平成19年11月1日発行第38巻第11号　昭和45年11月18日第3種郵便物認可
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

SANDVIK



Productivity
in Action

サンドビック　マイニング　アンド　コンストラクションは、鉱山、建設業界においてトータルソリューションをご提供する世界のリーディングカンパニーです。
私たちの製品は、鉱山機械、建築機械、一般土木機械に広く対応し、製品群は、掘削機、クラッシャー、油圧ブレーカ、スクリーン、及びその消耗品類と広くカバーしております。
それらは、長い歴史で培った経験と知識が生かされた優れた設計に基づいた製品であり、また万全のアフターセールスサポートにより貴社を強力にバックアップいたします。
長い歴史を持つサンドビックは、お客様とのパートナーシップを大切にします。
私たちは、お客様とのより密なパートナーシップにより、お客様の生産性、収益性を改善する斬新なソリューションを絶えず提案し続けます。

サンドビック マイニング アンド コンストラクション ジャパン株式会社
〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜2-15-12 共立新横浜ビル6階TEL045-478-0662/FAX045-478-0661
URL http://www.miningandconstruction.sandvik.com/jp/

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-11
4910066191177
01500

昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成19年11月1日発行(毎月1回1日発行)　第38巻第11号　通巻447号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 11

vol. 38
no. 11
2007

河川下に小土かぶりのトンネルを掘る
山岳トンネルにおける高水圧ウォータタイトの施工
住宅地に近接した最大幅80mの開削トンネル
大深度・高水圧下における機械式地中接合
低濃度グラウトに関する基礎的研究

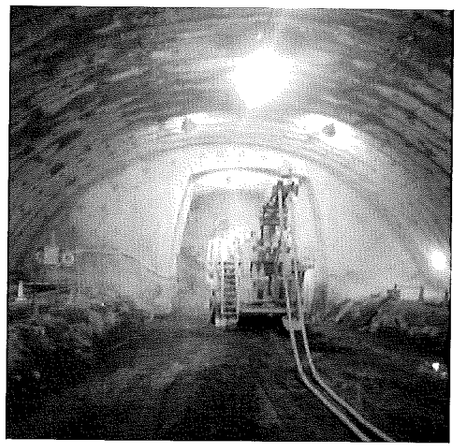
日本トンネル技術協会誌



ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー





主な特長

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

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

(旧社名: ㊀日本鉱機株式会社)

本社・営業 カスタマーサービス 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444

中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 TEL 059-234-4139

西部支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998

三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 TEL 059-234-4111

FURUKAWA ROCK DRILL

FRD FURUKAWA

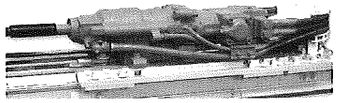
様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

ホイール式ドリルジャンボ

JTH2200R/3200R

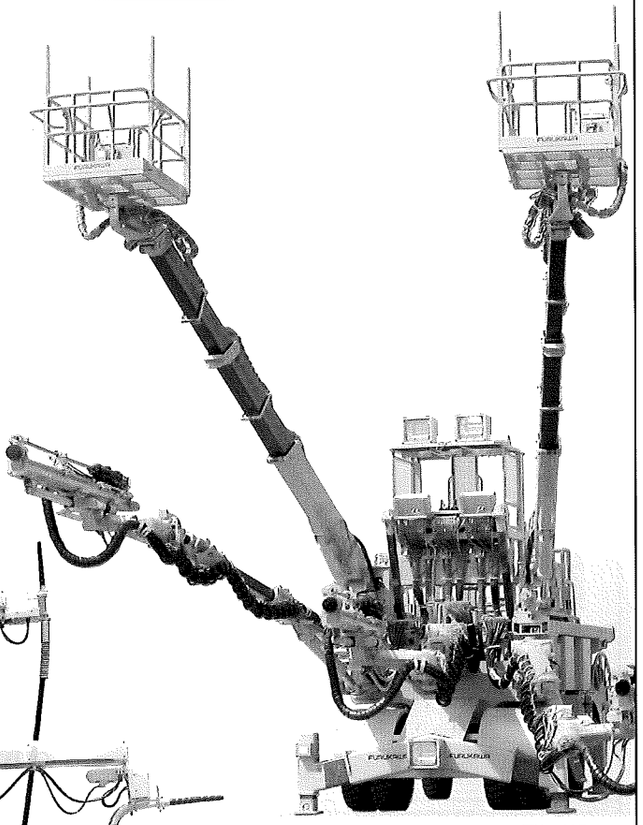
新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。

新世代型油圧ドリフタHD210搭載。



◆主な仕様

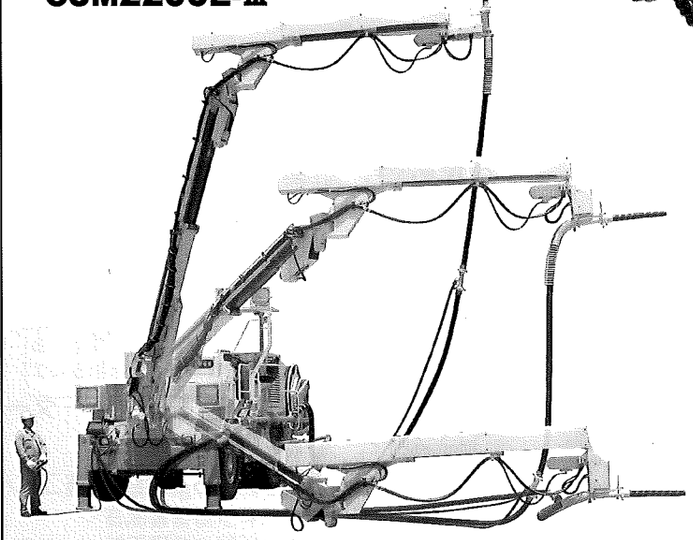
	JTH2200R 2ブーム、2ケージ	JTH3200R 3ブーム、2ケージ
質量	35.5トン	43トン
全長	14,270mm	14,760mm
全幅	2,690mm	3,140mm
全高	5,940mm	6,010mm
水平さく孔範囲		
幅	12.77m	13.22m
高さ	8.49m	8.84m



JTH3200R

コンクリート吹付け機(コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-Ⅲ



写真は吹付け姿勢の合成写真です。

◆CJM2200E-Ⅲ 主な仕様

質量	22トン
全長	15,600mm
全幅	3,000mm
全高	4,000mm
吹付け範囲	
高さ×幅	10m×13.3m

自走式キャリアに、コンクリートポンプ、急結剤供給装置、コンプレッサ、高圧水ポンプ等、吹付け作業に必要な装置を搭載したコンパクトな一体型コンクリート吹付け機です。

古河機械金属グループ

FRD 古河ロックドリル株式会社 http://rvs.furukawakk.co.jp/ms/

本社 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町二丁目3番14号 古河ビル8F 特機部 電話: (03) 3231-6966

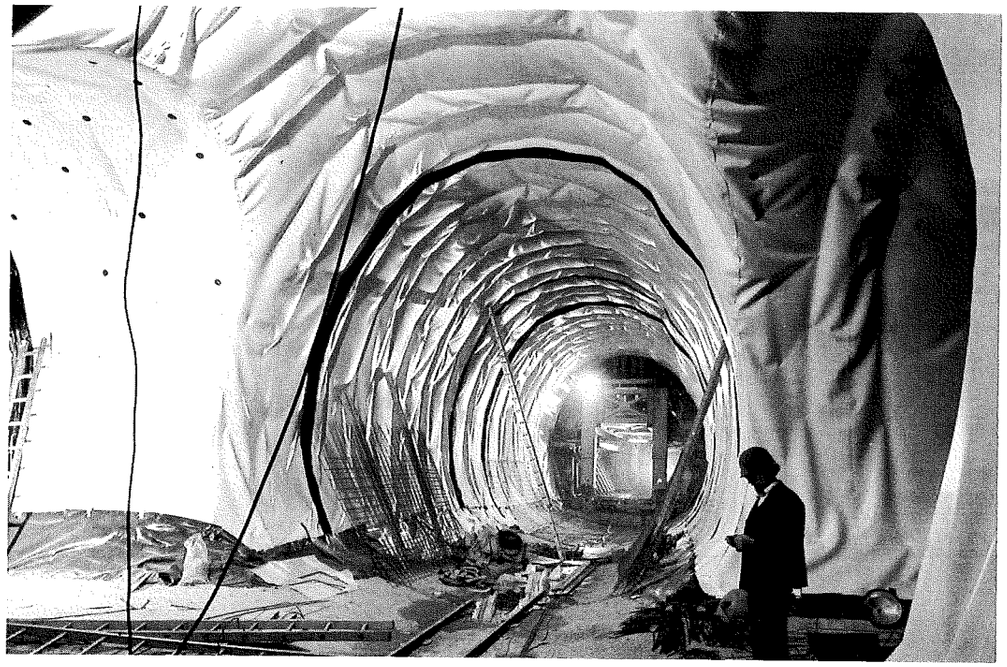
札幌支店 011-861-3261 東北支店 022-384-8991 関東支店 027-322-5953 名古屋支店 0568-77-7700

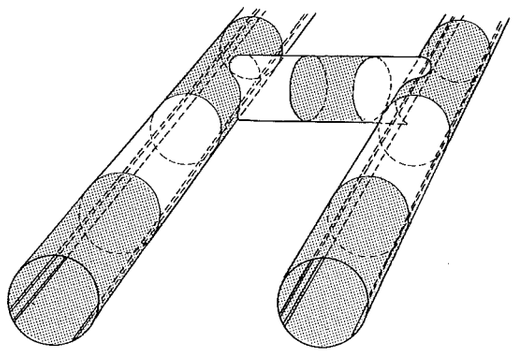
関西支店 06-6475-8221 広島営業所 082-832-3542 四国営業所 087-815-1708 九州支店 092-948-2010

トンネル用シグナルレイヤー付防水シート

CARBOBAHN
カーボバーンシート

ヨーロッパでの長年の実績、優れた防水システム





◎柔軟性，耐薬品性に優れた改良型ポリエチレン製

◎破損個所が容易に発見できるシグナルレイヤー付き

◎厚さ1.5, 2.0, 3.0mm, シート幅1.75～5.1mの豊富なバリエーション

◎不測の事態に対応するウォーターバリアシステム

◎電磁誘導加熱による高品質施工システム

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー 土木営業部

〒105-0014 東京都港区芝2丁目5－10 ☎(03)3798-8511 FAX(03)3798-8516
〒530-0047 大阪市北区西天満3丁目2－17 ☎(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755
〒065-0834 札幌市東区北34条東9－1－1 ☎(011)751-4681 FAX(011)751-4682

1本1本が大切！ だから

次世代 防食 ロックボルト

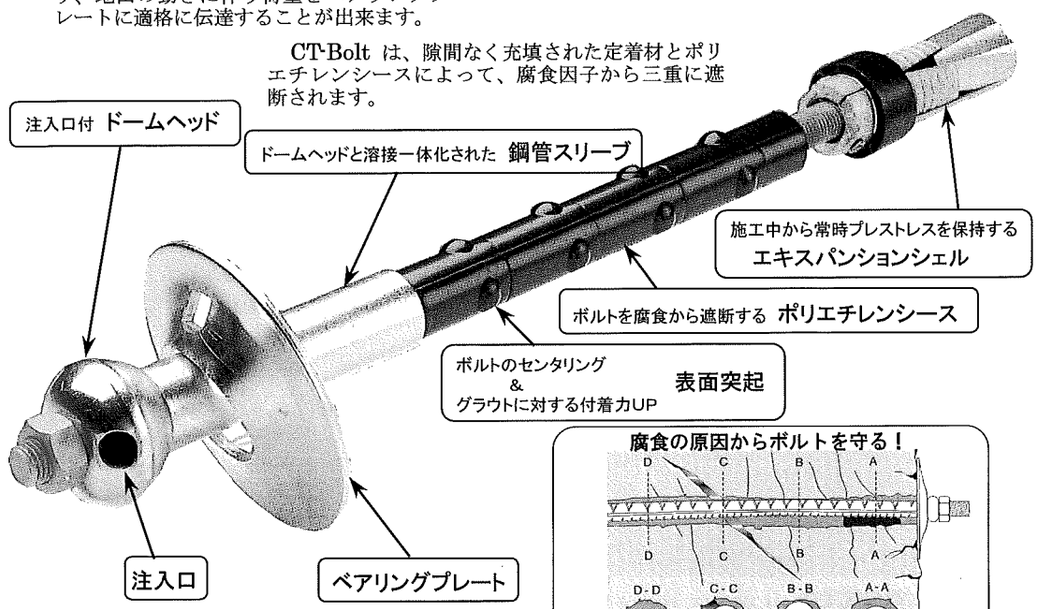
CT-Bolt

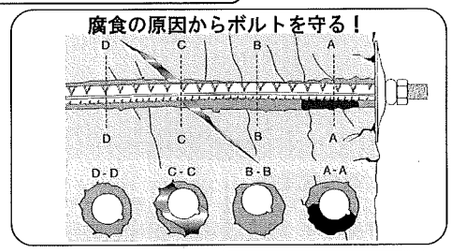
Ørsta Stål

通常施工により超長期支保

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

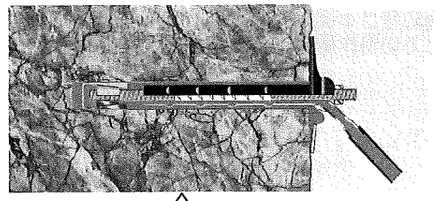
CT-Bolt は、隙間なく充填された定着材とポリエチレンシースによって、腐食因子から三重に遮断されます。





CT-Bolt の定着は・・

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



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

完全充填

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

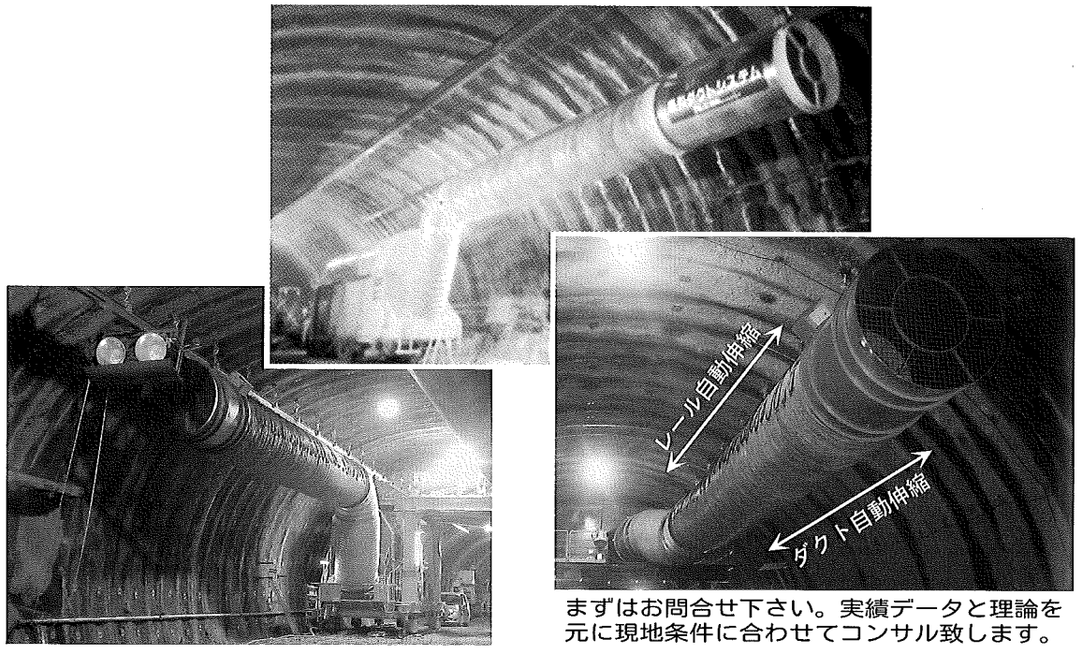
総発売元 Your Fastening Partner

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

〒105-0014 東京都港区芝 2-5-10
お問い合わせ先 TEL:03-3798-8517
技術部 FAX:03-3798-8850

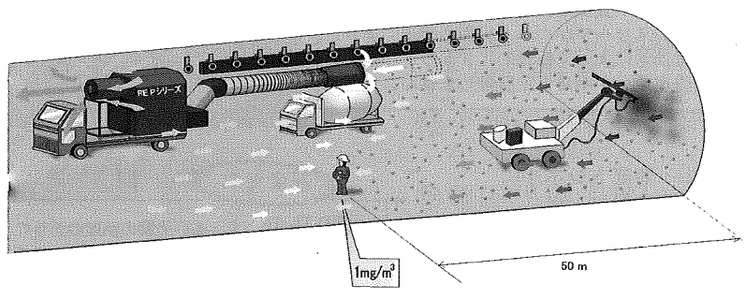
吸引ダクトシステム

業界初 吸収ダクトシステム特許取得〔第3883483号〕
ガイドラインをクリア　1mg/m³達成!!



まずはお問合せ下さい。実績データと理論を元に現地条件に合わせてコンサル致します。

- 発生源粉塵対策の決定版.
- ダクトはもちろん，吊下げレールも無線リモコンで楽々前進.
- 掘削工法や作業サイクルに適応．操作にお手間をとらせません.
- 最低限の切羽送気量と後方の高い清浄空間の確保で換気コストとランニングコストの大幅なコストダウンに.
- 適応径はΦ600～Φ1500，負圧－2kPa，収縮率1/5，100m以上もレンタルで対応可．移動照明を使用することで切羽作業効率，安全性が大幅にアップ．その他の口径・延長はご相談下さい.



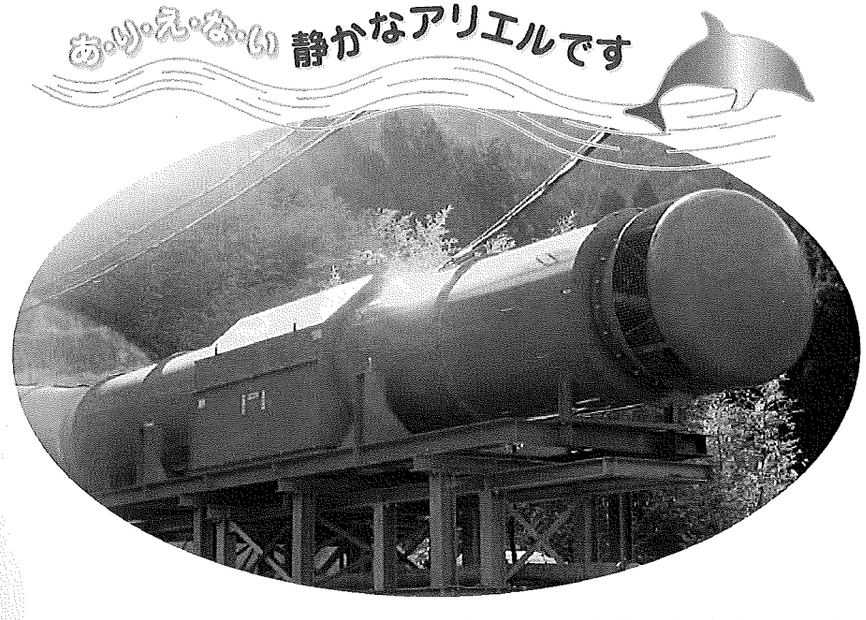
宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

30th Anniversary
株式会社流機エンジニアリング
URL：http://www.ryuki.com　E-mail：eigyobu@ryuki.com
本　社／〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL：03（3452）7400(代) FAX：03（3452）5370
つくば／〒308-0114 茨城県筑西市花田90-1
ﾃｸﾉｾﾝﾀｰ TEL：0296（37）7680(代) FAX：0296（37）7681

超低騒音・二軸反転ファン エアロ★MAX アリエル

今時、静かなのは当たり前!!

あ・り・え・な・い 静かなアリエルです



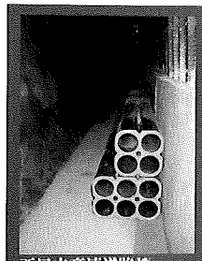
ファンの性能を保持したまま、より低騒音に、よりスタイリッシュに。

シールド、都市NATMなどの都市環境や
大断面長大トンネルの施工環境に対応する換気ファンを400台以上保有。
必要なとき、必要な容量の設備を提供します。

超低騒音：エアロMAX 最小値75dB(A)、アリエル 当社比－5dB
省　エ　ネ：インバータでファンの回転数を制御するため無負荷電流がなく、人－△直動方式や可変ピッチ方式より大幅に省エネができます。
高　効　率：固定翼、インバータ制御で広い性能点で効率のいい運転。
制　　御：ダストセンサーによる自動制御、集塵機との連動運転が可能。
（特許　第1742880　ダストセンサーによるインバータ制御）
使い易さ：軽量、**INV高調波対策も万全**、ソフトスタートでダクトを痛めずファンのメンテナンスも軽減。
高価なフリッカ対策設備も不要。
ｺﾝｻﾙﾃｨﾝｸﾞ：長年にわたって経験して参りました弊社の換気のノウハウを生かし、換気計画後、5.5kW× 2 ～200kW× 2 の幅広い品揃えで対応します.
換気のご相談はお気軽に本社・営業部までどうぞ。

宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

30th Anniversary
株式会社流機エンジニアリング
URL：http://www.ryuki.com　E-mail：eigyobu@ryuki.com
本　社／〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL：03（3452）7400(代) FAX：03（3452）5370
つくば／〒308-0114 茨城県筑西市花田90-1
ﾃｸﾉｾﾝﾀｰ TEL：0296（37）7680(代) FAX：0296（37）7681





熊本県 熊本3号トンネル

西日本高速道路株
第二名神 栗東トンネル



名四国道事務所
足助バイパス 足助トンネル



高山国道事務所
中部縦貫道 前原1号トンネル

長年の多くの実績から得た豊富なノウハウという「宝物」を新しい技術に。
いらなくなった物で必要な物を作り出す。それが私たちの技術です。
トンネル、電線共同溝、空港、工場敷地内、ありとあらゆるニーズにお答え出来ます。
資源循環型リサイクル製品「セラダクトA(エース)」。

トンネル内専用として

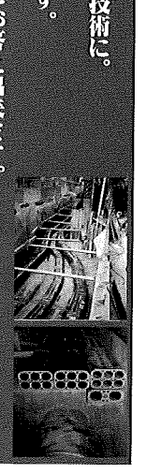
セラダクトA(エース) ネオ neo

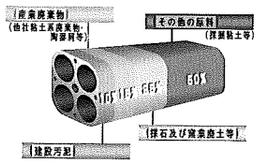


－特長－

標準管の長さは65cmの新規格
※従来のセラダクトAは60cm。

接続はカップリング方式で簡単
スピーディー
※従来のセラダクトAはパッキン介在ボルト締め





セラダクトA(エース)シリーズは「エコマーク認定基準」に適合し、財団法人 日本環境協会から「エコマーク商品」として認定されました。

ちきゅうにやさしい
再生材料を使用
採石および窯業廃土、陶磁器屑 50%以上
セラダクトAはエコマーク認定商品です
第 04 131 014 号

ISO 9001:2000取得

杉江製陶株式会社
sugie

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

http://www.sugie.co.jp/

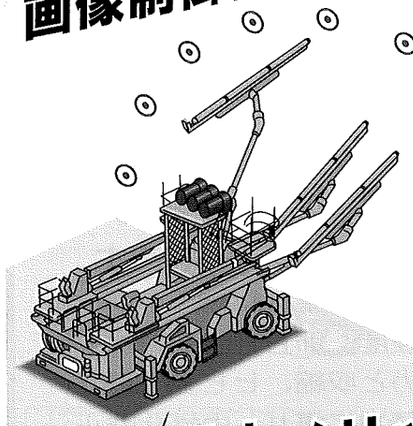
NEW

V Navigation

ジャンボVナビゲーションシステム

画像制御技術を建設システムソリューションへ

特許申請中

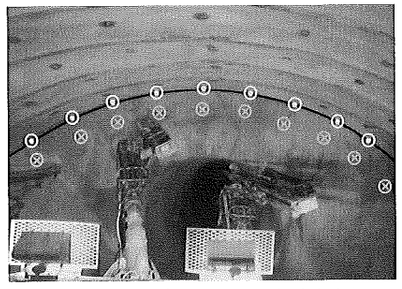


最大メリット

- **高品質・簡易機能**　従来と比べてその場でシステム化可能
- **低価格**　従来比40%コストダウン
- **マニュアル不要**　ユーザーフレンドリー

- 切羽の画像を確認しながら操作ができる
- 画像上に削孔位置を表示　目で見て分かりやすい
- オペレーターの作業性UP　最適ポイントを運転席モニターでガイダンス
- 従来のジャンボがグレードアップ　お手持ちのジャンボに搭載可能

スーパーインポーズ方式採用！



削孔位置（◎）にガイドセルの先端を合わせ、設計さし角から求めたガイドセルの後端（⊗）を合わせます。

OPTION　削孔時の切羽画像記録機能
削孔後に確認ができる

演算ロボリューションでお客様に驚きと感動を提供致します。

enzan

株式会社　演算工房　http://www.enzan-k.com/

■京都本社　〒604-0847　京都市中京区秋野々町535番地　日土地京都ビル4F
TEL. 075-213-7200　FAX. 075-213-7201
■東京office　〒101-0054　東京都千代田区神田錦町三丁目15番5号　川崎パークビルⅠ7F
TEL. 03-3518-2588　FAX. 03-3518-2589

コンクリートの劣化，欠陥箇所の改修，補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



〈工期短縮，即日仕上り〉

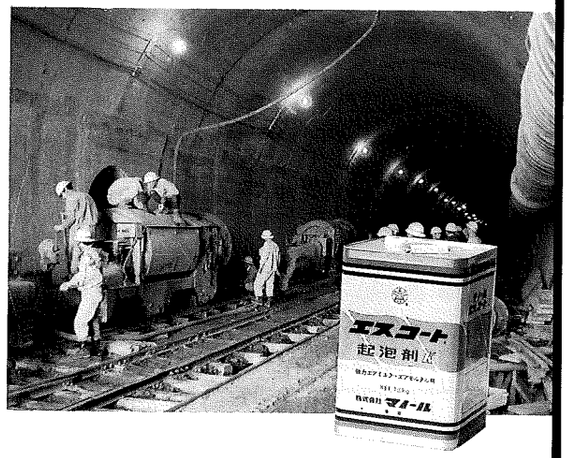
プレミックス急硬モルタルと
特殊ラテックスの
複合材で
短時間で実用強度が得られる
即日補修工法です。

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

エアモルタル裏込め注入……

エスコート

L&K 起泡剤



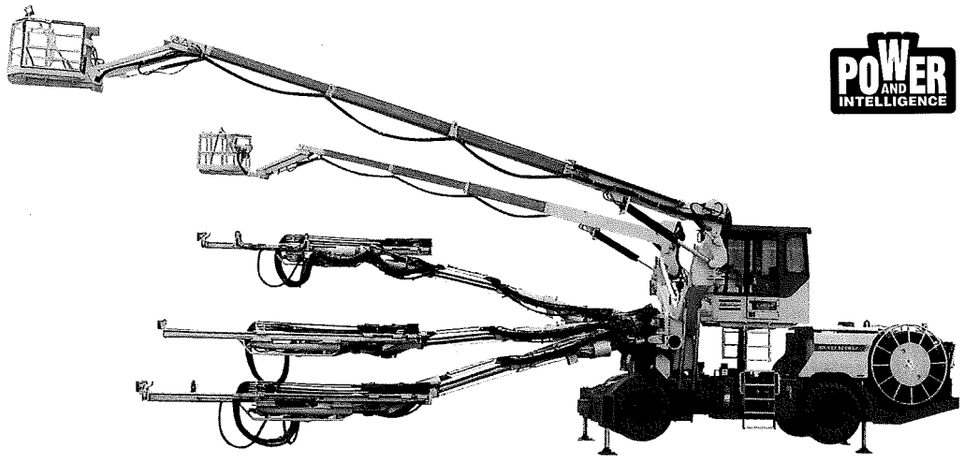
- ■強力な分散性と安定した流動性
- ■ノーブリージング
- ■任意の強度の選定
- ■セメント，骨材の種類が任意

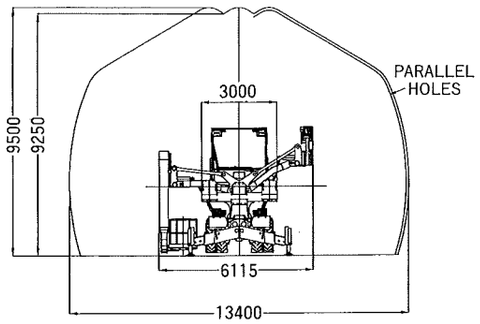
◆土木資材の綜合プランナー◆

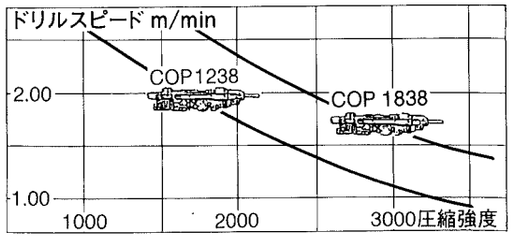
株式会社 マイール
〒142-0043 東京都品川区二葉1丁目18番8号
TEL 03 (3787) 1131 (代)

アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

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







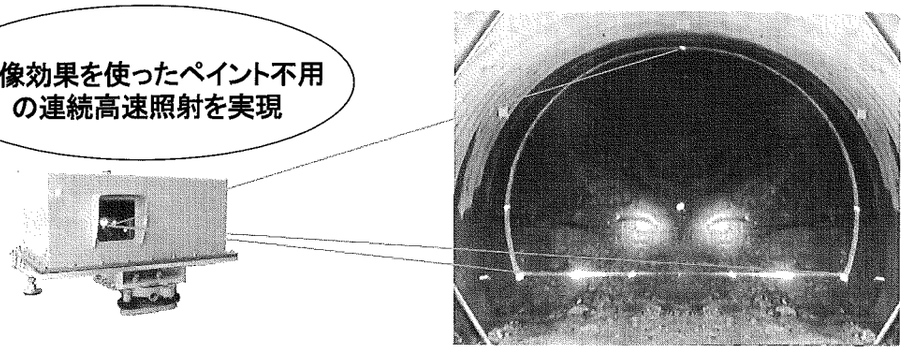
ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO.,LTD.

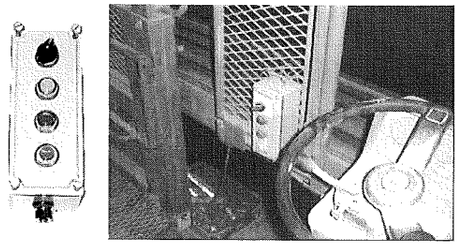
本　　社　〒116-0014　東京都荒川区東日暮里6-16-8桂ビル5階
TEL(03)3806-3377番　FAX(03)3806-8461番
関西支店　〒657-0864　兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4
TEL(078)802-5551番　FAX(078)802-5528番
九州支店　〒839-0841　福岡県久留米市御井旗崎1-6-14
TEL(0942)43-5315番　FAX(0942)43-5832番
焼津営業所　〒425-0072　静岡県焼津市大住638-1
TEL(054)620-7301番　FAX(054)620-7303番
兵庫工場　〒679-1332　兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端454-3
TEL(0795)36-0461番　FAX(0795)36-0467番

レーザーマーキングシステム

国内、海外特許取得済み

残像効果を使ったペイント不用
の連続高速照射を実現

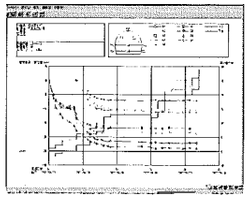




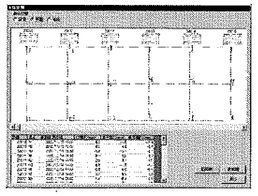
現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー

ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

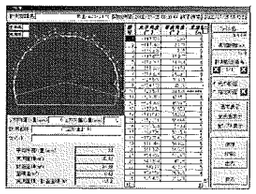
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



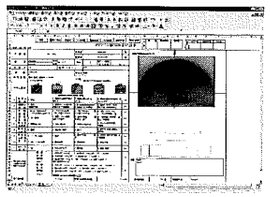
A計測データ処理



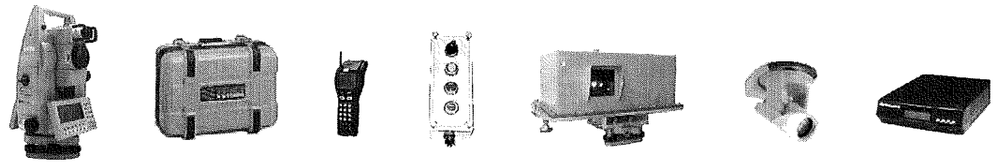
支保工立込精度、変形量



内空、巻厚検査



切羽観察、etc



豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

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

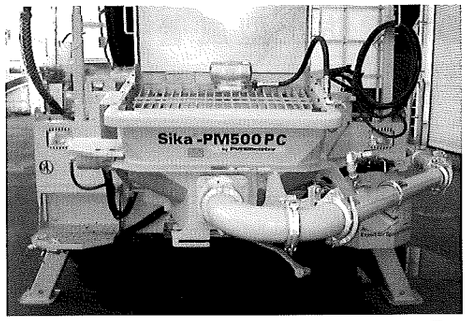
〔販売元〕
古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

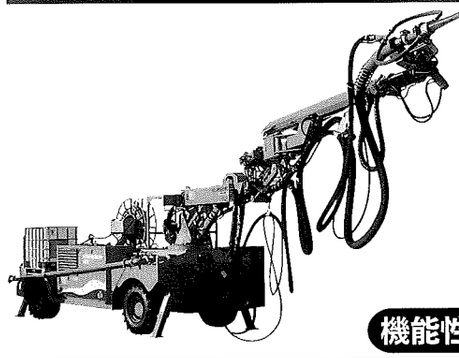
吹付けコンクリートシステム

Sika® PM
Experts on Sprayed Concrete

コンクリート吹付機
Sika®-PM500 PC
by Putzmeister

当社はこのたびコンクリートポンプ・コンクリート吹付機で世界的実績を誇るputzmeister社と契約し，今までの吹付機の発想をことごとく変え，さらにその実績と技術ノウハウの基に製造されたputzmeister・Sika®-PM500PC を国内に導入しました.





特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです.

プツマイスター圧送ポンプの特長

①シリンダーが他社機と比較して長い
　プツマイスター　　L＝1000㎜
　他　社　機　　L＝600～700㎜
②S型揺動管の切替速度が他社機と比較して速い
　プツマイスター　　0.15sec
　他　社　機　　0.20～0.30sec
③油圧回路に特許FFH(フリーフロー回路)機能を採用

この三大特長によって，吹付け時の脈動が非常に少なく，またそのことに関連して息つぎが防止され，コンクリートの付着性が著しく向上，作業時間の短縮，飛散リバンドの減少，さらに部品の消耗，油圧ホース，油圧ポンプ等々を含めコストダウンその減額を可能とします.

コンパクトで群を抜く使いやすさ！

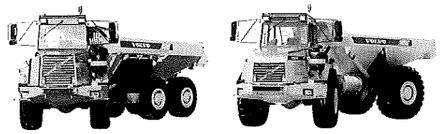
機能性，機動性の基に理想的な機械化を実現！

総販売元　東友エンジニアリング㈱　製造輸入元　プツマイスタージャパン㈱

トンネル関連製品

吹付けコンクリートシステム
　putzmeister・Sika®-PM500PCコンクリート吹付機
　Putzmeister S.A.
　一体型吹付機・特殊型吹付機
　設計・製作：東友エンジニアリング株式会社

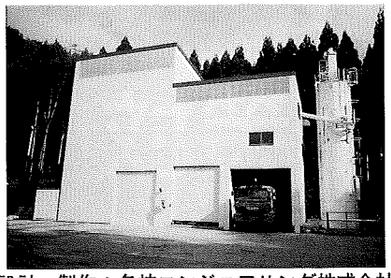
VOLVOダンプトラック
（A25C-TS，A25C-TR，A20/30C-T）



Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他，トンネル施工機械全般

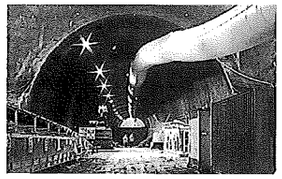
バッチャプラント
（全自動式，3槽クラム式，簡易型，特殊型）



設計・製作：名岐エンジニアリング株式会社

トンネル換気システム

ABC
VENTILATION SYSTEMS





●ファスナー式風管　●ツインダクト風管
●スパイラル風管　●帯電防止型風管

総代理店　東友エンジニアリング株式会社

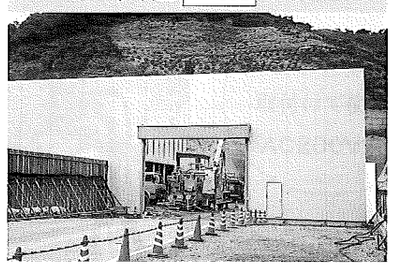
騒音防止システム

エコフラット −35db Cタイプ



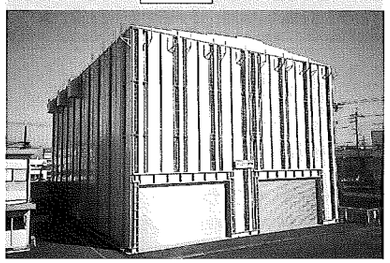
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 −15db Aタイプ



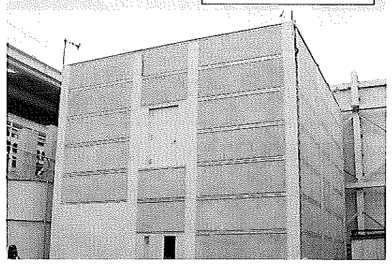
適応性の優れた防音パネル

エコユニット −30db Bタイプ



組立て容易な標準型防音ハウス

スーパーエコハウス 超低周波音−25db



超低周波音対策に適した防音ハウス

設計施工　株式会社トーユーエコサポート

建設業界に貢献するTOYU GROUP

東友エンジニアリング株式会社

http://www.toyu.co.jp

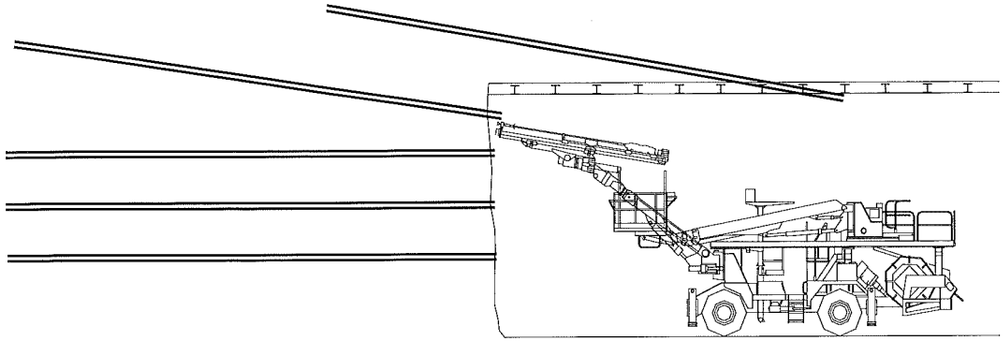
〒102-0073　東京都千代田区九段北 3-2-5　TEL：03-3234-8901　FAX：03-3234-8900
株式会社トーユーエコサポート　TEL：03-5226-5971　FAX：03-5226-5974
トーユーサービス株式会社石岡工場　TEL：0299-27-6211　FAX：0299-27-6233

KATECS

全方位切羽補強工法

パノラマ工法

パノラマ工法は切羽から長尺樹脂管（GRP管）を打設しシリカレジンを注入することで切羽前方地山を効果的に拘束するための全方位マルチパターン地山補強工法です。特殊強化樹脂管を切羽から全方位に打設することで、天端部の先受工と併せて鏡面補強も同時に施工することができ、切羽の安定性を高め、掘削の安全性を向上させます。



アルカリフリー型液体急結剤

AFK−777J

『AFK-777J』は、コンクリートとの混合が良く付着性に優れ、液体急結剤を少量のエアで添加するため、従来の粉体急結剤と比較して、粉じんやリバウンドが低減されます。

また、液体急結剤吹付けコンクリート用高性能減水剤『404シリーズ』を併用することで、安定した品質の吹付けコンクリート施工が実現できます。



「ヨロケ」とは昔 鉱山で呼ばれたじん肺のことです

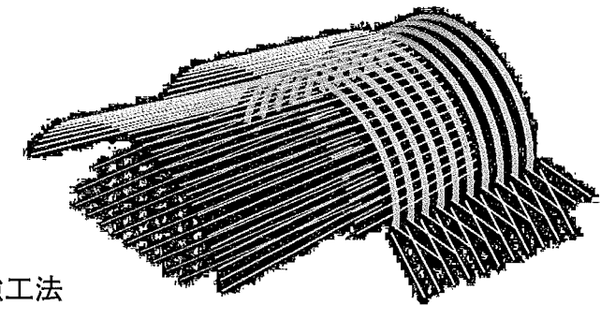
KATECS

トンネルの補助工法

注入式長尺先受工法
- AGF工法
- AGF-P工法
- AGF-S工法
- AGF-WOO工法
- AGF-E工法

小口径長尺先受工法
- SMALL-P工法
- FBE工法

全方位マルチパターン地山補強工法
- パノラマ工法



発泡型シリカレジン
- スーパーSRF

無機系注入材
- シリカセーフ

KATECS

株式会社 カテックス 建設資材事業部
http://www.katecs.co.jp/

本　　社　〒460-8331　名古屋市中区上前津1丁目3番3号
技術営業部　TEL 052-331-8821　FAX 052-332-0164

中部営業部
〒460-8331　名古屋市中区上前津1丁目3番3号
TEL 052-331-8821　FAX 052-332-0164

東京支店
〒112-0014　東京都文京区関口1丁目47番12号
江戸川橋ビル4階
TEL 03-3260-8321　FAX 03-3266-1648

関西営業部
〒550-0015　大阪市西区南堀江4丁目1番18号
十川産業西堀江ビル7階
TEL 06-6578-3235　FAX 06-6578-3237

九州営業部
〒816-0932　福岡県大野城市瓦田623-4
リバーサイド大野城A号
TEL 092-574-0856　FAX 092-574-0846

北海道地区(㈱エイチ・アール・オー)
〒003-0011　札幌市白石区中央1条5丁目8番2号
TEL 011-821-5868　FAX 011-821-6644

湿式吹付けコンクリート用高性能減水剤
NT-1000シリーズ

急結剤と併用することにより、
高品質で経済的な吹付けコンクリートを実現。
- 単位水量を減少し、急結性・付着性・強度発現性などの諸性状を改善する。
- 急結剤の使用量を低減する。

アルカリフリー・低アルカリ型液体急結剤
メイコ®SAシリーズ

成分中にアルカリ分をほとんど含まない液体急結剤。
- 作業員に対する安全性が高い。
- 粉じんの発生が少なく、良好な吹付け作業環境が得られる。
- 付着性に優れ、リバウンド量を低減する。
- アルカリ骨材反応を助長しない。



より良い吹付けコンクリートのために。
現場のニーズに専用の混和剤システムがお応えします。

二酸化ケイ素を主成分とした球状で超微粒子のシリカフューム。
- ワーカビリティー、材料分離抵抗性、ポンプ圧送性などを改善する。
- 硬化コンクリートを高強度化し、水密性を増大させる。

シリカフューム
メイコ®MS610

吹付けコンクリートの練置きを1～16時間まで自由にセットコントロール。
- 長時間の運搬や現場での練置きを可能にする。
- 夜間のコンクリート製造作業を軽減し、吹付け工事を効率化する。

湿式吹付けコンクリート用セットコントロール剤
デルボクリート

BASFポゾリス株式会社
- 本社／東京都港区六本木3-16-26
  混和剤営業部: TEL03-3582-8811(直) FAX.03-3583-3800
- 支店／仙台、東京、名古屋、大阪、福岡
- 営業所／札幌、宇都宮、千葉、横浜、上越(松本・金沢)、静岡、広島、高松、鹿児島

資料進呈／詳しくは、本社混和剤営業部または、最寄りの事業所にお問い合わせください。
URL http://www.pozzolith.basf.co.jp

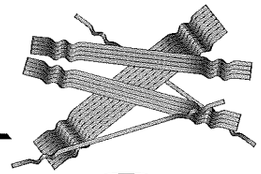
MOODY INTERNATIONAL　UKAS QUALITY MANAGEMENT 014
JSA EMS ISO 14001 登録番号 JSAE158
●BASFポゾリス㈱は開発センターと茅ヶ崎工場において、ISO9001およびISO14001の審査登録をしています。

BASF The Chemical Company

BRIDGESTONE　厳しい条件下の施工に迅速な対応・信頼のブランド

コンクリートをより強く、よりしなやかに。

タフグリップ コンクリート補強用鋼繊維



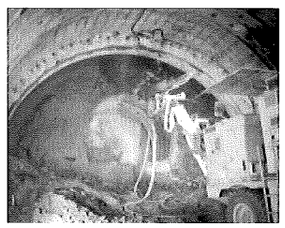
技術提案 ← 地山不良 → トラブル対応

断層破砕帯
膨張性地山
変形増大

■ 断層破砕帯や膨張性地山などの地山不良部での対応が有効です。
■ 二次覆工での無筋化により防水性能向上、工期短縮、コストダウンの可能性があります。

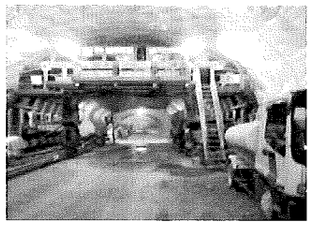
一次吹付

- 吹付のコンクリートの崩落防止（膨張性地山）
- 山はね対策
- メッシュ置換（安全対策）
- 切羽の自立補助



二次覆工

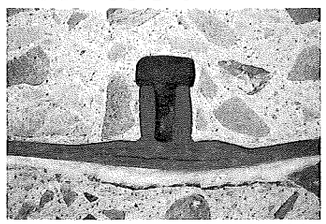
- 内空変位増大対策
- 無筋化
- 剥離・剥落防止



防水への信頼性・施行性の向上へ

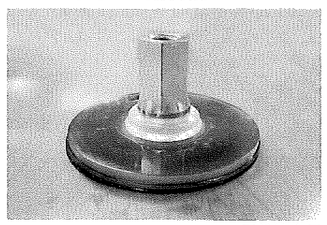
ナトミックシート トンネル用防水シート

■ 高い防水性



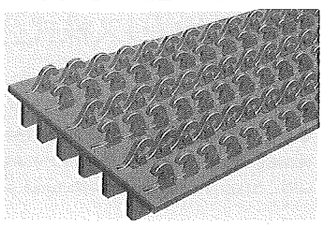
ウォーターバリア

■ 豊富な品揃え



吊鉄筋金具

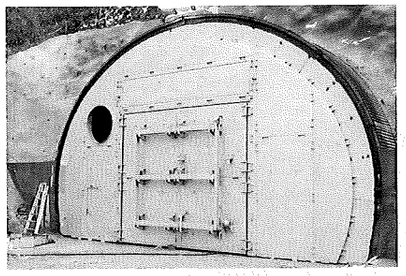
■ 容易な施工性



クイックバー

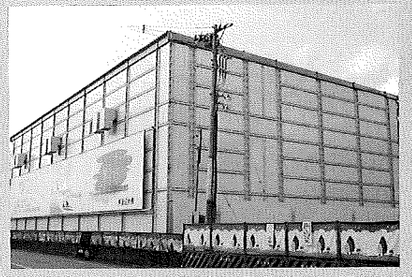
株式会社ブリヂストン
土木・建築資材販売促進第2部
東京都中央区八重洲1-6-6　〒103-0028
TEL.(03)5202-6872　FAX.(03)5202-6874

快適な作業環境を約束する騒音対策システム

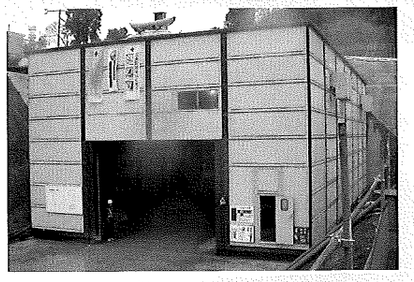


●防音扉−HFS型 マークⅡ
パネル厚さ＝150㎜

●防音扉−HFS型 新・マークⅡc
（コンクリート充填タイプ）
パネル厚さ＝150㎜＋コンクリート＝100㎜



●防音ハウス−Hタイプ
（ハイデラックスタイプ）
HFD−125パネル使用　パネル厚さ＝125㎜



●防音シェルター−Dタイプ
（デラックスタイプ）
HFD−100パネル使用　パネル厚さ＝100㎜



●防音壁−Sタイプ
（スタンダードタイプ）
HFS−100パネル使用　パネル厚さ＝100㎜

【建設騒音対策協会】（旧 騒音対策研究会）

株式会社牛尾商店	〒810−0801	福岡県福岡市博多区中洲5−4−19	TEL.092−281−2131
株式会社カテックス	〒460−8331	愛知県名古屋市中区上前津1−3−3	TEL.052−331−8821
株式会社ティーエムシー	〒116−0013	東京都荒川区西日暮里5−23−3	TEL.03−3891−8211
日豊株式会社	〒150−0002	東京都渋谷区渋谷2−12−12	TEL.03−3409−8041
株式会社野佐和商会	〒550−0013	大阪府大阪市西区新町2−10−3	TEL.06−6532−5451
株式会社ビーエスアイ	〒060−0031	北海道札幌市中央区北一条東13−1−1	TEL.011−241−6500
古河ロックドリル株式会社	〒101−0047	東京都千代田区内神田2−15−9	TEL.03−3252−6551
松茂工販株式会社	〒135−0061	東京都江東区豊洲4−1−23	TEL.03−3536−5531
幹事　ヒューズ工業株式会社	〒132−0035	東京都江戸川区平井6−35−5	TEL.03−3617−8111

E-mail　souon@fuse-ind.co.jp

ISO9001取得〜防音設備の設計、製造、施工、リース
◆計量証明事業登録 騒音レベル第913号 ◆建設業登録 とび・土工工事業(般-17 第75054号)

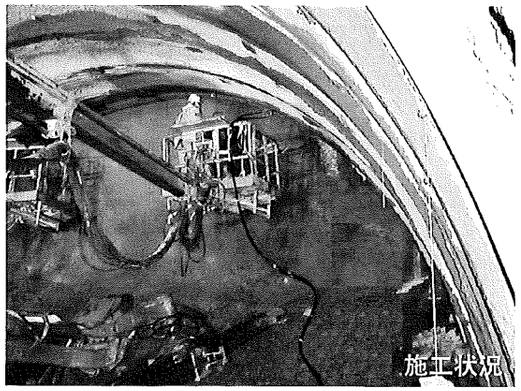
ヒューズ工業株式会社
FUSE INDUSTRIES CO.,LTD.

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 ショーレイビル　TEL.06−6359−2611　FAX.06−6359−2288
E-mail　info@fuse-ind.co.jp　URL　http://www.fuse-ind.co.jp

補助工法・注入材のことならティーエムシー

■AGF-OFP工法

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



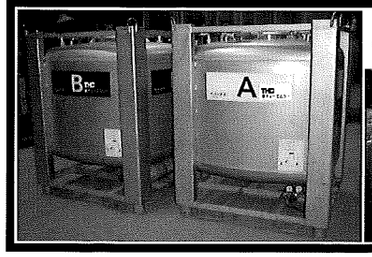
■各種注入材

NEW－TSRF
（シリカレジン）
NEW－TBU
（ウレタン）



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

環境に配慮したリサイクルコンテナシステム



◎リサイクルコンテナ（左）と現場への搬入風景



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

トンネル補修もティーエムシーにお任せください

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

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





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

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

本社	〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-23-3 冠第二ビル5F	TEL：03-3891-8211
仙台支店	〒984-0826 宮城県仙台市若林区若林2-5-5 SKビル3F	TEL：022-286-5111
名古屋支店	〒486-0844 愛知県春日井市鳥居松町4-165 春日井中央ビル4F	TEL：0568-56-4288
大阪支店	〒578-0903 大阪府東大阪市今米1-2-1 中辻第3ビル3F	TEL：072-966-6280
富山営業所	〒933-0806 富山県高岡市赤祖父707 古川ビル2F	TEL：0766-28-8355
九州営業所	〒839-0809 福岡県久留米市東合川3-12-40 アイ・ソリューションビル1F	TEL：0942-40-8151



オリカ・マイニング・サービス
――産業爆薬、起爆システムおよび高度な爆破ソリューションの世界的リーダー企業。

オリカは、ダイノ・ノーベルのアジア、中南米、欧州、中東およびアフリカ事業を買収しました。当社は、お客さまとの関係の維持、ならびに統合プロセス全般における滞りのない移行の実現に努めています。

当社は、オリカとダイノ・ノーベルの最良部分を活用し、お客さまの最終利益拡大をお手伝いいたします。

皆さまには、◇さらなる技術投資、◇供給のより高い安定性に向けて、より広範囲の製品およびサービス、ならびに拡大された製造施設／サプライポイント・ネットワークへのアクセス、◇爆薬、技術サービス、ANおよび起爆システム製品の信頼できるデリバリー――をご期待いただけます。

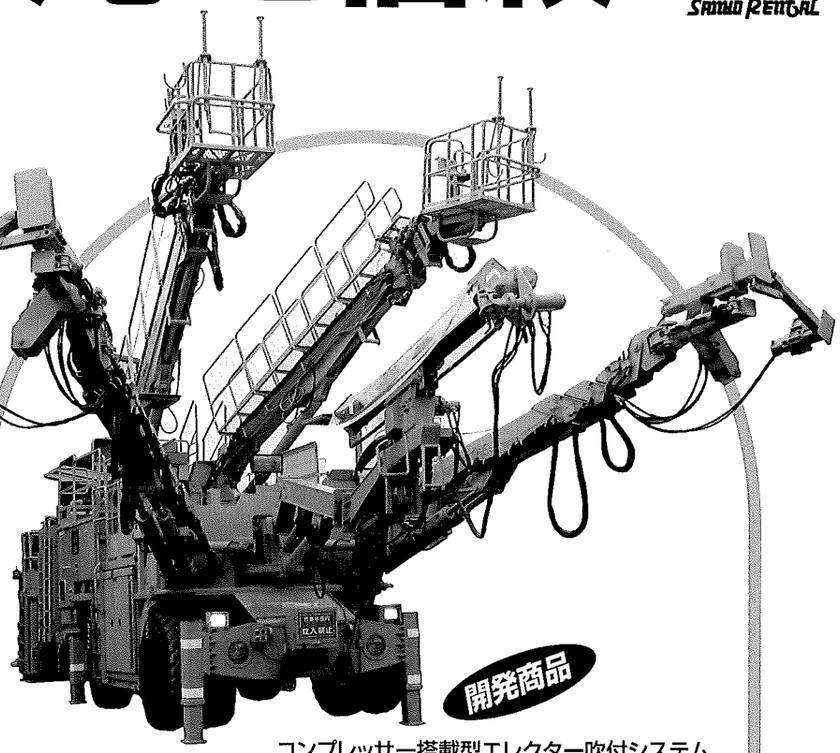
オリカは、鉱業および建設業界、ならびに当社のお客さまへのコミットメントをお約束します。

オリカジャパン株式会社
〒105-0001
東京都港区虎ノ門3丁目7-11
虎ノ門三須ビル7階
Tel: 03 5777 4681 Fax: 03 5777 4682

ORICA MINING SERVICES

安心と信頼

SANKO RENTAL



開発商品

コンプレッサー搭載型エレクター吹付システム
（ホイール式）

〈1台2役のスグレモノです!〉

■1台にて1次吹付、支保工建て込み、2次吹付可能です。
■2バスケットによる効率UPが可能です。
■最大荷重1200kgの支保工を運搬・建て込み可能です。
■コンプレッサー　90kw・37kwを搭載しています。

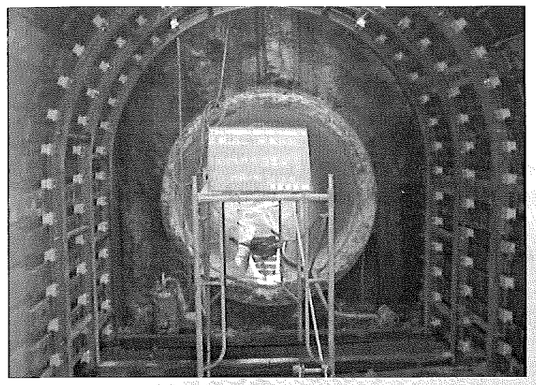
トンネル機械の総合レンタル

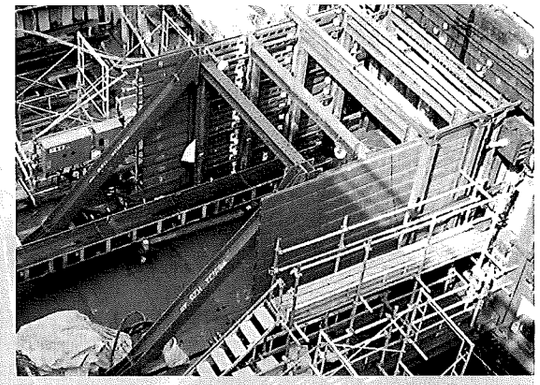
三興レンタル株式会社

高槻事務所／〒569-0836 高槻市唐崎西2-26-1
TEL072-677-2101㈹　FAX072-677-2109

アーストンネル掘削工法に最適

SS-メッセル工法





30年の実績（工法指導致します）

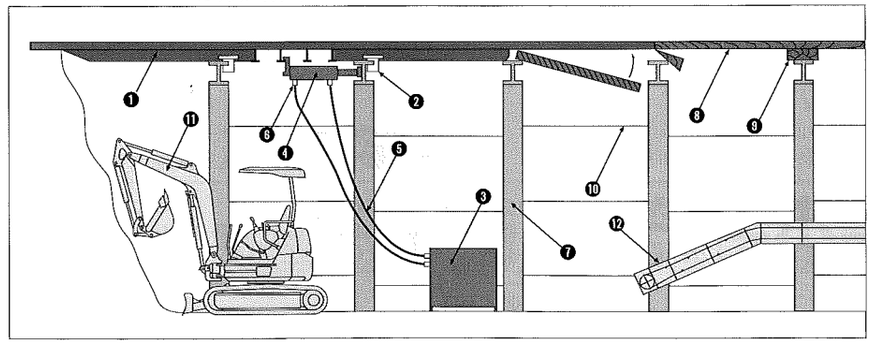
特徴

- 地山をゆるめず任意の断面形状のトンネル掘削ができます。
- 余堀りがなく切羽の掘削と一次覆工が同時に安全に施工できるので地表面が沈下しません。（都市トンネル工事では最適）
- SS-メッセルプレートとスタビライザとの組合せにより、メッセルの離脱及びノーズダウンを防止する構造になっています。直線・曲線掘進に適応します。
- SS-メッセル工法に使用される断面は、支保工の形状に従って、円形・角形・アーチ形・馬蹄形、のいずれでも自由に選べます。

実績

- JR線等線路直下横断工事。鉄道・道路・下水道・共同溝などトンネル工事に多数の実績をもっています。

SS-メッセル工法概略図



❶SS-メッセルプレート
❷スタビライザ
❸油圧ユニット
❹油圧ジャッキ
❺油圧ホース
❻油圧手許切換装置
❼支保工
❽木矢板
❾木製キャンバー
❿径間パイプ、
　タイロットボルト
⓫バックホウ
⓬ベルトコンベア

SIETECH 株式会社シーテック
URL　http://www16.ocn.ne.jp/~sietech/

〒102-0074　東京都千代田区九段南3丁目8番10号　TEL.(03)3263-7457(代)　FAX.(03)3262-0915

【好評発売中】

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　送料 290円

いわゆるバブルがはじけたここ数年，コスト縮減はすべてに優先する至上命題となっており，シールド工事もその例外ではない．シールド工事の直接費に占めるセグメント費の割合は約4割程度と言われているが，シールド工事費の縮減のためにはセグメントの製造コストの縮減は避けて通ることのできない課題の一つとなってきている．

このような状況を受けてここ10年ほどの間に，急激にいろいろなセグメントが提案され実用化された．

これらのセグメントのうちにはよく似たものも多く，名称もバラエティに富み，その特徴や適用範囲などが明確でないため混乱が起きている例もある．

このため「トンネルと地下」の編集委員会では過去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，「セグメントの新技術」の連載講座を設けてこれらのセグメントを順次紹介した．セグメントの名称，特徴，開発目的，適用範囲などは同じフォーマットで掲載され，また，最終回では，そこで紹介されたセグメントを整理分類し，新しいセグメントの開発の動向や今後の展望を総括した．

本書はこの連載講座をもとに新たに「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．

〈セグメントの新技術〉

1．薄型化・高強度セグメント
2．サンドイッチ型合成セグメント
3．矩形トンネル用合成セグメント
4．NM セグメント
5．二次覆工省略型ダクタイルセグメント
6．リングシールド工法用セグメント
7．コンクリート中詰め鋼製セグメント
8．DNA シールド
9．ガイドロックセグメント
10．ウイングセグメント
11．ハニカムセグメント
12．CONEX-SYSTEM
13．スパイラルセグメント
14．コッター・クイックジョイントセグメント
15．ワンパスセグメント
16．AS セグメント
17．マルチブレード式継手セグメント
18．シンプロセグメント
19．WB セグメント
20．リングロックセグメント
21．KL セグメント
22．コーンコネクターセグメント
23．FRP-Key 継手
24．ほぞ付きセグメント
25．HOT セグメント
26．インサート継手(その1：アーチ形)
27．インサート継手(その2：NF 型)
28．CPI セグメント
29．PPC セグメント
30．FBR セグメント
31．NRT セグメント
32．タイドアーチセグメント
33．遠心力締固め RC セグメント
34．高流動コンクリートセグメント

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

き---り---と---り---線

《ご　注　文　票》

セグメントの新技術 ＿＿＿＿ 冊　申込みます．

所 在 地　〒(　　)

事業所名　　☎

部 課 名　　申込者名　　㊞

マックス・シェルレ　著

推進工法の理論と実際

野田典宏 訳　中本　至・石橋信利・金城英夫 監修

B5判　437頁　税込 8,925円　送料450円



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

〈主 要 目 次〉

第1章　推進工法の技術
第2章　推進工法の機械・器具
第3章　推進管に作用する荷重とその計算方法
第4章　推進工法の計画，設計および施工
第5章　管布設の欠陥と損傷

推薦のことば

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1960年にはわが国の普及率は15%に過ぎなかったが，今日では60%近くになっている．当初，年間1500kmしか施工実績がなかったが，近年の施工延長は年間15000km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．

中本　至・石橋信利・金城英夫

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，下記の申込書に部数・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

《書 籍 申 込 書》

推進工法の理論と実際　　冊 申し込みます

住所（〒　　－　　）	
事業所名　　TEL	
部課名	申込者　　㊞

土木工学社の地質学書

〔好評発売中〕

わかりやすい土木地質学



大島洋志 監修

Ｂ５判　209頁　税込2,625円　〒340円

主要目次

序　編　トンネルと地質の関わり

1．地質学とは，応用地質学とは　2．トンネルと地質

第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学

1.地球の構造　2.地層や岩石の分類　3.地質作用　4.地質構造　5.地形と地質との関わり　6.日本の地質　7.地下水

第Ⅱ編　トンネル工事と地質条件

1.路線選定と地質条件　2.トンネル工法・掘削工法と地質条件　3.掘削方式と地質条件　4.トンネル掘削に伴う地質的現象

第Ⅲ編　地質調査法

1.地形・地質調査一般　2.既存資料調査　3.空中写真判読　4.地質路査　5.弾性波探査　6.電気探査　7.その他の物理探査法
8.ボーリング調査　9.ボーリング孔を利用して行う調査　10.室内試験　11.調査坑調査(施工・維持管理段階の調査含む)
12.水文調査・地下水調査　13.立地条件調査

第Ⅳ編　工事を対象とした地質調査の進め方

1.調査の基本　2.地山条件の調査の流れ　3.トンネル工事のための地山評価法　4.調査の成果

〔その他の既刊図書〕

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

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

地下水の科学　P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ　共著　大西有三　監訳

第Ⅰ巻　地下水の物理と科学　B5判　235頁　税込4,281円　送料340円
第Ⅱ巻　地下水環境学　B5判　252頁　税込4,485円　送料340円
第Ⅲ巻　地下水と地質　B5判　197頁　税込3,873円　送料340円

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

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

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

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

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

きみも金鉱を発見できる　石井康夫 著　新書版　200頁　税込1,029円　送料210円

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

株式会社 土木工学社

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



トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ



特許第1610830号

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

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

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

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

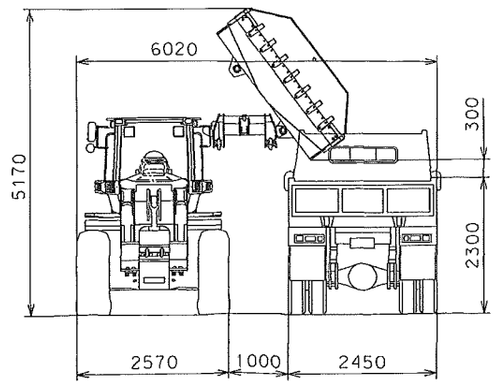
中濃産業株式会社
代表取締役 土田義式

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

2.3m³の後継機種!!

1.9m³ CAT938G





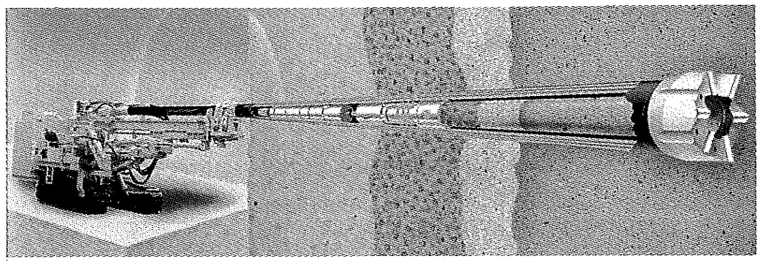
k lea

株式会社 ケイ・リー
仙台：TEL.022-359-5331
東京：TEL.03-3661-5651
大阪：TEL.06-6838-1372

URL http://www.klea-cat.com

トンネル掘さくの安全施工に
アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■特長

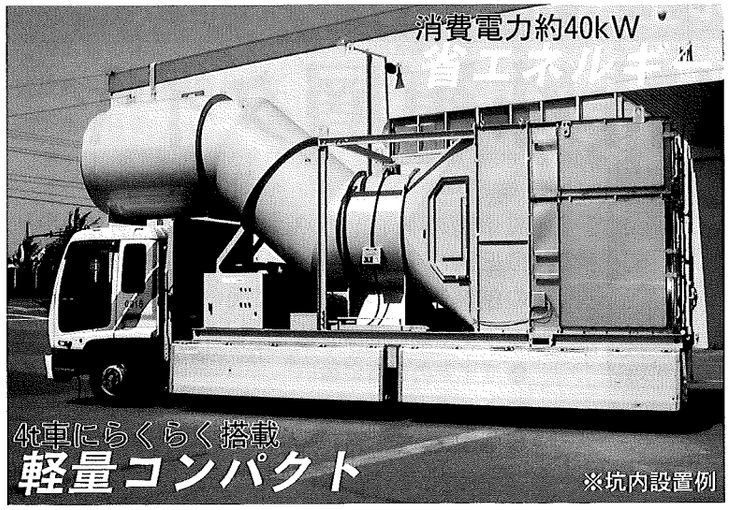
①断層破砕帯や湧水をともなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行え、施工時間が大幅に短縮できます。

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

KOKEN 鉱研工業株式会社

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

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



National電気集塵機クリンジェット(2,000m³/minタイプ)

RENT

取扱レンタル商品

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

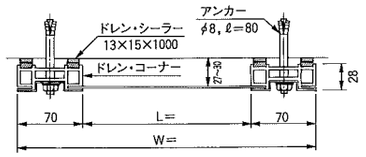
株式会社 レ ン ト　特機営業課　担当者　工藤・篠崎

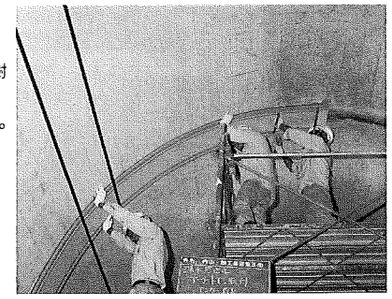
〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-12-9 NIビル8階 TEL：03-5642-6750 FAX：03-3249-0415
URL：http://www.rent.co.jp E-mail：kudo.yuji@rent.co.jp

トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

アーチ・ドレン導水樋

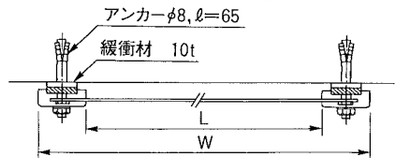
■特 徴
- 漏水幅に応導水幅の選択が可能
- 導水プレートはアクリル変性P.V.C強化樹脂で驚異的な耐衝撃性有り
- 寒冷地型、Box カルバート用勾配型、etc 有。





コンクリート剥落対策に

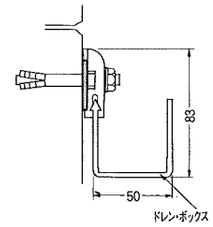
アーチ・パネル



JH水戸 大久保トンネル、etc。

水平導水樋に

サイド・ドレン

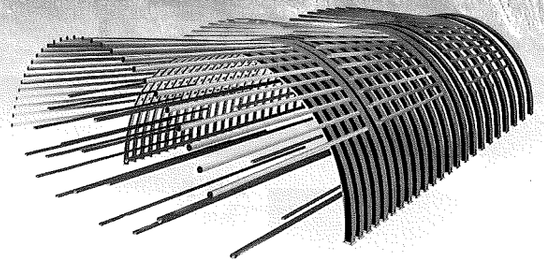


■特 徴
- スプリングライン等の水平方向からの漏水対策に最適
- ドレン・ボックスは必要に応じサイズの変更が可能

ニホン・ドレン工業株式会社

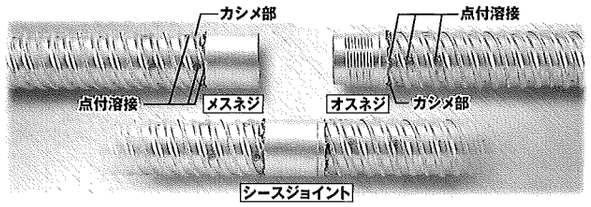
〒910-2166 福井市小路町4－12－1
☎0776(41)3725 FAX0776(41)3455
e-mail : info@n-doren.co.jp

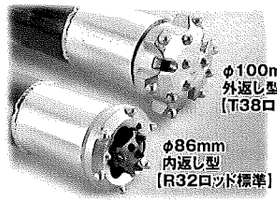
ユニークな発想と高品質・自信の価格



FIXチューブ工法

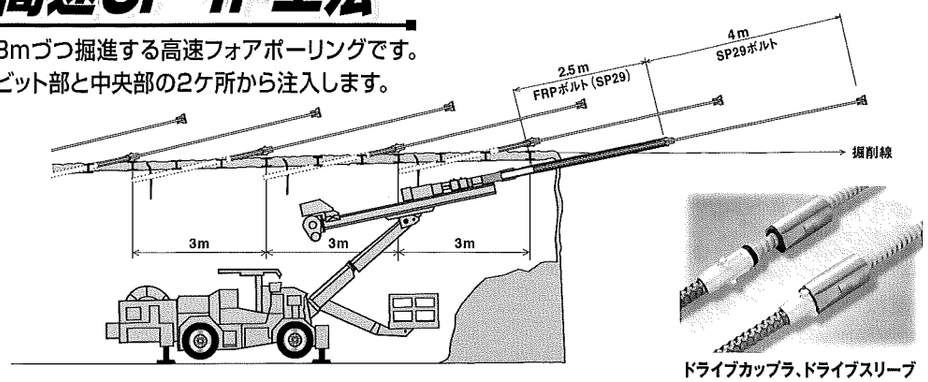
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと"**FIX**"します。





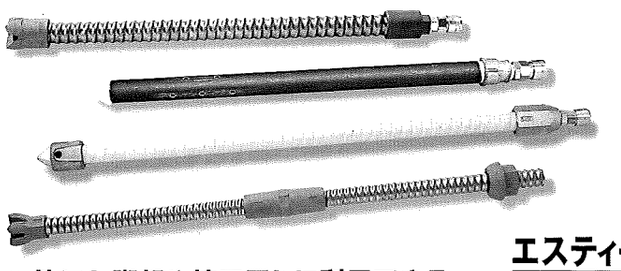
高速SP-IF工法

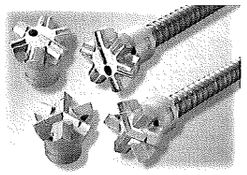
※3mづつ掘進する高速フォアポーリングです。
ビット部と中央部の2ケ所から注入します。



ドライブカップラ、ドライブスリーブ

自穿孔ボルト&注入管





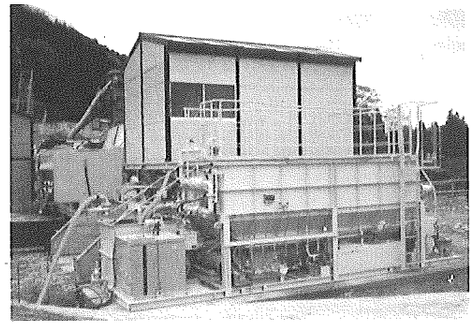
φ65mm ロストビット(SP29)

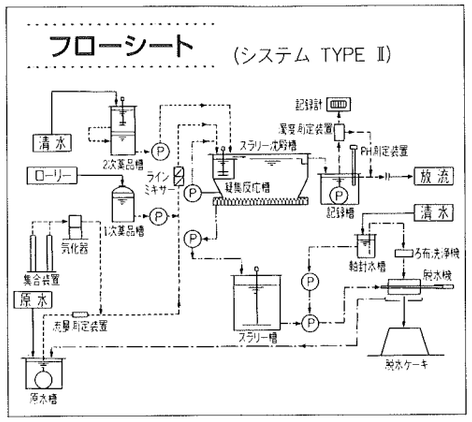
※他にも脚部や坑口周りに利用できる各種の補強土工法、マイクロパイル工法を準備しております。

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

TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら 大きな処理能力





特　長

1．基礎、土木工事の期間が短く安価である。
設置面積が小さくフラット基礎で設置可能である。

2．運転経費が少ない。
ラインミキサー及び余剰ガス循環システムの組み合せにより効率の良い中和が出来炭酸ガス使用量の節約になる。角型シックナー沈降面積及び容積をより大きく設計しており又傾斜板を採用していることから一次、二次薬品が少量でも効率の良いSS処理が出来る。複式沪板型の脱水機を採用していることから沪布等の消耗費が少ない。
又、加圧型脱水方式の為無薬注で脱水出来る。

3．シックナー内流速を最少にする設計であることより清澄度の高い処理水が得られ、再利用が可能である。

4．運転管理が容易である。
原水流入に合せた自動運転方式を採用している。パトライトによる異状警報装置を標準装備している。

脱水機は、全自動無人化タイプを採用している。処理水の水質監視装置及び記録を自動化しており、運転状況の確認が容易である。

5．多種多様な原水に対応出来る。
凝集反応槽攪拌機及び集泥用レーキにインバーターを採用し、水量及び濃度に幅広く対応する。

6．豊富なオプション装置
高分子凝集剤の自動溶解装置
処理水返送装置（異状警報装置と連動）
炭酸ガス後中和処理装置
鉄分除去処理装置（エアレーション装置等）
スラリー再濃縮装置
脱水助材添加装置
自動沪布洗浄装置

シックナー5機種、脱水機4機種を標準化し、処理量に応じた自由な組み合わせが可能です。あなたの現場にピッタリフィットのシステムを御検討下さい。

詳細資料請求、お問い合わせは

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

Waste Water Treatment System

トンネルと地下　11月号目次　Vol.38, No.11, 2007 Nov.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

東京の防災と下水道
中村　益美……5

■研　　究

低濃度グラウトに関する基礎的研究
横澤圭一郎・竹本　憲充・矢萩　良二・宮永　佳晴……47

■施　　工

河川下に小土かぶりのトンネルを掘る
―北陸新幹線　高峰トンネル東工区―
中村　　信・袋井　　昇・小林　幸多・澤　　正武……7

山岳トンネルにおける高水圧ウォータタイトの施工
―圏央道　八王子城跡トンネル―
足立　賢一・千場　　洋・吉富　幸雄・野中　良裕……17

住宅地に近接した最大幅80mの開削トンネル
―名古屋市営地下鉄桜通線　徳重第１工区―
鬼頭　延雄・井上　　洋・戸谷　和彦……25



CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

大深度・高水圧下における機械式地中接合
―東京ガス　中央幹線―
木原　晃司・矢口　岳彦・木田　博光・上原　啓史……35

■連 載 講 座

シールド工事の施工に関するQ&A（５）
JTA都市トンネル小委員会……59

■現場だより

「美食の町」穂別より
大村　修一……16

■資　　料

土木情報
編　集　部……43

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……58

トンネル千夜一夜(35)
小野田　滋……44

文献紹介
編　集　部……71

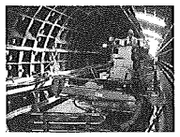
トンネルジャーナル
編　集　部……46

海外文献速報
JTA国際委員会……73

■会　　報

会　　報
日本トンネル技術協会……75

【表紙説明】　山岳トンネルにおける高水圧ウォータータイトの施工
―圏央道　八王子城跡トンネル―



八王子城跡トンネルでは，地表部に国指定の史跡「八王子城跡」があり，水環境を保全しながら施工する必要があった．そのため，掘削時にトンネル内に流入する湧水を抑制するため，掘削に先行して泥水加圧式岩盤対応シールドで導坑を掘削し，導坑内から地山に止水注入を行った．一方，高水圧下ということで完成後に漏水が発生した場合を考え，道路トンネルでは国内初となるウォータータイト構造のリペアシステムを覆工（構造）に採用した．写真は360°回転式削孔機である．

〔写真提供：国土交通省〕（本文17頁参照）

Kanaflexの電力・通信ケーブル保護管

都市部での電線集中化工事を省力化・効率化

電力・通信ケーブル用多条保護管　特許出願中

カナレックスML

電線共同溝をはじめとする
電力・通信ケーブルの埋設管工事
情報化時代に伴う
光ファイバーの多条敷設
都市部での電線地中化工事を
省力化・効率化

1.独自構造（波付き管と管台一体型リブの連続構造）
・リブに平面部があり、管を密着させて敷設できる為、掘削幅、深さを小さく出来る。
・従来品に比べ、良好な砂の充填ができ、一括埋め戻しが可能。

2.可とう性に優れる
・上下左右に曲がり、既設物や障害物の回避が容易。

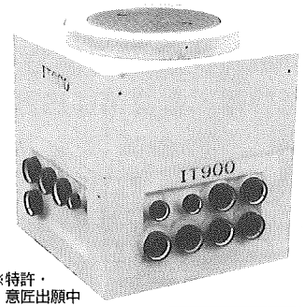
3.優れた性能
・軽量で、全サイズワンタッチ接続の採用により、工事の省力化が図れる。
・ワンタッチ式のロングベルマウス、ベルブロックを採用することによりハンドホール接合部の省力化が図れる。
・JIS C3653（附属書1及び3）の圧縮強度試験、難燃性試験をクリア。

4.摩擦係数が低く鉛直性が良い為通線がスムーズ

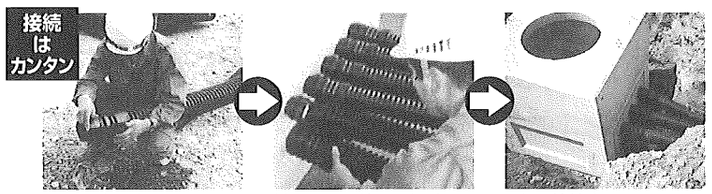


ハンドホール工事の工期短縮・工費削減に現場の加工作業を大幅に軽減できる

ワンタッチ継手付ハンドホール



※特許・意匠出願中



管路に継手差口をねじこみ　継手受口に差しこむだけ　これで接続完了。

ワンタッチ継手（ベルマウス付直材）を工場で取り付けてご納品。
管路接続がスピーディー、確実に行えます。

●本商品には、専用FEP管として、カナフレックスの「カナレックス」をご使用下さい。

TVコマーシャル放映中　テレビ朝日系「サンデープロジェクト」（日曜　朝10:00～11:45）

カナフレックス コーポレーション株式会社　ISO 9001認証取得
株式会社 インテック

東京本社　〒106-6117　東京都港区六本木6-10-1（六本木ヒルズ森タワー17F）
TEL(03)5770-5111　FAX(03)5770-5130
大阪本社　〒530-6017　大阪市北区天満橋1-8-30（OAPタワー17F）
TEL(06)6881-0767　FAX(06)6881-0769
営業所　札幌・仙台・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・福岡・鹿児島
直営工場　北海道・仙台・栃木・千葉・滋賀・愛東・広島・四国・九州

会誌ＷＧの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大　島　洋　志　　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹　　事〕

池　田　豊　人
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

伊　藤　範　行
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
グループ長

大　石　敬　司
東京地下鉄株式会社建設部工事課課長

久多羅木　吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

城　間　博　道
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

鈴　木　　明
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

千　葉　　隆
清水建設株式会社土木技術本部
地下空間統括部部長

長　島　芳　雄
株式会社竹中土木常務取締役技術・生産本部長

端　　則　夫
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

濱　　建　介
株式会社アオバ取締役会長

松　原　利　之
飛島建設株式会社土木事業本部技術統括部
トンネル技術グループ部長

山　道　哲　二
株式会社大林組東京本社土木技術本部技術
第二部部長

編集顧問の構成（五十音順・敬称略）

伊吹山　四　郎
攻玉社工科短期大学名誉学長

島　田　隆　夫
鉄建建設株式会社社友

高　橋　彦　治
伸光エンジニアリング株式会社技師長

田　島　利　男
NPO法人いきいきハイウェイ支援全国ネット
トンネル担当

西　松　裕　一
東京大学名誉教授

林　　博
西松建設株式会社専務取締役

松　本　崇　義
（元）東京都理事

丸　安　隆　和
東京理科大学教授

山　口　啓　二
株式会社熊谷組代表取締役副社長

トレンチャー

硬質地盤の溝堀はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路
掘削状況



施工例



トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

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

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

ワールド開発工業株式会社

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

編集委員会の構成（五十音順・敬称略）

〔編集委員長〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

今田　徹
東京都立大学名誉教授

定塚正行
日本シビックコンサルタント株式会社
参与・技師長（山岳トンネル担当）

高橋良文
東京都下水道局技術開発担当部長

橋本定雄
中黒建設株式会社顧問

濱　建介
株式会社アオバ取締役会長

〔委員〕

木谷日出男
財団法人鉄道総合技術研究所
防災技術研究部部長

坂根良平
東京都下水道局建設部設計調整課長

佐山順二
東京電力株式会社電力流通本部工務部
設備渉外・調整グループ課長

清水　満
東日本旅客鉄道株式会社東京工事事務所
立体交差課長

城間博道
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

田村聡志
東京都水道局建設部工務課長

津金昭一
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐

西村　聡
東京地下鉄株式会社建設部
新宿工事事務所所長

野邑敏行
東京都交通局建設工務部計画改良課長

真下英人
独立行政法人土木研究所
基礎道路技術研究グループ
上席研究員（トンネル担当）

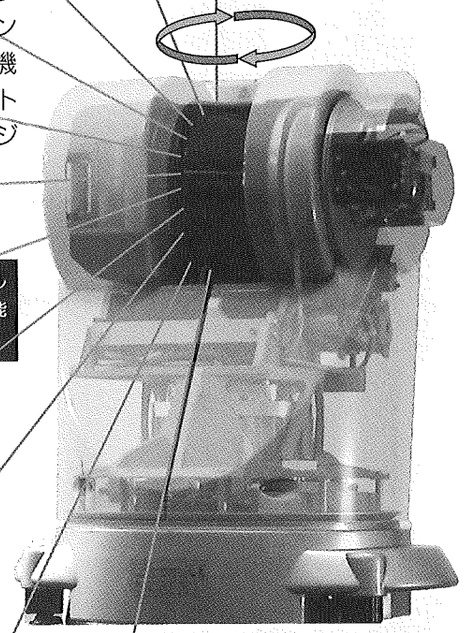
Callidus™ レーザースキャナー

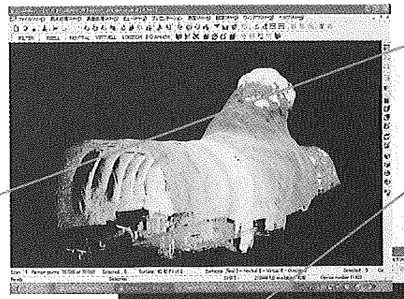
3次元トンネル断面計測機

測距精度±5mmで、1秒に1000点以上計測する3次元トンネル断面計測機。1つの機械点からトンネルの約20m(1)の範囲を10分で計測できます（機械点前後）。測定データの3次元展開図は、まさにトンネルを絵画のように詳細表示します。又、内蔵デジタルカメラで測定範囲を写真として記録可能です。

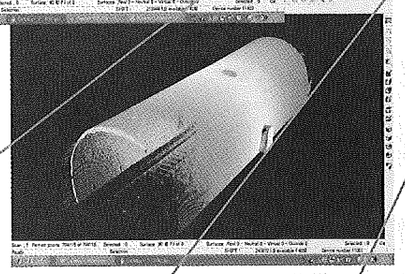
(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン





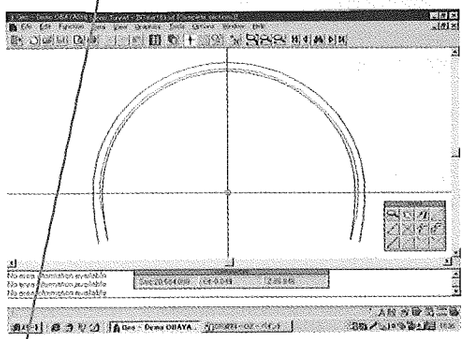
特殊なトンネル形状も対応可能です。



単独スキャンを合成し、トンネル全体を簡単に3次元表示できます。

データ解析および製図「GEOWIN」

AUTOCAD搭載の後処理ソフト「GEOWIN」は、測量計算ソフトを中心としたトンネル管理システムです。カリダスで計測したデータを3次元メッシュ（ポリゴン）で補間した後、断面を指定するだけで設計断面との比較図、設計断面に対する各観測点の差、観測断面の円周長、観測断面の面積、観測範囲のボリューム計算などが計算・表示・出力できます。



■ 販売・レンタル 株式会社ソーキ
〒550-0025 大阪市西区九条南4−2−4
TEL：06-6586-1707 FAX：06-6586-1277
URL：http://www.sooki.co.jp/

■ 製造元 トリンブルジャパン株式会社
〒135-0007 東京都江東区新大橋1−8−2
新大橋リバーサイドビル101
TEL：03-5638-5022 FAX：03-5638-5016

トンネルと地下　VOL. 38　No. 11　掲載概要

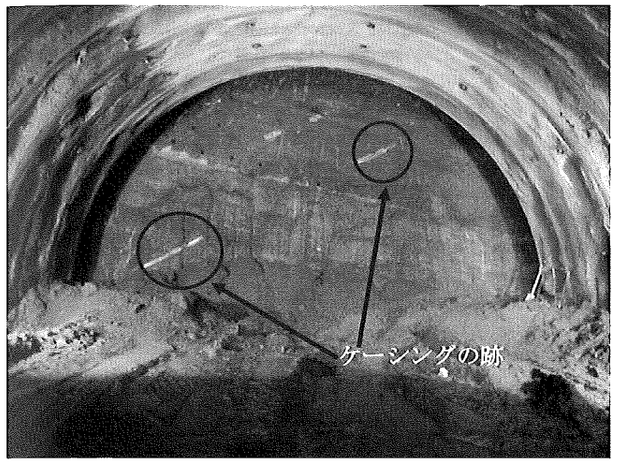
掲載頁 7

河川下に小土かぶりのトンネルを掘る
—北陸新幹線　高峰トンネル東工区—

鉄道・運輸機構　中村　　信

北陸新幹線高峰トンネルは，新潟県の西端に位置する旧能生町と糸魚川市を結ぶ全長3,940mのトンネルである．このうち東工区は延長1,900mで，起点（高崎）方坑口より約1,400mの地点で二級河川・古川と交差する．

本稿は，古川周辺の小土かぶり区間94mのうち，河川前後の40m間で実施した河川防護対策工について報告するものである．



写真は薬液注入範囲切羽状況写真

Excavate a Tunnel of Small Overburden under the River—Takamine Tunnel, East Section, Hokuriku Shinkansen—

By Makoto Nakamura, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

The Takamine tunnel on Hokuriku shinkansen is a tunnel of total length 3,940 m in the western edge of Niigata prefecture that connects Nou and Itoigawa. The eastern construction area of length 1,900 m intersects with Furukawa at a distance of approximately 1,400 m from the portal of the origin (Takasaki).

This article reports on the protective measures for 40 m on both side of Furukawa executed under the small overburden area.

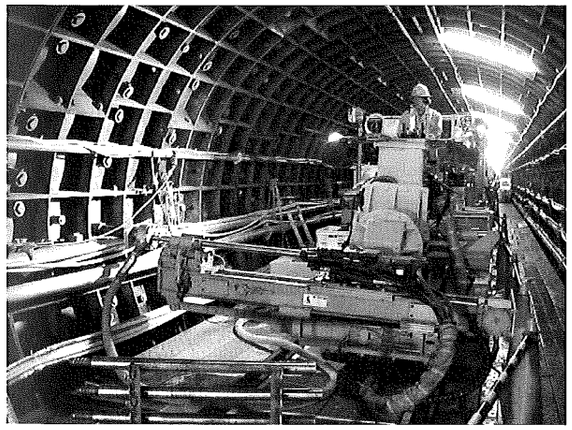
掲載頁 17

山岳トンネルにおける高水圧ウォータタイトの施工
—圏央道　八王子城跡トンネル—

国土交通省　足立　賢一

八王子城跡トンネルでは，地表部に国指定の史跡「八王子城跡」があり，トンネル完成後だけでなく施工中においても水環境を保全しながら施工する必要があった．そのため，トンネル掘削時にトンネル内に流入する湧水を抑制するため，掘削に先行して泥水加圧式岩盤対応シールドで導坑を掘削し，導坑内からトンネル周辺５m範囲の地山に止水注入を行った．一方，高水圧下ということで完成後に漏水が発生した場合を考え，道路トンネルでは国内初となるウォータタイト構造のリペアシステムを覆工（構造）に採用した．

Implementation of High Performance Watertight Structure in Mountain Tunnel—Hachioji Joseki Tunnel, Ken-O-Do—



写真は360°回転式削孔機

By Ken-ichi Adachi, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

Hachioji Joseki tunnel lies under the ruins of the Hachioji castle, and hence it was necessary to maintain the water environment during underconstruction even after the completion of the tunnel. For this reason, in order to prevent the water inflow into the tunnel during excavation, the pilot tunnel was excavated using slurry shield, and installed grouted cut-off wall of 5 m thick. We also used the reaming TBM for enlargement of pilot tunnel. We adopted watertight structure for the lining, in case of leakage after completion of the tunnel because of high water pressure, we installed the first repair system in Japan for road tunnels.

掲載頁 25

住宅地に近接した最大幅80mの開削トンネル
—名古屋市営地下鉄桜通線　徳重第１工区—

名古屋市交通局　鬼頭　延雄

名古屋市営地下鉄桜通線延伸工事において，徳重駅は終点となるため，駅部に加え車庫部・引上線部がある．当工区である徳重駅第１工区は施工区間延長360m，最大幅員80mであり，開削工法にて施工を行うものである．

施工範囲が広範囲に及ぶため，地下水位・地質構造の深度方向および平面的な把握が必要である．そのため，地下水位観測による帯水層の検討・地質調査システムによる地質状況の３次元構造の精査について述べる．

また，当工区には駅部・車庫部・引上線部それぞれに特有の地形条件があり，連壁工法・土留め工法が異なるため，その施工方法の特徴や施工に関する留意点・対策を述べる．

Construction of 80-meter Wide Open Cut Tunnel Proximal to Residential Area—Sakuradori line, Nagoya City Subway, Tokushige Section No.1—

By Nobuo Kito, Transportation Bureau, City of Nagoya

In the construction to extend Sakuradori line, Nagoya city subway, the Tokushige construction section is 360 m long and up to 80 m wide, because Tokushige station is the terminus, in addition to the station, the carriage shed and the lead tracks are also present. and is constructed using open cut method.



写真は仮設鋼製水路全景

Since the construction is spread across a wide area, an understanding of the groundwater level and geological structure from the point of view of the depth and planar dimensions is required. For this reason, we required in detail about the geological 3-D structure as a result of research about aquifer through observation of water level and using ground investigation system.

Also, in construction of the station, the carriage shed, and the lead tracks, each have differing landform characteristics, and since we needed to adopt different temporary retaining wall method for each section, we report on characteristics of construction method and attentions and measures during construction.

掲載頁 35

大深度・高水圧下における機械式地中接合
—東京ガス　中央幹線—

東京ガス(株)　木原　晃司

中央幹線は，東京大都市圏を囲む既存の環状幹線の中央を貫く，東京都江戸川区から埼玉県草加市に至る23kmの新設の高圧ガス幹線である．都市部密集地域での開削工事はさまざまな面で困難であるため，全線シールド工法によるトンネル内配管を計画した．都市部密集地域特有の制約から，長距離・大深度のシールドトンネルを高速施工し，かつ，中間には到達立坑を設けず地中接合するという提案を採用した．前回(Vol.38，No.2)はプロジェクトの設計・施工に関する課題と対策とシールド掘削までの実績について報告した．今回は，それに引き続き，無事に施工が完了した地中接合の実績について報告する．

Execution of Direct Docking Tunnel Method in Deep High Water Pressure—Tokyo Gas Chuo Kansen—

By Koji Kihara, Tokyo Gas Corporation



写真は接合実験状況

Chuo Kansen is a newly constructed, 23 km high-pressure gas line extending from Edogawa City in Tokyo to Soka city in Saitama prefecture, running across the center of the existing circular line in Tokyo. Since execution of cut and cover method is difficult because of various reasons in a densely-populated area, we planned the plumbing inside the long shield tunnel at great depth and to use the direct docking tunnel method without placing arrival shafts. In the previous article(Vol.38, No.2), we reported about the problems and countermeasures of design and execution in this project and results of the shield tunnelling. In continuation to that, this reports on the direct docking tunnel method that was completed without any problems.

掲載頁 47

低濃度グラウトに関する基礎的研究

(社)日本建設機械化協会　横澤圭一郎

近年，トンネル工事でも地下水位低下抑制，湧水量の大幅低減などが要求され，大規模なグラウトが必要になることが多くなってきている．ところが，トンネルでは高い外水圧が作用する環境下で湧水量を低減させ地下水面の変化を抑制することが求められるため，ダムに比べて一桁低いところまで透水性の改良が要求されるところとなる．

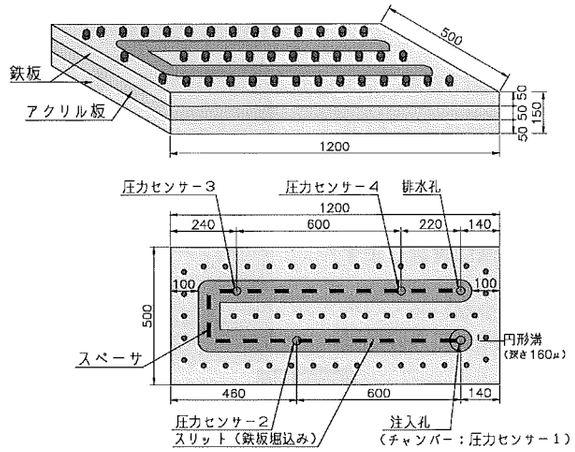
このような現状を踏まえ，トンネル工事において要求される高い止水性を有する「低濃度マルチパスグラウト工法」を考案した．この工法に適する注入材料を選定するために，各種の材料試験を行い，最終的に岩盤亀裂を模擬した大型スリットモデル実験を実施し，細粒スラグと細粒フライアッシュを１対１に混合したものを最適な材料として選定した．今後現場実証実験を行うことによって，実用化の目処を付けたいと考えている．

Basic Research Regarding Low-concentrated Grout

By Keiichiro Yokozawa, Japan Construction Mechanization Association

In recent years, prevention of lowering of groundwater level and reduction of quantity of water inflow is expected even in case of tunnel construction, and large-scale grouting for cut-off is now necessary. However, in case of tunnels, since reduction of water inflow quantity and prevention of change in groundwater level are expected in an environment of high water pressure, coefficient of permeability of bedrock is required at one figure lower by improvement treatments than that as compared to dams basement.

Considering the current situation, we have proposed “low-concentrated multi-paths grouting method” that has a significant water cut-off expected in tunnel constructions. We performed various experiments to select an appropriate grouting material for this method, and carried out a large-scale experiment modeling on rock cracking, and finally decided on a 1:1 mixture of fine-grained slug and fine-grained fly ash as the appropriate material. We will now experiment it as an actual case study and estimate a timeline for the implementation.



図はスリットモデル実験装置(単位：mm)

トンネルバルーン覆工コンクリート
トータル養生工法

長期耐久性に優れた高品質な覆工コンクリート施工を実現します！

NETIS登録
(No.HR－040005)



セントル温度養生バルーン

打設後から脱型までセントルをバルーンで覆い温度養生をします。

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

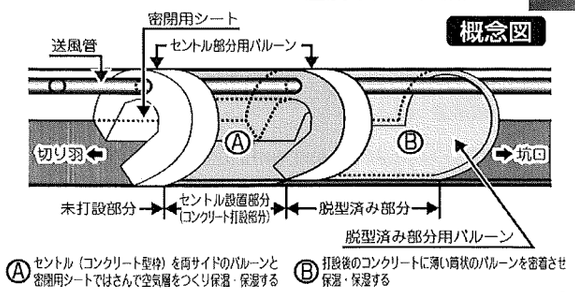
覆工養生バルーン

脱型後の覆工コンクリートを覆います。

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



概念図



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

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

２００５年『日経ＢＰ技術賞　建設部門』受賞

岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO.,LTD.
本社・工場　岐阜県本巣市十四条１４４番地
TEL 058(323)2000(代)　Fax 058(323)1176
東京支店　TEL 03(3262)1285(代)　Fax 03(3262)6093
仙台営業所　TEL 022(259)2239　Fax 022(259)3664
九州営業所　TEL 092(713)5265　Fax 092(714)3028
URL http://www.gifukogyo.co.jp/

TOUKOU 株式會社 東宏
本　社　北海道札幌市東区北２０条東５丁目１番７号
TEL 011(742)3331　Fax 011(742)3333
関東支店　TEL 027(352)2061　Fax 027(352)6065
道東営業所　TEL 0155(34)6311　Fax 0155(34)8494
URL http://www.k-toukou.jp/

巻頭言
（題字　小森　博会長）



東京の防災と下水道

東京都下水道局流域下水道本部長（本協会理事）
中村益美

9月1日の防災の日には全国各地で防災訓練が行われる．

防災の日は，大正12年のこの日に起きた関東大震災の教訓を忘れないこと，そしてこの時期に襲来する台風への心構えをもつことを含んで制定された日である．

今年はとくに地震が多く，3月に能登半島地震，7月には新潟県中越沖地震と大きな地震が相次いで発生し，地元に甚大な被害をもたらしている．

東京の位置する南関東直下においても地震の活動期に入っているとの見方もあり，マグニチュード7クラスの地震はいつ発生してもおかしくないと言われている．

こうした中，東京では多摩直下を震源とする震度6弱の地震が発生し，住宅・建物被害，道路の寸断，ライフラインの遮断という想定のもと，東京都と多摩地域4市1町による合同総合防災訓練が行われた．

訓練では，行政など防災機関が「公助」の役割を果たすとともに，「自らの命は自ら守る」「自分たちのまちは自分たちで守る」という「自助」「共助」の精神の実践をねらいに，市民参加型の訓練が多く取り入れられた．

参加した地元町会や自治会など地域市民の防災への関心も高く，自分が所属する下水道局が関係市町や民間と合同で行った下水管の復旧作業のデモンストレーションでは，期せずして終了時に拍手が沸くなど，反響の大きさを感じた．

下水道は生活に欠かせない根幹的なライフラインのひとつであるが，電気，通信，水道などとは異なり，使っていることがあまり意識されない施設である．

しかし，過去の震災でも明らかなように避難所ではまず水や食料品などの生活必需品が求められ，やがて時間の経過とともにトイレ不足が深刻化するなど，下水道の復旧の遅れは確実に被災者のストレスを増長させることになる．また，一方では下水の流出による公共用水域の汚染などの影響も懸念される．

震災時に限らず，下水道施設は代替性のない施設である．またその施設の構成も雨水，汚水，合流などの管きょをはじめ，処理場内施設も水処理と汚泥処理から脱水設備，焼却炉，

ポンプ設備など多岐にわたっており，その数は膨大である．

下水道局では，耐震診断結果にもとづき建築施設の耐震補強を完了したが，土木施設については再構築にあわせ機能確保，安全性確保の観点から優先度を考慮して耐震化を進めていくことにしており，施設ごとの耐用年数を考慮すると一律に扱えない場合も多く，息の長い事業となる．

私見を述べさせてもらえば，下水道施設の耐震化は個々の施設で考えるのではなく，処理場間を結んでネットワーク化を図り，水や泥の処理機能を相互に補完しあうことで機能停止などのリスクを分散し，システムを強化することが，減災を図るうえでは有効と考える．

東京多摩地区では限定的ではあるが，多摩川を挟んで立地する２つの水再生センターを連絡管で結ぶことによって，震災時などの危機管理を図るとともに日常の効率的維持管理を行い成果を得ており，２本目の連絡管も計画されている．

また，都市部にある下水処理場は広大な都市空間を有することからその立地のメリットを生かし，さらに耐震性を増すことによって震災時の避難場所としての機能をもたせたり，日常的に利用できる施設とするなど，再構築時には街づくりに積極的に貢献する多目的利用が図られるべきと考える．

一方，地域の防災活動では下水処理場は地元に立地する施設として，近隣への貢献が欠かせない．防災訓練など，地域と連携した取り組みや普段からの交流を通じて防災意識を育むことが地域の防災行動力を高め，自助，公助を促すことにつながるからである．

下水道は，管きょなど施設の多くが地下にあることから，人々の目に触れることが少なく，事業そのものが見えにくい．昨今は機会を捉えて，地元のひとにシールドトンネルの建設現場を公開したり，処理場内の施設見学を実施するなど，事業のPRに努めている．雨季まえに完成した大深度の雨水貯留幹線の現場見学では，巨大な地下トンネルに見学者から感嘆の声もあがるほどであった．

そうしたことから，防災訓練では地下で行う作業を目の当たりにしていただくとの狙いから，地上に配置した透明な管を破損した管に見立て，内側に新しい管を作っていく様子を進行形で見ていただくことにした．

避難訓練が重視されるように，非常時の対応は平時とはまったく異なるし，震災対策にはこれで万全と言える決め手があるわけではない．施設造りを通じて感ずることは，基幹となるハードな施設造りにはよりソフトな発想が，またソフトな施策づくりには確固たる目的意識による裏打ちが欠かせないということである．

施工

河川下に小土かぶりのトンネルを掘る

—北陸新幹線　高峰トンネル東工区—

鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局技術管理課長((前)能生鉄道建設所所長)　中村　信
鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局能生鉄道建設所副所長　袋井　昇
鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局能生鉄道建設所所員　小林幸多
飛島・福田・坂田・谷村特定建設工事共同企業体高峰トンネル作業所所長　澤　正武

1　はじめに

北陸新幹線高峰トンネルは，新潟県の西端に位置する旧能生町と糸魚川市を結ぶトンネルで東工区，西工区に分かれており，全長3,940mである(図-1)．

本稿は起点(高崎)方坑口より約1,400mの地点にて交差する二級河川，古川周辺の小土かぶり区間94mのうち，河川前後の40m間で実施した河川防護対策工についての報告である．

2　高峰トンネル東工区の概況

高峰トンネル東工区はトンネル延長1,900mである．地質概要は，起点方から220mまで破砕質の風化泥岩，720mまで泥岩・シルト岩，800mまで泥岩・礫岩の互層からなる新第三紀鮮新世川詰層である．以降は砂礫・礫岩を主体としたルーズな砂層や固結不良の砂岩・礫岩を含む新第三紀鮮新世鬼伏層が続く．古川はこの鬼伏層域に位置する(図-2)．

3　小土かぶり区間の概況

古川の川幅は平均4.3m，１年間の観測期間内において流量は平均22m³/min，最大66m³/

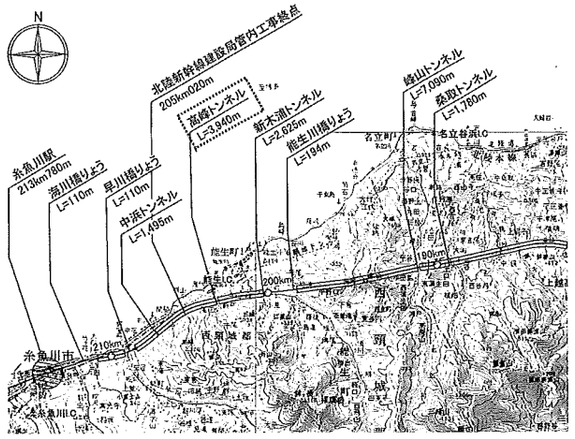


図-1　トンネル位置図

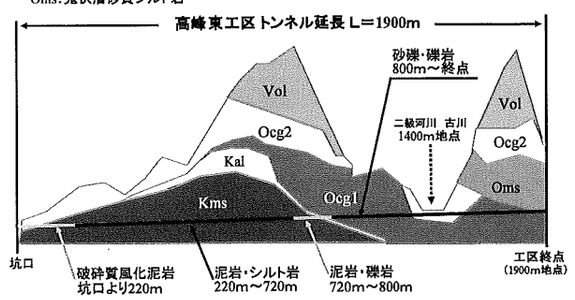


図-2　東工区地質概要図



写真-1　二級河川 古川状況

min，水深は平均0.4m程度である(**写真-1**)．また，河川の下流では，産業用水(鯉の養殖)および農業用水として河川水を使用している．トンネルの最小土かぶりは古川の直下で8.45m，これを挟んで起点側に20m程度，終点側に74m程度，小土かぶり区間が続く．

地質は河川周辺で事前に行った3か所の調査ボーリング結果から，トンネル断面内は未固結な砂礫層，トンネルの上部には不透水性のシルト層が覆っている(**図-3**)．**写真-2**にボーリングコア写真の一例を示す．地下水は砂礫層に存在しており，非常に豊富かつ，シルト層に被圧され，GL＋7mの水位を有していた．また，未固結砂礫層の透水係数は2.1×10^{-2}cm/secで，流動性あり，流砂現象ありと判定され，地山評価で特Lと判定された．これらのことから，当該区間が有している問題点を整理すると以下の3点となる．

① トンネル断面内は未固結砂礫層である．またその上部には薄いシルト層があり，層境の剝離の危険性が大きく，掘削時の地山応力開放に伴う切羽崩落，天端崩落，地表部の陥没などが起こりやすいこと．

② 未固結砂礫層は被圧地下水を有しており，トンネル掘削による地下水圧の開放により，突発湧水による切羽崩落が非常に起こりやすいこと．

③ 河床抜けおよび地層クラックの発生による河川水のトンネル内流入の恐れがあること．

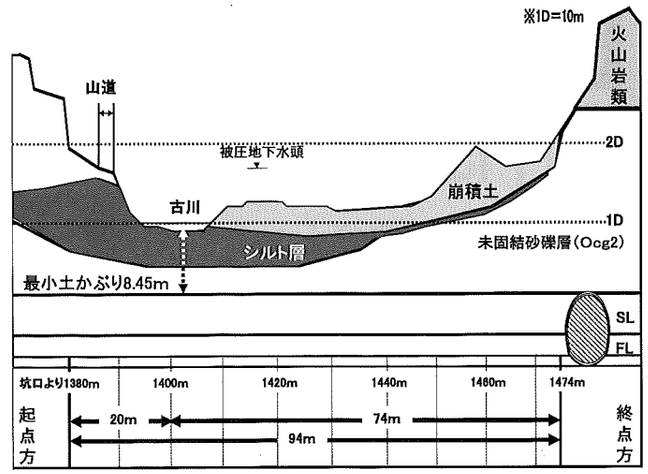


図-3　小土かぶり区間概要図

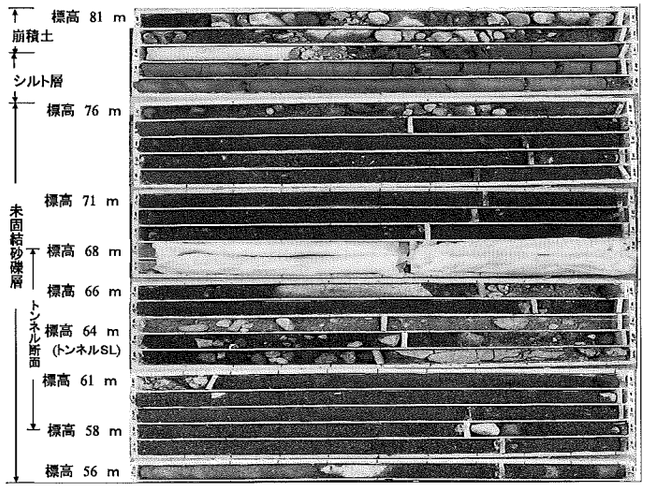


写真-2　ボーリングコア

地表面(河川)防護，近隣住民への第三者災害防止，安全な作業環境の確保の観点から以上の問題点を解決する必要がある．そこで，小土かぶり区間のNATM施工において以下の五つの補助工法を採用した．

① 地下水位低下工法
② 薬液注入工法
③ 先受け工法
④ 長尺鏡止めボルト工法
⑤ 一次インバート吹付け工法

また，土かぶり(崩積土は土かぶりとは考えな

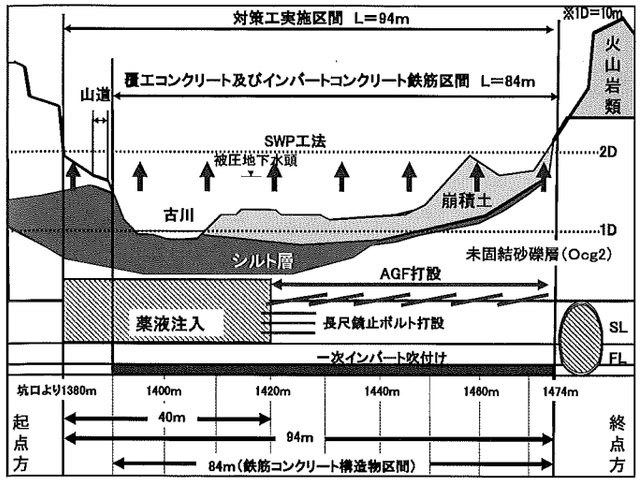


図-4　小土かぶり区間対策工概要図

い)が1*D*以下になる**図-4**に記載した終点側の84m間については，覆工鉄筋コンクリート構造にすることとした．

4　施　工　目　的

以下に補助工法の施工目的を記載する．

① 地下水位低下工法は，切羽安定を目的とするとともに，突発湧水による切羽崩落対策および，天端・切羽安定のための先受け工法，鏡止めボルト工と，河川防護のための薬液注入工法が，実施できる環境をつくることを目的とした．

② 薬液注入工法は，河川下掘削時の河床部の保護，切羽安定のための未固結砂礫層の止水性向上および，地山の強化を目的とした．

③ 先受け工法は，河川下の薬液注入工法実施区間外の天端崩落防止，地表面沈下対策および，安全な施工環境の確保を目的とした．

④ 長尺鏡止めボルト工法は，薬液注入区間と区間外の境目地山の強化を目的とした．

⑤ 一次インバート吹付け工法は，早期の排水性トンネルの構築，および早期閉合(トンネルのリング形状化)を目的とした．

本稿では，地下水位低下工法と薬液注入工法，河川下の掘削について河川を中心として前後20mずつ(薬液注入工法の範囲)の小土かぶり区間に重点を置き報告する．

5　地下水位低下工法

5-1　地下水位低下工法の検討

地下水位低下工法として，**図-5**に示す工法の中から検討を行った．

坑内からの水抜きボーリングは工期に影響を与える．これを立坑としても，未固結砂礫層の施工では，水と同時に砂を取り込む可能性が高く，地表面沈下や切羽崩壊の危険性から採用できない．

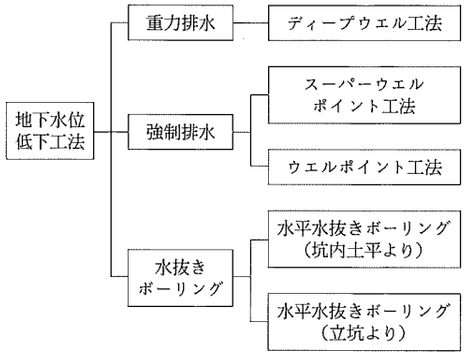


図-5　地下水位低下工法

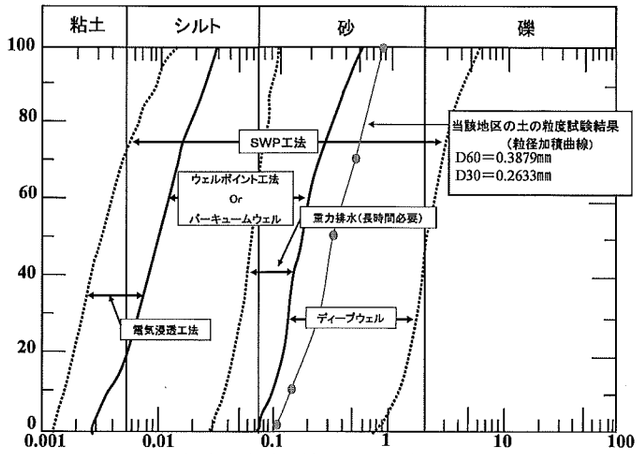


図-6　粒度分布試験結果による適用工法

ウエルポイント工法は図-6の粒度分布試験結果による適用工法の基準から外れる．

ディープウエル工法は当該地質に適しており，工期に影響を与えないが，スーパーウエルポイント工法(以下，「SWP工法」という)に比べて排水能力が落ちることから，施工本数が多くなり，管理に多大な手間と費用を要する．これらを考慮してSWP工法の採用が最適と判断した．

5-2　SWP工法の配置の検討

当該地区の地下水位は標高(以下，「EL」という)＝80～87m程度である．河床はEL＝約78mであるため河床＋2～9mの被圧地下水となっている．トンネルのSLはEL＝約64m，インバート下面はEL＝約58mである．したがって，当初は小土かぶり区間94mにおいて，インバート下面のEL＝58mまで地下水位を低下させることを目標とした．

SWP工法の配置の検討に先立ち，初期水頭分布，流向・流速測定，透水係数，比貯留係数，影響圏の把握を目的とした揚水試験を行った．揚水井戸は被圧地下水位より地盤が高位置である箇所にSWP-1井戸を設置し，試験のために観測孔1～6を直線状に配置した(図-7)．

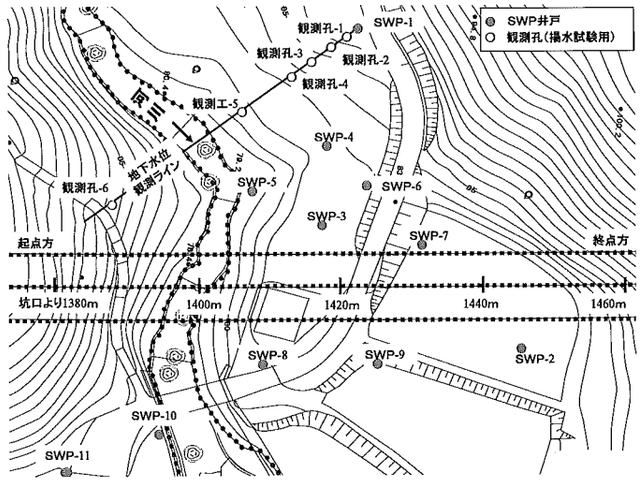


図-7　SWP配置平面図

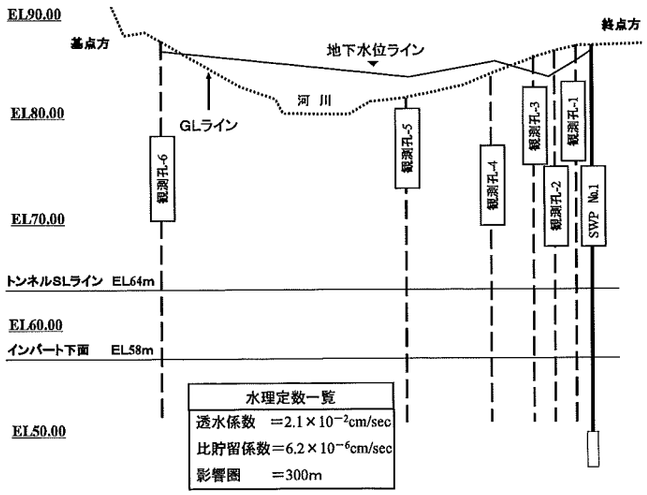


図-8　地下水位ラインと水理定数一覧

揚水試験結果により得られた地下水位および，水理定数は図-8に示すとおりであり，これをもとに地下水位低下解析を行った．解析は準三次元広域地下水解析手法を採用した．解析と現地状況による設置可能箇所を模索し，SWP井戸の配置は図-7に示すとおりとなった．

これによりSWP井戸の増設を開始したが地下水位が高いため，初めからトンネル付近にSWP井戸を設置することができない．そこで地下水位より標高が高いSWP-1井戸による揚水でSWP-4，6，9，10と順々に地下水位を下げ，下流側の井戸の設置を行った．SWP井戸を5本設置した時点で，再度解析した結果，11本すべてを配置しても図-9に示すとおり，インバート下面までの水位低下が期待できるのは坑口より1,400～1,440mまでの40m間だけであることがわかった．

理由として，当該地は谷形状になっているため，急勾配の崖の上にSWP井戸の設置ができず，SWPの平面的な集水能力が予定よりも小さく，崖の下まで集水影響が及ばないためと考えられる．

この解析結果から，目標水位低下高の変更を検

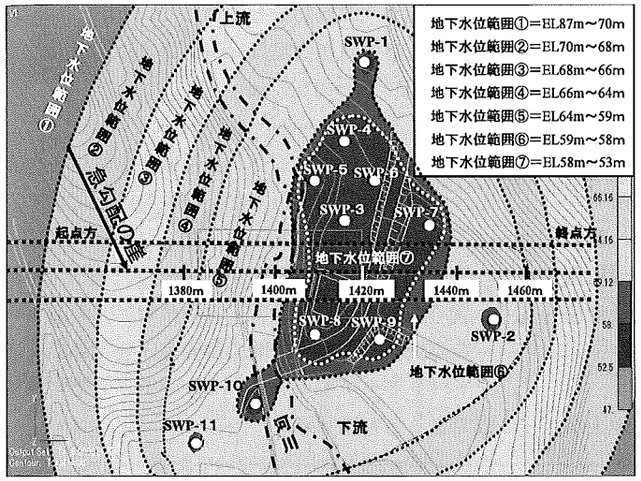


図-9　SWP影響範囲コンタ図(11本配置)

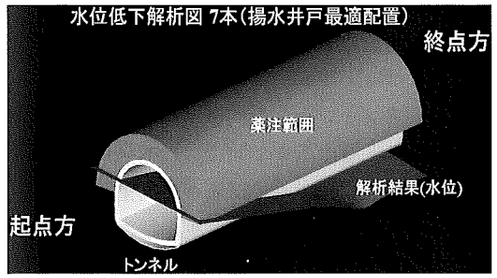


図-10　SWP影響範囲3D図(最終7本配置)

討することとした．インバート下面までの水位低下にこだわった場合，多大な費用を要するため，目標をSL(EL＝64m)までの水位低下とし，下半掘削時に地下水の回りこみ(ボイリング)が起きた場合は，簡易なウエルポイントを坑内に設置し，対応することとした．

この方針で再度，井戸配置の解析を行った結果，稼働本数の低減ができることが判明した．図-7に示すSWP-2，5，7～11の7本で揚水を行うことにより，起点側の一部を除き，SLまでの水位低下ができるという結果が得られた．よってSWP-1，4，6を稼働停止，観測孔として利用し，SWP-3については施工を取りやめることができた(図-10)．

施工段階で当初施工計画の妥当性を確認するための追加試験を行い，施工にフィードバックさせることで，施工目的，経済性を追求して施工計画を柔軟に変更し，目的の達成，経済性の向上ができた．

6　薬液注入工法

6-1　河川防護工の検討

SWP工法の採用で，当該地区は地下水位をSLまで低下できる結果を得たことにより，河川防護対策工の検討を行った．当該箇所の対策工の必要条件は以下の3点である．

① 地表面(河床)の陥没を発生させないため，確実な対策が必要である．

② トンネル天端に出現するシルト層と未固結砂礫の層境での分離，剝落の発生を確実に抑止する対策が必要で

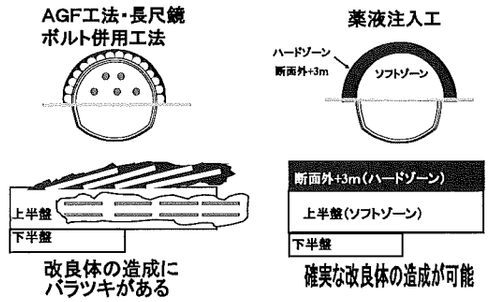


図-11　地山安定対策工法比較　改良体造成図

表-1　地山安定対策工法組合比較

工法名	AGF，鏡ボルト併用	薬液注入工(坑外)
施工性	掘削サイクルに組み込めること，標準施工機械で施工が行えるため，良い．しかし少なからず工期に影響がでる．	穿孔延長は長いが坑外からの施工のため工期には影響ない．
施工設備 工期	設備＝小 工期＝中	設備＝大 工期＝小
改良効果	改良体に造成のバラツキがあるため確実性が低い．地山全体の安定効果は低い．	地山全体の補強が可能．確実性が高い． 未固結の砂礫主体であるため効果的に注入できる．
経済性	安価	割高
まとめ	改良効果が低いため，必要条件を満たすことができない．当該区間では不可．	当該区間の地質に適し，必要条件を満たす改良効果がある．また工期にも影響がないため，採用．

ある．

③ 上部層のクラックの発生による河川水のトンネル内への流入防止，およびトンネル掘削による緩み範囲の拡大を防止する対策が必要である．

以上の3点に着眼し，AGF工法・長尺鏡ボルト併用工法と薬液注入工法について**図-11**，**表-1**のとおり地山安定対策比較を行い，河川陥没防護の観点から確実性を重視して，坑外からの薬液注入工法の採用を行うこととした．

6-2 薬液注入の検討

当該地域での注入工法の選定では，当該地山が砂礫層かつ豊富な地下水を有していたことから，注入液の逸走を懸念し，再注入が可能である施工法が必要である．また，注入効果の信頼性，施工性を考慮すると二重管ダブルパッカー工法(ソレタンシュ工法)がもっとも適していると判断した．

地質層境および，水みちの処理などの荒づめ注入(一次注入)に使用する注入材は懸濁型を使用し，均質な地盤改良を目的とする注入材(二次注入)は，ゲルタイムが数十分以上の浸透性に優れ，また恒久性・高強度を求める注入材を採用することとした．

一次注入材にはセメントベントナイト(以下，「CB」という)，二次注入材には，浸透性が良く，高強度である超微粒子特殊スラグ系懸濁型注入材(以下，「シラクソル」という)を選定した．それぞれの特性は以下のとおりである．

① CB
- 耐久性に優れる．
- 砂質土には浸透しないため，止水処理部には使用できない．
- 安価であるため一次注入材としては最適．

② シラクソル
- ホモゲル強度が高く，耐久性，恒久性に優れる．
- 砂質土に浸透するため当該地山に適する注入材である．
- ゲルタイムを有するため，逸走は少ない．
- 水ガラス系に比べ高強度であり，浸透性も良く，改良効果も高い．

各注入材の目標強度は以下のように定めた．

① CB＝0.2～2.0N/mm²

② シラクソル＝2.0～3.0N/mm²

現地の土をボーリングから採取，供試体を作成し，圧縮強度試験を行った．結果を下記に示す．

① CB＝平均0.64N/mm²

② シラクソル＝平均2.71N/mm²

③ シラクソル＋スライム＝平均2.33N/mm²

この試験により当該地山の安定，強化にはセメントベントナイト＋シラクソルのセットで目標達成できると判断した．

注入率・範囲の計画について記載する．注入ゾーンは二つのゾーンに分け，注入材を倹約した．上半トンネル断面内は切羽の安定さえ保てればよいので，注入量の少ないソフトゾーンとし，その外周厚さ3mは天端安定対策として，注入量を増やしたハードゾーンとした．厚さ3mとすることで上部のシルト層直下まで改良される．

注入率は当該地山の砂礫層が室内土質試験結果より，「密実でない砂礫層」と評価されているため，締まりぐあいが中位程度の砂礫層と評価した．これにより日本トンネル技術協会・日本鉄道施設協会・国土交通省の標準的な注入率を参考にして注入率を決定した．

- 日本トンネル技術協会：
  砂礫中位(地盤強化) 33.3～38%
- 日本鉄道施設協会：
  砂礫中位(地盤強化) 32.0～40%
- 国土交通省：
  砂 礫 中 位 31.5～36%

ソフトゾーンでは，CBによる一次注入を10%，シラクソルによる二次注入を15%とし合計25%注入とした．ハードゾーンではCBによる一次注入を10%，シラクソルによる二次注入を25%として合計35%注入とした．

注入の管理は注入量を基本とし，自動記録計(流量・圧力)にて記録されるチャート紙で管理した．圧力管理は0.1～0.2MPaを目安(上限)とした．

注入のトンネル方向の範囲は河川中心から前後20mとした．理由は**図-12**に示す，河川の両岸と1Dラインが交差するところから45°のラインを影響線と定め，トンネルのSLとほぼ交差する範囲としたためである．

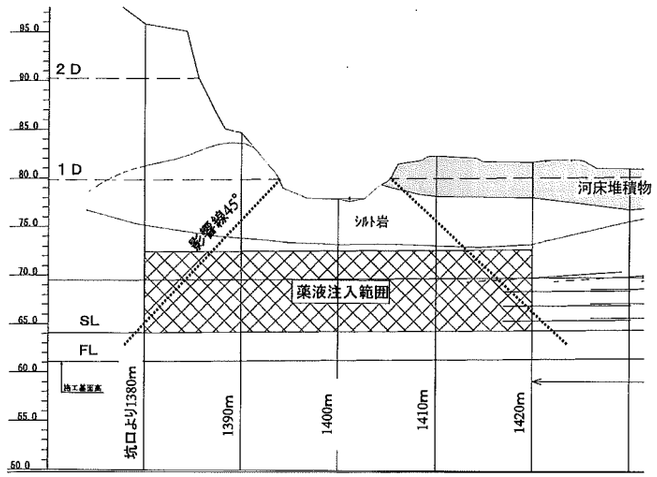


図-12 薬液注入施工断面図

6-3 施工結果

注入本数は合計で326本施工し，注入開始から完了まで約4か月を要したが地表からの施工であるためトンネル進捗，全体工程へ影響することなく施工を終了した．

注入終了後，注入効果の確認のため，無作為に4か所ボーリングし透水係数試験(非定常法)を行った．結果は注入前10^{-2}cm/secだったのものがソフトゾーンでは10^{-4}cm/secとなり，ハードゾーンでは10^{-6}～10^{-6}cm/secという結果であった．これにより注入材が対象範囲に浸透し，目的の達成ができたものと判断した．

7 一次インバート吹付け工法

一次インバート吹付け工法の施工範囲は小土かぶり区間94mのうち，起点側10mを除く84m間を対象とした．採用した理由は早期に排水性トンネルを構築したいためであり，同時に鉄筋コンクリート構造のインバートとすることによる長期間のインバート部掘削開放の危険を防ぐためである．早期に排水性トンネルとすることにより，SWPの早期運転停止を図ることができた．**図-13**に示すとおり，中央集水管の上部に15cmの集水層を設けており，効率的に集水できるようにしている．施工サイクルは早期閉合のため通常の10m/スパンの半分の1スパン5mとし，掘削・吹付けまでを1方で施工した．

8 河川区間の掘削結果

河川下区間の掘削概要は以下のとおりである．

- 掘 削 方 式：機械掘削
- ベ ン チ 長：20～30m
  (ショートベンチ工法)
- 吹付けコンクリート最小厚：20cm
- 支 保 工：H150
- ロックボルト：3.00m，D22，
  切羽下半左右各2本＝4本
- 掘削パターン図：**図-14**

掘削パターンは当該地が地山評価で特Lと判断されているため，NATM設計施工指針[7]を参考に支保工をⅠLの標準であるH125からH150に替え，吹付けコンクリートは標準的な砂礫層の掘削パターンで使用していた最小厚15cmから20cmに変更した．ロックボルトは上半断面が薬液注入により改良されているため，下半のみ4本とし，天端沈下，

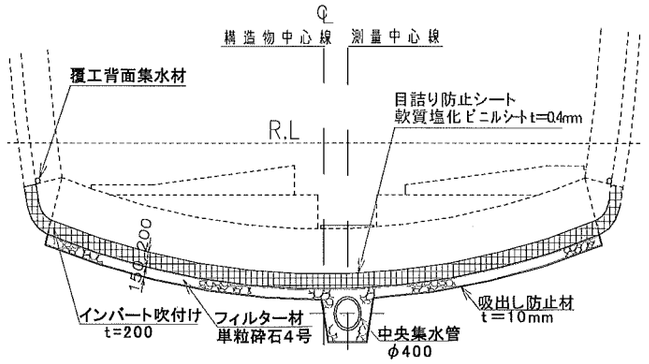


図-13 一次インバート吹付け工法断面図

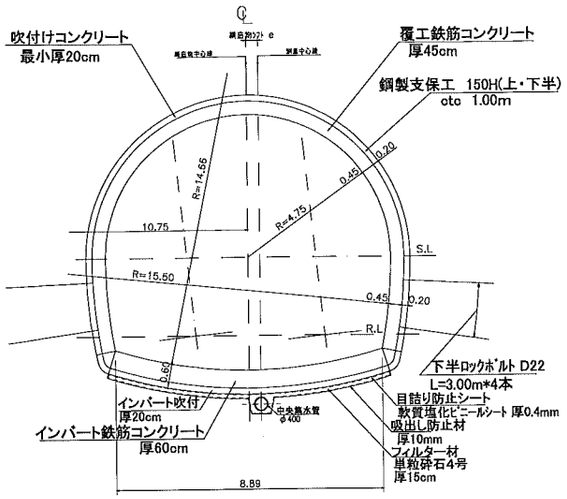


図-14　薬液注入範囲掘削パターン図

内空変位などに異常が見られた場合，上半・下半ともロックボルトを追加施工することとした．

河川直下部横断掘削の際の地表面沈下の計測管理値は一軸圧縮強度と限界ひずみの関係から算定した値を基準に定めることとした(桜井らの方式)．なお，数値は当該地のシルト層および，掘削断面内の砂礫層の値を使用した．シルト層は室内土質試験の結果からσ_c=1.18N/㎟を代表値とした．

砂礫層については一軸圧縮強度の実施が難しいため適正な試験値が得られず，値が0.1～2.23N/㎟とばらついた．そこで一般的に鬼伏層砂礫の一軸圧縮強度は鬼伏層シルトに比べ，低いといわれている点を考慮し，σ_c=1.0N/㎟とした．結果，シルト層の管理値の方が，厳しい管理値となったので安全側をみて，シルト層の管理値を採用した．

坑内の天端沈下量の計測管理値は掘削断面内の砂礫層の限界ひずみ値を用いた最大内空変位量と初期変位速度の関係から定めた．

計測管理値は以下のとおりである．

管理値Ⅰ＝地表沈下量　33㎜以下
　　天端沈下　27㎜以下
　　初期変位速度　3.7㎜/日以下
　　安全に問題ないレベル．

管理値Ⅱ＝地表沈下量　55㎜以下
　　天端沈下　43㎜以下
　　初期変位速度　3.7㎜/日以上
　　5.9㎜/日以下
　　安全に問題がないものの，注意が必要なレベル．

管理値Ⅲ＝地表沈下量　99㎜以下
　　天端沈下　79.6㎜以下
　　初期変位速度　5.9㎜/日以上
　　11.0㎜/日以下
　　破壊状態ではないが，支保能力が期待できないので，なんらかの補強が必要なレベル．

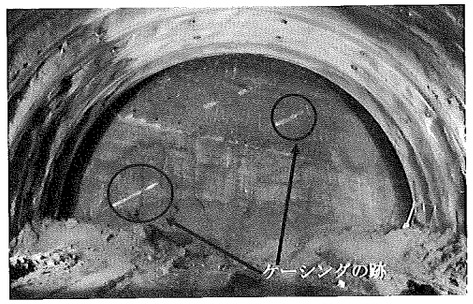


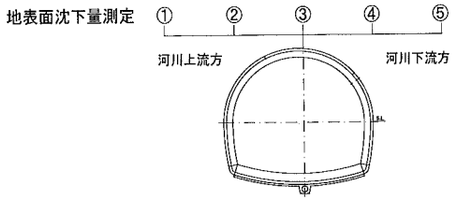
写真-3　薬液注入範囲切羽状況写真

表-2　小土かぶり範囲・収束地表面沈下量測定表

(単位：㎜)

	坑口より1,400m				
	①	②	③	④	⑤
上半掘削時(上半切羽402m)	—	−1.1	−1.3	−1.0	−1.1
下半掘削時(下半切羽410m)	—	−12.5	−15.2	−11.87	−9.5
収束値	—	−14.3	−16.8	−14.1	−10.7

	坑口より1,410m				
	①	②	③	④	⑤
上半掘削時(上半切羽402m)	−0.5	−0.3	−0.5	−0.4	−0.5
下半掘削時(下半切羽410m)	−8.1	−9.4	−11.0	−8.8	−6.9
収束値	−10.0	−11.9	−14.4	−11.2	−9.6



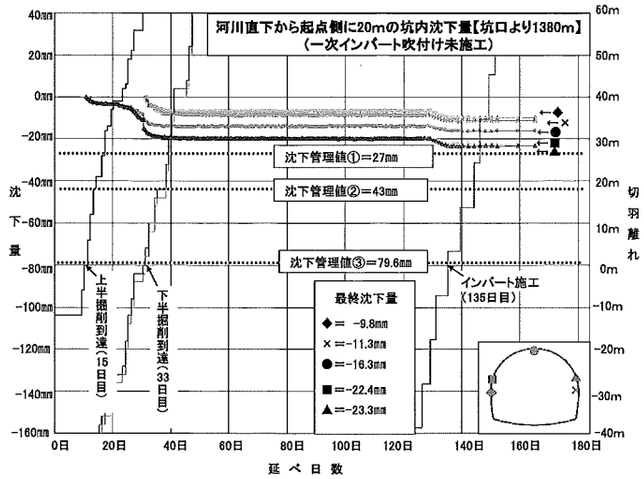


図-15　一次インバート未施工箇所の坑内沈下量測定結果

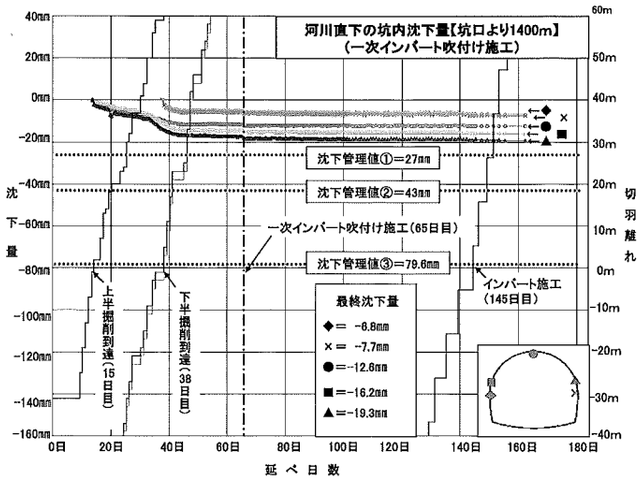


図-16　一次インバート施工箇所の坑内沈下量測定結果

掘削の結果，対象の小土かぶりの区間(薬液注入範囲)は予想どおりの砂礫層であったが薬液注入(ソフトゾーン)の効果により切羽が自立し，バックホウの爪あとが残るほどの硬固な砂礫に改良されていた(**写真-3**)．

湧水もほとんどなく，上半切羽は安定状態であった．河川直下の計測管理で上半切羽掘削後の天端沈下測定では8㎜，インバート施工後は12㎜で収束し，地表面沈下も17㎜程度で収束した(**表-2**)．

下半にも湧水はほとんどなく，ボイリングなども生じることがなかったのでウエルポイント工法などの追加補助工法を行う必要はなかった．

図-15, 16は天端沈下量の計測結果である．図-16の一次インバート吹付け工法施工箇所と図-15の未施工箇所を比べると，図-16は本設インバート掘削の際の変位量の進行がほとんどないことがわかる．このことから小土かぶり区間において下半掘削からインバート掘削まで，長期間のトンネル未閉合による地山の不安定状態の解消ができたと判断している．

薬液注入範囲の40m間において，SWP工法，薬液注入工法，一次インバート吹付け工法の併用による確実な対策が行え，被圧地下水の解消，河川防護，切羽安定，天端防護，安全な作業環境の確保ができたものと判断している．

参考文献

1) 地盤工学会編：根切り工事と地下水，調査・設計から施工まで，現場技術者のための土と基礎シリーズ19，1991.1.
2) スーパーウェルポイント協会：スーパーウェルポイント工法．
3) 米倉亮三・島田俊介・木下吉友：恒久グラウト注入工法，理想的な地盤構造体の構築，山海堂，2000.8.
4) 日本鉄道施設協会：注入の設計施工指針，1987.1.
5) 国土交通省鉄道局監修，(財)鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説　都市部山岳工法トンネル，2002.3.
6) 桜井春輔・足立紀尚編：都市トンネルにおけるNATM，鹿島出版会，1988.12.
7) 日本鉄道建設公団編：NATM設計施工指針，1996.2.

現場だより

平成19(2007)年

「美食の町」穂別より

大 村 修 一

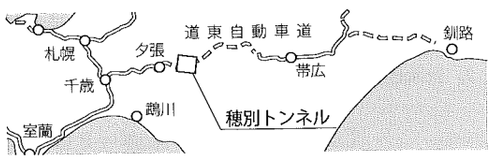
穂別トンネルを擁する北海道勇払郡むかわ町は，平成17(2006)年３月27日，勇払郡鵡川町と穂別町の新設合併によって，北海道胆振支庁東部に設置された人口約１万200人の町である．北海道の地名はアイヌ語に由来する場合が多く，ここ穂別もアイヌ語の「ポンペツ」(小川)に由来する．約13kmほどある工事用道路からは美しい小川のせせらぎ，その清らかな水を飲むエゾシカの姿なども見ることができる．

また，むかわ町は「シシャモの町」として知られている．日高山脈北部のトマム岳に源を発し，パンケシュル川，双珠別川などを合わせ，赤岩の峡谷を流下しながら穂別市街部において穂別川を合わせ，鵡川地区で太平洋に注ぐ鵡川は，その下流域で良質のシシャモが漁獲される．美しく桜色に輝くシシャモは身が柔らかく十分に脂がのった風味豊かな名産品である．

そして高級メロンとして全国的に知られる「夕張メロン」は旧穂別町において開発されたIKメロンという品種をベースにブランド化されたものである．その原種と言える「穂別メロン」も非常に甘くて北海道内における初夏の風物詩として大変喜ばれている．

浅田次郎の短編小説を降旗康男監督・高倉健主演で平成11(1999)年に映画化した『鉄道員(ぽっぽや)』は，廃線を間近にした北海道ローカル線の駅長に訪れる幸福を描いた作品だが，これに登場する幌舞線の終着駅「幌舞駅」には，昭和61(1986)年11月１日に廃止された穂別富内地区旧国鉄富内線「富内駅」に保管されていた鉄道備品約60点が小道具として使われ，今も人々の目に供され続けている．

北海道横断自動車道・道東自動車道は北海道千歳市を起点とし，中川郡本別町で分岐して釧路市および北見市へ至る予定の高速道路であり，穂別トンネル西工事を含めた夕張IC～占冠IC間は2011年度開通予定を目指している．



位 置 図



幌 舞 駅



坑口前全景

道路トンネルとしては北海道内で最長となる約4.3kmの穂別トンネル(穂別トンネル西工事は約1.95km)は，日高山脈西側の大変険しい山岳地帯に位置し，風化しやすい性質を持つ蛇紋岩地質を含む複雑な地質構造である．２車線対面交通，仕上がり断面積約77m²のトンネル掘削は，発破，タイヤ，補助ベンチ付き全断面掘削工法を採用した．

坑口部では，注入式長尺鋼管フォアパイリング，鏡面の安定対策では，注入式GRPボルトおよび早期の断面閉合を目的とした吹付けインバートコンクリートなどを採用し，間もなく500m地点を通過の予定である．本年11月から桟橋使用によるインバートコンクリート工，そして来年春からは覆工コンクリート工の施工を計画しており最盛期を迎える．

夏期は摂氏30度以上，冬期は零下20度以下になる厳しい気象条件のもと，無事故・無災害で竣工すべく全員一丸となり，発注者のご指導ならびに地元の方々のご理解・ご協力を賜りながら今後も工事に鋭意取り組んでいきたい．

(鴻池組・飛島建設特定建設工事共同企業体北海道横断自動車道穂別トンネル西作業所長)

施工

山岳トンネルにおける高水圧ウォータタイトの施工

—圏央道　八王子城跡トンネル—

国土交通省関東地方整備局相武国道事務所副所長　足 立 賢 一
国土交通省関東地方整備局相武国道事務所工務課係長　千 場 洋
八王子城跡トンネル大成・清水・錢高JV現場代理人　吉 富 幸 雄
八王子城跡トンネル大成・清水・錢高JV監理技術者　野 中 良 裕

1 はじめに

首都圏中央連絡自動車道(以下，「圏央道」)は，東京都心より40～60kmの位置に計画された総延長300kmの高規格幹線道路であり，横浜，厚木，八王子，川越，つくば，成田，木更津などの都市を連絡するとともに，東京湾アクアライン，東京外かく環状道路などと一体となって首都圏の広域的な幹線道路網を形成する首都圏３環状道路の一番外側に位置する道路である．

八王子城跡トンネル(以下，「城跡トンネル」)は圏央道と中央自動車道が接続する八王子JCTの直北に位置する全長約2.4km上下線２本のトンネルである．

図-1に城跡トンネルの位置を示す．

城跡トンネル地表部には国指定の史跡である八王子城跡があり，史跡にとって重要な「坎井」と呼ばれる古井戸が山頂に近い尾根部に，また城山川がトンネルを横断し，トンネル位置より約600m下流に「御主殿の滝」がある．これらの史跡をトンネル完成後だけでなく施工中においても保全するため，トンネル周辺を事前に注入する止水工法や覆工にウォータタイト構造を採用した．

本稿では，城山川ウォータタイト(以下，「WT」)部を中心に，新技術・工法選定，施工およびその結果について報告する．

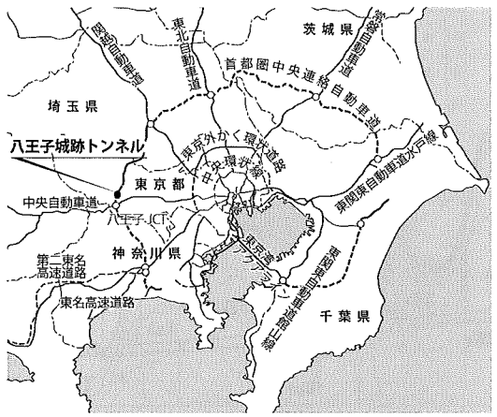


図-1　八王子城跡トンネル位置図

2 工事概要

路線名称：一般国道468号　首都圏中央連絡自動車道
トンネル名称：八王子城跡トンネル
工事場所：東京都八王子市裏高尾町～下恩方町
工　　期：平成11年３月～平成19年３月
(舗装・内装・設備工事を除く)

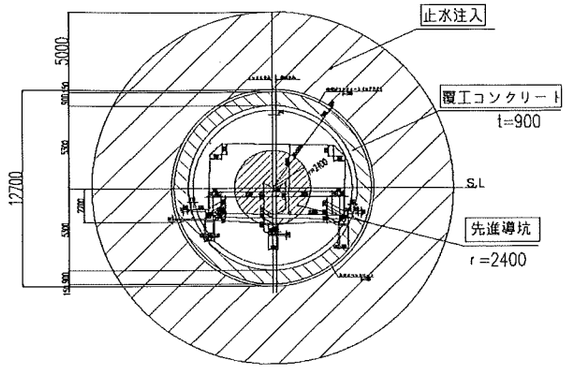


図-2　トンネル標準断面図

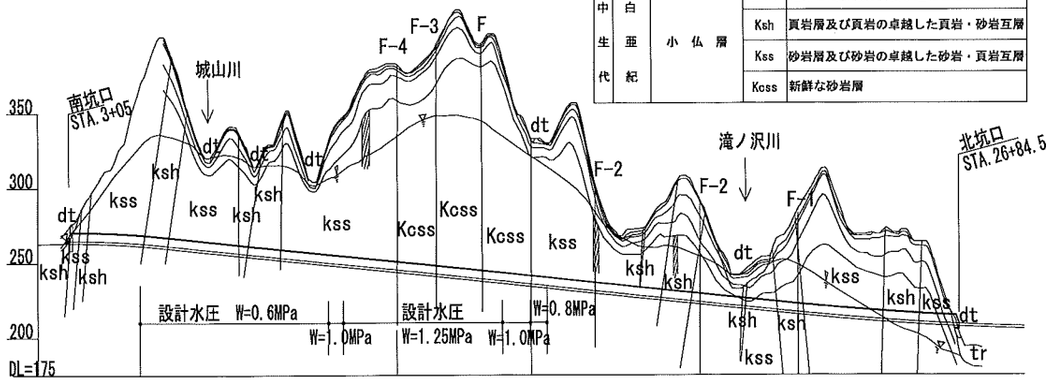
工事内容：トンネル延長　上り線　2,383.5m
　　下り線　2,379.5m
　　覆工内空　66m²(標準部)
　　掘削断面　127m²(WT標準部)

WT標準部断面図を図-2に示す．

3　地質および水文環境

城跡トンネルの位置する地質は，中生代白亜紀の小仏層群を基盤としており，砂岩，頁岩，砂岩・頁岩互層で構成され，トンネルが通過する深部では堅固な岩盤である．城跡トンネルの地質縦断図を図-3に示す．

城跡トンネル地域の地盤内には透水性の低い層があるため，地下水位は浅部と深部に50m以上の水位差がある二重構造になっており，浅部の地下水位は降雨に対して敏感に反応するのに対し，深部の地下水位は緩慢な反応を示している．



地質年代			地　層	記　号	記　載
新生代	第四紀	完新世	崖錐堆積層	dt	未固結の風化岩屑及び土砂
			沖積段丘堆積層	tr	未固結の礫、砂及びシルト
中生代	白亜紀		小仏層	Ksss	珪化した細粒砂岩及び珪化したシルト岩
				Ksh	頁岩層及び頁岩の卓越した頁岩・砂岩互層
				Kss	砂岩層及び砂岩の卓越した砂岩・頁岩互層
				Kcss	新鮮な砂岩層

図-3　城跡トンネル地質図

4　水環境保全のための施工法選定

4-1　掘削時の止水対策

トンネル掘削時，坑内に流入する湧水を抑制するため，掘削に先行してトンネル周辺地山に５ｍの範囲に止水注入を行う工法を採用した．

図-4に止水構造図を，止水注入材料と注入方式を表-1に示す．

注入材の選定は地質条件により，硬岩・軟岩部は超微粒子セメントミルクによる割裂注入，崖錐砂礫部は水ガラス薬液による浸透注入，土かぶりが小さい部分には地表への漏れ防止のためゲルタイムのある水ガラス薬液を採用した．

また，注入は自然環境保全のためトンネル内から行う方式で検討し，施工延長の短い滝ノ沢部は切羽前方注入方式で施工を行った．一方，延長の長い城山川部は工程短縮を図るため，本坑掘削前に先進導坑を先行し導坑内から注入する先進導坑注入方式で施工した．図-5に切羽前方注入方式，図-6に先進導坑注入方式を示す．

4-2　覆工止水構造(WT覆工)

覆工止水構造(WT覆工)は２㎜の防水シートと高強度鉄筋コンクリート構造で，標準部の覆工厚はt＝90cmとした．また，滝ノ沢部の断面形状は

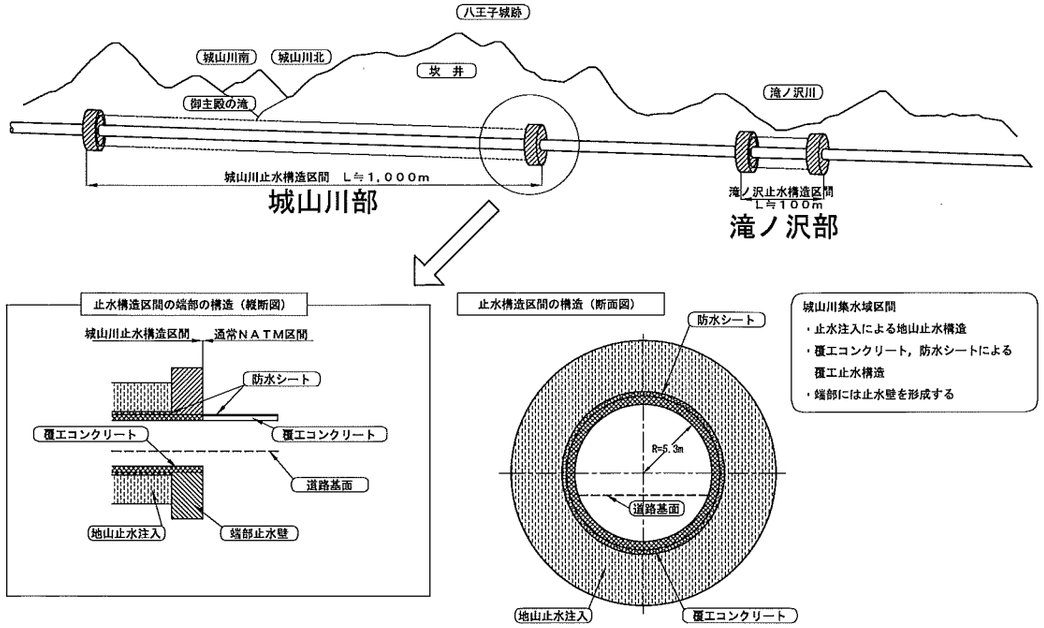


図-4　止水構造図

表-1　止水注入材と注入方式

項　目	滝ノ沢川部	城山川部	備　考
地　質	風化岩，崖錐砂礫	硬岩(砂岩，頁岩)	
土かぶり	10～30m	50～160m	
注入方式	二重管ダブルパッカー方式	単管ステージ方式	滝ノ沢は地質が悪く孔壁が自立しないため単管施工が不可能
注入材料	水ガラス系溶液型(崖錐砂礫) 水ガラス系懸濁型(風化岩) 超微粒子セメントミルク(風化岩)	超微粒子セメントミルク	滝ノ沢は土かぶりが浅く，リーク防止のためゲルタイムのある水ガラスを採用

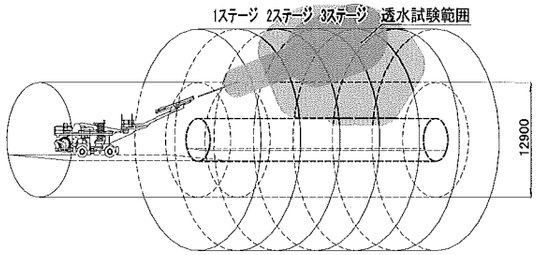


図-5　切羽前方注入方式

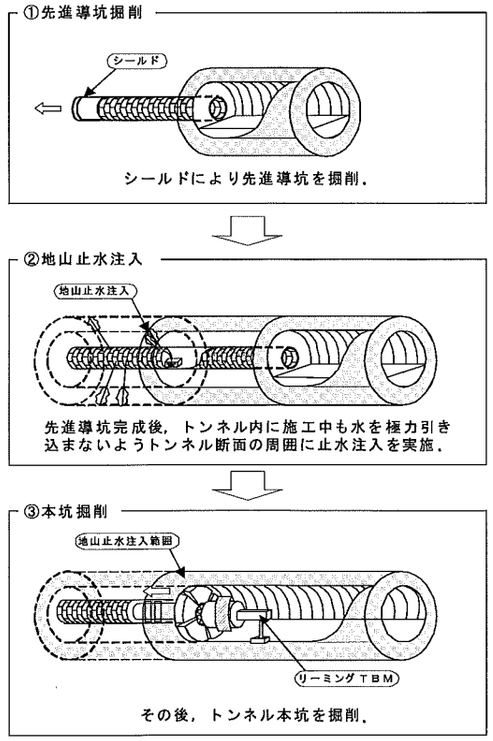


図-6　先進導坑注入方式

馬蹄形を採用したが，城山川部は0.6～1.25MPaという高水圧のため，断面形状は円形でコンクリート強度は最大40MPaを採用した．さらに，覆工後に漏水が発生した場合の対応として，道路トンネルとしては国内初となるリペアシステムを採用した．

4-3　止水対策範囲の選定

止水対策実施範囲は，事前調査による地質・水文状況により３次元岩盤モデルを作成して城跡トンネル施工に伴う水収支解析を行った結果，地表面水環境への影響がほとんど生じない範囲として城山川部約１km，滝ノ沢部約100mを計画した．

実施工にあたっては先進ボーリングで地山の透水係数を実測し，事前調査との差を確認しながら施工範囲を決定した．

事前解析では，トンネル周辺地山に注入を実施してもトンネル掘削に伴い深部の水位は30m程度の水位低下が起きるが，WT覆工完了後には徐々に回復すること，また，浅部の水位は掘削に影響しないことを予測した．

5　城山川WT部の施工

5-1　先進導坑

滝ノ沢部で実施した切羽前方注入方式は，切羽より前方に50m程度の範囲を注入して掘削するもので，50m掘削ごとに注入を行う必要がある．そのため，全長１kmの城山川部を施工する場合，工期が掛かるという問題があった．そこで，城山川部では，まず直径５mの先進導坑を掘削し，その中から周辺岩盤への止水注入を実施する工法を採用した．この方法で全長１kmの止水注入範囲を同時施工することにより大幅な工期短縮を図った．

先進導坑を掘削する機械は，硬い岩盤で掘削が可能であり，施工時に地下水位を下げないために泥水加圧式の硬岩対応シールド(密閉型トンネルボーリングマシン)を採用した．泥水加圧式の硬岩対応シールドを**写真-1**に示す．

また，セグメントは，削孔注入孔の設置と拡幅掘削時の解体しやすさを考慮し鋼製とした．

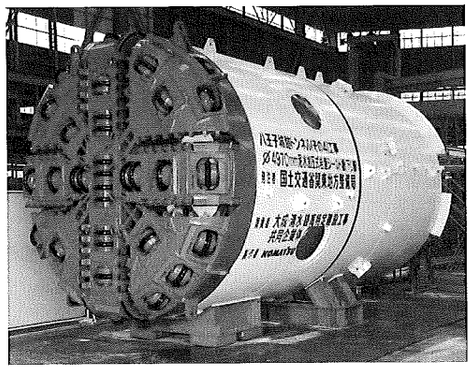


写真-1　泥水加圧式岩盤対応シールド

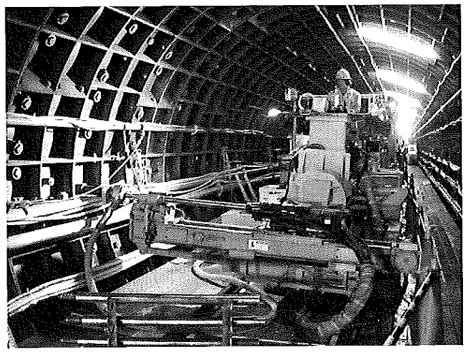


写真-2　360°回転式削孔機

5-2　止水注入

止水注入においては，導坑内からの施工効率を上げるため，360°回転式の削孔機を上下線合わせて20台配置し，全線同時に施工を行った．**写真-2**に360°回転式の削孔機を示す．

さらに，注入作業においては上下線合わせて140台の注入装置を設置し，導坑外の混練プラントから導坑内全線にパイプラインで注入材を搬送し施工効率を高めた．

また，注入材は１孔あたりの累計注入量と，その時点の注入速度によって濃度を段階的に上げていくため，濃度の異なる多数の注入箇所に同時対応する必要があった．そのため，高濃度注入材を常時パイプライン内に流し，各注入箇所で個別に希釈するシステムを採用した．

止水注入後の品質確認はチェック孔による透水試験を行い，改良目標値に達していないものがあれば再注入を実施し，すべて目標値を確保した．

5-3　リーミングTBM掘削

止水注入施工区間では，発破振動による注入品質劣化を防ぐため掘削はすべて機械掘削とした．

しかし，城山川WT部は先進導坑掘削時のシールドデータおよび導坑内からコア採取した岩の試験データより，一軸圧縮強度が150～200MPa以上と高強度であることが判明したため，通常の機械掘削に用いられる自由断面掘削機でこの硬さの地山を掘ることは困難と考え掘削工法の再検討を実施した．通常150MPa以上の硬岩掘削の場合，割岩工法が採用される例が多いが，掘進速度が遅く，また，インバート部が円形であることを考慮してリーミングTBMを採用した．**写真-3**にリーミングTBMを示す．

リーミングTBMはTBE（トンネルボーリング・エンラージャー＝拡径式トンネル掘削機）とも呼ばれ，先進導坑内の内側からグリッパを張って推進反力を確保し，導坑内のジャッキを伸ばしながらカッタヘッドを回転させて拡径掘削する構造である．リーミングTBMは，国内では発電所斜坑の切り拡げ掘削などで用いられることはあったが，直径10m以上の大断面かつ水平坑は実績がなかった．しかし，欧州では城跡トンネルと同規模断面で水平掘削の施工例があったため，海外メーカの仕様や性能を検討した結果，当該地質で対応可能と判断し採用した．

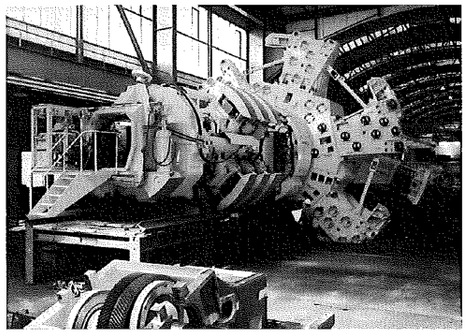


写真-3　リーミングTBM

表-2　リーミングTBM仕様

掘削径	12.94m
パイロット径	5 m
ディスクカッタ径	17in
ディスクカッタ個数	69個
カッタヘッド回転速度	3.6min^{-1}
カッタヘッドトルク	6,430kN-m
カッタヘッド動力	2,550kW
推進力	17,500kN
推進ストローク	1.5m
グリッパ推力	49,000kN
本体質量	907t

リーミングTBMの仕様を**表-2**に示す．

通常のTBMとの主な相違点として

① 面盤が閉じておらず面積が小さいため，同径のTBMに比して推進力が小さい．

② 面盤が分割式のため，坑内組立および解体ヤード確保のための拡幅が小さく，大断面掘削の必要がない．

③ 面盤が閉じていないため，切羽目視による地質確認が容易である．

④ 面盤が閉じてないため，掘削土石の二次砕破が少なく，大塊発生の可能性がTBMより大きい．

⑤ 先進導坑がないと前へ進めないため，貫通点にダミー導坑を先行設置する必要がある．

⑥ 先進導坑内の芯棒部で面盤を引っ張る片持ばり構造のため，面盤が厚くなり，ディスクカッタを坑口側から見ることができず，摩耗量確認や交換作業を切羽側で実施しなければならない．

などが挙げられる．

リーミングTBM本体後方には四つの後続台車を連結し，吹付けや鋼製支保工の一次支保設備，運転席，休憩室，油圧設備，電力設備などを搭載した．

リーミングTBM掘削機械配置を**図-7**に示す．また，TBMより発生したずりは，切羽から城跡トンネル北側の恩方トンネル(約700m)を抜けた土捨場まで全長約３kmに連続ベルトコンベヤを設置し直接搬出した．さらに，先進導坑内では本体の掘進に先行して高圧注入の結果として圧縮状態にあるセグメントを解体する必要があり，強い引張力を持つ解体機械を開発した．

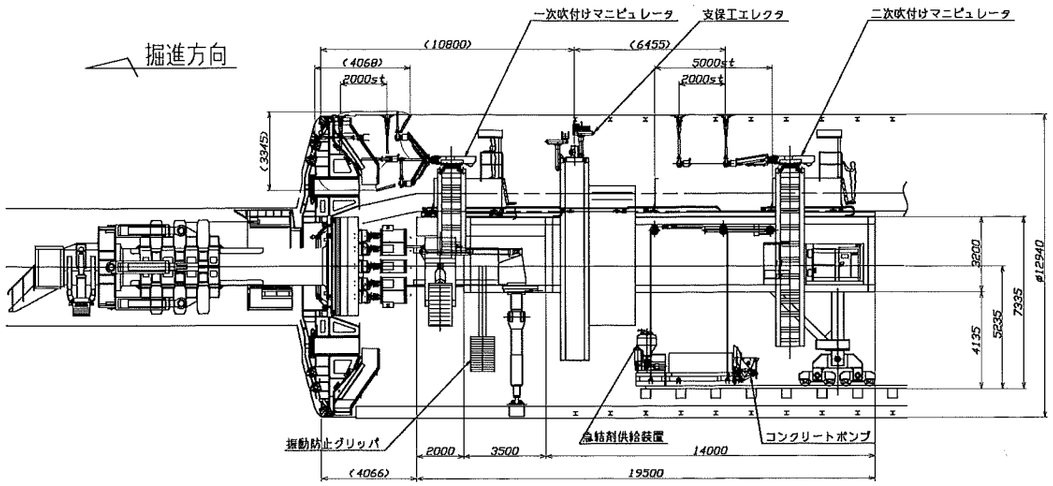


図-7　リーミングTBM掘削機械配置図

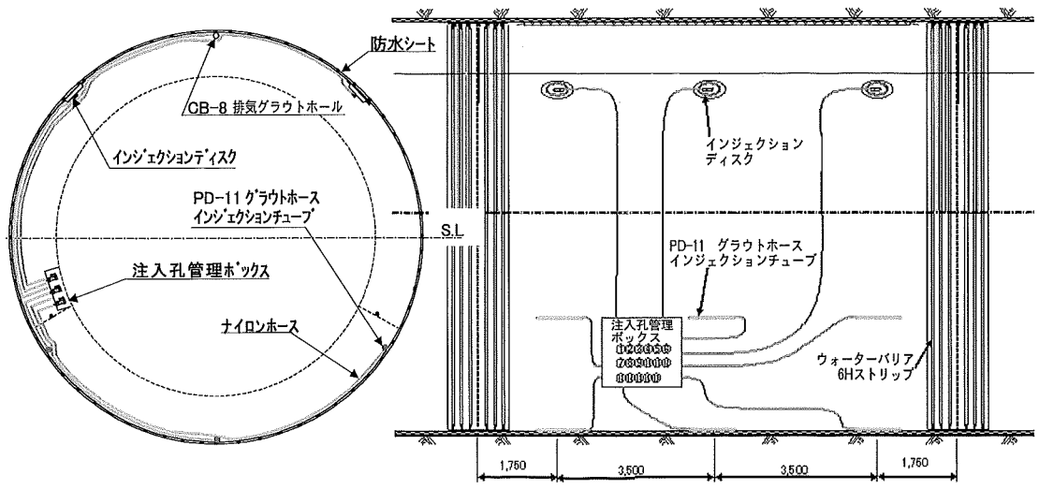


図-8　リペアシステム

5-4　ウォータタイト覆工

国内の山岳トンネルにおけるウォータータイトトンネルは設計水圧0.15～0.2MPaが多く，設計水圧0.6～1.25MPaと高水圧の事例はなかった．そのため，ウォータタイト先進地域・欧州の技術を比較検討し，道路トンネルでは国内初となるリペアシステムを採用した．リペアシステムの施工図を**図-8**に示す．このシステムにより以下の手順で施工した．

① 覆工完了後に生じる漏水を止めるため，あらかじめ防水シートの内側にインジェクションディスク(**写真-4**)を設置する．

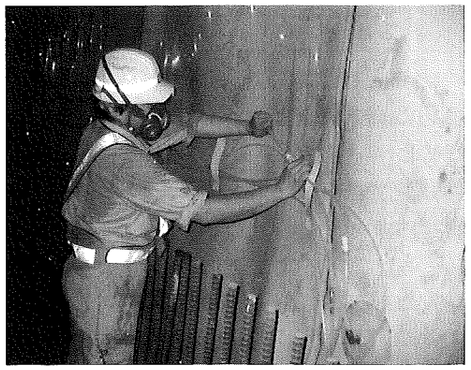


写真-4　インジェクションディスク

② ウォータタイトが完成し作用水圧が上昇後，防水シートと覆工コンクリートの間に長期止水効果のある低粘度無発泡の樹脂を注入し，止水構造を完成させる．

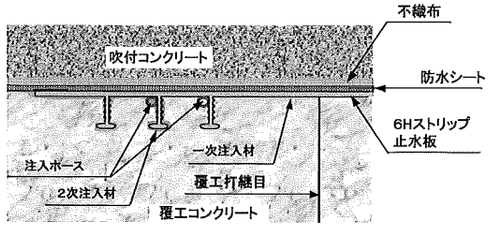


図-9　6Hストリップ止水板

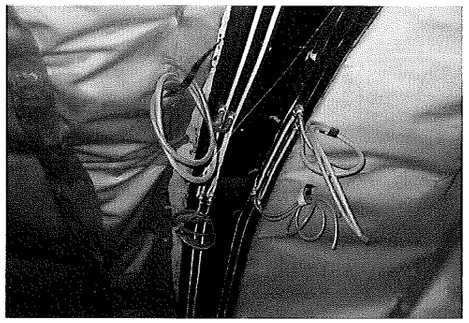


写真-5　6Hストリップ止水板

注入施工範囲は覆工1スパンL=10.5m単位で考え，覆工コンクリートジョイント部に6Hストリップ止水板を設置し，コンクリート打設後にコンタクトグラウトによる縁切りを実施して各スパンを区切り，漏水の生じたスパンまたは漏水の可能性のあるスパンにインジェクションディスクから覆工背面に樹脂を注入した．

図-9，写真-5に6Hストリップ止水板の構造と写真を示す．

また，長期止水効果がある注入材は低粘度無発泡性樹脂であるため硬化速度が遅く，覆工背面に水の流れがある状態で注入すると充填不良を起こす可能性がある．そのような場合は水反応発泡性樹脂を先に注入して短期的な止水を行い，流れを止めてから注入した．

6　止水効果の確認

城跡トンネル周辺の深部水位を観測する観測孔

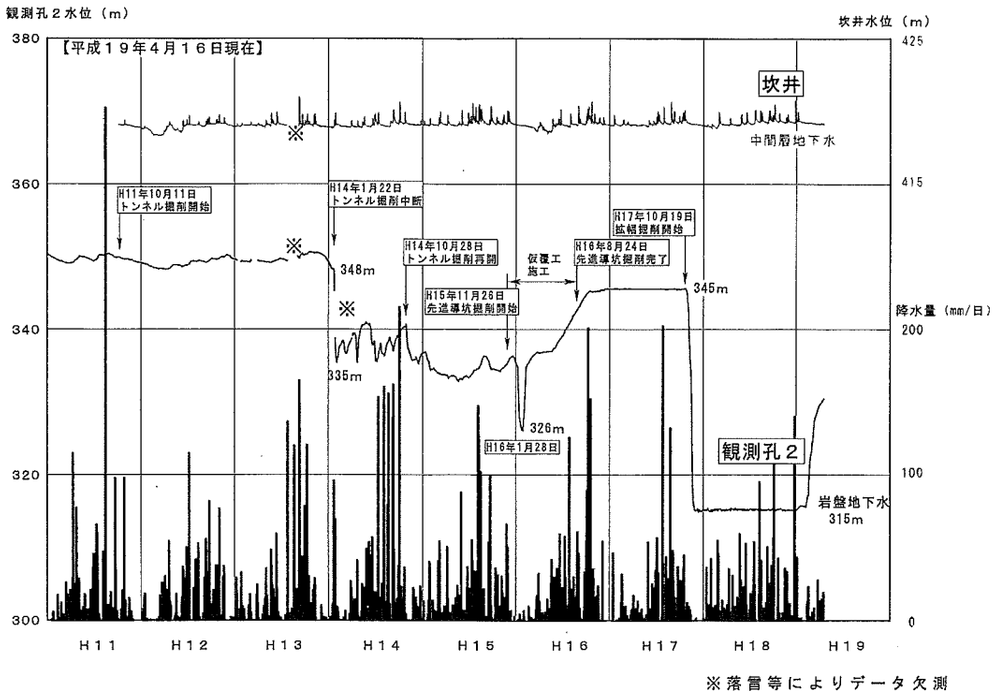


図-10　地下水位経時変化図

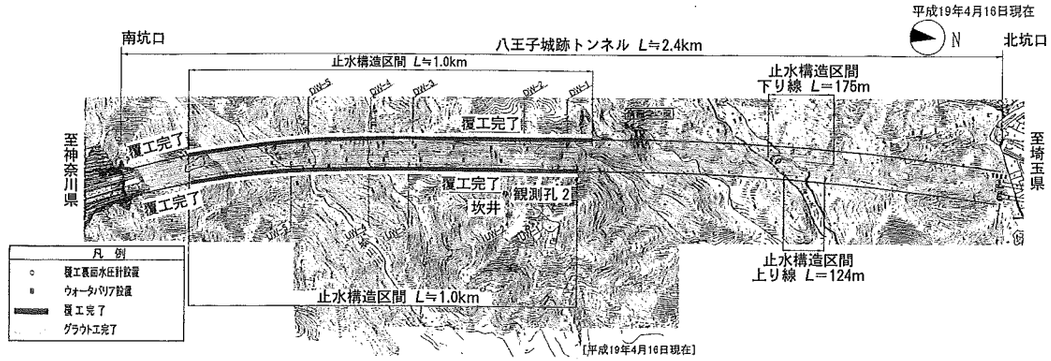


図-11　覆工裏面水圧経時変化図

2と浅部水位を観測する坎井の地下水位経時変化を図-10に，また，覆工裏面水圧の経時変化を図-11に示す．

これらのデータにより，以下のことがわかる．

① 浅部地下水位はトンネル施工の影響を受けていない．

② 深部地下水位はトンネル施工に伴い水位低下が確認されたが，ウォータタイト覆工完成に伴い，掘削前の水位に回復しつつある．

③ ウォータタイト覆工の完成に伴い，トンネル外側に設置しているすべての水圧測定箇所で水圧が上昇している．

これらは事前解析予測と符合しており，城跡トンネルにおける止水対策が適切であったものと考えられる．

7　おわりに

本工事は山岳トンネルにおいて水環境，自然環境の保全から地山事前注入による止水対策や高水圧ウォータタイトの施工を行い，平成19年6月23日に無事開通することができた．この工事で採用されたいくつかの工法が，今後のウォータタイト技術のさらなる発展の参考になれば幸いである．

最後に，本工事の計画段階から施工を通じてご指導・ご教授をいただいた「トンネル技術検討委員会」の委員ならびに関係各位の皆様方に深く感謝し，誌面を借りて厚くお礼申し上げる次第である．

施工

住宅地に近接した最大幅80mの開削トンネル

—名古屋市営地下鉄桜通線　徳重第1工区—

名古屋市交通局工事事務所所長　鬼頭延雄
名古屋市交通局工事事務所第三工事係長　井上洋
清水・西松・鉄建特別共同企業体徳重第1工区作業所工事主任　戸谷和彦

1　はじめに

名古屋市営地下鉄は，昭和32年11月に東山線名古屋～栄町間2.4kmの営業を開始し，今年の11月で開業50周年を迎える．その後順次路線を延ばし，現在では6路線89.1kmの営業を行っている．

桜通線は名古屋都心部を東西に貫通し，名古屋市東南部地域に至る路線で，現在，中村区役所～野並間14.9kmを営業しており，今回の延伸区間は野並から徳重までの建設キロ4.1kmである．

桜通線の延伸によって，大規模住宅団地が集まり人口増加が著しい地域である野並～徳重間沿線の発展に大きく寄与することが期待されている(図-1)．

当工区である徳重第1工区は終点となる徳重駅に，徳重車庫・引上線を加えた延長360m区間・最大幅員80mを開削工法にて建設する工事である(図-2)．

本稿は，市街地での開削工法による大規模な地下鉄構造物の設計・施工上の留意点について報告するものである．

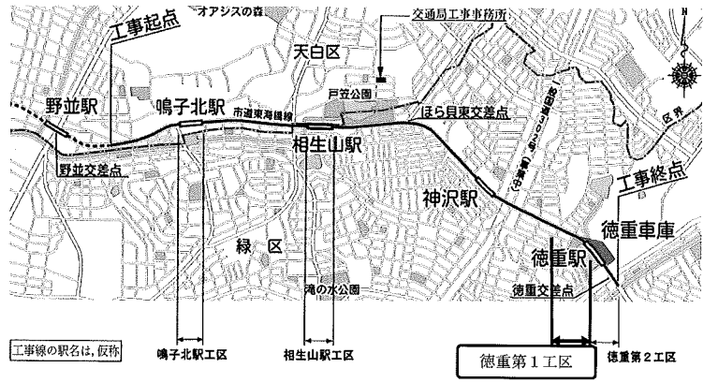


図-1　延伸区間位置平面図

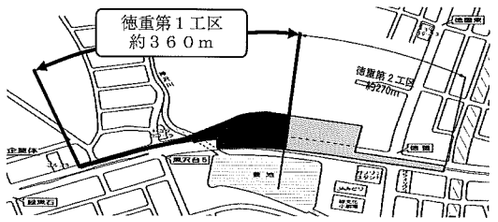


図-2　施工位置図

2　工事概要

工事概要を表-1に，車庫部・引上線部・駅部の平面図・標準断面図を図-3に示す．

車庫部・駅部の支保工はアースアンカー方式(一部切梁方式あり)，引上線は切梁方式を計画しており，車庫部の支保工はおおむね終了している．現在の工事進捗率は30%程度である．

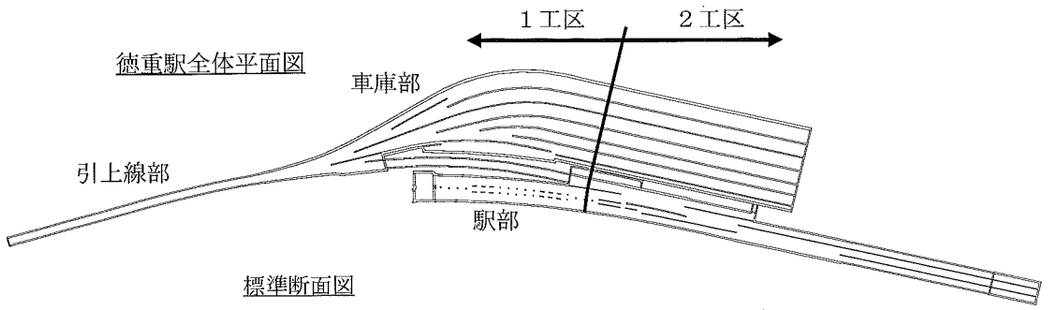


図-3　標準断面図

表-1　工事概要

工事名称	高速度鉄道第６号線徳重第１工区土木工事
発 注 者	名古屋市交通局
工事場所	名古屋市緑区黒沢台４丁目1606番地先～緑区鳴海町字徳重33番地の７地先
工事期間	平成18年２月14日～ 平成21年６月８日
施 工 者	清水・西松・鉄建特別共同企業体
工事内容	
駅部延長	103.7m
車庫部延長	207.7m
引上線部延長	259.4m
掘削深度	18～22m
工事数量	
掘削	221,000m^3
鉄筋	7,200 t
コンクリート	48,000m^3
防水	32,000m^2
鋼杭建て込み	11,300m
路面覆工	8,100m^2
連続ソイルセメント壁	18,600m^2

3　地質・地形概要

3-1　地質概要

本工区の基盤地質は，新第三紀東海層群矢田川累層よりなる．主に未固結～半固結状を呈し湖成および河成の粘土・シルトを主体としており，砂・礫を挟む地層構成となっている．また，火山灰および亜炭を狭在する．

東海層群は砂質土(Ps)と粘性土(Pc)の互層よりなり，各地層の厚さは，平均して３～５m程度で，これらは野並方面(西)向かって緩く約4°程度傾斜する．砂質土(Ps)は細粒分まで含んだ粒度分布の良い地層で，下部になるほど礫分が多く含まれる．粘性土(Pc)も礫を含むことが多く砂質土との境界部付近は含水比が高い．掘削底面(GL－20m付近)はおおむね砂質土(Ps)中に位置しボイリング対策および検討が必要である．

*N*値は，砂質土(Ps)は表層付近を除き50以上，粘性土(Pc)は同様に30～50以上を示す．地質縦断図を図-4に示す．

3-2　地形概要

車庫部と引上線部との間には神沢川が流れており，川の流れを遮断することなく施工することが求められる．引上線は民地に近接しており，騒音・振動・泥水飛散・粉じんなどの防止が求められる．また，地下埋設物も多数あり切回しや吊り防護などが必要となる．駅部南側には要池が近接しており水質汚濁防止対策も求められる(図-5)．

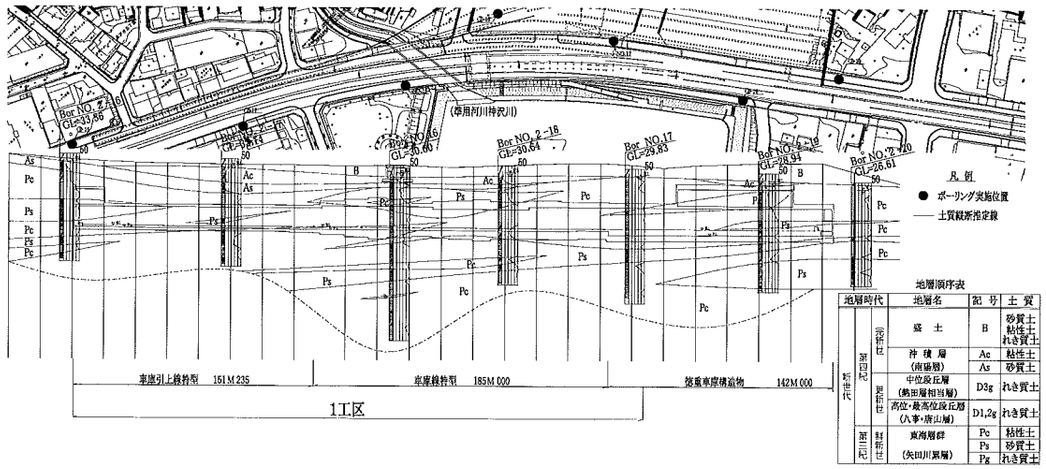


図-4　地質縦断図

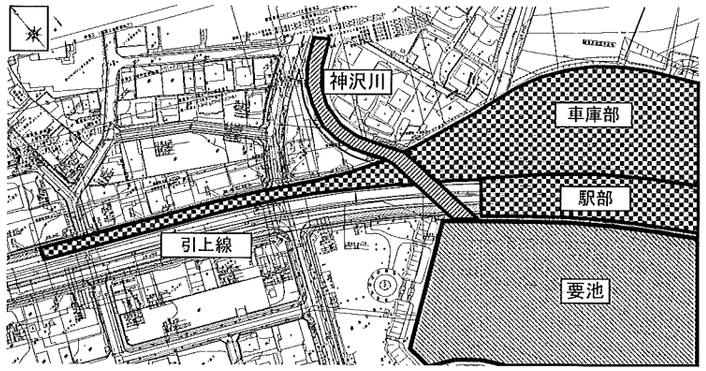


図-5　地形概要図

る．

水位観測井は浅部(約10m)と深部(約23m)の地下水を対象に，施工区間周辺の南北でそれぞれ３か所計６地点12か所設置した．地下水位観測井模式図を図-6に示す．

地質構造から推定して，測定対象(ストレーナー設置箇所)は，浅部観測孔は北側ではPs2層，南側ではこれより浅部の地層としている．同様に，深部観測孔は，北側はPs4層，南側はPs4層からPs2層までを対象としている．各観測井の水位経時変化と名古屋市地域の日降雨量の比較を行った．比較結果を図-7に示す．

浅部観測孔の水位はGL－3～－5m付近，深部観測孔はGL－7～－9mに位置する．水位の経時変化によると，浅部孔はいずれも降雨の影響を鋭敏に受ける．変化量は北側(20cm)に対して南側の方が大きく(20～40cm)地質構造(地層の傾斜)を反映しているようにみえる．絶対変化量はわずかであり，自由面地下水と考えられる．

深部地下水は，ストレーナーの設置地層により異なった挙動が認められる．北側の３孔(N2-1～3)はPs4層の地下水を対象にしており，変化量が大きく(１m)長期的な変化がみられるため，広域の

4　水勢・地質調査

上述の工事内容・特徴と地質・地形概要から水勢・地質を施工前に詳細に把握する必要がある．

4-1　水勢調査

施工に影響を及ぼす地下水について，被圧水頭や透水性に関して深度方向および平面的に把握しておくことが必要となる．とくに，当工区では大規模な掘削を複数の帯水層にまたがって実施するため，各帯水層の広がりと連続性の把握が必要となる．また，開削に伴い地下水を揚水する場合にはその影響を把握するため，掘削範囲のみでなくその周辺の地盤構造および地下水状況を施工前に把握しておく必要がある．そのため，地下水位観測井を設置し定期的にモニタリングを実施してい

影響を受けた被圧水の可能性がある．南側の観測孔のうち2孔(S2-2, 3)は，これより上位のPs2～Ps3層を対象とし，挙動も浅部地下水に類似しているため，異なった地下水を測定していると思われる．これらの結果より地下水模式図を図-8に示す．

掘削底面(標高10m付近)にはPs4層砂質土の出現が想定される．地下水位観測結果によると本層は被圧水を胚胎しており，地下水ポテンシャルは当該標高(10m)付近では25m程度を有し，これは水頭にして15mほどになる．このPs4層は浅部地下水とは絶縁されており，掘削工事により湧水が発生したとしても地下水位低下が直接要池の引水を起こす懸念は低いと考えられる．

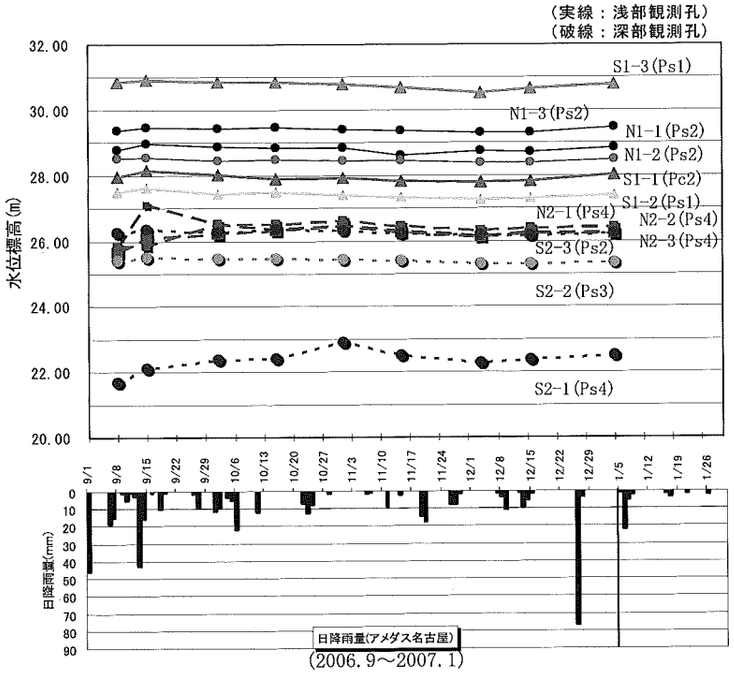


図-7　地下水位－降水量経時変化図

4-2　地質調査

水勢調査での結果からもわかるように，掘削底面付近の砂質土が帯水層であるという結果がでているが，施工範囲が広く，既存のボーリングデータのみでは地質構造の連続・不連続性の把握が困難である．そのため，地質の詳細構造を確認するために地質調査を行った．

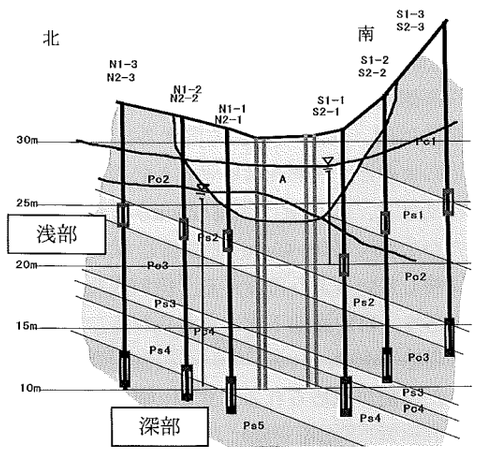


図-6　地下水位観測井模式図

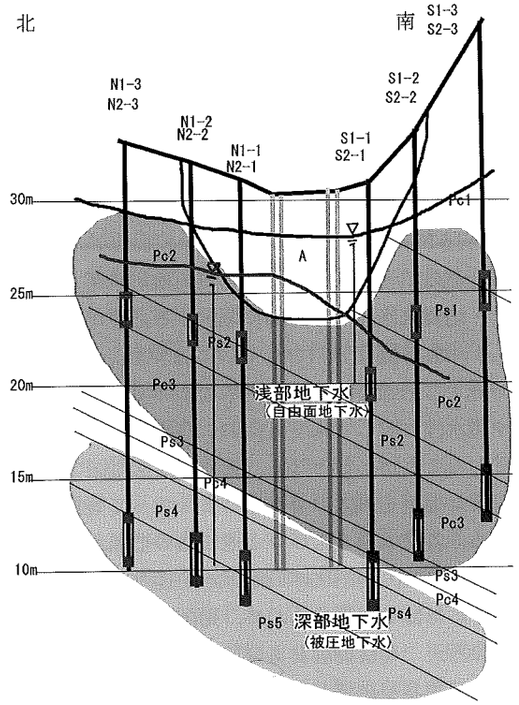


図-8　地下水位模式図

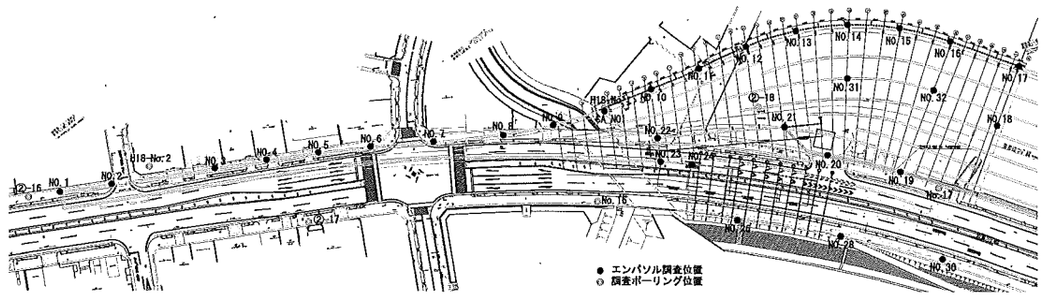


図-9　地質調査位置図

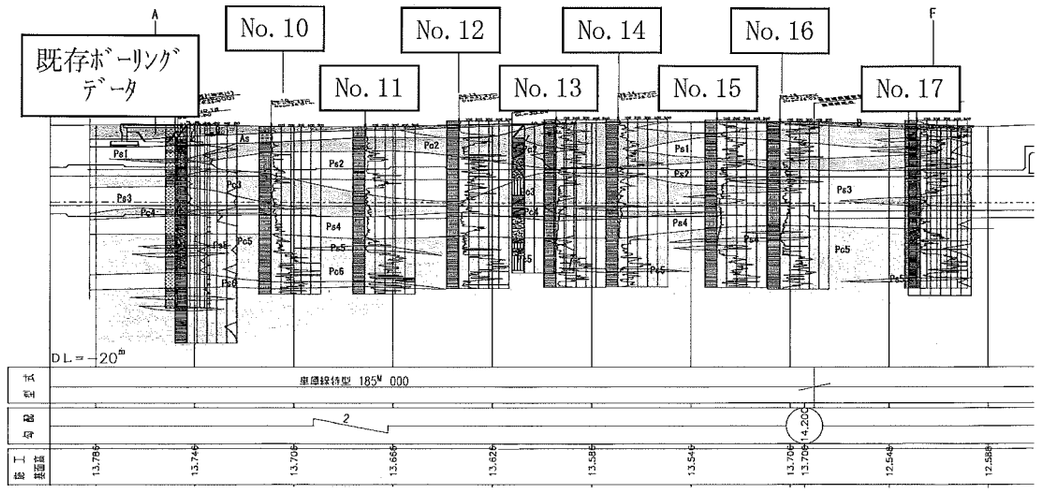


図-10　エンパソル解析による地質縦断図

調査に地層判別システム「エンパソル」を用いて行った．エンパソルシステムはロータリー式サウンディングの一種でボーリング時の削孔抵抗などの変化を連続的に測定・記録し，近辺の既存土質柱状図(ボーリングデータ取得位置で削孔抵抗初期値を事前に計測)と比較・解析することで，相対的に地層状況を評価・把握するものである．調査位置図を図-9に示す．

エンパソルによる調査結果からより詳細な地質状況を把握することが可能となった．調査結果から推定される地質縦断図の一例を図-10に示す．これらの測点を縦横断方向でつなぎ合わせることで3次元地質構造を把握することができる．

このデータから，帯水層・非帯水層分布の把握，ソイルセメント壁・ディープウエルの根入れ長の検討を行うことが可能となった．

5　開削工法による掘削施工

前章までの地質・水勢調査にもとづき，掘削底面の盤膨れ・ボイリング対策としてディープウエル工法を計画し，また地形特性を考慮し，周辺環境対策として神沢川・要池への泥水流出防止対策，近隣への粉じん飛散防止対策をつねに留意した施工方針とした．

5-1　駅・車庫部

土留め壁は連続ソイルセメント壁，支保工はアースアンカーを計画しており，一部民家に近接する部分においては切梁・腹起こし方式となっている．連続ソイルセメント壁の施工はTRD工法(Trench cutting Re-mixing Deep wall method)を採用している．

TRD工法の開発由来は，近年の地下空間利用

の大深度化により，深度方向での均質な壁体造成・安全な施工技術の確保が求められたためである．

TRD工法の原理は地盤中に固化液・掘削液を供給し，強制的に原位置土と混合攪拌することにより地中に連続した壁を造成する工法である．従来のオーガ掘削方式と異なり，最初に所定の深さまで建て込んだカッターポスト（チェーンソーのようなもの）を横引き掘削方式によりソイルセメントを造成する．

TRD工法概要図を図-11, 12に示す．

以下に，TRD工法の特徴を挙げる．

① 従来工法よりも機械高が大幅に低く低重心

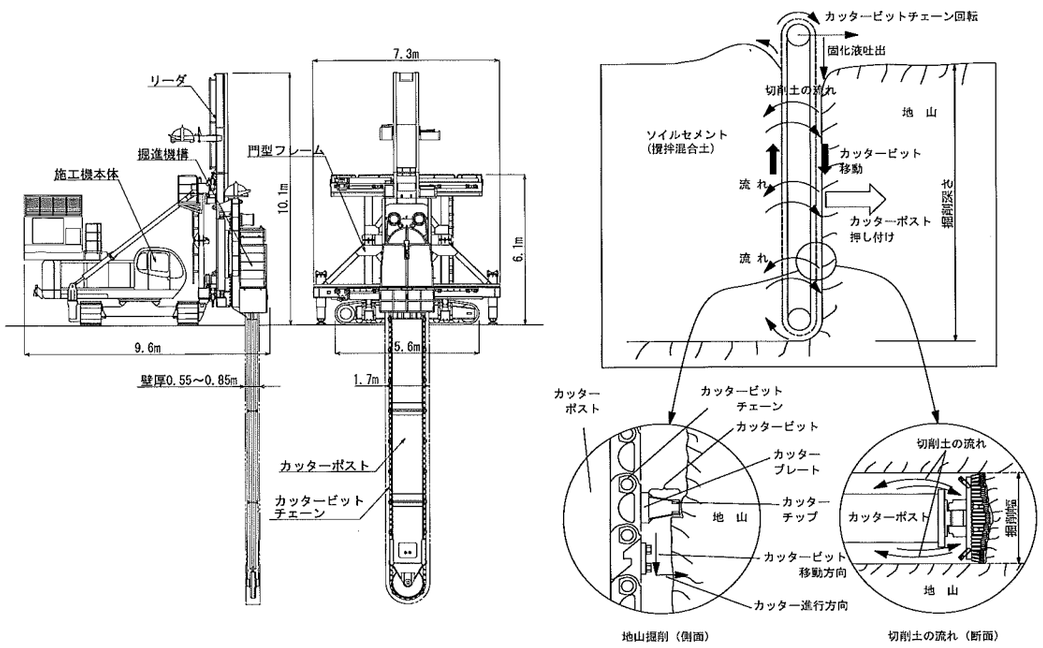


図-11　TRD工法施工機械，切削および攪拌混合機構

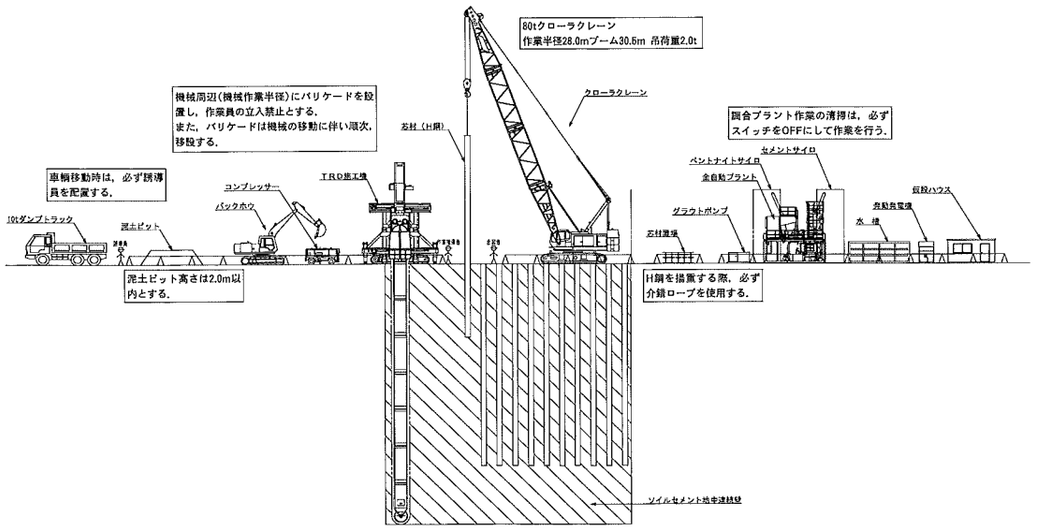


図-12　TRD工法標準施工機械構成図

② 直進性・鉛直性に優れ高精度施工が可能であり，N値50以上の地盤に対しても補助工法なしで切削が可能である．

③ 目違いのない連続した止水性の高い壁体の造成が可能であり，等厚に施工できるため芯材間隔の任意設定が可能である．

④ 鉛直方向全層を同時に混合攪拌するため，原地盤の土質や強度が異なる互層地盤に対しても，深度方向の強度のばらつきが少ない均質な壁体が造成可能である．

⑤ 曲線や複雑な線形に対しては施工が困難である．

⑥ 埋設物がある場合，カッターポストを引き抜く必要があり，工程のロスにつながる．

5-2　引上線部

土留め壁は連続ソイルセメント壁，支保工は切梁・腹起こし方式を計画している．民家に近接し埋設管が多数ある引上線部においては，TRD工法ではカッターポストの引き抜きが頻繁に発生するため非効率的である．このため，連続ソイルセメント壁の施工にはSMW工法を採用している．

5-3　神沢川横断部

車庫部を横断する神沢川は工事施工期間中は仮設鋼製水路にて仮受けをし，最終構造はボックスカルバートとして車庫構造物を横断する構造となっている．

仮設鋼製水路への切り替え手順を図-13に，鋼製水路の写真を写真-1に示す．

河川部にはSMWやTRD工法のような大型重機を設置することが不可能なため，鋼矢板による土留めを計画している．N値が50以上となる硬質シルト層において通常の圧入工法では施工ができないため硬質地盤クリア工法にて施工を行った．圧入機とオーガ装置の併用で鋼矢板先端の直下地盤を掘削し，圧入する工法である．施工手順図を図-14に示す．

6　計　測　管　理

掘削工事に伴い，土留め壁が変形し，周辺地盤・構造物に影響を及ぼす可能性があるため，工事中の土留め壁（芯材）の変形および切梁の軸力を測定することにより，現状を把握し，周辺地盤・構造

神沢橋　上部工撤去 — PC桁をワイヤーソーにて切断・撤去

神沢川　流水切り替え — 渇水期施工（1～3月）プレスト管（φ700）を河床に設置・導水

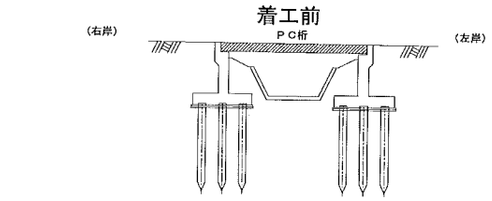
既設河川護岸・河床撤去

本体土留め鋼矢板圧入 — 大型重機が近寄れず，硬質シルト層が存在．硬質地盤クリア工法にて施工（図-14）

仮設水路・覆工支持杭

神沢橋　下部工撤去

仮設鋼製水路設置 — （写真-1）



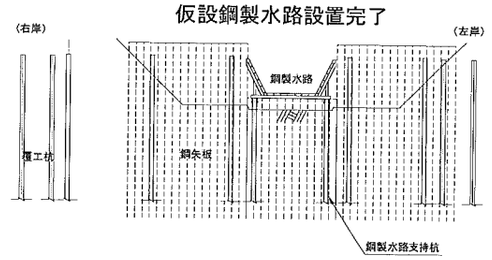
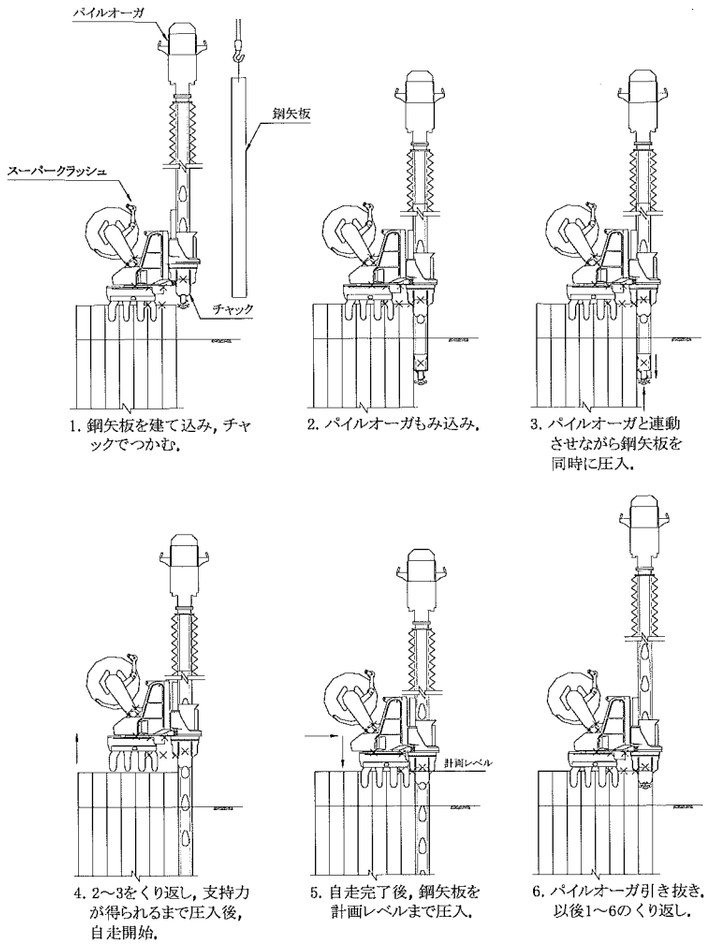


図-13　仮設鋼製水路切り替えフロー



写真-1　仮設鋼製水路全景



1. 鋼矢板を建て込み，チャックでつかむ．
2. パイルオーガもみ込み．
3. パイルオーガと連動させながら鋼矢板を同時に圧入．
4. 2～3をくり返し，支持力が得られるまで圧入後，自走開始．
5. 自走完了後，鋼矢板を計画レベルまで圧入．
6. パイルオーガ引き抜き．以後1～6のくり返し．

図-14　硬質地盤クリア工法手順図

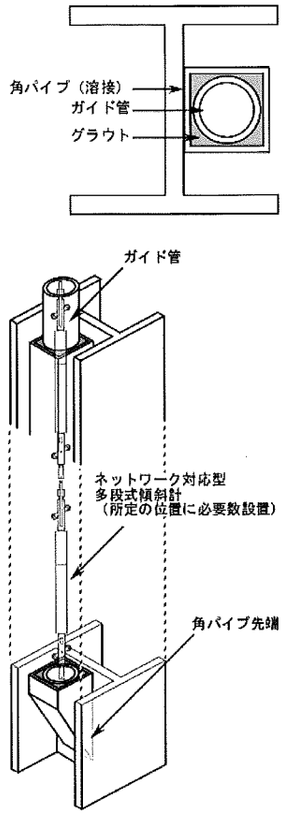


図-15　ネットワーク対応型多段式傾斜計設置図

物への影響を確認する．

傾斜計は，芯材に図-15に示すようにガイド管を取り付け，その中にネットワーク対応型多段式傾斜計を設置する．施工範囲内に計７本設置予定である．

切梁の軸力は，図-16に示すように計測対象となる切梁にひずみ計を溶接にて取り付ける．施工範囲内に計８か所設置予定である．

ネットワーク対応型多段式傾斜計およびネットワークモジュールはネットワークケーブル（２心ケーブル）でカスケード接続し，計測室に設置したネットワークドライバに結線する．ひずみ計設置位置の近傍にネットワークモジュール収納箱を設け，ネットワークモジュールを設置し，入出力ケーブルを配線，結線する．ネットワークドライバと同じ位置に設置したデータロガーはスイッチボックス延長ケーブルを介して接続する．計測は，無線LANを介して現場事務所のパソコンにインストールした計測ソフトを使用する．計測ソフト上では，インターバル計測機能を利用した任意の時間間隔での無人計測，データ転送，計算処理を自動化し，グラフに図示することでオンラインによるモニタリング計測管理を行う予定である．計測システムを図-17に示す．

7　施工上における留意点

7-1　留意点

（１）　掘削底面の盤膨れやボイリングの発生

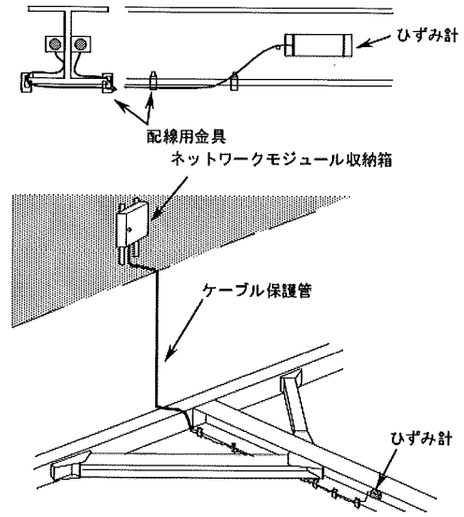


図-16　ひずみ計設置図

（２）　アンカー削孔時の湧水

（３）　施工に伴う要池の水の引き込み

7-2　検討・対策

7-2-1　（１）について

盤膨れやボイリングの検討，対策工法の検討が必要であり当工区ではディープウエル工法を採用している．計画のディープウエルは掘削底面以深の第４帯水層を対象として揚水を行う計画である．このため，効果確認のために第４帯水層の平面的な地下水位の分布を把握することが必要であり，掘削周囲に観測井を配置し，水位モニタリングを予定している．

7-2-2　（２）について

アンカーの削孔は標高５～25m間の地盤を対象とするため，削孔に伴って水位の高い第１～第３

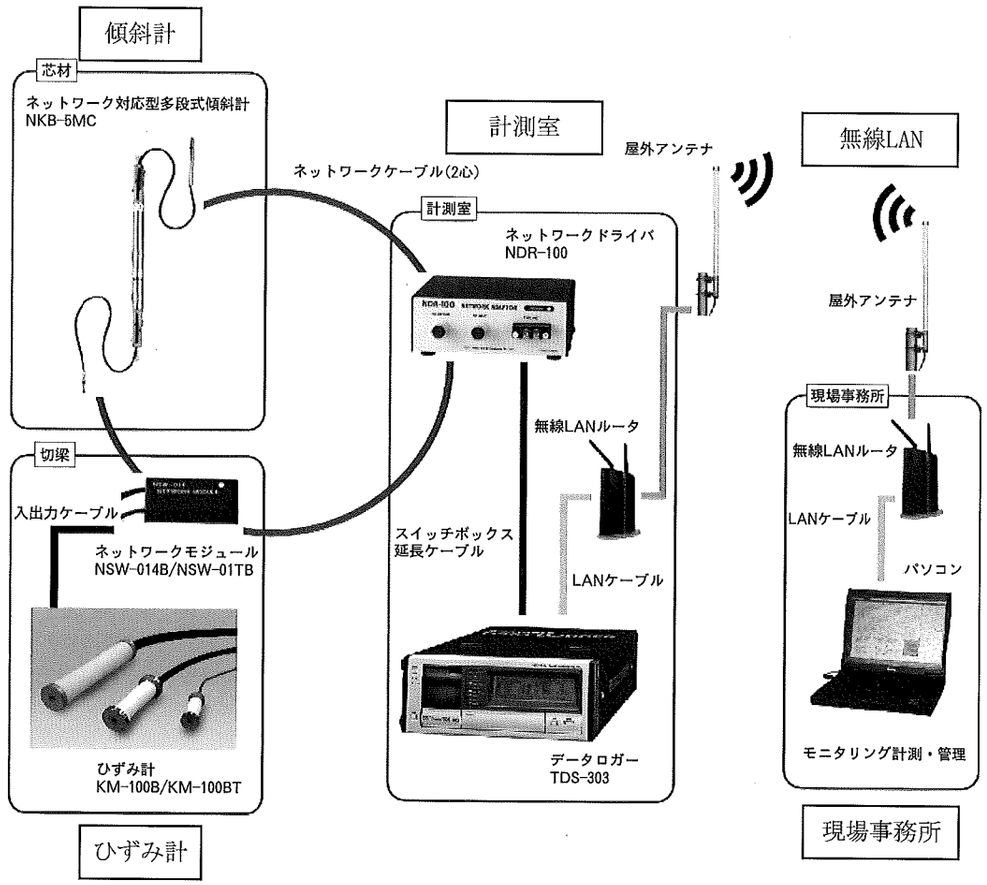


図-17　計測システム図

帯水層から湧水を生じることが想定される．また，削孔部分の砂は未固結で比較的均一であるため，多量の湧水を生じる場合には砂も同時に流出しパイピングを発生させ，その規模が大きいと要池の水を引き込む恐れもある．

これらの問題を検討するためにボーリング，現場透水試験を行い，要池沿いの地質状況，各層の透水性調査を予定している．

7-2-3　(3)について

要池付近の地質状況は定かではないが，底面以深には第1，第2帯水層が分布しているため，この層の水位が低下すると要池の水を引き込む危険性がある．このため，施工時に要池の水を引き込んでいないことを確認するための水位モニタリングを予定している．

8　おわりに

今回の工事は大規模な開削工事であるため，深度方向および平面的により精度の高い地下水位・地質情報が必要となった．地下水位観測井やエンパソルシステムによる情報の精査で，地下水位の動きや地質の3次元構造を把握することができた．その結果，事前検討や対策の実施を講じることができた．現在，工事の進捗は30%程度であり，今後も調査・観測を継続的に実施し，調査結果をもとにより合理的な対策を行うことで，品質・コスト・工期・安全などに有利に働くと考えられる．

最後に，高速度鉄道第6号線徳重第1工区土木工事が今後類似する工事の参考になれば幸いである．

わかりやすい **トンネルの力学**

B5判　286頁　本体価格 5,825円　〒340円

福島啓一著

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

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

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

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

施工

大深度・高水圧下における機械式地中接合

—東京ガス　中央幹線—

東京ガス(株)東部導管ネットワークセンター課長　木原晃司
東京ガス(株)導管部副課長　矢口岳彦
鹿島・清水・大林・大成建設共同企業体所長　木田博光
鹿島・清水・大林・大成建設共同企業体工事課長　上原啓史

1　はじめに

東京ガスの輸送幹線は東京大都市圏を囲む環状を形成し(図-1参照)，安定したガスの供給を行っているが，首都圏の増加するガスの需要に対応して，ガスの安定供給を確保することができるより盤石な高圧幹線網が必要となってきた．

そこで，既存の環状幹線の中央を貫く新たな高圧幹線として，東京都江戸川区(葛西ガバナステーション)から埼玉県草加市(草加ガバナステーション)に至るルート(図-2参照)の「中央幹線(23km)」を平成21年の開通を目標に計画した．

首都圏を縦断する23.1kmを5本のシールドで同時施工するもので，小口径・大深度・超長距離で親子シールド・地中接合などの最新技術を駆使した世界トップ水準の工事である．

プロジェクトは現在，シールド掘削，および地中接合が完了し，トンネル内部に鋼製の高圧ガス管を配管し，トンネル内の空隙を発泡モルタルで充填する工事が行われている．

本稿では，シールド工事の最終段階として，2

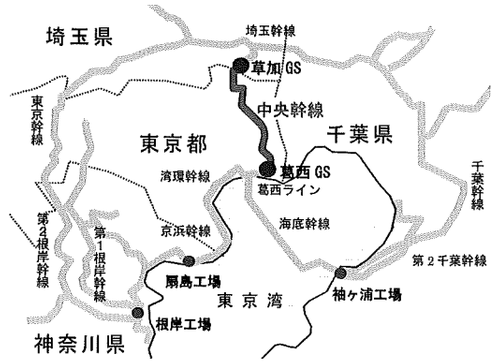


図-1　東京ガスの輸送幹線

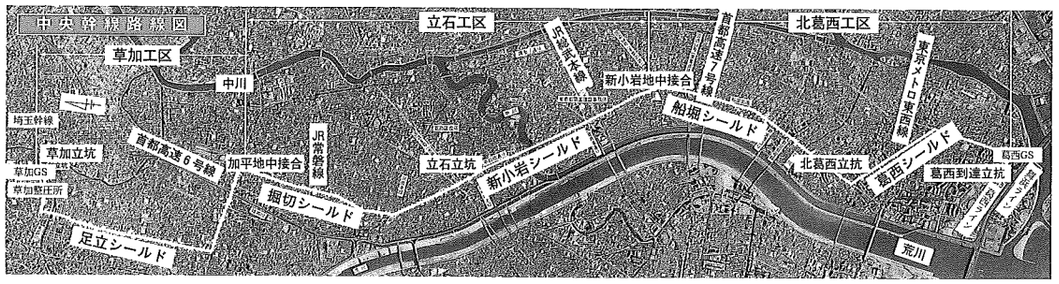


図-2　中央幹線路線図

か所で無事完了した地中接合の計画と実績について報告する．

2　工　事　概　要

2-1　中央幹線建設工事概要(図-3参照)

工期：平成15年10月～平成21年９月(全体)
　　平成15年10月～平成19年６月(シールド)
　　(シールド工事期間には立坑埋戻し期間を含まず)

2-2　地中接合の計画

本工事の調達は技術提案型総合評価方式(設計施工)で行った．その中で，プロジェクト実施の確実性と工費・工期の縮減を満たす，「大深度」「長距離施工」，「高速施工」，「地中接合」，「立体化立坑」という施策を立案した案が採択された．

地中接合は立坑数を削減することで，用地取得に絡む不確実性，近隣住民に与える環境負荷の問題を解決する施策として位置づけられる．

本工事では，地上からの地盤改良・補助工法なしで施工できる機械式地中接合のひとつであるDKT(Direct Docking Tunnel)工法を，小口径・長距離・大深度の条件に合うように改良して，採用することとした(写真-1)．



写真-1　接合実験状況

3　問題点と対策

本工事のような同時施工の長距離掘進では，予想外のトラブルなどが生じた場合，必ずしも受入れシールド(先着)が先に接合地点に到達するとは限らない．このため，先着・後着どちらのシールドが先に接合地点に到達しても接合可能で，工程の遅延が発生しない地中接合方式とする必要があった．また，シールドは小口径であり，接合箇所は都市部かつ大深度であるため，地上からの補助工法は困難である．以上の条件下で安全かつ短工期での施工を実現するために留意した事項を以下に示す．

3-1　接合精度の確保

機械式地中接合においては，接合精度を確保することが重要となる．本工事のシールドでは，偏角量0°の場合，偏芯量±50㎜まで許容される(図-4)．また，偏芯量0㎜の場合には偏角量2°まで許容される(図-5)．これを超えると，機械式接合方式としての止水性能が低下する．

長距離シールドにおいて許容値内で到達するには，掘進精度のみならず，測量精度を確保しなければならない．今回の小口径シールドでは前方探査のための水平ボーリングの設備をマシン内に収

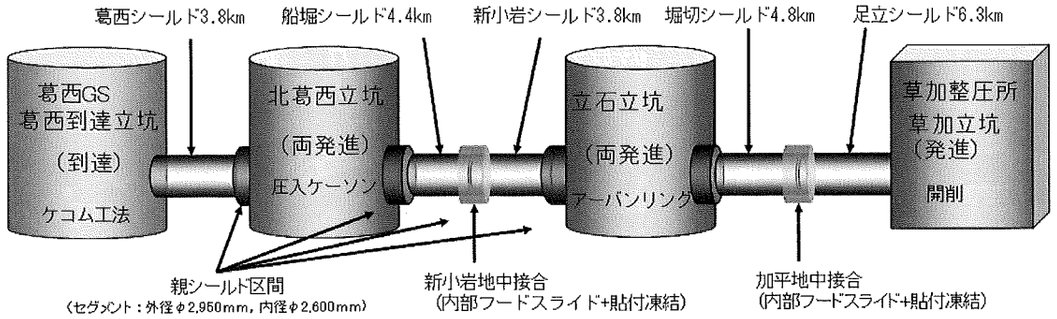


図-3　中央幹線建設工事概要

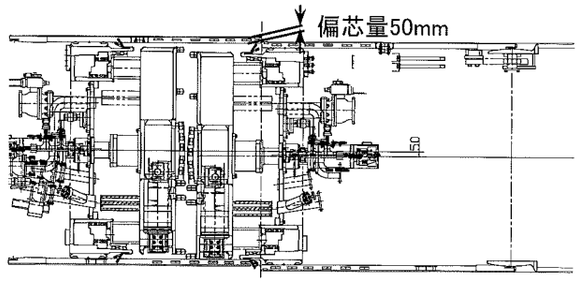


図-4　接合偏位図(偏心量50㎜，偏角0°)

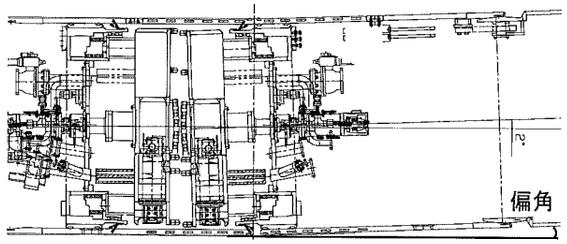


図-5　接合偏位図(偏心量０㎜，偏角２°)

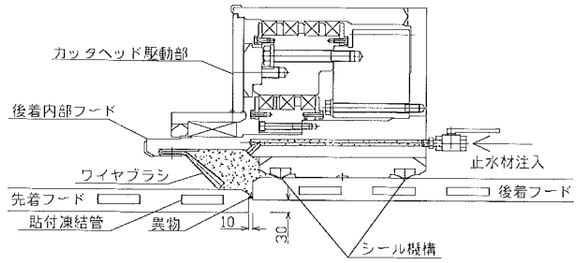


図-6　止水機構模式図

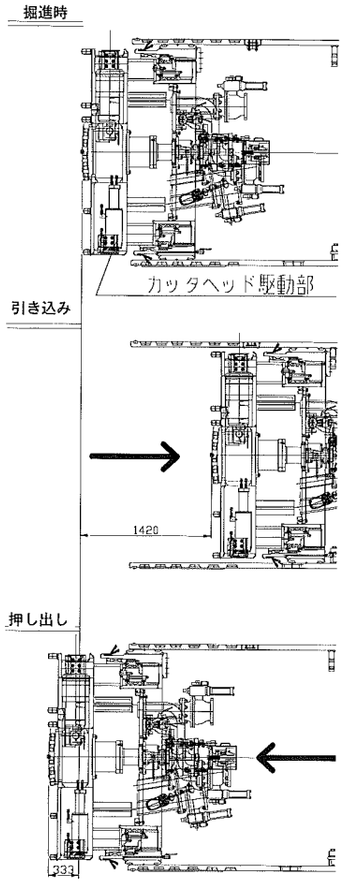


図-7　DKT-G工法

めるのがスペース上無理なため，地中接合点よりそれぞれ約50m手前でチェックボーリングを行い，２シールド間での測量誤差の発生を抑制することにより，測量精度を確保することとした．

地中接合点において，先着側が地中接合点到着後，約50m後方にチェックボーリングを実施する．その後，後着側が一時待機点に到着したところでチェックボーリングを行い，地上の同一点より各々の坑内に導入測量を実施する．これにより２点間の相対位置に関する測量精度は格段に向上する．

しかし，この方法では，各坑内に１点しか基準点を導入できないため，方位の基準線が取れない．これに対しては，シールド掘進時の導入測量と同様に，高精度ジャイロ・トランシットを用いて立坑経由で坑内から方位角を導入した．

3-2　止水性の確保

地中接合箇所は大深度(新小岩地中接合：土かぶり41.0m，加平地中接合：土かぶり47.6m)，かつ高水圧下であり，地中接合部での止水性が問題となった．

止水機構としては，止水チューブシール方式も検討したが，格納スペースの問題で今回のシールドへの適用が難しいと判断した．そこでカッタヘッド駆動部にワイヤブラシと注入設備を図-6のように設け，止水する方法を採用した(同図-6は30㎜偏芯して接合したうえ，フード内に異物が噛み，10㎜隙間が開いた場合の模式図である)．

また，従来のDKT工法では先着シールドと後着シールドを区別する必要がある．しかし前述のように，先着・後着どちらのシールドが先に地中

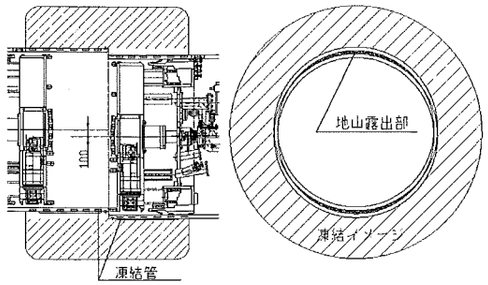


図-8　貫入不能時想定図

接合地点に到達しても接合準備ができるよう，DKT工法を改良した．具体的には，両方のシールドとも引き込み，押し出しが可能な構造とし，どちら側にも止水機構を装備した(**図-7**参照)．これをメインにして，ブラシによる止水機構，次に述べる貼付凍結を合わせてDKT-G工法として特許を取得している．

3-3　凍結工法の合理化

前項で接合の許容偏芯量について述べたが，短工期で施工を完了させるため，貫入精度が悪かった場合や，止水機構が十分に機能しなかった場合においても大幅な段取り替えなしに対策が取れる工夫を施した．

まず，シールド先端(フード部スキンプレート内)に貼付凍結管を仕込んだ．**図-8**のように貫入できなかった場合でも，地山露出部はさほど大きなものにはならない．局所的に凍結すれば，凍土層で土水圧に対抗することができる．

さらに，予定どおり貫入した場合においても，シールドどうしの接合部の溶接作業時の止水性確保の目的で凍結を利用することができる．

また，高性能のブラインを採用し，かつ内径φ2,000㎜のセグメント径の坑内に搬入・設置可能なコンパクトなプラント設備を製作し，坑内だけで凍結工を施工できるようにした．

4　施　工　実　績

これより地中接合についての施工手順(実績手順)を示す(施工手順(その１～５)参照)．

(１)　手順１(**図-9**)

①　オーバーカッタを全縮させる(面板引き込み準備)．

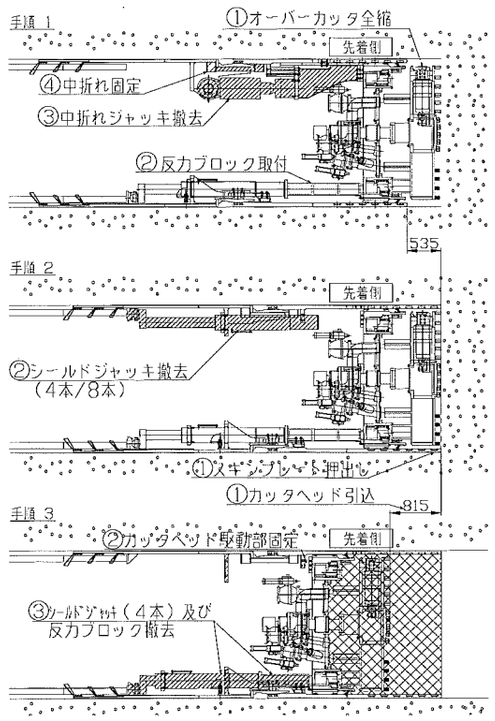


図-9　施工手順(その１)

②　カッタヘッド引き込みのため，シールドジャッキ(全８本のうち４本)とカッタヘッドを連結する反力ブロックを取り付ける．

③　中折れジャッキ・中折れ固定ブラケットなどのカッタヘッド引き込みに支障となる部材を撤去する．

④　③と同時に中折れ固定を実施する．

(２)　手順２(図-9)

①　掘削地山の崩落防止のため，シールドジャッキにてスキンプレートを押し出す(カッタヘッドは不動)．

②　カッタヘッド引き込みに必要なシールドジャッキを残し，残りのシールドジャッキを撤去する．

(３)　手順３(図-9)＜先着側＞

①　シールドジャッキ(引き込み用)を使用し，カッタヘッドを引き込む(同時にチャンバ内にゲル化泥水を充填する)．

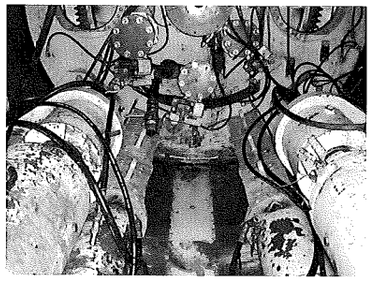


写真-2　カッタヘッド駆動部引き込み状況

②　カッタヘッド駆動部を固定する．

③　シールドジャッキを撤去(反力ブロック撤去)する．

写真-2は，シールドジャッキに引き込み用の反力ブロック(黄色)をカッタヘッド駆動部に設置して引き込んでいる状況．

(４)　手順４(**図-10**)＜後着側＞

①　オーバーカッタを全縮させる．

(５)　手順５(図-10)

①　フードが接触するまで掘進する．

・中折れジャッキを伸縮させて，前胴の方位を合わせた．

・フード間の土砂などを排除のため，最大推力5,500kNまで負荷をかけた．

(６)　手順６(図-10)

①　不要となった機器を撤去し，送排泥管をフレキシブルホースに変更して，マシン内作業スペースを確保する．

(７)　手順７(図-10)

①　中折れジャッキを使用し，カッタヘッドを押し出す(嵩上げブロックを取り付け，押し出す)．

(８)　手順８(図-10)

①　送排泥管およびエレクタを撤去

②　カッタヘッド駆動部を前胴と固定する(止水溶接含む)．

③　中折れジャッキ，シールドジャッキを撤去する．

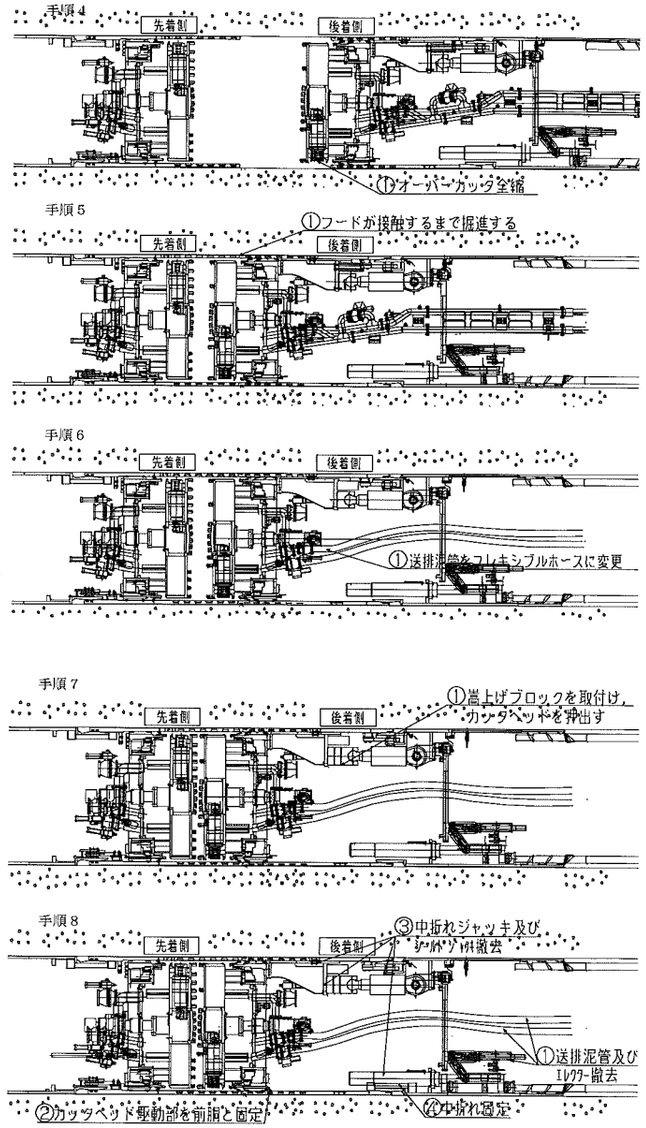


図-10　施工手順図(その２)

④　中折れを固定する．

機械式地中接合では所要の精度内で貫入することが重要であるが，今回は加平地中接合，新小岩地中接合の双方とも問題なく貫入した．接合精度の実績を**図-11**に示す．

また，今回の測量実績では，坑内座標値※1と導入座標値※2の間に，最大50㎜程度の誤差が生じていた．許容偏芯量が50㎜なので，接合直前にチェッ

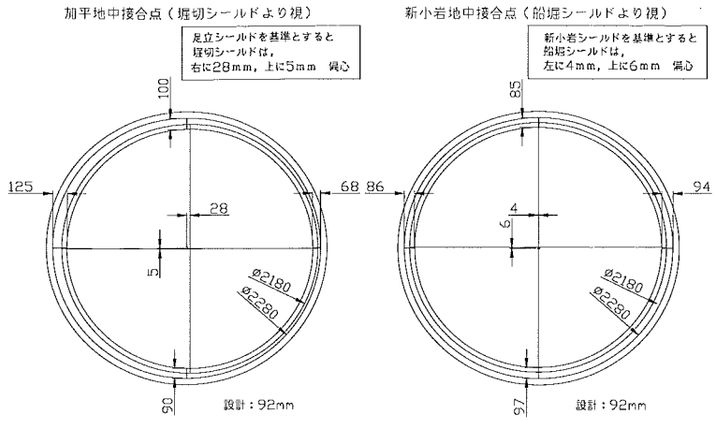


図-11　接合精度実績

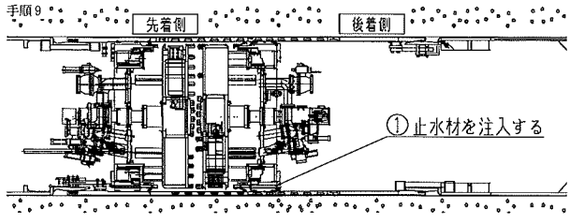


図-12　施工手順図(その3)

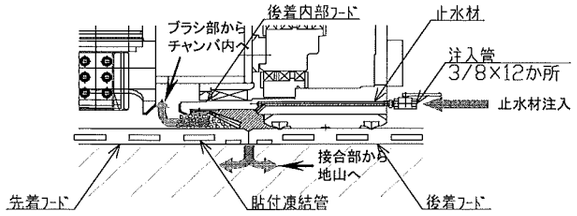


図-13　注入箇所詳細図

クボーリングを実施することが必要条件であったことが確かめられた．

(9)　手順9(**図-12**)＜後着側＞

①　止水材を注入する．

・接合部のブラシ部に懸濁型注入材を注入した．

図-13に示すとおり注入材が，接合部から地山に浸透しているのか，ブラシ部からチャンバ内に漏れ出しているのかを把握することができないため定量管理とした(100%で59ℓのところ，約135%の80ℓ注入した)．

＜止水性判定方法＞

この時点で，貼付凍結の要否の判断のもととなる止水性の評価が必要となる．止水性の評価は以下の方法によるものとした．

①　チャンバ内水を排水する(排水量を計量)．

②　排水後の切羽水圧を測定する．

③　切羽水圧が注入前の水圧(自然水圧)に戻るまでの時間を計測する．

④「排水量/水圧復元時間」の関係を評価する．

表-1に注入後の想定出水量算定結果を示す．

加平地中接合においては，「排水量/水圧復元時間」が10ℓ/分であり，止水性が良好だとは言いがたい結果となった．一方，新小岩地中接合においては，「排水量/水圧復元時間」が0.016ℓ/分と止水性は良好であった．

これらの結果から，注入材を別種に替えて再注入すれば遮水できる可能性もあった．しかし，凍結を開始すれば，3，4日で必要凍着長を確保可能である．そこで，より安全に後工程のマシン解体工が施工でき，かつ不確定要素に対処しやすく，また，それによる遅延リスクを回避するために，加平・新小岩地中接合の双方とも凍結工を実施することとした(凍結は止水を目的としたものであり，土水圧はシールドのフード部で負担する)．

表-1　注入後の止水性判定結果

	加平地中接合	新小岩地中接合
深度(シールド中心)	48.7m	42.1m
土層	砂(Tas)	細砂/砂質シルト(Tas/Tac)
自然水圧(シールド中心)	420kPa	340kPa
注入量	80ℓ	80ℓ
注入後(4時間後)の止水性判断		
排水量	10ℓ	4.2ℓ
排水後水圧	320kPa	240kPa
水圧復元時間	1分	260分
排水量/水圧復元時間	10ℓ/分	0.016ℓ/分

※1 坑内座標：立坑を基準にし，掘進方向に基準点を盛替え延伸した座標

※2 導入座標：チェックボーリング孔を利用し，地上点を坑内に導入した座標

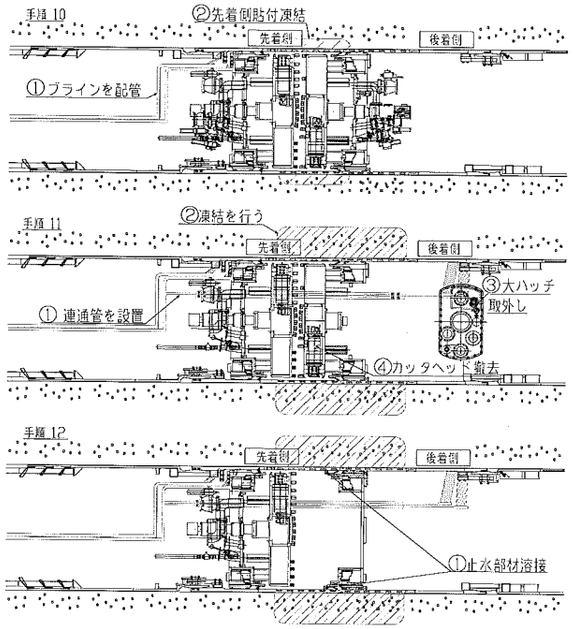


図-14　施工手順図(その4)

(10)　手順10(**図-14**)

①　先着側にブラインを配管をする．

②　先着側に貼付凍結をする．

(11)　手順11(図-14)

①　連通管用バルブを開け，止水状況確認後，連通管を通し，後着側のブライン配管を設置する．

②　後着側の貼付凍結も運転開始する．

③　目標温度まで下がったら(凍結確認)，大ハッチを取り外す(万が一に備え，いつでも大ハッチを閉められるようにする)(**写真-3, 4**)．

④　カッタヘッドを撤去(解体)する．

・凍結温度管理については，止水注入孔に棒状温度計を設置し，シールドのスキンプレートに壁面温度計を設置した．

(12)　手順12(図-14)

①　止水部材を溶接する(**図-15**参照)．

・気密試験を行い，漏気確認後，凍結運転は停止した．

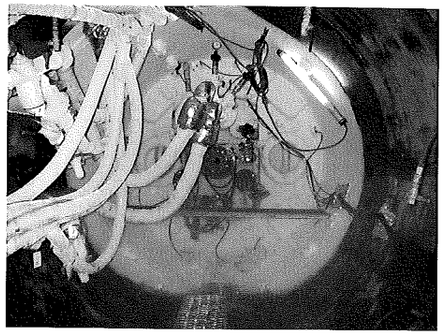


写真-3　後着側凍結状況(手順11大ハッチ撤去前)

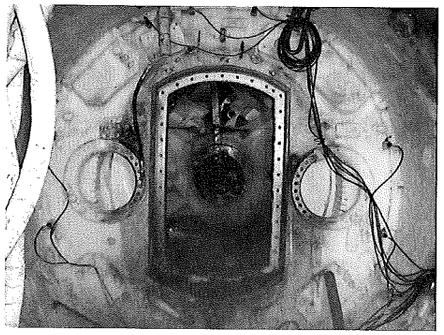


写真-4　大ハッチ撤去後シールド状況(手順11)

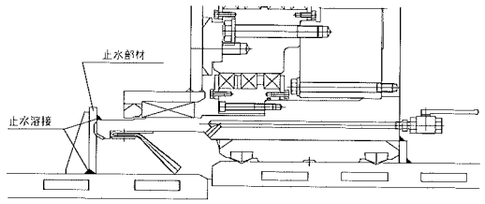


図-15　止水部材溶接状況図

・低温(凍結中)での溶接欠陥が懸念されたが，常温復旧後にも漏水は一切なかった．

(13)　手順13

①　凍結運転を停止する．

②　連通管，ブライン配管撤去，凍結プラントを搬出する．

③　ギヤボックス撤去，続いて先着側のマシンを解体する(**写真-5**)．

(14)　手順14

施工完了(**写真-6**)．

凍結運転期間は，加平地中接合で11日，新小岩中接合で7日であった．また，そのうち，クリティカルパスは，手順11の大ハッチ撤去前まで，加平

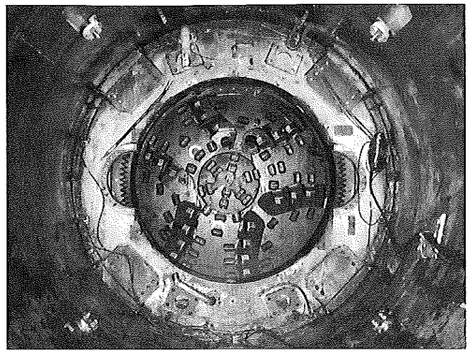


写真-5　解体状況(手順13施工中)

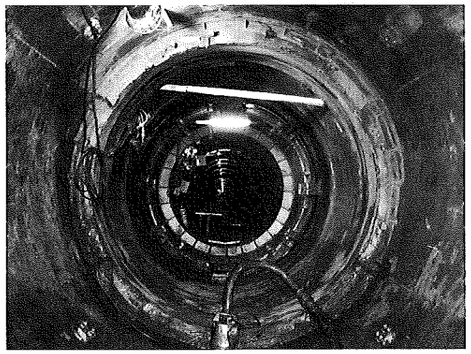


写真-6　解体完了(手順14)

地中接合で6日，新小岩地中接合で3日と短期間であった(その他の期間は，解体作業と平行作業可能).

また，加平地中接合(1回目)に比べて新小岩地中接合(2回目)の方が短期間であるのは，1回目の設備トラブルを，2回目は事前に対応できたことや，材料の再利用が可能であったこと，作業員の学習効果が挙げられる.

5　おわりに

本工事において，地中接合工を2か所施工したが，いずれも事故や大きなトラブルもなく予定どおり施工完了した.

今回は，大深度・高水圧下のため止水機構として貼付凍結を併用し，凍結自体は短工期で施工完了した．また，短期間の貼付凍結であるため地上への影響がほとんどなく，道路管理者や埋設企業者との設計・施工協議も比較的スムーズに進んだ.

貼付凍結を併用したDKT-G工法は，今回の工

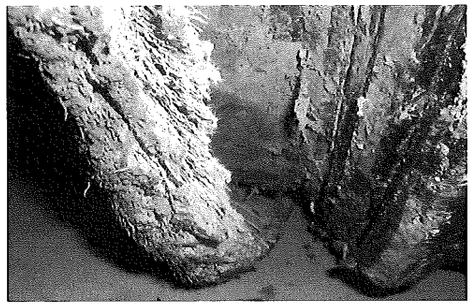


写真-7　カッタヘッド駆動部ワイヤブラシ

事のように遅延リスクを許容できない状況において，リスクマネジメント上効果的であると言える.

今回の施工を終えて感じた今後の課題について以下に述べる.

長距離高速施工・礫層掘進という条件下ではカッタヘッド駆動部のワイヤブラシの健全性(礫の食い込みその他)に懸念があった．しかし，4機のシールドすべてにおいて大きな破損・不具合は見られなかった(**写真-7**).

今回，止水機構はワイヤブラシ1段であったが，これを複数段に増やし，止水材を併用することにより止水性が向上するのではないかと考えられる.

しかし，今回採用した凍結併用の止水方式は短工期・省スペースで施工できる．止水機構の改良だけでは貫入不能時のリスクを回避できないが，この凍結併用式ではさまざまな不確定要素に対して対策が打てるため，水没という致命的なリスクを比較的低コストで回避できるメリットは大きい.

本工事での技術・実績が今後の工事に展開され，シールド工事の更なる発展に貢献できれば幸いである．また貴重なご意見，ご指導を賜った関係各位に感謝の意を表す.

参考文献

1) 冨所達哉・高橋聡・米沢実・京屋宣正：長距離掘進後の高水圧下における機械式地中接合，トンネルと地下，Vol.37，No.7，pp.53-60，2006.7.
2) 芝山浩司・浅川康・清水伸彦・城俊明：大深度の地中接合を凍結工法で克服，東京都下水道　南台幹線シールド，トンネルと地下，Vol.36，No.3，pp.37-45，2005.3.

土木情報 No.413 今月の主な入札結果

(9月10日～10月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
東北農政局	小田川二期農業水利事業第2号幹線用水路(その3)	齋勝建設	102
〃	〃 〃 〃 (その4)	加賀田組	110
〃	最上川下流沿岸農業水利事業前川第2幹線用水路(その1)	西松建設	425
〃	〃 〃 〃 (その2)	若築建設	199.7
〃	隈戸川(一期)農業水利事業幹線用水路大屋工区(その2)	竹中土木	203
北陸農政局	九頭竜川下流農業水利事業左岸幹線用水路その23	浅原組	132.8
中国四国農政局	斐伊川沿岸農業水利事業荘原新田用水路その2	竹中土木	191.5
〃	吉野川下流域農地防災事業第十幹線水路東部分水工放流工	品山組	144.5
〃	〃 〃 南部幹線水路(川端新田工区その8)	伸建設	132.8
〃	〃 〃 〃 (富吉工区その2)	竹中土木	209.4
〃	那賀川(二期)農地防災事業北岸幹線水路(その5)	国際	175.8
〃	那賀川(一期) 〃 那賀川幹線導水路(その12)	三幸建設工業	461
九州農政局	H19筑後川下流農業水利事業佐賀西部導水路(東山田工区その2)	日本国土開発	355
北陸地整	新潟空港下水道管渠敷設	五洋建設	135
〃	日沿道神林道路その5	株木建設	519
〃	藪田函渠	道路技術サービス	225
近畿地整	大阪港夢洲T隔壁等	東洋・本間JV	2,210
九州地整	新若戸道路沈埋T部(3号函)	五洋建設・みらい建設JV	1,000
中日本高速道路	紀勢自動車道川口T	ハザマ	1,349.93
首都高速道路	SJ11工区(1)大坂橋上下線連絡坑	清水建設・鴻池組・東亜建設工業JV	520
福島県	国道改築(荷路夫1号T)	福浜大一建設・クレハ錦建設JV	1,578
埼玉県	総合治水対策特定河川(地下河川築造工)	初雁興業・古郡建設JV	2,453
〃	利根川右岸流域下水道上里幹線管渠築造2工区3号	真下・斉藤JV	385
〃	元荒川(大相模調節池)総合治水対策特定河川(到達立坑工)	金杉建設・織田興業JV	248
都・下水道局	浅草幹線再構築	アイサワ工業	254.73
〃	雑司ヶ谷幹線再構築	竹中土木	387.45
〃	音無川幹線再構築その2	足立建設工業	455.7
〃	新宿区戸山二丁目，新宿六丁目付近再構築その2	清水建設	1,190
〃	新宿区住吉町，片町付近再構築その4	大日本土木	630
〃	中央環状品川線事業に伴う目黒川幹線整備	日本コムシス	296.8
都・水道局	小右衛門給水所2号配水池及び場内配管並びに立坑築造	飛島建設・戸田建設JV	1,684.94
〃	中野区上高田四丁目地先から同区東中野二丁目地先間配水本管(1350㎜)布設管内配管	日鉄パイプライン	598.5
三重県	国道311号波田須磯崎BP国補道路改良(磯崎T)	セルフ舎・日本土木工業特定JV	500
大阪府	大和川下流流域下水道狭山水みらいセンター放流渠築造	利晃建設	234
〃	寝屋川流域下水道飛行場北増補幹線(第1－1工区)下水管渠築造	森組	462
〃	淀川左岸流域下水道枚方交野幹線(第12工区)下水管渠築造	南野建設	132.51
和歌山県	紀ノ川中流流域下水道(那賀処理区)貴志川幹線管渠(シールド)	三友工業	406.5
さいたま市	綾瀬川第3排水区下水道(南建－19－7)	ユーディケー・武蔵野技建JV	192.62
横浜市	南部処理区大岡右岸幹線(第1工区)下水道整備(その2)	三井住友建設・三ツ和建設JV	249.48
〃	都筑処理区都岡地区下水道整備(その12)	宮内建設	142.99
〃	金沢水再生センター分離液処理施設管廊築造	芦澤建設	166.72
〃	田谷線から上倉田線口径900㎜配水管新設(その8)	横浜正伸建設	104.4



関門トンネルの立坑を探る(2)

(財)鉄道総合技術研究所
小野田　滋

■関門トンネルと弟子待出張所

筆者の手許にある絵葉書「鉄道関門トンネル弟子待見張所の景」には，**写真-1**に示すように，小高い丘の上に立坑の昇降機塔が聳え，その周辺に工事用の施設が写っている．絵葉書では「見張所」となっているが，正しくは「出張所」で，現場を監督するための駐在事務所として設置されていた組織である．鉄道省下関改良事務所では，下関工事区の下に5か所の出張所が設けられ，それぞれ下関出張所，弟子待出張所，小森江出張所，幡生出張所，大里出張所と称していた．

弟子待出張所は，1937(昭和12)年に元陸軍用地を造成して建設され，初代所長に吉田朝次郎が着任し，1939(昭和14)年には高坂紫朗がこれを継いで貫通まで指揮した．職員は，所長以下，事務掛36名，土木掛80名，電機掛35名，取付隧道掛7名の合計159名という大所帯だったので，実質的には現在の工事区を上回り，工事事務所に匹敵する組織であった．下関方の工事はこの弟子待を作業基地として，試掘立坑，試掘坑の掘削，続いて本坑立坑，本坑の掘削が行われたのである．

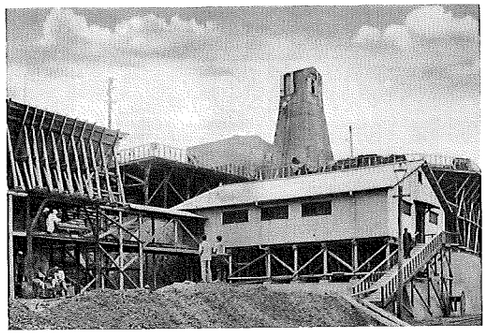


写真-1　絵葉書「鉄道関門トンネル弟子待見張所の景」(筆者所蔵)

ちなみに，弟子待という変わった地名の由来については諸説があり，大陸からの侵攻に備えて防人たちの「勅使田」があった土地で，「勅使」は「てし」とも読むため，「勅使」の町が訛って「でしまち」となったとする説が有力とのことである．しかし，1612(慶長17)年に行われたとされる宮本武蔵と佐々木小次郎の巌流島の決闘に際し，小次郎の弟子たちがここで師の帰りを待ったため，弟子待と名付けられたとする説も根強く，大衆受けがしやすいためか，今ではこちらの説が広く流布されているようである．

■絵葉書の中の弟子待出張所

絵葉書に写っている建物は，工事誌に掲載されている弟子待の設備平面図(**図-2**)や当時の写真と比較することによって，それぞれの名称を特定することが可能である．まず，中央の昇降機塔は試掘立坑の櫓で，その左側のやや低い建物が下り線本坑の立坑である．中央の大きな三角屋根の建物はセメント倉庫で，その手前の広場が骨材用の砂利置場となっている(砂利山に2人の人物が立っている)．その左手にはコンクリートを練り混ぜるプラントがあり，作業員がセメント袋らしきものを積んだトロッコを押している．

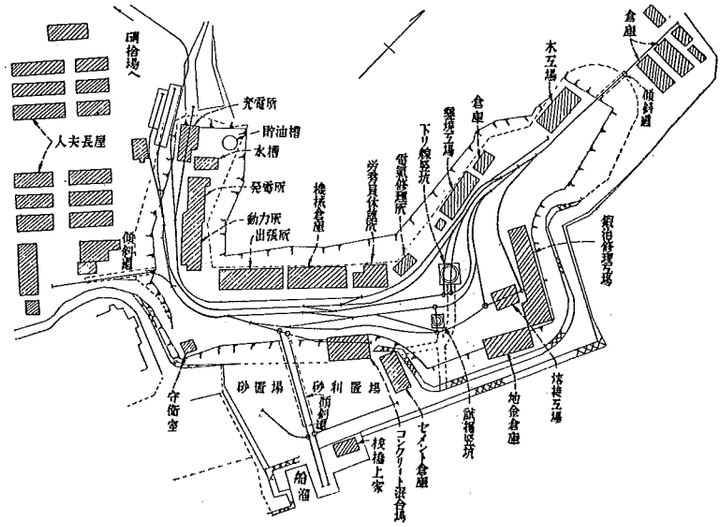


図-1　弟子待の設備平面図　『関門隧道』運輸省(1949)より

方向としては，ちょうど南から北の方向を見上げることになるため，さらにその奥にあった発電所や出張所，鍛冶修理工場，木工所，溶接工場，作業員宿舎などは写っていない．この絵葉書は，1938(昭和13)年6月28日付で下関要塞司令部の検閲許可を受けているので，工事が開始されて間もないころの撮影と推定され，まだ上り線の本坑の立坑はなかった時代である．

昇降機塔をよく見ると「皇軍萬歳」の文字が掲げられており，当時の日本の置かれていた立場を今に伝えている．関門トンネルの工事は，単に鉄道輸送のためだけではなく，日本の国運を賭した事業でもあった．

■弟子待方立坑を訪ねる

関門トンネルの下関方の作業基地があった弟子待は，本州の最西端に位置する彦島の東端に位置し，下関の駅前から路線バスが約30分～1時間ごとに出ている．

バスは所要時間20分ほどで終点の弟子待に着き，バスの停留所から海沿いの道を歩くと，数分で絵葉書とほぼ同じ小高い丘のある場所に到着する．ここが弟子待出張所の跡地で，時代を感じさせる荒削りなコンクリートの擁壁などが，いかにも工事現場の跡地らしく残っているが，果たして関門トンネルの工事のものであるかどうかは定かではない(おそらくその可能性が高い)．

周囲は宅地化されていて作業基地の面影はほとんどないが，その奥には高さ5mほどのコンクリート造の四角い建物があり，これが試掘立坑の跡地である(**写真-2**)．立坑は，今もJR九州によって保守管理用の出入口として利用されているため，部外者がみだりに進入できないよう，周囲に鉄条網が張り巡らされているが，ここから55mほど降りることにより，関門トンネルの試掘坑へたどり着くはずである．立坑の建物は，すでに建て替えられているため，絵葉書の写真とは異なっているが，この直下にはまぎれもなく関門トンネルが通っているのである．

写真-2　現在の試掘立坑(左)と大瀬戸(右)

立坑の先には，関門海峡(大瀬戸)が広がり，その向こうにははるか門司の市街を望むことができる．かつてトンネル工事に従事した人々は，日々この景色を眺めながら，海底の道を通って必ず九州へ渡ることを誓い合っていたのだろう．

トンネル　ジャーナル

手結山第一トンネル貫通

高規格幹線道路「高知東部自動車道」のうち，香南市夜須町千切一手結山を結ぶ手結山第一トンネル(約1,360m)が貫通した．

同自動車道で予定されているトンネル6本のうち，手結山第二トンネルに続き，2本目の貫通となった．貫通を記念して，ウォークラリー，プラネタリウム，アニメシアター，クラシックコンサートなどが，夜須IC予定地などで行われた．

菅合トンネルが貫通

三重県多気郡大台町菅合で施工する紀勢自動車道の菅合トンネルの貫通式が行われた．

同トンネルは延長2,271m，大宮大台IC～紀勢IC間のトンネルでは最長となる．

紀勢自動車道は，伊勢自動車道の勢和多気JCT～紀伊長島IC(仮称)間の総延長約34kmの高速道路．大宮大台IC～紀勢IC間10.5kmは2008年度の開通を目指している．

新佐呂間トンネルで慰霊・貫通式

新佐呂間トンネルが貫通し，現地で貫通式が行われた．貫通式に先立ち，昨年の11月7日，竜巻により同工事事務所兼宿泊施設が崩壊したことにより犠牲になった工事関係者9人の慰霊式も執り行われた．

同トンネルは，佐呂間町栃木と北見市北陽を結ぶ延長約4,110mのもので，完成すれば道内で2番目の長さとなる．竜巻で工事が一時中断したが，昨年12月に再開した．来年3月には計画どおり全面開通する予定．

飯山トンネル長野県側貫通

北陸新幹線の飯山トンネル(約22.2km)で長野県飯山市の上倉工区(約3.1km)と富倉工区(約4.6km)の境界で貫通式が行われた．

同トンネルは6工区に分けて掘削を進め，現在は新潟県側の最北部にある板倉工区(約3.6km)の一部を残すのみとなっている．

八十里越(国道289号)5号トンネルが貫通式

一般国道289号八十里越事業のうち，新潟県側に位置する5号トンネル(延長665m)が貫通した．

八十里越事業は，平成17年9月に工事着手した新潟県三条市(旧下田村)から福島県南会津郡只見町に至る延長約20.8kmの峠越えの道路．このうち通行不能区間を含む約11.8kmを国土交通省が権限代行により事業を実施している．

5号トンネルは，14本計画されているトンネルのうち，三条側から数えて5番目で，大谷ダムから約5kmの地点．延長665mあり，平成17年9月に大谷ダム側を起点に片側から掘削を開始．24時間2交代で1日約4mずつ掘進し，2年がかりで貫通した．

今富トンネルで貫通式

舞鶴若狭自動車道(近畿自動車道敦賀線)小浜西～小浜間舞鶴若狭自動車道小浜西IC～小浜IC間で建設中である今富トンネル(806m)が貫通した．今富トンネルの貫通は，同区間11.5kmの建設工事で最初の貫通となる．

貫通式では，地元住民や関係機関，また地元の今富小学校6年生の児童約60名も参加し，工事見学会の際の感想文の発表などが行われた．

古園トンネルが貫通式

宮崎県諸塚村と椎葉村を結ぶ国道327号古園2号トンネルの貫通式が行われた．トンネルは来年6月の完成予定．

新茂辺地トンネル工事で安全祈願

北海道新幹線新茂辺地トンネルの東工区安全祈願祭が，北海道北斗市柳沢の工事現場内で行われた．

同トンネルは同市内の約3.2kmで，新函館一新青森間(約149km)のうち，北海道内で計画されている6つのトンネルの中では，2006年に工事着手した渡島当別トンネル8.1kmに次ぐ長さとなっている．完成は2010年6月を予定している．

「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル」が改訂

日本下水道事業団(JS)は，処理場・ポンプ場などにおけるコンクリート構造物の腐食対策について制定した「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術マニュアル」を改訂した．

従来の防食技術マニュアルの構成や記載内容について全面的な見直しを行い，①性能照査型の徹底，②防食被覆工の設計・施工の明確化および記載の充実，③既設コンクリート構造物の補修に関する記載の充実を図った．

この同マニュアルは，下水道施設に特有な硫酸によるコンクリート腐食に関する技術基準として，利用されていたが，制定から約5年が経過し，施工実態の反映や仕様要求性能に対する保証の明確化など，これまでの運用で明らかとなった課題に対応する必要が生じるとともに，近年の再構築業務の増加に伴って，補修工事の設計や施工に関する記載の充実を図る必要があった．

研　究

低濃度グラウトに関する基礎的研究

(社)日本建設機械化協会施工技術総合研究所研究第一部長　横　澤　圭一郎
(社)日本建設機械化協会施工技術総合研究所研究第三部　竹　本　憲　充
清水建設(株)名古屋支店土木部技術第二部　矢　萩　良　二
(有)ドリームドーム・ラボ代表　宮　永　佳　晴

1 はじめに

近年，トンネル工事でも地下水位低下抑制，湧水量の大幅低減などが要求され，大規模なグラウトが必要になることが多くなってきている．しかしながら，トンネル工事におけるグラウト基準，指針などはなく，ダム工事の基準を準用してグラウトを施工しているのが実状である．

図-1にダムとトンネルの透水性の改良範囲を模式的に示すが，トンネル工事ではダムより一桁低いところまで透水性の改良が要求されるのが大きな相違点となっている．ダム基礎が対象とする地盤は地表面付近であり作用する外水圧が小さいので，グラウトの改良度が低くてもダムの安定などにほとんど影響がないのに対し，トンネルでは，高い外水圧が作用する環境下で湧水量を低減させ地下水面の変化を抑制することが求められるためである．

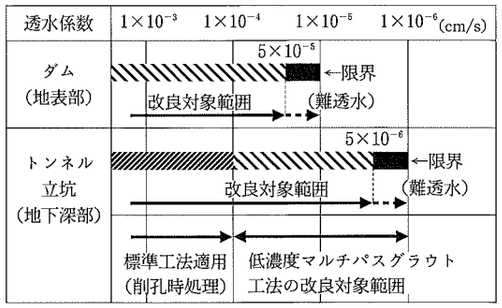


図-1　ダムとトンネルの改良目標

このような現状を踏まえ，トンネル工事において要求される高い止水性を有する「低濃度マルチパスグラウト工法」を考案した．以下に岩盤亀裂のモデルを用いた本工法の性能確認試験結果を紹介する．

なお，「ブリージング」が曖昧に使われることが多いので，本稿で使用する意味を以下に定義するとともに，あわせて本稿で使用するその他の用語を定義する．

- ブリージング：懸濁液中の大きい粒子が，中小の粒子を凝集・吸着して短時間で沈降し，水と分離して上澄み水がほぼ透明となる現象
- ブリージングが発生しない：大小の粒子は，ブラウン運動により懸濁状態が続くが，次第に大きな粒子から沈降し濃度が徐々に低下する状態
- 標準工法：現在，ダムなどで実施されているセメント系材料の懸濁液によるグラウト工法
- 濃度：材料/水比(重量)

2 トンネルにおけるグラウトの現状

2-1　標準工法の概要

地下水面下に計画されているトンネルでは，掘削前に作用していた地下水圧を掘削により大気圧状態に変化させることになるので，必然的に湧水が発生しやすい状況が出現する．このような状況下においてグラウトが必要となるのは，①湧水に

起因する地下水位の低下抑制，②湧水量の低減，のいずれかの要請がある場合となる．ただし，①の場合には，②も同時に達成しなければ実現は困難であるため，湧水の低減量によりグラウトの性能が評価されることになる．

トンネルのグラウトでは，グラウト孔周辺に作用していた地下水圧以上の高い圧力で，グラウト材料を注入する必要があるため，反力を受けるカバーロック(バルクヘッド)が必要となる．また，切羽が前進する際には探りボーリングなどにより，高透水部の有無を確認，高透水部を確認した場合，4～5m手前で切羽を止めて，カバーロックを設けてプレグラウトを行うのが一般的である．

2-2　標準工法の課題

現在行われている標準工法は，初期濃度を1/10(あるいは1/8)としている．注入量が多い場合は1/8→1/6→…と段階的に濃度を切替えて，また注入量が少ない場合はそのままの濃度で継続して注入し，最終的には1/2または1/1でだめ押し・孔埋めして注入を終了する．

1/10(あるいは1/8)という濃度の選定根拠は定かでなく，最近欧米では，濃度1/2までは粘性があまり変わらないこともあり，初期濃度を1/3～1/5と大きくする例が多くなっている[1]．

しかし，後述する沈降試験の結果にもとづけば，1/10より濃い濃度では，ブリージングが発生し，ミルクがグラウト孔に注入されると同時に，沈降・沈積が始まり急激に水と材料が分離する．しかも上部に残った水は，粒子がほとんど凝集・沈降してしまうので，濁度がほとんど残らない澄んだ水となる．

さらに，このようなブリージングが発生しやすい懸濁液にて注入を行った場合，亀裂が充填されていく過程について着目すると，**図-2**に示すように亀裂内を流れるうちに，亀裂内でもブリージングが発生し，下部にはセメント粒子が沈降・沈積し上部には水が残ることになる．そして，その上部の水が圧力によって脱水した後に，次のミルクが供給され再度ブリージングが発生する．これをくり返して，亀裂はセメント粒子で満たされて，グラウトが完了することになる．しかし，亀裂の上部には排除できなかった水が残り，その部分に未充填の空隙が残る恐れがある．それゆえ，ブリージングのない材料で充填する安定グラウトに対して，標準工法は「不安定グラウト」[2]といわれている．

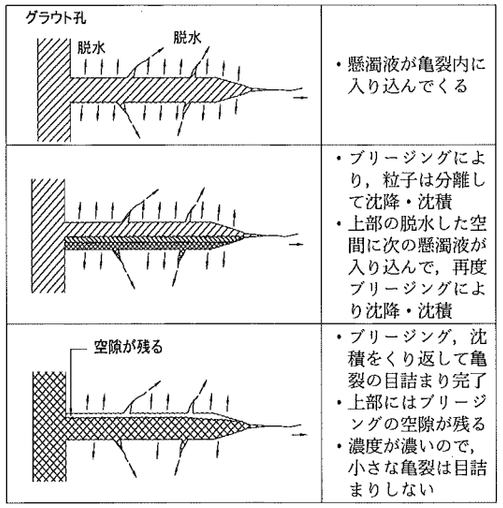


図-2　標準工法の目詰まり原理図

3　低濃度マルチパスグラウト工法

3-1　工法の概要

低濃度グラウト工法は，図-1に示したように，改良目標を1×10^{-6}cm/sに置いて，細かい亀裂にいかにグラウトの粒子を目詰まりさせるかを最大のポイントにしている．低濃度グラウトで使用する濃度は，1/100～1/250であり，原則として一定の濃度で長時間かけて注入するグラウト工法である．

グラウト孔削孔時に大きな亀裂に遭遇した場合は，そのつど削孔を中断して局部的な荒止めグラウトを標準工法で行い，おおむねの止水ができたら削孔を再開することを想定している．なお，荒止めグラウトの要否判断基準としては，グラウト削孔中の湧水量が急激に増加し，数値的には1×10^{-4}cm/s程度以上となった場合に実施することを想定している．5m規模のトンネルを対象に，グラウトの範囲を直径の3倍の15m，区間長を30mとしてプレグラウトを計画した事例を**図-3**に例示する．

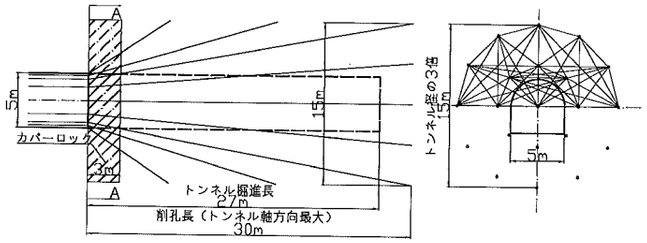


図-3　トンネルのプレグラウト計画例

この事例のように，3次元的にグラウト孔が数多くある場合には，無数の注入ラインができるので，グラウトされない亀裂がほとんどなくなり，孔数が少なくてもより良質な改良が期待できる．その理由は，亀裂の先端の目詰まりは，注入圧が作用し密実になっており，注入終了後に逆圧がかかっても，容易には流失しない状態になっていると考えられるからである．

低濃度グラウトでは，後述するように，注入完了後の注入孔は，隣接する孔への注入の際に排水孔として使用される．このため孔埋めが必要な場合には，すべてのグラウトが終了してから，まとめて安価なモルタルで充填することを想定している．

以上のような考え方によるグラウト工法を，低濃度マルチパスグラウト工法(Low Concentrate Multi Pass Grouting System：「LCマルチ」グラウト)と名付けた．

3-2　工法の特長

3-2-1　ブリージングの軽減

後述するPC，SC-B，S60，FAなどの材料について，濃度を1/2～1/250まで変えた沈降試験を実施した結果，標準工法と低濃度グラウトでは，懸濁液の沈降特性が異なっている．いずれの材料についても1/10より大きい濃度ではブリージング現象が発生し，上部には透明な水が残ることが確認された．一方，1/100より小さい濃度では，ブリージングは短時間では発生せず，上部には懸濁液が残ることを観察した．

図-4に示すように，標準工法の注入材料は中間部の濃度の大きい懸濁液であるのに対して，低濃度グラウト工法の注入材料は全体に広がる濃度の小さい懸濁液である．したがって，1/100で注入した場合には，底部に若干の沈澱は残るが，グラウト孔全体がほぼ均一の濁度になり，亀裂内にはその懸濁液が送り込まれる．亀裂内でもほとんど沈降することなく水とともに移動して，脱水する岩盤の表面に付着，もしくは，水だけが通過する細かい亀裂の先端部で水と分離して残留することになると考えられる．

3-2-2　止水性・安定性の向上

標準工法は，「脱水作用」がなければ充填後に止水性能が発揮されないのに対して，低濃度グラウト工法では脱水がなくても成立する．**図-5**に示すように，これはフィルターで懸濁物を濾過するのと同じ原理であり，目詰まりは濾過された粒子の層が厚くなるように進行する．このことから，注入圧を一定にするよりも，定流量ポンプを使用して注入し注入圧を次第に大きくするのが，より効果的なグラウトになると思われる．

時間の経過とともに，懸濁層では緩やかに沈降が進行するが，先に沈降するのは粗粒分でありその量もかなり少ないので，注入時間が長くなっても初期とあまり変わらない条件で注入できる．

以上のような過程で目詰まりが進行し，かつブリージングは発生しないので，一種の「安定グラウト」ということができる．

3-2-3　施工の効率化

低濃度グラウト工法では，注入される水が圧倒的に多くなるので，この水をスムースに脱水する

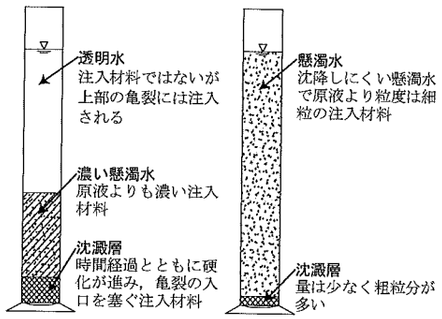


図-4　沈降特性の比較

ことを考えることが肝要となる．そのためには，注入した水を効率的に誘導・排水するための排水孔を設けることになるが，幸いにしてグラウト孔は1/100の濃度では孔埋めされずにそのまま残ることになるので，その孔を有効に利用する．その孔に他の注入孔からのミルクを誘導することにより，単に排水するばかりでなく，注入孔とその排水孔の間を往復でグラウトし，よりグラウト効果を高めることができる．さらには孔間隔を大きくすることも可能と考えられる(**図-6参照**)．全排水孔の水を合計した量が，ほぼ切羽の全湧水量になるので，湧水状況を追跡チェックしておけば，どこに追加孔が必要か，どこでグラウトを終了すればよいかがわかり，効率的にグラウトを行うことが可能になると想定している．

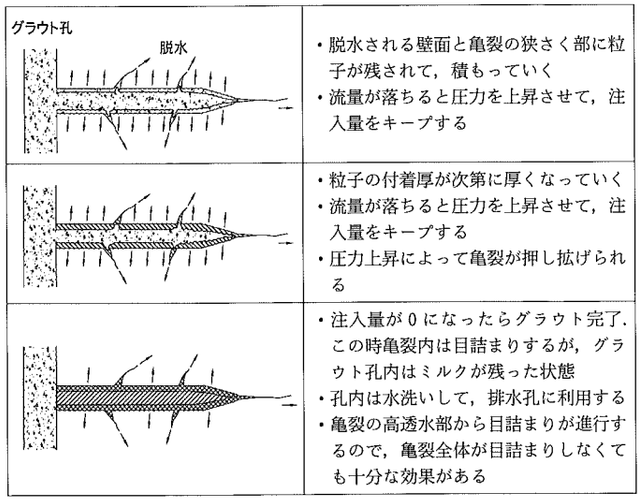
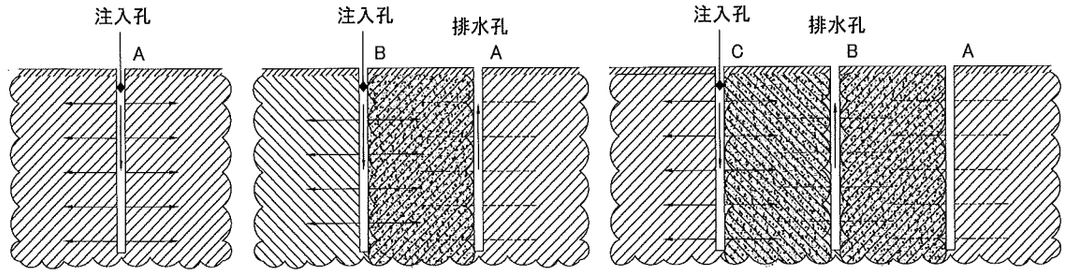


図-5　低濃度グラウト工法の目詰まり原理図



（1） A孔より注入　（2） B孔より注入しA孔を排水・誘導孔として利用　（3） C孔より注入しB孔を排水・誘導孔として利用

図-6　低濃度グラウト工法注入順序概念図

4 注入材料の選定試験

4-1　注入材料の選定

注入時間を長く必要とする低濃度グラウトの材料に求められる条件は，なるべく細粒であることと，グラウト孔内および亀裂に入ってから，しばらくの間硬化せず，数十時間後には硬化が始まり，最終的には完全に硬化して安定するような材料が理想的である．なお，以降で使用する略号に対応する材料は以下のとおりである．

PC　：普通ポルトランドセメント
SC-B：高炉セメントB種
S60　：細粒スラグ(比表面積6,000cm²/g)
FA　：細粒フライアッシュ
(比表面積6,000cm²/g)
UF：超微粒子セメント

カタログなどで調査した結果，現在一般的に使用されているPCやSC-Bは，いつでもどこでも入手できて，かつ安価であるが，粒度が大きすぎる点および硬化時間が短すぎる点で，注入時間を長く必要とする低濃度グラウトには不向きである．**写真-1**にS60とFAの電子顕微鏡写真を示すが，S60やFAは，UFに近い粒度であるばかりでなく，S60は緩やかな自硬性を有すること[3]，FAには自硬性はないが形状が球形でありCa分を添加すれば化学的に硬化することに着目して第一の候補材料とすることにした．また，S60やFAは，使われなければ産業廃棄物であるので，有効利用が図れるならば100%エコロジカルな材料となることも大きな利点となる．

4-2　粒度分布

PC，SC-B，S60，FA，UFの五つの材料の粒度分布を**図-7**に示すが，前二者はほかに比べて最大粒径も50%粒径もかなり大きく，低濃度グラウト工法用のグラウト材としては不適であることがわかる．

4-3　沈降試験

S60，FA，PCの三つの材料について，濃度を1/2，1/10，1/30，1/50，1/100，1/250と6段階に分けて，時間経過による沈降状況を300mℓのメスシリンダで観察したのが**写真-2**である．

写真-2では30分後と60分後を比較して示しているが，いずれの材料も濃度が1/10より大きければブリージングが発生し，上澄み水は透明となった．

一方，濃度が1/100以下になると，S60とFAは懸濁状態が60分後も残り，そのうちでもFAがもっとも沈降しにくいことがわかった．ただし，粒径が大きいPCはもっとも沈降が早く，1/100，1/250でも懸濁状態は長続きしなかった．

試験の結果，材料によって異なると思われるが，ブリージングの有無の境界は1/10と1/100の間にあることが判明した．

また，1/10という濃度は，ブリージング率(透明水の高さ/全水面の高さ)，ブリージング速度の

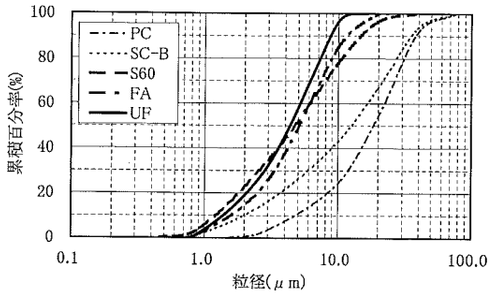
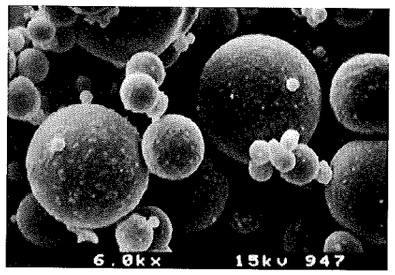
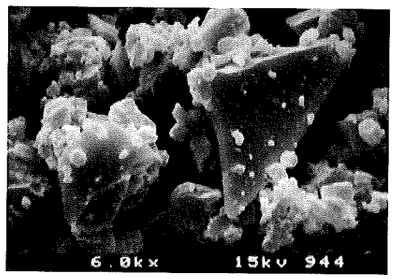


図-7　各材料の粒度分布図

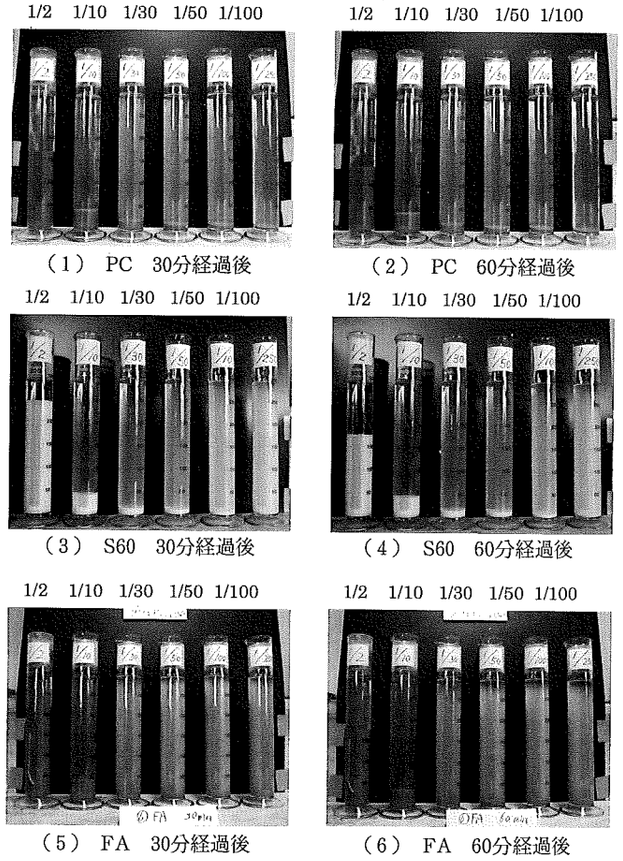


（1） S60



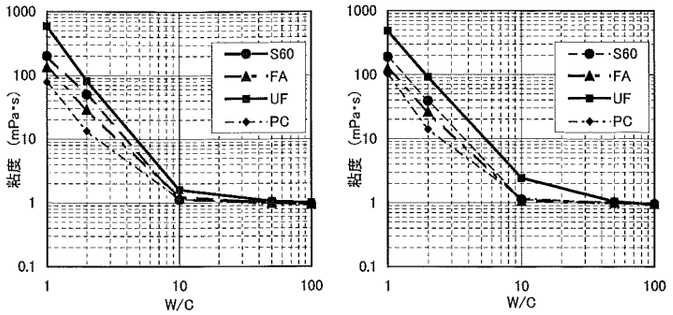
（2） FA

写真-1　電子顕微鏡写真(新日鐵高炉セメント(株)提供)



（1） PC　30分経過後　（2） PC　60分経過後
（3） S60　30分経過後　（4） S60　60分経過後
（5） FA　30分経過後　（6） FA　60分経過後

写真-2　沈降試験結果写真



（1） 60分経過　　（2） 180分経過

図-8　粘度分布図

両面から見て，グラウトにとってもっとも不利な条件を有していることが確認された．

4-4　粘度測定

図-8に粘度測定結果を示すが，各材料ともほぼ同じ傾向で，1/10以下の濃度の粘度は，1.0MPa・sに近く水とほとんど変わらない状況である．濃度が1/2になって初めて粘度が10MPa・sを超えるが，それでも粘度としてはあまり大きな値ではない．

5　大型スリットモデル実験

材料の特性を把握したうえで，モデル実験によりもっとも有利な材料を選定することとした．

5-1　実験装置

実験に用いた大型スリットモデルを図-9，写真-3に示す．

スリットは，幅100㎜，長さ2,000㎜（注水孔から

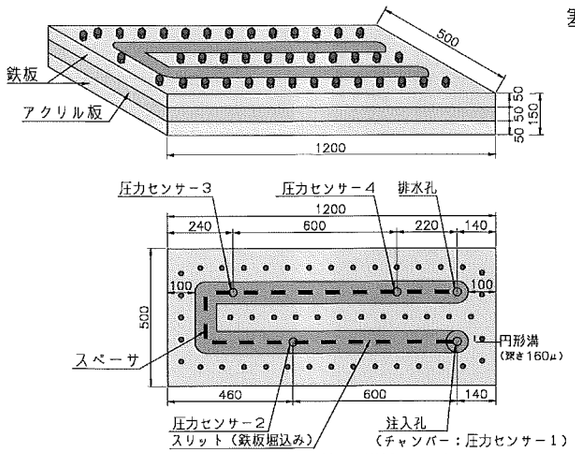


図-9　スリットモデル実験装置（単位：㎜）

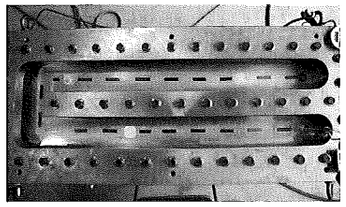


写真-3　スリットモデル実験装置写真

排水孔までの長さ）とし，深さについては平均60μmおよび平均30μmの2種類とした．

なお，スリットは最下部に設置する鉄板に旋盤で切削加工することにより設けた．また，ボルトの締付け圧でアクリル板が最下部の鉄板に接するのを防止し，所定のスリット深さを確保するため，中央に100㎜ピッチでスペーサを配置した．

注入孔の構造は，図-10に示すように，懸濁液が循環する構造で，粒度・濃度一定の液が，スリット内に注入されるよう工夫した．実験条件を60μmスリットモデルについては表-1に，30μmについては表-2に示す（いずれも後出）．注入は，同表に示す材料・濃度・設定圧力に設定した状態で実施した．圧力は流量調整弁の開閉を調節し，圧力計1の指示値が常に一定となるようにしたが，圧力は上昇傾向であった．注入孔から注入された懸濁液が延長2,000㎜のスリット流路を経て排水孔から流出する排水量を10分間ごとに測定した．排水量が1.5cc/minとなった時点でスリットが閉塞したと見なし，経過時間を閉塞時間として記録

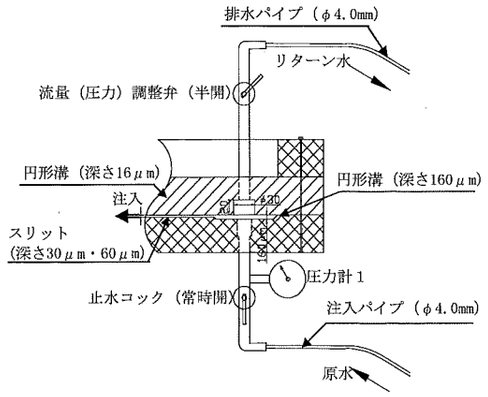


図-10　注入孔部詳細

した．最後に排水孔から採取した排水と，懸濁液の粒度分析を行い，スリット内に堆積している材料の粒度を推定した．実験結果を踏まえ，下記の基準で最適な注入材料・濃度を判断した．

① 注入孔の口元付近での目詰まりがなく，スリット中への浸入延長が長いこと
② スリット内に浸入後，排水孔までの区間をくり返し懸濁液が通過することで，スリット内全面に材料が堆積されること
③ 長時間，排水の濁度が高く保たれ，さらに長距離の微細亀裂に対しても材料の浸入・堆積が期待できること

5-2　60μm級スリットモデル実験

5-2-1　実験結果

実験結果は表-1，写真-4～7に示すとおりである．

実験①，②は，濃度1/10のS60とSC-Bの注入を，設定圧0.6MPaで実施したものである．写真-5に示すように実験①のS60はスリット内の入口に近いところで目詰まりし，写真-6に示す実験②のSC-Bは，注入孔の周囲にある深さ160μmの円型溝（図-10参照）で目詰まりした．これに対し，同じ設定圧にて濃度1/100のS60を注入した実験③の結果を見ると，写真-7に示すように，スリット内の全面に堆積を生じた．

以上より，60μmのスリットに対しては，濃度

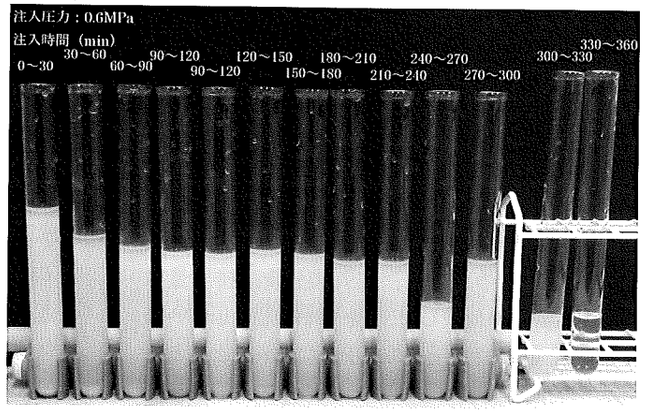


写真-4　実験③の排水白濁状況（30分ごとに採水）

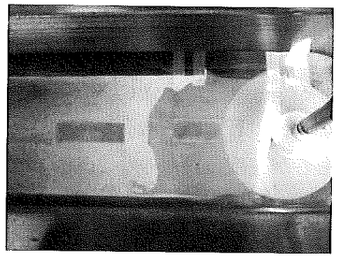


写真-5　注入孔付近目詰まり状況（S60，濃度1/10）

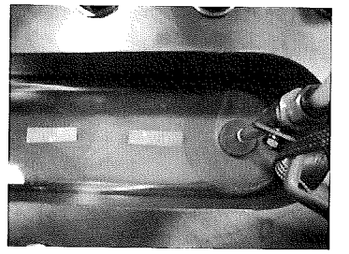


写真-6　注入孔部目詰まり状況（SC-B,濃度1/10）

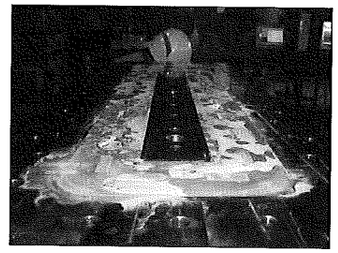


写真-7　スリット内堆積状況（S60，濃度1/100）

表-1　60μm級スリットモデル注入実験結果

	注入材料	濃度	注入圧（MPa）	開始5～10分までの排水量（cc/min）	閉塞時の排水量※1（cc/min）	閉塞時間※1（min）	閉塞時の排水濁度	注入材料の堆積状況	備考
実験①	S60	1/10	0.6	0.8	0.4	10	透明	注入孔から30cmの位置で閉塞（写真-5）	注入後約3分でNo.2，3センサの圧力低下
実験②	SC-B	1/10	0.6	1.3	1.3	10	透明	注入孔付近で閉塞（写真-6）	注入後約3分で注入孔付近に目詰まり発生
実験③	S60	1/100	0.6	9.7	0.7	360	ほぼ透明	2mの全区間にわたり堆積（写真-7）	–
実験④	S60	1/100	0.8	11.8	6時間後も閉塞せず		白濁（6hr後）		–
実験⑤	FA	1/100	0.6	3.7			白濁		–

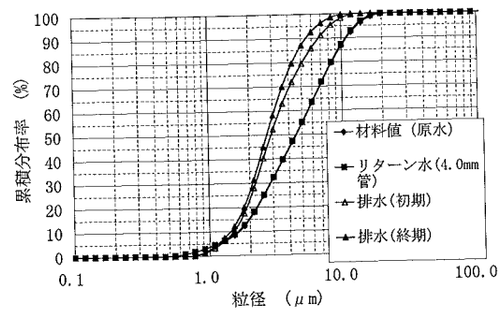
※1　排水量がほぼ1.0cc/min以下に低下した時点で閉塞とみなした

1/10より濃度1/100の方が目詰まりが生じにくく，スリット内に材料を浸入させやすいことが確認された．なお，写真-4は，実験③で生じた排水を30分ごとに採取したものであるが，排水は白濁状態が持続するが閉塞時にはほぼ透明になり，スリット内の堆積の進行とともに緩やかに排水量が減少し，6時間経過後には0.7cc/minに低下した．

実験④は実験③と同じ材料で，注入設定圧を0.8MPaに上げたケースである．6時間経過後に排水量を測定したところ，スタート時の12cc/minが1.6cc/minまで低減し，排水もほぼ透明であったことから，グラウト効果が出ていることがわかった．なおこのケースでも，6時間後にはスリット内は全面に堆積していた．

実験⑤は材料にFAを用い濃度1/100，0.6MPaで注入したものである．注入90分後，排水量は1.5cc/minまで低減した．表-1には記載していないが，その後設定圧を0.8MPaに上昇させたところ，一時的な目詰まり状態が解消して，白濁を伴う排水となった．その後，チャンバ圧は0.9～1.1MPaの間で変動し，スリット内の堆積は一部流出・堆積をくり返し，排水量も増減しながら，低減する傾向が見られた．

（1） S60，濃度1/100



（2） FA，濃度1/100

図-11　粒度比較図(60μm級スリット試験)

なお，**図-11**に示すように実験③，⑤で原水，リターン水，排水の粒度を測定したところ，原水とリターン水は同じ粒度で，排水の粒度は2回とも大幅に小さくなった．図-11(1)から，S60の方が排水の粒度が大幅に小さくなっており，主として粗粒分がスリット内に多く留まっているのに対して，図-11(2)ではFAの方が粗流分だけでなく，幅広い粒径の材料がスリット内に留まっており，大きな粒子がスリット内を流れやすくなっていることがわかる．これは，FAの方がS60よりも，より微細な亀裂に対して粒子が浸入しやすいことを示唆するものである．

5-2-2　60μm級試験のまとめ

以上の実験結果をまとめると以下のようになる．

① 濃度1/100では，60μmのスリットにスムースに注入可能であるが，濃度1/10では0.6MPaでは，入口付近で目詰まりを起こす．とくに，写真-6から粒度の大きいSC-Bは60μmには浸入できず注入孔部(160μm)の所に堆積している．

② 濃度1/100では粗粒分から先にスリット内に堆積するので，2m先の排水孔からの排水は，濁度はあるが粒度はかなり小さくなっている．

③ 濃度1/100では，狭さく部のない滑らかなスリット面に，粒子が付着しながら安定的に堆積する．その後，部分的な目詰まりで一時的に圧力が上昇し，堆積部分が流される．これをくり返しながら堆積が拡大する状況が観察できた．

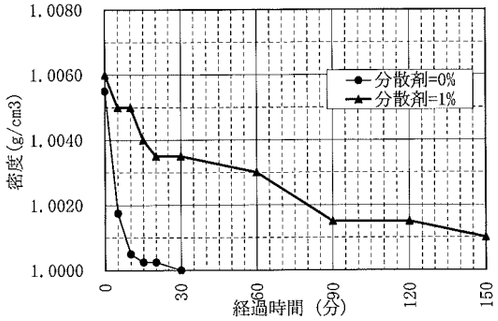
④ 図-11(1)，(2)から，FAの方がS60よりもより細かい亀裂に注入できる可能性があることが示された．

5-3　30μm級スリットモデル実験

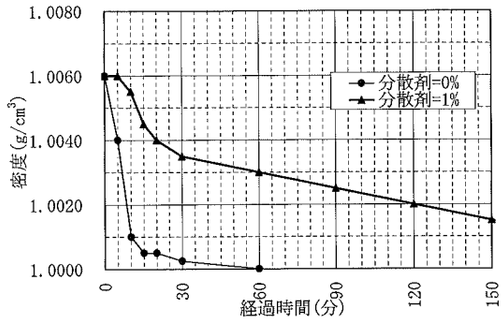
5-3-1　実験結果

60μm級の実験で，濃度1/100のS60，FAは，ともに60μm級スリットには容易に注入可能であることが確認できた．そこで，さらに厳しい注入条件となる30μm級スリットで，濃度1/100と1/10についてS60とFAの優劣を決めるための比較実験を行った．ただし，4-1で述べたようにFA単体では自硬性がないので，FA単体の代わりにS60とFAを50%ずつブレンドして使用することとした(以降「S60＋FA」と記述する)．

注入時間を長く必要とする低濃度グラウトでは懸濁状態(密度)の持続性は，実際にグラウトするうえで非常に重要な問題となるため，S60＋FAと，S60の1/100濃度について，懸濁液濃度の経時変化を比重計により測定した．また，分散剤(花王製マイティー150R)添加の有無による密度変化の相違についての比較もあわせて行った．その測定結果を**図-12**に示すが，分散剤を添加しない場合は材料の沈降により両者とも10分間で急激に密度が低下し30分でほぼ一定になる．一方，分散剤を添加した場合はS60＋FAおよびS60とも密度は30分まではやや急激に低下するが，それ以後は緩やかな低下傾向を示し，150分経過後でも懸濁状態が認められた．



（1） S60，濃度1/100 攪拌直後の理論密度1.0065g/cm³



（2） S60＋FA，濃度1/100 攪拌直後の理論密度1.0062 g/cm³

図-12　密度の経時変化

この結果から，材料特性としては両者ともほぼ同様な性状を持っており，また，懸濁状態を持続させるためには分散剤の添加が重要であることが確認された．

予備実験を行った結果，流量が圧力にほぼ比例する範囲内の最大圧である0.5MPaを注入圧とすることにした．0.5MPaでは，注入開始直後の流量は10分間で4cc程度と非常に小さいが，3時間注入した後において，堆積状況と排水の量の変化，排水が透明であるか，白濁しているかなどは十分に確認可能であることを確かめている．

なお，実験条件が厳しいこともあり，同一条件の実験を各々3回行って再現性を確認することとした．実験の手順は，注入前の透水試験で，スタートの流量を一定範囲(5.0～3.0cc/10min)に調整した後に，材料の注入実験を行い，注入終了後に排水孔に水圧をかけて逆方向に水を流し，堆積の安定度を見る背圧試験を行った．実験の結果は**表-2**に示すとおりである．いずれのケースでも3回ともほぼ同じ結果が得られており，実験の妥当性と，低濃度(濃度1/100)の優位性が確認できた(誌面の都合で表-2には3回目の結果のみ表示している)．

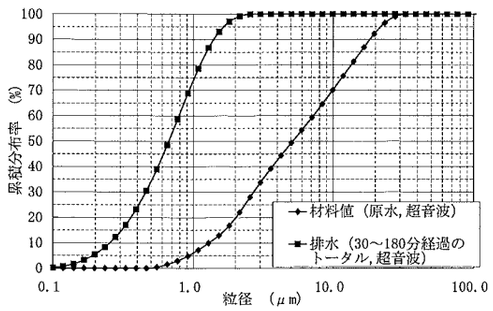
濃度1/100については，注入圧力が0.5MPaと低く，注入時間が3時間という制約があったために，スリット内に密に堆積する状況は確認できていない．60μm級スリットでの実験結果と同様，堆積状況については，粗粒の方から，また上流の方から堆積しやすいので，濃度1/100では0(注入孔)～120cmまでは肉眼で堆積が確認できたが，**写真-8**に示すように120～200cm(排水孔)間で堆積が確認できたのは，表-2，実験⑨のS60＋FA，1/100の1ケースのみであった．

図-13(1)に示すように，排水を集めて粒度分析した結果，実験⑧の濃度1/100のS60では，最大粒径3μm，50%粒径0.6μmという超々微粒子の粒度曲線が得られている．

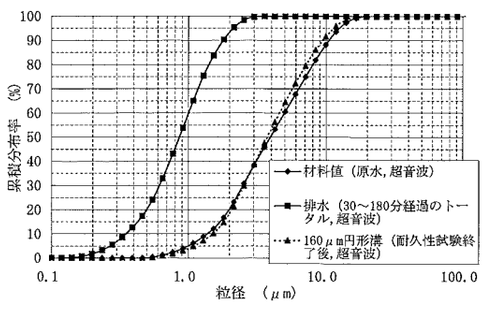
また，濃度1/100でのS60（実験⑧）およびS60＋FA（実験⑨）は，いずれも排水が白濁していることが認められたので，実験装置と同様な1次元

表-2　30μm級スリットモデル注入実験結果

材料濃度	測定(観察)項目	単　位	注入時間(min) 10	30	60	90	120	150	180	堆積状況	背圧試験 注入圧(MPa)	排水量(cc/10min)
実験⑥ S60 1/10	排水量	cc/10min	2.2	1.5	0.7					3時間経過時点で120cm付近まで堆積	0.5	1.4
	排水の白濁状況	○：有，×：無	×	×	×							
	チャンバ注入圧	MPa	0.44	0.47	0.41						0.7	2.4
	No.2センサ圧力	MPa	0.22	0.14	0.06							
	No.3センサ圧力	MPa	0.15	0.09	0.03							
	No.4センサ圧力	MPa	0.02	0.02	0.02							
実験⑦ S60+FA 1/10	排水量	cc/10min	3.6	1.6	1.0	0.9				3時間経過時点で120～200cm区間まで堆積	0.5	1.4
	排水の白濁状況	○：有，×：無	×	×	×	×						
	チャンバ注入圧	MPa	0.40	0.51	0.52	0.32					0.7	2.8
	No.2センサ圧力	MPa	0.24	0.17	0.09	0.08						
	No.3センサ圧力	MPa	0.20	0.12	0.06	0.05						
	No.4センサ圧力	MPa	0.03	0.02	0.01	0.01						
実験⑧ S60 1/100	排水量	cc/10min	2.9	3.2	3.0	2.9	2.7	2.6	2.5	閉塞時点で60～120cm区間まで堆積	0.5	8.9
	排水の白濁状況	○：有，×：無	×	○	○	○	○	○	○			
	チャンバ注入圧	MPa	0.43	0.55	0.51	0.40	0.41	0.39	0.43		0.7	17
	No.2センサ圧力	MPa	0.32	0.30	0.37	0.35	0.33	0.31	0.30			
	No.3センサ圧力	MPa	0.27	0.27	0.38	0.27	0.27	0.26	0.26			
	No.4センサ圧力	MPa	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04			
実験⑨ S60+FA 1/100	排水量	cc/10min	4.4	4.5	4.8	4.7	4.3	4.0	3.8	閉塞時点で60～120cm区間まで浸入	0.5	8.4
	排水の白濁状況	○：有，×：無	×	○	○	○	○	○	○			
	チャンバ注入圧	MPa	0.39	0.56	0.56	0.46	0.54	0.46	0.48		0.7	18
	No.2センサ圧力	MPa	0.28	0.33	0.33	0.33	0.31	0.31	0.30			
	No.3センサ圧力	MPa	0.23	0.30	0.30	0.30	0.29	0.28	0.27			
	No.4センサ圧力	MPa	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06			



（1）　S60，濃度 1/100



（2）　S60+FA，濃度 1/100

図-13　30μm級スリットにおける原水・リターン水・排水の粒度比較図

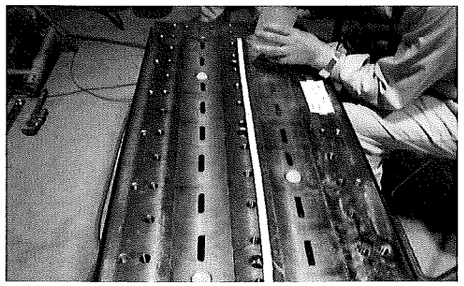


写真-8　排水孔までの堆積状況写真
（S60+FA，濃度1/100，30μm級スリット）

水路であれば，2mより長い距離までミルクが到達する可能性があることを示している．

濃度 1/10 では二つの材料とも，スリット内には入るが，入口の近くで堆積・目詰まりし，注入量はS60が60分で，S60+FAが90分で 1 cc/10min 以下となり，No.2の圧力も大幅に低下したので，その時点で「目詰まり」と判定し注入を打切った．

しかし，濃度 1/10でも注入初期の10～20分の間は，透水試験時にスリット内に残った水で薄められるため，スリット内に流れ込み注入孔から120cmまでは到達している．

背圧試験は，1回目にNo.2センサで注入圧と同じ0.5MPaの圧力がかかるようにし，2回目はそれよりも大きい0.7MPaの圧力がかかるようにして，30分の間隔をおいて排水量の変化，堆積の変化を観察した．表-2に示したようにスリットの充塡は完全でない状態であっても，堆積物はほとんど流されることなく安定であった．

5-3-2　30μm級試験のまとめ

30μm級スリットの実験結果は以下のようにまとめられる．

① 濃度 1/100の実験で，S60とS60+FAの排水量の低減状況を比較すると，S60+FAの方が緩やかに低減する．

② 目詰まりが認められた濃度 1/10 で比較すると，1 cc/10min以下の排水量となるまでの時間が，S60の60分に対してS60+FAでは90分と長い．

以上の結果は，30μm以上の亀裂に対してはS60の方が迅速に止水できるが，より微細な亀裂に対しては，S60+FAの方が材料を浸入させる能力が高いことを示唆している．よってS60+FAの方が高い止水性・安定性が期待でき，低濃度グラウトの注入材料として適用性が高いと判断した．

6　おわりに

30μm級の大型スリットモデル実験から，低濃度グラウト注入工法に適する材料として，S60+FAがもっとも適していることが確認できた．

また，別途実施した材料に関する試験では，Ca分の添加量を調整することにより，凝結開始時間を20～10時間程度の範囲で調整できること，FAを50%添加しても，28日強度は大幅には低下しないことなどを確認している．

以上のように現在までに，室内試験まで終了して注入材料の目処をつけた段階であり，今後現場実証実験を行うことによって，「低濃度マルチパスグラウト工法(LCマルチ)」の実用化の目処を付けたいと思っている．

最後に，本研究を行うにあたって，ライト工業(株)技術本部・藤澤伸行氏には同社宇都宮工場，および太平洋マテリアル(株)開発研究所・花田達雄氏には同社研究所の施設および設備の一部利用について尽力いただくとともに，関係者の協力についても快諾され，実験を無事終了することができた．また，新日本開発(株)・小辻俊典，金沢悦尚，合宝智士，國米弦矢，山下大介の各氏には試験の実施に多大なるご協力をいただいた．さらに，新日鐵高炉セメント(株)SL事業部・永渕強氏には貴重な資料を提供していただいた．記して深甚なる謝意を表する次第である．

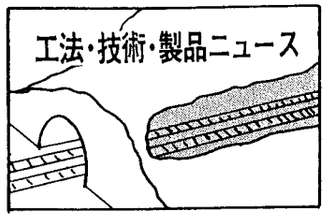
参考文献

1)(社)日本大ダム会議グラウチング分科会：ダム基礎のグランチングの施工合理化について―分科会報告―，大ダム，No.190，2005.

2) H・カンブフォール著，斉藤二郎・福住隆二共訳：地盤注入＜基本理論と施工技術＞，鹿島出版会，1969.

3) 宇智田俊一郎：高炉セメントの製造と用途，小野田研究報告，Vol.43，No.1，第124号，1991.

続　きみの庭にも温泉が出る
その後の温泉開発と建設の考え方
石井康夫・俣野恭寛 共著　新書判 217頁　本体定価 1,200円（〒210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



植物由来の樹脂パイプを使用した環境配慮型の工法を開発

(株)大林組，三菱樹脂(株)，三菱マテリアル(株)は共同で，山岳トンネル施工時に地山の崩壊を防止するために用いる補助工法である注入式長尺鋼管先受け(AGF)工法における植物由来の生分解性パイプを使用した環境配慮型の工法を開発した．

無拡幅方式のAGF工法では，鋼製，塩化ビニル製のパイプを打設して薬液を注入するが，掘削時には，パイプの端末を切断・撤去する必要があった．これらの端末管の多くは産業廃棄物となっていたが，本工法はこれを植物由来の生分解性パイプに切替えることで，環境に配慮した工法とした．生分解性パイプは，トウモロコシ由来の植物原料プラスチックを主原料としており，微生物によって分解される特性を持つ．従来の塩ビ管と比較して，枯渇性資源の使用削減につながるだけではなく，二酸化炭素排出量の抑制にも効果があり，また，微生物の働きによって分解される生分解性も有しており，環境に配慮された工法となっている．

現在，北海道のトンネル工事においてこの生分解性パイプを用いたAGF工法の試験施工を行っている．

トンネル覆工コンクリートの新しい養生技術

鴻池組は，新設トンネル建設時の覆工コンクリートを一定期間，湿潤養生し，その強度増進を図ることにより品質，耐久性の向上が得られる新しいコンクリートの養生方法として「温度制御噴霧式覆工コンクリート湿潤養生工法(K-tics)」を開発し(特許出願中)，実施工に適用し稼働中であると発表した．

同工法は，型枠脱枠後，移動式の養生台車を据え付けることにより，コンクリートを一定期間，湿潤状態に養生できるように工夫した工法．養生台車には遮水シートおよび端部締切用の空気充填膜が取り付けてあり，コンクリートとの間に30～60cm程度の密閉された養生空間を確保する．養生空間に粒形45～60μm程度の微粒の霧を発生させることにより湿度90～100%の湿潤状態を維持．また，温度感知センサにより養生温度を制御し最適な養生状態を保持する．

同工法は他のコンクリート構造物への適用も容易であり，今後の建設される社会資本のLCCの低減，長寿延命化に貢献できるものとして，今後，同工法の営業展開を進めていく予定．

鋼管立坑から直接発進到達可能な工法を開発

錢高組はケコム工法で築造した立坑から切羽を開放せずに推進機を直接発進到達できるDUCMM(Dual Casing Mini Mole)工法を開発した．

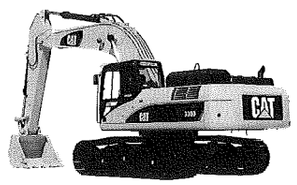
ケコム工法(開発社・コプロス)とは，直径5,000㎜以下の鋼管を内部掘削しながら揺動または回転によって地中に圧入沈設し，立坑を築造する工法．これに対し，同工法ではケコム工法で築造した立坑の推進機通過部分を鋼管と鋼板の二重構造とした．内側の鋼管は推進機が通過できるよう事前に開口されており，外側の鋼板は上側にスライドできる構造となっている．推進機が発進する場合は，切羽圧を確保したうえで外側の鋼板を引き上げ，また到達する場合は，鋼管内に到達設備を設けたうえで外側の鋼板を引き上げる．推進機通過部だけを鋼管と鋼板の二重構造とし，土水圧に十分抵抗できるとともに止水機能も有する．

30トンクラス油圧ショベルの燃料生産性を向上

新キャタピラー三菱は，CAT®油圧ショベル「REGA(レガ)」Dシリーズのうち，30トンクラス2機種の燃料生産性をアップさせ，発売を開始した．

新発売する製品は，CAT 330D「REGA」と同機のロングクローラ仕様であるCAT 330D L「REGA」．

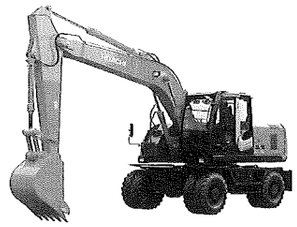
今回の改良では，従来機からエンジンの出力アップとメインポンプの高効率化により，同等の作業性能を確保しながら燃料消費量を最大7%低減．従来機に比べ燃費低減や生産性向上を実現した．



ホイール式油圧ショベルを発売

日立建機(株)は，オフロード法の排出ガス第3次基準値をクリアした，ZX170W-3，ZX210W-3ホイール式油圧ショベルの発売を開始した．

新型高出力エンジンの採用により従来機に比べ，最大出力を19%，最高速度を9%，加速性能を8%，登坂走行燃費を26%向上させ，低燃費モードでは従来機の標準モードに近い作業量を確保しながら，燃費を18%低減させた．



連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A(5)

JTA都市トンネル小委員会

Q 14. 裏込め材料の種類と得失について教えてください．

A.

(1)　裏込め注入の目的

シールドの掘進に伴い発生するテールボイドは，シールドとセグメントの外径差より発生するもので，テールボイドを空隙の状態で長時間放置すると地盤がテールボイドに落ち込み，地盤沈下を起こすことになります．これよりテールボイドには，迅速かつ確実に裏込め注入を行い，空隙を充填することが重要です．

(2)　裏込め注入の分類

裏込め注入の分類には，使用材料，注入時期，注入状態などによる分類があります．

注入状態による分類には，**表-1**のようなものがありますが，シールドトンネルへの適用では，可塑状型と瞬結固結型で9割以上を占めているのが現状です．

ここでは注入状態による分類方法を示します．

1)　一液性グラウト

一液性グラウトは，セメント，砂，ベントナイトなどを混合し製造したグラウトで，ゲル化時間が長く長期強度は高強度が期待できる反面，水に希釈されやすいという欠点があります．地下水が少なく地山が安定した地盤への使用に適しています．

2)　二液性グラウト

二液性グラウトは，A液(硬化発現材＋助材など)を地山への注入直前に水ガラスなどのゲル化剤ならびに可塑剤と混合し，注入後短時間でグラウトをゲル化させ，テールボイドの崩壊を防止するグラウトで，固結型と可塑状型があります．

①　固結型

固結型は，緩結固結型と瞬結固結型に分類されます．どちらも硬化発現材として使用するセメントは変わりませんが，ゲル化剤である水ガラスの濃度と添加量を変えることでゲル化時間を調整し，緩結固結型(ゲル化時間30秒以上)と瞬結固結型(ゲル化時間10～20秒以下)[2]に分類されます．固結型は早期強度が期待できるグラウトである反面，可塑状の状態を保持する時間が短く，注入後の時間経過に伴い固化が始まり追加注入が困難となります．早期強度が必要な場所への注入に適しています．

②　可塑状型

可塑状型は，スラグを主材とした硬化発現材に水ガラスやアルミニウムを混合することで，地山への注入後，短時間(3～20秒以下)でゲル化し，注入後15～40分程度[3]可塑状態を保持することを特徴としています．可塑状保持時間が長いため，容易に先行注入したグラウトを押し出すことが可能です．材料の比率を変えることでゲル化時間や強度などの調

表-1　裏込め注入の注入状態による分類[1]

一液性	懸濁液型		
二液性	水ガラス系	固結型	緩結固結型
			瞬結固結型
		可塑状型	
	アルミニウム系	可塑状型	
その他			

表-2　各種裏込めグラウトの性能比較表[2),3)]

注入形式		一液性			二液性		
裏込めグラウトの分類		瞬結固結型		可塑状型	緩結固結型		
		非エア系	エア系	非エア系	非エア系		エア系
		砂モルタル	エアモルタル	可塑状充込め材	砂モルタル	LW	スラグ系
硬化発現材		セメント	セメント	セメント	セメント	セメント	スラグ系
グラウトの性質	ゲル化時間	2～4時間	2～4時間	5～20秒以下	30秒以上	30秒以上	5～15秒以下
	可塑状保持時間	なし	なし	長い	短い	短い	長い
	固結強度 早期(1H)	非常に小さい	非常に小さい	比較的小さい	大きい	比較的小さい	比較的大きい
	固結強度 長期(N/mm²)	2.0～5.0	2.0～5.0	2.0～3.0	2.0～3.0	1.0～3.0	2.0～3.0
	固結後の容積変化	なし	なし	なし	なし	なし	なし
	希釈性	希釈される	希釈される	なし	やや希釈される	やや希釈される	なし
A液圧送時の性質	圧送距離	200～400m	500～600m	2,000m	200～400m	800～1,200m	約2,000m
	可使時間	2～4時間	2～4時間	1日以上	2～4時間	4～8時間	24時間
	材料分離	ある	ある	ほとんどなし	ある	ある	ほとんどなし
	流動性	劣る	劣る	良い	劣る	やや良い	良い
	管内清掃(水洗)	そのつど	そのつど	1日1回以上	そのつど	そのつど	片番1回以上
注入充塡の性質	限定注入	困難	困難	可能	困難	困難	可能
	切羽・周辺地山への漏洩	切羽，地山ともにあり	切羽，地山ともにあり	ほとんどなし	切羽，地山ともにあり	切羽，地山ともにあり	ほとんどなし
	充塡性	劣る	劣る	やや良い	やや良い	やや良い	非常に良い
	注入率(歩留り)	低い	低い	やや低い	やや低い	やや低い	高い
	注入方法	1ショット	1ショット	比例式 1.5ショット	比例式 1.5ショット	等量式 1.5ショット	比例式 1.5ショット
注入後の性質	固結状態(均一性)	やや低い	やや低い	やや高い	やや高い	やや低い	高い
	止水性	やや良い	劣る	やや良い	やや良い	良い	良い
同時注入(シールドにより)		可能	可能	困難	困難	困難	可能
即時注入(セグメント)		可能	可能	可能	可能	可能	可能
同時注入による付着(テールシール，シールド)		掘進中は少ない	掘進中は少ない	掘進中はやや少ない	掘進中は少ない	掘進中も付着しやすい	掘進中は少ない
適用地盤		湧水地盤を除く	湧水地盤を除く	全土層	全土層	軟弱土層を除く	全土層

整ができ，幅広い地盤への対応が可能です．

3)　その他のグラウト

その他のグラウトとして，有機系(発泡樹脂系)グラウトがあります．樹脂の発泡倍率が大きく，止水性に優れ早期強度が期待できるため，シールド急曲線部の空洞充塡など，部分的な注入に適しています．

(3)　裏込めグラウトの得失

グラウトの違いにより各々の性質も大きく異なるため，それぞれの特徴を活かし現場の条件に合った最適なグラウトを選定することが重要です．裏込めグラウトの性能比較を**表-2**に示します．

1)　ゲル化時間

一液性グラウトはゲル化時間が長く，水に希釈されやすいため，地下水の影響が考えられる地盤には適しません．これに対し二液性グラウトの瞬結固結型と可塑状型はゲル化時間が20秒以下と短く，水に希釈されることも少なく，地下水の影響を受ける地盤に対しても有効です．

2)　圧送距離

一液性グラウトの圧送距離は200～500mと短く，二液性グラウトの可塑状型は約2,000mと一液性グラウトの4～10倍の圧送を行うことができ，長距離施工時の設備の簡素化が可能です．

表中のエア系とは，A液にエア(起泡剤)を添加したものを言い，ブリージングの発生を抑えることができます．しかし，水との接触による材料分離や初期強度の低下が考えられるため，適用にあたっては十分な検討が必要です．

(4)　特殊条件下における裏込めグラウトの選定

1)　地下水に塩分を含む地盤への注入

沿岸部や海底下を掘進するシールドトンネルの施工では，地下水に塩分が含まれることがあり，注入した裏込めグラウトが塩分により影響を受けることが考えられます．塩分による裏込めグラウトへの影響については，東京湾横断道路の施工に先立ち数多くの試験が行われていますが，これらの報告によるとセメントを主材料とするグラウトは，注入後の時間経過に伴い劣化が進み，材料の耐久性に問題を生じることが報告されています．これに対し，硬化発現材にスラグを使用したものでは，グラウトにほとんど劣化が見られず良い結果が得られたことが報告されています．スラグ系硬化発現材を用いた長期強度試験の結果を**図-1**に示します．これより，塩分を含む地盤へのグラウトには，スラグ系の硬化発現材が適していると考えられます．

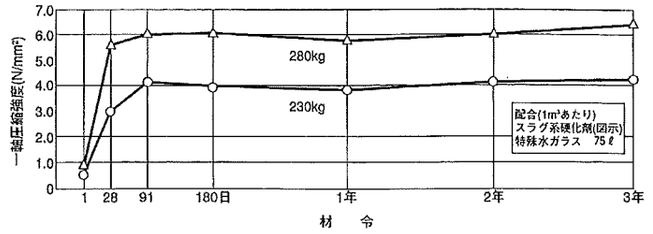


図-1　海水中における長期強度(耐久性)[3)]

2)　地下水に鉄分を含む地盤への注入

地下水に鉄分を含む地盤への二液性グラウトの注入で，失敗例を聞くことはほとんどありません．これより，材料の選定時に鉄分の影響を考慮する必要はないと考えられます．しかし，鉄分がベントナイトの膨潤性を阻害することは知られており，鉄分を含んだ水をベントナイトの練り混ぜに使うようなことは避ける必要があります．

3)　井戸が近接している路線での注入

シールドの路線付近に井戸を持つ住宅があることは珍しくありません．井戸があるということは，そこに水脈があるということで，シールドで水脈を掘削すると水脈にグラウトが流れ込み，井戸水を汚染する危険性があります．これより裏込めグラウトの選定としては，地下水に希釈されず注入位置からの移動が少ないグラウトが適していると考えられます．

4)　急曲線施工部への注入

急曲線施工では，シールドが曲線を曲がりやすくするため地山をオーバーカットすることが多く，テールボイドが大きくなりグラウトが切羽に回り込みやすくなります．また，掘進に必要な推力が曲線外側の地山に作用するため，裏込めの早期強

度が必要となります．これより，裏込めグラウトの選定としては，ゲルタイムが短く初期強度が大きいグラウトが適していると考えられます．

5） 凍結地盤への注入

凍結地盤への注入では，注入したグラウトが強度発現前に凍結し，想定した強度を得られないことが考えられます．これより，凍結防止剤の使用や強度発現効果が期待できる骨材の配合を検討することが必要です．

（文責：廣渡智晶/(株)竹中土木）

参 考 文 献

1)「シールドトンネルの掘進管理」連載講座小委員会：シールドトンネルの掘進管理(6)，裏込め注入管理，トンネルと地下，Vol.28，No.11，pp.79-86，1997.11.

2) 三木五三郎・斎藤孝夫・下田一雄・木村昌義：裏込め注入工法の設計と施工，山海堂，1990.6.

3) 可塑状グラウト協会シールド注入部会：シールドトンネル可塑状裏込め注入工法技術マニュアル，改訂第3版.

Q 15. 土圧式シールド工法においてポンプ圧送が可能な地山条件と適した添加材を教えてください．

A.

（1） ポンプ圧送方式の特徴

土圧式シールド工法における掘削土砂の坑内搬送設備は，①軌道方式，②コンベヤ方式，③パイプライン方式，の3方式に大別されます．ポンプ圧送方式は，パイプライン方式に分類され，小断面から大断面まで，広範囲の掘削断面で採用されている方式です．

ポンプ圧送方式の採用利点としては，以下のことが挙げられます．

- 鉛直方向への搬送も可能であり，切羽からトンネル坑外まで連続的に掘削土の搬送が可能．
- 急曲線，急勾配施工への対応が容易．
- 長距離施工の場合であっても，掘削土砂の坑内搬送作業が，他の作業工程に影響を与えない．
- 可燃性あるいは有毒ガスが土中に賦存する場合，坑内へのガス漏洩量低減が可能．

しかし一方で，ポンプ圧送方式は，掘削土質の条件や使用する添加材の種類に制約があるとともに，排出土砂が泥土化する可能性が高いなどの問題点もあるため，採用にあたっては，十分な事前検討が必要となります．

（2） ポンプ圧送が可能な地山条件

掘削土砂の坑内搬送設備としてポンプ圧送方式を採用する場合には，ポンプ本体や圧送配管内の土砂閉塞を防止し，効率の高い圧送性能を確保することがもっとも重要な課題となります．このため，ポンプ圧送される土砂の性状は，付着性が低く，適度な流動性を保持しているとともに，分離抵抗性の大きいことが要求されます．そして，これらの土砂性状は，当然のことながら，掘削地山の粒度分布に大きな影響を受けることになります．

図-1に施工実績から評価したポンプ圧送の適用可能な粒度分布を示します．図中に示す「範囲A」および「範囲B」が，一般的にポンプ圧送が可能とされる粒径分布の領域であり，具体的には『①75μm以下の含有率15%以上，②2㎜以下の含有率85%以上，③50㎜以上の含有率0%』の範囲とされています．ただし，ポンプ圧送方式の採用にあたっては，切羽および圧送用に添加材を注入することを原則としており，「範囲A」は，圧送用に注水を主体的に考える領域であり，「範囲B」は，圧送用添加材の使用を考慮する領域とされています．また，図-1に示す「範囲C」については，『掘削用および圧送用添加材の種類や注入量について十分な検討が必要』との条件付きではありますが，ポンプ圧送方式の適用が可能とされています．

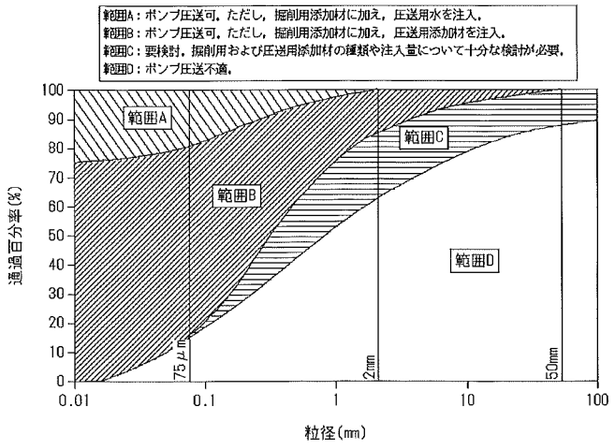


図-1 ポンプ圧送の適用範囲[1]

なお，掘削用添加材とは，チャンバ内土砂の塑性流動性や止水性を確保することを目的に，切羽面やチャンバ内に添加されるものであり，圧送用添加材とは，基本的に，スクリューコンベヤ排土口以降の圧送ライン途中で添加されるものです．掘削土砂の性状によっては，掘削用添加材と圧送用添加材の種類や配合を変える場合もありますが，複数の添加材作製プラントや坑内供給管路が必要になることから，一般的には，掘削用・圧送用ともに，同一の添加材を使用する場合が多くなっています．

（3） ポンプ圧送に適した掘削用添加材

一般に，土圧式シールド工法に使用する掘削用添加材は，鉱物系，界面活性剤系，高吸水性樹脂系，水溶性高分子系の四つに大別されます．以下に，各掘削用添加材の概要と掘削土砂のポンプ圧送性について示します．

1） 鉱物系

粘土，ベントナイトなどの天然鉱物を使用するものです．掘削土砂のポンプ圧送性は良好ですが，材料使用量が多くなるため，添加材の作製プラントは大規模になります．

2） 界面活性剤系(気泡)

界面活性剤(高分子系の水溶性ポリマー)と圧縮空気とで作られた気泡を使用するものです．気泡が混合された掘削土をポンプ圧送すると，気泡がクッション材として作用するために圧送効率が低下します．

また，圧送圧によって気泡が押し潰され，管内土砂の流動性が極端に低下して，圧送が困難になる場合もあるため注意が必要になります．こうした理由から，基本的に，掘削用添加材として気泡を使用した場合の掘削土砂は，ポンプ圧送には不適切であると考えられます．ただし，初期掘進時など，圧送距離が短い場合には，採用されている実績もあります．

3） 高吸水性樹脂系

高分子系の不溶性ポリマーに属する高吸水性樹脂を使用するものです．高吸水性樹脂は，自重の数百倍の水を吸収してゲル状になる材料ですが，水を吸収した樹脂は，弾性に富んでいるため，ポンプ圧送が困難になります．

4） 水溶性高分子系

高分子系の水溶性ポリマーを使用するものであり，基本的に土砂の粘性を調整することで，塑性流動性と止水性を付与するものです．水溶性高分子の種類によって，地山中の細粒分を凝集することで粘性を増加させるもの，材料自体に粘性を有しているもの，土粒子間の付着力を低下させることで粘性を低下させるもの，などがあります．地山の性状に応じて，これら材料を単独あるいは組み合わせて使用するもので，いずれの材料も掘削土砂のポンプ圧送性は良好です．ただし，適正な効果を得るためには，地山の性状を考慮したうえで，添加材の種類，濃度(配合)，添加量，などを十分に検討する必要があります．また，細粒分含有量がきわめて少ない地山の場合には，鉱物系添加材の併用も必要になる場合があります．

（4） 一般的なポンプ圧送設備

1） 機械設備の構成

ポンプ圧送に用いる主な機械設備は，圧送ポンプ，圧送配管，伸縮管，注水管などです(**図-2**参照)．さらに必要に応じて，礫取り装置やミキシング装置を圧送ラインに組み込む場合もあります．

圧送ポンプの形式にはさまざまなものがありますが，一般に用いられているものとしては，ロータリー式と複胴ピストン式があります．ロータリー式は機械装置自体がコンパクトであるため，小口径シールドの一次圧送(スクリューコンベヤ排土口から後続台車までの間の圧送)ポンプとして用いられる場合が多く，複胴ピストン式は圧送能力が高いため，坑内中継ポンプや中大口径シールドの一次圧送ポンプとして使用されており，圧送用ポンプとしてもっとも多くの実績を有しています．

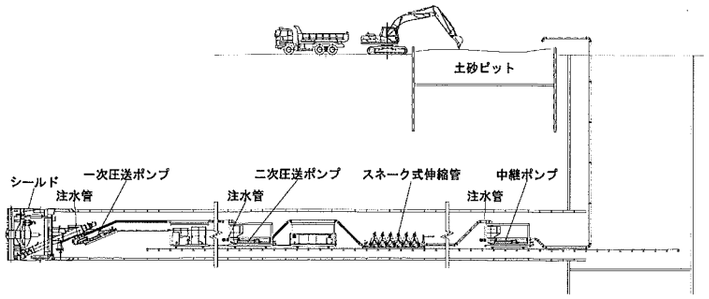


図-2　ポンプ圧送設備の一例

表-1　圧送配管の径

シールド外径	配 管 径
4.0m未満	φ150～250㎜
4.0m以上6.5m未満	φ200～300㎜
6.5m以上	φ300㎜以上

2)　圧送ポンプの能力

現状において，普及型として容易に入手が可能なポンプは，最大理論吐出量で20～140m³/h程度のものです．圧送ポンプは，トンネル内設置スペースの有無を確認のうえ，シールド掘進速度に応じて，十分な吐出量を有するものを選定する必要があります．

3)　配管径

配管径は，圧送抵抗の低減や配管摩耗の低減，管内閉塞の防止などの観点から，余裕を持った選定が望まれますが，一般的には表-1に示す管径が多く採用されています．

4)　圧送距離

ポンプ１台あたりの圧送距離は，ポンプの種別・能力，配管径，勾配，土質条件などを考慮して選定する必要があります．実績としては，ポンプ１台で400m程度の圧送を行う場合が多いようです．

（５）　ポンプ圧送方式採用時の留意点

1)　掘削用添加材と圧送用添加材

先にも述べたように，掘削土砂のポンプ圧送を行う場合には，原則的に，掘削用添加材とは別に圧送用添加材（あるいは水）の注入が必要となります．すなわち，チャンバ内土砂の塑性流動性や止水性確保を目的とした添加材の注入率と，良好なポンプ圧送性能を確保するための注入率は異なるのです．実績から評価すると，ポンプ圧送に必要な添加材注入率は，掘削に必要な注入率＋５%程度との報告[1]もあります．このため，ポンプ圧送性ばかりを重視して切羽への添加材注入率を設定すると，切羽の安定を保てないケースも考えられます．

こうした状況を回避するためには，ポンプ圧送ラインの途中にミキシング装置，礫取り装置，圧送用添加材注入装置や注水装置などを設けることにより，チャンバ内の土砂性状に悪影響を及ぼさない場所で，ポンプ圧送に適した土砂性状に改質する必要があります．

2)　排出土砂の泥状化

上述のように，掘削土砂をポンプ圧送する場合には，軌道方式やコンベヤ方式に比べ，添加材の注入量が増加する傾向にあります．この結果，ポンプ圧送によって坑外排出される土砂は，泥状を呈する場合が多いとともに，排出土量も増加することとなります．このため，掘削土砂の場外搬出にあたっては，コンテナダンプの使用や，土砂改質装置の設置を検討する必要があるとともに，掘削土の運搬・処分費についても十分な検討が必要になります．

3)　添加材の適正管理

良好なポンプ圧送性を確保するためには，添加材の管理が必要不可欠です．掘削土砂の性状は，基本的には常に変化すると考えられるため，添加材の種類，濃度（配合），注入率を常に管理して適正な土砂性状を保持することが重要です．

土砂の流動性や分離抵抗性が小さいために配管の閉塞が発生すると，最悪の場合には数百mの区間にわたって，圧送管内の清掃を行うことになります．また，流動性を増加させたいあまり，添加材の注入率を過大に設定すると，掘削土の処分量も相応に増加します．

なお，ポンプ圧送に適した土砂性状とは，掘削土砂の粒度組成などによって異なるため，一義的に評価することは困難だと考えられます．ただし，実際の施工においては，圧送土砂のスランプ値や含水比，圧送ポンプ圧力などの計測結果をもとに，適正な土砂性状の評価を行っている場合が多いようです．

4)　固結土層のポンプ圧送

固結土層は，土層を構成している土粒子径が細粒分や砂分に相当するものであっても，実際にシールドで掘削・排出される土砂は，多くの場合土塊状を呈します．そして，これらの土塊は，礫分と同様の性状を示すため，ポンプ圧送が困難になる場合もあり，注意が必要となります．

（文責：武田厚(株)/大林組）

参　考　文　献

1）日本トンネル技術協会：土圧式シールド工法における掘削土搬送方法の調査報告書（東京電力(株)委託），1992.3.

Q 16.　泥土圧シールド工法でその発生土が土砂か建設汚泥かについて，判断基準が地域によって異なっているようですが実態を教えてください．

A.　建設汚泥の定義は，「建設廃棄物処理指針（平成13年６月１日環境省通知の別添，以下，「指針」と称する）」に示されています．しかし，掘削工事に伴う発生土が土砂か建設汚泥かの判断は，各自治体（環境部局）に委ねられており，判断基準も自治体によってさまざまな状況です．

ここでは，独自の判断基準を公表している東京都，大阪府などの泥土圧シールド工法に関する内容を紹介します．また，建設汚泥の再生利用に関する通知（国土交通省，環境省）についても概説します．

（１）　建設汚泥

建設汚泥は，「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下，「廃棄物処理法」と称する）」に規定する産業廃棄物の汚泥として取り扱われます．そして，指針では図-1のように記述され，参考として代表的掘削工法に関して土砂か汚泥かの判断時期なども例示されています．

また，建設工事に伴う発生土について，指針の建設汚泥と国土交通省の土質区分基準の分類を図-2に示します．

地下鉄工事等の建設工事に係る掘削工事に伴って排出されるもののうち，含水率が高く粒子が微細な泥状のものは，無機性汚泥（以下，「建設汚泥」という．）として取り扱う．また，粒子が直径74ミクロンを超える粒子をおおむね95%以上含む掘削物にあっては，容易に水分を除去できるので，ずり分離等を行って泥状の状態ではなく流動性を呈さなくなったものであって，かつ，生活環境の保全上支障のないものは土砂として扱うことができる．

泥状の状態とは，標準仕様ダンプトラックに山積みができず，また，その上を人が歩けない状態をいい，この状態を土の強度を示す指標でいえば，コーン指数がおおむね200kN/m²以下又は一軸圧縮強度がおおむね50kN/m²以下である．

しかし，掘削物を標準仕様ダンプトラック等に積み込んだ時には泥状を呈していない掘削物であっても，運搬中の練り返しにより泥状を呈するものもあるので，これらの掘削物は「汚泥」として取り扱う必要がある．なお，地山の掘削により生じる掘削物は土砂であり，土砂は廃棄物処理法の対象外である．

この土砂か汚泥かの判断は，掘削工事に伴って排出される時点で行うものとする．掘削工事から排出されるとは，水を利用し，地山を掘削する工法においては，発生した掘削物を元の土砂と水に分離する工程までを，掘削工事としてとらえ，この一体となるシステムから排出される時点で判断することとなる．参考として，次に代表的掘削工法について例示する．

（ここでは，代表的掘削工法のうち，泥土圧シールド工法の例示を以下に示します．）

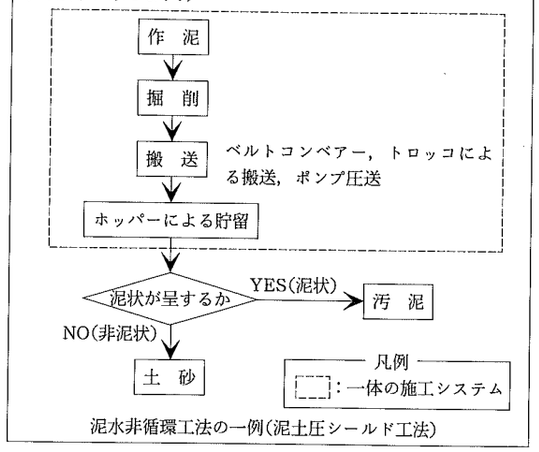


図-1　建設汚泥の取扱い[1]

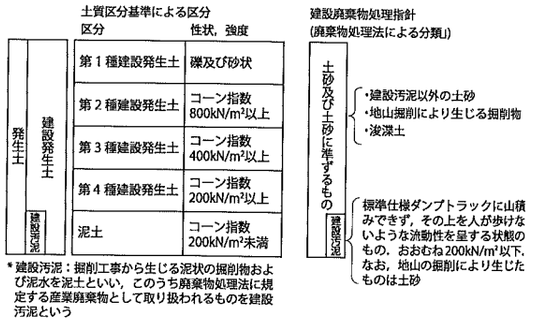


図-2　発生土の分類[2]

（2）　自治体の判断基準例

建設汚泥は，建設廃棄物の中でも環境省通知などに対する自治体の考え方がまちまちです．具体的には図-1の判断時期や一体の施工システムなどの解釈です．

東京都と大阪府などの判断基準を以下に示しますが，一体の施工システムに関して異なる解釈となっています．

1）　東京都

「東京都建設泥土リサイクル指針(平成18年４月)」によると，**図-3**のように一体の施工システムの中に処理工程を含めています．そして，一体の施工システム内で泥土などを処理工程により処理した結果，貯留ホッパーまたはピットなどから搬出される時点において泥状を呈しなくなったものは建設発生土(土砂)として取り扱う運用となっています．

ただし，要件(図中※3)をすべて満たす場合に限ります．

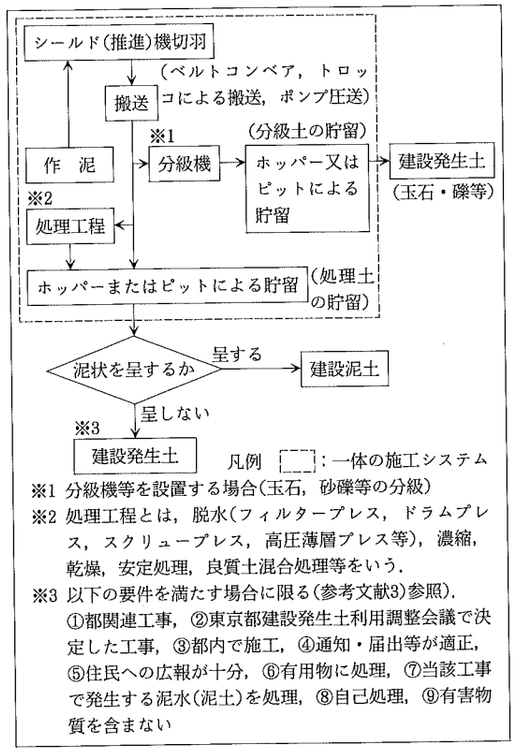
2）　大阪府・大阪市・堺市・高槻市・東大阪市

「掘削工事に伴う汚泥と土砂の判断区分について(平成15年３月)」によると，**図-4**に示すように掘削物への加工・処分工程(固化，脱水，乾燥，薬剤添加など)は一体の施工システムの中に含まれていません．

したがって，処分する前の段階で汚泥か土砂かを判断する運用となっています．

（3）　建設汚泥の再生利用

建設副産物実態調査[5]によると建設汚泥の再資源化率は低い水準となっています．



工法の例：①　泥土圧シールド(推進)工法
②　気泡シールド工法
③　その他

図-3　建設泥土と土砂の区分取扱い方針フロー(泥土圧方式)[3]

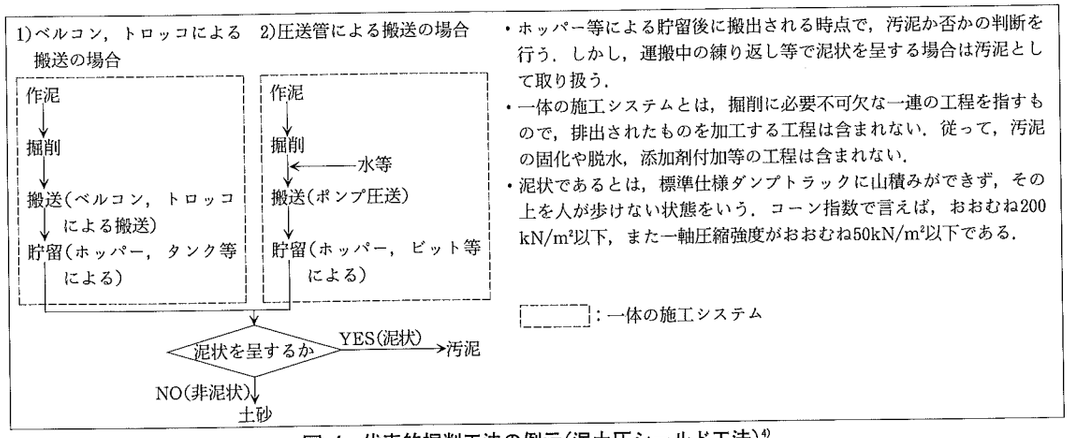


図-4　代表的掘削工法の例示(泥土圧シールド工法)[4]

シールド工事においても建設汚泥の発生抑制や再生利用といった施策が実施されつつありますが，再生利用の運用も自治体でばらつきがあるのが現状です．

そうした中，建設汚泥の最終処分場への排出量の削減，不適正処理の防止を目的に建設汚泥の発生・利用側の国土交通省と適正管理側の環境省とが相互連携して次の通知がなされました．

- 国土交通省：「建設汚泥の再生利用に関するガイドラインの策定について」など[6]
(平成18年６月12日付け通知)
- 環境省：「建設汚泥の再生利用指定制度の運用における考え方について」[7]
(平成18年７月４日付け通知)

今後，工事からの発生土が建設汚泥と判断される場合でも建設現場や中間処理施設での適正な処理によって建設汚泥再生品(建設汚泥処理土，製品)への再生利用が促進されるものと考えます．

(文責：大井隆資/(株)フジタ)

参　考　文　献

1）環境省：建設工事等から生ずる廃棄物の適正処理について(通知)，2001.6.
http://www.env.go.jp/hourei/syousai.php?id=11000319
2）土木研究所：建設発生土利用技術マニュアル，2004.9.
http://www.pwrc.or.jp/books/book_013.html
3）東京都：東京都建設泥土リサイクル指針，2006.4.
http://www.toshiseibi.metro.tokyo.jp/seisaku/recy/index.html
4）大阪府・大阪市・堺市・高槻市・東大阪市：掘削工事に伴う汚泥と土砂の判断区分について，2003.3.
http://www.pref.osaka.jp/waste/sanpai/manual.html
5）国土交通省：平成17年度建設副産物実態調査結果について，リサイクルホームページ，2006.12.
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/fukusanbutsu/jittaichousa/index.htm
6）国土交通省：建設汚泥対策，リサイクルホームページ
http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/region/recycle/fukusanbutsu/kensetsuodei/index.htm
7）環境省：廃棄物・リサイクル対策
http://www.env.go.jp/recycle/waste/

Q 17．急曲線施工時の必要余掘り量の考え方と，その使用時期について教えてください．

A．急曲線施工における余掘りの目的は，シールド胴体の通過断面を確保することにあります．

曲線内の掘進においては，胴体の前後端よりも中間部分が内側を通過するため，この部分を余分に切削することが余掘りです．

（1）　余掘り装置の種類

余掘り装置には，**図-1**に示すようにコピーカッタ，オーバーカッタなどがありますが，ここでは装備比率の高いコピーカッタについて説明します．

以下に説明するコピーカッタですが，カッタヘッドの外周に配置されており，切削した土は取り込まれない部分も多いことを十分に認識しておくことが重要です．

（2）　計算上の必要余掘り量の求め方

急曲線施工における余掘り量は，計算によって算出することは難しいため，計算で数値を確認するとともに，CAD作図によって決定することが合理的かつ正確な方法であると考えられます．

必要余掘り量の求め方はおおむね以下のとおりです．

1）　セグメントの作図

曲線の線形中心線上にセグメントを作図しますが，実施計画では曲線部への進入直前の測量結果を反映させる必要があります(**図-3①**)．

2）　テールクリアランスの確保

セグメント組立て位置に対し，計算上のクリアランスを確保して後胴を配置します(図-3②)．

≪クリアランスの算出例≫

セグメントの許容変形量を$D/150$[2]とすると，

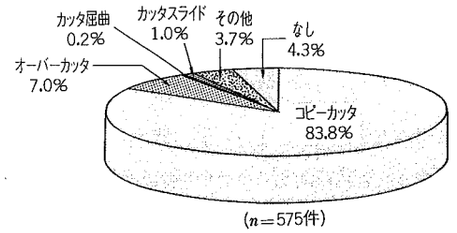


図-1　余掘り装置の種類[1]

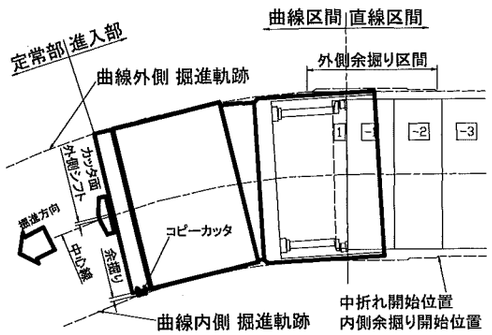


図-2　余掘り概念図(進入部)

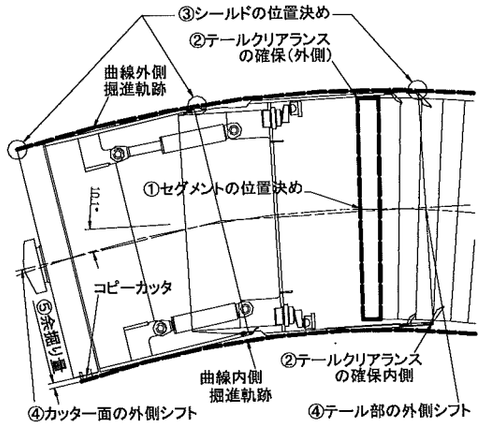


図-3　曲線検討CAD図(定常部)

表-1　製作許容誤差表(参考)

セグメント外径 D (m)	$D<4$	$4 \leqq D<6$	$6 \leqq D<8$
製作許容誤差	7㎜	10㎜	15㎜

必要クリアランスは次式で表せます.

$$T_c = \{(D/150) + \delta\} \times 1/2 \qquad (1)$$

D ：セグメント外径(㎜)

T_c ：必要クリアランス(㎜)

δ ：製作許容誤差(㎜)(表-1参照)

3)　シールドの位置決め

シールドは，側端部のうち3点が曲線外側掘削軌跡上に接するように配置します(図-3③).

例示したシールドの定常状態を見れば，カッタ面と後胴の後側端部が，中心線の外側にシフトしていることがわかります(図-3④).

4)　必要余掘り量の決定

必要余掘り量は，前胴および後胴がもっとも内側を通過する位置で決定します(図-3⑤).

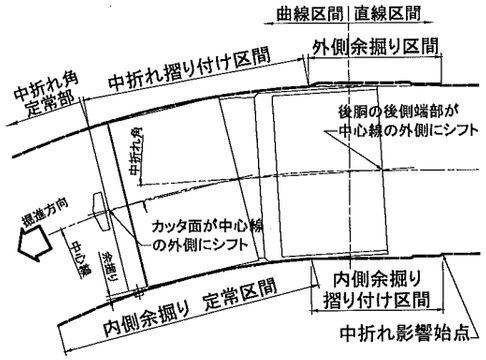


図-4　曲線進入部余掘り区間

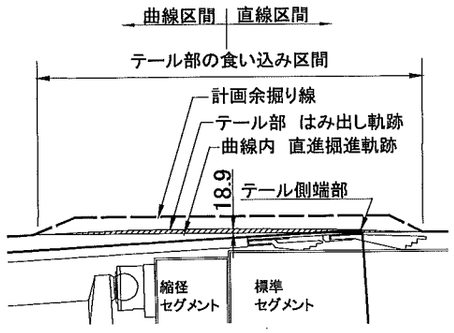


図-5　曲線進入部詳細

曲線への進入部と脱出部では摺り付け区間が必要となりますが，中折れ装置の使用開始位置から終了位置までとなります(図-4).

5)　進入部および脱出部の外側余掘り

図-5は直線区間と曲線区間の変化点(BC点)のシールドテール部を示していますが，作図すると後胴外側のテール端部が掘進軌跡からはみ出すことがわかります．この外側のはみ出し部が外側余掘りの対象範囲となり，同じ現象は脱出部においても見受けられます.

はみ出す量はシールド形状と曲線半径によって決まりますが，図-5のケース(シールド外径3.2m，曲線半径R=15m)でも18.9㎜と微小であるため，外側余掘りを行わないケースも多いようです.

(3)　計画余掘り量の考え方

計画余掘り量は，前項で計算した必要余掘り量をもとに設定します.

余掘り量が大きければ，それだけ急曲線施工は

入材の切羽への回り込み，掘削反力の低下によるトンネルの変形など問題点も多く，余掘り量は必要な範囲で最小限に抑えることが望ましい[3]とされています．しかしながら，急曲線施工においては不確定要素が多く，事前検討どおりに施工できないこともあるため，十分な余裕をもった余掘り装置を準備しておくことが肝要です.

図-6は，R/Dと余掘り量の設定の関係を表していますが，曲線半径が小さくなるほど余掘り量を多めに設定しているようです.

図-7は，曲線半径と実施最大余掘り量(中折れあり)の関係を表しています.

曲線半径が小さくなるほど余掘り量が大きくなる傾向がありますが，バラツキも小さくはありません.

曲線半径40m以下では，実施余掘り量が100㎜を超えているケースも多く見受けられます.

(4)　余掘りの使用時期

図-8は，曲線半径と余掘り開始時期の関係を表しています.

急曲線においては，半数以上のケースが「凡例A：シールド先端がBCの手前」で余掘りを開始していることがわかります.

一方，曲線半径と余掘り終了時期の関係は図-9に示すとおりです.

曲線半径が小さくなるに従って，「凡例B：シールド先端がEC付近」の割合が小さくなり，「凡例C：シールド機長の1/2程度がECを通過」の割合が大きくなっています.

急曲線の出口部で縮径セグメントを使用する場合には，縮径のセグメントを標準タイプに接続するため，余掘り量の設定にあたっても余裕が必要です.

前出のとおり「余掘り量が大きければ，それだけ急曲線施工は容易となる[3]」ことから，その使用時期についても，早めに開始して遅めに終了することが施工を容易にすると考えられますが，「余掘り量は必要な範囲で最小限に抑えることが望ましい[3]」と言えるでしょう.

(5)　おわりに

「シールド曲線施工」に関する実態報告書(2)[4]によれば，シールドに関するトラブル全120件の

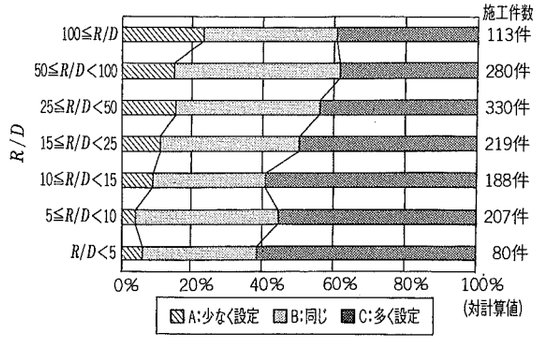


図-6　R/Dと余掘り量の設定の関係[4]

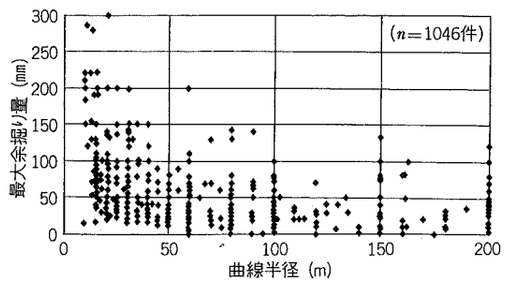


図-7　曲線半径と実施最大余掘り量(中折れあり)[4]

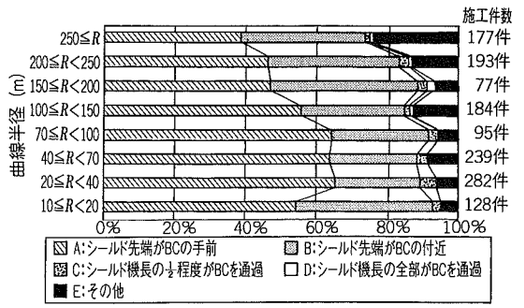


図-8　曲線半径と余掘り開始時期の関係[4]

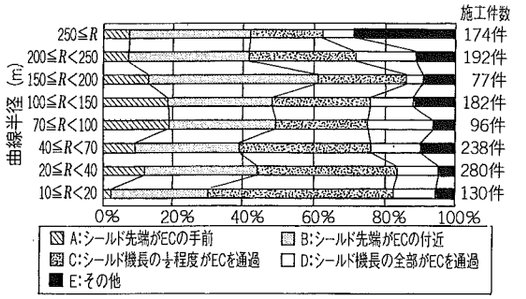


図-9　曲線半径と余掘り終了時期の関係[4]

内，コピーカッタのストローク不足，戻り不可などの動作不良が9件報告されています．

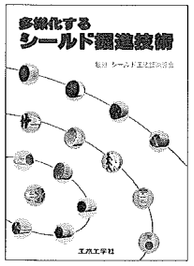
コピーカッタの強度や摩耗，耐久性，能力について十分な余裕をもった対策をたてるとともに，動作確認を入念に行うことが重要です．

また，実施工時の急曲線部掘進管理においては，とくにその入口部において，計画と異なる条件が多いため，曲線進入直前の掘進状態を十分に把握したうえで，再検討を行うことを推奨します．

（文責：廣瀬憲嗣/日本国土開発(株)）

参考文献

1) JTA都市トンネル小委員会：「シールド曲線施工」に関する実態調査報告(1)，トンネルと地下，Vol.30, No.5, pp.52–62, 1999.5.
2) 日本鉄道施設協会：シールドトンネルの設計施工指針(案)，1983.8.
3) 土木学会：2006年制定トンネル標準示方書，シールド工法・同解説，2006.7.
4) JTA都市トンネル小委員会：「シールド曲線施工」に関する実態調査報告(2)，トンネルと地下，Vol.30, No.6, pp.67–76, 1999.5.



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

本書は，「トンネルと地下」に約1年間にわたり連載した『多様化するシールド掘進技術』をベースとして，掲載しなかった工法，技術などを整理，体系化するとともに，各種工法の境界，システム・考え方の違い，適用での留意点が，よりわかりやすいように手を加え再度同名の図書としてシールド工法技術協会が監修を行ったものである．

〔掲載工法〕

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

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

文献紹介

概説

小泉淳・清水幸範：アンダーピニングの変遷と技術的動向，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

黄南輝・秦中天，藤堂博明（訳）：台湾の地質と最近の建設工事で生じた地盤工学上の諸問題，基礎工，Vol.35, No.6, 2007.6.

研究・開発

榎園正義：大規模トンネル火災実験，燃料電池自動車のトンネル内における安全性の検証実験，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

福井久明：電撃破砕“カルマック工法”，建設機械，Vol.43, No.7, 2007.7.

土門剛・西村和夫・徐景源：鏡ボルトによる切羽補強効果，建設機械，Vol.43, No.7, 2007.7.

三木慶造・横溝文行・吉田陽一・上田潤：アンダーパスの急速施工法「URUP工法」，小土被り下におけるセグメント覆工技術の検証，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

清原勝司・伊藤恵介・丸山芳之：PCエレメント推進による非開削トンネル，PCルーフダブルエレメント置換推進の施工とオーガー推進機，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

古市秀雄：ECOアンダーパス工法，インプラント構造による省スペース短期施工技術，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

小玉正文・請川誠：T-アンダーパス工法(T-UPS)，T-アンダーパス工法における土留め材圧入時の止水構造の開発，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

今西秀公：ニュークロス工法，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

坂口拓史：過密都市部の限られたスペースでのアンダーパス急速施工法，KSUP工法，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

藤本直昭・森田泰司：外殻先行型トンネル工法「プレシェル工法」，工法の概要と開発状況，建設機械，Vol.43, No.9, 2007.9.

設計・理論

山田隆昭・佐野信夫・馬場弘二・吉武勇・中川浩二・西村和夫：トンネル覆工コンクリートの定量的な健全度評価基準，土木学会論文集F，Vol.63, No.1, 2007.4.

大津宏康・大西有三・浜田信彦・境亮祐：地盤統計学手法を用いた建設コスト推定方法の事後評価への適用，土木学会論文集F，Vol.63, No.1, 2007.4.

小早川博亮・伊藤洋：高レベル放射性廃棄物処分へ適用するベントナイトグラウトの配合条件，土木学会論文集F，Vol.63, No.1, 2007.4.

藤木育雄・杉嶋敏夫：アンダーピニングの計画と設計，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

川田成彦・春日清志・深井直光：シールド機挙動解析および三次元FEMモデルを用いたシールド施工時荷重に関する研究，建設機械，Vol.43, No.6, 2007.6.

磯谷篤実・水原勝由・千代啓三・仲山貴司：シールドを用いた場所打ち支保の内部ひずみ計測方法について，建設機械，Vol.43, No.6, 2007.6.

大嶋直樹：秋田中央道路の20年，行政改革の波と多くの教訓を越えて，土木施工，Vol.48, No.8, 2007.8.

剣持三平・竹津英二・依田淳一・小池真史・亀村勝美：膨圧性泥質岩地山トンネルの施工における内空変位量の評価，土木学会論文集F，Vol.63, No.2, 2007.7.

斉藤仁・黒崎秀・高橋晃・竹内友章・小泉淳：大深度シールドトンネルにおける施工時荷重作用時に発生するセグメントの損傷の原因，土木学会論文集F，Vol.63, No.2, 2007.7.

施工

森下全人・名倉浩：アンダーピニングの施工，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

水上博之：アンダーピニング工事における計測管理，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

海野隆哉：アンダーピニング工事に伴う変状と留意点，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

名古屋菊夫・大石敬司・佐久間穣：東京メトロ副都心線における多様なアンダーピニング，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

日高良明・西村唯史：上野地下歩行者専用道・駐車場建設に伴うアンダーピニング，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

土橋浩・渡辺剛史・水越英世・岩倉孝幸：首都高中央環状新宿線における地下鉄丸ノ内線アンダーピニング工事，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

並川賢治・蔵治賢太郎・吉田祥二・田代晃一：中央環状新宿線建設工事における神田川のアンダーピニング，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

寺山徹・津野和宏・石黒順一・守山和朗：横浜市道岸谷生麦線トンネル建設に伴う生麦中学校校舎アンダーピニング工事の設計・施工概要，基礎工，Vol.35, No.5, 2007.5.

加藤均・日下部昭彦・中村誠：アンダーピニング工法による東海道新幹線汐留高架橋改築について，基礎工，Vol.35，No.5，2007.5.
豊田弘茂・宮崎集二・山口洋史・今村大吾：横浜市営地下鉄４号線建設に伴う東急日吉駅ビルのアンダーピニング工事，基礎工，Vol.35，No.5，2007.5.
伊藤博幸・石崎雅史：大阪市地下鉄第８号線建設に伴う谷町線のアンダーピニング工事，基礎工，Vol.35，No.5，2007.5.
谷口智之：中之島新線建設工事に伴う京阪本線のアンダーピニング，基礎工，Vol.35，No.5，2007.5.
井上真次・大西祥久・大谷啓一郎：阪神高速道路神戸山手線での神戸高速鉄道東西線アンダーピニング工事，基礎工，Vol.35，No.5，2007.5.
兼島方昭・奥井明彦・田村暢慶：新神戸トンネル(Ⅱ期)建設に伴うJR神戸線(南行き)のアンダーピニング，基礎工，Vol.35，No.5，2007.5.
兼島方昭・岩元仁・有本有：新神戸トンネル(Ⅱ期)建設に伴う阪急神戸線(北行き)のアンダーピニング，基礎工，Vol.35，No.5，2007.5.
草野孝三・古園豊繁：シンガポール地下鉄サークルライン新駅建設に伴う鉄道高架橋のアンダーピニング，基礎工，Vol.35，No.5，2007.5.
国土交通省関東地方整備局相武国道事務所工務課：最新技術の止水構造等により超高水圧,硬岩地山を克服，八王子城跡トンネル，土木施工，Vol.48，No.6，2007.6.
中村正昭・諏訪太：トンネル内視環境と環境保全に配慮した地下換気所システム，八王子JCT地下換気所システム，土木施工，Vol.48，No.6，2007.6.
寺嶋正章・稲葉秀雄・古川浩司：含水未固結地山によるトンネル掘削，真里谷第４トンネル，土木施工，Vol.48，No.6，2007.6.
土橋浩・寺島善宏・松原健太・屋代勉・小林一博：鋼繊維補強高流動コンクリートセグメントの開発と実施工への適用，建設機械，Vol.43，No.6，2007.6.
浅上祐司・亀廼井寿明：バンコク地下鉄南工区建設工事，基礎工，Vol.35，No.6，2007.6.
須貝美代治・梶原竹生・鈴木信行：周辺環境および猛禽類に配慮したトンネル工事施工，建設機械，Vol.43，No.7，2007.7.
並川賢治・波津久毅彦・落合栄司・山内貴宏：大断面シールドトンネル切開き部の設計施工，道路シールドトンネル分合流部に適用した切開き工法，建設機械，Vol.43，No.7，2007.7.
河村洋治・吉光康夫・尾畑洋：脆弱化地盤の地下水抑制による変電所直下のトンネル施工，建設機械，Vol.43，No.7，2007.7.
シールド機で掘った垂直導坑を拡幅，袋田の滝新観瀑台建設工事(茨城県)，日経コンストラクション，６月22日号，2007.6.
寺田浩三郎・藤田直也:鳥取富岡宮津自動車道(宮津野田川道路)第12トンネル工事，TBM工法による避難坑掘削，土木技術，Vol.62，No.7，2007.7.
南裕一・石阪良治：中之島新線建設工事に伴う京阪本線仮受け区間の設計・施工，土木技術，Vol.62，No.7，2007.7.
仲田義弘・小倉崇敬：都市の狭隘な施工条件下における非開削工法の施工，西大阪延伸線建設工事のうち土木工事(第３工区)汐見橋引上げ線，土木技術，Vol.62，No.7，2007.7.
永森邦博・佐藤竜郎・佐々木哲也：シールドのビット交換技術「リレービット工法」，建設機械，Vol.43，No.8，2007.8.
紺谷郁夫・深津有彦：急勾配シールドトンネルの施工，泥土圧シールド工法による急勾配施工の品質確保方法について，建設機械，Vol.43，No.8，2007.8.
馬越脇央・寺田雄一郎・大恵勝：地下方式の連続立体交差工事〈調布駅付近連続立体交差事業〉，京王電鉄京王線(柴崎駅～西調布駅間)，同相模原線(調布駅～京王多摩川駅間)，土木施工，Vol.48，No.8，2007.8.
重光達・小倉崇敬・阿武潔：都市の狭隘な施工条件下における非開削工法の施工，西大阪延伸線建設工事のうち土木工事(第３工区)汐見橋引上げ線，土木施工，Vol.48，No.8，2007.8.
埋設間を人力で撤去して150m掘削，国道９号京都西立体千代原トンネル本体工事，日経コンストラクション，８月10日号，2007.8.
大久保英也・重光達・小倉崇敬：ハーモニカ工法による輻輳する地下埋設物下の施工，西大阪延伸線建設工事のうち土木工事(第３工区)，建設機械，Vol.43，No.9，2007.9.
並川賢治・波津久毅彦・山内貴宏・深澤祐志：太径曲線パイプルーフ工法を用いたシールドトンネル切開き技術，中央環状新宿線富ヶ谷出入口分岐合流部，土木施工，Vol.48，No.9，2007.9.
小笠原光雅・市川雅之：650m²の大規模水封式地下岩盤貯槽を掘る，波方基地ブタン貯槽工事，土木施工，Vol.48，No.9，2007.9.
松井敦・田中文隆，土屋雅徳：地中連続壁の薄肉化によるコスト縮減と品質確保への取組み，袖師基地No.3 LNG地下式貯槽，土木施工，Vol.48，No.9，2007.9.

海外文献速報

(社) 日本トンネル技術協会 国際委員会

まもなく終了するアイスランドにおける水力発電トンネル/Icelandic hydro tunnel saga nears completion

Tunnelling & Trenchless Construction, November, 2006, pp.15–19

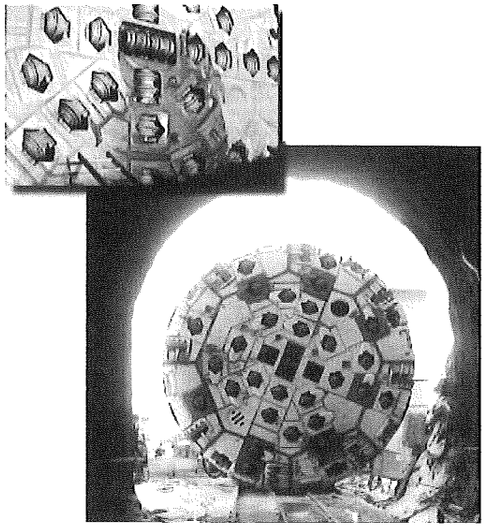
Kárahnjúkar水力発電プロジェクトとして知られる本プロジェクトは，設置される発電機は６台，発電量は690MW，年間の総発電能力は約4,600GWhとなり，発電される電力は，アイスランド東海岸のReyöarfdöröur港に建設中であるFjaröaàlアルミニウム精錬所で使用される予定である．

この総発電量をまかなうために，三つのダムを建造中である．最大となるKárahnjúkastiflaダムは，コンクリート表面遮水型ロックフィルダムであり，堤頂長730m，堤高198mとなり，完成した際には同タイプのダムとしては欧州はもちろん世界でももっとも高いダムとなる．

導水路トンネルの総延長は53kmであり，トンネルの土かぶりは100～200mである．

水圧管路は２本の立坑であり，これにより導水路から地下発電所へと連結されている．発電機を通過した発電用水は，放水路トンネルおよび運河を経て，Fjaröaàl川の海抜26m地点に放流される．Kárahnjúkarプロジェクトにおけるトンネル総延長は，約73kmに及ぶ．

導水路トンネルのほとんどと作業坑の一部は，３台のRobins社製シールド型TBMにより掘削され，残りのほとんどはドリルジャンボとしてSandvik Tamrock社製のAxeraを使用した発破工法を採用している．TBMの１台あたりの使用



掘削前(下)と掘削後(上)のTBMカッタヘッド・良好な掘削状況であったことが示されている．

電力は３MWであり，また掘削に伴うずりは電動ベルトコンベヤにより作業坑坑口付近のずり捨て場に搬出される．

Kárahnjúkar水力発電プロジェクトにおける最初のトンネル貫通は2006年９月９日であり，No.1 TBMが長さ14.6kmの導水路トンネルの掘削を完了した．同日に，掘削径7.23mのNo.2 TBMが掘削径７～８mクラスでは世界最速記録を達成しており，これは24時間で92mを掘削するという結果であった．No.1 TBMは，2006年には予定どおり平均月進は643m/月で掘削を終了している．このTBMは，一軸圧縮強度の最大値が300MPaとなるような玄武岩や枕状溶岩を掘削したにもかかわらず，マシンの消耗は少なかった．

これらのTBMは，導水路トンネルにおいて著しい破砕帯や湧水地帯も掘削している．No.2 TBMが2005年に遭遇した短いが激しく破砕された断層帯は，最大10m程度の幅の割れ目が３本あり，この割れ目には緩い土砂が充填されていた．この部分を通過し，もとのスピードに回復するには数箇月必要であった．この大量の湧水を含む難しい地山を掘削するために，セメントグラウトによる地山改良と，コンクリートを用いた鏡補強による補助工法を採用した．また，この部分では支

保工が必要となり，これが掘進速度を大幅に低下させる原因の一つとなった．支保工は，ロックボルト打設とTBMに設置されたSika社製マニュピレーターによるコンクリート吹付けであるが，とくに地山が悪い部分では，鋼製支保工と上述したセメントグラウトによる地山改良が必要であった．

掘削において課題となったものとして，このほかにずり処理として使用したベルトコンベヤが挙げられる．これは，主として能力以上に運搬距離が長くなった点にあり，最長では16kmとなったため，細かな調整が要求されるブースターを数多く設置する必要があり，最大能力を常に維持することは困難であった．

地下発電所本体建設も終息を迎えている．発破工法による掘削とコンクリート覆工はすでに終了しており，現在は発電機を設置中である．

Skanska Raise Boringによるレイズボーラーにより掘削された水圧管路は工程どおり完成されている．この立坑の深度は414m，掘削径は4.04mである．鋼管によるライニングは終了しており，現在サンドブラストによる仕上げ作業中である．

この冬には，世界の中でももっとも人里離れた荒野における巨大な水力発電プロジェクトは，全体的に見れば工程どおりに終了直前であり，後は設備工事が残されている．

（文責：野間達也・(株)フジタ）

P.A.ドミニコ，F.W.シュワルツ著

地下水の科学 各B5判 全3巻

地下水の科学研究会　大西　有三　監訳

第Ⅰ巻　地下水の物理と化学　価格4,281円　〒340円
第Ⅱ巻　地下水環境学　価格4,485円　〒340円
第Ⅲ巻　地下水と地質　価格3,873円　〒340円

本書は様々な環境問題を地下水理学の立場から本格的に取り扱うため，水の物理学・化学的性質，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多岐にわたっており，地質学者，水理地質の実務者，地球化学者ならびに流体力学に関心のある地球物理学者，または，地質学を学ぶ学生など広範に満足させる内容となっている．

＜第Ⅰ巻　主要目次＞

■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　主要目次＞

■地下水の化学■化学反応■物質輸送の数字理論■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■水質浄化の対策

＜第Ⅲ巻　主要目次＞

■水資源■堆積盆水環境における地下水■地殻における地下水■地下水流動における熱輸送

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

社団法人 日本トンネル技術協会 会報

1. 会員の現状

	9月25日現在
正会員	2,150名
団体会員	407名
個人会員	1,743名
名誉会員	1名
計	2,151名

2. 委員会の開催状況（9月1日～30日）

①調査研究関係委員会

◎技術委員会

都市トンネル小委員会Q&A施工WG：9/28(北川滋樹幹事ほか14名)原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会：9/21(西村和夫委員長ほか20名)原稿を検討

耐震設計検討特別委員会幹事会：9/25(蒋宇静幹事長ほか12名)解析内容を検討

計　3回開催　49名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

企画運営幹事会：9/12(高山博文幹事長ほか9名)公益法人制度改革の対策を検討

広報小委員会

会誌WG：9/5(大島洋志主査ほか14名)10月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会

ニュースWG：9/25(小島宗隆主査ほか7名)海外ニュースを翻訳

計　3回開催　33名出席

合計　6回開催　82名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第34回ITA総会およびコングレス「より良い環境と安全のための地下空間を目指して」	2008. 9. 22～27	ニューデリー（インド）	CBIP(灌漑・水力中央委員会) International Tunnelling and Underground Space Association(国際トンネル協会) http://www.cbip.org

＊論文募集に関する詳細は事務局(担当：関)までお問い合わせください．(社)日本トンネル技術協会 TEL：03-3553-6174

4. 平成19年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
(見学会)			
プラハ国際トンネル会議技術調査	2007. 5. 3～13	18	オーストリア，チェコ，ドイツ
首都圏トンネル現場研修会	2007. 5. 30	14	東京都
首都高速新宿線現場研修会	2007. 6. 14	19	東京都
上野地区地下構造物建設現場研修会	2007. 6. 28	17	東京都
横浜市下水道トンネル現場研修会	2007. 7. 4	15	神奈川県
西大阪延伸線建設工事現場研修会	2007. 7. 27	16	大阪府
横浜市下水道トンネル現場研修会	2007. 8. 23	17	神奈川県
第二東名　島田第一トンネル現場研修会	2007. 10. 30	30	静岡県
北陸新幹線　第2魚津，新木浦トンネル現場研修会	**2007. 11. 8, 9**	**30**	**富山県，新潟県**
(発表会)			
第60回(山岳)「厳しい条件を克服した山岳トンネル工事」	2007. 9. 26	136	東京都
第61回(都市)「地下重要埋設物をはじめとする各種制約下での都市トンネル工事」「若手に伝えたい都市トンネル施工技術」	2007. 9. 27	114	東京都
(講演，講習会)			
第10回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2007. 10. 25, 26	30	東京都
第9回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	**2007. 11. 1, 2**	**30**	**東京都**

12月号予告[12月1日発売予定]

- ●北陸新幹線　第2魚津トンネル
- ●新潟県中越沖地震に伴う鉄道トンネル被害および復旧方針
- ●東海北陸自動車道　飛騨トンネル本坑(施工編)
- ●首都高・代々木換気所
- ●横浜市営地下鉄　グリーンライン
- ●小口径長距離トンネル用の換気ダクトの開発

【連載講座】

- ●シールド工事の施工に関するQ&A(6)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆当社発行の書籍はここ十数年間，「大安」に発行しています．多くの人に読んでいただきたいと願いを込めて吉日を選んでいます．

◆書籍の発行日を決めるのも役立つことから，当社で掲げているカレンダーは吉凶日や日本の行事などが載っているものを使用しています．そのカレンダーに毎月載っている「三りんぼう」というものが以前より気になっていましたので，この際，少し調べてみました．

◆「三りんぼう」は漢字では「三隣亡」と書きます．字のごとく3軒隣まで災いを及ぼすということで，建築上，凶日とされています．昔ながらの大工さんは，家を建てるときに重要視している棟上げは絶対にこの日を避けます．しかしながらこの「三りんぼう」は幕末までは「三輪宝」と書かれ，建築では「屋立てよし」の吉日でした．

◆時代によって，吉日が凶日に転じることを奇異に思うのは私だけでしょうか．こんなことを聞かされては「大安」を選んで書籍を発行している気持ちが半減されてしまいます．「信じるものは救われる」ということなのでしょうか．

(I.Y.)

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

トンネルと地下
第38巻 第11号〔通巻447号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成19年10月20日　印刷
平成19年11月1日　発行

社団法人日本トンネル技術協会
会長　小森　博
〒104-0041　東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)
TEL：03-3553-6174
FAX：03-3553-6145
http://www.japan-tunnel.org
発行所　株式会社土木工学社
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂
TEL：03-3267-2888
FAX：03-3267-2807
http://www.tunnel.ne.jp
発行人　山本 育徳
編集人　山本 勝誉
印　刷　新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は，書店または土木工学社へ直接お申し込みください．

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

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

本誌広告のお申し込み方法

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

本誌掲載記事を無断で複写(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．

吹付けコンクリート用急結剤
「太平洋ショットマスター」



1 急結性に優れています
セメント鉱物系ならではのシャープな急結性が得られます
そのため 吹付けコンクリートを急速に硬化させ
岩盤への優れた付着性
跳ね返りの低減が実現できます

2 短時間強度長期耐久性が良好です
吹付け後 短時間で高い強度が得られ
以後の強度発現性も優れています
また セメント鉱物系ですので
長期耐久性も良好です

3 塩化物を含んでいません
塩化物を含んでいませんので
ロックボルト・鋼製支保工等の鋼材を腐食させません

優れた付着性!!
「太平洋ショットマスター」は、太平洋セメント株式会社が特殊セメントやセメント用各種混和剤の開発技術をもとに、鋭意研究開発したセメント鉱物系を主成分とした吹付けコンクリート用急結剤です。セメント鉱物ならではの急結性を有し、吹付けコンクリートの岩盤への優れた付着性・跳ね返りの低減が実現できます。

太平洋マテリアル株式会社

●営業本部高機能建材営業部 〒103-0023 東京都中央区日本橋本町4-8-15 ネオカワイビル8F　TEL.03-3278-5319
○北海道支店／TEL.011-221-5855　○東北支店／TEL.022-221-4511　○東京支店／TEL.03-3278-5331
○北 陸 支 店／TEL.076-234-1670　○中部支店／TEL.052-452-7141　○関西支店／TEL.06-6228-6660
○中 国 支 店／TEL.082-261-7191　○四国支店／TEL.087-833-5758　○九州支店／TEL.092-781-5331