定した．

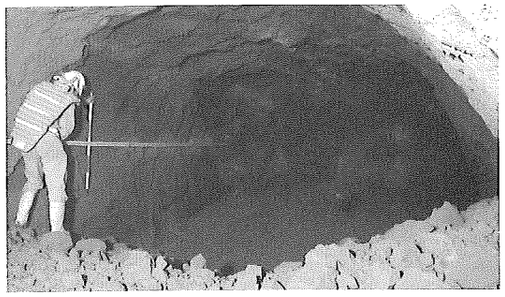


写真-2　長孔発破状況

表-2　油圧ジャンボ諸元

	Xアーム	Yアーム
メーカー	古河ロックドリル	AtlasCopco
型式	JTH2100A	RB352-1B
ドリフター	HD210Ⅱ	COP1838ME
ドリフター重量	174kg	171kg
ガイドセルフィード長	4,040mm	4,043mm

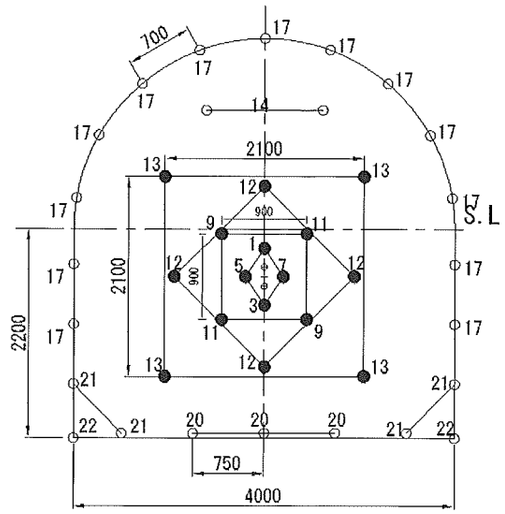
5-1-3　発破パターンおよび穿孔径

長孔発破で重要な芯抜き部の発破パターンは，6mを超える長孔発破を実施した「平成19年度熊野尾鷲道路逢神曽根トンネル工事(国土交通省中部地方整備局，2012年竣工)」と同じ配置を採用した．図-7に標準発破パターンを示す．

ビットは芯抜きにφ65mm，その他の孔はφ51mmのボタンビットを使用した．芯抜き部の標準パターンを図-8のパターン①に示す．

心抜き部の第1スクエア(1番内側の四角部)の発破の成否により全体の進行が大きく影響を受けるため，地山状況に応じて第1スクエアの形状を変更することで進行率の向上を目指した．

心抜き部を確実に起砕するためには，自由面となる空孔を大口径にすることが一般的であるが，当現場の硬質な飛騨片麻岩では穿孔速度が極端に遅くなるため，大口径で穿孔する代わりに2孔の同径空孔(φ65mm)を設けた．また，とくに硬岩部においては，第1スクエアの形状を図-8のパターン②に変更し，装填火薬量を増加させることで確実な発破進行と大口径空孔穿孔によるサイクルロス抑制の両立を図った．



● 削孔径φ65　○ 削孔径φ51

図-7　標準発破パターン

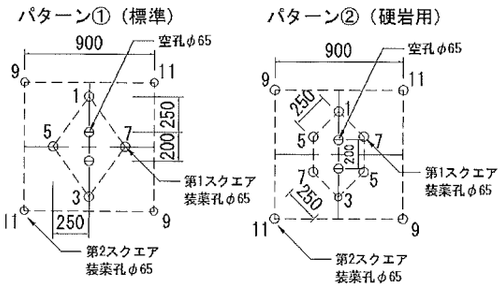


図-8　芯抜き部発破パターン

表-3　芯抜き部一覧表

	①(標準)	②(硬岩用)
空孔	φ65　2孔	φ65　2孔
第1スクエア	φ65　4孔	φ65　6孔
第1スクエア面積(m²)	0.175	0.150
削孔長(m)	4.0	4.0
破砕体積(m³)	0.7	0.6
1孔あたりの装薬量(kg)	8.5	8.5
火薬量(kg/m²)	48.6	85.0

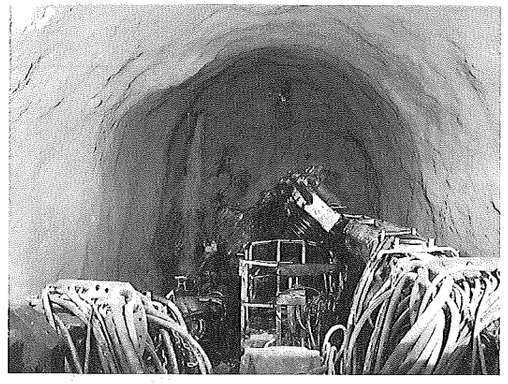


写真-3　削孔状況

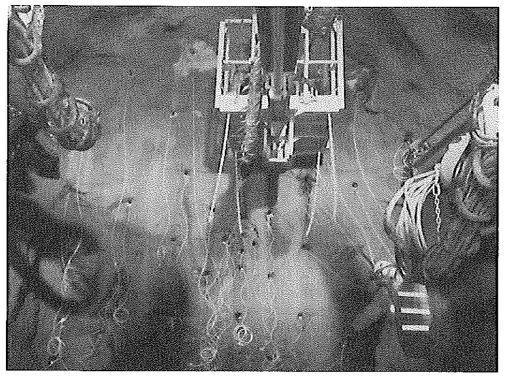


写真-4　装薬状況

5-1-4　火薬の選定

爆薬は，親ダイに含水爆薬(φ30)，増しダイにANFO爆薬，雷管は導火管付き雷管(L＝7.5m，1～22段)を使用した．また，湧水によりANFO爆薬が使用できない場合は含水爆薬(φ40×500)で代用し，芯抜き部では削孔径が65㎜のため，含水爆薬(φ50×750)により装填密度を高めた．

表-4　使用爆薬一覧表

位置	芯抜き	払い助	最外周	踏前
爆薬	ANFO	ANFO	含水爆薬 30×200	含水爆薬 40×500

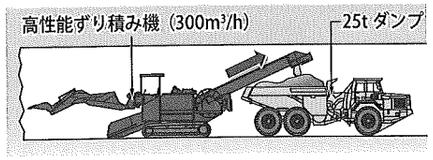


図-9　ずり積込み状況図

5-2　ずり出し作業の効率化

ずり出しはシャフローダKL-41(コンベヤ能力300m³/h)と25tダンプ(X，Yアーム各3台)を採用した．

通常15m²程度のトンネルにおいてシャフローダを選定する場合はKL-20(コンベヤ能力150m³/h)級と15tダンプの組合せが一般的である．しかし，当現場では断面内に収まるように改造したKL-41(300m³/h)級と25tダンプを採用し，ずり出し時間を大幅に短縮した．また，坑内を仮舗装して路盤の不陸と泥濘化を防止し，機械走行時の安全性の確保，および機械故障の防止に努めた．また，ずり出し中は坑内への立入りを完全に禁止し，重機と人の接触災害を防止した．

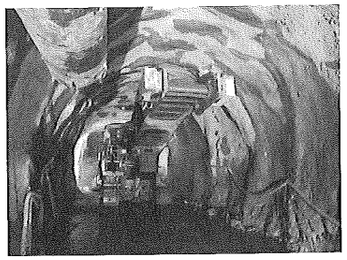


写真-5　シャフローダKL-41

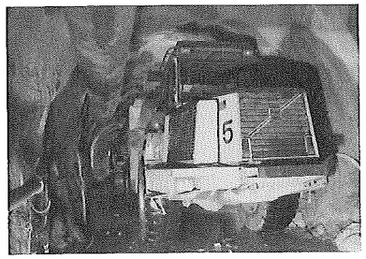


写真-6　25tダンプによるずり出し状況

5-3　小断面における換気方式の工夫

長大トンネル工事においては，良好な坑内環境の維持が作業性向上に大きく寄与するため，重機の排ガス，火薬発破の後ガス，吹付けコンクリート時の粉塵などに対する十分な換気対策が重要である．

当現場における具体的な換気方法を以下に示す．

①　坑外に設置したコントラファン(11kW×2，250m³/min，2.94kPa)により新鮮空気をアームトンネル入口から50m付近までビニール風管にて送気

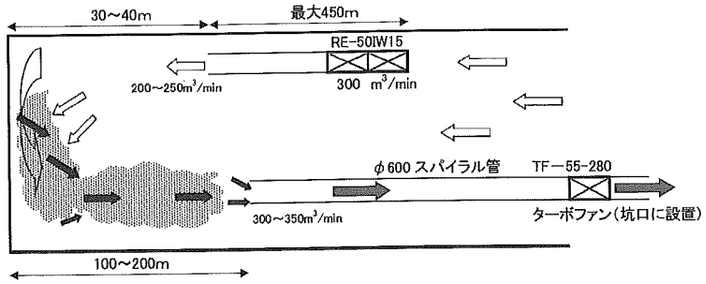


図-10　切羽付近換気平面図

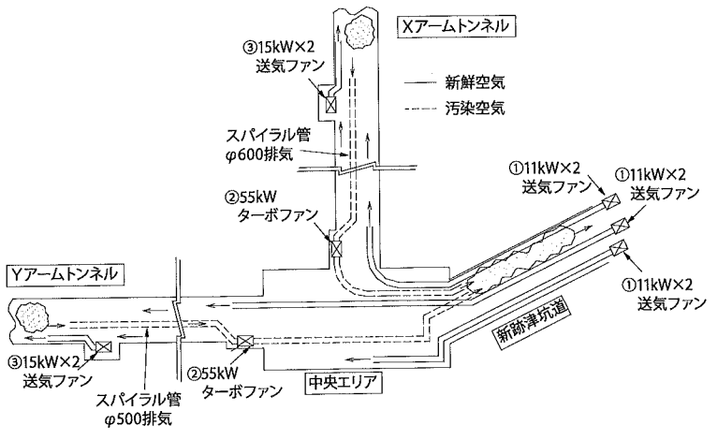


図-11　全体換気平面図(跡津工区)

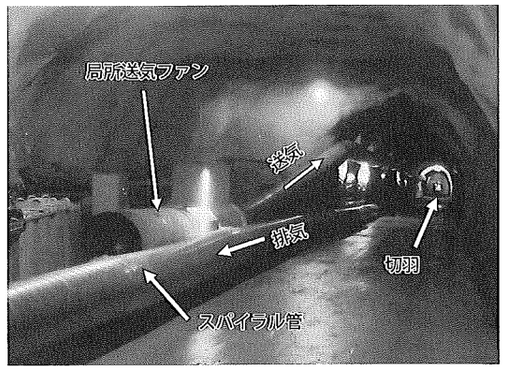


写真-7　坑内換気状況

②　アームトンネル入口にターボファン(55kW，280m³/min，7.84kPa)を設置し，切羽後方(150～200m)までスパイラル管φ600を延伸し，切羽からの汚染空気を排気

③　拡幅部(375mごと)に切羽用局所ファン(15kW×2，300m³/min，3.92kPa)を設置し，ビニール風管(φ600)にて切羽へ新鮮空気を送気

上記の設備により坑内全体にわたり良好な環境を維持することができた．

5-4　拡幅断面の設置

小断面トンネルでは，重機離合用の拡幅断面が不可欠である．ただし，断面の拡幅は，進行ロスや材料ロスが生じるため，適切な大きさや間隔を設定する必要がある．また，ダンプトラックやトラックミキサの後進距離の短縮のため，方向転換場所も必要である．

離合断面の大きさはドリルジャンボと吹付け機の離合を想定して幅7.5mとした．また，拡幅断面の間隔は，もっとも移動に時間のかかるシャフローダの退避距離，掘削機械用電源の電圧降下，アームトンネル内に設けられる実験設備用の拡幅の間隔を考慮して375mとした．方向転換場所は拡幅部に設けることとし，375m間隔を基本とした．拡幅部は高圧用キュービクル，コンプレッサ75kW×1台，37kW×1台も配置できる延長とした(L＝25m)．

5-5　情報化施工の導入

当現場では，断層破砕帯や鉱山の既設坑道との立体交差部での地山不良が予想され，急速施工を実現するためには，できるだけ早期に地山不良部の位置を正確に把握する必要がある．また，各実験室は大空洞の2層構造となっており，これらを確実に掘削することも，アームトンネルを高速で掘進することと同様に重要である．以上の理由により，当現場では，3種類の地山探査手法を用いて事前確認を行った．

(1)　水平ボーリング(PS-WL工法)および水抜きボーリングの併用

あらかじめ地質不良部が予測される部分に対し，最大100mのボーリングを行うとともに，ボーリング孔を利用して水抜き管を敷設した．

(2)　三次元反射法弾性波(TRT)探査

当現場最大の難所である池の山断層の事前把握のため，150m区間の反射法弾性波探査を行った．

(1)，(2)をもとに不良部通過時の補助工法の

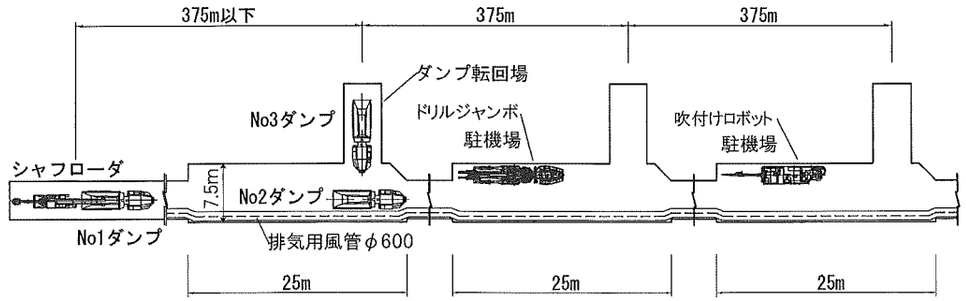


図-12　拡幅平面図

施工位置を決定した．

（3）　三次元孔間弾性波トモグラフィ

大断面の上下２層構造となる中央エリアの岩質を，弾性波探査により下層空洞掘削後の地山のゆるみ領域を解析し，上層空洞掘削前に補強範囲を決定した．

6　施　工　実　績

6-1　月　進

図-13に工区別月進グラフ，**表-5**に平均月進表を示す．アームトンネルでは，拡幅部掘削の際速度が落ちるが，ほぼ平均200m/月の進行を確保している．跡津工区Yアームは0.3%の下り勾配であり，湧水処理に時間を要したことから平均月進が伸びなやむ結果となった．

平成25年９月度の掘削実績を**図-14**，**表-6**に示す．当該月は既存坑道との交差部や地山不良箇所などの掘進阻害要因が少なかったため，切羽から60t/h以上の湧水にみまわれながらもXアーム359.4m，Yアーム301.2mの月進を達成することができた．

表-5　平均月進

	茂住工区 Yアーム	跡津工区 Yアーム	Xアーム	茂住 作業坑	新跡津 坑道
掘削延長（m）	1,165.5	1,754.5	2,919.0	315.4	459.5
所要月数（月）	6	11	15	3	4
平均月進（m/月）	194.3	159.5	194.6	105.1	114.9

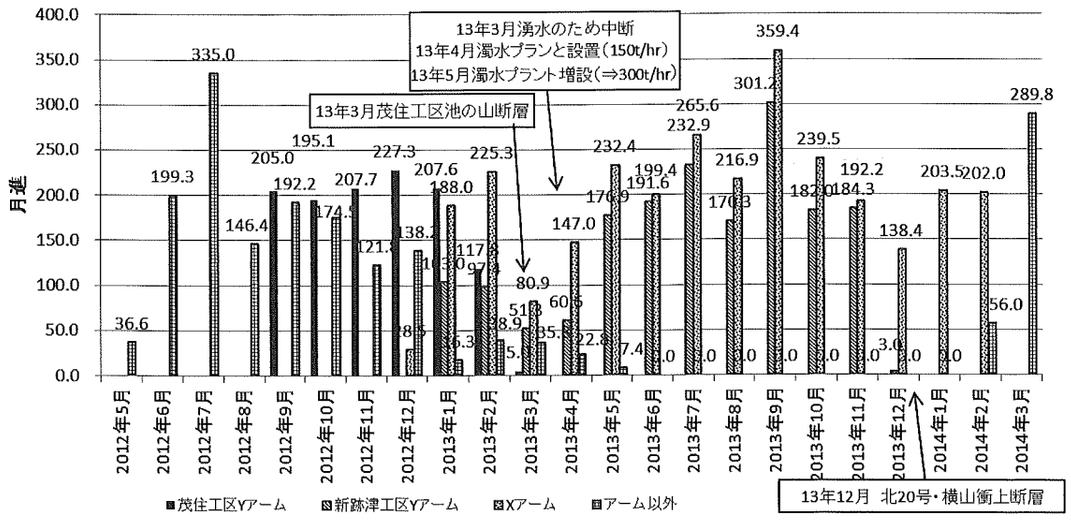


図-13　工区別月進グラフ

6-2　シャフローダの大型化による効果

跡津工区は新跡津坑道（坑外から中央エリアまでの連絡坑道）より掘削を開始している．当初Xアームはずりだし方式をレール工法で計画していたため，ずりだし機械もガントリーの通過を見越してKL-20と15tダンプの標準的組合せで施工した．新跡津坑道とXアームの条件の比較を**表-7**に示す．

Xアームはずり運搬距離が長いが，大型機械の使用により新跡津坑道での１mあたり施工時間を約20%短縮することができた．

なお，シャフローダ（KL-41）の積込み能力は平均93m³/h（地山）であったが，重ダンプ入替えによる待ち時間を考慮したずり出し能力としては平均40m³/h（地山）であった．

6-3　火薬実績

一般的なトンネルでは，２kg/m³以下に抑えられるが，当現場の実績では５kg/m³を超える結果となった．これは，長孔発破で不可欠な芯抜き部への薬量集中のため，削孔径，装薬長ともに大きくし，装填圧を高めて密装填を行った結果によるものである．

このように，長孔発破は爆薬使用量が増え，雷管も高価なため不経済と思われがちであるが，１発破進行長および進行率を高めることにより，導火管付き雷管の数を減らすことができ，安価なANFO爆薬と組み合わせることで，火薬費のコスト上昇を抑制することができる．

7　お　わ　り　に

トンネルの長大化が進むなか，急速施工による工程短縮には大きなメリットがあり，長孔発破による掘削はその解決策の１つである．当現場では，小断面トンネルにおける長孔発破の実現にむけて種々の課題に取り組んだ．施工を通して得られた知見は以下のとおりである．

長孔発破を実施するうえでもっとも重要なのは進行率（１発破掘進長/穿孔長）の向上である．火薬消費量が通常の倍以上となるが，掘削速度の向上による工期短縮は火薬コスト増を十分吸収することができる．

当現場では，進行率の向上のため，①穿孔精度の向上，②起爆技術の改善，③湧水への対策が課題となった．

①はレーザ照射などの既存の技術を駆使して穿孔精度確保に努めたが，コンピュータジャンボを活用することでさらに進行率向上が期待できる．②については，当現場の進行率は93%（９月度実績）が得られたが，斉発精度を向上させた高精度雷管の採用や親ダイの起爆力の向上によりさらなる進行率向上が期待できる．③は含水爆薬に切り替える場合が多いが，装填密度に難があるため，

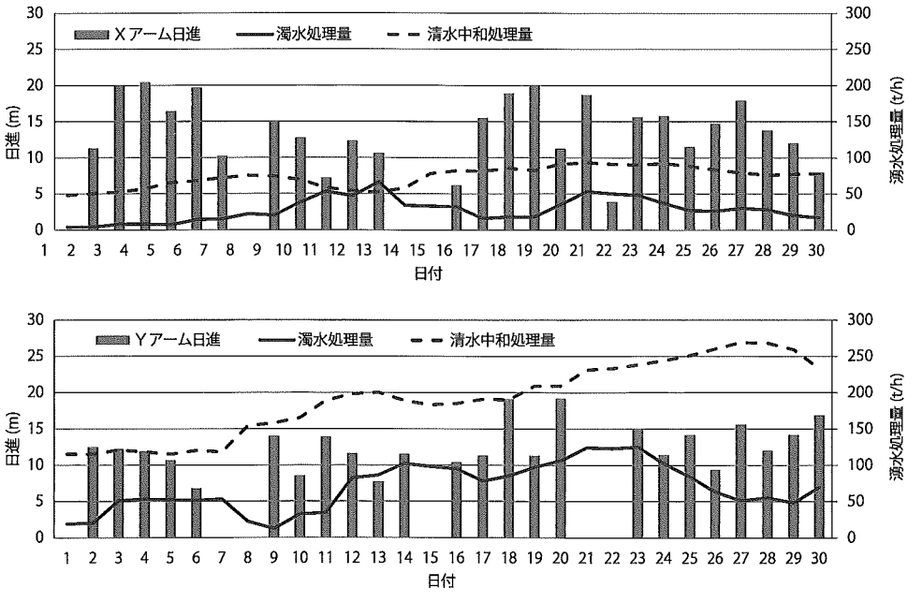


図-14　平成25年９月度　日進・湧水処理量

表-6　平成25年９月度　掘削実績

	Xアーム	Yアーム
月　進(m)	359.4	301.2
稼働日数(日)	24.5	23.5
日進平均(m)	14.7	12.8
進 行 率(%)	93.6	92.1

※進行率＝１発破掘進長/穿孔長

表-7　新跡津坑道・Xアームずり出し条件

	新跡津坑道	Xアーム
ずり積み機械	KL-20	KL-41
ずり出し車両	15t DT×２台	25t DT×３台
ずり出し距離	約100～550m	約50～3,000m

耐水性が高く密装填可能な低コスト爆薬の開発が待たれる．

次に換気設備については，小断面トンネルの場合は，とくにスペースの都合上，換気設備計画に制約が多い．まず，①発生源対策と②後ガスの処理とタイヤ工法の場合は排気ガスの処理を効率的に実施できる換気計画が重要となる．

①については，当現場ではANFO爆薬を主体としたため，粒状含水爆薬の使用は１つの解決策である．また，小断面トンネルでは，当然のことながら，ダンプなどの排気ガスも坑内環境を悪化させる．当現場では，坑内での車両・機械類のアイドリングストップを徹底した．

②については，できるだけ切羽近くで集気し新鮮な空気を坑道換気により供給する考え方がよく機能した．しかしながら，発破による飛石や重機接触による排気風管の損傷は換気効率を著しく低下させ，とくに排気風管から漏気した汚染空気は切羽に戻り，坑内環境を悪化させることに注意しなくてはならない．切羽近くでの集気と風管の保護を両立させることが小断面トンネルでの効率の良い換気の鍵となる．

本工事での長孔発破による月進国内最高記録達成で得られた知見をもとに，今後も工程短縮が望まれるトンネル工事へ長孔発破を適用できるよう，種々のデータを蓄積しながら技術の確立を目指していく所存である．

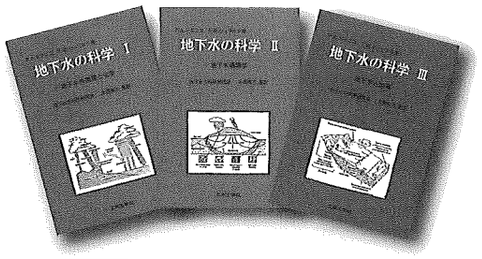
最後に，当工事の施工に際し，ご指導とご支援をいただいた関係各位に心から感謝する次第である．

■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．

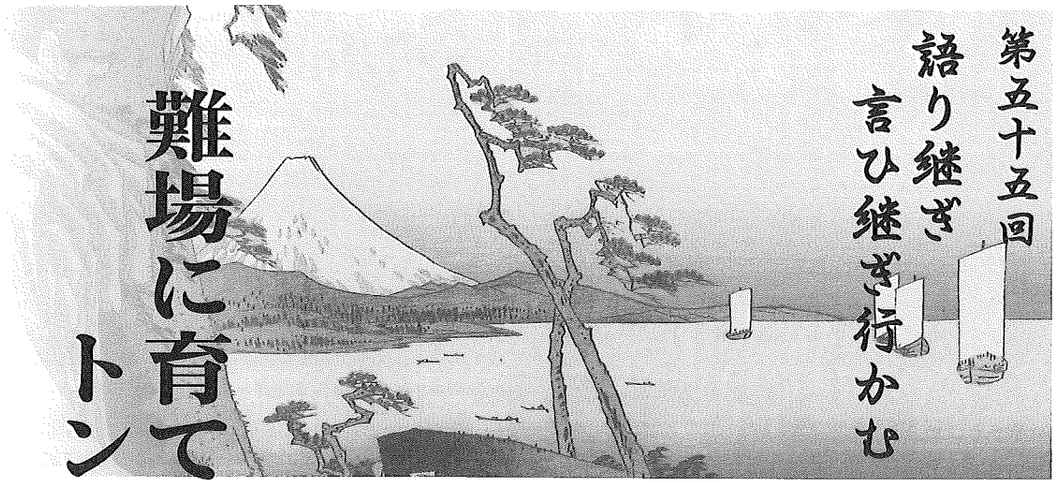


第Ⅰ巻　地下水の物理と化学
4,078円＋税　B5判
■序論■岩石における空隙の起源と透水性■地下水の動き■岩石の弾性的な性質と流れの方程式■水理試験（モデル，方法と応用）■溶質と粒子の輸送■汚染物質の水理地質学入門

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熟輸送

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



第五十五回
語り継ぎ言ひ継ぎ行かむ

難場に育てられたトンネル屋人生

(元)五洋建設(株)
横山　正士

はじめに

私は昭和44(1969)年４月に五洋建設(株)に入社しました．同年６月には国鉄呉線電化に伴う吉浦隧道改良工事に配属されました．これを皮切りに，以後の45年間のほとんどを，新幹線，高速道路，一般有料道路，一般国道，県道などのおもに山岳トンネル工事に従事してきました．この間，木製支柱式支保工，矢板工法そして現在のNATMまで，いろいろなトンネル施工管理の方法や使用材料そして施工機械だけでなく，なによりも多種多様な地山を経験してきました．

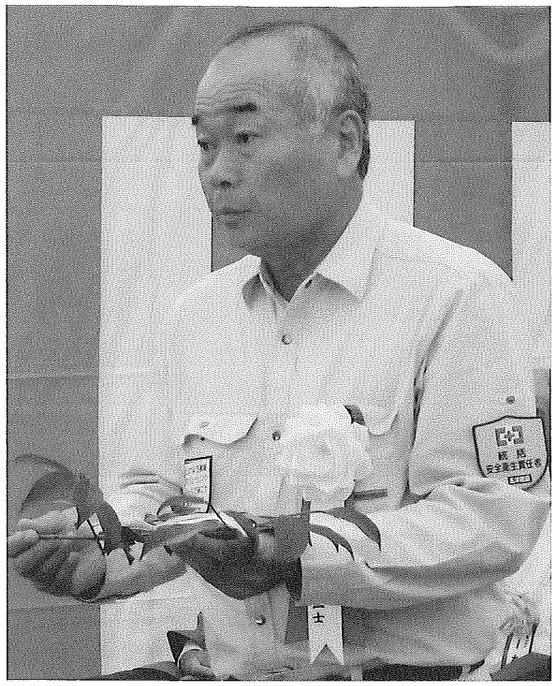
以下にいくつかの困難に直面した工事を取上げ，苦労話や印象に残ったことなどを書いてみたいと思います．

国鉄呉線電化に伴う吉浦隧道
L＝408m

トンネル屋としてスタートした最初の現場です．このトンネルは呉線の川原石駅～吉浦駅の中間に位置する単線隧道です．両坑口部が木製支柱式支保工による導坑先進，中央部は硬岩地山の上半先進(無普請)工法でした．ただ，終点方(吉浦方)坑口部で斜面崩壊が発生し，迎掘りを断念，LWによる地山補強と坑内から木製の中割り導坑，頂設導坑を設け後光普請で当たりをつけながら慎重に切拡げ，貫通させました．斧指(よきさし)の技量には目を見張るものがあり感心したものです．今では安全管理上考えられないことですが，当たり発破に導火線を使用していました．退避して，みなで段数(発破音)を数えていたことが思い出されます．

また，覆工コンクリートのアーチセントルが国鉄貸与品のバラセントルだったため，毎回組立て，解体する煩雑な作業となりました．

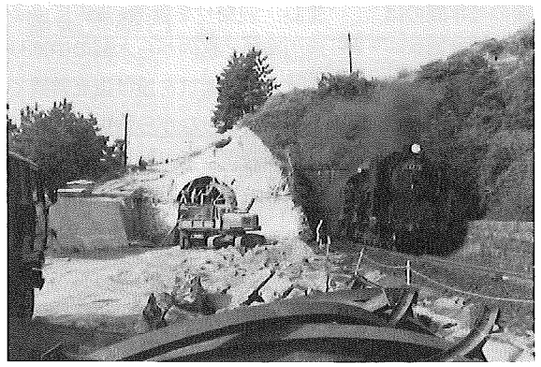
この現場でいちばん印象に残っているのは，初めてのトンネル切羽で聞いた「おれは坑夫だぞ！」という言葉でした．トンネルというのは，すべて坑夫の特権で処理

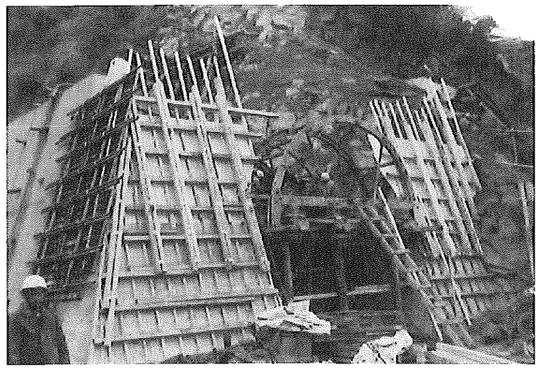


香春大任BP３号トンネル工事祈願祭で

著者略歴

昭和44年	五洋建設(株)入社 吉浦隧道工事
昭和45年	山陽新幹線五日市トンネル東工事
昭和47年	山陽新幹線佐山トンネル工事
昭和51年	国道261号挽谷トンネル工事
昭和52年	国道261号因原トンネル工事
昭和53年	日光宇都宮道路鳴虫山トンネル工事
昭和56年	八木山バイパス九郎原トンネル工事
昭和58年	幹線臨港道路２号線小名浜港トンネル工事
昭和60年	九州自動車道坊ノ木場トンネル工事
平成１年	山陽自動車道竜ヶ岳トンネル西工事
平成３年	〃　飯室トンネル工事
平成５年	中国横断自動車道北房ジャンクション工事
平成８年	〃　日和トンネル工事
平成９年	山陽自動車道埴生インターチェンジ工事
平成14年	作木大和道路両国トンネル工事
平成20年	〃　香春大任バイパス３号トンネル工事
平成23年	国道49号新揚川トンネル工事
平成25年	東九州自動車道芳ノ元トンネル新設二期工事
平成26年	五洋建設(株)退社





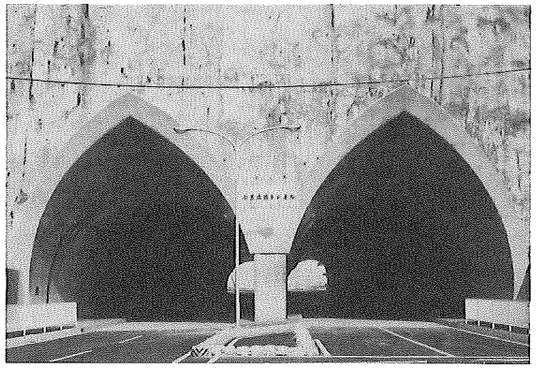
吉浦隧道　起点方坑口部(左)，吉浦隧道終点方坑口部(坑門工セントル)(右)

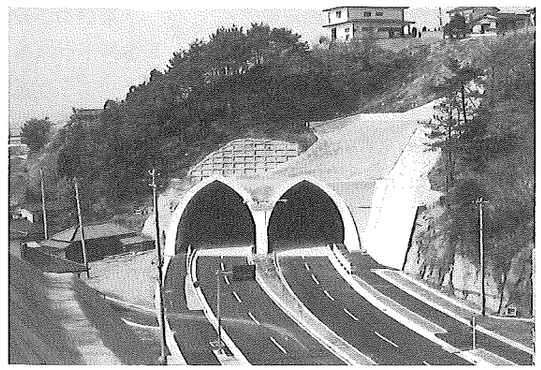
される不思議な世界なのか，ということを強烈に焼付けられた一言でした．ただし，現在では，もちろん，このようなことはありませんが．

小名浜みなとトンネル
L＝172m

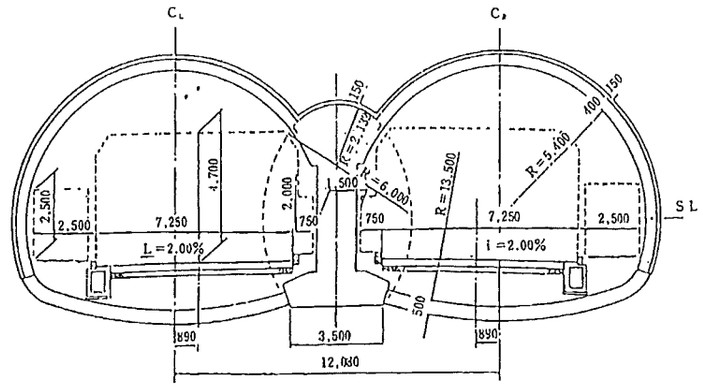
このトンネルは私が所長として従事した最初の現場です．本トンネル建設地は小名浜(おなはま)海岸に面した湯本丘陵の一部で，起点側である小名浜側の坑口は急崖地に取付くものです．トンネルの土かぶりは，ほぼ全線にわたって15m程度で，地表には民家が点在していました．また起点側坑口近辺には鮮魚商の店舗が軒を並べており，周辺環境には格段の配慮を要しました．地質は全線にわたり淡灰色～淡青灰色のシルト岩です．

トンネルの断面形状は，都市トンネルの眼鏡型式で，車道部，歩道部および監査路を合わせて，片側につき全幅10.5m，高さ4.70m，左右トンネルを含めると偏平大断面トンネルとなります．





小名浜みなとトンネル起点側坑門(左)，終点側坑門(右)



小名浜みなとトンネル標準断面図

施工は，中央導坑掘削→中央壁構築→左側本坑掘削→右側本坑掘削→左右本坑覆工の順で行いました．

掘削は，中央導坑にはロードヘッダS-45を上段・下段に各１台，左右本坑にはロードヘッダS-90を上段・下段に各１台ずつ配置し，機械掘削方式としました．ずり搬出はタイヤ方式とし，上段掘削ずりは直接下段に投下し，下段掘削時に中間コンベヤを経由してダンプトラックで坑外へ搬出しました．ロックボルトの打設には，中央導坑の断面積および掘削機械の関係で斜路のないショートベンチとしたため，エアオーガ，レッグドリルを採用しました．地山の一軸圧縮強度は100kg/cm²程度の非常に掘りやすいもので，また，掘削による変位はほとんどなく，全区間を通じて地山は安定していました．

中央壁はRC構造で，フーチング部，壁部，頭部の３分割施工とし，起点側坑口部より順次打設しました．型枠は，壁部はロックボルトを利用した吊下げ方式のスライドセントル，頭部は壁にアンカーを埋込み，ブラケット方式のスライドセントルとしました．また，中央壁頭部と本坑の接続部はネジバー差筋を用いて連結しています．ただ，中央導坑と左右本坑掘削時には湧水が全くなかったため，中央壁頭部と本坑接続部に導水工などの配慮がなく，供用開始後，降雨による影響で接続部から滲水がみられたのが残念です．

左本坑の覆工は，掘削の影響を考慮して右本坑掘削完了後に着手しました．中央壁を先行構築しているため，覆工は非対称断面となり，セントルの固定，コンクリートの打設には細心の注意を要しました．さらに，左本坑の覆工完了後，右本坑の覆工に移る際，ヤードの制限からセントルの組立て解体は不可能と判断し，当初から車輪をボギー構造として180°の方向転換を計画しました．窓枠のレールでリングレールの模型を作り検討した結果，実施工可能と判断し４時間で方向転換に成功しました．

坑門の形状は，起点側は双設オーバーハングベルマウス型L＝10m，終点側は双設竹割りベルマウス型L＝20mです．ともに非常に複雑な構造で，双設であるため，左右を横断的に合致させなければならず，一般大工では型枠の製作組立てが困難で，宮大工に委ねました．この製作組立てには，起点側２か月，終点側３か月を要しましたが

両坑門とも満足できる出来映えとなりました.

九州自動車道坊ノ木場トンネル
L＝131m(下り線)
L＝117m(上り線)

坊ノ木場(ぼうのこば)トンネルは八代～人吉間で八代ICから人吉側に約9km進んだ八代市坂本町(当時は八代郡坂本村)に位置し，川側の上り線117m，山側の下り線131mの双設トンネルです.

本トンネルは，当初から次のような諸条件で，難工事が予想されていました.

① 地表面傾斜角が45～60°の急峻な山岳の中腹に張り出した尾根部を貫く短小トンネルである.

② トンネル坑口部の軸線は地山と下り線が40～60°，上り線が25～30°で斜交している.

③ 土かぶりの最大が，下り線で4*D*，上り線で2*D*の小土かぶりである.

④ トンネルの地質は古生代の砂岩粘板岩の互層で，弾性波速度は2.4km/sec以下，*RQD*＝0，地表は厚さ数mの崖錐堆積物が分布している.

⑤ トンネルを横断する位置に11万Vの高圧送電線と直近に送電鉄塔があり，さらに本工事の生命線である工事用道路(将来は村道となる)などの重要構造物がある.

⑥ 本トンネルの下方100mには県道17号が走っている.

上記のような要素を孕みながら次のような手順で，トンネル工事に取りかかりました.

トンネルの前後は八代，人吉側とも土工区間がなく，橋脚高さ20～30m，橋長300～500mの橋梁・高架構造なので工事用進入路を設けなければなりません．まず，幅員4mの工事用道路を設け，工事用道路から仮設桟橋を設置しました．この桟橋から橋梁上下部工を施工したあと，この本線橋梁を使って，八代側から下り線の掘削に着手しました.

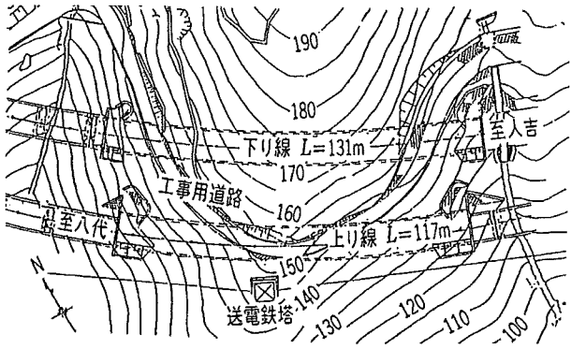
坑口の斜面崩壊対策として，抱き擁壁，気泡モルタルによる押さえ盛土，法面補強を施し，トンネル掘削は人力とブレーカによる機械掘削で，当時の標準的な補助工法であるフォアポーリングも併用して慎重に上半切羽を進めました.

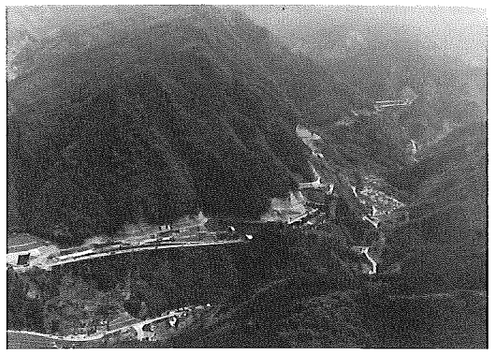
しかし，坑口から20m入った時点で，山側の側方ロックボルトが破断し工事用道路の吹付けコンクリートにクラックが発生しました.これは緩みが地表面にまで達しており，偏圧が影響していることが考えられました.

増打ちや支保工連結などの応急対策で，ほどなく天端沈下や内空変位，さらに地表面沈下も収束の傾向が見られました．しかし以後の切羽は，まず上半を54m進めたあと，次のような手順で早期閉合を図りました.

下半は山側と谷側に2分割し，谷側を1スパン1mとして，掘削～吹付け～ロックボルト打設を行い3m進む．戻って山側を同様に施工して3m進む．次に，この3m区間のインバート掘削を行い，吹付けコンクリートで閉合する．以上のくり返しで14m進み，インバートコンクリートを打設し全断面を閉合しました.

さらに進んで人吉側坑口部の施工では，八代側の変状や計測データを徹底的に分析・解析し，対策工を検討しました．その結果，変状の原因が地山の緩みにあることが明らかになったので，対策工として岩盤固結工法と，より綿密な計測工による地山管理を提案し採用されました.





坊ノ木場トンネル平面図(左)，全景(右)

岩盤固結工法の適用により，人吉側坑口付近では，天端沈下，内空変位，地表沈下などは大きな計測値も示さず掘削できました．上り線は土かぶりが全線2*D*以下で，斜交角度なども下り線より悪い条件でした．そこで，下り線の経験と実績から，全線岩盤固結工法を補助工法として採用していただき，下り線と同様に八代側から片押しで施工しました．上り線の掘削による先行下り線や地山への影響などは，岩盤固結工法の効果か，まったく問題になりませんでした.

まさに岩盤固結工法に使われたウレタンは「魔法の薬」のような気がしたものです.

作木大和道路　両国トンネル
L＝2,070m

両国トンネルは，国道375号の広島県三次市作木町伊賀和志(さくぎいがわし)と島根県邑智郡美郷町上野(おおちみさとかみの)を結ぶ全長3,233mの2車線トンネルです.一般国道としては，西日本第2位の長いトンネルということです.

本工事では，このうち広島県側の延長2,070mを施工しました.

当トンネルの坑口部は，狭隘な谷部に位置しており，ずりの仮置きヤードまでの運搬路は狭く，トンネル軸線と約57°をなして右折Uターンしなければならない方向にありました．また夜間および冬期の凍結時には，坑口付近をオーバーブリッジで横断している町道に，ずり運搬車両が追突事故を起こす危険があるなどの立地条件にありました．さらにトンネルの施工延長が比較的長いことから，とくに坑内の交通安全の確保や良好な作業環境の確保維持にも配慮しなければなりません.

このような諸条件から，ずりの運搬に連続ベルトコンベヤを提案し採用されました．ちなみに，発破掘削によるトンネル掘削工事での連続ベルトコンベヤの適用は，国内で6件目，中国地方では初でした.

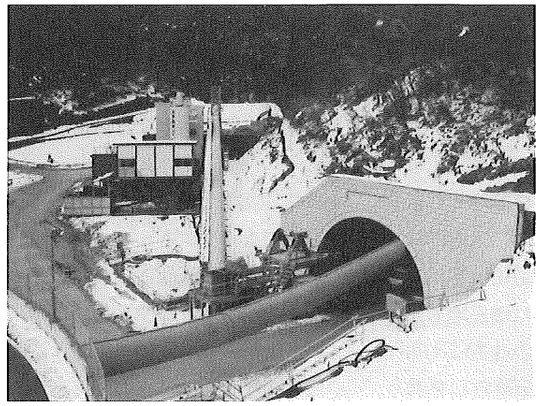
ずりは，坑内では連続ベルトコンベヤで搬送し，坑口部で坑外コンベヤに乗継ぎ，ずり仮置きヤードまで搬送しました．ベルトコンベヤの支持は，坑内ではブラケットで，郊外では仮桟橋で行いました．また仮置きヤードは狭小でしたので，谷川に大規模な河川防護のステージおよび土留め柵を設けました.

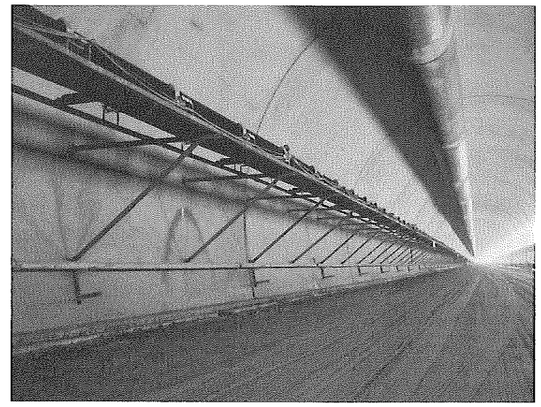
連続ベルトコンベヤとは，ベルト長を自在に延ばすことのできるコンベヤであり，切羽の進行とともに延ばされた1本のコンベヤで坑内のずり搬出を行うものです.

連続ベルトコンベヤのベルト幅は600㎜，搬送可能な最大粒径は200㎜でした．発破ずりを200㎜アンダーとするために300t/hを処理できるジョークラッシャを切羽に配置しました.

実際に使ってみて，連続ベルトコンベヤのメリットとしては，次の諸点が得られました.

① ずり出しにダンプトラックなどの車両を使用しないので排気ガス(NOx/COx)や粉塵の少ない良好な坑内環境が得られました.





両国トンネル　坑外ベルトコンベヤ配置(左)，坑内ベルトコンベヤ配置(右)

② ずり運搬車両の通行がないため坑内の通行だけでなく，覆工作業や測量作業の安全性も高まりました．また路盤の維持管理が容易となりました．

③ 掘削距離が延びても，サイクルロスが生じないので，切羽作業員の増加の必要はありませんでした．

④ 付加的には，ずり仮置場のハナかき作業が不要で，さらに盛土材としてのずりの小割り作業が不要となりました．

しかし，次のようなデメリットもありました．

① ベルコン設備関係の段取り作業が多くなった．

② ベルコン設備関係のメンテナンスが多い．

③ 関連設備が故障するとずり出しがストップするので，切羽作業の生命線となった．

④ ジョークラッシャの設置位置の関係などがインバート作業を制約する．

⑤ レーザプロット装置の盛換え頻度が増加する．

連続ベルトコンベヤによるずり出しは，本工事での総合的な評価としては，次のようにおおむね良好な結果が得られました．

一般に，連続ベルトコンベヤとダンプ工法の比較を行う場合，設備投資の面からは，掘削延長としては3,000mくらいが適用の境界と考えられていますが，坑内環境，路盤の維持管理，作業員の疲労度，安全性などを総合的に判断しますと，当トンネルでの採用は正解だったと感じています．

ちなみに，本工事ではトンネル濁水処理で発生する高含水の建設汚泥を，五洋建設(株)で開発した「トンネル濁水の建設汚泥リサイクルシステム」を使って処理し，造粒固化することによって，盛土材として有効活用しました．広島県内の産業廃棄物管理型最終処分場は，当工事現場から約150km離れた下蒲刈町下黒島（しもかまがり　しもくろじま）という離島にあります．この建設汚泥を運搬処理しますと，処理費用が高価になりますが，設計変更で上記システムを提案採用していただき，処理費を削減できました．

鈴麦東山トンネル　L＝428m

鈴麦東山ンネル(工事中の名称は香春大任（かわらおおとう）バイパス３号トンネル)は，福岡県田川郡香春町大字採銅所地内に位置し，一般国道322号香春大任バイパスの一部で，延長428mの２車線道路トンネルです．掘削は進入路や作業ヤードが確保できることなどから，終点側から起点側に向かって突込みで行いました．終点側坑口部は，小さな張出し尾根に位置し，基岩である三郡変成岩類の泥質片岩は全体に風化が進行したD級岩盤ですが，特段に問題となるような特殊な地山ではありませんでした．

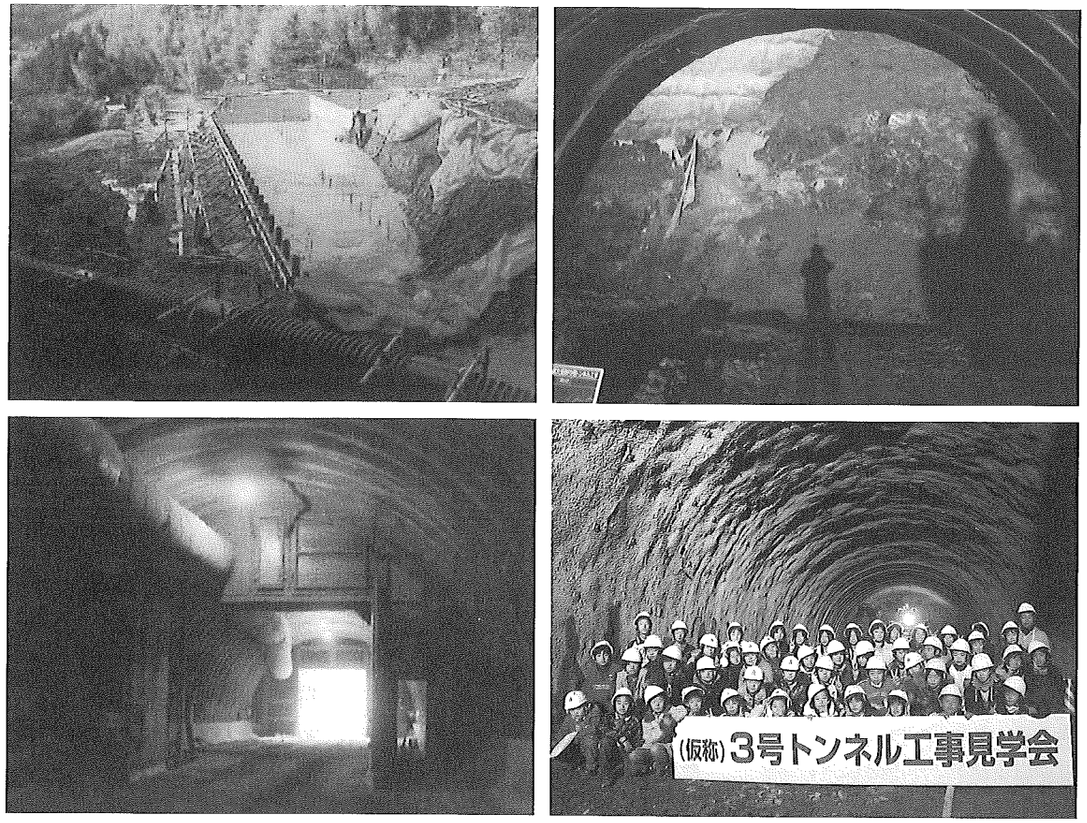
一方，起点側坑口部は，比較的開けた沢部末端に位置していますが，幹線道路からの進入路がなく，トンネル坑口の側方には棚田があり，坑口部の地山は偏圧地形をなしています．また，土かぶりが０～２mの区間が38m連続しており，地山は崖錐層が比較的薄く，トンネルの切羽には比較的新鮮な泥質片岩と砂質片岩が連続して出現することが想定されていました．

当初設計では，起点側坑口部の明かり施工は，偏圧，小土かぶり対策として掘削中の切羽から頂設導坑掘削によっていったん貫通させ，トンネル坑内から押さえ盛土材であるソイルセメントを運搬仮置きし，導坑を埋戻して押さえ盛土を施工する計画でした．そして，トンネル掘削は注入式長尺先受け工の補助工法併用で設計されていました．

しかし，当初の現地確認の結果，崖錐堆積物の除去および押さえ盛土箇所までのアプローチを切土すると法面崩壊が懸念され，法面補強が必要となることがわかりました．よって，切土をせず，地山を極力緩ませないでトンネルを掘削することを目的に，トンネル坑内から頂設導坑は掘削せず，切羽からドリルジャンボで穿孔し坑内から坑外へ圧送ホースを設置したあと，エアモルタルによる押さえ盛土を行うことを提案し，採用されました．この場合，当然，表土の完全な剝取りは行えませんので，不良土の残る区間は，トンネル掘削補助工法として小口径注入式長尺先受け工を併用することにしました．

押さえ盛土材としてソイルセメントでなくエアモルタルを採用したのは次のような理由によります．

① ソイルセメントの材料確保や降雨時の棚田への土砂流出の懸念およびその対策が必要となる．



鈴麦東山トンネル　押さえ盛土の施工状況(左上)，押さえ盛土部トンネル切羽の状況(右上)，防音扉２基設置状況(左下)，小学校現場見学会(右下)

② 中央排水工などトンネル内，残工事から想定して，14日以内で押さえ盛土を完了させなければならない．

③ 坑内から配管をしてエアモルタルを打設すれば上記の不安事項はクリアできる．

連日の降雨にも養生しながら14日でエアモルタルによる押さえ盛土施工を完了させることができました．もしソイルセメントで施工していれば，14日のうち晴天は３日間だけだったので，連日の降雨対策のため工程延伸や土砂流出災害を引き起こしていたかも知れません．

結果的に，起点側坑口部の掘削時に小口径注入式長尺先受け工を併用したことで，天端崩落などは皆無で内空変位，天端沈下，地表沈下のいずれも１cm程度で収まりました．

起点側坑口部の偏圧地形，小土かぶり対策としてエアモルタルによる押さえ盛土と注入式長尺先受工を提案し，採用いただいたことは，当坑口部の施工にとって最良策だったのではないかと考えています．

本トンネルの施工起点となる終点側坑口の周辺には民家が点在していますので，当初から発破騒音や低周波騒音が懸念されていました．そこで，坑口から70m間は昼間施工だけで，しかもブレーカ掘削が計画されていました．しかし，坑口から62m付近で，ブレーカでは掘削が困難な硬岩が出てきたため，五洋建設(株)開発による水充塡式防音扉を２基設置しました．試験発破を行った結果，振動，騒音，低周波騒音とも，ほぼ想定どおりの効果が得られ，地元からの苦情もなかったことから，それ以降は昼夜２交替の掘削を行うことができました．そして発破掘削中には月に１度の割合いで振動，騒音，低周波騒音の測定を行うとと

もに，近隣への聞取り調査を行い，さらに地元の小学生たちを招いて現場見学会などを行い，工事への理解と協力を得ることに努めました．

黒岩トンネル　L＝398m

黒岩トンネル(工事中の名称は新揚川(しんあげかわ)トンネル)は，新潟県東蒲原郡阿賀町に位置し，一般国道49号揚川改良工事の一環として計画された延長398mの2車線道路トンネルです．

トンネル掘削起点となる終点側坑口部の149m区間は，グラウンドアーチの形成が期待できない土かぶり2D(トンネル掘削幅13m)以下の小土かぶり区間であり，地質は脆弱な強風化泥質凝灰岩が主体です．またこの区間には地すべりブロックが3か所あり，トンネルは地すべりブロック末端部を掘進することになるのでトンネル掘削による地すべりの誘発が懸念されていました．

工事は，まず坑口前の本線切土から着手しました．しかし，3段目(最下段)切土時に，当初想定の軟岩よりも脆弱な地質が出現し，法肩の小崩落が発生しました．そこで，応急的に切土法面に腹付け盛土を施工し，それ以上の崩壊を防止したのち，発注者と対策工について協議しました．その結果，3本の調査ボーリングを追加実施し，それにもとづいて設計を見直すこととなりました．ただし，上部2段の吹付け法枠による法面工は施工済みです．

あらたに追加したボーリング調査の結果，強風化泥質凝灰岩の地すべり崩積土層が当初設計時に想定していたより厚く，道路計画基盤下まで分布しており，当初設計どおり施工すると，坑口前の切土法面の崩壊を誘発する危険性がきわめて高いことが明らかになりました．そこで，次のような変更設計を検討提案し，採用されました．

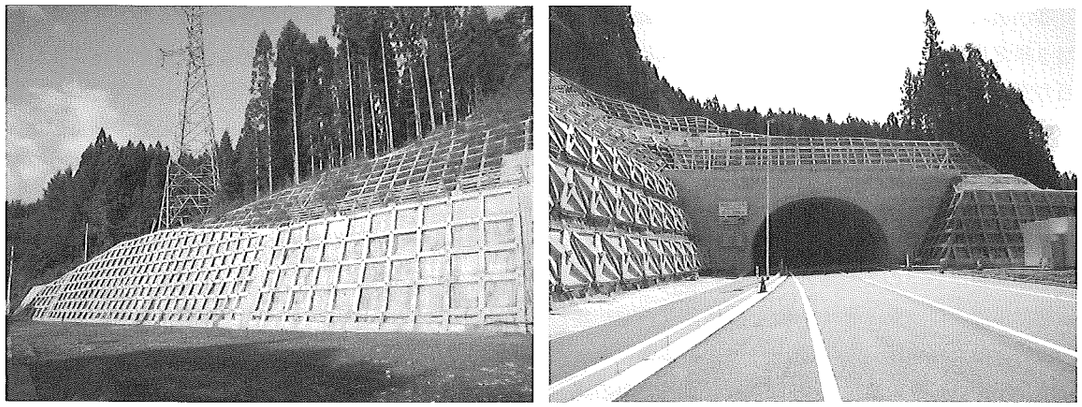
① トンネル坑口の切土の高い区間は地すべり抑止対策区間として鋼製受圧板付きグラウンドアンカー工(L＝12～18m／4段×11本)を施す．

② そのほかの切土高さの比較的低い範囲692m²には比較的簡易な対策工で対処可能と判断し，法枠工(厚さ10cmのモルタル吹付けと長さ3.5m×242本の鉄筋挿入工)を施す．

施工は直高2～3mごとの逆巻き施工で，法面挙動の動態観測を行いながら段階的に慎重に行いました．

法面補強工が完成した直後，福島・新潟豪雨に遭遇しましたが，完成した法面は動態観測の結果，なんら異状を見せず安堵しました．坑口の法面対策工に3か月を要したため降雪前(11月末)にようやく坑口が付きました．トンネル施工に先立ち，トンネル坑口部直上の各地すべりブロックのすべり面を探るため，再度ボーリング調査を実施し，深層すべり面を確認しました．

この結果にもとづいてトンネル掘削に伴う地山のすべり安定度の解析を実施した結果，目標安全率をわずかに下回る結果となりました．しかし，新たな地すべり対策工には工程の遅延や費用の増大を伴い，さらに地質調査結果やすべり安定解析結果を現場に適用する場合，多少の不確定要素を伴います．



黒岩トンネル　終点側坑口部切土部法枠工(左)，坑門とグラウンドアンカー工(右)



黒岩トンネルの貫通(前列左から2人目が筆者)

そこで，直接的な対策工は追加せず，当初から計画されている水抜きボーリングや押さえ盛土などの地すべり対策工に，坑外で行う地表面変位測定や地山ひずみ測定および地下水位測定などの動態観測工を追加し，地すべりの兆候の有無を連続監視しながら，この坑口部地山を掘削することを提案し採用されました．

掘削時には，鏡面の小規模な抜け出しが頻発し，管理レベルを超える地表面沈下なども発生しました．しかし，この区間は土かぶり5～6mの小土かぶり区間で，この沈下も地すべり挙動に伴うものではなく，トンネル掘削による先行沈下で，局部的な現象であることがわかったので，鏡補強工や支保工の上げ越しおよび断面の早期閉合などの対策工を施すことによって対処できました．切羽鏡面から6m程度坑口側で，厚さ15cmの吹付けコンクリートでインバート閉合する区間も63m程度ありましたが，基本的には切羽を長期に中断することなく，また地すべり挙動を誘発することもなく，この坑口区間を突破することができました．

このトンネルでは，動態観測による地山挙動把握が地すべり管理の生命線でした．そこで本トンネル掘削に伴う地山の地すべり的挙動に対する動態観測工では，OSV(On Site Visualization)技術を利用して，地すべり挙動を連続監視しました．すなわち，地表面伸縮計およびパイプひずみ計による計測データを「見える化」し，地山の変位状況を関係者全員に即時に周知・共有できるようにしました．

工事完了後，地元住民のみなさまや道路利用者の皆様が待ち望んだ道路が開通し，安全安心に利用されている状況を聞くにつけ，改良事業の一端に携わった工事担当者として，心からうれしく思っています．

おわりに

工事報告のようになってしまいましたが，私が現場を運営していくために心掛けていることは，工事完成から逆算して定期的に安全・品質・工程・原価そして部下の育成がいまどのような状態であれば良いか，つねに確認することです．そして過不足があれば，そのつど修正を加えて最良の状態になるようにしています．

「きみはきみのおどりを踊れ」と支えてくれた上司が「トンネルには必ず前後に明かりがある．だからトンネル馬鹿にならないように明かりの勉強をしなさい」とジャンクションとインターチェンジの2現場を6年間担当させていただきました．非常に難易度の高い工事をこなしたことにより幅の広い視野を持つことができ，坑口付近の施工に活かすことができています．

トンネル工事は地元の協力がな

ければうまく進みません．新潟の現場では２～３か月おきに地元の方々と懇親会を開き，手作りのおいしい郷土料理をいただきながら友好を深めていました．そこで仲良くなると毎朝無農薬栽培の新鮮な野菜を届けていただき，単身赴任生活の健康管理もしっかりできました．さらに地元小学生を対象に見学会を開き，トンネル技術や目的を十分説明してきました．この現場見学をきっかけに将来のトンネル屋が誕生すればと思っています．

「受けて恩を忘れず」という言葉がありますが，工事中にお世話になったある対策委員長さんとは今でも懇意にしていただいております．竣工して20年になりますが，年末にはカレンダーを持って挨拶に伺い，旧交を温めています．そのときに必ず出る言葉が「このトンネルができたおかげで便利になったよ」というううれしいお言葉です．トンネル屋冥利に尽き，やってよかったなといつも思っています．

誤解を恐れずに言えば，工事に災害はつきものです．絶対大丈夫ということはありません．しかし，現場を守るためにここまでは安全管理をやるという信念は持っています．とにかく「現場は綺麗に」を信条として，作業員の方に来たときと変わらず元気な体で仕事を終えて帰るようにと頼み，終盤の10年間は赤チン災害もない現場運営ができています．

計　画

中央新幹線（東京都・名古屋市間）におけるトンネル計画の概要

東海旅客鉄道(株)中央新幹線推進本部企画推進部担当部長　二　村　　亨
東海旅客鉄道(株)中央新幹線推進本部企画推進部担当課長　鈴　木　一　真

1　はじめに

中央新幹線については，全国新幹線鉄道整備法にもとづき，平成23(2011)年５月に国土交通大臣より東海旅客鉄道(株)が営業主体および建設主体に指名され，整備計画の決定および建設の指示がなされことを受けて，まず東京都～名古屋市間における環境影響評価の手続きを開始した．平成23(2011)年６月と８月に，環境影響評価法の一部を改正する法律の趣旨を先取りし，概略の路線および駅位置ならびに計画段階における環境配慮事項をまとめた『中央新幹線(東京都・名古屋市間)計画段階環境配慮書』を公表した．その後，同年９月には，『中央新幹線(東京都・名古屋市間)環境影響評価方法書』を作成，公告し，方法書に対する知事意見などを踏まえ，調査，予測および評価を行うとともに，路線および駅位置を絞込み，昨年９月に『中央新幹線(東京都・名古屋市間)環境影響評価準備書』を公告した．

中央新幹線(東京都・名古屋市間)は，延長286kmのうち，トンネル部が246kmであり，長大山岳トンネルや大深度地下トンネルを計画している．これらのトンネル計画について報告する．

2　中央新幹線計画の概要

中央新幹線は，超電導磁気浮上方式を採用し，最高設計速度は505km/h，始点となる東京都のターミナル駅は東海道新幹線品川駅の地下，名古屋市のターミナル駅は東海道新幹線名古屋駅の地下である(図-1)．その間，神奈川県に地下駅，山

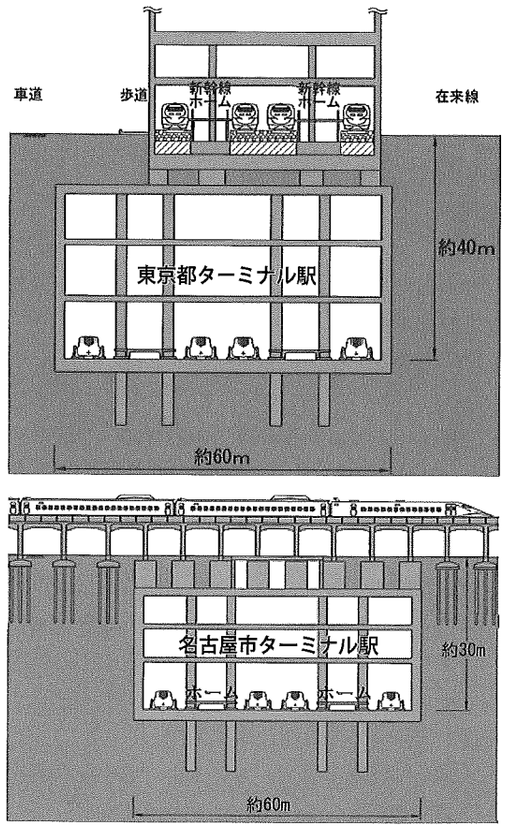


図-1　ターミナル駅の概要

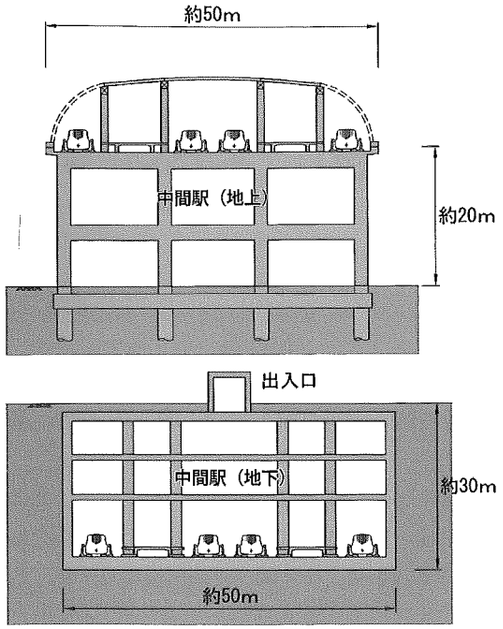


図-2　中間駅の概要

梨県，長野県，岐阜県に地上駅を設置する(図-2)．また，車両基地は神奈川県と岐阜県に１か所ずつ計画し，沿線には変電施設を10か所，保守基地を８か所計画している．

3　路　線　概　要

中央新幹線(東京都・名古屋市間)の路線を選定する際に考慮した事項は次のとおりである．

(１)　超電導リニアの技術的制約条件

- ３km幅の中で，超電導リニアの超高速性を踏まえ，できる限り短い距離で結ぶことを基本とする．
- 主要な線形条件として，最小曲線半径は8,000m，最急勾配は40‰で計画する．
- 大深度地下の公共的使用に関する特別措置法にもとづき，大深度地下を使用できる地域においてできる限り大深度地下を使用する計画とする．

(２)　地形・地質などの制約条件

- 活断層は回避する，もしくは，やむを得ず通過する場合は通過する延長をできる限り短くする．また，近接して並行することは避ける．
- トンネル坑口は地形・地質的に安定した箇所を選定する．
- 地上部で交差する主要河川は，約60度以上の交差角とすることを基本とする．

(３)　環境要素などによる制約条件

- 生活環境，自然環境，水環境，土壌環境，文化財などに対する影響をできる限り小さくする．
- 生活環境保全の面から，市街化・住宅地化が進展している地域をできる限り回避する．
- 自然環境保全の面から，自然公園区域などについて回避，もしくは，やむを得ず通過する場合でもトンネル構造とすることで，できる限り配慮する．

4　都市トンネルの計画

4-1　都市トンネルの計画の概要

中央新幹線(東京都・名古屋市間)の都市トンネルは，東京都のターミナル駅から東京都港区，品川区，大田区，世田谷区，神奈川県川崎市，東京都町田市を経由し，神奈川県相模原市の相模川左岸に至る首都圏の区間と，愛知県春日井市から名古屋市のターミナル駅に至る中京圏の区間がある．

都市トンネルは，ターミナル駅，神奈川県相模原市に設置する地下駅部を除き，主にシールド工法により施工する計画である．また，大深度地下の公共的使用に関する特別措置法にもとづき，大深度地下を使用できる地域において，できる限り大深度地下とするため，駅部周辺を除き，地下40m以深を通過することが特徴である．

一方，都市部においては，供用時のトンネル内の換気および異常時の避難などの観点から，おおむね５km間隔で，直径約30mの非常口(都市部)を設ける計画である．その一部をシールドトンネル施工にあたり，シールドの発進，到達地点とする予定である．

4-2　都市トンネルの標準断面

シールドトンネルの標準的な断面図は図-4のとおりである．その断面は，超電導リニアの超高速性から，内空有効断面積(トンネル内の列車の走

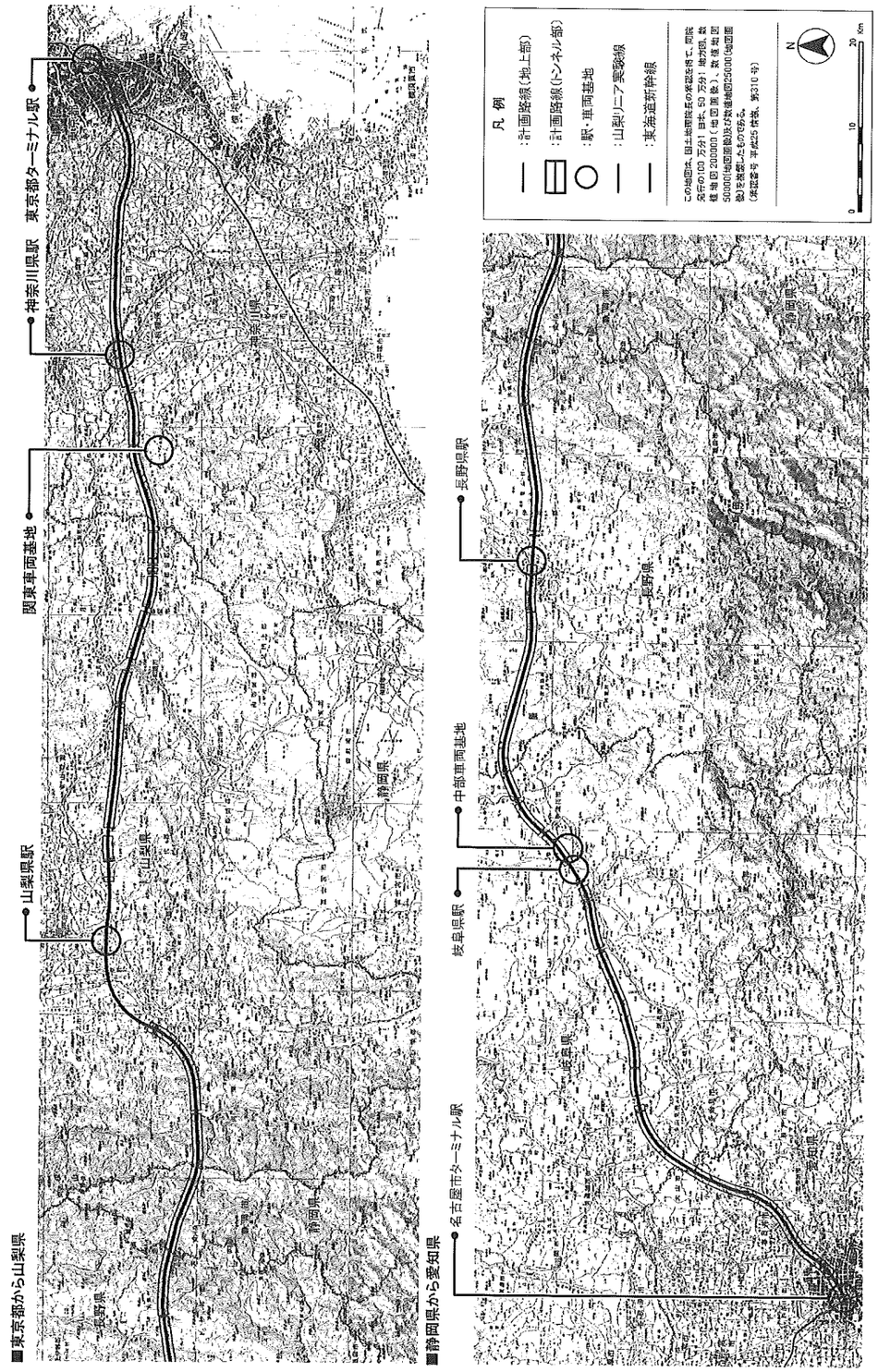


図-3　中央新幹線(東京都・名古屋市間)の路線概要図

行する空間の内空断面積からトンネル内構造物の断面積を引いた面積)を在来新幹線と比較して約2割大きい断面としており，トンネル内径は約13mである．

一方，直径約30mの非常口(都市部)内部には，

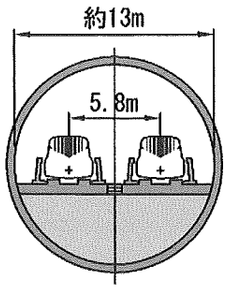


図-4　シールドトンネル標準断面図

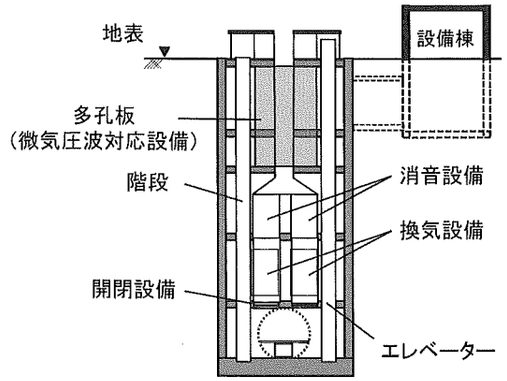


図-5　非常口設備概要図

供用時のトンネル内の換気を行うための換気施設を配置する．換気施設内には，換気設備および消音設備のほか，微気圧波および低周波音などへの対策として多孔板を，列車通過時の風圧対策として開閉設備を設置するとともに，異常時の避難用のエレベータおよび階段を設置する．これら非常口の概要は図-5のとおりである．

4-3　首都圏のトンネル計画

東京都ターミナル駅から相模川左岸の都市トンネル坑口までは，延長約40km(神奈川県駅部を含めて)の連続するトンネルであり，準備書で示した縦断線形は図-6のとおりである．途中，神奈川県相模原市の橋本駅付近に地下駅，川崎市宮前区梶ヶ谷の非常口周辺の大深度地下に保守用車留

表-1　首都圏非常口(都市部)一覧

		都県	市町村
首都圏	1	東京都	品川区北品川
	2	東京都	大田区東雪谷
	3	神奈川県	川崎市中原区等々力
	4	神奈川県	川崎市宮前区梶ヶ谷
	5	神奈川県	川崎市宮前区犬蔵
	6	神奈川県	川崎市麻生区東百合丘
	7	東京都 神奈川県	町田市能ヶ谷 川崎市麻生区片平の境界地
	8	東京都	町田市小野路町
	9	東京都	町田市上小山田町

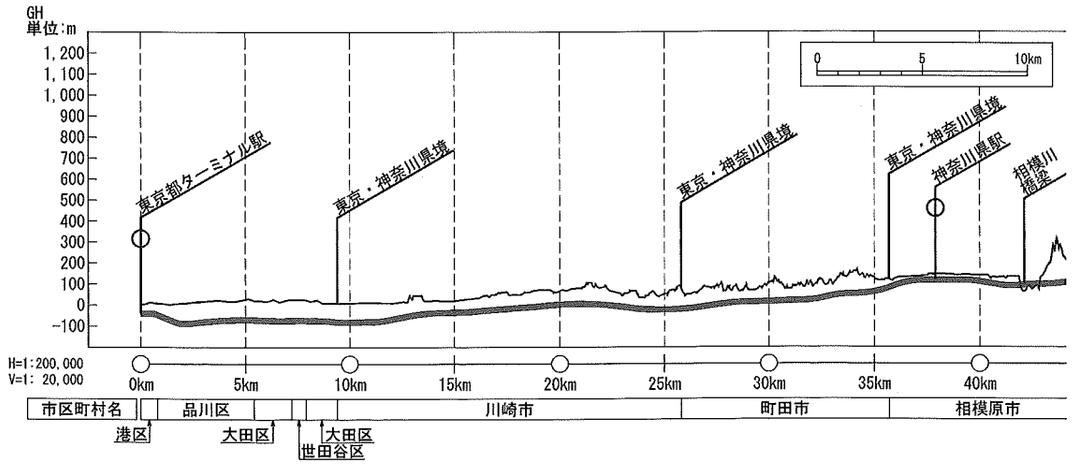


図-6　東京都および神奈川県の縦断線形

置施設を計画している．

非常口の選定箇所は，表-1のとおりである．このうち，川崎市宮前区梶ヶ谷の非常口においては，トンネル発生土の運搬について，鉄道貨物を活用して臨海部に運搬することで，環境，地域交通などへの影響を低減する計画である．

4-4　中京圏のトンネル計画

中京圏における路線は，東海道新幹線との結節，在来鉄道との円滑な乗継ぎが可能な東海道新幹線および在来線の名古屋駅およびJRゲートタワーの地下に東西方向に設置する名古屋市ターミナル駅に向けて，愛知県と岐阜県の県境付近にある飛騨木曽川国定公園および東海丘陵の主要な小湿地群を回避するとともに，愛知高原国定公園において自然環境への影響をできる限り低減するようトンネル構造とし，超電導リニアの超高速性を踏まえ，できる限り直線に近い線形で結んでいる．

非常口の選定箇所は表-2，準備書で示した縦断線形は図-7のとおりである．

また，名古屋市ターミナル駅の西方には，異常時などにおける輸送の弾力性を確保するための引上げ線を，シールドトンネルにより設置する計画である．

表-2　中京圏非常口(都市部)一覧

		都県	市町村
中京圏	1	愛知県	春日井市坂下町
	2	愛知県	春日井市熊野町
	3	愛知県	春日井市勝川町
	4	愛知県	名古屋市中区三の丸

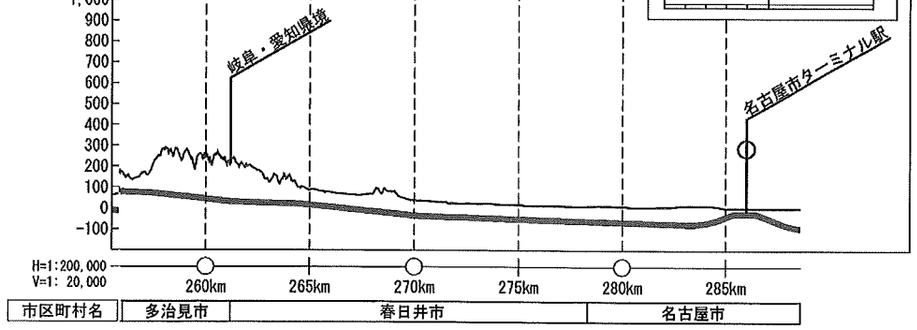


図-7　愛知県の縦断線形

5　山岳トンネルの計画

5-1　山岳トンネルの計画の概要

中央新幹線(東京都・名古屋市間)の山岳トンネル区間は，神奈川県の関東山地および丹沢山地，山梨県の巨摩山地，山梨県・静岡県・長野県の3県にまたがる南アルプス，長野県の伊那山地，長野県と岐阜県にまたがる中央アルプス，岐阜県から愛知県にかけた丘陵部である．

山岳トンネルの多くは，山を深く刻んだ渓谷間にそびえる急峻な山を貫く計画であり，中でも南アルプスと中央アルプスにおいては，延長が約20kmを超える長大トンネルを計画している．

5-2　山岳トンネルの標準断面

山岳トンネルの標準的な断面図は図-8のとおりである．

その内空有効断面積は，シールドトンネルと同様，超電導リニアの高速性から，在来新幹線と比較して約2割大きい．

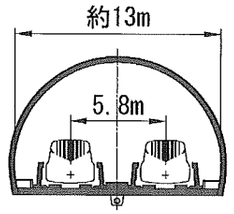


図-8　山岳トンネル標準断面図の例

5-3　関東山地および丹沢山地のトンネル計画

神奈川県の山岳トンネルとしては，串川から道志川までの区間と道志川から山梨県安寺沢までの区間で計2本を計画している．

地質は，関東山地については砂岩，頁岩から成る小仏層群が主体であり，丹沢山地は凝灰岩からなる丹沢層群を主体とし，その境界部には藤野木・愛川構造線が存在している．

東側のトンネル内においては，車両基地回送線の分岐部を設けるため，一部の区間において緩勾配とし，大断面とする計画である．分岐部の位置については，回送線の線形条件と地質条件から決定している(図-9)．

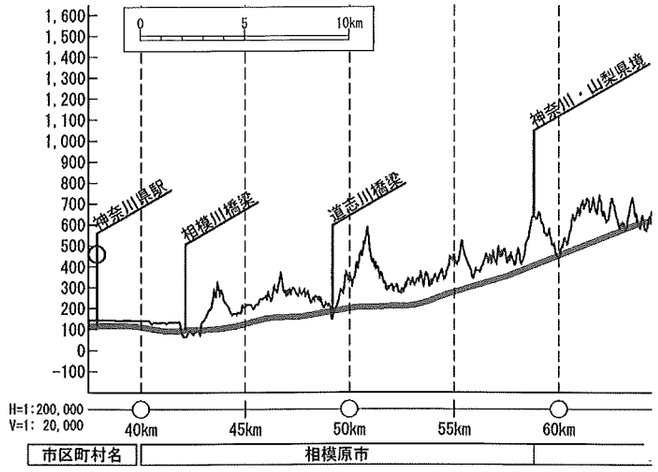


図-9　関東山地および丹沢山地の縦断線形

5-4　巨摩山地のトンネル計画

甲府盆地西端から早川までの巨摩山地においては，三枝川，畦沢川，小柳川との交差部は明かり区間とし，その間は計4本のトンネルを計画している．

地質は，凝灰角礫岩および頁岩からなる巨摩層群に比較的脆弱な櫛形山累層が介在している．

この区間は，甲府盆地から南アルプスに向かって急勾配が続く片勾配区間である(図-10)．途中，小柳川周辺に設置する保守基地への回送線の分岐部をトンネル内に設けるため，もっとも西側に位置するトンネルの一部区間において緩勾配とし，大断面とする計画である．また，このトンネルは，中間地点において非常口(斜坑)を設置する適地がないことから，両坑口付近から掘削する計画としている．

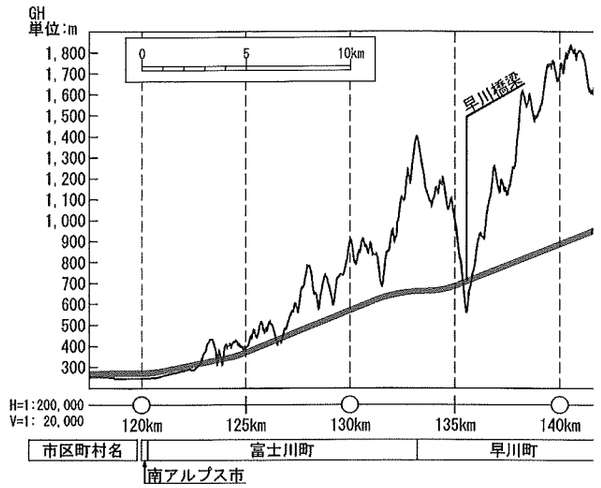


図-10　巨摩山地の縦断線形

5-5　南アルプスのトンネル計画

山梨県早川と長野県小渋川の間は約25kmのトンネルとなる．途中，大井川との交差部付近で土かぶりが小さくなるが，それ以外では大土かぶりが連続し，最大では約1,400mとなる(図-11)．

地質は，砂岩，粘板岩などからなる四万十層群と秩父帯中古生層である．

南アルプスにおいては，山梨県内において2か所，静岡県内において3か所，長野県内において1か所の長尺水平ボーリングを実施し，地質概要を把握してきたところであるが，急峻な山の深部の性状を直接確認できないことから，本坑に先行する先進坑を掘削する計画である．

南アルプストンネルの非常口(斜坑)は，山梨県内に2か所，静岡県内に2か所，長野県内に3か所計画しており，土かぶりが大きいことから，非常口(斜坑)は最長で3kmを超える計画である．

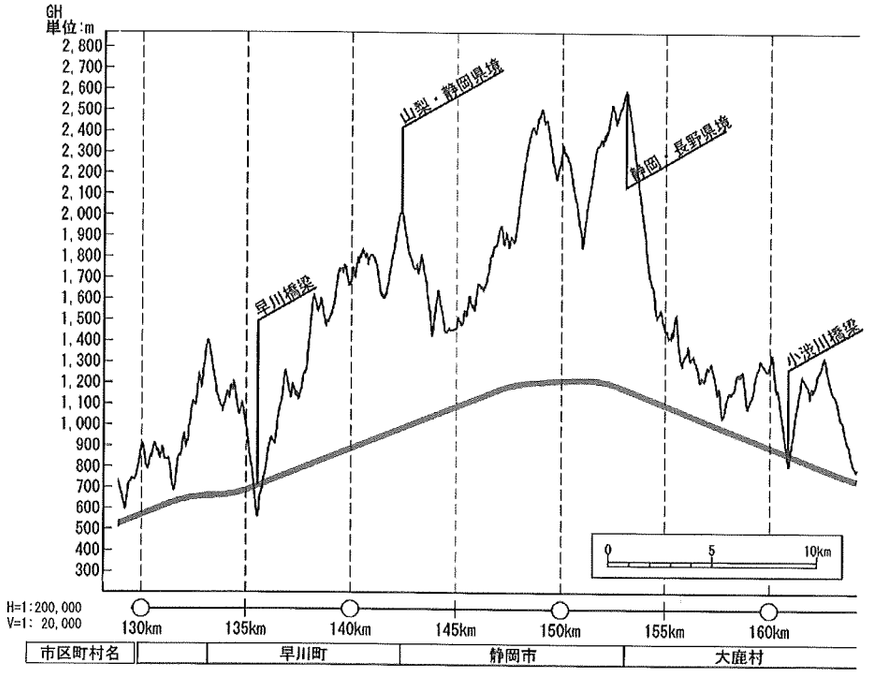


図-11　南アルプスの縦断線形

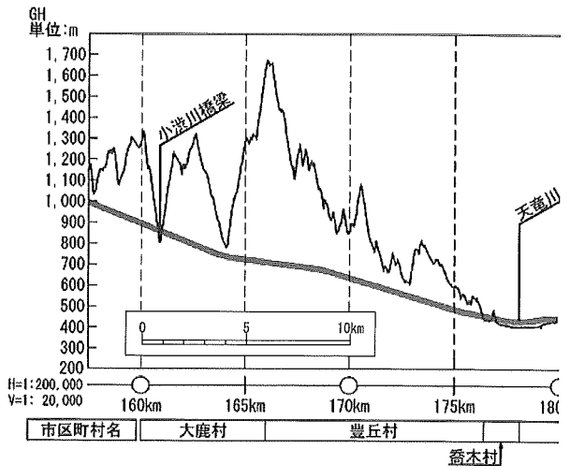


図-12　伊那山地の縦断線形

5-6　伊那山地のトンネル計画

小渋川から天竜川左岸の段丘部まではトンネル区間になる(図-12)．

地質は，中央構造線の東側は三波川変成岩類や御荷鉾緑色岩(蛇紋岩など)が分布し，中央構造線から西側にかけては鹿塩ミロナイトを挟んで，領家帯古期花崗岩類が広く分布している．

小渋川との交差においては，地すべり地形を避け，南アルプスの土かぶりを極力小さくするため，明かり構造とした．また，中央構造線の断層谷である青木川との交差においては，トンネル構造とした．

5-7　中央アルプスのトンネル計画

天竜川右岸の河岸段丘部から松川までと松川から木曽川までがトンネル区間となる(図-13)．

地質について，天竜川河岸段丘部から松川にかけては天竜川本流の砂礫層の上に，天竜川に注ぎ込む河川の土石流堆積物が覆っている．松川から木曽川にかけては広く領家帯の新期花崗岩類が分布する．中央アルプスの中央部から西側においては，清内路峠断層，馬籠峠断層，阿寺断層などの活断層と交差する．

長野県と岐阜県の県境付近では，北西-南東方向の阿寺断層と東西方向の屏風山断層が交差しており，中央新幹線の路線選定においては，その交差箇所を北に回避し，また，阿寺断層交差部では極力土かぶりが小さくなるように計画した．

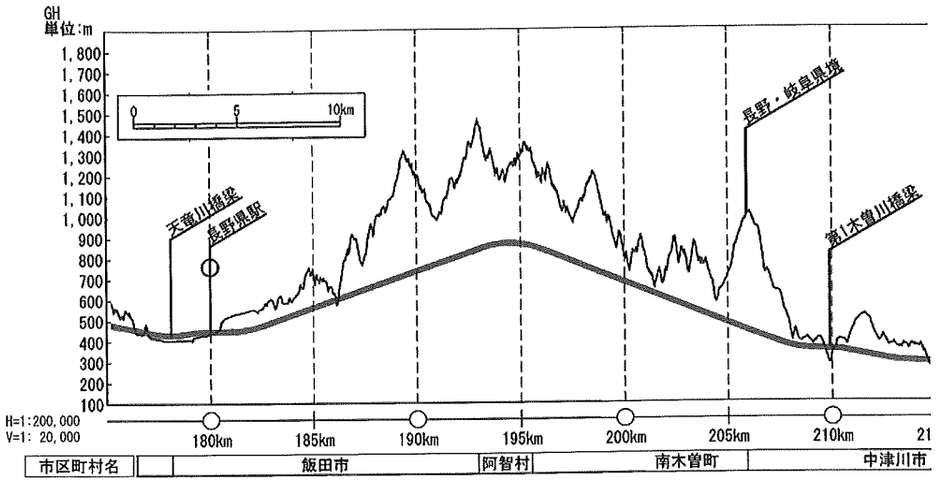
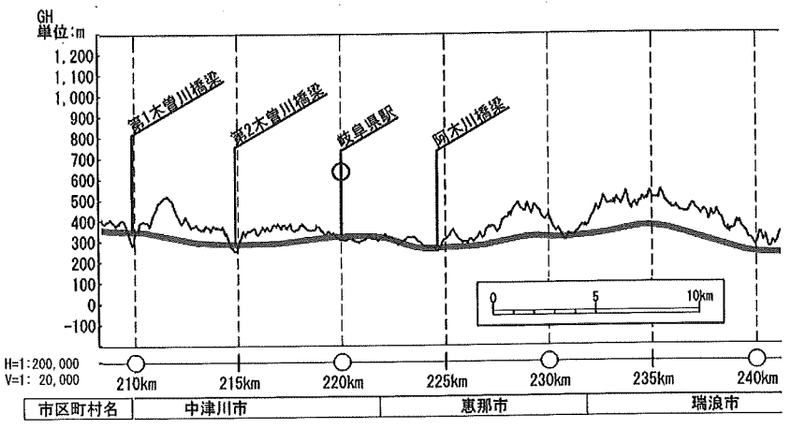


図-13 中央アルプスの縦断線形



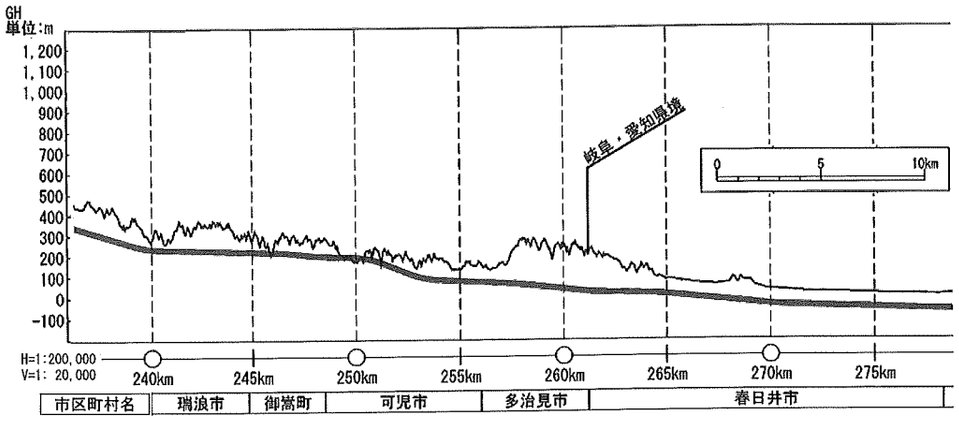


図-14 岐阜県から愛知県にかけた丘陵部の縦断線形

5-8 岐阜県から愛知県にかけた丘陵部

木曽川から岐阜県駅までの間では，トンネルが2本，岐阜県駅の西側においては，阿木川から恵那市武並までと，そこから御嵩町押山川まで，押山川から可児市大萱地区まで，東海北陸自動車道との交差部付近から愛知県春日井市のシールドトンネル区間までの山岳トンネル区間が続く(図-14)．

地質については，中央アルプス区間と同様，領家帯の新期花崗岩類のほか，濃飛流紋岩類が分布している．土かぶりは最大でも約200m程度である．

6 おわりに

中央新幹線(東京都・名古屋市間)は，現在行っている環境影響評価の手続きを進め，国土交通大臣に対し，工事実施計画の申請を行い，認可ののち着工となる．

中央新幹線(東京都・名古屋市間)のトンネル群は，これまでのわが国におけるトンネル施工実績から見て，難度が高く，都心部においては大深度地下トンネル，山岳トンネルではこれまでにない土かぶりの長大トンネルもある．

大土かぶりの長大山岳トンネルのより確実な施工に向け，従来機器より格段に高い性能を持った高能率ボーリング機器の開発に取組んでいる．大口径ボーリングが高速で精度良く制御できるようになれば，切羽前方の地質情報によりトンネル施工の長期的な見通しを得ることができるとともに，高圧，大量の湧水を事前にできるだけ抜くことで，切羽の安定した掘削が可能になる．

中央新幹線のトンネル施工計画の策定にあたっては，計測評価や施工方法に関する最新技術を用いて，環境への影響を極力低減し，安全性と経済性を追求したいと考えている．

参考文献

1) 東海旅客鉄道：中央新幹線(東京都・名古屋市間)環境影響評価準備書，2013.9.
2) 二村亨・梅村哲男・萩原博之・生森敏：先進ボーリング技術のブレークスルーを目指して，長尺・高速掘進・孔曲がり制御などの技術開発，トンネルと地下，Vol.41，No.8，2010.8.

『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．

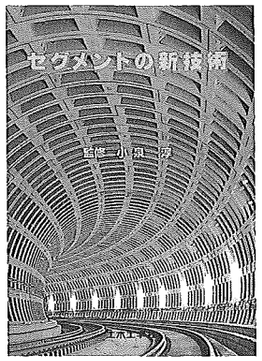
(注：「現場だより」の投稿は受付けしておりません)

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)

土木情報 No.493 今月の主な入札結果

（5月10日～6月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
関東地整	圏央道真瀬地区函渠他	岩崎工業	108
北陸地整	H26地下横断歩道等補修	分家工業	112.4
近畿地整	八鹿日高道路久斗T	大林組	3,225.17
〃	〃　馬瀬T	五洋建設	3,135.49
東日本旅客鉄道	東京駅丸の内地下施設新設他	大林組	9,280
東日本高速道路	上信越道天神堂T	戸田建設	3,750
埼玉県	R140道路改築（３号T（仮称））	ユーディケー・山口JV	397.3
千葉県	小倉地先Ｉ期送水管布設替（その２）	JFEエンジニアリング	239.6
〃	市川地区外かん関連第４号北船橋～妙典線φ1350㎜布設替	クボタパイプテック	125
〃	県単災害防止（松丘隧道・覆工）	五洋建設	199.8
都・水道局	東大和市蔵原１丁目地内から同市桜が丘３丁目地先間送水管（2000ミリ）用トンネル築造及びトンネル内配管	熊谷・ユーディケー・二友JV	3,250.7
都・下水道局	千代田区永田町１丁目，霞が関２丁目付近再構築その２	村本建設	307
水戸市	国補公下渡里第１雨水幹線（３工区）	東洋・常磐JV	134
〃	国補まち交赤道都計道３・３・30号線（堀１工区）箱型函渠設置及び沢渡川護岸	昭和・綿正JV	196
土浦市	国補公下第10号，神立菅谷排水区公下（雨水）	日東エンジニアリング	239.5
浦安市	東野地区雨水貯留施設設置	鹿野建設	217.7
東久留米市	H26～27第４処理分区管渠築造	浅沼組	262.26
西東京市	白子川上流６号雨水幹線築造	飛島建設	227
上越市	公雨補26-48-15号御殿山雨水幹線84	加賀田・田中JV	245.5
津市	山口山本線道路改良（トンネル）	村本・藤田JV	754.5
岩国市	公下一文字１号汚水幹線管きょ	フジタ・太昭JV	1,174.21



セグメントの新技術

監修　小泉　淳

Ｂ５判　132頁　本体価格 2,000円　〒300円

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

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

研　究

全断面早期閉合の施工管理手法についての一提案

（一財）日本みち研究所研究理事　角湯克典
（一社）近畿建設協会技術管理部　明石健
西松建設（株）関東土木支社土木計画部計画課副課長　鬼頭夏樹
西松建設（株）土木設計部設計課担当課長　大谷達彦

1 はじめに

近年，山岳トンネル掘削時の変形抑制を目的として，補助ベンチ付き全断面掘削工法による早期閉合（以降，「全断面早期閉合」と称す）の適用事例が増加している．この施工法は，切羽から近い位置でインバート部に吹付けコンクリートや，鋼製インバートストラットを施工し（以降，本設インバート前に施工するインバートを「一次インバート」と称す），早期にトンネル断面をリング状に閉合する工法であり，トンネルの変形や沈下を抑制することができる（**写真-1**）．これまでの全断面早期閉合の施工実績を整理すると，その適用目的は以下の３つに分類される．

① 土かぶりが大きい不良地山における変形抑制[1),2)]

② 都市部の小土かぶりトンネルにおける周辺構造物への影響抑制[3),4)]

③ 坑口部の地すべり抑制[5),6)]

このような状況のなか，合理的に全断面早期閉合を適用するため，その効果やメカニズムを解明する研究がなされている[7),8)]．著者らも，実施工データを用いて，全断面早期閉合の効果について分析を行ってきた[1)]．

しかし，既往の文献において，坑内の計測・観察にもとづく全断面早期閉合の施工管理手法を具体的にまとめたものは少ない．そこで本稿では，２車線道路トンネルの施工実例（七尾トンネル）にもとづいて，全断面早期閉合の施工管理手法について検討した．本稿で対象とするのは「土かぶりが大きい不良地山における変形抑制」であり，前述した全断面早期閉合の適用理由の①に該当するものである．

本稿では，まず，全断面早期閉合の施工中における管理項目について述べる．その後，重要な管理項目である最終変位量について，管理基準値の設定の考え方を整理する．それに引続き，早期に最終変位量を予測するために，初期変位速度の効果的な活用方法について見解を述べる．最後に，これらの管理基準値にもとづいた施工管理手法を提案する．

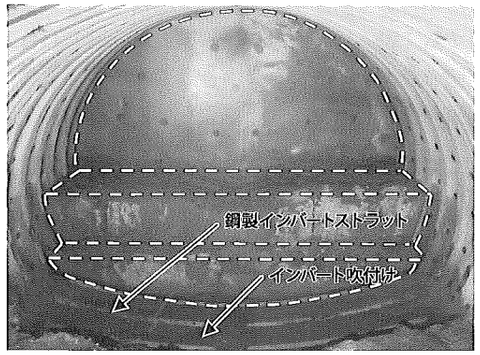


写真-1　全断面早期閉合の切羽状況

2 全断面早期閉合の施工管理項目

表-1に，筆者らが事例研究[1]にもとづいて提案する全断面早期閉合の施工管理項目を示す．山岳トンネルでは，一般的に，坑内変位計測によって地山と支保工の安定性を確認しながら施工を行う．そのため，坑内変位にかかわる管理基準値を適切に設定することが重要である．

このうち，最終変位量がもっとも重要な管理項目となる．しかし，最終変位量の場合，切羽通過後に直ちに地山や支保工の安定性を確認することは難しいため，初期変位速度から最終変位量を予測することが有効な手段となる．そこで，最終変位量の管理基準値に対応する初期変位速度を設定し，それを全断面早期閉合の管理基準値として活用する．表-1のうち，切羽評価点(切羽観察)は，上記の変位データのクロスチェック項目になる．

表-1 全断面早期閉合の施工管理項目

管理項目	目的
最終変位量	地山および支保工の安定性を把握するための重要管理項目である．
切羽通過後の初期変位速度	掘削直後の計測値から最終変位量を予測する．
一次閉合後の初期変位速度	一次インバートの安定性を迅速に把握する．
切羽評価点	肉眼により地質を視認する．上記変位データのクロスチェック項目となる．

3 最終変位量の管理基準値

3-1 実施工でみられた課題

最終変位量の管理基準値の代表的な設定方法には，以下のものがある[9]．

① 過去の類似事例や試験区間の実績にもとづいて定める方法
② FEM解析結果などにより定める方法
③ 限界ひずみ法により定める方法
④ せん断指数およびせん断ひずみにより定める方法
⑤ 最終変位予測により定める方法
⑥ 近接構造物の保守基準などから定める方法
⑦ ①～⑥を組み合わせて使用する方法

七尾トンネルにおいては，「③限界ひずみ法により定める方法」にもとづいて最終変位量の管理基準値を設定した．そして，施工を停止して抜本的な対策が必要となる「管理レベルⅢ」の管理基準値を天端沈下40㎜，内空変位80㎜として，施工管理を行った．

その結果，全断面早期閉合区間において，管理レベルⅢ以下でも，吹付けコンクリートにひび割れが発生するケースが生じた．そのひび割れの発生状況を**図-1**に示す．この図のように，おおよそ，天端沈下30㎜以上，もしくは，内空変位60㎜以上を境にして，アーチ部の吹付けコンクリートにひび割れが発生した．

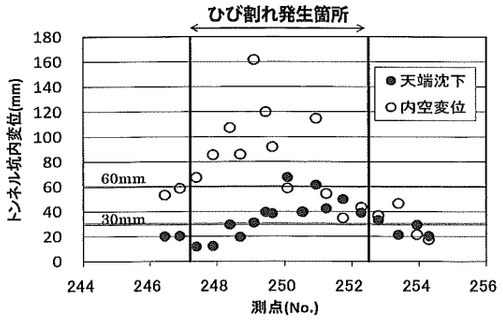


図-1 吹付けコンクリートのひび割れ発生箇所(七尾トンネル)

これは，吹付けコンクリートにひび割れが発生しても，その時点では地山の安定は損なわれていない(地山が限界ひずみに達していない)ことを示している．地山の強度が小さいほど，限界ひずみの値は大きな値になる傾向がある[10]．全断面早期閉合が必要となる脆弱な地山では，地山の限界ひずみよりも，吹付けコンクリートにひび割れが発生するひずみの方が小さくなるものと考える．このことから，全断面早期閉合は，吹付けコンクリートにひび割れが発生したときに迅速に対応すれば，地山の安定を損なわず，かつ早期に地山のゆるみを抑制できる優れた掘削方法であると言える．これは，全断面早期閉合の大きな長所の1つである．このことから，全断面早期閉合により適切に施工管理し，地山を健全な状態に維持することによって，トンネル供用開始後の長期的な変状リスクについても低減させることができると考える．

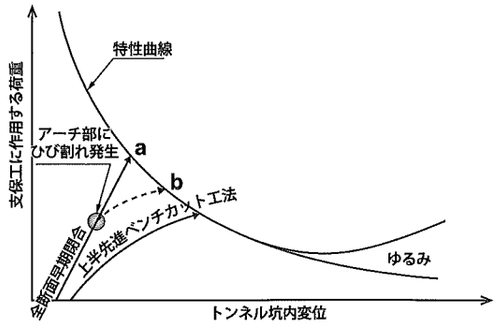


図-2 アーチ部のひび割れ発生にかかわる概念図

つぎに，**図-2**の地山特性曲線を用いて，吹付けコンクリートのひび割れについて考察をする．全断面早期閉合適用時には，支保工が大きな荷重を負担することによって，トンネル坑内変位を抑制することができる(図-2のa)．しかし，ひび割れが発生すると，支保工が負担できる荷重が減少し，支保工の剛性も低下するため，トンネル坑内変位は増加し，地山のゆるみが発生しやすい状態になる(図-2のb)．

したがって，本来の全断面早期閉合の変形抑制効果を十分に発揮させるためには，支保工を健全な状態に維持することが重要である．

3-2 最終変位量の管理基準値についての一提案

以上より，全断面早期閉合では，支保工を健全な状態に維持することによって，地山の安定を確保することに加え，確実に変位抑制効果を発揮させることができると考える．そのために，地山の安定性に加えて，支保工の安定性も考慮して，管理基準値を設定することが必要である．

図-3に，全断面早期閉合の最終変位量の管理基準値設定の考え方を示す．フローの中ほどに「管理基準値(δ_c)の設定」があるが，ここで，地山の安定性を考慮して算出した値と，支保工の安定性から算出した値を比較する．

このとき，実務においては，支保工の安定を考慮した管理基準値の設定方法が問題となる．この設定方法として，前述した，天端沈下30㎜以上，もしくは，内空変位60㎜以上となったときに吹付けコンクリートにひび割れが発生した施工データが参考になる．これは，1つの施工実績から得られた値ではあるが，実務において，2車線道路程度のトンネルの管理基準値を設定する際に，目安値になると考える．

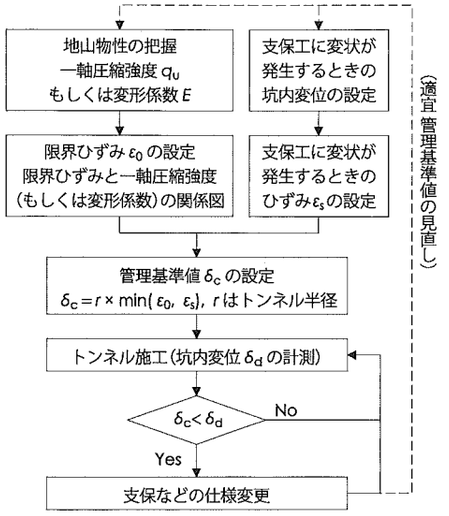


図-3 最終変位量の管理基準値設定の考え方

4 初期変位速度の管理基準値

4-1 全断面早期閉合時の初期変位速度

4-1-1 初期変位速度と地山状況の関係

七尾トンネル全線における初期変位速度と切羽評価点のデータを**図-4**に示す．この図では，計測開始後1日(24時間)の計測値を初期変位速度とした．これより，全断面早期閉合区間や変状区間では，初期変位速度が非常に大きいことがわかる．また，初期変位速度と切羽評価点は一方が増えると他方が減る関係になっていることがわかる．

つぎに，全断面早期閉合区間と，その前後約30mにおける比較的変位が大きな計測点の初期変位速度と切羽評価点の関係を**図-5**に示す．このうち，全断面早期閉合区間のデータ(丸で囲んだデータ)に限定すると，初期変位速度と切羽評価点の間に明瞭な関係は認められない．これは，全断面早期閉合区間での切羽評価点は全体的に小さな値であり，振れ幅が小さいため，初期変位速度との関係が把握できにくいものと考える．

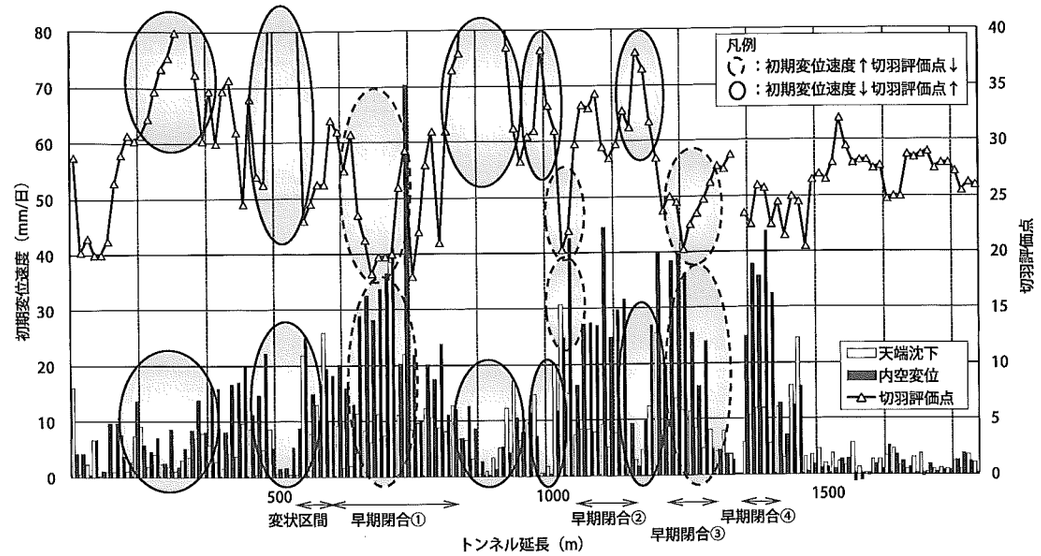


図-4　トンネル全線の初期変位速度と切羽評価点(七尾トンネル)

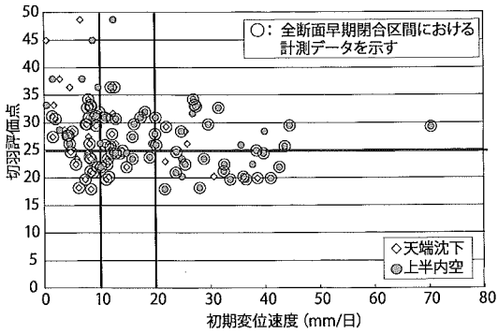


図-5　初期変位速度と切羽評価点の関係(七尾トンネル)

4-1-2　初期変位速度と最終変位量の関係

当該トンネルにおける初期変位速度と最終変位量の関係を図-6, 7に示す．これらのデータは，図-5と同様に，全断面早期閉合区間と，その前後約30mにおける計測データである．まず，全断面早期閉合区間と上半先進ベンカット工法区間のデータを比較すると，全断面早期閉合区間の回帰直線は上半先進ベンチカット工法区間に比べて傾きがゆるやかになっていることがわかる．これは，同じ初期変位速度であれば，全断面早期閉合を適用することによって，最終変位量が小さくなる可能性があることを示している．

つぎに，全断面早期閉合区間の天端沈下(図-6)と内空変位(図-7)のそれぞれの回帰直線を比較すると，内空変位の回帰直線の傾きがよりゆるやかになっており，上半先進ベンチカット工法のデータと比べてその差がはっきりしている．全断面早期閉合において，初期変位速度に対する最終変位の低減効果は，内空変位の方が大きい可能性がある．

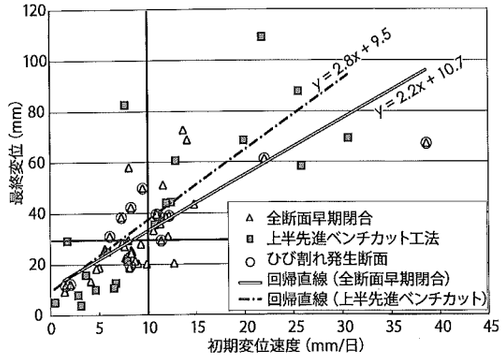


図-6　天端沈下の初期変位速度と最終変位量の関係(七尾トンネル)

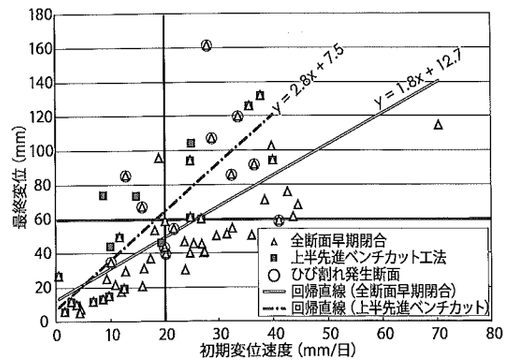


図-7　内空変位の初期変位速度と最終変位量の関係(七尾トンネル)

また，全断面早期閉合区間において，吹付けコンクリートにひび割れが発生した箇所のデータを図-6および図-7にプロットした(丸で囲んだデータ)．

その結果，それらの多くが回帰直線の左上側に分布していることがわかった．すなわち，吹付けコンクリートにひび割れが発生することによって，初期変位速度に対する最終変位量の低減効果が小さくなることがわかった．このことからも，吹付けコンクリートのひび割れの発生を抑制することが，トンネル変位の抑制，地山のゆるみの抑制につながることがわかる．

4-2　初期変位速度の管理基準値についての一提案

七尾トンネルの施工実績より，天端沈下10㎜/日，内空変位20㎜/日を初期変位速度の管理基準値の目安値として提案する．実施工においては，全断面早期閉合開始時に，まず，この目安値(天端沈下10㎜/日，内空変位20㎜/日)を参考にして，管理基準値を設定する．そして，施工開始後に，施工実績をフィードバックして，継続的に管理基準値を見直すことを提案する．また，初期変位速度を用いた施工管理手法として，たとえば，図-6, 7のような，横軸が初期変位速度，縦軸が最終変位量とした管理図を作成することが考えられる．この管理図に計測データをプロットして，初期変位速度，もしくは最終変位量が管理基準値を超えたときには，支保工のランクアップを行う．

この管理図は，管理基準値の見直しにも活用することができる．坑内変位の計測値が，管理基準値以下であるにもかかわらず支保工に変状が現れたときには，管理基準値を小さな値に見直す必要があると判断することができる．

4-3　一次閉合後の初期変位速度の活用

七尾トンネルの実績では，一次インバートを効率的に施工するために，高強度吹付けコンクリートを採用して，鋼製インバートストラットを設置しない区間を設けた．その結果，「インバート吹付け(高強度吹付けσ_{ck}=36N/㎟)のみで安定を確保できる場合」と，「インバート吹付けに加えて鋼製インバートストラットが必要となる場合」があることが確認できた．

鋼製インバートストラットは，吹付けコンクリートのような初期強度発現のための時間が不要であり，設置と同時に効果を発揮する．しかし，実施工において，この両者の施工性については，大きな差異がある．効率的な施工を行うためには，鋼製インバートストラットを設置しない構造とすることが理想的である．そのためには，鋼製インバートストラットの要否を適切に判断することが重要であり，そのために，一次閉合後の初期変位速度が活用できると考えている．

図-8は，七尾トンネルでの鋼製インバートストラット未設置区間における一次閉合後の初期変位速度の値である．この図中に，インバート吹付けにひび割れが発生し，変位を収束させるための追加対策工が必要となった箇所を示す．この図のように，一次閉合後の初期変位速度5㎜/日以上を目安として，追加対策工が必要となった．

このインバート吹付けのひび割れは，吹付け後すぐには確認されず，切羽がある程度離れたあと

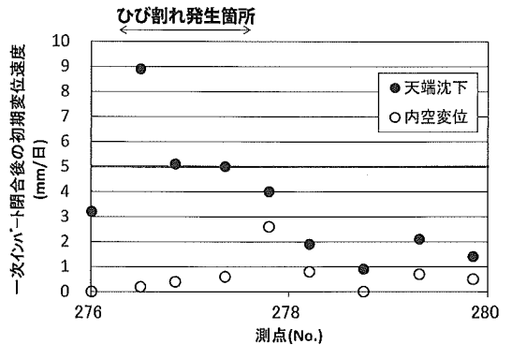


図-8　インバート吹付けのひび割れ発生箇所(七尾トンネル)

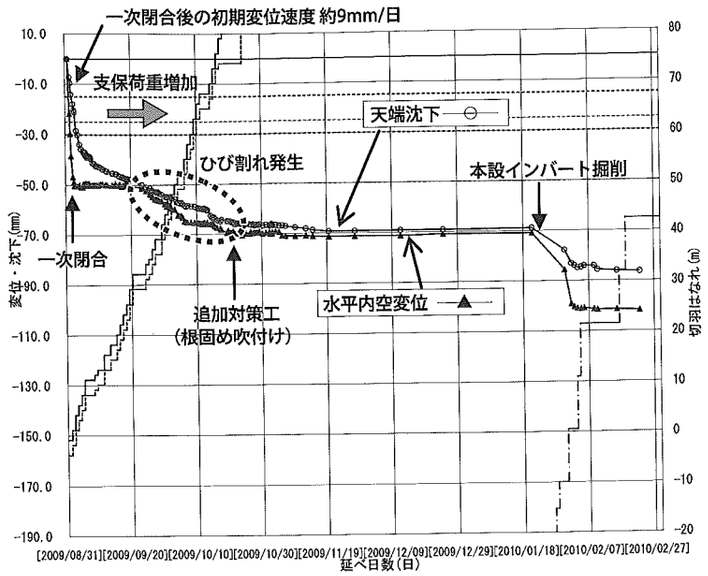


図-9 坑内変位データ(七尾トンネル：No.276＋10)

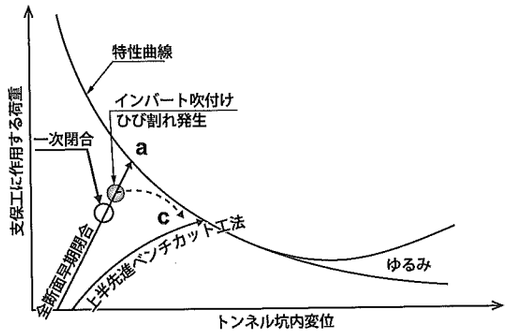


図-10 インバート吹付けのひび割れ発生にかかわる概念図

に発生している．また，インバート吹付けのひび割れは，追加対策が必要となる大きな変状をもたらすとともに，本設インバート掘削時にも再度変状を引き起こすといった特徴があった．この事例を**図-9**に示すとともに，変位発生のメカニズムについて，**図-10**の地山特性曲線を用いて考察をする．

一次インバート閉合後，高強度吹付けコンクリートが効果を発揮して変位は収束する傾向を示した．しかし，トンネル切羽の進行に伴い支保に作用する荷重が増加して，インバート吹付けにひび割れが発生したものと推定する．その結果，図-10においては，cの方向に移行して，坑内変位は収束傾向を示さなくなったものと考える．

したがって，全断面早期閉合の変形抑制効果を十分に発揮させるためには，インバート吹付けにひび割れを発生させずに健全な状態に維持することが重要である．そのために，一次閉合後の初期変位速度に着目し，管理基準値を超過した場合には，迅速に鋼製インバートストラットを設置するべきであると考える．2車線道路程度の管理基準値として，七尾トンネルの実績を参考にして，天端沈下，内空変位のいずれについても，5㎜/日を目安値として鋼製インバートストラットを設置することを提案する．

5 全断面早期閉合の施工管理手法の提案

これまでに，全断面早期閉合適用時の「最終変位量」「切羽通過後の初期変位速度」「一次閉合後の初期変位速度」の管理基準値の目安を提案した．本章では，施工管理手法を提案する．

実施工では，全断面早期閉合の管理基準値として，地山状況が悪化したときのグレードアップ基準と，地山状況が良化したときのグレードダウン基準が必要となる．このうち，2車線道路程度のグレードアップ基準は，これまでに述べた検討結果をまとめた**表-2**が参考になると考える．また，グレードダウン基準は，安全側に，グレードアップ基準より小さな値に設定することを検討するべきであると考える．七尾トンネルでは，最終変位量に関するグレードダウン基準については，グレードアップ基準の60%程度の値とした[1)]．

トンネル掘削開始後，計測変位が管理基準値を超過すると判断した場合には，迅速に全断面早期閉合の仕様をグレードアップする．このときのグレードアップの方法として，**表-3**に七尾トンネルの例を参考として示す．七尾トンネルでは，施工性を考慮して，高強度吹付けコンクリートを優先して採用した．しかし，地山条件によっては，鋼製インバートストラットが必要不可欠になるため，その要否を判断するために，一次閉合後の初期変位速度を指標とした．また，この表には，地山状況が急激に悪化した緊急時のグレードアップ方法も示した(破線の矢印)．緊急時には，閉合距離を短縮すると同時に，支保の耐力も向上させる必要がある．反対に，地山状況が良化してグレードダウンの管理基準値以下に収まると判断した場合には，慎重にグレードダウンする．たとえば，複数の計測点が連続してグレードダウンの基準値以下となった場合にグレードダウンをするなどの計画を立てるべきである．

これらの管理基準値は，地山条件，施工条件に応じて，適切な値を設定することが重要であり，トンネル掘削実績をフィードバックしながら，継続して見直すことが必要である．また，グレードアップ，グレードダウンを判断する場合には，最終変位量，切羽通過後の初期変位速度，一次閉合後の初期変位速度に加えて，表-1に示した「切羽評価点(切羽観察)」も考慮して，総合的な判断をすることが必要である．さらに迅速に地山状況の変化に対応するためには，切羽前方探査も有効であると考える．

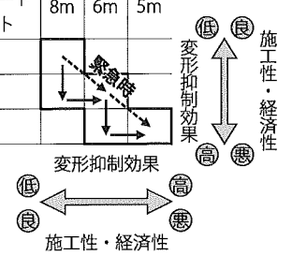
表-2 全断面早期閉合適用時の管理基準値
(グレードアップ基準の目安)

項目	天端沈下	水平内空変位
最終変位量	30㎜	60㎜
切羽通過後の初期変位速度	10㎜/日	20㎜/日
一次閉合後の初期変位速度	5㎜/日	5㎜/日

※この表は，地山悪化時における全断面早期閉合の仕様のグレードアップ基準に対する目安を示す．グレードダウン基準は，グレードアップ基準より小さな値に設定する．
※一次閉合後の初期変位速度は，鋼製インバートストラットの要否の判断基準とする．

表-3 七尾トンネルのグレードアップの例

早期閉合のグレード(支保)		閉合距離		
吹付け(t=250mm)	鋼製インバートストラット	8m	6m	5m
18N/mm²	—			
36N/mm²	—			
36N/mm²	H-200			



6 おわりに

本稿では，全断面早期閉合を適用したときの施工管理手法について検討した．

まず，施工中における全断面早期閉合の管理項目をまとめた．そして，とくに重要な管理項目である最終変位量に関する管理基準値について検討を行った．その結果，全断面早期閉合では，変位抑制効果を確実に発揮させるために，トンネル支保工を健全な状態に維持することが重要であるという知見を得た．そして，地山およびトンネル支保工の両方の安定性を考慮して，最終変位量の管理基準値を設定することを提案した．

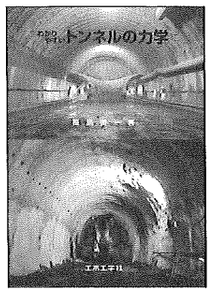
また，施工時に迅速な対応を行うためには，初期変位速度を積極的に活用することが効果的である．そこで，初期変位速度に関する管理基準値について検討を行い，初期変位速度の管理基準値の目安値を示した．

最後に，これらの管理基準値を用いた施工管理手法を提案した．そして，グレードアップおよびグレードダウン基準の目安を示し，グレードアップが必要となった場合のグレードアップ方法について一例を示した．今後，閉合距離を短縮した際のトンネルに作用する荷重を確認して，より効果的なグレードアップ方法を検討することが必要であると考えている．全断面早期閉合の施工管理手法は，安全性と経済性を考慮して検討する必要がある．今後も，施工実績を蓄積することによって，合理的な全断面早期閉合の施工管理手法を検討していくつもりである．

本稿を取りまとめるにあたり，助言をいただきました進士正人・山口大学教授には，心より感謝いたします．

参　考　文　献

1) 角湯克典・柳川磨彦・鬼頭夏樹・大谷達彦：地山状況の変化に対応し全断面早期閉合の仕様を設定，トンネルと地下，Vol.42，No.4，pp.21–32，2011.4.
2) 大津敏郎・広瀬雅明・澤田和也・徳留修：衝上断層の影響を受けた押し出し性地山における切羽対策，トンネルと地下，Vol.38，No.4，pp.19–27，2007.4.
3) 多田浩治・津野和宏・石丸潔・亀谷英樹：構造物直下の双設トンネルを早期閉合により施工，トンネルと地下，Vol.43，No.7，pp.23–33，2012.7.
4) 照屋正史・高良哲治・駒谷恒雄・森崎泰隆：民家直下で超近接トンネルを全断面早期閉合により施工，トンネルと地下，Vol.38，No.7，pp.17–24，2007.7.
5) 平野宏幸・臼田芳彦・清水則一・神澤幸治・宮田和：長尺鏡ボルトと早期断面閉合を用いた地すべり地直下のトンネル施工，第12回岩の力学国内シンポジウム　併催：第29回西日本岩盤工学シンポジウム，pp.903–907，2008.1.
6) 中野清人・佐藤論一・本藤敦：蛇紋岩地すべり脆弱部を早期閉合で掘削，トンネルと地下，Vol.41，No.3，pp.7–16，20010.3.
7) 真下英人・水川雅之・日下敦：トンネル早期閉合効果に関する解析手法，トンネル工学報告集，Vol.17，pp.35–41，2007.11.
8) 小川澄・楠本太：早期閉合の効果を施工事例および数値解析より検討，トンネルと地下，Vol.43，No.2，pp.51–59，2012.2.
9) 土木学会：2006年制定　トンネル標準示方書　山岳工法・同解説，p.263，2006.7.
10) 櫻井春輔：トンネル工事における変位計測結果の評価法，土木学会論文集，Vol.317，pp.93–100，1982.1.



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

連載講座

都市トンネルのための地盤改良工法（2）

—薬液注入工法—

「都市トンネルのための地盤改良工法」連載講座小委員会

① はじめに

薬液注入工法とは，固化時間（ゲルタイム）を調整できる材料（注入材）を土の間隙に注入して地盤の強度や止水性の向上を図る地盤改良工法である．例えば，薬液注入工法の一つである二重管ストレーナ工法では，図-1のように小型のボーリングマシンで地盤を削孔し，ロッド先端に装備した注入用の吐出口から注入を行う．

施工設備が小型で作業の方向性に自由度が高いことから，トンネルや地下工事においては必須な地盤改良工法であり，日本では，1900年初頭から切羽安定や近接施工などの補助工法として膨大な実績を挙げており[1]，近年では，土木工事全般で液状化対策などに長期にわたり利用される事例も増加している[2]．

そのため，技術開発や基準・マニュアル類の整備・改訂[3)~6)]も数多く進められ，ここ十数年は多様化の一途をたどっているように感じられる．

そこで，本講座では，薬液注入工法の基礎的な事項を踏まえつつ，このような都市トンネルに関係する近年の動向についても解説する．

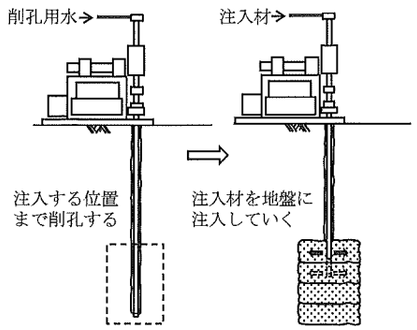


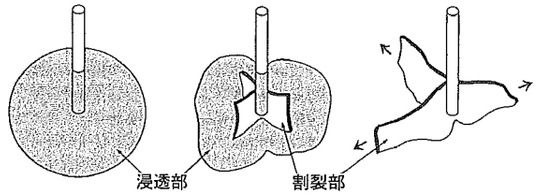
図-1　薬液注入工法の模式図（二重管ストレーナ工法）

② 薬液注入工法の基本

薬液注入工法では，土の間隙に充填した際の注入材の分布（注入形態）によって強度発現機構や止水性，耐久性などが大きく異なる．したがって，トンネルや地下工事のみならず，土木工事全般に言えることであるが，注入の目的に応じた注入形態を考慮した計画，設計，施工を行う必要がある．

（1） 浸透注入（図-2a））

土粒子の配列を乱さない小さい注入圧力で土の間隙に注入材を浸透させる注入形態であり，土粒子間の粘着力を高めることで強度が増加し，難透水性の地盤とみなせる．もっとも理想的な注入形態とされ，液状化対策ではこの注入形態を想定する場合が多い．この注入形態とするには，砂礫や



a）浸透注入　　b）割裂浸透注入　　c）割裂注入

図-2　注入形態の模式図[3)]

砂質土のように透水性の高い地盤にゲルタイムが長い注入材を低圧で注入する必要がある．

（2）　割裂注入(図-2c))

地盤に局部せん断破壊を生じさせ，その割裂脈に注入材を充填する注入形態であり，土の圧密作用と脈状に固結した注入材単独(ホモゲル)で強度増加を図ることとなる．局所的な充填のため止水性は低く，周辺地盤への影響が生じやすいとされる．主に粘性土のような不透水性の地盤で生じるが，ゲルタイム，注入圧次第では細砂質土や細砂などでも生じる場合がある．

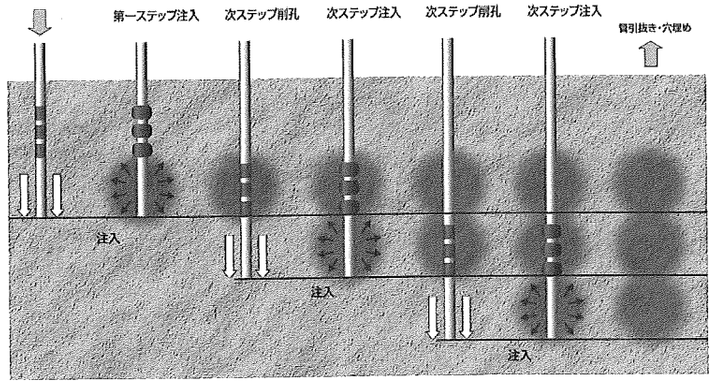


図-3　二重管ストレーナ工法(地山パッカ方式)の注入手順[7]

（3）　割裂浸透注入(図-2b))

浸透注入と割裂注入が混在した状態となる注入形態である．

（4）　境界注入

地層境や構造物と地盤の境界に脆弱部がある場合，その境界面に沿って割裂注入と同様に注入材が板状に広がる注入形態である．

③　薬液注入工法の種類と特徴

3-1　注入方式

注入方式は，おおむね以下の3つに分類できる．

①　二重管ストレーナ工法
②　二重管ダブルパッカ工法
③　単管ロッド工法

都市部の地盤改良工事で利用される注入方式の主流は，二重管ストレーナ工法と二重管ダブルパッカ工法であり[3]，単管ロッド工法は，まれに空洞充塡に利用される．トンネルや地下工事においては，地上からの施工が可能な場合には同様な利用状況であるが，トンネル内や地下の狭隘な場所ではロータリーパーカッションドリルを使用する標準的な二重管ダブルパッカ工法は利用できず，二重管ストレーナ工法や他の工法の利用が多い．

（1）　二重管ストレーナ工法

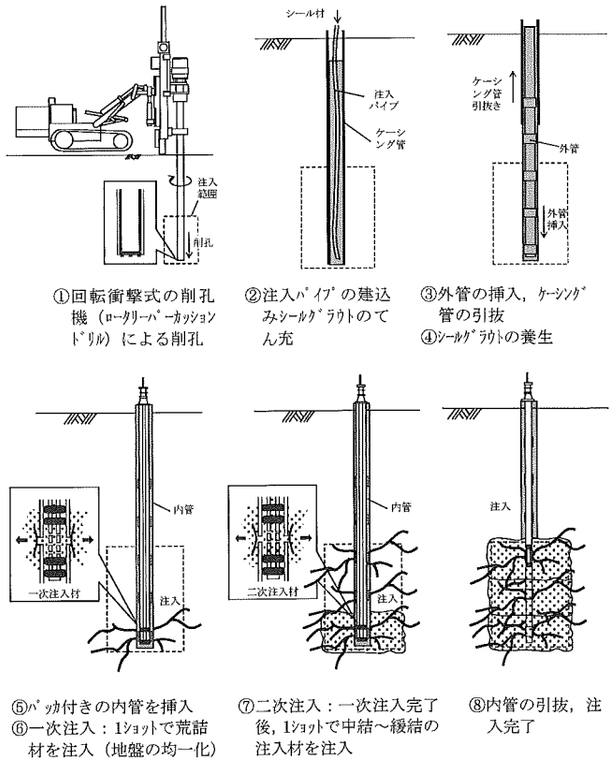
図-3に示した工法であり，単相式と複相式に細分される．違いは，同一箇所での注入回数にある．単相式は同一箇所で1回注入するのみであるが，複相式は同一箇所で2種類の注入を行う．複相式の一次注入では，注入材の逸散を防ぐための注入管周囲のシールと間隙への荒詰めを目的として，ゲルタイムの短い注入材を注入する．二次注入では，土の間隙への浸透を目的にゲルタイムの長い注入材を注入する．これにより二次注入材の逸走を低減することができるため，複相式は単相式に比べ注入精度が高い．なお，ロッドは削孔用水と注入材を個別に送液する二重管構造となっているため，この名称で呼ばれている．

さらに，現在は，複相式の一次注入における注入管周囲のシールにパッカを用いる工法も開発されている[7](図-3)．この工法では，注入時にパッカが膨らんだ状態で，注入用のノズルが開き横方向に注入する．パッカを用いることで，注入材料の吐出部の長さを1.0m程度に長くできるので，単位面積あたりの注入材の浸透速度は小さく，浸透性が高いままポンプ吐出量を高く設定できる利点がある．

（2）　二重管ダブルパッカ工法

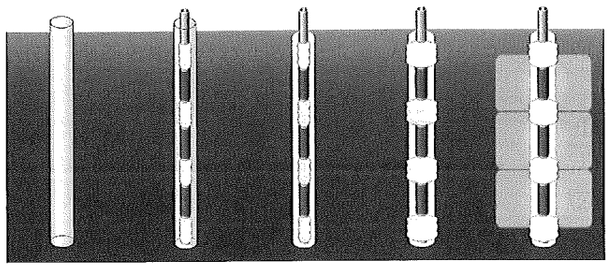
この工法では，**図-4**のように外管をシールグラウトで地盤に固着させた後，ダブルパッカを装着した内管を外管内に挿入して，二重管ストレーナ工法(複相式)と同様に2度の注入(一次注入はLWを使用)を行う．この施工手順を踏むことで，注入管周囲のシールの確実性を二重管ストレーナ工法(複相式)よりも向上させたものである．

また，二重管ストレーナ工法と同様に，現在はシールグラウトを用いずに外管に装着したパッカでシールする工法が開発されている[8](**図-5**)．この工法においても，シールグラウトを使用しないため，注入材料の吐出部の表面積を大きく取ることができ，単位浸透面積あたりの浸透速度は小さく，浸透性が向上するので，浸透性を保ったまま大きな吐出量による急速浸透施工が可能となっている．



①回転衝撃式の削孔機(ロータリーパーカッションドリル)による削孔
②注入パイプの建込みシールグラウトのてん充
③外管の挿入，ケーシング管の引抜
④シールグラウトの養生
⑤パッカ付きの内管を挿入
⑥一次注入：1ショットで荒詰材を注入(地盤の均一化)
⑦二次注入：一次注入完了後，1ショットで中結～緩結の注入材を注入
⑧内管の引抜，注入完了

図-4　二重管ダブルパッカ工法[9](シールグラウト方式)の施工手順



(a)ケーシング削孔　(b)外管挿入　(c)ケーシング引抜　(d)ソイルパッカ形成　(e)注入

図-5　二重管ダブルパッカ工法(地山パッカ方式)の施工手順[9]

（3）　その他の注入方式

その他にも，超多点注入工法や動的注入工法，曲がりボーリングを用いた工法，ステージ注入工法など，用途や使用する注入ポンプや資機材の性能に応じてさまざまな工法が都市トンネルにおける薬液注入では使用されている．

その1つとして，超多点注入工法について紹介する[9](**図-6**)．これは，地盤に建て込まれた多数の注入細管(結束細管)の先端に設置した特殊なノズルから，1ノズルあたり吐出量1～6L/minの低い速度で最大32か所を同時に注入する工法である．多点を同時に注入するため，低い注入速度，注入圧力でも所定の注入量を他工法と同じ施工時間で注入することが可能で，周辺地盤への影響が小さいとされている．なお，低い注入速度のため，二重管ダブルパッカ工法などと比較して，より長いゲルタイムを有する注入材を使用する必要がある．

（4）　注入方式の選定

以上のように，注入施工時のシール方法の違いによって注入精度や使用できる

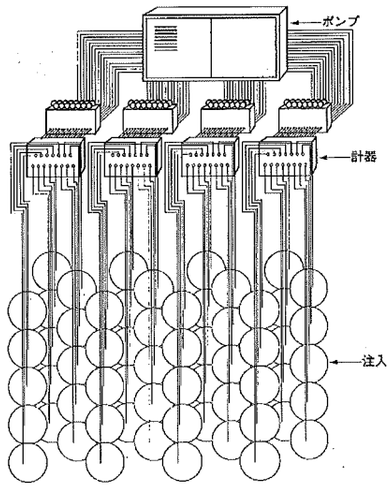


図-6　超多点注入工法の注入イメージ[9]

注入材，削孔方式の対象地盤への適合性などが異なるため，注入方式は，注入の目的や周辺環境への影響，経済性も加味して選定する必要がある．

注入方式については，従来の二重管ストレーナ工法(複相式)，二重管ダブルパッカ工法(シールグラウト方式)の採用実績が多いが[3]，前節で紹介した近年開発されたその他の工法も適用が増加している．これらの注入方式は，近年需要が増加している液状化対策などを目的として開発されたという理由もあるが，注入精度や注入材の浸透性が高いので，都市部のトンネル工事で近接する既設構造物などへの影響を低減する目的で選定されている場合もみられる．

3-2　注入材

日本では，『薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針』(以下，「暫定指針」)[10]により，利用できる注入材は水ガラス溶液型，懸濁液型に限定されている．

(1)　水ガラス溶液型注入材

水ガラスまたは水ガラスから製造されたシリカゾル，シリカコロイドを主材とし，注入材中に固体粒子を含有しない注入材料を溶液型材料という．主材を固化させる反応剤の種類で無機系と有機系に大別され，無機系注入材はアルカリ性と中酸性に細分される．

図-7には，無機系注入材のpHとゲルタイムの関係を示す．一般的には，アルカリ性の注入材はゲルタイムが短く，中酸性の注入材のゲルタイムは短いものから長いものまで調整が可能である．

溶液型材料は，注入材中に固体粒子を含有しないため，地盤への浸透性が懸濁液型よりも一般にすぐれている．**図-8**は，無機系注入材の地盤種別，透水係数に応じた注入形態の変化を示したものである．この図からわかるように，ゲルタイム，注入圧にもよるが，注入対象地盤の透水係数が10^{-5}～10^{-6}m/sのオーダまで浸透注入が可能である．

溶液型材料は，前述のように浸透性にすぐれているので，液状化対策を目的とした薬液注入に広く用いられている．このため，薬液注入により改良された地盤の長期にわたる耐久性の確認が必要である．水ガラス溶液のゲル化に伴う固化にあたっては，シリカの共有結合によって骨格が形成されるが，水ガラスが含有するNaイオンなどがこの共有結合を破壊するため，徐々に注入効果が失わ

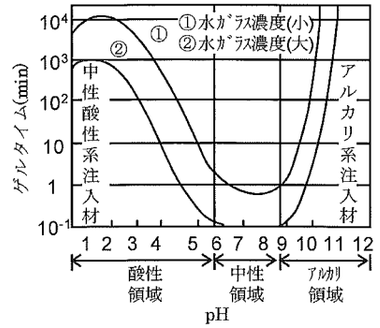


図-7　無機系注入材のpHとゲルタイムの関係[2]

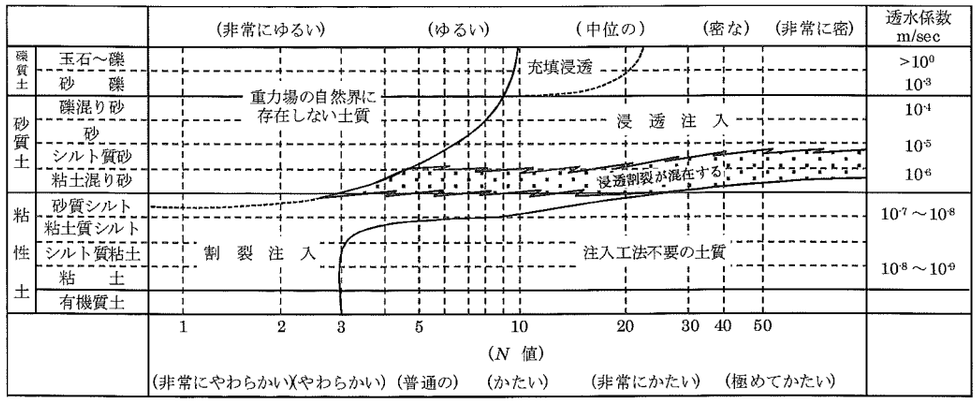


図-8　無機系注入材の注入形態[3]

れることが知られている．一般的な水ガラス濃度のアルカリ系に属する注入材は，数年程度で注入効果が失われるとされている．これに対して，中酸性，有機系注入材では注入後十数年程度までの耐久性は現地試験で確認されている[6]．シリカの共有結合を阻害するNaイオンなどを予め除去した特殊なシリカゾルやシリカコロイドを利用した注入材については，ほぼ劣化がなく，液状化対策に適用された事例が多くみられる[2),4),6)]．なお，中酸性の注入材は，ゲル化に伴う体積収縮量が大きいので，都市部のトンネル工事などで空洞充填を目的として利用する場合には注意が必要となる．

(2)　懸濁液型注入材

懸濁液型注入材は，主としてセメント，ベントナイトと水を攪拌，混合させたものや，セメントと水を混合，攪拌し注入材として用いるものであり，古くから耐久性を有することが知られている[11]．ゲルタイムは長く，強度はセメントとベントナイトの配合量により決定される．都市部のトンネル工事では，二重管ダブルパッカ工法の一次注入材(LW)として利用されるとともに，超微粒子セメントを用いたものは浸透性も比較的よく，長期的な供用を目的とした薬液注入による地盤改良の場合にも適用される．

懸濁液型注入材の浸透性はセメントなどの固体粒子の大きさに左右され，土粒子間に浸透するか否かの判定のために，次式が提案されている[3]．

$$\text{浸透可能：}\frac{D_{15}}{G_{85}}>24,\quad \text{浸透不可能：}\frac{D_{15}}{G_{85}}<11$$

D_{15}：地山土の粒径加積曲線の15%粒径

G_{85}：注入材の粒径加積曲線の85%粒径

(3)　注入材の選定

前述したように，注入方式により利用できる注入材のゲルタイムが異なるため，計画，設計，施工時に想定する注入形態となるように，注入方式と合わせて注入材を選定する必要がある．また，液状化対策を目的とする薬液注入による地盤改良では，注入材の長期的な耐久性を考慮して選定することも必要となる．

④ 設　　計

4-1　注入範囲

都市部のトンネル工事などにおける注入範囲は，改良地盤全体として強度や透水係数が地盤改良の目的を満足するよう，土質力学的な理論計算と別途設定された下限値(最小改良範囲)をもとに決定される．最小改良範囲は，注入深度や本体構造物の寸法のほか，注入施工上で地盤の不均一性や注入精度から未改良部が残る可能性を考慮して，注入孔の配置(**図-9**)を単列配置ではなく，複列配置(正三角形配置または正方形配置)とするのが望ましいなどの理由から設定されている．なお，注入孔の間隔は1～1.5mに設定するのが一般的である．

図-10は掘削土留め工による注入範囲の一例を示したものであり，図中の幅Bは複列配置となる1.5m以上としている．また，近年は適用事例が少なくなっているが，シールドトンネルの発進・到達防護の場合には，**図-11**のようにシールド機長＋αを注入範囲として設定している．このαは，例えば，シールド機長8m程度では1～4mを採用した事例が見られる[4]．

また，液状化対策など長期にわたる供用で，改良地盤外周部の劣化などが懸念される場合には，注入後の長期間にわたる改良体の力学特性の変化を考慮した注入範囲を検討した研究[12),13)]も実施されており，参考にするとよい．

4-2　改良体の物性値

(1)　地盤強化を目的とした地盤改良

地盤強化を目的とした薬液注入による地盤改良の場合には，改良体の粘着力(全応力表示)の増加分を力学的な安定計算に反映するのが一般的である．

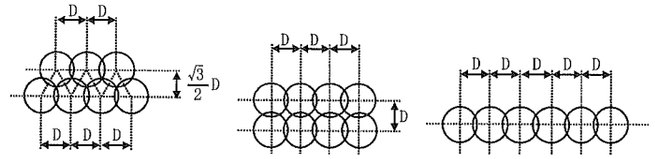


図-9　注入孔の配置[4]

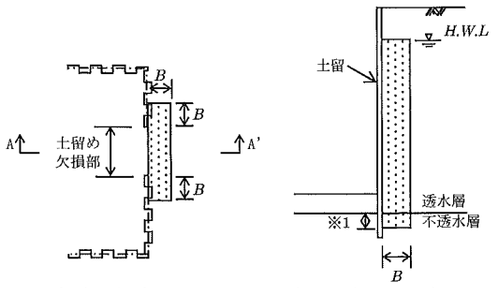
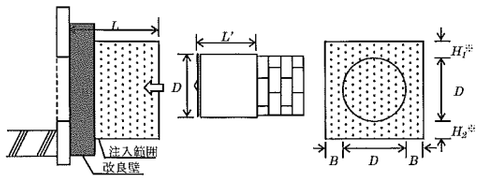


図-10　掘削土留め工の注入範囲の例[4]



L＝シールド機長 $L'+\alpha$
B, H_1, H_2＝1.5m～2.5m 程度

図-11　シールドの注入範囲の例（到達防護）[4]

図-12のように水ガラス濃度25%程度の注入材で浸透固結した部分の粘着力は，40～100(kN/m²)を示すことが多いとされる．なお，水ガラス濃度や反応剤の種類によっては，さらに高強度が得られる注入材もある．

また，近接施工による既設構造物の防護を目的とした薬液注入の影響予測解析では改良体の変形係数，液状化対策を目的とした薬液注入の場合には改良体の液状化強度比の増加率も設計上必要なパラメータとなる．

これらが整理されている基準・マニュアル類は少ないが，例えば，改良体の一軸圧縮強度と変形係数E_{50}の関係としては図-13，また改良体の液状化強度比には図-14のような関係が示されているので参考にするとよい．

（2）　止水を目的とした地盤改良

止水を目的とした薬液注入による地盤改良では，その性能は透水係数で示されることになる．実績によると，浸透固結した改良地盤の透水係数は10^{-7}～10^{-8}m/sの範囲を示すことが多いとされている[5]．

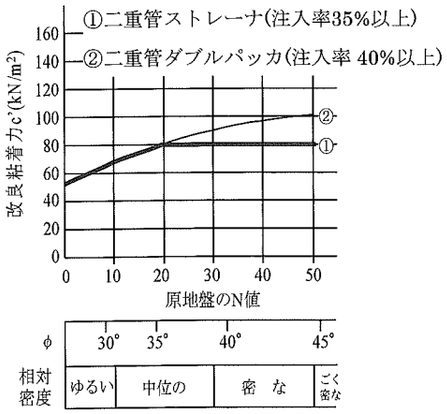


図-12　原地盤のN値と粘着力の関係[3]

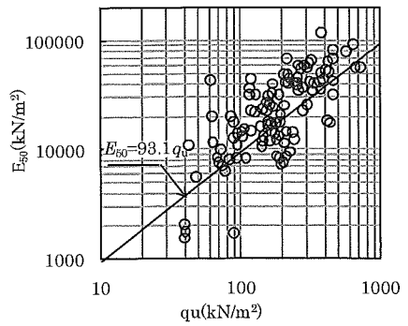


図-13　一軸圧縮強度とE_{50}の関係[4]

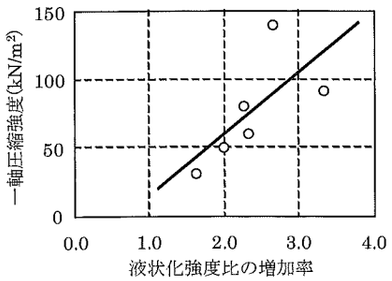


図-14　一軸圧縮強度と液状化強度比の増加率の関係[4]

4-3　近接施工

都市トンネルに関連した薬液注入工法の実施にあたっては，いわゆる近接施工となることが多いので，関連法規に背くことなく，周辺環境や近接構造物への影響を最小限とする必要がある．薬液注入工法を対象に定められた法規・法令などがいくつかあり，例えば，暫定指針[10]では使用できる注入材の種類などが定められる．なお，暫定指針

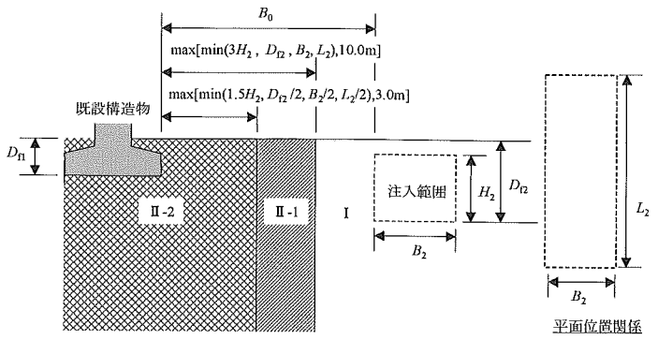


図-15　地盤注入工法の近接程度の区分[14]（直接基礎，杭基礎，ケーソン基礎の場合）

などが引用する水道法なども改訂されているため，これらの改訂状況を把握しておくことが重要である[4]．

注入対象箇所に近接した既設構造物がある場合には，削孔による損傷，注入圧による周辺地盤を介した変位・変形，注入材の逸走，噴出の可能性などの影響を最小限に収めるように検討する必要がある．

例えば，鉄道分野においては，注入範囲および近接構造物の寸法，離隔にもとづく近接程度の判定区分図が示されている[14]．

図-15は，既設構造物が直接基礎の場合である．要注意範囲（Ⅱ-2）は，通常の施工法によると有害な影響が既設構造物に及ぶとされる範囲で，土かぶりや地盤条件にかかわらず，事前の影響予測や対策が必須となっている．

このように有害な影響が及ぶことが想定される場合の影響予測手法としては，割裂注入を想定したジョイント要素を用いた地盤変形予測法[15]や，Maagの理論式から求まる浸透水圧を等価節点外力として作用させる浸透注入を想定した変形予測手法[16]が提案されている．

⑤　限界注入速度試験

薬液注入工法の施工は，地盤の不均一性の影響などを受けやすいため，設計に用いた強度や止水性，注入形態などを，必要により現場注入試験の際に事前に確認することが推奨されている[3]．

薬液注入による地盤改良効果を支配する注入形態を管理する方法に，限界注入速度試験がある．注入圧力は，一般に注入形態が浸透注入から割裂注入に遷移すると低下するので，限界注入速度試験は，この特性を利用して割裂注入に遷移する注入速度（限界注入速度）を求めるものである．

図-16は，限界注入速度試験を実施した場合の注入速度と注入圧力の概念図である．一般に，初期勾配の直線に一致する範囲は浸透注入が主体であり，初期勾配の直線から外れ，限界勾配の直線と交わるまでの範囲は浸透注入から割裂注入への遷移状態，それ以上の範囲は割裂注入が主体になるとされている．

この図の限界勾配とは，初期勾配に係数を乗じて求められる勾配であり，係数を0.3程度とする研究事例が報告されている[17]．

ここで，都市トンネルにおける薬液注入工法の施工で，限界注入速度試験が実施された事例を紹介する[18]．鉄道の線路下横断トンネルで超多点注入工法を施工するにあたり，薬液注入による影響を低減する目的で限界注入速度試験が実施されたものである．

対象工事は1層3径間のボックスカルバートをHEP & JES工法により構築するものであった（図-17）．当該箇所の土層構成は，F.L.から約5m付近までは盛土であり，函体側壁の中間部以深からは玉石混じりの砂礫層を主体とした構成になって

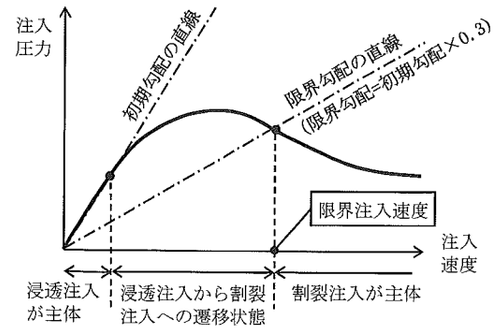


図-16　限界注入速度試験における注入圧力と注入速度の概念図[17]

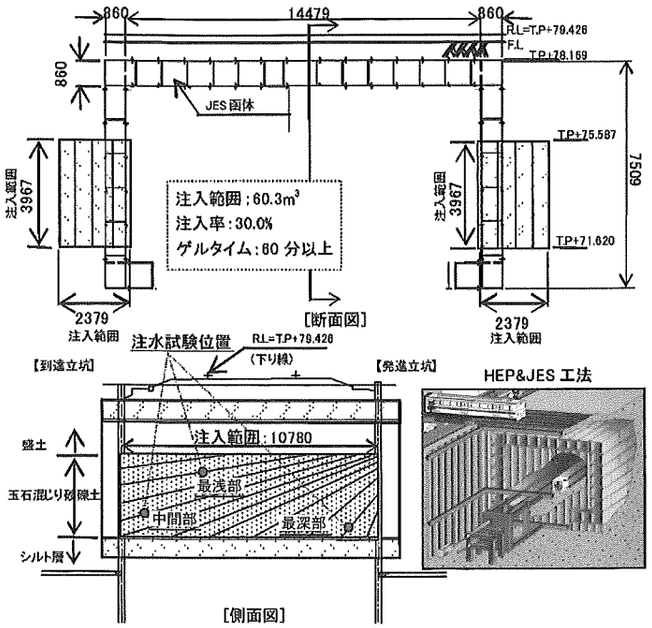


図-17　現場概要[18]

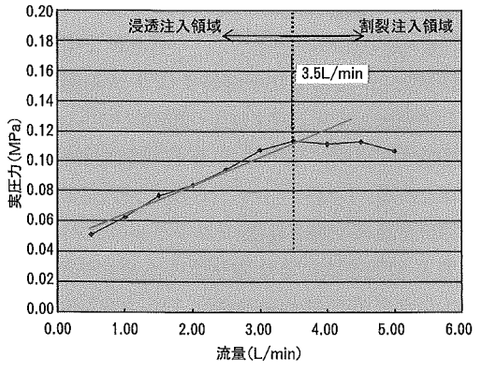


図-18　吐出流量と注入圧力の関係[18]

いる．

エレメント推進時の切羽の自立を図ることを目的として，超多点注入工法を計画し，割裂注入とならないよう，事前に注水試験を実施し，浸透注入形態の注入速度(吐出流量)とそれに対する注入圧の確認を行っている．

当該現場では，最浅部，中間部，最深部の3か所で薬液のかわりに水を注入する注水試験が実施されており，吐出流量は0.5～5.0L/minまでを0.5L/minずつ吐出量を変化させている．**図-18**は最浅部での試験結果であり，吐出流量が3.5L/minのときに吐出流量と圧力の比例関係が成立しなくなる傾向がみられ，中間部，最深部でも3.5L/minにおいて同様な傾向が確認されている．

このことから，当該現場では注入速度は3.5L/min以下を標準値として施工が実施され，問題なく薬液注入が実施された．なお，この事例では注入材の電気伝導度の自動測定装置[19]を配備して，水ガラス濃度を確認する方法も紹介されている．

⑥ 施　工　管　理

薬液注入工法の施工管理では，注入材の使用数量，品質，配合のほか，削孔，注入速度，注入圧力，注入量の管理や地下水の水質，近接構造物の変位・変形などの計測が重要となる．

ここでは，薬液注入工法の近接施工のための施工管理を取りまとめた事例を紹介する[20]．当該現場は，既設開削トンネル直下を薬液注入するものであり(**図-19**)，当初計画では，二重管ストレーナ工法による複相式としていたが，低圧浸透でステップダウン方式での注入が可能なニューマックス工法(3章で述べた地山パッカ方式の二重管ストレーナ工法)に変更し，既設構築への影響をより低減するようにしている．

注入順序は，対象範囲の中央から周辺方向に向かって施工を行い，構築への影響を低減するようにし，注入間隔は1.5m程度としている．また，注入圧は「注入圧＝水圧＋0.1MPa」に設定している．

対象土質はN値50以上のしまった砂質土であり，標準的な注入率は31.5%であるが，構築への影響および重要度率を考慮し，標準注入率に対し90%として28.35%としている．薬液注入による既設構築の挙動を計測した結果，**図-20**のように変位量は－1.0～3.0㎜で一次管理値内に抑えることができている．

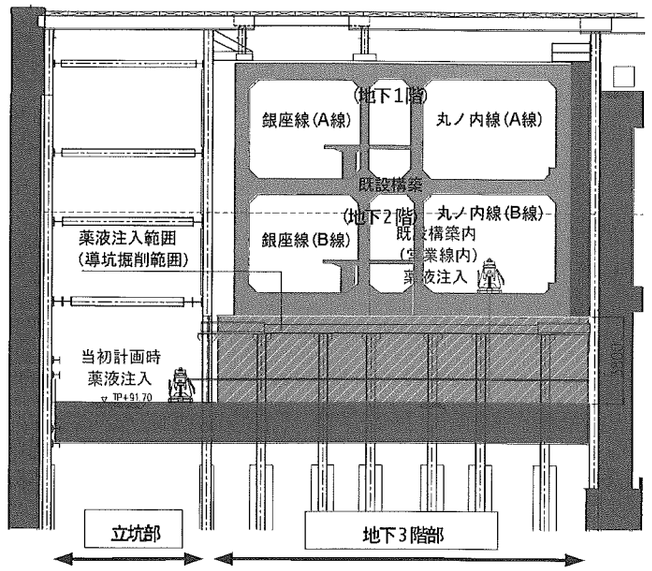


図-19　現場概要[20]

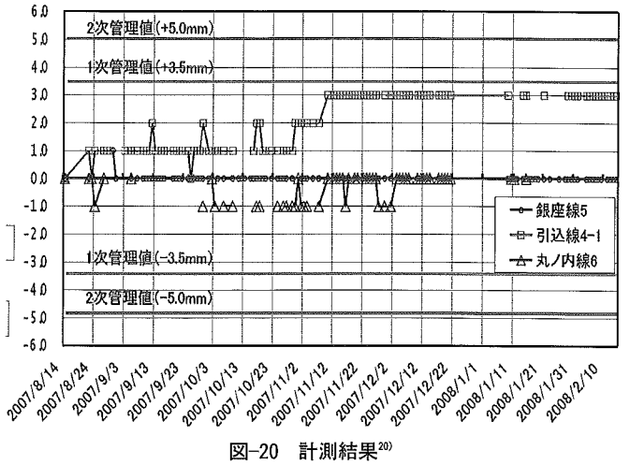


図-20　計測結果[20]

⑦ お　わ　り　に

薬液注入工法は，トンネルと地下工事では古くから仮設を目的として補助的に利用されてきた地盤改良工法であるが，液状化対策などで長期にわたり改良地盤が供用される事例も増加するとともに，技術開発や基準・マニュアル類の整備・改訂も数多く進められ，近年ますます多様化の一途をたどっている．

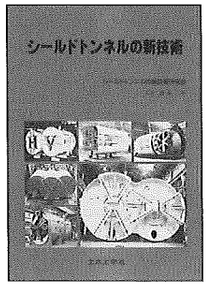
誌面の都合から，文献の紹介に留まっている部分もあるが，薬液注入工法の基礎的な事項を踏まえつつ，これら近年の都市トンネル技術との関係性がわかるよう本稿を取りまとめた．今後も，薬液注入工法は，各種の都市土木工事において利用され続けていくことが想定される．本稿が，都市トンネル工事などで利用される薬液注入工法のより安全かつ合理的な計画，設計，施工を達成するための一助となれば幸いである．

(文責：赤木寛一/早稲田大学・仲山貴司/(公財)鉄道総合技術研究所)

参　考　文　献

1) 草野一人：薬液注入ハンドブック，1983.
2) 米倉亮三・島田俊介・大野康年：恒久グラウト・本設注入工法，薬液注入の耐久性と耐震補強の設計施工，理工図書，2008.
3) 地盤工学会：薬液注入工法の理論・設計・施工，2009.
4) 沿岸開発技術研究センター：浸透固化処理工法技術マニュアル，2010.
5) 鉄道総合技術研究所：注入の設計施工マニュアル，研友社，2011.
6) 日本グラウト協会：耐久グラウト工法施工指針，2012.
7) PneumaX工法研究会：PneumaX工法研究会，カタログ及び技術積算資料.
8) 地盤注入開発機構：恒久グラウト・本設注入協会　エキスパッカ工法，3D・EX工法カタログ.
9) 地盤注入開発機構：恒久グラウト・本設注入協会，超多点注入工法カタログ.
10) 建設省：薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針，建設省官技発160号，1974.7.
11) 青函トンネル注入材料開発研究委員会：青函トンネル注入材開発研究報告書，1975.
12) 加賀宗彦：水ガラス系注入材の安定性と注入固結砂の長期強度の予測，土木学会論文集，Vol.33，No.3，pp.195-205，2000.
13) 仲山貴司・澤田亮・平岡陽・赤木寛一：薬液注入工法で固化した改良体の耐久性評価に関する研究，土木学会論文集C，Vol.69，No.2，pp.162-173，2013.
14) 鉄道総合技術研究所：都市部鉄道構造物の近接施

工対策マニュアル，2007.
15）赤木寛一・小宮一仁・鈴木修一・山崎博文・森麟：軟弱粘性土地盤のシールド工事における二次注入に伴う地盤変形状況と沈下防止効果，土木学会論文集，No.511/Ⅲ-30，pp.13-21，1995.
16）仲山貴司・岡野法之：薬液注入に伴う地盤変形予測法の構築，鉄道総研報告，Vol.27，No.6，pp.19-24，2013.
17）福井義弘・森麟・赤木寛一：薬液の限界注入速度決定の問題点とその改善に関する研究，土木学会論文集，No.658/VI-48，pp.81-92，2000.
18）内藤圭祐・桑原清・有光武：線路下横断工事における超多点注入工法の施工，土木学会第64回年次学術講演会，VI-110，pp.219-220，2009.
19）桑原清・有光武：JR東日本における注入工法の施工・品質管理，基礎工，Vol.36，No.5，2008.4.
20）大石敬司・倉方真司・福迫政隆：地下鉄駅営業線直下への薬液注入工における施工および安全管理について，土木学会第65回年次学術講演会，VI-217，pp.433-434，2010.



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　代表　鈴木　　章

B５判 285頁　本体価格4,660円　〒350円

本書は，最近のシールドトンネルの新技術を実務経験者を中心にまとめたものである．本書の特色は，シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性の現況をまとめたうえで，新技術について調査・計画編，設計・施工編とに分けて，その理論と実際についてソフト，ハードにわたり記載している．また，これらのことを実務にすぐさま活用できるように，付録としてセグメントの設計，地盤変位予測解析，施工計画についての計画・設計例も紹介し，実務者をはじめトンネル技術者のニーズに応えた内容となっている．

〔目　次〕 **第一章　概説**　1．シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性○シールド工法の歴史○シールド工法誕生以前のトンネル工法○シールド工法の登場　2．わが国におけるシールド工法の歴史○シールド工法の導入と発展の経緯○シールド工法の現況　3．今後の技術開発の方向性　**第二章　調査・計画編**　1．シールド工法の調査技術　2．断面および線形計画　3．シールド機種の種類と選定　4．新しいシールド工法　**第三章　設計・施工編**　1．覆工○一次覆工の設計○二次覆工の設計と施工○シールドトンネルの防水技術　2．立坑の設計と施工設備○立坑の設計と施工○シールド機の構造と装備○仮設備の計画○シールド工事による自動化　3．掘進と施工管理○シールド掘進と施工管理○シールド発進と到達○裏込め注入工法と注入効果○曲線施工と地中接合○補助工法の種類と選定　4．近接施工と環境対策○近接施工と対策○アンダーピニングおよび支障物対策○シールド工事と環境対策○新工法の現状と将来展望○ECL工法　5．切羽の安定と地盤変状防止○切羽安定の理論と実際○泥水式シールド工法の切羽安定○土圧シールド工法の切羽安定　6．地盤変位の理論と実際
付録　1．セグメントの設計例　2．地盤変位予測解析手法の例　3．シールド工事の施工計画

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

トンネルジャーナル

上信越道（信濃町～上越JCT）　４車線化に着工

NEXCO東日本新潟支社は５月18日，上信越自動車道（信濃町IC～上越JCT間，延長37.5km）４車線化工事の着工式典を開催した．2018年度の完成をめざすとしている．

上信越道は，関越道の藤岡JCTと北陸道の上越JCTを結ぶ延長約203kmで，途中，更埴JCTで長野道に接続する．1999年に暫定２車線で全線開通し，2009年までに藤岡JCT～信濃町IC間が４車線化した．

このたび着工した信濃町IC～上越JCT間では，混雑期や休日など交通量が増加する時期に渋滞が頻発していたほか，対向車線への飛び出し防止や冬期交通の走行性の向上といった安全性の高い交通の確保への要望もあり，４車線化が切望されていた．

同社では，当初建設時に将来車線の用地を取得しており，2012年４月に事業変更許可を受けたのち，10月に現地調査に着手，翌年１月に構造物の設計を開始した．同年８月からは工事用道路などの準備工事を進め，このたびの着工に至った．

同事業の初弾工事となるのは金谷山トンネル工事．



写真提供：東日本高速道路

鍬入れを行う地元小中学生と工事関係者

上越市大字向橋から同市大字大貫に至る区間で，延長355mのNATMトンネルなどの施工を行う．工期は2014年２月19日～2016年１月９日で，森組が受注した．新幹線トンネルと17.2mの離隔で交差する南側坑口部と，地すべり堆を通過する北側の坑口部で全断面早期閉合による掘削が計画されているほか，中央間部のＤＩ地山では上半先進工法が計画されている．

新北陸トンネル（奥野々工区）で安全祈願祭

鉄道・運輸機構が建設を行う北陸新幹線の新北陸トンネル（奥野々工区）で５月31日に安全祈願が執り行われ，80名を超える参列者が工事の無事を祈った．

同工区は，北陸新幹線金沢・敦賀間における初めての工事で，斜坑306mと本坑4,880mを発破方式により掘削する計画．大林・東亜・本間・塩浜JVが担当する．最大土かぶりは約500mに及び，地山はチャート・砂岩・粘板岩の互層の存在が想定されている．

同トンネルは延長20,009mで同区間で最長のトンネル．北陸新幹線全体では飯山トンネル（延長22,251m）に次ぐ長さとなる．現在までに，起点側から，奥野々，大桐（3,605m），葉原（4,495m）の３工区が発注済みで，大桐工区を熊谷・不動テトラ・



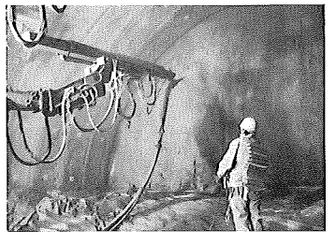
写真提供：鉄道・運輸機構

左から，石川裕己・鉄道・運輸機構理事長，西川一誠・福井県知事，川野順万・南越前町長

梅林・轟JVが，葉原工区を鹿島・りんかい日産・石黒・高崎JVが担当する．

□ 工法・技術・製品ニュース

工法 吹付けコンクリートの低リバウンド化を実現



吹付けコンクリートの比較試験状況

戸田建設(株)
http://toda.co.jp

戸田建設は，NATMにおける吹付けコンクリートの吹付けのリバウンド量を低減するため，増粘剤含有型高性能減水剤を用いた配合による工法を開発し，小樽市にて施工中のトンネル工事で実証試験を行い効果を確認したと発表した．

同工法は，従来の配合や製造設備，施工機械などを変更することなく，コンクリート製造時に必要な混和剤の代わりに増粘剤含有型高性能減水剤を添加するだけで，吹付けコンクリートの粘性を増大させ，リバウンド量を低減させる工法．材料単価は従来の混和剤と比較してほぼ同等で，リバウンド率の低減(20%低減)によってコストの低減が期待できるとしている．

実証試験により，リバウンド率の低減のほか，材齢28日での圧縮強度が従来の配合と同等以上の強度発現性能を有することを確認している．

製品 エプソン インクジェットプリンタに追加モデル

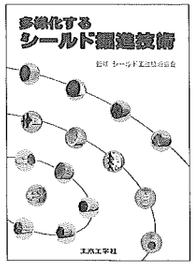


PX-M7050FT

エプソン販売/セイコーエプソン
インフォメーションセンター
Tel 050-3155-8100
http://www.epson.jp/bizprinter

エプソンは，ビジネスインクジェットプリンター計5モデルを2014年8月より発売すると発表した．

新商品はPostScript® 対応の「PX-M7050FP」，追加増設カセット3段と専用キャビネットを標準セットにした複合機「PX-M7050FT」など，計5モデルいずれも，新たに搭載されたPrecision Coreプリントヘッドのノズルの高密度化とヘッドの進化により，カラーもモノクロも24ipm(最速値は34枚/分)の高速印刷と30万ページの耐久性，さらに最大1,831枚の6way給紙(用紙カセット250枚×1段，用紙カセット500枚×3段，背面MPトレイ80枚，前面手差し給紙1枚)に対応する．



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

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

一般社団法人
日本トンネル技術協会
会　報

1. 会員の現状

	5月31日現在
個人会員	839名
団体会員	201名
推薦会員	210名
特別会員	13名
名誉会員	0名
賛助会員	120名
合　計	1,383名

2. 平成26年度第2回理事会

日　時：平成26年5月30日(月)　15：30～16：00
場　所：東京商工会議所8F「東商スカイルーム」
出席者：理事11名，監事2名，計13名
議　事：
①入退会について
個人会員11名，賛助会員12名の入会と個人会員9名，団体会員2名，賛助会員34名の退会報告があった．
②会員増強キャンペーン経過について
5月23日現在，6月からの入会を含め132名である．
③理事の交替について

旧	新	所　属
茅野　正恭	増永　修平	鹿島建設(株)
折敷　秀雄	生木　泰秀	日本国土開発(株)

④定時総会進行次第について
平成26年度定時総会の進行次第を了承した．

3. 平成26年度定時総会

日　時：平成26年5月30日(月)　16：00～17：00
場　所：東京商工会議所7階「国際会議場」
出席者：出席160名，委任状690名，計850名
議　案：
第1号議案　平成25年度事業報告について(内容省略)
第2号議案　平成25年度事業収支決算について(別表1参照)
第3号議案　平成26年度事業計画について
本会の進むべき方針を検討するとともに，トンネル技術の発展と社会の変革に対処するための諸事業を引き続いて推進する．また，ITA加盟国代表機関としての期待に応える．さらに平成27年度に迎える本会の設立40周年記念事業の準備を進める．
第4号議案　平成26年度事業収支予算について(別表2参照)
第5号議案　役員の選任について(別表3参照)
今般辞任の申し出があった岸本良孝氏，先に辞任した中井雅彦氏，黒住光浩氏と，田村寿夫氏，望月常好氏，奥田庸氏，安藤保雄氏，剣持三平氏を含め，新たに理事として藤森伸一氏，廣瀬輝氏，遠藤正宏氏，増永修平氏，久保田政宏氏，濱邉修一氏，生木泰秀氏，足立宏美氏の8名が推挙され，審議した結果，承認した．また，新たに監事として石垣和男氏が推挙され，審議した結果，承認した．
①常設委員会の委員長は次表のとおり指名された．

委員会名	委員長名	所　属
総務委員会	小島　治雄	東日本高速道路(株)
国際委員会	猪熊　康夫	中日本高速道路(株)
事業委員長	桑原　彌介	日本交通技術(株)
技術委員長	今田　徹	東京都立大学

②施工体験発表会最優秀発表の表彰式
施工体験発表会における2名の最優秀発表者を表彰した．
最優秀賞：第72回(山岳)平成25年6月開催
亀山好秀　鹿島建設(株)
(演題)SENSによる未固結含水地山のトンネル施工
—北海道新幹線　津軽蓬田トンネル—
最優秀賞：第73回(都市)平成25年6月開催
宮田健治朗　(株)大林組
(演題)空港施設内の既設トンネルの補強工事について
—成田国際空港　木の根トンネル補強工事—

4. 委員会の開催状況(5月1日～31日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会
総務委員会(5/30)
小島治雄委員長ほか8名，理事会資料を検討
広報小委員会
会誌WG(5/12)
大島洋志主査ほか13名，6月号の会誌と3か月計画を検討
ホームページWG(5/29)
須藤敏明主査ほか7名，40周年記念事業の広報対策を検討

◎事業委員会

事業委員会打合せ会(5/14)

久多羅木吉治委員ほか４名，施工体験発表会(都市)の司会を決定

事業委員会(5/15)

桑原彌介委員長ほか11名，催物開催結果と26年度開催予定を検討

◎設立40周年記念事業実行委員会

幹事会(5/20)

久多羅木吉治幹事長ほか13名，各WG作業状況報告

映像ライブラリーWG(5/16)

富澤直樹主査ほか５名，提供依頼文を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会

海外ニュースWG(5/29)

清水健志主査ほか８名，英文原稿を査読

計　８回開催　77名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

山岳トンネル小委員会

支保WG(5/22)

丸山修主査ほか22名，報告書原稿を検討

都市近接施工ガイドライン編集小委員会

幹事会(5/8)

大野弘城幹事ほか８名，進捗状況を確認

編集WG(5/14)

西田与志雄主査ほか10名，原稿を検討

参考資料WG(5/22)

山元寛哲主査ほか10名，作業方針を検討

文献調査WG(5/28)

滝本邦彦主査ほか８名，文献調査結果の確認および取りまとめ方針を検討

計　５回開催　63名出席

合計　13回開催　140名出席

5. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第41回ITA総会およびコングレス「Promoting Tunnelling in See Region」	2015. 5. 22～28	ドヴロヴニク（クロアチア）	Croatian Tunnelling Association ITA(国際トンネル協会) http://wtc15.com/
第42回ITA総会およびコングレス「Uniting the Industry」	2016. 4. 22～27	サンフランシスコ（アメリカ）	Underground Construction Association of SME ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc.2016.us
第43回ITA総会およびコングレス「Surface problems −Underground solutions」	2017. 6. 9～16	ベルゲン（ノルウェー）	Norwegian Tunnelling Society ITA(国際トンネル協会)

＊会議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．　TEL：03-3524-1755　FAX：03-5148-3655

6. 平成26年度催物開催現況

(平成26年６月現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(施工体験発表会) 第74回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事―新技術，創意工夫，周辺環境への配慮―」	2014. 6.24	200	東京都	6.3
第75回(都市)「創意工夫・新技術によるトンネル・地下構造物工事―新設および改良・再構築の施工事例―」	2014. 6.25	200	東京都	5.5

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

(別表１)

平成25年度事業収支決算書(損益ベース)

平成25年４月１日～平成26年３月31日まで

(単位：円)

科目	実施事業等会計				その他会計				法人会計	合計
	国際関係事業	催物事業	調査研究事業	小計	受託研究事業	図書販売事業	広報事業(会誌)	小計		
Ⅰ 一般正味財産増減の部										
1. 経常増減の部										
(1)経常収益										
特定資産運用益										
特定資産受取利息	0	0	0	0	0	0	0	0	13,917	13,917
受取会費										
団体会員受取会費	0	0	0	0	0	0	0	0	72,050,000	72,050,000
個人会員受取会費	0	0	0	0	0	0	0	0	10,374,000	10,374,000
賛助会員受取会費	0	0	0	0	0	0	0	0	7,250,000	7,250,000
受取会費計	0	0	0	0	0	0	0	0	89,674,000	89,674,000
事業収益										
講演会等収益	0	5,573,400	0	5,573,400	0	0	0	0	0	5,573,400
受託事業収益	0	0	0	0	136,500,000	0	0	136,500,000	0	136,500,000
図書事業収益	0	0	0	0	0	1,554,400	0	1,554,400	0	1,554,400
事業収益計	0	5,573,400	0	5,573,400	136,500,000	1,554,400	0	138,054,400	0	143,627,800
雑収益										
受取利息	0	0	0	0	0	0	0	0	18,609	18,609
雑収益	173,500	0	0	173,500	0	0	0	0	47,150	220,650
雑収益計	173,500	0	0	173,500	0	0	0	0	65,759	239,259
経常収益計	173,500	5,573,400	0	5,746,900	136,500,000	1,554,400	0	138,054,400	89,753,676	233,554,976
(2)経常費用										
事業費										
期首たな卸高	0	0	0	0	0	3,210,587	0	3,210,587	0	3,210,587
期末たな卸高	0	0	0	0	0	△ 3,212,839	0	△ 3,212,839	0	△ 3,212,839
旅費交通費	1,692,922	670,110	1,421,600	3,784,632	5,451,050	0	208,000	5,659,050	0	9,443,682
通信運搬費	246,778	79,139	29,497	355,414	204,457	1,988	4,720	211,165	0	566,579
消耗品費	0	29,279	0	29,279	1,030	0	0	1,030	0	30,309
印刷製本費	33,239	261,156	321,405	615,800	4,317,557	643,381	16,035,600	20,996,538	0	21,612,338
会議費	280,451	1,222,606	415,791	1,918,848	6,583,377	0	2,205	6,585,582	0	8,504,430
保険料	25,560	29,081	0	54,641	0	0	0	0	0	54,641
諸謝金	0	544,158	0	544,158	14,322,000	0	0	14,322,000	0	14,866,158
租税公課	0	0	0	0	132,400	0	0	132,400	0	132,400
運営費	1,006,508	313,000	0	1,319,508	9,192	0	0	9,192	0	1,328,700
図書資料費	263,564	0	0	263,564	0	0	0	0	0	263,564
委託費	0	0	0	0	78,953,900	0	0	78,953,900	0	78,953,900
雑費	33,040	800	0	33,840	287,305	0	0	287,305	0	321,145
事業費計	3,582,062	3,149,329	2,188,293	8,919,684	110,262,268	643,117	16,250,525	127,155,910	0	136,075,594
間接管理費計	8,898,425	7,925,696	12,461,831	29,285,952	18,114,234	2,672,165	3,386,559	24,172,958	0	53,458,910
事業費合計	12,480,487	11,075,025	14,650,124	38,205,636	128,376,502	3,315,282	19,637,084	151,328,868	0	189,534,504
管理費										
役員報酬	0	0	0	0	0	0	0	0	4,489,440	4,489,440
給料手当	0	0	0	0	0	0	0	0	13,950,020	13,950,020
退職給付費用	0	0	0	0	0	0	0	0	1,277,648	1,277,648
福利厚生費	0	0	0	0	0	0	0	0	959,105	959,105
法定福利費	0	0	0	0	0	0	0	0	2,575,531	2,575,531
会議費	0	0	0	0	0	0	0	0	3,891,194	3,891,194
渉外費	0	0	0	0	0	0	0	0	1,539,550	1,539,550
旅費交通費	0	0	0	0	0	0	0	0	56,641	56,641
通信運搬費	0	0	0	0	0	0	0	0	498,903	498,903
什器備品減価償却費	0	0	0	0	0	0	0	0	12,990	12,990
消耗什器備品費	0	0	0	0	0	0	0	0	12,634	12,634
消耗品費	0	0	0	0	0	0	0	0	866,448	866,448
修繕費	0	0	0	0	0	0	0	0	198,547	198,547
印刷製本費	0	0	0	0	0	0	0	0	563,590	563,590
光熱水料費	0	0	0	0	0	0	0	0	211,295	211,295
賃借料	0	0	0	0	0	0	0	0	4,073,145	4,073,145
保険料	0	0	0	0	0	0	0	0	10,438	10,438
租税公課	0	0	0	0	0	0	0	0	376,935	376,935
図書資料費	0	0	0	0	0	0	0	0	79,562	79,562
広告宣伝費	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
管理諸費	0	0	0	0	0	0	0	0	829,830	829,830
会費等貸倒償却	0	0	0	0	0	0	0	0	99,000	99,000
雑費	0	0	0	0	0	0	0	0	138,000	138,000
管理費計	0	0	0	0	0	0	0	0	36,710,446	36,710,446
経常費用計	12,480,487	11,075,025	14,650,124	38,205,636	128,376,502	3,315,282	19,637,084	151,328,868	36,710,446	226,244,950
評価損益等調整前当期経常増減額	△ 12,306,987	△ 5,501,625	△ 14,650,124	△ 32,458,736	8,123,498	△ 1,760,882	△ 19,637,084	△ 13,274,468	53,043,230	7,310,026
当期経常増減額	△ 12,306,987	△ 5,501,625	△ 14,650,124	△ 32,458,736	8,123,498	△ 1,760,882	△ 19,637,084	△ 13,274,468	53,043,230	7,310,026
2. 経常外増減の部										
(1)経常外収益										
経常外収益計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(2)経常外費用										
経常外費用計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
当期経常外増減額	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
税引前当期一般正味財産増減額	△ 12,306,987	△ 5,501,625	△ 14,650,124	△ 32,458,736	8,123,498	△ 1,760,882	△ 19,637,084	△ 13,274,468	53,043,230	7,310,026
当期一般正味財産増減額	△ 12,306,987	△ 5,501,625	△ 14,650,124	△ 32,458,736	8,123,498	△ 1,760,882	△ 19,637,084	△ 13,274,468	53,043,230	7,310,026
一般正味財産期首残高										100,201,367
一般正味財産期末残高										107,511,393
Ⅱ 正味財産期末残高										107,511,393

（別表２）

平成26年度事業収支予算書（損益ベース）

平成26年４月１日～平成27年３月31日まで

（単位：円）

科目	実施事業等会計				その他会計				法人会計	合計
	国際関係事業	催物事業	調査研究事業	小計	受託研究事業	図書販売事業	広報事業（会誌）	小計		
Ⅰ 一般正味財産増減の部										
1. 経常増減の部										
(1)経常収益										
特定資産運用益										
特定資産受取利息	0	0	0	0	0	0	0	0	15,000	15,000
受取会費										
団体会員受取会費	0	0	0	0	0	0	0	0	71,960,000	71,960,000
個人会員受取会費	0	0	0	0	0	0	0	0	10,032,000	10,032,000
賛助会員受取会費	0	0	0	0	0	0	0	0	7,620,000	7,620,000
受取会費計	0	0	0	0	0	0	0	0	89,612,000	89,612,000
事業収益										
講演会等収益	0	6,000,000	0	6,000,000	0	0	0	0	0	6,000,000
受託事業収益	0	0	0	0	130,000,000	0	0	130,000,000	0	130,000,000
図書事業収益	0	0	0	0	0	600,000	0	600,000	0	600,000
事業収益計	0	6,000,000	0	6,000,000	130,000,000	600,000	0	130,600,000	0	136,600,000
雑収益										
受取利息	0	0	0	0	0	0	0	0	18,000	18,000
雑収益	130,000	0	0	130,000	0	0	0	0	750,000	880,000
雑収益計	130,000	0	0	130,000	0	0	0	0	768,000	898,000
経常収益計	130,000	6,000,000	0	6,130,000	130,000,000	600,000	0	130,600,000	90,395,000	227,125,000
(2)経常費用										
事業費										
旅費交通費	2,430,000	750,000	2,396,000	5,576,000	6,560,000	0	350,000	6,910,000	0	12,486,000
通信運搬費	254,000	87,000	26,000	367,000	120,000	0	3,000	123,000	0	490,000
消耗品費	0	29,000	30,000	59,000	10,000	0	0	10,000	0	69,000
印刷製本費	0	260,000	100,000	360,000	3,270,000	0	16,428,000	19,698,000	0	20,058,000
会議費	335,000	1,200,000	905,000	2,440,000	4,770,000	0	63,000	4,833,000	0	7,273,000
保険料	26,000	30,000	0	56,000	0	0	0	0	0	56,000
諸謝金	0	550,000	0	550,000	14,560,000	0	0	14,560,000	0	15,110,000
租税公課	0	0	0	0	120,000	0	0	120,000	0	120,000
運営費	1,010,000	320,000	0	1,330,000	10,000	0	0	10,000	0	1,340,000
図書資料費	265,000	0	0	265,000	0	0	0	0	0	265,000
委託費	0	0	1,250,000	1,250,000	74,180,000	0	0	74,180,000	0	75,430,000
雑費	34,000	1,000	0	35,000	400,000	0	0	400,000	0	435,000
事業費計	4,354,000	3,227,000	4,707,000	12,288,000	104,000,000	0	16,844,000	120,844,000	0	133,132,000
間接管理費計	9,345,912	8,288,230	13,074,638	30,708,780	18,762,710	2,785,394	3,553,540	25,091,644	0	55,800,424
事業費合計	13,699,912	11,515,230	17,781,638	42,996,780	122,762,710	2,785,394	20,397,540	145,935,644	0	188,932,424
管理費										
役員報酬	0	0	0	0	0	0	0	0	4,512,000	4,512,000
給料手当	0	0	0	0	0	0	0	0	13,987,200	13,987,200
退職給付費用	0	0	0	0	0	0	0	0	1,278,400	1,278,400
福利厚生費	0	0	0	0	0	0	0	0	988,880	988,880
法定福利費	0	0	0	0	0	0	0	0	2,575,600	2,575,600
会議費	0	0	0	0	0	0	0	0	3,920,000	3,920,000
渉外費	0	0	0	0	0	0	0	0	1,500,000	1,500,000
旅費交通費	0	0	0	0	0	0	0	0	58,200	58,200
通信運搬費	0	0	0	0	0	0	0	0	581,040	581,040
什器備品減価償却費	0	0	0	0	0	0	0	0	13,000	13,000
消耗什器備品費	0	0	0	0	0	0	0	0	105,280	105,280
消耗品費	0	0	0	0	0	0	0	0	977,600	977,600
修繕費	0	0	0	0	0	0	0	0	204,585	204,585
印刷製本費	0	0	0	0	0	0	0	0	544,808	544,808
光熱水料費	0	0	0	0	0	0	0	0	217,350	217,350
賃借料	0	0	0	0	0	0	0	0	4,234,875	4,234,875
保険料	0	0	0	0	0	0	0	0	10,528	10,528
租税公課	0	0	0	0	0	0	0	0	341,550	341,550
図書資料費	0	0	0	0	0	0	0	0	78,960	78,960
広告宣伝費	0	0	0	0	0	0	0	0	977,600	977,600
管理諸費	0	0	0	0	0	0	0	0	827,200	827,200
会費等貸倒償却	0	0	0	0	0	0	0	0	100,000	100,000
雑費	0	0	0	0	0	0	0	0	157,920	157,920
管理費計	0	0	0	0	0	0	0	0	38,192,576	38,192,576
経常費用計	13,699,912	11,515,230	17,781,638	42,996,780	122,762,710	2,785,394	20,397,540	145,935,644	38,192,576	227,125,000
評価損益等調整前当期経常増減額	△ 13,569,912	△ 5,515,230	△ 17,781,638	△ 36,866,780	7,247,290	△ 2,185,394	△ 20,397,540	△ 15,335,644	52,202,424	0
当期経常増減額	△ 13,569,912	△ 5,515,230	△ 17,781,638	△ 36,866,780	7,247,290	△ 2,185,394	△ 20,397,540	△ 15,335,644	52,202,424	0
2. 経常外増減の部										
(1)経常外収益										
経常外収益計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(2)経常外費用										
経常外費用計	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
当期経常外増減額	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
税引前当期一般正味財産増減額	△ 13,569,912	△ 5,515,230	△ 17,781,638	△ 36,866,780	7,247,290	△ 2,185,394	△ 20,397,540	△ 15,335,644	52,202,424	0
当期一般正味財産増減額	△ 13,569,912	△ 5,515,230	△ 17,781,638	△ 36,866,780	7,247,290	△ 2,185,394	△ 20,397,540	△ 15,335,644	52,202,424	0
一般正味財産期首残高										107,511,393
一般正味財産期末残高										107,511,393
Ⅱ 正味財産期末残高										107,511,393

（別表３）

役員・顧問・評議員名簿

平成26年５月30日現在

区分	氏名	所属	区分	氏名	所属
会長	佐藤　信彦	(一社)日本トンネル技術協会	顧問	内田　隆滋	
副会長	宮林　秀次	(独)鉄道・運輸機構	〃	岡田　宏	
〃	宮本　洋一	清水建設(株)	〃	萩原　浩	
専務理事	水谷　敏則	(一社)日本トンネル技術協会	〃	三谷　浩	(一財)建設業技術者センター
理事	小島　治雄	東日本高速道路(株)	〃	小森　博	(一社)海外鉄道技術協力協会
〃	廣瀬　輝	中日本高速道路(株)	評議員	今田　徹	(東京都立大学)
〃	南部　隆秋	阪神高速道路(株)	〃	大久保誠介	(東京大学)
〃	藤森　伸一	東日本旅客鉄道(株)	〃	木村　宏	(独)鉄道・運輸機構
〃	遠藤　正宏	東京都交通局	〃	桜井　力	(独)水資源機構
〃	土屋幸三郎	(株)大林組	〃	石井　宏和	日本下水道事業団
〃	増永　修平	鹿島建設(株)	〃	酒井　和広	西日本高速道路(株)
〃	宮本　雅文	佐藤工業(株)	〃	岸本　良孝	本州四国連絡高速道路(株)
〃	久保田政宏	(株)竹中土木	〃	安藤　憲一	首都高速道路(株)
〃	森藤　眞治	東急建設(株)	〃	渡辺志津男	東京都下水道局
〃	濱邉　修一	東洋建設(株)	〃	野焼　計史	東京地下鉄(株)
〃	水口　宇市	西松建設(株)	〃	山口　修	(一社)日本建設業連合会
〃	生木　泰秀	日本国土開発(株)	〃	見波　潔	(一社)日本建設機械施工協会
〃	山崎　政俊	(株)不動テトラ	〃	吉川　大三	(株)安藤・間
〃	足立　宏美	前田建設工業(株)	〃	古川　和義	(株)鴻池組
監事	福田　直利	電源開発(株)	〃	望月　常好	五洋建設(株)
〃	飯田　廣臣	(株)奥村組	〃	井手　和雄	清水建設(株)
〃	石垣　和男	(株)熊谷組	〃	田村　寿夫	大成建設(株)
			〃	大和　修二	鉄建建設(株)
			〃	奥田　庸	東亜建設工業(株)
			〃	秋場　俊一	戸田建設(株)
			〃	乗京　正弘	飛島建設(株)
			〃	剣持　三平	(株)フジタ
			〃	村上　哲朗	三井住友建設(株)
			〃	元木　洋	青木あすなろ建設(株)
			〃	大本　万平	(株)大本組
			〃	大迫　哲	(株)錢高組
			〃	今井　和美	大豊建設(株)
			〃	坂本　靖	若築建設(株)
			〃	桑原　彌介	日本交通技術(株)
			〃	木下　雅敬	新日鉄住金(株)
			〃	井上　年史	三菱重工メカトロシステムズ(株)

会長１，副会長２，専務理事１，理事15，監事３，役員計22名　　顧問５名，評議員31名

注)大学の(　)は名誉教授を示す



平成26年度定時総会



施工体験発表会最優秀賞表彰式

設立40周年記念事業実施計画概要

JTA 40th Anniversary

日本トンネル技術協会は，トンネルおよび地下空間の建設ならびにこれらの維持管理に関する調査研究を行い，地下利用技術の進歩向上を図ることによって，国土の保全と公共の福祉の増進に寄与することを目的に昭和50年に設立され，平成27年８月をもって設立40周年を迎えます．これを記念として，統一テーマ「暮らしを支え，夢を叶えるトンネル・地下空間」として，平成26～27年度に各種イベントを予定しています．多数ご参加くださいますようお願いします．

実施予定イベントと時期

イベント関係として，特別講演会(H27.5総会開催時)，座談会，親子見学会(H27.7)，フォトコンテスト(トンネルのある風景，募集H26.6～11)，パネル展示(H27.8)，一般向けトンネルのパンフレット作成(H27.3)，映像ライブラリー(H27.4)，会誌記念号(H27.8)，技術の進歩とともに歩んだJTAのあゆみの発行(H27.3)などを視野に具体化を進めています．また，各常設委員会のグループによる活動として，山岳シンポジウム(設計と現場との乖離)，シールド技術の変遷史，工事従事者への安全啓発を目的とした「安全標語募集(募集H26.6～7)，安全ワッペン(シール)，安全パンフレットの作成，安全パネル展示」，維持管理の技術力向上のための補修補強講習会の発足(H25.10)などを計画しています．逐次本会のホームページに掲載いたしますので，閲覧願います．

現在応募受付中

現在，安全啓発を目的とした「安全標語の募集」，トンネルのある風景と題した「フォトコンテストの募集」をしています．多数のご応募をいただきますようご案内いたします．

トンネル建設工事の「安全標語」の募集のご案内

Safe work JTA 40th Anniversary
Japan Tunnelling Association

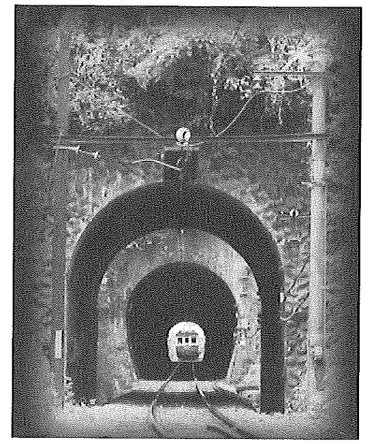
多くの方に「トンネル建設工事の安全」についての意識を深めていただくために，日本トンネル技術協会40周年記念安全運動の一環として，トンネル建設工事の安全標語を募集いたします．

安全標語は，広く国民の皆さまに改めてトンネル建設工事の安全の重要性について考えていただき，関心を高めるとともに，工事関係者の安全意識を高め，日頃の安全活動の強化を図るために，本年，インターネットなどにより広く一般から募集することといたしました．

採用された安全標語は，平成27年まで実施される40周年記念安全運動の実施にあたり，安全シールなど各種の広報活動の中で活用させていただく予定です．

安全標語の募集期間は，平成26年６～７月までとなっております．なお，応募要領の詳細は，トンネル技術協会のホームページをご参照ください．

「トンネル・地下空間フォトコンテスト」作品募集のご案内



設立40周年記念事業の一環として一般の方に写真を通じ，トンネルや地下に興味を持っていただくことを目的として「トンネル・地下空間フォトコンテスト」を実施することとなりました．

記念事業の統一テーマは，「暮らしを支え，夢を叶えるトンネル・地下空間」としております．思い出に残るトンネルのある風景，環境と共生するトンネルのある風景，未来に残したいトンネルのある風景，私の好きなトンネルのある風景，私が作ったトンネルなどトンネルや地下空間をモチーフとした写真を募集します．応募作品は，記念事業で紹介する予定です．

「トンネル・地下空間フォトコンテスト」の募集期間は，平成26年６～11月までとなっております．また，本コンテストについては，国土交通省，東京都，(独)鉄道・運輸機構，東日本高速道路(株)，中日本高速道路(株)，西日本高速道路(株)，東京湾横断道路(株)，首都高速道路(株)，阪神高速道路(株)，東日本旅客鉄道(株)，東海旅客鉄道(株)，西日本旅客鉄道(株)，東京地下鉄(株)，電源開発(株)，(公社)土木学会，(一社)日本建設業連合会，(公社)日本道路協会，(一社)日本民営鉄道協会，(一社)日本地下鉄協会よりご後援をいただいております．なお，応募要領の詳細は，トンネル技術協会のホームページをご参照ください．

8月号予告[8月1日発売予定]

●高速道路トンネルの大規模修繕に関する検討
●小土かぶり未固結地山トンネルにおける事前地山改良による地山安定性の評価
●国道1号　笹原山中バイパス2号トンネル
●国道1号　葉山川横断函渠
●マレーシア，パハン・セランゴール導水トンネル
【連載講座】
●都市トンネルにおける地盤改良工法(3)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆今号がお手元に届くころは，サッカーW杯ブラジル大会のラウンド16のさなかでしょうか．バタバタした展開を見せていたブラジルでのスタジアム建設ですが，わが国の新国立競技場建設もなかなか揺れているようです．新国立競技場のコンペを勝ったザハ・ハディドの手になる当初案は，競技場まわりの道路や駅をも巻き込んだ壮大な案でしたが，5月末に発表された基本案では，ずいぶん縮小(3000億円→1700億円)され，同じ設計者による2022年サッカーW杯のカタール会場と似たような外観に落ち着いてしまいました．また，建築家の槇文彦らが，市民との対話のないまま進められたコンペの進行の問題や鎮魂の森としてある神宮外苑に相応しくない施設の巨大さなどを批判したのをはじめ，コンペで落選した伊藤豊雄が，建替えではなく改修するかたちでコストを大幅に抑えた案を独自に発表するなど，異論が相次いでいます．このところ，ベルリン，バルセロナのカンプノウ，マドリードのベルナベウといった有名どころのスタジアムでは，改修するかたちで現代的な機能を付加させる計画が増えているようです．現競技場も改修すれば，安価でかつ日本の戦後の復興から成熟へ至る歴史を体現した施設となり，いいじゃないかと思えますが，いっぽうで，ザハ案の熱狂を掻き立てるよう空間の中で，サッカーやラグビーを観戦するのもなかなか魅力的な体験に思えます．

(K.K)

★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．
★(一社)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(一社)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45巻 第7号〔通巻527号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成26年6月20日　印刷
平成26年7月1日　発行

一般社団法人 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．

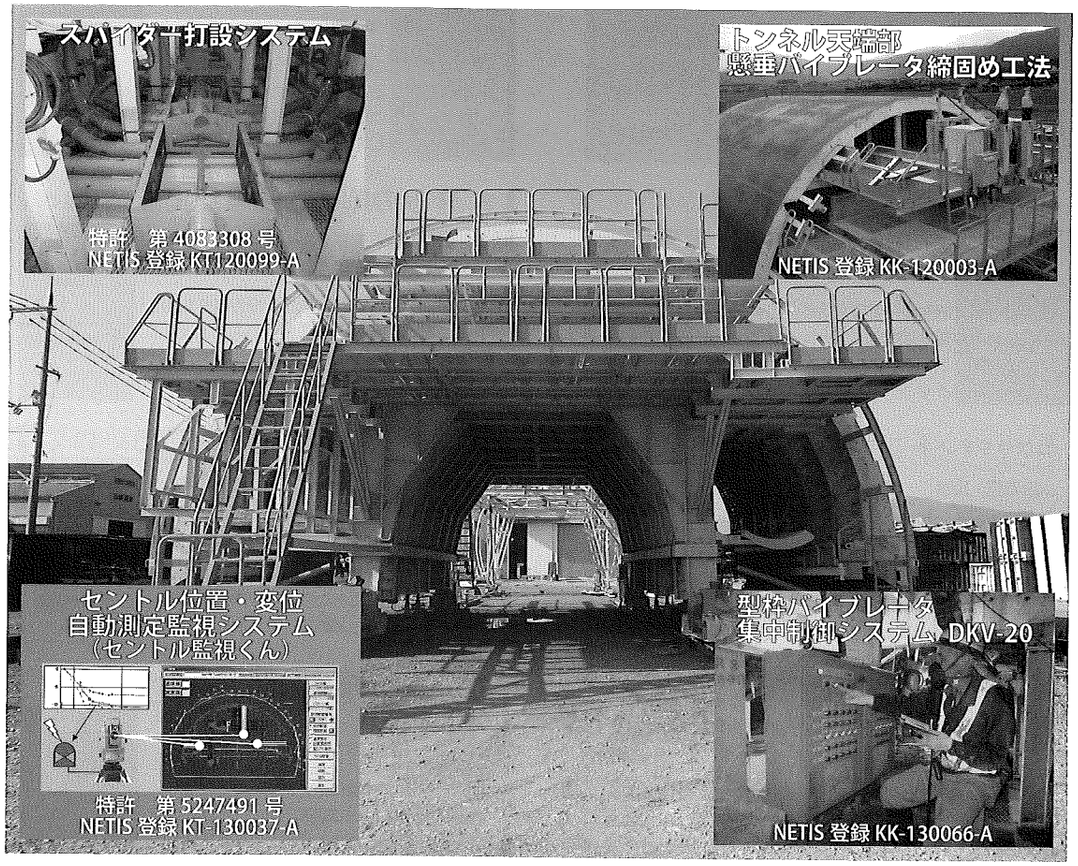
購読料
1冊　1,620円(送料110円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

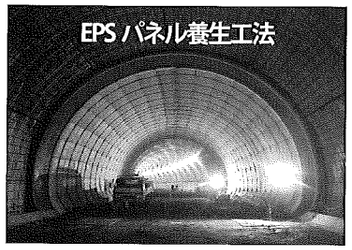
本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください．
TEL：03-3267-2888

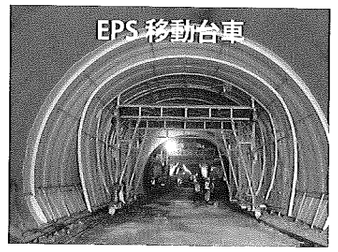
本誌掲載記事を無断で複写(コピー)および転載することは，著作権上での例外を除き，禁じられております．本誌から複写または転載を希望される方は，小社(03-3267-2888)までご連絡ください．

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





EPSパネルの保温性、保湿性が効く

実績および計画		
施主	実績	計画中
国土交通省	27	1
NEXCO	6	1
地方自治体	14	3
鉄道・運輸機構	1	0

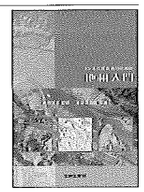
平成25年12月1日　現在

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/　E-Mail：daiei-co@minos.ocn.ne.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

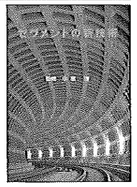
トンネル技術者のための地相入門



大島洋志　監修，木谷日出男　編著
3,200 円＋税　B5 判

トンネルの計画・設計・施工にあたって留意すべき"地相"について，施工事例をもとに，豊富な図版と地形図を用いて，ていねいに解説した，画期的な入門書.

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.

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.

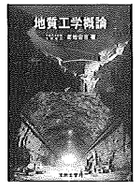
多様化するシールド掘進技術



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.

地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全 3 巻）

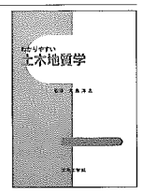


P.A. ドミニコ・F.W. シュワルツ　共著，
地下水の科学研究会・大西有三　監訳

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

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

わかりやすい土木地質学



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.

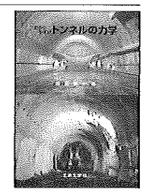
シールドトンネルの新技術



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.

わかりやすいトンネルの力学



福島啓一　著
5,825 円＋税　B5 判

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

ブロック理論と岩盤工学への応用



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

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

山岳トンネルの新技術



ジェオフロンテ研究会　編
14,573 円＋税　B5 判

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

ジオテキスタイル設計マニュアル



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

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

岩盤地下空洞の設計と施工



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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した.

建設工事の地質診断と処方



石井康夫・矢嶋壯吉　共著
4,300 円＋税　A5 判

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

トンネル工事の衛生と環境保全



臼谷三郎・橋本康孝・友田　孝　共著
3,200 円＋税　A5 判

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

岩盤の計測と解析



鈴木　光　著
4,200 円＋税　A5 判

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

わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉



橋本定雄・松本崇義・松本正敏　共著
2,800 円＋税　A5 判

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

海洋資源開発



稲田善紀　著
3,400 円＋税　A5 判

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

トンネルと地下



1,500 円＋税　B5 判　月刊（毎月 1 日発売）

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

書籍のお申し込み　ご注文は当社へ FAX または，書店にてお申し込みください．
FAX は，書名，部数，送り先，氏名，電話番号を明記のうえ右記までお送りください.

〒 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
株式会社 土木工学社

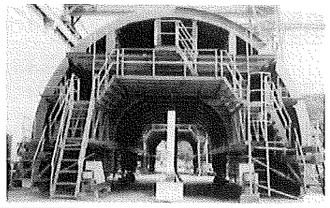
各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

東和機電工業株式会社 顕田（かいた）工場

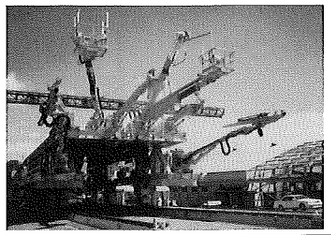
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田（せいた）2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：info@towakiden.co.jp
ホームページ　http://www.towakiden.co.jp

道路・鉄道・水路トンネル用コンクリート型枠はもとより，
各種鋼構造物の設計・製造をおこなっております．

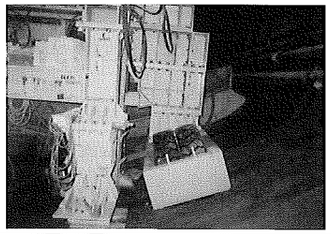
高流動コンクリート対応型
全断面ステンレスフォーム



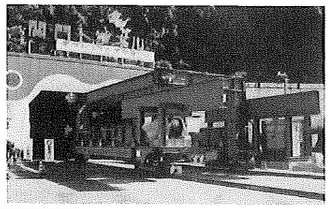
ワークステーション架台



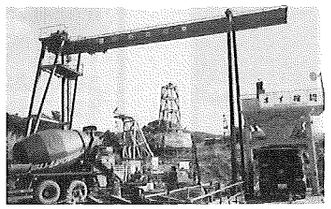
全輪タイヤ式インバート桟橋



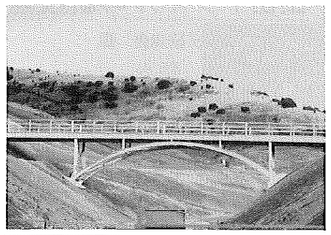
勾配対応全輪駆動式
トンネル床版撤去架台



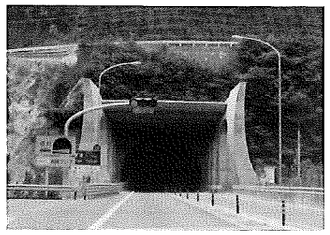
立坑ズリ出し設備
（4.5t×60m）



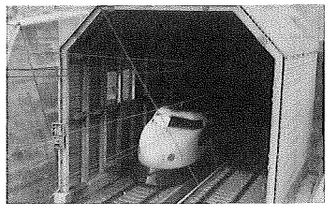
林道橋



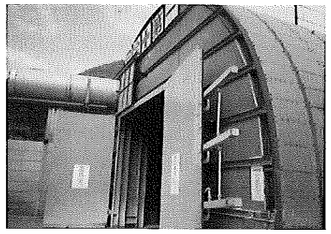
トンネル坑口修景ルーバー



新幹線微気圧伝播緩衝工
（鋼製，総溶融亜鉛メッキ）

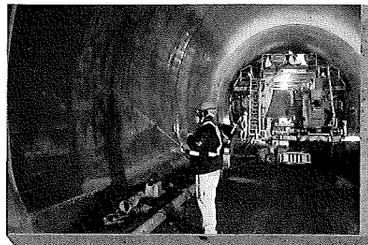


防音シェルター



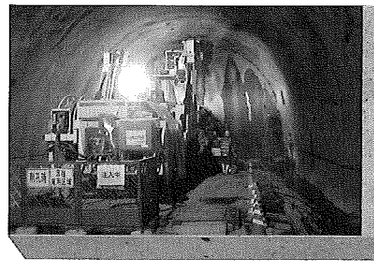
離島を含む九州一円中国四国圏内におきましては，
地の利を生かした営業・打合せ・納品・対応を行ってまいります．

連続ベルコンを通過させるセントルにおいて，ベルコン側の懐を拡げるためにガントリーを偏芯させ高強度化することは，弊社の所有特許です．



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





様々な現場で力を発揮する注入材、裏込材“最適な選択をご提供”

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

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